PROBLEMATIQUE DE L'EROSION DU LITTORAL DE MORONDAVA

Razafimbelo M. R.l⁽¹⁾, Mandimbiarison A. J.⁽²⁾, Rajaona R.D. ⁽³⁾, Rasolomanana E.H. ⁽⁴⁾

Abstract- The problem of erosion in Morondava has already raised in 1914, by the observation of a decrease of the coastline. The fight began in the years 1950-1960, with the construction of groynes along the waterfront of the city, the hardest part of the coast. The groynes have slowed down the process of erosion for a few years but not arrested him. A detailed analysis of the environment marine and continental, as well as a chronological study of the effects of human impacts in the region since 1924, helped to show the importance of two natural factors: the capture of one of the arms of the Morondava River associated with the effects of swell and coastal currents, and bringing in charge of groundwater. The deviation of the Hellot canal to Betaniapast, is also transformed into continuous erosive phenomenon.

In 2010, workhas been made to protect the coastline and rehabilitation of port access road. This work involved a linear 170 m on the side of Morondava. Despite this, the city continues to see its coastline gradually eaten away by the sea. Currently, the city is faced with the choice of an appropriate method in the design of coastal areas.

Keywords- Morondava, erosion, coastline, protection, development plan.

Résumé- Le problème de l'érosion à Morondava a déjà été soulevé dès 1914, par l'observation d'un recul du trait de côte. La lutte a commencé dans les années 1950-1960, avec la construction d'épis tout le long du front de mer de la ville, partie la plus touchée du littoral. Les épis ont freiné le processus d'érosion pendant quelques années mais ne l'ont pas arrêté.

Une analyse détaillée du milieu marin et continental, ainsi qu'une étude chronologique des effets de l'anthropisation de la région depuis 1924, ont permis de montrer l'importance de deux facteurs naturels : la capture de l'un des bras de la rivière Morondava, associée aux effets de la houle et des courants littoraux, et la mise en charge de la nappe phréatique. La déviation du Canal Hellot vers la Passe de Betania, s'est également transformée en phénomène érosif continu.

En 2010, ont été réalisés des travaux de protection du littoral et de réhabilitation de la route d'accès au port. Cette œuvre a concerné un linéaire de 170m sur la côte de Morondava. Malgré cela, la ville ne cesse de voir son littoral rongé progressivement par la mer. Actuellement, la ville se trouve confrontée au choix d'une méthode appropriée dans la conception des aménagements littoraux.

Mots-clés- Morondava, érosion, littoral, protection, aménagement.

1. Introduction

Cet article s'inscrit dans le cadre d'une série de recherches sur le problème de l'aménagement et de la protection des littoraux de Madagascar. Dans cet article est proposée une synthèse des politiques d'aménagement et de gestion du littoral de Morondava depuis les années 1950. Elle permet de dégager quelques éléments de réflexion à prendre en compte pour les choix à venir. Dans un premier temps, l'état des lieux sur la situation actuelle en matière d'érosion, d'appropriation et d'usages du linéaire côtier par les différents acteurs du littoral, est présenté. Dans un deuxième temps, l'historique des politiques d'aménagement de la frange littorale permet d'en dresser un bilan exhaustif; il montre l'hétérogénéité des choix en matière d'ingénierie côtière et des objectifs, dont la

⁽¹⁾ Département des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences. B.P.906, Université d'Antananarivo Madagascar

⁽²⁾ Département de Géologie, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, B.P.1500 Université d'Antananarivo Madagascar

⁽³⁾ CNRS UMR 6294, Laboratoire Ondes et Milieux Complexes, B.P.540. Université du Havre France

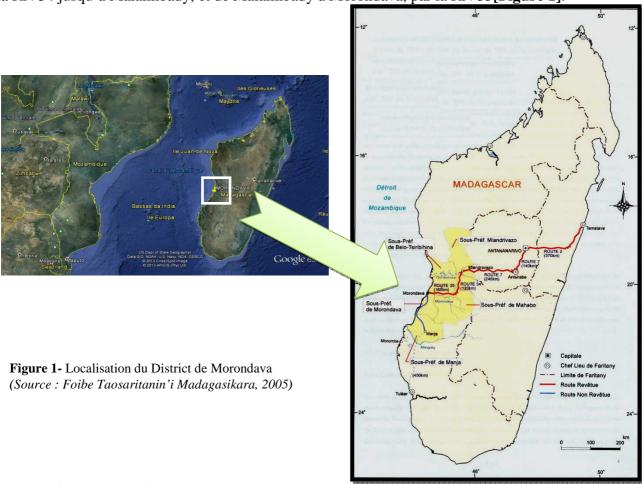
⁽⁴⁾ Département Mines, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, B.P.1500, Université d'Antananarivo Madagascar

plupart ne sont que partiellement atteints, au prix d'interventions parfois très coûteuses. Enfin, face aux phénomènes d'érosion du littoral, plusieurs options se présentent aux gestionnairesdes espaces littoraux : une tentative de stabilisation du rivage par des enrochements et/oudes méthodes dites douces, accepter une zone de recul aussi appelée « repli stratégique »,ou laisser faire [Klein et al. 2001].

2. Caractères généraux de la région étudiée

• Délimitation administrative

Le « *fivondronana* » de Morondava comprend 5 sous-préfectures. Le Chef-lieu du *fivondronana* se situe à 600 km d'Antananarivo. Il est relié à la capitale par la R.N 7 jusqu'à Antsirabe, et de là, par la RN 34 jusqu'à Malaimbady, et de Malaimbady à Morondava, par la RN 35[**Figure 1**].



Délimitation géographique

La ville de Morondava est située à l'Ouest de Madagascar, sur le delta de la rivière du même nom au bord du Canal de Mozambique. Elle se situe sur la Route Nationale N35 à environ 640 km d'Antananarivo, la Capitale de Madagascar.

La région naturelle du Menabe dont la Capitale est Morondava couvre une superficie de plus de 46.000km², soit 7,8 % de la superficie totale de l'île [Figure 1]. La plaine de Morondava, partie du Menabe central est délimitée au Nord, par la rivière Andranomena, par le bras Nord de la rivière Morondava et son bras Sud, la Kabatomena, à l'Ouest par le canal de Mozambique et, à l'Est par un massif central gréseux.

• Cadre géomorphologique et sédimentologique

La ville de Morondava est implantée sur un cordon lagunaire, frontière océanique d'un complexe deltaïque où les débouchés de deux bras principaux (bras Nord de la Morondava et Kabatomena au Sud) sont espacés d'une dizaine de kilomètres. Par la géométrie de ses dépôts, le delta de Morondava est classé dans la catégorie des deltas dominés par la houle [Galloway, 1975].

En dehors du bourrelet dunaire d'une altitude de 5 à 6m par rapport au niveau hydrographique, une topographie très plate, propice aux dépôts lagunaires et aux formations de mangrove, enserre la ville. La pente des estrans varie entre 3 et 4%, en moyenne entre 0m et 5m, mais elle s'accentue à près de 7% au-dessus de la côte +3m, au niveau des épis et défenses de la ville. Les avants-plages ont une pente qui évolue de 0,33 % entre -5 et -10m à 0,6% entre 0 et -5m. Les sables ont une médiane qui évolue entre 0,20 et 0,25mm.

Un «dôme» sableux bien individualisé est localisé au large de la plage sud de Morondava. Il renferme au moins 60% de particules supérieures à 0,04mm révélant l'indice d'un mauvais classement. Au-delà des profondeurs de 6 à 8 m, dans la zone pré littorale, se dépose une vase formée par une importante accumulation de particules fines [Neuvy G., 1982].

Cadre géologique

La région du Menabe correspond à la partie moyenne du bassin sédimentaire de Morondava. La série sédimentaire s'étend du Karroo (Carbonifère supérieur) à l'Actuel. En surface, cette série présente une structure d'ensemble monoclinale vers l'ouest, avec des pendages moyens à faibles pour les termes les plus récents (de l'ordre de cinq pour mille pour les calcaires marins tertiaires). [RazafimbeloE., 1986].

Des remontées du socle rendent les structures moins régulières. En surface, ces formations sont généralement recouvertes d'une couche alluvionnaire récente, sablo argileuse.

Pédologie

L'étude de la carte pédologique de Madagascar éditée par l'ORSTOM Tananarive, montre une prédominance nette des sols ferrugineux tropicaux. Les caractères pédologiques de la plaine de Morondava à partir des réseaux hydroagricoles de Dabara se présentent comme suit [Rajaonarison J.D., 2000] :

- Zone amont : dans la zone de Mahabo-Ankilivalo, on peut distinguer du Sud au Nord : des alluvions riches à nappe phréatique peu profonde, des sols filtrants à dominance argileuse et des sols relativement filtrants, à dominance sableuse et des sols à dominance limoneuse ;
- Zone intermédiaire : les sols de cette zone sont composés de sable ;
- Zone delta : à part les buttes de carapace sableuse qui portent des sols ferrugineux tropicaux non lessivés, la totalité des sols du delta est formée par des sols d'apport (alluvions brutes ou peu évoluées formant les sols de « baiboho » et par des sols hydromorphes ;
- La bordure littorale du canal de Mozambique est formée des sols halomorphes : sols gris salés.

3. Etat des lieux : l'érosion du littoral de Morondava

La ville de Morondava a été édifiée sur une zone deltaïque correspondant à un ancien exutoire de la rivière Morondava. Le littoral est constitué d'une double frange terrestre et marine, l'une correspondant au bassin versant de proximité, l'autre à la zone soumise à l'influence des apports telluriques et à la zone de productivité principale qu'est le plateau continental.

Les transports solides du fleuve Morondava sont relativement importants. Au niveau de Dabara, le transport de vases et de sables fins en suspension sont de 1,66 millions de m³ par an. En période de crues le transport par charriage est de 2,8 millions de m³. Annuellement, le volume total transporté par charriage et en suspension est supérieur à 5 millions de m³. En période de crue, la majeure partie se dépose dans la vaste plaine alluviale du fleuve. La part atteignant annuellement la mer est

estimée à 290.000m³ [Billon B., Mlatac N., 1969]. Les pertes totales (taux de dégradation spécifique) pour le Morondava est de 11 millions de tonnes/Km²/an [J.N. Salomon, 1987].

• Historique de l'érosion

C'est depuis 1914 que l'érosion littorale de la ville de Morondava a été constatée dont trois périodes d'érosion significative : la première érosion concerne la période de 1914 à 1951, la seconde de 1951 à 1974, et la troisième se situe entre les années 1974 à 1997.

En 1952 puis en 1953 [Figure 2], de fortes marées submergèrent la ville de Morondava qui subit alors une érosion soudaine et si intense que certains envisagèrent d'abandonner la ville pour la reconstruire à l'intérieur des terres, loin de la mer. En 1987, année record, l'érosion fait reculer le rivage de 20 m.

La période de 1954 à 1997 est caractérisée par des périodes cycliques d'érosion et de sédimentation importantes :

- 1954, le cyclone Andevoranto emporta la plage (200 à 250 m) et la digue Charbon ne fut plus que ruines ;
- 1963 à 1964, retour en force des marées ;
- 1979, l'érosion a provoqué un recul de 100 mètres de la ligne de côte ;
- 1989, le cyclone Kalasanguy a provoqué l'érosion de plusieurs mètres de plage ;
- 1991, le cyclone Cynthia a provoqué le débordement de la Kabatomena, entraînant la formation d'importants apports sédimentaires.

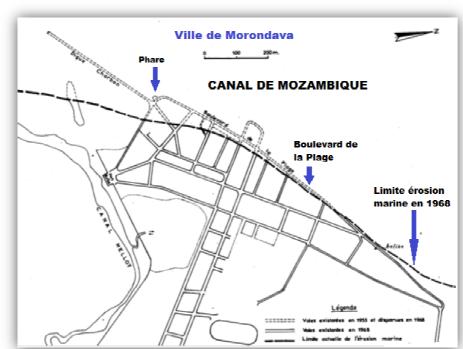


Figure 2- Evolution de l'érosion marine de 1953 à 1968 (*Neuvy, 1982, modifié*)

Depuis 1951 la ville a reculé de 200 à 400 m. Les années qui suivirent furent surtout consacrée à la défense du littoral contre l'érosion marine.

Origine du problème

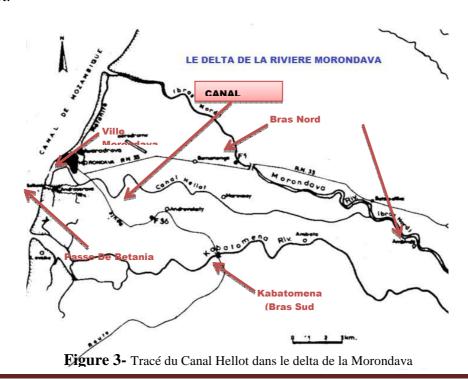
Une analyse détaillée du milieu marin et continental, ainsi qu'une étude chronologique des effets de l'anthropisation de la région depuis 1924, ont permis de faire un bilan des forces érosives en présence et d'aboutir à une conclusion pour expliquer leur déséquilibre actuel. Il est entretenu par deux facteurs naturels : le premier, à caractère systématique, est la capture de l'une des deux rivières qui forment le delta de la Morondava, associée aux effets de la houle et des courants littoraux ; le second, aléatoire, est la mise en charge de la nappe phréatique, liée aux années de forte

pluviométrie. Ces deux facteurs ont engendré un phénomène alternatif d'érosion et de sédimentation sur le secteur côtier. En 1951, la déviation vers la Passe de Betania du Canal Hellot qui débouchait jadis près de l'extrémité sud de la ville Morondava [Photo et Figure 3], a suffi à le faire évoluer en phénomène érosif continu [Neuvy G., 1982].



Photo - Méfaits de l'érosion marine sur le littoral (Razafimbelo M.R.)

Sur la côte ouest de Madagascar, les eaux côtières sont brassées par des courants littoraux dont les plus importants sont les courants de marée ainsi que les courants associés aux vagues et à la houle qui tirent leur énergie des vents modérés (NW) à forts (SW) quasi permanents sur les côtes. L'action de ces courants est à l'origine des phénomènes d'accrétion (flèches, cordons littoraux, plaines alluviales) mais également des phénomènes importants d'érosion comme c'est le cas dans la région de Morondava [Lebigre et al.1990]. Les grandes quantités de sédiments fluviatiles qui se déposent sur le plateau continental sont déviées par un courant qui remonte vers le nord dans l'Est du canal de Mozambique [UNEP, 1999]. Ces effets combinés au détournement du bras Nord de la Morondava (canal de Hellot) et à la mise en service du barrage de Dabara ont fortement contribué au déséquilibre des forces aux embouchures des bras Nord et Sud de la Morondava d'une part [Figure 3], et d'autre part, un changement radical de la force et de la direction des courants à la sortie du canal de Hellot.



Madamines, ISSN 2220-0681, Vol 5, 2013

Désormais sous-saturé aux embouchures, la dérive littorale a rongé rapidement les cordons sableux, menaçant la ville et son port. Devant l'ampleur prévisible des répercussions économiques et humaines de ce recul, des épis avaient été installés mais le problème n'est pas encore résolu puisque l'érosion perdure encore actuellement.

Des observations houlographiques journalières ont permis une approche théorique par calcul de la puissance annuelle du transport sédimentaire lié à un régime Ouest-sud-ouest sur une côte orientée Nord 20°. Théoriquement le maximum, par excès, est de 500.000m³/an. Les volumes réels se situent entre ce nombre et 250.000m³/an qui est la valeur maximale de l'érosion de l'estran. Dans ce même cadre de calcul, le transit inverse du régime Nord-Ouest ne représenterait que 12,5% du précédent. La forte obliquité des houles d'Ouest-sud-ouest donne plus d'intensité au transport qu'elles induisent sur la plage de Morondava. Aussi, sur un transit côtier maximal de 500.000m³/an, la moitié des apports proviendraient de l'abrasion des estrans et le reste des zones situées plus au Sud [Rapport Green-OI du 12/02/1998].

Bilan des politiques d'aménagement

a) Le port de Morondava

Comme pour la plupart des ports de la côte ouest malgaches, la faible profondeur du Canal de Mozambique au voisinage des côtes est le principal obstacle au développement des installations portuaires : les fonds de 10m se trouvent à plus de 2 km de la plage de Morondava et ceux de 5m en sont éloignés d'au moins 1km. Pourtant le développement économique de cette région ne parut jamais concevable sans la présence d'un port utilisable en toutes saisons.

A partir du moment où l'on veut faire des échanges commerciales de façon constante et progressive, il devient indispensable de construire un quai, des magasins et des entrepôts, c'est-à-dire de faire le choix d'un emplacement définitif. Cela n'avait jamais été le cas à Morondava et le « port » dont parlent les récits des siècles passés se trouvait toujours probablement à l'embouchure principale du fleuve Morondava mais celui-ci changeait souvent de lit à cause de phénomènes de capture en amont. Cela ne constitua pas un grave inconvénient tant que le trafic commercial ne nécessita pas d'installations particulières. Il en fut tout autrement lorsque, au début du 20° siècle, l'autorité coloniale décida d'édifier une véritable ville à proximité d'une vaste plaine où l'aménagement agricole restait à faire. Mais le choix d'un lieu fixe sur une côte instable et non abritée, près d'une mer peu profonde, créa des problèmes insolubles. Très vite, il n'y eut pas un port mais deux ports à Morondava : l'un, Port Bebe, relativement bien abrité des mouvements de la mer mais inaccessible par marée basse, l'autre, port Charbon, en bord de mer mais très vulnérable sur une côte en perpétuel mouvement.

Cela n'élimina pas toutes les difficultés et celles qui subsistèrent furent génératrices d'hésitations, d'indécisions et de contrordres de la part des autorités coloniales. Lorsqu'on passe les dossiers des Travaux Publics de l'époque concernant l'aménagement du port de Morondava, on est surpris par le nombre de projets non exécutés ainsi que par les décisions non respectées : il s'en dégage une impression de désaccord continuel entre utilisateurs et administrateurs. Le véritable point de départ du port moderne de Morondava fut donc, à partir de 1901, l'aménagement du Canal Hellot sur un bras mort de la Morondava. Cela permit la création de Port Bebe en eaux calmes. Mais l'impossibilité d'accéder à ce dernier en marées basses rendit nécessaire un nouvel aménagement. En 1923 fut proposé la construction d'un entrepôt flottant, le projet Watson. Ce projet consistait à fabriquer un dock flottant représenté par un bateau d'acier de 2000 ou 3000T, amarré à environ un mille(1 852 m) au large afin que des remorqueurs puissent y accoster par temps calmes. Bien qu'il

Déjà, des difficultés étaient apparues concernant le Canal Hellot. Celui-ci avait été créé dans un double but : permettre un accès direct des bateaux à Port Bebe et acheminer de l'eau douce dans les cultures proches de la ville à partir du bras nord du fleuve Morondava. Or si la plus grande partie du

ait été accepté par le Ponts et Chaussées de l'époque, le projet n'a cependant pas abouti.

débit de ce fleuve passait par le bras nord avant 1917, il n'en était plus de même en 1923 puisque le bras sud (la Kabatomena) avait capté les eaux du bras nord. Le résultat de cette capture en 1917, fut que le Canal Hellot se retrouva pratiquement à sec. Certes, il permettait toujours aux chalands d'accéder à Port Bebe par marées hautes, lais il n'amenait plus d'eau douce vers la mer. On cessa donc de l'entretenir et, par manque de curage et d'écoulement régulier, sa partie amont se combla peu à peu ne permettant plus le passage de l'eau vers la mer [Neuvy G. 1982].

C'est à partir de 1924 qu'est constaté les premiers phénomènes d'érosion au débouché du Canal Hellot (Passe de Betania) : lorsque le débit du bras nord de la rivière Morondava est faible, le canal s'ensable et s'envase, la mer s'attaque alors au rivage maritime depuis l'embouchure du Canal Hellot. Lorque le débit est important, il se produit un ensablement important et la mer engraisse alors cette partie du rivage [Figure 5]. On constate alors la nécessité de construire un boulevard maritime pour protéger la ville contre les raz-de-marée dont la périodicité est estimée à cinq à huit ans.

La plage entre Betania et la ville faisant saillie dans la mer, c'est là que les sables s'accumulent. En 1926, le Canal Hellot est de nouveau alimenté par les eaux du bras nord de la Morondava.

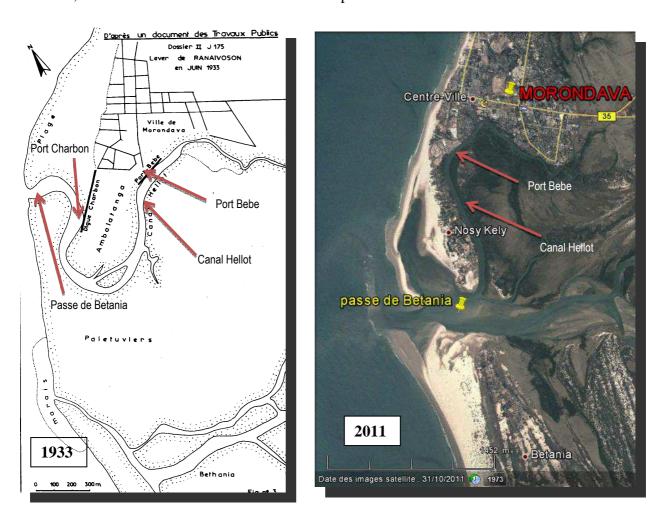


Figure 4-Evolution de la morphologie de la Passe de Betania

En 1936, tout le débit de la Morondava est passé par le bras Sud (la Kabatomena) laissant le bras Nord, et donc le Canal Hellot complètement à sec. En 1950 est creusé un chenal de 1000m de long sur 20m de large, entre Betania et Port Bebe, il débouche à 700m de la mer dans la Passe de Betania.

En 1956, le chenal est refait suivant un nouvel axe sensiblement parallèle à la côte, il est plus large et débouche seulement à 400m de la mer dans la Passe de Betania[**Figure 5**]. En 1952, un cyclone violent s'abattit sur la ville détruisant tout particulièrement les installations portuaires de la digue Charbon.

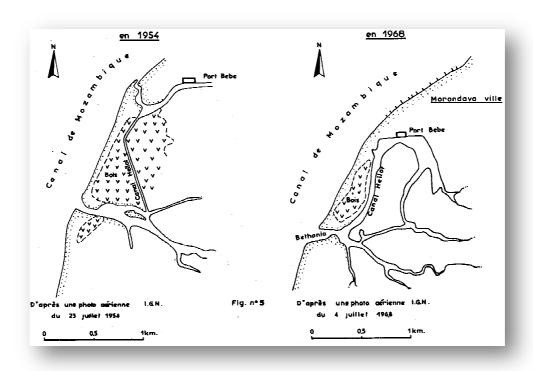


Figure 5- Evolution des aménagements du Canal Hellot et de son embouchure

b) Protection de la ville

L'année 1954 vit la construction de onze épis perpendiculaires [Figure 6] à la côte afin de la stabiliser. C'étaient des épis constitués de clayonnages emplis de tout venant de Dabara. Le retour en force de l'érosion en 1963 et 1964 décida les autorités de refaire les épis en béton. Il s'agit de caissons de palplanches emplis de sables et surmontés d'un couronnement massif en béton. Treize épis ont été ainsi constitués, plus trois en enrochement, répartis sur 1500 m de littoral. Devant la ville et à la tête des épis furent disposées plusieurs rangées de gabions superposés.

En 1966-1967 furent construits deux épis convergents à la sortie de la Passe de Betania, l'épi nord ayant une longueur de 188 m et l'épi sud 291 m. Ce dispositif permettait une accélération du courant du jusant, favorisant ainsi le creusement naturel de la Passe de Betania. Mais rapidement, deux ans plus tard, l'épi nord fut affouillé à sa base et déséquilibré, il finit par se rompre en plusieurs endroits. Devenant un danger pour la navigation, il fut arasé et détruit à grand frais en 1969.



Figure 6- Reste d'épis en béton et de gabions en 2012

En 2010, ont été réalisés des travaux de protection du littoral et de réhabilitation de la route d'accès au port [**Figure 7**] dont le financement a été assuré par l'Agence française pour le développement (AFD), ainsi que par l'Etat malgache. Cette œuvre a concerné un linéaire de 170m sur la côte de Morondava.



Figure 7- Ouvrages de protection du littoral réalisés en 2010 (Razafimbelo M.R., 2012)

- c) Aménagements de la plaine de Mahabo (Morondava)
- Construction du Canal Hellot en 1906
- Construction du barrage et du canal Dabara dans les années trente
- Projet SODEMO au début des années soixante-dix

4. Discussion

Une embouchure tidale permet les échanges d'eau et de sédiments entre le Canal de Mozambique et une lagune séparée de celui-ci par un cordon littoral. L'hydrodynamique de cette embouchure est

contrôlée par la propagation des vagues et de la marée qui, dans le cas de systèmes peu profonds, peut entraîner des évolutions morphologiques rapides. Une meilleure compréhension des forces hydrodynamiques est donc nécessaire pour pouvoir anticiper ces évolutions.

Une approche globale à partir d'images satellites (Source Google Earth) a mis en évidence la place importante de la dérive littorale dans le transport des sédiments sur la côte. La disposition des barres de sable devant la côte montre que les courants littoraux ont une résultante prédominante. Les durées et la force des courants étant inégales, les résultantes peuvent être appréhendées par le biais de l'embouchure de la Kabatomena. En définitive, c'est la dérive littorale qui apparaît comme étant le principal facteur de redistribution des sédiments littoraux.

Par suite de son tracé, cette dérive est parfois aussi appelée « cheminement en dents de scie » [Figure 7]. Lorsque la houle est oblique par rapport au littoral, le jet de rive se fera dans la direction de la propagation. Le retrait des eaux se fera par contre dans le sens de la pente de la plage entraînant ainsi une importante quantité de sédiments qui ne reviendront plus à leur point de départ. La houle initie également des courants tels que :

- le courant littoral, quand la houle a une incidence oblique, ou que le long du littoral, la hauteur de la houle varie :
- le courant du large vers la côte initié par le déferlement et par l'asymétrie horizontale de la houle :
- un courant de retour compensant le précédent. Les courants de retour de houle peuvent être localisés : ils forment alors des croissants de plages ou creusent des cuvettes allongées.

Le rouleau de déferlement et sa dissipation induisent une turbulence supplémentaire qui mobilise et maintient en suspension les sédiments. Il contribue alors au transport des sédiments sur de longues distances, dans le sens du courant littoral (Sud-Nord pour la zone de Morondava). Le transport dû à la houle est en général dirigé du large vers la côte avant le déferlement et, parallèle à la côte ou dirigé vers le large après le déferlement.

Par forte houle, la houle déferle loin de la côte, il y a érosion de la plage. Par faible houle, la houle déferle en haut de plage, il y a réalimentation de la partie médiane de la plage. Il y a parfois formation d'une ou plusieurs barres de sable dans la zone de déferlement.

Rappelons que le bassin de Morondava est situé sur le versant Ouest de Madagascar, entre les deux grands bassins versants du Mangoky et du Tsiribihina. La pente du lit est forte. Dans les 20 derniers kilomètres avant de se jeter dans le Canal de Mozambique, elle est encore de 1m/km. Dans la traversée des gorges jusqu'à l'aval de Dabara, elle est de 1,5m/km en moyenne. Les valeurs de la pente sont de l'ordre de 2m/km sur une trentaine de kilomètres en amont des gorges pour augmenter ensuite rapidement en remontant vers l'amont. Ces valeurs élevées ne peuvent que favoriser un écoulement rapide des crues [Billon, B., Mlatac, N., 1969]. Ainsi, la construction d'épis le long du littoral de Morondava aurait dû être efficace si la zone était alimentée convenablement en sédiments, mais après la mise en service du barrage de Dabara, les dépôts parvenus à l'embouchure se sont amenuisés petit à petit. Le déséquilibre s'est alors installé au niveau du littoral.

Mais cette érosion du littoral n'est pas le seul fait du courant littoral et du barrage de Dabara. Les principaux linéaments identifiés dans la zone, suggèrent que c'est une zone qui a subi d'importantes contraintes tectoniques. Le tracé suivi par le fleuve Morondava correspond à un couloir dépressionnaire accentué par l'application de contraintes convergentes qui pourrait influencer sur la pente d'écoulement du fleuve. Des études plus approfondies sur les phénomènes sismiques associés et sur la tectonique profonde dans le socle sous-jacent, pourront peut-être apporter une lumière sur la stabilité du bassin.

5. Conclusion

Cette approche générale a permis d'avoir une vision globale de la problématique de l'érosion dans la région de Morondava. Une approche plus détaillée et des travaux sur le terrain seront nécessaires pour quantifier ces paramètres.

En matière de lutte contre l'érosion des littoraux sableux, la construction d'ouvrages tels que les épis (barres perpendiculaires au trait de côte), les brise-lames (barres parallèles au trait de côte), les butées de pied (murs immergés), ainsi que le ré-ensablement massif ou localisé de la plage émergée sont les deux approches traditionnellement mises en œuvre. Par la suite, les zones protégées par des ouvrages en « dur » se sont très largement propagées le long du littoral par effet « domino » (la construction au fil des années d'épis sériés dans le sens de la dérive littorale). Le ré-ensablement de la plage émergée ne se pratique que depuis peu. Toutefois, cette technique montre que la plage ré-ensablée n'est pas stable et qu'un retour à la situation initiale peut se produire en quelques semaines dans certains cas [Figure 7]. La construction d'ouvrages et le ré-ensablement induisent ainsi des coûts très importants pour les collectivités.

Une connaissance approfondie de l'hydrodynamique et de la dynamique sédimentaire de ces systèmes est nécessaire afin d'anticiper leurs évolutions morphologiques et mettre en place un système de gestion adéquat et durable.

Dans ce contexte, l'ambition de ce projet de recherche est de développer des méthodes d'optimisation de forme adaptées à des problèmes d'hydrodynamique littorale précis, et de mettre au point des outils d'optimisation couplés à des modèles hydrodynamique réalistes qui pourront servir d'outil d'aide dans la lutte contre l'érosion des plages et l'aménagement littoral. A ce jour, il n'existe à notre connaissance aucun travail académique ni aucune initiative en matière d'optimisation de forme en domaine littoral appliqué à cette région du Menabe. A partir de toutes ces données, il sera alors possible de choisir le type d'aménagement qui conviendra le mieux de façon à réduire la dégradation littorale. La protection du littoral de Morondava ne se résumera plus à une juxtaposition d'ouvrages implantés sous la pression des événements.

Références Bibliographiques

- Antona M., Delmas-Ferre M., Henocque Y. (1999) -Elaboration d'un plan de développement durable d'une zone côtière de la région COI : application a la zone côtière du Menabe Rapport GREEN-OI: OP Menabe.
- Billon,B., Mlatac, N.(1969) Etudes hydrologiques sur le bassin de la Morondava. Rapport ORSTOM, FAO, Juin 1969
- Carnus F., Rabehasinina A., Raharijaona N. (1998) -Mission pilote d'évaluation de l'érosion côtière et des risques sur les aménagements et la ville de Morondava, Madagascar Rapport GREEN-OI: *Erosion Menabe*.
- Coque R. (1977-1998) Géomorphologie Editions Armand Colin, Paris. 6^{ème} édition.
- Coque Roger, 2000. Géomorphologie. Ed. Armand Colin, Paris, 6ème édition, 1977,1998. 503p.
- Galloway W.E. &Hobday D.K.(1983) Terrigenousclastic depositional systems Springer-Verlag, Berlin, 423p.
- Galloway, W.E. (1975) Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaïc 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 CoastalResearch, 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
- Neuvy, G. (1982) Aménagement régional à Madagascar: Morondava un cas d'érosion marine *Mad.Rev.de Géographie*, 40, p.15-40.
- Neuvy, G. (1982) Eaux continentales et aménagement rural en domaine tropical malgache *Mad.Rev. de Géographie*, 41, p.141-144.
- Neuvy, g. (1982) Mise en valeur des terres à Madagascar. La plaine agricole de Mahabo, Morondava. *Mad. Rev. de Géographie*, 38 & 40, p.138-154.
- Rajaonarison J.D (2000) Contribution à l'amélioration des rendements de 2^{ème} saison de la double riziculture par sri sous expérimentations multifactorielles (cas des sols sableux de Morondava) Mémoire d'Ingéniorat, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo, Madagascar.
- Rakotonaivo L.N. (2005) Ouvrages en enrochements en protection du littoral à Madagascar Mémoire d'ingéniorat, Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Université d'Antananarivo, Madagascar.
- Razafimbelo E. (1987) Le bassin de Morondava (Madagascar) Synthèse géologique et structurale Thèse de Docteur Ingénieur. Université Louis, France.
- United Nations Environment Programme (1998) Overview Of Land-Based Sources And Activities Affecting The Marine, Coastal And Associated Freshwater Environment *The Eastern African Region*. UNEP Regional Seas Reports and Studies, N°167, 12p.