

# MODELISATION, ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE ET CONCEPTION DES OUVRAGES DE DEFENSE DU PORT MARITIME RESILIENT DE SOALARA

Henipanala Mampionona  
Université d'Antananarivo – Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo  
Mention Urbanisme Architecture et Génie Civil, [hmampi@yahoo.fr](mailto:hmampi@yahoo.fr)

Zafitsara Sitraka  
Université d'Antananarivo – Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Mention Hydraulique  
[zafitsarasitrak@gmail.com](mailto:zafitsarasitrak@gmail.com)

Rambintintsoa Tahina  
Université d'Antananarivo – Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo  
Mention Urbanisme Architecture et Génie Civil, [rambintintsoatahina@gmail.com](mailto:rambintintsoatahina@gmail.com)

## Résumé

Cette recherche porte sur l'étude hydro-morpho-sédimentaire du fleuve Onilahy et son impact sur le transport solide du port résilient de Soalara Sud. En partant des théories de la mécanique des fluides et de l'hydraulique maritime, nous étudions l'envasement causé par le fleuve Onilahy. Le mécanisme de la dynamique sédimentaire et le dragage nécessaire pour la conception du port sont étudiés avant de concevoir les ouvrages de défenses du port de Soalara.

*Mots-clés : port, résilient, sédimentologie, ouvrage de défense, Soalara*

## Abstract

This research focuses on the hydro-morpho-sedimentary study of the Onilahy River and its impact on the solid transport of the resilient port of Soalara Sud. Using the theories of fluid mechanics and maritime hydraulics, we study the silting caused by the Onilahy River. The mechanism of sediment dynamics and the dredging required for the design of the port are studied before designing the defences of the port of Soalara.

*Keywords : harbour, resilient, sedimentology, defence works, Soalara*

## 1- INTRODUCTION

De par sa situation géographique, son insularité, Madagascar est un pays très exposé aux aléas météorologiques (cyclones, inondations ou sécheresse). L'institut Maplecroft a d'ailleurs classé le pays au troisième rang des pays les plus vulnérables au changement climatique. Pour Madagascar, l'action de GRC est encore très axée sur les réponses aux catastrophes et trop peu sur la prévention.

Le port de Soalara, construit lors de l'ère coloniale, a été détruit, par envasement, durant la première République. Cette recherche vise à étudier la sédimentologie et les ouvrages de défense du port maritime de Soalara.

## 2- METHODES

### 2.1- La circulation thermo haline et le changement climatique

La circulation océanique joue un rôle central dans la régulation du climat et la préservation de la vie marine, en transportant chaleur, carbone et oxygène. Elle limite considérablement l'accumulation de gaz à effet de serre dans l'atmosphère en séquestrant le carbone et la chaleur dans l'océan profond, modulant ainsi la trajectoire du changement climatique. Mais le réchauffement agit directement sur la circulation océanique en modifiant les caractéristiques physiques qui la gouvernent.

La circulation océanique repose sur des constantes de temps plus longues. Cette circulation est appelée « thermo haline », du fait de sa dépendance aux changements de température (« thermo ») et de salinité (« haline ») qui régulent la densité de l'eau de mer. Plus l'eau de mer est froide et salée, plus sa densité s'accroît ; elle s'enfonce alors dans les profondeurs.

## 2.2- Fonctionnement hydro-sédimentaire de l'estuaire de l'Onilahy à Soalara

L'Onilahy est l'un des plus grands fleuves de Madagascar. Son bassin versant (Figure 1), de 32 000 km<sup>2</sup>, couvre une grande partie du centre-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 Soalara. Située à 23°34' de latitude sud, dans le sud-ouest de Madagascar, cette baie s'ouvre sur le canal de Mozambique, à 30 km au sud de la ville de Tuléar. Alors que les autres fleuves de l'ouest de l'île ont tous des deltas, l'Onilahy est le seul à ne pas en posséder : la raison en est l'absence de plate-forme continentale en face de son embouchure et surtout l'existence d'une vallée sous-marine, dont la tête pénètre à l'intérieur même de la baie de Saint-Augustin, dans l'exact prolongement de la vallée fluviale.

Une mission de sondages et de prélèvements de sédiments a été réalisée par l'équipe de l'ORSTOM dans les années 80. La campagne a été effectuée à bord du Vauban, navire océanographique attaché au centre ORSTOM de Nosy-Bé (Madagascar). Il s'agit d'un chalutier transformé de 25 m, équipé d'un sondeur Atlas Werke AN 658 A, d'un radar Atlas 2200 et d'un treuil de pêche muni de 1500 m de câble de 12 mm.

Soalara se situe près du débouché en mer du fleuve Onilahy dans le canal du Mozambique par un estuaire, dans la baie de Saint-Augustin. Cet estuaire se prolonge en mer, à plus de 2000 m de profondeur, par le gigantesque canyon sous-marin. L'Onilahy coule selon une direction générale d'Est en Ouest, appartient au domaine hydrologique du Sud-Ouest.

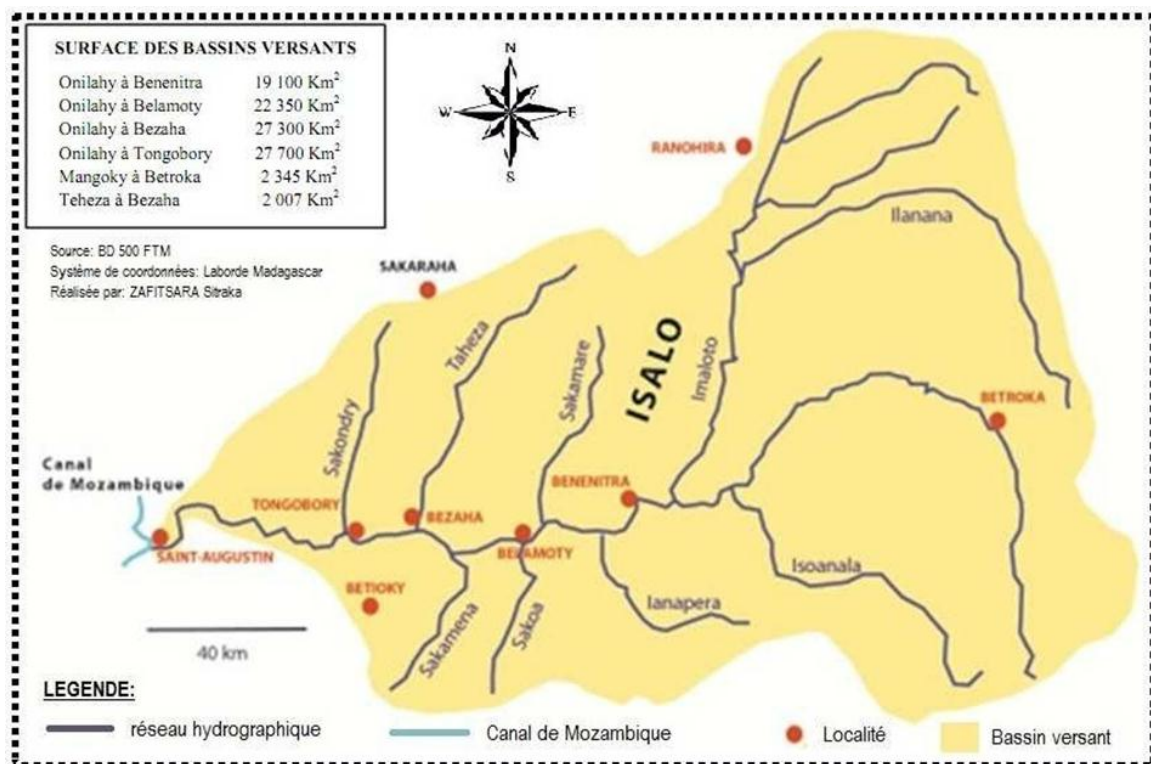


Figure 1 - Bassin versant de l'Onilahy

Il draine un bassin d'une superficie de 32 000 km<sup>2</sup>, dont toute la partie supérieure, où le chevelu hydrographique est le plus développé, est située dans le socle. La branche mère du fleuve (Mangoky) prend sa source vers 1300 m d'altitude. Après la traversée des terrains de l'Isalo, l'Onilahy coule vers l'Ouest dans un lit très large, perturbé par des bancs de sables à l'étiage, et présentant de nombreux méandres. Dans la zone sédimentaire, il existe deux affluents à débit constant, en rive droite, descendant du massif de l'Isalo, dont la rivière Andoharano. La traversée du plateau calcaire se fait avec des pertes importantes, dont témoignent les résurgences que l'on peut voir tout le long de la côte. Le débit spécifique de crue décennale de l'Onilahy est assez faible pour un bassin de sa taille : il est estimé à 2300 m<sup>3</sup>/s. Les apports en eau du fleuve Onilahy resteraient négligeables, du fait de la présence d'un vaste canyon sous-marin, à l'embouchure de son estuaire (Battistini, 1975).

### **2.3- Dynamique sédimentaire des littoraux de l'estuaire du fleuve Onilahy à Soalara**

Le littoral est une zone charnière à la rencontre de la terre et de l'océan. Au sens strict, on peut le restreindre à l'estran (partie de terre située entre les niveaux connus des plus basses et des plus hautes mers), mais de manière plus large on le considère comme une interface entre les écosystèmes terrestres, estuariens et marins. Ainsi, c'est un lieu de concentration des impacts, un domaine physique et biologique complexe à forte biodiversité. Du fait de leur position à l'interface continent/océan, les littoraux constituent des écosystèmes soumis à une forte variabilité spatiotemporelle des paramètres physicochimiques (exemple : débit, cycle tidal, température, salinité et matières en suspension).

L'adaptation des écosystèmes côtiers, littoraux et estuariens non seulement aux effets du changement climatique, mais plus largement à ceux du changement global est un questionnement majeur. Le changement climatique ne constitue qu'un des facteurs de modification des écosystèmes aquatiques, en particulier pour ceux qui se situent dans ces domaines d'interface entre la terre et la mer. Le phénomène de littoralisation artificialise le trait de côte et conduit à chenaliser les estuaires, à construire dans des zones exposées aux événements extrêmes dont la vulnérabilité aux risques, induits par le changement global, est accrue par l'élévation du niveau de la mer et/ou par l'augmentation de la fréquence des crues. Il nécessite une meilleure compréhension des processus mis en jeu dans la dynamique des écosystèmes et dans le couplage des socio-écosystèmes pour mieux appréhender l'adaptation des communautés aux facteurs de changement.

#### 2.3.1- Les conditions hydrodynamiques sédimentaires

Les dimensions de l'estuaire du fleuve Onilahy à Soalara sont telles que les conditions hydrodynamiques qui prévalent dans la partie aval de l'estuaire sont typiquement marines, tandis que celles que l'on trouve en amont sont typiquement estuariennes. Les marées, les vagues sont des agents prépondérants de la dynamique sédimentaire du littoral de Soalara. Les principaux mécanismes de la dynamique sédimentaire littorale sont bien identifiés dans l'estuaire de l'Onilahy à Soalara, mais l'objectif de nos travaux concerne le site spécifique, qui est le port. Le dragage de 5 mètres de profondeur qui conditionne la construction de ce port, fournit des indications sur le transport littoral des sédiments en suspension, mais ces mesures sont trop disséminées pour être utilisées de façon systématique.

#### 2.3.2- Les mécanismes de la dynamique sédimentaire

Les grandes houles formées dans la baie de Saint-Augustin ne pénètrent pas dans l'estuaire. Les vagues observées dans l'estuaire sont produites localement par les vents qui soufflent en prédominance de l'ouest et qui ont tendance à s'aligner parallèlement à l'axe de la baie. Les statistiques sur les vagues au large indiquent que la période des vagues dépasse occasionnellement sept secondes et que la hauteur atteint rarement les cinq mètres, houle du projet. Les laisses de crues de l'estuaire de l'Onilahy mettent en évidence la variabilité saisonnière des vagues en indiquant qu'en Décembre et en Mars, la probabilité que se forment des vagues de deux mètres dans l'estuaire maritime est à peu près nulle, tandis qu'en Janvier elle dépasse 5%.

En aval de l'estuaire, l'énergie des vagues est relativement élevée. La dimension des vagues diminue vers l'amont et leur action s'atténue parallèlement à l'augmentation du marnage. Cet effet est d'autant plus important que seules les plus grosses vagues sont en mesure de remettre les sédiments en mouvement. En fait, l'action des vagues sur les sédiments est limitée à de très faibles profondeurs, sauf durant quelques rares tempêtes. Dans l'estuaire de l'Onilahy, la marée est de type semi diurne.

Les marées jouent un rôle important du fait que les vagues lors du déferlement peuvent mobiliser les sédiments dans l'ensemble de la zone intertidale en raison du changement continu de niveau de la marée. Ainsi, une zone plus large est influencée par l'action des vagues, mais de façon moins intense. C'est ce qui explique que dans l'estuaire, la répartition et le tri des sédiments ne sont pas aussi bien démarqués que sur les littoraux à faible marnage et à forte énergie de vagues.

Les gradients des vagues et de la marée selon l'axe longitudinal sont tels que l'énergie des vagues diminue vers l'amont alors que le marnage augmente. À l'embouchure, l'estuaire est un environnement dominé par les vagues, tandis qu'en amont, il est dominé par la marée.

#### 2.3.3- Sédimentation dans la zone du port Soalara

Le port de l'estuaire d'Onilahy piège de grandes quantités de sédiments pour garder l'équilibre sédimentaire, vu que lors de sa construction, nous draguons une couche de 5 mètres de sédiments. Les dragages d'entretien permettent de déterminer le flux de sédiments dans la mesure où les quantités de sédiments aussi bien que les superficies draguées sont déterminées avec précision. Le dragage sera imposé tous les ans lors des premières exploitations. Ces activités de dragage peuvent être interprétées sur le plan de la sédimentologie comme la vidange annuelle d'un immense piège à sédiments. Les ouvrages maritimes que nous concevons constitueront ce piège à sédiment. Ces mesures permettront lors de l'exploitation, de déterminer un transport résiduel de sédiment vers l'intérieur du port.

### **3- RESULTATS**

#### **3.1- Sédimentologie**

Les traits essentiels que l'on peut retenir de l'étude bathymétrique de la vallée sous-marine de l'Onilahy sont les suivants : la vallée principale présente un profil en V bien marqué, encore prononcé à 2 600 m de profondeur, et les pentes des versants sont raides (25 à 35 %), au moins jusqu'à l'endroit où la vallée atteint la profondeur de 1 800 m : la vallée est profondément encaissée.

L'étude sédimentologie du canyon sous-marin de l'Onilahy repose sur l'analyse de 48 carottes, de longueur généralement inférieure à un mètre, prélevées jusqu'à la profondeur maximum de 1 500 m et de 33 échantillons prélevés à la drague à roches sur les fonds à forte pente ou estimés durs, jusqu'à 425 m de profondeur. La répartition géographique des prélèvements est indiquée sur la figure 9 (h.t.). Les échantillons sont nombreux dans la région de la tête du canyon, inégalement répartis au-delà. Trois opérations ont été effectuées sur chaque échantillon : les déterminations de la teneur en fraction fine (taille des particules inférieure à 40 microns) et de la teneur en calcaire et l'examen à la binoculaire. Chaque niveau distinct observé dans les carottes a fait l'objet de ces trois opérations. La teneur en fraction fine des sédiments permet de distinguer les sables, les vases sableux et les vases, suivant qu'elle est inférieure à 30 %, comprise entre 30 et 70 % ou supérieure à 70 %. En termes de sédimentologie, Soalara est située dans une zone récifale : une frange intermédiaire de sables et de vases sableux, au pied de la pente externe des récifs jusqu'à une profondeur variant entre 150 et 500 m. Ces sédiments résultent du mélange en proportions variables de sables organogènes relativement grossiers et d'apports terrigènes fins.

Les matériaux sableux apportés par l'Onilahy à son embouchure sont vraisemblablement entraînés le long du talweg du canyon sous-marin, malgré le caractère méandrique de ce dernier. Le mode de transport semble être celui des courants de turbidité, qui explique les alternances de sables relativement grossiers et de vases observées dans les carottes (selon ORSTOM). Les matériaux les plus fins apportés par le fleuve restent en suspension et viennent finalement se déposer sur les versants, où ils forment l'essentiel du sédiment. La présence de tests d'organismes planctoniques dans ces vases est normale, compte tenu de la profondeur. Les sédiments organogènes grossiers proviennent des niveaux supérieurs voisins de Soalara.

#### **3.2- Le dragage nécessaire avant la construction du port Soalara**

Les caractéristiques des dragages prévus concernant le bassin du futur port sont les suivantes :

- Profondeur : - 18 m
- Largeur : 650 m
- Longueur : 850 m environ

Le volume de matériaux à draguer, pour assurer la profondeur de projet pour le chenal de navigation et le bassin du futur port, devrait être de l'ordre de 2,5 à 3 millions de m<sup>3</sup> pour aller jusqu'à la profondeur de -18,5m.

Les matériaux concernés seront utilisés en soubassement et pour le corps de digue à talus. Le reste sera utilisé en remblai pour la constitution de terre-pleins.

#### **3.3- Les ouvrages de défense pour limiter le transport hydro-morpho-sédimentaire marine au niveau de l'estuaire de l'Onilahy à Soalara**

En moyenne, la hauteur de sédiment à draguer est de plus de 5 mètres de profondeur pour la construction du port de Soalara.

Pour rétablir le transit littoral interrompu, nous utilisons les ouvrages transversaux, épis (Figure 2) ou jetées d'aménagement des embouchures ou la technique de « by-passing » qui est assez onéreuse.



- Ouvrages transversaux ont pour objectif de retenir le sable en transit en utilisant des épis en bords, enrochement ou maçonnerie (largement utilisée)
- Rétablissement artificiel d'un ansit littoral ou by passing qui consiste à prélever les sédiments bloqués derrière un ouvrage pour ensuite les transférer à l'aval de cet ouvrage. Il s'agit de faire un pompage et des réinjections de sable.



Figure 2– Ouvrages de défense du port Soalara

#### 4- DISCUSSIONS

La plupart des ports de Madagascar ont été construits durant l'époque coloniale. Ainsi, la génération actuelle ne possède pas l'expérience nationale dans le domaine de l'aménagement portuaire.

La collecte des données : pour être la plus précise possible, cette étude nécessite des comptages manuels des déplacements et des enquêtes socio-économiques, ce qui est relativement coûteux.

Cette étude constitue une introduction à la recherche, elle peut et doit être approfondie pour s'approcher le plus possible de la réalité et devenir un outil efficace d'aide à la décision en ce qui concerne le port et la ville portuaire.

#### 5- CONCLUSION

Les impacts du changement climatique sur les infrastructures portuaires sont très imprévisibles. Les techniciens ont tendance à penser que l'infrastructure soit sous-dimensionnée. Le site du port est envasé par le transport hydro-sédimentaire de la fleuve Onilahy et nécessite un dragage de de 5 mètres de hauteur. Avec le changement climatique, les hypothèses de la conception des infrastructures deviennent non valables, avec une évolution temporelle assez rapide. Pour le cas de Soalara, cette recherche tient compte à la fois de la résilience urbaine de la ville portuaire ainsi que de la résilience de l'infrastructure portuaire. Pour pérenniser la ville portuaire de Soalara et son port, nous concevons des épis et des brise-lames comme ouvrage de défense littoral.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Battistini R et G. Richard-Vindard « Annales de Géographie », t. 84, n°464, 1975. pp. 499-500, 1975
- Bougis Jean « Ouvrages de défense des littoraux » Université de Toulon, 2007.
- CETMEF, CUR, CIRIA, « Guide Enrochement. L'utilisation des enrochements », 2008.
- Englenski « Etude des houles et leurs impacts,», Octobre 2001.

- Hayuth Y, «Seaports: The Challenge of Technological and functional Changes», p. 79-101, 1985.
- Laval D., "Cours de travaux maritimes", École Nationale des Ponts et Chaussées (1963-1964).
- Centre ORSTOM de Nosy-Bé, 107 p, Documents Scientifiques du Centre de Nosy-Bé ; 33, 1973.