



Pôle Métropolitain de la
Côte d'Opale

Syndicat Mixte
de la Côte d'Opale
Audomarois - Boulonnais - Calaisis - Dunkerquois - Montreuillois

Etude de faisabilité pour le réensablement de la partie centrale de la baie de Wissant

Dimensionnement du réensablement

Elaboration de scénarios de réensablement



Phase 1
Rapport définitif
V1

Mars 2014

EP 132771M



Informations qualité

Titre du projet	Etude de faisabilité pour le réensablement de la partie centrale de la baie de Wissant
Titre du document	Rapport définitif
Date	Mars 2014
Auteur(s)	Guillaume GHESQUIERE
N° Affaire	EP132771M

Contrôle qualité

Version	Date	Rédigé par	Visé par :
V0	21/02/2014	Guillaume GHESQUIERE	Caroline Poullain Jacques PIALLAT
V1	28/03/2014	Guillaume GHESQUIERE	Caroline Poullain Jacques PIALLAT

Destinataires

Envoyé à :		
Nom	Organisme	Envoyé le :
Lauriane Paul	Pôle Métropolitain de la Côte d'Opale (PMCO)	06/03/2014
Jean-Marc Plouvin Sarah Melliti	Pôle Métropolitain de la Côte d'Opale (PMCO)	31/03/2014

Copie à :		
Nom	Organisme	Envoyé le :

Sommaire

Chapitre 1 - Introduction	1
1 Contexte du projet.....	1
2 Objet de la mission.....	2
Chapitre 2 - Mise à jour de l'analyse hydrosédimentaire	3
1 Collecte des données.....	3
2 Caractérisation de la topographie de l'estran – Levés topo-bathy disponibles	4
2.1 Levé topo-bathymétrique de septembre 2005	6
2.2 Levé topo-bathymétrique du LIDAR 2008	8
2.3 Levé topo-bathymétrique de janvier 2013	9
2.4 Levé topo-bathymétrique de décembre 2013	10
3 Evolution de la plage et des fonds marins	11
3.1 Evolution des profils de plage	12
3.2 Comparaison des fonds	22
3.2.1 Période 1996-2005.....	22
3.2.2 Période 2005-2013.....	23
3.3 Evolution du trait de côte	29
3.3.1 Jusqu'à 2005 (source : ULCO-CETMEF et SOGREAH 2006)	29
3.3.2 Evolution sur la période 2000-2014.....	32
4 Synthèse sur l'évolution du littoral d'étude.....	38
5 Synthèse sur le fonctionnement hydrosédimentaire général de la baie de Wissant	40
5.1 La baie de Wissant.....	40
5.2 Evolution des fonds de la baie de Wissant et du Banc à la Ligne	41
5.3 Evolution du trait de côte en baie de Wissant.....	42
5.4 Interactions entre l'évolution des fonds et l'évolution du trait de côte en Baie de Wissant	43
Chapitre 3 - Dimensionnement du réensablement	45
1 Données sédimentologiques.....	45
1.1 Analyses bibliographiques	45
1.2 Sédiments superficiels dans les petits fonds	45
1.3 Granulométrie des sables constituant la plage	46
1.3.2 Données ULCO	47
1.3.3 Données SOGREAH – IN VIVO	50
2 Etude du rechargement	52
2.1 Gisements potentiels.....	52
2.2 Mise à jour de la nature des sédiments au niveau de Calais	53
2.3 Granulométrie des sables à apporter.....	58
2.4 Profils de plage rechargés	59
2.5 Linéarisation du littoral	59
2.6 Définition des profils d'équilibre	59
2.7 Estimation des volumes brut de rechargement	60
2.8 60	60
2.9 Estimation des volumes des pertes annuels	61
3 Proposition de types de solutions envisageables	63
3.1 Le rechargement.....	63
3.2 Mesures réductrices permettant de limiter la perte des sédiments rechargés	63
3.3 Proposition de scénarios envisageables.....	65

3.4 Cas particulier du rechargement du Banc à la Ligne.....	65
3.5 Suivi et entretien de la plage.....	66

Liste des figures

Figure 1 - Localisation du projet	1
Figure 2 : Emprise de la zone d'étude	5
Figure 3 : Emprises des levés topo-bathymétriques disponibles	6
Figure 4 : Levé topo-bathymétrique de septembre 2005	7
Figure 5 : Marégramme du levé topo-bathymétrique de septembre 2005 (source : SHOM)	7
Figure 6 : Levé topo-bathymétrique du LIDAR 2008	8
Figure 7 : Levé topo-bathymétrique de janvier 2013	9
Figure 8 : Marégramme du levé topo-bathymétrique de janvier 2013 (source : SHOM,2013)	9
Figure 9 : Levé topo-bathymétrique de décembre 2013	10
Figure 10 : Marégramme du levé topo-bathymétrique de décembre 2013 (source : SHOM, 2013)	11
Figure 11 : Localisation des profils P460 à P530.....	13
Figure 12 : Emprise des zones de cubature	24
Figure 13 : Comparaison des fonds sur la période septembre 2005 à décembre 2013.....	26
Figure 14 : Levé bathymétrique réalisé par le SMBC en 2002 (source : ARTELIA-KVDS 2012).....	31
Figure 15 : Dunes d'Aval : Traits de côte passés et profils.....	33
Figure 16 : Dunes d'Aval : Tendances évolutives passées du trait de côte	34
Figure 17 : Dunes d'Amont : taux d'évolution passés du trait de côte	36
Figure 18 : Bilan de l'évolution passée du trait de côte depuis 1996/2000 à 2014	37
Figure 19 : Photo des pieux bois mis en place en 2013 au niveau de la dune d'Aval (EGIS, 2013).....	40
Figure 20 : Evolution des fonds dans la Baie de Wissant sur la période 1911-2002 (source : Aernouts (2005))	41
Figure 21 : Evolution du trait de côte à l'échelle de la Baie de Wissant sur la période 1963-2000 (source : Aernouts (2005))	43
Figure 22 : Données de granulométrie dans la Baie de Wissant	45
Figure 23 : Localisation des prélèvements effectués par l'ULCO en 2003 (SOGREAH, 2006)	48
Figure 24 : Cartographie des indices granulométriques sur l'estran (en haut, diamètre moyen ; au milieu, tri ; en bas, asymétrie) (SOGREAH, 2006)	49
Figure 25 : Localisation des prélèvements effectués par IN VIVO en 2005 (SOGREAH, 2006).....	50
Figure 26 : Analyses granulométriques de septembre 2005 (SOGREAH, 2006)	51
Figure 27 : Granulométrie, D50 (mm) – Septembre 2005 (SOGREAH, 2006)	51
Figure 28 : Localisation des points de prélèvements lors de la campagne de FUGRO 2009-2010 (ARTELIA, 2012).....	54
Figure 29 : D50 (en μm) des prélèvements du nouveau bassin portuaire (B), profondeur TN (en m) (ARTELIA, 2012).....	54
Figure 30 : D50 (en μm) des prélèvements du nouveau bassin (C), profondeur TN (en m) (ARTELIA, 2012).....	55
Figure 31 : D50 (en μm) des prélèvements au Nord de la nouvelle digue (D), profondeur TN (en m) (ARTELIA, 2012).....	55
Figure 32 : D50 (en μm) des prélèvements à l'endroit de la nouvelle digue (J), profondeur TN (en m) (ARTELIA, 2012).....	55
Figure 33 : D50 (en μm) des prélèvements aux postes portuaires (P), profondeur TN (en m) (ARTELIA, 2012).....	56
Figure 34 : D50 (en μm) à côté du rejet TIOXIDE existant (R), profondeur TN (en m) (ARTELIA, 2012).....	56

Figure 35 : D50 (en μm) des prélèvements dans la zone des futurs terre-pleins (T), profondeur TN (en m) (ARTELIA, 2012)	56
Figure 36 : D50 (en μm) des prélèvements divers autour de la zone du projet (V), profondeur TN (en m) (ARTELIA, 2012)	57
Figure 37 : Plan masse du changement substantiel d'utilisation des zones du Domaine Public Maritime – Calais Port 2015 (source : Dossier d'enquête publique)	58
Figure 38 : Secteurs du littoral d'étude	64

Liste des tableaux

Tableau 1 : Zones de cubature sur la période 1996-2005 (source : SOGREAH (2006)).....	22
Tableau 2 : Evolution passée du trait de côte dans la Baie de Wissant (source : SOGREAH (2006))	30
Tableau 3 : Définition des notions utilisées pour l'analyse granulométrique des sables (source : SOGREAH (2006)).....	47

Chapitre 1 - Introduction

1 Contexte du projet

Située dans le Pas-de-Calais (62), la baie de Wissant s'ouvre sur la Manche.



Figure 1 - Localisation du projet

La baie de Wissant est un important site naturel touristique. Elle est labellisée grand site de France depuis 2011. D'un point de vue environnemental, la baie fait partie du site Natura 2000 du cap Gris Nez (Directive habitat) et est située en Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF) de type 1.

Depuis les années 1980, la baie est soumise à des phénomènes d'érosion dus à l'action de la mer et du vent. Cette érosion engendre un recul du trait de côte et un abaissement de l'estran ayant pour conséquences :

- L'exposition des ouvrages et des dunes situées en haut de plage,
- L'augmentation du risque de submersion marine en cas de tempête,
- La diminution de l'intérêt touristique lié à la présence de la plage de Wissant (réduction de la surface de sable sec à marée basse)

De nombreuses études ont démontré l'intérêt de procéder à un rechargement massif de la plage pour recréer une plage avec un niveau suffisant dans le but de :

- Assurer une protection des ouvrages et des dunes de haut de plage en dissipant l'énergie des vagues sur la plage,
- **Solutionner les problématiques soulevées précédemment** sans impact paysager.
- **Améliorer** les qualités balnéaires du site et accroître sa valeur touristique,

Des levés topographiques de la plage ont été réalisés à plusieurs reprises depuis 2005, notamment à l'aide du dispositif LIDAR (Light Detection And Ranging) le 22 avril 2008 et 2011.

Les études précédentes ont aussi permis d'identifier des sites d'emprunt potentiels pour la fourniture du sable de rechargement qui convienne, notamment aux abords de Calais à environ 15 km de la baie de Wissant.

2 Objet de la mission

L'objectif de cette étude est d'actualiser les conclusions et préconisations qui sont proposées dans l'étude de « Requalification de la baie de Wissant, réensablement de la partie centrale » réalisée par SOGREAH en 2006.

Cette étude est décomposée en 2 phases :

- Phase 1 : Dimensionnement du réensablement de la partie centrale de la baie de Wissant
- Phase 2 : Elaboration de scénarios de réensablement – Programme de suivi de l'entretien

Le présent rapport s'attache à développer la phase 1.

Chapitre 2 - Mise à jour de l'analyse hydrosédimentaire

L'étude de SOGREAH de 2006 est la dernière étude exhaustive ayant été réalisée sur l'évolution du rivage et sur la dynamique morphodynamique de l'estran et des petits fonds.

L'objectif de ce chapitre est de mettre à jour cette analyse hydrosédimentaire avec les données récentes disponibles depuis 2006 à ce jour.

1 Collecte des données

Afin de pouvoir mettre à jour les tendances évolutives du trait de côte sur la partie centrale de la baie de Wissant, entre la dune d'Aval et la dune d'Amont, à compter de la dernière étude d'analyse globale des tendances évolutives, le Pôle Métropolitain de la Côte d'Opale (PMCO) a mis à la disposition d'Egis, à la réunion de démarrage de l'étude, les données topographiques et bathymétriques ainsi que l'ensemble des études existantes en sa possession relatives à l'hydrodynamique du littoral de la côte d'Opale (l'étude de Sogreah-In Vivo de 2006 est la dernière étude qui fasse un point sur ce sujet).

Egis s'est rapproché également de la DREAL Nord Pas de Calais qui dispose d'études sur ce littoral (<http://www.nord-pas-de-calais.developpement-durable.gouv.fr/?-Risques-naturels-littoraux>) et du Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences – UMR LOG 8187 de l'Université du Littoral Côte d'Opale (ULCO), en particulier des professeurs A. Hequette et M-H. Ruz et leur équipe qui possèdent une excellente connaissance de la zone d'étude et ont publié de nombreuses études sur la morphodynamique de ce littoral (par exemple, la dernière en date en 2012 de A. Hequette concernant l'évolution du littoral de la Baie de Wissant et thèses comme celle de A. CARTIER en 2011).

La liste ci-après dresse un état des rapports consultés dans le cadre de cette étude :

- [1] « Coastal erosion related to a sediment deficit in the nearshore zone: the case of Wissant Bay, Northern France », Arnaud Héquette et Marie-Hélène Ruz, ULCO, laboratoire GéoDAL, CoPraNet.
- [2] Aernouts D. et Héquette A. (2006) – « L'évolution du rivage et des petits-fonds en baie de Wissant pendant le XXème siècle, Pas-de-Calais ». Géomorphologie, 1, 49-64.
- [3] CETMEF (2004) – Protection de la Baie de Wissant, synthèse des études réalisées par le CETMEF en 2004 ».
- [4] Battiau-Queney Y. (2006) – « Quelle stratégie adopter face aux dégâts actuels et prévisibles de l'érosion marine ? ». Atelier de Wissant (6-7 septembre 2006), EUCC.
- [5] SOGREAH (2006) – « Requalification du site de la baie de Wissant - Réensablement de la partie centrale, phases 1 à 3 », N°1711505, Syndicat mixte de la Côte d'Opale.

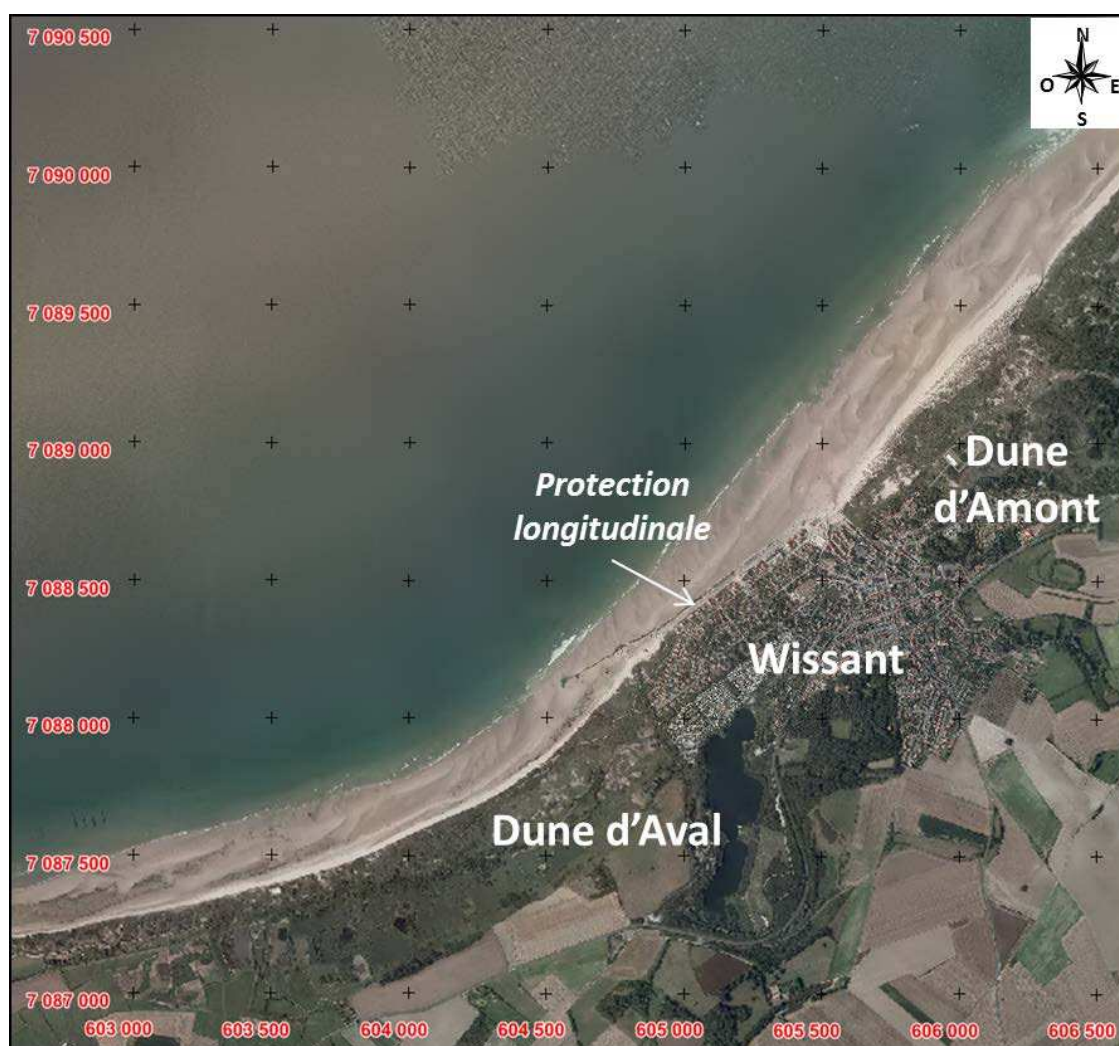
- [6] SOGREAH (2009) – « Etudes d'impact hydrosédimentaires de l'extension du Port de Calais » - Rapport Mission 1, Recueil et synthèse des données, n°1711848, juillet 2009.
- [7] ARTELIA (2012) - « Calais 2015 - MOE conception et réalisation des infrastructures » - Avant-Projet (phase 1) - R0.9 synthèse des données du sol à draguer
- [8] Hervé CHAMLEY, Philippe CLABAUT et Christian BECK (novembre 1985) – « Baie de Wissant, évolution du trait de côte », Laboratoire de Sédimentologie et Géochimie, Université des Sciences et Techniques de Lille. Convention région Nord - Pas-de-Calais/IFREMER, programme environnement.
- [9] C. AUGRIS, P. CLABAUT et O. VICAIRE (1990) – « Le domaine marin du Nord-Pas-de-Calais, Nature, morphologie et mobilité des fonds », IFREMER et Région Nord-Pas-de-Calais.
- [10] David Aernouts (2005), Thèse : « Le rôle des changements bathymétriques à l'avant-côte sur l'évolution des littoraux meubles du Cap Gris-Nez à Dunkerque, Côte d'Opale, Nord de la France ».
- [11] Dossier d'enquête publique – Volume F pièce 11 du projet du port de Calais 2015.

2 Caractérisation de la topographie de l'estran – Levés topo-bathy disponibles

L'ensemble des cotes altimétriques évoquées dans cette étude sera rapporté au zéro CM ou zéro hydrographique correspondant au niveau des plus basses mers.

A titre informatif, le zéro hydrographique à Calais se situe au-dessous du nivellement général (0 m IGN) (à -3,45 m IGN d'après le guide du SHOM 2013).

Dans le but de pouvoir comparer, sur une linéaire de rivage d'environ 2500m, la topographie actuelle de l'estran entre la dune d'Aval et la dune d'Amont et les données topographiques plus anciennes (Sogreah-In vivo de 2005 ; profils SMBC) ainsi que le levé topographique sur 1 600 m réalisé en janvier 2013 (dans le cadre des travaux de réfection du perré), **un relevé topographique de l'estran actuel a été réalisé depuis le haut de plage jusqu'à des fonds compris entre +0,5 et +1,0 m CM.**



Orthophoto 2009 (AERODATA France, PPIGE)

Coordonnées Lambert 93

Figure 2 : Emprise de la zone d'étude

Nous disposons des données topo-bathymétriques suivantes :

- Levé topo-bathy de septembre 2005 réalisé par SOGREAH-IN VIVO,
- Levé LIDAR de 2008,
- Levé de janvier 2013 réalisé dans le cadre des travaux de réfection du perré par le cabinet de géomètres experts SCP BLEARD LECOCQ.
- Levé de décembre 2013 réalisé par BPH-EGIS dans le cadre de la présente étude.

L'ensemble de ces différents levés topo-bathymétriques disponibles ont été traités à l'aide du logiciel de SIG Map Info et de son module intégré VERTICAL MAPPER.

La figure ci-après présente l'emprise des levés topo-bathymétriques disponibles :

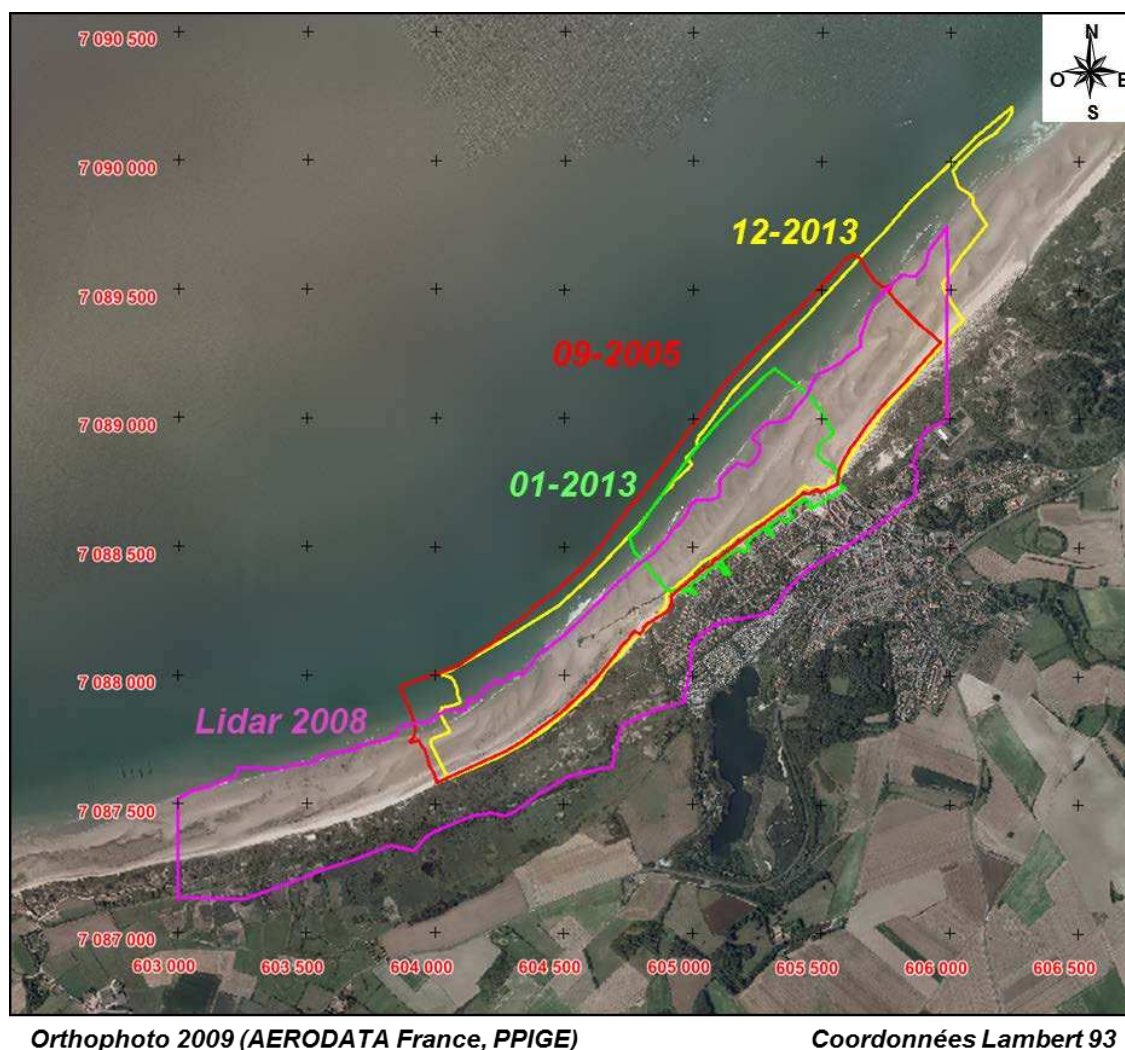


Figure 3 : Emprises des levés topo-bathymétriques disponibles

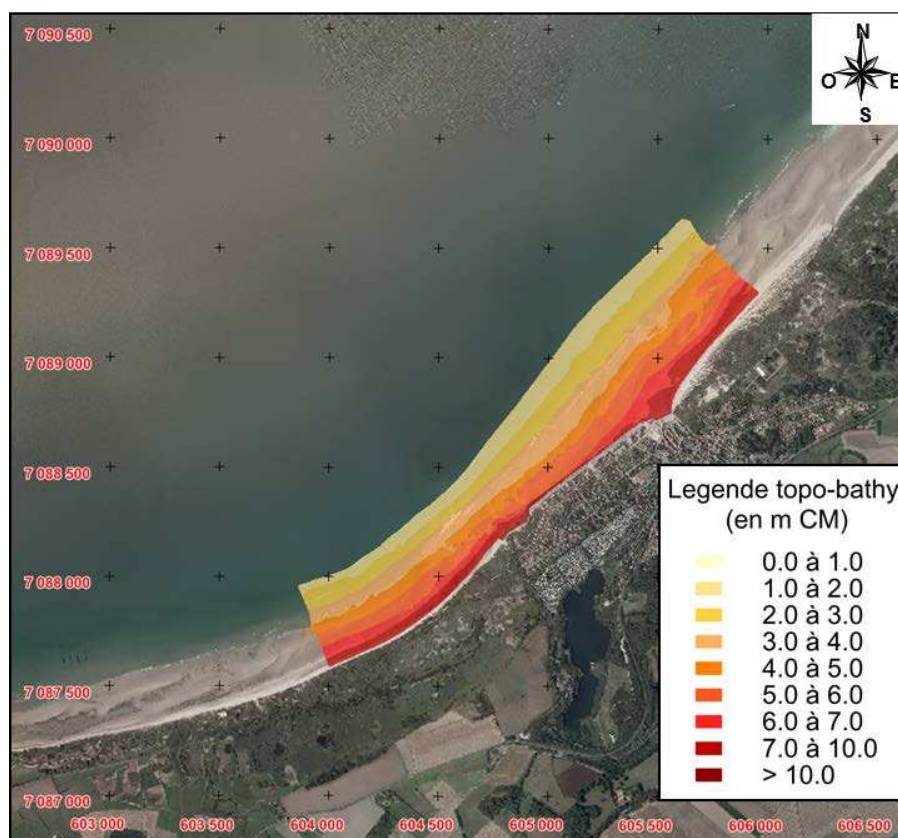
En annexe 1 sont présentés les levés topo-bathymétriques disponibles ainsi que la densité des points levés pour chacun d'entre eux afin d'analyser la qualité de l'interpolation du levé topo-bathymétrique.

Ensuite, une comparaison des fonds a été réalisée pour visualiser les zones en érosion et en sédimentation avec des calculs de cubature. Afin de compléter l'analyse de la dynamique morpho-sédimentaire du site, il a été réalisé une analyse sur l'évolution des profils de plage, des isolignes et du trait de côte.

2.1 Levé topo-bathymétrique de septembre 2005

Le levé topo-bathymétrique a été réalisé par la société IN VIVO dans le cadre de l'étude de SOGREAH durant la semaine du 19 au 23 Septembre 2005. Les forts coefficients de marée (111 à 100) ont permis d'atteindre le bas de l'estran.

La figure ci-après présente le levé topo-bathymétrique de septembre 2005 :



Orthophoto 2009 (AERODATA France, PPIGE)

Figure 4 : Levé topo-bathymétrique de septembre 2005

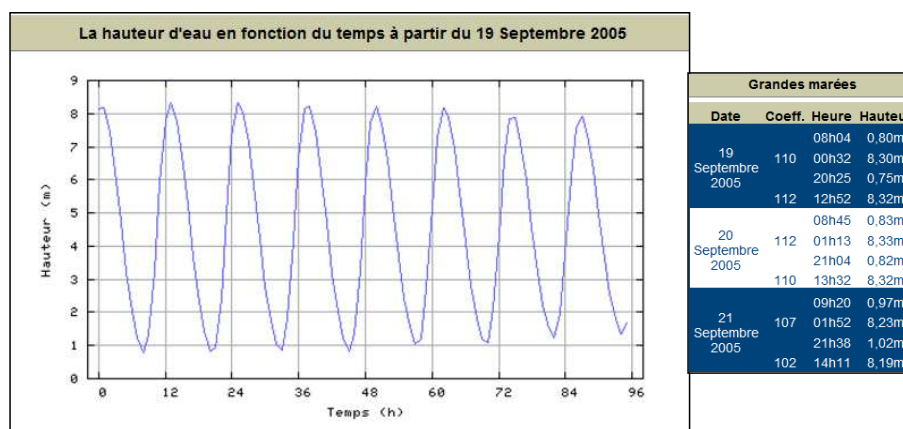
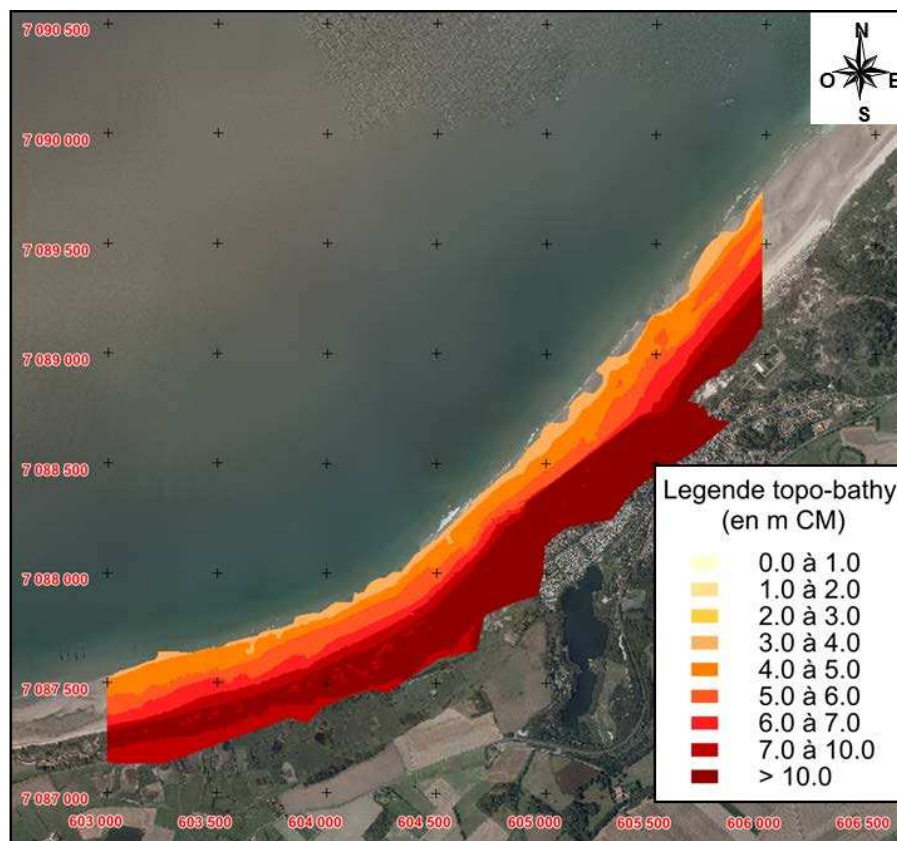


Figure 5 : Marégramme du levé topo-bathymétrique de septembre 2005 (source : SHOM)

2.2 Levé topo-bathymétrique du LIDAR 2008

Le levé topo-bathymétrique du LIDAR du 22 avril 2008 est disponible et est présenté sur la figure ci-après :



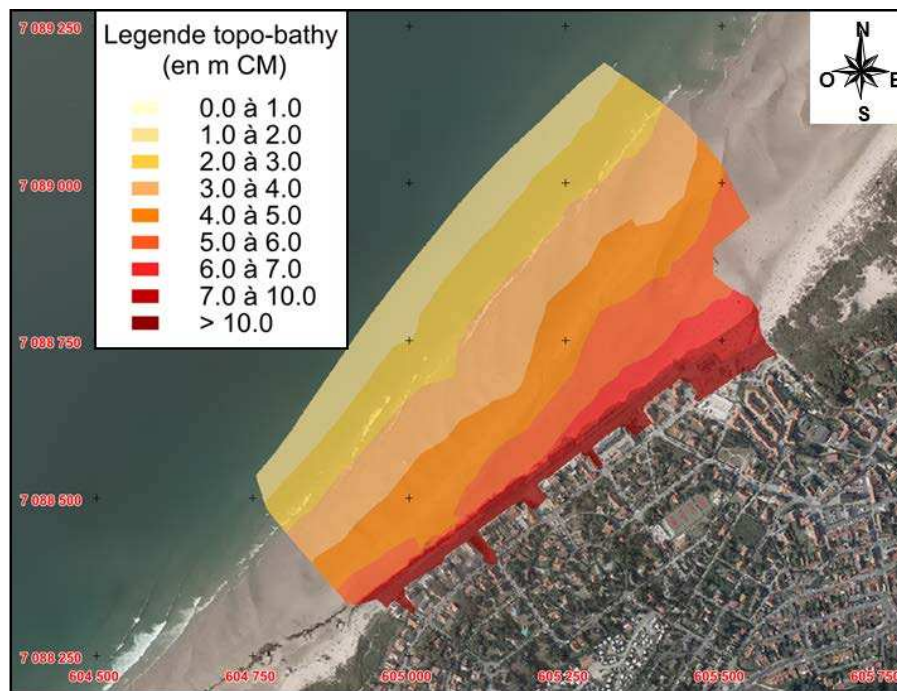
Orthophoto 2009 (AERODATA France, PPIGE)

Figure 6 : Levé topo-bathymétrique du LIDAR 2008

2.3 Levé topo-bathymétrique de janvier 2013

Le levé topo-bathymétrique a été réalisé dans le cadre des travaux de réfection du perré par le cabinet de géomètres experts SCP BLEARD LECOCQ le 11 janvier 2013 (coefficients de 93 à 98).

La figure ci-après présente le levé topo-bathymétrique de janvier 2013 :



Orthophoto 2009 (AERODATA France, PPIGE)

Figure 7 : Levé topo-bathymétrique de janvier 2013

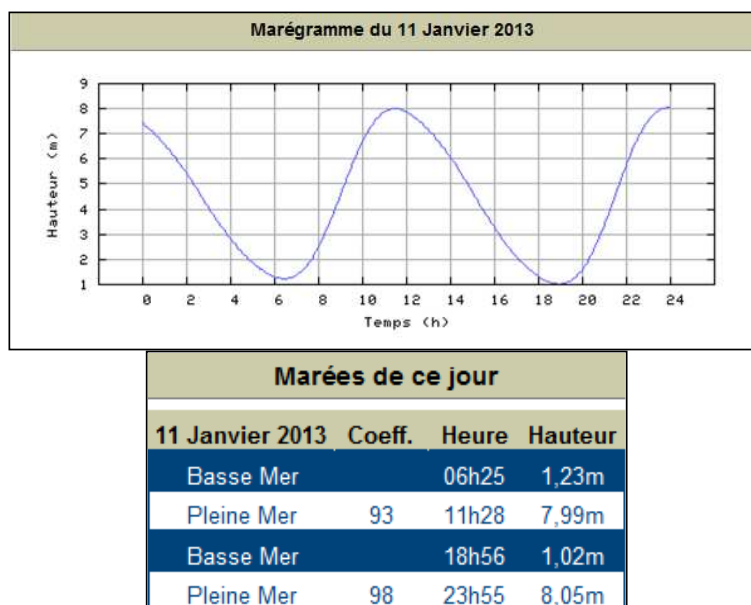
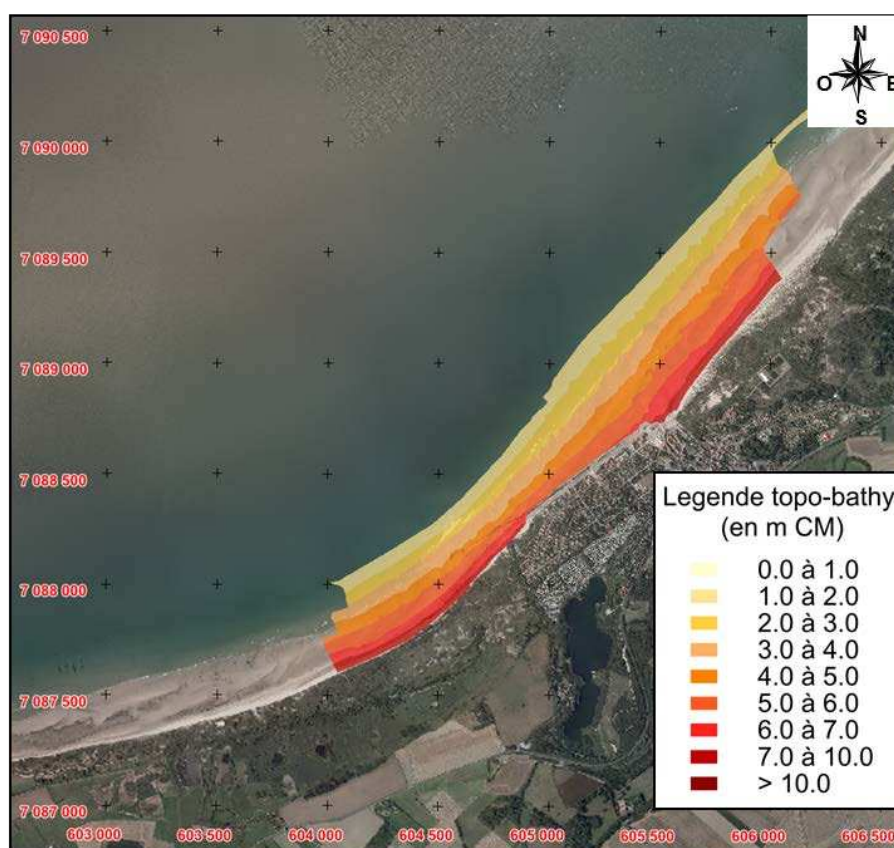


Figure 8 : Marégramme du levé topo-bathymétrique de janvier 2013 (source : SHOM,2013)

2.4 Levé topo-bathymétrique de décembre 2013

La société BPH a réalisé le 05-12-2013 un levé topo-bathymétrique depuis le haut de plage jusqu'à des fonds compris entre +0,5 et +1,0 m CM. Initialement, le levé devait s'étendre jusqu'à des fonds de -1,0 m CM grâce au fort coefficient de marée de ce jour (103). Cependant, le jour du levé a coïncidé avec la tempête Xaver qui a généré d'importants dégâts sur le littoral du Nord-Pas-de-Calais à cause d'une conjonction entre une forte houle et un fort niveau d'eau (coefficient de marée de 103). Ainsi, il n'a pas été possible de lever la bathymétrie jusqu'à -1,0 m CM.

Conformément au CCTP, il a été levé un profil tous les 50 m sur les 2500 m de rivage à étudier et environ 4 profils transversaux espacés de 100 m.



Orthophoto 2009 (AERODATA France, PPIGE)

Figure 9 : Levé topo-bathymétrique de décembre 2013

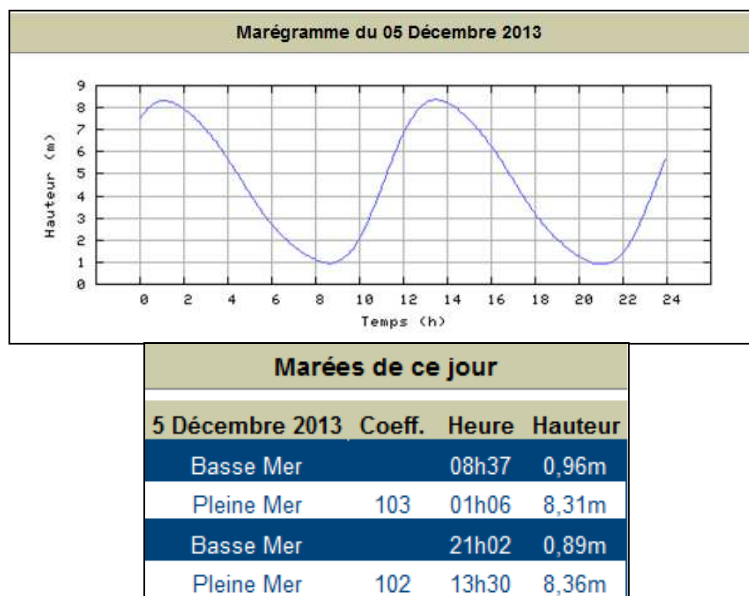


Figure 10 : Marégramme du levé topo-bathymétrique de décembre 2013 (source : SHOM, 2013)

Méthode utilisée pour la réalisation du levé topo-bathymétrique :

Le levé a été réalisé par méthode GPS avec 2 récepteurs bi-fréquence de type Leica GPS 1200 :

- 1 pivot fixe rattaché à un point de référence connu en XYZ positionné sur le perré,
- 1 mobile déplacé sur l'ensemble de la zone à couvrir et connecté par modem radio au pivot).

Le déplacement a été assuré par un quad équipé d'un mât fixe et de suspensions bloqués

Précision du levé topo-bathymétrique :

BPH a satisfait aux prescriptions de l'arrêté ministériel du 20 mai 1948 modifié par l'arrêté ministériel du 25 mars 1981, fixant les conditions d'exécution et de publication des levés de plan entrepris par les services publics et respectera les dispositions de l'arrêté du 16 septembre 2003, fixant les tolérances applicables aux levés (Classe I).

La précision du levé topo-bathymétrique effectué est centimétrique (+/- 1 cm).

3 Evolution de la plage et des fonds marins

L'analyse qui suit portera successivement sur l'évolution de l'estran (>0 mCM) avec la réalisation d'une étude des profils transversaux, sur les comparaisons des fonds (différentiels, cubatures) et sur l'évolution du trait de côte. Nous compléterons cette analyse par la description des conditions hydro-sédimentaires de la dynamique de la Baie d'après la bibliographie existante.

Les évolutions des fonds et de la plage traduisent la résultante des différents mouvements sédimentaires en jeu auxquels il faut ajouter l'influence des actions humaines.

3.1 Evolution des profils de plage

SOGREAH a effectué en 2006 une analyse de l'évolution des profils de plage sur la période 1996-2005. Grâce aux derniers levés topo-bathymétriques disponibles (09-2005, 2008, 01-2013 et 12-2013), nous avons actualisé cette analyse sur la période 2005-2013.

Le SMBC a effectué annuellement ou bi-annuellement entre le printemps 1996 et l'automne 2012 voire même février 2014 pour certains levés (données fournies par la DDTM62). Les levés sur la période printemps 1996 à printemps 2004 ont été étudiés par SOGREAH en 2006 afin d'analyser plus précisément l'évolution de la plage et les autres levés de 2005 à automne 2012 ont été analysés par EGIS dans le cadre de son complément d'étude sur la période 2005-2013.

Ces levés ont été effectués sur la partie supérieure de l'estran (largeur de plage d'environ 250 mètres), allant du perré à la cote +2/+3 m CM. La position des profils est fournie sur la figure 7 en Annexe 2.

Les cotes sont exprimées en niveau Cote Marine.

SOGREAH (2006) puis EGIS ont repris ces différents profils pour l'analyse :

- Profil 460 : pied de dune Amont,
- Profil 470 : pied du perré devant poste de secours,
- Profil 480 : pied du perré devant front de mer,
- Profil 490 : pied du perré devant front de mer,
- Profil 500 : pied de la protection enrochement,
- Profil 510 : secteur du mur anti-char,
- Profil 520 : pied de dune aval,
- Profil 530 : pied de dune aval,

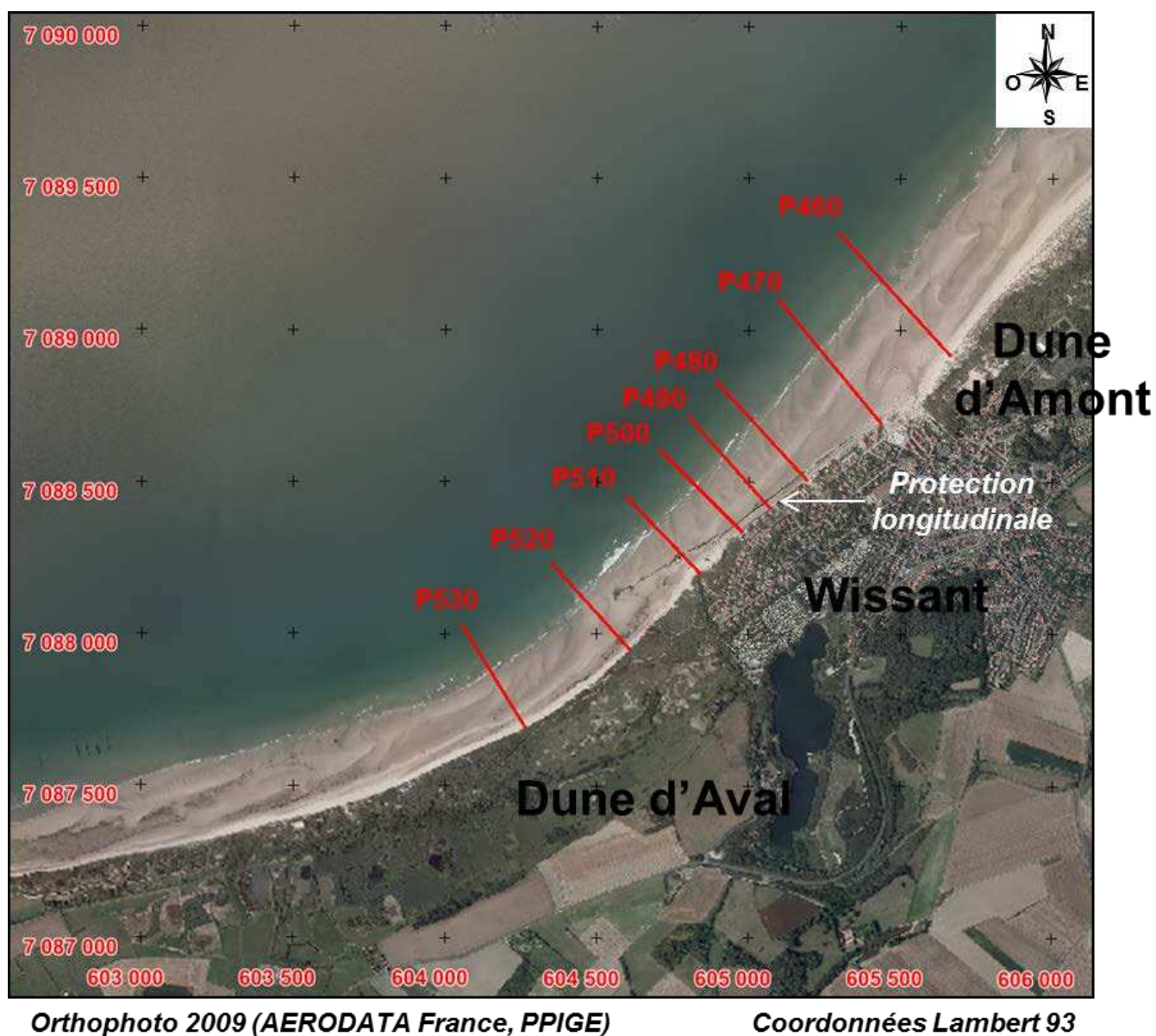


Figure 11 : Localisation des profils P460 à P530

Ces différents profils sont présentés sur les figures 8 à 15 en Annexe 2.

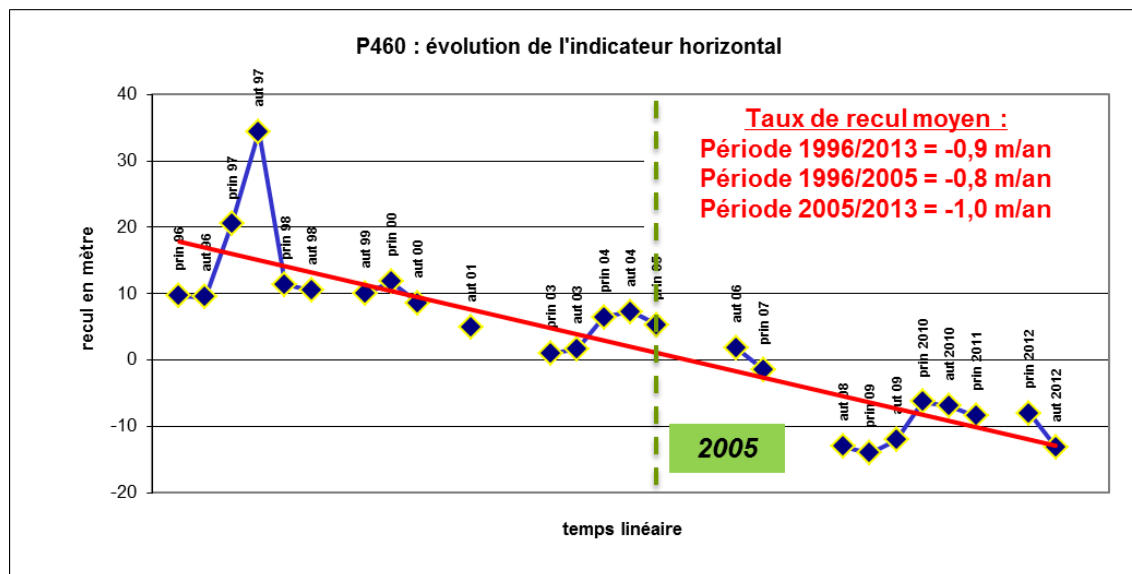
Profil 460

Ce profil est réalisé en face de la dune d'Amont, à 200 mètres au nord-est de la terminaison du perré.

Les profils 460 entre 1996 et 2013 sont présentés sur la figure 8 en Annexe 2.

Le trait de côte au niveau du profil 460 n'est pas fixé en haut de plage donc le taux de recul moyen en m/an a pu être calculé pour les périodes 1996/2013, 1996/2005 et 2005/2013.

Le graphique suivant présente l'évolution du recul dans le temps entre 1996 et 2013.



Période 1996-2005 :

On a une tendance évolutive à l'érosion sur ce profil : -3 mètres en 8 années de suivi. Entre prin96 et prin00, la tendance était à l'accrétion avec un maximum de +24 mètres. On note cependant une période de forte érosion entre aut97 et prin98 avec quasiment - 22 mètres.

Depuis aut00 on est en érosion avec un maximum de -8.1 mètres. On peut noter les fortes variabilités saisonnières sur ce profil. Ces résultats sont assez atypiques du reste du secteur de la Dune d'Amont dont la tendance générale est à l'accrétion. On peut supposer que ces résultats sont à rattacher à la position de ce profil, assez peu éloigné de la terminaison du perré (effet de bord).

Période 2005-2013 :

Le haut de l'estran est en recul sur la période 2005-2013 : en fonction de l'altitude considérée du profil (entre +6 et +9 m CM), le recul atteint des valeurs de l'ordre de -15 m à -40 m. La zone la plus érodée se situe vers +7 m CM avec un recul de l'ordre de -40 m.

Entre +6 et +4 m CM : on constate une zone de mobilité de la barre sableuse sur la période.

Dans le bas estran, < 4 m CM : la pente des fonds est de l'ordre de 1 à 1,2% et les fonds se sont érodés avec un abaissement de l'ordre de -0,3 à -0,8 m.

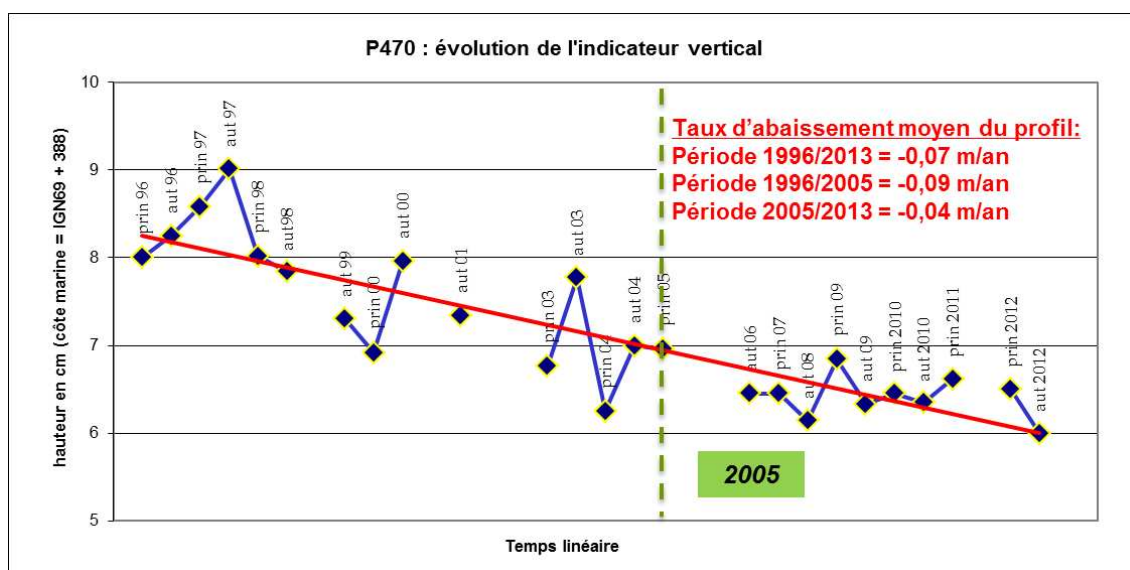
Profil 470

Ce profil est le profil situé le plus à l'Est au droit du perré.

Les profils 470 entre 1996 et 2013 sont présentés sur la figure 9 en Annexe 2.

Le trait de côte au niveau du profil 470 est fixé en haut de plage donc nous avons seulement calculé le taux d'abaissement moyen de l'estran en m/an pour les périodes 1996/2013, 1996/2005 et 2005/2013 au niveau d'un indicateur vertical situé 10 m devant l'ouvrage.

Le graphique suivant présente l'évolution de l'abaissement de l'estran dans le temps entre 1996 et 2013.



Période 1996-2005 :

Ce profil est caractérisé par une tendance forte à l'érosion depuis 1996. En 8-9 ans, le niveau de l'estran au pied de l'ouvrage s'est abaissé de 1,80 à 2 m. On observe une dépression juste devant le pied de l'ouvrage.

Période 2005-2013 :

La tendance est encore à une forte érosion depuis 2005 dans la continuité de la période 1996-2005. En effet, le niveau de l'estran au pied de l'ouvrage s'est abaissé de l'ordre de +0,5 à +1,2 m et ceux sur tout le profil comprise entre les altitudes +1 et +6,5 m CM (correspondant au haut de plage).

Le haut de l'estran se situe en 2013 à environ +6,5 m CM et la pente moyenne du profil est de l'ordre de 1,2 %.

Généralités : Cette zone est également caractérisée par de très fortes variations saisonnières au niveau de l'estran et des modifications importantes de la morphologie de l'estran. Ces variations sont de l'ordre de 1 à 2 mètres suivants les saisons, traduisant ainsi une forte instabilité du secteur.

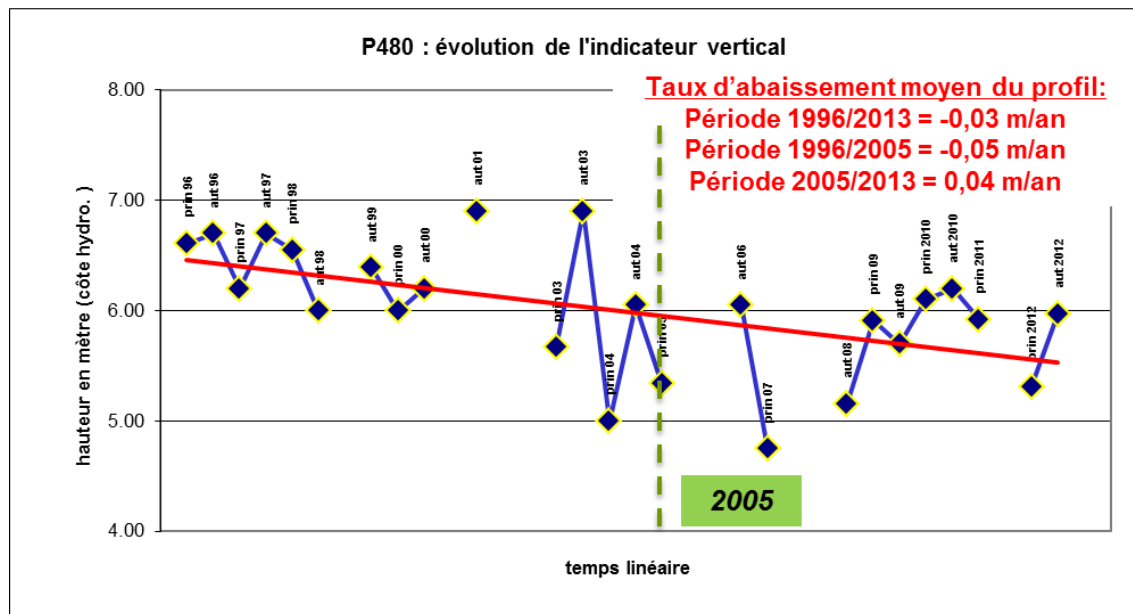
Profil 480

Ce profil au pied du perré se situe à mi-distance de l'ouvrage longitudinal.

Les profils 480 entre 1996 et 2013 sont présentés sur la figure 10 en Annexe 2.

Le trait de côte au niveau du profil 480 est fixé en haut de plage donc nous avons seulement calculé le taux d'abaissement moyen de l'estran en m/an pour les périodes 1996/2013, 1996/2005 et 2005/2013 au niveau d'un indicateur vertical situé 10 m devant l'ouvrage.

Le graphique suivant présente l'évolution de l'abaissement de l'estran dans le temps entre 1996 et 2013.



Période 1996-2005 :

Ce profil est également caractérisé par une tendance forte à l'érosion depuis 1996. En 8-9 ans, le niveau de l'estran au pied de l'ouvrage s'est abaissé de 1,3 à 1,5 m.

Période 2005-2013 :

Le profil sur la partie haute de l'estran de +3,5 à +6 m CM présente une faible tendance érosive avec un abaissement du niveau de l'estran de l'ordre de +0,2 m.

En revanche, sur la partie basse de l'estran (+3,5 à +1,0 m CM), l'érosion est plus forte avec un abaissement du niveau de l'estran de l'ordre de +0,5 à +1,0 m.

Le haut de l'estran se situe en 2013 à environ +5,5 m CM et la pente moyenne du profil est de l'ordre de 1,2 %.

Généralités : Cette zone est, comme le profil précédent, également caractérisée par de très fortes variations saisonnières au niveau de l'estran et des modifications importantes de la morphologie de l'estran. Ces variations sont de l'ordre de 1 à 2 mètres suivants les saisons, traduisant ainsi une forte instabilité du secteur.

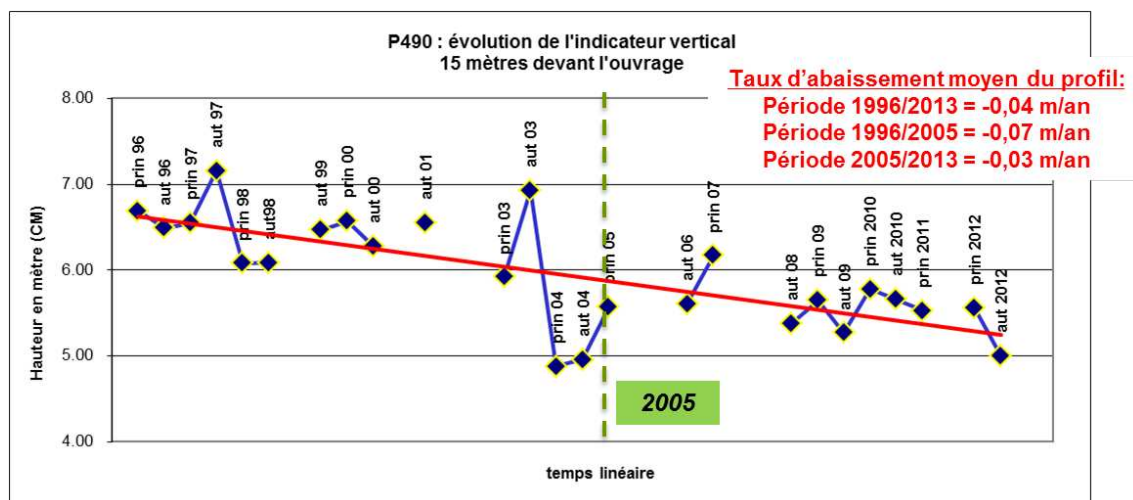
Profil 490

Le profil se situe au pied du perré sur son secteur Ouest.

Les profils 490 entre 1996 et 2013 sont présentés sur la figure 11 en Annexe 2.

Le trait de côte au niveau du profil 490 est fixé en haut de plage donc nous avons seulement calculé le taux d'abaissement moyen de l'estran en m/an pour les périodes 1996/2013, 1996/2005 et 2005/2013 au niveau d'un indicateur vertical situé 10 m devant l'ouvrage.

Le graphique suivant présente l'évolution de l'abaissement de l'estran dans le temps entre 1996 et 2013.



Période 1996-2005 :

On observe de très fortes oscillations de 1 à 2 mètres entre les différentes périodes de l'année.

Sur le plus long terme, on note une tendance générale à l'érosion, avec un abaissement de l'estran d'environ 1,5 m en 8 ans.

Période 2005-2013 :

La tendance est encore à une forte érosion depuis 2005 dans la continuité de la période 1996-2005. En effet, le niveau de l'estran au pied de l'ouvrage s'est abaissé de l'ordre de +0,5 à +1,5 m et cela sur tout le profil compris entre les altitudes +1 et +5,5 m CM (correspondant au haut de plage).

Le haut de l'estran se situe en 2013 à environ +5,5 m CM et la pente moyenne du profil est de l'ordre de 1,7 %.

Ce profil est caractérisé par des variations saisonnières du niveau de l'estran de l'ordre de 0,5 à 1 m suivant les saisons.

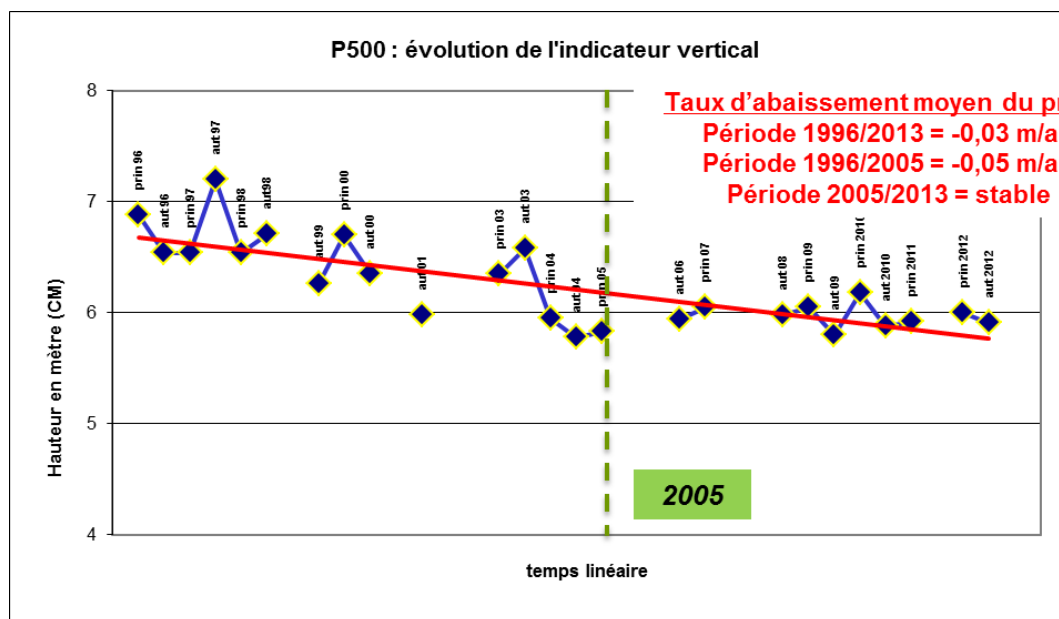
Profil 500

Ce profil est le profil situé le plus à l'Ouest au droit du perré. Il est réalisé au niveau de l'ancien mur antichar.

Les profils 500 entre 1996 et 2013 sont présentés sur la figure 12 en Annexe 2.

Le trait de côte au niveau du profil 490 est fixé en haut de plage donc nous avons seulement calculé le taux d'abaissement moyen de l'estran en m/an pour les périodes 1996/2013, 1996/2005 et 2005/2013 au niveau d'un indicateur vertical situé 10 m devant l'ouvrage.

Le graphique suivant présente l'évolution de l'abaissement de l'estran dans le temps entre 1996 et 2013.



Période 1996-2005 :

On constate là encore de fortes oscillations du niveau de l'estran (1 à 2 mètres). Le niveau de septembre 2005 s'est encore abaissé depuis le printemps 2004. Entre 1996 et 2005, le niveau de l'estran s'est abaissé d'environ 2 mètres.

Période 2005-2013 :

Sur la partie haute de l'estran (entre +5 et +6 m CM) et sur un linéaire de l'ordre de 35 m, il a été observé une légère sédimentation avec une hausse du niveau de l'estran de +0,2 à +0,5 m.

En revanche, sur le reste du profil (altitude < à +5 m CM), les fonds se sont abaissés de l'ordre de +0,5 à +1,0 m témoignant de l'intense érosion devant le perré.

Le haut de l'estran se situe en 2013 à environ +6,0 m CM et la pente moyenne du profil est de l'ordre de 2 %.

Ce profil est caractérisé par des variations saisonnières du niveau de l'estran de l'ordre de 0,5 à 1 m suivant les saisons.

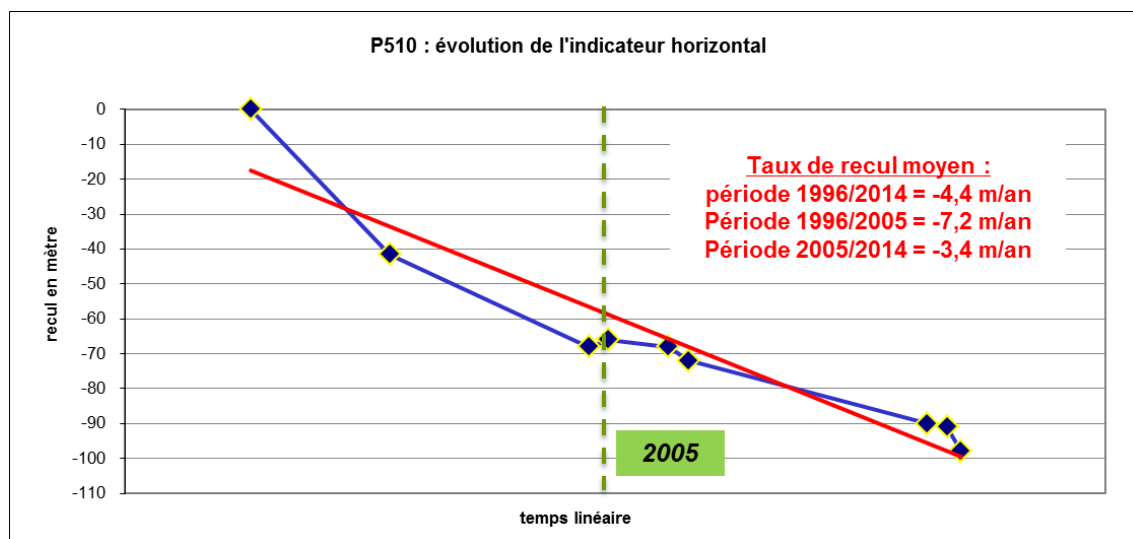
Profil 510

Ce profil est situé en pied de dune dans le secteur de l'ancien mur anti-char à l'Ouest immédiat du perré de Wissant.

Les profils 510 entre 1996 et 2013 sont présentés sur la figure 13 en Annexe 2.

Le trait de côte au niveau du profil 510 n'est pas fixé en haut de plage donc nous avons pu calculer le taux de recul moyen en m/an pour les périodes 1996/2013, 1996/2005 et 2005/2013.

Le graphique suivant présente l'évolution du recul dans le temps entre 1996 et 2013.



Période 1996-2005 :

Ce profil, situé en pied de dune, est caractérisé par une meilleure stabilité du niveau de l'estran même si on distingue des variations saisonnières pouvant atteindre 0,5 à 1,0 m, et des périodes successives d'accrétion et d'érosion. La tendance générale actuelle est à l'érosion.

Période 2005-2013 :

La tendance érosive entrevue lors de la période 1996-2005 s'est encore accentuée avec un recul important du pied de dune de l'ordre de 40 m au niveau de l'altitude +8 m CM.

Sur l'ensemble du profil, le niveau de l'estran s'est abaissé de l'ordre de +0,5 à +1,0 m.

La pente moyenne du profil est de l'ordre de 2,1 %.

Ce profil est caractérisé par des variations saisonnières du niveau de l'estran de l'ordre de 0,5 à 1 m suivant les saisons.

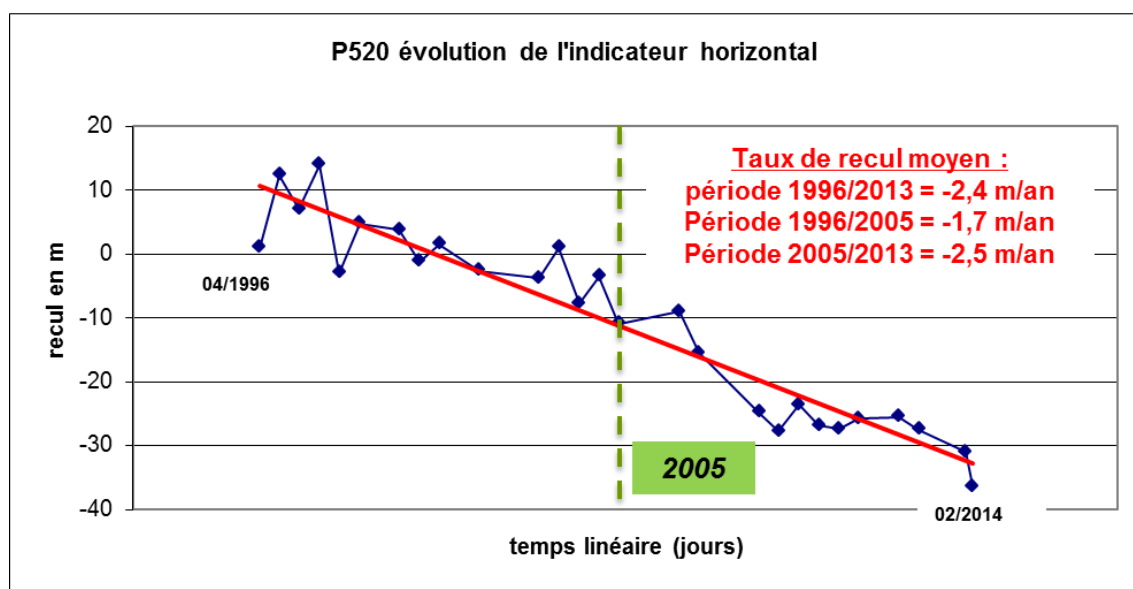
Profil 520

Ce profil se situe au pied de la dune d'Aval.

Les profils 520 entre 1996 et 2013 sont présentés sur la figure 14 en Annexe 2.

Le trait de côte au niveau du profil 520 n'est pas fixé en haut de plage donc nous avons pu calculer le taux de recul moyen en m/an pour les périodes 1996/2013, 1996/2005 et 2005/2013.

Le graphique suivant présente l'évolution du recul dans le temps entre 1996 et 2013.



Période 1996-2005 :

Ce profil est caractérisé par une tendance générale à l'érosion. Les variations saisonnières y sont également importantes de l'ordre de 0,5 à 1,0 m.

Période 2005-2013 :

La tendance érosive entrevue lors de la période 1996-2005 s'est encore accentuée avec un recul important du pied de dune de l'ordre de 30 m au niveau de l'altitude +8 m CM.

Sur l'ensemble du profil, le niveau de l'estran s'est abaissé de l'ordre de +1,0 m.

La pente moyenne du profil est de l'ordre de 2,0 %.

Ce profil est caractérisé par des variations saisonnières du niveau de l'estran de l'ordre de 0,5 à 1 m suivant les saisons.

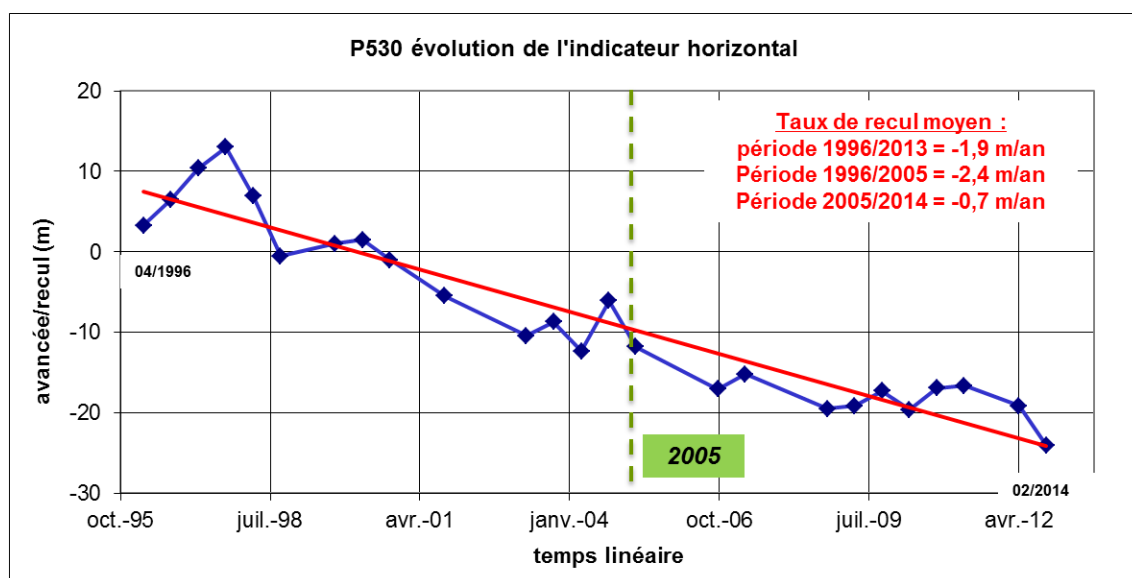
Profil 530

Ce profil se situe au pied de la dune d'Aval.

Les profils 530 entre 1996 et 2013 sont présentés sur la figure 15 en Annexe 2.

Le trait de côte au niveau du profil 530 n'est pas fixé en haut de plage donc nous avons pu calculer le taux de recul moyen en m/an pour les périodes 1996/2013, 1996/2005 et 2005/2013.

Le graphique suivant présente l'évolution du recul dans le temps entre 1996 et 2013.



Période 1996-2005 :

Ce profil est caractérisé par une tendance générale à l'érosion. Les variations saisonnières y sont également importantes de l'ordre de 0,5 à 1,0 m.

Période 2005-2013 :

La tendance érosive entrevue lors de la période 1996-2005 s'est encore accentuée avec un recul important du pied de dune de l'ordre de 10 à 15 m au niveau de l'altitude +8 m CM.

Sur l'ensemble du profil, le niveau de l'estran s'est abaissé de l'ordre de +0,5 à +1,0 m.

La pente moyenne du profil est de l'ordre de 1,8 %.

Ce profil est caractérisé par des variations saisonnières du niveau de l'estran de l'ordre de 0,5 à 1 m suivant les saisons.

Conclusion :

Le niveau de l'estran dans le secteur d'étude a continué à s'abaisser sur la période 2005-2013 avec un abaissement moyen de l'ordre de +0,5 à +1,0 m. Il y a une forte variabilité saisonnière du niveau de l'estran de l'ordre de 0,5 à 1,0 m. L'érosion est donc marquée sur tout le secteur avec une importante érosion du cordon dunaire de la dune d'Aval. Notons également, une tendance érosive de la dune d'Amont plus affirmée sur la période 2005-2013 qu'elle ne l'était sur la période 1996-2005.

La pente moyenne du profil des fonds est de l'ordre de 1 à 2 %.

3.2 Comparaison des fonds

SOGREAH a effectué en 2006 une analyse de l'évolution des fonds sur la période 1996-2005 : différentiels et cubatures.

Premièrement, nous allons rappeler les conclusions de l'étude de SOGREAH sur la période 1996-2005 et ensuite nous allons actualiser les évolutions sur la période 2005-2013 à l'aide de la chaîne MAPINFO – VERTICAL MAPPER.

3.2.1 Période 1996-2005

Sur cette période, SOGREAH a effectué ses cubatures à partir des profils SMBC et du levé topo-bathy SOGREAH/IN VIVO de septembre 2005.

Les cubatures ont été réalisées sur trois linéaires différents :

Tableau 1 : Zones de cubature sur la période 1996-2005 (source : SOGREAH (2006))

	Profils	Linéaire
Zone complète	P530 - 410	4140 mètres
Zone du perré (SO P470)	P530 - 470	1440mètres
Dune Amont (NE P 470)	P470 - 410	2700 mètres

Compte-tenu de l'espacement des profils SMBC (entre 150 et 300 m), il convient de prendre les résultats de ces cubatures avec prudence compte tenu de la forte interpolation entre les profils. *Notons que sur la période 2005-2013 (cf. Chapitre 2 -3.2.2), les cubatures ont été réalisées à partir de levés topo-bathymétriques et non pas de profils.*

Synthèse à retenir (SOGREAH, 2006):

Sur la période 1996-2004-2005, on observe une forte érosion sur la partie située devant le perré. Sur la zone ayant fait l'objet de la comparaison, ces évaluations mettent en évidence une érosion globale de l'ordre de 85-90 000 m³ en 9 ans.

Les processus d'érosion sont concentrés devant le front de mer de Wissant, entre les profils 530 et 470 où l'on mesure une érosion de 127 000 m³ entre 1996 et 2004, et 86 000 m³ entre 1996 et 2005.

Sur cette même période (1996-2004), on peut observer un dépôt de l'ordre de 196 000 m³ sur le secteur de la Dune d'Amont.

Ces différentes évaluations mettent également en évidence l'importance des mouvements sédimentaires de la zone d'estran et notamment les fortes variations dans le profil (mouvements des barres et des bâches sous l'action des conditions hydrodynamiques).

Pour rappel, un bilan sédimentaire se définit par :

Bilan = Evolution (érosion ou sédimentation) – Apports (positifs ou négatifs)

Il n'y a pas eu d'apports artificiels sur la zone. De ce fait, le bilan sédimentaire résulte de l'évolution naturelle de la zone.

Le bilan sédimentaire sur **le secteur du perré** période est négatif. Les cubatures réalisées mettent en évidence une perte de l'ordre de 85-90 000 m³ sur la période. L'analyse des variations interannuelles ne permet cependant pas de définir une valeur précise du taux d'érosion annuel, compte tenu des forts écarts observés. Une valeur moyenne de 10-15 000 m³/an peut être retenue.

Devant le perré, le trait de côte étant figé par les ouvrages dans la partie urbanisée de la plage, les pertes se sont traduites par un abaissement progressif et significatif du niveau de l'estran, qui est estimé sur la période à environ 1,5 à 2 mètres sur 8 années, soit environ 15-20 cm par an. Dans ce secteur, l'érosion concerne aussi bien la partie haute que la partie basse de l'estran.

Au sud-ouest (dune Aval), l'estran est fortement en érosion (recul de 8 à 10 mètres sur la période).

Au nord-est (Dune Amont), d'après les levés du SMBC (410 à 450), l'estran est plutôt en accrétion. Sur la période, les volumes de dépôts sont de l'ordre de 196 000 m³ (la valeur moyenne de 20 000 m³ /an peut être retenue).

En résumé, l'analyse des évolutions de l'estran permet de mettre en évidence :

- Une tendance forte à l'érosion devant le perré et le secteur de la Dune d'Aval,
- Un abaissement important et progressif du niveau de l'estran,
- Une forte variabilité dans les évolutions annuelles et interannuelles,
- L'importance des mouvements sédimentaires transversaux et longitudinaux sur l'estran.

3.2.2 Période 2005-2013

A partir des quatre levés topo-bathymétriques en notre possession (septembre 2005, LIDAR 2008, janvier 2013 et décembre 2013), nous avons effectué des comparaisons de fonds pour comprendre l'évolution des fonds (déplacement des bancs, creusement des fosses, recul, ...).

Quatre comparaisons ont été effectuées :

- Evolution septembre 2005 – 2008,
- Evolution 2008 – décembre 2013,
- Evolution septembre 2005 – décembre 2013,
- Evolution janvier 2013 – décembre 2013.

Notons que l'évolution entre 2008 et janvier 2013 n'a pas été retenue car :

- le levé de janvier 2013 présente une emprise faible par rapport à celle de décembre 2013. Ainsi, pour une évolution sur le long terme de 2008 à 2013, le levé de décembre 2013 est bien plus représentatif que celui de janvier 2013.
- Le levé de janvier 2013 présente une faible densité de points levés et est donc susceptible d'être moins précis que celui de décembre 2013.

Cependant, il a été réalisé une comparaison entre le levé de janvier 2013 et de décembre 2013.

Six zones de cubatures ont été déterminées pour estimer les volumes d'évolution des fonds.

L'emprise des six zones de cubatures ainsi que les profils transversaux P460 à 530 ayant servis à l'analyse d'évolution des fonds de SOGREAH sur la période 1996-2005 sont présentés sur la figure ci-après :

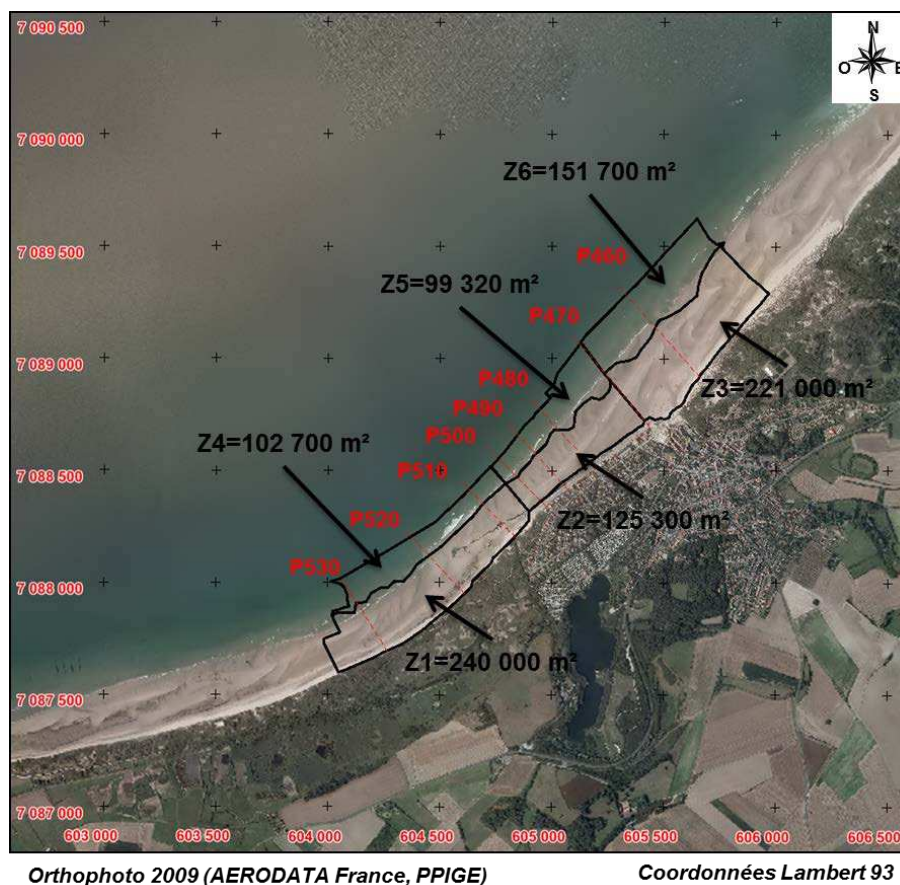


Figure 12 : Emprise des zones de cubature

Les différentiels avec les zones de cubature sont présentés en Annexe 3.

Les résultats sont présentés dans les tableaux ci-après :

Période de septembre 2005 à décembre 2013 :

Zones de cubature	Septembre 2005 - LIDAR 2008			Période (en années)	3
	Abaissement max (m)	Hausse max (m)	Evolution moyenne (m)	Evolution volume (m3)	Evolution volume (m3/an)
1	-7.5	1.5	-0.33	-75 500	-25 167
2	-1.8	0.8	-0.27	-34 200	-11 400
3	-2.3	1.0	-0.38	-81 700	-27 233
4	Pas de données				
5					
6					

Zones de cubature	LIDAR 2008 - Décembre 2013			Période (en années)	5
	Abaissement max (m)	Hausse max (m)	Evolution moyenne (m)	Evolution volume (m3)	Evolution volume (m3/an)
1	-13.1	1.1	-0.32	-78 000	-15 600
2	-0.7	0.6	-0.01	-1 000	-200
3	-6.3	0.9	-0.15	-33 300	-6 660
4	Pas de données				
5					
6					

Zones de cubature	Septembre 2005 - Décembre 2013			Période (en années)	8.3
	Abaissement max (m)	Hausse max (m)	Evolution moyenne (m)	Evolution volume (m3)	Evolution volume (m3/an)
1	-13.9	1.2	-0.61	-141 000	-16 988
2	-1.9	0.9	-0.28	-35 200	-4 241
3	-2.1	0.7	-0.50	-106 300	-12 807
4	-1.2	0.4	-0.53	-55 200	-6 651
5	-1.2	0.2	-0.59	-59 600	-7 181
6	-1.0	0.2	-0.44	-68 100	-8 205

Période de janvier 2013 à décembre 2013 :

Zones de cubature	Janvier 2013 - Décembre 2013			Période (en années)	0.9
	Abaissement max (m)	Hausse max (m)	Evolution moyenne (m)	Evolution volume (m3)	Evolution volume (m3/an)
1	Pas de données				
2	-1.6	0.8	0.11	13 800	15 333
3	-2.8	0.9	0.10	6 500	7 222
4	-0.1	0.6	0.31	1 400	1 556
5	-0.6	0.4	-0.03	-3 000	-3 333
6	-0.2	0.4	0.10	3 700	4 111

La figure ci-après présente la comparaison des fonds avec les volumes d'évolution sur la période septembre 2005 à décembre 2013.

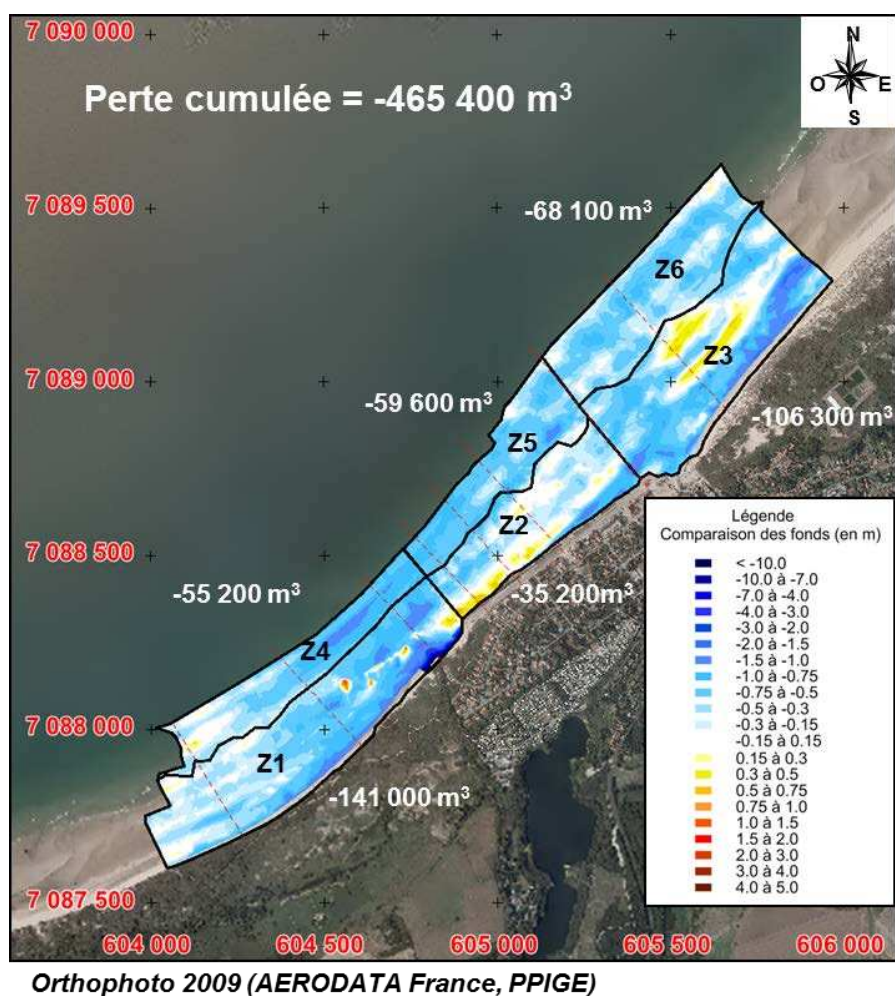


Figure 13 : Comparaison des fonds sur la période septembre 2005 à décembre 2013

Remarque sur l'analyse comparative entre les levés de fin septembre 2005 et de début décembre 2013 :

Le levé de 2005 a été réalisé fin septembre et le levé de 2013 a été réalisé début décembre au début de l'hiver. Ce levé topo-bathy a été réalisé dès la première grande marée du 05/12/2013, après le démarrage de l'OS de démarrage fournit par le Maître d'Ouvrage.

Il n'y a seulement que 2 mois d'écart sur les périodes de mesure entre les deux levés. Il faut noter que sur la période de septembre 2013 à début décembre 2013 (avant la tempête Xaver), il n'y a eu que deux tempêtes hivernales ne modifiant ainsi que faiblement les fonds entre la fin de l'été et le début de l'hiver (tempête Christian les 27 et 28 Octobre 2013 (faible niveau d'eau car le coefficient de marée était de l'ordre de 40) et tempête Godehart les 3 et 4 novembre 2013 (niveau d'eau avec une période de retour comprise entre 10 et 20 ans, source : SHOM, 2014).

Si le levé topo-bathy avait été réalisé en mars 2014, cela aurait été beaucoup plus problématique étant donné que l'hiver 2013/2014 entre mi-décembre 2013 et début mars 2014 a été exceptionnel en termes de tempêtes sur la Manche et la Mer du Nord (environ 3 tempêtes majeures dont Xaver et quatre autres tempêtes mineures).

Enfin il faut garder en mémoire que des tempêtes peuvent subvenir dès la fin Août et en Septembre et que de manière générale, il est donc quasi impossible de réaliser des levés interannuels qui garantissent que la plage a subi les mêmes conditions météo-marines d'une année sur l'autre. Nous considérons que la différence de volume potentielle est négligeable en regard de la quantité de sable perdue depuis 2005 et qu'il n'est donc pas incorrect de comparer un levé réalisé en Septembre et un autre réalisé en Décembre.

D'après l'analyse ci-avant (Figure 13), on constate sur la période 2005 à 2013 que :

- **Sur l'ensemble de la zone étudiée, érosion avec une perte d'environ 465 000 m3 de sédiments, soit une perte annuelle de l'ordre de 50 000 à 60 000 m3/an.**
- Zone 1 : érosion avec une perte d'environ 140 000 m3 de sédiments, soit une perte annuelle de l'ordre de 16 000 à 18 000 m3/an.
- Zone 2 : érosion avec une perte d'environ 35 000 m3 de sédiments, soit une perte annuelle de l'ordre de 4 000 à 5 000 m3/an.
- Zone 3 : érosion avec une perte d'environ 105 000 m3 de sédiments, soit une perte annuelle de l'ordre de 13 000 à 15 000 m3/an.
- Zone 4 : érosion avec une perte d'environ 55 000 m3 de sédiments, soit une perte annuelle de l'ordre de 6 000 à 7 000 m3/an.
- Zone 5 : érosion avec une perte d'environ 60 000 m3 de sédiments, soit une perte annuelle de l'ordre de 7 000 à 8 000 m3/an.
- Zone 6 : érosion avec une perte d'environ 70 000 m3 de sédiments, soit une perte annuelle de l'ordre de 8 000 à 9 000 m3/an.

Conclusion :

La tendance érosive observée sur la période 1996-2005 s'est poursuivie sur la période 2005-2013 avec une perte d'environ 465 000 m³ sur l'emprise étudiée, **soit une perte annuelle d'environ 50 000 à 60 000 m³/an.**

Le bilan sédimentaire sur **le secteur du perré** est négatif. Les cubatures réalisées mettent en évidence une perte de l'ordre de 35 000 m³ (Z2, cf. Figure 13) jusqu'aux fonds de +3 m CM et une perte de l'ordre de 60 000 m³ (Z5, cf. Figure 13) entre les fonds de +3 et +1 m CM sur la période.

L'analyse de SOGREAH en 2006 avait fait apparaître des variations interannuelles qui sont toujours présentes et qui ne permettent pas de définir une valeur précise du taux d'érosion annuel, compte tenu des forts écarts observés. Toutefois, une valeur moyenne de perte de 4 000-5 000 m³/an peut être retenue pour le haut de l'estran jusqu'à +3 m CM et de 7 000-8 000 m³/an dans les fonds compris entre +3 et +1 m CM.

Comparaison avec l'étude SOGREAH de 2006 :

L'emprise des calculs d'évolution des fonds dans le cadre de l'étude SOGREAH de 2006 allait moins au large que dans le cadre de notre étude. Le volume de perte annuelle calculé ci-avant de 50 000 à 60 000 m³/an est bien plus élevé que celui calculé par SOGREAH en 2006 (10 000 à 15 000 m³/an) car ces derniers ont étudié une emprise plus restreinte.

Cependant, afin de pouvoir comparer les évolutions en m³/an sur les périodes 1996/2005 et 2005/2013 sur des emprises équivalentes, nous avons réalisé le tableau ci-après récapitulant les volumes d'évolution sur les emprises communes aux deux périodes.

Zones de cubature	Dunes d'Aval	Perré	Dunes d'Amont
SOGREAH (1996-2005)	P530 à P470		P470 à P410
	-10 000 à -15 000 m3/an		Pas d'érosion +20 000 m3/an
EGIS (2005-2013)	Z1	Z2	Z3
	-15 000 à -20 000 m3/an	-4 000 à -6 000 m3/an	-10 000 à -15 000 m3/an
	-19 000 à -26 000 m3/an		

On constate que :

- Sur le secteur dunes d'Aval/perré (zones P530 à 470 pour SOGREAH et Z1+Z2 pour EGIS), l'érosion s'est accentuée de l'ordre de 10 000 m³/an supplémentaire sur la période 2005/2013 pour atteindre une érosion moyenne d'environ 19 000 à 26 000 m³/an.
- Sur le secteur dunes d'Amont (zones P470 à 410 pour SOGREAH et Z3 pour EGIS (qui ne s'étend que jusque P450 environ), la tendance à l'accrétion sur la période 1996-2005 a été remplacée par une tendance érosive de l'ordre -10 000 à -15 000 m³/an.

3.3 Evolution du trait de côte

3.3.1 Jusqu'à 2005 (source : ULCO-CETMEF et SOGREAH 2006)

Les phénomènes d'érosion et de recul de côte en baie de Wissant ne semblent pas propres à la seconde moitié du XXème siècle.

Fin du XIXème-début du XXème siècle, l'érosion s'exerce alors à l'est de la Baie de Wissant, devant le village et les dunes d'Amont. Le banc à la ligne est au contraire en engraissement d'une manière telle que Briquet le considérait en 1930 comme une extension future du trait de côte.

Le prolongement des jetées portuaires du port de Boulogne dans les années 30 bloque une partie du transit sédimentaire nord-sud et il y a aussi eu des emprunts de matériaux qui ont été effectués sur ce banc dans le cadre de la construction du port de Boulogne. De par ces éléments notamment, le Banc à la ligne tend alors à démaigrir et l'équilibre sédimentaire de la baie à basculer.

La seconde guerre mondiale et les travaux qu'elle entraîne sur l'estran : construction du mur de l'atlantique et du fossé antichar, assèchement du cours d'eau du Fart, destruction de la végétation des dunes... vont contribuer à l'évolution des mouvements sédimentaires dans la baie.

A partir de la fin des années 40 et durant les années 50, l'érosion se déplace et affecte essentiellement une partie des dunes du Châtelet et de la dune d'Aval. La partie occidentale de la Baie (dune de la Baraque Fricot et partie ouest de la dune du Châtelet) reste relativement stable voire toujours en légère progradation. Le secteur devant le perré et la partie la plus proche de la dune d'Aval sont toujours en fort engraissement. De même sur les photos anciennes on commence à voir apparaître des dunes embryonnaires devant la dune d'amont. A partir de 1957 et jusqu'en 1975, l'érosion s'intensifie et se généralise à un grand secteur ouest de la baie, et particulièrement au niveau de la dune d'Aval. En revanche, le secteur oriental incluant la zone du perré continue à stocker des sédiments, la dune d'Amont est même en forte accrétion. Durant les années 80, le secteur en érosion s'élargit encore touchant petit à petit l'estran au droit du village de Wissant (phénomènes à rattacher aux modifications des conditions de houle dans la Baie et in extenso aux évolutions bathymétriques du Banc à la Ligne). La croissance de la dune d'Amont tend à ralentir et l'intensité érosive à se concentrer au niveau des dunes du Châtelet.

Le début des années 90 semble marquer une nouvelle évolution de l'érosion dans la baie, le rythme de l'érosion se ralentit voire se stabilise à l'ouest de la baie, le phénomène paraît se décaler vers l'est et devient plus marqué au centre de la baie (dune d'Aval). La dune d'Amont progresse très faiblement, le niveau de l'estran au pied du perré baisse régulièrement.

Jusqu'en 1998, les différentes études évoquées un ralentissement voire une stabilisation de la situation au regard de l'érosion en parallèle au réengraissement apparent du banc à ligne. Les années suivantes ne confirmeront pas cette possible stabilisation du trait de côte avec un recul important de la dune d'Aval, la détérioration du perré, les premiers signes d'érosion sur la dune d'Amont. Cette tendance est confirmée par les évolutions récentes.

Tableau 2 : Evolution passée du trait de côte dans la Baie de Wissant (source : SOGREAH (2006))

Rythme de recul en m par an	Dune baraque Fricot	Dunes du Châtelet	Dune d'Aval	Dunes D'Amont
De 1949 à 1997 Marquet 2000	De - 0.5 à - 1	De - 0.9 à - 4.29	De - 5.71 à - 4.1	De + 1.8 à + 0.74
De 1963 à 1995 Etude SMCO	De - 0.5 à - 1	De - 1.5 à - 1.7	De - 1.7 à - 2.5	De + 1.7 à + 1.2

MARQUET (2000), grâce à l'étude de huit campagnes de photographies aériennes rectifiées de leurs déformations optiques (de 1949 à 1997), a déterminé des rythmes d'évolution du trait de côte (ici le pied de dune) le long de 18 profils.

Le graphique présenté en annexe 3 figure 1 montre le résultat du traitement des mesures réalisées sur les photos aériennes par 4 méthodes statistiques : pour tous les secteurs, les résultats sont convergents.

De 1949 à 1997, le secteur de la dune de la Baraque Fricot est ainsi en légère érosion (1 à 1.5 m/an), ceux de la dune du Châtelet et de la dune d'Aval sont plus gravement touchés (5 m/an au centre de la Baie), la dune d'Amont est, elle, en situation de progression.

Cette étude a également démontrée que l'érosion se propageait vers l'est : si elle touchait autrefois principalement les massifs dunaires du centre de la baie, elle atteint aujourd'hui, avec une intensité inquiétante, le secteur du perré.

Au-delà de ces évaluations de recul moyen annuel, il est essentiel de noter que le trait de côte recule avant tout par à coup, lors de tempêtes violentes associées à des marées de vives eaux.

Dans ces situations, l'érosion et les transports sédimentaires sont intenses et peu dépendants des obstacles locaux : fixation dunaire, présence de cordon de galets, banc de tourbe, blockhaus... Aussi le rôle essentiel des conditions météorologiques et océanographiques extrêmes, rend l'estimation des vitesses de recul de côte très difficile à établir.

Les travaux d'AERNOUTS (2005), réalisés avec neuf campagnes de photographies (de 1949 à 2000) avec des algorithmes de rectification d'images plus performants et sur 40 transects confirment ceux de MARQUET (2000).

Si l'on examine l'évolution du trait de côte pendant toute la période de mesures, on constate que les parties occidentale et centrale de la Baie de Wissant ont été affectées par une forte érosion, particulièrement au niveau de la dune d'Aval où le recul du pied de dune a été supérieur à 200 m entre 1949 et 2000 (transects 22 à 30), atteignant même plus de 250 m à l'endroit du transect 28. De telles valeurs se traduisent par des rythmes de recul extrêmement élevés de 4 à 5 m/an. Plus à l'ouest, les rythmes de recul tendent à diminuer assez rapidement, mais restent néanmoins très significatifs puisque à une forte majorité de transects correspondent des valeurs de plus de 1 m/an, les mesures étant dans tous les cas supérieures à la marge d'erreur.

Pour l'ensemble de la période étudiée, les mesures dans le secteur de la dune d'Amont montrent que la partie est de la baie a connu une avancée de la ligne du rivage comprise entre 1,3 et 1,8 m/an ; avancée probablement associée à des apports sableux responsables du développement d'accumulations éoliennes sur le haut de plage et de la progression vers le large du massif dunaire. Il est vraisemblable que ces apports sédimentaires proviennent, au moins en partie, des produits de l'érosion littorale dans le reste de la Baie de Wissant, mais même en l'absence d'estimations des volumes impliqués dans ces transferts de sédiments, la représentation graphique des variations spatiales de la position du trait de côte indique

clairement qu'il existe une forte disproportion entre les quantités de sédiments érodés et les quantités qui ont pu s'accumuler dans la partie Est (Annexe 3, figure 2).

Sur la période récente (1989 – 2000), on observe une accentuation des rythmes de recul du rivage à l'ouest de Wissant. Ces derniers sont en effet pratiquement tous supérieurs à 2 m/an de recul du transect 5 au transect 34. Les pics d'érosion se situent au niveau de la dune d'Aval (des transects 21 à 33) avec des reculs quasiment tous supérieurs à 5 m/an.

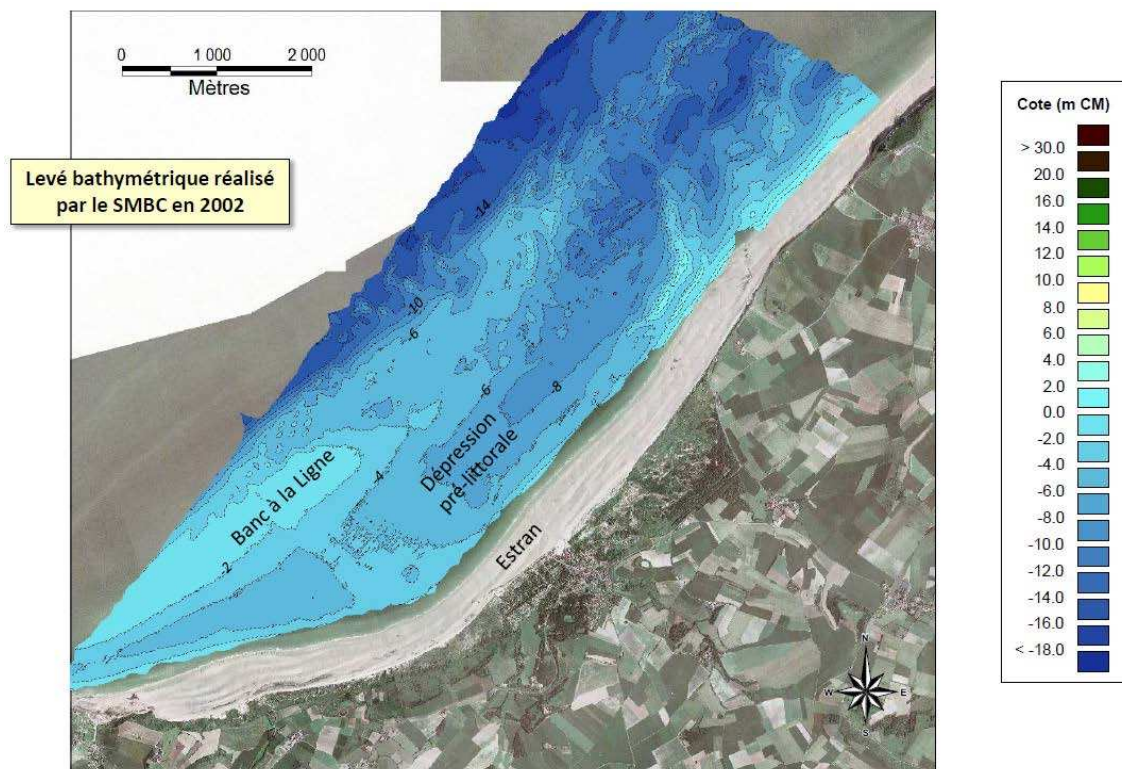
Les dunes du Châtelet et d'Aval connaissent dans leur intégralité une érosion supérieure à 2 m/an, avec un déplacement latéral du maximum d'érosion vers l'est.

L'espace dunaire situé en arrière du mur antichar a connu des taux de recul intense avec en moyenne 4,6 m/an de recul du pied de dune.

Les chiffres recensés au niveau de la dune d'Amont traduisent toujours une progression vers le large du rivage avec des rythmes variant entre 0,75 et 1,8 m/an entre les transects 36 et 41. Globalement, pour l'ensemble de la Baie de Wissant, les mesures montrent que l'érosion littorale a eu tendance à se décaler vers l'ouest, touchant de plus en plus des secteurs qui étaient auparavant relativement stables. Un autre fait marquant est qu'il existe une forte opposition entre les parties centrale et occidentale de la baie, marquées par un important recul, et le secteur à l'est du village de Wissant où le rivage connaît au contraire une progression vers le large depuis au moins le milieu du XX^{ème} siècle.

La bathymétrie (levée par le SMBC en 2002) à l'échelle de la baie de Wissant est présentée sur la figure ci-après (source : ARTELIA-KVDS, Novembre 2012).

Cette figure permet de visualiser l'emprise du Banc à la Ligne ainsi que de la dépression littorale située devant la commune de Wissant.



Source : Levé bathymétrique SMBC de 2002 - Fond cartographique : Orthophoto 2000

Figure 14 : Levé bathymétrique réalisé par le SMBC en 2002 (source : ARTELIA-KVDS 2012)

3.3.2 Evolution sur la période 2000-2014

Dans le cadre de l'estimation de l'évolution passée du trait de côte sur la période 2000-2014, nous disposons des données suivantes :

- deux orthophotos aériennes de 2005 et de 2009 pour l'ensemble de la zone d'étude. Les deux orthophotos sont présentées en Annexe 4 figures 4 et 5. Le trait de côte considéré est le pied de la dune, estimé d'après la limite de la végétation.
- des levés de pied de dune fournis par la DDTM62 uniquement pour le secteur à l'Ouest du perré de Wissant sur une longueur variant de l'ordre de 500 m à 1 000 m (secteur des dunes d'Aval).
- des profils topo-bathymétriques disponibles sur la période 1996-2014 fournis par la DDTM 62.

Données analysées en fonction des secteurs et incertitudes associées :

Secteur de la dune d'Amont : étude à partir des profils topo-bathymétriques disponibles sur la période 1996-2014 fournis par la DDTM 62.

Nous estimons une incertitude de +/-1 m par levé de pied de dune.

D'après la formule ci-après, l'incertitude globale est de l'ordre de +/- 0.1 m/an sur la période de 1996 à 2014.

Secteur de la dune d'Aval : étude à partir des levés de pied de dune fournis sur la période 2000-2014 par la DDTM 62.

Nous estimons une incertitude de +/-1 m par levé de pied de dune.

D'après la formule ci-après, l'incertitude globale est de l'ordre de +/- 0.1 m/an sur la période de 2000 à 2014.

Secteur à l'Est de la dune d'Aval : étude à partir des photos aériennes.

L'analyse de l'évolution passée du trait de côte s'accompagne d'une incertitude liée au géoréférencement, à la digitalisation et au repérage des amers de l'orthophoto 2005 (IGE, PPIGE) servant de référence aux coordonnées des amers. L'incertitude entre deux traits de

$$\text{Incertainitude} = \frac{\sqrt{(\text{IncerA})^2 + (\text{IncerB})^2}}{\text{annéeA} - \text{annéeB}}$$

côte correspond à :

Où A est l'orthophoto 2005 (IGE, PPIGE) et B est l'orthophoto 2009 (AERODATA France, PPIGE). Les incertitudes liées aux deux orthophotos sont de +/- 2 m par orthophoto.

Ainsi, d'après la formule ci-avant, l'incertitude globale est de l'ordre de +/- 2/3 m sur la période de 2005 à 2009 ou bien de l'ordre de +/- 0,7 m/an.

Le taux d'incertitude est relativement fort car le temps est court (4 ans) entre les deux photos aériennes d'étude.

Evolution du trait de côte sur le secteur de la dune d'Aval :

Afin de déterminer l'évolution passée du trait de côte ainsi que les grandes tendances érosives du littoral d'étude, nous disposons des levés des pieds de dune de : 2000, 2005, 2009, 16/03/2010, 24/11/2010, 23/01/2013, 02/07/2013, 31/10/2013 et 11/03/2014.

Afin de comparer la position des traits de côte entre 2000 et 2014, 18 profils perpendiculaires au trait de côte ont été tracés et numérotés de l'Est vers l'Ouest. La figure ci-après présente le positionnement des 18 profils d'étude sur l'ensemble du littoral ainsi que les différents traits de côte disponibles.

Pour les 18 profils, la position du trait de côte de chaque année a été repérée puis rapportée à une même origine qui correspond à un profil fictif (trait épais en blanc). Cette origine permet d'avoir une base commune pour l'analyse de l'évolution passée du trait de côte.

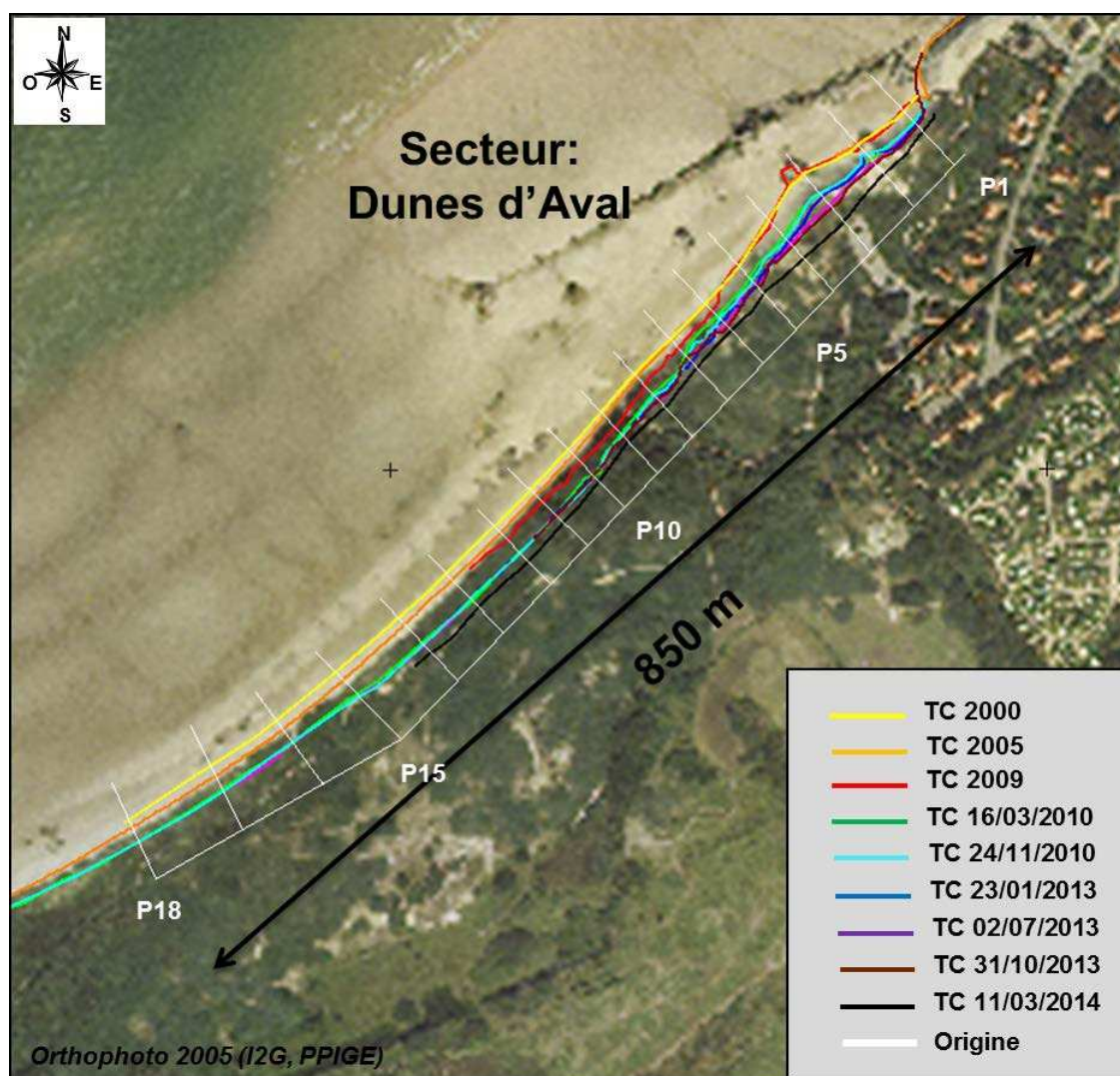


Figure 15 : Dunes d'Aval : Traits de côte passés et profils

Le graphique suivant présente les résultats de l'évolution du trait de côte en m/an pour la période 2000-2014 :

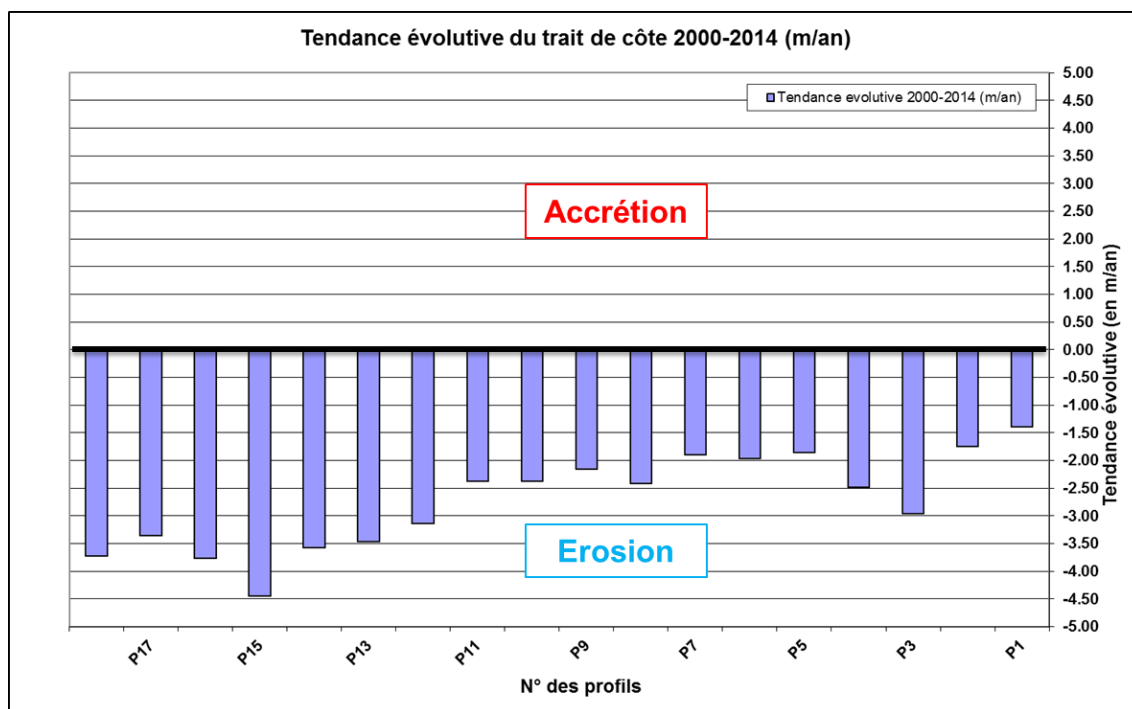


Figure 16 : Dunes d'Aval : Tendance évolutive passée du trait de côte

L'analyse dans le secteur de la dune d'Aval nous permet d'estimer le recul du trait de côte sur la période de 2000 à 2014 de l'ordre de -2 à -3 m/an sur les profils P1 à P11 et de l'ordre de -3 à -4,5 m/an sur les profils P12 à P17.

Plus à l'Ouest vers le secteur des dunes du Chatelet, nous disposons de seulement deux levés de pied de dune datant du 16 mars 2010 et du 24 novembre 2010. Ces informations ne nous permettent pas d'estimer une tendance passée du trait de côte.

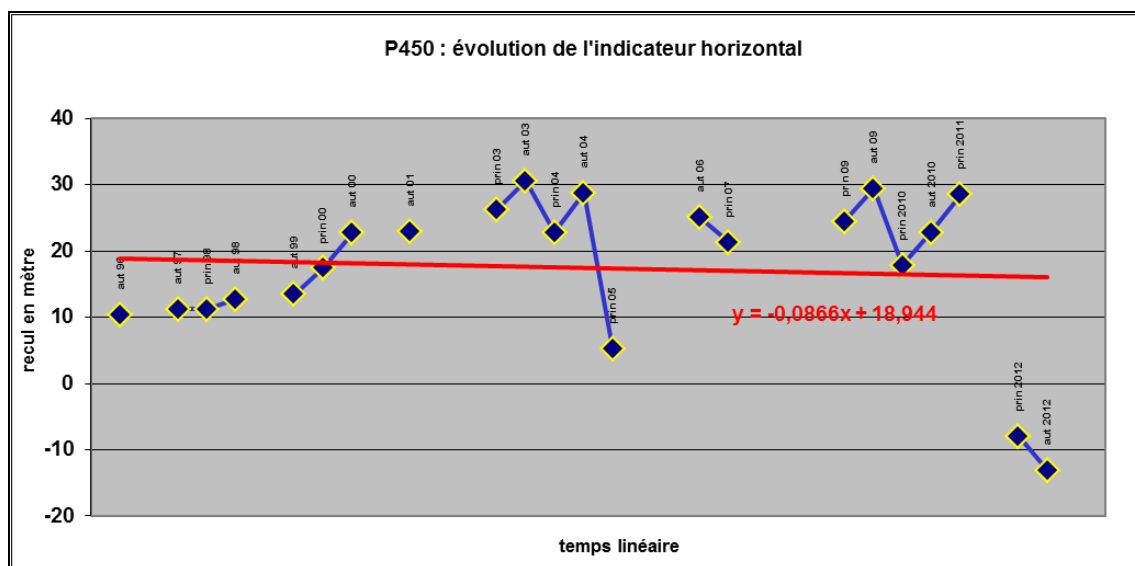
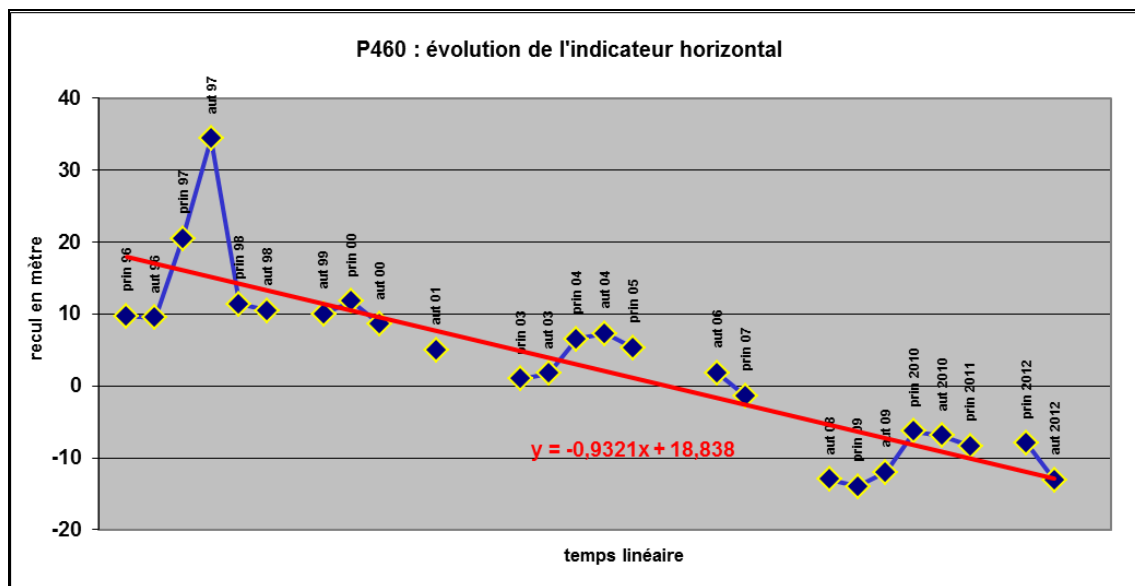
Les deux orthophotos disponibles de 2005 et de 2009 nous permettent d'estimer un recul passé mais seulement sur la période 2005/2009 avec une incertitude assez grande de l'ordre de +/- 0,7 m/an. Ce taux de recul est présenté sur la figure de synthèse de l'évolution passée du trait de côte (cf. Figure 18)

Evolution du trait de côte sur le secteur de la dune d'Amont :

Dans le cadre de l'étude, nous disposons des profils topo-bathymétriques P460, 450 et 440 nous permettant d'analyser l'évolution passée du trait de côte. Ces levés sont réalisés bi-annuellement au printemps et à l'automne depuis le printemps 1996 jusqu'à aujourd'hui.

Les profils P450 et 440 se situent hors du secteur d'étude concerné par le rechargement mais seront étudiés dans le cadre de ce rapport pour donner une estimation de l'évolution passée sur la période 1996-2013 de la dune d'Amont.

Les résultats sont présentés ci-après.



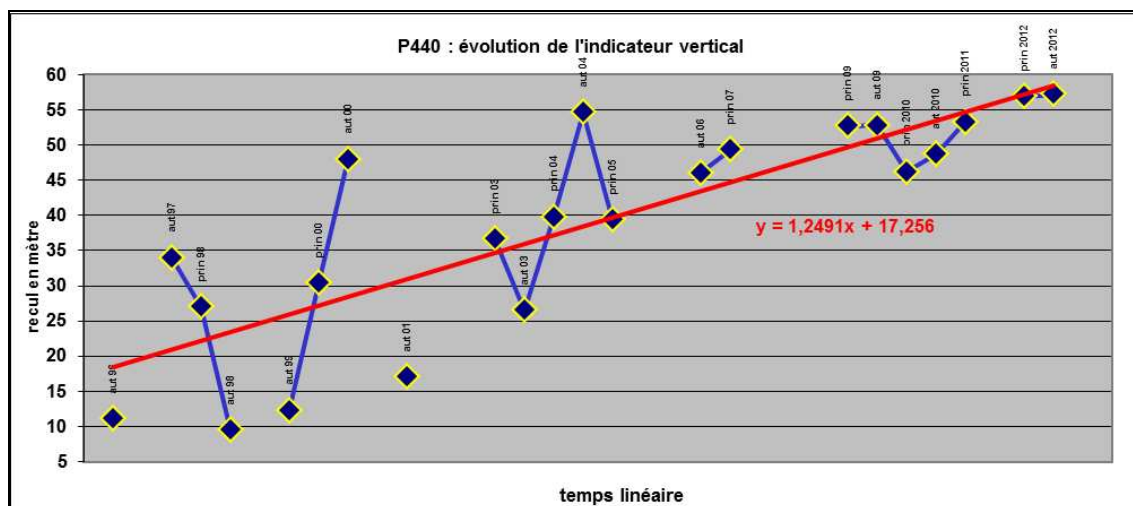


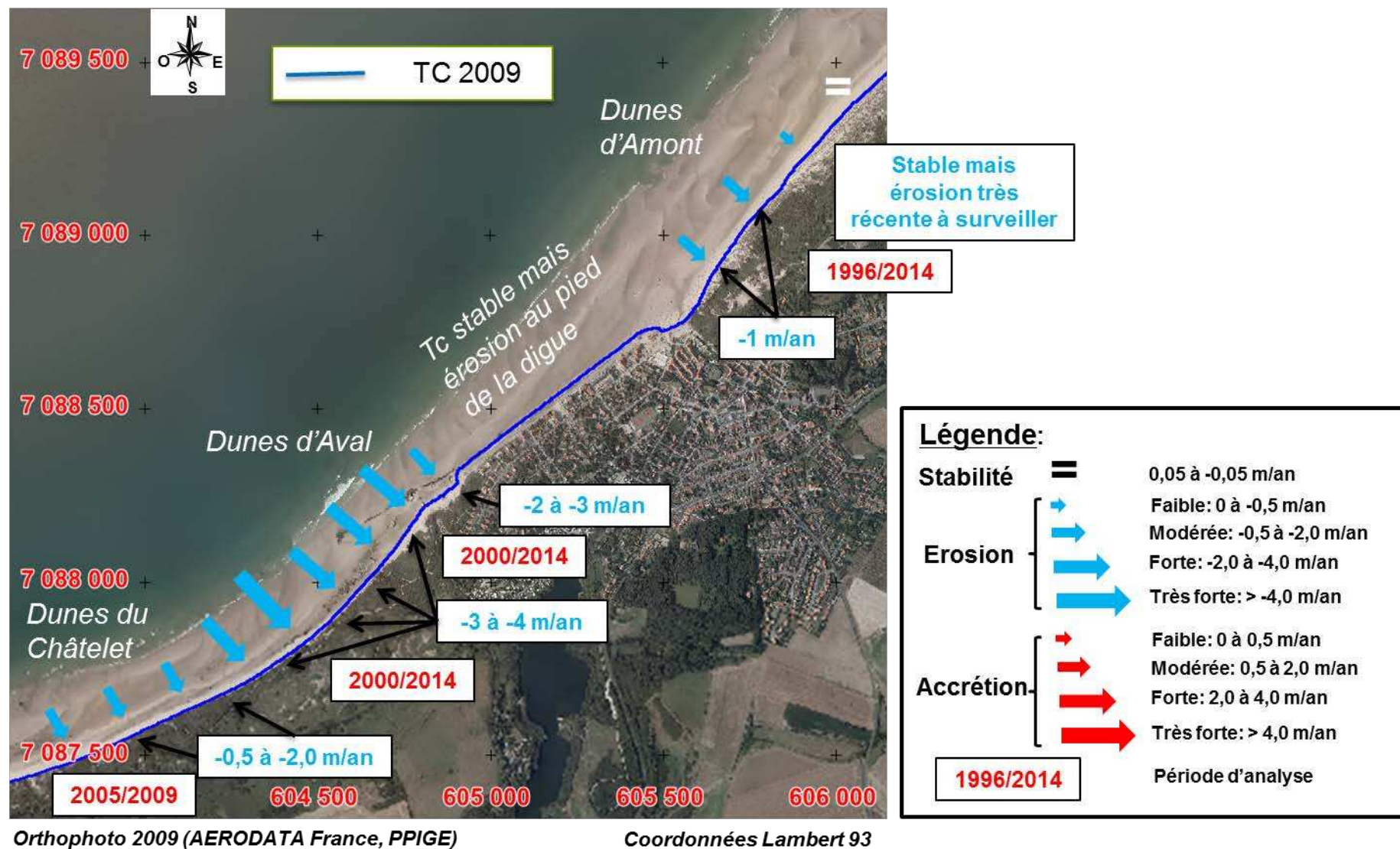
Figure 17 : Dunes d'Amont : taux d'évolution passés du trait de côte

P460 : On constate que depuis les années 2000, le secteur Ouest de la dune d'Amont est en érosion. Le taux de recul sur la période 1996-2013 est de l'ordre de -1 m/an.

P450 : Plus à l'Est, le profil P450 montre un engraissement du cordon dunaire avec une avancée du trait de côte jusqu'en 2011. Puis entre 2011 et 2013, la dune a fortement reculé de l'ordre de -40 m. Cependant, sur la période 1996-2013, le littoral stable avec un léger recul de l'ordre de -0,1 m/an. Il faudra surveiller à l'avenir cette tendance nouvelle au recul depuis 2011 dans ce secteur.

P440 : Sur la période 1996-2013, le cordon dunaire s'engraisse et le trait de côte progresse vers la mer avec une avancée de l'ordre de +1,3 m/an. Il n'y a pour l'instant pas de signe d'érosion sur les derniers levés topo-bathy.

La figure ci-après présente une synthèse de l'évolution passée du trait de côte avec les évolutions en m/an.



Conclusion :

L'évolution du trait de côte a été réalisée sur différentes périodes en fonction des secteurs et des données disponibles (cf. figure précédente).

On peut estimer les taux de recul suivants sur les principaux secteurs du littoral d'étude :

- Est Dunes du Châtelet : recul de l'ordre de -0,5 à -2 m/an,
- Dunes d'Aval : recul de l'ordre de -2 à -4 m/an voire plus localement,
- Ouest dunes d'Amont : recul de l'ordre de -1 m/an,
- Est dunes d'Amont : stabilité ou faible recul jusqu'à -0,5 m/an.

4 Synthèse sur l'évolution du littoral d'étude

L'analyse effectuée auparavant sur l'évolution des profils de plage, la comparaison des fonds et l'évolution passée du trait de côte a permis de mettre en évidence les conclusions suivantes par secteur. Notons qu'il n'y a pas eu d'apports artificiels sur la zone. De ce fait, le bilan sédimentaire résulte de l'évolution naturelle de la zone.

Secteur de la dune d'Aval :

Forte érosion marquée par :

- Sur la période 2000-2014 : un recul du trait de côte (pied de dune) de l'ordre de -2 à -4 m/an voire plus localement.
- Sur la période 2005-2013 : Un abaissement généralisé du niveau de l'estran de l'ordre de +0,5 à +1,0 m voire plus localement.
- Sur la période 2005-2013 : Une perte d'environ 140 000 m³ de sédiments, soit une perte annuelle de l'ordre de 16 000 à 18 000 m³/an sur le haut de l'estran jusqu'à +3 mCM.
- Sur la période 2005-2013 : Une perte d'environ 55 000 m³ de sédiments, soit une perte annuelle de l'ordre de 6 000 à 7 000 m³/an sur le bas de l'estran compris entre +3 et +1 mCM.

Secteur du perré :

Forte érosion marquée par :

- Sur la période 2005-2013 : Un abaissement généralisé du niveau de l'estran de l'ordre de +0,5 à +1,0 m voire plus localement.
- Sur la période 2005-2013 : Une perte d'environ 35 000 m³ de sédiments, soit une perte annuelle de l'ordre de 4 000 à 5 000 m³/an sur le haut de l'estran jusqu'à +3 mCM. Notons toutefois que le haut de l'estran du secteur Ouest du perré de Wissant a connu une faible sédimentation avec une hausse des fonds de l'ordre de +0,2 à +0,5 m entre 2005 et 2013. Cette tendance à la sédimentation est probablement due à la variabilité

interannuelle existant sur le littoral avec le déplacement des barres sableuses. Cependant, la tendance globale est à l'érosion et à l'abaissement des fonds devant le perré.

- Sur la période 2005-2013 : Une perte d'environ 60 000 m³ de sédiments, soit une perte annuelle de l'ordre de 7 000 à 8 000 m³/an sur le bas de l'estran compris entre +3 et +1 mCM.

Secteur de la dune d'Amont :

Erosion marquée par :

- Sur la période 1996-2014 : un recul du trait de côte (pied de dune) de l'ordre de -1m/an sur la partie Ouest et une stabilité ou un faible recul jusqu'à -0,5 m/an) sur la partie Est.
- Sur la période 2005-2013 : Un abaissement du niveau de l'estran de l'ordre de +0,3 à +0,8 m voire plus localement. Notons la disparition du petit banc sableux présent en septembre 2005 au droit de la dune d'Amont et qui a disparu en 2013 avec un lissage des fonds.
- Sur la période 2005-2013 : Une perte d'environ 105 000 m³ de sédiments, soit une perte annuelle de l'ordre de 13 000 à 15 000 m³/an sur le haut de l'estran jusqu'à +3 mCM.
- Sur la période 2005-2013 : Une perte d'environ 70 000 m³ de sédiments, soit une perte annuelle de l'ordre de 8 000 à 9 000 m³/an sur le bas de l'estran compris entre +3 et +1 mCM.

La tendance à l'érosion du secteur d'étude mise en évidence par SOGREAH en 2006 sur la période 1996-2005 s'est poursuivie et s'est accentuée sur la période 2005-2013. Notons que le secteur de la dune d'Amont qui était jusqu'en 2005 plutôt stable voire même en accrétion est aujourd'hui sur la période 2005-2013 en érosion. Erosion toutefois plus faible que sur la dune d'Aval. L'érosion dans le secteur de la dune d'Amont est récente et il conviendra de surveiller à l'avenir si cette tendance érosive se confirme ou non.

Remarque : en 2013 ont été démolis les blockhaus situés à l'Ouest immédiat du perré longitudinal et ont été mis en place un système d'épis en pieux bois transversaux et longitudinaux formant des casiers (cf. photo ci-après). L'impact hydrosédimentaire de ces aménagements ne peut pas encore être visible sur l'analyse hydrosédimentaire sur la période 2005-2013.

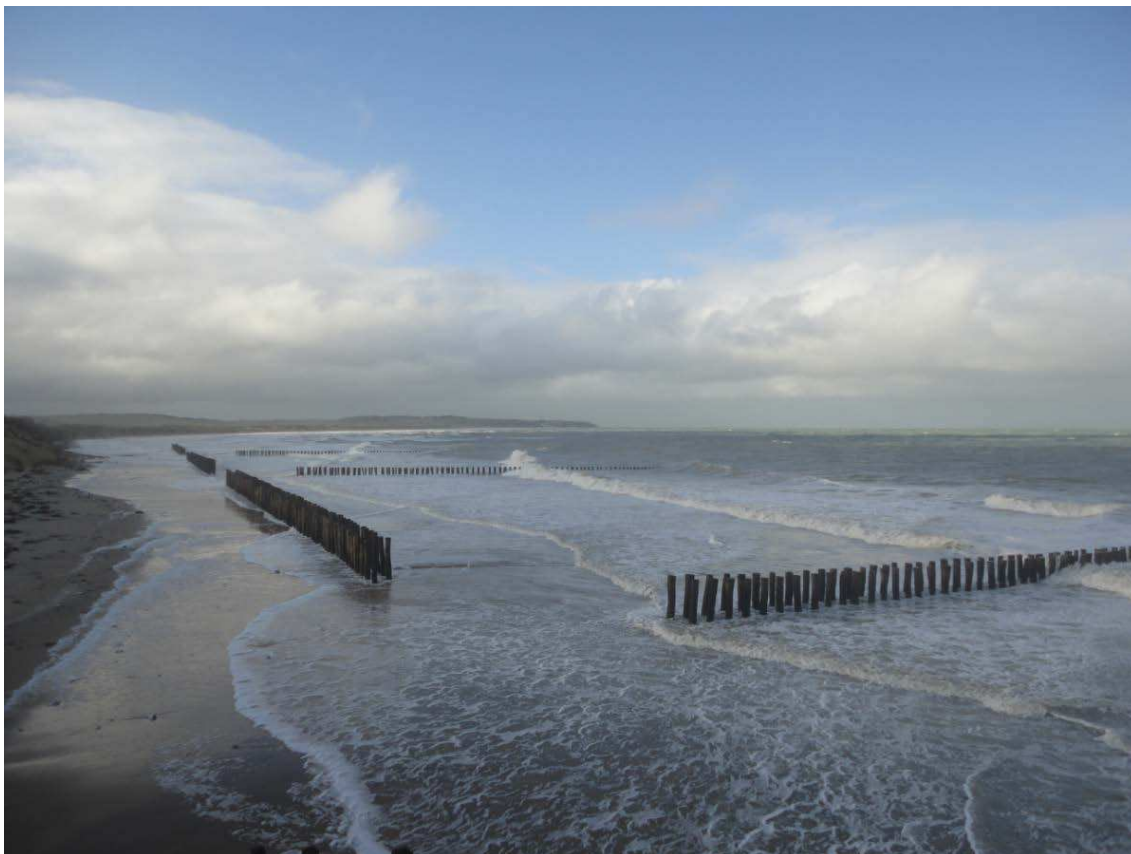


Figure 19 : Photo des pieux bois mis en place en 2013 au niveau de la dune d'Aval (EGIS, 2013)

5 Synthèse sur le fonctionnement hydrosédimentaire général de la baie de Wissant

5.1 La baie de Wissant

La Baie de Wissant, encadrée par le Cap Gris-Nez à l'Ouest et le Cap Blanc-Nez à l'Est, s'étend sur un littoral de l'ordre de 10 km. Dans cette baie se distinguent quatre secteurs d'Ouest en Est :

- Les dunes de la Baraque Fricot : elles sont situées les plus à l'Ouest, entre la pointe de Courte-dune et le débouché du ruisseau des Anguilles. Ce secteur est en recul sur ces dernières années
- Les dunes du Châtelet : elles abritent le marais de Tardinghen et constituent un ensemble très morcelé et très fragile. L'érosion est plus intense que sur les dunes de la Baraque Fricot.
- La dune d'Aval subie une forte érosion et un net recul ces dernières années (cf. l'étude réalisée au Chapitre 2 -3.3.2).
- La dune d'Amont : située à l'Ouest du perré longitudinal de Wissant. Ce secteur connaissait ces dernières années une dynamique d'engraissement. Toutefois, dans notre analyse du Chapitre 2 -3.3.2 nous avons constaté que cette tendance tend à s'inverser avec aujourd'hui un recul progressif de ce massif dunaire.

Au centre de la baie, le front de mer de la commune de Wissant est protégé par un perré en maçonnerie et en enrochements, surmonté d'une promenade. Ce secteur connaît depuis les années 1990 une érosion intense avec pour conséquence une forte baisse du niveau de l'estran au pied du perré (cf. notre analyse au Chapitre 2 -3.3.2), constituant une menace pour la pérennité de l'ouvrage.

Dans la Baie de Wissant, l'estran est large de 600 à 800 m environ et est constitué par une succession de barres sableuses et de bâches. La pente de l'estran est faible, inférieure à 1% (cf. Chapitre 2 -3.1).

Toutes les études relatives à l'évolution passée du trait de côte en Baie de Wissant ont mis en évidence la présence d'alternances (« cycles ») avec des niveaux hauts ou bas de sable sur la plage devant le perré, dont les variations pouvaient être liées aux évolutions bathymétriques du Banc à la Ligne. Situé à 1 km de la côte, le Banc à la Ligne isole la baie du détroit du Pas-de-Calais. Il est séparé du littoral de Wissant par une dépression morphologique orientée NE. Le Banc à la Ligne mesure 3,5 km de long et 500 m de large ; il est soudé au Cap Gris-Nez selon un axe SO-NE. Il est présent devant toute la partie Ouest de la baie, y compris devant une partie du perré.

Les échanges sédimentaires entre estran / petits fonds / banc que plusieurs études mettent en évidence, semblent particulièrement importants dans l'évolution de la Baie de Wissant. Afin de comprendre ces interactions, une rapide synthèse des évolutions des fonds de la baie est donnée dans ce qui suit, avant d'analyser les évolutions du trait de côte.

5.2 Evolution des fonds de la baie de Wissant et du Banc à la Ligne

Une cartographie des fonds pour les années 1911, 1977 et 2002 a été réalisée par le CETMEF (2004). Elle a montré que, dans l'ensemble, sur la période qui couvre presque la totalité du 20ème siècle, les changements bathymétriques en Baie de Wissant ont été de très grande ampleur et témoignent de mouvements sédimentaires importants :

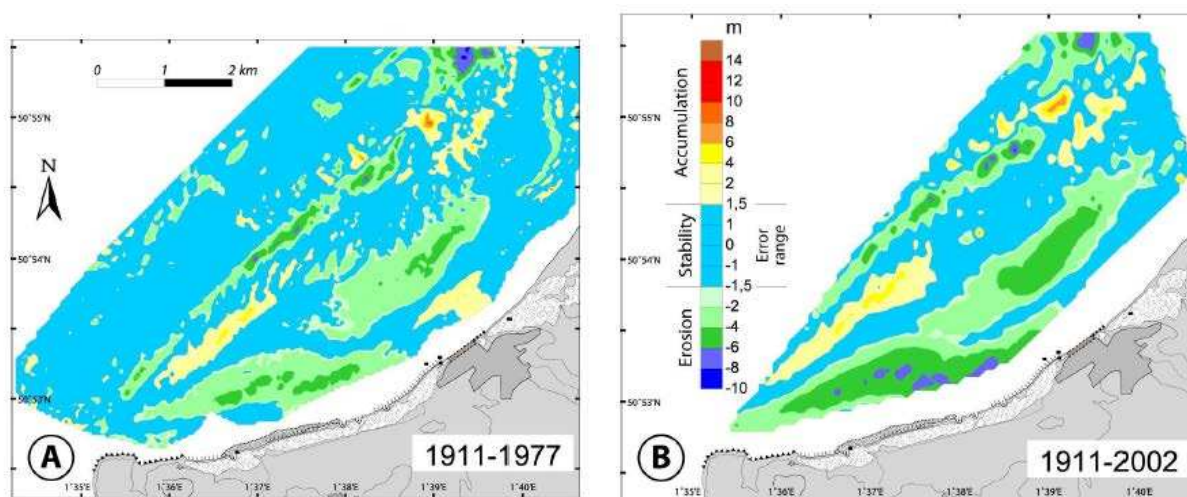


Figure 20 : Evolution des fonds dans la Baie de Wissant sur la période 1911-2002 (source : Aernouts (2005))

Evolutions constatées :

- En 1911, le Banc à la Ligne était en quasi-continuité avec l'estran.

- en 1977, la dépression entre le banc et la plage s'est fortement approfondie. La zone haute du banc est séparée de la côte.
- en 2002, l'altimétrie du Banc à la Ligne est plus élevée qu'en 1977 témoignant d'un engraissement de celui-ci. Par contre, le secteur situé entre le banc à la Ligne et le littoral à continuer à s'éroder fortement avec un important abaissement des fonds.

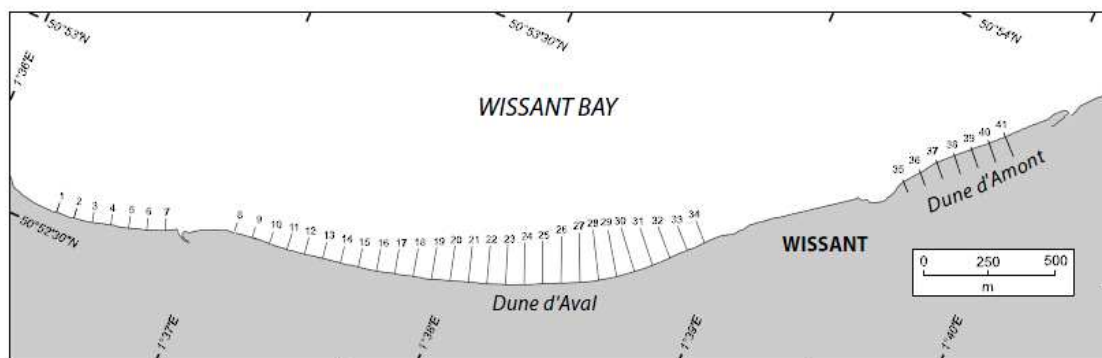
Parallèlement à un déplacement vers le large, le Banc à la Ligne a subi au cours du 20^{ème} siècle un amaigrissement important en termes de volume et de largeur (même si l'élévation de son sommet a pu augmenter dans certains secteurs), les pertes de sédiments s'étant produites tant sur la face interne que sur la face externe du banc ([9] et [10]). Les autres variations significatives de la bathymétrie concernent les petits fonds entre le Banc à la Ligne et le rivage où l'érosion a été très forte. Face à la dune du Châtelet et à la dune d'Aval, l'érosion est généralement comprise entre 4 et 6 m (réf. [10]), certains secteurs ayant pu connaître un abaissement de plus de 6 m du fond marin à proximité du rivage. En revanche, à l'Est de Wissant, au droit de la dune d'Amont, l'estran et les petits fonds proches semblent stables.

Il est enfin important de noter que cette phase d'évolution du Banc à la Ligne observée au 20^{ème} siècle succède à une phase de migration du banc, du large vers la côte, et d'engraissement du littoral (réf. [9]). La Baie de Wissant est donc passée d'une situation excédentaire au début du 20^{ème} siècle, au déficit sédimentaire actuel. Il se pourrait que ce changement de tendance et l'accentuation de l'érosion au fil du temps ne soient pas uniquement imputables à des causes générales naturelles, mais également en partie à des causes locales liées à des aménagements ou des travaux (prolongement des digues du port de Boulogne-sur-Mer réalisé dans les années 1930, extractions de granulats au large de la baie de 1978 à 1981, réf. [9]).

5.3 Evolution du trait de côte en baie de Wissant

Localement, dans le secteur de notre étude actuelle (linéaire de 2500m), le trait de côte est en érosion continue.

Plus globalement, à l'échelle de la Baie de Wissant, Aernouts a effectué des travaux en 2005 d'analyse d'évolution du trait de côte sur la période 1963-2000.



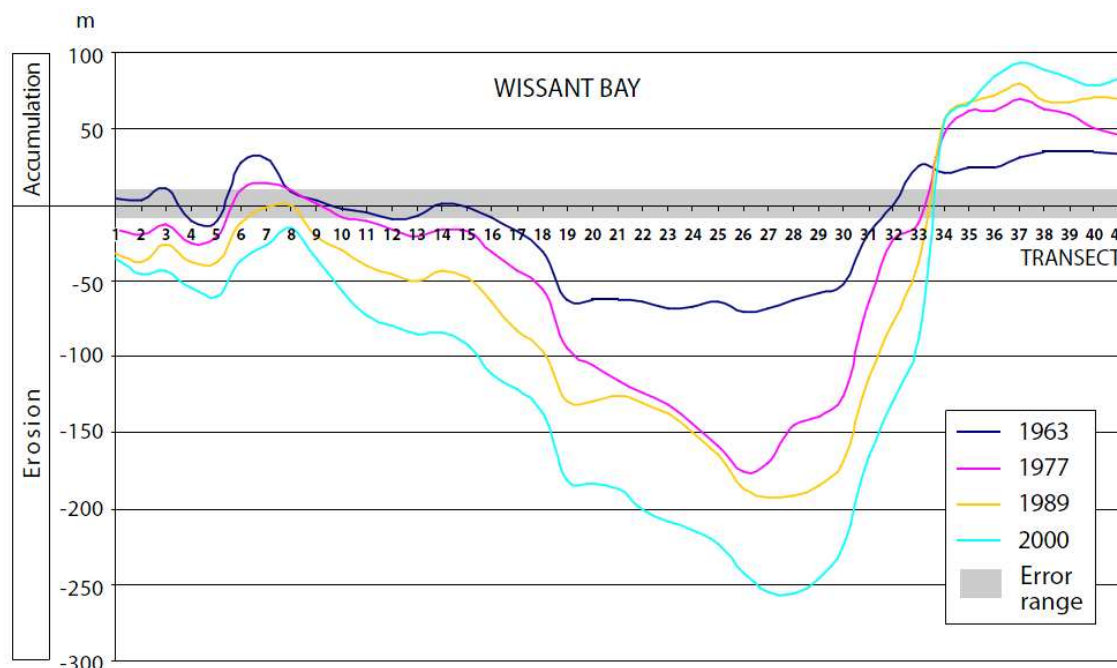


Figure 21 : Evolution du trait de côte à l'échelle de la Baie de Wissant sur la période 1963-2000 (source : Aernouts (2005))

On constate que l'ensemble du littoral situé à l'Ouest du perré de Wissant (profil 34) est en net recul. Cette érosion est décroissante d'Est en Ouest à partir du profil 27.

Entre 1963 et 2000, le trait de côte était en engraissement au niveau de la Dune d'Amont (P35 à 41). Toutefois, notre analyse plus récente effectuée à partir de profils topo-bathy biannuels sur la période 1996-2014 (cf. Chapitre 2 -3.3.2) a montré que la tendance s'était inversée avec aujourd'hui désormais une érosion de la Dune d'Amont de l'ordre de -1 m/an.

5.4 Interactions entre l'évolution des fonds et l'évolution du trait de côte en Baie de Wissant

Les différentes études menées ces dernières années sur la Baie de Wissant ont permis de mettre en évidence les fortes interactions entre les différents compartiments de la Baie et une tendance générale à l'érosion sur la zone d'étude.

Le Banc à la Ligne agit directement sur les conditions de propagation des houles à la côte. Son amaigrissement et les modifications bathymétriques qui en résultent contribuent ainsi à une augmentation de l'exposition de l'estran aux houles les plus fortes. La dépression pré-littorale, aussi en forte érosion, contribue également à l'augmentation des hauteurs de houle à la côte (réduction des effets de réfraction sur les fonds). Ces processus d'érosion des fonds de la baie ont donc a priori favorisé une augmentation des effets des houles sur l'estran, provoquant ainsi une accélération des processus d'érosion.

Sous l'effet de ces conditions hydrodynamiques fortement changeantes (épisodes tempétueux de fréquence et d'intensité variable), on observe sur la plage de fortes variations du niveau de la plage :

- Mouvements dans le profil importants sous l'action des houles frontales. L'ensemble des études relatives aux transports sédimentaires en Baie de Wissant précise également l'existence de mouvements dans le profil pour des houles frontales (houles de NE au large qui tournent à l'approche du littoral pour s'orienter

NO). Les transits littoraux vers le NE ont été estimés pour des houles de tempête à 1,6 m³/ml/jour, soit près de 600 m³/ml/an (réf. [9]).

- Transport des matériaux vers le Nord-Est sous l'effet combiné des houles légèrement obliques, des courants de marée (importants sur la zone) et du vent,

Cela s'est accompagné par un déplacement et un élargissement des zones soumises à l'érosion. On observe en effet sur le secteur urbanisé et sur le secteur de la Dune d'Aval une tendance générale à l'érosion. Cette tendance à l'érosion a gagné sur la période 2005-2014 la dune d'Amont, surtout sur sa partie Ouest.

Les travaux réalisés par C. AUGRIS, P. CLABAUT et O. VICAIRE, 1990 (réf. [9]), permettent d'imputer aux seules tempêtes le recul du cordon dunaire et l'abaissement de la plage.

L'analyse de l'évolution passée du trait de côte a pu mettre en évidence la présence d'alternances (« cycles ») avec des niveaux hauts ou bas de sable sur la plage devant le perré ; dont les variations pouvaient être liés aux variations bathymétriques du Banc à la Ligne.

Les sédiments déplacés vers le Nord-Est au niveau des petits fonds et de l'estran, ou vers le large (mouvements dans le profil), sont perdus pour les parties Ouest et centrale de la baie. Les apports de la dérive littorale sont les seuls à alimenter la baie mais ces apports sont a priori insuffisants pour compenser les pertes (réf. [9]). L'évolution montre ainsi une perte nette de sédiments d'un peu de plus de 10 millions de m³ en l'espace de 91 ans, soit un déficit de l'ordre de 116 000 m³/an pour l'ensemble de la baie (D. AERNOUITS, 2005 [10]), les pertes étant surtout localisées dans une dépression longitudinale entre le Banc à la Ligne et le rivage.

Cette perte de sédiment dans la zone pré-littorale ne peut manquer d'influencer le bilan sédimentaire de l'estran. On observe en effet une nette correspondance entre les zones de fortes érosions dans la zone pré-littorale proche et les secteurs d'important recul du trait de côte, mettant en évidence une nouvelle fois les fortes interactions entre les différents compartiments de la Baie de Wissant.

Actuellement, dans le contexte déficitaire général de la Baie, il est peu probable que la plage retrouve naturellement une situation d'antan avec un niveau haut de la plage. La tendance actuelle à l'érosion semble assez durable, le niveau bas de l'estran favorisant également l'accélération des processus érosifs (accentuation de l'effet des houles).

Chapitre 3 - Dimensionnement du réensablement

1 Données sédimentologiques

1.1 Analyses bibliographiques

La description des données sédimentologiques a été réalisée dans un premier temps par une analyse bibliographique détaillée :

- Des travaux de l'ULCO,
- Des travaux de CLABAUT,
- Des études diverses réalisées sur le site pour le compte du SMBC et du SMCO.
 - o Synthèse bibliographique – CETMEF – janvier 2004
 - o Evolution des fonds et des transports potentiels – ULCO – Mars 2004

1.2 Sédiments superficiels dans les petits fonds

Nous disposons d'une description détaillée des différents types de sédiments présents dans la Baie de Wissant jusqu'à l'isobathe -20 m (in Clabaut 1988).

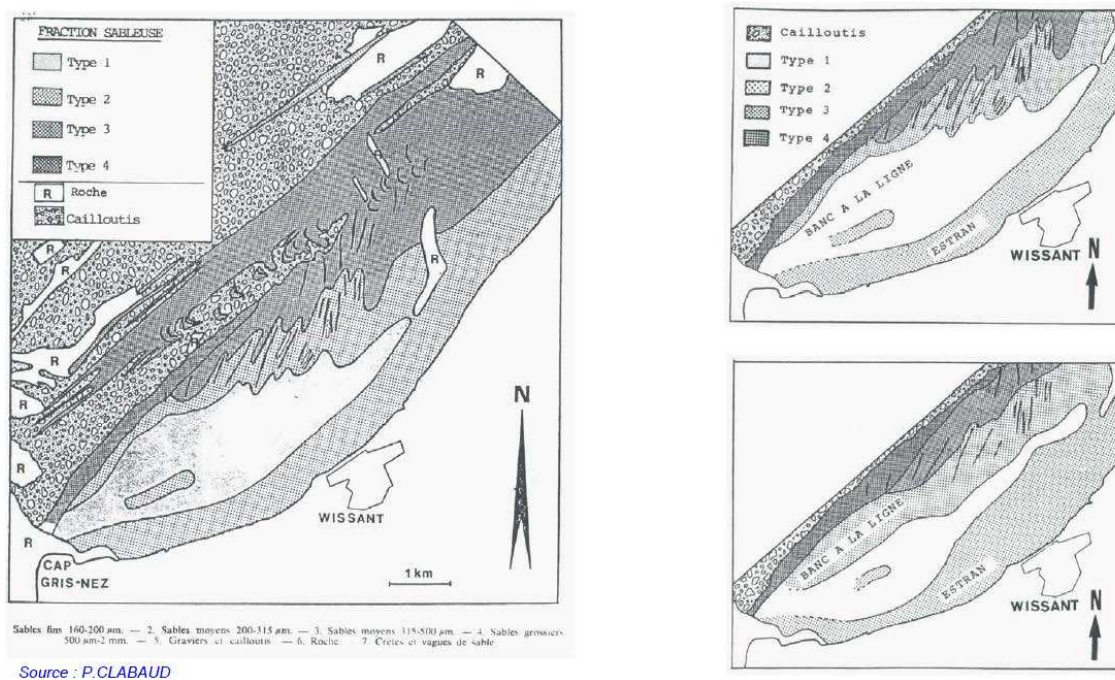


Figure 22 : Données de granulométrie dans la Baie de Wissant

Deux grandes catégories de sédiments sont présentes :

- des sables fins à moyens,
- des sédiments grossiers.

Les sables sont divisés en 4 types principaux, en fonction de leur couleur et de leur diamètre.

Ces sables sont généralement homogènes et bien classés.

- Type 1 : les sables fins de couleur grisée constitués par plus de 50% de particules de taille inférieure à 200 μm ,
- Type 2 : les sables moyens de couleur beige constitués par plus de 50% de particules dont le diamètre est compris entre 200 μm et 315 μm ,
- Type 3 : les sables moyens constitués par plus de 50% de particules dont le diamètre est compris entre 315 μm et 500 μm ,
- Type 4 : sables grossiers constitués par plus de 50% de particules dont le diamètre est compris entre 500 μm et 2 mm.

Les analyses sédimentologiques montrent une nette prédominance, à l'intérieur de la baie, des sables moyens : types 2 et 3. Ils constituent, outre le cordon dunaire littoral et l'estran de Wissant, l'essentiel du banc à la ligne et de la barrière.

Seules font exception la dépression entre le banc et Wissant, ainsi que la partie abrupte du flanc externe du banc à la ligne qui sont respectivement constituées de sables fins de type 1 et de sables grossiers de type 4.

En période estivale, la distribution des sédiments est simple et forme des bandes de direction S-SO/N-NE. Au-delà du banc, on trouve des sédiments plus grossiers (type 4).

1.3 Granulométrie des sables constituant la plage

Définitions

Les notions qui seront utilisées par la suite dans le cadre de cette étude sont explicitées ci-après :

Tableau 3 : Définition des notions utilisées pour l'analyse granulométrique des sables
(source : SOGREAH (2006))

Deux types d'unités seront utilisées pour qualifier les tailles des sédiments de la plage de Wissant : les millimètres et les unités phi. L'échelle des unités phi est basée sur la relation suivante : $\varphi = -\log_2(D) \text{ où } D \text{ est le diamètre du grain en millimètres}$ Pour convertir des unités phi aux millimètres, il faut utiliser la relation suivante : $D = 2^{-\varphi}$
D_n : diamètre pour lequel n % du sédiment, en poids, a un diamètre plus petit. D_{50} est le diamètre médian.
M_φ : taille moyenne des grains du sédiment et définie comme suit (Dean): $M_\varphi = \frac{(\varphi_{16} + \varphi_{84})}{2}$ La taille moyenne des grains est généralement, pour les plages de sables, similaire au diamètre médian (en unités phi).
σ_φ : écart-type qui est une mesure du degré de répartition de l'échantillon autour de la moyenne et définie comme suit (Dean) : $\sigma_\varphi = \frac{(\varphi_{16} - \varphi_{84})}{2}$ Un écart-type faible qualifie des échantillons dont les tailles des grains sont proches de la taille moyenne (sédiments bien triés).

1.3.2 Données ULCO

En 2004, L'ULCO a réalisé une campagne de prélèvements de 110 échantillons sur l'estran sur une zone s'étendant de la Dune d'Aval à la Dune d'Amont, sur une surface de 316 800 m².

L'échantillonnage a été réalisé sur une matrice de 22 transects sur 5 lignes selon un maillage carré de 60x60 m. 88 échantillons ont fait l'objet d'une analyse granulométrique.

Il ressort des travaux de l'ULCO que la couverture sédimentaire superficielle dans cette partie de la Baie était assez homogène ; **le diamètre médian (D50) des matériaux est compris pour les 88 échantillons entre 0,27 et 0,35 mm.**

Une carte de localisation des prélèvements est fournie sur la figure ci-après.

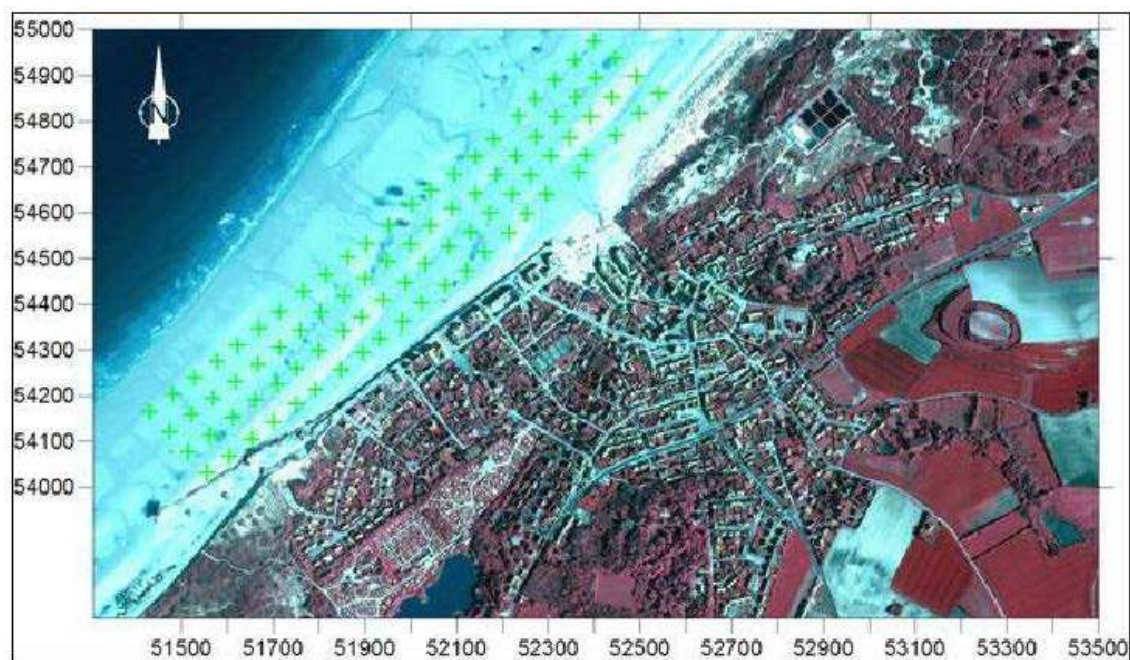


Figure 23 : Localisation des prélèvements effectués par l'ULCO en 2003 (SOGREAH, 2006)

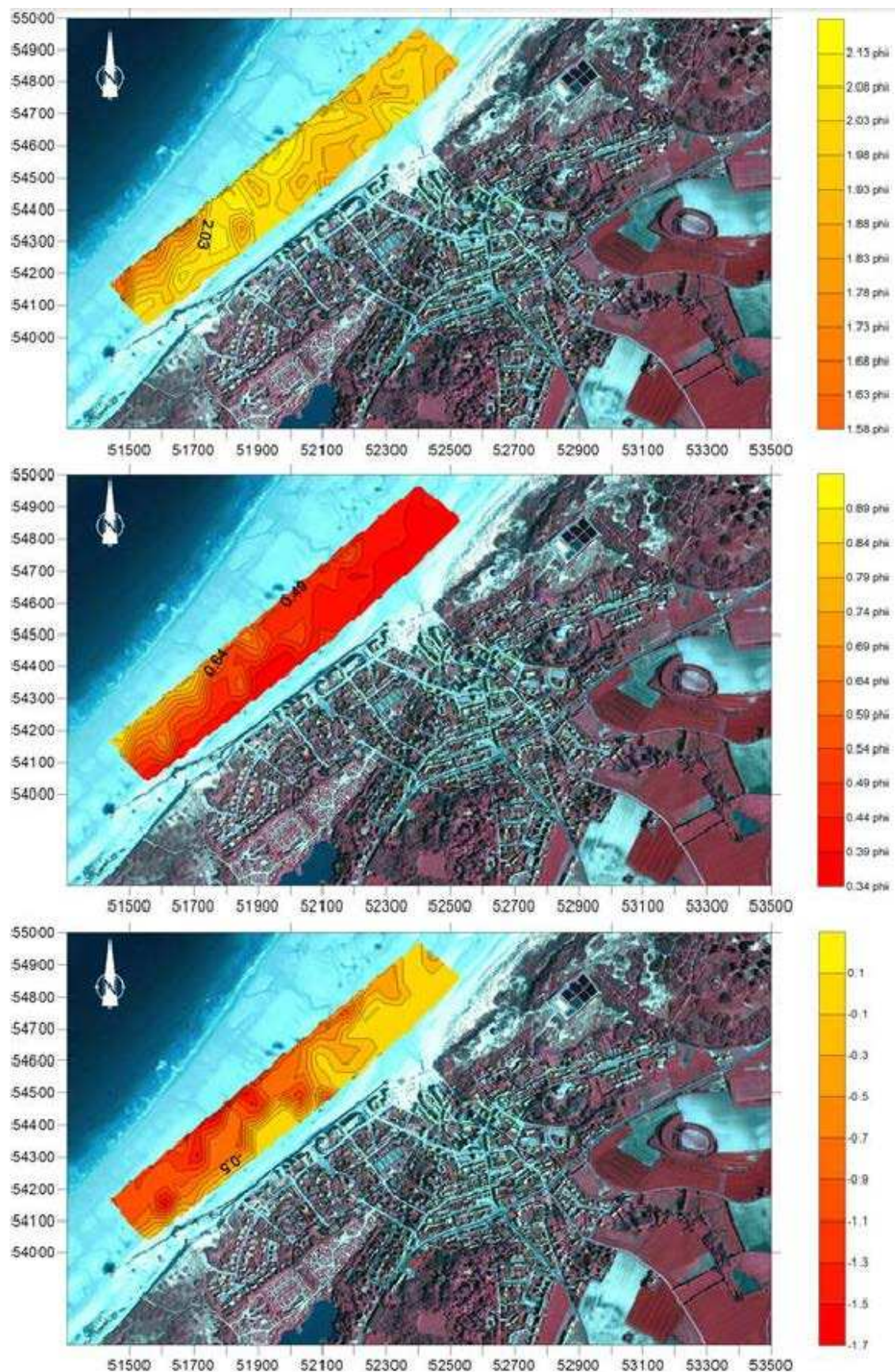


Figure 24 : Cartographie des indices granulométriques sur l'estran (en haut, diamètre moyen ; au milieu, tri ; en bas, asymétrie) (SOGREAH, 2006)

1.3.3 Données SOGREAH – IN VIVO

Une campagne de mesures a été réalisée du 19 au 21 septembre 2005, par le cabinet IN VIVO.

51 échantillons ont été prélevés sur la zone d'étude sur 17 profils à raison de 3 prélèvements par profil, en haut de plage, mi-plage et bas de plage et ont fait l'objet d'analyses granulométriques dans le but :

- D'actualiser la couverture sédimentaire de la plage,
- Et permettre la comparaison avec les gisements potentiels et leur compatibilité pour l'opération de rechargement.

La localisation des prélèvements est présentée sur la figure ci-après.



Figure 25 : Localisation des prélèvements effectués par IN VIVO en 2005 (SOGREAH, 2006)

Les résultats des analyses sont présentés sur les figures suivantes.

BAS DE PLAGE

Taille (µm)	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B	9B	10B	11B	12B	13B	14B	15B	16B	17B
D10	204	192	192	192	193	202	205	196	190	200	208	201	199	198	199	195	194
D16	220	206	211	207	209	220	227	212	205	218	232	219	219	215	217	215	210
D25	244	227	238	229	231	247	260	236	228	245	269	245	249	241	243	244	235
D50	304	280	312	284	291	320	357	302	288	317	388	315	329	309	310	324	301
D75	387	356	479	365	386	445	583	420	394	444	697	426	474	423	410	484	413
D84	459	422	800	454	528	648	899	630	551	630	997	569	737	582	530	801	617
D90	507	467	1013	513	623	784	1109	770	656	755	1197	664	913	688	611	1013	752
DEAN : M□	-8	-8	-9	-8	-8	-9	-9	-9	-8	-9	-9	-8	-9	-8	-8	-9	-8
DEAN : □□	1	1	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2

MILIEU DE PLAGE

Taille (µm)	1M	2M	3M	4M	5M	6M	7M	8M	9M	10M	11M	12M	13M	14M	15M	16M	17M
D10	222	220	221	213	194	192	199	203	200	195	190	193	212	183	194	192	199
D16	237	234	238	228	208	206	213	218	215	209	203	207	230	196	209	205	214
D25	259	256	263	250	227	226	235	240	236	229	223	228	257	216	231	225	235
D50	311	306	323	302	275	275	289	292	288	278	272	277	325	266	285	272	286
D75	374	367	395	367	336	338	363	357	355	339	334	341	424	334	357	330	350
D84	414	404	440	409	376	380	416	397	402	378	375	387	518	392	408	366	393
D90	440	429	469	436	403	409	452	425	433	405	403	418	581	431	442	390	422
DEAN : M□	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8
DEAN : □□	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

HAUT DE PLAGE

Taille (µm)	1H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H	10H	11H	12H	13H	14H	15H	16H	17H
D10	219	200	215	200	221	208	215	205	210	208	204	206	200	191	215	205	205
D16	233	213	229	213	236	221	228	218	223	221	217	219	212	202	229	218	218
D25	254	232	249	232	259	241	249	238	243	241	236	239	230	220	249	237	238
D50	303	276	298	275	312	288	297	284	290	288	281	286	272	259	298	280	284
D75	362	328	357	328	376	343	355	339	345	344	334	340	322	306	355	333	338
D84	398	359	391	358	415	376	388	372	378	378	366	374	351	333	388	364	372
D90	421	380	413	378	441	399	410	395	400	400	387	396	369	352	410	384	394
DEAN : M□	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8
DEAN : □□	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Figure 26 : Analyses granulométriques de septembre 2005 (SOGREAH, 2006)



Figure 27 : Granulométrie, D50 (mm) – Septembre 2005 (SOGREAH, 2006)

D'une manière générale, les matériaux sont assez homogènes sur les différentes portions de la plage (haut, milieu et bas de plage) et le long de la plage.

- Sur le bas de plage, les matériaux sont caractérisés par un diamètre moyen (D50) de l'ordre de 0,3 mm (sables moyens). Le minimum observé correspond à un D50 de 0,28 mm (4B) ; le maximum observé à un D50 de 0,38 mm (11B).
- Sur le milieu de plage, les matériaux sont également caractérisés par un D50 de l'ordre de 0,3 mm.
- Enfin, sur le haut de plage, secteur qui ferait l'objet du réensablement, les matériaux sont caractérisés par un D50 moyen de 0,28 mm ; le minimum observé étant de 0,26 mm (14H) ; le maximum de 0,31 mm (5H).

2 Etude du rechargement

2.1 Gisements potentiels

Lors de l'étude de SOGREAH de 2006, une étude des gisements potentiels dans la région avait été réalisée. Nous avons analysé à nouveau ces gisements potentiels qui sont :

- Le Banc à la Ligne : les sédiments y sont trop fins pour notre rechargement et il est fortement déconseillé de faire démaigrir le banc car cela engendrerait une accélération de l'érosion dans la Baie de Wissant.
- La Baie de l'Authie : les sédiments sont trop fins (D50 moyen de 0,2 mm).
- L'estuaire de la Canche : les sédiments sont trop fins (D50 de 0,2 à 0,3 mm).
- Le port de Boulogne-sur-Mer : les sédiments sont vaseux ou sablo-vaseux et sont donc non compatibles avec un rechargement de plage.
- Le site du Portel (dépôt Sud du port de Boulogne-sur-Mer) : nous disposons de peu de données (le D50 est compris entre 0,2 et 0,5 mm (d'après l'IFREMER)), les volumes potentiels sont inconnus, le mode opératoire de transfert des sédiments est très complexe et engendrera un rechargement beaucoup trop coûteux.
- Le port de Dunkerque (matériaux issus du dragage du port) : les sédiments sont trop fins (D50 de 0,15 à 0,22 mm) pour être rechargé sur la plage de Wissant.
- Extracteurs professionnels
 - o Terrestres : cette solution serait trop coûteuse car il y a trop de volume à transporter par camions,
 - o Marins :
 - En France : il n'y a pas de gisements autorisés dans la région Nord Pas de Calais (DRIRE)
 - En Grande-Bretagne : les gisements sont autorisés,
 - En Belgique : les stocks ne sont pas suffisants pour être utilisés dans l'approvisionnement des côtes françaises.
- Demande de création d'un nouveau site d'extraction en mer-code minier.

- Sables en provenance de Belgique : issus de dragage, les sédiments sont trop fins (<0,25 mm).
- Le port de Calais (matériaux de dragage) : les sédiments du chenal extérieur sont compatibles (D50 de l'ordre de 0,4 mm). Les volumes dragués actuellement sont insuffisants dans le cadre du rechargement devant Wissant. Cependant, cela reste un gisement potentiel si le dragage est effectué dans des zones proches de Wissant.
- Les Bancs près de Calais : L'étude de SOGREAH de 2006 indiquait que sur le banc du Ridens de la rade, les sédiments ont un D50 de l'ordre de 0,2 à 0,5 mm. Ainsi, cette granulométrie de sédiments pourrait être adaptée pour le rechargement de Wissant à condition que la majorité des sédiments soit supérieure à D50=0,3 mm. De nouvelles données D'après les études passées, il y a sur ce ridens un engraissement du site moyen de 400 000 m³/an : Ainsi, le banc du Ridens de la rade est un gisement potentiel.

D'après cette étude, les seuls gisements potentiels seraient des gisements marins en Grande-Bretagne et des gisements au niveau de Calais et de ses ridens.

En complément à cette étude de SOGREAH de 2006, nous avons étudié dans le chapitre suivant les résultats de la granulométrie des sédiments au niveau des Ridens de la Rade de Calais suite à la campagne réalisée en 2009-2010 par FUGRO.

2.2 Mise à jour de la nature des sédiments au niveau de Calais

Les données qui sont analysées dans ce chapitre ont été fournies par le "Conseil Régional Nord – Pas-de-Calais - Direction Mer, Ports et Littoral".

ARTELIA (réf [7]) dans le cadre de l'étude « Extension du port de Calais « Calais 2015 » a réalisé un bilan des résultats de la campagne de prélèvements de sédiments réalisée par FUGRO en 2009-2010 au niveau des Ridens de la Rade.

La campagne a été menée par FUGRO en 2009-2010, d'une part par prélèvements de sédiments de surface (2009), et d'autre part par carottage, dans le cadre du projet « Calais Port 2015 ». Les analyses sur les carottes ont été moyennées sur la verticale.

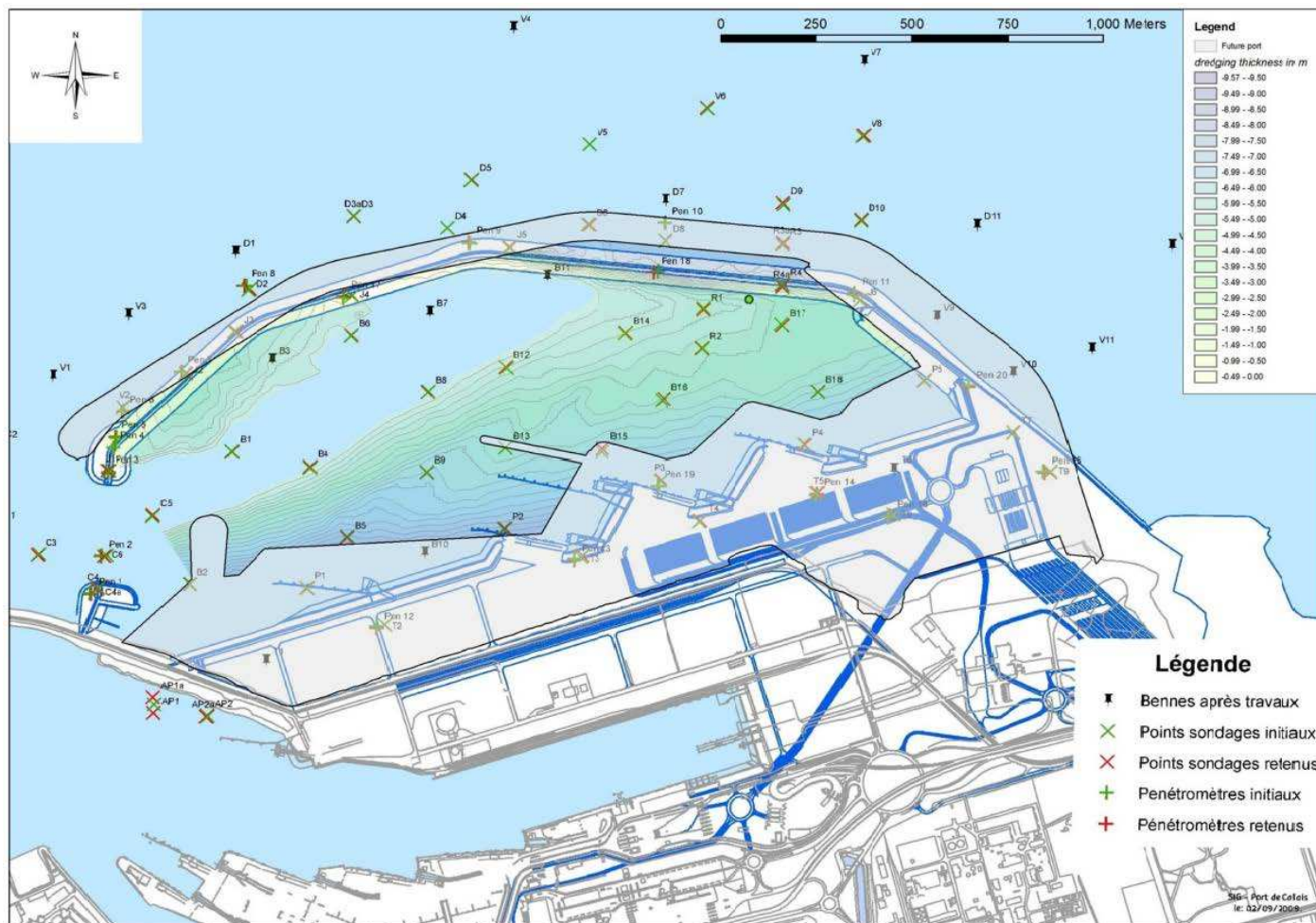


Figure 28 : Localisation des points de prélèvements lors de la campagne de FUGRO 2009-2010 (ARTELIA, 2012)

Les tableaux ci-après présentent les résultats des analyses granulométriques par types de prélèvements. Sont indiqués dans les tableaux le D50 des matériaux, la profondeur sous le terrain naturel où les sédiments ont été prélevés (lorsque la profondeur n'est pas renseignée c'est qu'il s'agit de prélèvements superficiels à la benne), la moyenne du D50 des sédiments.

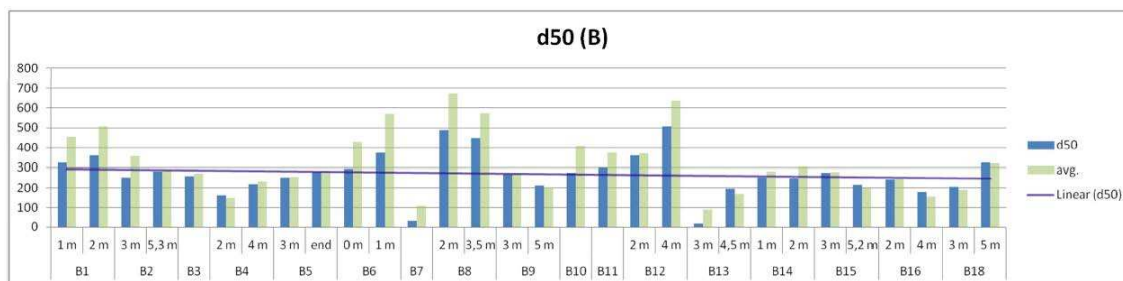


Figure 29 : D50 (en μm) des prélèvements du nouveau bassin portuaire (B), profondeur TN (en m) (ARTELIA, 2012)

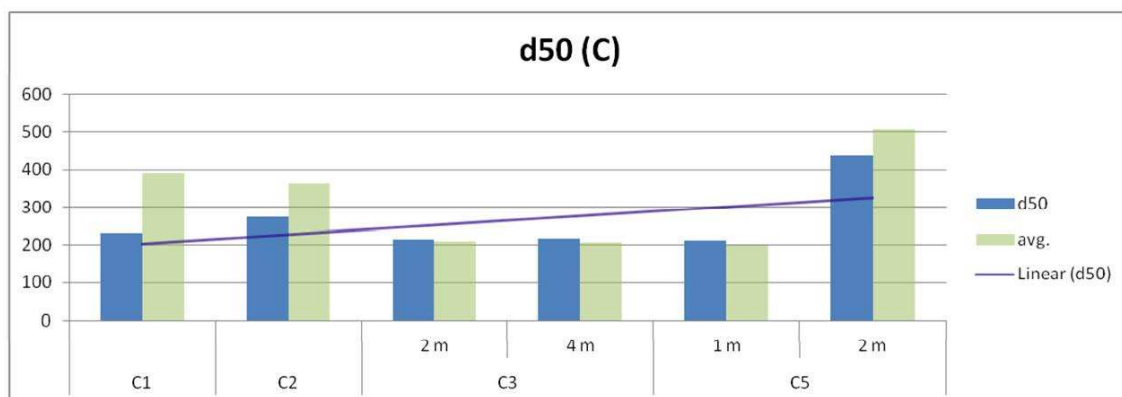


Figure 30 : D50 (en µm) des prélèvements du nouveau bassin (C), profondeur TN (en m) (ARTELIA, 2012)

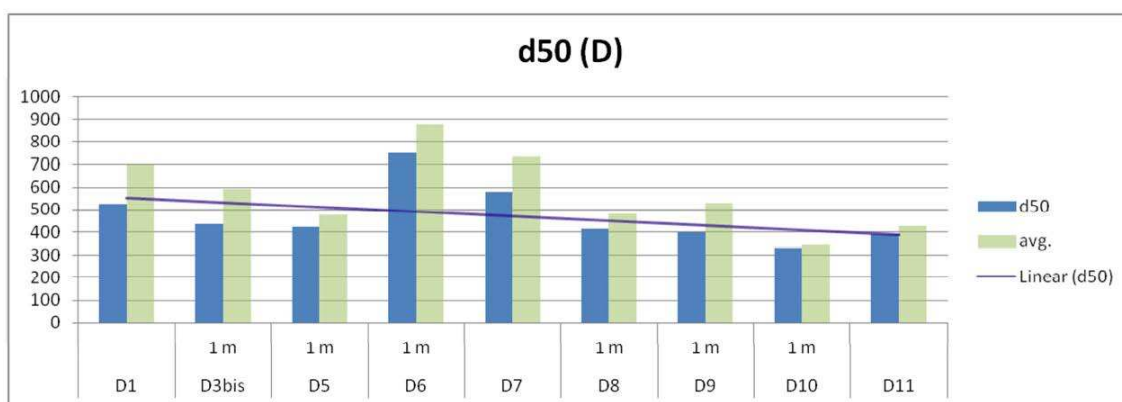


Figure 31 : D50 (en µm) des prélèvements au Nord de la nouvelle digue (D), profondeur TN (en m) (ARTELIA, 2012)

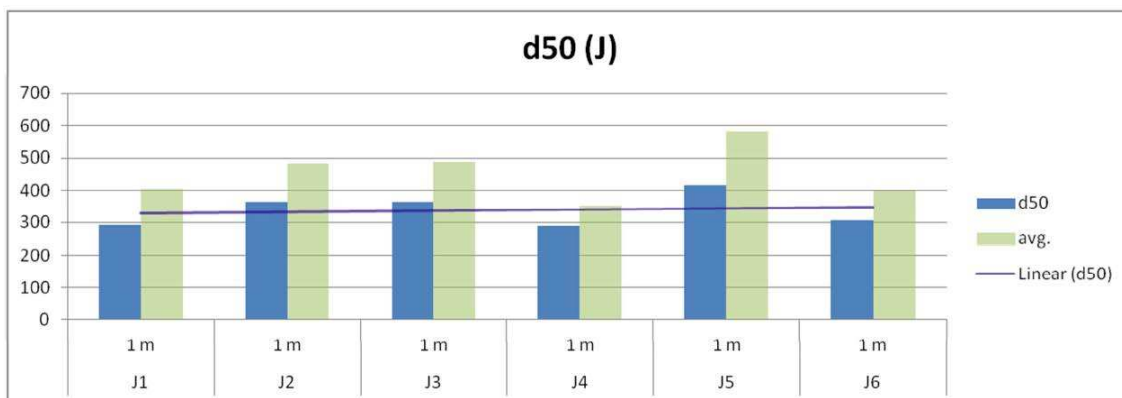


Figure 32 : D50 (en µm) des prélèvements à l'endroit de la nouvelle digue (J), profondeur TN (en m) (ARTELIA, 2012)

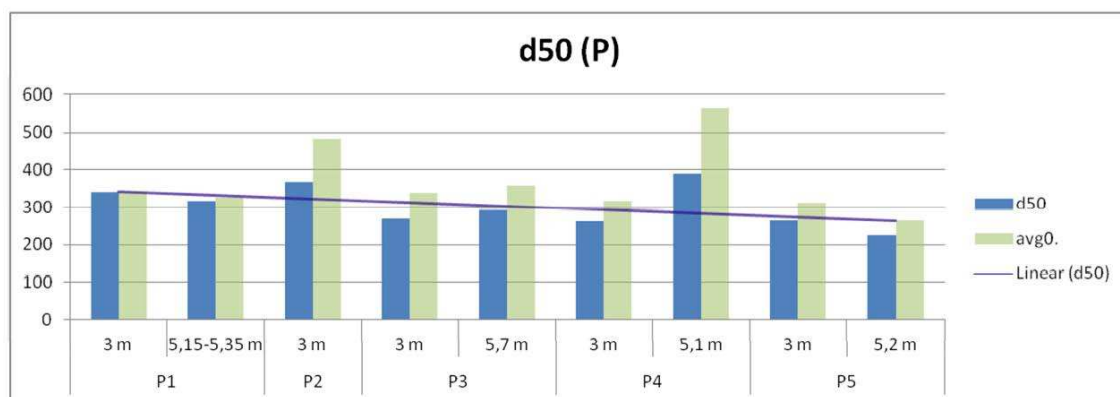


Figure 33 : D50 (en μm) des prélèvements aux postes portuaires (P), profondeur TN (en m) (ARTELIA, 2012)

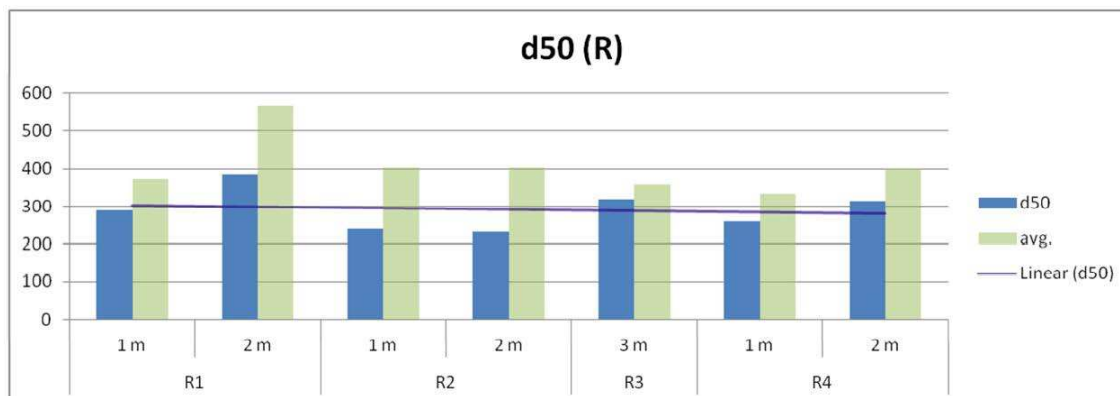


Figure 34 : D50 (en μm) à côté du rejet TIOXIDE existant (R), profondeur TN (en m) (ARTELIA, 2012)

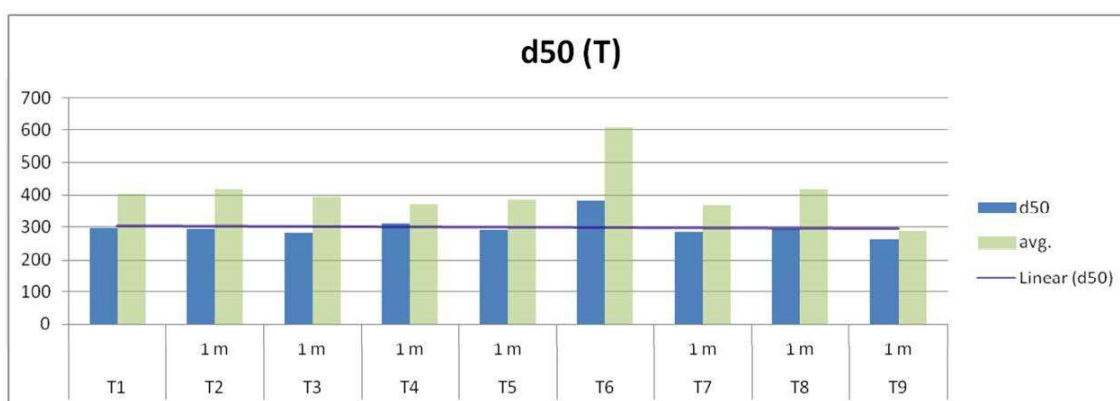


Figure 35 : D50 (en μm) des prélèvements dans la zone des futurs terre-pleins (T), profondeur TN (en m) (ARTELIA, 2012)

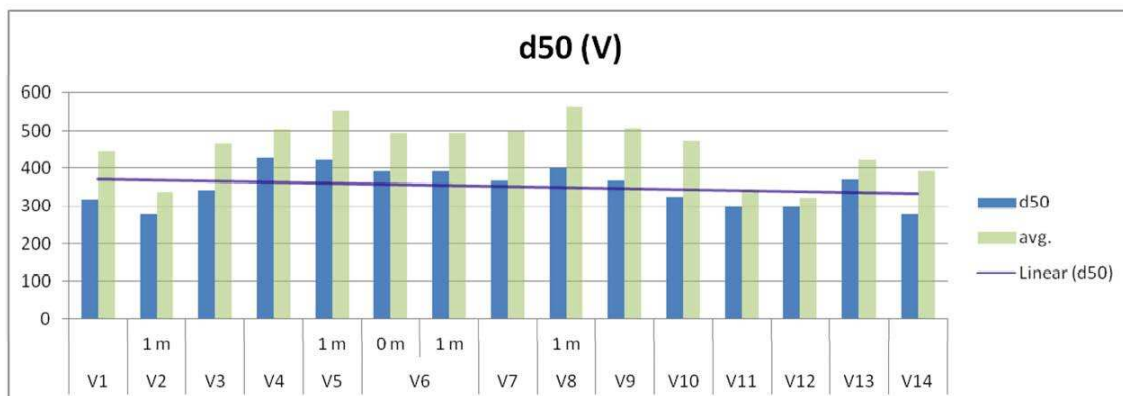


Figure 36 : D50 (en µm) des prélèvements divers autour de la zone du projet (V), profondeur TN (en m) (ARTELIA, 2012)

L'analyse des résultats concernant le D50 moyen des sédiments est présentée ci-après :

- Prélèvements B : D₅₀ moyen = 0,25 à 0,3 mm.
- Prélèvements C : D₅₀ moyen = 0,2 à 0,3 mm.
- Prélèvements D : D₅₀ moyen = 0,4 à 0,8 mm.
- Prélèvements J : D₅₀ moyen = 0,3 à 0,4 mm.
- Prélèvements P : D₅₀ moyen = 0,25 à 0,4 mm.
- Prélèvements R : D₅₀ moyen = 0,25 à 0,4 mm.
- Prélèvements T : D₅₀ moyen = 0,3 à 0,4 mm.
- Prélèvements V : D₅₀ moyen = 0,3 à 0,45 mm.

Les sédiments sont généralement composés de sables moyens dont le diamètre moyen D₅₀ des sédiments est de l'ordre de 0,3 à 0,4 mm.

Les sédiments les plus grossiers avec un D₅₀ > 0,4 mm se situent essentiellement au Nord de la nouvelle digue portuaire du futur port de Calais 2015.

Ainsi, une partie des sédiments au niveau du port de Calais sont trop fins pour être utilisés dans le cadre d'un rechargement de plage mais la moyenne des sédiments (sur l'ensemble des prélèvements) est du même ordre de grandeur que les sédiments actuellement en place sur le littoral de Wissant (D₅₀=0,3 mm). Quelques secteurs présentent des sédiments avec un D₅₀ plus grossiers (>0,4mm) qui permettraient d'optimiser le rechargement sur la plage de Wissant. Nous rappelons que plus le sédiment utilisé pour le rechargement est grossier, plus le rechargement sera efficace en termes de longévité.

La zone du port de Calais et de ses ridens est donc un gisement potentiel pour le rechargement de Wissant à condition d'utiliser les sédiments avec un D₅₀ > à 0,3 mm. L'idéal étant de récupérer les sédiments dont le D₅₀ est supérieur à 0,4 mm.

Remarque : A titre informatif, la figure ci-après présente le plan masse du changement substantiel d'utilisation des zones du domaine public maritime. Ce document est issu du Dossier d'enquête publique – Volume F pièce 11 du projet du port de Calais 2015 [11].

Le plan ci-après est donné à titre indicatif et est soumis à validation de l'enquête publique.

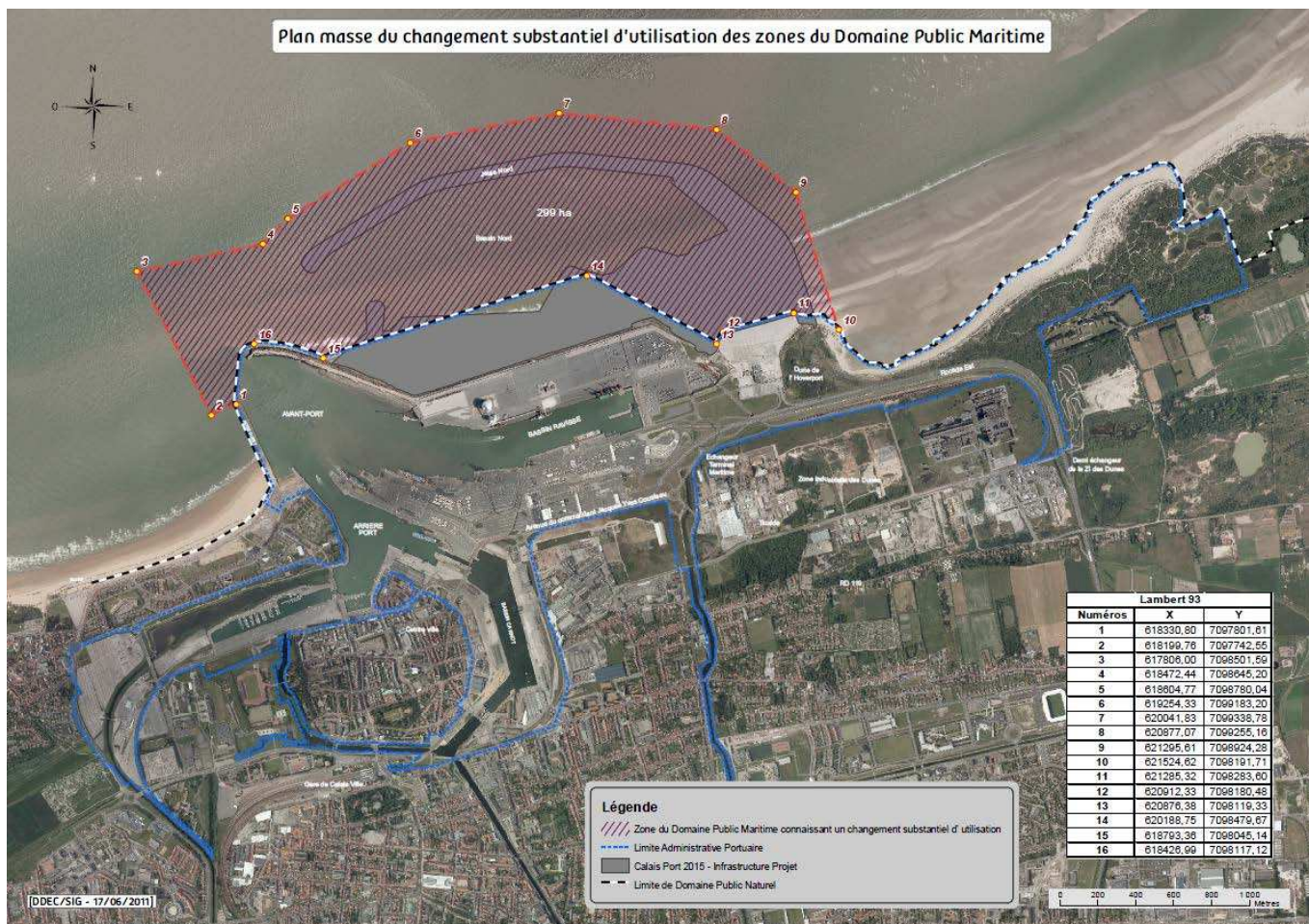


Figure 37 : Plan masse du changement substantiel d'utilisation des zones du Domaine Public Maritime – Calais Port 2015 (source : Dossier d'enquête publique)

2.3 Granulométrie des sables à apporter

La conclusion de cette étude est que le site de Calais est le plus approprié :

- Bonne compatibilité granulométrique,
- Proximité du site de Wissant (12 milles nautiques),

L'utilisation des matériaux sableux issus du dragage permettrait en outre de répondre aux besoins de l'opération de rechargement mais également d'améliorer les conditions d'accès au port de Calais.

Les caractéristiques des matériaux identifiés sont les suivantes :

- D16 moyen de l'ordre de 0,3 mm.
- D50 moyen de l'ordre de 0,4 mm.
- D84 moyen de l'ordre de 0,6 mm.

Dans le cadre de notre réactualisation de l'étude, le site le plus adapté pour un futur rechargement des plages de Wissant reste le site de Calais avec notamment une possibilité de récupérer des sédiments en provenance des futurs travaux liés à l'extension du port de Calais (matériaux à l'extérieur du port sur les ridens et bancs sableux et sur les bordures du chenal).

Ainsi, il sera considéré dans cette étude les mêmes caractéristiques granulométriques des sables de rechargement que lors de l'étude de SOGREAH de 2006.

Ces données devront être précisées lors de l'Avant-Projet du rechargement, une fois la zone d'emprunt précisément identifiée.

2.4 Profils de plage rechargés

Il est considéré le rechargement suivant : **berme de 30 mètres à la côte +8,55 m CM** (ou +4,7 m IGN) correspondant au niveau de PHMA (Plus Haute Mer Astronomique).

Considérer un rechargement avec une berme à la côte PHMA permet en conditions normales (hors surcotes) que la berme ne soit jamais recouverte par la marée permettant ainsi une meilleure tenue de la plage rechargée.

2.5 Linéarisation du littoral

Le littoral de Wissant présente actuellement des points singuliers liés à la présence du perré longitudinal mais aussi à l'érosion du cordon dunaire. Ces points singuliers sont des zones critiques car elles engendrent une concentration des houles, une accélération des courants qui érodent le littoral.

Ainsi, le rechargement proposé gomme au maximum ces points singuliers en linéarisant le littoral (cf. figure 2 en Annexe 6).

La largeur de la berme considérée est de 30 m au droit du perré de Wissant mais ensuite de part et d'autre du perré cette largeur sera adaptée pour permettre au littoral d'avoir un linéaire lissé avec le meilleur équilibre possible.

2.6 Définition des profils d'équilibre

La première étape consiste à ajuster les profils de plage actuels selon des profils théoriques en tenant compte de la distribution granulométrique existante (méthode de Dean).

En effet, Dean a montré qu'un profil de plage pouvait être approché par une loi du type :

$$h = B y^{2/3} D^{1/3}$$

avec h et y : hauteur et distance (m) à partir d'une origine située en haut de plage

D : diamètre moyen (en mm) des sables pour le profil considéré.

B : facteur inconnu qui dépend de plusieurs variables telles que les houles, la marée, et les courants. Le facteur B est déterminé en ajustant la loi ci-dessus pour les profils de plage de décembre 2013.

L'origine de chaque profil a été prise à la cote souhaitée qui est la cote de PHMA.

Les profils de rechargement théorique sont présentés en Annexe 5 figures 3 à 10.

Remarque :

Le coefficient B de la formule de Dean diffère en fonction des houles, marée, courants, etc... mais aussi également en fonction du type de plage. En effet, il ne peut pas être utilisé le même coefficient B pour une plage qui est quasiment toujours immergée à pleine-mer et pour une plage toujours sèche à pleine-mer.

Les profils actuels situés devant le perré longitudinal (P500 à P470) ne présentent pas une forme de plage classique à l'équilibre à cause de l'influence du perré (forte réflexion) et du fait qu'il n'y a plus de plage sèche lors de la pleine mer. Ainsi, pour effectuer le calage du coefficient B, nous avons dû considérer la pente du perré longitudinal comme étant le démarrage du profil de plage comme l'a également fait SOGREAH en 2006. Si on ne fait pas cette manipulation et qu'on considère le haut de plage situé en bas du perré arasé à seulement +5 ou +6 mCM, cela faussera la valeur du coefficient B qui sera utilisé pour déterminer le profil théorique rechargé de la plage qui aura cette fois-ci une plage sèche même à pleine-mer.

2.7 Estimation des volumes brut de rechargement

Le volume réel (ou brut) à apporter sera égal au volume net auquel il faut ajouter les éventuelles pertes dues à la différence des distributions granulométriques entre le matériau d'apport ($D_{50} = 0,4 \text{ mm}$) et le sable constituant la plage actuelle ($D_{50}=0,3 \text{ mm}$) (si le matériau contient des vases sables plus fins que celui constituant la plage, ils seront rapidement perdus).

Ces pertes se produiront lors du rechargement ou peu après, il faut donc les prévoir pour les compenser par un apport initial supérieur.

Le volume net (volume pour l'état rechargé après que les pertes lors du rechargement se sont produites) dépend :

- de la largeur et cote d'arase de la « berme » qui correspond à la plage « sèche »,
- de la pente de la plage qui va dépendre du diamètre caractéristique du matériau apporté.

Le volume nécessaire pour constituer le nouveau profil V_i est déterminé par la cubature entre le profil rechargé et le profil de décembre 2013. Le volume V_i à apporter entre les profils P_i et P_{i+1} est estimé par $V_i = (v_i + v_{i+1})/2$ avec v_i : volume en m^3/m sur le profil P_i .

La bathymétrie de rechargement théorique ainsi que le différentiel entre la future bathymétrie rechargée et le levé topo-bathymétrique actuel de décembre 2013 sont présentés en Annexe 6 aux figures 2 et 3.

Le volume de sables à apporter pour le rechargement envisagé (berme de 30 m à la cote +8,55 m CM) sur le linéaire de 2500 m est de l'ordre de $620\,000 \text{ m}^3$ à la date du 5 décembre 2013.

Le volume de sables à apporter pour le rechargement envisagé (berme de 30 m à la cote +8,55 m CM) sur le linéaire de 2500 m est de l'ordre de $620\,000 \text{ m}^3$.

2.8

2.9 Estimation des volumes des pertes annuels

La méthodologie préconisée par le CEM (Coastal Engineering Manual) consiste à déterminer un facteur de « sur-rechargement » R_a qui se calcule sur la base de la comparaison des paramètres intrinsèques des sables d'apports et en place soit les diamètres moyens et les écart-types des matériaux.

Le facteur R_a , définit ci-après, est le ratio entre les volumes à extraire sur le gisement sur les volumes estimés à mettre en place sur la plage (volume de besoin).

$$R_a = \frac{\text{Volume à extraire (m}^3\text{)}}{\text{Volume de besoin (m}^3\text{)}}$$

En effet, les pertes prévisibles dues au rechargement dépendent de la différence des distributions granulométriques entre les sables d'apport et ceux présents sur la plage. Pour estimer ces pertes, deux paramètres sont à considérer : le facteur d'apport initial R_A et le facteur d'entretien R_F , (Annexe 6 figure 4).

SOGREAH a réalisé en 2006 le calcul du facteur de « sur-rechargement » à partir des conditions granulométriques suivantes :

Pour le sable de rechargement sur le site de Calais (ces éléments seront à préciser lors de l'avant-projet et de la définition précise de la zone d'emprunt) :

- D16 : 0,3 mm,
- D50 : 0,4 mm
- D84 : 0,6 mm.

Pour le sable actuel de la plage de Wissant, en particulier sur la zone à recharger, il a été pris en compte la granulométrie moyenne suivante :

- D16 : 0,22 mm
- D50 : 0,3 mm
- D84 : 0,4 mm

La méthodologie employée par SOGREAH en 2006 est rappelée ci-après :

Le facteur R_a exprime combien de mètres cubes de matériau doivent être apportés sur la plage pour produire 1m^3 de sédiments étant dans des conditions d'équilibre analogues à l'actuel.

R_a est défini graphiquement à partir des quantités :

$$\sigma \phi_R / \sigma \phi_N \text{ et } (M \phi_R - M \phi_N) / \sigma \phi_N$$

qui sont déterminées de la manière suivante :

- $\phi_q = \log_2 D_q$ dans laquelle ϕ_q est le diamètre du grain en unité ϕ et D_q est le diamètre(mm) du percentile en %.
- $M \phi = (\phi_{84} + \phi_{16}) / 2$ qui est la valeur moyenne de ϕ .
- $\sigma \phi = (\phi_{16} - \phi_{84}) / 2$ qui est l'écart type de ϕ .

Le facteur d'entretien RF donne le rapport entre la perte en sédiment une fois la plage rechargée et la perte dans l'état actuel.

$$R_F = \exp \left[\Delta \left(\frac{M\phi_R - M\phi_N}{\sigma \phi_N} - \frac{\Delta^2}{2} \left(\frac{\sigma^2 \phi_R}{\sigma \phi_N} - 1 \right) \right) \right]$$

De ce fait, un gisement sera d'autant plus satisfaisant du point de vue granulométrique qu'il fournira un sable tel que :

- $R_a = 1$: (ou le plus proche de 1), c'est à dire qu'il n'y aura pas de pertes dû au fait que le matériau d'apport contient une fraction de sables plus fins que l'existant.
- $R_F \leq 1$: les pertes resteront au maximum égales à ce qu'elles sont actuellement ou, au mieux seront plus faibles ($R_F < 1$).

Le facteur de sur-rechargement R_a calculé est de 1,02. Il y aura donc peu de pertes dues la différence de granulométrie entre le matériau apporté et le sable constituant la plage actuelle.

Les volumes réels à mettre en place devront être 2% supérieurs aux volumes nets qui ont été estimés précédemment d'où : $620\,000 \times 1,02 = 635\,000 \text{ m}^3$.

Le facteur RF reste inférieur à 1 (0,373) ce qui signifie que les pertes seront égales ou inférieures aux pertes actuelles (50-60 000 m³/an en moyenne mais fortes variabilités mises en évidence et mouvements dans les profils importants).

Avec une perte de sédiments de l'ordre de 50 000 à 60 000 m³/an, le rechargement envisagé de l'ordre de 635 000 m³ aura disparu en 10 à 12 ans si aucune mesure de protection d'accompagnement n'est envisagée.

Ainsi, pour limiter une perte trop excessive des sédiments rechargés, nous proposons dans le point suivant une liste de solutions envisageables de protection présentées à un stade préliminaire.

Parmi ces solutions, trois d'entre elles seront choisies en concertation avec le PMCO que nous étudierons lors de la phase 2 de cette étude.

Remarque :

Le volume de sédiments à recharger (635 000 m³) étant supérieur au volume de 306 000 m³ estimé en 2006. Si le volume de sédiments disponibles sur le site de Calais s'avère être inférieur au volume de rechargement nécessaire, il est également envisageable de diminuer ce volume de rechargement en diminuant la largeur de berme du rechargement (passage de 30 m à 20 m ou 10 m...).

Par contre, si la largeur de plage venait à être réduite, cela engendrera une réduction de la capacité de respiration de la plage et de la protection qu'elle assure au littoral.

3 Proposition de types de solutions envisageables

Compte tenu de l'importante érosion et de l'abaissement régulier des fonds sur la zone d'étude, l'objectif premier est de réaligner le littoral. En effet, la dune d'Aval s'est érodée et cette érosion fait qu'aujourd'hui l'angle Sud-Ouest du perré est en avant de l'ordre de 50 à 60 m par rapport au rivage. En hydrodynamique, si un point du littoral est trop en avant par rapport au littoral, il va engendrer une importante concentration des houles qui vont le fragiliser à termes.

Or, dans le cadre des travaux de réhabilitation du perré de Wissant, cet angle Sud-Ouest du perré ne fait pas parti des sections du perré à reconstruire.

Ainsi, vu l'érosion et l'abaissement des fonds généralisé il y a urgence à réaligner tout le littoral.

Les solutions envisageables sont la mise en place d'un rechargement de sédiments accompagné de mesures réductrices pour limiter la perte des sédiments.

3.1 Le rechargement

Il est proposé de réaliser un rechargement sur la partie centrale de la baie de Wissant sur un linéaire de 2500 m. Ce rechargement permettra de :

- Assurer une protection des ouvrages et des dunes de haut de plage en dissipant l'énergie des vagues sur la plage,
- **Solutionner les problématiques soulevées précédemment** sans impact paysager,
- **Améliorer** les qualités balnéaires du site et accroître sa valeur touristique,

Il est considéré un rechargement d'environ 635 000 m³ correspondant à : **berme de 30m à la côte +8,55 m CM** (ou +4,7 m IGN) correspondant au niveau de PHMA (Plus Haute Mer Astronomique).

Dans l'hypothèse où le volume de sédiments disponibles s'avère être inférieur au volume de rechargement nécessaire de 635 000 m³, il est également envisageable de diminuer ce volume de rechargement en diminuant la largeur de berme du rechargement (passage de 30 m à 20 m ou 10 m...).

3.2 Mesures réductrices permettant de limiter la perte des sédiments rechargés

Afin de limiter la perte des sédiments rechargés, nous proposons ci-après une liste de mesures réductrices envisageables.

Ces mesures peuvent être envisagées indépendamment ou mixées entre elles sachant que le littoral d'étude peut être découpé en quatre secteurs différents ne nécessitant pas le même système de protection :

- S1 : Ouest-Dune d'Aval
- S2 : Dune d'Aval
- S3 : Perré devant Wissant
- S4 : Dune d'Amont.

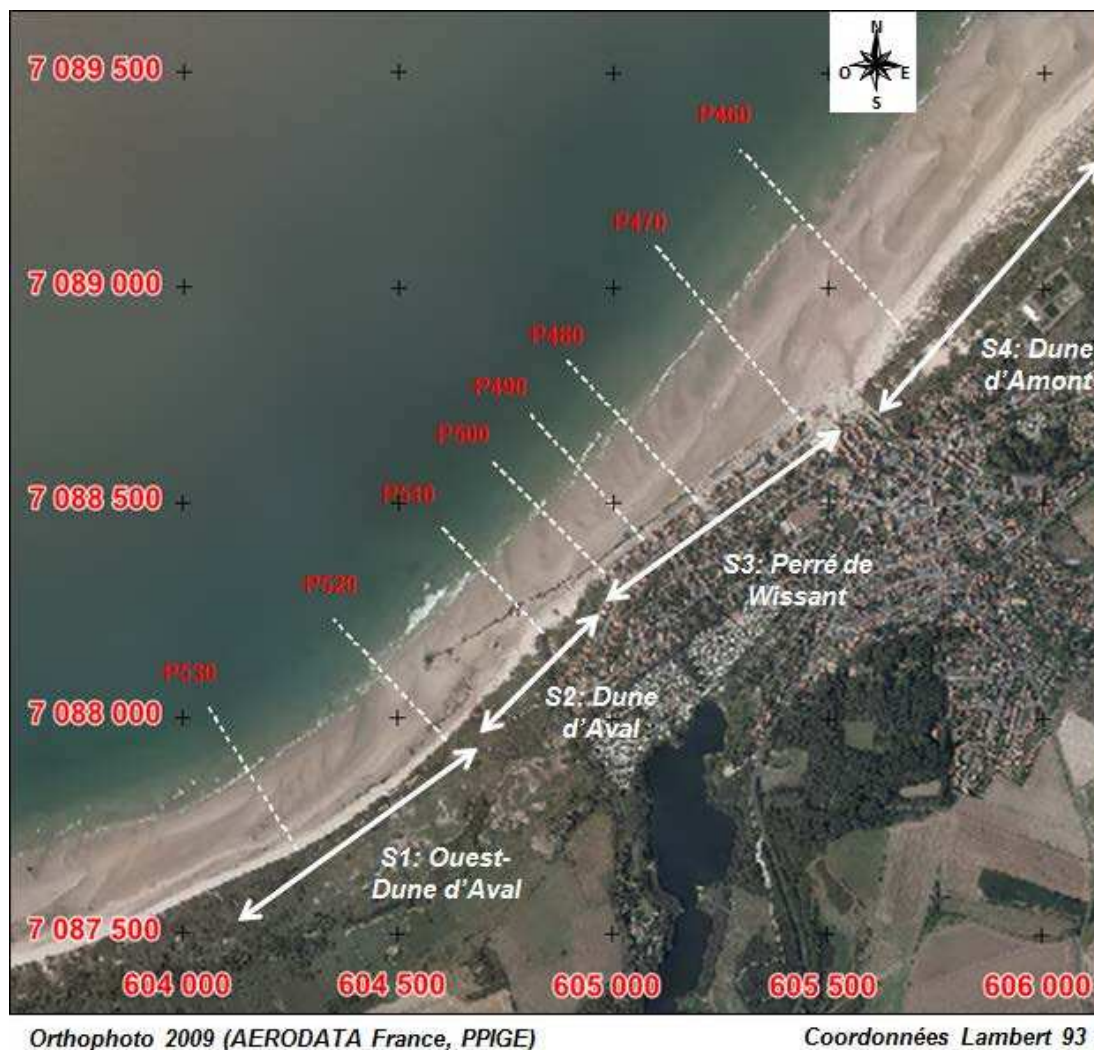


Figure 38 : Secteurs du littoral d'étude

- a) La première mesure réductrice est de reconstituer à minima la dune d'Aval.
- b) La seconde mesure est de mettre en défense la dune d'Aval et la dune d'Amont (ganivelles, chemins d'accès à la plage, végétation avec des oyats, etc...).
- c) La troisième action est de mettre en place un système doux d'atténuation des vagues sur le haut estran : mise en place de pieux en bois sur 3 ou 4 rangées et d'épis transversaux (comme ceux mis en place au niveau des anciens blockhaus).

En complément, il peut être envisagé :

- d) La mise en place d'un tube en géotextile sous la dune d'Aval pour limiter son recul en cas d'évènement exceptionnel.
- e) La mise en place devant le perré d'épis transversaux courts et plongeants en géotextiles et/ou en pieux bois non jointifs. Ces épis courts seront adaptés pour ne pas gêner les pratiques de loisirs sur la plage (char à voile notamment).

3.3 Proposition de scénarios envisageables

Les scénarios envisageables sont :

- 1. Rechargement de sable (635 000 m³) accompagné des mesures réductrices a), b) et c) présentées ci-avant en incluant un entretien régulier avec des rechargements (par exemple tous les 5 à 6 ans avec 300 000 m³, volume et fréquence de rechargement qui seront affinés lors du suivi de l'évolution future de la plage (cf. Chapitre 3 -3.5)).
- 2. Le scénario 1 ci-avant accompagné en plus des mesures réductrices d) et e).
- 3. Un scénario avec un rechargement initial en sables moins important accompagné des mesures réductrices a), b), c), d) et e) présentées ci-avant. Dans ce cas, le rechargement initial serait effectué pour une largeur de plage et/ou une altimétrie diminuée par rapport au scénario 1.
- 4. Rechargement de sable (635 000 m³) accompagné d'un dispositif de protection de la plage par drainage : Système ECOPLAGE® et système PEM « Pressure Equalizing Modules » (drainage vertical).

Ces systèmes ne sont pas réalisables à cause du trop fort taux d'érosion et d'abaissement de la plage.

- 5. Rechargement de sable (635 000 m³) accompagné de la protection contre l'érosion par des filets : Système ABLE.

Le Système ABLE fonctionne avec l'énergie modulée par la mer. Elle reconstitue le littoral en réalisant une accrétion naturelle structurée par des filets. Le système est repositionnable et extractible à tout moment.

Nous ne préconisons pas ce type de solution sur le littoral de Wissant à cause du risque pour les activités nautiques (baignade, planche à voile, kite surf, etc...).

De plus, il y a à l'heure actuelle très peu de retour d'expérience de ce nouveau système dont nous ne sommes pas sûrs qu'il s'adapte correctement à la complexité hydrodynamique du site.

3.4 Cas particulier du rechargement du Banc à la Ligne

Une autre solution pourrait être le rechargement massif du Banc à la Ligne. En effet, nous avons constaté lors de l'analyse du fonctionnement hydrosédimentaire de la Baie de Wissant que les variations de la morphologie du Banc à la Ligne pourraient avoir un impact sur l'érosion du trait de côte dans la baie de Wissant (cf. Chapitre 2 -5 pour les explications sur le lien potentiel entre la côte d'arase du Banc à la Ligne et l'érosion du trait de côte).

Ainsi, un rechargement massif du Banc à la Ligne pourrait permettre de le rehausser ainsi que d'élargir et/ou d'allonger son emprise.

Cette modification de sa morphologie pourrait permettre de faire déferler les houles plus en amont qu'actuellement afin de limiter l'agitation à la côte et donc diminuer les risques d'érosion du cordon dunaire lors des tempêtes.

Toutefois, il n'existe actuellement pas d'étude hydrosédimentaire complète détaillant explicitement le fonctionnement courantologique dans la zone comprise entre le Banc à la Ligne et le littoral. Cette zone est actuellement en érosion avec un abaissement régulier de l'estran.

Il n'est pas possible sans étude complémentaire (étude hydrosédimentaire détaillée de la baie de Wissant avec des modélisations numériques) de conclure à l'efficacité de ce scénario de

rechargement massif au niveau du Banc à la Ligne ni d'estimer un volume de rechargement cohérent permettant d'être efficace sur l'évolution des fonds devant Wissant.

Les modélisations numériques consisteraient à effectuer une batterie de modèles couplés entre eux :

- Un modèle de propagation des houles 2D du large à la côte,
- un modèle courantologique 3D prenant en compte les courants de marée et les courants liés à la houle,
- un modèle sédimentologique permettant de visualiser les mouvements sédimentaires au sein de la baie de Wissant.

Avec ces modélisations, les impacts du Banc à la Ligne sur la houle, les courants et les mouvements sédimentaires pourraient être comparés dans les deux configurations avant et après rechargement sur le Banc à la Ligne.

Ce type d'étude de modélisations numériques est complexe et présenterait un coût pouvant varier entre 80,000 et 130,000 K€ HT hors coûts d'acquisitions des données d'entrées (bathymétrie, houles, niveaux d'eau, courants, etc...) selon le nombre d'option modélisé et le type de calibration effectuée.

3.5 Suivi et entretien de la plage

Dans les années qui suivront la mise en place des propositions d'aménagements ci-avant, il faudra effectuer un suivi et un entretien de l'évolution de la plage.

- Suivi de l'évolution de la plage et des petits fonds marins par la réalisation de deux campagnes de profils topo-bathymétriques aux mêmes endroits que les profils P460 à P530 : une campagne à la fin de l'hiver (en mai) et une autre à la fin de l'été (en octobre).
- Suite à l'analyse du suivi, des entretiens avec des rechargements épisodiques ou réguliers pourraient être envisagés pour compenser la perte des sédiments. Ces entretiens s'effectueraient dans l'hypothèse où des gisements sont disponibles.
- Suite à l'analyse du suivi, des entretiens par transfert de sable artificiel pourraient être envisagés pour compenser le déplacement des sédiments au cœur de la cellule sédimentaire.

Remarque concernant la mise en place d'une canalisation définitive de rechargement :

Une première analyse a été menée pour savoir si la mise en place de cet ouvrage serait une solution pérenne ou non (rechargement régulier).

Cette canalisation de rechargement aurait pour objectif d'être définitive en vue d'être réutilisée pour chaque rechargement d'entretien en sédiments sur la plage. Sa vocation d'être définitive nécessite un dimensionnement important pour résister aux conditions hydrodynamiques intenses du site (houle, courants, etc...) sur le long terme ce qui impliquera un prix fort coûteux.

De plus, à l'heure actuelle il est impossible d'être certain de pouvoir disposer dans les années à venir de stocks de sable disponibles pour des rechargements d'entretien réguliers. Ainsi, l'investissement dans la canalisation pourrait ne pas être rentable et aujourd'hui il vaut mieux de ne pas mettre en place cet ouvrage de manière définitive.

ANNEXES



- Études générales
- Assistance au Maître d'Ouvrage
- Maîtrise d'œuvre conception
- Maîtrise d'œuvre travaux
- Formation

Egis Ports Siège social
11 Avenue du Centre
78286 GUYANCOURT CEDEX

Tél. : 01 30 12 48 00
Fax : 01 30 12 10 95
<http://www.egis-ports.fr>

