



REQUALIFICATION DU SITE DE LA BAIE DE WISSANT REENSABLEMENT DE LA PARTIE CENTRALE

RAPPORT FINAL

PHASE 3

JUILLET 2006
N°1711505



PREFECTURE DE LA REGION
NORD - PAS-DE-CALAIS



SOMMAIRE

OBJET DE L'ETUDE.....	I
SYNTHESE ET CONCLUSIONS.....	II
1. SCENARIOS ADAPTES A LA BAIE DE WISSANT	1
1.1. INTRODUCTION.....	1
1.2. RECHARGEMENT INITIAL - DESCRIPTION DES OPERATIONS.....	2
1.2.1. ZONE D'EXTRACTION.....	2
1.2.2. DIMENSIONS DU RECHARGEMENT	2
1.2.3. MODALITES DE MISE EN OEUVRE.....	3
1.3. OPERATIONS D'ENTRETIEN	4
1.3.1. SCENARIO 1 : ENTRETIENS PERIODIQUES.....	5
1.3.2. SCENARIO 2 : RECHARGEMENT + SYSTEME D'EPIS DE RETENTION DES MATERIAUX	9
1.3.3. SCENARIO 3 : RECHARGEMENT + SYSTEME DE DRAINAGE ECOPLAGE	9
2. ANALYSE DE LA STABILITE DU RECHARGEMENT EN CONDITIONS DE TEMPETE	11
2.1. INTRODUCTION.....	11
2.2. DESCRIPTION DU MODELE PETRA	11
2.2.1. GENERALITES	11
2.2.2. CONSTRUCTION DU PROFIL DE PLAGE	12
2.2.3. CONSTRUCTION DE LA TEMPETE	12
2.3. APPLICATION AU CAS DE WISSANT	12
2.3.1. PROFILS	12
2.3.2. TEMPETES.....	12
2.3.3. CALAGE.....	13
2.3.4. RESULTATS	13
2.3.5. ANALYSE DE LA STABILITE DE LA PLAGE (CF. FIGURE 2.11)	15
3. ANALYSE MULTICRITERE DES SCENARIIS PROPOSES	16
3.1. EFFICACITE AU REGARD DES OBJECTIFS VISES.....	16
3.2. COMPARAISON ECONOMIQUE ACTUALISEE DES SOLUTIONS PROPOSEES.....	16
3.2.1. INTRODUCTION	16
3.2.2. HYPOTHESES	17
3.2.3. COUTS ACTUALISES	18
3.2.4. GRILLE D'ANALYSE MULTICRITERE	20
4. MESURES D'ACCOMPAGNEMENT.....	21
4.1. PROTECTION DU PIED DE DUNE – SECTEUR PARKING DUNE AVAL ..	21
4.1.1. GENERALITES	21
4.1.2. DESCRIPTION TECHNIQUE DE LA PROTECTION.....	21
4.1.3. EXECUTION DES TRAVAUX.....	22
4.1.4. ESTIMATION DES COUTS.....	22

4.1.5.	ENTRETIENS NECESSAIRES	22
4.2.	DEMANTELEMENT DES BLOCKHAUS	23
4.3.	TECHNIQUES « DOUCES » DE RETENTION DES SABLES & ORGANISATION DE LA FREQUENTATION DES DUNES (SOURCE : EDEN 62)	23
4.3.1.	INTRODUCTION - OBJECTIFS	23
4.3.2.	DETAIL DES PROPOSITIONS D'EDEN 62	23
4.3.3.	ESTIMATION DES COUTS	24
4.4.	RE-AMENAGEMENT DE L'EXUTOIRE DU RUISSEAU	25
5.	METHODES DE SUIVI DES EVOLUTIONS DE LA PLAGE ET DES PETITS FONDS ...	26
5.1.	GENERALITES	26
5.2.	LEVES TOPO-BATHYMETRIQUES	26
5.2.1.	PRINCIPES	26
5.2.2.	EMPRISE DES MESURES TOPO-BATHYMETRIQUES	27
5.2.3.	ESTIMATION DES COUTS	27
5.3.	SYSTEME DE DECLenchement DES OPERATIONS D'ENTRETIEN	27
6.	PLANNING DES OPERATIONS – PROCEDURES REGLEMENTAIRES	28
6.1.	PLANNING DES OPERATIONS	28
6.2.	PROCEDURES REGLEMENTAIRES	29
6.2.1.	REGIME ADMINISTRATIF DE L'OUVRAGE	29
6.2.2.	PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT	29
6.2.3.	DEROULEMENT DES PROCEDURES	30

ANNEXE A SYSTEME ECOPLAGE

LISTE DES FIGURES

- FIGURE 1.1 VARIANTE A – BERME 30 M – COTE : + 4,70M
FIGURE 1.2 VARIANTE A – BERME 30 M – COTE : + 4,70 - EPAISSEUR
FIGURE 1.3 DRAGUE ASPIRATRICE EN MARCHÉ (DAM)
FIGURE 1.4 MISE EN OEUVRE – REFOULEMENT DES MATERIAUX
FIGURE 1.5 POSITION APPROXIMATIVE DE LA CONDUITE
FIGURE 1.6 POSITION APPROXIMATIVE DE LA ZONE D'EXTRACTION
FIGURE 1.7 SOLUTIONS TYPE EPIS
FIGURE 1.8 ECOPLAGE : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT
FIGURE 1.9 LINEAIRE APPLICATION ECOPLAGE
- FIGURE 2.1 INTERFACE GRAPHIQUE DU LOGICIEL PETRA
FIGURE 2.2 PROFIL CALAGE AVANT TEMPETE
FIGURE 2.3 PROFIL CALAGE APRES TEMPETE
FIGURE 2.4 PROFIL RECHARGE – LARGEUR DE BERME 30 METRES
FIGURE 2.5 EXTRAIT DE LA SIMULATION DE LA TEMPETE
FIGURE 2.6 EVOLUTION DE LA HAUTEUR MOYENNE DES HOULES A LA COTE
FIGURE 2.7 TRANSPORT SEDIMENTAIRE
FIGURE 2.8 EVOLUTION DU SET-UP DURANT LA TEMPETE
FIGURE 2.9 EVOLUTION DU COURANT NET SUR LE FOND
FIGURE 2.10 REcul HORIZONTAL DEPUIS LE NIVEAU MOYEN
- FIGURE 3.1 COMPARAISON ECONOMIQUE ACTUALISEE
FIGURE 3.2 ANALYSE MULTICRITERE DES SOLUTIONS PROPOSEES
- FIGURE 4.1 IMPLANTATION ENVISAGEE POUR LA PROTECTION GEOTEXTILE
FIGURE 4.2 OUVRAGE GEOTEXTILE TYPE STABILENKA®
FIGURE 4.3 OUVRAGE GEOTEXTILE TYPE GEOTUBE®
FIGURE 4.4 AMENAGEMENTS DUNAIRES (1)
FIGURE 4.5 AMENAGEMENTS DUNAIRES (2)
FIGURE 4.6 AMENAGEMENTS DUNAIRES (3)
FIGURE 4.7 EXUTOIRE DU RUISSEAU
- FIGURE 6.1 PLANNING PREVISIONNEL DE L'OPERATION – OBJECTIF 2008
FIGURE 6.2 SYNOPTIQUE DES PROCEDURES REGLEMENTAIRES
- FIGURE A.1 SYSTEME ECOPLAGE - PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT-
FIGURE B.2 SYSTÈME ECOPLAGE – PRESENTATION

OBJET DE L'ETUDE

Le centre de la Baie de Wissant connaît depuis les années 1990 une érosion intense. L'estran au pied du perré protégeant la zone urbanisée a fortement baissé, le perré a dû être reconstruit et la dune située à son extrémité a rapidement reculé.

Face à cette situation, les acteurs locaux ont initié en 2002 une étude pour la protection de la Baie de Wissant contre l'érosion, portées par la Communauté de communes des Deux Caps et réalisées par le CETMEF et l'ULCO

- Synthèse bibliographique – CETMEF –2004
- Etude de faisabilité pour la protection de la Baie de Wissant contre l'érosion marine : Approche qualitative du fonctionnement hydrosédimentaire de la Baie et son application pour la définition de solutions – CETMEF –2004,
- Etude de faisabilité pour la protection de la Baie de Wissant contre l'érosion marine – Evolution des fonds et transports sédimentaires potentiels en Baie de Wissant – ULCO – GEODAL – 2004,
- Organisation de la fréquentation des dunes et plages de la Baie de Wissant – EDEN 62 – 2004,

Ces études ont permis d'affiner la connaissance des processus hydrodynamiques et hydrosédimentaires de la Baie. L'étude de faisabilité pour la protection de la Baie de Wissant contre l'érosion marine réalisée par le CETMEF (2004) fournit les conclusions suivantes :

- Laisser faire conduirait à une poursuite des processus actuels d'érosion et à une mise en péril des ouvrages de front de mer,
- La mise en place de protections longitudinales en enrochements au pied du perré conduirait certes à limiter les processus d'affouillement mais ne supprimerait pas l'érosion et pourra générer des phénomènes d'affouillement dans les zones non protégées. En outre, ce type d'ouvrage, d'un coût important, aurait un impact paysager important,
- La mise en place d'épis permettrait de réduire les transferts de matériaux liés au transit littoral sans agir sur les problèmes de pertes de sable dans le profil et pose un certain nombre de problèmes du point de vue de l'utilisation de la plage (sécurité, pratique du char à voile ...),
- L'apport massif de matériaux sableux visant à redonner à la plage un niveau haut permettrait de réduire les phénomènes érosifs et améliorerait la qualité balnéaire du site sans affecter le paysage.

Cette étude dont les conclusions ont été rendues en avril 2004, préconise afin de protéger les zones urbanisées et de requalifier globalement ce site à haute valeur touristique et paysagère, de recourir à un ré-ensablement massif du centre de la Baie

Cependant, cette solution de rechargement, pour se réaliser être pérenne, nécessitait d'être approfondie et complétée tant du point de vue technique, qu'administratif et financier.

Ainsi, à l'issue d'une procédure de consultation de bureaux d'études spécialisés, le Syndicat Mixte de la Cote d'Opale a confié cette étude au groupement SOGREAH-IN VIVO.

L'objectif de la présente étude est d'analyser de manière plus fine la faisabilité d'un rechargement de plage de Wissant.

L'objectif de la présente étude est d'analyser de manière plus fine la faisabilité d'un rechargement de plage de Wissant.

Elle comprend trois phases successives :

Phase 1 : Conception du rechargement

- Recueil des données existantes
- Acquisition de nouvelles données,
- Rappel et actualisation de l'évolution de la plage, sur la base des levés 2005,
- Conception du rechargement.

Phase 2 : Recensement des analyses des stocks disponibles

- Recherche et analyse des gisements potentiels pour l'apport de sable,
- Analyse de la compatibilité quantitative et qualitative pour le rechargement,
- Contraintes environnementales et juridiques,
- Examen de rechargement et des coûts.

Phase 3 : Elaboration de 3 scénarii

- Rechargement initial,
- Comparaison des 3 scénarii sur les différents aspects (techniques, environnementaux).

La phase 1 a permis d'actualiser les données naturelles (levé, prélèvements) et faire une synthèse sur la dynamique hydrosédimentaire et les tendances évolutives du site.

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,
- 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,

Ainsi, on observe en effet sur le secteur urbanisé et sur le secteur de la Dune d'Aval une tendance générale à l'érosion.

Les pertes mesurées sur la période 1996-2005 devant le perré sont de l'ordre de 80-85 000 m³, soit 10 à 15 000 m³/an en moyenne. On observe également de très fortes variabilités dans les évolutions saisonnières et interannuelles.

Le secteur de la Dune d'Amont est encore aujourd'hui en accrétion, alimenté en partie par des matériaux provenant de la partie centrale de la Baie (zone d'érosion) et par les matériaux

dunaires. Les volumes d'apport sur la période 1996- 2005 ont été de l'ordre de 196 000 m³ soit environ 20 000 m³/an en moyenne.

La phase 2 a permis d'étudier différentes variantes de rechargement et de déterminer un site potentiel d'extraction aux abords du port de Calais.

Ce rapport présente les résultats de phase 3 de l'étude : Elaboration de 3 scénarii adaptés à la Baie.

SYNTHESES ET CONCLUSIONS

Les analyses menées en phase 3 ont permis de préciser les caractéristiques techniques du rechargement de plage, tant pour l'opération initiale que pour les opérations d'entretien.

Le rechargement initial consiste au transfert de 306 000 m³ de matériaux sur la plage de Wissant, sur un linéaire de 2500 m, permettant ainsi de récréer une berme de haute plage de 30 mètres à la cote + 4,70 mIGN69 (+8,55 mCM).

Ce transfert serait réalisé par voie maritime, par une drague aspiratrice en marche transportant les matériaux depuis un site d'extraction identifié aux abords du port de Calais.

Cette drague viendrait se raccorder à un poste de refoulement installé dans la Baie ; les matériaux sableux seraient ainsi rejetés sur la plage via cette conduite d'une longueur approximative de 3 km.

Concernant les opérations d'entretien, plusieurs hypothèses ont été étudiées :

- Apports périodiques de matériaux sableux sur la plage établis en fonction des pertes mesurées,
- Mise en place d'un système de rétention type épis
- Mise en place d'un système Ecoplage visant à réduire les pertes en matériaux et les entretiens nécessaires,

La solution épis a été écartée du fait de sa non efficacité probable sur le site. Les deux autres solutions ont fait l'objet d'évaluation sur leur efficacité et sur les coûts associés.

Les résultats de ces analyses sont présentés dans le tableau de synthèse fourni ci-après.

La solution qui consisterait à faire des apports d'entretien annuels depuis la Dune d'Amont est la solution la plus intéressante du point de vue de l'efficacité et des coûts d'entretien. Si besoin, des solutions d'appoint sont également envisageables.

L'entretien du rechargement par des transferts annuels est la solution la plus économique et la plus viable sur le plan technique. Cette solution a fait l'objet d'un consensus général lors du Comité Technique du 27 juin 2006. Elle a été validée par le Comité de Pilotage réuni en Sous-Préfecture de Boulogne le 28 juin 2006.

Des mesures complémentaires ont également été proposées, visant à protéger, dans l'attente du rechargement, le secteur du parking Dune Aval. La mise en place d'une protection géotextile est préconisée.

Des aménagements dunaires sont également proposés pour réduire les effets de la déflation éolienne, participant ainsi à la stabilisation de la plage nouvellement rechargée.

Un suivi rigoureux de la zone rechargée devra également être mis en place pour suivre l'évolution de la plage rechargée et procéder à d'éventuels réajustements.

Les procédures applicables au projet ont également été listés dans ce document.

SYNTHESE DES OPTIONS TECHNIQUES ETUDIEES ET DES COUTS RESULTANTS.

Options techniques	Efficacité au regard de l'objectif		Coûts		
	Etat général du site	Risques/ incertitudes	Investissement (I)	Fonctionnement (F)	Coût total (I+F) (10 et 20 ans)
OPERATION INITIALE					
Rechargement initial (300.000m3) à partir du site de Calais	Amélioration du fonctionnement hydrosédimentaire de la plage Meilleure protection des ouvrages Amélioration de l'exploitation touristique du site	Forte variabilité des pertes sur l'estran Difficulté à prévoir l'importance des opérations d'entretien	4,56 M€HT > 5,45 M€TTC	Variable	
OPERATIONS D'ENTRETIEN					
Rechargement initial en sable (300.000m3) + Entretien annuel : 15.000m3/an avec matériaux Dune d'Amont + Ouvrage de captage	Opération simple à mettre en œuvre Favorise un fonctionnement équilibré du site	Incertitudes sur une disponibilité suffisante de matériaux pour l'entretien	Ouvrage de captage : 145 000 €TTC	90 000 €TTC/an	Coût sur 10 ans : 6,2 M€TTC Coût sur 20 ans : 6,5 M€TTC
Rechargement initial (300.000m3) + Entretien annuel : 15.000m3/an avec matériaux sites extérieurs (Calais/Portel)	Favorise un fonctionnement équilibré du site Opération plus lourde du fait de la noria de camions nécessaire	Nuisances liés au transport par camions Doit être uniquement une solution d'appoint		180 000 €TTC/an	Coût sur 10 ans : 6,7 M€TTC Coût sur 20 ans : 7,3 M€TTC
Rechargement initial (300.000m3) + Entretien massif (150 000 m3/10 ans)	Permet d'ajuster l'opération au suivi. Utilisation du site d'extraction de Calais	Du fait du non-entretien de la plage rechargée, pertes plus rapides probables	3,6 M€TTC (10 ans)		Coût sur 10 ans : 9,05 M€TTC Coût sur 20 ans : 9,05 M€TTC
Rechargement initial (300.000m3) + ECOPLAGE 1000 m	Nécessite l'installation du système ECOPLAGE	Incertitudes sur l'efficacité du dispositif Ne concerne pas toute la zone rechargée	Installation : 1,1 M€TTC Etude ECOPLAGE : 60 000 €TTC	11800€TTC/an	Coût sur 10 ans : 6,45 à 6,5 M€TTC Coût sur 20 ans : 6,5 à 6,7 M€TTC
Rechargement initial (300.000m3) + ECOPLAGE 2500 m	Nécessite l'installation du système ECOPLAGE	Incertitudes sur l'efficacité du dispositif	Installation : 2,7 M€TTC Etude ECOPLAGE : 60 000 €TTC	27800€TTC/an	Coût sur 10 ans : 8,5 à 8,7 M€TTC Coût sur 20 ans : 8,7 à 8,9 M€TTC
Mesures d'accompagnement	Démantèlement blockhaus Techniques de rétention des sables dunaires Suivi de la plage rechargée				150 000 € TTC 40 000 €TTC 10 000 €TTC/an

1. SCENARIOS ADAPTES A LA BAIE DE WISSANT

1.1. INTRODUCTION

Le rechargement de la plage par l'apport massif de sables a été envisagé dans la mesure où il permettrait d'élargir la largeur de « plage sèche » dans la zone sujette à l'érosion et constituerait une protection pour les ouvrages de bord de mer.

Lors de la réunion du comité de pilotage du 3 novembre 2005, il a été retenu une variante de rechargement avec une berme de 30 mètres à la cote des Plus Hautes Mer (cote : + 8m55 CM ou 4,70 IGN69) qui correspond à la solution la plus efficace du point de vue de la protection du front de mer et de l'efficacité du rechargement.

- Faible fréquence de recouvrement par les eaux marines (hors périodes de fortes surcôtes),
- Limitation des processus de franchissement par les vagues.

En effet, cette cote de berme permettra de réduire les périodes de recouvrement de la berme par les eaux (hors conditions exceptionnelles et/ou fortes surcotes). Une largeur de 30 m permettra en outre de limiter les effets du franchissement par les vagues.

Une fois la plage rechargée, les pertes de sable continueront imposant des travaux d'entretien. On peut estimer qu'un rechargement complété par des travaux d'entretien périodiques aura une durée de vie très longue. Seules des conditions extrêmes (fortes tempêtes, catastrophe naturelle...) pourront venir perturber significativement la plage rechargée.

Les travaux d'entretien pourront se faire par apports périodiques de sable sur la zone rechargée. Il peut être également envisagé de réduire les entretiens périodiques par la mise en place de procédés complémentaires.

En effet, des solutions qui permettent de réduire la fréquence des entretiens, existent. Les procédés traditionnellement utilisés et mis en place pour diminuer ces entretiens sont les suivants :

- les épis classiques en enrochements, bois ou géotextile. Compte tenu de la qualité paysagère du site ; les épis en enrochements et bois ont été écartés. Seuls des ouvrages en géotextiles sont envisageables.
- les brise-lames. Les brise-lames sont des ouvrages implantés parallèlement à la côte sur des faibles profondeurs. Ils ont pour objectif de réduire l'action des fortes houles et assurent un certain engraissement de l'estran à leur abri. Cependant, comme pour les épis, l'intégration dans l'environnement des brise-lames est difficile et ils présentent certains dangers pour les activités nautiques. Dans la pratique, l'emploi de brise-lames apparaît peu envisageable car leur efficacité en mer à marée semble faible.
- des méthodes de drainage (système type Ecoplage)

Ainsi trois scénarios ont été retenus lors du Comité de Pilotage du 3 novembre 2005.

- Scénario 1 : Rechargement massif complété par un entretien périodique par apports de sable,
- Scénario 2 : Rechargement massif et mise en place d'ouvrages de contention des matériaux type épis en matériaux géotextile (type Stabiplate®, Géotube®),
- Scénario 3 : Rechargement massif complété par la mise en place d'un système de drainage Ecoplage,

1.2. RECHARGEMENT INITIAL - DESCRIPTION DES OPERATIONS

La variante de rechargement retenue correspond à la création d'une berme de 30 mètres à la cote de PHM (Plus Hautes Mer – coefficient 120), soit à la cote 8m55 CM ou 4,70 mIGN69). Cela correspond à un volume de sable de 306 000 m³, sur un linéaire de 2500 mètres.

La zone d'extraction identifiée se situe aux abords du port de Calais. Elle est décrite ci-après.

1.2.1. ZONE D'EXTRACTION

La zone d'extraction envisagée pour l'opération se situe aux abords du Port de Calais, dans et aux abords du chenal extérieur du port, où les matériaux sont compatibles d'un point de vue granulométrique avec les besoins identifiés pour le rechargement.

Ce secteur présente plusieurs intérêts :

- Proximité géographique,
- Appartenance à la même cellule sédimentaire,
- Compatibilité granulométrique,
- Volumes disponibles importants.

La localisation de la zone d'extraction sera précisée dans la phase Avant-Projet. Une localisation indicative est fournie sur la figure 1.1.

Des incertitudes existent encore à ce jour sur les possibilités d'extraire les matériaux sur ce site, notamment d'un point de vue réglementaire (nécessité ou pas de procéder à une demande d'extraction au titre du code minier).

1.2.2. DIMENSIONS DU RECHARGEMENT

Le prédimensionnement du rechargement a été détaillé en phase 2 de l'étude. L'opération correspond à un rechargement de 306 000 m³. L'emprise du rechargement (intégrant les zones de raccordement) correspond à un linéaire de l'ordre de 2500 mètres avec environ 50 % des volumes de matériaux apportés concentrés sur les 750 mètres situés devant le perré.

Les caractéristiques du rechargement sont reprises sur la figure 1.2 et 1.3.

Le dimensionnement final sera précisé au niveau Avant-Projet.

1.2.3. MODALITES DE MISE EN OEUVRE

Les modalités de mise en œuvre seront également précisées au niveau de l'Avant-Projet, en fonction de la localisation précise du site d'emprunt. Elles dépendront également du matériel et de la méthodologie proposée par l'entreprise chargée des travaux.

Ce paragraphe dresse les principes techniques de l'opération.

1.2.3.1. MOYENS DE DRAGAGE

Compte tenu de la distance de la zone de rechargement au point de dragage présumé (devant le port de Calais), soit environ 12 milles nautiques, le dragage se fera à l'aide d'engins nautiques autoporteurs de type drague aspiratrice en marche (DAM) (TSHD Trailing Hopper Suction Dredger en anglais).- (cf. figure 3.1).

Ce type de matériel drague les matériaux en place à l'aide d'une élinde traînante, charge son propre puits (ou trémie) puis se déplace jusqu'à la zone de rechargement.

Le déchargement de la trémie se fera par refoulement d'une mixture eau/sable via des conduites immergées qui sont connectées à la drague. (cf. figure 3.2).

Du fait des petits fonds de la baie, l'utilisation d'une drague de capacité moyenne semble approprié. En effet, différentes hauteurs d'eau sont à considérer : la cote des fonds, le marnage, le tirant d'eau et la marge de sécurité entre la quille de la drague et les fonds (marge qui dépend de la houle et peut être évaluée à 1m).

Ce point sera précisé lors des études ultérieures et au moment de l'appel d'offres travaux en fonction des engins de dragage disponibles.

Ce type de drague de faible tirant d'eau et permet d'approcher au plus près l'estran réduisant la longueur de la canalisation à installer. Aux vues des types de dragues aspiratrices actuelles, on peut considérer que les travaux pourront être faits avec une drague de capacité de chargement d'environ 3500m³ – 4000 m³ et de tirant d'eau 6 - 7m (environ).

Malgré ceci, et compte tenu de la présence du banc à la Ligne une distance minimale de 2800 à 3000 m est à prévoir entre la plage et les installations. (cf. figure 3.3).

L'installation dans la Baie de Wissant consisterait en une conduite de refoulement immergée d'environ 2500 m (conduite constituée de tuyaux d'aciers soudés les uns aux autres) fixée à une bouée et conduite sur estran d'environ 500 m.

Cette conduite sera assemblée sur la plage ou sur un site portuaire proche et transférée sur zone par moyens maritimes et compte tenu de sa longueur, l'installation nécessitera environ 1,5 mois.

La drague pourra venir décharger les matériaux autour de la Pleine - Mer imposant uniquement deux voyages par 24 heures (5 000 à 6000 m³/jour). Il faudrait compter environ 5 heures pour accoupler la drague à la bouée et effectuer le déchargement.

1.2.3.2. EVALUATION DU COUT ET DU DELAI DU RECHARGEMENT

Les délais de réalisation des travaux seront définis précisément au moment de la phase d'appel d'offres, en fonction du matériel mis en œuvre pour les travaux, la période d'intervention (importance plus ou moins forte des intempéries).

D'après les informations obtenues auprès d'entreprises de dragage, les rendements pourraient être de l'ordre de 40 000 – 45 000 m³/ semaine (variable suivant le matériel mis en œuvre et des intempéries).

L'ordre de grandeur du coût des apports en sable peut être estimé en prenant en compte les coûts unitaires suivants :

- 1,5 million d'euros HT pour l'installation du matériel (Mobilisation et démobilitation de la conduite et du matériel de dragage).
- 10 € HT/m³ pour le dragage et refoulement (*ce prix est susceptible d'être modifié en fonction de la localisation précise de la zone d'extraction ; compte tenu de la proximité de la zone de Calais, il pourrait être revu à la baisse. Il convient néanmoins à ce stade de l'étude de conserver cette hypothèse raisonnable*).

TABLEAU 1.1 : COUTS ET DUREES DES TRAVAUX ESTIMES POUR LE RECHARGEMENT

Rechargement	Volume de sable à apporter	Estimation des temps*		Ordre de grandeur de coût	Prix au m ³ au total
		Installation de la canalisation	Dragages-refoulement-Nivellement		
Variante retenue	306 000 m ³	6 semaines	8 semaines	4,56 M€ HT	14,90 €/m ³

* Hors intempéries

Le rechargement devra être réalisé hors période estivale afin que les activités de baignade et touristiques ne soient pas perturbées. Ainsi, il pourra s'effectuer entre les mois de septembre et mai et préférentiellement durant la période septembre – décembre (risques d'intempéries moins importantes),

1.3. OPERATIONS D'ENTRETIEN

Une fois la plage rechargée, les pertes de sable continueront imposant des travaux d'entretien. On peut estimer qu'un rechargement complété par des travaux d'entretien périodiques aura une durée de vie très longue.

Les travaux d'entretien pourront se faire par apports périodiques de sable sur la zone rechargée. Il peut être également envisagé de réduire les entretiens périodiques par la mise en place de procédés complémentaires.

Trois scénarios ont été retenus lors du Comité de Pilotage du 3 novembre 2005.

- Scénario 1 : Rechargement massif complété par un entretien périodique par apports de sable,
- Scénario 2 : Rechargement massif et mise en place d'ouvrages de contention des matériaux type épis,
- Scénario 3 : Rechargement massif complété par la mises en place d'un système de drainage Ecoplage,

Ces différents scénarios sont présentés ci-après.

1.3.1. SCENARIO 1 : ENTRETIENS PERIODIQUES

1.3.1.1. VOLUMES D'ENTRETIEN

Les volumes d'entretien nécessaires dépendront des pertes observées sur la plage. Ces volumes seront à adapter annuellement en fonction des pertes mesurées sur la base du suivi.

Les études de phase 1 ont permis d'évaluer les pertes actuelles sur la plage. Les pertes moyennes observées sur la période 1996 – 2005 mettent en évidence une perte moyenne annuelle de l'ordre de 10 à 15 000 m³. On observe cependant une forte variabilité annuelle. Cette valeur doit donc être prise avec prudence.

En outre, il a été mis en évidence l'importance des mouvements dans le profil pouvant atteindre 150 000 m³ (variations saisonnières ou interannuelles).

Compte tenu de ces incertitudes sur les pertes moyennes annuelles (fortes irrégularités dans les variations annuelles), il est assez difficile de se prononcer sur les volumes d'entretien annuel. Ils ne pourront être définis précisément qu'à partir du suivi topographique de la zone rechargée.

Pour faire l'évaluation des coûts d'entretien, il est néanmoins nécessaire de définir un volume d'entretien prévisible. Ainsi, il peut être considéré le volume d'entretien moyen (qui correspond à la moyenne des volumes de pertes annuelles sur la période 1996 – 2005).

Ainsi, un volume moyen de l'ordre de 15 000 m³ par an peut-être retenu.

Deux hypothèses peuvent également être retenus pour les opérations d'entretien du rechargement :

- Mise en place d'un système d'entretien annuel de la plage,
- Opérations d'entretien massives dont la périodicité serait à définir à partir du suivi.

1.3.1.2. MISE EN PLACE D'UN SYSTEME D'ENTRETIEN ANNUEL DE LA PLAGE

La première hypothèse consiste en la mise en place d'un système d'entretien annuel de la plage :

- Mesures (suivi topographique de la zone rechargée) des pertes en matériaux sur la zone rechargée,
- Apport du volume de matériaux correspondant aux pertes mesurées

Il n'existe pas sur le site de zone clairement identifiée pour l'extraction des matériaux d'entretien du rechargement.

Plusieurs hypothèses peuvent être proposées :

- Utilisation des sables de la plage au droit de la Dune d'Amont (zone d'accrétion),
- Apports depuis des sites extérieurs à la Baie de Wissant (solution d'appoint).

1.3.1.2.1. TRANSFERT DEPUIS LE SECTEUR DEVANT LA DUNE D'AMONT

A. Principes

Le secteur de la dune d'Amont est globalement en accrétion, les volumes annuels de dépôts (sur la période 1996 -2005) ont été évalués à 196 000 m³ (linéaire de 2700 m) soit environ 20 000 m³/an.

Il pourrait donc être envisagé d'utiliser ces matériaux déposés devant la Dune d'Amont pour procéder aux opérations d'entretien du rechargement.

Il conviendrait de s'assurer par un suivi plus précis des dépôts sur la Dune d'Amont que ces derniers sont suffisants pour être utilisés pour les opérations d'entretien.

Les études de phase 1 ont également pu mettre en évidence que les mouvements de matériaux vers le nord-est étaient assez importants.

Il conviendrait de ce fait de pouvoir capter un stock plus important de ces matériaux mobiles en favorisant leur dépôt et permettre ainsi la constitution d'un stock sableux utilisable pour les opérations d'entretien.

B. Moyens à mettre en oeuvre

En l'absence d'ouvrage, les transferts se feraient sur la plage avec des camions 6x6.

L'ouvrage de captage des sédiments pourrait être mis en place **dans un second temps, si nécessaire** (en fonction des résultats du suivi et des potentialités de captage).

Cela consisterait en la mise en place d'un ouvrage de captage des sédiments type épi géotextile (type Stabiplate® ou Géotube® au droit de la Dune d'Amont. La position précise de cet ouvrage pourrait être défini dans le cadre de l'AVP.

Il est assez difficile d'estimer les volumes qui pourraient être captés par cet ouvrage. Pour être efficace, cet ouvrage devrait être suffisamment long pour capter les matériaux transitant sur le mi-estran. Un ouvrage de l'ordre de 150 mètres semble un minimum.

Un ouvrage de ce type pourrait être réalisé pour un montant approximatif de 120 000 €HT pour un ouvrage de 150 mètres (800 €HT/ml).

Un suivi régulier de l'efficacité de l'ouvrage permettra éventuellement de procéder à des réajustements (surveillance notamment des potentiels problèmes d'érosion à l'aval de l'ouvrage).

C. Estimations des coûts d'entretien

Pour les entretiens périodiques, les coûts correspondent au prix des volumes de sables transférés sur l'estran et aux travaux de nivellement.

Le transport pourrait être réalisé sur la plage par des tombereaux ou camions 6x6 équipés de pneus basse pression.

Le coût estimé des transferts est de l'ordre de 5 €HT/ m³.

Pour des transferts de sable de 15 000 m³/an, les coûts annuels se portent ainsi à 75 000 €HT (90 000 €TTC).

1.3.1.2.2. **APPORT DEPUIS DES SITES EXTERIEURS**

Cette solution pourrait être envisagée dans le cas de la non disponibilité de stock suffisant au droit de la Dune d'Amont. Cette solution doit être considérée comme une solution d'appoint.

Le site du Portel identifié en phase 2 de l'étude pourrait être envisagé.

Un site d'extraction potentiel a été identifié à la plage est du port de Calais. Des analyses anciennes (USTL, 1980) sur ce secteur indiquent un diamètre médian (D50) de l'ordre de 0,3 à 0,35 mm sur la laisse de haute mer. Ces résultats confirmaient ceux de Latteux (1979).. D'après les résultats des travaux de Aernouts (2005), cette zone est en accrétion continue depuis 1949. Une évaluation quantitative des stocks disponibles serait cependant à réaliser (données non disponibles à ce jour).

Des analyses complémentaires seraient également nécessaires pour vérifier la compatibilité granulométrique de ces stocks.

A. Principes

Il pourrait être envisagé de procéder à l'extraction de ces matériaux sur ces zones excédentaires et de les transférer jusqu'au site de Wissant.

B. Moyens à mettre en oeuvre

Compte tenu des coûts fixes induits par un transfert des sables par voie maritime (installation d'une conduite de refoulement), cette technique peut difficilement être mise en œuvre dans le cadre des opérations d'entretien annuelles. Elle ne pourrait être envisagée que pour des opérations d'entretien plus espacées, représentant des volumes importants (cf. 1.3.1.3).

Ainsi, il conviendrait de mettre en œuvre des transferts par voie terrestre entre le site d'extraction (Plage de Calais ou le Portel) et le site de Wissant.

Cela correspond à une distance de l'ordre de 25 kilomètres pour Calais - Est et le Portel.

Les transferts pourraient être réalisés à l'aide de camion semi-remorques de capacité 17 mètres-cube (25 tonnes).

Pour un rechargement de l'ordre de 15 000 m³/an, cela correspond à un nombre d'environ 900 camions.

C. Estimations des coûts d'entretien

Le coût unitaire estimé pour cette opération est de l'ordre de 9 à 10€HT/m³. (ratio utilisé de 0,20 €HT par m³/km pour le transport et 5 €HT pour le transport sur estran et régalaage des matériaux).

Pour des transferts de sable de 15 000 m³/an, celui induit des coûts annuels de transfert de l'ordre de 135 000 à 150 000 €HT (161 000 à 180 000 €TTC).

1.3.1.3. **OPERATION D'ENTRETIEN MASSIVES**

Une troisième hypothèse consisterait à réaliser des opérations d'entretien de la plage plus espacées, avec apport massif de matériaux sableux.

La fréquence pourrait ainsi être déterminée précisément sur la base du suivi de la plage :

- Entretiens tous les 10 ans : 150 000 m³,
- Entretiens tous les 15 ans : 225 000 m³,
- Entretiens tous les 20 ans : 300 000 m³ (consisterait à renouveler l'opération de rechargement).

Cette solution permettrait d'envisager la mise en œuvre de moyens maritimes et une configuration proche de l'opération de rechargement initiale.

Les coûts seraient les suivants :

TABEAU 1.2 : COUTS ET DUREES DES TRAVAUX ESTIMES POUR LES OPERATIONS D'ENTRETIEN MASSIVES

Périodicité de l'entretien	Volume de sable à apporter	Estimation des temps*		Ordre de grandeur de coût	Prix au m ³ au total
		Installation de la canalisation	Dragages-refoulement-Nivellement		
10 ans	150 000 m ³	6 semaines	3,5 semaines	3 M€HT	20 €HT/m ³
15 ans	200 000 m ³	6 semaines	5 semaines	3,5 M€HT	17,5 €HT/m ³
20 ans	300 000 m ³	6 semaines	8 semaines	4,56 M€ HT	14,90 €HT/m ³

* *Hors intempéries*

1.3.1.4. CONCLUSIONS

Plusieurs hypothèses ont été envisagées pour les apports périodiques de matériaux sableux.

La première hypothèse qui consiste à utiliser des matériaux issus de la dune d'Amont est préférable :

- Proximité géographique,
- Facilité d'exécution des travaux
- Coûts réduits.

Compte tenu des fortes variations interannuelles sur les dépôts mesurés sur le secteur Dune d'Amont, des incertitudes subsistent sur les disponibilités en matériaux chaque année.

L'utilisation d'apports provenant de sites extérieurs (hypothèse 2) nécessiterait la mise en œuvre d'une noria importante de camions pas forcément compatible avec les voies d'accès au front de mer de Wissant. En outre, cela aurait pour effet de générer des nuisances pour les riverains des voies traversées. Elle pourrait être cependant une solution d'appoint à l'hypothèse 1.

La troisième hypothèse nécessite la mise en œuvre de moyens techniques et procédures lourdes. Elle permettrait néanmoins s'affranchir de la recherche de sites terrestres pour les entretiens annuels. Elle permettrait d'adapter la fréquence des opérations en fonction des pertes observées. Son coût est cependant relativement important du fait des frais fixes liés à l'installation de la conduite.

1.3.2. SCENARIO 2 : RECHARGEMENT + SYSTEME D'EPIS DE RETENTION DES MATERIAUX

Lors de la réunion du comité de pilotage du 3 novembre 2005, il a été retenu la nécessité d'étudier la possibilité de mise en œuvre d'un système de rétention des matériaux type épis, permettant de réduire les pertes en matériaux sur la zone rechargée et limiter les entretiens périodiques.

D'une manière générale, les ouvrages type épis permettent de freiner les processus de dispersion et de piéger les sédiments.

De part les impacts négatifs sur le paysage et sur la fonctionnalité de la plage, il a été décidé que la mise en place d'épis en enrochements ou en bois serait à exclure dans la Baie de Wissant.

Il a cependant été de ce fait uniquement étudié la possibilité de mettre en place des ouvrages géotextiles, moins impactant du point de vue paysager.

Les analyses de phase 1 ont mis en évidence l'importance des mouvements dans le profil sur le haut estran, pour lesquels un système type épi ne serait pas efficace.

En outre, il a été mis en évidence que des transports longitudinaux importants se faisaient essentiellement sur le mi-estran et le bas de plage.

Il conviendrait donc pour disposer d'un système de rétention « efficace » d'installer des ouvrages relativement longs (> 150 mètres), espacés de 200 à 250 mètres, susceptible d'intercepter les matériaux sur le bas de plage.

Cette solution n'est pas envisageable, devant la zone du perré du fait :

- De l'impact sur la fonctionnalité de la plage au regard des usages de la plage, notamment aux abords du front de mer,
- De l'impact paysager généré,
- Des risques sédimentologiques à l'aval immédiat de l'ouvrage,
- De l'incertitudes quant à l'efficacité du dispositif.

Ce scénario ne peut donc être retenu.

1.3.3. SCENARIO 3 : RECHARGEMENT + SYSTEME DE DRAINAGE ECOPLAGE

Le système Ecoplage consiste à disposer des drains dans la plage et à créer une dépression par pompage.

Ce système doit permettre réduire les pertes par absorption du jet de rive. Une description du procédé est fourni en annexe A.

Il est assez difficile d'évaluer l'efficacité du dispositif sur la tenue de la plage. En effet, la mise en place de ce procédé nécessite la réalisation d'études spécifiques réalisées par la Société ECOPLAGE. Seule cette étude permettrait de valider la faisabilité de l'opération et devrait pouvoir quantifier les gains (réduction des pertes). Le coût de cette étude s'élève à environ 50 000 €HT (délai de réalisation de l'ordre de 6 mois)

En outre, il n'existe pas ou peu de publications scientifiques ou retours d'expérience significatifs permettant de juger de l'efficacité probable du dispositif sur une plage telle que celle de Wissant

c'est-à-dire avec une morphologie (système de barre et bêche) et un fonctionnement hydrosédimentaire complexe.

Pour l'évaluation du système dans le cadre de l'étude, nous avons dû prendre des hypothèses quant à l'efficacité du système (cf. § 3.2.2.2). Elles devront être validées par ECOPLAGE dans les études ultérieures si cette solution était retenue.

La mise en place du système Ecoplage nécessite un investissement représentant le coût d'installation (drains, stations de pompage) et un coût de fonctionnement incluant la consommation électrique et l'entretien des pompes.

TABEAU 1.3. : COUTS UNITAIRES (EUROS HT) POUR LE PROCEDE ECOPLAGE

	Nature	Coût unitaire (€ HT)
Système Ecoplage* (hors coûts d'études)	Installation du système	900 €HT / mètre linéaire
	Frais de fonctionnement	9 300 €HT / an / pour 1000m linéaire

* à valider par ECOPLAGE lors des études ultérieures.

Deux hypothèses ont été prises en compte pour l'installation du dispositif :

- Mise en place sur un linéaire de 1000 mètres environ, devant le front de mer de Wissant (zone perré et enrochements). Cette hypothèse correspond à une solution minimale dans la mesure où elle permettrait seulement une réduction des pertes sur cette portion de la zone rechargée,
- Mise en place sur un linéaire de 2500 mètres environ, correspondant au linéaire de la zone rechargée. Elle est préférable pour assurer la stabilité des matériaux sur l'emprise complète du rechargement.

Le nombre de stations de pompage, auxquelles sont connectées deux drains de 450m serait au nombre de une pour 1000 mètres, 2 pour 2000 mètres et 3 pour 2500 mètres (points à valider par la société ECOPLAGE dans les phases ultérieures si la solution est retenue).

L'estimation des coûts pour la mise en place du système Ecoplage dépend fortement du linéaire d'application. Les coûts ont donc été estimés pour ces deux hypothèses proposées.

TABEAU 1.4. : ESTIMATION DES COUTS POUR LA MISE EN PLACE DU PROCEDE ECOPLAGE

	Linéaire de 1000m (Zone perré)	Linéaire de 2500m (Emprise rechargement)
Installation du système (M€HT)	0,9	2,25
Installation du système (M€ TTC)	1,1	2,7
Frais de fonctionnement (€ TTC)	11 000	27 800

2. ANALYSE DE LA STABILITE DU RECHARGEMENT EN CONDITIONS DE TEMPETE

2.1. INTRODUCTION

La stabilité de la plage rechargée face à un événement de tempête a été analysée par la mise en œuvre d'un modèle numérique d'évolution morphologique du profil transversal de plage.

Il était initialement prévu de réaliser ces simulations sur le logiciel SBEACH développé par le CERC.

Les simulations ont finalement été réalisées par le logiciel PETRA qui utilise les mêmes équations de calcul, mais dispose d'interfaces graphiques plus conviviales. Le logiciel PETRA (**PER**fil **TRA**nsversal) est issu du Système de Modélisation Côtière (SMC) développé par le GIOC (Groupe d'Ingénierie Côtière de Cantabrie) pour le compte de la Direction des Côtes du Ministère de l'Environnement Espagnol.

L'interface graphique du logiciel PETRA est présentée sur la figure 2.1.

2.2. DESCRIPTION DU MODELE PETRA

2.2.1. GENERALITES

Le modèle PETRA (**PER**fil **TRA**nsversal) a été développé par le GIOC (Groupe d'Ingénierie Côtière de Cantabrie). PETRA, comme le logiciel SBEACH est un modèle qui simule les transports sédimentaires le long des profils de plages durant une tempête. Il comprend donc un modèle de génération de vagues et une formule empirique de transport sédimentaire qui est capable de compiler des transports dans et en dehors de la zone de déferlement et du jet de rive.

Les principales phases de calculs à l'aide du modèle sont :

- la construction du modèle qui comprend la construction du profil et la paramétrisation de la tempête.
- le calage du modèle qui consiste à ajuster les coefficients de transport et les paramètres de la plage afin de reproduire des tempêtes dont les données sont disponibles.

2.2.2. CONSTRUCTION DU PROFIL DE PLAGE

La construction du profil nécessite, d'une part, l'importation d'un semis de points le long du profil considéré, puis d'autre part, l'acquisition des caractéristiques sédimentaires de la plage. Le semis de points lors de l'importation du profil doit être donné sous la forme d'un tableau à double entrée qui caractérise la cote altimétrique en fonction de la distance par rapport à la limite du profil.

2.2.3. CONSTRUCTION DE LA TEMPETE

La tempête est modélisée selon les trois étapes suivantes :

- les vagues. Il est nécessaire de donner l'évolution du $H1/3$, de la période et de l'angle d'incidence au cours de la tempête.
- le niveau marin. Ce niveau doit prendre en compte la marée astronomique et les surcotes. Le modèle calculera les variations du niveau marin causées par le déferlement des vagues. Il peut être constant ou variable au cours de la modélisation,
- les modèles utilisés sont ceux de Thornton et Guza (1983) pour la houle et De Vriend et Stive (1987) pour l'undertow (courant de retour).

2.3. APPLICATION AU CAS DE WISSANT

2.3.1. PROFILS

Deux profils ont été modélisés pour cette étude :

- un profil avant rechargement permettant de calibrer le modèle (figure 1.2 & 1.3),
- un profil type avec une plage rechargée (cf. figure 1.4).

Ce profil correspond au secteur devant le poste de secours (P470).

Le profil avant rechargement correspond à un profil de plage réalisé par l'ULCO le 5 janvier 2005 (avant tempête du 12 – 13 janvier).

Le profil rechargé correspond à ce même profil de plage auquel une berme de 30 mètres à la cote + 8,55 CM ou + 4,70 IGN69 (PHM) a été rajoutée.

Le modèle a permis d'appréhender la réponse de la plage rechargée lors d'une tempête.

2.3.2. TEMPETES

Nous avons disposé de données de tempête mesurées par l'ULCO en janvier 2005. Les mesures de houle ayant été mesurées sur le mi-estran, elles étaient difficilement intégrables directement dans le modèle car en zone de déferlement.

De ce fait, nous retenons dans le cadre de la simulation une valeur de houle d'occurrence annuelle, reprise à partir des résultats du modèle de propagation du CETMEF.

Avons ensuite intégré une valeur de surcote moyenne et un niveau de PMVE.

Les caractéristiques de la tempête modélisée sont les suivantes :

- Etat de mer constant
- Houle significative au large : 4,10 m (3,50 m à l'entrée du modèle d'évolution),
- Période de pic : 6 secondes,
- Angle incidence : variable : entre -5° et $+5^\circ$,
- Surcote : + 0,20,
- Niveau d'eau : + 4,12 m (PMVE).

2.3.3. CALAGE

Une première simulation a été réalisée sur le profil du 5 janvier 2005. Les résultats ont été comparés aux mesures réalisées par l'ULCO sur ce même profil (13 janvier).

Sans que ces derniers puissent être comparées précisément de manière quantitative, les évolutions mises en évidence semblent conformes entre le modèle et la réalité.

- Faible variation des fonds,
- Erosion préférentielle sur les barres sableuses.

En outre, les conditions de houle à la côte reproduites par le modèle sont assez proches des conditions mesurées par l'ULCO lors de la tempête.

La simulation a ensuite été réalisée sur la plage rechargée (cf. figure 2.5).

2.3.4. RESULTATS

Le logiciel PETRA permet de fournir les résultats suivants

- Profondeur : évolution du profil durant la tempête,
- Hauteur de houle moyenne à la côte (Hrms)
- Transport sédimentaire,
- Variation du niveau moyen,
- Courant net sur le fond.

Les résultats sont présentés sur les figures 2. 6 à 2.10.

2.3.4.1. PROFONDEUR : EVOLUTION DU PROFIL DURANT LA TEMPETE (CF. FIGURE 2.6)

Etat actuel

Les variations observés lors de la tempête sont relativement faibles (inférieures à 20 cm).

Les principales évolutions concernent essentiellement les zones de mi-estran et bas estran, exposés plus longuement aux effets des houles. On observe une érosion du sommet de la barre située à 150 mètres du perré d'environ 50 cm.

Plage rechargée

Les variations observés lors de la tempête sont relativement faibles (inférieures à 20 cm). Les principales évolutions concernent essentiellement les zones de mi-estran et bas estran, exposés plus longuement aux effets des houles.

Les érosions observées sont plus faibles avec la plage rechargée qu'à l'état actuel.

2.3.4.2. HAUTEUR DE HOULE MOYENNE A LA COTE (HRMS) (CF. FIGURE 2.7)

Etat actuel - Plage rechargée

Les résultats mettent en évidence la forte atténuation de la houle à la côte. Au niveau de la berme, les hauteurs résiduelles de houles sont inférieures à 1 mètres. Ces hauteurs sont assez conformes aux hauteurs mesurées par l'ULCO.

On peut également sur la plage rechargée observer sur le graphique l'effet du rechargement sur l'atténuation de la houle sur le haut de plage.

2.3.4.3. TRANSPORT SEDIMENTAIRE (CF. FIGURE 2.8)

Etat actuel

Les résultats du modèle mettent en évidence un transport sédimentaire assez important, c'est-à-dire avec une dominance des départs de matériaux.

Les valeurs maximales sont de l'ordre de 8, 5 m³/marée/ml et 34 m³/marée/ml sur l'événement.

Plage rechargée

Dans l'état futur, les valeurs calculées par le modèle sont légèrement plus faibles, du fait de l'atténuation des houles évoquée ci-dessus.

2.3.4.4. VARIATION DU NIVEAU MOYEN (CF. FIGURE 2.9)

Etat actuel - Plage rechargée

Les résultats montrent également l'importance du set-up (surélévation du niveau moyen de la mer par les houles) à la côte. La valeur à la côte est de l'ordre de 0,25 m, soit environ 20 % de la hauteur des vagues.

Les valeurs sont légèrement plus fortes pour la plage rechargée.

2.3.4.5. COURANT NET SUR LE FOND (CF. FIGURE 2.10)

Etat actuel

Le modèle fournit également des valeurs de courants net sur le fond ; ces valeurs correspondant essentiellement à l'undertow (courant de retour).

Les valeurs à la côte sont de l'ordre de 0,5 m/s. Elles semblent plus beaucoup plus faibles que les valeurs mesurées par l'ULCO ; ceci peut être expliqué par la non-prise en compte par le modèle des courants de marée, des effets du vent.

Plage rechargée

Dans l'état futur, les vitesses de courants sur le fond sont également plus faibles que dans la situation actuelle. Elles se situent en moyenne autour de 0,3 m/s avec un pic à 0,4 m/s.

2.3.5. ANALYSE DE LA STABILITE DE LA PLAGE (CF. FIGURE 2.11)

Etat actuel

Les résultats du modèle mettent en évidence un transport sédimentaire avec départs de matériaux.

Cependant, les variations altitudinales observés lors de la tempête sont relativement faibles (inférieures à 20 cm en moyenne). Les principales évolutions concernent essentiellement les zones de mi-estran et bas estran, exposés plus longuement aux effets des houles.

En outre, les valeurs de recul fournies mettent en évidence un recul moyen sur la période de environ 0,20 m

Plage rechargée

Dans l'état futur, les valeurs de recul sont légèrement plus fortes (30 – 40 cm), malgré des conditions de houle et de courant plus faibles sur le haut de plage.

Cela s'explique par la présence d'un stock sédimentaire plus important sur la zone rechargée qu'à l'état actuel (estran très bas).

D'une manière générale, les résultats mettent ainsi en évidence une assez bonne stabilité du rechargement.

Deux simulations complémentaires ont été réalisées pour des conditions de houle centennale et sur une tempête de référence modélisée dans le cadre de l'ETUDE PLAGE (Durée de tempête 24 h ; Hs au large : 6,3 m ; Niveau centennal : 5,3 m).

Les résultats sont assez similaires à ceux présentés ci-après. Ils montrent bien l'écroulement et l'atténuation des houles les plus fortes dans la Baie (Banc à la Ligne et petits fonds), ce qui a pu être confirmé par les études de propagation (CETMEF, 2004 ; Aernouts, 2005).

3. ANALYSE MULTICRITERE DES SCENARIIS PROPOSES

Les différents scénarios analysés ont fait l'objet d'une analyse multicritère, reposant sur leur efficacité par rapport aux objectifs de l'opération et sur leurs coûts respectifs.

3.1. EFFICACITE AU REGARD DES OBJECTIFS VISES

L'efficacité des scénarios au regard des objectifs visés est évaluée au chapitre 1, dans le cadre de la description de ces derniers. Les principaux résultats sont repris ici.

Le scénario 1 correspond à un entretien périodique de la plage par du sable, défini sur la base des volumes de perte. Cette solution correspond à une solution classique d'entretien de rechargement de plage et participe à ce que l'on peut appeler une préservation dynamique de la plage (apports artificiels compensant les pertes naturelles). Cette solution est donc la plus favorable du point de vue de l'équilibre sédimentaire de la plage.

Le scénario 2 consiste à la mise en place d'un système de rétention des matériaux. Elle présente de nombreux désavantages. Compte tenu des forts mouvements dans le profil observés sur le site, l'efficacité de ce système n'est pas garantie. En outre, elle présente des risques sédimentologiques importants (érosion à l'aval des ouvrages). En outre, cette solution est incompatible avec la qualité paysagère du site et les usages de la plage.

Le scénario 3 consiste en la mise en place du système ECOPLAGE. Cette solution aurait pour effet de réduire les volumes de pertes en matériaux par absorption du jet de rive. Si cette solution préserve l'environnement et ne crée pas d'effets négatifs sur le site, il subsiste des incertitudes fortes sur l'efficacité du système sur le site de Wissant. En outre, des études complémentaires réalisées par la société ECOPLAGE sont nécessaires pour valider la faisabilité du système sur la zone d'étude (Coût de l'ordre de 50 000 €HT).

3.2. COMPARAISON ECONOMIQUE ACTUALISEE DES SOLUTIONS PROPOSEES

3.2.1. INTRODUCTION

Une comparaison actualisation économique permet d'agréger les coûts et les avantages d'un projet sur une période de plusieurs années. L'idée de base est qu'une somme dépensée aujourd'hui n'a pas la même valeur que la même somme dépensée dans 10 ou 20 ans par exemple. Le montant actualisé s'effectue sur une base de prix constants (l'évolution des prix sur une longue période n'étant pas prise en compte).

Les coûts actualisés des solutions ont été calculés pour les différentes solutions proposées. Ils prennent en compte à la fois l'investissement (rechargement, mise en place Ecoplage) et les entretiens (transferts de sable, fonctionnement Ecoplage). La prise en compte du système

Ecoplage permet de voir si la réduction qu'il entraîne apporte des avantages du point de vue économique.

Les coûts ont été calculés sur la base d'un taux d'actualisation de 7% et sur une durée de 10 et 20 ans.

3.2.2. HYPOTHESES

3.2.2.1. RECHARGEMENTS PROPOSES

La comparaison économique des solutions a été effectuée pour les deux scénarios d'entretien retenus en considérant :

- Le rechargement entretenu par transferts de sable périodiques,
- Le rechargement complété de la mise en place du système Ecoplage,

3.2.2.2. HYPOTHESES PRISES POUR LES ENTRETIENS

3.2.2.2.1. APPORTS PERIODIQUES

Pour des entretiens annuels, les coûts se sont basés sur des transferts annuel de sable de 15 000m³ /an depuis la zone Dune d'Amont vers la zone rechargée.

Dans ce cadre, le coût annuel de ces entretiens s'élève à 75 000 € HT (90 000 €TTC) (auquel il faudrait rajouter le coût d'investissement lié à l'ouvrage de rétention des sables (120 000 €HT) (145 000 €TTC).

Dans le cas où les entretiens seraient réalisés avec des périodicités plus fortes, il peut être retenu les hypothèses suivantes :

- 150 000 m³ tous les 10 ans (2 opérations d'entretien sur la période de 20 ans),
- 300 000 m³ tous les 20 ans (1 opération).

3.2.2.2.2. SYSTEME ECOPLAGE

Les résultats liés au système Ecoplage (pertes prévisibles de matériaux) étant difficiles à estimer, deux hypothèses ont été émises correspond à une réduction de pertes de 100% (hypothèse haute) et 75% (hypothèse basse). Il faut donc prévoir :

- un coût de fonctionnement annuel du système Ecoplage dans le premier cas,
- un coût de fonctionnement annuel du système Ecoplage complété par des transferts de sable de 15 000 m³/4 ans, si le système diminue les pertes de 75%.

A été intégré également à l'investissement initial, le coût de l'étude de faisabilité ECOPLAGE (50 000 €HT).

3.2.3. COUTS ACTUALISES

Avec les hypothèses précédentes présent en compte, on obtient le montant des coûts actualisés sur 10 et 20 ans suivants (cf. figure 3.1). Le récapitulatif est fourni dans le tableau suivant

TABLEAU 3.1 : COUTS (M EUROSTTC) ACTUALISES SUR 10 ANS- ECOPLAGE 2500 M

Variantes		M € TTC
Variantes	Rechargement de 306 000m ³ + transfert de sable de 15 000 m ³ /an + ouvrage captage Dune Amont	6,2 M € TTC
	Rechargement de 306 000 m ³ + transfert de sable depuis site extérieur (Calais/Portel)	6,7 M € TTC
	Rechargement de 306 000 m ³ + transfert massif (10 ans)	9, 05 M € TTC
	Rechargement de 306 000 m ³ + Ecoplage avec réduction des pertes de 100%	8, 5 M € TTC
	Rechargement de 306 000 m ³ + Ecoplage avec réduction des pertes de 75%	8, 7 M € TTC

La prise en considération d'un système ECOPLAGE plus réduit (1000 m) donne les coûts suivants (cf. figure 3.1) :

TABLEAU 3.2 : COUTS (M EUROSTTC) ACTUALISES SUR 10 ANS- ECOPLAGE 1000 M

Variantes		M € TTC
Variantes	Rechargement de 306 000m ³ + transfert de sable de 15 000 m ³ /an + ouvrage captage Dune Amont	6,2 M € TTC
	Rechargement de 306 000 m ³ + transfert de sable depuis site extérieur (Calais/Portel)	6,7 M € TTC
	Rechargement de 306 000 m ³ + transfert massif (10 ans)	9, 05 M € TTC
	Rechargement de 306 000 m ³ + Ecoplage avec réduction des pertes de 100%	6, 45 M € TTC
	Rechargement de 306 000 m ³ + Ecoplage avec réduction des pertes de 75%	6, 6 M € TTC

TABEAU 3.3 : COUTS (M EUROS TTC) ACTUALISES SUR 20 ANS- ECOPLAGE 2500 M

Variantes		M € TTC
Variantes	Rechargement de 306 000m ³ + transfert de sable de 15 000 m ³ /an + ouvrage captage Dune Amont	6,5 M € TTC
	Rechargement de 306 000 m ³ + transfert de sable depuis site extérieur (Calais/Portel)	7,3 M € TTC
	Rechargement de 306 000 m ³ + transfert massif (10 ans)	9, 05 M € TTC
	Rechargement de 306 000 m ³ + Ecoilage avec réduction des pertes de 100%	8, 7 M € TTC
	Rechargement de 306 000 m ³ + Ecoilage avec réduction des pertes de 75%	8, 9 M € TTC

TABEAU 3.4 : COUTS (M EUROS TTC) ACTUALISES SUR 20 ANS- ECOPLAGE 1000 M

Variantes		M € TTC
Variantes	Rechargement de 306 000m ³ + transfert de sable de 15 000 m ³ /an + ouvrage captage Dune Amont	6,5 M € TTC
	Rechargement de 306 000 m ³ + transfert de sable depuis site extérieur (Calais/Portel)	7,3 M € TTC
	Rechargement de 306 000 m ³ + transfert massif (10 ans)	9, 05 M € TTC
	Rechargement de 306 000 m ³ + Ecoilage avec réduction des pertes de 100%	6, 5 M € TTC
	Rechargement de 306 000 m ³ + Ecoilage avec réduction des pertes de 75%	6, 7 M € TTC

Ainsi la comparaison économique basée sur les montants actualisés montre ;

- L'entretien du rechargement par des transferts périodiques de sable depuis la Dune d'Amont reste la solution la plus économique.
- La solution consistant à réaliser des transferts de matériaux provenant de sites extérieurs présente un coût important. Elle ne peut être envisagée que comme une source d'appoint complémentaire au site de la Dune d'Amont.

- La solution consistant à réaliser un entretien massif tous les 10 ans est assez coûteuse du fait des coûts fixes d'installation du chantier et du prix estimé du mètre-cube de sable.
- La mise en place du système Ecoplage du fait de son coût d'installation et de fonctionnement est plus coûteux même s'il peut entraîner une réduction des pertes de 75 à 100%. En outre, aucune garantie ne peut cependant être fournie quant à l'efficacité du système. Il y a donc un risque assez important sur ce point.
- Si l'on considère un linéaire d'application de 1000 mètres, le coût du système ECOPLAGE présente un coût identique à la solution transfert Dune d'Amont sur une période de 20 ans. Il convient cependant de rappeler que le linéaire d'application n'est pas identique (1000 mètres pour l'ECOPLAGE et 2500 mètres pour le transfert). En outre, comme évoqué ci-avant, cela sous-entend une réduction des pertes de 100 %, ce qui semble assez peu réaliste.

La solution visant à réaliser des rechargements périodiques semble économiquement la plus avantageuse. Cela sous-entend de disposer d'un stock suffisant sur le site de la Dune d'Amont.

Ces équilibres financiers pourraient être modifiées si les matériaux de transfert devaient être acheminés depuis les sites extérieurs (coût du transfert plus importants).

3.2.4. GRILLE D'ANALYSE MULTICRITERE

La grille d'analyse multicritère des scénarios étudiés est présentée sur la figure 3.2.

La solution consistant à réaliser des entretiens annuels depuis la Dune d'Amont est la plus économique et la plus viable sur le plan technique. Elle permet également, à partir des résultats du suivi annuel de la plage d'une adaptation éventuelle du programme d'entretien.

Cette solution a fait l'objet d'un consensus général lors du Comité Technique du 27 juin 2006 et a été validée par le Comité de Pilotage réuni en Sous Préfecture de Boulogne le 28 juin 2006.

Les autres solutions ont été rejetées.

4. MESURES D'ACCOMPAGNEMENT

Dans le cadre des opérations de requalification de la Baie de Wissant, compte tenu des enjeux identifiés en phase 1 de l'étude, les mesures complémentaires ont été proposées en complément de l'opération de rechargement sensu-stricto.

4.1. PROTECTION DU PIED DE DUNE – SECTEUR PARKING DUNE AVAL

4.1.1. GENERALITES

Les protections du pied de dune en géotextiles sont destinées à protéger les cordons dunaires des érosions engendrés par des tempêtes qui, compte tenu de la force des vagues conjuguée à des niveaux d'eau souvent très élevés, viennent directement les agresser.

De telles agressions provoquent généralement des effondrements du front dunaire emportant les éventuels aménagements se trouvant dessus (caillebotis d'accès piétons aux plages, sanitaires...) et empêchent la progression de la végétation de stabilisation de la dune. Au final, le système dunaire est fragilisé ce qui peut à terme constituer une menace pour les enjeux situés derrière (lotissement par exemple).

Dans le cadre de la requalification de la Baie de Wissant, nous proposons (en situation transitoire dans l'attente du rechargement) une protection du pied de dune en géotextiles devant le lotissement et parking de la dune d'Aval (cf. figure 4.1).

Il est important de rappeler que ces structures ne peuvent pas être considérées comme des ouvrages de protection à long terme vis-à-vis de l'érosion marine si elles ne sont pas combinées à d'autres méthodes de protection.

En effet, mises en places seules dans un système érosif, ces structures seraient rapidement déstabilisées puis détruites. Par conséquent, dans le cas du littoral de Wissant, ces structures doivent être considérées comme une **situation transitoire** dans l'attente du rechargement de plage.

4.1.2. DESCRIPTION TECHNIQUE DE LA PROTECTION

La protection en géotextiles pourra être de type Stabilenka® (telle celle mise en place actuellement sur le littoral de Biscarosse ou Ile de Ré) ou de type Géotube®.

L'ouvrage pourrait avoir une longueur totale de 200 m y compris les ancrages aux extrémités (cf. figure 4.1).

Des coupe-type et schémas de principe de ces ouvrages en géotextile sont fournis sur la figure 4.2 et 4.3.

4.1.3. EXECUTION DES TRAVAUX

Les travaux de construction des ouvrages de protection seront fonction du type d'ouvrage retenu. Dans les deux cas, ils pourront être réalisés depuis la plage à l'aide d'engins de travaux publics. Ils consisteront pour la protection en géotextile à :

- Excaver les matériaux sableux sur la zone d'emprise des ouvrages et placer le sable en dépôt de manière à être réutilisés en remplissage des ouvrages dans le cadre de la protection géotextile. Dans le cas de la mise en place d'un géotube, le remplissage du géotextile nécessite l'utilisation de moyens hydrauliques (mise en œuvre plus délicate).
- Procéder, de manière successive pour chacun des trois panneaux géotextiles, à la mise en place du géotextile, le remplissage de sables, le retournement et la fixation dans le cordon dunaire à l'aide de pieux en bois,
- Recouvrir l'ensemble de l'ouvrage par le sable restant de manière à protéger les géotextiles et insérer au mieux l'ouvrage dans le paysage.

Ces travaux peuvent être réalisés en régie par les services de la commune ou intercommunaux (une assistance technique est fournie par le fournisseur).

4.1.4. ESTIMATION DES COUTS

Le coût précis des ouvrages sera évalué lors de la phase AVP, en fonction du type d'ouvrage retenu.

Le coût moyen de ce type d'ouvrage se situe autour de 800 €HT/mètre linéaire (fourniture + pose en régie).

Cela conduit pour une protection de 200 mètres à environ 160 000 €HT (192 000 €TTC).

4.1.5. ENTRETIENS NECESSAIRES

Les entretiens nécessaires sont liés au fait que d'une part que les géotextiles n'ont qu'une durée de vie limitée lorsqu'ils sont exposés aux UVs et d'autre part que, une fois découverts, ils peuvent être sujets à des actes de vandalisme qui peuvent nuire à leur intégrité. Par conséquent, si découverts, les structures devront être rapidement recouvertes de sables.

On peut supposer que les coûts d'entretiens des structures géotextiles seront faibles et de l'ordre de 3 000 à 5 000 €HT/an correspondant à la re-couverture de la structure à l'aide d'un tractopelle depuis les sables du bas de plage (reprofilage de la plage).

4.2. DEMANTELEMENT DES BLOCKHAUS

Compte tenu des effets néfastes des blockhaus sur le pied de la Dune d'Aval (cf. rapport de phase 1 - § 3.2.3.2), il est proposé de procéder au démantèlement de ces ouvrages. Cette mesure a été validée par le Comité Technique et Comité de Pilotage des 27 et 28 juin 2006.

Cette mesure sera chiffrée précisément dans la phase d'Avant Projet. Une première estimation, réalisée sur la base d'opérations similaires, permet de fournir un prix de démantèlement et évacuation de l'ordre de 150 000 € TTC.

4.3. TECHNIQUES « DOUCES » DE RETENTION DES SABLES & ORGANISATION DE LA FREQUENTATION DES DUNES (SOURCE : EDEN 62)

4.3.1. INTRODUCTION - OBJECTIFS

L'accueil touristique en Baie de Wissant pour les personnes désireuses de se rendre à la plage, se fait par quelques points d'accès (Strouanne, Wissant, Dune d'Aval camping, le Châtelet, la Courte Dune).

Le peu d'organisation, l'absence d'itinéraires balisés dans les dunes, d'accès aux plages, concentrent le public en quelques points induisant souvent une dégradation des dunes par des usages abusifs (Sand Surfing, fréquentation en toile d'araignée).

Cette dégradation des dunes favorise les phénomènes d'érosion dunaire et les effets de la déflation éolienne.

Eden 62 propose ainsi d'améliorer l'accès aux plages plus grandes en structurant l'accueil du public.

La création et le balisage d'itinéraires d'accès aux plages à partir des zones de stationnement doivent rendre plus lisible l'utilisation de la Baie.

La multiplication des points d'accès doit permettre de diluer la fréquentation par l'utilisation de périmètres de plage plus larges. Cela s'intègre parfaitement dans les objectifs de la requalification de la Baie et les objectifs du rechargement (élargissement de la plage sèche).

4.3.2. DETAIL DES PROPOSITIONS D'EDEN 62

Elles consistent essentiellement en la mise en place d'ouvrage de rétention des sables sur la plage nouvellement rechargée. Le détail de ces propositions est reporté sur les figures 4.4 à 4.6. Elles concernent les secteurs de la Dune Châtelet, Dune d'Aval et Dune d'Amont.

Compte tenu de l'importance des transports éoliens identifiés en phase 1 de l'étude, ces dispositifs permettraient de réduire les pertes en matériaux et favoriser ainsi la stabilisation de l'estran.

La végétalisation par des oyats contribuera également à la fixation des dunes et sa stabilisation.

4.3.3. ESTIMATION DES COÛTS

L'estimation des coûts des propositions EDEN 62 est reprise ci-après.

TABEAU 4.1 : COÛTS DES AMENAGEMENTS DUNAIRES (EDEN 62)

Opérations	Quantité	Coût unitaire TTC en euros	Coût total TTC en euros
Fascines 1 ^{er} cas	1450 fagots / 2900 ml	2,7	3915
Fascines 2 ^{ème} cas	1950 fagots / 3900 ml	2,7	5265
Mis en œuvre fascines 1 ^{er} cas	2900 ml	1,90 profondeur 80cm ou 1,52 profondeur 50cm	5510 4408
Mise en œuvre fascines 2 ^{ème} cas	3900 ml	1,90 profondeur 80cm ou 1,52 profondeur 50cm	7410 5928
Fourniture pour clôture ganivelle	1300		
Fils lisse	1300 ml	7,6	9910
Tendeurs	16 rouleaux 4000 ml	31	488
Piquets	100	1,5	150
	520	2	1040
Mise en œuvre des clôtures ganivelle	1300	3,42	4446
Débroussaillage chemin	800 ml		
Aménagement divers			
Chicane piéton	4	260	1037
Emmarchement	20	15	300
autres			700
Plantation d'oyats	1,4735 ha	10 641	15 724

Les coûts liés aux différentes hypothèses émises par Eden 62 sont repris ci-après :

- 1^{er} cas fascines enterrées de 80cm : **23 047 €TTC** (accueil du public) + **15 724 €TTC** pour la plantation
- 1^{er} cas fascines enterrées de 50 cm : **21948 €TTC** (accueil du public) + **15 724 €TTC** pour la plantation
- 2^{ème} cas fascines enterrées de 80 cm **26 300 €TTC** (accueil du public) + **15 724 €TTC** pour la plantation
- 2^{ème} cas fascines enterrées de 50 cm **24 818 €TTC** (accueil du public) + **15 724 €TTC** pour la plantation

Il convient de noter que des aménagements de type pieux ont d'ores et déjà été mis en place devant le pied de la Dune d'Aval. Un suivi de ces dispositif permettra de mesurer leur efficacité.

En complément des propositions d'Eden 62, il pourrait être intéressant de procéder à la mise en place d'ouvrages de rétention (fascines, ganivelles, tri X) devant le secteur du perré, dans la continuité des aménagements proposés par Eden 62.

Ces ouvrages seront détaillés dans l'Avant-Projet. Une première estimation de 40 000 €TTC peut être fourni.

4.4. RE-AMENAGEMENT DE L'EXUTOIRE DU RUISSEAU

Dans le cadre des travaux de rechargement, il conviendrait pour limiter les processus de sapement de la plage par les divagations du ruisseau de réaménager l'exutoire de ce dernier avec la mise en place d'une conduite PEhd ou un système de drain pour évacuer les eaux.

Cette solution n'a pas été chiffrée à ce stade de l'étude. Elle sera chiffrée au niveau AVP en collaboration avec les services de la mairie responsables de l'assainissement EP.

5. METHODES DE SUIVI DES EVOLUTIONS DE LA PLAGE ET DES PETITS FONDS

5.1. GENERALITES

Il est indispensable de mettre en place un système de suivi précis de la plage de Wissant. Ce suivi permettra de suivre l'évolution de la plage et d'affiner les campagnes d'entretien à mettre en œuvre en fonction des évolutions.

La méthode « classique » consistant à procéder à des levés topo-bathymétriques complets et réguliers de la zone est la plus adaptée. Cette méthode a l'avantage de sa fiabilité.

5.2. LEVES TOPO-BATHYMETRIQUES

5.2.1. PRINCIPES

La réalisation des profils de l'estran par le SMBC depuis 1996 permet un suivi continu de l'évolution de l'estran et mérite d'être poursuivi et intensifié (augmentation de la densité des profils).

Les campagnes de levés topo-bathymétriques de la zone pourraient s'organiser comme suit :

- Un levé après les travaux,
- Un levé en mars- avril (profil de fin d'hiver) avant les travaux d'entretien annuel de la plage,
- Un levé en septembre (profil de fin d'été).

Leur interprétation permettra d'avoir accès à l'évolution précise et complète de la zone (plage, petits fonds, barres...). Il est important dans un système complexe comme celui de la plage de Wissant de disposer d'une vision globale des évolutions mesurées sur l'estran (et pas seulement sur des profils très espacés).

La définition des volumes à transférer reposera sur la quantification des pertes évaluées par comparaison des levés topographiques.

Ce suivi permettra également de mesurer l'efficacité des systèmes de rétention des sables.

5.2.2. EMPRISE DES MESURES TOPO-BATHYMETRIQUES

Le levé topographique s'étendra sur un linéaire de 3 à 3,5 km couvrant la zone rechargée et la zone préfigurée pour l'extraction des matériaux d'entretien (secteur Dune d'Amont).

Les profils à réaliser seront espacés de 50 m. Lors de la présence d'un ouvrage, un profil spécifique devra être réalisé de part et d'autre de l'ouvrage.

Les profils s'étendront depuis le bas estran jusqu'au sommet du perré ou du cordon dunaire, sur l'emprise des levés SMBC (linéaire total d'environ 4 km).

Les mesures seront faites de préférence lors de basses mers de fort coefficient de manière à assurer un levé du bas estran (+ 2 mCM au minima et 0 mCM si possible).

5.2.3. ESTIMATION DES COUTS

Ce suivi pourrait être opéré par l'ULCO, compte tenu de ses travaux sur la plage de Wissant et de leur connaissance du site.

Le coût annuel du suivi peut-être estimé à environ 10 000 €TTC (levés topo-bathymétriques des plages et interprétation).

5.3. SYSTEME DE DECLENCHEMENT DES OPERATIONS D'ENTRETIEN

Compte tenu des fortes variations observées sur la plage de Wissant et des difficultés à prévoir de manière précise les volumes d'entretien, les opérations peuvent être modifiées en fonction des résultats du suivi de la plage :

- Augmentation des apports d'entretien si le suivi fait apparaître une augmentation des pertes,
- Réduction ou suppression de l'opération de transfert annuelle si le suivi met en évidence une accrétion de la plage sur la période.

Le déclenchement ou pas des opérations d'entretien ne pourra être réalisé que sur la base du suivi. Il est assez délicat de définir un seuil de déclenchement des opérations.

Des principes d'intervention peuvent être proposés :

- Intervention si réduction de la berme > 5- 10 mètres,
- Intervention si la cote de la berme descend sous le niveau de PMVE (risque d'attaque plus fréquente de la plage par les houles).

Ces seuils ne sauraient être fixés. Ils devront être adaptés aux résultats du suivi et à la dynamique de la plage.

6. PLANNING DES OPERATIONS – PROCEDURES REGLEMENTAIRES

6.1. PLANNING DES OPERATIONS

L'objectif de réalisation de l'opération était initialement fixé à un rechargement effectif pour l'été 2007.

Un rechargement effectif pour l'été 2007 implique une réalisation des travaux si possible à partir de septembre 2006. Le point critique pour satisfaire une telle échéance est d'obtenir l'autorisation de commencer les travaux à la fin de l'été 2006 sachant que l'Enquête Publique doit être réalisée pendant la période estivale. Cela semble assez peu réaliste au regard des incertitudes restantes sur les possibilités d'extraire les matériaux devant le port de Calais. Bien évidemment, la possibilité de disposer d'un stock de sédiment est fondamentale dans le cadre de ce type d'opération.

Ainsi, il est plus réaliste de prévoir un rechargement effectif pour l'été 2008, c'est-à-dire avec des travaux durant l'automne- hiver 2007-2008. Cette hypothèse reste valide si l'extraction des matériaux peut se faire en dehors d'une autorisation au titre du code minier qui prendrait un minimum de 3 ans (cf. phase 2 de l'étude).

Les principales étapes de l'opération seraient les suivantes :

- Validation de la solution retenue par le Maître d'Ouvrage
- Réalisation des études d'avant-projet et études réglementaires (hors code minier), instruction administrative du dossier en vue de l'obtention de l'arrêté d'autorisation des travaux.
- Choix d'un maître d'œuvre et réalisation des études de Projet et dossier de consultation des entreprises
- Lancement de l'appel d'offres travaux,
- Choix de l'entreprise
- Préparation des travaux
- Réalisation des travaux.

Un planning prévisionnel de l'opération est présenté sur la figure 6.1.

Il pourra être affiné une fois la zone d'extraction identifiée de manière précise.

6.2. PROCEDURES REGLEMENTAIRES

L'étude d'impact portera sur la partie rechargement de l'opération et l'extraction des sables (sauf si le site d'extraction fait déjà l'objet d'une autorisation d'extraction ou de dragage).

Elle devra bien évidemment prendre en compte l'opération de rechargement initiale mais également les opérations d'entretien du rechargement.

Ainsi, sur la base du projet et de l'état initial de la zone, il sera nécessaire de définir les points réglementaires auxquels est soumis le projet.

Une première analyse permet d'établir un listing des procédures applicables.

6.2.1. REGIME ADMINISTRATIF DE L'OUVRAGE

Les travaux (extraction et dépôt) seront réalisés sur le Domaine Public Maritime géré par l'Etat.

Au terme des procédures réglementaires, ces travaux pourront être autorisés par le Préfet du Pas de Calais par un arrêté :

- Autorisation au titre de l'article 10 de la loi sur l'eau transposée aux articles L214-1 à L214-6 du code de l'environnement
- Autorisation au titre de l'article 31 de la loi sur l'eau transposée aux articles L211-7 du Code de l'Environnement,

6.2.2. PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Etude d'impact

Le projet est soumis aux dispositions du décret n° 77-1141 du 12 octobre 1977 modifié par le décret n° 93-245 du 25 février 1993 relatif aux études d'impact et au champ d'application des enquêtes publiques, pris pour l'application de l'article L122-1 à L122-3 du Code de l'Environnement, impliquant la production d'une étude d'impact.

Le projet est visé par l'article 22 de l'annexe II du décret n° 77-1141 du 12 octobre 1977 :

- Travaux et ouvrages de défense contre la mer d'une emprise totale supérieure à 2000 mètres carrés.

Législation sur l'eau

Le projet est soumis aux dispositions de l'article 10 de la loi sur l'eau transposée aux articles L214-1 à L214-6 du code de l'environnement assujettissant le projet à une procédure d'autorisation.

Le projet est soumis également à l'article 31 de la loi sur l'eau transposée aux articles L211-7 du Code de l'Environnement et fait l'objet d'une déclaration d'intérêt général. De ce fait, le dossier devra être établi conformément aux dispositions du décret n°74-851 du 8 Octobre 1974 et comprendre un mémoire justifiant les modalités d'exploitation et d'entretien de l'aménagement.

Le dossier comprend donc une étude d'impact (pièce 5) valant document d'incidence au titre de la loi sur l'eau.

Enquête publique

Le projet est soumis aux dispositions de l'article L.146.6 du code de l'urbanisme prescrivant une enquête publique de type Bouchardeau pour tous travaux d'un montant supérieur à 160 000 € réalisés sur des sites inscrits sur la liste des espaces remarquables du département.

Cette enquête publique de type Bouchardeau est également prescrite conformément à la rubrique 14 du décret 85-453 du 23 avril 1985 ; pour tous « Travaux réalisés sur le rivage, le sol ou le sous-sol de la mer en dehors des ports (endigages, exondements, affouillements, constructions, édification d'ouvrages de défense contre la mer, réalisation de plages artificielles)., dont la superficie des terrains mis hors d'eau ou emprise des travaux supérieures à 2 000 mètres carrés en ce qui concerne les opérations liées à une activité maritime afférente à la navigation, la pêche, les cultures marines, la construction et la réparation navales et la défense contre la mer » ;

Compatibilité avec le SDAGE du bassin Artois-Picardie

La loi du 3 janvier 1992 a prescrit l'élaboration de Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) par bassin afin de concilier les besoins en aménagement du territoire et en gestion équilibrée de la ressource en eau.

Le SDAGE a pour objectif de fixer les orientations fondamentales d'une gestion équilibrée de la ressource en eau des milieux aquatiques. Il énonce des recommandations générales et particulières et arrête les objectifs de qualité des eaux. Il dispose d'une portée juridique forte qui s'impose à de nombreux documents administratifs.

Site classé

La loi du 2 mai 1930 intégrée depuis dans les articles L 341-1 à L 341-22 du code de l'environnement permet de préserver des espaces du territoire français qui présentent un intérêt général du point de vue scientifique, pittoresque et artistique, historique ou légendaire ".

Il existe deux niveaux de protection : Le classement est une protection forte qui correspond à la volonté de maintien en l'état du site désigné, ce qui n'exclut ni la gestion ni la valorisation. Généralement consacré à la protection de paysages remarquables, le classement peut intégrer des espaces bâtis qui présentent un intérêt architectural et sont parties constitutives du site.

Les sites classés ne peuvent être ni détruits ni modifiés dans leur état ou leur aspect sauf autorisation spéciale ; celle ci en fonction de la nature des travaux est soit de niveau préfectoral ou soit de niveau ministériel.

6.2.3. DEROULEMENT DES PROCEDURES

Le déroulement des procédures et de l'instruction administrative de ce type de dossier est fourni sur les figures 6.2.

oOo

FIGURES

FIGURES CHAPITRE 1

Figure 1. 1

Position approximative de la zone d'extraction

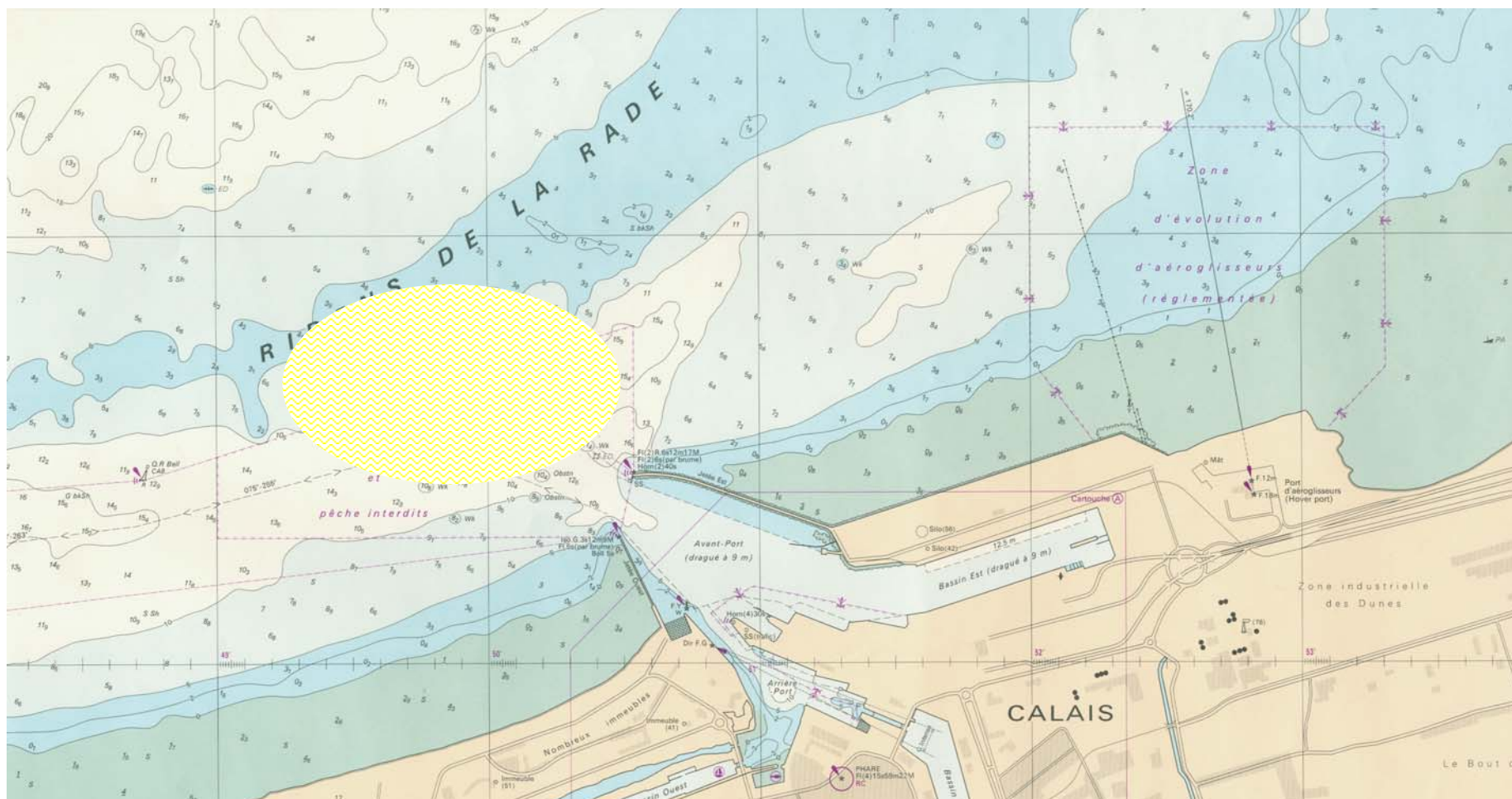
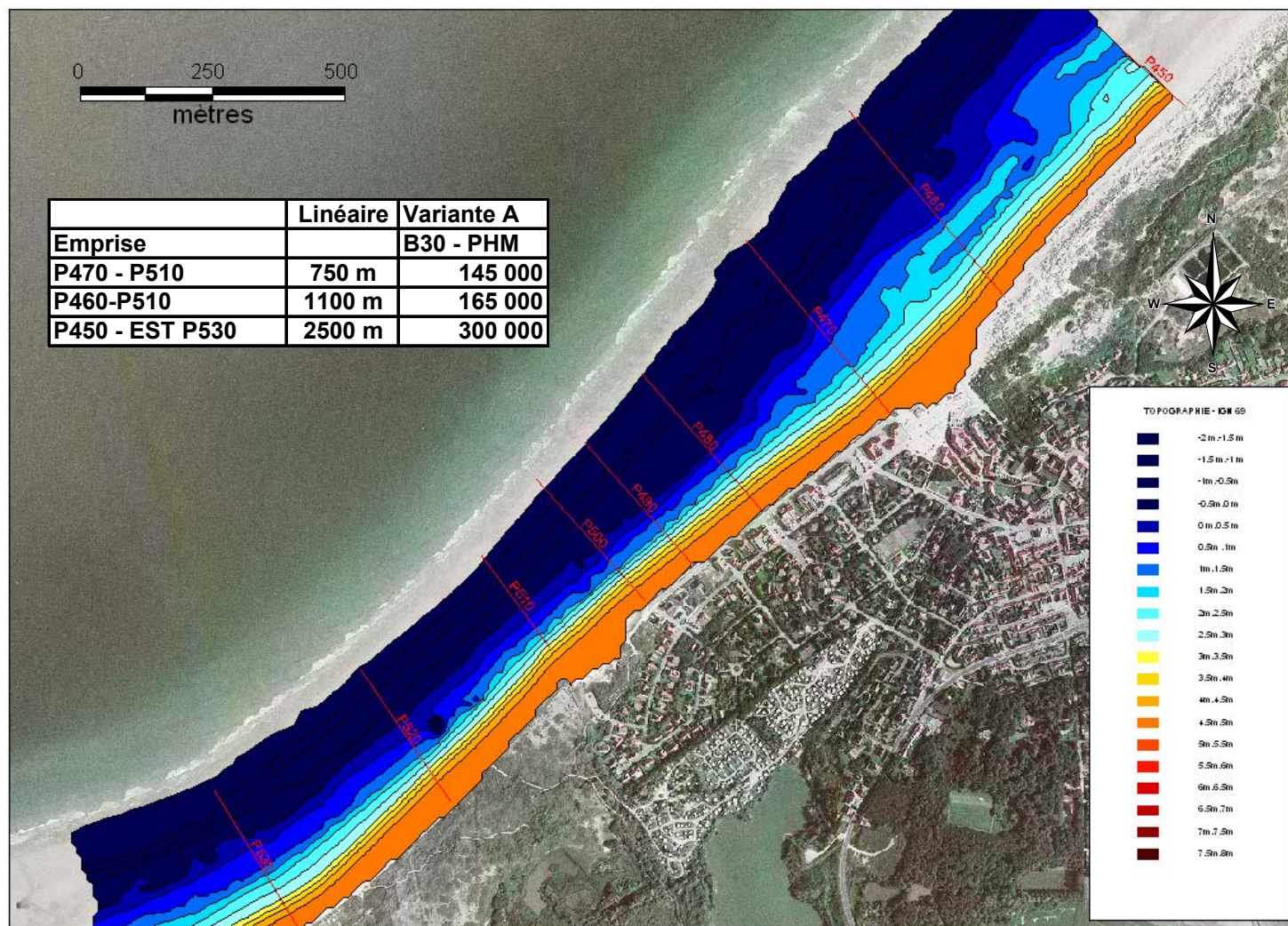
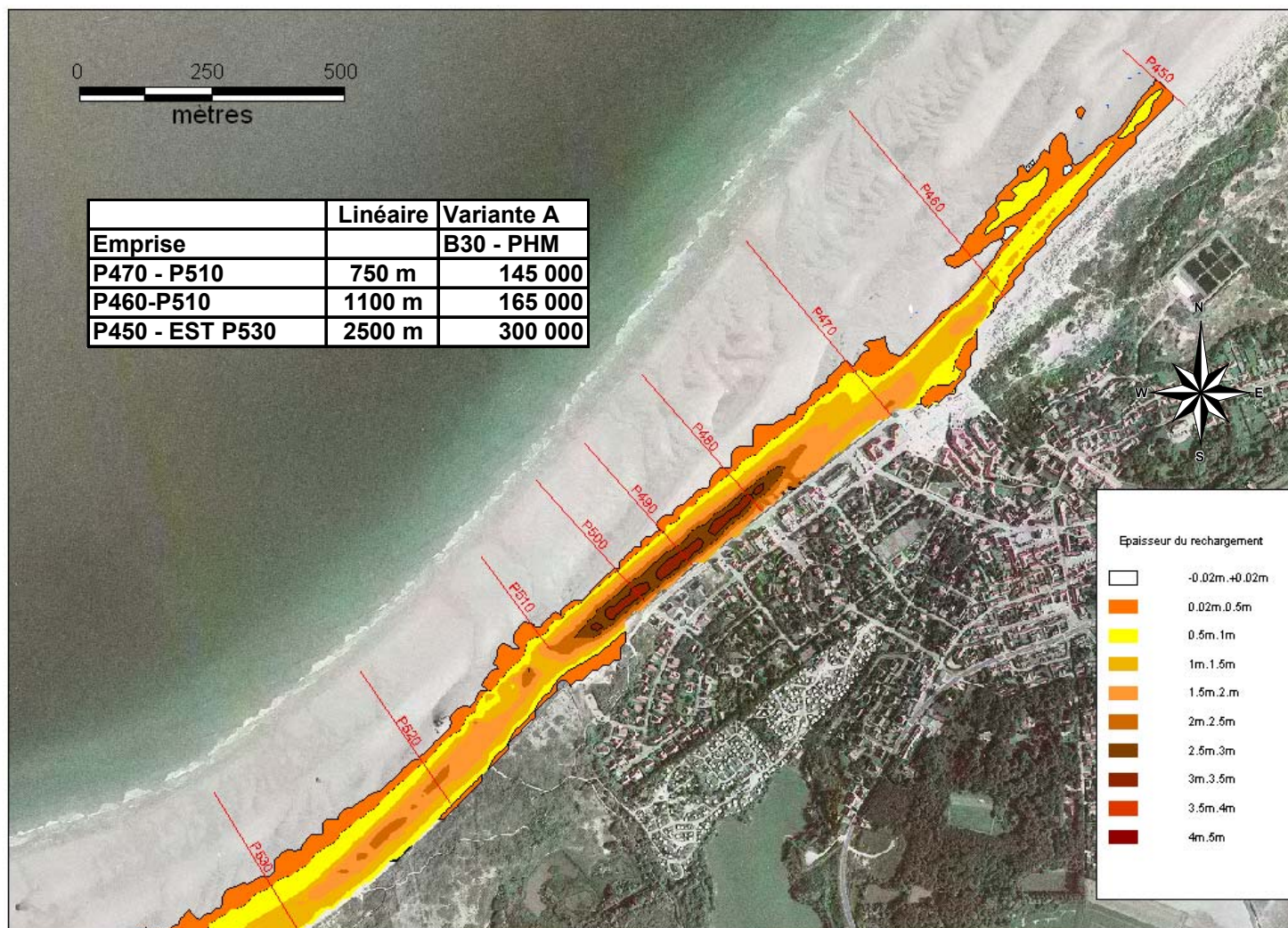


Figure 1.2 Variante A – Berme 30 m – Cote : + 4,70m IGN69 (PHM)



Les cotes sont exprimés en m/IGN69

Figure 1.3**Variante A – Berme 30 m – Cote : + 4,70 - Epaisseur**

Les cotes sont exprimés en m/IGN69

Figure 1. 4

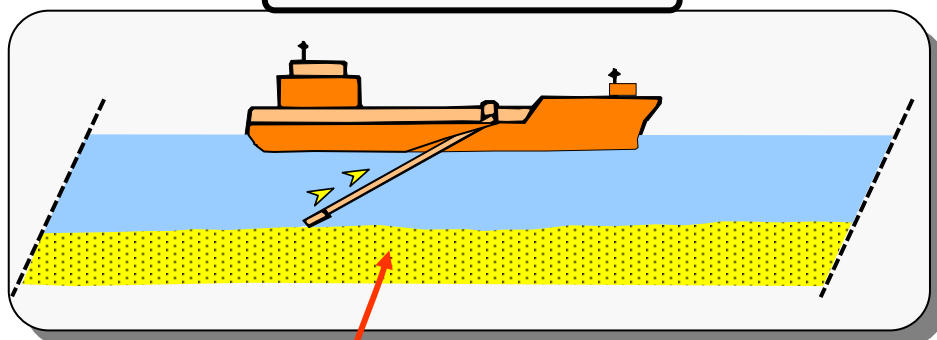
Drague aspiratrice en marche (DAM)



Figure 1.5

Mise en oeuvre – refoulement des matériaux

Phase de dragage



Phase de refoulement sur l'estran

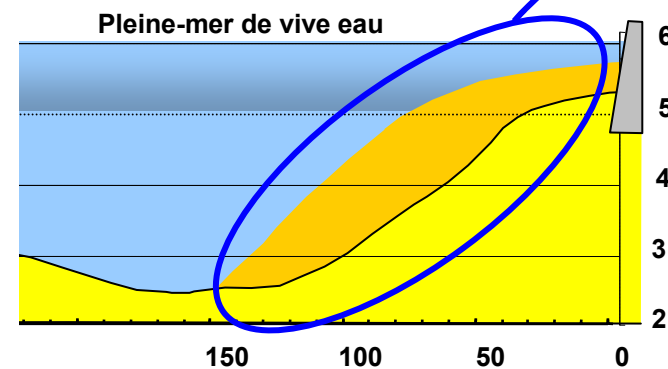
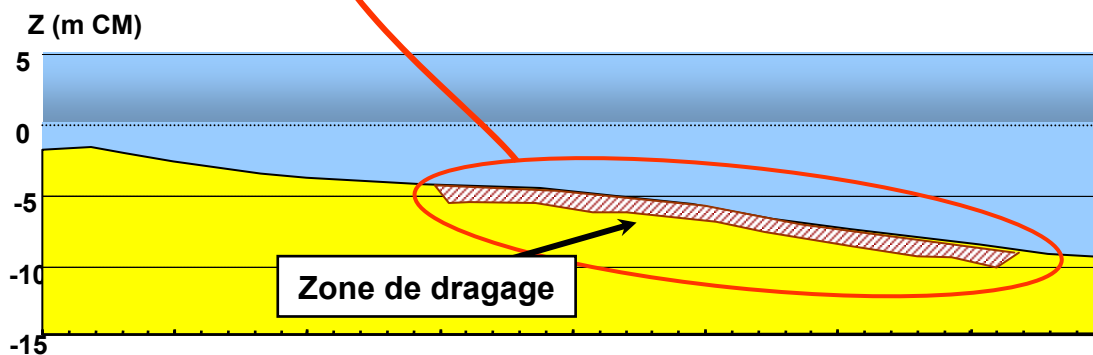
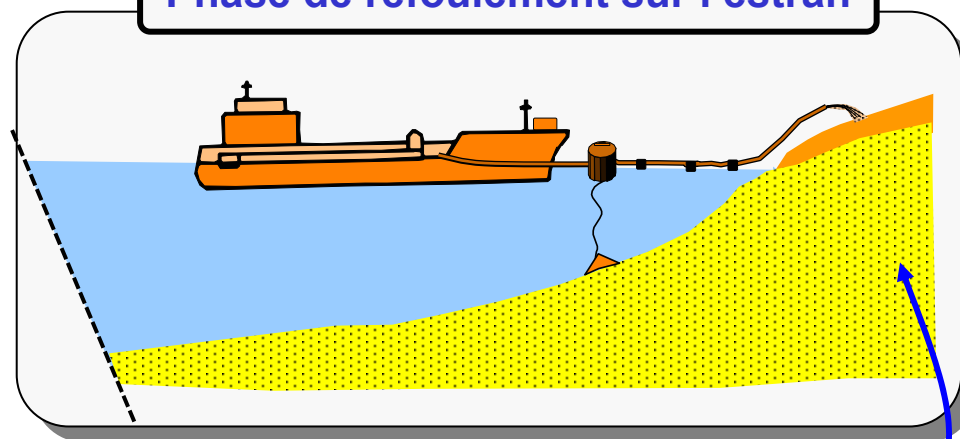
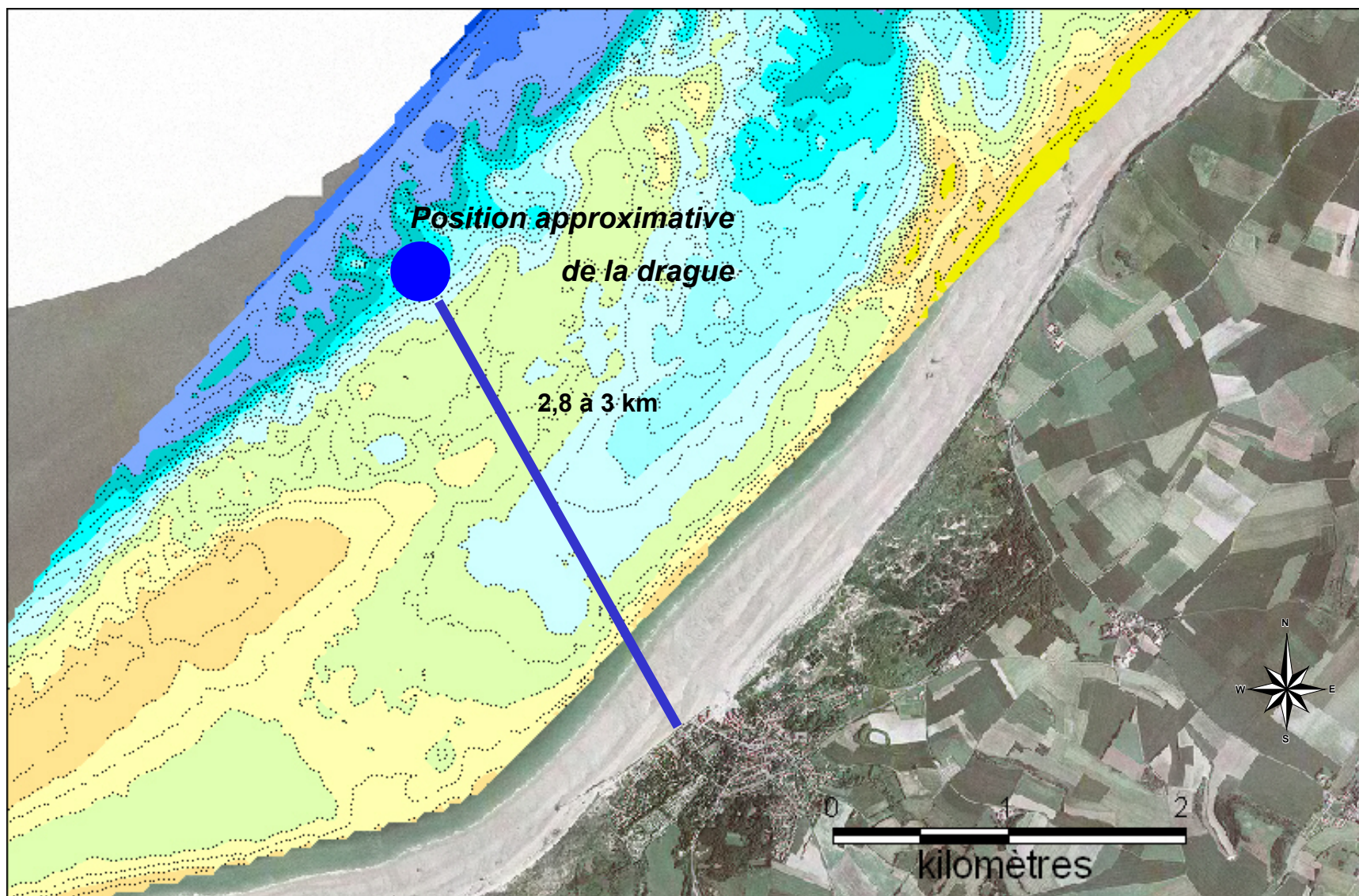


Figure 1. 6

Position approximative de la conduite



Source : SMBC

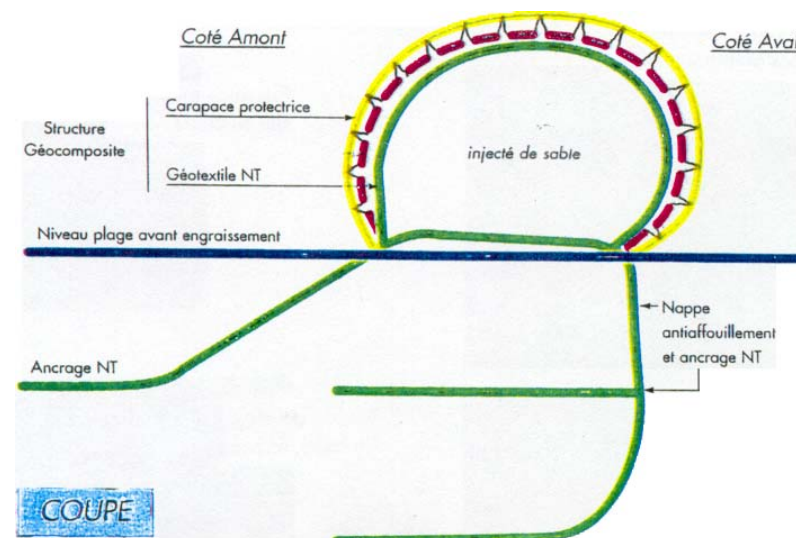


Figure 1. 8

Système Ecoplage : Principe de fonctionnement

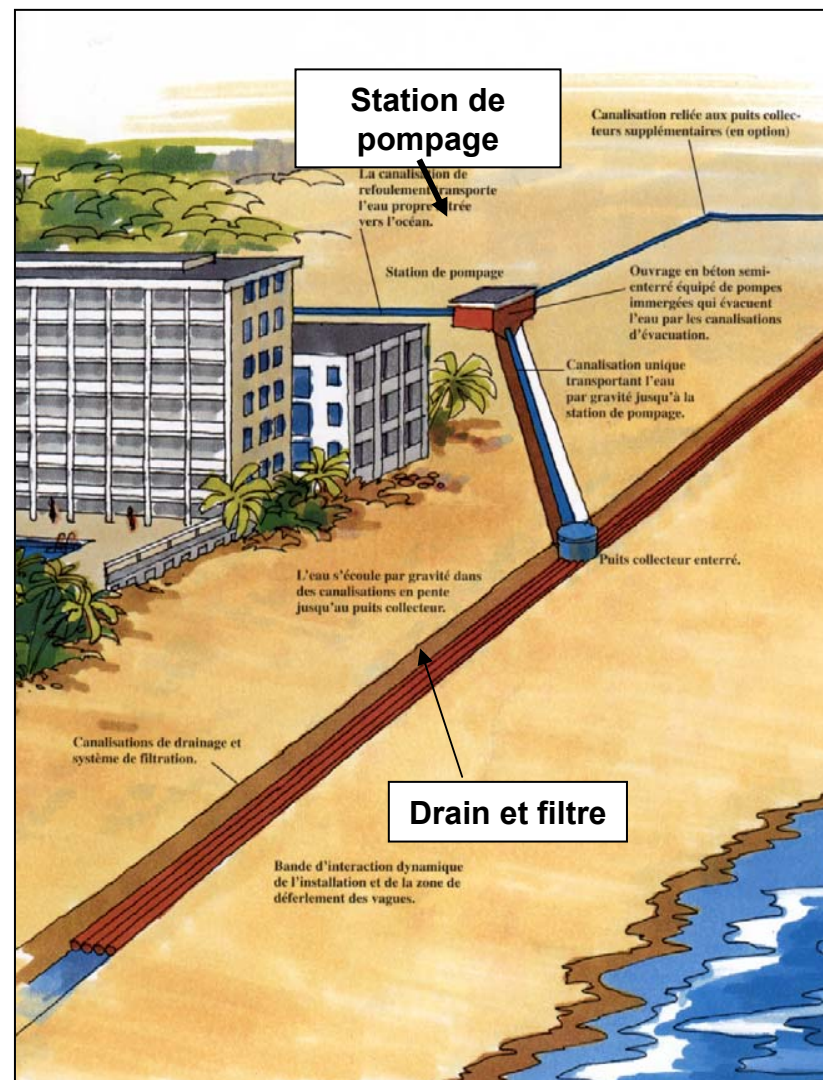
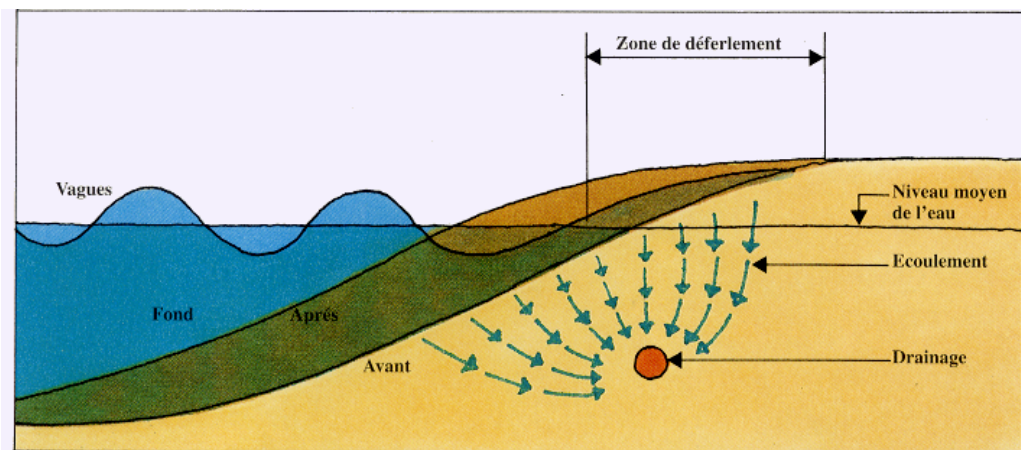
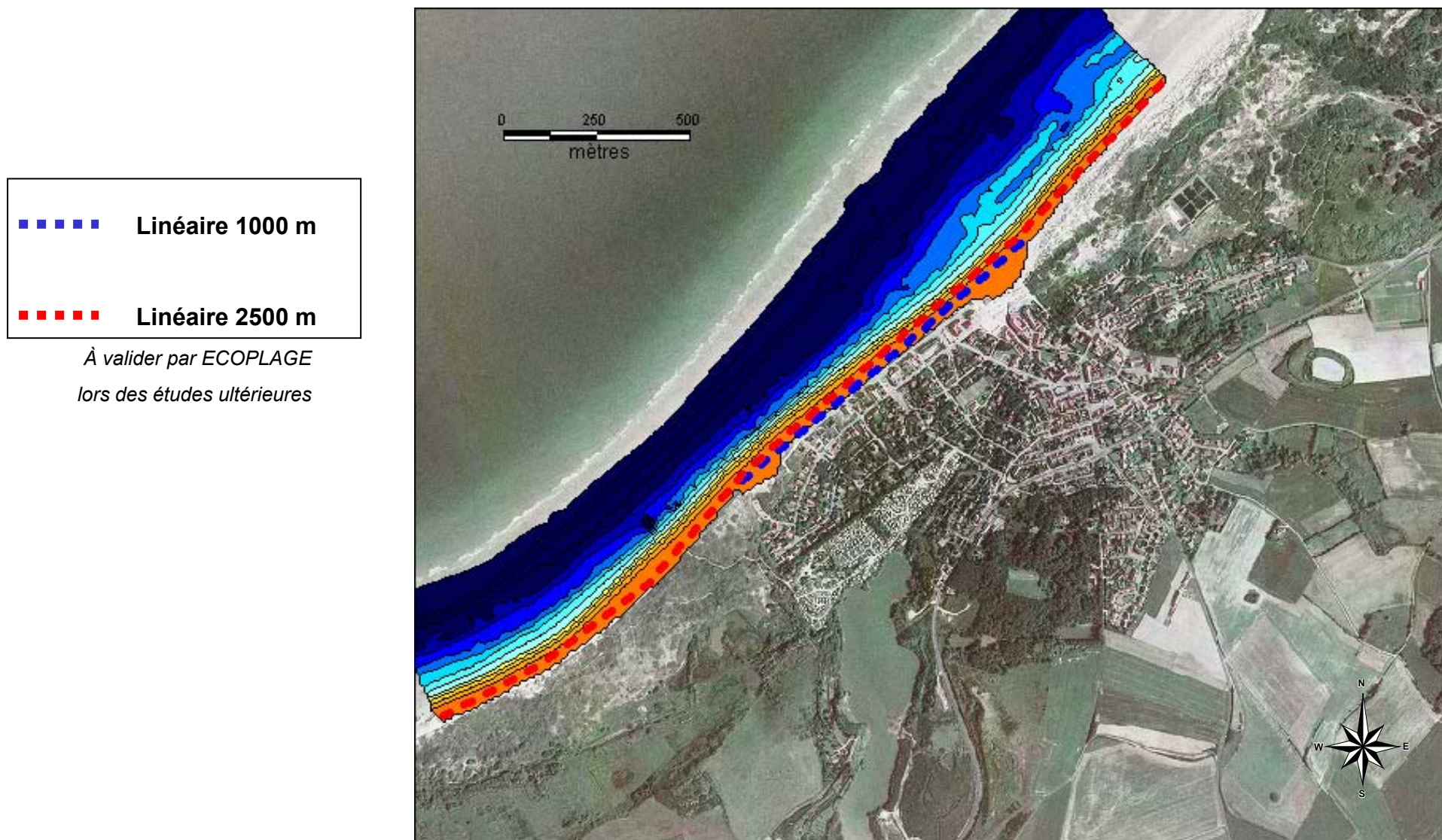


Figure 1. 9

Linéaire d'application du système Ecoplage



Source : IN VIVO – Fond de plan : Orthophotoplan

FIGURES CHAPITRE 2

Figure 2. 1

Interface graphique du logiciel PETRA

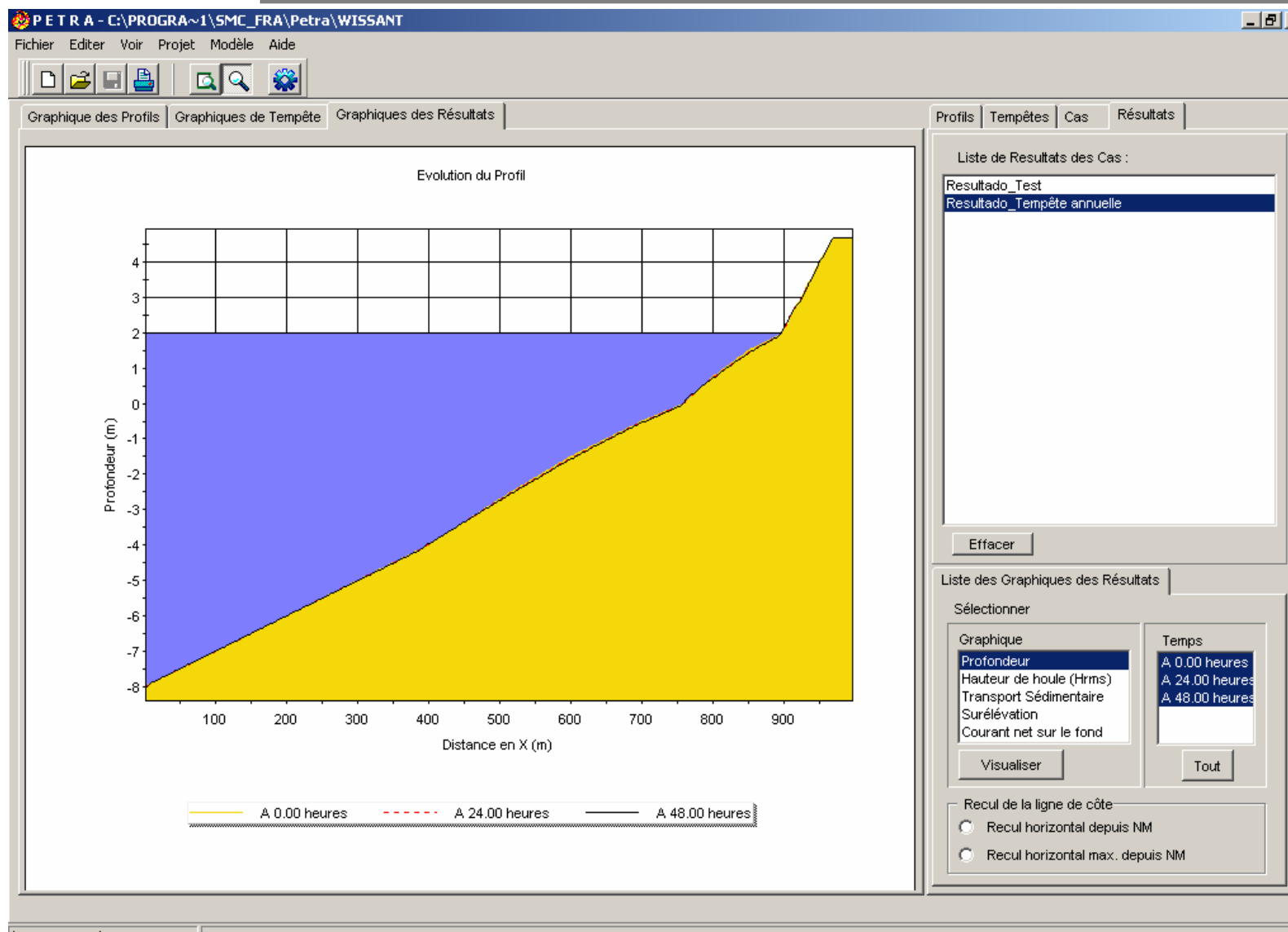
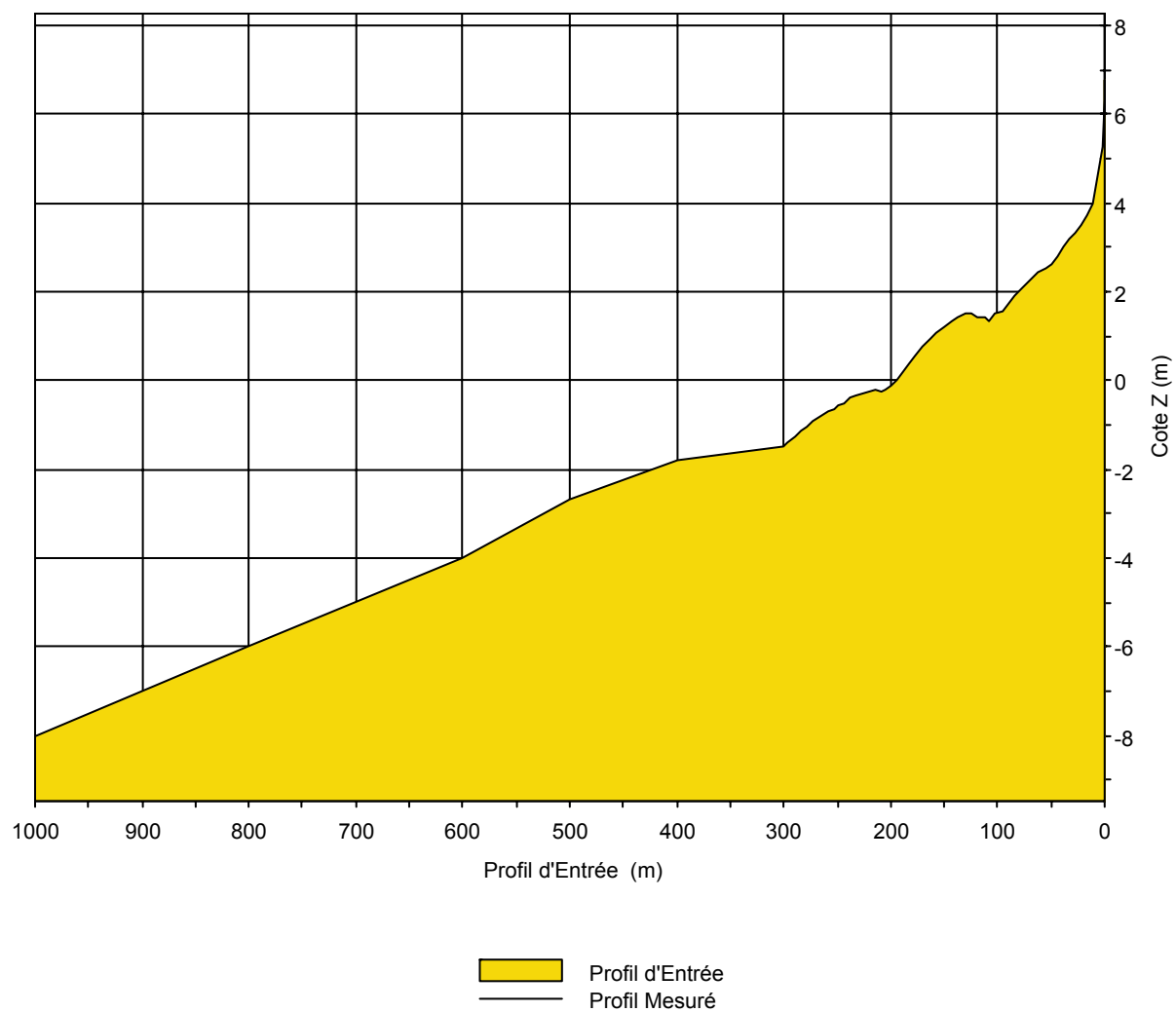
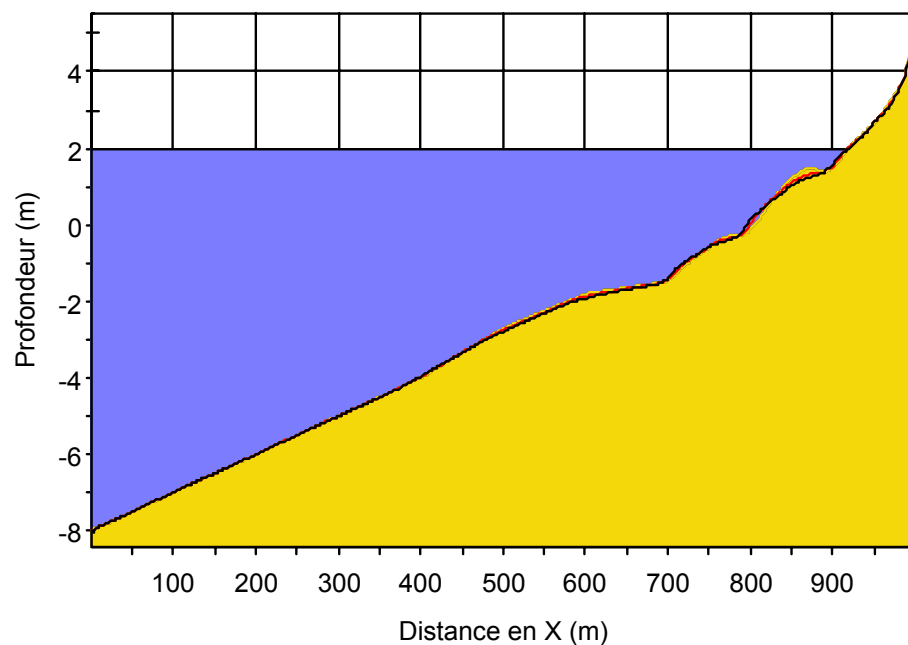


Figure 2. 2

Profil calage avant tempête

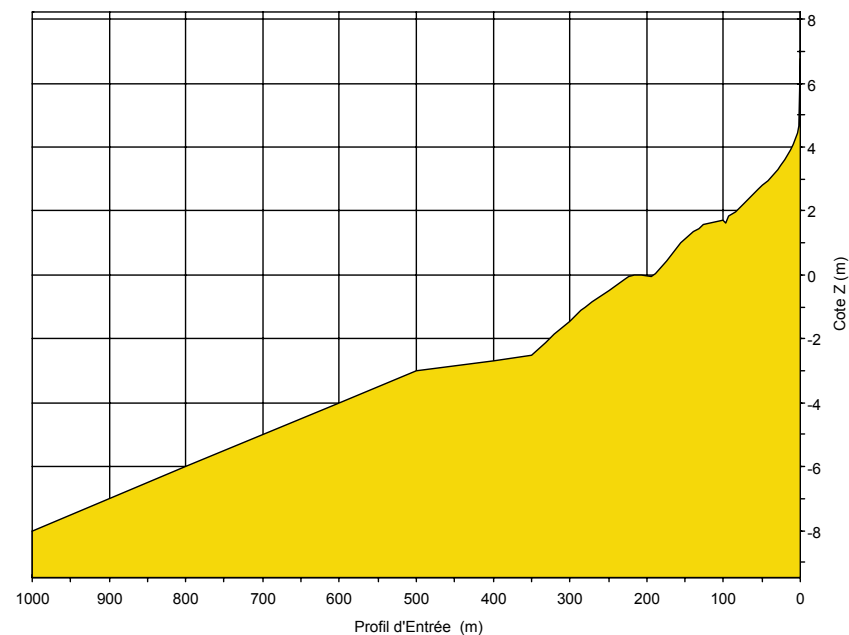


Evolution du Profil



— A 0.00 heures — A 24.00 heures
— A 48.00 heures

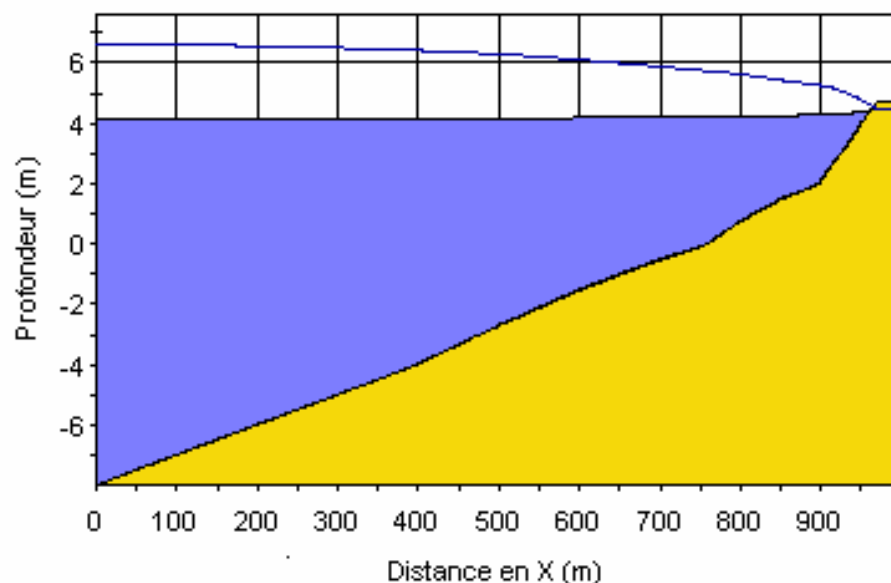
Profil de plage après tempête
(Simulation PETRA)



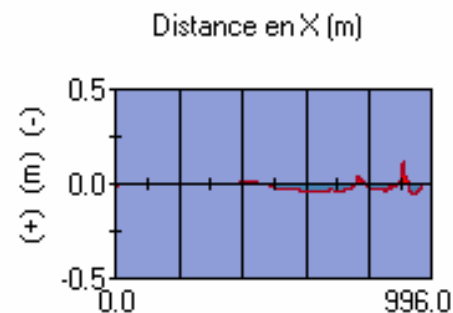
— Profil d'Entrée
— Profil Mesuré

Profil de plage après tempête
(Mesures ULCO – M.Sedrati, 2005)

Exécution modèle - PETRA

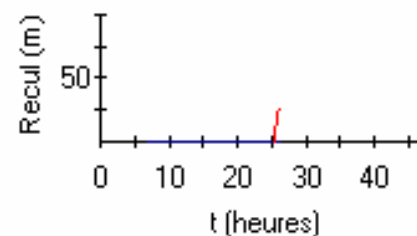


t = 0 h  t = 48.00 h
26.43 [heures]



Accumulation
Erosion

Vol = 4.83 m³/m.L

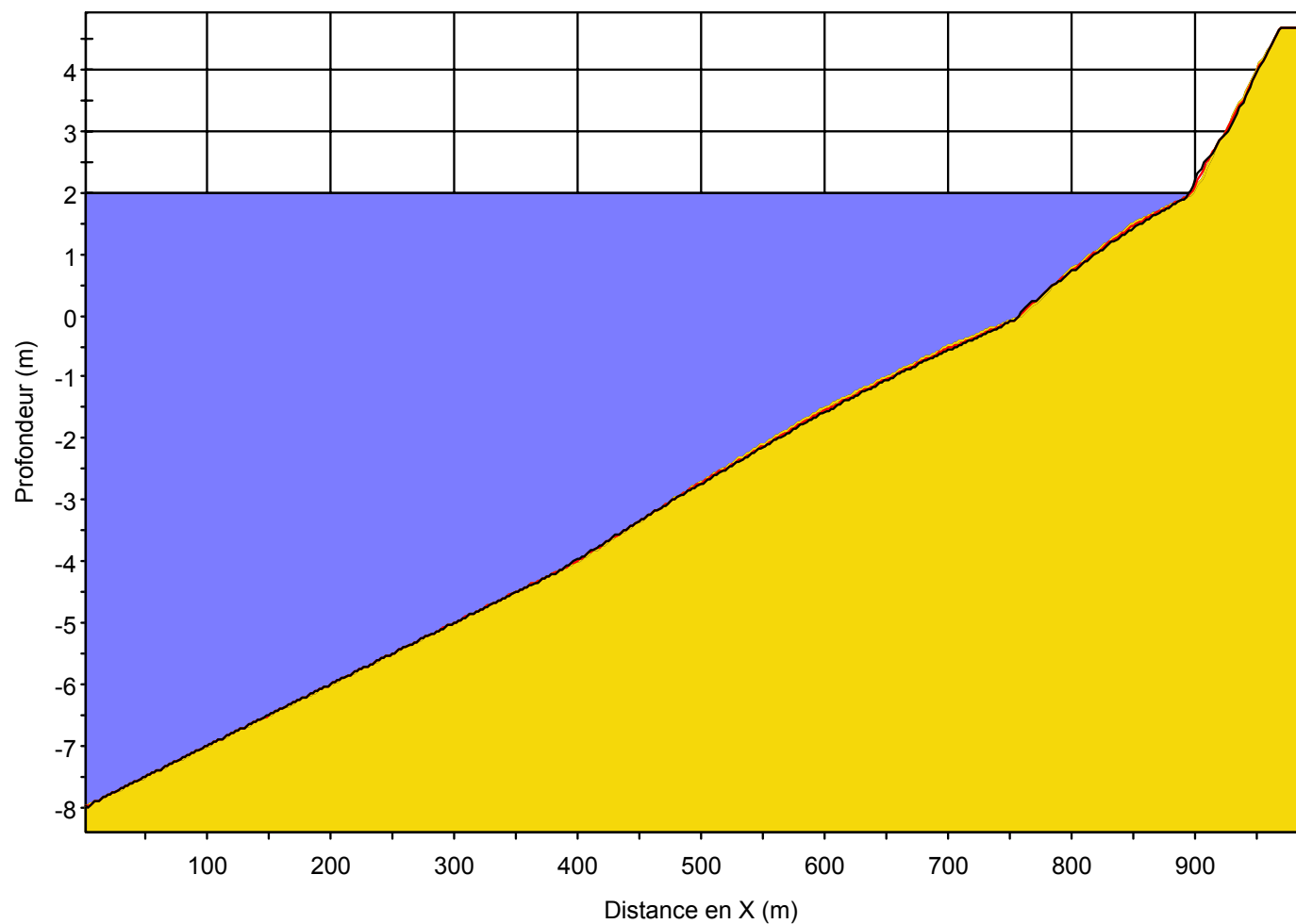


Recul horizontal depuis NM
Recul horizontal max depuis NM

X Annuler

Figure 2. 5

Profil rechargé – Largeur de berme 30 mètres

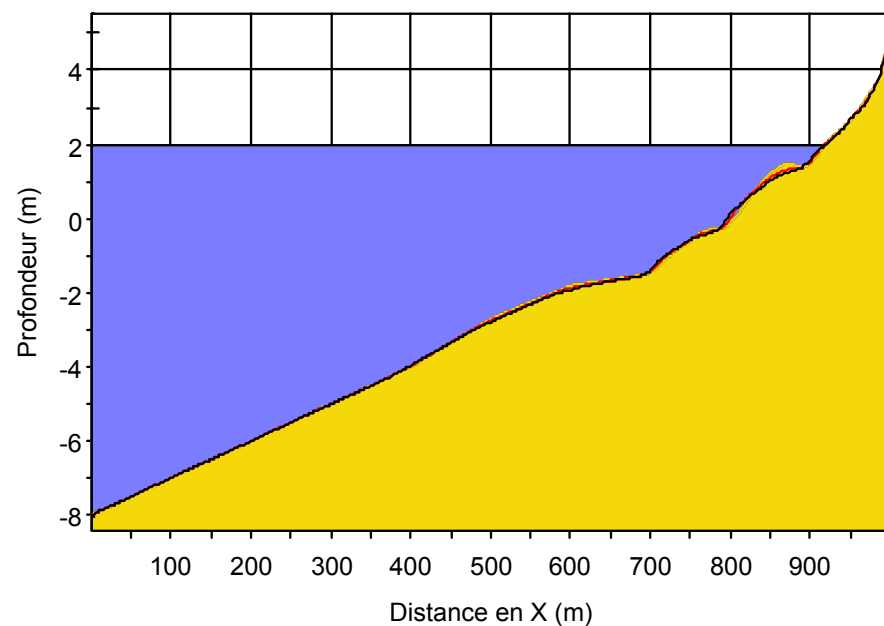


— A 0.00 heures — A 24.00 heures — A 48.00 heures

Figure 2. 6

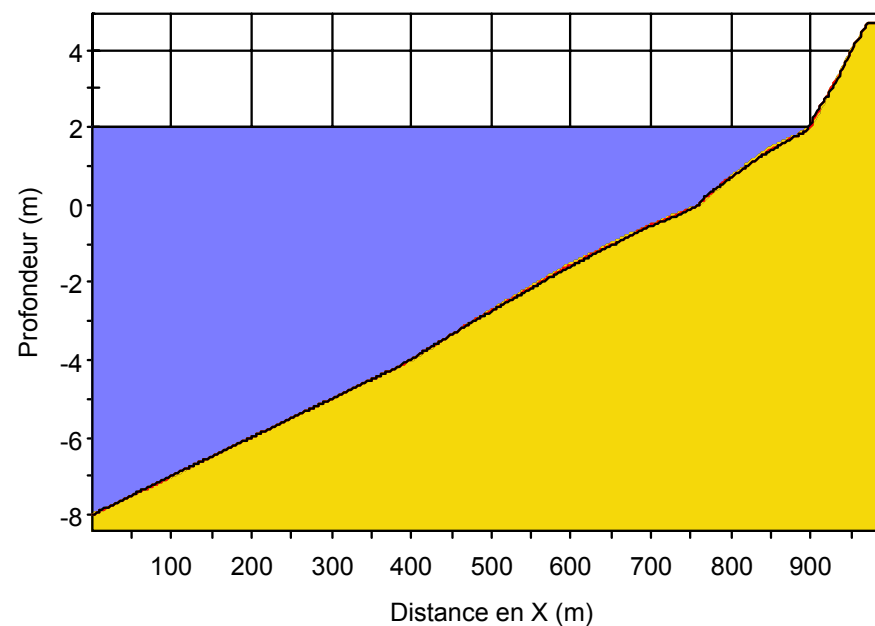
Comparaison des profils de plage après tempête

Etat actuel



— A 0.00 heures — A 24.00 heures
— A 48.00 heures

Plage rechargée

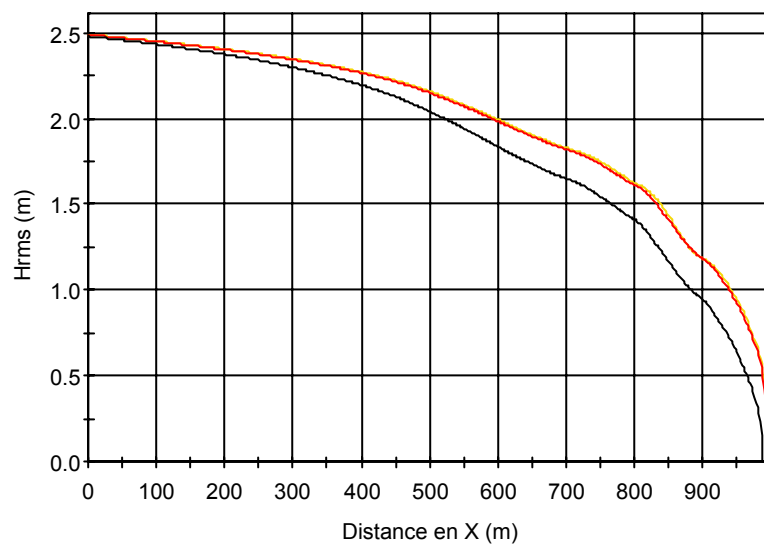


— A 0.00 heures — A 24.00 heures
— A 48.00 heures

Figure 2. 7 Evolution de la hauteur moyenne des houles à la côte

Etat actuel

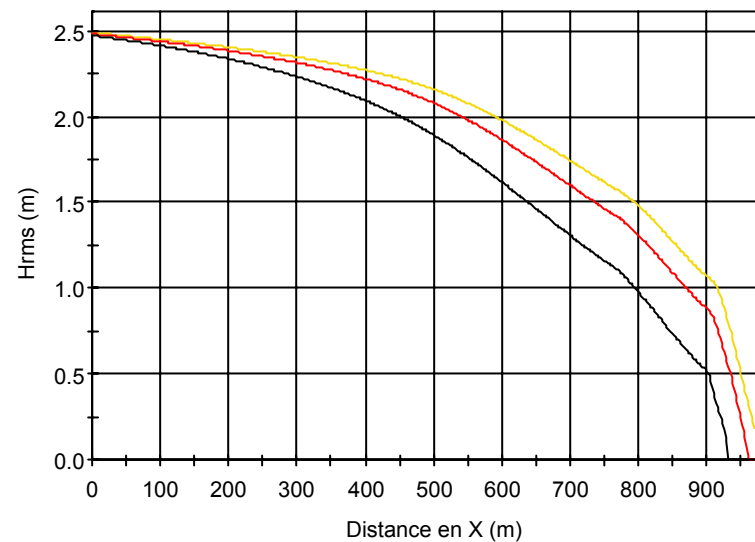
Evolution de Hrms



— A 0.00 heures — A 24.00 heures
— A 48.00 heures

Plage rechargée

Evolution de Hrms



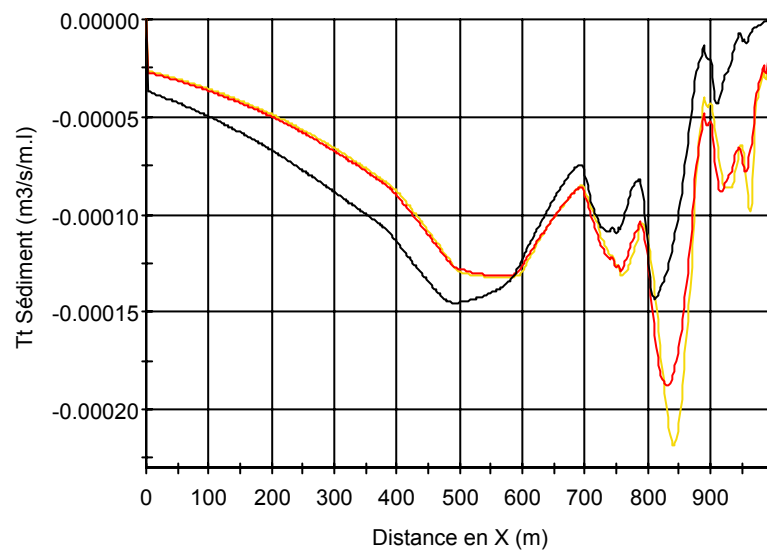
— A 0.00 heures — A 24.00 heures
— A 48.00 heures

Figure 2. 8

Transport sédimentaire

Etat actuel

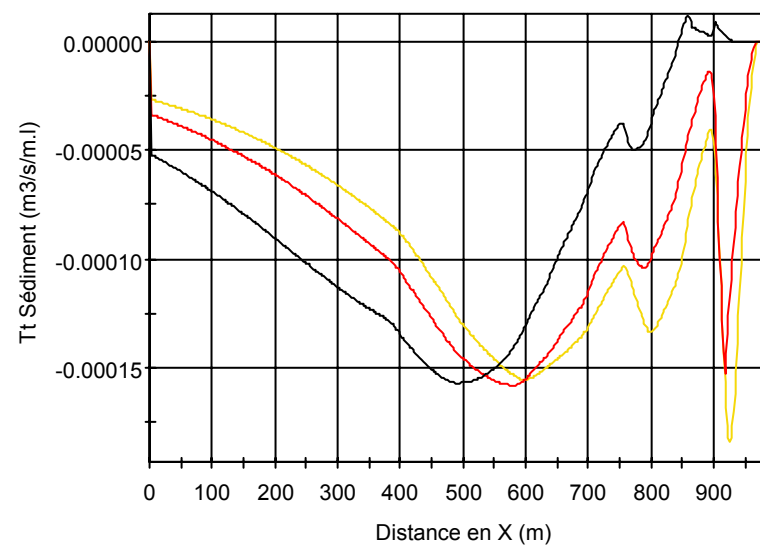
Evolution Tt. de sédiment



— A 0.00 heures — A 24.00 heures
— A 48.00 heures

Plage rechargée

Evolution Tt. de sédiment



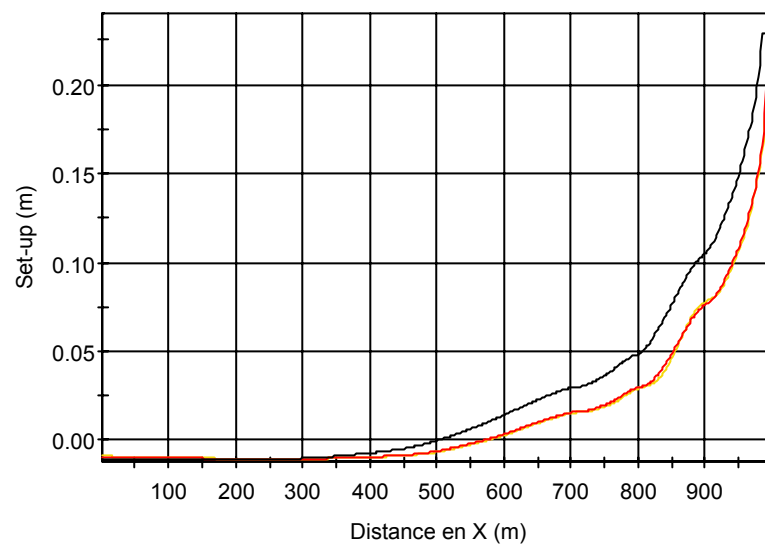
— A 0.00 heures — A 24.00 heures
— A 48.00 heures

Figure 2. 9

Evolution du set-up durant la tempête

Etat actuel

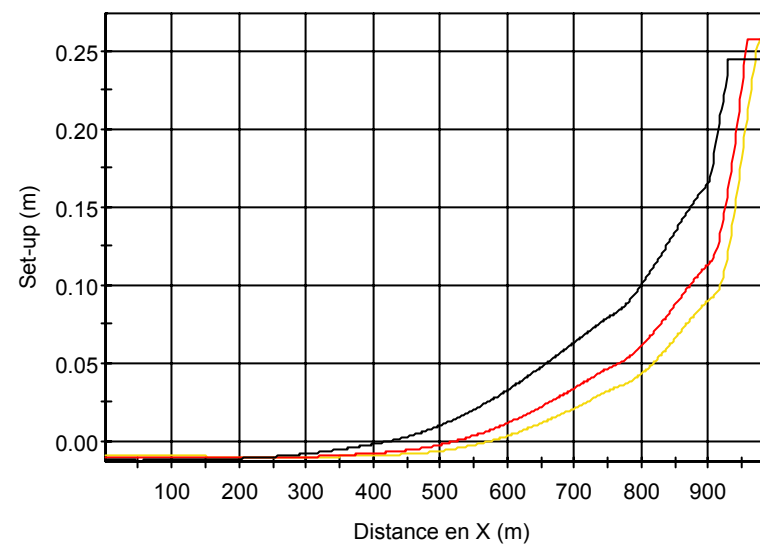
Evolution de la surélévation moyenne



— A 0.00 heures — A 24.00 heures
— A 48.00 heures

Plage rechargée

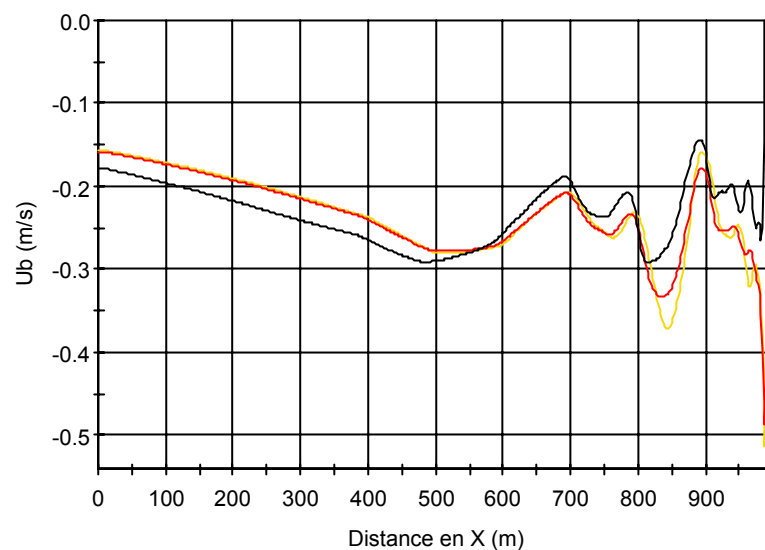
Evolution de la surélévation moyenne



— A 0.00 heures — A 24.00 heures
— A 48.00 heures

Etat actuel

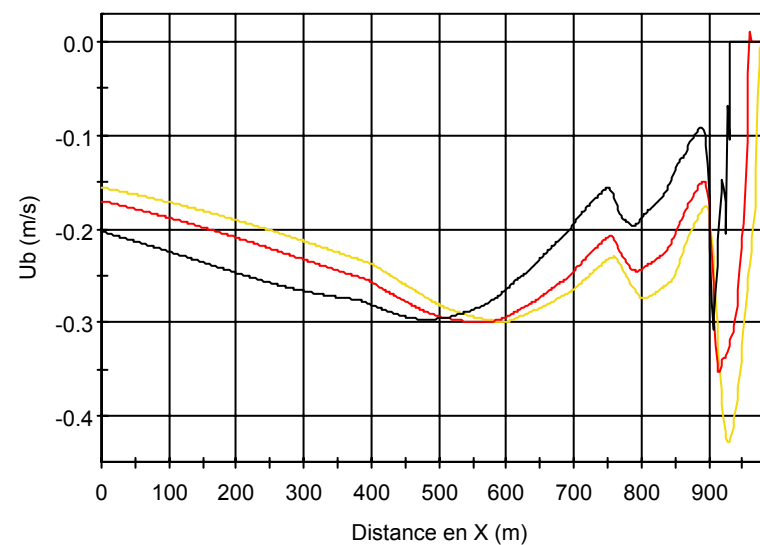
Courant net sur le fond



— A 0.00 heures — A 24.00 heures
— A 48.00 heures

Plage rechargée

Courant net sur le fond



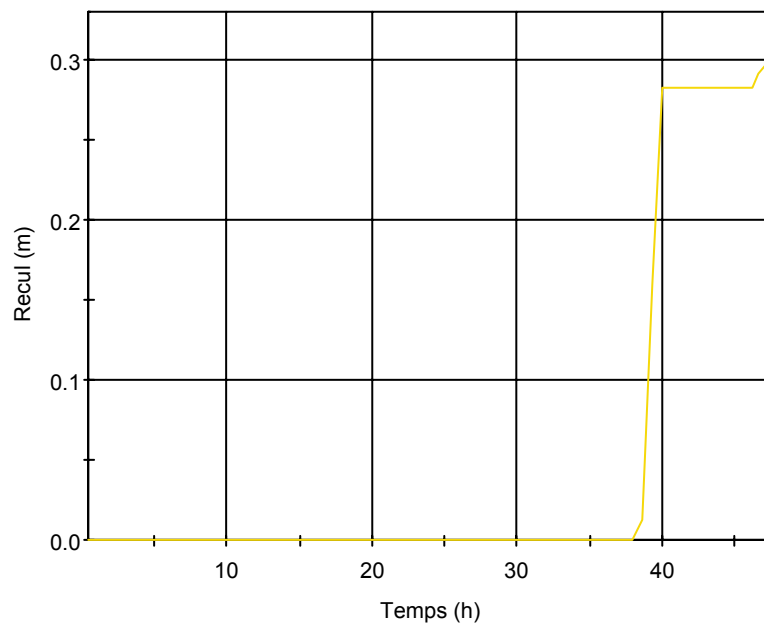
— A 0.00 heures — A 24.00 heures
— A 48.00 heures

Figure 2. 11

Recul horizontal depuis le niveau moyen

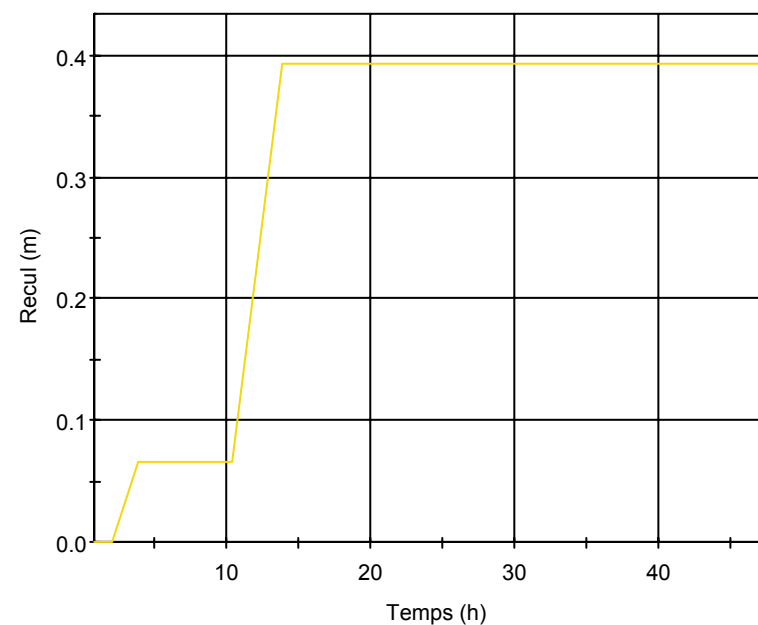
Etat actuel

Recul horizontal depuis NM



Plage rechargée

Recul horizontal depuis NM



FIGURES CHAPITRE 3



Figure 3. 1

Comparaison économique actualisée

WISSANT - COMPARAISON ECONOMIQUE DES SOLUTIONS PROPOSEES - ECOPLAGE 2500 m																		
Année	Variante A Rechargement 310 000m3 entretenu par transferts de sable (15 000 m3/an) et ouvrage captage			Variante B Rechargement de 310 000m3 entretenu avec transfert depuis site extérieur			Variante C Rechargement de 310 000m3 entretenu par apports massifs			Variante D Rechargement de 310 000m3 entretenu avec ECOPLAGE sur un linéaire de 2500m				Variante E Rechargement de 310 000m3 entretenu avec ECOPLAGE sur un linéaire de 2500m				
	Réduction des pertes de 100%			Réduction des pertes de 100%			Réduction des pertes de 100%			Réduction des pertes de 100%				Réduction des pertes de 75%				
	Investissement (€ TTC 2005)	Entretien (€ TTC 2005)	Montant actualisé (TTC)	Investissement (€ TTC 2005)	Entretien (€ TTC 2005)	Montant actualisé (€TTC)	Investissement (€TTC 2005)	(€ TTC 2005)	Montant actualisé (€ TTC)	Investissement (€ TTC 2005)	Entretien (€ TTC 2005)	Frais fonct. ECOPLAGE (€ TTC 2005)	Montant actualisé (€TTC)	Investissement (€TTC 2005)	Entretien (€ TTC 2005)	Frais fonct. ECOPLAGE (€ TTC 2005)	Montant actualisé (€ TTC)	
0	5 630 000		5 630 000	5 450 000		5 450 000	5 450 000		5 450 000	8 380 000			8 380 000	8 380 000			8 380 000	
1		90 000	84 112		180 000	168 224			-			27 800	25 981			27 800	25 981	
2		90 000	78 609		180 000	157 219			-			27 800	24 282			27 800	24 282	
3		90 000	73 467		180 000	146 934			-			27 800	22 693			27 800	22 693	
4		90 000	68 661		180 000	137 321			-			27 800	21 208			27 800	89 869	
5		90 000	64 169		180 000	128 338			-			27 800	19 821	90 000		27 800	19 821	
6		90 000	59 971		180 000	119 942			-			27 800	18 524			27 800	18 524	
7		90 000	56 047		180 000	112 095			-			27 800	17 312			27 800	17 312	
8		90 000	52 381		180 000	104 762			-			27 800	16 180	90 000		27 800	68 561	
9		90 000	48 954		180 000	97 908			-			27 800	15 121			27 800	15 121	
10		90 000	45 751		180 000	91 503	3 600 000		3 600 000			27 800	14 132			27 800	14 132	
11		90 000	42 758		180 000	85 517			-			27 800	13 208			27 800	13 208	
12		90 000	39 961		180 000	79 922			-			27 800	12 344	90 000		27 800	52 305	
13		90 000	37 347		180 000	74 694			-			27 800	11 536			27 800	11 536	
14		90 000	34 904		180 000	69 807			-			27 800	10 781			27 800	10 781	
15		90 000	32 620		180 000	65 240			-			27 800	10 076			27 800	10 076	
16		90 000	30 486		180 000	60 972			-			27 800	9 417	90 000		27 800	39 903	
17		90 000	28 492		180 000	56 983			-			27 800	8 801			27 800	8 801	
18		90 000	26 628		180 000	53 256			-			27 800	8 225			27 800	8 225	
19		90 000	24 886		180 000	49 771			-			27 800	7 687			27 800	7 687	
20		90 000	23 258		180 000	46 515			-			27 800	7 184	90 000		27 800	30 442	
COMPARAISON SUR 10 ANS																		
			6 262 122				6 714 245				9 050 000				8 575 256			8 696 297
COMPARAISON SUR 20 ANS																		
			6 583 461				7 356 923				9 050 000				8 674 514			8 889 260

WISSANT - COMPARAISON ECONOMIQUE DES SOLUTIONS PROPOSEES - ECOPLAGE 1000 m																		
Variante A				Variante B			Variante C			Variante D				Variante E				
Rechargement 310 000m3 entretenu par transferts de sable (15 000 m3/an) et ouvrage captage				Rechargement de 310 000m3 entretenu avec transfert depuis site extérieur			Rechargement de 310 000m3 entretenu par apports massifs			Rechargement de 310 000m3 entretenu avec ECOPLAGE sur un linéaire de 1000m				Rechargement de 310 000m3 entretenu avec ECOPLAGE sur un linéaire de 1000m				
Réduction des pertes de 100%				Réduction des pertes de 100%				Réduction des pertes de 100%				Réduction des pertes de 75%						
Investissement	Entretien	Montant actualisé	Investissement	Entretien	Montant actualisé	Investissement		Montant actualisé	Investissement	Entretien	Frais fonct. ECOPLAGE	Montant actualisé	Investissement	Entretien	Frais fonct. ECOPLAGE	Montant actualisé		
Année	(€ TTC 2005)	(€ TTC 2005)	(TTC)	(€ TTC 2005)	(€ TTC 2005)	(€TTC)	(€TTC 2005)	(€ TTC)	(€ TTC 2005)	(€ TTC 2005)	(€ TTC 2005)	(€TTC)	(€TTC 2005)	(€ TTC 2005)	(€ TTC 2005)	(€ TTC)		
0	5 630 000		5 630 000	5 450 000		5 450 000	5 450 000		5 450 000	6 400 000		6 400 000	6 400 000			6 400 000		
1		90 000	84 112		180 000	168 224		-			11 000	10 280			11 000	10 280		
2		90 000	78 609		180 000	157 219		-			11 000	9 608			11 000	9 608		
3		90 000	73 467		180 000	146 934		-			11 000	8 979			11 000	8 979		
4		90 000	68 661		180 000	137 321		-			11 000	8 392			11 000	77 052		
5		90 000	64 169		180 000	128 338		-			11 000	7 843		90 000	11 000	7 843		
6		90 000	59 971		180 000	119 942		-			11 000	7 330			11 000	7 330		
7		90 000	56 047		180 000	112 095		-			11 000	6 850			11 000	6 850		
8		90 000	52 381		180 000	104 762		-			11 000	6 402		90 000	11 000	58 783		
9		90 000	48 954		180 000	97 908		-			11 000	5 983			11 000	5 983		
10		90 000	45 751		180 000	91 503	3 600 000	3 600 000			11 000	5 592			11 000	5 592		
11		90 000	42 758		180 000	85 517		-			11 000	5 226			11 000	5 226		
12		90 000	39 961		180 000	79 922		-			11 000	4 884		90 000	11 000	44 845		
13		90 000	37 347		180 000	74 694		-			11 000	4 565			11 000	4 565		
14		90 000	34 904		180 000	69 807		-			11 000	4 266			11 000	4 266		
15		90 000	32 620		180 000	65 240		-			11 000	3 987			11 000	3 987		
16		90 000	30 486		180 000	60 972		-			11 000	3 726		90 000	11 000	34 212		
17		90 000	28 492		180 000	56 983		-			11 000	3 482			11 000	3 482		
18		90 000	26 628		180 000	53 256		-			11 000	3 255			11 000	3 255		
19		90 000	24 886		180 000	49 771		-			11 000	3 042			11 000	3 042		
20		90 000	23 258		180 000	46 515		-			11 000	2 843		90 000	11 000	26 100		
COMPARAISON SUR 10 ANS																		
			6 262 122				6 714 245				9 050 000				6 477 259	6 598 301		
COMPARAISON SUR 20 ANS																		
			6 583 461				7 356 923				9 050 000				6 516 534	6 731 280		

Figure 3. 2

Grille d'analyse multicritère

	Rechargement + Apports périodiques	Rechargement + épis	Rechargement + Ecoplage
CRITERES HYDROSEDIMENTAIRES			
Equilibres hydrosédimentaires de la plage	A	C	A
Efficacité au regard des objectifs (maintien cote berme)	A	C	? B ?
Risques sédimentologiques	A	C	A
CRITERES PAYSAGERS			
Intégration paysagère	A	D	A
CRITERES ECONOMIQUES			
Investissement initial	5,6 M€	PM	6,4 - 8,9 M€
Fonctionnement	C	PM	C

Positif ou mieux que l'actuel	A
Neutre ou équivalent à l'actuel	B
Légèrement pénalisant	C
Pénalisant	D

FIGURES CHAPITRE 4

Figure 4. 1

Implantation envisagée pour la protection géotextile



Figure 4. 2

Ouvrage géotextile type Stabilenka®

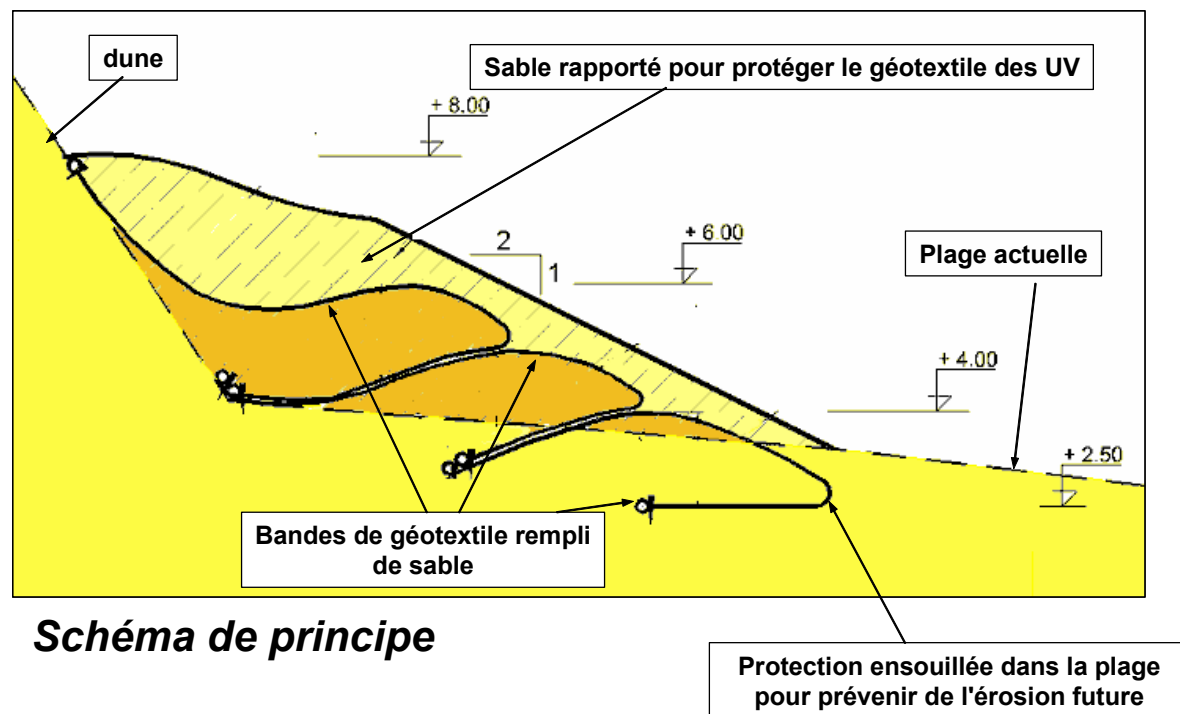
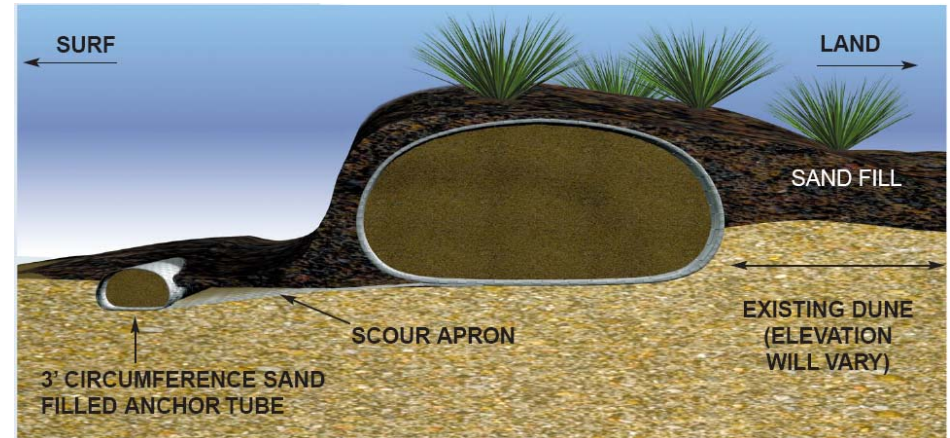


Figure 4. 3

Ouvrage géotextile type Géotube®



Dunes d'Amont

Aménagements avec des fascines de 25 mètres de longueur



Aménagements avec des fascines de 80 mètres de longueur



-  Trait de côte géomorphologique
-  Fascines 1600ml
-  Chemin d'accès à la plage ganivelles 300ml
-  Chemin dans les dunes ganivelles 1 Kml
-  Plantations d'oyats 4775 m2

-  Trait de côte géomorphologique
-  Fascines 1800 ml
-  Chemin d'accès à la plage ganivelles 300ml
-  Chemin dans les dunes ganivelles 1 Kml
-  Plantations d'oyats 4775 m2

Figure 4. 5

Aménagements dunaires (2)

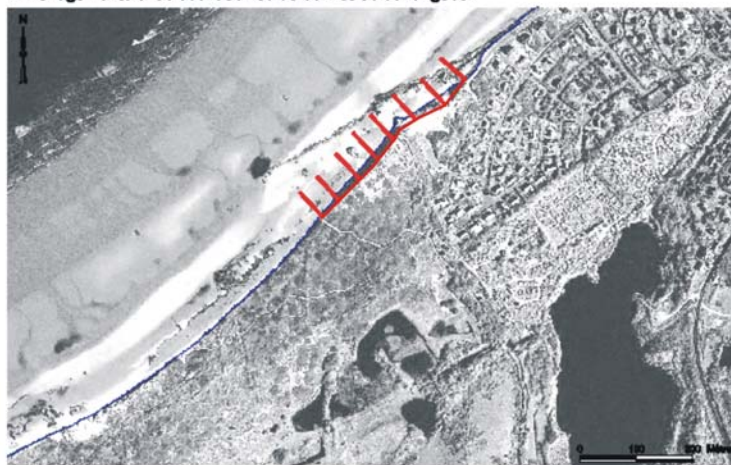
Dunes d'Aval

Aménagements avec des fascines de 25 mètres de longueur



-  Trait de côte géomorphologique
-  Fascines 700 ml
-  Chemin d'accès à la plage 0 ml
-  Chemin dans les dunes 0 ml
-  Plantations d'oyats 0 m2

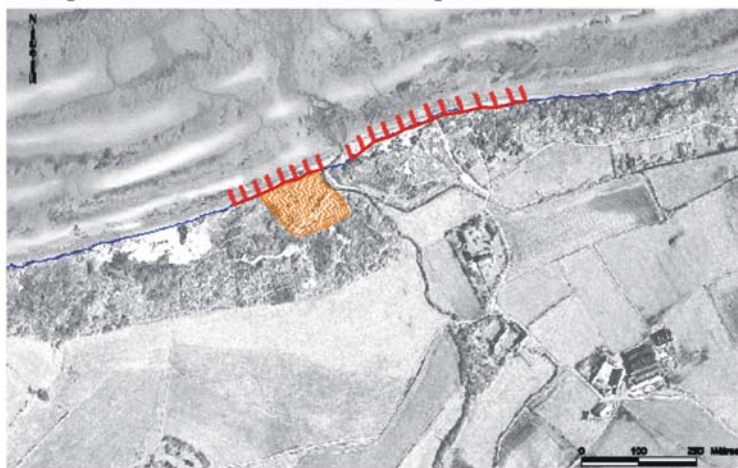
Aménagements avec des fascines de 80 mètres de longueur



-  Trait de côte géomorphologique
-  Fascines 900 ml
-  Chemin d'accès à la plage 0 ml
-  Chemin dans les dunes 0 ml
-  Plantations d'oyats 0 m2

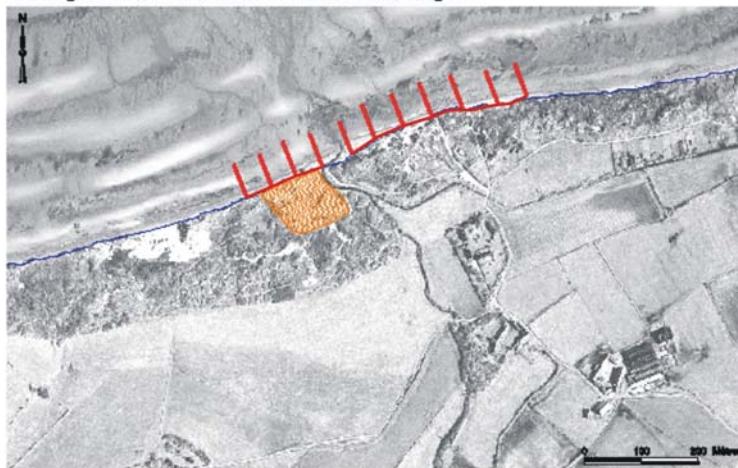
Dunes du Châtelet

Aménagements avec des fascines de 25 mètres de longueur



-  Trait de côte géomorphologique
-  Fascines 600 ml
-  Chemin d'accès à la plage 0 ml
-  Chemin dans les dunes 0 ml
-  Plantations d'oyats 9960 m2

Aménagements avec des fascines de 80 mètres de longueur



-  Trait de côte géomorphologique
-  Fascines 1200 ml
-  Chemin d'accès à la plage 0 ml
-  Chemin dans les dunes 0 ml
-  Plantations d'oyats 9960 m2

Figure 4. 7

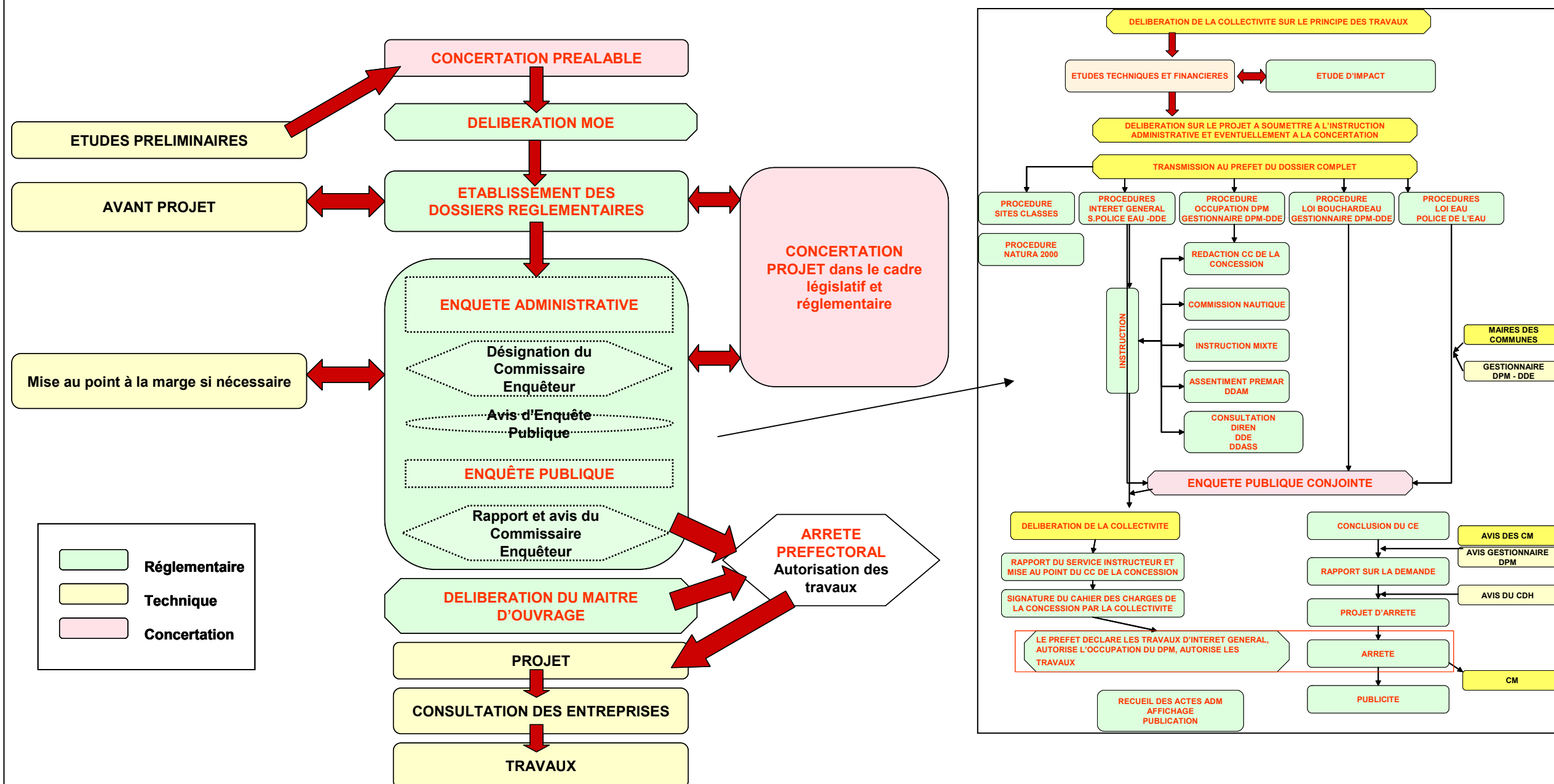
Exutoire du ruisseau



FIGURES CHAPITRE 6

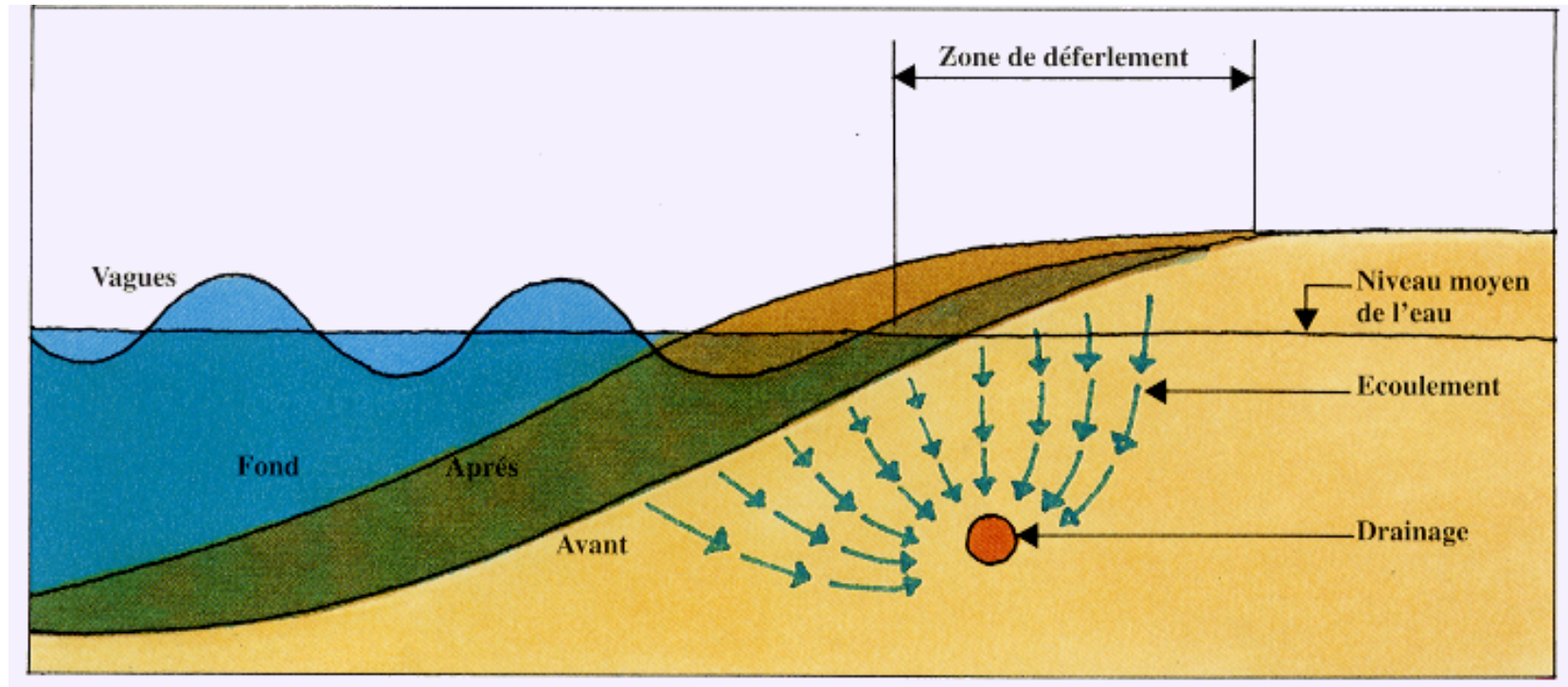
Figure 6. 2

N° 1711505 – SMCO- Réensablement de la Baie de Wissant
**Synoptique des procédures réglementaires
(hors code minier)**



ANNEXE

Fig. A.1 : Système Ecoplage : Principe de fonctionnement



- ⇒ **Rabatement de la nappe située près de la canalisation de drainage**
- ⇒ **Réduction pression hydrostatique**
- ⇒ **Création d'une zone non saturée sur front de plage**

APPENDICE 1

SYSTEME ECOPLAGE® LE CONCEPT

Auteur : Dr Hans Vesterby, DGI
Traduit de l'anglais par : World Traductions

Sans leurs plages, beaucoup des principales stations touristiques du monde perdraient de leur attrait, et les revenus du tourisme chuteraient. Dans les cas graves d'érosion des plages, les conséquences peuvent même être plus dramatiques, puisque des bâtiments et des structures sont sapés et se fissurent ou s'effondrent.

On a essayé différentes approches pour tenter de résoudre ou d'améliorer le problème de l'érosion des plages, la perte des plages ayant un impact direct sur l'économie locale et nationale. Pour combattre les forces d'érosion de l'action des vagues, des solutions d'ingénierie douces ont plus de chances d'être efficaces et acceptables au plan de l'environnement que des défenses structurales en dur dont le résultat est souvent des effets secondaires néfastes sur les plages en aval dans le sens du courant littoral.

Les forces de la nature font peur. Cependant, les propres forces de la nature peuvent également être utilisées pour une stabilisation côtière écologique - et invisible - mise en évidence par le système ECOPLAGE, sans aucun impact sur les activités humaines et sur l'environnement.

Une vague qui se brise transporte du sable lorsqu'elle monte sur la plage. Lors de ce mouvement, la vitesse acquise diminue jusqu'à atteindre une vitesse zéro, et tout le sable est déposé sur la face de la plage. Lors de l'accélération du mouvement de la nappe de retrait, le sable est ramassé et ramené dans la zone de déferlement. Le résultat net, dans des conditions spécifiques, peut être soit une érosion, soit une accumulation.

Les systèmes ECOPLAGE, fonctionnant de façon dynamique, interagissent artificiellement avec la morphologie naturelle en ralentissant en un point précis un processus naturel tout en accélérant un autre, faisant ainsi légèrement pencher la balance naturelle pour faire en sorte qu'il y ait plus de sable déposé que de sable enlevé par l'action des vagues ou par les forces résultant de l'écoulement des nappes aquifères présentes dans les dépôts de la plage.

Les systèmes ECOPLAGE fonctionnent en abaissant modérément la nappe aquifère souterraine le long de la côte, créant ainsi une zone non saturée sous la face avant de la plage. On y parvient en installant sous la plage, parallèle au trait de côte des canalisations drainantes qui sont enterrées presque horizontalement. Les tuyaux sont reliés par l'intermédiaire d'un puits collecteur à une station de pompage située plus loin dans les terres. L'eau souterraine drainée s'écoule par gravité jusqu'à la station de pompage, d'où elle est pompée. En sortie de la station de pompage, l'eau peut être rejetée à la mer, ou - puisque c'est de l'eau pure filtrée - être utilisée dans les usines de dessalement, les piscines d'eau de mer, ou pour les élevages de poissons.

La partie non saturée du cône de dépression créé par le drainage permet une infiltration de l'eau issu du jet de rive. Avec moins d'eau dans la nappe de retrait, le volume de sable ramené vers la mer sera inférieur à celui apporté.

De plus, la zone de la nappe aquifère abaissée coupe le flot d'eau souterraine locale vers la mer ainsi que les écoulements en surface de la plage habituellement dus à une élévation de la nappe aquifère causée par la marée haute, et d'éventuelle sur-côte.

Ainsi, en stabilisant la pente et en réduisant la nappe de retrait, le système ECOPLAGE® diminue l'effet d'érosion de la nappe de retrait et des écoulements de la nappe, et permet que plus de sable reste sur la face avant de la plage.

Des installations qui fonctionnent en grandeur réelle au Danemark, en Suède, en Allemagne, en Angleterre, en France (Les Sables d'Olonne), en Espagne, au Japon et aux Etats-Unis ont apporté la preuve que ce type de systèmes de drainage de plage non seulement stoppe la tendance à l'érosion, mais générera souvent un engraissement substantiel.

La conception et l'installation d'un système ECOPLAGE® sont spécifiques à chaque site. Pour assurer un succès optimum, la conception technique demande une évaluation de l'interaction de beaucoup de paramètres. L'efficacité de la méthode dépend d'une perméabilité adéquate qui autorise un taux suffisant de drainage, du régime des vagues, de l'ampleur des marées, de la pente de la face avant de la plage, du profil du fond près du rivage et de l'ampleur de la dérive globale du littoral.

Un système ECOPLAGE® ne peut résoudre partout les problèmes créés par l'action d'érosion des vagues. Sur certains sites, il sera nécessaire d'accepter d'importantes contraintes néfastes pour les plages et l'environnement en protégeant les installations terrestres de quelque importance par des structures en dur, revêtements, digues, épis ou brise-lames.

Cependant, beaucoup de plages de sable qui souffrent de l'érosion sont constituées de sable de granulométrie moyenne, de 0,1 à 0,5 mm. Ces plages présentent une pente correspondante de 2% à 10%, ce qui est normalement la pente idéale pour une mise en oeuvre efficace du Système ECOPLAGE®.

APPENDICE 2

SYSTEME ECOPLAGE® REGIME DE VAGUES ET FORCES D'EROSION

Auteur : Dr Hans Vesterby, DGI
Traduit de l'anglais par : World Traductions

Les plages sont des phénomènes géologiques temporaires composés d'une accumulation de fragments de roches, dont la taille varie du sable fin à de gros galets. Cette accumulation pouvant être transformée par des changements sous l'action des vagues. La plage a une morphologie dynamique. De par le monde, beaucoup de côtes subissent un retrait dû aux actions dévastatrices des vagues de tempête.

La hauteur des vagues poussées par le vent dépend de la vitesse du vent, de sa durée, de la distance à parcourir et de la profondeur de l'eau. Cependant, les vagues poussées par le vent perdent de leur énergie lorsqu'elles approchent des eaux moins profondes près du rivage. La période de la vague reste constante alors que la vitesse vers l'avant et la longueur d'onde diminuent. La hauteur de la vague augmente légèrement et la face avant de la vague se redresse lorsque la vague commence à "sentir le fond". Sa forme, doucement arrondie, laisse apparaître une série de crêtes pointues et de creux plats en alternance. Quand la hauteur de la vague atteint environ 80% de la profondeur de l'eau, la vague ne peut plus se redresser et est obligée de se briser. Après s'être brisée, la vague s'aplatit et envahit la face avant de la plage. L'emplacement du point de déferlement est fonction de la hauteur de la vague, de sa période, de la profondeur de l'eau et de la pente du fond. En conséquence, pendant une tempête, les grosses vagues se brisent plus au large, agrandissant ainsi la zone de déferlement, mais elles conservent leur hauteur à l'intérieur de cette zone selon la profondeur d'eau locale.

Il est ainsi difficile d'attribuer l'érosion soudaine d'une plage pendant une tempête directement à la hauteur des vagues arrivant du large poussées par le vent. Cependant, pendant une tempête, la hauteur des vagues à l'intérieur de la zone de déferlement atteint souvent un maximum du fait de la présence d'une quantité importante d'eau sur la face avant de la plage (dans le swash) et d'une hauteur d'onde maximale sur la face avant de la plage avant que l'énergie de la vague ne soit dissipée.

Près du rivage, les fonds plus importants permettent aux vagues les plus grosses de se briser presque directement sur la plage, et avec une plus grande force. Les vagues elles, et le courant qu'elles génèrent, sont les raisons premières du déplacement des sédiments sur le littoral. Le déplacement des matériaux sédimentaires est associé à la dissipation de l'excès d'énergie des vagues, aussi bien pour les sédiments en suspension que pour ceux du fond.

Le déplacement le long du littoral est dû aux courants parallèles et aux mouvements alternatifs du jet de rive et de la nappe de retrait sur la face avant de la plage induit par les vagues qui viennent frapper le rivage sous un certain angle.

Le déplacement des sédiments du rivage vers le large, et inversement, est associé aux mouvements oscillatoires des vagues et aux mouvements des matériaux de fond induits par le mouvement oscillatoire de la couche limite du fond. Pendant les périodes de hautes vagues, le reflux et/ou les courants de vagues emportent vers le large des quantités de plus en plus grandes de sédiments en suspension. Le résultat net est un déplacement des sédiments vers le large pendant les tempêtes (vagues plus hautes), ce qui crée au large une barre vers la zone de déferlement et un aplanissement de la plage. Pendant les périodes de vagues plus calmes, les sédiments sont ramenés sur la face avant de la plage, en accentuant de nouveau la pente et réduisant la taille de la barre.

Lorsqu'une vague oscillante se brise ou envahit la zone de déferlement (zone des rouleaux), elle commence par dépasser le point de résurgence de la nappe aquifère sur la face avant de la plage, puis envahit la laisse jusqu'à une certaine hauteur (déterminée par l'énergie en excès, la pente de la face avant de la plage, la granulométrie et la perméabilité des dépôts de la plage)

Lors du jet de rive (swash), la vitesse de montée diminue, réduisant ainsi la capacité de transport des sédiments dans le prisme d'eau montant, jusqu'à ce qu'une vitesse zéro soit atteinte. Vers la fin de la montée, la vitesse devient si basse que le flot, de turbulent, devient laminaire. Le résultat étant une déposition rapide des sédiments sur la face avant de la plage. Lorsque la montée de la vague a atteint son point maximum, l'action de la nappe de retrait (backwash) commence. Sa vitesse est d'abord basse et le flot est laminaire, mais avec l'accélération du reflux, le flot devient turbulent et les sédiments sont de nouveau entraînés vers la mer.

Pour la fourchette de pentes que l'on rencontre généralement sur des plages de sable, la durée de montée du jet de rive est supérieure au temps de la période de la vague qui arrive. Il y a ainsi interaction entre les flux. Cette interaction entraîne souvent un avortement de la montée de la vague.

Lorsque la nappe aquifère sous la plage est très haute (du fait des écoulements de l'arrière-pays, ou d'élévations provoquées par des fluctuations de marées, de l'eau infiltrée lors du swash) le volume du reflux, et en conséquence sa vitesse, peuvent être augmentés par l'eau issue de la nappe qui suinte sur la face avant de la plage. Les forces dues à l'écoulement gonflent également le sable et propulsent les grains les plus fins dans le flux turbulent. Ceci augmente l'érosion de la face avant de la plage.

Dans le cas où la nappe aquifère est basse, l'eau s'infiltrerait rapidement dans la face avant de la plage et réduit les volumes du jet de rive et de la nappe de retrait, ainsi que leur vitesse, facilitant ainsi le dépôt de sable où le flot est laminaire.

Les systèmes ECOPLAGE® fonctionnant de façon dynamique interagissent artificiellement avec la morphologie naturelle en abaissant modérément la nappe aquifère souterraine le long de la côte, créant et entretenant ainsi une zone non saturée dans la face avant de la plage. Cela facilite les infiltrations d'eau lors du jet de rive (swash), ainsi que dans la nappe de retrait (backwash). Avec moins d'eau dans le backwash et une hauteur de run-up réduite (hauteur atteinte sur la plage par le déferlement de la vague), moins de sable sera ramené dans la zone du déferlement qu'il n'en a été amené lors du flux.

De plus, dans la zone où la nappe aquifère a été abaissée, les écoulements des eaux souterraines locales vers la mer et les écoulements sur la face avant de la plage sont interrompus.

Ainsi, en stabilisant la pente et en réduisant le volume et la vitesse de la nappe de retrait, le système ECOPLAGE diminue l'effet d'érosion, et laisse plus de sable sur la face avant de la plage.

Pour être efficace, le système ECOPLAGE a besoin de l'action des vagues mais ne dépend pas du régime des vagues en soi. Cependant, le régime des vagues, le profil de la plage et des fonds de la mer près du rivage sont des paramètres qu'il convient d'évaluer et d'utiliser de façon adéquate lors de la conception d'un système spécifique à un site.

La capacité nécessaire de pompage et l'emplacement - la profondeur et la distance au rivage - du système de drainage dépendent du taux de répétition de tempêtes dont il faut tenir compte. Pendant les tempêtes, il y aura une érosion normale en avant du système, mais, du fait de la tempête, il y aura beaucoup de sable en suspension près du rivage. Cela contribuera à une rapide réparation des dégâts causés par la tempête par le fonctionnement du système ECOPLAGE®

Les systèmes ECOPLAGE® ne peuvent résoudre partout les problèmes créés par l'action d'érosion des vagues. Sur certains sites, il sera nécessaire d'accepter d'importantes contraintes néfastes pour les plages et l'environnement en protégeant les installations terrestres par des structures en dur, revêtements, digues, épis ou brise-lames.

Ainsi qu'on l'a fait remarquer, ce n'est pas la hauteur normale des vagues poussées par le vent mesurée au large qu'il faut prendre en compte pour la conception d'un système ECOPLAGE® spécifique à un site, mais la hauteur de la vague sur la face avant de la plage pendant une tempête.

En ce qui concerne les régimes de vent et de vagues pour les installations de systèmes ECOPLAGE, bien documentées et efficaces, à Thorsminde et Sailfish Point, on peut noter que :

- la côte sablonneuse danoise de la mer du Nord est probablement une des côtes les plus exposées de la mer du Nord, avec des hauteurs de vagues importantes, 3 mètres, qui pendant les tempêtes passent à 5-8 mètres, chiffres enregistrés pour des profondeurs d'eau de 20 mètres (à environ 3 kilomètres de la côte), et, sur la côte, des surélévations du niveau de la mer induites par le vent de 1 à 4 mètres.

- on a enregistré que la côte sablonneuse à Sailfish Point, Floride, Etats-Unis, est frappée 3 à 4 fois tous les ans par des tempêtes de nord-est de 50 à 60 km/h, qui durent de 3 à 10 jours et génèrent des hauteurs de vagues de 2 à 3 mètres dans la zone de rouleaux. De plus, l'installation a résisté et a compensé les dommages causés par les ouragans Hugo, Carol, Edward, etc.

APPENDICE 3

SYSTEME ECOPLAGE® DYNAMIQUE DE MAREES ET FORCES D'EROSION

Auteur : Dr Hans Vesterby, DGI
Traduit de l'anglais par : World Traductions

Une vague qui se brise transporte du sable lorsqu'elle monte sur la plage. Lors de ce mouvement, la vitesse acquise diminue jusqu'à atteindre une vitesse zéro, moment où tout le sable est déposé sur la face avant de la plage. Lors de l'accélération du mouvement de la nappe de retrait, le sable est ramassé et ramené dans la zone de rouleaux. Le résultat net, dans des conditions spécifiques, peut être soit une érosion, soit une accumulation.

L'élévation de la nappe aquifère côtière est en partie déterminée par les conditions hydrauliques régnantes, hauteur des vagues, amplitude des marées, pluviométrie, et en partie par les caractéristiques des dépôts de la plage qui déterminent la perméabilité, par exemple la granulométrie et la porosité correspondante.

Lorsque la nappe aquifère présente dans les dépôts de la plage est très haute (du fait des infiltrations en provenance de l'arrière pays, des élévations dues aux fluctuations de marées, ou à l'eau infiltrée dans le front actif de la plage) le volume de la nappe de retrait, et sa vitesse, peuvent être augmentés par l'eau des écoulements issue des résurgences de la nappe aquifère souterraine.

Les forces dues à l'écoulement gonflent également le sable et propulsent les grains les plus fins dans le flux turbulent. Ceci augmente l'érosion et aplanit le front actif de la plage.

Dans le cas où la nappe aquifère souterraine est basse par rapport au niveau moyen de la mer, l'eau s'infiltré dans la face avant de la plage. La vitesse ainsi réduite facilite le dépôt de sable sur le front actif de la plage où le flux est laminaire.

La pente de la face avant de la plage est augmentée par un dépôt plus important de sédiments sur la partie supérieure du front de la plage. La pente d'équilibre est progressivement atteinte. Le front actif en dessous du point de sortie effectif sera sujet à l'érosion.

Lors des mouvements dans le jet de rive et la nappe de retrait sur la face avant de la plage, fournissant ainsi le mécanisme de transport des sédiments, les vagues interagissent avec l'eau souterraine présente sous la face avant de la plage. A marée montante, la nappe aquifère de la plage est basse par rapport au niveau moyen de la mer. L'eau s'infiltré dans les dépôts quand les vagues dépassent le point de sortie de la nappe aquifère souterraine. A l'inverse, la nappe aquifère de la plage est relativement haute à marée descendante, et l'eau suinte vers la mer dans la zone d'écoulement.

Le profil de la nappe aquifère dans la zone du front actif de la plage, qui est déterminé par l'accumulation des eaux d'infiltration, présentera soit :

- un niveau et une pente maximum vers l'arrière-pays,
- un niveau et une pente maximum vers la mer,
- dans les deux directions

selon l'interaction des marées et la perméabilité des dépôts de la plage.

A marée descendante, le bord côté mer de la nappe aquifère est généralement en pente vers la mer, et vers la terre à marée montante.

La réponse du niveau de l'eau souterraine aux changements de marée varie, dans la durée, de façon asymétrique plutôt que de façon sinusoïdale. L'élévation de la nappe aquifère, ainsi que sa baisse, sont retardées par rapport au cycle des marées. La nappe aquifère continue à s'élever après que la marée a commencé à descendre, et continue à baisser après que la marée a commencé à monter. Le point maximum du profil de la nappe aquifère se déplace vers la terre à marée montante et vers la mer à marée descendante. De plus, à marée montante, la pente fait monter la nappe aquifère plus vite qu'elle ne redescendra à marée descendante. Ces changements sont régis par les lois d'écoulement des fluides dans les matériaux poreux et le coefficient de stockage des dépôts sableux.

En règle générale, les plages subissant des marées présentent des pentes de surface peu accentuées. Ainsi, une grande partie de la face avant de la plage au-dessus de la ligne effective de rivage restera saturée et souvent recouverte d'un film d'eau libre en aval du point de sortie.

Les systèmes ECOPLAGE®, fonctionnant de façon dynamique, interagissent artificiellement avec la morphologie naturelle en abaissant modérément la nappe aquifère souterraine le long de la côte. Ils créent et entretiennent ainsi une zone non saturée dans la face avant de la plage pendant le cycle des marées. Cela facilite les infiltrations du jet de rive, ainsi que celle de la nappe de retrait. Avec moins d'eau dans le backwash et une hauteur de run-up réduite (hauteur atteinte sur la plage par le déferlement de la vague), moins de sable sera ramené dans la zone du déferlement qu'il n'en a été amené par le jet de rive.

De plus, dans la zone où la nappe aquifère a été abaissée, les écoulements des eaux souterraines locales vers la mer et les écoulements sur la face avant de la plage sont interrompus. Ainsi, en stabilisant la pente et en réduisant le volume et la vitesse de la nappe de retrait, le système ECOPLAGE diminue l'effet d'érosion. Il laisse plus de sable sur la face avant de la plage qui apparaîtra sec dans la zone d'influence.

Afin d'optimiser l'efficacité du système ECOPLAGE®, les fluctuations spécifiques de la nappe aquifère sous la face avant de la plage, en leur faisant correspondre le cycle des marées et la hauteur de la houle, devront être enregistrées. La profondeur et l'emplacement du système de drainage devront faire en sorte que le cône de dépression couvre la zone côté mer de la nappe aquifère interstitielle maximale afin de déplacer le point de sortie aussi loin que possible vers la mer dans les conditions effectives.

Le système ECOPLAGE®, placé de façon adéquate, engendrera une accumulation de sédiments dans une zone plus large sur une plage subissant des marées que sur une plage présentant une nappe d'eau de mer plus stable. Cependant, la quantité de sable disponible sera répartie sur une zone plus grande, réduisant ainsi la hauteur d'accumulation comparable pour une même période de fonctionnement.

APPENDICE 4

SYSTÈME ECOPLAGE® ASPECTS CONCERNANT L'ENVIRONNEMENT

Auteur : Dr Hans Vesterby, DGI
Traduit de l'anglais par : sarl S.E.T.S. 38130 Echirolles

Un système ECOPLAGE® conçu et installé de manière appropriée permet de réduire l'érosion due à l'action de la nappe de retrait et aux écoulements de la nappe. Il laisse une quantité plus importante de sable sur l'estran, ce qui améliore les possibilités d'utilisation de la plage pour les activités de loisirs et permet en outre de lutter contre l'érosion épisodique en cas de tempête.

En résumé, le système ECOPLAGE® respecte l'environnement puisqu'il se fond avec les forces de la nature de manière quasi invisible. Il permet de protéger la côte ou la plage et de procéder à leur restauration sur une certaine période, sans aucun impact néfaste sur le trait de côte adjacent. Il ne présente pas d'ouvrages agressifs défigurant le paysage. Il ne gêne pas les activités humaines pratiquées sur la plage ni l'écosystème de surface. En fait, l'accumulation artificielle de la plage favorise le rétablissement de la faune et de la flore locales. En outre, toute opération d'embellissement de la côte sera alors simple et peu coûteuse (par rapport aux méthodes agressives comportant des ouvrages très visibles et peu esthétiques) car aucune mesure de rectification ne sera nécessaire.

Comme indiqué ci-dessus, le système ECOPLAGE® recueille et maintient le sable sur l'estran, augmentant ainsi la surface de la plage en largeur et en hauteur. Cette accumulation locale s'effectue en douceur et de manière naturelle, puisqu'elle ne nécessite aucune construction, si ce n'est l'installation du système ECOPLAGE® lui-même.

1. Contexte littoral et impact en aval

Un suivi détaillé indique que le sable supplémentaire déposé grâce au fonctionnement du système ECOPLAGE® vient apparemment des fonds marins en évolution et du transit littoral, c'est-à-dire du déplacement des sédiments près de la côte dû à la houle et aux courants.

On distingue deux types de transit littoral : le transit parallèle à la côte et le transit perpendiculaire à la côte.

Le transit transversal est déterminé essentiellement par la cambrure de la houle, la taille des sédiments, l'amplitude de la marée, la pente de la plage et des fonds marins. En général, la houle de forte cambrure déplace les sédiments vers le large et la houle de faible cambrure avec une période longue déplace les sédiments vers la terre, alors que le transit provoqué par l'amplitude de la marée suit le cycle des marées.

Le transit parallèle à la côte provient du brassage des sédiments dû aux vagues déferlantes. Le déplacement de ces sédiments est en fonction de l'énergie de la houle dans une direction parallèle à la côte, en fonction du courant littoral produit par les vagues déferlantes et l'amplitude de la marée. La direction du transit parallèle à la côte est directement liée à la direction d'approche de la houle (l'angle de la crête de la houle par rapport à la côte) et du courant de marée. Ainsi, à cause de la variabilité du courant, la direction du transit parallèle à la côte varie d'une saison à l'autre, d'un jour à l'autre et d'une heure à l'autre.

La vitesse du transit littoral dépend du courant littoral, de la durée et de l'énergie de la houle. Ainsi, la houle violente en cas de tempête déplace généralement plus de matériaux par unité de temps qu'une houle faible.

A cause des changements de direction du transit littoral, du fait que des différents types de houles et de courants transportent les sédiments à différentes vitesses, deux composantes de la vitesse du transit littoral sont importants.

- Le premier est la vitesse nette et le volume net moyens de sédiments passant à un point donné dans la direction prédominante en une année.
- Le second est la vitesse brute et le total des sédiments passant à un point donné en une année sans tenir compte de la direction.

La plupart des côtes présentent un transit du littoral annuel net en une direction. Pour le système ECOPLAGE®, c'est le volume brute qui est important. La mesure directe du volume de sédiments transportés à un point donné et à un moment donné est en fait difficile à réaliser.

Les calculs du taux de transit littoral potentiel utilisant la méthode de flux d'énergie de la houle ne donnent donc normalement qu'un ordre de grandeur de la capacité de transit et non le transit littoral réel, qui dépend également des sédiments présents pouvant être déplacés.

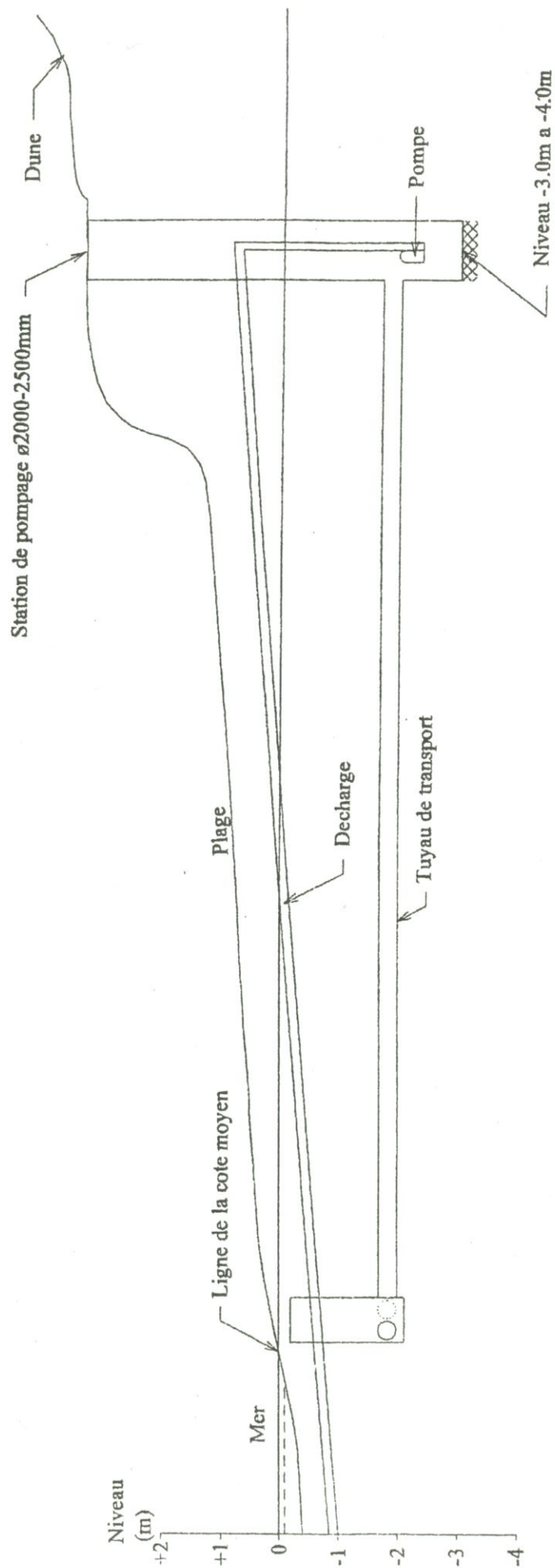
En principe, le système ECOPLAGE® ne fait que limiter le problème d'érosion de la plage où il est installé. Il n'introduit pas de nouveau sable dans le capital littoral. Le sable est prélevé dans les processus littoraux existants dans la zone concernée, en partie sur le front de plage et en partie dans le transit littoral parallèle à la côte. Par conséquent, cela devrait théoriquement mener à une érosion supplémentaire des plages adjacentes en aval ; cependant, en pratique, ce phénomène n'a pas été observé pour aucune des installations à ce jour, sans doute parce que la quantité de sable retenue est faible par rapport au sable disponible dans le processus littoral et que cette méthode douce d'accumulation de sable, contrairement aux ouvrages côtiers tels que les épis, les brise-lames et les jetées, n'introduit aucun contre-courant.

En cas de tempête, avec une houle de direction non perpendiculaire au trait de côte, le déplacement de l'eau en zigzag et le courant côtier accru érodent les sédiments émergents devant le système ECOPLAGE®. Ces sédiments sont déplacés en aval le long de la côte, ce qui réduit l'érosion due aux tempêtes. Au lieu des effets néfastes escomptés sur la plage adjacente en aval, des volumes de sable s'échappent de l'accumulation de sable devant le système ECOPLAGE®, ce qui alimente la côte en sable.

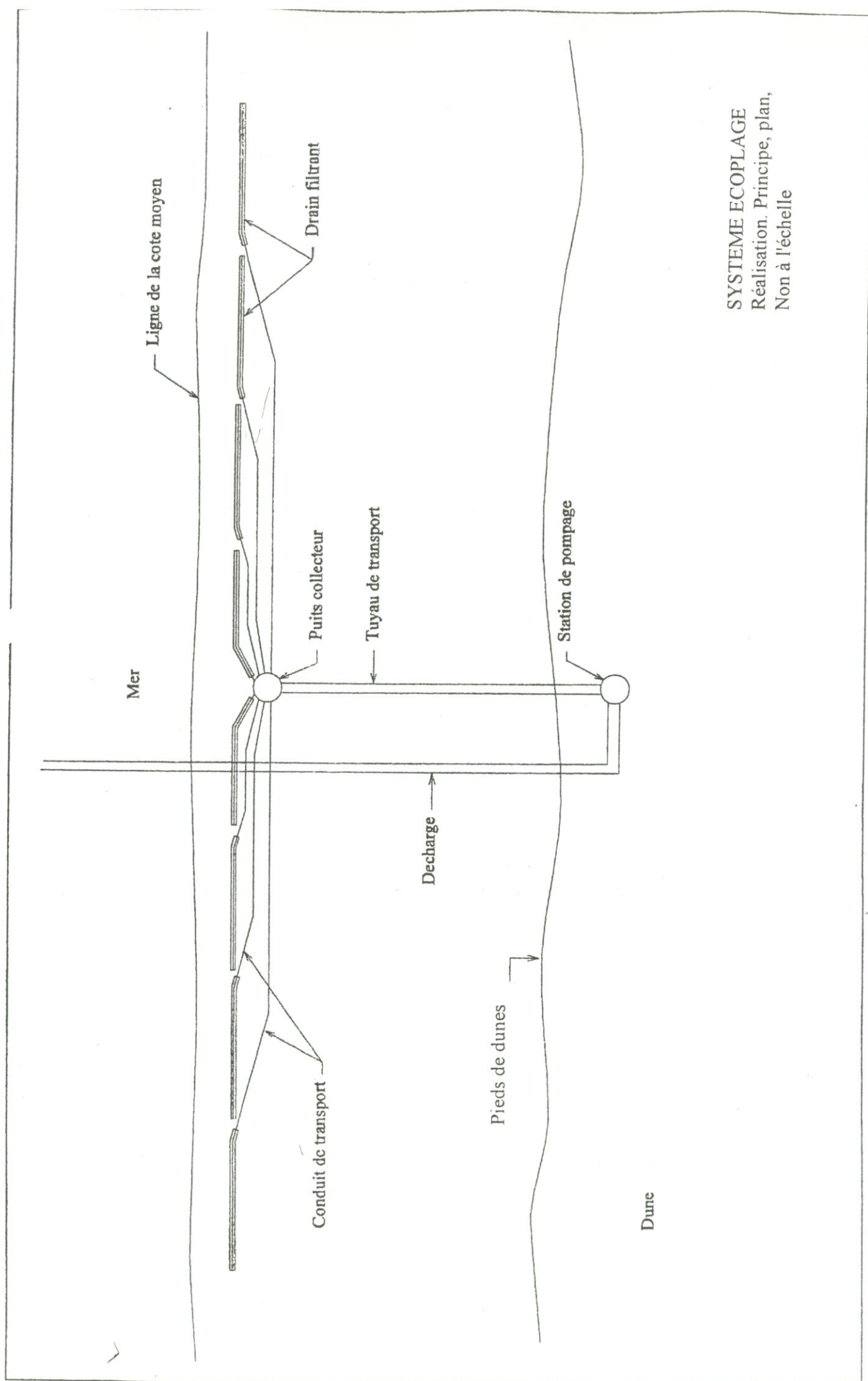
A cause d'une tempête, une grande quantité de sable se retrouve en suspension dans l'eau près de la côte et sera ajouté au front de plage actuel à la fin de la tempête.

2. EROSION DUE AU VENT

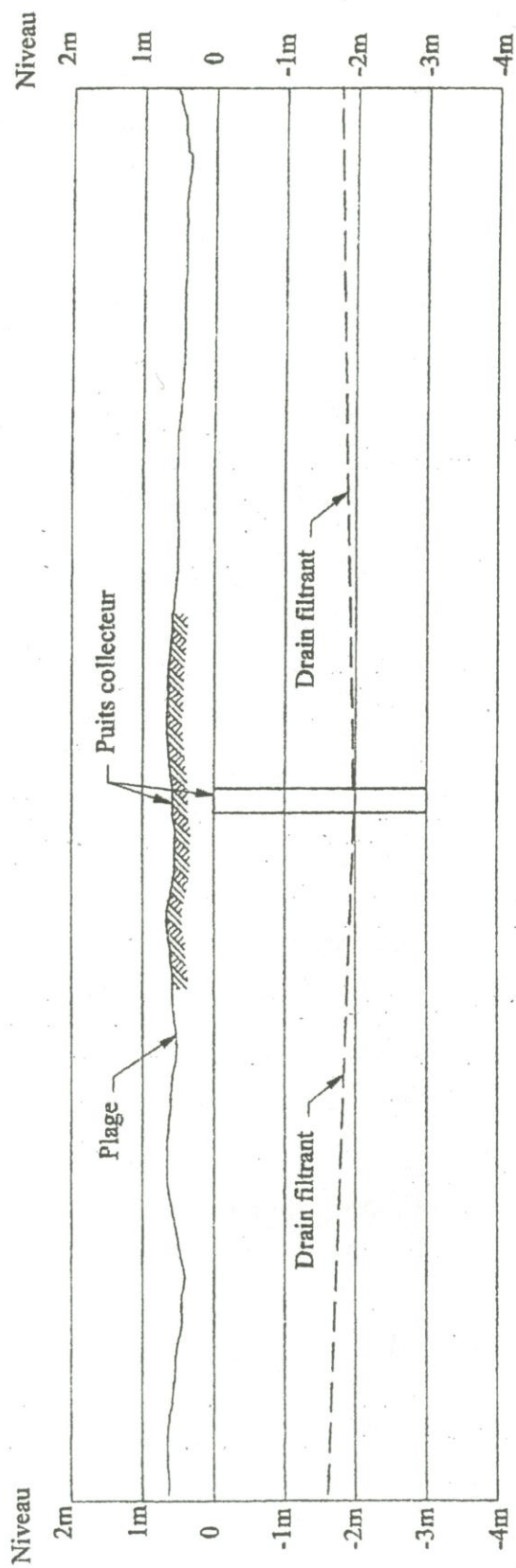
Les vagues déferlantes directes au pied des dunes donnent normalement des glissements de dunes et la destruction de la végétation sur la dune. Après destruction de la végétation, la dune est sujette à l'érosion de la houle et du vent. Derrière le système ECOPLAGE®, où les plages bordent des dunes de sable, on a observé que le pied des dunes avait été ré-ensablé, par du sable apporté par le vent et venant du sable sec dans l'alignement du système ECOPLAGE®. A cause de la haute plage élevée et stabilisée, la végétation de la dune a été rétablie et a ainsi réduit le risque d'érosion du vent.



SYSTEME ECOPLAGE
Principe. Coupe transversale
Non à l'échelle



SYSTEME ECOPLAGE
Réalisation. Principe, plan,
Non à l'échelle



SYSTEME ECOPLAGE
Principe. Coupe longitudinale
Non à l'échelle

APPENDICE 6

SYSTEME ECOPLAGE® EXPLOITATION, CONTROLE ET ENTRETIEN

Auteur : Hans Vesterby
Traduit de l'anglais par : Sarl S.E.T.S., 38130 Echirolles

1. EXPLOITATION

L'exploitation d'un système ECOPLAGE® comprend :

- le fonctionnement des drains, des pompes et l'alimentation en énergie,
- l'enregistrement des conditions existantes pendant le fonctionnement,
- les mesures de l'évolution du trait de côte et du littoral dans la zone d'influence du système ECOPLAGE® par rapport à l'évolution des côtes adjacentes.

2. FONCTIONNEMENT DU SYSTEME

Les composants du système sont conçus de manière à faciliter le fonctionnement des canalisations de drainage, déterminé par le niveau d'eau dans la station de pompage. Pour les paramètres de conception, la fluctuation appropriée du niveau d'eau dans la station de pompage est limitée en introduisant des régulateurs de niveau qui démarrent et arrêtent automatiquement les pompes submersibles installées. Cela signifie que le temps d'exploitation du réseau de pompage dépend du flux d'eau venant des drains (déterminé par le niveau de la nappe souterraine dans les dépôts de la plage et par la variation du niveau d'eau dans la station de pompage) et de la capacité des pompes dans les conditions hydrauliques existantes.

Le temps d'exploitation des pompes peut être modifié en changeant les niveaux de démarrage et d'arrêt des pompes.

3. Contrôle

3.1. Conditions de fonctionnement

Ces modifications de niveaux par rapport aux niveaux de projet peuvent être justifiées par un contrôle direct des conditions hydrauliques dans la zone d'influence du réseau de drainage. Ce contrôle est réalisé grâce à des capteurs de pression (piézomètres) placés sous la surface de la plage et connectés par des câbles enterrés ou grâce à un collecteur de données placé dans le tableau de distribution des pompes.

Cependant, les aspects suivants seront enregistrés pendant l'exploitation du système et seront les indicateurs du bon fonctionnement des drains et des conditions mécaniques du réseau de pompage :

- débit d'eau,
- fluctuation du volume d'eau,
- arrêt involontaire de la pompe,
- régime de houle,
- fluctuation du niveau de la mer.

Si aucun indicateur de niveau d'eau n'est installé dans le réseau de pompage, il sera possible de calculer le volume d'eau et sa variation et de vérifier les conditions mécaniques à partir des caractéristiques des pompes, si les données suivantes sont enregistrées chaque mois :

- la pression de régime des pompes, sur un manomètre placé sur le collecteur,
- la consommation d'électricité de chaque pompe, sur un compteur électrique,
- le nombre d'heures de fonctionnement de chaque pompe,
- le nombre de cycles démarrage/arrêt de chaque pompe.

Les données concernant le régime de houle et la variation du niveau de la mer seront enregistrées en continu et pourront être recueillies par une station d'observation proche, avec des conditions représentatives.

3.2. Evolution du trait de côte

Avant de prendre la décision d'installer un système ECOPLAGE® pour lutter contre les fluctuations et le recul du trait de côte, il faut également définir le profil de la plage et du littoral, ainsi que les volumes de sédiments dans les profils. Les résultats disponibles après ces opérations de contrôle préalable constituent une source d'informations essentielles à une évaluation comparative antérieure des résultats du contrôle postérieur. Le système de mesure local adopté pour le contrôle préalable doit par conséquent être identique au système de mesure adopté pour le contrôle de l'impact d'un système ECOPLAGE®.

L'évolution du trait de côte et du littoral sera enregistrée en établissant des profils définis dans le temps, couvrant le trait de côte et autant de littoral que possible. Ces profils seront établis perpendiculairement à une ligne de base permanente définie par les points d'un polygone placés en fonction du trait de côte.

Les profils sont définis par les coordonnées x, y et z dans le système local, intégrant le niveau moyen de la mer. La distance entre les différents points des profils doit être choisie selon le profil existant au moment de l'étude. Cependant, on peut utiliser une distance mutuelle fixe de 3 à 5 mètres pour le calcul des volumes.

Les mesures des profils seront enregistrées et stockées de manière à pouvoir évaluer l'évolution totale et différentielle (Elles seront par exemple numérisées et stockées sur ordinateur ou CD-ROM).

La longueur totale (L) du système ECOPLAGE® sera au minimum couverte par des profils distants d'environ $1/5 \times L$, qui devra cependant être comprise entre 40 et 80 mètres environ.

Si le système ECOPLAGE® est installé dans une section de plage qui dépasse les deux ou l'une des extrémités du système, le contrôle comparatif devra être effectué dans une zone de transition d'une longueur de $1/2 \times L$, avec les mêmes distances entre les profils que celles utilisées dans la zone drainée (zone de référence)

Le contrôle de l'évolution pourra également être effectué à partir de mesures cinématiques en temps réel et en espace libre, étalonnées et liées à la ligne de base fixe. Les mesures cinématiques en temps réel doivent également permettre d'établir des profils fixes sans équivoque.

L'impact d'un système ECOPLAGE® peut alors être quantifié à partir des deux paramètres suivants :

- le déplacement comparatif du trait de côte (avec un niveau moyen de la mer),
- l'accumulation ou l'érosion de sable moyenne comparée dans les profils.

Les mesures des profils devront être effectuées selon le calendrier suivant :

- Avant l'installation du système ECOPLAGE® (contrôle préalable)
- La première année après le démarrage des pompes (contrôle postérieur) : tous les deux mois, afin d'évaluer l'évolution en tenant compte des variations saisonnières.
- Deuxième année : tous les trois mois.
- Troisième année et suivantes : en fonction des résultats de l'évolution précédemment mesurée.

4. ENTRETIEN

Tous les composants du système ECOPLAGE® nécessitant un entretien seront accessibles dans la station de pompage ou dans les tableaux de distribution.

Les composants nécessitant un contrôle et un entretien réguliers sont les suivants :

- pompes submersibles,
- vannes de fermeture,
- vannes de retenue,
- manomètres,
- régulateurs de niveau,
- interrupteurs électriques, relais et compteurs.

L'entretien devra être effectué conformément aux spécifications du fabricant et aux conditions relevées pendant le contrôle du fonctionnement des pompes.

DÉROULEMENT D'UNE ÉTUDE DE FAISABILITÉ

DURÉE: ENVIRON 6 MOIS,
À PARTIR DE L'O.S. DE DÉMARRAGE

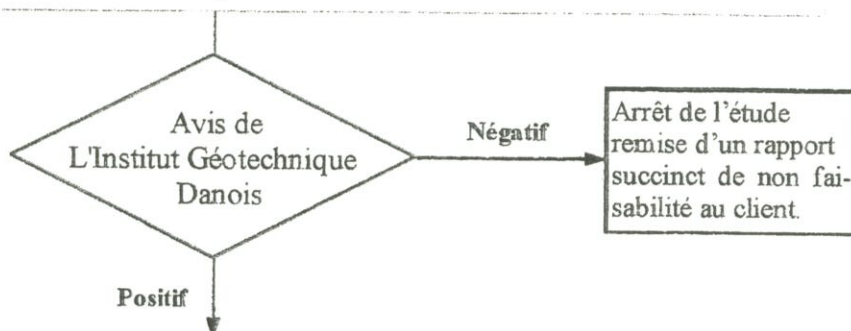
ETUDE DE POTENTIALITÉ

Première inspection du site
Avis succinct de L'Institut Géotechnique Danois
avant de lancer une étude de faisabilité

PHASE 1: PREMIÈRE RECONNAISSANCE

⇒ Déterminer une section de plage susceptible d'accueillir le procédé ECOPLAGE®

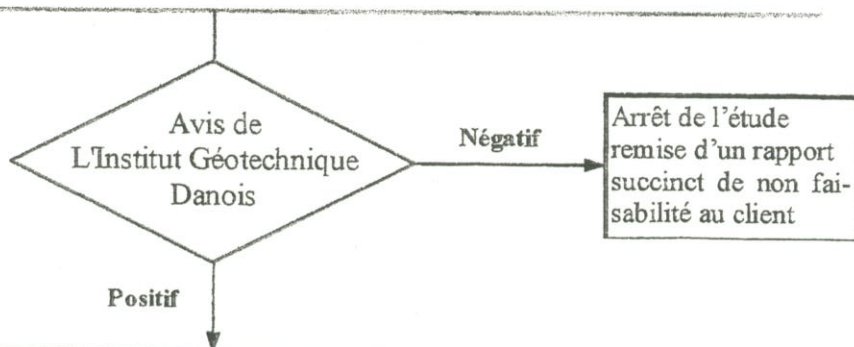
- Visite du site par les représentants ECOPLAGE.
- Sondages à la pelle mécanique, prise d'échantillon, analyse granulométrique
- Collecte des données océanographiques, sédimentologiques, climatiques...
- Analyse par L'Institut Géotechnique Danois.



PHASE 2: RECONNAISSANCE DÉTAILLÉE - ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE

⇒ Vérifier le potentiel hydrogéologique de la section de plage retenue

- Réalisation de sondages géotechniques jusqu'à 5 mètres de profondeurs
- Réalisation de test de pompage et de perméabilité, mise en place de piézomètres
- Analyse granulométrique des échantillons prélevés
- Analyse par L'Institut Géotechnique Danois



PHASE 3: RAPPORT D'ÉTUDE DE FAISABILITÉ, A. P. S.

⇒ Préciser les différents composants du système ECOPLAGE®

- Réalisation du rapport d'étude de faisabilité
- Mise au point de l'Avant Projet Sommaire
- Mise au point du devis estimatif

PRÉSENTATION ET REMISE DU RAPPORT DE FAISABILITÉ ECOPLAGE®