

ETUDE DES ALEAS NATURELS SUR LE «SUD VENDEE ET MARAIS POITEVIN »

Rapport de phase 2

Caractérisation des aléas de référence



Direction Départementale des
Territoires et de la Mer de la Vendée

Rapport

17 avril 2014



Ce rapport a été préparé conformément au système qualité de DHI certifié ISO 9001 par DNV



DNV Business Assurance, Danmark A/S

Direction Départementale des
Territoires et de la Mer de la Vendée

Rapport
Avril 2014

ETUDE DES ALEAS NATURELS SUR LE «SUD VENDEE ET MARAIS POITEVIN »

Rapport de phase 2

Caractérisation des aléas de référence

Préparé pour Direction Départementale des Territoires et de la
Mer de la Vendée
Représenté par M. Fabien Jamont



Images fournies par E. Le Cornec

Chef de projet	Mathieu Hellegouarch
Numéro de projet	21800216
Date de validation	17/04/14
Révision	Version 2.0
Catégorie	Ouvert



SOMMAIRE

Glossaire	1
1	Préambule	3
1.1	Contexte.....	3
1.2	Cadre méthodologique.....	3
2	Introduction	5
3	Caractérisation de l'aléa érosion	6
3.1	Introduction	6
3.2	Analyse du trait de côte	6
3.3	Principaux processus physiques en jeu dans l'érosion littorale.....	8
3.3.1	Les houles	8
3.3.2	Les courants.....	10
3.3.3	Transport littoral	11
3.4	Contexte hydro-sédimentaire.....	11
3.5	Détermination de l'aléa recul du trait de côte	25
3.5.1	Analyse diachronique.....	26
3.5.2	Détermination de l'évolution du trait de côte.....	27
3.5.3	Incertitude de la méthode	28
4	Caractérisation de l'aléa inondation et submersion marine	33
4.1	Evénements à simuler	33
4.1.1	Définition des scénarios	33
4.1.2	Evénements de référence	33
4.1.3	Etat initial des marais.....	35
4.1.4	Apports hydrologiques du Lay	36
4.2	Caractéristiques du modèle hydraulique	38
4.2.1	Généralités.....	38
4.2.2	Emprise modélisée	38
4.2.3	Maillage du modèle 2D	39
4.2.4	Définition et représentation des éléments structurants.....	39
4.2.5	Rugosité	40
4.3	Phénomènes simulés.....	42
4.3.1	Débordements.....	42
4.3.2	Brèches	43
4.3.3	Franchissements par paquets de mer	47
4.4	Calage du modèle	57
4.4.1	Calage sur un évènement maritime : Xynthia.....	57
4.4.2	Calage sur un évènement fluvial : crue d'octobre 1999	59
4.5	Hypothèses pour chaque évènement de projet simulé.....	61
4.5.1	Hypothèses générales valables pour tous les scénarios.....	61
4.5.2	Evènement maritime, à l'horizon 2010 (1).....	61
4.5.3	Evènement maritime, à l'horizon 2100 (2).....	62
4.5.4	Evènement maritime, à l'horizon 2010, avec transparence des digues (3).....	62
4.5.5	Evènement fluvial (4).....	62
4.5.6	Concomitance à dominante maritime : évènement de référence maritime + crue décennale fluviale (5).....	63

4.5.7	Concomitance à dominante fluviale : événement de référence fluvial + événement maritime décennal (6)	63
4.6	Cartographie de l'aléa inondation et submersion marine	64
4.6.1	Cartographie de l'aléa modélisé	64
4.6.2	Bandes de précaution	66

FIGURES

Figure 3-1 :	Principes de formation, de propagation et de transformation de la houle (source : www.shom.fr)	8
Figure 3-2 :	Illustrations d'une mer de vent générée par des vents locaux (à gauche) et d'une houle générée par l'action des vents au large (à droite)	9
Figure 3-3 :	Visualisation des phénomènes de réfraction (à gauche) et de diffraction (à droite)	9
Figure 3-4 :	Principe de déformation et types de déferlement de la houle	10
Figure 3-5 :	Formation des courants de houle par déferlement des vagues sur le rivage (source : www.ifremer.fr).....	10
Figure 3-6 :	Schéma de principe du transport des sables et des graviers (source : www.ifremer.fr)	11
Figure 3-7 :	Extrait de l'atlas réalisé par DHI en 2007 – Dérive littorale le long de la face Nord du Pertuis Breton – en rouge : zones en érosion, en vert : zones en accrétion, en bleu : zones stables, en noir : ouvrages.	13
Figure 3-8 :	Formation et évolution de la lagune de la Belle Henriette (source : Bouhier Abel. Aspects morphologiques de la partie occidentale du Marais Poitevin . In: Norois. N°14, 1957. Avril-Juin 1957. pp. 175-207)	22
Figure 3-9 :	Evolution de la plage des Grands Sables à Groix (photographies de l'IGN 1952-2000).	31
Figure 3-10 :	Les projections de l'élévation moyenne mondiale du niveau des mers durant le 21ème siècle par rapport à 1986-2005 à partir de la combinaison de CMIP5 et de l'ensemble des modèles basés sur les processus de RCP2.6 à RCP8.5 (source: Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Summary for Policy makers)	32
Figure 4-1 :	Niveau centennal dans le pertuis Breton, d'après les statistiques du SHOM/CETMEF	34
Figure 4-2 :	Application du modèle d'infiltration Green & Ampt	35
Figure 4-3 :	Hydrogrammes Synthétiques Mono-Fréquence pour les périodes de retour de 1 à 100 ans	37
Figure 4-4 :	Emprise modélisée	38
Figure 4-5 :	Illustration du maillage utilisée pour la modélisation	39
Figure 4-6 :	Localisation des éléments structurants dans la vallée du Lay amont	40
Figure 4-7 :	Cartes d'occupation des sols (gauche) et des coefficients de rugosité (droite).	41
Figure 4-8 :	Ouvrages modélisés par une loi de seuil, cotes extraites d'un profil en long des données LiDAR.....	42
Figure 4-9 :	Niveau des services des digues maritimes inspectées par DHI et délimitation des casiers hydrauliques.....	44
Figure 4-10 :	Localisation des défaillances d'ouvrages maritimes (scénario à l'horizon 2010).	45
Figure 4-11 :	Localisation des défaillances d'ouvrages fluviaux.	46
Figure 4-12 :	Localisation des brèches sur le canal des Cinq Abbés	47
Figure 4-13 :	Localisation du point d'extraction P1 du modèle de houles régional de DHI– Hindcast 1979- 2000.....	49
Figure 4-14 :	Ajustement de Weibull aux houles du large de l'Aiguillon (point P1, seuil Hs de 0.7m)	49
Figure 4-15 :	Période de retour des combinaisons de niveaux extrêmes/ houles au large de l'Aiguillon.....	51
Figure 4-16 :	Débits franchissant centennaux (en l/s/m) sur la partie Nord de la digue (horizon 2010 (en noir) et horizon 2100 (en rouge))	53
Figure 4-17 :	Débits franchissant centennaux (en l/s/m) sur la partie Sud de la digue (horizon 2010 (en noir) et horizon 2100 (en rouge))	54

Figure 4-18 : Présentation des différents profils de propagation des conditions de mer du large vers la côte	54
Figure 4-19 : Période de retour des combinaisons de niveaux marins extrêmes / hauteur de houle au large de la plage des Générelles.	55
Figure 4-20. Carte de localisation des lasses de mer de l'évènement Xynthia et des écarts entre niveaux calculés et observés.	58
Figure 4-21. Comparaison des emprises inondées, données calculées et observées.	58
Figure 4-22. Ecarts aux lasses de mer, calage Xynthia sur la Faute et l'Aiguillon.	59
Figure 4-23. Hydrogramme mesuré à la station de Mareuil-sur-Lay-Dissais en octobre 1999.	59
Figure 4-24. Calage du modèle sur la crue de 1999.	60
Figure 4-25. Carte d'aléas - scénario à l'horizon 2010.	65
Figure 4-26. Carte d'aléas - scénario à l'horizon 2100.	65
Figure 4-27. Carte d'aléas - scénario de transparence des ouvrages maritimes	66

TABLEAUX

Tableau 3-1. Surfaces gagnées sur la mer depuis 1750 au niveau de la Pointe d'Arçay (Weber N., 2004)	23
Tableau 3-2: Photographies aériennes utilisées pour définir les traits de côte historiques	25
Tableau 3-3: quantification de l'incertitude des traits de côte historiques	28
Tableau 4-1. Synthèse des crues récentes du Lay.	35
Tableau 4-2 : Périodes de retour des niveaux marins estimés par le SHOM à l'Aiguillon-sur-mer – source SHOM 2008	48
Tableau 4-3 : Périodes de retour des houles au large de l'Aiguillon (P1) pour différentes loi d'ajustement.....	50
Tableau 4-4 : Paramètres de la digue du génie à l'Aiguillon-sur-Mer	52
Tableau 4-5 : Calcul des débits de franchissement centennaux à l'horizon 2010	53
Tableau 4-6 : Calcul des débits de franchissement centennaux à l'horizon 2100	53
Tableau 4-7 : Calcul des débits de franchissement centennaux sur les cinq profils de La Tranche-sur-Mer	56

Glossaire

Aléa : Intensité d'un événement naturel caractérisé par une probabilité. Un aléa est défini par un phénomène (par exemple hauteur de submersion pour une inondation) et par sa période de retour.

Condition aux limites : Terme utilisé en modélisation pour définir les frontières d'un domaine sur lequel il est possible d'appliquer des lois (hauteur $H(t)$; débit $Q(t)$).

Erosion de contact : érosion de la base du talus côté mer, sous l'effet des courants longeant l'ouvrage. Il en résulte un raidissement de la pente locale du talus qui, associé à l'affaiblissement des caractéristiques mécaniques, entraîne alors des glissements dégradant à leur tour l'ouvrage. Ces glissements peuvent alors aboutir à l'apparition d'une brèche dans la digue.

Erosion interne/glissement : les hétérogénéités de perméabilité dans le corps de la digue et de sa fondation peuvent être à l'origine de zones d'infiltrations préférentielles de l'eau. Selon la différence de pression de part et d'autre de l'ouvrage et la nature des matériaux, il peut apparaître un écoulement au travers de l'ouvrage provoquant une érosion interne.

Erosion régressive : érosion du sommet de l'ouvrage et du talus côté terre, due à une surverse par-dessus l'ouvrage.

Etat général de l'ouvrage : Etat général de l'ouvrage défini à partir d'une inspection visuelle qualitative de l'ouvrage.

Etat structurel : Etat de l'ouvrage déterminé à partir des sensibilités des ouvrages aux différents types d'érosion (régressive, de contact et interne). La qualification de la sensibilité la plus forte sera retenue pour qualifier l'état structurel de l'ouvrage.

Hs (Hauteur significative) : Valeur moyenne du tiers supérieur des hauteurs de vagues observées au cours d'une période donnée, obtenu par analyse statistique.

LIDAR : Technologie de mesure optique. Elle est utilisée de manière aéroportée pour effectuer des mesures topographiques détaillées sur de grandes surfaces, et ainsi constituer un MNT.

MNT : Modèle Numérique de Terrain. C'est la représentation numérique en trois dimensions de la géométrie d'un site. (Topographie et bathymétrie)

Niveau de service : Suite à l'inspection de l'ouvrage et l'analyse des différentes données bibliographiques disponibles, un niveau de service est déterminé de manière qualitative. Cette évaluation est essentiellement corrélée à celle de l'état structurel de l'ouvrage.

Période de retour : Définit la fréquence statistique d'un événement naturel donné. A titre d'exemple, un événement de période de retour 100 ans apparaît en moyenne tous les 100 ans. Inversement, un événement de période de retour 100 ans a 1 chance sur 100 de se produire une année donnée. Les périodes de retour 10 ans, 100 ans et 1000 ans sont respectivement nommées décennale, centennale et millénaire.

Perré : Revêtement situé sur la face amont d'un ouvrage de protection, destiné à parer aux dangers d'affouillement et de rupture face à la mer.

Réfraction : Modification de la hauteur et de la direction des crêtes des houles induit par un changement bathymétrique.

Shoaling : Phénomène de transformation de la houle apparaissant lorsque la profondeur des fonds diminue, et se traduisant par une augmentation de la hauteur des vagues.

Surcote de déferlement : La surcote de déferlement (*Wave setup* en anglais) est la surélévation du niveau moyen de la mer induit par l'action de la houle. L'amplitude de la surélévation dépend de la hauteur et de la période de la houle, ainsi que de la bathymétrie.

Surcote météorologique : Surélévation du niveau d'eau suite à l'action de processus météorologiques. La surcote se traduit par la différence entre le niveau de la marée prédite et le niveau réellement observé.

T : Période de la houle. C'est le temps, exprimé en secondes, séparant deux crêtes de houle.

Zéro hydrographique : Référence pour les mesures altimétriques en mer. Dans les documents nautiques, les mesures bathymétriques ou de niveau de la mer sont généralement exprimées par rapport à ce niveau zéro. En France, le zéro hydrographique est voisin du niveau des plus basses mers théoriques. Il se distingue de la référence NGF IGN69 (Nivellement Général de la France), utilisée pour les mesures terrestres et correspondant au niveau moyen de la mer à Marseille.

1 Préambule

1.1 Contexte

La vulnérabilité d'une grande partie du littoral français s'illustre à travers des phénomènes tels que le recul du trait de côte, la submersion marine ou l'érosion des dunes. Ces processus directement liés à l'action marine peuvent être aggravés par les activités humaines.

Le littoral constitue également une zone de forte fréquentation, ce qui se traduit par une urbanisation intensive de plus en plus proche de la mer et donc de plus en plus vulnérable aux risques liés à la mer.

En zone estuarienne, du fait des altitudes moyennes relativement faibles et l'interface entre les eaux marines et fluviales, le risque est accentué par la possible combinaison d'évènements maritimes et fluviaux exceptionnels.

Dans l'objectif de limiter la vulnérabilité des biens et des personnes, des plans de prévention des risques littoraux (PPRL) et d'inondations (PPRI) sont élaborés.

Afin d'élaborer la cartographie des aléas au sens de la méthodologie proposée par le Ministère de l'écologie et du développement durable et en vue de l'établissement de PPR couvrant la zone d'étude, la présente étude a été confiée par la DDTM de la Vendée à DHI.

1.2 Cadre méthodologique

Les circulaires du 24 janvier 1994 (prévention des inondations et gestion des zones inondables), du 24 avril 1996 (dispositions applicables au bâti et ouvrages existants en zone inondables), du 30 avril 2002 (gestion des espaces urbanisés situés derrière les digues) et du 21 janvier 2004 (maîtrise de l'urbanisation et des constructions en zones inondables) complètent le cadre nécessaire à l'élaboration des PPRI.

Les Plans de préventions des risques naturels prévisibles sont régis par le code de l'environnement. Les articles R 562-2 à R 562-10-2 précisent les procédures et dispositions relatives à l'élaboration des plans de préventions des risques naturels prévisibles.

L'article L562-1 stipule que ces plans de prévention des risques ont pour objet :

- 1° « De délimiter les zones exposées aux risques, en tenant compte de la nature et de l'intensité du risque encouru, d'y interdire tout type de construction, d'ouvrage, d'aménagement ou d'exploitation agricole, forestière, artisanale, commerciale ou industrielle ou, dans le cas où des constructions, ouvrages, aménagements ou exploitations agricoles, forestières, artisanales, commerciales ou industrielles, notamment afin de ne pas aggraver le risque pour les vies humaines, pourraient y être autorisés, prescrire les conditions dans lesquelles ils doivent être réalisés, utilisés ou exploités ;
- 2° De délimiter les zones qui ne sont pas directement exposées aux risques mais où des constructions, des ouvrages, des aménagements ou des exploitations agricoles, forestières, artisanales, commerciales ou industrielles pourraient aggraver des risques ou en provoquer de nouveaux et y prévoir des mesures d'interdiction ou des prescriptions telles que prévues au 1° ;
- 3° De définir les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde qui doivent être prises, dans les zones mentionnées au 1° et au 2°, par les collectivités publiques dans le cadre de leurs compétences, ainsi que celles qui peuvent incomber aux particuliers ;

- 4° *De définir, dans les zones mentionnées au 1° et au 2°, les mesures relatives à l'aménagement, l'utilisation ou l'exploitation des constructions, des ouvrages, des espaces mis en culture ou plantés existants à la date de l'approbation du plan qui doivent être prises par les propriétaires, exploitants ou utilisateurs. »*

Les documents de référence sont notamment :

- Le guide général des plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR) par le ministère de l'Équipement, des Transports et du Tourisme et le ministère de l'Environnement édité par la Documentation Française (1997) ;
- Le guide méthodologique pour l'élaboration des plans de prévention des risques littoraux par le ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et le ministère de l'Équipement, du Transport et du Logement édité par la Documentation Française (1997), et sa version réactualisée en décembre 2013 ;
- Le guide méthodologique pour l'élaboration des plans de prévention des risques naturels d'inondation par le ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et le ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement édité par la Documentation Française (1999) ;
- Le cahier de recommandations sur le contenu des PPR (MEDD – janvier 2006) ;
- La circulaire du 27 juillet 2011 relative à la prise en compte du risque de submersion marine dans les plans de prévention des risques naturels littoraux.

Par ailleurs, la méthodologie de détermination des aléas littoraux a été précisée dans la circulaire du 27 juillet 2011 et dans le guide méthodologique d'élaboration des PPRL. Les principales conclusions de ce guide qui influencent le travail de détermination de l'aléa sont :

- La prise en compte du changement climatique dans la définition des niveaux marins extrêmes ;
- La prise en compte des impacts du réchauffement climatique à l'horizon 2100 ;
- La prise en compte de l'ensemble des phénomènes dynamiques pour l'établissement du scénario de référence (composantes statiques du niveau marin et composantes dynamiques liées à l'action de la houle) ;
- La prise en compte des incertitudes ;
- L'élaboration de cartes informatives en absence d'ouvrage de protection ou de dispositifs naturels participant au système de protection.

La présente étude s'articule selon le découpage en phases suivant:

- Phase 1 : Analyse préalable du site ;
- Phase 2 : Caractérisation des aléas.

Le présent rapport constitue le rapport de phase 2.

2 Introduction

Le présent rapport a pour objectif de décrire les hypothèses de modélisation prises en compte pour la caractérisation de l'aléa sur le territoire d'étude ainsi que les résultats de ces travaux. Le secteur concerné par cette étude est constitué de 21 communes littorales et rétro littorales du Sud-Vendée et du Marais Poitevin qui ont été identifiées comme étant susceptibles d'être inondées par un évènement de marée significatif, type submersion marine et potentiellement un évènement terrestre par débordement de cours d'eau. La zone s'étend de la commune de Longeville-sur-Mer à celle de Chaillé-les-Marais au nord de l'estuaire de la Sèvre Niortaise.

Nous aborderons dans un premier temps la caractérisation de l'aléa érosion. Nous présenterons ensuite les modalités de construction et les caractéristiques du modèle utilisé pour l'étude de l'aléa submersion et inondation par débordement de cours d'eau. Par la suite seront décrits le calage du modèle hydraulique, les événements reproduits par le modèle numérique et les hypothèses de modélisation retenues. Enfin, les résultats de modélisation en termes de cartes de hauteurs d'eau et d'aléas seront présentés.

3 Caractérisation de l'aléa érosion

3.1 Introduction

Le recul du trait de côte est le déplacement vers l'intérieur des terres de la limite entre le domaine marin et le domaine continental. C'est la conséquence d'une perte de matériaux sous l'effet de l'érosion marine, combinée parfois à des actions continentales.

L'érosion du littoral englobe à la fois l'érosion naturelle induite par les forces marines et l'érosion générée ou accélérée par l'homme, particulièrement sur les côtes sableuses (surfréquentation des cordons dunaires qui détruit la végétation ou empêche son développement et expose le sable à l'action du vent, extraction de matériaux et ouvrages côtiers qui modifient les échanges sédimentaires, ...).

Le recul du trait de côte peut affecter différents types de formation : des cordons littoraux constitués de sable, ou des falaises de nature géologique très diverse.

- L'érosion marine des côtes basses constituées de matériaux meubles résulte souvent d'un déficit chronique et généralisé du bilan sédimentaire. Le phénomène est discontinu et provient principalement de la conjonction d'un niveau élevé du plan d'eau (niveau marégraphique), d'une élévation du niveau de la mer de courte durée (surcote) et de l'effet des vagues déferlantes
- L'évolution des côtes à falaises est liée au recul par à-coup du pied de falaise sapé par les vagues ainsi qu'au recul par glissements ou éboulements successifs de falaises instables en raison de leur nature marneuse ou argileuse (les eaux continentales ont alors un rôle déterminant dans le déclenchement du processus).

Le recul du trait de côte se traduit par une perte de terrains continentaux et des dommages aux biens (maisons, routes, champs cultivés,...). Il n'affecte qu'exceptionnellement les personnes.

L'aléa est un phénomène naturel défini par une intensité et une probabilité d'occurrence données. En ce qui concerne le recul du trait de côte, il est évalué à partir d'une échéance fixée à 100 ans.

3.2 Analyse du trait de côte

En rappel de la phase 1, le littoral présente quatre ensembles différents :

La dune de Longeville

A l'Est de l'Anse de Saint-Vincent-sur-Jard, au débouché de la petite rivière du Goulet, la dune sur laquelle s'est développée la forêt domaniale de Longeville se développe jusqu'à la Tranche-sur-Mer.

Cette flèche sableuse qui a progressé vers le Sud (et qui a évolué en cordon dunaire) s'est développée en bordure de la partie NW du Marais Poitevin jusqu'à atteindre le platier rocheux de la Pointe du Groin du Cou. Le cordon sableux s'étend sur près de 12 km et sur une épaisseur maximale de 1800 m. Son altitude varie de 5 m à 12 m.

L'affleurement calcaire et les formations dunaires, entre la Pointe du Groin du Cou et la Pointe du Rocher

L'étendue découverte à marée basse présente un fort contraste entre le platier rocheux du bas estran et le haut-estran sableux. Les plages sableuses, peu développées, se prolongent par des formations dunaires.

Le linéaire côtier se divise en trois secteurs bien identifiables :

- la Pointe du Groin du Cou à la Pointe du Chiquet (environ 3 km). A l'Ouest de la Pointe de la République, l'épais cordon dunaire d'une altitude atteignant 15 mètres maximum est en grande partie boisé. A l'Est de la Pointe de la République, la dune est moins haute et moins large.
- l'anse de Maupas est bien abritée des vents dominants et des houles du large en raison de son orientation Sud Sud-Est / Nord Nord-Ouest. Un plan d'eau a été aménagé dans une casse (zone isolée de la mer par la formation d'un cordon littoral).
- la plage de la Grière. Le haut estran sableux, de faible largeur et orienté Ouest Nord-Ouest / Est Sud-Est, s'appuie sur de petites dunes tandis que le bas-estran est constitué essentiellement d'un platier rocheux.

Le déploiement du grand cordon littoral à partir de la Pointe du Rocher

La Pointe du Rocher constitue un point d'ancrage à partir duquel s'est développé le grand cordon littoral qui se développe selon une direction Ouest / Est entre la pointe du Groin du Cou et la Pointe du Rocher, puis Nord Nord-Ouest / Sud Sud-Est jusqu'à la Pointe d'Arçay.

Le littoral est marqué par :

- la casse de la Belle Henriette, formation lagunaire apparue à la fin du 19^{ème} siècle, qui s'étend sur près de 4 km et sur une superficie de 240 ha.
- la pointe d'Arçay et de la pointe de l'Aiguillon, zones d'accumulations sableuses entre lesquelles s'écoule le Lay.

Le développement de **la pointe d'Arçay** s'est amorcé au 18^{ème} siècle sur la rive droite du Lay (LCHF, 1987). La pointe a avancé de plus de 3 km entre 1824 et 1977 (20 m/an). La partie Nord de la pointe d'Arçay est en recul sur sa face Ouest : 200 m entre 1829 et 1957 (1,5 m/an). Par ailleurs, le chenal du Lay se décale progressivement vers le Sud-Est, en suivant la migration de la Pointe d'Arçay.

La **pointe de l'Aiguillon** s'est allongée de 200 m entre 1824 et 1977 soit de l'ordre de 1,3 m/an (LCHF, 1987). Le recul de sa face Ouest (360 m de 1831 à 1893 soit 5m/an) et du massif dunaire (100 m de déplacement vers l'Est en environ 150 ans) est sans doute à mettre en relation avec une diminution des apports sableux liée à la formation de la pointe d'Arçay.

L'anse de l'Aiguillon

L'anse de l'Aiguillon, qui est séparée du large par ces deux pointes sableuses, correspond à la partie la plus orientale du Pertuis Breton. Elle recueille les eaux de quatre canaux et celles de la Sèvre-Niortaise.

La progression rapide de la flèche de l'Aiguillon aux 17^{ème} et 18^{ème} siècles, apparait comme le facteur de la localisation des dépôts ultérieurs à l'abri du cordon littoral. Les digues ont pu ensuite conquérir définitivement les atterrissements ainsi formés (F.Verger, 2009)

Au nord de l'anse, à Saint-Michel-en-l'Herm, une séquence de prises a rattaché l'île de la Dive au continent au 17^{ème} siècle, puis l'a isolée de plus en plus profondément au cœur des terres aux 19^{ème} et 20^{ème} siècles.

3.3 Principaux processus physiques en jeu dans l'érosion littorale

Ce chapitre reprend l'essentiel des actions des éléments naturels pouvant agir séparément ou ensemble sur les phénomènes d'érosion côtière.

3.3.1 Les houles

L'agitation (houle, mer du vent, clapots) et les courants induits sont les principaux agents responsables du transport des sables le long des rivages.

Les vagues sont principalement formées sous l'action du vent. Les conditions des houles à la côte dépendent alors de plusieurs facteurs :

- des caractéristiques du champ de vent (vitesse, direction et durée),
- de l'extension (météorologique et géographique) du champ de vent,
- de la profondeur des fonds marins.

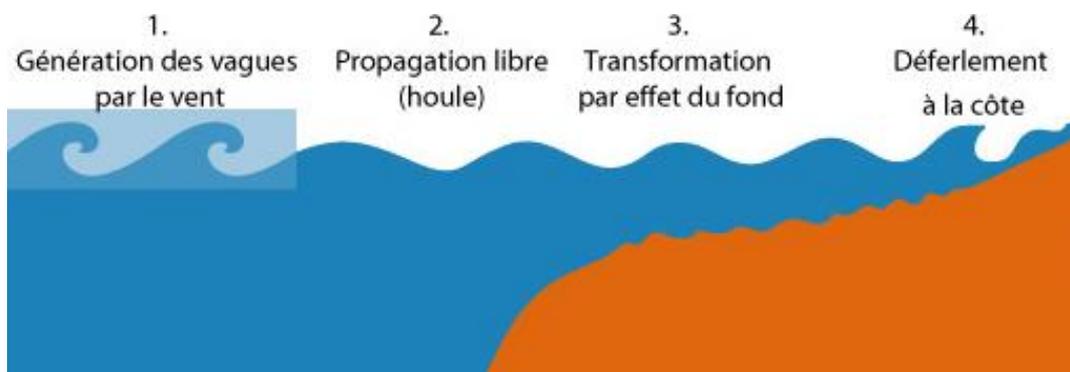


Figure 3-1 : Principes de formation, de propagation et de transformation de la houle (source : www.shom.fr)

On distingue "mer du vent", formée par le vent local, de la houle, formée par un champ de vent éloigné de la zone d'observation. L'expérience montre que ces deux types de vagues peuvent se chevaucher.

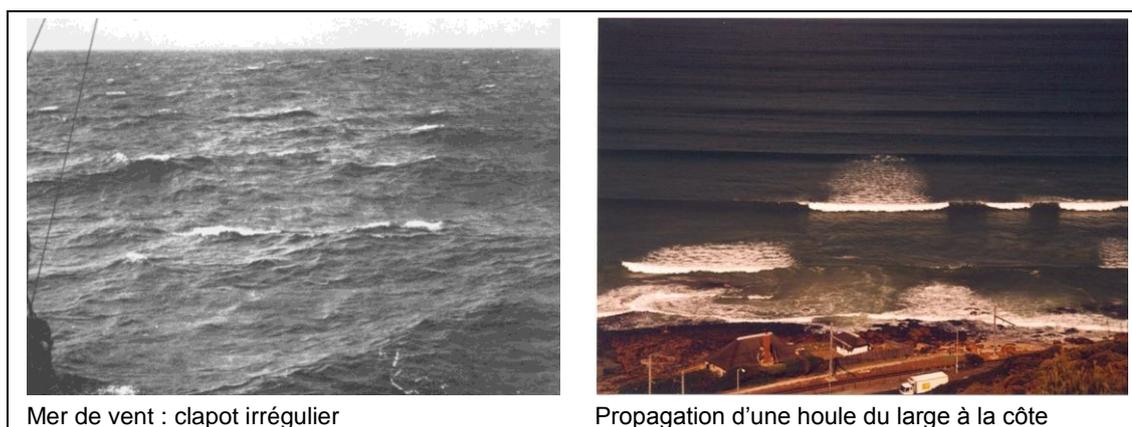


Figure 3-2 : Illustrations d'une mer de vent générée par des vents locaux (à gauche) et d'une houle générée par l'action des vents au large (à droite)

Lors de sa propagation du large vers la côte, l'action du fond sur la houle va se faire ressentir. Les vagues subissent alors des déformations liées à la topographie sous-marine (réfraction, dissipation) et à la présence d'ouvrages côtiers (réflexion, diffraction) comme illustrées sur la figure ci-dessous.

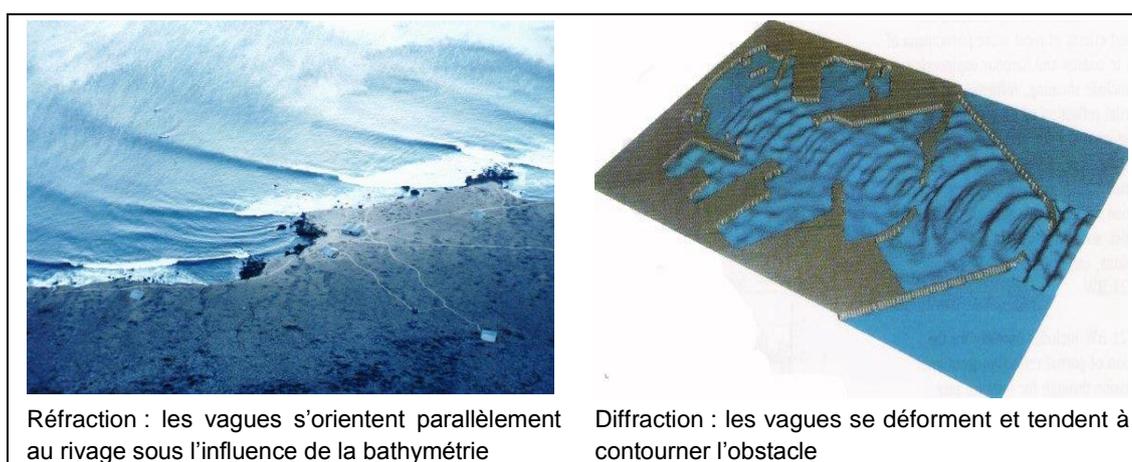


Figure 3-3 : Visualisation des phénomènes de réfraction (à gauche) et de diffraction (à droite)

Enfin à l'approche du rivage, la profondeur diminue fortement et le profil de la houle se modifie. En effet, lorsque la distance au fond diminue, la cambrure des vagues augmente. Pour finir la cambrure des vagues devient trop importante et, hormis sur des plages très pentues (ou sur des falaises), les vagues finissent par déferler à l'approche des côtes.

La forme que prend alors le déferlement dépend principalement de la pente des fonds. Sur un fond en pente régulière on distingue 3 grands types de déferlement (cf. Figure 3-4) :

- le déferlement glissant,
- le déferlement plongeant,
- le déferlement frontal ou gonflant.

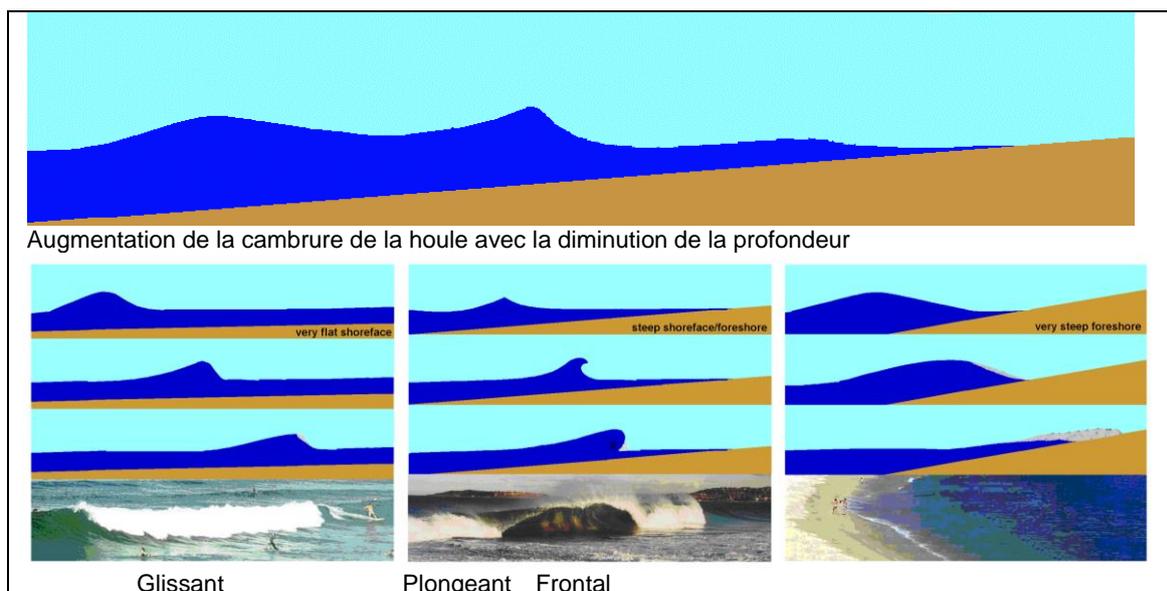


Figure 3-4: Principe de déformation et types de déferlement de la houle

3.3.2 Les courants

Au large, les courants marins sont essentiellement générés par la marée, les vents et les variations de la pression atmosphérique.

Les courants dépendent fortement de la bathymétrie et de configuration de la côte. Ainsi dans les rades et les embouchures des rivières, ils sont principalement liés au remplissage ou à la vidange des baies.

Dans la zone littorale, un autre facteur entre en jeu : la houle. Les courants sont principalement générés par le déferlement des vagues (« courants de houles »).

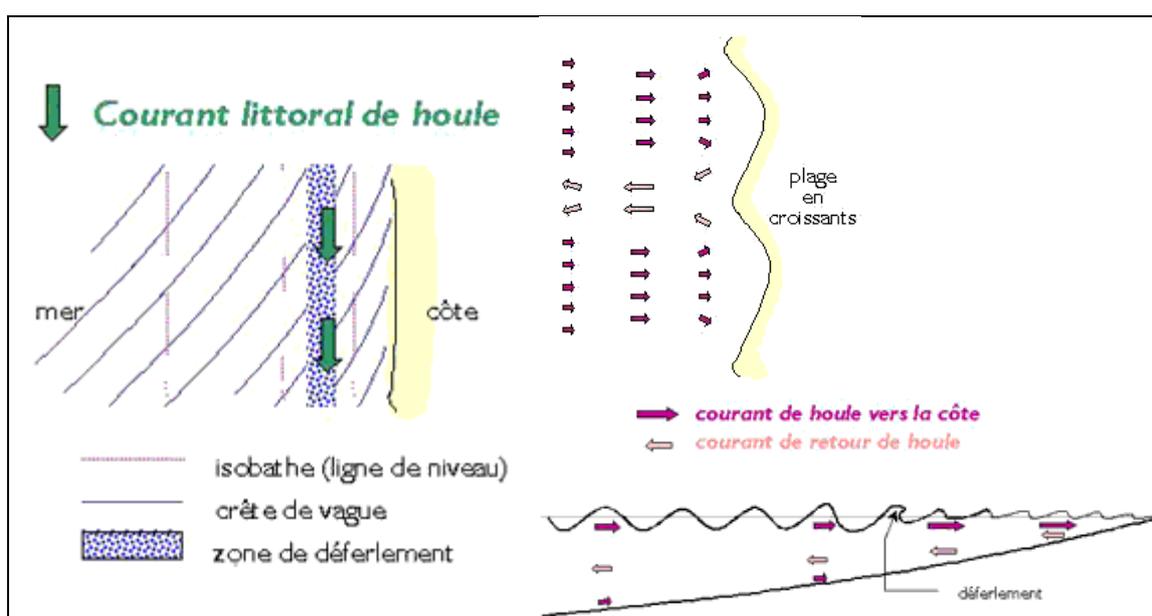


Figure 3-5: Formation des courants de houle par déferlement des vagues sur le rivage (source : www.ifremer.fr)

Les courants de retour de houle compensent les courants du large vers la côte. Lorsque ceux-ci sont localisés, ils sont à l'origine de la formation de croissants ou de dépressions entre la côte et les barres de déferlement (bancs de sable) parallèles au rivage. On parle alors de *bâches*, ou *baïnes* sur littoral aquitain.

3.3.3 Transport littoral

Les sédiments reposant sur les fonds marins sont transportés lorsqu'ils sont soumis à de fortes sollicitations, ou des efforts de cisaillement, provoqués par les mouvements des masses d'eau. Ces mouvements peuvent être produits par les courants de marée ou par les vitesses orbitales des vagues ou une combinaison des deux, ce dernier cas étant la situation où le transport est le plus important (cf. Figure 3-6).

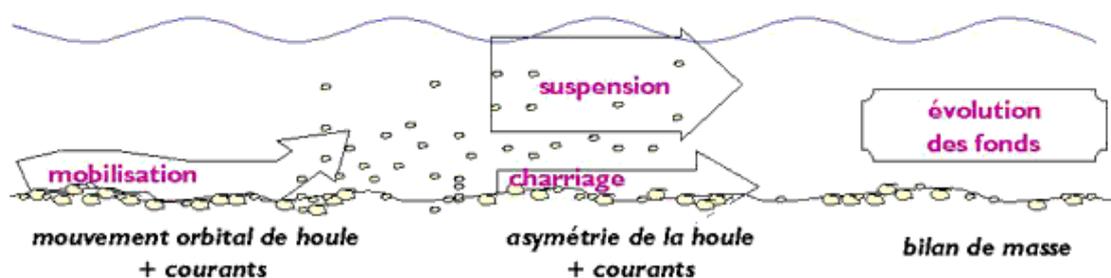


Figure 3-6 : Schéma de principe du transport des sables et des graviers (source : www.ifremer.fr)

Le transport sédimentaire littoral est donc déterminé par :

- la hauteur, la période et la direction des vagues,
- le déferlement: types, zone d'action,
- les courants: vitesses et directions,
- l'épaisseur de la colonne d'eau,
- les propriétés sédimentaires.

Les évolutions sédimentaires dans la zone de transition (zone de surf), ainsi que les échanges entre la dune et la plage contrôlent l'équilibre précaire du littoral, basé sur des échanges de sable entre cordon dunaire, haut de plage et zone de surf.

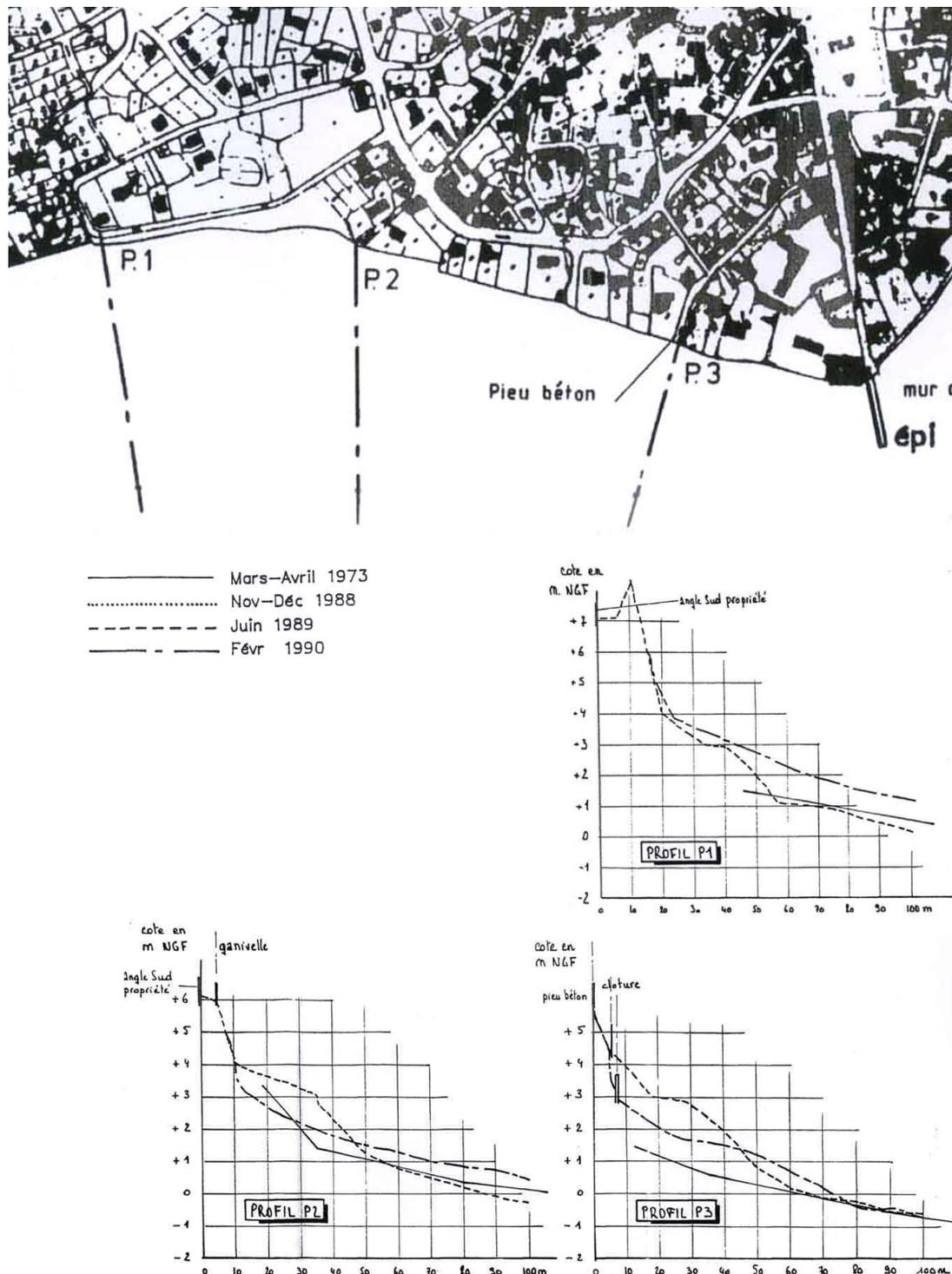
Par ailleurs, il faut noter que le transport éolien participe à la dynamique des côtes sableuses. Il peut être évalué à partir de la vitesse du vent, de la largeur du haut de plage et des caractéristiques du sable, mais il est segmenté par la présence d'obstacle, tel que les bâches, qui interceptent le sable.

3.4 Contexte hydro-sédimentaire

■ De la Pointe de la République à la Pointe du Chiquet

Les profils (comparaison 1973 – 1989) montrent que la plage qui s'appuie sur la Pointe du Chiquet prolongée de l'Epi de l'Aunis semble globalement stable.

On note une relative stabilité de la partie basse de la plage (présence de platier rocheux) et un engraissement sensible du haut estran, d'autant plus que l'on s'approche de l'épi de l'Aunis.



L'étude réalisée en 2007 par DHI sur le littoral vendéen a permis de mettre en évidence les grandes tendances d'évolution du trait de côte sur la base de l'exploitation de données orthophotographiques entre 1975 et 2001. La comparaison des traits de côte est basée sur la comparaison des lignes de végétation entre ces deux dates, ce qui a conduit à définir une

tendance à l'érosion, l'accrétion ou de stabilité du littoral selon les cas. Les cartes produites font état de ces évolutions.

La précision des résultats étant conditionnée par le degré de résolution des orthophotographies, une marge d'erreur de l'ordre d'une dizaine de mètres est admise.

Au niveau de l'anse du Maupas, les résultats ont fait apparaître deux zones distinctes : l'une en accrétion, depuis l'épi de l'Aunis jusqu'à l'extrémité Est du plan d'eau, puis l'une en érosion de ce même point jusqu'à l'extrémité Est de l'unité sédimentaire 7-B

Cette étude a également permis de déterminer l'intensité du transport sédimentaire sur le littoral vendéen et notamment de la pointe du Groin du Cou à la pointe de l'Aiguillon (voir Figure 3-7).

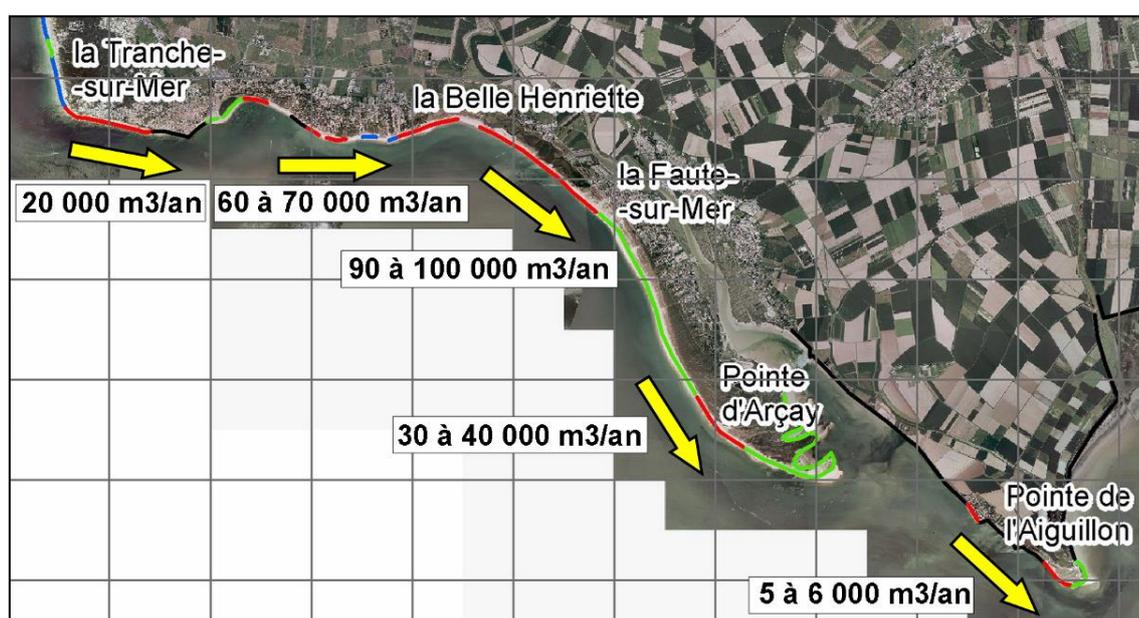


Figure 3-7 Extrait de l'atlas réalisé par DHI en 2007 – Dérive littorale le long de la face Nord du Pertuis Breton – en rouge : zones en érosion, en vert : zones en accrétion, en bleu : zones stables, en noir : ouvrages.

Les résultats de la modélisation du transit littoral présentés dans cette étude sont représentatifs du régime hydrosédimentaire de la Tranche-sur-Mer. Bien que les conditions de houles simulées sont caractéristiques d'évènements tempétueux, on rappelle que l'érosion du littoral de la Tranche-sur-Mer a un caractère très épisodique et que c'est uniquement lors de tempêtes coïncidentes avec de forts coefficients de marée et des surcotes exceptionnelles que le haut d'estran se vide partiellement de sables. Lors d'un tel évènement érosif, la capacité du transport net est quasiment nulle au Nord de la Pointe du Groin du Cou et augmente jusqu'à l'ordre de 1 500 à 2 000 m³/h à l'Est de cette pointe ; la résultante de la dérive littorale porte très nettement vers l'Est. Il en résulte une forte érosion du trait de côte au niveau de la Pointe du Groin du Cou et une érosion plus atténuée vers l'Est.

Il est important de souligner qu'il n'y a pas de fuite de sédiments des plages au Nord de la Pointe du Groin du Cou vers le littoral de la Tranche-sur-Mer; c'est uniquement l'érosion de l'extrémité de cette pointe qui puisse alimenter le littoral tranchais.

Dans le secteur de La Tranche-sur-Mer, le transit littoral s'effectue du NW vers le SE, comme l'attestent les éléments suivants, issu de l

■ **de la pointe du Grouin à la pointe de la république**

Le sable transporté par les vents d'Ouest à Sud-Ouest vient s'accumuler sur la face Ouest de ces murets. Ceux-ci sont présents principalement dans le secteur situé entre la Pointe du Groin du Cou et celle de la République.

Il s'agit d'amas de galets organisés par les plagistes pour se protéger du vent. Les galets sont apportés par la mer sur le haut estran, puis remontés en pied de dune par les Services Techniques de la Mairie lors des opérations de nettoyage de plage.

Il est probable que certains de ces galets constituaient les murs des écluses à poissons (ou pêcheries), présentes jusqu'aux années 1960 sur l'estran, entre la Pointe du Groin du Cou et celle du Chiquet.



Une analyse de l'évolution du trait de côte du secteur compris entre la Pointe du Groin du Cou et la Pointe du Rocher (SOGREAH, mai 1990), a été réalisée à partir de photographies

aériennes de l'IGN, de levés bathymétriques (CREO) de 1973, et de profils levés (DDE) en 1990.



Source : SOGREAH, mai 1990

Il en ressort que :

- Au niveau de la **Pointe du Groin du Cou**, secteur qui est le plus exposé aux agitations du large, l'analyse des photographies aériennes fait apparaître, un recul du trait de côte plutôt régulier dans le temps, de 50 m et plus entre 1957 et 1987 (soit 1 à 2 m/an).

- de la **Pointe du Groin du Cou à la Pointe de la République**, le littoral, relativement rectiligne, présente par endroit les signes d'une légère érosion.

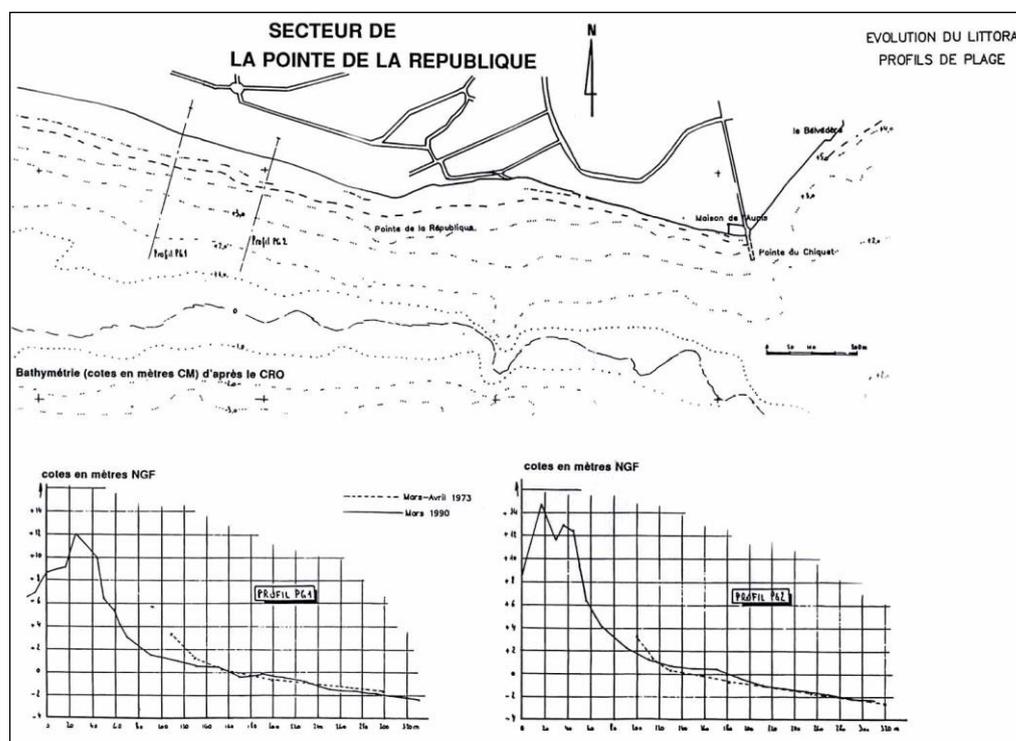
- Recul de la dune de part et d'autre de l'enrochement qui soutient le terre-plein et la descente à la plage (au Sud-Est immédiat du Phare du Groin).



- basculement d'un blockhaus en flanc de dune (au SW du Phare du Groin).



- les profils PG1 et PG2 (comparaison 1973-1990) marquent un léger recul de la dune

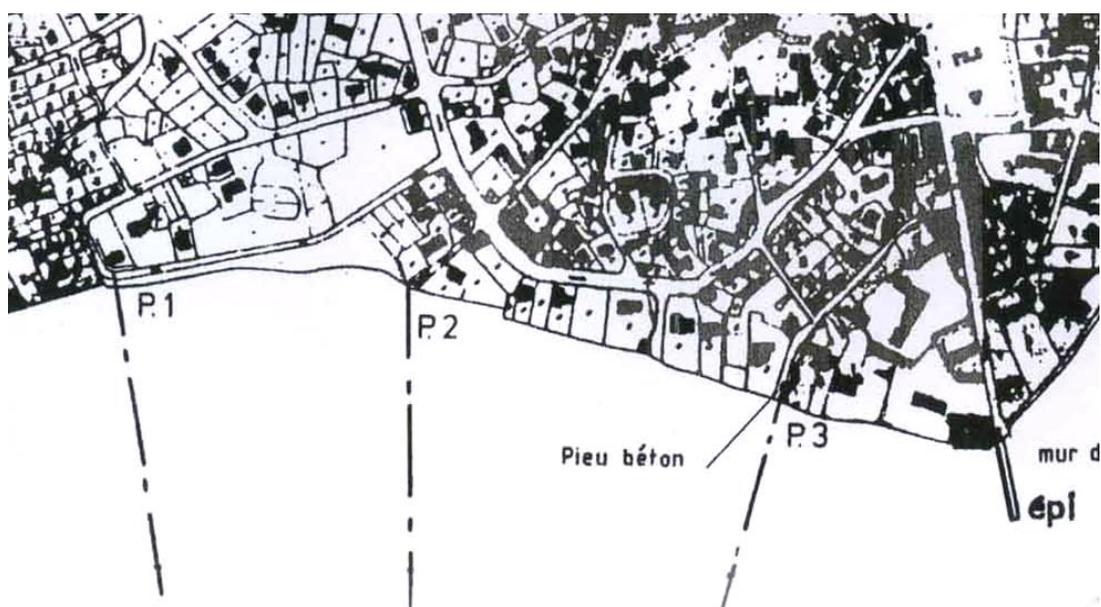


Source : SOGREAH, mai 1990

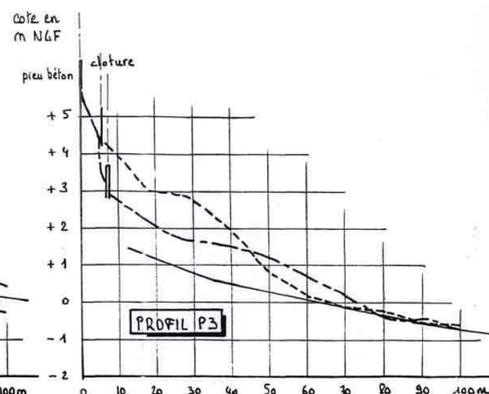
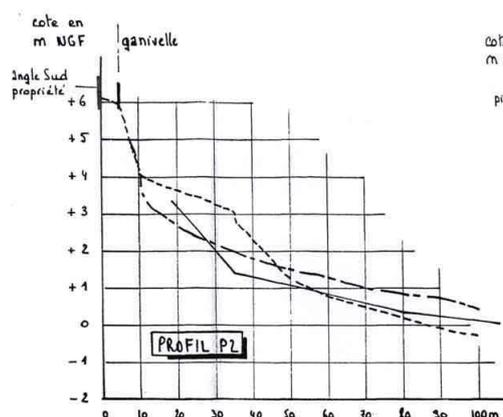
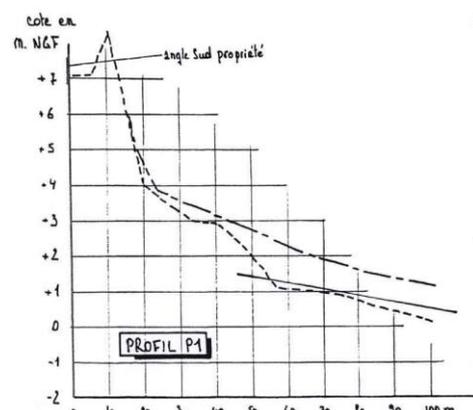
■ De la Pointe de la République à la Pointe du Chiquet

Les profils (comparaison 1973 – 1989) montrent que la plage qui s'appuie sur la Pointe du Chiquet prolongée de l'Epi de l'Aunis semble globalement stable.

On note une relative stabilité de la partie basse de la plage (présence de platier rocheux) et un engraissement sensible du haut estran, d'autant plus que l'on s'approche de l'épi de l'Aunis.



— Mars—Avril 1973
 Nov—Déc 1988
 - - - - - Juin 1989
 — - - - - Févr 1990



■ L'Epi de l'Aunis

L'extrémité de la jetée actuelle (construite en 1866) a été détruite sur une longueur de 22 mètres, lors du raz-de-marée du 9 janvier 1924

En bloquant le sable transporté par la dérive littorale qui s'accumule sur sa face Ouest, cette jetée joue aujourd'hui un rôle important dans la stabilisation du rivage de la plage des Générelles.



■ **La jetée (racine de l'estacade) dans l'anse de Maupas**



L'Anse du Maupas est divisée en 2 parties bien distinctes par une digue construite en 1964-65 et prolongée en 1973-74 par une estacade.

A l'Ouest de cette digue, on note que les sables contournent :

- le musoir de l'épi de la pointe du Chiquet (transit de haut estran avec cheminement des sables sur le platier rocheux) ;
- l'extrémité du rocher de l'Aunis (transit de bas estran et par petits fonds).

Ces mouvements s'accompagnent de formation de flèches en haut estran qui ont tendance à migrer vers la haute plage en isolant une zone dépressionnaire ou « casse ».

Ces cordons sableux se prolongeaient au Nord-Est vers la plage de la Grière avant la réalisation de la digue de l'embarcadère. Ils viennent désormais engraisser la plage qui se développe sur la face Ouest de cet ouvrage qui agit comme un épi.

La partie Est de la Grande plage semble beaucoup plus stable que la partie Ouest où l'on note des évolutions saisonnières importantes. Il arrive régulièrement que, suite à un départ du sable, les vagues déferlent directement sur les murs des propriétés riveraines.

Dans la partie Est, c'est à partir de l'extrémité de la digue de l'embarcadère que s'est amorcée la formation d'une flèche sableuse qui a peu à peu évolué en cordon dunaire.

L'engraissement très important se traduit (SOGREAH, Août 1988) :

- à l'Est de la digue, par une accumulation sur environ 600 à 700 m de longueur.
- une progression de la plage, de l'ordre de 200 m

- un volume des matériaux accumulés évalué à environ 500 000 m³

A partir de 1973, la casse de Maupas se trouve isolée de la mer par un cordon dunaire d'une altitude de 5 m NGF qui a été renforcé (apports de sables d'estran, mise en place de ganivelles, de coupe-vent,...), et qui rejoint à l'Est le cordon de la Grière.

Le plan d'eau a été aménagé début 1989.

On constate que la valeur du transport au niveau de l'épi de l'Aunis a été revue à la baisse en comparaison avec la valeur déterminée lors de l'étude sur le littoral vendéen (alors de 20,000 m³/an. En effet, on a constaté que la limite estran sableux – platier rocheux était remontée aux environs de +4m CM. Si l'on intègre le résultat annuel du transport sur le profil juste en amont de l'épi de l'Aunis entre +4m CM et le haut de l'estran sableux, cela conduit à une valeur de 10,000 m³/an (à noter que l'intégration entre +3m CM et le haut estran redonnerait la même valeur de 20,000 m³/an). Cette valeur est donc très importante : c'est la quantité de sédiments pénétrant dans l'anse du Maupas chaque année en provenance de la pointe du Groin du Cou.

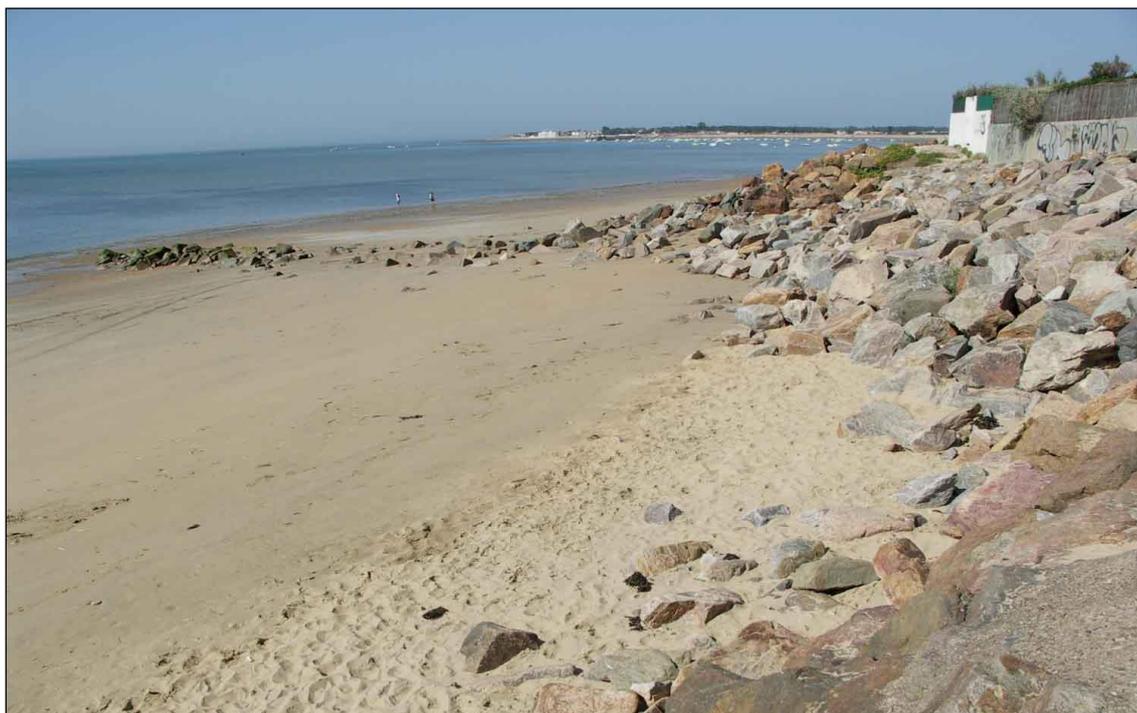
La valeur du transport baisse alors régulièrement jusqu'à l'épi situé à l'Est de la casse passant de 10,000 m³/an à 4,000 m³/an. Le transport augmente alors vers l'Est pour atteindre une valeur de 6,000 m³/an à l'extrémité de l'enrochement. Les gradients observés dans le transport annuel découlent sur les taux d'accrétion, avec un trait de côte en légère érosion de l'ordre de 0,5 m/an sur la plage centrale et de 0,5 m/an à 0,8m/an entre l'estacade et l'épi à l'Est de la casse du Maupas. Suite à cet épi et à l'augmentation du transport le gradient devient négatif et engendre une érosion du trait de côte de l'ordre de -0,5m/an.

Lors de l'étude sur la Vendée, un taux d'accrétion moyen de 0,8 m/an a été déterminé pour la plage centrale : ce taux est basé sur l'observation du trait de côte entre deux dates éloignées de 20 ans, et la photo de 1975 prise seulement 10 ans après la construction de la jetée. L'évolution du trait de côte et donc l'accrétion sur cette zone était plus intense qu'aujourd'hui. Ce taux a graduellement diminué jusqu'à aujourd'hui et le sable a commencé à contourner la jetée, diminuant d'autant l'accrétion sur la plage centrale. On conclut donc sur le comportement en moyenne stable (même en accrétion) de la plage centrale malgré l'apparition et la disparition épisodique d'une protubérance sableuse (conduisant la commune à recharger en sable épisodiquement).

Pour la zone située à l'Est de l'Anse du Maupas, les taux d'érosion dans l'atlas du littoral vendéen ont été établis à -1,2 m/an, contrastant avec notre valeur précisée ici à -0,5 m/an. Ceci est dû au fait que l'érosion a été forte suite à la construction de la digue puis s'est graduellement atténuée pour atteindre la valeur de -0,5 m/an aujourd'hui.

■ Les épis de la Grière

De l'anse de Maupas à la Pointe du Rocher (plage de la Grière), le haut estran sableux et de faible largeur, s'appuie sur de petites dunes tandis que le bas estran est constitué essentiellement d'un platier rocheux.



Suite à la réalisation de la digue (construite en 1964-1965) dans l'anse de Maupas, le transit sédimentaire a été stoppé temporairement, ce qui a entraîné une diminution des apports de sable vers l'Est.

C'est pour limiter la vulnérabilité du littoral de la Grière (en raison de cette sous-alimentation en sédiments), que plusieurs ouvrages ont été réalisés en 1966 :

- Perré en enrochement (environ 450 m), en limite Est de l'anse de Maupas.
- une série d'épis (inférieurs à 100 m) qui présente aujourd'hui une face Ouest légèrement plus chargée que la face Est

■ La formation de la casse de la Belle Henriette

C'est à l'Est de la Pointe du Rocher, que s'enracine la flèche d'Arçay d'une longueur totale de 10 km environ. L'évolution de cette flèche littorale sableuse a donné naissance à la fin du 19^e siècle à la casse de la Belle Henriette, formation lagunaire qui s'étend sur près de 4 km et sur une superficie de 240 ha.

La dynamique de ce site est très importante comme le montre l'illustration suivante, extraite de Bouhier Abel. Aspects morphologiques de la partie occidentale du Marais Poitevin. In: Norois. N°14, 1957. Avril-Juin 1957. pp. 175-207.

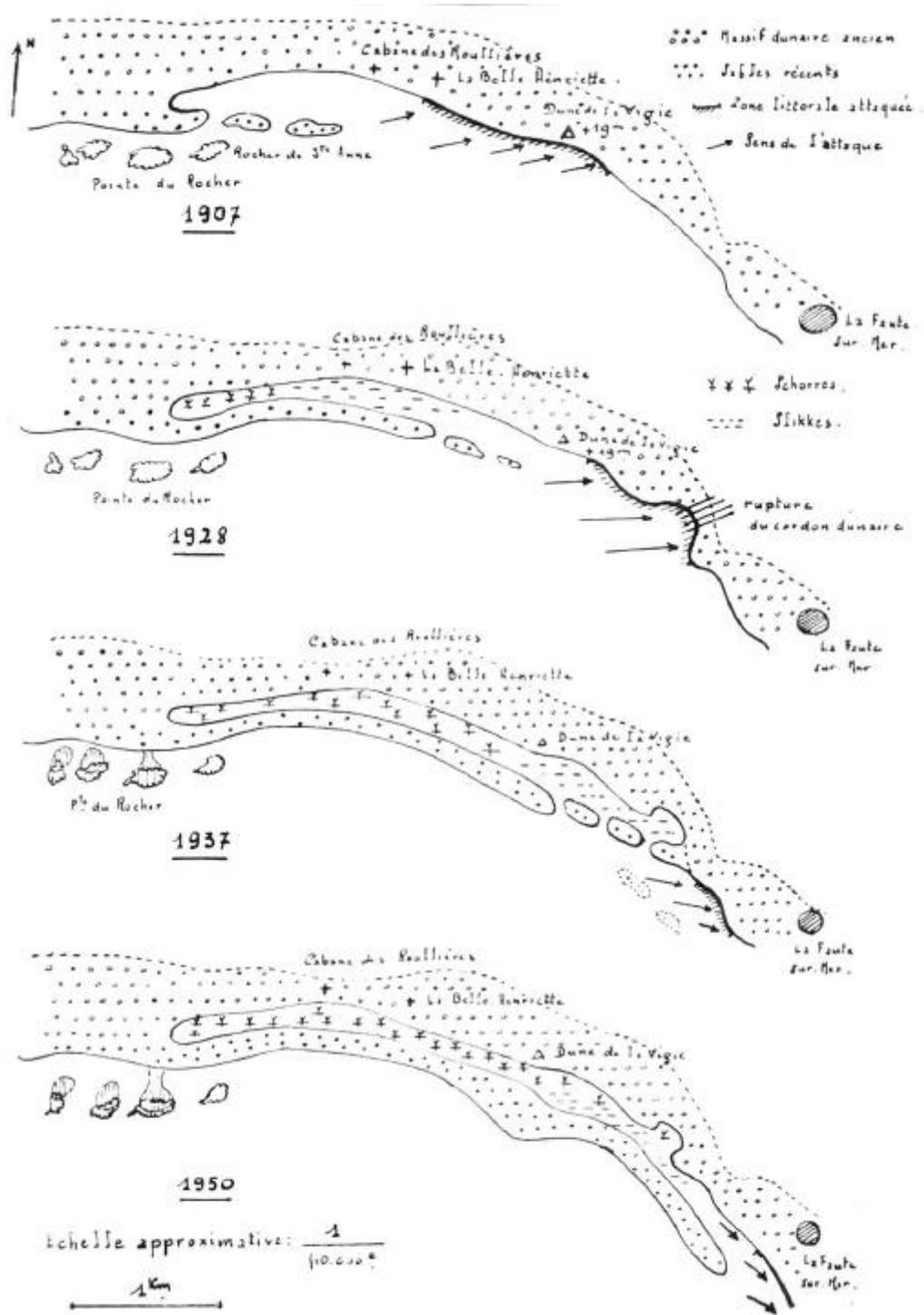
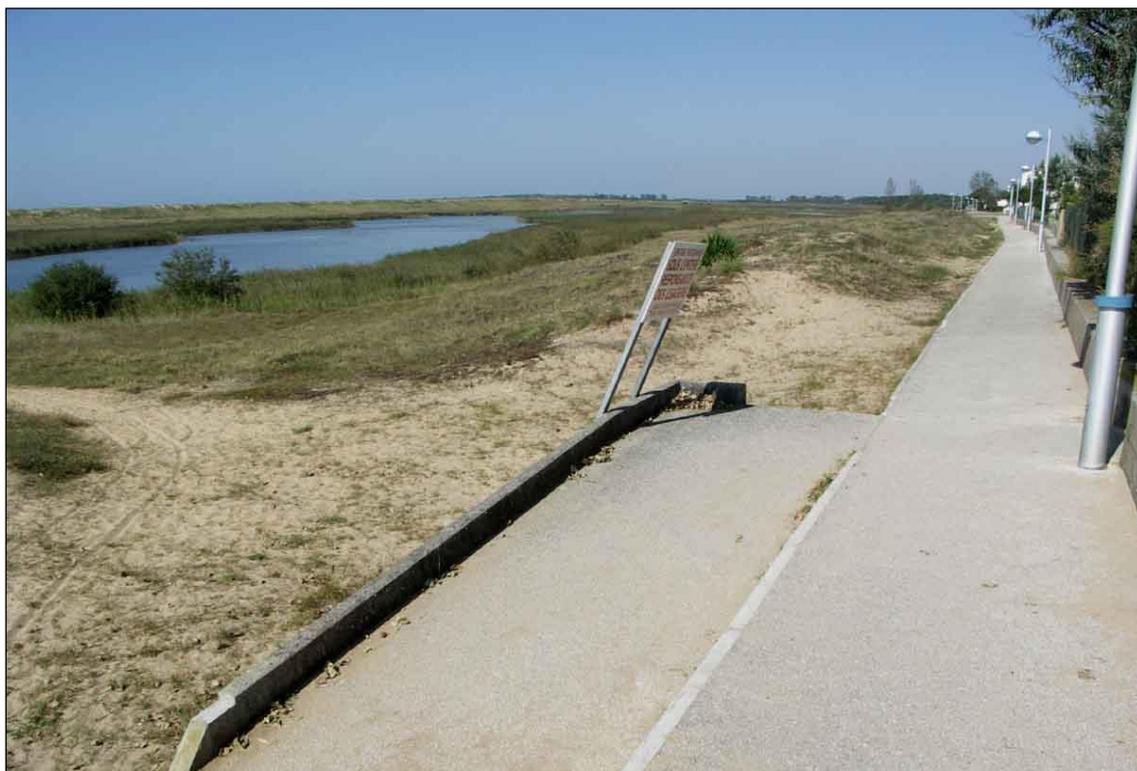


FIG. 2.

Figure 3-8: Formation et évolution de la lagune de la Belle Henriette (source : Bouhier Abel. Aspects morphologiques de la partie occidentale du Marais Poitevin . In: Norois. N°14, 1957. Avril-Juin 1957. pp. 175-207)



En 1972 fut prise la décision de fermer l'embouchure de la lagune afin de stopper l'érosion du littoral de la Faute-sur-Mer qui était provoquée par les courants de marée. L'installation d'une digue en sable entraîna un engraissement du littoral au Sud, sur environ 3 km. On peut estimer l'ordre de grandeur des matériaux accumulés (apports dans le profil et par transit littoral) à 2 millions de m³ (SOGREAH, Avril 1988). Ce fort engraissement du littoral a été suivi d'un réajustement. On note en effet un recul du cordon de l'ordre de 5 à 7 mètres par an entre 1980 et 1990.

■ La progression de la pointe d'Arçay et de la pointe de l'Aiguillon

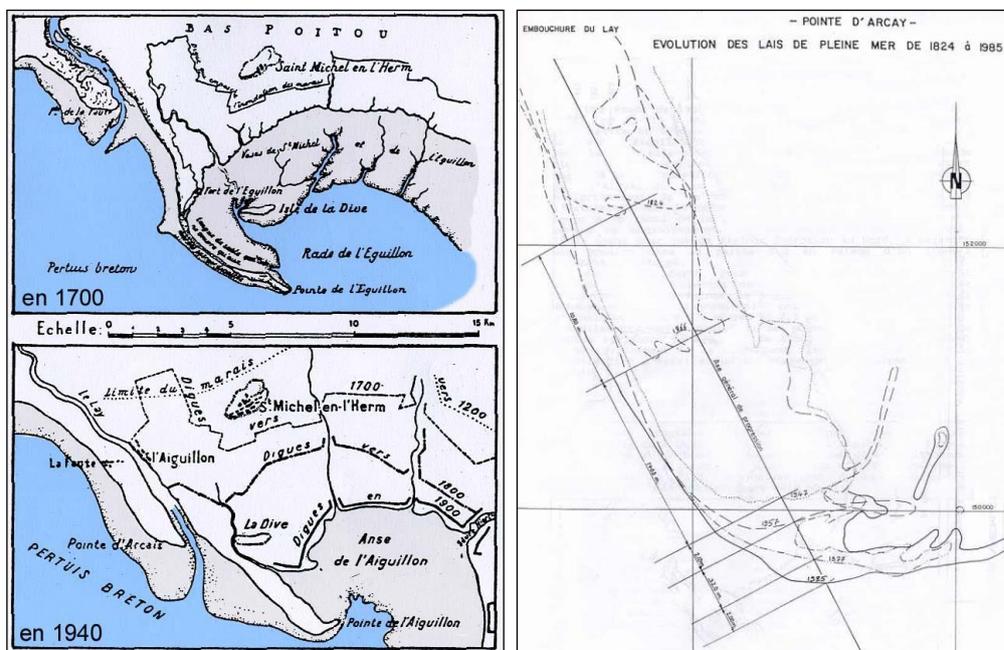
Cette zone d'accumulation sableuse dans le Pertuis Breton, alimentée par la dérive littorale, est constituée des flèches d'Arçay et de l'Aiguillon entre lesquelles s'écoule le Lay. Elles sont situées dans un environnement hydrodynamique principalement dominé par les courants de marées, mais où la houle atteint sa pénétration maximale dans le Pertuis Breton (Weber, 2004)

Le développement de **la pointe d'Arçay** s'est amorcé au 18^{ème} siècle sur la rive droite du Lay (LCHF, 1987). La pointe a avancé de plus de 3 km entre 1824 et 1977 (20 m/an). Le volume de matériau qui participe à l'accroissement de la pointe d'Arçay est de l'ordre de 100 000 à 150 000 m³/an (17 millions de m³ entre 1829 et 1957 ; 1,75 cm/an). La partie Nord de la pointe d'Arçay est en recul sur sa face Ouest : 200 m entre 1829 et 1957 (1,5 m/an). Par ailleurs, le chenal du Lay se décale progressivement vers le Sud-Est, en suivant la migration de la Pointe d'Arçay.

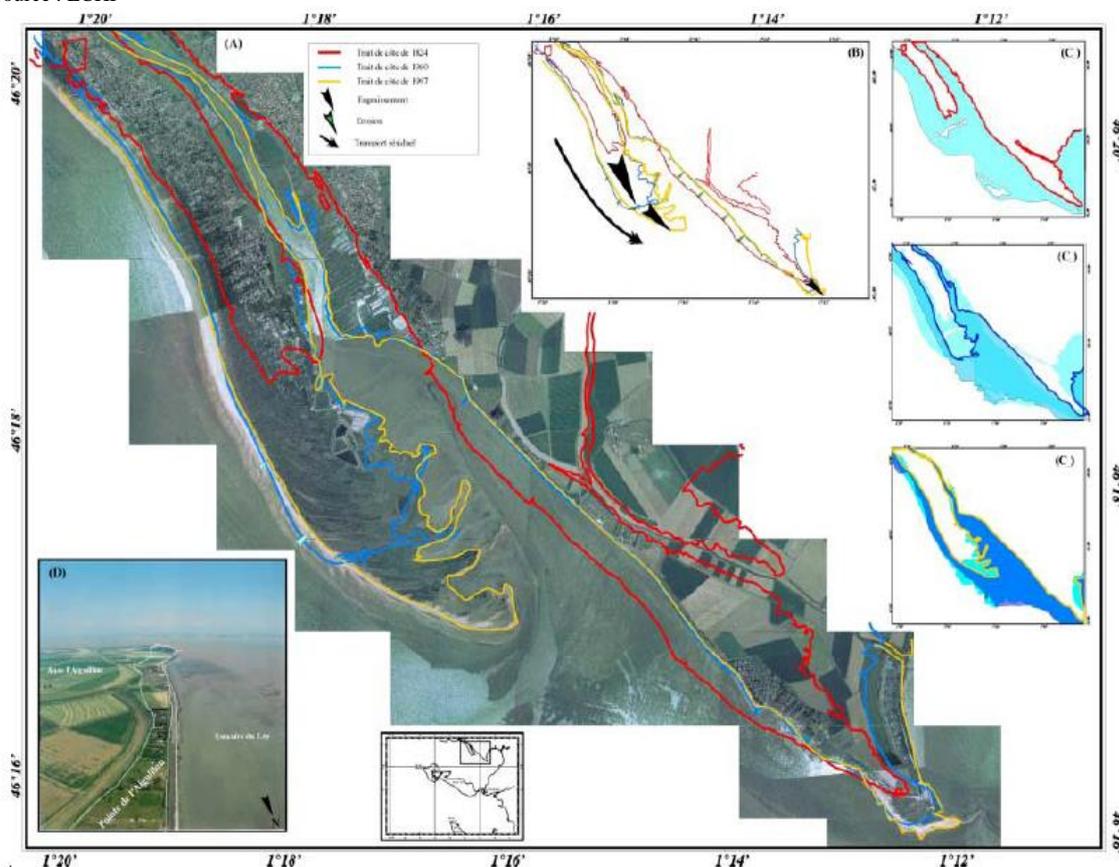
Tableau 3-1. Surfaces gagnées sur la mer depuis 1750 au niveau de la Pointe d'Arçay (Weber N., 2004)

Evolution	Surface gagnée en km ²	Surface gagnée en m ² /an
1750 – 1824	3.5	35 000
1824 – 1923	2.2	30 000
1923 - 1972	0.92	13 000
1972 – 1995	0.34	13 000

La **pointe de l'Aiguillon** s'est allongée de 200 m entre 1824 et 1977 soit de l'ordre de 1,3 m/an (LCHF, 1987). Le recul de sa face Ouest (360 m de 1831 à 1893 : 5m/an) et du massif dunaire : (100 m de déplacement vers l'Est en environ 150 ans) est sans doute à mettre en relation avec une diminution des apports sableux liée à la formation de la pointe d'Arçay.



Source : LCHF



Source : Pointes d'Arçay et de l'Aiguillon – Evolution du trait de côte entre 1824 et 1997 (Weber 2004)

■ Les opérations de dragages dans l'estuaire du Lay

L'estuaire du Lay est régulièrement dragué.

L'opération de dragage qui a été réalisée (septembre – novembre 2006) a permis d'extraire 50 000 m³ de sédiments (source : Conseil Général de la Vendée). Sur ce total de 50 000 m³, 30 000 m³ ont été déposés sur 2 plages situées sur la pointe de l'Aiguillon, au sud de la digue de l'éperon (15 000 m³ sur la plage de l'Oasis et 20 000 m³ sur la plage de l'Eperon) et 15 000 m³ ont été clapés dans la Fosse de Chevarache.

■ La sédimentation en Baie de l'Aiguillon

L'anse de l'Aiguillon, qui est séparée du large par ces deux pointes sableuses, correspond à la partie la plus orientale du Pertuis Breton.

Le colmatage de l'anse (matériaux fins) est estimé à 75 millions de m³ de 1865 à 1960, soit 750 000 m³/an correspondant à un exhaussement moyen des fonds de 1,7 cm/an (LCHF – 1987).

Le colmatage de la Baie de l'Aiguillon, ainsi que la sédimentation vaseuse importante sur les rives du Lay, sont les conséquences directes de la dissymétrie du cycle des marées : la capacité d'évacuation est moins élevée en raison d'une durée plus faible du jusant par rapport à celle du flot. On observe donc un transit dirigé vers le SE. Seuls les sables ayant une granulométrie inférieure à 0,2 mm peuvent être mobilisés par les courants de marée. Ils sont d'ailleurs toujours associés à de fortes teneurs en vases. (ECOCEAN / SCE, 1990)

La progression du rivage, marquée par la réalisation des endiguements, décroît d'Ouest en Est :

- 4 km en 150 ans à Saint-Michel (26 m/an)
- 1 km par siècle à Champagne (10 m/an)
- 0,5 km par siècle vers Esnandes (5 m/an)

3.5 Détermination de l'aléa recul du trait de côte

L'approche utilisée pour déterminer l'évolution du trait de côte est l'approche historique, qui consiste en une analyse diachronique de documents cartographique, en l'occurrence, de photographies aériennes à différentes dates.

L'évolution du trait de côte à 100 ans est ensuite projetée à partir de l'évolution passée, puis un recul ponctuel maximum est ajouté afin de déterminer l'aléa érosion.

L'analyse des jeux de photographies aériennes de 1920 à 2010 permet de définir sur l'ensemble du secteur d'étude les tendances de mobilité du trait de côte. Les campagnes photographiques aériennes extraites des fonds documentaires de l'IGN et de l'Ifremer sont :

Tableau 3-2: Photographies aériennes utilisées pour définir les traits de côte historiques

Année	Date	Echelle	Taille du pixel en m	Source
1920	-		0.2	Ifremer
1975	22/05/1975	1/20100	1.05	DDTM85
2001	11/08/2001	1/25800	0.5	IGN
2006	07/06/2006	1/70	0.5	IGN
2010	18/03/2010	1/20	0.5	IGN

A cette analyse diachronique s'ajoute la détermination du recul instantané lié à un événement majeur. Cette donnée est issue de l'analyse des fiches descriptives des événements météorologiques ayant occasionné des dommages présentées en annexe du rapport de phase 1. Cependant, ce recul n'est pas disponible sur l'ensemble des sites étudiés.

Ainsi, la méthodologie appliquée pour caractériser l'aléa recul du trait de côte est la suivante :

- Définition des traits de côtes historiques,
- Analyse diachronique des traits de côte historique afin de déterminer les zones en érosion et les vitesses d'évolution de ces zones,
- Projection à 100 ans du trait de côte à partir des taux d'évolution sur les zones en érosion, de l'analyse des études existantes et de l'analyse morphologique du littoral,
- Détermination du recul maximum lié à un événement tempétueux à partir de l'analyse documentaire des événements historiques et du retour d'expérience de Xynthia réalisé par le CETE,
- Détermination de l'aléa recul du trait de côte à partir de la combinaison de la projection de trait de côte à 100 ans et du recul maximum lié à un événement tempétueux.

3.5.1 Analyse diachronique

L'analyse diachronique consiste en la comparaison de la position du trait de côte à différentes dates. Pour cela, les traits de côte sont digitalisés avec le logiciel ArcMap 10.1 d'ESRI sur les photographies aériennes préalablement géoréférencées.

3.5.1.1 Géoréférencement des photographies aériennes historiques

Aucun géoréférencement n'a été effectué dans le cadre de cette étude. En effet, les photographies aériennes étaient déjà géoréférencées par l'IGN et par l'Ifremer. La détermination de l'incertitude liée au géoréférencement n'est ainsi pas possible.

3.5.1.2 Numérisation des traits de côte historiques

Le trait de côte est dans cette étude défini comme le lieu de discontinuité morphologique caractéristique de la limite probable atteinte par la mer sur la côte (talus d'érosion, pied de dune, limite de végétation de la plage, laisse des plaines mers de vives eaux exceptionnelles, bermes de tempête...). Cette limite morphologique présente un intérêt pour le suivi de l'évolution physique des côtes. Cette définition du trait de côte correspond à celle du Conseil National de l'Information Géographique (2003).

Toutefois il apparaît d'une manière générale que la limite interprétée entre les domaines terrestre et marin sur l'orthophotographie littorale mériterait peut-être plutôt l'appellation de trait de côte « botanique » que « géomorphologique » de par les critères exploitables dans la gamme des résolutions considérées (Le Berre & al. 2005¹).

¹ **Iwan Le Berre, Alain Hénaff, Thomas Devogèle, Ariane Mascret et Franck Wenzel**, « SPOT5 : un outil pertinent pour le suivi du trait de côte ? », *Norois* [En ligne], 196 | 2005/3, mis en ligne le 15 décembre 2008. URL : <http://norois.revues.org/378> ; DOI : 10.4000/norois.378

Le trait de côte est donc défini de manière pratique comme la limite de végétation en raison de la possibilité de la distinguer sur des photographies aériennes en noir et blanc et de faible résolution ou de faible qualité.

Le trait de côte a été digitalisé sur l'ensemble des photographies historiques disponibles présentées dans le Tableau 3-2.

Il est à noter que cette analyse est néanmoins très qualitative et subjective, et sujette à des incertitudes. Ainsi, si la marge d'erreur du trait de côte de 2010 est faible du fait de la qualité des images aériennes et de la projection, cela n'est pas le cas pour le trait de côte de 1920. La qualité des images et la correction de la projection est une source importante d'erreur (cf. 3.5.3).

3.5.2 Détermination de l'évolution du trait de côte

La comparaison des traits de côte historique permet de déterminer et de quantifier des tendances d'évolution. Pour cela, l'outil DSAS 4.0² développé par le United State Geological Survey a été utilisé. Cet outil est une application SIG pour ArcGIS 10, permettant de calculer sur des transects perpendiculaires au trait de côte, des statistiques de taux d'évolution à partir des différents traits de côte historiques.

L'outil DSAS génère de manière automatique des transects régulièrement espacés et détermine à partir des traits de côte historique la distance entre ceux-ci. Il calcule ensuite les statistiques d'évolution du trait de côte selon plusieurs méthodes:

- La méthode des points extrêmes (EPR): le taux d'évolution des points extrêmes est calculé en divisant la distance sur le transect entre le trait de côte le plus récent et le plus ancien, par le nombre d'années séparant ces traits de côte.
- La méthode de la régression linéaire (LRR): le taux d'évolution peut être déterminé par ajustement d'une droite de régression linéaire des moindres carrés à toutes les intersections des traits de côte historique pour un transect. Le taux de régression linéaire est la pente de la droite.
- La méthode de la régression linéaire pondérée (WLR): cette méthode dérivée de la précédente permet d'intégrer l'incertitude des données historiques. La régression linéaire aux moindres carrés est utilisée en pondérant chaque valeur.

Dans le cadre de cette étude, les transects sont générés tous les 5 mètres afin de représenter finement l'évolution du trait de côte et permettre de mettre en évidence différentes aberrations (transect érosif dans une zone en accretion ou inversement). Ces aberrations sont ensuite corrigées ou non pris en compte.

Les calculs statistiques de l'évolution du trait de côte sont réalisés sur l'ensemble des transects. Un travail de cartographie est ensuite réalisé sous ArcGIS 10.1 afin d'interpréter les résultats.

A partir de ce travail, une extrapolation à 100 ans du trait de côte est réalisée à partir du taux d'évolution donnée par la méthode WLR lorsque plus de deux traits de côte sont disponible et la par la méthode EPR lorsque seuls deux traits de côte sont disponibles. Cette extrapolation permet de déterminer l'aléa érosion sur les sites étudiés.

La période de calculs des taux d'évolution du trait de côte est donc de 86 ans lorsque le trait de côte de 1920 est disponible et de 31 ans lorsque le trait de côte le plus ancien est 1975.

² Himmelstoss, E.A. 2009. "DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide" in: Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., and Ergul, Ayhan. 2009 Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 — An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278.

On notera que les photographies aériennes de 2010 ont été prises après un évènement tempétueux majeur (tempête Xynthia). Le trait de côte digitalisé sur ces images porte les marques de cet évènement et n'est donc pas représentatif pour une analyse de l'évolution sur le long terme du trait de côte. Le trait de côte de 2006 semble plus pertinent pour ces calculs.

Le retour d'expérience suite à l'évènement Xynthia permet de considérer que le recul ponctuel maximum lié à un évènement tempétueux est de l'ordre de 20 m sur l'ensemble du trait de côte, y-compris derrière les ouvrages longitudinaux. La seule exception est sur le secteur de la Belle Henriette, où un recul maximum de 35 m est pris en compte, compte tenu de ces observations historiques locales.

3.5.3 Incertitude de la méthode

La détermination de l'aléa érosion est porteuse de nombreuses incertitudes liées à la fois aux données utilisées pour définir le taux d'évolution et à la projection de ce taux à l'échéance 100 ans.

3.5.3.1 Incertitudes liés aux données utilisées pour définir le taux d'évolution

Les traits de côte historiques sont digitalisés manuellement à partir des photographies aériennes géoréférencées. Cela induit deux types d'incertitudes :

- Incertitudes liées au géoréférencement des photographies aériennes. Cela prend en compte l'erreur quadratique moyenne (RMSE) engendrée par la correction des photographies aériennes. Cette données n'est cependant pas identifiée.
- Incertitudes liées à la digitalisation du trait de côte. Même lorsque la limite de végétation est facilement identifiable, la digitalisation manuelle du trait de côte est malgré tout soumise à une marge d'incertitude. Celle-ci est considéré égale à 5 pixels pour les traits de côte de 2006 et 2010, à 10 pixels pour les traits de côte de 1975 et 2001, et à 20 pixel pour le trait de côte de 1920.

Tableau 3-3:quantification de l'incertitude des traits de côte historiques

Année	date du cliché	Echelle	Taille du pixel en m	Incertitude lié à la digitalisation en m
1920	-		0.2	10
1975	22/05/1975	1/20100	1.05	10.5
2001	11/08/2001	1/25800	0.5	5
2006	07/06/2006	1/70	0.5	2.5
2010	18/03/2010	1/20	0.5	2.5

L'incertitude totale d'un trait de côte historique correspond donc dans cette analyse à l'incertitude liée à la digitalisation des traits de côte sur les photographies aériennes.

L'incertitude entre deux traits de côte va correspondre alors à:

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

A noter que la variabilité saisonnière est également un paramètre d'incertitude à prendre en compte. En effet, la limite de végétation prise comme définition du trait de côte, est variable en

fonction des saisons. Cependant, utilisant la méthode EPR, seuls les traits de côte les plus anciens sont comparés au trait de côte de 2006. Or ces traits de côte ont été déterminés sur des photographies aériennes de même saison (Mai et Juin).

De plus, le taux d'évolution calculé ici ne tient pas compte de la modification des méthodes de gestions récentes du trait de côte. En effet, ces méthodes de gestions vont influencer le comportement de l'ensemble de la cellule hydrosédimentaire.

3.5.3.2 Incertitudes liées à la projection d'un trait de côte à 100 ans

A partir du taux d'évolution calculé, il est imposé d'extrapoler les zones en érosion à l'échéance 100 ans. Cette extrapolation est soumise à d'importantes incertitudes.

Il est ainsi communément admis que, pour obtenir des résultats fiables, le laps de temps de référence devrait être au moins le double de celui pour lequel le scénario d'évolution à venir est proposé (Impact du changement climatique sur le patrimoine du Conservatoire du littoral - Scénarios d'érosion et de submersion à l'horizon 2100 - C. CLUS-AUBY, R. PASKOFF et F. VERGER). Disposant de traits de côte espacés de 76 ans, une prévision séculaire est donc soumise à de forte incertitude.

En effet, à l'échéance de 50 à 100 ans, la variabilité des vents présente un degré d'incertitude trop important pour permettre des prévisions précises de son évolution. A l'échelle du moyen et long terme, l'évolution du climat de houle ne peut pas être quantifiée de manière suffisamment fiable. Egalement à l'échelle de 50 à 100 ans, l'évolution séculaire du niveau de la mer peut devenir un paramètre significatif pour la stratégie des protections côtières. La variabilité de son évolution – la vitesse de remontée globale du niveau d'eau – présente, néanmoins, un degré d'incertitude moins important et peut ainsi être quantifiée.

Afin de cerner l'impact sur la vie du littoral des deux agents difficilement prévisibles (la houle et le niveau d'eau), une évaluation de l'évolution du climat de houle à moyen et long terme et de l'évolution du niveau de la mer à long terme est présentée ci-après.

Il convient de préciser que le climat de houle est impératif pour la définition de la dynamique littorale puisque l'évolution du trait de côte est directement liée à l'évolution du climat de houle. Bien que pouvant moduler les tendances de mobilité du trait de côte, l'évolution du niveau de la mer a surtout un enjeu fort par rapport aux risques de submersion des zones côtières

Evolution à moyen et long terme du climat de houle

Le climat de vent n'est pas stationnaire ; le climat de houle qu'il génère ne l'est donc pas non plus. La tendance à l'augmentation de la sévérité du climat de houle semble se manifester (Hoozemans, 1990), mais, du fait de la variabilité de ce climat à l'échelle de la décennie, les données directes de houle ne sont pas assez longues pour le prouver.

Par contre il existe des témoins des actions passées de la houle dominante : les formes sédimentaires qui lui sont associées. En particulier, l'observation des queues de comètes (accumulations sédimentaires formées dans le « sillage » d'îles, rochers, hauts-fonds ...) sur les cartes ou photographies aériennes anciennes permet de mettre en évidence les tendances évolutives à moyen ou long terme de la direction des houles dominantes.

Hénaff (2004) a exploité les informations provenant de 12 queues de comètes réparties sur le littoral breton et proche du littoral breton. Le site des Grands Sables (Île de Groix), situé environ à 150 km au Nord-Ouest des Sables d'Olonne, livre ainsi des informations sur les modifications des provenances de houle : il s'avère que depuis les années 1980, la provenance des houles aurait sensiblement pivoté – d'environ 15° – en direction du Sud. Si l'on tient compte du resserrement du fuseau de provenance de houle à l'approche du rivage, cette rotation serait encore plus nette au large.

Une illustration de l'évolution de la plage des Grands Sables (Île de Groix) est présentée ci-après : le centre de la plage, situé environ à 200 m au Sud de la pointe depuis les années 50, s'est progressivement déplacé vers le Nord de la pointe à partir des années 80 ; en 2000, celui-ci se situe environ à 400 m au Nord-Ouest de la pointe. Le pivotement de la direction d'incidence des houles semble être constant depuis les années 80 jusqu'à aujourd'hui : entre 2000 et 2007, cette plage a ultérieurement progressé d'environ 200 m de plus vers le Nord-Ouest.

Les simulations numériques de génération/propagation de houle, réalisées lors de la constitution de l'atlas numérique de houle le long des côtes de l'Atlantique, de la Manche et de la mer du Nord (base de données ANEMOC) ont été notamment exploitées dans cette optique (Hénaff, 2006) ; elles conduisent également à un léger pivotement de l'Ouest vers le Sud des houles dominantes au niveau des côtes françaises de l'Atlantique et de la Manche, sur l'ensemble de la période de simulation (1979 à 2003).

Lors de l'étude de modélisation numérique de la dynamique littorale réalisé dans le cadre de l'étude de connaissance des phénomènes d'érosion sur le littoral vendéen de 2007, il a été mis en évidence que l'orientation du trait de côte est très sensible à un changement de la direction d'incidence des houles. A titre indicatif, sur le littoral ouvert à l'Atlantique entre Saint-Gilles-Croix-de-Vie et les Sables d'Olonne, une rotation de 1° du climat de houle peut provoquer un changement significatif du transit d'environ $30\,000\text{ m}^3/\text{an}$. Suite à un pivotement de la direction d'incidence moyenne de la houle d'uniquement 1° , l'érosion ou l'accrétion d'un tronçon de plage sur ce littoral peut ainsi être considérablement accentuée. Sur ce littoral, l'écart entre l'orientation actuelle du trait de côte et son orientation d'équilibre y est d'ailleurs généralement de l'ordre de quelques degrés seulement (en moyenne de 2 à 4° environ) ; la tendance érosive pourrait donc même s'inverser.

En conclusion, le degré d'incertitude sur l'évolution du climat de houle à moyen et long terme est trop important pour pouvoir en extraire des prévisions lointaines de son impact sur la vie du littoral.

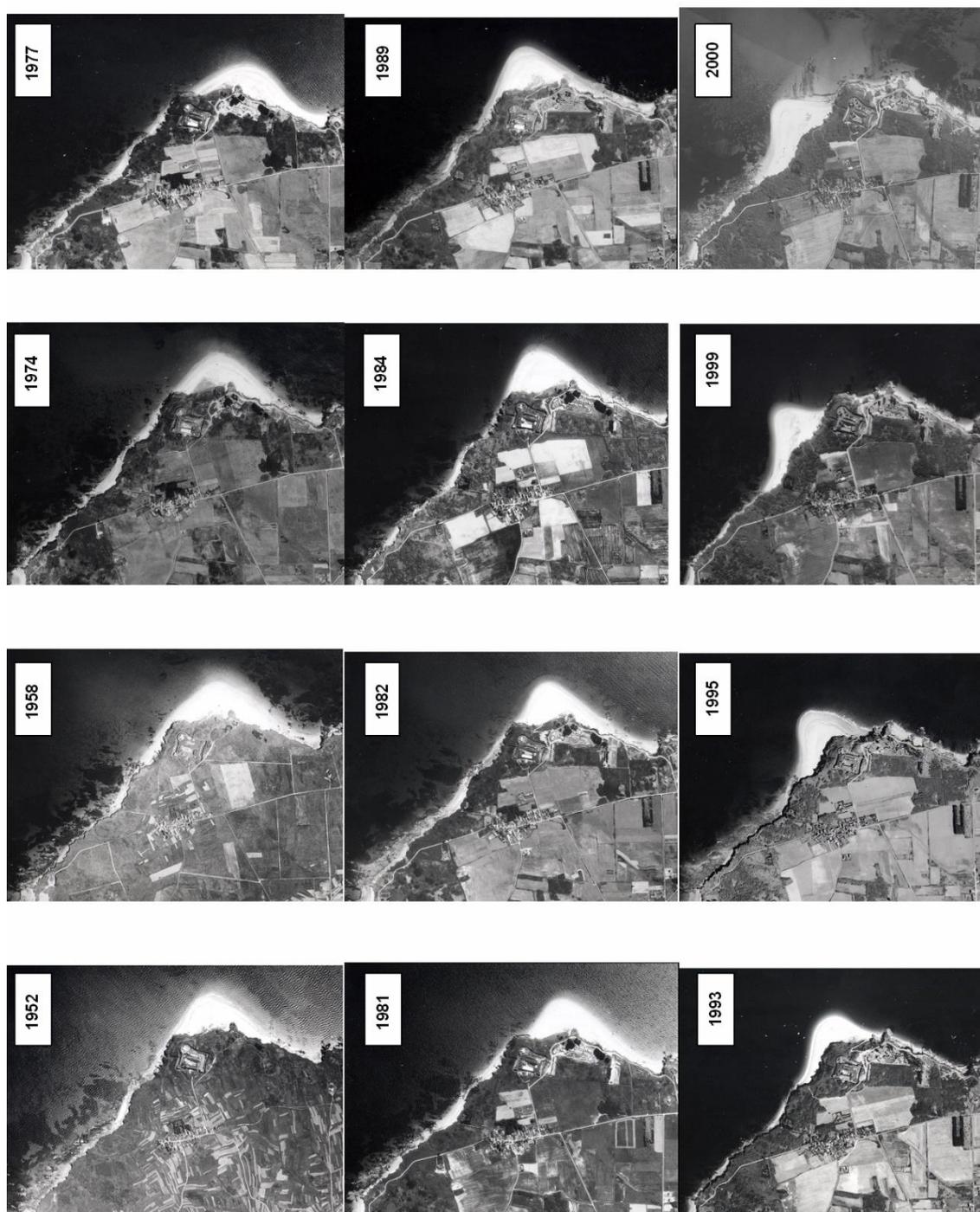


Figure 3-9 Evolution de la plage des Grands Sables à Groix (photographies de l'IGN 1952-2000).

Evolution à long terme du niveau de la mer

D'après les enregistrements de niveau de la mer de très longue durée réalisés à Brest (de 1807 à nos jours), les mouvements relatifs de la mer par rapport à la terre sont très faibles : de l'ordre de 0,3 mm/an de 1807 à 1890, et de 1,2 mm/an de 1890 à 1981 (Teisson, 1991). Ce dernier chiffre est très voisin de l'estimation récente (Pirazzoli, 1989) de la composante eustatique (globale) de ces mouvements.

Conscient du problème que pourrait poser le changement climatique à l'échelle du globe, le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) a pour mission d'évaluer les risques liés au changement climatique d'origine humaine. Ses évaluations sont principalement fondées sur les publications scientifiques et techniques dont la valeur scientifique est largement reconnue. L'une des principales activités du GIEC consiste à procéder, à intervalles réguliers, à une évaluation de l'état des connaissances relatives au changement climatique.

En 2007, les estimations de la composante eustatique de la montée du niveau marin étaient de l'ordre de 28 à 43 cm sur le prochain siècle (IPCC, 2007). A noter que la réévaluation 2013 du GIEC (IPCC, 2013) fait état d'une estimation moyenne comprise entre 26 cm et 82 cm pour 2100 selon le scénario considéré sur la croissance des futures émissions de gaz à effet de serre et d'aérosols.

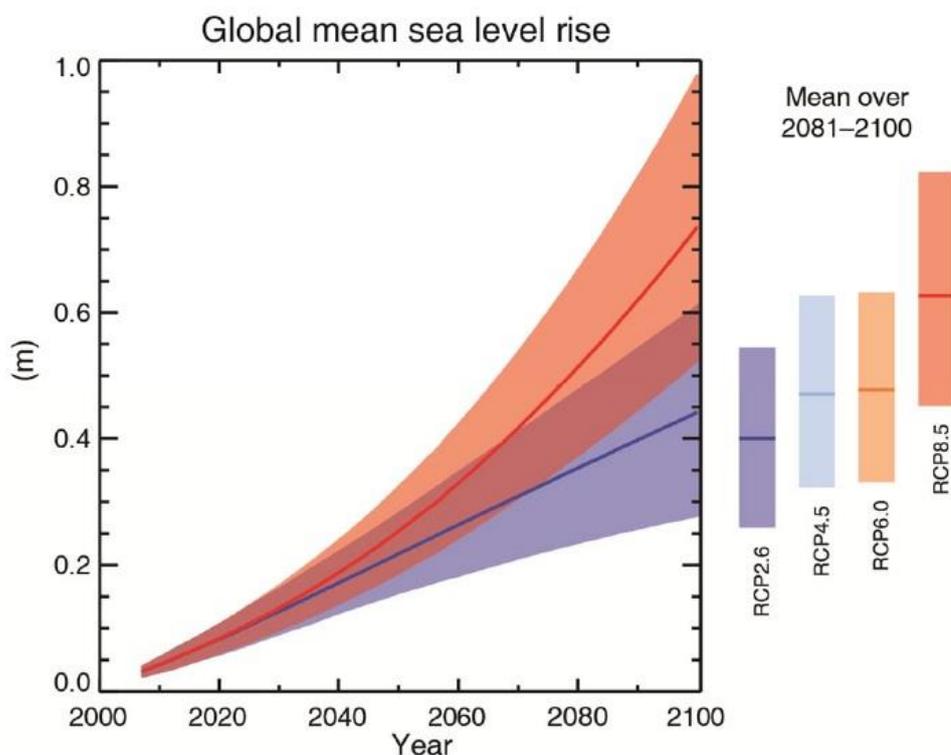


Figure 3-10: Les projections de l'élévation moyenne mondiale du niveau des mers durant le 21ème siècle par rapport à 1986-2005 à partir de la combinaison de CMIP5 et de l'ensemble des modèles basés sur les processus de RCP2.6 à RCP8.5 (source: Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Summary for Policy makers)

4 Caractérisation de l'aléa inondation et submersion marine

4.1 Événements à simuler

4.1.1 Définition des scénarios

Six scénarios ont été retenus pour faire l'objet d'une modélisation numérique. Ces scénarios sont les suivants :

- Événement de référence maritime, à l'horizon 2010 ;
- Événement de référence maritime, à l'horizon 2100 ;
- Événement de référence maritime, à l'horizon 2010, avec transparence des ouvrages maritimes d'origine anthropique ;
- Événement de référence fluvial ;
- Événement concomitant à dominante maritime : événement de référence maritime + crue décennale fluviale ;
- Événement concomitant à dominante fluviale : événement de référence fluvial + événement décennal maritime.

Le détail de ces scénarios est fourni ci-après.

4.1.2 Événements de référence

4.1.2.1 Événement de référence maritime

Les données concernant le niveau d'eau sont issues d'une interprétation graphique des courbes des niveaux marins de pleine-mer du CETMEF et du SHOM (Statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France (Manche et Atlantique) – 2008 et 2012). Ces données permettent de prendre en compte l'effet combiné de la marée avec les surcotes atmosphériques.

Ces niveaux marins de pleine mer rassemblent les phénomènes statiques (comme la marée) et les phénomènes dynamiques de grande ampleur de type météorologique. Les facteurs les plus influents sur la variation du niveau d'eau à l'échelle régionale sont le vent et la pression atmosphérique. Les forts vents d'ouest poussent les masses d'eau vers les côtes et vers l'intérieur des estuaires (vents d'afflux) et engendrent des surcotes. A l'inverse, des forts vents d'est poussent l'eau vers le large et engendrent des décotes.

A ce phénomène s'ajoute l'effet des basses pressions atmosphériques. En effet, une chute barométrique se répercute par une élévation du plan d'eau à raison d'un centimètre pour une baisse d'un hectopascal. Concrètement, une dépression atmosphérique en voie de creusement sur la mer s'accompagne d'un noyau de basse pression et d'une zone de vents forts à l'origine d'une onde de tempête dont la célérité est fonction de la racine carrée de la profondeur de l'eau. A l'approche des côtes, la vitesse de l'onde diminue en raison du relèvement des fonds, ce qui réduit sa longueur et augmente son amplitude. D'abord modérée au large, la surcote apparaît plus importante à la côte, notamment dans les estuaires par effet de concentration. La somme du niveau théorique de la marée et d'une surcote atmosphérique est appelée marée de tempête.

A cette marée de tempête peut localement s'ajouter une surcote de déferlement, représentant une élévation du niveau de la mer à la côte sous l'effet du déferlement des vagues.

Sur la zone d'étude, on peut retenir que :

- Le niveau centennal, d'après les statistiques du SHOM et du CETMEF, est compris entre 3,90 et 4,10 m IGN69 ;
- Des simulations de DHI ont quantifié la surcote de déferlement à La Tranche sur Mer à moins de 20 cm.
- Le niveau centennal à la cote est donc compris, sur les sites où la surcote est maximale, entre 4,10 et 4,30 m IGN69.

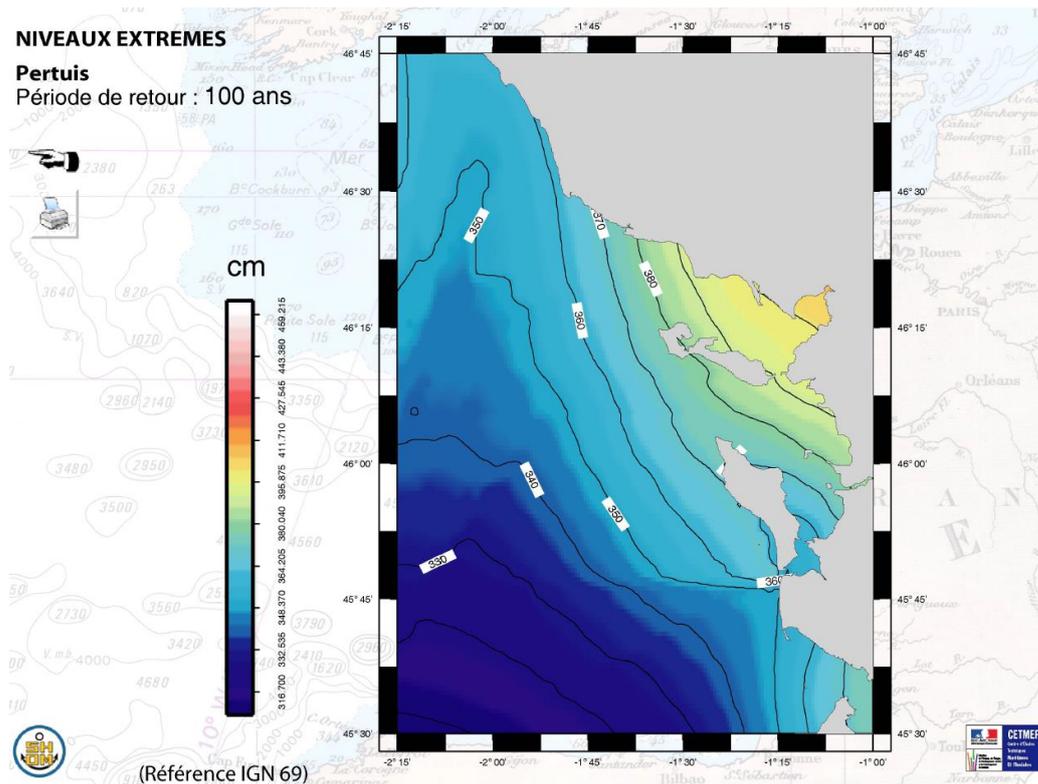


Figure 4-1. Niveau centennal dans le pertuis Breton, d'après les statistiques du SHOM/CETMEF.

Ce niveau est donc significativement inférieur au niveau de Xynthia, compris entre 4,20 et 4,80 m IGN69. Par conséquent l'évènement de référence sur le secteur est l'évènement historique Xynthia.

4.1.2.2 Événement de référence fluviale

Depuis une cinquantaine d'années on dénombre moins d'une dizaine de crues sur la Lay dont la période de retour est estimée supérieure ou égale à 5 ans. Le tableau ci-après récapitule la date et le débit à la station de Mareuil-sur-Lay-Dissais de ces évènements.

Tableau 4-1. Synthèse des crues récentes du Lay.

Date de la crue	Débit à Mareuil (m ³ /s)	Période de retour estimée (années)
04/11/1960	700 (estimé)	>100
Décembre 1969	300	17
Janvier 1977	220	5
Décembre 1982	238	7
Avril 1983	314	20
Octobre 1999	263	10
Janvier 2001	287	15

La majeure partie des crues se produisent durant les mois d'hiver, la plus grosse crue se produit en 1960, quelques années avant la mise en place de la station hydrométrique à Mareuil-sur-Lay-Dissais. Le débit de cette crue a été reconstitué à partir des laisses de crue et des hauteurs d'eau observées sur le pont à la station.

La crue de 1960 n'étant pas suffisamment documentée pour la sélectionner en tant qu'évènement de référence nous avons utilisé une crue de projet de période de retour centennale comme évènement de référence.

4.1.3 Etat initial des marais

Les conditions initiales sur la zone d'étude seront telles que les marais desséchés soient partiellement en eau. Cette hypothèse est en cohérence avec les préconisations de la DGPR pour l'île de Noirmoutier.

Le volume mis en jeu correspond au ruissellement de précipitations décennales de 24h, estimé d'après les données de la station pluviométrique de Chantonay. La détermination du volume infiltré est effectuée d'après le modèle empirique d'infiltration Green-Ampt et permet d'en déduire le volume présent dans les terres en début de simulation. Une simulation effectuée à cet effet permet d'estimer la répartition des eaux dans chaque casier.

Pour la vallée du Lay, les marais mouillés seront supposés secs. L'approche précédente est difficilement applicable de par la pente du cours d'eau sur ce secteur.

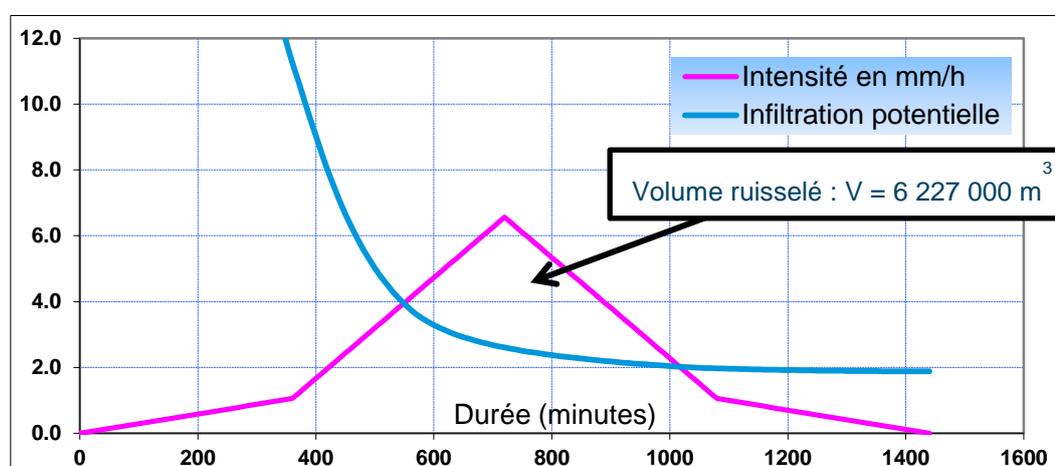


Figure 4-2. Application du modèle d'infiltration Green & Ampt

4.1.4 Apports hydrologiques du Lay

Selon les scénarios, des hydrogrammes de différentes périodes de retour seront appliqués sur le Lay et les affluents suivants:

- Yon ;
- Marillet ;
- Graon.

La méthode utilisée pour la définition des débits statistiques est la méthode QdF (débit Q – durée d – fréquence F), développée par le CEMAGREF. Les courbes QdF obtenues sont ensuite exploitées pour construire des hydrogrammes synthétiques mono-fréquence (HSMF). L'avantage de l'HSMF est de garantir une homogénéité en probabilité sur les différentes variables utilisées pour le caractériser : débit de pointe, volume de crue sur différentes durées d, gradient de montée, débit de base.

La démarche QdF s'inscrit ainsi dans une démarche de quantification probabiliste de l'aléa hydrologique de façon analogue à l'approche IdF. On s'intéresse non plus uniquement aux statistiques des valeurs maximales instantanées mais on étend l'analyse aux caractéristiques relatives à différentes durées

Cette méthode permet ainsi de définir les hydrogrammes de périodes de retour fréquentes, inférieures ou égales à 10 ans. Pour les événements rares, une extrapolation des débits statistiques est effectuée à l'aide de la méthode du Gradex esthétique.

Les hydrogrammes synthétiques ainsi obtenus à la station de Mareuil-sur-Lay-Dissais sont ensuite transposés en aval de chaque confluence d'après la formulation de Myer : cette transposition permet d'estimer le débit du Lay en aval de la confluence pour la période de retour considérée. L'hydrogramme de l'affluent correspondant est ajusté en fonction. Ainsi la période de retour du débit est maintenu le long du Lay depuis la station de Mareuil-sur-Lay-Dissais jusqu'à l'estuaire.

En ce qui concerne l'hydrogramme du Troussepoil, il ne peut être défini par cette approche car le Lay est régulé en amont de la confluence (Chenal Vieux). Le débit injecté sur ce cours d'eau sera estimé par analogie avec le Graon.

Les hydrogrammes générés à la station de Mareuil-sur-Lay-Dissais sur le Lay sont présentés ci-dessous.

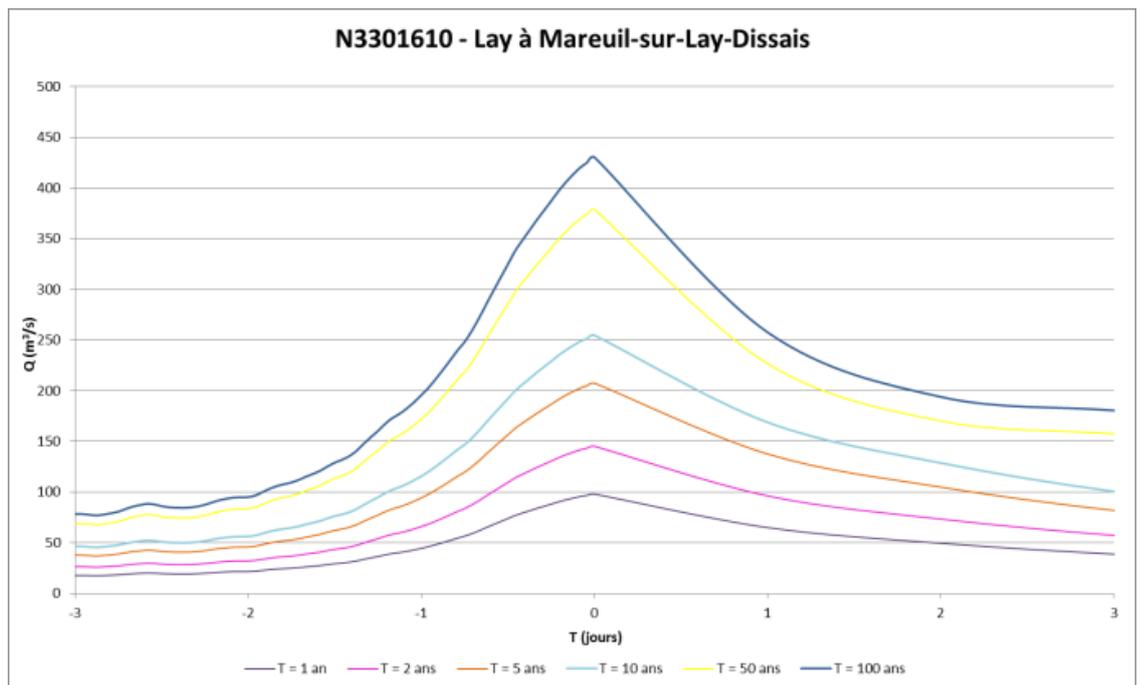


Figure 4-3 : Hydrogrammes Synthétiques Mono-Fréquence pour les périodes de retour de 1 à 100 ans

4.2 Caractéristiques du modèle hydraulique

4.2.1 Généralités

Le modèle construit pour cette étude utilise le logiciel MIKE FLOOD. Développé par DHI, il est basé sur l'interaction dynamique entre les modèles MIKE 11 et MIKE 21, résolvant les équations de Barré de Saint-Venant pour les écoulements à surface libre respectivement en 1 et 2 dimensions spatiales.

En effet la zone d'étude couvre un vaste secteur et on y retrouve des cours d'eau, des canaux, des plaines d'inondation et des marais, qui seront représentés différemment au sein du modèle afin de reproduire au mieux leur comportement hydraulique.

Les cours d'eau et les principaux canaux sont modélisés à l'aide de MIKE 11. La partie maritime de la zone, le lit majeur du Lay et les marais desséchés sont quant à eux modélisés à l'aide de MIKE 21 avec un maillage flexible. La résolution de ce dernier varie en fonction de la précision nécessaire à la bonne représentation des différents secteurs. Les deux types de modèles sont dynamiquement couplés à l'aide du logiciel de couplage MIKE FLOOD.

4.2.2 Emprise modélisée

Comme indiqué dans l'introduction de ce présent rapport le secteur d'étude regroupe 21 communes littorales et rétro-littorales, allant de Longeville-sur-Mer à Chaillé-les-Marais. La figure suivante présente l'emprise modélisée.

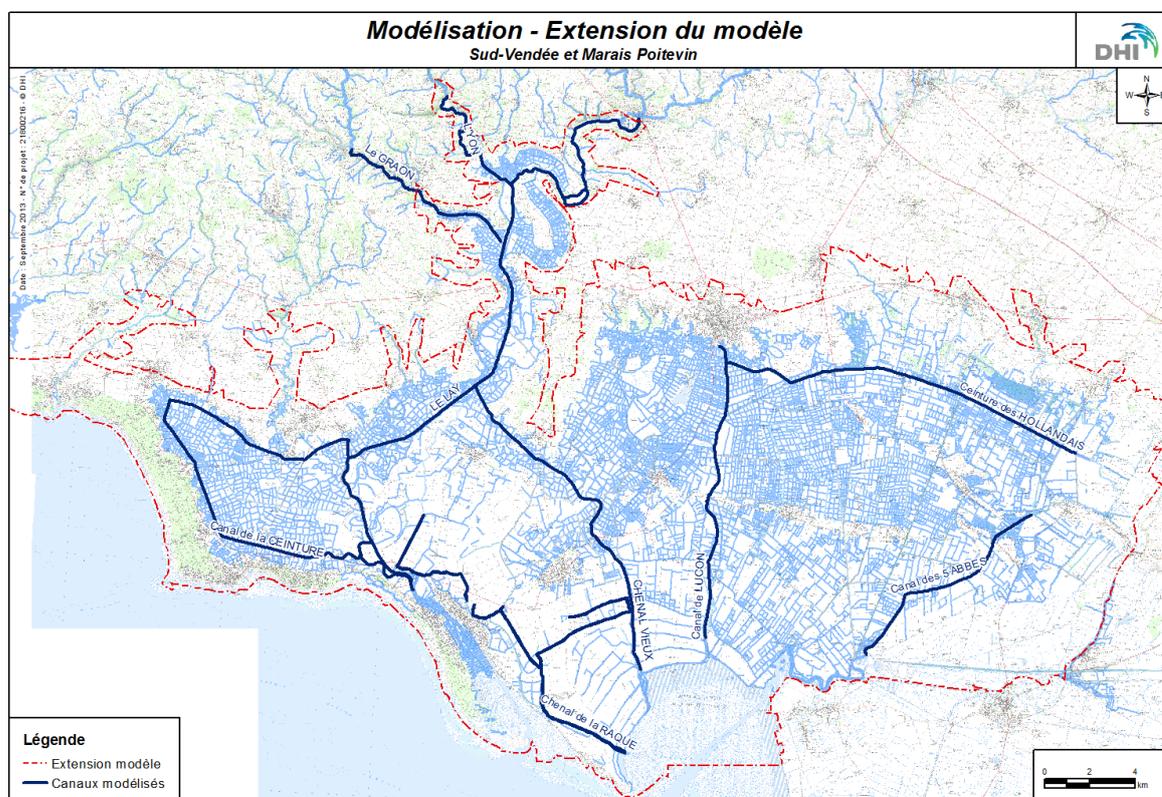


Figure 4-4. Emprise modélisée

4.2.3 Maillage du modèle 2D

La zone inondable modélisée est représentée par un modèle numérique de terrain sur lequel s'appuie le modèle 2D, ce dernier se compose de mailles de tailles variables, dont les dimensions vont varier selon les secteurs représentés.

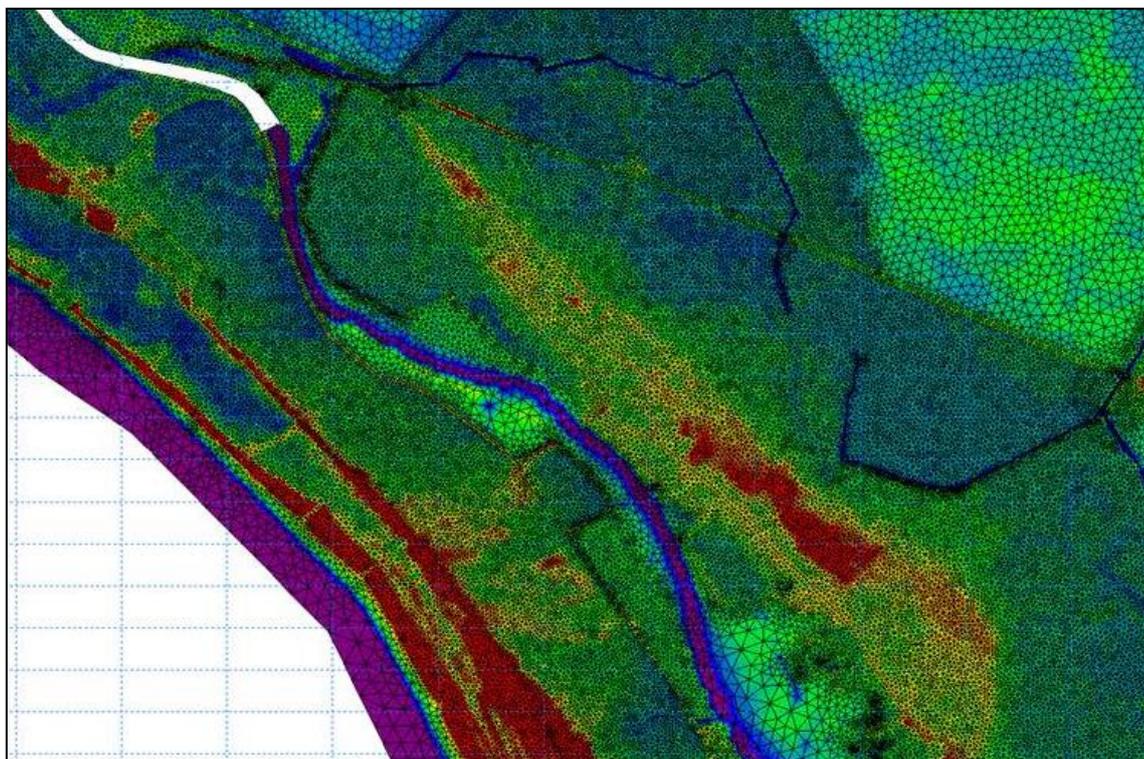


Figure 4-5. Illustration du maillage utilisée pour la modélisation

Nous pouvons donner les tailles indicatives des mailles suivantes:

- Zones de marais : 30 à 100 m ;
- Zones urbanisées : 15 m ;
- Zones autres : 20 à 25 m.

4.2.4 Définition et représentation des éléments structurants

Au sein du MNT les digues et autres éléments structurant de la topographie, qui vont dicter le comportement hydraulique des secteurs concernés, sont représentés par des ouvrages de type seuil dans le modèle. La localisation et les hauteurs de crêtes sont fidèlement reproduites au sein du modèle et indépendantes du maillage.

La figure suivante et la Figure 4-8 (p. 38) présentent la localisation de quelques éléments structurants qui ont été représentés de cette façon dans le modèle.

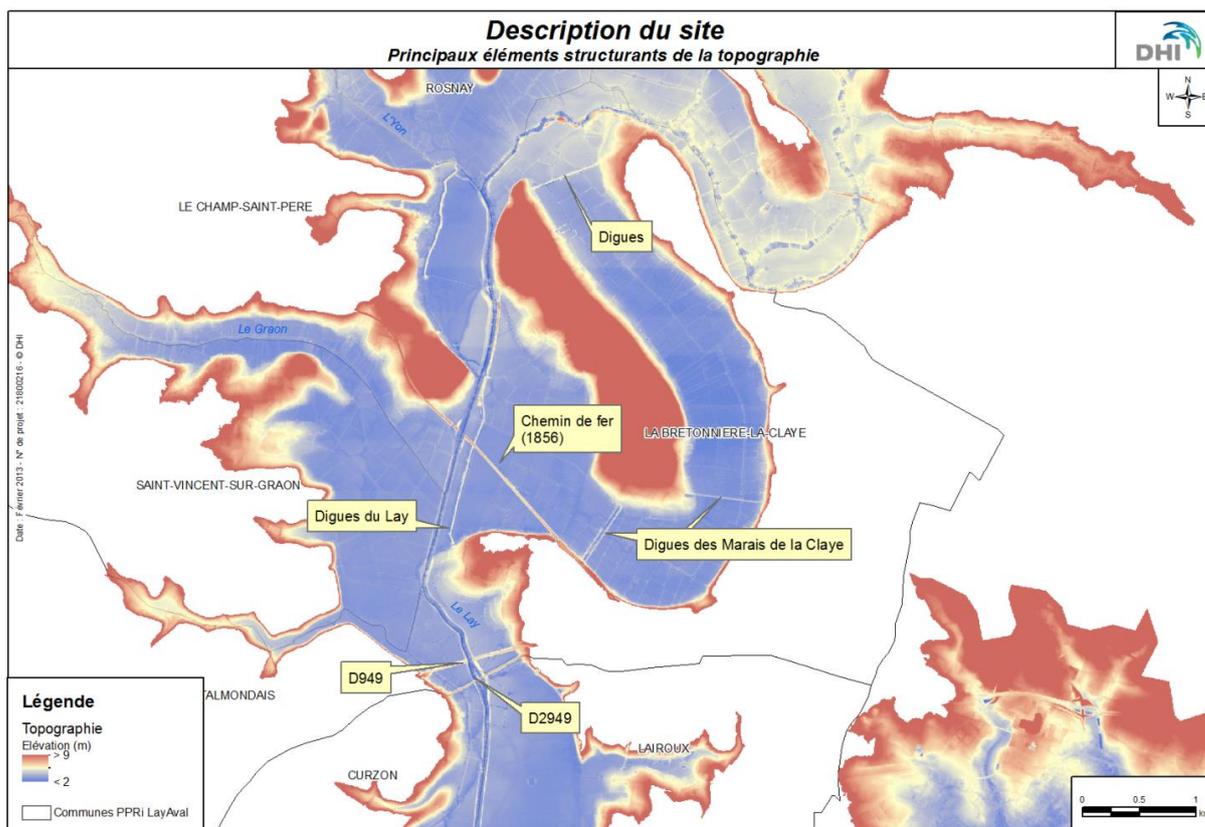


Figure 4-6. Localisation des éléments structurants dans la vallée du Lay amont

4.2.5 Rugosité

Afin de tenir compte de la variabilité spatiale de la « résistance à l'écoulement » des terrains, une carte des coefficients de rugosité a été définie pour l'ensemble de la zone d'étude à partir de la carte d'occupation du sol Corine Land Cover qui distingue les :

- Marais et prairies ;
- Rivières et plan d'eau ;
- Zones urbanisées ;
- Terres cultivées ;
- Routes ;
- Forêts.

Les écoulements sont régis par l'équation de Manning-Strickler. Celle-ci dépend du coefficient K, appelé coefficient de Strickler, qui traduit la rugosité des surfaces. La formulation de Manning-Strickler relie ainsi la vitesse de l'écoulement aux paramètres d'écoulement :

$$U = K * Rh^{2/3} * i^{1/2}$$

- U : vitesse moyenne,
- K : coefficient de rugosité,
- Rh : rayon hydraulique,
- i : pente.

Du fait de la nature complexe des notions qu'exprime ce coefficient il n'existe pas de formule déterministe le définissant en fonction de la nature du matériau constitutif de l'interface eau – lit/sol. Cette formulation empirique a fait l'objet de nombreuses études permettant

l'établissement de tables donnant des ordres de grandeurs de K en fonction du terrain considéré. De plus l'expérience de DHI en matière de modélisation permet également d'établir *a priori* des valeurs représentatives de la réalité. Ainsi des ajustements de ces coefficients ont été réalisés lors du calage. Il faut retenir que plus le coefficient de Strickler est petit, plus le sol est rugueux et ainsi plus les pertes d'énergies dues aux frottements sont grandes.

Ci-dessous sont présentés la carte d'occupation des sols et la carte des coefficients de rugosité qui en résulte:

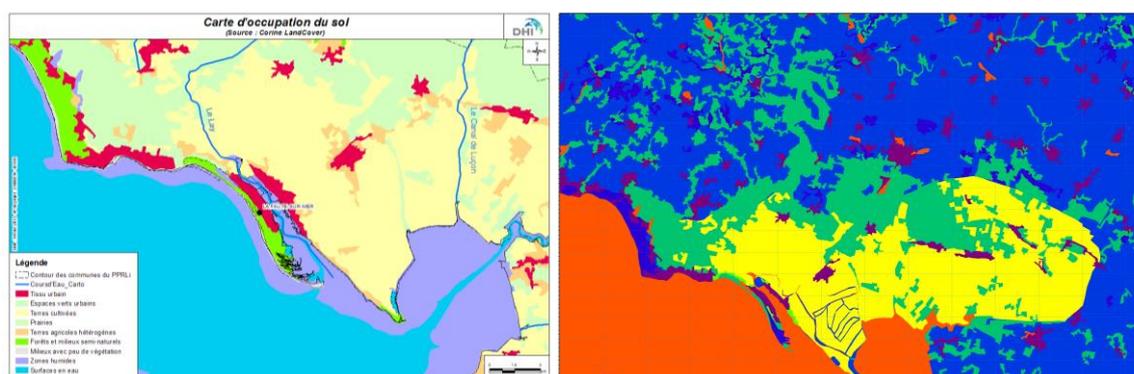


Figure 4-7. Cartes d'occupation des sols (gauche) et des coefficients de rugosité (droite).

4.3.2 Brèches

4.3.2.1 Caractéristiques de brèches maritimes

La localisation des brèches est basée sur une approche topographique, tenant compte de la définition de casiers hydrauliques.

La cinétique de formation de brèche est identique pour toutes les brèches. Cette hypothèse est justifiée par le fait qu'il est délicat, voire impossible, de relier la cinétique à des grandeurs physiques, tant cette cinétique est aléatoire. En effet, la cinétique dépend à la fois de l'exposition à la houle et de l'état de l'ouvrage, or l'exposition à la houle (hauteur et direction) peut varier d'un événement à un autre, et l'état de l'ouvrage peut également être hétérogène et donc modifier localement la cinétique d'une brèche. La cinétique des brèches ne peut donc pas être estimée très précisément *a priori*.

La durée d'ouverture est de 15 min et la forme des brèches est rectangulaire. L'abaissement de l'ouvrage s'opère jusqu'au terrain naturel en arrière de la digue. Cette cote de terrain naturel est correspond à la cote en pied de digue et est ajusté en fonction de la résolution du maillage le long du linéaire concerné.

Le début d'apparition de la défaillance a lieu 1h avant la pleine mer. Cette hypothèse permet d'avoir un niveau proche de la pleine mer et un phénomène qui se produit suffisamment tôt pour représenter un volume d'eau entrant important.

La largeur des brèches est définie comme étant :

- La largeur historique si supérieure à 100 m (5 brèches concernées) ;
- 100 m ailleurs.

Pour un certain nombre d'ouvrages, une ruine généralisée est appliquée. Le choix des sites a été effectué en concertation avec le Maître d'Ouvrage et a porté sur ceux pour lesquelles on observe une surverse importante (supérieure à 20 cm) par-dessus la crête de l'ouvrage et dont l'état général est jugé être mauvais.

Les figures suivantes présentent les casiers hydrauliques et le diagnostic des digues inspectées par DHI, puis la localisation des brèches dans les ouvrages maritimes ainsi que les ruines généralisées.

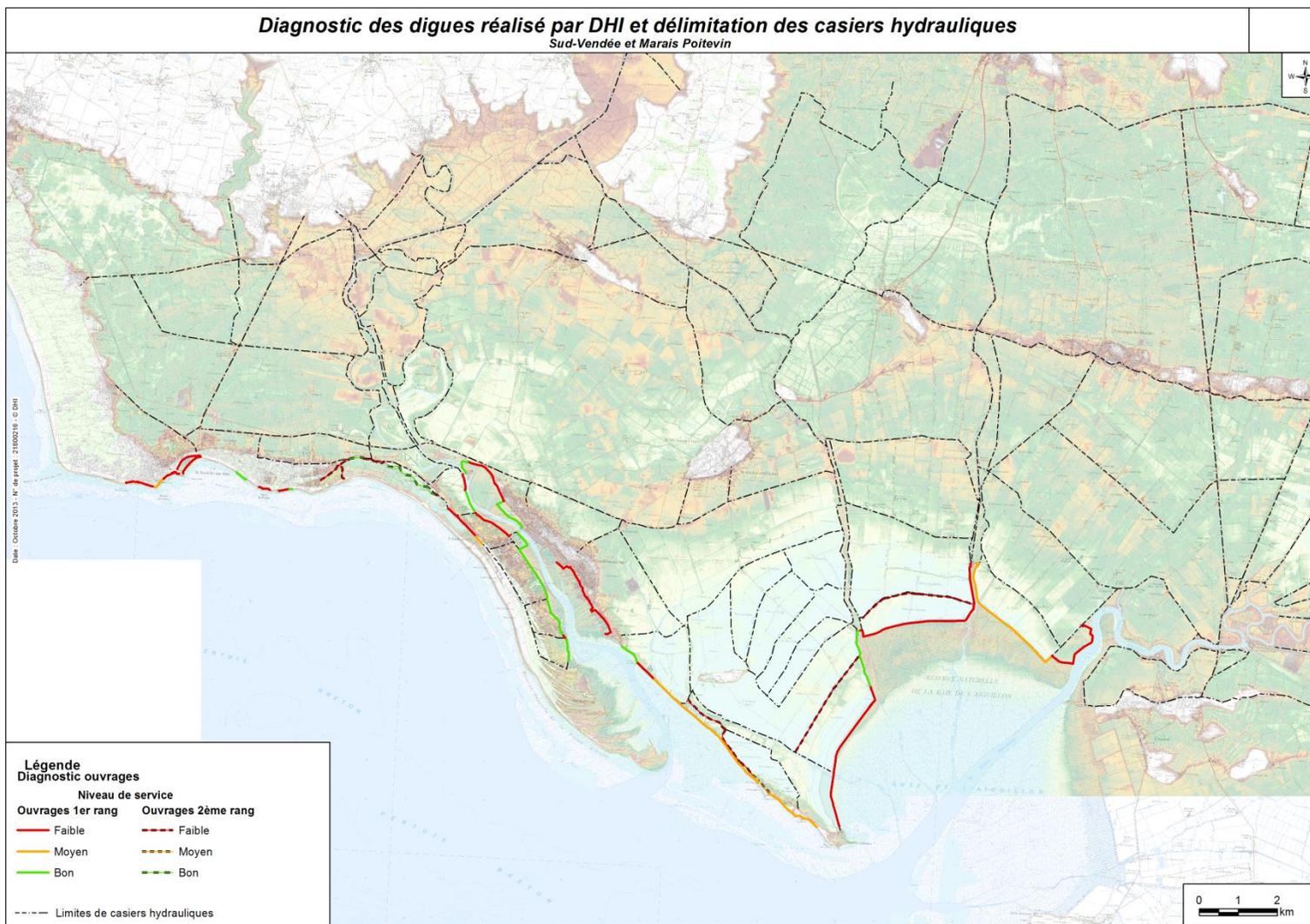


Figure 4-9. Niveau des services des digues maritimes inspectées par DHI et délimitation des casiers hydrauliques.

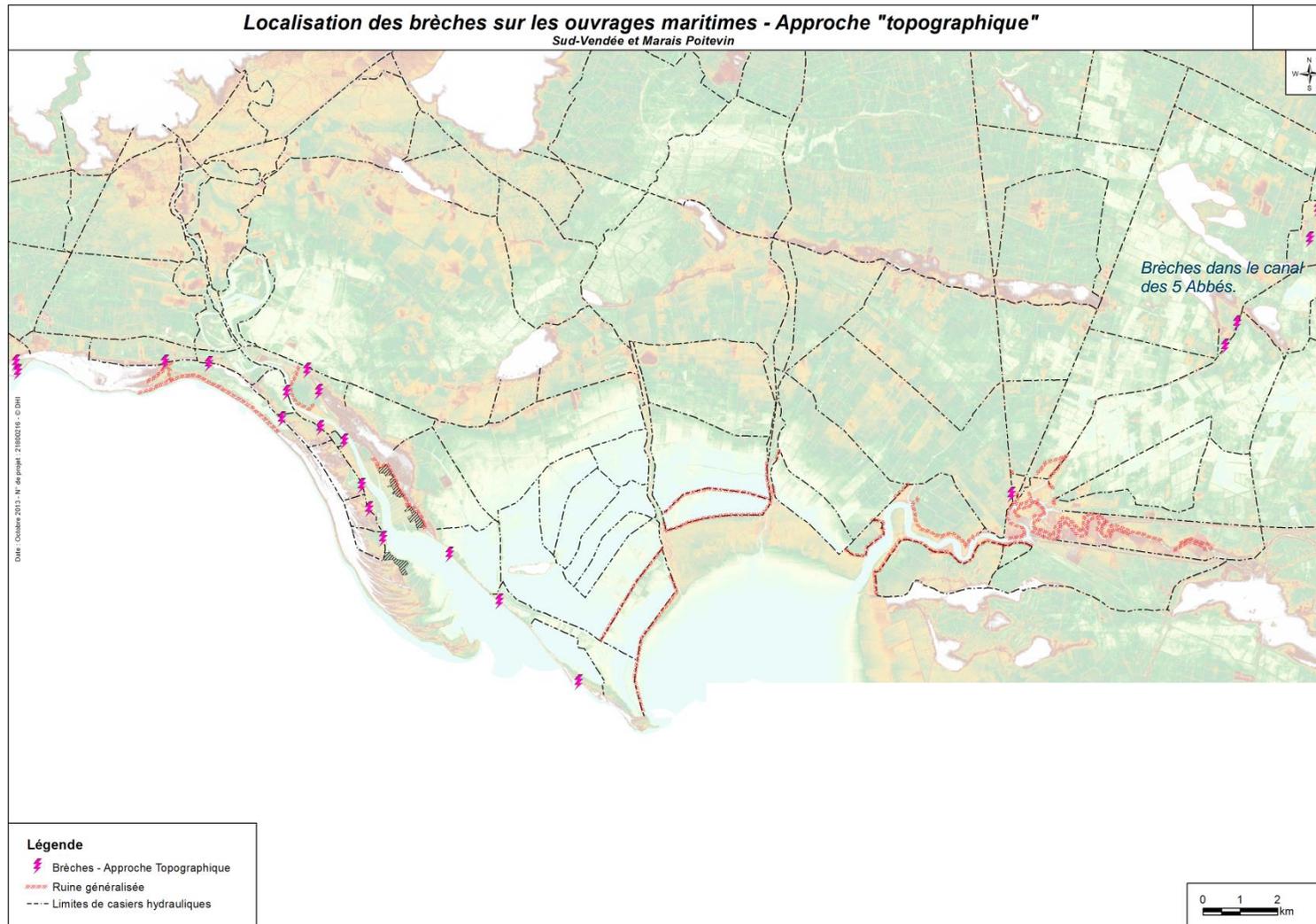


Figure 4-10. Localisation des défaillances d'ouvrages maritimes (scénario à l'horizon 2010).

4.3.2.2 Caractéristiques des brèches fluviales

Brèches fluviales du Lay

La localisation des brèches dans les ouvrages de la vallée du Lay est similaire à celle de l'étude de danger réalisée sur la zone d'étude (réalisée par ARTELIA). La localisation de ces défaillances se base sur :

- le « Dossier d'appui au PSR – digues et ouvrages fluviaux » réalisé par ARCADIS ;
- l'identification des surverses en amont du secteur couvert par l'étude de danger.

La figure suivante présente la localisation des défaillances des ouvrages fluviaux sur la zone couverte par l'étude de dangers.

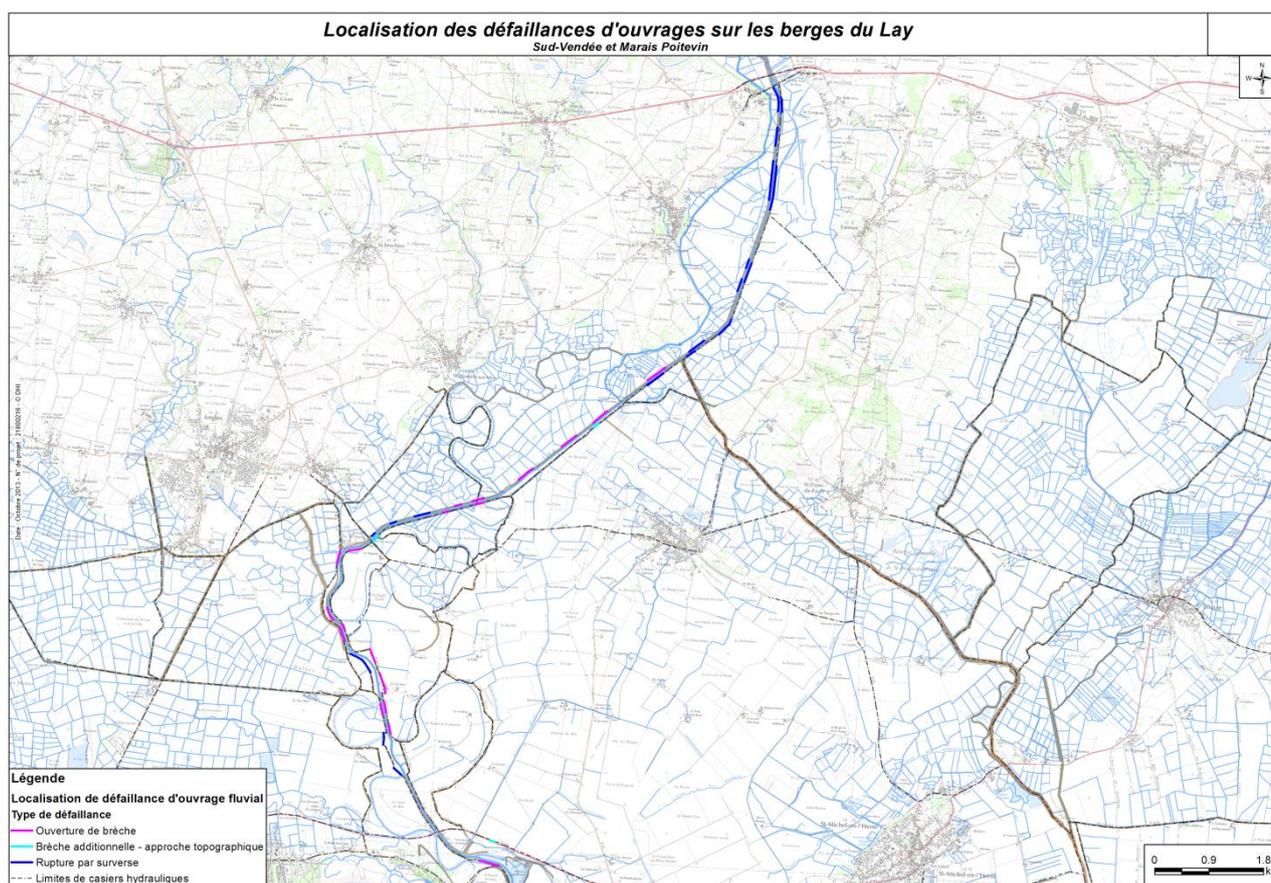


Figure 4-11. Localisation des défaillances d'ouvrages fluviaux.

En cohérence avec l'étude de dangers réalisée sur le secteur, le début d'apparition des brèches se fera dès l'apparition de la surverse, pour les ruptures par surverse; et pour un niveau moyen devant la digue, pour les ruptures par renard. Afin de garder une homogénéité dans l'approche de localisation des brèches avec celle effectuée pour les ouvrages maritimes, l'approche par casiers hydrauliques, trois brèches supplémentaires ont été ajoutées par rapport au diagnostic d'Arcadis, en rive gauche du Lay.

Brèches dans le canal des Cinq Abbés

Sur la base du diagnostic de digues réalisé par BRL sur les tronçons homogènes, nous avons identifiés 4 tronçons sur les berges du canal des cinq abbés, présentant un état de service faible donnant lieu à la modélisation d'une brèche par tronçon (voir Figure 4-10).

Les niveaux d'eau dans les canaux utilisés pour les calculs sont issus des modélisations de crue centennale effectuées pour le Syndicat Mixte Vendée Sèvre Autize par le bureau d'étude BRL. Trois limnigrammes ont été transmis, deux sont issus de points de calcul situés dans le canal des Cinq Abbés et le troisième a été extrait d'un niveau d'eau calculé dans un casier représentant le secteur du Livre Neuf.

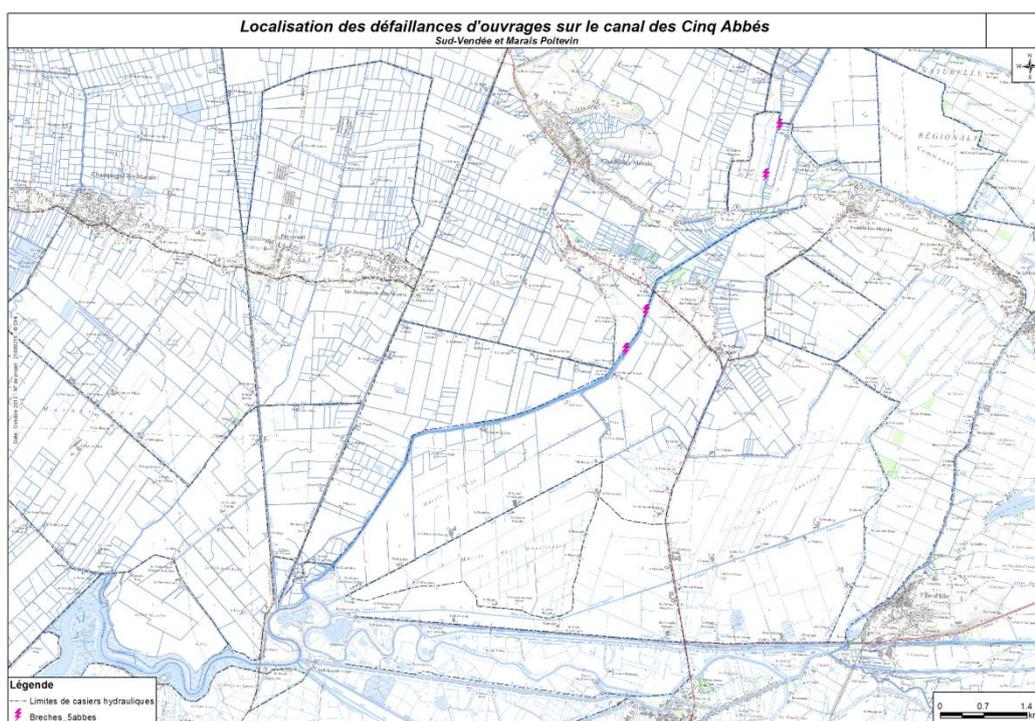


Figure 4-12. Localisation des brèches sur le canal des Cinq Abbés

4.3.3 Franchissements par paquets de mer

4.3.3.1 Événement de référence

Les débits de franchissement par paquets de mer ont été quantifiés pour des événements centennaux, et non pour l'événement Xynthia. Ce choix est justifié par le fait que :

- Les franchissements doivent être quantifiés à partir de la hauteur de houle au large : cette hauteur peut être quantifiée de manière statistique pour un événement centennal, en revanche il existe peu d'informations concernant les hauteurs historiques au large durant Xynthia ;
- Les hauteurs de houle durant Xynthia sont néanmoins réputées ne pas être exceptionnelles (le caractère exceptionnel de l'événement étant dû au niveau de la mer), et par conséquent il peut être admis que les franchissements de période de retour centennale sont supérieurs aux franchissements observés durant Xynthia ;
- Les inondations causées par franchissements ont globalement un caractère plus localisé que les inondations issues des ruptures d'ouvrages. Ces inondations par franchissement peuvent ainsi être étudiées séparément, ce qui autorise à retenir

un événement de référence différent de celui retenu pour les scénarios maritimes de débordements et de ruptures d'ouvrages.

4.3.3.2 Définition des débits de franchissement sur la digue du génie

La méthode des probabilités conjointes

Si les périodes de retour de la houle au large et les niveaux extrêmes peuvent être estimés indépendamment les uns des autres, l'analyse statistique des paramètres croisés est nécessaire pour définir la période de retour de l'événement global. La méthode préconisée par le département de l'environnement anglais (DEFRA), décrite par Hawkes (2005) permet de définir les caractéristiques de l'événement centennal combinant un niveau d'eau et une hauteur de houle.

La caractérisation d'un événement de période de retour donné revient donc à définir un couple de niveau extrême / houle. Pour cela, les conditions de houles au large seront issues d'un hindcast régional réalisé par DHI sur la période janvier 1979 – décembre 2000. Le point d'extraction est situé à l'Ouest de l'Aiguillon, à l'isobathe -5 m NGF.

Les niveaux marins

Les niveaux marins extrêmes de pleine mer sont issus du document du SHOM / CETMEF de 2008 pour le secteur étudié (L'Aiguillon-sur-Mer). Selon les recommandations du CETMEF, les valeurs maximales entre les estimations de 2008 et celles de 2012 doivent en effet être considérées pour les secteurs éloignés des ports de référence. Les valeurs de 2008 sont ici supérieures à 2012, elles sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4-2 : Périodes de retour des niveaux marins estimés par le SHOM à l'Aiguillon-sur-mer – source SHOM 2008

Période de retour	Niveaux marins (exprimés en m NGF)
5 ans	-
10 ans	3,75
20 ans	3,80
50 ans	3,90
100 ans	4,00

La houle

L'analyse des houles extrêmes est faite sur la base des données extraites au large de l'Aiguillon-sur-Mer, et issue d'un modèle régional réalisé par DHI.

Les valeurs extrêmes de hauteurs significatives de houle sont déterminées par ajustement statistique de l'échantillon disponible sur 22 années. Une série temporelle a été extraite au large, afin d'estimer les événements extrêmes. Le point d'extraction P1 se situe à l'Ouest de la pointe de l'Aiguillon à l'isobathe -5 m NGF (Figure 4-13). Ce point a été choisi de manière à, par la suite, simuler au mieux la propagation des événements extrêmes vers la pointe de l'aiguillon avec un modèle de propagation de houles en 1D.

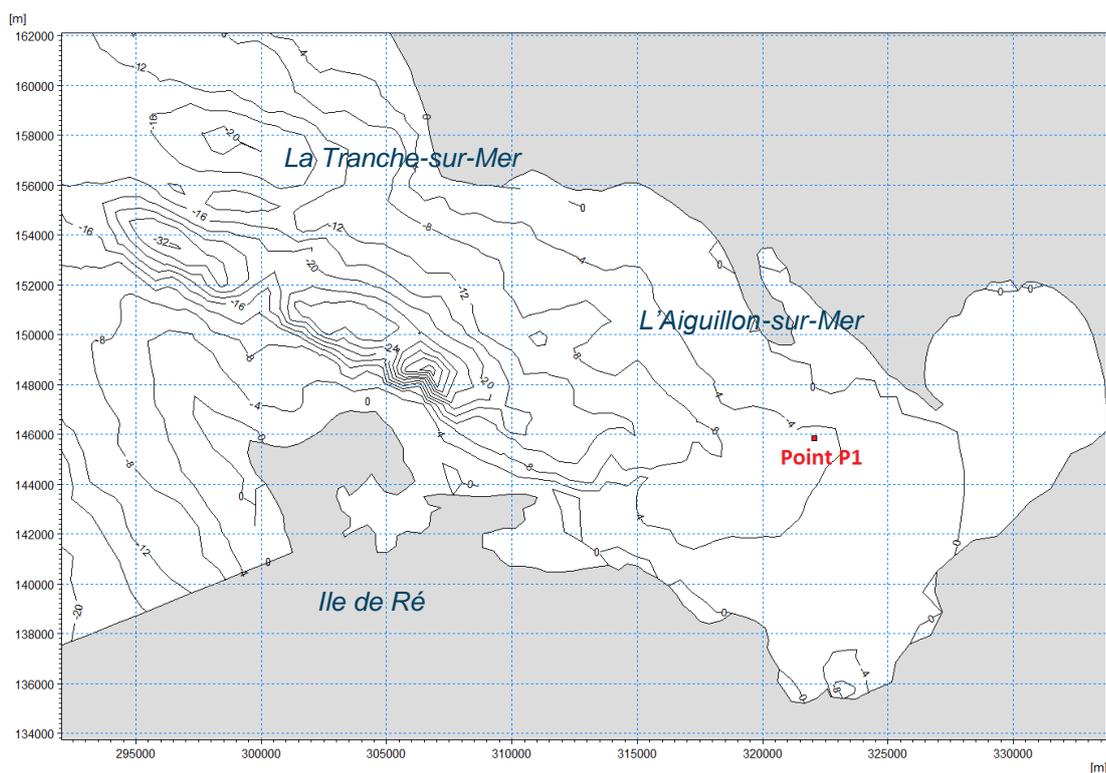


Figure 4-13 : Localisation du point d'extraction P1 du modèle de houles régional de DHI- Hindcast 1979- 2000

Au point P1, l'ajustement retenu est une loi de Weibull pour un seuil de hauteur de houles de 0,7 m, menant à 100 valeurs. La loi est retenue par détermination graphique (Figure 4-14) ainsi que sur un test du Khi^2 .

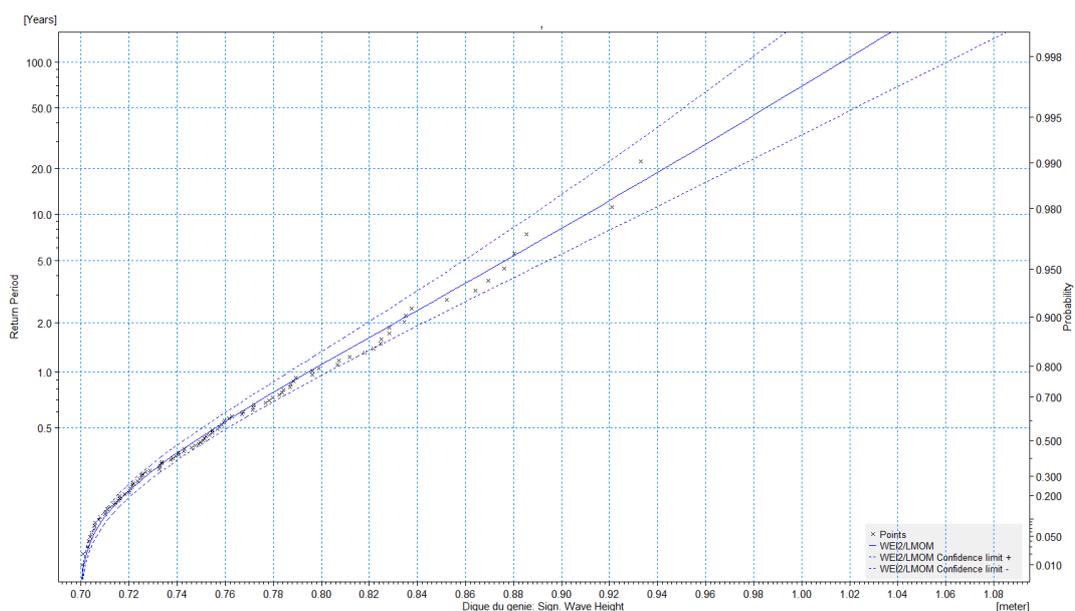


Figure 4-14 : Ajustement de Weibull aux houles du large de l'Aiguillon (point P1, seuil H_s de 0.7m)

Tableau 4-3 : Périodes de retour des houles au large de l'Aiguillon (P1) pour différentes loi d'ajustement

Période de retour (années)	Hs (m) Seuil 0.7m Weibull	Hs (m) Seuil 0.7m Pareto	Hs (m) Seuil 0.7m Gumbel
1	0.795	0.798	0.795
2	0.831	0.834	0.830
5	0.877	0.873	0.876
10	0.910	0.898	0.910
20	0.943	0.920	0.944
50	0.985	0.944	0.988
100	1.017	0.960	1.022
Khi² (%)	83.992	65.513	72.726

Définition de l'événement conjoint

La méthode préconisée par le département de l'environnement anglais (DEFRA), décrite par Hawkes (2005), permet de définir les caractéristiques de l'événement centennal en combinant un niveau d'eau extrême et une hauteur de houle exceptionnelle.

Pour l'application de cette méthode, il existe cinq degrés de corrélation qui sont : « pas corrélé », « peu corrélé », « bien corrélé », « fortement corrélé », « super corrélé ». Ce degré de corrélation dépend des paramètres en jeu et de la configuration géographique de la zone d'étude. Pour l'application dans le présent contexte, où l'apparition de la dépression météorologique (qui génère une surcote) n'est pas corrélée aux dates de vives eaux ou de pleine mer, le niveau de corrélation conventionnellement retenu est « peu corrélé ». Il n'est en effet pas possible de vérifier ce niveau de corrélation faute de mesures des niveaux de pleine mer à corréler aux hauteurs de houles.

La figure suivante illustre les statistiques combinées obtenues au large de l'Aiguillon-sur-Mer.

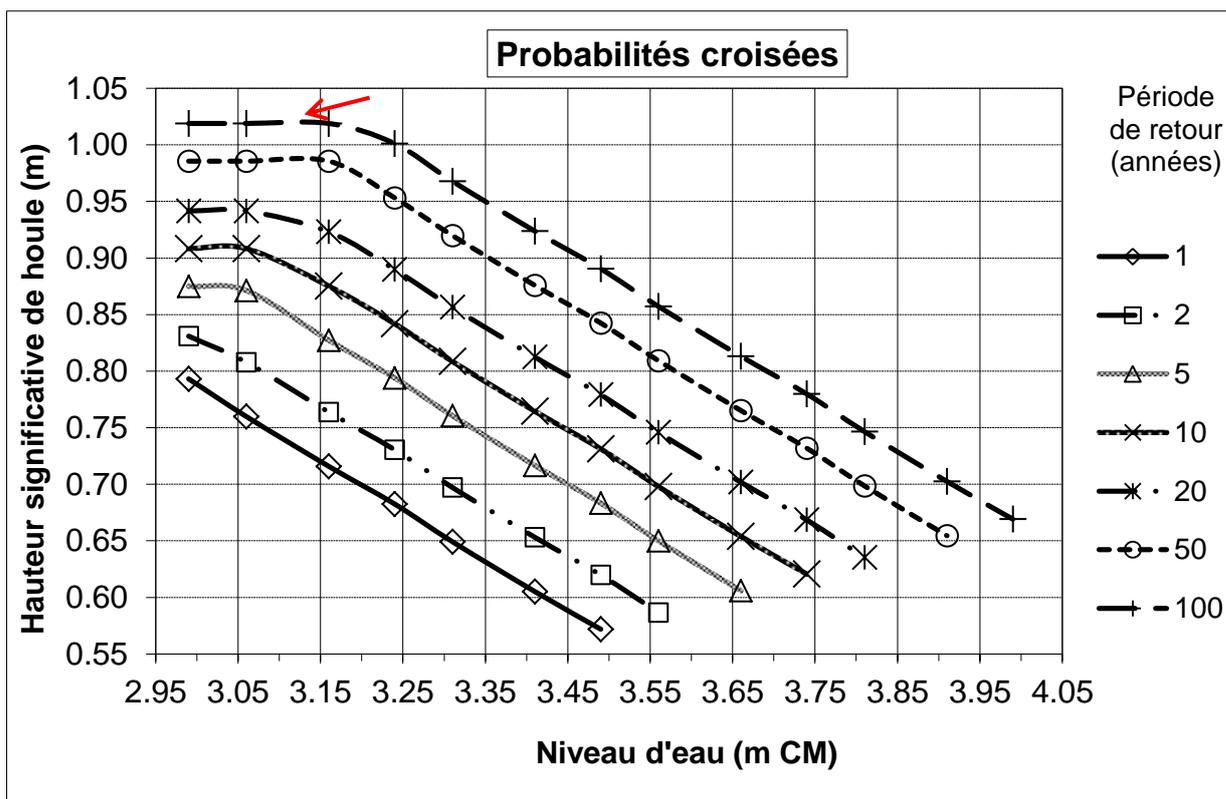


Figure 4-15 : Période de retour des combinaisons de niveaux extrêmes/ houles au large de l'Aiguillon

Chaque courbe de ce graphique représente une période de retour. Pour chacune de ces périodes de retour, la courbe fournit la multitude de correspondances possibles entre le niveau marin et la hauteur de la houle. Ainsi, pour une période de retour donnée, le niveau marin augmente lorsque la hauteur de houle diminue, et inversement. Une même période de retour peut donc correspondre à un niveau marin élevé associé à de petites vagues, ou à un niveau marin plus faible associé à de fortes vagues.

Pour définir les conditions de l'événement centennal, il est donc nécessaire de retenir un couple parmi ceux de la courbe associée à la période de retour 100 ans. Le couple jugé le plus pénalisant est donc celui engendrant les plus forts débits franchissants, sur la courbe représentant la période de retour centennale.

Sur le présent site, des tests de sensibilité ont montré que le couple conduisant aux plus forts débits de franchissement est le couple composé du plus faible niveau de la mer avec la plus forte hauteur de houle (indiqué par la flèche rouge sur la figure précédente). C'est donc ce couple qui est retenu.

Par ailleurs la direction de la houle est supposée être perpendiculaire au trait de côte. Cette direction réaliste conduit en effet aux débits de franchissement les plus élevés.

Caractérisation des franchissements

Les franchissements par paquets de mer sont la transformation de l'énergie de la houle au contact d'ouvrages réfléchissants. Ils apparaissent lorsque la différence entre le niveau marin et la cote de l'ouvrage est faible.

Les sites soumis au franchissement d'ouvrage de protection sont situés au-dessus du niveau extrême de la mer. Leur inondation ne peut donc pas être étudiée grâce à la seule connaissance du niveau (même en tenant compte de la surcote de déferlement), mais doit être analysée en estimant le débit franchissant l'ouvrage. Ce débit dépend tout autant du niveau moyen de la mer que de la hauteur de la houle au pied de l'ouvrage, mais aussi de la géométrie de l'ouvrage (pente et hauteur).

L'estimation de ce débit de franchissement est effectuée à l'aide de la formule empirique proposée dans le « *Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures - Assessment Manual* ». Pour cela les conditions de mer sont propagées jusqu'à la côte à l'aide du modèle numérique Litpack, qui permet de calculer l'évolution de la houle et de la surcote de déferlement à l'approche de la côte.

Le modèle fournit ainsi les conditions de mer au pied de l'ouvrage, en tenant compte de la bathymétrie locale.

Le calcul du débit franchissant l'ouvrage est effectué en considérant les différents paramètres suivants pour la description de la digue du Génie sur le secteur étudié. Les franchissements ont été estimés au Nord et au Sud de la grande jetée située dans le secteur des Sablons.

Tableau 4-4 : Paramètres de la digue du génie à l'Aiguillon-sur-Mer

	Partie Nord	Partie Sud
Direction des houles (°N)	225°N	225°N
Cote de crête (m IGN 69)	5.30	5.80
Cote du pied d'ouvrage (m IGN 69)	1	0
Pente de l'ouvrage (h / l)	2 / 1	2 / 1
Linéaire (m)	3800	1575

Il est à noter que le revêtement de l'ouvrage a une grande importance dans le calcul de franchissements. L'ouvrage étant en enrochements, le coefficient de friction sera considéré égal à 0.85, correspondant à « Blocs sur au moins 1/9^{ème} de la surface ».

Une élévation du niveau marin lié au réchauffement climatique de 0,20 m a été ajoutée au niveau de pleine-mer centennal à l'horizon 2010. Pour la modélisation de l'événement centennal incluant le changement climatique à l'horizon 2100, une surcote supplémentaire de 0,40 m a été ajoutée afin d'obtenir une élévation moyenne de 0,60 m conforme au scénario établi par l'ONERC et inscrit dans le guide méthodologique PPRL de décembre 2013.

L'estimation des débits de franchissement conduit aux résultats suivants.

Tableau 4-5 : Calcul des débits de franchissement centennaux à l'horizon 2010

	Niveau extrême de pleine-mer au large	Surcote climatique	Hs (m)	Revanche à pleine-mer (m)	Débit linéique maximal (l/s/m)
Partie Nord	3.16	0.20	1.02	2.05	4.49
Partie Sud	3.16	0.20	1.02	2.55	1.46

Tableau 4-6 : Calcul des débits de franchissement centennaux à l'horizon 2100

	Niveau extrême de pleine-mer au large	Surcote climatique	Hs (m)	Revanche à pleine-mer (m)	Débit linéique maximal (l/s/m)
Partie Nord	3.16	0.60	1.02	1.95	10.37
Partie Sud	3.16	0.60	1.02	2.45	3.33

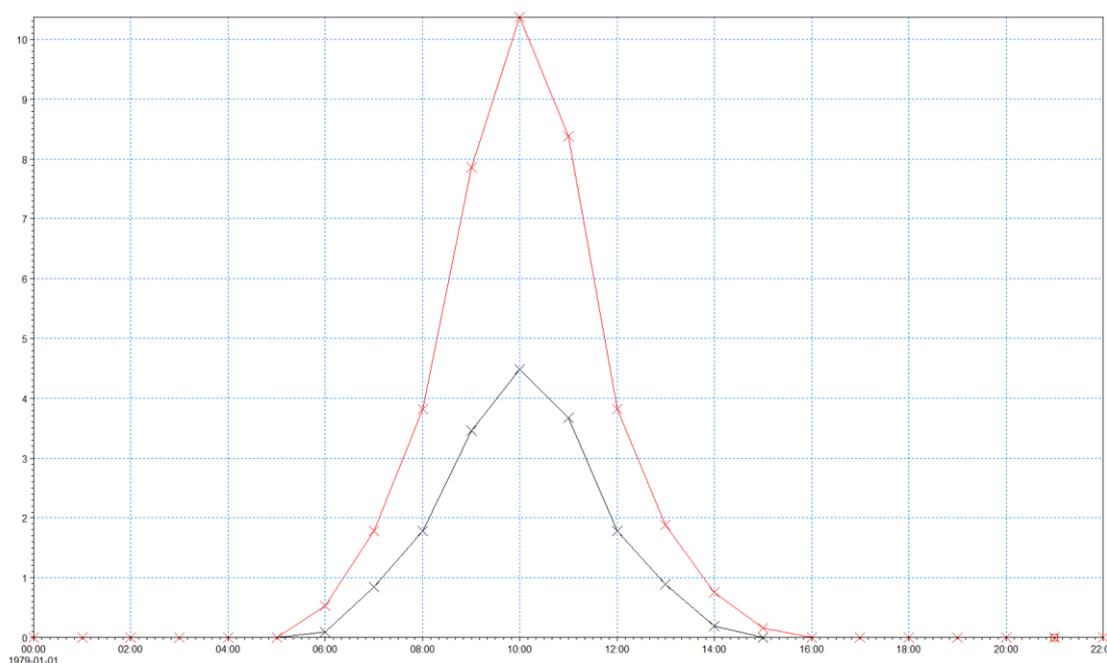


Figure 4-16 : Débits franchissant centennaux (en l/s/m) sur la partie Nord de la digue (horizon 2010 (en noir) et horizon 2100 (en rouge))

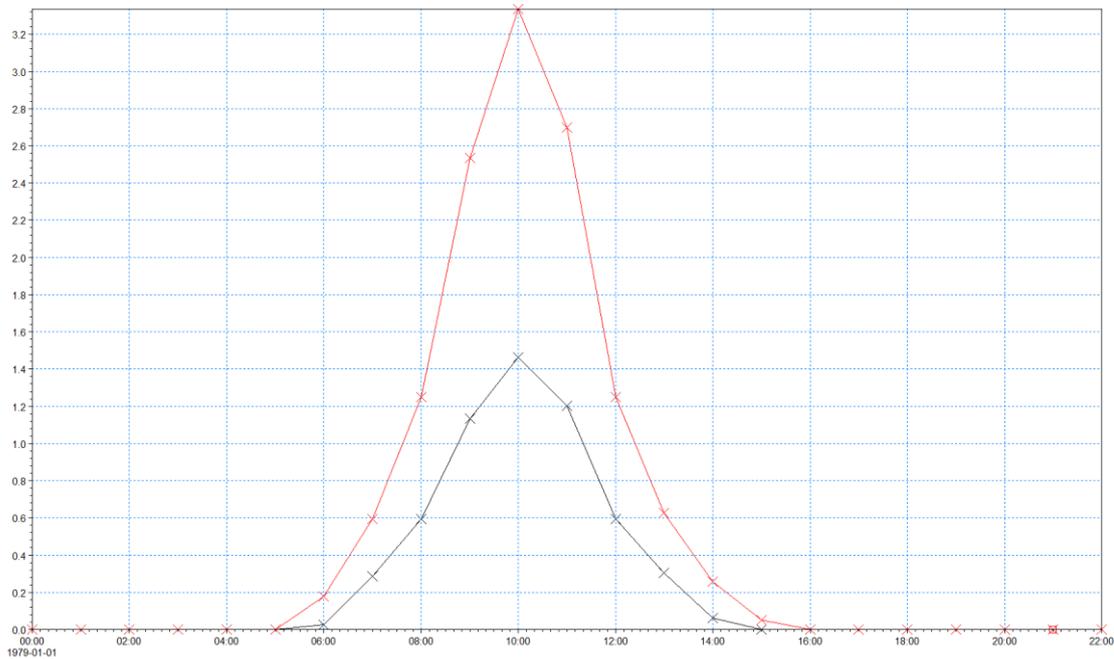


Figure 4-17 : Débits franchissant centennaux (en l/s/m) sur la partie Sud de la digue (horizon 2010 (en noir) et horizon 2100 (en rouge))

4.3.3.3 Définition des évènements de référence sur la Tranche-sur-Mer

Introduction

Lors d'une étude précédemment menée sur le littoral de La Tranche-sur-Mer, une étude de probabilités croisées entre le niveau marin et la hauteur de houle a été menée au large en cinq points. Ces cinq points représentent l'origine de cinq différents profils cross-shore.



Figure 4-18 : Présentation des différents profils de propagation des conditions de mer du large vers la côte

La méthodologie appliquée est similaire à celle décrite précédemment pour la digue du Génie. Un exemple de résultats de probabilités croisées est montré ci-dessous. Cette figure correspond au profil 1, « Les Générelles ».

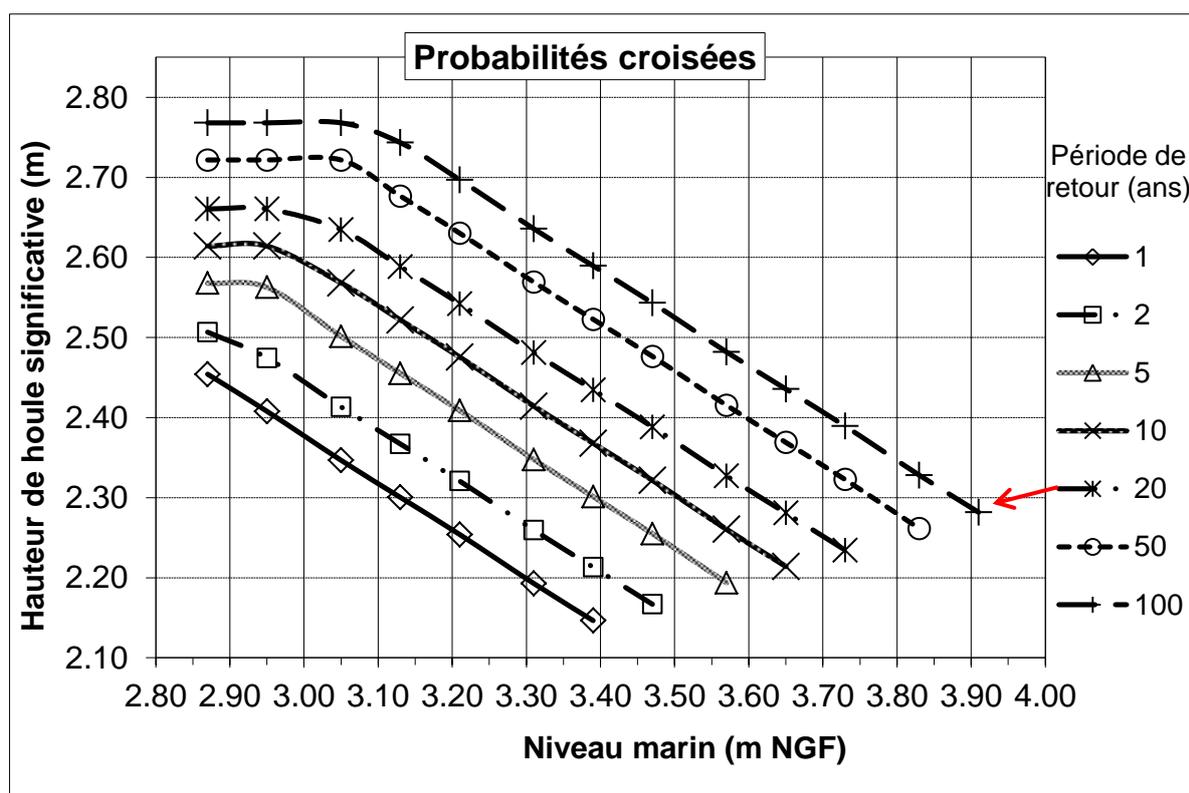


Figure 4-19 : Période de retour des combinaisons de niveaux marins extrêmes / hauteur de houle au large de la plage des Générelles.

Pour l'ensemble des cinq profils de la Tranche-sur-Mer, le couple donnant les débits franchissant les plus forts est le couple composé du niveau le plus fort et de la hauteur de houle la plus faible (flèche rouge sur la figure ci-dessus). C'est donc ce couple qui est retenu pour chaque profil.

Une élévation du niveau marin lié au réchauffement climatique à l'horizon 2010 de 0,20 m a été ajoutée au niveau de pleine-mer centennal. Pour la modélisation de l'évènement centennal incluant le changement climatique à l'horizon 2100, une surcote supplémentaire de 0,40 m a été ajoutée afin d'obtenir une élévation moyenne de 0,60 m conforme au scénario pessimiste établi par l'ONERC.

L'estimation des débits de franchissement a été effectuée à l'aide de la formule empirique proposée dans le « *Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures - Assessment Manual* ». Ceci conduit aux résultats du tableau suivant.

Tableau 4-7 : Calcul des débits de franchissement centennaux sur les cinq profils de La Tranche-sur-Mer

		Niveau extrême de pleine-mer au large	Surcote climatique	Hs (m)	Débit linéique maximal (l/s/m)
Horizon 2010	Profil 1	3.91	0.20	2.28	0.89
	Profil 2	3.92	0.20	2.01	34.43
	Profil 3	3.93	0.20	1.66	0.03
	Profil 4	3.93	0.20	1.45	0.00
	Profil 5	3.95	0.20	1.30	0.00
Horizon 2100	Profil 1	3.91	0.60	2.28	9.05
	Profil 2	3.92	0.60	2.01	58.38
	Profil 3	3.93	0.60	1.66	104.18
	Profil 4	3.93	0.60	1.45	0.00
	Profil 5	3.95	0.60	1.30	0.00

On observe que le débit de franchissement pour les profils 4 et 5 est négligeable.

4.4 Calage du modèle

Tout modèle hydraulique nécessite un calage afin de satisfaire au principe d'analogie. Le calage est la phase qui consiste à ajuster les paramètres de calcul du modèle, afin que celui-ci reproduise correctement un événement historique donné. Cette étape requiert donc des informations détaillées sur les conditions rencontrées lors de cet événement.

Dans un contexte de submersion marine, les éléments conditionnant les résultats du modèle sont :

- La qualité du MNT utilisé pour la description de la topographie (incluant notamment les digues de protection) ;
- La rugosité du sol ;
- La géométrie (altitude, largeur) de la brèche éventuelle ;
- L'instant de la rupture par rapport à la marée ;
- La vitesse de rupture ;
- Le nombre de cycle de marée simulé.

La sensibilité à chacun des facteurs ci-dessus est variable pour chaque secteur étudié. En effet chaque site présente des conditions topographiques et des conditions de marée qui lui sont propres.

Le modèle reproduit d'une part les phénomènes de submersions marines et d'autre part les inondations par débordement de cours d'eau. Ainsi le calage du modèle sera effectué sur deux événements distincts, où l'on s'efforcera de caler le modèle premièrement sur le front littoral et rétro littoral. Pour ce faire nous utiliserons les données récoltées suite à l'évènement Xynthia. Deuxièmement l'évènement d'inondation fluvial survenu en octobre 1999 servira à ajuster les paramètres du modèle dans la vallée du Lay.

4.4.1 Calage sur un évènement maritime : Xynthia

Sur la base des niveaux d'eau observés et les hautes mers relevées suite à la tempête les paramètres du modèle hydraulique ont été ajustés afin de faire correspondre au mieux les niveaux observés et calculés. L'essentiel des données observées sont situées sur les communes de la Faute-sur-Mer et l'Aiguillon-sur-Mer.

Du fait de la précision et de l'incertitude sur les niveaux observés, le calage est ici un exercice délicat. En effet les niveaux observés sont issus de hautes mers levées sur site après le passage de la tempête. Les interventions sur le terrain se sont déroulées entre trois et onze jours après l'évènement et ont porté essentiellement sur le secteur de La Faute-sur-Mer et l'Aiguillon-sur-Mer, par une équipe constituée d'agents du CETE de l'Ouest, de la DREAL et de la DDTM. La précision de la donnée dépend de la nature et la position de la trace visible laissée par l'eau sur les constructions. La couche SIG d'emprise inondée observée est aussi entachée d'incertitudes, la comparaison fine de l'emprise et des ruptures de pentes de la topographie (LiDAR) montre que le contour de la donnée issu du retour d'expérience est approximatif. L'importante emprise modélisée et la quantité de hautes mers disponibles doit conduire à relativiser les chiffres statistiques. Les résultats sont satisfaisants en termes d'emprise inondée et de hauteurs d'eau.

Les figures suivantes illustrent les résultats du calage.

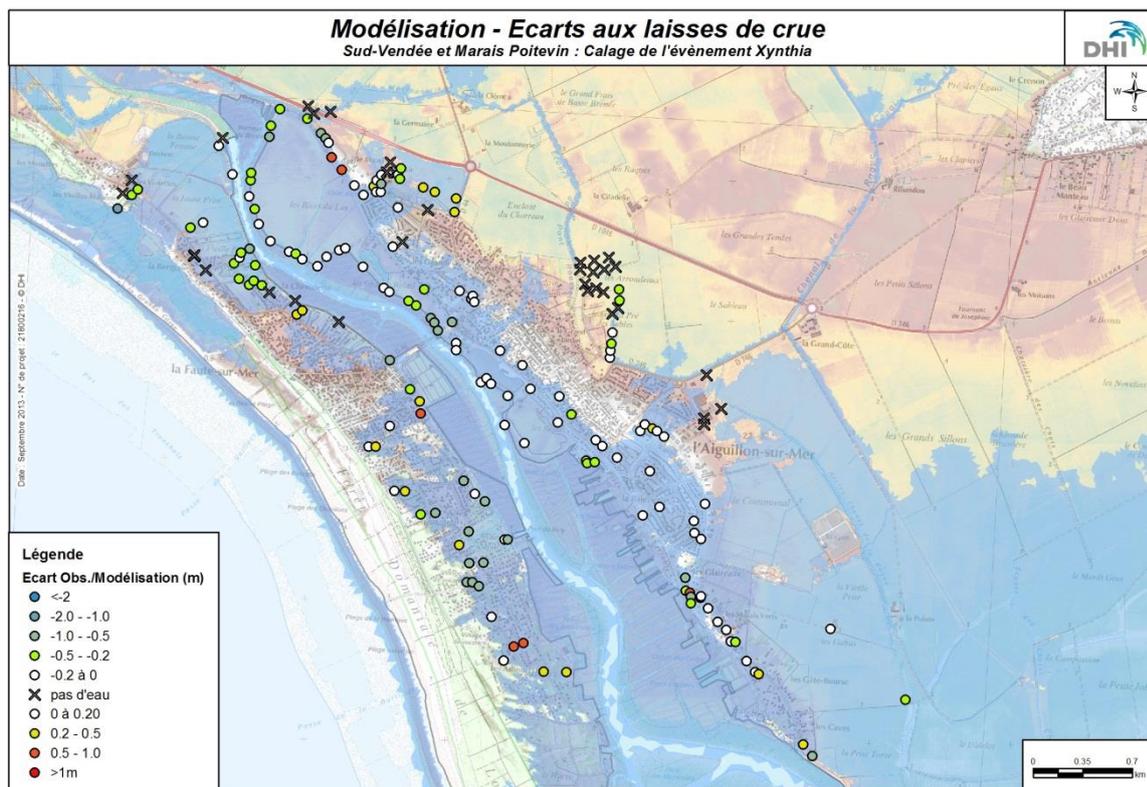


Figure 4-20. Carte de localisation des laisses de mer de l'évènement Xynthia et des écarts entre niveaux calculés et observés.

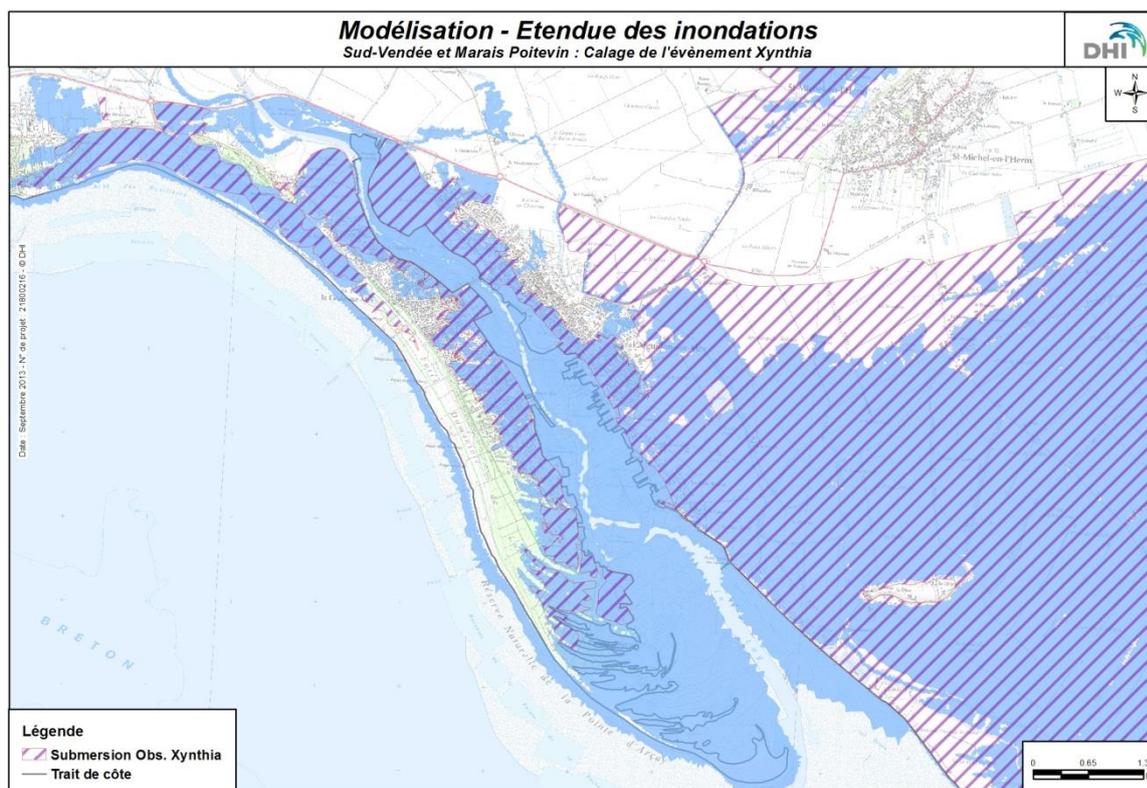


Figure 4-21. Comparaison des emprises inondées, données calculées et observées.

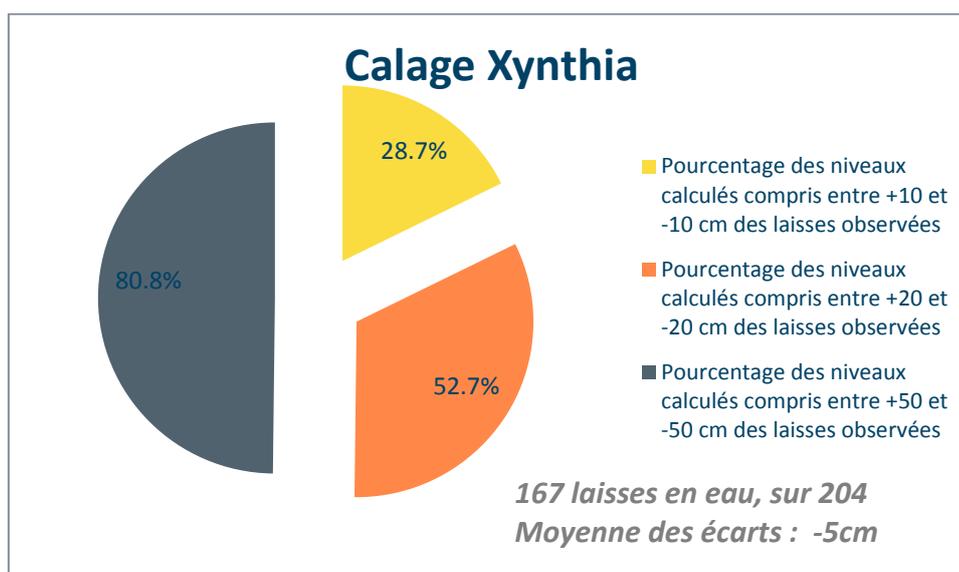


Figure 4-22. Ecart aux lisses de mer, calage Xynthia sur la Faute et l'Aiguillon.

4.4.2 Calage sur un évènement fluvial : crue d'octobre 1999

Le calage de la partie du modèle qui concerne la vallée du Lay se base sur la crue survenu entre le 29 septembre et le 4 octobre 1999. Les débits appliqués en entrée de modèle sont issus des stations hydrométriques de Mareuil-sur-Lay-Dissais et de Dompierre pour lesquelles des données sont disponibles pour l'évènement de 1999. Une relation de Myer est utilisée afin d'estimer les débits provenant des bassins versants non jaugés lors de cette crue. A l'aval du modèle, la marée mesurée lors de ces dates est utilisée en condition aux limites.

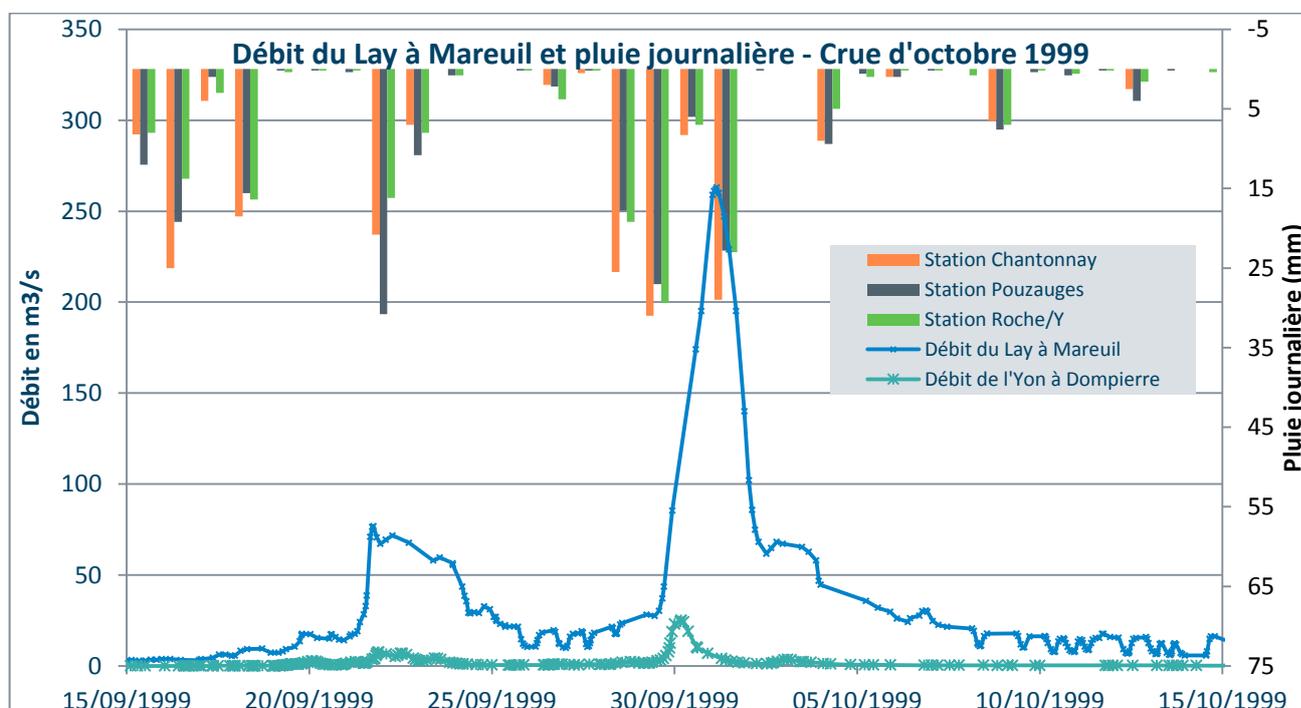


Figure 4-23. Hydrogramme mesuré à la station de Mareuil-sur-Lay-Dissais en octobre 1999.

Les données de calage ont été extraites de l'AZI réalisé par le CETE de l'Ouest. Il s'agit d'une emprise inondée et de quelques niveaux d'eau, notamment une laisse de crue située en amont du barrage de Morteveille.

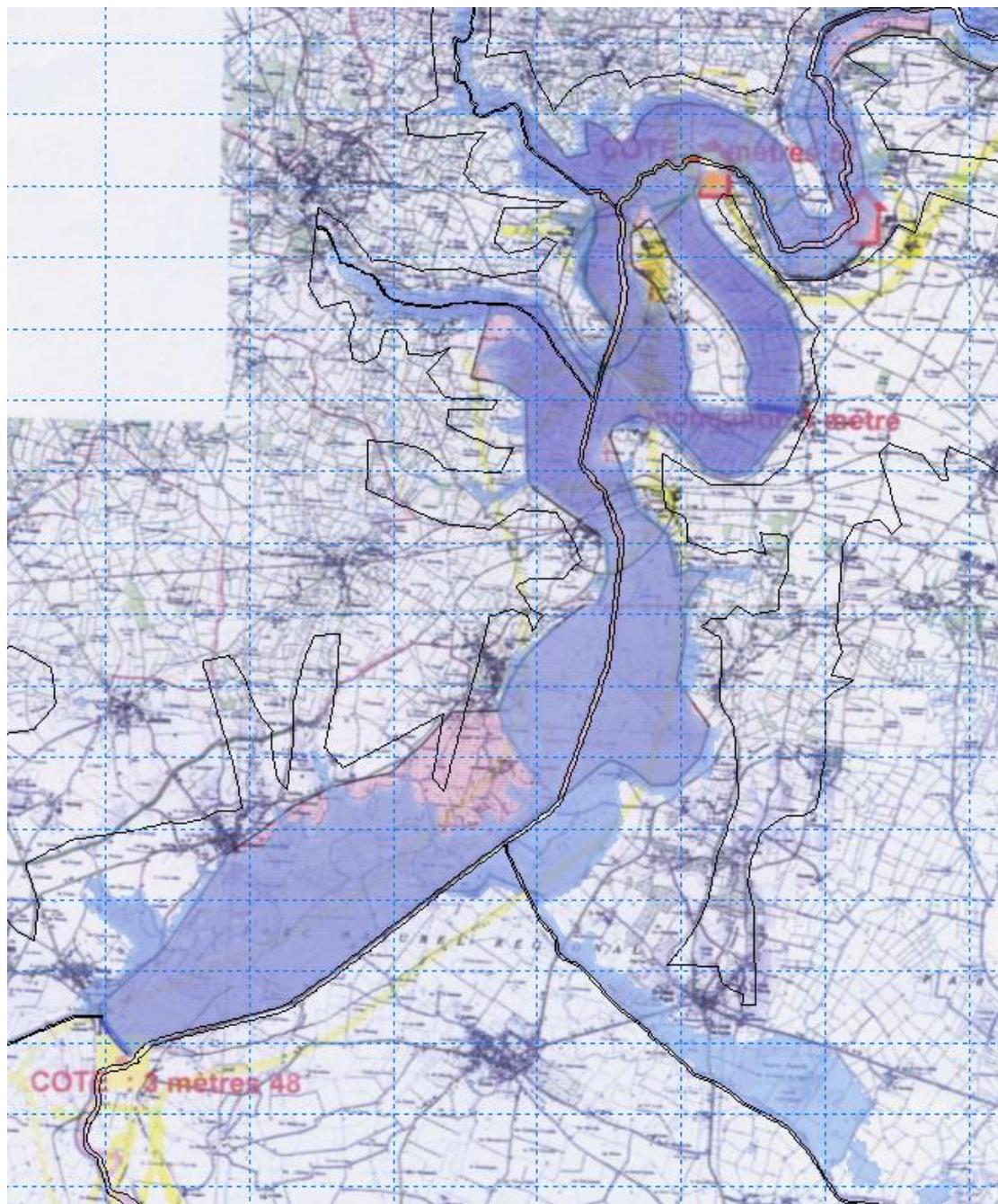


Figure 4-24. Calage du modèle sur la crue de 1999.

Le modèle montre des débordements le long du Chenal Vieux, qui n'apparaissent pas sur la carte d'inondation historique extraite du rapport de l'AZI. Par ailleurs les niveaux modélisés et l'emprise inondée des données calculées et observées correspondent globalement. Une différence d'extension significative apparaît au droit de la défluence entre le Lay et le Chenal Vieux : l'analyse de la topographie met en évidence qu'il s'agit de secteurs particulièrement élevés et ne pouvant être inondés, ce qui illustre au passage l'incertitude que peut comporter ce type de cartographie historique.

4.5 Hypothèses pour chaque évènement de projet simulé

Pour rappel, les scénarios modélisés sont les suivants :

- Evénement maritime, à l'horizon 2010 **(1)**
- Evénement maritime, à l'horizon 2100 **(2)**
- Evénement maritime, à l'horizon 2010, avec transparence des digues **(3)**
- Evénement fluvial **(4)**
- Evénement concomitant à dominante maritime : événement de référence maritime + décennale fluviale **(5)**
- Evénement concomitant à dominante fluviale : événement de référence fluvial + décennale maritime **(6)**

4.5.1 Hypothèses générales valables pour tous les scénarios

Les conditions initiales dans les marais sont les suivantes :

- Marais desséchés partiellement en eau, avec le volume d'une précipitation décennal de 24h.
- Dans la vallée du Lay les marais mouillés sont supposés secs initialement.

Les ouvrages transversaux sur le Lay sont considérés comme défaillants (Braud non compris, les hypothèses pour ce dernier varient en fonction du scénario modélisé). Ainsi les barrages de Moricq et Morteveille auront leurs vannes « fermées », ne permettant le passage des eaux seulement par surverse.

Pour les portes à la mer le long du littoral on supposera un dysfonctionnement de ces ouvrages : ils seront maintenus ouverts durant la simulation.

Les différents ouvrages de jonction entre les canaux et cours d'eau seront quant à eux supposés fermés durant la simulation.

Caractéristiques des brèches maritimes :

- Cinétique identique pour toutes les brèches (indépendante de l'exposition à la houle, notamment), la durée d'ouverture est de 15 min et l'abaissement se fait jusqu'au terrain naturel
- Début d'apparition : 1h avant la pleine mer
- Brèches de largeur 100 m par défaut, si historiquement une brèche plus importante fut observée alors cette largeur sera retenue (5 brèches concernées).

4.5.2 Evénement maritime, à l'horizon 2010 (1)

La durée de simulation est de 2 cycles de marées, soit 24h.

Les conditions limites en mer correspondent aux niveaux de l'évènement Xynthia, rehaussés de 20cm pour la prise en compte du changement climatique à l'horizon 2010.

Les conditions aux limites fluviales correspondent à un évènement non exceptionnel, nommément celles observées dans les cours d'eau lors du passage de la tempête Xynthia. Il n'y a pas de défaillance des ouvrages de protection le long des berges.

Pour le barrage du Braud on considère l'hypothèse d'un dysfonctionnement et il sera maintenu fermé durant la simulation.

La localisation des brèches est celle décrite dans l'approche topographique.

Les ruines généralisées sont situées sur les ouvrages suivants :

- Dignes ostréicoles (dans l'estuaire)
- Belle Henriette
- Digue des Wagons
- Digue du Maroc (très dégradée)
- Digue des Polders (largement submergée)
- Digue du polder, en avant du Grenouillet
- Digue de l'Aiguillon (largement submergée), avec topographie d'effacement variable.

4.5.3 Événement maritime, à l'horizon 2100 (2)

La durée de simulation est de 2 cycles de marées, soit 24h.

Les conditions limites en mer correspondent aux niveaux de l'événement Xynthia, rehaussés de 60cm pour la prise en compte du changement climatique à l'horizon 2100.

Les conditions aux limites fluviales correspondent à un événement non exceptionnel, nommément celles observées dans les cours d'eau lors du passage de la tempête Xynthia. Il n'y a pas de défaillance des ouvrages de protection le long des berges.

Pour le barrage du Braud on considère l'hypothèse d'un dysfonctionnement et les vannes seront maintenues fermées durant la simulation.

La localisation des brèches est celle décrite dans l'approche topographique.

Les ruines généralisées supplémentaires par rapport au scénario (1) sont situées sur les ouvrages suivants :

- Digue des Prises (Champagne les Marais), en partie
- Digue des Polders, tronçon Nord-Sud (Saint Michel en l'Herm)
- Extrémité Sud de la digue du Génie, plage de la Batterie
- Extrémité Nord de la digue du Génie, près de la brèche du scénario 2010
- Digue du Grenouillet
- Digue des Grands Relais.

NB: l'hypothèse concernant la dune de la Belle Henriette est inchangée par rapport au scénario (1), c'est-à-dire que l'on considère une ruine généralisée y-compris à l'horizon 2100. En effet, bien qu'actuellement en forte érosion, il n'est pas possible d'affirmer que cette dune aura par exemple disparu à cet horizon, car la dynamique hydrosédimentaire locale peut évoluer d'ici un siècle et donc inverser l'évolution de la dune. Par conséquent, l'effacement total de la dune ne peut être retenu.

4.5.4 Événement maritime, à l'horizon 2010, avec transparence des digues (3)

Les hypothèses du scénario (1) sont reprises.

L'ensemble des digues maritimes dans ce scénario sont cependant considérées comme transparentes. Ainsi on retrouve la cote du terrain naturel (à l'arrière des digues) le long du littoral modélisé.

4.5.5 Événement fluvial (4)

La durée de simulation est de 4 jours.

Les conditions aux limites en mer correspondent aux niveaux historiques observés en septembre 1999 lors de la crue du Lay. Ces valeurs représentent des niveaux non exceptionnels qui balayent une gamme de coefficients de marées moyennes, ces coefficients allant de 85 à 45.

Les conditions aux limites fluviales correspondent à un évènement de type centennal pour la crue du Lay.

Pour le barrage du Braud on considère l'hypothèse d'un dysfonctionnement et les vannes seront maintenues fermées durant la simulation.

4.5.6 Concomitance à dominante maritime : événement de référence maritime + crue décennale fluviale (5)

La durée de simulation est de 4 jours.

Les conditions aux limites en mer correspondent aux niveaux du scénario (1).

Les hypothèses de défaillances d'ouvrages maritimes sont les mêmes que pour le scénario (1).

Les conditions aux limites fluviales correspondent à un évènement de type décennal pour la crue du Lay. Les défaillances des ouvrages de protection le long des berges du Lay sont localisées de la même manière que dans le scénario (4). Cependant les moments d'ouverture de brèches sont adaptés aux niveaux d'eau de la crue décennale.

Pour le barrage du Braud on considère l'hypothèse d'un dysfonctionnement et les vannes seront maintenues ouvertes durant la simulation.

4.5.7 Concomitance à dominante fluviale : événement de référence fluvial + événement maritime décennal (6)

La durée de simulation est de 4 jours.

Les conditions aux limites en mer correspondent aux niveaux d'une tempête d'occurrence décennale.

Les hypothèses de défaillances d'ouvrages maritimes sont les mêmes que pour le scénario (1).

Les conditions aux limites fluviales correspondent à un évènement de type centennal. Les hypothèses du scénario (4) sont reprises.

Pour le barrage du Braud on considère l'hypothèse d'un dysfonctionnement et les vannes seront maintenues ouvertes durant la simulation.

4.6 Cartographie de l'aléa inondation et submersion marine

4.6.1 Cartographie de l'aléa modélisé

La cartographie des aléas est réalisée par croisement des hauteurs et des vitesses d'écoulement.

Le croisement distingue, conformément aux indications du guide PPRL de décembre 2013 :

- 3 classes de hauteur : $H < 0,5$ m ; $H \in [0,5 ; 1$ m] ; $H > 1$ m
- 3 classes de vitesse : $U < 0,25$ m ; $U \in [0,25 ; 0,75$ m] ; $U > 0,75$ m

La qualification de l'aléa est effectuée suivant ce tableau :

Vitesse	$U < 0,25$ m/s	$0,25 < U < 0,75$ m/s	$U > 0,75$ m/s
Hauteur			
$H < 0,5$ m	Faible	Moyen	Fort
$0,5 < H < 1$ m	Moyen	Moyen	Fort
$H > 1$ m	Fort	Fort	Très Fort

La méthodologie initialement envisagée consistait à distinguer deux types d'aléa : un aléa de type maritime avec une vitesse verticale de montée des eaux relativement élevée, et un aléa de type fluvial avec une vitesse de montée plus faible. L'objectif de cette méthodologie est ensuite d'appliquer un tableau de croisement distinct suivant la vitesse de montée. La valeur seuil pour distinguer les deux classes de vitesse de montée a été fixée de manière empirique à 1,5 m/h.

Les résultats des simulations ont cependant montré que la vitesse de montée calculée est systématiquement inférieure à 1,5 m/h. Par conséquent, seul le tableau de croisement ci-dessus, initialement destiné aux secteurs pour lesquels la vitesse de montée est inférieure à 1,5 m/h, a été appliqué. Il est à noter que ces vitesses de montée modélisées sont des valeurs moyennes à l'échelle d'une maille (point de calcul) du modèle : des vitesses de montée très localement plus fortes sont donc possibles mais ne sont pas reproduites par le modèle. De plus, ce modèle ne représente pas les écoulements dans les bâtiments, où des effets de seuils peuvent se produire et où des vitesses de montée plus importantes ont pu être observées.

Ci-dessous sont présentées les cartes d'aléas regroupant les résultats issus des scénarios :

- à l'horizon 2010 : (1) (4) (5) et (6)
- à l'horizon 2100 : (2)
- de transparence des ouvrages maritimes (3).

La cartographie de l'aléa à l'horizon 2010 est issue du recoupement des quatre scénarios mentionnés, à partir desquels les valeurs maximales d'aléa ont été retenues.

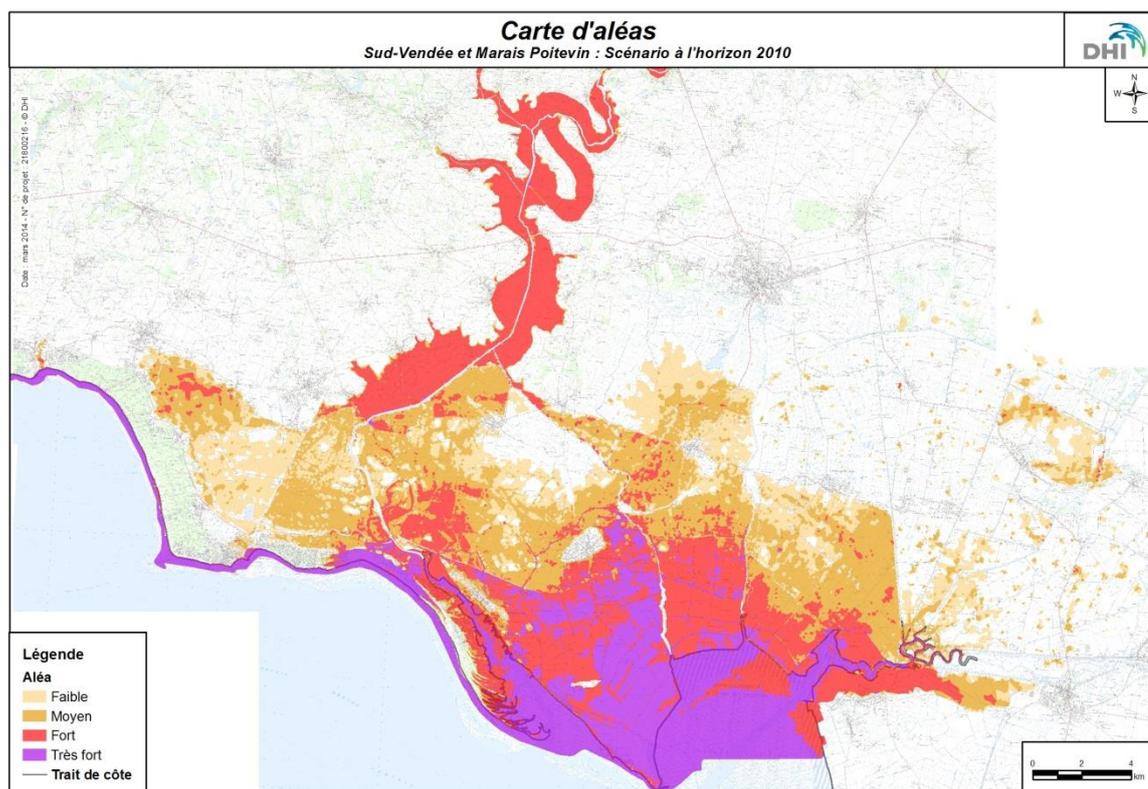


Figure 4-25. Carte d'aléas - scénario à l'horizon 2010

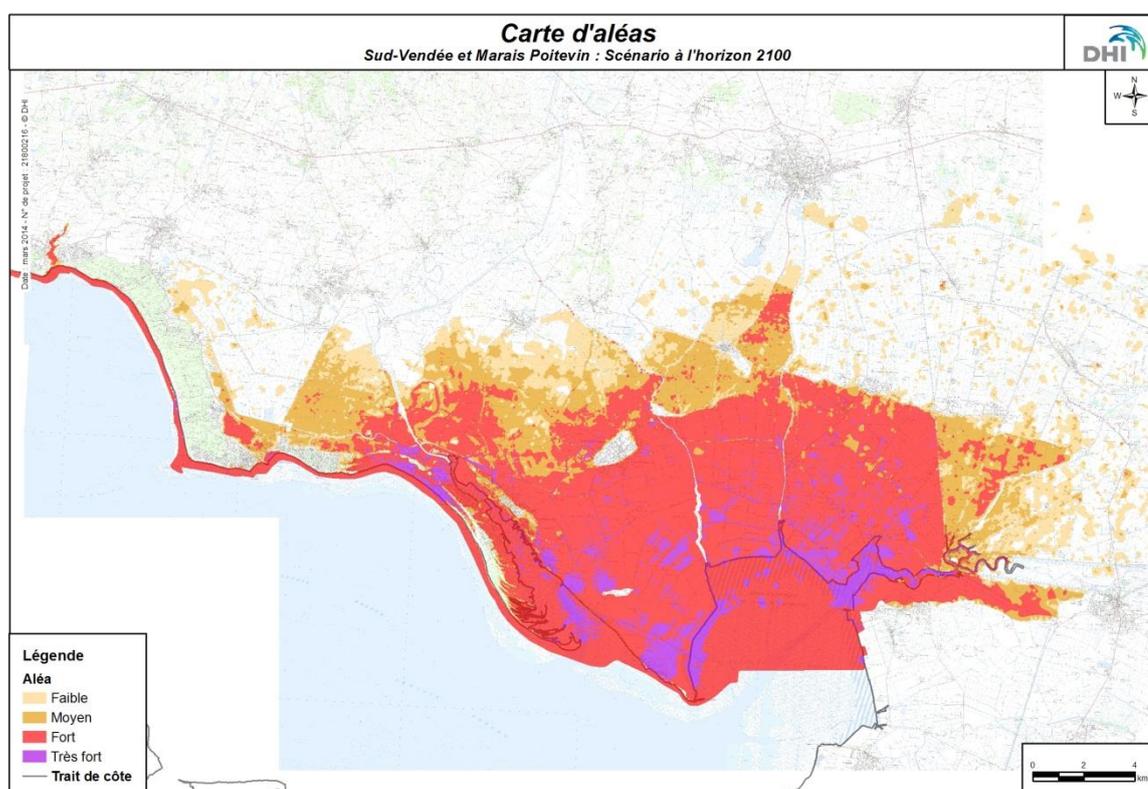


Figure 4-26. Carte d'aléas - scénario à l'horizon 2100

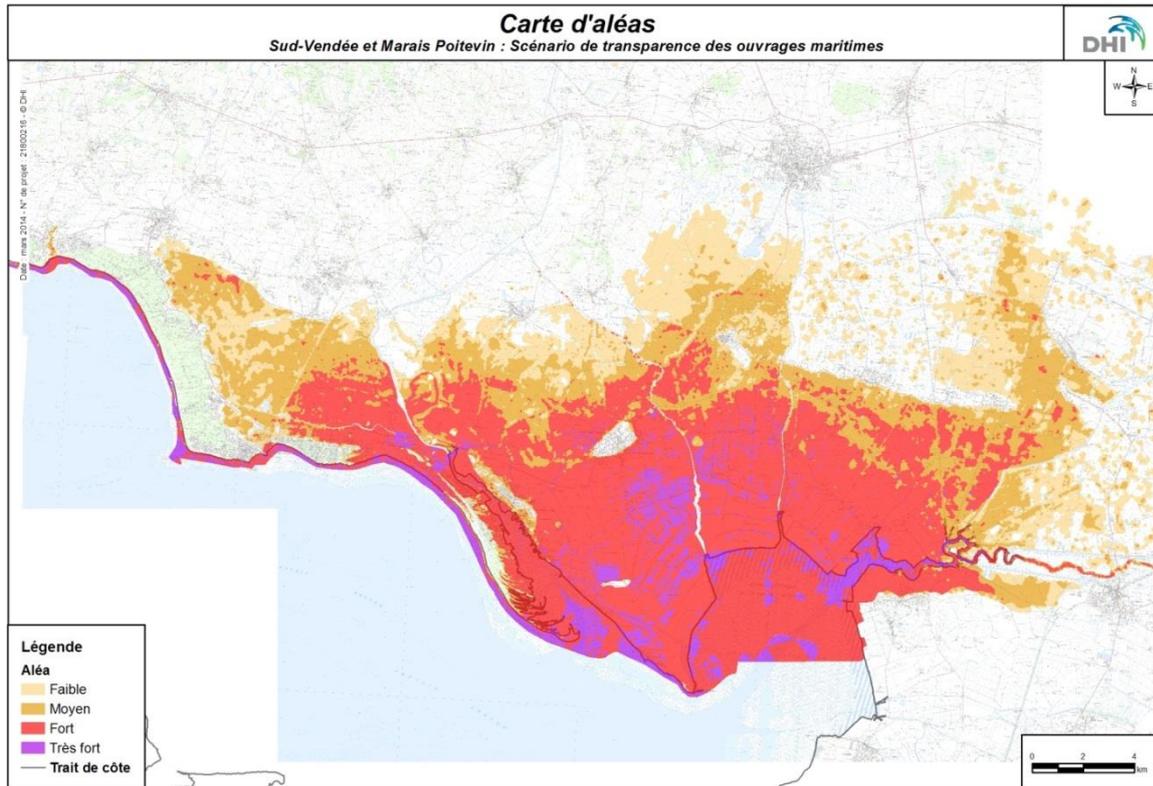


Figure 4-27. Carte d'aléas - scénario de transparence des ouvrages maritimes

4.6.2 Bandes de précaution

4.6.2.1 Bandes de précaution relatives aux ruptures d'ouvrages

En complément de la cartographie de l'aléa modélisé, et conformément au guide méthodologique d'élaboration des PPRL, des bandes de précaution sont appliquées derrière les ouvrages de protection. Ces bandes de précaution représentent l'infinité des positions possibles de brèche le long des ouvrages et l'aléa très fort qui en découle.

Ces bandes de précaution sont identifiées d'après la méthode forfaitaire détaillée dans le guide méthodologique. Ces bandes sont donc définies telles que :

- Chaque bande de précaution débute au pied de l'ouvrage côté terre
- Sa largeur forfaitaire est égale à 100 fois la hauteur h , comprise entre le niveau marin de référence considéré et la cote du terrain naturel immédiatement derrière l'ouvrage
- Dans le cas où le niveau marin de référence est supérieur à la crête de l'ouvrage, la hauteur h considérée est la hauteur comprise entre la cote de crête de l'ouvrage et la cote du terrain naturel immédiatement derrière celui-ci
- Lorsque le terrain naturel derrière l'ouvrage dépasse le niveau marin de référence, la largeur de la bande de précaution est réduite de telle sorte que seul le secteur situé sous le niveau marin de référence soit couvert par la bande
- La largeur de la bande ne peut pas être inférieure à 50 mètres pour les ouvrages maritimes (pour les ouvrages fluviaux, pour lesquels la dynamique est plus lente, il est donc considéré que la bande de précaution peut être moins large).

La largeur forfaitaire des bandes de précaution (égale à 100 fois la hauteur h) a été estimée tous les 200 m le long des ouvrages en moyenne. Cette estimation a cependant été effectuée plus finement dans les secteurs avec de fortes variations topographiques, afin de tenir compte précisément des variations de largeur de bande découlant des variations de terrain naturel. A l'inverse, les estimations de largeur de bande peuvent localement être plus espacées lorsque le terrain en retrait de l'ouvrage n'est pas représentatif du terrain naturel (notamment lors de la présence d'aménagements tels que des bassins).

Compte tenu des variations de terrain naturel tout le long des ouvrages, les largeurs de bandes de précaution peuvent être fortement variables, puisque cette variation de largeur est 100 fois supérieure à la variation d'altitude du terrain naturel. Ceci conduit donc à des bandes sinueuses et un léger lissage des bandes de précaution a été opéré afin d'assurer une relative continuité du tracé des bandes de précaution.

Ces bandes de précaution ont été appliquées sur tous les ouvrages maritimes de premier rang, ceux de second rang pour lesquels une ruine ou brèche a été retenue, ainsi que sur les digues fluviales du Lay sur les secteurs où des brèches ou ruines ont été retenus.

4.6.2.2 Bandes de précaution relatives aux chocs et projections

Pour les ouvrages exposés au franchissement par paquets de mer, et lorsque ces ouvrages ne sont pas déjà couverts par une bande de précaution relative à la rupture d'ouvrage, une bande de précaution est identifiée afin d'identifier les secteurs exposés aux chocs des vagues et aux projections de galets.

Ces bandes ont une largeur forfaitaire de 25 m, dont la limite côté mer est fixée au sommet de l'ouvrage.