



15WOU014
Version 0
Octobre 2015



Réalisation de la digue des Garennnes - Projet P.L.A.G.E **Rapport d'Avant-Projet**





Sommaire

| | | |
|---|---|-----------|
| 1 | Objet de la mission | 7 |
| 2 | Documents d'étude | 8 |
| 3 | Description générale | 9 |
| | 3.1 Localisation | 9 |
| | 3.2 Constitution actuelle de la digue des Garennes | 10 |
| | 3.3 Ouvrages adjacents | 12 |
| | 3.3.1 Digue promenade de Hauteville-sur-mer | 12 |
| | 3.3.2 Digue de Montmartin-sur-mer | 15 |
| | 3.4 Les accès à la mer existants | 16 |
| | 3.5 Classement réglementaire de la digue | 17 |
| | 3.6 Désordres observés et actions à entreprendre | 17 |
| | 3.6.1 Conclusions de la VTA 2013/2014 | 17 |
| | 3.6.2 Decision du Maître d'Ouvrage | 18 |
| 4 | Analyse des données d'entrée et validation des hypothèses de base du dimensionnement .. | 20 |
| | 4.1 Topo-bathymétrie | 20 |
| | 4.1.1 Analyse des données d'entrée | 20 |
| | 4.1.2 Potentiel d'affouillement | 21 |
| | 4.1.3 Définition d'une coupe de Calcul | 21 |





REALISATION DE LA DIGUE DES GARENNES

Projet P.L.A.G.E

Rapport d'Avant-Projet

| | |
|---|-----------|
| 4.2 Marée | 22 |
| 4.2.1 Analyse des données d'entrée | 22 |
| 4.3 Niveaux marins extrêmes | 23 |
| 4.4 Houle | 23 |
| 4.4.1 Données à disposition et finalité | 23 |
| 4.4.2 Méthode de calcul | 24 |
| 4.4.3 Résultats des calculs de propagation | 26 |
| 4.5 sismicité | 26 |
| 4.6 Données géotechniques | 28 |
| 4.6.1 Contexte géologique | 28 |
| 4.6.2 Données géotechniques | 29 |
| 4.6.3 Niveau de protection projet | 29 |
| 5 Dimensionnement de la solution technique retenue | 30 |
| 5.1 Caractéristiques dimensionnelles principales de la digue | 30 |
| 5.1.1 Cote de crête de la digue | 30 |
| 5.2 Dimensionnement de la carapace | 35 |
| 5.2.1 Rôle de la carapace | 35 |
| 5.2.2 Méthode de calcul | 35 |
| 5.2.3 Poids des enrochements nécessaires | 36 |
| 5.2.4 Epaisseur de la protection | 37 |
| 5.3 Dimensionnement des sous-couches | 38 |
| 5.3.1 Sous-couche granulaire | 38 |
| 5.3.2 Géotextile | 39 |
| 5.3.3 Le noyau | 40 |
| 5.4 Butée de pied | 40 |





| | |
|---|-----------|
| 5.5 Hypothèses pour la Vérification de la stabilité générale | 42 |
| 5.5.1 Hypothèses géotechniques..... | 42 |
| 5.5.2 Hypothèses hydrauliques..... | 42 |
| 5.5.3 Surcharges..... | 43 |
| 5.6 Implantation de la digue, tracé en plan de l'ouvrage | 43 |
| 5.6.1 Partie courante | 43 |
| 5.6.2 Raccordement aux ouvrages existants..... | 44 |
| 5.6.3 Aménagement de la crête..... | 46 |
| 5.6.4 Parapet..... | 48 |
| 5.7 Accès à la mer | 48 |
| 6 Etude des modes d'exécution des travaux... 49 | |
| 6.1 Contraintes..... 49 | |
| 6.1.1 Contraintes liées à la marée..... | 49 |
| 6.1.2 contraintes liées à la nature des sols pour la circulation des engins de chantier | 51 |
| 6.1.3 Contraintes réglementaires..... | 54 |
| 6.1.4 Zones de stockage..... | 54 |
| 7 Planning et phasage des travaux 54 | |
| 8 Estimation du coût prévisionnel des travaux 56 | |





Tables des illustrations

| | | |
|-------------|---|----|
| Figure 1 : | Localisation de la zone d'étude | 9 |
| Figure 2 : | Vue en plan de la digue, sa barrière d'enrochements et ses épis | 10 |
| Figure 3 : | Coupe type de l'ouvrage de protection en pied de dune | 11 |
| Figure 4 : | Photo panoramique de la digue et des épis..... | 11 |
| Figure 5 : | Photo des dégâts sur les voiles en béton armé (Octobre 1949) | 13 |
| Figure 6 : | Photos du confortement par la mise en place d'un prisme en enrochement | 13 |
| Figure 7 : | Photo de la remise en état du promenoir et du mur de soutènement (1988)..... | 14 |
| Figure 8 : | Coupe en travers type de la digue actuelle | 15 |
| Figure 9 : | Profil en travers type de la digue de Montmartin-sur-Mer | 16 |
| Figure 10 : | Photo et repérage des deux accès à la mer à proximité de la zone d'étude | 17 |
| Figure 11 : | Photo et schématisation des travaux de protection provisoires..... | 19 |
| Figure 12 : | Coupe de calcul pour les calculs de propagation de la houle [LIDAR, 2012] | 21 |
| Figure 13 : | Représentation schématique de la méthode de propagation de la houle du large jusqu'en pied d'ouvrage..... | 24 |
| Figure 14 : | Zones de sismicité en France..... | 26 |
| Figure 15 : | Carte géologique..... | 29 |
| Figure 16 : | Profil en long des ouvrages sur le secteur d'endiguement [extraction LIDAR, 2012] 31 | |
| Figure 17 : | Coupe type pour le calcul du franchissement | 34 |
| Figure 18 : | Coupe type de butée de pied en fond sableux et potentiel d'affouillement modéré.. | 41 |
| Figure 19 : | Coupe de l'extrémité Nord de la digue de Hautville-sur-mer (source : étude de danger, SAFEGE, 2013) | 45 |
| Figure 20 : | Graphique d'accessibilité horaire à l'estran aux deux points les plus défavorables .. | 49 |
| Figure 21 : | Tombereau articulé : dimensions classiques | 53 |
| Figure 22 : | Exemples de pelles équipées de grappin (gauche) ou pince (droite)..... | 53 |

Table des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Evolution de l'estran en pied des enrochements de protection [fiches de suivi trimestriel 2013/2014] | 20 |
|--|----|

REALISATION DE LA DIGUE DES GARENNES

Projet P.L.A.G.E

Rapport d'Avant-Projet



| | |
|---|----|
| Tableau 2 : Niveaux de marée à LA POINTE D'AGON [données SHOM 2012] | 22 |
| Tableau 3 : Composantes du niveau marin extrême calculé comme événement de référence pour la zone d'étude..... | 23 |
| Tableau 4 : Résultats des calculs de propagation de la houle du large vers la côté pour les 5 couples de période de retour centennale [tableau 4-7 du rapport de phase 2 du PPRL, DHI, novembre 2014 et résultats modélisation] | 26 |
| Tableau 5 : μ Valeur des accélérations horizontales à prendre en compte pour la justification d'une digue en cas de séisme [« Risque sismique et sécurité des ouvrages hydrauliques », novembre 2010, MEDDTL] | 27 |
| Tableau 6 : Valeur des accélérations horizontales à prendre en compte pour la justification d'une digue34 | |
| Tableau 7 : Résultats des calculs de franchissement suivant la hauteur du parapet | 35 |
| Tableau 8 : Poids des enrochements pour une houle centennale | 37 |
| Tableau 9 : Épaisseur de la carapace | 38 |
| Tableau 10 : Comparaison des scénarios de tracé en plan de l'ouvrage | 44 |
| Tableau 11 : Modalités d'intervention | 51 |
| Tableau 12 : Matériel envisagé par type de tâche | 52 |
| Tableau 13 : Choix d'une pelle hydraulique suivant la blocométrie | 52 |
| Tableau 14 : Principales caractéristiques des engins envisagés..... | 52 |



1 OBJET DE LA MISSION

La mission qui nous a été confiée par l'ASA d'HAUTEVILLE-SUR-MER et de MONTMARTIN-SUR-MER est une étude d'Avant-Projet d'étude préliminaire pour le projet de stabilisation du trait de côte par construction d'une digue de protection en enrochements devant la dune des Garennes.

Cette note ainsi que le cahier de plan joint forment le rapport de fin de mission Avant-Projet, qui a notamment pour objectif :

- de dimensionner les caractéristiques des enrochements à mettre en place et nécessaires pour assurer une bonne tenue de la digue des Garennes (obtenues par le calcul en considérant les sollicitations du site),
- de les comparer avec les caractéristiques des digues adjacentes,
- d'établir l'estimation du coût prévisionnel des travaux.

L'ensemble de ces étapes a été réalisé en gardant à l'esprit de proposer une solution d'ouvrages qui concilie pérennité et optimisation du coût travaux/entretien.





2 DOCUMENTS D'ETUDE

Les documents d'études, qui ont servi de base à la réalisation de l'étude préliminaire, sont les suivants :

- Rapport de Phase 1 du PPRL sur les communes de MONTMARTIN-SUR-MER, HAUTEVILLE-SUR-MER ET ANNOVILLE, établi en 2014 par le groupement de bureaux d'études GEOS, SEPIA et DHI,
- Rapport de Phase 2 (Caractérisation des aléas) du PPRL sur les communes de MONTMARTIN-SUR-MER, HAUTEVILLE-SUR-MER ET ANNOVILLE, établi en 2014 par le groupement de bureaux d'études GEOS, SEPIA et DHI,
- Fiches de suivi topographiques trimestrielles réalisés par le Maître d'Ouvrage (2013/2014),
- Rapport de Visite Technique Approfondie réalisée en 2012 par SAFEGE,
- Rapport d'étude de faisabilité de la digue des Garennes, EP_13WOU048_Digue des Garennes_V1, établie par SAFEGE en Novembre 2013,
- Dossier de plans et coupes réalisés par SAFEGE dans le cadre des études de mise en conformité liées au décret du 11 décembre 2007 de la digue,
- Documents du CETMEF pour la définition des niveaux d'eaux extrêmes, avril 2013,
- Document du CETMET, Analyse des surcotes extrêmes le long des côtes métropolitaines, avril 2013,
- Données de bouée CANDHIS, pour la bouée des Minquiers Nord,
- Les références altimétriques maritimes du SHOM pour la zone Nord Gascogne (Edition 2008),
- Guide de l'Enrochement, CIRIA
- Recommandations pour le calcul aux états limites des Ouvrages Aquatiques ROSA 2000.





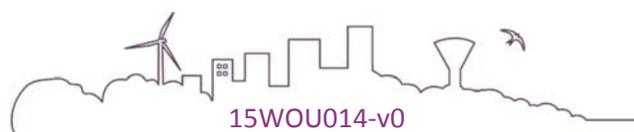
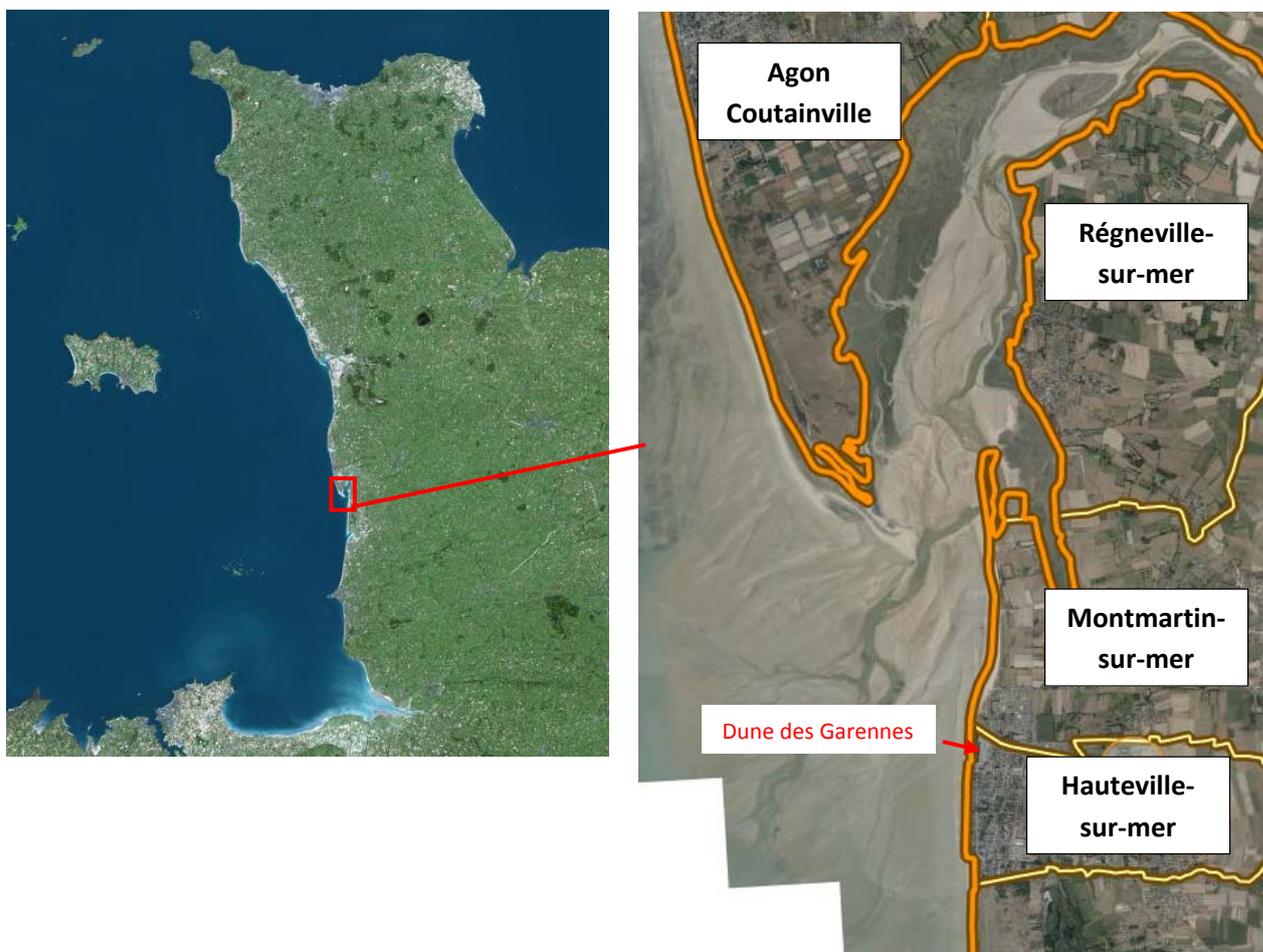
3 DESCRIPTION GENERALE

3.1 LOCALISATION

La dune des Garennes est localisée sur la commune de communes de HAUTEVILLE-SUR-MER, commune située sur la façade Ouest du département de la Manche.

L'extrémité nord de la dune des Garennes est située à l'interface entre les communes de HAUTEVILLE-SUR-MER et MONTMARTIN-SUR-MER. Le site d'étude est localisé immédiatement au Sud de l'embouchure du havre de Régnéville (Pointe d'Agon) et à une quinzaine de kilomètres au Nord de la Pointe du Roc.

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

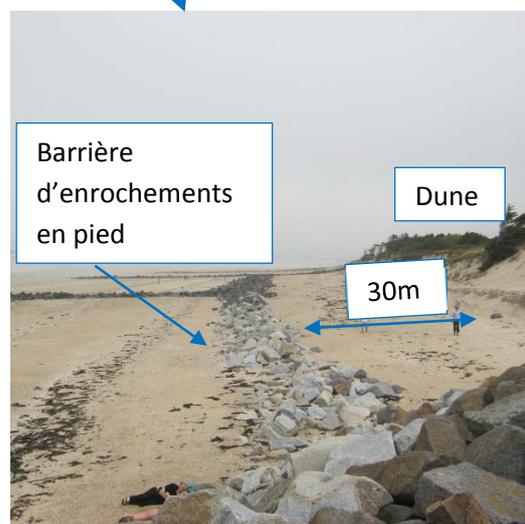
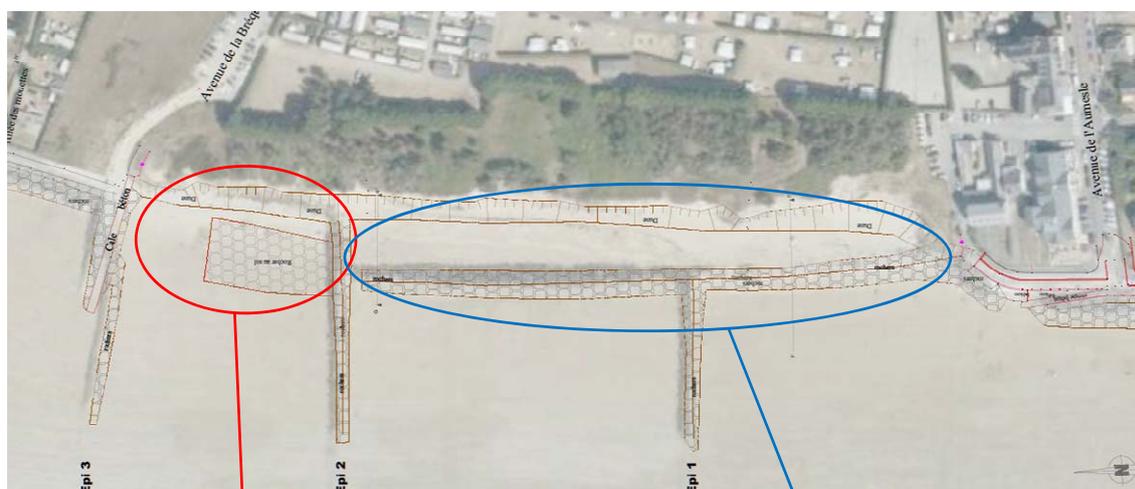




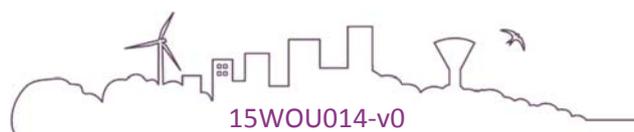
3.2 CONSTITUTION ACTUELLE DE LA DIGUE DES GARENNES

La digue des Garennes, d'une longueur d'environ 370 ml, est constituée de la dune naturelle et d'enrochements en pied de dune. Ces enrochements sont ancrés parallèlement à l'axe de la dune. Sur la plupart du linéaire, ils sont situés à une trentaine de mètres environ en avant de la crête de la dune actuelle. Sur la partie la plus au nord de la digue des Garennes, ces enrochements ont récemment fait l'objet de travaux consistant à les déplacer sur la face exposée de la dune dans le but de constituer une protection provisoire contre l'érosion.

Figure 2 : Vue en plan de la digue, sa barrière d'enrochements et ses épis



Suivant le plan issu de l'étude de danger SAFEGE, 2013, les moellons qui forment la fondation de l'ouvrage ont une masse de 100 à 500 kg et débordent de 1,00 m de part et d'autre du talus de la digue de protection permettant de protéger contre les phénomènes d'affouillement. La digue de protection en elle-même est constituée d'enrochements de masses variables entre 500 et 2 000 kg.

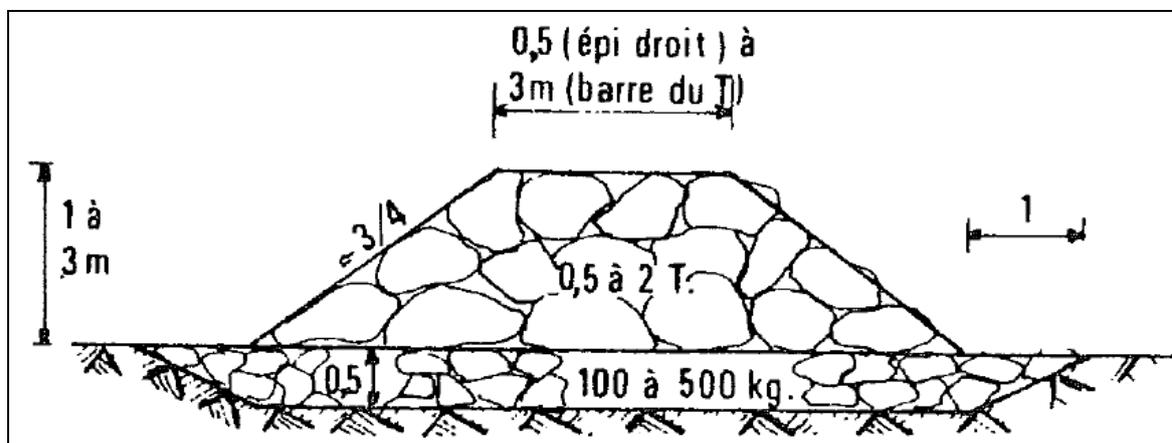


REALISATION DE LA DIGUE DES GARENNES

Projet P.L.A.G.E
Rapport d'Avant-Projet



Figure 3 : Coupe type de l'ouvrage de protection en pied de dune



Au droit des enrochements longitudinaux, trois épis en enrochements sont construits. Leur hauteur peut atteindre 1 m au-dessus du TN. Ils visent à constituer une barrière de défense contre le transit sédimentaire (parallèle au trait de côte) susceptible de dégraisser le niveau de la plage et d'éroder la digue des Garennes.



Figure 4 : Photo panoramique de la digue et des épis

Caractéristiques de l'ouvrage actuel

| | |
|----------------------------------|--|
| Type de digue | Dune sable et protection en enrochements avec épis en enrochements |
| Hauteur max au-dessus du TN | 7,50 m |
| Altitude moyenne de la crête | 13,50 mNGF |
| Longueur en crête | 370 m |
| Largeur caractéristique en crête | Dune naturelle |
| Largeur caractéristique en pied | Dune naturelle |
| Fruit côté mer | Dune naturelle |
| Fruit côté val | Raccord au terrain naturel à 5-10 % |





3.3 OUVRAGES ADJACENTS

La digue des Garennes fait partie du système d'endiguement des communes de HAUTEVILLE-SUR-MER et de MONTMARTIN-SUR-MER. Les ouvrages immédiatement adjacents à la digue des Garennes sont :

- Au sud, la digue promenade de Hauteville-sur-mer, située la plus au sud,
- Au nord, la digue de Montmartin-sur-Mer qui présente une grande similarité dans leur composition.

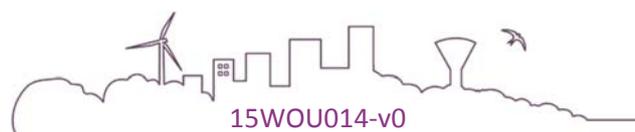
Plus au nord encore se situe la digue de La Porte à Flot qui constitue le dernier ouvrage du système d'endiguement des communes de HAUTEVILLE-SUR-MER et de MONTMARTIN-SUR-MER.

Les autres ouvrages concernés par l'étude constituent essentiellement des ouvrages de protection de moindre importance, tels que les épis, enrochements, cale, et un organe hydraulique contrôlant l'évacuation des eaux et représentant un point d'entrée potentiel de la mer, c'est la porte à flot de Montmartin-sur-Mer.



3.3.1 DIGUE PROMENADE DE HAUTEVILLE-SUR-MER

La digue de Hauteville-sur-Mer, d'une longueur de 820 m a été reconstruite en 1949, pour avoir été considérée comme une dette de guerre due aux nombreuses dégradations liées aux bombes allemandes. Cet ouvrage est constitué de voiles en béton armé fondés sur des palplanches également en béton armé. Depuis 1949, le niveau du sable n'a cessé de baisser atteignant plusieurs mètres en laissant parfois les fondations à jour. La digue étant très sollicitée lors des tempêtes, elle a subi de nombreuses dégradations.



REALISATION DE LA DIGUE DES GARENNES

Projet P.L.A.G.E
Rapport d'Avant-Projet

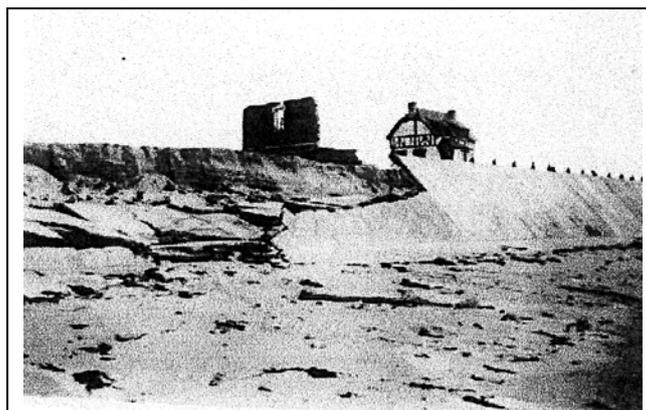


Figure 5 : Photo des dégâts sur les voiles en béton armé (Octobre 1949)

En 1959, les premiers travaux de confortement dans le cadre de la garantie décennale de l'ouvrage sont réalisés. Ces travaux consistent à renforcer le voile de la digue par une dalle en béton armé de 0,10 m d'épaisseur et d'apporter une étanchéité supplémentaire en injectant, sur la face arrière des panneaux, un coulis de ciment. Ces travaux ont été poursuivis en 1964 dans un programme d'achèvement des travaux confortatifs.

En 1975, un renforcement du pied de la digue à l'aide d'un profil en enrochements a été réalisé afin d'éviter les fuites du sable du corps de la digue à travers les palplanches lors de l'abaissement du niveau de la plage. Ce prisme, ancré sur une profondeur de 1,50 m sous le niveau de la plage doit permettre de diminuer le phénomène d'entraînement du sable au large, en réduisant l'énergie de déferlement.

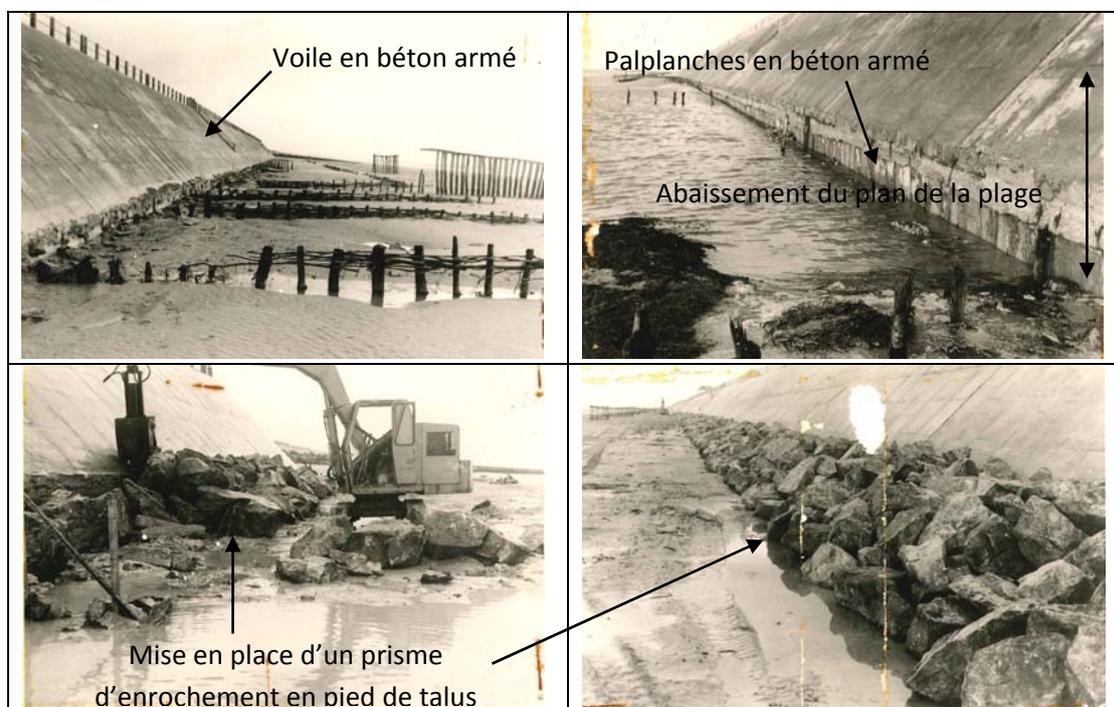
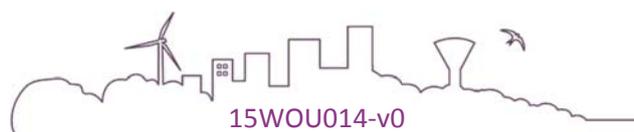


Figure 6 : Photos du confortement par la mise en place d'un prisme en enrochement



REALISATION DE LA DIGUE DES GARENNES

Projet P.L.A.G.E
Rapport d'Avant-Projet



En 1978, à la suite de la rupture d'un voile, une protection de deux panneaux a été réalisée à l'aide d'un profil en enrochement disposé sur toute la hauteur de l'ouvrage.

En 1979, la ruine complète d'un autre panneau a entraîné la reconstruction en enrochement de 15 m de digue.

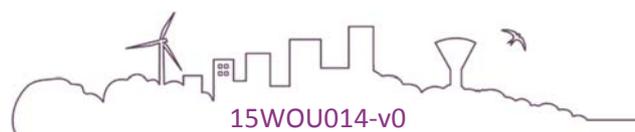
Le 8 Octobre 1987, la houle a provoqué une forte baisse du niveau de la plage avec entrainement du sable situé en arrière de la digue au travers des palplanches de la fondation. La paroi en béton ainsi vidée de son support s'est effondrée sous le poids des vagues sur une longueur de 15 m dans la partie sud de l'ouvrage.

Des travaux de confortement ont été immédiatement entrepris, afin de sauvegarder les propriétés menacées par la mise en œuvre d'enrochements et de matériaux de carrière disposés sur toile filtre. L'étanchéité du promenoir n'ayant pu être assurée, faute de temps, et les conditions de mer étant identiques lors des marées suivantes, un nouveau panneau de digue s'est rompu le 9 Octobre, menaçant plus directement les riverains et nécessitant des travaux de renforcement complémentaires. Dans la même année, des travaux de remise en état du promenoir et du mur de soutènement de la voie continue située en surplomb de la digue ont été menés.



Figure 7 : Photo de la remise en état du promenoir et du mur de soutènement (1988)

La crête de la digue est composée d'un premier niveau pour la circulation piétonne, et d'un deuxième niveau carrossable. La séparation des deux niveaux est assurée par un muret de soutènement.



REALISATION DE LA DIGUE DES GARENNES

Projet P.L.A.G.E
Rapport d'Avant-Projet

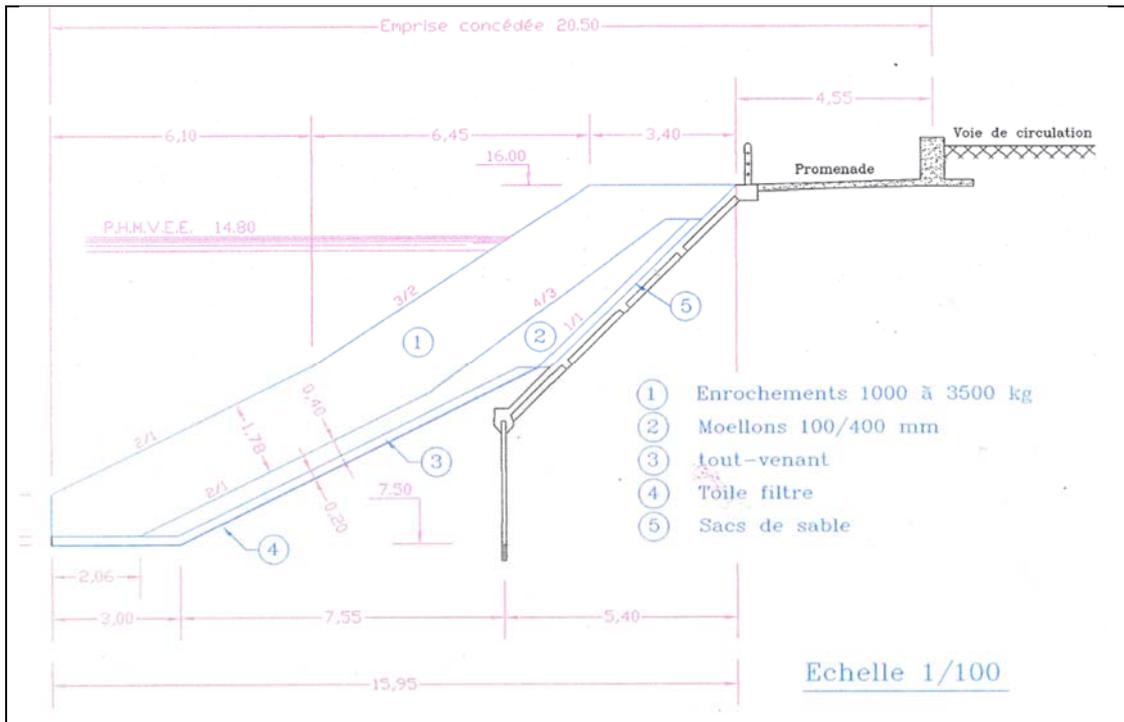


Figure 8 : Coupe en travers type de la digue actuelle

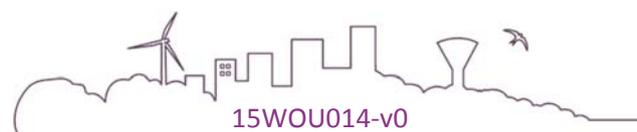
La coupe en travers ci-dessus fait apparaître la constitution de la digue correspondant aux différentes phases de confortement explicitées précédemment.

Caractéristiques de l'ouvrage actuel

| | |
|----------------------------------|---|
| Type de digue | Enrochement sur structure béton avec cales en béton et épis en enrochements |
| Hauteur max au-dessus du TN | 2,20 m |
| Altitude moyenne de la crête | 10,10 mNGF |
| Longueur en crête | 845 m |
| Largeur caractéristique en crête | 9,55 m |
| Largeur caractéristique en pied | 13,45 m |
| Fruit côté mer | 2/1 puis 3/2 à la cote 5,31 mIGN ₆₉ |
| Fruit côté val | Vertical |

3.3.2 DIGUE DE MONTMARTIN-SUR-MER

La digue de Montmartin-sur-Mer d'une longueur de 380 m, a été construite en 4 tranches en 1997. Cette dernière apporte une protection frontale par un enrochement s'appuyant sur un profil de dune reconstitué, composé d'une couche de bidim lourd puis du « tout venant », des moellons et enfin des roches de protection. L'ouvrage a été initialement ensablé à une profondeur de 1,50 m au-dessus du niveau de la plage et s'élève à 2 m au-dessus du niveau de la plage. La digue de Montmartin-sur-Mer est munie de cale en béton permettant l'accès à la mer.



REALISATION DE LA DIGUE DES GARENNES

Projet P.L.A.G.E
Rapport d'Avant-Projet

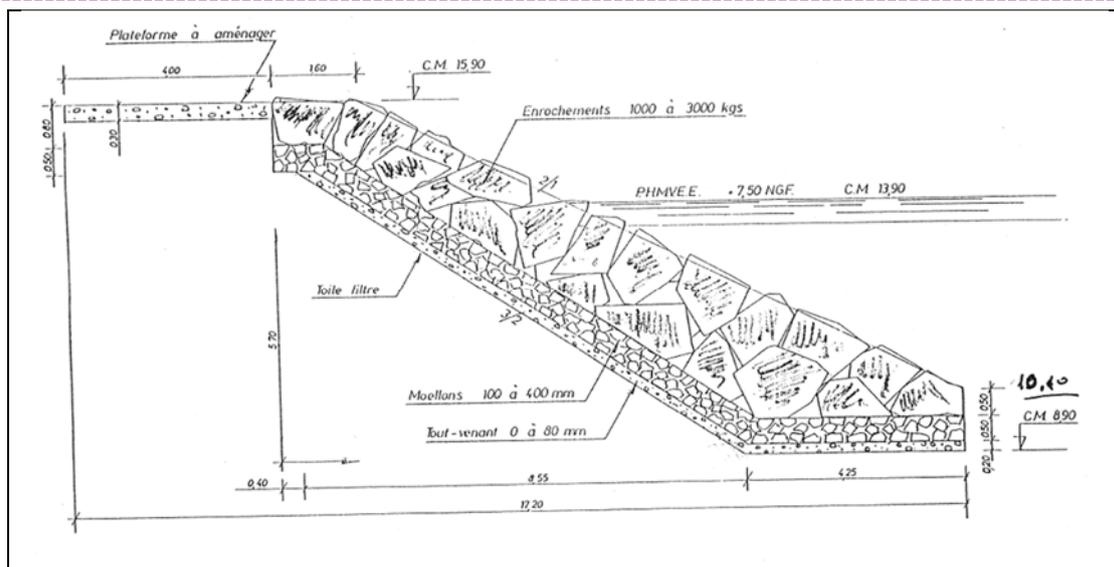


Figure 9 : Profil en travers type de la digue de Montmartin-sur-Mer

Caractéristiques de l'ouvrage actuel

| | |
|----------------------------------|---|
| Type de digue | Enrochement avec cales en béton et épis en enrochements |
| Hauteur max au-dessus du TN | 1,50 m |
| Altitude moyenne de la crête | 9,20 mNGF |
| Longueur en crête | 380 m |
| Largeur caractéristique en crête | 5,60 m |
| Largeur caractéristique en pied | 6,00 m |
| Fruit côté mer | 2/1 |
| Fruit côté val | Raccord au terrain naturel à 5-10 % |

3.4 LES ACCES A LA MER EXISTANTS

Le site dispose de deux accès à la mer à proximité immédiate de la zone d'étude :

- Cale de mise à l'eau de Montmartin-sur-mer,
- Cale de mise à l'eau de Hauteville-sur-mer.

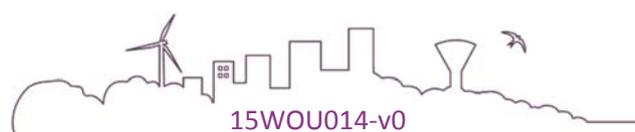
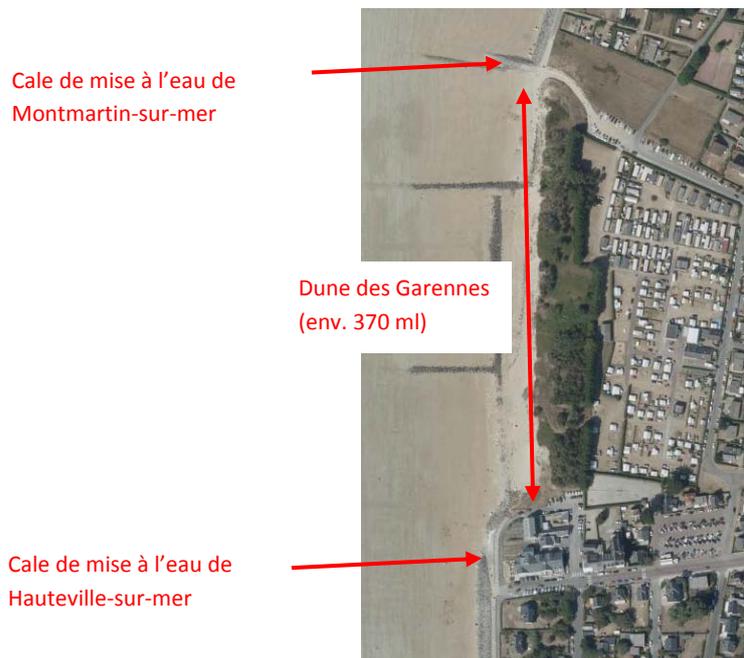




Figure 10 : Photo et repérage des deux accès à la mer à proximité de la zone d'étude



3.5 CLASSEMENT REGLEMENTAIRE DE LA DIGUE

La dune des Garennes fait partie d'un système d'endiguement qui protège le secteur de Hauteville-sur-mer et Montmartin-sur-mer du risque de submersion marine.

A ce titre, l'arrêté préfectoral du 26 mars 2012 classe la digue des Garennes en catégorie B. La mairie de HAUTEVILLE-SUR-MER est propriétaire et gestionnaire de la digue des Garennes.

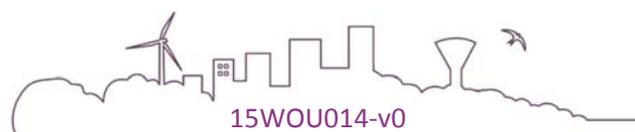
On note que la digue des Garennes protège, en premier lieu, un camping situé directement en arrière de celle-ci.

3.6 DESORDRES OBSERVES ET ACTIONS A ENTREPRENDRE

3.6.1 CONCLUSIONS DE LA VTA 2013/2014

Conclusions sur l'état de l'ouvrage

La digue des Garennes a enregistré un fort recul suite aux sollicitations hivernales. Les enrochements de protection de la dune en partie nord sont ensablés et désorganisés. Ils n'ont pas été posés sur une sous-couche de protection et leur fondation est directement sujette à l'érosion éolienne.



REALISATION DE LA DIGUE DES GARENNES

Projet P.L.A.G.E

Rapport d'Avant-Projet



La protection en enrochements située en avancée n'a pas subi de désordres majeurs. La dune franche naturelle a fortement reculée, y compris sur les zones végétalisées. Certains arbres sont tombés par érosion du massif tenant les racines. Enfin, les épis n'ont pas non plus évolué.
L'évolution de la digue des Garennes atteint ainsi un seuil critique. Il apparaît nécessaire de trouver des solutions pérennes pour son confortement, compte tenu de son rôle dans la protection aval

Recommandations à l'issue de la Visite Technique Approfondie 2013/2014

En termes de travaux de confortement :

- *La dune naturelle est sujette à une forte érosion, qui semble s'accroître depuis la dernière VTA. Il est nécessaire de prévoir des travaux de confortement pouvant aller jusqu'à une artificialisation de la dune.*

En termes de suivi :

- *Il est nécessaire de poursuivre le suivi de l'évolution à court terme du cordon dunaire. Des repères peuvent être envisagés en crête pour suivre l'érosion ;*
- *Après chaque tempête ou grande marée, il est nécessaire de poursuivre les inspections de la dune et de voir, sur la base d'un suivi photographique, l'évolution de l'érosion*

3.6.2 DECISION DU MAITRE D'OUVRAGE

Suite au constat du processus rapide d'érosion de la dune des Garennes, le Maître d'Ouvrage a souhaité engager une mission de maîtrise d'œuvre pour la constitution d'un enrochement de protection de la dune. Les objectifs de ces travaux sont multiples :

- Protéger les terrains en arrière contre le risque de submersion marine (submersion liée au risque de rupture de la digue par érosion externe) ;
- Participer à la gestion du trait de côte en adoptant une stratégie de contrôle sélectif de l'érosion (marine et éolienne), qui maintient la ligne de protection existante à des emplacements clé ;
- Intégrer le secteur des Garennes dans un circuit de promenade pour piétons et cycles et de mise en œuvre du patrimoine ;

Le type d'ouvrage sera une digue à talus en enrochements. Ce type d'ouvrage comporte le plus d'avantages :

- Permet d'offrir un front de mer homogène fonctionnellement et esthétiquement sur les communes de HAUTEVILLE-SUR-MER et MONTMARTIN-SUR-MER ;
- Il s'agit du meilleur type d'ouvrage de protection de berge pour atténuer la houle (principal facteur de ruine pour les ouvrages côtiers) ;
- Il s'agit d'un type d'ouvrage qui s'adapte le mieux aux sols sableux et en mouvement car sa structure permet d'encaisser des petites déformations liées aux tassements du sol de fondation ou de l'ouvrage lui-même sans ruine de l'ouvrage ;
- Ouvrage dont le coût financier est avantageux par rapport aux autres types d'ouvrages (murs poids) ;



REALISATION DE LA DIGUE DES GARENNES

Projet P.L.A.G.E

Rapport d'Avant-Projet

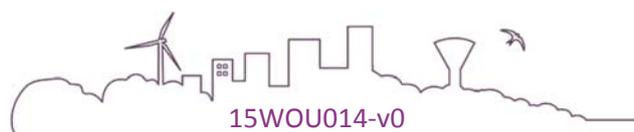


- Des opérations de réparation ou maintenance ponctuelles sont faciles à mettre en œuvre.

A ce jour, des travaux provisoires ont été engagés (début de l'intervention prévue le 7 septembre 2015). Ceux-ci consistent principalement en :

- le démantèlement des deux épis sud (épi 1 et épi 2),
- le démantèlement de la barrière d'enrochements en pied de dune (30 m en avant),
- le déplacement de ces blocs en vue de la constitution d'un enrochement de protection partiel et provisoire sur la face exposée de la dune.

Figure 11 : Photo et schématisation des travaux de protection provisoires





4 ANALYSE DES DONNEES D'ENTREE ET VALIDATION DES HYPOTHESES DE BASE DU DIMENSIONNEMENT

4.1 TOPO-BATHYMETRIE

4.1.1 ANALYSE DES DONNEES D'ENTREE

Les données topo-bathymétriques de la zone d'étude à disposition sont :

- Relevé topographique, Cabinet GEOMAT,
- Dalles Lidar, 2012,
- Fiches de suivi topo trimestrielles réalisé par le Maître d'Ouvrage, sur la période de juin 2013 à décembre 2014.

L'analyse des données topo-bathymétriques mentionnées ci-dessus nous donne les informations suivantes concernant les caractéristiques topographiques principales de la plage au niveau du secteur d'étude :

- L'estran présente une pente d'environ 4 % sur sa partie la plus haute (depuis la dune jusqu'à environ 150 m vers le large) puis une pente d'environ 0.4 % sur sa partie inférieure (depuis 150 m de la dune vers le large) ;
- L'estran en pied de dune (en avant des enrochements de protection localisés 30m en avant du pied) présente une cote variable (+0.82 m observé ponctuellement sur la période de suivi).

Tableau 1 : Evolution de l'estran en pied des enrochements de protection [fiches de suivi trimestriel 2013/2014]

| N°visite | Date de la visite | Poteau Bois 3 | | | Poteau bois 2 | | |
|----------|-------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|
| | | Cote TN de référence m NGF | Cote TN mesurée m NGF | Δ (/réf) m | Cote TN de référence m NGF | Cote TN de référence m NGF | Δ (/réf) m |
| 1 | 25/06/2013 | 4.17 | 4.45 | +0.28 | 3.91 | 4.25 | +0.34 |
| 2 | 21/09/2013 | | 4.51 | +0.34 | | 4.29 | +0.38 |
| 3 | 15/04/2014 | | 4.93 | +0.76 | | 3.95 | +0.04 |
| 4 | 18/06/2014 | | 4.99 | +0.82 | | 4.01 | +0.1 |
| 5 | 19/12/2014 | | 4.84 | +0.67 | | 3.96 | +0.05 |





4.1.2 POTENTIEL D'AFFOUILLEMENT

Au vu des résultats des levés de TN (poteaux bois de référence), nous recommandons fortement la prise en compte d'un risque de dégraissement forfaitaire de la plage sur la durée de vie de l'ouvrage. Ce dégraissement correspondra à la profondeur d'affouillement en pied de l'ouvrage. Ces affouillements sont dus à la houle (réflexion) et courants.

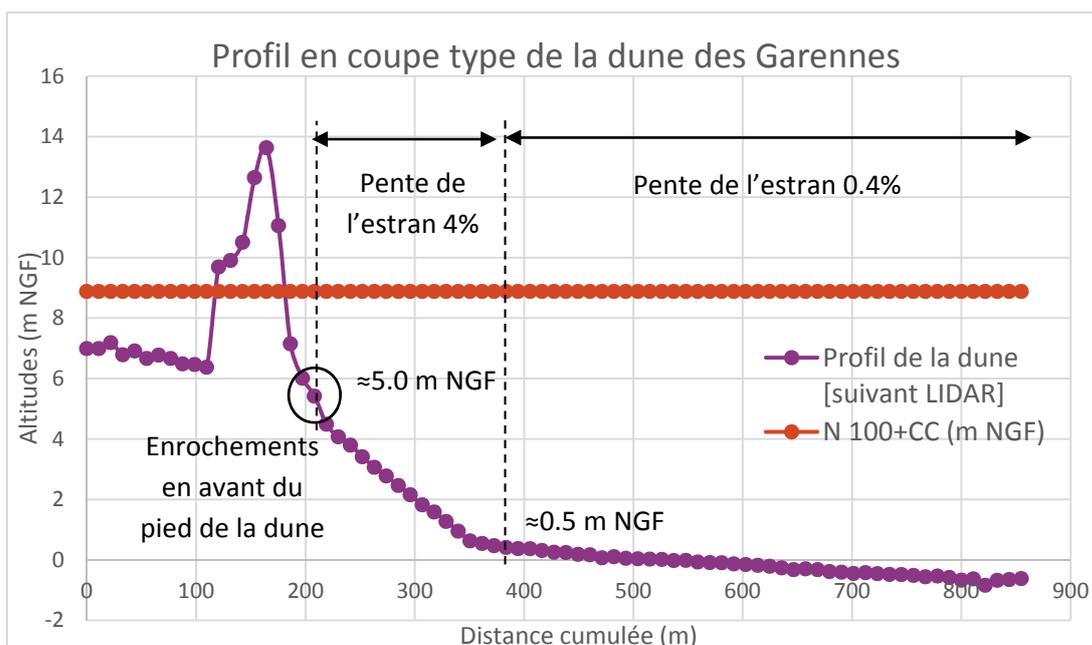
Ces affouillements sont très difficiles à évaluer. Sur la période de suivi (environ 1 an), une variation positive de 0.82 m a été observée. Toutefois l'érosion ou l'engraissement d'une plage sont des phénomènes cycliques (saisons) mais aussi très liés aux épisodes de tempêtes. En l'absence de données propres sur une durée importante (durée de vie de l'ouvrage), on peut prendre $d_s=H$ avec H , la houle de projet. A priori cette valeur est conservatrice étant donné qu'elle correspond à l'affouillement théorique devant un mur vertical. Cette approximation est donnée par le CEM (USACE, 2003).

Les justifications de stabilité seront établies en tenant compte de la situation dégraissée. De plus, les quantités de matériaux à mettre en œuvre en phase travaux seront calculées pour une coupe de calcul avec dégraissement.

4.1.3 DEFINITION D'UNE COUPE DE CALCUL

L'extraction des données LIDAR 2012 permet de définir la coupe de calcul sur la figure ci-dessous.

Figure 12 : Coupe de calcul pour les calculs de propagation de la houle [LIDAR, 2012]



REALISATION DE LA DIGUE DES GARENNES

Projet P.L.A.G.E
Rapport d'Avant-Projet



Par ailleurs, l'implantation des ouvrages sera faite pour deux coupes :

- Une coupe côté Hauteville-sur-mer,
- Une coupe côté Montmartin-sur-mer.



Nous préconisons vivement de procéder à un nouveau levé topographique de la zone d'étude (estran) après les travaux de déplacement des enrochements. Cette mesure permettra d'affiner la coupe de calcul et a fortiori préciser le niveau d'ancrage du pied de l'ouvrage et par conséquent de préciser les quantités de matériaux à mettre en œuvre.

4.2 MAREE

4.2.1 ANALYSE DES DONNEES D'ENTREE

Niveau de référence : à la POINTE AGON, le 0 m CM = - 6,39 m NGF (d'après l'étude de danger, SAFEGE, 2013).

Les niveaux de marée sont issus des données du SHOM (références altimétriques maritimes Edition 2012 pour la zone aux abords de SAINT-MALO). Le SHOM indique pour la POINTE D'AGON les niveaux d'eau suivants :

Tableau 2 : Niveaux de marée à LA POINTE D'AGON [données SHOM 2012]

| | Pleine mer | | Basse mer | |
|--|------------|-------|-----------|-------|
| | m CM | m NGF | m CM | m NGF |
| Mortes eaux (coeff. 45) | 9.70 | 3.31 | 4.40 | -1.99 |
| Vives eaux (coeff. 95) | 12.70 | 6.31 | 1.55 | -4.84 |
| Plus haut niveaux astronomiques (coeff 120) | 14.07 | 7.68 | -0.06 | -6.45 |
| Niveau moyen | 7.05 | | | |





4.3 NIVEAUX MARINS EXTREMES

Le niveau marin extrême sera utile à la définition de la hauteur de l'ouvrage (cote de protection de l'ouvrage).

Le rapport de PPRL Phase 2 définit l'événement de référence en termes de niveau marin extrême pour une période de retour de $T=100$ ans. Il s'agit de la période de retour retenue pour le dimensionnement de l'ouvrage.

Tableau 3 : Composantes du niveau marin extrême calculé comme événement de référence pour la zone d'étude

| | T100 | T100+CC |
|--|-------------|-------------|
| Niveau centennial (m NGF) | 7.85 | 7.85 |
| Changement climatique (m) | 0.20 | 0.60 |
| Surcote de déferlement (m) | 0.24 | 0.18 |
| Incertitudes (m) | 0.25 | 0.25 |
| Niveau de projet centennial retenu (m NGF) | 8.54 | 8.88 |

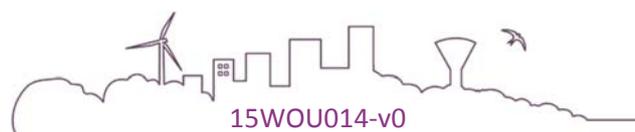
Dans le cadre du projet de construction de l'enrochement de protection de la digue des Garennes, nous nous placerons du côté de la sécurité. Par conséquent la cote projet retenue est la cote $N_{T100+CC} = 8.88$ m NGF, soit 15.27 m CM.

4.4 HOULE

4.4.1 DONNEES A DISPOSITION ET FINALITE

Les caractéristiques de la houle au niveau de la côte sont nécessaires afin de déterminer les caractéristiques dimensionnelles des enrochements de carapace et de sous-couches permettant d'assurer la stabilité interne de l'ouvrage.

Pour une même période de retour centennale, le rapport de Phase 2 du PPRL définit 5 couples (Niveau marin au large ; Amplitude significative de la houle) différents. A partir de ces données au large, il est possible d'obtenir les caractéristiques de la houle au niveau de la côte.



REALISATION DE LA DIGUE DES GARENNES

Projet P.L.A.G.E
Rapport d'Avant-Projet



4.4.2 METHODE DE CALCUL

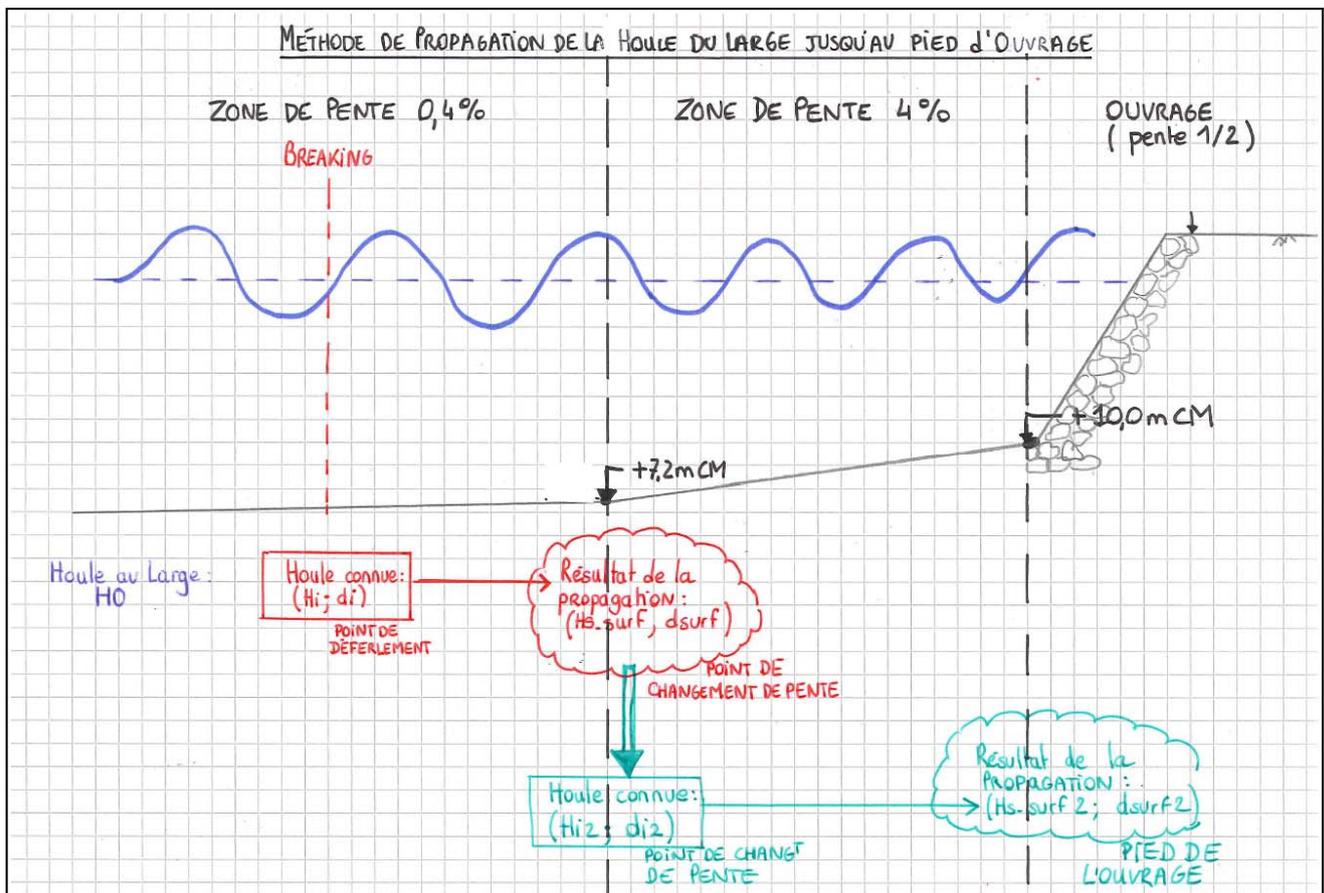
La méthode consiste à propager la houle du large jusqu'en pied d'ouvrage. Cette propagation se fait par étapes.

Les étapes de propagation sont les suivantes :

- 1^{ère} étape : détermination de la houle au point de déferlement à partir de la houle au large,
- 2^{ème} étape : propagation de la houle depuis le point de déferlement jusqu'au point de changement de pente du fond,
- 3^{ème} étape : propagation de la houle depuis le point de changement de pente du fond jusqu'en pied d'ouvrage.

Ces étapes sont illustrées par la représentation schématique du principe de la méthode appliquée suivante :

Figure 13 : Représentation schématique de la méthode de propagation de la houle du large jusqu'en pied d'ouvrage



La méthode générale utilisée est la méthode de GODA qui permet d'estimer la hauteur significative de la houle et la hauteur maximale de la houle dans la zone de déferlement, à partir de la hauteur de houle équivalente au large. Cette méthode est décrite dans le Guide des Enrochements (CIRIA, 2009) :



REALISATION DE LA DIGUE DES GARENNES

Projet P.L.A.G.E
Rapport d'Avant-Projet



$$H_{1/3} = \begin{cases} K_s * H'0 & \text{pour } h/L_0 > 0.2 \\ \min\{(\beta_0 * H'0 + \beta_1 * h), (\beta_{\max} * H'0), (K_s * H'0)\} & \text{pour } h/L_0 < 0.2 \end{cases}$$

$$H_{\max} = \begin{cases} 1.8 * K_s * H'0 & \text{pour } h/L_0 > 0.2 \\ \min\{(\beta'_0 * H'0 + \beta'_1 * h), (\beta'_{\max} * H'0), (1.8 * K_s * H'0)\} & \text{pour } h/L_0 < 0.2 \end{cases}$$

$$\beta_0 = 0.028 * (H'0 / L_0)^{-0.38} \exp(20 * m^{1.5})$$

Avec $\beta_1 = 0.52 * \exp(4.2 * m)$

$$\beta_{\max} = \max\{0.92; 0.32 * (H'0 / L_0)^{-0.29} \exp(2.4 * m)\}$$

$$\beta'_0 = 0.052 * (H'0 / L_0)^{-0.38} \exp(20 * m^{1.5})$$

Et $\beta'_1 = 0.63 * \exp(3.8 * m)$

$$\beta'_{\max} = \max\{1.65; 0.53 * (H'0 / L_0)^{-0.29} \exp(2.4 * m)\}$$

Avec :

- m la pente du fond (variable suivant les tronçons considérés),
- Ks le coefficient de Shoaling (de levée) au point de calcul,
- L0 la longueur d'onde de la houle au large,
- H'0 l'amplitude de la houle équivalente au large,
- H la profondeur au point de calcul,
- H1/3 hauteur significative correspondant à la valeur moyenne du tiers supérieur des hauteurs des vagues observées,
- Hmax (aussi appelée H1/250) hauteur significative correspondant à la valeur moyenne du 1/250^{ème} supérieur des hauteurs des vagues observées.

Ces calculs ont été menés à l'aide du logiciel MathCad, version 15.0, qui est un logiciel de calcul technique permettant de mener des calculs itératifs et de représenter graphiquement les résultats obtenus.



REALISATION DE LA DIGUE DES GARENNES

Projet P.L.A.G.E
Rapport d'Avant-Projet



4.4.3 RESULTATS DES CALCULS DE PROPAGATION

Tableau 4 : Résultats des calculs de propagation de la houle du large vers la côté pour les 5 couples de période de retour centennale [tableau 4-7 du rapport de phase 2 du PPRL, DHI, novembre 2014 et résultats modélisation]

| Couple | Données issues du rapport de PPRL Phase 2 | | | | Résultats | |
|----------|---|--|---------------------------------------|-------------------------------------|---|--|
| | Niveau marin au large N_{large} (m NGF) | Niveau marin au large N_{large} (m CM) | Amplitude houle au large Hs (m) | Période houle au large Tp (s) | Amplitude houle en pied d'ouvrage H's (m) | Amplitude houle maxi en pied d'ouvrage H'max (m) |
| Couple 1 | 8.70 | 15.09 | 2.72 | 9.9 | 3.16 | 4.53 |
| Couple 2 | 8.45 | 14.84 | 3.08 | 10.2 | 3.40 | 4.39 |
| Couple 3 | 8.26 | 14.65 | 3.41 | 10.5 | 3.35 | 4.32 |
| Couple 4 | 8.01 | 14.40 | 3.95 | 10.9 | 3.24 | 4.22 |
| Couple 5 | 7.84 | 14.23 | 4.31 | 11.2 | 3.17 | 4.16 |

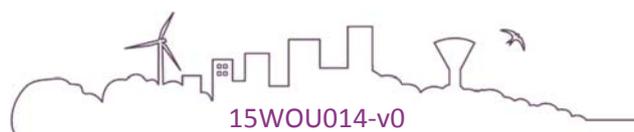
NOTA : les niveaux marins (deuxième et troisième colonnes du tableau) diffèrent des niveaux indiqués au tableau 4-7 du rapport de phase 2 du PPRL, DHI, 2012. Ils correspondent aux niveaux du PPRL augmentés d'une valeur de $0.60m + 0.25m = 0.85m$ correspondant respectivement à la somme de la surcote liée au changement climatique centennal et à l'incertitude sur les calculs.

Le couple retenu comme référence est le couple 2. Il s'agit du couple pour lequel l'amplitude de la houle en pied d'ouvrage est maximale (H's= 3.40 m). Il s'agit par conséquent du couple dimensionnant pour la vérification vis-à-vis de la stabilité interne de la carapace en enrochements.

4.5 SISMICITE

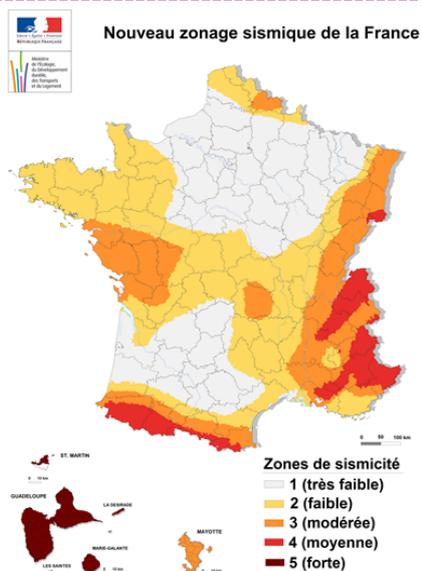
La zone d'étude se situe en zone de sismicité 2 (aléa faible), de fait le risque de liquéfaction n'est pas à étudier.

Figure 14 : Zones de sismicité en France



REALISATION DE LA DIGUE DES GARENNES

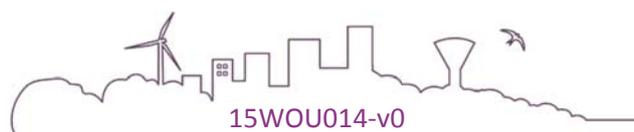
Projet P.L.A.G.E
Rapport d'Avant-Projet



Le rapport « Risque sismique et sécurité des ouvrages hydrauliques », novembre 2010, MEDDTL donne les accélérations horizontales (solicitations sismiques) à prendre en compte pour la justification de la stabilité de l'ouvrage en cas de séisme (Etat Limite Ultime Accidentel) suivant la zone de sismicité dans laquelle se situe l'ouvrage.

Tableau 5 : μ Valeur des accélérations horizontales à prendre en compte pour la justification d'une digue en cas de séisme [« Risque sismique et sécurité des ouvrages hydrauliques », novembre 2010, MEDDTL]

| Zone de sismicité | Classe D | Classe C | Classe B | Classe A |
|-------------------|------------|----------|----------|----------|
| 1 | sans objet | 0,2 | 0,3 | 0,4 |
| 2 | sans objet | 0,4 | 0,5 | 0,7 |
| 3 | sans objet | 0,7 | 0,8 | 1,1 |
| 4 | sans objet | 0,9 | 1,2 | 1,6 |
| 5 | sans objet | 1,8 | 2,2 | 3,0 |





4.6 DONNEES GEOTECHNIQUES

4.6.1 CONTEXTE GEOLOGIQUE

Géologiquement, la côte Ouest de la presqu'île du Cotentin appartient au Massif Armoricain. Le secteur d'étude, à l'image de la frange côtière s'étendant entre les caps de Carteret et de Granville, est essentiellement constitué de formations quaternaire (Holocène) mises en place au cours de la transgression flandrienne (édification des dunes sableuses et remblayage sablo-pélique des zones dépressionnaires).

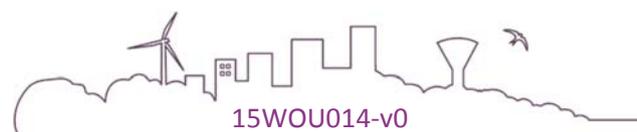
Le secteur de côte s'appuie à l'Est sur un môle rocheux constitué de schistes (les phyllades de Saint-Lô) et de diorite (la diorite de Coutances, fin du Briovérien moyen). Les communes de Hauteville-sur-mer et de Montmartin-sur-mer se situent en marge Sud du « col du Cotentin », vaste surface basse s'étendant entre la Baie des Veys sur la côte orientale, et un secteur compris entre les havres de Lessay et de Regnéville sur la côte occidentale. Cette dépression, nettement marquée entre les crêtes paléozoïques du Nord-Cotentin et l'anticlinal briovérien intrudé par la diorite de Coutances au Sud, correspond à la marge occidentale du Bassin de Carentan souvent submergé depuis les plissements hercyniens (achevés il y a 250 millions d'années environ).

Les reliefs surplombant la côte sont bordés par une falaise morte, recouverte de dépôts de solifluxion. Ce talus est précédé vers l'Ouest par une vaste zone de matériaux meubles mis en place au cours de la remontée du niveau marin, depuis environ 10 000 ans. Les matériaux, essentiellement sableux, constituent le substrat sur lequel s'est mis en place l'ensemble dunaire entre le havre de Regnéville et celui de la Vanlée.

Les affleurements de roche sur l'estran correspondent, au droit de la Pointe d'Agon, au grès et argilites dévoniens rattachés à la « série rouge de Hyenville ». Entre le havre de la Vanlée et Jullonville, le platier rocheux est exclusivement composé de formations briovériennes. Les affleurements sont constitués de flysch gréseux et schisteux, de grauweekes et de schistes. La Pointe du Roc correspond à un conglomérat de schistes et de grès (la tillite de Granville).

Sur le continent, se succèdent du Nord au Sud depuis la rive Sud du havre de Regnéville :

- Le briovérien moyen et supérieur constitué de schistes, grès, phanistes, grauweekes et siltstones, reconnu à Grimouville (au Nord de Regnéville-sur-mer) ;
- Les calcaires et grès carbonifères au droit de Regnéville-sur-mer ;
- Les grès et argilites du Dévonien supérieur (Série Rouge de Hyenville) à la latitude de Montmartin-sur-mer ;
- Et de nouveau le briovérien à partir d'Hauteville-sur-mer.



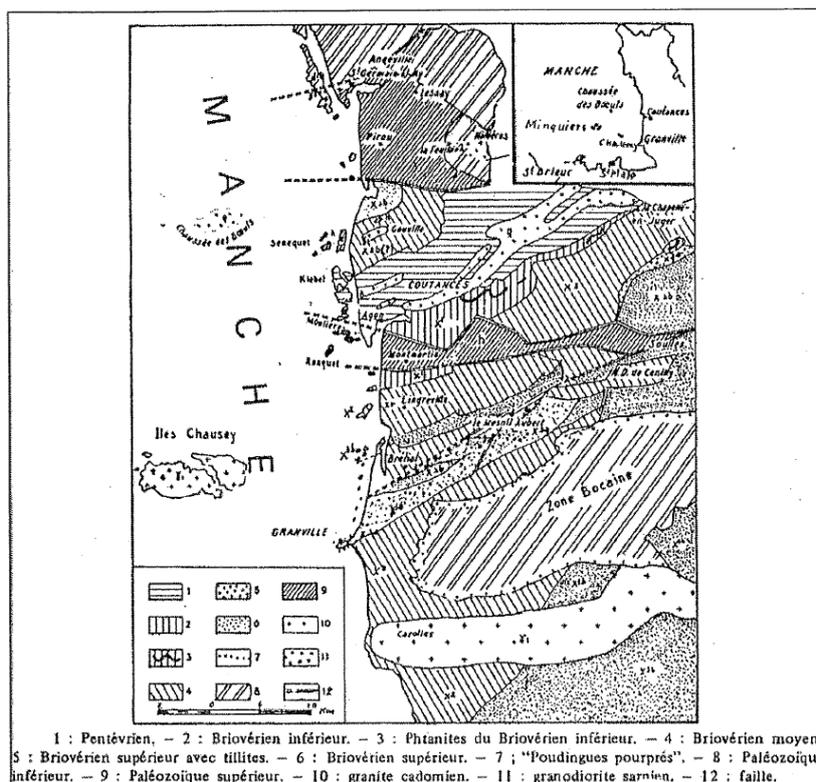


Figure 15 : Carte géologique

4.6.2 DONNEES GEOTECHNIQUES

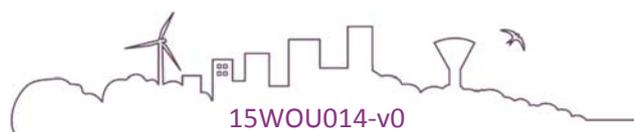
A notre connaissance, aucune campagne de reconnaissance géotechnique n'a été menée sur la zone d'étude ou à proximité immédiate.



Des reconnaissances complémentaires devront être menées parallèlement à l'étude de Projet. Ces reconnaissances consisteront en des sondages géotechniques et essais de sols associés. Le cahier des charges (programme) pour la consultation d'un BE Géotechnique pour réaliser ces reconnaissances sera rédigé par le Maître d'œuvre au moment du démarrage des études de phase Projet. Le Maître d'œuvre réalisera l'analyse technique des mémoires techniques remis par les bureaux d'étude géotechnique candidats ainsi que le pilotage et l'analyse des résultats des sondages.

4.6.3 NIVEAU DE PROTECTION PROJET

Le niveau de protection souhaité par le Maître d'Ouvrage est un niveau centennal.





5 DIMENSIONNEMENT DE LA SOLUTION TECHNIQUE RETENUE

5.1 CARACTERISTIQUES DIMENSIONNELLES PRINCIPALES DE LA DIGUE

Deux profils ont été étudiés selon les deux coupes respectivement pour le côté nord de la digue (côté Montmartin) et le côté Sud de la digue (côté Hauteville). Ces deux coupes sont jointes dans le rapport d'avant-projet.

5.1.1 COTE DE CRETE DE LA DIGUE

La cote d'arase (cote de crête) minimale de la digue est définie de telle sorte que l'ouvrage puisse assurer son rôle de protection contre le risque de submersion marine et contre le risque d'érosion de la dune par l'action de la mer.

5.1.1.1 *Niveau de protection actuel des ouvrages adjacents*

Pour rappel, les niveaux moyens actuels de crête des digues adjacentes (cote de crête) sont de :

- + 9.20 m CM pour la digue de MONTMARTIN SUR MER,
- + 10.10 m CM pour la digue de HAUTEVILLE SUR MER.



REALISATION DE LA DIGUE DES GARENNES

Projet P.L.A.G.E
Rapport d'Avant-Projet

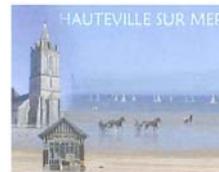
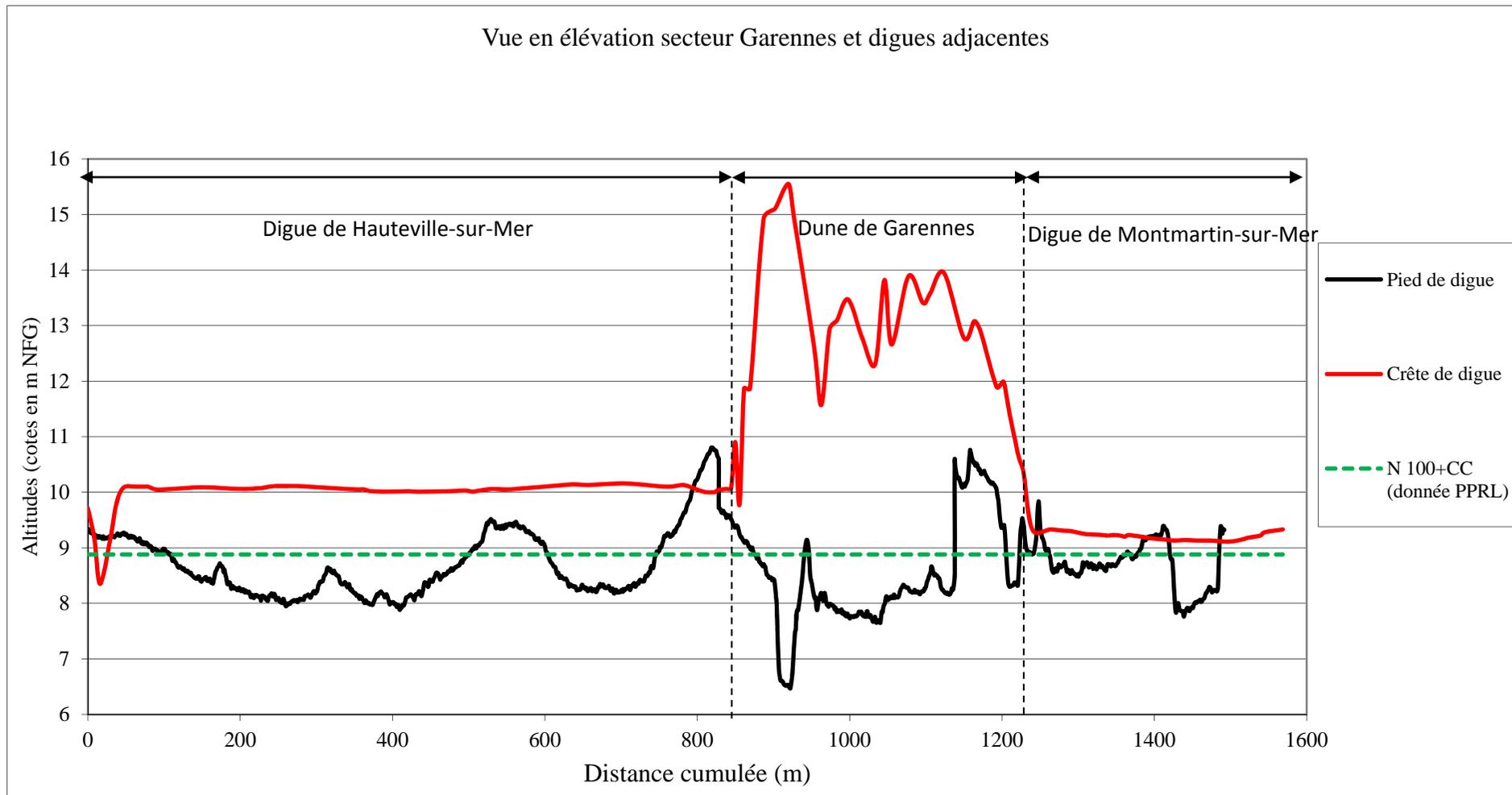


Figure 16 : Profil en long des ouvrages sur le secteur d'endiguement [extraction LIDAR, 2012]



REALISATION DE LA DIGUE DES GARENNES

Projet P.L.A.G.E

Rapport d'Avant-Projet



L'étude de phase 2 du PPRL définit le niveau de référence centennal N100+CC = 8.88 m NGF (soit 15.27 m NGF). Par conséquent nous retiendrons une cote de crête minimale de 8.88 m NGF.

Ce niveau est inférieur au niveau de crête des deux digues adjacentes. Par conséquent, il est justifiable d'adopter pour la digue des Garennes, la même cote de crête que celle de la digue de Hauteville sur mer (choix sécuritaire par rapport à la digue de Montmartin-sur-mer). La cote de crête retenue est **10.10 m NGF** (soit 16.49 m CM).

Raccord en élévation aux deux extrémités de la digue : rampe de raccord. Pente de la rampe limitée à 4 % de sorte à être éligible comme chemin de circulation pour les Personnes à Mobilité Réduite.

Cote de crête retenue = 10.10 m NGF. En adoptant ce niveau de crête, on peut penser que l'ouvrage sera suffisant pour se prévenir contre tout risque de submersion marine de période de retour inférieure ou égale à T=100 ans.

Toutefois, il y a lieu de préciser que l'on distingue 3 scénarios de submersion marine différents. Ces trois scénarios, rappelés ci-dessous sont explicités avec détail dans le rapport de Phase 2 du PPRL, DHI, novembre 2014 :

- Le débordement,
- La défaillance de l'ouvrage,
- Le franchissement (par paquets de vagues).

Après construction de la digue des Garennes, le scénario de submersion marine le plus probable pour la digue des Garennes sera un franchissement (actuellement le risque principal identifié dans le cadre de l'étude de danger est un risque de défaillance de l'ouvrage par érosion externe). C'est pourquoi, nous avons simulé, pour chacun des couples centennaux définis par DHI (rapport phase 2PPRL, nov. 2014), le débit de franchissement. Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous.



REALISATION DE LA DIGUE DES GARENNES

Projet P.L.A.G.E
Rapport d'Avant-Projet

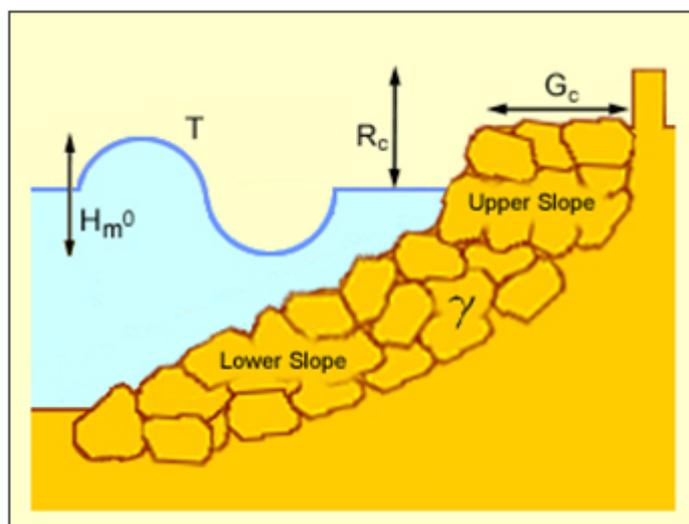


Tableau 6 : Valeur des accélérations horizontales à prendre en compte pour la justification d'une digue

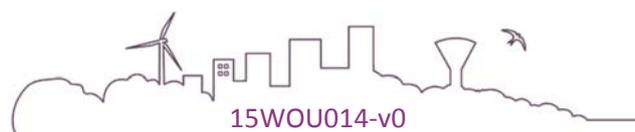
| Couple (N ;H) de période de retour centennial | Niveau marin à la côte N (m NGF) | Houle en pied d'ouvrage Hm0 (m) | Période de pic de la houle Tp (s) | Revanche Rc (m) | Débit de franchissement Qt l/m/s |
|---|--|---------------------------------------|---|-----------------------|--|
| 1 | 8.70 | 3.16 | 9.9 | 1.40 | 198 |
| 2 | 8.45 | 3.40 | 10.2 | 1.65 | 168 |
| 3 | 8.26 | 3.35 | 10.5 | 1.84 | 108 |
| 4 | 8.01 | 3.24 | 10.9 | 2.09 | 55 |
| 5 | 7.84 | 3.17 | 11.2 | 2.26 | 34 |

L'outil utilisé pour l'obtention de ces résultats est un outil de calcul développé par le cabinet HR WALLINGFORD (Royaume-Uni) et décrit dans le Guide « Overtopping Manual ». Il s'agit d'une méthode probabiliste appliquée spécifiquement pour une protection du littoral en enrochements avec simulation d'une hauteur de parapet en crête possible.

Figure 17 : Coupe type pour le calcul du franchissement



La performance en termes de franchissement d'une digue à talus peut être améliorée de manière significative par l'utilisation d'un mur de couronnement ou d'un parapet. Son utilisation permet en effet de réduire la cote de crête de l'ouvrage tout en assurant une réduction significative des débits de franchissement.



REALISATION DE LA DIGUE DES GARENNES

Projet P.L.A.G.E

Rapport d'Avant-Projet



Pour le couple centennal le plus défavorable (couple 1), les débits de franchissement ont été calculés aussi pour le cas où un muret parapet est aménagé en crête de la digue (côté mer). Les résultats sont les suivants :

Tableau 7 : Résultats des calculs de franchissement suivant la hauteur du parapet

| Couple 1 : Hauteur du parapet ht (m) | Revanche Rc (m) | Débit de franchissement Qf l/m/s |
|--|-----------------------|--|
| 0 | 1.40 | 198 |
| 0.5 | 1.90 | 71 |
| 0.8 | 2.20 | 38 |

Dans le cadre des études d'Avant-Projet, nous choisissons de retenir provisoirement un parapet de 0.5m de hauteur.



Le Maître d'Ouvrage se prononcera avant le démarrage des études de Projet sur le choix de la hauteur du parapet le cas échéant.

5.2 DIMENSIONNEMENT DE LA CARAPACE

5.2.1 ROLE DE LA CARAPACE

La carapace a pour fonction de lutter contre l'érosion des sous-couches et du noyau par l'action de la houle, et de dissiper l'énergie de la houle. La carapace sera constituée d'enrochements naturels dont les caractéristiques sont définies dans les paragraphes suivants.

5.2.2 METHODE DE CALCUL

Le dimensionnement des éléments constituant la carapace extérieure de la digue est effectué à partir de la formule de HUDSON :

$$M \geq \frac{\rho_s H^3}{k_d \left(\frac{\rho_s}{\rho_e} - 1 \right)^3 \cot g \alpha}$$





| | | |
|------|-----------------|---|
| avec | M : | la masse moyenne des enrochements de la carapace |
| | H : | la hauteur crête à creux de la houle incidente |
| | ρ_s : | la masse volumique du matériau des enrochements |
| | ρ_e : | la masse volumique de l'eau de mer ($\approx 1\,028\text{ kg/m}^3$) |
| | cotg α : | la pente du talus (base sur hauteur) |
| | k_d : | un coefficient de stabilité adimensionnel issu de l'expérience |

5.2.3 POIDS DES ENROCHEMENTS NECESSAIRES

Le coefficient k_d , correspond au degré de stabilité et au taux de dommages maximal que l'on souhaite obtenir en cas de forte tempête. Il est, de ce fait, à mettre en relation avec la fréquence d'intervention sur la digue pour son entretien.

Pratiquement, pour des carapaces en enrochements naturels disposés en vrac sur deux couches, on retiendra, pour k_d , les valeurs suivantes, données par le CETMEF :

$k_d = 3,2$ pour avoir une carapace qui restera stable en cas de forte tempête (intervention sur la digue très rare) ;

$k_d = 5,1$ pour avoir une carapace pouvant être légèrement endommagée en cas de forte tempête (entretien plus régulier) ;

$k_d = 7,2$ pour avoir une carapace pouvant être légèrement endommagée en cas de forte tempête (entretien plus régulier).

En termes de pourcentage de dommage lors d'une forte tempête, il est courant de parler de 0 à 1 % de dommage sur la carapace pour $k_d = 3,2$; 1 % à 5 % pour $k_d = 5,1$ et 5 % à 10 % pour $k_d = 7,2$.

Pour ce qui est de la densité des blocs, nous adopterons la valeur $\rho_s = 2\,650\text{ kg/m}^3$ (granite). La densité de l'eau de mer sera prise classiquement égale à $1\,028\text{ kg/m}^3$.

La hauteur de houle considérée sera la houle significative de période de retour de 100 ans (cf. chapitre 4.4.3 Résultats des calculs de propagation).

Nous avons mené les calculs de carapace pour différentes pentes de talus. La masse médiane des enrochements calculée pour chaque cas est donnée dans le tableau ci-après :



REALISATION DE LA DIGUE DES GARENNES

Projet P.L.A.G.E
Rapport d'Avant-Projet



Tableau 8 : Poids des enrochements pour une houle centennale

| Direction de la houle | Hauteur de la houle Hs (m) | Pente du talus Cotan α | Poids moyen $W_{50}(t)$ |
|-----------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Incidence nulle | 3.40 | 3/1 | 1.7 |
| | | 2/1 | 2.6 |
| | | 3/2 | 3.5 |

Nota : l'incidence de la houle est prise comme étant la plus défavorable par rapport au dimensionnement de la carapace (houle frontale). Il s'agit d'une hypothèse conservatrice. Afin d'affiner les résultats (et optimiser la blocométrie des enrochements de carapace notamment), un travail de modélisation hydrosédimentaire spécifique serait nécessaire. Le Maître d'Ouvrage se prononcera sur l'engagement ou non d'une telle étude avant l'engagement de la phase Projet.

Pour la digue des Garennes, nous proposons de retenir un coefficient k_d égale à 5,1. Ce choix est motivé par le fait que la digue est facilement accessible, à marée basse. Des interventions de surveillance et de maintenance sur la digue sont envisageables sans engager de moyens nautiques. De plus, nous proposons d'adopter une pente de talus de 2/1 qui permet de réduire la taille des blocs et également de réduire la réflexion de la houle. La réduction de l'énergie implique directement une réduction du risque d'affouillement en pied. Ces choix seront à confirmer par le Maître d'Ouvrage avant l'engagement de la phase Projet.

Pour la carapace, on retiendra en phase AVP un poids médian de 2.6 t pour les enrochements de carapace.

Afin d'atteindre les meilleures performances de stabilité, il est d'usage d'adopter une granulométrie étroite pour les gros blocs constitutifs de la carapace. La classe blocométrique proposée est 2t/4t.

5.2.4 EPAISSEUR DE LA PROTECTION

Les épaisseurs des carapaces sont calculées à partir de la formule suivante :

$$E = n k \Delta \left(\frac{w}{\rho_s} \right)^{1/3}$$

Avec :

E : épaisseur de la carapace

n : nombre d'éléments en épaisseur



REALISATION DE LA DIGUE DES GARENNES

Projet P.L.A.G.E
Rapport d'Avant-Projet



$k\Delta$: coefficient adimensionnel fonction du type de bloc (1,02 pour les blocs arrondis, 1 pour les blocs anguleux)

ρ_s : masse volumique des blocs

w : masse moyenne des blocs.

D'où, pour une carapace composée de 2 couches de blocs, les épaisseurs suivantes :

Tableau 9 : Épaisseur de la carapace

| Amplitude de la houle de projet H_s (m) | Poids moyen des enrochements de carapace W_{50} (t) | Épaisseur calculée de la carapace (m) |
|---|---|---------------------------------------|
| 3.40 | 2.6 | 2.03 |

Nous rappelons que dans une digue à talus, les formules de stabilité énoncées précédemment ne peuvent fournir que des ordres de grandeur raisonnables. Pour la mise au point définitive de l'ouvrage, le recours à des essais sur modèles pourra être envisagé.

5.3 DIMENSIONNEMENT DES SOUS-COUCHE

La sous-couche a pour fonction :

- D'éviter le lessivage des matériaux plus fins présents au sein du noyau,
- De permettre un drainage en surface de l'ouvrage,
- De constituer une assise pour le placement de la carapace,
- De protéger le noyau de l'érosion due aux écoulements.

La sous-couche peut être constituée de blocs naturels ou bien d'un géotextile.

5.3.1 SOUS-COUCHE GRANULAIRE

Elles sont régies par des règles de filtre qui permettent d'éviter la migration des matériaux des sous couches à travers la carapace. Ces règles sont de plus en plus basées sur la taille des blocs plutôt que sur leur masse.

Il y a deux avantages à ce que les enrochements de la sous-couche soient de taille relativement importante. En premier lieu, la surface de la sous-couche est moins lisse avec des enrochements plus gros, ce qui augmente le phénomène de frottement entre la carapace et la sous-couche. En second lieu, une sous-couche grossière donne plus de perméabilité à l'ouvrage et accroît de fait la stabilité du matériau constitutif de la carapace, mais doit néanmoins satisfaire la condition de filtre.





La sous-couche en blocs doit respecter certains critères pour assurer correctement son rôle de filtre :

■ $\frac{M_{50f}}{M_{50a}} = \frac{1}{15} \text{ à } \frac{1}{10}$ soit $10 \text{ kg} < M_{50f} < 50 \text{ kg}$

■ $\frac{D_{n50c}}{D_{n50f}}$ compris entre 2,2 et 2,5 ;

■ Critère d'érosion interne ou stabilité interne $\frac{D_{60}}{D_{10}} < 10$

■ Critère de stabilité d'interface $\frac{D_{15ext}}{D_{85int}} < 5$

■ Critère de perméabilité $\frac{D_{15ext}}{D_{15int}} > 5$

Par opposition à la carapace, la granulométrie des sous-couches doit être assez étendue pour participer à l'étanchéité de l'ouvrage.

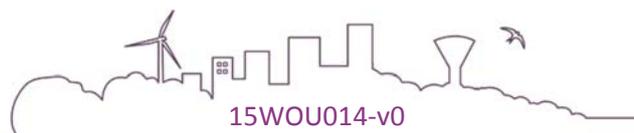
Les sous-couches pourront être constituées, sous réserve de vérifier les critères précédemment cités :

- de blocs de 15 – 300 kg sur une épaisseur de l'ordre de 0,7 m disposés en deux couches pour la sous-couche supérieure ;
- du tout-venant (poids médian de l'ordre de 10 kg) sur une épaisseur de l'ordre de 0,3 m pour la sous-couche inférieure.

5.3.2 GEOTEXTILE

L'utilisation des géotextiles requiert des précautions, afin de garantir qu'ils soient suffisamment solides pour résister aux charges de construction, car ces dernières sont souvent les plus critiques. Le géotextile doit présenter une résistance suffisante aux perforations afin d'éviter les dommages. Il est habituellement préférable de placer une couche de matériaux granulaires plus petits sur le géotextile pour éviter qu'il ne soit abîmé au cours de la construction de la carapace (gros blocs).

Il convient de s'assurer du bon recouvrement des lés et de leur maintien avant la pose de la carapace (couturage, agrafage ou soudure). Les ouvrages équipés d'un filtre géotextile plutôt que granulaire entre la carapace et le noyau sont considérés comme des ouvrages à noyau imperméable ce qui nécessite de mettre en place des blocs plus gros au niveau de la carapace.





Nous rappelons que la contribution des géotextiles à la stabilité d'un ouvrage hydraulique est souvent sous-estimée, notamment parce que leur coût unitaire est très bas comparé à celui de l'enrochement. Les conséquences d'un dimensionnement et de spécifications incorrects peuvent être désastreuses et menacer la stabilité de l'ouvrage dans son ensemble.

5.3.3 LE NOYAU

Dans le cas d'une digue de protection du littoral, l'ouvrage ne comporte de pas de noyau à proprement parlé étant donné que le corps de l'ouvrage est par définition la dune elle-même.

Il conviendra de vérifier tout de même que ce « noyau » en place permet d'assurer les fonctions suivantes :

- De supporter la carapace et les sous-couches,
- D'assurer une stabilité géotechnique.



Les caractéristiques du sable constitutif de la dune ne sont pas connues. Celles-ci devront être déterminées dans le cadre d'une étude géotechnique spécifique afin de pouvoir s'assurer de la stabilité interne de l'ouvrage après construction (vérification de portance, quantification des tassements après chargement et mise en exploitation).

5.4 BUTEE DE PIED

La butée de pied a pour fonction :

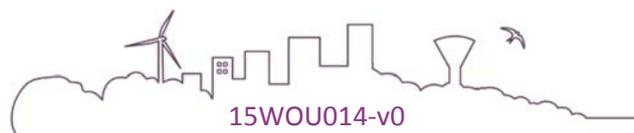
- de garantir une protection contre l'affouillement de l'ouvrage,
- de lutter contre le glissement de la carapace de l'ouvrage.

La butée de pied doit s'étendre jusqu'à un niveau assez bas pour ne subir aucun affouillement. Le dimensionnement de la butée de pied doit donc être basé sur les estimations des niveaux les plus bas de la plage futurs, sur la profondeur d'affouillement prévue.

De manière générale, le potentiel d'affouillement est plus fort lorsque la hauteur d'eau au-dessus du pied est inférieure à deux fois la hauteur maximale de la houle. C'est le cas de la situation dimensionnante de période de retour $T=100$ ans.

La configuration de la butée dépend :

- du type de fond au niveau de la zone d'implantation du pied de l'ouvrage ;
- Du potentiel d'affouillement de l'estran au niveau de la butée.





Type de fond :

Dans le cas de la digue des Garennes, la stratigraphie du sol n'est pas connue avec précision. Toutefois, nous savons que le littoral est composé de cordons dunaires. Nous faisons l'hypothèse au stade Avant-Projet que le fond rocheux est situé à une profondeur supérieure à 4 m sous le niveau de l'estran. Cette hypothèse devra impérativement être vérifiée avant l'engagement de la phase Projet. Pour ce faire, des reconnaissances géotechniques seront menées. Les sondages correspondant seront implantés au droit du pied de l'ouvrage projeté.



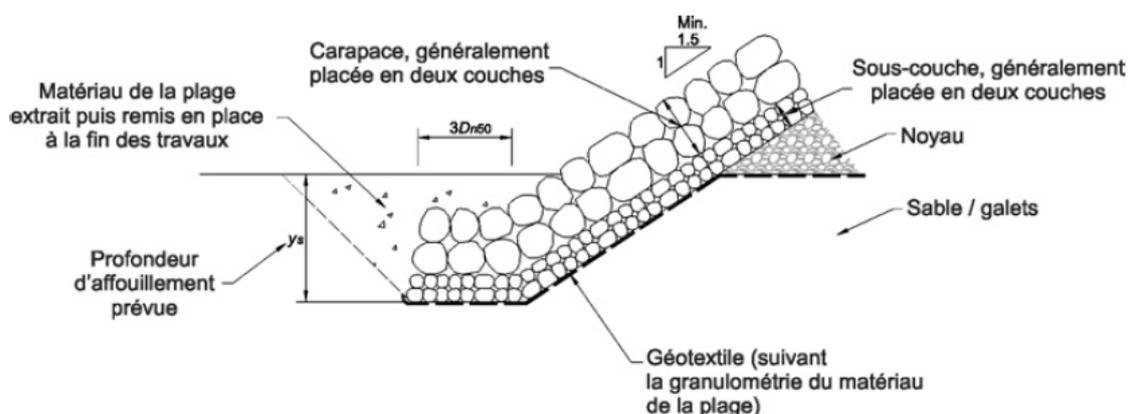
Potentiel d'affouillement :

Les seules données concernant le potentiel d'affouillement de l'estran au niveau de la dune des Garennes sont les levés topographiques réalisés par le Maître d'Ouvrage au niveau des poteaux bois.

Ces données ont été analysées au chapitre 4.1. Le potentiel d'affouillement a été estimé au chapitre 4.1.2 à la hauteur de la houle de projet. C'est pourquoi on considère un affouillement possible en pied d'ouvrage de $d_s=3.4$ m.

Le type de butée de pied à mettre en œuvre est représenté ci-dessous.

Figure 18 : Coupe type de butée de pied en fond sableux et potentiel d'affouillement modéré

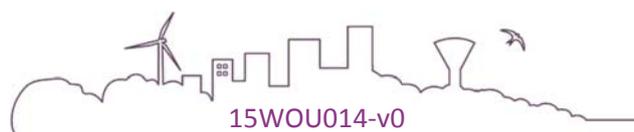


Le niveau de fondation de la butée de pied sera donc implanté à 3.4 m en dessous du niveau de l'estran actuel, à savoir :

- +3.2 m NGF côté Hauteville-sur-mer,
- +2.5 m NGF côté Montmartin-sur-mer.

Ces niveaux pourront être recalés en fonction de l'actualisation des données topo bathymétriques à prévoir en fin de travaux de protection provisoires.

La largeur de la butée sera prise égale à 3 Dn50 soit 3.0 m environ.





Dans les deux cas, le niveau de fondation est situé largement au-dessus du niveau des basses mers. Cette information permet de s'assurer que les excavations pourront être réalisées hors d'eau. Il faudra toutefois prêter une attention particulière aux plages d'intervention liées à la marée (niveau de fond de fouille < niveau de pleine mer quel que soit le coefficient de marée). Cette contrainte de travaux est détaillée au chapitre 6.1.1.

5.5 HYPOTHESES POUR LA VERIFICATION DE LA STABILITE GENERALE

5.5.1 HYPOTHESES GEOTECHNIQUES

Des reconnaissances complémentaires devront être menées parallèlement à l'étude de Projet. Ces reconnaissances consisteront en des sondages géotechniques et essais de sols associés. Les résultats de ces investigations permettront de s'assurer de la stabilité géotechnique de l'ouvrage :



- Stabilité au grand glissement (vérification effectuées à l'aide du logiciel TALREN),
- Vérification vis-à-vis de la portance des sols de fondation,
- Vérification vis-à-vis du poinçonnement sous le poids de l'ouvrage et en situation d'exploitation,
- Vérification de stabilité en phase de construction de l'ouvrage.

Le cahier des charges pour la réalisation de ces reconnaissances pourra être rédigé par le Maître d'œuvre au démarrage du Projet (définition du nombre de sondages, implantation, longueur de forage ; type de sondages).

5.5.2 HYPOTHESES HYDRAULIQUES

Les hypothèses hydrauliques à considérer sont données ici :

- En phase provisoire :
 - nappe située à +12.70 CM (HMVE Haute Mer de Vive Eau) côté dune et niveau rasant de la base de la digue côté mer,
 - nappe située à +12.70 CM (HMVE Haute Mer de Vive Eau) côté mer et niveau rasant côté dune ;
- En phase définitive :
 - nappe située à +14.07 CM (PHMA Plus Haute Mer Astronomique) côté digue et niveau rasant de la base de la digue côté mer ?
 - nappe située à +14.07 CM (HMVE Haute Mer de Vive Eau) côté mer et niveau moyen côté digue.





5.5.3 SURCHARGES

Les surcharges verticales sur la crête à prendre en compte seront de deux natures :

- Surcharges correspondant à la circulation de piétons et cycles (5kPa) (voire engin d'entretien 10kPa, à confirmer par le Maître d'Ouvrage) en phase d'exploitation (situation définitive) ;
- Surcharges correspondant à la circulation d'engins de chantier en phase de construction (situation provisoire).



5.6 IMPLANTATION DE LA DIGUE, TRACE EN PLAN DE L'OUVRAGE

5.6.1 PARTIE COURANTE

Dans le cadre de l'étude de faisabilité réalisée en novembre 2013 par SAFEGE, deux implantations de la digue ont été étudiées :

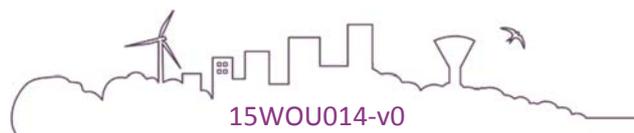
- Implantation 1 : au droit de la barrière d'enrochements en place, à environ 20 m de la crête actuelle, vers la plage. Cette implantation est la plus cohérente avec les ouvrages adjacents (alignement du front de protection). Elle permet également une restauration importante de la largeur de la crête de l'ouvrage. Cependant, elle suppose un apport important en remblais (estimé à 70 m³/ml, soit environ 26 000 m³ sur la longueur totale de la digue ;
- Implantation 2 : au droit de la dune existante. On prévoit une légère avancée sur la plage toutefois, en prévision de l'implantation d'un cheminement piétonnier en crête de digue. Cette implantation permet de s'affranchir d'un remblaiement important (environ 10m³/ml).

Lors de la réunion de démarrage de l'Avant-Projet, le Maître d'Ouvrage a fait part de son souhait que nous étudions une implantation intermédiaire répondant à un objectif d'aménagement particulier de la crête. Ce dernier est détaillé au chapitre 5.2.2.

Cette implantation permet de limiter les besoins en apport de sable pour remblayer la dune en avant de la dune existante (réalignement du front littoral). Plus précisément, dans cette configuration d'aménagement, les besoins en apport de sable ont été quantifiés à :

- Environ 5 m³/ml coté Hauteville-sur-mer ;
- Environ 4 m³/ml coté Montmartin-sur-mer.

Les sables seront issus des déblais obtenus lors des opérations de terrassement de profilage du fond de forme de l'ouvrage. Le reste des sables des déblais sera régalé sur place (confortement du pied de l'ouvrage). Ces quantités devront impérativement être précisées après avoir effectué un nouveau levé topographique tenant compte des aménagements réalisés en phase 2.





Par ailleurs, les enrochements de protection de phase 2 (issus des épis transversaux) seront évacués puisqu'ils ne présentent pas les caractéristiques mécaniques et intrinsèques minimales (schistes, dimensions inférieures à celles requises) pour constituer des blocs de carapace. Une autre solution possible consisterait à les mettre à disposition du Maître d'Ouvrage vue de leur réutilisation dans des travaux autres.

5.6.2 RACCORDEMENT AUX OUVRAGES EXISTANTS

Ce chapitre décrit les modalités à mettre en œuvre pour les raccordements aux extrémités de l'ouvrage à créer.

5.6.2.1 Raccordement en plan

Ce chapitre concerne le raccordement aux extrémités de la digue : raccordement à la digue de Hauteville au sud et à la digue de Montmartin au Nord ;

Il faut prêter une attention particulière à ces zones où l'angle de l'ouvrage par rapport à l'estran peut être différent de la partie courante. En effet, dans ces zones, les risques d'affouillement peuvent être augmentés en raison d'effets hydrodynamiques ponctuels.

Coté Hauteville, deux tracés sont envisagés :

- Le premier tracé a été réalisé en tenant compte du nivellement existant. La crête est implantée à partir de la ligne de niveau 10.10 m NGF actuel (plan topographique GEOMAT) ;
- Le second tracé a été réalisé dans le but de réduire l'angle entre la direction de la crête et la direction de l'estran.

Tableau 10 : Comparaison des scénarios de tracé en plan de l'ouvrage

| Tracé | Tracé 1 | Tracé 2 |
|-----------------------|--|--|
| Impact sur la dune | Pas d'impact | Ajout d'un mur de soutènement en partie haute de la dune (sur 10ml) |
| Impact hydrodynamique | Création d'une alternance d'angles convexe et concave plus marquée entre le tracé en plan de l'ouvrage et la crête de la houle incidente → effets hydrodynamiques induits ponctuellement (convergence des lignes orthogonales aux isobathes et concentration de l'énergie de la houle au niveau de la jonction entre les deux ouvrages). | Angle réduit → impact hydrodynamique négligeable |
| Impact sédimentaire | Création d'une zone d'érosion favorisée au niveau de la jonction et d'une zone de dépôt favorisée juste au nord de la jonction | Perturbation négligeable de la dérive littoral (rappel : direction du transit littoral dans cette zone Sud-Nord) |

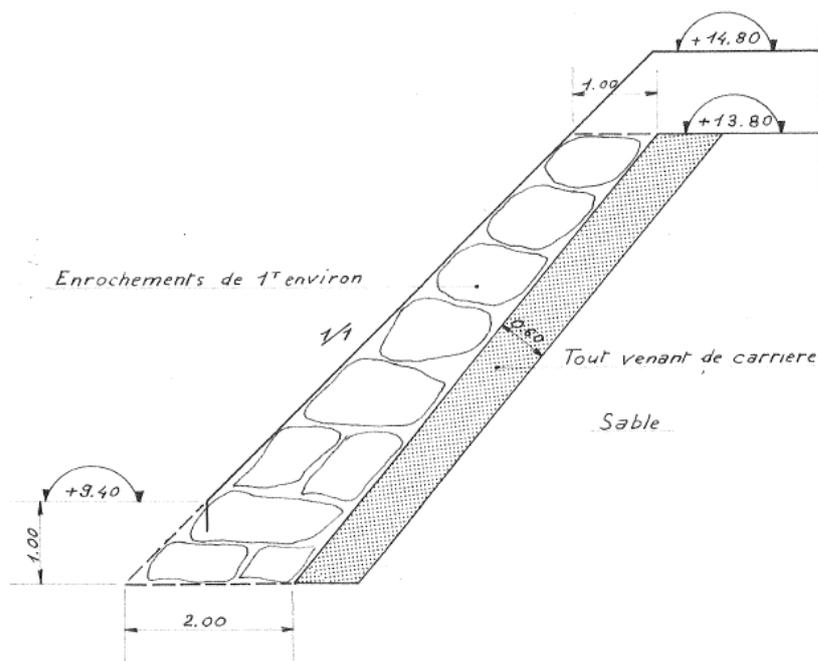




Côté Montmartin, le tracé en plan proposé permet d'assurer une continuité de la voie de circulation existante sur la crête de la digue de Montmartin. Le niveau de la crête devra être profilé en rampe régulière de sorte à atteindre la cote de 9.40 m NGF correspondant à la cote du haut de la cale de mise à l'eau en partie.

5.6.2.2 Raccordement en élévation

Figure 19 : Coupe de l'extrémité Nord de la digue de Hautveville-sur-mer (source : étude de danger, SAFEGE, 2013)



Côté Hauteville Sur mer, le raccordement en élévation entre les deux digues sera quasi-plan étant donné que la cote de crête de la digue des Garennes est prise identique à la cote de crête moyenne de la digue de Hauteville. S'il existe ponctuellement un delta en altitude au point de raccordement entre les deux crêtes, ce dernier sera compensé par la mise en œuvre d'une rampe en béton. La pente de la rampe en béton sera adaptée afin de respecter les normes d'accessibilité PMR (arrêté du 15 janvier 2007).

Les travaux pour le raccordement consisteront en :

- Dépose des enrochements de carapace en extrémité (quart de cône),
- Mise en place d'un géotextile en recouvrement du tout-venant ;
- Mise en œuvre des remblais d'apport pour l'adaptation de l'existant au tracé en plan retenu et de la coupe type retenue (géotextile, sous couche-filtres granulaires, blocs de carapace) ;
- Des blocs d'enrochements seront mis en recouvrement de la carapace existante au niveau de la jonction.



REALISATION DE LA DIGUE DES GARENNES

Projet P.L.A.G.E

Rapport d'Avant-Projet



Côté Montmartin-sur-mer, le raccordement en élévation entre les deux digues sera sans modification pour la digue ni la cale de Montmartin. L'enrochement de carapace viendra recouvrir sécuritairement les blocs de calage latéral de la cale.

La cote de crête de la digue des Garennes coté Montmartin sur mer sera dégressive de 10.10 m NGF jusqu'à 9.60 m NGF (cote de raccordement au niveau de la cale), en adoptant une pente de 4 % afin de respecter les conditions d'accessibilité. La cote de jonction (9.60 m NGF) reste supérieure à la cote de référence définie dans le PPRL (rappel $N100+cc=8.88$ m NGF). Toutefois, la cote du parapet sera conservée à 10.60 m NGF afin de s'affranchir du risque de submersion par franchissement de paquets de mer. Ainsi, la cote de parapet maximale sera de $10.60 - 9.60 \text{ m} = 1.0 \text{ m}$ en extrémité de digue. La structure du mur pourra localement être adaptée (renforts) afin de résister aux effets de poussées appliqués par les paquets de vagues.

5.6.3 AMENAGEMENT DE LA CRETE

5.6.3.1 *Largeur de la crête*

Le Maître d'Ouvrage souhaite insérer la digue des Garennes dans un espace à modes de déplacement doux. C'est pourquoi il est prévu d'aménager la crête de telle sorte à accueillir simultanément une circulation piétonne et une circulation vélo.

La largeur utile retenue au stade de l'avant-Projet est de 4.0 m. Pour information et à titre de comparaison, les largeurs de crête sur les digues de Hauteville et Montmartin sont supérieures à 3.5 m sur leur partir courante.

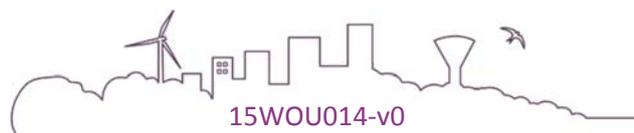
Le gabarit de voie s'inspire de celui établi dans le Cahier Technique des structures et aménagements des véloroutes et voies vertes du Conseil Général de la Manche.

5.6.3.2 *Revêtement de surface*

Le traitement de surface est défini en fonction des attributions dédié à la voie de circulation. En crête de la digue, on retiendra donc un traitement adapté aux liaisons douces (piétons et cycles) : stabilisé renforcé à la chaux.



Stabilisé renforcé à la chaux





Stabilisé renforcé à la chaux

Liaison douce

| | Epaisseur m | Type granulo |
|--|----------------|-------------------------------|
| Couche de liaison et de roulement | 0.10 | stabilisé renforcé à la chaux |
| Couche de fondation | 0.30 | GNT 0/31.5 |

Feutre géotextile

Arase AR

PST A déterminer

Sol en place purgé

Structure

0.40



Les épaisseurs indiquées sont provisoires et doivent être confirmées par une étude de sol. Les épaisseurs en questions seront alors adaptées afin de s'affranchir du risque de tassement ou de poinçonnement de la crête.

5.6.3.3 *Equipement/mobilier*

- Réseau électrique et candélabre,
- Banc,
- Bordure de délimitation entre voie vélo et voie piétonne,
- Poubelles avec tri des déchets (deux compartiment),
- Ganivelles de protection côté dune des Garennes (possibilité de réutilisation des ganivelles mises en place récemment par la mairie de Hauteville sur mer : à confirmer),
- Panneaux de signalisation :
 - Interdiction aux deux-roues motorisés,
 - Signalisation de la voie vélo et voie piétonne,
 - Panneau de réglementation vis-à-vis des activités,
 - Panneaux en bois (distances kilométriques des balades à pied : vers Hauteville et Pointe d'Agon par exemple) pour un projet d'intégration de la crête dans un circuit de randonnée,
- Potelets pour interdire l'accès aux engins motorisés.





5.6.4 PARAPET

Il s'agira d'un parapet en maçonnerie à la chaux ou bien en béton.

Ce muret devra présenter des ouvertures à intervalles réguliers (au minimum tous les 3 m) pour évacuer les eaux des paquets de mer qui franchiront l'ouvrage.

En partie courante, ce parapet ne devrait pas excéder une hauteur de 0.8 m. Au-delà de cette hauteur, on considère que le point de vue des promeneurs assis sur le banc sera entravé. Au niveau AVP, la hauteur retenue en partie courante est de 0.5 m.

5.7 ACCES A LA MER

Des escaliers d'accès à la mer depuis la crête de la digue seront aménagés sur la digue des Garennes.

Idéalement, ces escaliers seront implantés à environ égale distance des accès à la mer situés directement au nord et au sud. Il s'agit :

- Au nord : cale de mise à l'eau localisée à l'extrémité sud de la digue de Montmartin-sur-mer ;
- Au sud : cale de mise à l'eau localisée en partie nord la digue de Hauteville-sur-mer, au droit de l'avenue de l'Aumésie.

Les escaliers devront être implantés dans le prolongement du sentier piéton qui relie le camping au front de mer. Cela permettra aux usagers du camping d'accéder à la plage avec un parcours d'environ 100 m. Actuellement, ce sentier n'est plus utilisé et son tracé est peu visible. Il pourra être restauré en place ou bien déplacé, selon la volonté du Maître d'Ouvrage (non compris dans les travaux).

L'implantation précise de cet accès à la mer reste à confirmer en concertation avec la Maitrise d'Ouvrage.





6 ETUDE DES MODES D'EXECUTION DES TRAVAUX

6.1 CONTRAINTES

6.1.1 CONTRAINTES LIEES A LA MAREE

Les entreprises devront travailler à la marée puisque le pied de l'ouvrage est situé dans une zone soumise au marnage.

Plages horaires d'intervention en pied de digue (partie haute de l'estran).

Prendre les cotes de pied de digue des fiches de suivi trimestriel faites par le Maître d'Ouvrage.

Les plages horaires maximales d'intervention en pied d'ouvrage seront limitées par les niveaux de marée qui empêcheront la circulation des engins :

| | |
|--|-------------------|
| ■ Niveau mini de fondation de l'ouvrage | 2.3 à 2.5 m NGF ; |
| ■ Niveau de l'estran en extrémité d'épi n°3 | 2.3 m NGF ; |
| ■ Niveau du pied de cale coté Montmartin-sur-Mer | 4.0 m NGF ; |
| ■ Niveau du pied de cale coté Hauteville-sur-Mer | 3.8 m NGF. |

La durée maximale d'intervention sera limitée par le niveau de l'estran en pied de l'ouvrage.

Figure 20 : Graphique d'accessibilité horaire à l'estran aux deux points les plus défavorables



REALISATION DE LA DIGUE DES GARENNES

Projet P.L.A.G.E
Rapport d'Avant-Projet

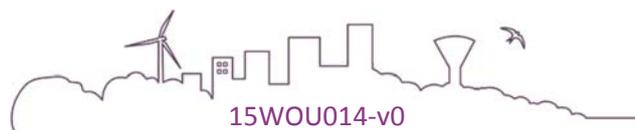
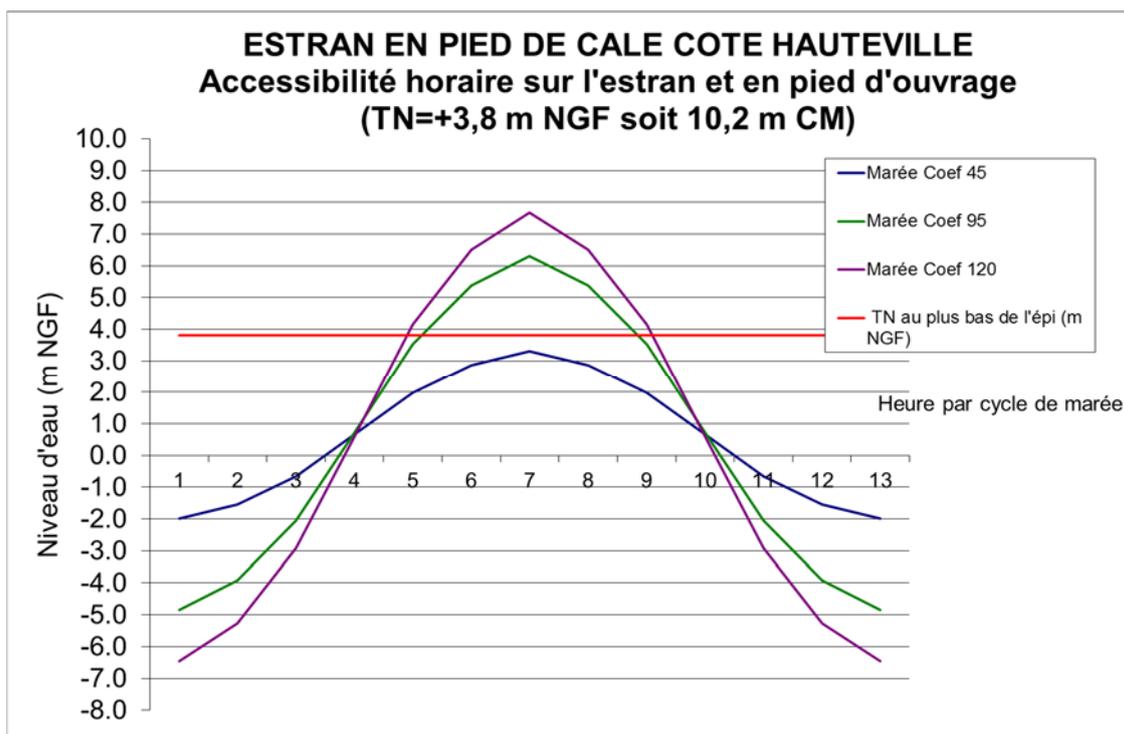
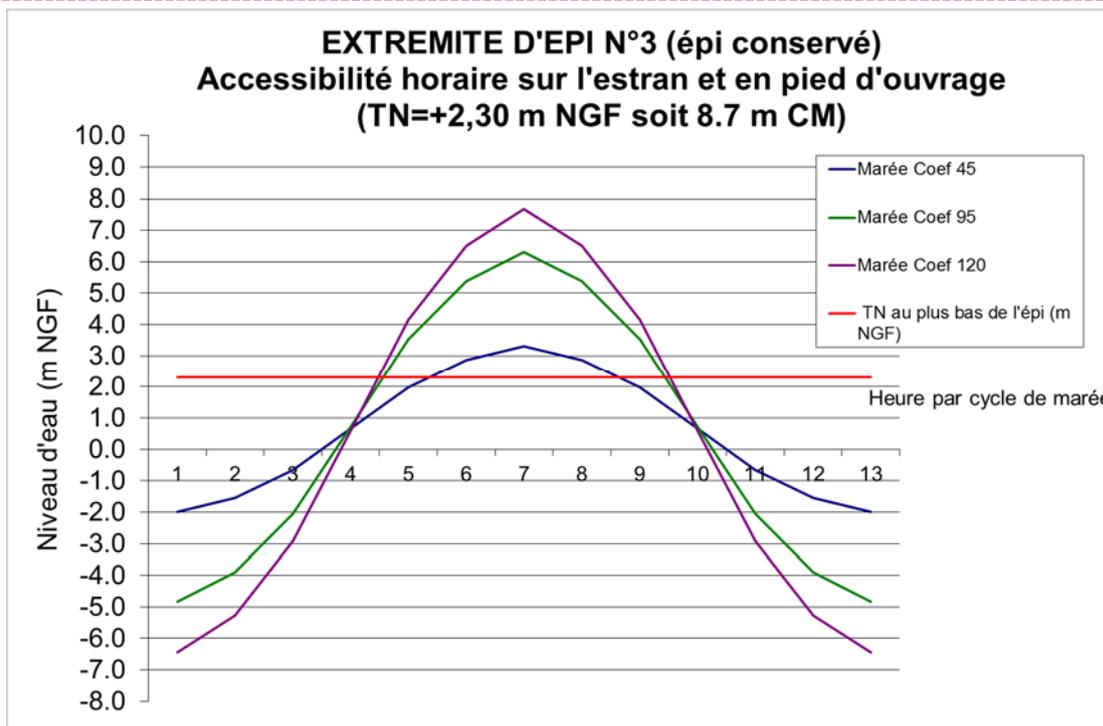




Tableau 11 : Modalités d'intervention

| | Accès côté Montmartin | Accès côté Hauteville |
|---|---|---|
| Itinéraire (cf. référence plan) | 1 | 2 |
| Cote contraignante | 2.3 m NGF (estran en extrémité d'épi 3) | 3.8 m NGF (cote de l'estran en pied de cale Hauteville) |
| Nombre d'heures de travail par cycle de marée (12heures) | | |
| Coeff 45 (Mortes eaux) | 9 | Accès permanent |
| Coeff 95 (Vives eaux) | 7 | 9 |
| Coeff 120 (Mer astronomique) | 7 | 7 |

6.1.2 CONTRAINTES LIEES A LA NATURE DES SOLS POUR LA CIRCULATION DES ENGINES DE CHANTIER

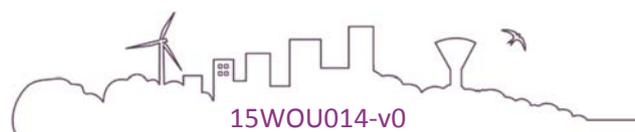
6.1.2.1 Engins

Les engins utilisés seront spécifiques à des opérations terrestres.

Il faut distinguer les opérations de déversement direct des matériaux en vrac (pour les matériaux de remblaiement de la digue) et la pose contrôlée des enrochements (pour les travaux de carapace, sous couches ou butée de pied).

Pour les opérations terrestres, des tombereaux (dumper) peuvent être utilisés pour le transport des matériaux. Des pelles hydrauliques (voire grues à câbles) pourront être utilisées pour le déversement des matériaux pour le remblaiement de la dune et mise en forme du noyau de la digue.

Des pelles hydrauliques (voire grues à câbles) peuvent être utilisées pour la pose individuelle contrôlée de blocs.



REALISATION DE LA DIGUE DES GARENNES

Projet P.L.A.G.E
Rapport d'Avant-Projet



Tableau 12 : Matériel envisagé par type de tâche

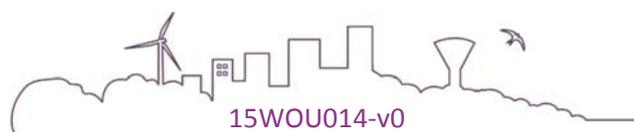
| Tâche | Exemple de matériel envisageable | Spécificités |
|---|---|---|
| Transport de matériaux (matériaux fins à blocs de carapace) | Tombereaux (dumper) Ou semi-remorque benne | <ul style="list-style-type: none"> ■ Tombereaux non autorisés sur les voies publiques (dommages causés à la route par leur charge par essieu élevée) ■ Alternative : tombereau sur chenilles ou dumper articulé (ligne d'essieu supplémentaire) |
| Déversement de matériaux en vrac | Pelle hydraulique | <ul style="list-style-type: none"> ■ Portée à adapter en fonction de la blocométrie retenue (cf. tableau ci-après) |
| Placement contrôlé des blocs | Pelle hydraulique (voire grue à câble) | Equipement à l'aide d'un grappin ou d'une pince |

Tableau 13 : Choix d'une pelle hydraulique suivant la blocométrie

| Taille de l'enrochement | Matériau de noyau | 1 - 3 t | 3 - 6 t | 6 - 10 t | 10 - 15 t | 15 - 20 t |
|-------------------------|-------------------|---------|---------|----------|-----------|-----------|
| Taille de la pelle | 15 t | 20 t | 30 t | 45 t | 60 t | 70 t |

Tableau 14 : Principales caractéristiques des engins envisagés

| Engins | Poids à vide (t) | Capacité | Largeur effective (m) |
|--------------------|------------------|--------------------------|-----------------------|
| Tombereau articulé | 23 - 35 | 23.6 - 38.1 t | 2.90 - 3.45 |
| Pelle hydraulique | 22 - 85 | 1.2 - 4.6 m ³ | 2.80 - 3.50 |
| Semi-remorque | 12 - 20 | 12.5 - 25 t | 2.55 |



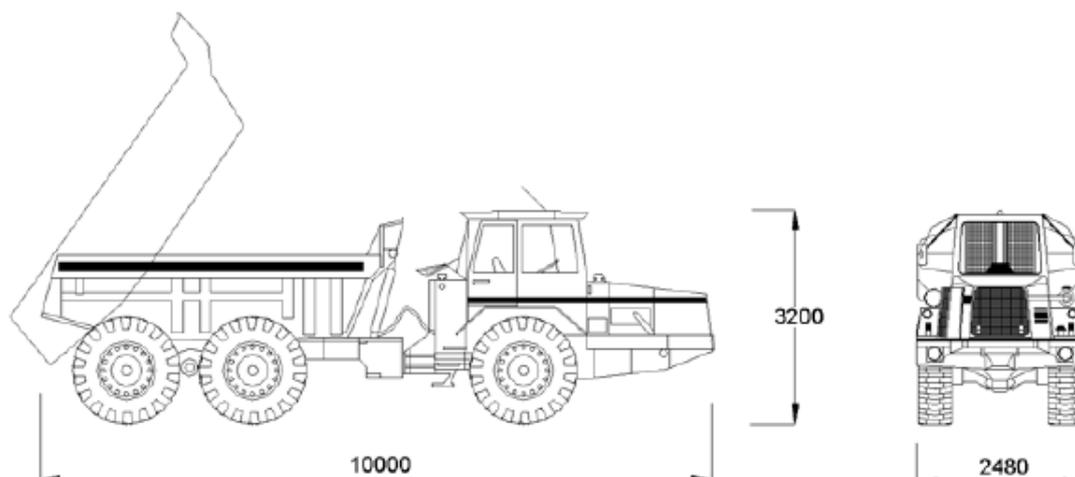


Figure 21 : Tombereau articulé : dimensions classiques



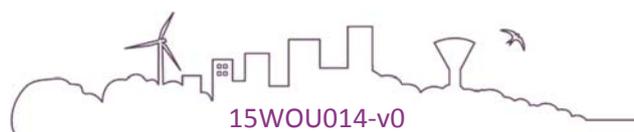
Figure 22 : Exemples de pelles équipées de grappin (gauche) ou pince (droite)

NOTA : en fonction de la provenance des enrochements, il pourrait également être envisagé de les amener par barge flottante à marée haute, de les déverser dans la mer par profondeur minimale et de les récupérer à marée basse sur l'estran.

6.1.2.2 Zones de circulation

La circulation des engins de chantiers en crête de dune sera prohibée afin de ne pas déstructurer la dune et de ne pas endommager la végétation dunaire.

Par conséquent, les travaux de terrassement et de constitution de la protection en enrochements seront réalisés depuis le pied de l'ouvrage. En revanche, les travaux d'aménagement de la crête (mise en œuvre de la structure de chaussée, construction du parapet, mise en place des équipements de mobilier urbain) pourront être réalisés depuis la tête de digue, sous condition que les engins utilisés ne risquent pas de déstructurer l'ouvrage (poinçonnement, ornièrage particulièrement).





Nous recommandons d'utiliser des engins de chantier sur chenilles afin d'éviter les effets de poinçonnement des pneus sur les voies de circulation et afin de pouvoir circuler sans soucis (embourbement) sur l'estran.

6.1.3 CONTRAINTES REGLEMENTAIRES

SAFEGE réalise les dossiers réglementaires suivants qui paraissent nécessaires au regard des travaux projetés et du contexte réglementaire applicable à ce type d'opération :

- Une étude d'impact valant document d'incidences au titre de la loi sur l'eau et incluant une étude Natura 2000,
- La constitution du dossier d'enquête publique,
- Une assistance au Maître d'ouvrage durant la totalité de la procédure administrative jusqu'à l'obtention de l'arrêté d'autorisation.

Les délais de réalisation et d'instruction des dossiers réglementaires sont indiqués dans le planning de l'opération (chapitre 7). La consultation des entreprises pour la réalisation des travaux devra être lancée, au minimum, après la réception de l'arrêté d'autorisation des travaux par les services de l'Etat (délivré à la fin de la période d'instruction).

6.1.4 ZONES DE STOCKAGE

Des zones de stockage à sec potentielles sont repérées sur le plan des contraintes en phase chantier. Ces zones sont à confirmer par le Maître d'Ouvrage.

Par ailleurs, il est possible de stocker les gros blocs (blocs de carapace) sur l'estran. Les blocs seront récupérés par la marée à marée basse.

7 PLANNING ET PHASAGE DES TRAVAUX

Le planning prévisionnel du reste de l'opération (Etudes réglementaires, prestations complémentaires, est fourni en page suivante.



| | 2015 | | | | | | | | | | | | 2016 | | | | | | | | | | | | 2017 | | | | | | | | | | | | 2018 | |
|--|------|------|---------|------|-----------|---------|----------|----------|---------|---------|------|-------|------|------|---------|------|-----------|---------|----------|----------|---------|---------|------|-------|------|------|---------|------|-----------|---------|----------|----------|---------|---------|--|--|------|--|
| | Mai | Juin | Juillet | Aout | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Aout | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Aout | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre | Janvier | Février | | | | |
| ETUDES AVANT PROJET | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VALIDATION MOA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RELEVES FAUNE FLORE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ETABLISSEMENT DES DOSSIERS REGLEMENTAIRES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PERIODE D'INSTRUCTION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ETUDES DE PROJET | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| RECONNAISSANCES COMPLEMENTAIRES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VALIDATION MOA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| REDACTION DU DOSSIER DE CONSULTATION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PERIODE DE CONSULTATION - ANALYSE ET MAP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TRAVAUX (YC PERIODE DE PREPARATION 2 MOIS) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

- = VALIDATION MAITRISE D'OUVRAGE
- = SAFEGE - MOE
- = ASCONIT -RELEVES FAUNE FLORE
- = SAFEGE -ETUDES REGLEMENTAIRES
- = ENTREPRISE
- = DELAIS D'INSTRUCTION
- = BE GEOTECHNIQUE ET CABINET GEOMETRE

Mai SAISON



8 ESTIMATION DU COUT PREVISIONNEL DES TRAVAUX

L'estimation du cout des travaux ci-après est établie sur la base d'avant métrés.

Les prix de base qui servent à l'estimation sont établis à partir d'ouvrages actuels de même typologie, dans un contexte côtier de protection du littoral similaire.

Une provision pour des aléas et prestations diverses a été présentée à ce stade d'avancement des études. Elle correspond à un pourcentage de 15% du montant global des travaux HT..

| RECAPITULATIF | | |
|----------------------------|--|-----------------|
| Désignation. | | Montant HT |
| PRESTATIONS GENERALES | | 50 k€ |
| TRAVAUX PRELIMINAIRES | | 160 k€ |
| PROTECTION EN ENROCHEMENTS | | 1 290 k€ |
| AMENAGEMENT DE LA CRETE | | 230 k€ |
| DIVERS ET IMPREVUS (15%) | | 260 k€ |
| TOTAL GENERAL H.T. | | 2 000 k€ |

