



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

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

1. Objet de la note	6
1.1 Contexte de l'étude.....	6
1.2 Objet de la note.....	7
2. Documents de référence	8
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
3. Logiciels de calcul	10
4. Données de site	10
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
5. Hypothèses techniques et fonctionnelles	27
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
6.	Matériaux.....	40
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 $l_{b,rd}$	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
7.	Critères et méthode de conception – hydraulique maritime.....	46
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
8.	Critères et méthode de conception – ouvrages génie civil.....	50
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
9.	Combinaisons d'actions.....	58
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
10.	Annexe 1 : Compte-rendu de mission de démarrage.....	62
11.	Annexe 2 : Liste des données récupérées.....	63

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

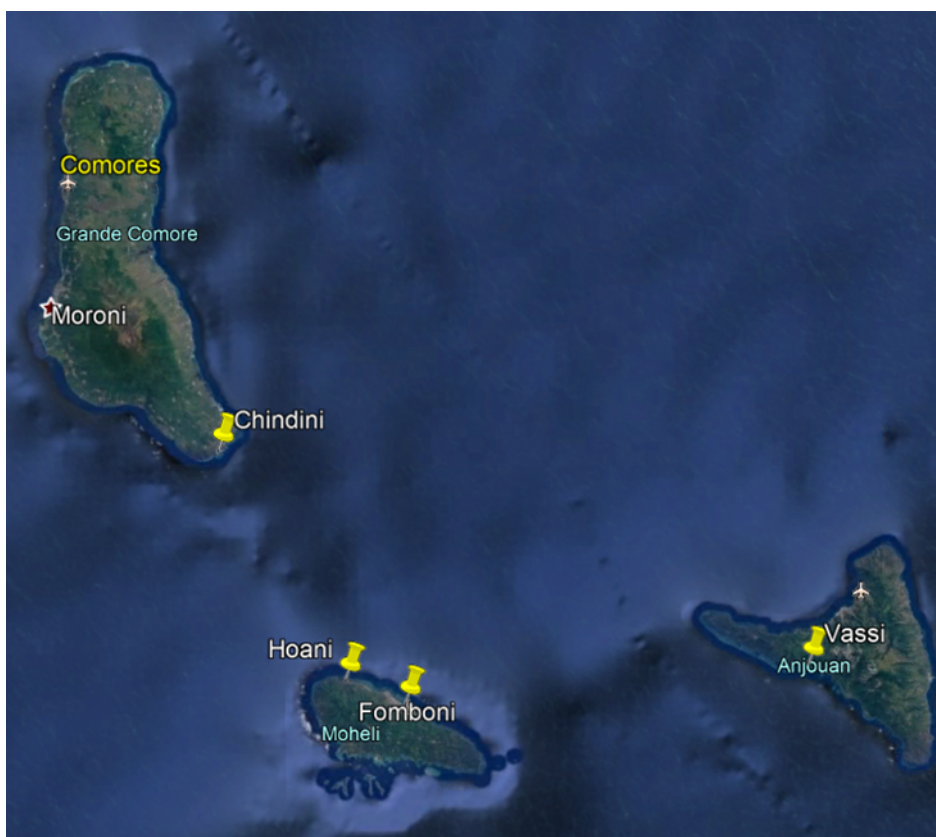


Figure 1 - Localisation des sites de projets

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 2021¹ 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.

¹ *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.

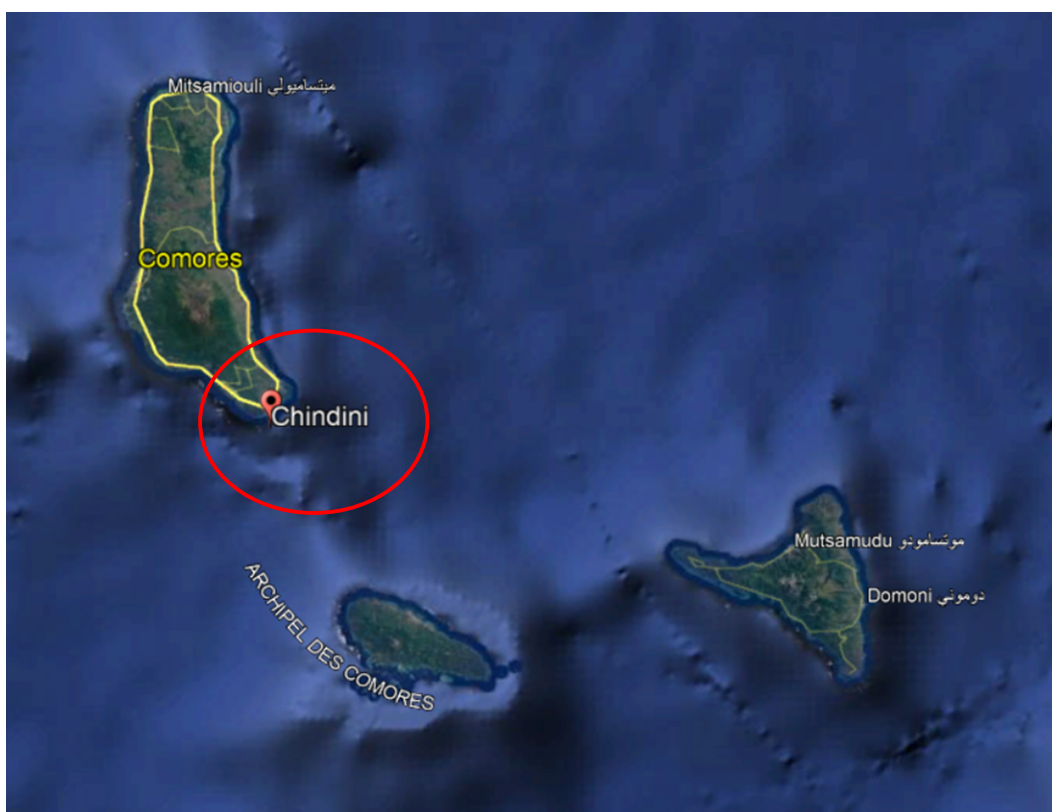




Figure 3 - Plage de Hoani (source: Google Earth)

4.1.3 Chindini

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



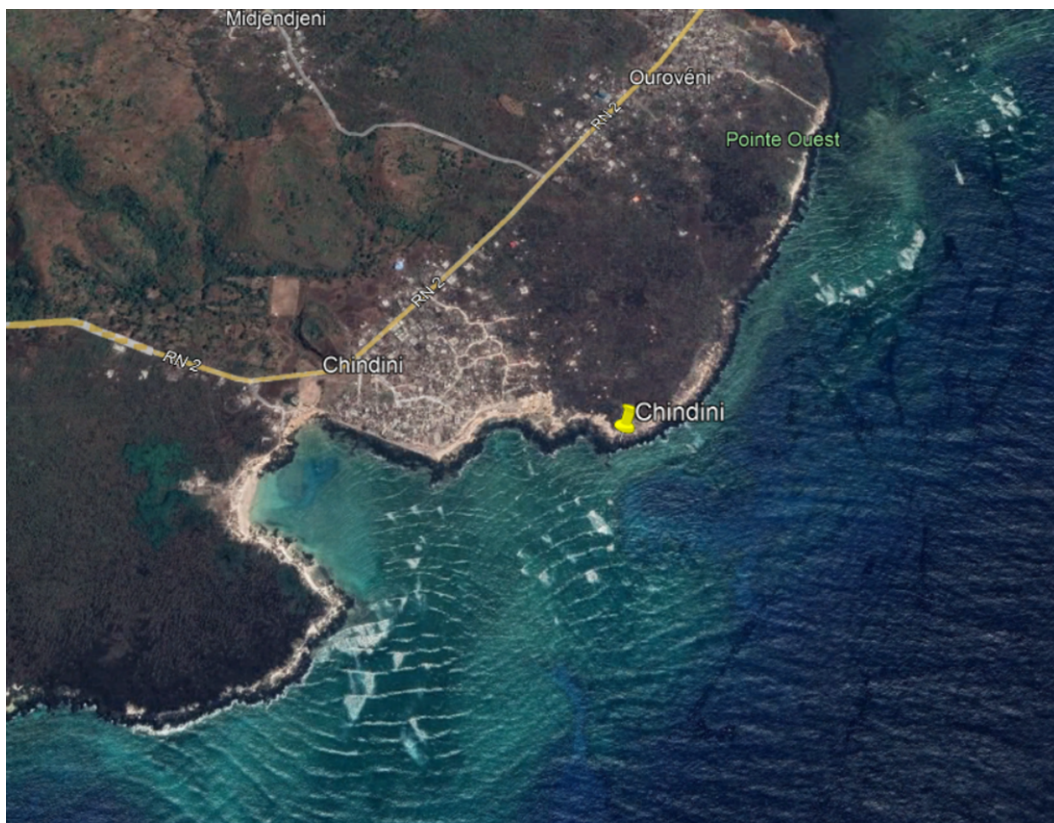


Figure 4 - Site de Chindini (source : Google Earth)

4.1.4 Vassy

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

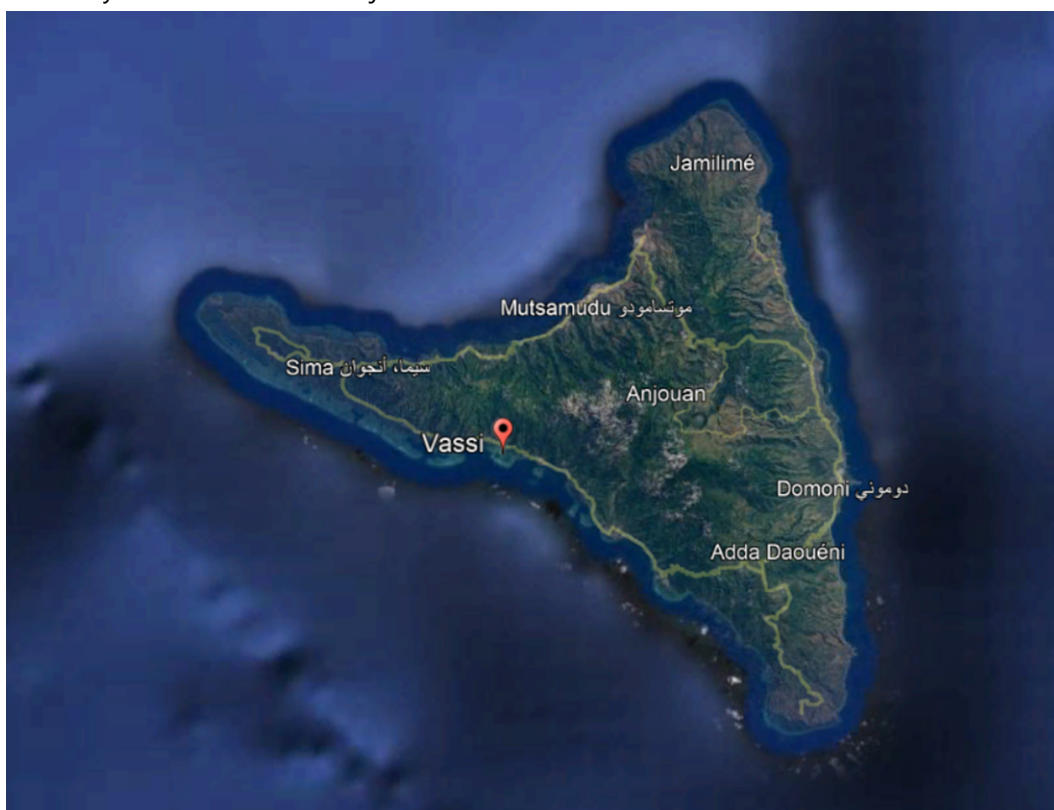




Figure 5 - Site de Vassy (source: Google Earth)

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 de 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 conservés car trop souvent incohérentes.

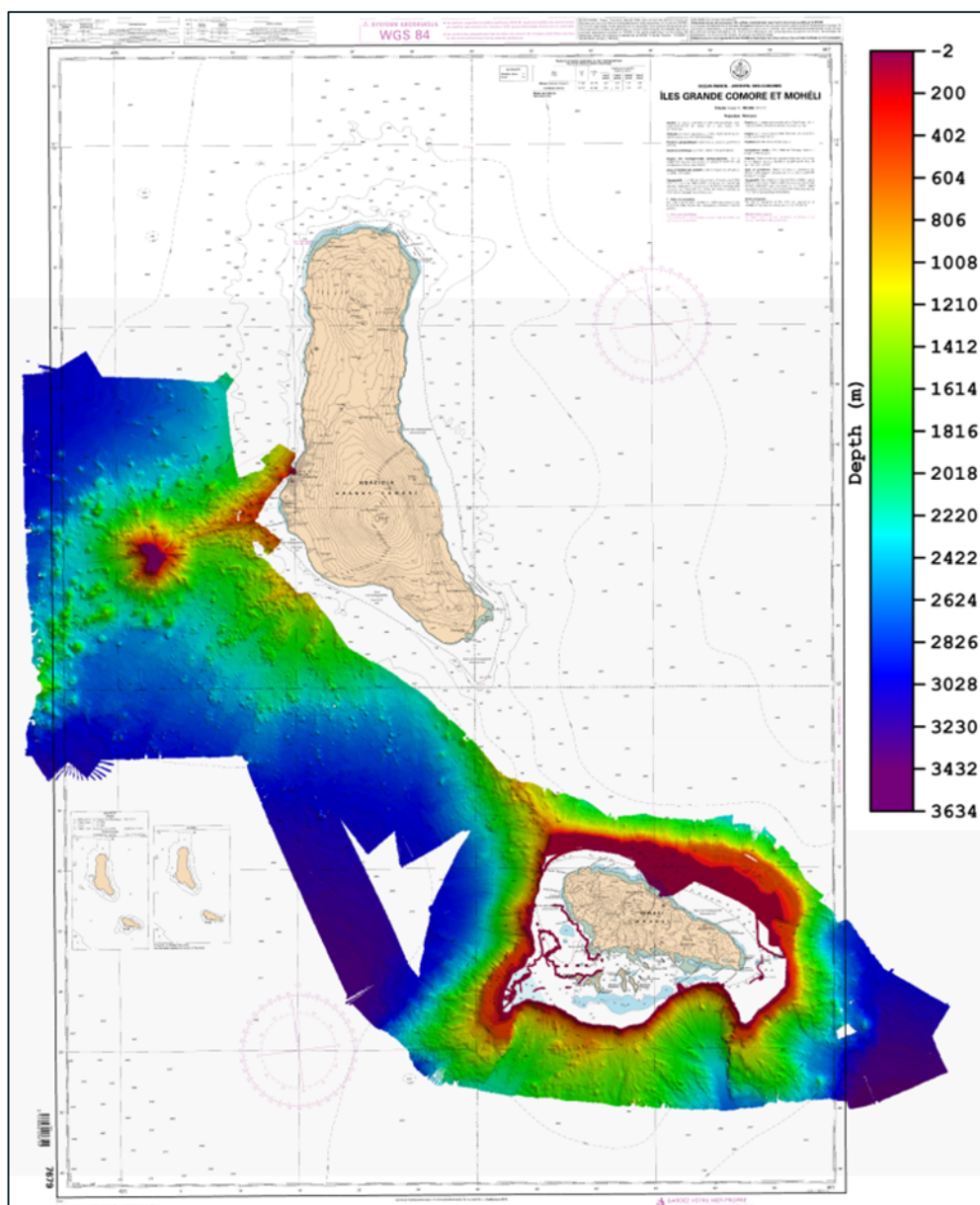


Figure 6 - Levés bathymétriques du SHOM sur Mohéli et Grande Comore [mCM] ; carte marine SHOM

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.

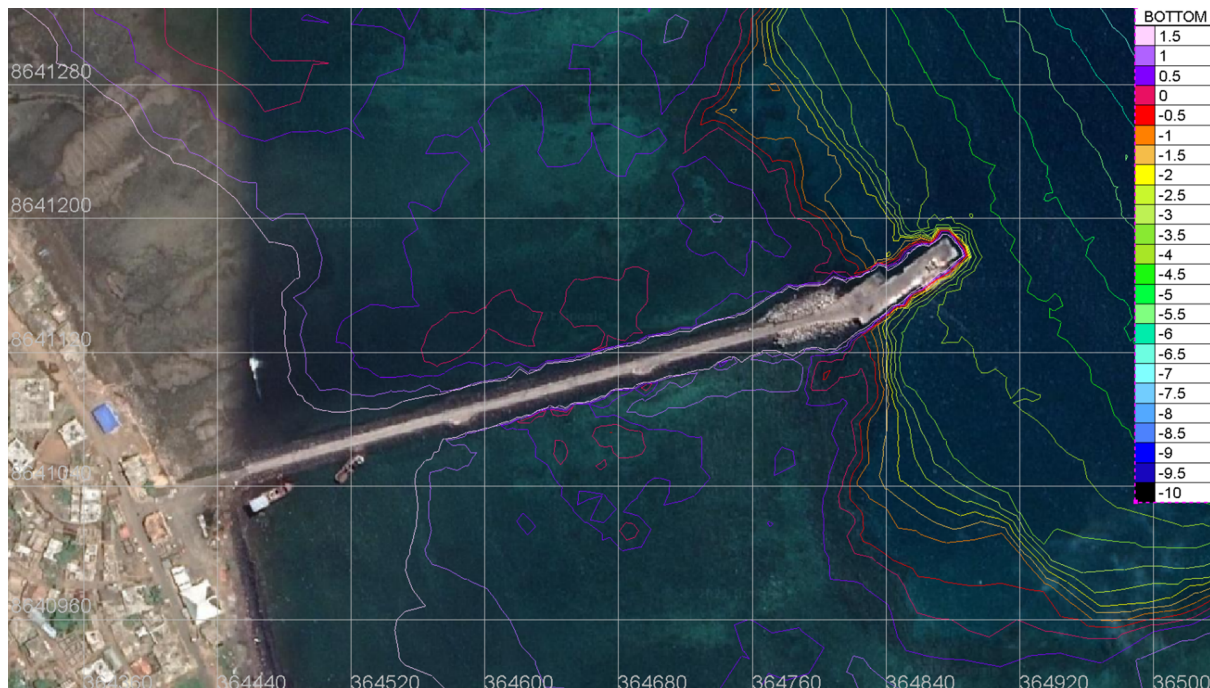


Figure 7 - Levés bathymétriques pour le port de Fomboni [mCM]

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
PHMA/HAT : Plus Haute Mer Astronomique	+4.30
PMVE / MHWS : Pleines Mers de Vives-Eaux	+3.70
NM / MWL : Niveau moyen	+2.13
BMVE / MLWS : Basse-mers de Mortes-Eaux	+0.50
PBMA/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.

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.

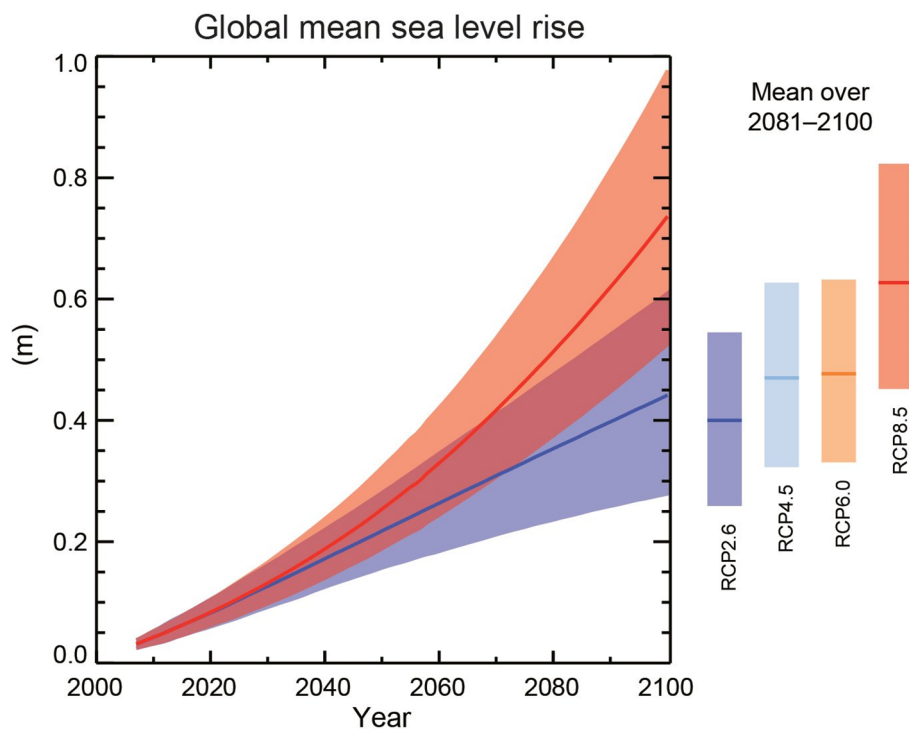


Figure 8 : Projection de la surélévation du niveau moyen des océans [m] au XXIème siècle en référence à la période 1986-2005 pour les scénarios RCP 2.6 et 8.5 ; moyennes sur 2081-2100 pour les scénarios RCP 2.6, 4.5, 6.0 et 8.5 [Source : AR5 IPCC]

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.

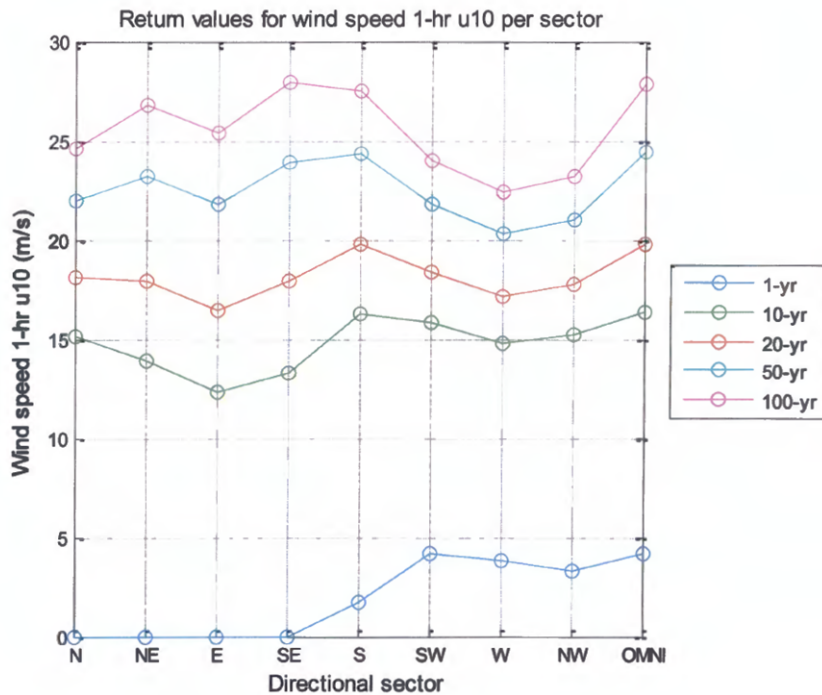


Figure 9 : Valeurs de vitesse du vent cyclonique à 10m (1h) pour différentes périodes de retour et différents secteurs directionnels sur l'archipel des Comores [Source : BMT-ARGOSS]

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).

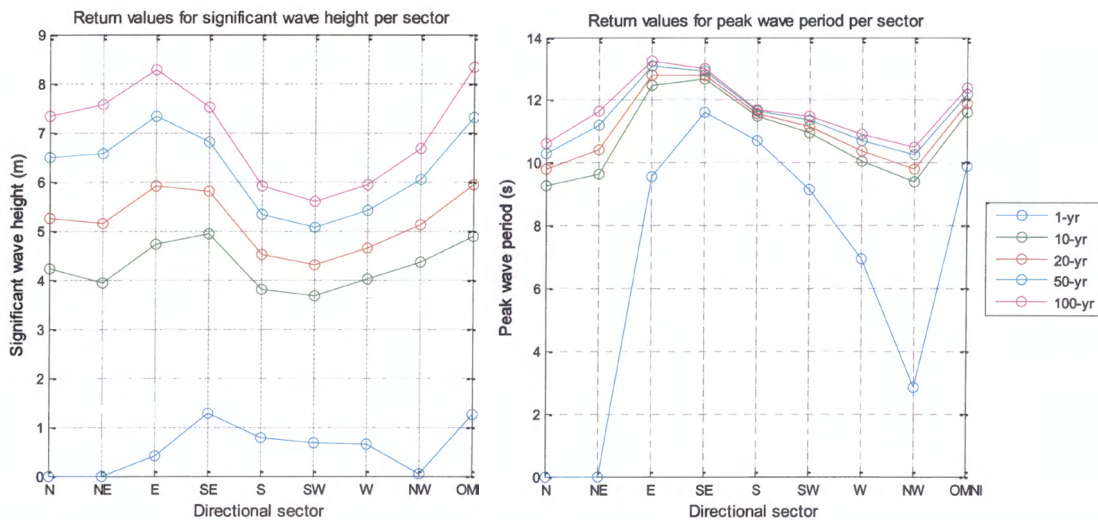


Figure 10 : Valeurs de hauteur significative cyclonique (gauche) et période de pic associée (droite) pour différentes périodes de retour et différents secteurs directionnels sur l'archipel des Comores [Source : BMT-ARGOSS]

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^{ème} 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 (θ_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 conservatives 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 :

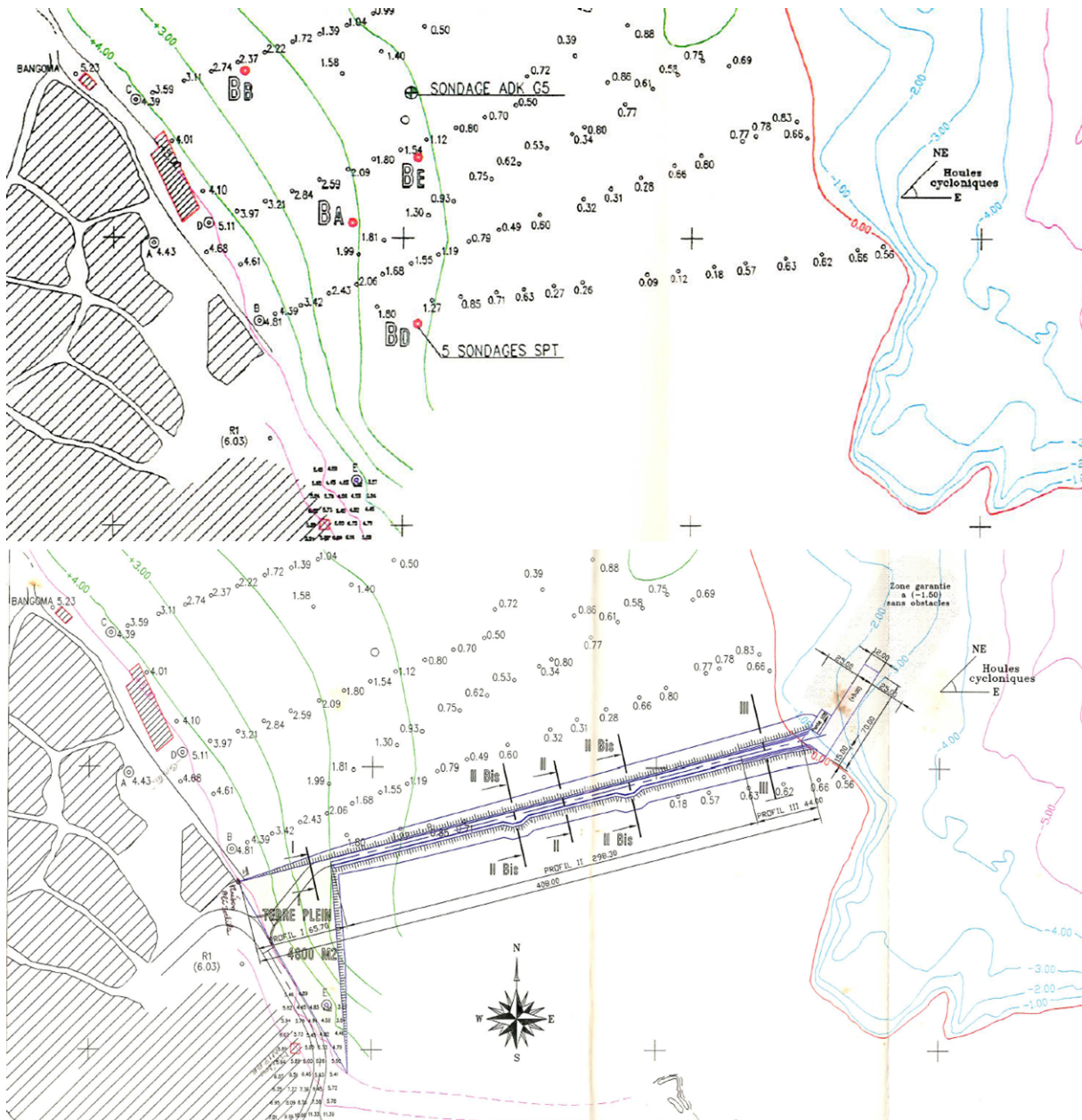


Figure 11 - Implantation des sondages (source: dossier d'appel d'offres, dossier de plan, SOERNI, 2000 [R30])

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.

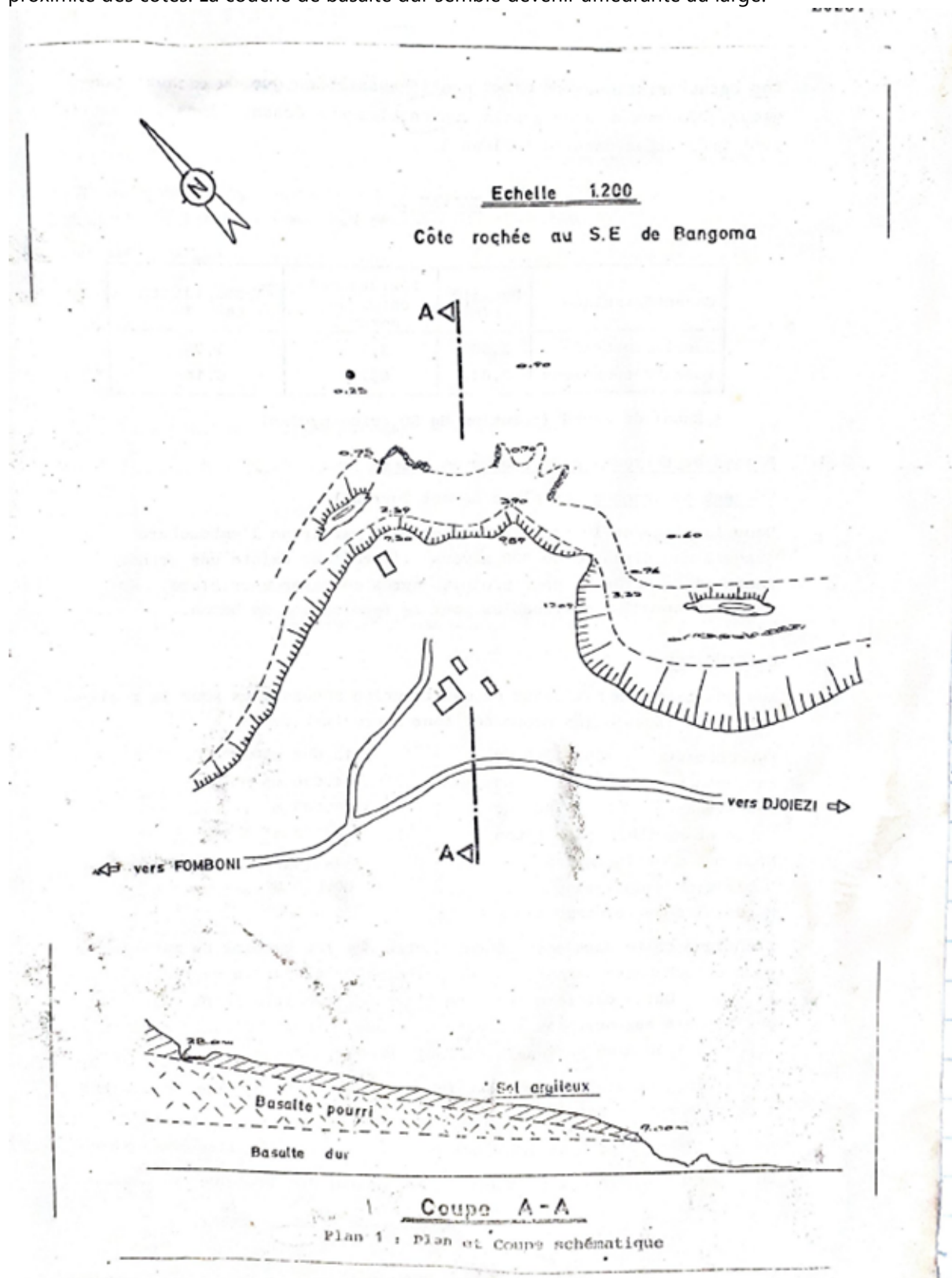


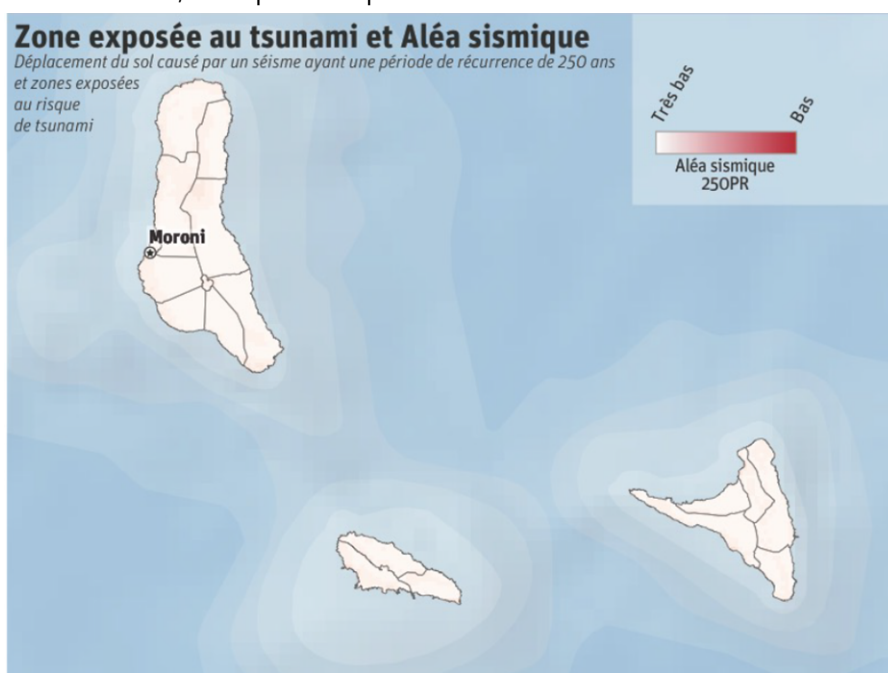
Figure 12 - Coupe géologique du site de Fomboni (source : annexe D - étude géotechnique ADK, 1985)

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.



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.

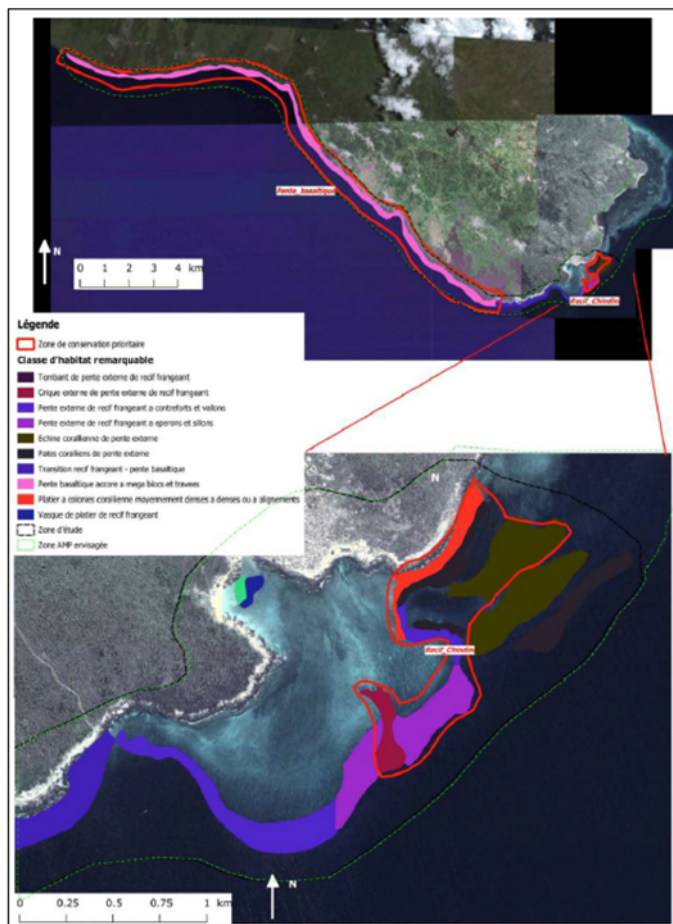


Figure 14 - Zones de conservation prioritaires au parc national Coelacanthé (source : Plan d'aménagement et de gestion du parc national Coelacanthé, 2017)

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 pré-faisabilité. 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.²

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.

² [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
Capacité d'amarrage (Nb de navires)	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
Navire de projet retenu	70	12.40	4.30	1 600	2 600



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
Navire de projet retenu	50	11	3.50		

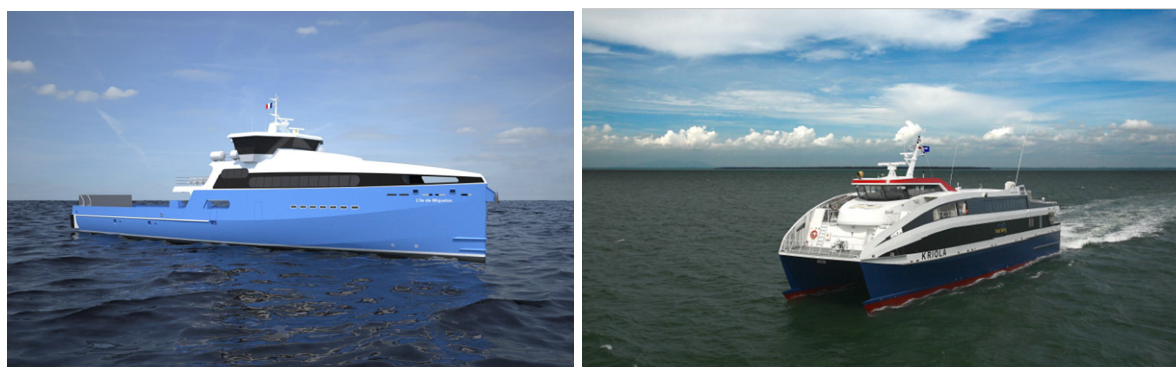


Figure 17 - DAMEN Fast ROPAX 5510 et 4512 (source: DAMEN)

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 ³ / T)
Palangrier de référence (projet CATRAM [R35])	21	6.5	3	30 m ³
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	
Navire de projet retenu	25	11	4	



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
Navire de projet retenu	12	4	12



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
Navire de projet retenu	12	4	12

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
Terminal de Marchandises Générales - Marchandises Conventionnelles			
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
Terminal d'Hydrocarbures			
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
Terminal RoPax			
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>			
Terminal de Pêche			
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
Terminal de Marchandises Générales - Marchandises Conventionnelles											
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
Terminal d'Hydrocarbures											
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
Terminal RoPax											
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
Terminal de Pêche											
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/m³) **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 ³	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 SO₄/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/m³ pour les enrochements ;
- 20 kN/m³ pour les remblais routier, technique et de couche d'assise des caissons / quais blocs ;
- 19 kN/m³ pour les remblais de soubassement et de remplissage des caissons / quais blocs ;
- 2,45 t/m³ pour les blocs artificiels en béton ;
- 2,4 t/m³ 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_{∞} [MPa] : Module d'élasticité long terme $E_{\infty} = E_{cm} / 3$	11 359	11 740
ϵ_{c2} [-] : Déformation relative en compression du béton au pic de contrainte f_{ck}	2 ‰	2 ‰
ϵ_{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 - $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$
- Δc_{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 Φ	46 Φ	30 Φ	42 Φ
l_0	45 Φ	65 Φ	41 Φ	59 Φ

6.5 Éléments métalliques

6.5.1 Tubes métalliques pour pieux

- Poids volumique de l'acier : 78.5 kN/m³,
- 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 ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]
EN 10210-1				
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 ²]	f_u [N/mm ²]
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	
Facteur de modèle	$\gamma_{R,d}$	1.20	1.00	ouvrage sensible aux déformations
Poids des structures	γ_{GMax}	1.00	1.00	favorable
Poids des sols	γ_G	1.00	1.00	-
Surcharges variables	γ_Q	1.30	1.00	-
Angle de frottement interne des sols	$\gamma_{\varphi'}$	1.25	1.25	à appliquer en $\tan\varphi$
Cohésion effective des sols	$\gamma_{c'}$	1.25	1.25	
Cohésion non drainée des sols	γ_{Cu}	1.40	1.40	
Coefficient de méthode	$\gamma_{R,e}$	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 :

$$HS = \Delta \cdot Dn50 \cdot (2 + 6,2 \cdot (ht/h)^{2,7}) \cdot Nod^{0,15}$$

Avec :

- ht : 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.

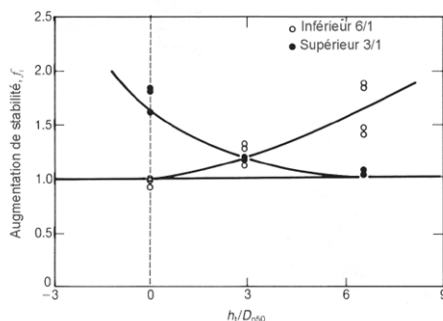
En première approche, nous considérerons que la butée de pied ne sera pas ensouillée car le sol d'assise sera directement la roche basaltique affleurante.

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 Dn50 requis pour un talus de pente continue (par exemple par la méthode de carapace donnée ci-dessus) ;
- Détermination de la valeur réduite du Dn50 en divisant le diamètre Dn50 théorique par le facteur de sécurité f_i , défini par lecture de la figure ci-dessous :



Note : h_i (m) est la hauteur de la transition par rapport au niveau de l'eau au repos; h_i 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) :

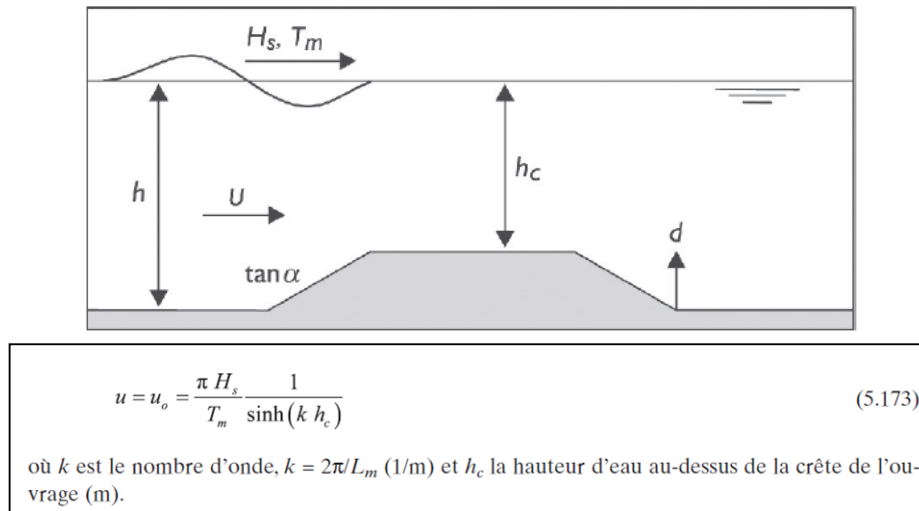


Figure 25 : Calcul de la vitesse orbitale en profondeur - extrait du Guide Enrochement (2009) – Eq 5.173

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 _s (m)	Period (s)	Height H _s (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_{pp})

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/m³,
- poids volumique de l'eau de mer : 10.26 kN/m³

- poids volumique de l'acier: 78.5 kN/m³
- passerelle d'accès aux pontons : 0.5kN/ml
- enrochements naturels : 2.8 t/m³
- enrochements artificiels : 2,45 t/m³
- remblai d'apport : 1,9 t/m³

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/m² 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.

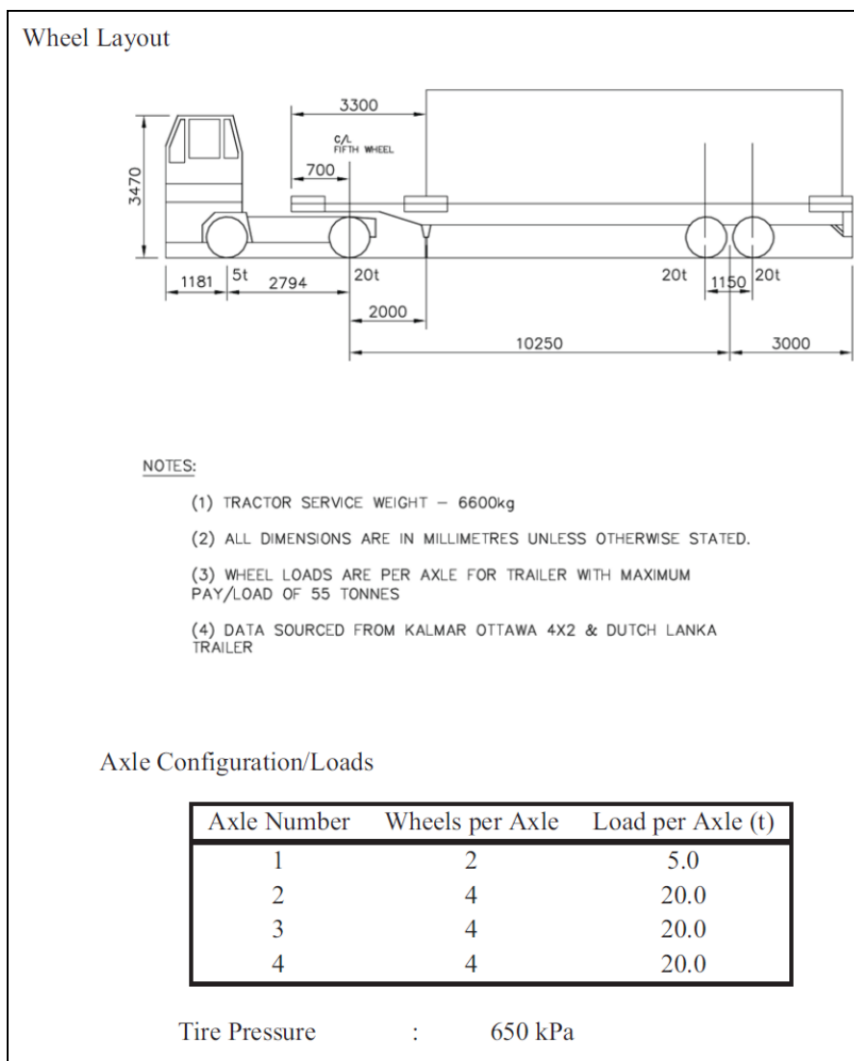


Figure 28 - Caractéristiques Camion Projet

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

$$\Delta Z_H = \eta_{\text{max}} - Z_{\text{centre de la surface d'impact}}$$

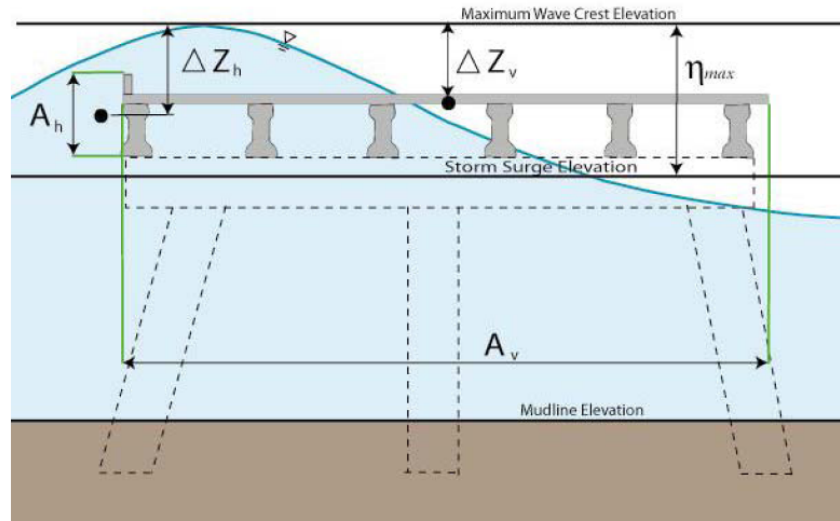
A_H = section verticale exposée

N = nb de poutres

ρ_{eau} = masse volumique de l'eau = 10.25 kN/m³

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 considérera 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 :
 - ▶ 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
Phase	Exploitation	Cyclone
Sol	Long terme	Court terme
Eau	Niveau moyen	Niveaux extrêmes
États limites	ELS-ELU F	ELUA
Charges ou actions permanentes	Poids propres	Poids propres

Paramètres ou actions variables	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 évènements 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 γ à prendre en compte pour les actions sont les suivants :

Actions	γ_q ELS	γ_q ELUF	γ_q ACC CYCLONE
Charges permanentes (G)			
Défavorables (G _{défav})	1	1.35	1
Favorables (G _{fav})	1	1	1
Température	1	1.35	1
Action de l'eau (E _{eau}) <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 ψ sont les suivantes :

Actions variables de base	Valeur de combinaison ψ_0	Valeur fréquente ψ_1	Valeur quasi-permanente ψ_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 ψ_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 ψ_0 égal à la plus grande des valeurs de 0.77 et du ψ_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 ψ_0 , ψ_1 et ψ_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

Auteur(s)	A. HOURQUET, A. JARNY
Volume du document	Compte-rendu de mission de démarrage : 23/09/2021 – 30/09/2021
Version	0
Référence	NA
Numéro CRM	OCA0009
Chrono	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. Objet.....	4
2. Programme et acteurs rencontrés.....	4
3. Compte-rendus des échanges et visites	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. Conclusion de la mission.....	35
5. Annexe 1 : Liste des données récupérées.....	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
23/09/2021		<ul style="list-style-type: none"> ○ Arrivée à Moroni
24/09/2021	<ul style="list-style-type: none"> ○ Réunion de démarrage avec le PICMC ○ Visite du port de Moroni ○ Echanges avec le chef des opérations de la capitainerie du port de Moroni 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Réunion de mise au point avec les équipes PICMC / INROS LACKNER / AEQUO / EGIS-BECECO
25/09/2021	<ul style="list-style-type: none"> ○ Départ pour Mohéli ○ Visite du port de Fomboni ○ Echanges avec le directeur de l'ANAM Mohéli 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Visite du site de Hoani ○ Echanges avec le directeur de l'ANAM Mohéli ○ Echanges avec le Chef de Service et le métreur et vérificateur de la Direction de l'Aménagement de l'île de Mohéli
27/09/2021	<ul style="list-style-type: none"> ○ Echanges avec le Directeur de l'Aménagement de Mohéli et point focal du projet PIDA ○ Départ pour Moroni 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Visite du site de Chindini ○ Echanges avec les pêcheurs et comité de pilotage du village de Chindini
28/09/2021	<ul style="list-style-type: none"> ○ Test PCR 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Départ pour Anjouan
29/09/2021	<ul style="list-style-type: none"> ○ Visite du site de Vassy ○ 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 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Départ pour Moroni
30/09/2021	<ul style="list-style-type: none"> ○ Réunion de restitution avec les équipes PICMC / INROS / AEQUO / EGIS-BECECO 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Départ de Moroni

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

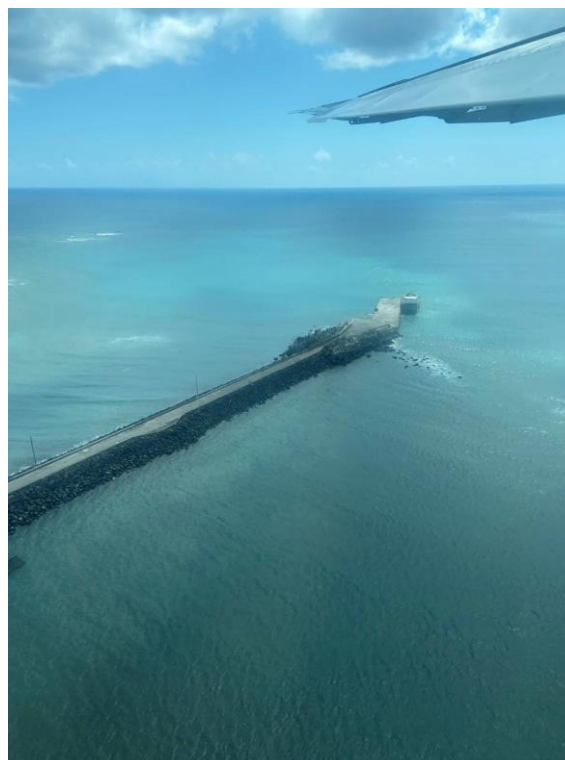


○ Trafic :

- ▶ 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.

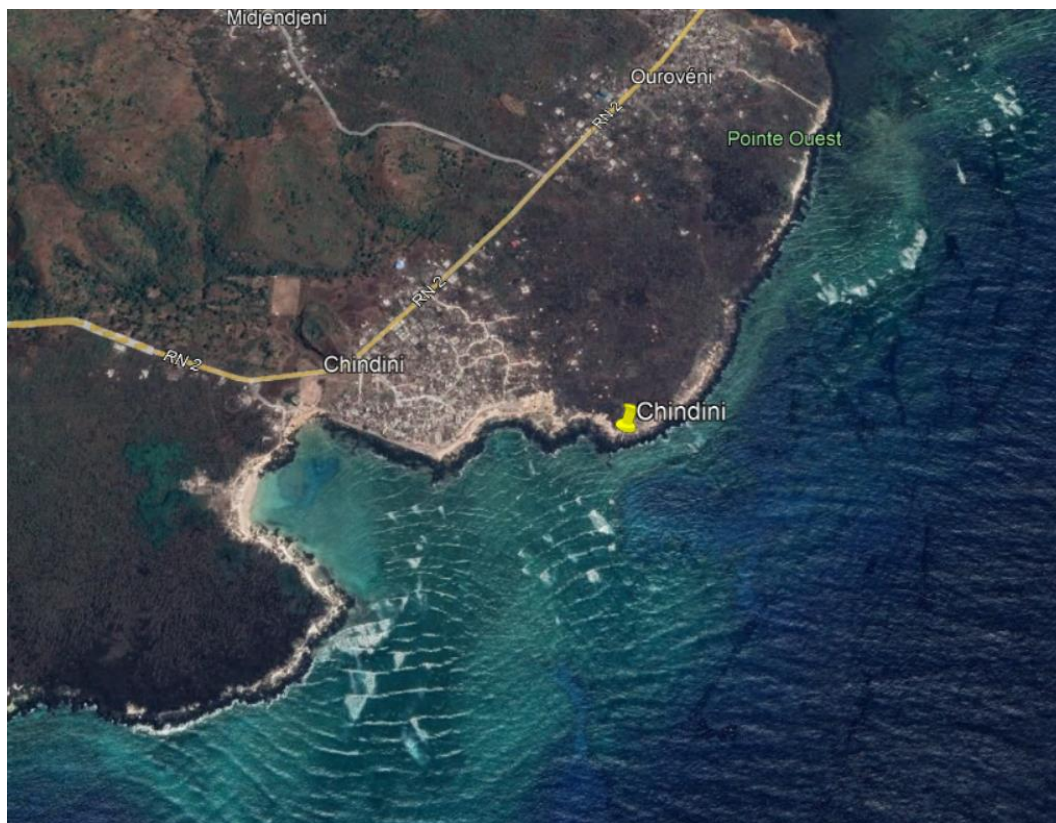


Figure 2 - Site de Chindini à l'Est du village de Chindini

- Accès terrestre :
 - ▶ Accès situé à l'Est de Chindini, vers Oouroveni

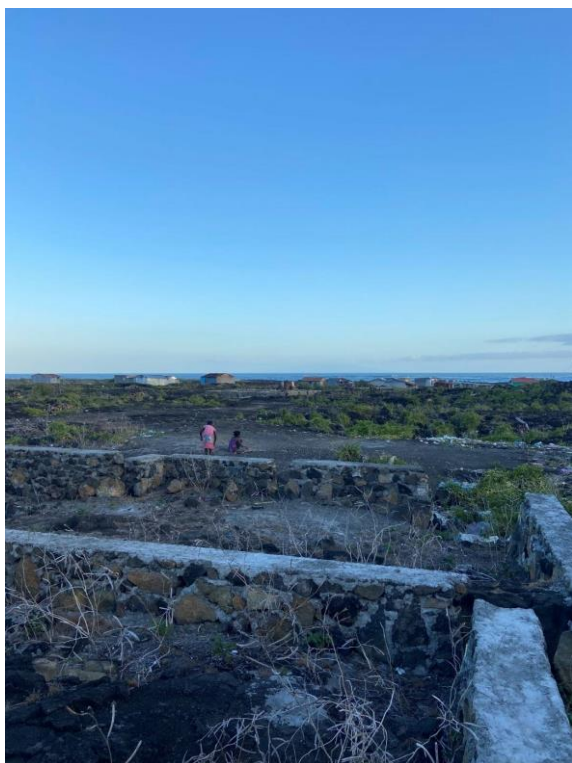


- ▶ Accès sur la roche basaltique depuis la route existante : environ 1km



- ▶ 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

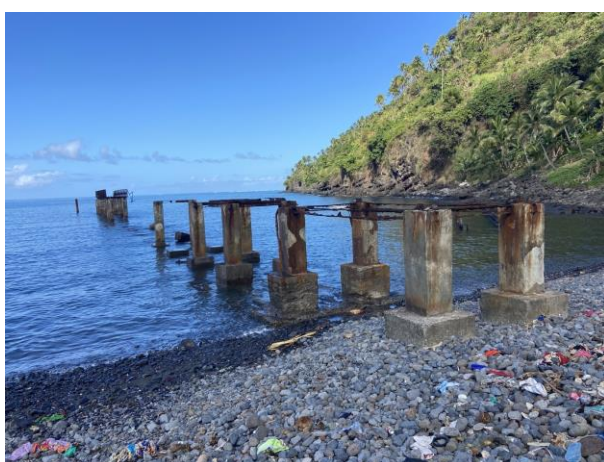
○ Trafic :

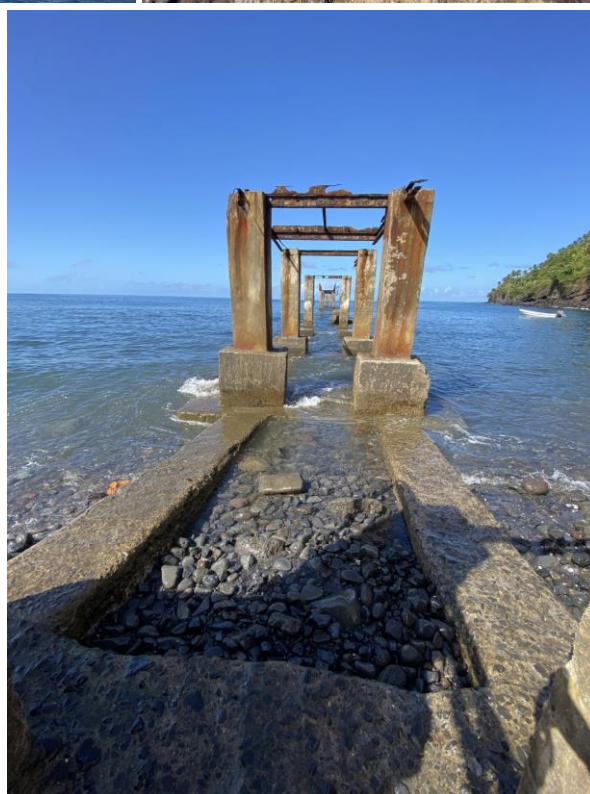
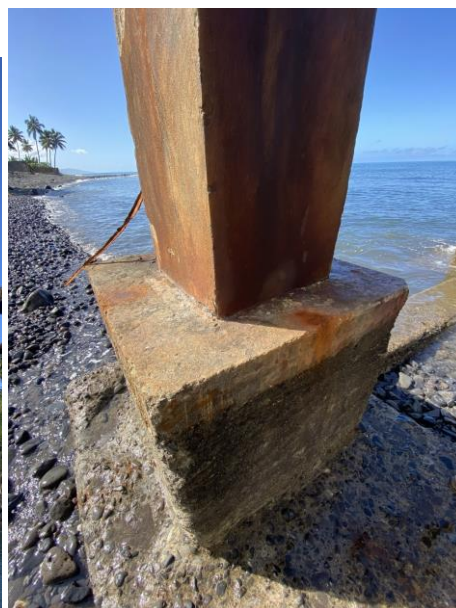
- ▶ Trafic projeté globalement faible

- 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

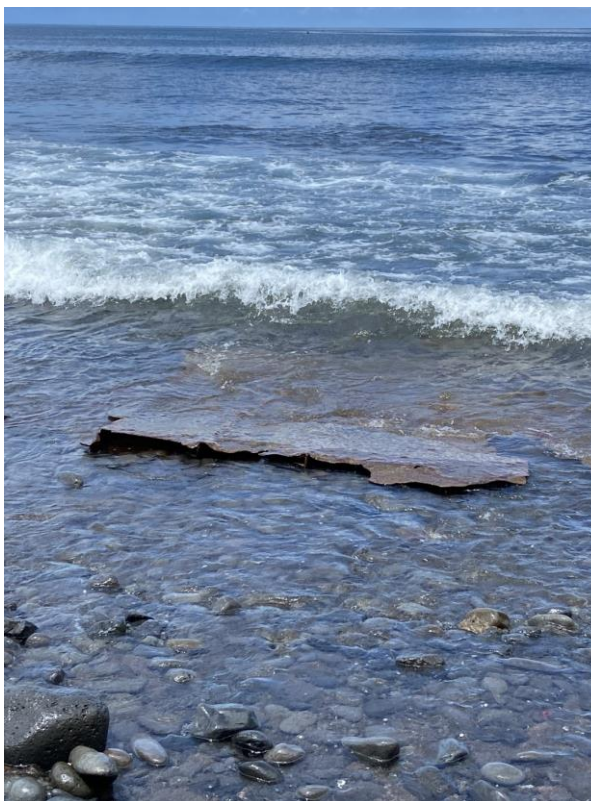


- ▶ Jetée construite en 2010 : ouvrage endommagé pendant la construction, en état de dégradation très avancé – l'ouvrage n'a jamais été terminé : il était constitué de pieux béton fondés sur une semelle filante en béton ancrée sur environ 50cm de profondeur ; 4 ducs d'albe métalliques étaient battus 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	
Port de Fomboni_Etudes et travaux initiaux_1995-2000							
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			Scan de la bathymétrie et topographie initiales du projet de construction	scan		
	EPSON006						
	EPSON007						
	EPSON008						
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	
Port de Fomboni_Projet de modification_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	IINROS	
	Modification port de Mohéli_Rapport de préféabilité_Avril 2012	avril-12	Etude de faisabilité, conception préliminaire, données houles, géotechnique		KULAK	PICMC	
Port de Fomboni_Travaux de réparation_2020-2021							
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		
Projet CATRAM_Création complexe pêche_2019-2020							
	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_Septembre 2019	septembre-19	Rapport phase 2 - projet CATRAM L-4 - étude sur les perspectives	pdf	CATRAM	PICMC	
Rapports étude préféabilité_CPCS_Février 2021							
	20007_DraftFinalReport_Volume 1 - Legal-institutional_v2 FR	février-21	Projet d'amélioration de la connectivité inter-iles aux Comores - Projet de rapport final - Volume 1 - Tâche 1 - Revue du cadre juridique et institutionnel régissant le transport inter-iles	pdf	CPCS	PICMC	
	20007_DraftFinalReport_Volume 2 - Demand Analysis_v2 FR	février-21	Projet d'amélioration de la connectivité inter-iles aux Comores - Projet de rapport final - Volume 2 - Analyse de la demande de transport inter-iles		CPCS		
	20007_DraftFinalReport_Volume 3 - Technical_v2_2 FR	février-21	Projet d'amélioration de la connectivité inter-iles 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-iles 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-iles 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		
Autres							
	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	
Topo-bathy							
Bathymetrie_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					Plans dwg et pdf des levés topo de Chindini
Fomboni	octobre-21	Plans dwg et pdf des levés topo de Fomboni	pdf, dwg	BECECO	EGIS-BECECO		
Géotechnique							
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
Port de Fomboni_Etudes et travaux initiaux_1995-2000						
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	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
Port de Fomboni_Projet de modification_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
Port de Fomboni_Travaux de réparation_2020-2021						
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	Union des Comores	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 Geo Engineering Corporation	
	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		
Projet CATRAM_Création complexe pêche_2019-2020						
	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
Rapports étude préféabilité_CPCS_Février 2021						
	20007_DraftFinalReport_Volume 1 - Legal-Institutional_v2 FR	février-21	Projet d'amélioration de la connectivité inter-iles aux Comores - Projet de rapport final - Volume 1 - Tâche 1 - Revue du cadre juridique et institutionnel régissant le transport inter-iles	pdf	CPCS	PICMC
	20007_DraftFinalReport_Volume 2 - Demand Analysis_v2 FR	février-21	Projet d'amélioration de la connectivité inter-iles aux Comores - Projet de rapport final - Volume 2 - Analyse de la demande de transport inter-iles		CPCS	
	20007_DraftFinalReport_Volume 3 - Technical_v2_2 FR	février-21	Projet d'amélioration de la connectivité inter-iles 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-iles 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-iles 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 iles		CPCS	
Autres						
	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
Topo-bathy						
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
Géotechnique						
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