Mer et côtes

ASSOCIATION SYNDICALE DE DENNEVILLE-PLAGE

ETUDE DE PROTECTION DU LITTORAL DE DENNEVILLE-PLAGE

Rapport de lot 2 - projet de défense contre la mer

Rapport n° : 15F-150-RA-2

Révision n° : A

Date : 08/02/2016

Rapport

Votre contact :
Olivier BARBET
barbet@isl.fr

ISL Ingénierie SAS - ANGERS
25 rue Lenepveu
49100 - Angers
FRANCE
Tel. : +33.2.41.36.01.77
Fax : +33.2.41.36.10.55

www.isl.fr

ISL Ingénierie

Visa

Document verrouillé du 08/02/2016.

Révision	Date	Auteur	Chef de Projet	Superviseur	Commentaire
A	08/02/2016	OBA	OBA	ATA	

ATA : TARDIEU Antoinette

OBA : BARBET Olivier

Rapport ISL
15F-150-RA-2
Revision A
http://www.isl.fr/r.php?c=123362
ISL Ingénierie

SOMMAIRE

1 OBJET DE L'ETUDE 1
1.1 CONTEXTE 1
1.2 OBJECTIF DE LA MISSION 1
1.3 ORGANISATION DE L'ETUDE 1

2 RAPPEL DU DIAGNOSTIC 2

3 DEFINITION DES EVENEMENTS DE REFERENCE 3

4 RAPPEL DU NIVEAU DE RISQUE 4

5 STRATEGIES DE GESTION DU TRAIT DE COTE 6
5.1 LES STRATEGIES POSSIBLES 6
5.2 APPLICATION AU CAS DE DENNEVILLE-PLAGE 7
5.2.1 LITTORAL URBANISE DE DENNEVILLE-PLAGE 7
5.2.2 CORDONS DUNAIRES AU NORD ET AU SUD 7

6 INVENTAIRE DES SOLUTIONS D'AMENAGEMENT 8
6.1 LISTE DES SOLUTIONS 8
6.2 TALUS EN ENROCHEMENTS AVEC BUTEE DE PIED 8
6.2.1 JUSTIFICATION 8
6.2.2 PRINCIPE 8
6.2.3 DIMENSIONNEMENT 8
6.2.4 CONTRAINTES 10
6.2.5 APPLICATION AU CAS DE DENNEVILLE – COUT 11
6.2.5.1 Avantages/inconvénients 11
6.2.5.2 Coût 11
6.3 MISE EN ŒUVRE D'UNE STRUCTURE DE PROTECTION GEO-COMPOSITE 13
6.3.1 JUSTIFICATION 13
6.3.2 PRINCIPE 13
6.3.3 DIMENSIONNEMENT 13

6.3.4 CONTRAINTES 14
6.3.5 APPLICATION AU CAS DE DENNEVILLE – COUT 14
6.3.5.1 Avantages/inconvénients 14
6.3.5.2 Coût 15
6.4 MISE EN PLACE D'EPIS 16
6.4.1 JUSTIFICATION 16
6.4.2 PRINCIPE 16
6.4.3 DIMENSIONNEMENT 16
6.4.3.1 Cote de crête 16
6.4.3.2 Longueur 16
6.4.3.3 Espacement 16
6.4.3.4 Structure 17
6.4.4 CONTRAINTES 18
6.4.5 APPLICATION AU CAS DE DENNEVILLE – COUT 18
6.4.5.1 Avantages/inconvénients 18
6.4.5.2 Coût 19
6.5 RECHARGEMENTS DE LA PLAGE 20
6.5.1 JUSTIFICATION 20
6.5.2 PRINCIPE 20
6.5.3 DIMENSIONNEMENT 20
6.5.4 CONTRAINTES 20
6.5.5 APPLICATION AU CAS DE DENNEVILLE – COUT 20
6.5.5.1 Avantages/inconvénients 20
6.5.5.2 Coût 20
6.6 ELARGISSEMENT DE LA DUNE, FIXATION DES SABLES ET PIEGEAGE DES APPORTS EOLIENS EN PIED DE DUNE (GANIVELLES, PIEUX, VEGETATION) 22
6.6.1 JUSTIFICATION 22
6.6.2 PRINCIPE 22
6.6.3 DIMENSIONNEMENT 22
6.6.4 CONTRAINTES 23
6.6.5 APPLICATION AU CAS DE DENNEVILLE – COUT 23
6.6.5.1 Avantages/inconvénients 23
6.6.5.2 Coût 23
6.7 RELOCALISATION DES ENJEUX 25
6.7.1 JUSTIFICATION 25

6.7.2 PRINCIPE 25
6.7.3 CONTRAINTES 25
6.7.4 APPLICATION AU CAS DE DENNEVILLE-PLAGE – COUT 25
6.7.4.1 Avantages/inconvénients 25
6.7.4.2 Coût 25
6.8 ANALYSE COMPARATIVE DES SOLUTIONS 27
6.9 CHOIX D'UN SCENARIO D'AMENAGEMENT 29

7 SCENARIO D'AMENAGEMENT 30
7.1 CHOIX DE L'EVENEMENT DE REFERENCE 30
7.2 CONFORTEMENT DES PARCELLES AMENAGEES 30
7.2.1 REPRISE PARTIELLE 30
7.2.1.1 Traitement et élévation de la crête de l'ouvrage 30
7.2.1.2 Création d'une butée de pied 31
7.2.2 REPRISE COMPLETE 31
7.3 TRAITEMENT DES SINGULARITES 32
7.3.1 EXTREMITE NORD 32
7.3.2 EXTREMITE SUD 32
7.3.2.1 Talus en enrochements 33
7.3.2.2 Géo-composite 34
7.3.3 PARCELLES NON AMENAGEES 34
7.3.3.1 Création d'un enrochement 34
7.3.3.2 Confortement par géo-composite 34
7.4 TRAITEMENT DES ACCES 35
7.5 CONFORTEMENT DU MASSIF DUNAIRE AU SUD 35
7.6 ESTIMATION FINANCIERE 36
7.6.1 PRIX UNITAIRES RETENUS 36
7.6.2 DETAIL DES COUTS TRAVAUX PAR PARCELLE 36
7.6.3 COUT DU SCENARIO D'AMENAGEMENT 38
7.7 RECOMMANDATIONS AVANT TRAVAUX 38

TABLE DES FIGURES

Figure 5-1 : mode de gestion en fonction de la typologie des espaces. 6
Figure 6-1 : protection de cordon dunaire par enrochements (plan ISL). 10
Figure 6-2 : exemple de structure géo-composite (documentation : Espace Pur – Cornic). 13
Figure 6-3 : exemple d'épis efficaces. 17
Figure 6-4 : cas d'un espacement trop important – aval dérive perceptible mais technique des épis perméables relativement efficace. 17
Figure 6-5 : exemple d'épis en géocomposite sur la plage de Guidel. 18
Figure 6-6 : épi en enrochements. 18
Figure 6-7 : aménagement des accès parallèle au trait de côte – Saint-Hilaire-de-Rietz. 22
Figure 6-8 : branchage en pied de dunes – dégradation rapide des ganivelles par les eaux. 23
Figure 7-1 : coupes-types des confortements des enrochements existants. 32
Figure 7-2 : érosion à l'extrémité Sud de la protection. 33
Figure 7-3 : principe du traitement de l'extrémité Sud. 33
Figure 7-4 : coupe de principe pour l'aménagement de la parcelle du 8 rue Pelca. 34

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 3-1 : niveaux marins extrêmes et houles en pied d'ouvrage. 3
Tableau 4-1 : caractérisation des aléas pour les évènements de référence. 5
Tableau 6-1 : calibre des enrochements pour l'évènement Z_{ref}. 9
Tableau 6-2 : calibre des enrochements pour l'évènement Z_{ref} + 20 cm. 9
Tableau 6-3 : calibre des enrochements pour l'évènement Z_{ref} + 60 cm. 9
Tableau 6-4 : niveau de crête des enrochements pour limiter les débits de franchissement à 20l/s/ml. 10
Tableau 6-5 : coût total des travaux – protection en enrochements. 11
Tableau 6-6 : coût total à l'horizon 2040 – protection en enrochements. 12
Tableau 6-7 : coût total des travaux – protection en géo-composite longitudinaux. 15
Tableau 6-8 : coût total à l'horizon 2040 – protection en géo-composite longitudinaux. 15
Tableau 6-9 : coût total des travaux – épis en géo-composite transversaux. 19
Tableau 6-10 : coût total à l'horizon 2040 – protection en géo-composite longitudinaux. 19
Tableau 6-11 : coût total des travaux – rechargement en sable. 21
Tableau 6-12 : coût total à l'horizon 2040 – rechargement en sable. 21
Tableau 6-13 : coût total des travaux – confortement dunaire. 24
Tableau 6-14 : coût total à l'horizon 2040 – confortement dunaire. 24

Tableau 6-15 : évaluation sommaire du coût du repli stratégique à l'horizon 2040. 26
Tableau 6-16 : comparaison des différentes solutions de lutte active. 27
Tableau 7-1 : détail des coûts par parcelle. 37
Tableau 7-2 : coût total à l'horizon 2040 – projet de défense contre la mer du littoral de Denneville. 38

1 OBJET DE L'ETUDE

1.1 CONTEXTE

Située sur la façade Ouest de la pointe du Cotentin, la plage de Denneville a connu dans les années 60-70 plusieurs tempêtes successives qui ont conduit à des reculs ponctuels de la dune. En réaction, les propriétaires riverains ont mis en place des dispositifs de défense contre la mer au fur et à mesure de l'urbanisation des parcelles de front de mer.

Aujourd'hui, la protection s'étend sur environ 1,3 km sur le littoral, elle est constituée d'enrochements à la parcelle mis en place entre la fin des années 50 et le début des années 2000. Cette protection présente ainsi une certaine hétérogénéité.

L'Association Syndicale de Denneville-Plage (ASDP) s'est constituée récemment afin de répondre à la demande des services de l'Etat incitant les riverains à se regrouper et envisager une stratégie de défense contre la mer commune et plus cohérente.

1.2 OBJECTIF DE LA MISSION

L'objectif de la mission est de proposer une stratégie de défense contre la mer qui réponde :

- Aux attentes des riverains en termes de protection des biens ;
- A la problématique liée à la mobilité du trait de côte ;
- Aux recommandations et exigences de l'Etat formulées dans le cadre de la « ***stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte*** ».

Pour répondre à ces trois points, l'ASDP a missionné ISL-Ingénierie qui s'est associé au cabinet HYDRATEC (en tant que sous-traitant).

1.3 ORGANISATION DE L'ETUDE

L'étude se décompose en 5 lots :

- Lot 1 : état des lieux, diagnostic ;
- Lot 2 : proposition d'un projet de défense contre la mer ;
- Lot 3 : assistance de l'ASDP auprès de la DDTM 50 ;
- Lot 4 : rédaction du dossier de consultation des entreprises (DCE) ;
- Lot 5 : assistance à la maîtrise d'ouvrage (AMO).

Le présent rapport traite du **lot n°2 : proposition d'un projet de défense contre la mer.**

2 RAPPEL DU DIAGNOSTIC

Dans le cadre du lot 1, un état des lieux de la protection actuelle du littoral dennevillais a été établi sur la base des observations (caractéristiques des ouvrages de protection et relevé de désordres) et en considérant un évènement de période de retour 100 ans « actuel » (c'est-à-dire sans prise en compte de l'élévation probable du niveau moyen marin).

Cet état des lieux a mis en évidence :

- Un aléa fort sur une grande partie de la moitié Sud du linéaire de protection, du à des conditions de franchissement très défavorables ;
- Un risque d'affouillement en pied de la protection difficile à mesurer en l'absence d'information sur la profondeur des enrochements ;
- Un risque fort d'érosion de la dune au Sud de la protection, avec des conséquences limitées hormis pour l'habitation la plus proche ;
- Des conditions hydro-sédimentaires favorables sur la partie Nord, avec une dune en reconstitution et un niveau de plage tendant à l'exhaussement ;
- Plusieurs parcelles ont été identifiées avec un risque fort dès un évènement de période de retour décennal, des travaux d'urgence ont été préconisés dans le cadre du lot 1.

Sur la base de ce diagnostic, le présent lot 2 vise à définir une stratégie globale de défense contre la mer sur l'ensemble du littoral dennevillais. Cette stratégie repose sur :

- Le choix de l'évènement marin contre lequel on souhaite se prémunir ;
- Le choix de la/les solutions techniques à mettre en œuvre ;
- Le dimensionnement et l'estimation des coûts des aménagements retenus.

3 DEFINITION DES EVENEMENTS DE REFERENCE

L'évènement de période de retour 100 ans a été défini dans le cadre du lot 1. De la même manière, les évènements Z_{ref} + 20 cm et Z_{ref} + 60 cm ont été caractérisés par simulations hydrauliques.

Combinaison	Niveau statique		Houle		Niveau marin extrême avec set-up	H_s calculée en pied d'ouvrage
	Niveau	T	H_s	T		
Z_{ref}	7,29 mNGF	100 ans	4,0 m	< 1 an	7,44 mNGF	1,67 m
Z_{ref} + 20 cm	7,49 mNGF	100 ans	4,0 m	< 1 an	7,64 mNGF	1,75 m
Z_{ref} + 60 cm	7,89 mNGF	100 ans	4,0 m	< 1 an	8,03 mNGF	1,96 m

Tableau 3-1 : niveaux marins extrêmes et houles en pied d'ouvrage.

Le niveau Z_{ref} + 20 cm tient compte d'une élévation du niveau moyen marin à l'horizon 2040, le niveau Z_{ref} + 60 cm tient compte des projections d'élévation à l'horizon 2100.

Le Tableau 3-1 met en évidence l'influence du niveau marin sur la hauteur de houle en pied d'ouvrage : celle-ci est significativement augmentée de près de 20 %.

4 RAPPEL DU NIVEAU DE RISQUE

Le niveau de risque est rappelé pour chacun des trois évènements étudiés au chapitre précédent. Les aléas sont évalués suivant la même procédure que décrite dans le rapport de lot 1.

Profil	PM	Propriété	Commune	Parcelle	Nature	Aléa Zref	Aléa Zref + 20 cm	Aléa Zref + 60 cm
1	0	Conservatoire du littoral	Saint-Lô-d'Ourville	847	dune	MOYEN	MOYEN	MOYEN
2	71	37, rue Charles lefevre	Denneville	AB-332	dune	MOYEN	MOYEN	MOYEN
3	104	35, rue Charles lefevre	Denneville	AB-333	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
4	127	33, rue Charles lefevre	Denneville	AB-470	enrochement	MOYEN	MOYEN	MOYEN
5	143	31, rue Charles lefevre	Denneville	AB-471	dune	FORT	FORT	FORT
6	165	29, rue Charles lefevre	Denneville	AB-437	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
7	182	27, rue Charles lefevre	Denneville	AB-436	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
8	207	25, rue Charles lefevre	Denneville	AB-337	enrochement	MOYEN	MOYEN	MOYEN
9	232	21, rue Charles lefevre	Denneville	AB-338	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
10	248	21, rue Charles lefevre	Denneville	AB-339	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
11	268	19, rue Charles lefevre	Denneville	AB-340	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
12	282	17, rue Charles lefevre	Denneville	AB-341	enrochement	MOYEN	MOYEN	MOYEN
13	295	15, rue Charles lefevre	Denneville	AB-342	enrochement	MOYEN	MOYEN	MOYEN
14	306	13, rue Charles lefevre	Denneville	AB-343	enrochement	MOYEN	MOYEN	MOYEN
15	320	13, rue Charles lefevre	Denneville	AB-344	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
16	339	9bis, rue Charles lefevre	Denneville	AB-502	enrochement	MOYEN	MOYEN	MOYEN
17	358	9, rue Charles lefevre	Denneville	AB-503	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
18	379	7, rue Charles lefevre	Denneville	AB-346	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
19	404	3, rue Charles lefevre	Denneville	AB-331-298	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
20	421	1, rue Charles lefevre	Denneville	AB-297	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
21	443	1, rue Charles lefevre	Denneville	AB-296	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
22	485	2, rue André Pelca	Denneville	AO-210-1	enrochement	MOYEN	MOYEN	MOYEN
23	504	2, rue André Pelca	Denneville	AO-210-242	enrochement	MOYEN	MOYEN	MOYEN
24	522	4, rue André Pelca	Denneville	AO-210-4	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
25	537	6, rue André Pelca	Denneville	AO-210-422	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
26	557	8, rue André Pelca	Denneville	AO-431	dune	FORT	FORT	FORT
27	577	12, rue André Pelca	Denneville	AO-211-430	enrochement	MOYEN	MOYEN	MOYEN
28	590	14, rue André Pelca	Denneville	AO-211-8	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
29	607	16, rue André Pelca	Denneville	AO-211-9	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
30	627	18, rue André Pelca	Denneville	AO-211-187	enrochement	MOYEN	MOYEN	MOYEN
31	637	18, rue André Pelca	Denneville	AO-211-186	enrochement	MOYEN	MOYEN	MOYEN
32	654	20, rue André Pelca	Denneville	AO-211-185	enrochement	MOYEN	MOYEN	MOYEN
33	679	22, rue André Pelca	Denneville	AO-211-184	enrochement	MOYEN	FORT	FORT
34	697	24, rue André Pelca	Denneville	AO-211-183	enrochement	FORT	FORT	FORT
35	718	26, rue André Pelca	Denneville	AO-211-182	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
36	735	28, rue André Pelca	Denneville	AO-211-181	enrochement	MOYEN	MOYEN	MOYEN
37	746	30, rue André Pelca	Denneville	AO-211-180	enrochement	FORT	FORT	FORT
38	769	32, rue André Pelca	Denneville	AO-211-179	enrochement	FORT	FORT	FORT
39	791	34, rue André Pelca	Denneville	AO-211-178	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
40	804	34, rue André Pelca	Denneville	AO-211-177	enrochement	FORT	FORT	FORT
41	815	36, rue André Pelca	Denneville	AO-211-176	enrochement	FORT	FORT	FORT
42	824	36, rue André Pelca	Denneville	AO-211-175	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
43	834	36, rue André Pelca	Denneville	AO-211-174	enrochement	MOYEN	FORT	FORT
44	855	40, rue André Pelca	Denneville	AN-414-1	enrochement	MOYEN	FORT	FORT
45	868	40, rue André Pelca	Denneville	AN-414-2	enrochement	FORT	FORT	FORT
46	878	40, rue André Pelca	Denneville	AN-414-3	enrochement	FORT	FORT	FORT
47	891	40A, rue André Pelca	Denneville	AN-414-540	enrochement	FORT	FORT	FORT
48	911	42, rue André Pelca	Denneville	AN-414-380	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
49	937	44, rue André Pelca	Denneville	AN-414-379	enrochement	MOYEN	FORT	FORT

Profil	PM	Propriété	Commune	Parcelle	Nature	Aléa Zref	Aléa Zref + 20 cm	Aléa Zref + 60 cm
50	955	46, rue André Pelca	Denneville	AN-414-378	enrochement	FORT	FORT	FORT
51	966	46, rue André Pelca	Denneville	AN-414-377	enrochement	FORT	FORT	FORT
52	979	48, rue André Pelca	Denneville	AN-414-375	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
53	990	50, rue André Pelca	Denneville	AN-414-374	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
54	1003	52, rue André Pelca	Denneville	AN-414-674	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
55	1016	54, rue André Pelca	Denneville	AN-414-372	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
56	1027	54, rue André Pelca	Denneville	AN-414-371	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
57	1044	56, rue André Pelca	Denneville	AN-414-370	enrochement	MOYEN	FORT	FORT
58	1068	58, rue André Pelca	Denneville	AN-414-369	enrochement	FORT	FORT	FORT
59	1089	60, rue André Pelca	Denneville	AN-414-368	enrochement	FORT	FORT	FORT
60	1100	60, rue André Pelca	Denneville	AN-414-367	enrochement	FORT	FORT	FORT
61	1112	62, rue André Pelca	Denneville	AN-414-366	enrochement	FORT	FORT	FORT
62	1125		Denneville	AN-414-365	enrochement	FORT	FORT	FORT
63	1147	64, rue André Pelca	Denneville	AN-414-364	enrochement	FORT	FORT	FORT
64	1162	66, rue André Pelca	Denneville	AN-414-387	enrochement	FORT	FORT	FORT
65	1186	68, rue André Pelca	Denneville	AN-414-600	enrochement	FORT	FORT	FORT
66	1204	70, rue André Pelca	Denneville	AN-414-606	enrochement	FORT	FORT	FORT
67	1222	72, rue André Pelca	Denneville	AN-414-358	enrochement	FORT	FORT	FORT
68	1252	74, rue André Pelca	Denneville	AN-414-543	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
69	1290	74bis, rue André Pelca	Denneville	AN-414-542	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
70	1327	76, rue André Pelca	Denneville	AN-414-356	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
71	1377	les Mielles d'Allonne	Saint-Rémy-des-Landes	AB-1-156	enrochement	MOYEN	MOYEN	FORT
72	1428	Conservatoire du littoral	Saint-Rémy-des-Landes	AB-1-157	dune	MOYEN	FORT	FORT
73	1472	Conservatoire du littoral	Saint-Rémy-des-Landes	AB-1-158	dune	FORT	FORT	FORT

Tableau 4-1 : caractérisation des aléas pour les évènements de référence.

Le pourcentage de parcelles affectées d'un aléa fort est, pour chaque évènement considéré :

- Zref : 30 % ;
- Zref + 20 cm : 40 % ;
- Zref + 60 cm : 75 %.

Pour les parcelles protégées par des enrochements, l'aléa prépondérant est lié aux franchissements de la crête des enrochements et à l'érosion de la dune pouvant s'en suivre avec déstabilisation, voire rupture, de la carapace en enrochements.

Pour les parcelles non-protégées, l'aléa prépondérant est l'érosion et le recul du cordon dunaire sous l'action des vagues.

Ces deux aléas sont à traiter en priorité. L'aléa lié aux affouillements en pied des enrochements doit être également pris en compte dans la mesure où il peut mener à une déstabilisation de la carapace.

L'aléa lié à la dérive littorale apparaît quant à lui comme faible en état actuel et difficile à caractériser à long terme en fonction de l'augmentation du niveau marin. Ce point dépasse la simple étude du cas de Denneville-Plage.

5 STRATEGIES DE GESTION DU TRAIT DE COTE

5.1 LES STRATEGIES POSSIBLES

Le schéma suivant illustre les différents modes de gestion du trait de côte en fonction des typologies d'espaces :

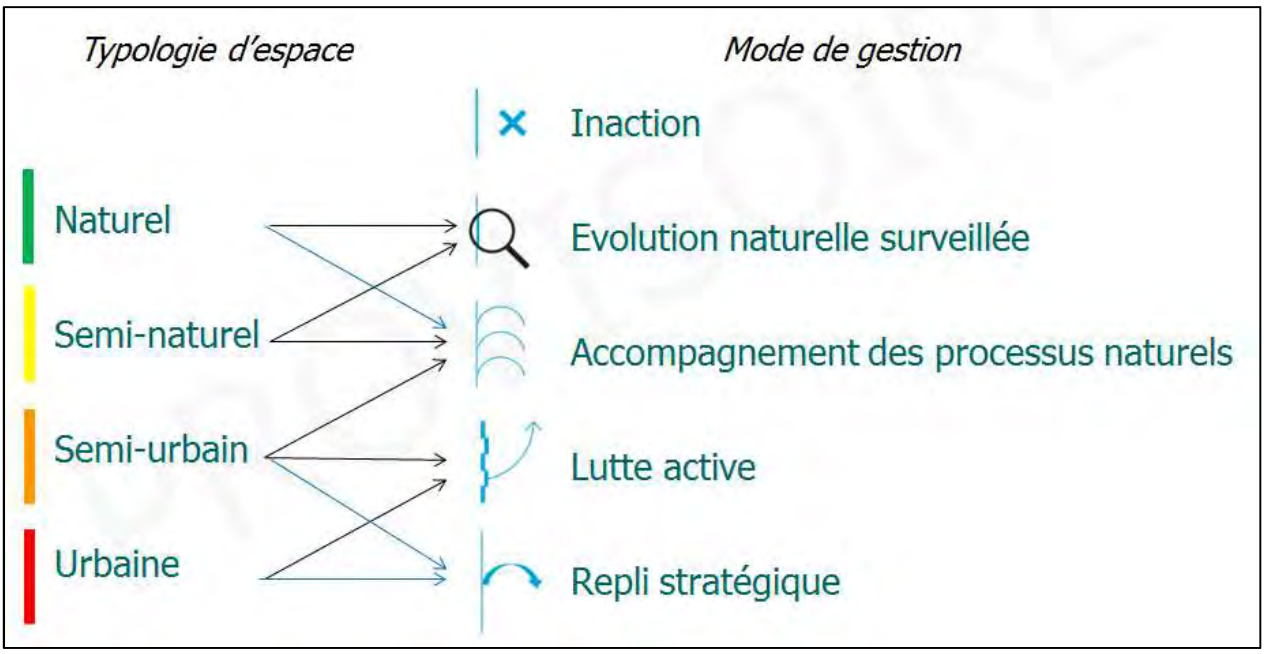


Figure 5-1 : mode de gestion en fonction de la typologie des espaces.

Dans le cas de Denneville, les espaces rencontrés sont des espaces naturels (dunes au Nord et au Sud) et des espaces semi-urbains (Denneville-Plage).

Pour les espaces naturels, deux modes de gestion ressortent :

- Evolution naturelle surveillée : ce mode n'implique pas d'action particulière sur le trait de côte, hormis la mise en place d'un observatoire de suivi afin de surveiller les processus (érosion ou engraissement) en œuvre et d'anticiper un éventuel risque ;
- Accompagnement des processus naturels : ce mode de gestion n'implique pas de fixation du trait de côte, il consiste en un entretien du littoral par des méthodes douces visant à reconstituer le massif dunaire suite à des évènements tempétueux.

Pour les espaces semi-urbains, trois modes de gestions sont envisageables :

- Accompagnement des processus naturels : ce mode de gestion n'implique pas de fixation du trait de côte, il consiste en un entretien du littoral par des méthodes douces visant à reconstituer le massif dunaire suite à des évènements tempétueux sans chercher nécessairement à stopper le processus d'érosion ;
- Lutte active : ce mode de gestion a été mis en œuvre sur Denneville-Plage. Il consiste à lutter contre les phénomènes d'érosion par fixation du trait de côte au travers d'aménagements (épis, digues, enrochements…) ;
- Repli stratégique : ce mode de gestion consiste à délocaliser les enjeux menacés par l'érosion littorale, le site retrouvant alors un aspect naturel.

5.2 APPLICATION AU CAS DE DENNEVILLE-PLAGE

5.2.1 LITTORAL URBANISE DE DENNEVILLE-PLAGE

Le littoral de Denneville-Plage compte 69 parcelles sur la commune de Denneville et une 70ème sur la commune de Saint-Rémy-des-Landes. Sur ces 70 parcelles, seules 3 n'ont pas de dispositif de défense contre la mer : AB-332, AB-471 et AO-431.

L'étude de diagnostic a mis en évidence des aléas forts d'érosion sur de nombreuses parcelles avec la présence d'enjeux parfois très proches. Dans ces conditions, les risques pour les biens et les personnes apparaissent comme forts ce qui rend le mode de gestion « accompagnement des processus naturels » peu adapté à la situation. Dans le cas de figure où le repli stratégique n'est pas envisagé, la **lutte active apparaît comme la réponse à l'érosion du trait de côte**.

Pour les **parcelles non protégées AB-471 et AO-431**, la proximité des enjeux impose également de mettre en œuvre une **lutte active**.

Le cas particulier de la **parcelle AB-332**, située à l'extrémité Nord de la protection est comparable au cas du cordon dunaire de Saint-Lô-d'Ourville : conditions hydro-sédimentaires favorables, enjeux très en retrait du front de mer. Dans ces conditions, le **suivi de l'évolution naturelle** est à mettre en œuvre pour cette parcelle.

5.2.2 CORDONS DUNAIRES AU NORD ET AU SUD

Les cordons dunaires au Nord et au Sud constituent des espaces naturels.

Au Nord, sur la commune de Saint-Lô-d'Ourville, les observations mettent en évidence une tendance à l'engraissement et à l'avancée du massif dunaire. Cette portion, gérée par le Conservatoire du Littoral, bénéficie de conditions hydro-sédimentaires favorables et ne présente pas d'enjeux protégés dans les zones arrière littorales. Dans ces conditions, le mode de gestion adapté repose sur un **suivi de l'évolution naturelle**.

Au Sud, sur la commune de Saint-Rémy-des-Landes, l'extrémité Nord du cordon dunaire est en érosion et présente une largeur assez faible (15-20 m) laissant craindre un risque de rupture, avec des conséquences néanmoins limitées sur les zones urbaines de Denneville-Plage. Dans ces conditions, un **accompagnement des processus naturels**, par la mise en œuvre de techniques douces, est à mettre en œuvre sur la portion située **entre l'extrémité Sud des enrochements et la cale d'accès à la mer** (environ 150 ml).

Sur la portion située au **Sud de la cale d'accès**, elle aussi en érosion mais sans enjeux protégés en arrière, le **suivi de l'évolution naturelle** apparaît adapté à la situation**.**

6 INVENTAIRE DES SOLUTIONS D'AMENAGEMENT

6.1 LISTE DES SOLUTIONS

Les opérations possibles sont les suivantes :

Solutions traitant l'aléa affouillement ou anticipant l'érosion :

- Talus en enrochement avec butée de pied ;
- Mise en œuvre d'une protection en géocomposite avec retalutage en sable ;
- Mise en place d'épis ;
- Rechargement de la plage ;
- Elargissement de la dune, fixation des sables et piégeage des apports éoliens en pied de dune (ganivelles, pieux, végétation) ;
- Déplacement des enjeux.

Concernant les cordons dunaires, il est parfois constaté que des problèmes de drainage peuvent occasionner des désordres. De tels processus n'ont pas été constatés sur le secteur d'étude.

6.2 TALUS EN ENROCHEMENTS AVEC BUTEE DE PIED

6.2.1 JUSTIFICATION

Cette technique a été mise en œuvre sur presque tout le linéaire, à l'exception de trois parcelles. Elle permet, si elle est bien conçue, de protéger la dune des sollicitations par les vagues incidentes. La protection en enrochements permet de bien dissiper la houle du fait de la rugosité et de la perméabilité du parement.

6.2.2 PRINCIPE

Il s'agit de disposer des enrochements de calibre suffisant pour maintenir le trait de côte. Les blocs doivent être disposés de manière ordonnée selon une pente plutôt douce de manière à limiter le franchissement par jet de rive sur le talus.

6.2.3 DIMENSIONNEMENT

Sa conception doit être soignée :

- Un filtre entre dune et enrochements afin d'éviter le sapement par migration des sables de la dune vers l'estran ;
- Une couche support des enrochements qui évite le déchirement du géotextile à la pose et réduit les tractions ;
- Une pédale de pied permettant de suivre l'évolution du pied de dune ;
- Une liaison correcte avec le haut de dune sous forme d'un plat d'enrochements afin d'éviter le sapement par le haut de la protection.

Un talus protégé par un enrochement est défini par :

- Sa pente ;
- L'épaisseur de l'enrochement et son calibre ;
- Dans le cas de filtre granulaire, l'épaisseur et le calibre de la couche de transition filtre entre les matériaux du terrain naturel et la carapace.

Le calibre des enrochements est estimé à partir des formules d'Hudson et Van der Meer. Les résultats sont donnés dans les tableaux suivants en fonction de l'évènement considéré, de la pente du talus et du nombre de couches. Les tableaux suivants donnent le diamètre médian des enrochements (en m) et leur poids médian (en tonne).

Fruit	1 couche	2 couches
1,5H/1V	0,92 m (1,5 T)	0,82 m (1,1 T)
2H/1V	0,83 m (1,1 T)	0,75 m (0,8 T)

Tableau 6-1 : calibre des enrochements pour l'évènement Z_{ref}.

Fruit	1 couche	2 couches
1,5H/1V	0,96 m (1,7 T)	0,86 m (1,2 T)
2H/1V	0,87 m (1,3 T)	0,78 m (0,9 T)

Tableau 6-2 : calibre des enrochements pour l'évènement Z_{ref} + 20 cm.

Fruit	1 couche	2 couches
1,5H/1V	1,08 m (2,4 T)	0,97 m (1,7 T)
2H/1V	0,97 m (1,7 T)	0,88 m (1,3 T)

Tableau 6-3 : calibre des enrochements pour l'évènement Z_{ref} + 60 cm.

Les résultats sont assez proches pour l'évènement Z_{ref} et l'évènement Z_{ref} + 20 cm. Les enrochements en place apparaissent suffisants pour ces deux évènements.

Pour l'évènement Z_{ref} + 60 cm, les dimensions sont significativement supérieures et tous les enrochements en place aujourd'hui ne répondent pas aux critères de stabilité de la carapace.

Une fois la blocométrie de la carapace déterminée, les principes de dimensionnement sont similaires quelque soit l'évènement considéré :

- Epaisseur de l'enrochement d'au moins deux fois le calibre moyen (si 2 couches) ;
- Une couche de transition d'épaisseur 30-50 cm, dont la blocométrie doit répondre aux critères suivants :
  - d_{15}[enrochement]/d_{85}[transition] < 5 ;
  - d_{15}[transition]/d_{85}[terrain naturel] < 5, avec d_n le diamètre tel que la masse de la fraction de matériau ayant un diamètre d_n représente un pourcentage de masse totale égal à *n* %.

La Figure 6-1 présente un exemple de protection de cordon dunaire par des enrochements.

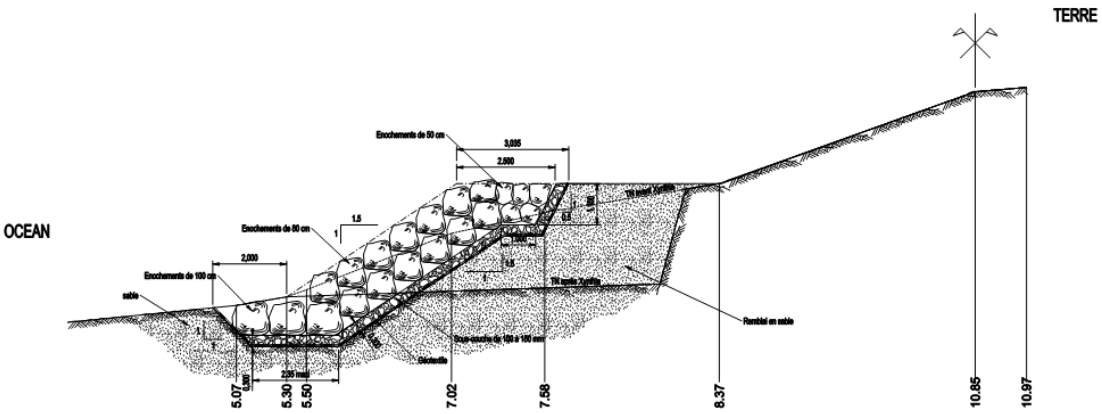


Figure 6-1 : protection de cordon dunaire par enrochements (plan ISL).

6.2.4 CONTRAINTES

De manière générale, cette technique comporte les inconvénients suivants :

Concernant l'efficacité :

- Elle favorise l'érosion de pied ;
- Elle crée des turbulences aux extrémités qui concourent à l'érosion des cordons dunaires non protégés (extrémité Sud des enrochements) ;
- Elle ne permet pas de lutter efficacement contre la raison première de l'érosion et même l'amplifie : l'abaissement de l'estran.

Concernant les milieux naturels :

- Cette solution est défavorable du point de vue des échanges de sable entre la plage et la dune et du point de vue de la colonisation par la végétation et les habitats qui y sont liés.

Concernant l'usage baignade et récréatif, cette solution revêt une esthétique défavorable.

Cette solution a l'avantage de réduire le run-up en dissipant une partie de l'énergie dans les vides des enrochements. Les niveaux de crête des enrochements ont été estimés pour les trois niveaux de référence afin de limiter les débits de franchissement à moins de 20 l/s/ml (aléa faible). Les résultats sont donnés dans le Tableau 6-4 selon la pente du talus :

Fruit	Z_{ref}	Z_{ref} + 20 cm	Z_{ref} + 60 cm
1,5H/1V	9,3 mNGF	9,5 mNGF	10,1 mNGF
2H/1V	9,2 mNGF	9,4 mNGF	10,0 mNGF

Tableau 6-4 : niveau de crête des enrochements pour limiter les débits de franchissement à 20l/s/ml.

6.2.5 APPLICATION AU CAS DE DENNEVILLE – COUT

6.2.5.1 Avantages/inconvénients

Le linéaire de Denneville-Plage est protégé par un talus en enrochements. Cette protection a montré son efficacité depuis sa mise en place même si des faiblesses sont constatées du fait d'une conception ne respectant pas les règles de l'art actuelles (absence de géotextile et filtre, pas de traitement en crête, absence de butée en pied).

Par ailleurs, la plage de Denneville offre des conditions plutôt favorables :

- Il n'est pas constaté d'érosion de la plage en pied des enrochements : selon les observations, les enrochements en place n'ont pas eu d'effet négatif sur le phénomène d'érosion, ni sur la plage de Denneville, ni sur le cordon dunaire de Saint-Rémy dont l'érosion se poursuit au même rythme qu'avant la mise en place des enrochements ;
- L'importance du transport éolien permet (en tout ou partie) au sable migré en bas de plage l'hiver de « remonter » en haut de plage naturellement ;
- La hauteur visible de l'ouvrage est de 2,5 à 3 m lorsque le niveau de sable est haut en été ;
- La haute plage est submergée uniquement lors les grandes marées, pour des coefficients de l'ordre de 105, garantissant un accès à la plage pour les coefficients inférieurs.

6.2.5.2 Coût

Les coûts sont très variables d'une parcelle à l'autre car ils dépendent grandement du fait de reprendre totalement ou partiellement la carapace.

Afin d'établir une première estimation à l'horizon 2040 du coût global, le scénario suivant a été chiffré :

- Traitement en pied et en crête des enrochements existants sur l'ensemble du linéaire pour une protection à Z_{ref} + 20 cm ;
- Mise en œuvre d'un géotextile sur les parcelles où il est absent (avec dépose et repose de la carapace en enrochements) ;
- Création d'une protection en enrochements sur les deux parcelles non protégées ;
- Traitement de l'extrémité Sud de l'enrochement.

Pour ce scénario, l'hypothèse d'une reprise de 80 % des enrochements en place est retenue.

Travaux	Prix travaux € HT
Confortement des enrochements existants	1 080 000
Création des enrochements sur 2 parcelles	60 000
Traitement de l'extrémité Sud	20 000
TOTAL HT	**1 160 000**

Tableau 6-5 : coût total des travaux – protection en enrochements.

A ce coût travaux, sont rajoutés les coûts liés aux installations de chantier (+ 7%) et les aléas (+15 %). Au total, l'investissement s'élève à 1,43 M€ HT.

L'entretien des enrochements doit se faire régulièrement : il consiste à la remise en place de blocs. En première approximation, une intervention en moyenne tous les 5 ans apparaît adaptée, pour un coût de 10 000 €HT pour l'ensemble du linéaire, soit une moyenne de 2 000 €HT/an.

Au final, le coût estimé de cette solution à l'horizon 2040 est donné dans le tableau suivant :

Travaux	Prix travaux HT
Investissement - travaux	1 430 000
Entretien sur 25 ans	50 000
TOTAL HT	**1 480 000**

Tableau 6-6 : coût total à l'horizon 2040 – protection en enrochements.

Nous retiendrons un coût global arrondi à 1,5 M€ HT, soit près de 1 150 €HT/ml.

6.3 MISE EN ŒUVRE D'UNE STRUCTURE DE PROTECTION GEO-COMPOSITE

6.3.1 JUSTIFICATION

Dans le cas d'un constat d'un fonctionnement peu convaincant des enrochements mis en œuvre, il est nécessaire de se tourner vers des techniques plus souples de protection. Parmi elles, la réalisation d'une défense longitudinale en géo-composite injectée de granulats peut être envisagée.

Cette technique permet d'assurer la sécurité du cordon dunaire tout en optimisant le dépôt sédimentaire et le maintien de la plage. C'est une solution douce, réversible, qui permet une bonne intégration paysagère. L'ouvrage étant souple, l'absorption de la houle est favorisée.

6.3.2 PRINCIPE

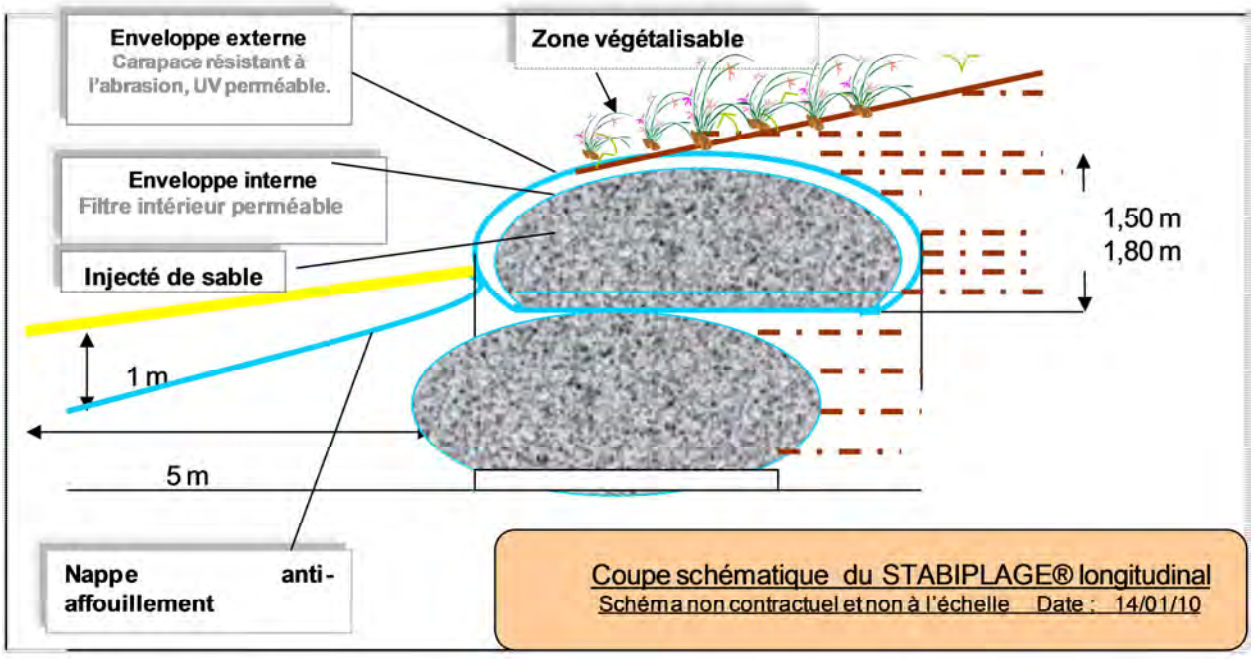
La structure monolithique cylindrique en géo-composite injectée hydrauliquement de granulats est disposée le long de la dune et recouverte de matériaux sableux.

Figure 6-2 : exemple de structure géo-composite (documentation : Espace Pur – Cornic).

Les structures sont fabriquées en usine, acheminées sur site, posés en pied de dune puis ancrés en haut de plage. Ils sont ensuite injectés hydrauliquement et remplis de sable directement prélevé sur site.

6.3.3 DIMENSIONNEMENT

La structure doit être résistante à l'abrasion et aux UV. La crête de la structure est calée sur la hauteur atteinte par la vague en condition de tempête telle qu'estimée en Phase 1. Cette structure est recouverte de sable et le talus de la dune serait donc reconstitué. Le retour d'expérience actuel permet son dimensionnement.



6.3.4 CONTRAINTES

Cette technique comporte les inconvénients suivants :

- Elle ne permet pas de lutter efficacement contre la raison première de l'érosion : l'abaissement de l'estran ;
- Elle s'accompagne de rechargements périodiques.

Cette technique est adaptée aux plages sableuses. En cas de fondations rocheuses à proximité ou de présence de galets, des déchirements peuvent survenir.

Concernant l'esthétique et les milieux naturels, la perméabilité du système permet de conserver les capacités de drainage de la dune. La végétation peut coloniser la dune. Les phénomènes de réflexion sont limités et la structure ne génère pas de sous-pressions.

6.3.5 APPLICATION AU CAS DE DENNEVILLE – COUT

6.3.5.1 Avantages/inconvénients

Cette technique est une solution douce, réversible, favorisant la végétalisation de la dune. Elle offre l'avantage de redonner un caractère naturel au front de mer. Par ailleurs, de la même manière que pour les enrochements, cette technique apparaît adaptée dans le cas de Denneville-Plage dans la mesure où le haut de plage est dans une tendance à l'accrétion et que le transport éolien est important, permettant une recharge naturelle du haut de plage.

Néanmoins, cette technique présente des contraintes de mise en œuvre importantes :

- La dépose et l'évacuation des enrochements existants ;
- La réalisation d'une fouille en pied de dune pour la mise en place des éléments de structure ;
- Le reprofilage de la dune par-dessus les géo-composites.

Le volume de sable nécessaire pour injecter dans les structures est important et doit pouvoir être trouvé sur place ou amené sur site.

La durabilité de la protection est difficile à estimer et ce système nécessite un entretien régulier.

6.3.5.2 Coût

Le coût de la mise en œuvre d'une protection en géo-composite sur l'ensemble du linéaire de Denneville-Plage comprend :

- La dépose et l'évacuation de l'ensemble des enrochements en place ;
- La mise en œuvre de boudins géo-composites sur l'ensemble du linéaire, en suivant le trait de côte actuel ;
- Le traitement de l'extrémité Sud également en géo-composite.

Le coût des travaux s'élève ainsi à :

Travaux	Prix travaux HT
Dépose et évacuation des enrochements existants	390 000
Reprofilage de la dune	50 000
Mise en œuvre des géo-composites	1 300 000
TOTAL HT	**1 740 000**

Tableau 6-7 : coût total des travaux – protection en géo-composite longitudinaux.

A ce coût travaux, sont rajoutés les coûts liés aux installations de chantier (+ 7%) et les aléas (+15 %). Au total, l'investissement s'élève à 2,14 M€ HT.

L'entretien des ouvrages en géo-composites est difficile à chiffrer, le retour d'expérience étant assez limité. En présence de galets, le risque de dégradation de l'ouvrage existe et des réparations sont à prévoir : « rustinage » des boudins en cas de trous et remplissage pour compenser le départ de matériau. En première approximation, nous estimons ce coût au double du coût d'entretien des enrochements, soit une moyenne de 4 000 €HT/an.

Au final, le coût estimé de cette solution à l'horizon 2040 est donné dans le tableau suivant :

Travaux	Prix travaux HT
Investissement - travaux	2 140 000
Entretien sur 25 ans	100 000
TOTAL HT	**2 240 000**

Tableau 6-8 : coût total à l'horizon 2040 – protection en géo-composite longitudinaux.

Nous retiendrons un coût global arrondi à 2,2 M€ HT, soit près de 1 700 €HT/ml.

6.4 MISE EN PLACE D'EPIS

6.4.1 JUSTIFICATION

Une protection par épis est envisageable dès lors que la dérive littorale prime sur les mouvements de sédiments dans le profil. En cas de relative faiblesse du transit littoral, un ré-engraissement préalable est alors nécessaire sans que cette action ne constitue une solution durable en cas de prédominance des mouvements dans le profil.

L'objectif recherché est d'amener la cote de pied de digue à un niveau suffisamment haut pour permettre une réduction notable de l'énergie des houles.

Les ouvrages se justifient d'autant plus que :

- Le rapport transit littoral/mouvements dans le profil est fort ;
- La cote de pied de digue est haute ;
- Le fond est sableux ;
- Des épis existent déjà et leur efficacité est démontrée.

6.4.2 PRINCIPE

Il s'agit de réaliser un ouvrage transversal constitué en général d'une première partie à cote quasi constante puis d'une partie suivant la pente de l'estran (épi plongeant). L'ouvrage est soit en enrochement, soit en bois, soit en géo-composite. Il est imperméable ou perméable.

6.4.3 DIMENSIONNEMENT

Un certain nombre de critères doivent être respectés afin d'assurer la sécurité et l'efficacité des épis. Le principal problème lié aux épis est l'augmentation de l'érosion plus en aval (« aval dérive ») c'est-à-dire au Sud pour ce qui concerne Denneville-Plage.

6.4.3.1 Cote de crête

Afin d'amener le pied de talus à la cote de référence, il est nécessaire de monter l'épi à une cote supérieure. Cependant, la saillie de l'épi ne devrait pas excéder 1 ou 1,5 m afin d'éviter des érosions locales trop importantes.

6.4.3.2 Longueur

La longueur d'un épi est assez délicate à déterminer. Cette longueur doit permettre :

- De piéger une partie des matériaux en transit ;
- De réaliser une plage suffisamment importante ;
- De protéger l'enracinement de l'épi contre les courants de retour ;
- Un entretien correct.

Le musoir de l'épi constitue avec l'enracinement la partie la plus fragile.

En cas de batteries d'épis, il est recommandé de réduire progressivement la longueur des derniers épis. Une longueur d'épis d'une cinquantaine de mètres peut constituer un bon compromis entre efficacité et coût.

6.4.3.3 Espacement

L'espacement entre épis est d'autant plus faible que le rapport transit littoral/mouvement dans le profil est faible. Un espacement égal à 1,5 fois la longueur de l'épi est souvent préconisé. Cet espacement réduit l'aval dérive et les affouillements liés aux circulations dans les casiers.

Figure 6-3 : exemple d'épis efficaces.

Figure 6-4 : cas d'un espacement trop important – aval dérive perceptible mais technique des épis perméables relativement efficace.

6.4.3.4 Structure

Différentes techniques peuvent être utilisées :

- Voûte en béton comprise entre deux rideaux de palplanches et remplie de galets et enrochements ;
- Voûte en maçonnerie ;
- Enrochements ;
- Pieux bois perméables ;
- Géocomposite.

Les épis anciens étaient réalisés en maçonnerie ou bois pour des raisons de contraintes de mise en œuvre, ce qui à l'époque éliminait l'enrochement. Aujourd'hui, pour des raisons de souplesse de l'ouvrage, cette technique est parmi les plus efficaces. Elle comporte néanmoins 3 inconvénients :

- L'intégration au paysage est très difficile ;
- L'ouvrage est relativement imperméable alors que la perméabilité peut réduire les processus d'érosion à l'aval ;
- La technique assure moins bien la transition avec la partie dunaire en créant des perturbations au voisinage du pied.

Les épis perpendiculaires en géocomposite de type STABIPLAGE® peuvent dans ce cas être intéressants tout en réduisant les effets négatifs sur l'environnement, les usages et les contraintes de mise en œuvre. Signalons aujourd'hui des améliorations apportées à ces systèmes consécutives à des retours d'expérience intéressants.

Figure 6-5 : exemple d'épis en géocomposite sur la plage de Guidel.

Figure 6-6 : épi en enrochements.

6.4.4 CONTRAINTES

Ces scénarios comportent les contraintes et inconvénients suivants :

- L'effet défavorable sur l'aval dérive (au Sud de Denneville) ;
- Des difficultés de mise en œuvre liées aux travaux en eau (contraintes réduites en cas d'utilisation de géocomposite) qui peuvent en augmenter le coût ;
- Une emprise sur l'estran importante ;
- Des discontinuités concentrant les efforts au droit du pied de dune et au niveau du musoir ;
- Une technique peu efficace en cas de dominance des déplacements de matériaux dans le profil ;
- Une intégration paysagère difficile (coupures latérales) ;
- Des contraintes pour la baignade.

6.4.5 APPLICATION AU CAS DE DENNEVILLE – COUT

6.4.5.1 Avantages/inconvénients

Les épis en géo-composite sont une solution douce favorisant l'élargissement de la plage et le maintien d'un niveau élevé du haut de plage.

Cette solution apparaît peu adaptée au cas de Denneville-Plage du fait de l'incidence des houles qui sont quasiment perpendiculaires à la côte. Ainsi, le transit littoral Nord/Sud est relativement faible (10-20 000 m^3/an) et les mouvements de sable se font majoritairement dans le profil, perpendiculairement à la côte.

De fait, les épis sont peu efficaces contre les houles perpendiculaires à la côte et le maintien d'une protection de la dune apparaît nécessaire.

6.4.5.2 Coût

Le coût de la mise en œuvre d'épis transversaux en géo-composite sur l'ensemble du linéaire de Denneville-Plage comprend :

- Le maintien de la protection actuelle, en intégrant les travaux d'urgence définis au lot 1 ;
- Traitement de l'extrémité Sud de l'enrochement.
- La mise en œuvre de boudins géo-composites pour former les épis transversaux au trait de côte.

La longueur des épis à mettre en place est d'environ 80 à 100 m. L'espacement des épis est d'au moins 1,5 fois la longueur. Le nombre maximal d'épis à mettre en place est ainsi de 10, pour une longueur totale de 800 à 1 000 m.

Le coût des travaux s'élève ainsi à :

Travaux	Prix travaux HT
Maintien de la protection actuelle	23 000
Traitement de l'extrémité Sud	20 000
Mise en œuvre des épis	1 000 000
TOTAL HT	**1 043 000**

Tableau 6-9 : coût total des travaux – épis en géo-composite transversaux.

A ce coût travaux, sont rajoutés les coûts liés aux installations de chantier (+ 7%) et les aléas (+15 %). Au total, l'investissement s'élève à 1,28 M€ HT.

L'entretien comprend à la fois l'entretien de la protection en enrochements et l'entretien des épis en géo-composites. En première approximation, nous estimons ce coût à une moyenne de 6 000 €HT/an.

Au final, le coût estimé de cette solution à l'horizon 2040 est donné dans le tableau suivant :

Travaux	Prix travaux HT
Investissement - travaux	1 280 000
Entretien sur 25 ans	150 000
TOTAL HT	**1 430 000**

Tableau 6-10 : coût total à l'horizon 2040 – protection en géo-composite longitudinaux.

Nous retiendrons un coût global arrondi à 1,4 M€ HT, soit près de 1 100 €HT/ml.

6.5 RECHARGEMENTS DE LA PLAGE

6.5.1 JUSTIFICATION

Le rechargement de la plage vise les mêmes objectifs que la pose d'épis, à savoir relever les niveaux de la plage et provoquer le déferlement avant atteinte du pied de dune.

6.5.2 PRINCIPE

Il s'agit d'apporter des volumes de sables à partir de gisements identifiés et de disposer les granulats en haut de plage.

6.5.3 DIMENSIONNEMENT

Le sédiment d'emprunt présente une granulométrie proche ou un peu supérieure à celle du sable en place. Le rechargement conduit à une forme concave de profil de plage.

La forme du profil peut être déterminée par référence avec un profil stable ou bien par modélisation. Le suivi des profils de plage mené par le CREC jusqu'en 2010 permet d'estimer simplement le volume nécessaire pour retrouver un profil théorique et les volumes nécessaires à sa sauvegarde.

6.5.4 CONTRAINTES

Cette technique comporte les contraintes et inconvénients suivants :

- Des difficultés de mise en œuvre liées à la distance entre gisement et lieu de recharge ;
- Des contraintes environnementales liées aux habitats présents sur la plage et les cordons dunaires (faune et flore) ;
- Une évaluation des coûts rendue difficile avant identification précise des gisements ;
- Une solution non permanente au problème d'érosion demandant des rechargements périodiques.

6.5.5 APPLICATION AU CAS DE DENNEVILLE – COUT

6.5.5.1 Avantages/inconvénients

Le rechargement en sable permet la reconstitution d'une plage sèche en haut d'estran et réduit les phénomènes de réflexion sur les ouvrages.

Pour des conditions de houles défavorables, comme c'est le cas à Denneville, il n'apparaît pas envisageable de retenir cette technique comme solution unique pour la protection du fait de la fréquence des recharges à mener après chaque tempête. Par ailleurs, cette technique seule, ne permet pas de garantir la sécurité des biens et des personnes, certaines habitations étant situées très proches du front de mer.

6.5.5.2 Coût

Le coût de la mise en œuvre d'un rechargement en sable comme unique protection sur l'ensemble du linéaire de Denneville-Plage comprend :

- La dépose et l'évacuation de l'ensemble des enrochements en place ;
- Le reprofilage de la dune ;
- Le rechargement du haut de plage sur toute sa longueur.

Le coût dépend de la proximité du gisement : entre 10 (extraction-refoulement) et 50 euros par m^3 de sable déposé. Si le sable est prélevé sur l'estran de la plage à recharger, les coûts peuvent être réduits entre 3 et 5 €/m^3. En l'absence d'information sur les gisements les plus proches, nous retiendrons l'hypothèse d'un coût de 10 €/m^3.

Le coût des travaux s'élève ainsi à :

Travaux	Prix travaux HT
Dépose et évacuation des enrochements existants	390 000
Reprofilage de la dune	50 000
Rechargement de sable	195 000
TOTAL HT	**635 000**

Tableau 6-11 : coût total des travaux – rechargement en sable.

A ce coût travaux, sont rajoutés les coûts liés aux installations de chantier (+ 7%) et les aléas (+15 %). Au total, l'investissement s'élève à 0,78 M€ HT.

L'entretien comprend les rechargements réguliers à réaliser. En première approximation, nous considérons une fréquence de rechargement annuelle, soit un coût de 195 000 €HT/an.

Au final, le coût estimé de cette solution à l'horizon 2040 est donné dans le tableau suivant :

Travaux	Prix travaux HT
Investissement - travaux	780 000
Entretien sur 25 ans	4 875 000
TOTAL HT	**5 655 000**

Tableau 6-12 : coût total à l'horizon 2040 – rechargement en sable.

Nous retiendrons un coût global arrondi à 5,7 M€ HT, soit près de 4 350 €HT/ml.

6.6 ELARGISSEMENT DE LA DUNE, FIXATION DES SABLES ET PIEGEAGE DES APPORTS EOLIENS EN PIED DE DUNE (GANIVELLES, PIEUX, VEGETATION)

6.6.1 JUSTIFICATION

Le relèvement des niveaux de pied de dune et le maintien des sédiments sont recherchés. Ils peuvent être favorisés par le piégeage des sables par la végétation et des dispositifs légers. Cet ensemble de dispositions peut constituer des mesures d'accompagnement des solutions décrites précédemment.

6.6.2 PRINCIPE

Ces principes sont issus en particulier d'expériences conduites par l'ONF (île de Ré par exemple). Il s'agit de :

- La mise en place de filets de rétention type Tri X afin de lutter contre la déflation éolienne ;
- Le dépôt de branchages pour favoriser la végétalisation ;
- Une meilleure gestion des accès afin d'éviter les érosions locales ;
- La pose de clôtures afin d'éviter le vandalisme (ganivelles).

6.6.3 DIMENSIONNEMENT

Le dépôt de branchages est réalisé à l'arrière des filets sur le pied de talus. Concernant les accès, il faut éviter les accès perpendiculaires au trait de côte (effet de siffle vent) et à pente trop raide.

Figure 6-7 : aménagement des accès parallèle au trait de côte – Saint-Hilaire-de-Rietz.

Figure 6-8 : branchage en pied de dunes – dégradation rapide des ganivelles par les eaux.

6.6.4 CONTRAINTES

Ces dispositifs sont particulièrement appropriés lorsque la raison première de la dégradation provient de la déflation éolienne et du piétinement par les usagers. En cas de dérive littorale, elles auront du mal à elles seules à stabiliser l'ensemble. Les contraintes restent faibles et sont liées à l'usage récréatif. Les dispositifs sont à reprendre périodiquement.

6.6.5 APPLICATION AU CAS DE DENNEVILLE – COUT

6.6.5.1 Avantages/inconvénients

La reconstitution de la dune offre sensiblement les mêmes avantages et inconvénients que le rechargement de plage. En plus, l'élargissement dunaire doit pouvoir garantir la sécurité les biens et des personnes en « éloignant » le trait de côte des habitations.

6.6.5.2 Coût

Le coût de la mise en œuvre d'un rechargement en sable comme unique protection sur l'ensemble du linéaire de Denneville-Plage comprend :

- La dépose et l'évacuation de l'ensemble des enrochements en place ;
- Le reprofilage de la dune ;
- La mise en œuvre de dispositifs de piégeages des sables éoliens ;
- Le rechargement du haut de plage sur toute sa longueur.

Les coûts unitaires suivants peuvent être retenus :

- Ganivelles : 20 €HT le mètre linéaire ;
- Branchages : 5 000 €HT par hectare posé ;
- Clôtures : 5 €HT le mètre linéaire ;
- Filet de rétention : 25 €HT le mètre linéaire ;
- Géotextiles accès littoral : 150 €HT par mètre linéaire d'accès.

Le coût du rechargement de sable dépend de la proximité du gisement : entre 10 (extraction-refoulement) et 50 euros par m^3 de sable déposé. Si le sable est prélevé sur l'estran de la plage à recharger, les coûts peuvent être réduits entre 3 et 5 €/m^3. En l'absence d'information sur les gisements les plus proches, nous retiendrons l'hypothèse d'un coût de 10 €/m^3.

Le coût des travaux s'élève ainsi à :

Travaux	Prix travaux HT
Dépose et évacuation des enrochements existants	390 000
Reprofilage de la dune	100 000
Dispositif de piégeages des sables	50 000
Rechargement de sable	195 000
TOTAL HT	**735 000**

Tableau 6-13 : coût total des travaux – confortement dunaire.

A ce coût travaux, sont rajoutés les coûts liés aux installations de chantier (+ 7%) et les aléas (+15 %). Au total, l'investissement s'élève à 0,9 M€ HT.

L'entretien comprend les rechargements réguliers à réaliser. En première approximation, nous considérons une fréquence de rechargement annuelle, soit un coût de 195 000 €HT/an. De même, les dispositifs de piégeage doivent être repris régulièrement, nous retiendrons une fréquence de 5 ans, soit 10 000 €HT/an.

Au final, le coût estimé de cette solution à l'horizon 2040 est donné dans le tableau suivant :

Travaux	Prix travaux HT
Investissement - travaux	900 000
Entretien sur 25 ans	5 125 000
TOTAL HT	**6 025 000**

Tableau 6-14 : coût total à l'horizon 2040 – confortement dunaire.

Nous retiendrons un coût global arrondi à 6,0 M€ HT, soit près de 4 600 €HT/ml.

6.7 RELOCALISATION DES ENJEUX

6.7.1 JUSTIFICATION

La relocalisation des enjeux, ou « repli stratégique », permet de réduire fortement les risques aux biens et personnes liés à l'érosion du fait du déplacement des enjeux.

Cette solution participe au rétablissement d'un fonctionnement naturel du trait de côte.

6.7.2 PRINCIPE

Le « repli stratégique » consiste à évacuer et/ou déplacer les enjeux de la bande littorale soumise à érosion. Ce mode de gestion n'intervient pas sur les mécanismes de l'érosion (pas de modification des taux d'évolution du trait de côte). Il autorise cependant le retour à une respiration naturelle du système littoral en redonnant de l'espace pour un fonctionnement normal.

Dans l'attente des opérations de repli, le mode de gestion peut aller de l'accompagnement des processus naturels à la lutte active contre l'érosion. Une fois le repli effectué, le mode de gestion peut évoluer vers l'évolution naturelle ou l'accompagnement des processus naturels.

Le repli stratégique demande un temps de maturation (concertation, acceptabilité, aspects juridiques, acquisition de foncier) qui repousse à une dizaine d'années le moment de la relocalisation effective des enjeux.

6.7.3 CONTRAINTES

La mise en œuvre du repli stratégique se heurte aux contraintes suivantes :

- acceptabilité par les propriétaires-riverains concernés ;
- délai de mise en œuvre long, obligeant à maintenir, voire même conforter, le trait de côte actuel le temps du déplacement effectif de tous les enjeux ;
- disponibilité du foncier ;
- pour les communes, dans le cas où les enjeux sont déplacés sur d'autres communes, pertes financières liées aux taxes locales qui ne sont plus perçues ;
- coût de mise en œuvre très important, rentabilisé à long voire très long terme.

6.7.4 APPLICATION AU CAS DE DENNEVILLE-PLAGE – COUT

6.7.4.1 Avantages/inconvénients

Cette solution présente la plus grande efficacité en termes de réduction du risque puisque les enjeux se trouvent « supprimés » de la zone de risque.

Sur le plan environnemental, cette solution est également très favorable dans la mesure où le caractère naturel du site est rétabli.

Les usages sur la plage peuvent être maintenus, ainsi que les accès.

Comme énoncé au paragraphe précédent, cette solution présente des contraintes fortes. Notamment, sur le site d'étude, sa mise en œuvre nécessite de relocalise, a minima, les 53 habitations de première ligne.

6.7.4.2 Coût

Les coûts de mise en œuvre d'une telle solution pour le Maître d'Ouvrage comprennent :

- Le coût de rachat des habitations concernées ;
- Le coût de démantèlement de la protection existante.

Le coût de cette solution est évalué sommairement sur la base d'un coût moyen par habitation de 350 000 €.

Plusieurs hypothèses sont faites sur le nombre de relocalisations :

- Hypothèse n°1 : relocalisation des maisons pouvant être touchées suite à la défaillance de la protection et un recul ponctuel lors d'un évènement extrême. Pour cette hypothèse, nous considérons toutes les habitations situées à moins de 15 m en recul du trait de côte ;
- Hypothèse n°2 : relocalisation de l'ensemble des maisons de premier rang.

Le tableau suivant donne une estimation sommaire du coût du repli stratégique à l'horizon 2040 :

Travaux	Hypothèse 1	Hypothèse 2
Nb d'habitations concernées	14	53
Coût rachat des habitations	4 900 000	18 550 000
Dépose et évacuation des enrochements existants	390 000	390 000
TOTAL HT	**5 290 000**	**18 940 000**

Tableau 6-15 : évaluation sommaire du coût du repli stratégique à l'horizon 2040.

Par ailleurs, dans l'hypothèse où l'ensemble des résidences évacuées ne sont pas reconstruites sur le territoire de la commune, cette solution induit également un coût pour la commune lié aux diminutions de recettes des taxes communales.

Ainsi, a minima, cette solution présente un coût dépassant les 5 M€. **Dans le cas d'un retrait de toute la première ligne (hypothèse 2), le coût global dépasse les 20 M€**.

6.8 ANALYSE COMPARATIVE DES SOLUTIONS

Le tableau ci-après donne une synthèse de l'évaluation de chacune des options de confortement décrites.

Typologie d'ouvrage	Protection en enrochement	Géo-composites	Epis	Recharge en sable	Piégeage sable
Efficacité prévisible et incertitude sur le fonctionnement	+ +	+	- -	-	-
Coût à l'horizon 2040	1,5 M€ + +	2,2 M€ +	1,4 M€ + +	5,7 M€ - - -	6,0 M€ - - -
Facilité de construction	+	+	+	-	-
Durabilité/ Maintenance	+ +	-	-	- - -	- -
Démantèlement	+	+ +	+	+ + +	++
Intégration paysagère	-	+	-	+ + +	+ +
Baignade	-	+	+	+ +	+ +
Sensation de protection	+ + +	- -	+	- - -	- -

Tableau 6-16 : comparaison des différentes solutions de lutte active.

Les mesures orientées vers le **piégeage du sable et l'aménagement des accès** sont très favorables du point de vue environnemental : sauvegarde du cordon dunaire. La mise en œuvre est aisée mais l'efficacité est faible lors des évènements majeurs. Les coûts d'entretien deviennent particulièrement élevés lorsqu'on envisage de fixer le trait de côte par ces méthodes. **Ce type de mesure est plus adapté comme mesure d'accompagnement de l'érosion dans les zones sans enjeux protégées : cas du cordon dunaire de Saint-Rémy.**

Le **rechargement de plage** a une efficacité proche des solutions de protection longitudinale. Compte tenu de la forte exposition aux houles de la plage de Denneville, des rechargements réguliers sont nécessaires. La granulométrie des matériaux et le profil à assurer ne sont pas encore des paramètres totalement maîtrisés. Le dimensionnement reste difficile. L'impact sur l'environnement est lié à la couverture de l'estran colonisé par un habitat plus ou moins riche. L'impact n'est cependant pas irréversible. **Cette technique seule ne permet pas de garantir la sécurité des biens et des personnes compte tenu de la proximité des enjeux**.

Les **épis en géocomposite** quant à eux ont une grande efficacité et peu d'effet sur les zones adjacentes si :

- La dérive littorale est la raison première de l'érosion ;
- Le secteur concerné ne contient pas de galets ou roches affleurantes ;
- Les secteurs aval sont en phase de sédimentation.

Le site de Denneville-Plage ne remplit aucune de ces conditions. Le transfert des sédiments dans le profil apparaît prédominant et l'incidence des vagues laisse augurer d'une faible efficacité du dispositif.

Au final, sur le site de Denneville-Plage, le principe d'une protection longitudinal ressort comme le plus adapté. Deux techniques ont été présentées : le talus en enrochements et le géo-composite.

Le **géo-composite** placé en protection longitudinale offre un niveau de protection équivalent à un talus en enrochements avec une meilleure intégration paysagère. Le drainage du cordon dunaire n'est pas affecté de par la structure du matériau d'ancrage. Le géo-composite favorise la tenue du cordon dunaire et des sables de haut de plage ce qui en augmente l'efficacité par rapport à la solution enrochements. Le haut de plage conserve son attrait pour les usagers. L'expérience montre que l'impact négatif sur la tenue des cordons non protégés adjacents est moindre que pour la protection en enrochements.

Sur le site de Denneville-Plage, la mise en œuvre d'un tel dispositif nécessite l'enlèvement de l'ensemble des enrochements présents et d'importants travaux de fouilles dans le cordon dunaire. De plus, l'un des principaux inconvénients de cette technique est l'incertitude liée à la durabilité de l'ouvrage et à son entretien.

Le **talus en enrochements** est la solution qui a été mise en œuvre sur la presque totalité des parcelles du front de mer de Denneville. Cette solution a montré son efficacité et sa durabilité depuis sa mise en œuvre, mis à part quelques faiblesses du fait d'une conception ne respectant pas les règles de l'art actuelles (absence de géotextile et filtre, pas de traitement en crête, absence de butée en pied). La plage de Denneville offre par ailleurs des conditions favorables qui limitent les effets négatifs habituellement observés avec ce type de protection : ainsi, le niveau de plage n'a pas été affecté et poursuit une tendance à l'exhaussement, l'érosion observée au Sud sur le cordon dunaire de Saint-Rémy n'a pas été amplifiée par les ouvrages, l'accès en haut de plage est garanti à marée haute sauf pour les grandes marées (coefficients supérieurs à 105), l'impact paysager se limite à la hauteur d'enrochements qui varie de 2,5 à 3 m.

Afin d'améliorer son efficacité, la protection actuelle en enrochements nécessite plusieurs traitements :

- le traitement du haut de talus afin que la continuité entre terrain naturel et enrochements soit bien assurée et que le risque d'érosion arrière n'apparaisse pas ;
- le traitement du pied de talus afin d'éviter la déstabilisation des blocs de carapace par les affouillements en pied ;
- le traitement du raccordement en extrémité Sud au cordon dunaire de Saint-Rémy-des-Landes où une érosion localisée est observée.

L'expérience d'EUROSION a prouvé que, à l'heure actuelle, il n'y a aucune solution miracle pour contrecarrer les effets nuisibles de l'érosion côtière, puisque toute solution opère sur les effets de l'érosion (régression du littoral, largeur de plage) et pas sur ses causes. Les meilleurs résultats ont été réalisés en combinant différents types de défense côtière comprenant des solutions lourdes et des solutions douces, pour tirer profit de leurs bénéfices respectifs, tout en atténuant leurs inconvénients respectifs.

6.9 CHOIX D'UN SCENARIO D'AMENAGEMENT

Le parti retenu pour la défense contre la mer du littoral de Denneville-Plage est de conforter les défenses en enrochements existantes.

Ce confortement, s'accompagne d'une protection pour les deux parcelles non encore protégées dans la mesure où l'aléa « érosion » est fort dans les deux cas et le retrait des habitations par rapport au front de mer est inférieur à 15 m.

Il s'accompagne également d'un confortement à l'extrémité Sud afin d'éviter le contournement de la protection.

Enfin, des propositions pour le confortement d'une partie du cordon dunaire de Saint-Rémy-des-Landes par des techniques douces sont présentées comme mesures d'accompagnement du projet.

7 SCENARIO D'AMENAGEMENT

7.1 CHOIX DE L'EVENEMENT DE REFERENCE

Les évènements Z_{ref} et Z_{ref} + 20 cm conduisent à des dimensionnements du même ordre de grandeur, que ce soit en termes de dimension des blocs et de niveau en crête des enrochements. Pour ces deux évènements, les enrochements déjà en place apparaissent suffisants, moyennant quelques confortements.

L'évènement Z_{ref} + 60 cm conduit à des niveaux de crête d'enrochement supérieurs à ceux observés sur toutes les parcelles et des tailles de blocs telles que certains enrochements en place apparaissent insuffisants. Cet évènement conduit donc à repenser presque entièrement la protection du littoral dennevillais.

En conclusion, nous proposons de retenir comme évènement pour le dimensionnement, l'évènement à l'horizon 2040 : Z_{ref} + 20 cm.

7.2 CONFORTEMENT DES PARCELLES AMENAGEES

7.2.1 REPRISE PARTIELLE

La reprise partielle des enrochements existants concerne les enrochements qui ont été mis en œuvre sur géotextile. Les travaux comprennent :

- Le traitement de la crête de l'ouvrage pour limiter les désordres liés aux franchissements ;
- L'élévation de la crête de l'ouvrage à la cote 9,5 mNGF lorsque nécessaire pour limiter les franchissements ;
- La création d'une butée de pied pour prévenir les affouillements en pied de talus en enrochements.

7.2.1.1 Traitement et élévation de la crête de l'ouvrage

Le traitement consiste en :

- L'ouverture du terrain en crête sur une hauteur d'1 m et une profondeur moyenne de 2,5 m, le fond de fouille étant calé à 8,5 mNGF ;
- La mise en place d'un géotextile ;
- La mise en place de blocs d'enrochements 100/200 kg jusqu'au niveau 9,5 mNGF.

Ce traitement est à mettre en œuvre sur l'ensemble du linéaire. Après travaux, la dune pourra être reformée en sommet d'ouvrage.

Selon les parcelles, plusieurs cas de figure peuvent se présenter :

- Sommet de l'enrochement actuel > 9,5 mNGF : la rangée d'enrochements en sommet doit être déposée lors des travaux pour faciliter le traitement de la crête, puis redéposée au sommet de l'ouvrage ;
- Sommet de l'enrochement actuel < 9,2 mNGF : des enrochements d'apport doivent être mis en œuvre en sommet afin de relever le niveau de crête à 9,5 mNGF ;
- Niveau de crête intermédiaire : dans ce cas de figure, le traitement de crête peut se faire sans rehausse de l'ouvrage, les débits de franchissement demeurant acceptables.

7.2.1.2 Création d'une butée de pied

L'ancrage en pied des enrochements existants n'est pas connu. Des déplacements de blocs de la carapace sont observés sur certaines parcelles sans donner lieu toutefois à des affaissements conséquents.

La butée de pied consiste à créer une bêche en enrochements, solution la plus adaptée au site.

Le traitement consiste en :

- La préparation d'une fouille de 2,5 m de profondeur et de 2,5 m de large au fond, le fond de fouille étant calé à 3,5 mNGF ;
- La mise en place d'un géotextile ;
- La mise en place de blocs d'enrochements 100/200 kg en sous-couche ;
- La mise en place de blocs d'enrochements. Pour la butée de pied, les enrochements à mettre en œuvre doivent être hétérogène afin de limiter les vides.

Suivant ces recommandations, le haut de la bèche se situe à environ 6,0 mNGF, soit un niveau légèrement inférieur au niveau du haut de plage. En été, avec l'accumulation de sable en pied des enrochements, la butée de pied est totalement recouverte et non visible.

7.2.2 REPRISE COMPLETE

La reprise complète des enrochements existants concerne les enrochements qui ont été mis en œuvre sans géotextile. Les travaux comprennent :

- La dépose des enrochements existants ;
- Le profilage de la dune : fouille en pied, talus à 1,5H/1V ou 2H/1V, fouille en crête ;
- La mise en place d'un géotextile sur l'ensemble du profil ;
- La mise en œuvre de la couche de transition en blocs de 100/200 kg en pied et sur le talus ;
- La mise en œuvre des enrochements en butée de pied ;
- La mise en œuvre des blocs de carapace de 1 à 3 T en 2 couches, jusqu'à la cote de 9,5 mNGF. Les blocs existant sont réutilisés dans la mesure du possible ;
- La mise en place de blocs d'enrochements 100/200 kg en crête jusqu'au niveau 9,5 mNGF, en arrière des blocs de carapace.

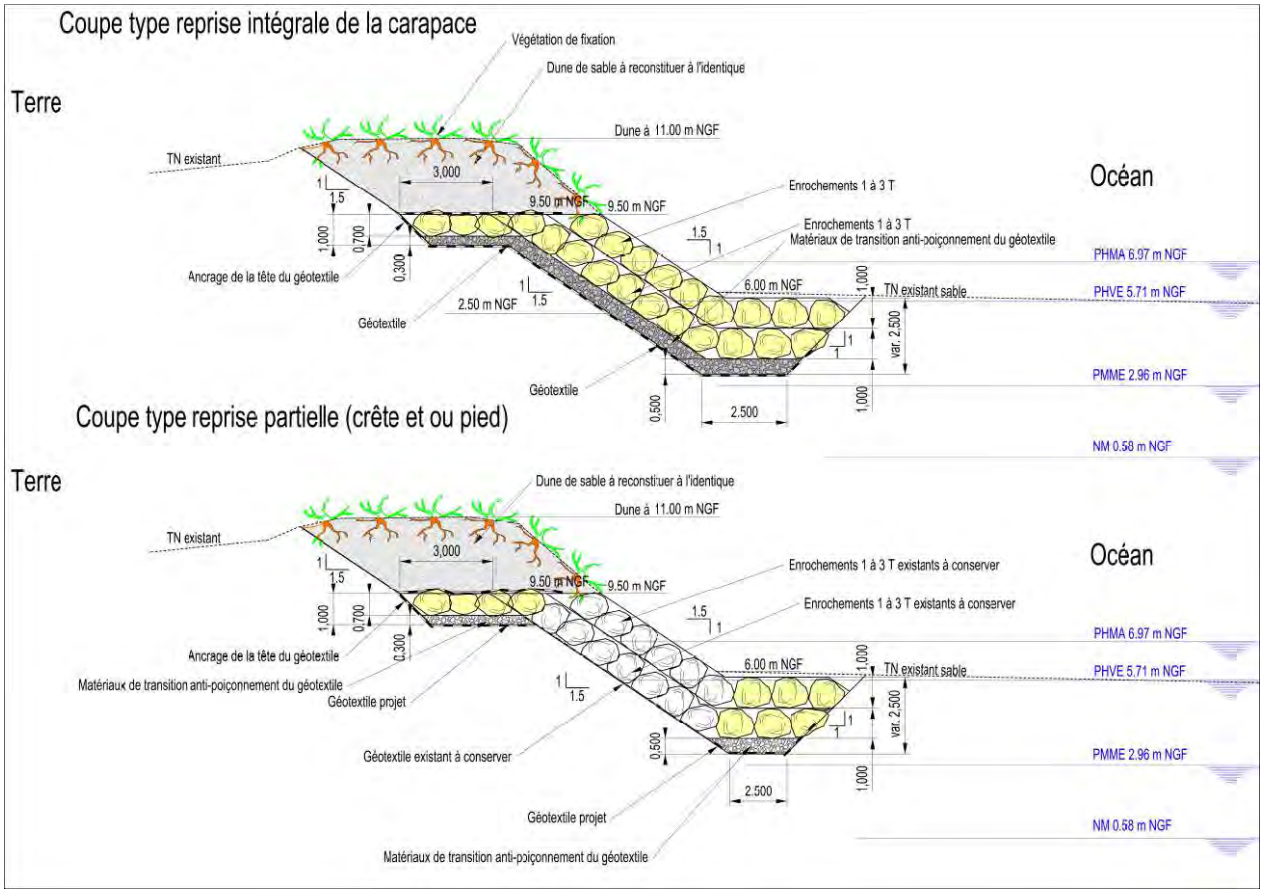


Figure 7-1 : coupes-types des confortements des enrochements existants.

7.3 TRAITEMENT DES SINGULARITES

7.3.1 EXTREMITE NORD

L'extrémité Nord de la protection en enrochements ne présente pas de désordre particulier. Aucun signe d'érosion n'est observé à la transition entre le massif dunaire et l'enrochement. Au contraire, ce secteur apparaît en engraissement, la dune est végétalisée et tend à avancer. Ce phénomène est également constaté sur les premières défenses en enrochements qui sont recouvertes en tout ou partie par la dune.

Par ailleurs, une érosion ponctuelle lors d'un évènement extrême n'aurait pas d'impact sur le bâti, celui-ci se situant à plus de 25 m en retrait du front de mer.

En conséquence, **le principe de non intervention est retenu**.

7.3.2 EXTREMITE SUD

Au contraire de l'extrémité Nord, l'extrémité Sud présente une érosion significative à la transition avec le cordon dunaire de Saint-Rémy-des-Landes. A cet endroit, le trait de côte présente un décrochement, le massif dunaire se trouvant en retrait d'une quinzaine de mètres par rapport aux enrochements du front de mer.

Figure 7-2 : érosion à l'extrémité Sud de la protection.

Figure 7-3 : principe du traitement de l'extrémité Sud.

Il est proposé ici de prolonger la protection en enrochements perpendiculairement au littoral de manière à pénétrer le corps de la dune sur une dizaine de mètres. Cette protection peut être réalisée suivant deux principes :

- par un talus en enrochements ;
- par un géo-composite.

7.3.2.1 Talus en enrochements

Le talus en enrochements suit les mêmes principes de conception décrits au 7.2.2. Toutefois, cette portion n'étant pas soumises frontalement aux houles, les dimensions sont progressivement réduites au fur et à mesure de l'enfoncement dans le cordon dunaire.

Ainsi, les dimensions sont identiques au raccordement avec l'enrochement existant, puis à l'extrémité dans le cordon dunaire, la crête de l'ouvrage est à 8,5 mNGF, le pied à 4,5 mNGF. Les dimensions des enrochements peuvent également êtres réduites à 1-2 T. Le linéaire à traiter de la sorte est évalué à 15 m.

En arrière des enrochements, la partie érodée doit être comblée par apport de sables, pour environ 200 m^3.

7.3.2.2 Géo-composite

Ce site particulier de la défense contre la mer de Denneville apparaît bien adapté à la mise en place de structures en géo-composite : l'absence d'enrochements à évacuer et l'érosion de la dune limitent les coûts et la difficulté des travaux.

De plus, ce secteur n'étant pas soumis frontalement aux houles, la durabilité et l'efficacité de cette solution en seront augmentées.

Enfin, s'agissant d'une transition entre le trait de côte fixe et le massif dunaire, par définition mobile, la mise en œuvre d'une solution douce pouvant s'adapter aux « respirations » de la dune semble indiquée.

Les principes d'aménagements sont décris au 6.3. La transition avec l'enrochement est traitée de la même manière que pour les parcelles non aménagées (cf. 7.3.3.2 et Figure 7-4).

7.3.3 PARCELLES NON AMENAGEES

Pour les parcelles non protégées, plusieurs options peuvent être envisagées :

- La création d'un enrochement en continuité des parcelles voisines ;
- Le confortement par géo-composite enfoui et reconstitution de la dune par-dessus.

7.3.3.1 Création d'un enrochement

La création d'un enrochement reprend les principes présentés au 7.2.2. L'ensemble des enrochements doivent alors être amenés sur site.

Les enrochements sont placés dans le prolongement des enrochements voisins.

7.3.3.2 Confortement par géo-composite

Les principes d'aménagements sont décris au 6.3 et sur la Figure 7-4.

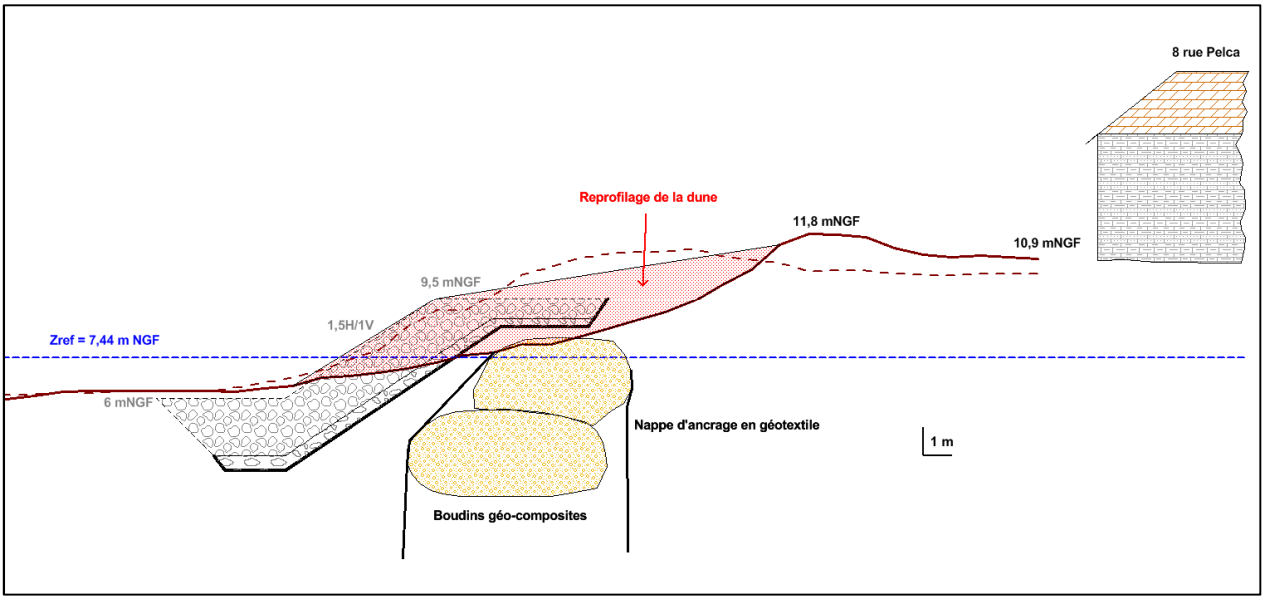


Figure 7-4 : coupe de principe pour l'aménagement de la parcelle du 8 rue Pelca.

Au contraire des enrochements, les structures en géo-composite sont placées légèrement en retrait des enrochements voisins, d'au moins 5 m.

Une attention toute particulière doit être portée à la transition avec les enrochements voisins : ainsi, il est recommandé de recouvrir les géo-composites d'enrochements suivant le même profil aux deux extrémités sur 2-3 ml (suivant le principe de la Figure 7-4). Les boudins sont positionnés au moins 1 m sous la couche de transition des enrochements voisins.

Une fois le géo-composite mis en place, la dune est reprofilée par apports de matériaux (environ 25 m^3/ml) dans la continuité des enrochements voisins.

7.4 TRAITEMENT DES ACCES

Le front de mer de Denneville-Plage compte neuf accès à la plage :

- Accès 1 : accès sommairement aménagé. Pas de préconisation hormis concernant la sécurité des piéton ;
- Accès 2 – rue des Lilas : cet accès est aménagé avec un escalier et des enrochements. Il n'est pas prévu d'intervenir sur cet accès ;
- Accès 3 – cale de descente à la mer : la cale constitue le point le plus bas du front de mer dennevillais. A l'horizon 2100 (Z_{ref} + 60 cm), des entrées de mer sont possibles par la cale et pourraient venir inonder des zones basses en retrait. A terme, la mise en place de batardeaux est recommandée ;
- Accès 4 : accès non aménagé dont l'extrémité côté plage est érodée et crée une discontinuité dans le massif dunaire. Il est recommandé de mettre en œuvre un cheminement souple (géotextile, tapis en bois,…) afin de réduire les effets du piétinement et du vent. En préalable, un rechargement en sable avec une pente très douce (4-5H/1V) peut être envisagé ;
- Accès 5 : même remarque que pour l'accès 4 ;
- Accès 6 – rue de la Gamburie : cet accès est aménagé avec un escalier et des enrochements. Il n'est pas prévu d'intervenir sur cet accès ;
- Accès 7 – avenue du Nord : même remarque que pour les accès 4 et 5 ;
- Accès 8 – avenue du Centre : cet accès est aménagé avec un escalier et des enrochements. Il n'est pas prévu d'intervenir sur cet accès ;
- Accès 9 – avenue du Sud : accès non aménagé, en retrait et peu exposé aux houles. Il est recommandé de mettre en œuvre un cheminement souple (géotextile, tapis en bois,…) afin de réduire les effets du piétinement et du vent.

7.5 CONFORTEMENT DU MASSIF DUNAIRE AU SUD

Le massif dunaire de Saint-Rémy-des-Landes, au Sud de Denneville, connaît une érosion régulière ces dernières années à un rythme moyen relativement constant de 1 m/an.

Cette érosion fait courir un risque de rupture du cordon dunaire dans sa partie Nord, située entre l'extrémité Sud des enrochements de Denneville et la cale de descente à la mer, soit environ 150 ml.

Le principe retenu est un confortement par technique douce, avec reconstitution de la dune par apport de 20 m^3 de sable au ml, reprofilage de la dune et mise en œuvre de dispositifs de piégeage du sable : ganivelles, plantations d'oyas.

7.6 ESTIMATION FINANCIERE

7.6.1 PRIX UNITAIRES RETENUS

Les estimations financières des différents aménagements se basent sur les coûts unitaires suivants :

- Fouilles dans matériaux sableux : 4 €HT/m^3 ;
- Fourniture et pose de géotextile : 5 €HT/m^2 ;
- Fourniture et mise en œuvre de blocs 100/200 kg : 30 €HT/m^3 ;
- Fourniture et mise en œuvre de carapace 1 à 3 T : 45 €HT/m^3 ;
- Dépose et repose de blocs de carapace existants : 15 €HT/m^3 ;
- Dépose et évacuation de blocs de carapace existants : 25 €HT/m^3 ;
- Fourniture et mise en œuvre de boudins en géo-composite : 1 000 €HT/ml ;
- Fourniture et mise en œuvre de sables d'apports : 10 €HT/m^3 ;
- Fourniture et mise en œuvre de ganivelles : 20 €HT/ml.

7.6.2 DETAIL DES COUTS TRAVAUX PAR PARCELLE

Le détail des coûts par parcelle est donné dans le tableau suivant :

Profil	PM	Propriété	Commune	Parcelle	Linéaire_ml	Nature	Nature des travaux	Prix travaux
1	0	Conservatoire du littoral	Saint-Lô-d'Ourville	847	48	dune	non intervention	0 €
2	71	37, rue Charles lefevre	Denneville	AB-332	44	dune	non intervention	0 €
3	104	35, rue Charles lefevre	Denneville	AB-333	25	enrochement	reprise totale	26 600 €
4	127	33, rue Charles lefevre	Denneville	AB-470	18	enrochement	reprise totale	19 000 €
5	143	31, rue Charles lefevre	Denneville	AB-471	19	dune	création géocomposite	19 800 €
6	165	29, rue Charles lefevre	Denneville	AB-437	18	enrochement	reprise partielle	9 400 €
7	182	27, rue Charles lefevre	Denneville	AB-436	17	enrochement	reprise partielle	8 900 €
8	207	25, rue Charles lefevre	Denneville	AB-337	26	enrochement	reprise partielle	11 900 €
9	232	21, rue Charles lefevre	Denneville	AB-338	11	enrochement	reprise totale	11 600 €
10	248	21, rue Charles lefevre	Denneville	AB-339	29	enrochement	reprise totale	30 500 €
11	268	19, rue Charles lefevre	Denneville	AB-340	12	enrochement	reprise totale	13 100 €
12	282	17, rue Charles lefevre	Denneville	AB-341	15	enrochement	reprise totale	15 700 €
13	295	15, rue Charles lefevre	Denneville	AB-342	11	enrochement	reprise totale	11 400 €
14	306	13, rue Charles lefevre	Denneville	AB-343	8	enrochement	reprise totale	8 300 €
15	320	13, rue Charles lefevre	Denneville	AB-344	21	enrochement	reprise totale	22 100 €
16	339	9bis, rue Charles lefevre	Denneville	AB-502	19	enrochement	reprise totale	19 400 €
17	358	9, rue Charles lefevre	Denneville	AB-503	21	enrochement	reprise partielle	10 200 €
18	379	7, rue Charles lefevre	Denneville	AB-346	27	enrochement	reprise totale	29 300 €
19	404	3, rue Charles lefevre	Denneville	AB-331-298	15	enrochement	reprise totale	15 800 €
20	421	1, rue Charles lefevre	Denneville	AB-297	14	enrochement	reprise totale	15 100 €
21	443	1, rue Charles lefevre	Denneville	AB-296	32	enrochement	reprise totale	33 800 €
22	485	2, rue André Pelca	Denneville	AO-210-1	20	enrochement	reprise partielle	10 100 €
23	504	2, rue André Pelca	Denneville	AO-210-242	23	enrochement	reprise partielle	11 600 €
24	522	4, rue André Pelca	Denneville	AO-210-4	14	enrochement	reprise partielle	7 000 €
25	537	6, rue André Pelca	Denneville	AO-210-422	14	enrochement	reprise totale	14 800 €
26	557	8, rue André Pelca	Denneville	AO-431	25	dune	création géocomposite	26 000 €
27	577	12, rue André Pelca	Denneville	AO-211-430	12	enrochement	reprise totale	12 700 €
28	590	14, rue André Pelca	Denneville	AO-211-8	14	enrochement	reprise totale	15 300 €
29	607	16, rue André Pelca	Denneville	AO-211-9	21	enrochement	reprise totale	22 700 €
30	627	18, rue André Pelca	Denneville	AO-211-187	15	enrochement	reprise totale	15 500 €
31	637	18, rue André Pelca	Denneville	AO-211-186	11	enrochement	reprise totale	11 300 €
32	654	20, rue André Pelca	Denneville	AO-211-185	24	enrochement	reprise partielle	12 100 €
33	679	22, rue André Pelca	Denneville	AO-211-184	21	enrochement	reprise totale	23 400 €
34	697	24, rue André Pelca	Denneville	AO-211-183	20	enrochement	reprise totale	22 200 €
35	718	26, rue André Pelca	Denneville	AO-211-182	19	enrochement	reprise totale	20 500 €
36	735	28, rue André Pelca	Denneville	AO-211-181	11	enrochement	reprise totale	11 400 €
37	746	30, rue André Pelca	Denneville	AO-211-180	14	enrochement	reprise totale	15 600 €
38	769	32, rue André Pelca	Denneville	AO-211-179	26	enrochement	reprise totale	29 800 €
39	791	34, rue André Pelca	Denneville	AO-211-178	19	enrochement	reprise totale	19 400 €
40	804	34, rue André Pelca	Denneville	AO-211-177	10	enrochement	reprise totale	10 900 €
41	815	36, rue André Pelca	Denneville	AO-211-176	9	enrochement	reprise totale	9 600 €
42	824	36, rue André Pelca	Denneville	AO-211-175	11	enrochement	reprise totale	11 400 €
43	834	36, rue André Pelca	Denneville	AO-211-174	7	enrochement	reprise totale	7 400 €
44	855	40, rue André Pelca	Denneville	AN-414-1	13	enrochement	reprise totale	14 500 €
45	868	40, rue André Pelca	Denneville	AN-414-2	11	enrochement	reprise totale	12 400 €
46	878	40, rue André Pelca	Denneville	AN-414-3	11	enrochement	reprise totale	12 400 €
47	891	40A, rue André Pelca	Denneville	AN-414-540	15	enrochement	reprise totale	17 300 €
48	911	42, rue André Pelca	Denneville	AN-414-380	27	enrochement	reprise totale	28 900 €
49	937	44, rue André Pelca	Denneville	AN-414-379	24	enrochement	reprise totale	26 200 €
50	955	46, rue André Pelca	Denneville	AN-414-378	13	enrochement	reprise totale	14 900 €
51	966	46, rue André Pelca	Denneville	AN-414-377	11	enrochement	reprise totale	12 500 €
52	979	48, rue André Pelca	Denneville	AN-414-375	12	enrochement	reprise partielle	6 300 €
53	990	50, rue André Pelca	Denneville	AN-414-374	12	enrochement	reprise partielle	6 600 €
54	1003	52, rue André Pelca	Denneville	AN-414-674	12	enrochement	reprise totale	12 700 €
55	1016	54, rue André Pelca	Denneville	AN-414-372	12	enrochement	reprise totale	12 900 €
56	1027	54, rue André Pelca	Denneville	AN-414-371	12	enrochement	reprise totale	12 900 €
57	1044	56, rue André Pelca	Denneville	AN-414-370	24	enrochement	reprise totale	26 500 €
58	1068	58, rue André Pelca	Denneville	AN-414-369	24	enrochement	reprise partielle	14 000 €
59	1089	60, rue André Pelca	Denneville	AN-414-368	12	enrochement	reprise totale	13 700 €
60	1100	60, rue André Pelca	Denneville	AN-414-367	12	enrochement	reprise totale	13 600 €
61	1112	62, rue André Pelca	Denneville	AN-414-366	12	enrochement	reprise totale	13 500 €
62	1125		Denneville	AN-414-365	18	enrochement	reprise totale	20 500 €
63	1147	64, rue André Pelca	Denneville	AN-414-364	18	enrochement	reprise totale	20 400 €
64	1162	66, rue André Pelca	Denneville	AN-414-387	23	enrochement	reprise partielle	13 500 €
65	1186	68, rue André Pelca	Denneville	AN-414-600	18	enrochement	reprise partielle	10 800 €
66	1204	70, rue André Pelca	Denneville	AN-414-606	18	enrochement	reprise partielle	10 300 €
67	1222	72, rue André Pelca	Denneville	AN-414-358	21	enrochement	reprise totale	24 000 €
68	1252	74, rue André Pelca	Denneville	AN-414-543	50	enrochement	reprise partielle	24 900 €
69	1290	74bis, rue André Pelca	Denneville	AN-414-542	26	enrochement	reprise partielle	13 200 €
70	1327	76, rue André Pelca	Denneville	AN-414-356	40	enrochement	reprise partielle	19 900 €
71	1377	les Mielles d'Allonne	Saint-Rémy-des-Landes	AB-1-156	57	enrochement	reprise partielle	27 600 €
72	1428	Conservatoire du littoral	Saint-Rémy-des-Landes	AB-1-157	40	dune	aménagement dune	10 400 €
73	1472	Conservatoire du littoral	Saint-Rémy-des-Landes	AB-1-158	110	dune	aménagement dune	28 600 €

Tableau 7-1 : détail des coûts par parcelle.

7.6.3 COUT DU SCENARIO D'AMENAGEMENT

Les coûts du scénario d'aménagement sont donnés dans le tableau suivant, avec comme variante les coûts avec la solution « géo-composite » pour les parcelles non protégées et l'extrémité Sud.

Travaux	Scénario « tout enrochement »	Variante avec géo-composite
Reprise partielle des enrochements existants (18 parcelles)	225 000	225 000
Reprise totale des enrochements existants (52 parcelles)	855 000	855 000
Extrémité Nord	0	0
Extrémité Sud	24 000	17 000
Parcelles non protégées (2 parcelles)	60 000	46 000
SOUS TOTAL HT	**1 164 000**	**1 143 000**
Installations de chantier 7 %	81 000	80 000
Aléas 15 %	187 000	183 000
Entretien/maintenance à 25 ans	50 000	53 000
TOTAL HT	**1 480 000**	**1 460 000**

Tableau 7-2 : coût total à l'horizon 2040 – projet de défense contre la mer du littoral de Denneville.

Pour les coûts d'entretien, une moyenne de 2 000 €HT/an est retenue pour les enrochements. Pour la variante avec géo-composites, le linéaire traité avec cette technique représente à peine 5 % du linéaire total pour un coût estimé au double de celui des enrochements : nous retiendrons un coût d'entretien moyen augmenté de 5 %, à 2 100 €HT/an

Compte-tenu de ce faible linéaire, l'écart entre le scénario « tout enrochement » et la variante est de 20 000 €HT, soit 1,3 %.

7.7 RECOMMANDATIONS AVANT TRAVAUX

Les coûts des travaux dépendent fortement de la nécessité de réaliser une butée de pied et de la présence d'un géotextile. En conséquence, en préalable à l'élaboration du DCE, nous recommandons de faire réaliser les reconnaissances suivantes :

- Sondages en pied d'enrochements : 2 500 €HT ;
- Vérification de la présence d'un géotextile : 2 500 €HT.