



OCEAN INDIEN

GÉOLITHE

COMMUNE DE MAMOUDZOU (976)

PÔLE D'ÉCHANGE MULTIMODAL

ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION – G2 - AVP

A LA DEMANDE ET POUR LE COMPTE DE FORINTECH

Dossier	19-071 I 1	
Indice	Modifications	Date
0	Document initial	18/11/2019

Nombre de pages : 24 + annexes

INGÉNIEURS-CONSEILS EN GÉOLOGIE, GÉOPHYSIQUE ET GÉOTECHNIQUE

6 – Rés. Le Terre Plein
RN1- M'TSAPERE
97600 MAMOUDZOU - Mayotte

Tél. +262 (0)2 69 62 27 64
contact@geolithe.com
www.geolithe.com

GÉOLITHE
38920 CROLLES



LIEU :	Mamoudzou
COMMUNE :	MAMOUDZOU (976)
OBJET :	Projet de l'aménagement de la plateforme multimodale de transport collectif de Mamoudzou
TYPE DE MISSION :	Étude géotechnique de Conception – G2 AVP
CLIENT :	FORINTECH
DOSSIER SUIVI PAR :	CHAMPIAT Julian

CHARGE D'AFFAIRE :	Éric VERICEL
CHEF DE PROJET :	Éric VERICEL
NOMBRE DE PAGES :	24 + annexes

Dossier 19-071 I 1		
Indice	Modifications	Date
0	Document initial	18/11/2019

Rédacteur : Mohammed ANNAKIB
 Visa :

Contrôle : Éric VERICEL
 Visa :



SOMMAIRE

1 - PRESENTATION	5
1.1 - OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	5
1.2 - DOCUMENTS DE REFERENCE	5
1.3 - DESCRIPTION DU PROJET	6
2 - CONTEXTE GEOLOGIQUE ET REGLEMENTAIRE	7
2.1 - GEOLOGIE	7
2.2 - CONTEXTE REGLEMENTAIRE	8
2.2.1 - <i>Mouvement de terrain</i>	8
2.2.2 - <i>Surcote cyclonique</i>	8
2.2.3 - <i>Aléa inondation</i>	9
2.2.4 - <i>Aléa liquéfaction</i>	10
2.2.5 - <i>Risque sismique</i>	10
3 - RECONNAISSANCES GEOTECHNIQUES	11
3.1 - ETUDES ANTERIEURES	11
3.2 - VISTE DE SITE	12
3.3 - PROGRAMME DE RECONNAISSANCE	14
3.4 - RESULTATS.....	14
3.4.1 - <i>Sondages pressiométriques</i>	14
3.4.2 - <i>Sondage carotté SC1</i>	15
3.4.3 - <i>Hydrogéologie</i>	15
3.5 - SYNTHESE DES RECONNAISSANCES	16
3.6 - TOPOBATYMETRIE.....	16
4 - ANALYSE ET RECOMMANDATIONS POUR L'ENROCHEMENT.....	17
4.1 - TERRASSEMENTS DES FONDATIONS	17
4.1.1 - <i>Stabilité des talus provisoires</i>	17
4.1.2 - <i>Stabilité des talus définitifs</i>	17
4.2 - TASSEMENTS.....	18
4.3 - PROCEDURE DE CONCEPTION.....	19
4.4 - AUTRES SOLUTIONS	20
4.4.1 - <i>Blocs artificiels</i>	20
4.4.2 - <i>Solution rideau</i>	21
4.5 - SYNTHESE	21
5 - ANALYSE ET RECOMMANDATIONS POUR LA CALE DE MISE A L'EAU	22
5.1 - TERRASSEMENTS DES FONDATIONS	22
5.1.1 - <i>Technique d'extraction préconisée</i>	22
5.2 - FONDATIONS.....	22
5.2.1 - <i>Mode de fondation</i>	22
5.2.2 - <i>Principe de calcul</i>	22
5.2.3 - <i>Capacité portante des sols</i>	23
5.2.4 - <i>Tassements</i>	23
6 - RECOMMANDATIONS GENERALES ET ALEAS RESIDUELS	24
6.1 - RECOMMANDATION	24
6.2 - ALEAS RESIDUELS GEOTECHNIQUES	24

Annexes :

- Annexe 1 : Extrait de la norme NF P 94-500 « Classification des missions type d'ingénierie géotechnique » ;
- Annexe 2 : Plan d'implantation des sondages ;
- Annexe 3 : Résultats des sondages.

1 - PRESENTATION

Le présent rapport d'étude a été réalisé à la demande et pour le compte de Forintech. Il consiste en l'analyse de la campagne de reconnaissances géotechniques réalisée par Forintech, dans le cadre du projet de réalisation d'une plateforme multimodale de transport collectif de Mamoudzou.

Il s'agit d'une étude géotechnique de Projet (mission G₂ - AVP) au sens de la norme NF P 94-500 « Missions d'ingénierie géotechnique – Classifications et spécifications » de Novembre 2013.

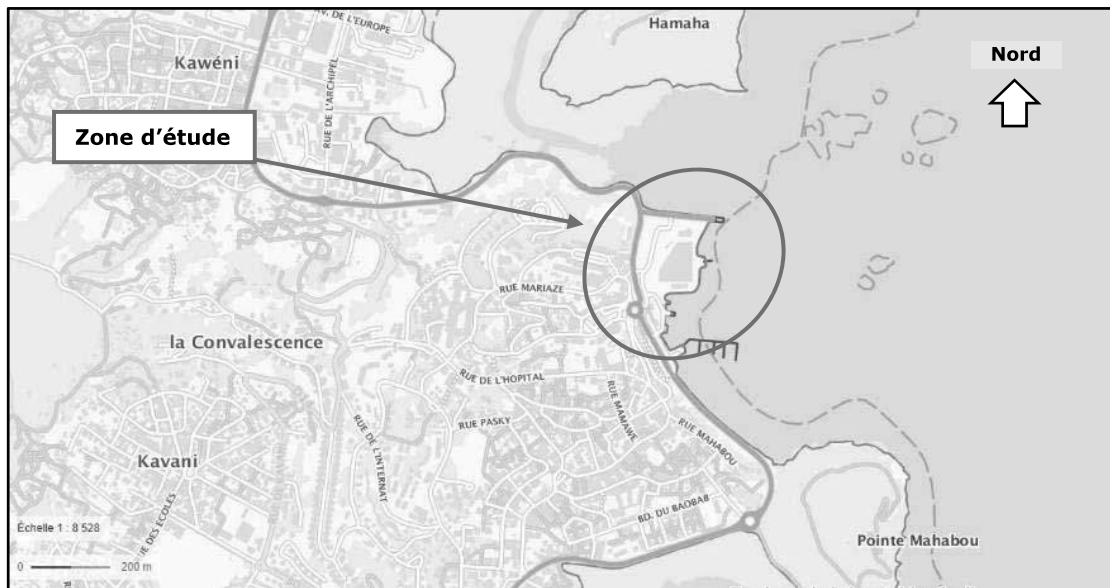


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude sur carte IGN – (source : Géoportail)

1.1 - OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Les objectifs de cette étude sont les suivants :

- Réaliser une reconnaissance naturaliste de la zone d'implantation du projet ;
- Etablir, suivre et interpréter des sondages géotechniques ;
- Rechercher les données et études géotechniques préexistantes inhérentes au site et en effectuer la synthèse ;
- Étudier les principes constructifs et d'adaptation du projet au sol ;
- Fournir l'ébauche dimensionnelle d'un profil type pour chaque ouvrage géotechnique.

1.2 - DOCUMENTS DE REFERENCE

- ⇒ Carte géologique de Mayotte ;
- ⇒ Cartes des aléas mouvement de terrain et inondation du BRGM (juillet 2019) ;
- ⇒ Plan de situation et plan de masse du projet remis par le client ;
- ⇒ Norme NF P 94-500 « Missions d'ingénierie géotechnique » ;
- ⇒ Norme NF EN 1997-1 - « Calculs géotechniques - Partie 1 : règles générales » ;
- ⇒ Norme NF EN 1998-1 : Eurocode 8 : Calcul des structures pour leur résistance au séisme - Partie 1 : Règles générales ;
- ⇒ Décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français ;
- ⇒ Arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal », modifié par l'arrêté du 19 juillet 2011 ;
- ⇒ Norme NF P 94-261 "Calcul Géotechnique – Fondations superficielles" ;
- ⇒ Annexe 1 - PEM repérage géotech ;
- ⇒ Cahier des charges du LOT 1 pour les travaux géotechniques maritimes – Janvier 2019.

1.3 - DESCRIPTION DU PROJET

D'après les informations communiquées dans le cahier des charges d'aménagement du Pôle d'échange multimodal de Mamoudzou, le projet prévoit la mise en place :

- Remblaiement pour l'extension du terre-plein ;
- Mise en place d'une protection périphérique en enrochement ;
- Réalisation d'une cale de mise à l'eau en béton armé ;
- La réalisation de voiries VL et PL, stationnements et de voies de desserte (Hors mission) ;
- La construction de bâtiments (Gare maritime R+1, commerces) et abris (Hors mission).

Le projet d'aménagement est étalé sur 2,5 ha. Les côtes de travail pour les différents ouvrages iront de 3,70 m NGM à - 2,10 m NGM.

Le projet ne prévoit pas de niveau semi-enterré mais prévoit une grande partie des travaux en domaine maritime. Cela implique une adaptation tant au niveau conception, lors des études en amont, qu'en exécution.

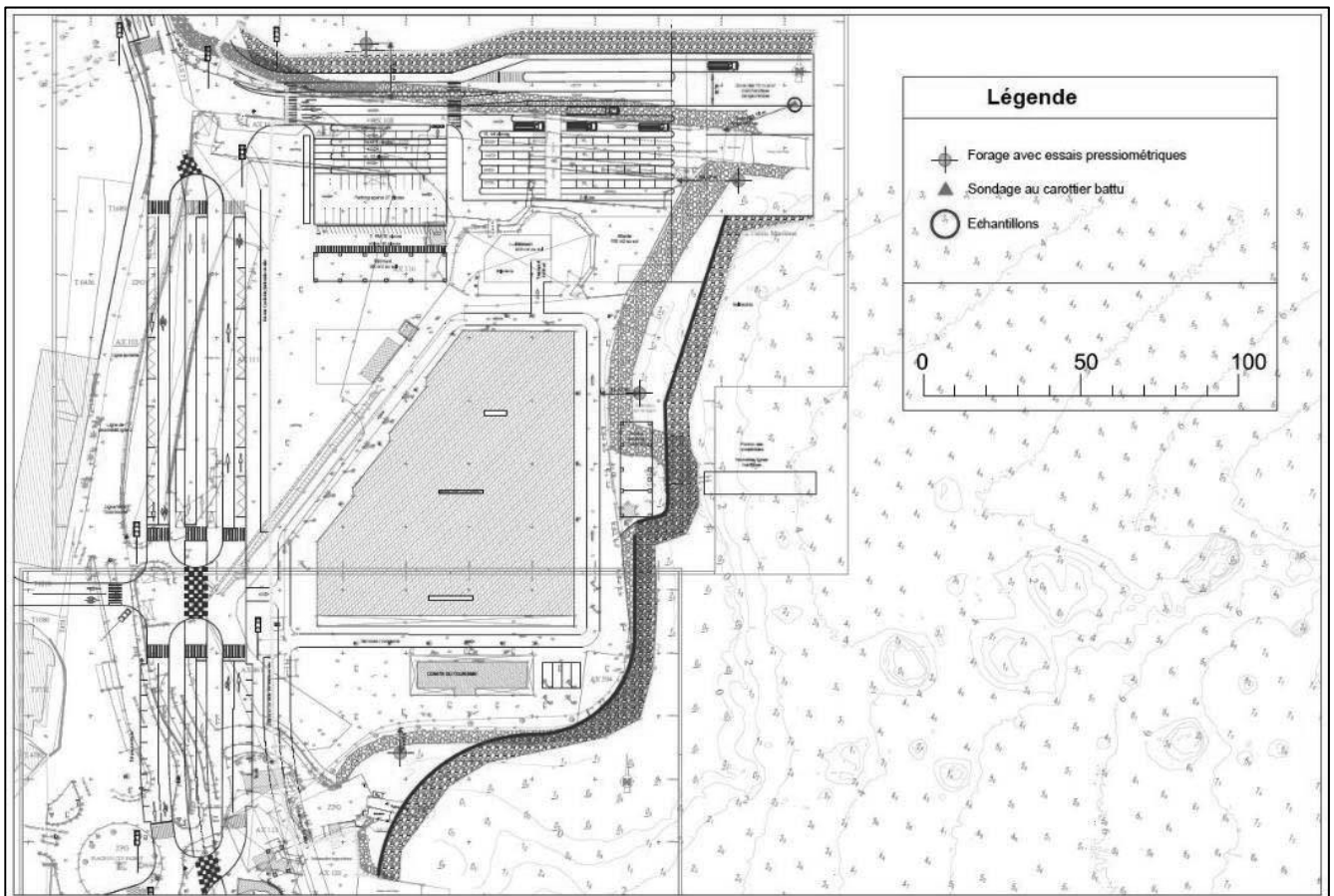


Figure 2 : Plan de masse du projet

2 - CONTEXTE GEOLOGIQUE ET REGLEMENTAIRE

2.1 - GÉOLOGIE

D'après la carte géologique de Mayotte ci-dessous, les terrains du site sont exclusivement des remblais anthropiques (**X**). On notera la présence d'Isaltérites de laves basiques et intermédiaires en contact direct avec ces remblais. Ces isaltérites se caractérisent sur le terrain généralement sous formes de limons compacts, marrons à bruns. Une partie de la zone d'étude se trouvant en milieu submergé, la carte géologique ne nous fournit pas d'informations sur ces roches.

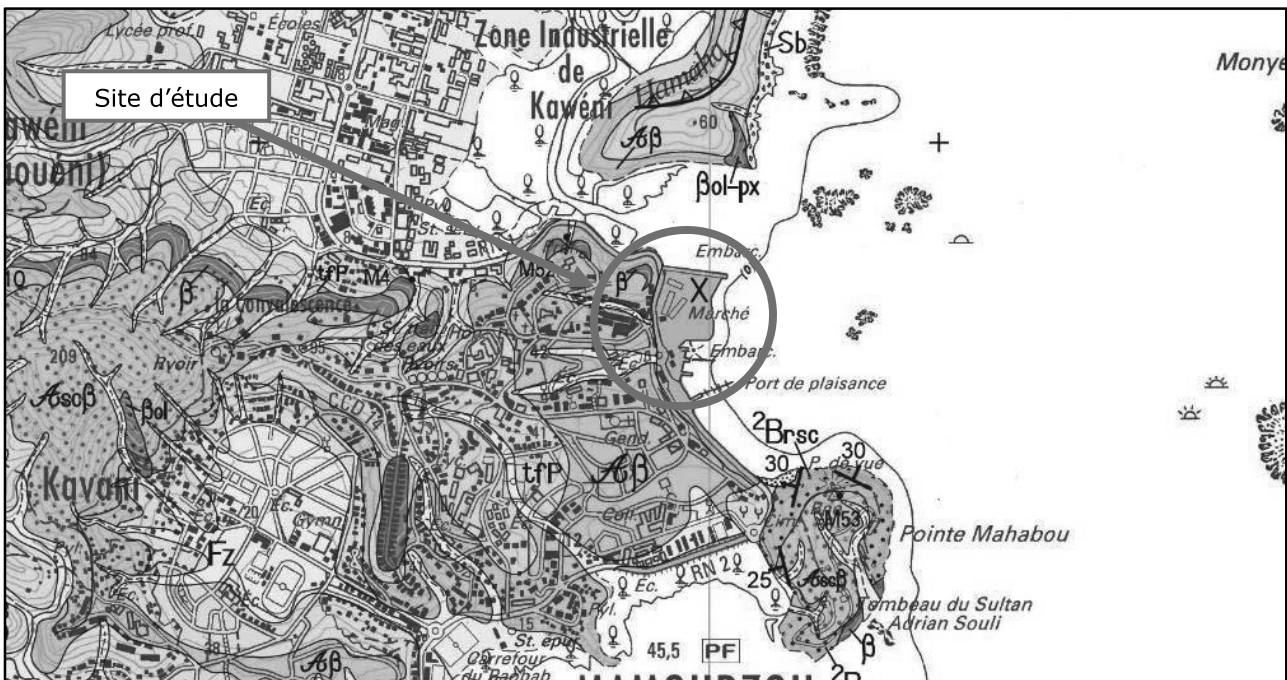


Figure 3 : Extrait de la carte géologique de Mayotte (BRGM - édition 2013)

Légende :

Fz	Alluvions indifférenciées	Brsc	Projections scoriacées (cônes stromboliens) de Petite Terre et de Mamoudzou
C	Colluvions	Aβ	Isaltérites de cônes de scories
Aβ	Isaltérites de laves basiques et intermédiaires	tFP	Projections phréatomagmatiques (maars) de Petite Terre et de Mamoudzou
X	Remblais anthropiques		

2.2 - CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

2.2.1 - Mouvement de terrain



Figure 4 : Extrait de la carte de l'atlas des aléas naturels de Mayotte de la commune de Mamoudzou - Aléa mouvement de terrain (BRGM-2006)

La zone d'étude n'est pas concernée par un aléa de glissements de terrain ou chutes de blocs. D'après la base de données du BRGM, aucun glissement n'a été répertorié à proximité de la zone d'études.

2.2.2 - Surcote cyclonique

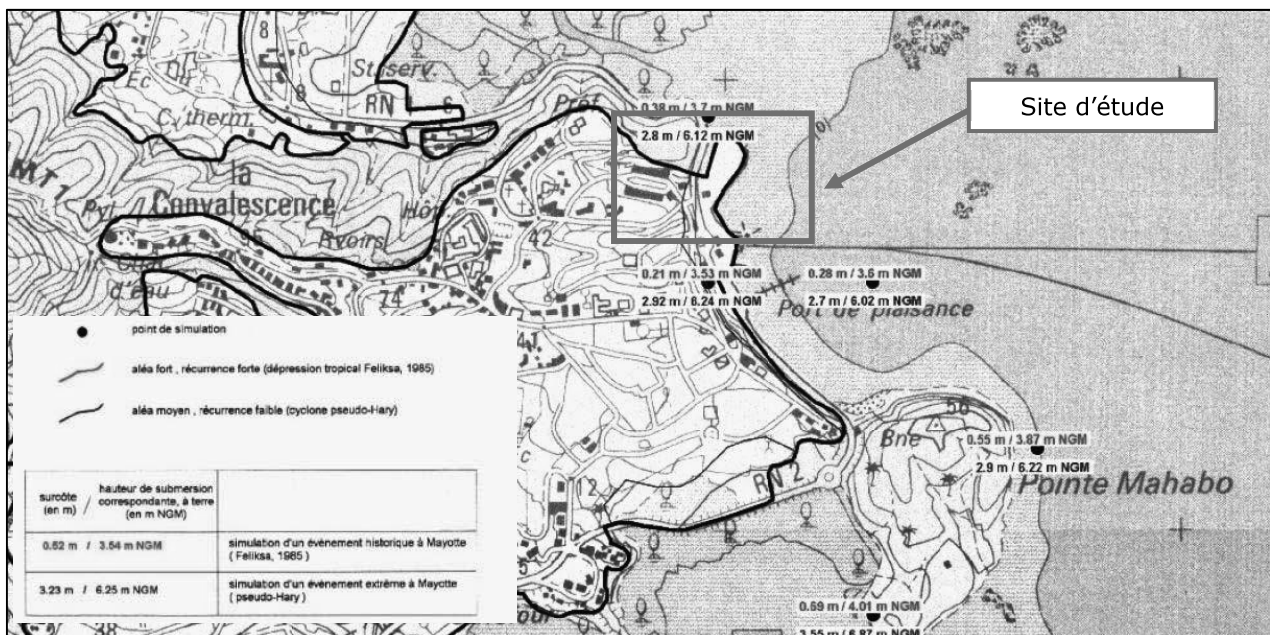


Figure 5 : Extrait de la carte de l'atlas des aléas naturels de Mayotte de la commune de Mamoudzou - Surcote cyclonique (BRGM-2006)

Les hauteurs d'eau de surcote cyclonique en cas d'évènement historique est de 3,54 m NGM (évènement observée). En ce qui concerne les évènements extrêmes, ceux-ci ont été simulés et on aurait potentiellement une hauteur d'eau à 6,25 m NGM.

Le site de l'étude se trouve également dans une zone à récurrence forte qui induit des pluviométries élevées et de forts courants atmosphériques qui sont propices aux évènements de surcote notamment durant l'hivers austral.

2.2.3 - Aléa inondation

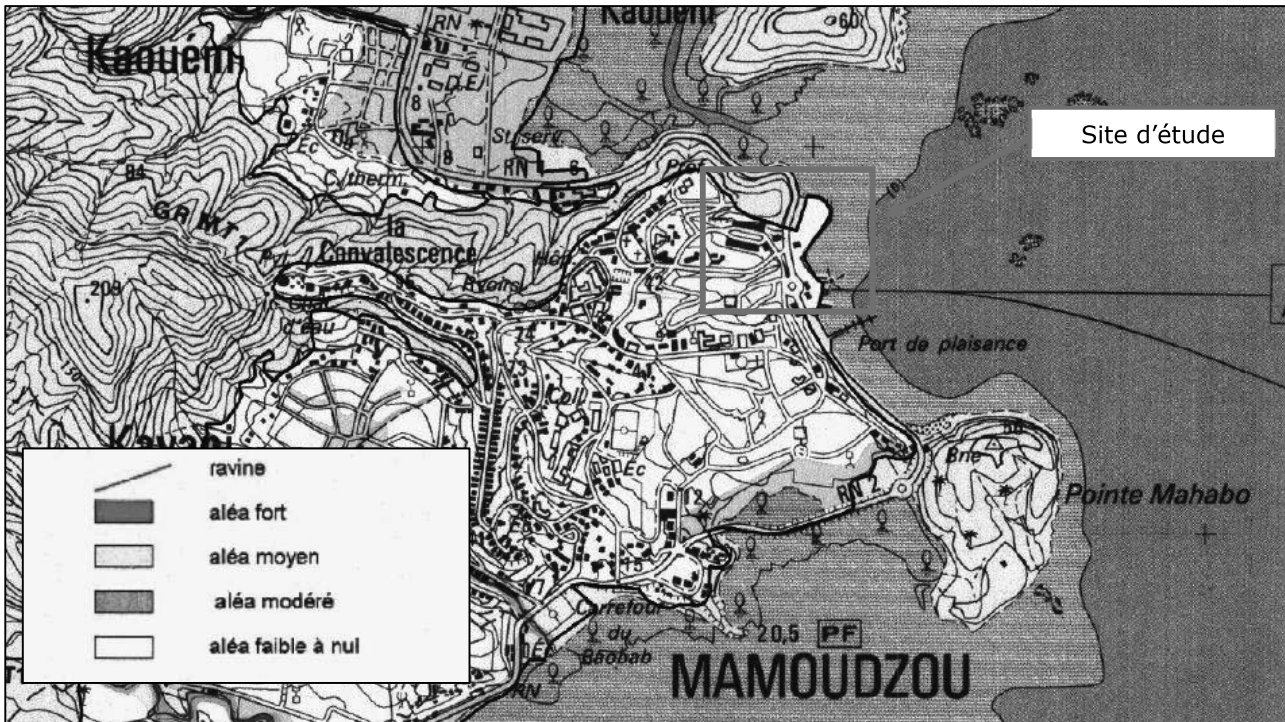


Figure 6 : Extrait de la carte de l'atlas des aléas naturels de Mayotte de la commune de Mamoudzou – Aléa inondation (BRGM-2006)

D'après les cartes de l'aléa inondation (de 2006), le site étudié n'est concerné par l'aléa inondation par débordement de cours d'eau.

Ce niveau d'aléa nous ne semble pas à jour. Il est conseillé de vous rapprocher du service Risques Naturels de la DEAL ou du BRGM pour expertise. Ils pourront indiquer les nouveaux zonages concernant l'aléa inondation.

2.2.4 - Aléa liquéfaction

D'après l'atlas des aléas naturels de Mayotte, la zone de remblais anthropique présente une susceptibilité forte à la liquéfaction des sols.



Figure 7 : Extrait de la carte de l'atlas des aléas naturels de Mayotte de la commune de Mamoudzou – Susceptibilité à la liquéfaction (BRGM-2006)

2.2.5 - Risque sismique

Conformément au décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010 relatif à la délimitation du zonage sismique du territoire français, la commune de Mamoudzou est située en zone de sismicité 3 (modérée).

Au sens de l'Eurocode 8, la catégorie d'importance des ouvrages est : I. **Cette valeur est à confirmer par le Maître d'Ouvrage.**

Pour un ouvrage de catégorie I, aucun calcul sismique n'est à faire.

La profondeur des reconnaissances ne permet pas de définir précisément la classe de sol selon l'Eurocode 8 qui nécessite de reconnaître le sol jusqu'à 30 mètres de profondeur. Cependant sur la base des informations connues sur les 15 premiers mètres, nous proposons de considérer un sol de classe B : « Dépôts raides de sables graviers ou d'argile, sur-consolidés d'au moins plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, caractérisés par une augmentation progressive des propriétés mécaniques avec la profondeur ».

3 - RECONNAISSANCES GEOTECHNIQUES

3.1 - ETUDES ANTÉRIEURES

La base de données en ligne, partagée sur la plateforme d'Infoterre, permet de voir l'ensemble des sondages historiques et référencés qui couvrent la zone d'études. Ces derniers, au nombre de 7, atteignent 4,50 mètres de profondeurs au maximum et sont présentés en annexes. Ces sondages issus de l'étude géotechnique sur la plateforme du terre-plein des douanes, sont présentés sur le plan suivant :

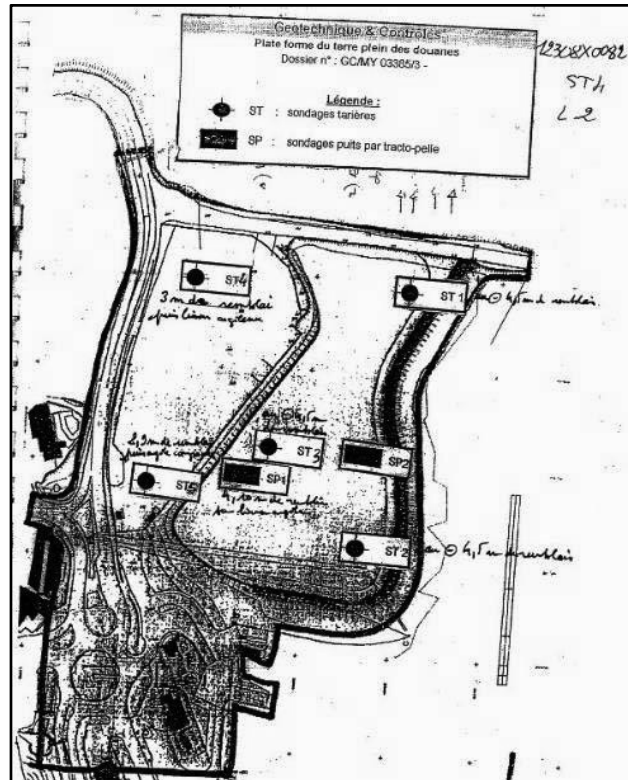
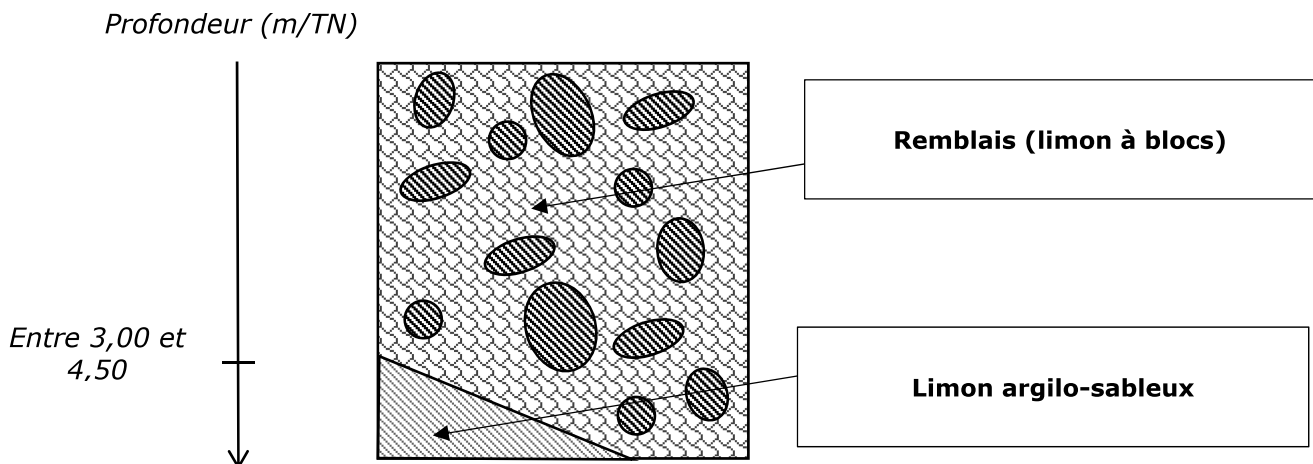


Figure 8 : plan d'implantation des sondages historique

Ils sont synthétisés et permettent de mettre en place un modèle géologiques, qui est présenté sur la figure suivante :



3.2 - VISTE DE SITE

La visite naturaliste du site s'est déroulée le 12 novembre 2019. Cette reconnaissance a pour but de relever les points remarquables du site afin d'en relever les contraintes éventuelles et la présence :

- Géométrie des existant ;
- Niveau d'eau au jour de notre intervention ;
- Affleurements caractéristiques ;
- Des avoisinants.

La zone d'étude s'étend sur tout le boulevard de la RN1, et la zone du marché couvert. A l'ouest la limite se situe la RN1 et à l'est la zone d'étude s'étend jusqu'au lagon.

La zone est actuellement occupée par un parking, le marché couvert et l'office du tourisme. On notera également la présence sur tout le pourtour de l'ouvrage d'enrochement de protection.



Figure 9 : Cordon protecteur au nord de la zone

L'ouvrage d'enrochement reste encore assez peu érodé et bien consolidé. On n'observe pas de traces de débordement sur la plateforme.



Figure 10 : Dimensions des blocs et dispositions

Les blocs en contact direct avec l'eau sont métriques et présentent quelques faibles traces d'érosion (fractures, oxydation). Sur la partie nord, l'angle de plongement du cordon protecteur est d'environ 30°, contrairement à la partie sud où cet angles est > 45°.

Sur la partie ouest, la largeur de crête du cordon de blocs est plus importante que sur les autres parties, car cette partie est en contact direct avec la houle du lagon.



Figure 11 : Vue de la partie ouest de l'enrochement

Concernant la cale de mise à l'eau celle-ci est également fondée sur des blocs décimétriques à métriques liés au béton. Elle est constituée de couches successives béton probablement armé (nous n'avons pas pu en faire l'observation visuelle). Elle se jette dans l'eau avec un angle de 13°.

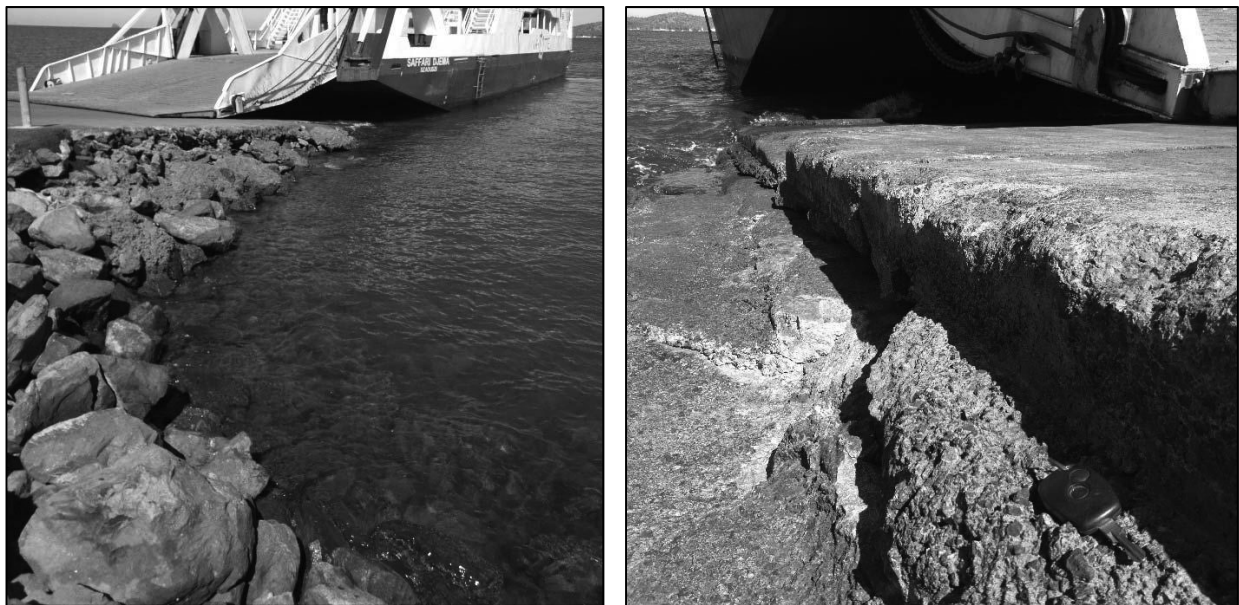


Figure 12 : Vue de la cale de mise à l'eau

On peut également noter l'évolution entre 1950 et 2019, sur la part de remblaiement anthropique sur cette même zone, présenté ci-dessous :

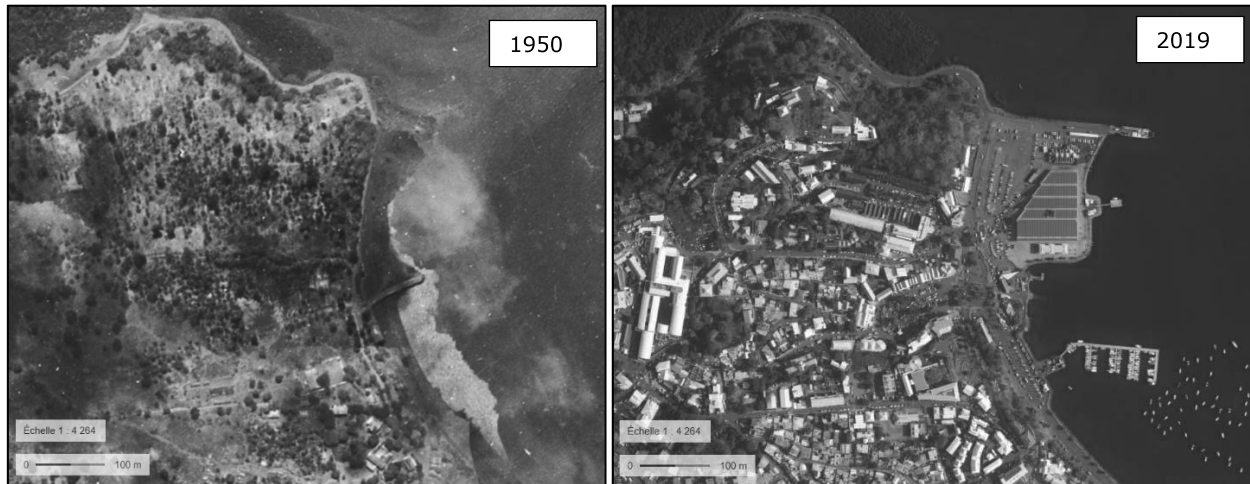


Figure 13 : Evolution de la zone de remblai anthropique

3.3 - PROGRAMME DE RECONNAISSANCE

Le programme de reconnaissances géotechniques réalisé à ce stade comprend :

- **1 sondage carotté noté SC1**, réalisé le 16/10/2019 au carottier à câble Ø 116 mm jusqu'à 8 mètres par rapport au terrain naturel (TN) ;
- **4 sondage pressiométrique notés SP1 et SP4**, réalisé le 15 au 21/10/2019 au tricône à boutons Ø 66 mm jusqu'à 15 m/TN, avec des essais pressiométriques tous les mètres à partir de 5 à 8 m jusqu'à 14 m de profondeur ;
- **2 identifications GTR (NF P 11-300)**, comprenant chacune :
 - 1 mesure de la teneur en eau (NF P 94-050) ;
 - 1 valeur au bleu de méthylène (NF P 94-068) ;
 - 1 analyse granulométrique par voie sèche (NF P 94-056) ;
 - 1 détermination de la teneur pondérale en matière organique sur les éléments fins (NF P 94-055).

L'implantation du sondage et les résultats des essais sont présentés en annexes.

3.4 - RÉSULTATS

3.4.1 - Sondages pressiométriques

Les sondages pressiométriques ont été réalisés à partir de la plateforme sur remblais et les essais n'ont pu être réalisés qu'à partir de 5.50 m/TN, car les matériaux s'éboulaient et empêchaient la mise en place de la sonde. Ainsi, seuls deux essais sont disponibles dans cet horizon, dont un qui n'est pas exploitable.

Les sondages ont permis de dresser le modèle géotechnique suivant :

- **Des remblais de blocs dans une matrice limoneuse** sur une épaisseur de 5.0 à 7.0 m. Seule une mesure à la sonde pressiométrique a pu être effectuée dans cet horizon à 5.00 m /TN (cf. annexes – sondages – SP4).

Les caractéristiques pressiométriques¹ de cet horizon sont résumées dans le tableau suivant :

¹ Moyenne géométrique pour les pressions limites (PI*)

	Remblais - Moy
PI* (MPa) ¹	2.77
Em (MPa) ²	22.7

Il s'agit d'un horizon de bonne portance. Il s'agit de matériaux raides au sens du tableau A.2.1 de la norme NF P94-261.

- **Des altérites sous forme le limon mou à peu compact, gris noir** de 2.0 à 8.5 m d'épaisseur.

Les caractéristiques pressiométriques¹ de cet horizon sont résumées dans le tableau suivant :

	Moy (MPa)	Min (MPa)	Max (MPa)
PI*(MPa)	1.43	0.89	2.41
Em (MPa)	15.9	5.1	50.4

Les caractéristiques présentées dans le tableau ci-dessus sont bonnes. Il s'agit de limons raides au sens du tableau A.2.1 de la norme NF P94-261 (coefficient rhéologique $\alpha = 1/2$).

- **Des poches lenticulaires de limons sableux, grises** de 4.50 m d'épaisseur.

Les caractéristiques pressiométriques¹ de cet horizon sont résumées dans le tableau suivant :

	Moy (MPa)	Min (MPa)	Max (MPa)
PI* (MPa)	0.55	0.41	0.81
Em (MPa)	7.6	7.0	8.0

Il s'agit d'un horizon de moyenne portance. Il s'agit de matériaux fermes au sens du tableau A.2.1 de la norme NF P94-261.

- **Des altérites sous forme le limon compact à très compact, gris marron noir** jusqu'en fin de sondage, de 5.0 à 7.0 m d'épaisseur.

Les caractéristiques pressiométriques¹ de cet horizon sont résumées dans le tableau suivant :

	Moy (MPa)	Min (MPa)	Max (MPa)
PI* (MPa)	3.99	1.66	4.78
Em (MPa)	55.9	12.7	117.1

Il s'agit d'un horizon de très bonne portance. Il s'agit de limons très raides au sens du tableau A.2.1 de la norme NF P94-261.

3.4.2 - Sondage carotté SC1

Ce sondage a permis de caractériser la succession lithologique suivante :

- En surface, une couche de blocs de 0.00 à 0.60 m/TN ;
- Du sable gris foncé à petits graviers de 0.60 à 3.50 m /TN ;
- De 3.50 à 8.00 m/TN, perte totale de matériel.

3.4.3 - Hydrogéologie

Sur la totalité des sondages, des venues d'eau ont été observées au cours des différents forages. Ces venues oscillent entre 1.90 m/TN et 3.65 m/TN. Au vu de la proximité du lagon, il est

² Moyenne harmonique pour les modules pressiométriques (Em)

probable que la nappe observée soit influencée par celui-ci. Un suivi piézométrique et des niveaux de marée, permettrait de vérifier cette connexion.

3.5 - SYNTHÈSE DES RECONNAISSANCES

Considérant la carte géologique de Mayotte, les résultats des sondages pressiométrique et carottés, et notre reconnaissance du terrain, nous pouvons définir le modèle géotechnique en page suivantes :

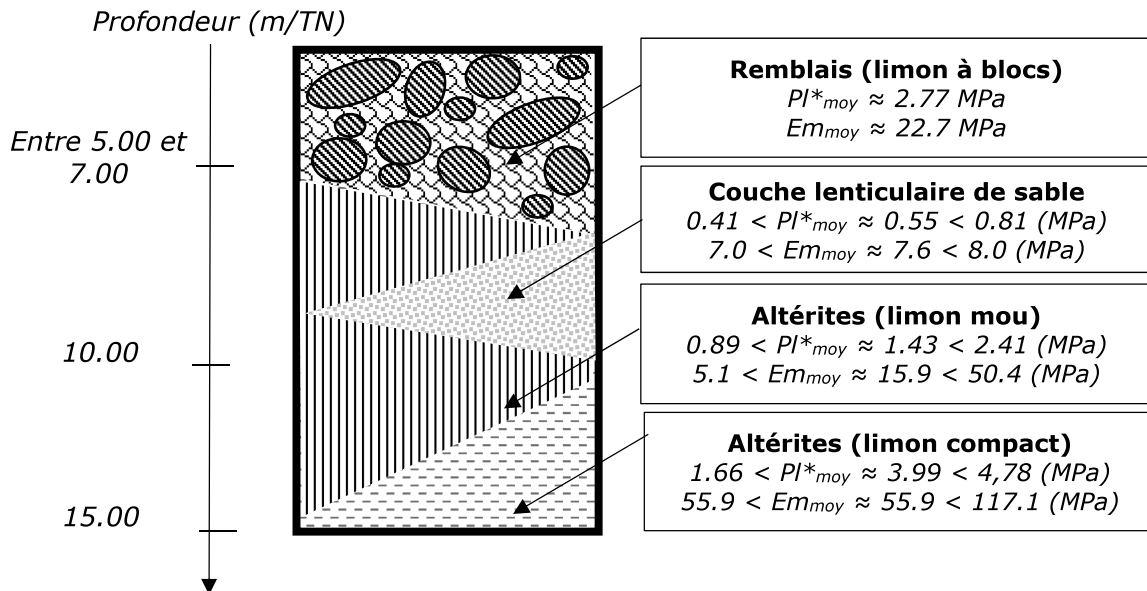


Figure 14 - Modèle géotechnique pour la zone d'aménagement du pôle multimodal

3.6 - TOPOBATYMÉTRIE

Les coordonnées utilisées dans le géoréférencement des cartes et plans de Mayotte sont rattachées au système RGM04. Les altitudes sont rattachées au system NGM.

Les nivellements terrestres de référence est le système d'altitude SHOM 1953 (NGM), et le zéro hydrographique est situé à 1.78 m au-dessous du zéro NGM.

L'île de Mayotte est soumise à un régime de marée semi-diurne à inégalité diurne (amplitude variant selon les cycles) dont le marnage varie entre **+2.52 m NGM** et **-1.7 m NGM**.

Référentiel	Plein Mer			Niveau Moyen	Basse Mer		
	Plus Haute Mer Astronomique	Vives Eaux	Mortes Eaux		Mortes Eaux	Vives Eaux	Plus Basse Mer Astronomique
M NGM	+2.52	+1.92	+1.02	+0.35	-0.33	-1.28	-1.7

Compte tenu du contexte morfo-hydrique de Mayotte, les effets de surélévation des eaux due à la houle et au vent sont négligeables, car l'île se trouve en milieu fermé et donc peu impactée par la propagation des ondes dues à ces deux facteurs. Il apparait que les effets de la marée sont plus importants que les effets induits par les facteurs météorologique.

4 - ANALYSE ET RECOMMANDATIONS POUR L'ENROCHEMENT

Ce premier ouvrage nécessite une étude particulière au vu des solutions qui pourraient exister. En effet nous présenterons une méthode (gains en mer par enrochement successif et cordon protecteur), mais il en existe d'autres que nous citerons à la fin de ce chapitre.

4.1 - TERRASSEMENTS DES FONDATIONS

4.1.1 - Stabilité des talus provisoires

L'angle de repos des pierres et des cailloux dépend de leur grosseur et de leur angularité comme le montre la figure suivante :

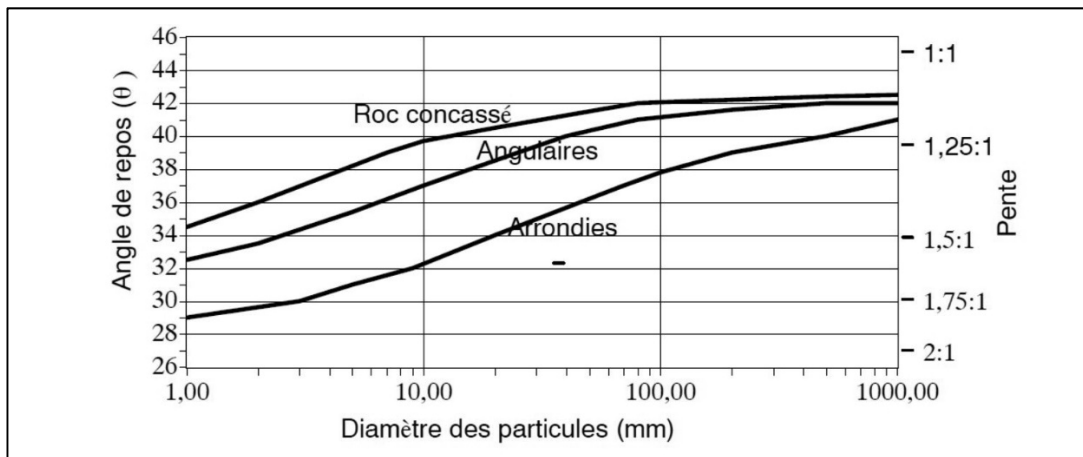


Figure 15: Angle de repos du matériel granulaire (d'après, Simons, 1961)

Pour exemple, on considérera que la stabilité des fouilles et des talus provisoires, en phase « travaux », dans les remblais sera acquise pour des pentes de 42°, pour des talus inférieurs à 3 mètres de hauteur, avec des blocs concassés, ou angulaires dont la taille est supérieure à un mètre de diamètre.

Dans le cas de talus de hauteur supérieure, chaque cas devra être étudié.

4.1.2 - Stabilité des talus définitifs

En phase définitive les pentes des talus en remblais seront réalisées avec un angle de l'ordre de 3H/2V.

Nous avons effectué une modélisation sommaire du talus définitif, en prenant les hypothèses suivantes :

Formations	γ_h (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ (°)	Epaisseur (m)
Remblais existant	20	0	45	6.5
Remblais futur	20	0	45	5.5
Enrochement	23	0	42	2
Sédiments	13	0	37	1.0
Altérites molles	16	30	40	8.0

Les calculs prennent en compte une surcharge liée au passage de véhicule sur la crête de la digue. La surcharge générée est estimée à 15 kPa.

Les résultats sont les suivant :

Situation	Type de combinaison	Méthode de calcul	Approche de calcul	Coefficient de surdimensionnement
				F_{min}
Durable et Transitoire	Stabilité mixte et générale	Bishop	Unitaire	1.03
Accidentelle			Approche 3	1.40

Ainsi le talus formé par l'enrochement en aval des remblais sera stable dans la configuration géométrique suivante :

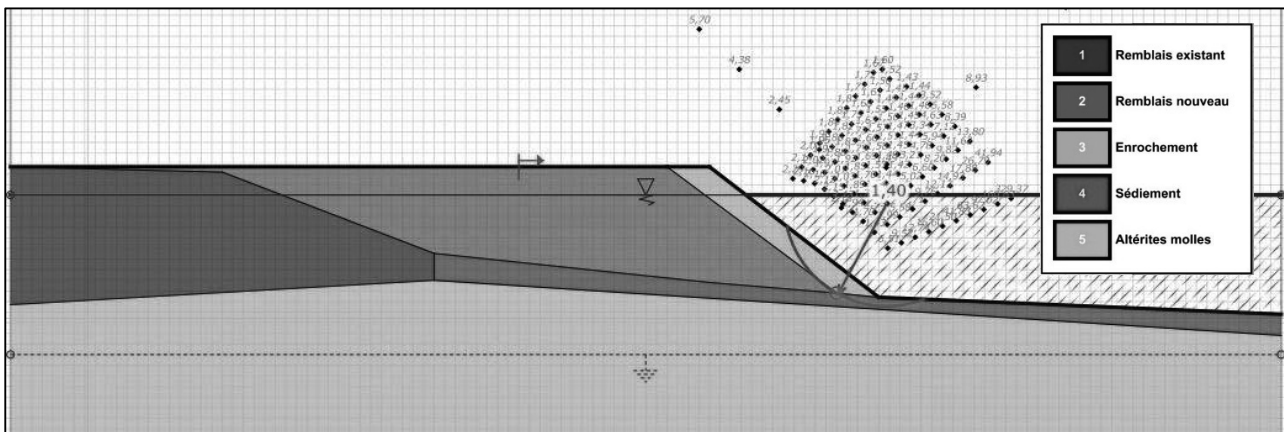


Figure 16 : Situation fondamentale sous Talren V

Les calculs réalisés dans le cadre de ce rapport pourront être affinés en phase G2PRO par l'utilisation de méthode aux éléments finis permettant de modéliser des flux et des échanges entre la nappe présente dans le remblai et le lagon.

4.2 - TASSEMENTS

La nature et la qualité des sols, sur les premiers mètres au droit des zones de remblais de l'ouvrage ne sont pas connues. En effet, l'implantation terrestre des sondages, n'a pas permis de reconnaître la lithologie du terrain au droit du projet de plateforme remblayée sur le lagon.

En effet, nous n'avons pas d'informations concernant la présence, l'épaisseur et les caractéristiques mécaniques d'éventuels sédiments au droit de cette zone.

Par ailleurs, il est également possible que les caractéristiques de sol mesurées au droit des sondages soient surévaluées par rapport aux caractéristiques de sols en bordure lagon. En effet, les horizons sous-jacents ont probablement été consolidés sous l'effet de chargement du remblai actuel.

Pour le calcul de tassement, nous prendrons les hypothèses suivantes :

- Purge totale des sédiments
- Masse volumique du remblai : 22 KN/m³
- Hauteur de remblais d'apport : 5 m
- Epaisseur de sol compressible : 15 m
- Largeur de remblai : 20m

Les tassements sont calculés selon la formules suivante :

$$w = \frac{\alpha \times \Delta\sigma \times h}{Em}$$

Avec :

- W : tassement prévisionnel
- α : coefficient rhéologique (ici : 0,67)
- $\Delta\sigma$: Variation de contrainte
- h : Hauteur de la couche compressible
- Em : Module moyen de la couche compressible

Il vient un tassement prévisionnel de l'ordre de $w=5$ cm

4.3 - PROCEDURE DE CONCEPTION

Pour la conception et le dimensionnement en phase PRO, tous les scénarios de ruptures potentiels devront être considérés (submersion, tassement, grand glissement, érosion, liquéfaction, renversement, effet renard, collision navire...) et communiqués au géotechnicien en charge de l'étude.

Il faudra considérer l'ouvrage en termes de zone d'exposition hydraulique, cela permettra de s'assurer que le dimensionnement prend en compte les modes de rupture correspond à chaque zone d'exposition, ici la zone d'exposition à la houle est de catégorie III selon le guide technique de conception d'ouvrage d'enrochement. La valeur des paramètres doit être confirmée par une étude des conditions hydrodynamiques.

Les matériaux à utiliser doivent être insensibles à l'eau et remplir les conditions fonctionnelles suivantes :

- Remplissage : matériaux du noyau (granulaire, incompressible), imperméable et immergé en permanence ;
- Filtration : constitue de matériaux en granulaire ou de géotextile ;
- Protection : couche de carapace, gros bloc contre les mouvements de houles. Ainsi ces matériaux doivent être subissement volumineux et avoir une densité élevée ($> 2,3$ T/m³).

Le principe de mise en place de l'ouvrage est présenté sur le profil type suivant :

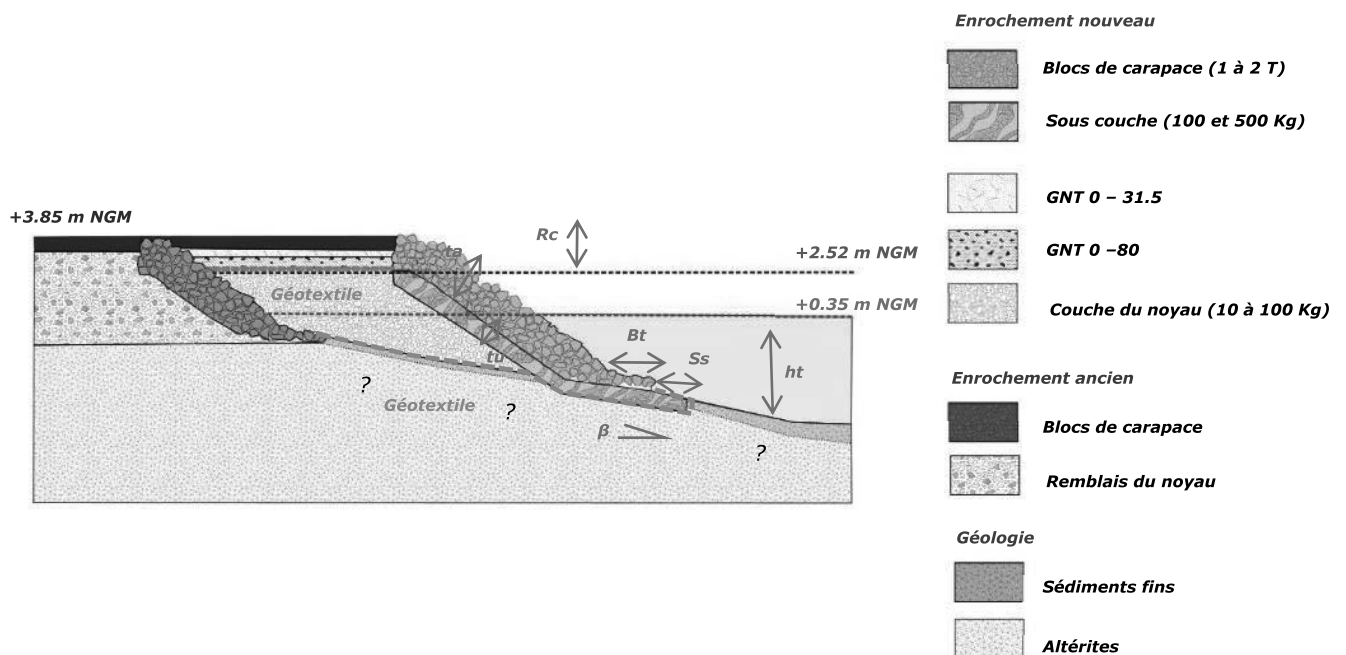


Figure 17 : Coupe modèle de la mise en place du cordon d'enrochement et du remblai sur mer

Nous pouvons proposer un premier prédimensionnement de l'enrochement et du remblaiement pour ce projet. Ainsi les paramètres visibles sur la Figure 17 peuvent être les suivants :

- Revanche de crête (Rc) : nous nous limiterons ici à la valeur de la plus haute mer astronomique soit (2,52 m NGM), ainsi nous prenons ici, une valeur de Rc=1,30 m (soit 3,80 m NGM) ;
- Angle du talus (β), qui sera ici égale à 33° ;
- Epaisseurs de la carapace (ta) et de la sous couche (tu), ces épaisseurs peuvent être approximées en fixant la tailles des blocs à mettre en place. A ce stade du projet, nous proposons des blocs métriques pour la carapace (sur deux rangées) et des blocs décimétriques pour la sous-couche. Ainsi ta>2,00 m et tu>1,00 m ;
- Profondeur de butée côté mer (ht), celle-ci doit être inférieure à la côte des basses eaux, nous prenons donc ici ht=1,00 m (soit -1,35 m NGM) ;
- Largeur de butée doit permettre le placement d'au moins trois blocs, ainsi nous considérons ici Bt = 3,00 m ;
- Largeur des épaulements, généralement Ss = 0,5tu, dans notre cas sera alors Ss > 0,50 m.

Il faudra également prévoir la mise en place d'un géotextile en base de l'enrochement et du remblai pour éviter toute infiltration d'eau par la base de l'ouvrage. Mais également à l'interface entre le remblai du noyau et les couches de formes superficielles (GNT 0-80 ET 0-31.5).

4.4 - AUTRES SOLUTIONS

En alternatives au blocs rocheux à mettre en œuvre au sein de la carapace, on peut envisager la mise en place de :

- Blocs artificiels
- Palplanches associées ou pas à un parement béton

4.4.1 - Blocs artificiels

Trois solutions peuvent être envisagées :

- Elément bétons préfabriqué (Tetrapodes, blocs à imbrication...) ;
- Gabions ;
- Enrochements liés.

Dans ces cas, les bétons et les aciers utilisés pour la carapace doivent être résistant à la corrosion en zone de marnage. Le dosage du béton doit être synchronisé avec les opérations de coulage. Ces dosages devront prendre en considérations l'agressivité du milieu (milieu marin avec marnage).

Les gabions et les enrochements liés peuvent permettre également d'augmenter la pente de talus car leurs cohésions sont plus élevées.

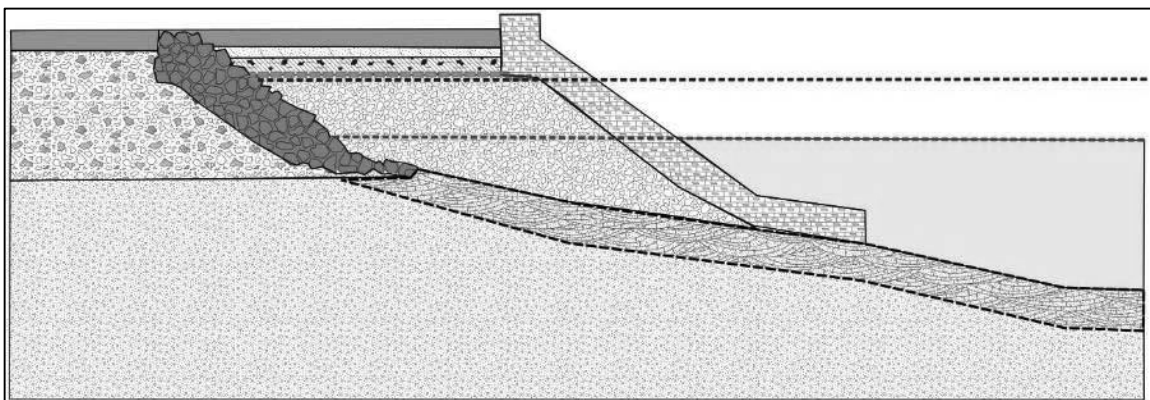


Figure 18 : gabions, enrochement liés ou coulage de blocs artificiels

4.4.2 - Solution rideau

Il s'agit de solutions mettant en œuvre des palplanches ou des pieux sécants, ancrés dans le bon sol.

Cela nécessitera la réalisation d'études particulières visant à définir le type de palplanches ou pieux sécants, la longueur de leur fiche, considérant la géologie et la géotechnique exposées plus avant et les conditions d'agressivité du milieu. Un enrochement en pied pourrait s'avérer nécessaire afin de protéger celui-ci contre les affouillements.

Cette solution, onéreuse n'est peut-être pas adaptée à l'économie d'un tel projet.

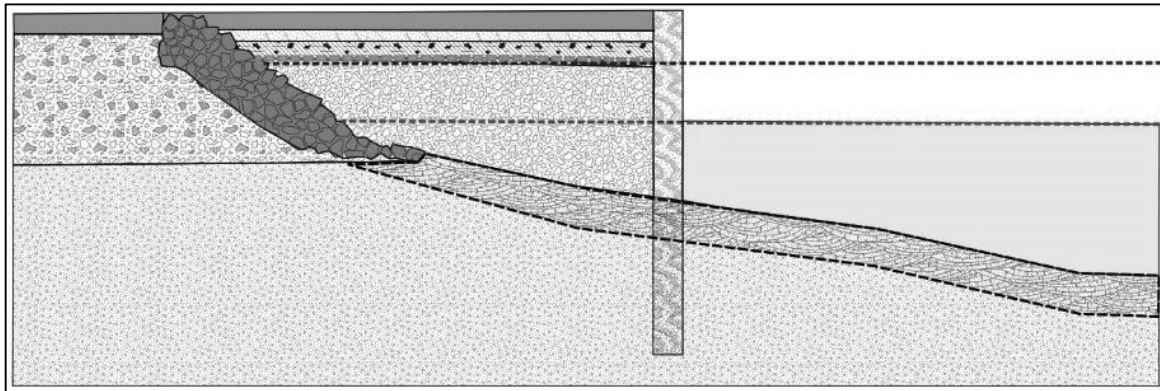


Figure 19 : Schéma de principe d'une solution de rideau

4.5 - SYNTHESE

Le tableau suivant récapitule les différents points et leurs importances pour chaque type de solutions envisagée :

Solutions	Mise en œuvre	Aspect environnementale	Prix	Entretien
Enrochement naturel	Facile	Peu d'impacts	+	Facile
Enrochement lié	Facile	Impacts moyens	++	Facile
Gabions	Facile	Peu d'impacts	++	Moyen
Blocs artificiels	Moyen	Impacts moyens	+++	Facile
Solution de rideau	Difficile	Impacts moyens	+++++	Moyen

5 - ANALYSE ET RECOMMANDATIONS POUR LA CALE DE MISE A L'EAU

5.1 - TERRASSEMENTS DES FONDATIONS

5.1.1 - Technique d'extraction préconisée

Des déblais rocheux sont à attendre sur le site et l'utilisation d'un BRH sera nécessaire pour déstructurer le béton de la cale actuel, si nécessaire. Une pelle mécanique puissante sera nécessaire pour la réalisation des terrassements, dans le cas de la réutilisation des blocs métrique en front du nouvel ouvrage.

5.2 - FONDATIONS

5.2.1 - Mode de fondation

La cale sera considérée comme un radier. A ce titre, il faudra prévoir le dimensionnement par un bureau d'étude béton.

La cale en projet est plus grande que la cale actuelle de l'amphidrome.

Les éléments nécessaires au dimensionnement sont les suivants.

- Les éventuels sédiments présents en fond de lagon seront purgés au droit du projet ;
- Une bêche sera mise en œuvre à l'avant de la cale afin d'en stabiliser le pied ;
- Les remblais seront réalisés selon le même profil type présenté dans les articles précédents ;
 - o Corps de remblai en matériaux 10/100 Kg
 - o Carapace de protection extérieure en blocs liés de diamètre supérieur à 800 mm.
- Une couche de réglage en matériaux granulaires 0/80 mm pourra être mise en œuvre en tête de remblai
- Le fond de forme sera réalisé selon une méthode de cloutage afin de renforcer les sol meubles en tête ;
- Un géotextile sera mis en place à l'interface cloutage/remblais. Celui-ci sera choisi de manière à résister à des contraintes de poinçonnement élevées

5.2.2 - Principe de calcul

Le dimensionnement se fait selon la procédure de détermination de la contrainte q_{net} à partir de la pression limite pressiométrique (Annexe D de la norme NF P 94-261).

Une fois cette pression limite obtenue, on en déduit la résistance nette puis la résistance de calcul du sol de fondation.

Il convient alors de s'assurer que, pour tous cas de charge et de combinaisons de charges :

$$\begin{aligned} & V_d - R_0 \leq R_{v;d} \\ \text{Avec :} & R_{v;d} = \frac{R_{v;k}}{\gamma_{R,v}} \\ \text{Et} & q_{net} = K_p p_{le} * i \delta i \beta \\ & R_{v;k} = \frac{A' * q_{net}}{\gamma_{R;d,v}} \end{aligned}$$

Considérant les hypothèses

suivantes :

- ⇒ Pas d'excentrement de charge ;
- ⇒ Pas de charge inclinée ($i\delta=1$) et fondations suffisamment éloignées d'une crête de talus ($i\beta=1$).

L'ensemble des valeurs des coefficients partiels est résumé ci-dessous :

Coefficients partiels de modèle			
Sur q_{net}	$\gamma_{Rd,v}$	1,2	
Facteurs partiels sur les résistances			
ELU Durable et transitoire	$\gamma_{R,v}$	1,4	1,68
	$\gamma_{R,d}$	1,2	
ELU Accidentel	$\gamma_{R,v}$	1,2	1,44
	$\gamma_{R,d}$	1,2	
ELS Caractéristique	$\gamma_{R,v}$	2,3	2,76
	$\gamma_{R,d}$	1,2	

5.2.3 - Capacité portante des sols

Les contraintes admissibles sous fondations à prendre en compte, sont présentées le tableau suivant :

Type fondation	Largeur fondation (m)	Contraintes admissibles ELS (kPa)	Contraintes admissibles ELU (kPa)
Radier	40 x 50	500	900

Nous avons limité ces valeurs pour tenir compte du remaniement des fonds de fouille lors de leur terrassement.

Les vérifications de portance seront précisées lors d'une mission G2-PRO une fois les géométries et les descentes de charges connues.

5.2.4 - Tassements

Pour exemple, sous une charge maximale à l'ELS de 135 kPa considérant le poids des remblais, de la cale et d'un véhicule stationné, les calculs aboutissent à des tassements absolus de l'ordre de 6,5 centimètres. Ces tassements sont importants pour ce type d'ouvrage, d'autant plus qu'une partie de celui-ci (la partie cale actuelle) reposera sur des matériaux déjà consolidés induisant des tassements différentiels.

Ce calcul pourra être affiner avec une meilleure connaissance du sous-sol au droit du projet. Une solution de phasage des travaux permettrait de faire tasser les zones « nouvelles » sous remblai avant réalisation de la cale proprement dite (radier)

6 - RECOMMANDATIONS GENERALES ET ALEAS RESIDUELS

6.1 - RECOMMANDATION

- ⇒ Le remblai sera édifié, après purge des sols sur l'épaisseur des sédiments (à préciser dans le cadre d'une mission géotechnique G2PRO) ;
- ⇒ Un géotextile anti-contaminant pourra être disposé à l'interface sol/cloutage/remblai.
- ⇒ Les sols fins purgés seront évacués en dehors du chantier ;
- ⇒ On s'assurera de la traficabilité du site en phase travaux, qui devront être réalisés en période sèche. ;
- ⇒ Compte tenu de l'amplitude des tassements, nous recommandons de prévoir un phasage adapté afin de limiter les tassements différentiels.
- ⇒ L'entreprise attributaire des travaux devra fournir des fiches techniques récentes permettant de garantir la bonne qualité des matériaux utilisés et leur pérennité vis-à-vis des éléments extérieurs (marnage, agressivité du milieu, contraintes mécaniques routière, contrainte mécanique hydrodynamique...) ;
- ⇒ L'agencement régulier des blocs de la carapace sera soigné, car cela participe à leur stabilité ;
- ⇒ Le béton utilisé pour la réalisation de la cale devra être adapté aux conditions de mise en œuvre en milieu aquatique ;
- ⇒ L'étude de la stabilité du remblai, pourra être affinée par l'utilisation de méthode de calcul aux éléments ou aux différences fini(e)s, qui permettront de modéliser les flux entre le remblai et le lagon lors du marnage ou lors de fortes houles ;
- ⇒ Les travaux devront être suivi par un bureau d'étude de géotechnique dans le cadre d'une mission de supervision géotechnique ;

6.2 - ALÉAS RESIDUELS GEOTECHNIQUES

Les éléments exposés dans le présent rapport ont été établis à partir des données géotechniques des documents cités. Ces résultats d'investigation restent ponctuels.

Ainsi, des éléments nouveaux détectés au cours du chantier peuvent rendre caduques certaines conclusions du présent rapport et remettre en cause les dispositifs écrits. Il pourrait s'agir, entre autres :

- De la profondeur ou d'une position des horizons géologiques qui ne serait pas concordante avec le modèle géologique interprété ;
- De caractéristiques géomécaniques plus faibles que celles prévues pour les horizons d'ancrage.
- Les propriétés mécaniques dans les remblais ont simplement été approchées à partir d'une seule mesure ainsi des sondages complémentaires devront être réalisé ;
- La présence d'une couche de sédiment est probable, mais n'a pas été observée. Nous conseillons de prévoir des sondages adaptés pour définir l'épaisseur de cet horizon. Cela permettra au concepteur de mieux définir les solutions de d'évacuation ou traitement de ces matériaux de mauvaise portance au droit des ouvrages.

Des sondages implantés au droit de l'ouvrage permettraient d'affiner les estimations de tassement afin de proposer un phasage de chargement qui permettrait de limiter les effets de tassements au moment de réaliser les infrastructures superficielles.