



Union des  
**Comores**  
Ministère des  
Transports Maritime  
et Aérien



## Projet Connectivité Inter-Iles des Comores (PICMC)

Etude pour l'avant-projet détaillé des  
travaux d'extension du port de  
**Fomboni** et d'aménagement des sites  
de débarquement secondaires à  
**Chindini, Hoani et Vassy**

Avant-Projet Sommaire : Port de Fomboni



Bureau d'Etude Conseil Expertise  
et Contrôle (BECECO)

Avant-Projet Sommaire  
Novembre 2021



# ETUDE POUR L'AVANT-PROJET DETAILLE DES TRAVAUX D'EXTENSION DU PORT DE FOMBONI ET D'AMENAGEMENT DES SITES DE DEBARQUEMENT SECONDAIRES A CHINDINI, HOANI ET VASSY

## PROJET CONNECTIVITE INTER-ILES DES COMORES (PICMC)

### INFORMATIONS RELATIVES AU DOCUMENT

#### INFORMATIONS GÉNÉRALES

<b>Auteur(s)</b>	A. HOURQUET, A. JARNY, A. MECHROUH, E. VAURE, I. DELORME
<b>Volume du document</b>	Avant-Projet Sommaire : Port de Fomboni – Rapport APS provisoire
<b>Version</b>	0
<b>Référence</b>	NA
<b>Numéro CRM</b>	OCA0009
<b>Chrono</b>	NA

#### HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Version	Date	Rédigé par	Visé par	Modifications
0	16/11/2021	Auteurs	A. JARNY	Emission initiale
1	03/12/2021	Auteurs	A. JARNY	Corrections et compléments mineurs

#### DESTINATAIRES

Nom	Entité
	PICMC
	Banque Mondiale

# Sommaire

<b>1. Documents de référence</b>	<b>6</b>
1.1 Textes généraux	6
1.2 Règles relatives aux ouvrages géotechniques	6
1.3 Règles relatives aux ouvrages en béton armé	6
1.4 Règles relatives aux pièces métalliques	6
1.5 Recommandations relatives aux travaux maritimes	7
1.6 Documents utiles à l'étude	7
1.7 Documents propres au projet	7
<b>2. Objet de la note</b>	<b>8</b>
2.1 Contexte de l'étude	8
2.2 Objet du présent document	9
<b>3. Synthèse des conclusions de l'étude</b>	<b>10</b>
<b>4. Présentation générale du projet</b>	<b>11</b>
4.1 Déroulement de la phase APS	11
4.2 Données du site	11
4.3 Description de l'existant	12
4.4 Eléments de programme	17
<b>5. Principes d'aménagement</b>	<b>19</b>
5.1 Critères de projet	19
5.2 Principes de fonctionnement	19
5.3 Solutions techniques envisagées en termes d'infrastructures	19
5.3.1 Quai pieux	19
5.3.2 Quai en caissons	19
5.3.3 Quai blocs	20
5.4 Description de la solution technique retenue	20
5.4.1 Brise lame	20
5.4.2 Quais	20
5.4.3 Digue d'accès	20
5.4.4 Pontons flottants	20
5.4.5 Aménagements terrestres	21
5.4.5.1 Hangar de stockage	21
5.4.5.2 Hangar de maintenance	21
5.4.5.3 Port maritime et Capitainerie	21
5.4.6 Réseaux	22
5.4.6.1 Installation électrique	22
5.4.6.2 Eclairage extérieur	22
5.4.6.3 Le réseau d'adduction d'eau de port	22
5.4.6.4 Réseaux d'assainissement	22
5.4.7 Accès terrestre	23
5.4.8 Accès maritime	24
5.5 Solutions de plan masse envisagées	24
5.5.1 Solutions envisagées en termes de plan masse	24
5.5.2 Vérification de l'agitation	25
5.5.3 Comparatif des options	27
5.5.3.1 Comparatif financier	27
5.5.3.2 Comparatif opérationnel	29
5.5.3.3 Comparatif des potentiels de développement	29
5.5.3.4 Synthèse de la comparaison des options	29
5.5.4 Recommandation du Consultant pour la sélection de l'option	30
<b>6. Prédimensionnement de la solution</b>	<b>31</b>
6.1 Présentation de la solution dimensionnée en APS	31
6.2 Pré-dimensionnement des protections maritimes du brise lame et de la digue d'accès	32

6.2.1	Présentation de l'ouvrage .....	32
6.2.2	Etats de mer pour les calculs de conception du brise lame/digue d'accès .....	33
6.2.2.1	Etats de mer pour les calculs de conception de la carapace et de la butée de pied.....	33
6.2.3	Stabilité de la carapace .....	34
6.2.4	Stabilité des sous couches .....	35
6.2.5	Stabilité de la butée de pied .....	35
6.2.6	Franchissement et stabilité de la crête .....	36
6.2.7	Stabilité du talus arrière.....	37
6.2.8	Stabilité de l'assise des quais blocs .....	37
6.2.9	Stabilité au grand glissement .....	37
<b>6.3</b>	<b>Pré-dimensionnement du mur de couronnement .....</b>	<b>37</b>
6.3.1	Présentation de l'ouvrage .....	37
6.3.2	Hypothèses de conception, actions, chargements et combinaisons.....	38
6.3.3	Vérifications.....	38
6.3.3.1	Stabilité externe .....	38
6.3.3.2	Stabilité interne.....	38
<b>6.4</b>	<b>Pré-dimensionnement de l'ouvrage en quai bloc .....</b>	<b>38</b>
6.4.1	Présentation de l'ouvrage .....	38
6.4.2	Hypothèses de conception, actions, chargements et combinaisons.....	39
6.4.3	Vérifications.....	40
6.4.3.1	Glissement.....	40
6.4.3.2	Non renversement : limitation de l'excentrement.....	40
6.4.3.3	Capacité portante du sol.....	41
<b>6.5</b>	<b>Pré-dimensionnement des pontons .....</b>	<b>41</b>
<b>6.6</b>	<b>Conditions d'exécution des souilles.....</b>	<b>41</b>
<b>6.7</b>	<b>Conclusions sur la conception des ouvrages maritimes .....</b>	<b>41</b>
<b>6.8</b>	<b>Éléments de construction des ouvrages terrestres .....</b>	<b>41</b>
6.8.1	Hangar de stockage .....	41
6.8.2	Hangar de maintenance.....	42
6.8.3	Port maritime et capitainerie.....	42
<b>7.</b>	<b>Méthodes de construction.....</b>	<b>44</b>
<b>7.1</b>	<b>Zones d'emprunt envisagées .....</b>	<b>44</b>
7.1.1	Surfaces nécessaires .....	44
7.1.1.1	Zones de fabrication des éléments préfabriqués + centrale béton .....	44
7.1.1.2	Zones d'installations de chantier .....	45
7.1.1.3	Zones de stockage.....	46
7.1.2	Zones d'emprunt potentielles.....	47
<b>7.2</b>	<b>Méthodes de travaux .....</b>	<b>50</b>
7.2.1	Démolitions .....	50
7.2.2	Dragage / déroctage.....	50
7.2.3	Quais 51	
<b>7.3</b>	<b>Phasage.....</b>	<b>51</b>
7.3.1	Installations de chantier.....	51
7.3.2	Travaux préparatoires .....	51
7.3.3	Travaux des ouvrages de protection et quais.....	52
7.3.4	Travaux de génie civil et VRD .....	53
7.3.5	Finitions et repli du chantier.....	53
<b>7.4</b>	<b>Approvisionnement en matériaux .....</b>	<b>54</b>
<b>7.5</b>	<b>Planning prévisionnel de travaux.....</b>	<b>54</b>
<b>8.</b>	<b>Coûts estimatifs prévisionnels au stade APS .....</b>	<b>56</b>
<b>9.</b>	<b>Annexe A – Prédimensionnement brise lame.....</b>	<b>57</b>
<b>10.</b>	<b>Annexe B – Etude hydraulique .....</b>	<b>63</b>
10.1	Contexte météo-océanique .....	63
10.1.1	- Vent .....	63
10.1.2	- Houle.....	63
10.1.3	- Niveaux marins.....	64
10.2	Estimation des conditions hydrodynamiques extrêmes à Fomboni .....	64
10.2.1	- Mise en œuvre du modèle TOMOWAC .....	65

10.2.1.1	Construction du modèle.....	65
10.2.1.1.1	Maillage et résolution .....	65
10.2.1.1.2	Bathymétrie .....	66
10.2.1.1.3	Modifications liées aux plans masses envisagés .....	67
10.2.1.2	Paramétrisation du modèle.....	68
10.2.1.3	Programme des simulations .....	68
<b>10.2.2</b>	- Résultats au site de Fomboni.....	68
<b>10.2.3</b>	- Appréhension des options d'aménagements .....	75
<b>11.</b>	<b>Annexe C – Plans.....</b>	<b>79</b>
<b>12.</b>	<b>Annexe D – Note d'hypothèses.....</b>	<b>80</b>

# 1. DOCUMENTS DE REFERENCE

## 1.1 Textes généraux

- [R1].** NF EN 1990 : Bases de calcul des structures
- [R2].** NF EN 1991 : Actions sur les structures
- [R3].** NF EN 1998-5 : Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 5 : Fondations, ouvrages de soutènement et aspects géotechniques
- [R4].** L'ensemble des C.C.T.G. sont applicables et notamment :
  - ▶ Fascicule 2 : terrassements généraux,
  - ▶ Fascicule 4 titre I : armatures pour béton armé,
  - ▶ Fascicule 4 titre III : aciers laminés pour construction métallique,
  - ▶ Fascicule 65: exécution des ouvrages de génie civil en béton armé ou précontraint,
  - ▶ Fascicule 68 : exécution des travaux de fondation de génie civil,
- [R5].** Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali réaction (M.E.T.T. juin 1994)

## 1.2 Règles relatives aux ouvrages géotechniques

- [R6].** NF EN 1997-1 : Eurocode 7 : Calcul géotechnique – Partie 1 : Règles générales
- [R7].** NF EN 12063 : Exécution de travaux géotechniques spéciaux – Rideaux de palplanches
- [R8].** NF EN 12699 : Exécution de travaux géotechniques spéciaux – Pieux avec refoulement de sol
- [R9].** NF P94-261 : Calcul géotechnique – Norme d'application nationale de l'Eurocode 7 – Fondations superficielles
- [R10].** NF P94-262 : Calcul géotechnique – Norme d'application nationale de l'Eurocode 7 – Fondations profondes
- [R11].** NF P94-281 : Calcul géotechnique – Norme d'application nationale de l'Eurocode 7 – Ouvrages de soutènements - Murs
- [R12].** NF P94-282 : Calcul géotechnique – Norme d'application nationale de l'Eurocode 7 – Ouvrages de soutènement – Ecrans
- [R13].** Guides pratiques sur les ouvrages en mer : Pieux dans les formations carbonatées – ARGEMA, 1988

## 1.3 Règles relatives aux ouvrages en béton armé

- [R14].** NF EN 1992-1-1 et NF EN 1992-1-1/NA : Eurocode 2 : Calcul des structures en béton – Partie 1 : Règles générales et règles pour les bâtiments
- [R15].** NF EN 206-1 : Béton - Partie 1 : spécification, performances, production et conformité
- [R16].** NF EN 10080 : Aciers pour l'armature du béton - Aciers soudables pour béton armé – Généralités
- [R17].** Fascicule 65: Exécution des ouvrages de génie civil en béton armé ou précontraint

## 1.4 Règles relatives aux pièces métalliques

- [R18].** NF EN 1993-1-1 et NF EN 1993-1-1/NA : Eurocode 3 : Calcul des structures en acier – Partie 1 : Règles générales et règles pour les bâtiments
- [R19].** NF EN 1993-5 : Eurocode 3 : Calcul des structures en acier – Partie 5 : Pieux et palplanches
- [R20].** Fascicule 56 : Protection des ouvrages métalliques contre la corrosion
- [R21].** Fascicule 66 : Exécution des ouvrages de génie civil à ossature en acier

## 1.5 Recommandations relatives aux travaux maritimes

- [R22]. Recommandations pour le calcul des ouvrages maritimes aux états limites éditées par le CETMEF-CD ROM ROSA 2000
- [R23]. Guide enrochements ou Rock Manual on the use of rock in costal and shoreline engineering – CIRIA, 2005
- [R24]. European Overtopping Manual,
- [R25]. AIPCN AIPCN-AIPH-IALA-IMPA, "Harbour Approach Channels Design Guidelines", Rapport du Groupe de Travail AIPCN 121, 2014
- [R26]. CERC, « Hydraulic Design of Deep-Draft Navigation Projects », EM1110-2-1613, Mai 2006
- [R27]. Guide des Pontons de Plaisance, Secrétariat d'Etat de la Mer, CSNPSN
- [R28]. BS 6349-6 : Design of inshore moorings and floating structures

## 1.6 Documents utiles à l'étude

- [R29]. Accès maritime Mohéli : dossier APD, SOERNI, Mai 1995
- [R30]. Accès maritime Mohéli : dossier d'appel d'offres, SOERNI, Juillet 1995
- [R31]. Accès maritime Mohéli : rapport de synthèse, SOERNI, Juillet 2000
- [R32]. Projet de modification Mohéli : rapport de préféabilité, KULAK, Avril 2012
- [R33]. Projet de modification Mohéli : dossier d'appel d'offres, KULAK, Juin 2012
- [R34]. Projet de modification Mohéli : rapport sur l'évaluation du climat des vagues, modélisation numérique de transformation des vagues et l'étude d'agitation du port, KULAK, Juin 2012
- [R35]. Travaux de réparation du Port de Fomboni : consistance des travaux et rapports d'avancement, Union des Comores, 2020-2021
- [R36]. Etude sur les perspectives de création d'un complexe portuaire de pêche industrielle et/ou semi-industrielle au sein de l'Union des Comores : rapport L-4, CATRAM, Septembre 2019
- [R37]. Elaboration du schéma directeur portuaire, Union des Comores, Octobre 2014

## 1.7 Documents propres au projet

- [R38]. Projet d'amélioration de la connectivité inter-îles aux Comores : volume 1 : revue du cadre juridique et institutionnel régissant le transport inter-îles
- [R39]. Projet d'amélioration de la connectivité inter-îles aux Comores : volume 2 : analyse de la demande inter-îles
- [R40]. Projet d'amélioration de la connectivité inter-îles aux Comores : volume 3 : analyse technique du développement du port de Fomboni, des ports secondaires et du renouvellement de la flotte
- [R41]. Projet d'amélioration de la connectivité inter-îles aux Comores : volume 4 : étude économique, financière, environnementale et sociale des investissements du port de Fomboni
- [R42]. Projet d'amélioration de la connectivité inter-îles aux Comores : volume 6 : étude financière et institutionnelle pour le programme de renouvellement de la flotte de transport de passagers entre les îles
- [R43]. Projet de connectivité inter-îles, Compte rendu de mission de démarrage, EGIS, Octobre 2021
- [R44]. Données topographiques, EGIS/BECECO, Octobre 2021
- [R45]. Données bathymétriques, EGIS/BECECO, Octobre 2021
- [R46]. Projet de connectivité inter-îles, Note d'hypothèses, EGIS, Octobre 2021

## 2. OBJET DE LA NOTE

### 2.1 Contexte de l'étude

Le Projet de Connectivité Inter-Iles des Comores (PICMC) a été mis en œuvre par le Ministère des Transports Maritime et Aérien, et financé par la Banque mondiale. Ce projet vise à déterminer comment améliorer la connectivité maritime entre les îles de l'Union des Comores.

Dans ce cadre, une première étude a été élaborée afin d'analyser les différentes options techniques pour le renouvellement de la flotte, le développement du port de Fomboni et le développement des ports secondaires. Une analyse multicritères a permis d'identifier les options les plus appropriées dans le contexte des Comores, avant de procéder à des analyses économiques, financières, environnementales et sociales sur le développement le plus approprié.

Le but de ces développements est d'améliorer la connectivité et la sécurité du transport maritime entre les trois îles, en se concentrant sur l'île la plus isolée, Mohéli.

Cette analyse a permis de statuer sur les développements recommandés :

- Extension du port de Fomboni afin de faire face au trafic portuaire attendu et aux activités connexes de manière efficace et dans de bonnes conditions de sécurité, en ajoutant la fonctionnalité d'accueil d'un ferry Ro-Ro,
- Remplacement de la flotte des kwassa-kwassas par de nouveaux bateaux à coque en V afin d'apporter plus de sécurité au transport maritime inter-îles,
- Aménagement de ports secondaires pour améliorer l'accès et permettre des opérations sécurisées (jetées et installations landside) sur différentes plages pour l'accostage de la nouvelle flotte de bateaux coque en V.

#### La mission de notre étude s'inscrit dans le cadre du Programme du projet PICMC.

- Composante 1.1. Amélioration des infrastructures du Port de Fomboni
- Composante 1.2. Amélioration des ports secondaires

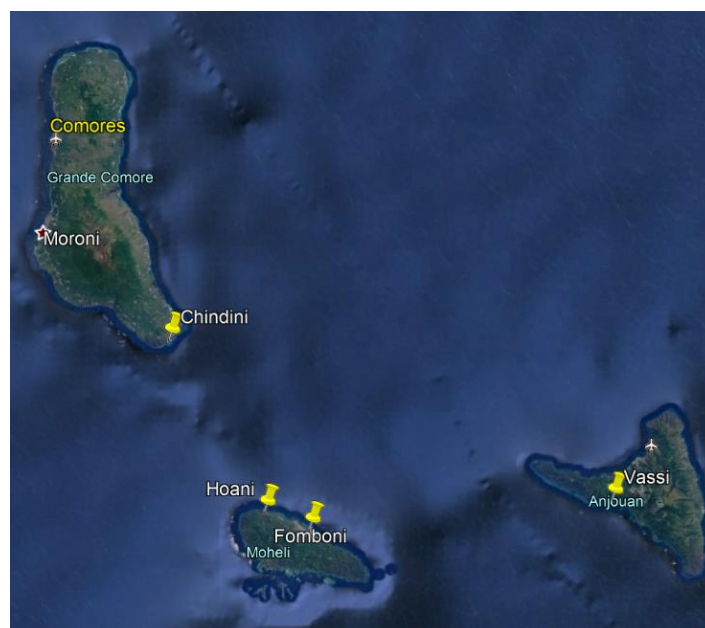


Figure 1 - Localisation des sites de projets

## 2.2 Objet du présent document

Le présent document constitue le rapport des études d'Avant-Projet Sommaire (APS) relatif à la composante 1.1 – Amélioration des infrastructures du Port de Fomboni.

Les études APS ont pour but d'analyser et de pré-dimensionner une solution mettant en œuvre un ouvrage brise-lames et un quai blocs, au regard des hypothèses et contraintes identifiées dans la note d'hypothèses [R46] et des données disponibles à ce jour.

Cette étude vise à préciser le programme défini par l'étude de pré-faisabilité [R40], ainsi que les coûts et délais associés.

### 3. SYNTHÈSE DES CONCLUSIONS DE L'ÉTUDE

Le présent rapport s'est attaché à définir la meilleure option de développement pour le port de Fomboni.

L'élaboration des alternatives a suivi le processus suivant :

- Mission de reconnaissance et recueil de données,
- Elaboration et validation des hypothèses de dimensionnement,
- Adaptation du plan masse élaboré et retenu au stade de la préfaisabilité.

Les hypothèses retenues ont largement modifié le projet initial avec, pour le principal:

- Revue des profondeurs de dragage et des conditions géotechniques,
- Revue des niveaux d'eau et large adaptation de l'ouvrage de protection, et des conditions induites d'accès.

La première conséquence de ces adaptations fut la découverte d'une large quantité de déroctage associé à l'adaptation du plan masse de l'étude de préfaisabilité et une revalorisation significative de l'estimation du coût d'investissement.

L'étude s'est ensuite attaché à définir des options de développement pour comparaison, notamment dans l'idée de réduire le déroctage extrêmement coûteux et chronophage en terme de mie en œuvre.

Ainsi 3 options de développement ont été élaborées avec :

- Une adaptation du plan masse défini au stade de la préfaisabilité (option 1),
- Une option visant à supprimer le déroctage en étendant la digue de protection (option 3),
- Une troisième correspondant à un compromis entre extension de la digue et réduction des quantités de déroctage (option 2).

L'ensemble des options ont été développées sur la base :

- d'une modélisation des niveaux d'agitation pour définir le profil de digue applicable en fonction de la position de la digue,
- d'un pré-dimensionnement de l'ensemble des infrastructures,
- l'élaboration d'une approche méthodologique des travaux,
- d'un estimatif des quantités et du coût du projet.

L'ensemble de ces démarches ont permis de recommander l'option 2 comme celle à développer au stade APD.

## 4. PRESENTATION GENERALE DU PROJET

### 4.1 Déroulement de la phase APS

La phase d'Avant-Projet Sommaire a débuté en septembre 2020 pour le groupement EGIS/BECECO, et s'inscrit dans la suite des études de préféabilité réalisées en février 2021 par CPCS [R40] en se basant sur les conclusions apportées à travers ces premières études.

Cette mission s'attache à préciser le programme défini par l'étude de préféabilité [R40], pré-dimensionner une solution technique et définir les coûts et délais associés.

Comme détaillé dans l'offre, cette mission APS se déroule à travers :

- La réalisation d'une mission de terrain permettant d'identifier les données de site principales, synthétisée dans le compte-rendu de mission de démarrage [R43] ;
- L'inventaire des données existantes ;
- L'acquisition de données bathymétriques à partir d'une méthode de traitement des images satellites [R45] ;
- La réalisation de campagnes de mesures topographiques de plage et de mesures topographiques d'ouvrages [R44] ;
- L'identification des contraintes, hypothèses et données du projet, synthétisées dans la note d'hypothèses [R46] ;
- Le pré-dimensionnement des infrastructures portuaires permettant d'arrêter les caractéristiques géométriques et mécaniques des différentes parties d'ouvrage ;
- La définition des principes d'aménagements terrestres et des voies d'accès ;
- L'identification des équipements nécessaires pour l'aide à la navigation, ainsi que les défenses d'accostage ;
- L'estimation prévisionnelle des coûts ;
- Le calendrier prévisionnel de travaux associé ;
- La définition des investigations complémentaires à l'issue de l'APS nécessaires pour la phase APD.

Dans le cadre de la réalisation des investigations complémentaires à réaliser, un cahier des charges d'investigations géotechniques sera transmis au PICMC à l'issue de l'APS.

En attendant le lancement des investigations complémentaires par le PICMC et les données en découlant, les hypothèses et caractéristiques de sols retenues sont celles définies dans la note d'hypothèses, validée par le PICMC le 22/10/2021.

Les hypothèses et contraintes retenues ont été synthétisées dans la note d'hypothèses ([R46] - Annexe C – Note d'hypothèses), présentée au PICMC et à la Banque Mondiale par EGIS le 22/10/2021.

Le pré-dimensionnement de la solution retenue dans la note d'hypothèses avec chiffrage et planning associés, ainsi que la définition des investigations complémentaires à l'issue de l'APS nécessaires pour la phase APD, sont développés ci-après (cf. §5.4).

La ressource en matériaux rocheux et remblais constitue l'un des principaux enjeux de cette étude. Les ressources potentielles ont été pré-identifiées dans la note d'hypothèses et sont précisées §7.4.

Pour plus de clarté dans la lecture du rapport, les hypothèses, critères et méthodes de conception utilisés pour la présente étude sont détaillés dans la note d'hypothèses.

Les plans associés au principe d'aménagement retenu sont présentés en Annexe A – Plans.

### 4.2 Données du site

Les données du site sont décrites dans la note d'hypothèses ([R46] - Annexe C – Note d'hypothèses).

### 4.3 Description de l'existant

La description des infrastructures existantes se base sur les documents transmis :

- Accès maritime Mohéli : dossier d'appel d'offres, SOERNI, Juillet 1995 [R30]
- Travaux de réparation du Port de Fomboni : consistance des travaux et rapports d'avancement, Union des Comores, 2020-2021 [R35]

Les infrastructures maritimes initiales construites en 2000 sont constituées d'un môle d'accostage de 12 m de largeur et 70 m de longueur, avec une rampe pour rouliers :

- La partie supérieure du môle est constituée d'une poutre de couronnement, de 2 poutres transversales, et d'une dalle en béton armé flottante de 0.30 m d'épaisseur, à la cote (+5.00)
- La rampe, de 8.50 m de largeur, s'étale entre les niveaux (+5.00) et (+3.45) sur une longueur de 12.75 m et avec une pente de 10%.
- Le môle est muni d'un escalier en béton armé de 1.50 m de largeur à 2 volets et 2 paliers aux niveaux (+3.425) et (+1.85)

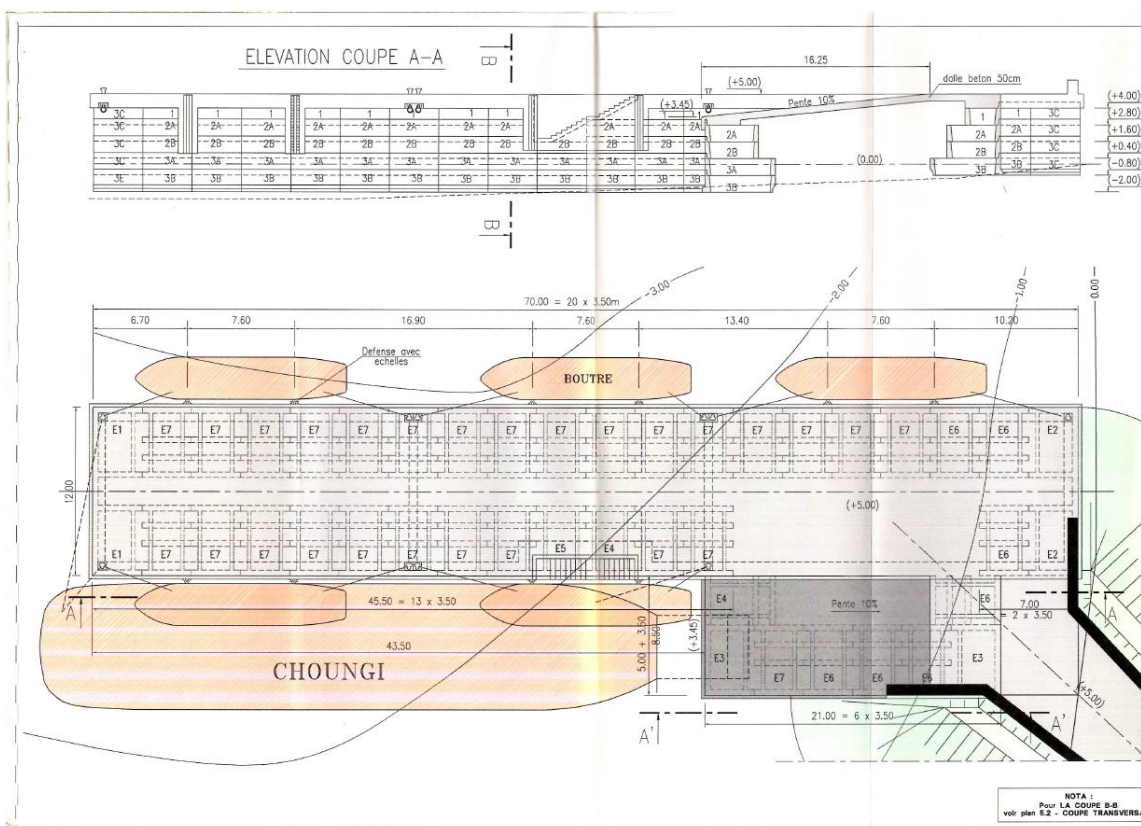


Figure 2 - Plans issus du dossier d'appel d'offres [R30]

- Le môle est constitué de blocs préfabriqués évidés en béton armé arasés à la cote (+4.00) et reposant à la cote (-2.00) sur une assise constituée de pierres cassées sur une épaisseur de 0.50 m
- L'intérieur des blocs et les volumes entre blocs sont comblés par du remblai compacté

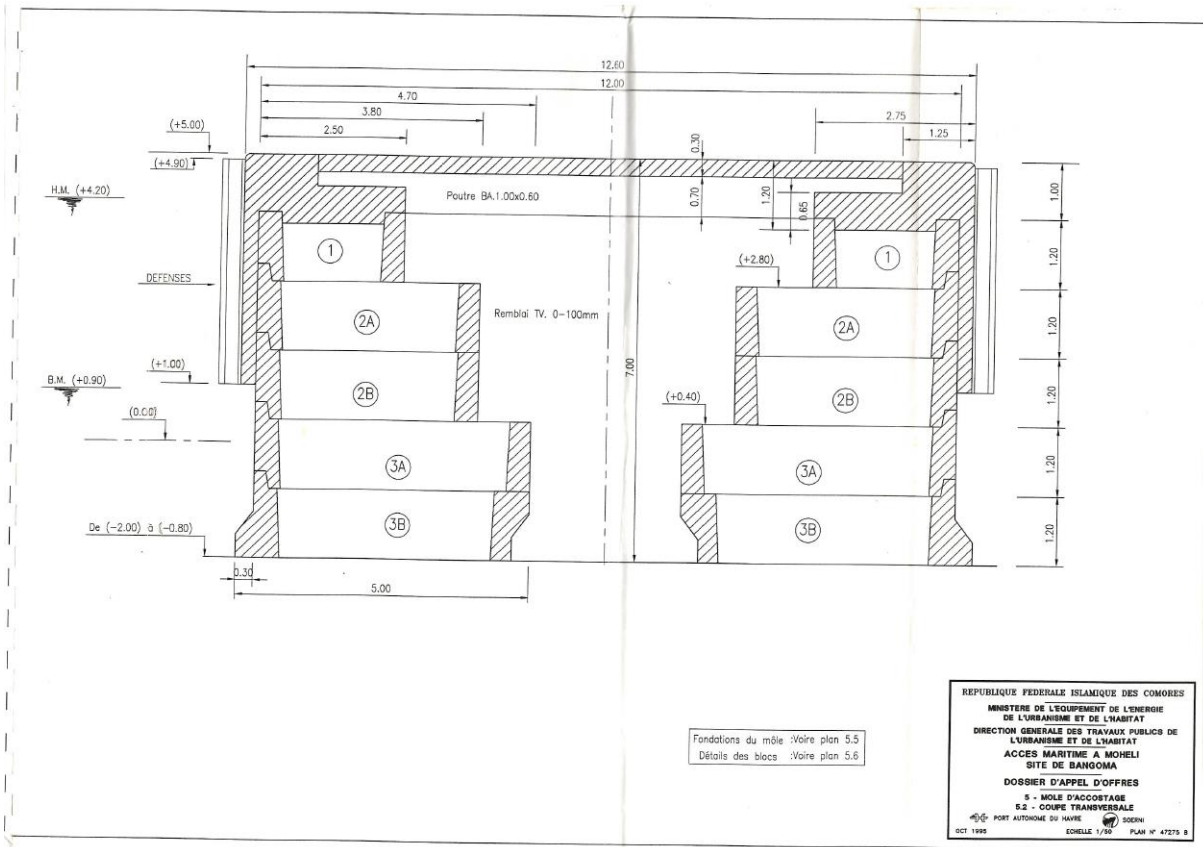
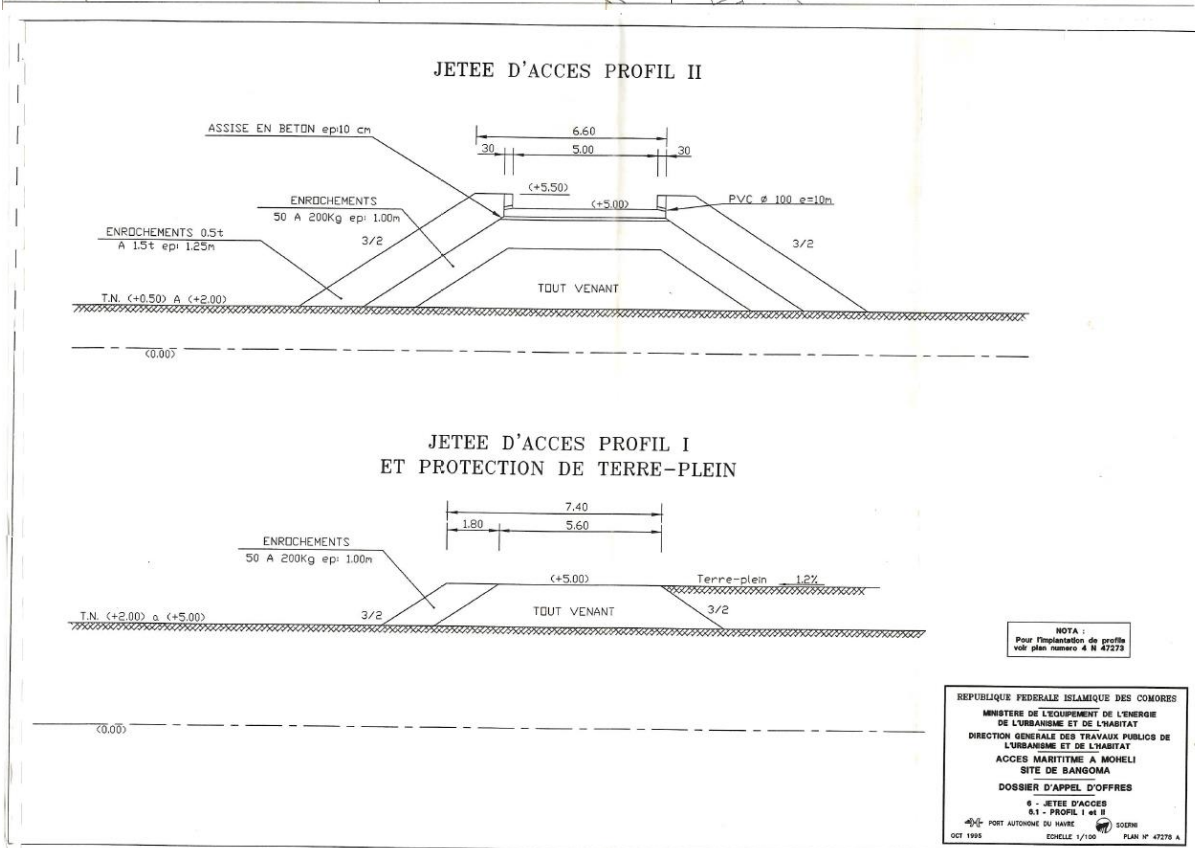
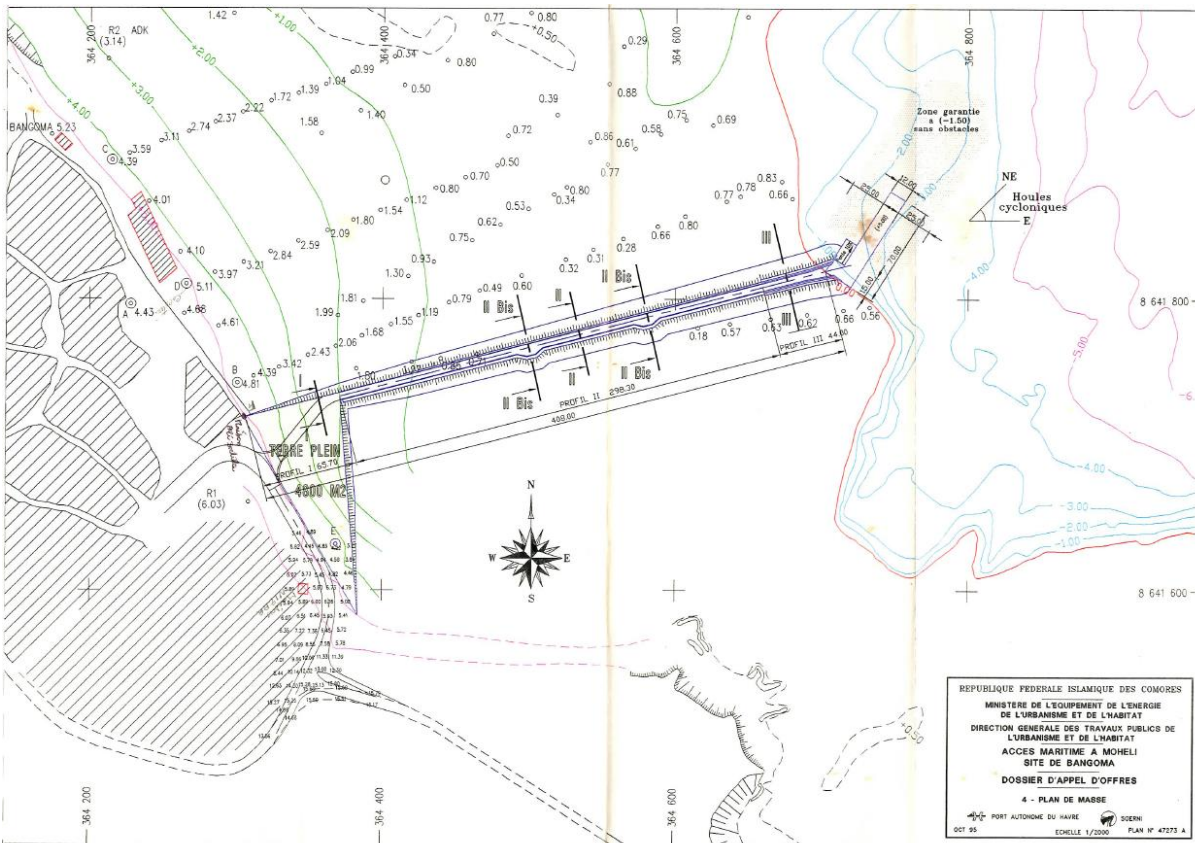


Figure 3 - Plans issus du dossier d'appel d'offres [R30]

- La protection en pied en avant du môle contre les affouillements est constituée de blocs évidés en béton armé de 1.00 m de hauteur disposés entre les cotes (-2.50) et (-1.50). Ces blocs et le talus avant sont remplis d'enrochements 0.2 – 0.5 tonnes.
- La poutre de couronnement est équipée des appareils suivant :
  - ▶ Bollards simples et doubles de 15t et 2 fois 15t chacun
  - ▶ Organeaux simples et doubles de 15t et 2 fois 15t chacun
  - ▶ Système de défense en caoutchouc extrudé de section carrée 300 x 300 mm
  - ▶ 4 échelles
- La jetée d'accès terrestre au môle mesure 342 ml de longueur et va du terre-plein à l'enracinement du môle
  - ▶ C'est une digue à talus de pente 3/2 avec noyau en tout venant basaltique protégé différemment en fonction du niveau des fonds naturels et de l'amplitude des houles l'atteignant :
    - Sur 298 ml à partir du terre-plein, couverture sur 1m d'épaisseur en enrochements 0.5 – 1.5 t
    - A l'enracinement du môle, sur 44 m, ajout d'une protection sur 2.35 ml d'épaisseur de blocs cubiques rainurés de 3.6 t posés en 2 couches
  - ▶ La voie de circulation axée sur la jetée a une largeur utile de 5 ml entre relevés des poutres de couronnement
  - ▶ Elle est constituée d'une dalle en béton d'épaisseur 0.30 m sur 298 ml et 0.75 m d'épaisseur sur les 44 ml du raccordement au môle
  - ▶ Elle comporte 2 zones de garage pour croisements de 3 m de surlargeur et 6 ml de longueur



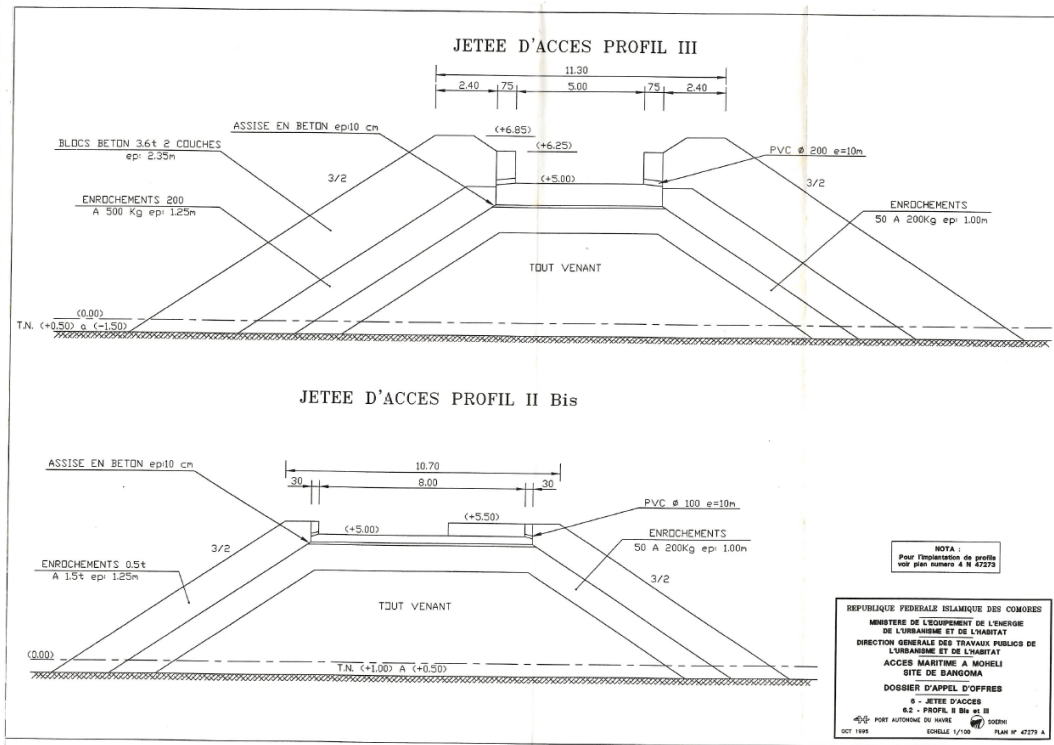


Figure 4 - Plans issus du dossier d'appel d'offres [R30]

- Un terre-plein portuaire en remblais pouzzolaniques de 4800 m<sup>2</sup> sur l'estran, nivelé à +5.25 côté terre et +5.00 côté mer revêtu sur 1000 m<sup>2</sup>
- Construction et aménagement de superstructures sur le terre-plein

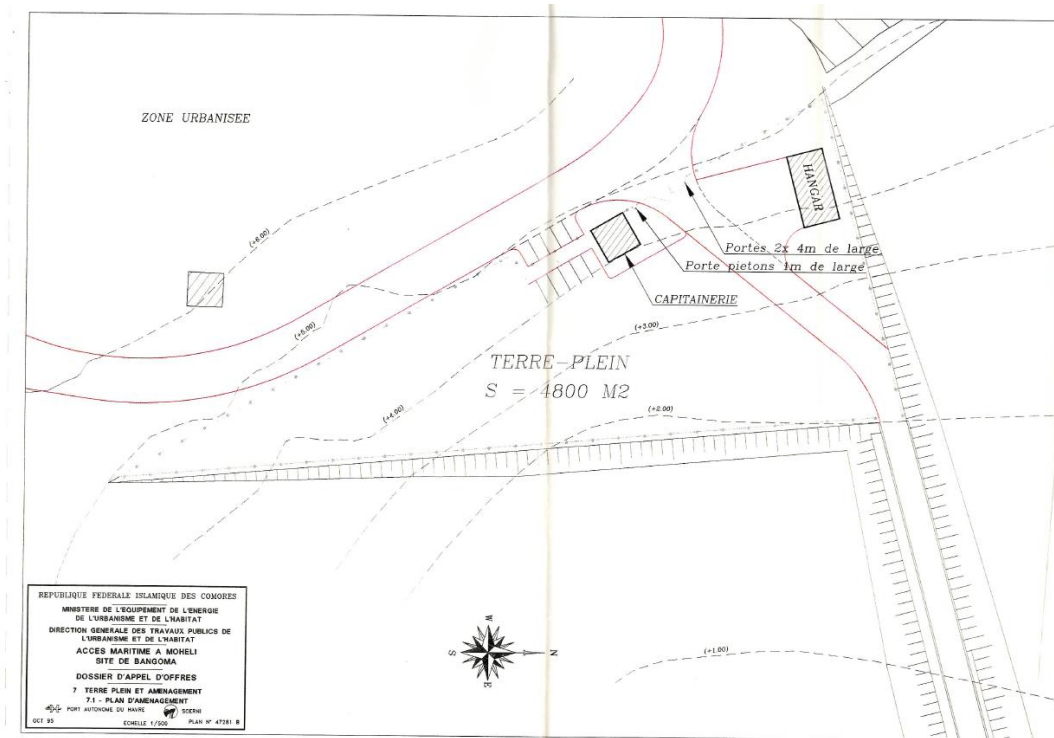


Figure 5 - Plans issus du dossier d'appel d'offres [R30]

A la suite du cyclone Kenneth en 2019, les ouvrages ont été fortement dégradés et des travaux de réparations ont été entrepris en 2020/2021. La consistance des travaux était la suivante :

- Démolition des parties dégradées en béton,
- Fouille pour assise des blocs béton,
- Mise en œuvre d'un remblai technique constitué de blocs rocheux et de mortier léger,
- Mise en œuvre de blocs béton préfabriqués,
- Réalisation des réparations de l'ouvrage en béton armé,
- Fourniture de défenses pneus et de leur chaînes de fixation en acier,



Figure 6 - Photos issues des rapports d'avancement des travaux [R35]

Nous ne disposons pas des dossiers et plans de récolement des ouvrages construits afin de nous assurer de l'exactitude des informations présentées ci-dessus.

Conformément à la note d'hypothèses [R46], en l'absence de diagnostic détaillé des parties immergées et d'une vérification de la structure vis-à-vis des plans existants, sa pérennité n'est pas assurée.

**Une démolition de l'ouvrage (môle existant et rampe) et un doublement de la digue d'accès seront réalisés.**

#### 4.4 Éléments de programme

Les éléments de programme envisagés dans l'option 3, retenue à l'issue de l'étude de préféabilité [R40] sont présentés dans la note d'hypothèses §5.1.1.

Suite à la validation de cette note d'hypothèses par le PICMC et la Banque Mondiale, les éléments suivants sont considérés dans les aménagements projetés pour le port de Fomboni (**les modifications validées par rapport à l'option 3 sont indiquées en gras**) :

- Ouvrages maritimes :
  - ▶ Nouveau quai de 136 m de long par **20 m de large** dans le prolongement du quai actuel, qui accueillera les navires Ro-pax et navires de pêche le long de la partie sud. Il comprend une cale de chargement/déchargement des véhicules à l'arrière
  - ▶ Nouveau quai de 120 m de long et **20 m de large**, situé à l'extrémité du premier quai, avec un angle permettant de protéger le plan d'eau de l'agitation. Il est prévu pour les opérations de chargement et déchargement des marchandises.
  - ▶ Cote de dragage retenue à **-5.50 m CM**
  - ▶ Structure en digue à talus et quai bloc
  - ▶ **Réhabilitation de la jetée d'accès** : carapace en mauvais état et élévation trop basse
  - ▶ **Doublement de la voie d'accès située sur la jetée d'accès** : fluidification du trafic de camions en double-sens en considérant que les camions viendront directement récupérer les marchandises sur le quai marchandises
  - ▶ **Cercle d'évitage de deux fois la longueur du navire de projet**
  - ▶ Accès maritime sécurisé pour les navires : **largeur du chenal de 3 largeurs de navires de projet n'autorisant pas le croisement des navires** - aide à la navigation, bouées pour chenal d'accès
  - ▶ Pente de la rampe d'accès limitée à 10% : **accès limité à marée basse pour les périodes de vives-eaux**
  - ▶ **Rampe plus longue que celle de l'option 3** mais conservation du linéaire de quai en rendant accostable le côté libre de la rampe pour les opérations de débarquement des produits de pêche, lorsque le ferry n'est pas en opération
  - ▶ Aménagement d'une zone de chargement déchargement pour 4 navires à coques en V
  - ▶ Brise-lames en XBLOCS côté nord des deux quais pour protéger le port des vagues
- Ouvrages terrestres :
  - ▶ Bâtiment d'accueil des passagers
  - ▶ Hangar de stockage des marchandises
  - ▶ Extension du terre-plein actuel pour les opérations de stockage et l'administration du port
  - ▶ Réseaux eau, électricité, incendie sur le terre-plein de stockage et jusqu'au bout du quai
  - ▶ Clôtures, ISPS
  - ▶ **Il n'est pas prévu la construction d'un entrepôt frigorifique pour le poisson**
  - ▶ **Il n'est pas prévu d'aménagement pour la maintenance des navires – cette activité est néanmoins présente sur site au niveau de la potentielle extension de la zone de stockage à terre**
  - ▶ **Il n'est pas prévu de chargement/déchargement/stockage de containers**

- ▶ **Il n'est pas prévu de station d'avitaillement**

## 5. PRINCIPES D'AMENAGEMENT

### 5.1 Critères de projet

Les critères de projet suivants sont définis dans la note d'hypothèses §5, §6 et §7 :

- Durée de service des ouvrages
- Navire de projet
- Cote de dragage
- Elévation des quais
- Critères de franchissement
- Epaisseur sacrifiée à la corrosion pour les structures métalliques
- Accostage
- Amarrage
- Surcharges d'exploitation

### 5.2 Principes de fonctionnement

Les principes de fonctionnement ont été définis dans la note d'hypothèses §5.

Pour rappel, les principaux principes retenus sont les suivants :

- Un doublement de la largeur de la jetée d'accès afin de permettre les trafics de camions, passagers et véhicules, pêcheurs, etc.
- Un élargissement des quais pour fluidifier et sécuriser les opérations et autoriser un minimum de stockage temporaire sur le quai marchandises
- Les cotes de dragage permettent l'accès des navires de marchandises et ferries
- Le chenal d'accès n'autorisera pas le croisement des navires
- Le cercle d'évitage sera égal à deux fois la longueur du navire
- La pente maximum du plan incliné sera de 10%
- L'accessibilité des ferries sera limitée : pour les périodes de vives-eaux à marée basse

### 5.3 Solutions techniques envisagées en termes d'infrastructures

Plusieurs solutions techniques étaient envisageables pour la structure de l'ouvrage maritime

#### 5.3.1 Quai pieux

La solution de création de quai sur pieux en arrière des digues brise-lames était une solution envisageable car nécessitant moins d'apport de matériau et peu de préfabrication d'éléments (uniquement chapiteaux et hourdis béton armé). Cette solution intéressante en première approche a été écartée en raison de la nature envisagée des fonds. L'ancrage des pieux métalliques dans le basalte peut s'avérer très compliqué, voire impossible. En l'absence de données géotechniques précises sur la nature des sols constitués de basalte, cette solution représente un risque de surcoûts, d'augmentation significative des délais en phase travaux, voire d'impossibilité de mise en œuvre qui l'exclut de facto. Une solution en pieux sur semelles béton n'a pas été étudiée car les efforts d'amarrage et d'accostage des navires de projets sont importants et auraient nécessité des semelles de taille considérable.

#### 5.3.2 Quai en caissons

La solution d'un quai en caissons a été envisagée initialement mais présentait des inconvénients notamment pour la mise en œuvre : les caissons doivent être préfabriqués puis amenés par flottaison avant d'être posés. La bonne exécution de cette pose est soumise à des aléas, notamment dû aux conditions de mer. Ces aléas sont très importants dans le cas de figure ici rencontré avec peu de profondeur d'eau disponible et des fonds rocheux.

Les risques techniques lors de la mise en œuvre pouvant être importants, cette solution n'a pas été étudiée.

### 5.3.3 Quai blocs

Cette solution technique correspond à la solution mise en place pour l'infrastructure du quai existant, sa technicité et possibilité de mise en œuvre sont donc éprouvées localement.

En raison des différents retours d'expérience et des inconvénients des deux autres solutions présentées pouvant conduire à une impossibilité technique, nous avons décidé de retenir une structure en quai blocs pour la suite des études.

## 5.4 Description de la solution technique retenue

La solution technique retenue et son dimensionnement sont détaillés dans le §6.

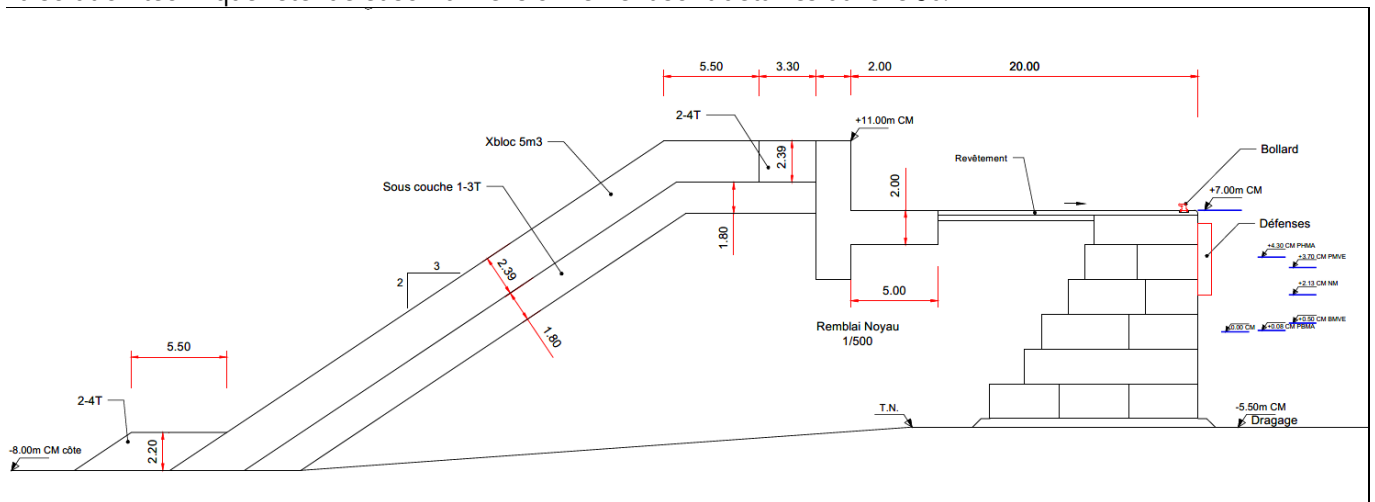


Figure 7 - Coupe type de la solution technique retenue (quai bloc + digue)

### 5.4.1 Brise lame

Le brise lame est prévu afin de protéger les quais et permettre un amarrage des bateaux en sécurité. Il sera constitué de blocs artificiels de type XBloc.

### 5.4.2 Quais

Le quai prévu pour le ferry comportera une rampe Ro-Ro de pente 10%. Il mesurera 136m de long. Le quai marchandise mesurera 120m de long. Les quais feront 20m de large.

Les quais seront équipés de bollards 20T espacés de 10m.

Les défenses d'accostage seront des défenses trapézoïdales de type TD-B600H G3 placées dans le sens vertical permettant de reprendre le marnage important. Elles seront espacées de 2.50m afin de garantir a minima 3 points de contact, même pour les plus petit navires de pêche.

Les quais seront équipés de système d'éclairage, de bornes de secours, d'échelles.

### 5.4.3 Digue d'accès

La digue d'accès fera 10 m de large pour permettre des circulations fluides.

### 5.4.4 Pontons flottants

Les pontons flottants seront des pontons renforcé de 2.50m de large, permettant l'amarrage des navires à coque en V. Ils seront ancrés à l'aide de corps-morts.

Les pontons permettront une surcharge pour l'accueil du public, soit 500kg/m<sup>2</sup>.

Une passerelle permettra l'accès des passagers à la gare maritime via une ligne de bus dédiée.

### 5.4.5 Aménagements terrestres

Les infrastructures existantes sont relativement basses (+5.50mCM) par rapport aux niveaux d’eaux retenus, y compris la route d’accès existante. Pour ne pas générer des travaux trop importants pour la liaison avec l’existant, nous avons donc retenu, à ce stade un nettoyage et nivèlement du terre-plein existant à +6.00mCM pour garantir une liaison harmonieuse avec le réseau routier existant. Il est possible que ces installations soient inondées pour de rares conditions de très forte houle et niveau d’eau très élevé. Les installations existantes seront démolies pour permettre cette liaison.

Les aménagements terrestres prévus sont les suivants :

- Capitainerie
- Gare maritime
- Hangar de stockage
- Hangar de maintenance des engins (atelier mécanique)

Désignation du bâtiment	Surface à bâtir
capitainerie	300m <sup>2</sup>
gare maritime	200 m <sup>2</sup>
hangar de stockage	1000 m <sup>2</sup>
hangar de maintenance des engins (atelier mécanique)	150 m <sup>2</sup>

#### 5.4.5.1 Hangar de stockage

Le hangar de stockage des marchandises sera construit en dur et couvert par des tôles métalliques à deux pans ayant une pente suffisante pour l’évacuation des eaux de pluie. La charpente de toiture est métallique. Il occupe une surface au sol de 800m<sup>2</sup>.

Sur sa façade principale existe une porte d’accès métallique coulissante. A l’intérieur du hangar, il y a des poteaux circulaires en béton supportant les poutres de liaison entre poteaux (en sa partie supérieure) et servant d’assises pour la charpente métallique. Un auvent en tôle est fixé contre le mur au-dessus du portail.

#### 5.4.5.2 Hangar de maintenance

Le hangar de maintenance des engins et des matériels du port est semblable à celui de stockage des marchandises mais de petites tailles, 150m<sup>2</sup> au sol.

#### 5.4.5.3 Port maritime et Capitainerie

Le port maritime et la capitainerie du port constitue un bâtiment unique, construit en dur et couvert en béton armé. Le bâtiment occupe une surface au sol de 300m<sup>2</sup>.

Les deux services sont superposés : le port maritime est placé au rez-de-chaussée tandis que la capitainerie à l’étage.

La façade principale est de forme arrondie au rez-de-chaussée qu’à l’étage de façon à ce que la capitainerie pourrait visualiser toute la partie terrestre du port et l’horizon et pour rendre facile la communication avec les bateaux et le guidage de ces bateaux.

- Port maritime

Il possède une grande porte d’accès et deux portes de sortie pour l’embarquement des passagers. Il est composé de trois bureaux, une grande salle (embarquement), une toilette double (homme et femme) et une toilette pour handicapés.

Entre la porte d’accès et la porte d’entrée dans la salle d’embarquement, il y a un sas pour faciliter le contrôle des passagers.

Quelques poteaux en béton sont visibles dans la salle d’embarquement, ils servent de support pour la structure à l’étage.

Chaque salle est équipée de porte d'entrée et de fenêtre pour le confort des usagers.

#### ○ Capitainerie

Il y a deux accès pour rejoindre la capitainerie à l'étage : un escalier intérieur à partir du sas et un escalier extérieur donnant sur la véranda à l'étage.

L'étage est composé d'un bureau pour l'administration, une salle de réunion, la capitainerie proprement dite, une toilette double et un petit local pour pose café.

A l'étage, l'escalier intérieur donne directement à la salle de réunion, au bureau et à la toilette. Entre la salle de réunion et la capitainerie est placée une porte de communication, de même entre le bureau et la capitainerie.

Outre ces portes de communication, la capitainerie et la véranda sont reliées par deux portes ouvrant à l'extérieur pour faciliter la sortie en cas d'urgence.

A l'étage, un autre escalier extérieur donne accès à la terrasse qui n'est accessible que par le capitaine et son adjoint pour mieux visualiser le port et l'horizon.

### 5.4.6 Réseaux

#### 5.4.6.1 Installation électrique

Le réseau électrique existant au sein du port de Boigoma n'est pas aux normes. En effet, des améliorations sont prévues telles que la dotation de groupe électrogène pour assurer la continuité de l'électricité en cas de rupture de courant de la Sonède.

Le transformateur existant de puissance apparente de 250kVA est utilisé actuellement par le port et le ville de Boigoma.

Dans le cadre de l'amélioration de réseau électrique du port de Boigoma, il est nécessaire de prévoir le transformateur uniquement pour l'usage du port. Il serait nécessaire de soumettre une négociation avec la Sonede pour réaliser un réseau uniquement pour le port de Boigoma.

#### 5.4.6.2 Eclairage extérieur

En termes de l'électrification, des lampes halogènes de 500 W sont prévues le long de l'accès au quai et au niveau du quai, ce qui facilitera la visibilité en cas de travail de nuit.

Les installations prévues à cet effet sont :

- Un groupe électrogène dont la puissance reste à déterminer.
- Des poteaux de 12m de long qui seront implantés le long de l'accès au quai et le long de la route limitrophe avec le village de Boigoma jusqu'à la limite de la mosquée de Barakani.

#### 5.4.6.3 Le réseau d'adduction d'eau de port

La conduite existante actuelle est en PEHD de 30 piqués sur une conduite de PEHD de 40.

Ce réseau existant sera remplacé par une nouvelle conduite PEHD 75 qui assurera l'approvisionnement des bateaux et deux borne incendie.

En revanche, on projettera un autre réseau en PEHD 40 pour assurer le réseau de distribution des bâtiments et de l'atelier mécanique.

#### 5.4.6.4 Réseaux d'assainissement

Concernant les systèmes d'assainissement des eaux usées, il sera prévu sur les terre-pleins et les quais des systèmes de récupération des eaux pluviales : caniveaux et décanteur / séparateurs hydrocarbures de façon à ce que les eaux ruisselant sur les ouvrages ne s'écoulent pas directement en mer. La capacité des séparateurs et des caniveaux sera définie ultérieurement sur la base des données pluviométriques.

En revanche, il ne sera pas prévu de traitement des eaux grises et eaux noires des navires.

Les bâtiments seront reliés au réseau d'eau et d'électricité. Les eaux usées des bâtiments feront l'objet d'une filtration et d'un traitement avant rejet.

Des pentes seront mises en œuvre sur les surfaces afin de permettre l'écoulement des eaux.

#### 5.4.7 Accès terrestre

L'accès terrestre se fera par l'entrée actuelle du port.



Figure 8 - Accès terrestre (source : Google Earth)



Figure 9 - Portail et accès actuels (source : EGIS, 09/2021)

Des clôtures et un portail seront mis en place afin de sécuriser l'entrée depuis la route.

#### 5.4.8 Accès maritime

L'accès maritime est représenté dans les différents plan-masse en annexe et consiste à rallier la côte nécessaire de dragage vis-à-vis des fonds naturels de la passe existante. Il a été réduit à trois largeurs de navire, et de fait n'autorise pas le croisement.

Des bouées de balisage du chenal seront mises en place pour la signalisation, ainsi que deux mâts d'alignement permettant de localiser l'angle d'approche du le chenal dragué/dérocté. La signalisation maritime sera développée au stade APD et prévoit à ce stade :

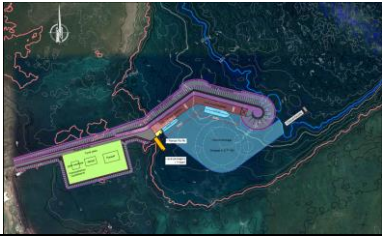
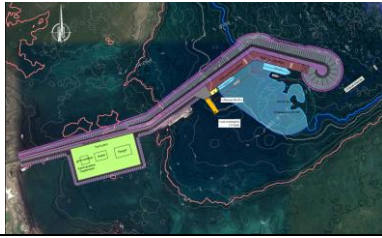
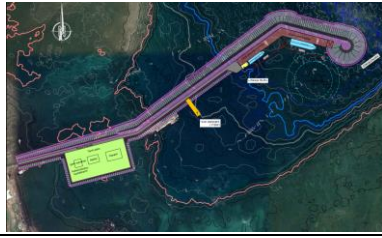
- 2 feux d'alignement
- une dizaine de bouées de balisage du chenal en première approche.

### 5.5 Solutions de plan masse envisagées

#### 5.5.1 Solutions envisagées en termes de plan masse

Plusieurs options de plan masse ont été envisagées à ce stade :

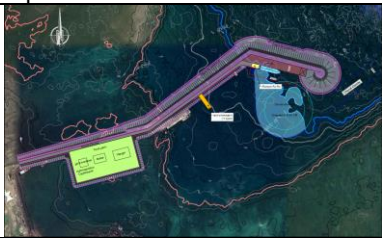
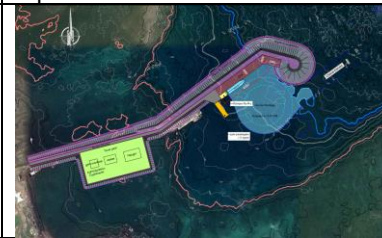
- Option 1 correspondant à l'adaptation de l'option 3 de l'étude de préféabilité, avec des volumes de déroctage significatifs en comparaison avec ce qui avait été identifié.
- Option 2 correspondant à un alternative proposant un compromis entre l'option 1 et 3, avec une extension de la digue (130m) et la réduction du volume de déroctage,
- Option 3, correspondant à une alternative excluant le déroctage et proposant une extension conséquente de la digue (280m).

Option 1	Option 2	Option 3
		
<p>Principales caractéristiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rénovation / élévation / élargissement de l'accès existant</li> <li>- 136m + 120 m de quai protégés par une digue de 275 m de long</li> </ul> <p>⇒ Environ 90 000m<sup>3</sup> de déroctage</p>	<p>Principales caractéristiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rénovation / élévation / élargissement de l'accès existant</li> <li>- Extension de la digue d'accès : environ 130m</li> <li>- 136m + 120 m de quai protégés par une digue de 275 m de long</li> </ul> <p>⇒ Environ 12 000 m<sup>3</sup> de déroctage</p>	<p>Principales caractéristiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rénovation / élévation / élargissement de l'accès existant</li> <li>- Extension de la digue d'accès : environ 280m</li> <li>- 136m + 120 m de quai protégés par une digue de 275 m de long</li> </ul> <p>⇒ Pas de déroctage (provisionné à minima)</p>

L'ensemble des plans sont présentés plus en détail en annexe.

A la demande de la Banque Mondiale, et devant la large augmentation de budget en comparaison avec celui établi lors des études de pré-faisabilité deux alternatives de l'option 2 ont été déclinées :

- Option 2 bis, avec suppression du quai passagers / pêche
- Option 2 ter avec suppression du quai marchandises

Option 2 bis	Option 2 ter
	
<p>Principales caractéristiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rénovation / élévation / élargissement de l'accès existant</li> <li>- Extension de la digue d'accès : environ 130m</li> <li>- 120 m de quai extensible dans le futur</li> </ul> <p>Environ 6 000m<sup>3</sup> de déroctage</p>	<p>Principales caractéristiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rénovation / élévation / élargissement de l'accès existant</li> <li>- Extension de la digue d'accès : environ 130m</li> <li>- 136m de quai moins bien protégé</li> </ul> <p>Environ 23 000m<sup>3</sup> de déroctage</p>

Ces alternatives ont été pré-estimées et les résultats sont présentés dans ce rapport en annexe. En revanche, ces alternatives ne font pas partie de notre analyse pour le choix de la solution retenue.

### 5.5.2 Vérification de l'agitation

Les conditions hydrodynamiques ont été estimées au droit des plans masses envisagés dans l'objectif premier de pré-dimensionnement de la digue de protection.

Après analyse bibliographique, deux niveaux d'eau distincts sont retenus (cf. note d'hypothèses) :

- Un niveau haut à +6.55mCM, correspondant à la somme d’une marée PMVE (Pleine Mer de Vive Eau), d’une surcote extrême de tempête, d’un setup lié au déferlement des vagues (wave setup), d’une surélévation du niveau des océans à l’horizon 2070 liée au changement climatique et d’une incertitude forfaitaire conservatrice.
- Un niveau bas à 0mCM, correspondant à une marée PBMA (Plus Basse Mer Astronomique) associée à une décote liée aux facteurs météorologiques.

Les conditions extrêmes les plus dimensionnantes pour les ouvrages de l’archipel des Comores correspondent aux épisodes cycloniques. La période de retour 50 ans a été retenue dans la note d’hypothèses. Le Tableau 1 synthétise les conditions retenues de houle et vent au large pour 8 secteurs : Nord, Nord-Est, Est, Sud-Est, Sud, Sud-Ouest, Ouest et Nord-Ouest.

Tableau 1. Conditions retenues de houle et vent au large de période de retour 50 ans (source : BMT-ARGOSS)

Secteurs	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Scénarios	1	2	3	4	5	6	7	8
Vent [m/s]	22.0	23.2	21.8	24	24.5	22	20.5	21
Hm0 [m]	6.5	6.6	7.3	6.8	5.3	5.1	5.4	6.1
Tp [s]	10.3	11.2	13.1	12.9	11.7	11.5	10.8	10.3
Dir. [°N]	0	45	90	135	180	225	270	315

Un modèle numérique via le logiciel TOMAWAC a été construit afin de propager la houle du large à la côte et d’estimer les conditions hydrodynamiques sur la zone d’étude (cf. Annexe E). Par combinaison des niveaux d’eau et des secteurs de provenance des houles et vent retenus, 16 scénarios sont simulés au total. Vis-à-vis de l’orientation de la zone de Fomboni, une partie des résultats pour les secteurs les plus dimensionnants (Nord, Nord-Est et Est) est présentée au Tableau 2. L’ensemble des résultats est disponible en Annexe E.

Tableau 2. Résultats des conditions hydrodynamiques dimensionnantes (période de retour 50 ans) estimées au droit des plans masses envisagés

	Niveau d'eau (mCM)	Ouvrage – Option 1		Ouvrage – Option 2		Ouvrage – Option 3	
		Hm0 (m)	Tp (s)	Hm0 (m)	Tp (s)	Hm0 (m)	Tp (s)
Scénario 1 (Nord)	6,55	4,81	12,0	5,06	12,0	5,26	12,0
	0,00	3,68	11,9	4,13	11,9	4,86	14,2
Scénario 2 (Nord-Est)	6,55	6,32	12,0	6,65	12,1	7,13	12,3
	0,00	3,91	12,1	4,55	12,0	5,57	14,1
Scénario 3 (Est)	6,55	4,44	12,4	4,58	12,3	4,89	12,3
	0,00	3,85	12,0	4,38	11,9	4,98	14,8

L’analyse des valeurs maximales extraites au-devant des options d’aménagement envisagées à Fomboni montre que le scénario 2 de secteur Nord-Est est le plus dimensionnant avec les maximums suivants :

- Option 1 : Hm0 = 6.32m et une période associée Tp = 11.99s
- Option 2 : Hm0 = 6.65m et une période associée Tp = 12.11s
- Option 3 : Hm0 = 7.13m et une période associée Tp = 12.29s

Les valeurs le long de la digue et de la jetée existante sont également extraites et présentées en Annexe E.

Après intégration des plans masses envisagés dans le modèle numérique, les résultats obtenus et les comparaisons avec l'état actuel permettent de conclure une diminution significative de l'agitation en arrière des ouvrages, quelle que soit l'option de plan masse vis-à-vis de l'état actuel de par leur positionnement, et ce pour les 3 secteurs les plus pénalisants (NE, N et E).

L'agitation globale moyenne est diminuée de l'ordre de 3 à 4m sur la zone protégée par l'ouvrage, et ce dans le cas d'un événement extrême de période de retour 50 ans. Les ouvrages n'ont pas d'impact significatif sur l'agitation au-devant de la jetée existante côté extérieur (protection annexe) pour les 3 secteurs les plus pénalisants (NE, N et E).

Du fait de sa position et emprise dans la passe naturelle, l'option 1 permet de réduire plus efficacement l'agitation à l'entrée de la zone portuaire ainsi qu'à l'intérieur au droit des quais en comparaison avec l'option 3 (réfraction, déferlement bathymétrique). Les hauteurs significatives de houle Hm0 au droit de l'ouvrage et du musoir sont également plus faibles pour l'option 1. L'option 2 montre des résultats intermédiaires entre les options 1 et 3.

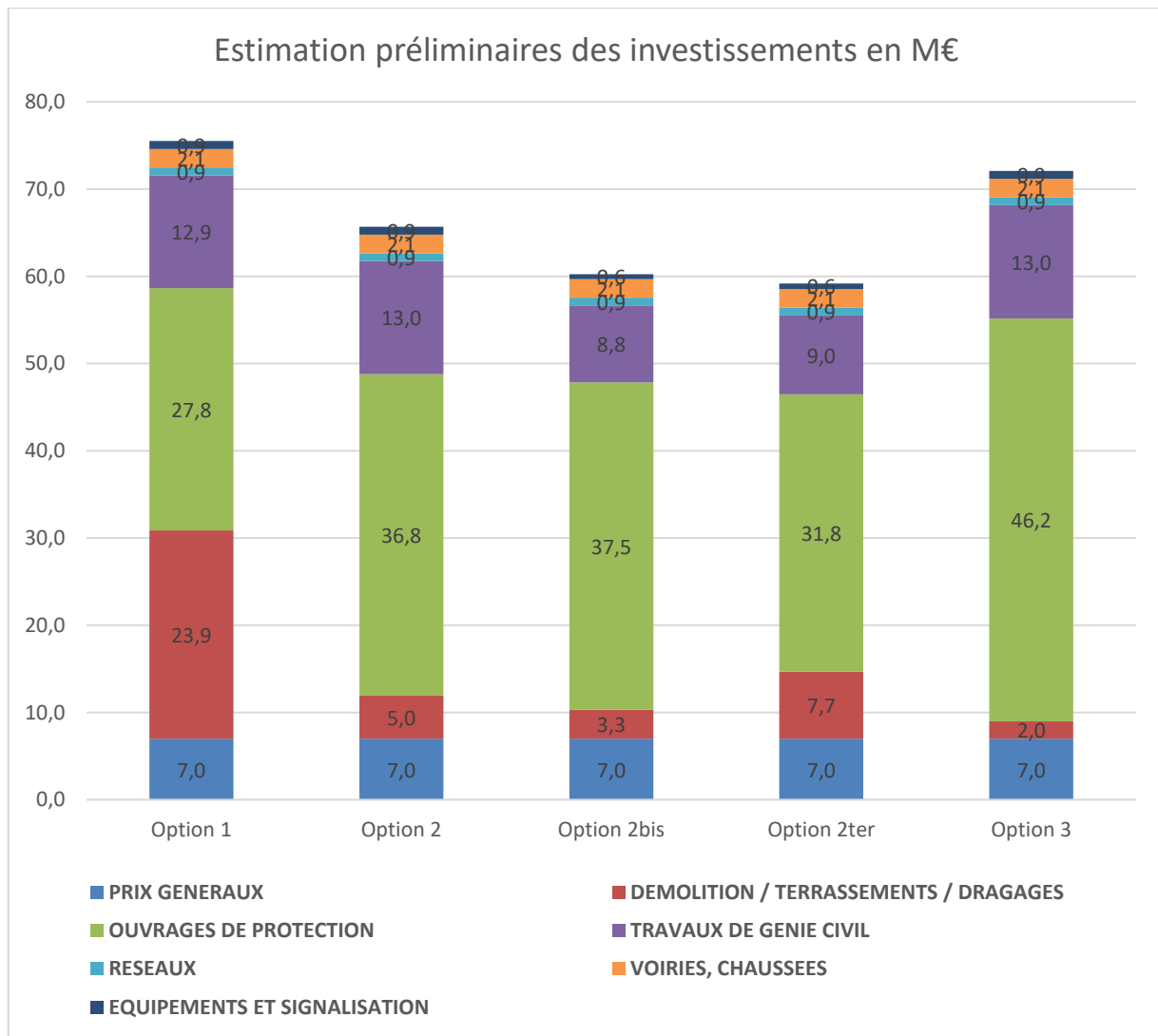
### 5.5.3 Comparatif des options

#### 5.5.3.1 Comparatif financier

Ici, et compte-tenu de l'importance du niveau d'investissement pour le financement du projet, l'estimation financière des différentes solutions ont été principalement utilisée pour la comparaison des solutions.

Le graphique ci-joint représente les investissements pour chaque option développée :

Projet Connectivité Inter-Iles des Comores (PICMC)						
Etudes pour l'avant-projet détaillé des travaux d'extension du port de Fomboni et d'aménagement des sites de débarquement secondaires à						
N°	Désignation des prix	Dépenses				
		Option 1	Option 2	Option 2bis	Option 2ter	Option 3
<b>CHAPITRE 1 : PRIX GÉNÉRAUX</b>						
	Total Chapitre 1	7 000 000 €	7 000 000 €	7 000 000 €	7 000 000 €	7 000 000 €
<b>CHAPITRE 2 : DEMOLITION / TERRASSEMENTS / TRAVAUX PRÉPARATOIRES</b>						
	Total Chapitre 2	23 875 000 €	4 975 000 €	3 325 000 €	7 675 000 €	1 975 000 €
<b>CHAPITRE 3 : OUVRAGES DE PROTECTION</b>						
	Total Chapitre 3	27 783 500 €	36 814 000 €	37 525 000 €	31 809 500 €	46 184 500 €
<b>CHAPITRE 4 : TRAVAUX DE GENIE CIVIL</b>						
	Total Chapitre 4	12 922 500 €	12 960 000 €	8 812 500 €	9 025 000 €	12 997 500 €
<b>CHAPITRE 5 : RESEAUX</b>						
	Total Chapitre 5	900 000 €	900 000 €	900 000 €	900 000 €	900 000 €
<b>CHAPITRE 6 : VOIRIES, CHAUSSEES</b>						
	Total Chapitre 6	2 123 000 €	2 123 000 €	2 123 000 €	2 123 000 €	2 123 000 €
<b>CHAPITRE 7 : EQUIPEMENTS ET SIGNALISATION</b>						
	Total Chapitre 7	908 000 €	908 000 €	559 000 €	648 000 €	908 000 €
	<b>Total</b>	<b>75 512 000 €</b>	<b>65 680 000 €</b>	<b>60 244 500 €</b>	<b>59 180 500 €</b>	<b>72 088 000 €</b>
		<b>Aléas AACE Class 4 -15/+30%</b>				
	Estimation basse	64 185 200 €	55 828 000 €	51 207 825 €	50 303 425 €	61 274 800 €
	Estimation haute	98 165 600 €	85 384 000 €	78 317 850 €	76 934 650 €	93 714 400 €
	Estimation basse	\$ 74 454 832	\$ 64 760 480	\$ 59 401 077	\$ 58 351 973	\$ 71 078 768
	Estimation haute	\$ 113 872 096	\$ 99 045 440	\$ 90 848 706	\$ 89 244 194	\$ 108 708 704



Le détail de cette estimation est fourni en annexe.

Ainsi, le classement des alternatives en fonction du seul montant d'investissement estimé est le suivant :

Alternative	Rang
Option 2 <sup>ter</sup>	1 (moins disant)
Option 2 <sup>bis</sup>	2
Option 2	3
Option 3	4
Option 1	5

Parmi 5 options, les profils de risque financier sont différents :

- **En premier ordre, il est constitutif de l'incertitude concernant les données disponibles** (bathymétrie, géotechnique principalement). Ainsi :
  - Pour l'option 1, l'aléa principal est lié aux travaux d'approfondissement de l'accès maritime (environ ~30% du CAPEX estimé) dont le cout varie principalement selon la nature des matériaux à draguer et dérocter (lié incertitude géotechnique), puis dans une moindre mesure en fonction des volumes d'approfondissement (lié à l'incertitude bathymétrique),
  - Pour l'option 3, l'aléa principal est lié à la disponibilité des matériaux (environ 25% du CAPEX estimé est lié directement à l'approvisionnement en matériaux de carrière), qui varie principalement en

fonction de la qualité et de la distance des sites d'extraction, puis dans une moindre mesure en fonction des volumes d'approvisionnement (lié à l'incertitude bathymétrique). Le Consultant a cherché à limiter cette exposition en privilégiant la réalisation in-situ de blocs artificiels.

- Pour l'option 2, on cherche à limiter l'exposition à chacun des risques principaux des options 1 et 3. Ces risques étant majoritairement contraposés, on limite ainsi l'exposition globale du projet au risque financier. Ceci est également valable pour les options 2<sup>bis</sup> et 2<sup>ter</sup>.

- **En second ordre, il est constitutif des incertitudes de marché.** outre les incertitudes liées aux données et à l'appréciation quantitative des travaux), le Consultant signale que pour ce type de travaux, l'écart type généralement constaté en phase d'appel d'offre sur ce type de prix unitaires est très important. Ainsi, on peut imaginer que le classement des options puisse être différent de celui retenu ici sur la base des mêmes quantités. Encore une fois, l'option 2 permet de minimiser l'impact des écarts types relatifs aux principaux prix unitaires car elle est associée à un panachage plus équilibré des natures de travaux.

### 5.5.3.2 Comparatif opérationnel

**Sur le plan des opérations terrestres,** de la manutention et de flux terrestre, l'option n°1 présente la plus courte distance entre les quais de chargement et / déchargement et les premières zones de stockage. Les cycles de brouettage entre le quai et le terre-plein s'en trouvent être optimisés. A contrario, l'option n°3 est elle associée à un cycle de brouettage d'environ 1,5km. L'option n°2 est intermédiaire. Le Consultant insiste sur l'importance de ce critère, car le port ne dispose pas de terre-plein en arrière quai. Pour permettre d'atteindre les objectifs de trafic de marchandise, l'efficacité des cycles d'évacuation des quais vers la zone de stockage est impérative.

**Sur le plan des opérations maritimes,** l'option n°1 impose le transit des navires à plus fort tirant d'eau (i.e. les navires de 2600 TPL, cf. note d'hypothèse) à travers un court chenal d'environ 150m de long avant l'évitage, alors que les options n°2 et n°3 permettent un accès direct au cercle d'évitage. Un chenal d'accès reste délimité dans l'ensemble des options pour prévenir l'échouage sur les récifs au Sud-Ouest du port. Au global, les différences d'accessibilités maritimes entre les options sont minimes. Etant donnée la longueur de chenal, même en interdisant le croisement des navires, aucune attente significative ne devrait être générée en entrée ou en sortie de chenal. On peut donc considérer que les options principales sont équivalentes sur ce point.

**Sur le plan des opérations en bord à quai,** les options 2<sup>bis</sup> et 2<sup>ter</sup> possèdent un linéaire inférieur de 136 et 120m linéaire respectivement, avec un seul et unique quai multi-activités. Ainsi, la quantité de marchandise à même de transiter annuellement à Fomboni est très limitée. De plus en considérant que les cargos sont prioritaires sur les autres trafics, l'interférence avec le poste Ro-Ro grève la possibilité de mettre en place des lignes de ferry régulières. Enfin, pour l'option 2<sup>ter</sup>, le raccourcissement de la digue Ouest serait associé à une agitation en bord de quai plus fréquente et plus importante, à même de perturber très significativement les cadences de manutention. Pour les options 1, 2 et 3, sont équivalentes sur ce point, sous réserve que les opérations terrestres soient correctement organisées pour permettre l'évacuation et l'acheminement rapide des marchandises depuis et vers le bord à quai.

### 5.5.3.3 Comparatif des potentiels de développement

Chaque option peut théoriquement faire l'objet d'une extension future ou d'une augmentation capacitaire sur l'un ou l'autre des paramètres principaux permettant d'accroître les trafics (approfondissement maritimes, gestion de trafic routier, augmentation de surface de terre-plein, moyens de manutention etc...) Néanmoins, il est bien plus simple d'envisager l'extension de l'option 3 (construction de nouveaux quais perpendiculaires, approfondissements localisés si prévus à l'avance) que pour les options 1 et 2 bien plus contraintes géométriquement. Pour l'option 2<sup>bis</sup>, il reste possible d'envisager de recréer le quai qui n'a pas été construit ultérieurement, mais le phasage de l'opération serait très complexe. Pour l'option 2<sup>ter</sup>, l'extension du port nécessiterait la destruction partielle de l'ouvrage de protection au niveau du musoir, ce qui imposerait probablement la fermeture du port pendant de longs mois.

### 5.5.3.4 Synthèse de la comparaison des options

Thème \ Option	Option 1	Option 2	Option 2 <sup>bis</sup>	Option 2 <sup>ter</sup>	Option 3
<b>Financier<sup>1</sup></b>	---	+	++	++	
Montant des investissements	5 (76M€, +28%)	3 (66M€, +11%)	2 (60M€, +2%)	1 (59M€)	4 (72M€, +22%)
Profils de risque	--	~	~	~	--
Liés au données	-	~	~	~	-
Liés au marché	-	~	~	~	-
<b>Technique</b>	++	++	----	-----	+++
Opérations terrestres	+	~	--	--	-
Opérations maritimes	~	~	-	--	+
Opération en bord à quai	+	+	-	--	+
Potentiel de développement	~	+	~	--	++

#### 5.5.4 Recommandation du Consultant pour la sélection de l'option

Techniquement, l'option 3 se dégage clairement sur l'ensemble des aspects, sauf si les opérations terrestres ne sont pas correctement organisées. Les options 1 et 2 sont comparables. Par ailleurs, il n'est pas raisonnable de retenir les options 2bis et 2ter étant donnés les enjeux de développements actuels.

Ainsi, parmi les options restantes, étant donnés les enjeux financiers, le Consultant recommande de retenir l'option qui reste *a priori* la moins onéreuse, c'est-à-dire **l'option n° 2**. Cette consacre le principe de la recherche d'un compromis entre l'ampleur des volumes de matériaux d'apport et des travaux d'approfondissement de l'accès maritime. **L'implantation et la géométrie sont amenées à être affinées en phase d'Avant Projet Définitif.**

<sup>1</sup> Estimation centrale, au niveau AACE Level 4, soumis à réserve pour le classement.

## 6. PREDIMENSIONNEMENT DE LA SOLUTION

### 6.1 Présentation de la solution dimensionnée en APS

On parlera ici et dans la suite de la solution brise-lames pour les deux nouvelles digues, et de la solution digue d'accès pour le remplacement de la digue existante.

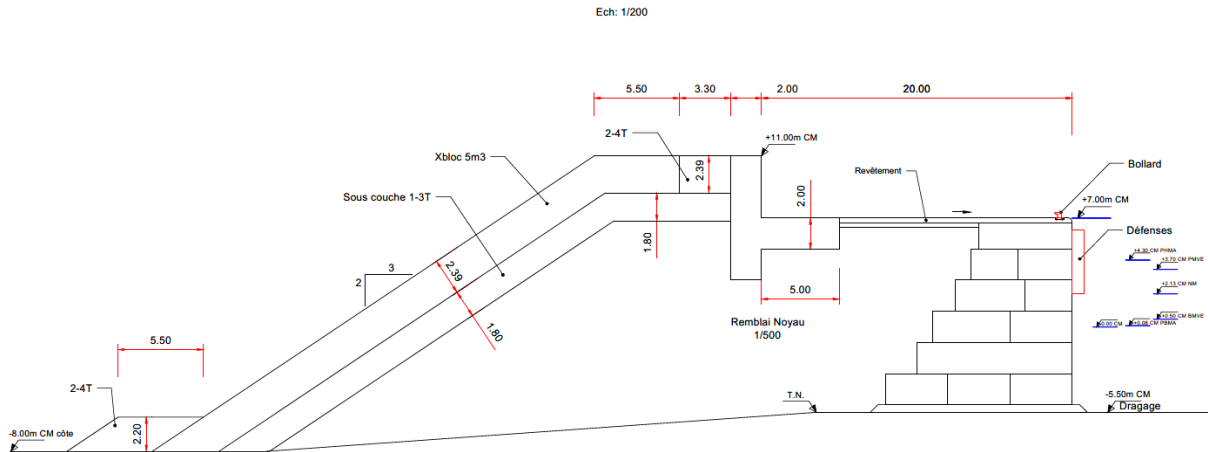


Figure 9 – Coupe type solution brise lame en zone courante

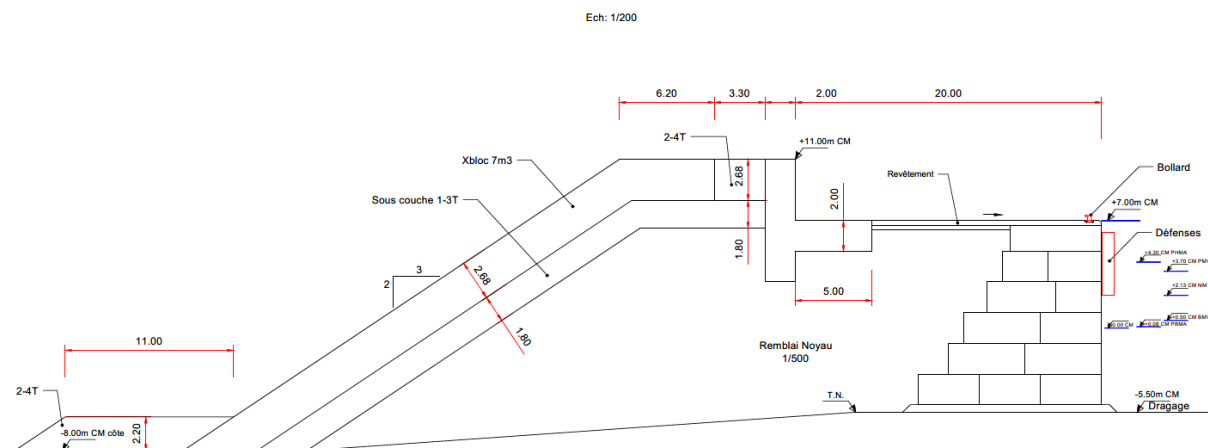


Figure 10 – Coupe type solution brise lame au musoir et zones singulières

La solution du brise lames consiste en une demi digue à talus en blocs artificiels et enrochements sur sa partie extérieure. La carapace est arrêtée par un mur en béton armé. Le corps de digue est constitué d'un noyau en 1-500kg.

Sur la partie intérieure, adossée à la digue à talus on trouve un quai constitué de blocs de bétons rectangulaire empilés les uns sur les autres. Ces blocs sont remplis de béton. Ils ne sont pas armés.

La partie circulaire du quai se trouve entre (et sur la semelle) du mur et les quais blocs.

Ech: 1/200

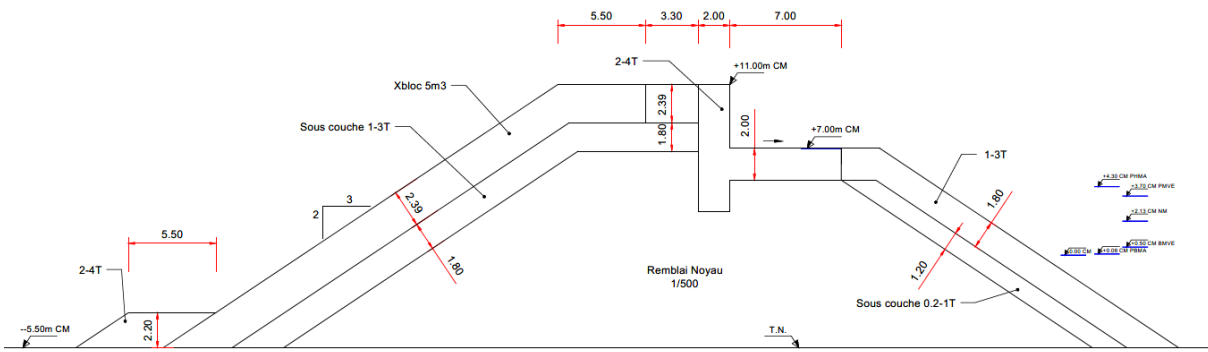


Figure 11 – Coupe type solution digue d'accès en extrémité

Ech: 1/200

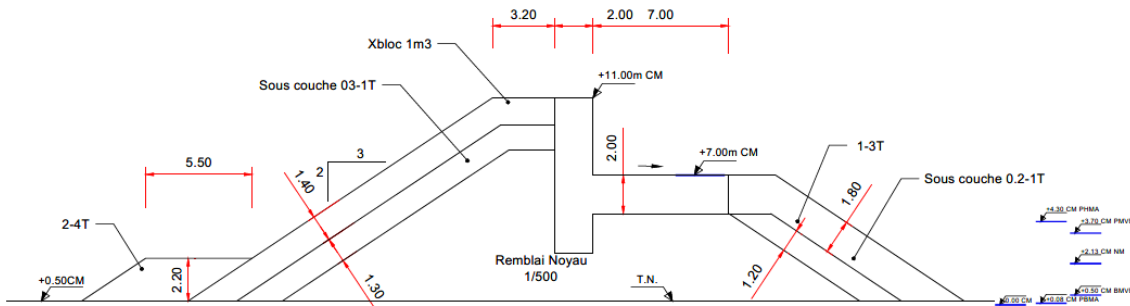


Figure 12 – Coupe type solution digue d'accès

La digue d'accès est considérée comme totalement démontée puis sur la même emprise, est remontée une solution dans le même esprit, à savoir une digue à talus en réutilisant les matériaux. Cette digue à talus est constituée de blocs artificiels et enrochements sur sa carapace. La carapace est adossée à un mur en béton armé. La semelle du mur est conçue de manière à pouvoir être circulaire.

Sur la partie intérieure on retrouve une carapace constituée de blocs d'enrochements.

## 6.2 Pré-dimensionnement des protections maritimes du brise lame et de la digue d'accès

### 6.2.1 Présentation de l'ouvrage

Afin d'assurer la bonne tenue du brise lame et la digue d'accès, des personnes, activités et ouvrages en arrière, une protection a été définie afin d'assurer la stabilité et de limiter les franchissements.

La synthèse des protections brise lame et digue d'accès est présentée ci-dessous.

Paramètres	Brise lame		Digue d'accès	
	Section courante	Musoir	Section courante	Extrémité
Cote en pied*	-8mCM	-8mCM	-0.5mCM	+0.5mCM
Pente de talus (h/v)	3/2	3/2	3/2	3/2
Altimétrie	+11mCM	+11mCM	de l'enracinement à +7 mCM	+7mCM
Carapace	Xbloc® 5m³	Xbloc® 7m³	Xbloc® 3m³	Xbloc® 1m³
Sous couche	1-3t	1-3t	0.3-1t	0.3-1t
Butée de pied	2-4t	2-4t	2-4t	5.5-7t
Noyau	1-500kg	1-500kg	1-500kg	1-500kg

Paramètres	Brise lame		Digue d'accès	
	Section courante	Musoir	Section courante	Extrémité
Partie intérieure	-	-	1-3t	1-3t
Assise granulaire	Sera défini en APD	Sera défini en APD	Sera défini en APD	Sera défini en APD

Tableau 3 : Synthèse des paramètres géométrique des protections maritimes du brise lame et de la digue

A ce stade, il est retenu des cotes en pied soit enveloppes soit moyennes avec :

- Brise lame : cote moyenne retenue selon les options 1,2 et 3 envisageables. A l'issue de l'APS qui confirmera l'une des options ou d'une option hybride, le dimensionnement sera à recalculer,
- Dignes d'accès : cote enveloppe retenue,

L'ensemble de ce pré-dimensionnement devra faire l'objet de vérification, notamment :

- les essais et études géotechniques pour vérifier la stabilité de l'ouvrage
- Une modélisation physique pour vérifier la stabilité hydraulique des différentes parties de l'ouvrage.

## 6.2.2 Etats de mer pour les calculs de conception du brise lame/digue d'accès

Sur la base des analyses de houle, de propagation et d'agitation réalisés sont retenus à ce stade les états de mer suivants (Cf. notamment Note d'hypothèses au §4.4.5).

Dans l'ensemble des études, la houle est considérée comme frontale par rapport aux ouvrages de la digue.

Sur la base des bathymétries retenus, la pente des fonds considérés est de 1%.

### 6.2.2.1 Etats de mer pour les calculs de conception de la carapace et de la butée de pied

Le cas dimensionnement pour les protections de type carapace ou butée de pied du brise lame et de la digue d'accès reste la houle cyclonique de période de retour cinquantennale.

Horizon	Type et période de retour de la houle (ans)	Hm0* (m)	Tp (s)	Niveau de la mer (m NGR)		Phase de calcul	Obtention de la houle de design
				Niveau bas	Niveau haut		
50 ans	50 ans (cyclonique)	6.46	11.95	+0.00	+6.55	Définitive	A ce stade, la houle considérée correspond à une houle entre l'option 1 et 2 et pourra être affinée selon l'option retenue. La houle de design est récupérée en pied devant l'ouvrage

Tableau 4 : Etat de mer de conception des protections maritimes du brise lame

Horizon	Type et période de retour de la houle (ans)	Hm0* (m)	Tp (s)	Niveau de la mer (m NGR)		Phase de calcul	Obtention de la houle de design
				Niveau bas	Niveau haut		
50 ans	50 ans (cyclonique)	3.24 4.72	11.8	+0.00	+6.55	Définitive	Issue de la propagation des houles La houle de design est récupérée en



Pour les zones singulières tels que angles et musoir, le Guide de conception - Xblocs® recommande une majoration de 25%.

Le nombre de transitions entre les blocs sera limité pour éviter des points de faiblesse et les baisses de cadence en phase travaux. Aussi, afin de respecter des transitions en Xbloc® de pas plus de 2 tailles de blocs (Cf. Guide de conception - Xblocs®), certaines tailles de blocs retenues pourront être supérieures à la taille de calcul.

L'épaisseur est calculée comme suit :  $e = n * k_D * V^{1/3}$

Avec :

- N : nombre de couches,
- $k_t$  : coefficient d'épaisseur de couche (égal à 1.4 pour les Xblocs®, Cf. Tableau 3.47 du Rock Manual)
- V : volume du bloc (m³)

	Brise lame		Digue d'accès	
	Section courante	Musoir	Section courante	Extrémité
Poids théorique du bloc (t)	11.66	15.55	4.55	1.43
Volume théorique du bloc (m³)	4.76	6.35	1.86	0.58
Volume retenu (m³)	5.00	7.00	3.00	1.00
Epaisseur (m)	2.39	2.68	1.40	2.02

Tableau 6 : Conception de la carapace du brise lame et de la digue d'accès

### 6.2.4 Stabilité des sous couches

Les blocs artificiels exigent que la sous-couche ait une dimension spécifique afin notamment de garantir un transfert satisfaisant des charges, d'obtenir une perméabilité suffisante et d'assurer la stabilité des blocs des différentes couches.

Pour les blocs artificiels imbriqués sur une seule couche tels que le Xbloc®, les limites nominales de blocs de sous couche doivent se situer dans les limites fixées dans le guide de conception Xbloc® et précisé dans la NHY au §7.2.3.

Paramètres	Brise lame		Digue d'accès	
	Section courante	Musoir	Section courante	Extrémité
Volume retenu du Xbloc® (m³)	5.00	7.00	3.00	1.00
Catégorie sous couche (t)	1-3	1-3	0.3-1	0.3-1
Epaisseur arrondi (m)	1.80	1.80	1.80	1.80

Tableau 7 : Conception de la sous-couche du brise lame et de la digue d'accès

### 6.2.5 Stabilité de la butée de pied

En première approche, nous considérerons que la butée de pied ne sera pas ensouillée car le sol d'assise sera directement la roche basaltique affleurante (Cf. note d'hypothèses 7.2.4).

D'après les recommandations du guide de conception Xbloc® la butée de pied sur un sol rocheux doit être comme illustrée ci-dessous. On ne prévoit pas en première approche de tapis anti affouillement car à ce stade-là le sol est considéré comme rocheux.

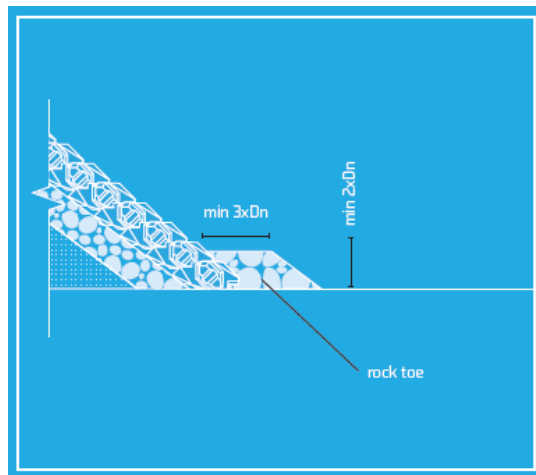


Figure 15 : Coupe de principe de butée de pied - Guide de conception Xbloc®

Le dimensionnement théorique de la de la butée de pied a été appréhendé à partir des formules de HUDSON aménagé SOGREAH, DE GERDING et du ROCK MANUAL (tableau 5.46). Elles sont développées dans la NHY au §7.2.4.

L'épaisseur de la butée sera de 2Dn50 avec Dn50 le diamètre nominal moyen conformément aux recommandations pour les Xbloc®. La largeur de 5Dn50 dans les sections courantes et de 10Dn50 pour les musoirs.

Ces valeurs sont prises comme telles à ce stade mais nécessiterons d'être infirmées/confirmées par des analyses géotechniques dans la zone et des modélisations physiques.

Paramètres	Brise lame		Digue d'accès	
	Section courante	Musoir	Section courante	Extrémité
Poids théorique (t)	1.71	1.71	-	6.29
Catégorie butée de pied retenu (t)	2-4	2-4	2-4	5.5-7
Epaisseur arrondi (m)	2.20	2.20	2.20	2.65
Largeur arrondi	5.50	11	5.50	6.65

Tableau 8 : Conception de la butée de pied du brise lame et de la digue d'accès

### 6.2.6 Franchissement et stabilité de la crête

La détermination de la cote d'arase du brise lames e fait de manière à respecter le critère fixé pour empêcher les franchissements, à savoir 10l/s/ml pour une houle cinquantennale (NHY §7.1). La cote d'arase retenue est de +11mCM.

La crête du brise lame se compose comme suit :

- Berme en Xblocs® composée de 3 Xblocs selon les recommandations du guide de conception Xbloc® ce qui équivaut à 2.28D avec D hauteur d'un bloc. le bloc retenu reste le même que celui du talus,
- Berme en enrochements : composée de 3 blocs selon les règles de l'art. Cette berme est une disposition constructive pour faciliter le calage contre le mur de couronnement et pour limiter d'autant plus les franchissements sur les quais. Le calcul a été fait en se basant sur la formule d'estimation de vitesse d'une vague franchissante sur la berme et le talus arrière (Cf. tableau 5.55 du Rock Manual). Le calcul du Dn50 se fait via la formule de Pylarzick (p569 et 653 du Rock Manual)

Paramètres	Brise lame		Digue d'accès	
	Section courante	Musoir	Section courante	Extrémité

Berme Xbloc®	Volume retenu du Xbloc® (m³)	5	7	1	3
	Largeur arrondie (m)	5.50	6.20	4.60	3.20
Berme enrochements	Dn50 théorique (m)	2.16	2.16	2.20	2.65
	Catégorie retenue (t)	2-4t	11	5.50	6.65
	Dn50 découlant de la catégorie (m)	1.06	1.06	A ce stade prise identique à celle du brise lame	
	Largeur arrondie (m)	3.30	3.30		

Tableau 9 : Conception de la berme du brise lame et de la digue d'accès

Pour la digue d'accès, ce sont les dispositions constructives et d'exploitation qui ont fixé la côte d'arase. La digue est actuellement à la cote de +5mCM notamment pour permettre l'enracinement à l'existant. Dans notre cas, nous prévoyons une digue à +11mCM qui redescend en pente douce sur l'existant (qui culmine à +5 mCM).

### 6.2.7 Stabilité du talus arrière

Sur les parties très franchies, il est mis la même protection que sur le talus avant. Cela concerne les brises lames et la digue d'accès sur son extrémité.

Pour la digue d'accès en section courante, il est prévu la réutilisation de la protection arrière actuelle.

### 6.2.8 Stabilité de l'assise des quais blocs

L'assise des quais blocs sera définie en phase APD.

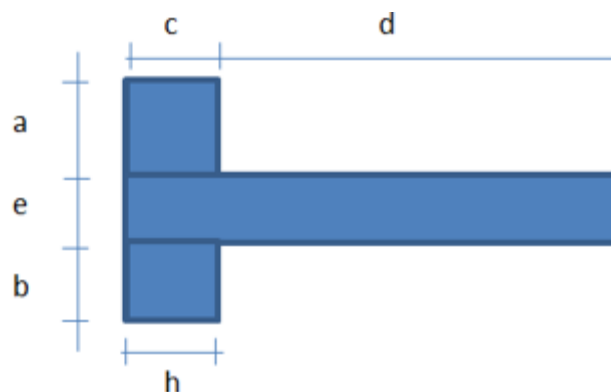
### 6.2.9 Stabilité au grand glissement

Compte tenu des sols supposés en présence de type rocheux et de la géométrie de la digue, il n'y a pas à ce stade de risque au grand glissement. Des sondages géotechniques sont à prévoir pour confirmer le type de sol et ainsi réaliser si nécessaire une analyse au grand glissement.

## 6.3 Pré-dimensionnement du mur de couronnement

### 6.3.1 Présentation de l'ouvrage

Le mur chasse mer a la géométrie et les dimensions suivantes :



<b>Géométrie</b>	
a	4 m
b	2 m
c	2 m
d	5 ou 7 m
e	2 m
h	2 m
Htot=	8 m

Le mur est constituée d'une semelle, une bêche et un voile. La semelle fait 5 m sur les parties comprenant un quai et 7m sur les parties sans quai, ceci afin de permettre une circulation aisée dans tous les cas.

Le mur est fondé sur le noyau via un géotextile et le béton de propreté.

### 6.3.2 Hypothèses de conception, actions, chargements et combinaisons

Les hypothèses de conception, les actions et les combinaisons sont définies en dans la NHY.

Les hypothèses non précisées dans la NHY sont développées ci-dessous avec un angle de frottement de 45° pour noyau qui sert de fondation au mur. Les caractéristiques du matériau sont basées sur les caractéristiques retenues sur le projet de la NRL à la Réunion avec le même matériau

Ils s'appliquent dans le cas du mur les efforts suivant :

- Action permanente : poids propre, poussée/butée des terres, butée créée par le bêche,
- Action variable : action hydrodynamique avec effort et sous pression calculée selon la formule de PEDERSEN
- Action variable : Charges d'exploitation non considérées (favorables à la stabilité)

Les vérifications sont menées à l'ELU avec une pondération du poids du mur et des efforts de butée de 1 (favorable) et une pondération des efforts hydrauliques de 1.4

### 6.3.3 Vérifications

#### 6.3.3.1 Stabilité externe

##### Glissement

Voir détail au §6.4

##### Non renversement : limitation de l'excentrement.

Voir détail au §6.4

#### 6.3.3.2 Stabilité interne

La densité de ferrailage est estimée approximativement à 120kg/m<sup>3</sup> (basée sur REX).

## 6.4 Pré-dimensionnement de l'ouvrage en quai bloc

### 6.4.1 Présentation de l'ouvrage

Le quai est constitué de quais blocs. Les quais blocs sont des blocs béton empilés les uns sur les autres. Ils sont non armés. Les blocs règnent de -5m NCM à +6.70m CM. Ils sont fondés sur une assise granulaire de 50cm. Une couche de roulement de 30cm d'épaisseur et de masse volumique=24 KN/m<sup>3</sup> est prise en compte sur la largeur du quai.

Chaque rangée de bloc est divisée en 2 ou 3 blocs afin de limiter le poids maximal à manutentionner 64t, à l'exception du bloc du haut qui pourra être coulé en place. Tous les blocs présentent un largeur de 3m .

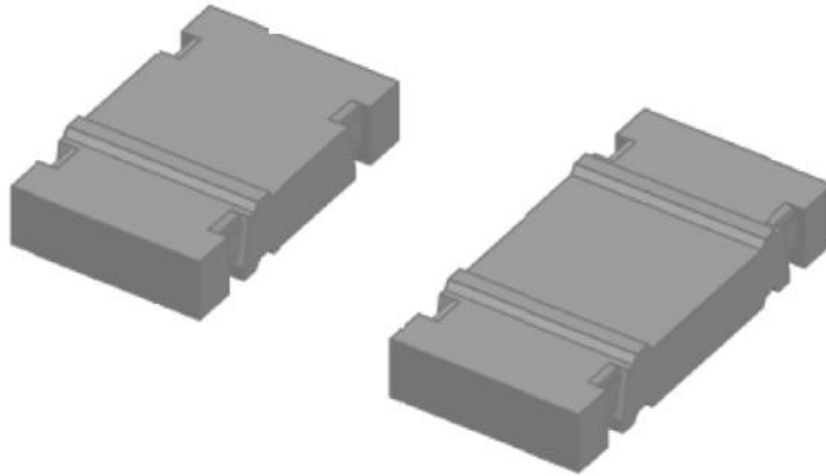


Figure 16 : Exemple de quais blocs\*

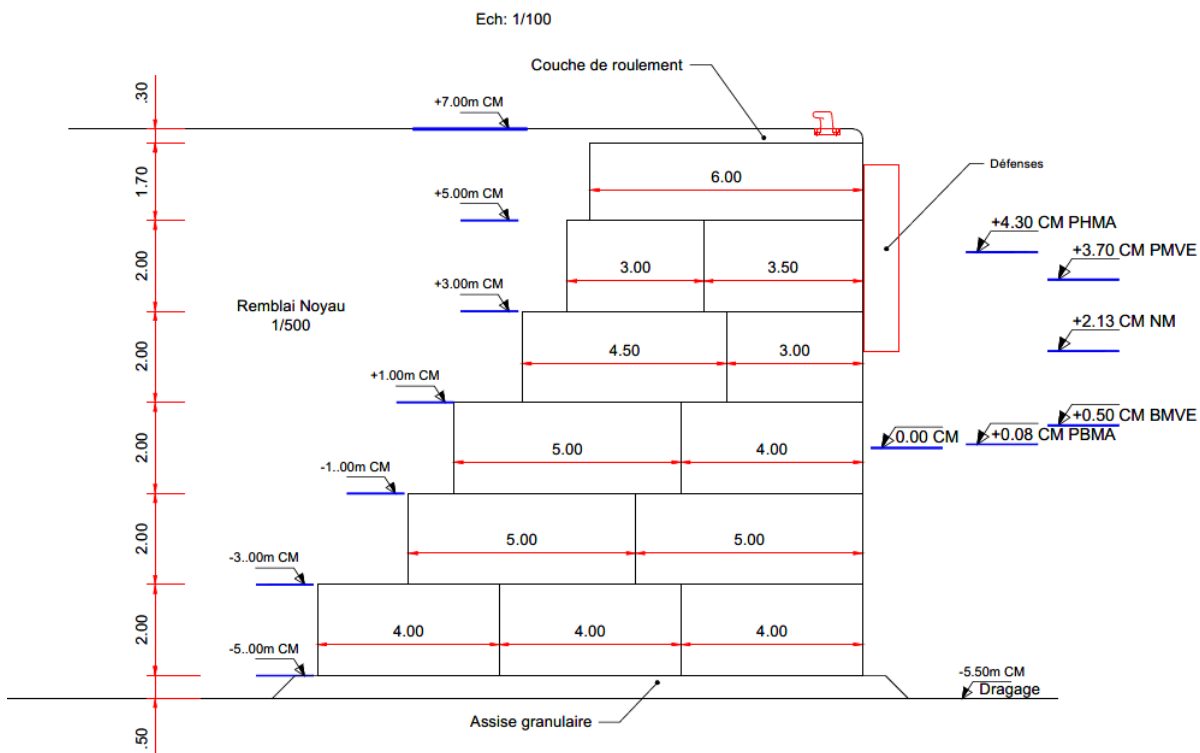


Figure 17 : Coupes types des quais blocs

#### 6.4.2 Hypothèses de conception, actions, chargements et combinaisons

Le calcul du quai-blocs est réalisé avec un outil Excel interne. On s'appuie sur les normes NF P94-261 Fondations superficielles et NF-P94-282 ouvrages de soutènement.

Les actions qui concernent le calcul des quais blocs sont :

- Action permanente : poids propre, poussée des terre et action de l'eau avec
  - Niveau d'eau = 6.55m CM côté terre avec un différentiel =2m
  - Inversement
- Action variable : charges de pré stockage : 2t/m2 Sstoquai (ELS),

- Action variable : charges roulantes : Reach Stackers : Charges ponctuelles 2\*500kN espacées de 3m (représentant l'essieu avant),

Les hypothèses non précisées dans la NHY sont développés ci-dessous :

- Caractéristique du matériau (basée sur les caractéristiques retenues sur le projet de la NRL) la Réunion avec le même matériau) avec :
  - Masse volume sèche : 17,
  - Masse volumique humide : 20.5,
  - Angle de frottement : 45°
- Coefficient de frottement aux interfaces avec : Le coefficient de frottement  $\mu$  considéré à l'interface entre le bloc inférieur et l'assise correspond à la valeur maximale que peut atteindre le rapport H/V sans que le bloc se déplace significativement (H étant la force horizontale appliquée et V la force verticale). Les coefficients de frottement retenus aux interfaces sont les suivants :
  - Coefficient de frottement béton lisse / assise granulaire:  $\mu_{\text{béton/assise}} = \tan\left(\frac{2}{3}\varphi_{\text{ballast}}\right) = 0.6$ ,
  - Coefficient de frottement entre surfaces de béton lisse :  $\mu_{\text{béton/béton}} = 0.50$  ;

### 6.4.3 Vérifications

#### 6.4.3.1 Glissement

Elle quantifie à partir d'un facteur de sécurité la résistance d'un bloc donné à glisser par rapport à sa base. On rappelle qu'un facteur de sécurité est défini par :  $F.S. = \frac{\text{force résistante}}{\text{force déstabilisante}}$ .

Le facteur de sécurité envers le renversement du bloc i est calculé de la façon suivante :

$$FS_{\text{glissement}_i} = \frac{\left(\frac{V_{\text{tot}_i} \cdot \tan \varphi_i + c_i}{\gamma_g}\right)}{H_{\text{tot}_i}}$$

Avec :

- $V_{\text{tot}_i}$  la somme des forces verticales appliquées à la base du bloc i,
- $H_{\text{tot}_i}$  la somme des forces horizontales appliquées à la base du bloc i,
- $\varphi_i$  l'angle de frottement moyen à la base du bloc i,
- $c_i$  la cohésion à l'interface du bloc i,

#### 6.4.3.2 Non renversement : limitation de l'excentrement

Cette deuxième vérification quantifie le risque d'un bloc donné à être renversé par rapport à une extrémité. Elle est mesurée par la relation entre la longueur d'appui du bloc en question B et la longueur comprimée B', exprimée en pourcentage.

Le paramètre B' est calculé façon suivante :

$$\text{Si } e \leq \frac{B}{6}, B' = B$$

$$\text{Si } e > \frac{B}{6}, B' = 3\left(\frac{B}{2} - e\right)$$

$$\text{Avec } e = \frac{M}{V}$$

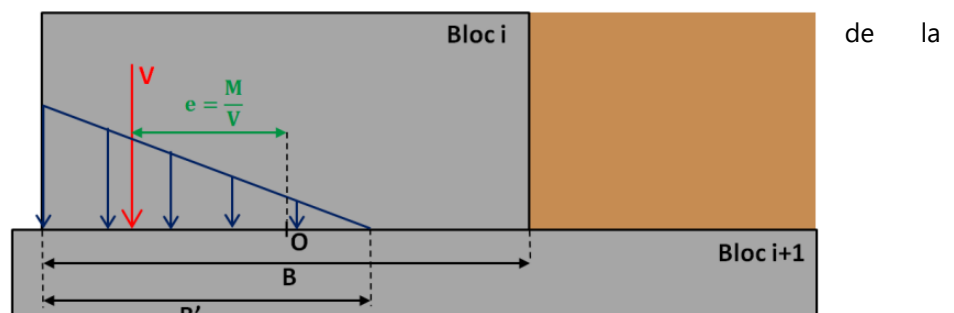


Figure 18 : détermination de B'

Le paramètre  $\frac{B'}{B}$  est ensuite comparé à une valeur de référence modifiable pour chaque état limite. Les valeurs limite par défaut sont les suivantes :

- ELU Fondamental, Accidentel et Sismique :  $\frac{B'}{B} \geq 10\%$  ou  $1 - \frac{2e}{B} \geq \frac{1}{15}$
- ELS Caractéristique :  $\frac{B'}{B} \geq 75\%$  ou  $1 - \frac{2e}{B} \geq \frac{1}{2}$
- ELS Fréquent et Quasi-Permanent :  $\frac{B'}{B} \geq 100\%$  ou  $1 - \frac{2e}{B} \geq \frac{2}{3}$

### 6.4.3.3 Capacité portante du sol

Cette vérification est réalisée uniquement à la base du bloc inférieur, elle compare la contrainte verticale effectuée par le quai sur le sol à la capacité portante de la fondation à partir du facteur de sécurité suivant :

$$FS_{\text{portance}} = \frac{q_{\text{max}}}{q_{\text{ref}}}$$

Avec :

- $q_{\text{max}}$  la contrainte maximale admissible dans le sol,
- $q_{\text{ref}}$  la contrainte équivalente appliquée sur le sol, définie par :  $q_{\text{ref}} = \frac{3\sigma_{\text{max}} + \sigma_{\text{min}}}{4}$ .

On rappelle que selon la norme NF P94-281,  $q_{\text{max}} = \frac{q_u}{1,4}$  à l'ELU et  $q_{\text{max}} = \frac{q_u}{2,3}$  à l'ELS.

## 6.5 Pré-dimensionnement des pontons

Les pontons seront des pontons standards constitués de modules renforcés de 2.50m de large. Ils seront ancrés par corps-morts. Le pré-dimensionnement des corps-morts sera effectué au stade APD.

## 6.6 Conditions d'exécution des souilles

Les fonds sont supposés rocheux avec très peu de fonds sableux. Un dragage des couches de sol superficielles au-dessus de la roche (estimées à 50cm) sera nécessaire pour permettre l'assise de la digue sur les fonds rocheux.

Les techniques de dragage envisagées sont définies dans la note d'hypothèses. Un dragage mécanique pourra être envisagé. Dans ce cas, les matériaux pourront être réutilisés en remblais, ou sur d'autres chantiers selon leur granulométrie et leur caractère pollué. Un dragage hydraulique ne paraît pas envisageable à ce stade car les produits de dragage devraient soit être clapés en mer, soit être mis en décantation dans des lagunes.

Les techniques de déroctage envisagées sont définies dans la note d'hypothèses. Un déroctage des fonds semble nécessaire, peu importe l'option retenue. Très peu d'informations sont disponibles concernant les fonds en place mais le substratum rocheux semble quasi affleurant. Un déroctage sera nécessaire pour obtenir le tirant d'eau requis en pied de quai. Les produits issus du déroctage seront vraisemblablement du basalte de forte résistance et pourront donc faire l'objet d'un concassage afin d'être réutilisés dans le cadre du projet.

## 6.7 Conclusions sur la conception des ouvrages maritimes

La réalisation du brise lame et de la digue d'accès comprend les tâches suivantes :

- Le mur chasse mer,
- Le 1-500kg de noyau,
- Les couches d'enrochements
- La butée de pied de la digue ;
- Les blocs artificiels type Xbloc® ou équivalent,
- Les quais blocs

## 6.8 Éléments de construction des ouvrages terrestres

### 6.8.1 Hangar de stockage

La structure du bâtiment est en béton armé, de la fondation à la poutre et chaînage supérieurs. Son remplissage est en parpaings de 20x20x50. La toiture est en tôle galvabacs prélaquées dont l'épaisseur minimale acceptée est 63/100. La charpente de la toiture est composée de IPN80 de fer cornière 40x40 reliée par soudure.

Au droit de chaque poteau, en infrastructure, il y a une semelle isolée de dimensions 80cm x 80cm x 20cm et une attente de poteau de dimensions 40cm x 40cm x 60cm. En superstructure, chaque poteau extérieur est de

forme carrée, de dimensions 25cm x 25cm et chaque poteau intérieur est de forme circulaire, de diamètre 25cm.

La liaison entre attente de poteaux se fait par une maçonnerie de moellons de 40cm x60cm au-dessus de laquelle est posé le couronnement en BA de dimensions 40cm x 15cm, en infrastructure. Au sommet, en superstructure, chaque poteau carré ou rond sont reliés par une poutre en BA de dimensions 20cmx30cm

Les murs (intérieur et extérieur) sont enduits au mortier de ciment en deux couches.

Le dallage est formé de béton légèrement armé et a une épaisseur 15cm.

L'entrée du hangar passe par un portail métallique de 4mx4m coulissante dont la partie inférieure est guidée par un canal métallique encastré dans le sol et la partie supérieure dans un canal semblable à celle d'en bas, au droit de celui-ci. Le portail est en deux battants au-dessus duquel il y a un auvent de 5.30m.

Il sera équipé en électricité.

### 6.8.2 Hangar de maintenance

Il est semblable au hangar de stockage des marchandises.

Il est équipé en électricité et en eau potable, l'adduction est prise çà partir de la conduite principale existant.

Il a son système d'assainissement, pour évacuer les eaux salles. On utilise une fosse toute eau en dur, construite à proximité.

### 6.8.3 Port maritime et capitainerie

La structure du bâtiment est en béton armé, de la fondation à la dalle toiture. Son remplissage est en parpaings de 20x20x50.

Au droit de chaque poteau, en infrastructure, il y a une semelle isolée de dimensions 80cm x 80cm x 20cm et une attente de poteau de dimensions 40cm x 40cm x 60cm. En superstructure, chaque poteau est de dimensions 20cm x 20cm. La liaison entre poteaux se fait par une maçonnerie de moellons de 40cm x60cm au-dessus de laquelle est posé le couronnement en BA de dimensions 40cm x 15cm.

La dalle couvrant la RDC et celle de l'étage donnant à la terrasse a une épaisseur de 13cm. Le dallage au RDC est en béton légèrement armé et a une épaisseur 15cm.

La gare maritime est composée d'une salle de 13.63m<sup>2</sup> et la salle d'embarquement de 120.43m<sup>2</sup>.

La capitainerie est composée d'un bureau de 20.00m<sup>2</sup>, d'une salle de conférence de 41.54m<sup>2</sup>, du bureau du capitaine du port et de son adjoint de 55.52m<sup>2</sup>.

Toutes les ouvertures sont en aluminium.

Il est équipé en électricité et en eau potable, l'adduction est prise çà partir de la conduite principale existant.

Il a son système d'assainissement, pour évacuer les eaux salles. On utilise une fosse toute eau en dur, construite à proximité.

#### ○ Port maritime

Le mur de remplissage est constitué d'une maçonnerie d'agglomérés de 20cmx20cmx50cm enduite sur deux faces par du mortier de ciment

Le port maritime, comme ouvertures, compte :

- ▶ quatre portes pleines en aluminium à deux battants ouvrant à la française, dimensions : 1.50mx2.10m;
- ▶ quatre portes pleines en aluminium à un battants ouvrant à la française, dimensions : 0.80mx2.10m ;
- ▶ trois portes pleines en aluminium à un battants ouvrant à la française, dimensions : 0.70mx2.10m ;
- ▶ huit fenêtres vitrées en aluminium coulissante à deux battants, dimensions : 1.50mx1.50m ;
- ▶ trois fenêtres en aluminium coulissante à deux battants, dimensions : 0.60mx0.60m .

Chaque fenêtre est protégée par une grille métallique fait avec des barres de fer à béton de 10 encadrée et supportée par des fers cornières fixés au mur.

Dans les toilettes, il y a :

- ▶ deux lavabos en porcelaine avec colonnes munis de robinets ;

- ▶ trois WC à l'anglaise, où est placé à proximité de chaque appareil un robinet de puisage.

Le sol est couvert par du carrelage sol en grès cérame accompagné de plinthe du même type de matériaux que les carreaux. Le mur de la salle d'eau est couvert de carrelage en faïence jusqu'à une hauteur de 1.50m.

La partie inférieure à 0.90m de hauteur correspondant au mur de soubassement à l'extérieur est faite en enduit tyrolien.

#### ○ Capitainerie

De même, le mur de remplissage est constitué d'une maçonnerie d'agglomérés de 20cmx20cmx50cm enduite sur deux faces par du mortier de ciment dosé à.....

La capitainerie possède comme ouvertures :

- ▶ une porte demi-vitrée en aluminium à deux battants ouvrant à la française, dimensions : 1.50mx2.10m;
- ▶ six portes pleines en aluminium à un battants ouvrant à la française, dimensions : 0.80mx2.10m ;
- ▶ deux portes pleines en aluminium à un battants ouvrant à la française, dimensions : 0.70mx2.10m ;
- ▶ dix fenêtres vitrée en aluminium coulissante à deux battants, dimensions : 1.50mx1.50m ;
- ▶ quatre fenêtres vitrée en aluminium coulissante à deux battants, dimensions : 0.60mx0.60m .

A l'intérieur l'accès à l'étage est conditionné par une porte grille métallique à un battant ouvrant à la française (dimensions : 0.90mx2.10m) dont la structure est la même que les grilles de protection des fenêtres. Elle est placée en haut, à la dernière marche de l'escalier.

Chaque fenêtre est protégée par une grille métallique fait avec des barres de fer à béton de 10 encadrée et supportée par des fers cornières fixés par de l'ancrage dans le mur.

Dans les toilettes, il y a :

- ▶ deux lavabos en porcelaine avec colonnes munis de robinets ;
- ▶ deux WC à l'anglaise, où est placé à proximité de chaque appareil un robinet de puisage.

Le sol est couvert par du carrelage sol en grès cérame accompagné de plinthe du même type de matériaux que les carreaux. Le mur de la salle d'eau est couvert de carrelage en faïence jusqu'à une hauteur de 1.50m.

Le pourtour de la véranda est muni de garde-corps métallique en tuyau galvanisé dont la dimension des structure et celle du remplissage sont différentes

## 7. METHODES DE CONSTRUCTION

### 7.1 Zones d'emprunt envisagées

#### 7.1.1 Surfaces nécessaires

Des zones d'emprunt seront nécessaires pour les installations de chantier, zones de stockage, zones de travaux :

- Zones de fabrication des éléments préfabriqués + centrale béton
- Zones d'installation de chantier
- Zones de stockage
- Zone de concassage des matériaux

##### 7.1.1.1 Zones de fabrication des éléments préfabriqués + centrale béton

La zone de fabrication des éléments préfabriqués et de la centrale béton devra être alimentée par le réseau d'eau potable pour permettre la fabrication du béton (environ 350 l/m<sup>3</sup> de béton produits). Les installations devront être équipées et exploitées de telle façon que leur fonctionnement ne puisse être à l'origine de poussières ou de nuisances pour le voisinage. Elle sera donc idéalement située à distance des habitations.

Afin de faciliter l'importation de la centrale, une centrale de taille réduite permettant d'être acheminée en container sera privilégiée, nécessitant moins de surface au sol mais ayant des capacités de production plus faibles.

Une surface de l'ordre de 500 m<sup>2</sup> sera considérée pour la centrale, pour une capacité de production de 45 m<sup>3</sup>/h de béton.

Afin de limiter les transports et les camions toupies, la préfabrication des Xblocs se fera sur la même zone que la centrale à béton. Les éléments préfabriqués de type Xbloc seront stockés en partie sur cette zone au moment de la préfabrication, puis si nécessaire, une seconde zone pourra être utilisée pour stocker les éléments une fois la résistance du béton atteinte pour le lavage.

Les Xblocs sont généralement stockés en deux couches.



Figure 19 - Stockage des Xblocs (source: xbloc.com)

La préfabrication des Xblocs se déroule selon un cycle de 3 jours avec un coulage de 25 unités par jour ( en moyenne. Selon les différentes options, le nombre total de Xblocs à préfabriquer est compris entre 5000 et 7250 unités. La cadence de pose considérée est de 25 unités/jour. Ainsi, un stockage initial de 250 unités puis un stockage tampon de l'ordre de 2 semaines de pose (250 unités) pourra être considéré et les préfabrifications se feront au fur et à mesure de la pose. Une surface de stockage pour 500 unités sera donc nécessaire.

L'espace de stockage sera le suivant (selon les règles éditées par DMC) :

- 500 Xblocs 1m<sup>3</sup> : 355 m<sup>2</sup>
- 500 Xblocs 3m<sup>3</sup> : 740 m<sup>2</sup>
- 500 Xblocs 5m<sup>3</sup> : 1045 m<sup>2</sup>
- 500 Xblocs 7m<sup>3</sup> : 1305 m<sup>2</sup>

A ce stade, une surface de stockage de 2000 m<sup>2</sup> sera retenue afin de placer également les moules de fabrication et les voies de circulation pour les engins. La plateforme devra avoir la portance suffisante pour le stockage des blocs.

La préfabrication des quais blocs pourra également se faire sur cette zone. La préfabrication des blocs béton pour le quai bloc nécessitera une surface de l'ordre de 2000 m<sup>2</sup> également pour la préfabrication et le stockage des blocs.

Finalement la zone de préfabrication des éléments + centrale béton devra être de l'ordre de 5 000 m<sup>2</sup> minimum afin d'avoir également les surfaces nécessaires pour les flux et circulations.

Les eaux de lavage et de rejet issues de la centrale à béton et de la centrale de préfabrication seront dirigées vers un poste de décantation installé sur la zone, avant d'être rejetées.

#### 7.1.1.2 Zones d'installations de chantier

La zone d'installation de chantier devra permettre l'installation des éléments suivants :

- bungalows de chantier,
- salle de réunion,
- sanitaires,
- vestiaires,
- dispositif de traitement des eaux de chantier,
- aire de lavage des toupies,
- aire de stockage du matériel,
- zones de bennes à déchets,
- zones de stationnement des véhicules

Les installations de chantier seront raccordées au réseau électrique et au réseau d'eau potable. Elles disposeront d'un assainissement autonome et seront clôturées. Des balisages seront mis en place pour les circulations.

La zone d'installation de chantier pourra être installée dans un premier temps côté ouest du terre-plein existant. Après démolition des bâtiments, le reste de la zone jusqu'à l'enracinement de la jetée, pourra servir au stockage des engins de chantier, aire de retournement des camions et d'approvisionnement du matériel.



### 7.1.1.3 Zones de stockage

Le stockage des matériaux et des armatures pourra être effectué sur un site déporté.

Conformément à la note d'hypothèse il est considéré une réutilisation des matériaux issus du dragage/déroctage au maximum, et un complément avec des matériaux d'apport.

Les matériaux issus du dragage pourront être mis en stock temporaire sur la plage à proximité des installations de chantier. Cela permettra aux matériaux de décanter avant d'être repris pour être mis en stock ou réutilisés.



Figure 20 - Zone de stockage produits de dragage

Selon les différentes options, un volume plus ou moins important de dragage/déroctage est envisagé.

Une zone de stockage de l'ordre de 5 000 m<sup>2</sup> pourrait permettre de stocker environ 50 000 m<sup>3</sup> de matériaux et permettre le concassage, les circulations et le tri des matériaux en tas selon leur granulométrie.

### 7.1.2 Zones d'emprunt potentielles

Différentes zones ont été identifiées à proximité du port pour permettre l'accueil des installations et zones de stockage.

A ce stade de l'étude, nous ne disposons pas des données foncières, des limites de parcelles ou d'éventuels projets en cours d'étude sur ces zones. Ces zones théoriques d'implantation seront donc à confirmer ultérieurement. D'autres zones pourront être envisagées selon les disponibilités.

La base-vie sera idéalement placée dans l'emprise portuaire, au plus près du chantier. Une zone sur l'emprise portuaire de l'ordre de 1 000 m<sup>2</sup> pourrait être utilisée.



#### ○ Zone 1:

- ▶ Surface : environ 10 000 m<sup>2</sup>
- ▶ Située à proximité de l'exutoire de la rivière de Boingoma
- ▶ Accès au port : 550 m



○ **Zone 2 :**

- ▶ Surface : environ 5 000 m<sup>2</sup>
- ▶ Accès au port : 1km



### ○ Zone 3 :

- ▶ Surface : environ 5 000 m<sup>2</sup>
- ▶ Présence de quelques arbres sur la zone
- ▶ Accès au port : 350 m



### ○ Zone 4 :

- ▶ Surface : environ 15 000 m<sup>2</sup>
- ▶ Nécessité de préparer la zone, yc débroussaillage et réalisation d'une plateforme
- ▶ Plus éloignée des habitations
- ▶ Accès au port : 1,1 km



La zone 4 semble la plus propice à l'installation de la zone de centrale à béton + centrale de préfabrication car elle est plus éloignée des habitations.

## 7.2 Méthodes de travaux

### 7.2.1 Démolitions

La démolition des ouvrages en béton s'effectue à l'aide d'une pince, d'un broyeur à béton et d'un BRH.

### 7.2.2 Dragage / déroctage

Le dragage pourra s'effectuer par voie mécanique :



Figure 21 – Pelle sur ponton, pelle amphibie, pelle terrestre à bras long

Les produits de dragage seront alors transportés par voie terrestre par camions puis déposés sur une zone de stockage. Le dragage par voie mécanique permet une faible teneur en eau des sédiments (extraction sans dilution) et un ressuyage rapide. Leur valorisation et potentielle réutilisation dans le cadre du chantier selon la granulométrie et pollution des sédiments, pourra donc être rapide. Le dragage pourra se faire à l'avancement des travaux de digue.

Le déroctage pourra s'effectuer à l'aide de cutter + barge, cutter + barge + backhoe, ou de BRH + barge si les volumes sont plus faibles.



Figure 22 - Cutter + barge / BRH + barge

### 7.2.3 Quais

Le mur chasse mer sera coulé en place. Sa fondation devra être réalisée avec soin et comprendra un géotextile et le béton de propreté.

Les quais blocs seront préfabriqués et mis en place. Ils ont été conçus pour ne pas excéder un poids de 65t, sauf pour le bloc le plus haut qui sera coulé en place. L'assise des quais blocs devra être réalisée avec soin et correctement nivelée pour offrir une bonne réparation des efforts.

Les blocs présentent des clés mâles et femelles qui permettent de caler exactement chaque bloc et de les bloquer entre eux.

## 7.3 Phasage

L'exploitation du quai et du port de Fomboni sera difficile selon les phases de travaux. Un ouvrage provisoire devra être mis en œuvre afin de garder une continuité d'accès et permettre les approvisionnements en matériaux et les évacuations notamment.

Les travaux peuvent être décomposés en plusieurs phases principales :

- Installations de chantier
- Travaux préparatoires
- Travaux des ouvrages de protection et quais
- Travaux de génie civil et VRD
- Finitions et repli du chantier

### 7.3.1 Installations de chantier

Cette phase sera constituée des tâches suivantes :

- Préparation des zones de stockage, d'installations de chantier, de préfabrication, accès
- Approvisionnement des installations de chantier, centrale béton, centrale de préfabrication
- Amenée des matériels des dragage/déroctage/engins
- Mise en œuvre des installations de chantier, centrale béton, centrale de préfabrication
- Approvisionnement des matériaux
- Etudes d'exécution
- Sondages géotechniques
- Levés topo-bathy

### 7.3.2 Travaux préparatoires

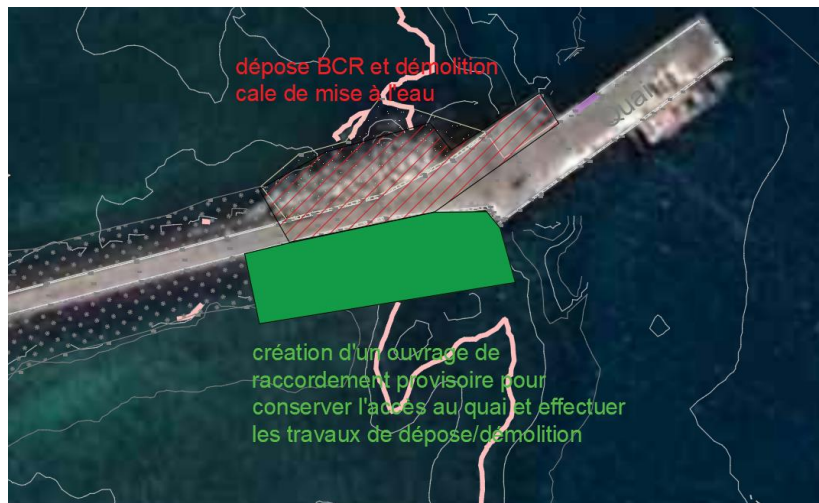
Cette phase sera constituée des tâches suivantes :

- Dépose et mise en stock des BCR situés à l'enracinement du môle – ils pourront être mis en stock sur l'estran afin de limiter les transports
- Création d'un ouvrage de raccordement provisoire

Cet ouvrage permettra d'assurer la continuité d'accès au quai existant et d'évacuer les produits de démolition.

- Démolition de la cale de mise à l'eau existante

Les produits de béton issus de la démolition seront évacués et mis en stock. Les produits inertes type sable, granulats seront mis en stock sur les zones prévues à cet effet d'une l'optique d'une réutilisation.

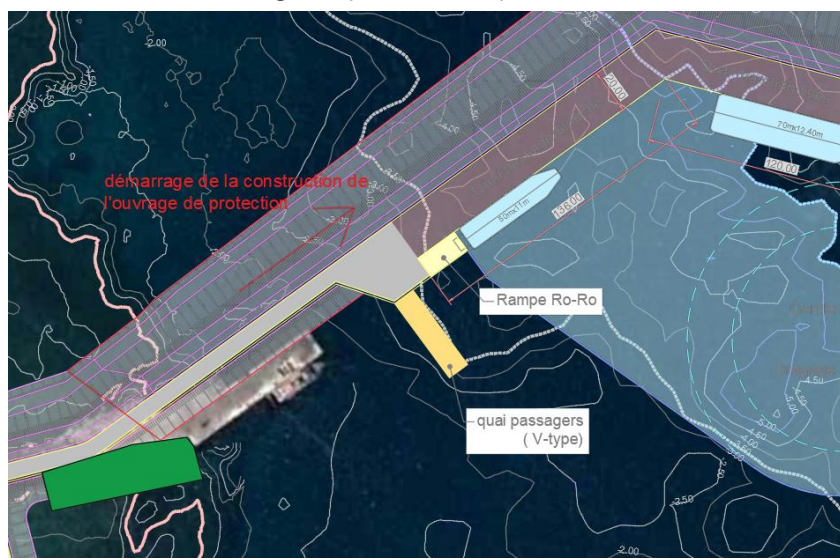


- Démarrage du dragage/déroctage
- Démolition des bâtiments existants et aménagement de la zone à l'enracinement de la jetée

### 7.3.3 Travaux des ouvrages de protection et quais

Cette phase sera constituée des tâches suivantes :

- Démarrage de la construction de l'ouvrage de protection à partir de l'enracinement du môle

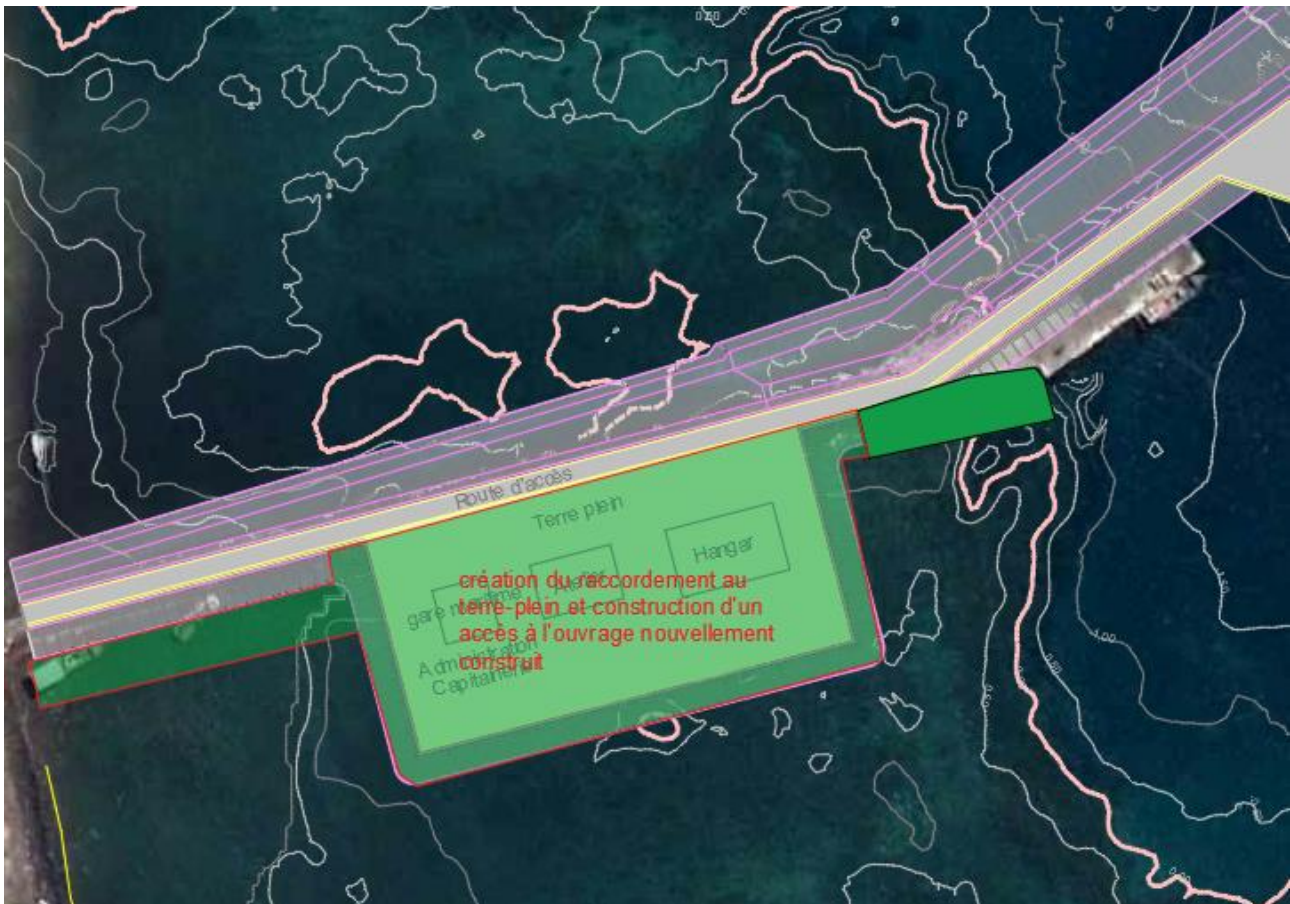


Les travaux se font à l'avancement par voie terrestre.

- Démarrage des travaux de construction des quais blocs une fois le brise-lames suffisamment avancé.
- Mise en œuvre des pontons passagers

Une fois l'ouvrage brise lames et les quais construits, à partir de l'enracinement du mole, les travaux pourront se faire en créant un accès aux ouvrages nouvellement construits.

- Aménagement du nouveau terre-plein et création d'une piste d'accès



- Dépose des enrochements de la digue existante et ouverture du noyau
- Doublement de la structure du noyau et repose d'enrochements
- Création de la voie d'accès et raccordement au nouveau terre-plein et au brise-lame et quais

#### 7.3.4 Travaux de génie civil et VRD

Cette phase sera constituée des tâches suivantes :

- Aménagement des bâtiments sur le nouveau terre-plein
- Mise en œuvre des réseaux
- Aménagement des chaussées et voiries

#### 7.3.5 Finitions et repli du chantier

Cette phase sera constituée des tâches suivantes :

- Mise en place des équipements et du balisage du chenal
- Repli des installations de chantier
- Remise en état du site

## 7.4 Approvisionnement en matériaux

En l'absence de données sur les carrières disponibles et ressources en matériaux sur l'île de Mohéli, il sera considéré une réutilisation des matériaux issus du dragage/déroctage selon les options, et un complément avec des matériaux d'apport (cf. [R46]).

Les volumes nécessaires selon les différentes options sont indiqués dans le chiffrage.

## 7.5 Planning prévisionnel de travaux

Le planning présenté ci-dessous concerne l'option 2.

Tâche	Durée	Mois																																							
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23	M24	M25	M26	M27	M28	M29	M30	M31	M32	M33	M34	M35	M36				
<b>Installations de chantier</b>	<b>6 mois</b>																																								
Sondages géotechniques et études d'exécution	2 mois																																								
Approvisionnement des matériels et matériaux	4 mois																																								
<b>Travaux préparatoires</b>	<b>16 mois</b>																																								
Démolitions cale de mise à l'eau et bâtiments	1 mois																																								
Dragage / déroctage	16 mois																																								
Création ouvrage de raccordement	1 mois																																								
<b>Travaux des ouvrages de protection et quais</b>	<b>25 mois</b>																																								
Construction du brise lames	10 mois																																								
Construction des quais blocs	8 mois																																								
Mise en œuvre des pontons	1 mois																																								
Aménagement du nouveau terre-plein	2 mois																																								
Doublement de la jetée d'accès	10 mois																																								
<b>Travaux de génie civil et VRD</b>	<b>4 mois</b>																																								
<b>Finitions et repli du chantier</b>	<b>1 mois</b>																																								



# 8. COUTS ESTIMATIFS PREVISIONNELS AU STADE APS

Projet Connectivité Inter-Iles des Comores (PICMC)													
Etudes pour l'avant-projet détaillé des travaux d'extension du port de Fomboni et d'aménagement des sites de débarquement secondaires à Chindini, Hoani et Vassy													
N°	Désignation des prix	U	Prix Unitaire (€)	Quantité					Dépenses				
				Option 1	Option 2	Option 2Bis	Option 2ter	Option 3	Option 1	Option 2	Option 2bis	Option 2ter	Option 3
<b>CHAPITRE 1 : PRIX GENERAUX</b>													
1.1	Installations de chantier,	Ft	2 000 000 €	1	1	1	1	1	2 000 000 €	2 000 000 €	2 000 000 €	2 000 000 €	2 000 000 €
1.2	Mobilisation, amenée/repli du matériel maritime et terrestre (engins de dragage, centrale béton)	Ft	4 000 000 €	1	1	1	1	1	4 000 000 €	4 000 000 €	4 000 000 €	4 000 000 €	4 000 000 €
1.3	Signalisation maritime et terrestre	Ft	50 000 €	1	1	1	1	1	50 000 €	50 000 €	50 000 €	50 000 €	50 000 €
1.4	Implantations - Levés topo-bathymétriques	Ft	200 000 €	1	1	1	1	1	200 000 €	200 000 €	200 000 €	200 000 €	200 000 €
1.5	Etudes de méthode - Etudes d'exécution - Contrôles	Ft	400 000 €	1	1	1	1	1	400 000 €	400 000 €	400 000 €	400 000 €	400 000 €
1.6	Etude et suivi géotechnique	Ft	100 000 €	1	1	1	1	1	100 000 €	100 000 €	100 000 €	100 000 €	100 000 €
1.7	Suivi environnemental	Ft	200 000 €	1	1	1	1	1	200 000 €	200 000 €	200 000 €	200 000 €	200 000 €
1.8	Etablissement du D.O.E	Ft	50 000 €	1	1	1	1	1	50 000 €	50 000 €	50 000 €	50 000 €	50 000 €
<b>Total Chapitre 1</b>									<b>7 000 000 €</b>	<b>7 000 000 €</b>	<b>7 000 000 €</b>	<b>7 000 000 €</b>	<b>7 000 000 €</b>
<b>CHAPITRE 2 : DEMOLITION / TERRASSEMENTS / TRAVAUX PREPARATOIRES</b>													
2.1	<b>Travaux préparatoires - ouvrages maritimes</b>												
2.1.1	Démolition du quai existant (50 m)	m3	250 €	5 300	5 300	5 300	5 300	5 300	1 325 000 €	1 325 000 €	1 325 000 €	1 325 000 €	1 325 000 €
2.1.3	Aménagement d'un ouvrage d'accostage provisoire	Ft	100 000 €	1	1	1	1	1	100 000 €	100 000 €	100 000 €	100 000 €	100 000 €
2.2	<b>Dragage et déroctage</b>												
2.2.1	Dragage	m3	50 €	10 000	7 000	4 000	6 000	2 000	500 000 €	350 000 €	200 000 €	300 000 €	100 000 €
2.2.2	Déroctage	m3	250 €	87 000	12 000	6 000	23 000	1 000	21 750 000 €	3 000 000 €	1 500 000 €	5 750 000 €	250 000 €
2.3	<b>Travaux préparatoires - ouvrages terrestres</b>												
2.3.1	Démolition bâtiments existants	m3	50 €	PM	PM	PM	PM	PM					
2.3.2	Création d'une voie d'accès terrestre	Ft	200 000 €	1	1	1	1	1	200 000 €	200 000 €	200 000 €	200 000 €	200 000 €
2.4	Terrassement en terrain de toute nature	m3	30 €	PM	PM	PM	PM	PM					
<b>Total Chapitre 2</b>									<b>23 875 000 €</b>	<b>4 975 000 €</b>	<b>3 325 000 €</b>	<b>7 675 000 €</b>	<b>1 975 000 €</b>
<b>CHAPITRE 3 : OUVRAGES DE PROTECTION</b>													
3.1	<b>Rénovation de la jetée existante</b>												
3.1.1	Dépose et stockage des enrochements existants en 0.5 - 1.5 t	m3	30 €	13 600	13 600	13 600	13 600	13 600	408 000 €	408 000 €	408 000 €	408 000 €	408 000 €
3.1.2	Dépose des BCR existants	u	50 €	100	100	100	100	100	5 000 €	5 000 €	5 000 €	5 000 €	5 000 €
3.1.3	Démolition de la route existante	m²	5 €	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	7 500 €	7 500 €	7 500 €	7 500 €	7 500 €
3.1.4	Fourniture et mise en œuvre du noyau 1/500	m3	20 €	58 400	58 400	58 400	58 400	58 400	1 168 000 €	1 168 000 €	1 168 000 €	1 168 000 €	1 168 000 €
3.1.5	Moins valeur sur matériaux d'apport du noyau issus du déroctage	m3	- 20 €	58 400	9 600	4 800	18 400	800	- 1 168 000 €	- 192 000 €	- 96 000 €	- 368 000 €	- 16 000 €
3.1.6	Fourniture et mise en œuvre d'un géotextile	m²	20 €	PM	PM	PM	PM	PM					
3.1.7	Fourniture et mise en œuvre de la voie de roulement béton et Mur Chasse-Mer	m3	600 €	13 300	13 300	13 300	13 300	13 300	7 980 000 €	7 980 000 €	7 980 000 €	7 980 000 €	7 980 000 €
3.1.8	Reprise sur stock des enrochements existant et mise en œuvre	m3	40 €	10 200	10 200	10 200	10 200	10 200	408 000 €	408 000 €	408 000 €	408 000 €	408 000 €
3.1.9	Fourniture et mise en œuvre 0,2-1T	m3	80 €	10 200	10 200	10 200	10 200	10 200	816 000 €	816 000 €	816 000 €	816 000 €	816 000 €
3.1.10	Moins valeur sur matériaux d'apport 0,2-1T issus de la digue existante	m3	- 80 €	10 200	10 200	10 200	10 200	10 200	- 816 000 €	- 816 000 €	- 816 000 €	- 816 000 €	- 816 000 €
3.1.11	Fourniture et mise en œuvre 1-3T	m3	80 €	17 200	17 200	17 200	17 200	17 200	1 376 000 €	1 376 000 €	1 376 000 €	1 376 000 €	1 376 000 €
3.1.12	Fourniture et mise en œuvre 2-4T (Butée de pied et digue)	m3	100 €	5 800	5 800	5 800	5 800	5 800	580 000 €	580 000 €	580 000 €	580 000 €	580 000 €
3.1.16	Fourniture et mise en œuvre 5,5-7T (Butée de pied et digue)	m3	400 €	1 600	1 600	1 600	1 600	1 600	640 000 €	640 000 €	640 000 €	640 000 €	640 000 €
3.1.17	Fourniture et mise en œuvre des Xblocs (1 m3)	u	650 €	2 170	2 170	2 170	2 170	2 170	1 410 500 €	1 410 500 €	1 410 500 €	1 410 500 €	1 410 500 €
3.1.18	Fourniture et mise en œuvre des Xblocs (3 m3)	u	1 500 €	600	600	600	600	600	900 000 €	900 000 €	900 000 €	900 000 €	900 000 €
3.1.19	Fourniture et mise en œuvre des Xblocs (5 m3)	u	2 500 €	510	510	510	510	510	1 275 000 €	1 275 000 €	1 275 000 €	1 275 000 €	1 275 000 €
3.2	<b>Ouvrage de protection - extension</b>												
3.2.1	Fourniture et mise en œuvre du noyau	m3	15 €	76 100	143 000	144 600	101 300	228 500	1 141 500 €	2 145 000 €	2 169 000 €	1 519 500 €	3 427 500 €
3.2.2	Moins valeur sur matériaux d'apport du noyau issus du déroctage	m3	- 20 €	11 200	0	0	0	0	- 224 000 €	- e	- e	- e	- e
3.2.3	Fourniture et mise en œuvre d'un géotextile	m²	20 €	PM	PM	PM	PM	PM					
3.2.6	Fourniture et mise en œuvre de 1-3T	m3	80 €	17 700	31 100	35 300	23 500	48 000	1 416 000 €	2 488 000 €	2 824 000 €	1 880 000 €	3 840 000 €
3.2.7	Fourniture et mise en œuvre mur Chasse-mer et voie de roulement béton	m²	600 €	5 500	9 000	9 400	6 800	13 500	3 300 000 €	5 400 000 €	5 640 000 €	4 080 000 €	8 100 000 €
3.2.8	Fourniture et mise en œuvre enrochements 2-4 T, y compris butée de pied	m3	100 €	11 600	15 000	15 000	12 500	18 100	1 160 000 €	1 500 000 €	1 500 000 €	1 250 000 €	1 810 000 €
3.2.9	Fourniture et mise en œuvre des Xblocs (5 m3)	u	2 500 €	1 070	2 060	2 080	1 110	3 270	2 675 000 €	5 150 000 €	5 200 000 €	2 775 000 €	8 175 000 €
3.2.10	Fourniture et mise en œuvre des Xblocs (7 m3)	u	3 500 €	950	1 190	1 180	1 290	1 340	3 325 000 €	4 165 000 €	4 130 000 €	4 515 000 €	4 690 000 €
<b>Total Chapitre 3</b>									<b>27 783 500 €</b>	<b>36 814 000 €</b>	<b>37 525 000 €</b>	<b>31 809 500 €</b>	<b>46 184 500 €</b>
<b>CHAPITRE 4 : TRAVAUX DE GENIE CIVIL</b>													
4.1	<b>Quai passager / pêche</b>												
4.1.1	Fourniture et mise en œuvre de l'assise	m3	25 €	800	1 600		1 000	2 400	20 000 €	40 000 €	- e	25 000 €	60 000 €
4.1.2	Préfabrication des blocs béton	m3	400 €	12 000	12 000		15 200	12 000	4 800 000 €	4 800 000 €	- e	6 080 000 €	4 800 000 €
4.1.3	Transport et mise en œuvre des blocs	u	1 500 €	250	250		430	250	375 000 €	375 000 €	- e	645 000 €	375 000 €
4.1.4	Fourniture et mise en œuvre de la poutre de couronnement	m3	600 €	1 000	1 000		1 300	1 000	600 000 €	600 000 €	- e	780 000 €	600 000 €
4.1.5	Revêtement béton	m3	600 €	500	500		600	500	300 000 €	300 000 €	- e	360 000 €	300 000 €
4.2	<b>Quai Marchandises</b>												
4.2.1	Fourniture et mise en œuvre de l'assise	m3	25 €	700	1 400	900		2 100	17 500 €	35 000 €	22 500 €	- e	52 500 €
4.2.2	Préfabrication des blocs béton	m3	400 €	11 000	11 000	15 500		11 000	4 400 000 €	4 400 000 €	6 200 000 €	- e	4 400 000 €
4.2.3	Transport et mise en œuvre des blocs	u	1 500 €	330	330	330		330	495 000 €	495 000 €	495 000 €	- e	495 000 €
4.2.4	Fourniture et mise en œuvre de la poutre de couronnement	m3	600 €	900	900	1 100		900	540 000 €	540 000 €	660 000 €	- e	540 000 €
4.2.5	Revêtement béton	m3	600 €	400	400	500		400	240 000 €	240 000 €	300 000 €	- e	240 000 €
4.3	<b>Bâtiments</b>												
4.3.1	Capitainerie	m²	750 €	300	300	300		300	225 000 €	225 000 €	225 000 €	225 000 €	225 000 €
4.3.2	Hangar de stockage	m²	600 €	1 000	1 000	1 000		1 000	600 000 €	600 000 €	600 000 €	600 000 €	600 000 €
4.3.3	Hangar de maintenance des engins	m²	600 €	150	150	150		150	90 000 €	90 000 €	90 000 €	90 000 €	90 000 €
4.3.4	Gare maritime	m²	750 €	200	200	200		200	150 000 €	150 000 €	150 000 €	150 000 €	150 000 €
4.4	<b>Ouvrages flottants</b>												
4.4.1	Ponton flottant avec chaînes, corps-morts et passerelles d'accès	u	35 000 €	2	2	2		2	70 000 €	70 000 €	70 000 €	70 000 €	70 000 €
<b>Total Chapitre 4</b>									<b>12 922 500 €</b>	<b>12 960 000 €</b>	<b>8 812 500 €</b>	<b>9 025 000 €</b>	<b>12 997 500 €</b>
<b>CHAPITRE 5 : RESEAUX</b>													
5.1	Récupération des eaux pluviales	Ft	150 000 €	1	1	1	1	1	150 000 €	150 000 €	150 000 €	150 000 €	150 000 €
5.2	Adduction d'eau potable - incendie	Ft	100 000 €	1	1	1	1	1	100 000 €	100 000 €	100 000 €	100 000 €	100 000 €
5.3	Installations électriques	Ft	300 000 €	1	1	1	1	1	300 000 €	300 000 €	300 000 €	300 000 €	300 000 €
5.4	Eclairage extérieur	Ft	150 000 €	1	1	1	1	1	150 000 €	150 000 €	150 000 €	150 000 €	150 000 €
5.5	Communication et fibre optique	Ft	200 000 €	1	1	1	1	1	200 000 €	200 000 €	200 000 €	200 000 €	200 000 €
<b>Total Chapitre 5</b>									<b>900 000 €</b>	<b>900 000 €</b>	<b>900 000 €</b>	<b>900 000 €</b>	<b>900 000 €</b>
<b>CHAPITRE 6 : VOIRIES, CHAUSSEES</b>													
6.1	Fourniture et mise en œuvre du remblai	m3	20 €	13 000	13 000	13 000	13 000	13 000	260 000 €	260 000 €	260 000 €	260 000 €	260 000 €
6.2	Fourniture et mise en œuvre des couches de chaussée sur terre-plein	m3	50 €	6 400	6 400	6 400	6 400	6 400	320 000 €	320 000 €	320 000 €	320 000 €	320 000 €
6.3	Fourniture et mise en œuvre du revêtement sur terre-plein	m²	120 €	10 200	10 200	10 200	1						

## 9. ANNEXE A – PREDIMENSIONNEMENT BRISE LAME

### **Prédimensionnement Fomboni à -6mCM**

Niveau haut de mer : +6.55m CM / Niveau bas : 0m CM

Houle significative en pied d'ouvrage :  $Hm0=6.09m$ ,  $T=11.95m$  /  $Hm0=3.38m$ ,  $T=12.1m$

Cote du pied de digue : Pris à -6m CM, pour un calcul enveloppe.

Houle prise arrivant en frontale à ce stade (à affiner avec litto en APD)

#### **Butée de pied :**

Pour mémoire, les sondages existants de 1985 et 1994 ne sont pas du tout sur les mêmes lignes bathymétriques (ligne la plus basse +1CM) et sont situés sur le platier → on ne peut pas extrapoler la profondeur du basalte à partir de ces sondages

Hypothèse : Basalte avec fine couche de sable/sédiment

- Butée hors sol en bicouche, pente 3 pour 2. Un tapis anti-affouillement n'est pas nécessaire car la butée est supposée posée sur un sol rocheux.
- Butée stabilité : constituée de blocs 2.6t par calcul → 2-4t retenu => M50 environ 3.3t pour Dn50 de 1.06m arrondi à 1.10m
- Epaisseur :  $2Dn50 = 2.20m$ , Arase butée de pied : -3.80m,
- Longueur : La volonté d'éviter le déroctage implique une butée non ensouillée. Pour rester sécuritaire on part sur une largeur de 5dn50 et non 3Dn50 donne 5.50m et 10Dn50 au musoir soit 11m (sans calcul pour l'instant)

#### **Carapace :**

Un premier calcul pour une carapace en enrochements impose une taille de bloc de l'ordre de 35t, il est donc nécessaire de passer en blocs artificiels monocouche.

On prend un taux de dommage à 0%.

- Xbloc retenu en section courante : 4m<sup>3</sup>, e=2.22m
- Xbloc retenu en musoir : 6 m<sup>3</sup>, e=2.54m

#### **Sous couche :**

*Prescriptions DMC :*

- Section courante en X4m<sup>3</sup> : 0.3/1 T avec e=1.21 arrondi à 1.30 m / C'est une granulométrie standard du rock manual et de la NF13383,
- Musoir en X6m<sup>3</sup> : 1-3 t avec e=1.78 arrondi à 1.8m<sup>2</sup>

**Franchissements** : limite de 10 l/s/m selon eurotop2018 et rock manual => cote à +10.50

**Berme** : La largeur de berme artificielle est prise égale à 3 Dn50 ce qui équivaut d'après le guide Xbloc à 2.28D, D étant la hauteur d' un bloc

- section courante :  $2.28 \times 2.22 = 5.06$  arrondi à 5.10m
- musoir :  $2.28 \times 2.54 = 5.79$  soit 5.80m

Des enrochements sont mis en place derrière la berme des blocs artificiels avec pour fonction de faciliter le calage des Xblocs en berme, et de protéger le quai des franchissements

- Blocométrie déterminé par calculs approximatifs Rock manual : estimation vitesse au niveau de berme enrochements (5.55 du RM) puis Dn50 avec pylarzick (p569 et 653 RM)=> blocométrie retenue idem butée avec du 2-4t (par calcul Dn50=2.4t),
- largeur = 3 blocs Dn50 soit 3.30m,
- longueur de splash avec Ls=11.63m au maximum → donc berme 5.10+3.50= 8.20m + épaisseur du mur de couronnement de 1m on couvre environ la zone de splash

**Mur de crête** : choix d'un mur => vu avec adèle et Antoine => pas de largeur plus grande pour maintenance avec la VS=> à justifier ?

Hauteur = épaisseurs carapace+sous couche+ 1m d'épaisseur de la semelle calcul à mener (Amel ou Estelle), l'épaisseur de la semelle à 1m est arbitraire pour l'instant.

- 4.52 m pour section courante
- 5.34m pour le musoir

Fondation du MCM sur 1-500kg avec un géotextile puis béton de propreté.

**Noyau** : 1/500kg

### Quai bloc :

Le calcul du quai-blocs est réalisé avec un outil excel interne. On s'appuie sur les normes NF P94-261 Fondations superficielles et NF-P94-282 ouvrages de soutènement.

Les blocs sont constitués de béton non armé (masse volumique =2.4t/m3). Les blocs sont fondés sur une assises granulaire de 50cm ; le premier bloc est posé à -5m CM. Le dernier bloc

Une couche de roulement de 30cm d'épaisseur et de masse volumique=24 KN/m3 est prise en compte sur la largeur du quai.

Actions :

Charges de pré stockage : 2t/m2 Sstoquai (ELS)

Charges roulantes : Reach Stackers : Charges ponctuelles 2\*500kN espacées de 3m (repésentnant l'essieu avant)

Niveaux d'eau : deux cas sont étudiés.

- Niveau d'eau = 6.55m CM côté terre avec un différentiel =2m
- Inversement

Vérifications

### Glissement

Cette vérification est la première d'un total de trois effectuées à la base de tous les blocs. Elle quantifie à partir d'un facteur de sécurité la résistance d'un bloc donné à glisser par rapport à sa base. On rappelle qu'un facteur de sécurité est défini par : F. S. =  $\frac{\text{force résistante}}{\text{force déstabilisante}}$ .

Le facteur de sécurité envers le renversement du bloc i est calculé de la façon suivante :

$$FS_{\text{glissement}_i} = \frac{\left( \frac{V_{\text{tot}_i} \cdot \tan \varphi_i + c_i}{\gamma_g} \right)}{H_{\text{tot}_i}}$$

Avec :

- $V_{\text{tot}_i}$  la somme des forces verticales appliquées à la base du bloc i,
- $H_{\text{tot}_i}$  la somme des forces horizontales appliquées à la base du bloc i,
- $\varphi_i$  l'angle de frottement moyen à la base du bloc i (voir point 2.1.4),
- $c_i$  la cohésion à l'interface du bloc i (prise nulle par défaut), modifiable dans l'onglet « Coefs et Vérifs ».

## Renversement

Cette deuxième vérification quantifie le risque d'un bloc donné à être renversé par rapport à une extrémité. Elle est mesurée par la relation entre la longueur d'appui du bloc en question B et la longueur comprimée B', exprimée en pourcentage.

Le paramètre B' est calculé de la façon suivante :

$$\text{Si } e \leq \frac{B}{6}, B' = B$$

$$\text{Si } e > \frac{B}{6}, B' = 3 \left( \frac{B}{2} - e \right)$$

$$\text{Avec } e = \frac{M}{V}$$

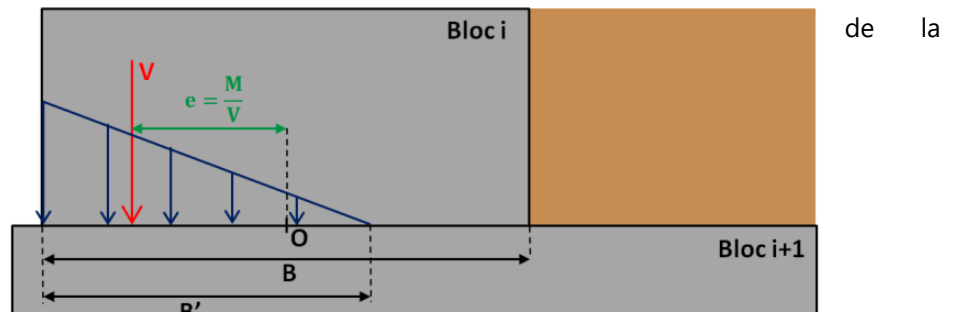


Figure 23 : détermination de B'

Le paramètre  $\frac{B'}{B}$  est ensuite comparé à une valeur de

référence modifiable (onglet « Coefs et Vérifs ») pour chaque état limite. Les valeurs limite par défaut sont les suivantes :

- ELU Fondamental, Accidentel et Sismique :  $\frac{B'}{B} \geq 10\%$  ou  $1 - \frac{2e}{B} \geq \frac{1}{15}$
- ELS Caractéristique :  $\frac{B'}{B} \geq 75\%$  ou  $1 - \frac{2e}{B} \geq \frac{1}{2}$
- ELS Fréquent et Quasi-Permanent :  $\frac{B'}{B} \geq 100\%$  ou  $1 - \frac{2e}{B} \geq \frac{2}{3}$

## Prédimensionnement Fomboni à -8mCM

Niveau haut de mer : +6.55m CM / Niveau bas : 0m CM

Houle significative en pied d'ouvrage :  $H_m0=6.46m$ ,  $T=11.95m$  pris en approximation sans retour de litto. En l'état correspond à une houle entre l'option 1 et 2

Cote du pied de digue : Pris à -8m CM, pour un calcul enveloppe.

Houle prise arrivant en frontale à ce stade (à affiner avec litto en APD)

### Butée de pied :

Pour mémoire, les sondages existants de 1985 et 1994 ne sont pas du tout sur les mêmes lignes bathymétriques (ligne la plus basse +1CM) et sont situés sur le platier → on ne peut pas extrapoler la profondeur du basalte à partir de ces sondages

Hypothèse : Basalte avec fine couche de sable/sédiment

- Butée hors sol en bicouche, pente 3 pour 2. Un tapis anti-affouillement n'est pas nécessaire car la butée est supposée posée sur un sol rocheux.
- Butée stabilité : constituée de blocs 1.74t par calcul → on reste sur les 2-4t retenu pour la coupe à -6mCM => M50 environ 3.3t pour Dn50 de 1.06m arrondi à 1.10m
- Epaisseur :  $2Dn50 = 2.20m$ , Arase butée de pied : -5.80m,
- Longueur : La volonté d'éviter le déroctage implique une butée non ensouillée. Pour rester sécuritaire on part sur une largeur de  $5dn50$  et non  $3Dn50=5.50m$  et  $10Dn50$  au musoir soit 11m (sans calcul pour l'instant)

### Carapace :

Un premier calcul pour une carapace en enrochements impose une taille de bloc de l'ordre de 35t, il est donc nécessaire de passer en blocs artificiels monocouche.

On prend un taux de dommage à 0%.

- Xbloc retenu en section courante : 5m<sup>3</sup>, e=2.99m
- Xbloc retenu en musoir : 7 m<sup>3</sup>, e=2.68m

#### Sous couche :

Prescriptions DMC :

- Section courante en X5m<sup>3</sup> : 1/3 T avec e=1.78 arrondi à 1.80 m / C'est une granulométrie standard du rock manual et de la NF13383,
- Musoir en X7m<sup>3</sup> : 1-3 t avec e=1.78 arrondi à 1.8m<sup>2</sup>

**Franchissements** : limite de 10 l/s/m selon eurotop2018 et rock manual => cote à +11

**Berme** : La largeur de berme artificielle est prise égale à 3 Dn50 ce qui équivaut d'après le guide Xbloc à 2.28D, D étant la hauteur d' un bloc

- section courante : 2.28x2.39 = 5.44 arrondi à 5.40m
- musoir : 2.28x2.68=6.11 arrondi à 6.20m

Des enrochements sont mis en place derrière la berme des blocs artificiels avec pour fonction de faciliter le calage des Xblocs en berme, et de protéger le quai des franchissements

- Blocométrie déterminé par calculs approximatifs Rock manual : estimation vitesse au niveau de berme enrochements (5.55 du RM) puis Dn50 avec pylarzick (p569 et 653 RM)=> blocométrie retenue idem butée avec du 2-4t (Dn50 calcul =2.16),
- largeur = 3 blocs Dn50 soit 3.30m,
- longueur de splash avec Ls=11.57m au maximum → donc berme 5.50+5.50= 11m + épaisseur du mur de couronnement de 1m

**Mur de crête** : choix d'un mur => vu avec adèle et Antoine => pas de largeur plus grande pour maintenance avec la VS=> à justifier ?

Hauteur = épaisseurs carapace+sous couche+ 1m d'épaisseur de la semelle calcul à mener (Amel ou Estelle), l'épaisseur de la semelle à 1m est arbitraire pour l'instant.

- 5.20 m pour section courante
- 5.20m pour le musoir

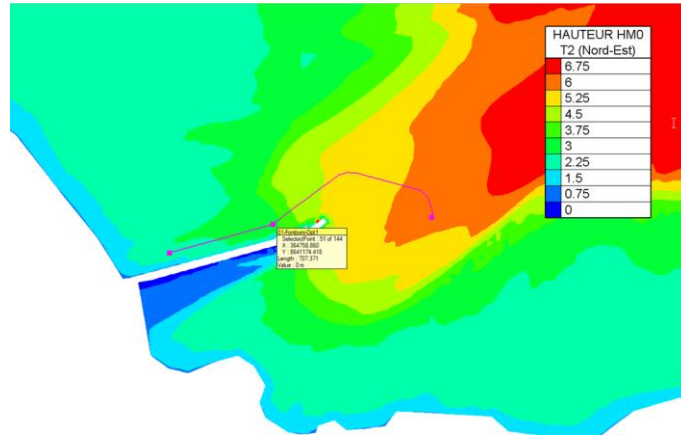
Fondation du MCM sur 1-500kg avec un géotextile puis béton de propreté.

**Noyau** : 1/500kg

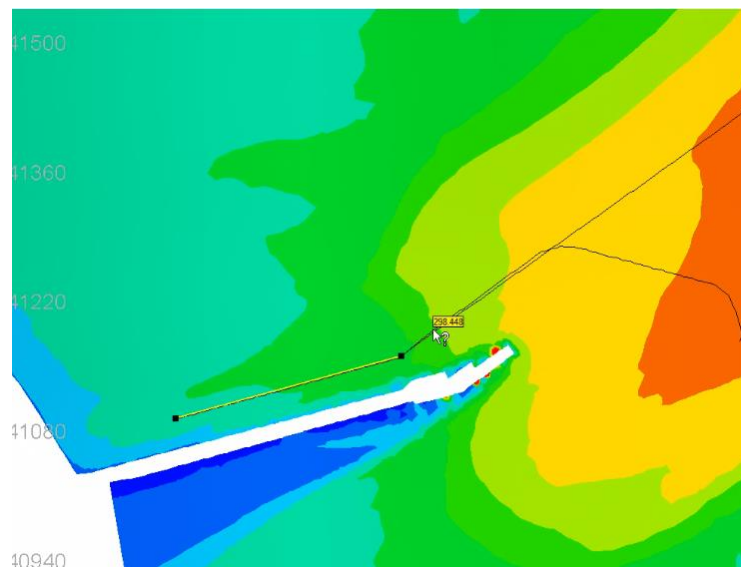
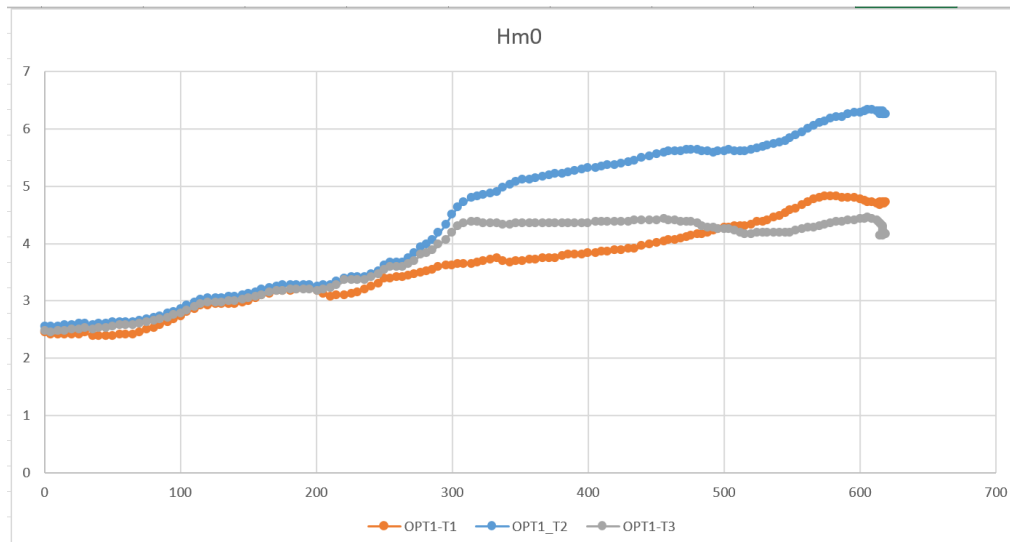
### Digue existante

Jetée existante de 319 m de long avec 50 m de zone en BCR.

Retour litto avec extraction pour le profil OPT1 (rose ci-dessous) :



Cela donne 3 courbes de houles ci-dessous selon direction de houle. On remarque un déferlement de la houle sur le 300m du profil en long qui correspond à la fin de la zone en BCR (qui va d'environ 250m à 300m du profil). La digue fait environ 350m de long et la partie en BCR couvre les 50m de la fin ce qui correspond sur le profil à une zone en BCR qui va de 250m ou de 300m.



Sur les 200 premiers mètres du profil (soit sur les 250m premiers mètres de la digue), on retiendra la même houle de  $Hm_0=3.24m$  avec  $T_p=11.81$  s sur les 100 mètres (qui vont du 250 m de digue à la fin de la digue à 350m) on retiendra 4.72 m avec  $T_p = 11.76$  (valeur prise vers 337 m du profil).

### Calculs

Niveau haut de mer : +6.55m CM

Cote du pied de digue : Pris à -0.5m CM sur les 100 derniers mètres (appelé extrémité) puis +0.50m CM (section courante)

Houle prise arrivant en frontale à ce stade (à affiner avec litto en APD)

### Butée de pied :

Pour mémoire, le sondages existants de 1985 et 1994 ne sont pas du tout sur les mêmes lignes bathymétriques (ligne la plus basse +1CM) et sont situés sur le platier → on ne peut pas extrapoler la profondeur du basalte à partir de ces sondages

Hypothèse : Basalte avec fine couche de sable/sédiment

- butée extrémité : Butée dans zone de déferlement pour état de mer retenu =>  $M_{50}=6.29$  t soit blocs enrochements soit blocs évidés remplis d'enrochements=> possibilité d'étaler sur tous les nouveaux ouvrages aussi. Epaisseur :  $2D_{n50} = 2.62m$ . Longueur : La volonté d'éviter le déroctage implique une butée non ensouillée. Pour rester sécuritaire on part sur une largeur de  $5d_{n50}$  et non  $3D_{n50}$  donne 6.55,
- butée section courante idem nouveaux ouvrages

### Carapace :

Un premier calcul pour une carapace en enrochements impose une taille de bloc de l'ordre de 35t, il est donc nécessaire de passer en blocs artificiels monocouche.

On prend un taux de dommage à 0%.

- Xbloc retenu en extrémité :  $3m^3$ ,  $e=2.02m$
- Xbloc en section courante :  $1m^3$  ;  $e=1.40$

### Sous couche :

*Prescriptions DMC :*

- Section extrémité en  $X3m^3$  : 0.3/1 T avec  $e=1.21$  arrondi à 1.30 m / C'est une granulométrie standard du rock manual et de la NF13383,
- Section courante en  $X1m^3$  : 0.3/1 T avec  $e=1.21$  arrondi à 1.30 m / C'est une granulométrie standard du rock manual et de la NF13383,

**Franchissements** : limite de 10 l/s/m selon eurotop2018 et rock manual => cote à +7 qui redescend en pente pour se raccrocher à l'enracinement => critère franchissement pas respecté. Choisir un nouveau niveau d'eau pour exploitation pour limiter le franchissement (23 et 16 l/s/ml)

**Berme** : La largeur de berme artificielle est prise égale à  $3 D_{n50}$  ce qui équivaut d'après le guide Xbloc à  $2.28D$ , D étant la hauteur d' un bloc

- extrémité :  $2.28 \times 2.02 = 4.60$
- section courante :  $2.28 \times 1.40 = 3.19$  arrondi à 3.20m

**Mur de crête** : choix d'un mur idem roulement existant

**Noyau** : 1/500

## 10. ANNEXE B – ETUDE HYDRAULIQUE

Les objectifs de l'étude hydrodynamique sont multiples :

- Synthétiser les conditions météo-océaniques de la région
- Estimer les conditions hydrodynamiques au droit de la zone d'intérêt de Fomboni pour le dimensionnement des ouvrages des plans masses envisagés
- Appréhender l'action de protection des options d'aménagements sur la future zone portuaire

### 10.1 Contexte météo-océanique

#### 10.1.1 - Vent

Les conditions extrêmes – cycloniques – de vent proviennent de l'étude de modélisation de BMT ARGOSS, sur la base de la simulation de tempêtes sur plus de 40 ans (1972-2011). Les valeurs de vitesse du vent à 10m (moyenné sur une heure) pour la période de retour 50 ans sont synthétisées dans le Tableau 10. Ces valeurs sont pour partie lues sur les graphiques fournis par BMT ARGOSS et rappelées dans la note d'hypothèses.

Tableau 10. Valeurs de retour de la vitesse du vent cyclonique à 10m (1h) de période de retour 50 ans pour différents secteurs directionnels [Source : BMT-ARGOSS]

Secteurs	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
U10 [m/s]	22.0	23.2	21.8	24	24.5	22	20.5	21
Dir. [°N]	0	45	90	135	180	225	270	315

On supposera, en première approche, que les actions applicables sur l'île de Mayotte sont transposables aux îles de Mohéli (Fomboni, Hoani), Grande Comore (Chindini) et Anjouan (Vassy).

#### 10.1.2 - Houle

Lors du projet du port de Moheli réalisé par CEC en 2012, une évaluation du climat de houle a été effectuée sur une série de données de houle collectée de BMT ARGOSS extraite toutes les 3h au point au large de Fomboni (12°13'S, 43°49'E) à une profondeur de 151m sur une période de 15 ans, de 1996 à 2011. De cette analyse, la plupart des houles usuelles sont inférieures à 1.5m et proviennent très majoritairement de la direction ENE (~70°N). De manière très marginale, certaines houles peuvent provenir des secteurs NNE, NE, E, SSE et SE.

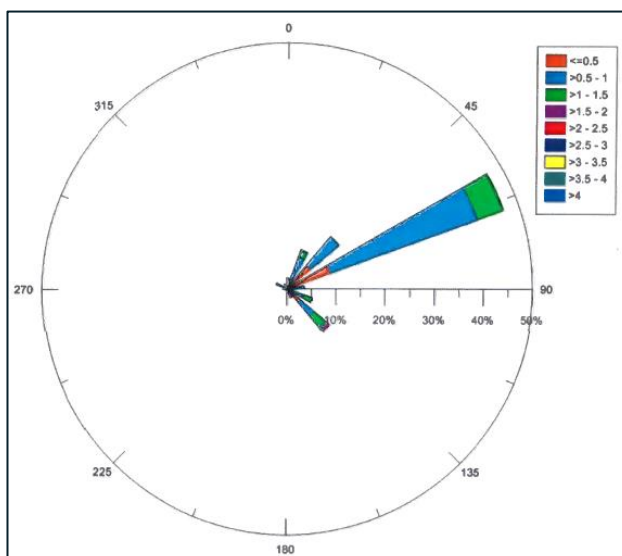


Figure 24. Localisation du point d'extraction BMT ARGOSS (gauche) et de la rose des houles annuelle associée (droite) (source : CEC, 2012)

De même que pour le vent, les épisodes cycloniques sur l'archipel des Comores induisent les conditions de houle les plus dimensionnantes. L'étude de BMT ARGOSS a permis de caractériser les valeurs de retour à 50 ans de la hauteur significative ( $H_m0$ ) et la période de pic associée ( $T_p$ ) sur la zone pour différents secteurs directionnels. Ces valeurs sont pour partie lues sur les graphiques fournis par BMT ARGOSS rappelés dans la note d'hypothèses.

Tableau 11. Valeurs de retour de la hauteur significative de période de retour 50 ans et période de pic associée pour différents secteurs directionnels [Source : BMT-ARGOSS]

Secteurs	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
$H_m0$ [m]	6.5	6.6	7.3	6.8	5.3	5.1	5.4	6.1
$T_p$ [s]	10.3	11.2	13.1	12.9	11.7	11.5	10.8	10.3
Dir. [°N]	0	45	90	135	180	225	270	315

### 10.1.3 - Niveaux marins

Le tableau suivant donne les niveaux de marnage caractéristiques (Références Altimétriques Maritimes, Ports de France métropolitaine et d'outre-mer, SHOM, 2020) du port de référence de Dzaoudzi :

Tableau 12. Niveau des marées caractéristiques du port de référence de Dzaoudzi (source : RAM 2020)

Marée	Niveau mCM
<b>PHMA</b> / HAT : Plus Haute Mer Astronomique	+4.30
<b>PMVE</b> / MHWS : Pleines Mers de Vives-Eaux	+3.70
<b>NM</b> / MWL : Niveau moyen	+2.13
<b>BMVE</b> / MLWS : Basse-mers de Mortes-Eaux	+0.50
<b>PBMA</b> / LAT : Plus Basse Mer Astronomique	+0.08

On supposera, en première approche, que ces références altimétriques applicables sur l'île de Mayotte sont transposables aux îles de Mohéli (Fomboni, Hoani), Grande Comore (Chindini) et Anjouan (Vassy). Une incertitude sur ces références sera prise en compte dans la définition des niveaux d'eau de dimensionnement.

Comme décrit dans la note d'hypothèse on considère que le niveau d'eau haut extrême considéré est la somme de la Pleine Mer de Vive Eau (PMVE à +3.70mCM), de la surcote cyclonique (+1.50m), du wave setup (+0.60m), de l'élévation due au changement climatique (0.50m), et des incertitudes du projet (0.25m), soit un niveau haut de +6.55mCM. Le niveau bas considéré est la somme du niveau de plus basse mer astronomique (PBMA +0.08mCM) et d'une décote n'excédant pas 10 cm, soit un niveau bas de +0mCM.

## 10.2 Estimation des conditions hydrodynamiques extrêmes à Fomboni

La simulation de propagation de la houle depuis les frontières d'un modèle régional jusqu'au port de Fomboni permet d'estimer les conditions hydrodynamiques au pied des ouvrages envisagés.

Dans un premier temps, la simulation de l'ensemble des scénarios permet de déterminer les conditions les plus pénalisantes à l'état actuel pour le port de Fomboni et les ouvrages envisagés.

Dans un deuxième temps, l'impact de chacune des 3 solutions d'aménagement sur la propagation de la houle sera analysé.

## 10.2.1 - Mise en œuvre du modèle TOMOWAC

Les conditions de houle dimensionnantes en pied d'ouvrage sont déterminées à partir d'une modélisation de la propagation des conditions du large, présentées au Tableau 1 (houle et vent), jusqu'à la côte, similaire à celle réalisée par CEC pour le site de Fomboni.

Le modèle hydraulique est construit avec les codes TOMAWAC de la suite logicielle open TELEMAC-MASCARET, développée et maintenue par EDF R&D ([opentelemac.org](http://opentelemac.org)). Le code TOMAWAC permet le calcul, par la méthode des éléments finis, de la propagation des états de mer du large à la côte, en prenant en compte les effets de réfraction (bathymétrie, courants), levée (*shoaling*), interactions non linéaires entre fréquences, génération par le vent, dissipation par déferlement bathymétrique et moutonnement, dissipation par frottement sur le fond etc. Il calcule les spectres d'état de mer en tout point du domaine et en déduit les paramètres synthétiques de hauteur significative, période de pic, direction moyenne, efforts dus au déferlement des vagues etc.

### 10.2.1.1 Construction du modèle

#### 10.2.1.1.1 Maillage et résolution

La résolution du maillage est comme suit :

- 2000m de résolution au large et aux limites du modèle (à environ 12 et 15 km du trait de côte des îles).
- 20m de résolution sur chaque zone d'intérêt, dans un rayon de 1km minimum depuis l'ouvrage envisagé, en cohérence avec les données bathymétriques collectées (cf. section suivante). Du large à la côte, le maillage est progressif.
- 7m de résolution sur la zone de Fomboni, au droit de la jetée existante.

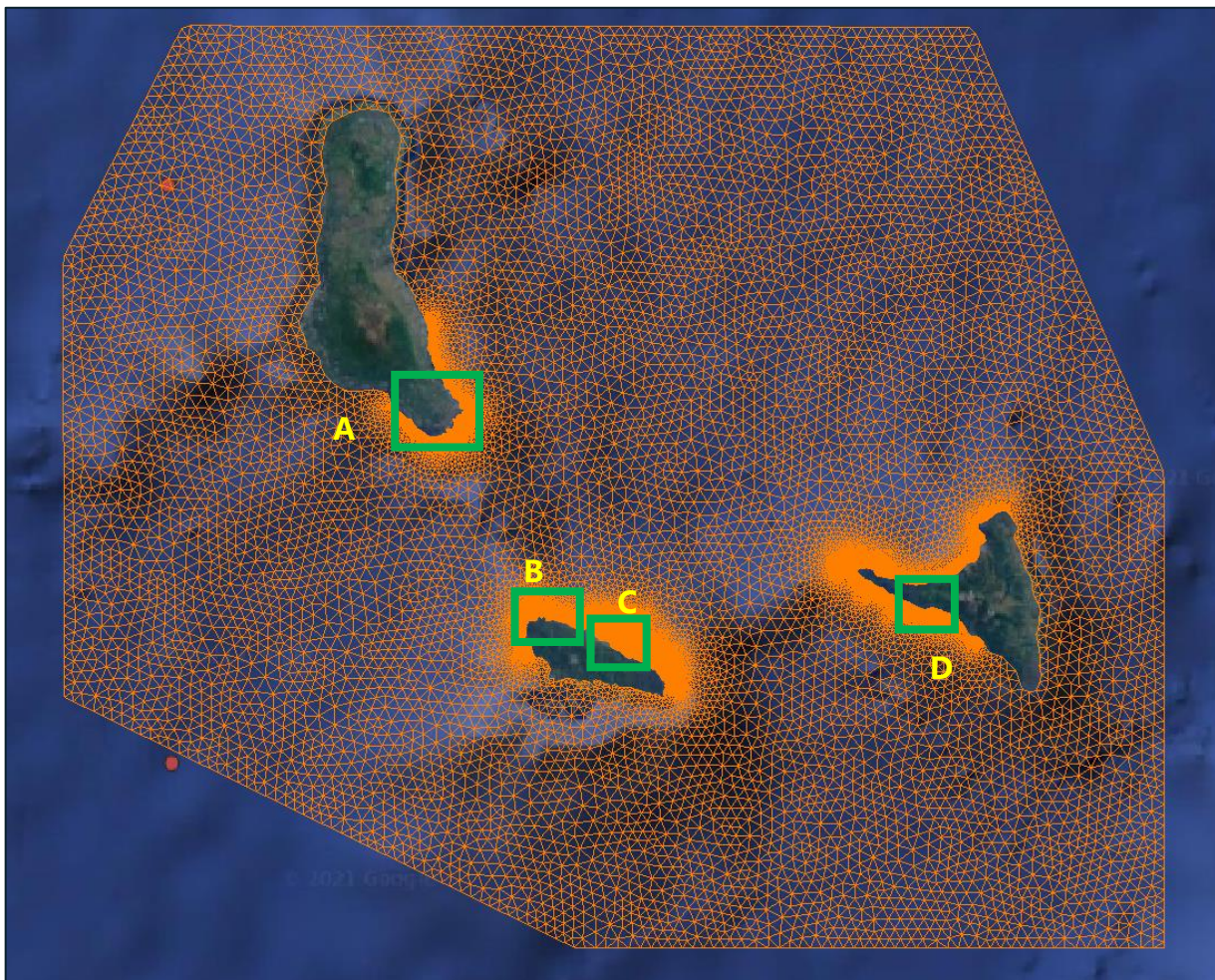


Figure 25. Maillage du modèle numérique mis en œuvre – vue globale des Comores

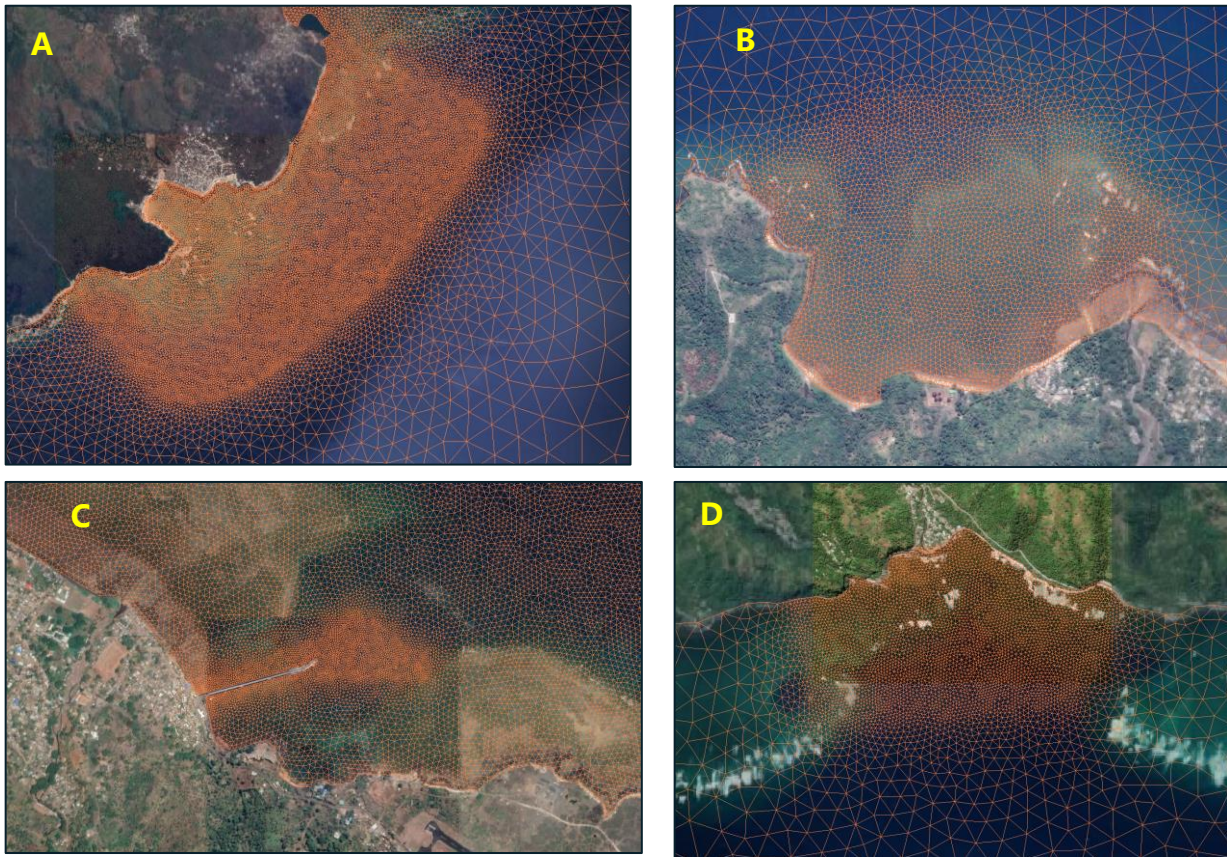


Figure 26. Maillage du modèle numérique mis en œuvre – zoom sur Chindini (A), HOANI (B), Fomboni (C) et Vassy (D)

#### 10.2.1.1.2 Bathymétrie

Les données topo-bathymétriques utilisées sont les suivantes :

- Données du SHOM (levé au sondeur multifaisceaux – SMF – et carte marine)
- Données SRTM30+ avec une résolution de 1km entre chaque point
- Données Satellite EOMAP sur les différents sites d'intérêt (résolution de 2m, incertitude max. de 1 à 2m, variable selon la profondeur d'eau). La précision altimétrique de ces données est de l'ordre du mètre. Un calage a été réalisé avec une superposition des données topographiques dans la zone de marnage, présentant une cohérence globale des résultats, sans correction.

Les données du SHOM par mesure multifaisceaux sont choisies préférentiellement, étant plus fiables de par leur caractère *in situ*, notamment sur les sites de Fomboni et Hoani. Ailleurs, les données EOMAP sont choisies préférentiellement à celle de SRTM, utilisées pour la bathymétrie du large. Les isobathes de la carte marine du SHOM sont extraites également afin de compléter la caractérisation des fonds aux abords des sites d'étude, et/ou en remplacement des données SRTM lorsque celles-ci paraissent incohérentes, comme par exemple entre l'île de Mohéli et les données SMF disponibles du SHOM.

Le trait de côte est imposé à la valeur de la Plus Haute Marée Astronomique (PHMA), soit +4.30 mCM.

Compte tenu des nombreuses zones non-hydrographiées par le SHOM, et après analyse des données EOMAP nous faisons l'hypothèse que la marge des récifs est à profondeur approximativement constante.

Les altitudes retenues aux frontières des zones récifales sont :

- -4.5 m MSL (-2.37m CM) à l'Est de Fomboni
- -6.0 m MSL (-3.87m CM) à l'Ouest de Fomboni, de Hoani, et entre les sites de Hoani et Fomboni
- -8.0 m MSL (-5.37m CM) de part et d'autre de Chindini

Cette hypothèse permet de combler raisonnablement les zones non-hydrographiées aux abords des sites d'intérêt.

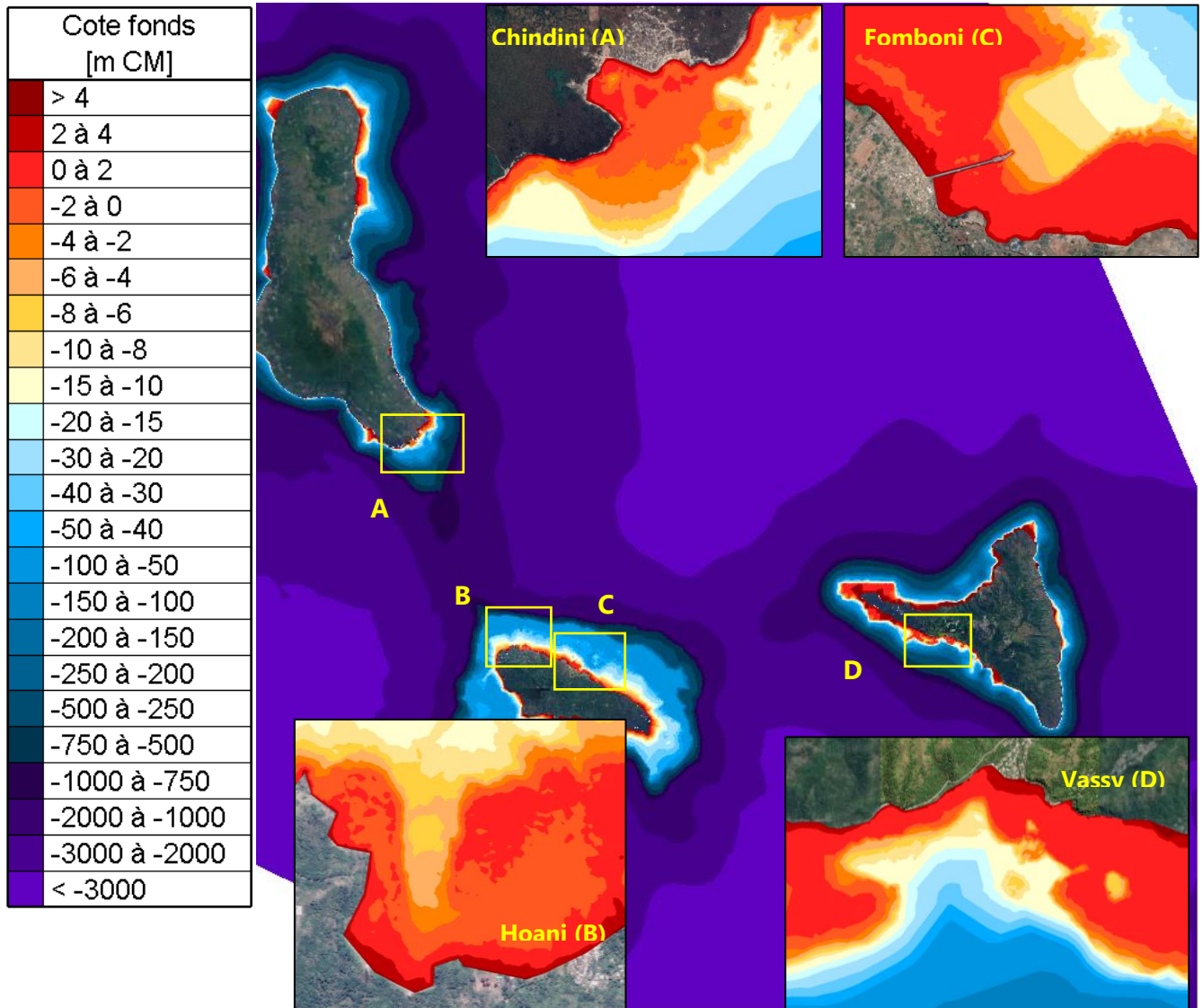


Figure 27. Bathymétrie mise en place dans le modèle numérique

D'après la Figure 27, sur Fomboni, on note une passe où la cote des fonds est plus profonde que les hauts fonds à la côte correspondant au récif corallien (situé environ à la cote 0mCM). Cette passe naturelle s'étend sur environ 400 mètres de large jusqu'à la localisation de la jetée actuelle.

### 10.2.1.1.3 Modifications liées aux plans masses envisagés

Les options d'aménagements envisagés sont par la suite implémentées dans le modèle numérique afin d'appréhender leur effet de protection sur la zone portuaire (cf. §10.2.3 - ).

Pour ce faire, le maillage est modifié afin d'ajouter comme frontière du modèle les emprises (quais et crête de carapace) de chacun des plans masses. La résolution proche de la jetée et du nouvel ouvrage est gardée à 7m.

De même, la bathymétrie est localement modifiée afin de prendre en compte :

- La hauteur du quai, imposée à +7mCM,

- La hauteur de crête de carapace, imposée à +10.5mCM si la cote en pied d'ouvrage est supérieure à -8mCM, +11mCM sinon jusqu'au musoir.

Concernant la bathymétrie, les points du TN actuel entre le pied et la crête de talus sont supprimés, tandis que le talus est automatiquement interpolée entre la crête et la ligne du pied d'ouvrage imposée sur le TN actuel. La Figure 28 présente le maillage et la bathymétrie implémentés pour les options d'aménagement 1, 2 et 3 :

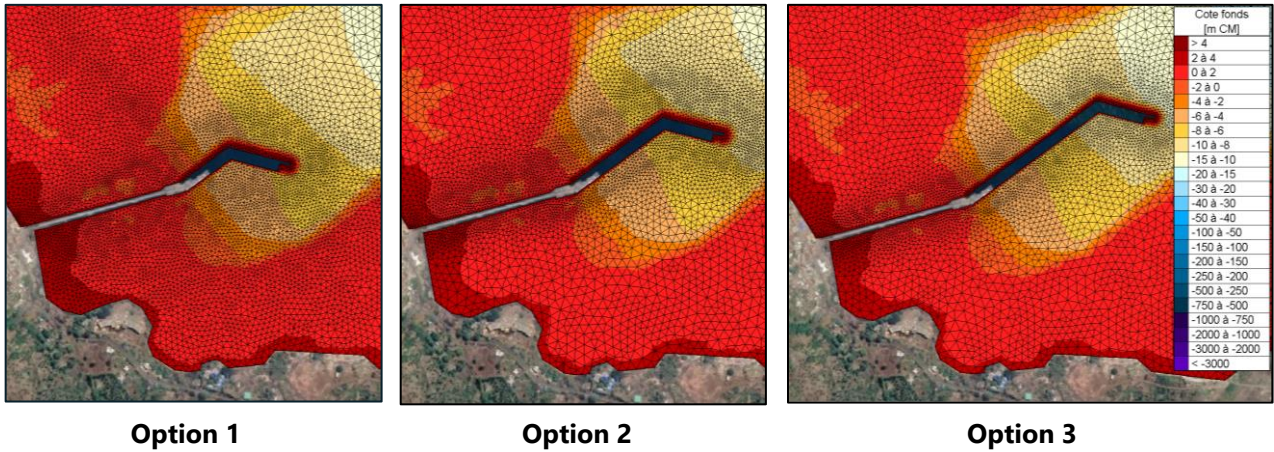


Figure 28. Implémentation des OPTIONS d'aménagement sur la zone de Fomboni dans le modèle numérique

### 10.2.1.2 Paramétrisation du modèle

Les états de mer se présentent sous la forme de spectres directionnels de type JONSWAP avec  $\gamma=2$ , et une distribution angulaire  $\cos-2s$  de  $s=25$  (houle océanique avec une courte distance d'amortissement).

Les apports dus au vent, avec une dissipation par moutonnement, sont pris en compte.

Un coefficient de friction selon Strickler de  $40m^{1/3}/s$ , est pris en compte pour représenter la dissipation par frottement sur le fond.

### 10.2.1.3 Programme des simulations

Des conditions cinquantennales de houle et vent (chacun de période de retour 50 ans, et de même direction de propagation) sont retenues pour 8 secteurs différents, et 2 niveaux d'eau distincts, haut et bas (+6.55mCM et +0.00mCM), soit un total de 16 états de mer simulés, dont les caractéristiques de houle et vent sont reportées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 13. Conditions retenues de houle et vent au large de période de retour 50 ans (source : BMT-ARGOSS)

Secteurs	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Scénarios	1	2	3	4	5	6	7	8
Vent [m/s]	22.0	23.2	21.8	24	24.5	22	20.5	21
Hm0 [m]	6.5	6.6	7.3	6.8	5.3	5.1	5.4	6.1
Tp [s]	10.3	11.2	13.1	12.9	11.7	11.5	10.8	10.3
Dir. [°N]	0	45	90	135	180	225	270	315

### 10.2.2 - Résultats au site de Fomboni

L'ensemble des 16 scénarios retenus ont été simulés avec le logiciel TOMOWAC. Les résultats sur la zone de Fomboni sont présentés ci-après.

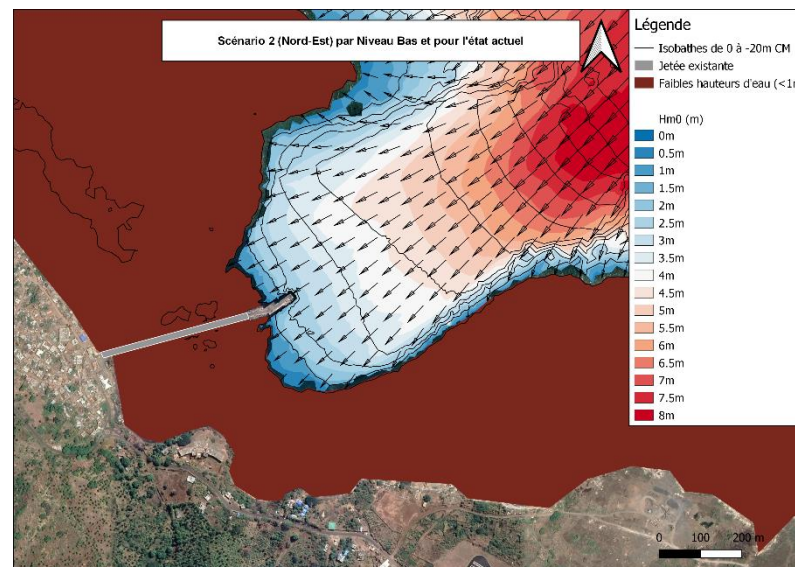
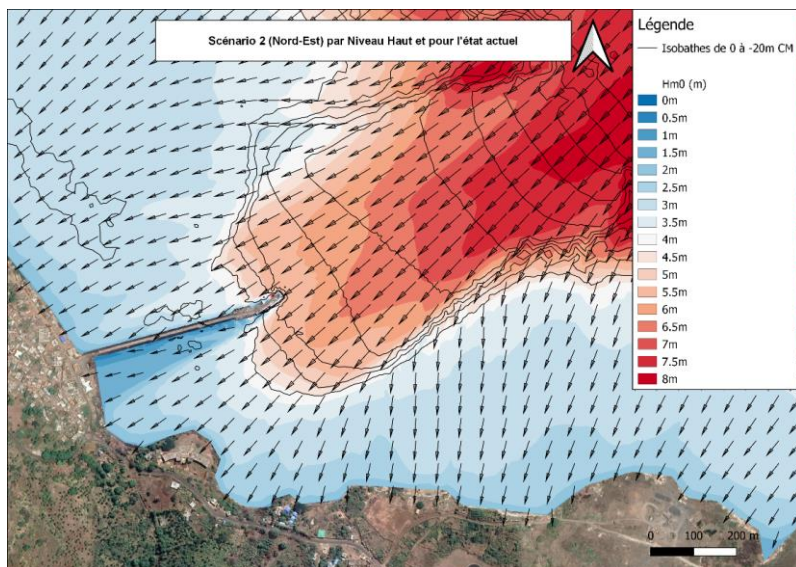
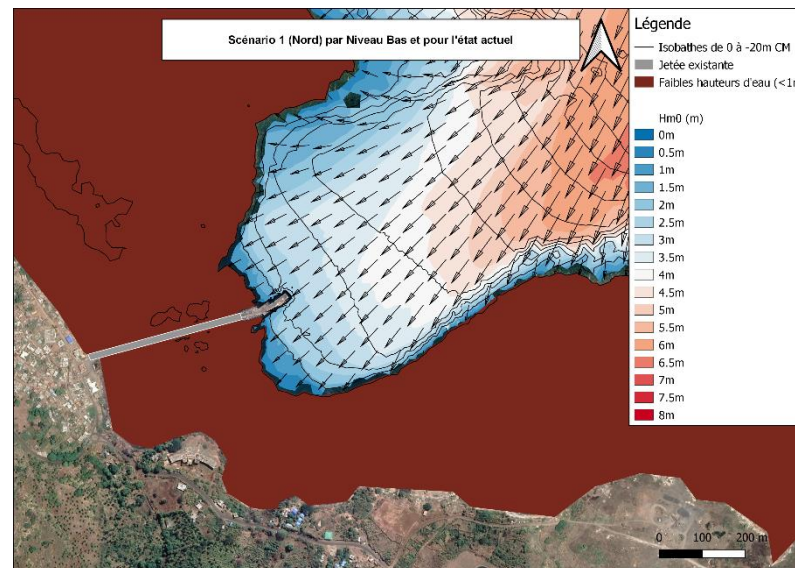
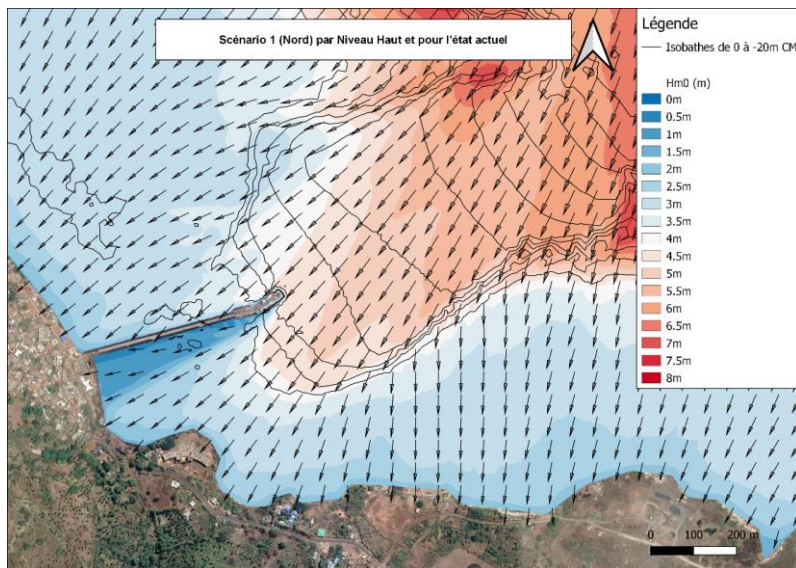


Figure 29. Résultats numériques des propagations de houle au droit de la zone de Fomboni (niveau haut à gauche, niveau bas à droite) – scénario 1 et scénario 2 (isobathes tous les 2m)

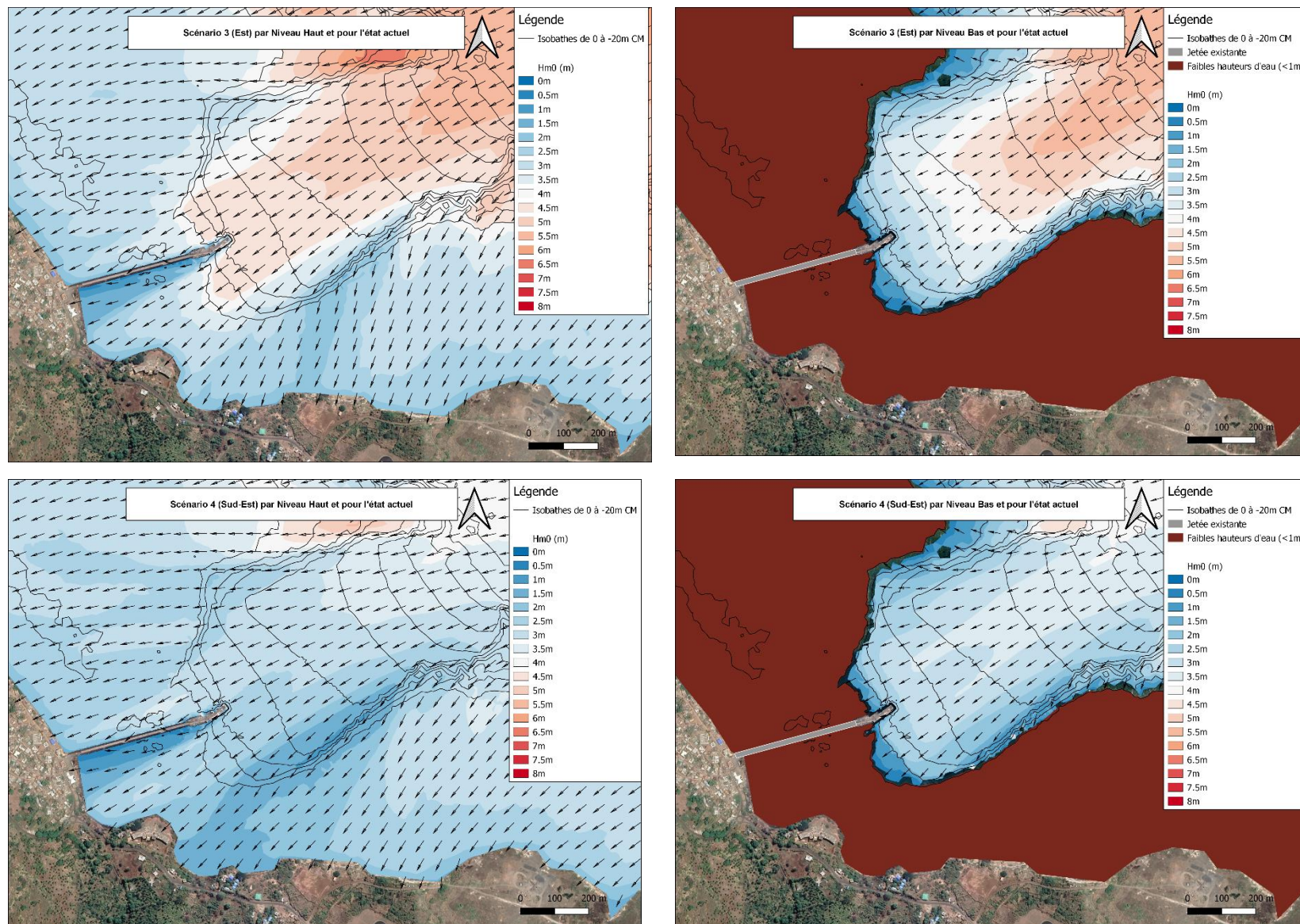


Figure 30. Résultats numériques des propagations de houle au droit de la zone de Fomboni (niveau haut à gauche, niveau bas à droite) – scénario 3 et scénario 4 (isobathes tous les 2m)

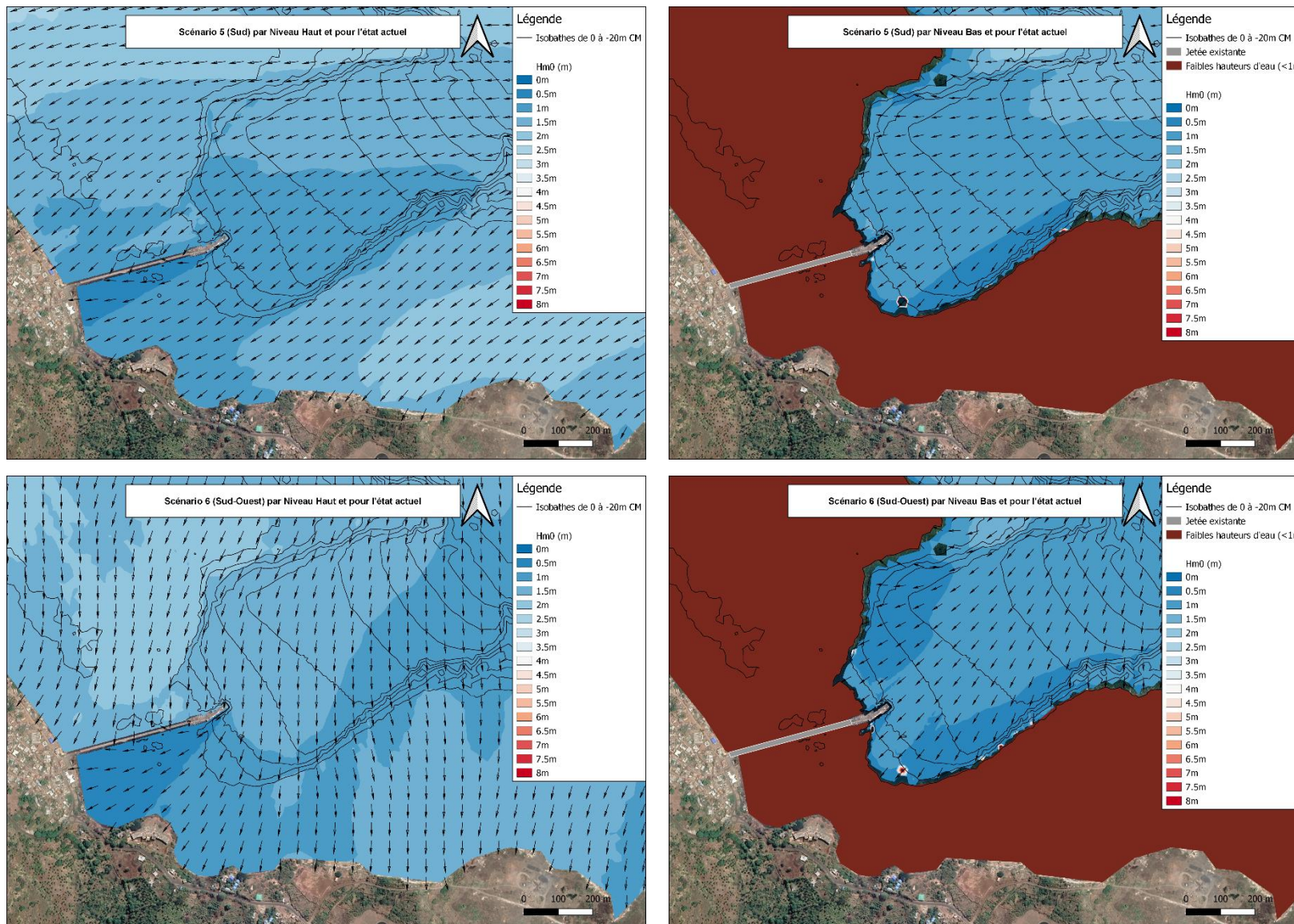


Figure 31. Résultats numériques des propagations de houle au droit de la zone de Fomboni (niveau haut à gauche, niveau bas à droite) – scénario 5 et scénario 6 (isobathes tous les 2m)

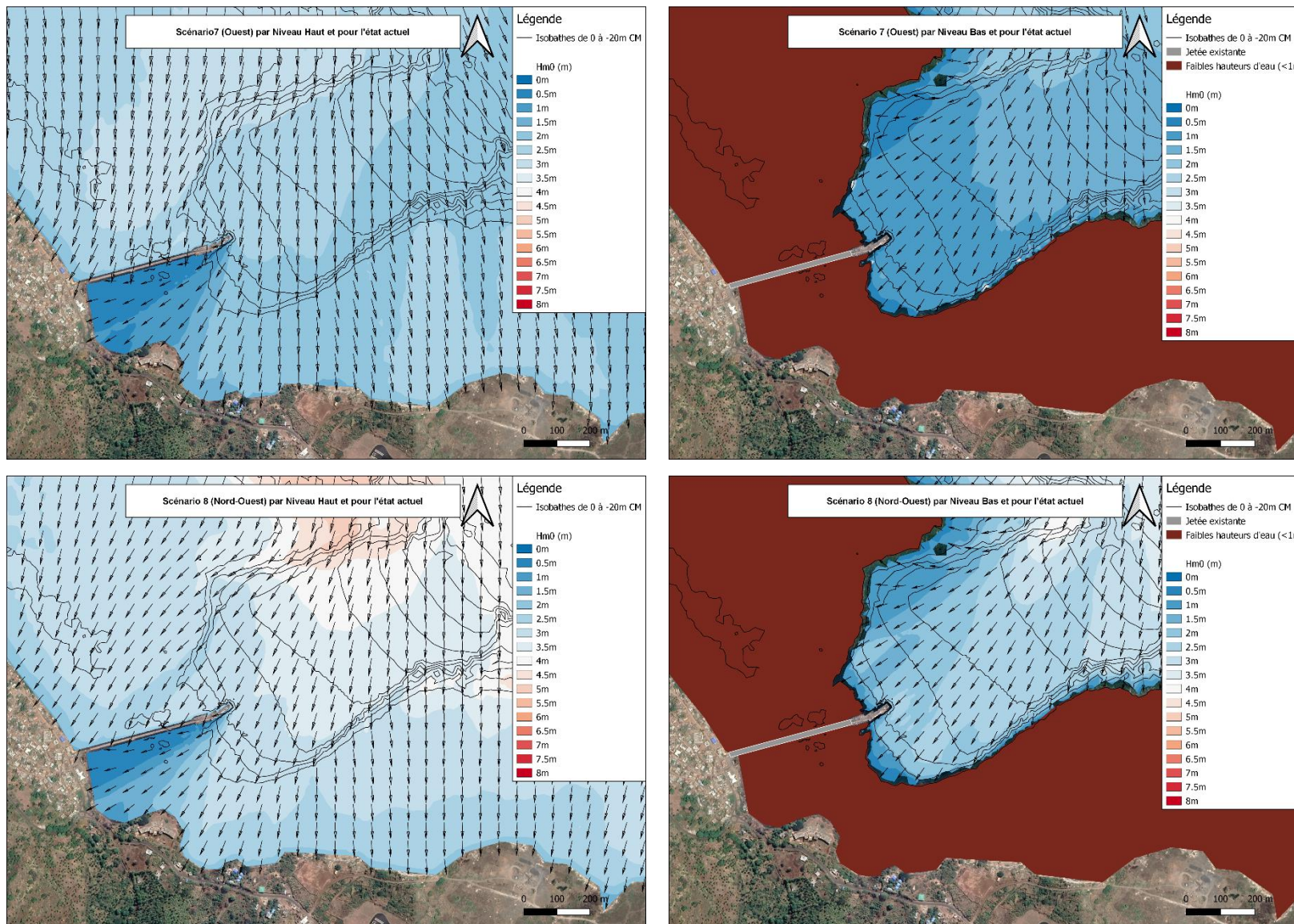


Figure 32. Résultats numériques des propagations de houle au droit de la zone de Fomboni (niveau haut à gauche, niveau bas à droite) – scénario 7 et scénario 8 (isobathes tous les 2m)

D'après ces résultats, pour chacun des scénarios, la hauteur significative de houle  $H_{m0}$  arrivant sur la zone d'intérêt est plus importante pour un niveau haut que pour un niveau bas, en cohérence avec l'atténuation d'énergie de la houle par le déferlement bathymétrique et le frottement de fonds. De même, la passe naturelle plus profonde, mise en évidence par les isobathes, favorise la propagation de la houle jusqu'à la jetée existante, tandis que les hauts fonds représentés par les récifs coralliens dissipent fortement l'énergie des vagues. On remarque également la réfraction de la houle à l'approche de ces changements bathymétriques importants.

Globalement, trois secteurs sont plus impactant en termes de hauteur de houle pour le site au-devant de la jetée actuelle : en particulier le secteur NE (scénario 2), et relativement plus faibles les secteurs N (scénario 1) et E (scénario 3) ; ce résultat est cohérent avec l'ouverture de la passe au NE.

On notera que le secteur NE est également le secteur préférentiel d'incidence des vagues en conditions usuelles.

Afin d'évaluer précisément les conditions de houle dans la zone de Fomboni et au droit des ouvrages envisagés, les valeurs des modélisations sont extraites le long des lignes longeant l'ouvrage (à 20m du pied d'ouvrage) considéré pour chaque option d'aménagement (Figure 33).

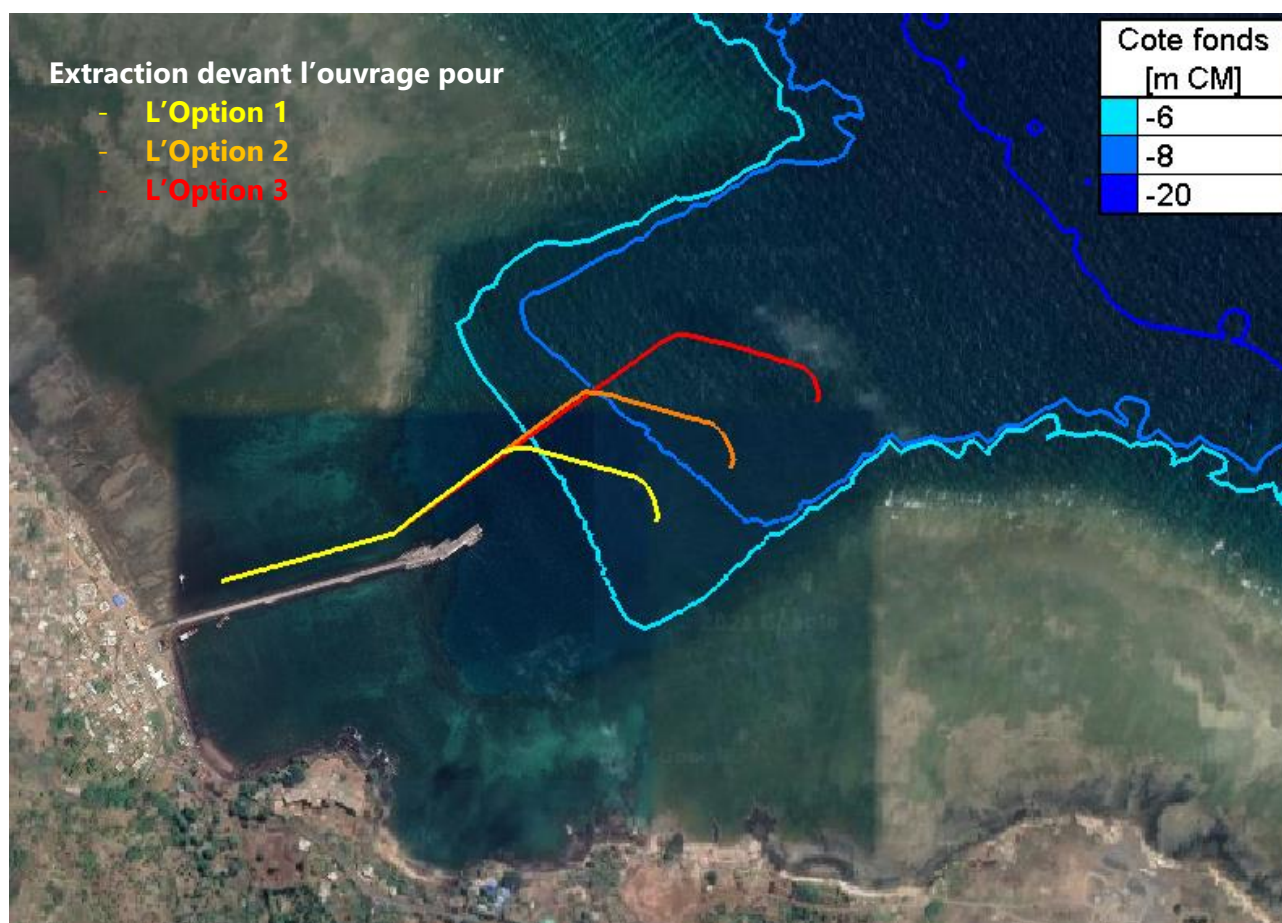


Figure 33. Localisation des lignes d'extraction des conditions de houle

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** ci-dessous présente les valeurs des hauteurs de houle ( $H_{m0}$ ) extraites le long des lignes d'extraction devant chacune des options d'aménagement. La distance (axe horizontal) est comptée de la côte vers le musoir.

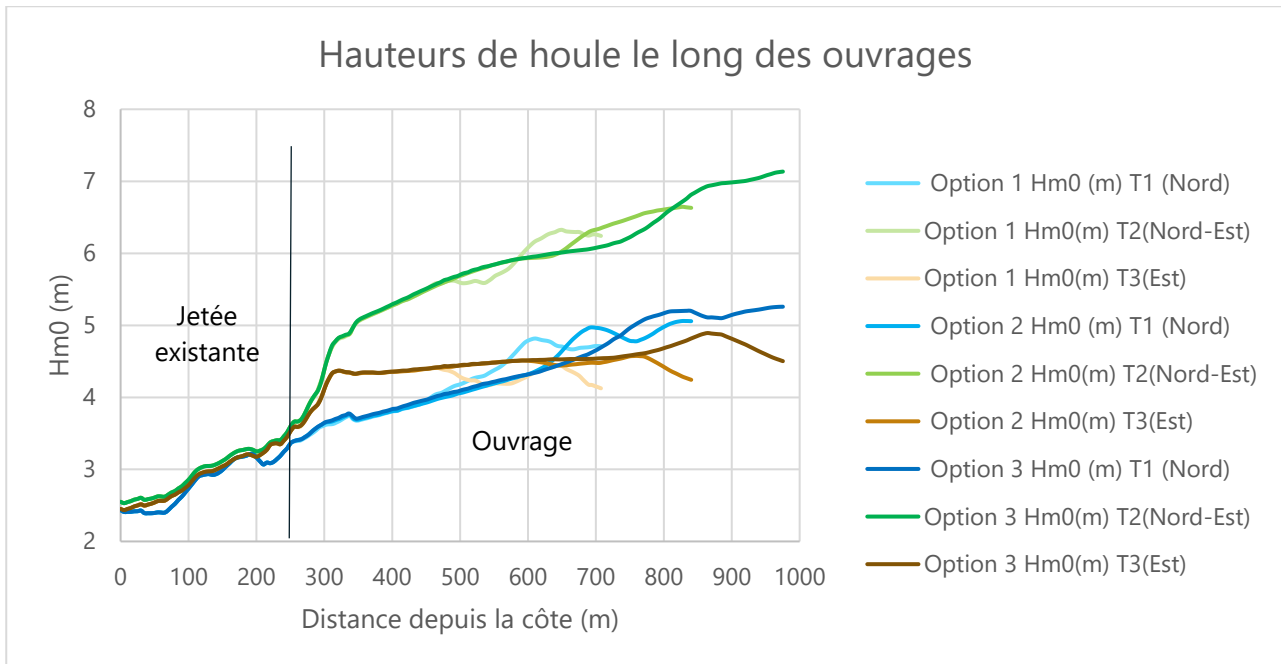


Figure 34. Résultats des hauteurs significatives de houle Hm0 le long des ouvrages

Ces résultats montrent que quel que soit le scénario (NE, N et E), la hauteur significative de la houle Hm0 le long de la jetée existante est comprise entre 2.5 et 3.7m. L'analyse des périodes a montré que dans le cas du niveau haut (+6.55m CM), les périodes de pic de houle sur la zone sont toutes comprises entre 11 et 13s pour les cas simulés.

Le Tableau 14 reporte par ailleurs les valeurs maximales de hauteur de houle (Hm0) extraites le long des lignes longeant les ouvrages des options 1, 2 et 3, et la période (Tp) correspondante.

Tableau 14. Conditions hydrodynamiques maximales simulées au droit des lignes d'extraction pour l'ensemble des scénarios retenus (période de retour 50 ans)

	Niveau d'eau (mCM)	Ouvrage – Option 1		Ouvrage – Option 2		Ouvrage – Option 3	
		Hm0 (m)	Tp (s)	Hm0 (m)	Tp (s)	Hm0 (m)	Tp (s)
Scénario 1 (Nord)	6,55	4,81	12,0	5,06	12,0	5,26	12,0
	0,00	3,68	11,9	4,13	11,9	4,86	14,2
Scénario 2 (Nord-Est)	6,55	6,32	12,0	6,65	12,1	7,13	12,3
	0,00	3,91	12,1	4,55	12,0	5,57	14,1
Scénario 3 (Est)	6,55	4,44	12,4	4,58	12,3	4,89	12,3
	0,00	3,85	12,0	4,38	11,9	4,98	14,8
Scénario 4 (Sud-Est)	6,55	2,77	13,7	2,85	14,0	4,46	13,3
	0,00	3,04	13,0	3,08	13,6	4,45	13,3
Scénario 5 (Sud)	6,55	0,98	12,7	1,04	12,5	1,8	11,8
	0,00	0,82	13,1	0,83	13,2	1,56	12,6
Scénario 6 (Sud-Ouest)	6,55	1,23	11,9	1,26	11,9	1,41	11,8
	0,00	0,55	12,0	0,56	11,9	1,13	11,8
	6,55	2,27	11,3	2,45	11,3	2,69	11,6

	Niveau d'eau (mCM)	Ouvrage – Option 1		Ouvrage – Option 2		Ouvrage – Option 3	
		Hm0 (m)	Tp (s)	Hm0 (m)	Tp (s)	Hm0 (m)	Tp (s)
Scénario 7 (Ouest)	0,00	0,92	11,6	1,01	11,6	2,26	11,9
Scénario 8 (Nord-Ouest)	6,55	3,06	10,6	3,28	10,6	4,44	10,5
	0,00	2,11	11,26	2,3	11,1	4,3	10,7

Au niveau des ouvrages envisagés, tout comme la zone d'intérêt en général, les scénarios de secteurs Nord, Nord-Est et Est sont les plus pénalisants, en particulier pour un niveau d'eau haut à  $Z_w = +6.55\text{mCM}$ .

D'après le Tableau 14, il apparaît clairement que le scénario avec un niveau haut et une Houle de Nord-Est est le plus pénalisant pour le port de Fomboni, quelle que soit l'option d'aménagement considérée. La zone du musoir est toujours identifiée comme celle recevant les conditions de houle les plus fortes.

D'après ce tableau, les conditions de houles maximales au droit des ouvrages envisagés pour chaque option d'aménagement 1 à 3 à Fomboni sont les suivantes :

- Pour l'Option 1 :  $H_{m0} = 6.32\text{m}$  et une période associée  $T_p = 12.0\text{s}$
- Pour l'Option 2 :  $H_{m0} = 6.65\text{m}$  et une période associée  $T_p = 12.1\text{s}$
- Pour l'Option 3 :  $H_{m0} = 7.13\text{m}$  et une période associée  $T_p = 12.3\text{s}$

Note : ces périodes de pic sont issues du résultat de simulations des états de mer du large considérés, et représentent en ce sens la valeur la plus représentative des conditions extrêmes attendues sur le site. Il est néanmoins recommandé, pour le dimensionnement des ouvrages, de réaliser une étude de sensibilité tenant compte d'une plage de variation raisonnable de ce paramètre.

### 10.2.3 - Appréhension des options d'aménagements

Les plans masses envisagés ont été implémentés dans le modèle numérique avec pour objectif d'appréhender l'efficacité des solutions vis-à-vis de l'agitation sur la zone portuaire. A noter que cette première approche est qualitative : elle permet de comparer les solutions avec l'état actuel et entre-elles, et d'apporter un ordre de grandeur de l'atténuation des houles sur la zone.

Il est important de noter que les phénomènes de diffraction, en particulier, ne sont pas représentés par le modèle utilisé ; l'étude d'agitation à proprement dite sera effectuée dans une phase ultérieure (AVP).

Dans ce but, les scénarios suivants ont été simulés avec le logiciel TOMOWAC, tous à niveau haut (+6.55mCM) :

- Le scénario 2, de secteur Nord-Est, le plus impactant pour le site de Fomboni, a été simulé pour chacun des 3 plans masses envisagés ; cf. Figure 35 ;
- Les scénarios 1, de secteur Nord, et 3, de secteur Est, pour le seul plan masse Option 2, en vue d'évaluer la sensibilité au secteur de provenance des houles du large ; cf. Figure 36.

Les plans de vague résultant sont présentés ci-après, avec les résultats de l'état actuel systématiquement reproduites à fin de comparaison.

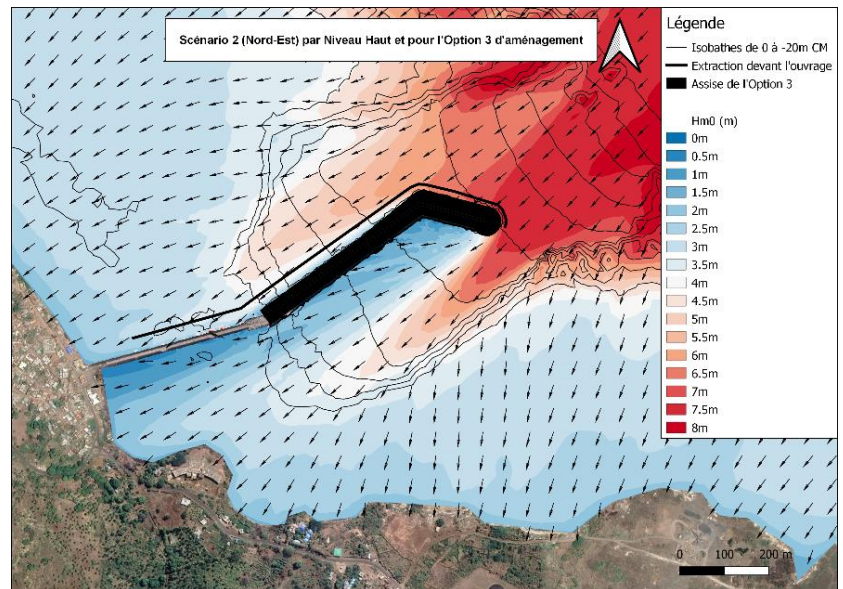
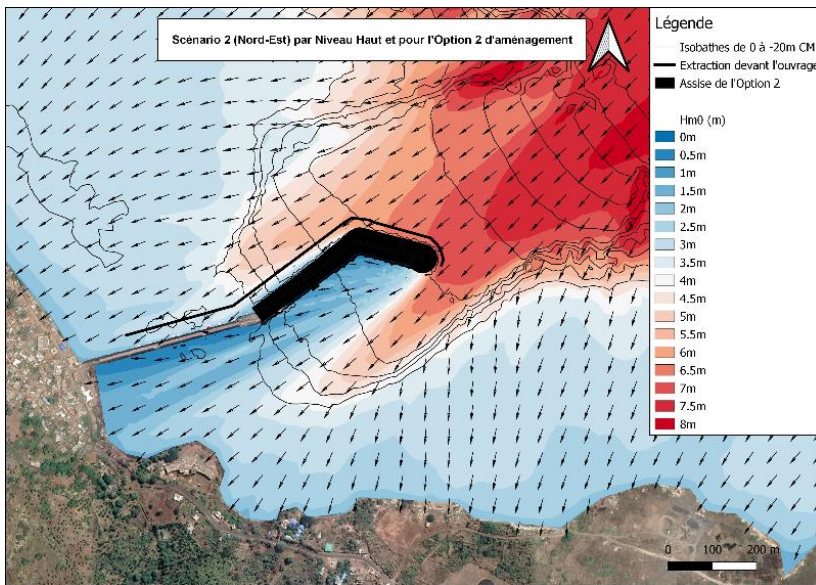
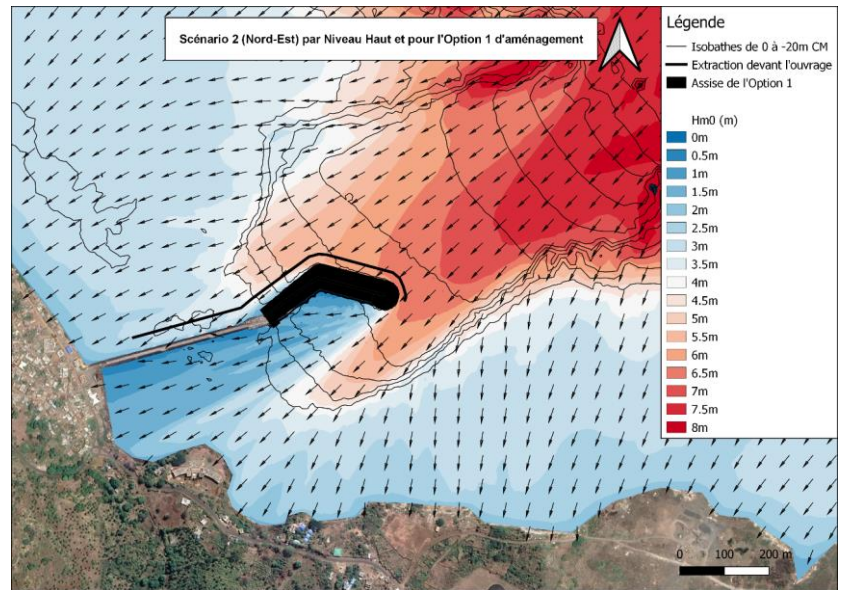
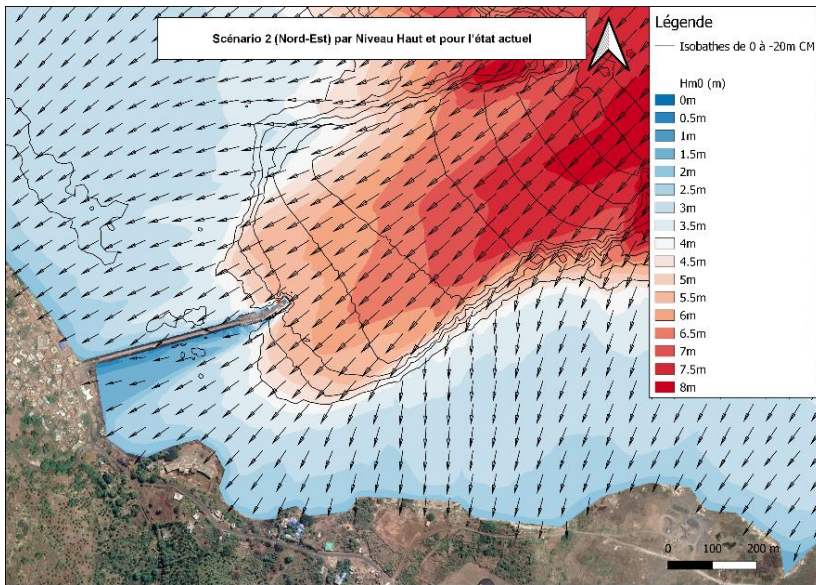


Figure 35. Résultats numériques des propagations de houle au droit de la zone de Fomboni avec implémentation des plans masses envisagés pour le scénario 2 (Nord-Est) par niveau haut

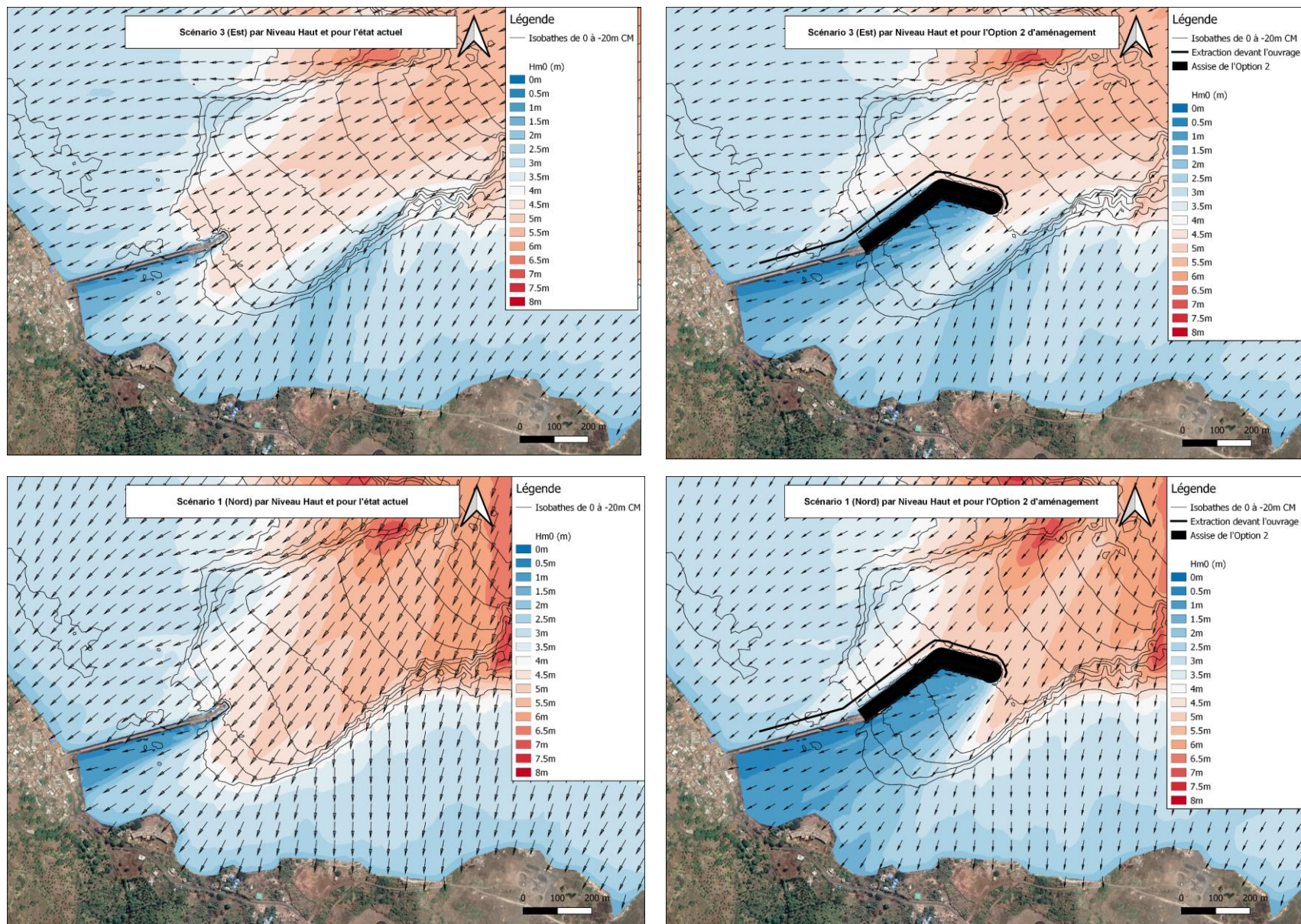


Figure 36. Résultats numériques des propagations de houle au droit de Fomboni avec implémentation du plan masse option 2 pour le scénario 3 (Est) et scénario 1 (Nord) par niveau haut

D'après la Figure 35, pour un événement cinquantennal de secteur Nord-Est (scénario 2), le plus pénalisant, les 3 plans masses envisagés permettent une réduction significative de la houle sur la future zone portuaire. Le long de la jetée côté extérieur (bord Nord), aucune réduction significative de la houle n'est cependant observée par l'agencement et longueur des ouvrages dans la passe vis-à-vis de l'état actuel. A noter que les hauts fonds (~0mCM) sur cette zone Nord atténuent et absorbent déjà fortement l'énergie de la houle.

Au-devant de la jetée existante (~-4mCM), situé à l'enracinement de la future digue, la hauteur significative de houle  $H_{m0}$  d'environ 5m à l'état actuel est atténuée de l'ordre de 3 à 4m dans la zone protégée en arrière des ouvrages, améliorant de manière très significative l'agitation sur cette zone pour un événement cyclonique.

Avec l'implémentation des ouvrages, on observe une réfraction supplémentaire de la houle aux alentours du musoir (cf. 10.2.1.1.3 bathymétrie modifiée) vers les quais. On constate cependant que plus l'ouvrage est long (exemple option 3 vis-à-vis de l'option 1), plus la réfraction de la houle sur l'arrière de digue intervient tôt au large, et plus l'impact est négatif sur les quais. A noter que le modèle utilisé ne prend pas en compte la diffraction ni la réflexion : ces phénomènes modifieraient l'agitation sur cette zone. En somme, plus l'ouvrage est long, plus il permettra d'occulter sa partie Nord, mais plus le quai sera exposé à l'agitation. En revanche, la digue procure toujours le même abri en arrière directe de celle-ci. Observant une zone d'ombre légèrement plus importante au droit de la jetée existante côté intérieur (bord Sud), l'option 1 semble protéger relativement plus cette de de l'agitation, en comparaison avec l'option 2, et elle-même vis-à-vis de l'option 3.

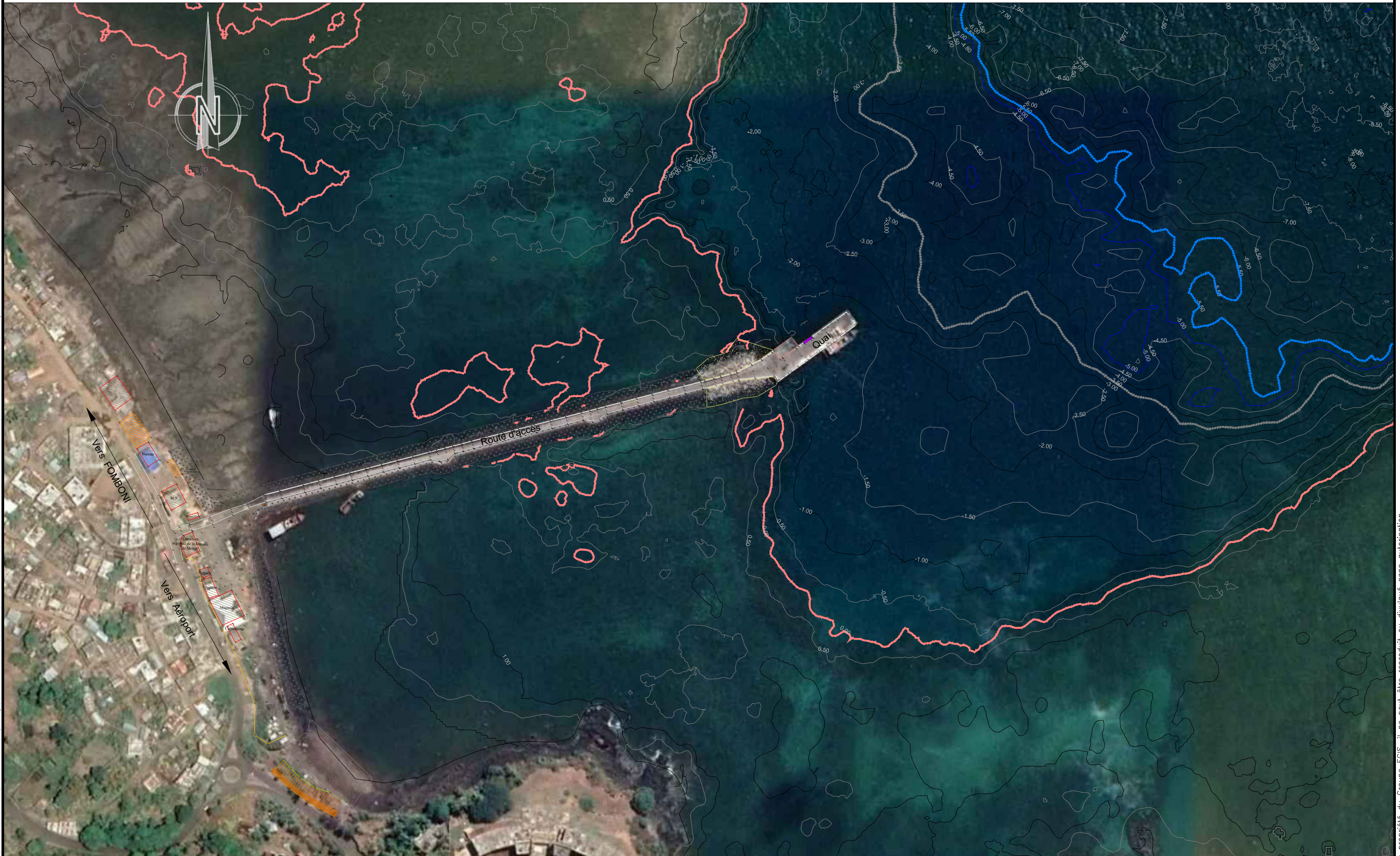
Entre le musoir et le bord Est de la passe naturelle (~100m de large), la hauteur de houle simulée  $y$  est d'autant plus forte que l'ouvrage se situe plus au large. Bien que ces résultats soient représentatifs de conditions extrêmes impliquant une forte dissipation par déferlement, les hauts fonds progressifs de la passe naturelle jouent un rôle d'expansion de l'énergie des vagues, réduisant l'agitation résiduelle en se dirigeant vers la côte ; l'agitation en conditions usuelles à l'entrée du port pour l'option 1 devrait ainsi être moindre que pour l'option 2, elle-même moindre que pour l'option 3.

Enfin, d'après la Figure 36, la protection procurée par l'option 2 semble globalement identiquement bonne en arrière de digue pour des événements de tempête de secteur Nord (scénario 1) et Est (scénario 3). La zone d'ombre sur les hauts fonds, au Sud de la jetée existante côté intérieur est également plus importante pour une houle de secteur Nord, en cohérence avec le positionnement de digue.

# 11. ANNEXE C – PLANS

# PLAN DE L'EXISTANT

Ech: 1/2500



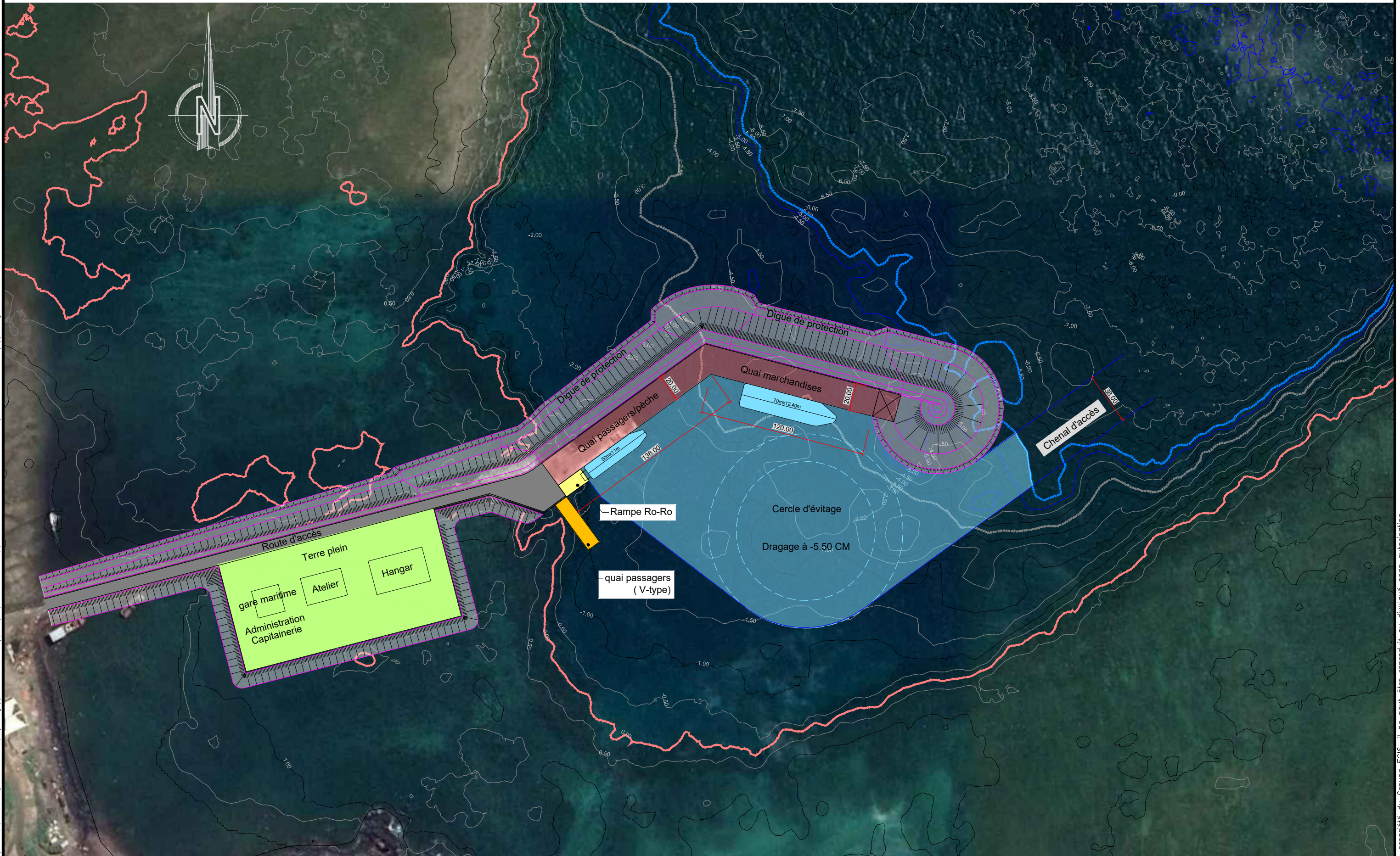
D:\DATA\s.lkterouf\Desktop\Cormores\plan-Fomboni-projet.dwg // KHEROUF Sfir // 05/11/2021 18:01:26 // A3H - 1:1 - ISO FULL BLEED A3 (297.00 X 420.00 MM) // congo-fin-fin.ctb

Numéro du Projet	Phase	Structure	Type	Numéro du Plan	Révision
OCA0009	AVP	GE	PLA	100	0

Ce plan est la propriété du Groupe EGIS, il ne peut être reproduit ou divulgué sans autorisation.

# PLAN OPTION 1

Ech: 1/2500



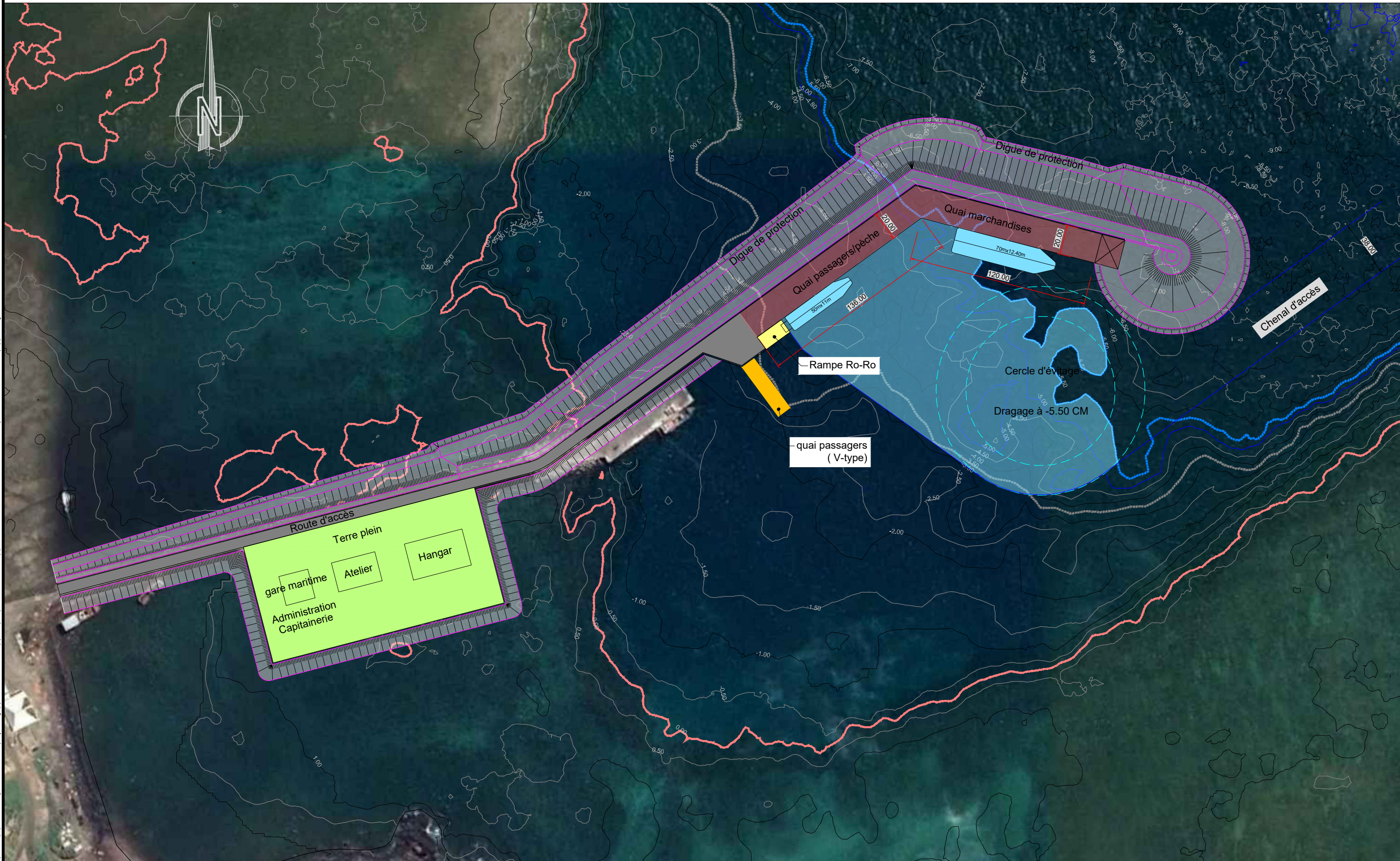
D:\DATA\sliterouf\Desktop\Cormores\plan-Fomboni-projet.dwg // KHEROUF Slim // 05/11/2021 17:59:12 // A3H - 1:1 - ISO FULL BLEED A3 (297.00 X 420.00 MM) // congo-fin-fin.ctb

Numéro du Projet	Phase	Structure	Type	Numéro du Plan	Révision
OCA0009	AVP	GE	PLA	100	0

Ce plan est la propriété du Groupe EGIS, il ne peut être reproduit ou divulgué sans autorisation.

# PLAN OPTION 2

Ech: 1/2500



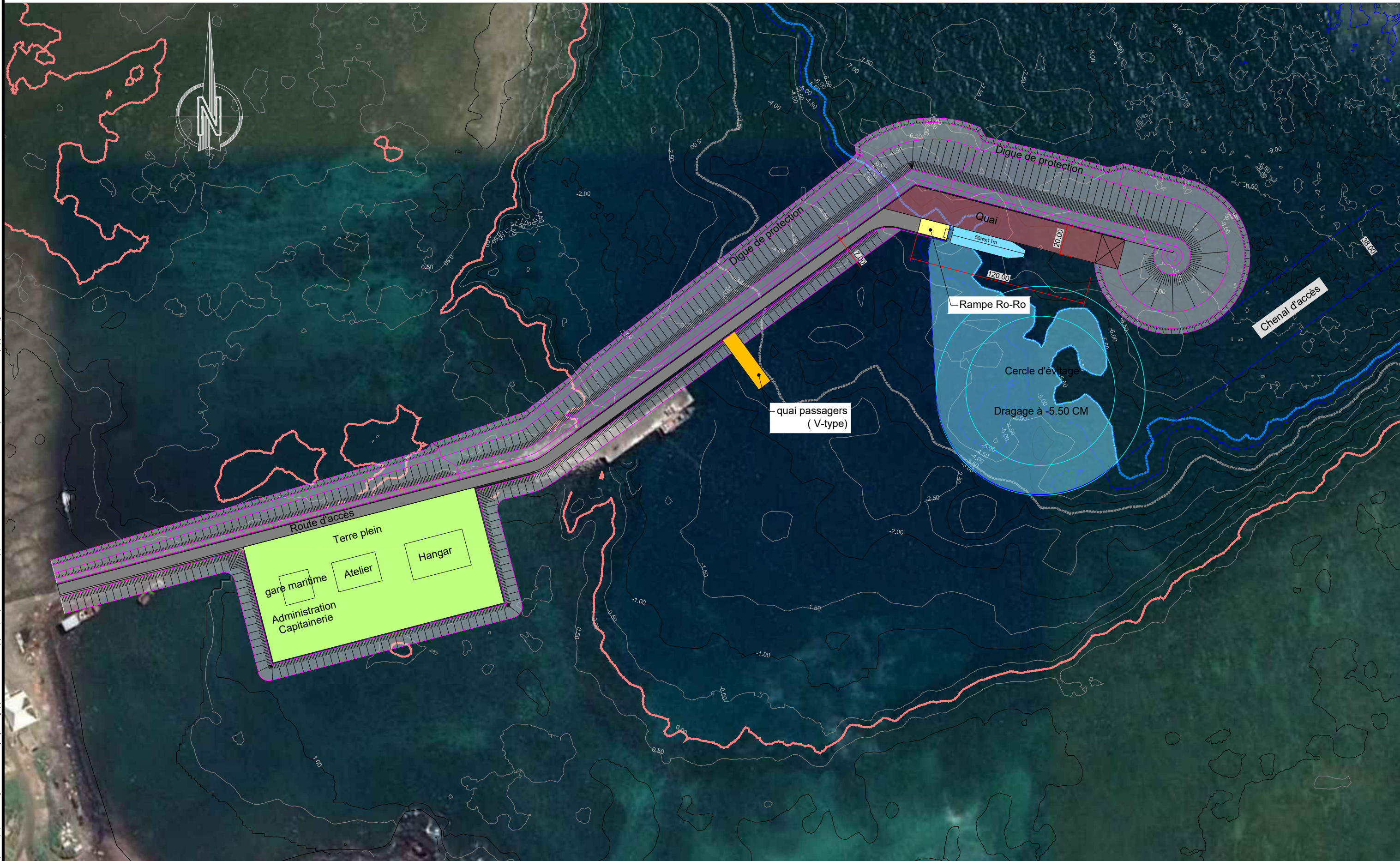
D:\DATA\vs.literouf\Desktop\Cormores\plan-Fomboni-projet.dwg // KHEROUF Slim // 05/11/2021 17:59:14 // A3H - 1:1 - ISO FULL BLEED A3 (297.00 X 420.00 MM) // congo-fin-fin.ctb

Numéro du Projet	Phase	Structure	Type	Numéro du Plan	Révision
OCA0009	AVP	GE	PLA	100	0

Ce plan est la propriété du Groupe EGIS, il ne peut être reproduit ou divulgué sans autorisation.

# PLAN OPTION 2-bis

Ech: 1/2500



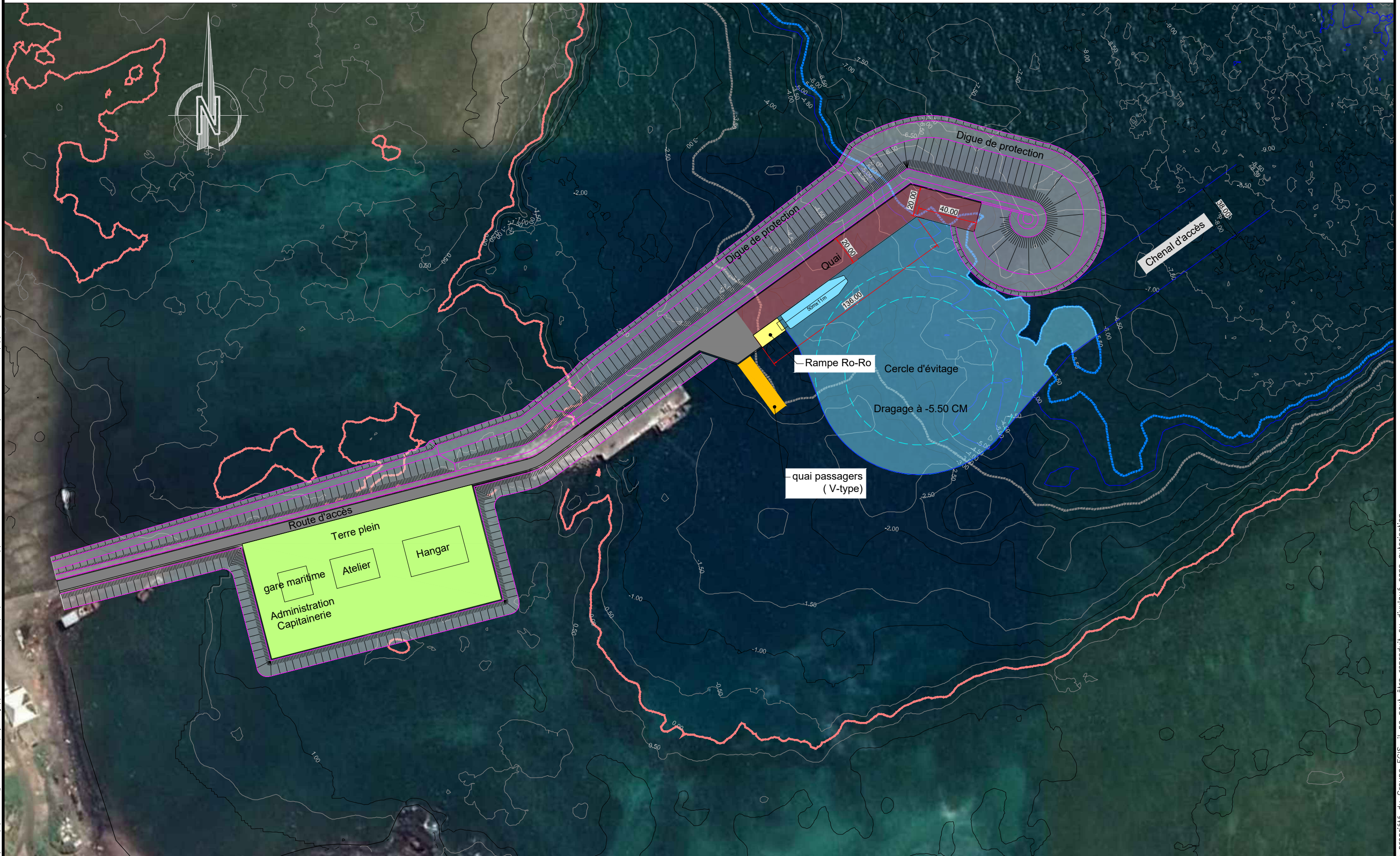
D:\DATA\sliterouf\Desktop\Cormores\plan-Fomboni-projet.dwg // KHEROUF Slim // 05/11/2021 17:59:17 // A3H - 1:1 - ISO FULL BLEED A3 (297.00 X 420.00 MM) // congo-fin-fin.ctb

Numéro du Projet	Phase	Structure	Type	Numéro du Plan	Révision
OCA0009	AVP	GE	PLA	100	0

Ce plan est la propriété du Groupe EGIS, il ne peut être reproduit ou divulgué sans autorisation.

# PLAN OPTION 2-ter

Ech: 1/2500



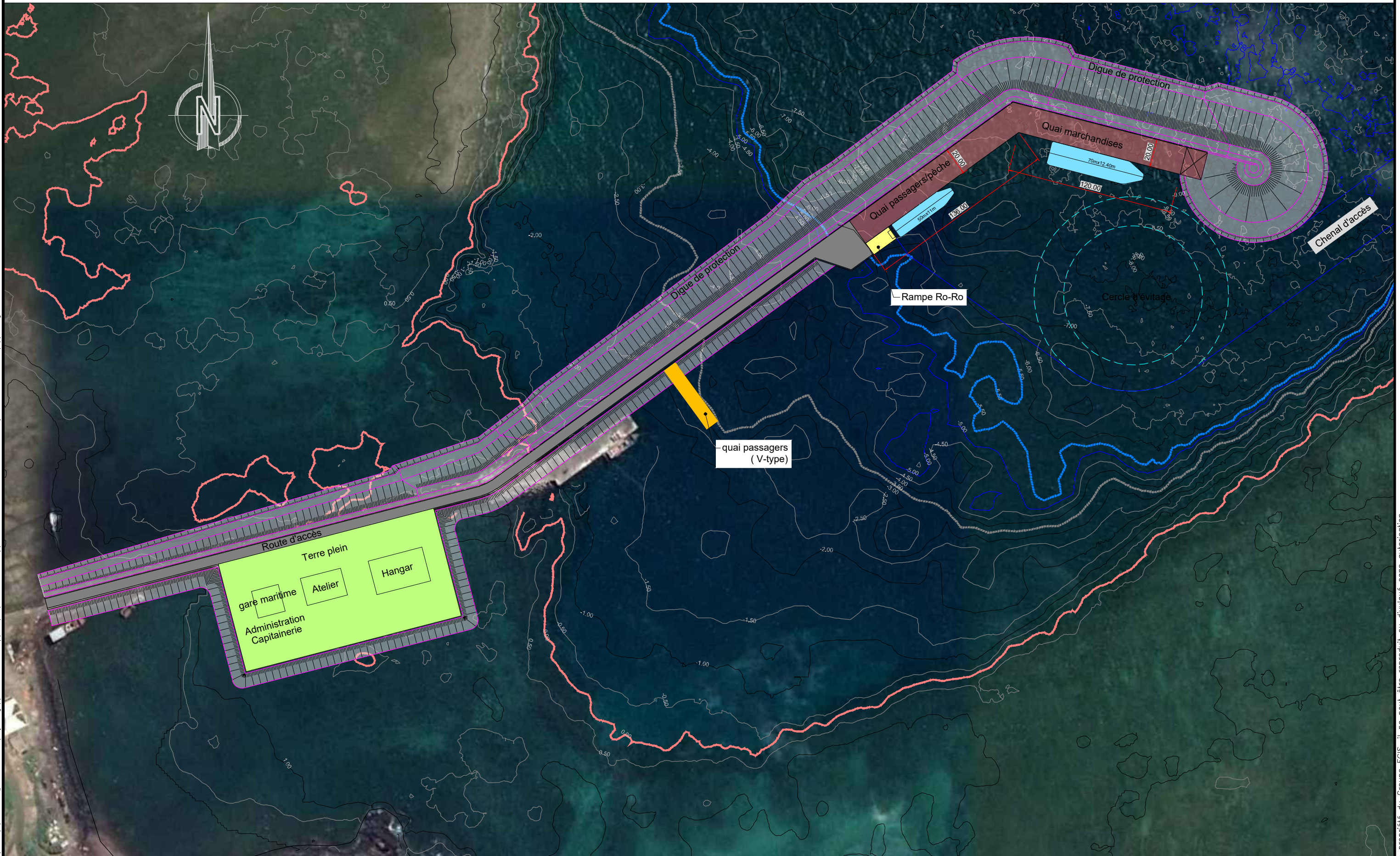
D:\DATA\sliterouf\Desktop\Cormores\plan-Fomboni-projet.dwg // KHEROUF Slim // 05/11/2021 17:59:19 // A3H - 1:1 - ISO FULL BLEED A3 (297.00 X 420.00 MM) // congo-fin-fin.ctb

Numéro du Projet	Phase	Structure	Type	Numéro du Plan	Révision
OCA0009	AVP	GE	PLA	100	0

Ce plan est la propriété du Groupe EGIS, il ne peut être reproduit ou divulgué sans autorisation.

# PLAN OPTION 3

Ech: 1/2500



D:\DATA\sliterouf\Desktop\Cormores\plan-Fomboni-projet.dwg // KHEROUF Slim // 05/11/2021 17:59:21 // A3H - 1:1 - ISO FULL BLEED A3 (297.00 X 420.00 MM) // congo-fin-fin.ctb

Numéro du Projet	Phase	Structure	Type	Numéro du Plan	Révision
OCA0009	AVP	GE	PLA	100	0

Ce plan est la propriété du Groupe EGIS, il ne peut être reproduit ou divulgué sans autorisation.

## 12. ANNEXE D – NOTE D’HYPOTHESES



Union des  
**Comores**  
Ministère des  
Transports Maritime  
et Aérien



## Projet Connectivité Inter-Iles des Comores (PICMC)

Etude pour l'avant-projet détaillé des  
travaux d'extension du port de  
**Fomboni** et d'aménagement des sites  
de débarquement secondaires à  
**Chindini, Hoani et Vassy**

Avant-Projet Sommaire : Note d'hypothèses



Bureau d'Etude Conseil Expertise  
et Contrôle (BECECO)

Avant-Projet Sommaire  
Octobre 2021



# ETUDE POUR L'AVANT-PROJET DETAILLE DES TRAVAUX D'EXTENSION DU PORT DE FOMBONI ET D'AMENAGEMENT DES SITES DE DEBARQUEMENT SECONDAIRES A CHINDINI, HOANI ET VASSY

## PROJET CONNECTIVITE INTER-ILES DES COMORES (PICMC)

### INFORMATIONS RELATIVES AU DOCUMENT

#### INFORMATIONS GÉNÉRALES

<b>Auteur(s)</b>	A. HOURQUET, A. JARNY
<b>Volume du document</b>	Avant-Projet Sommaire : Note d'hypothèses
<b>Version</b>	0
<b>Référence</b>	NA
<b>Numéro CRM</b>	OCA0009
<b>Chrono</b>	NA

#### HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Version	Date	Rédigé par	Visé par	Modifications
0	21/10/2021	A. HOURQUET	A. JARNY	Emission initiale

#### DESTINATAIRES

Nom	Entité
	PICMC
	Banque Mondiale

# Sommaire

<b>1. Objet de la note</b> .....	<b>6</b>
1.1 Contexte de l'étude.....	6
1.2 Objet de la note.....	7
<b>2. Documents de référence</b> .....	<b>8</b>
2.1 Textes généraux.....	8
2.2 Règles relatives aux ouvrages géotechniques.....	8
2.3 Règles relatives aux ouvrages en béton armé.....	8
2.4 Règles relatives aux pièces métalliques.....	8
2.5 Recommandations relatives aux travaux maritimes.....	9
2.6 Documents utiles à l'étude.....	9
2.7 Documents propres au projet.....	9
<b>3. Logiciels de calcul</b> .....	<b>10</b>
<b>4. Données de site</b> .....	<b>10</b>
4.1 Situation.....	10
4.1.1 Port de Fomboni.....	10
4.1.2 Hoani 11	
4.1.3 Chindini 12	
4.1.4 Vassy 13	
4.2 Nivellement et référentiel.....	14
4.3 Données topo-bathymétriques.....	14
4.4 Données météo-océaniques.....	16
4.4.1 Niveaux d'eau.....	16
4.4.1.1 Niveaux caractéristiques de la marée.....	16
4.4.1.2 Surcotes et décotes.....	17
4.4.1.3 Elévation séculaire du niveau de la mer.....	17
4.4.1.4 Incertitudes.....	18
4.4.1.5 Niveaux globaux.....	18
4.4.2 Vent 19	
4.4.3 Houle 20	
4.4.3.1 Conditions du large.....	20
4.4.3.2 Propagation jusqu'aux sites d'étude.....	20
4.4.4 Courant 21	
4.4.5 Hydrodynamique côtière.....	21
4.4.5.1 Site de Fomboni.....	21
4.4.5.2 Sites secondaires.....	21
4.5 Données géotechniques.....	22
4.5.1 Contexte géotechnique.....	22
4.6 Classe sismique.....	25
4.7 Sites protégés.....	26
<b>5. Hypothèses techniques et fonctionnelles</b> .....	<b>27</b>
5.1 Infrastructures projetées.....	27
5.1.1 Port de Fomboni.....	27
5.1.2 Sites secondaires.....	29
5.2 Durée de service des ouvrages.....	30
5.3 Les navires de projet.....	30
5.3.1 Port de Fomboni.....	30
5.3.2 Sites secondaires.....	33
5.4 Elévation des quais.....	34
5.5 Cote de dragage.....	34
5.6 Volumes de passagers et fret.....	34
5.6.1 Port de Fomboni.....	34
5.6.2 Sites secondaires.....	36

5.7	Infrastructures existantes.....	37
5.7.1	Port de Fomboni.....	37
5.7.2	Sites secondaires.....	38
5.8	Accès aux sites.....	38
5.8.1	Port de Fomboni.....	38
5.8.2	Sites secondaires.....	38
5.9	Contraintes de travaux.....	39
5.9.1	Techniques de réalisation.....	39
5.9.2	Disponibilités foncières.....	39
5.10	Contraintes environnementales.....	39
<b>6.</b>	<b>Matériaux.....</b>	<b>40</b>
6.1	Contraintes de matériaux.....	40
6.1.1	Mohéli (Fomboni, Hoani).....	40
6.1.2	Anjouan (Vassy).....	41
6.1.3	Grande Comore (Chindini).....	41
6.2	Remblais, enrochements.....	41
6.3	Béton armé.....	42
6.3.1	Caractéristiques mécaniques.....	42
6.3.2	Contraintes limites de calcul.....	42
6.4	Armatures pour béton armé.....	43
6.4.1	Type d'armatures.....	43
6.4.2	Classe structurale.....	43
6.4.3	Maîtrise de la fissuration.....	43
6.4.4	Enrobage.....	43
6.4.5	Contraintes limites de calcul.....	43
6.4.6	Adhérence acier-béton.....	44
6.4.6.1	Contrainte d'adhérence ultime $f_{bd}$ .....	44
6.4.6.2	Longueur d'ancrage de référence $l_{b,reqd}$ .....	44
6.4.6.3	Longueur de recouvrement $l_o$ .....	44
6.5	Éléments métalliques.....	44
6.5.1	Tubes métalliques pour pieux.....	44
6.5.2	Palplanches.....	45
6.5.3	Épaisseur sacrifiée à la corrosion.....	45
<b>7.</b>	<b>Critères et méthode de conception – hydraulique maritime.....</b>	<b>46</b>
7.1	Critères de franchissement.....	46
7.2	Critères de stabilité.....	46
7.2.1	Stabilité générale – grand glissement.....	46
7.2.2	Carapace / merlon.....	47
7.2.3	Noyau et sous-couches.....	47
7.2.4	Butée de pied.....	48
7.2.5	Butée de pied en blocs artificiels.....	48
7.2.6	Tapis anti-affouillement.....	49
7.2.7	Assise des caissons / quais blocs.....	49
7.3	Agitation admissible.....	50
7.3.1	Port de Fomboni.....	50
7.3.2	Sites secondaires.....	50
<b>8.</b>	<b>Critères et méthode de conception – ouvrages génie civil.....</b>	<b>50</b>
8.1	Actions permanentes (G).....	50
8.1.1	Poids propre des ouvrages (Gpp).....	50
8.1.2	Poussée-butée des sols (Gsol).....	51
8.1.2.1	Pieux.....	51
8.1.2.2	Soutènement.....	51
8.1.3	Action de l'eau (W).....	51
8.1.4	Retrait et fluage.....	51
8.2	Actions variables.....	51
8.2.1	Charge de pré-stockage de conteneurs (Sstoquai).....	51
8.2.2	Charges roulantes (Sroul).....	52

8.2.2.1	Reach Stacker.....	52
8.2.2.2	Semi-remorques.....	52
8.2.3	Charge d'amarrage (AM).....	53
8.2.4	Charge d'accostage (AC).....	54
8.2.4.1	Evaluation de l'énergie d'accostage.....	54
8.2.4.2	Réaction d'appui de la défense.....	55
8.2.5	Sous-pressions dues à la houle lors d'un cyclone (HOU).....	56
<b>9.</b>	<b>Combinaisons d'actions .....</b>	<b>58</b>
9.1	Dénomination des actions élémentaires.....	58
9.2	Définition des situations de projet.....	58
9.2.1	Généralités.....	58
9.2.2	Situation de projet au cours de l'exécution des travaux.....	59
9.3	Combinaisons d'actions ELS.....	59
9.3.1	ELS Caractéristique.....	59
9.3.2	ELS Fréquent.....	59
9.3.3	ELS Quasi-permanent.....	59
9.4	Combinaisons d'actions ELU.....	60
9.4.1	ELU Fondamental.....	60
9.5	Combinaisons d'actions sismiques.....	60
9.6	Approche de calculs et coefficients.....	60
<b>10.</b>	<b>Annexe 1 : Compte-rendu de mission de démarrage.....</b>	<b>62</b>
<b>11.</b>	<b>Annexe 2 : Liste des données récupérées.....</b>	<b>63</b>

# 1. OBJET DE LA NOTE

## 1.1 Contexte de l'étude

L'Union des Comores comprend quatre îles, à savoir Ngazidja (ou Grande Comore), Mwali (Mohéli), Ndzuani (Anjouan) et Maoré (Mayotte). Les Comores sont un Petit État Insulaire en Développement (PEID) avec une population de 800 000 habitants et l'un des pays les plus densément peuplés d'Afrique. La population comorienne dépend principalement de moyens de subsistance fondés sur des cultures traditionnelles et sur les ressources naturelles.

Pour les petits États insulaires, comme les Comores, le maintien et l'amélioration de la connectivité du transport maritime sont essentiels.

Dans le secteur portuaire, il y a trois ports principaux à

- Moroni (Grand Comores), capacité de 20 000 EVP ou 200 000 tonnes, le débit actuel dépasse déjà 300 000 tonnes
- Mutsamudu (Anjouan), port en haute mer avec la plus grande capacité de 70 000 EVP
- Fomboni (Mohéli), quai de 80 mètres avec un tirant d'eau de 2,4 mètres, accessible uniquement aux petits navires

Mohéli, qui dépend du cabotage de Moroni et Mutsamudu pour sa consommation quotidienne est de plus en plus isolée du reste du pays, et encore plus des marchés régionaux et mondiaux, en raison de l'infrastructure portuaire et des services de transport maritime limités.

Le Projet de Connectivité Inter-Iles des Comores (PICMIC) a été mis en œuvre par le Ministère des Transports Maritime et Aérien, et financé par la Banque mondiale. Ce projet vise à déterminer comment améliorer la connectivité maritime entre les îles de l'Union des Comores.

Dans ce cadre, une première étude a eu lieu afin d'analyser les différentes options techniques pour le renouvellement de la flotte, le développement du port de Fomboni et le développement des ports secondaires. Une analyse multicritères a permis d'identifier les options les plus appropriées dans le contexte des Comores, avant de procéder à des analyses économiques, financières, environnementales et sociales sur le développement le plus approprié.

Le but de ces développements est d'améliorer la connectivité et la sécurité du transport maritime entre les trois îles, en se concentrant sur l'île la plus isolée et la plus pauvre, Mohéli.

Cette analyse a permis de statuer sur les développements recommandés :

- Extension du port de Fomboni afin de faire face au trafic portuaire attendu et aux activités connexes de manière efficace et dans de bonnes conditions de sécurité, en ajoutant la fonctionnalité d'accueil d'un roulier ferry
- Remplacement de la flotte des kwassa-kwassas par de nouveaux bateaux à coque en V afin d'apporter plus de sécurité au transport maritime inter-îles,
- Aménagement de ports secondaires pour améliorer l'accès et permettre des opérations sécurisées (jetées et installations landside) sur différentes plages pour l'accostage de la nouvelle flotte de bateaux coque en V.

### **La mission de notre étude s'inscrit dans le cadre du Programme du projet PICMIC.**

- Composante 1.1. Amélioration des infrastructures de Port de Fomboni
- Composante 1.2. Amélioration des ports secondaires

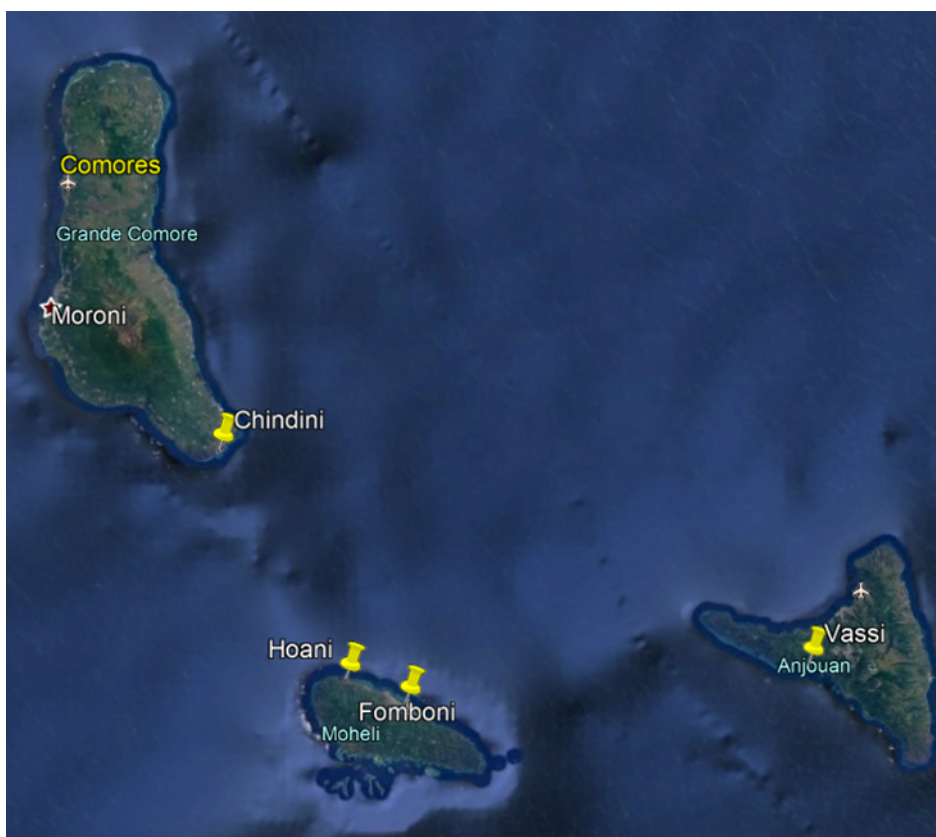


Figure 1 - Localisation des sites de projets

## 1.2 Objet de la note

L'objet de cette note est de présenter les hypothèses de calcul retenues pour les justifications des ouvrages dans le cadre de ce projet.

La présente note porte sur la structure des ouvrages portuaires.

Cette note tient compte des données recueillies lors de la mission du 23 au 30 septembre 2021<sup>1</sup> et des hypothèses de fonctionnalité telles que décrites dans les rapports de l'étude de préféabilité *Volume 2 – Analyse de la demande de transport inter-îles* et *Volume 3 – Analyse technique du développement du port de Fomboni, des ports secondaires et du renouvellement de la flotte* transmis par le PICMC.

-----

<sup>1</sup> *Projet de connectivité inter-îles, Compte rendu de mission de démarrage, EGIS, Octobre 2021*

## 2. DOCUMENTS DE REFERENCE

### 2.1 Textes généraux

- [R1].** NF EN 1990 : Bases de calcul des structures
- [R2].** NF EN 1991 : Actions sur les structures
- [R3].** NF EN 1998-5 : Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 5 : Fondations, ouvrages de soutènement et aspects géotechniques
- [R4].** L'ensemble des C.C.T.G. sont applicables et notamment :
  - ▶ Fascicule 2 : terrassements généraux,
  - ▶ Fascicule 4 titre I : armatures pour béton armé,
  - ▶ Fascicule 4 titre III : aciers laminés pour construction métallique,
  - ▶ Fascicule 65: exécution des ouvrages de génie civil en béton armé ou précontraint,
  - ▶ Fascicule 68 : exécution des travaux de fondation de génie civil,
- [R5].** Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali réaction (M.E.T.T. juin 1994)

### 2.2 Règles relatives aux ouvrages géotechniques

- [R6].** NF EN 1997-1 : Eurocode 7 : Calcul géotechnique – Partie 1 : Règles générales
- [R7].** NF EN 12063 : Exécution de travaux géotechniques spéciaux – Rideaux de palplanches
- [R8].** NF EN 12699 : Exécution de travaux géotechniques spéciaux – Pieux avec refoulement de sol
- [R9].** NF P94-261 : Calcul géotechnique – Norme d'application nationale de l'Eurocode 7 – Fondations superficielles
- [R10].** NF P94-262 : Calcul géotechnique – Norme d'application nationale de l'Eurocode 7 – Fondations profondes
- [R11].** NF P94-281 : Calcul géotechnique – Norme d'application nationale de l'Eurocode 7 – Ouvrages de soutènements - Murs
- [R12].** NF P94-282 : Calcul géotechnique – Norme d'application nationale de l'Eurocode 7 – Ouvrages de soutènement – Ecrans
- [R13].** Guides pratiques sur les ouvrages en mer : Pieux dans les formations carbonatées – ARGEMA, 1988

### 2.3 Règles relatives aux ouvrages en béton armé

- [R14].** NF EN 1992-1-1 et NF EN 1992-1-1/NA : Eurocode 2 : Calcul des structures en béton – Partie 1 : Règles générales et règles pour les bâtiments
- [R15].** NF EN 206-1 : Béton - Partie 1 : spécification, performances, production et conformité
- [R16].** NF EN 10080 : Aciers pour l'armature du béton - Aciers soudables pour béton armé – Généralités
- [R17].** Fascicule 65: Exécution des ouvrages de génie civil en béton armé ou précontraint

### 2.4 Règles relatives aux pièces métalliques

- [R18].** NF EN 1993-1-1 et NF EN 1993-1-1/NA : Eurocode 3 : Calcul des structures en acier – Partie 1 : Règles générales et règles pour les bâtiments
- [R19].** NF EN 1993-5 : Eurocode 3 : Calcul des structures en acier – Partie 5 : Pieux et palplanches
- [R20].** Fascicule 56 : Protection des ouvrages métalliques contre la corrosion
- [R21].** Fascicule 66 : Exécution des ouvrages de génie civil à ossature en acier

## 2.5 Recommandations relatives aux travaux maritimes

- [R22]. Recommandations pour le calcul des ouvrages maritimes aux états limites éditées par le CETMEF-CD ROM ROSA 2000
- [R23]. Guide enrochements ou Rock Manual on the use of rock in costal and shoreline engineering – CIRIA, 2005
- [R24]. European Overtopping Manual,
- [R25]. AIPCN AIPCN-AIPH-IALA-IMPA, "Harbour Approach Channels Design Guidelines", Rapport du Groupe de Travail AIPCN 121, 2014
- [R26]. CERC, « Hydraulic Design of Deep-Draft Navigation Projects », EM1110-2-1613, Mai 2006
- [R27]. Guide des Pontons de Plaisance, Secrétariat d'Etat de la Mer, CSNPSN
- [R28]. BS 6349-6 : Design of inshore moorings and floating structures

## 2.6 Documents utiles à l'étude

- [R29]. Accès maritime Mohéli : dossier APD, SOERNI, Mai 1995
- [R30]. Accès maritime Mohéli : dossier d'appel d'offres, SOERNI, Juillet 1995
- [R31]. Accès maritime Mohéli : rapport de synthèse, SOERNI, Juillet 2000
- [R32]. Projet de modification Mohéli : rapport de préféabilité, KULAK, Avril 2012
- [R33]. Projet de modification Mohéli : dossier d'appel d'offres, KULAK, Juin 2012
- [R34]. Projet de modification Mohéli : rapport sur l'évaluation du climat des vagues, modélisation numérique de transformation des vagues et l'étude d'agitation du port, KULAK, Juin 2012
- [R35]. Etude sur les perspectives de création d'un complexe portuaire de pêche industrielle et/ou semi-industrielle au sein de l'Union des Comores : rapport L-4, CATRAM, Septembre 2019
- [R36]. Elaboration du schéma directeur portuaire, Union des Comores, Octobre 2014

## 2.7 Documents propres au projet

- [R37]. Projet d'amélioration de la connectivité inter-îles aux Comores : volume 1 : revue du cadre juridique et institutionnel régissant le transport inter-îles
- [R38]. Projet d'amélioration de la connectivité inter-îles aux Comores : volume 2 : analyse de la demande inter-îles
- [R39]. Projet d'amélioration de la connectivité inter-îles aux Comores : volume 3 : analyse technique du développement du port de Fomboni, des ports secondaires et du renouvellement de la flotte
- [R40]. Projet d'amélioration de la connectivité inter-îles aux Comores : volume 4 : étude économique, financière, environnementale et sociale des investissements du port de Fomboni
- [R41]. Projet d'amélioration de la connectivité inter-îles aux Comores : volume 6 : étude financière et institutionnelle pour le programme de renouvellement de la flotte de transport de passagers entre les îles
- [R42]. Projet de connectivité inter-îles, Compte rendu de mission de démarrage, EGIS, Octobre 2021
- [R43]. Données topographiques, EGIS/BECECO, Octobre 2021
- [R44]. Données bathymétriques, EGIS/BECECO, Octobre 2021

**La liste des documents récupérés à ce stade de l'étude est présentée en Annexe.**

## 3. LOGICIELS DE CALCUL

Les logiciels utilisés dans le cadre de ce projet sont les suivants :

- Modélisation aux éléments finis : ROBOT
- Stabilité des soutènements : KREA
- Ouvrages de protection : TALREN, feuilles Excel
- Section d'armatures : fichiers Excel Eurocodes développés en interne
- Modélisation hydrodynamique : TOMAWAC

## 4. DONNEES DE SITE

### 4.1 Situation

#### 4.1.1 Port de Fomboni

Le port de Fomboni est situé sur l'île de Mohéli.





Figure 2 - Port de Fomboni (source: Google Earth)

Les limites administratives de l'enceinte portuaire n'ont pas été communiquées à ce stade de l'étude.

#### 4.1.2 Hoani

Le site de Hoani est situé sur l'île de Mohéli également.

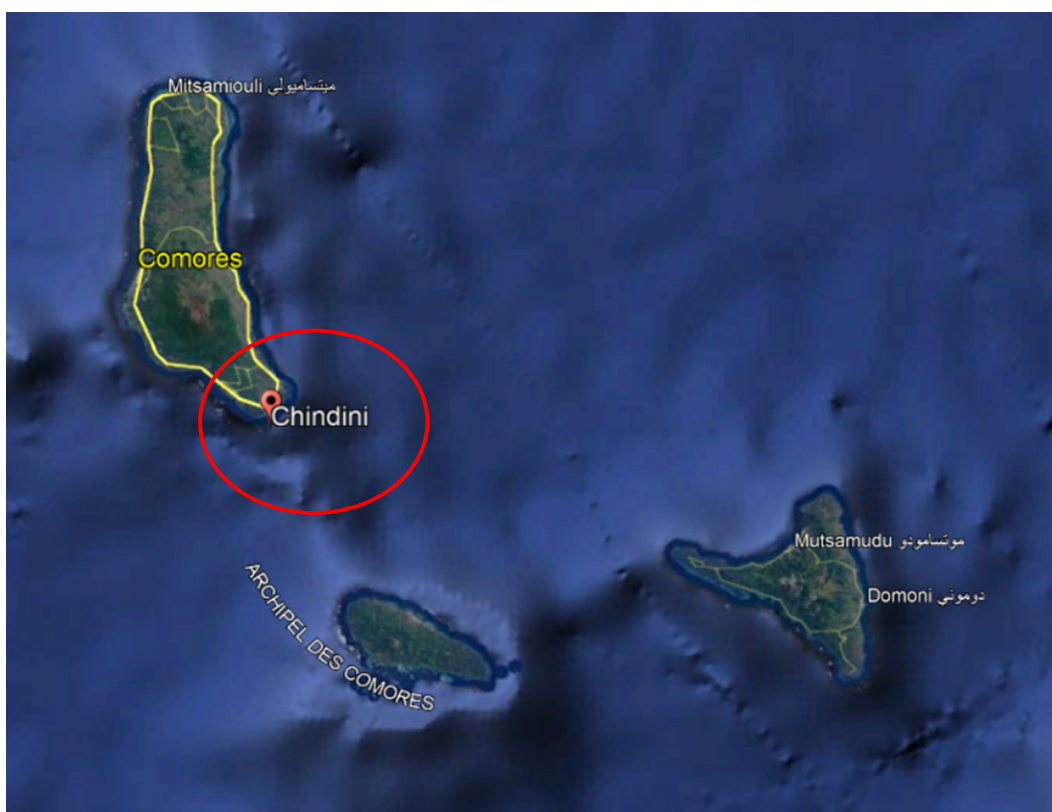




Figure 3 - Plage de Hoani (source: Google Earth)

#### 4.1.3 Chindini

Le site de Chindini est situé sur l'île de Grande Comore.



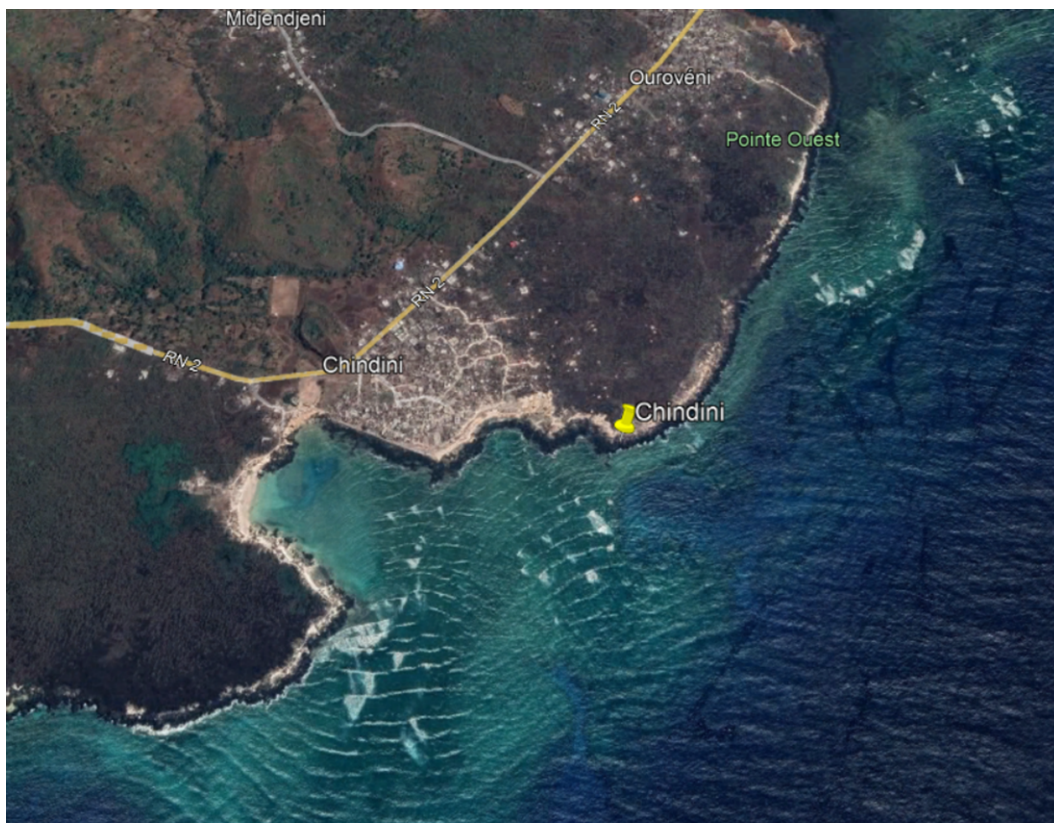


Figure 4 - Site de Chindini (source : Google Earth)

#### 4.1.4 Vassy

Le site de Vassy est situé sur l'île d'Anjouan.





Figure 5 - Site de Vassy (source: Google Earth)

## 4.2 Nivellement et référentiel

Toutes les cotes altimétriques du projet sont rapportées en mètres par rapport au zéro des cartes marines (ou zéro hydrographique). Les services du SHOM présentent, dans l'ouvrage Références Altimétriques Maritimes (RAM 2020), le positionnement relatif du zéro hydrographique.

Selon ces références, le niveau moyen de la mer (0mMSL) se situe à la cote +2.13mCM.

Les plans topographiques sont référencés sur le système WGS 84 / UTM 38S pour le projet.

## 4.3 Données topo-bathymétriques

Les données topo-bathymétriques utilisées sont les suivantes :

- Données du SHOM (levé multifaisceau et carte marine)
- Données SRTM30+ avec une résolution de 1km entre chaque point
- Données Satellite EOMAP sur les différents sites d'intérêt (résolution de 2m, incertitude max. de 1 à 2m, variable selon la profondeur d'eau). La précision altimétrique des ces données est de l'ordre du mètre. Un calage sera réalisé avec une superposition des données topographique dans la zone de marnage.

Les données du SHOM par mesure multifaisceaux sont choisies préférentiellement, étant plus fiables de par leur caractère *in situ*, notamment sur les sites de Fomboni et Hoani. Ailleurs, les données EOMAP sont choisies préférentiellement à celle de SRTM, utilisées pour la bathymétrie du large. Les isobathes précisées dans la carte marine du SHOM sont extraites afin de compléter la caractérisation des fonds aux abords des sites d'étude.

Pour le cas où des données SRTM chevauchent des données EOMAP ou la carte marine du SHOM sur des zones critiques (littoral, site d'intérêt etc.), certains points jugés incohérents sont supprimés. Enfin les points SRTM entre l'île de Mohéli et les données du SHOM ne sont pas conservées car trop souvent incohérentes.

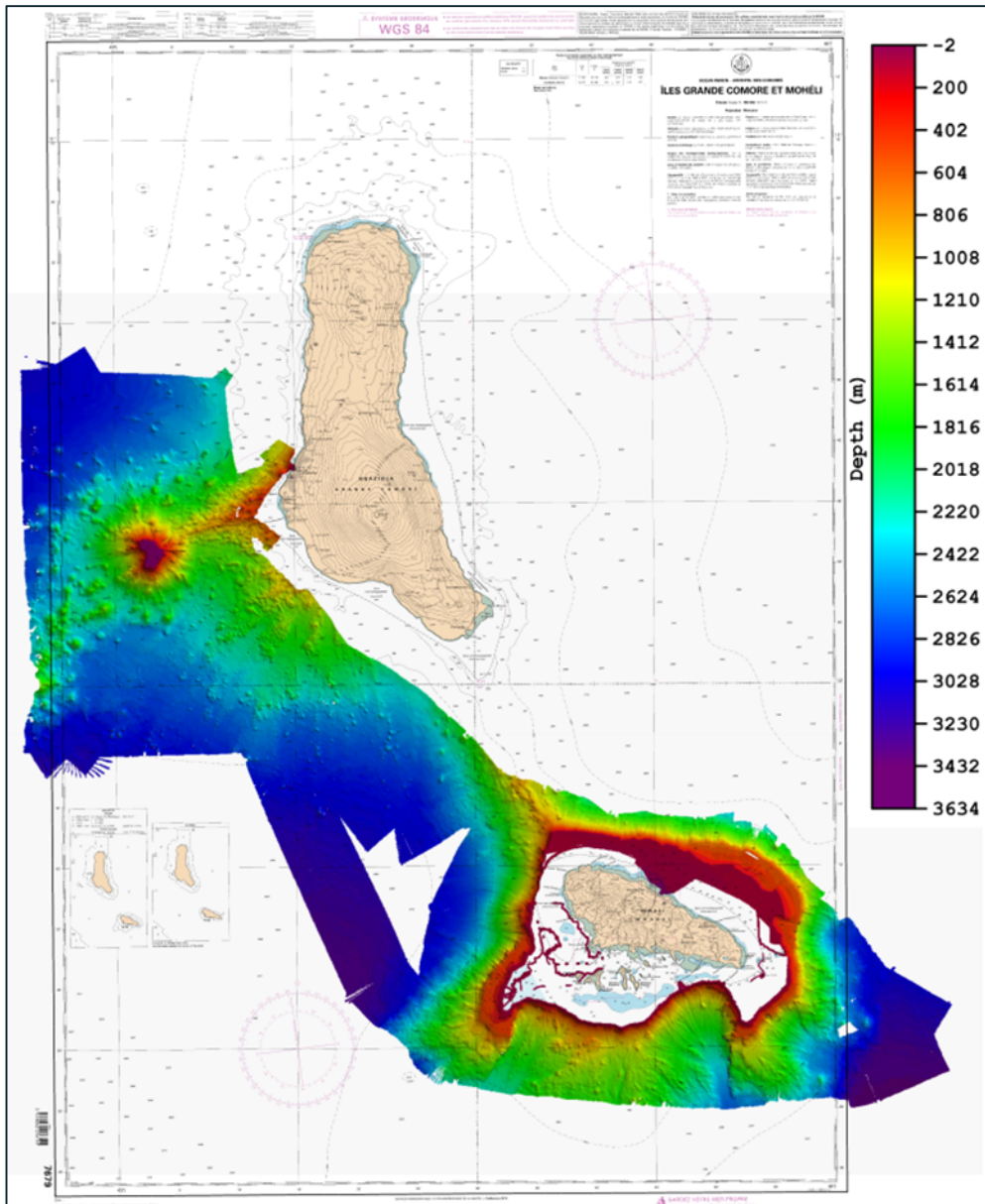


Figure 6 - Levés bathymétriques du SHOM sur Mohéli et Grande Comore [mCM] ; carte marine SHOM

Compte tenu des nombreuses zones non-hydrographiées par le SHOM, après observation des données EOMAP nous faisons l'hypothèse que la marge des récifs est à profondeur approximativement constante. Les altitudes retenues aux frontières des zones récifales sont :

- -4.5 m MSL (-2.37mCM) à l'Est de Fomboni

- -6.0 m MSL (-3.87mCM) à l'Ouest de Fomboni, de Hoani, et entre les sites de Hoani et Fomboni
- -8.0 m MSL (-5.37mCM) de part et d'autre de Chindini

Cette hypothèse permet de combler raisonnablement les zones non-hydrographiées aux abords des sites d'intérêt.

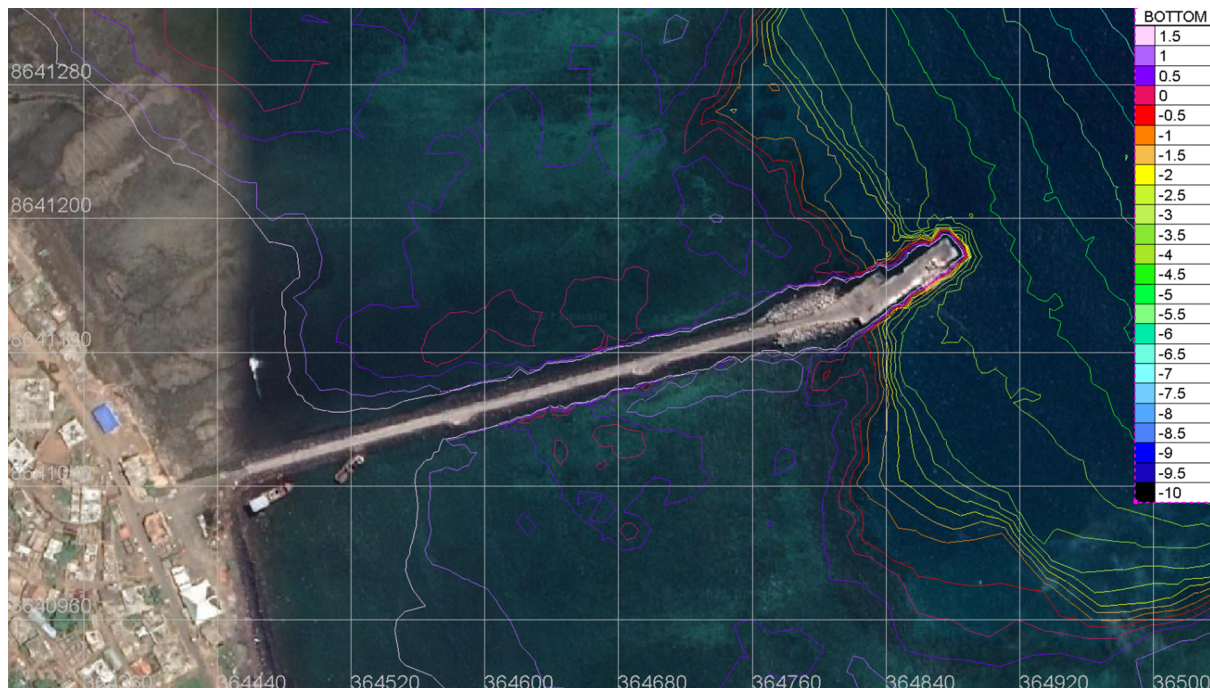


Figure 7 - Levés bathymétriques pour le port de Fomboni [mCM]

La compilation des données topographiques et bathymétriques seront présentées dans les rapport APS.

## 4.4 Données météo-océaniques

### 4.4.1 Niveaux d'eau

#### 4.4.1.1 Niveaux caractéristiques de la marée

Dans le secteur de Moroni, la marée est de type semi-diurne, régulière, c'est-à-dire deux pleines mers par jour sans inégalité diurne.

Le tableau suivant donne les niveaux de marnage caractéristiques (Références Altimétriques Maritimes, Ports de France métropolitaine et d'outre-mer, SHOM, 2020) du port de référence de Dzaoudzi :

	Niveau m CM
<b>PHMA/HAT</b> : Plus Haute Mer Astronomique	+4.30
<b>PMVE / MHWS</b> : Pleines Mers de Vives-Eaux	+3.70
<b>NM / MWL</b> : Niveau moyen	+2.13
<b>BMVE / MLWS</b> : Basse-mers de Mortes-Eaux	+0.50
<b>PBMA/LAT</b> : Plus Basse Mer Astronomique	+0.08

On supposera, en première approche, que ces références altimétriques applicables sur l'île de Mayotte sont transposables aux îles de Mohéli (Fomboni, Hoani), Grande Comore (Chindini) et Anjouan (Vassy).

Une incertitude sur ces références sera prise en compte dans la définition des niveaux d'eau de dimensionnement.

#### 4.4.1.2 Surcotes et décotes

Les niveaux de surcotes sont principalement liés aux phénomènes suivants :

- **Les facteurs météorologiques** (pression atmosphérique et vent)
  - ▶ Un vent de terre pousse l'eau vers le large et provoque une décote, alors qu'un vent de mer accumule l'eau au rivage et provoque une surcote.
  - ▶ Les surcotes atmosphériques cycloniques sont essentiellement dues au phénomène de baromètre inverse directement lié à la pression locale à la surface de l'océan (+1 cm par hectopascal de dépression atmosphérique).
  - ▶ Une surcote extrême de l'ordre de **1.50 m** (source : CATRAM, 2019 ; Banque Mondiale, 2016 [R35]) peut être retenue pour un épisode cyclonique sur l'archipel, en ne considérant que le phénomène de baromètre inverse.
  - ▶ De même, une décote n'excédant pas **10 cm** peut être retenue pour le niveau d'eau bas.
- **La bathymétrie et la configuration de la côte** : les effets dynamiques dus aux vents, aux courants, aux déferlements de vagues, etc. sont très dépendants de la morphologie du rivage.
- **Le setup lié aux vagues** : l'effet de set-up est fonction de la hauteur et de la période des vagues et peut atteindre des valeurs décimétriques lors des tempêtes. Cet effet est nul dans les ports car le déferlement est inexistant. Ici, il est estimé d'après les valeurs et formules de la littérature.

Le rapport CATRAM (2019, [R35]) estime une composante liée au set-up de 50cm dans la région de Fomboni. Par ailleurs, pour une houle de  $H_{m0,0} = 5$  à 7m de période de pic  $T_p = 10$  à 13s (voir §4.4.3), une valeur de setup peut être estimée à l'aide de la première formule de Stockdon *et al.* (2006) :

$$\bar{\eta}_s = 0.016\sqrt{H_{m0,0}L_0}$$

où  $L_0 = 1.56 \cdot T_p^2$  désigne la longueur d'onde moyenne au large. Le *setup* ainsi calculé se situe entre 45cm et 70cm, une valeur moyenne de **60cm** étant retenue ici.

#### 4.4.1.3 élévation séculaire du niveau de la mer

Les travaux du GIEC permettent d'estimer, sur la base de projections à l'aide de modèles numériques globaux, l'élévation attendue du niveau moyen des océans pour des scénarios d'émissions de gaz à effet de serre. La Figure 8 montre la courbe d'évolution sur le XXIème siècle obtenue par le GIEC. A l'horizon 2070, une surélévation de l'ordre de 45cm est envisagée dans le cadre du scénario d'émissions le plus pessimiste (RCP 8.5).

**Dans une approche sécuritaire, nous considérerons une surélévation liée au changement climatique de 50cm.**

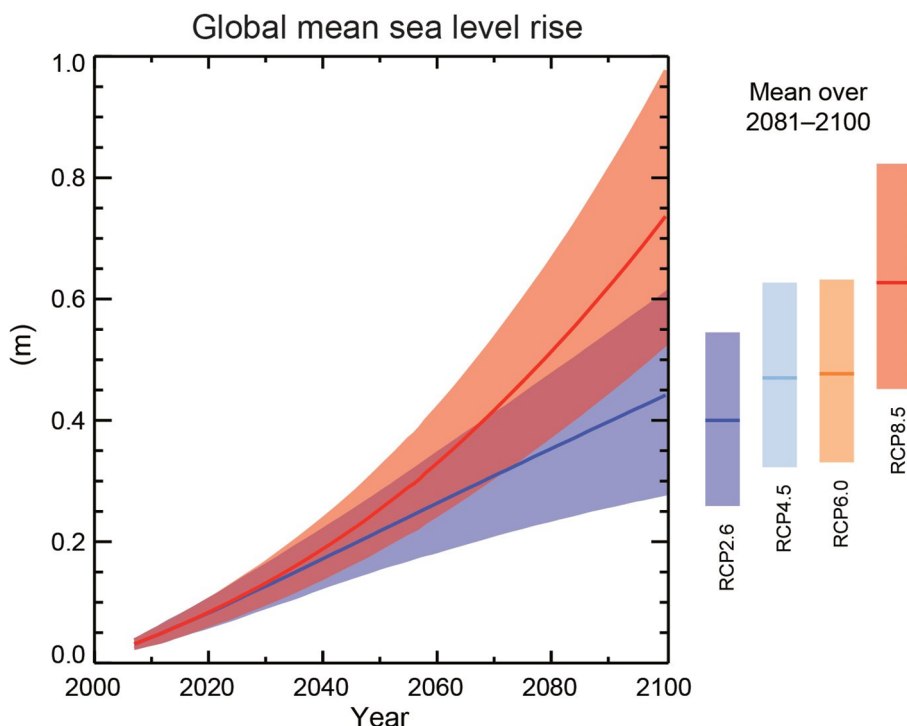


Figure 8 : Projection de la surélévation du niveau moyen des océans [m] au XXIème siècle en référence à la période 1986-2005 pour les scénarios RCP 2.6 et 8.5 ; moyennes sur 2081-2100 pour les scénarios RCP 2.6, 4.5, 6.0 et 8.5 [Source : AR5 IPCC]

#### 4.4.1.4 Incertitudes

Afin de tenir compte des éventuels effets locaux non représentés par les modèles (références altimétriques, surf-beat, seiches...), une incertitude forfaitaire de **25 cm** peut être retenue pour le niveau d'eau haut.

#### 4.4.1.5 Niveaux globaux

Les niveaux globaux extrêmes sont basés sur les valeurs de plus haute et de plus basse mer astronomiques avec la prise en compte des surcotes/décotes et de la surélévation du niveau de la mer. La conjonction des événements repose :

- Pour le **niveau haut**, sur l'association d'un niveau de marée de vive-eau moyenne (PMVE) avec une surcote météorologique exceptionnelle, une surcote de déferlement, l'élévation séculaire à l'horizon 2070 et une marge d'incertitude, soit :
  - ▶ **Zw = PMVE (+3.70 mCM) + surcote cyclonique (1.50m) + wave setup (0.6m) + élévation séculaire (0.50m) + incertitudes (0.25m)**  
**= +6.55mCM.**
- Pour le **niveau bas**, l'association d'un niveau de marée basse astronomique (+0.08 mCM) et d'une décote n'excédant pas 10 cm. Au final, la cote :
  - ▶ **Zw = 0mCM** sera retenue.

### 4.4.2 Vent

Les conditions extrêmes – cycloniques – de vent proviennent de l'étude de modélisation de BMT ARGOSS (Figure 9), sur la base de la simulation de tempêtes sur plus de 40 ans (1972-2011). Les valeurs de vitesse du vent à 10m (moyenné sur une heure) pour la période de retour 50 ans sont synthétisées dans le Tableau 1.

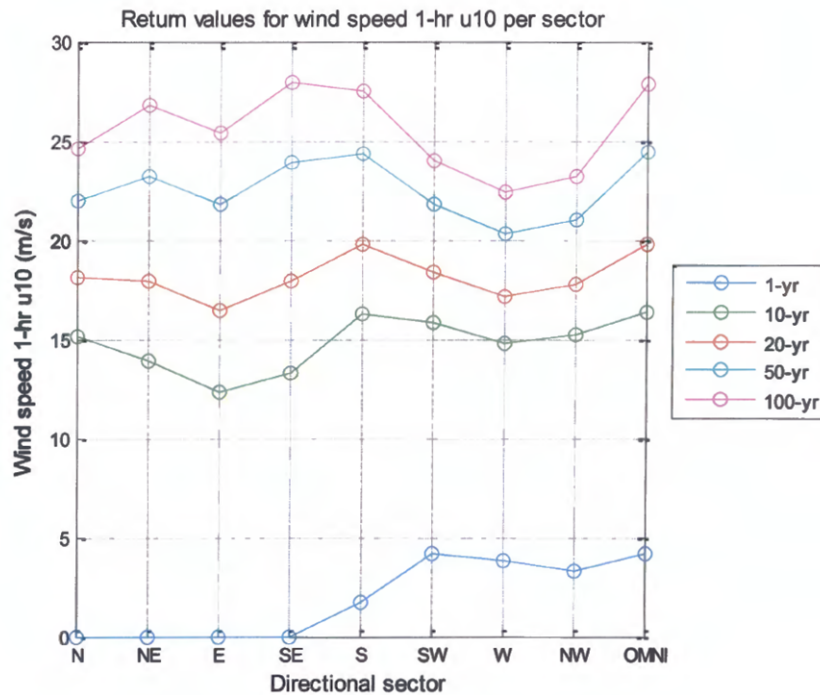


Figure 9 : Valeurs de vitesse du vent cyclonique à 10m (1h) pour différentes périodes de retour et différents secteurs directionnels sur l'archipel des Comores [Source : BMT-ARGOSS]

Tableau 1 : Valeurs de retour de la vitesse du vent cyclonique à 10m (1h) de période de retour 50 ans pour différents secteurs directionnels [Source : BMT-ARGOSS]

50 ans	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Omni.
U10[m/s]	22.0	23.2	21.8	24*	24.5*	22*	20.5*	21*	24.5*
Dir.[°N]	0	45	90	135	180	225	270	315	-

\* valeurs lues sur le graphique

Les actions dues au vent sont définies conformément aux règles de l'Eurocode 1991-1-4 [R2].

On supposera, en première approche, que les actions applicables sur l'île de Mayotte sont transposables aux îles de Mohéli (Fomboni, Hoani), Grande Comore (Chindini) et Anjouan (Vassy).

Pour la zone des Comores (Mayotte) :  $v_{b,0} = 30 \text{ m/s}$

La catégorie de terrain à prendre en compte est : catégorie 0 (mer).

### 4.4.3 Houle

#### 4.4.3.1 Conditions du large

De même que pour le vent, les conditions les plus dimensionnantes pour les ouvrages correspondent aux épisodes cycloniques que connaît l'archipel des Comores. L'étude de BMT-ARGOSS a permis de caractériser les valeurs de retour à 50 et 100 ans de la hauteur significative ( $H_m0$ ) et la période de pic associée ( $T_p$ ) sur la zone pour différents secteurs directionnels (Figure 10).

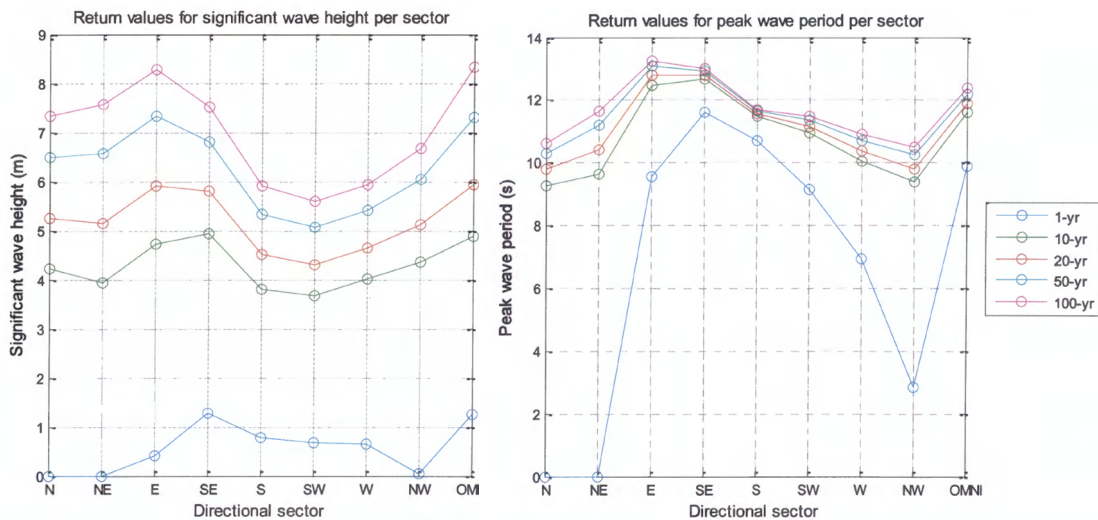


Figure 10 : Valeurs de hauteur significative cyclonique (gauche) et période de pic associée (droite) pour différentes périodes de retour et différents secteurs directionnels sur l'archipel des Comores [Source : BMT-ARGOSS]

Tableau 2 : Valeurs de retour de la hauteur significative de période de retour 50 ans et période de pic associée pour différents secteurs directionnels [Source : BMT-ARGOSS]

50 ans	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Omni.
$H_m0[m]$	6.5	6.6	7.3	6.8*	5.3*	5.1*	5.4*	6.1	7.3*
$T_p[s]$	10.3	11.2	13.1	12.9*	11.7*	11.5*	10.8*	10.3	12.1*
Dir.[°N]	0	45	90	135	180	225	270	315	-

\* valeurs lues sur le graphique

#### 4.4.3.2 Propagation jusqu'aux sites d'étude

Les conditions de houle dimensionnantes en pied d'ouvrage sont déterminées à partir d'une modélisation de la propagation (et agitation pour Chindini) des conditions du large présentées ci-dessus (houle et vent) jusqu'à la côte, similaire à celle réalisée par CEC pour le site de Fomboni.

Le logiciel utilisé est **TOMAWAC**, de la suite logicielle open TELEMAC-MASCARET (EDF R&D). Ce code spectral de 3<sup>ème</sup> génération permet la propagation numérique des états de mer du large à la côte en prenant en compte les effets de réfraction (bathymétrie, courants), levée (*shoaling*), interactions non linéaires entre fréquences, génération par le vent, dissipation par déferlement bathymétrie et moutonnement, dissipation par frottement sur le fond etc. Il calcule les spectres d'état de mer en tout point du domaine et en déduit les paramètres synthétiques de hauteur significative ( $H_m0$ ), période de pic ( $T_p$ ), direction moyenne ( $\theta_m$ ).

L'emprise du modèle est celle couverte par le MNT de la Figure 6. Les états de mer de forçage (large) sont représentés sous la forme de spectres directionnels de type JONSWAP ( $\gamma = 2$ ) de distribution angulaire  $\cos-2s$  ( $s = 25$ ).

Les conditions de forçage sont définies comme suit :

- Hm0 et Tp **50 ans** pour niveaux haut et bas, pour toutes les directions,
- Vent nul.

**NB :** La considération d'un vent nul dans la modélisation de la propagation de la houle est motivée par le fait que les conditions cycloniques du large utilisées pour le forçage – globales sur la zone de l'archipel des Comores – incluent déjà la contribution du vent cyclonique, qui en est à l'origine. A ce titre, une houle de 6.5m (par ex.) doit aussi bien être observée aux frontières du domaine que dans les zones de grande profondeur du modèle. La superposition du vent cyclonique à la houle cyclonique du large conduirait à un accroissement de la hauteur significative sur ces zones, soit des conditions d'états de mer trop conservatrices et non réalistes, en particulier aux abords de Fomboni.

#### 4.4.4 Courant

D'après les données recueillies, les courants maritimes sont faibles à la côte et ne seront donc pas dimensionnants pour le projet.

#### 4.4.5 Hydrodynamique côtière

##### 4.4.5.1 Site de Fomboni

D'après le rapport *Projet de modification Mohéli : rapport sur l'évaluation du climat des vagues, modélisation numérique de transformation des vagues et l'étude d'agitation du port, KULAK, Juin 2012* [R34], le site du projet à Fomboni semble être dans une zone d'équilibre morphologique en ce qui concerne le transport sédimentaire dû aux marées. Les zones d'accumulations locales de sédiments et les zones d'érosions apparaissent à proximité du rivage et sont de l'ordre de  $\pm 20-25$  cm.

Le plan masse du projet de 2012 n'était pas tout à fait le même que le plan masse de l'option 3 retenu à l'issue de l'étude de faisabilité [R39] mais on considérera en première approche que ces données sont applicables au projet actuel. Il a été mis en évidence lors des simulations réalisées dans le cadre de cette étude, que la construction du port n'avait pas d'impact significatif sur l'équilibre du transport sédimentaire dû aux marées au niveau du site du projet.

Le transport sédimentaire dû aux houles a également fait l'objet d'une modélisation numérique dans le cadre de l'étude [R34]. La direction de ce transport sédimentaire provient du Sud-Est au Nord-Ouest, le long de la côte à proximité du projet. Il existe un transport sédimentaire provenant d'un ruisseau situé au Nord-Ouest du projet. En prenant ces données en considération, **aucune érosion côtière significative n'est considérée au niveau du site du projet** tant que le ruisseau charrie des sédiments.

##### 4.4.5.2 Sites secondaires

Pour Vassy, comme précisé dans le compte-rendu de mission de démarrage [R42], des habitants ont fait part de leurs observations quant à l'érosion progressive de la plage de l'ordre de 1m par an.

Pour les autres sites, une estimation de l'évolution du trait de côte particulier sera réalisée sur la base des clichés disponibles et pertinent sur googleEarth. Ces données seront intégrées aux APS des différents sites pour anticiper la durabilité des ouvrages sur leur durée de vie.

## 4.5 Données géotechniques

### 4.5.1 Contexte géotechnique

Les données de sol sont très partielles et ne concernent que le site de Fomboni. Aucune donnée géotechnique n'a pu être récupérée sur les sites secondaires : Chindini, Hoani, Vassy. Les conditions géotechniques seront extrapolées aux autres sites en considérant un contexte similaire, à savoir une passe naturelle dans le corail recouverte d'une couche de sable superficiel posée sur du basalte altéré en surface.

Le site de Fomboni a fait l'objet de plusieurs études géotechniques successives :

#### ○ Forages, ADK, 1985

L'étude menée par la société grecque ADK en 1985, a consisté à effectuer une campagne de reconnaissance géotechnique du site et à cet effet, il a été procédé à la réalisation de cinq (5) sondages carottés avec un pénétromètre standard (SPT) conformément aux spécifications ASTM D1586 et aux prélèvements des échantillons pour les essais en laboratoire.

Les sondages sont dénommés G1, G2, G3, G4 et G5 et les essais d'identification des échantillons concernent la détermination de la consistance, la granulométrie, le poids volumique humide, la résistance à la traction et à la compression. Aussi, dans le cadre de cette mission, une étude sur la disponibilité des matériaux destinés à la construction de l'ouvrage portuaire a été élaborée.

La coupe géologique issue de ces sondages montre les éléments suivants :

- ▶ Couche de sable dense, avec des galets de basalte rencontrés près de la côte (sondages G1, G2, G3 et G5). Des refus sont constatés quand l'essai est en contact d'un gros galet ;
- ▶ Couche de sable et de corail dont la structure est variable. Près de la côte (sondages G1, G2, G3 et G5), cette couche est essentiellement constituée de coraux fragiles avec du sable, tandis que plus loin (sondage G4), elle est constituée de coraux massifs.
- ▶ Bed-rock constitué de basalte dur qui est rencontré par tous les sondages à proximité de la côte (sondages G1, G2, G3 et G5). Cette couche dure est située sous le niveau -4,50mCM.

#### ○ Forages, SOERNI, 1994

La société SOERNI, a procédé en 1994, à une reconnaissance du site moyennant la réalisation des essais au pénétromètre SPT et les essais d'identification des échantillons au LNTPB de Moroni.

Les résultats de ces sondages sont présentés dans le rapport de préfaisabilité élaboré par KULAK en 2012 pour le projet de modification de l'accès maritime à Mohéli [R32].

Les sondages situés à proximité de l'emprise du projet sont les suivants :

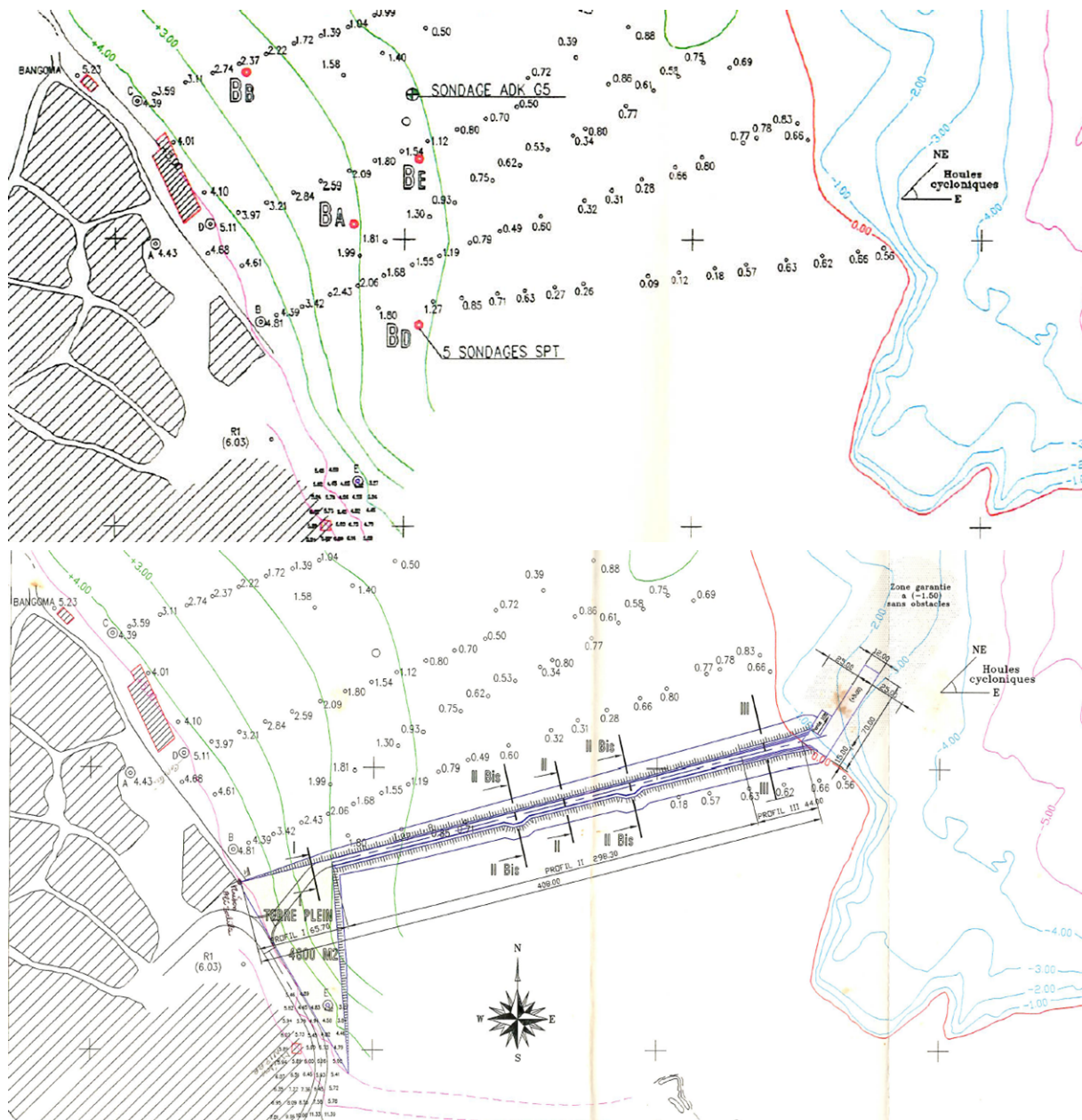


Figure 11 - Implantation des sondages (source: dossier d'appel d'offres, dossier de plan, SOERNI, 2000 [R30])

L'interprétation de ces sondages, bien que très approximative, indique les éléments suivants (analyse extraite du rapport [R35]):

- Les sondages Bd, Ba, Be (SOERNI) et G5 (ADK) présentent une couche de sédiments meubles (sables noir ou fin corallien, avec, sur certains, la présence de sédiments grossiers / galets et/ou débris de coraux) d'une épaisseur de 2,50m (sondage Bd) à 6,50m (sondage Ba). Les sondages Bd, Be et G5 indiquent la présence d'une couche de corail, parfois intercalé entre deux couches de sable fin.
- Le sondage G5 indique la nature du fond rocheux : une couche de corail massif d'une épaisseur de 1,10m dans laquelle le carottier a pu passer, puis du basalte noir « dur » entraînant l'arrêt du forage, rencontré vers -4,50m CM soit plus profond que les sondages Bd et Be qui sont plus proches de la zone.
- Aucun sondage n'est existant au niveau du quai existant et de l'implantation du projet.

La coupe géologique présentée - Coupe géologique du site de Fomboni (source : annexe D - étude géotechnique ADK, 1985) Figure 12 indique que les sols présentent une couche de basalte altéré à proximité des côtes. La couche de basalte dur semble devenir affleurante au large.

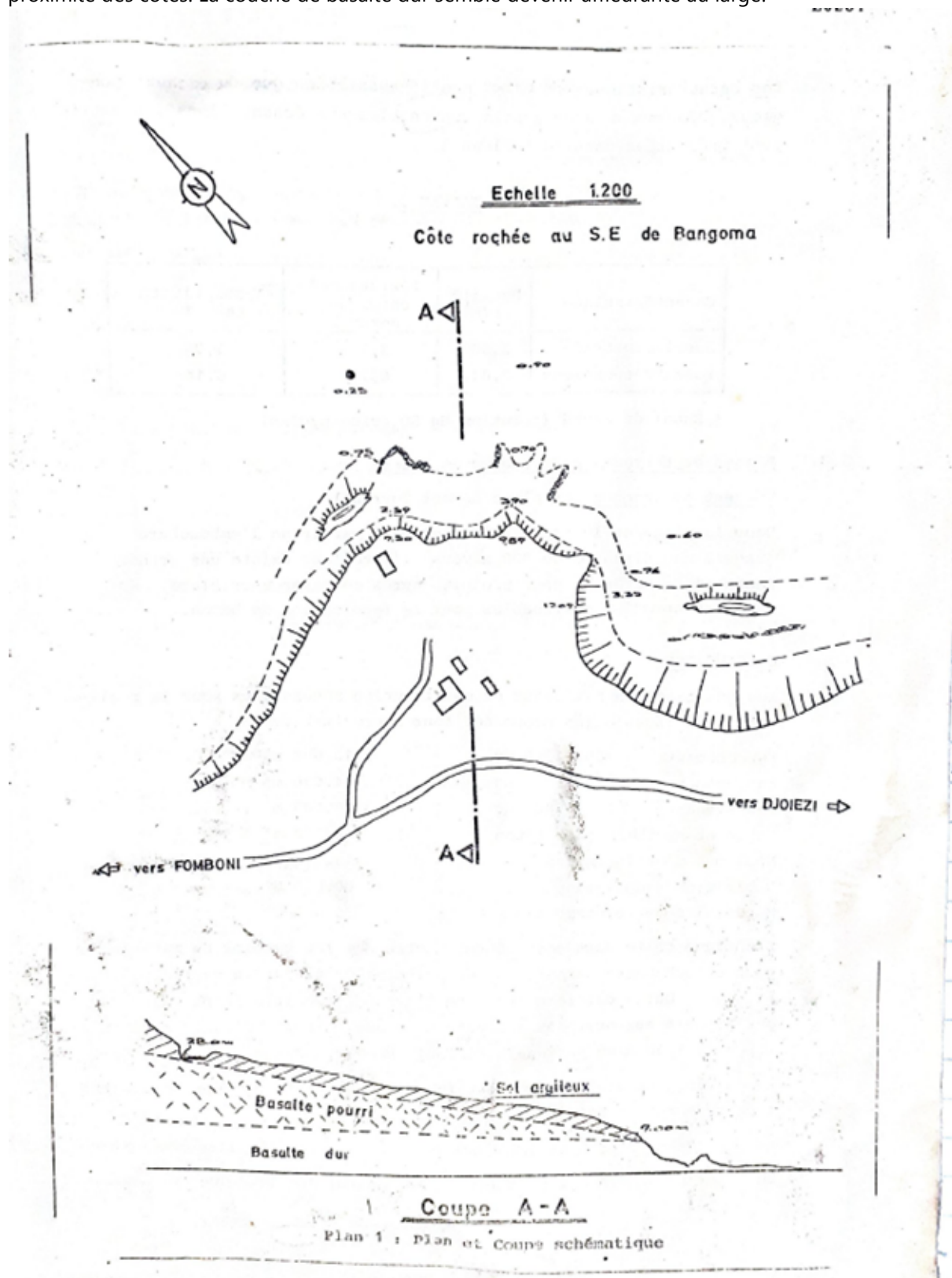


Figure 12 - Coupe géologique du site de Fomboni (source : annexe D - étude géotechnique ADK, 1985)

En l'absence d'autres données que celles présentées pour Fomboni, le modèle géotechnique considéré pour les sites secondaires sera similaire : le sol se compose principalement de matériaux rocheux ou coralliens/sableux.

**Des informations géotechniques complémentaires devront être recueillies afin d'affiner les études et confirmer la faisabilité des ouvrages et du dragage/déroctage ainsi que les coûts et planning de travaux associés.**

## 4.6 Classe sismique

Dans la région des Comores, le risque sismique est considéré de faible à modéré.

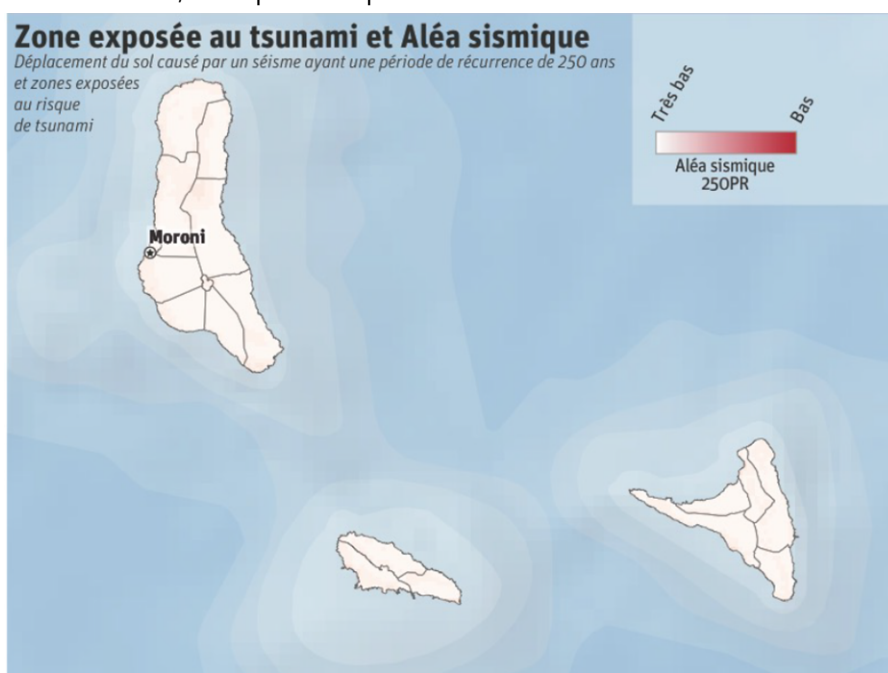


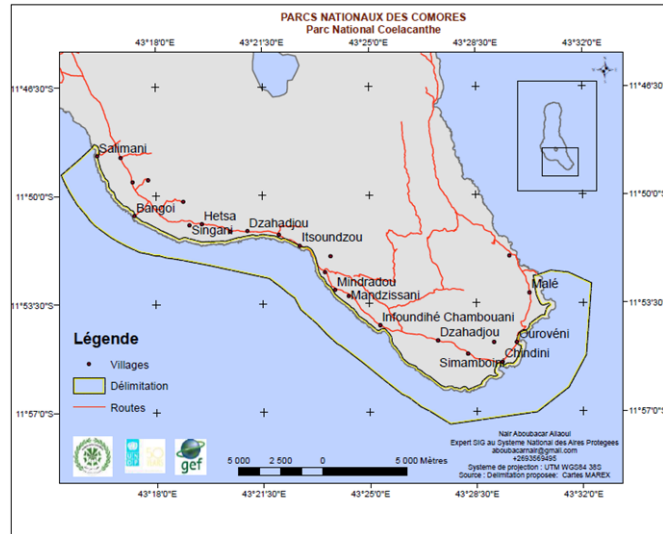
Figure 13 - Carte des risques sismiques aux Comores (Source: Initiative d'évaluation et de financement des risques dans le sud-ouest de l'océan Indien, Groupe de la Banque Mondiale, 2016)

Selon le nouveau zonage sismique du 22 octobre 2010, le territoire national est divisé en 5 zones de sismicité allant de 1 (zone d'aléa très faible) à 5 (zone d'aléa fort). On supposera que la norme applicable sur l'île de Mayotte est transposable aux îles de Mohéli (Fomboni, Hoani), Grande Comore et Anjouan. Mayotte est située en zone sismique 3 (aléa modéré).

**Les calculs ne seront pas menés au séisme à ce stade du dimensionnement. Ils pourront être menés ultérieurement selon l'EN 1998-5 sur la base d'une campagne géotechnique complémentaire.**

## 4.7 Sites protégés

Le site de Chindini est situé dans le Parc National Coelacanthé.



Source : (Parcs nationaux des Comores 2017)

Le récif de Chindini a été identifié comme zone de conservation prioritaire au Parc National Coelacanthé.

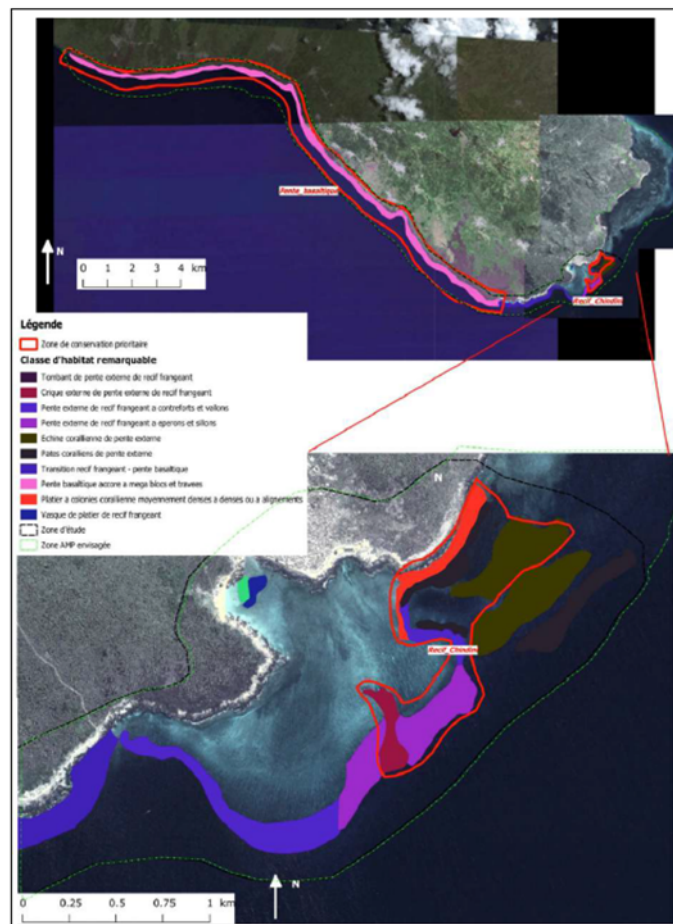


Figure 14 - Zones de conservation prioritaires au parc national Coelacanthé (source : Plan d'aménagement et de gestion du parc national Coelacanthé, 2017)

## 5. HYPOTHESES TECHNIQUES ET FONCTIONNELLES

### 5.1 Infrastructures projetées

#### 5.1.1 Port de Fomboni

Ce site est considéré comme prioritaire dans le développement des études.

Concernant le site de Fomboni, les aménagements correspondront aux ouvrages définis dans l'option 3 de l'étude de faisabilité.



Figure 15 : Schéma d'aménagement du port de Fomboni - Option 3

Les ouvrages envisagés sont les suivants :

- Structures portuaires :
  - ▶ Un accès maritime sécurisé pour les navires projets,
  - ▶ Un nouveau quai de 136 de long par 15m de large dans le prolongement du quai actuel, qui accueillera des navires Ro-pax et des navires de pêche le long de sa partie sud. L'emprise de l'extension s'enracine sur l'extrémité de la digue actuelle et comprend l'emprise actuelle du quai existant. Il comprend une cale de chargement/déchargement pour un navire possédant une rampe de déchargement des véhicules à l'arrière. La côte de dragage retenue dans les études précédentes est à -3.5mCM. Il comprend dans sa partie sud une rampe de chargement / déchargement des navires Ro-Pax par une rampe arrière du navire ;
  - ▶ Un nouveau quai de 120 m long et 15m de large, situé à l'extrémité du premier quai avec un angle permettant de protéger le plan d'eau de l'agitation. Il est prévu pour les opérations de chargement et déchargement de marchandises. La côte de dragage retenue dans les études précédentes est de -4.8mCM.

- ▶ Une réhabilitation de la digue d'accès existante. Elle est en mauvaise état (carapace) et son est élévation est trop basse (submergée en périodes agitées de vives-eaux),
- ▶ Une extension du terre-plein actuel pour les opérations de stockage et l'administration du port,
- ▶ Aménagement d'une zone de chargement / débarquement pour 4 navires à coques en V. Il est prévu ici la mise en place de pontons flottants suivant l'évolution de la marée,
- ▶ Un brise-lames le long du côté nord des deux quais pour protéger le port des vagues. Une voie de service n'est pas nécessairement demandée sur le haut de talus mais reste recommandable pour les opérations de maintenance. Dans l'optique de dimensionner la digue avec des blocs artificiels de type Accropodes/XBlocs, il paraît difficile d'envisager une piste accessible pour la maintenance de l'ouvrage néanmoins, en contrepartie, la carapace de la digue sera dimensionnée sur la base de 0 dommages.

La structure envisagée à ce stade est constituée **d'une digue à talus et d'un quai bloc.**

**La structure en quai sur pieux est écartée** en raison de la nature du sol composé de basaltes très durs.

**Un doublement de la jetée d'accès semble nécessaire** à ce stade pour fluidifier les trafics de camions, bus passagers et véhicules en double sens. Ici on considère que les camions viendront directement récupérer les marchandises sur le quai marchandise.

**Un élargissement des quais (20m) paraît nécessaire pour fluidifier et sécuriser les opérations dans la partie sud notamment (quai passager/pêche) et autoriser un minimum de stockage temporaire sur le quai marchandise. Selon la structure le surcoût associé devrait être faible en comparaison avec les avantages que représente cette alternative.**

**Les cotes de dragage seront revues en considérant la nature des fonds rocheux, l'agitation admissible et les niveaux d'eau. Les opérations d'approfondissement consisteront à du déroctage.**

**En première approche, nous considérons un cercle d'évitage égal à deux fois la longueur du navire projet. La largeur du chenal d'accès sera dimensionnée en considérant 3 largeurs de navires projet, n'autorisant pas le croisement des navires (ne devrait pas être limitant dans la passe).**

**Pour le plan incliné servant à accueillir la rampe du Ro-Pax, et en l'absence de données précises sur les caractéristiques du navire projet, nous considérons une pente maximum de 10%. Compte-tenu du nombre limité d'escales, nous proposons de limiter l'accessibilité, à marée basse, pour les périodes de vives eaux (coef 100 max). La cale devrait être significativement plus longue que celle présenté dans l'option 3 de l'étude de préféabilité. Nous proposons ici de conserver le linéaire de quai prévu sachant et de rendre accostable le côté libre de la rampe pour les opérations de débarquement des produits de la pêche (lorsque que le ferry n'est pas en opération)**

- Services et équipements
  - ▶ Bâtiment d'accueil des passagers
  - ▶ Hangar de stockage des marchandises,
  - ▶ Terre-plein de stockage des containers,

A ce stade, il **n'est pas prévu la construction d'un entrepôt frigorifique pour le poisson**. Des containers réfrigérés pourront permettre la conservation du poisson de façon temporaire à l'arrivée des bateaux de pêche sur le port.<sup>2</sup>

**Notre étude ne comprend pas d'aménagement pour la maintenance des navires. Cette activité est néanmoins présente sur site au niveau de la potentielle extension de la zone de stockage à terre.**

- ▶ Réseaux eau, électricité, incendie sur le terre-plein de stockage et jusqu'au bout du quai
- ▶ Station d'avitaillement
- ▶ Clôtures, ISPS
- ▶ Aides à la navigation, bouées pour chenal d'accès

### 5.1.2 Sites secondaires

Concernant les sites secondaires sur les 3 sites (Chindini, Hoani, Vassy), les ouvrages envisagés sont les suivants :

- Structure envisagée type **jetée simple et légère soutenue par des pieux** d'une largeur d'environ 3 mètres qui permettra une circulation confortable des piétons, et atteignant une profondeur suffisante à son extrémité en mer pour accueillir (opération de chargement / déchargement + amarrage) les navires qui seront utilisés à l'avenir comme remplacement. Ces jetées ne seront pas prévues pour accueillir des véhicules.
- Aides à la navigation, bouées pour chenal d'accès
- Parkings pour environ 20 véhicules (environ 25 x 25 m)
- Bâtiment d'accueil pour les passagers, y compris systèmes d'éclairage
- Route d'accès pour chaque site
- A Hoani et Vassy : ouvrages hydrauliques nécessaires pour la traversée des cours d'eau / ravines

Nous ne disposons pas de données sur les débits des ravines présentes dans la zone de projet. Les ouvrages hydrauliques nécessaires pour permettre le franchissement pourraient s'avérer très conséquents.

- A Chindini : ouvrage de protection contre la houle nécessaire afin de sécuriser la zone pour un transport inter-îles régulier.

Ces ouvrages seront dimensionnés uniquement pour les besoins de trafics passagers. Les activités de pêche ne seront pas prises en compte.

L'approvisionnement en carburant sera réalisé par des camions citerne.

Pour ces sites, il n'est considéré que le trafic passager opéré par les nouveaux navires à coque en V. Compte-tenu du navire projet retenu, le transport de marchandise sera limité à des bagages à main.

-----

<sup>2</sup> [R36] *Elaboration du schéma directeur portuaire, Union des Comores, Octobre 2014*

Il est difficile de statuer sur le trafic à prendre en compte sur la base des études disponibles.

Notre analyse permet cependant de considérer un investissement prévu pour une vingtaine de navires à répartir sur les différents sites.

Nous proposons de considérer 2 lignes maritimes distinctes avec un port d'attache principal :

- Chindini => Hoani avec Chindini comme port d'attache car il bénéficiera à priori d'une structure de protection,
- Fomboni => Vassy avec Fomboni comme port d'attache car il bénéficiera d'une structure de protection

En considérant les informations reçues, nous considérerons les capacités suivantes :

	Chindini	Hoani	Fomboni	Vassy
<b>Capacité d'amarrage (Nb de navires)</b>	10	4	4	2

## 5.2 Durée de service des ouvrages

Le rapport de préféabilité - volume 3 : analyse technique du développement du port de Fomboni, des ports secondaires et du renouvellement de la flotte [R39] indique une durée de vie de 25 ans.

**Nous préconisons de considérer une durée de service de 50 ans pour les ouvrages courants de génie civil conformément à la norme NF EN 1990 §2.3 et au Schéma Directeur Portuaire de l'Union des Comores [R36].**

Les durées de service retenues sont les suivantes :

- Ouvrages portuaires : 50 ans
- Structures de chaussée : 20 ans
- Défenses : 15 ans
- Réseaux : 30 ans

## 5.3 Les navires de projet

### 5.3.1 Port de Fomboni

Le port de Fomboni devra pouvoir accueillir les navires suivants :

- Bateaux Ro-Pax pour le transport de passagers et/ou de véhicules légers (maximum 3,5t);
- Les navires de marchandises générales ;
- Les navires de pêche locaux de plus petite taille et des navires de remplacement des kwassa-kwassas

D'après Rosa 2000 [R22], le déplacement peut être estimé en appliquant le coefficient de 1,6\*port en lourd pour les cargos.

Les navires de projet pour la conception du quai et de la zone d'évitage sont les suivants :

Tableau 3 - Navires de projet marchandises retenus dans l'étude de faisabilité - volume 3 [R39]

Navires de marchandises	Longueur hors-tout LOA [m]	Beam B [m]	Draught [m]	Port en lourd DWT [t]	Displacement [t]
NAGA SEJAHTERA III, IMO 8902096	67	10.30	4.50	1 780	2 670
MANTENHA, IMO 7104154	70	13.10	3.60	1 397	2095.5
<b>Navire de projet retenu</b>	<b>70</b>	<b>12.40</b>	<b>4.30</b>	<b>1 600</b>	<b>2 600</b>



Figure 16 - Naga Sejahtera III et Mantenha (source: étude de faisabilité - volume 3 [R39])

Tableau 4 - Navires de projet ferry retenus dans l'étude de faisabilité - volume 3 [R39]

Ferry	Longueur hors-tout LOA [m]	Beam B [m]	Draught [m]	Passagers	Voitures
DAMEN Fast ROPAX 4512	45	12.30	1.60	158	20
DAMEN Fast ROPAX 5510	55.90	10.80	3.10	180	20
<b>Navire de projet retenu</b>	<b>50</b>	<b>11</b>	<b>3.50</b>		

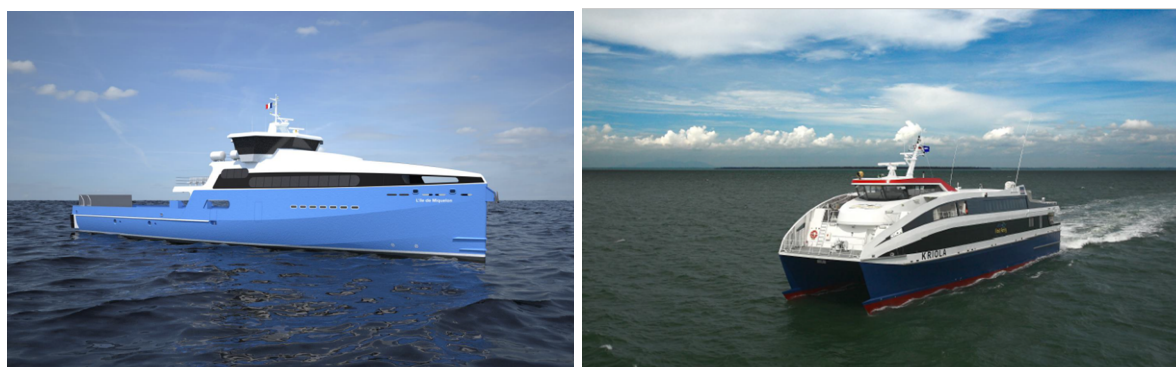


Figure 17 - DAMEN Fast ROPAX 5510 et 4512 (source: DAMEN)

Il n'est pas ici précisé le mode de chargement / déchargement. A noter que le second exemple présenté propose certainement un chargement des véhicules sur le côté, modifiant largement les infrastructures associées.

Tableau 5 - Navires de projet pêche retenus dans le Schéma Directeur Portuaire [R36] et l'étude CATRAM pour le développement de la pêche [R35]

Bateau de pêche	Longueur hors-tout LOA [m]	Beam B [m]	Draught [m]	Capacité (m <sup>3</sup> / T)
Palangrier de référence (projet CATRAM [R35])	21	6.5	3	30 m <sup>3</sup>
Bateau pêche de référence (Schéma Directeur Portuaire [R36])	27.86	6.2		
Grand palangrier national (Schéma Directeur Portuaire [R36])	24.80	7.40	3.96	
<b>Navire de projet retenu</b>	<b>25</b>	<b>11</b>	<b>4</b>	



Figure 18 - Grand palangrier national (source: Projet CATRAM [R35])

Tableau 6 - Navire de projet de remplacement des kwassas retenu dans l'étude de faisabilité - volume 3 [R39]

Navire de remplacement des kwassas	Longueur [m]	Largeur [m]	Passagers
ARIEL	12	4	12
<b>Navire de projet retenu</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>12</b>



Figure 19 - Bateau à coque en V pour remplacement des kwassas (source: étude de faisabilité - volume 3 [R39])

### 5.3.2 Sites secondaires

Les bateaux à coque en V qui viendront remplacer les kwassas pour les transits de passagers sont similaires à celui présenté pour le port de Fomboni Figure 19 et Tableau 6.

Tableau 7 - Navire de projet de remplacement des kwassas retenu dans l'étude de faisabilité - volume 3 [R39]

Navire de remplacement des kwassas	Longueur [m]	Largeur [m]	Passagers
ARIEL	12	4	12
<b>Navire de projet retenu</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>12</b>

Nous n'avons pas d'information sur le tirant d'eau de ces navires néanmoins, et sur la base de la photo ci-dessous, nous l'avons estimé à 1.5m.



Figure 20 - ARIEL - navire de projet à coque en V

## 5.4 Elévation des quais

En première approche pour Fomboni, et en considérant un niveau d'eau maximum à +6,55mCM et une agitation de 50cm, nous proposons de retenir une élévation minimale de +7.00mCM pour les quais. A noter que cette élévation est 2m au-dessus de la côte actuelle du quai existant. Cette cote sera redéfinie sur les sites secondaires en fonction du niveau d'agitation.

## 5.5 Cote de dragage

Ici nous considérons que les installations portuaires doivent être accessibles quel que soit le niveau de marée. Dans le cas extrême, en considérant un niveau d'eau bas de  $Z_w = 0$  m CM, et un pied de pilote de 20% du tirant d'eau du navire (4.30m) et une agitation de 50cm, la cote d'exploitation devra donc être située à -5.86mCM.

**Les côtes de calcul retenue pour Fomboni est située à -5.50mCM, limitant très exceptionnellement l'accès aux navires (marées exceptionnelles). Pour les sites secondaires, le même principe sera appliqué en considérant les niveaux d'agitation envisageables sur site.**

## 5.6 Volumes de passagers et fret

### 5.6.1 Port de Fomboni

Le rapport *20007\_DraftFinalReport\_Volume 2 - Demand Analysis\_v2 FR* indique une croissance de 588 à 67 436 passagers en 2040.

Les prévisions de trafic au port de Fomboni issues du Schéma Directeur Portuaire [R36] sont les suivantes :

Prévision de Trafic Port de Boingoma	2015	2020	2030
<b>Terminal de Marchandises Générales - Marchandises Conventionnelles</b>			
Tonnes de Marchandises Conventionnelles	35,880	53,951	105,650
	÷		
Tonnes par escale	200	200	200
Escales de Navires Marchandises Conventionnelles	251	335	545
	×		
TJB par escale	120	120	120
TJB Totales par An Navires Conventionnelles	30.421	40.602	66.100
<b>Terminal d'Hydrocarbures</b>			
Tonnes d'Hydrocarbures	9.420	11.917	18.599
	÷		
Tonnes par escale	500	500	500
Escales de Navires	19	24	37
	×		
TJB par navire	300	300	300
Total TJB par An	5.709	7.222	11.271
<b>Terminal RoPax</b>			
Nombre de Passagers	74.594	149.717	277.431
Escales de Navires	2.190	2.190	2.555
Total TJB par An	4.485.120	4.485.120	5.232.640
Tonnes de Marchandises en RoRo	-	-	59.820
<i>*Incl. Facteur de crête de 1,3</i>			
<i>**Minimum service de 3 escales par jour, n'importe la demande.</i>			
<i>***Volume conventionnel vers Mohéli existant au moment du démarrage du RoPax reste égal, tout surplus en conventionnel est alors transporté par RoPax.</i>			
<b>Terminal de Pêche</b>			
Tonnes de Poisson	-	32.120	32.120
Tonnes de poisson par escale	44	44	44
Escales de Navires	-	730	730

Tableau 1-3 Prévision de Trafic Port de Boingoma

Prévision de Trafic Port de Boingoma	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2025	2030	2035	2040	2045
<b>Terminal de Marchandises Générales - Marchandises Conventionnelles</b>											
Tonnes de Marchandises Conventionnelles	35.880	39.494	43.108	46.723	50.337	53.951	81.124	105.650	130.488	155.024	179.951
Escales de Navires Marchandises Conventionnelles	251	268	285	301	318	335	447	545	646	746	848
TJB Totales par An Navires Conventionnelles	30.421	32.457	34.494	36.530	38.566	40.602	54.176	66.100	78.285	90.435	102.794
<b>Terminal d'Hydrocarbures</b>											
Tonnes d'Hydrocarbures	9.420	9.919	10.419	10.918	11.418	11.917	15.189	18.599	21.683	24.910	28.108
Escales de Navires	19	20	21	22	23	24	30	37	43	50	56
Total TJB par An	5.709	6.011	6.314	6.616	6.919	7.222	9.205	11.271	13.140	15.095	17.033
<b>Terminal RoPax</b>											
Nombre de Passagers	74.594	88.248	102.562	117.561	133.270	149.717	244.016	277.431	367.592	431.302	504.152
Escales de Navires	2.190	2.190	2.190	2.190	2.190	2.190	2.555	2.555	3.196	3.535	3.980
Total TJB par An	4.485.120	4.485.120	4.485.120	4.485.120	4.485.120	4.485.120	5.232.640	5.232.640	6.546.044	7.239.757	8.150.191
Tonnes de Marchandises en RoRo	-	-	-	-	3.895	8.122	35.295	59.820	81.604	106.136	129.440
<b>Terminal de Pêche</b>											
Tonnes de Poisson	-	-	-	-	32.120	32.120	32.120	32.120	32.120	32.120	32.120
Escales de Navires	-	-	-	-	730	730	730	730	730	730	730

Figure 21 - Prévisions de trafic au port de Fomboni (source: Schéma Directeur Portuaire [R36])

Ici, seule la marchandise conventionnelle est évoquée en contradiction avec les perspectives de développement du trafic conteneur également évoqués dans les études existantes, sans le caractériser. A ce stade, nous excluons néanmoins ce trafic conteneur. Les estimations de trafic sont diverses et variées sur les marchandises conventionnelles. Nous considérons ici les hypothèses les plus optimistes à 2040 atteignant 360 000t/an (annexe B).

Les précédentes études ne précisent pas le schéma logistique et les productivités associées. Nous considérons que les marchandises seront manutentionnées à l'aide des grues des navires (2 grues avec maximum 10 par heure) puis :

- Stockées temporairement sur le quai puis reprises par des reachstaker pour les charger sur les camions,
- Déchargées directement dans les camions avec des trémies mobiles.

Les camions viendront directement chercher la marchandise sur le quai.

Nous considérons ici que le linéaire de quai recommandé sera suffisant. Nous recommandons néanmoins l'élargissement du quai à 20m et un doublement de la voie d'accès aux quais (digue).

Une aire d'attente pour les camions sera prévue sur la base d'un déchargement de 200t par navires.

**Le trafic d'hydrocarbure devrait rapidement se déplacer au niveau de Hoani où l'installation d'une bouée hydrocarbure est prévue, au niveau des unités de stockage déjà construites. Nous ne considérons donc pas ce trafic dans nos études.**

Le trafic passager est estimé ici à environ 500 000 passagers par an pour environ 4000 escales par an soit près de 11 escales par jour, presque une par heure. Ces chiffres ne nous paraissent pas cohérents avec la fréquence visée des ferry inter-iles et les investissements prévus, consistant en l'acquisition de ferries pour 11,5M\$ (2 maximums selon nos estimations) et constituant la base des études de rentabilité.

Ici nous considérerons que les structures envisagées au stade de la pré faisabilité sont suffisantes en considérant un doublement de la voie d'accès, supportant un bus transportant les passagers piétons de la gare maritime au lieux d'embarquement / débarquement). Un parking d'attente sera prévue pour les véhicules et passagers concernés par le transport ferry et Ro-Pax. Un parking devra être également mis en place aux abords du port (30 véhicules arrêt minute)

Pour le trafic de pêche il est supposé que le nombre de navires de pêche faisant escale est de 2 navires par jour, avec une capacité 44T de poisson. Un palan pourra être installé pour aider les opérations de déchargement

### 5.6.2 Sites secondaires

Ici encore, l'estimation des différents n'est pas conclusive dans les études précédentes. Nous proposons de mettre en place une zone de stationnement (nb d'emplacement à convenir), une gare maritime (capacité à définir) et un accès piéton pour accéder au quais d'embarquement. Pour ces sites, il n'est considéré que le trafic passager opéré par les nouveaux navires à coque en V. Compte-tenu du navire projet retenu, le transport de marchandise sera limité à des bagages à main.

## 5.7 Infrastructures existantes

### 5.7.1 Port de Fomboni

Le diagnostic visuel des infrastructures existantes au Port de Fomboni est présenté dans le compte-rendu de la mission de démarrage réalisée par EGIS/BECECO [R42].



Figure 22 - Ouvrage existant (source : Egis, 2021)

Il a été conclu les éléments suivants :

L'ouvrage ne présente pas de défaut majeur visible sur sa structure, mais en l'absence d'un diagnostic détaillé des parties immergées et d'une vérification de la structure vis-à-vis des plans existants, sa pérennité n'est pas assurée. A minima, un rehaussement de l'ouvrage dans sa globalité est nécessaire, ainsi qu'un redimensionnement des talus de protection et un doublement de la voie de service et donc de l'ouvrage.

Une solution de démolition complète de l'ouvrage pour en reconstruire un neuf est privilégié à ce stade en l'absence de diagnostic plus poussé. La réutilisation des matériaux de déconstruction sera intégrée au projet. Son utilisation pour l'approvisionnement chantier pourrait être envisagé.

Le chantier naval existant pourra continuer à fonctionner comme aujourd'hui, même si son fonctionnement est largement améliorable (sécurité, gestion environnementale, etc...). Le plan masse de développement du port (option 3) ne comprend pas cette composante et ne fait donc pas partie du scope EGIS.

### 5.7.2 Sites secondaires

Les visites des sites sont présentées dans le compte-rendu de la mission de démarrage réalisée par EGIS/BECECO [R42].

Les sites de Hoani et Chindini sont vierges de toute infrastructures existantes.

Le site de Vassy présente une infrastructure très dégradée. L'ouvrage existant est dans un état de dégradation tel qu'il n'est pas envisageable de le conserver.

Une démolition et une reconstruction de l'ouvrage seront nécessaires.



Figure 23 - Jetée sur pieux béton à Vassy (source: Egis, 2021)

## 5.8 Accès aux sites

### 5.8.1 Port de Fomboni

L'accès au site de Fomboni se fera par la route et l'accès au port existants.

L'accès au site sera sécurisé.

### 5.8.2 Sites secondaires

Les hypothèses d'accès sur chaque site ont été présentées lors de la réunion de restitution avec le PICMC du 30/09/2021 (cf. PV de la réunion).

Les accès aux sites secondaires seront définis dans l'APS sur la base de la mission de terrain réalisée (cf. [R42]), des échanges avec les riverains et des contraintes spécifiques locales identifiées.

## 5.9 Contraintes de travaux

### 5.9.1 Techniques de réalisation

Les données géotechniques indiquent que les sols sont majoritairement basaltiques. Ces couches de sol très dures nécessitent des engins et méthodes de travaux adaptées. L'analyse des techniques réalisables sera effectuée.

#### ○ Méthodes de dragage

Différentes techniques de réalisation seront envisagées selon les couches de sol (BHD, dipper de forte puissance, Drague Stationnaire à Désagrégateur, BRH, minage, etc.).

#### ○ Battage de pieux

Le battage des pieux dans les couches de sol basaltiques très dures pourrait s'avérer très compliqué. Différentes méthodes pourront être étudiées : méthodes de forage (type marteau fond de trou, symmetrix), pieux bétons ancrés sur des semelles béton, etc.

### 5.9.2 Disponibilités foncières

Nous évaluerons les emprises nécessaires à proximité des sites du projet pour permettre le stockage des matériaux (notamment dans le cas d'approvisionnement), les emprises nécessaires pour les installations de chantier, les éventuels besoins en lagunes de décantation dans le cas de dragage avec réutilisation de matériaux, les zones pour permettre la préfabrication le cas échéant, etc.

**En l'absence de données sur les emprises foncières et limites administratives, nous établirons une liste des surfaces nécessaires en identifiant si possible des zones à proximité mais celles-ci devront faire l'objet d'une validation ultérieure.**

## 5.10 Contraintes environnementales

Les contraintes environnementales seront intégrées dans l'APS sur la base des éléments présentés dans l'étude d'impact environnementale (prescriptions à prendre en compte, sites protégés, présences d'espèces remarquables, importation de matériaux, matières en suspension, etc.).

## 6. MATERIAUX

### 6.1 Contraintes de matériaux

La contrainte de matériaux constitue l'un des principaux enjeux, et est liée notamment à la disponibilité de matériaux sur les trois îles, ainsi qu'aux contraintes d'approvisionnement.

**Très peu de données ont été récupérées à ce stade concernant les sites potentiels d'approvisionnement et les carrières.**

Les besoins en matériaux de construction seront les suivants :

- Matériaux rocheux
- Matériaux de remblais
- Matériaux de granulats

#### 6.1.1 Mohéli (Fomboni, Hoani)

Dans le cadre de l'étude géotechnique menée par ADK pour le site de Fomboni, une étude sur la disponibilité des matériaux avait été réalisée en 1985. Ces données sont fortement susceptibles d'avoir évolué depuis 36 ans. L'étude faisait état d'une seule carrière sur l'île entre Hoani et Domoni,. Des ouvertures de carrières étaient envisagées :

- au Sud-Est de Bangoma présentant l'avantage d'être située à proximité du site de Fomboni, avec la possibilité d'avoir une route d'accès indépendante de la route nationale.
- au nord de l'aérodrome, susceptible de fournir des quantités supplémentaires d'enrochements et de moellons

Le torrent de Bangoma permettait d'assurer les besoins en sables et gravillon pour béton. Le remplissage des caissons était assuré par les matériaux de dragage.

A ce stade, et sans données précises sur les carrières effectivement ouvertes et leurs potentiels d'approvisionnement, nous envisagerons de **concasser une partie des matériaux issus du dragage/déroctage** (basalte dur, min 2.8 t/m<sup>3</sup>) **et d'importer une autre partie des matériaux nécessaires au projet**. Une recherche complémentaire des potentiels d'approvisionnement à partir des matériaux disponibles sur l'île pourra être effectuée ultérieurement.

Pour le site de Fomboni, une solution quai bloc sera étudiée à ce stade. Cette conception est fondée sur l'utilisation d'un matériau de remplissage non compacté et de qualité moindre que celle des roches massives ou des remblais issus de carrière. Les spécifications techniques retenues à ce stade sont les moins restrictives possibles afin de pouvoir considérer différentes sources de matériaux et ne pas contraindre les entreprises retenues dans le choix des matériaux.

Les pistes envisagées pourraient être les suivantes :

- Concassage des matériaux issus du dragage/déroctage
- Réutilisation de matériaux de la digue existante
- Utilisation de matériaux issus des déchets anthropiques issus d'autres chantiers sur l'île ou sur Grande Comore/Anjouan – cela nécessiterait la caractérisation de ces matériaux pour vérifier qu'il s'agisse bien de déchets inertes et l'ouverture de dossiers administratifs permettant de déclarer le site comme une décharge
- Utilisation des matériaux dragués pour l'assise des caissons
- En cas de ressource locale insuffisante, en particulier pour les plus gros blocs, il faudra se tourner vers d'autres matériaux (comme les matériaux d'importation).

Il ne nous semble pas judicieux d'envisager une récupération des matériaux dans le torrent, considérés les éléments définis dans l'étude [R34], indiquant que les sédiments charriés par le torrent étaient nécessaires afin de lutter contre l'érosion du site de projet.

### 6.1.2 Anjouan (Vassy)

Aucune donnée n'a été récupérée à ce stade concernant les carrières et potentiels d'approvisionnement en matériaux pour l'île d'Anjouan.

Des données complémentaires pourraient être obtenues à partir des études pour le projet de construction de la route par EIFFAGE en 2021. Un ouvrage provisoire permettant le chargement de marchandises, a été créé à proximité du site de Vassy et pourrait, dans le cas où des matériaux seraient disponibles sur l'île, permettre d'approvisionner l'île de Mohéli pour la construction des ouvrages de protection.

### 6.1.3 Grande Comore (Chindini)

Aucune donnée n'a été récupérée à ce stade concernant les carrières et potentiels d'approvisionnement en matériaux pour l'île de Grande Comore.

## 6.2 Remblais, enrochements

La ressource locale en matériaux rocheux serait du basalte. Les caractéristiques de celui-ci d'après l'étude sur la disponibilité des matériaux réalisée en 1985 par ADK étaient les suivantes :

Caractéristiques	Densité t/m <sup>3</sup>	Résistance* chimique perte %	Absorptivité eau %
Basalte massif	2,90	3,1	1,90
Basalte spongieux	2,04	6,7	6,14

\* Essai de Santé (solution Mg SO<sub>4</sub>/cinq cycles)

Figure 24 - Caractéristiques du rocher massif et spongieux sur le site de Fomboni (étude ADK, 1985)

La masse volumique pour les calculs de dimensionnement est de :

- 2,80 t/m<sup>3</sup> pour les enrochements ;
- 20 kN/m<sup>3</sup> pour les remblais routier, technique et de couche d'assise des caissons / quais blocs ;
- 19 kN/m<sup>3</sup> pour les remblais de soubassement et de remplissage des caissons / quais blocs ;
- 2,45 t/m<sup>3</sup> pour les blocs artificiels en béton ;
- 2,4 t/m<sup>3</sup> pour du béton coulé sous eau.

### 6.3 Béton armé

#### 6.3.1 Caractéristiques mécaniques

Les bétons seront soumis aux exigences des classes d'expositions XC4 (alternance d'humidité et de séchage) et XS3 (zone de marnage, zones soumises à des projections ou des embruns) définies par la norme NF EN 206-1/CN.

Le niveau de prévention des risques liés à l'alcali-réaction est le niveau de précautions particulières (niveau B du fascicule FD P18-464).

Le niveau de prévention des risques liés à la réaction sulfatique interne est le niveau Cs (ouvrage de catégorie II et classe d'exposition XH3) selon le document 'Recommandations pour la prévention des désordres dus à la réaction sulfatique interne' édité par le LCPC en août 2007.

Les bétons coulés en place seront de classe de résistance minimum C35/45 et les bétons pour les éléments préfabriqués seront de classe de résistance minimum C40/50.

Les principales caractéristiques mécaniques de calcul sont données dans le tableau suivant :

Tableau 8 - Caractéristiques mécaniques des bétons

Paramètres	Béton C35/45	Béton C40/50
$f_{ck}$ [MPa]	35	40
$f_{cm}$ [MPa] : Valeur moyenne de la résistance en compression du béton mesurée sur cylindre $f_{cm} = f_{ck} + 8.0$	43	48
$f_{ctm}$ [MPa] : Valeur moyenne de la résistance en traction directe du béton $f_{ctm} = 0.3 \times f_{ck} \cdot 2/3 (<C50/60)$	3.2	3.5
$f_{ctk 0.05}$ [MPa] Résistance caractéristique en traction directe du béton (fractile 5 %) $f_{ctk 0.05} = 0.70 \times f_{ctm}$	2.2	2.5
$f_{ctk 0.95}$ [MPa] Résistance caractéristique en traction directe du béton (fractile 95 %) $f_{ctk 0.95} = 1.30 \times f_{ctm}$	4.2	4.6
$E_{cm}$ [MPa] : Module d'élasticité sécant du béton $E_{cm} = 22\,000 \times [f_{cm}/10]^{0.3}$	34 077	35 220
$E_{\infty}$ [MPa] : Module d'élasticité long terme $E_{\infty} = E_{cm} / 3$	11 359	11 740
$\epsilon_{c2}$ [-] : Déformation relative en compression du béton au pic de contrainte $f_{ck}$	2 ‰	2 ‰
$\epsilon_{cu2}$ [-] : Déformation relative ultime du béton en compression	3.5 ‰	3.5 ‰

Le coefficient de Poisson pris en compte dans les calculs sera égal à  $\nu=0.2$  pour le béton non fissuré et  $\nu=0$  pour le béton fissuré.

#### 6.3.2 Contraintes limites de calcul

Conformément à la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale (article 7.2), les contraintes limites de calcul sont données dans le tableau suivant :

Tableau 9 - Contraintes limites de calcul

Etat de calcul	Béton C35/45	Béton C40/50
ELU Fondamental	$\sigma_{st} < f_{ck} / \gamma_c = 35/1.5 = 23.3$ MPa	$\sigma_{st} < f_{ck} / \gamma_c = 40/1.5 = 26.7$ MPa

ELS Caractéristique et fréquent	$\sigma_{st} < k_1 \times f_{ck} = 0.6 \times 35 = 21 \text{ MPa}$	$\sigma_{st} < k_1 \times f_{ck} = 0.6 \times 35 = 24 \text{ MPa}$
ELS Quasi permanent	$\sigma_{st} < k_2 \times f_{ck} = 0.45 \times 35 = 15.8 \text{ MPa}$	$\sigma_{st} < k_2 \times f_{ck} = 0.45 \times 40 = 18 \text{ MPa}$

Le coefficient d'équivalence acier/béton est pris égal à  $n=15$ .

## 6.4 Armatures pour béton armé

### 6.4.1 Type d'armatures

Les armatures pour béton armé seront des armatures à haute adhérence, conformes à la norme NF A 35-080-1 et de nuance B500B (limite élastique supérieure à 500 MPa). En fonction des besoins, des ronds lisses en aciers doux et de nuance B235C (limite d'élasticité 235 MPa) pourront être mis en place. Leur utilisation sera limitée aux armatures de frettage, barres de montage, chaises, épingles, armatures en attente de diamètre inférieur ou égal à 16mm si elles sont exposées à un pliage suivi d'un dépliage.

### 6.4.2 Classe structurale

Conformément à la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale (4.4.1.2 (5) Note), la classe structurale recommandée pour une durée d'utilisation d'un ouvrage de génie civil courant de 50 ans est S4.

### 6.4.3 Maîtrise de la fissuration

Le critère d'ouverture de fissures sera pris égal à  $w_{max} = 0.2 \text{ mm}$  sous sollicitations caractéristiques. Les justifications de ce critère seront menées sans calcul direct en limitant (article 7.3.3 de la norme NF EN 1992-1-1) :

- L'espacement des armatures sur les faces tendues à  $5x (c+\Phi/2)$
- Les contraintes des armatures des faces tendues à :
  - ▶  $1000 \times w_{max} = 200 \text{ MPa}$  pour les éléments fléchis
  - ▶  $600 \times w_{max} = 120 \text{ MPa}$  pour les éléments tendus

### 6.4.4 Enrobage

L'enrobage est déterminé conformément à l'article 4.4.1 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale :

- $c_{nom}$  : enrobage nominal de toute armature -  $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$
- $\Delta c_{dev}$  : tolérance d'exécution -  $\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$  (4.4.1.3 (1) P NOTE)
- $c_{min,b}$  : enrobage minimal vis-à-vis des exigences d'adhérence -  $c_{min,b} = \Phi$ , diamètre nominale
- $c_{min,dur}$  : enrobage minimal vis-à-vis des conditions d'environnement - (Tableau 4.4N)
- $\Delta c_{dur,\gamma}$  : marge de sécurité -  $\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$  (4.4.1.2 (6))
- $\Delta c_{dur,st}$  : réduction en cas d'emploi d'acier inoxydable -  $\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$
- $\Delta c_{dur,add}$  : réduction en cas d'une protection supplémentaire -  $\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$
- $c_{min} = \max [c_{min,b}, c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}] = 45 \text{ mm}$

$$\rightarrow c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 55 \text{ mm}$$

### 6.4.5 Contraintes limites de calcul

Conformément à la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale (article 7.2), les contraintes limites de calcul sont les suivantes :

- $\gamma_s = 1.15$  pour les ELU

- $\gamma_s = 1.0$  pour les ELS
- $f_{yk} = 500$  MPa
- ELU fondamental :  $\sigma_{st} < f_{yk} / \gamma_s = 435$  MPa
- ELS caractéristique :  $\sigma_{st} < k_3 \times f_{yk} = 400$  MPa
- ELS fréquent et quasi-permanent (cf. § 6.4.3)
  - ▶  $\sigma_{st} < 200$  MPa (éléments fléchis)
  - ▶  $\sigma_{st} < 120$  MPa (éléments tendus)

### 6.4.6 Adhérence acier-béton

#### 6.4.6.1 Contrainte d'adhérence ultime $f_{bd}$

La contrainte ultime d'adhérence  $f_{bd}$  est évaluée conformément à l'article 8.4.2 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale :

- $f_{bd} = 2.25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd}$  (NF EN 1991-1-1, article 8.4.2)
- $\eta_1 = 1.0$  si conditions d'adhérence « bonnes » ; 0.7 sinon
- $\eta_2 = 1.0$  si armatures de diamètre jusqu'à  $\Phi=32$  mm, =  $(132 - \Phi)/100$  sinon,
- $f_{ctd} = f_{ctk 0.05} / \gamma_c = 1.50$  MPa pour béton C35/45, 1.64 MPa pour béton C40/50

#### 6.4.6.2 Longueur d'ancrage de référence $l_{b,rqd}$

La longueur d'ancrage de référence  $l_{b,rqd}$  est évaluée conformément à l'article 8.4.3 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale :

- $l_{b,rqd} = (\Phi \times \sigma_{sd}) / (4 \times f_{bd})$  avec
- $\sigma_{sd} = f_{yd} \times (A_{s,calcul} / A_{mis\ en\ place}) \leq f_{yd}$  : contrainte de calcul de la barre

#### 6.4.6.3 Longueur de recouvrement $l_0$

La longueur de recouvrement  $l_0$  est évaluée conformément à l'article 8.7.3 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale :

Par simplification nous retenons  $l_0 = \alpha_6 \times l_{b,rqd} \geq \max [0.3 \alpha_6 \times l_{b,rqd} ; 15 \Phi ; 200 \text{ mm}]$

Tableau 10 - Longueur de recouvrement

	Béton C35/45		Béton C40/50	
	1.0 (bonnes)	0.7 (autres)	1.0 (bonnes)	0.7 (autres)
Diamètre des armatures	1.0 ( $\Phi_{max} = 32$ mm)	1.0 ( $\Phi_{max} = 32$ mm)	1.0 ( $\Phi_{max} = 32$ mm)	1.0 ( $\Phi_{max} = 32$ mm)
$f_{bd}$	3.37 MPa	2.36 MPa	3.68 MPa	2.58 MPa
$l_{b,rqd}$	32 $\Phi$	46 $\Phi$	30 $\Phi$	42 $\Phi$
$l_0$	45 $\Phi$	65 $\Phi$	41 $\Phi$	59 $\Phi$

## 6.5 Éléments métalliques

### 6.5.1 Tubes métalliques pour pieux

- Poids volumique de l'acier : 78.5 kN/m<sup>3</sup>,
- Module d'élasticité longitudinale : E = 210 000 MPa
- Nuance (NF EN 1993-1) : S355 (norme EN 10219-1)
- Coefficient de Poisson : 0.3

Norme et nuance d'acier	Épaisseur nominale $t$ de l'élément [mm]			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm	
	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>EN 10210-1</b>				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NHL	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550

(à suivre)

### 6.5.2 Palplanches

- Nuance (NF EN 1993-5) : S355 (norme EN 10248-1)

Désignation de l'acier selon l'EN 10027	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]
S240 GP	240	340
S270 GP	270	410
S320 GP	320	440
S355 GP	355	480
S390 GP	390	490
S430 GP	430	510

### 6.5.3 Épaisseur sacrifiée à la corrosion

En référence aux tableaux 4.1 et 4.2 de l'EN 1993-5 et pour une durée de vie de 50 ans, il sera considéré les épaisseurs sacrificielles à la corrosion suivantes (valeur double des épaisseurs préconisées en zone tempérée conformément à l'annexe nationale de NF EN 1993) :

- Eau de mer sous climat tropical, dans la zone d'embruns : 7.5 mm
- Eau de mer sous climat tropical dans la zone de marnage : 3.5 mm
- Eau de mer sous climat tropical, dans la zone des basses eaux : 7.5 mm
- Eau de mer sous climat tropical dans la zone d'immersion permanente : 3.5 mm
- Sols naturels intacts : 1.2 mm

## 7. CRITERES ET METHODE DE CONCEPTION – HYDRAULIQUE MARITIME

### 7.1 Critères de franchissement

Le critère de franchissement (en l/m/s) retenu est de 10 l/m/s à 50 ans.

### 7.2 Critères de stabilité

#### 7.2.1 Stabilité générale – grand glissement

La stabilité générale de la digue est étudiée selon la méthode de Bishop par des ruptures de type circulaire.

La vérification au grand glissement est réalisée avec le logiciel TALREN 5.

- Calcul en situations durables et transitoires

La vérification de la stabilité de la digue sera basée sur la vérification de la stabilité générale des ouvrages en sol renforcé, décrite dans la norme NFP 94-270 issue de l'Eurocode 7 – NF EN 1997-1 : 2005, Calcul Géotechnique, règles générales partie 1 et l'annexe nationale NF EN 1997 : 2006 AN.

- Calcul accidentel – houle de projet

La norme NF EN 1998-5 définit les pondérations à appliquer sur les paramètres de résistance au cisaillement du sol. Les surcharges d'exploitation sont prises en compte, conformément au chapitre 7.2.3 de la norme NFP 94-270.

Un coefficient de sécurité final  $F \geq 1,00$  est recherché pour les cas statiques et accidentels de l'ouvrage final (phase d'exploitation), avec application des coefficients de sécurité partiels.

Les pondérations considérées sont rappelées ci-dessous :

Paramètre	Coeff. de pondération	Valeur du coefficient à considérer		Remarques
		statique	accidentel houle projet	
<b>Facteur de modèle</b>	$\gamma_{R,d}$	1.20	1.00	ouvrage sensible aux déformations
<b>Poids des structures</b>	$\gamma_{GMax}$	1.00	1.00	favorable
<b>Poids des sols</b>	$\gamma_G$	1.00	1.00	-
<b>Surcharges variables</b>	$\gamma_Q$	1.30	1.00	-
<b>Angle de frottement interne des sols</b>	$\gamma_{\phi'}$	1.25	1.25	à appliquer en $\tan\phi$
<b>Cohésion effective des sols</b>	$\gamma_{c'}$	1.25	1.25	
<b>Cohésion non drainée des sols</b>	$\gamma_{Cu}$	1.40	1.40	
<b>Coefficient de méthode</b>	$\gamma_{R,e}$	1.00	1.00	

Tableau 11 : Récapitulatif des coefficients de pondération pour les calculs de stabilité générale

### 7.2.2 Carapace / merlon

Dans le cas d'un prédimensionnement d'un ouvrage en enrochements :

- La géométrie du merlon est conçue d'après le Rock Manual en choisissant comme critère un coefficient de transmission de la houle par l'ouvrage nul.
- La taille des enrochements de la carapace est dimensionnée par la formule de Hudson.

$$V = \frac{H_s^3}{K_D \left[ \frac{d}{d_0} - 1 \right]^3 \cot g \alpha}$$

Où :

HS : Hauteur de houle significative,

KD : Coefficient de stabilité hydraulique,

d : densité du béton,

d0 : densité moyenne de l'eau de mer,

Cotg α : pente du talus

Dans le cas d'une utilisation de blocs artificiels pour la carapace, la taille des blocs de la carapace sera définie suivant les recommandations des guides de conception de chacun des détenteurs de brevet.

- Recommandations pour le le bloc Accropode™ II - CLI (Concrete Layer International)
- Recommandations pour le le bloc Xblocs™ - DMC (Delta Marine Consultants)
- Recommandations pour le le bloc Cubipodes™ - SATO Sociedad Anónima Trabajos y Obras)

### 7.2.3 Noyau et sous-couches

La taille de blocs de la sous-couche de la digue sera relative à la taille des blocs artificiels. Elle est définie en accord avec les recommandations des détenteurs des brevets des blocs (par exemple blocométrie de sous-couche comprise entre 7 et 14% de la masse du blocs artificiel pour une carapace en blocs Accropodes™ II).

Dans le cas d'un prédimensionnement d'un ouvrage en enrochements, les sous-couches et noyaux seront retenus de manière à respecter les règles de filtres classiques (stabilité interne, rétention, perméabilité) :

- critère de perméabilité :

$$\frac{D_{15+}}{d_{15-}} > 5$$

Si le matériau de la couche supérieure considérée a une granulométrie étalée ( $D_{85}/D_{15} > 1.5$ ), alors il suffit de respecter :

$$\frac{D_{15+}}{d_{15-}} > 1$$

- critère de rétention :

$$\frac{D_{15+}}{d_{85-}} < 5$$

- stabilité interne pour la couche inférieure :

$$\frac{d_{60}}{d_{10}} < 10$$

(Dx correspond aux dimensions de la couche supérieure, dx à celles de la couche inférieure).

### 7.2.4 Butée de pied

Le dimensionnement théorique de la butée de pied en enrochements de la protection maritime sera réalisé au moyen de la formule de Van Der Meer *et al.* (1995). Cette dernière prend en compte un taux de dommages (Nod) et s'applique à la butée de pied de taille standard d'une largeur de 3 à 5 blocs et d'une épaisseur de 2 à 3 blocs. Son expression est la suivante :

$$HS = \Delta \cdot D_{n50} \cdot (2 + 6,2 \cdot (h_t/h)^{2,7}) \cdot Nod^{0,15}$$

Avec :

- $h_t$  : hauteur d'eau au-dessus de la butée
- $h$  : hauteur d'eau au-dessus du pied de la butée
- Nod : niveau de dommage. On considère dans l'étude un Nod de 0.5, correspondant à « pas de dommages ».

La masse des blocs obtenue est comparée aux préconisations des guides de conception des détenteurs de brevets selon le type de blocs de la carapace.

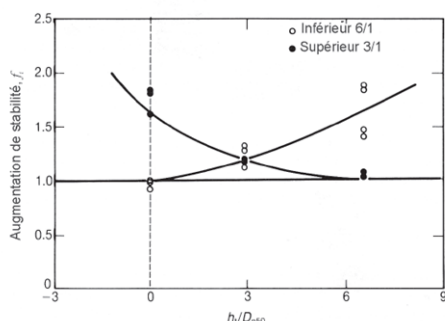
En première approche, nous considérerons que la butée de pied ne sera pas ensouillée car le sol d'assise sera directement la roche basaltique affleurante.

### 7.2.5 Butée de pied en blocs artificiels

Le Guide des enrochements propose une méthode de dimensionnement des enrochements de carapace dans le cas de pentes composées (5.2.8 – Van der Meer (1990)). En se basant sur un dimensionnement de carapace pour un talus uniforme, la stabilité du talus composé est ensuite exprimée en augmentant le facteur de stabilité  $f_i$ .

La méthode est la suivante :

- Calcul du  $D_{n50}$  requis pour un talus de pente continue (par exemple par la méthode de carapace donnée ci-dessus) ;
- Détermination de la valeur réduite du  $D_{n50}$  en divisant le diamètre  $D_{n50}$  théorique par le facteur de sécurité  $f_i$ , défini par lecture de la figure ci-dessous :



**Note :**  $h_t$  (m) est la hauteur de la transition par rapport au niveau de l'eau au repos;  $h_t$  est positive si la transition se trouve sous le niveau de l'eau.

**Figure 5.70**  
Coefficients d'accroissement de la stabilité,  $f_i$ , pour des talus en enrochement naturel composés

La méthode prend en compte un talus inférieur de 6H:1V.

## 7.2.6 Tapis anti-affouillement

La butée de pied n'étant pas ensouillée, il ne sera pas considéré de tapis anti-affouillement.

## 7.2.7 Assise des caissons / quais blocs

La méthodologie retenue pour la vérification de la stabilité des enrochements constituant l'assise des caissons ou des blocs de quai est issue du Guide Enrochement (2009,[R23]). Il y est étudié la stabilité d'ouvrages de fond par le calcul de la vitesse orbitale induite par la propagation de la houle (équation 5.173) :

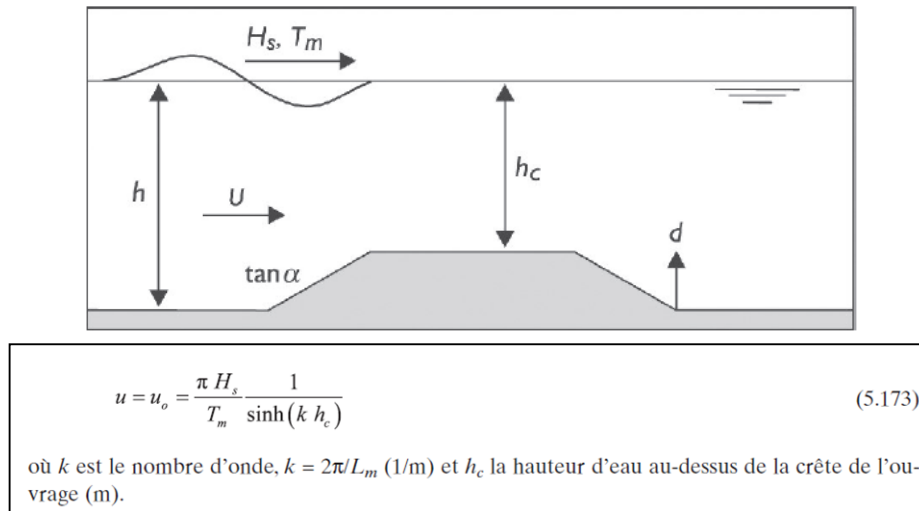


Figure 25 : Calcul de la vitesse orbitale en profondeur - extrait du Guide Enrochement (2009) – Eq 5.173

La taille de l'enrochement associé est déterminée par la formule suivante :

$$D_{n50} = \frac{u^2}{g \Delta} \left( \frac{0.2 a \sqrt{N}}{S_d} \right)^{1/3}$$

avec :

- $D_{n50}$  : diamètre nominale médian des enrochements [m],
- $u$  est la vitesse orbitale au niveau de l'arase de l'assise [m/s],
- $\Delta = \rho_{roc} / \rho_{eau} - 1$  est la densité relative de la roche,
- $N$  est le nombre de vague durant la tempête considérée,
- $a$  est un facteur de sécurité,
- $S_d$  est le taux de dommage visé.

Le coefficient de sécurité **a** est pris égal à 3 comme préconisé par le Guide des enrochements pour les assises des caissons. En revanche, pour les quais blocs, les assises seront exposées sur des plus courtes durées (cycle d'avancement plus rapide), et le coefficient **a** est pris égal à 1.

Le taux de dommage retenu pour un dimensionnement dépend du type d'ouvrage étudié. On retient :

- $S_d = 2$  pour les couches de réglages, ce qui correspond à un « début de dommage ». En effet, un reprofilage trop important n'est pas admissible pour la couche de réglage avant pose du caisson ;
- $S_d = 20$  pour les couches d'assise : un reprofilage léger peut avoir lieu, ce qui est acceptable car la couche de réglage corrigera le niveau cible pour la pose des caissons.

Les règles de filtres classiques présentées dans la partie « noyau et sous-couches » pourront éventuellement être vérifiées entre le(s) matériau(x) d'assise des caissons/quais-blocs et le noyau de la digue.

## 7.3 Agitation admissible

### 7.3.1 Port de Fomboni

L'ensemble des opérations portuaires au sein du port de Fomboni sera limitée à 50cm de houle derrière la digue de protection.

### 7.3.2 Sites secondaires

Les critères d'agitation à prendre en compte sont les suivants :

Vessel length (m)	Beam / quartering seas		Head seas	
	Period (s)	Height H <sub>s</sub> (m)	Period (s)	Height H <sub>s</sub> (m)
4-10	< 2.0	0.20	< 2.5	0.20
	2.0-4.0	0.10	2.5-4.0	0.15
	> 4.0	0.15	> 4.0	0.20
10-16	< 3.0	0.25	< 3.5	0.30
	3.0-5.0	0.15	3.5-5.5	0.20
	> 5.0	0.20	> 5.5	0.30
above 16	< 4.0	0.30	< 4.5	0.30
	4.0-6.0	0.15	4.5-7.0	0.25
	> 6.0	0.25	> 7.0	0.30

Figure 26 - Critères d'agitation pour bateaux de plaisance

Les seuils extrêmes admissibles sont de :

- 40 cm pour les amarrages sur quais fixes,
- 60 cm pour les amarrages sur pontons flottants.

## 8. CRITERES ET METHODE DE CONCEPTION – OUVRAGES GENIE CIVIL

### 8.1 Actions permanentes (G)

#### 8.1.1 Poids propre des ouvrages (G<sub>pp</sub>)

Conformément à l'article 4.1.2 (5) de la norme NF EN 1990, le poids propre de la structure peut être représenté par une valeur caractéristique unique calculée sur la base des dimensions nominales figurant sur les plans d'exécution et des poids volumiques suivantes :

- poids volumique du béton armé : 25 kN/m<sup>3</sup>,
- poids volumique de l'eau de mer : 10.26 kN/m<sup>3</sup>

- poids volumique de l'acier: 78.5 kN/m<sup>3</sup>
- passerelle d'accès aux pontons : 0.5kN/ml
- enrochements naturels : 2.8 t/m<sup>3</sup>
- enrochements artificiels : 2,45 t/m<sup>3</sup>
- remblai d'apport : 1,9 t/m<sup>3</sup>

## 8.1.2 Poussée-butée des sols (Gsol)

### 8.1.2.1 Pieux

Les modules de réaction horizontaux sont calculés conformément à l'annexe I de la norme NF P 94-262 (document d'application nationale de l'EC 7) pour un comportement longue durée pour le quai et pour un comportement de courte durée pour le duc d'Albe d'amarrage.

La capacité portante est vérifiée conformément à l'annexe F de NF P 94-262.

### 8.1.2.2 Soutènement

Les modules de réaction horizontaux sont calculés avec la formule de Schmitt conformément à la norme NF P 94-282 (document d'application nationale de l'EC 7).

Les coefficients de poussée et de butée sont déterminés par les tables de Caquot- Kerisel.

Le coefficient  $k_0$  de poussée des terres au repos est calculé par application de la formule de Jaky pour les sols pulvérulents et pris égal à 0.5 pour les matériaux cohérents.

L'inclinaison de la résultante de la poussée sur l'écran est prise égale à 0°.

L'inclinaison de la résultante de la butée est prise égale à  $-2/3 \varphi$ .

## 8.1.3 Action de l'eau (W)

L'action de l'eau est considérée comme une action permanente, son caractère variable étant pris en compte à travers les différentes situations de projet détaillées au §9.2.

## 8.1.4 Retrait et fluage

A ce stade du projet et conformément à ROSA 2000, le retrait ne sera pas pris en compte dans le dimensionnement des ouvrages.

## 8.2 Actions variables

### 8.2.1 Charge de pré-stockage de conteneurs (Sstoquai)

Selon le cahier « Charges d'exploitation » de la série « Actions » de ROSA 2000, les charges de stockage sont définies selon leur implantation et sont multipliées par un coefficient partiel fonction de l'incertitude sur la définition de ces charges. Sur ce projet, seules des charges de pré-stockage seront considérées.

Les charges de stockages ELS seront donc les suivantes :

- Charge de pré stockage de 2 t/m<sup>2</sup> Sstoquai

On prendra à l'ELU un coefficient partiel de 1.5 dans notre cas, signifiant « qu'il existe une forte incertitude sur la charge appliquée, sur son évolution au cours de la vie de l'ouvrage, et sur le respect des consignes d'exploitation » (Paragraphe 5.2.2.2).

Les charges de stockages ELU seront donc les suivantes :

- Charge de pré stockage de  $2 \times 1.5 = 3 \text{ t/m}^2$  Sstoquai

## 8.2.2 Charges roulantes (Sroul)

### 8.2.2.1 Reach Stacker



Figure 27 - Kalmar DRG450

Les Reach Stackers pourront être de marque Kalmar. Deux modèles sont présentés :

### 8.2.2.2 Semi-remorques

Les attelages sont des tracteurs avec des remorques de taille conventionnelle pour un quai marchandises.

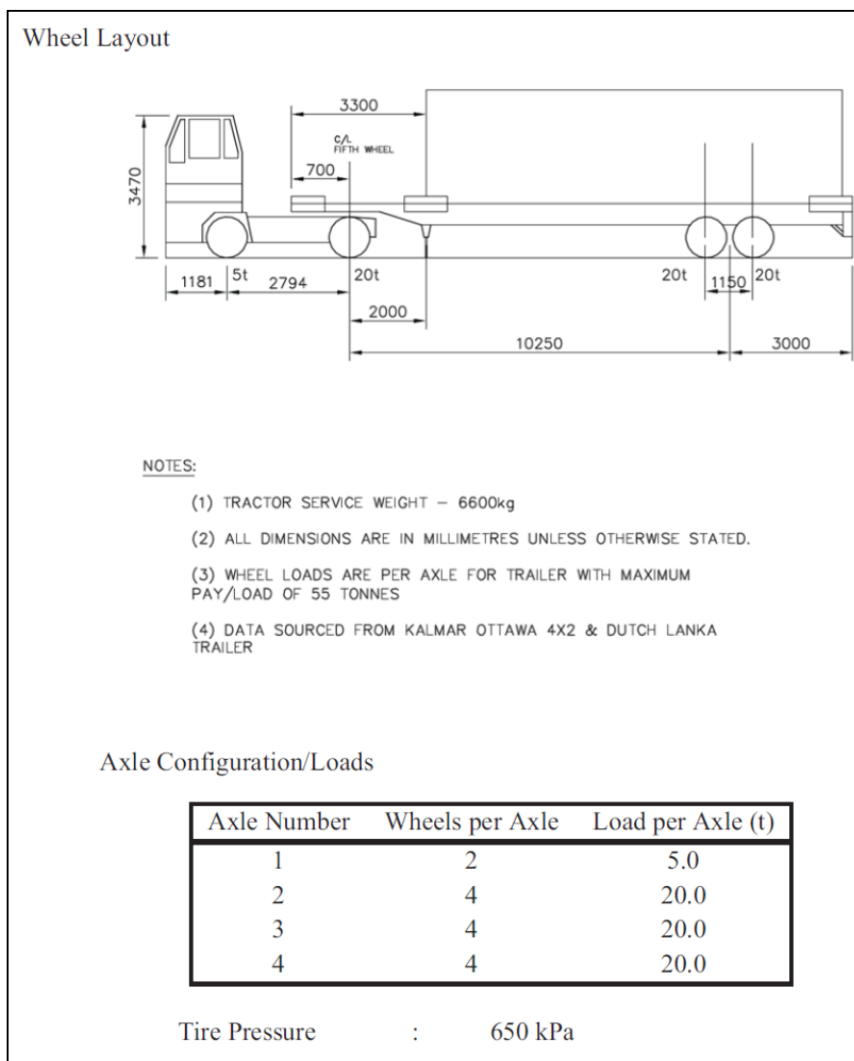


Figure 28 - Caractéristiques Camion Projet

Des semi-remorques, adaptés au transport de marchandises pourront venir se positionner à tout endroit du quai.

### 8.2.3 Charge d’amarrage (AM)

D’après le *Port designer handbook : Recommendations and guidelines*, Carl A. Thoresen, la capacité des bollards en fonction du déplacement du navire est la suivante :

Table 4.9. Bollard load P and approximate spacing

Ships with displacement in tons up to	Bollard load P in kN	Approximate spacing between bollards in metres	Bollard load normal from the berth in kN/m berth	Bollard load along the berth in kN/m berth
2000	100	5-10	15	10
5000	200	10-15	15	10
10000	300	15	20	15
20000	500	20	25	20
30000	600	20	30	20
50000	800	20-25	35	20
100000	1000	25	40	25
200000	1500	30	50	30

Il sera positionné des bollards 200 kN tous les 10m.

Les efforts d'amarrage s'appliquent au niveau des bollards.

### 8.2.4 Charge d'accostage (AC)

#### 8.2.4.1 Evaluation de l'énergie d'accostage

$$E = C_M \times C_E \times C_S \times C_C \times (1/2 \times D / g \times v^2)$$

Avec :

$C_M$  = coef masse ajoutée

$C_E$  = coef excentricité

$C_S$  = coef de souplesse de coque

$C_C$  = coef de configuration de quai

4 méthodes pour calculer  $C_M$  :

GRIM ->  $1.3 + 0.8 (T/B)$

STELSON ->  $1 + 0.25\pi T^2 L \times (\rho_{sw}/M_D)$

VASCO COSTA ->  $1 + 2 (T/B)$

RUPERT ->  $0.9 + 1.5 (T/B)$

On retiendra

$C_M = 1.694$

$C_E = 0.7$  pour des défenses extérieures

$C_S = 1$  pour ouvrages protégés et navires récents

$C_C = 0.8$  pour un mur de quai plein

Selon les graphiques de l'AIPCN permettant d'estimer les vitesses d'accostage selon le déplacement du navire et les difficultés du poste [R22], nous considérerons une vitesse d'accostage de calcul de 0.4 m/s.

Energie d'accostage nominale :  $E = 197 \text{ kN.m}$   
 Energie d'accostage accidentelle:  $E = 345 \text{ kN.m}$  (Application d'un coefficient de 1.75 conformément au PIANC – Guidelines for the Design of Fender Systems)

### 8.2.4.2 Réaction d'appui de la défense

Conformément aux recommandations du guide ROSA 2000, les valeurs des réactions nominales  $R_n$  tirées des catalogues fournisseur sont à pondérer par des coefficients ( $k_1$ ,  $k_2$ ) afin d'en déduire les valeurs de calcul.

Les coefficients partiels ci-après sont à appliquer à la courbe effort-déflexion du constructeur. Ils prennent en compte les trois facteurs « portuaires » suivants :

- Température
- Vitesse d'accostage : le choix de la colonne ci-dessous doit être cohérent avec la valeur représentative de la vitesse d'accostage considérée (dans le scénario d'accostage considéré : fondamental, rare, accidentel etc.)
- Fréquence d'accostage : il s'agit de la fréquence d'utilisation de la défense quelle que soit l'intensité du choc (indépendamment donc des valeurs représentatives de l'accostage)

Fréquence d'accostage	Température	Vitesse d'accostage			
		< 0,3 m/s	0,3 m/s	0,6 m/s	≥ 0,9 m/s
journalière	35°C	0,93	1,12	1,21	1,30
	15°C	1,00	1,20	1,30	1,40
	-10°C	1,24	1,48	1,61	1,73
hebdomadaire	35°C	0,98	1,18	1,27	1,37
	15°C	1,05	1,26	1,36	1,47
	-10°C	1,30	1,56	1,69	1,82
mensuelle	35°C	1,03	1,23	1,34	1,44
	15°C	1,10	1,32	1,43	1,54
	-10°C	1,36	1,64	1,77	1,91
annuelle	35°C	1,13	1,35	1,46	1,58
	15°C	1,21	1,45	1,57	1,69
	-10°C	1,50	1,79	1,94	2,09

Pour le quai de Fomboni, il est envisagé une fréquence journalière, des vitesses d'accostage comprises entre 0.3 m/s et 0.4 m/s, et des températures pouvant avoisiner 35°C. Nous prendrons donc  $k_1 = 1,15$ .

Le facteur  $k_2$  est relatif à l'incertitude du constructeur, l'accostage oblique éventuel, le frottement longitudinal éventuel et l'excentrement éventuel du choc.

Le projet sera équipé de défenses trapézoïdales.

Les coefficients  $k_2$  pour ce type de défenses à prendre en compte sont :

État de calcul	ELS	ELU
$k_{2min}$	0,95	0,90
$k_{2max}$	1,10	1,20

L'énergie d'accostage permet de déterminer les réactions nominales des défenses. Nous retiendrons pour le quai de Fomboni les réactions nominales d'une défense trapézoïdale de type TD-B600H G3 placée dans le sens vertical permettant de reprendre le marnage important. Nous avons donc par ml de défense :

$R_n = 104 \text{ kN}$

$$E_n = 412 \text{ kN.m}$$

Vérification de la reprise de l'énergie d'accostage :

$$k_1 * k_2 * E_n = 1.15 * 0.90 * 412 = 426 \text{ kN.m} > 345 \text{ kN.m} \text{ (énergie d'accostage accidentelle)}$$

Les réactions d'appui par défense résultent de l'application des coefficients globaux.

$$F = R_n \times k_1 \times k_2$$

État	MIN	MAX
ELS	113.6 kN	131.6 kN
ELU	107.6 kN	143.5 kN

Les défenses seront disposées selon les dispositions structurelles retenues et de manière à garantir 3 point d'accostage différents pour les différents navires projets.

Les efforts d'accostage s'appliquent dans l'axe des protections.

### 8.2.5 Sous-pressions dues à la houle lors d'un cyclone (HOU)

Cette action s'appliquera pour les ouvrages de type jetée sur pieux.

Les ouvrages seront dimensionnés pour résister au cas cyclonique pendant lequel les niveaux d'eau peuvent être amenés à monter au-dessus de l'arase inférieure des jetées et ainsi engendrer des pressions verticales et horizontales sur la structure.

Selon le fascicule « Niveaux quasi-statiques de l'eau » de ROSA 2000, paragraphes 4.3.1 et 4.3.2, les calculs se font à partir d'un niveau de référence, choisi en fonction de la sensibilité de l'ouvrage et de sa situation par rapport aux événements climatiques.

Le niveau d'eau maximal considéré sera donc le niveau maximal possible de tempête pour une période de retour 50 ans, constitué de la somme de la PHMA, de la surcote cyclonique, et de l'élévation du niveau des mers.

$$\eta = \text{PHMA (+4.30 mCM)} + \text{surcote (1.50m)} + \text{élévation séculaire (0.50m)} + \text{incertitudes (0.25m)}$$

$$= \mathbf{+6.55 \text{ m CM.}}$$

La hauteur de crête maximale est l'un des paramètres du calcul des sous-pressions, il est donc nécessaire de la calculer :

En cas de cyclone, l'agitation maximale au droit du projet, toutes phases confondues, est de  $H_{\max} = 6.2$  m, avec une période de  $T = 7$  s. A noter que la hauteur de houle transitoire étant plus importante que la hauteur de houle définitive, c'est celle-ci que nous prendrons en compte dans le calcul des sous-pressions en cas cyclonique.

Il est habituellement considéré que la hauteur maximale atteinte par la crête des vagues atteint 2/3 de  $H_{\max}$ . La hauteur de crête de la vague cyclonique se positionne donc à  $\eta = 4.13$  cm au-dessus du niveau d'eau accidentel précédemment calculé.

La cote NH de la crête de vague maximale est donc de :

$$\eta_{\max} = 9.68 \text{ m NH}$$

La hauteur de la houle d'agitation au droit du projet restant relativement faible, et l'ouvrage étant considéré comme assez fin, les charges dynamiques dues à l'eau sont considérées comme faibles.

Les pressions seront donc calculées à partir des formules simplifiées des forces exercées par l'eau sur un tablier de pont, dont la géométrie sera semblable aux ouvrages de type jetée sur pieux :

$$F^*_{V \text{ TOTAL}} = \rho_{\text{eau}} * (\Delta Z_V) * A_V$$

$$F^*_{H \text{ TOTAL}} = \rho_{\text{eau}} * (\Delta Z_H) * A_H * [1+0.4*(N-1)]$$

Avec :

$$\Delta Z_V = \eta_{\text{max}} - Z_{\text{sous-face}}$$

$A_V$  = section horizontale soumise à la sous-pression

$$\Delta Z_H = \eta_{\text{max}} - Z_{\text{centre de la surface d'impact}}$$

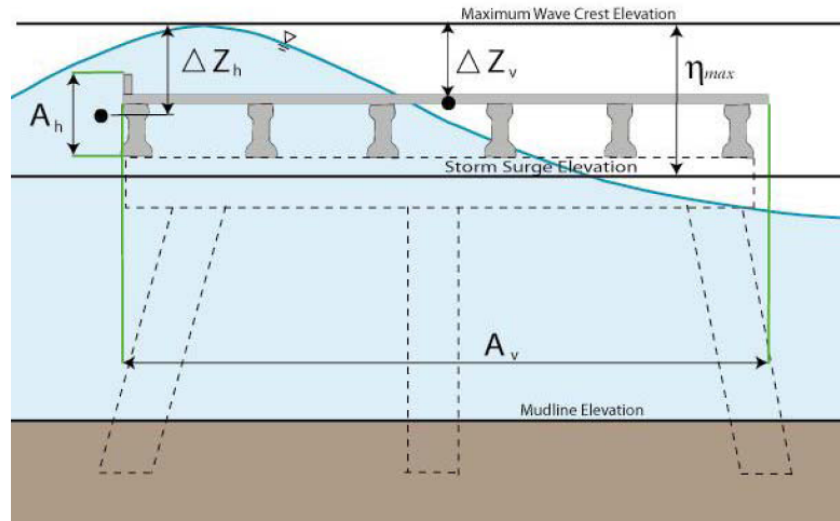
$A_H$  = section verticale exposée

$N$  = nb de poutres

$\rho_{\text{eau}}$  = masse volumique de l'eau = 10.25 kN/m<sup>3</sup>

Les sous-pressions seront calculées comme une charge répartie sur la sous-surface de la dalle et comme une charge linéaire sous les poutres longitudinales et transversales.

Les charges horizontales seront considérées comme linéaires et appliquées sur les flancs de poutres longitudinales et transversales.



## 9. COMBINAISONS D' ACTIONS

Les combinaisons d'actions sont définies conformément aux Normes NF EN 1990, NF EN 1990/A1 et NF EN 1990/NA.

### 9.1 Dénomination des actions élémentaires

On considèrera les actions élémentaires suivantes :

- Charges permanentes :
  - ▶ Poids propre du quai Gpp
  - ▶ Action du sol Gsol
- Efforts d'amarrage : AM
- Efforts d'accostage : AC
- Surcharges d'exploitation : S
  - ▶ Charge de stockage sur quai Sstoquai
  - ▶ Charges roulantes : Sroul
- Sous-pressions cycloniques : Hou

### 9.2 Définition des situations de projet

#### 9.2.1 Généralités

Les étapes de la vie de l'ouvrage sont appelées situations de projet. Une situation est déterminée par l'ensemble des conditions du projet régnant pendant un certain intervalle de temps durant lequel les distributions ou processus de toutes les données de la sécurité de l'ouvrage peuvent être considérés comme constants. Une situation doit tenir compte de la géométrie du site et de l'ouvrage, des actions appliquées à l'ouvrage, des propriétés des sols et des matériaux constitutifs de l'ouvrage, des conditions hydrauliques, de l'environnement de l'ouvrage en général...

On distinguera les situations ci-après :

- Durables : de longue durée d'application, elles correspondent en général à l'exploitation normale de l'ouvrage,
- Transitoires : de courte durée d'application, ce sont par exemple les situations de construction, de maintenance, d'exploitation particulière ou exceptionnelle,
- Accidentelles : de très courte durée d'application, elles sont liées à une configuration accidentelle de l'ouvrage ou à une action accidentelle,

Il est important de préciser que les situations de projet se rapportent à un seul ouvrage. Celles-ci seront définies selon le type d'ouvrage auquel elles se rapportent et selon le site du projet.

Dans le tableau synthétique ci-après, les actions appliquées au quai sont classées selon la situation étudiée :

	Situation durable	Situations accidentelles
<b>Phase</b>	<b>Exploitation</b>	<b>Cyclone</b>
<b>Sol</b>	Long terme	Court terme
<b>Eau</b>	Niveau moyen	Niveaux extrêmes
<b>États limites</b>	ELS-ELU F	ELUA
<b>Charges ou actions permanentes</b>	Poids propres	Poids propres

<b>Paramètres ou actions variables</b>	Actions du sol	Actions du sol
		Actions de l'eau
	Surcharges de stockage	Surcharges de stockage
	Charges roulantes	
	Efforts d'amarrage et d'accostage	Efforts d'amarrage et d'accostage

### 9.2.2 Situation de projet au cours de l'exécution des travaux

Lors de l'exécution des travaux, des situations provisoires seront à étudier. Il s'agit selon ROSA 2000 des situations transitoires en cours de construction. Comme indiqué dans ce guide, « les vérifications en situations transitoires en cours de construction sont en général de la responsabilité de l'Entreprise ». Ceci s'explique par le fait qu'à ce stade, les techniques et moyens de réalisation ne sont pas arrêtés. Il ne serait donc pas pertinent de mener dès à présent ces vérifications.

Néanmoins, les pièces des marchés concernées comprendront des prescriptions sur les phases provisoires. A titre indicatif, nous proposons ici les principaux éléments :

- La protection des ouvrages devra être assurée pour tous les éléments et à toutes les étapes de construction, en intégrant les sollicitations cycloniques
- En situation transitoire, les coefficients de pondérations sur les actions, sur les paramètres géométriques, sur les surcharges, et sur le modèle seront les mêmes que pour les situations durables
- Durant la phase de réalisation des travaux, les structures doivent être justifiées pour les situations transitoires avec des événements climatiques de période de retour 25 ans.

## 9.3 Combinaisons d'actions ELS

### 9.3.1 ELS Caractéristique

Les combinaisons à considérer sont les suivantes :

$$G_{k,sup} + G_{k,inf} + W_{sup} + W_{inf} + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{o,i} Q_{k,i}$$

Avec

- $G_{k,sup}$  : action permanente défavorable
- $G_{k,inf}$  : action permanente favorable
- $W_{sup}$  : poussée hydrostatique favorable
- $W_{inf}$  : poussée hydrostatique défavorable

### 9.3.2 ELS Fréquent

Les combinaisons à considérer sont les suivantes :

$$G_{k,sup} + G_{k,inf} + W_{sup} + W_{inf} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

### 9.3.3 ELS Quasi-permanent

Les combinaisons à considérer sont les suivantes :

$$G_{k,sup} + G_{k,inf} + W_{sup} + W_{inf} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

## 9.4 Combinaisons d'actions ELU

### 9.4.1 ELU Fondamental

Les combinaisons à considérer sont les suivantes :

$$\gamma_{Gsup}G_{k,sup} + \gamma_{Ginf}G_{k,inf} + \gamma_{Wsup}W_{sup} + \gamma_{Winf}W_{inf} + \gamma_{Q,1}Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i}\psi_{0,i}Q_{k,i}$$

## 9.5 Combinaisons d'actions sismiques

Les combinaisons à considérer sont les suivantes :

$$G_{k,sup} + G_{k,inf} + W_{sup} + W_{inf} + E + \sum_{i\geq 1} \psi_{2,i}Q_{k,i}$$

## 9.6 Approche de calculs et coefficients

L'approche de calcul est l'approche 2 : les facteurs partiels sont appliquées d'une part aux actions et aux effets des actions et d'autre part aux paramètres de résistance soit la combinaison d'ensemble de facteurs partiels est : A1+M1+R2.

Les coefficients partiels  $\gamma$  à prendre en compte pour les actions sont les suivants :

Actions	$\gamma_q$ ELS	$\gamma_q$ ELUF	$\gamma_q$ ACC CYCLONE
Charges permanentes (G)			
Défavorables (G <sub>défav</sub> )	1	1.35	1
Favorables (G <sub>fav</sub> )	1	1	1
Température	1	1.35	1
Action de l'eau (E <sub>eau</sub> ) <i>Cahier « actions quasi-statiques des niveaux d'eau » ROSA 2000, paragraphe 5.2</i>	0	0	1
Accostage (AC) (variable) <i>Cahier « défenses d'accostage » ROSA 2000, paragraphes 5.3.3.1 et 5.3.3.2</i>	1.09 / 1.265	1.035 / 1.38	0
Amarrage (AM) (variable) <i>Cahier « Amarrage » ROSA 2000, paragraphe 4.2.2.3</i>	1	1.5	1
Surcharges d'exploitation (S)			
Charges de stockage sur quai	1	1.5	1
Charges roulantes <i>Cahier « charges d'exploitation » ROSA 2000,paragraphe, paragraphe 3.3.4.2</i>	1	1.2	0

Pour la combinaison des différentes actions, les valeurs des coefficients d'accompagnement  $\psi$  sont les suivantes :

Actions variables de base	Valeur de combinaison $\psi_0$	Valeur fréquente $\psi_1$	Valeur quasi-permanente $\psi_2$
Action de l'eau (Eeau)	0	0	0
Accostage (AC)	1	1	0
Amarrage (AM) Cahier « Amarrage » ROSA 2000, paragraphe 4.2.2.3	1	0,2	0,2
Surcharges d'exploitation (S)			
Charges de stockage sur quai	0,77	0,6	0,4
Charges roulantes Cahier « charges d'exploitation » ROSA 2000, paragraphe 3.4	0,77	0,5	0

Lorsqu'il y a compatibilité et indépendance statistique entre deux actions variables qui figurent en base et en accompagnement, le coefficient de combinaison  $\psi_0$  est forfaitairement pris égal à 0.77 pour l'une comme pour l'autre (paragraphe 3.3.1 du cahier « Situations et combinaisons d'actions » de ROSA 2000). Pour les charges de stockage, on attribue un coefficient  $\psi_0$  égal à la plus grande des valeurs de 0.77 et du  $\psi_1$  retenu (on doit avoir  $\psi_0 \geq \psi_1$ ), quelle que soit l'action variable de base (paragraphe 3.3.3 du cahier « Situations et combinaisons d'actions » de ROSA 2000).

Lorsque, en situation accidentelle, une charge ne peut être qu'en action de base, alors  $\psi_0$ ,  $\psi_1$  et  $\psi_2$  sont égaux à 0.

# 10. ANNEXE 1 : COMPTE-RENDU DE MISSION DE DEMARRAGE



Union des  
**Comores**  
Ministère des  
Transports Maritime  
et Aérien



## Projet Connectivité Inter-Iles des Comores (PICMC)

Etude pour l'avant-projet détaillé des  
travaux d'extension du port de  
**Fomboni** et d'aménagement des sites  
de débarquement secondaires à  
**Chindini, Hoani et Vassy**

Compte-rendu de mission de démarrage : 23/09/2021 – 30/09/2021



Bureau d'Etude Conseil Expertise  
et Contrôle (BECECO)

Avant-Projet Sommaire  
Octobre 2021



# ETUDE POUR L'AVANT-PROJET DETAILLE DES TRAVAUX D'EXTENSION DU PORT DE FOMBONI ET D'AMENAGEMENT DES SITES DE DEBARQUEMENT SECONDAIRES A CHINDINI, HOANI ET VASSY

## PROJET CONNECTIVITE INTER-ILES DES COMORES (PICMC)

### INFORMATIONS RELATIVES AU DOCUMENT

#### INFORMATIONS GÉNÉRALES

<b>Auteur(s)</b>	A. HOURQUET, A. JARNY
<b>Volume du document</b>	Compte-rendu de mission de démarrage : 23/09/2021 – 30/09/2021
<b>Version</b>	0
<b>Référence</b>	NA
<b>Numéro CRM</b>	OCA0009
<b>Chrono</b>	NA

#### HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Version	Date	Rédigé par	Visé par	Modifications
0	07/10/2021	A. HOURQUET	A. JARNY	Emission initiale

#### DESTINATAIRES

Nom	Entité
	PICMC
	Banque Mondiale

# Sommaire

1. <b>Objet</b> .....	4
2. <b>Programme et acteurs rencontrés</b> .....	4
3. <b>Compte-rendus des échanges et visites</b> .....	5
3.1 Réunion de démarrage.....	5
3.2 Visite du port de Moroni .....	5
3.3 Réunion de mise au point avec les équipes PICMC/INROS LACKNER/AEQUO-ARTELIA/EGIS-BECECO	6
3.4 Visite du port de Fomboni .....	7
3.5 Visite du site de Hoani.....	13
3.6 Echanges avec le Directeur de l'Aménagement de Mohéli .....	18
3.7 Visite du site de Chindini .....	18
3.8 Visite du site de Vassy .....	25
3.9 Autres ouvrages.....	33
3.10 Réunion de restitution .....	35
4. <b>Conclusion de la mission</b> .....	35
5. <b>Annexe 1 : Liste des données récupérées</b> .....	36

# 1. OBJET

Le présent document constitue le relevé des échanges et visites de sites réalisés par l'équipe EGIS/BECECO lors de la mission du 23/09/2021 au 30/09/2021.

## 2. PROGRAMME ET ACTEURS RENCONTRES

Date	Matin	Après-midi
<b>23/09/2021</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Arrivée à Moroni</li> </ul>
<b>24/09/2021</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Réunion de démarrage avec le PICMC</li> <li>○ Visite du port de Moroni</li> <li>○ Echanges avec le chef des opérations de la capitainerie du port de Moroni</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Réunion de mise au point avec les équipes PICMC / INROS LACKNER / AEQUO / EGIS-BECECO</li> </ul>
<b>25/09/2021</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Départ pour Mohéli</li> <li>○ Visite du port de Fomboni</li> <li>○ Echanges avec le directeur de l'ANAM Mohéli</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Visite du site de Hoani</li> <li>○ Echanges avec le directeur de l'ANAM Mohéli</li> <li>○ Echanges avec le Chef de Service et le métreur et vérificateur de la Direction de l'Aménagement de l'île de Mohéli</li> </ul>
<b>27/09/2021</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Echanges avec le Directeur de l'Aménagement de Mohéli et point focal du projet PIDA</li> <li>○ Départ pour Moroni</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Visite du site de Chindini</li> <li>○ Echanges avec les pêcheurs et comité de pilotage du village de Chindini</li> </ul>
<b>28/09/2021</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Test PCR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Départ pour Anjouan</li> </ul>
<b>29/09/2021</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Visite du site de Vassy</li> <li>○ Echanges avec Mme la Maire de la commune de Vouani, M l'Adjoint Maire de la commune de Vouani, les pêcheurs, les anciens maçons de la construction du port existant et l'ingénieur et conducteur de travaux du bâtiment annexe du port de Vassy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Départ pour Moroni</li> </ul>
<b>30/09/2021</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Réunion de restitution avec les équipes PICMC / INROS / AEQUO / EGIS-BECECO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Départ de Moroni</li> </ul>

## 3. COMPTE-RENDUS DES ECHANGES ET VISITES

### 3.1 Réunion de démarrage

- Vendredi 24/09/2021 à 9h
- Locaux PICMC
- Ordre du jour : Lancement de la mission EGIS/BECECO
- Participants :
  - PICMC : M. MOHAMED AHAMADA – Coordinateur  
Mme BAHIDJAT ABDALLAH – Responsable en Passation des Marchés
  - EGIS : M. ANTOINE JARNY – Chef de projet  
Mme ADELE HOURQUET – Ingénieur génie civil
  - BECECO : M. BRAHIME MOUHAMADI – Consultant

Le planning est rappelé en précisant : APS Fomboni pour fin octobre pour permettre la tenue du Conseil d'Administration de la Banque Mondiale en décembre avec l'APS validé (y compris EIE).

EGIS rappelle les grandes lignes du projet et précise les éléments suivants :

- Les emprises du projet seront définies en stade APS (y compris accès) mais la localisation précise sera déterminée en APD.
- La définition des navires de projet et de leur nombre est essentielle pour le démarrage de l'étude.
- Les sites de projet sont à confirmer au cours de la mission.
- Il n'y a pas d'étude hydrodynamique prévue, mais uniquement des études d'agitation.
- La note d'hypothèses sera établie rapidement et devra être validée par le PICMC avant de pouvoir lancer les calculs.
- Il n'y a pas de campagne géotechnique prévue à ce stade : uniquement une analyse des données existantes et l'établissement d'un cahier des charges pour réaliser cette campagne de sondages ultérieurement (soit avant la passation des marchés de travaux, soit intégrée aux marchés de travaux).
- La durée de vie du projet sera à confirmer par le PICMC.

Des données existantes ont été évoquées :

- Cartographie des sites protégés : **donnée non récupérée à ce jour**
- Etude CATRAM : **étude transmise**
- Zones d'emprunt des matériaux : recensement des carrières : **donnée non récupérée à ce jour**

### 3.2 Visite du port de Moroni

- Vendredi 24/09/2021 à 12h
- Capitainerie du port de Moroni
- Ordre du jour : Récupération de données existantes
- Participants :
  - Port de Moroni : Pilote / chef des opérations du Port de Moroni
  - EGIS : M. ANTOINE JARNY – Chef de projet  
Mme ADELE HOURQUET – Ingénieur génie civil
  - BECECO : M. BRAHIME MOUHAMADI – Consultant

Des données existent sur le port de Moroni :

- Disponibles auprès du Ministère de l'Aménagement ou de clients privés (Bolloré, Seanergy OI)
- Plan de développement du port

Il existe aujourd'hui un problème de transport des sédiments sur le port de Moroni : des travaux de dragage ont été réalisés en 2009/2010 par l'entreprise Alpha Logistics avec du clapage en mer.

Le pilote de port alerte sur la présence potentielle du câble de fibre optique sous-marin à Chindini : **donnée non récupérée à ce jour.**



### 3.3 Réunion de mise au point avec les équipes PICMC/INROS LACKNER/AEQUO-ARTELIA/EGIS-BECECO

- Vendredi 24/09/2021 à 14h
- Locaux PICMC

Un CR de cette réunion doit être établi et sera présenté en annexe une fois transmis par le PICMC.

### 3.4 Visite du port de Fomboni

- Samedi 25/09/2021 à 11h
- Port de Fomboni
- Ordre du jour : Diagnostic visuel du site
- Participants :
  - ANAM : Directeur de l'ANAM Mohéli
  - EGIS : M. ANTOINE JARNY – Chef de projet  
Mme ADELE HOURQUET – Ingénieur génie civil
  - BECECO : M. BRAHIME MOUHAMADI – Consultant

Ce site est considéré comme le site prioritaire du projet.

Une inspection visuelle des ouvrages existants émergés a été réalisée.

- Accès terrestre :
  - ▶ Le site du port est aujourd'hui sécurisé en zone ISPS. L'accès sera le même.
  - ▶ **Les limites administratives du port sont à fournir très rapidement.**
- Digue d'accès :
  - ▶ Construite en 2000
  - ▶ En mauvais état, sous dimensionnée : trop basse vis-à-vis des niveaux de marée,





- ▶ BCR/enrochements emportés lors du cyclone Kenneth (2019) – travaux de réparation ont eu lieu en 2020/2021





○ Quai et cale (enracinement de l'extension projetée) :

- ▶ Réparés suite aux dommages occasionnés par le cyclone Kenneth. Les défauts majeurs relayés (affaissement) sur le terrain par le directeur de l'ANAM et dans la bibliographie ne sont plus/pas visibles.





○ Bâtiments existants :

- ▶ Stockage des marchandises : construit en 2014



- ▶ Douanes



- ▶ Un bâtiment hors de l'enceinte portuaire serait la capitainerie : **donnée à confirmer.**



○ Réseaux :

- ▶ Pas d'avitaillement en fioul à ce jour
- ▶ Pas d'eaux usées
- ▶ Pas de récupération des eaux pluviales
- ▶ Electricité et eau courante arrivent sur le port

○ Chantier naval existant sur la plage



○ Manutention :

- ▶ Grue mobile 30T appartenant à un privé



○ Trafic :

- ▶ Port saturé parfois – les navires hydrocarbures arrivent directement sur la plage
- ▶ 15/20 entrées par mois de navires

○ Accès maritime :

- ▶ Pas de chenal défini et balisé, pas d’alignement mais chenal naturel existant à travers le platier
- ▶ Présence d’une ancre fixe en prolongement du quai



- Données existantes :
  - ▶ Deux plans de l'ouvrage ont été transmis au cours de la visite par le directeur de l'ANAM Mohéli.
  - ▶ Diagnostic de l'ouvrage aurait été réalisé par Eiffage : **donnée non récupérée à ce jour**
  - ▶ Etude des travaux de réparation : **donnée non récupérée à ce jour**
  - ▶ Limites administratives : **donnée non récupérée à ce jour**
  - ▶ D'autres données ont été récupérées sur ce site au cours de la mission : la liste des données récupérées est présentée en annexe.

**Conclusion du diagnostic :** L'ouvrage ne présente pas de défaut majeur visible sur sa structure, mais en l'absence d'un diagnostic détaillé des parties immergées et d'une vérification de la structure vis-à-vis des plans existants, sa pérennité n'est pas assurée. A minima, un rehaussement de l'ouvrage dans sa globalité est nécessaire, ainsi qu'un redimensionnement des talus de protection. Une solution de démolition complète de l'ouvrage pour en reconstruire un neuf n'est pas écartée en l'absence de diagnostic plus poussé. La réutilisation des matériaux de déconstruction sera intégrée au projet.

Les volumes de dragage/déroctage seront estimés à l'APS sur la base des données bathymétriques récupérées

Le chantier naval existant pourra continuer à fonctionner comme aujourd'hui, même si son fonctionnement est largement améliorable (sécurité, gestion environnementale, etc...). Le plan masse de développement du port (option 3) ne comprend pas cette composante et ne fait donc pas partie du scope EGIS.

### 3.5 Visite du site de Hoani

- Samedi 25/09/2021 à 14h
- Plage de Hoani
- Ordre du jour : Diagnostic visuel du site
- Participants :
  - ANAM : Directeur de l'ANAM Mohéli
  - EGIS : M. ANTOINE JARNY – Chef de projet  
Mme ADELE HOURQUET – Ingénieur génie civil
  - BECECO : M. BRAHIME MOUHAMADI – Consultant

La localisation du site a été clarifiée.



Figure 1 - Baie de Hoani à l'ouest de Kavé-Hoani

- Accès terrestre :
  - ▶ Plage vierge



- ▶ L'accès au site de Hoani se fait par un chemin de terre, à proximité de la route, sans propriété construite.



- ▶ La plage est clôturée naturellement par des falaises, ce qui créé une baie



- ▶ Présence de deux ravines et mangroves à l'amorce de la plage : charriage de matériaux en saison des pluies



○ Accès maritime :

- ▶ Chenal naturel existant visible à priori
- ▶ La zone à l'Est de la plage serait plus abritée d'après les riverains
- ▶ Baie protégée des fortes houles



- Trafic :

- ▶ Au moins 5 bateaux avec 10 personnes partent de la plage à ce jour (départ de la plage de Kavé-Hoani actuellement)



- Réseaux :

- ▶ Eau et électricité disponibles à minima jusqu'à la centrale hydrocarbure

- Données existantes :

- ▶ Pas de données récupérées sur ce site
- ▶ Des levés topo seront effectués par nos équipes et les bathymétries seront récupérées par satellite.
- ▶ A priori études existantes réalisées par des Turcs (topo, géotech) : **données non récupérées à ce jour**

**Conclusion du diagnostic :** La plage semble globalement abritée des fortes houles. Un chenal d'accès naturel semble être présent à travers le platier. Des ouvrages hydrauliques sont à prévoir à l'amorce de la plage pour la gestion des deux rivières. Aucune donnée géotechnique n'a pu être récupérée sur ce site. L'accès au site ne traverse pas de propriété déjà construite.

### 3.6 Echanges avec le Directeur de l'Aménagement de Mohéli

- Lundi 27/09/2021 à 9h30
- Locaux Direction de l'Aménagement de Mohéli
- Ordre du jour : Récupération de données existantes
- Participants :
 

Direction de l'Aménagement :	Directeur de l'Aménagement de Mohéli
EGIS :	M. ANTOINE JARNY – Chef de projet Mme ADELE HOURQUET – Ingénieur génie civil
BECECO :	M. BRAHIME MOUHAMADI – Consultant

Le Directeur de l'Aménagement est également le point focal PIDA.

- Interfaces :
  - ▶ Un projet est actuellement en cours de réflexion avec PIDA pour le développement du tourisme et notamment de la plaisance aux Comores et éventuellement sur le site de Fomboni.
- Données existantes :
  - ▶ Photos des travaux de réparation du port de Fomboni en 2020 : **transmises**
  - ▶ Rapports d'avancement des travaux : **transmis**
  - ▶ Contrat des travaux de réparation du port de Fomboni en 2020 : **transmis**
  - ▶ Plans de récolement des travaux du port de Fomboni : **données non récupérées à ce jour**

### 3.7 Visite du site de Chindini

- Lundi 27/09/2021 à 15h
- Plage de Chindini
- Ordre du jour : Diagnostic visuel du site
- Participants :
 

Riverains :	Pêcheurs et comité de pilotage du village de Chindini
EGIS :	M. ANTOINE JARNY – Chef de projet Mme ADELE HOURQUET – Ingénieur génie civil
BECECO :	M. BRAHIME MOUHAMADI – Consultant

La localisation du site a été clarifiée.

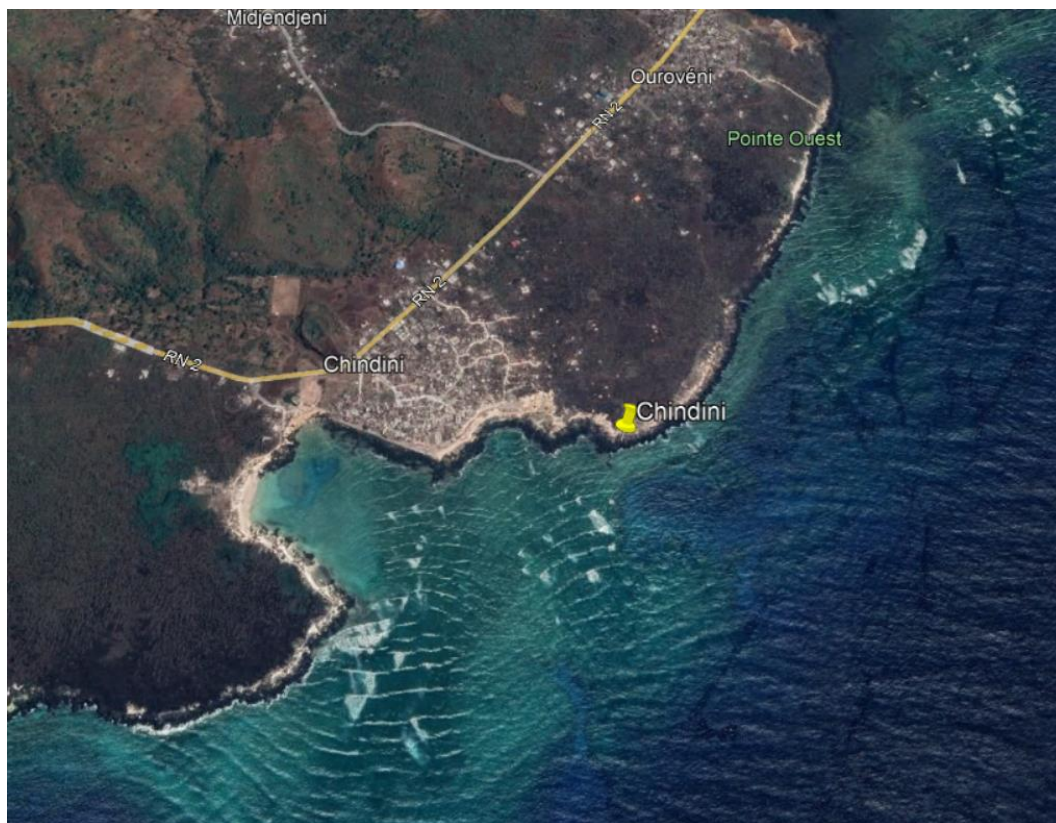


Figure 2 - Site de Chindini à l'Est du village de Chindini

- Accès terrestre :
  - ▶ Accès situé à l'Est de Chindini, vers Orouveni

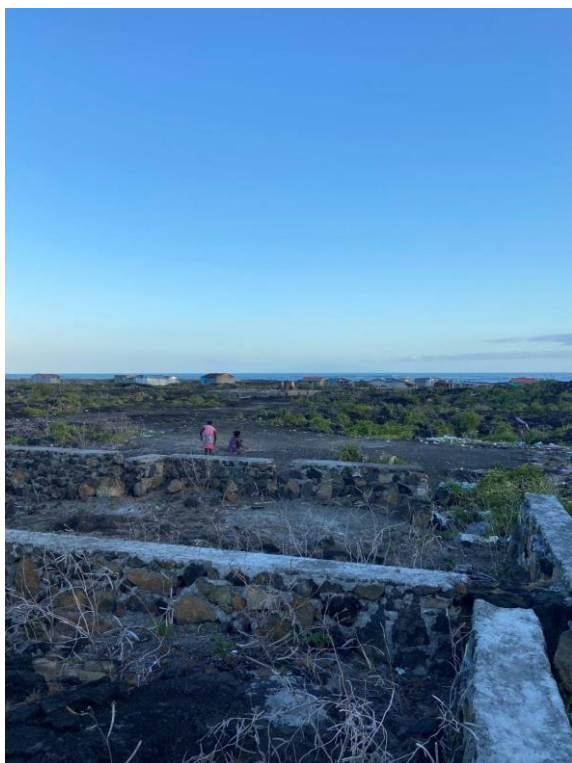


- ▶ Accès sur la roche basaltique depuis la route existante : environ 1km



- ▶ Zone globalement vierge avec traversée de propriétés existantes : fondations ou maison construite





- Accès maritime :
  - ▶ Fortes houles déferlantes – env. 3m de Sud/Sud-Ouest



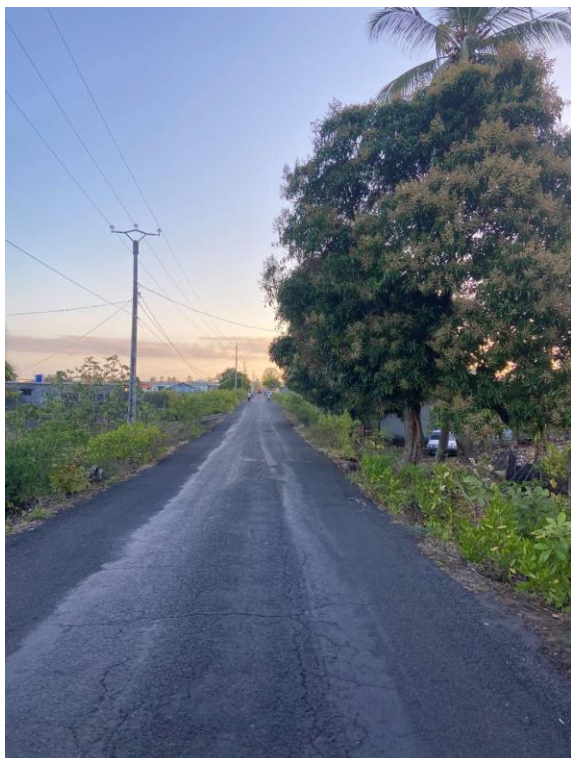
- ▶ Trou d'eau existant à 50/100m du rivage

- Trafic :
  - ▶ 120 bateaux dont 20 kwassa à Chindini





- ▶ 8 kwassas à Ouroveni
  - ▶ **Exclusion de l'activité pêche** lors de l'étude : dimensionnement du site uniquement pour les navires passagers soit **28 navires en V**
- Réseaux :
- ▶ Eau disponible au forage au bout du village / forage en cours de construction
  - ▶ Electricité disponible au village ou à la route



○ Ouvrages existants :

- ▶ Petite cale de pêche à proximité / bâtiment de pêche en état très dégradé



○ Données existantes :

- ▶ Pas de données récupérées sur ce site
- ▶ Des levés topo seront effectués par nos équipes et les bathymétries seront récupérées par satellite

**Conclusion du diagnostic :** Le site semble très exposé aux fortes houles. Un passage naturel semble se dessiner mais reste risqué. Un trou d'eau est existant à 50/100m du site retenu. Le sol est basaltique, mais aucune donnée géotechnique n'a pu être récupérée sur ce site. L'accès au site traverse des propriétés : fondations ou habitation déjà construite selon le tracé retenu. L'étude se concentrera sur l'accueil des navires passagers de Chindini et Ouroveni soit 28 bateaux. Il n'est pas prévu de sécurisation du chenal de pêche.

### 3.8 Visite du site de Vassy

- Mercredi 29/09/2021 à 8h
- Plage de Vassy
- Ordre du jour : Diagnostic visuel du site
- Participants :
  - Riverains : Mme la Maire de la commune de Vouani,  
M l'Adjoint Maire de la commune de Vouani,  
Les pêcheurs,  
Les anciens maçons de la construction du port existant,  
L'ingénieur et conducteur de travaux du bâtiment annexe du port de Vassy
  - EGIS : M. ANTOINE JARNY – Chef de projet  
Mme ADELE HOURQUET – Ingénieur génie civil
  - BECECO : M. BRAHIME MOUHAMADI – Consultant
- Accès terrestre :
  - ▶ Accès compliqué : 3 solutions envisageables
  - ▶ Solution 1 : accès à proximité du cimetière, avec une pente très forte, un ruisseau et liaison à la route existante au niveau d'un virage





▶ Solution 2 : accès le long de la plage – traversée de deux larges ravines





- ▶ Solution 3 : traversée par le village mais route très étroite et ravine/pont à l'entrée



○ Accès maritime :

- ▶ Conditions globalement calmes, mis à part quelques semaines par an avec 2/3m de houle déferlante
- ▶ Pas de vague dans le lagon à partir d'une centaine de mètres du rivage



- ▶ Erosion rapportée par les riverains : -1m par an



- ▶ Il a été rapporté également que du sable est fréquemment enlevé par des particuliers sur la plage pour des besoins personnels / travaux ce qui contribue au recul du trait de côte

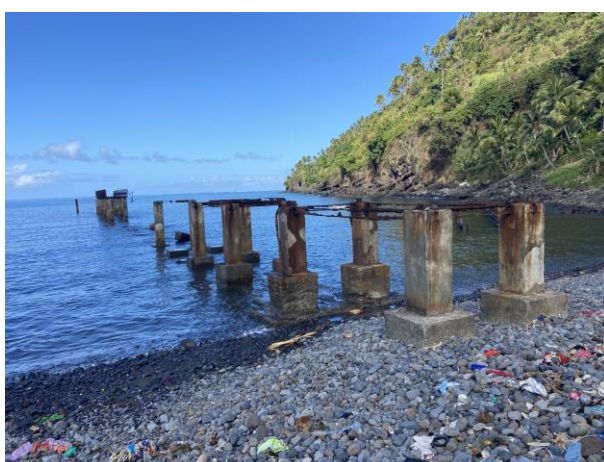
○ Trafic :

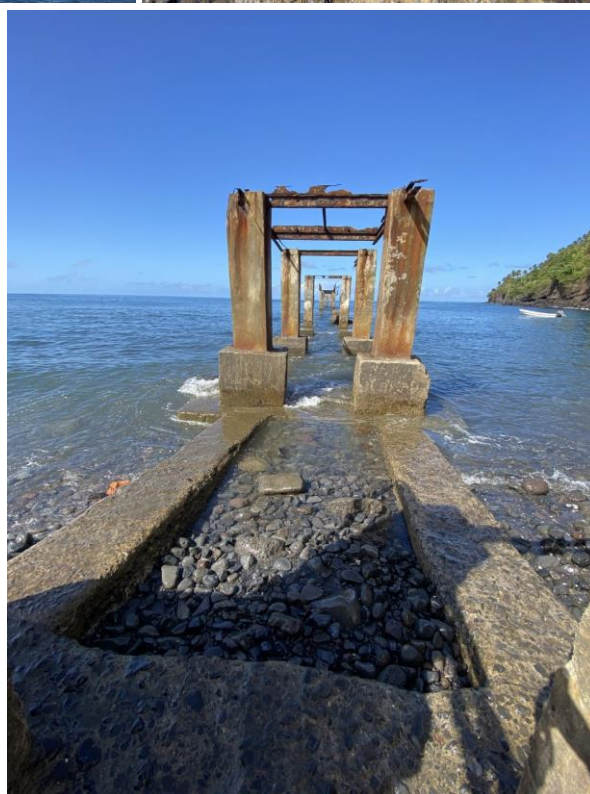
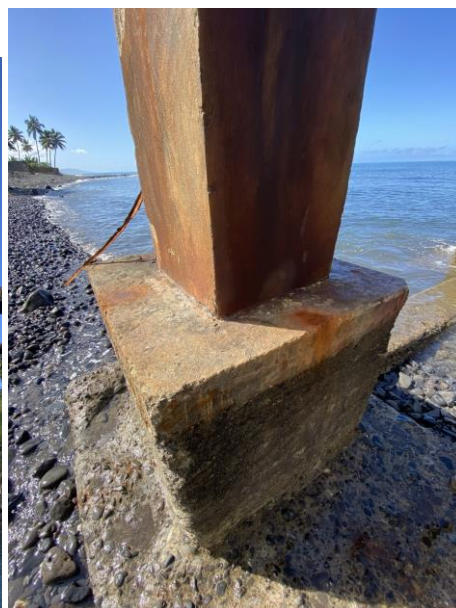
- ▶ Trafic projeté globalement faible

- Réseaux :
  - ▶ Eau au village
  - ▶ Electricité au niveau de la route
- Ouvrages existants :
  - ▶ Petit bâtiment d'accueil des passagers en état dégradé : réparation / adaptation / déconstruction seront à envisager selon le plan masse et le recul du trait de côte



- ▶ Jetée construite en 2010 : ouvrage endommagé pendant la construction, en état de dégradation très avancé – l'ouvrage n'a jamais été terminé : il était constitué de pieux béton fondés sur une semelle filante en béton ancrée sur environ 50cm de profondeur ; 4 ducs d'albe métalliques étaient battus au bout de la jetée et devaient accueillir un ponton flottant permettant de gérer les niveaux de marée et de se raccorder avec une passerelle à la jetée.





- ▶ Epave du chaland, de deux ducs d'Albe et d'une passerelle présents à proximité sous l'eau.



- Données existantes :

- ▶ Pas de données récupérées sur ce site
- ▶ Etudes SCK pour la construction de la passerelle existante : **données non récupérées à ce jour**
- ▶ Des levés topo seront effectués par nos équipes et les bathymétries seront récupérées par satellite

**Conclusion du diagnostic :** L'accès au site semble compliqué : traversée du village à travers une route étroite, traversée de ravines ou présence d'une très forte pente. L'ouvrage existant est dans un état de dégradation tel qu'il n'est pas envisageable de le conserver. Une démolition et reconstruction de l'ouvrage sera nécessaire. Le recul du trait de côte évoqué par les riverains sera considéré dans la conception et différentes options pourront être étudiées : en envisageant une protection côtière généralisée / en prolongeant la jetée afin d'anticiper ce recul / etc.

### 3.9 Autres ouvrages

Lors de nos passages sur les différents sites, nous avons pu analyser les ouvrages maritimes existants à proximité afin de pouvoir identifier différents types de structures envisageables :

- Port de Mutsamudu (Anjouan)



- Jetée pétrolière Mutsamudu (Anjouan)
- Quai de chargement Eiffage (Anjouan)





○ Jetée des colons Fomboni (Mohéli)



### 3.10 Réunion de restitution

- Jeudi 30/09/2021 à 9h
- Locaux PICMC

Un CR de cette réunion doit être établi et sera présenté en annexe une fois transmis par le PICMC.

## 4. CONCLUSION DE LA MISSION

Le groupement EGIS/BECECO alerte sur les difficultés rencontrées au cours de la mission afin de recueillir un certain nombre de données sur les sites du projet et notamment des données géotechniques, nécessaires au bon dimensionnement des ouvrages. Un problème d'archivage a été identifié.

Une note d'hypothèses va rapidement être présentée au PICMC afin d'être validée, en prenant en compte des hypothèses sécuritaires lorsque les données sont manquantes.

Les données bathymétriques et topographiques sont actuellement en cours d'acquisition par le groupement EGIS/BECECO.

La mission a notamment permis de valider et clarifier les différentes localisations des sites du projet. Les échanges avec les parties prenantes ont été riches et ont permis d'identifier ou de soulever des problèmes existants, en l'absence de données (ex : recul du trait de côte à Vassy).

Le groupement EGIS/BECECO est conscient de la contrainte du planning vis-à-vis des interfaces avec les autres acteurs du projet (PAR, EIE) et des délais imposés par la Banque Mondiale.

## 5. ANNEXE 1 : LISTE DES DONNEES RECUPEREES

DONNEES RECUPEREES						
Dossier	Document	Date	Contenu	Type	Etabli par	Transmis par
<b>Port de Fomboni_Etudes et travaux initiaux_1995-2000</b>						
Accès maritime Mohéli_Dossier d'appel d'offres	Accès maritime Mohéli_AO_Plans_Novembre 1995	novembre-95	Plans du projet	scan	SOERNI	BECECO
	Accès maritime Mohéli_AO_1_Note d'info générales_Juillet 1995	juillet-95	Note d'informations générales : climat, houle, agitation, géotechnique		SOERNI	PICMC
	Accès maritime Mohéli_AO_2_CCP_Juillet 1995	juillet-95	Cahier des charges et spécifications techniques		SOERNI	PICMC
	Accès maritime Mohéli_AO_3_CCP-BPU-DE_Juillet 1995	juillet-95	Suite cahier des charges, BPU, DE		SOERNI	PICMC
Accès maritime Mohéli_Polygonale	PDB 1	décembre-98	Coordonnées et plan polygonale de base_Fomboni	scan	COLAS	BECECO
	PDB 2	décembre-98				
	PDB 3	décembre-98				
Accès maritime Mohéli_Scan plans topo-bathy	Accès maritime Mohéli_Installations projetées_Décembre 1998_1	décembre-98	Plan des installations projetées	scan	COLAS	BECECO
	IP 2	décembre-98			COLAS	
	EPSON001					
	EPSON002					
	EPSON003					
	EPSON004					
	EPSON005					
	EPSON006					
	EPSON007					
	EPSON008					
EPSON009						
Plans du qual_transmis ANAM	1- Plan du port de Boingoma		Plan de l'ouvrage	photo		ANAM
	2- Plan du mole		Plan de l'ouvrage	photo		
Accès maritime Mohéli_Coupes des sondages_Décembre 1998	Accès maritime Mohéli_Coupes des sondages_Décembre 1998	décembre-98		scan	COLAS	
	Accès maritime Mohéli_Dossier APD_Mai 1995	mai-95		scan	SOERNI	BECECO
	Accès maritime Mohéli_Rapport de synthèse des travaux_Juillet 2000	juillet-00		scan	SOERNI	BECECO
	Accès maritime Mohéli_Scan plan masse_Juin 1997	juin-97		scan	SOERNI	BECECO
	Accès maritime Mohéli_Scans sondages et polygonales		Document similaire à Accès maritime Mohéli_Installations projetées_Décembre 1998 et Accès maritime Mohéli_Coupes des sondages_Décembre 1998	scan	COLAS	BECECO
<b>Port de Fomboni_Projet de modification_2012</b>						
	Modification port de Mohéli_Dossier d'appel d'offres_Juin 2012	juin-12	Documents d'appel d'offres, spécifications techniques, contrat, cahier des charges, design brise lames	scan	KULAK	BECECO
	Modification port de Mohéli_Modélisation numérique-étude agitation_Juin 2012	juin-12	Report on wave climate assessment numerical modeling of wave transformation and port agitation study		KULAK	IINROS
	Modification port de Mohéli_Rapport de préféabilité_Avril 2012	avril-12	Etude de faisabilité, conception préliminaire, données houles, géotechnique		KULAK	PICMC
<b>Port de Fomboni_Travaux de réparation_2020-2021</b>						
Photos_transmis Direction Aménagement Mohéli	41 photos	2020-2021	Photos des travaux	photos		D. Aménagement Mohéli
Renovation Port	Contrat du port de Mboingoma-Mohéli	novembre-20	Contrat des travaux de réhabilitation du port de Mboingoma - Mohéli	word	Union des Comores	D. Aménagement Mohéli
	Projet PIDA		Transport maritime : le potentiel caché d'un projet porteur	word	Directeur de l'aménagement - Mohéli	D. Aménagement Mohéli
	Port de Mboingoma - Contrat du Port de Mboingoma-Mohéli	novembre-20	Contrat des travaux de réhabilitation du port de Mboingoma - Mohéli	word	Union des Comores	
	Port de Mboingoma - Consistance des travaux	novembre-20	Objet des travaux, délais de réalisation	word	China Géo Engineering Corporation	
	Port de Mboingoma - Devis	septembre-20	Devis des travaux de réhabilitation de port de Mboingoma - Mohéli	word	China Géo Engineering Corporation	
	Port de Mboingoma - Note du Moins		Avancement des travaux	word	Directeur de l'aménagement - Mohéli	
	Port de Mboingoma - Rapport 01	février-21	Rapport d'avancement	word	Directeur de l'aménagement - Mohéli	
	Port de Mboingoma - Rapport 02	février-21	Rapport d'avancement	word	Directeur de l'aménagement - Mohéli	
<b>Projet CATRAM_Création complexe pêche_2019-2020</b>						
	Projet CATRAM_Etude de faisabilité_Proposition technique_Février 2020	février-20	Cadre de proposition technique et financière pour l'étude de faisabilité	pdf	CATRAM	PICMC
	Projet CATRAM_Etude perspectives_Rapport L-4_Septembre 2019	septembre-19	Rapport phase 2 - projet CATRAM L-4 - étude sur les perspectives	pdf	CATRAM	PICMC
<b>Rapports étude préféabilité_CPCS_Février 2021</b>						
	20007_DraftFinalReport_Volume 1 - Legal-institutional_v2 FR	février-21	Projet d'amélioration de la connectivité inter-îles aux Comores - Projet de rapport final - Volume 1 - Tâche 1 - Revue du cadre juridique et institutionnel régissant le transport inter-îles	pdf	CPCS	PICMC
	20007_DraftFinalReport_Volume 2 - Demand Analysis_v2 FR	février-21	Projet d'amélioration de la connectivité inter-îles aux Comores - Projet de rapport final - Volume 2 - Analyse de la demande de transport inter-îles		CPCS	
	20007_DraftFinalReport_Volume 3 - Technical_v2_2 FR	février-21	Projet d'amélioration de la connectivité inter-îles aux Comores - Projet de rapport final - Volume 3 - Analyse technique du développement du port de Fomboni, des ports secondaires et du renouvellement de la flotte		CPCS	
	20007_DraftFinalReport_Volume 4 - Port de Fomboni_V2 FR	février-21	Projet d'amélioration de la connectivité inter-îles aux Comores - Projet de rapport final - Volume 4 - Etude économique, financière, environnementale et sociale des investissements du port de Fomboni		CPCS	
	20007_DraftFinalReport_Volume 6 - Fleet_v2 FR	février-21	Projet d'amélioration de la connectivité inter-îles aux Comores - Projet de rapport final - Volume 6 - Etude financière et institutionnelle pour le programme de renouvellement de la flotte de transport de passagers entre les îles		CPCS	
<b>Autres</b>						
	Liste embarcations kwassa_Chindini-Hoani			excel		ANAM
	Rapport_Final_Elaboration_du_Schéma_Directeur_Portuaire_National_Rapport	octobre-14	Rapport final préliminaire pour l'élaboration du Schéma Directeur Portuaire pour l'Union d	pdf	MTBS	PICMC
<b>Topo-bathy</b>						
Bathymétrie_Satellite_EOMAP	Chindini		Extraction données bathy	km2		
	Fomboni					
	Hoani					
	Vassy					
Données Bathy comores 2014	Extraction données bathy	août-14	Coordonnées et plan polygonale de base_Fomboni	scan	SHOM	EGIS-BECECO
	Rapport levé Comores 2014	août-14				
	Chindini	octobre-21				
Fomboni	octobre-21	Plans dwg et pdf des levés topo de Fomboni	pdf, dwg	BECECO	EGIS-BECECO	
<b>Géotechnique</b>						
Etude ADK	Annexe C - Etude géotechnique	1985	Analyse de sol et coupes des sondages réalisés	scan	ADK	BECECO
	Annexe D - Etude de disponibilité des matériaux de construction		Présentation des possibilités de ressources en matériaux		ADK	BECECO

## 11. ANNEXE 2 : LISTE DES DONNEES RECUPEREES

DONNÉES RECUPERÉES						
Dossier	Document	Date	Contenu	Type	Etabli par	Transmis par
<b>Port de Fomboni_Etudes et travaux initiaux_1995-2000</b>						
Accès maritime Mohéli_Dossier d'appel d'offres	Accès maritime Mohéli_AO_Plans_Novembre 1995	novembre-95	Plans du projet	scan	SOERNI	BECECO
	Accès maritime Mohéli_AO_1_Note d'info générales_Juillet 1995	juillet-95	Note d'informations générales : climat, houle, agitation, géotechnique		SOERNI	PICMC
	Accès maritime Mohéli_AO_2_CCP_Juillet 1995	juillet-95	Cahier des charges et spécifications techniques		SOERNI	PICMC
	Accès maritime Mohéli_AO_3_CCP-BPU-DE_Juillet 1995	juillet-95	Suite cahier des charges, BPU, DE		SOERNI	PICMC
Accès maritime Mohéli_Polygonale	PDB 1	décembre-98	Coordonnées et plan polygonale de base_Fomboni	scan	COLAS	BECECO
	PDB 2	décembre-98				
	PDB 3	décembre-98				
Accès maritime Mohéli_Scan plans topo-bathy	Accès maritime Mohéli_Installations projetées_Décembre 1998_1	décembre-98	Plan des installations projetées	scan	COLAS COLAS	BECECO
	JP 2	décembre-98				
	EPSO001		Scan de la bathymétrie et topographie initiales du projet de construction	scan		BECECO
	EPSO002					
	EPSO003					
	EPSO004					
	EPSO005					
	EPSO006					
	EPSO007					
	EPSO008					
EPSO009						
Plans du quai_transmis ANAM	1- Plan du port de Boingoma		Plan de l'ouvrage	photo		ANAM
	2- Plan du mole		Plan de l'ouvrage	photo		
Accès maritime Mohéli_Coupes des sondages_Décembre 1998	Accès maritime Mohéli_Coupes des sondages_Décembre 1998	décembre-98		scan	COLAS	
	Accès maritime Mohéli_Dossier APD_Mai 1995	mai-95		scan	SOERNI	BECECO
	Accès maritime Mohéli_Rapport de synthèse des travaux_Juillet 2000	juillet-00		scan	SOERNI	BECECO
	Accès maritime Mohéli_Scan plan masse_Juin 1997	juin-97		scan	SOERNI	BECECO
	Accès maritime Mohéli_Scans sondages et polygonales		Document similaire à Accès maritime Mohéli_Installations projetées_Décembre 1998 et Accès maritime Mohéli_Coupes des sondages_Décembre 1998	scan	COLAS	BECECO
<b>Port de Fomboni_Projet de modification_2012</b>						
Modification port de Mohéli_Dossier d'appel d'offres_Juin 2012	Modification port de Mohéli_Dossier d'appel d'offres_Juin 2012	juin-12	Documents d'appel d'offres, spécifications techniques, contrat, cahier des charges, design brise lames	scan	KULAK	BECECO
	Modification port de Mohéli_Modélisation numérique-étude agitation_Juin 2012	juin-12	Report on wave climate assessment numerical modeling of wave transformation and port agitation study		KULAK	INROS
	Modification port de Mohéli_Rapport de préféabilité_Avril 2012	avril-12	Etude de faisabilité, conception préliminaire, données houles, géotechnique		KULAK	PICMC
<b>Port de Fomboni_Travaux de réparation_2020-2021</b>						
Photos_transmis Direction Aménagement Mohéli	41 photos	2020-2021	Photos des travaux	photos		D. Aménagement Mohéli
Renovention Port	Contrat du port de Mboingoma-Mohéli	novembre-20	Contrat des travaux de réhabilitation du port de Mboingoma - Mohéli	word	Union des Comores	D. Aménagement Mohéli
	Projet PIDA		Transport maritime : le potentiel caché d'un projet porteur	word	Union des Comores	
	Port de Mboingoma - Contrat du Port de Mboingoma-Mohéli	novembre-20	Contrat des travaux de réhabilitation du port de Mboingoma - Mohéli	word	Union des Comores	
	Port de Mboingoma - Consistance des travaux	novembre-20	Objet des travaux, délais de réalisation	word	China Geo Engineering Corporation	D. Aménagement Mohéli
	Port de Mboingoma - Devis	septembre-20	Devis des travaux de réhabilitation de port de Mboingoma - Mohéli	word	China Geo Engineering Corporation	
	Port de Mboingoma - Note du Ministre		Avancement des travaux	word	Directeur de l'aménagement - Mohéli	
	Port de Mboingoma - Rapport 01	février-21	Rapport d'avancement	word	Directeur de l'aménagement - Mohéli	
	Port de Mboingoma - Rapport 02	février-21	Rapport d'avancement	word	Directeur de l'aménagement - Mohéli	
<b>Projet CATRAM_Création complexe pêche_2019-2020</b>						
Projet CATRAM_Etude de faisabilité_Proposition technique_Février 2020	Projet CATRAM_Etude de faisabilité_Proposition technique_Février 2020	février-20	Cadre de proposition technique et financière pour l'étude de faisabilité	pdf	CATRAM	PICMC
	Projet CATRAM_Etude perspectives_Rapport L-4_Sepembre 2019	septembre-19	Rapport phase 2 - projet CATRAM L-4 - étude sur les perspectives	pdf	CATRAM	PICMC
<b>Rapports étude préféabilité_CPCS_Février 2021</b>						
20007_DraftFinalReport_Volume 1 - Legal-Institutional_v2 FR	20007_DraftFinalReport_Volume 1 - Legal-Institutional_v2 FR	février-21	Projet d'amélioration de la connectivité inter-îles aux Comores - Projet de rapport final - Volume 1 - Tâche 1 - Revue du cadre juridique et institutionnel régissant le transport inter-îles	pdf	CPCS	PICMC
	20007_DraftFinalReport_Volume 2 - Demand Analysis_v2 FR	février-21	Projet d'amélioration de la connectivité inter-îles aux Comores - Projet de rapport final - Volume 2 - Analyse de la demande de transport inter-îles		CPCS	
	20007_DraftFinalReport_Volume 3 - Technical_v2_2 FR	février-21	Projet d'amélioration de la connectivité inter-îles aux Comores - Projet de rapport final - Volume 3 - Analyse technique du développement du port de Fomboni, des ports secondaires et du renouvellement de la flotte		CPCS	
	20007_DraftFinalReport_Volume 4 - Port de Fomboni_V2_FR	février-21	Projet d'amélioration de la connectivité inter-îles aux Comores - Projet de rapport final - Volume 4 - Etude économique, financière, environnementale et sociale des investissements du port de Fomboni		CPCS	
	20007_DraftFinalReport_Volume 6 - Fleet_v2 FR	février-21	Projet d'amélioration de la connectivité inter-îles aux Comores - Projet de rapport final - Volume 6 - Etude financière et institutionnelle pour le programme de renouvellement de la flotte de transport de passagers entre les îles		CPCS	
<b>Autres</b>						
	Liste embarcations kwassa_Chindini-Hoani			excel		ANAM
	Rapport Final_Elaboration du Schéma Directeur Portuaire_National_Rapport	octobre-14	Rapport final préliminaire pour l'élaboration du Schéma Directeur Portuaire pour l'Union	pdf	MTBS	PICMC
<b>Topo-bathy</b>						
Bathymetrie_Satellite_EOMAP	Chindini		Extraction données bathy	kmz		
	Fomboni					
	Hoani					
	Vassy					
Données Bathy comores 2014	Extraction données bathy Rapport levé Comores 2014	août-14 août-14	Coordonnées et plan polygonale de base_Fomboni	scan	SHOM	EGIS-BECECO
Chindini	Levés topo Chindini	octobre-21	Plans dwg et pdf des levés topo de Chindini	pdf, dwg	BECECO	EGIS-BECECO
Fomboni	Levés topo Fomboni - Z à recaler	octobre-21	Plans dwg et pdf des levés topo de Fomboni	pdf, dwg	BECECO	EGIS-BECECO
<b>Géotechnique</b>						
Etude ADK	Annexe C - Etude géotechnique	1985	Analyse de sol et coupes des sondages réalisés	scan	ADK	BECECO
	Annexe D - Etude de disponibilité des matériaux de construction		Présentation des possibilités de ressources en matériaux		ADK	BECECO

