

Étude des aléas littoraux et impacts sur le cordon dunaire de St Efflam

Commune de Plestin Les Grèves

Crédit photo : © prénom Nom/Cerema



décembre 2019

Étude des aléas littoraux et impacts sur le cordon dunaire de St Efflam à Plestin-les-Grèves

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
1	12/2019	

Affaire suivie par

Prénom NOM - Département laboratoire de Saint Brieuc – Groupe Risques Naturels et Géophysique
Tél. : 02 96 75 93 66/ Fax : 02 96 75 93 10
Courriel : herve.bozec@cerema.fr
Cerema Ouest

Références

n° d'affaire : C19OB0367
 Maître d'Ouvrage : Mairie de Plestin-Les-Grèves
 Devis n° D19OB0367-1 du 04/10/2019

Rapport	Nom	Date	Visa
Établi par	Hervé BOZEC	20/12	<i>H. Bozec</i>
Contrôlé par	Raphaël BENOT	20/12	<i>R. Benot</i>
Validé par	Régis SOENEN	25/12/19	<i>R. Soenen</i>

La Directrice Adjointe du Département laboratoire de Saint-Brieuc

M. Le Blanc
 Martine LE BLANC

SOMMAIRE

1 OBJET DE L'ÉTUDE.....	5
2 CARACTÉRISATION DU SITE.....	6
2.1 Périmètre d'étude.....	6
2.2 Cadre morphologique.....	7
2.3 Contexte géologique.....	12
2.4 Fonctionnement de la cellule hydro-sédimentaire.....	14
3 ÉTUDE DES ALÉAS LITTORAUX ET IMPACT SUR LES ENJEUX.....	17
3.1 Description des phénomènes hydrodynamiques qui s'appliquent sur le trait de côte.....	17
3.1.1 Le marnage (RAM et courants).....	17
3.1.1.1 La marée astronomique.....	17
3.1.1.2 Les courants de marée.....	17
3.1.2 Les vents.....	19
3.1.3 La houle.....	20
3.1.4 Les surcotes et les niveaux marins extrêmes.....	21
3.1.4.1 Les surcotes.....	21
3.1.4.2 Les niveaux marins extrêmes.....	22
3.1.4.3 Élévation globale du niveau marin.....	25
3.1.5 Événements historiques ayant impacté le littoral.....	25
3.2 Pathologies affectant le trait de côte.....	27
3.2.1 Observations sur le terrain.....	27
3.2.2 Analyse historique de photographies aériennes.....	32
3.3 Aléa d'érosion.....	34
3.3.1 Analyse de l'évolution du trait de côte.....	35
3.4 Enjeux et vulnérabilité.....	39
3.4.1 Description des enjeux.....	39
3.4.2 Vulnérabilité des enjeux face à l'érosion.....	41
3.4.2.1 A l'horizon 2030.....	41
3.4.2.2 A plus long terme (2050 et 2100).....	41
4 PROPOSITIONS POUR LA GESTION DU RISQUE.....	43
4.1 Les modes de gestion définis par la SNGTC.....	43
4.2 Intervention rapide en cas d'événement tempétueux annoncé.....	43
4.3 Intervention à court terme pour une gestion de type maintien du trait de côte par des techniques souples et réversibles.....	44
4.3.1 Reconstruction dunaire.....	45
4.3.2 Pêré en bois.....	48
4.3.3 Mesures complémentaires.....	50
4.4 Réflexions pour une stratégie de gestion du site à plus long terme.....	50

**ANNEXE 1 : PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES ANCIENNES NON-
GÉORÉFÉRENCÉES.....53**

**ANNEXE 2 : DIGITALISATION DU TRAIT DE CÔTE SUR PHOTOGRAPHIES
AÉRIENNES GÉORÉFÉRENCÉES.....63**

1 Objet de l'étude

La commune de Plestin Les Grèves constate depuis plusieurs années un recul du front dunaire à St Efflam en avant de la RD786, et particulièrement sur un segment spécifique localisé à l'extrémité est d'un ouvrage en enrochements de protection de la rue des carrières. En effet, suite à une reconstitution dunaire réalisée en 2003 au droit du parking et du bâtiment des sanitaires publics de la plage de St Efflam, dans le prolongement direct de cet ouvrage, le massif dunaire s'est progressivement amaigri au gré des années et des nombreux épisodes de tempêtes hivernales, particulièrement depuis la tempête Johanna en 2008 et jusqu'à la récente tempête Eléonor du début du mois de janvier 2018, qui ont occasionné de nombreux dégâts tout au long du littoral breton.

Ainsi, la mairie de Plestin Les Grèves a souhaité s'appuyer sur l'expertise du CEREMA pour établir un diagnostic relatif aux aléas affectant ce cordon dunaire notamment à l'extrémité du perré en enrochements.

L'étude propose d'évaluer l'aléa d'érosion responsable du recul du trait de côte sur ce segment littoral, en s'appuyant sur l'observation des facteurs de prédisposition aux phénomènes, mis en perspective avec la situation des enjeux impactés. L'objectif est de comprendre la dynamique d'évolution à court terme et à plus long terme, afin d'estimer la vulnérabilité des enjeux et leur pérennité, pour proposer des interventions (à court terme) et des pistes de réflexion quant à la gestion du site à plus long terme au regard de la Stratégie Nationale de Gestion Intégrée du Trait de Côte (SNGITC).

2 Caractérisation du site

2.1 Périmètre d'étude

L'étude s'intéresse à une section littorale d'environ 300m de long au droit du cordon dunaire de St Efflam, située en partie est de la grève de Saint-Michel sur la commune de Plestin Les Grèves. Elle relie deux cales de descentes à l'estran depuis l'extrémité de l'ouvrage de protection en enrochements de la rue des carrières côté ouest, à l'extrémité du parking de la plage de St Efflam côté est.

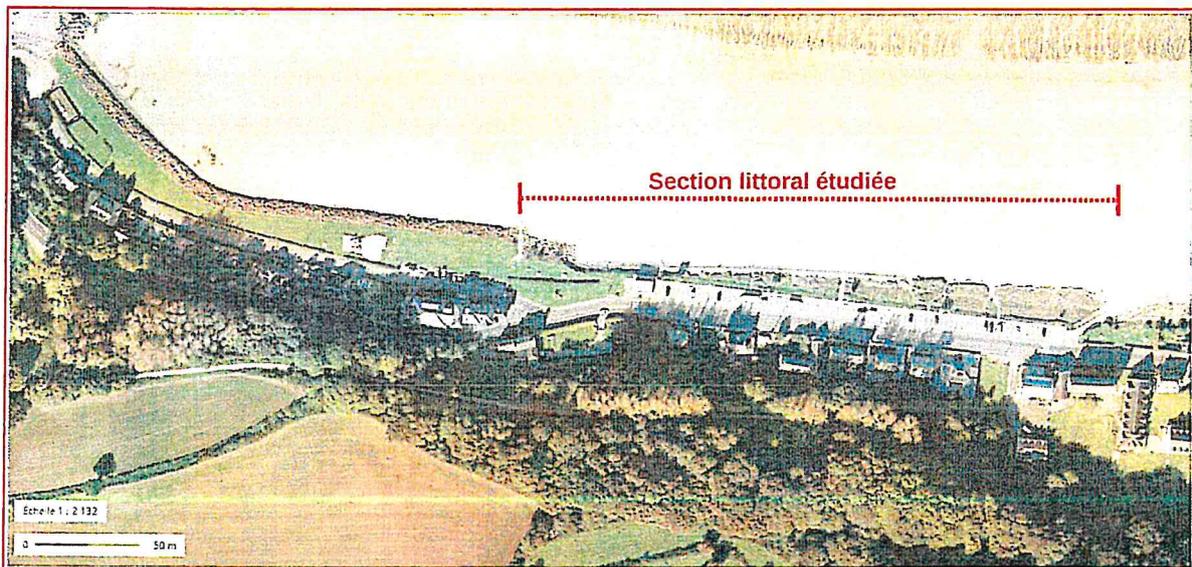
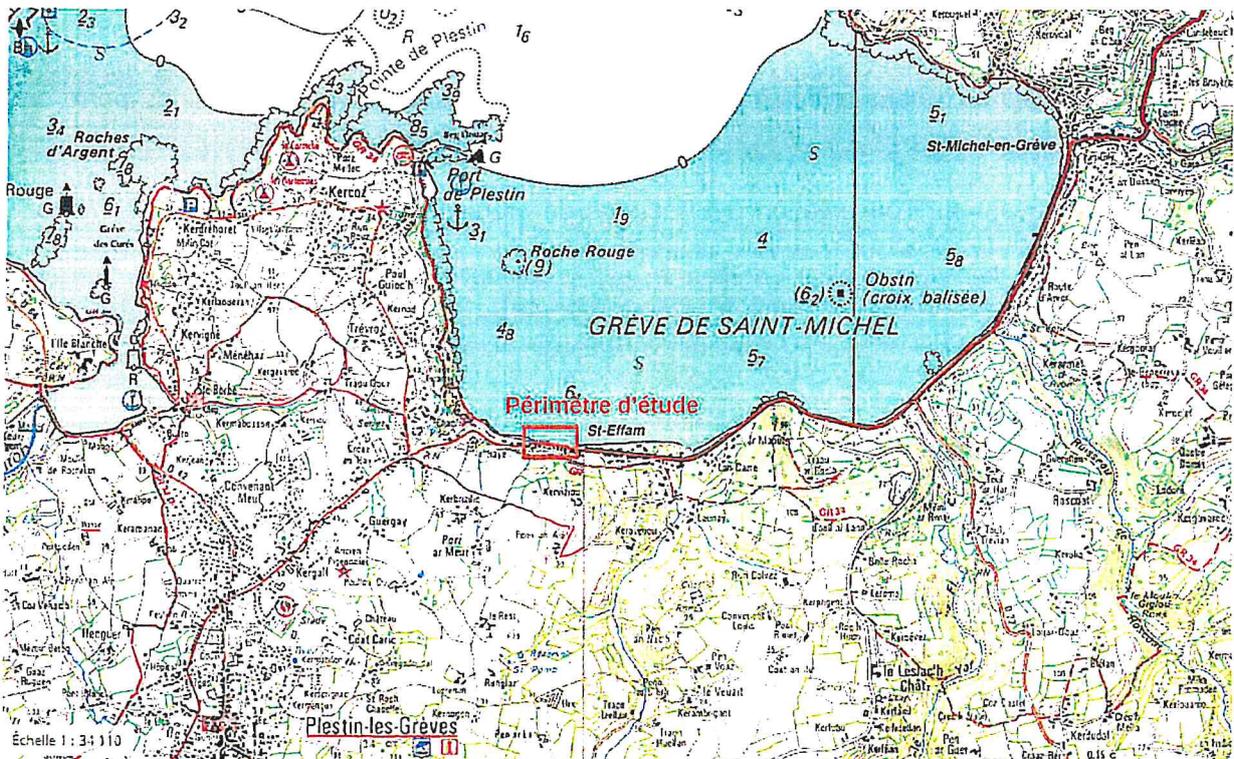


Illustration 2: Segment littoral étudié sur photographie aérienne (source Géoportail)

2.2 Cadre morphologique

Dans ce paragraphe, la topographie du site présentée sur plan ainsi que le profil en long établi en crête du front littoral sont produits à partir du modèle numérique altimétrique de référence continu terre-mer sur la frange littorale, Litto3D® de l'IGN dont les données datent de 2012. Des profils en travers du front dunaire relevés sur le terrain par GPS en décembre 2019 complètent la description.

Le trait de côte est orienté globalement Est/Ouest (N100° E) selon une forme rectiligne depuis la base de la pointe de Beg Douar à l'Ouest jusqu'au Grand Rocher vers le centre de la baie de St Michel. Le cordon dunaire qui délimite le trait de côte s'interrompt au passage de l'embouchure du Quinquis à l'Ouest de St Efflam.

L'analyse topographique générale au droit du secteur d'étude montre :

- une altitude du sommet du talus littoral (terre-plein et plate-forme du parking) d'environ 7,70 m NGF vers l'extrémité Ouest au niveau de l'ouvrage en enrochements, et supérieure à 8 m à partir du bâtiment des sanitaires jusqu'au bout du parking de la plage dans la continuité. On note un point bas à 7,5 m NGF au droit de la descente d'accès à l'extrémité Est.
- La route départementale 786 présente une altitude moyenne d'environ 8,5 m NGF (de 8,4 à 9 m), alors que la rue des carrières à l'ouest redescend progressivement jusqu'à une altitude de 6,5 m NGF.
- On remarque aussi une dépression topographique en arrière de la RD786 entre Pr.60 et Pr.120 au pied du versant rocheux, dans laquelle se situe deux habitations dont la base est à une altitude comprise entre 6,5 m NGF et 7 m NGF (niveau de la route équivalent au niveau du premier étage des habitations). Puis au-delà de la limite Est du secteur d'étude, on constate une autre zone basse plus importante d'environ 7000 m² qui correspond à une propriété (parcelle n°595), dont l'altitude minimale se situe vers 6,3 m NGF.

La pente générale du haut de plage est d'environ 4 à 5 %, mais apparaît un peu plus plate (~1 à 2 %) au droit de l'ouvrage en enrochement (ouvrage réflexif).

Plusieurs profils en travers représentatifs des singularités morphologiques du secteur d'étude ont été extraits du MNT de 2012, le niveau du haut de plage ayant été mis à jour par levé topographique directement sur le site en décembre 2019. Les trois profils montrent :

- à P1, un ouvrage en enrochements avec une pente proche de 3/1 (horizontal/vertical), soit environ ~25 % (correspondant à un segment où l'ouvrage est peu réflexif), pour une altitude du sable en pied de 4,3 m NGF et au sommet de 7,70 m NGF. Toutefois, l'ouvrage est beaucoup plus redressé dans son extension Ouest (sur la majeure partie de son linéaire) avec une inclinaison d'environ 45° et donc beaucoup plus réflexif ;
- à P2, la dune bordière très amaigrie surmontée par des remblais supports de la plate-forme du parking et des sanitaires, présente une pente forte d'environ 130 % (inclinaison supérieur à 50°) caractéristiques des fronts d'érosion, avec une altitude au pied du cordon de galet de 4,6 m NGF et au sommet de 8,25 m NGF ;
- à P3, un cordon dunaire plus étalé à pente douce (~14 %) recouvert d'une végétation pérenne vers la crête, pour une altitude en pied de 5,0 m NGF et au sommet de 8,8 m NGF ;

Pour ce qui concerne l'estran, le bas de plage est prolongé par une vaste grève sableuse selon une pente d'environ 0,5 % (inclinaison ~0,25°).

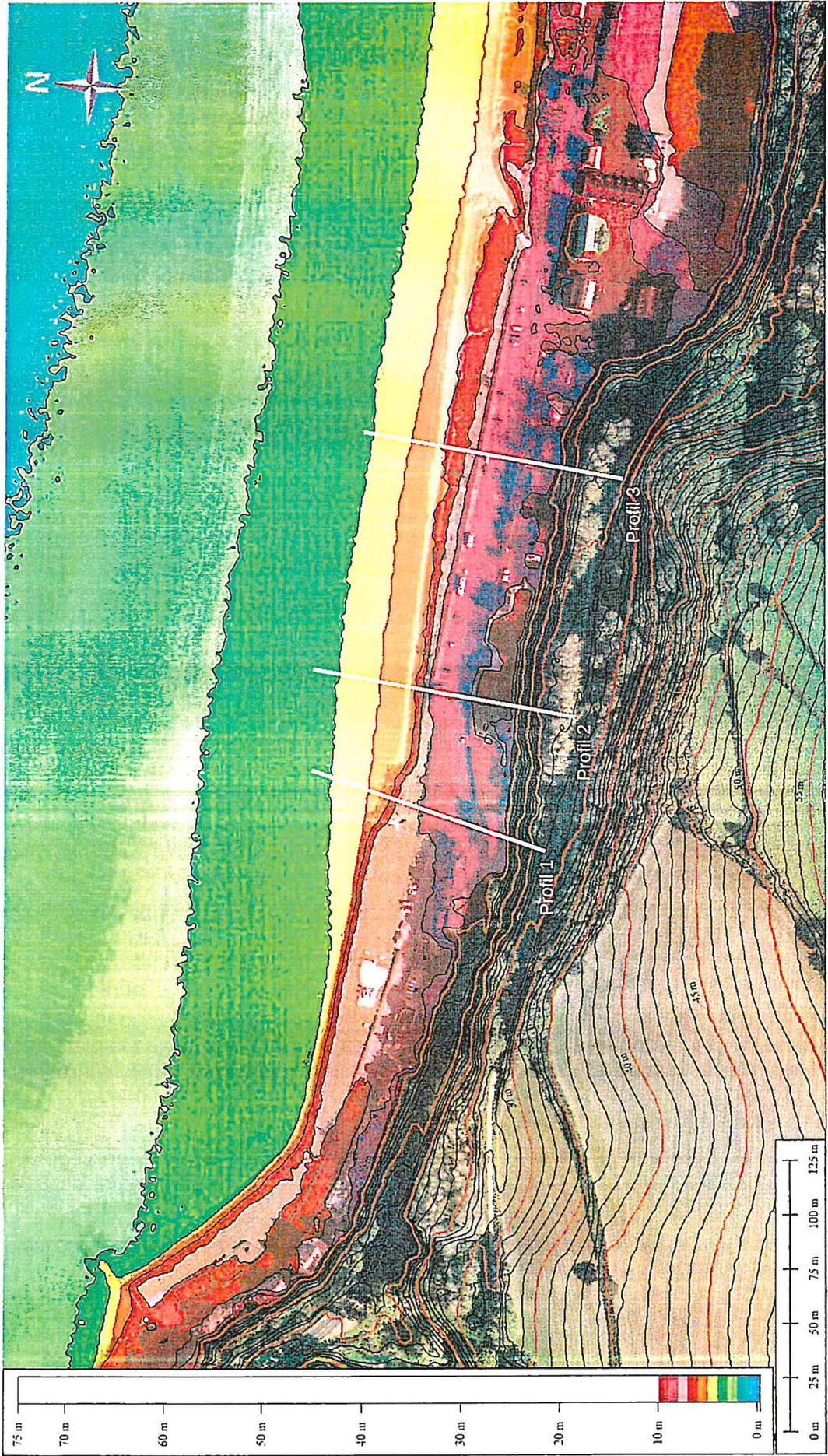
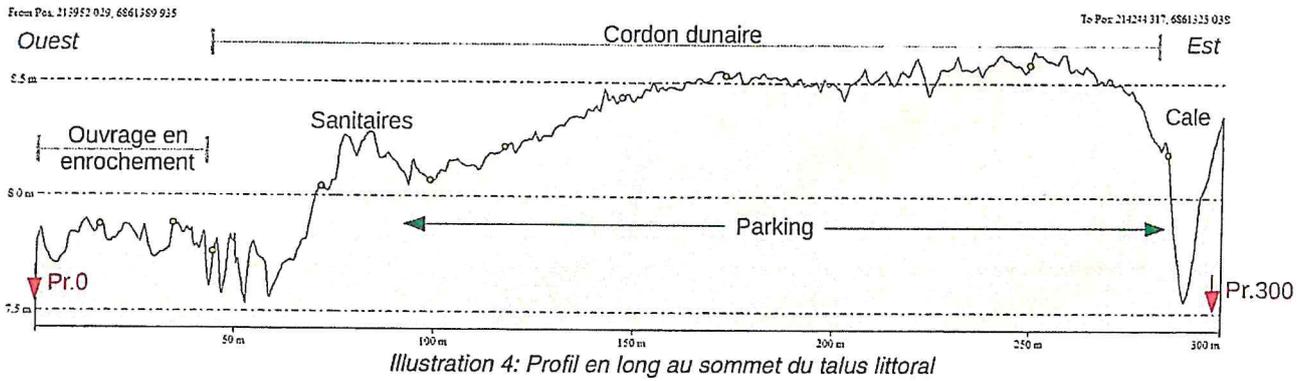
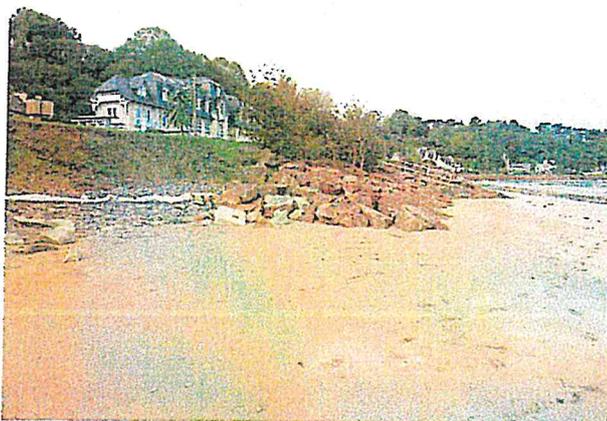
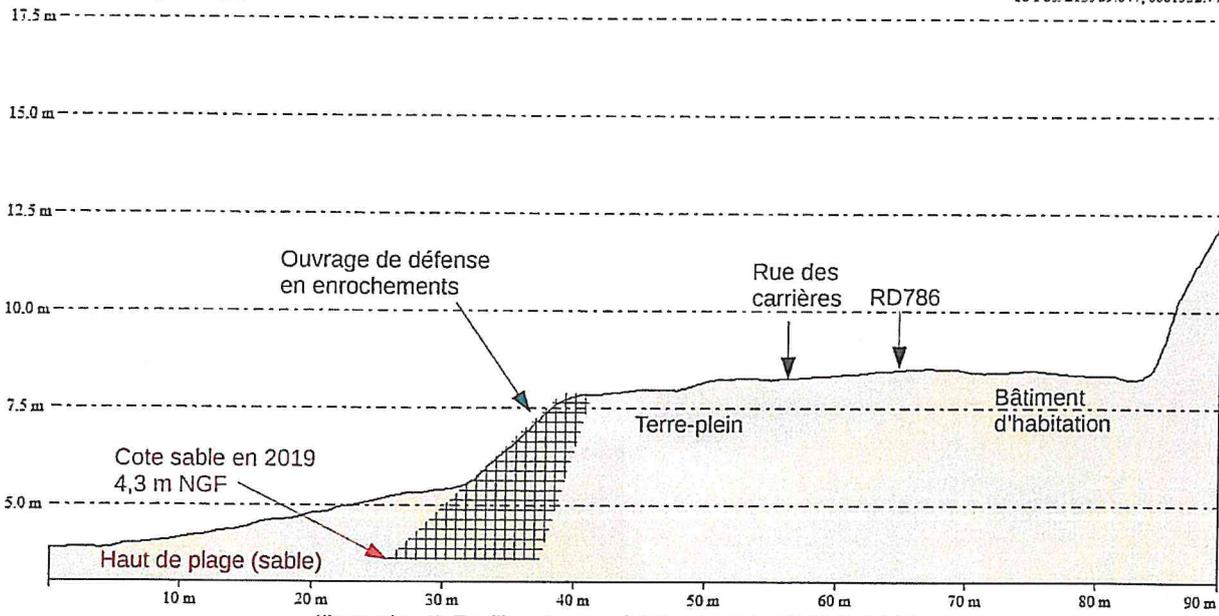


Illustration 3: Topographie du littoral (données MNT Litto3D de 2012 et ortho-littorale)



- Le profil 1 correspond à une coupe de l'ouvrage en enrochements à l'extrémité Ouest du secteur d'étude (vers Pr.20).

From Pos: 213989.040, 6861420.609 To Pos: 213969.647, 6861332.770



Le profil 2 correspond à une coupe du front littoral érodé au droit des sanitaires à l'extrémité Ouest du parking de la plage (vers Pr.80).

From Pos: 214034.671, 6861401.596

To Pos: 214016.419, 6861327.066

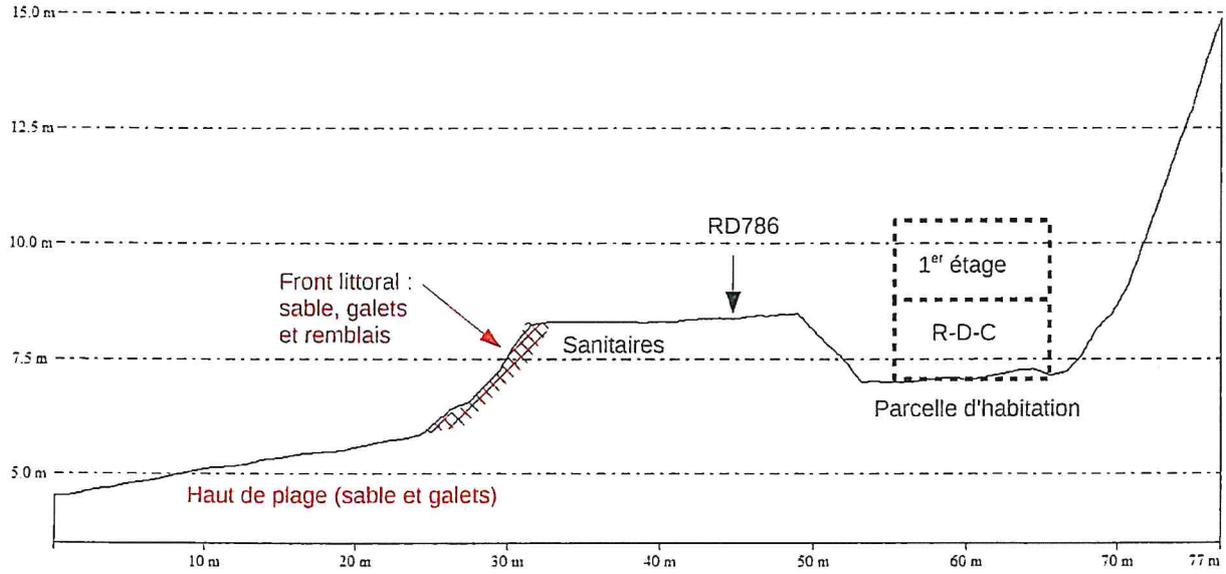


Illustration 6: Profil en travers à P2 extrait du MNT de 2012

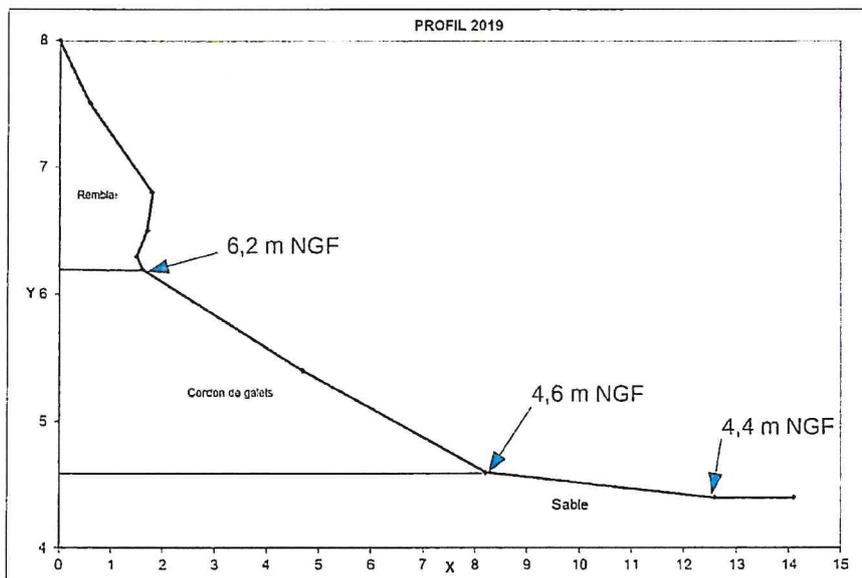
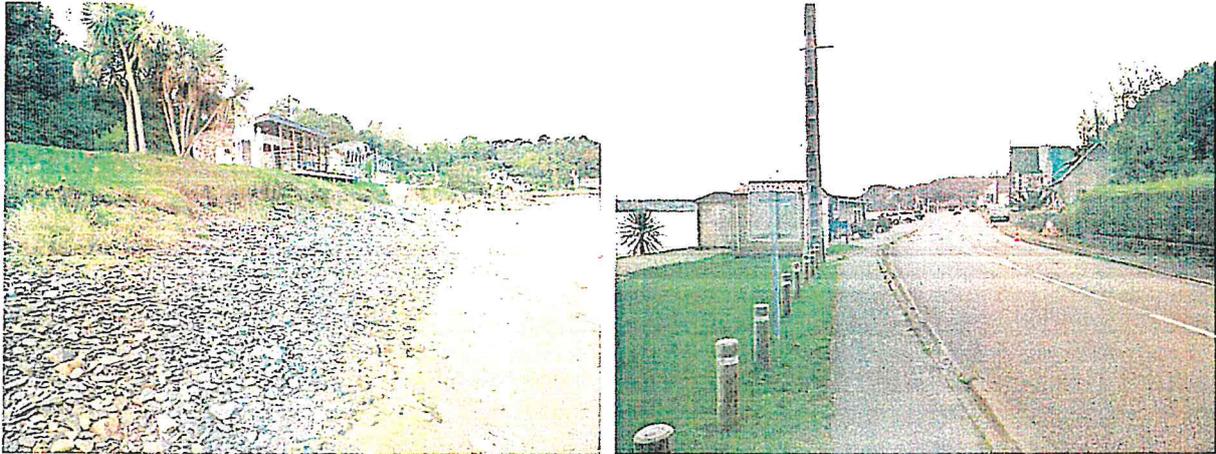


Illustration 7: Profil en travers à P2 en 2019

Le profil 3 correspond à une coupe au droit du cordon dunaire au centre du parking de stationnement (vers Pr.170).

From Pos: 214124.411, 6861394.371

To Pos: 214108.440, 6861309.575

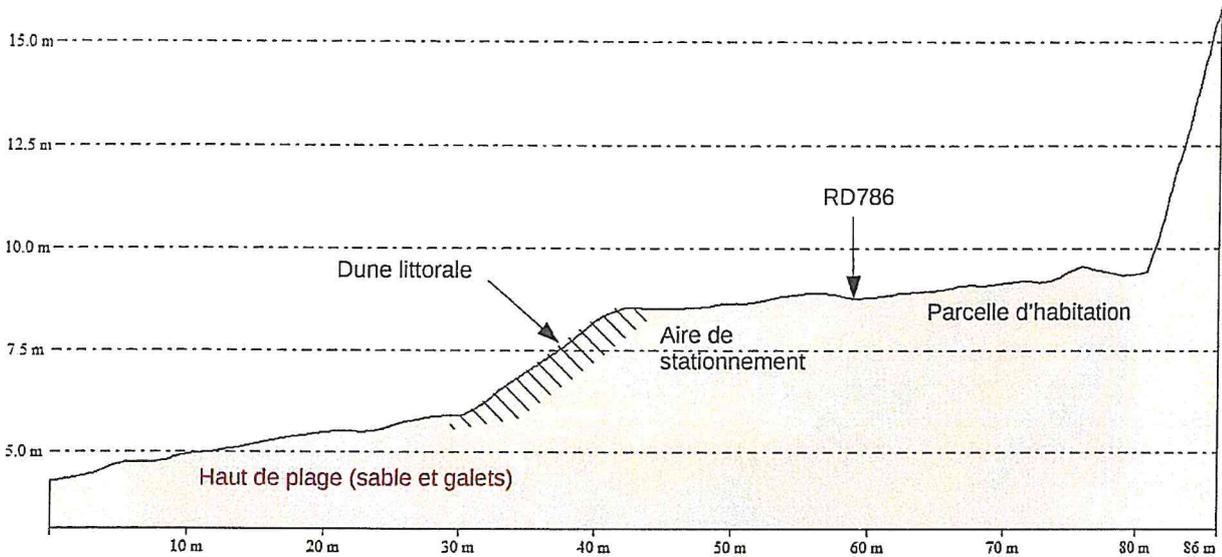


Illustration 8: Profil en travers à P3 extrait du MNT de 2012



2.3 Contexte géologique

Les formations géologiques visibles sur le périmètre d'étude se répartissent en deux groupes :

- les formations rocheuses constituant le substratum géologique, qui sont plus résistantes à l'érosion marine et donc moins sensibles au recul du trait de côte en cas d'atteinte ;
- les formations superficielles recouvrant le substratum, qui sont vulnérables à l'érosion marine et continentale, pré-disposées au recul.

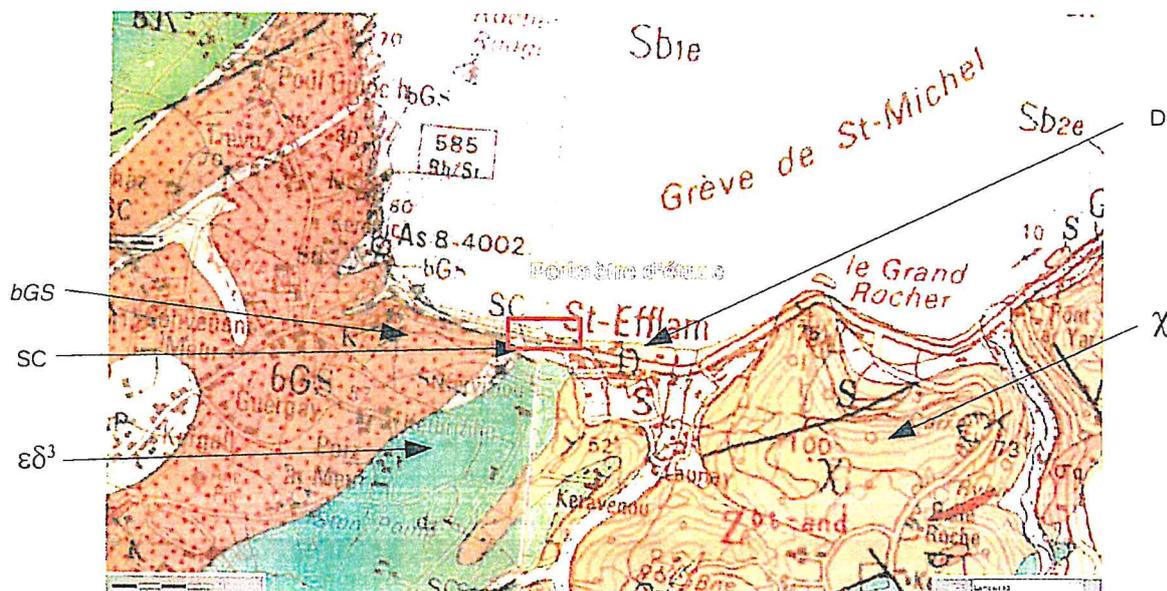


Illustration 9: Extrait des cartes géologiques de Plestin les Grèves et Lannion au 1/50 000 du Brgm (<http://infoterre.brgm.fr>)

Substratum géologique :

bGS : Grauwackes feldspathiques

εδ³ : Amphibolite de Plestin

χ : Grès de St Michel

Formations superficielles du Quaternaire :

D : Dune littorale

SC : Dépôts de versant (colluvions, head)

L'extrait des cartes géologiques de Plestin les Grèves et de Lannion au 1/50 000° présenté ci-dessus montre la répartition des terrains formant le substratum au niveau du périmètre d'étude. On observe les amphibolites de Plestin qui sont identifiées au droit du site d'étude et constituent le versant rocheux en arrière de la rangée d'habitation bordant le RD786. Il s'agit de roches volcano-plutoniques mises en place au début de l'orogénèse hercynienne par intrusion au travers d'autres formations métamorphiques encaissantes d'origine sédimentaire (roches du métamorphisme régional, déformées au paléozoïque lors de l'orogénèse cadomienne), correspondant aux Grauwackes feldspathiques de Plestin à l'Ouest (roche constitutives des fronts de taille des carrières de St Efflam), et du grès de St Michel qui forme le grand Rocher à L'Est.

Toutefois, le talus littoral (qui supporte les enjeux) est constitué d'un ensemble de formations meubles superficielles issu pour partie, de l'érosion des versants rocheux amont et mis en place par coulée (colluvions et cordon de galets), mais également par accumulations marines et éoliennes de sédiments littoraux sous la forme d'une dune bordière.

Aucun sondage issu de la banque des données du sous-sol du Brgm (BSS) n'est référencé au droit du site d'étude. Ainsi, il pourrait être pertinent d'effectuer quelques sondages de reconnaissance lithologique en avant de la RD786 pour déterminer la profondeur du toit du substratum géologique susceptible de constituer un point « dur » naturel s'opposant au recul du trait de côte, et d'évaluer l'épaisseur de la couche de matériaux meubles.



Illustration 10: Vues des matériaux meubles constitutifs du talus littoral et délimitant le trait de côte

La grève quant à elle, est formée d'un amoncellement de sédiments alluvionnaires et marins du Quaternaire formant un mélange de sables fins et de sablons issus en partie de l'érosion locale du manteau d'altérites et des dépôts soliflués continentaux. Une analyse de ces sédiments réalisée par L. Chauris en 1989 a montré qu'il n'y avait qu'une très faible contribution de sources distales de sables en provenance de la plaine centrale de la Manche par phénomène de remontée à la côte. D'autre part, une autre étude concernant la répartition des éléments carbonatés, réalisée par L. Gad en 1999 a également mis en évidence que la part des sédiments d'origine biogène représentait entre 50% et plus de 70% des sédiments de la baie de Saint-Michel-en-Grève.

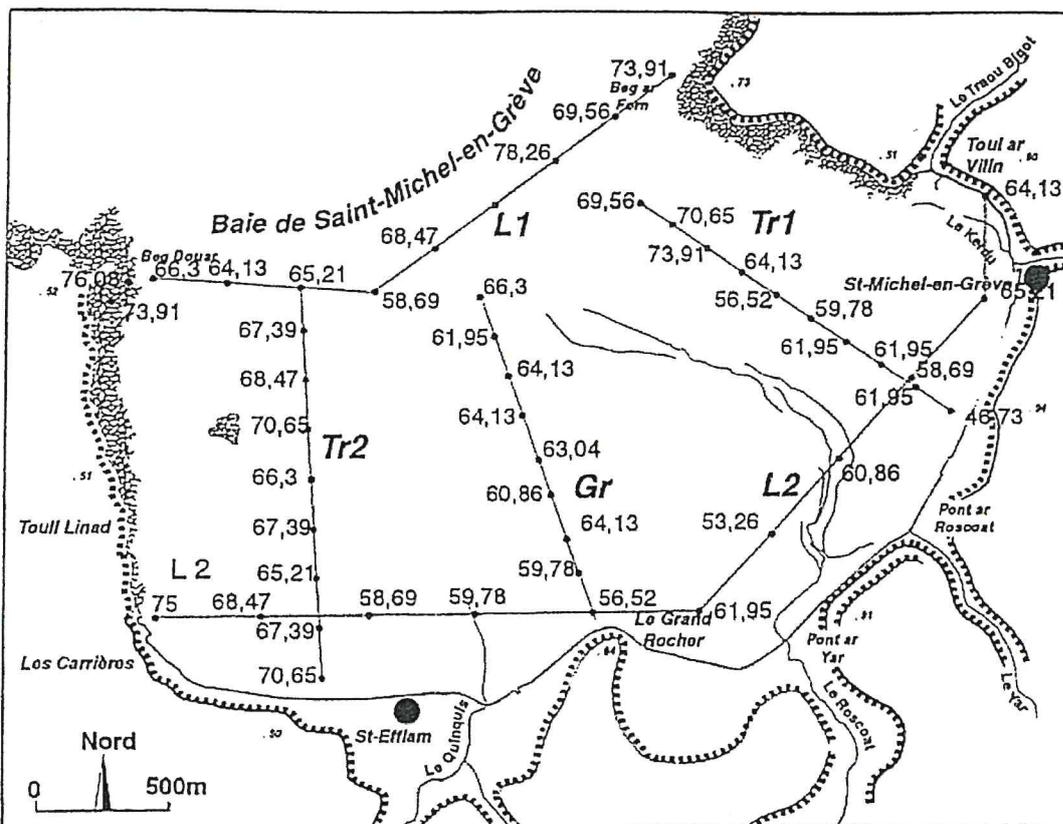


Illustration 11: Cartes de répartition des sédiments carbonatés (en pourcentage) au sein des sables de plage de la baie de Saint-Michel-en-Grève (d'après L. Gad, 1999)

2.4 Fonctionnement de la cellule hydro-sédimentaire

Les informations de ce paragraphe sont reprises des publications de S. Suanez et P. Stéphan suivantes :

- *La question du bilan sédimentaire des côtes d'accumulation. Rôle des forçages naturels et anthropiques dans les processus morphodynamiques analysés à partir de quelques exemples pris en Méditerranée et en Bretagne*, S. Suanez – 2010 ;
- *Forçages météo-marins et dynamique morphosédimentaire saisonnière des cordons dunaires. Exemple de la baie de Saint-Michel-en-Grève (Côtes d'Armor, Bretagne)*, S. Suanez et P. Stéphan – 2006 ;
- *Dynamique morphosédimentaire des cordons dunaires de Tréduder et de Saint-Michel-en-Grève (baie de Saint-Michel-en-Grève – Côtes-d'Armor) entre 1990 et 2003*, S. Suanez et P. Stéphan – 2004 ;

La baie de Saint-Michel-en-Grève qui se situe au fond de la baie de Lannion, est une vaste plage cernée par les deux caps rocheux de Beg ar Form à l'est et de Beg Douar à l'ouest, qui lui confère un caractère abrité limitant les impacts morphogènes. Par ailleurs, l'importance du marnage explique la grande superficie de l'estran à découvert (7 km²).

Les cordons dunaires occupent un espace extrêmement réduit (25 000 m² environ, soit 0,04 % du système littoral), qui s'explique par un adossement direct aux falaises de fond de baie, ne permettant pas l'édification d'une zone supra littorale étendue où s'exercerait la dynamique éolienne. À cela s'ajoute également le rôle des aménagements anthropiques avec la construction de la route littorale D786. Cette dernière a repoussé artificiellement le trait de côte vers l'aval du système entraînant ainsi une submersion plus fréquente du haut d'estran et, avec elle, la destruction des premières dunes (Gad et al., 2003).

Depuis 1990, des apports sédimentaires sableux ont entraîné un exhaussement suffisamment conséquent du haut de plage pour que se mettent en place des dunes bordières (Stephan et Suanez, 2004). Elles se repartissent en trois cordons dunaires bien distincts. Les deux premiers, les cordons dunaires de Saint-Efflam et du Grand Rocher, se situent sur la commune de Plestin, le troisième, de Saint-Michel-en-Grève, est situé sur la commune du même nom.

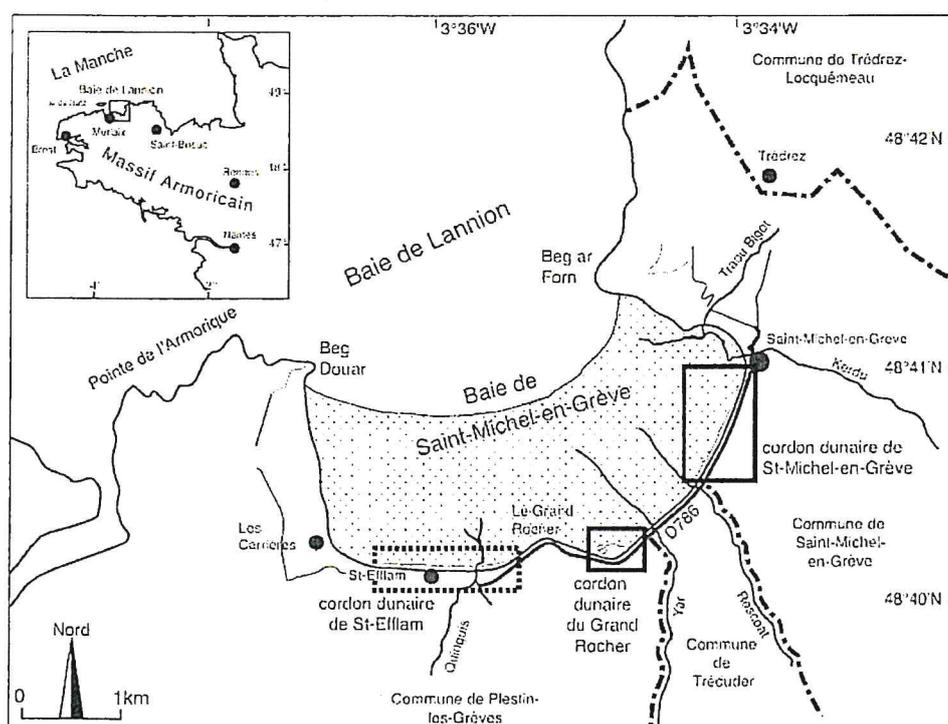


Illustration 12: Morphologie de la baie de St-Michel-en-Grève et localisation des cordons dunaires (S. Suanez, 2004)

D'un point de vue morphologique, ces micro-reliefs dunaires correspondent à des placages éoliens peu élevés dont la partie externe forme un bourrelet inférieur à un mètre d'altitude par rapport au niveau des plus hautes mers, composés de sédiments d'une granulométrie très homogène d'un secteur à l'autre de la baie. Des mesures effectuées sur l'ensemble des sables dunaires montrent des variations très faibles comprises entre 163 μm et 142 μm , pour un grain moyen égal à 155 μm . C'est en général un sédiment bien trié comme l'indiquent les indices de tri égal à 0,41 et d'asymétrie proche de 0 (Stephan, 2003).

L'évolution morpho-sédimentaire à l'échelle de la baie, objet de différentes études entre 1987 et 1998 par J.-P. Pinot, a montré une tendance à l'engraissement depuis au moins le début du 20^e siècle, notamment dans le secteur de Saint-Michel-en-Grève, qui était constitué de placages de galets et d'affleurements rocheux et qui cent ans après, a disparu sous une couverture sableuse importante. Il avait noté également que le rocher rose présent en 1920 n'affleurerait plus que d'une trentaine de centimètres à la fin des années 1980. Aujourd'hui, il a totalement disparu.

Les résultats de différentes études sur l'évolution du trait de côte à l'échelle de la baie ont indiqué une progradation rapide entre 1990 et 2001, qui s'est traduite notamment par la construction du cordon dunaires de St-Efflam selon des vitesses importantes jusqu'à 16 m/an sur certains secteurs, pour une vitesse moyenne de 1,5m /an.

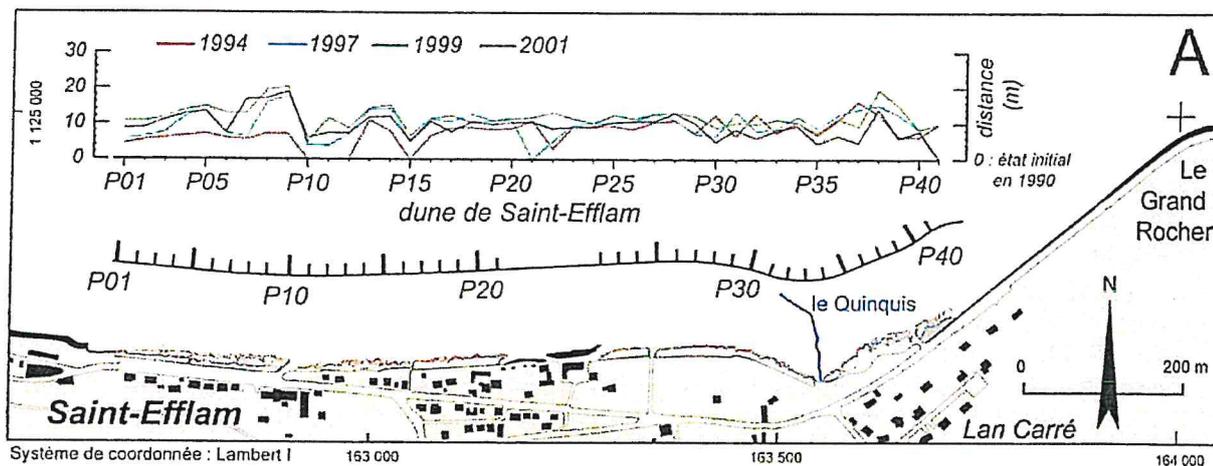


Illustration 13: Evolution du trait de côte dans le secteur de St-Efflam entre 1990 et 2001 (P. Stéphan et S. Suanez, 2005)

Saint-Efflam		
	Vit.	Période
tendance	+1,5	1990-01
progradation max.	+16,3	1990-94
recul max.	-9	1999-01
Saint-Efflam		
volumes	+13100	1990-01

Illustration 14: Cinématique du trait de côte de la baie de Saint-Michel-en-Grève entre 1990 et 2003 sur le secteur de St-Efflam. Données exprimées en m/an pour la tendance et les vitesses maximales de progradation et de recul ; données exprimées en m³ pour les volumes (P. Stéphan et S. Suanez, 2005)

L'analyse de la cinématique du trait de côte a été poursuivie en intégrant des mesures de terrain réalisées entre 2004 et 2009 permettant de retracer l'évolution du rivage de l'ensemble de la baie de Saint-Michel-en-Grève depuis les vingt dernières années avec une fréquence annuelle.

Si dans le secteur de Saint-Efflam, il existait déjà à la fin des années 1980 un maigre cordon dunaire, c'est principalement à partir du début des années 1990 que les dunes ont été édifiées en fond de baie. Après un premier stade érosif entre 1986 et 1992, est intervenue une phase d'engraissement et/ou de construction dunaire jusqu'en 1999. Durant cette période, on note

toutefois qu'entre 1995 et 1998, l'évolution n'a pas été linéaire. Entre 1999 et 2002, on a assisté à un nouveau recul du trait de côte. À partir de 2005, une tendance globale à l'engraissement est enregistrée, elle est interrompue par un stade érosif notable entre 2006 et 2008. L'hiver 2008-2009 a été marqué quant à lui par une progradation du trait de côte.

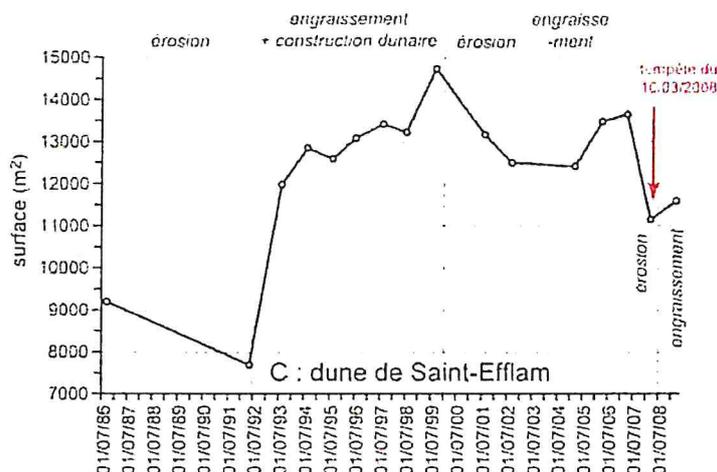


Illustration 15: Evolution des surfaces dunaires calculées à partir de l'analyse de la cinématique du trait de côte entre 1990 et 2009 en baie de Saint-Michel-en-Grève (S. Suanez, 2010)

Le croisement des données sur la cinématique du trait de côte et des conditions météo-marines et hydrodynamiques permet de montrer l'action des forçages naturels sur l'évolution du bilan sédimentaire de la baie de Saint-Michel-en-Grève depuis les 20 dernières années. Par exemple, Les fortes tempêtes l'hiver 1989-90 ont entraîné une érosion du rivage, comme le montre la diminution des surfaces dunaires de St-Efflam entre 1986 et 1992. La signature de ces tempêtes au niveau des autres cordons dunaires est absente, car ces derniers n'existaient pas à cette époque. La période d'accalmie qui a suivi s'est accompagnée d'un engraissement important du fond de baie. C'est en effet au début des années 1990 qu'a commencé la consolidation des dunes du Grand Rocher et de Saint-Michel-En Grève. L'édification de ces cordons dunaires s'est poursuivie jusqu'en 1999, et ce malgré la fréquence élevée d'épisodes morphogènes dès l'hiver 1992-93. On peut supposer que durant toute cette période des apports sédimentaires importants ont permis de gommer l'action érosive de ces épisodes.

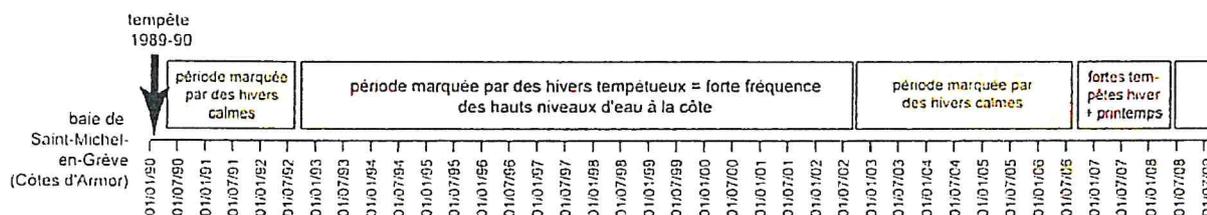


Illustration 16: Synthèse des dynamiques morpho-sédimentaires entre 1990 et 2009 établie à partir de l'analyse de la cinématique du trait de côte et des agents météo-marins en baie de Saint-Michel-en-Grève (S. Suanez, 2010)

L'évolution des surfaces dunaires a connu des stades de stagnation, voire de diminution comme à St-Efflam, certainement liés aux phénomènes d'érosion par les hauts niveaux d'eau.

Il existe une relation nette entre les fortes houles de tempête, les hauts niveaux de submersion qui leur sont associés (run-up) et l'érosion des cordons dunaires, qui se structurent en fonction de la saisonnalité.

3 Étude des aléas littoraux et impact sur les enjeux

3.1 Description des phénomènes hydrodynamiques qui s'appliquent sur le trait de côte

D'une manière générale, l'évolution du trait de côte est influencée par la dynamique des agents maritimes (niveaux d'eau/marées, houles/vagues/vents) mais également par les agents continentaux (notamment la pluviométrie qui détermine les débits d'eau de surface et profonde). Ils agissent aussi bien sur le long terme que sur le très court terme notamment lors de leurs manifestations extrêmes et/ou lorsqu'ils sont conjugués (tempêtes, périodes et hauteur de vagues, grandes marées, crues...).

3.1.1 Le marnage (RAM et courants)

3.1.1.1 La marée astronomique

Les références altimétriques maritimes (RAM) de la marée en conditions normales (sans surcote) sont données à Locquirec qui correspond à l'observatoire le plus proche du site d'étude.

Locquirec	PHMA	PMVE	PMME	NM	BMME	BMVE	PBMA	Zéro hydro
Cote Marine (m)	10,13	9,25	7,35	5,49	3,55	1,55	0,45	0,00
IGN 69 (m)	5,15	4,27	2,37	0,51	-1,43	-3,43	-4,53	-4,98

PHMA : niveau de plus haute mer astronomique.

PMVE : niveau des pleines mers de vives-eaux.

PMME : niveau des pleines mers de mortes-eaux

NM : niveau moyen.

BMME : niveau des basses mers de mortes-eaux.

BMVE : niveau des basses mers de vives-eaux.

PBMA : niveau de plus basse mer astronomique.

Zéro hydro : zéro hydrographique (niveau de référence des marégraphes).

La différence de marnage entre une PHMA et une PBMA, qui peut atteindre plus de 9,6 m à Locquirec, associée à la faible pente de l'estran permet de découvrir la baie sur plus de 2 km de distance.

Lors d'une PHMA (coefficient de marée théorique de 120), le niveau marin sans surcote atteint le cordon de galets situé sur le haut de plage à la limite de la dune bordière (selon le profil de 2019) dont l'altitude varie entre 4,7 m et 5,7 m NGF (= trait de côte théorique).

3.1.1.2 Les courants de marée

Les courants de marées au large de la Bretagne Nord sont alternatifs avec un flot portant à l'Est et un jusant portant à l'Ouest. La marée, en créant le déplacement de masses d'eau importantes sur un laps de temps court, provoque la formation de courants près des côtes qui varient en direction et en intensité au cours du flot et du jusant. La vitesse des courants dépend de la morphologie du littoral (les courants s'infléchissent suivant la ligne générale de la côte), de la bathymétrie, et des caractéristiques de la marée (cycle de vives ou de mortes eaux). Ainsi, les vitesses peuvent être importantes notamment dans les passes étroites, autour des pointes et des îlots rocheux de plus faibles profondeurs. Sur le site, les courants de marée sont estimés à partir des données de référence du SHOM :

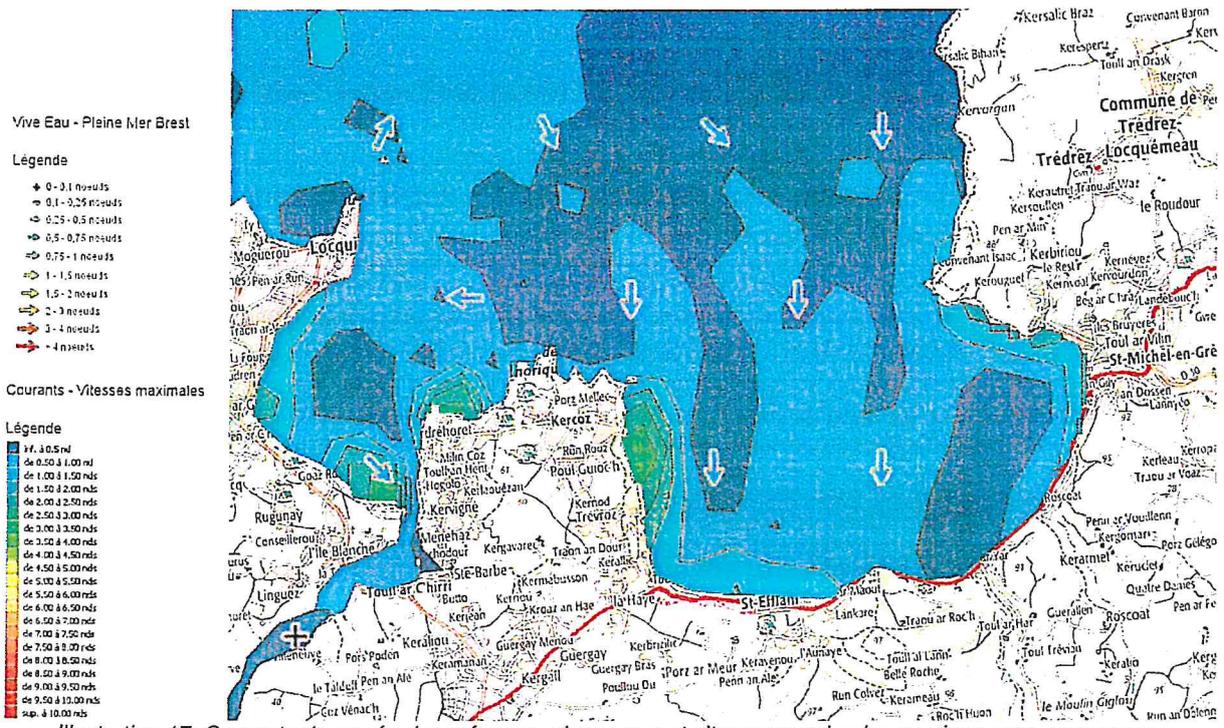


Illustration 17: Courants de marée de surface en vives-eaux et vitesses maximales en vives-eaux moyennes (source : data.shom.fr)

Les courants de marée montrent des vitesses maximales au niveau du site d'étude entre 0,5 et 0,8 m/s, un peu plus rapide (~1,5 m/s) sur la face Est de la pointe de Beg Douar autour du Rocher Rouge.

S'ils permettent la mise en mouvement des sédiments (illustration 18), ils ont toutefois peu d'influence sur le transport du sable du cordon dunaire et du haut de plage (illustration 19), en comparaison des courants générés par les houles. Néanmoins, leurs actions peuvent se combiner selon les conditions de marée et les états de mer.

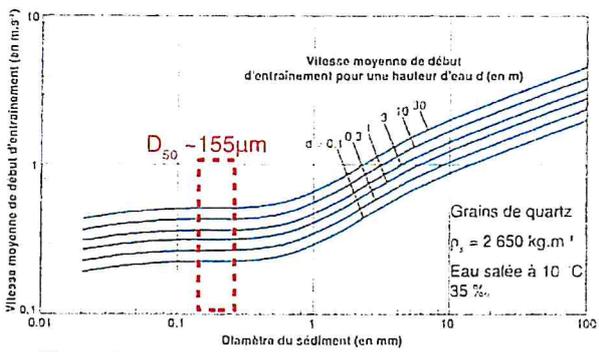


Illustration 18: Vitesse de début d'entraînement des sédiments sous l'action d'un courant permanent (Soulsby, 1977)

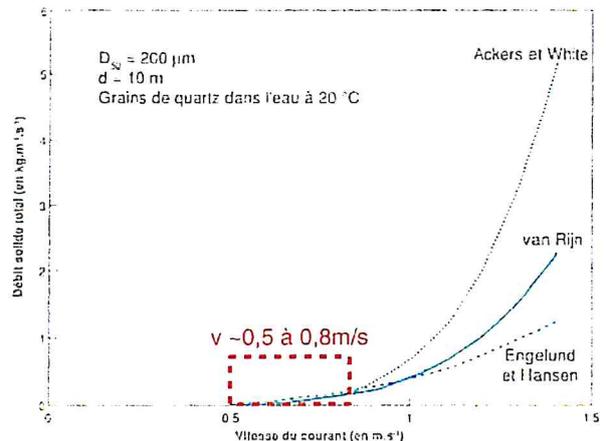


Illustration 19: Estimation de transport solide en courant seul pour 3 formules de calcul de transport (Soulsby, 1977)

3.1.2 Les vents

Le vent est à l'origine des états de mer au large qui peut induire les phénomènes de surcote et de décote du niveau d'eau à la côte. En effet, la combinaison d'une dépression (une baisse d'1 hPa = une hausse de 1cm du niveau moyen de la mer au large) avec les vents d'afflux (soufflant vers la côte) provoquent une surélévation du niveau d'eau observée par rapport à celle prédite. Il s'avère que plus le vent est fort et la profondeur faible, plus haute est la surcote résultante. À l'inverse, l'abaissement du niveau d'eau est appelé décote.

Par ailleurs, l'engraissement des dunes est très sensible à la dynamique éolienne notamment en période de faible pluviométrie à la fin du printemps et jusqu'au début de l'automne, d'autant plus que la baie de St-Michel-en-Grève est caractérisé par un estran plat et très large, favorisant le transport éolien depuis la plage vers la dune.

La rose des vents ci-dessous, basée sur la synthèse annuelle des observations à la station météo de Lannion pour la période comprise entre janvier et décembre 2018, montre que les vents les plus fréquents ont été en provenance des secteurs W à SW pour plus de 25 % du temps et pour les vitesses les plus fortes (>30 km/h). Toutefois, on remarque aussi une autre direction dominante des vents depuis le Nord répartis sur les mois d'avril à septembre pour des vitesses moyennes comprises entre 18 et 28 km/h qui sont alors propices au rechargement du cordon dunaire orienté E/W à St Efflam.

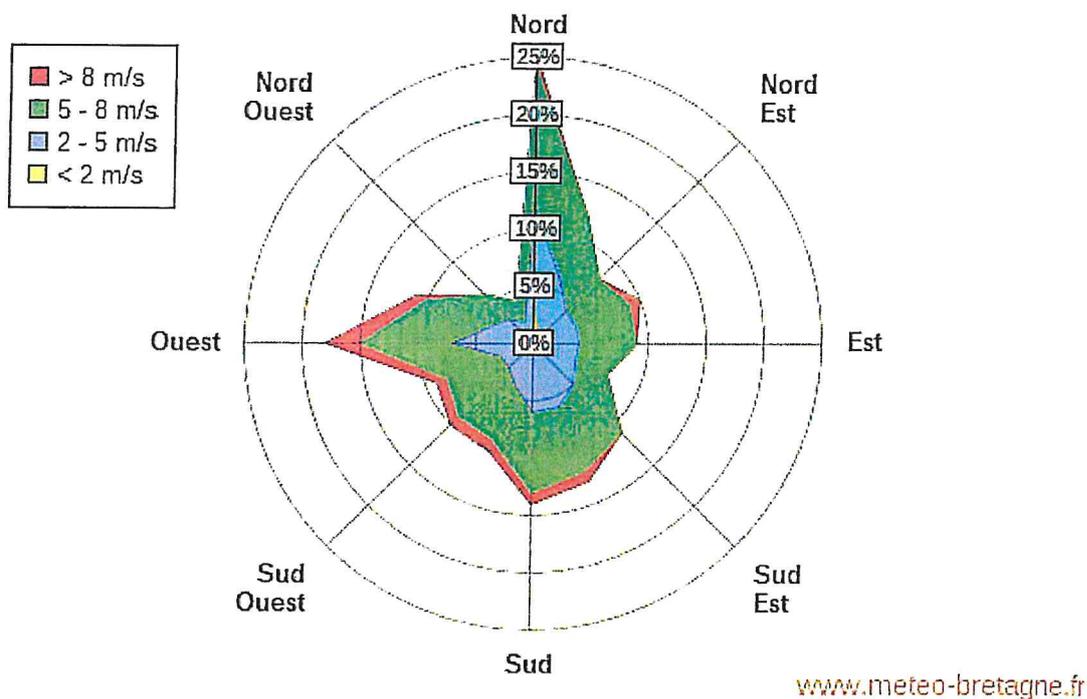


Illustration 20: Statistiques des vents et distribution de leurs directions à la station météo de Lannion en 2018 (source : meteo-bretagne.fr)

Dans la publication « Forçages météo-marins et dynamique morphosédimentaire saisonnière des cordons dunaires. Exemple de la baie de Saint-Michel-en-Grève (Côtes d'Armor, Bretagne) » de S. Suanez et P. Stéphan, il est présenté un ensemble de rose des vents établi sur une synthèse de données observées entre novembre 1993 et décembre 2003 à la station météo de Lannion.

À l'échelle annuelle, les vents les plus forts sont de direction ouest à sud-ouest (220° à 260°). Ces vents accompagnent les perturbations atlantiques génératrices de tempêtes sur le littoral. Les circulations d'est à nord-est (40° à 100°) représentent la deuxième principale direction. Ils montrent une vitesse moins importante que les vents d'ouest (Suanez et Stephan, 2006).

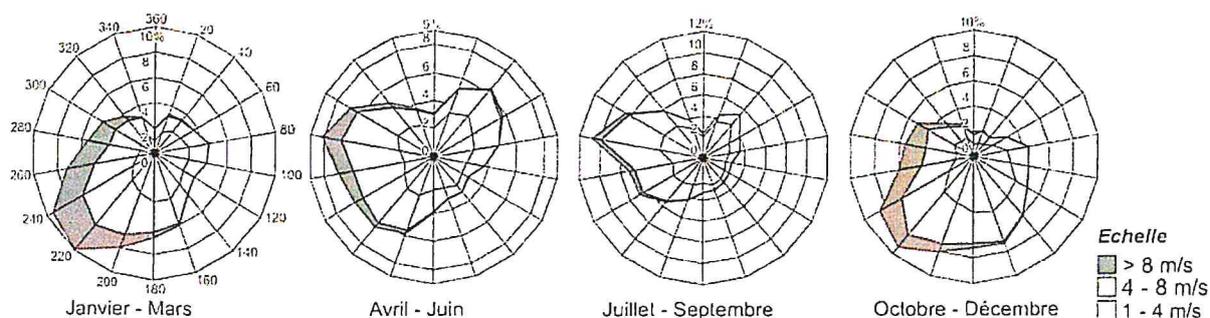


Illustration 21: Statistiques des vents et distribution de leurs directions à la station météo de Lannion entre novembre 1993 et décembre 2003 (Suanez et Stephan, 2006)

Durant l'hiver, de janvier à mars, les vents de Sud-Ouest (200° à 260°) sont les plus fréquents et les plus virulents (13 % du régime total compris entre 4 et 8 m/s et 8 % > à 8 m/s). Ces vents forts sont souvent associés à des hauts niveaux marins ou peuvent se combiner marée de vive-eau et onde de tempête (surcote). Ces conditions sont propices à l'érosion des dunes (Suanez et Stephan, 2006).

À partir du mois d'avril, les vents d'ouest sont moins intenses, ils prennent une direction ouest/nord-ouest (260° à 300°). Dans le même temps, on observe une recrudescence des vents d'est à nord-est (40° à 80°) peu vigoureux (majorité < à 4 m/s). Cette période printanière associant des vents morphogènes et une diminution des pluies est plutôt favorable à l'engraissement des dunes. En été, de juillet à septembre, les vents faiblissent. Durant cette période « sèche », les vents les plus morphogènes soufflent de l'ouest. (Suanez et Stephan, 2006).

À partir d'octobre, les perturbations atlantiques reviennent et s'accompagnent d'une augmentation de la force des vents de sud-ouest (200° à 260°). Ces flux océaniques sont les plus représentés durant l'automne. Ils s'accompagnent de hauts niveaux marins (marée d'équinoxe et ondes de tempêtes) capables de créer de graves dommages sur les cordons dunaires. (Suanez et Stephan, 2006).

3.1.3 La houle

La houle est issue d'oscillations régulières affectant la surface de la mer, observées en un point éloigné du champ de vent (fetch) qui les a engendrées. À mesure que les vagues se rapprochent de la côte, la profondeur d'eau diminue. En raison du frottement sur le fond, la houle est ralentie : sa longueur d'onde diminue, mais son amplitude augmente. Ainsi, à l'approche du rivage, la houle est de plus en plus raide et la proximité des fonds déforme les particules d'eau ; la vitesse des particules sur la crête est plus importante que celle contenue dans le creux de l'onde. Lorsque la crête n'est plus en équilibre, la vague déferle. On parle de « jet de rive » (run-up) pour caractériser la phase finale de projection de la masse d'eau sur le rivage vers le haut de l'estran par l'action du déferlement des vagues.

La base de données ANEMOC (Atlas Numérique des Etats de Mer Océaniques et Côtiers) renseigne sur les états de mer au large des côtes françaises. Le point ANEMOC n° 4058 situé au large de la baie de Morlaix est retenu pour caractériser les houles se propageant au site.

Point du modèle : coast 4058

Coordonnées : 3° 50.46' W / 48° 46.26' N

Hauteur d'eau dans le modèle : 11.40 mètres

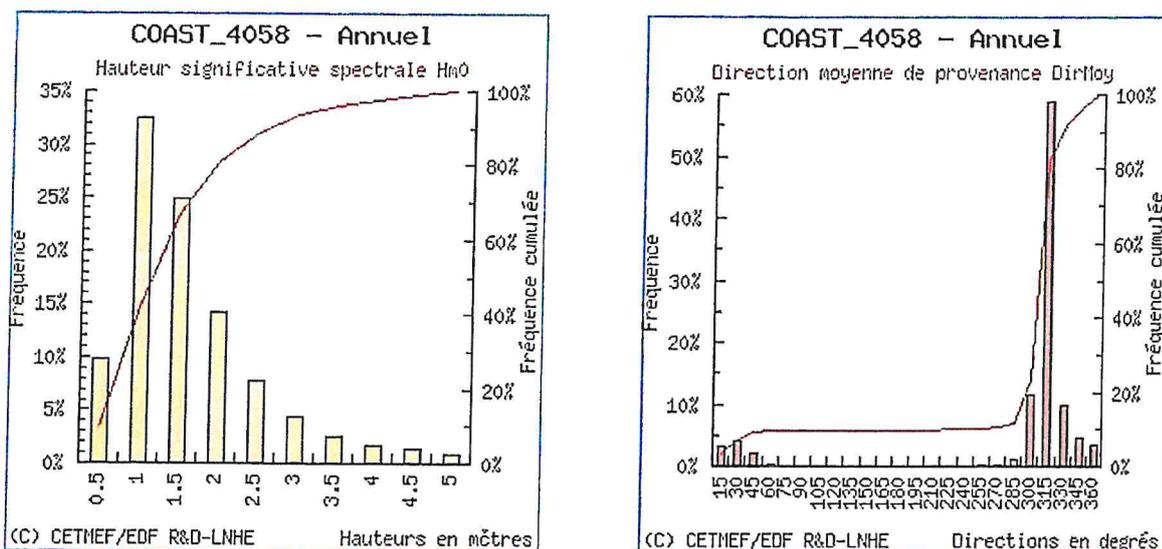


Illustration 22 : Synthèse des données annuelles de modélisation de la houle au point 2047 (source : ANEMOC)

Les hauteurs significatives des houles les plus fréquentes sont de 1 à 2m, selon des directions moyennes de provenance entre 300° et 330° soit préférentiellement orientées NW. Ainsi, la hauteur des houles significatives est inférieure à 1 m pour 38% du temps, inférieure à 2 m pour 80% du temps (soit environ 10 mois par an) et n'est supérieure à 3m que pour 8% du temps (environ 30 jours par an).

L'atlas des aléas littoraux (érosion et submersion marine) des départements 35, 22 et 29 réalisé en 2015 par le Brgm retient deux types de vagues significatives pour la baie de Lannion :

- les vagues du secteur Nord-Ouest qui ont une amplitude de 1 m et une période de 8 secondes, qui sont les plus fréquentes mais peu énergétiques et se propagent profondément dans la baie. La réfraction est faible sauf sur les hauts-fonds au large (Haut-fond du Chenal et Rocher du Crapaud) où elles peuvent déferler.
- celles de secteur Nord-Ouest, d'amplitude de 3 m et de période 11 s, qui correspondent aux événements tempétueux. Elles sont réfractées beaucoup plus tôt et sont arrêtées par les hauts-fonds. Ainsi, leur approche à la côte est beaucoup plus désorganisée et donc elles pénètrent moins profondément dans la baie (Augris et Simplet, 2011). La présence d'écueils rocheux en baie de Lannion (la Méloine, le Crapaud) participe à la dissipation des houles (Augris et Simplet, 2011).

S. Suanez et P. Stéphane, dans leur étude « *Forçages météo-marins et dynamique morphosédimentaire saisonnière des cordons dunaires. Exemple de la baie de Saint-Michel-en-Grève (Côtes d'Armor, Bretagne)* » ont modélisé les caractéristiques de la houle à l'entrée de la baie de St-Michel-en-Grève : la hauteur moyenne est égale à 1,75 m pour une période de 10 secondes ; les données obtenues sur l'ensemble de la période d'étude (septembre 2002 à septembre 2004) montrent des hauteurs maximales d'environ 9 m associées à des périodes de plus de 21 secondes. Ils identifient également la baie de St-Michel-en-Grève comme ayant un caractère « hyper-dissipant », favorisant un fort amortissement de la houle, qui devrait minimiser les phénomènes érosifs.

3.1.4 Les surcotes et les niveaux marins extrêmes

3.1.4.1 Les surcotes

Les surcotes marines sont des surélévations temporaires du niveau de la mer qui se superposent au phénomène de marée astronomique. Deux facteurs sont principalement responsables des surcotes marines : l'atmosphère (le vent et la pression) et les états de mer (transformation des vagues en zone littorale).

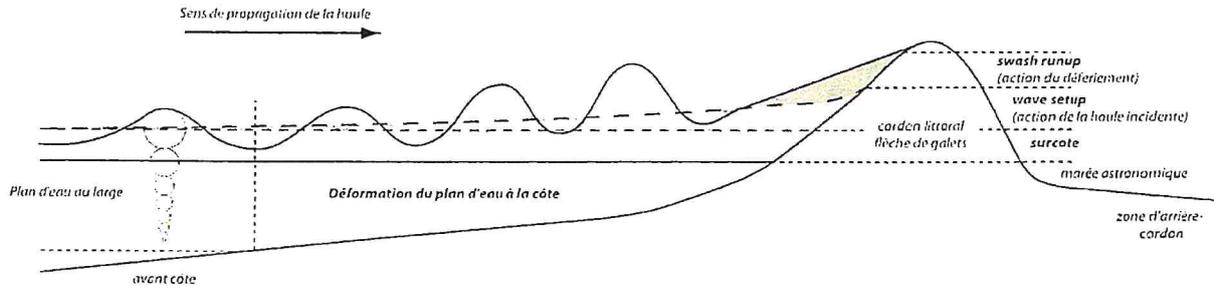


Illustration 23 : Représentation schématique des paramètres de surcote à considérer pour l'évaluation des niveaux marins extrêmes (P. STEPHAN, 2011)

- **La surcote atmosphérique :** lors du passage d'une tempête, les faibles pressions exercées ont pour conséquence une baisse du poids de la colonne d'air sur l'eau et donc l'élévation générale du plan d'eau (surcote barométrique). Par ailleurs, les vents violents et continus poussent ces masses d'eau vers les côtes. Cette accumulation d'eau, les courants résultants, et la diminution de la profondeur vers le littoral qui augmente l'amplitude de la vague peuvent entraîner des surcotes atmosphériques importantes à la côte.
- **Les surcotes dues aux états de mer :** lors de la propagation des houles vers la côte, les vagues se cambrent et déferlent sous l'effet de la diminution de la profondeur. L'énergie qu'elles véhiculaient est alors transmise à la colonne d'eau via une force motrice qui induit une surélévation du niveau moyen du plan d'eau appelé « setup ». À l'échelle de la vague, il faut également considérer le jet de rive (swash) qui permet de représenter la position instantanée de la mer sur le rivage. Il s'agit alors du flux et du reflux des vagues : la ligne d'eau maximale atteinte par la mer est appelée « run-up ».

Lors de la tempête Johanna du 10 mars 2008, le niveau des surcotes statiques (surcote atmosphérique et « setup », calculé par simple différence entre la marée observée et la marée prédite aux marégraphes) avait atteint 57 cm à Roscoff et 60 cm à Saint-Malo lors de la pleine mer du matin pour une pression atmosphérique enregistrée de 978 hPa à la station de Lannion (source : « Aspects météo-marins de la tempête du 10 mars 2008 en Atlantique et en Manche » – Norois n°215, 2010).

S. Suanez et P. Stéphan, dans leur étude « Forçages météo-marins et dynamique morphosédimentaire saisonnière des cordons dunaires. Exemple de la baie de Saint-Michel-en-Grève (Côtes d'Armor, Bretagne) » ont estimé le « run-up » à partir d'un calcul établi selon la formule de P. Ruggiero (2001) tenant compte du contexte dissipant de la zone d'étude :

soit, $R_{2\%}^T = 0,27\sqrt{(S.H_0.L_0)}$ [S : inclinaison de l'estran ; H_0 : hauteur significative de la houle ; L_0 : longueur d'onde]

Pour une pente $\tan \beta = 0,004$ de l'estran au niveau de St Eflam, une hauteur significative moyenne de 1,75 m et une période de 10 s, l'estimation du run-up ($R_{2\%}^T$) donne environ 30 cm et pour une hauteur significative de 3 m et une période de 11 s, l'estimation du run-up ($R_{2\%}^T$) donne environ 43 cm ; la valeur maximum pouvant atteindre 1,34 m pour une hauteur significative de 9 m et une période de 21 s.

3.1.4.2 Les niveaux marins extrêmes

L'étude statistique des niveaux marins extrêmes le long des côtes françaises effectuée par le SHOM et le CETMEF en 2012 permet d'approcher un intervalle des hauteurs maximales de marées pour une période de retour de 10, 20, 50 et 100 ans. Ce niveau d'eau correspond à la conjugaison du phénomène de marée astronomique avec des événements météorologiques entraînant une surcote liée à la variation de la pression atmosphérique. Ce niveau ne comprend pas les effets dynamiques des vagues (run-up ou jet de rive) ni la surcote (statique) liée au déferlement des vagues (wave setup).

Les niveaux marins extrêmes à St Efflam sont donnés dans le tableau suivant :

Cote IGN 69 (m)	Période de retour (ans)			
	10	20	50	100
	~5,2 m	5,25 m	~5,35 m	~5,45 m

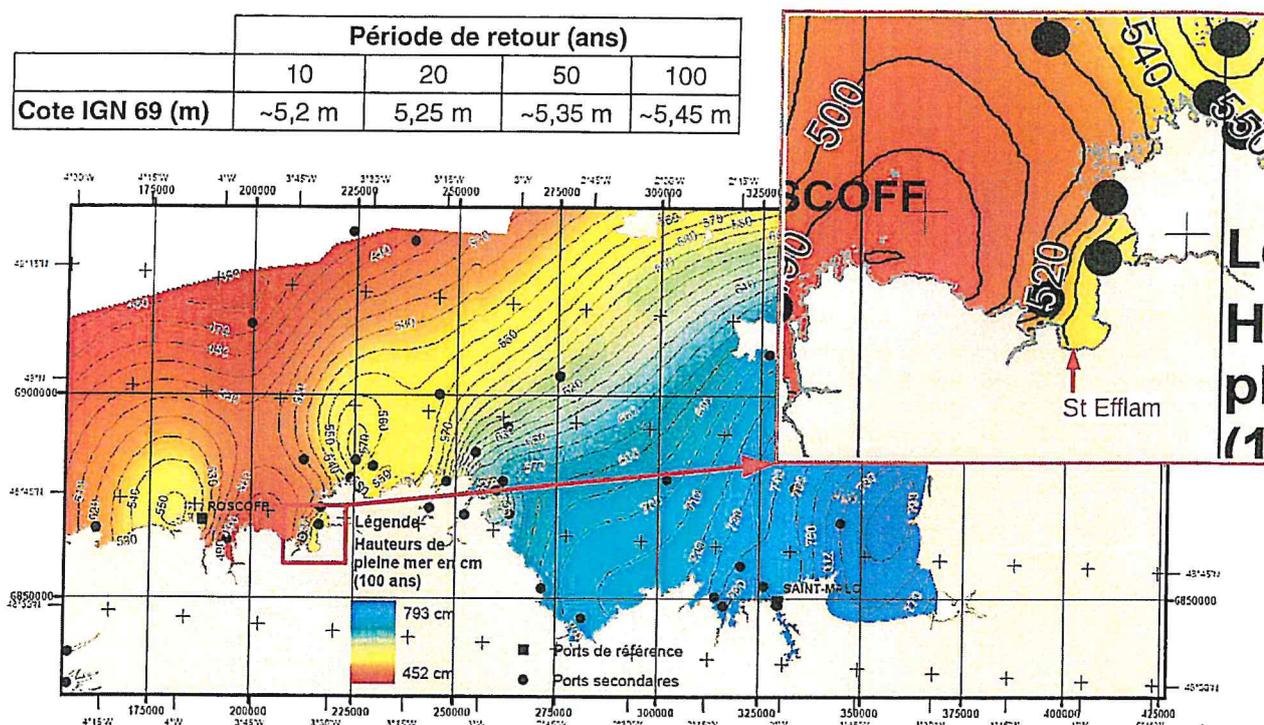


Illustration 24: Carte des niveaux marins extrêmes centennaux en Bretagne Nord (source : statistique des niveaux marins extrêmes SHOM/Cetmef 2012)

À partir de tous ces différents niveaux marins de référence, plusieurs projections de lignes d'eau statiques à 4,27 m (PMVE), 5,15 m (PHMA), 5,45 m (niveau extrême centennial) et 5,72 m (événement de type Johanna : soit une marée prédite à 4,72 m coefficient 105 + surcotes statiques observée de 60 cm + effet de surélévation au déferlement à la cote « run-up » de 40 cm) ont été représentées selon les données topographiques de 2019 (profil en travers) et du MNT Litto3D de 2012 (plan page suivante).

From Pos: 214029.858, 6861389.695

To Pos: 214025.980, 6861362.757

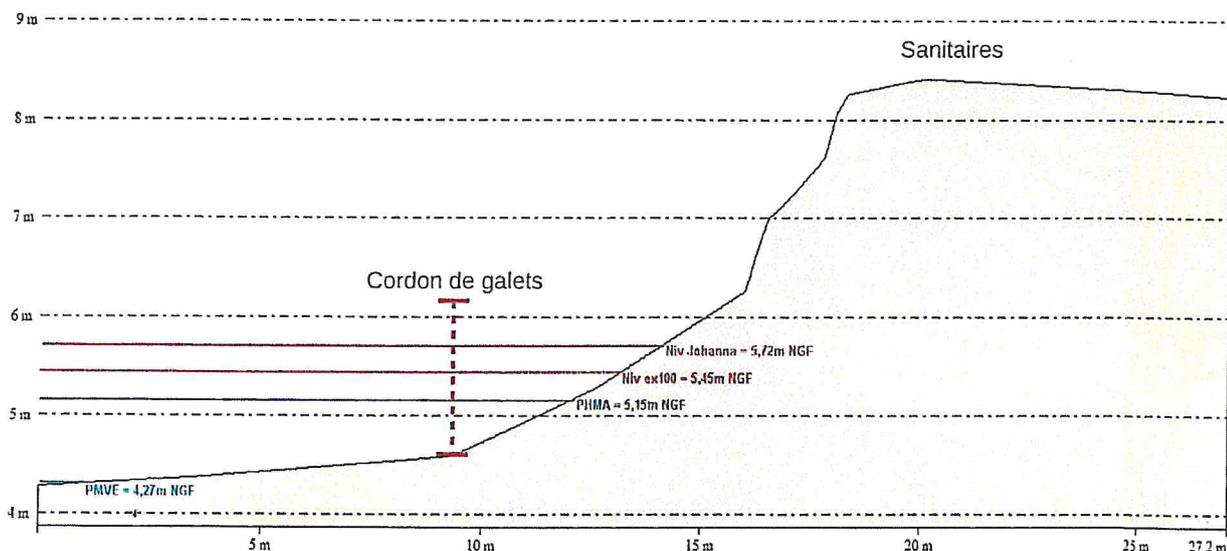


Illustration 25: Profil en travers selon la morphologie en 2019 au droit des sanitaires mis en perspective avec quelques niveaux marins de référence

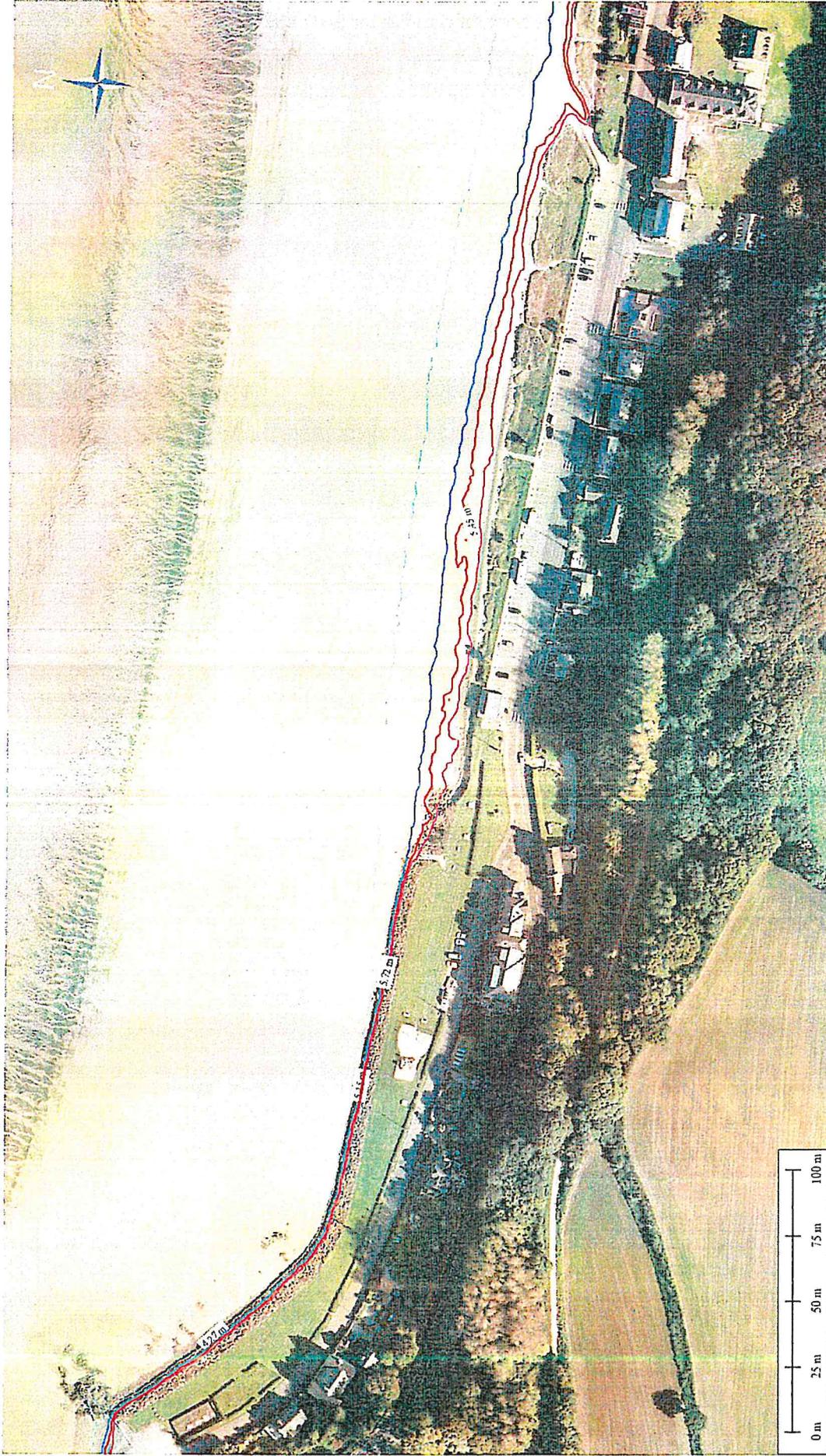


Illustration 26: Projection de niveaux marins statiques (NGF) à 4,27 m (PMVE en bleu clair), 5,15 m (PHMA en bleu), 5,45 m (niveau extrême centennal en rouge) et 5,72 m (tempête type Johanna en magenta) selon le MNT de 2012

Cette cartographie de 2012 ainsi que le profil en travers de 2019 au droit des sanitaires montrent que l'altitude du talus littoral est assez largement supérieure aux niveaux d'eau récurrents et extrêmes, mais qu'ils atteignent toutefois le pied du versant littoral, d'autant plus que le niveau de sable du haut de plage s'est nettement abaissé entre 2012 et 2019. Il n'y a ainsi pas de risque de submersion des enjeux en surface de la plate-forme littoral, mais il existe bien un risque de sapement du pied du massif dunaire / cordon de galets, et donc de recul du trait de côte par érosion marine du front littoral sous l'effet conjugué de forts niveaux marins et de la dynamique des vagues au déferlement à la côte. Par ailleurs, on constate un net abaissement du niveau de sable au pied de l'enrochement (illustration 26 carte de 2012) par rapport au niveau de sable au droit du bourrelet dunaire dans son extension est, qui illustre le caractère réflexif des vagues, propre à ce type d'ouvrage et l'inconvénient qu'il induit : un risque de disparition de la plage au pied de l'ouvrage et le déchaussement des blocs d'enrochement à long terme.

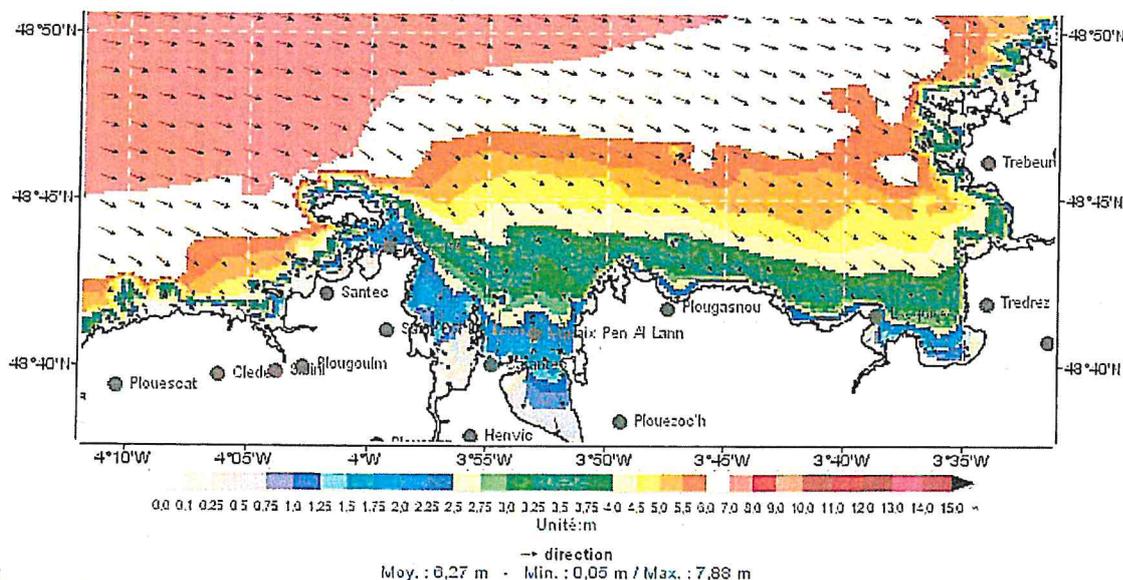
3.1.4.3 Élévation globale du niveau marin

Pour l'établissement des Plans de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) et du « Porter à Connaissance : Submersion Marine », il est considéré une hypothèse de remontée du niveau de la mer à l'horizon 2100 de 60 cm et de 20 cm à effet intermédiaire (qui se base sur les perspectives d'évolution d'une élévation du niveau marin comprise entre 18 et 59 cm à l'horizon 2100 dans les travaux du GIEC-IPCC, 2007).

3.1.5 Événements historiques ayant impacté le littoral

On référence essentiellement trois événements majeurs sur les 10 dernières années qui ont marqué la côte Nord Bretagne :

- La tempête Eléanor du 2 au 3 janvier 2018 (qui succède à la tempête Carmen du 29 décembre 2017) caractérisée par des rafales de vents jusqu'à 120 km/h sur le littoral des Côtes d'Armor engendrant de fortes vagues au large, conjuguées à un fort coefficient de marée (pleine mer de coefficient 106 à 7h28 pour une hauteur prédite de 9,69 m CM à Locquirec, soit environ ~4,71 m NGF), à une surcote comprise entre 30 cm à Roscoff et 40 cm à St Malo mais également par des précipitations importantes (~18 mm pour la journée du 3 janvier). À la pleine mer du matin (pour laquelle les niveaux ont été les plus importants), les vagues étaient proches de leur intensité maximum avec une hauteur significative d'environ 1 m à 1,25 m au niveau du site.



Ifremer

MODEL WAVEWATCH III (R) NORFAS IUG - MARC_WW3_ARMOR_200M - Trait de côte issu de SHY-STEM 2009 © MARC 2016 Tous droits réservés

Illustration 27: Hauteur significative des vagues à la pleine mer du 3 janvier 2018 au matin lors de la tempête Eléanor

- La succession des tempêtes de l'hiver 2013/2014 (Christian du 26 au 29 octobre 2013, Godehart du 3 au 6 novembre 2013, Dirk les 22 et 23 décembre 2013 ; Anne et Christina du 3 au 7 janvier 2014 ; Pétra les 4 et 5 février 2014 ; Quimara les 6 et 7 février 2014 et Ulla les 14 et 15 février 2014) engendrant des surcotes de 30 cm au minimum pour Godehart, à 60 cm au maximum pour Petra et Quimara, associé à des coefficients marins de mortes-eaux (Christian, Dirk, Quimara) à vives-eaux (Godehart, Anne, Petra) qui ont engendré de nombreux dégâts sur tout le littoral et les infrastructures. *Ces événements pris individuellement, ne revêtent pas un caractère très exceptionnel. Il s'agit d'événements relativement fréquents à l'échelle d'une ou plusieurs années. Le véritable caractère exceptionnel de l'hiver 2013-2014 réside dans la fréquence et l'enchaînement de ces événements* (Brgm, 2014).
- La tempête Johanna du 10 et 11 mars 2008, qui a touché l'ensemble de la Bretagne. Le coefficient de marée était de 106 pour une marée astronomique prédite à 9,70 m CM à Locquirec (~ 4,72 m NGF) et une surcote atmosphérique de l'ordre de 60 cm (+57 cm à Roscoff et +60 cm à Saint-Malo lors de la pleine mer du matin pour une pression atmosphérique enregistrée de 978 hPa).

Par ailleurs, le site internet Géorisque.gouv.fr qui référence les arrêtés portant reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sur toutes les communes de France, recense 6 événements qui ont touché la commune depuis 1987 dont 1 arrêté cat-nat pour tempête et 1 arrêté cat-nat pour inondations et chocs mécaniques causés par l'action des vagues.

Toutefois, aucun de ces arrêtés ne semble être en relation avec les événements tempétueux récents identifiés précédemment :

Inondations, coulées de boue, glissements et chocs mécaniques liés à l'action des vagues : 1

Code national CAT/NAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le 45 m
22PREF19990188	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999

Inondations et coulées de boue : 4

Code national CAT/NAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le 45 m
22PREF19920007	27/05/1992	27/05/1992	06/11/1992	18/11/1992
22PREF19950055	17/01/1995	31/01/1995	06/02/1995	08/02/1995
22PREF20010049	08/02/2001	08/02/2001	06/07/2001	18/07/2001
22PREF20070005	21/07/2007	21/07/2007	05/12/2007	08/12/2007

Tempête : 1

Code national CAT/NAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le 45 m
22PREF19870188	15/10/1987	16/10/1987	22/10/1987	24/10/1987

Illustration 28: Arrêtés portant reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle à Plestin les Grèves (source :Géorisque.gouv.fr)

3.2 Pathologies affectant le trait de côte

3.2.1 Observations sur le terrain

Les visites menées sur le site d'étude les 3 octobre et 11 décembre 2019 à marée basse, ont permis l'observation de désordres au niveau du talus littoral et de la dune bordière, qui sont significatifs du recul du trait de côte par érosion marine, en particulier à la jonction avec l'ouvrage de protection en enrochement de la rue des Carrières. Ainsi, on observe la disparition presque totale de la dune bordière sableuse, au profit d'un talus d'environ 2 m de hauteur à forte pente de matériaux meubles limono-sableux (colluvions, head) et de remblai d'apport de la plate-forme en superposition, consolidé par un cordon de galet en pied. Ce front d'érosion s'étend depuis l'extrémité de l'ouvrage en enrochement sur la totalité du linéaire d'étude, mais le profil de micro-falaise s'amointrit à environ 1 m passé les 50 premiers mètres, jusqu'à une hauteur de quelques dizaines de centimètres sur la suite du cordon dunaire.

On constate également les restes d'un ancien confortement du massif dunaire réalisé en juin 2003 sur une longueur de 50 m depuis l'extrémité de l'enrochement jusqu'au bâtiment des sanitaires, constitué par des poteaux en bois sur 2 rangées superposées, soutenant des rideaux géotextiles tendus afin de maintenir une dune reconstituée. Ces dispositifs sont mis à nu aujourd'hui.

Il est aussi précisé par la mairie de Plestin qu'un merlon sableux est reconstitué tous les ans à l'occasion des courses hippiques de St Eflam pour l'accès des chevaux à l'estran.



Illustration 29: Vue générale du secteur le plus dégradé vers l'extrémité de l'ouvrage en enrochement



Illustration 30: Vues du recul du trait de côte depuis la plate-forme littorale dans l'alignement des enrochements. On constate aussi les restes de l'ouvrage en géotextile qui sont affleurants au droit du cordon de galets

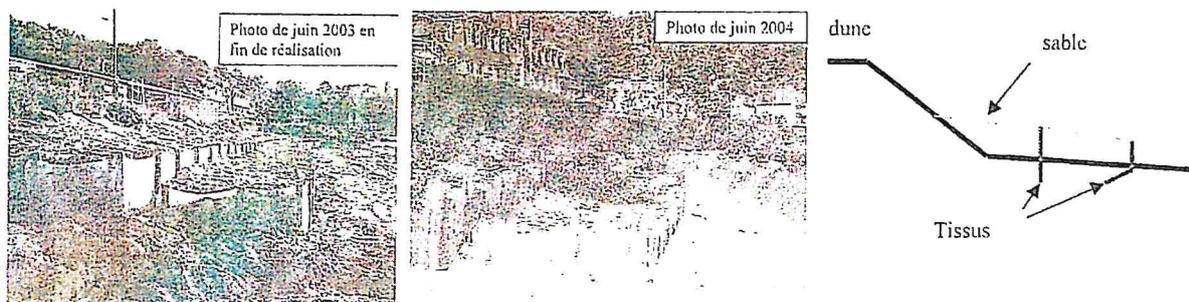


Illustration 31: photographies et plan relatifs à la reconstitution dunaire réalisée en juin 2003 et comparée à la situation en juin 2004. Il était constaté une bonne tenue du dispositif sans dégradation manifeste, un niveau de sable remonté en partie ouest et l'apparition d'une végétation naturelle spontanée dès la fin de l'été 2003 (source : Mairie de Plestin les Grèves)

On observe également un « affouillement » profond (supérieur à 2 m) qui correspond à la terrasse du bâtiment des sanitaires construite en encorbellement sur des micro-pieux, sur la dune (déjà visible sur une photographie prise en 2006). Les franchissements de vagues ne semblent pas avoir d'impact à l'heure actuelle ni sur la cavité (surcreusement ou ravinement des matériaux), ni sur la structure en bois qui se situe à l'aplomb direct du front littoral.

Il existe néanmoins un exutoire d'eau présent en tête de versant sous les sanitaires, qui pourrait être responsable d'une ravine d'érosion depuis le sommet du cordon.



Illustration 32: Vues des affouillements sous la terrasse des sanitaires construite en encorbellement

Dans leur publication « La question du bilan sédimentaire des côtes d'accumulation. Rôle des forçages naturels et anthropiques dans les processus morphodynamiques analysés à partir de quelques exemples pris en Méditerranée et en Bretagne » de 2010, S. Suanez et P. Stéphan présentent deux photographies au droit des sanitaires, du parking et de l'extrémité des enrochements, l'une datant d'avril 2006 et l'autre de la fin mars 2008 juste après la tempête Johanna du début du mois. On constate très nettement le recul du trait de côte après la tempête, la création de la micro falaise dans la dune avec apparition du cordon de galets sous-jacent, le dispositif de maintien du rechargement dunaire de 2003 (non visible en 2006) et l'abaissement du niveau de sable au pied des enrochements.

Une photographie prise sous le même angle en octobre 2019 montre nettement le recul subi depuis, par la végétation en crête du massif dunaire, la réduction de son épaisseur (perte de sédiment) et l'élargissement de la couche de galets.



(Photo S. Suanez et P. Stéphan)



(Photo S. Suanez et P. Stéphan)



(Photo janvier 2011 Cerema)



(Photo janvier 2011 Cerema)



Illustration 33: Vues générales du secteur le plus dégradé et son évolution entre avril 2006, mars 2008, janvier 2011 et octobre 2019

On observe également cette frange d'érosion tout au long du linéaire de dune sous la végétation formant souvent une encoche d'érosion marine. On constate également un piétinement anarchique du massif dunaire façonnant des couloirs depuis le parking jusqu'à la plage en siffle-vent (brèche taillée dans la dune et entretenue par le vent).



Illustration 34: Encoche d'érosion marine vers l'extrémité est du secteur



Illustration 35: Piétinement anarchique du massif dunaire



Illustration 36: Couloirs de piétinement anthropique



Illustration 37: Formation de siffle-vent au niveau d'un couloir de piétinement

Enfin, on constate régulièrement des buses d'évacuation d'eau en provenance de la RD786 et du parking en tête du massif dunaire qui engendrent des dépressions dans le cordon sableux et des zones de ravinement.

D'autres écoulements naturels percolent au travers du talus littoral favorisant une érosion continentale par lessivage des éléments fins.

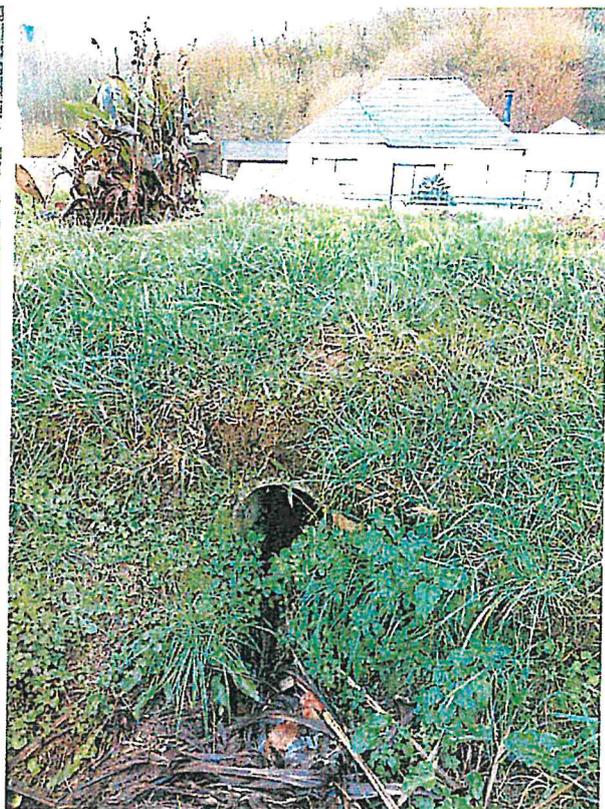


Illustration 38: Vue des buses d'évacuation des eaux de surface en provenance du parking et de la RD 786, qui se déversent en tête de dune



Illustration 39: Buses d'évacuation d'eau



Illustration 40: Dépression en crête de dune à l'endroit des buses



Illustration 41: Ecoulement d'eau naturel en tête du talus littoral

3.2.2 Analyse historique de photographies aériennes

Une comparaison diachronique de photographies aériennes anciennes (non-géoréférencées) du site au 20^e siècle est proposée pour essayer de retracer l'activité naturelle et anthropique ayant pu affecter le secteur. Pour cette analyse entre 1958 et 2005, le choix s'est porté prioritairement sur des clichés pris à petite échelle pour une meilleure définition et donc, une bonne observation des détails ; toutes les photos à plus grande échelle sont visualisables en annexe, quelques zooms sont extraits afin d'illustrer le présent paragraphe.

- 1958 : sur cette photo prise en été, on observe un trait de côte dont la limite apparaît indéterminée : le talus littoral semble assez large et plutôt sableux ; on distingue une frange de végétation assez nette vers l'est qui délimite le sommet de la dune. Les ouvrages transversaux de descente à l'estran sont bien visibles et dans la même configuration qu'actuellement ; on remarque aussi un petit bâtiment à l'endroit des sanitaires actuels, alors que le parking de la plage n'est pas encore aménagé. On constate tout de même des véhicules en stationnement en surface du cordon dunaire.

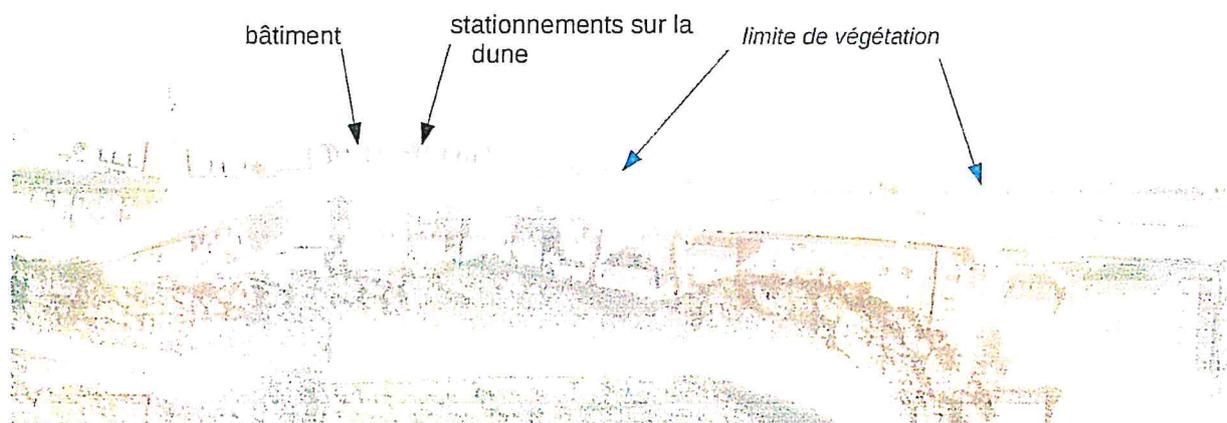


Illustration 42: Photographie en août 1958

- 1978 : la photo prise à la fin de l'hiver montre essentiellement la construction du parking de la plage ; la frange de végétation en sommet n'est plus visible, remplacée par une délimitation claire et rectiligne consécutive à l'aménagement du parking. Le talus littoral ne semble pas avoir évolué dans son extension transversale. Les matériaux constitutifs montrent un aspect grossier de type galets et non plus fin sableux, d'autant qu'un champ de blocs rocheux est affleurant plus à l'ouest au niveau de la courbure du trait de côte sous la rue des carrières.

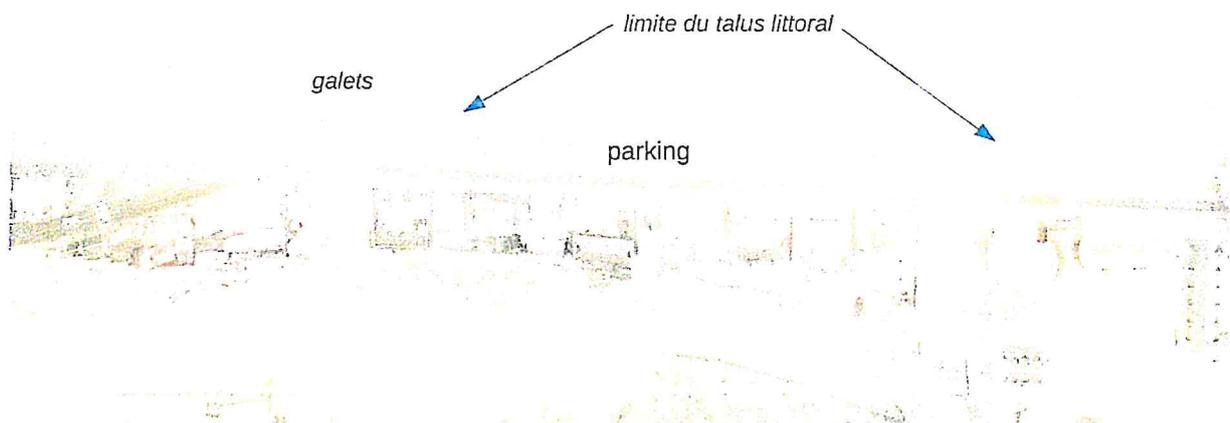


Illustration 43: Photographie en mars 1978

- 1980 : la photo qui est prise en octobre (après la saison estivale) montre un large cordon de galets bien reconnaissable, avec différentes lignes de niveau marquant les niveaux marins atteint à cette période. On observe une frange de végétation assez marquée au sommet du cordon, délimitant le tracé de construction du parking. On observe un bâtiment à l'emplacement de l'actuel sanitaire, ainsi qu'un nouvel escalier de descente sur le haut de plage au milieu du parking.

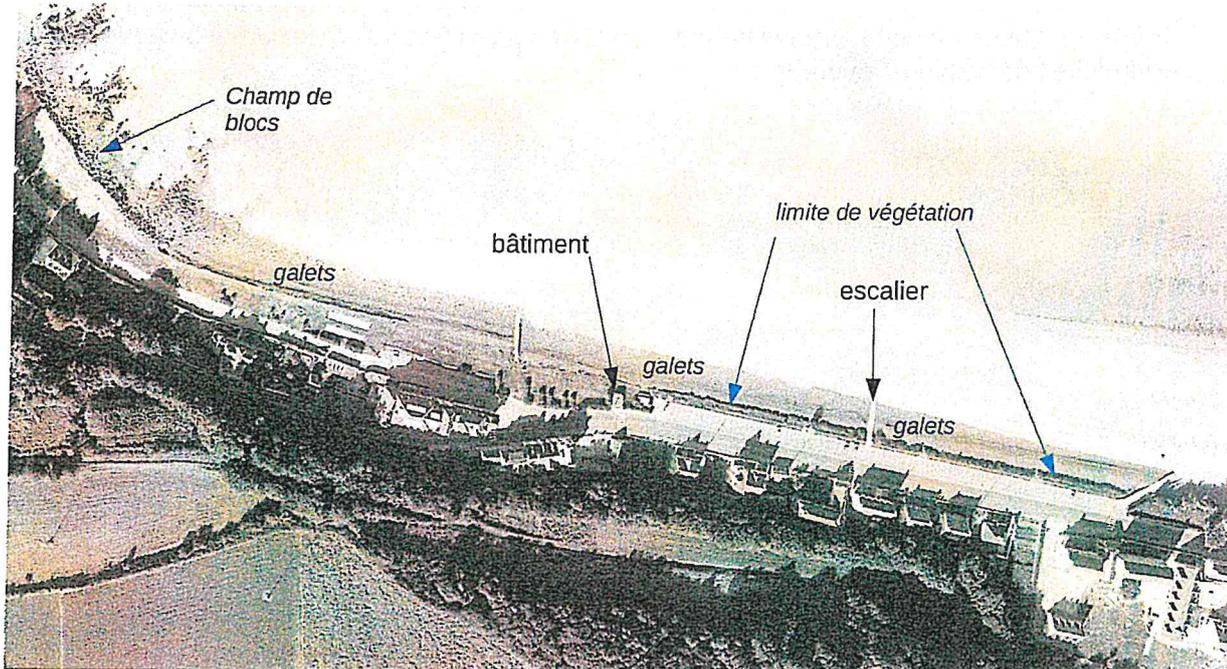


Illustration 44: Photographie en octobre 1980

- De 1982 à 1986 : peu d'évolutions à observer concernant le trait de côte naturel. Les photos sont prises en période estivale, le cordon de galets est toujours large et n'apparaît pas modifié dans sa position transversale ; le champ de blocs rocheux est toujours affleurant à l'ouest. En revanche, on constate la construction de l'ouvrage de protection en enrochements du talus littoral en avant de la rue des carrières entre ces deux dates, dans sa configuration toujours actuelle.

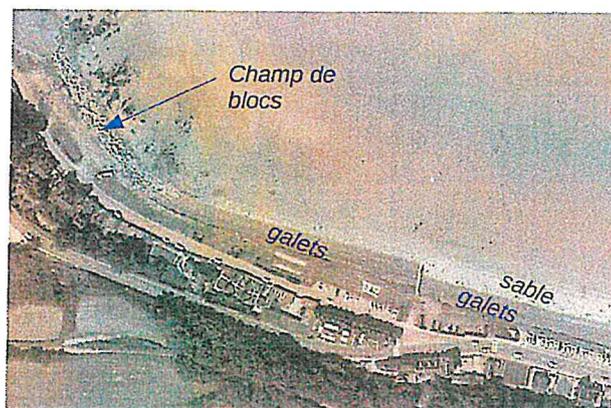


Illustration 45: Photographie en juillet 1982

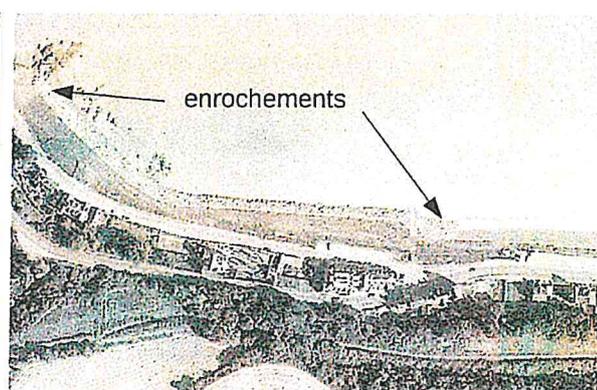


Illustration 46: Photographie en septembre 1986

- 1994/1999 : les photos, prises en période estivale, sont en couleur et permettent de distinguer plus nettement les différents matériaux constitutifs du cordon littoral : un mince cordon de galets est visible au contact de l'enrochement sur la photo de 1994 ; une dune sableuse sur la photo de 1999. On constate également deux autres évolutions notables : le développement entre 1994 et 1999, de la végétation au sommet du cordon dunaire vers l'estran au droit du parking, et à l'inverse le marquage d'une encoche d'érosion bien net au contact de l'extrémité des enrochements. Cette érosion est assez caractéristique des « effets de bout » induits par des courants turbulents générés par réflexion des vagues aux extrémités de ce type d'ouvrage.

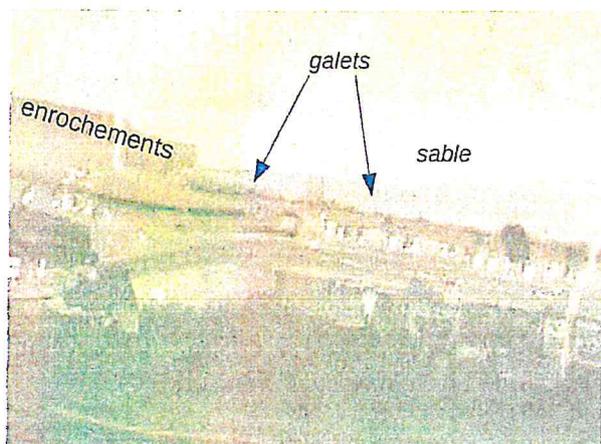


Illustration 47: Photographie en août 1994

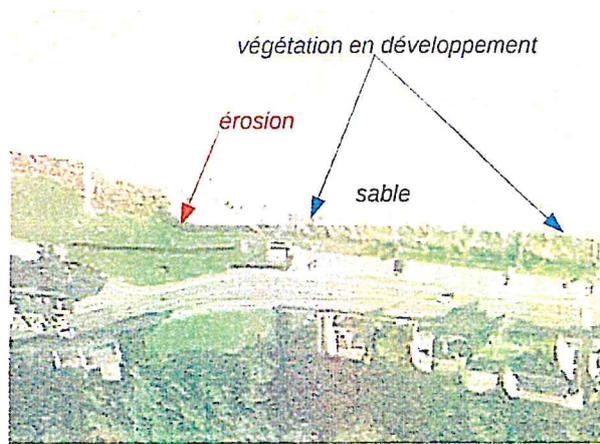


Illustration 48: Photographie en septembre 1999

Les photos de 2003 et de 2005 sont prises au mois de juin à 2 années d'intervalle.

- 2003/2005 : on constate la poursuite du développement de la végétation depuis le sommet du cordon dunaire vers le haut de plage entre 1999 et 2003 puis en 2005. On observe également la mise en œuvre des éléments de reconstitution du cordon dunaire sur le segment érodé au bout des enrochements, qui n'est plus visible en 2005 et apparaît recolonisé par une végétation naissante (résorption de l'encoche d'érosion).

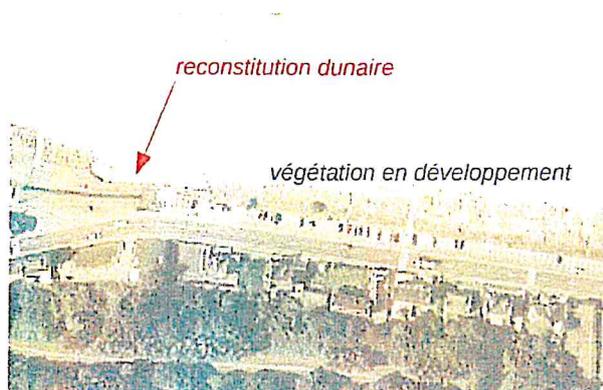


Illustration 49: Photographie en juin 2003



Illustration 50: Photographie en juin 2005

3.3 Aléa d'érosion

L'aléa d'érosion peut se définir comme étant la probabilité d'occurrence de l'ensemble des phénomènes participant au processus d'usure du trait de côte (en continu et événementiel), qui peut être évaluée en estimant l'aptitude au recul du trait de côte dans le passé, appliquée au recul à venir dans des conditions analogues.

3.3.1 Analyse de l'évolution du trait de côte

Plusieurs études générales intégrant la plage de St Efflam ont été conduites entre 2004 et 2015 pour caractériser l'évolution du littoral à l'échelle des côtes européennes, françaises, et bretonnes :

- le projet européen EUROSION achevé en 2004 qui définit simplement l'érosion côtière comme l'emprise de la mer sur la terre, propose une cartographie de la sensibilité à l'évolution du trait de côte à partir d'une moyenne d'observations à l'échelle 1/25 000^e sur un intervalle de temps de l'ordre de dix ans (les observations sont supposées être représentatives de la tendance à long terme de la position du trait de côte). L'estimation de l'évolution du trait de côte sur le site de St Efflam dans le rapport EUROSION conclue à une quasi-stabilité sur 10 ans ;
- l'étude d'évaluation du risque d'érosion littoral sur le département des Côtes d'Armor en 2004 par le Groupe de Recherche sur les Environnements Sédimentaires Aménagés et les Risques Côtiers (GRESARC, Université de Caen et Laboratoire de recherche de Dinard) a identifié pour le site de St Efflam une attaque des vagues à la côte, même si le site apparaît relativement abrité, ainsi qu'un piétinement du massif dunaire préjudiciable à son développement ;
- l'Indicateur National de l'Érosion du trait de côte (INE) qui propose une cartographie de l'évolution du trait de côte à l'échelle de la France dans le cadre de la stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte. L'INE, achevé en 2014 détermine des taux d'évolution par la méthode des extrémités entre deux traits de côte numérisés par photo-interprétation entre 1949 et 2010 pour le département 22 à l'échelle du 1/2 500^e et pour une incertitude de l'ordre de 10 m. L'INE conclue à un recul compris entre 0 et 0,5 m/an sur les 200 m côté ouest du secteur d'étude et à l'inverse, une accrétion comprise entre 0 et 0,5 m/an sur 100 m côté est ;

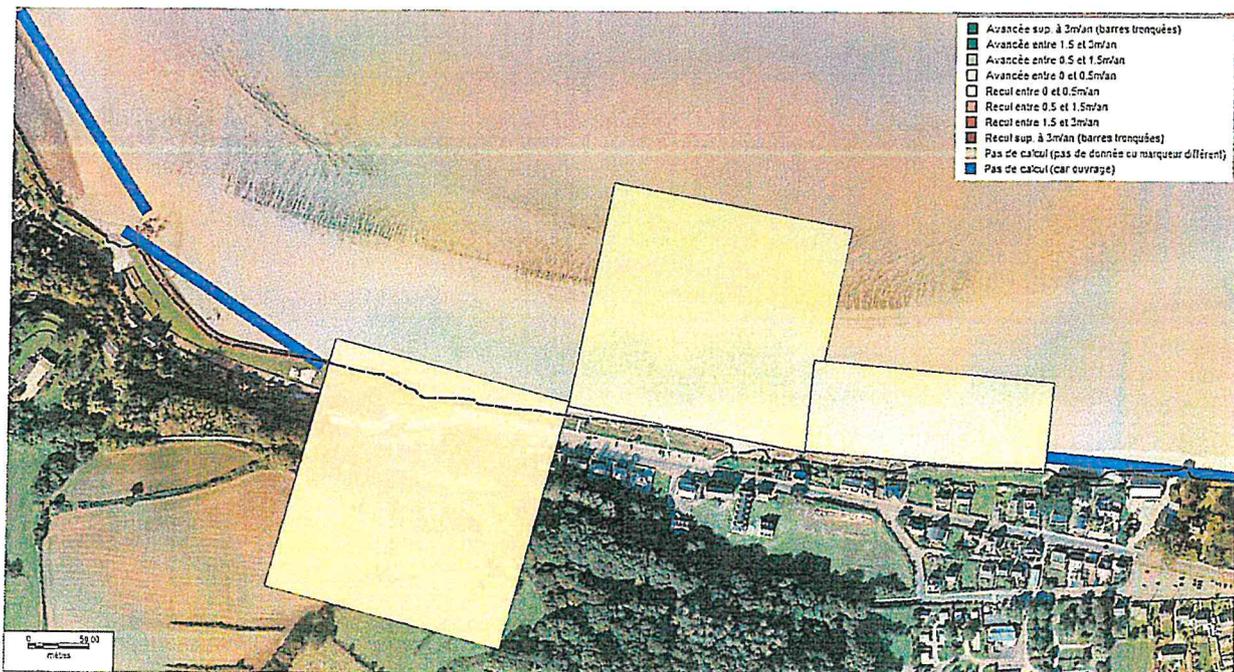


Illustration 51: Représentation cartographique de l'évolution du trait de côte selon l'INE

- l'atlas des aléas littoraux (érosion et submersion marine) des départements 35, 22 et 29 a établi en 2015 une cartographie qui qualifie et quantifie (pour les côtes meubles uniquement) l'évolution du trait de côte sur tous le linéaire de ces 3 départements bretons à partir d'une comparaison de photographies aériennes ortho-rectifiées pour la période comprise entre 1950-2008 pour les Côtes-d'Armor. La digitalisation du trait de côte a été réalisée à une échelle non précisée mais selon une marge d'erreur estimée à ± 5 m. L'étude de la cinématique du trait de côte montre un engraissement général de la zone d'étude au minimum de 5 m au contact avec les enrochements et d'un maximum de presque 40 m

vers la descente sur la plage à l'est, pour une cinétique de $+8 \text{ cm/an}$ à $+70 \text{ cm/an}$.

C4 - P102 - Plage de Saint-Efflam

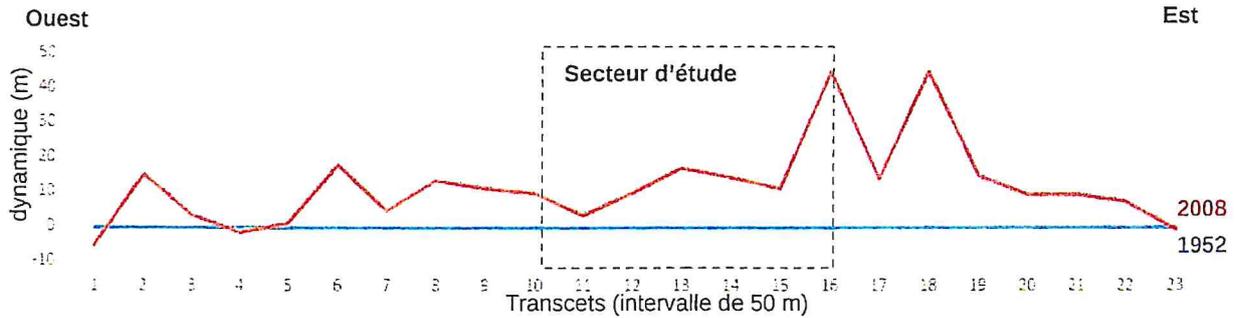


Illustration 52 : Graphique illustrant la cinématique du trait de côte sur la plage de St Efflam entre 1952 et 2008 par transects de 50 m (source : Atlas des aléas littoraux des départements 35, 22 et 29, Annexe 2, Brgm 2015)

Comme vu au paragraphe 2.4 précédent, il existe d'autres études locales spécifiques engagées dès 1998 qui concerne l'évolution du trait de côte dans la baie de St Michel en Grève entre 1993 et 2009 conduites par S. Suanez et P. Stéphan de l'Université de Bretagne Occidentale (UBO). Ces études s'appuient en grande partie sur des levés de terrain topo-morphologiques depuis 1998 et jusqu'en 2016 dans le cadre du « MADDOG » : il s'agit d'un projet s'inscrivant dans des opérations de suivi réalisées pour l'Observatoire du Domaine Côtier (ODC) de l'Institut Universitaire Européen de la Mer (IUEM), qui archive et met à disposition les données acquises lors de ce suivi.

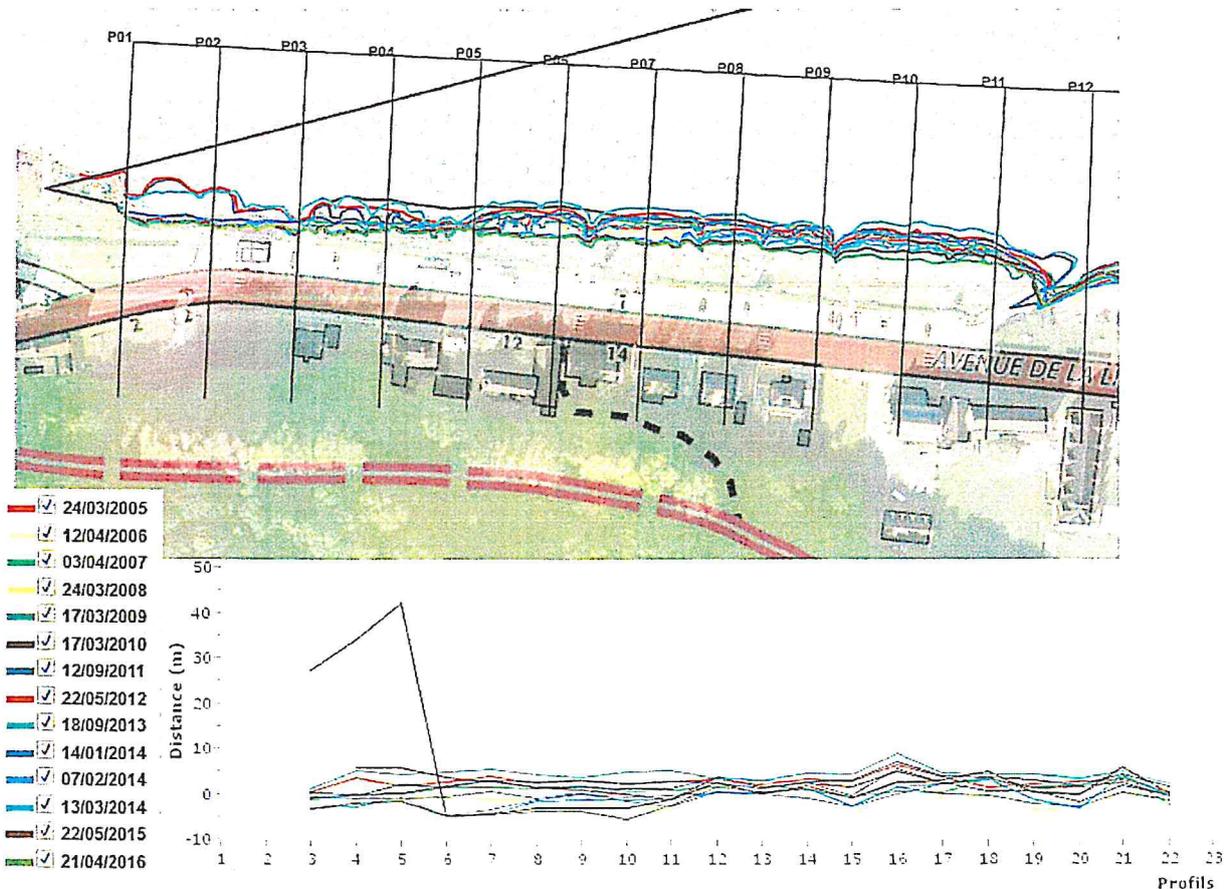


Illustration 53: Traits de côte digitalisés et post-traitement extraits du projet MADDOG.

Les traits de côtes digitalisés et la routine de post-traitement proposée font état d'une phase d'avancée entre 2005 et 2008 ; un net recul en 2008 (correspondant à la tempête Johanna) ; une nouvelle période d'avancée entre 2009 et jusqu'à 2013 (période d'accalmie météorologique) ; un recul important à partir de 2014 (engendrée par les successions de tempêtes de l'hiver

2013/2014) ; stagnation en 2015 puis un nouveau recul en 2016 (tempête Ulrika en février 2016), avec un recul maximum de presque 5m entre 2005 et 2016 marquant une dynamique maximum de -45 cm/an sur cette période.

L'évolution actuelle depuis les 15 dernières années sur l'ensemble de la plage de St Efflam semble toujours suivre le fonctionnement général sédimentaire à l'échelle de toute la baie, déjà établi dans les différents travaux universitaires précédents (cf. paragraphe 2.4) :

En effet, l'érosion résulte directement des états de mers lors d'événements extrêmes (vents, houles, vagues et courants induits lors des tempêtes), en particulier s'ils sont associés à des conditions de marées à fort coefficient (haut niveau marin en contact avec le pied dunaire). Cette érosion, qui peut faire reculer fortement le trait de côte en quelques jours, s'inscrit pourtant dans une tendance générale à la stabilité depuis 60 ans, avec même des périodes d'accrétion notable sur quelques années (par épisodes durant les années 1990, 2000 et 2010).

Néanmoins, le recul observé récemment est très probablement en lien avec la tempête Eléonor au début de l'année 2018, conjuguant à la fois un niveau marin important, une surcôte importante et un run-up (déferlement à la cote) important. Les périodes estivales peuvent permettre une consolidation partielle du trait de côte (par phénomène éolien et par phénomène marin de jet de rive), mais la reconstruction naturelle ne peut s'opérer que sur une période d'accalmie prolongée (enchaînement de saisons été/hiver calmes sur plusieurs années), qu'on ne peut malheureusement pas prévoir.

On constate quand même que l'érosion s'intensifie sur environ 60 à 70 m au droit des sanitaires depuis le contact avec l'ouvrage en enrochements côté ouest, qui s'observe assez nettement sur les photographies aériennes anciennes depuis sa construction dans le milieu des années 80.

En effet, les enrochements sont des structures rigides, dont les extrémités sont des points sensibles où des désordres importants vont apparaître s'ils ne se raccordent pas à un point « dur » (engendré par des courants turbulents aux extrémités lors de la réflexion des houles ; cf. photos en exemple ci-dessous).



Illustration 54: Exemple d'érosion au bout d'un ouvrage en enrochements – cordon dunaire à Treffogat (29).



Illustration 55: Exemple d'érosion à l'extrémité d'un ouvrage en enrochements – cordon dunaire à Fouesnant (29)

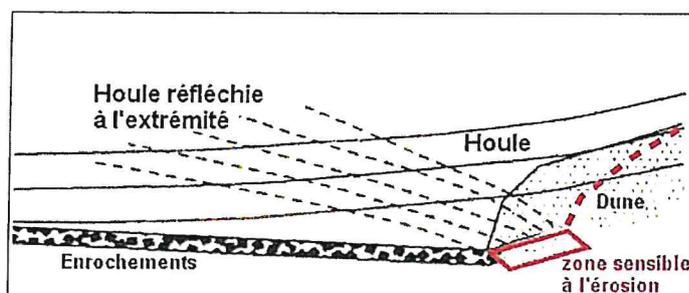


Illustration 56: Schématisation du phénomène d'érosion à l'extrémité d'un ouvrage en enrochements

C'est sur ce secteur, qu'il a été nécessaire d'entreprendre une première reconstruction dunaire en 2003. De même, on constate que le projet MADDOG ne tient pas compte des 3 premiers profils topographiques situés à l'extrémité de l'ouvrage (bien que mesurés), dans son analyse de la cinétique du trait de côte probablement à cause de ce phénomène qui engendre une sur-érosion.

Afin de déterminer un ordre de grandeur concernant cette zone en érosion, il est proposé de refaire une analyse diachronique de photographies aériennes géoréférencées en 1952, 2000, 2008, 2012, 2013, 2016 et 2019 par digitalisation, superposition et comparaison d'indicateurs de référence du trait de côte qui sont la limite de végétation du front littoral (dune, galets ou matériaux meubles) et le pied de dune en 1952.

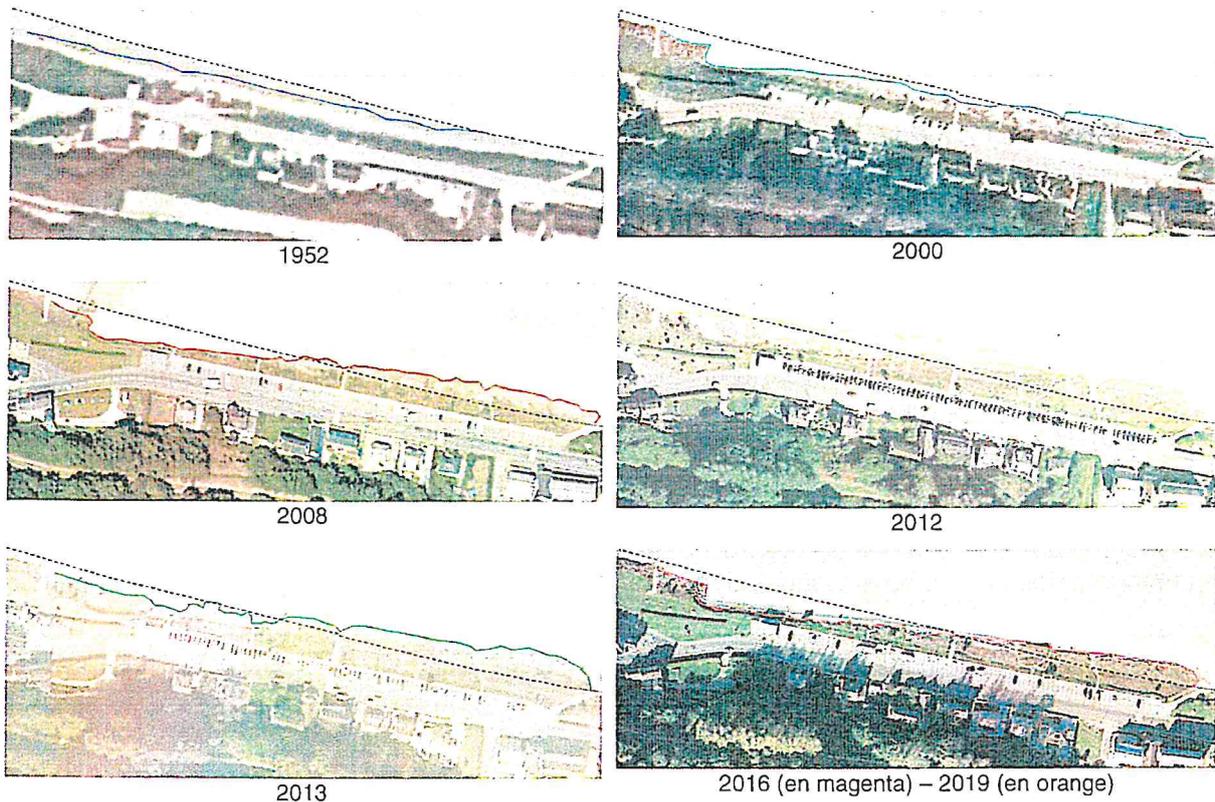


Illustration 57 : digitalisation des traits de côte sur photographie géo-référencées et ortho-rectifiées entre 1952 et 2019

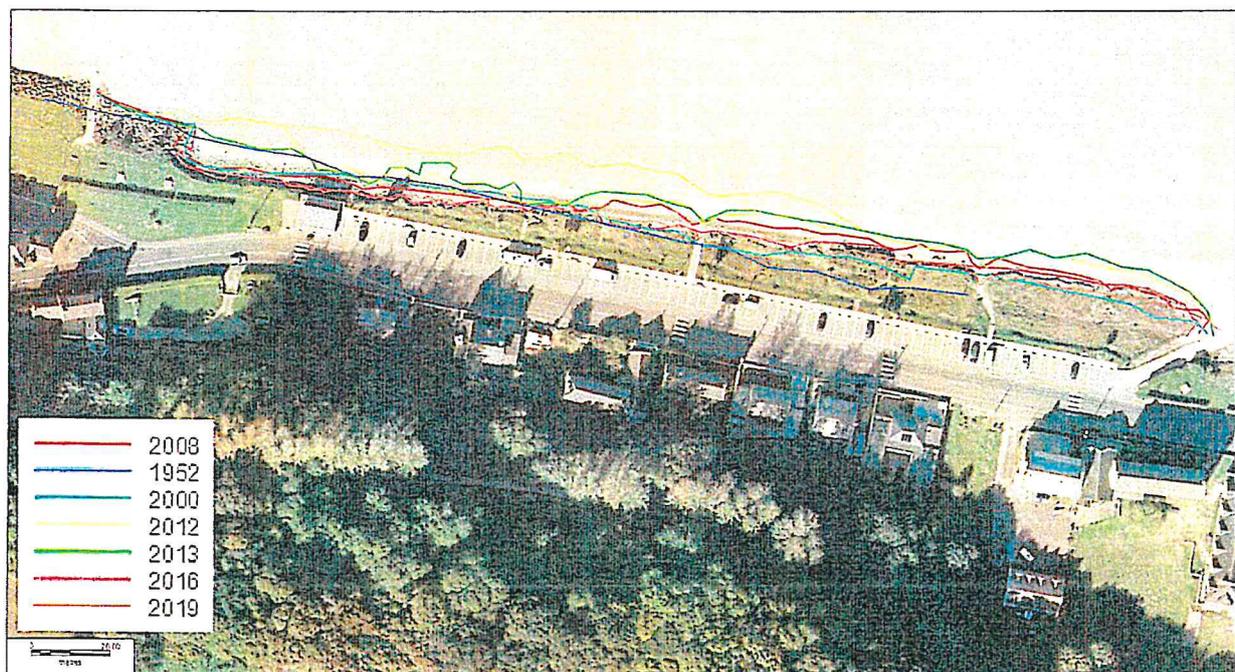


Illustration 58 : comparaison des traits de côte sur photographie de 2016

La comparaison diachronique confirme que le recul à l'extrémité de l'ouvrage en enrochements n'est pas non plus continu et dépend directement des événements tempétueux : on constate un recul global entre 1952 et 2008 au rythme maximum de 12 cm/an ; une avancée importante entre 2008 et 2013 avant l'hiver au rythme maximum de 1,4 m/an ; un recul entre 2014 et 2016 au rythme maximum de plus de 4 m/an en deux ans sur la zone la plus en retrait, soit environ 2 m/an au droit des sanitaires ; enfin un nouveau recul au rythme d'environ 40 cm/an entre 2016 et 2019, avec toutefois un segment en accrétion et en revanches des points en recul d'environ 1,5 m/an au niveau des zones de piétinement anthropique.

La position du trait de côte au droit du secteur critique (~70 m de part et d'autre des sanitaires) est donc très variable et encore plus sensible à la saisonnalité et aux tempêtes, selon un rythme d'érosion :

- d'environ 13 cm/an en recul à long terme entre 1952 et 2019 (secteur critique) ;
- d'environ 3 m/an en période de crise à très court terme (référence sur les 10 dernières années depuis la tempête Johanna), compensé par des périodes d'accalmies qui ont pu reconsolider le talus littoral au rythme de plus d' 1 m/an.

3.4 Enjeux et vulnérabilité

3.4.1 Description des enjeux

Pour cette étude, la détermination des enjeux est faite simplement sous la forme d'un listing de tous les éléments identifiés visuellement sur le terrain ou par référence bibliographique. La zone d'exposition immédiate aux aléas comprend :

- les sanitaires de la plage de St Efflam, dont la terrasse bois qui est située directement à l'aplomb du sommet de talus littoral ;
- le parking de la plage d'une longueur d'environ 200 m, sur une largeur d'environ 10 m, positionné à la distance moyenne d'environ 3m de la crête de talus littoral, soit une distance du trait de côte comprise entre 3 et 20 m d'ouest en est.

Une zone d'exposition à plus long terme aux aléas (deuxième et troisième rangs) qui comprend :

- la route départementale n°786 portant un trafic moyen journalier d'environ 7 000 v/j dont 6 % de PL (~450 PL/j), ainsi que les réseaux associés (notamment le réseau d'eau usée qui transit par le bloc sanitaire). La rue des Carrières dans la continuité est protégée par l'ouvrage en enrochements ;
- les habitations en troisième rang, derrière la RD786 qui sont situées en contre-bas topographiquement au pied du versant rocheux (10 bâtiments répartis sur 14 parcelles cadastrales).

Aucun enjeu environnemental de type espace protégé (Natura 2000, Znieff, Zico, zone humide, ou autre espace naturel protégé...), ni classé n'est recensé sur la zone d'étude.



Illustration 59: Localisation des enjeux dans la zone d'exposition aux aléas

3.4.2 Vulnérabilité des enjeux face à l'érosion

La vulnérabilité des enjeux présents au droit de la plage de St Efflam dépend directement de leur proximité avec le trait de côte et de son recul dans les années à venir.

Comme établi au paragraphe précédent, le trait de côte à l'échelle de la plage est relativement stable à long terme depuis les années 1950, et même en accretion épisodiquement pendant les années 1980, 1990 et 2000 permettant de compenser d'autres phases en forte érosion. En effet, le trait de côte est extrêmement sensible aux tempêtes qui peuvent le faire reculer de manière importante de plusieurs mètres en l'espace d'une saison, puis reconstitué ensuite, si la période est suffisamment longue et propice en termes de phénomènes morphogènes (vent du nord pour le rechargement éolien, accalmie hivernale relative sans concomitance entre forte houle et fort coefficient de marée...). Ainsi, la série de tempêtes subie à partir de la fin des années 2000 et pendant toute la décennie écoulée a engendré un recul notable du trait de côte sur plusieurs mètres, notamment au droit du secteur critique depuis l'extrémité des enrochements sur environ 60 à 70 m vers l'est, mettant en porte-à-faux le bâtiment des sanitaires publics de la plage.

3.4.2.1 A l'horizon 2030

La cinétique moyenne à long terme de recul entre 1952 et 2019 est estimée sur le secteur sensible à environ 13 cm/an, mais à l'échelle de 2005-2016 et 2016-2019 on observe d'autres segments en recul au rythme maximum de 40 à 45 cm/an. Le recul probable est estimé entre -1,3 m et -4,5 m à l'échelle de la prochaine décennie dans des conditions météo-marines analogues, conduisant à un impact certain de la terrasse et du bâtiment des sanitaires, ainsi que possiblement les premières places de parking attenantes.

Toutefois, s'il se produisait plusieurs hivers consécutifs à l'image de ceux subis en 2008, 2014, 2016 et 2018, le rythme de recul pourrait être beaucoup plus important d'environ -3 m par crise.

3.4.2.2 A plus long terme (2050 et 2100)

Pour évaluer la vulnérabilité potentielle des enjeux face à l'aléa d'érosion à moyen et long terme (2050 et 2100), on propose de poursuivre le recul basé sur l'hypothèse à long terme d'environ 13 cm/an en moyenne au droit du secteur critique, en intégrant l'impact de l'élévation probable du niveau marin de 20 cm à l'horizon 2050 et 60 cm à l'horizon 2100.

Pour cela il est proposé d'utiliser une règle simplifiée en première approche, appelée « rule of thumb » (issue du guide PPRL de mars 2013 et basée sur la loi de Bruun), qui permet d'estimer l'impact sur le recul du trait de côte, d'une période à venir par élévation du niveau marin, sur la base de l'élévation du niveau de la mer déjà constatée sur une période passée :

$$Tx2 = \left(\frac{Tx1}{NM1} \right) NM2$$

NM 1 : l'élévation du niveau marin moyen au siècle passé = 2 mm/an sur 100 ans au 20^e siècle ;

NM 2 : l'élévation du niveau marin moyen sur la période future considérée = 200 mm à 2050 et 600 mm à 2100 ;

Tx1 : le taux annuel de recul du trait de côte sur la période passée ;

Tx2 : le taux annuel de recul du trait de côte estimé pour la période future considérée ;

Soit : ***Tx2* = 2. *Tx1*** à 2050 ; et ***Tx2* = 3. *Tx1*** à 2100.

Le trait de côte pourrait ainsi, se situer à environ -8 m en 2050 et à environ -30 m en 2100 par rapport à sa position actuelle, soit une atteinte de la RD786 après 2050, puis des parcelles d'habitation à l'horizon 2100, sans un arrêt par un point « dur » du substratum géologique.

Ces projections restent cependant très hypothétiques, en ne tenant pas compte des séries d'épisodes météo-marins favorables et/ou défavorables futurs, ni du comportement géo-mécanique des matériaux constitutifs de talus littoral.

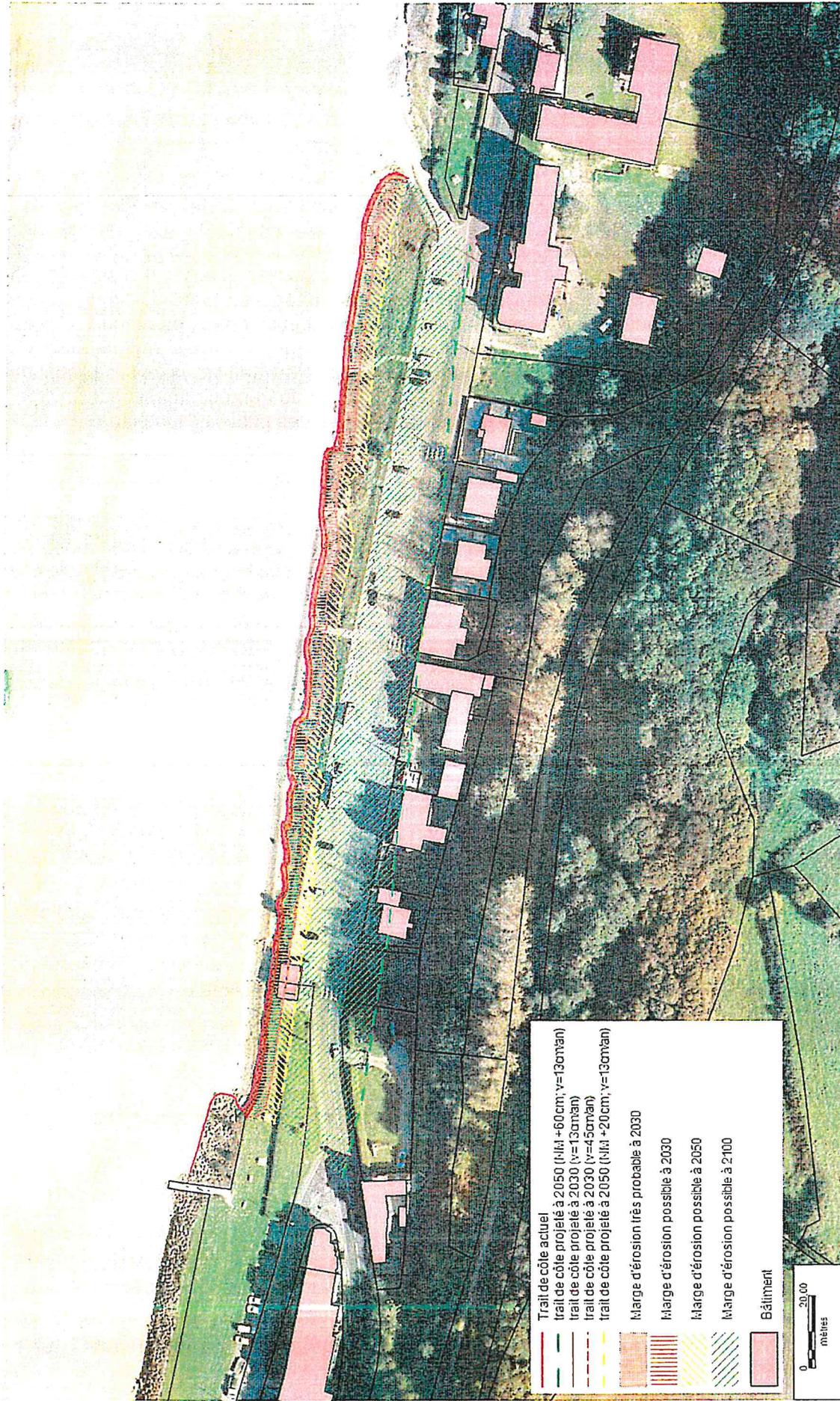


Illustration 60: Projections hypothétiques du recul du trait de côte par érosion marine aux horizons 2030, 2050 et 2100

4 Propositions pour la gestion du risque

4.1 Les modes de gestion définis par la SNGTC

Pour faire face aux risques d'érosion côtière, quatre options générique de gestion du trait de côte sont identifiées dans la Stratégie Nationale de Gestion du Trait de Côte (SNGTC) :

- **Le maintien :** il s'agit de maintenir la position du trait de côte par une intervention anthropique directe visant à contrer les aléas (maintien ou augmentation du niveau de protection). La protection du trait de côte se fait par l'aménagement (réalisation, conservation, modification) de structures de défense faisant appel à des techniques dures (mur, épis, digues...), des techniques souples (revégétalisation, paillage, rechargements de plages, génie-végétal...) ou par la combinaison de celles-ci. Ces techniques de consolidation sont coûteuses et nécessitent pour leur mise en œuvre de réaliser des études précises au cas par cas pour répondre au mieux aux contraintes locales.

Cette option de gestion est adaptée aux zones à enjeux importants tels que des secteurs urbanisés à fortes contraintes.

- **L'accompagnement :** il s'agit d'accompagner les processus naturels (considération de la dynamique du milieu et des fluctuations de la côte) en s'appuyant sur des interventions limitées de gestion du site, par la mise en place d'opérations de suivi/surveillance, de techniques souples peu coûteuses principalement axées sur la gestion de l'espace naturel. Cette option de gestion est adaptée aux secteurs pas ou peu urbanisés (urbanisation diffuse) ou à dominante agricole.

- **Le laisser faire :** il s'agit d'accepter les mouvements (avancé, recul) du trait de côte. Le milieu évolue naturellement sans aucune intervention humaine (pas d'aménagements, pas de mise en sûreté, pas de suivis, etc.).

Cette option de gestion est adaptée aux secteurs où aucun enjeu ne justifie une action de gestion du trait de côte.

- **La relocalisation :** il s'agit de déplacer vers l'intérieur des terres des biens et des personnes dans le but de les soustraire à l'impact des aléas (mise en sécurité). Le choix est fait d'abandonner la zone côtière pour le restituer aux processus naturels. Cette mise en œuvre nécessite une longue période d'adaptation et d'acceptation qui peut être assortie par d'autres modes de gestion (accompagnement, maintien par techniques souples).

Cette option de gestion est adaptée aux secteurs à faibles enjeux, où les solutions de protection lourdes ne sont plus justifiées (les coûts d'entretien, de maintien, de renforcement deviennent excessifs et supérieurs aux biens à protéger).

Ces modes de gestion peuvent être déclinés à différentes temporalités à court terme pour l'enclenchement rapide d'actions puis à moyen et long terme soit pour 2050 à 2100.

D'une manière générale, l'objectif visé pour une stratégie de gestion est le long terme. Pour y aboutir, le recourt à tous les modes options de gestion est possible comme mesures transitoire, d'adaptation et/ou d'anticipation. Il s'agit de prendre le temps de réfléchir sur le long terme tout en agissant dès maintenant en développant ainsi une vision évolutive de l'interface terre-mer et non fixiste.

4.2 Intervention rapide en cas d'événement tempétueux annoncé

Compte tenu de la sensibilité du trait de côte aux tempêtes pendant la saison hivernale, il pourrait être envisagé de prendre des mesures de protection temporaire du talus littoral, soit :

- avant chaque événement important prédit. En effet, la commune dispose de deux sources

d'informations permettant d'anticiper l'arrivée et le déroulement d'un événement maritime exceptionnel :

- le dispositif Vigilance Météorologique de Météo France. Une carte de France est diffusée deux fois par jour à 6h00 et 16h00. Elle est complétée par la vigilance « vagues-submersion » et/ou « vent violent » qui anticipe le risque de fortes vagues à la côte et de submersion d'une partie ou de l'ensemble du littoral du département. Elle est consultable et disponible dans les médias habituels : journaux, radios, TV et sur les sites internet de météo. Dès le niveau Orange et Rouge, le Préfet diffuse l'information aux maires des communes concernées.
- les prédictions de marée. Le gestionnaire, par la connaissance permanente de son territoire côtier, sera naturellement plus attentif à la météo en fonction de la valeur du coefficient de marée. Toutefois, il n'existe pas de prévisions locales sur les surcotes marines et les vagues.
- préventivement, pendant toute la période d'exposition (de novembre à mars).

Ainsi, il pourrait être installé une à deux rangées de « Big-Bag » de sable de 1 m³ chacun et/ou un merlon de sable, sur 50 m de longueur depuis l'extrémité de l'ouvrage en enrochement en avant du talus littoral (en surface du cordon de galet actuel) pour, d'une part, protéger le front dunaire en faisant déferler la houle sur des éléments renforcés à la fois souples et consolider, et d'autre part, soutenir le pied dunaire en permettant un maintien des matériaux meubles qui pourraient glisser lors des franchissements de vagues.

Le coût de ses dispositifs est estimé entre 70 et 100 €/m linéaire HT lors de leur première mise en œuvre soit entre 3 500 et 5 000 € pour la protection de 50 m (comprenant l'achat des sacs, des matériaux de remplissage et l'installation), le remplissage et la manutention pouvant peut-être s'effectuer en régie par le service technique de la commune.

L'installation de ces dispositifs avant chaque événement apparaît très contraignant en ce qui concerne leur manutention (installation et dépôt des Big-Bag à réitérer plusieurs fois sur une saison) et nécessite une forte réactivité compte tenu de la disponibilité de prévisions météorologiques fiables sur quelques jours voir sur quelques heures avant la tempête, en comparaison de la solution d'une mise en place et d'un dépôt unique entre le début et la fin de la saison hivernale.

Toutefois, ces éléments de protection engendrent une réflexion de la houle et des turbulences à leur pied par déferlement des vagues, qui pourrait s'avérer préjudiciable pour le haut de plage à l'échelle de l'ensemble de la saison d'hiver.

D'autre part, les matériaux plastiques constitutifs des sacs peuvent se dégrader assez rapidement au contact prolongé du sel et de la lumière, nécessitant alors un remplacement précoce des éléments et donc un surcoût d'utilisation.

4.3 Intervention à court terme pour une gestion de type maintien du trait de côte par des techniques souples et réversibles

Il apparaît que le secteur le plus sensible à l'érosion et le plus en recul pouvant menacer le bâtiment des sanitaires a déjà fait l'objet d'une mesure de confortement en 2003 par reconstruction de la dune bordière en avant du talus littoral (cf. paragraphe 3.2.1). Ce dispositif dunaire a été efficace au moins jusqu'à la tempête Johanna en mars 2008 (visible sur les photographies prise par S. Suanez en 2008) et très probablement encore plusieurs années jusqu'à la succession des tempêtes de l'hiver 2013/2014 (comme en atteste la photographie du site prise en 2011 et le profil topographique de plage issu du MNT en 2012). Il a finalement été démantelé assez récemment en 2018, car jugé trop dégradé et dangereux pour les utilisateurs de la plage lors de la saison touristique.

Une solution de confortement « en dur » par prolongation de l'ouvrage en enrochement sur 50 à 100 m supplémentaires n'est pas recommandé à court terme dans la mesure où les impacts propres à ce type d'ouvrage (accroissement de l'érosion aux extrémités, disparition à long terme

du haut de plage), sont très fortement susceptibles de se reproduire, pour un coût de construction estimé entre 1 000 et 2 000 €/ml HT avec un ouvrage dimensionné et construit selon les préconisations du « guide enrochement », tout en nécessitant très probablement de poursuivre ultérieurement l'extension de l'enrochement plus à l'est.

Dans ce contexte, il est préconisé de réitérer une opération de reconstruction du massif dunaire en avant du front littoral depuis l'ouvrage en enrochement sur environ 70 m linéaires en raccordement à la dune existante au droit du parking. Cette mesure pourrait être accompagnée par un dispositif expérimental de confortement du massif dunaire par mise en œuvre d'un perré incliné en bois constitué de planches de chêne alignées et doublées d'un géotextile sur une hauteur de 2m et maintenue dans cette position par des pieux perpendiculaires en bois sur une longueur d'environ 50 m.

4.3.1 Reconstruction dunaire

La conception de l'opération de reconstruction dunaire dépend des éléments suivants :

- les caractéristiques granulométriques des sédiments de la plage et des sédiments d'apport ;
- le choix de la zone d'emprunt ;
- le profil de la zone rechargée ;
- l'estimation du volume de sédiments d'emprunt à mettre en place ;
- la fréquence des entretiens périodiques.

Le succès d'un rechargement dépend de la granulométrie du sédiment d'emprunt par rapport à la taille des grains du sédiment naturel de la dune. La taille du grain moyen est estimée sur le site (d'après les mesures faites en 2003 sur l'ensemble des sables dunaires) à 155 µm (variations très faibles comprises entre 163 µm et 142 µm). Pour obtenir un profil naturel, il est alors nécessaire d'utiliser une taille de grain de sédiment d'emprunt au moins équivalent à celui présent naturellement sur la plage ou supérieur.

Ces sédiments pourraient être prélevés de manière répartie à l'échelle de toute la baie sur les cordons dunaires en accrétion du Yar, de Tréduder et de St Michel en Grève afin d'éviter la déstabilisation d'un cordon dunaire en particulier, ou d'un apport extérieur (carrière terrestre, extraction au large).

Pour ce qui concerne le profil rechargé, il doit refléter la forme de la dune/plage naturelle. Il est donc proposé une pente entre 15 et 20 % depuis le sommet de la zone rechargée à la cote d'environ 6,5 m NGF jusqu'en haut de plage à la cote d'environ 4,3 m NGF (niveau actuel du sable au pied des enrochements). Une fois le rechargement effectué, la plage devrait naturellement s'ajuster aux conditions ambiantes et tendre vers une situation d'équilibre dynamique.

La surface de rechargement dunaire est estimée à environ 600 m² pour un volume total d'environ 340 m³.

Profil	P1	P2	P3	Total
Volume par profil (m ³ /ml)	6,2	4,6	3,1	
Linéaire concerné	24	23	23	70
Total (m ³ arrondi sup)	150	110	72	~ 340 m ³

Le coût du rechargement dunaire est estimé à environ 20 €/m³ HT, soit pour un volume estimé de 340 m³, un montant global d'environ 7 000 € HT.

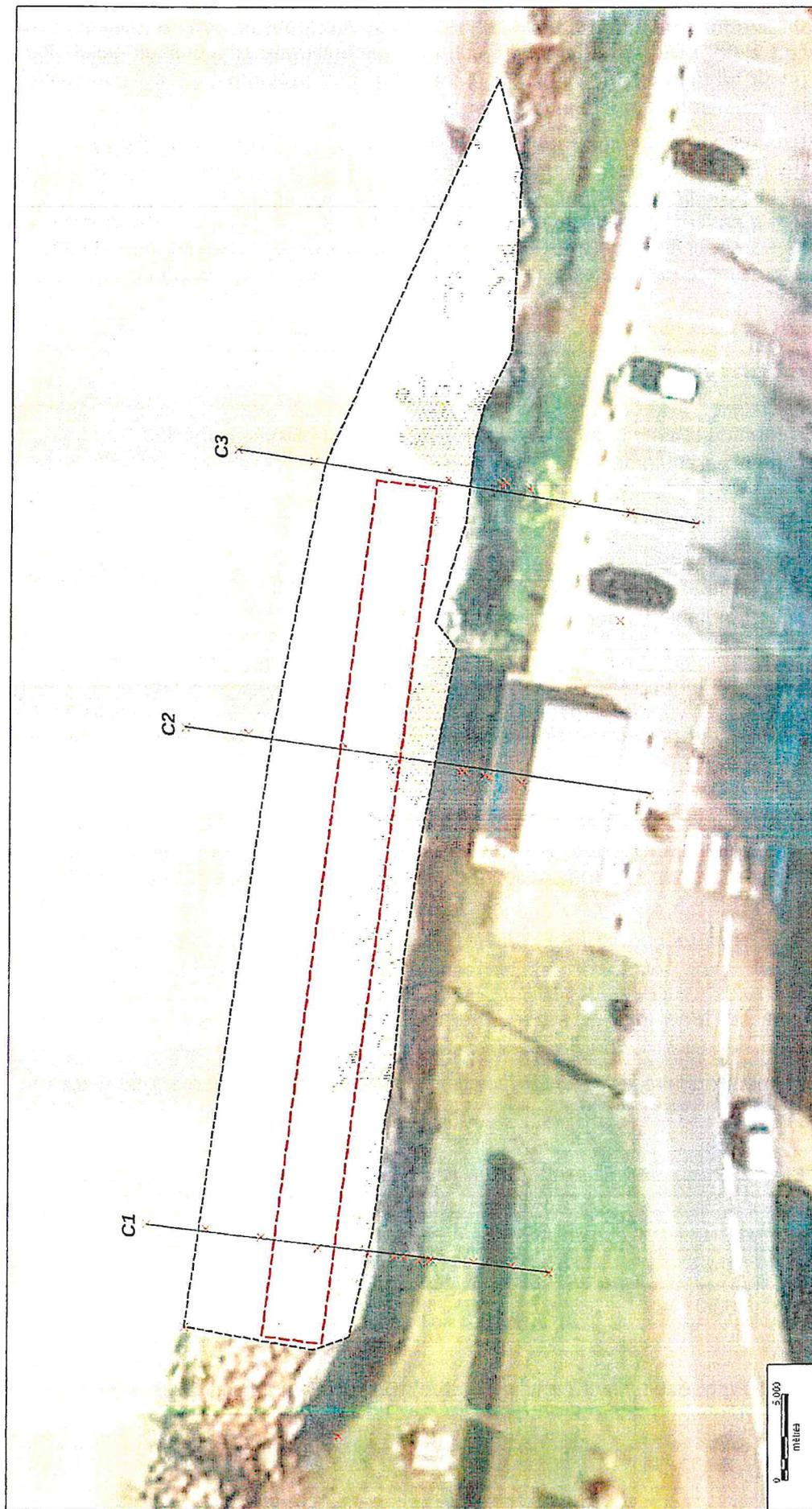


Illustration 61: Emprise du rechargement (en jaune) et du perré bois (en rouge) définis selon trois coupes topographiques C1, C2 et C3 établies en décembre 2019

From Pos: 214000936, 6861388-467

To Pos: 213999331, 6861376-961

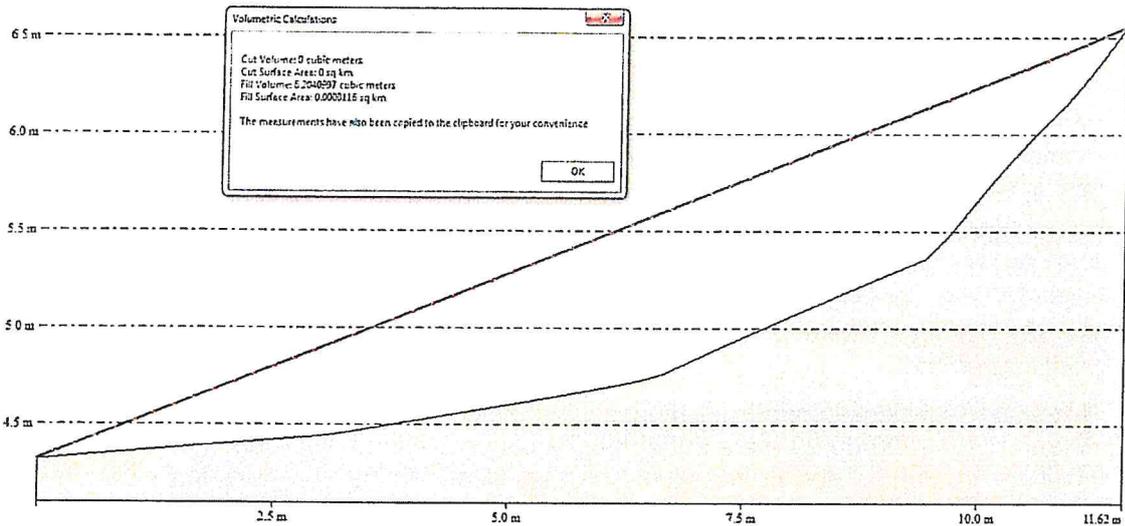


illustration 62: Coupe C1 : profil de rechargement de 15 % pour un volume de 6,2 m³/ml

From Pos: 214029112, 6861384-835

To Pos: 214027335, 6861373-520

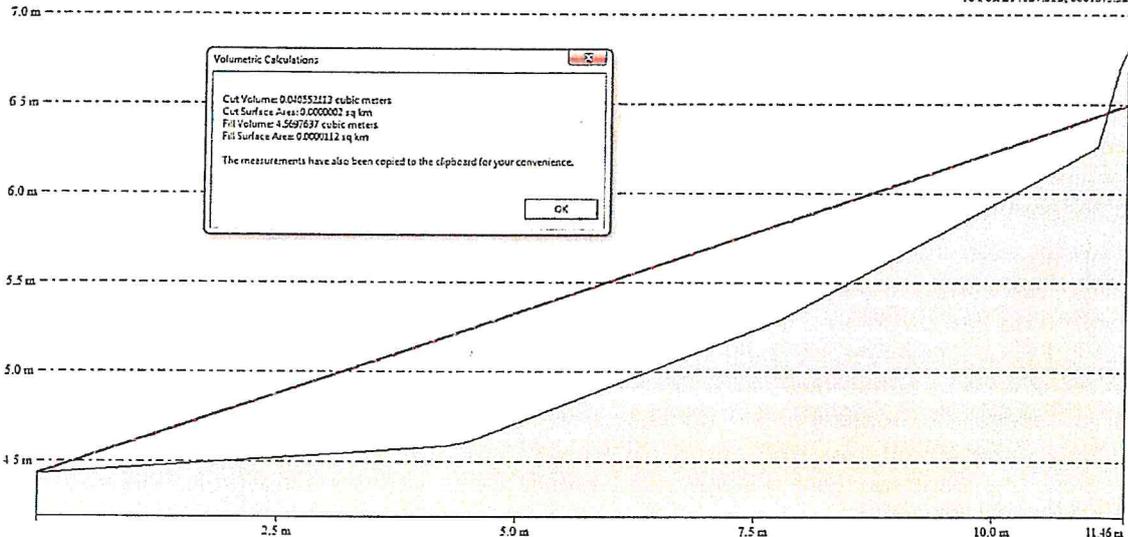


illustration 63: Coupe C2 : profil de rechargement de 15 % pour un volume de 4,6 m³/ml

From Pos: 214044240, 6861382-452

To Pos: 214042559, 6861370-605

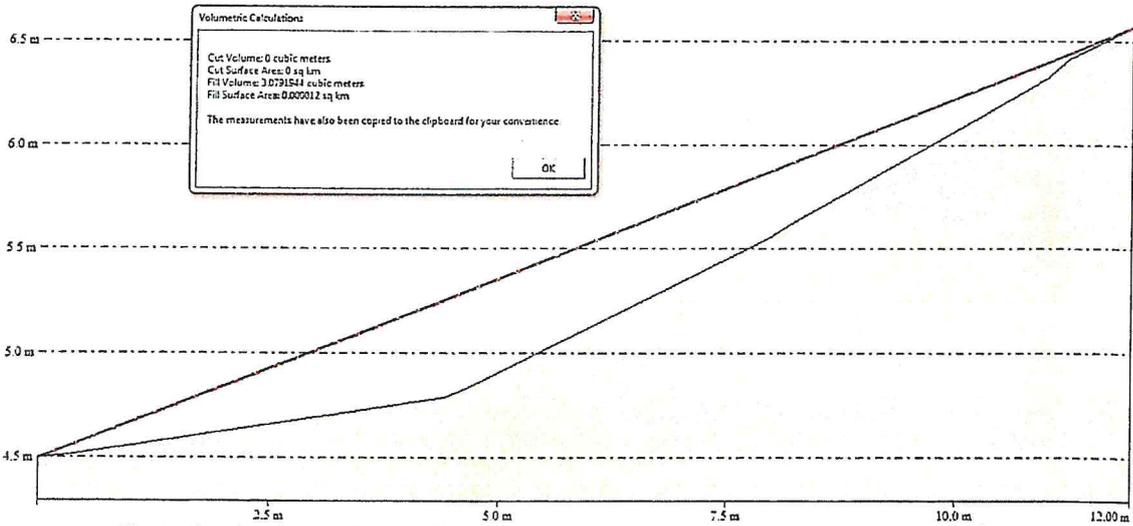


illustration 64: Coupe C3 : profil de rechargement de 15 % pour un volume de 3,1 m³/ml

Du point de vue réglementaire, les rechargements de plage sont considérés comme faisant partie des travaux de défense contre la mer, à ce titre :

- Ils sont soumis au régime d'autorisation au titre des articles L. 214-1 à L. 214-6 du code de l'environnement, si le montant des travaux est supérieur à 1 900 000€ ; au régime de déclaration au titre des articles L. 214-1 à L. 214-6 du code de l'environnement si le montant est supérieur ou égal à 160 000 € mais inférieur à 1 900 000 € (ce qui n'est pas le cas du site d'étude).
- Ils sont soumis à étude d'impact, si le montant des travaux est supérieur à 1 900 000€ ou si l'emprise du rechargement sur la plage est supérieure à 2 000m², les travaux sont soumis à étude d'impact (article R 122-8 du code de l'environnement). Dans le cas contraire (= cas du site d'étude), seule une notice d'impact est exigible (article R 122-9 du code de l'environnement).
- Ils nécessitent une demande de concession d'utilisation du domaine public maritime. Le décret n°2004-308 du 29 mars 2004 relatif aux concessions d'utilisation du domaine public maritime en dehors des ports, stipule que les dépendances du domaine public maritime peuvent faire l'objet de concessions d'utilisation en vue de leur affectation à l'usage du public, à un service public ou à une opération d'intérêt général.

4.3.2 Perré en bois

Il pourrait aussi être envisagé à titre expérimental, la mise en œuvre d'un perré en bois constitué de planches d'une longueur de 3,5 m accolées en panneaux préfabriqués d'une dimension à adapter en fonction des contraintes de manutention sur site (de 5 à 10 m ou plus) et doublés face coté dune, par un géotextile épingle.

Les panneaux sont installés en protection du talus littoral vers le centre du massif dunaire reconstitué, disposés à une distance d'environ 5 m de la crête végétalisée actuelle et fonction de la configuration du trait de côte au moment de la pose. Ils sont agencés selon une inclinaison de 35° vers l'amont pour une hauteur verticale d'environ 2 m, dont au moins 0,80 m de fouille et ancrés sur des pieux en bois perpendiculaires d'une longueur d'environ 1,5 m. La mise en œuvre de ces dispositifs nécessite la réalisation de déblais et remblais sableux pour leur installation, appui et comblement arrière entre le perré et le front de dune, avant le rechargement du massif. L'alignement des panneaux est à adapter en fonction des variations de profils dépendant des irrégularités du trait de côte.

La longueur de ce dispositif est de 50 m linéaires depuis l'extrémité des enrochements.

Le coût du perré est estimé à 400 €/ml HT, soit pour 50 m, un montant d'environ 20 000 € HT.

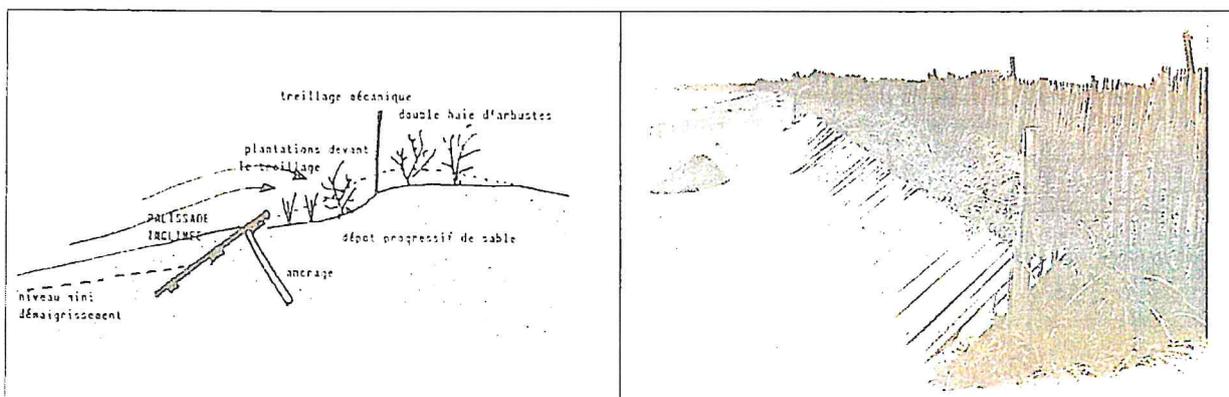


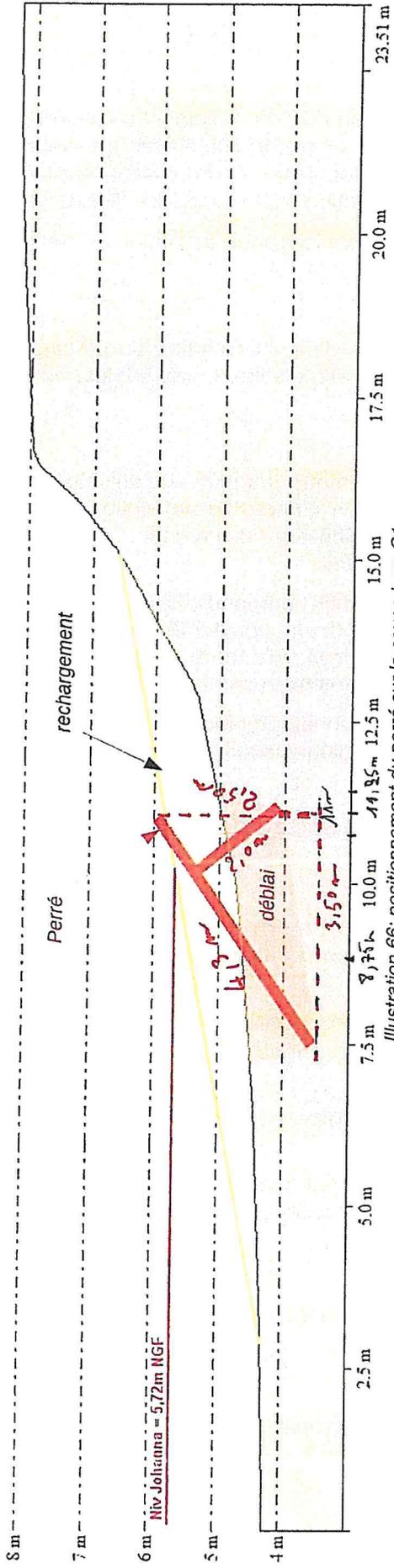
Illustration 65: Schéma de principe du dispositif de protection par perré bois du massif dunaire reconstitué. Photographie d'un dispositif expérimental mise en œuvre à Combril en 1983, 6 ans après son installation

Le positionnement du dispositif en plan est donnée par l'illustration n°61 et par les coupes C1 et C2 en illustration 66 et 67 ci-après :

From Pos: 214001.202, 6861391.914

9 m

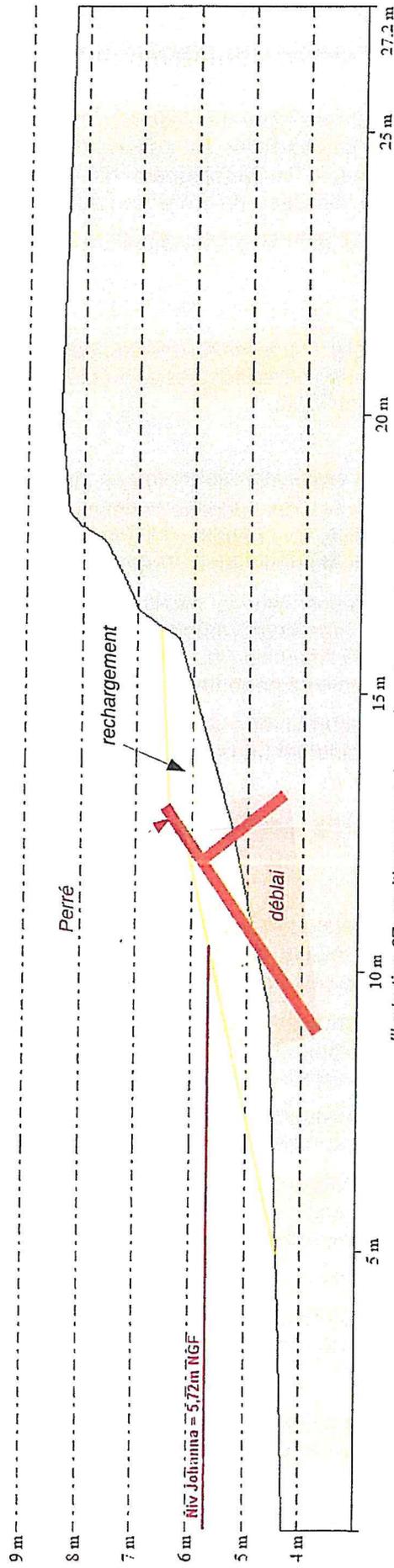
To Pos: 213998.439, 6861368.573



From Pos: 214029.858, 6861389.695

10 m

To Pos: 214025.980, 6861362.737



4.3.3 Mesures complémentaires

La fermeture physique de l'espace dunaire et la canalisation des cheminements piétonniers sur la dune par des ganivelles est aussi à prévoir pour un linéaire d'environ 500 m. Les ganivelles ont un double rôle à la fois de piégeage des sédiments par transport éolien en favorisant l'engraissement de la dune, ainsi que de protection du massif et de la végétation contre le piétinement anthropique.

Le coût des ganivelles est estimé à 15 €/ml, soit pour une longueur de 500 m, un montant de 7 500 € HT.

Enfin, il serait nécessaire d'accompagner les évacuations d'eau de surface du parking et de la RD786, en les canalisant jusqu'au pied du massif dunaire afin d'éviter le ravinement actuel à leur débouché en crête.

Une fois la réalisation des travaux achevée, il convient de mettre en place un suivi topographique du nouveau cordon dunaire reconstitué afin de prendre en compte son évolution, constater les effets positifs et négatifs du perré et anticiper la nécessité de recourir à de nouveaux rechargements périodiques (fréquence et quantité nécessaire).

Ce suivi repose sur le nivellement topographique de profils perpendiculaires au trait de côte (continuité des levés topographiques réalisés dans le cadre du projet MADDOG) sur la zone rechargée et soumise au marnage. La fréquence des relevés de terrain retenue correspond à minima à un levé par an toujours à la même période en inter-saison (fin mars ou fin septembre).

Ce suivi pourrait être accompagné par une surveillance photographique permettant de rendre compte rapidement des évolutions du dispositif en période d'équinoxe et après chaque tempête.

4.4 Réflexions pour une stratégie de gestion du site à plus long terme

Plusieurs pistes d'action peuvent être évoquées pour tenter de diminuer l'exposition des enjeux (sanitaires, réseau d'assainissement et parking de la plage) à l'aléa d'érosion à moyen terme (2050), relevant à la fois d'une stratégie active par :

- accompagnement du dispositif de reconstruction dunaire avec une surveillance photographique, un suivi topographique, ainsi que par la réalisation de rechargements périodiques en sédiments au besoin ;
- relocalisation du bloc sanitaire en arrière de l'ouvrage en enrochements au droit de la rue des Carrières sur le terre-plein enherbé ;
- protection de la canalisation d'assainissement par fonçage d'un dispositif de blindage (exemple : écran de palplanches) en rive de la canalisation, ou par délocalisation du réseau en rive sud de la RD786 ;

et passive par :

- le laisser faire sur le reste du secteur avec potentiellement une réduction du parking de la plage au besoin ;

A plus long terme (2100), les enjeux impactés sont potentiellement la RD786, ainsi que les habitations situées plus en arrière au pied du versant rocheux.

Si le substratum rocheux est présent sous la RD786 au niveau du talus littoral, cela pourrait constituer un point d'arrêt naturel à l'érosion marine et limiter l'impact sur ces enjeux. C'est pourquoi, il pourrait être pertinent de réaliser dès le court terme, des sondages de reconnaissances lithologiques pour lever une première incertitude quand au risque d'atteinte de la route après 2050.

Dans le cas où seul des matériaux meubles sensibles à l'érosion marine constituent le talus littoral, alors deux modes de gestion semblent pertinents :

- soit, le maintien du trait de côte par prolongement de l'ouvrage en enrochements selon des caractéristiques techniques équivalentes (configuration géométrique, hauteur et pente) mais tenant compte des conditions morphogènes à long terme. L'ouvrage sera à prolonger sur la totalité du littoral jusqu'au Yar en substitution du cordon dunaire existant, soit sur environ 1 km de littoral. Toutefois, cette solution de protection « en dur » qui semble la plus évidente au regard de l'enrochement déjà existant, est un investissement conséquent pour la commune d'environ 1 500 000 € (source : coût des protections contre les aléas littoraux – Cerema 2018), qui peut induire des effets néfastes pour le maintien d'un haut de plage sableux (modification général de la dynamique sédimentaire, disparition possible du sable au pied de l'ouvrage par réflexion des vagues) et nécessitera un budget d'entretien/surveillance à pérenniser à long terme (entretien par rechargement / réagencement régulier ou une reconstruction partiel après un événement tempétueux estimé en moyenne à environ 7 000 €/km/an, source : coût des protections contre les aléas littoraux – Cerema 2018) ;
- soit par délocalisation des enjeux (RD786, réseaux et habitations) plus en arrière sur le versant (la RD sera à recalibrer sur un itinéraire communal entre St Efflam et le bourg de Plestin) et les parcelles d'habitation à préempter au fur et à mesure des décennies à venir.

Le choix du mode de gestion à appliquer au territoire, dépend essentiellement de l'impact économique à long terme qui peut être évalué au travers d'une analyse coûts/bénéfices pour mesurer et confronter chaque avantage et inconvénient entre les options retenues aux dépenses engendrées (études à réaliser).

En effet, les analyses coûts/bénéfices (ACB) permettent d'étudier l'opportunité de stratégies de gestion notamment pour la prévention des risques. Si elles sont partiellement obligatoires dans le cadre des Programmes d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI) et des Plans Submersions Rapides (PSR), il n'en est pas de même dans le cadre des stratégies locales de gestion du trait de côte. Pourtant, l'évaluation économique d'un projet, par la mesure financière des coûts et bénéfices engagés pour l'adoption d'une stratégie de gestion d'un territoire, permet au maître d'ouvrage de prendre la décision de lancer ou pas l'opération en disposant d'un ensemble d'éléments concrets sur :

- l'opportunité (justification, pertinence de l'opération par rapport au problème, aux besoins et à l'environnement...),
- la faisabilité générale (choix de la bonne solution au regard du ou des besoins, des coûts admissibles, des autres contraintes...).

Les éléments ci-dessous sont issus des guides « Étude des aléas littoraux dans le cadre d'une ACB – Cerema, juillet 2015) et « L'ACB : une aide à la décision au service de la gestion des inondations – CEPRI, novembre 2011).

L'objectif de l'ACB est d'identifier les mesures rentables d'un point de vue économique. Elle compare dans un cadre précis :

- les coûts de mise en œuvre d'une mesure,
- les bénéfices escomptés par cette mesure (dommages évités).

Si ces bénéfices sont supérieurs aux coûts, la mesure est dite rentable et le projet est pertinent économiquement.

L'ACB analyse et compare plusieurs projets entre eux et/ou à une situation de référence (avant

travaux).

Le bénéfice d'une mesure correspond aux dommages que celle-ci, par sa mise en œuvre, est susceptible d'éviter. L'évaluation de ce bénéfice nécessite donc de considérer deux situations : un état initial (sans mesure) et un état projeté (avec la mesure mise en œuvre). Au final, le bénéfice de la mesure est la différence entre les dommages potentiels subis par le territoire dans l'état projeté et ceux subis dans l'état initial.

Quelle que soit la méthode, l'ACB repose sur les étapes suivantes :

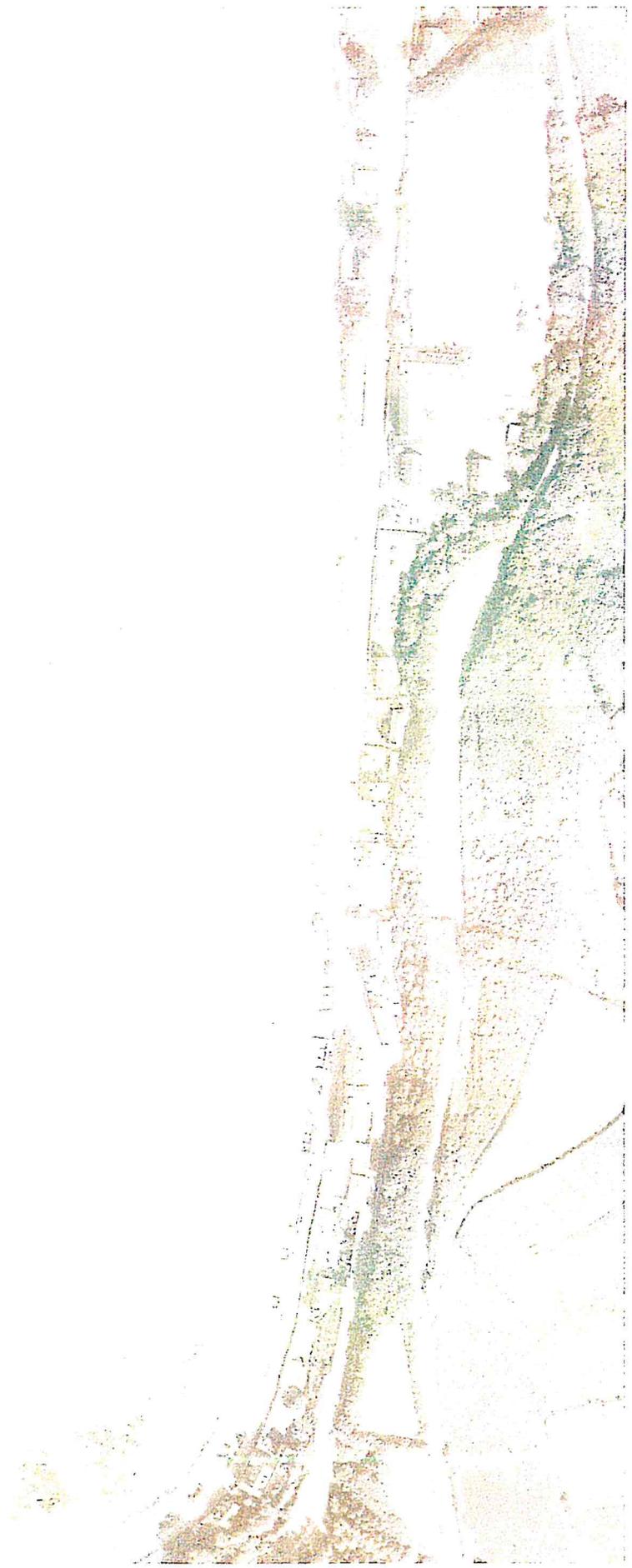
- la définition du périmètre d'étude ;
- la caractérisation de l'aléa ;
- le recensement des enjeux ;
- l'évaluation des bénéfices des mesures ou l'évaluation des dommages évités par chaque projet considéré ;
- l'évaluation des coûts de mise en œuvre de chaque projet (coûts initiaux et coûts qui vont s'étaler au cours du temps) ;
- l'analyse des résultats de l'ACB ;
- l'évaluation de l'incertitude et de la sensibilité de l'analyse produite.

Dans le cadre méthodologique défini par l'État pour l'analyse de stratégies de prévention des risques et d'aménagement, l'ACB est réalisée dans un cadre précis :

- elle est réalisée sur un horizon temporel donné, limité à 50 ans,
- les enjeux sont considérés comme constants,
- le taux d'actualisation utilisé doit être celui du Commissariat Général à la Stratégie et à la Prospective.

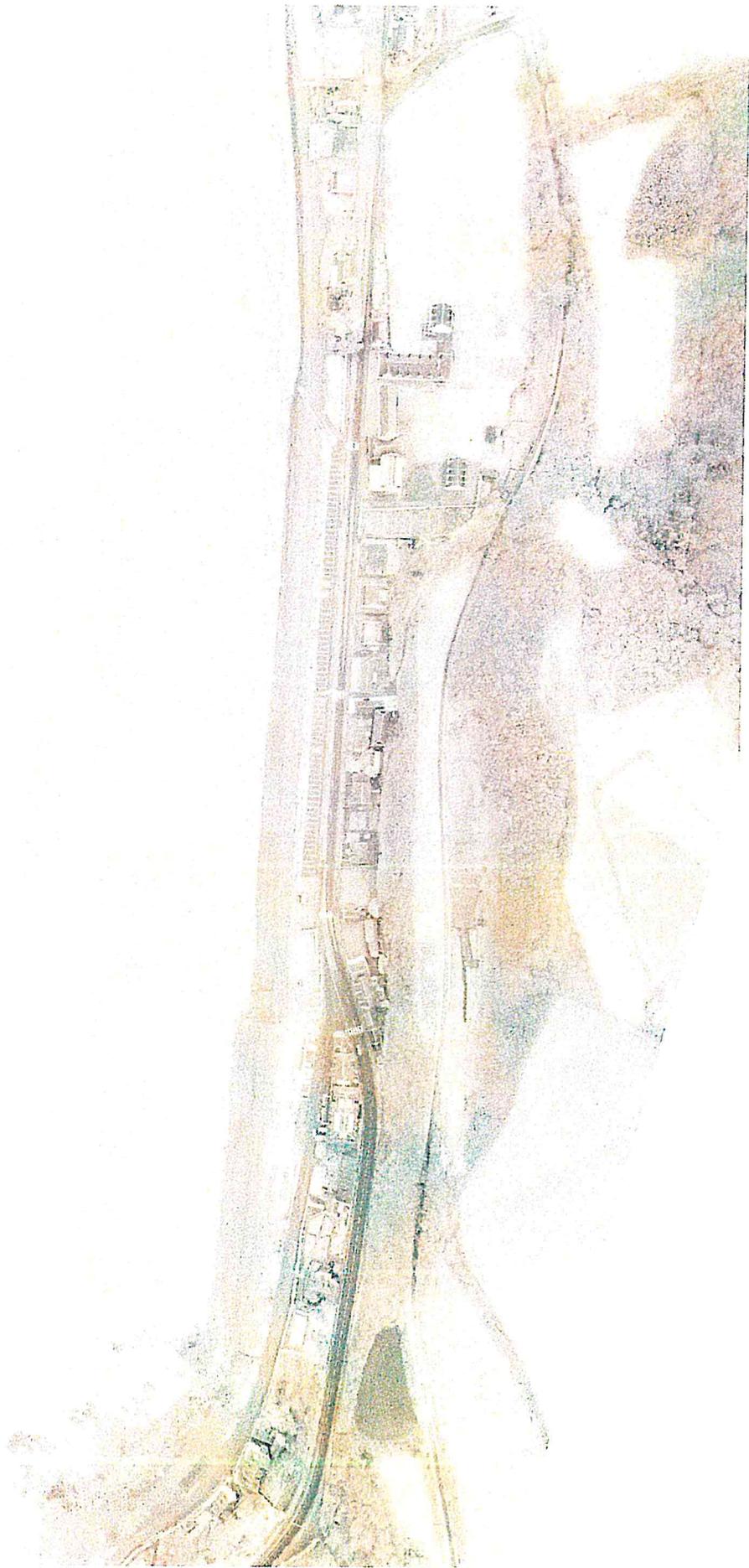
Annexes

Annexe 1 : Photographies aériennes anciennes non- géoréférencées



Août 1958





Mars 1978



Octobre 1980



Juillet 1982



Septembre 1986



Août 1994



Septembre 1999

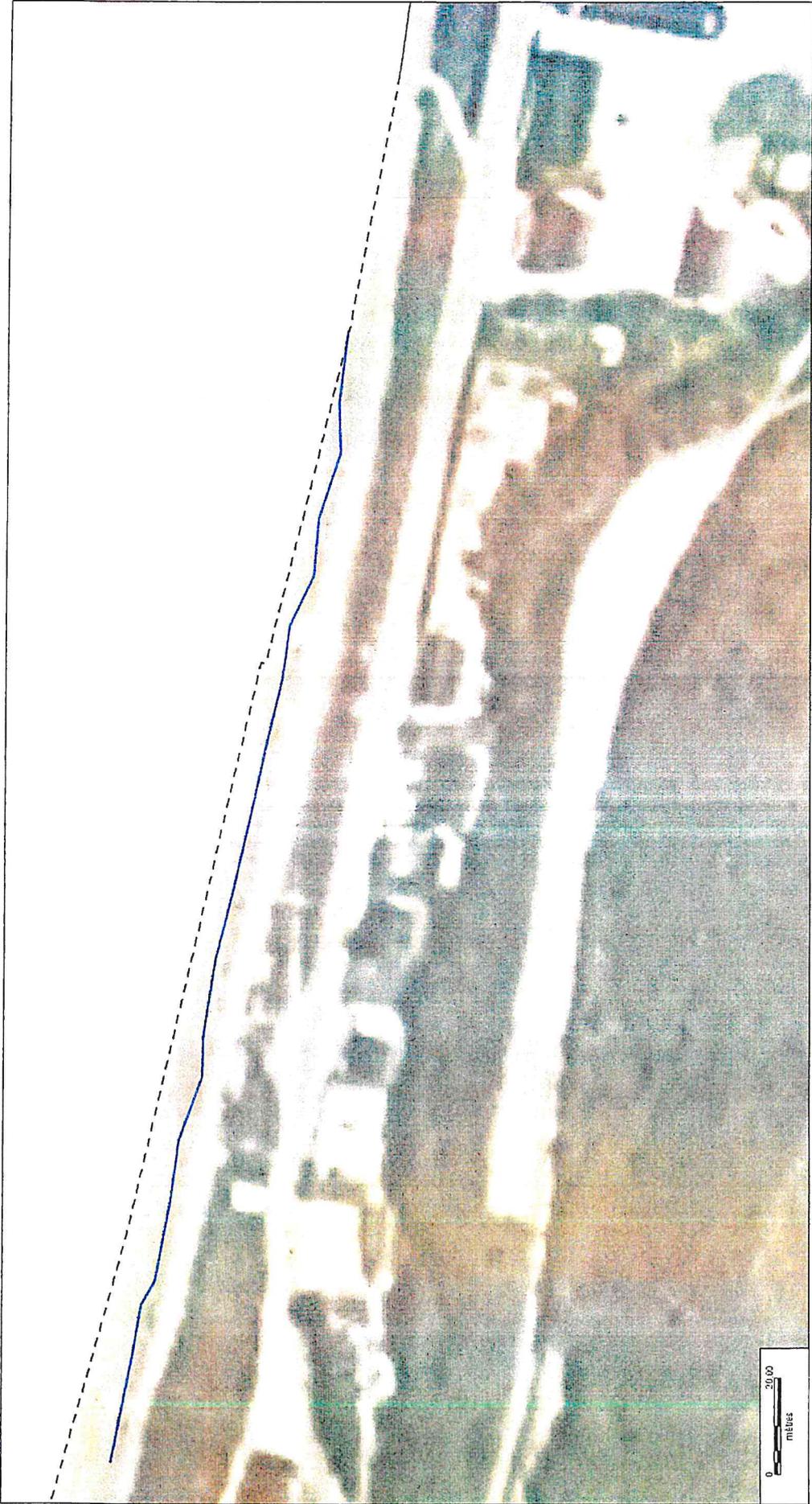


Junin 2003

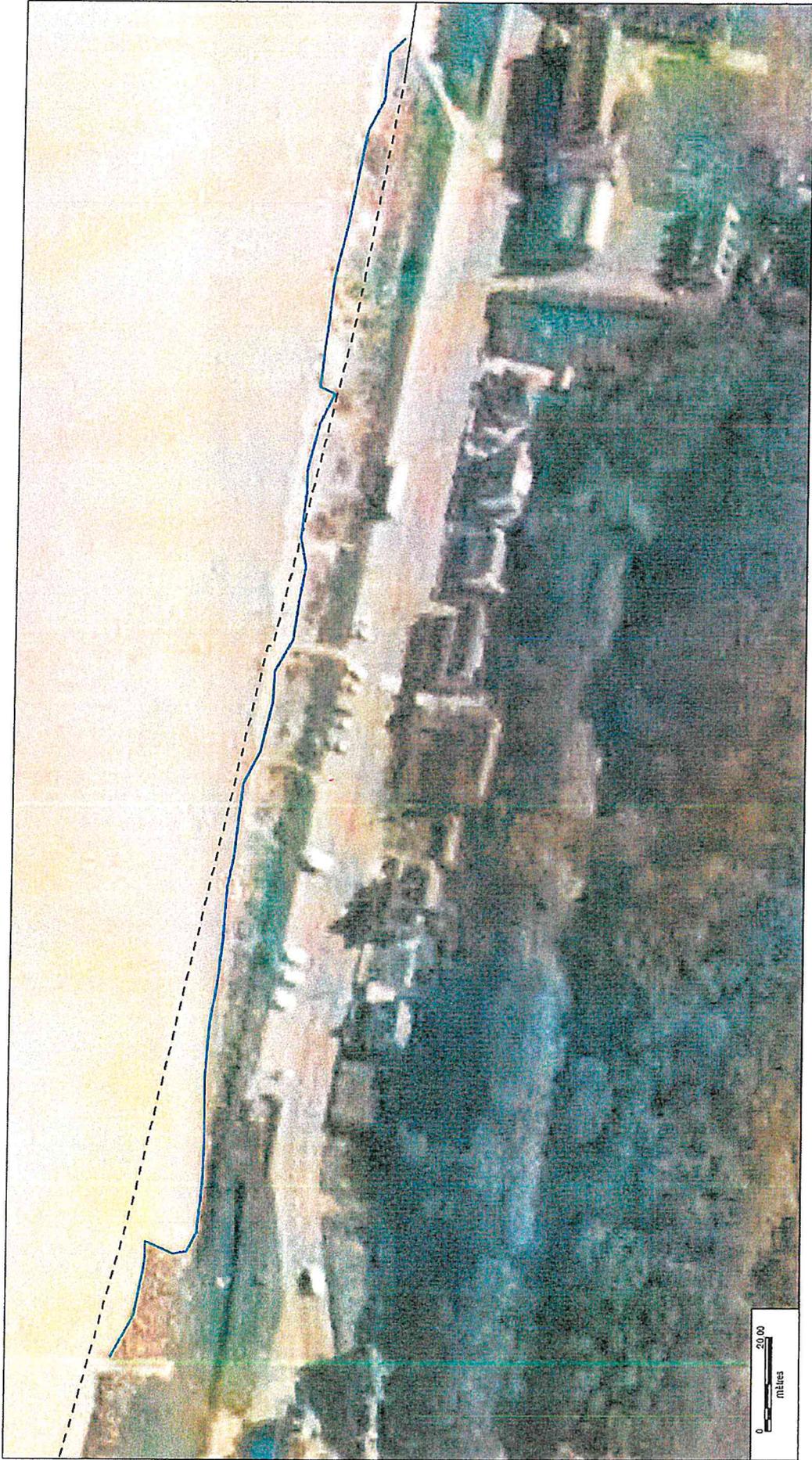


Jun 2005

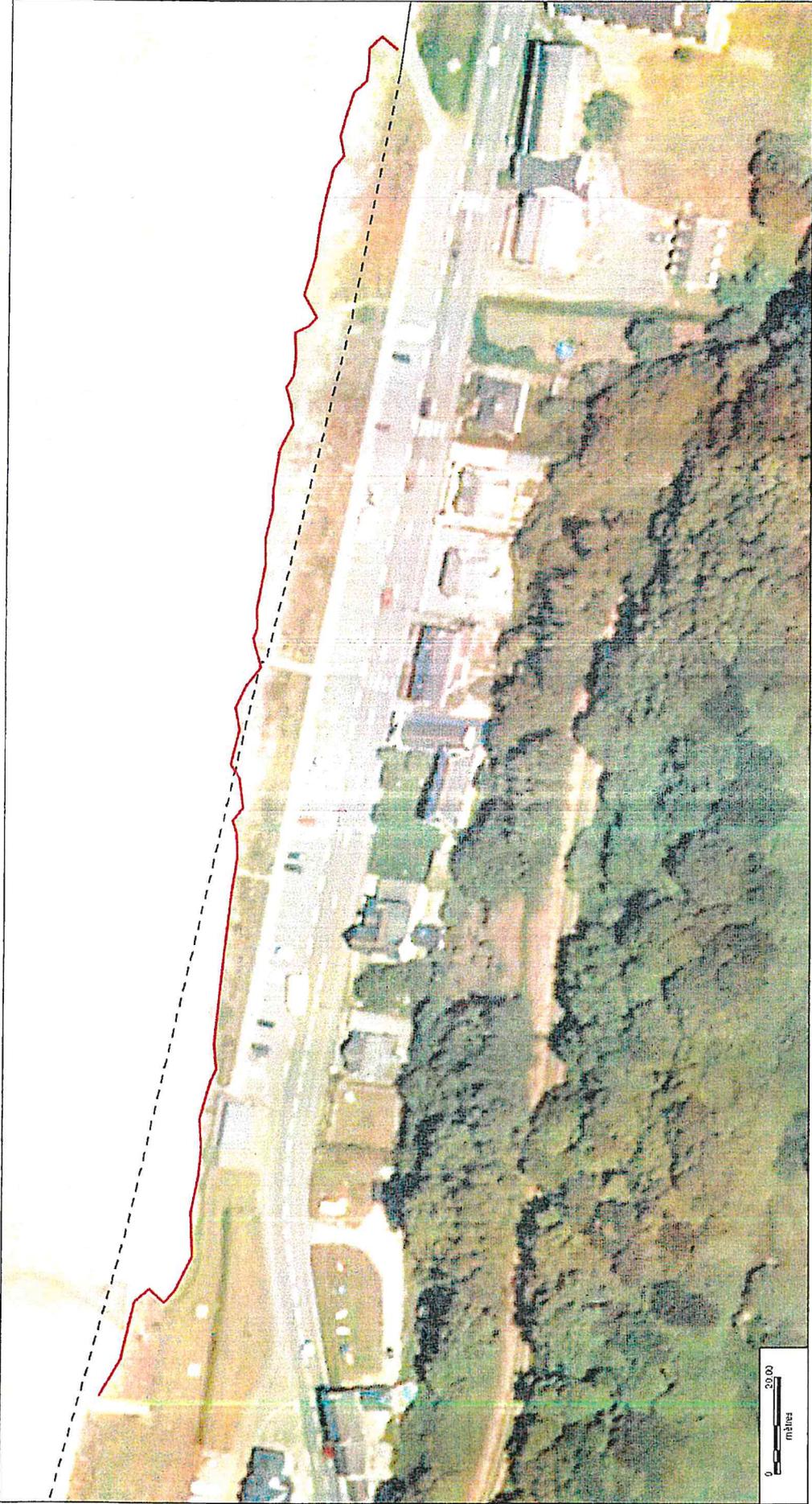
Annexe 2 : Digitalisation du trait de côte sur photographies aériennes géoréférencées



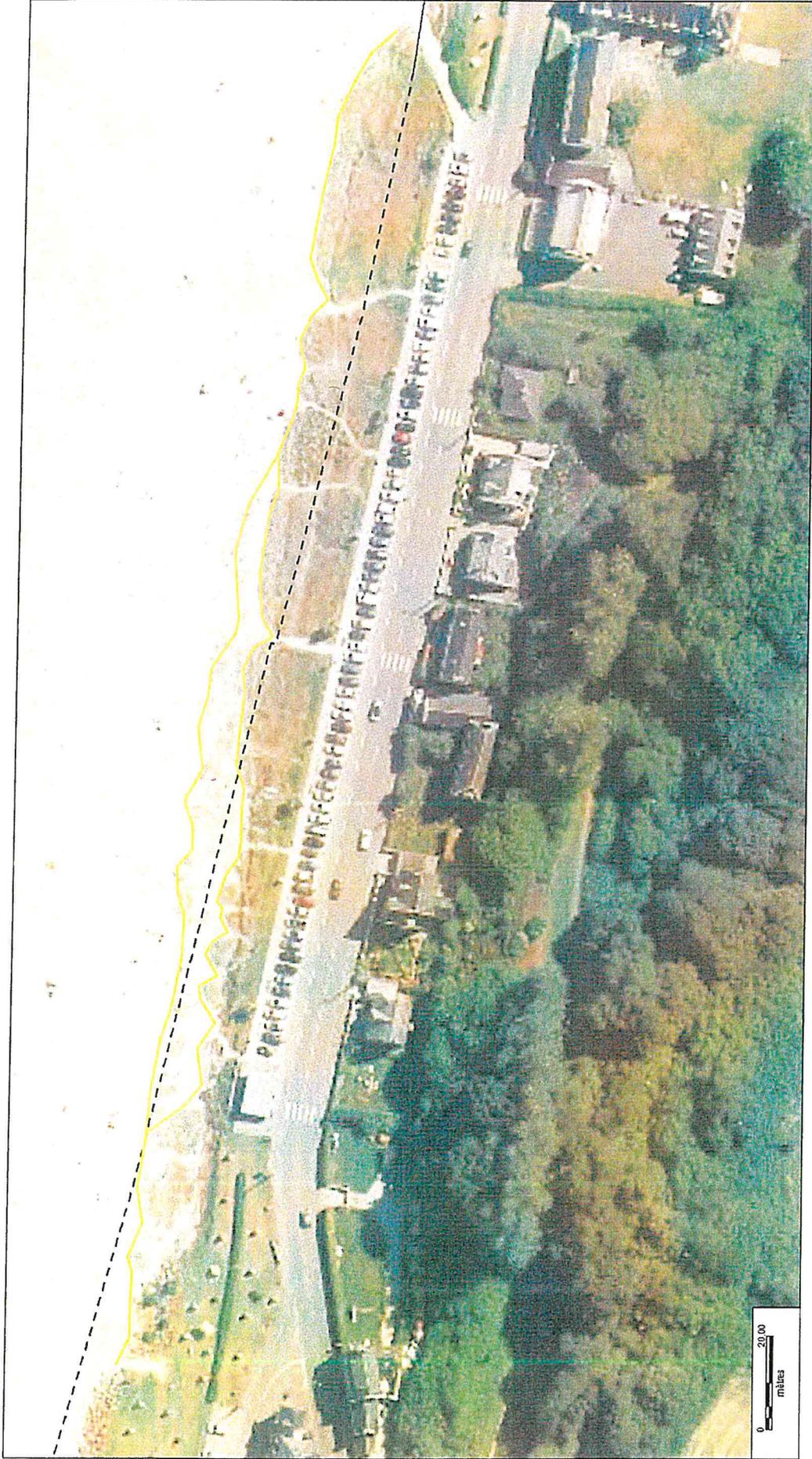
1952



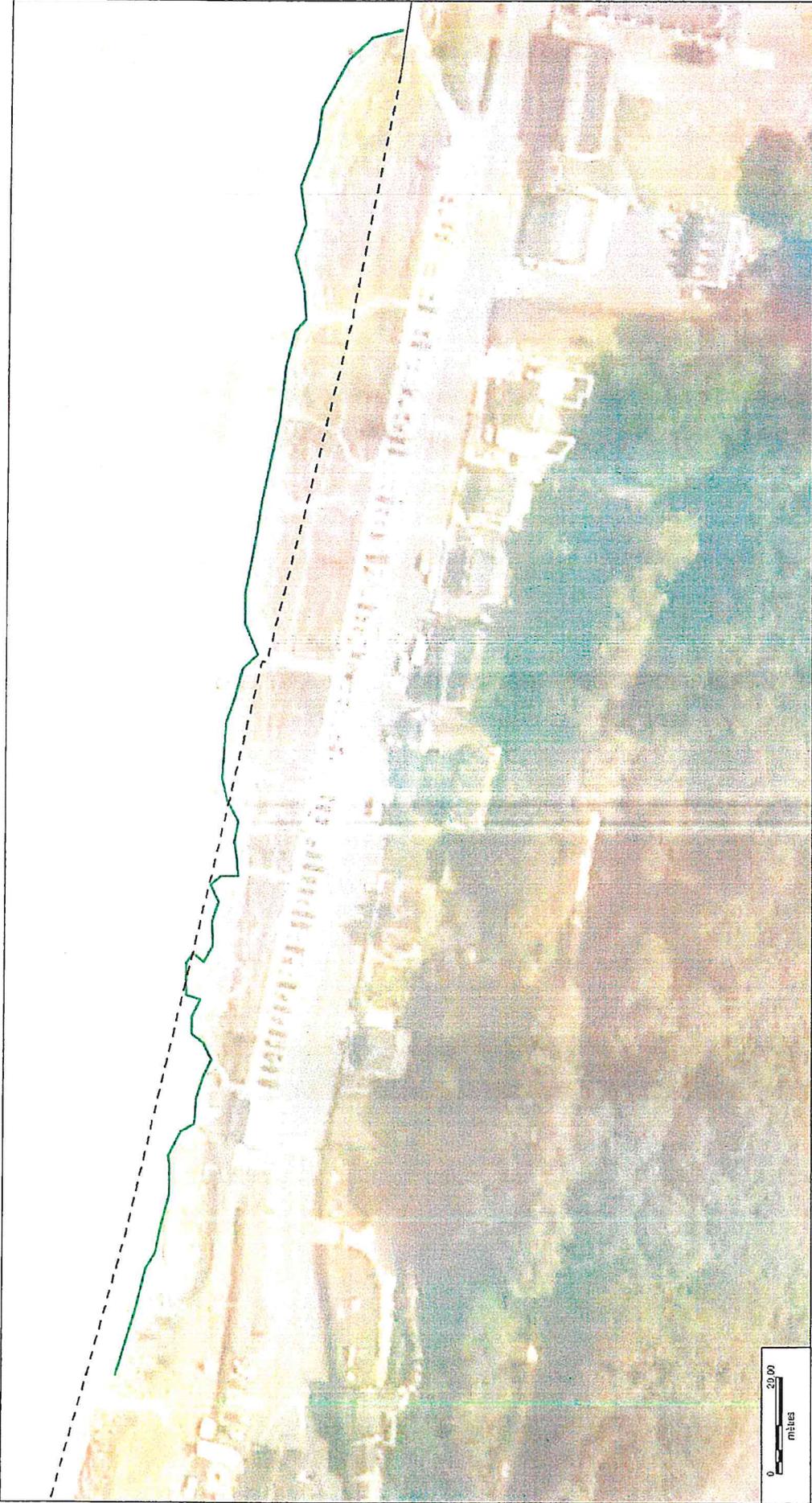
2000



2008



2012



2013



2016 / 2019



Cerema

