

VOLUME N°3

EDIFICATION D'UNE DIGUE DE DEFENSE CONTRE LA MER AU SEIN DE LA RESERVE NATURELLE NATIONALE D'YVES (17) *NOTE DE JUSTIFICATION TECHNIQUE*



**CONSEIL DEPARTEMENTAL
DE CHARENTE MARITIME**



CLIENT

RAISON SOCIALE	CONSEIL DEPARTEMENTAL DE CHARENTE MARITIME
COORDONNÉES	4, avenue Victor-Louis Bachelard BP10273 17 305 ROCHEFORT
INTERLOCUTEUR	Représenté par Monsieur Dominique BUSSEREAU, Président Mission Mer

KERAN

COORDONNÉES	4 rue Viviani – CS 26220 44262 NANTES Cedex 2 Tél. 02.51.17.29.29 - Fax 02.51.17.29.99 – E-mail : sce@sce.fr
INTERLOCUTEUR <i>(nom et coordonnées)</i>	Monsieur Jérémie LEMAIRE Tél. 02.51.17.29.51 E-mail : jeremie.lemaire@sce.fr

RAPPORT

TITRE	Edification d'une digue de défense contre la mer au sein de La Réserve Naturelle Nationale d'Yves (17) Note de justification technique
NOMBRE DE PAGES	112
NOMBRE D'ANNEXES	4
N° COMMANDE	Accord cadre 673H12C – BC N°3

SIGNATAIRE

REFERENCE	DATE	REVISION DU DOCUMENT	OBJET DE LA REVISION	REDACTEUR	CONTROLE QUALITE
12902C	29/02/16	Version C	Mise à jour cohérence version H volume n°2	JLI	-

SOMMAIRE

I. CONTEXTE ET OBJECTIFS.....	8
I.1 Localisation du site des marais d'Yves	8
I.2 Genèse du projet : la protection du littoral	9
I.3 Présentation des différents tracés étudiés	10
I.4 Hypothèses retenues pour l'emprise des différents tracés	11
II. ELEMENTS DE DIAGNOSTIC DE L'ETAT ACTUEL	21
II.1 Contexte géologique et géotechnique.....	21
II.2 Topographie	32
II.3 Ouvrages de défense contre la mer existants.....	34
II.4 Diagnostic géotechnique de la digue de la SACOM	39
II.5 Synthèse des rencontres thématiques.....	42
II.6 Diagnostic géotechnique des zones d'emprunt	58
III. DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME DE PROTECTION.....	61
III.1 La mise à jour de la conception du système de défense contre la mer par rapport à la fiche action du PAPI	61
III.2 Les mesures d'évitement mises en œuvre pour le choix du tracé.....	62
III.3 Décision en COPIL PAPI Baie d'Yves du 20/12/13 et COTECH du 21/03/14	67
III.4 Optimisation des cotes de protection	68
III.5 Optimisation de la conception de la digue par secteurs	78
III.6 Description des travaux préparatoire d'extraction des matériaux de la zone d'emprunt	97
III.7 Description des travaux, organisation et phasage du chantier	101
IV. ESTIMATIF DETAILLE	111
IV.1 Rappel des hypothèses de chiffrage	111
IV.2 Détail estimatif détaillé	112
V. ANNEXES	117
V.1 Annexe 1 : Emprise des modèles hydrodynamiques.....	117
V.2 Annexe 2 : Comptes-rendus des ateliers thématiques.....	118
V.3 Annexe 3 : étude geotechnique G12 – Oct. 2013.....	119
V.4 Annexe 4 : fiche technique TERACRO®	120

FIGURES

<i>Figure 1 : Localisation de la Réserve naturelle des Marais d'Yves</i>	8
<i>Figure 2 : Synthèse des scénarios étudiés sur la cartographie de valeur patrimoniale</i>	10
<i>Figure 3 : Topographie de l'estran (mNGF)</i>	11
<i>Figure 4 : Topographie de la réserve (mNGF)</i>	12
<i>Figure 5 : Emplacement des points de calage principaux à proximité de la zone d'étude</i>	14
<i>Figure 6 : Comparaison des niveaux avec les enregistrements du marégraphe de la Rochelle</i>	14
<i>Figure 7 : Comparaison de la Houle avec les enregistrements à la bouée Oléron</i>	14
<i>Figure 8 : Comparaison des niveaux avec les enregistrements au port de la Rochelle (La Pallice)</i>	15
<i>Figure 9 : Comparaison des niveaux avec les enregistrements au port de la Rochelle (La Pallice) – vue de détail</i>	15
<i>Figure 10 : Comparaison des niveaux avec d'autres marégraphes</i>	15
<i>Figure 11 : Niveaux d'eau maximums simulés pour le modèle Golf de Gascogne – Xynthia (mNGF)</i>	16
<i>Figure 12 : Niveaux d'eau maximums simulés pour le modèle Golf de Gascogne – Xynthia (mNGF)</i>	17
<i>Figure 13 : Niveaux d'eau maximums simulés pour le modèle local « baie d'Yves » – Xynthia (mNGF)</i>	19
<i>Figure 14 : Agitation maximale simulée pour le modèle local « baie d'Yves » – Xynthia (m)</i>	19
<i>Figure 15 : Agitation maximale simulée pour le modèle local « baie d'Yves » – Xynthia (m) (vue rapprochée)</i>	20
<i>Figure 16 : Carottes des premiers cordons dunaires (Lo Cascio, 2002)</i>	23
<i>Figure 17 : Schéma de la succession des cordons dunaires littoraux (source : plan de gestion de la réserve)</i>	24
<i>Figure 18 : Extrait de la carte géologique au droit du site d'étude</i>	25
<i>Figure 19 : Positionnement et lithologie d'un sondage au Sud de la réserve</i>	26
<i>Figure 20 : Positionnement et lithologie de deux sondages à l'ouest de la zone SACOM</i>	27
<i>Figure 21 : Positionnement et lithologie d'un sondage à l'est de la réserve naturelle</i>	28
<i>Figure 22 : Résultat des essais en laboratoire sur les matériaux de la zone d'emprunt</i>	31
<i>Figure 23 : Localisation du périmètre de la réserve et de la zone SACOM incluse dans ce périmètre, sur le fond de carte topographique</i>	32
<i>Figure 24 : Localisation de la zone conchylicole Nord sur le fond de carte topographique</i>	33
<i>Figure 25 : Carte de localisation des ouvrages de défense contre la mer (PAPI)</i>	35
<i>Figure 26 : Sectorisation géotechnique et physique de la digue SACOM</i>	39
<i>Figure 27 : Localisation des ouvrages hydrauliques de rétablissement à envisager par tracé</i>	44
<i>Figure 28 : Localisation des ouvrages hydrauliques à rétablir, de la zone à ressuyer des « sablières » et des deux exutoires directs à étudier et principe d'exutoire vers le marais pour la partie sud de la réserve</i>	46
<i>Figure 29 : Schématisation de la réutilisation de l'exutoire de Voutron accompagnée d'une fermeture au niveau des ouvrages de la voie ferrée pour le ressuyage des eaux salées en cas de crise</i>	47
<i>Figure 30 : Tracé variante à considérer (en noir) : combinaison entre les tracés 1 et 2</i>	49
<i>Figure 31 : Localisation des zones d'emprunt potentielles sur fond IGN et photo aérienne</i>	50
<i>Figure 32 : Localisation du secteur 1 sur le cadastre</i>	51
<i>Figure 33 : Localisation du secteur 2 sur le cadastre</i>	52
<i>Figure 34 : Localisation des secteurs d'emprunt potentiels au sein du site Natura 2000 (zonage en jaune)</i> .	53
<i>Figure 35 : Coupe de principe de l'aménagement de l'aire de repos intégrant la digue (Phytolab – 2010)</i>	55
<i>Figure 36 : Vues en plan générale et zoom sur l'aménagement de l'aire de repos de la baie d'Yves (Phytolab – 2010)</i>	56
<i>Figure 37 : Plans de localisation des sondages dans les zones d'emprunt</i>	58
<i>Figure 38 : Profil géologique de synthèse des deux zones d'emprunt</i>	59
<i>Figure 39 : Carte géologique au droit des deux zones d'emprunt</i>	60

<i>Figure 40 : Carte de synthèse des scénarios étudiés sur la carte des enjeux environnementaux (planche 1)</i>	65
<i>Figure 41 : Carte de synthèse des scénarios étudiés sur la carte des enjeux environnementaux (planche 2)</i>	66
<i>Figure 42 : présentation des 3 configurations intégrées : topographie actuelle / brèche du cordon dunaire / arase du cordon dunaire à 3 m NGF</i>	69
<i>Figure 43 : niveaux d'eau maximums pour topographie existante</i>	70
<i>Figure 44 : niveaux d'eau maximums avec une brèche de 100 m dans le cordon dunaire</i>	70
<i>Figure 45 : niveaux d'eau maximums avec une arase à 3 mNGF du cordon dunaire</i>	71
<i>Figure 46 : agitation maximale avec une arase à 3 mNGF du cordon dunaire</i>	72
<i>Figure 47 : exemple de calcul de transmission de la houle en arrière du cordon dunaire selon plusieurs états de celui-ci</i>	73
<i>Figure 48 : Résultats des submersions terrestres pour un débit franchissant de 3,9 l/s/m</i>	74
<i>Figure 49 : Résultats des submersions terrestres pour un débit franchissant de 11,2 l/s/m</i>	74
<i>Figure 50 : Résultats des submersions terrestres pour un débit franchissant de 22,8 l/s/m</i>	75
<i>Figure 51 : Optimisation des cotes projet (sectorisation) au niveau du scenario de digue retenu</i>	76
<i>Figure 52 : Justification des cotes retenues</i>	77
<i>Figure 53 : Dispositifs constructifs de protection des talus face mer</i>	78
<i>Figure 54 : Dispositifs constructifs de protection des talus côté terre</i>	78
<i>Figure 55 : Illustration de mise en œuvre de géotextile de maintien des terres</i>	79
<i>Figure 56 : Caractéristiques mécaniques et techniques des géotextiles de maintien des terras</i>	79
<i>Figure 57 : Synthèse des protections mises en œuvre sur les talus en face mer et côté terre</i>	81
<i>Figure 58 : Profil n°817.3 – profil type secteur 1 – cote finie 5,85 mNGF</i>	84
<i>Figure 59 : Profil n°14.16 – profil type secteur 2 à 3 – cote finie 5,85 mNGF</i>	85
<i>Figure 60 : Profil n°13.4 – profil type secteur 4 – cote finie 5,80 mNGF</i>	86
<i>Figure 61 : Profil n°12.2 – profil type secteur 5 – cote finie 6.25 mNGF</i>	87
<i>Figure 62 : Profil n°11.6 – profil type secteur 6 à 6.5 – cote finie 6.25 à 6.35 mNGF</i>	88
<i>Figure 63 : Profil n°9.8 – profil type secteurs 7 à 8 – cote finie 6.25 à 6,35 mNGF</i>	89
<i>Figure 64 : Profil n°8 – profil type secteur 9 – cote finie 6,35 mNGF</i>	90
<i>Figure 65 : Profil n°4.4 – profil type secteurs 10 à 12 – cote finie 6,10 à 6.15 mNGF</i>	91
<i>Figure 66 : Profil n°2 – profil type secteurs 13 – cote finie 5.80 mNGF</i>	92
<i>Figure 67 : Evaluation des franchissements de paquets de mer</i>	93
<i>Figure 68 : Evolution des niveaux et de l'agitation dans le temps pour le calcul des volumes franchissants</i>	94
<i>Figure 69 : Enveloppes de submersion terrestre pour les cotes optimisée et la tempête Xynthia : niveau d'eau maximum</i>	95
<i>Figure 70 : Enveloppes de submersion terrestre pour les cotes optimisée et la tempête Xynthia : épaisseur d'eau maximum</i>	96
<i>Figure 71 : Plan de drainage de la parcelle de la zone d'emprunt n°1</i>	97
<i>Figure 72 : Puissance de la couche d'argile marron (A3) au-dessus de la nappe de drains</i>	98
<i>Figure 73 : Plan de terrassement de la zone d'emprunt</i>	99
<i>Figure 74 : Plan d'aménagement de la zone d'emprunt</i>	100
<i>Figure 75 : Localisation des installations de chantier, pistes d'accès, zones de stockage et retournement en phase chantier</i>	102
<i>Figure 76 : itinéraires prévisionnels de circulation des engins pour l'approvisionnement en matériaux</i>	103
<i>Figure 77 : photographies d'édification d'une digue de protection</i>	106
<i>Figure 78 : Illustration du phasage des travaux de construction de la digue de retrait et de renforcement de la digue SACOM</i>	107
<i>Figure 79 : Trajets pour approvisionnements (remblais, enrochements) en phase 2 – renforcement de la digue SACOM</i>	108

*Figure 80 : Schémas du profil en long d'un cadre béton 1*1 m en traversée de digue équipé d'une vanne murale côté mer.....* 109

Figure 81 : Photographies de réalisation cadre béton en traversée de digue équipé d'une vanne murale manuelle..... 110

TABLEAUX

Tableau 1 : Parcelles cadastrales du secteur n°1 51

Tableau 2 : Parcelles cadastrales du secteur n°2 52

Tableau 3 : Planning prévisionnel travaux préparatoires d'extraction de l'argile (septembre et octobre 2016) 104

Tableau 4 : Planning prévisionnel travaux de digue (mars 2017 à décembre 2017) 105

Tableau 5 : Coût estimé des travaux préparatoires sur la zone d'emprunt..... 112

Tableau 6 : Coût estimé des travaux d'édification de la digue au sein de la réserve (y compris reprise de la digue SACOM)..... 113

Tableau 7 : Coût estimé du renforcement par une géogrid anti-fouisseurs..... 114

Tableau 8 : Chiffrage des travaux de renaturation de la zone d'emprunt 115

OBJET DU DOCUMENT

L'objet du présent document est la justification technique de la conception de la digue de retrait au sein de la Réserve Naturelle Nationale d'Yves.

Ce document ne traite pas de la justification du tracé par comparaison de scénario mise en œuvre dans le cadre de la démarche « EVITER – REDUIRE – COMPENSER » par le choix du scénario de moindre impact (développée dans le volume 2).

Les éléments techniques de conception ont été séparés du volume 2, traitant des thématiques réglementaires liées à l'impact de l'ouvrage au sein de la Réserve Naturelle des Marais d'Yves, pour en faciliter la lecture. **Pour autant ces éléments sont indissociables.**

I. CONTEXTE ET OBJECTIFS

I.1 LOCALISATION DU SITE DES MARAIS D'YVES

Les marais d'Yves se situent en Poitou-Charentes, département de la Charente-Maritime. Sur les côtes de la baie d'Yves, il est bordé à l'ouest par l'Anse des Boucholeurs et à l'est par la RD137 :

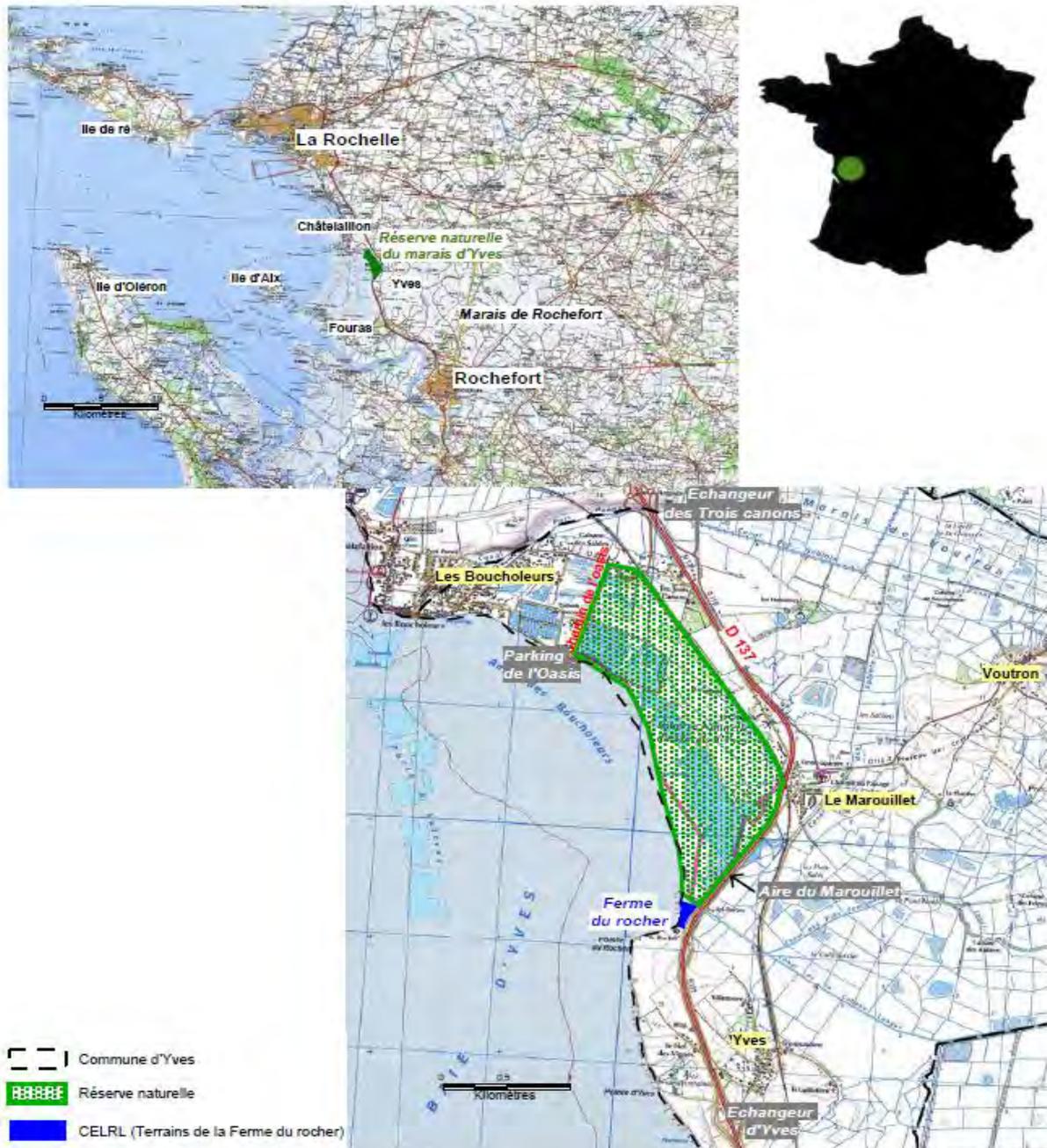


Figure 1 : Localisation de la Réserve naturelle des Marais d'Yves

I.2 GENESE DU PROJET : LA PROTECTION DU LITTORAL

Lors de la tempête du 27-28 Février 2010 « Xynthia », le site des Boucholeurs a subi une submersion importante au niveau de Châtelailon et Yves, 441 maisons ont été inondées. Les eaux ont submergé ces zones par différents moyens : reflux par le canal de port Punay (dysfonctionnement du clapet), submersion du front de mer et entrées d'eau via les marais d'Yves dont les digues ont été submergées et en partie détruites.

C'est pourquoi dans le cadre de l'accord cadre 673H12/C multi-attributaire pour la réalisation de prestations intellectuelles pour la protection du littoral et des ouvrages d'infrastructures portuaires, le Conseil Départemental de Charente Maritime a demandé au groupement SCE – CREOCEAN de prendre part à la réalisation des études préalables aux travaux de réalisation d'une digue de retrait dans les marais (réserve naturelle) sur la commune d'Yves pour la protection de la RD137.

Ce dispositif de défense contre la mer dans la réserve naturelle des marais d'Yves participe au scénario de défense contre la mer du secteur urbanisé des Boucholeurs.

I.3 PRESENTATION DES DIFFERENTS TRACES ETUDIES

Lors des études de définition du tracé, plusieurs scénarios ont été étudiés. Le scénario de moindre impact environnemental est le tracé noir définie sur la cartographie ci-dessous.

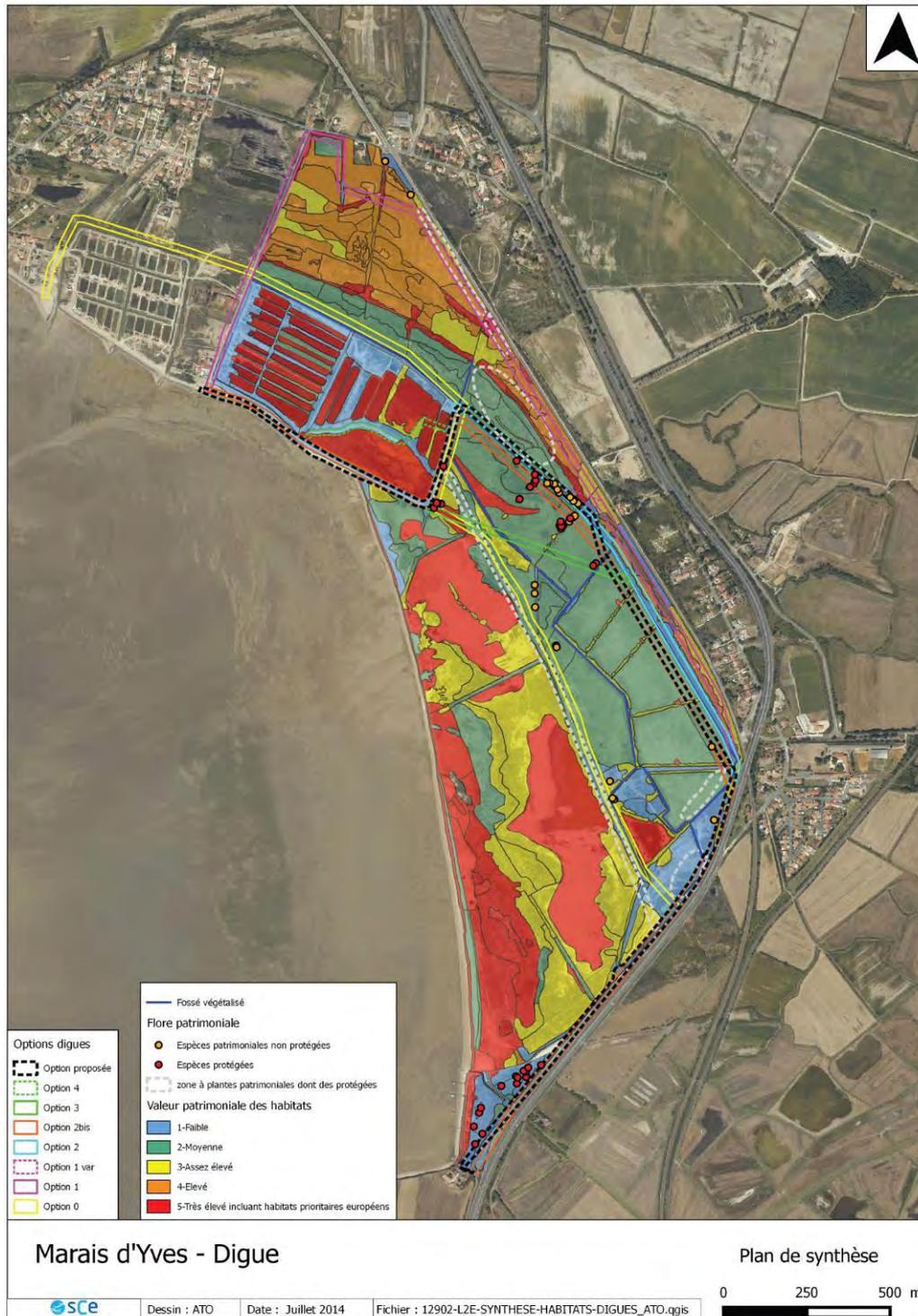


Figure 2 : Synthèse des scénarios étudiés sur la cartographie de valeur patrimoniale

I.4 HYPOTHESES RETENUES POUR L'EMPRISE DES DIFFERENTS TRACES

I.4.1. Etudes antérieures

Lors des différentes études, des cotes d'arase de 4,50 mNGF (étude CREOCEAN/SCE de Mai 2005 avant Xynthia) et de 4,80 mNGF (étude EGIS de Février 2011 après Xynthia) ont été définies avec un talutage en 3(H) / 2(V) avec une largeur en tête de 1,00 à 2,50 m selon les études.

I.4.2. Modélisation de l'évènement Xynthia

A. LES OBJECTIFS FIXES

La modélisation mise en place doit répondre aux objectifs suivants :

- Mettre en place un modèle hydrodynamique capable de reproduire une tempête de type Xynthia
- Définir les conditions de projet aux abords de la zone des marais d'Yves, partie marine

Dans un second temps (cf. chapitre relatif au développement de la solution retenue), la modélisation est poursuivie avec les objectifs suivants :

- Modéliser la propagation de la tempête dans le marais
- Définir les conditions de projet aux abords de la digue de retrait
- Optimiser la cote d'arase de la digue de retrait en fonction des submersions admissibles en zone terrestre, en amont de la digue de retrait

Les modélisations intègrent les données topographiques du secteur d'étude :

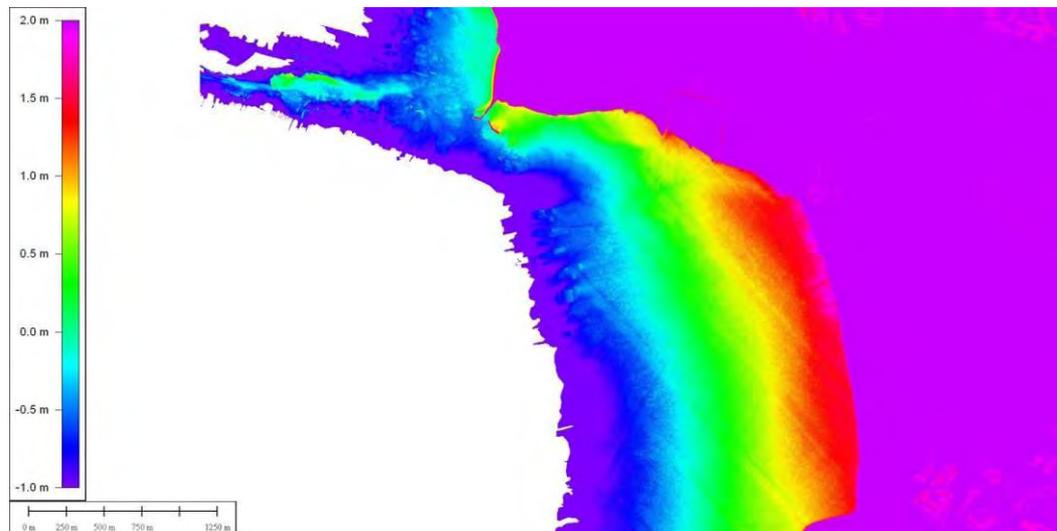


Figure 3 : Topographie de l'estran (mNGF)

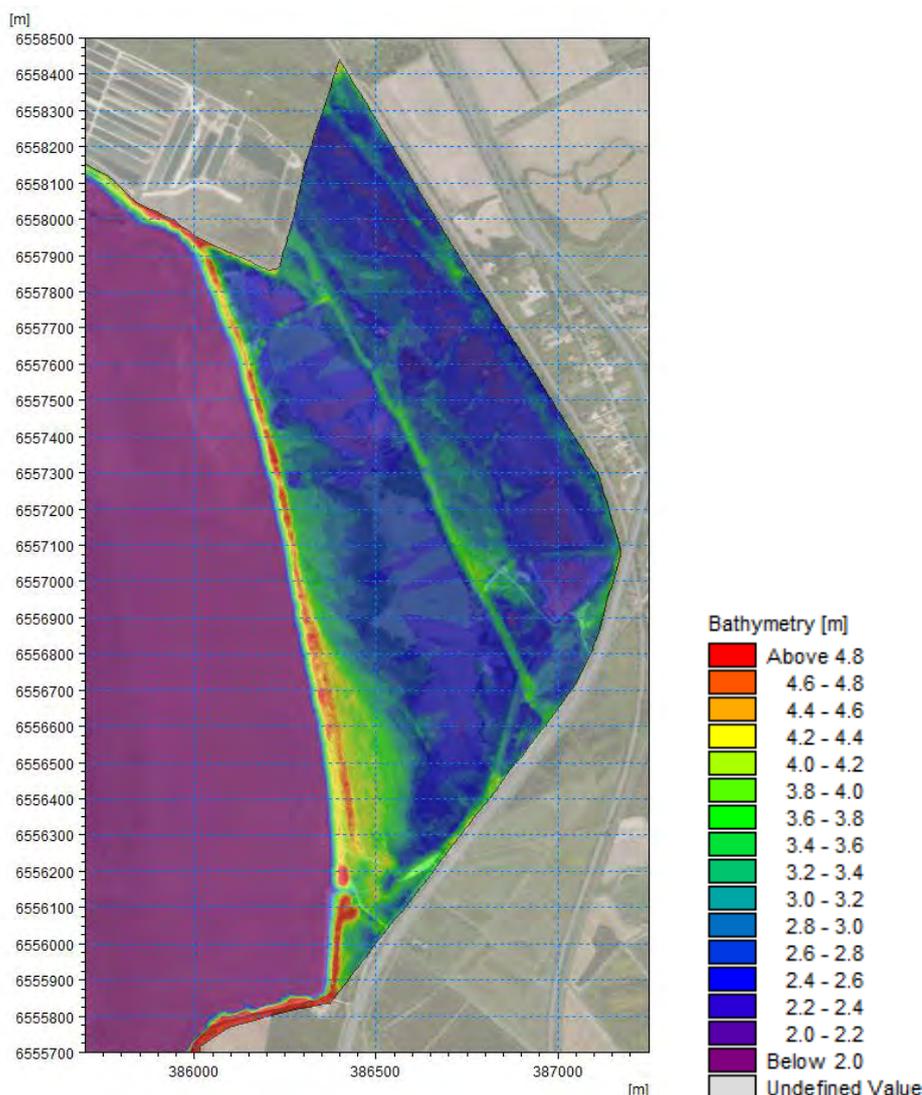


Figure 4 : Topographie de la réserve (mNGF)

Dans le cadre de la mise en œuvre des actions PAPI « baie d'Yves », le SILYCAF, maître d'ouvrage du système de défense contre la mer du village des boucholeurs et le CD17, maître d'ouvrage de la digue de retrait dans la réserve naturelle de Yves, ont travaillé de concert pour l'obtention d'une modélisation homogène et cohérente sur l'ensemble du secteur d'étude.

Des objectifs communs ont ainsi été fixés à SCE-CREOCEAN pour l'approche hydrodynamique :

- Définir les conditions de niveau et de courant dans la zone d'étude
- Définir l'agitation arrivant jusqu'à la zone d'étude
 - Modéliser l'agitation se propageant jusqu'à la côte des Boucholeurs : utilisation pour l'étude sous maîtrise d'ouvrage SILYCAF (zone au nord de la route de l'oasis)
 - Modéliser l'agitation se propageant dans le fond de la baie d'Yves : utilisation pour l'étude sous maîtrise d'ouvrage GC17 (Sud route de l'oasis et digue de retrait dans les marais)
- Définir les conditions de projet
- Calculer les débits et les volumes franchissant les ouvrages
- Modéliser les submersions terrestres (couplées sur les 2 études)

B. LA CONSTRUCTION DU MODELE

La modélisation précise de la tempête Xynthia implique l'utilisation d'un modèle dont :

- L'emprise du domaine soit très étendue pour que les phénomènes en jeu soient bien représentés (notamment l'influence du vent et de la pression atmosphérique).
- La résolution du maillage soit fine aux abords de la zone d'étude pour simuler correctement les phénomènes propres à l'hydrodynamique côtière des pertuis charentais.

A ce titre, SCE-CREOCEAN a opté pour l'utilisation de **modèles avec mailles de tailles variables (de plusieurs Km à quelques mètres)**

D'autre part, le modèle nécessite :

- Forçages du modèle (conditions météo, marée, houle) différents suivant les données disponibles et la taille du modèle
- Nécessité de limiter le nombre de mailles et le rapport de taille entre les mailles, pour limiter les temps de calcul

A ce titre, SCE-CREOCEAN a opté pour l'utilisation de **modèles emboîtés, d'emprises et de résolutions variables**

Le modèle numérique hydrodynamique mis en place est issu d'un couplage d'outils développés par le Danish Hydraulic Institut : **MIKE 3D HD FM (courant et niveau) couplé avec le module MIKE SW (propagation de l'agitation)** et se compose de plusieurs modèles imbriqués.

Il prend en compte la marée astronomique, le vent réel et la pression atmosphérique réelle (résultats modèles MétéoFrance) ainsi que la houle au large.

Les modèles utilisés sont ceux issus d'un projet de recherche de CREOCEAN :

- Un **modèle « Nord Atlantique »** : taille des mailles \approx 50 km de côté
- Un **modèle emboîté « Europe »** : taille des mailles variable : de l'ordre de quelques dizaines de km au large à quelques km dans le Golfe de Gascogne.
- Un **modèle emboîté « Golfe de Gascogne »** :
 - limite du domaine à 180km à l'Ouest de La Rochelle
 - résolution de l'ordre de quelques km au large des pertuis, à quelques dizaines de mètres au plus près du littoral charentais et vendéen

auxquels viennent s'ajouter **différents modèles locaux emboîtés**.

L'emprise de ces différents modèles est détaillée en annexe.

C. LE CALAGE DU MODELE

Pour le calage du modèle, il a été utilisé principalement les enregistrements du marégraphe de la Rochelle et de la bouée Oléron, auxquels sont comparés les résultats du modèle.

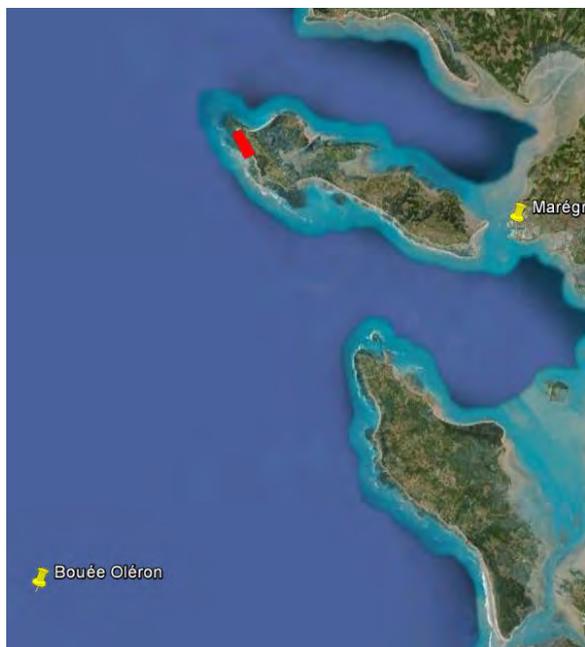


Figure 5 : Emplacement des points de calage principaux à proximité de la zone d'étude

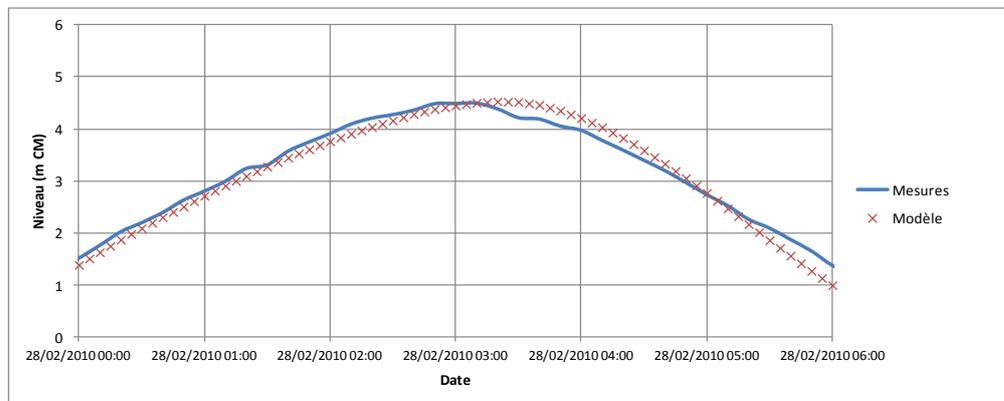


Figure 6 : Comparaison des niveaux avec les enregistrements du marégraphe de la Rochelle

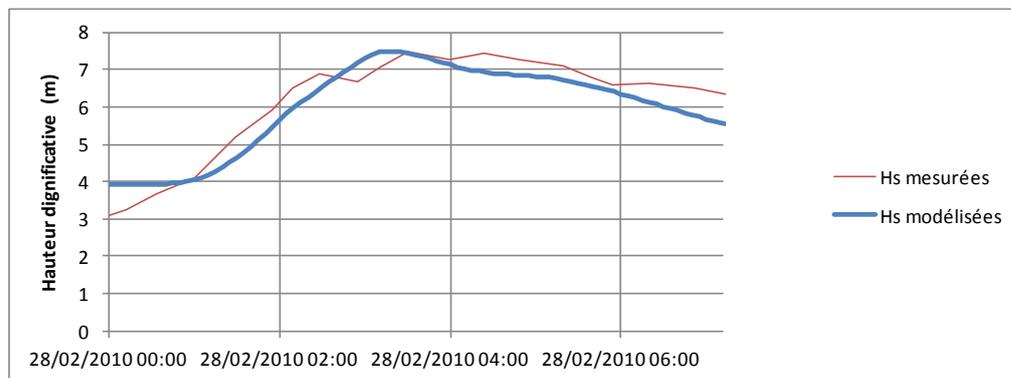


Figure 7 : Comparaison de la Houle avec les enregistrements à la bouée Oléron

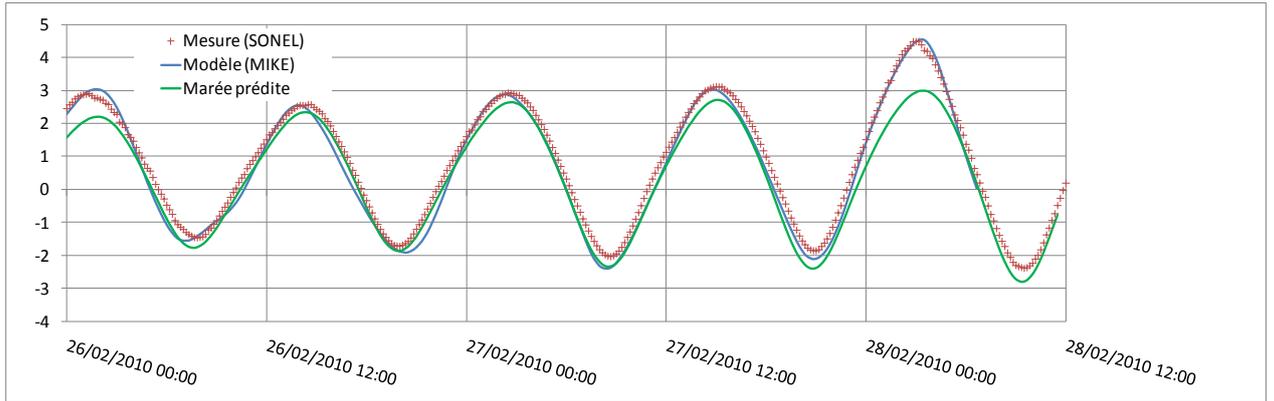


Figure 8 : Comparaison des niveaux avec les enregistrements au port de la Rochelle (La Pallice)

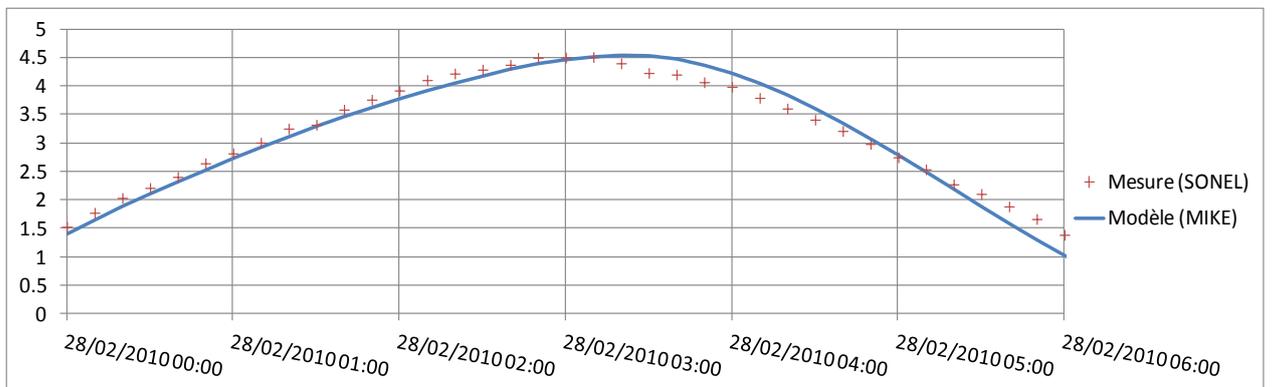


Figure 9 : Comparaison des niveaux avec les enregistrements au port de la Rochelle (La Pallice) – vue de détail

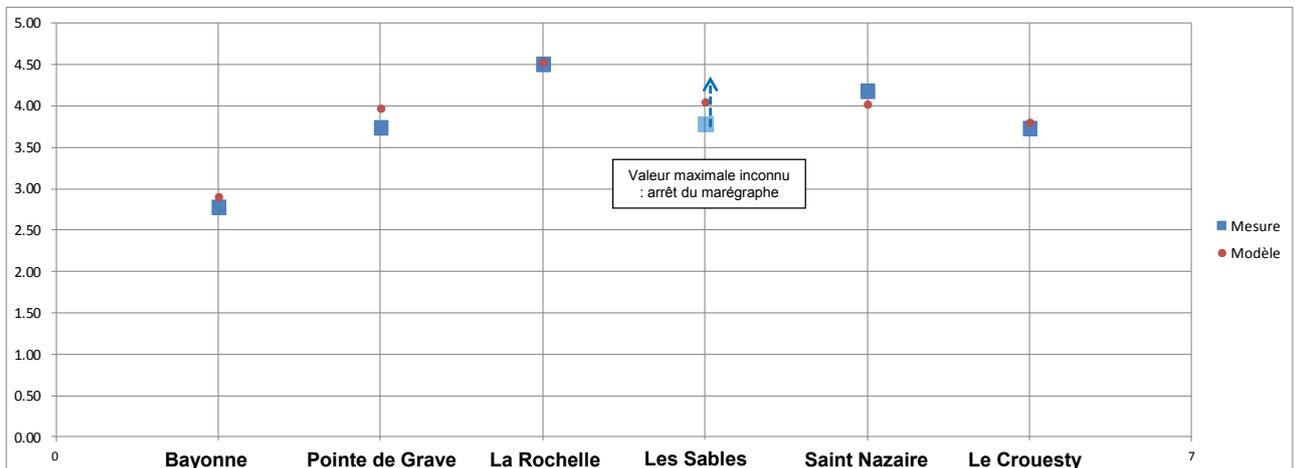


Figure 10 : Comparaison des niveaux avec d'autres marégraphes

D. LES RESULTATS DU MODELE « GOLF DE GASCOGNE »

A l'issue du calage du modèle, celui-ci permet d'obtenir les résultats attendus en terme de niveaux d'eau maximums (mNGF) et agitation (Hs en m) pour un évènement Xynthia.

Les figures ci-dessous illustrent ces résultats :

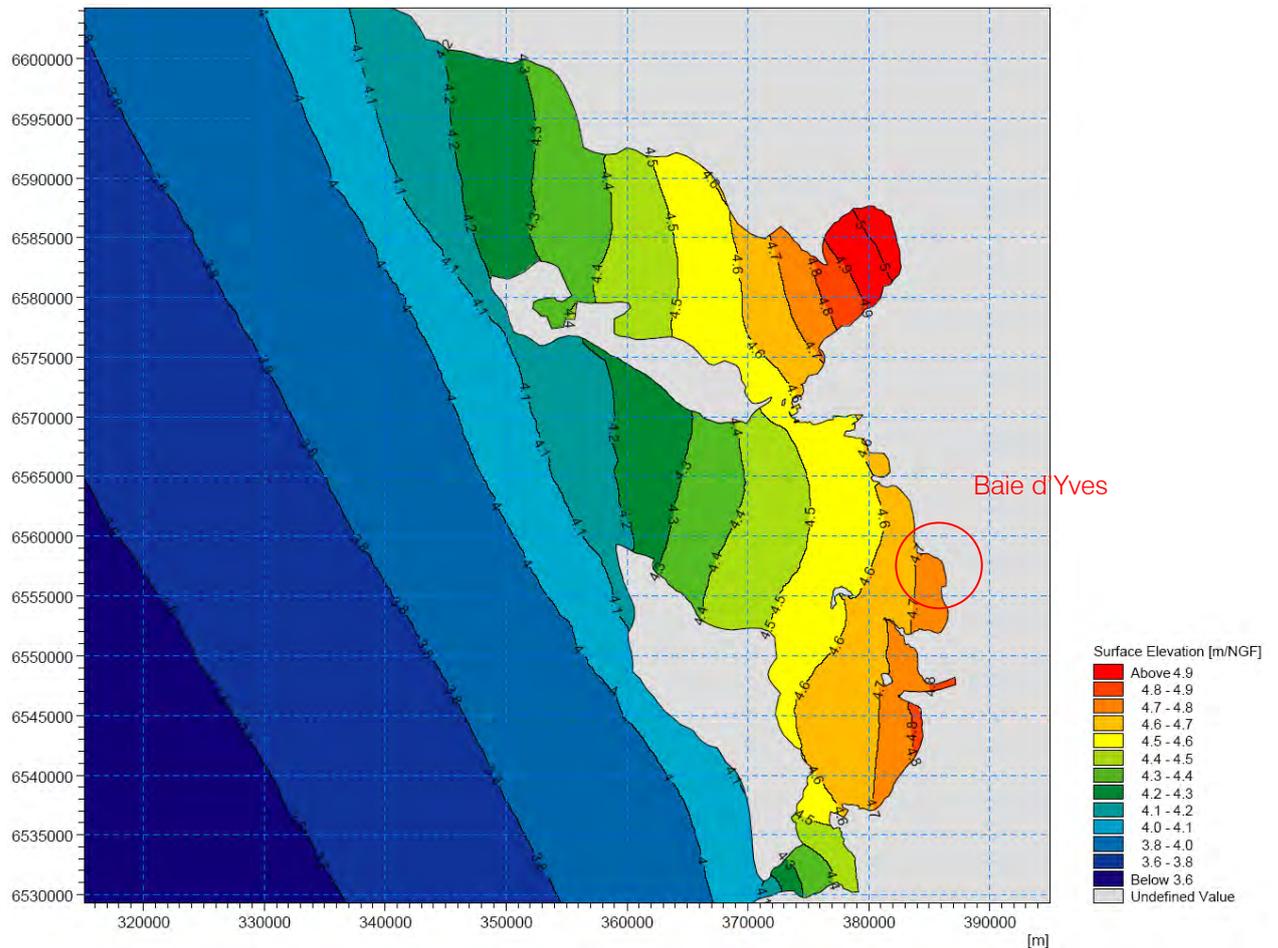


Figure 11 : Niveaux d'eau maximums simulés pour le modèle Golf de Gascogne – Xynthia (mNGF)

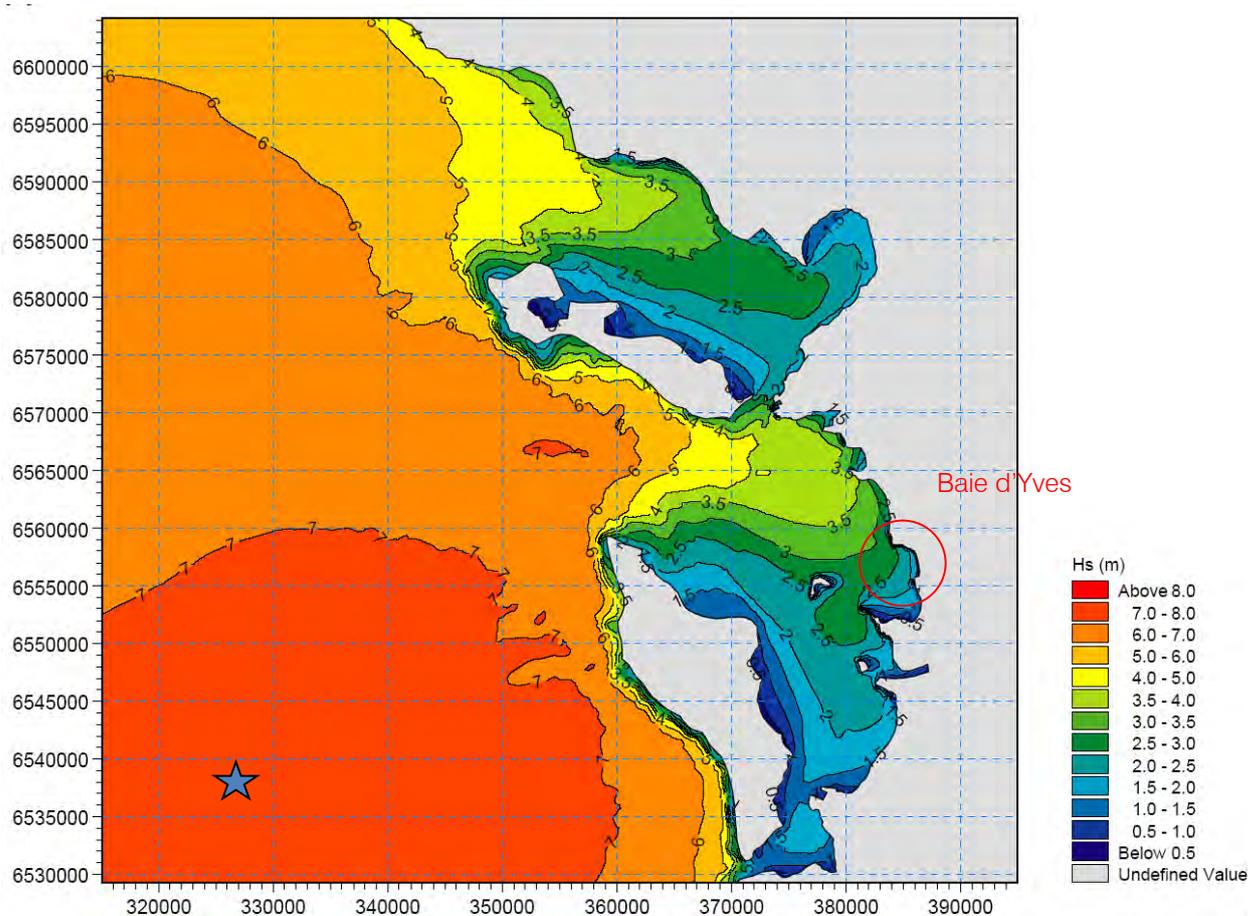


Figure 12 : Niveaux d'eau maximums simulés pour le modèle Golf de Gascogne – Xynthia (mNGF)

E. DEFINITION DES CONDITIONS DE PROJET POUR LES MODELES LOCAUX

Avant de définir avec précision les conditions de projet à prendre en compte il a été procédé à une analyse des résultats préliminaires aux abords de la zone d'études :

- Estimation préliminaire des conditions de projet aux abords de la zone d'étude (Abords du brise-lames existant, au droit des Boucholeurs)
 - Niveau d'eau maximal : 4.7 m NGF
 - Agitation maximale : Hs = 2.2 m
- Valeurs de projet retenu pour le dimensionnement des ouvrages dans le cadre du PAPI
 - Niveau d'eau maximal : 4.5 m NGF
 - Agitation maximale : Hs = 1.5 m

Les écarts sur les différentes valeurs de projet sont de nature à induire des surcoûts importants dans les travaux prévus au PAPI. Au stade de ce PAPI, il peut être considéré des valeurs plausibles des conditions hydrodynamiques de niveau Xynthia.

Les différents modèles hydrodynamiques sur cette zone d'étude donnent des résultats sensiblement différents. Des conditions minimales peuvent être retenues pour réaliser les travaux de protection retenue dans le PAPI actuel, sachant que d'autres travaux, pour un niveau de protection renforcé, pourront être réalisés dans un PAPI ultérieur.

Ainsi, le modèle a été optimisé pour obtenir des résultats plausibles, mais moins importants, pour caractériser la tempête Xynthia avec pour objectif :

- Retenir les niveaux d'eau calculée par le modèle déjà mis en place,
- Modifier le paramétrage du modèle d'agitation pour limiter la houle de projet

La méthodologie mise en œuvre pour cette optimisation :

- Tests de sensibilité sur les différents modèles météorologiques :
 - Arome (MétéoFrance) => le plus détaillé
 - Aladin (MétéoFrance) => le plus proche de ECMWF
 - IFS (ECMWF) => Pas assez de sortie disponible (une toutes les 3heures)
 - Ré-analyse du modèle ECMWF => non disponibleA l'issue de ces tests de sensibilité, le **modèle ALADIN a finalement été retenu.**
- Tests de sensibilité sur le paramétrage du modèle :
 - Réduire plus ou moins marginalement l'intensité du vent fournie par le modèle météorologique
 - Retenir une valeur basse, mais a priori réaliste, du paramètre gamma (qui caractérise le déferlement)
 - Augmenter la rugosité des fonds (notamment pour mieux prendre en compte le platier rocheux du Cornard et les zones de bouchots)

Le paramétrage retenu, validé par la DDTM et le CETMEF, est alors le suivant :

- Paramètre de déferlement **gamma : 0.7**
- **Rugosité** des fonds :
 - **10 cm sur les fonds en dessous le 0 m NGF** (platiers et bouchots)
 - **5 cm sur les fonds au-dessus de 0 m NGF** (vasière du haut estran)
- **Vent : 90 % de l'intensité des vents** (tempête Xynthia) du **modèle Aladin** (valeurs qui restent dans l'incertitude du modèle de vent)
- **Niveaux : conditions Xynthia** (maxi 4.7 m NGF devant les Boucholeurs)

F. RESULTATS POUR LES MODELES LOCAUX (MARINS)

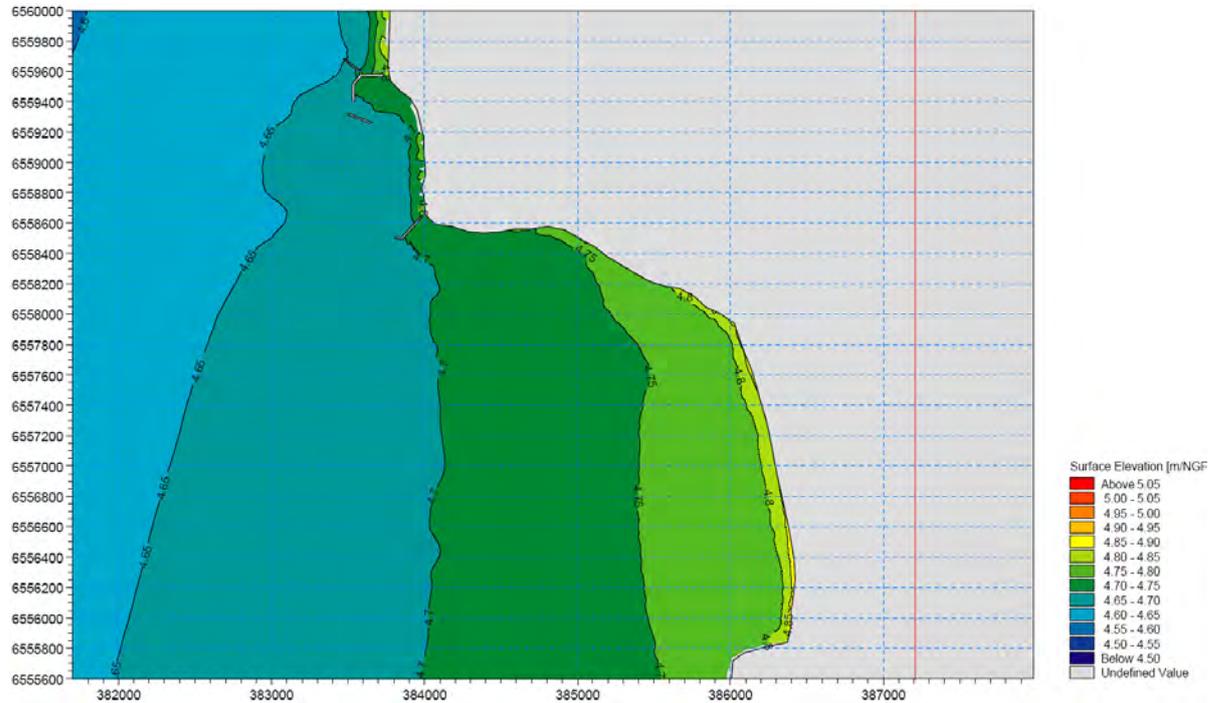


Figure 13 : Niveaux d'eau maximums simulés pour le modèle local « baie d'Yves » – Xynthia (mNGF)

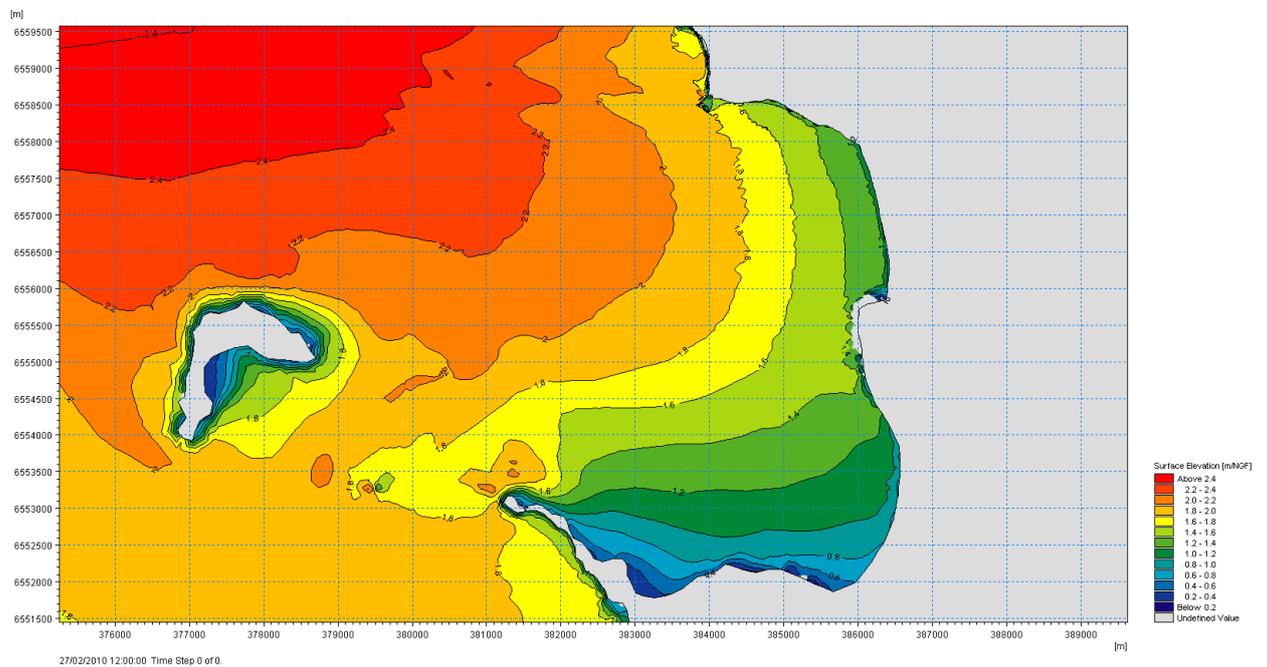


Figure 14 : Agitation maximale simulée pour le modèle local « baie d'Yves » – Xynthia (m)

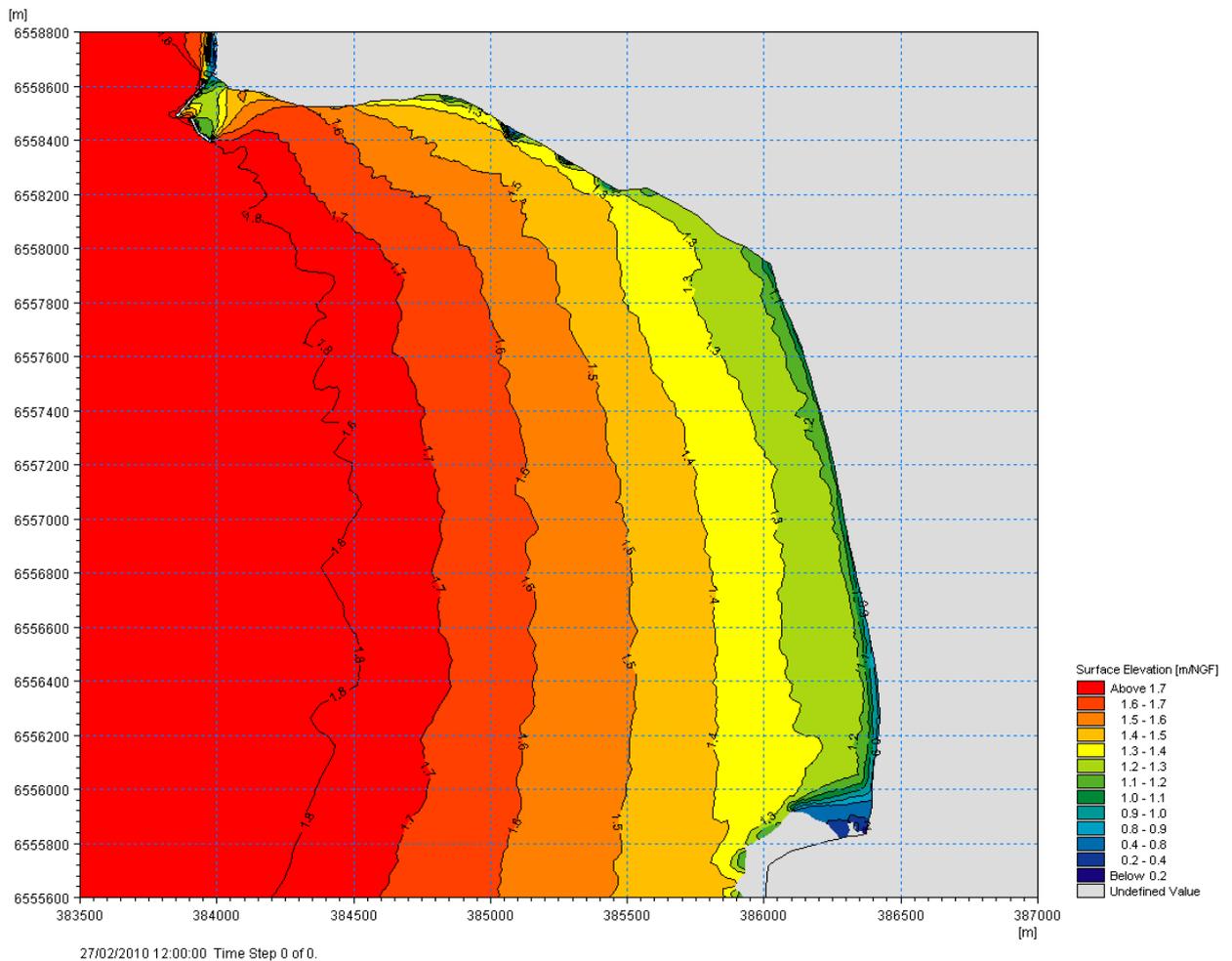


Figure 15 : Agitation maximale simulée pour le modèle local « baie d'Yves » – Xynthia (m) (vue rapprochée)

Ainsi, les résultats obtenus en front de mer devant, devant le premier cordon dunaire, sont les suivants :

- Niveau d'eau maximum : 4.90 m NGF
- Agitation maximale : 1,10 m

Pour la comparaison des différents tracés, une **cote de protection de 6,00 m NGF** a été retenue. Cette cote est ensuite affinée une fois le tracé choisi de sorte à obtenir les cotes précises des ouvrages à mettre en œuvre.

1.4.3. Dispositions constructives choisies

De sorte à limiter l'emprise au sol des pistes nécessaires à la gestion et l'entretien de l'ouvrage de défense contre la mer, le Conseil Départemental et le Sylicaf (futur gestionnaire de l'ouvrage), ont acté le positionnement d'une piste en crête de l'ouvrage, circulaire, d'une **largeur de 4 mètres**.

D'autre part, pour des sujétions d'insertion paysagère, il est retenu que la digue, dans sa traversée de la Réserve Naturelle, soit **recouverte de terre végétale** propice à la repousse d'une végétation herbacée. Les éventuels dispositifs de protection des talus doivent être recouverts (habillage).

II. ELEMENTS DE DIAGNOSTIC DE L'ETAT ACTUEL

II.1 CONTEXTE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

II.1.1. Données du plan de gestion de la réserve

A. PREAMBULE

La formation du marais de Rochefort est assez bien connue. Plusieurs études ont été réalisées : Gabet (1976,1979), Regrain (1980),...

L'étude diachronique du complexe de cordons de Marouillet a été facilitée par les travaux de réfection de la RN 137 effectués entre 1974 et 1976.

La falaise d'Yves située en bordure de la réserve a été peu étudiée et la recherche en termes de fossiles pourrait encore être fructueuse.

Située sur la façade atlantique du Bassin Aquitain, la Charente-Maritime est une région géographique présentant essentiellement des affleurements sédimentaires, calco-marneux, et à l'activité tectonique relativement calme.

La réserve naturelle du marais d'Yves se situe en aval du marais de Rochefort, une vaste dépression, colmatée par des argiles d'âges quaternaire au milieu duquel pointent d'anciens îlots constitués de calcaire jurassique (ère secondaire). La réserve s'inscrit entre les anciennes îles de Châtelailon-Plage, d'Yves et de Voutron.

B. FORMATION DE LA FALAISE D'YVES

A l'extrémité sud de la baie d'Yves, en bordure de la réserve, la falaise d'Yves, anciennement une île, s'est formée pendant l'ère secondaire (jurassique), à l'époque du Kimméridgien supérieur, il y a 146 millions d'années (Le Kimméridgien constituant la quasi-totalité des affleurements jurassiques du secteur).

Le Kimméridgien supérieur est constitué par l'alternance de calcaires argileux, de marnes et de lumachelles à *Exogyra virgula* (espèce d'huîtres). Son épaisseur est importante, un sondage à Rochefort en a recoupé 119 mètres. Excepté la falaise d'Yves et la tranchée de la route D5, les affleurements du Kimméridgien supérieur sont très rares. La moitié supérieure des bancs calcaires est oxydée par les eaux d'infiltration (couleur ocre) jusqu'à un lit argileux imperméable (couleur grise).

A la pointe du Rocher, au sommet de la falaise, une lentille sableuse témoigne de la transgression cénomaniennne datant de 90 millions d'années. Cette lentille de sables est le témoin le plus septentrional, avec l'île d'Aix, de cette période.

C. FORMATION DU MARAIS D'YVES

146 millions d'années plus tard, à la fin de la transgression flandrienne, époque Holocène de l'ère quaternaire, la mer venait à marée haute battre le pied des coteaux d'Aunis isolant encore près de 20 îles et îlots.

De l'an 3000 avant J.C. (âge du fer, époque de la Tène) à l'an 1000, le niveau moyen de la mer n'a, d'après C.Gabet (1977), guère évolué. C'est au début de l'ère chrétienne qu'un processus de sédimentation argileuse a provoqué un exhaussement du niveau des slikkes et la formation de schorres au voisinage des îles.

Le scénario de sédimentation des marais charentais que propose Regrain (1980) est le suivant :

- dépôt du bri grossier, vers 2 à 3 m sous le zéro NGF lors d'une remontée rapide du niveau de la mer, il y a 3000 ans environ (10^e siècle av. JC) (d'après datation au radiocarbone) ;
- dépôt du bri fin au milieu de la période sub-atlantique, entre 2500-1700 BP (entre 5^e s. av. JC et 2^e s. ap. JC), associés à des schorres superposés ;
- dépôt du bri très fin à l'époque historique, post gallo-romaine ; la plus grande partie des marais de Rochefort – ou au moins le marais de Muron – est déjà couverte de schorres étendus, de moins en moins inondés par la marée. Ce bri provient de la mer, mais aussi des inondations de la Charente.

Ce processus sera cependant perturbé vers l'an 1000 par une arrivée soudaine et massive de sables et de galets s'amoncelant en cordon à l'entrée de la baie d'Yves en position de fuite par rapport à la houle

Quatre cordons dunaires (formations marines) vont se former successivement à partir de l'île de Châtelailonplage en direction du sud-est.

La base du premier cordon a été datée par Lo Cascio (2002) vers 1260 ap. JC, le second daterait du 17^e siècle et le troisième lui est légèrement postérieur.

Les principales voies de circulation (route départementale, et voie de chemin de fer) ont utilisé le 1^{er} et le 2^{ème} cordon dunaire ainsi que le cordon de galets d'Yves.

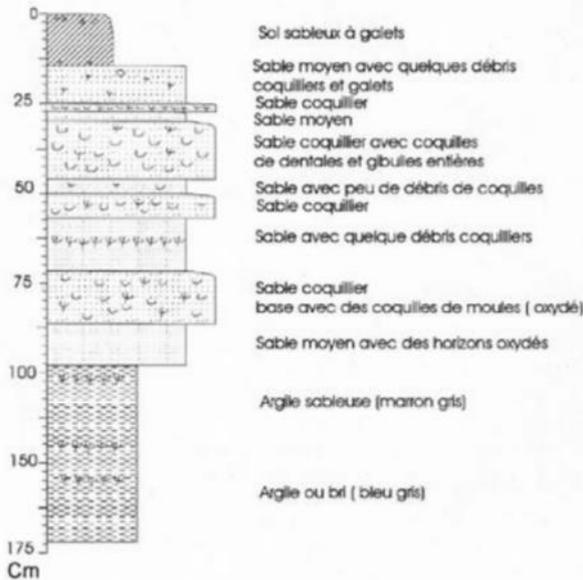
Le premier cordon dunaire (le cordon du Marouillet) s'étend sur 2.7 km de long et 150 m de large (Bourgueil et al., 1972). Le second cordon (le cordon d'Yves) long de 2.5 km et large de 150 m se situe en bordure est de la réserve naturelle.

Deux carottes ont été réalisées (Lo Cascio, 2002) permettant de préciser les différents horizons sableux de ces deux premiers cordons. Le premier présente une succession de dépôts sableux avec parfois des petits débris coquilliers (épais de 5 à 37 cm) et de dépôts sableux très coquilliers d'une épaisseur entre 4 et 10 cm.

La base de la coupe présente une argile bleu-gris appelée « bri » caractéristique du marais et le sommet est composé de sable à galets de 2 à 5 cm.

Le deuxième cordon présente de la base au sommet : des argiles sableuses avec quelques débris coquilliers, 35 cm de sables à débris coquilliers (dentales), 34 cm de sables coquilliers (Chlamys, Scrobiculaires,...) et 42 cm de sables moyens avec quelques débris coquilliers et galets. La présence d'argile sableuse met en évidence la base du cordon. Celui-ci aurait une épaisseur de 110 cm (Cf fig. ci-après).

Carotte: Life-02-02 du cardon du Marouillet



Carotte: Life-02-01 du cordon d'Yves

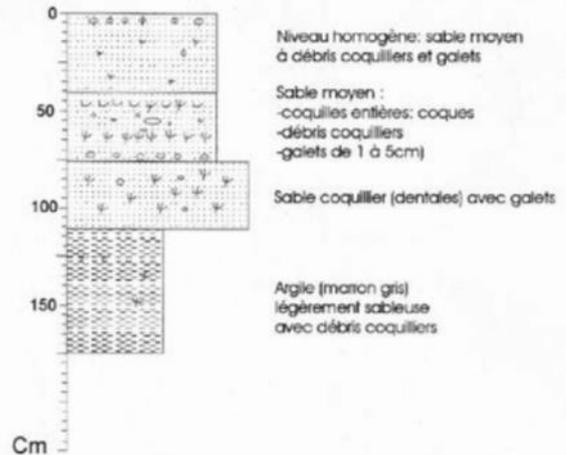


Figure 16 : Carottes des premiers cordons dunaires (Lo Cascio, 2002)

Dans la deuxième moitié du 19e siècle, le troisième cordon s'est développé dans la partie sud de la baie au détriment du secteur nord. Il rejoint dans sa partie méridionale le cordon de galets d'Yves qui, initié à partir de la pointe du rocher, s'est développé vers le nord-est à dater du 18^e.

Cette extension vers le sud aboutira après 1950 au rattachement de ce quatrième cordon isolant le marais de l'influence de la mer. La lagune de la réserve n'est plus alors alimentée par la mer qu'à la faveur de 3^{ème} plan de gestion 2009-2018 de la réserve naturelle du marais d'Yves – Section A 38 circonstances météorologiques catastrophiques (tempêtes par fort coefficient de marée).

Cette succession des cordons littoraux entrecoupée de zones d'argiles (bri) est illustrée sur la figure ci-après et la carte géologique.

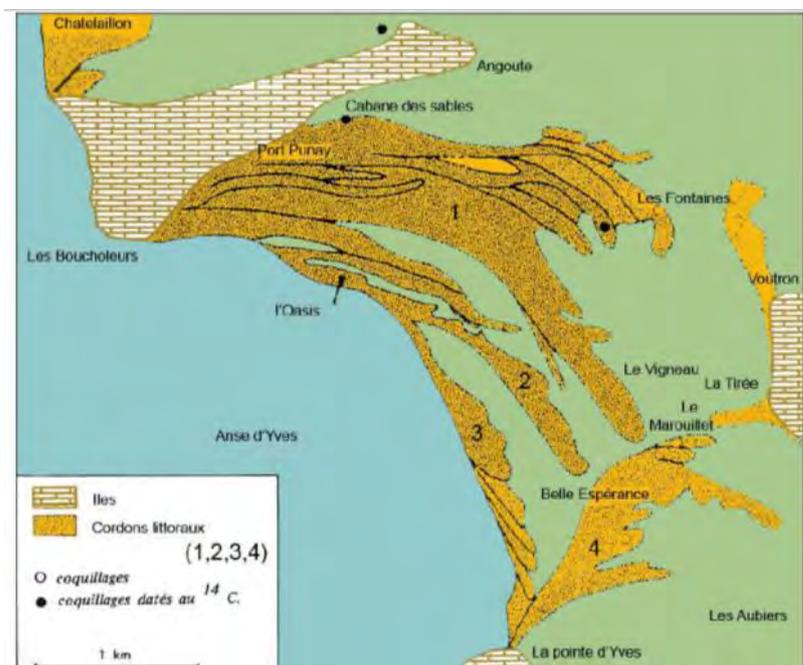
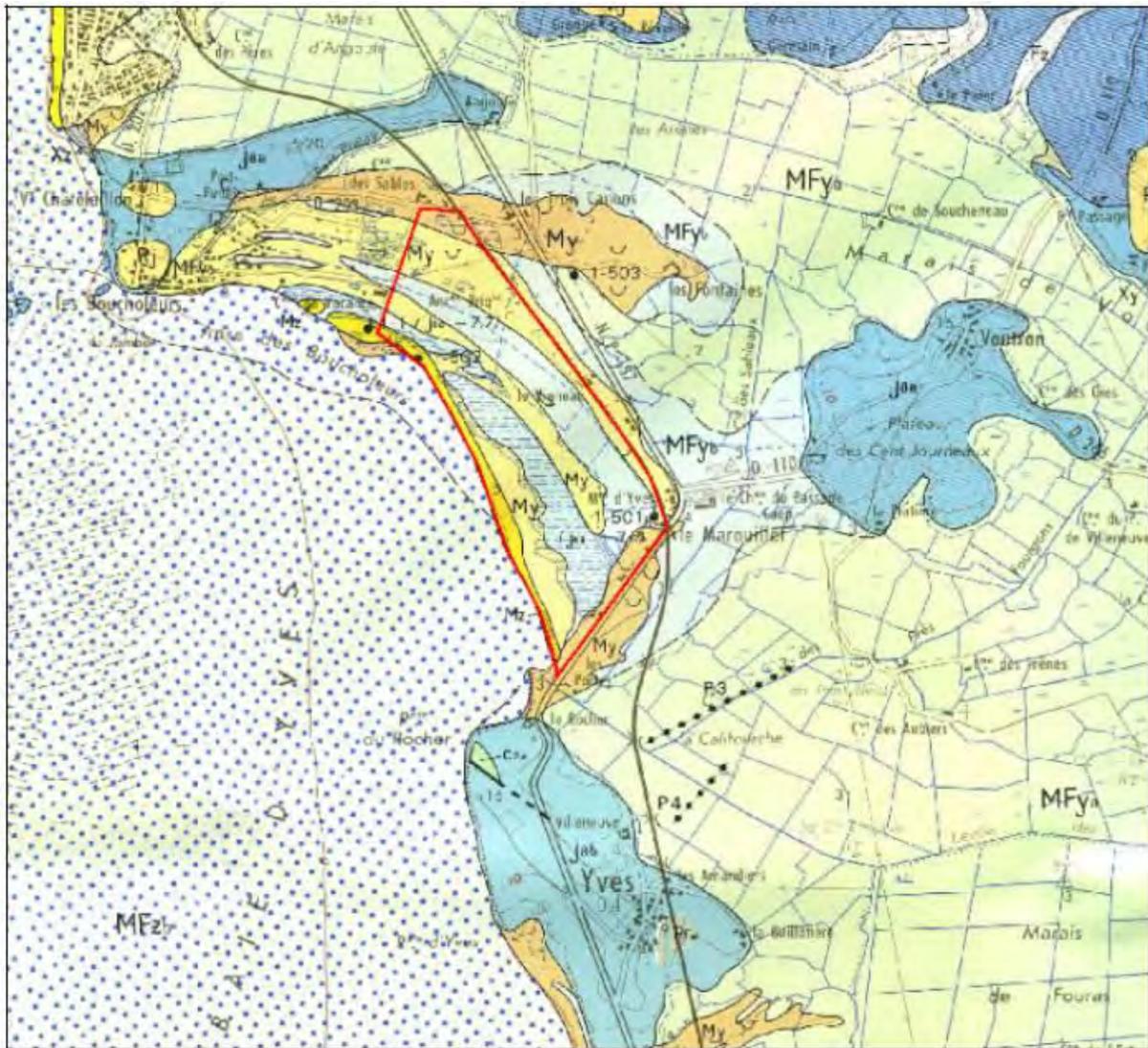


Figure 17 : Schéma de la succession des cordons dunaires littoraux (source : plan de gestion de la réserve)

La formation de ces cordons sableux a fait évoluer le trait de côte.

1) CARTE GEOLOGIQUE

La limite de réserve est reportée en rouge sur l'extrait de carte géologique ci-après.



Sources : © BRGM, Carte géologique de la France, Rochefort 1/50000, 1972



Figure 18 : Extrait de la carte géologique au droit du site d'étude

On retrouve les cordons dunaires en jaune :

- Formation 2-My traversant la réserve seauon un axe quasi-nord-sud : cordons littoraux anciens à prédominance de sables coquilliers ;
- Formation 1-My au sud longeant la RN : cordons littoraux anciens à prédominance de galets ;
- Formation Mz en front de mer : sable de plage localement remanié par le vent.

Entre ces cordons la formation prédominante est MFyb : vases silteuses brunes d'origine laguno-marine.

II.1.2. Données infoterre (site du BRGM)

La recherche sur le site d'Infoterre du BRGM a permis d'identifier l'existence de plusieurs sondages réalisés aux abords de la zone d'étude :

- Un Sondage de reconnaissance géologique de janvier 1998 (sud de la réserve au niveau de la RN) :

Localisation du sondage		
		
Profondeur	Lithologie	Stratigraphie
De 0 à 7 m	ARGILE GRIS BLEUTÉE	FLANDRIEN
De 7 à 9 m	ARGILE RENFERMANT DES GRAVELLES CALCAIRES (DIAM. 0.5 CM) ET QUELQUES COQUILLES	FLANDRIEN
De 9 à 10 m	NIVEAU DE LUMACHELLES DANS ARGILE BLEUTÉE	FLANDRIEN
De 10 à 11 m	NIVEAU DE GROS GALETS ROULÉS BLEUTÉS AVEC EAU	FLANDRIEN
De 11 à 13 m	MARNO-CALCAIRE SEC GRIS AVEC QUELQUES ÉLÉMENTS DE CALCAIRE ARRONDIS BEIGES ET GRIS	KIMMERIDGIEN-SUP-NS
De 13 à 21 m	MARNO-CALCAIRE GRIS	KIMMERIDGIEN-SUP-NS
De 21 à 23 m	PASSAGE + DUR CALCAIRE OOLITHIQUE TRÈS MARNEUX (OOLITHES NOIRES)	KIMMERIDGIEN-SUP-NS
De 23 à 26 m	MARNO-CALCAIRE SANS OOLITHES, GRIS	KIMMERIDGIEN-SUP-NS
De 26 à 30 m	PASSAGE +DUR, PRÉSENCE ÉLÉMENTS DE CALCAIRE OOLITHIQUE DURS DANS UN ENSEMBLE MARNEUX	KIMMERIDGIEN-SUP-NS
De 30 à 49 m	MARNO-CALCAIRE GRIS	KIMMERIDGIEN-INF-NS

Figure 19 : Positionnement et lithologie d'un sondage au Sud de la réserve

- 2 sondages de forage de puits réalisés en 1964 entre les 2 zones conchylicoles :

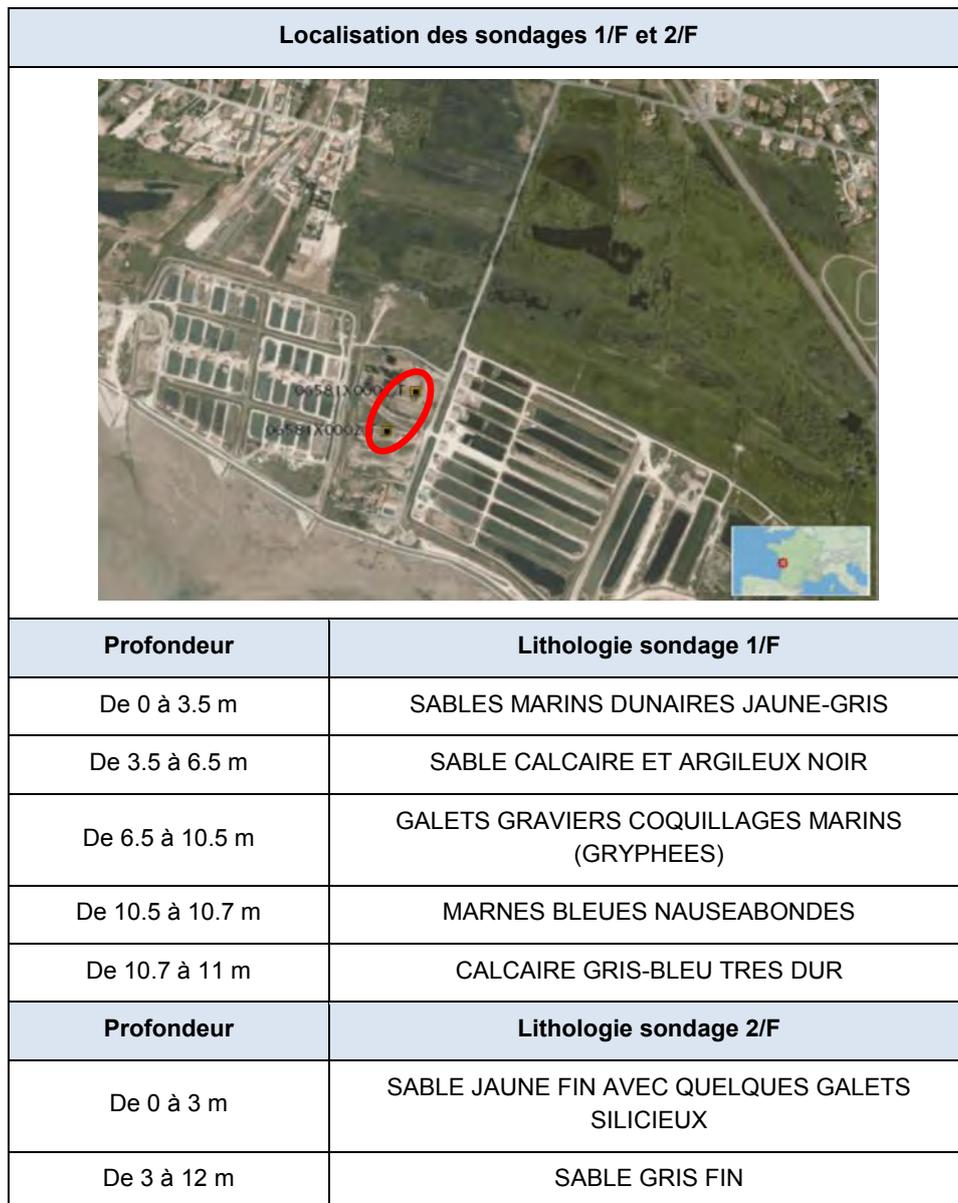


Figure 20 : Positionnement et lithologie de deux sondages à l'ouest de la zone SACOM

- Un sondage réalisé en 1970 :

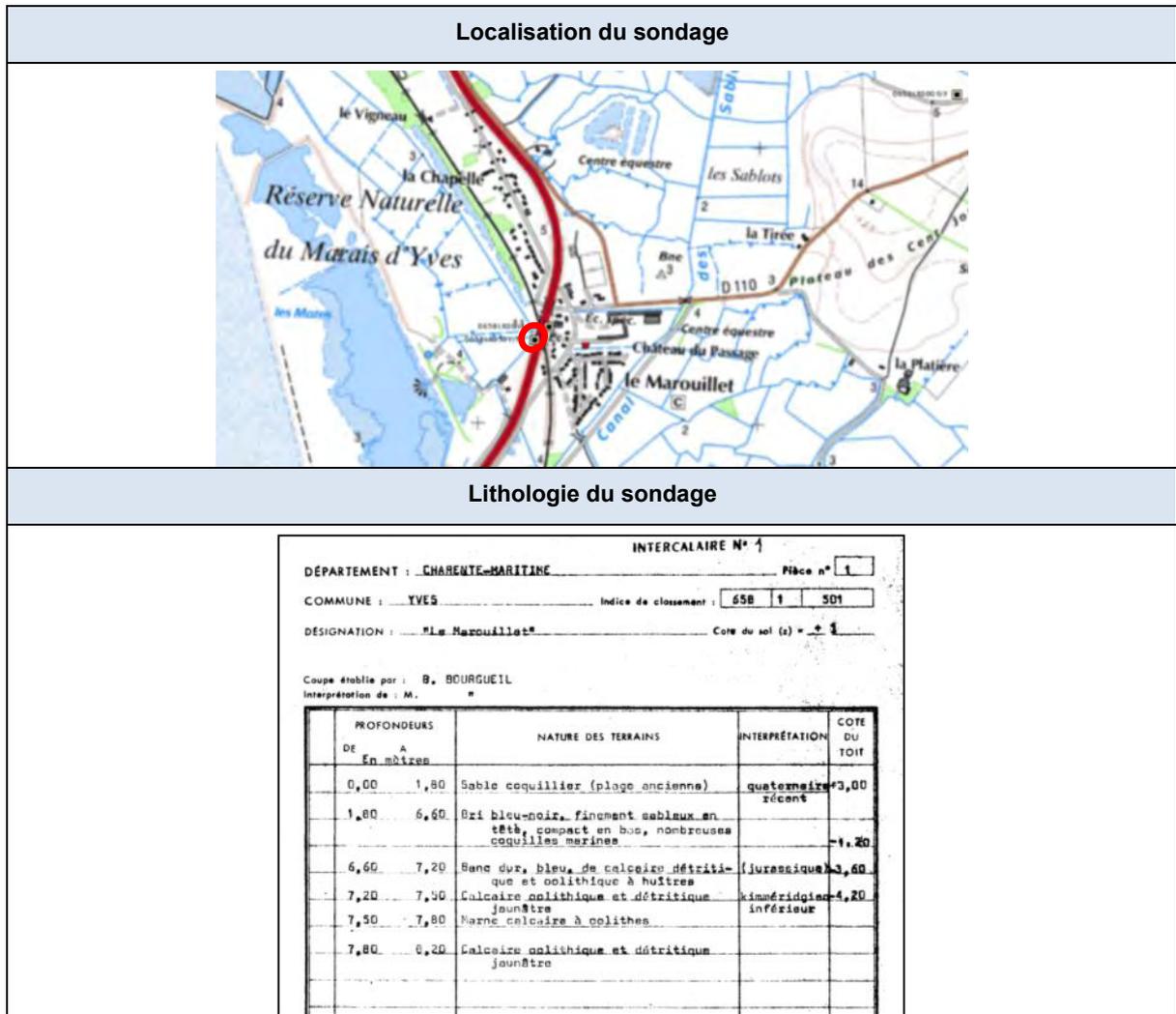


Figure 21 : Positionnement et lithologie d'un sondage à l'est de la réserve naturelle

Ces sondages montrent que la **roche mère marno-calcaire** se situe généralement entre **7.50 et 13 mètres de profondeur**.

Au-dessus, en fonction que l'on se situe ou non au droit des cordons sableux, on retrouve des **couches de sables graviers ou galets marins, ou de l'argile bleu-gris (bri)**. Ces 2 types d'horizons peuvent se superposer.

II.1.3. Données géotechniques complémentaires

Le contexte géotechnique étant variable et potentiellement hétérogène sur une même option et d'une option à l'autre, les données existantes ont nécessité des compléments au droit des différents tracés par une étude géotechnique de niveau G12 – Avant-Projet. Cette étude permet de pré-dimensionner les ouvrages (géométrie, ancrage, dispositifs de drainage etc.) en tenant compte de cette variabilité et d'aboutir à un chiffrage réaliste des différentes options au stade APS et un développement de la solution retenue au stade AVP.

Une étude géotechnique de niveau G12 a été menée sur la zone d'étude et au niveau des zones d'emprunt identifiées dans le cadre des ateliers thématiques.

Une version provisoire de l'étude menée par le cabinet GEOTEC a été fournie à SCE courant octobre 2013. Cette étude est fournie en annexe du présent rapport.

Il est à noter que les investigations géotechniques et vérifications de stabilité n'ont porté que sur le tracé du scénario 2 (cf. infra) avant le choix définitif du tracé ; le contexte géotechnique est argileux pour ce scénario. Toutefois, le scénario retenu (combinaison des tracés 2 et 2bis) est proche du secteur investigué.

Les principales conclusions sont les suivantes :

A. MATERIAUX D'ASSISE AU DROIT DE LA FUTURE DIGUE

La campagne de reconnaissance a mis en évidence les formations suivantes :

- un **remblai calcaire** identifié dans le sondage ST1 jusqu'à une profondeur variant de 1.50 m / TA. On peut attribuer cette formation à des remblais anthropiques.
- une **argile à argile sableuse**, identifiée dans les sondages SP1 et ST2 jusqu'à une profondeur variant entre 1.50 m / TA et 1.30 m / TA. On peut attribuer cette formation aux cordons littoraux anciens.

Ses caractéristiques mécaniques sont :

$$p_l^* \leq 0.31 \text{ MPa}$$

$$EM \leq 1.25 \text{ MPa}$$

$$1 \leq q_c \leq 5 \text{ MPa}$$

Les essais de laboratoire réalisés sur des échantillons de sol prélevés en ST1, ST2 et SP1, permettent de classer ce matériau en **A1 à A2** selon le GTR 92. Il s'agit de d'argile plastique.

Ces résultats Ces matériaux sensibles aux variations hydriques peuvent changer de consistance pour de faibles augmentations de leur teneur en eau.

Ces matériaux sont réputés sensibles au retrait gonflement.

- une **argile vasarde sablo limoneuse** identifiée dans tous les sondages jusqu'à une profondeur variant entre 4.30 m / TA et 20.00 m / TA. On peut attribuer cette formation aux argiles vasardes d'origine laguno marine.

Ses caractéristiques mécaniques sont :

$$0.18 \leq pI^* \leq 0.25 \text{ MPa}$$

$$0.87 \leq EM \leq 1.09 \text{ MPa}$$

$$1 \leq qc \leq 5 \text{ MPa}$$

Les essais de laboratoire réalisés sur des échantillons de sol prélevés en ST1 et ST2 entre 1.50 m et 10.00 m de profondeur/TA permettent de classer ce matériau en **A3** selon le GTR 92. Il s'agit de d'argile limono sableuse.

Ces matériaux **sensibles aux variations hydriques** peuvent changer de consistance pour de faibles augmentations de leur teneur en eau.

- un **marno calcaire** identifié dans les sondages SP1 et ST1 jusqu'à une profondeur variant entre 8.50 m / TA et 10.30 m / TA, profondeurs d'arrêt de la reconnaissance par sondages géologique. Les refus obtenus au pénétromètre statique (PS1, PS2 et PS4) indiquent un toit marno calcaire situé entre 6.00 m et 21.00 m de profondeur/TA. On peut attribuer cette formation au kimméridgien.

Ses caractéristiques mécaniques sont :

$$0.93 \leq pI^* \leq 1.76 \text{ MPa}$$

$$5.35 \leq EM \leq 11.2 \text{ MPa}$$

$$qc \geq 20 \text{ MPa}$$

Nota : Ces profondeurs n'impliquent en rien qu'il ne puisse exister d'anomalie de la stratigraphie entre sondages. En particulier, la position exacte des interfaces entre couches ne saurait se déduire d'une simple extrapolation des relevés de sondages.

On peut noter un plongement important du toit calcaire vers le Nord (Cf. PS4).

B. MATERIAUX DISPONIBLE POUR LA ZONE D'EMPRUNT

La campagne de reconnaissance a mis en évidence les formations suivantes :

- de la **terre végétale** sur 15 à 25 cm d'épaisseur.
- une **argile marron** à cailloutis, identifiée dans tous les sondages (F1 à F8) jusqu'à une profondeur variant entre 0.60 m et 1.60m / TA. On peut attribuer cette formation aux alluvions fluvio marines.
- un **complexe argilo vasard à passages sableux**, très humide, identifié dans tous les sondages (F1 à F9) jusqu'à une profondeur de 1.90 m à 2.00m / TA, profondeur d'arrêt de la reconnaissance dans cette zone. On peut attribuer cette formation aux alluvions fluvio marines.

Les résultats des essais en laboratoire réalisés au droit des sondages de cette zone (1), figurent dans le tableau ci-après :

SONDAGE N°		F2	F3
Profondeur (m)		0,35-1,60	0,15-1,60
Description du sol		Argile marron	
ESSAIS D'IDENTIFICATION ET DE CLASSIFICATION DES SOLS			
Teneur en eau naturelle (0/D mm)	W _{nat} (%)	38,2	64,8
Masse volumique sèche	ρ _d (t/m ³)		
Indice des vides	e		
Degré de saturation	S _r (%)		
Granulométrie par tamisage - Sédimentométrie			
D max	(mm)		
< 50 mm	(%)		
< 2 mm	(%)	100,0	100,0
< 80 μm	(%)	99,8	99,7
< 2 μm	(%)		
Valeur au bleu de méthylène			
V.B.S	(g/100g)		
Limites d'Atterberg			
Limite de liquidité	W _l (%)	70	82
Limite de plasticité	W _p (%)	44	52
Indice de plasticité	I _p	26	30
Indice de consistance	I _c	1,24	0,57
CLASSIFICATION (G.T.R 92 et NF P 11-300)		A3	A3
ESSAIS DE COMPACTAGE ET DE PORTANCE			
W _{OPN}	(%)		31,0
γ _{d OPN}	(Mg/m ³)		1,42
I IPI (W _{OPN})			
I CBR (W _{nat})			
ESSAIS DE PERMEABILITE - SOLS FINS			
Coefficient de perméabilité à l'OPN	k (m/s)		1,77E-09

Figure 22 : Résultat des essais en laboratoire sur les matériaux de la zone d'emprunt

Les essais de laboratoire réalisés sur des échantillons de sol prélevés en F2 et F3 (zone d'emprunt 1), permettent donc de classer ce matériau en A3 selon le GTR 92. Il s'agit de d'argile plastique.

Ces matériaux sensibles aux variations hydriques peuvent changer de consistance pour de faibles augmentations de leur teneur en eau.

Ces matériaux sont réputés sensibles au retrait gonflement.

Ces matériaux A3, compactés à l'optimum Proctor, permettent d'obtenir une perméabilité de 1.77E-9 m/s, donc compatible pour l'édification d'une digue étanche.

C. PRECONISATIONS AU STADE G12

L'horizon de **terre végétale reconnu sur 0.30 à 0.50m d'épaisseur sera systématiquement purgé** sous l'emprise de la future digue.

Par conséquent, sur la base des modèles géotechniques définis en hypothèse et sur la base d'un calcul issu des valeurs pressiométriques, **les tassements absolus à attendre au droit de la digue sont compris entre 6 et 12 cm.**

Ces tassements sont importants. Une mise sous surveillance de la digue et dans le temps et des reprises partielles de rechargement mise à niveau de la tête de digue, sont à prévoir. On pourra également prévoir d'édifier cette digue en plusieurs phases, afin de limiter ces tassements.

Il est donc nécessaire de **purger et substituer les argiles sur 0.50m d'épaisseur**, au droit de l'assise de la digue, pour limiter les tassements. Les matériaux d'apport et de substitution devront faire l'objet d'analyses complémentaires, pour en définir les conditions de mise en œuvre. Ces purges et substitutions, pourront être couplées à la mise en œuvre d'un géotextile de renforcement, placé à l'interface sol/remblai. Ces mesures seront à confirmer ou à adapter dans le cadre de la mission G2.

La digue sera édifiée, après purge des sols sur 0.50m minimum (à préciser dans le cadre de la G2). Un géotextile anticontaminant pourra être disposé à l'interface arase/remblai.

Les sols purgés ne pourront pas être réutilisés, dans le corps de digue (uniquement en corroi pour végétalisation).

On s'assurera de la traficabilité du site en phase travaux, qui devront être réalisés en période estivale et sèche.

Les matériaux d'emprunt devront faire l'objet de planches d'essais avant travaux.

Compte tenu de l'amplitude des tassements, dans le temps, des rechargements devront être prévus.

II.2 TOPOGRAPHIE

II.2.1. Topographie au niveau de la réserve naturelle :

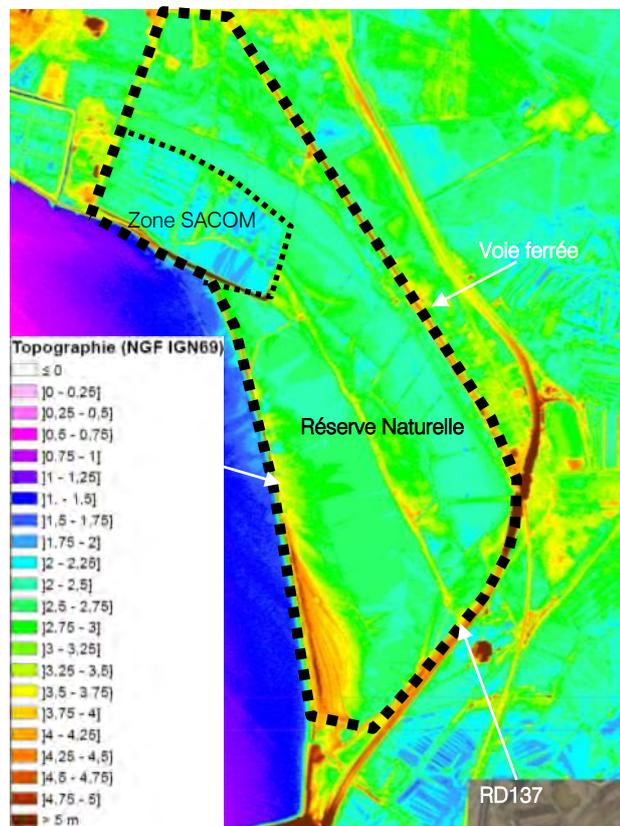


Figure 23 : Localisation du périmètre de la réserve et de la zone SACOM incluse dans ce périmètre, sur le fond de carte topographique

La réserve est encadrée par les zones les plus hautes :

- la voie ferrée au Nord-Est dont la cote de remblai est comprise entre 4.00 et 5.00 mNGF ;
- le remblai lié à la RD 137 au sud-est dont la cote est supérieure à 4.25 mNGF ;
- la digue entourant la zone conchylicole SACOM au Nord dont les cotes sont comprises entre 2.75 m à l'arrière et 6 mNGF sur le secteur rehaussé après Xynthia à la jonction avec le cordon dunaire ;
- le cordon dunaire à l'ouest et au sud sur le front de mer dont la cote est comprise entre 4 et 5 mNGF.

Les zones les plus basses sont en eau tout ou partie de l'année (fossés, lagunes, plans d'eau ou mares, bassins conchylicoles) avec des cotes généralement comprises entre 1.50 et 2.50 mNGF environ.

Les zones les plus basses se trouvant « hors d'eau » se situent au niveau des prairies de fauche le long du fossé syndical côté ouest, et au nord de la zone SACOM (cotes comprises entre 2.50 et 3mNGF environ).

II.2.2. Topographie au niveau de la zone conchylicole au nord de la réserve :

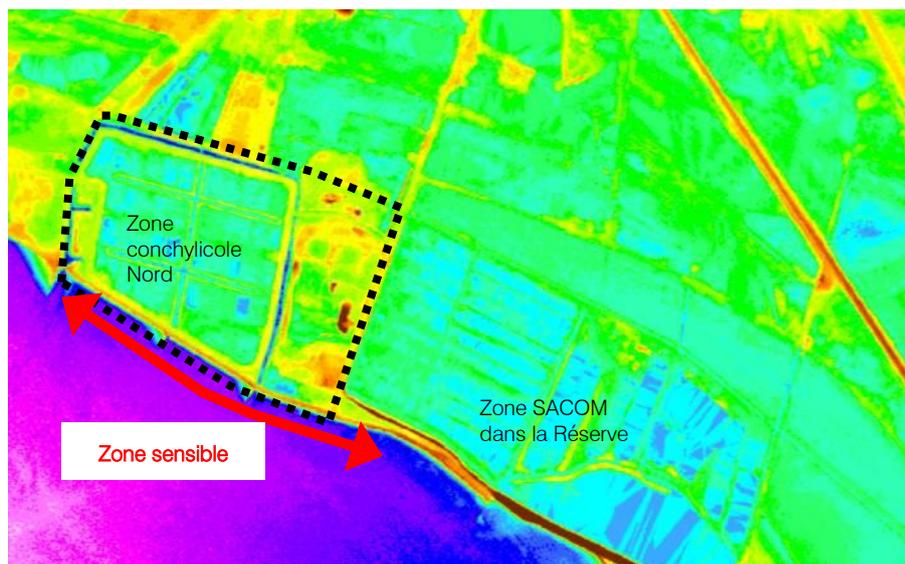


Figure 24 : Localisation de la zone conchylicole Nord sur le fond de carte topographique

La zone conchylicole au nord-Est est drainée par un fossé de ceinture dont les cotes sont de l'ordre de 1 m à 1.50 mNGF. Le talus de protection en enrochement sur le front de mer présente une cote de crête de l'ordre de 4.50 mNGF dans la continuité de celle existante sur le nord de la zone SACOM présente dans le périmètre de la réserve naturelle.

II.2.3. Cotes atteintes durant Xynthia et cotes de protection envisagées dans le cadre des études antérieures

A titre indicatif, l'étude d'Avant-Projet Sommaire de septembre 2011 réalisée au niveau de la zone d'étude et de la zone des Boucholeurs plus au nord donne un cote marine atteinte lors de la tempête Xynthia de 7.99 m/CM soit environ 5 mNGF.

L'étude APS propose la mise en œuvre de différents ouvrages de protection dont les cotes de crête sont comprises entre 4.80 mNGF dans la réserve naturelle dans le cadre du tracé option 1 et des cotes supérieures au droit des zones de front de mer sur les Boucholeurs. L'étude met en évidence une zone plus sensible au droit de la zone conchylicole Nord et l'extrême nord de la zone SACOM au sein de la réserve (voir zone en rouge sur la figure précédente). La cote de crête de protection proposée sur cette zone est de 6.30 mNGF.

L'analyse de la topographie montre que l'ensemble des ouvrages de protection actuels présente des cotes de crête insuffisantes, hormis la partie de la digue SACOM reconstruite à une cote de 6 mNGF (linéaire de 400m).

II.3 OUVRAGES DE DEFENSE CONTRE LA MER EXISTANTS

La cartographie page suivante extraite du PAPI Yves-Châtelailon présente les différents ouvrages de protection existants sur le littoral de 2 communes qui inclut la zone d'étude.

PAPI Yves Châtelailon-Plage

Localisation des ouvrages de protection contre la mer



Digue de Saint Jean des Sables

Digue SNCF

Digue d'Orbigny

Grande plage

Digue du Font Port

Digue de la falaise

Plage des Bouchôleurs

Digue du port des Bouchôleurs

Digue de la coopérative et de l'Oasis

Digue de la SACOM

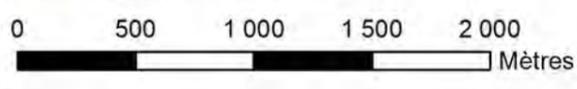
Cordon dunaire de la réserve naturelle

Digue des Prés des fontaines

Digue de l'Anse de Fouras

Légende

-  Digue en remblai issu de curage
-  Digue en sable
-  Enrochements et muret de rehausse
-  Falaise
-  Mur poids
-  Mur poids et enrochements
-  Plage
-  Plage et enrochements
-  Plage et muret de rehausse
-  Talus en enrochements

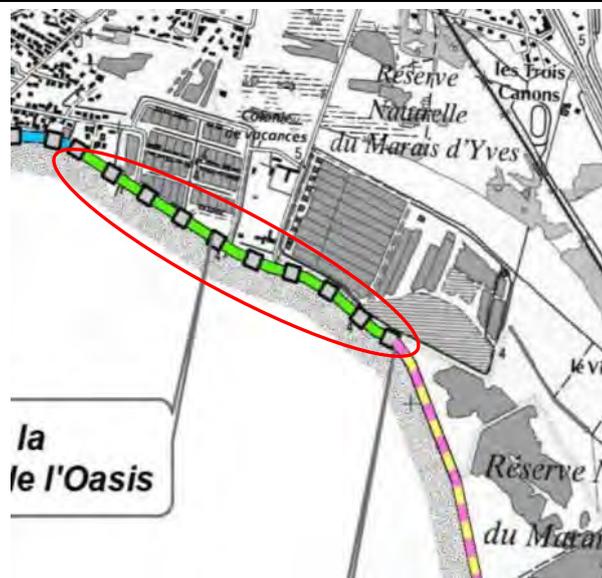


Sources : IGN Scan 25, UNIMA
Conception / Réalisation : BE UNIMA; Octobre 2011

Les ouvrages de protection sur la zone d'étude sont constitués du nord au sud par :

- La digue dite de la coopérative et de l'oasis, constituée d'un talus en enrochements ;

Digue de la coopérative et de l'oasis (Nord de la zone d'étude)



Vue sur le talus enroché bers le nord (prise vers le nord)



Vue sur le talus enroché (vers le sud) – cote de la crête des blocs à 4.50 mNGF

Commentaires : L'enrochement existant apparaît en bon état. La tête des enrochements atteint une cote moyenne de 4.50 mNGF.

- La digue de la zone conchylicole de la SACOM incluse dans le périmètre de la réserve naturelle ; cette digue a été partiellement détruite durant Xynthia et a été reconstruite et rehaussée ponctuellement par les conchyliculteurs à l'issue de la tempête ;

Digue de la zone SACOM



Vue sur la digue en retour vers l'est à l'intérieur de la réserve (remblais en pente repris après Xynthia) formant l'enceinte de la zone SACOM, prise vers l'ouest

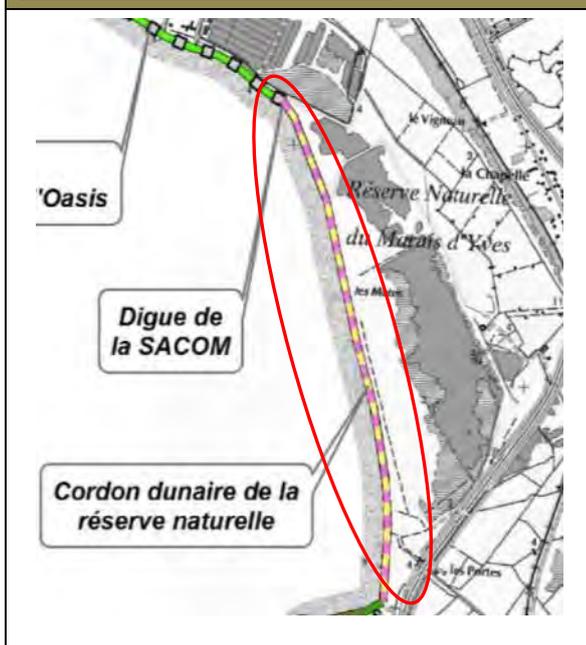


Vue sur la portion de digue reconstruite et fortement rehaussée après Xynthia côté Nord (cote 6.00 mNGF)

Commentaires : La partie sur le front de mer a fait l'objet d'une mise en œuvre d'enrochements en protection du pied de talus. Les talus amont et aval sont très abrupts. La digue est large d'environ 7 mètres en tête. Il semble que l'enrochement ait été posé directement sur le remblai sans géotextile. **Au regard de sa géométrie, de sa conception et des modalités de réalisation, cette digue ne parait pas pouvoir garantir une stabilité sur le moyen et long terme. La rehausse important n'empêcherait par ailleurs pas une submersion par l'arrière (plus basse).**

- Le cordon dunaire de la réserve naturelle ;

Cordon dunaire de la réserve



Vue sur le cordon dunaire depuis l'extrémité sud de la réserve



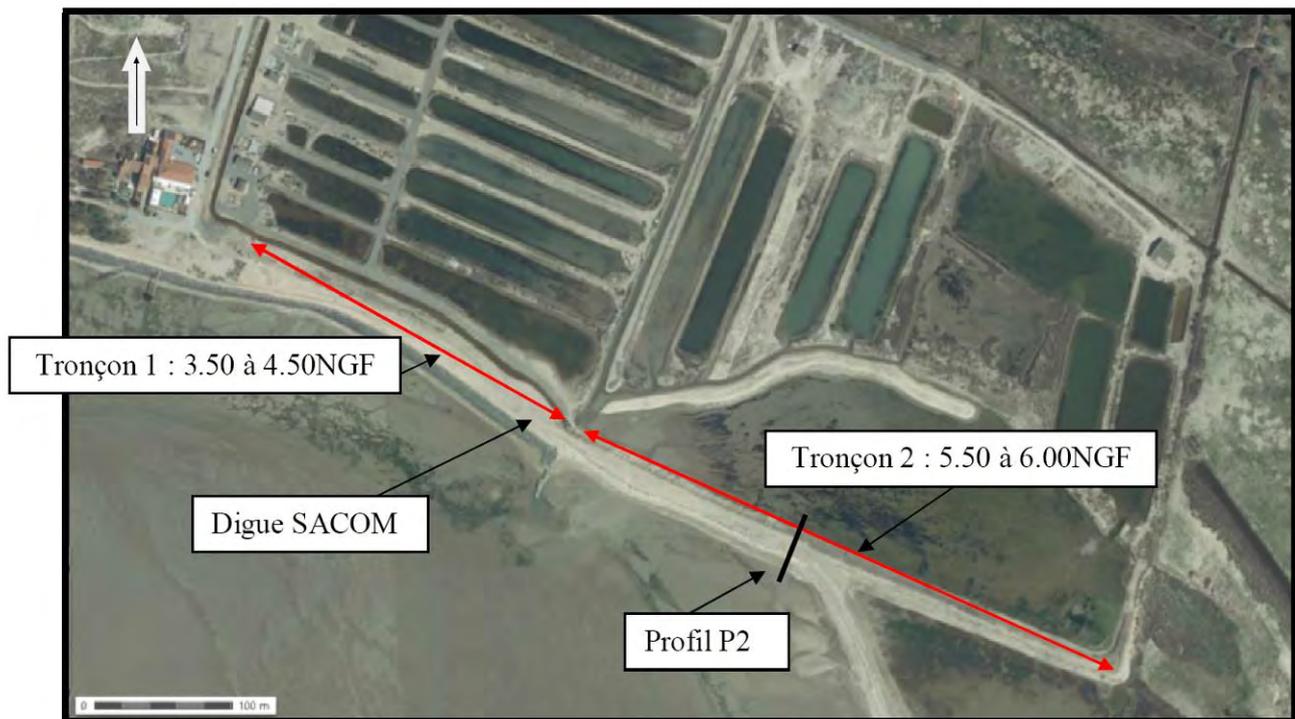
Erosion à la jonction entre le cordon dunaire et la zone SACOM (extrémité nord du cordon)

Commentaires : Le cordon a été reconstitué en urgence par l'armée en 2010 suite à la tempête Xynthia. Une zone d'érosion. La cote actuelle du cordon est variable (comprise entre 4 et 5 mNGF) n'assure pas un niveau de protection suffisant en cas de tempête. **La jonction avec la digue SACOM constitue une zone sensible par rapport au risque de brèche** (zone d'érosion préférentielle observée).

II.4 DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE DE LA DIGUE DE LA SACOM

La digue SACOM a fait l'objet d'un diagnostic particulier dans le cadre de l'étude géotechnique.

La digue est décomposée en 2 tronçons distincts présentés sur la figure ci-après :



II.4.1. Cas du tronçon n°1

Cette portion de digue, constituée de remblais divers (graves, sable argile, débris de construction) ne présente pas de signes d'instabilités majeures, seuls quelques petits glissements de peau sont observables, au niveau du talus coté terre, liés à la nature sableuse des remblais.

Le talus coté océan est protégé par un enrochement en blocs dioritiques, on ne relève pas de signes d'instabilités sur ce talus.

On peut noter que la voie de circulation en tête de digue est en contrebas d'environ 1.00m par rapport aux talus de la digue.

II.4.2. Cas du tronçon n°2

Le tronçon 2 (de l'écluse à l'Est à la fin de digue en enrochement à l'Est) qui a été renforcé suite à Xynthia. Niveau de tête de digue entre 5.50 et 6.00 NGF, large de 7.00m environ, en tête, cette digue présente des talus amont et aval dissymétriques, 3H/2V coté océan et 1H/1V coté terre.

Cette portion de digue, constituée de remblais divers (graves, sable argile, débris de construction) a été rehaussée suite à Xynthia, les talus de cette portion de digue sont dissymétriques, avec une forte végétation coté terre, on observe toutefois des signes d'instabilités (glissement de peau, affaissement). On peut noter que la voie de circulation en tête de digue est en contrebas d'environ 0.50 m par rapport aux talus de la digue (ce qui favorise la rétention/infiltration d'eau en période pluie, pouvant affecter la cohésion des remblais de digue).

Le talus de digue coté océan est protégé par un enrochement en blocs calcaires, Cet enrochement n'atteint pas la tête de talus, qui est mise à nue en l'absence de géomembrane. Au droit de certaines zones on relève des affaissements et des chutes des blocs calcaires. De plus la pente du talus n'est pas homogène.

II.4.3. Conclusion

La stabilité de la digue SACOM est assurée pour les caractéristiques intrinsèques des matériaux définis précédemment, sauf pour la situation de vidange rapide (talus coté océan) ou nous sommes en limite de sécurité.

Il est rappelé dans l'étude G12 que des essais en laboratoire et in situ complémentaires devront être réalisés, pour valider les caractéristiques des matériaux. Il y est recommandé dans le cadre d'une reprise partielle de cette digue, les dispositions suivantes, à minima :

- La reprise et l'uniformisation des talus coté océan, avec le réarrangement des enrochements calcaire ;
- La reprise de la tête de digue, par substitution des matériaux sur une épaisseur à définir ;
- la mise en œuvre de blocs supplémentaires en partie haute du talus ;
- la mise à niveau de la voie en tête de digue actuellement encaissée ;
- La reprise et l'uniformisation du talus coté terre (mise en œuvre éventuelle d'un corroi argileux) ;
- La mise en œuvre coté terre, d'un géotextile avec plantes fixantes.

Ces dispositions devront être validées et calculés dans le cadre de la mission G2.

Suite aux conclusions et préconisations de l'étude géotechnique, des travaux doivent être envisagés sur la digue de façon à assurer sa stabilité dans le temps.

Les travaux considérés sont les suivants :

Tronçon 1 : 250 ml

- Travaux préparatoires, libération des emprises
- Remblai de la voie d'accès à la cote 6.00 mNGF ;
- Réalisation d'une couche de roulement GNT sur une largeur de 6 m, épaisseur 30 cm ;

Tronçon 2 : 520 ml

- Démontage des enrochements calcaire côté mer ;
- Purge du remblai sur une hauteur de 4 mètres, avec évacuation ;
- Remblais argileux à la cote actuelle pour reconstitution du corps de digue ;
- Pose d'un géotextile de séparation sur le talus côté mer
- Remise en place des blocs côté mer et compléments en enrochements d'apport de diamètre similaire sur la partie haute du talus.

Sur l'ensemble du linéaire : 770 ml

- Reprise du talus côté terre et homogénéisation (zone ostréicole) de la pente ;
- Pose d'un géotextile de stabilisation ;
- Mise en œuvre de terre végétale d'apport et ensemencement en graminées fixantes.

II.5 SYNTHÈSE DES RENCONTRES THÉMATIQUES

Les 27 et 28 février 2013, se sont déroulés des ateliers de travail avec les membres du comité technique. Les réunions ont été réalisées par thématiques, à savoir :

- Atelier 1 : « fonctionnement hydraulique »
- Atelier 2 : « zones d'emprunt »
- Atelier 3 : « ouvrages d'infrastructure et projets connexes ».

Les comptes-rendus complets de ces ateliers sont fournis en annexe du présent rapport. Les paragraphes suivants présentent une synthèse des échanges.

Remarque liminaire : depuis ces échanges en 2013, la situation foncière a évolué aussi bien pour la digue SACOM que pour la zone d'emprunt retenue, retracée dans les volumes 1 et 2 de la procédure. Ces évolutions sont signifiées en note de bas de page.

II.5.1. Atelier n°1 : fonctionnement hydraulique

A. FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE ACTUEL SUR LA ZONE D'ÉTUDE

En hiver, le niveau d'eau dans les fossés de la réserve est supérieur au niveau dans le marais Voutron (clapets anti-retour au niveau du fossé général), les surverses permettant un retour vers le marais sont en effet fixées à environ 2.70 mNGF, tandis que le niveau dans le marais est géré entre 2 et 2.20 mNGF. En été, le niveau dans les fossés de la réserve dépend directement du niveau dans le marais (niveaux de 2 mNGF et inférieurs).

L'exutoire de Voutron, qui est aujourd'hui non fonctionnel a fait l'objet de travaux de désensablement par le passé (quatre fois ces deux dernières années). La courantologie fait que ce secteur tend naturellement à s'ensabler.

Les aménagements réalisés dans la réserve doivent permettre si possible de faciliter la vidange de la zone des sablières qui a vu son taux de salinité augmenter suite aux différentes tempêtes. Il serait intéressant du point de vue du milieu naturel de pouvoir faciliter le ressuyage en cas de submersion/franchissement. Pour la réserve, la salinité suite à Xynthia a, outre les incidences négatives sur les milieux doux, posé problème pour l'abreuvement du bétail (au-delà d'une salinité de 5g/L, l'eau n'est plus consommable par le bétail).

B. IMPACT DES SCENARIOS SUR LE FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE

Dimensionnement des ouvrages

Il est attendu de l'étude que soient bien distingués les phénomènes de franchissement et de submersion. Il conviendra de préciser les débits de franchissements considérés pour le dimensionnement des ouvrages de ressuyage.

Il est rappelé que c'est au Maître d'ouvrage de fixer le degré de protection. Celui-ci est ensuite validé par l'Etat. La DDTM indique que l'on peut accepter une digue plus basse en fonction des capacités de stockage et de la vulnérabilité de la zone. Il y a lieu d'optimiser les projets. Une hauteur de 10 cm pour Xynthia+20 est acceptable. Le dimensionnement pour Xynthia peut être acceptable sous réserve de justifications.

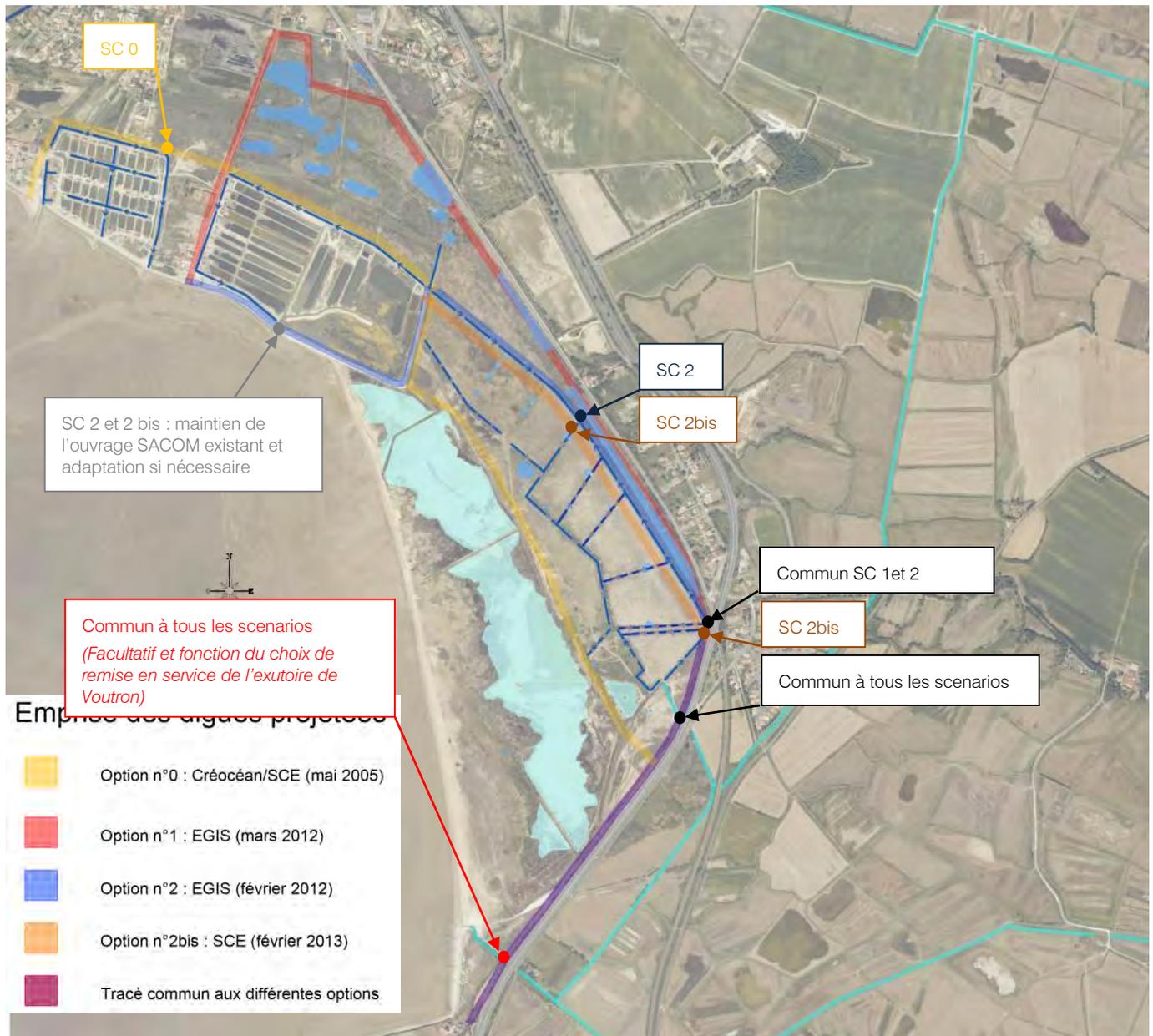
Rétablissements d'ouvrages hydrauliques au niveau des différents scenarios

Les rétablissements d'ouvrages hydrauliques à prévoir à la croisée des différents tracés de digue et du réseau hydrographique existant sont fonction des scenarios :

- Scenario 1 (rouge), scenario 2 (bleu) et 2 bis (orange) : un rétablissement est nécessaire au niveau du fossé Syndical ;
- Scenario 2 (bleu) et 2 bis (orange) : un ouvrage de connexion entre le plan d'eau et le fossé syndical (Sc 2) ou entre le fossé syndical et le fossé intérieur (Sc 2bis) est nécessaire. il n'est pas nécessaire de prévoir de rétablissements au niveau des fossés temporaires délimitant les prairies de fauche. Concernant le scenario 2, l'écluse de la SACOM devra être maintenue dans le cadre des travaux.
- Scenario 0 (jaune) : pas d'ouvrage spécifique à recréer du point de vue hydraulique par rapport à la situation actuelle au niveau de la réserve. Un ouvrage serait a minima nécessaire au niveau de la zone conchylicole en dehors de la réserve.
- Commun à tous les scenarios : rétablissement au niveau du fossé d'alimentation générale de la réserve. Un ouvrage facultatif peut également être envisagé au niveau de l'exutoire de Voutron. Sa création pourra être fonction du choix de rétablir le fonctionnement de l'exutoire de Voutron.

Les ouvrages de rétablissements hydrauliques à envisager par scenario sont localisés sur la figure suivante :

Figure 27 : Localisation des ouvrages hydrauliques de rétablissement à envisager par tracé



Remarque : Les ouvrages de rétablissement seront envisagés avec la pose de vannes murales permettant une gestion hydraulique et une fermeture complète en cas de crise.

Création d'un exutoire à la mer pour le ressuyage de la zone des Sablières

La réserve naturelle ne présentant pas d'exutoire direct à la mer, l'ensemble des intervenants s'accorde à dire que la création d'un exutoire pour le ressuyage du secteur des Sablières serait nécessaire. Il est évoqué deux possibilités d'aménagement :

- la création d'une buse au niveau de la route (rue de l'Oasis) vers le canal de la zone conchylicole nord
- la création d'un exutoire le long de la zone SACOM au sud.

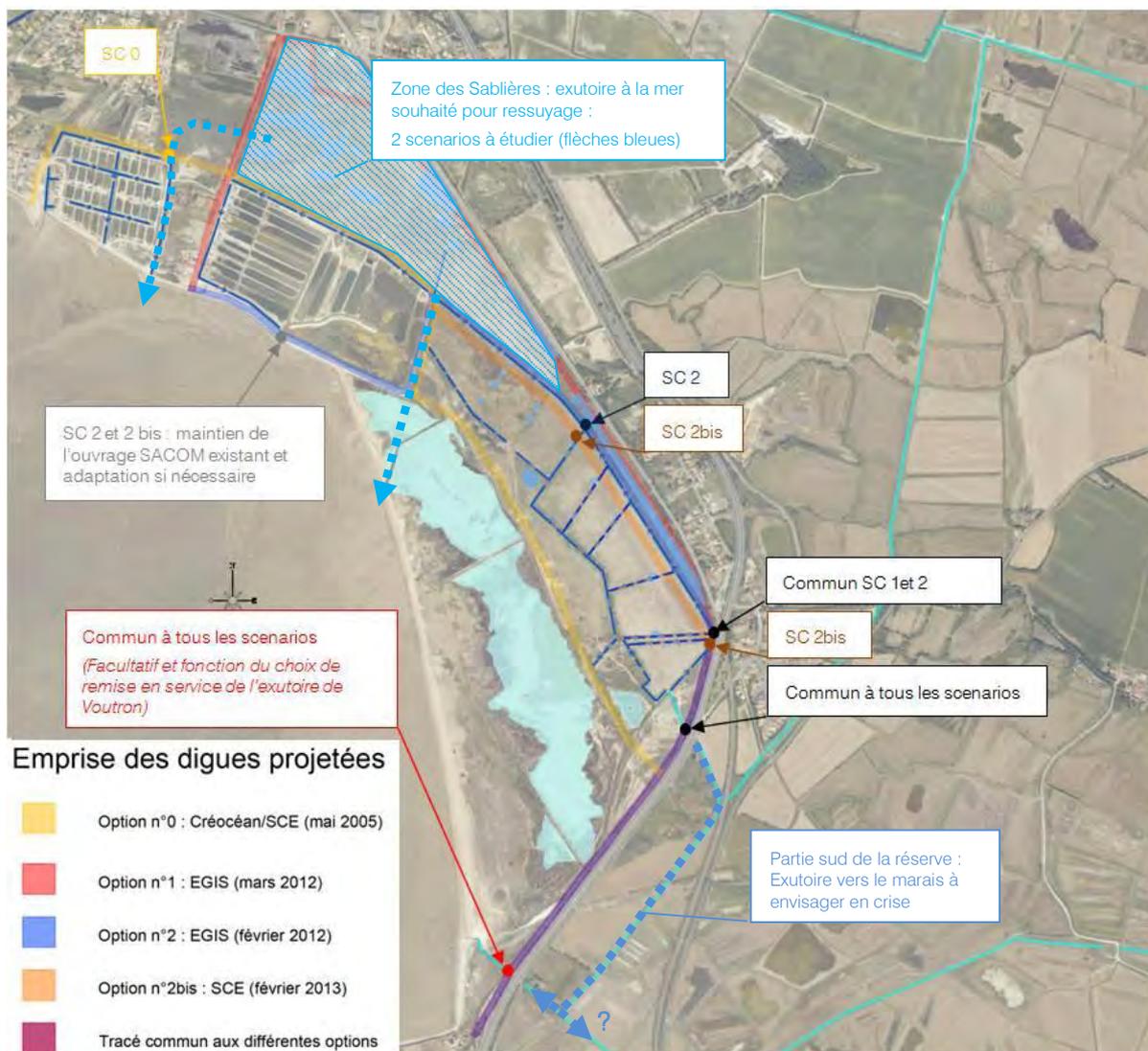
Voir figure page suivante.

Ces deux options ont été étudiées dans la suite de l'étude (cf APS).

Gestion du ressuyage de la partie sud de la réserve

En cas de submersion au niveau de la réserve, il ne paraît pas très souhaitable d'un point de vue écologique de renvoyer l'eau salée vers le marais Voutron. C'est pourtant la seule solution qui a été trouvée après la tempête Xynthia.

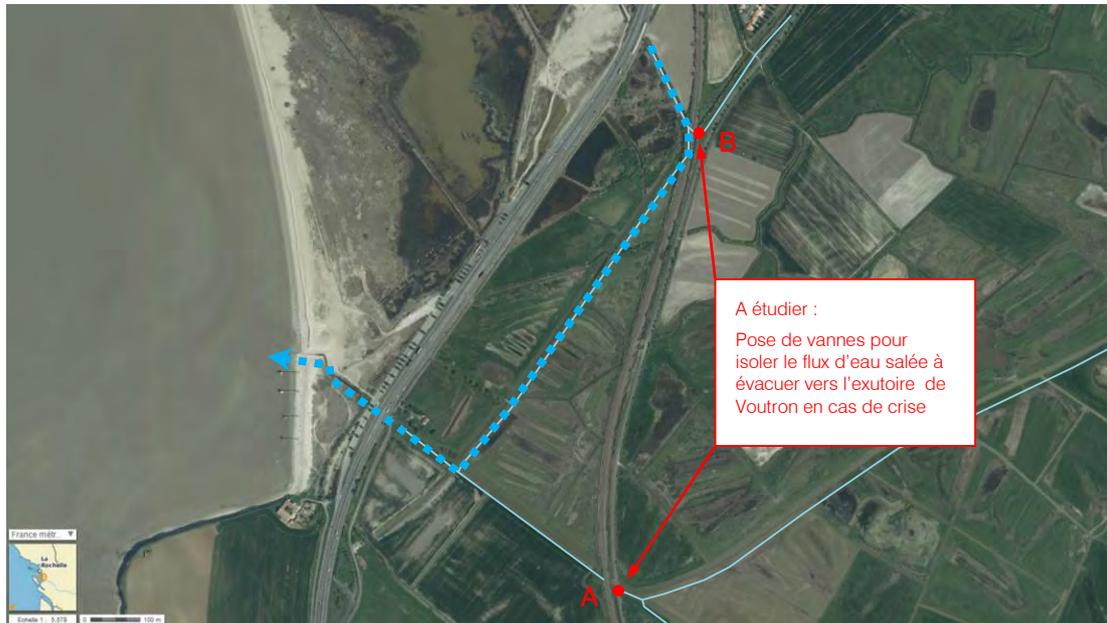
Figure 28 : Localisation des ouvrages hydrauliques à rétablir, de la zone à ressuyer des « sablières » et des deux exutoires directs à étudier et principe d'exutoire vers le marais pour la partie sud de la réserve



Il est demandé à SCE de prendre en compte la possibilité d'un exutoire vers le marais et notamment la possibilité de réutilisation de l'exutoire de Voutron accompagnée d'une fermeture au niveau des ouvrages de la voie ferrée, de façon à canaliser le flux salé. Cette solution permettrait d'éviter le transfert d'eau salée vers l'intégralité du marais en période de crise.

Le schéma page suivante explique le principe de l'aménagement.

Figure 29 : Schématisation de la réutilisation de l'exutoire de Voutron accompagnée d'une fermeture au niveau des ouvrages de la voie ferrée pour le ressuyage des eaux salées en cas de crise



Le tableau page suivante présente les ouvrages hydrauliques au niveau des points A et B.

Liste des ouvrages hors réserve : Ouvrages présents au niveau de la voie ferrée

Ouvrage A : Pont cadre routier suivi d'un pont cadre SNCF à proximité de l'Exutoire Voutron



Vue sur l'ouvrage routier



Vue sur l'ouvrage SNCF

Ouvrage B : Pont cadre au niveau de la voie SNCF à proximité de la buse d'alimentation de la réserve

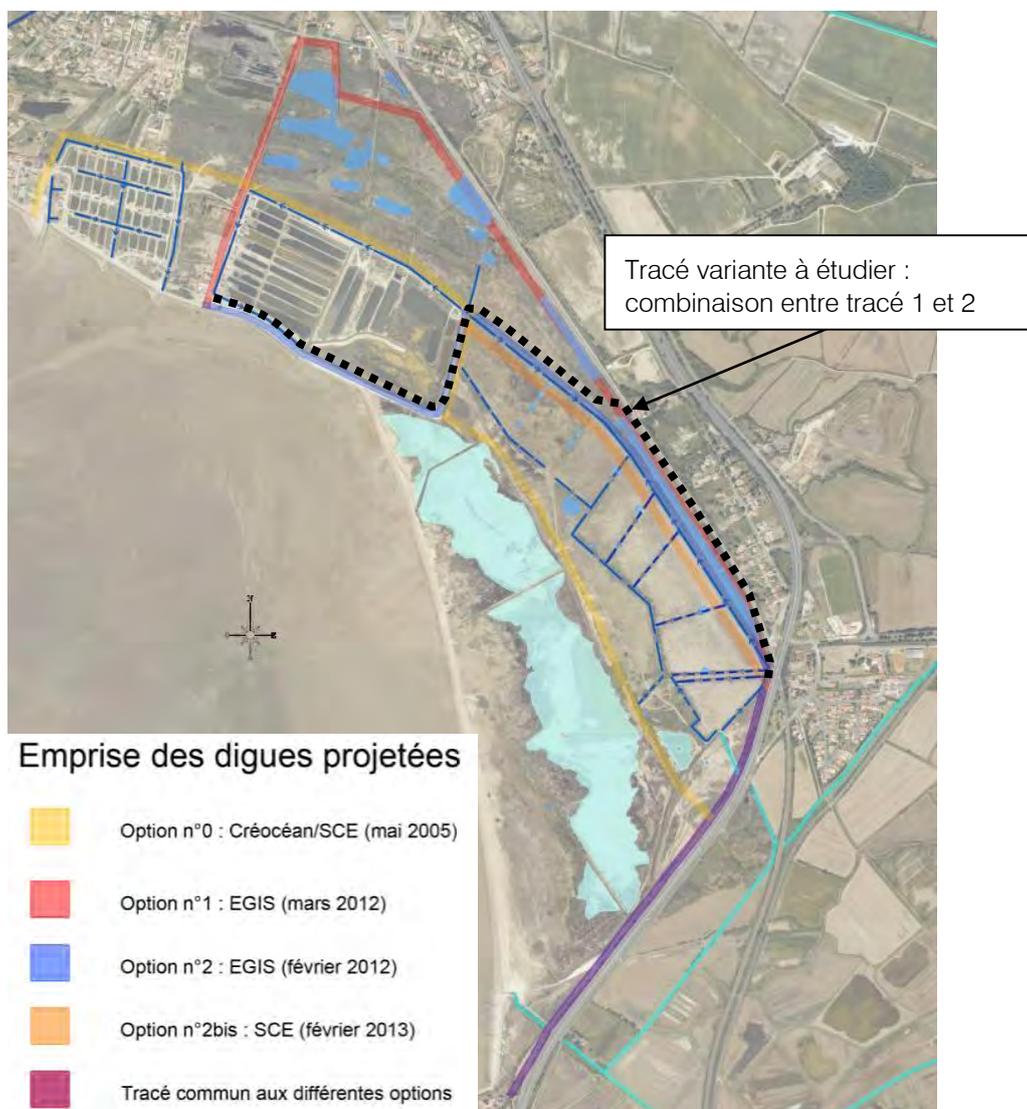


Vue sur l'ouvrage SNCF

Etude d'un tracé variante complémentaire, combinaison des tracés 1 et 2

Les tracés 1 et 2 peuvent faire l'objet d'un tracé variante complémentaire combinant une partie de chacun de ces deux tracés. Cette variante pourrait s'avérer intéressante en terme de réduction des impacts du projet sur le milieu naturel. Voir figure ci-après.

Figure 30 : Tracé variante à considérer (en noir) : combinaison entre les tracés 1 et 2



Implantation de la digue SACOM

La digue de la zone SACOM se trouve vraisemblablement sur des parcelles privées¹. Une vérification va être effectuée par la DDTM pour voir si la portion de digue qui a été réaménagée suite à Xynthia n'a pas empiété sur le Domaine Public Maritime (DPM).

¹ Les terrains pour l'assise de la digue sont cédés au Conseil Départemental par la SACOM, par courrier en date du 08/01/15. Le pied de digue étant en partie sur le DPM, une demande d'autorisation d'occupation du DPM est formulée dans le volume 2 du dossier.

II.5.2. Atelier n°2 : zones d'emprunt

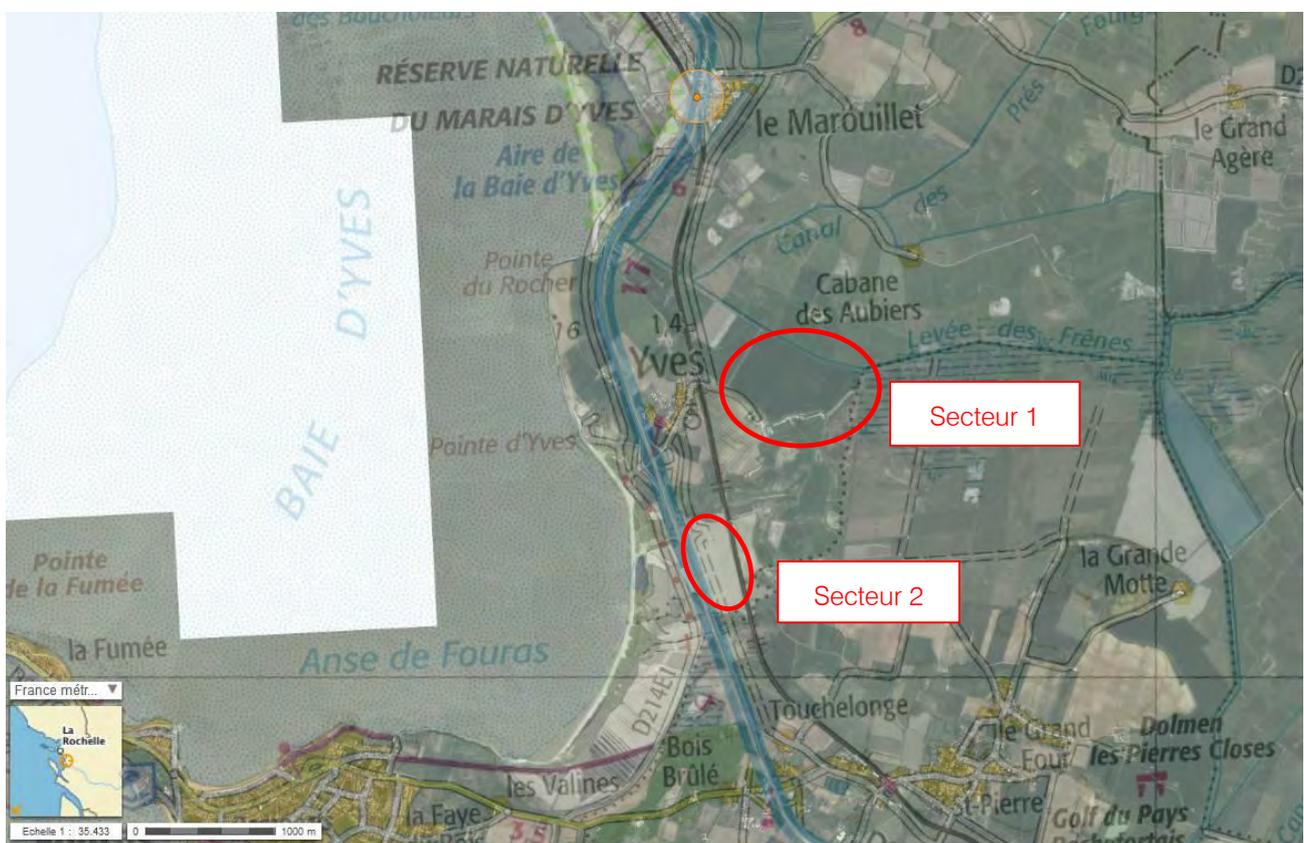
Le volume de remblai nécessaire évalué à ce stade de la mission pour la réalisation d'une digue est de l'ordre 100 000m³. Le remblai doit être envisagé dans un matériau homogènes, de bonne qualité et argileux. Or, il n'existe pas de carrière d'argile dans un périmètre raisonnable de la zone d'étude.

De façon à optimiser le coût du projet, des zones d'emprunt potentielles ont été recherchées à proximité de la zone d'étude.

Localisation des zones d'emprunt pressenties

Deux secteurs d'emprunt potentiels proches de la réserve ont été identifiés. Ces deux zones sont localisées sur la figure suivante :

Figure 31 : Localisation des zones d'emprunt potentielles sur fond IGN et photo aérienne

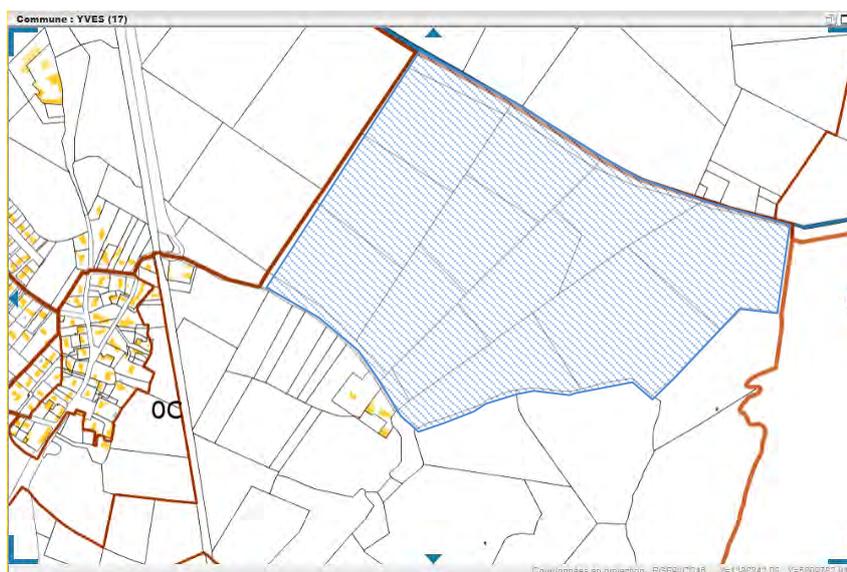


Le tableau et la figure suivante détaillent les parcelles cadastrales, propriétaires et surfaces en jeu au niveau du secteur 1 :

Tableau 1 : Parcelles cadastrales du secteur n°1

	Section de parcelle et n°	surface (ha)	Propriétaire(s) ²
Secteur 1	C 315	0.59	Indivision : M. NAUD Jean-Pierre et Mme NAUD Claudette (ép. RIVAL Pierre)
	C 316	2.82	
	C 317	3.85	
	C 318	3.68	
	C 319	0.63	
	C 320	2.58	
	C 321	2.85	
	C 322	2.9	
	C 323	0.36	Indivision : Mme RIVAL Nancy et M. NAUD Jean-Pierre
	C 326	3.02	
	C 327	2.11	
	C 328	1.67	
	C 329	0.24	
	C 330	3.26	
	C 331	6.29	
	C 332	5.02	
	Surface totale (ha)	41.87	

Figure 32 : Localisation du secteur 1 sur le cadastre



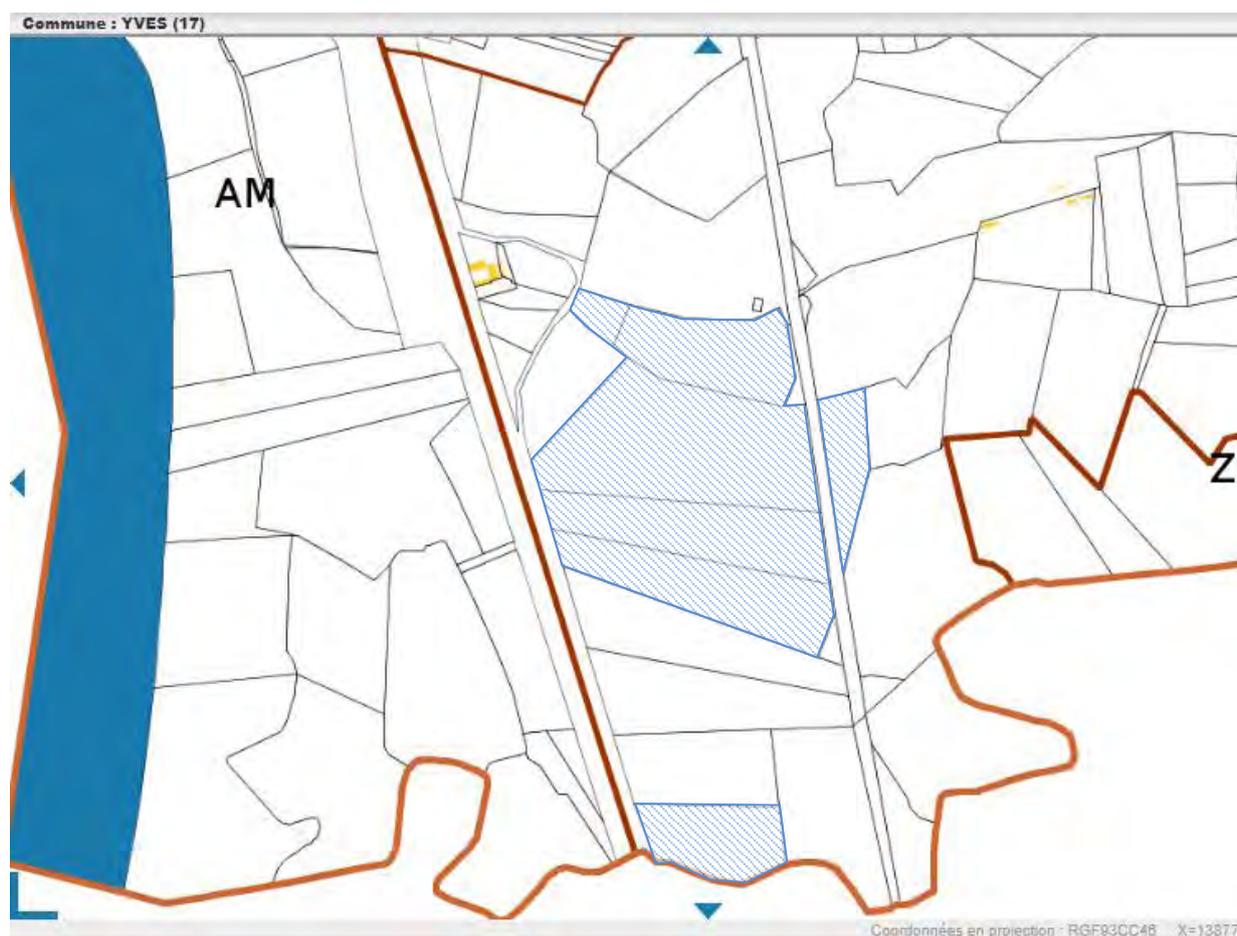
² Des mesures d'acquisition ont été entreprises par le Conseil Départemental en 2015. Les parcelles du secteur 1 sont aujourd'hui propriété du Conseil Départemental.

Le tableau et la figure suivante détaillent les parcelles cadastrales, propriétaires et surfaces en jeu au niveau du secteur 2 :

Tableau 2 : Parcelles cadastrales du secteur n°2

	n° de parcelle	Surface (ha)	Propriétaire
Secteur 2	C 420	0,82	M. Daunat (également exploitant)
	C 438	0,28	
	C 439	1,76	
	C 752	4,32	
	C 777	2,24	
	C 775	2,24	
	C 767	1,58	
	Surface totale (ha)	13,24	

Figure 33 : Localisation du secteur 2 sur le cadastre



Le secteur 1 est une zone du marais drainée (à 90 cm de profondeur) et actuellement en monoculture maïs.

Les superficies de terrain apparaissent théoriquement compatibles avec les besoins en terme de volume de remblai.

Point sur l'état de connaissance des matériaux en place au droit de ces parcelles

Il n'existe pas de données connues à ce sujet. Au regard de carte géologique, le secteur 1 se trouve sur une zone potentiellement argileuse (bri bleu et tourbe) et donc potentiellement propice à une utilisation en remblai.

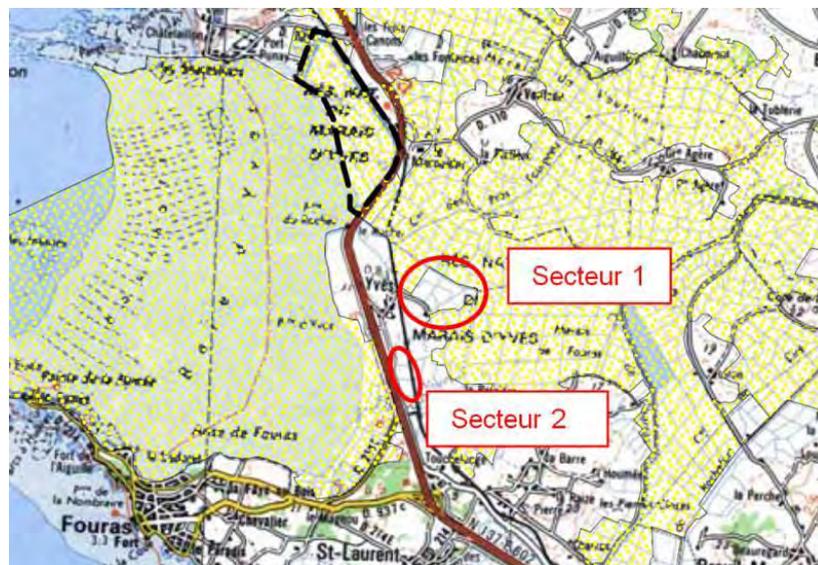
Selon la carte géologique, le secteur 2 se trouve à l'interface entre zone argileuse, calcaire ou sableuse. L'épaisseur de sol est également potentiellement moins importante vu la topographie plus haute.

Au delà de la nature elle-même du matériau, la teneur en eau du matériau doit également être compatible avec une mise en remblai sans traitement lourd (de type chaulage). Les matériaux de remblai devront ainsi être présents à une profondeur pas trop importante pour disposer d'une teneur en eau compatible avec une mise en remblai.

Intérêt actuel et potentiel des zones d'emprunt (hydraulique, faune, flore...)

L'intérêt écologique actuel des deux secteurs est plutôt limité. Il s'agit en effet de parcelles agricoles cultivées et drainées. Néanmoins, le secteur 1 possède un potentiel non négligeable. Le lot de parcelles du secteur est enclavé dans la zone Natura 2000 SIC « Marais de Rochefort ». Voir figure ci-après. Le site pourrait éventuellement être réintégré à la zone Natura 2000 à l'issue du projet.

Figure 34 : Localisation des secteurs d'emprunt potentiels au sein du site Natura 2000 (zonage en jaune)



Le potentiel du secteur 2 apparaît moindre (vraisemblablement moins humide et enclavé entre la RD et la voie ferrée).

Si les matériaux en place sont satisfaisants, le remodelage de la zone devra être spécifiquement étudié pour pouvoir être retenu comme mesure compensatoire et aboutir à une zone humide naturelle et diversifiée pouvant être réintégré à terme au site Natura 2000, notamment pour le secteur 1.

II.5.3. Atelier n°3 : ouvrages d'infrastructure et projets connexes

Projet d'aménagement de l'aire de repos de la RD 137

L'aire de repos existante est importante car elle est la seule entre La Rochelle et Rochefort. La localisation de l'aire à proximité de la baie d'Yves fait que celle-ci est très fréquentée et génère une problématique importante de gestion des déchets par le Conseil Départemental 17.

L'aire sert également de contrôle de pesée des poids lourds par la Police. Historiquement il y avait une autre aire de repos de l'autre côté de la voie qui n'existe plus aujourd'hui. Il est mentionné l'existence d'un boviduc au droit de la zone traversant le remblai routier.

Aujourd'hui, les bretelles d'entrée et de sortie de l'aire ne sont pas aux normes. Des plans de projet des nouvelles bretelles ont été réalisés par le CD17. Les plans vont être transmis à SCE pour intégration dans le projet. En terme de phasage, les bretelles devront être aménagées avant la digue.

Le pôle d'accueil du public et d'observation d'oiseaux géré par la réserve fait l'objet d'un projet de délocalisation au niveau de la ferme du Rocher. L'étude de Phytolab intègre cette délocalisation.

Aujourd'hui, l'aire de repos est mal configurée. Il convient de la limiter en longueur et de réorienter le stationnement vers la future zone d'accueil de la Ferme du Rocher et d'y interdire le stationnement Poids Lourds. Ceux-ci seront réorientés vers une autre aire de repos.

SCE devra considérer dans la présente étude les principes d'aménagement affichés dans l'étude Phytolab. Voir illustrations et coupes de principe ci-après.

Figure 35 : Coupe de principe de l'aménagement de l'aire de repos intégrant la digue (Phytolab – 2010)

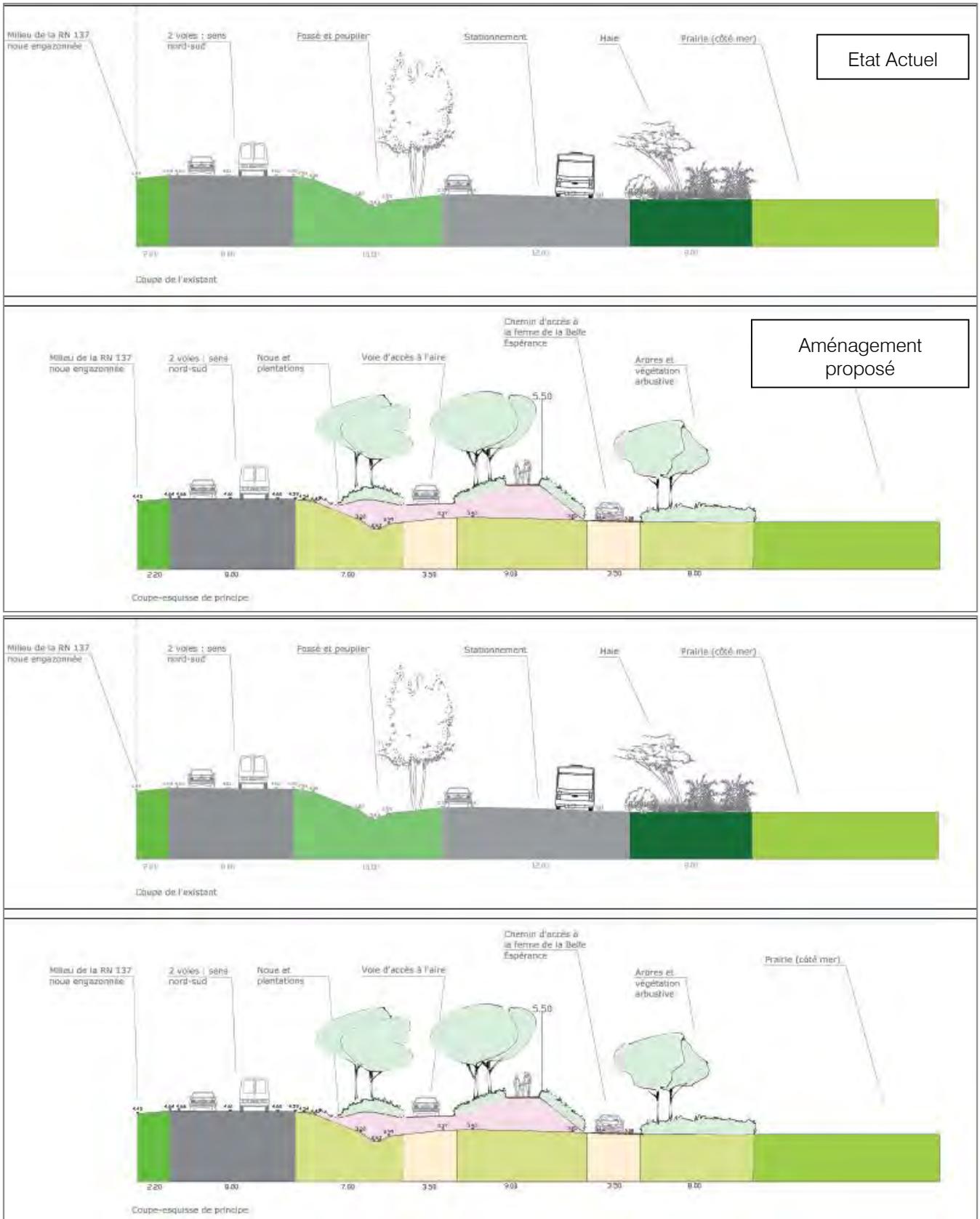
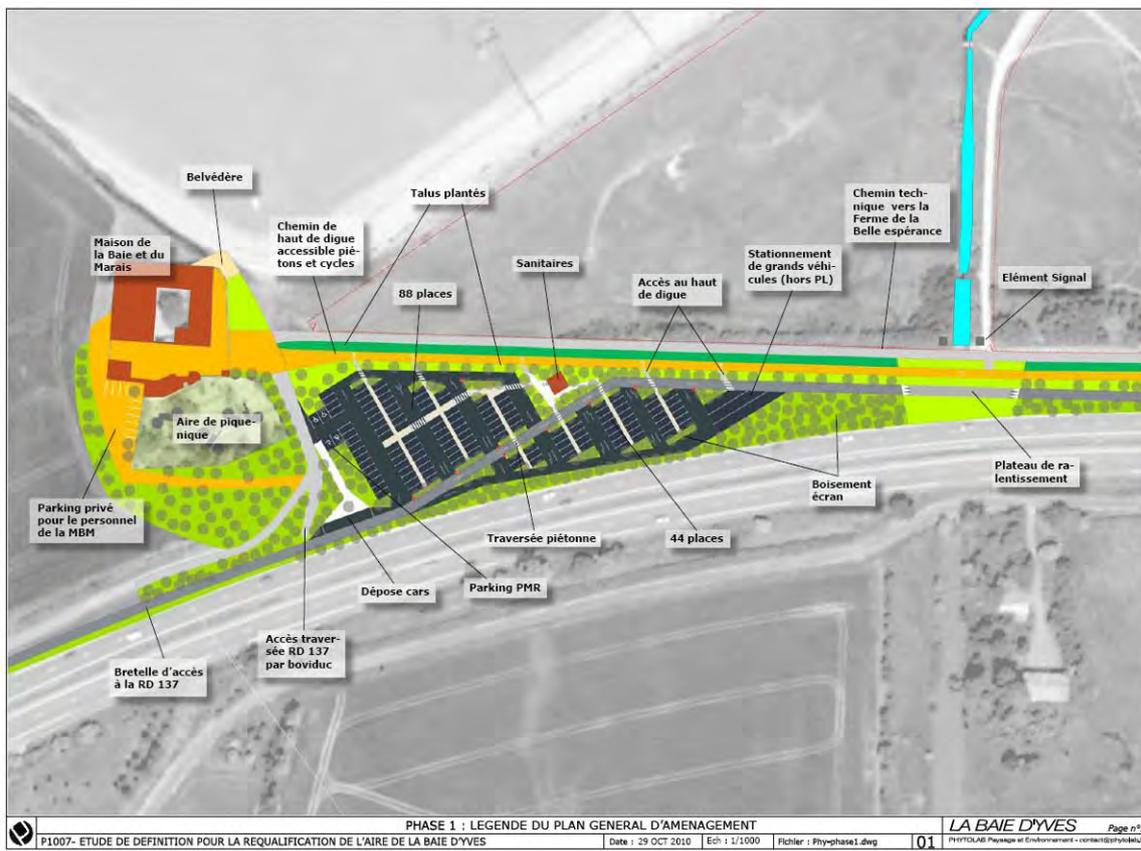
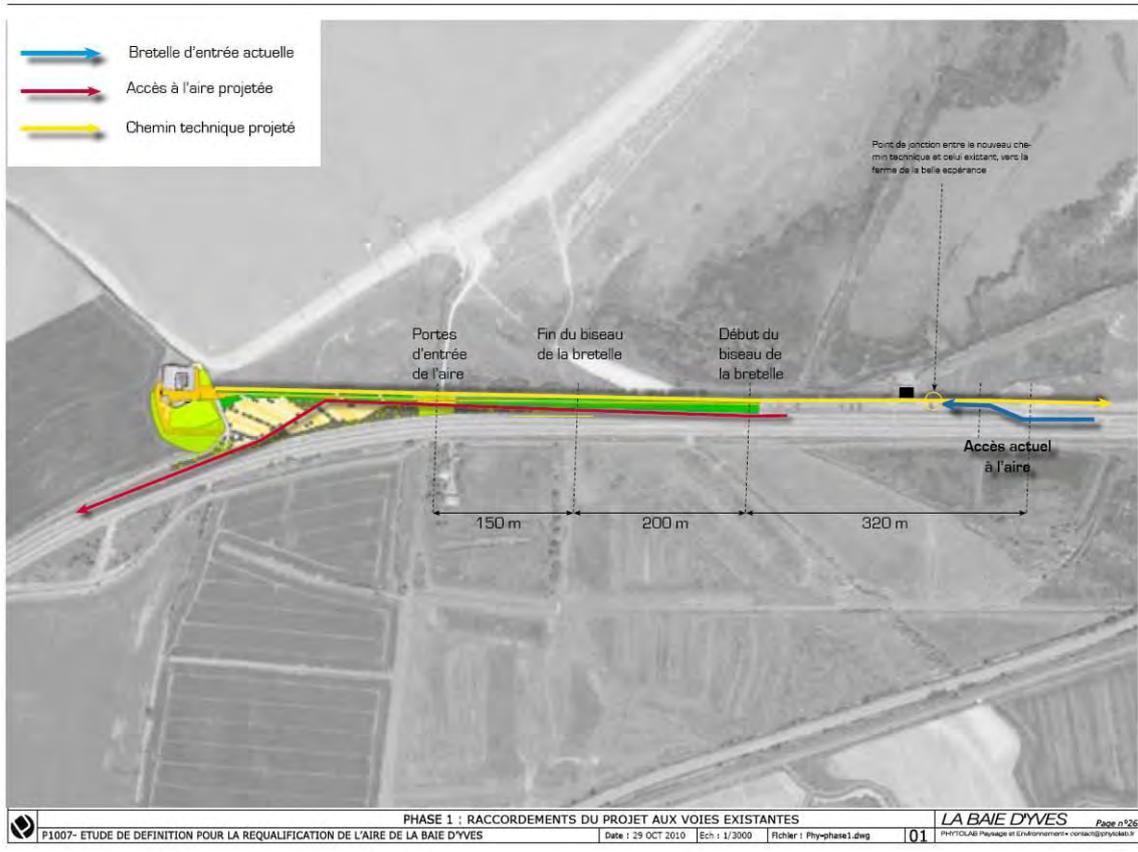


Figure 36 : Vues en plan générale et zoom sur l'aménagement de l'aire de repos de la baie d'Yves (Phytolab – 2010)



Aménagement de la voie véhicules et de la piste cyclable

Certaines adaptations semblent nécessaires. Il s'agira notamment d'éviter les plantations sur le corps de digue.

Sur demande de la réserve naturelle, SCE considérera un espace suffisant pour l'implantation de la piste cyclable entre la digue réalisée et le remblai routier actuel, ceci afin d'éviter de gêner l'avifaune par des passages sur la crête de digue elle-même.

Au droit du pont de la voie SNCF, le CD17 envisage de mettre en œuvre une passerelle le long de la voie pour assurer la continuité de la piste cyclable. L'hypothèse d'un passage sous la voie SNCF est abandonnée.

Points divers

Concernant les différents scénarios au niveau de la digue de retrait, il est indiqué que dans le cadre du scénario option 1 le long de la voie SCNF, RFF n'est pas défavorable au projet mais ne souhaite pas que leur voie dédiée à l'entretien soit mutualisée pour l'entretien de la digue.

A l'intérieur de la réserve naturelle, il est demandé à SCE de prévoir la piste d'entretien sur la crête de digue.

Concernant les possibilités de pâturage sur la digue dans l'emprise de la réserve, la question de la clôture de l'emprise de la digue avec passage dédiés aux bovins ou le maintien en libre accès n'est pas tranchée à ce stade. Une décision sera prise ultérieurement en phase Avant-Projet ou Projet.

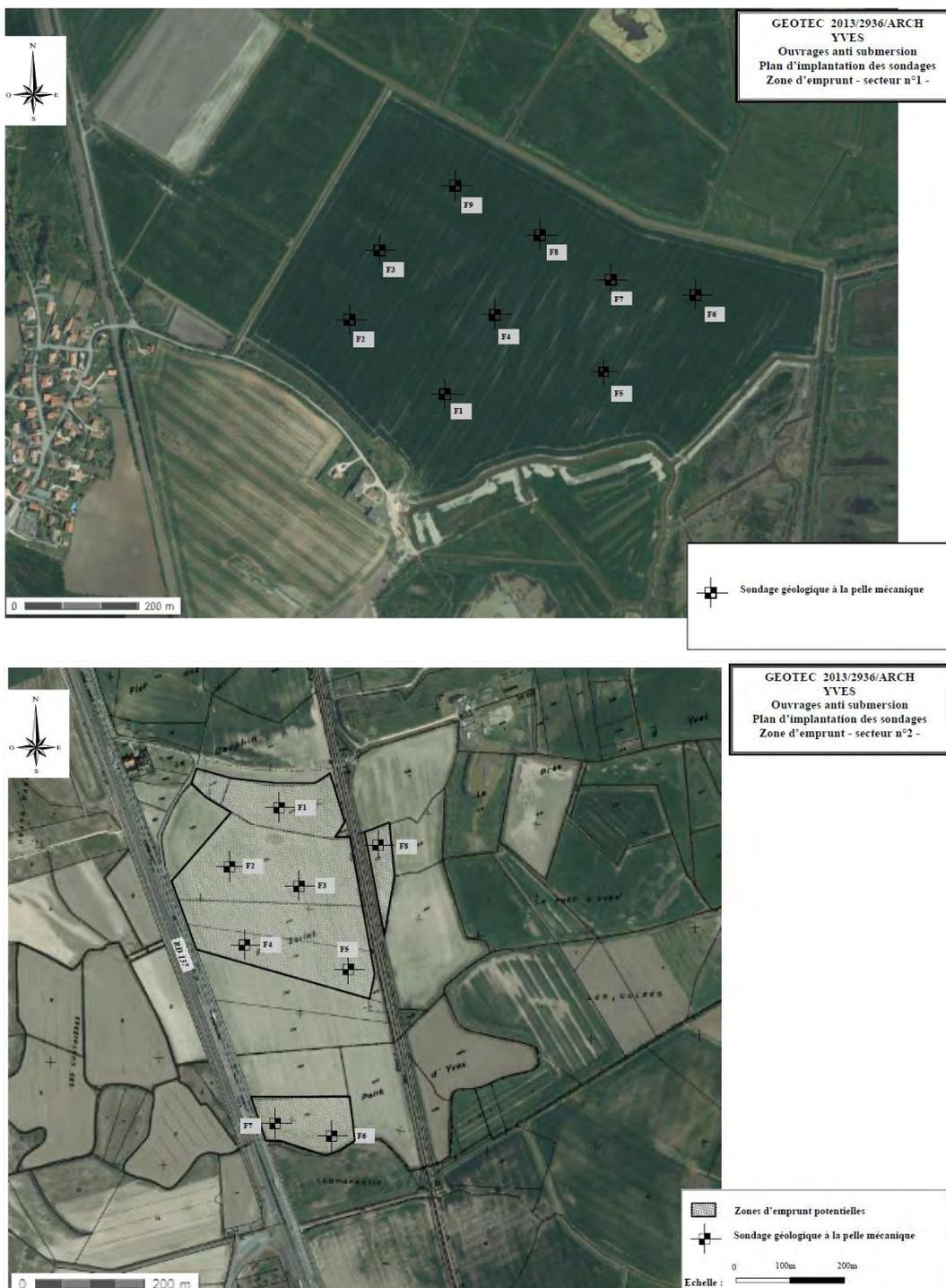
En terme de phasage des travaux de réalisation de la digue de retrait, ceux-ci devront démarrer par le Sud.

II.6 DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE DES ZONES D'EMPRUNT

Des sondages géotechniques de reconnaissance et des essais en laboratoire de caractérisation des matériaux ont été réalisés au sein des zones d'emprunt pressenties :

- Zone d'emprunt n°1 : sondages à la pelle mécanique F1 à F9 jusqu'à 2,00 à 2,20 m de profondeur
- Zone d'emprunt n°2 : sondages à la pelle mécanique F1 à F8 jusqu'à 1,90 à 2,00 m de profondeur

Figure 37 : Plans de localisation des sondages dans les zones d'emprunt



Les couches supérieures d'argile ont été testées en laboratoire (caractérisation GTR).

Les conclusions des reconnaissances géotechniques sur les deux zones d'emprunt sont les suivantes :

Figure 38 : Profil géologique de synthèse des deux zones d'emprunt



Il ressort de ces reconnaissances que la zone d'emprunt n°1 est beaucoup plus homogène que la zone d'emprunt n°2. Alors que la première dispose d'une couche d'argile relativement homogène de 1,00 à 1,50 m d'argile marron de classification A3, la seconde comporte des horizons plus diversifiés avec de nombreux passages sableux ou graveleux et des lentilles de coquilles, témoins d'un contexte géologique plus diversifié.

III. DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME DE PROTECTION

III.1 LA MISE A JOUR DE LA CONCEPTION DU SYSTEME DE DEFENSE CONTRE LA MER PAR RAPPORT A LA FICHE ACTION DU PAPI

Le PAPI de la baie d'Yves, dans sa fiche action n°7, mentionnait la réalisation d'une digue dans la réserve Naturelle des marais d'Yves, participant au système de protection global du village des Boucholeurs à Châtelailon-Plage.

Les caractéristiques de la digue avaient été établies sur la base d'un modèle hydrodynamique simplifié de la zone sans analyse de propagation terrestre dans les terres de la Réserve Naturelle et consistait à la réhausse de la rue de l'Oasis et l'édification d'un merlon (sans ancrage) en ceinture de la Réserve Naturelle (cf. option n°1 sur la carte jointe).

La cote de protection retenue à ce stade est de +4,80 m NGF

Dans le cadre des études de conception de la digue de retrait des marais d'Yves, confiées aux bureaux d'études spécialisés SCE et CREOCEAN, de nouvelles modélisations ont été mises en place de façon commune et homogène entre la digue de front de mer de Châtelailon-Plage et la digue de retrait au cœur de la Réserve Naturelle. Ces modélisations numériques des conditions hydrodynamiques de la tempête Xynthia a permis de fixer une **cote de protection affinée pour cette dernière variable de 5,85 à 6,35 m NGF** tenant compte des données géotechniques acquises par le Conseil Départemental de Charente Maritime ainsi que de la nécessité d'habillage des parements de digue de terre végétale pour une meilleure insertion au sein de la Réserve Naturelle.

Du fait de l'augmentation du gabarit de l'ouvrage, le Maître d'Ouvrage (Conseil Départemental de Charente Maritime) et le future gestionnaire (SYLICAF) ont opté pour la mise en œuvre d'une piste nécessaire à la surveillance et à l'entretien de la digue sur la crête de digue. C'est le choix du moindre impact qui a été retenu et évite la mise en œuvre de deux pistes latérales au sein de la Réserve Naturelle. La largeur en crête a ainsi été fixée à 4 mètres.

La digue est ancrée de 1 mètre dans les sols de la Réserve Naturelle pour assurer sa stabilité et sa pérennité.

Enfin, les conditions d'agitation et de franchissement modélisées conduisent également au renforcement des talus avant et arrière de la digue. Ces renforcements ont été optimisés sur chaque secteur de digue de sorte à limiter les surcoûts induits au strict nécessaire : 9 profils de conception différentes seront mise en œuvre pour un linéaire total de digue de 3,2 km.

Toujours dans cet esprit d'économie, la possibilité de prélèvement de matériaux pour la constitution du corps de digue a été vérifiée à proximité de la Réserve Naturelle. Des analyses géotechniques ont confirmé la présence d'argile (nécessaire à la constitution du corps de digue) en quantité suffisante pour l'édification du système de défense contre la mer, au sein des Marais de Rochefort.

III.2 LES MESURES D'EVITEMENT MISES EN ŒUVRE POUR LE CHOIX DU TRACE

Le choix du tracé entre les différentes variantes (qui peuvent avoir des portions communes au nord-ouest notamment et au sud-est) est réalisé selon la doctrine ERC « Eviter – Réduire – Compenser ». Les mesures d'évitement ont ainsi guidé le choix du tracé.

Les éléments suivants ont notamment été pris en compte (voir carte jointe) :

- La valeur patrimoniale régionale des habitats naturels telle que présentée dans le plan de gestion (critère végétation uniquement et non en tant qu'habitat de faune), hormis les habitats d'intérêt européens prioritaires, considérés comme d'intérêt très élevé ;
- La présence de plantes protégées et patrimoniales (seules les stations proches des options sont figurées) ;
- La présence de zones de reproduction d'amphibiens et de stationnements du Pélobate cultripède (phase terrestre) ;
- Les zones de fréquentation préférentielles de l'avifaune et en particulier des oiseaux d'intérêt européen (stationnements de migrants/hivernants pour lesquels la RN a été créée, oiseaux d'intérêt communautaire).

L'analyse qualitative s'est également appuyée sur :

- des éléments quantitatifs comme la part d'habitats détruits par rapport à sa représentation dans la réserve ;
- des éléments fonctionnels comme les conséquences de la digue sur la dynamique des milieux (possibilités de submersions/érosions, gestion pastorale).

Le choix du tracé a été effectué en concertation avec les acteurs locaux disposant de compétence d'évaluation de l'impact des travaux sur ces milieux (la LPO, gestionnaire de la Réserve Naturelle, le Conservatoire du Littoral, propriétaire des terrains, la DREAL, la DDTM) et avec le Maître d'Ouvrage (Conseil Départemental de Charente Maritime), le futur gestionnaire (SYLICAF) et des représentants des élus et usagers (Mairie d'Yves et Châtelaiillon-Plage, Ostréiculteurs...).

De nombreux relevés écologiques (faune et flore) ont été réalisés en complément des inventaires réalisés par le gestionnaire de la Réserve Naturelle.

Le tableau ci-dessous synthétise les impacts des différents scénarios étudiés.

A noter que le scénario 4 présent sur les cartes jointes a été écarté pour des raisons géotechniques (présences de bassins de part et d'autre) et d'impact sur l'usage économique de la zone ostréicole.

Comparaison synthétique des options

	Impact fort
	Impact moyen
	Impact faible
	Impact non qualifiable

Impacts sur éléments discriminants	Option 0	Option 1	Option 1var	Option 2	Option 2bis	Option 3	Option proposée
							
Habitats remarquables	Cordon dunaire	Marais périphériques, et milieux dunaires			Prioritaire, plus rare	Dont végétation dunaire et mares	Habitat plus répandu
Flore protégée				RFO ³	<i>Crypsis aculeata</i> , plus rare que RFO		RFO plus commun, assez facile à déplacer
Oiseaux des roselières		Roselières du nord	Vignaud ⁴	Vignaud			
Zones de reproduction d'amphibiens (fossé, mares, dépressions en eau)	Nombreuses mares créées lors de Xynthia	Mares les plus riches en bordure voie ferrée				Plusieurs mares créées lors de Xynthia	
Pélobate cultripède (rôle important de la RN pour l'espèce sur la façade atlantique)							
Fonctionnalités	Grande partie de la réserve « figée » à l'est. Gestion pastorale identique à situation actuelle	Pas de modification par rapport à aujourd'hui	Salinisation (et pas stérilisation) progressive probable à l'ouest de la future digue, selon fréquence des submersions marines via le cordon dunaire. Gestion pastorale plus compliquée à l'ouest (sauf pour l'option 3).				

³ Renoncule à feuilles d'ophioglosse

⁴ Vignaud = bassin longitudinal en pied de voie ferrée au nord de la ferme de « la belle espérance » avec roselières, pièces d'eau avec herbiers aquatiques servant à la reproduction des amphibiens

Les options 0 et 1 sont les plus défavorables du fait de leurs multiples impacts sur les habitats et les espèces elles-mêmes. Ces deux scénarios endommageraient sensiblement et durablement la richesse écologique de la réserve du Marais d'Yves.

- Options 0 : destruction du cordon dunaire central hébergeant des mares à amphibiens, des stationnements importants de Pélobate (phase terrestre et hibernation) et des plantes remarquables, en bordure de la lagune accueillant les plus gros stationnements d'oiseaux ;
- Option 1 : séduisante a priori car en périphérie, cette option (qui est le tracé d'origine de l'action PAPI) s'avère avoir une emprise sur les habitats les plus remarquables de la réserve au nord (groupements végétaux et mares à amphibiens), et détruit largement un marais longitudinal (le Vignaud) au pied de la voie ferrée ;

L'option 1 variante et l'option 2 détruisent largement le Vignaud au pied de la voie ferrée et empiète sur les prairies d'intérêt communautaire avec des plantes protégées.

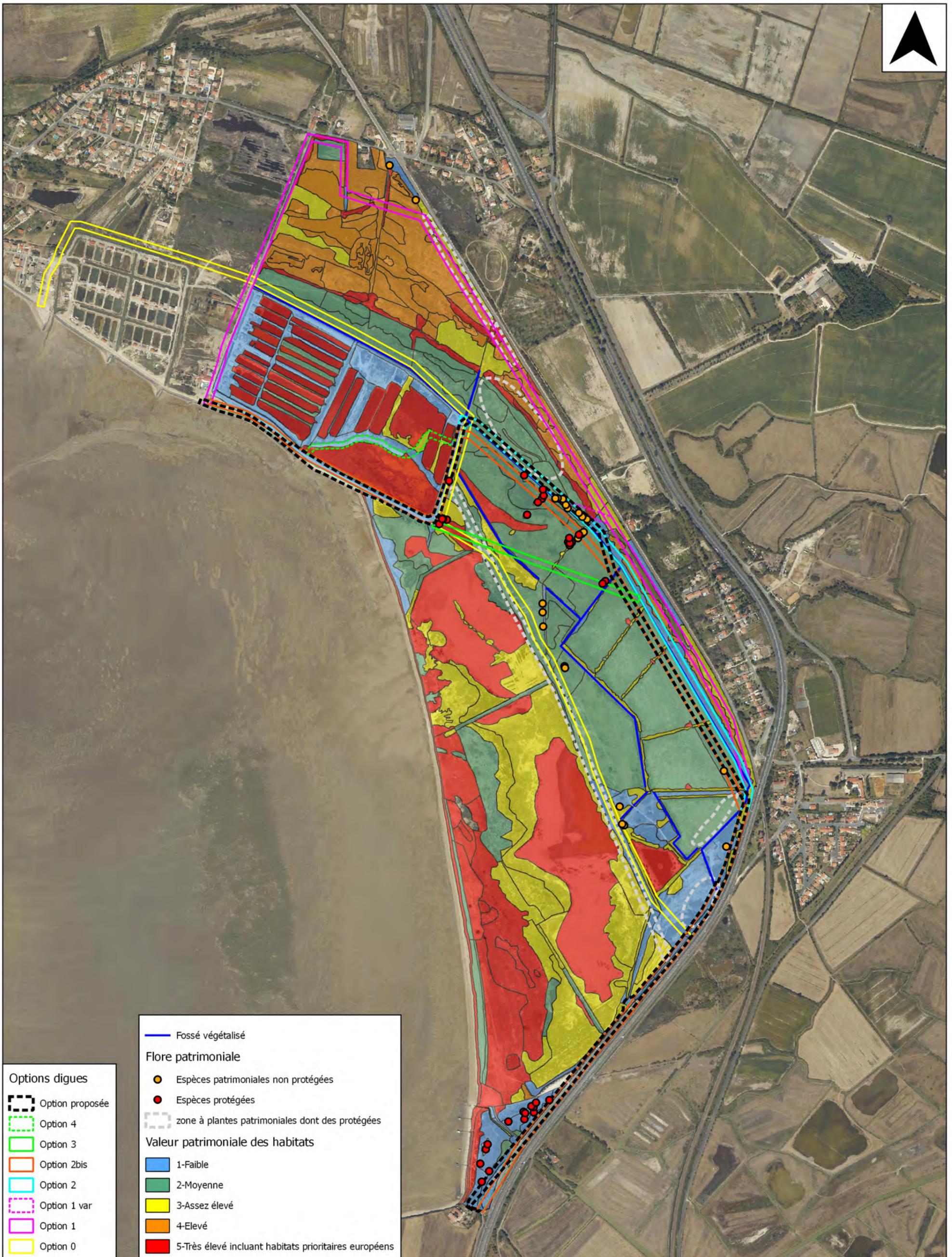
L'option 2 bis envisagée initialement pour des raisons techniques de support à l'ouvrage (présence d'un fossé en arrière de la digue pouvant induire des circulations d'eau dans le corps de la digue, néfaste à sa tenue structurelle sur le long terme), est plus impactante que la variante 2 du point de vue des milieux naturels avec un impact plus fort sur l'habitat prioritaire à *Crypsis aculeata*, espèce protégée (partie Nord du tracé). Il s'agit de bordures de mares créées récemment et favorables également aux amphibiens.

La variante 3 empiète sur les prairies d'intérêt communautaire et présente l'inconvénient majeur de détruire des mares à amphibiens sur l'extrémité nord du cordon dunaire.

L'option retenue tente de combiner les moindres impacts des variantes 2bis, 2 et 1 variante. La différence se joue autour du fossé et des enjeux respectifs des habitats et stations à *Crypsis aculeata* d'une part, de la prairie subhalophile thermo-atlantique à Renoncule à feuilles d'Ophioglosse *Ranunculus ophioglossifolius* d'autre part.

Aucun tracé ne peut éviter complètement les espaces et espèces remarquables au sein de la Réserve Naturelle. Des **mesures de compensation environnementales** ont été prescrites au regard des impacts sur l'écologie de la Réserve Naturelle et viseront (notamment) à la restauration d'une zone de marais rétro-littoral de 40 hectares, aujourd'hui en culture sur sol drainé, formant une enclave dans le Natura 2000 des Marais de Rochefort (FR5400429). Ce marais constitue également la zone d'extraction d'argile précitée.

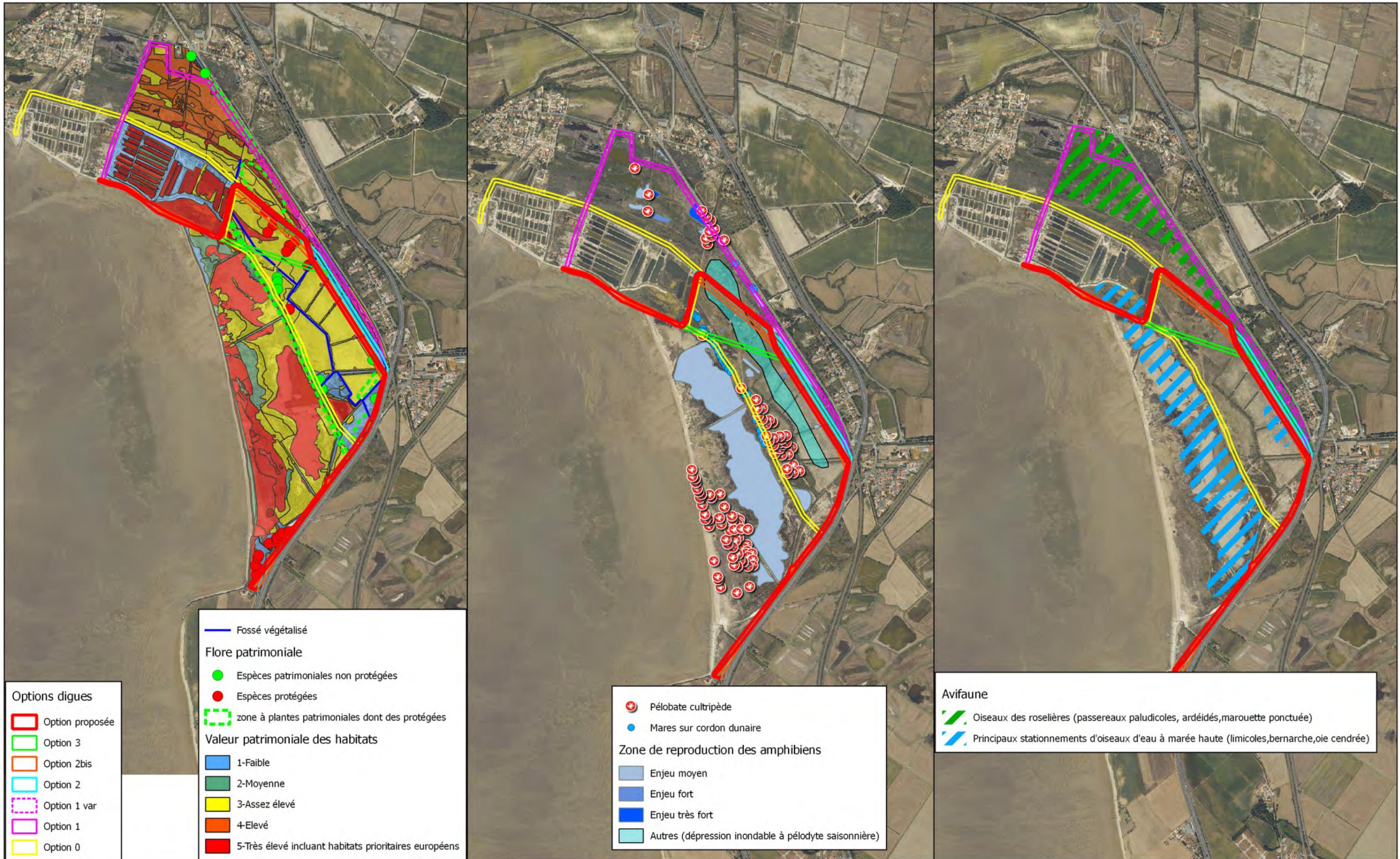
D'autre part, du fait de l'impact sur les capacités d'accueil du public (stationnement, accessibilité aux locaux techniques et destruction de bâti par le tracé de la digue), des **mesures de compensation des fonctions d'accueil du public** ont été prescrites.



Marais d'Yves - Digue

Plan de synthèse

0 250 500 m



Options digues

- Option proposée
- Option 3
- Option 2bis
- Option 2
- Option 1 var
- Option 1
- Option 0

Flore patrimoniale

- Espèces patrimoniales non protégées
- Espèces protégées
- zone à plantes patrimoniales dont des protégées

Valeur patrimoniale des habitats

- 1-Faible
- 2-Moyenne
- 3-Assez élevé
- 4-Elevé
- 5-Très élevé incluant habitats prioritaires européens

- ⊕ Pélobate cultripède
- Mares sur cordon dunaire

Zone de reproduction des amphibiens

- Enjeu moyen
- Enjeu fort
- Enjeu très fort
- Autres (dépression inondable à péloodyte saisonnière)

Avifaune

- Oiseaux des roselières (passereaux paludicoles, ardéidés, marouette ponctuée)
- Principaux stationnements d'oiseaux d'eau à marée haute (limicoles, bernarche, oie cendrée)

Marais d'Yves - Digue finale

Plan de synthèse



III.3 DECISION EN COPIL PAPI BAIE D'YVES DU 20/12/13 ET COTECH DU 21/03/14

Un comité de pilotage des actions engagées dans le cadre du PAPI de la Baie d'Yves s'est tenue le 20 décembre 2013 en présence du SILYCAF, des communes d'Yves et de Châtelailon-Plage, de la DREAL Risques Naturels, du CR Poitou Charente, de la DDTM, du CD17, de l'UNIMA, de la LPO et du Conservatoire du Littoral et d'un représentant de SCE – CREOCEAN.

Ce comité de pilotage fait suite également à la tenue d'une réunion en Préfecture (10 décembre 2013).

Les actions de l'axe 7 au droit de la Réserve Naturelle d'Yves ont fait l'objet de débats pour définir, sur la base des études produites (et rappelée ci-avant) sur les différents scénarios pour l'implantation de la digue de retrait dans la Réserve Naturelle.

Lors de cette réunion sont alors actés les points suivants :

- Le tracé PAPI est abandonné (tracé extérieur à la réserve passant par une réhausse de la rue de l'Oasis – tracé option 1 étude EGIS mars 2012) ;
- Le scénario 0 est abandonné (cf. carte ci-dessous) ;
- Le fuseau constitué des tracés 2 et 2bis est retenu (cf. carte ci-dessous) ;
- Deux tracés alternatifs sont proposés (cf. carte ci-dessous) :
 - Tracé option 3 traversant la réserve depuis l'angle sud-est de la digue SACOM jusqu'au tracé 2bis, dans l'alignement de la digue SACOM ;
 - Tracé option 4 traversant la zone SACOM entre les bassins existants.

En comité technique du 21 mars 2014 dans les locaux du CD17, la faisabilité des tracés variantes option 3 et option 4 a été discutée. Ces tracés sont abandonnés compte tenu des contraintes géotechniques (cf. chapitre III.1.1.D. pour l'option 4) ou de l'impact environnemental de ces nouvelles variantes (cf. chapitre III.1.5 pour l'option 3).

Lors de ce même comité technique, il est acté que le scénario retenu est celui constitué d'une combinaison des tracés 2bis et 2.

III.4 OPTIMISATION DES COTES DE PROTECTION

III.4.1. Modélisation fine du secteur d'étude

Une modélisation fine a été menée de sorte à affiner les cotes projets au droit du tracé retenu suivant la méthodologie suivante :

- La mise en place d'un modèle hydrodynamique local
 - incluant le domaine maritime sur une dizaine de km vers le large
 - incluant le marais d'Yves, jusqu'à la digue de retrait
 - permettant de modéliser, en fonction du temps :
 - La propagation de la submersion
 - La propagation de l'agitation
- La submersion du marais sera fonction de l'état du cordon dunaire situé en haut de plage :
 - tests de sensibilité en fonction de l'état du cordon
- La faible cote d'arase du cordon dunaire permettra la transmission d'une houle résiduelle à l'intérieur de la zone submergée :
 - Analyse des conditions de transmission de la houle
 - Définition des conditions de simulation correspondantes
 - Définition des conditions de projet le long des digues à réaliser

Les conditions à prendre en compte dans les modèles sont :

- Etat actuel du cordon dunaire
 - La cote d'arase de la dune actuelle est très irrégulière (principalement entre 4 et 4.5 m NGF)
 - Le cordon est très étroit (de l'ordre de 4 m en tête)
 - Les pentes du talus sont très raides (de l'ordre de 2 pour 1 => profil non-naturel, instable pour un cordon dunaire)
- Evolution probable du cordon dunaire (en l'absence de travaux)
 - Abaissement progressif et important de la cote d'arase
 - Risque de création d'une brèche lors d'une tempête

Ainsi, plusieurs conditions ont été testé de sorte à obtenir les cotes de protections les plus réalistes. 3 configurations topographiques ont ainsi été intégrées au modèle Xynthia mis en œuvre avant de simuler la propagation de la submersion et de l'agitation dans la réserve.

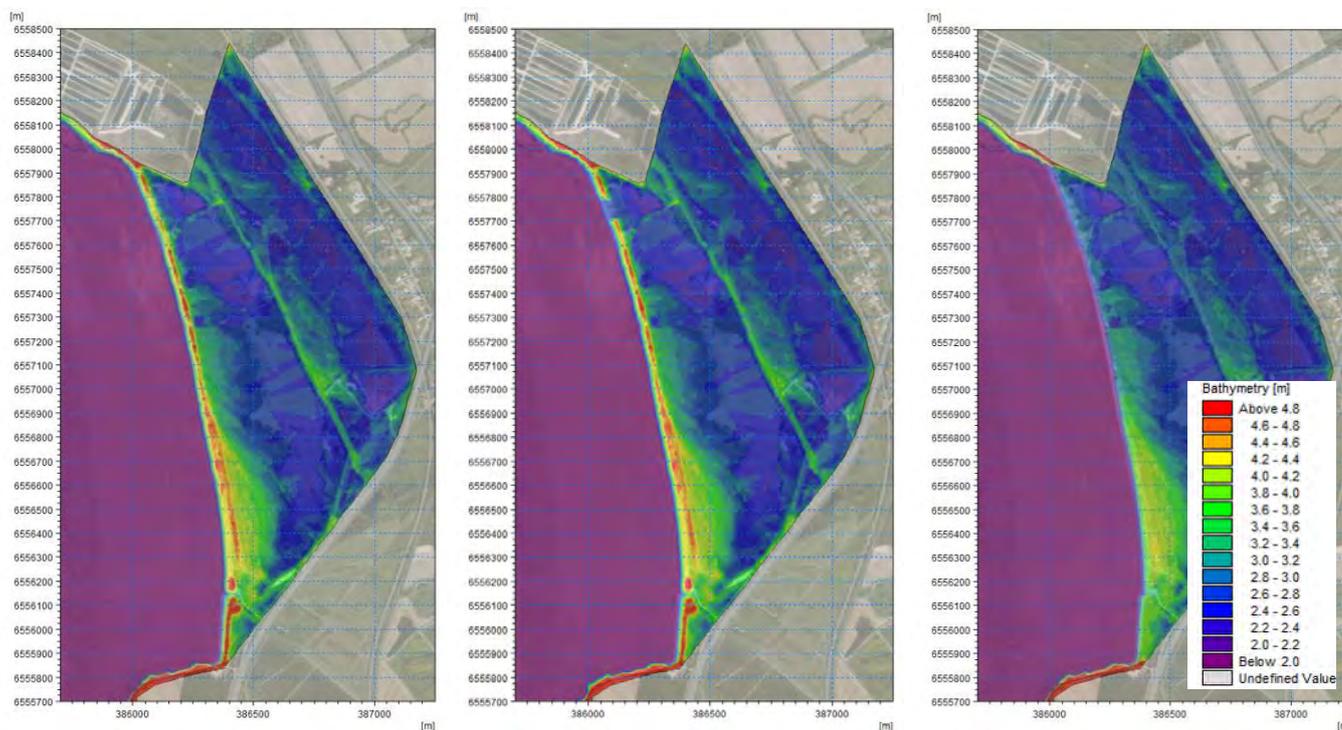


Figure 42 : présentation des 3 configurations intégrées : topographie actuelle / brèche du cordon dunaire / arase du cordon dunaire à 3 m NGF

III.4.2. Résultats des simulations : niveaux d'eau maximums et agitation

Les résultats obtenus en terme de propagation de la submersion sur le secteur d'étude sont donnés en pages suivantes.



Figure 43 : niveaux d'eau maximums pour topographie existante



Figure 44 : niveaux d'eau maximums avec une brèche de 100 m dans le cordon dunaire



Figure 45 : niveaux d'eau maximums avec une arase à 3 mNGF du cordon dunaire

Ainsi, si la simulation avec la topographie actuelle donne des résultats assez faibles en terme de hauteur d'eau, il ne faut pas pour autant négliger son aspect peu réaliste. D'une part, la présence du cordon dunaire continu devant la réserve est maintenue par l'engraissement régulier en sable à proximité de la zone SACOM et d'autre part, les mécanismes hydrodynamiques en cas de franchissement de ce cordon, conduiront à minima à l'apparition d'une brèche dans celui-ci.

Ainsi, les simulations avec brèche (moyen terme) ou arase du cordon dunaire (long terme) sont les plus réalistes et conduisent à :

- Simulation dans le cas d'une brèche :
 - La brèche permet une submersion rapide du marais.
 - Les franchissements le long du cordon favorisent une surélévation du plan d'eau
- Simulation dans le cas de l'arase du cordon :
 - Les niveaux maximaux calculés, sont légèrement plus faible qu'en condition de brèche.

Ainsi, le **niveau d'eau maximum à retenir au droit du tracé retenu est de l'ordre de 4,80 à 4,95 m NGF**. Un tableau au chapitre suivant détaille les cotes retenues par secteur.

Les résultats obtenus en terme de propagation de l'agitation maximale sur le secteur d'étude correspond à la simulation avec arase du cordon dunaire à 3 mNGF :

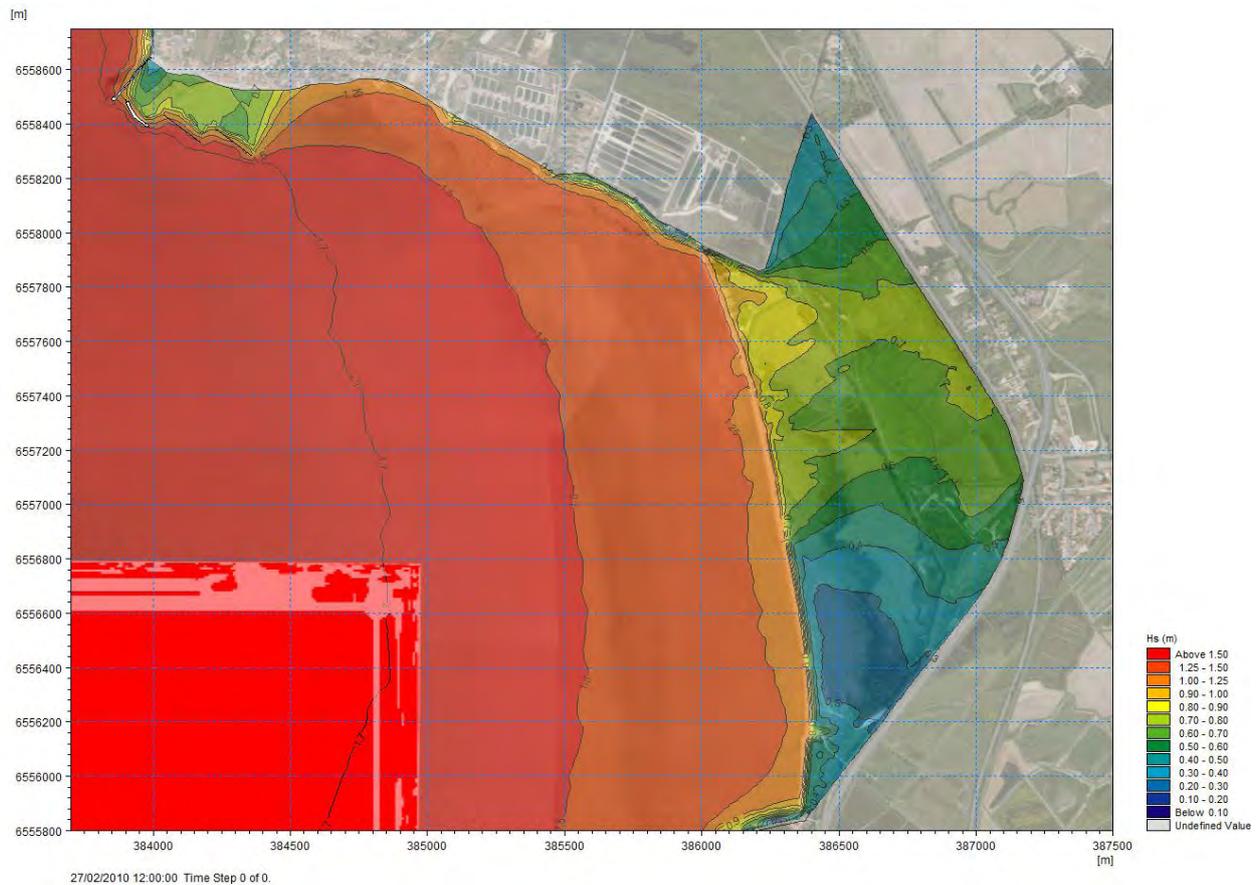


Figure 46 : agitation maximale avec une arase à 3 mNGF du cordon dunaire

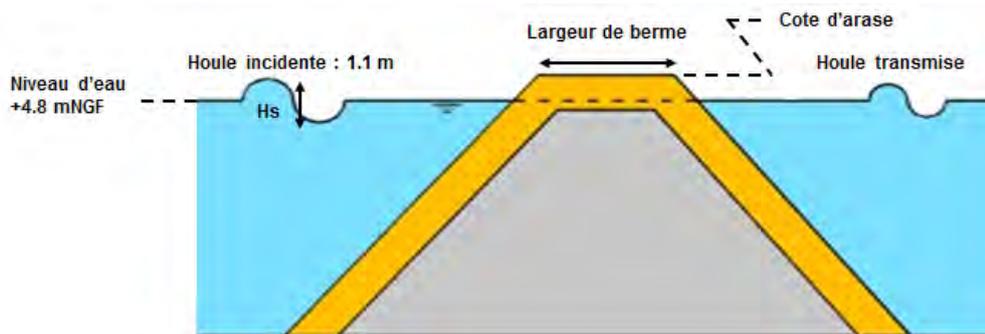
A noter que l'agitation maximale est atteinte pour les configurations de la topographie actuelle et de la brèche de 100 m. Pour la modélisation, les équations du modèle ne peuvent s'appliquer et nécessite la modélisation d'un ouvrage fictif type brise lame.

La houle est ensuite transmise en arrière du cordon en fonction :

- De la houle incidente (Hauteur, période)
- De la cote d'arase du cordon dunaire, par rapport au niveau en mer (Revanche)
- De la largeur du cordon
- Du niveau d'eau en arrière du cordon

En l'état futur (sans entretien du cordon dunaire) et en condition de tempête importante :

- L'agitation transmise sera potentiellement importante, quelle que soit l'état du cordon dunaire,
- Les fortes agitations seront potentiellement limitées par la topographie des marais (atténuation importante de la houle en faible profondeur d'eau)



Arase	3 mNGF				3.5 mNGF				4 mNGF			
	5 m	10 m	15 m	20 m	5 m	10 m	15 m	20 m	5 m	10 m	15 m	20 m
Largeur berme												
Coef transmission	0.96	0.90	0.64	0.63	0.78	0.72	0.48	0.47	0.59	0.54	0.32	0.31
Houle transmise	1.05 m	0.99 m	0.7 m	0.69 m	0.85 m	0.79 m	0.53 m	0.51 m	0.65 m	0.59 m	0.35 m	0.34 m

Figure 47 : exemple de calcul de transmission de la houle en arrière du cordon dunaire selon plusieurs états de celui-ci

A ce titre, il est retenu pour la définition des cotes projets :

- Niveaux de projet : configuration du cordon dunaire générant un niveau élevé dans le marais : modélisation avec une brèche de 100 m
- Agitation de projet : configuration du cordon dunaire générant une agitation élevée dans le marais : modélisation avec le cordon dunaire arasé à +3 m NGF

L'état futur du cordon, a priori sans entretien, ne peut pas être connu. La prise en compte d'une configuration pénalisante, incluant une ruine partielle ou totale de l'ouvrage est nécessaire

A ce titre, l'agitation maximale varie de 30 cm dans les zones les plus calmes à 80 cm dans la réserve (hors digue SACOM en front de mer dont l'agitation atteint 1.25 m).

Que ce soit pour le niveau ou pour l'agitation, les configurations retenues sont très proche des configurations les plus probables

III.4.3. Optimisation des cotes projets en fonction des submersions admissibles en zone terrestre

La méthodologie suivie pour l'optimisation des cotes projets est décomposée de la façon suivante :

- Réalisation de tests de sensibilité au franchissement
- Débits franchissant considérés comme identiques sur tout le linéaire de la digue
- Trois chronogrammes de débits testés avec des débits maximaux de :
 - 3,9 l/s/m
 - 11,2 l/m/s
 - 22,8 l/m/s
- Analyse des résultats des submersions en zone terrestre en arrière de la digue
- Sectorisation du linéaire de digue en fonction de débits franchissants objectifs variables
- Calculs des cotes projet par secteur
- Modélisation de vérification de l'impact des cotes retenues.

Les résultats des trois simulations de débit franchissant sont les suivants :

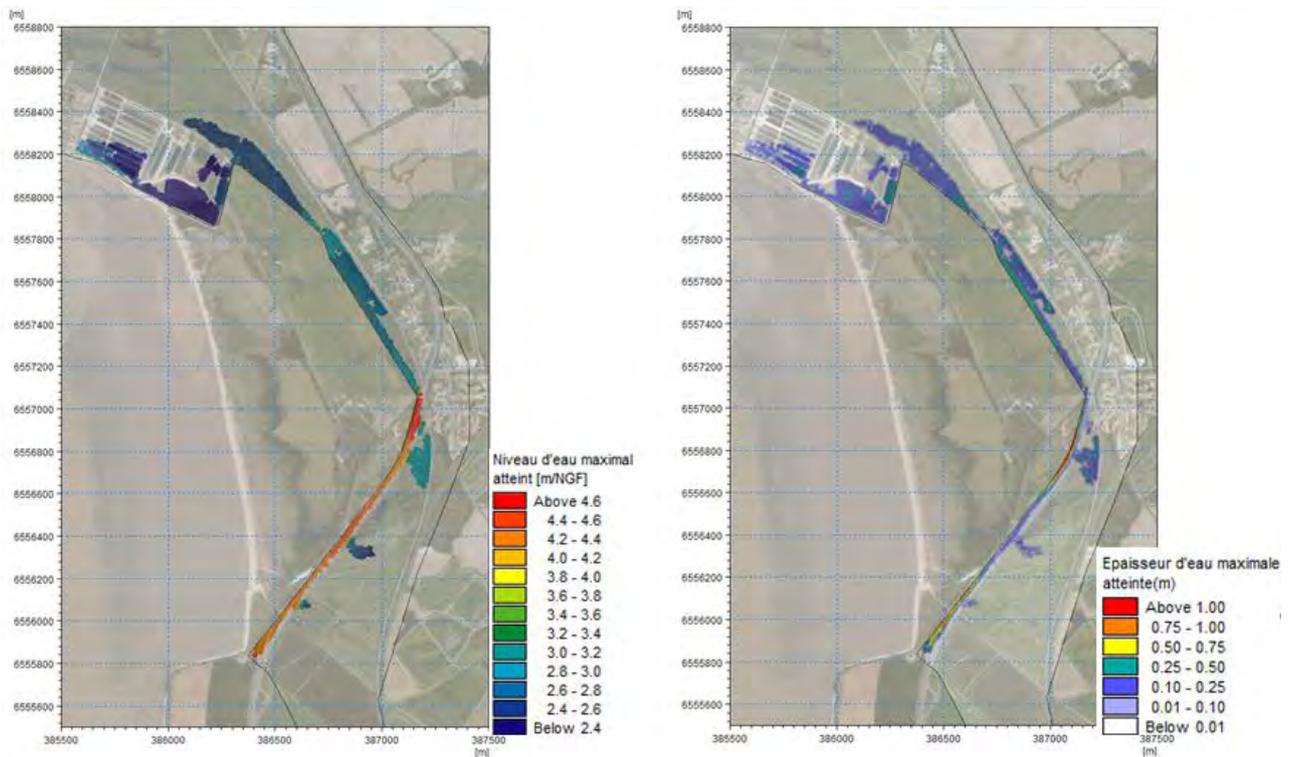


Figure 48 : Résultats des submersions terrestres pour un débit franchissant de 3,9 l/s/m

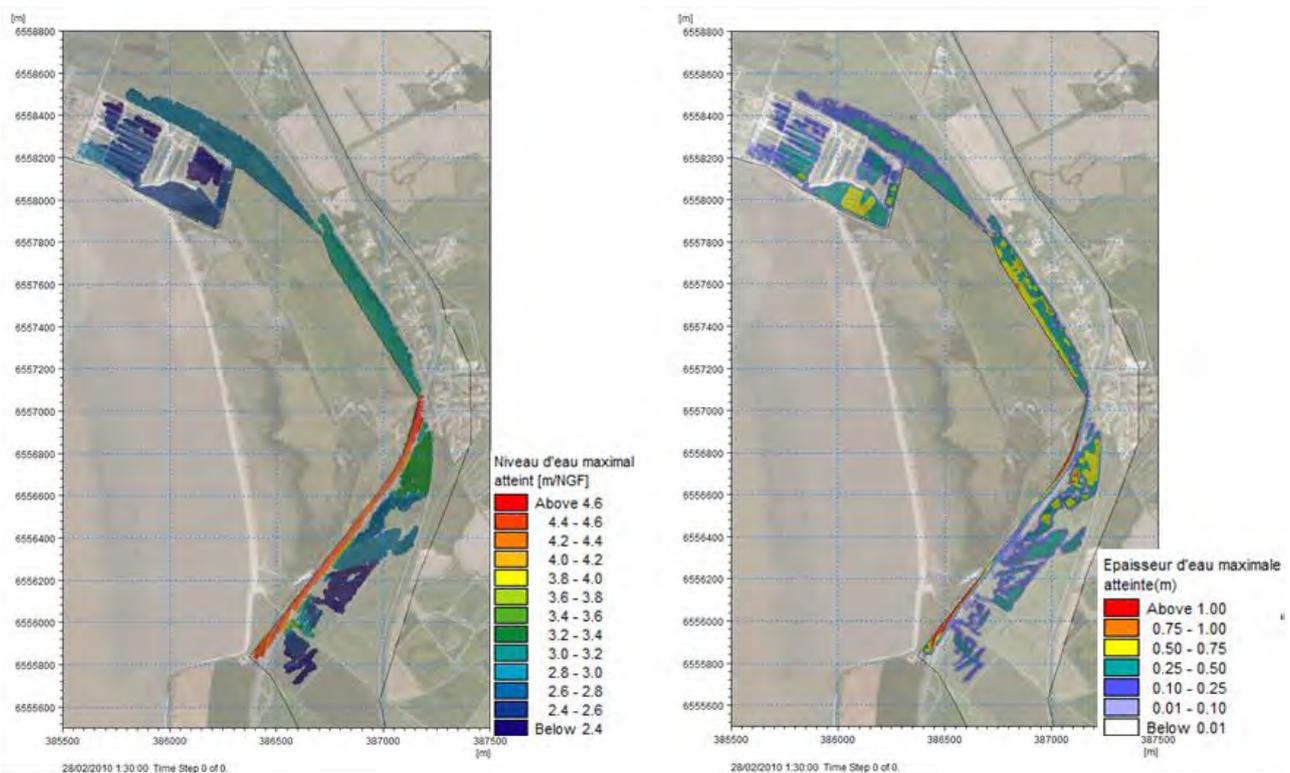


Figure 49 : Résultats des submersions terrestres pour un débit franchissant de 11,2 l/s/m

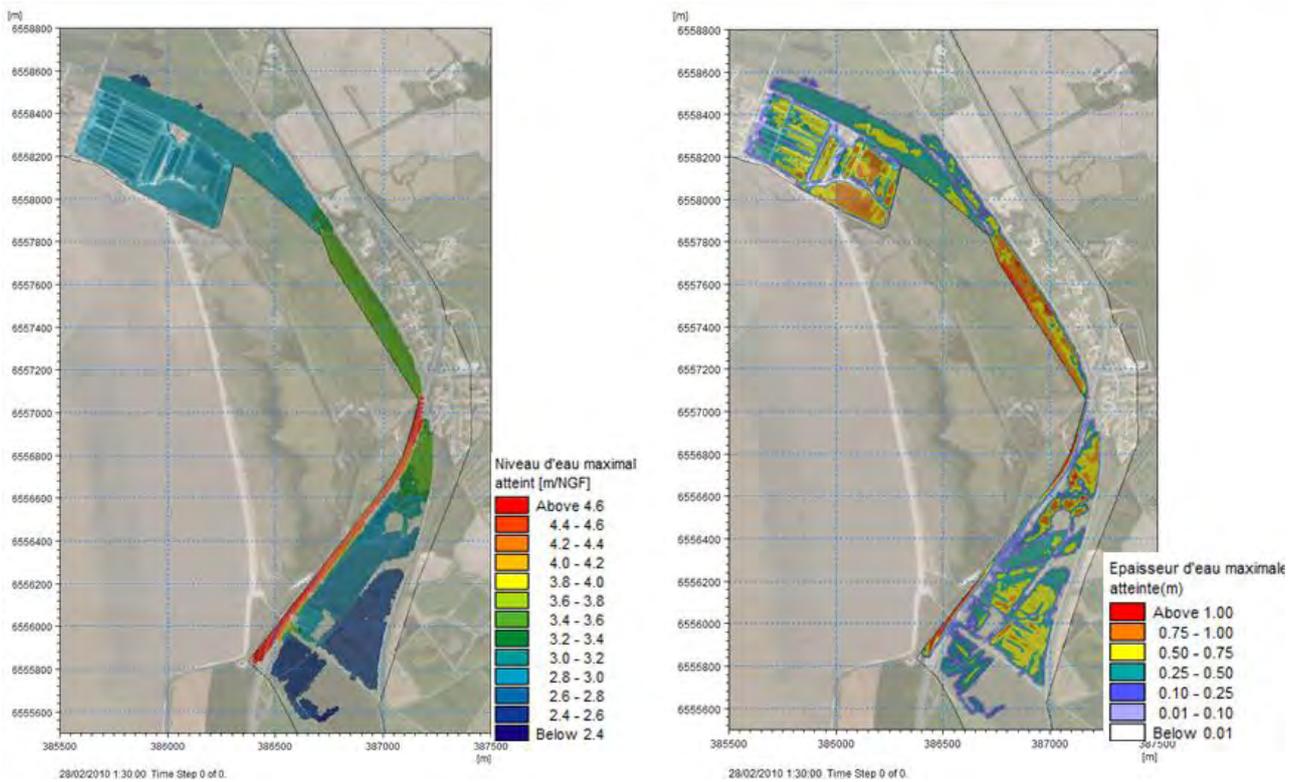


Figure 50 : Résultats des submersions terrestres pour un débit franchissant de 22,8 l/s/m

Pour chaque secteur des débits franchissants admissibles sont ainsi fixés :

- très limités (<5 l/s/m) au sud pour éviter les impacts sur les infrastructures routières et leurs systèmes d'assainissement associés ;
- moyens (10 l/s/m) à l'angle nord-est le long des lagunes à proximité des voies SNCF de sorte à faciliter la gestion ultérieure du ressuyage et éviter le phénomène d'emprisonnement des eaux durant la tempête entre les talus de la digue et des voies ferrées ;
- important (>20 l/s/m) à l'angle nord compte tenu de la possibilité de stockage en arrière de la digue, sans enjeux majeurs ;
- moyens (10 l/s/m) sur les digues le long de la SACOM compte tenu de l'activité professionnelle sur la zone de sorte à limiter les impacts de la tempêtes ;
- faibles (< 5 l/s/m) sur la digue SACOM en front de mer pour rester cohérent avec la digue de protection des Boucholeurs.

Combinées à l'agitation et aux niveaux d'eau de chaque secteur de digue, ces hypothèses de débit franchissant permettent de fixer les cotes d'arase du projet.

III.4.4. Cotes projet retenues par secteurs de digue

La figure suivante présente les différents secteurs et cotes projet retenues en crête de digue. Ces cotes ont été définies par itération après plusieurs modélisations de débit franchissant et selon les résultats de la modélisation en termes de niveau d'eau et de houle significative (Hs).



Figure 51 : Optimisation des cotes projet (sectorisation) au niveau du scenario de digue retenu

Le tableau suivant détaille les éléments pris en compte (notamment débit franchissant) pour la cote d'arasement retenue. La cote finie comprend la **réhausse de 30 cm en terre végétale** (hormis pour les zones 1 à 3) et l'ajout de **10 cm pour palier au risque de tassement** issu de l'étude géotechnique :

		CONDITION INITIALE			CALCUL INITIAL			CALCUL SECURITAIRE		
		N° de secteurs	Niveau max pour brèche de 100 m	Agitation Max pour arasement à 3 m NGF	Revanche par rapport au niveau maximum (m) <i>Valeur plancher fixée à 50 cm.</i>	Cote d'arasement théorique de la digue (m NGF)	Débit franchissant correspondant (l/s/ml)	Cote finie juste après travaux (30 cm TV+ 10 cm tassement)	Débit franchissant correspondant (l/s/ml) <i>Limite à 20 l/s/ml</i>	Cote finie juste après travaux (30 cm TV+ 10 cm tassement) <i>Cotes homogénéisées</i>
Zone SACOM	1	4.80	1.25	0.65	5.85	3.9	5.85	3.9	5.85	
	2	4.80	1.25	0.60	5.80	4.2	5.80	3.9	5.85	
	3	4.90	0.80	0.50	5.40	1.1	5.40	0.3	5.85	
Digue de retrait	4	4.90	0.30	0.50	5.40	6.8	5.80	5.5	5.85	
	5	4.95	0.40	0.50	5.45	14.4	5.85	14.4	6.25	
	5	4.95	0.50	0.50	5.45	28.6	5.85	0.5	6.25	
	6	4.95	0.60	0.60	5.55	35.1	5.95	14.4	6.25	
	6.5	4.95	0.70	0.70	5.65	38.0	6.05	19.1	6.35	
	7	4.95	0.70	1.00	5.95	17.8	6.35	17.8	6.35	
	8	4.95	0.65	0.90	5.85	19.8	6.25	19.8	6.25	
	9	4.95	0.50	1.00	5.95	3.9	6.35	3.9	6.35	
	10	4.95	0.40	0.80	5.75	3.8	6.15	3.8	6.15	
	11	4.90	0.30	0.60	5.50	4.1	5.90	0.2	6.10	
12	4.90	0.40	0.80	5.70	3.7	6.10	3.7	6.10		
Rac.	13	4.80	1.25	0.60	5.40	1.1	5.80	0.5	5.80	

Figure 52 : Justification des cotes retenues

L'optimisation s'est faite en considérant :

- La nécessité de limiter les débits franchissant au sud le long de la RD (secteurs 9 à 12) ;
- Le faible volume disponible à l'arrière de la digue sur les secteurs 7 à 8 ;
- Les volumes disponibles en arrière de la digue au nord de la réserve dans les secteurs se rattachant à la digue SACOM (secteurs 5 et 6.5) ;
- De faibles débits franchissant sur le front de mer de la digue SACOM en cohérence avec les niveaux de protection arrêtés plus au nord sur le secteur des Boucholeurs.

Dans un second temps, il a été actée de limiter le franchissement à 20 l/s/ml, les solutions de confortement du talus arrière par enrochement pouvant présenter des risques sur la pérennité à long terme. Les cotes de protection des tronçons 5, 6 et 6.5 ont été modifiées et élevées de 30 à 40 cm. Cette modification est sans incidence financière du fait de l'économie réalisée par l'absence de fourniture et mise en œuvre d'enrochements sur le talus arrière.

Il est rappelé en ce qui concerne la géométrie et la constitution de la digue que :

- La largeur en crête est fixée à 4 m pour des questions d'entretien ;
- Les pentes de talus sont fixées à 3H/2V (pentes permettant de garantir la stabilité de la digue, (cf. étude géotechnique G12)
- Corps de digue réalisé en matériaux d'apport argileux (A1 à A3), provenant des zones pré identifiées.

III.5 OPTIMISATION DE LA CONCEPTION DE LA DIGUE PAR SECTEURS

III.5.1. Dispositions constructives retenues par zones

En terme de protection des talus, la digue a été optimisée en considérant les valeurs d'agitation et les débits franchissant présentés précédemment.

La protection des talus a été considérée de la façon suivante :

- Systèmes de protection des talus côté mer en fonction de l'agitation

Agitation	Commentaire	Système de protection du talus retenu sous la terre végétale
< 45 cm	Talus en terre peu sollicité	Pas de protection : une géogridde anti-fouisseurs est proposée en option
45-60 cm	Effet de la houle assimilable à du batillage	Système géotextile anti-érosion pour l'accroche de terre (type TERACRO)
60-80 cm	Effet de la houle devenant significatif	Monocouche d'enrochement de diamètre moyen 0.40 m posée sur un géotextile 400g/m ² minimum
> 80 cm	Effet de la houle important	Carapace en enrochement monocouche 1-2T posée sur une couche de filtre 200/400m, de 40 cm d'épaisseur en moyenne, posée sur géotextile 600g/m ² minimum

Figure 53 : Dispositifs constructifs de protection des talus face mer

- Systèmes de protection des talus côté terre en fonction des débits franchissant

Débit franchissant	Commentaire	Système de protection du talus retenu sous la terre végétale
< 10L/s/m	Talus en terre peu sollicité	Pas de protection : une géogridde anti-fouisseurs est proposée en option
10-25 L/s/m	Franchissement plutôt assimilable à du déversement d'intensité limitée	Système géotextile anti-érosion pour l'accroche de terre (type TERACRO)
> 25 L/s/m	Franchissement plutôt assimilable à du déversement d'intensité moyenne à forte	Monocouche d'enrochement de diamètre moyen 0.40 m posée sur un géotextile 400g/m ² minimum

Figure 54 : Dispositifs constructifs de protection des talus côté terre

Justification des dispositifs de protection des talus

Pour des franchissements d'intensité limitée ou des effets de houle assimilables à du batillage, il a été retenu la mise en œuvre d'un géotextile anti-érosion pour l'accroche de terre (type TERACRO, cf fiche technique en annexe).

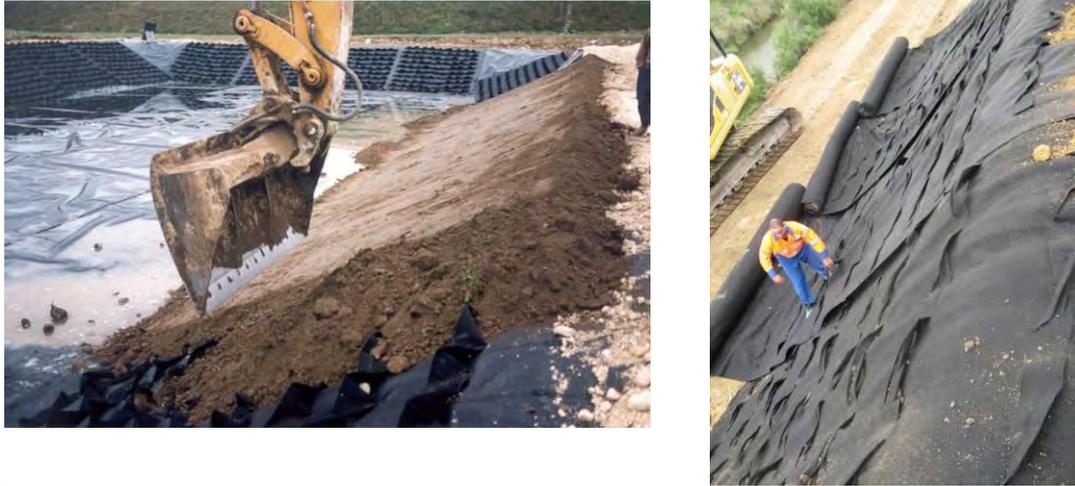


Figure 55 : Illustration de mise en œuvre de géotextile de maintien des terres

Ce système comporte un fond support sur lequel sont fixés des reliefs linéaires, à base de géotextile non-tissé aiguilleté polypropylène en fibres de gros denier qui permettent la tenue de la terre végétale. La nappe support est renforcée par des câbles en polyester régulièrement espacés. Les caractéristiques de ce type de produit sont les suivantes :

<i>Caractéristiques mécaniques</i>			
		<i>Nominal</i>	<i>Tolérance</i>
Résistance à la traction (kN/ml)	SP	40	-13
NF ISO 10319	ST	21	-2,7
Déformation à l'effort de traction maximale (%)	SP	6.8	±1.6
NF ISO 10319	ST	90	±20.7
Poinçonnement pyramidal (kN)		2,7	-0,75
NF G 38 019			
Chute de cône (mm)		4.5	+1,3
NF 13433			
CBR (kN)		3,5	-0,7
NF ISO 12236			
<i>Caractéristiques hydrauliques</i>			
Capacité de débit dans le plan (m ² /s)	SP	3.6.10⁻⁵	-1.1.10 ⁻⁵
NF ISO 12 958 (20kPa et i=1)	ST	3.6.10⁻⁵	-1.1.10 ⁻⁵
Perméabilité normale au plan (m/s)		60.10⁻³	-0,018
(L/m ² .s)		60	-18
NF EN ISO 11058			
Ouverture de filtration caractéristique (µm)		125	±37,5
NF EN ISO 12958			
<i>Caractéristiques descriptives</i>			
Epaisseur nominale sous 2 kPa de la nappe support (mm)		5,5	±1,1
NF EN 964-1			
Masse surfacique de la nappe support (g/m ²)		550	±55
Non tissée			
NF EN 965			
Masse surfacique totale (g/m ²)		844	±84
NF EN 965			
SP: sens production ST: sens travers			

Figure 56 : Caractéristiques mécaniques et techniques des géotextiles de maintien des terras

Pour des franchissements d'intensité ou des effets de houle plus importants, il a été retenu la mise en œuvre du dispositif suivant

- Pose d'une un géotextile de séparation/filtration/protection aiguilleté non tissé de densité 400g/m² minimum ;
- Pose d'une monocouche d'enrochement de diamètre moyen 0.40 m (densité minimale 2.4 T/m³)

Pour le dimensionnement de diamètre des blocs, la digue a été assimilée à un déversoir de crue. Un débit de pointe correspondant à 10 fois le débit franchissant moyen maximum a été considéré (soit environ 400 L/s).

La stabilité a été vérifiée selon 2 méthodes pour un débit de 400 L/s et une pente de talus de 3H/2V (66%).

Formule de Wittaker et Jäggi (1986)	
Détermination de Q_{max} = débit maximal unitaire permissible au-dessus des enrochements déversés en fonction de la pente I et du D_{65} des enrochements	
Masse volumique blocs (kg/m ³)	2400.00
D_{65} (m)	0.36
Pente I (m/m)	0.67
Qmax (m³/s/m)	0.40

Calcul de stabilité des seuils en enrochements (selon Degoutte)	
Si le seuil est dénoyé, l'écoulement sur le parement aval est de type torrentiel accéléré. La vitesse peut être calculée tout au long du parement. Il est donné ci-après le résultat lorsque l'écoulement devient uniforme (mais pour un seuil de faible hauteur, ce calcul est pessimiste)	
Hypothèse section rectangulaire, formule de Strickler en régime uniforme) $V = K * y^{(2/3)} * i^{(1/2)}$ $q = K * y^{(5/3)} * i^{(1/2)}$ On admet la formule empirique suivante : $K = 21/D^{(1/6)}$	
D (m) étant le diamètre médian des enrochements on en conclue : $D = 0.88 * q^{(2/3)} * i^{(1/2)}$	
Calcul de d50 (m)	0.39

Les résultats donnent des blocs de diamètre D_{50} à 0.40 m et D_{65} à 0.36 m, ce qui justifie le choix de blocs à 0.40 m de diamètre moyen.

La littérature en ouvrages maritimes donne des résultats similaires.

Pour la pérennité des ouvrages les différents lés de géotextiles mis en œuvre seront soit cousus, soit posés avec un recouvrement suffisant (minimum 70 cm).

Enfin dans les secteurs ne faisant pas l'objet d'une protection de talus spécifique (hormis la couche de terre végétale ensemencée), la pose d'une géogridde anti-fouisseurs est proposée en option.

Ces dispositions et dispositifs pourront le cas échéant être adaptés/optimisés, fonction des résultats de la mission géotechnique G2-Projet.

Les types de protections de talus retenus par secteurs sont présentés dans le tableau suivant :

	N° de secteurs	Agitation Max pour arase à 3 m NGF	Débit franchissant correspondant (l/s/ml)	Cote finie juste après travaux	Protection talus côté Mer sous la terre végétale	Protection talus côté Terre sous la terre végétale
Zone SACOM	1	1.25	2.43	5.85	Carapace en enrochement monocouche 1-2T posée sur une couche de filtre 200/400m, de 40 cm d'épaisseur en moyenne, posée sur géotextile 600g/m ² minimum	Pas de protection : une géogridde anti-fouisseurs est proposée en option
	2	1.25	2.43	5.85	Carapace en enrochement monocouche 1-2T posée sur une couche de filtre 200/400m, de 40 cm d'épaisseur en moyenne, posée sur géotextile 600g/m ² minimum	Pas de protection : une géogridde anti-fouisseurs est proposée en option
	3	0.80	0	5.85	Carapace en enrochement monocouche 1-2T posée sur une couche de filtre 200/400m, de 40 cm d'épaisseur en moyenne, posée sur géotextile 600g/m ² minimum	Pas de protection : une géogridde anti-fouisseurs est proposée en option
Digue de retrait	4	0.30	5.5	5.85	Pas de protection : une géogridde anti-fouisseurs est proposée en option	Pas de protection : une géogridde anti-fouisseurs est proposée en option
	5	0.50	<10	6.25	Système géotextile anti-érosion pour l'accroche de terre (type TERACRO)	Système géotextile anti-érosion pour l'accroche de terre (type TERACRO)
	6	0.60	14.4	6.25	Monocouche d'enrochement de diamètre moyen 0.40 m posée sur un géotextile 400g/m ² minimum	Système géotextile anti-érosion pour l'accroche de terre (type TERACRO)
	6bis	0.70	19.1	6.35	Monocouche d'enrochement de diamètre moyen 0.40 m posée sur un géotextile 400g/m ² minimum	Système géotextile anti-érosion pour l'accroche de terre (type TERACRO)
	7	0.70	17.8	6.35	Monocouche d'enrochement de diamètre moyen 0.40 m posée sur un géotextile 400g/m ² minimum	Système géotextile anti-érosion pour l'accroche de terre (type TERACRO)
	8	0.65	19.8	6.25	Monocouche d'enrochement de diamètre moyen 0.40 m posée sur un géotextile 400g/m ² minimum	Système géotextile anti-érosion pour l'accroche de terre (type TERACRO)
	9	0.50	3.9	6.35	Système géotextile anti-érosion pour l'accroche de terre (type TERACRO)	Pas de protection : une géogridde anti-fouisseurs est proposée en option
	10	0.40	3.8	6.15	Pas de protection : une géogridde anti-fouisseurs est proposée en option	Pas de protection : une géogridde anti-fouisseurs est proposée en option
	11	0.30	0.0	6.10	Pas de protection : une géogridde anti-fouisseurs est proposée en option	Pas de protection : une géogridde anti-fouisseurs est proposée en option
	12	0.40	3.7	6.10	Pas de protection : une géogridde anti-fouisseurs est proposée en option	Pas de protection : une géogridde anti-fouisseurs est proposée en option
Rac	13	1.25	<10	5.80	Carapace en enrochement monocouche 1-2T posée sur une couche de filtre 200/400m, de 40 cm d'épaisseur en moyenne, posée sur géotextile 600g/m ² minimum	Pas de protection : une géogridde anti-fouisseurs est proposée en option

Figure 57 : Synthèse des protections mises en œuvre sur les talus en face mer et côté terre

Les profils type de digue sont présentés pages suivantes.

III.5.2. Cas de la Digue SACOM au niveau du front de mer

La conception proposée suit les prescriptions de l'étude géotechnique G12 émises à ce stade.

Il est prévu :

Sur le secteur 1 (zone plus basse déjà enrochée et en bon état) :

- Décapage superficiel
- Réhausse du corps de digue en remblais d'apport argileux A1-A3
- Au niveau du talus arrière : talutage à la pente 3H/2 et mise en œuvre d'une couche de terre végétale avec ensemencement (plantes fixantes)
- Au niveau du talus côté mer :
 - Prolongement de la carapace en enrochements selon les hypothèses suivantes :
 - Mise en œuvre d'un géotextile de filtration/protection/séparation aiguilleté non tissé 600g/m² minimum ;
 - Mise en œuvre d'une couche d'enrochements de filtre de diamètre 200/400m, sur une épaisseur moyenne de 40 cm ;
 - Mise en place d'une carapace monocouche de blocs 1-2T.



Sur les secteurs 2 et 3 (zone plus haute et partiellement enrochée avec des blocs calcaire : cf pointillé violet)

- Décapage de la terre végétale sur le talus arrière et mise en stock pour réemploi;
- Décapage de la GNT récupérable (chemin existant) et mise en stock pour réemploi ;
- Dépose et mise en stock des blocs calcaire côté mer
- Démontage et purge du corps de la digue en place sur une hauteur de 4 m ;
- Réalisation du corps de digue en remblais argileux A1-A3
- Utilisation d'une partie du déblai en remblai pour remodelage du talus arrière
- Evacuation des déblais excédentaires à la charge de l'entreprise
- Au niveau du talus arrière : talutage à la pente 3H/2 et mise en œuvre d'une couche de terre végétale avec ensemencement (plantes fixantes)

- Au niveau du talus côté mer :
 - Réalisation d'une carapace en enrochements selon les hypothèses suivantes :
 - Mise en œuvre d'un géotextile de filtration/protection/séparation aiguilleté non tissé 600g/m² minimum ;
 - Mise en œuvre d'une couche d'enrochements de filtre de diamètre 200/400m, sur une épaisseur moyenne de 40 cm ;
 - Mise en place d'une carapace monocouche de blocs 1-2T : **les blocs calcaire en place seront réutilisés en partie haute du talus.**

Remarques: Vu les faibles débits franchissant nous n'avons pas prévu la pose d'un géotextile comme proposé dans le cadre de l'étude géotechnique G12.

III.5.3. Profils type de l'ouvrage

Une optimisation pourra intervenir suite à la réalisation de la mission géotechnique G2 (évaluation de la possibilité de réemploi des matériaux en place notamment moyennant un compactage dans les règles de l'art). L'ensemble de la digue a été modélisée sous COVADIS v2013H de sorte à fiabiliser le calcul des cubatures et générer les profils types de digue.

Nota :

- sur le secteur 1, il est envisagé d'utiliser une partie des déblais en remblaiement en arrière de la digue de front de mer jusqu'à la digue ceinturant la digue SACOM. **Aucune purge n'est prévue sur le secteur.**
- sur les secteurs 2 et 3, le profil de digue implanté et réalisé sera complété par en remblaiement en redans du talus arrière jusqu'à retrouver le profil existant. Cela permet de limiter les évacuations de déblais.

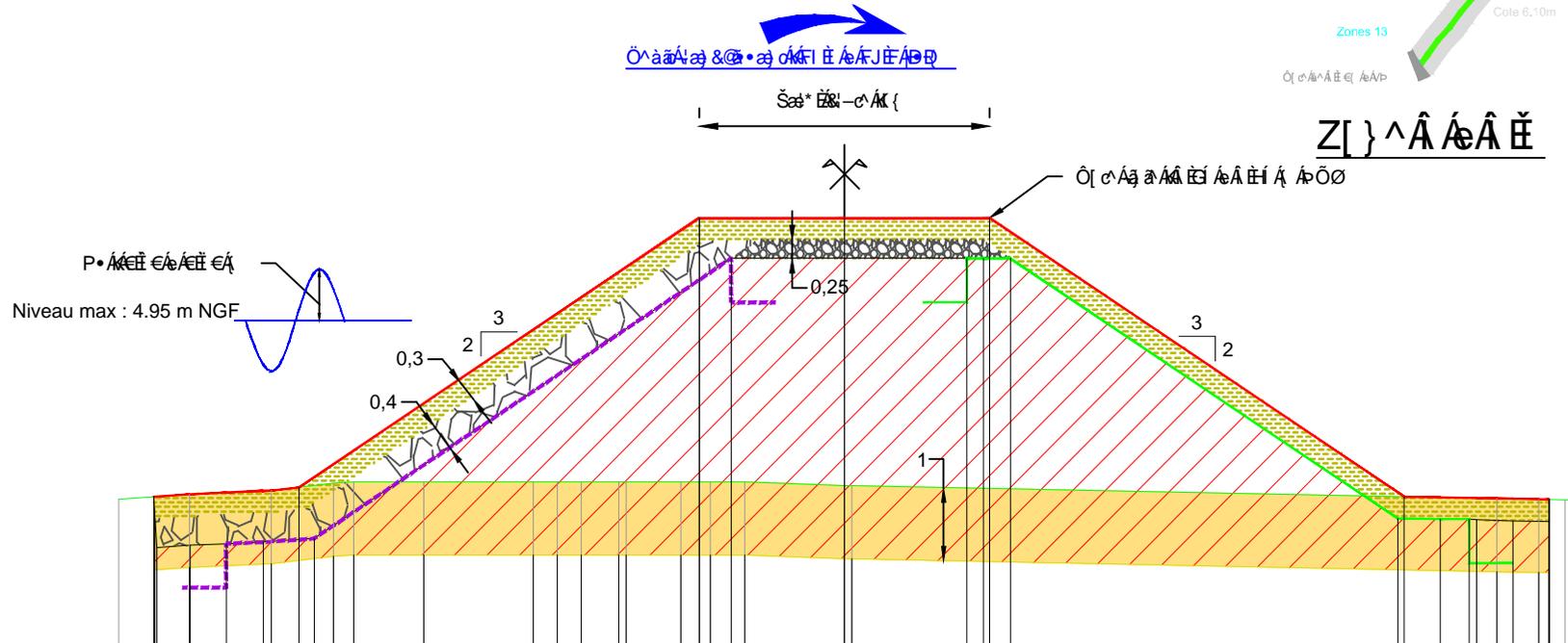
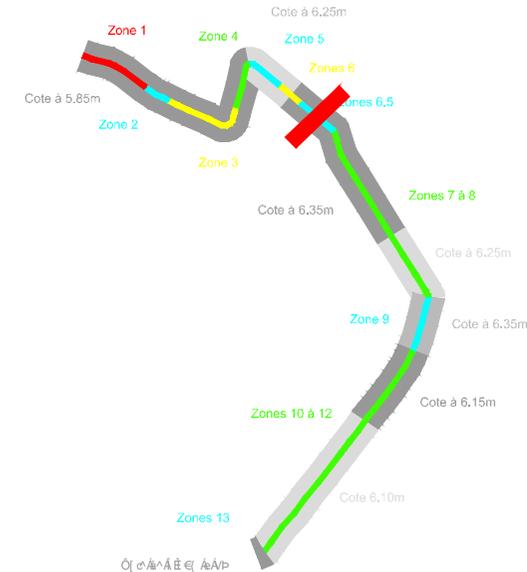
PROJET DE TRACÉ

Abscisse : 2500.00 m

Echelle des longueurs : 1/100

Echelle des altitudes : 1/100

-  Terrain naturel
-  Remblai" data-bbox="62 207 98 222"/> Remblai
-  Déblai" data-bbox="62 253 98 268"/> Déblai
-  Couverture végétale" data-bbox="62 299 98 314"/> Couverture végétale
-  Ensemencement" data-bbox="62 345 98 360"/> Ensemencement



P. Niveau max : 4.95 m NGF

PC : 0.50 m

Altitudes TN	0.00	2.51	2.58	2.63	2.73	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.70	2.75	2.52	2.51	2.50				
Ö. c. a. l. e. a. p.	0.00	0.98	2.11	2.96	3.24	4.20	5.71	6.05	6.38	6.88	7.74	8.15	8.63	10.00	18.98	19.56	20.00			
Altitudes Projet		2.54	2.58	2.63	2.67	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.70	2.75	2.55	2.54	2.53	2.52			
Distance partiel Projet		0.50	0.50	0.50	0.38		5.52				2.00	2.00		5.71	0.50	0.50	0.28	0.22	0.35	0.13

III.5.4. Modélisation de l'ouvrage définitif et estimation des volumes franchissants

Méthodologie utilisée pour le calcul des volumes hydrauliques entrant :

- Simulation des conditions hydrodynamiques en entrée
- Sorties des valeurs H_s , T_p et niveau d'eau le long de l'ouvrage pendant toute la durée de l'événement

Les figures suivantes explicitent le mode de calcul des volumes franchissants :

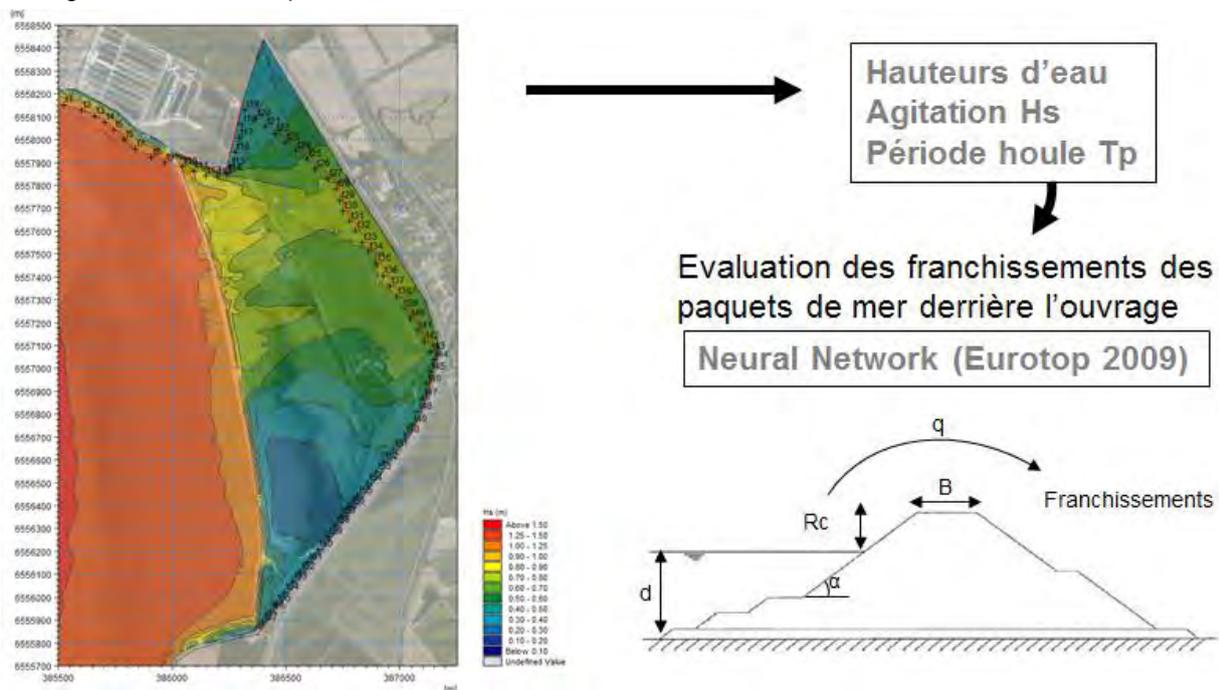


Figure 67 : Evaluation des franchissements de paquets de mer

Intégration des débits sur :

- La durée de la tempête
- Le linéaire de côte concerné

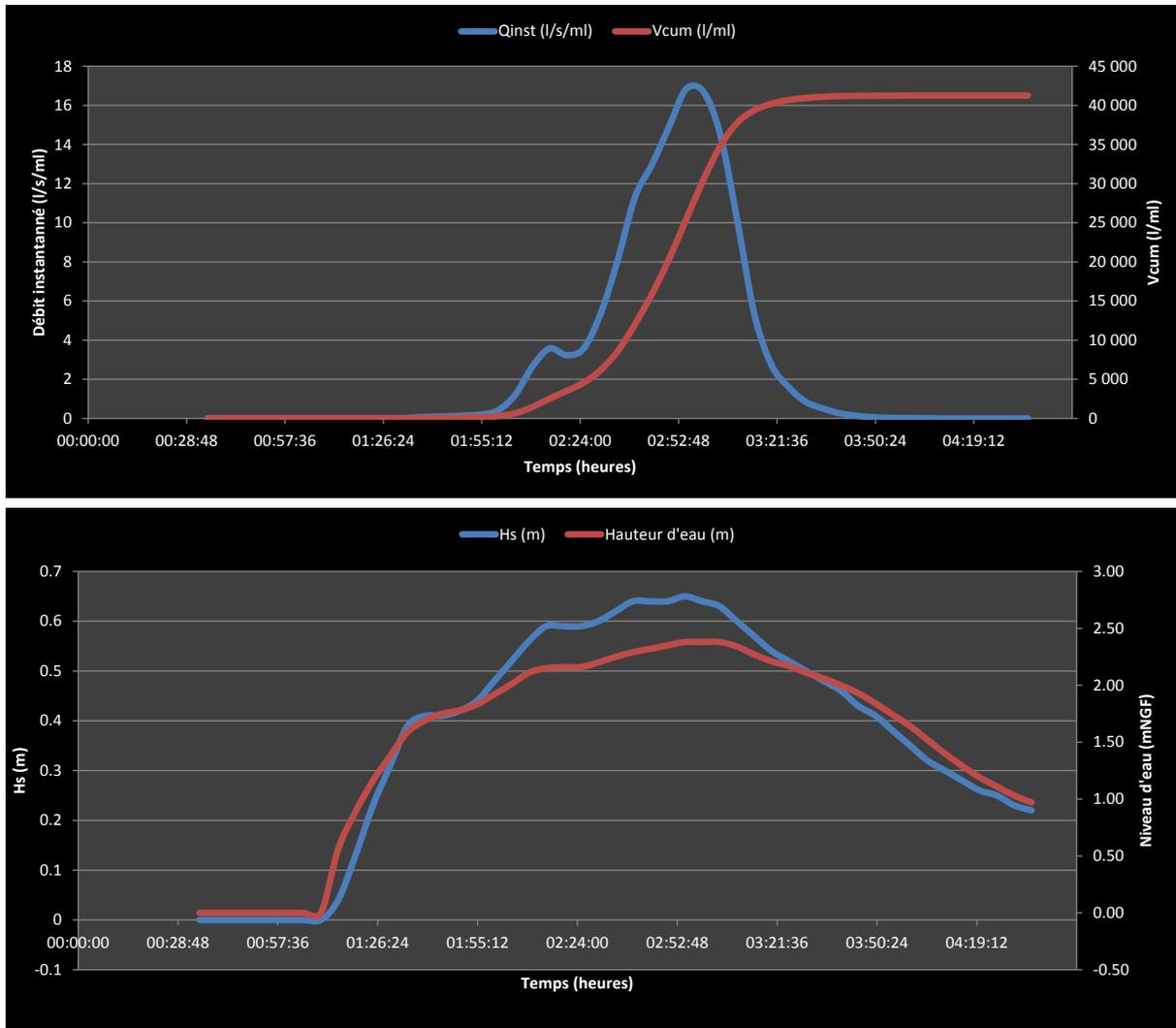


Figure 68 : Evolution des niveaux et de l'agitation dans le temps pour le calcul des volumes franchissants

Les résultats des simulations sont alors les suivants :

- ✓ **Volume par secteur**
 - ✓ Secteur SACOM (zone 1 à 4) : 14 300 m³
 - ✓ Secteur Marais Nord (zone 5 à 6) : 13 200 m³
 - ✓ Secteur Marais Est (zone 7 à 8) : 32 700 m³
 - ✓ Secteur 2x2 voies (zone 9 à 12) : 6 300 m³
- ✓ **Volume total : 66 500 m³**

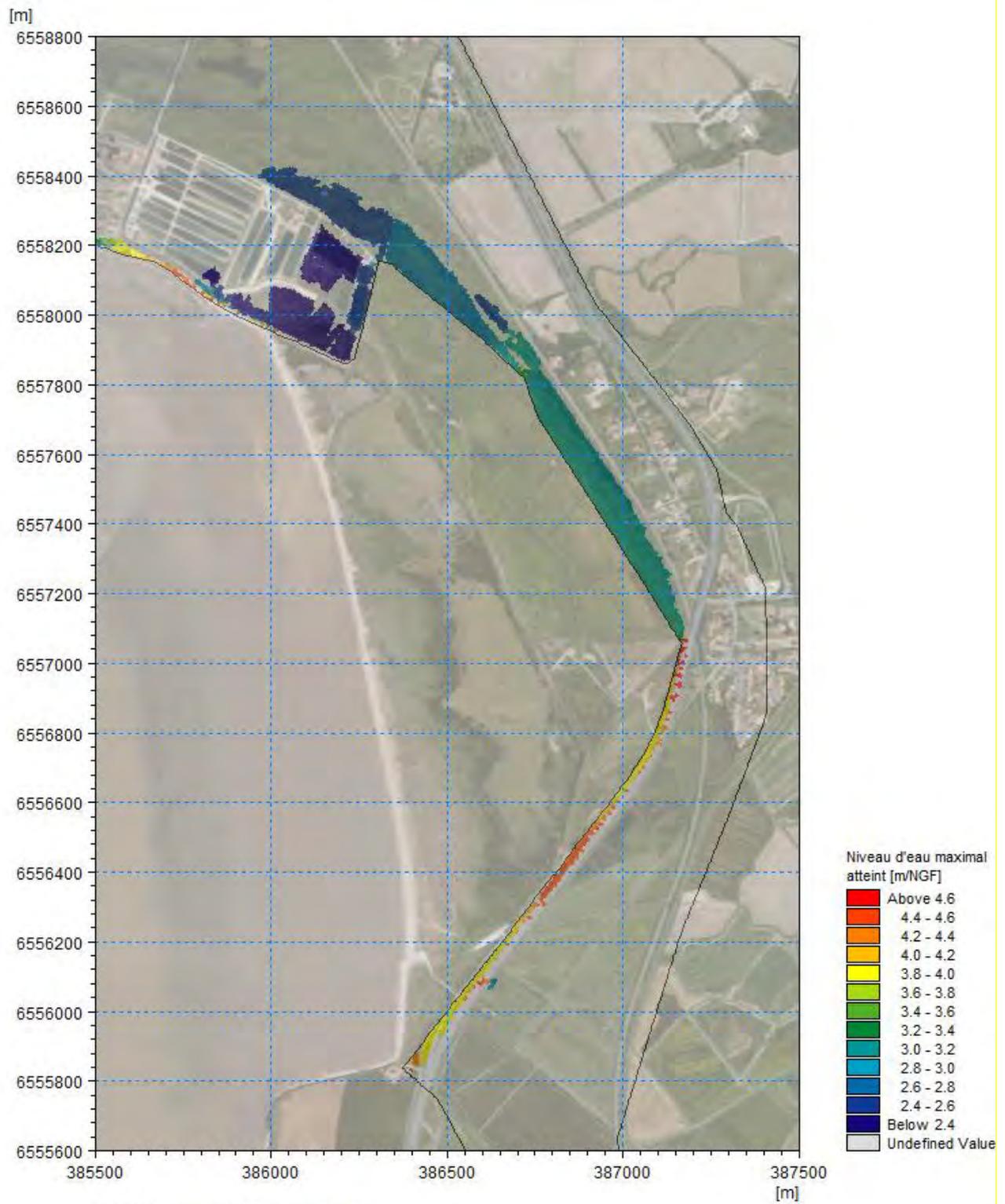


Figure 69 : Enveloppes de submersion terrestre pour les cotes optimisée et la tempête Xynthia : niveau d'eau maximum

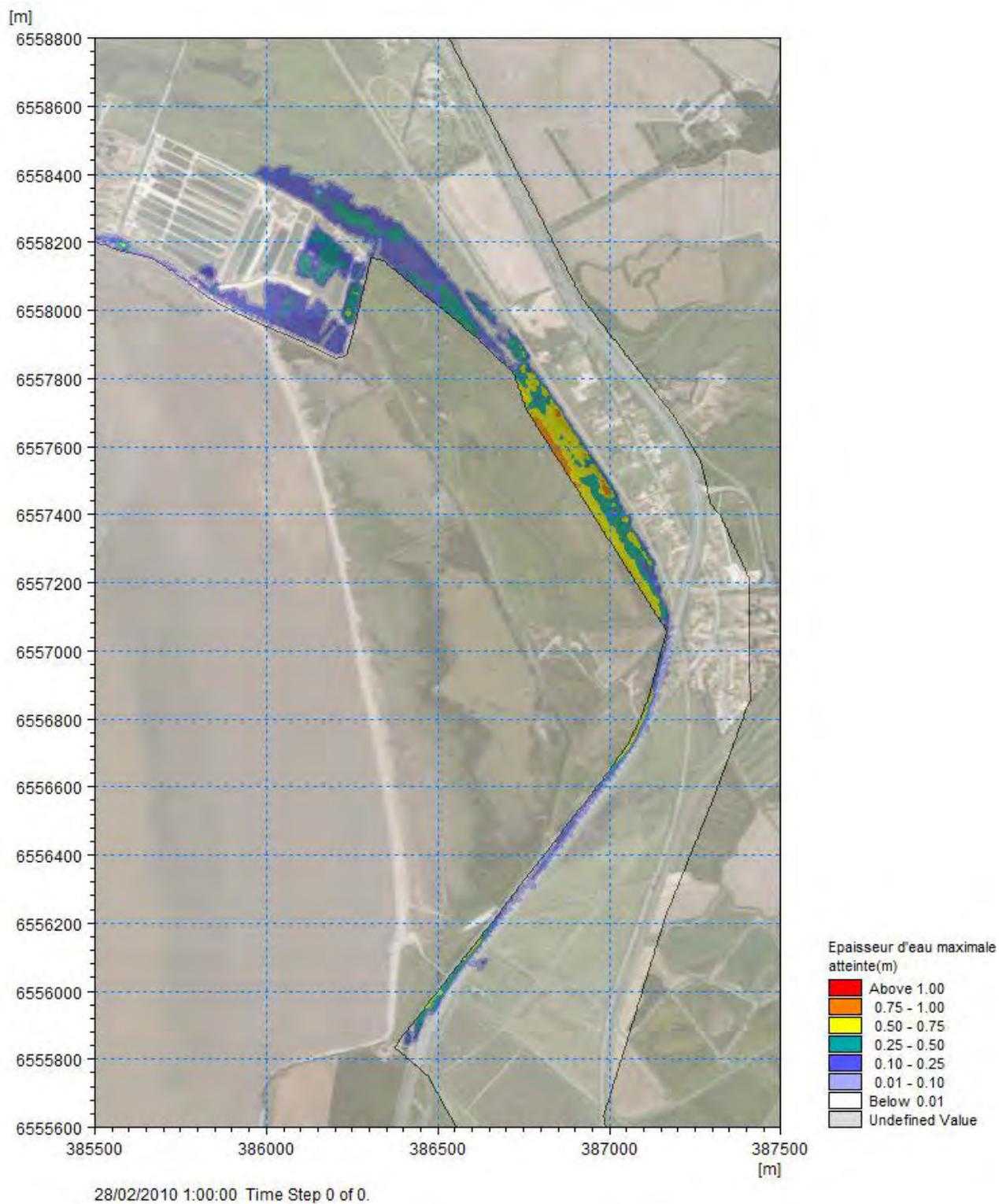


Figure 70 : Enveloppes de submersion terrestre pour les cotes optimisée et la tempête Xynthia : épaisseur d'eau maximum

III.6 DESCRIPTION DES TRAVAUX PREPARATOIRE D'EXTRACTION DES MATERIAUX DE LA ZONE D'EMPRUNT

III.6.1. Volume d'argile disponible

En fonction des données topographiques de la zone d'emprunt n°1 retenue (données Litto 3D®), des sondages géotechniques de reconnaissance et du plan de drainage, plusieurs modèles numériques de terrain ont été construits pour définir le volume d'argile disponible.

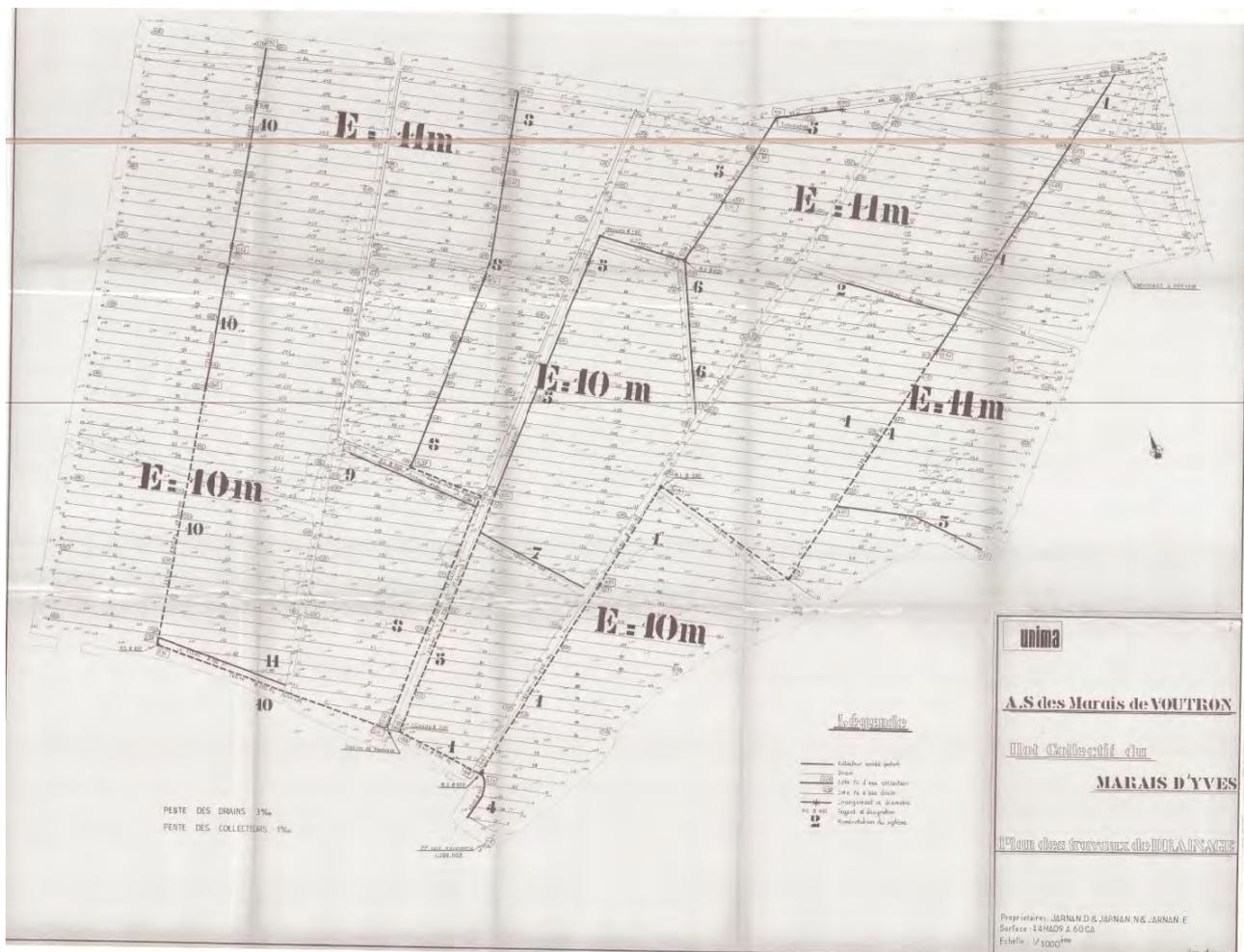


Figure 71 : Plan de drainage de la parcelle de la zone d'emprunt n°1

De cette approche, il ressort les résultats suivants :

- Le volume total d'argile (A3) disponible est de 474 240 m³, supérieur au besoin pour l'édification de la digue (142 000 m³) ;
- Le volume total d'argile (A3) au-dessus des nappes de drains est de 320 500 m³, supérieur au besoin pour l'édification de la digue (142 000 m³) ;

III.6.2. Choix de la zone d'extraction au sein de la zone d'emprunt

Au sein de la parcelle de 43,5 Ha, il est nécessaire d'identifier une zone d'extraction et une zone de mise en stock de l'argile pour ressuyage avant emploi. A ce titre, la moitié Nord de la parcelle, qui comprend le stock d'argile le plus facile à extraire au-dessus du réseau de drainage avec une puissance de la formation de l'ordre de 0,60 à 1,00 mètre en moyenne.

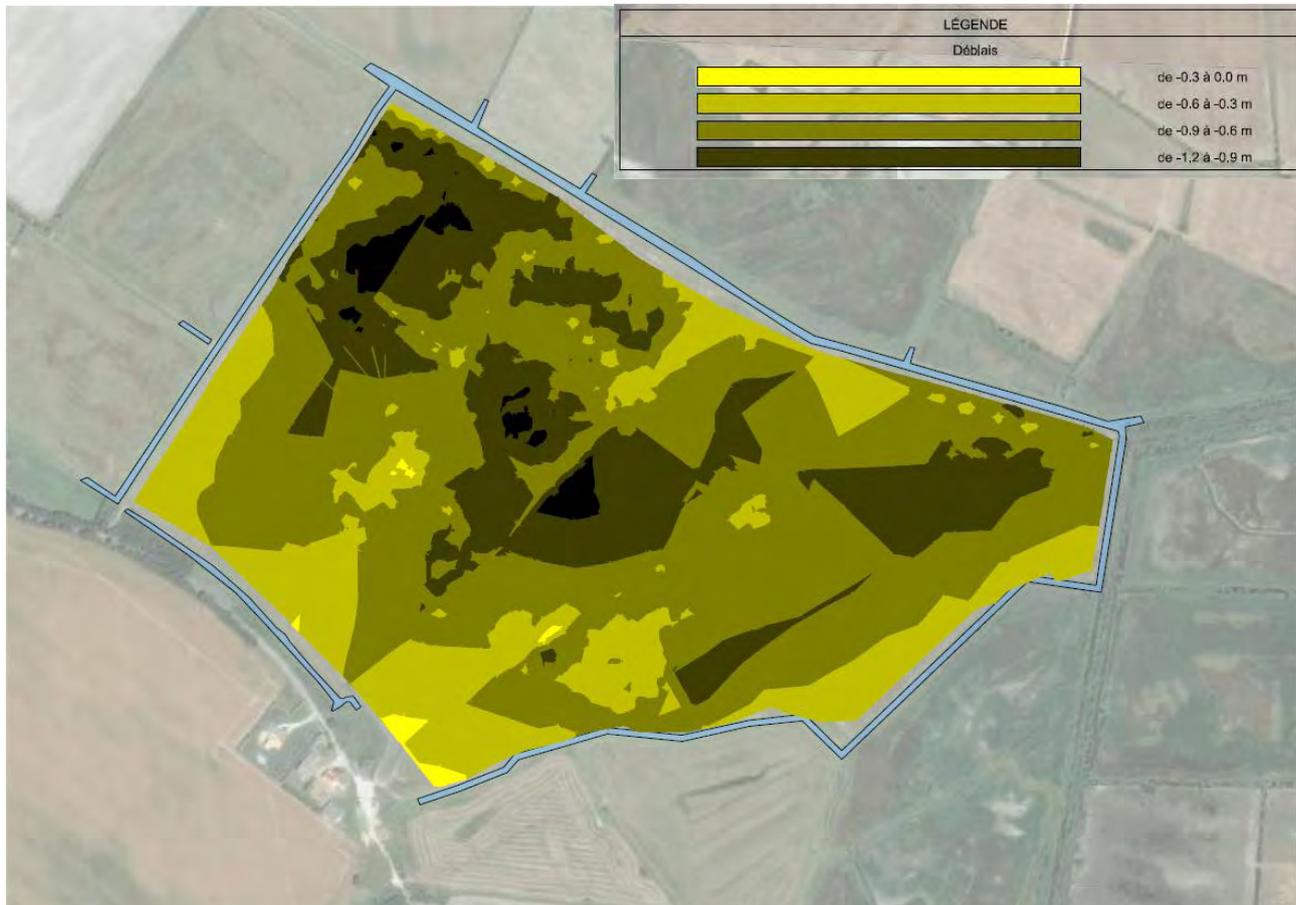


Figure 72 : Puissance de la couche d'argile marron (A3) au-dessus de la nappe de drains

Pour les besoins du chantier, il est compté une extraction de 172 800 m³ permettant de couvrir les besoins pour l'édification de la digue (142 000 m³) et les possibles excédents de terrassement nécessaires au tri des matériaux.

D'après la modélisation des différentes couches du sol, l'extraction du volume d'argile nécessite une surface de 19,7 Ha. La mise en stock de l'argile (228 850 m³ tenant compte d'un coefficient de foisonnement à l'extraction de l'ordre de 30%) peut être réalisée sur une surface de 12,7 Ha sur une hauteur de 1,80 mètres, assurant un ressuyage correct.

Préalablement à l'extraction de l'argile, la terre végétale / terre arable supérieure est extraite (51 300 m³) et mise en stock en merlon autour de la zone d'extraction de l'argile.

Le plan de terrassement pour l'extraction est le suivant :



Figure 73 : Plan de terrassement de la zone d'emprunt

Lors des terrassements pour l'extraction d'argile, les drains marquant la profondeur de fin d'extraction seront extraits et évacués.

Les drains sur la zone de ressuyage sont conservés jusqu'à aménagement définitif de la parcelle. Ils seront obturés par l'aval à l'issue des mouvements de terre nécessaire à l'édification de la digue.

III.6.3. Plan d'aménagement de la zone d'emprunt pour l'accueil des mesures compensatoires

Les terrassements nécessaires à l'ancrage de la digue génèrent des déblais dans la réserve naturelle qui seront ramenés sur la zone d'emprunt, pour un volume de 55 000 m³. A ce titre, le différentiel entre les déblais d'argile pour l'édification de la digue et le retour des matériaux d'ancrage est de 87 000 m³.

L'aménagement de la parcelle a alors été conçu de la façon suivante :

- Equilibrer les volumes de déblais-remblais pour éviter autant que possible l'export ou l'apport de matériaux ;
- Respecter les surfaces d'habitats à compenser au sein de 43,5 Ha de la zone d'emprunt :
 - Prairie subhalophiles 1410-3 (dont une partie dite de « bas niveau », inondée en hivers favorable au développement de la renoncule à feuille d'ophioglosse) ;
 - Mares permanentes et temporaires ;
 - Fossés ;
 - Ripisylve de saule et de frêne ;
 - Lisière pré-forestière d'Ones.

Grâce à cette approche, le plan de l'aménagement définitif de la restauration écologique de la parcelle de la zone d'emprunt est le suivant :

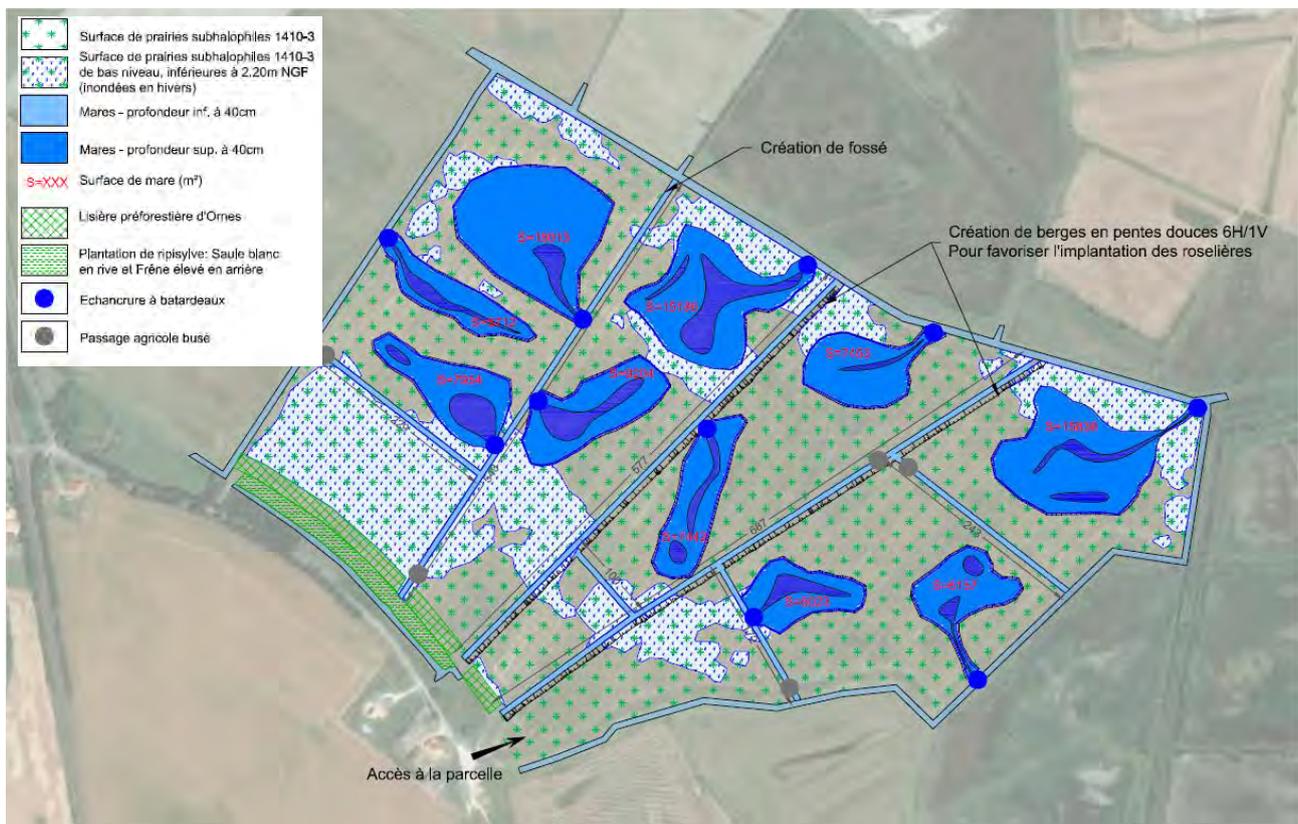


Figure 74 : Plan d'aménagement de la zone d'emprunt

III.7 DESCRIPTION DES TRAVAUX, ORGANISATION ET PHASAGE DU CHANTIER

III.7.1. Préambule

L'objectif fixé en concertation avec le comité de pilotage a été de réaliser l'intégralité des travaux de création de la digue de retrait sur une seule année. Il s'agit de concentrer l'intervention afin de limiter l'impact du chantier sur la faune et la flore de la réserve en évitant des travaux sur 2 années consécutives.

III.7.2. Phasage général et périodes d'intervention

Les grandes étapes du phasage du chantier de construction de la digue sont les suivantes :

Construction de la digue de retrait	
Dépôt des dossiers réglementaires définitifs	Mars 2016
Obtention des autorisations et acquisition foncière	Janvier 2017
1 -Travaux préparatoires sur la zone d'emprunt	Septembre-octobre 2016 <i>Sous réserve d'une autorisation de travaux anticipée</i>
2 - Travaux de construction de la digue à l'intérieur de la réserve	Début mars 2017 à mi-octobre 2017
3 - Travaux de confortement de la digue SACOM	De mi-septembre à décembre 2017

Le phasage et les périodes d'intervention pour les travaux connexes et mesures compensatoires sont les suivantes :

Travaux connexes et mesures compensatoires	
Aménagement de la ferme du Rocher	Avant fin 2016
Mesures compensatoires d'aménagement de la zone d'emprunt	Septembre-octobre 2017
Autres mesures compensatoires	2017-2018
Aménagement du parking	Début 2018

Cette planification tient compte des délais d'obtention des autorisations réglementaires mais également des contraintes techniques liées au chantier (cadences admissibles, capacités des zones de stockage, piste d'accès d'un seul côté en pied de digue).

III.7.3. Organisation de la phase chantier

La concertation a permis la localisation et la **définition précise des emprises des bases vie, des pistes d'accès temporaires et définitives, ainsi que zones de stockage et de retournement des engins** en phase travaux. Ces éléments sont présentés sur la figure page suivante.



Figure 75 : Localisation des installations de chantier, pistes d'accès, zones de stockage et retournement en phase chantier

Ce plan est également joint au format A0 au présent dossier.

Sens de circulation et trajets liés aux approvisionnements depuis la zone d'emprunt

La circulation des engins en lien avec les approvisionnements devra se faire dans un seul sens (piste unique). Elle se fera du nord vers le sud (depuis la zone SACOM). Le trajet des approvisionnements depuis la zone d'emprunt est donné sur la figure suivante :

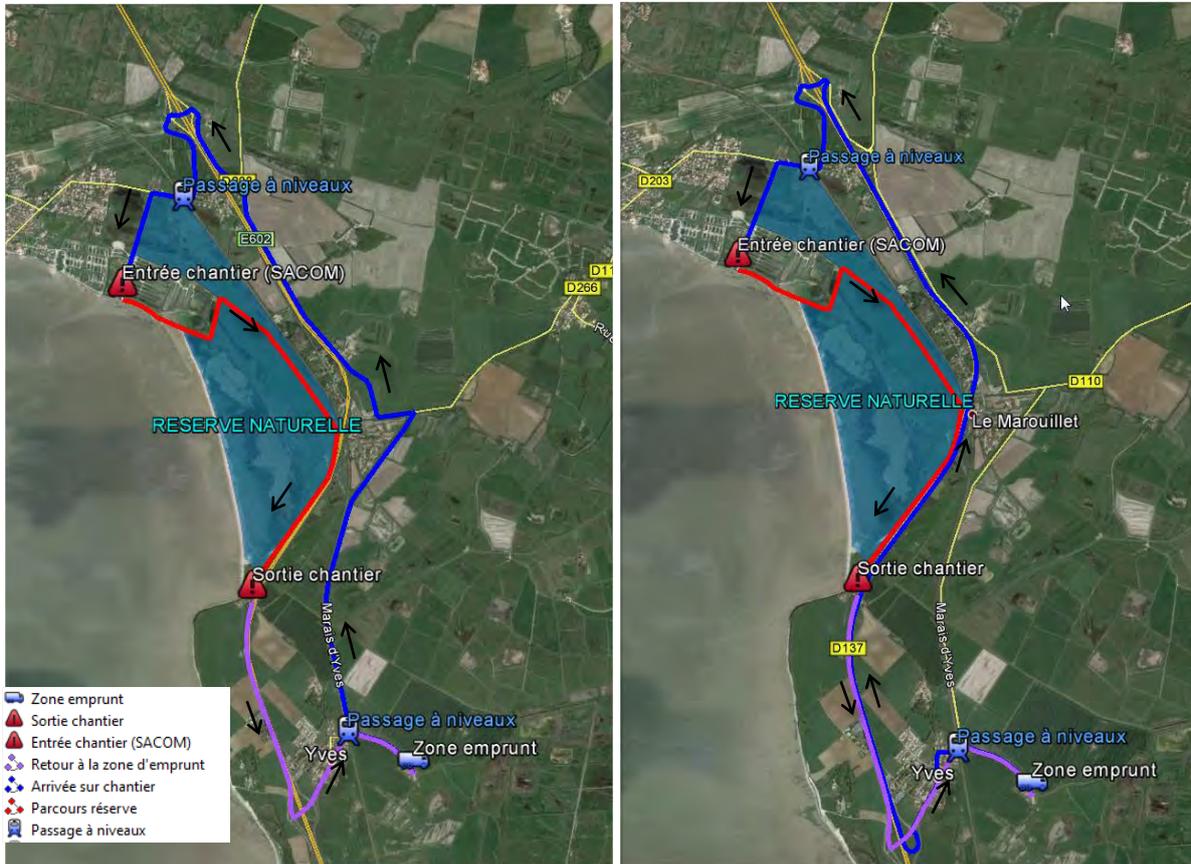


Figure 76 : itinéraires prévisionnels de circulation des engins pour l'approvisionnement en matériaux

La distance entre la zone d'emprunt et la zone de chantier est d'environ 10 km. Les temps de rotation des camions ont été estimés en fonction des trajets. Ils sont présentés dans le tableau suivant :

TEMPS DE ROTATION ESTIMES DES CAMIONS

Temps de trajet Zone d'emprunt - SACOM	15	min
Temps de trajet SACOM - sortie de chantier	15	min
Temps de trajet Sortie de Chantier-zone d'emprunt	5	min
Temps de chargement/déchargement/rechargement estimé	15	min
Temps total de rotation chargement aller et retour compris	50	min

Ces éléments ont permis de déterminer le nombre d'ateliers et les moyens humains et matériels nécessaires à la réalisation du chantier dans le délai d'un an impart.

III.7.4. Phasage détaillé

A. TRAVAUX DE PREPARATION AU NIVEAU DE LA ZONE D'EMPRUNT

Ces travaux comprennent :

- Les études d'identification géotechnique complémentaires (prélèvement et identification des matériaux selon la classification GTR, et essais Proctor) ; cette étude devra également contribuer à déterminer la nécessité d'un traitement à la chaux préalable des matériaux et son ampleur avant leur mise en remblais pour édification de la digue ;
 - Le décapage de la terre végétale dans la zone d'extraction de l'argile de la parcelle et sa mise en stock temporaire en cordon ;
 - L'extraction par déblais puis mise en stock en tas de l'argile extraite par zones homogènes ;
 - Un traitement à la chaux visant à réduire la teneur en eau du matériau pour qu'il puisse être employable en remblai et correctement compacté (en fonction des résultats de l'étude géotechnique et de l'état hydrique du matériau en place) ;
- Les premiers essais réalisés concluent en effet à une argile de type A3 plastique et sensible à l'eau (cf étude géotechnique G12 réalisée par GEOTEC). A ce stade il a été pris l'hypothèse que 20 % du volume ferait l'objet d'un traitement ;
- Cette opération comprend la suppression du système de drainage de la parcelle et l'évacuation des drains.

Tableau 3 : Planning prévisionnel travaux préparatoires d'extraction de l'argile (septembre et octobre 2016)

TRAVAUX DE PREPARATION AU NIVEAU DE LA ZONE D'EMPRUNT	Délai estimé	Période d'intervention	Engins et personnels à minima nécessaires
Travaux de préparation de la zone d'emprunt	2 mois	Septembre-Octobre 2016	Moyens pour essais Géotechniques prélabes 3 pelles, 9 tombereaux + atelier de traitement à la chaux le cas échéant

B. TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE LA DIGUE DE RETRAIT DANS LA RESERVE ET D'AMENAGEMENT DE LA DIGUE SACOM

Le tableau ci-après présente le phasage envisagé pour les travaux de construction de la digue de retrait dans la réserve et de renforcement de la digue SACOM.

Tableau 4 : Planning prévisionnel travaux de digue (mars 2017 à décembre 2017)

	TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE LA DIGUE DE RETRAIT ET DE CONFORTEMENT DE LA SACOM	Délai estimé	Période d'intervention	Engins et personnels nécessaires estimés à ce stade
PHASE 1	Installation de chantier et implantation des ouvrages	2 semaines	1 ^{ère} quinzaine de mars	Aménagement des plateformes d'installation (1 pelle + camion pour amenée géotextile et GNT). Amenée sur porte-char des engins et matériels, notamment bungalows de chantier, toilettes, bariérage temporaire etc. 2 géomètres pour implantation des emprises de digues et des pistes
	Pose grillage à amphibiens	3 semaines	Mars (avant début du décapage)	8 ouvriers + 2 petits tracteur avec remorque pour transport des matériels et fournitures
	Libération des emprises de travaux et création des pistes d'accès	2 semaines	2 ^e quinzaine de mars	2 ateliers (1 à chaque extrémité) comprenant chacun : 4 Camions 8*4 (20T) 2 pelles hydrauliques 2 manœuvres pour pose du géotextile sous les pistes
	Décapage de la terre végétale et mise en stock sur les aires de stockage et parking existant	1 semaine	1 ^{ère} quinzaine d'avril	4 ateliers comprenant chacun : 2 Camions 8*4 (20T) 1 pelle hydraulique + 2 manœuvres/géomètres pour le contrôle topographique pour l'ensemble des 4 ateliers
	Début des déblais mécaniques pour ancrage de la digue et évacuation vers la zone de tri puis zone d'emprunt (environ 12 % du linéaire global)	1 semaine	1 ^{ère} quinzaine d'avril	4 ateliers comprenant chacun : 4 Camions 8*4 (20T) 1 pelle hydraulique + 2 manœuvres/géomètres pour le contrôle topographique pour l'ensemble des 4 ateliers
	Réalisation des ouvrages hydrauliques de rétablissement (cadres béton et vannes murales manuelles associées) : la réalisation des ouvrages est finalisée pendant les phases de terrassement en remblais	Pendant les terrassements (après décapage)	A partir de la 2 ^e quinzaine d'avril Compter environ 3 semaines par ouvrage hydraulique soit 3.5 mois : fin juillet	1 pelle hydraulique / 2 ouvriers Ponctuellement : Porte-char pour amenée des éléments préfabriqués des cadres béton
	Terrassements en remblais d'apport pour construction de la digue et évacuation des déblais d'ancrage vers la zone de tri puis la zone d'emprunt (une planche d'essai par atelier sera réalisée avec point d'arrêt pour le contrôle du compactage)	5 mois (22.5 semaines) au total (appro. Argile : 4 mois) Evacuation des déblais d'ancrage : 2 mois	A partir de la 2 ^e quinzaine d'avril jusque mi-septembre pour les remblais l'évacuation des déblais devrait être terminée en 2 mois soit mi-juin	4 ateliers comprenant chacun : 4 Camions 8*4 (20T) 1 pelle mécanique pour mise en remblais 1 pelle mécanique pour chargement des déblais (ancrage pendant 2 mois uniquement) 1.5 compacteur (soit 3 compacteurs pour 2 ateliers) <u>Zone de tri</u> : 1 tombereau, 1 pelle Ponctuellement : camions pour livraison des géotextiles
	Evacuation des déblais de l'ancrage en parallèle (2 mois environ)			
	Pose des géotextiles, des enrochements 300/500 mm de la GNT en crête de digue à l'avancement remise en place de la terre végétale	A l'avancement du remblai Compter 1 mois en plus (4 semaines) pour finaliser la pose et la terre végétale	De mai à mi-octobre (6.5 mois au total)	4 ateliers comprenant chacun 1 pelle hydraulique / 2 ouvriers
Pose des clôtures barbelées et Ursus + ensemencement des digues	2 semaines	Par tronçons à l'avancement à partir de septembre jusque novembre	1 tarière pour enfoncer les poteaux, 1 petit tracteur avec remorque pour transport des matériels et fournitures 2 ouvriers	
PHASE 2	Terrassements (purge et remblais) + approvisionnement et pose des enrochements au niveau de la zone SACOM (filtre + blocs 1-2T) et à l'extrémité sud	2.5 à 3 mois	mi septembre à décembre	2 ateliers de terrassement tels que décrits précédemment puis 8 camions pour les appro. des blocs d'enrochement 1 pelle + 1 tombereau pour amenée des blocs à pied d'oeuvre 2 pelles à bras long 2 pelles à grappin

Au global, l'opération représente environ 9.5 mois de travaux.

Figure 77 : photographies d'édification d'une digue de protection



Remarques importantes :

Le phasage a été optimisé pour diminuer au maximum le délai de réalisation de la digue au sein de la réserve naturelle.

Il intègre 4 ateliers de travail en simultanément avec des approvisionnements en continu et flux tendu pendant 4 mois sur 6.5 mois de chantier. **Les zones de stockage fortement limitées au sein de la réserve permettent essentiellement de stocker la terre végétale décapée (17 000 m³), et rouleaux de géotextiles. Elles ne permettent pas d'assurer une mise en stock significative de matériau argileux provenant de la zone d'emprunt.** Le parking existant au sud au niveau de l'atelier n°4 sera donc également utilisé comme zone de stockage avant d'être démantelé en fin de chantier.

Pour l'approvisionnement en argile, 16 camions (4 par atelier) alimenteront les ateliers pour l'édification du corps de digue. Cela représente 1 camion traversant la réserve tous les 20 minutes environ pendant 4 mois (7h30 par jour, pendant environ 85 jours). Il faut rajouter à cela les amenées de matériaux et fournitures pour la réalisation des ouvrages hydrauliques qui seront également réalisés en début de phase de terrassement.

Une très forte co-activité sera donc présente pendant 4 mois sur le chantier (risques accrus en termes de sécurité).

Il est également à noter que **des conditions trop pluvieuses seront de nature à stopper le chantier** (impossibilité de compactage des matériaux qui apparaissent sensibles à l'eau).

Les figures suivantes illustrent le phasage présenté précédemment

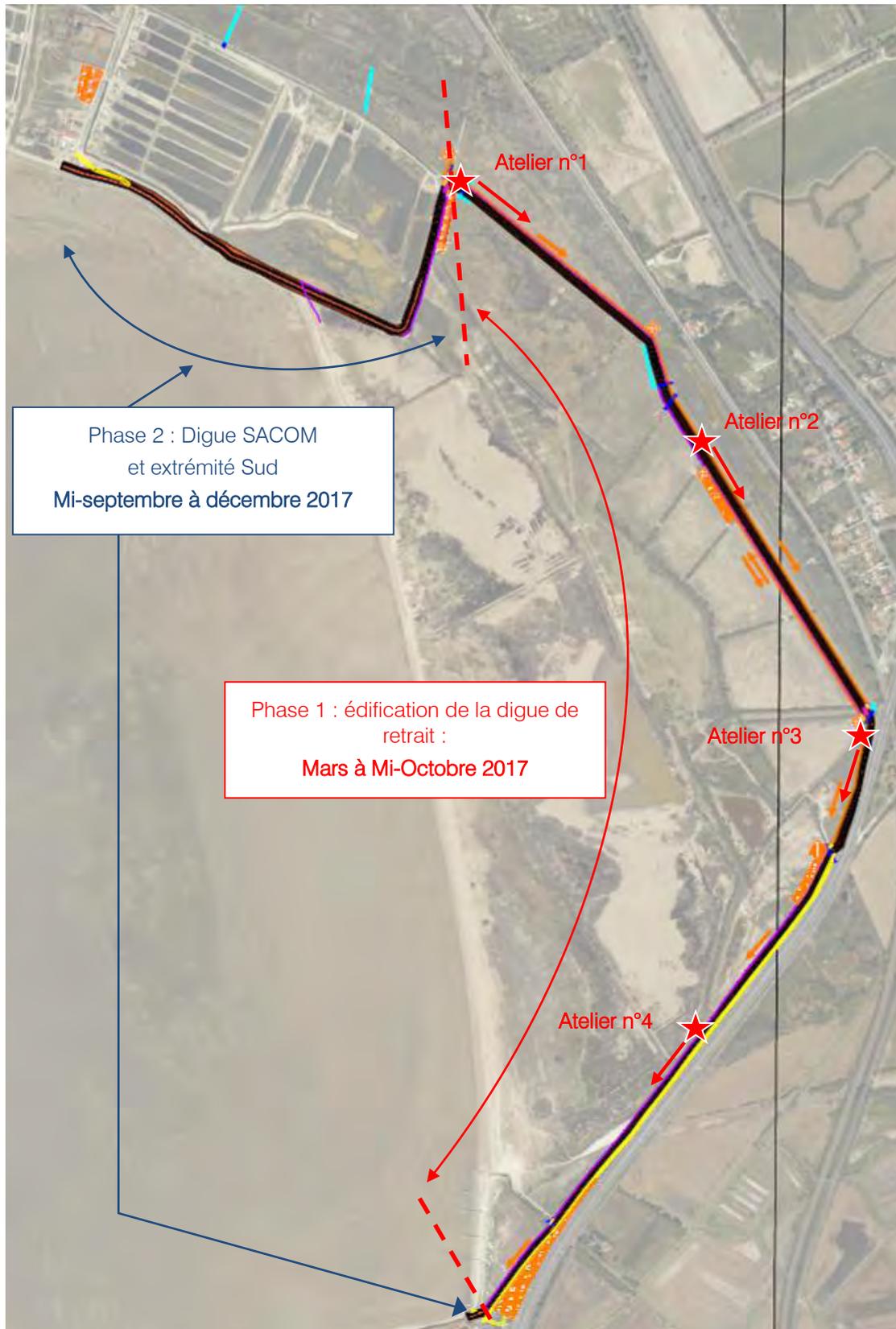


Figure 78 : Illustration du phasage des travaux de construction de la digue de retrait et de renforcement de la digue SACOM

Les trajets d'approvisionnements au niveau de la digue SACOM en phase 2 sont figurés sur la figure suivante :

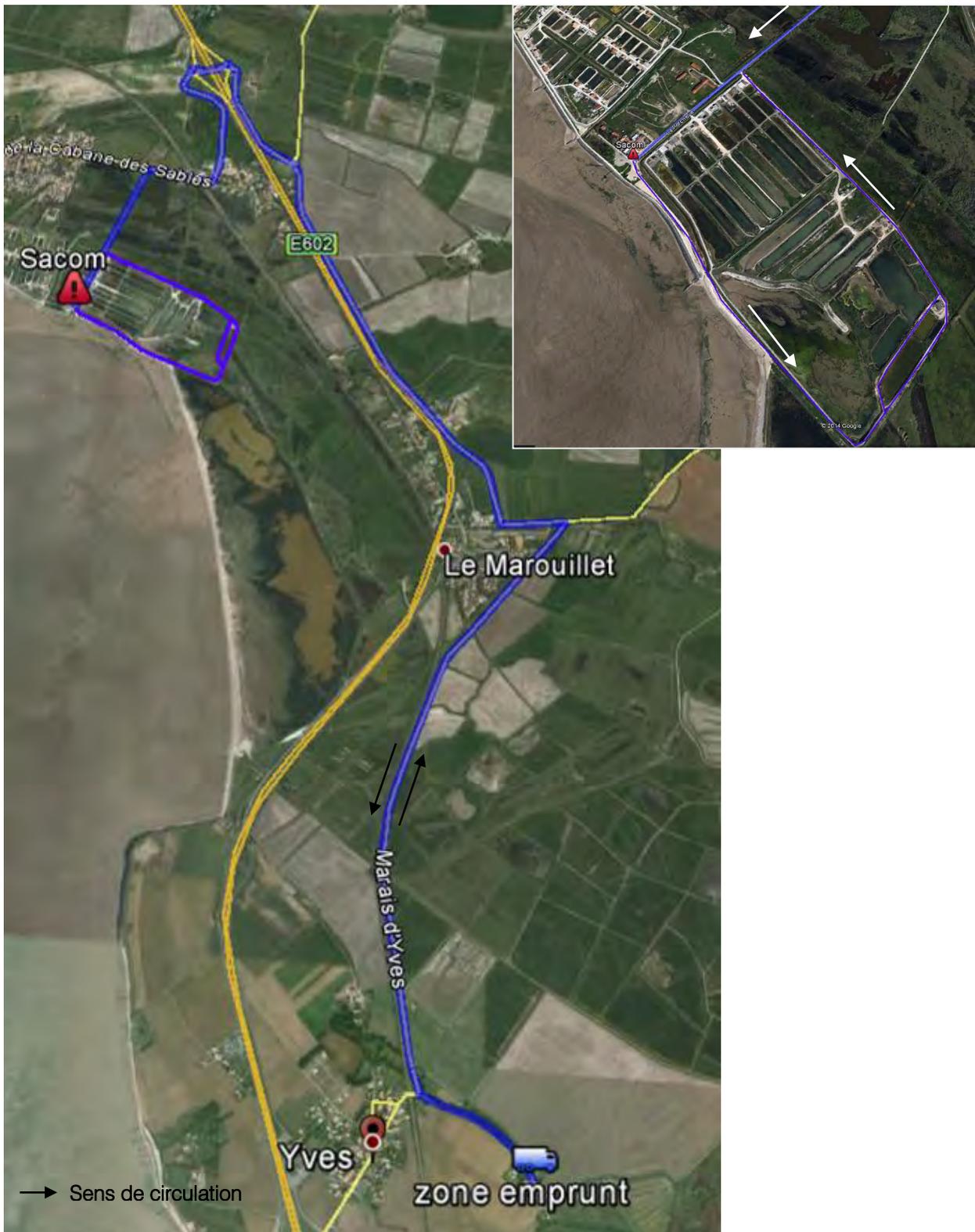


Figure 79 : Trajets pour approvisionnements (remblais, enrochements) en phase 2 – renforcement de la digue SACOM

Création d'ouvrages cadre pour la continuité hydraulique

Le projet prévoit également la **création de 4 ouvrages cadre béton** 1*1 m de longueur 20 m environ en traversée de la digue. Le cadre est muni côté mer d'une vanne murale à manœuvre par crémaillère selon les figures suivantes :

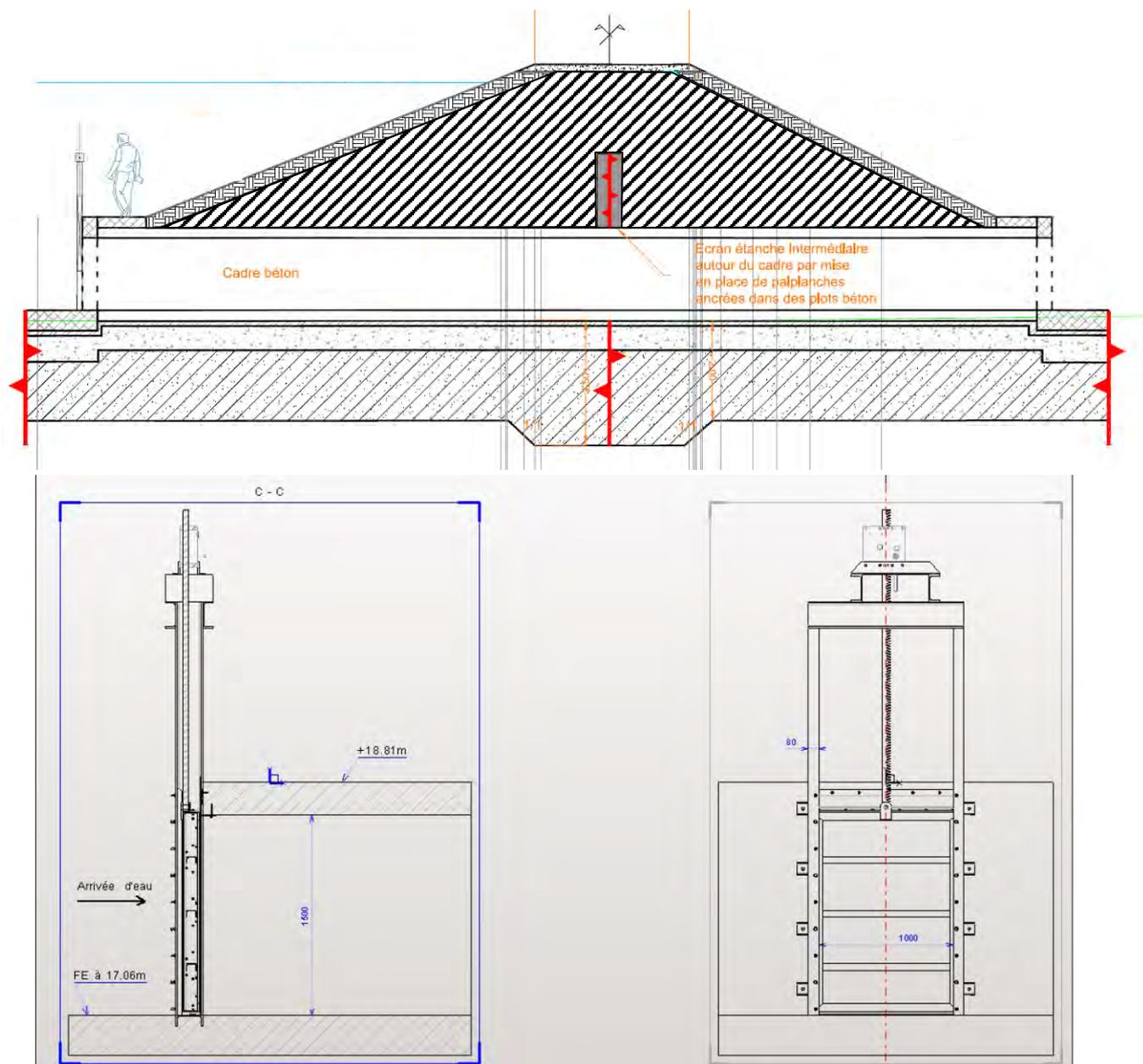


Figure 80 : Schémas du profil en long d'un cadre béton 1*1 m en traversée de digue équipé d'une vanne murale côté mer



Figure 81 : Photographies de réalisation cadre béton en traversée de digue équipé d'une vanne murale manuelle

Le projet prévoit également la **prolongation des ouvrages existants** OH 0 et OH 1.0 selon les mêmes principes :

- **OH 0 (alimentation de la réserve par le marais)** : prolongation de la buse 750 mm par un cadre 1*1 m de longueur 20 m environ en traversée de la digue. Le cadre est muni côté mer d'une vanne murale à manœuvre par crémaillère
- **OH 1.1 (exutoire de Voutron)** : prolongation de l'ouvrage cadre existant par un cadre béton de longueur 11 m équivalent en section (2.50 *3 m) et d'un vanne murale à manœuvre manuelle de section similaire ; Il est également prévu de connecter les deux ouvrages cadres 1.1 et la buse Armco 1.0 par un cadre béton. L'ouvrage de connexion sera coulé en place (Longueur de la connexion = 7m).

IV. ESTIMATIF DETAILLE

IV.1 RAPPEL DES HYPOTHESES DE CHIFFRAGE

Pour l'évaluation des coûts et au regard des incertitudes géotechniques il a été retenu par SCE à ce stade les éléments suivants :

- La réalisation d'une purge de la terre végétale sur une épaisseur d'un (1) mètre sur l'ensemble du linéaire.
- La mise en œuvre d'une surcote du remblai argileux de 10 cm pour anticiper les tassements ;
- Les 30 cm de terre végétale ne sont pas des remblais en mesure d'assurer une protection : ils s'ajoutent à la cote de protection intégrant les tassements

Les mêmes hypothèses d'ancrage ont été considérées sur l'ensemble du linéaire de digue, et ce malgré l'hétérogénéité probable du contexte géotechnique au droit du tracé. Des compléments d'étude géotechnique (G2) seront nécessaires pour affiner l'estimation au niveau projet.

Le volume de remblai d'apport argileux nécessaire est d'environ 142 000 m³. Il est considéré que les remblais d'apport du corps de digue proviennent exclusivement de la zone d'emprunt n°1 (trajet d'environ 10 km pour arriver dans la réserve). Il est pris l'hypothèse que les matériaux de cette zone sont propices à 80% à une utilisation des matériaux en remblai pour le corps de digue sans traitement spécifique lourd visant à diminuer leur teneur en eau. 20 % du volume est chiffré comme faisant l'objet d'un traitement à la chaux.

Il est également pris comme hypothèse que les déblais de l'ancrage non réutilisables en remblais « terre végétale » sont évacués vers les zones d'emprunt (sauf en cas de pollution) de façon à optimiser les phases de transport des matériaux et à opérer un remodelage des terrains dans le cadre des mesures compensatoires.

Un tri préalable des matériaux extraits dans la réserve est effectué en sortie de chantier de façon à déterminer le devenir des déblais (évacuation définitive ou retour vers la zone d'emprunt).

IV.2 DETAIL ESTIMATIF DETAILLE

IV.2.1. Travaux de préparation de la zone d'emprunt

Hypothèses de chiffrage :

Des essais géotechniques cartographiés complémentaires seront réalisés, à savoir essais d'identification selon la classification GTR + essai Proctor Normal à hauteur d'1 essai pour 5000 m³ de remblais. Ces essais préalables permettront également d'évaluer plus précisément les besoins en terme de traitement à la chaux des matériaux argileux en place et les modalités de compactage (type de compacteur, nombre de passes à prévoir, épaisseur des couches). Pour rappel, le chiffrage prend en considération à ce stade une hypothèse de traitement des matériaux à la chaux pour 20 % du volume extrait.

L'argile est extraite dans la zone la plus facile (puissance de l'argile au-dessus des drains). Pour autant, compte tenu des doutes sur l'homogénéité de l'argile, un surplus de terrassement (20%) est compté à ce stade et permettra le tri des matériaux impropres à l'utilisation.

Les drains rencontrés lors des terrassements seront extraits et évacués.

Les drains laissés en place seront obturés à l'aval par neutralisation du regard d'épuisement central du système de drainage.

Estimatif :

Tableau 5 : Coût estimé des travaux préparatoires sur la zone d'emprunt

Désignation	Unité	Prix unitaire (€ HT)	Quantité	Montant (€ HT)
PREPARATION DE CHANTIER				
<i>PU</i>				
Installation - Signalisation				
Installation et repli de chantier , études d'EXE, travaux préparatoires	Ft	5 000	1	5 000
Création et entretien de pistes provisoires périphérique (10 cm de GNT 0/200)	ml	8	2168	17 344
Essais géotechniques complémentaires				
Essai d'identification selon classification GTR + essai proctor Normal	U	500,00	35	17 500
<i>SOUS TOTAL 1.0 (en Euros H.T.) :</i>				39 844
TERRASSEMENTS				
<i>Unité PU</i>				
Déblais				
Décapage et stockage de la terre végétale et mise en stock en cordon	m3	1,50	51 259	76 889
Déblais mécaniques de l'argile et mise en stock sur la parcelle , y compris suppression des drains	m3	1,30	192 472	250 214
Plus value pour évacuation des déblais	m3	1,50	19 700	29 550
Traitement à la chaux				
Plus value pour traitement préalable des déblais à la chaux	m3	2,00	28 400	56 800
<i>SOUS TOTAL 2.0 (en Euros H.T.) :</i>				413 452
DOSSIER DES OUVRAGES EXECUTES				
<i>Unité PU</i>				
Dossier des ouvrages exécutés				
Dossier des ouvrages exécutés (plan de stockage des terres avec identification des matériaux)	Ft	1 500	1	1 500
<i>SOUS TOTAL 3.0 (en Euros H.T.) :</i>				1 500
TOTAL en euros HT				454 796,10 €
Aléa 5% en euros HT				22 739,81 €
TOTAL AVEC Aléa en euros HT				477 535,91 €

IV.2.2. Edification de la digue de retrait et renforcement de la digue SACOM

Le chiffrage estimatif détaillé au stade AVP est le suivant :

Tableau 6 : Coût estimé des travaux d'édification de la digue au sein de la réserve (y compris reprise de la digue SACOM)

Désignation	Unité	Prix unitaire (€ HT)	Quantité	Montant (€ HT)
PREPARATION DE CHANTIER				
Installation - Signalisation				
Installation et repli de chantier, études d'EXE, travaux préparatoires	Ft	30 000	1	30 000
Plus-values				
Aménagement des pistes d'accès temporaires et définitives, zone de dépôts, raquettes de retournement : GNT (30cm) sur géotextile	m²	4,50	33 370	150 165
<i>SOUS TOTAL 1.0 (en Euros H.T.) :</i>				180 165
GENIE CIVIL - MACONNERIE - ENROCHEMENTS				
Enrochements				
Enrochements 1-2 Tonnes (digue SACOM+extrémité sud)	T	25	9 000	225 000
Réutilisation des enrochements calcaires existants (digue SACOM)	T	1,30	6 000	7 800
Enrochements 200-400mm (filtre pour la digue SACOM)	T	20	6 000	120 000
Enrochements 300-500mm (protection de talus de la digue)	T	25	9 200	230 000
<i>SOUS TOTAL 2.0 (en Euros H.T.) :</i>				582 800
TERRASSEMENTS				
Déblais				
Décapage et stockage de la terre végétale	m3	2,20	17 000	37 400
Déblais mécaniques de toute nature	m3	2,50	71 810	179 525
Transfert des déblais vers la zone de tri	m3	0,20	68 360	13 672
Tri des matériaux avant évacuation ou transfert	m3	0,80	68 360	54 688
Evacuation définitive des déblais	m3	2,50	11 216	28 041
Transfert des déblais vers la zone d'emprunt	m3	1,20	54 744	65 693
Remblais				
Remblais d'apport argileux provenant de la zone d'emprunt, y compris transport depuis la zone d'emprunt	m3	7,50	142 210	1 066 575
Remblais en matériaux du site (talus arrière de la digue SACOM)	m3	3,00	1 700	5 100
Terre végétale issue du site	m3	2,50	17 000	42 500
Terre végétale d'apport	m3	15,00	1 750	26 250
GNT 0/31.5 mm (crête de digue sous la terre végétale)	m3	40,00	5 450	218 000
Création de rampes d'accès pour l'entretien y compris couche de GNT	Ft	2 500	10	25 000
Géosynthétiques				
Géotextile de filtre	m²	2,50	21 500	53 750
Géotextile de stabilisation type Teracro	m²	3,50	21 400	74 900
Contrôle externe				
Essais de contrôle des terrassements et du compactage (gamma-densimètre, péntromètres, identification, teneur en eau etc.)	Ft	20 000	1	20 000
<i>SOUS TOTAL 3.0 (en Euros H.T.) :</i>				1 911 093

Désignation	Unité	Prix unitaire (€ HT)	Quantité	Montant (€ HT)
EQUIPEMENTS / AMENAGEMENTS ANNEXES				
Equipements des ouvrages				
Rétablissement de franchissements agricoles suite aux travaux	Ft	12 000	3	36 000
Assainissement pluvial / ouvrages de ressuyage				
Franchissement de digue par cadre béton 1*1m + vanne murale manuelle	Ft	40 000	5	200 000
Tranchée drainante / système de drainage en pied d'ouvrage	ml	55,00	260	14 300
Prolongement de la buse OH 0 par un cadre 1*1m et installation d'une vanne murale manuelle	ml	1 600	20	32 000
Installation d'une vanne murale mauelle 1*1m sur le prolongement de la buse OH 0	Ft	8 000	1	8 000
Prolongement du cadre OH 1.1 par un cadre 2.50*3m, connexion entre le cadre et la buse Armco OH 1.0	ml	2 800	18	50 400
Installation d'une vanne murale mauelle 2.50*3m sur le prolongement du cadre de l'OH1.1	Ft	20 000	1	20 000
Voirie, accotements et chemins				
Aménagement des pistes d'accès définitives (remise en état ou réfection des pistes provisoires)	ml	25	1425	35 625
Clôtures				
Clôture barbelée, hauteur 1.00 m, y compris barrières	ml	7,00	2460	17 220
Clôture grillagée type URSUS, hauteur 1.00 m	ml	27,00	750	20 250
Clôture grillagée type URSUS, hauteur 2.00 m	ml	35,00	405	14 175
Portail double vantaux grillagé, largeur 5.00 m et hauteur 2.00 m	U	3 000,00	3	9 000
<i>SOUS TOTAL 4.0 (en Euros H.T.) :</i>				456 970
DOSSIER DES OUVRAGES EXECUTES				
Dossier des ouvrages exécutés				
Dossier des ouvrages exécutés	Ft	9 000	1	9 000
<i>SOUS TOTAL 5.0 (en Euros H.T.) :</i>				9 000
TOTAL en Euros HT				3 140 028,06 €
Aléa 5% en Euros HT				157 001,40 €
TOTAL AVEC Aléa en Euros HT				3 297 029,46 €

Celui-ci est établi sur la base des cubatures de matériaux issues du modèle COVADIS réalisé pour la digue et des modèles numériques de terrain réalisés à partir des données Litto3D et des levés de géomètre. Il a été croisé avec une approche considérant les moyens matériels et humains nécessaires à la réalisation des travaux, et les cadences/ délais présentés précédemment dans le phasage détaillé.

Un aléa de 5% est pris à ce stade compte tenu des évolutions possibles de la conception à l'issue de la mission G2 du géotechnicien et des levés topographiques complémentaires.

La mise en œuvre de la géogrille anti-fouisseurs peut être évaluée (option) à 114 500 € HT (prix unitaire moyen de 5 €/m²).

Tableau 7 : Coût estimé du renforcement par une géogrille anti-fouisseurs

OPTION	Unité	Prix unitaire	Quantité	Montant (€ HT)
Géogrille anti-fouisseurs	m²	5,00	22 900	114 500

IV.2.3. Mesures compensatoires au droit de la zone d'emprunt

Le chiffrage est établi sur la base des cubatures de matériaux issues du modèle COVADIS réalisé pour la zone d'emprunt et des modèles numériques de terrain réalisés à partir des données Litto3D, du plan de drainage de la parcelle et des essais géotechniques.

Il a été croisé avec une approche considérant les moyens matériels et humains nécessaires à la réalisation des travaux, et les cadences/délais présentés précédemment dans le phasage détaillé.

Les densités et coûts de plantation ont été adaptés aux surfaces pour les mesures de compensation de création des habitats de forêt alluviale (*Salix alba* et *Fraxinus excelsior*) et de fourrés 41.F (*Ulmus minor*) et 31.81 (cortège *Caraegnus monogyna*, *Prunus spinosa* et *Rosa canina*)

Une partie de la zone est considéré en zone de pâture et comprend la mise en place de clôture.

Un aléa de 5% est pris à ce stade compte tenu des évolutions possibles de la conception à l'issue de la mission G2 du géotechnicien et des levés topographiques complémentaires.

Tableau 8 : Chiffrage des travaux de renaturation de la zone d'emprunt

Désignation	Unité	Prix unitaire (€ HT)	Quantité	Montant (€ HT)
PREPARATION DE CHANTIER				
Installation - Signalisation				
Installation et repli de chantier , études d'EXE, travaux préparatoires	Ft	5 000	1	5 000
<i>SOUS TOTAL 1.0 (en Euros H.T.) :</i>				5 000
TERRASSEMENTS				
Remblai				
Reprise en stock des matériaux argileux extraits en surplus, des matériaux d'ancrage de la digue issus de la réserve et des terrassement effectués pour le modelage de la zone d'emprunt	m3	1,00	85 306	85 306
Reprise en stocke de la terre végétale et régalaage	m3	1,50	51 259	76 889
Déblais				
Creusement des fossés	m3	1,50	33 472	50 208
Creusement des mares	m3	1,50	79 100	118 650
<i>SOUS TOTAL 2.0 (en Euros H.T.) :</i>				331 052

Désignation	Unité	Prix unitaire (€ HT)	Quantité	Montant (€ HT)
PLANTATIONS ET AMENAGEMENTS				
Plantations				
Plantation d'arbres tiges y compris terrassement de la fosse de plantation, apport de terre végétale et tuteurs monopodes (4 U / 100 m²)				
Fraxinus excelsior 14/16	U	380,00	67	25 536
Fraxinus excelsior 16/18	U	450,00	45	20 160
Salix alba 12/14	U	375,00	56	21 000
Salix alba 10/12	U	355,00	56	19 880
Plantation de baliveaux y compris terrassement de la fosse de plantation, apport de terre végétale et tuteurs monopodes (4 U / 100 m²)				
Fraxinus excelsior 150/175	U	30,00	112	3 360
Salix alba 125/150	U	28,00	112	3 136
Plantation d'arbustes y compris terrassement de la fosse de plantation, et apport de terre végétale (2 U / 10 m²)				
Ulmus minor	U	18,00	512	9 216
Crataegus monogyna	U	19,00	320	6 080
Prunus spinosa	U	20,00	256	5 120
Rosa canina	U	22,00	192	4 224
Ensemencement mélange grainier 1410-3	Ha	851,00	30	25 530
Parachèvement et confortement	Ft	14 324,00	1	14 324
Création des ouvrages de raccordement au fossé				
Fourniture et pose de moines béton	U	2 150,00	10	21 500
Aménagements agricoles				
Réalisation de passage agricole	U	550,00	7	3 850
Clôture barbelée, hauteur 1.00 m, y compris barrières	U	2 500,00	7	17 500
SOUS TOTAL 3.0 (en Euros H.T.) :				200 416
DOSSIER DES OUVRAGES EXECUTES				
Dossier des ouvrages exécutés				
Dossier des ouvrages exécutés	Ft	1 500	1	1 500
SOUS TOTAL 4.0 (en Euros H.T.) :				1 500
TOTAL en Euros HT				537 968,30 €
Aléa 5% en Euros HT				26 898,42 €
TOTAL AVEC Aléa en Euros HT				564 866,72 €

IV.2.4. Synthèse

A ce titre, le projet de digue de retrait au sein de la réserve naturelle d'Yves accompagné des mesures compensatoires sur la zone d'emprunt, est estimé au stade **Avant-Projet à 4 340 000 € HT**. Cette estimation ne prend pas en compte les autres mesures compensatoires mises en œuvre dans la réserve ainsi que les travaux connexes (ferme du rocher, parking etc.), ni les études de conception ou les suivis écologiques (traités dans le volume n°2 de la présente procédure).

V. ANNEXES

V.1 ANNEXE 1 : EMPRISE DES MODELES HYDRODYNAMIQUES

V.2 ANNEXE 2 : COMPTES-RENDUS DES ATELIERS THEMATIQUES

V.3 ANNEXE 3 : ETUDE GEOTECHNIQUE G12 – OCT. 2013

V.4 ANNEXE 4 : FICHE TECHNIQUE TERACRO®



www.sce.fr www.creocean.fr

GRUPE KERAN