

Apport de la méthode cartographique dans l'étude de l'évolution du trait de côte de la ville de Mahajanga de 1952 à 2015

Mandimbiharison A.^{1*}, Randriatahina H.², Rasolomanana E. H.^{2,3}

1 : Département Géologie, ESPA, Université d'Antananarivo

2 : Département Mines, ESPA, Univ. d'Antananarivo

3 : Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo, Univ. Antananarivo

*Auteur correspondant : Mandimbiharison Aurélien, Tel. +261320402451, E-mail : mandimbiharison.aurelien@gmail.com, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA), Université d'Antananarivo, Madagascar

Résumé- Madagascar est une île qui dispose de plus de 5600 km de côtes dont le recul a été estimé entre 5,71m et 6,54 m en 1997. Il est aussi exposé annuellement aux cyclones tropicaux. Entre 1990 et 2004, 50 cyclones de catégorie 4-5 ont été enregistrés contre 18 pour la période allant de 1975 à 1989. Ces cyclones ont des effets tant sur les activités socio-économiques de la population que sur les diverses infrastructures mais aussi et surtout sur le trait des côtes.

Le cas de la ville de Mahajanga et de ses environs est étudié dans l'article. Mahajanga est la deuxième ville portuaire de Madagascar et reste très prisée par les vacanciers car elle offre 5 km de plages de sables fins alternés par de rares endroits d'escarpement rocheux et par quelques zones de mangroves. Une partie de cette plage appelée « Village touristique » a été maintes fois modifiée naturellement non seulement par son instabilité géologique mais aussi et surtout par les effets des courants marins et des cyclones.

Des scènes d'images Google Earth, des photoaériennes, d'ortho photo et des cartes topographiques intégrées dans un Système d'Information Géographique (SIG) ont permis de tracer différents traits de côtes. L'étude conclut que ce sont les nombreux cyclones et particulièrement Hellen en 2014, qui ont fortement affecté les activités socio-économiques, les zones inondables et les traits des côtes de la ville de Mahajanga et de ses environs.

Mots clés- Mahajanga, Plage, Trait de Côte, Cyclone, Image Google Earth, Photoaérienne, SIG

Abstract- Madagascar is an island which has more than 5600 km coasts whose their retreat was estimated between 5,71m and 6, 54 m in 1997. It is also exposed annually with the tropical cyclones. Between 1990 and 2004, 50 cyclones of category 4-5 were recorded against 18 for the period going from 1975 to 1989. These cyclones have effects as well on the socio-economic activities of the population as on the various infrastructures but more especially the coastlines.

In this communication, we will take the case of the town of Mahajanga and its surroundings. It is the second port city of Madagascar and very appraisal also by the holiday makers because it offers 5 km of fine sand beach alternated by rare places of rock escarpment and some zones of mangroves. But part of this beach called «Village touristique» was modified many times not only by its geological instability but especially by the effects of the marine currents and the cyclones.

Separately the use of the images " Google Earth ", aerial photography and topographic map and their integration in a Geographical Information System (GIS) making it possible to draw different coastline features. The impacts of the Hellen cyclone into 2014 on the socio-economic activities as well as the cartography of the easily flooded zones and the coastal features of the city of Mahajanga and its surroundings will be described.

Key words- Mahajanga, Beach, Coastline, Cyclone, Google Earth Image, Aerial photography, GIS

Introduction

Madagascar est une île disposant 5600 km de côte. Il est un des pays le plus exposé aux chocs climatiques en Afrique car il est régulièrement affecté par des cyclones, des inondations et une

sécheresse endémique dans le Sud de l'île. Les cyclones constituent des menaces pour les populations côtières, causent des dommages sur les infrastructures et modifient les traits de côtes. Trois zones sont les plus menacées à Madagascar :

- la zone littorale de Mahajanga (Nord-Ouest) dont la vitesse de recul est de 3 à 4m par an ;
- la zone littorale de Morondava (Sud- Ouest) de 5 à 6 m par an ;
- la côte Est de Madagascar surtout Toamasina de 12.5m à 15m par an et de Manakara.

Si la côte orientale présente une allure plutôt rectiligne celle de l'Ouest est beaucoup plus sinueuse et présente de nombreuses baies surtout dans sa partie septentrionale. La Figure 1 illustre ces différences au niveau de l'allure des côtes et les zones littorales les plus menacées.

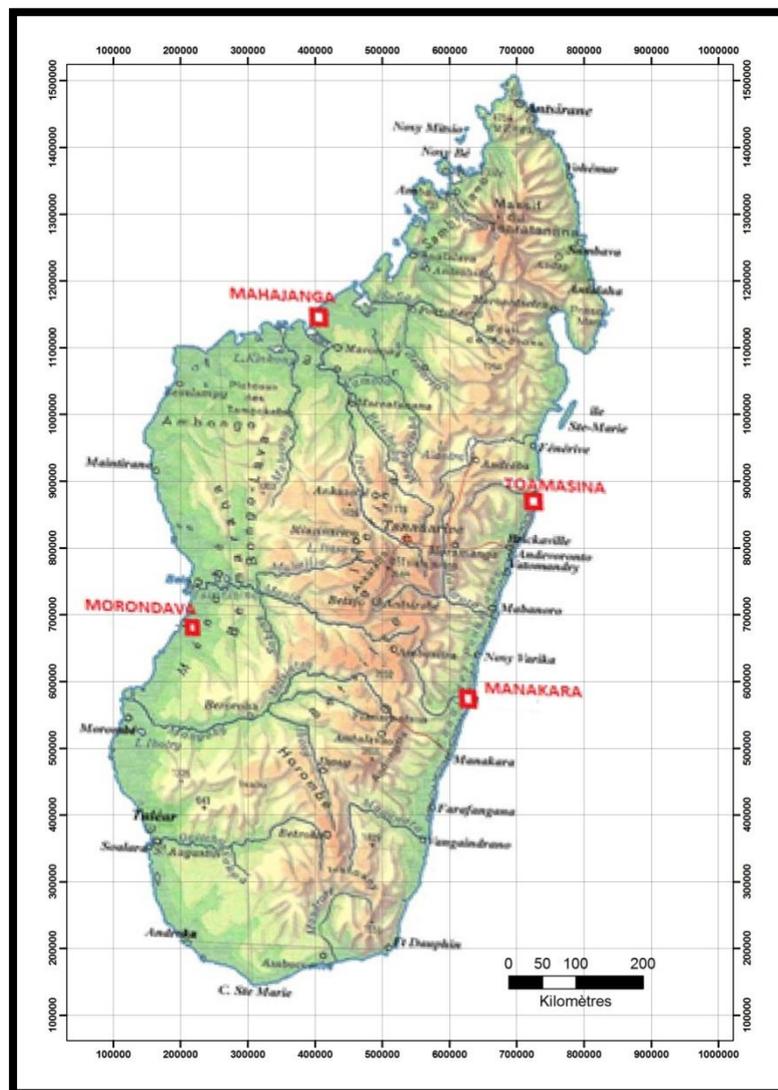
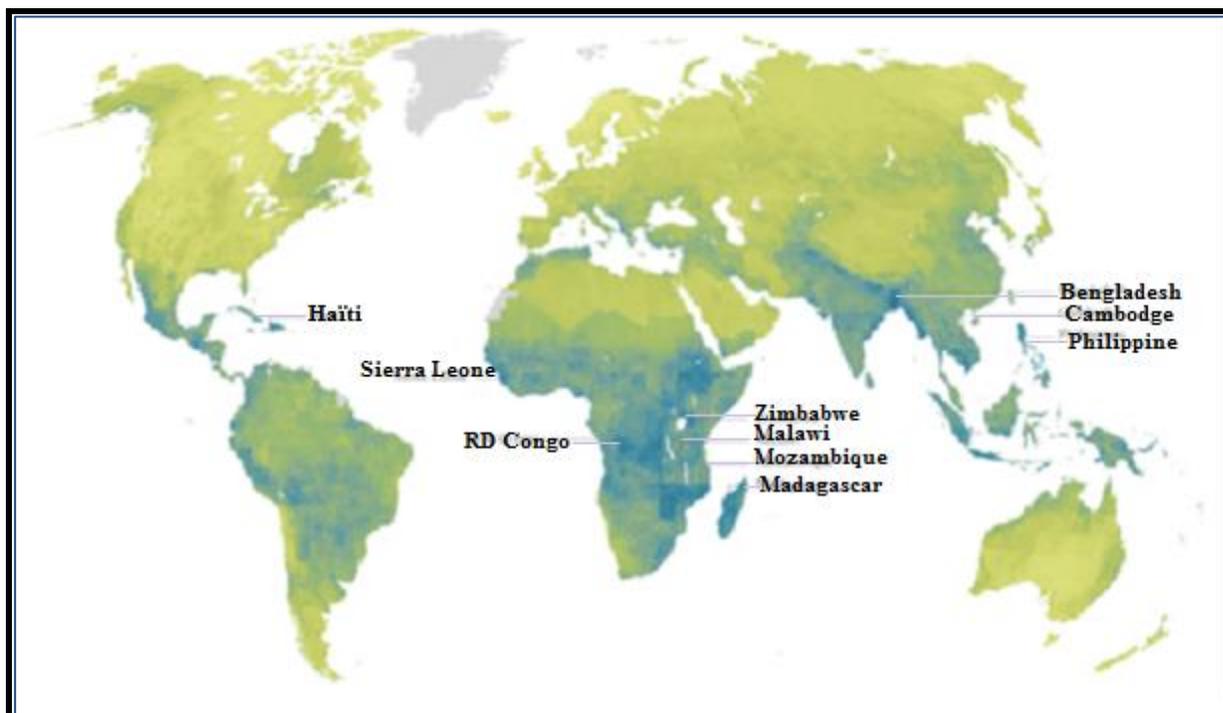


Figure 1 : Un aperçu de l'allure des côtes de Madagascar et des zones les plus menacées

Le changement climatique est une réalité dans le monde et à Madagascar. Le pays se trouve parmi les plus vulnérables au changement climatique au niveau mondial dans la carte publiée par Maplecroft 13 en 2012 (Figure 2). Selon les données et les projections de la Direction de la Météorologie, le climat de la Grande Ile a commencé à se réchauffer au début des années 1970 et cette tendance se confirmera dans le futur, à raison d'une augmentation de température de 1% tous les ans (Andriambolantiana S et al, 2013). Madagascar a connu plusieurs événements extrêmes liés aux variabilités climatiques actuelles et passées durant ces dernières décennies. Les plus importants sont les cyclones, les

inondations et les sécheresses. Les cyclones représentent une menace constante pour les populations vivant sur les côtes.



Situation		Rang	Pays	Classe	Rang	Pays	Classe
Risque extrême	■	1	Haïti	Extrême	6	Cambodge	Extrême
Haut risque	■	2	Bengladesh	Extrême	7	Mozambique	Extrême
Risque moyen	■	3	Zimbabwe	Extrême	8	RD Congo	Extrême
Faible risque	■	4	Sierra Leone	Extrême	9	Malawi	Extrême
Pas de données	■	5	Madagascar	Extrême	10	Philippines	Extrême

Figure 2 : Les pays les plus vulnérables au changement climatique dans le monde

La zone d'étude

La zone se trouve, dans la partie Nord-Ouest de Madagascar, à 600 km d'Antananarivo en suivant la Route Nationale 4 (RN4). Elle fait partie de la Région de Boeny et du District de Mahajanga I. La Figure 3 représente la localisation et la zone d'hypersédimentation au sein de la baie de Bombetoka. La zone d'étude a subi à la fois une forte accrétion due à une hypersédimentation transportée par le fleuve Betsiboka et une érosion littorale non négligeable le long de la côte sableuse (Salomon J.N., 2009). Ainsi donc l'érosion dans la ville de Mahajanga se classe en deux catégories :

- l'érosion continentale ;
- l'érosion marine.

Ces deux formes d'érosion jouent chacun un rôle important dans l'évolution du trait de côte. L'image satellite ci-dessous montre l'importance des sédiments transportés par Betsiboka dans la Baie de Bombetoka.

Les trois formes de côte sont observées à Mahajanga : une petite côte rocheuse, une longue côte sableuse et quelques zones de mangroves (côte marécageuse). A l'intérieur, la morphologie est dominée par un plateau entaillé par des vallons, en particulier le vallon de Metzinger, et de plaines côtières.

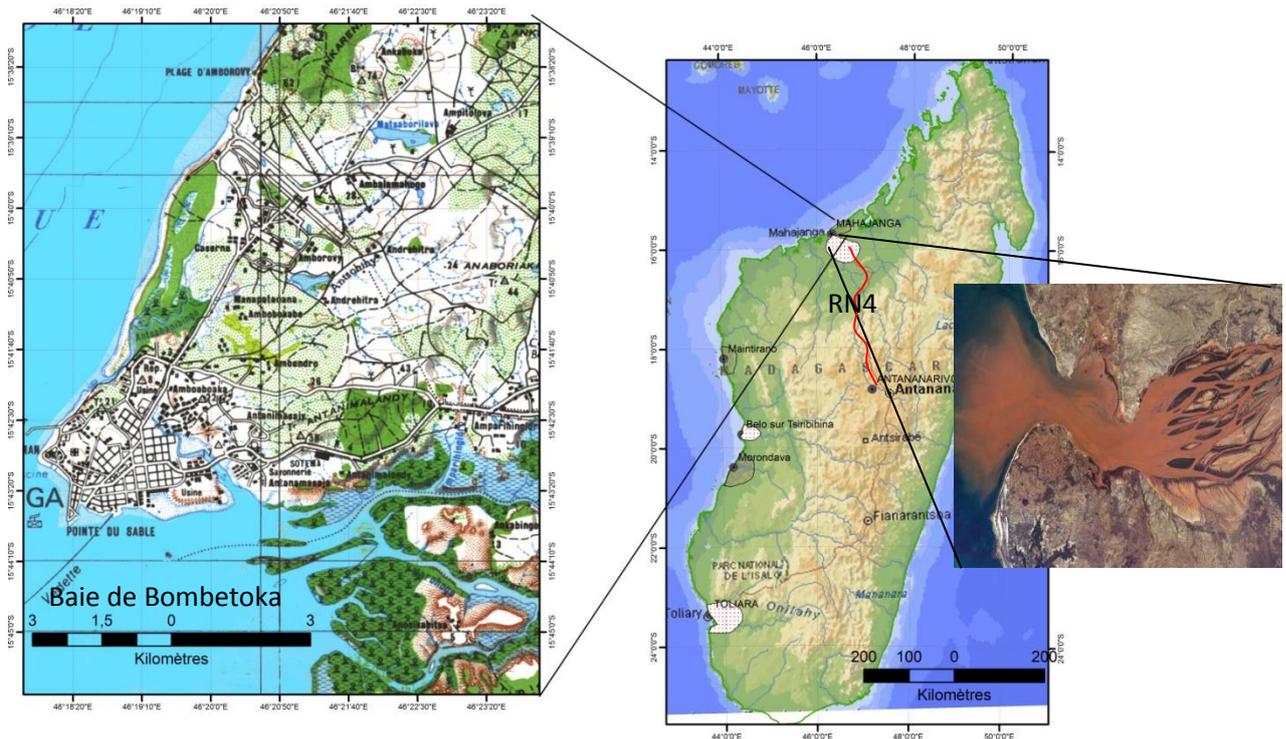


Figure 3 : Localisation de la zone d'étude et de la zone d'hypersédimentation

La ville de Mahajanga est largement sous une influence maritime et se caractérise par 7 mois de climat chaud et 5 mois de climat humide avec des végétations typiques de zones côtières. La température moyenne annuelle est de 29°C tandis que la pluviométrie moyenne annuelle est de 1.566 mm. La plupart des cyclones qui arrivent à Madagascar viennent de l'Océan Indien et ceux qui atteignent Mahajanga sont souvent affaiblis mais avec de fortes précipitations accompagnées de vents violents dévastateurs. Cependant, des destructions considérables peuvent être occasionnées par les cyclones qui se forment dans le Canal de Mozambique, tel le cas de Cynthia en 1991, ou qui reprennent de la force pour ceux qui viennent de la côte Est au contact de la mer, cas de Kamisy en 1984.

Dans ses travaux, Zafindravita I.G. (2003) décrit les formations géologiques rencontrées de bas en haut dans le District de Mahajanga I :

- argiles et calcaires de Marohogo : alternance d'argile brune et de bancs calcaires de quelques mètres d'épaisseurs, l'ensemble paraît avoir une quarantaine de mètres d'épaisseur et se rattacherait au Paléocène ;
- grès de Marohogo : formation argilo-gréseuse lenticulaire, d'une trentaine de mètres d'épaisseur au maximum, se rattachant au Paléocène ;
- gros ensemble de calcaires éocènes avec un niveau de base le plus développé (*calcaire de Mahabibo*) d'épaisseur 120m et un niveau supérieur aminci par l'érosion constitué de calcaire avec quelques niveaux argileux de faibles épaisseurs ne dépassant pas 40m.
- grès et argiles pliocènes constituant un vaste plateau surélevé au Nord Amborovy d'une centaine de mètres d'épaisseur au maximum ;
- enfin, des formations de recouvrement sablo-argileuses de quelques mètres d'épaisseur.

La Figure 4 illustre les différentes formations géologiques rencontrées dans le District de Mahajanga I

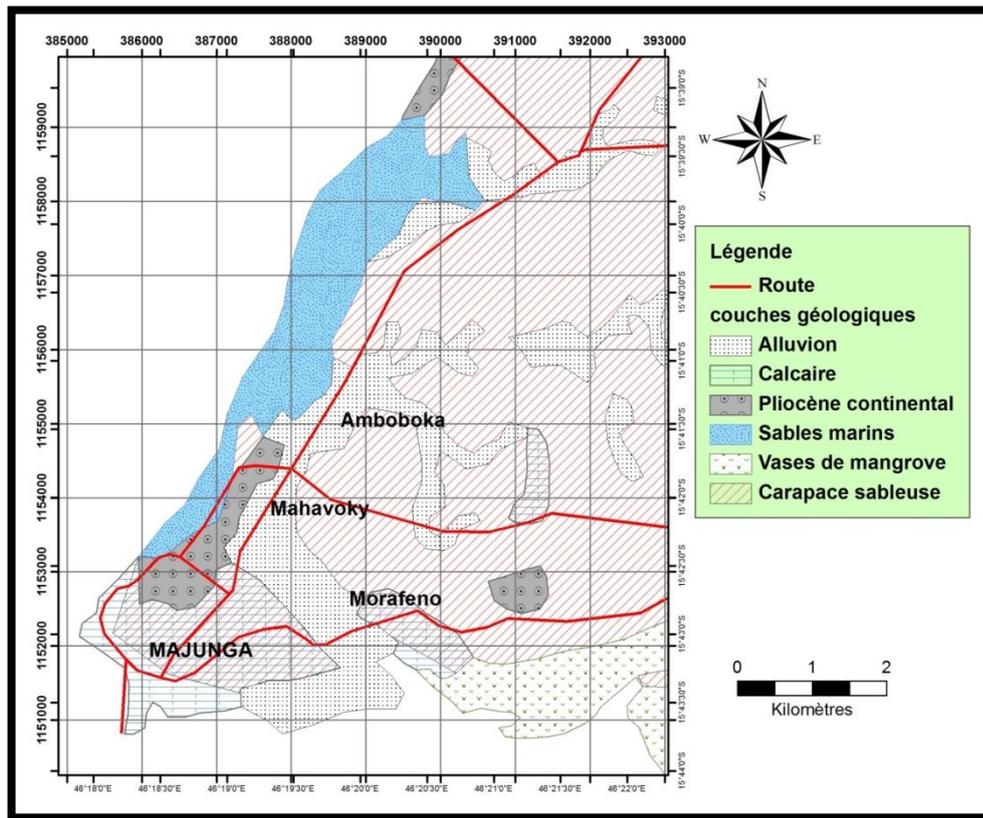


Figure 4 : Extrait de la carte géologique de Mahajanga I (Feuille L39, échelle 1/100.000)

Matériels et méthodes

Les documents cartographiques utilisés sont présentés par les Figures 5 et 6, ci-après :

- extrait de deux cartes topographiques datées de 1952 et 1962 ;
- une photographie aérienne de 1973 ;
- Ortho photo 1996 ;
- une image Google Earth de 2005 ;
- une image Google Earth de 2015 ;
- un extrait de la carte géologique feuille L39 de 1960.

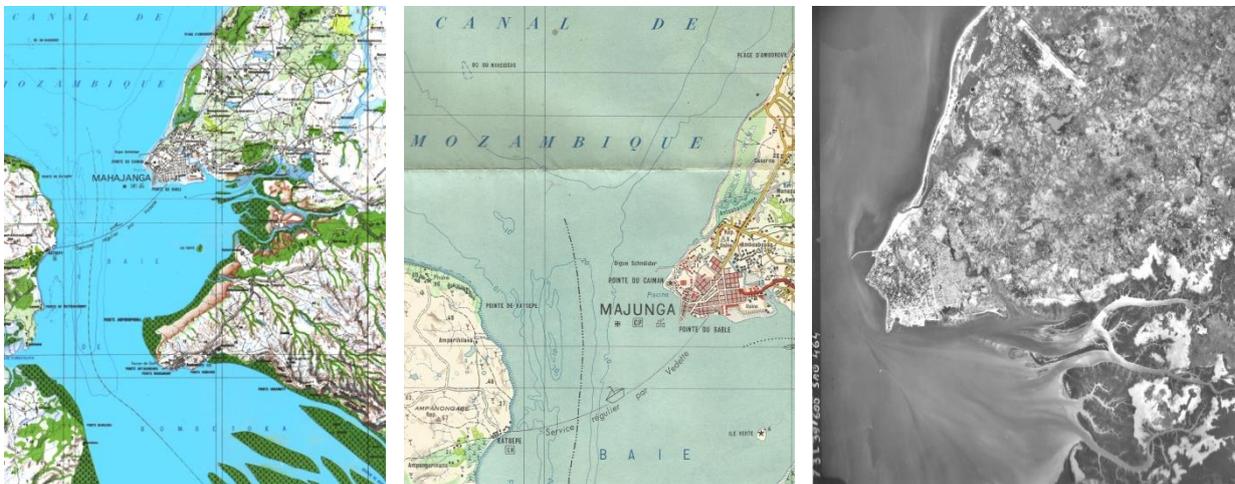


Figure 5 : Cartes topographiques 1952 et 1962 et photo aérienne 1973



Figure 6 : Orthophoto 1996, Images Google 2005 et 2015.

Les traits de côte des différentes cartes topographiques, photoaérienne et image Google Earth sont numérisés après géoréférencement dans un Système d'Information Géographique (SIG). Le trait de côte à partir de la carte topographique 1952 a été pris comme référence. La superposition des deux traits de côte à différentes dates permet de voir le changement ou l'état du rivage (*engraissement, démaigrissement ou recul et stable*).

Présentation des résultats

La Figure 7 montre l'état de la côte entre 1952 et 1962. La valeur maximale du recul de plage est de 40mètres si la partie minimale est de 7mètres. L'engraissement varie de 30mètres (max) à 5mètres (min).

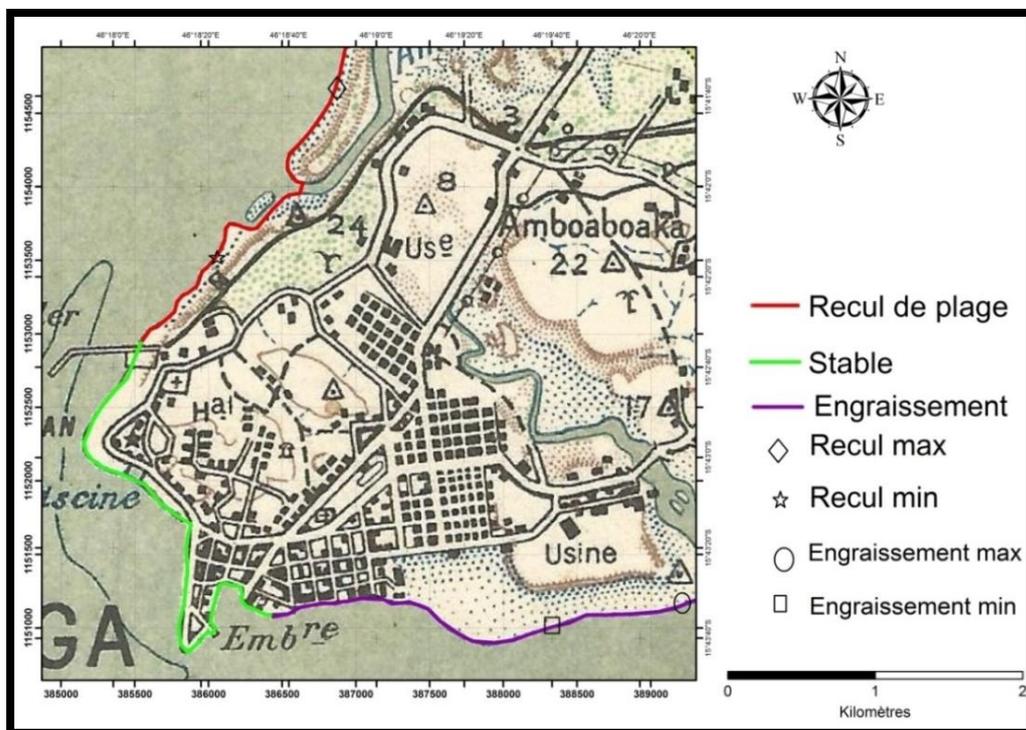


Figure 7 : Etat de côtes entre 1952 et 1962

La Figure 8, sur fond de photographie aérienne, présente l'état de côtes entre 1962 à 1973. La plage au niveau du village touristique s'est engraisée.

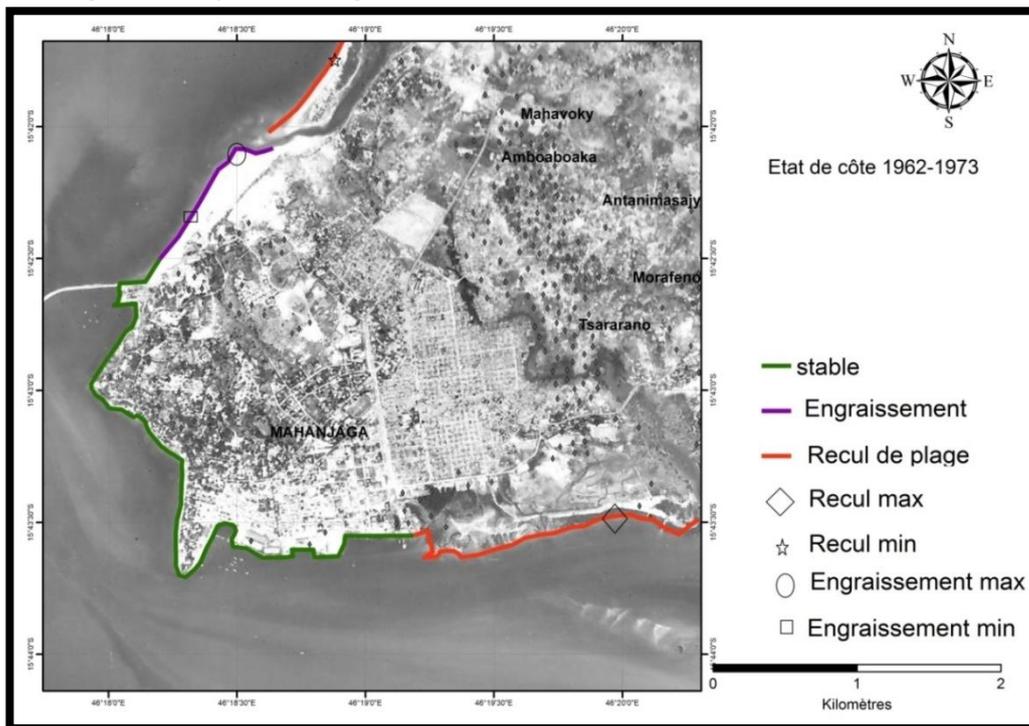


Figure 8 : Etat de côtes entre 1962- 1973

La Figure 9, sur fond orthophoto, illustre l'état de côtes entre 1973 à 1996 où un recul maximal a été observé au niveau de la plage du village touristique.

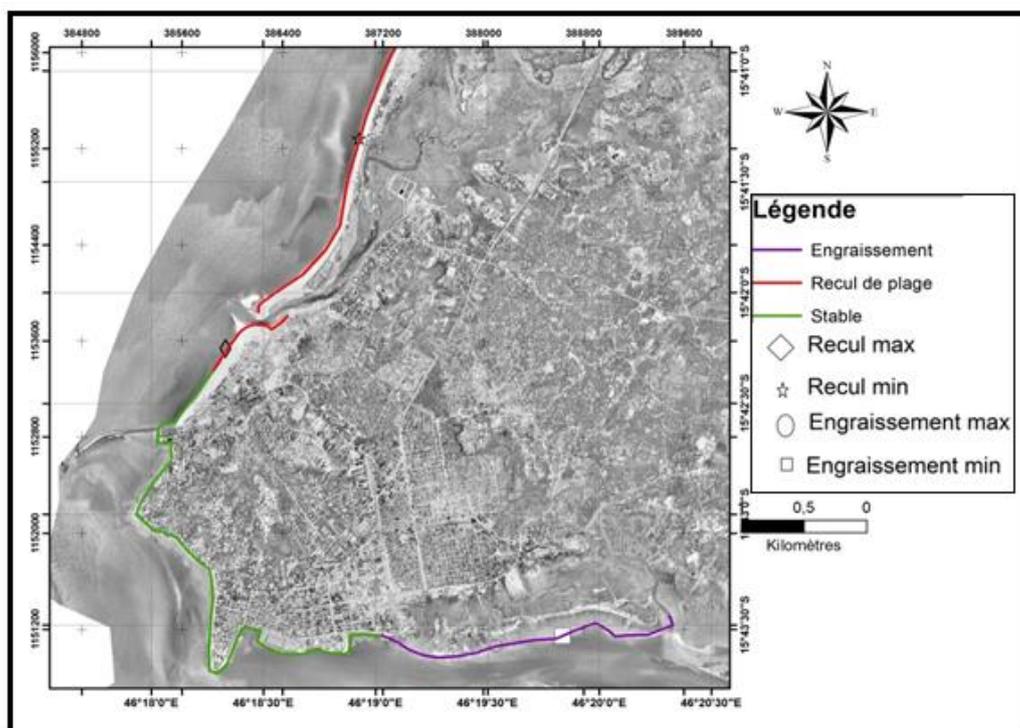


Figure 9 : Etat de côtes entre 1973- 1996

La figure 10, sur fond Google 2005, caractérise un recul au niveau de plage du village touristique et un engraissement minimal au Nord d'Antsahabingo.

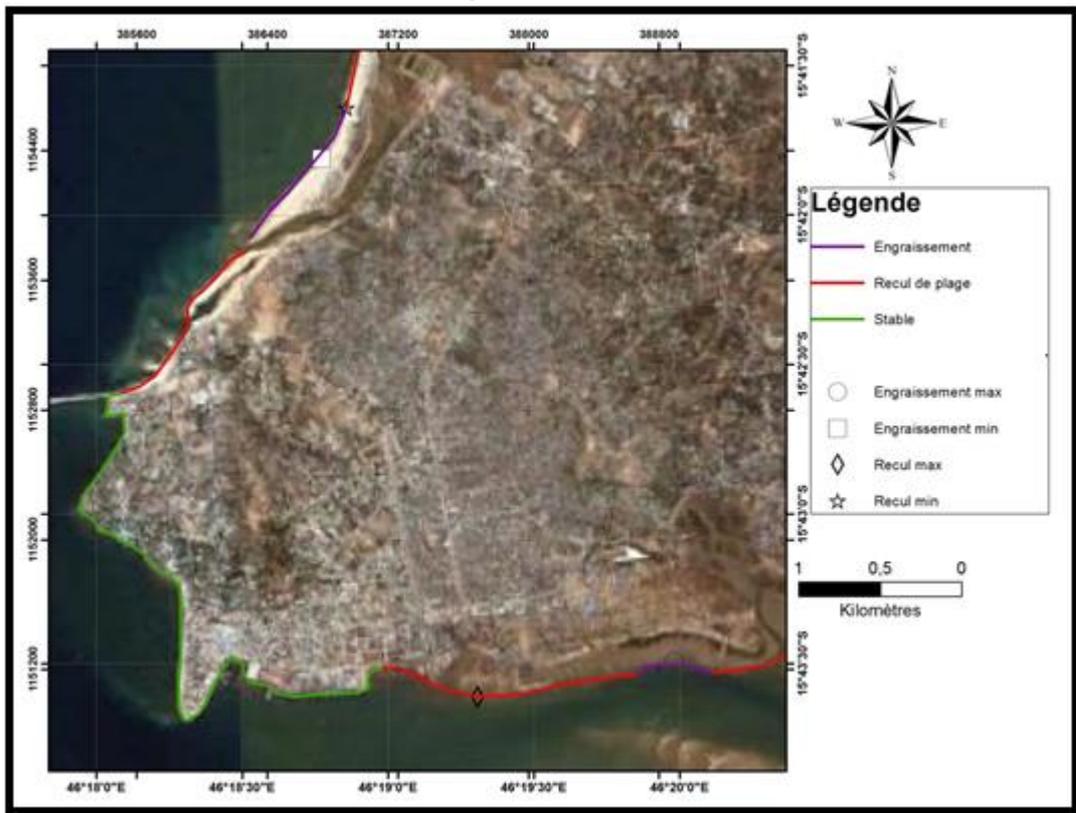


Figure 10 : Etat de côtes entre 1996- 2005

La figure 11, sur fond Google 2015, montre un engraissement maximal au niveau de plage du village touristique et un recul maximal au nord d'Antsahabingo.

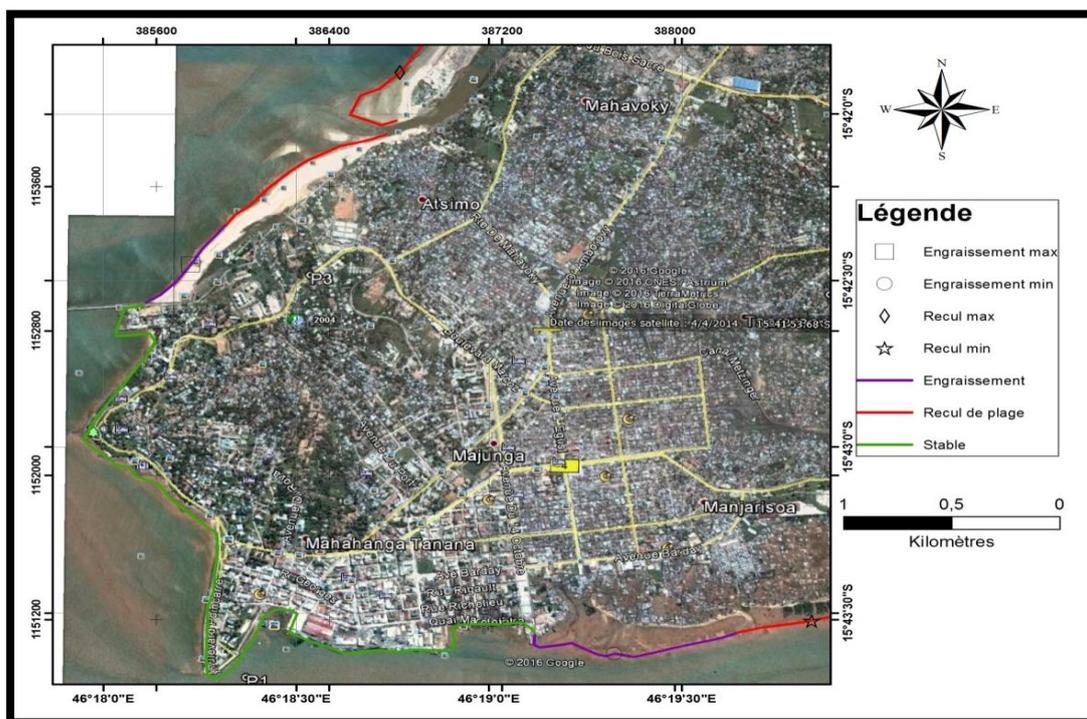


Figure 11 : Etat de côtes entre 2005-2015

Les caractéristiques des états de côtes entre 1952 à 2015 sont récapitulées dans le tableau 1 ci-après.

Tableau 1 : Caractéristiques géométriques des divers états de côte de 1952 à 2015

Etat de côte	Valeur	1952-1962	1962-1973	1973-1996	1996-2005	2005-2015
Recul	Coordonnées du recul maximal avec sa valeur	X= 386 879m Y= 1154662m $\cong l_{max}=36,63m$	X= 388 915m Y= 1151 277m $\cong l_{max}=208,9m$	X= 386 301m Y= 1153981m $\cong l_{max}=124,21m$	X= 385 809m Y= 153186m $\cong l_{max}=84,12m$	X= 386 991m Y= 155074m $\cong l_{max}=117,28m$
	Coordonnées du recul minimal avec sa valeur	X= 386 109m Y= 1 153 600m $\cong l_{min}=2,68m$	X= 386 989m Y= 1 154 743m $\cong l_{min}=69,09m$	X= 386 089m Y= 1 153 674m $\cong l_{min}=12,1m$	X= 388 175m Y= 1 151 094m $\cong l_{min}=20,93m$	X= 385 953m Y= 1 153 444m $\cong l_{min}=50,48m$
	Taux de recul	2m/an	12,6m/an	2,86m/an	5,25m/an	8,3m/an
	Longueur totale du recul	3186m	3738m	3906m	4263m	4014m
Engraissement	Coordonnées de l'engraisement maximal avec sa valeur	X= 389 256m Y= 1 151 129m $\cong l_{max}=39,88m$	X= 386 313m Y= 1 153 811m $\cong l_{max}=96,94m$	X= 388 855m Y= 1 151 450m $\cong l_{max}=41,12m$	X= 388 892m Y= 1 151 245m $\cong l_{max}=17,13m$	X= 385 788m Y= 1 153 155m $\cong l_{max}=91,29m$
	Coordonnées de l'engraisement minimal avec sa valeur	X= 388 222m Y= 1 150 968m $\cong l_{min}=1,24m$	X= 386 159m Y= 1 153 333m $\cong l_{min}=14,78m$	X= 388 340m Y= 1 151 325m $\cong l_{min}=8,91m$	X= 386 620m Y= 1 154 243m $\cong l_{min}=7,31m$	X= 388 061m Y= 1 151 058m $\cong l_{min}=10,40m$
	Taux d'engraisement	2m/an	5m/an	1m/an	1,2m/an	5,08m/an
	Longueur totale de l'engraisement	3168m	2374m	2525m	1316m	1461m
Stable	Longueur totale de la zone stable	4084m	4748m	4728m	4667m	4456m

L'évolution des traits de côte entre 1952 à 2015, sur fond Google Earth, est représentée par la Figure 12 ci-dessus.

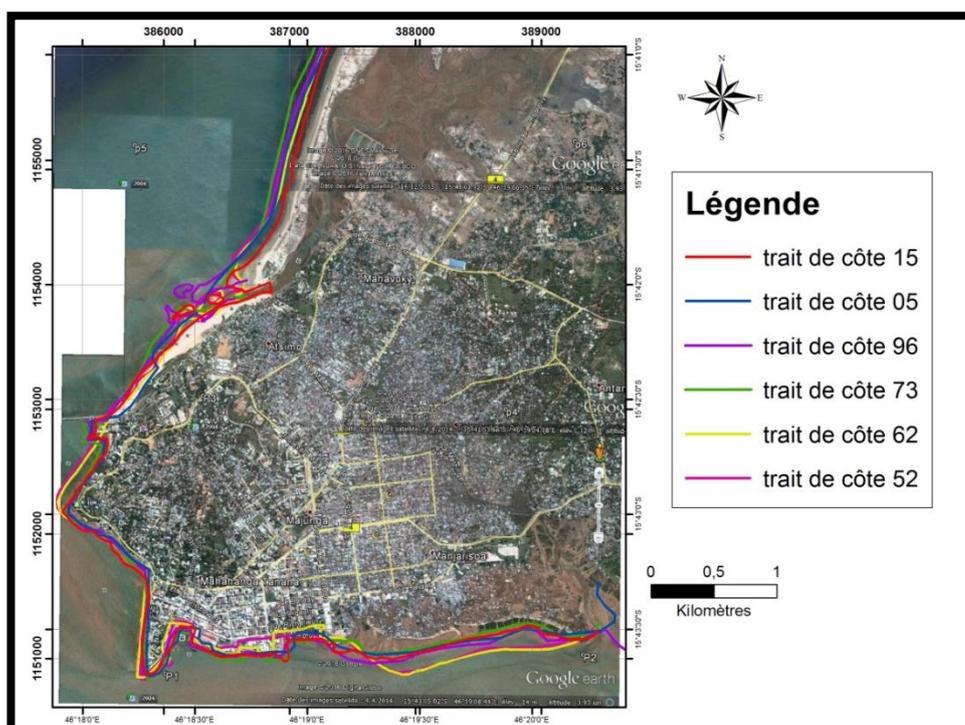


Figure 12 : Les états de côtes selon les années

Les deux Figures 13 et 14 sont les endroits les plus visités à Mahajanga.



Figure 13 : La plage du « Village touristique »



Figure 14 : Le Bord

Le boulevard Poincaré appelé communément « le Bord » fait partie de la zone la plus stable et très fréquentée autant par les locaux que les visiteurs.

Conséquences du passage du cyclone Hellen

Le cyclone "HELLEN" a été classé parmi l'évènement cyclonique le plus puissant pour l'année 2014 car il a provoqué des pluies abondantes et des rafales de vents pouvant atteindre jusqu'à 290 km/h près de son centre (BNGRC, 2014). Le bilan qu'il a engendré est lourd car il a été recensé généralement dans huit Districts touchés

:

- 3 décédés, 9 disparus, 2 141 sinistrés, 1 736 sans-abris déplacés dans les sites d'hébergement ;
- 437 cases détruites, 14 cases endommagées, 160 cases inondées ;
- 1 EPP détruite, 5 EPP décoiffées, 2 EPP endommagées ;
- 2 CSB endommagés ;
- 2 bâtiments administratifs endommagés, 6 bâtiments administratifs décoiffés ;
- 2 barrages endommagés, 1 digue endommagé, 4 puits d'eau inondés ;
- 7 795 ha de rizières inondées, 114 ha de champs de cultures inondés et 23 bovidés tués.

Mais au niveau de la ville de Mahajanga de nombreux quartiers sont inondés, surtout les zones basses et même les quartiers les plus aisés comme Mahajanga Be, avec ses équipements des réseaux d'assainissement et ses grands avenues et boulevards ainsi que le « bord » sont touchés par le débordement de la mer. La Figure 14 illustre l'état du « bord » en temps normal et pendant le passage du cyclone Hellen en 2014



Figure 15 : Etat du « bord » en temps normal et lors du cyclone Hellen en 2014

Les bâtiments administratifs longeant le « bord » et les activités socio-économiques s’y trouvant ont subi l’effet du passage du cyclone Hellen comme le montre les deux Figures 15 et 16 suivantes.



Figure 16: Inondation devant la Banque Centrale de Mahajanga



Figure 17 : Pieds des tables des gargotiers dans l’eau

Discussions

A partir des volumes d’eau (m^3) drainés par l’ensemble des cours d’eau de la région et des surfaces inondées (Ha) en conséquence, le degré d’inondation a été déterminé. Le tableau 2 suivant présente ces différentes caractéristiques.

Tableau 2 : Les différents degrés d'inondation selon la superficie inondée et les volumes d'eau drainés

Degré d'inondation	Superficie inondée en Ha	Volume d'eau apportée en m ³
Très faible	194,9915	1004180,87
Faible	324,0647	3162718,3
Moyenne	523,0452	6558823,7
Elevée	797,8255	11462720,17
Très élevée	1259,931	17937510,36

Les quartiers qui longent le vallon Metzinger sont les plus touchés par l'inondation : Fiofio, Tsararano Ambany, Ambalavola, Ambovoalanana et dans la partie Nord, longeant la rivière Antsahabingo, figure le quartier de Mahavoky Avaratra. La Figure 17 illustre les zones inondées avec le degré d'inondation correspondant et les zones non inondées.

Le régime du littoral de Mahajanga est très fortement lié aux évolutions du débouché de la rivière d'Antsahabingo (Rakotonaivo L.N., 2005). L'activité de l'érosion marine était assez forte, car le déversement des sédiments continentaux n'arrive plus à faire l'équilibre à cause de l'activité humaine et du phénomène naturel, c'est-à-dire le décapage des mangroves et l'existence des cyclones qui ont enlevé les cordons d'enrichissement de la plage (village touristique).

Pour protéger le « Bord » contre ce genre de débordement de la mer, il est nécessaire de rehausser le muret en maçonnerie de moellons de 50 centimètres et d'ajouter des enrochements. L'hypersédimentation de Betsiboka, au niveau de la baie de Bombetoka, a apporté plus de 45 milliards de tonnes de sédiments depuis 1891 selon Salomon J.N. en 2009. Ce phénomène engendre un important engraissement dans la partie Sud de la ville, surtout entre 1952-1962 et de 1973-2015, laissant le port inutilisable actuellement.



Figure 18 : Répartition des zones inondées et non inondées à Mahajanga ville lors du passage du cyclone Hellen en 2014

Conclusion et perspectives

Le recul de plage du côté du « village touristique » a été constaté avant 1952 mais c'est surtout entre 1973 à 1996 qu'il atteint une valeur maximale de 124,21m.

La référence utilisée dans cette étude est la carte topographique de 1952 mais l'utilisation des documents cartographiques antérieurs à cette date et aussi des images satellitaires, permettra encore de mieux cerner l'état et l'évolution historique du littoral de Mahajanga.

Comme l'étude est basée seulement sur la méthode cartographique, un levé topographique sur terrain, une classification du littoral en segments homogènes et des enquêtes auprès des diverses entités compléteront et amélioreront les données obtenues.

Références bibliographiques

Andriambolantiana S., Randriamampianina M., 2013- Changement climatique, politique et perspective à Madagascar, Publication Friedrich Ebert Stiftung Madagascar, 24p

Bureau National de Gestion des Risques et des Catastrophes (BNGRC), 2014 –Evaluation des dégâts et des actions de secours suite au passage du cyclone tropical intense Hellen, rapport inédit

Galloway W.E., 1975- Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic positional systems - B.Ed. (Editor), Delta.Houston Geological Society. P. 87-98

GREEN-OI, 1998- Mission pilote d'évaluation de l'érosion côtière et des risques sur les aménagements et la ville de Morondava, Madagascar - Rapport GREEN-OI du 12/02/1998

Klein R.J.T., Nicholls R.J., Ragoonadeu S., Capobianco M., Aston J. Buckley E.N., 2001- Technological options for adaptation to climate in coastal zones. Journal of Coastal Research, 17, 3, p. 531-543

Lebigre J. M., C. Marius, L. Larque, 1990- Les sols des marais maritimes du littoral occidental malgache, Cahiers ORSTOM, n°03 1989 – 1990, p. 277–286

Rakotonaivo L.N., 2005-Ouvrages en enrochement en protection du littoral à Madagascar, mémoire d'Ingénieur à l'ESPA, 135p

Salomon J.N., 2009- L'accrétion littorale de la côte Ouest de Madagascar, Revue Physio-Géo Vol3, p35-59

Zafindravita I.G., 2003- Géologie urbaine et érosion côtière de la ville de Mahajanga par télédétection et SIG, Mémoire d'ingénieur à l'ESPA, 84p