



Plan de Prévention des Risques Naturels Littoraux

Département du Finistère

PPRN-L 2

Phase 2 : Caractérisation des aléas

Rapport – Version définitive



03/02/2016

HYN21668L



Informations qualité du document

Informations générales

Auteur(s)	Guillaume GHESQUIERE, Amel MECHROUH, ML BOSSIS
Titre du projet	Plan de Prévention des Risques Naturels Littoraux –PPRN-L 2
Titre du document	Phase 2 : Rapport
Date	03/02/2016
Référence	HYN21668L

Destinataires

Envoyé à :		
Nom	Organisme	Envoyé le :
D. BLAISE	DDTM	02/02/2016
Copie à :		
Nom	Organisme	Envoyé le :

Historique modifications

Version	Date	Rédigé par	Visé par :
V0	21/10/2013	Guillaume GHESQUIERE	Jacques PIALLAT / ML BOSSIS
V1	06/12/2013	Guillaume GHESQUIERE	Jacques PIALLAT / ML BOSSIS
V2	22/08/2014	Guillaume GHESQUIERE, Amel MECHROUH	Jacques PIALLAT / ML BOSSIS
V3	23/11/2014	Guillaume GHESQUIERE, Amel MECHROUH	ML BOSSIS
V4	18/12/2014	Guillaume GHESQUIERE, Amel MECHROUH	ML BOSSIS
V5	13/02/2015	ML BOSSIS	PA RIELLAND
V6	11/10/2015	ML.BOSSIS	
V7	04/11/2015	ML.BOSSIS	
V8	03/02/2016	Z.LAURENT	ML BOSSIS

Sommaire

Table des annexes	7
Atlas cartographique (document spécifique)	7
Acronymes et abréviations	8
Lexique	10
Liste des figures	15
Liste des tableaux.....	17
Préambule	18
Chapitre 1 - Introduction.....	19
1 Règlements	19
2 Contexte et objectif global des PPRN-L.....	19
3 Phasage	20
4 Objectif du présent rapport	20
Chapitre 2 - Sources.....	21
1 Documents.....	21
2 Sites internet.....	23
Chapitre 3 - Statistiques des houles et des niveaux marins	24
1 Statistiques des houles extrêmes au large.....	24
1.1 Données disponibles sur le PPRNL 2.....	24
1.2 Houles extrêmes	25
1.2.1 Détermination des houles extrêmes par secteur directionnel	25
1.2.2 Houles extrêmes considérées dans le cadre du PPRNL	27
1.3 Choix des houles à modéliser dans le cadre de l'étude	28
1.3.1 De Concarneau à Bénodet.....	28
1.3.2 Bilan	29
2 Etude des niveaux marins théoriques	29
3 Corrélation entre houle extrême au large et niveaux marins théoriques.....	31
3.1 Présentation de la méthode de CIRIA	31
3.2 Choix du coefficient de corrélation.....	32
3.3 Résultats obtenus	33
Chapitre 4 - Définition des événements à la côte	36
1 Méthodologie.....	36
2 Détermination des événements incidents	37
2.1 Evènements historiques considérés	37
2.2 Focus sur les tempêtes dommageables à l'échelle des bassins de risque hiver 2013-2014	42
2.3 Comparaisons des périodes de retour et choix des tempêtes incidentes à retenir	43
3 Propagation des houles du large à la côte	46

3.1	Présentation du modèle	46
3.2	Le modèle et son emprise.....	47
3.2.1	Emprise du modèle n°1	47
3.2.2	Bathymétrie du modèle n°1	49
3.2.3	Maillage du modèle n°1	49
3.2.4	Calage du modèle n°1	50
3.2.5	Cas de calculs retenus	53
3.3	Résultats issus des modélisations numériques	56
3.3.1	Hauteurs significatives.....	56
3.3.2	Wave Setup.....	59
4	Définition des niveaux marins à la côte.....	60
4.1	Définition des niveaux marins hors zones estuarienne	60
4.2	Niveaux marins dans les estuaires	63
4.2.1	Les zones estuariennes.....	63
4.2.2	L'estimation des niveaux marins en fond d'estuaire	64
4.3	Détermination des évènements hydrodynamiques de période de retour supérieure à 100 ans à la côte.....	67
5	Calculs des franchissements	68
5.1	Analyse du littoral.....	68
5.2	Période de calcul des franchissements	68
5.3	Construction des cycles de marée.....	69
5.4	Méthode de calculs des franchissements.....	71
5.4.1	Présentation des formules pour les digues :.....	71
5.4.2	Présentation des formules pour les cordons dunaires :.....	72
5.4.3	Présentation des formules pour les ouvrages verticaux :	72
5.5	Résultats des calculs de franchissements	73
	Chapitre 5 - Aléa érosion	75
1	Méthodologie.....	75
1.1	Principes de caractérisation et de cartographie de l'aléa	75
1.2	Prise en compte des ouvrages de protection	77
1.2.1	Côtes basses meubles	77
1.2.2	Minima pris en compte pour les côtes artificialisées.....	80
1.2.3	Côtes à falaises.....	81
1.3	Prise en compte du changement climatique	81
1.4	Qualification de l'aléa	82
2	Analyse de l'évolution du trait de côte à 100 ans.....	82
2.1	Bilan du recul moyen annuel historique « Tx ».....	83
2.2	Analyse du recul maximal lors d'une tempête « Lmax »	85
2.2.1	Commune de Concarneau :	85
2.2.2	Commune de la Forêt-Fouesnant :.....	86
2.2.3	Commune de Fouesnant :.....	86
2.2.4	Commune de Bénodet :.....	89
2.2.5	Conclusion.....	89
2.3	Bilan	92
	Chapitre 6 - Aléa submersion marine	96
1	Choix des scénarios références.....	96
1.1	Méthodologie.....	96
1.1.1	Découpage du littoral	96
1.1.2	Choix de l'évènement de référence pour chaque tronçon de littoral.....	97
1.1.3	Choix du scénario de défaillance pour les tronçons de type structure de protection.....	100
1.2	Application sur chaque bassin de risque	109
1.2.1	Côte sud de Concarneau.....	111
1.2.2	Le port de Concarneau et le port de Sainte-Croix	114

1.2.3	Côte Nord de Concarneau.....	115
1.2.4	Plage de Kerleven à la Forêt-Fouesnant.....	119
1.2.5	Anse de Fouesnant et de Penfoulic.....	121
1.2.6	Fouesnant (Cap Coz).....	122
1.2.7	Fouesnant (Mousterlin Est).....	126
1.2.8	Fouesnant (Mousterlin Ouest).....	132
1.2.1	Fouesnant (Iles Glénans).....	136
1.2.2	Bénodet.....	137
1.2.3	Estuaire de l'Odet.....	142
2	La caractérisation de l'aléa.....	143
2.1	Méthode superposition topographique.....	144
2.2	La répartition des volumes entrants sur la topographie, via une modélisation simplifiée à casier.....	145
2.2.1	Le logiciel IWRS.....	145
2.2.2	Les volumes entrants par rupture ou par débordement.....	146
2.2.3	Les volumes franchis par paquets de mer.....	147
2.2.4	Les données topographiques qui permettent de créer le modèle simplifié à casiers.....	147
2.2.5	Le calage et les tests de sensibilité.....	147
2.3	La démarche menant à la caractérisation de l'aléa.....	149
2.3.1	Vérification de l'inondabilité effective des différentes zones basses submergées.....	149
2.3.2	Définition des zones submergée uniquement par franchissement par paquets de mer.....	150
2.3.3	Qualification des critères de dynamique de submersion.....	151
2.3.4	Spécificité bande de précaution.....	152
2.3.5	Aléa spécifique choc mécanique des vagues et projection.....	153
2.4	La qualification de l'aléa submersion.....	153
2.4.1	Méthode de qualification de l'aléa submersion.....	153
2.4.2	Application de la méthode de qualification de l'aléa submersion.....	156
2.5	Guide de lecture des cartes d'aléa submersion.....	160
2.6	Guide de lecture des cartes des cotes d'eau.....	163

Table des annexes

Annexe 1 : Calage du modèle SWAN – Modèle n°1

Annexe 2 : Résultats modélisations SWAN – Modèle n°1

Annexe 3 : Résultats des houles spécifiques pour les différents évènements

Annexe 4 : Résultats du set-up et du niveau marin pour les différents évènements

Atlas cartographique (document spécifique)

Série de cartes n°1 : Carte de synthèse des modes de submersion et d'écoulement et des hypothèses de défaillance des structures de protection

Série de cartes n°2 : Carte de l'aléa de submersion basée sur l'évènement référence sans prise en compte de l'effet des structures de protection

Série de cartes n°3 : Carte de l'aléa submersion de référence avec prise en compte de l'effet des structures de protection

Série de cartes n°4 : Carte des cotes d'eau pour l'aléa submersion de référence avec prise en compte de l'effet des structures de protection

Série de cartes n°5 : Carte de l'aléa submersion à échéance 100 ans (avec prise en compte de l'effet des structures de protection)

Série de cartes n°6 : Carte des cotes d'eau pour l'aléa submersion à échéance 100 ans (avec prise en compte de l'effet des structures de protection)

Série de cartes n°7 : Carte de l'aléa érosion

Série de cartes n°8 : Carte de l'aléa érosion intégrant le changement climatique

Acronymes et abréviations

ANEMOC	Atlas Numérique d'Etats de Mer Océanique et Côtier
BD ALTI	Base de Données Altimétrique de l'IGN
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CATNAT	Catastrophe Naturelle
CD	Tronçon du littoral de type cordon dunaire
CEREMA	Centre d'Etude et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement
CETE	Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement
CETMEF	Centre d'Études Techniques Maritimes et Fluviales
CM	Cote marine
DDE	Direction Départementale de l'Equipement
DDTM	Direction Départementale des Territoires et de la Mer
DGPR	Direction Générale de la Prévention des Risques
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
E	Est
EDF R&D LNHE	EDF, département Recherche et Développement, Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement
ERNM	Evènement référence générant le plus haut niveau marin
ERV	Evènement référence générant les volumes franchis les plus importants
EST	Tronçon du littoral en estuaire
GR	Grande Randonnée
IGN	Institut National de l'Information Géographique et Forestière
IFREMER	Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer
IUEM	Institut Universitaire Européen de la Mer
LIDAR	Acronyme de l'expression en langue anglaise « Light Detection and Ranging », le LIDAR est une technologie de télédétection ou de mesure optique basée sur l'analyse des propriétés d'une lumière laser renvoyée vers son émetteur.
MATE	Ministère de l'Aménagement, du Territoire et de l'Environnement
MEDDE	Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie
MEDDTL	Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement
METL	Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement
MNT	Modèle Numérique de Terrain

N	Nord
NMR	Cote correspondant au plus haut niveau marin
NGF	Nivellement Général Français
ONERC	Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique
ONF	Office National des Forêts
PCS	Plan Communal de Sauvegarde
POR	Tronçon du littoral de type port
POS	Plan d'Occupation des Sols
PLU	Plan Local d'urbanisme
PM	Pleine Mer
PMBE	Pleine Mer de Basses Eaux
PMVE	Pleine Mer de Vives Eaux
PPRSM	Plan de Prévention des Risque de Submersion Marine
PPRNL	Plan de Prévention des Risques Naturels Littoraux
S	Sud
SC	Tronçon du littoral de type structure côtière de protection
SHOM	Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
SIG	Système d'Information Géographique
TU	Temps Universel
TR	Tronçon du littoral de type terrain naturel
W	Ouest
UBO	Université de Bretagne Occidentale
ZNIEFF	Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique
ZPPAUP	Zone de Protection du Patrimoine Architectural, Urbain et Paysager

Lexique

Accrétion (ou engraissement ou accumulation)	Progression de la ligne de rivage par accumulation de sédiments.
Aléa	Conséquences physiques résultant d'un scénario d'événements (par exemple : recul du trait de côte, submersion). La transcription spatiale de l'aléa permet de le représenter et de le qualifier. L'aléa est caractérisé par son occurrence et son intensité. Il peut être qualifié par différents niveaux (très fort, fort, moyen, faible).
Aléa de référence	Enveloppe des aléas correspondant aux scénarios de référence. L'aléa de référence prend en compte des événements naturels. L'aléa de référence est utilisé pour établir le zonage réglementaire du PPR.
Arrière-côte	Espace terrestre du rivage situé au-dessus du niveau des plus hautes mers.
Avant-côte	Espace ou domaine côtier sous le niveau des plus basses mers, proche du rivage, concerné par des échanges avec la côte.
Bassin risque	Entité géographique pertinente pour l'analyse de l'aléa soumise à un même phénomène naturel. Il s'agit par exemple d'un bassin versant hydrologique, d'un tronçon homogène d'un cours d'eau, d'un versant présentant un ensemble de critères caractérisant son instabilité (nature géologique, valeur de la pente, circulation d'eau, ec.), d'un massif boisé bien délimité ou encore d'une zone de forte déclivité propice aux avalanches (<i>source guide PPRN, 1997</i>).
Budget sédimentaire (ou bilan sédimentaire)	Bilan des apports et des pertes en sédiments sur une zone.
Caoudeyre (ou siffle-vent)	Excavation circulaire laissant apparaître le sable nu au milieu des surfaces végétalisées du cordon dunaire. Une caoudeyre peut être frontale, de plateau ou de deuxième ligne.
Cellule sédimentaire (ou unité sédimentaire)	Cellule du littoral indépendante du point de vue des transits sédimentaires.
Climat de houle (ou climatologie de houle)	Caractéristiques des houles (hauteur, période, direction, etc.) en un point.
Cordon dunaire	Formation littorale constituée d'une accumulation de sable, parallèle à la côte.
Corrélogramme	Corrélation entre deux variables dans le temps.
Dérive littorale	Flux de sédiments sensiblement parallèle au rivage, en proche côtier, résultant de différentes causes : vagues, courants, vent.

Digues côtières	Ouvrages construits par l'homme, généralement longitudinaux, dont la vocation principale est de faire obstacle à l'écoulement et de limiter les entrées d'eau sur la zone protégée. Ils possèdent deux talus visibles (côté terre et côté mer) éventuellement confortés. Ces ouvrages ont pour fonction principale la protection contre la submersion et permettent de protéger des enjeux. Elles peuvent être situées sur le trait de côte ou en arrière-côte en tant que protection de seconde défense.
Drosser	En parlant du vent, des courants, pousser un navire vers un danger, une obstruction, et par extension vers la côte.
Dune (ou cordon dunaire)	Formation sableuse d'origine éolienne, généralement parallèle à la côte.
Enjeux	Personnes, biens, activités, moyens, patrimoine, etc. susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel. Les enjeux s'apprécient aussi bien pour le présent que pour le futur. Les biens et activités peuvent être évalués monétairement, les personnes exposées dénombrées, sans préjuger toutefois de leur capacité à résister à la manifestation du phénomène pour l'aléa retenu.
Érosion (ou démaigrissement)	Perte de sédiments pouvant entraîner un recul du trait de côte ou un abaissement de l'estran ou de la plage.
Estran	Espace compris entre le niveau des plus hautes et des plus basses mers connues ou zone de balancement des marées.
Estuaire	Embouchure d'un fleuve sur la mer.
États de mer	Agitation locale de la mer due à la superposition de la mer, du vent et de la houle.
Evènement naturel	Phénomène naturel ou concomitance de phénomènes naturels potentiellement dommageables marquant une rupture ou une discontinuité avec une situation initiale ou antérieure. L'évènement est attaché à un lieu donné et survient à une date donnée, connue ou inconnue. Exemples d'évènement : glissement de terrain tel jour à tel endroit, rupture d'un cordon naturel, tempête, etc.
Evènement naturel de référence	Evènement naturel retenu, parmi les différents évènements dommageables possibles, du fait de son impact le plus pénalisant à l'échelle d'un secteur d'étude cohérent pour l'analyse de son impact.
Evènement historique	Evènement naturel ayant eu lieu
Evènement théorique	Evènement naturel statistique. Il présente une période de retour (ex : évènement centennale : il a 1 chance sur 100 de se produire chaque année)
Falaise	Escarpeement vertical ou sub-vertical.
Flèche littorale	Forme constituée par l'accumulation de matériaux meubles (sables ou galets) entre un point d'ancrage à une extrémité et une pointe libre à l'autre extrémité s'avancant en mer.

Flot	Période pendant laquelle la marée est montante.
Franchissement par paquets de mer	Dépassement intermittent de la crête des ouvrages ou structures naturelles par la houle après déferlement alors que le niveau de la mer ne l'atteint pas.
Hauteur significative	Hauteur caractéristique de l'état de mer, estimée par une analyse statistique des vagues (moyenne du tiers supérieur des hauteurs des vagues observées sur une durée finie), ou par une analyse spectrale (à partir du moment d'ordre zéro de la densité spectrale).
Houle	Oscillation régulière de la surface de la mer, observée en un point éloigné du champ de vent qui l'a engendrée, dont la période se situe autour de dix secondes.
Jet de rive	Masse d'eau projetée sur un rivage vers le haut de l'estran par l'action du déferlement des vagues (en anglais : swash).
Jusant	Période pendant laquelle la marée est descendante
Lagune	Étendue d'eau à salinité variable, séparée de la mer par un cordon littoral.
Loc'h	Désigne généralement un étang côtier mais correspond localement à des prés inondés et des espaces marécageux.
Lmax	Désigne le recul maximal du trait de côte lors d'un évènement de tempête
Marée astronomique	Variation du niveau de la mer due à l'action gravitationnelle de la Lune et du Soleil. La marée astronomique est la composante prévisible du niveau marin.
Marnage	Différence de hauteur d'eau entre une pleine mer et une basse mer successive.
Mer du vent	Système de vagues observé en un point situé dans le champ de vent qui les a générées. La mer du vent présente un aspect chaotique.
Morphodynamique	Discipline consacrée à l'étude des formes littorales et à leur évolution sous l'action de facteurs hydrodynamiques et éoliens.
Niveau d'eau	Il s'agit de la cote m NGF à terre.
Niveau marin au large	Niveau intégrant les effets de la marée et de la surcote météorologique. Les niveaux extrêmes présentent des périodes de retour élevées
Niveau marin à la côte	Niveau marin à prendre en compte pour l'étude de l'aléa submersion marine. Il prend en compte l'ensemble des phénomènes influant sur le niveau et est déterminé à partir du niveau marin et des vagues. Il est appelé aussi niveau marin total. Les niveaux marins extrêmes sont les niveaux marins à la côte avec des périodes de retour élevés (>10 ans)

Niveau marin de référence	Niveau marin à la côte associé à l'événement de référence.
Ouvrage de protection côtier	Structure côtière construite et dimensionnée ayant pour objectif d'atténuer les impacts de phénomènes naturels sur un secteur géographique particulier appelé zone protégée. Il répond à une vocation initiale de fixation du trait de côte, de lutte contre l'érosion, de soutènement des terres, de réduction des franchissements, de dissipation de l'énergie de la houle ou d'obstacle à l'écoulement.
Palud	Mot de vieux français désignant un marais.
Période de retour	Cela correspond à la probabilité d'observer un évènement chaque année (ex : 1 chance sur 100 chaque année correspond à un évènement de période de retour centennale)
Placître	Terrain vague, souvent herbeux, délimité par une clôture, fréquemment un mur, entourant les chapelles, églises ou fontaines bretonnes.
Plage de poche	(Pocket beach en anglais). Le terme désigne une couverture sableuse peu épaisse (généralement moins de 5 mètres) recouvrant un socle rocheux aplani (avant l'Holocène) et située dans le fond d'une baie rocheuse et ouverte. Ce type de plage est fréquent en Bretagne.
Platier	Étendue rocheuse à l'affleurement sur l'estran.
Polder	Zone basse conquise sur la mer par endiguement.
Profil de plage	Topographie de la plage représentée dans un plan vertical orienté de la terre vers la mer.
Risque	Le risque résulte du croisement de l'aléa et d'un enjeu vulnérable. Pertes potentielles en personnes, biens, activités, éléments du patrimoine culturel ou environnemental (cf. Directive Inondation) consécutives à la survenue d'un aléa.
Ru	Petit ruisseau
Run-up	Altitude maximale atteinte par le jet de rive.
Rupture	Se dit d'un cordon dunaire ou d'un ouvrage de protection. La submersion par rupture a lieu lorsque l'ouvrage ou le cordon se rompt et laisse entrer l'eau de mer.
Scénario d'événements	Enchaînement d'événements naturels et technologiques, considéré à l'échelle du bassin de risque.
Seiche	Oscillation libre ayant le caractère d'une onde stationnaire de la surface d'un plan d'eau fermé ou semi-fermé (lac, bassin, baie), de période supérieure à la minute.
Set-up	cf. Surcote liée aux vagues.

Structure côtière de protection	Entité naturelle ou anthropisée ayant un impact sur le littoral en modifiant localement les phénomènes hydrauliques ou sédimentaires et jouant un rôle de protection face aux aléas littoraux.
Submersion	Inondation ou invasion par la mer. La submersion peut être causée par plusieurs phénomènes tels que la surverse, la rupture d'ouvrage, le franchissement par paquets de mer. Par convention, on emploiera de manière indifférenciée les termes inondation et submersion.
Subsidence	Affaissement progressif de l'écorce terrestre. En Bretagne, l'activité tectonique de la France est extrêmement réduite. Aussi aucune surcote liée à la subsidence ne sera prise en compte dans ce PPRNL.
Sur-aléa	Aggravation de l'aléa ou changement de sa nature dont l'origine est un événement naturel ou technologique qui n'est pas compris dans le scénario d'événements initial (Exemple de sur-aléa : inondation produite par la rupture d'ouvrage).
Surcote	Différence positive entre le niveau marégraphique observé/mesuré et le niveau de marée prédite.
Surcote liée aux vagues	Surcote locale provoquée par la dissipation d'énergie liée au déferlement des vagues.
Surcote météorologique	Surcote provoquée par le passage d'une dépression et prenant en compte les effets du vent, de la pression (surcote barométrique inverse) et des effets dynamiques liés au déplacement de l'onde de surcote.
Surverse	Submersion par débordement au-dessus du terrain naturel ou d'un ouvrage de protection. <i>Lorsqu'il n'existe pas de structure de protection contre la submersion marine, le terme de débordement peut être employé.</i>
Système de protection/défense	Système globalement cohérent du point de vue hydraulique pour la protection effective des populations situées dans la zone protégée. Il peut être constitué de plusieurs structures ou éléments de protection, pouvant être de différents types : un système de digues (c'est-à-dire des digues de premier et de second rang), des structures naturelles (cordons dunaires ou cordons de galets), des remblais, dont l'objectif premier ne serait pas la protection contre la submersion. Il peut être complété par d'autres protections comme les dispositifs de drainage, de stockage et d'évacuation des eaux et les ouvrages « maritimes » contribuant à leur maintien (type brise-lames, épis, etc.) éventuellement associés.
Terrigène	Qui provient de l'érosion des terres émergées.
Trait de côte	Défini, en matière de cartographie marine et terrestre, comme la ligne portée sur la carte séparant la terre et la mer. L'évolution de la position du trait de côte permet de rendre compte de la dynamique côtière. Différentes définitions, ou plutôt différents indicateurs de sa position, coexistent et peuvent être adoptées pour tenir compte de la diversité des morphologies du littoral.
Zone basse	Zone dont la topographie est située à une altitude inférieure à un niveau marin de référence.

Liste des figures

Figure 1 : Localisation des communes concernées du PPRNL 2	20
Figure 2 : Localisation des points ANEMOC sur le site du PPRNL2.....	25
Figure 3 : Houles extrêmes au point ANEMOC 0421 – PPRNL2	26
Figure 4 : Répartition des communes sur le PPRNL 2	28
Figure 5 : Niveaux extrêmes de pleines mers en Bretagne Sud – Période de retour de 100 ans (SHOM version 2008 et 2012)	30
Figure 6 : Correspondance et coefficients de corrélation (Rock Manual, CETMEF).....	32
Figure 7 : Evènements de période de retour centennale au large – PPRNL 2	35
Figure 8 : Croisement Houle / Niveau des différentes tempêtes recensées– PPRNL 2	45
Figure 9 : Emprise du modèle n°1	48
Figure 10 : Bathymétrie concaténée du modèle numérique n°1	49
Figure 11 : Emprise des maillages du modèle numérique n°1.....	50
Figure 12 : Séries chronologiques utilisées pour les cas de calage du modèle numérique n°1.....	52
Figure 13 : Exemple de résultat d'agitation – Modèle n°1.....	56
Figure 14 : Localisation des secteurs homogènes pour l'analyse des résultats du modèle SWAN – Modèle n°1.....	57
Figure 15 : Bilan des Hs max de houle pour les 12 cas d'évènements théoriques centennaux – Modèle n°1.....	58
Figure 16 : Exemple de résultat d'agitation – Modèle n°1.....	59
Figure 17 : Bilan des niveaux marins à la côte pour des évènements centennaux – Modèle n°1	62
Figure 18 : Bilan des niveaux marins à la côte pour les évènements tempétueux – Modèle n°1	62
Figure 19 : Localisation des estuaires – PPRNL 2.....	63
Figure 20 : Schéma de la prise en compte des niveaux marins en zone estuarienne	65
Figure 21 : Bilan des niveaux marins maximums (en m NGF) dans les estuaires pour les 4 évènements tempétueux – PPRNL 2.....	66
Figure 22 : Localisation des secteurs homogènes pour l'analyse des résultats du modèle SWAN – Modèles n°1 et 2.....	70
Figure 23 : modèle de cycles de marée construit pour l'évènement marin de référence sur le secteur S1 (Concarneau).....	70
Figure 24 : Illustration des vagues impulsives/non impulsives.....	73
Figure 25 : tableau de synthèse des calculs de franchissements sur chaque tronçon homogène exposé à la houle.....	74
Figure 26 : Démarche simplifiée de prise en compte des ouvrages	80
Figure 27 : Cartes présentant le recul moyen annuel historique du trait de côte « Tx »	85
Figure 28 : Cartes présentant le recul maximal du trait de côte lors d'une tempête « Lmax ».....	91
Figure 29 : Démarche pour le choix de l'évènement de référence (Source : PPRNL 2013).....	99
Figure 30 : Démarche pour la prise en compte des structures humaines.....	102
Figure 31 : Démarche simplifiée de prise en compte des cordons dunaires.....	103
Figure 32 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Concarneau (1/2).....	111
Figure 33 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux - Concarneau (1/2).....	112

Figure 34 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Concarneau (2/2)	115
Figure 35 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux - Concarneau (2/2)	116
Figure 36 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – La Forêt-Fouesnant.....	119
Figure 37 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux - La Forêt-Fouesnant	120
Figure 38 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Fouesnant – Cap Coz	122
Figure 39 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux - Fouesnant – Cap Coz	123
Figure 40 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Fouesnant – Moustierlin Est	126
Figure 41 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux - Fouesnant – Moustierlin Est	128
Figure 42 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Fouesnant – Moustierlin Ouest	132
Figure 43 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux – Fouesnant – Moustierlin Ouest	133
Figure 44 : carte de localisation des îles Glénans (source : http://fbouf.fr/fbglenan/glenan.htm)	136
Figure 45 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Bénodet.....	137
Figure 46 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux – Bénodet.....	138
Figure 47 : démarche simplifiée du choix de la méthode de caractérisation des aléas	144
Figure 49 : Possibilité de déplacement des personnes en fonction de la vitesse d'écoulement et de la hauteur d'eau (source ; guide méthodologique du PPRNL)	155
Figure 50 : qualification de l'aléa lorsque les vitesses ne sont pas définies via un modèle 2D (extrait du guide PPRNL – Mai 2014).....	155
Figure 51 : qualification de l'aléa lorsque les vitesses sont définies via un modèle 2D (extrait du guide PPRNL – Mai 2014)	156

Liste des tableaux

Tableau 1 : Résultats statistiques au point ANEMOC 0421 – PPRNL2.....	28
Tableau 2 : Bilan des houles les plus dommageables par commune	29
Tableau 3 : Bilan des niveaux marins extrêmes par commune – PPRNL 2.....	31
Tableau 4 : Tableau des corrélations pour les communes du PPRNL2.....	33
Tableau 5 : Caractéristiques océano-météorologiques des tempêtes de l'hiver 2013/2014	40
Tableau 6 : Bilan des tempêtes ayant causé le plus de dégâts – PPRNL1, 2 et 3	42
Tableau 7 : Tableau des cas de calage retenus pour le modèle numérique n°1	51
Tableau 8 : Tableau des résultats des cas de calage pour le modèle numérique n°1	52
Tableau 9 : Tableau des cas de calculs SWAN – Modèle numérique n°1	55
Tableau 10 : Liste des zones estuariennes	63
Tableau 11 : Evènements hydrodynamiques les plus forts pour chaque bassin de risque.....	67
Tableau 12 : Bilan de l'analyse de l'évolution future du trait de côte	95
Tableau 13 : Côte niveau marin référence pour chaque tronçon et correspondance avec le « secteur »	110

Préambule

Le Plan de Prévention des Risques littoraux a comme objectif global de sécuriser la gestion de l'urbanisation sur les zones littorales. Les aléas qui engendrent un risque potentiel sont l'aléa submersion et l'aléa érosion. Le PPRNL permet de définir l'emprise et les caractéristiques de ces aléas et par voie de conséquence, les adaptations à l'urbanisation nécessaires.

L'objet de cette seconde étape du PPRNL est la caractérisation et la qualification des aléas submersion marine et érosion.

Aléa de référence : *Enveloppe des aléas correspondant aux scénarios de référence. L'aléa de référence prend en compte des événements naturels. L'aléa de référence est utilisé pour établir le zonage réglementaire du PPR.*

Les nombreuses données de l'état des lieux réalisé en phase 1, tant quantitatives que qualitatives permettent d'asseoir les hypothèses qui vont être mises en œuvre dans cette seconde phase d'étude.

La méthodologie appliquée est issue du guide du PPRNL de mai 2014 réalisé par la Direction Générale de la Prévention des Risques - Service des Risques Naturels et Hydrauliques.

Cette seconde phase s'articule de la manière suivante :

- **La définition des événements marins à la côte via la mise en œuvre d'une modélisation des phénomènes maritimes.** Il s'agit ici de définir, parmi les événements théoriques de période de retour centennale et les événements historiques de période de retour à minima équivalente, quels sont les événements les plus pénalisants à la côte pour chaque secteur. Cette approche est déroulée dans les chapitres 3 et 4.
- Le chapitre 5 développe ensuite la **caractérisation et la qualification de l'aléa érosion**. La caractérisation de l'aléa recul du trait de côte repose sur la synthèse de l'évolution passée de côte déjà présentée dans le rapport de phase 1. Le second élément structurel pour caractériser l'aléa érosion repose sur la définition du recul maximum lors d'une tempête. Celui-ci a largement été alimenté par le retour d'expérience des différentes tempêtes et plus particulièrement des tempêtes de l'hiver 2013-2014 (cf. rapport de phase1). Aussi, ce chapitre vise à une caractérisation des ces 2 paramètres via les éléments de la phase 1, puis à sa qualification (l'aléa érosion correspond à un aléa fort).
- Enfin, le chapitre 6 a comme objectif la **caractérisation et la qualification de l'aléa submersion**. La caractérisation de cet aléa passe par trois étapes à savoir :
 - Le choix des scénarios de référence : *Ensemble des scénarios d'événements retenus à l'échelle du bassin de risque pour la détermination de l'aléa de référence.* L'état des lieux de la phase 1 est spécifiquement exploité pour définir les scénarios. Il s'agit de définir l'événement naturel de référence pour chaque tronçon côtier, ainsi que les hypothèses de défaillance pour chaque structure de protection.
 - La caractérisation de l'aléa avec notamment l'aspect modélisation hydraulique
 - La qualification de l'aléa définissant leur intensité (très fort, fort, modéré, faible).

Chapitre 1 - Introduction

1 Règlementation

La loi n°95-101 du 02 février 1995 relative au renforcement de la protection de la nature a institué les Plans de Prévention des Risques aux termes de son article 16-1 modifiant les articles 40-1 à 40-7 de la loi n°87-565 du 22 juillet 1987 relative à l'organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et à la prévention des risques majeurs, aujourd'hui codifiés aux articles L 562.1 à L 562.9 du Code de l'Environnement.

La Direction Générale de la Prévention des Risques du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement (MEDDTL/DGPR) a défini, dans le cadre de la circulaire du 27 juillet 2011, une doctrine nationale relative à la prise en compte de l'aléa submersion marine dans l'élaboration des plans de prévention des risques littoraux (PPRNL) et mis en place, début 2011, un comité technique destiné à assurer la révision du *Guide méthodologique Plans de Prévention des Risques Littoraux* (MATE/METL, 1997).

2 Contexte et objectif global des PPRN-L

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

Le littoral constitue une zone de forte fréquentation, les populations et activités s'y développent largement ce qui se traduit par une urbanisation intensive en zones vulnérables aux aléas liés à la mer.

L'élaboration des Plans de Prévention des Risques Littoraux (PPRNL) a pour objectifs de définir les principes relatifs à la prise en compte du risque de submersion marine et de gestion des espaces situés en arrière des ouvrages de protection. En finalité, ils permettront de :

- Délimiter les zones exposées directement ou indirectement aux risques,
- Définir des interdictions ou des prescriptions quant à leurs aménagements et aux activités qui y sont pratiquées,
- Définir les mesures de protection et de sauvegarde qui doivent y être prises, dans le but de protéger, et le cas échéant d'améliorer la sécurité relative à la protection de vies humaines.

3 Phasage

Le dossier technique de préparation du PPRNL comprend les phases suivantes :

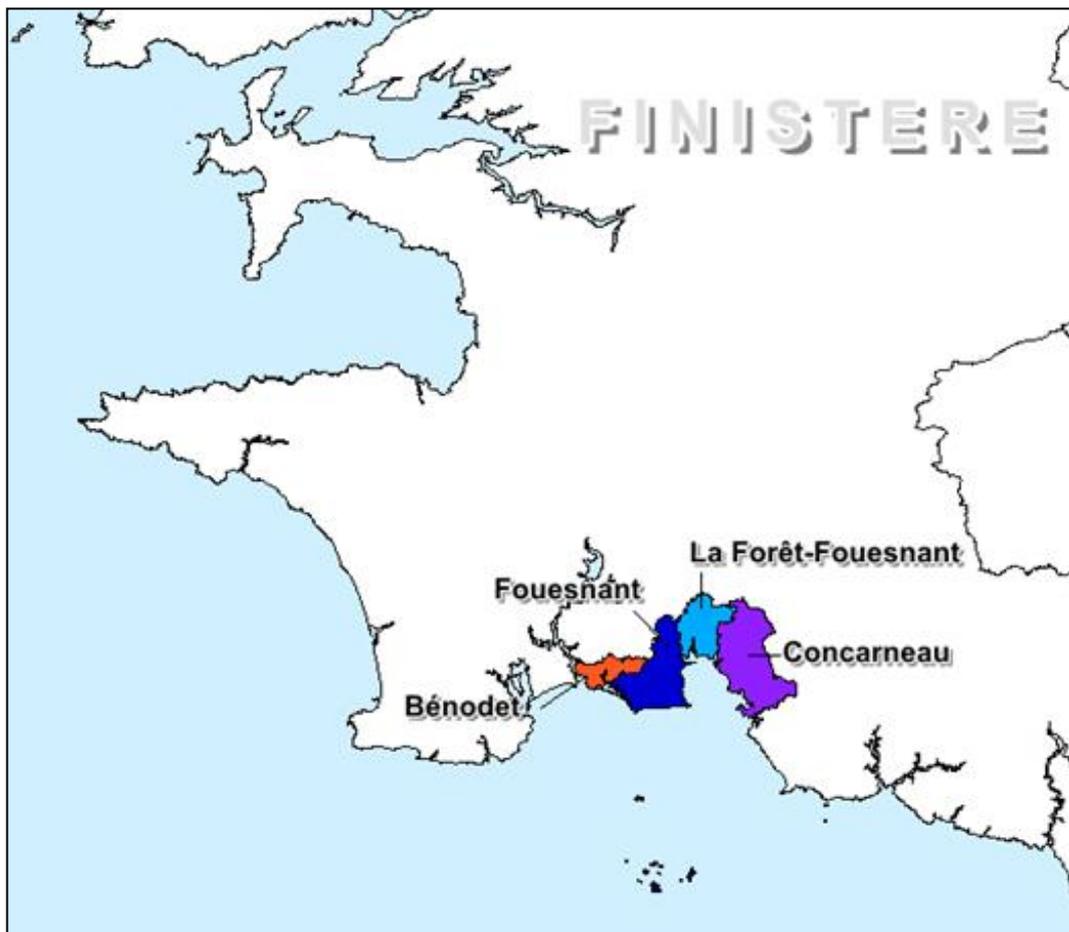
- **Phase 1** : L'analyse des sites. Elle permet de caractériser les phénomènes naturels présents sur le territoire de l'étude, l'historique des événements majeurs et leurs conséquences ainsi qu'une description du trait de côte.
- **Phase 2** : Caractérisation des aléas pour chaque site.
- **Phase 3** : Définition des enjeux.
- **Phase 4** : Cartographie des zonages réglementaires.

4 Objectif du présent rapport

Le présent rapport constitue la phase 2 du PPRN-L, c'est-à-dire la phase aléa PPRNL.

Les quatre communes concernées par le présent PPRN-L sont localisées sur la carte suivante. Il s'agit de Concarneau, la Forêt-Fouesnant, Fouesnant (y compris les Iles des Glénans) et Bénodet.

Figure 1 : Localisation des communes concernées du PPRNL 2



Chapitre 2 - Sources

1 Documents

Référence	Liste des documents
A – Documents liés au projet	
A0	Guide méthodologique des PPRNL - mai 2014 - Direction Générale de la Prévention des Risques - Service des Risques Naturels et Hydrauliques
A1	Etude géomorphologique du secteur littoral de Moustierlin-Ouest entre la pointe de Moustierlin et le cordon d'encrochements de Trégounour – Géomer LETG UMP 6554 CNRS, UBO pour la commune de Fouesnant – 2007
A2	Etude géomorphologique et propositions de défense contre l'érosion du secteur littoral de Moustierlin-Est, à l'Est des encrochements de Cleut-Rouz – Géomer LETG UMP 6554 CNRS, UBO pour la commune de Fouesnant – 2007
A3	Plan de Prévention des Risques Naturels Prévisibles Submersion marine – Commune de Fouesnant – DDE 29 pour la Préfecture 29 – 2000-2002
A4	Contrat Nature, Valorisation du marais et de la dune de Moustierlin – 2002-2003
A5	Révision du POS de la commune de Fouesnant – 1992
A6	Etude de définition des phénomènes d'inondations sur le secteur de Pen Ar Ster et étude de faisabilité en vue de l'amélioration de l'écoulement des eaux pluviales des bassins versants concernés – commune de la Forêt-Fouesnant – Egis Eau – 2010
A7	Bénodet d'hier et d'aujourd'hui – Michel Mélenec – 2005
A8	Anciens plans cadastraux – Commune de Concarneau – Fournis par les services des archives de la commune – 1808, 1845, 1847, 1901, 1960
A9	Plan de localisation des dégâts – Tempête des 22 et 23 novembre 1984 – Commune de Concarneau
A10	Documents et photographies relatifs aux dégâts causés par la tempête de 1987 sur la commune de Concarneau – Services des archives de la commune
A11	Documents et photographies relatifs aux tempêtes du 20 ^{ème} siècle sur la commune de Concarneau – Services des archives de la commune
A12	Photographies illustrant les évolutions dans l'aménagement du port et du littoral de Concarneau – Service des archives de la commune

B – Autres documents de référence	
B0	Aspects météo-marins de la tempête du 10 mars 2008 en Atlantique et en Manche – JM Cariolet, S. Costa, R. Caspar, F. Arduin, R. Magne, G. Goasguen - Norois, n° 215, 2010/2, p. 11-31
B1	ONERC (Observatoire National sur les effets du réchauffement Climatique) – Synthèse – Prise en compte de l'élévation du niveau de la mer en vue de l'estimation des impacts du changement climatique et des mesures d'adaptation possibles – Direction Générale de l'Energie et du Climat – Synthèse n°2 – Février 2010
B2	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 – NOR : DEVP1119962C – République Française, Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement.
B3	Laboratoire Central d'Hydraulique de France – Catalogue sédimentologique des côtes françaises – Côtes de la Manche et de l'Atlantique, de la Baie du Mont-Saint-Michel à la frontière espagnole – Secrétariat d'Etat à la Mer, Direction des Ports et de la Navigation Maritimes, Service Technique Central – 1987.
B4	Ouvrage « La gestion du trait de côte » - Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer – Editions Quae 2010.
B5	Bernard HALLEGOUET et Alain HENAFF, Maîtres de conférences à l'Université de Bretagne Occidentale – « Evolution récente et gestion des espaces littoraux de l'Ouest Cornouaille »
B6	Atlas des dégâts côtiers réalisé par l'UBO
B7	Monographie des tempêtes réalisée par l'UBO
B8	Statistique des niveaux marins extrêmes des côtes de France - Cartes des niveaux marins théoriques de pleines et basses mers pour les côtes françaises de la Manche et de l'Atlantique du SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) – version 2008 et 2012
C – Données disponibles	
C1	SHOM – Ouvrage de marée, Références altimétriques maritimes, Ports de France métropolitaine et d'outre-mer – Edition 2011

2 Sites internet

ADRESSE DU SITE	THÈME
www.refmar.shom.fr	Données de marégraphes
www.cocorisco.fr	Connaissance, compréhension et gestion des risques côtiers
www.sdap-finistere.culture.gouv.fr	Anciennes cartes postales
www.archives-finistere.fr	Cadastre napoléonien
www.geoportail.gouv.fr	Cartes historiques
http://anemoc.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/carte2/	Données de houles
www.windfinder.com	Données sur les vents

Chapitre 3 - Statistiques des houles et des niveaux marins

1 Statistiques des houles extrêmes au large

Les houles extrêmes ont été déterminées à l'aide de la méthode P.O.T. (Peak Over Threshold) ou méthode dite du renouvellement par seuil.

Les données de houle disponibles pour les analyses statistiques sont présentées ci-après.

Un des objectifs de l'étude maritime est de propager les houles du large à la côte. Nous avons effectué dans le rapport de phase 1 une analyse statistique du climat. Cette 2^{nde} phase a pour objectif de réaliser une analyse statistique des houles extrêmes au large au niveau des points ANEMOC et de définir quelles sont les houles du large les plus pénalisantes à la côte. Cette expertise prend en compte l'orientation des houles à la côte. Nous avons pris en compte uniquement des points de niveau 2 et 3, soit des statistiques de houle disponibles sur COAST 0281, COAST 2650, COAST 2632 et COAST 32678.

1.1 Données disponibles sur le PPRNL 2

Les données de houle utilisées pour notre étude proviennent de l'Atlas ANEMOC (Atlas Numérique des Etats de Mer Océaniques et Côtiers) issu d'une collaboration entre le CETMEF et EDF. Ces données résultent de simulations numériques de houle effectuées avec le logiciel TOMAWAC de la suite logicielle TELEMAC. Grâce à cette base de données, des séries temporelles de valeurs de houle en certains points de la façade Atlantique sont à notre disposition. Ces séries s'étendant sur une période de 23 ans et 8 mois (de Janvier 1979 à Août 2002) avec un pas de temps horaire permettent de réaliser des études statistiques. Elles fournissent entre autre les principales caractéristiques de la houle telles que la hauteur significative Hs, la période Tp, la direction et l'étalement directionnel.

La carte ci-après localise les différents points ANEMOC disponibles à proximité des côtes littorales du PPRNL2.

Dans le cadre de notre étude, les points ANEMOC suivants de niveau 1 ont été retenus pour représenter les données de houle au large :

- Le point ANEMOC n°0421,
- Le point ANEMOC n°2409,
- Le point ANEMOC n°3899.

Le premier point servira de données d'entrée au modèle tandis que les deux derniers, plus proche de la côte, seront utilisés pour le calage du modèle afin de vérifier la pertinence des résultats obtenus numériquement.

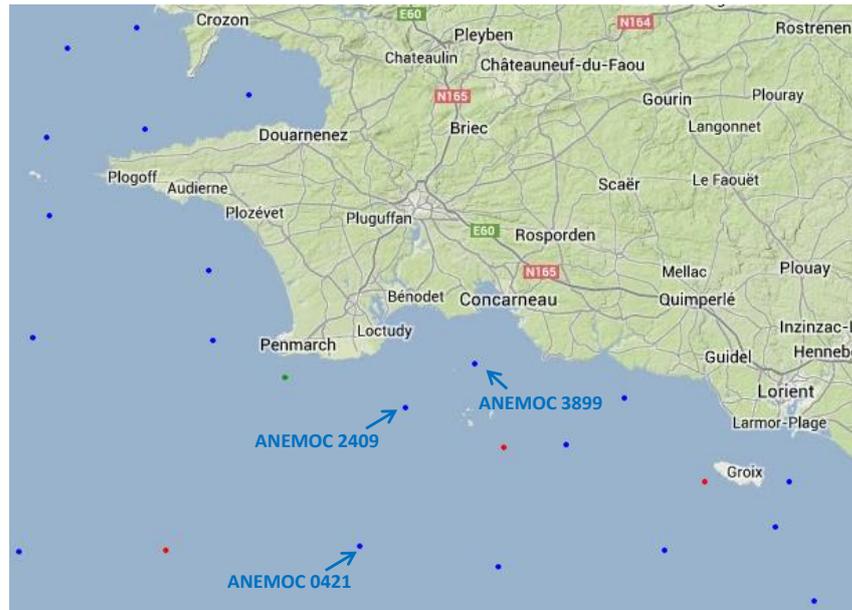


Figure 2 : Localisation des points ANEMOC sur le site du PPRNL2

1.2 Houles extrêmes

Les houles extrêmes sont déterminées à partir des séries chronologiques des points ANEMOC à l'aide de la méthode de renouvellement par seuil aussi appelée méthode POT (Peak Over Threshold). L'analyse de ces houles s'effectuera au point ANEMOC le plus au large correspondant au point en entrée du modèle numérique construit ci-après.

Les houles extrêmes permettront de définir les événements de période de retour centennale servant à caractériser les aléas submersions du PPRNL.

Une fois la méthode POT appliquée, les données de tempêtes retenues sont approchées à l'aide de la loi de Distribution Généralisée de Pareto qui est ensuite utilisée pour déterminer les quantiles de 5, 10, 50 et 100 ans. Les seuils de tempêtes retenus ont été déterminés par l'opérateur afin d'obtenir le meilleur ajustement possible (utilisation des lois statistiques exponentielles, Pareto et Gumbel).

Des tests d'individualisation de tempête ont également été réalisés en suivant le principe suivant : deux tempêtes sont distinctes à partir du moment où la hauteur de houle H_s retenue a diminué de moitié avant une seconde tempête.

L'indépendance entre les événements est donnée par une durée d'au moins 3 jours entre chaque pic retenu. Enfin, les intervalles de confiance représentés sur les graphiques sont de 90%.

1.2.1 Détermination des houles extrêmes par secteur directionnel

Dans le cadre de l'étude de l'aléa submersion, les directions de houle les plus défavorables en termes d'agitation doivent être définies. Pour ce faire, une analyse des houles extrêmes pour toutes directions et pour six secteurs directionnels (N120°-N180°, N180°-N210°, N210°-N240°, N240°-N270°, N270°-N300° et N300°-N330°) a été effectuée au point ANEMOC situé le plus au large (i.e. situé en entrée du modèle numérique de propagation des houles (cf. Chapitre 4 -3.2)).

Les résultats de l'analyse sont présentés et schématisés sur le graphique et la figure ci-après.

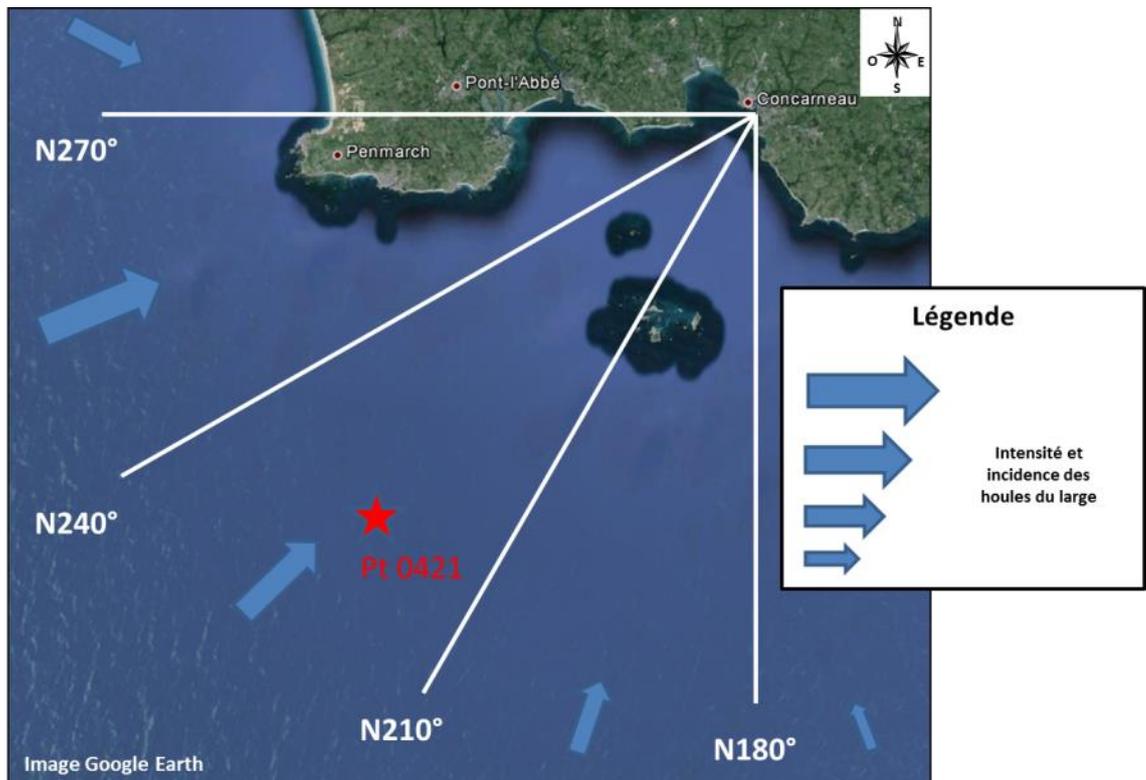
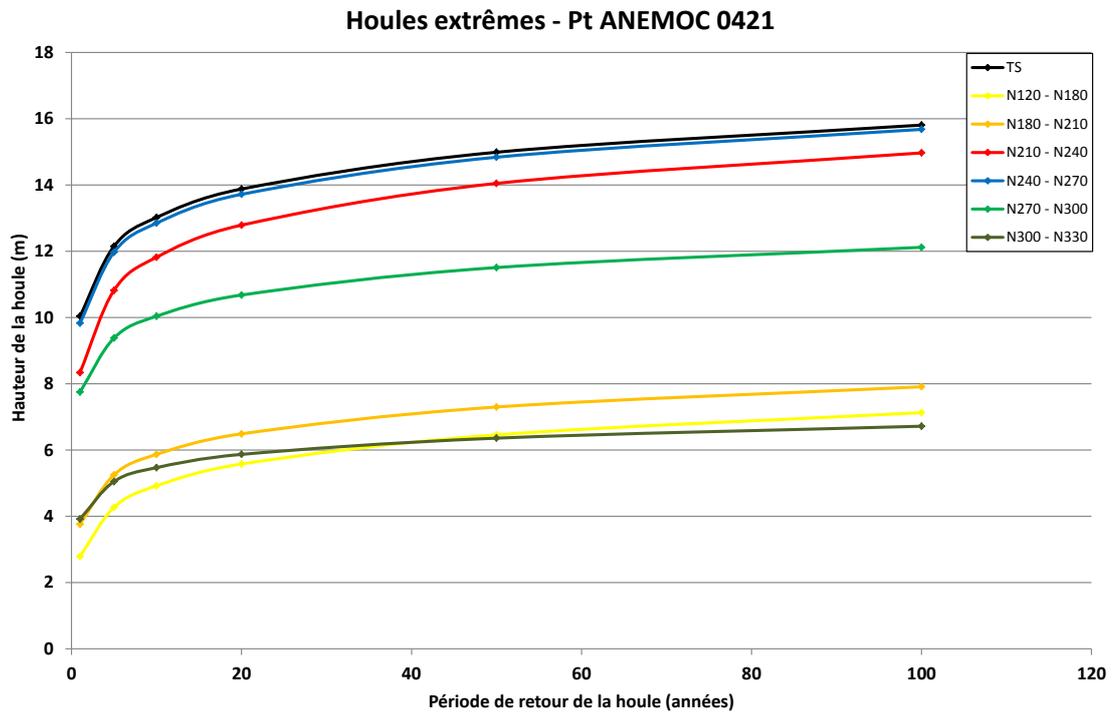


Figure 3 : Houles extrêmes au point ANEMOC 0421 – PPRNL2

Cette analyse nous permet de mettre en évidence les secteurs directionnels de houles les plus défavorables pour le site d'étude du PPRNL2.

On remarque que les houles les plus fortes au large sont (dans un ordre décroissant d'agitation) :

- N240°-N270°,
- N210°-N240°,
- N270°-N300°.

L'analyse des houles extrêmes réalisée sur l'ensemble de l'échantillon des données de houle, que nous appelons ici « Tous Secteurs ou TS », donne des résultats similaires à l'analyse des houles extrêmes sur le secteur N240°-N270°.

On constate sur les statistiques au large par direction que les houles de Sud à Sud-Est sont relativement faibles par rapport aux autres secteurs et apportent moins d'agitation devant le littoral d'étude.

Dans l'optique de déterminer l'aléa submersion à la côte, nous étudierons les secteurs directionnels de houle susceptibles de générer le plus d'agitation sur le littoral.

Dans le cadre du PPRNL2, les deux incidences de houle les plus défavorables sont N240°-N270° et N210°-N240°.

1.2.2 Houles extrêmes considérées dans le cadre du PPRNL

Nous rappelons que les houles extrêmes sont déterminées à partir des séries chronologiques des points ANEMOC à l'aide de la méthode de renouvellement par seuil aussi appelée méthode POT (Peak Over Treshold).

Les périodes associées sont issues de corrélogrammes Hs/Tp réalisés pour chaque secteur angulaire considéré. La période associée pour chaque houle de période de retour est celle qui présente l'occurrence la plus importante.

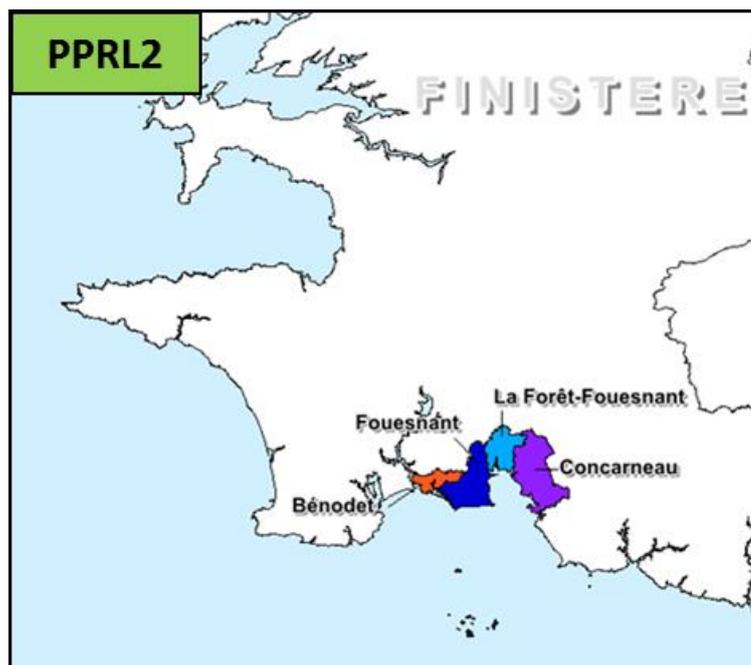
Les résultats statistiques PPRNL, obtenus en suivant cette méthodologie sont présentés ci-après. Dans le tableau ci-après sont présentés, en plus des caractéristiques des houles extrêmes (Hs et Tp pour les périodes de retour 1 an, 5 ans, 10 ans, 50 ans et 100 ans), les valeurs de seuil considérées et le nombre moyen de tempêtes résultantes observées par an sur la période 1979-2003.

Tableau 1 : Résultats statistiques au point ANEMOC 0421 – PPRNL2**Point 0421 : résultats statistiques**

Secteur		Période de retour	Hs (m)	Tp (s)	Seuil	Nombre de tempêtes par an considérées
SW	[N210° - N240° [1 an	8,3	14	5 m	5,6
		5 ans	10,8	16		
		10 ans	11,8	17		
		50 ans	14,1	18		
		100 ans	15,0	18		
WSW	[N240° - N270° [1 an	9,8	15	7 m	6,1
		5 ans	12,0	17		
		10 ans	12,9	17		
		50 ans	14,8	18		
		100 ans	15,7	18		

1.3 Choix des houles à modéliser dans le cadre de l'étude**1.3.1 De Concarneau à Bénodet**

Nous rappelons sur la figure ci-après les communes considérées par le PPRNL 2 et leur localisation :

**Figure 4 : Répartition des communes sur le PPRNL 2**

Le littoral d'étude du PPRNL 2 s'étend de Concarneau à Bénodet. C'est un littoral ouvert sur la façade Sud à Sud-Ouest de l'Océan Atlantique. Les houles les plus pénalisantes par rapport à leurs incidences sur ce site sont les houles de secteur Sud à Sud-Ouest (N210°-N240°).

Une grande partie du littoral est partiellement protégée des houles de secteur Sud à Sud-Est par l'archipel des Glénan et par le grand nombre de hauts fonds présents sur le site.

De plus, statistiquement, on constate que les houles de Sud à Sud-Est sont relativement faibles par rapport aux autres secteurs et apportent moins d'agitation devant le littoral d'étude (cf. Chapitre 3 -1.2.1). De plus, la propagation de ces houles est contrainte à cause d'un fetch limité. Ces houles ne sont pas prédominantes pour notre étude et ne seront pas prises en compte dans les modélisations.

Les houles d'Ouest à Nord-Ouest atteignent ce littoral orienté Sud de manière atténuée par diffraction sur la Pointe de Penmarc'h et par réfraction sur les fonds. Les houles à la côte de cette provenance sont plus faibles que les houles de Sud à Sud-Ouest.

Ainsi, la direction des houles choisie pour la modélisation pour les communes du PPRNL 2 est Sud à Sud-Ouest (N210°-N240°).

1.3.2 Bilan

Le tableau suivant dresse un bilan des houles les plus dommageables considérées sur les communes du PPRNL 2.

Tableau 2 : Bilan des houles les plus dommageables par commune

Commune	PPRL	Direction de la houle la plus défavorable	Point ANEMOC de référence	N° du modèle numérique construit
Concarneau	2	S à SW (N210°-N240°)	421	Modèle 1
La Forêt-Fouesnant	2	S à SW (N210°-N240°)	421	Modèle 1
Fouesnant	2	S à SW (N210°-N240°)	421	Modèle 1
Combrit	2	S à SW (N210°-N240°)	421	Modèle 1

2 Etude des niveaux marins théoriques

Définition : Niveau intégrant les effets de la marée et de la surcote météorologique, mais pas le set-up.

L'objectif de cette phase est de définir les niveaux marins de différentes périodes de retour. Les niveaux extrêmes sont ceux qui présentent des périodes de retour élevées.

Les niveaux marins ont été déterminés en utilisant les cartes de niveaux marins extrêmes de pleines et basses mers pour les côtes françaises de la Manche et de l'Atlantique du SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) en 2008 et 2012 à différentes périodes de retour (10, 20, 50 et 100 ans). Les résultats obtenus sont issus d'une méthode statistique s'appuyant sur l'estimation des distributions statistiques des surcotes à

partir de séries d'observations disponibles (observations de marées dans les ports de référence tels que Brest et Concarneau et dans les autres ports dits secondaires).

Concernant les valeurs de niveaux marins, des variations ont été décelées entre les versions 2008 et 2012. Dans ces cas-là, la note méthodologique du CETMEF (Note méthodologique relative au produit « *Statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France* » Edition 2012) a été appliquée. Il a donc été retenu pour les ports secondaires, en présence de variations, « la valeur maximum entre le niveau marin proposé dans le produit de 2008 et celui du produit 2012 » afin d'être le plus sécuritaire.

La détermination des niveaux extrêmes s'est faite par lecture des cartes établies par le SHOM pour des périodes de retour de 10, 20, 50 et 100 ans (exemple cf. Figure 5).

Dans le cadre de ce PPRNL, les cartes servant de référence sont celles de la Bretagne Sud.

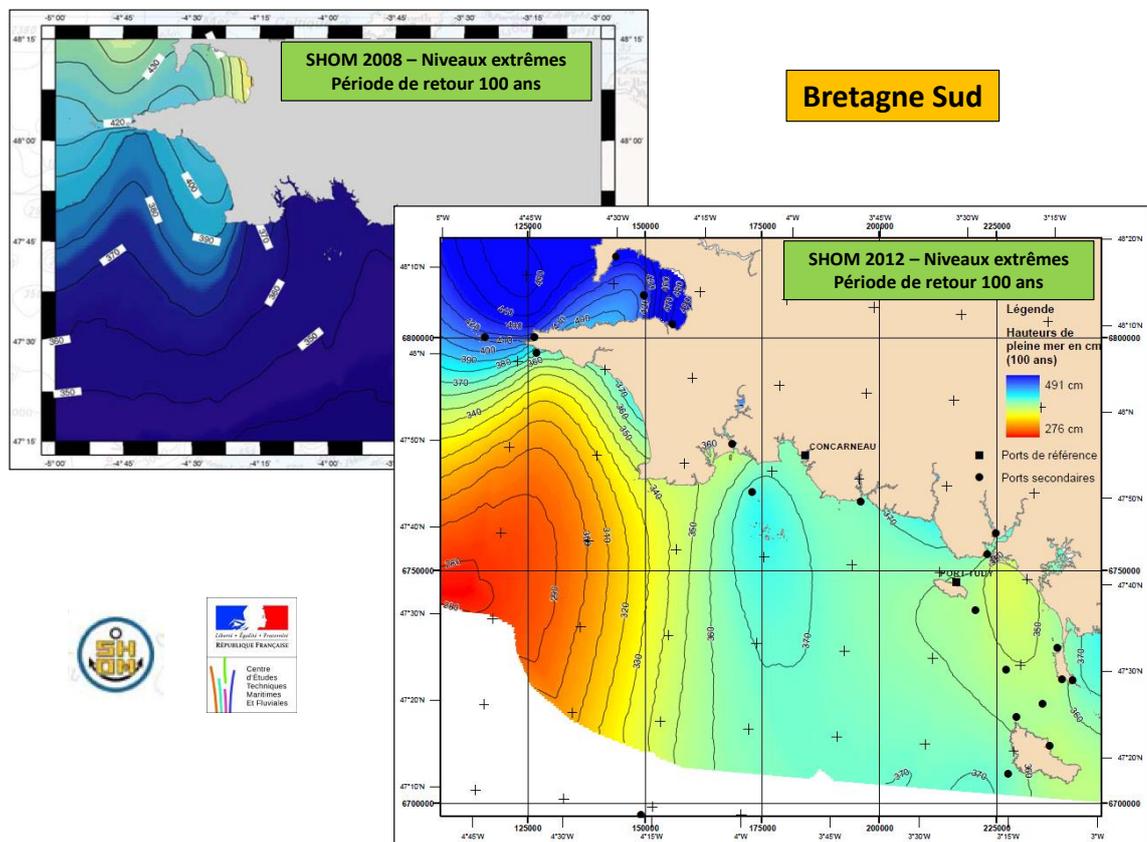


Figure 5 : Niveaux extrêmes de pleines mers en Bretagne Sud – Période de retour de 100 ans (SHOM version 2008 et 2012)

Pour l'extrapolation linéaire des niveaux marins extrêmes pour les périodes de retour intermédiaires à celle fournies par le SHOM et pour la queue de l'interpolation, la méthode suivante a été retenue :

A la lecture des cartes fournies par le SHOM, les niveaux marins ont été définis par bassin de risque pour différentes périodes de retour disponibles (10, 20, 50 et 100 ans) (cf. glossaire). L'affichage des cotes est cependant réalisé par commune à ce stade de la présentation pour faciliter la compréhension.

Ensuite, une interpolation logarithmique a été réalisée à partir des 4 valeurs définies ci-avant. Ainsi, les valeurs de niveaux marins caractéristiques ont pu être définies pour les périodes de retour intermédiaires et inférieures.

Le tableau ci-après présente pour chaque commune du PPRNL 2 les niveaux marins extrêmes :

Tr du niveau d'eau (ans)	Communes				
	Concarneau	La Forêt-Fouesnant	Fouesnant	Iles de Glénan (Fouesnant)	Bénodet
	Niveau d'eau (en mIGN)				
0.02	2.80	2.88	2.88	2.98	2.67
0.05	2.90	2.96	2.96	3.06	2.77
0.1	2.96	3.03	3.03	3.13	2.86
0.2	3.03	3.09	3.09	3.19	2.93
0.5	3.12	3.17	3.17	3.27	3.03
1	3.18	3.24	3.24	3.34	3.11
2	3.25	3.30	3.30	3.40	3.19
5	3.34	3.38	3.38	3.48	3.28
10	3.41	3.45	3.45	3.55	3.35
20	3.48	3.50	3.50	3.60	3.45
50	3.56	3.60	3.60	3.70	3.55
100	3.63	3.65	3.65	3.75	3.60

Tableau 3 : Bilan des niveaux marins extrêmes par commune – PPRNL 2

3 Corrélation entre houle extrême au large et niveaux marins théoriques

Les périodes de retour des houles extrêmes ainsi que les niveaux marins ont été jusqu'à présent étudiés de manière indépendante. Afin d'établir la chronique de l'évènement centennal et la chronique de l'évènement le plus fort, ces données vont être combinées en appliquant la méthode de CIRIA (cf. Rock Manual, CETMEF).

Cette analyse, présentée à l'échelle de la commune pour une lecture plus aisée, fournit une grille définissant 12 évènements de période de retour centennale (combinaison de différentes périodes de retour de houle et de niveau marin). La définition du niveau marin référence à la côte est présentée, ultérieurement, dans le chapitre 6 - 1.2.

3.1 Présentation de la méthode de CIRIA

Cette méthode prend en compte le degré de corrélation entre les deux variables (période de retour de la houle et période de retour des niveaux marins). Quatre catégories de corrélation

sont définies : « aucune corrélation », « faiblement corrélés », « corrélés » et « fortement corrélés ».

On associe un coefficient de corrélation à ces différentes catégories.

Dans la catégorie « aucune corrélation », les houles et les niveaux marins sont totalement indépendants et on affecte à cette catégorie un coefficient de corrélation égal à 2.

Le facteur de corrélation de 20 correspond à la catégorie « faiblement corrélés ». C'est une configuration où la dépendance est modeste. Ce coefficient est utilisé partout où l'on peut s'attendre à une certaine corrélation, même si l'on ne dispose pas de preuve particulière de celle-ci.

Le facteur de corrélation de 100 correspond à la catégorie « corrélés ». Dans ce cas-là on considère qu'il y a une bonne corrélation entre les deux variables. C'est le cas où des vents forts, se déplaçant le long d'une zone où la mer se rétrécit, produisent à la fois des surcotes et une forte houle.

Le coefficient de 500 correspond à la catégorie « fortement corrélés ». Il est adapté dans les zones où l'on peut s'attendre à une forte corrélation entre les surcotes et la hauteur de la houle et où la marée astronomique est faible.

Ces coefficients de corrélation permettent d'établir une correspondance entre les périodes de retour de la houle et les périodes de retour des niveaux marins. Cette correspondance est présentée dans le tableau ci-dessous.

Période de retour du niveau des eaux (en années)	Période de retour de la hauteur de la houle (années) pour chaque facteur de corrélation donné ci-dessous			
	2	20	100	500
0.02	14	100	–	–
0.05	6	57	–	–
0.1	2.8	28	100	–
0.2	1.4	14	71	–
0.5	0.6	6	28	100
1	0.28	2.8	14	71
2	0.14	1.4	7	35
5	0.06	0.6	2.8	14
10	0.03	0.28	1.4	7
20	–	0.14	0.7	4
50	–	0.06	0.28	1.4

Figure 6 : Correspondance et coefficients de corrélation (Rock Manual, CETMEF)

3.2 Choix du coefficient de corrélation

Sur l'ensemble du littoral de la Bretagne Sud, les niveaux marins extrêmes ne sont pas totalement indépendants de la hauteur de houle au large. L'origine, ou le facteur aggravant commun, de ces deux phénomènes étant souvent un évènement de tempête assez localisé.

Cependant, il est possible que l'influence d'une houle formée très loin de la zone d'étude puisse arriver sans aucune conjonction avec une surcote. De plus, les niveaux liés à la marée sont

complètement déterministes et indépendants des conditions de tempête. C'est pour cela que la catégorie de corrélation choisie est « faiblement corrélée » dans le secteur d'étude.

On choisira donc un coefficient de corrélation C=20¹.

En effet, les autres coefficients possibles que sont C=100 et 500 apportent une corrélation trop importante qui ne correspond pas à la situation en Bretagne où le niveau marin est faiblement corrélé à la hauteur des houles.

Le coefficient C=2 indiquant aucune corrélation est, à l'inverse, trop faible car il existe tout de même une corrélation avec les houles de tempêtes qui engendrent des surcotes influant sur le niveau marin.

3.3 Résultats obtenus

Les résultats obtenus de la combinaison : niveaux extrêmes / houle au large **pour une période de retour de 100 ans** sont présentés par commune dans les tableaux ci-après.

Tableau 4 : Tableau des corrélations pour les communes du PPRNL2

Tableau des corrélations de Concarneau			
Période de retour de la hauteur d'eau (ans)	Niveau d'eau (m IGN)	Période de retour de la houle (ans)	Hs (m)
0.02	2.80	100	14.97
0.05	2.90	57	14.15
0.1	2.96	28	13.20
0.2	3.03	14	12.20
0.5	3.12	6	11.00
1	3.18	2.8	9.90
2	3.25	1.4	8.80
5	3.34	0.6	7.50
10	3.41	0.28	6.50
20	3.48	0.14	5.50
50	3.56	0.06	4.40
100	3.63	0.03	3.20

Concarneau : Houles au large : [N210°-N240°]

¹ Ce coefficient de corrélation a également été retenu dans le cadre des 2 études suivantes : « Etude de l'aléa submersion marine sur le site de la grande plage de Gâvres (DHI, 2007) et « Détermination de l'aléa submersion marine – Ploemeur/Sarzeau » (EGIS Eau, 2012).

Tableau des corrélations de La Forêt Fouesnant			
Période de retour de la hauteur d'eau (ans)	Niveau d'eau (m IGN)	Période de retour de la houle (ans)	Hs (m)
0.02	2.88	100	14.97
0.05	2.96	57	14.15
0.1	3.03	28	13.20
0.2	3.09	14	12.20
0.5	3.17	6	11.00
1	3.24	2.8	9.90
2	3.30	1.4	8.80
5	3.38	0.6	7.50
10	3.45	0.28	6.50
20	3.50	0.14	5.50
50	3.60	0.06	4.40
100	3.65	0.03	3.20

La Forêt-Fouesnant : Houles au large : [N210°-N240°]

Tableau des corrélations de Fouesnant			
Période de retour de la hauteur d'eau (ans)	Niveau d'eau (m IGN)	Période de retour de la houle (ans)	Hs (m)
0.02	2.88	100	14.97
0.05	2.96	57	14.15
0.1	3.03	28	13.20
0.2	3.09	14	12.20
0.5	3.17	6	11.00
1	3.24	2.8	9.90
2	3.30	1.4	8.80
5	3.38	0.6	7.50
10	3.45	0.28	6.50
20	3.50	0.14	5.50
50	3.60	0.06	4.40
100	3.65	0.03	3.20

Fouesnant : Houles au large : [N210°-N240°]

Tableau des corrélations de Fouesnant (Iles de Glénan)			
Période de retour de la hauteur d'eau (ans)	Niveau d'eau (m IGN)	Période de retour de la houle (ans)	Hs (m)
0.02	2.98	100	14.97
0.05	3.06	57	14.15
0.1	3.13	28	13.20
0.2	3.19	14	12.20
0.5	3.27	6	11.00
1	3.34	2.8	9.90
2	3.4	1.4	8.80
5	3.48	0.6	7.50
10	3.55	0.28	6.50
20	3.6	0.14	5.50
50	3.7	0.06	4.40
100	3.75	0.03	3.20

Fouesnant (Iles de Glénan) : Houles au large : [N210°-N240°]

Tableau des corrélations de Bénodet			
Période de retour de la hauteur d'eau (ans)	Niveau d'eau (m IGN)	Période de retour de la houle (ans)	Hs (m)
0.02	2.67	100	14.97
0.05	2.77	57	14.15
0.1	2.86	28	13.20
0.2	2.93	14	12.20
0.5	3.03	6	11.00
1	3.11	2.8	9.90
2	3.19	1.4	8.80
5	3.28	0.6	7.50
10	3.35	0.28	6.50
20	3.45	0.14	5.50
50	3.55	0.06	4.40
100	3.60	0.03	3.20

Bénodet : Houles au large : [N210°-N240°]

Les résultats obtenus de la combinaison : niveaux extrêmes / houle au large pour une période de retour de 100 ans sous forme de graphique sont présentés ci-après.

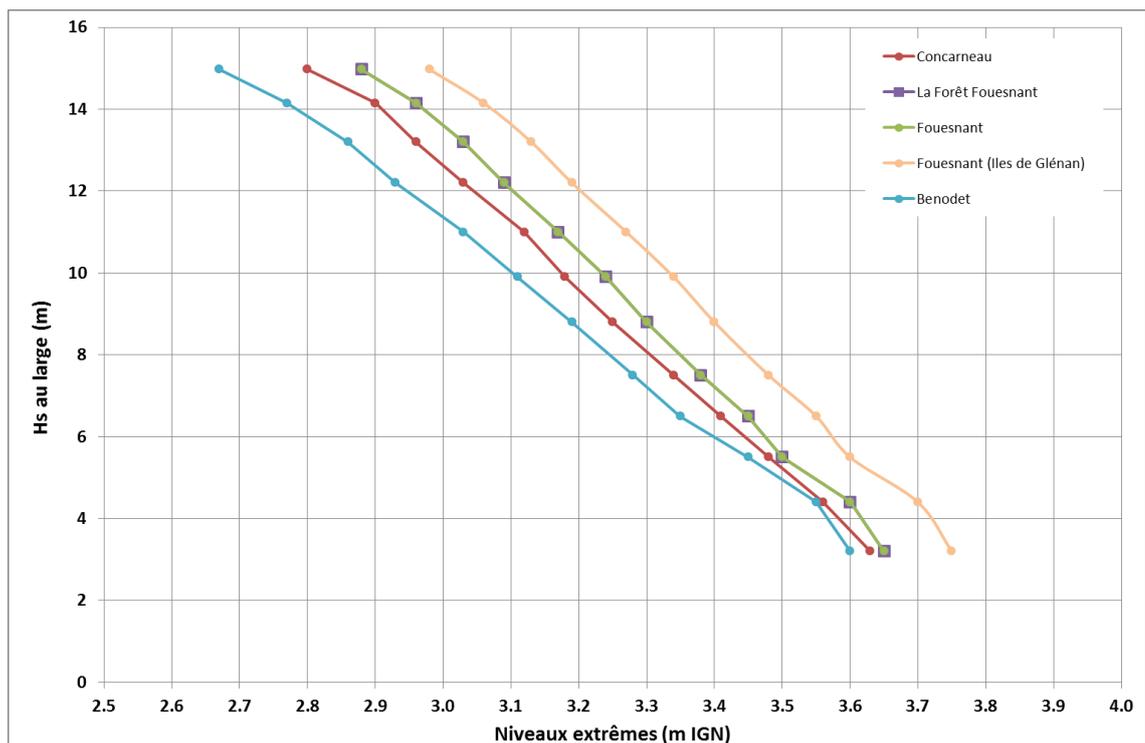


Figure 7 : Evènements de période de retour centennale au large – PPRNL 2

En comparant les niveaux marins de toutes les communes concernées par le PPRNL, on constate que ceux de la commune de La Forêt Fouesnant présentés précédemment (identiques aux résultats de la commune de Fouesnant) sont les plus élevés de la zone d'étude.

Pour la suite de l'étude, les niveaux marins de La Forêt Fouesnant seront donc sélectionnés pour déterminer les cas de calculs des modélisations.

Chapitre 4 - Définition des évènements à la côte

1 Méthodologie

L'événement naturel de référence est l'événement historique majeur s'il est supérieur à un événement **de période de retour 100 ans**. Par défaut, c'est l'évènement théorique de période de retour 100 ans. Il est caractérisé par deux paramètres au minimum, le niveau d'eau et la hauteur significative des vagues. Ces paramètres sont définis au large mais leur caractérisation à la côte est nécessaire, notamment pour le niveau marin.

L'évènement peut-être impactant :

- **car il génère le niveau marin le plus important à la côte**
- **car il génère les volumes franchissants les plus importants**

Cette analyse a donc été réalisée en plusieurs étapes :

■ **Détermination des évènements incidents:**

- a. Définition des évènements historiques considérés et de leurs caractéristiques au large
- b. Définition des évènements historiques ayant eu les incidences les plus marquées à la côte
- c. Comparaison, au large, de la période de retour de ces tempêtes historiques par rapport à des tempêtes théoriques de période de retour centennale et d'orientation de houle N240°-N270° et N210°-N240° (cf. chapitre 4 - 2.3)
- d. Détermination des tempêtes historiques les plus fortes à la côte et ayant une période de retour au large, égale ou supérieure à 100 ans.

■ **Propagation des houles du large à la côte pour les évènements incidents retenus :**

- a. une fois les évènements les plus impactant définis, il s'agit de réaliser une modélisation des houles depuis le large vers la côte pour définir le set-up pour chacun de ces évènements en chaque point de la côte.
- b. Sont modélisés les évènements historiques retenus et les 12 évènements théoriques de période de retour centennale (cf. chapitre 4 - 3)

- c. Le niveau marin à la côte est ainsi défini par ajout du niveau marin historique ou théorique au large et des valeurs suivantes : set-up, incertitudes (+25 cm) et changement climatique (+ 20 cm)
- d. Une comparaison de ces niveaux marins sur chaque secteur homogène de la côte permet de définir l'évènement générant les niveaux les plus importants.

A l'issue de cette analyse, il sera défini pour chaque secteur homogène de la côte, l'évènement générant le niveau marin le plus important.

■ **Calculs des franchissements :**

Pour déterminer si l'évènement référence est celui générant le niveau marin le plus important ou celui générant les volumes franchissants les plus importants, il est nécessaire dans une dernière étape de définir les volumes franchis sur chaque tronçon de littoral et ce pour chaque évènement retenu dans l'analyse.

Une fois cette dernière étape réalisée, tous les éléments sont à disposition pour définir l'évènement référence pour chaque bassin de risque (cf. chapitre 6 - 1)

2 Détermination des événements incidents

2.1 Évènements historiques considérés

Sur notre zone d'étude, les événements historiques des 15 dernières années ont été répertoriés.

Les tempêtes les plus importantes ayant affecté le littoral breton sont :

- La tempête du 10 Janvier 2001,
- La tempête du 28 octobre 2004,
- La tempête du 10 Mars 2008,
- Les tempêtes successives de l'hiver 2013-2014.

Compte tenu du manque d'informations et des archives incomplètes relatives aux tempêtes de 2001 et de 2004, il a été retenu d'étudier plus en détail les événements historiques suivants : la tempête du 10 Mars 2008² et les tempêtes successives de l'hiver 2013/2014.

² Cette tempête a également été retenue comme événement historique dans le cadre de l'étude du PPRL « Détermination de l'aléa submersion marine – Ploemeur/Sarzeau » (EGIS Eau, 2012).

Les caractéristiques de chacune des tempêtes sont issue de :

- Données de vent :
 - . Prévisions de vents moyens issus des modèles de WINDGURU (www.windguru.cz)
 - a. Relevés de vents maximums en rafales issus de données Météo-France
- Données de houle :
 - . Mesures de houle à la bouée n°02911 des « Pierres Noires » appartenant au CEREMA. Ces données ont été fournies de 10/2005 jusqu'au 06/03/2014. D'après le CEREMA, les données disponibles jusqu'au 12/02/2014 sont des données qui ont été vérifiées et validées par le CEREMA. Par contre, les données disponibles du 13/02 au 06/03/2014 sont des données « temps réel brut » qui n'ont pas été vérifiées et qui ne sont donc pas validées. Ces dernières sont fournies à titre indicatives pour représenter les tempêtes sur cette période mais les valeurs mesurées ne peuvent pas être considérées valides sans contrôle des données par le CEREMA.
- Données de marée :
 - . Prévision des marées astronomiques au port de Concarneau,
 - a. Mesures marégraphiques au port de Concarneau (prise en compte de la surcote) sur l'hiver 2013/2014 jusqu'au 06/03/2014.

NB : Les observations du marégraphe de Concarneau sont la propriété du SHOM, du Conseil Général du Finistère et de la CCI Quimper Cornouaille et sont mises à disposition sur le site des Réseaux de référence des observations marégraphiques (refmar.shom.fr).

Les caractéristiques précises des tempêtes de 2008 et de l'hiver 2013/2014 ne sont pas détaillées dans le rapport de phase 2. Elles sont présentées dans le rapport de phase 1 du PPRNL29.

Les caractéristiques de **l'évènement historique du 10 mars 2008** retenues pour l'étude du PPRNL sont :

- Houle Hauteur (Hs) = 7,0 m,
- période (Tp) = 11,5 s,
- direction = N240°
- Niveau marin = +3.58 m NGF.

Les tableaux ci-après présentent les caractéristiques océano-météo pour chacune des **19 tempêtes de l'hiver 2013-2014**. Parmi les 19 tempêtes recensées, nous avons retenu les six tempêtes suivantes comme étant les tempêtes les plus remarquables :

- Dirk : du 23 au 25 décembre 2013,
- Anne : du 03 au 04 janvier 2014,
- Christina : du 05 au 07 janvier 2014,
- Nadja : du 31 janvier au 02 février 2014,
- Petra : du 04 au 05 février 2014,
- Ulla : du 14 au 15 février 2014.

Tableau 5 : Caractéristiques océano-météorologiques des tempêtes de l'hiver 2013/2014

		Vent					Houle						Marée					
Tempêtes		Prévisions WINDGURU (www.windguru.cz) à Penmarc'h		Relevés Météo-France			Données mesurées à la bouée "Pierres Noires" 02911						Prévision au port de Concarneau (http://maree.info/93)			Mesures au marégraphe de Concarneau		
N°	Noms	Période de vent moyen > 40 km/h	Durée (h)	Heure du pic de vent à Quimper	Rafales maximales (km/h)	Vent moyen max relevé à Quimper (km/h)	Hm0 > 6 m	Durée (h)	Pic de houle	Hm0 (m)	Tp (s)	Dir (°N)	Marée Coefficient	PM (m IGN)	Heure de PM	Correspondance Houle max/Marée	Surcote à la PM (m) (REFMAR)	PM (m CM)
1	Bernd	18/12 13h au 19/12 01h	12h	18/12 20h	Camaret 133 km/h Pointe du Raz 122 km/h Quimper 93 km/h	60 km/h	19/12 02h30 à 5h30 et 19/12 14h à 17h30	6h30	19/12 2h30	6.47	13	265	80	2.42	19/12 5h27	PM-3h		4.95
2	Christian	21/12 01h à 16h	15h	21/12 14h	Quimper 70 km/h	43 km/h	21/12 02h à 07h et 21/12 15h30 à 20h30 et 22/12 04h à 07h	13h	21/12 19h	6.75	18	280	73	2.27	21/12 18h56	PM		4.80
3	Dirk	23/12 07h au 24/12 04h	21h	23/12 22h	Pointe du Raz 144 km/h Pointe de Penmarc'h 119 km/h Beg Meil 127 km/h Quimper 114 km/h Camaret 106 km/h	69 km/h	23/12 12h au 25/12 01h	37h	24/12 00h	9.70	14	240	58	1.72	23/12 20H12	PM+4h		4.25
4	Erich	26/12 22h au 27/12 04h	6h	27/12 05h	Pointe du Raz 94 km/h Pointe de Penmarc'h 94 km/h Quimper 70 km/h	43 km/h	27/12 10h à 16h	6h	27/12 10h	6.66	13	275	43	1.57	27/12 11h39	PM-1h30		4.10
5	Felix	30/12 01h à 10h	9h	30/12 10h	Camaret 141 km/h Pointe du Raz 122 km/h Quimper 93 km/h	43 km/h	30/12 08h à 13h30	5h30	30/12 12h	6.62	13	260	70	2.22	30/12 14h56	PM-3h		4.75
6	Gerhard	01/01 07h au 02/01 01h	18h	01/01 14h	Quimper 98 km/h	44 km/h	31/12 22h30 au 01/01 04h30 et 01/01 10h à 17h30	13h30	01/01 14h	7.93	13	270	100	2.77	01/01 16h37	PM-2h30		5.30
7	Anne	03/01 07h au 04/01 04h	21h	04/01 03h	Camaret 125 km/h Pointe du Raz 108 km/h Quimper 93 km/h	52 km/h	03/01 12h au 04/01 07h	19h	03/01 16h	9.06	14	270	108	2.77	03/01 18h12	PM-2h	0.15	5.30
8	Christina	05/01 16h au 07/01 10h	42h	06/01 01h	Camaret 113 km/h Pointe du Raz 104 km/h Quimper 89 km/h	46 km/h	06/01 03h30 au 07/01 11h	31h30	06/01 16h30	10.96	22	265	82	2.12	06/01 20h34	PM-4h		4.65

		Vent				Houle						Marée						
Tempêtes		Prévisions WINDGURU (www.windguru.cz) à Penmarc'h		Relevés Météo-France		Données mesurées à la bouée "Pierres Noires" 02911						Prévision au port de Concarneau (http://maree.info/93)				Mesures au marégraphe de Concarneau		
N°	Noms	Période de vent moyen > 40 km/h	Durée (h)	Heure du pic de vent à Quimper	Rafales maximales (km/h)	Vent moyen max relevé à Quimper (km/h)	Hm0 > 6 m	Durée (h)	Pic de houle	Hm0 (m)	Tp (s)	Dir (°N)	Marée Coefficient	PM (m IGN)	Heure de PM	Correspondance Houle max/Marée	Surcote à la PM (m) (REFMAR)	PM (m CM)
9	Lilly	26/01 13h au 27/01 13h	24h	26/01 15h	Camaret 123 km/h Pointe du Raz 112 km/h Pointe de Penmarc'h 101 km/h Quimper 80 km/h	43 km/h	26/01 17h30 au 28/01 05h	35h30	27/01 03h	7.59	16	285	57	1.72	27/01 01h07	PM+2h		4.25
10	Nadja	31/01 13h au 01/02 19h	30h	01/02 14h	Camaret 107 km/h Quimper 72 km/h	35 km/h	01/02 06h à 08h et 01/02 14h à 22h et 02/02 02h à 09h	17h30	01/02 17h30	9.50	18	285	114	2.87	01/02 17h57	PM-0h30	0.15	5.40
11	Petra	04/02 13h au 05/02 22h	33h	05/02 10h	Camaret 156 km/h Pointe du Raz 137 km/h Pointe de Penmarc'h 133 km/h Beg Meil 120 km/h Quimper 104 km/h	56 km/h	04/02 23h30 au 05/02 23h30	24h	05/02 07h30	12.87	17	255 à 265	79	2.27	05/02 08h23	PM-1h		4.80
12	Qumaira	06/02 07h au 07/02 07h	24h	07/02 02h	Camaret 122 km/h Pointe du Raz 112 km/h Pointe de Penmarc'h 104 km/h Quimper 87 km/h	48 km/h	07/02 00h à 11h (Hm0 > 5 m) Pas de Hm0 > 6 m	11h	07/02 8h30	5.58	14	250	55	1.52	07/02 10h10	PM-1h30		4.05
13	Ruth	07/02 19h au 09/02 07h	36h	09/02 06h	Camaret 144 km/h Pointe du Raz 133 km/h Pointe de Penmarc'h 112 km/h Quimper 109 km/h Beg Meil 106 km/h	46 km/h	07/02 23h30 au 09/02 15h	39h30	08/02 12h	10.10	18	270	38	1.32	08/02 11h29	PM+0h30		3.85
14	Stéphanie	10/02 13h à 16h	3h	10/02 17h	Quimper 70 km/h	43 km/h	10/02 13h à 15h30	2h30	10/02 15h	6.49	13	280	45	1.47	10/02 14h09	PM+1h		4.00
15	Tini I	12/02 04h à 22h	18h	12/02 14h	Camaret 144 km/h Pointe du Raz 122 km/h Pointe de Penmarc'h 112 km/h	46 km/h	12/02 11h à 21h30	10h30	12/02 15h	7.52	13	265	65	1.87	12/02 15h36	PM		4.40
16	Tini II	13/02 04h à 16h	12h	13/02 14h	Beg Meil 107 km/h Quimper 94 km/h	33 km/h	12/02 22h au 13/02 04h	6h	13/02 2h30	7.12	13	285	70	2.12	13/02 03h50	PM-1h		4.65
17	Ulla	14/02 04h au 15/02 16h	36h	14/02 18h	Camaret 179 km/h Pointe de Penmarc'h 122 km/h Quimper 114 km/h Beg Meil 118 km/h Camaret 149 km/h	65 km/h	14/02 13h au 15/02 17h30	28h30	14/02 19h30	12.52	15	240	81	2.22	14/02 16h42	PM-3h	0.65	4.75
18	Andrea	28/02 00h à 20h	20h	28/02 11h	Pointe du Raz 142 km/h Pointe de Penmarc'h 122 km/h Quimper 109 km/h Beg Meil 102 km/h Camaret 148 km/h	65 km/h	28/02 05h à 17h	12h	28/02 07h	7.42	12	285	95	2.72	28/02 3h44	PM-3h30		5.25
19	Christine	02/03 19h au 03/03 22h	27h	03/03 17h	Pointe du Raz 127 km/h Pointe de Penmarc'h 108 km/h Quimper 94 km/h	50 km/h	03/03 05h à 21h30	16h30	03/03 16h	8.82	15	270	112	2.82	03/03 18h15	PM-2h		5.35

2.2 Focus sur les tempêtes dommageables à l'échelle des bassins de risque hiver 2013-2014

Nous avons réalisé dans le cadre de la phase 1 des « fiches tempêtes » pour chacun des bassins de risque. Ces fiches tempêtes retracent tous les événements identifiés lors de l'analyse bibliographique. La précision de l'historique et des cartes bilan est fonction de la qualité des documents historiques disponibles, notamment pour les événements anciens.

Concernant les événements antérieurs à 2013, il a été acté que c'est l'événement du 10 mars 2008 qui est l'événement prépondérant pour l'ensemble des bassins de risque.

Par contre, concernant la succession des tempêtes de l'hiver 2013/2014, chaque bassin de risque n'a pas forcément été concerné par les mêmes tempêtes.

Le tableau suivant dresse le bilan des tempêtes ayant causé le plus de dégâts (en termes de franchissements et d'érosion) pour chacun des bassins de risque. L'analyse des dégâts par commune a été réalisée dans le cadre de la phase 1.

Communes PPRL 2	Tempêtes les plus dommageables
Concarneau	Anne et Christina du 3 au 6 janvier,
La Forêt-Fouesnant	Anne et Christina du 3 au 6 janvier, Petra du 4 au 5 février 2014
Fouesnant	Anne et Christina du 3 au 6 janvier, Petra du 4 au 5 février 2014
Bénodet	Anne et Christina du 3 au 6 janvier,

Communes PPRL 1	Tempêtes les plus dommageables
Combrit	Anne du 3 au 4 janvier, Nadja du 31 janvier au 1er février
Ile-Tudy	le 1er janvier, Anne et Christina du 3 au 6 janvier, Petra du 4 au 5 février 2014
Pont-l'Abbé	Commune peu touchée
Loctudy	Anne et Christina du 3 au 6 janvier, Petra du 4 au 5 février 2014
Plobannalec-Lesconil	Commune peu touchée
Treffiatag-Lechiagat	Anne et Christina du 3 au 6 janvier
Le Guilvinec	Anne et Christina du 3 au 6 janvier, Petra du 4 au 5 février 2014, Ulla du 14 au 15 février 2014
Penmarc'h	Anne et Christina du 3 au 6 janvier, Petra du 4 au 5 février 2014

Communes PPRL 3	Tempêtes les plus dommageables
Camaret-sur-Mer	Dirk du 23 au 24 décembre 2013, Anne et Christina du 3 au 7 janvier 2014, Nadja du 31 janvier au 1er février 2014, Petra du 4 au 5 février 2014.

Tableau 6 : Bilan des tempêtes ayant causé le plus de dégâts – PPRNL1, 2 et 3

D'après le tableau ci-avant, les tempêtes qui reviennent le plus souvent en termes de dégâts et d'intensité sont chronologiquement :

- Dirk du 23 au 24 décembre 2013,
- Anne et Christina du 3 au 6 janvier 2014,
- Nadja du 31 janvier au 1 février 2014,
- Petra du 4 au 5 février 2014,
- Ulla du 14 au 15 février 2014.

Dirk s'est révélée être moins intense que les autres tempêtes. Cependant, c'est elle qui a marqué les esprits car elle était la première tempête majeure de la série.

Anne est souvent associée avec Christina car ces deux tempêtes se sont succédées rapidement. Anne s'est démarquée avec une houle importante mais sans excès par rapport aux 5 autres tempêtes décrites ci-avant ($H_s=9,06$ m) mais associée à une marée de coefficient 108 proche de la pleine-mer. Anne a été plus préjudiciable que Christina en termes de conditions océano-météorologiques.

Petra est la tempête après Anne qui a engendré le plus de dégâts que ce soit en termes d'érosion ou de franchissements. Petra s'est démarquée avec une houle très importante ($H_s=12,87$ m) à PM-1h d'une marée de coefficient 79.

Nadja et Ulla sont les deux autres tempêtes remarquables de cet hiver 2013/2014.

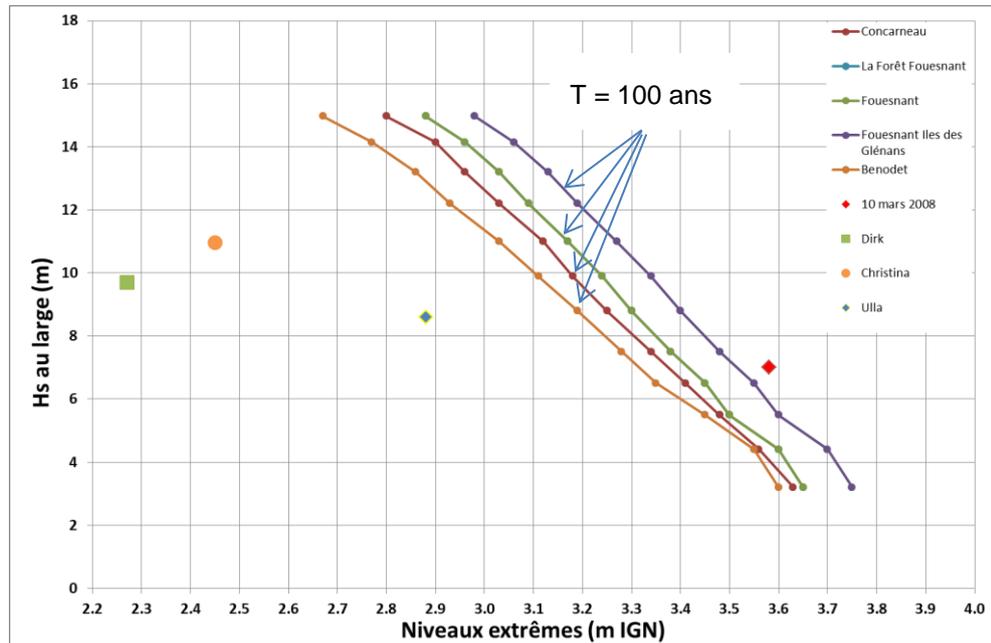
Nadja est la tempête qui a engendré le plus haut niveau marin (+2,87 mNGF) car elle s'est produit en même temps que la pleine mer de coefficient 114.

Ulla est une tempête avec une forte houle ($H_s=12,52$ m) mais les données de houle sont manquantes lors du pic de la tempête à cause d'une interruption du houlographe. Notons, que lors de Ulla, le niveau marin atteint n'était pas exceptionnel (+2,22 mNGF).

2.3 Comparaisons des périodes de retour et choix des tempêtes incidentes à retenir

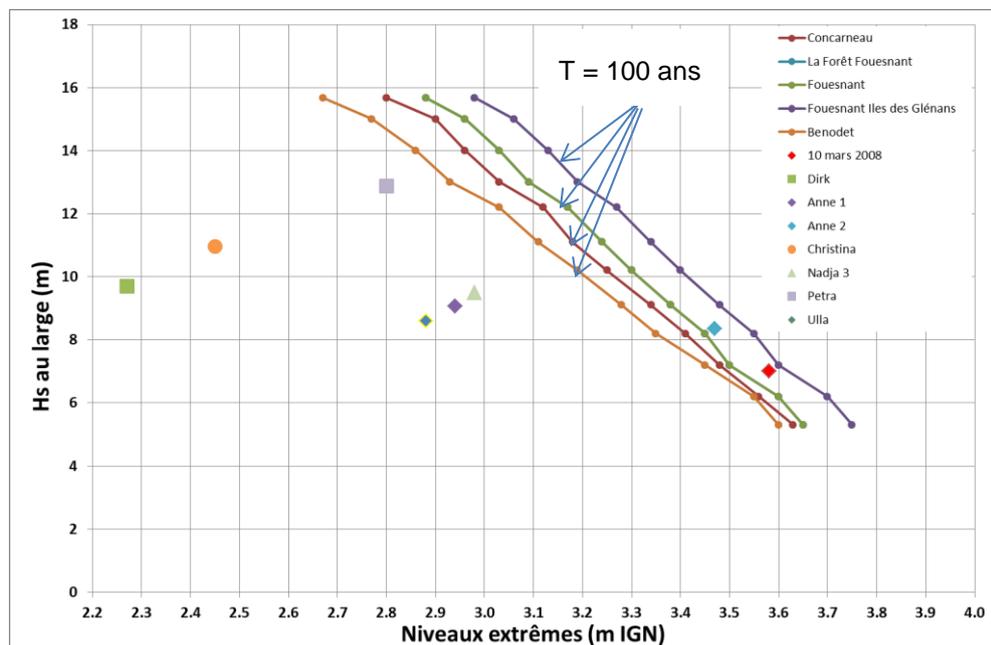
Les graphiques suivants présentent l'occurrence de la tempête du 10 mars 2008 et des tempêtes successives de l'hiver 2013/2014 ayant engendrées de forts dégâts sur le littoral du PPRNL par rapport aux événements centennaux déterminés par analyse statistique (cf. Chapitre 3 -3).

NB : Les houles sont les houles au large et les niveaux marins sont ceux à la côte sans prise en compte du wave setup et du réchauffement climatique.



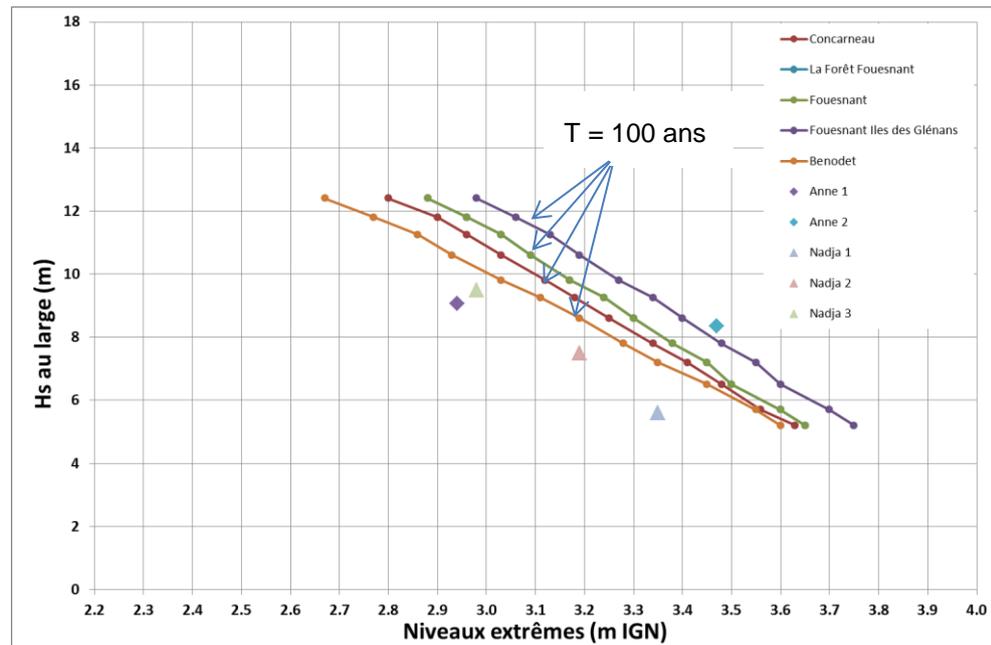
Houles au large : [N210°-N240°]

10 mars 2008 : N240° (>100 ans) Dirk : N240° Christina : N240° Ulla : N240°



Houles au large : [N240°-N270°]

10 mars 2008 : N240° (>100 ans) Dirk : N240° Christina : N240° Ulla : N240°
 Anne 1 et 2 : N270° (Anne 2 >100 ans) Petra : N260° Nadja 1 : N270°



Houles au large : [N270°-N300°]

Nadja 1 : N270° et Nadja 2 et 3 : N280° Anne 1 et 2 : N270° (Anne 2 >100 ans)

Figure 8 : Croisement Houle / Niveau des différentes tempêtes recensées – PPRNL 2

Pour certaines tempêtes comme pour Nadja (1 à 3) et Anne (1 à 2), il y a plusieurs couples houles/niveaux marins car dans ces cas-là les tempêtes ont duré sur plusieurs cycles de pleines mers.

Nous avons intégré à cette analyse la tempête Dirk du 23 au 24/12/2013 car, même si finalement elle s'est révélée être moins intense que les autres tempêtes, c'est elle qui a marqué les esprits car elle était la première tempête majeure de la série.

On constate, **au large**, que :

- Anne 2 et la tempête du 10 mars 2008 ont une période de retour supérieure à 100 ans,
- Nadja et Petra sont à la limite d'être centennales,
- Ulla est plus faible mais il manque des données de houle (interruption),
- Dirk et Christina sont inférieures à un évènement centennal.

Cette analyse nous permet d'identifier 4 tempêtes (avec des directions différentes) de période de retour proche ou supérieure à 100 ans (au large). Elles vont être modélisées pour pouvoir les caractériser à la côte:

- 10 mars 2008,
- Anne 2,
- Nadja 3,
- Petra.

De manière globale, sur le littoral du PPRNL 2, 4 tempêtes ont été retenues au large, et seront modélisées dans le chapitre suivant pour déterminer l'évènement de référence en fonction de chaque bassin de risque.

NB1 : Comparaison des houles théoriques et des houles historiques

En toute rigueur, il aurait été préférable de comparer les données de houle des événements centennaux statistiques et les données de houle des événements historiques passés aux mêmes points, or c'est impossible pour la raison suivante :

Pour déterminer les événements centennaux statistiques, il est nécessaire de disposer de données sur le plus long terme possible afin que les valeurs de houles pour les plus grands périodes de retour soient cohérentes. Les données ANEMOC sont disponibles sur environ 24 ans (1979-2002) et les données CANDHIS aux Pierres Noires sur environ 9 ans (2005-2014) avec des coupures au milieu.

Ainsi, il a été convenu dans la phase 1 et en accord avec les directives du guide PPRNL d'utiliser les données ANEMOC pour l'analyse statistique et extrême des houles au large. Pour l'analyse des événements historiques passés de 2008 et de l'hiver 2013/2014, nous ne disposons que des mesures de houle à la bouée CANDHIS Pierres Noires.

Ainsi, Il est seulement possible de comparer les événements centennaux statistiques (ANEMOC) avec les événements historiques passés (CANDHIS – Pierres Noires).

Ces incertitudes sont minorées du fait que les deux bases de données se situent au large sans obstacle en amont avec une profondeur de 60 m pour CANDHIS et de 95 m pour ANEMOC 0421, ce qui signifie que la houle n'a encore que très peu déferlée et qu'une comparaison peut être réalisée.

3 Propagation des houles du large à la côte

3.1 Présentation du modèle

Le modèle numérique utilisé a permis de propager les houles du large à la côte et de déterminer les variables qui nous intéressent dans le cadre d'un PPRNL, la hauteur significative et le setup entres autres.

Cette propagation de la houle a été réalisée avec le modèle SWAN2D (Simulating WAve in the Nearshore) développé par DELFT. C'est un modèle spectral dit de troisième génération permettant d'obtenir des estimations réalistes des paramètres de vagues en régions côtières à partir d'un forçage donné de vent et de houle et d'une bathymétrie. Il est fondé sur la résolution d'une équation d'évolution de la densité spectrale d'action discrétisée sur plusieurs variables (x, y, direction, fréquence).

SWAN2D est un outil permettant de représenter un grand nombre de phénomènes tels que :

- la réfraction,
- la diffraction,
- le déferlement,

- le shoaling,
- le setup.

Les phénomènes de moutonnement, de dissipation par déferlement, de génération de vagues par le vent et de frottement sur le fond sont aussi pris en compte lors de la propagation de la houle.

Grâce à cet outil, il est possible d'obtenir, en pied des structures, la hauteur des houles et le setup. La connaissance de ces paramètres permettra par la suite de déterminer les débits de franchissements par-dessus les structures sur les bassins de risques concernés par cet aléa.

3.2 Le modèle et son emprise

Trois modèles ont été réalisés pour l'ensemble du secteur d'étude du PPRNL 29 :

- Modèle n°1 : modèle pour les houles incidentes de Sud-Ouest (N225°) sur le littoral de Penmarc'h à Concarneau (PPRNL 1 et 2),
- Modèle n°2 : modèle pour les houles incidentes d'Ouest (N270°) sur le littoral de Penmarc'h à Concarneau (PPRNL 1 et 2),
- Modèle n°3 : modèle pour les houles incidentes d'Ouest (N270°) sur le littoral de Camaret-sur-Mer (PPRNL 3).

Le modèle n°1 (propagation des houles de Sud-Ouest) a été mis en œuvre pour le PPRNL 2 car les houles incidentes des modèles proviennent des secteurs Sud-Ouest et Ouest.

3.2.1 Emprise du modèle n°1

Le modèle n°1 possède une emprise d'environ 60 x 45 km présentée sur la figure ci-après.

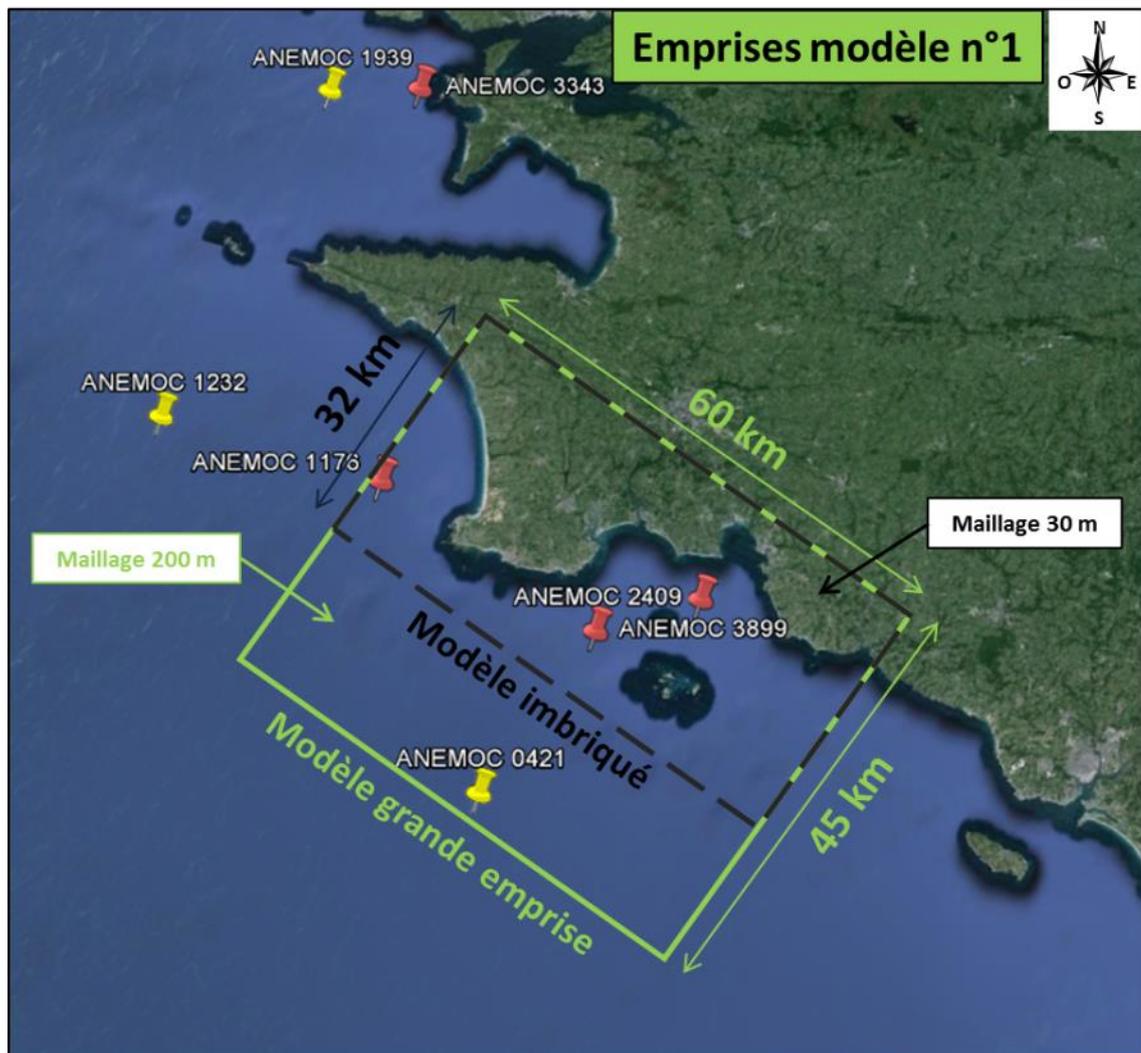


Figure 9 : Emprise du modèle n°1

A l'Est, la frontière du modèle s'appuie sur le méridien passant par le port Manec'h tandis qu'à l'Ouest, la frontière du modèle s'appuie sur le méridien de longitude 4°30 faisant en sorte que la pointe de Penmarc'h soit contenue dans l'emprise.

Au large (en frontière Sud), les îles de Glénan sont englobées et le modèle s'appuie sur le parallèle passant par le point ANEMOC 0421.

Cette emprise permet :

- de représenter avec précision la propagation des houles d'incidence Sud-Ouest à l'approche des côtes bretonnes,
- d'avoir le point de houle ANEMOC 0421 en limite Sud du modèle, les conditions d'entrée des cas simulés provenant de cette base de données.

Le point ANEMOC 0421 situé au large et servant de données d'entrées au modèle est représenté par une balise jaune.

Les balises rouges sont les autres points ANEMOC utilisés pour notre étude et servant pour le calage du modèle (cf. Chapitre 4 -3.2.4).

3.2.2 Bathymétrie du modèle n°1

Les données bathymétriques disponibles sur la zone d'étude et utilisées pour la construction du modèle numérique sont :

- la carte marine du SHOM n° 7067 intitulée « De la Chaussée de Sein à Belle Ile » – Echelle 1 : 161000.
- Le levé topo-bathy LIDAR de mars 2012.

La figure ci-après présente la bathymétrie concaténée utilisée dans le modèle numérique.

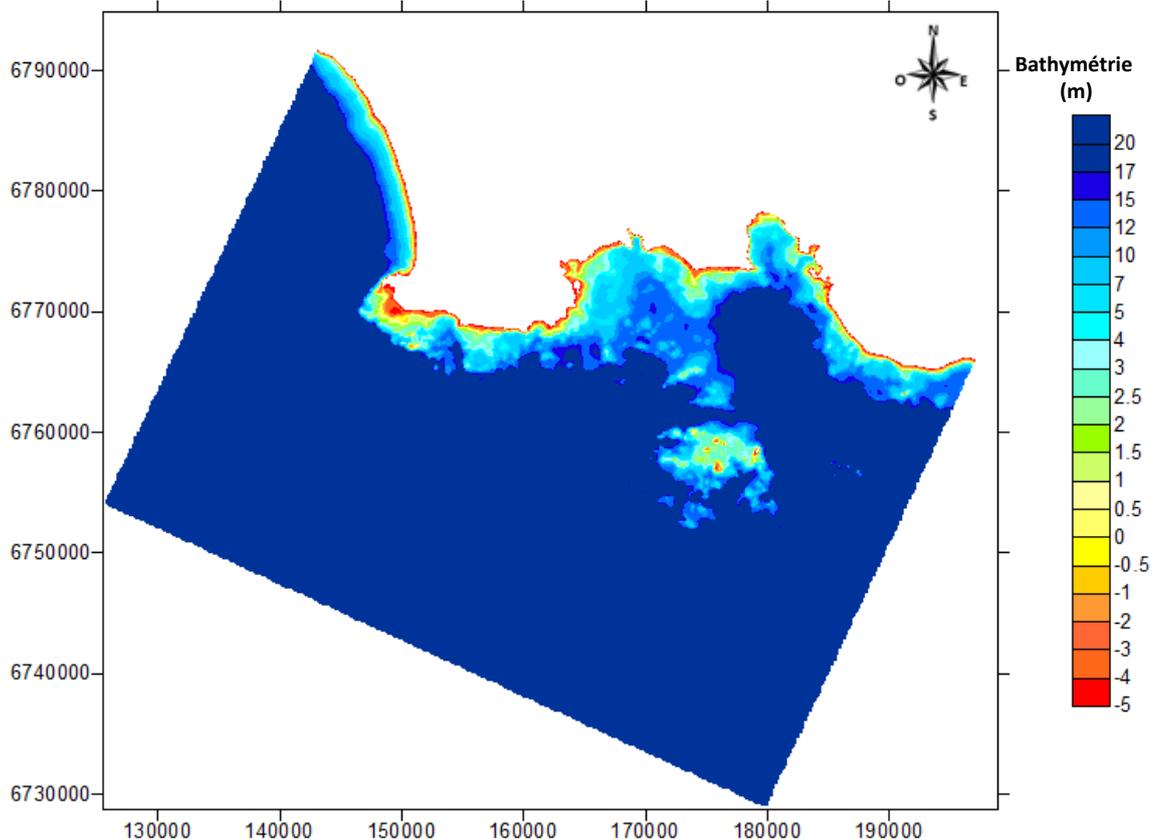


Figure 10 : Bathymétrie concaténée du modèle numérique n°1

3.2.3 Maillage du modèle n°1

Dans le cadre de l'étude, les dimensions spatiales conséquentes nous ont obligés à utiliser un maillage imbriqué afin d'atteindre un degré de résolution approprié pour le calcul.

Une résolution de 200 m a été choisie pour le maillage de grande emprise et une résolution plus fine de 30 m pour le maillage de petite emprise (ou maillage imbriqué).

Principe du maillage imbriqué : A partir d'une première simulation sur un maillage large forcé par des paramètres renseignés par l'utilisateur, le modèle peut exporter une grille de forçage pour renseigner les conditions de bords d'un maillage beaucoup plus fin. Ce processus permet de raffiner une zone d'intérêt sans pour autant impacter significativement le temps de calcul. On obtient ainsi un maillage localement plus fin et une modélisation plus précise au niveau de la zone d'étude.

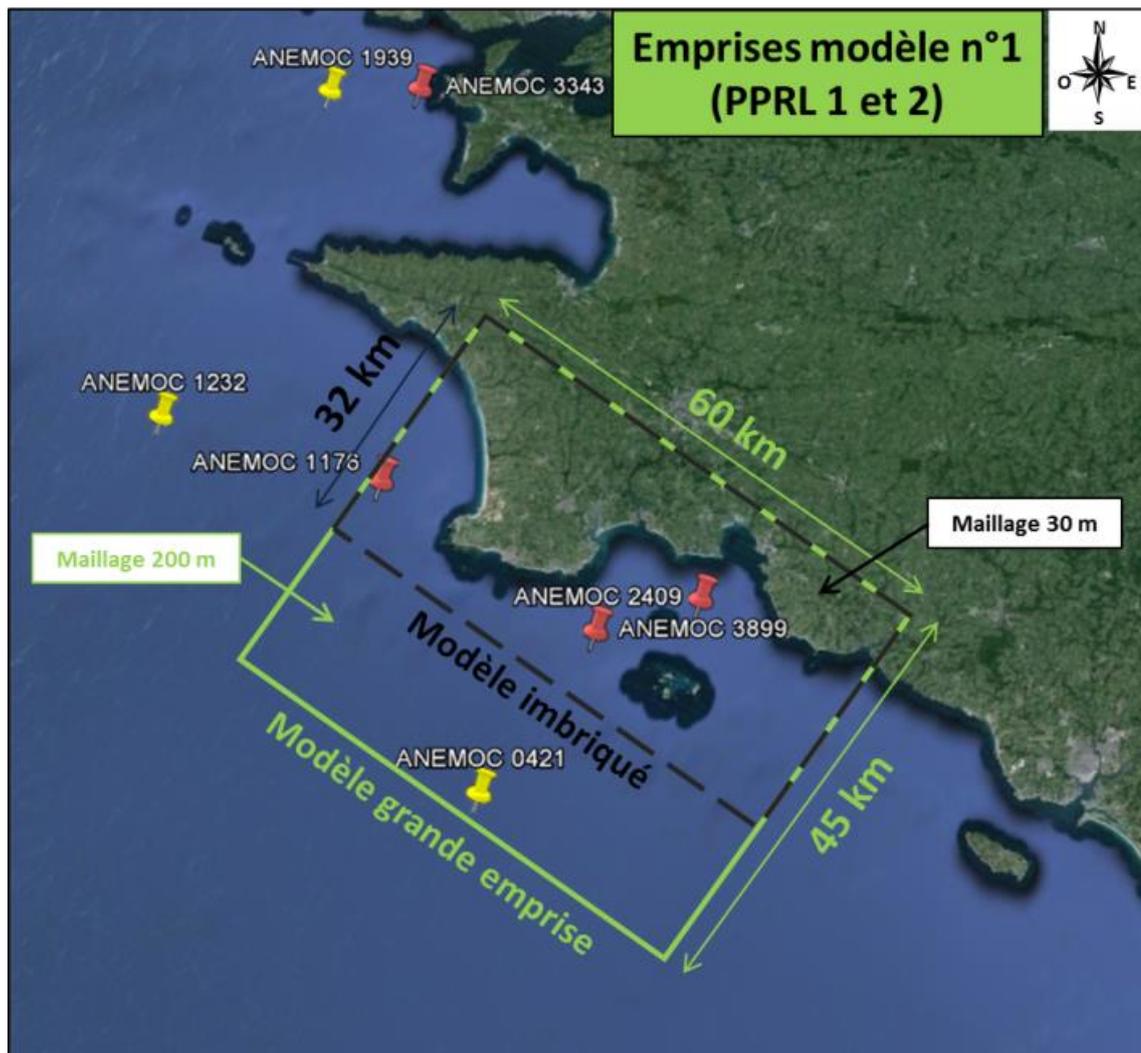


Figure 11 : Emprise des maillages du modèle numérique n°1

3.2.4 Calage du modèle n°1

Méthodologie du calage

La méthodologie qui a été employée pour les calages du modèle numérique n°1 est présentée ci-après :

- comparaison entre les données de houles fournies par les différentes stations ANEMOC présentées auparavant et les données de houle obtenues en sortie du modèle numérique SWAN.
- la comparaison a été réalisée sur plusieurs évènements significatifs,
- calage des valeurs «modèles» aux valeurs «mesurées»,
- réalisation d'une étude de sensibilité des résultats aux conditions de houles (marge d'erreur des mesures) à l'entrée du modèle et aux paramètres de calage : déferlement, réflexion, transmission... Il a ainsi été donné une estimation de la marge d'erreur du modèle.

Données utilisées

Les calages des modèles ont porté sur la hauteur significative Hs de la houle issue de points ANEMOC répartis sur le site de l'étude.

Le point ANEMOC 0421 a servi de donnée d'entrée. Les stations ANEMOC 2409 et 3899 ont quant à elles été utilisées pour le calage (cf. Figure 12). Pour le calage du modèle, il est nécessaire d'utiliser la base de données des houles du large qui est directionnelle afin d'intégrer la provenance de la houle dans les calculs. Dans notre étude, toutes les stations ANEMOC fournissent des données de houle directionnelle. De plus, les données traitées s'étendent sur une même période à savoir du 01/01/1979 au 31/08/2002.

Deux cas de calage ont été retenus pour la validation du modèle numérique :

- un cas de houle classique,
- un cas de houle de tempête.

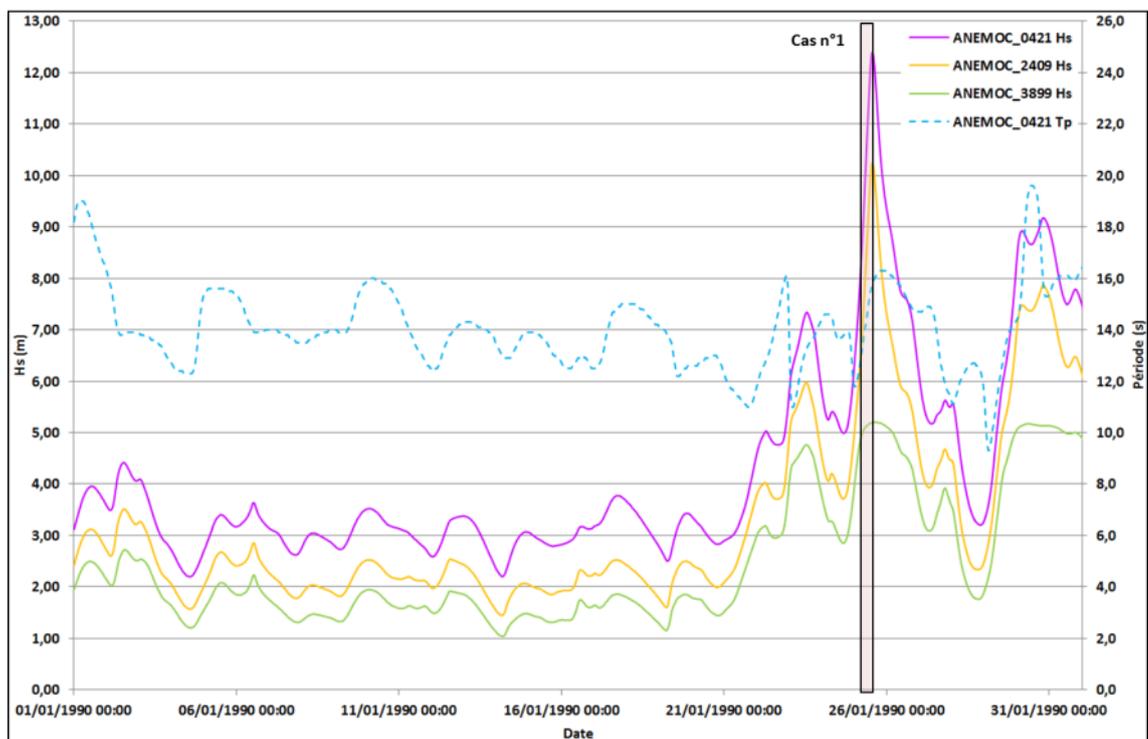
Leurs caractéristiques sont reportées dans le tableau ci-après :

Tableau 7 : Tableau des cas de calage retenus pour le modèle numérique n°1

ANEMOC 0421 (modèle 1)							
N° cas	Date	Dir (°N)	Hs (m)	Tp (s)	Niveau d'eau (m)	Vent Vitesse (m/s)	Vent Direction (°N)
1	25/01/1990 13:00	250	12,39	16,3	3,00	20,0	250
2	23/11/1995 22:00	270	2,33	11,0	3,00	0,0	0

Ci-après sont présentées les deux séries chronologiques utilisées pour les cas de calage.

Série chronologique du 01/01/90 au 31/01/90



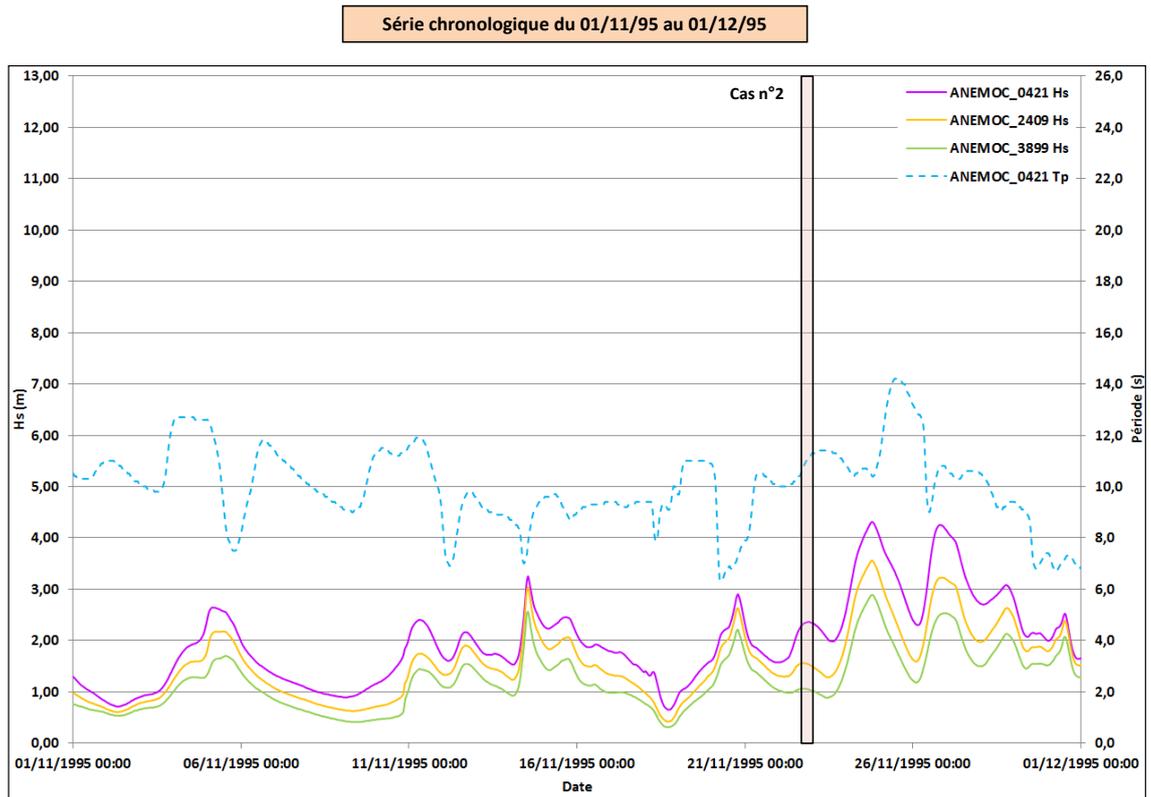


Figure 12 : Séries chronologiques utilisées pour les cas de calage du modèle numérique n°1

Résultats des modélisations de calage

Les sorties graphiques relatives au calage du modèle n°1 sont présentées en Annexe 1.

Le tableau suivant présente les résultats du calage du modèle numérique n°1 pour les deux cas de calage.

Tableau 8 : Tableau des résultats des cas de calage pour le modèle numérique n°1

ANEMOC 0421										
N° cas	Date	Dir (°N)	Hs (m)	Hs modélisé (m)	Différence (m)	Marge d'erreur (%)	Tp (s)	Niveau d'eau (m)	Vent Vitesse (m/s)	Vent Direction (°N)
1	25/01/1990 13:00	250	12,39	12,39	0,00	0,0	16,3	4,00	20,0	250
2	23/11/1995 22:00	270	2,33	2,33	0,00	0,0	11,0	3,00	0,0	0
ANEMOC 2409										
N° cas	Date	Dir (°N)	Hs (m)	Hs modélisé (m)	Différence (m)	Marge d'erreur (%)	Tp (s)	Niveau d'eau (m)	Vent Vitesse (m/s)	Vent Direction (°N)
1	25/01/1990 13:00	228	10,24	10,58	0,34	3,3	16,9	4,00	20,0	250
2	23/11/1995 22:00	241	1,73	1,85	0,12	7,0	9,2	3,00	0,0	0
ANEMOC 3899										
N° cas	Date	Dir (°N)	Hs (m)	Hs modélisé (m)	Différence (m)	Marge d'erreur (%)	Tp (s)	Niveau d'eau (m)	Vent Vitesse (m/s)	Vent Direction (°N)
1	25/01/1990 13:00	222	5,20	5,47	0,27	5,2	17,1	4,00	20,0	250
2	23/11/1995 22:00	226	1,28	1,23	-0,05	3,9	7,5	3,00	0,0	0

L'analyse du tableau montre que les différences de hauteur de houle entre les mesures ANEMOC et les houles modélisées sont globalement faibles :

- *Au niveau du point ANEMOC_2409* : en valeur absolue, la différence est estimée entre 0,12 et 0,34 m, soit une marge d'erreur sur les cas testés de 3,3 à 7 %.
- *Au niveau du point ANEMOC_3899* : en valeur absolue, la différence est estimée entre 0,05 et 0,27 m, soit une marge d'erreur sur les cas testés de 3,9 à 5,2 %.

Compte tenu des résultats du modèle et des sources d'incertitude sur l'analyse des écarts observés, on peut considérer que le modèle proposé permet de bien représenter l'agitation au niveau des sites d'étude.

En se référant aux sorties graphiques, on remarque que les marges d'erreur les plus élevées obtenues sont liées au positionnement des points ANEMOC dans la zone de déferlement.

En effet pour le cas de calage n°2, on relève une marge d'erreur de 7 % pour la hauteur de houle au point ANEMOC 2409. On constate que la houle a commencé à déferler juste avant d'atteindre le point de mesure. Dans cette zone de forte agitation où les variations de hauteur de houle sont conséquentes, il est donc cohérent de trouver une marge d'erreur plus importante que pour les autres cas.

Les résultats modélisés obtenus sont satisfaisants et cohérents avec les données fournies au niveau des points ANEMOC 2409 et 3899.

3.2.5 Cas de calculs retenus

Hypothèses retenues

Les modélisations se feront pour la direction la plus pénalisante déterminée précédemment (cf. Chapitre 3 -1.3). Les valeurs de niveaux marins et des hauteurs significatives choisies ont été déterminées par la méthode de CIRIA. Cependant, conformément au guide méthodologique de l'élaboration des PPRNL, des marges d'incertitude ont été rajoutées aux valeurs des niveaux marins car « de nombreuses incertitudes concernent l'événement de référence et les événements de période de retour centennale calculés statistiquement : précision de la mesure marégraphique, filtrage ou mauvaise retranscription de phénomènes du fait de la période d'acquisition des marégraphes (par exemple les seiches), précision des données de houles, numériques (type ANEMOC) ou issues de mesures, précision des extrapolations statistiques, interpolation des niveaux extrêmes entre les points de mesure, évaluation de la surcote liée à la houle... ». Ces incertitudes concernent chaque étape des analyses à mener.

A titre d'exemple, les incertitudes des données numériques de houles peuvent mériter une étude de sensibilité du fait de l'impact potentiellement non négligeable sur le calcul du niveau marin incluant la surcote liée à la houle.

Afin de compenser ces incertitudes, une marge de sécurité de 0,25 m sera prise en compte, comme recommandé dans le guide d'élaboration des PPRNL. Conformément au souhait de l'Etat, cette marge de sécurité ne sera pas prise en compte dans les cas de calculs avec SWAN mais sera rajoutée au niveau marin à la côte, ultérieurement.

Une surcote de 0,20 m est rajoutée pour prendre en compte l'élévation immédiate du niveau moyen de la mer lié au changement climatique.

Pour les calculs à l'horizon 2100, une marge de 0,60 m est ajoutée (au lieu de 0.20m) pour prendre en compte le réchauffement climatique à long terme. Cette marge de 0,60 m a été déterminée sur la base du scénario pessimiste de l'ONERC (cf. Circulaire du 27 juillet 2011 relative à la prise en compte du risque de submersion marine dans les PPRNL).

	Calcul état 2015	Calcul horizon 2100
Incertitudes (*)	0,25m	0,25m
Élévation niveau de la mer	0,20m	0,60m

* : valeur ajoutée aux résultats, non prise en compte dans les calculs

Cas de calculs modélisés

De manière générale, il a été modélisé :

- 12 cas de calculs pour l'évènement centennal déterminé à partir des analyses statistiques,
- 8 cas de calculs pour les événements tempétueux :
 - 10 mars 2008 (état actuel et horizon 2100),
 - Anne 2 (état actuel et horizon 2100),
 - Nadja 3 (état actuel et horizon 2100),
 - Petra (état actuel et horizon 2100).

Nous avons réalisé les 20 cas de calculs afin de pouvoir travailler sur la problématique des franchissements. En effet l'évènement naturel de référence peut être soit l'évènement générant le niveau marin le plus important, soit l'évènement générant les volumes franchissants les plus importants.

Modèle n°1

De par sa grande emprise qui couvre l'ensemble des communes des PPRNL 1 et 2, le modèle n°1 a été utilisé pour modéliser à la fois les communes du PPRNL 2 et celles du PPRNL 1 (de Combrit à Penmarc'h). **Les modélisations avec le modèle n°1 ont donc été réalisées conjointement entre les PPRNL 1 et 2.** Seuls les résultats des communes du PPRNL 2 sont présentés dans ce document.

Pour toutes les modélisations du modèle numérique n°1, les niveaux marins considérés sont ceux de la commune de la Forêt-Fouesnant car ce sont les plus élevés et donc les plus problématiques en termes de submersion marine.

Tableau 9 : Tableau des cas de calculs SWAN – Modèle numérique n°1

Cas	Houle				Vent		Niveau d'eau		Marges considérées	Niveau d'eau simu SWAN
	Période de retour (ans)	Dir (°N)	Hs(s)	Tp(s)	Dir (°N)	Vitesse (m/s)	Période de retour (ans)	Hauteur d'eau (m IGN)		Hauteur d'eau (m IGN)
1	100	225	14,97	18	225	20	0,02	2,88	RC (+0,20m)	3,08
2	57	225	14,15	18	225	20	0,05	2,96		3,16
3	28	225	13,20	18	225	20	0,1	3,03		3,23
4	14	225	12,20	17	225	20	0,2	3,09		3,29
5	6	225	11,00	16	225	20	0,5	3,17		3,37
6	2,8	225	9,90	15	225	20	1	3,24		3,44
7	1,4	225	8,80	14	225	20	2	3,30		3,50
8	0,6	225	7,50	14	225	20	5	3,38		3,58
9	0,28	225	6,50	13	225	20	10	3,45		3,65
10	0,14	225	5,50	12	225	20	20	3,50		3,70
11	0,06	225	4,40	10	225	20	50	3,60		3,80
12	0,03	225	3,20	10	225	20	100	3,65		3,85
13	10/03/2008 - actuel	240	7,00	11,5	250	22	Evènement historique	3,58	RC (+0,20m)	3,78
14	10/03/2008 - à 100 ans	240	7,00	11,5	250	22		3,58	RC (+0,60m)	4,18
15	Anne 2 - actuel	270	8,36	15	250	22	Evènement historique	3,47	RC (+0,20m)	3,67
16	Anne 2 - à 100 ans	270	8,36	15	250	22		3,47	RC (+0,60m)	4,07
17	Petra - actuel	260	12,87	17	250	22	Evènement historique	2,80	RC (+0,20m)	3,00
18	Petra - à 100 ans	260	12,87	17	250	22		2,80	RC (+0,60m)	3,40
19	Nadja 3 - actuel	285	9,50	18	250	22	Evènement historique	3,35	RC (+0,20m)	3,55
20	Nadja 3 - à 100 ans	285	9,50	18	250	22		3,35	RC (+0,60m)	3,95

3.3 Résultats issus des modélisations numériques

L'objet de cette partie est la simulation des événements précédemment validés pour déterminer les caractéristiques de la houle à proximité du littoral d'étude. Le modèle numérique a été réalisé à l'aide du logiciel SWAN 2D.

Sur les 20 cas de calculs modélisés, nous avons choisi de présenter en Annexe 2 les modélisations des cas de calculs n°1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 à 20.

3.3.1 Hauteurs significatives

Définition : Hauteur caractéristique de l'état de mer.

Modèle n°1

Les résultats présentés ci-après correspondent à la modélisation du cas n°1. Au vu des caractéristiques de houle choisies, c'est un des événements les plus pénalisants sur cette zone.

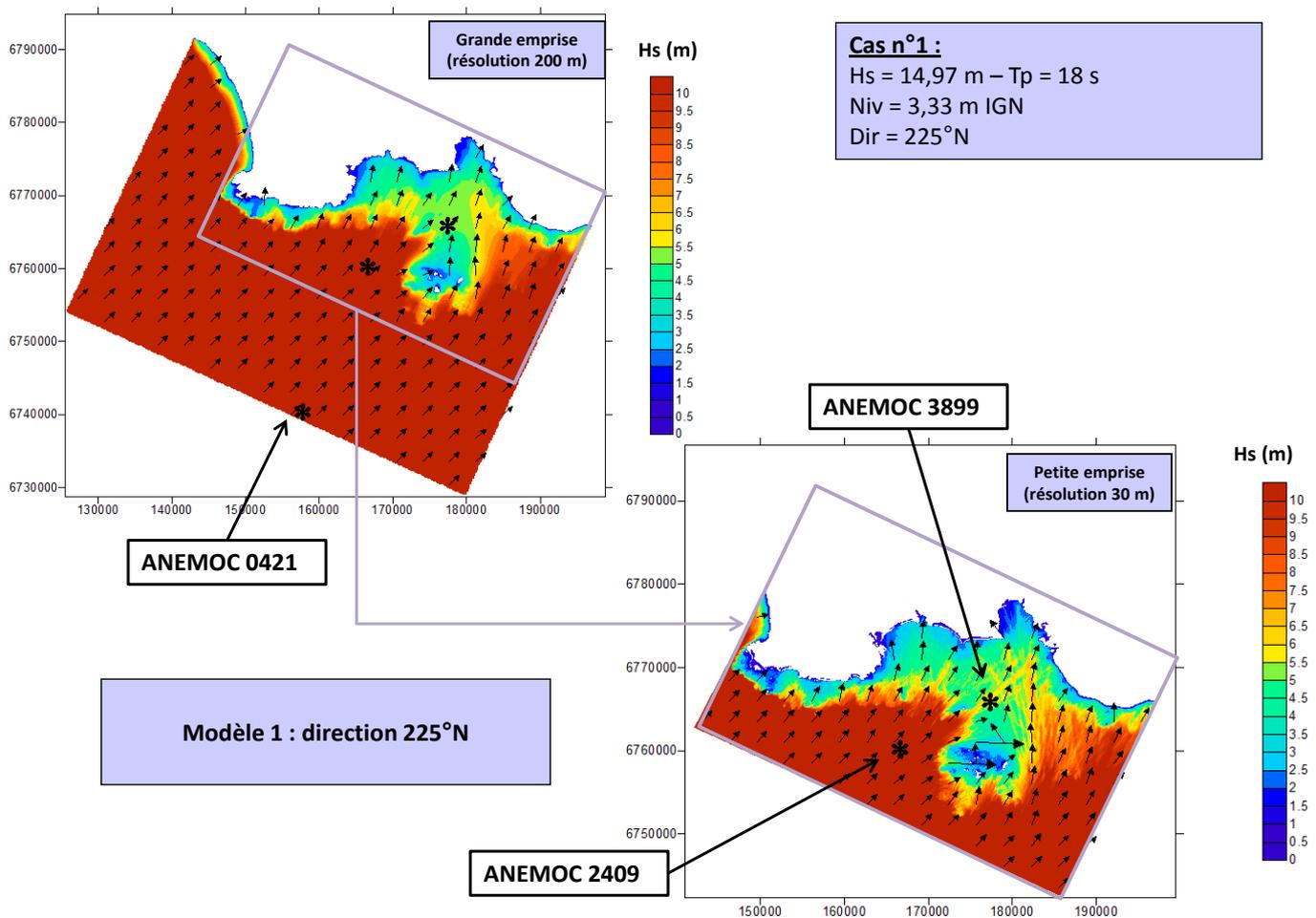


Figure 13 : Exemple de résultat d'agitation – Modèle n°1

Les graphiques des autres cas sont présentés en Annexe 2 (seul le modèle de petite emprise de résolution 30 m, plus précis aux abords du littoral est présenté).

Les résultats ont été analysés par secteurs homogènes tout au long du linéaire d'étude.

Les points d'extraction des résultats sont localisés à une demi-longueur d'onde (de la houle du large) de la côte, soit à une distance moyenne de 180 m.

Ainsi, 14 secteurs homogènes ont été déterminés sur le modèle 1 (pour le PPRNL 2) et sont localisés sur la figure ci-après.

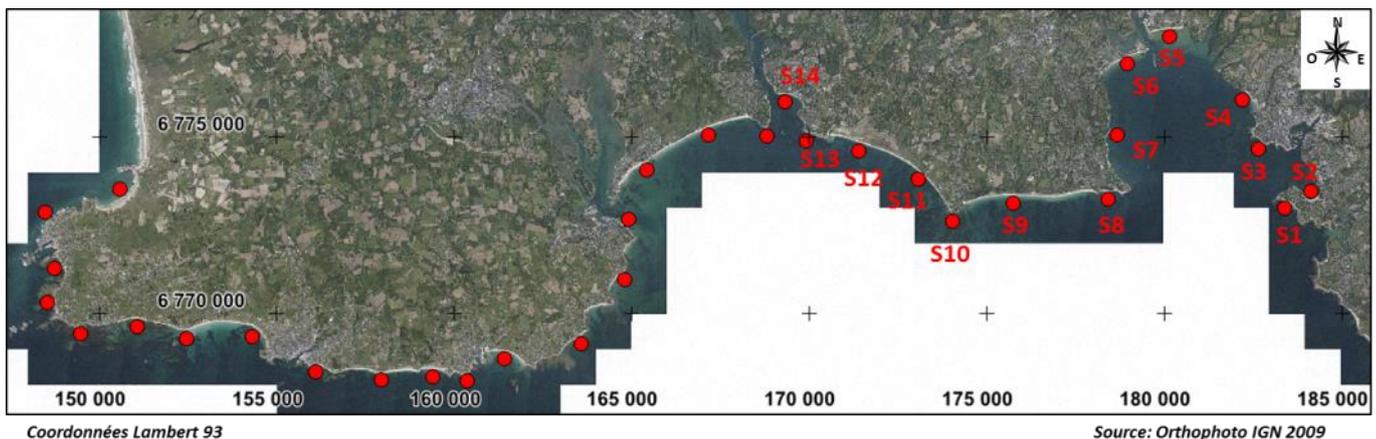


Figure 14 : Localisation des secteurs homogènes pour l'analyse des résultats du modèle SWAN – Modèle n°1

Les tableaux en annexe 5 présentent les résultats par commune.

On constate d'après les résultats ci-avant que le niveau marin a une faible influence sur les hauteurs des houles à la côte et que la hauteur des houles à la côte est limitée par les fonds.

En effet, les résultats ci-avant montrent que les fortes houles déferlent au large et que donc l'écart des valeurs de houle à la côte entre les cas 1 et 12 est généralement faible (de l'ordre de 50 cm à 1 m) alors que l'écart de ces mêmes cas au large est très élevé (modèle1 : cas 1 = 14.97 m, cas 12 = 3.2 m / modèle2 : cas 1 = 16.37 m, cas 12 = 5.0 m).

La figure ci-après présente un bilan des hauteurs significatives maximales de houle pouvant atteindre les sites du littoral d'étude pour des évènements de période de retour théorique centennale.

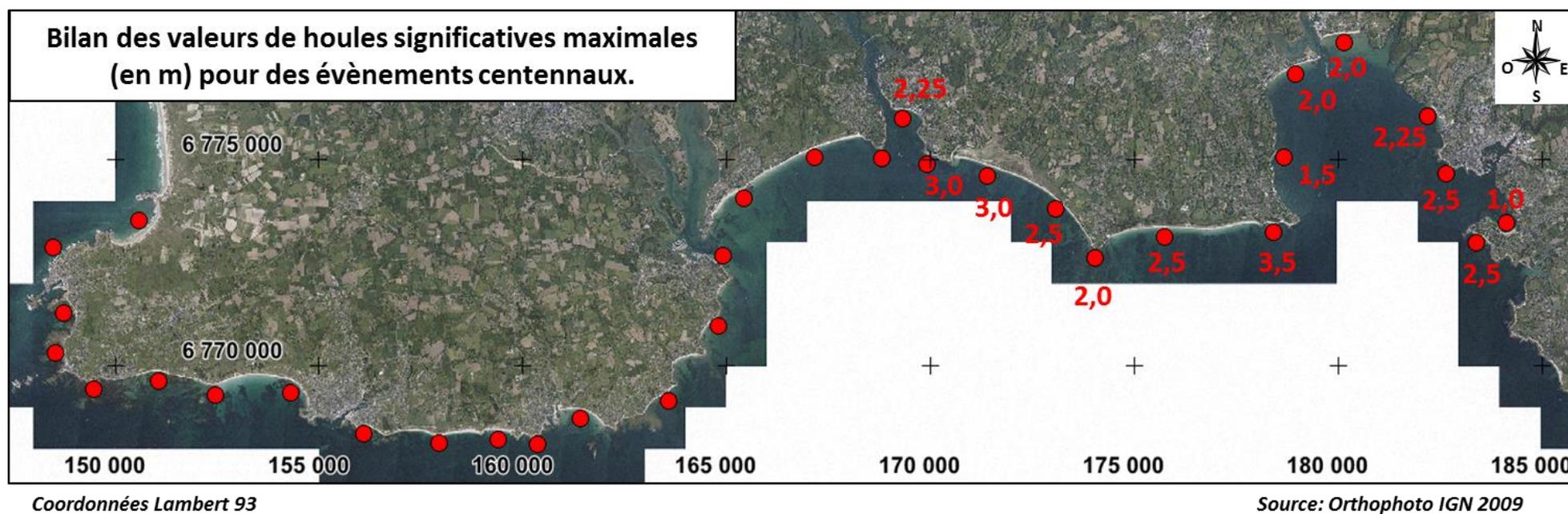


Figure 15 : Bilan des Hs max de houle pour les 12 cas d'évènements théoriques centennaux – Modèle n°1

3.3.2 Wave Setup

Le wave setup représente la hausse du niveau de la mer à la côte due au déferlement des vagues. Il s'agit d'une surcote.

Le calcul du wave setup a été effectué à partir de niveaux marins prenant en compte :

- Un niveau de marée PMVE : pleine mer de vives-eaux (coefficient 95) ou BMVE : basse mer de vives-eaux (coefficient 95),
- Une surcote liée aux phénomènes météorologiques (vent + pression).
- La hausse future du niveau des mers due au réchauffement climatique. Dans le cadre d'un PPRNL, il est signifié d'intégrer systématiquement au niveau marin de référence une surcote de 20 cm constituant une première étape de prise en compte du changement climatique (cf. B2]) (hausse de +60 cm pour les cas n°14, 16, 18 et 20 à 100 ans).

Résultats

Les résultats présentés ci-après correspondent à la modélisation du cas n°1. Au vu des caractéristiques de houle choisies, c'est un des événements les plus pénalisants sur cette zone.

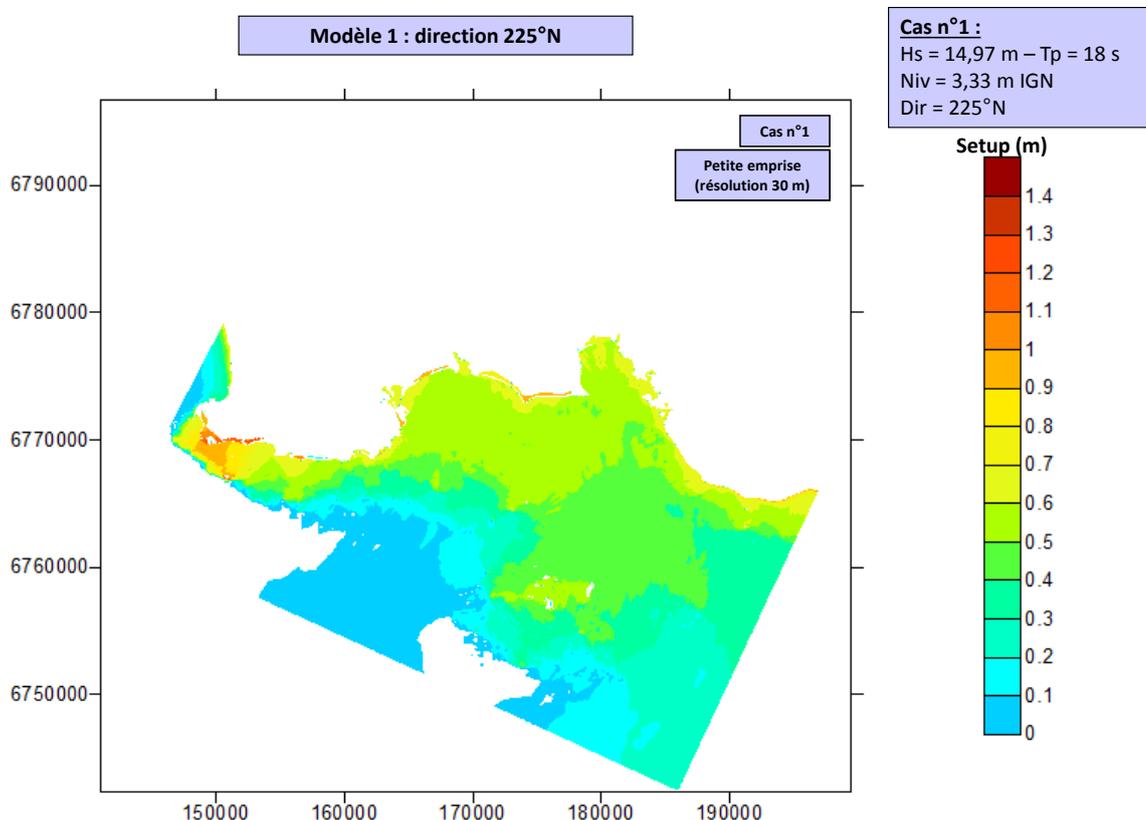


Figure 16 : Exemple de résultat d'agitation – Modèle n°1

Les graphiques des autres cas sont présentés en Annexe 2 (seul le modèle de petite emprise de résolution 30 m, plus précis aux abords du littoral est présenté).

Les tableaux en annexe 6 présentent les résultats par commune.

D'après l'analyse des résultats, on constate que les valeurs de wave setup sont fortes pour les premiers cas des douze cas de calculs des événements centennaux (cas avec une forte houle et un niveau marin « faible ») mais dans le cadre de la détermination de l'aléa submersion d'un PPRNL, ce sont les couples houles/niveaux avec le niveau marin le plus fort et générant par ailleurs des valeurs de wave setup modestes qui sont les plus problématiques.

4 Définition des niveaux marins à la côte

4.1 Définition des niveaux marins hors zones estuarienne

Une fois la hauteur de wave set-up définie, les niveaux marins à la côte pour chaque événement ont été définis de la manière suivante :

- Le niveau marin au large intégrant :
 - . Un niveau de marée PMVE : pleine mer de vives-eaux (coefficient 95) ou BMVE : basse mer de vives-eaux (coefficient 95),
 - a. Une surcote liée aux phénomènes météorologiques (vent + pression).
- La hauteur de set-up
- La hausse future du niveau des mers due au réchauffement climatique. Dans le cadre d'un PPRNL, il est signifié d'intégrer systématiquement au niveau marin de référence une surcote de 20 cm constituant une première étape de prise en compte du changement climatique (cf. B2]) (et hausse de +60 cm pour l'état à 100 ans)
- Enfin, les niveaux marins à la côte pour chacune des communes ont été déterminés en ajoutant également les incertitudes (+25 cm), conformément au guide méthodologique national. Le tableau ci-après justifie la prise en compte de ces 25 cm à l'échelle du PPRI du Finistère.

Incertitudes	Définition de l'incertitude	Qualification de l'incertitude
Intervalle de confiance données statistiques SHOM	Statistique des niveaux marins extrêmes des côtes de France - Cartes des niveaux marins théoriques de pleines et basses mers pour les côtes françaises de la Manche et de l'Atlantique du SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) – version 2008 et 2012 Données valables uniquement pour les données théoriques.	Le SHOM, organisme référent dans le domaine précise qu'il existe des incertitudes. La loi d'ajustement statistique comporte un intervalle de confiance et donc une incertitude d'environ 10%. Ces 10% représentent déjà + de 25 cm.
Incertaince données anemoc	Les données de houle utilisées pour notre étude proviennent de l'Atlas ANEMOC (Atlas Numérique des Etats de Mer Océaniques et Côtiers) issu d'une collaboration entre le CETMEF et EDF. Ces données résultent de simulations numériques de houle. Ces séries s'étendant sur une période de 23 ans et 8 mois (de Janvier 1979 à Août 2002) avec un pas de temps horaire permettent de réaliser des études statistiques. Le guide méthodologique du PPRL préconise de retenir les données Anemoc.	La loi d'ajustement statistique comporte un intervalle de confiance et donc une incertitude.

Justification des incertitudes prises en compte pour établir le niveau marin à la côte

- De plus, pour les cas de calculs concernant les évènements de tempêtes historiques, il a été ajouté le différentiel de niveau de PMVE entre Concarneau et chacune des communes du PPRLN sachant que le niveau des 4 évènements tempétueux ont été enregistrés au marégraphe de Concarneau.

Les tableaux en annexe 6 présentent les résultats par commune.

Le niveau marin a une faible influence sur les hauteurs des houles à la côte car celle-ci est limitée par les fonds. Aussi les résultats des houles à la côte des cas 1 à 12 sont très similaires.

Ainsi, ce sont les couples de houles / niveaux avec les niveaux marins élevés (cas 12) qui engendrent en général le plus de dommages sur le littoral.

Les figures ci-après présentent un bilan des niveaux marins sur les sites du littoral d'étude pour des évènements de période de retour centennale et pour les évènements tempétueux. Les résultats ont été analysés par secteurs homogènes tout au long du linéaire d'étude. Ainsi, 14 secteurs homogènes ont été déterminés et sont localisés sur la Figure 14 ci-avant. Les résultats détaillés sont fournis en annexe. Seul le niveau marin maximum parmi les évènements analysés (12 cas théoriques centennaux et 4 cas historiques) a été représenté sur la figure page suivante.

On constate que pour chaque secteur du PPRNL2, le niveau marin à la côte maximum correspond à la tempête du 10 mars 2008. Pour 3 secteurs, le niveau marin du cas 12 de l'évènement théorique centennal est égal à celui de mars 2008.

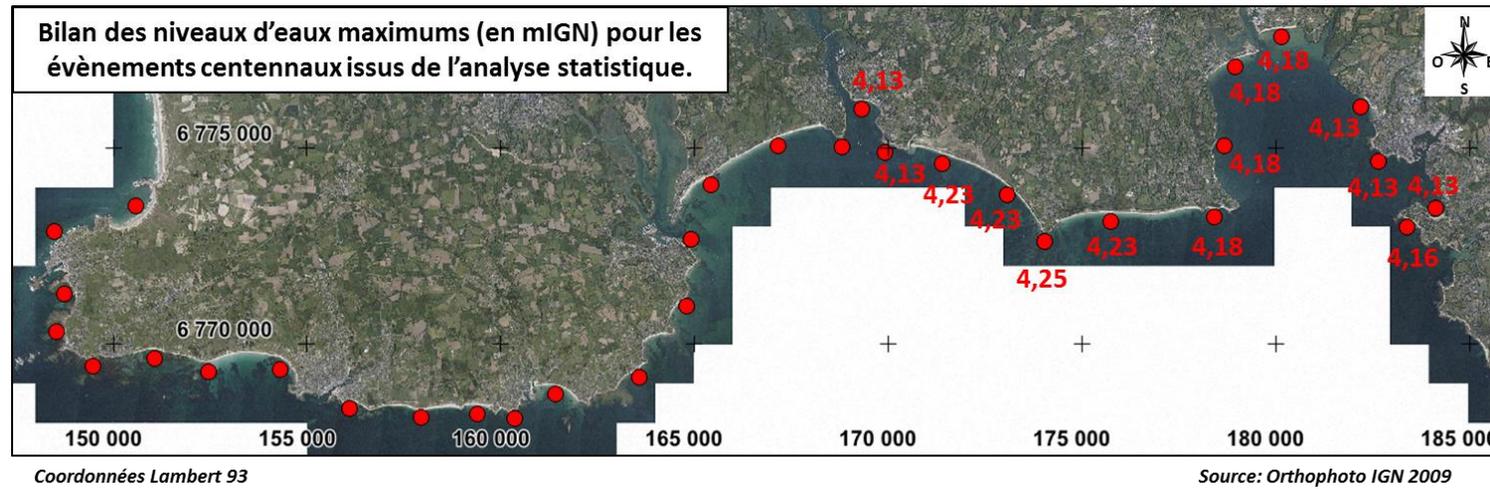


Figure 17 : Bilan des niveaux marins à la côte pour des évènements centennaux – Modèle n°1

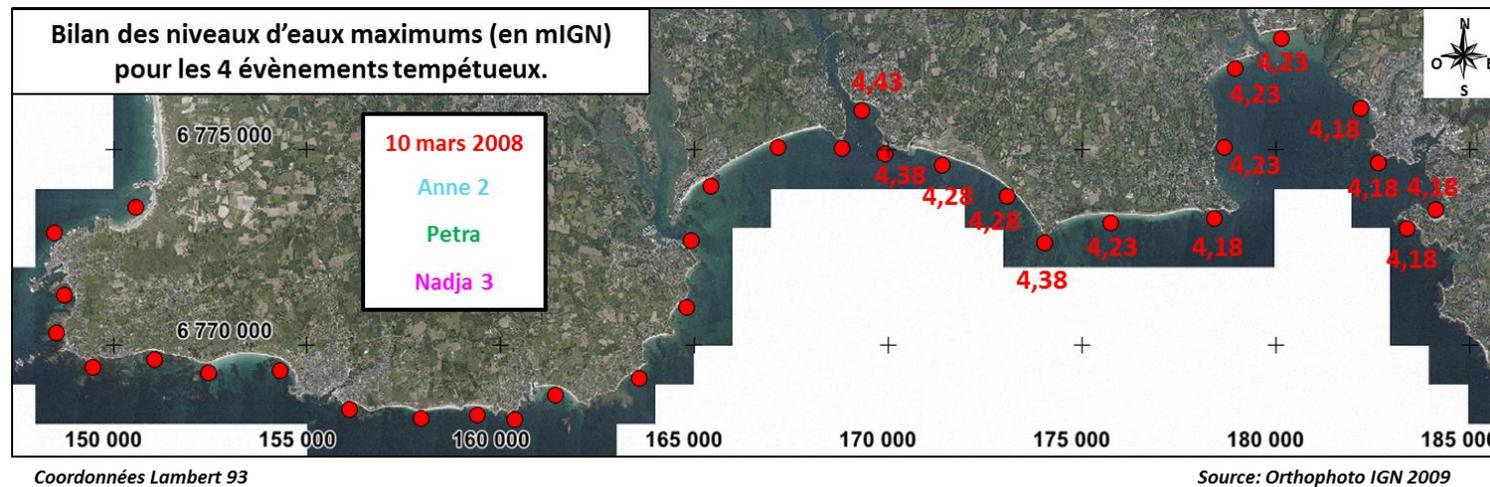


Figure 18 : Bilan des niveaux marins à la côte pour les évènements tempétueux – Modèle n°1

4.2 Niveaux marins dans les estuaires

4.2.1 Les zones estuariennes

Sur le littoral du PPRNL 2, on note les zones estuariennes suivantes :

Commune	Nom de l'estuaire	Numéros de l'estuaire
Concarneau	Anse du Minaouet	E1
Concarneau	Anse de Kersaux	E2
Concarneau	Anse de St-Jean	E3
Concarneau / Forêt-Fouesnant	Anse de St-Laurent	E4
Forêt-Fouesnant	Anse du Vieux-Port	E5b
Forêt-Fouesnant	Anse de Penfoulic	E5c
Fouesnant / Bénodet	Anse du Groasguen	E6
Combrit / Bénodet	Estuaire de l'Odet	E7

Tableau 10 : Liste des zones estuariennes

Les différents estuaires sont localisés sur la figure suivante :

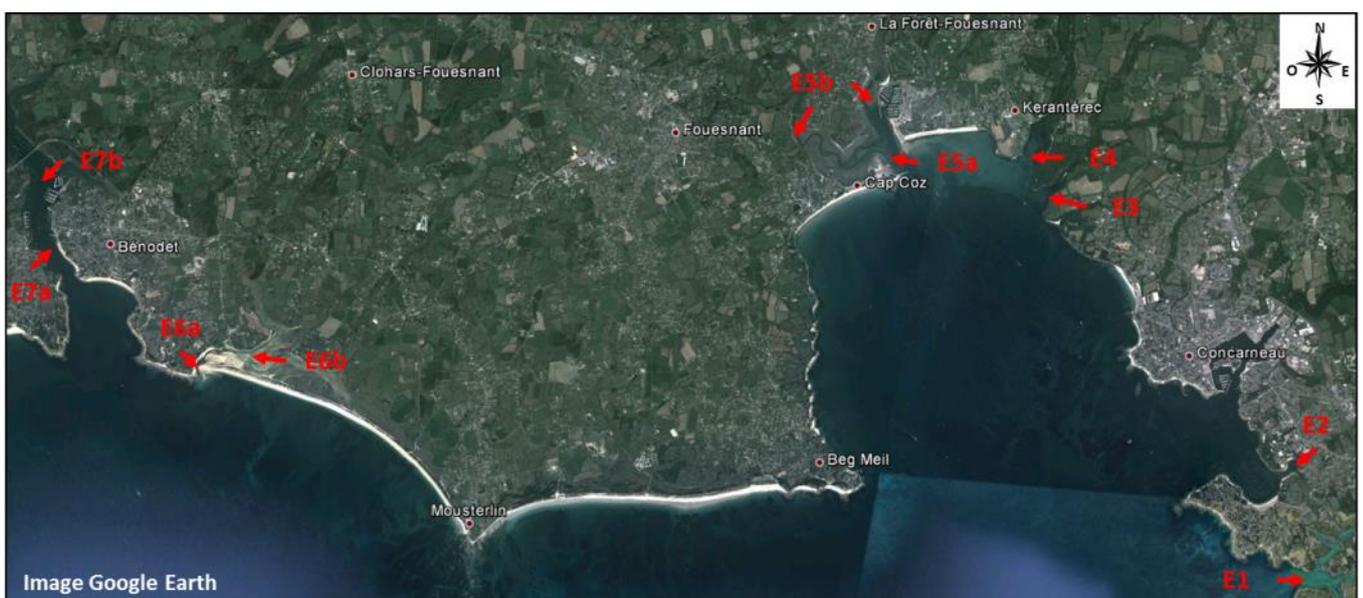


Figure 19 : Localisation des estuaires – PPRNL 2

Précisons que les estuaires numérotés avec un « a » représentent les entrées d'estuaires qui sont encore sous l'influence de la houle et de l'effet du wave setup.

Pour les estuaires (cf. tableau ci-avant) nous avons réalisé une approche simplifiée d'estimation du niveau marin en fond d'estuaire, sans prise en compte de la composante fluviale, définie comme négligeable.

La composante fluviale ne présente une potentielle incidence que dans le cas de l'estuaire de l'Odet. Les travaux existants de cartographie du TRI Sud-Finistère (réalisés par Egis pour le compte de la DDTM29) ont bien montré que quelle que soit la période de l'événement considéré, le point de bascule fluvial/maritime se situe bien en amont de l'estuaire. En conséquence, sur les communes de Combrit et de Bénodet, c'est le niveau marin référence maritime qui est appliqué. Ensuite de la même manière que pour les autres estuaires, il est défini un point d'entrée de l'estuaire « a » à partir duquel le set-up n'est plus pris en compte.

4.2.2 L'estimation des niveaux marins en fond d'estuaire

Les niveaux marins dans les estuaires ont été déterminés par expertise de la localisation du site et des conditions océano-météorologiques incidentes :

- Si l'estuaire se situe dans un fond de baie dans l'axe principal des houles incidentes et du vent, alors il y aura un phénomène de surcote et d'accumulation d'eau à l'entrée de l'estuaire. Les conditions de tempête sévissant sur quelques heures au minimum et le niveau proche de la pleine mer sur environ 2 h, le niveau marin en tempête a le temps de s'étendre à l'ensemble de l'estuaire.

Ainsi, pour prendre en compte cette hausse du niveau marin, nous considérerons pour ces cas précis la valeur du niveau marin au large immédiat de l'entrée de l'estuaire associée à la surcote en plage voisine de l'estuaire liée au wave set-up.

- Si, à l'inverse, l'estuaire ne se situe pas dans l'axe principal des houles incidentes et du vent responsables de l'accumulation d'eau à la côte, alors il sera pris en compte comme niveau marin dans l'estuaire, le niveau marin déterminé au large immédiat de l'entrée de l'estuaire.

NB : Nous rappelons que la cote de l'évènement référence générant le plus haut niveau marin dans l'estuaire peut être basée sur un autre évènement marin que celui générant le plus haut niveau à la côte. (Ex : évènement de 2008 à la côte et cas 12 dans l'estuaire)

La figure ci-après schématise ce principe :

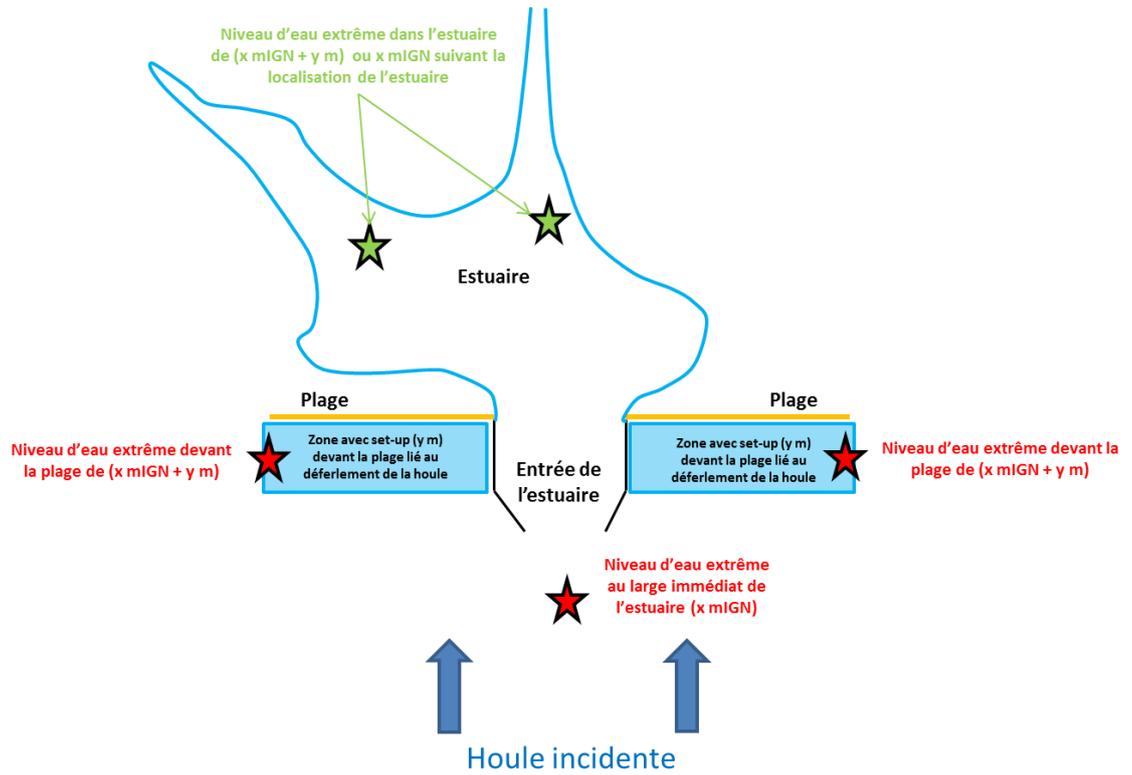


Figure 20 : Schéma de la prise en compte des niveaux marins en zone estuarienne

La figure ci-après présente un bilan des niveaux marins maximums (en m NGF) dans les estuaires pour les événements tempétueux :



Figure 21 : Bilan des niveaux marins maximums (en m NGF) dans les estuaires pour les 4 événements tempétueux – PPRNL 2

Pour chaque secteur du PPRNL2, le niveau marin maximum dans les estuaires correspond soit au cas 12 de l'évènement théorique centennal, soit à la tempête du 10 mars 2008. Nous rappelons que les événements comparés sont les événements historiques majeurs et les événements théoriques de période de retour centennale. Ces événements intègrent au niveau marin, les surcotes liées aux incertitudes (+25 cm) et au changement climatique (+20 cm).

4.3 Détermination des événements hydrodynamiques de période de retour supérieure à 100 ans à la côte

Le tableau ci-après dresse une synthèse des événements historiques (couple / houle et niveau marin) supérieurs à une période de retour de 100 ans à la côte.

Attention : un événement présenté par un couple houle / niveau marin peut être de période de retour supérieure à 100 ans (1 chance sur 100 chaque année de se produire) mais présenter un niveau marin à la côte inférieur au niveau marin de période de retour 100 ans le plus défavorable (cas 12). Ce tableau présente les événements de période de retour supérieure à 100 ans à la côte.

Communes	Bassins de risque	Tempêtes de période de retour > 100 ans (Classées par ordre décroissant d'intensité)
Concarneau	1	10-mars-08
	2	10 mars 2008
	3	10 mars 2008
	4	10 mars 2008 et Anne 2
La forêt-Fouesnant	5	10 mars 2008
Fouesnant	6	10 mars 2008
	7	10 mars 2008
	8	10 mars 2008 et Anne 2
	9	10 mars 2008
	10	10 mars 2008 et Anne 2
	11	10 mars 2008
	12	10 mars 2008
Fouesnant (Iles des Glénans)	-	10 mars 2008
Bénodet	13	10 mars 2008, Anne 2 et Nadja 3
	14	10 mars 2008, Anne 2 et Nadja 3

Tableau 11 : Evènements hydrodynamiques les plus forts pour chaque bassin de risque

On retiendra que la tempête du 10 mars 2008 est un événement de période de retour supérieur à 100 ans (combinaison houle / niveaux marins). On constate également que les tempêtes Anne 2 et Nadja 3 sont, elles aussi, des événements de période de retour supérieure à 100 ans sur plusieurs secteurs (cf. tableau ci-avant).

L'évènement générant les plus haut niveaux marins en tous points du littoral est l'évènement de mars 2008.

L'évènement de référence par bassin de risque sera défini ultérieurement dans le Chapitre 6 -1. Il peut être, soit l'évènement générant le niveau marin le plus important, soit l'évènement générant les volumes franchissants les plus importants.

5 Calculs des franchissements

Pour la définition de l'aléa de submersion, il est nécessaire d'évaluer les franchissements par paquets de mer, qu'ils soient l'unique mode de submersion ou non.

Pour le calcul de ces franchissements, la période de calcul et les niveaux marins associés durant ce laps de temps doivent être établis.

5.1 Analyse du littoral

Le littoral a été découpé en plusieurs tronçons homogènes afin de pouvoir définir un profil en travers par tronçon homogène et ainsi calculer les volumes franchissants sur ce profil type.

Ces tronçons ont été définis en fonction de différents paramètres à savoir :

- l'exposition aux houles (basé sur les résultats de plans de vagues),
- les caractéristiques des structures tels que le type, l'état, l'altimétrie, la pente, etc. (basé sur les visites de site réalisées sur les structures et le LIDAR),
- les caractéristiques des terrains en arrière tels que l'altimétrie, les enjeux humains et la topographie du terrain (basé sur le LIDAR et les visites de sites),
- les épisodes de franchissements historiques (basés sur le retour d'expérience),

5.2 Période de calcul des franchissements

Le risque de submersion le plus fort se présente lors d'un niveau marin important. C'est donc la concomitance de la surcote et d'une pleine mer (et de la houle qui accompagne la tempête) qui peut engendrer les submersions les plus importantes.

C'est dans le laps de temps autour d'une Pleine Mer qu'une tempête créant une surcote importante peut générer des franchissements conséquents.

Ainsi, pour mieux quantifier les volumes transmis en arrière des ouvrages, les débits de surverse et de franchissements doivent être évalués au montant et au perdant soit sur un temps à minima égal à un cycle de marée.

Dans le cas du PPRNL, le guide conseille de faire ce travail sur 2 cycles de marée.

5.3 Construction des cycles de marée

Selon que l'évènement de référence soit un des aléas de tempête historique, l'aléa centennal théorique (intégrant houle ou mers de vent), les deux cycles de marée seront déterminés de manières différentes.

Pour les évènements historiques, le premier et le second cycle de marée sont reconstitués à partir des niveaux de pleines mers et de basses mers enregistrées lors de la tempête sur les marégraphes de Concarneau pour le PPRNL 2 qui est concerné ici.

Comme indiqué plus haut, les seules données disponibles de niveau marin pour cette tempête sont issues du marégraphe de Concarneau. En l'absence de données portants sur les autres communes de ce PPRNL et permettant d'avoir des informations sur la distribution spatiale des surcotes, nous avons considéré que la surcote mesurée lors d'une tempête à Concarneau était représentative des surcotes sur l'ensemble du site pour la tempête. Cette surcote a donc été appliquée sur l'ensemble du linéaire de Concarneau à Penmarch.

Cependant, nous avons pris en compte la variation du niveau de marée astronomique entre Concarneau et Penmarch, pour avoir les niveaux marins (marée astronomique + surcote) sur chaque secteur lors de la tempête. Cette variation du niveau de la marée astronomique est estimée à partir des niveaux caractéristiques de marée³ sur chaque commune.

Une fois les niveaux de pleine mer et de basse mer déterminés, ceux-ci sont incrémentés toutes les 20 minutes environ afin de créer les deux cycles de marée.

Pour les évènements théoriques centennaux, les cycles de marée sont construits par la détermination du niveau de pleine mer qui est issu des niveaux marins extrêmes⁴ pour le premier cycle et des caractéristiques générales de vive-eaux (coefficient 95) pour le second cycle. Le niveau de basse mer est issu des caractéristiques générales de vive-eaux. Une fois les niveaux de pleine mer et basse mer déterminés, ceux-ci sont incrémentés toutes les 20 minutes environ afin de construire les cycles de marée.

A ces niveaux de marée sont ajoutés les niveaux de setup (évalués par les modélisations de propagation sur tous les secteurs homogènes de houles définis plus avant (cf. Chapitre 4 - 3.3.2) ainsi que les incertitudes (incertitudes sur les données, réchauffement climatique, etc...).

³ Source : Cotes du zéro altimétrique et niveaux caractéristiques de la marée - Edition 2008 et 2012 (SHOM)

⁴ Source : Statistique des niveaux marins extrêmes des côtes de France – Edition 2008 et 2012 (Source SHOM)

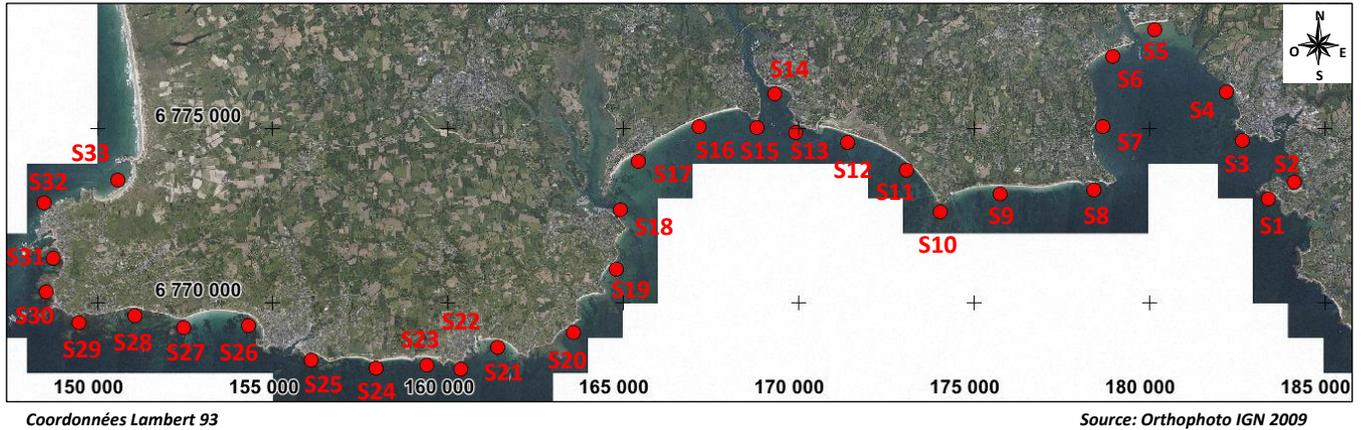


Figure 22 : Localisation des secteurs homogènes pour l'analyse des résultats du modèle SWAN – Modèles n°1 et 2

Les cycles complets sont déterminés sur tous les tronçons homogènes de l'ensemble des communes du PPRNL et pour l'ensemble des événements historiques, centennaux et mers de vent retenus dans le cadre de ce projet.

Un exemple d'un cycle de marée de l'évènement de mars 2008 au droit du secteur S1 est présenté ci-après.

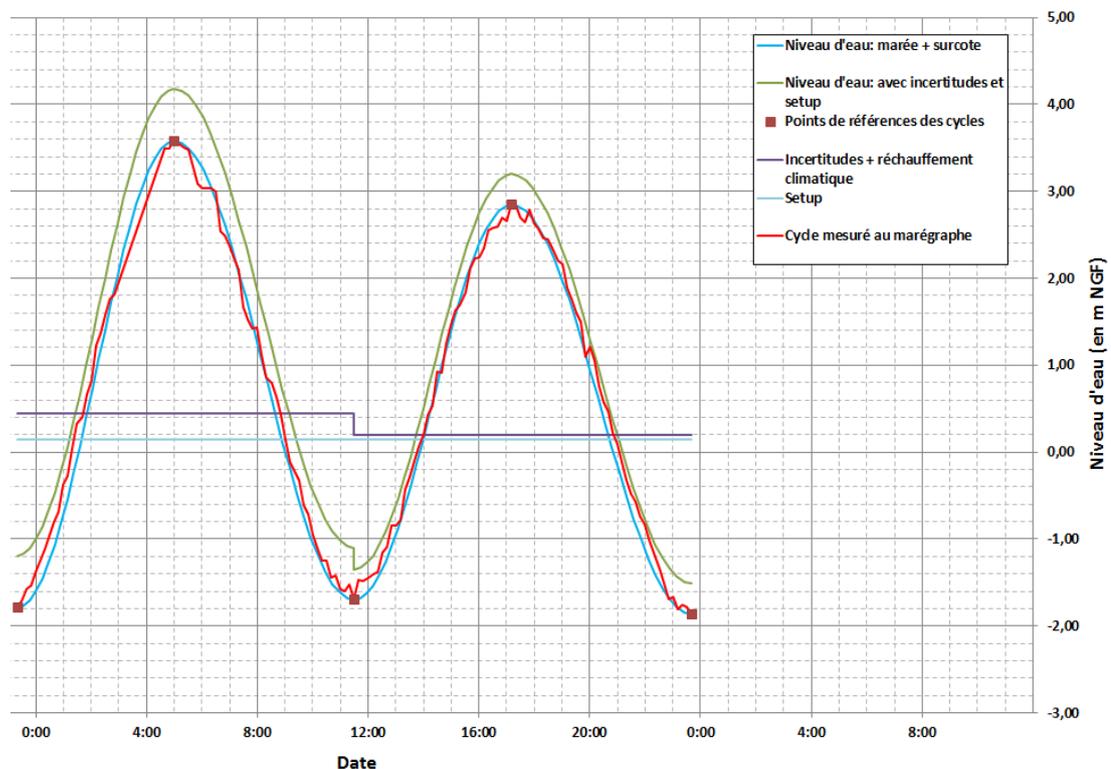


Figure 23 : modèle de cycles de marée construit pour l'évènement marin de référence sur le secteur S1 (Concarneau)

5.4 Méthode de calculs des franchissements

Après détermination des conditions de houles calculées précédemment aux abords de la zone d'étude, des cycles de marées, des tronçons homogènes du littoral, du scénario de défaillance, et du cas à considérer pour le choix de l'évènement de référence, les calculs de franchissement par paquets de mer, peuvent être réalisés.

Nota : On rappelle que pour les cas où l'évènement de référence à retenir est celui générant le plus de franchissement, le cas à considérer sera déterminé après calcul des franchissements sur chaque tronçon homogène pour tous les évènements de référence.

Les calculs de franchissements sont basés sur les formules de l'EUROTOP Manuel pour les ouvrages. Pour des plages, on suivra les recommandations formulées dans le GUIDE PPRNL.

Pour l'utilisation des formules, il est nécessaire de connaître les caractéristiques de la houle en pied d'ouvrage. Dans le cas de zones en eaux peu profondes, ce qui est le cas ici, les houles à une demi longueur d'onde des ouvrages issues des modèles de propagation et présentées dans le chapitre 4 - 3 déferlent généralement avant d'arriver à l'ouvrage. Pour estimer plus précisément les débits de franchissements, la houle issue des modèles de propagation de houle aux abords de la zone d'étude est recalculée au pied de l'ouvrage suivant la méthode dite de GODA.

5.4.1 Présentation des formules pour les digues :

- Franchissement pour $\xi_{m-1,0} < 5$:

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = \frac{0.067}{\sqrt{\tan \alpha}} \gamma_b \cdot \xi_{m-1,0} \cdot \exp\left(-4.3 \frac{R_c}{\xi_{m-1,0} \cdot H_{m0} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v}\right)$$

with a maximum of: $\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = 0.2 \cdot \exp\left(-2.3 \frac{R_c}{H_{m0} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta}\right)$

- Franchissement pour $\xi_{m-1,0} > 7$

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = 0.21 \cdot \exp\left(-\frac{R_c}{\gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot H_{m0} \cdot (0.33 + 0.022 \cdot \xi_{m-1,0})}\right)$$

- Franchissement pour $5 < \xi_{m-1,0} < 7$:

Une interpolation est réalisée entre les débits estimés pour $\xi_{m-1,0} < 5$ et ceux estimés pour $\xi_{m-1,0} > 7$:

Avec :

- q : volume de franchissement en l/s/ml,
- g : constante gravitationnelle : 9.81 m/s²,
- H_{m0} : Hauteur de houle significative spectrale au niveau de l'ouvrage,

- α : angle de l'ouvrage avec l'horizontale,
- $\xi_{m-1,0}$: Paramètre de déferlement (nombre d'Iribarren) : $\tan \alpha / s_0$,
- s_0 : Cambrure de la houle : H/L_0 avec H la hauteur de houle locale et L_0 longueur d'onde au large,
- $L_{m-1,0}$: Longueur d'onde au large associée à la période moyenne spectrale $T_{m-1,0}$,
- R_c : Revanche de la structure,
- γ_β : facteur d'obliquité $\gamma_\beta = 1 - 0.0063|\beta|$ (1 si l'obliquité n'est pas considéré),
- γ_b : facteur de berme (1 si pas de berme),
- γ_v : prise en compte d'un mur de couronnement $\gamma_v = 1.35 - 0.0078 \times \alpha_{wall}$ (1 si pas de prise en compte de mur), avec α_{wall} =angle du mur (°) (égal à 90° pour un mur vertical)
- γ_f : Facteur de rugosité (varie en fonction du type de surface et du produit $\gamma_b \times \xi_{m-1,0}$),
 - Pour $\gamma_b \xi_{m-1,0} < 1.8$:
 - 0.55 pour une surface avec enrochements sur 2 couches et noyau imperméable (0.40 si perméable),
 - 0.60 pour une surface avec enrochements sur 1 couche et noyau imperméable (0.45 si perméable),
 - 1 pour une surface lisse imperméable,
 - Pour $\gamma_b \xi_{m-1,0} > 1.8$: le facteur de rugosité croit de manière linéaire à partir de la valeur retenue dans le cas où $\gamma_b \xi_{m-1,0} < 1.8$ (avec pour valeur maximale 1).
 - Pour $\gamma_b \xi_{m-1,0} > 10$: le facteur de rugosité est égal à 1.

Nota : les facteurs d'obliquité, de berme et de prise en compte d'un mur sont pris égaux à 1.

5.4.2 Présentation des formules pour les cordons dunaires :

Pour les cordons dunaires, Les formules de franchissements développées ci-après sont également utilisées en considérant (conformément aux préconisations du Guide PPRNL de Mai 2014) un coefficient de rugosité de 0.65 (si $\gamma_b \xi_{m-1,0} < 1.8$).

5.4.3 Présentation des formules pour les ouvrages verticaux :

Pour vérifier le franchissement sur les structures verticales, il est nécessaire d'établir si le déferlement des vagues se fait sous des conditions impulsives ou non impulsives.



Figure 24 : Illustration des vagues impulsives/non impulsives

A ce titre, un critère d'impulsivité est déterminé selon la formule suivante :

$$h_* = 1.35 \frac{h_s}{H_{m0}} \frac{2\pi \cdot h_s}{g \cdot T_{m-1,0}^2}$$

Le franchissement moyen est alors estimé par une approche déterministe à partir des formules suivantes :

- Dans le cas d'un déferlement non impulsif ($h_* > 0.3$) :

$$\frac{q}{\sqrt{g H_{m0}^3}} = 0.04 \cdot \exp\left(-1.8 \frac{R_c}{H_{m0}}\right)$$

- Dans le cas d'un déferlement impulsif ($h_* < 0.2$) où les vagues sont déferlantes :

$$\frac{q}{h_*^2 \cdot \sqrt{g \cdot h_s^3}} = 2.8 \times 10^{-4} \cdot \left(h_* \frac{R_c}{H_{m0}}\right)^{-3.1} \quad \text{avec } 0.02 \leq h_* \frac{R_c}{H_{m0}} < 1.0$$

- Dans le cas d'un déferlement impulsif ($h_* < 0.2$) où les vagues ont déferlé :

$$\frac{q}{h_*^2 \cdot \sqrt{g \cdot h_s^3}} = 3.7 \times 10^{-4} \cdot \left(h_* \frac{R_c}{H_{m0}}\right)^{-2.7} \quad \text{avec } h_* \frac{R_c}{H_{m0}} < 0.02$$

- Si $0.2 < h_* < 0.3$, la valeur maximale entre un déferlement impulsif et non impulsif sera retenue.

5.5 Résultats des calculs de franchissements

Les résultats des calculs de franchissements sont fournis ci-après. Ce tableau classe les résultats pour chaque tronçon homogène de littoral dans 3 classes de débits :

- Franchissement < 10l/s/ml
- Franchissement entre 10l/s/ml et 100l/s/ml

■ Franchissement > 100l/s/ml

Les volumes franchis ne sont plus calculés dès lors qu'il y a surverse.

Tronçons	Volumes (l/s/ml)		
	état actuel	secteur correspondant	état à 100 ans
TR36	0	S1	0
TR37	0	S2	0
TR38	0	S2	0
TR39	10 à 100	S3	> 100
SC40a	10 à 100	S3	10 à 100
SC40b	0	S3	0
SC40c	1 à 10	S3	10 à 100
SC40d	0	S3	0
SC40e	> 100	S4	> 100
SC40f	10 à 100	S4	> 100
TR41a	0	S4	0
TR41b	0	S5	0
CD42	> 100	S5	> 100
CD43a	> 100	S6	> 100
CD43b	> 100	S6	> 100
SC44	>100	S6	> 100
TR45	0	S7	0
CD46	1 à 10	S8	1 à 10
CD47	1 à 10	S9	1 à 10
SC48	10 à 100	S9	> 100
SC49	> 100	S10	> 100
CD50	0	S10	1 à 10
SC51	10 à 100	S11	10 à 100
CD52	0	S12	10 à 100
TR53	0	S13	0
SC54	0	S13	0
SC55a	> 100	S14	> 100
SC55b	10 à 100	S14	> 100
SC56	0	S14	0

Figure 25 : tableau de synthèse des calculs de franchissements sur chaque tronçon homogène exposé à la houle

Chapitre 5 - Aléa érosion

1 Méthodologie

Ce chapitre entier s'attache à rappeler la méthodologie à employer pour la détermination de l'aléa érosion (ou « recul du trait de côte »). Cette méthodologie est issue du guide du PPRNL de mai 2014 réalisé par la Direction Générale de la Prévention des Risques - Service des Risques Naturels et Hydrauliques.

La caractérisation de l'aléa recul du trait de côte repose sur la synthèse de l'évolution passée des côtes. L'analyse qualitative de l'évolution du trait de côte passée et les positions du trait de côte identifiées sont ensuite exploitées pour déterminer par secteur de comportement homogène le taux moyen annuel de recul. Ce travail a été effectué lors de la phase 1.

1.1 Principes de caractérisation et de cartographie de l'aléa

L'approche historique va permettre d'avoir une bonne connaissance des évolutions du trait de côte sur les années passées. Dans le cadre de ce PPRNL, l'analyse de l'évolution passée du trait de côte a été réalisée sur la période 1978-2014 soit sur 36 ans environ. Elle autorise une projection des tendances passées sur les 100 prochaines années dans des conditions environnementales considérées comme invariantes dans le temps.

Nous verrons par la suite lors de l'analyse des résultats que les évolutions passées du trait de côte sont relativement faibles sur le littoral et qu'il est constaté une certaine stabilité sur le long terme permettant ainsi d'extrapoler la tendance sur les 100 prochaines années.

En conséquence, la zone d'aléa recul du trait de côte correspond à la zone de mobilité du trait de côte sous l'effet de l'érosion ou de la submersion permanente sous l'effet de la remontée du niveau de la mer à échéance 100 ans.

Cette zone d'aléa recul du trait de côte est délimitée par le trait de côte actuel et par celui à échéance 100 ans.

La détermination du trait de côte à échéance 100 ans s'appuie sur la définition d'un taux moyen annuel d'érosion ou de recul Tx exprimé en m/an calculé sur la période de connaissance historique disponible, ici entre 1978 et 2014.

Toutefois, une analyse correcte ne peut se restreindre à une analyse diachronique de la position du trait de côte et à une extrapolation moyenne de la position du trait de côte à partir d'observations passées. Ce mode de calcul ne peut pas rendre compte de l'ensemble des évolutions morphologiques du littoral : évolution du profil, analyse des stocks sédimentaires et des transits sédimentaires au sein des cellules hydro-sédimentaires qui jouent un rôle sur l'évolution de l'estran et par voie de conséquence sur l'érosion et la mobilité du trait de côte... Ainsi, l'ensemble des facteurs influençant l'évolution du trait de côte doivent être pris en compte.

En particulier, si les tendances passées ne sont pas représentatives des tendances à venir (implantation d'un ouvrage, disparition d'un stock sédimentaire, etc.) et si un recul plus important peut être attendu, une pondération des taux d'évolution passée pourra être proposée.

Pour les côtes basses, la morphologie associée à l'évolution de la position du trait de côte doit être appréciée (maintien ou évolution des formes littorales, en particulier des cordons naturels jouant un rôle de protection contre la submersion marine et des barres sous-marines d'avant-côte jouant un rôle d'atténuation de la houle).

Pour chaque secteur de comportement homogène, les enveloppes suivantes seront définies :

- **la zone 100Tx** déterminée par projection sur 100 ans du taux moyen de recul du trait de côte annuel issu des tendances passées observées sans prise en compte des effets du changement climatique autres que ceux qui seraient implicitement intégrés dans le taux moyen observé sur la période passée.
- **le recul Lmax lié à un événement tempétueux majeur.**
 - Pour les côtes basses meubles, le recul du trait de côte lié à un événement tempétueux majeur Lmax sera déterminé par une analyse géomorphologique lorsque des données historiques seront disponibles.
 - Pour les côtes à falaises, le recul de type effondrement/éboulement ou glissement pourra être déterminé à partir de l'analyse des reculs historiques, des caractéristiques géologiques des falaises ou d'études géotechniques.

La zone soumise à aléa est définie à partir du recul à 100 ans issu de la projection des tendances passées, auquel est ajouté le recul susceptible d'intervenir lors d'un événement ponctuel majeur :

$$L_r = 100T_x + L_{max}$$

Avec :

- Lr la largeur de la zone d'aléa,
- Tx le taux moyen de recul annuel,
- Lmax la valeur du recul du trait de côte consécutif à un événement tempétueux majeur pour les côtes basses meubles ou dû à un événement brutal majeur.

La zone susceptible d'être érodée lors d'un événement ponctuel majeur peut être supérieure à la zone érodable à échéance 100 ans.

C'est le cas en particulier d'une côte basse dont la tendance d'évolution à long terme est stable ($T_x = 0$) ; (Nous verrons d'ailleurs par la suite que c'est le cas de nombreuses plages de ce littoral d'étude). Cela ne signifie cependant pas que la position du trait de côte est fixe. Elle peut

varier au sein de « l'espace de liberté du littoral » avec ce que l'on appelle une variabilité interannuelle du trait de côte et une stabilité sur le long terme.

Cela peut être le cas également pour les côtes à falaises, où le recul moyen de la position du trait de côte sur 100 ans peut être inférieur à un recul ponctuel, en particulier si les événements sont de grande ampleur et rares ou si la période d'observation pour la détermination du Tx n'est pas représentative du cycle d'évolution.

Les incertitudes : Pour mémoire, il est important de rappeler que le processus de numérisation, de redressement et de géoréférencement des photographies aériennes puis de digitalisation du trait de côte sur les côtes basses meubles non artificialisées génère une marge d'erreur de +/- 10 m entre deux clichés successifs dont il faut tenir compte dans l'analyse. Aussi dans le cadre du calcul de l'aléa érosion, une marge d'incertitude de -10m (recul) a été pris en compte pour les côtes basses meubles.

Rappel concernant l'analyse de l'évolution passée du trait de côte : Pour appréhender l'évolution du trait de côte, il convient d'intégrer les différents pas de temps pour chacun des processus à l'œuvre. Il convient de rappeler que la mobilité spatiale intrinsèque, « respiration » ou « degré de liberté » du littoral ne doit pas être confondue avec la tendance évolutive à long terme. **C'est la raison pour laquelle, l'analyse de la dynamique littorale s'appréhende sur le temps long (échelle historique).**

1.2 Prise en compte des ouvrages de protection

Un ouvrage de protection côtier est une structure côtière construite et dimensionnée qui répond à une vocation initiale de fixation du trait de côte ou de soutènement des terres, de lutte contre l'érosion, de réduction des franchissements, de dissipation de l'énergie de la houle ou d'obstacle à l'écoulement, sans que ces fonctions soient exclusives : un ouvrage de protection peut recouvrir plusieurs de ces fonctions en même temps.

Ainsi plusieurs types d'ouvrages (perré, mur/soutènement, épis, brise-lames, digue) peuvent avoir un rôle de lutte contre le recul du trait de côte.

1.2.1 Côtes basses meubles

En présence d'ouvrages de protection, la méthode de détermination du taux de recul moyen annuel Tx est à adapter dès lors que ceux-ci peuvent jouer un rôle sur le long terme. Or, ces ouvrages ne sont pas conçus pour contrer les phénomènes d'érosion dans la durée mais souvent uniquement pour fixer le trait de côte ou limiter ses fluctuations.

Un littoral dont la ligne de rivage est en apparence fixée peut ainsi être soumis à un phénomène d'érosion pouvant se traduire par un abaissement du profil, des affouillements en pied d'ouvrages, etc.

La prise en compte des ouvrages de protection est à conditionner à leur capacité à contenir le recul à long terme et à résister aux sollicitations lors d'événements tempétueux. **Cette appréciation s'effectue à dire d'experts et s'appuie sur le principe qu'une zone située derrière un trait de côte artificialisé reste une zone potentiellement sujette à l'érosion et le cas échéant aux inondations.**

Le trait de côte peut être fixé selon 2 schémas :

- **l'ouvrage s'est substitué à la morphologie pré-existante.** A marée haute, le rivage n'existe plus et l'ouvrage est en contact direct avec la mer (pas de plage aérienne). Dans ce cas, le trait de côte est représenté par la façade maritime de l'ouvrage (cas d'une digue frontale).

C'est le cas dans le PPRNL2 de la plage du Grand Large à Moustierlin Est sur la commune de Fouesnant :



Source: Google Earth

- **l'ouvrage et la plage aérienne (sables ou galets) coexistent.** Le trait de côte est en partie délimité par l'ouvrage et le haut de plage. **Le trait de côte est dit « fixé » si la plage aérienne ne connaît pas d'évolution sur la période de référence passée** (Exemple : perré, épis ou brise-lames, protections dunaires, etc.).

C'est le cas dans le PPRNL2 notamment dans le secteur de la pointe du Moustierlin sur la commune de Fouesnant :



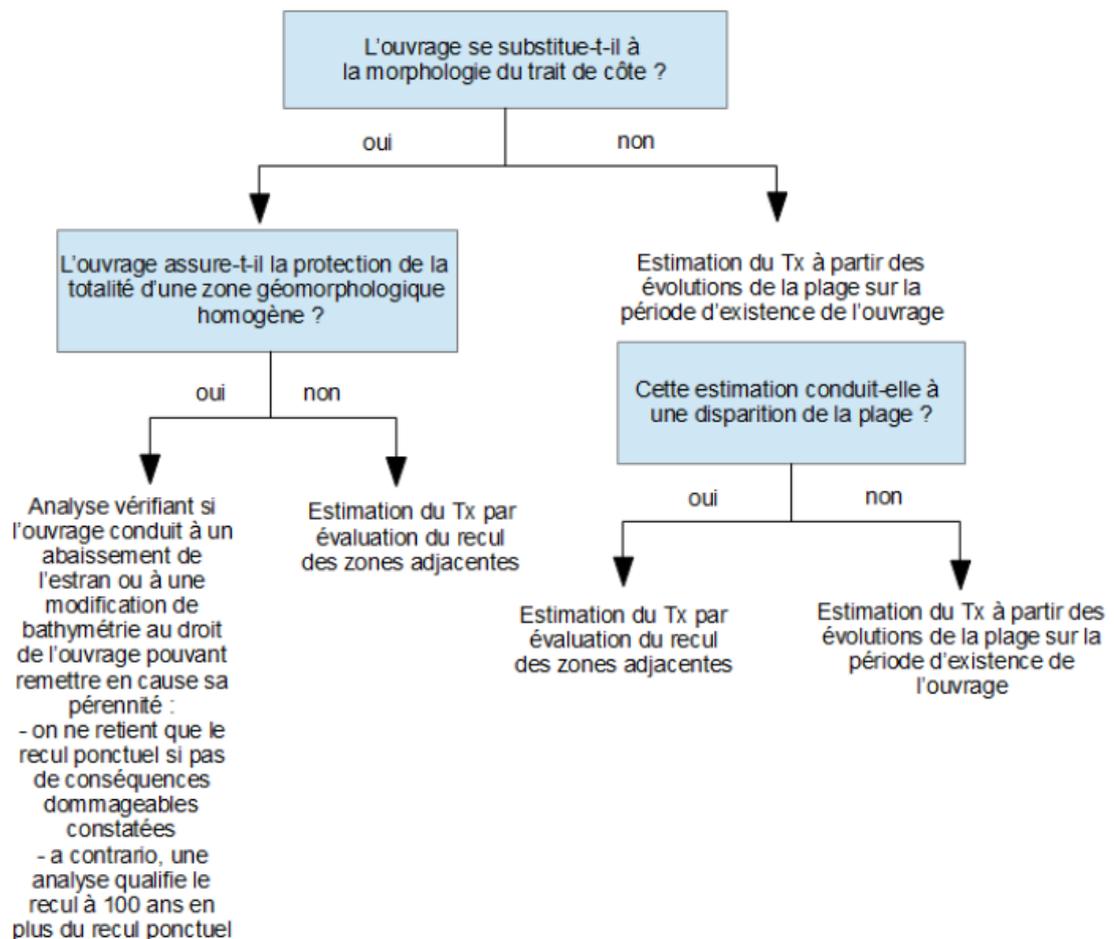
Source: Google Earth

En conséquence, il est proposé de prendre en compte les ouvrages de protection de la façon suivante :

- **Pour les ouvrages s'étant substitué au trait de côte**, deux cas peuvent se présenter :
 - **l'ouvrage assure la protection d'une partie d'une zone géomorphologique homogène et l'évolution de la zone protégée serait de même type que celle des zones adjacentes en absence d'ouvrage.** Dans ce cas, la zone soumise à aléa est déterminée par rapport à l'évolution des zones naturelles non protégées adjacentes où la dynamique érosive demeure active. En effet, le recul des zones contiguës à la zone protégée conduira à un contournement de l'ouvrage de protection. L'ouvrage procure ainsi une protection pendant une durée limitée dans le temps, la protection devenant de plus en plus difficile à assurer au fur et à mesure du recul des zones adjacentes. Lorsque cette protection ne pourra plus être assurée, un recul « accéléré » au droit des zones initialement protégées conduira à un réalignement du trait de côte. Dans ce cas, la zone soumise au recul est définie par une définition du taux de recul, de la projection et du recul ponctuel de chaque côté de l'ouvrage puis en joignant les deux extrémités des zones adjacentes.
 - **l'ouvrage assure la protection de la totalité d'une zone géomorphologique homogène** (zone basse encadrée par deux caps rocheux par exemple). Il n'est dans ce cas pas possible de déterminer un taux moyen annuel de recul. La manifestation de l'érosion ne se traduira alors pas par un recul du trait de côte mais par un abaissement de l'estran et une modification de la bathymétrie des fonds au droit de l'ouvrage de fixation du trait de côte pouvant cependant remettre en cause la pérennité de l'ouvrage.
 - Il peut être considéré que la portion de linéaire côtier est fixée sur le long terme avec arguments. La zone soumise au recul du trait de côte est définie par la seule application du recul ponctuel dans la caractérisation de l'aléa.
 - Si ces arguments ne peuvent être apportés, une analyse à dires d'expert est mise en œuvre pour définir la valeur du recul estimé à échéance 100 ans. Le recul ponctuel est dans ce cas également pris en compte pour définir la zone soumise à aléa.
- **Pour les ouvrages luttant contre l'érosion sans fixer le trait de côte** (épis, brise-lames...) avec présence de plage aérienne, si les tendances observées pendant la période protégée sont bien connues et représentatives des évolutions à venir, **l'évolution passée sur la période protégée qui est utilisée pour l'extrapolation à 100 ans est l'évolution sur la période d'existence des ouvrages.**

Si la **projection** à 100 ans conduit, en application du taux moyen de recul du trait de côte calculé, à la disparition de la plage, **il convient d'appliquer une analyse identique à celle présentée pour les ouvrages sans présence de plage aérienne.**

La défaillance probable de l'ouvrage sera dans tous les cas envisagée. La zone soumise à un recul ponctuel du trait de côte lors d'un événement tempétueux et en cas de défaillance de l'ouvrage sera estimée. Si une estimation n'est pas possible, elle sera a minima de 50 m à partir du trait de côte.



**Figure 26 : Démarche simplifiée de prise en compte des ouvrages
(Guide PPRNL mai 2014)**

1.2.2 Minima pris en compte pour les côtes artificialisées

Les côtes artificialisées sont les côtes protégées par un ouvrage. Sur les côtes artificialisées, il a été validé :

- Pour le taux de recul moyen annuel : 0m est retenu (cf. guide méthodologique PPRNL)
- Pour le Lmax, il est nécessaire de toujours mettre un Lmax minimum. Le Guide propose 20m. D'après, les estimations de Lmax sur les côtes non artificialisées des secteurs d'étude 20m semble une valeur excessive. Il a donc été retenu la logique suivante :
 - a. Il faut toujours considérer qu'il puisse y avoir une brèche dans un ouvrage de protection longitudinale et que par conséquent un recul du trait de côte peut s'y opérer.
 - b. Un recul minimum de 2 m est donc à considérer.
 - c. Lorsque le secteur à l'arrière de l'ouvrage longitudinal de haut de plage est artificiel (par exemple une route comme c'est le cas à l'île Tudy ou à Concarneau-Ville) alors il est pris en compte un recul potentiel de 2 m lié au fait que les sédiments sous la route pourraient s'éroder et créer un affaissement de la chaussée. Attention, dans ce type de cas nous ne connaissons pas exactement la teneur du matériau posé directement sous

la chaussée et donc il est délicat d'anticiper un recul. Toutefois, par sécurité il a été acté avec le CEREMA un recul sécuritaire de 2 m.

- d. Lorsque l'ouvrage de haut de plage est implanté sur un cordon dunaire ou sur une surface érodable et que cette surface est similaire au littoral adjacent (qui lui ne dispose pas d'ouvrage longitudinal), il est acté de prendre en compte un L_{max} équivalent au L_{max} du littoral adjacent le plus sécuritaire divisé par 2. *Exemple : protection en enrochements du Sillon (Combrit/Ile-Tudy), on considère $L_{max} = 5$ m car le L_{max} de la Plage du Treustel de Combrit = 10m.* Il est considéré $L_{max}/2$ et non pas L_{max} du littoral adjacent car il est considéré que lors d'une tempête, il faudra la moitié du temps pour d'abord créer la brèche dans l'ouvrage et ensuite il ne restera que la deuxième moitié du temps pour engendrer l'érosion du profil, soit $L_{max}/2$.

- Pour l'incertitude, 0m est retenu sur les ouvrages

1.2.3 Côtes à falaises

Les ouvrages de protection en pied de falaises peuvent limiter dans une certaine mesure le recul du trait de côte. Cependant, étant donné les origines le plus souvent à la fois maritime et continentale du recul, il est recommandé de ne pas prendre en compte l'impact de tels ouvrages.

1.3 Prise en compte du changement climatique

Il est recommandé d'identifier une zone d'aléa recul du trait de côte spécifique à l'impact du changement climatique, en particulier dans les zones à forts enjeux ou très sensibles aux phénomènes d'érosion.

Il n'existe pas de méthode unique adaptée pour déterminer la zone qui pourrait être érodée du fait du changement climatique. Suivant les types de côtes et les facteurs à l'origine du recul du trait de côte, la méthode la plus adaptée sera retenue. La prise en compte du recul du trait de côte lié au changement climatique (principalement l'élévation du niveau de la mer) du fait de l'état de l'art actuel, sera de fait arbitraire. En effet, les méthodes de type Loi de Brunn qui sont actuellement mobilisées pour évaluer le recul du trait de côte lors de tempêtes avec surcotes, ne permettent d'évaluer ce recul qu'à géomorphologie constante et de ce fait ne sont pas pertinentes à l'échéance de 100 ans.

Il est ainsi proposé :

- **de manière générale**, de s'appuyer sur le fait qu'une élévation du niveau moyen de la mer de 20 cm a été constatée le siècle dernier et que le changement climatique et son impact sur le recul du trait de côte est implicitement pris en compte dans les évolutions passées. Ainsi, pour estimer l'impact d'une élévation du niveau moyen de la mer de 60 cm sur le trait de côte (à 100 ans), une simple « règle de trois » sera ainsi proposée, lorsque d'autres facteurs de recul n'ont pas été identifiés, soit une multiplication par 3 du T_x (60/20).
- **pour les côtes basses meubles sur lesquelles le trait de côte n'a pas subi d'évolution historique récente** (tendance à long terme), le recul à échéance 100 ans sera calculé sur la base des reculs occasionnés par des événements tempétueux majeurs dans le passé, majorés d'un facteur 3 (règle de trois entre les + 60 cm

d'élévation du niveau de la mer attendu pour 2100 et les + 20 cm enregistrés le siècle dernier).

- **pour les zones non soumises à l'érosion, c'est à dire les zones basses meubles protégées de l'action érosive de la mer** (cas des fonds de baie, rivages des lagunes et étangs côtiers) **ou des zones basses rocheuses** (platiers), la montée progressive du niveau moyen de la mer (+ 60 cm à échéance 2100) conduira à un déplacement du trait de côte vers l'intérieur des terres sans érosion (l'érosion est prise ici au sens de « perte de sédiments ») ou remodelage de la topographie. La délimitation de ces zones est alors faite sur une base altimétrique, en référence au niveau marin à échéance 100 ans. Ces zones peuvent ne pas être en contact direct avec le plan d'eau lagune ou mer ; la mise en eau pouvant se faire par le biais de la remontée des nappes.

1.4 Qualification de l'aléa

Il existe un seul niveau d'aléa, l'aléa fort. En effet, la nature de l'aléa implique une disparition du terrain concerné qui ne pourrait se voir appliquer des prescriptions réglementaires.

Le recul des côtes à falaises peut quelquefois générer des dangers pour les personnes (chutes de blocs, coulées boueuses) en pied de falaise. Cet autre aléa, qui sera qualifié de fort, peut être mentionné si nécessaire.

2 Analyse de l'évolution du trait de côte à 100 ans

Première étape : Séparation des secteurs d'étude en zones homogènes :

- Côtes basses,
- Côtes à falaises,
- Côtes avec ouvrages de protection :
 - Côtes basses meubles :
 - soit l'ouvrage s'est substitué au trait de côte,
 - soit l'ouvrage et la plage aérienne coexistent,
 - La défaillance probable de l'ouvrage doit être envisagée et estimée → si estimation impossible prendre une zone minimale de 50 m à partir du TC.
 - Côtes à falaises : Le guide du PPRNL recommande de ne pas prendre en compte l'impact d'ouvrages de protection sur les côtes à falaises.
- Zones stables,
- Zones en érosion, etc...

Deuxième étape : définition des enveloppes:

- La zone 100Tx déterminée par projection sur 100 ans du taux moyen de recul du TC annuel issu des tendances passées observées.
- Le recul Lmax lié à un évènement tempétueux majeur.

Pour déterminer l'évolution du trait de côte à 100 ans, nous avons réalisé en complément le profil longitudinal de haut de plage ainsi que des profils transversaux de la plage pour analyser entre autres :

- La présence de brèches et de zones basses,
- La largeur du cordon dunaire,
- La présence ou non de zones basses à l'arrière.
- Les pentes de plage ...

L'intervalle de confiance lié à l'extrapolation et à l'incertitude de la position du trait de côte, lié à la source de l'information (orthophotos, levés terrain...) sera indiqué en fonction des secteurs d'étude.

Troisième étape : Prise en compte du changement climatique, trois cas d'étude:

- M1 : De manière générale, règle de 3 entre l'élévation du niveau de la mer sur la période de l'évolution passée et entre l'élévation de 60 cm à 100 ans → règle de 3 sur l'évolution passée du TC.
- M2 : Côtes basses meubles sans évolution passée du TC: le recul à 100 ans sera calculé sur la base des reculs occasionnés par des événements tempétueux majeurs dans le passé, majorés d'un facteur 3 (règle de 3 entre +20 cm de niveau marin sur le siècle passé et +60 cm prévu à 100 ans).
- M3 : Zones non soumises à l'érosion (fonds de baie, rivages de lagunes, etc...) → impact de l'élévation de la mer sur la topo (exemple: plage de pente 2% → hausse du niveau de +60 cm → recul de 30 m).

2.1 Bilan du recul moyen annuel historique « Tx »

Les cartes suivantes présentent un bilan des valeurs de recul du trait de côte moyen annuel historique « Tx », basée sur le travail réalisé dans la phase 1 du PPRNL29. Nous renvoyons donc au rapport de phase 1. :

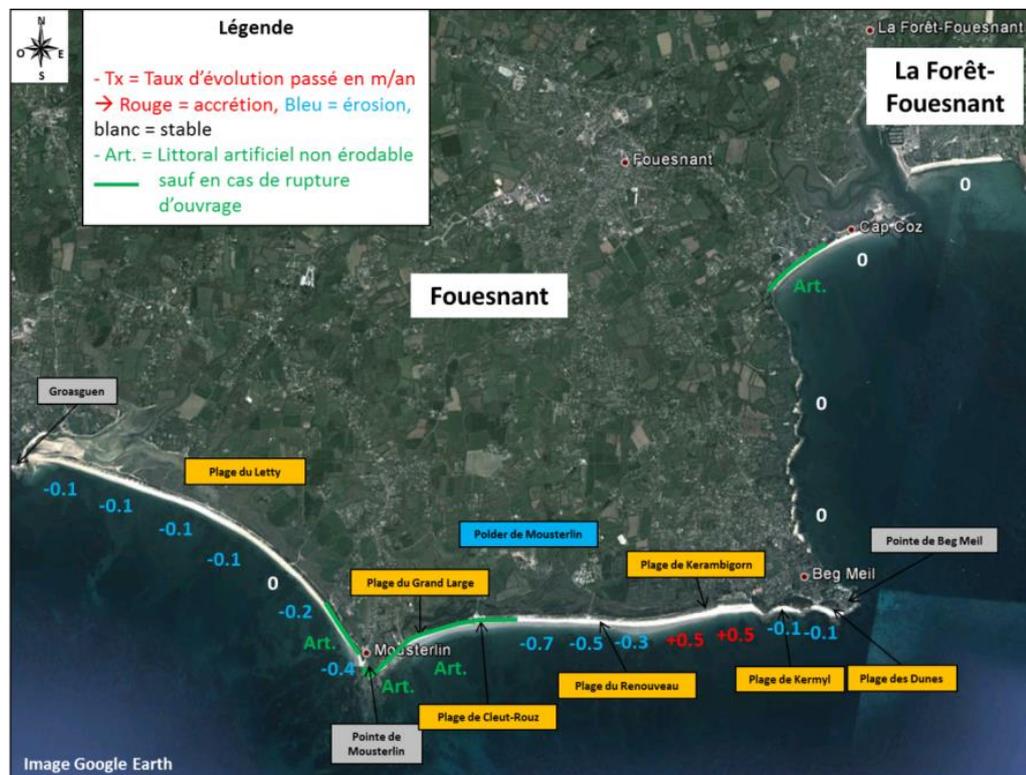
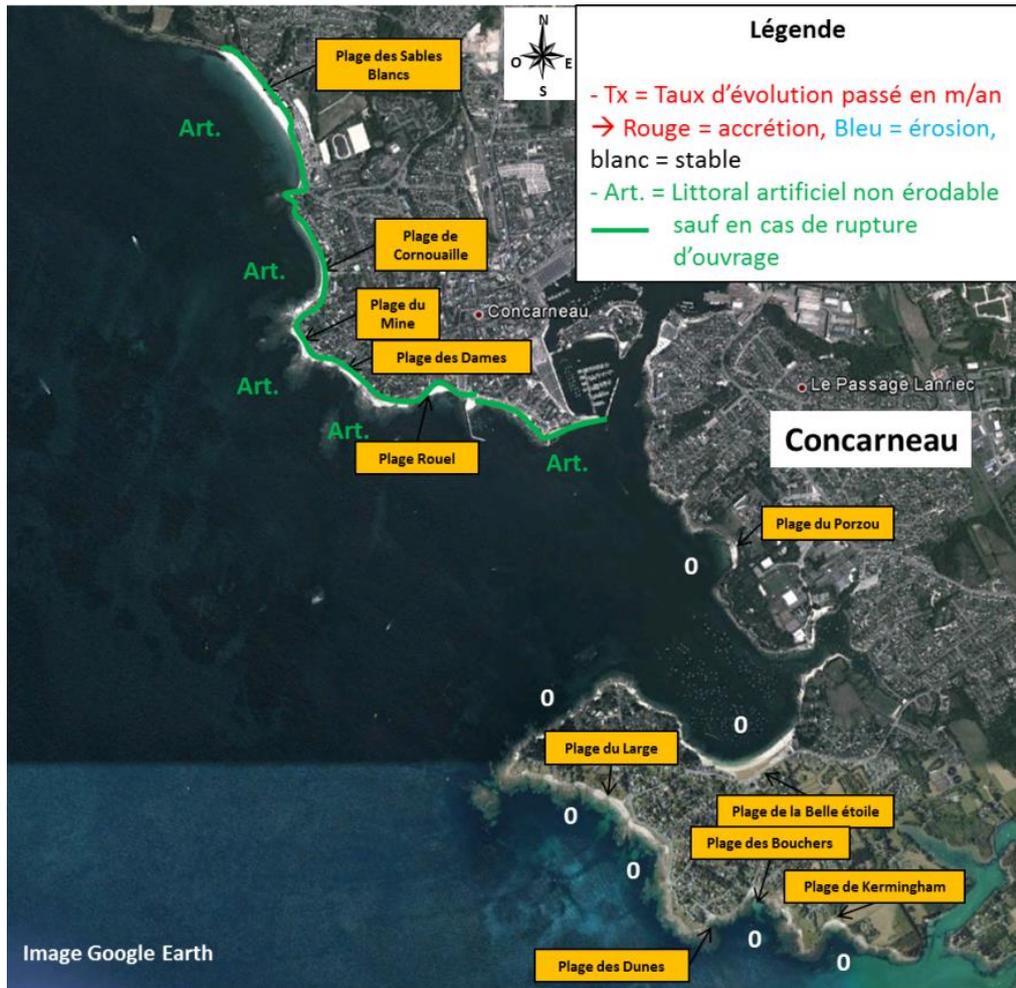




Figure 27 : Cartes présentant le recul moyen annuel historique du trait de côte « Tx »

2.2 Analyse du recul maximal lors d'une tempête « Lmax »

L'érosion des plages s'effectue essentiellement lors des fortes tempêtes comme l'attestent les conséquences sédimentaires des tempêtes recensées lors de la phase 1 :

Le recensement des tempêtes passées (cf. phase 1) ayant entraîné des phénomènes d'érosion (recul du trait de côte, brèches, écrêtage et/ou affaissement de cordon dunaire) est rappelé ci-après par commune. Ce recensement nous a permis d'estimer le risque de recul maximal en tempête Lmx afin de déterminer le recul du trait de côte à 100 ans.

2.2.1 Commune de Concarneau :

Evènements historiques :

- Octobre 1859 : Les dunes ont été érodées sur une longueur importante.
- 1978 : La houle et les vagues ont provoqué une érosion marine du vestige de dune présent au Sud du Cabellou (sur 30 m).
- 22 et 23 novembre 1984 : dans le secteur du Rouz, des sections du sentier côtier ont été dégradées.
- Evènements de l'hiver 2013/2014 :
 - Sables Blancs : abaissement de l'estran plage
 - Cabellou : affouillement sous murs de protection privés ; reculs du trait de côte ponctuellement observés dans les falaises meubles

Conclusion : Le littoral de Concarneau est majoritairement constitué par un trait de côte artificialisé avec des ouvrages longitudinaux ou bien par des falaises ou par des côtes rocheuses. Il n'y a que peu de plages sableuses pouvant être soumises à un recul lors de tempête. La problématique essentielle de cette commune est la submersion. L'analyse historique passée n'indique que peu de problèmes liés à l'érosion. La valeur du recul du trait de côte consécutif à un événement tempétueux majeur (Lmax) est de 2 m lorsqu'il n'y a pas d'ouvrages en haut de plage.

2.2.2 Commune de la Fôret-Fouesnant :

Evènements historiques :

- 13 décembre 1978 : dans le secteur de Saint-Laurent, les vagues et la houle ont érodés le rivage artificiel, causant la destruction partielle du ponceau et des remblais.
- 2003 : Erosion des roches meubles sur la plage de Kerleven, érosion légère des falaises du Petit Manoir.
- Evènements de l'hiver 2013/2014 :
 - Kerleven : Aux deux extrémités de Kerleven, des dommages ont été constatés dans les ouvrages de protection, au niveau des enrochements situés de part et d'autre de la plage.
 - Lieu-dit du Petit Manoir : La falaise meuble située au niveau du Petit Manoir a été fortement érodée le long du sentier côtier.

Conclusion : D'après l'analyse historique passée, peu de reculs du trait de côte ont été recensés. Le littoral de la Fôret-Fouesnant présente un faible risque de recul du trait de côte en tempête. La valeur du recul du trait de côte consécutif à un événement tempétueux majeur (Lmax) est de 2 m lorsqu'il n'y a pas d'ouvrages en haut de plage.

2.2.3 Commune de Fouesnant :

Evènements historiques :

- 1800 : brèche dans le cordon Ouest de Moustierlin.
- 1846 : dégâts sur le cordon de Moustierlin Est :
 - Erosion éolienne (suite à une surexploitation des chiensdents).
 - Brèches dans le cordon.
- 4 décembre 1865 : la dune de Moustierlin Ouest a rompu en 3 endroits distincts.
- 4 octobre 1866 : grande marée ayant provoquée de larges ouvertures dans les dunes de Moustierlin Est.
- 1867 : érosion et abaissement de la crête de dune (Moustierlin Est) suite à des actions anthropiques.
- 1er janvier 1877 : érosion et recul du trait de côte.

- 2 et 3 février 1904 : la dune a été érodée et, en pénétrant par deux brèches, la mer a transformé les champs en véritable marais.
- 13 et 14 mars 1937 : référence historique : recul de la dune de 4 mètres sur un secteur de 200 m à la pointe Sud-Est de la plage lors d'une tempête. La dune de Groasguen (cordon Ouest) est progressivement rongée par la mer.
- 16 février 1941 : la dune de Groasguen, sur le rivage de l'anse, est fortement érodée. L'entrée de l'anse est élargie, le sable de la pointe est étalé sur 250 mètres et une brèche de 140 mètres apparaît à 80 mètres de l'extrémité.
- 22 au 25 octobre 1949 : une nouvelle brèche a été creusée dans la dune sur la pointe du Moustierlin.
- Hivers 1962 et 1963 : érosion côtière.
- Tempête de 1968 : une brèche de plus de 250 m de large a été provoquée et il y a eu des entrées d'eau de mer jusqu'à 700 à 800 m à l'intérieur des terres.
- 1970 : tempêtes successives qui entraînent des brèches dans les dunes de Moustierlin Est et Ouest.
- 1977 : plus de 400 traverses ont été arrachées laissant ainsi la mer endommager la dune à l'Ouest de la pointe sur une centaine de mètres.
- 1978 : plusieurs phénomènes :
 - Sur le cordon de Moustierlin Est, la dune a été endommagée par les tempêtes de secteur Sud-Est et Ouest sur un linéaire de 3 km.
 - Sur le cordon Ouest, la dune a été endommagée par les tempêtes de secteur Sud-Ouest et Ouest sur un linéaire de 4 km.
- 13 décembre 1978 : recul de la dune de plusieurs mètres. Sur l'île de Saint-Nicolas (Glénan), la dune Sud a été érodée.
- 22 au 26 novembre 1984 : la mer a emporté les dunes sur 2,5 km de longueur et sur une profondeur de 3 à 8 m.
- 1985 : recul de 2 m de dunes à plusieurs endroits.
- 15 octobre 1987 : le secteur de Beg Meil a été particulièrement touché par l'érosion.
- 15 au 18 décembre 1989 :
 - Dune de Beg Meil : recul de 3 m dans les dunes, affaissement, brèches, inondation des marais en arrière de la dune par submersion.
 - Dune de Moustierlin : recul notable de la dune à l'Est de l'enrochement.
- 3 février 1990 : au niveau de Kerler (Moustierlin Ouest), le chemin côtier présent sur la dune a disparu.
- 19 janvier 1995 : dégâts :
 - Le Renouveau : creux de 2 à 3 m de large percés dans la dune,
 - Plage des Dunes : brèches dans la dune, dont une de 5 à 6 m de large,
 - Les dunes de Moustierlin Est et Ouest ont subi une érosion.
- Octobre 1999 : la dune de Cleut-Rouz a reculé de 4 m.

- 25 au 31 décembre 1999 : les dunes de Mousterlin Est et Ouest ont été mises à mal par la tempête, les ganivelles et escaliers d'accès à la plage ont été endommagés dans les secteurs du Cleut-Rouz et du Renouveau.
- 27 octobre 2004 : recul du cordon dunaire au niveau de la plage de Kermyl.
- 10 mars 2008 : érosion sur le secteur de Cleut-Rouz.
- Evènements de l'hiver 2013/2014 :
 - Cap Coz : engraissement
 - Au niveau de la plage des Dunes, une érosion est visible de part et d'autre de l'escalier d'accès, ainsi que sur l'extrémité de la plage, vers la pointe de Beg Meil. Idem pour les plages de poches de Beg Meil.
 - Mousterlin Est : La dune de Cleut Rouz a subi des phénomènes érosifs. Selon le bilan établi par la mairie sur les tempêtes de début janvier, la dune aurait reculé sur 6 mètres à l'extrémité des enrochements, sur une longueur de 150 mètres.
 - Mousterlin Ouest : La dune, située de part et d'autre de l'enrochement de protection du monument aux fusillés s'est érodée avec un retrait sur un linéaire cumulé d'environ 150 mètres selon les bilans établis par la mairie. A l'extrémité Ouest des dunes domaniales de Mousterlin, deux brèches sont apparues dans le cordon.
 - Glénans : sur l'île St-Nicolas, les dégâts les plus significatifs sont un recul important du trait de côte au sud-est de l'île sur environ 150 m avec l'effondrement d'un escalier d'accès à la plage d'une part, et d'autre par une érosion marquée au nord-ouest de l'île sur environ 300 m (-13m).

Conclusion : Le littoral de Fouesnant est essentiellement constitué par des cordons dunaires (Mousterlin Est et Ouest) qui sont rudement soumis à l'action des tempêtes. Sur l'ensemble des cordons dunaire, le risque de recul lors des tempêtes est très sensible. D'après l'analyse historique passée, de nombreux recul du trait de côte et de dommages dans les dunes ont été recensés.

Aujourd'hui, les cordons dunaires ont été renforcés par des enrochements (Mousterlin Est et Ouest) ou par une rehausse et une consolidation (Mousterlin Ouest). Ainsi, les risques de recul du trait de côte sont inférieurs à la période historique passée (1800-2012, analyse des tempêtes).

La valeur du recul du trait de côte consécutif à un évènement tempétueux majeur (L_{max}) est de 10 m.

Les autres secteurs sont essentiellement artificialisés ou bien constitués par des côtes rocheuses végétalisées qui sont moins sujettes à l'érosion.

2.2.4 Commune de Bénodet :

Evènements historiques :

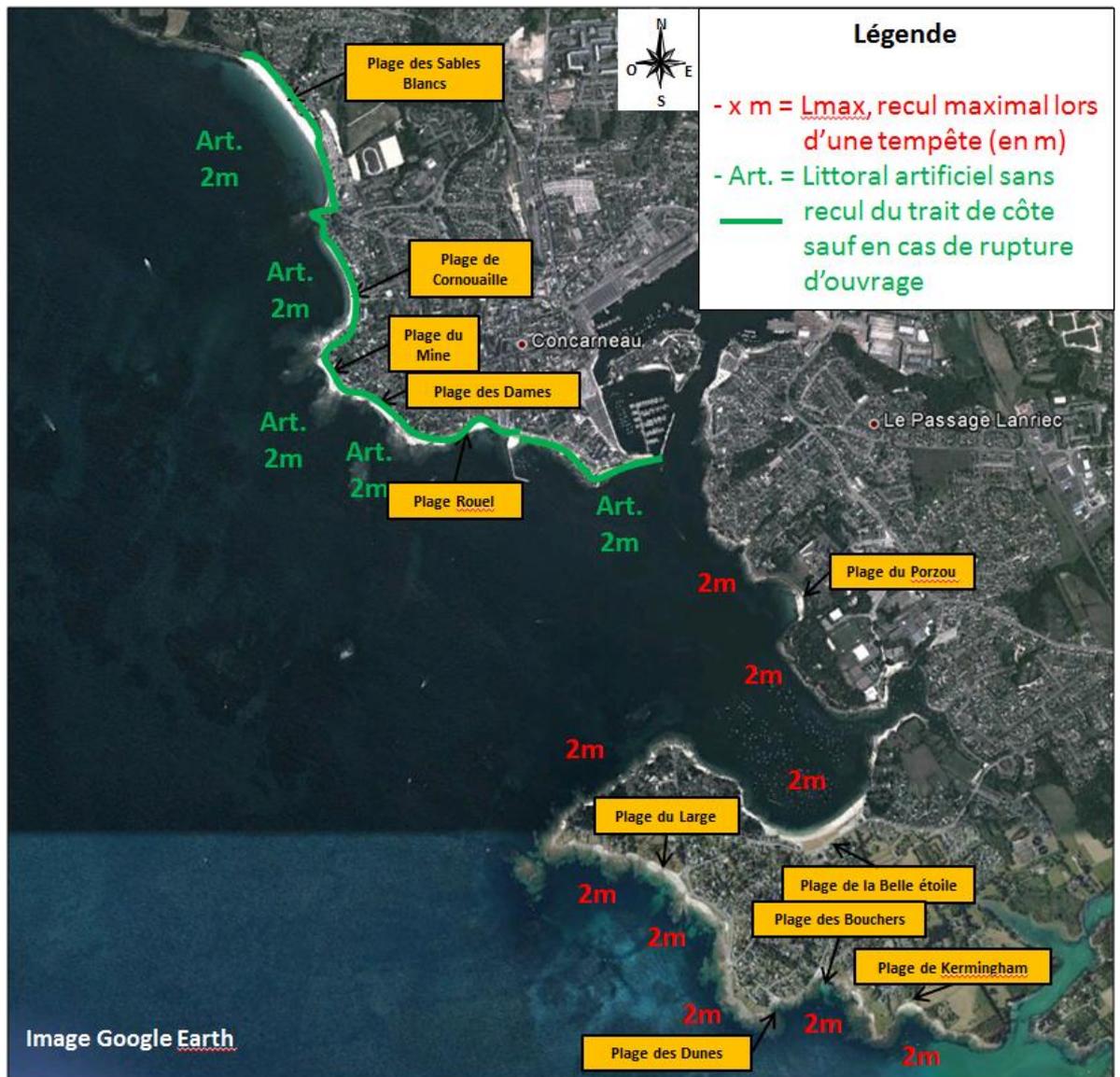
- 1978 : au niveau de la pointe Saint-Gilles, la roche a été érodée sous l'action conjuguée des facteurs continentaux et de l'infiltration des eaux continentales.
- Février 1979 : les vagues ont entamé la côte rocheuse sur une cinquantaine de mètres et emporté de larges plaques de bitume devant la résidence de Saint-Gildas.
- 2003 : au niveau de la pointe Saint-Gilles, des facteurs météo-marins conjugués ont entraîné l'érosion et la destruction des rivages, au niveau de la route.
- 10 mars 2008 : au niveau du camping du Letty, le mur de protection s'est effondré sur 5 m et les fondations se sont déchaussées sur 20 m.
- Evènements de l'hiver 2013/2014 : exutoire des eaux pluviales situé en face du Casino a été détruit ; effondrements zone enrochées, destructions murs de soutènements et chemins piétonniers pointe de St-Gilles

Conclusion : Le littoral de Bénodet est constitué de côtes rocheuses entrecoupées de plages de poche. De manière générale, le haut des plages est artificialisé avec la présence de protections longitudinales qui empêchent le recul du trait de côte.

Ainsi, pour les zones artificialisées, le recul L_{max} lors d'une tempête est nul à moins qu'il y ait une rupture de l'ouvrage. Pour le secteur de la plage de Saint-Gilles non artificialisé, la valeur du recul du trait de côte consécutif à un évènement tempétueux majeur (L_{max}) est de 2 m.

2.2.5 Conclusion

Les cartes suivantes présentent un bilan des valeurs de recul du trait de côte maximums pouvant se produire lors d'une tempête :



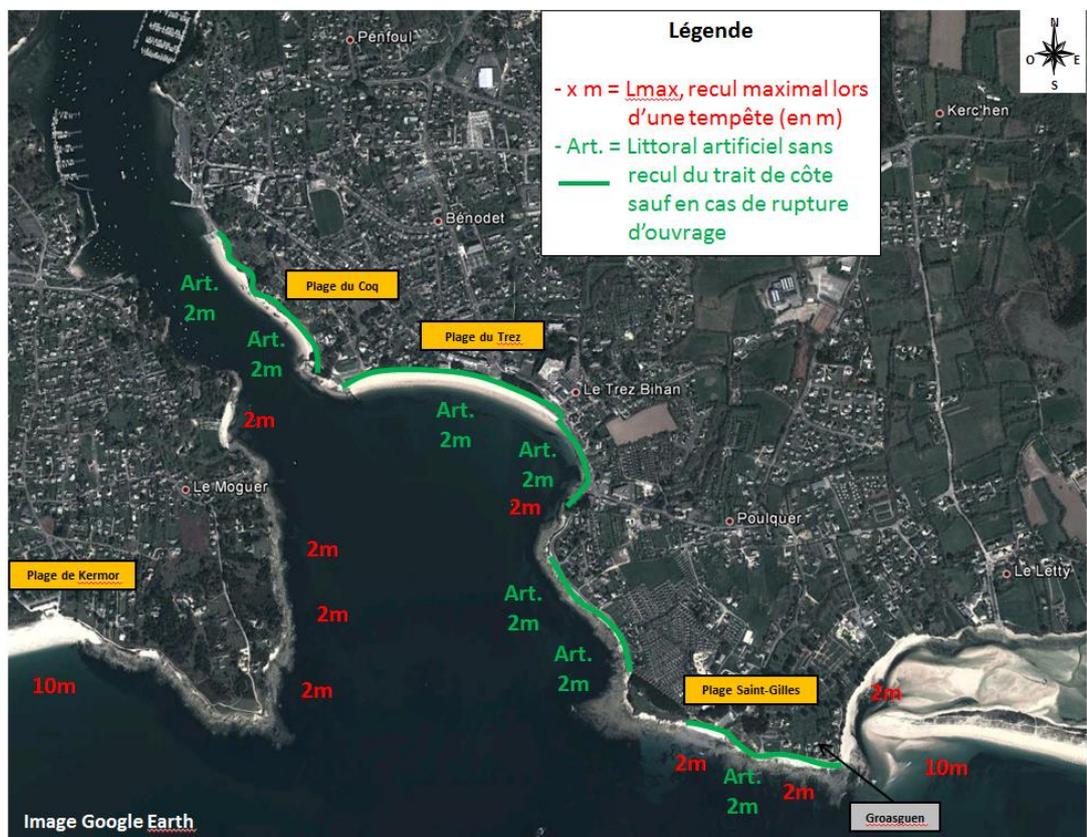


Figure 28 : Cartes présentant le recul maximal du trait de côte lors d'une tempête « L_{max} »

2.3 Bilan

Les tableaux ci-après dressent un bilan des évolutions du trait de côte à 100 ans avec et sans prise en compte du changement climatique.

NB : Les profils en travers numérotés dans le tableau peuvent être localisés dans le rapport de phase 1 (pages 80 à 85 pour la commune de Fouesnant).

Communes	Plages	N° Profils de l'analyse passée du trait de côte	Types de littoral	Ouvrages de protection	Tx passé (m/an)	Lmax (m)	L'ouvrage est-il substitué au TC?	Si oui, l'ouvrage assure-t-il la protection de la totalité d'une zone homogène?	Si non, l'estimation du Tx est à partir des évolutions de la plage sur la période d'existence de l'ouvrage	Incertitudes à 100 ans (en m)	Recul du trait de côte à 100 ans		Recul du trait de côte à 100 ans en prenant en compte le changement climatique		
											Recul du trait de côte Lr = 100Tx + Lmax	Enveloppe maximale du recul du trait de côte Lr = 100Tx + Lmax	Méthode considérée	Recul du trait de côte avec changement climatique	Enveloppe maximale du recul du trait de côte avec changement climatique
Concarneau	Tous les secteurs rocheux entre les différentes plages de poche de Concarneau		côte basse meuble et côte rocheuse		0	2				-10	-2	-12	2	-8	-18
Concarneau	Le Cabellou - Kermingham		côte basse meuble et côte rocheuse		0	2	non		Tx à partir du recul de la plage	-10	-2	-12	3	-9	-19
Concarneau	Le Cabellou - Bouchers		côte basse meuble et côte rocheuse		0	2				-10	-2	-12	3	-13	-23
Concarneau	Le Cabellou - Dunes		côte basse meuble et côte rocheuse		0	2				-10	-2	-12	3	-8	-18
Concarneau	Le Cabellou - du Large		côte basse meuble et côte rocheuse	ouvrages longitudinaux de haut de plage	0	2				-10	-2	-12	3	-9	-19
Concarneau	Le Cabellou - Belle étoile		côte basse meuble		0	2				-10	-2	-12	3	-10	-20
Concarneau	Porizou		côte basse meuble et côte rocheuse		0	2				-10	-2	-12	3	-13	-23
Concarneau	Rouel		côte basse meuble	ouvrages longitudinaux de haut de plage	0	2	oui	oui, abaissement de l'estran, portion de linéaire fixée sur le long terme		-10	-2	-12	2	-8	-18
Concarneau	des Dames		côte basse meuble	ouvrages longitudinaux de haut de plage	0	2			0	-2	-2	2	-8	-8	
Concarneau	du Mine		côte basse meuble	ouvrages longitudinaux de haut de plage	0	2			0	-2	-2	2	-8	-8	
Concarneau	de Cornouailles		côte basse meuble	ouvrages longitudinaux de haut de plage	0	2			0	-2	-2	2	-8	-8	
Concarneau	des Sables Blancs		côte basse meuble	ouvrages longitudinaux de haut de plage	0	2			0	-2	-2	2	-8	-8	

Communes	Plages	N° Profils de l'analyse passée du trait de côte	Types de littoral	Ouvrages de protection	Tx passé (m/an)	Lmax (m)	L'ouvrage est-il substitué au TC?	Si oui, l'ouvrage assure-t-il la protection de la totalité d'une zone homogène?	Si non, l'estimation du Tx est à partir des évolutions de la plage sur la période d'existence de l'ouvrage	Incertitudes à 100 ans	Recul du trait de côte à 100 ans		Recul du trait de côte à 100 ans en prenant en compte le changement climatique		
											Recul du trait de côte Lr = 100Tx + Lmax	Enveloppe maximale du recul du trait de côte Lr = 100Tx + Lmax	Méthode considérée	Recul du trait de côte avec changement climatique	Enveloppe maximale du recul du trait de côte avec changement climatique
Concarneau La Forêt-Fouesnant	Secteur littoral naturel entre la plage de Kerleven et la plage des Sables Blancs de Concarneau		côte basse meuble et côte rocheuse		0	2				-10	-2	-12	2	-8	-18
La Forêt-Fouesnant	Kerleven		côte basse meuble	ouvrages longitudinaux de haut de plage	0	2	non		Tx à partir du recul de la plage	-10	-2	-12	3	-9	-19
Fouesnant	Cap Coz Est		côte basse meuble		0	2				-10	-2	-12	3	-9	-19
Fouesnant	Cap Coz Ouest		côte basse meuble	ouvrages longitudinaux en béton	0	2	oui	oui, abaissement de l'estran, portion de linéaire fixée sur le long terme		0	-2	-2	3	-9	-9
Fouesnant	de Cap Coz à Beg Meil		côte basse meuble et côte rocheuse		0	2				-10	-2	-12	3	-5	-15
Fouesnant	Des Dunes	P1 à 7	côte basse meuble		-0.1	5				-10	-15	-25	3	-20	-30
Fouesnant	Kermyl	P8 à 12	côte basse meuble		-0.1	5				-10	-15	-25	3	-20	-30
Fouesnant	Kerambigorn	P13 à 29	côte basse meuble		0.5	10				-10	40	30	2	10	0
Fouesnant	Le Renouveau	P30 à 36	côte basse meuble		-0.3	10				-10	-40	-50	1	-100	-110
Fouesnant	Le Renouveau	P37 à 41	côte basse meuble		-0.5	10				-10	-60	-70	1	-160	-170
Fouesnant	Cleut-Rouz	P41 à 44	côte basse meuble		-0.7	10				-10	-80	-90	1	-220	-230
Fouesnant	Grand Large	P45 à 56	côte basse meuble	ouvrage longitudinal en enrochements	0	5	oui	non, tx par zones adjacentes (Est)		-10	-75	-85	1	-215	-225

Communes	Plages	N° Profils de l'analyse passée du trait de côte	Types de littoral	Ouvrages de protection	Tx passé (m/an)	Lmax (m)	L'ouvrage est-il substitué au TC?	Si oui, l'ouvrage assure-t-il la protection de la totalité d'une zone homogène?	Si non, l'estimation du Tx est à partir des évolutions de la plage sur la période d'existence de l'ouvrage	Incertitudes à 100 ans	Recul du trait de côte à 100 ans		Recul du trait de côte à 100 ans en prenant en compte le changement climatique		
											Recul du trait de côte Lr = 100Tx + Lmax	Enveloppe maximale du recul du trait de côte Lr = 100Tx + Lmax	Méthode considérée	Recul du trait de côte avec changement climatique	Enveloppe maximale du recul du trait de côte avec changement climatique
Fouesnant	Pointe Moustierlin		côte artificialisée	ouvrage longitudinal en béton et enrochements	0	2	oui	non, tx par zones adjacentes (Ouest)		0	-2	-2	2	-8	-8
Fouesnant		P1 à 4	côte basse meuble		-0.4	10				-10	-50	-60	1	-130	-140
Fouesnant		P5 à 21	côte basse meuble	ouvrage longitudinal en enrochements	0	5	oui	non, tx par zones adjacentes (Est)		-10	-45	-55	1	-125	-135
Fouesnant		P22 à 24	côte basse meuble		-0.2	10				-10	-30	-40	1	-70	-80
Fouesnant		P25 à 34	côte basse meuble		0	10				-10	-10	-20	2	-40	-50
Fouesnant		P35 à 32	côte basse meuble		-0.1	10				-10	-20	-30	1	-40	-50
Fouesnant	Iles des Glénans - tous les secteurs hors les plages		côte basse meuble et côte rocheuse		0	2				-10	-2	-12	2	-8	-18
Fouesnant	Iles des Glénans - plages (fortement) exposées Sud (N90° à N270°)		côte basse meuble		-0.2	15				-10	-35	-45	2	-80	-90
Fouesnant	Iles des Glénans - plages (peu) exposées Nord (N270° à N90°)		côte basse meuble		-0.1	5				-10	-15	-25	2	-30	-40
Bénodet	Anse du Groasguen		côte basse meuble	ouvrages longitudinaux de haut de plage	0	2	non		Tx à partir du recul de la plage	-10	-2	-12	3	-9	-19
Bénodet	Saint Gilles		côte basse meuble et côte rocheuse	ouvrages longitudinaux pour tenir la route	0	2	oui	oui, recul ponctuel.		-10	-2	-12	3	-7	-17
Bénodet	Trez		côte basse meuble	ouvrages longitudinaux de haut de plage	0	2	non		Tx à partir du recul de la plage	-10	-2	-12	3	-7	-17
Bénodet	Coq		côte basse meuble	ouvrages longitudinaux pour tenir la route	0	2				-10	-2	-12	3	-9	-19

Tableau 12 : Bilan de l'analyse de l'évolution future du trait de côte

Chapitre 6 - Aléa submersion marine

Ce chapitre développe la méthodologie nécessaire à la qualification de l'aléa submersion marine. La méthodologie est issue du guide du PPRNL de Mai 2014 réalisé par la Direction Générale de la Prévention des Risques. - Service des Risques Naturels et Hydrauliques.

Aléa de référence : Enveloppe des aléas correspondant aux scénarios de référence. L'aléa de référence prend en compte des événements naturels. L'aléa de référence est utilisé pour établir le zonage réglementaire du PPR.

La caractérisation de cet aléa passe par trois étapes à savoir :

- Le choix des scénarios de référence : analyse de la zone d'étude, détermination des événements de référence, prise en compte des ouvrages de protection, détermination des franchissements,
- La caractérisation de l'aléa avec notamment la modélisation hydraulique terrestre
- La qualification de l'aléa par l'estimation de la hauteur d'eau et de la dynamique de submersion.

1 Choix des scénarios références

La méthodologie et l'application à chaque portion du littoral est illustrée par la carte de « *synthèse des modes de submersion et d'écoulement et des hypothèses de défaillance des structures de protection* ».

1.1 Méthodologie

1.1.1 Découpage du littoral

La logique de tronçons homogènes

Le littoral a été découpé en plusieurs tronçons dits homogènes afin de pouvoir définir de manière précise les phénomènes pouvant être responsables de la submersion marine (surverse, rupture, franchissements) sur chacun de ces tronçons et choisir ainsi les événements de référence les plus pénalisant.

Ces tronçons correspondent aux tronçons de littoral exploités pour les calculs de franchissements. Ils ont été définis en fonction de différents paramètres à savoir :

- l'exposition aux houles (basé sur les résultats de plans de vagues),

- les caractéristiques de la côte tels que le type de côte ou type de structure de protection, l'état, l'altimétrie, la pente, etc (basé sur les visites de site réalisées sur les ouvrages et le LIDAR),
- les caractéristiques des terrains en arrière tels que l'altimétrie et la topographie du terrain (basé sur le LIDAR et les visites de sites),
- les épisodes de franchissements historiques (basés sur le retour d'expérience),

Certains tronçons côtiers peuvent représenter un système de protection. Le terme système de protection fait référence à un système cohérent permettant la protection des personnes et des biens dans la zone protégée. Il comprend :

- les constructions humaines dites « digues »,
- les structures naturelles telles que les cordons dunaires,
- les ouvrages hydrauliques.

La logique de bassins de risque

Bassin de risque : Entité géographique pertinente pour l'analyse de l'aléa soumise à un même phénomène naturel.

Ces bassins de risque ont été définis pour que leurs pourtours correspondent aux tronçons homogènes de littoral. Sur ces bassins de risque, sera caractérisé l'aléa, via différentes méthodes (cf. chapitre 6 - 2).

1.1.2 Choix de l'évènement de référence pour chaque tronçon de littoral

Les définitions

Évènement naturel de référence : L'évènement naturel retenu est l'évènement le plus pénalisant en termes de submersion, ce qui revient à dire le plus pénalisant en termes de volumes entrants. Les volumes d'eau entrants sont liés aux trois modes de submersion : le débordement, le franchissement par paquets de mer et la rupture. La rupture peut être considérée comme un débordement particulier, pour lequel la cote du seuil varie dans le temps.

Le choix de l'évènement référence se fait par :

- la détermination de chacun des paramètres caractérisant les évènements (houles et niveaux marins) (cf. résultats aux chapitres 4 - 3.3.1 pour les Hs et chapitre 4 - 4.1 et 4.2 pour les niveaux marins)
- par l'analyse du type de phénomène de submersion le plus pénalisant : surverse, franchissements, rupture de l'ouvrage

Le « niveau marin de référence » (NER) intègre au niveau moyen de la mer :

- le **niveau de marée**,
- la **surcote météorologique**,
- la surcote liée aux vagues (le **set-up**) si celle-ci a lieu d'être (hors zone estuarienne non impactée)
- tout autre phénomène nécessitant d'être pris en compte et connu (exemple : seiche côtière) : dans le cas du PPRNL aucun phénomène de ce type n'a été mis en évidence,
- une **marge de sécurité** permettant de prendre en compte les incertitudes (celle-ci est retenue à **25 cm**).
- La prise en compte des **effets du changement climatique sur une base de 20cm dans l'état actuel**

La définition du phénomène de franchissement et donc du volume franchi relève d'une autre analyse. Pour intégrer la surcote liée aux vagues à la côte, deux paramètres sont nécessaires :

- le niveau marin, intégrant, au niveau moyen de la mer, l'effet de la marée et de la surcote météorologique (mais pas l'effet des vagues) z0,
- les vagues de **hauteur significative Hs** à l'origine de la surcote liée aux vagues calculée à la côte

Le schéma du choix de l'évènement référence

Afin de qualifier le plus précisément possible l'aléa de submersion, **les évènements de référence sont déterminés pour chaque tronçon homogène**, de manière à tenir compte de l'étendue et de l'hétérogénéité du littoral.

En effet, sur un même bassin de risque, le scénario de référence peut prendre en compte plusieurs évènements référence.

Scénario de référence : *scenarios d'évènements retenus pour chaque tronçon à l'échelle du bassin de risque pour la détermination de l'aléa de référence.*

L'évènement référence peut donc être, pour chaque tronçon homogène de littoral, soit :

- L'évènement référence générant le niveau marin le plus important (ERNM)
- L'évènement marin générant les volumes franchissants les plus importants (ERV)

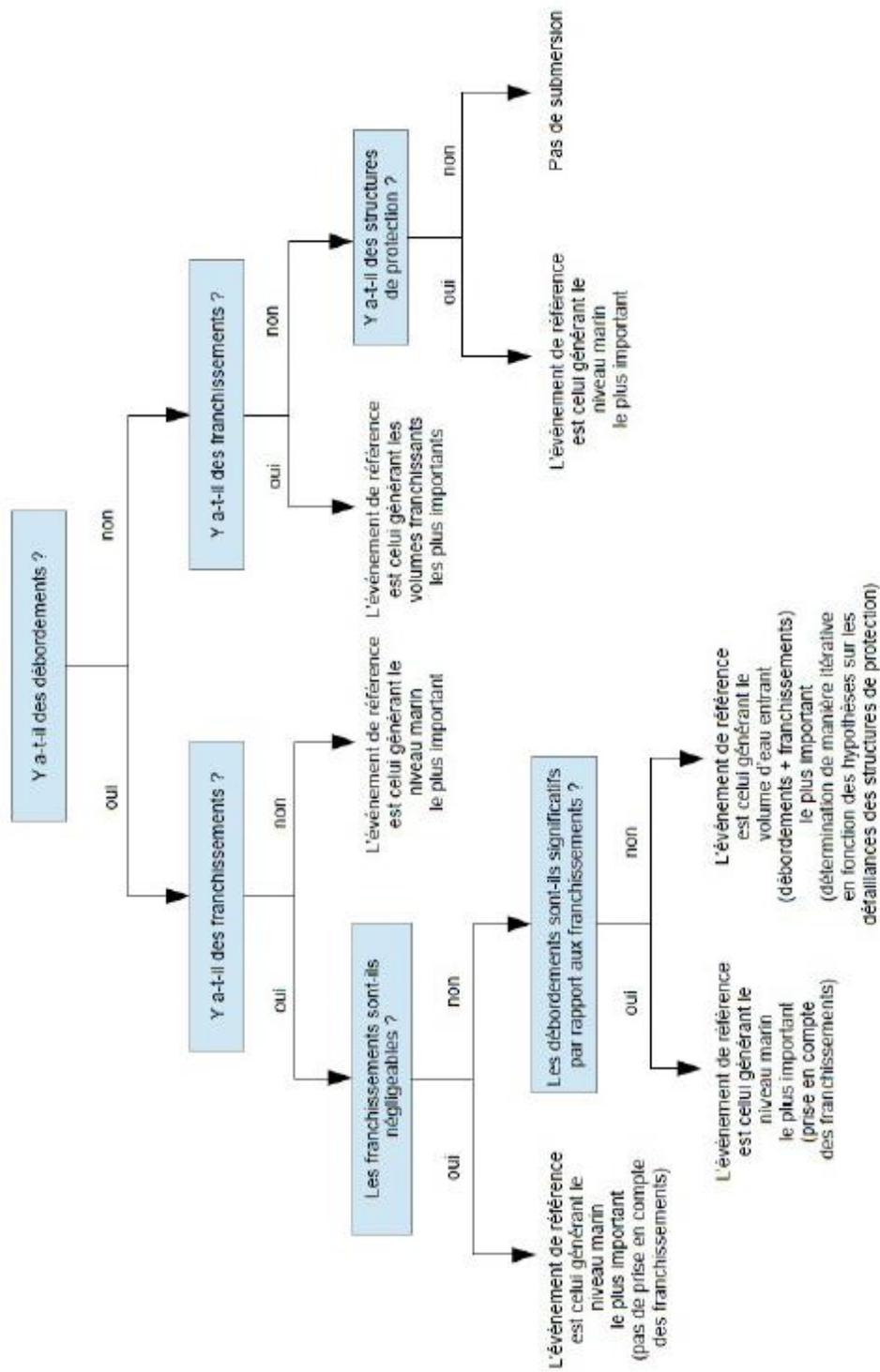


Figure 29 : Démarche pour le choix de l'événement de référence (Source : PPRNL 2013)

Les évènements de référence les plus impactant en termes de submersion sont déterminés au sein du panel d'évènements retenus dans le cadre de cette étude (Cf. Chapitre 4 -2) à savoir :

- Tempêtes centennales (12 situations de calculs),
- Tempêtes historiques :
 - Mars 2008 (à l'état actuel et à l'horizon 2100),
 - Anne 2 (à l'état actuel et à l'horizon 2100),
 - Petra (à l'état actuel et à l'horizon 2100),
 - Nadja 3 (à l'état actuel et à l'horizon 2100).
- Mers de vent (uniquement sur certains secteurs)

Pour chaque tronçon du littoral depuis Concarneau à Bénodet, l'évènement référence générant le niveau marin le plus important correspond à mars 2008 ou au cas 12 de l'évènement théorique centennal

Pour chaque tronçon, les volumes franchis ont été calculés dans le chapitre 4 - 5.5). L'analyse qui mène au choix de l'évènement de référence a été faite pour chaque tronçon. Le résultat est présenté dans la *carte de synthèse des modes de submersion et d'écoulement et des hypothèses de défaillance des structures de protection*.

Une fois l'évènement défini pour chacun des tronçons concernant le bassin de risque, le scénario de référence est retenu à l'échelle du bassin de risque.

1.1.3 Choix du scénario de défaillance pour les tronçons de type structure de protection

Une fois les tronçons homogènes définis, il est nécessaire d'appréhender le comportement des tronçons de type structure de protection face à un aléa submersion.

Aucune structure humaine (digue) ne peut être considérée comme infaillible.

Les structures naturelles (cordon dunaire) peuvent exceptionnellement être considérées comme infaillibles selon le guide méthodologique du PPRLN, cependant cela concerne à l'échelle nationale, des cordons de dimension largement supérieure à ceux rencontrés sur le Finistère.

Dans le cadre du PPRL du Finistère, au vu des spécificités locales, il a néanmoins été réalisé une analyse complémentaire sur les structures naturelles de type cordons dunaires anthropisés, à savoir les cordons protégés par un ouvrage (de type mur ou enrochement) et construits sur leurs crêtes. Cette analyse des risques de rupture des cordons anthropisés, a eu pour objectif d'adapter et de compléter les éléments du guide méthodologique nationale. Elle a été menée conjointement entre le bureau d'étude et les services de l'Etat (Cerema et DDTM). Elle est présentée page 106.

Structure côtière de protection : Entité **naturelle (cordon) ou anthropisée (digue)** ayant un impact sur le littoral en modifiant localement les **phénomènes hydrauliques ou sédimentaires** et jouant un rôle de protection face aux aléas littoraux. **Cela signifie qu'une structure côtière de protection ne peut avoir un rôle que pour l'un des 2 phénomènes, hydraulique ou sédimentaire, et pas pour l'autre. Dans ce chapitre, nous traitons de la submersion, aussi lorsqu'il est spécifié structure de protection cela signifie qu'il s'agit d'une protection contre la submersion. Il est rappelé que les murs ne représentent pas des structures de protection pour la surverse (ils sont donc supposés transparents). En revanche, les murs sont supposés existants pour le calcul des franchissements.**

Ouvrage de protection côtier : Structure côtière **construite et dimensionnée** ayant pour objectif d'atténuer les impacts de phénomènes naturels sur un secteur géographique particulier appelé zone protégée. Il répond à une vocation initiale de fixation du trait de côte, de lutte contre l'érosion, de soutènement des terres, de réduction des franchissements, de dissipation de l'énergie de la houle ou d'obstacle à l'écoulement.

Cette analyse est basée sur les caractéristiques actuelles des ouvrages, les éventuelles défaillances constatées par le passé ainsi que les risques de surverses et de franchissements.

La méthodologie pour le **choix du scénario de défaillance au niveau de chaque tronçon homogène** est spécifique au type d'ouvrage. Elle est détaillée ci-après.

Les digues

Dans le PPRNL2, aucune digue de classe A, B ou C n'est recensée. Sur les digues de classe D, aucune donnée n'a été fournie par le gestionnaire d'ouvrage.

Conformément au guide PPRNL de mai 2014, la démarche de prise en compte des ouvrages de type digue se fait comme suit.

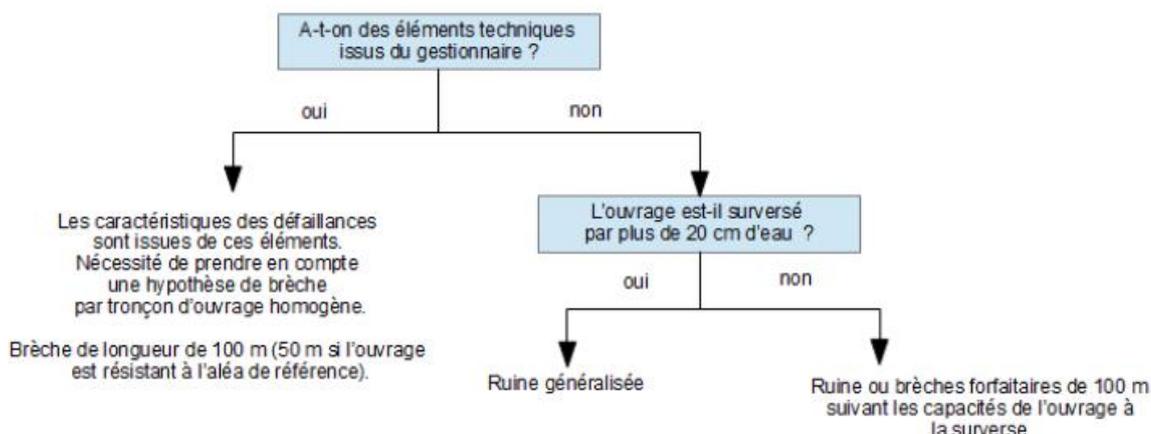


Figure 30 : Démarche pour la prise en compte des structures humaines

(Source : Guide PPRNL mai 2014)

En l'absence d'éléments techniques, le scénario de défaillance du tronçon de digue pourra correspondre à :

- **Une ruine généralisée de la structure** : *Un effacement complet est systématiquement retenu* à minima, dès lors que l'évènement de référence surverse l'ouvrage de plus de 20 cm.
- **Une détérioration de la structure matérialisée par des brèches** : Leurs caractéristiques sont définies en s'appuyant sur les préconisations du guide PPRNL de Mai 2014, sur des éléments de connaissance des événements historiques et les caractéristiques de la structure :
 - Une largeur de brèche de 100 m par défaut peut être retenue sauf s'il a été fait état de brèches plus importantes par le passé,
 - Une hauteur de brèche à la côte du terrain naturel à l'arrière de l'ouvrage,
 - Une localisation basée sur les points de faiblesse du linéaire avec l'étude du profil en long, de la nature et l'état des protections, profil en travers des ouvrages, etc....

Les hypothèses prises en compte pour les ruines et brèches de digues :

La cote d'arase de la ruine ou des brèches correspond à la cote du terrain naturel à l'arrière de l'ouvrage.

La cote d'arase est estimée similaire pour l'ensemble d'un tronçon homogène de digue.

La ruine ou la brèche est supposée intervenir 1h avant le pic de l'évènement. La vitesse de rupture est considérée identique à celle déterminée dans la bibliographie pour les digues en terre, à savoir ½ heure.

Les structures naturelles de type cordons dunaires

Conformément au guide PPRNL de Mai 2014, la démarche de prise en compte de ces structures naturelles se fait comme suit :

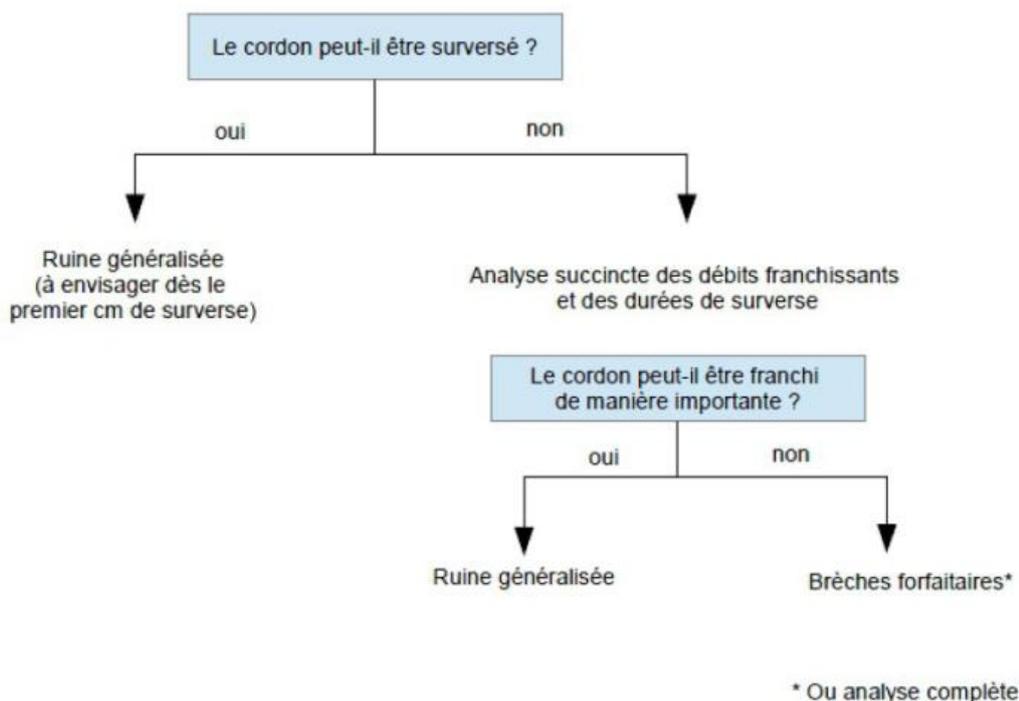


Figure 31 : Démarche simplifiée de prise en compte des cordons dunaires
(Source : Guide PPRNL mai 2014)

Les cordons doivent être pris en compte par tronçons homogènes et non pas d'un éperon rocheux à un autre. En conséquence, la ruine d'un cordon peut ne porter que sur la moitié d'un cordon par exemple (cas d'un cordon de plus d'un kilomètre) ou bien plusieurs brèches peuvent être intégrées dans un même cordon.

La démarche est la suivante :

- **Analyse du risque de surverse** : si la surverse existe, la ruine est retenue à partir du 1^{er} centimètre surversé, sinon la brèche est retenue
- **Analyse du risque de rupture par érosion de la crête et de la face arrière du cordon dunaire** : **Ce phénomène de rupture est lié aux franchissements par paquets de mer.** Le franchissement est calculé sur le profil modifié intégrant le Lmax (définissant le recul maximal du cordon lors d'une tempête – cf. chapitre 5 - 2.2) : si le volume franchi est supérieur à 100l/s/ml, la ruine est retenue, sinon la brèche est retenue

- **Pour compléter l'analyse proposée par le guide national, il a été défini pour chaque cordon, l'analyse du risque de rupture par érosion de contact :** ce phénomène est estimé à partir de la **méthode du FEMA**. Il s'agit d'analyser si le stock sédimentaire du cordon est suffisant pour résister aux conditions océano-météorologiques définies.

Aux Etats-Unis, la FEMA, Federal Emergency Management Agency, propose d'utiliser une règle simple, dérivée de la formule de profil d'équilibre proposée par Vellinga (1986) et applicable sur les côtes de l'Atlantique et du Golfe du Mexique. Cette règle établit un volume de dune érodée en fonction de la période de retour (« T » en années) associée au niveau d'eau extrême.

Pour un profil perpendiculaire au trait de côte, la dune est érodée d'une aire « A » (en m²) selon la formule suivante : $A = 8 \times T^{0.4}$. Pour un niveau d'eau centennal statique, l'érosion correspond à 540 pieds carrés (540 SF) et donne son nom à la règle (FEMA, 1995). Cette règle des 540 SF est basée sur l'analyse de nombreuses séries d'observations « reculs de dune / tempête ». Elle n'est pas utilisable sur les plages/dunes à granulométrie mixte (sables/galets) ou très grossière (graviers/galets).

Le stock sédimentaire de la dune est obtenu en calculant la surface comprise entre la ligne « niveau d'eau centennal statique » et la verticale au point culminant (Illustration 19). Si cette surface est supérieure à 50 m² (ou 540 pieds carrés), la dune est censée résister à la tempête.

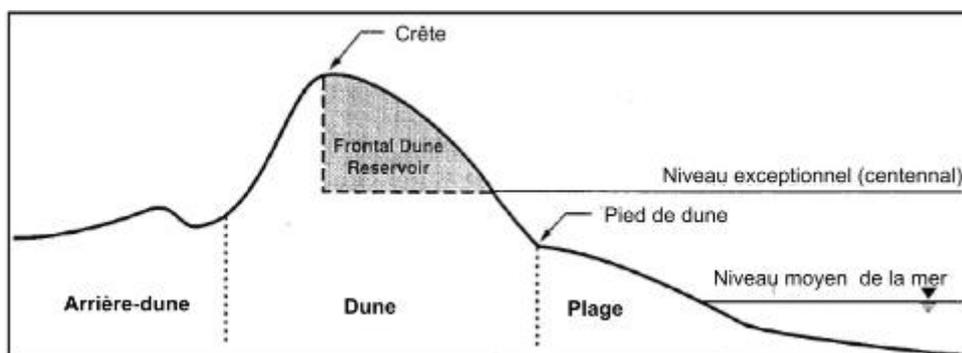


Illustration de l'application de la méthode du FEMA

- **Autre paramètre complémentaire d'ordre qualitatif permettant de retenir la ruine et non la brèche :**
 - a. Analyse de l'évolution future du trait de côte : si une forte dynamique d'érosion est observée, alors la ruine peut être retenue.

NB : il faut différencier le recul ponctuel du cordon (appelé L_{max}) et l'érosion sur le long terme du profil de plage (caractérisé par le taux moyen annuel d'érosion). Le premier a lieu lors d'une tempête et peut avoir une incidence sur les volumes franchis et sur la sollicitation hydraulique ; le second analyse une évolution du niveau de risque de défaillance du cordon sur le long terme.

Les hypothèses prises en compte pour les ruines et brèches de structures de protection :

La cote d'arase de la ruine ou des brèches est définie en fonction du profil du cordon dunaire à dire d'expert. En effet, aucune formule n'existe dans la bibliographie pour déterminer la cote d'arase d'un cordon dunaire. Aussi, lorsque l'analyse du profil en travers du cordon présente des incertitudes et que le bassin de risque associé est suffisamment grand pour qu'une variation du volume d'eau entrant engendre des écarts sur la cote de l'aléa de submersion à terre, alors des tests de sensibilité sont effectués avec différentes cote d'arase (cote d'arase potentielle +/- 50cm). Si l'hypothèse basse de la cote d'arase (-50cm) ne peut être écartée à dire d'expert et que celle-ci engendre une rehausse significative de la cote de submersion à terre, alors, il sera retenue cette hypothèse sécuritaire.

La cote d'arase est estimée similaire pour l'ensemble d'un tronçon homogène pour le calcul des volumes entrants au droit de la brèche ou de la ruine.

La ruine ou la brèche est supposée intervenir 1h avant le pic de l'évènement. Le temps de rupture est considérée identique à celle déterminée dans la bibliographie pour les digues en terre, à savoir ½ heure.

Spécificité pour le cas de brèches :

La largeur de brèche de 100 m sera retenue par défaut sauf s'il a été fait état de brèches plus importantes par le passé.

La pente du talus de la brèche est considérée de 1/1.

Les critères de localisation des brèches dans les cordons sont les suivants :

- Cote d'arase du cordon (recherche des points bas)
- Largeur du cordon (une fois le Lmax retiré) au niveau marin référence
- Orientation du cordon par rapport aux houles incidentes
- Présence de sable ou pas devant
- Hauteur du terrain naturel en arrière
- Retour d'expérience des tempêtes historiques
- Présence d'un exutoire d'eaux pluviales dans le cordon

Les brèches sont localisées sur la carte de synthèse.

Les cordons dunaires anthropisés (protégés par un ouvrage et construits sur leur crête)

Dans le cadre du PPRI du Finistère, au vu des spécificités locales, il a été réalisé une analyse complémentaire sur les structures naturelles de type cordons dunaires anthropisés, à savoir les cordons protégés par un ouvrage (de type mur ou enrochement) et construits sur leurs crêtes. Cette analyse des risques de rupture des cordons anthropisés, a eu pour objectif d'adapter et de compléter les éléments du guide méthodologique nationale. Elle a été menée conjointement entre le bureau d'étude et les services de l'Etat (Cerema et DDTM) entre mai et septembre 2015. Celle-ci est présentée ci-après.

Cette analyse est menée à l'échelle d'un PPR littoral. Il ne s'agit en aucun cas d'une analyse détaillée de la résistance de chacun de ces cordons dunaires anthropisés. Aucune données géotechnique n'a été analysée ou réalisée dans le cadre de cet examen. Aucune visite technique approfondie des ouvrages n'a été faite. L'analyse est donc menée à dire d'expert par le bureau d'étude sur la base de la connaissance de terrain et des plans d'ouvrage fournis par les collectivités. Un certain nombre de critères a été définis conjointement avec les services de l'Etat lors de la réunion du 15/05/2015. L'examen au cas par cas de ces ouvrages a ensuite été validé par les services de l'Etat (DDTM et Cerema) lors d'une réunion, le 27/08/2015.

Deux modes de défaillance sont à analyser :

- **Rupture par érosion de contact sur la face avant du cordon lors de la tempête :**
Pour estimer le stock de sable mobilisable lors d'un évènement de tempête, on se base, sur la méthode du FEMA (expliquée précédemment).
Cependant, dans le cas d'un cordon anthropisé, ce mode de défaillance peut être atténué par une protection du cordon, de type mur ou enrochement, et ce lorsque l'ouvrage présente des garanties quant à ses fondations, sa stabilité au renversement et son état général (cf. critères d'analyse présentés à suivre).
- **Rupture par érosion de la crête puis de l'arrière du cordon, via des franchissements ou une surverse :**
La rupture intervient alors suite à une déstabilisation du cordon au niveau de la crête et du talus arrière.
La rupture est possible sur tout ou partie du cordon en fonction de critères de surverse et de critères d'intensité des franchissements.
Ce type de défaillance peut être atténué par l'anthropisation du cordon (construction via route et maison sur la crête du cordon et la façade arrière), mais également par la morphologie du cordon (pente de la face arrière du cordon et largeur du cordon)

En complément certains éléments peuvent aggraver le risque de rupture :

- érosion sur le long terme aggravé lors des phases de tempête : certains cordons sont fragilisés car ils font l'objet d'une érosion sur le long terme, renforcée par un recul rapide lors des tempêtes.
- point de fragilité spécifique, de type buse, dans la structure du cordon

Critères d'analyse de la rupture par érosion de contact :

Les critères suivants sont exploités pour analyser le risque de rupture par érosion de contact:

- Recul par la méthode du FEMA : cette méthode permet de déterminer si le stock sédimentaire présent sur le cordon dunaire est suffisant face à la tempête considérée.
- Largeur du cordon dunaire au-dessus du niveau de l'évènement de référence(m).
- Lmax : notion de recul maximal du cordon dunaire lors d'un évènement de référence.
- Le recul du trait de côte à 100 ans : permet d'apporter un critère d'analyse supplémentaire par rapport à l'érodabilité dans le temps du secteur étudié.
- Les caractéristiques de l'ouvrage (mur ou enrochement) présent sur le cordon dunaire sur la base de plans fournis par les communes.

Les critères de la tenue de l'ouvrage (mur de protection ou enrochement) sont les suivants sous réserve de disposer de plans (si possible de recollement) fournis par les communes. Il ne s'agit en aucun cas d'une approche précise et scientifique de la tenue des ouvrages mais uniquement de l'application d'une grille d'analyse sur la base de critères retenus lors de la réunion du 15/05:

- Les fondations :
 - Si l'ouvrage est fondé sur la roche, risque faible d'érosion des fondations.
 - Sinon, estimation de la hauteur d'affouillement possible en pied d'ouvrage : les affouillements sont estimés de façon théorique équivalent à la hauteur de la houle incidente.
- La stabilité de l'ouvrage au grand glissement (renversement de l'ouvrage) : sans données de sol (ce qui est le cas pour cette analyse), celle-ci ne peut être estimée de façon précise. A défaut, il peut être analysé les éléments suivants :
 - **Pour un mur** : analyse via la hauteur de l'ouvrage et la largeur de ses fondations. Le risque au grand glissement est estimé à faible pour le mur vertical si sa largeur à la base (fondation du mur) divisée par sa hauteur soumise à un soutènement est supérieure à 2/3 (valeur par expertise à partir de laquelle l'ouvrage présente un risque de défaillance), autrement le risque est considéré comme fort.
 - **Pour un ouvrage en enrochements**, analyse via la pente de l'ouvrage et le diamètre des enrochements.
- L'état visuel de l'ouvrage approché suite aux campagnes de terrain menées en 2013 ou 2014 (aucune visite technique approfondie des ouvrages, ni quelconque diagnostic n'a été menée) : seul les ouvrages présentant un état réellement problématique sont repérés. Ce critère a uniquement être pris comme un critère aggravant lors de l'analyse.

- L'analyse historique est également un point essentiel dans l'analyse du risque de défaillance et du mode de défaillance (suite au recueil des événements historiques réalisés lors de la phase 1 du PPRL).
- Présence ou non de buse dans l'ouvrage situé sur le cordon dunaire. Ce type d'ouvrage peut représenter un point de fragilité spécifique dans l'ouvrage.

Ainsi, chaque paramètre présenté ci-avant est analysé par tronçon avec pour objectif de définir si l'ouvrage présent sur le cordon dunaire permet de diminuer ou non le risque de rupture par érosion de contact, établi lorsque le cordon dunaire est à nu par la méthode du FEMA.

Rupture par érosion de crête :

Les tronçons de cordons anthropisés ont parfois été redécomposé en sous tronçons, car contrairement à la façade maritime du cordon, sa crête et son talus arrière ne sont pas systématiquement homogène.

Les critères suivants ont été exploités :

- **La largeur du cordon au-dessus de la cote de l'évènement générant le niveau marin le plus important.** Lorsque la portion de cordon est surversée, la largeur du cordon à sa base est également une indication du type de cordon. Si le cordon est très large, le travail d'arrachage des sédiments sera plus long avant d'observer un véritable affaissement régulier de la crête du cordon.
- **La pente du cordon.** Plus la pente est forte, plus la vitesse d'écoulement augmente sur la face arrière et peut entraîner l'arrachage des sédiments.
- **La surverse.** Elle entraîne des vitesses d'écoulement importantes et ainsi la possibilité d'arrachage des sédiments sur la crête et la face arrière ; la hauteur de surverse et la largeur sont également des indicateurs du phénomène.
- **Les franchissements par paquets de mer.** Ils peuvent engendrer en fonction de leur intensité, des vitesses importantes et ainsi un phénomène d'arrache des sédiments sur la crête et la face arrière du cordon.
- **L'artificialisation.** Si celle-ci est quasiment totale, cela peut permettre d'éviter l'arrachage des sédiments en surface. En revanche, dès lors que le taux d'artificialisation est moindre et qu'on observe des espaces entre les zones artificialisées (maison ou route), alors l'arrache peut avoir lieu entre ces zones.

Les ouvrages hydrauliques

En ce qui concerne les **ouvrages hydrauliques associés au système de protection**, de type buse, vanne, clapet..., il sera **a minima pris en compte une défaillance de l'ouvrage hydraulique**. L'hypothèse prise en compte sera le **maintien en ouverture maximale de l'ouvrage d'évacuation** sur la totalité du cycle de l'évènement.

Une fois l'évènement défini pour chacun des tronçons concernant le bassin de risque, le scénario de référence est retenu à l'échelle du bassin de risque sur la base des volumes entrants.

1.2 Application sur chaque bassin de risque

Le littoral est analysé conformément à la méthodologie exposée ci-avant afin de définir pour chaque tronçon homogène du littoral :

- l'évènement référence (Evènement référence générant le niveau marin le plus important /Evènement référence générant les volumes franchis les plus importants)
- les phénomènes de submersion (surverse, franchissement, rupture)
- les scénarios de défaillance des structures de protection existantes

La série de cartes «Carte de synthèse des modes de submersion et d'écoulement et des hypothèses de défaillance des structures de protection » synthétise l'ensemble des éléments attenants à ce chapitre.

L'analyse de la géomorphologie des cordons dunaires et des digues existants sur le littoral d'étude du PPRNL2 est faite à partir du levé topo-bathymétrique du LIDAR de mars 2012

Dans cette analyse, les tronçons homogènes sont numérotés en fonction de leur localisation et sont précédés de lettres qui annoncent le type d'ouvrage sur la façade avant. Cette analyse ne reprend pas la séparation simplifiée cordon / digue. Ces lettres ont en effet pour objectif de différencier la prise en compte des tronçons lors de calculs de franchissements.

- Tronçon sur la façade littoral potentiellement soumis aux franchissements :
 - a. les cordons dunaires naturel homogènes sont notés CD1, CD2, etc
 - b. les structures côtières sont notées SC1, SC2, etc. Elles comprennent :
 - i. les cordons qui font l'objet d'une protection sur leur face avant,
 - ii. les tronçons de côtes qui ne sont pas des cordons mais qui font l'objet d'une structure de protection à vocation hydro-sédimentaire.

NB : Attention, le terme « structure côtière » ne signifie pas « structure côtière de protection contre la submersion ». Les tronçons qui correspondent à des structures de protection contre la submersion sont précisés dans le rapport comme « structure de protection ».les tronçons qui ne correspondent à aucunes des deux catégories ici sont notés TR1, TR2.

- Les ports sont notés POR1, POR2..
- Tronçon en estuaire sont notés EST1, EST2...

NB1 : Nous rappelons que dans les estuaires, les cotes des évènements références ne sont pas les mêmes que sur le littoral. Celles-ci ne prennent pas en compte le wave set-up. Le chapitre 4 - 4.2.2 du rapport présente les cotes dans les estuaires. Les cotes sont également reprises sur la carte de synthèse (NER = xx m NGF)

NB2 : Les cotes de l'évènement générant le niveau marin le plus important sont précisées sur les profils en long côtiers présentés dans les chapitres suivants et sur la carte de synthèse (NER = xx m NGF). Elles correspondent aux cotes définies dans le chapitre 4 - 4.1.

NB3 : Lorsqu'il est précisé dans les chapitres suivants le terme « niveau marin », celui-ci correspond à la cote de l'évènement générant les niveaux marins les plus importants.

Le récapitulatif des niveaux marins pour chaque tronçon est réalisé dans le tableau suivant. Il rappelle également le secteur auquel il correspond. Les résultats par secteur sont présentés dans le chapitre 4 – 4.3.

Tronçons	secteur correspondant	cote NMR
EST8	E1b	4,08 m NGF
TR36	S1	4,18 m NGF
TR37	S2	4,18 m NGF
EST9	E2	4,08 m NGF
TR38	S2	4,18 m NGF
TR39	S3	4,18 m NGF
POR4	S3 - set-up	4,08 m NGF
POR5	S3 - set-up	4,08 m NGF
SC40a	S3	4,18 m NGF
SC40b	S3	4,18 m NGF
SC40c	S3	4,18 m NGF
SC40d	S3	4,18 m NGF
SC40e	S4	4,18 m NGF
SC40f	S4	4,18 m NGF
TR41a	S4	4,18 m NGF
Est10	E3b et E4b	4,10 m NGF
TR41b	S5	4,23 m NGF
CD42	S5	4,23 m NGF
EST11	E5b et E5c	4,10m NGF

Tronçons	secteur correspondant	cote NMR
EST12	E5b	4,10m NGF
CD43a	S6	4,23 m NGF
CD43b	S6	4,23 m NGF
SC44	S6	4,23 m NGF
TR45	S7	4,23 m NGF
CD46	S8	4,18 m NGF
CD47	S9	4,23 m NGF
SC48	S9	4,23 m NGF
SC49	S10	4,38 m NGF
CD50	S10	4,38 m NGF
SC51	S11	4,28 m NGF
CD52	S12	4,28 m NGF
TR53	S13	4,38 m NGF
SC54	S13	4,38 m NGF
SC55a	S14	4,43 m NGF
SC55b	S14	4,43 m NGF
SC56	S14	4,43 m NGF
Est Odet	E7b	4,23 m NGF

Tableau 13 : Côte niveau marin référence pour chaque tronçon et correspondance avec le « secteur »

1.2.1 Côte sud de Concarneau

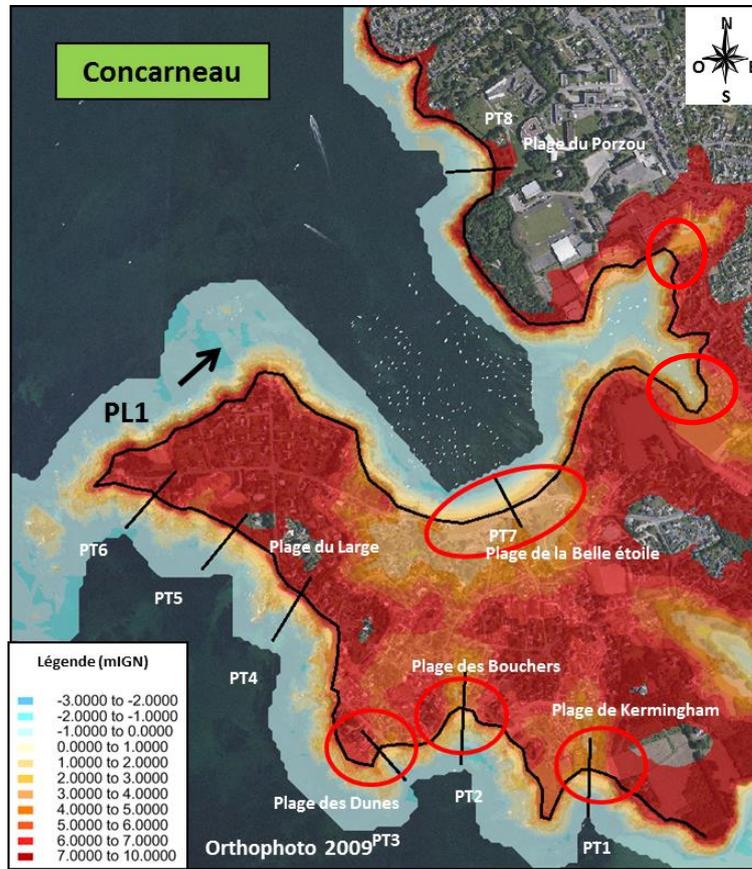
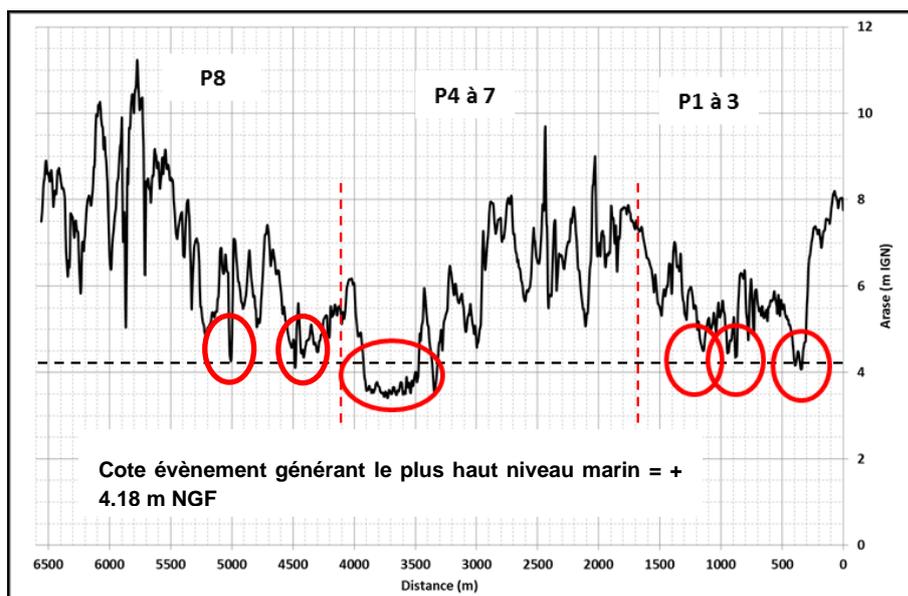


Figure 32 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Concarneau (1/2)



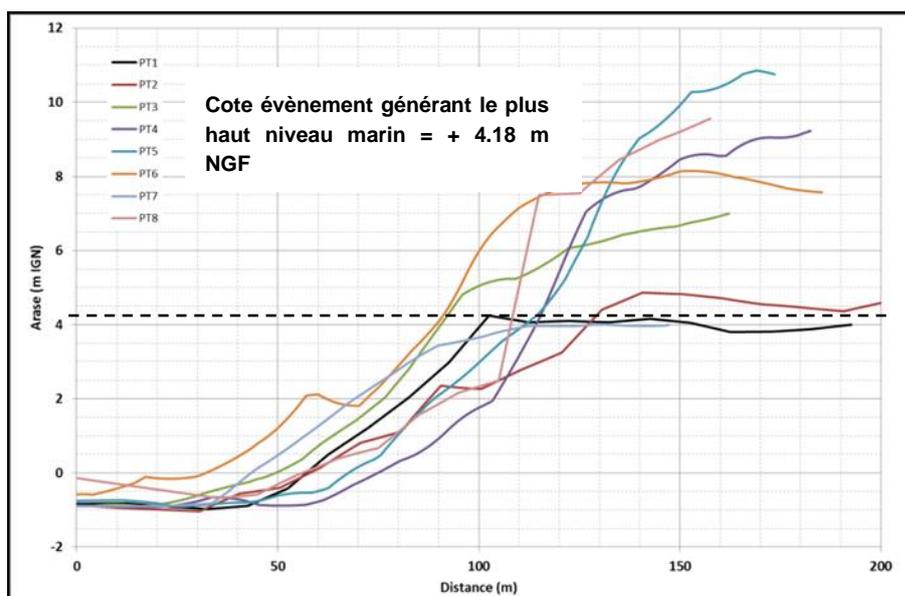


Figure 33 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux - Concarneau (1/2)

Sur ce secteur, le niveau marin maximum, y compris le setup, est de +4,18 m NGF. Dans les zones estuariennes, le niveau marin est de 4.08m NGF.

Ce premier secteur de Concarneau concerne le Cabellou. Ce littoral est essentiellement un littoral rocheux avec des zones basses en arrière uniquement concentrées au niveau des plages de Kermingham, des Bouchers, des Dunes et de la Belle Etoile. On note un seul cordon au niveau de la plage de la Belle Etoile.

Les autres secteurs présentent une arrière plage élevée avec une cote d'arase supérieure à la cote de l'évènement générant le plus haut niveau marin, soit +4,18 m NGF.

Analyse et séparation en tronçon homogène

EST8 : Anse du Pouldoban : Il s'agit d'une zone estuarienne pour laquelle l'incidence de la houle n'est pas à prendre en compte. Le terrain naturel se situe au-dessus de la cote de l'évènement générant le plus haut niveau marin sur la quasi-totalité du linéaire à l'exception de la petite Anse de Kerambretton. **Seul le phénomène de surverse sera pris en compte dans cette anse.**

- **TR 36 : PK 0 à 3500 m – PT 1 à 6** : Ce secteur présente une arase de l'ordre de +5 à +10 m NGF sauf au niveau des trois plages de Kermingham (PT1), des Bouchers (PT2) et des Dunes (PT3) où l'arase est comprise entre +4 et +5 m NGF (cf. photos ci-après). Ce tronçon présente sur certains secteurs des murs de protection. L'évolution passée du trait de côte montre une stabilité dans ce secteur. **Pour les plages, le phénomène de surverse et de franchissement sera retenu. Pour le linéaire côtier intermédiaire, les franchissements seront calculés. La partie ouest de la plage**

des Bouchers a notamment été concernée par des franchissements lors de l'hiver 2013/2014.



- **TR 37** : PK 3500 à 4100 m – PT 7 : Un cordon (**système de protection**) qui est faiblement arasée entre +3,5 et +4,0 m NGF, est situé derrière la plage de la Belle Etoile (cf. photo ci-après). Le dénivelé maximum entre le cordon et le terrain naturel à l'arrière est de 0.80m. Le cordon est surversé pour la cote correspondant au plus haut niveau marin, à savoir 4.18m NGF. **Un phénomène de rupture devra être envisagé. Les franchissements ne concernent pas ce secteur en raison de l'orientation de la côte.**



- **EST9** : Anse du Douric Ar Zin (PK 4100m à 5200m) : Il s'agit d'une zone estuarienne pour laquelle l'incidence de la houle n'est pas à prendre en compte. La cote du niveau marin est de 4.08m NGF. Le terrain naturel (entre +4 et +6m NGF) se situe au-dessus de la cote de l'évènement générant le plus haut niveau marin sur la quasi-totalité du linéaire à l'exception de toutes petites zones. **Le phénomène de surverse sera le seul phénomène pris en compte.**
- **TR 38** : PK 5200 à 6600 m – PT 8 : ce secteur est hautement arasé à environ +6 à +11 m NGF. Il n'y a pas de zones basses à l'arrière. Ce tronçon présente parfois des murs de protection. L'évolution passée du trait de côte montre une stabilité dans ce secteur. Aucun franchissement historique n'a été enregistré sur ce secteur et la zone est peu exposée et haute en altimétrie. **Les franchissements sont donc considérés comme négligeables. Il n'existe donc aucun phénomène de submersion sur ce tronçon.**

En synthèse, parmi les tronçons présentés, seul le tronçon TR37 est considéré comme un système de protection. Le chapitre ci-après présente les hypothèses de défaillance retenues.

Scénarios de défaillance des systèmes de protections

- **TR 37** : PK 3500 à 4100 m – PT 7 : Le cordon qui est faiblement arasé entre +3,5 et +4,0 m NGF est submergé pour l'évènement générant le niveau marin le plus important, aussi la **ruine de ce cordon sera retenue**. L'application de la méthode du FEMA corrobore le fait que le cordon ne résiste pas aux conditions océano-météorologiques retenues.

1.2.2 Le port de Concarneau et le port de Sainte-Croix

- **POR4** : Port de Concarneau : ce port est protégé de la houle. L'évènement générant le plus haut niveau marin ne doit donc pas prendre en compte le set-up. Le niveau marin est de 4.08m NGF. Le phénomène de franchissement n'a pas lieu dans le port. Aussi, **seul le phénomène de surverse sera pris en compte dans le port**, au regard du niveau des quais proches de la cote 4m NGF sur certaines zones. **Les exutoires eaux pluviales se rejetant dans le port seront également supposés comme défaillants** (conformément à la méthodologie présentée ci-avant). Les réseaux d'eaux pluviales permettent l'évacuation des eaux de pluies dans le port. Leurs connexions à des zones basses engendrent un risque en cas de blocage du clapet anti-retour d'inondation de la zone basse, soit par submersion (blocage du clapet en position ouverte), soit par ruissellement pluvial (blocage du clapet en position fermée).
- **TR39** : entre le port de Concarneau et le port de Ste-Croix, on note un petit linéaire côtier renforcé par des murs de protection, uniquement soumis **aux franchissements**. Les volumes franchis sont compris entre 10 et 100l/s/ml pour l'évènement le plus défavorable.
- **POR5** : Port de Croix : il s'agit d'un tout petit port. Dans la même logique que le port de Concarneau mais à plus petit échelle, **en revanche il n'est concerné par aucun phénomène de submersion, la cote du niveau marin étant inférieure la cote du terrain naturel**.

1.2.3 Côte Nord de Concarneau

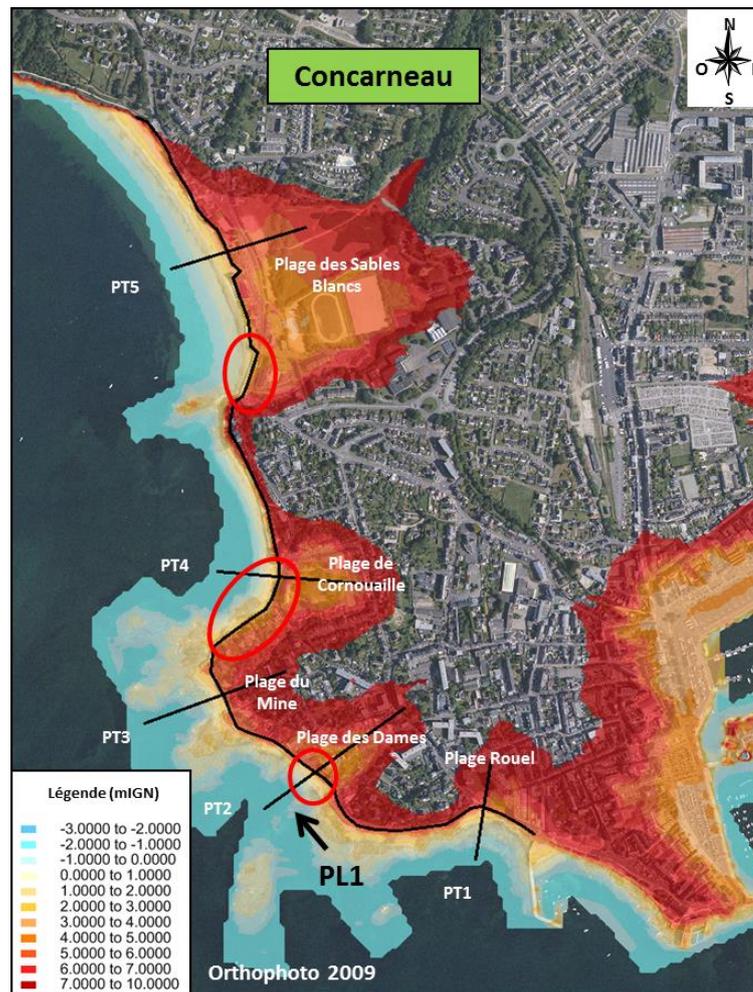


Figure 34 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Concarneau (2/2)

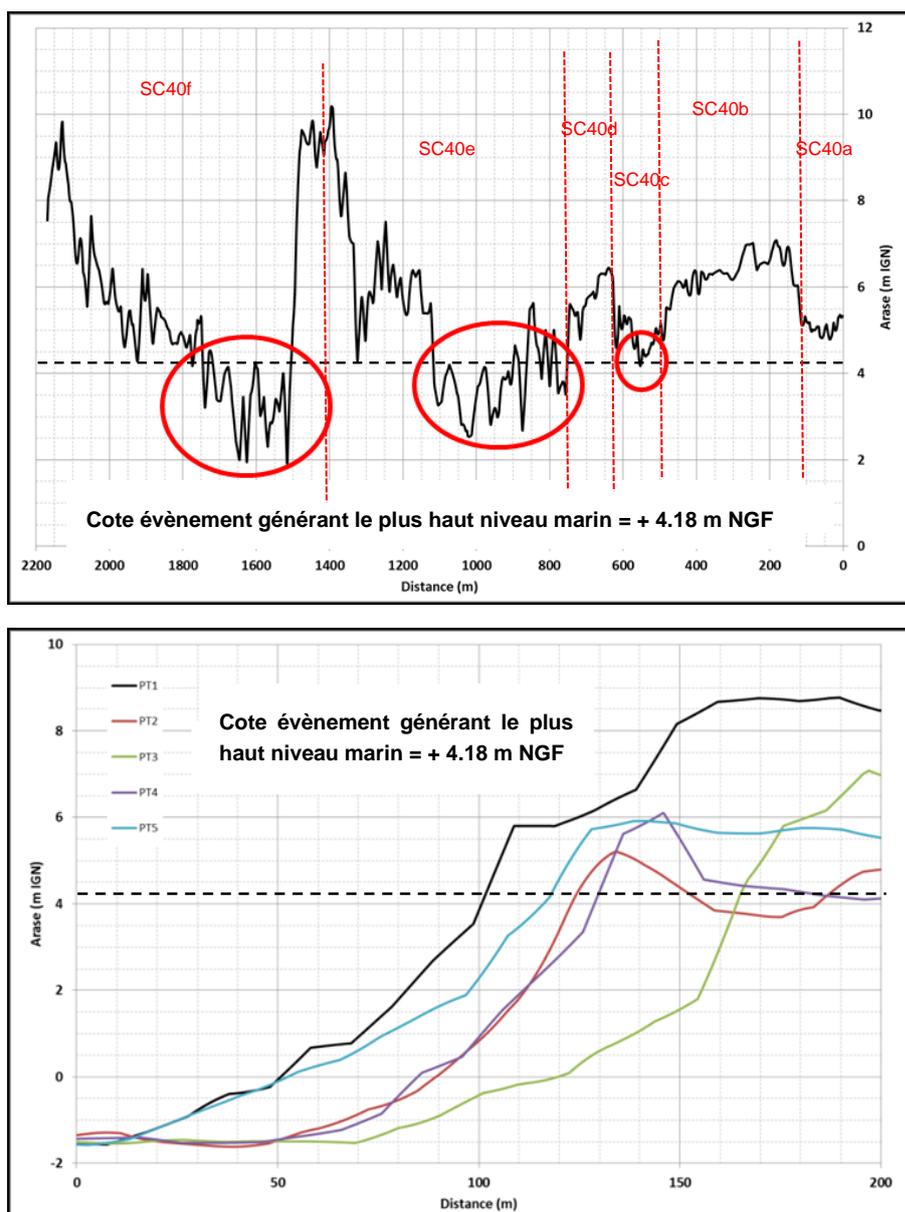


Figure 35 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux - Concarneau (2/2)

La cote de l'évènement générant le plus haut niveau marin est de + 4.18m NGF.

Des zones basses potentiellement submersibles avec un terrain naturel inférieur à +4,18 m NGF sont présentes à l'arrière des plages des Dames, de Cornouailles et des Sables Blancs. L'évolution passée du trait de côte montre une stabilité historique de ce secteur.

Analyse et séparation en tronçons homogènes

- **SC40a : PK 0 à 120m** : Il s'agit d'une plage de poche présentant un mur de protection sur sa partie haute. Le trait de côte est situé au-dessus de la cote de l'évènement générant les plus hauts niveaux marins et on ne note pas de zones basses en retrait. Cependant, **cette plage est soumise au phénomène de franchissement** avec des volumes franchis compris entre 10 et 100l/s/ml pour l'évènement le plus défavorable. **Des franchissements ont notamment eu lieu lors de l'hiver 2013/2014.** Ce tronçon est également soumis à des projections de matériaux (galets, sables, pierres).
- **SC40b : PK120 à 500m** : La côte rocheuse est protégée par des murs de protection. Les cotes du terrain naturel sont situées autour de 6m. On ne recense pas de phénomène de franchissement historique. **Sur ce tronçon aucun phénomène de submersion ne sera pris en compte.**
- **SC40c : PK 500m à 620m** : Il s'agit d'une plage de poche présentant un mur de protection sur sa partie haute. Le trait de côte est situé très légèrement au-dessus de la cote de l'évènement générant les plus hauts niveaux marins. **Cette plage est soumise aux franchissements** avec des volumes franchis compris entre 10 et 100l/s/ml pour l'évènement le plus défavorable. Ce tronçon est également soumis à des projections de matériaux (galets, sables, pierres).
- **SC40d : PK 620 à 750m** : La côte rocheuse est protégée par des murs de protection. Les cotes du terrain naturel sont situées entre 5m et 6.5m NGF. On ne recense pas de phénomène de franchissement historique. **Sur ce tronçon aucun phénomène de submersion ne sera pris en compte.**
- **SC40e : PK 750m à 1400 m** : Il s'agit d'une plage de poche présentant un mur de protection sur sa partie haute. Le **cordons de haut de plage a quasiment disparu**. Il est encore visible sur sa partie nord où il atteint environ 1.5m de haut. Une partie du trait de côte (2.5m NGF à 10m NGF) est située sous la cote de l'évènement générant les plus hauts niveaux marins, mais le terrain naturel monte très rapidement, aussi **il n'y a pas de phénomène de surverse.**
- **SC40f : PK 1400m à 2300m** : Il s'agit de la plage des Sables Blancs. En partie haute de cette plage, on retrouve un ancien cordon dont la structure a été modifiée au fil du temps. Ce cordon est construit sur sa crête et sur sa face arrière. Il est également protégé par un mur sur sa façade littorale. Une zone basse se situe à l'arrière. Cependant, cette zone basse a été remblayée. Aujourd'hui, on ne distingue quasiment plus le haut du cordon de la zone remblayée. Le profil en long signale un point bas mais le terrain monte rapidement derrière. Cette plage a été concernée par des **franchissements au cours des évènements de l'hiver 2013/2014.** Ce tronçon est également soumis à des projections de matériaux (galets, sables, pierres).



- **TR41a** : Au-delà des profils représentés ci-avant, on trouve une côte naturelle de type falaises. Compte tenu de l'altimétrie haute de ce profil et de la cote haute du terrain en arrière, **aucun phénomène de submersion n'est considéré sur ce tronçon.**
- **EST10** : Anse de St-Jean et de St-Laurent : Ces anses sont protégées de la houle. Aucun phénomène de surverse n'est recensé pour le niveau marin de référence, 4.10m NGF. Elles ne sont pas concernées par les franchissements. **Aussi, aucun phénomène ne sera pris en compte.**

En synthèse, parmi les tronçons présentés, sont considérés comme un système de protection, les tronçons SC40e et SC40f.

Scénarios de défaillance des systèmes de protections

- **SC40e** : PK 750m à 1400 m : Même si il s'agit d'un cordon dunaire, aucune zone basse ne se situe sous le niveau de l'évènement référence. Aussi, **le phénomène principal sur cette plage correspond donc aux franchissements** avec des volumes franchis supérieurs à 100l/s/ml pour l'évènement le plus défavorable.
- **SC40f** : PK 1400m à 2300m : Il s'agit d'un cordon anthropisé, construit sur sa crête et sur sa face arrière. Il est également protégé par un mur sur sa façade littorale. Une zone basse se situe à l'arrière. Cependant, cette zone basse a été remblayée. **La surverse du cordon dunaire n'est pas un phénomène considéré. D'après la méthode du FEMA, le cordon dunaire résiste aux conditions météoro-océanographiques liées à l'évènement référence. La rupture du cordon par érosion de contact n'est pas envisageable.** De plus, les volumes franchis calculés sont compris entre 10 et 100l/s/ml pour l'évènement le plus défavorable, aussi **la rupture ou l'affaissement du cordon par érosion de la crête semble également peu probable. Aucune hypothèse de rupture de ce cordon ne sera donc prise en compte. Le phénomène retenu sera donc uniquement les franchissements.** Les volumes franchis s'écoulent ensuite vers le petit point bas en retrait. Ce tronçon est également soumis à des projections de matériaux (galets, sables, pierres).

1.2.4 Plage de Kerleven à la Forêt-Fouesnant

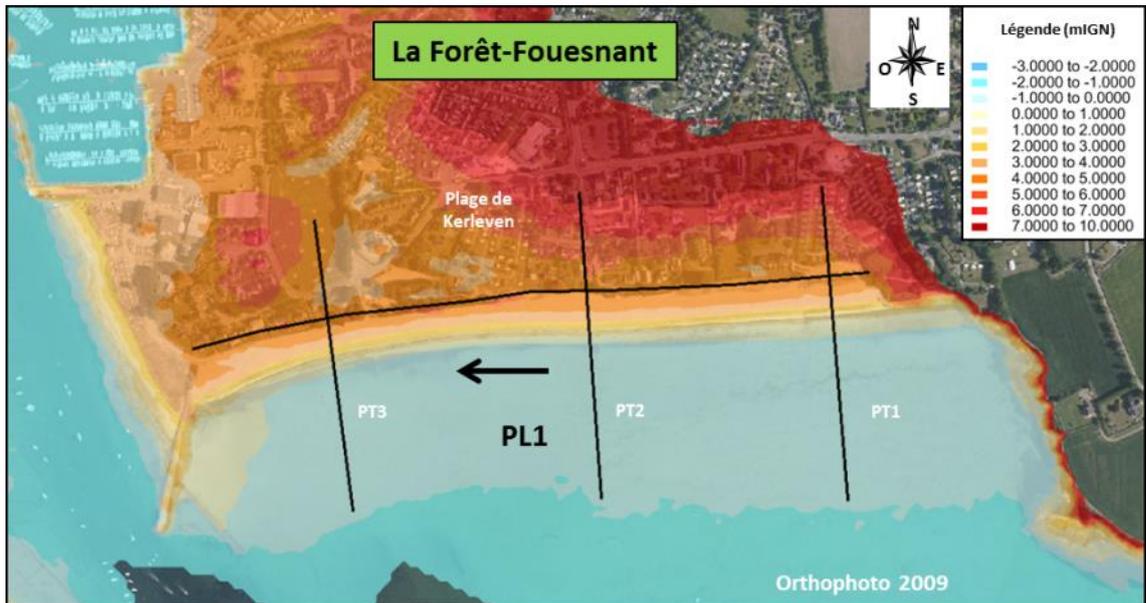
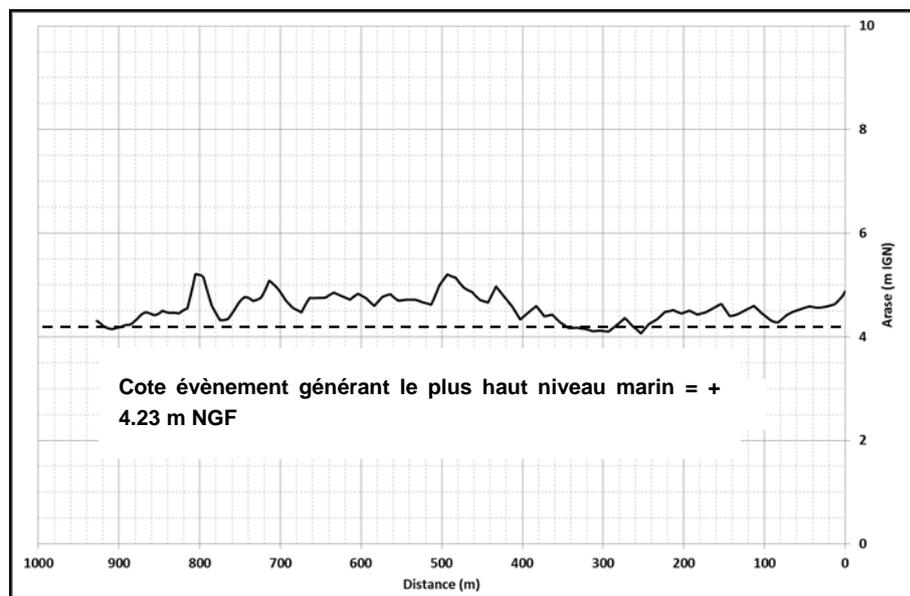


Figure 36 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – La Forêt-Fouesnant



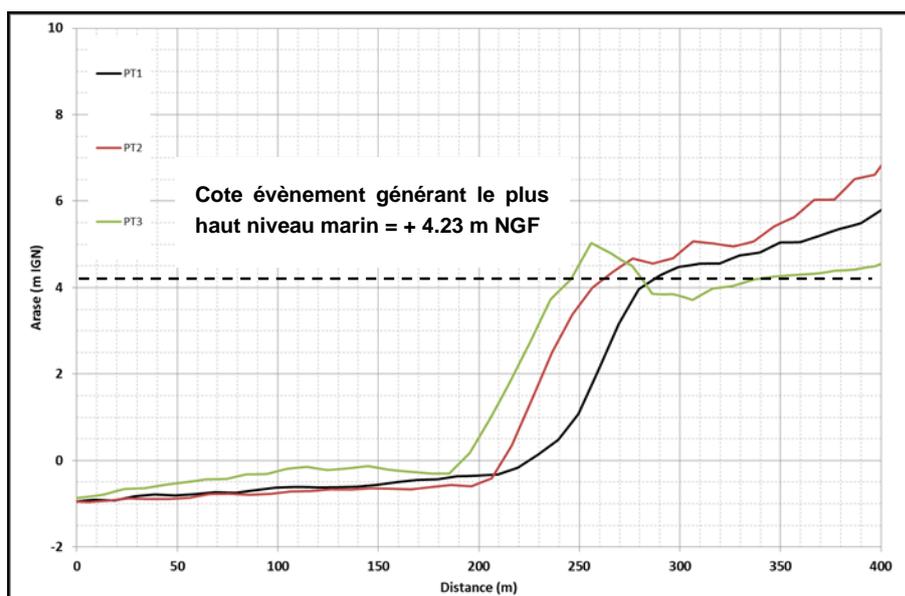


Figure 37 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux - La Forêt-Fouesnant

Sur ce secteur, la cote de l'évènement générant le plus haut niveau marin est de +4,23 m NGF.

Analyse et séparation en tronçons homogènes

- **TR41b** : Il s'agit d'une côte naturelle de type falaises. Compte tenu de l'altimétrie haute de ce profil et de la cote haute du terrain en arrière, **aucun scénario phénomène de submersion n'est considéré sur ce tronçon.**
- **CD42** : PK 0 à 930 m – PT 1 à 3 : le cordon dunaire (**système de protection**) est arasé entre +4 et +5,2 m NGF. Entre le PK 0 et 500 m, le terrain naturel monte progressivement, et l'ancien cordon est arasé. Plus à l'Ouest, le cordon dunaire d'une largeur de l'ordre de 20 à 30 m protège une zone plus basse contre le risque de submersion. Ce tronçon présente des murs de protection mais pas de façon homogène sur l'ensemble du linéaire. L'évolution passée du trait de côte montre une stabilité de ce secteur. De plus, lors des évènements de l'hiver 2013/2014, aucun dégât n'a été observé. **Un phénomène de rupture devra être envisagé.** Ce tronçon est également soumis à des projections de matériaux (galets, sables, pierres).



Scénarios de défaillance

- **CD42 : PK 0 à 930 m – PT 1 à 3 :** La crête d'arase du cordon dunaire est relativement basse entre +4 et +5,2 m NGF et est discontinue. D'après la méthode du FEMA, le cordon dunaire ne résiste pas aux conditions météo-océanographiques de l'évènement de référence, ce qui veut dire que la rupture du cordon est possible par érosion de contact. Les phénomènes de franchissements importants sont estimés supérieurs à 100l/s/ml pour le cas le plus défavorable. Des secteurs sont soumis au risque de surverse. **Il est donc considéré une ruine généralisée de la structure de protection située devant la zone basse. De part et d'autre les franchissements seront considérés.**

1.2.5 Anse de Fouesnant et de Penfoulic

- **EST11 :** Ce bassin de risque correspond à l'anse de Fouesnant y compris la zone urbaine de Fouesnant en fond d'estuaire et l'anse de Penfoulic jusqu'à la limite de la zone estuarienne.

Le littoral de cet estuaire n'est pas soumis à l'impact des houles. La cote de l'évènement générant le plus haut niveau marin ne prend donc pas en compte le set-up. La cote du niveau marin est de 4.10m NGF. Le phénomène de franchissement n'existe pas sur ce bassin de risque.

Les digues de classe D recensées sur ce bassin de risque sont des ouvrages qui n'ont pas été créés dans l'objectif de protéger contre la submersion. De plus, les propriétaires ne sont pas informés de leur devoir en termes d'entretien. Aucune donnée technique n'a donc été transmise par le gestionnaire et ces digues sont surversées pour l'évènement générant le niveau marin le plus important (sans set-up). Ces digues **sont donc supposées ruinées.**

La digue écluse de la Forêt-Fouesnant fait l'objet d'exception. Celle-ci n'est pas classée à ce jour, cependant elle n'est pas surversée pour l'évènement générant le plus haut niveau marin (sur la base des données LITTO3D disponibles) et sa hauteur est supérieure à 2m. Elle est donc considérée comme une **structure de protection**. Une **brèche de 100m** sera donc retenue. **La localisation de la brèche ne présente pas d'importance puisque la zone arrière est une anse (bassin en eau).**

- **EST12 : zone urbaine de Fouesnant :** Cette zone se situe en fond d'estuaire. Elle ne fait plus partie de la zone estuarienne. Cependant, les enjeux inondation restent forts. Il s'agit du lit majeur du cours d'eau se rejetant dans l'Anse de Fouesnant. Le cours d'eau est relié à l'anse par un exutoire. Cette zone est régulièrement concernée par des inondations liées au débordement de cours d'eau, au ruissellement et à des difficultés d'évacuation. Il n'existe pas de risque de submersion par surverse, sur la base des cotes du quai de Fouesnant. Cependant, comme le précise la méthodologie du guide PPRNL mai 2014, les ouvrages hydrauliques sont supposés défaillants. Leurs connexions à des zones basses engendrent un risque en cas de blocage du système anti-retour, puisqu'ils ne permettent plus à l'eau de s'évacuer. Ainsi, l'exutoire qui relie

le cours d'eau à l'anse sera supposé totalement obstrué sur la durée de l'évènement maritime.

1.2.6 Fouesnant (Cap Coz)

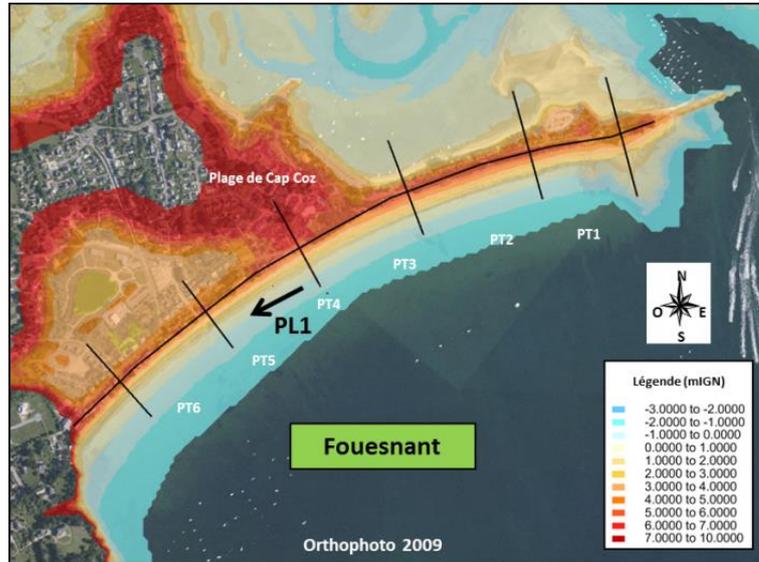
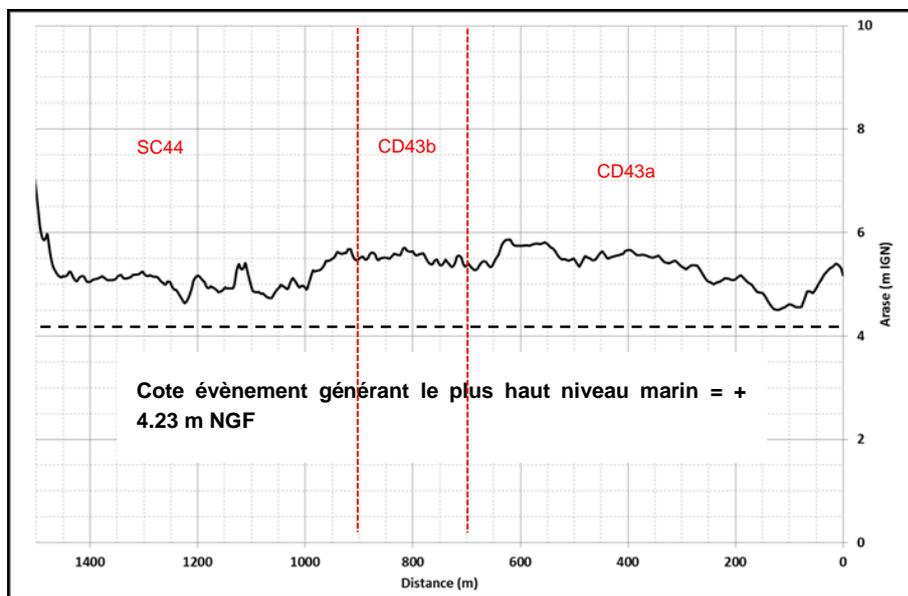


Figure 38 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Fouesnant – Cap Coz



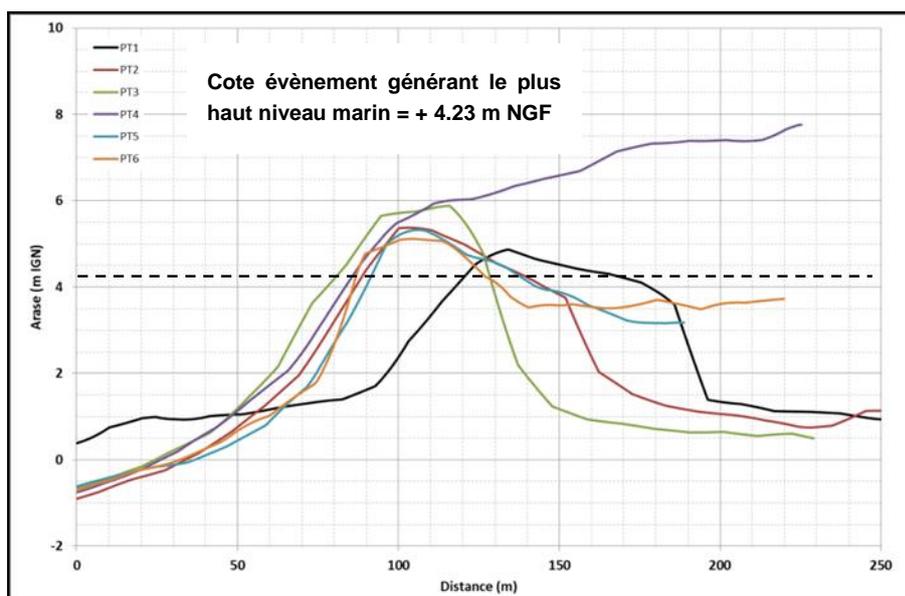


Figure 39 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux - Fouesnant – Cap Coz

Sur ce secteur, la cote de l'évènement générant le plus haut niveau marin est de +4,23 m NGF.

La pointe de Cap Coz est une presqu'île et peut donc être considérée comme un cordon dunaire. A l'Ouest le cordon a été substitué par des murets dressés par des particuliers pour lutter contre les aléas marins et pour délimiter leurs propriétés.

Analyse et séparation en tronçons homogènes

- **CD43a** : PK 0 à 700 m – PT 1 à 3 : le cordon dunaire (**système de protection**) est arasé entre +4,5 et +6 m NGF. Il s'agit d'un cap. Sa largeur⁵ est de l'ordre de 30 à 50 m. Ce cordon est renforcé par des murs de protection sur sa façade avant. L'évolution passée du trait de côte montre une stabilité de ce secteur. **Un phénomène de rupture devra être envisagé.** Lors des événements de l'hiver 2013/2014, il n'y a pas eu d'érosion mais de nombreux franchissements se sont produits jusqu'à la route et ont même traversés de part en part la presqu'île sur le secteur Est.



- **CD43b** : PK 700 à 900m – PT 4 : le cordon dunaire (**système de protection**) est arasé à 5.5m NGF environ. Sur ce tronçon, il ne s'agit plus d'un cap. Sa largeur est de l'ordre de 40 à 90 m. Ce tronçon est renforcé par un mur de protection sur sa face avant. L'évolution passée du trait de côte montre une stabilité de ce secteur. **Un phénomène de rupture devra être envisagé.**
- **SC44** : PK 900 à 1500 m – PT 5 et 6 : Des ouvrages longitudinaux verticaux se sont substitués au cordon dunaire. Cependant, le cordon (**système de protection**) est toujours présent. Il est construit sur sa crête et sa façade arrière. Un mur de protection a été construit sur sa face avant. La cote d'arase est comprise entre +4,5 et +5,5 m NGF et sa largeur est d'environ 40m. L'évolution passée du trait de côte montre une stabilité de ce secteur. **Un phénomène de rupture devra être envisagé.**



⁵ La largeur est comptée comme étant la largeur du cordon dunaire au-delà du niveau marin référence.

Scénarios de défaillance

- **CD43a** : PK 0 à 700 m – PT 1 à 3 : La crête d'arase du cordon dunaire est relativement basse entre +4,5 et +6 m NGF mais est supérieure à l'évènement générant le plus haut niveau marin. En revanche, les phénomènes de franchissements sont estimés supérieurs à 100l/s/ml pour le cas le plus défavorable. Il devrait théoriquement être retenu un **risque de ruine. Cependant, celui-ci n'a pas de sens puisqu'il n'existe aucune zone submersible derrière le cordon.** C'est le cordon lui-même qui est construit. **Aussi, les risques de franchissement puis d'écoulement sur le cordon seront représentés dans la carte d'aléa. Le risque de débordement sur sa façade arrière sera également pris en compte.** Ce tronçon est également soumis à des projections de matériaux (galets, sables, pierres).
- **CD43b** : PK700 à 900m - PT 4 : La crête d'arase du cordon est d'environ 5.5m NGF et est donc supérieure à l'évènement générant le niveau marin le plus important. En revanche, les phénomènes de franchissements sont estimés supérieurs à 100l/s/ml pour le cas le plus défavorable. Il devrait théoriquement être retenu un risque de ruine, cependant ce cordon dunaire ne présente pas de zone basse à l'arrière ; **la rupture n'a donc pas de sens et ne sera pas prise en compte. Le risque de franchissement sera donc pris en compte.**
- **SC44** : PK 900 à 1500 m – PT 5 et 6 : Ce tronçon de cordon est protégé par un ouvrage longitudinal. La définition du scénario de défaillance nécessite d'analyser les phénomènes suivants : risque d'affaissement de la crête et de la face arrière du cordon par érosion (arrachage des sédiments) liée à la surverse ou aux franchissements et risque de rupture brutale par érosion de contact. *Les principes de l'analyse de ce type de phénomène sont décrits dans le chapitre 6 – 1.1.*

1 - Définition du risque d'affaissement de la crête du cordon : Risque défini comme modéré sur la base des critères suivants :

- Largeur du cordon au-dessus du niveau marin de référence : 50m
- Pente de 4% sur la face arrière du cordon
- Franchissements fort
- Artificialisation quasi totale de la crête et de la face arrière du cordon

2 - Définition du risque de rupture brutale du cordon par érosion de contact :

L'application de la méthode du FEMA sur la base du cordon dunaire sans ouvrage de protection met en évidence une rupture possible du cordon, à l'exception d'une petite partie du cordon.

Ce secteur ne correspond pas à un secteur protégé par une protection longitudinale homogène mais par une série de murs bétonnés verticaux qui ont été dressés par les particuliers propriétaires de leurs maisons construites sur le cordon dunaire.

Nous ne disposons pas d'informations sur les caractéristiques de ces différents murs.

L'érosion de contact est possible, déstabilisation des murets et d'une première bande de terrain. En revanche, la création d'une brèche ne paraît pas envisageable du fait de la forme du cordon (très large et arasé) et de la forte anthropisation. Un test de la règle du FEMA pour plusieurs niveaux marins proches légèrement inférieurs au NMR pourrait vraisemblablement montrer un stock sédimentaire rapidement supérieur à la crête, du fait de la forme arasée du cordon. De ce fait, on a également vraisemblablement très peu de mise en charge possible du cordon.

Les critères d'analyses de l'ouvrage sont décrits dans le chapitre 6 - 1.1.

En conséquence, **le risque est estimé à modéré** sur l'ensemble du tronçon SC44.

En conclusion, aucune hypothèse de défaillance ne sera prise en compte sur le tronçon SC44.

1.2.7 Fouesnant (Mousterlin Est)

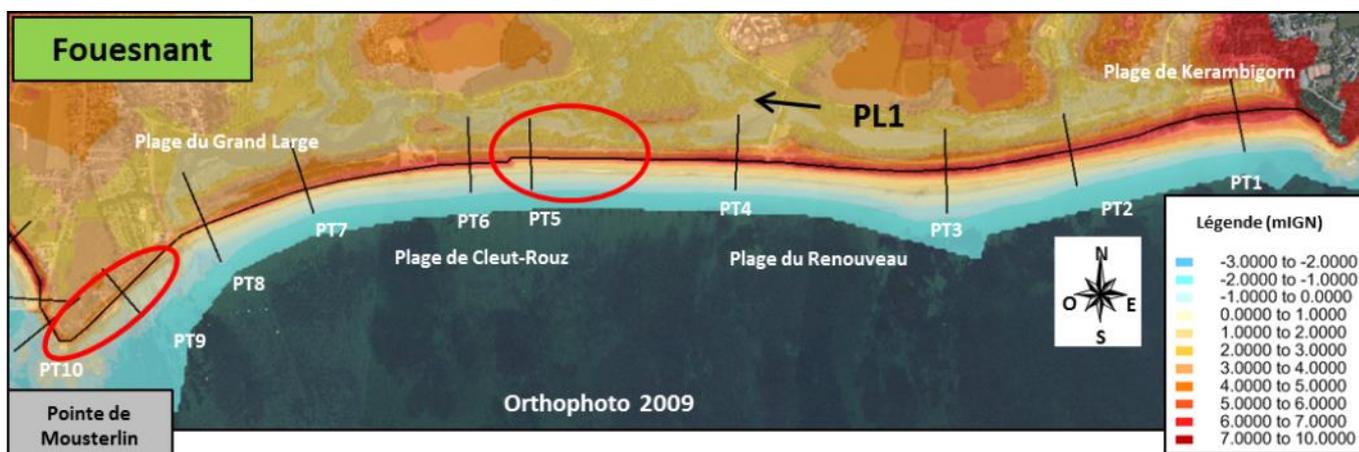
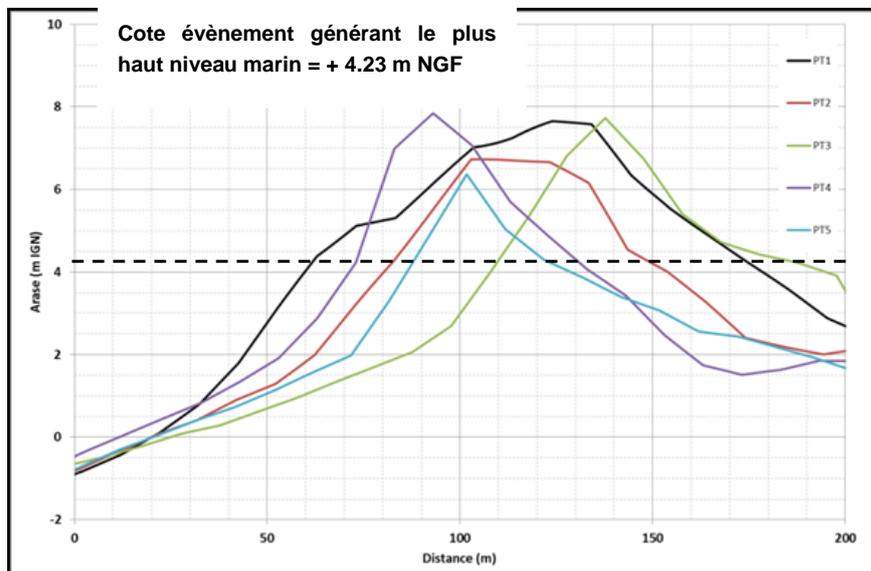
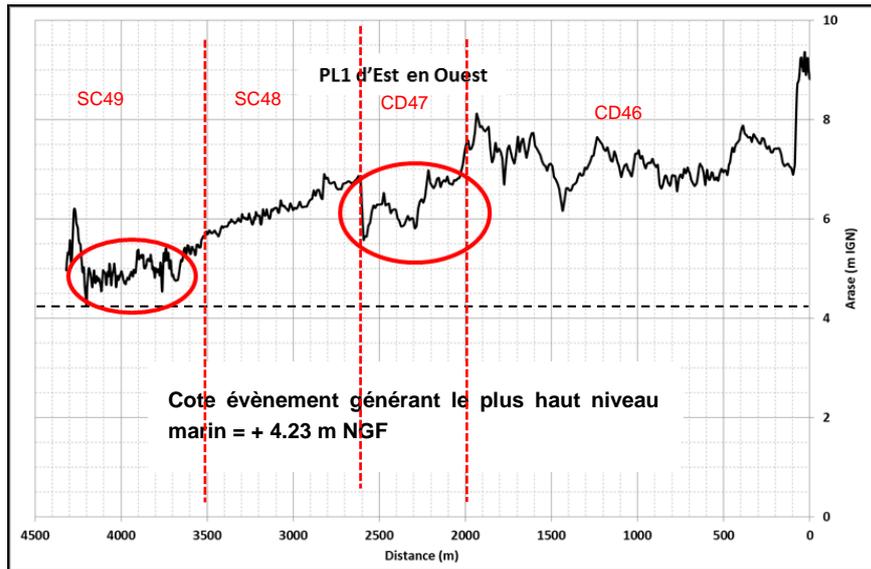


Figure 40 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Fouesnant – Mousterlin Est



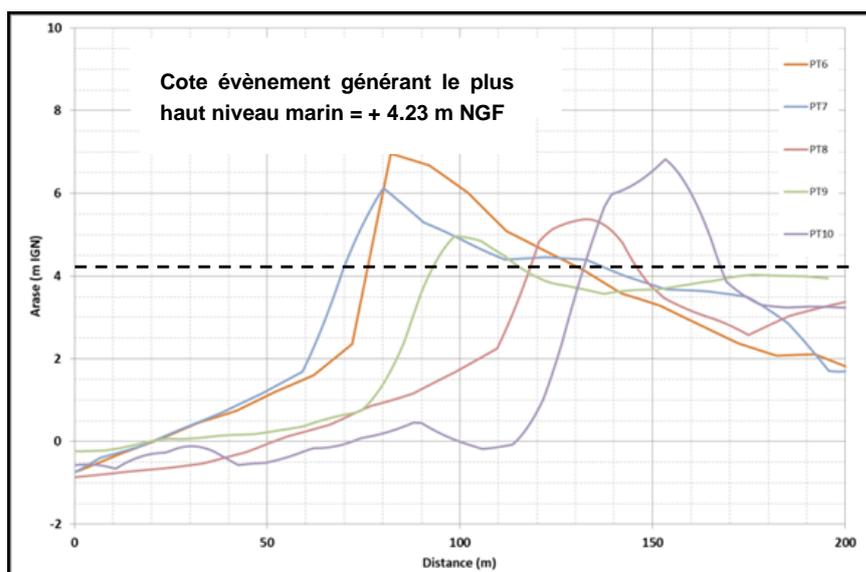
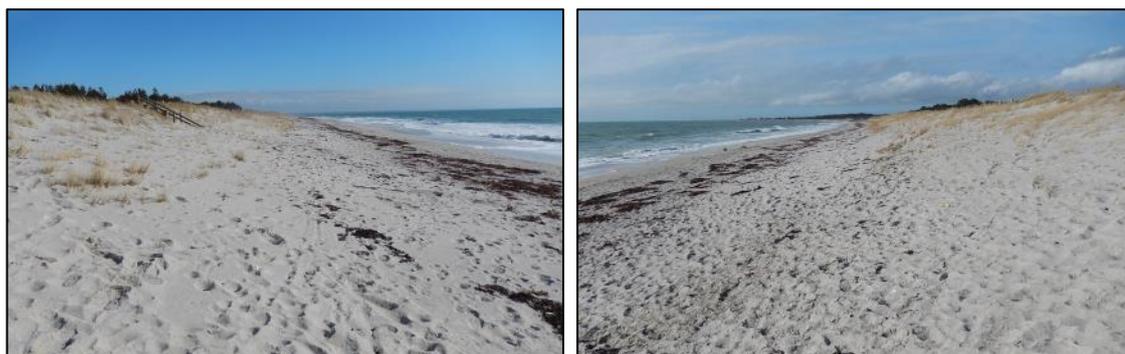


Figure 41 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux - Fouesnant – Mousterlin Est

Le littoral des profils PT1 à 5 est constitué par un cordon dunaire protégeant une zone basse poldérisée à l'arrière. Les enjeux concernant la problématique des ruptures et des franchissements sont très importants dans ce secteur.

Analyse et séparation en tronçons homogènes

- **CD46 : PK 0 à 2000 m – PT 1 à 4 :** le cordon dunaire (**système de protection**) est hautement arasé (+6,5 à +8 m NGF). Sa largeur⁶ varie de 120 à 60 m d'Est en Ouest. L'évolution passée du trait de côte présente une stabilité dans ce secteur. De plus, lors des événements de l'hiver 2013/2014, le recul du cordon était inférieur à 2m. **Le phénomène de rupture doit être envisagé.**



- **CD47 : PK 2000 à 2600 m – PT 5 :** le cordon dunaire (**système de protection**) est arasé entre +5,5 et +7 m NGF. Sa largeur varie entre 30 et 5 m (voire moins à

⁶ La largeur est comptée comme étant la largeur du cordon dunaire au-delà du niveau marin référence.

l'extrémité Ouest) avec une décroissance d'Est en Ouest. Le cordon dunaire est instable et présente des dimensions faibles (arase de la crête et largeur), en particulier à l'extrémité Ouest contre la protection longitudinale en enrochements. L'évolution passée du trait de côte montre une érosion récurrente dans ce secteur. Le cordon dunaire s'est érodé de l'ordre de 5 à 10 m localement lors de l'hiver 2013/2014. De nombreux franchissements se sont produits également en arrière du cordon dunaire. Une brèche a failli se produire lors des tempêtes successives. A la fin de l'hiver 2013/2014, le cordon dunaire présentait une largeur de l'ordre de 2 à 5 m uniquement (cf. photos ci-après). **Le phénomène de rupture doit être envisagé.**



- **SC48** : PK 2600 à 3500 m – PT 6 à 8 : Un ouvrage longitudinal en enrochements s'est substitué au cordon dunaire (**système de protection**) sur sa façade avant. La cote d'arase est comprise entre +5,5 et +6,5 m NGF et la largeur est de l'ordre de 30 à 50 m environ. L'évolution passée du trait de côte montre une stabilité de ce secteur grâce à l'ouvrage longitudinal en enrochements. **Le phénomène de rupture doit être envisagé.** Ce tronçon est également soumis à des projections de matériaux (galets, sables, pierres).



- **SC49** : PK 3500 à 4300 m – PT 9 à 10 : Un ouvrage longitudinal en béton s'est substitué au cordon dunaire (**système de protection**). La cote d'arase est comprise entre +4,5 et +5,5 m NGF et la largeur est de l'ordre de 20 à 40 m environ. Le niveau marin est de 4.38 m NGF sur ce tronçon. L'évolution passée du trait de côte montre une stabilité de ce secteur grâce à l'ouvrage longitudinal. **La rupture doit être prise en compte**



Scénarios de défaillance

- **CD46** : PK 0 à 2000 m – PT 1 à 4 : Crête d'arase du cordon dunaire élevée (>+6,5 m IGN) en continu et supérieure au niveau marin. D'après la méthode du FEMA, le cordon dunaire ne résiste pas aux conditions océano-météorologiques de l'évènement de référence. Les phénomènes de franchissements sont estimés entre 1 à 10 l/s/ml pour le cas le plus défavorable. **L'hypothèse de rupture retenue est la brèche**. La brèche est localisée au droit du point le plus bas du tronçon homogène (cf. point en jaune sur carte).



- **CD47** : PK 2000 à 2600 m – PT 5 : Crête d'arase du cordon dunaire >+5,5 m NGF et les phénomènes de franchissements sont estimés entre 1 à 10 l/s/ml pour le cas le plus défavorable. D'après la méthode du FEMA, le cordon dunaire ne résiste pas aux conditions océano-météorologiques de l'évènement de référence. De plus, ce cordon très étroit à l'Ouest, présentait, suite aux tempêtes de l'hiver 2013- 2014, une largeur de 2 à 5 m uniquement. **Nous considérons donc une ruine généralisée.**

- **SC48** : PK 2600 à 3500 m – PT 6 à 8 : Cote d'arase supérieure au niveau marin, ce qui induit que le phénomène de surverse est écartée. Les phénomènes de franchissements sont estimés entre 1 à 10 l/s/ml pour le cas le plus défavorable. D'après la méthode du FEMA, le cordon dunaire ne résiste pas aux conditions océano-météorologiques de l'évènement de référence. Cependant, le cordon fait l'objet d'une structure de protection de type enrochement.
Aucune brèche ne sera prise en considération sur ce tronçon car nous sommes dans le cas, où :
 - **le tronçon adjacent CD47 fait l'objet d'une ruine,**
 - Le tronçon SC48 est protégé par un ouvrage de type enrochements qui n'a pas fait l'objet de dégât important depuis sa construction,
 - les tendances d'évolution sédimentaire sont stables
 - la défaillance du tronçon adjacent (CD47) engendre des conséquences de même ordre sur la zone arrière au cordon concerné.

En revanche la bande de précaution sera maintenue sur ce tronçon.

- **SC49** : PK 3500 à 4300 m – PT 9 à 10 : La cote d'arase est comprise entre +4,5 et +5,5 m NGF. Le niveau marin est de 4.38 m NGF sur ce tronçon. Les phénomènes de franchissements sont estimés supérieurs à 100 l/s/ml pour le cas le plus défavorable. D'après la méthode du FEMA, le cordon dunaire ne résiste pas aux conditions océano-météorologiques de l'évènement de référence. Cependant, cette structure de protection est protégée par un ouvrage longitudinal en béton.
Aucune brèche ne sera prise en considération sur ce tronçon car nous sommes dans le cas, où :
 - **le tronçon adjacent CD47 fait l'objet d'une ruine,**
 - Le tronçon SC48 est protégé par un ouvrage de type mur qui n'a pas fait l'objet de dégât important depuis sa construction,
 - les tendances d'évolution sédimentaire sont stables
 - la défaillance du tronçon adjacent (CD47) engendre des conséquences de même ordre sur la zone arrière au cordon concerné.

En revanche la bande de précaution sera maintenue sur ce tronçon.

1.2.8 Fouesnant (Mouesterlin Ouest)

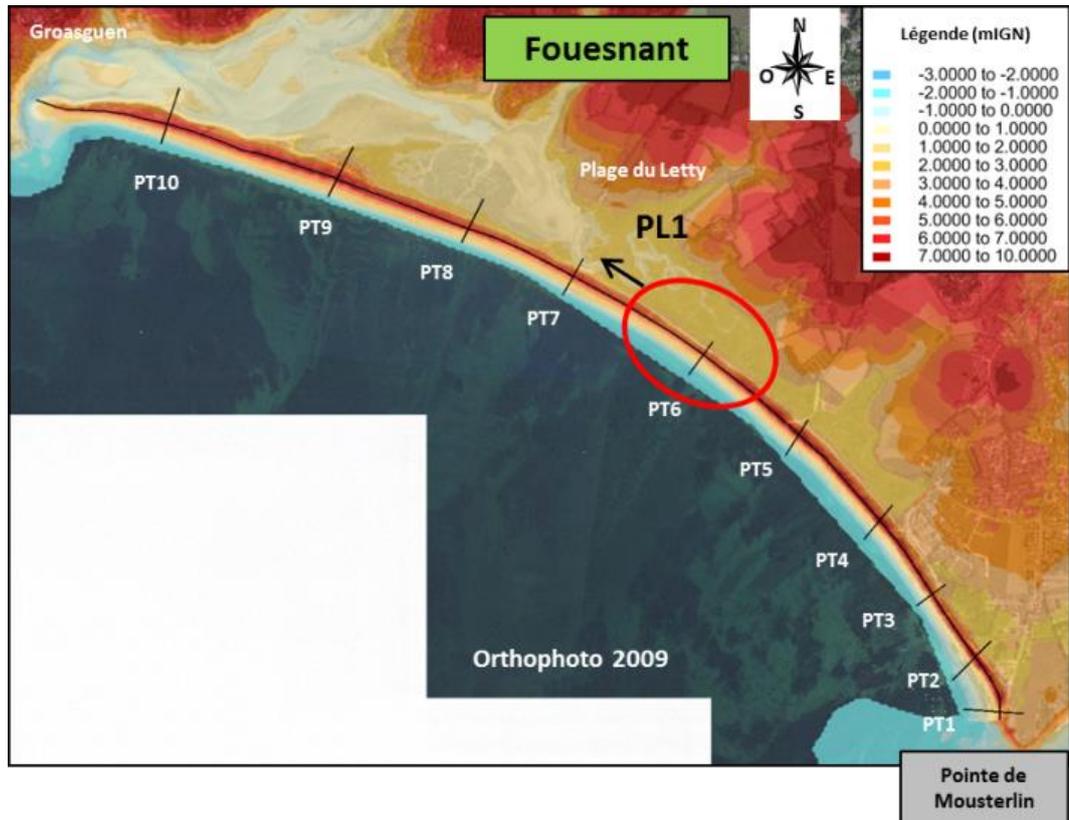
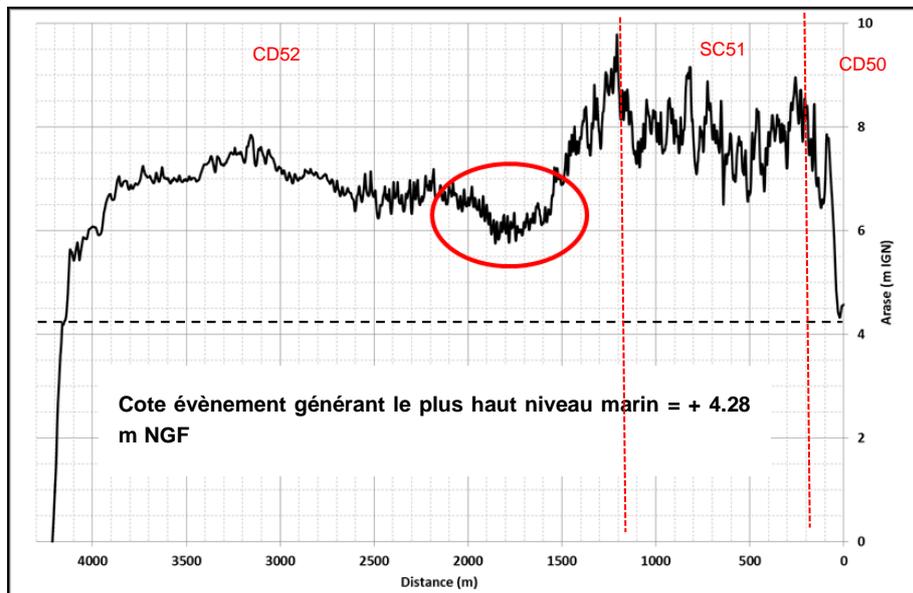


Figure 42 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Fouesnant – Mousterlin Ouest



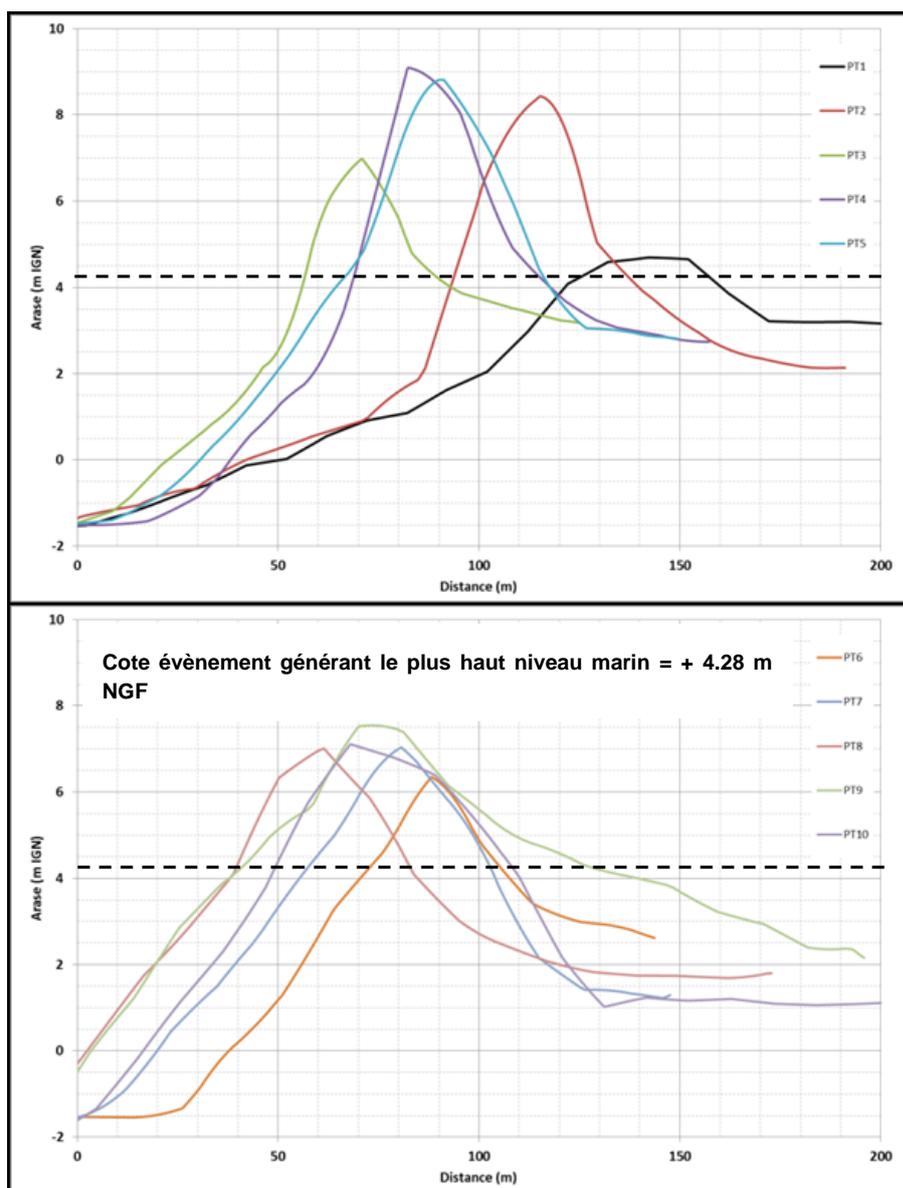


Figure 43 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux – Fouesnant – Moustierlin Ouest

Sur ce secteur, la cote de l'évènement générant le plus haut niveau marin est de +4,28 m NGF.

Le littoral des profils PT1 à 10 est constitué par un cordon dunaire protégeant une zone basse poldérisée à l'arrière. Les enjeux concernant la problématique des brèches et des franchissements sont très importants dans ce secteur.

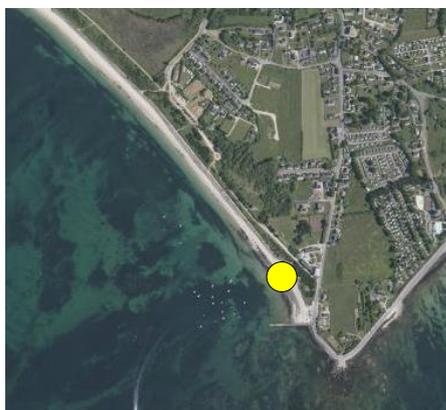
Ce bassin de risque est connecté au précédent au niveau de la pointe de Moustierlin. Cependant, la connexion présente de faibles volumes d'échange au vu de la topographie.

Analyse et séparation en tronçons homogènes

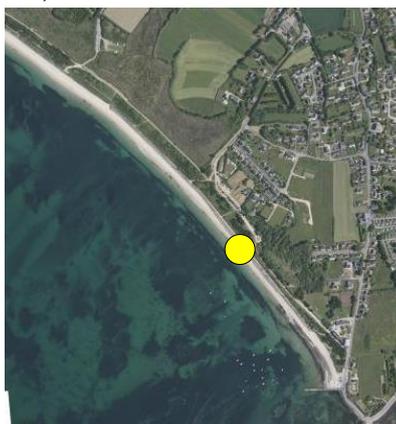
- **CD50** : PK 0 à 200 m – PT 1 : le cordon dunaire (**système de protection**) est arasé entre +6,5 et +8,5 m NGF et sa largeur varie de 30 à 40 m. Seul un point bas est présent à la côte 4.5m NGF. L'évolution passée du trait de côte présente une légère érosion dans ce secteur. Lors des évènements de 'hiver 2013/2014 le recul du cordon dunaire était de l'ordre de 2 à 5 m localement. **Le phénomène de rupture devra être envisagé.**
- **SC51** : PK 200 à 1150 m – PT 2 à 4 : Un ouvrage longitudinal en enrochements s'est substitué au cordon dunaire sur sa façade avant. Cependant, un cordon dunaire (**système de protection**) existe à l'arrière de la protection longitudinale et présente une cote d'arase comprise entre +6,5 et +9 m NGF et une largeur de l'ordre de 30 à 50 m environ. L'évolution passée du trait de côte montre une stabilité de ce secteur grâce à l'ouvrage longitudinal en enrochements. **Le phénomène de rupture devra être envisagé.**
- **CD52** : PK 1150 à 4200 m – PT 5 à 10 : le cordon dunaire est arasé entre +5,5 et +7,5 m NGF et sa largeur varie de 30 à 70 m avec une croissance d'Est en Ouest. L'évolution passée du trait de côte présente une légère érosion dans ce secteur. De plus, lors des évènements de 'hiver 2013/2014 le recul du cordon dunaire était de l'ordre de 2m. **Le phénomène de rupture devra être envisagé.**

Scénarios de défaillance

- **CD50** : PK 0 à 200 m – PT 1 : D'après la méthode du FEMA, le cordon dunaire ne résiste pas aux conditions océano-météorologiques de l'évènement de référence. La crête d'arase du cordon dunaire est au-dessus de la cote de l'évènement générant les plus hauts niveaux marins (4.38m NGF) ce qui empêche les phénomènes de surverse. Aucun phénomène de franchissement n'existe à l'exception du point bas très local y compris pour le cas le plus défavorable. **Seul un risque de brèche est considéré.** La brèche est localisée au point le plus bas et le plus étroit du tronçon (cf. point jaune sur carte).



- **SC51** : PK 200 à 1150 m – PT 2 à 4 : D'après la méthode du FEMA, le cordon dunaire ne résiste pas aux conditions océano-météorologiques de l'évènement de référence. La crête d'arase du cordon dunaire est au-dessus de la cote de l'évènement générant les plus hauts niveaux marins ce qui empêche les phénomènes de surverse. Les phénomènes de franchissements sont estimés entre 10 et 100 l/s/ml pour le cas le plus défavorable. **Seul un risque de brèche est considéré.** La brèche est localisée sur le point le plus bas et le plus étroit du tronçon homogène, qui correspond à un accès plage (cf. point jaune sur carte).



- **CD52** : PK 1150 à 4200 m – PT 5 à 10 : D'après la méthode du FEMA, le cordon dunaire ne résiste pas aux conditions océano-météorologiques de l'évènement de référence. La crête d'arase du cordon dunaire est au-dessus de la cote de l'évènement générant les plus hauts niveaux marins ce qui empêche les phénomènes de surverse. Aucun phénomène de franchissement n'existe y compris pour le cas le plus défavorable. **Seul un risque de brèche est considéré.** La brèche est localisée sur le point le plus bas et le plus étroit du tronçon homogène, qui correspond à un accès plage (cf. point jaune sur carte).



1.2.1 Fouesnant (Iles Glénans)

Les îles Glénans n'ont pas fait l'objet de découpage en tronçon. En effet, il s'agit d'un terrain naturel (TR). On note un seul cordon sur l'île St-Nicolas.

Au niveau de l'île St-Nicolas, le cordon n'est pas surversé, mais fait l'objet d'une hypothèse de rupture de type brèche.

Les plus petites îles (Brunec, Bananec, Drénec, Quignévec, Fort Cigogne...) font l'objet d'une surverse sur une petite partie de leur superficie. La surverse est également combinée aux phénomènes de franchissements.

L'île du Loch est surversée sur une petite portion de son linéaire côtier au sud et l'eau s'écoule ensuite dans l'étang qui se trouve au centre de l'île.

De manière générale, on note un phénomène de franchissement pour la façade Sud et Ouest de toutes ces îles. Pour les îles plus à l'Est, celles-ci sont protégées en partie par leurs voisines, et les franchissements sont donc moindres.

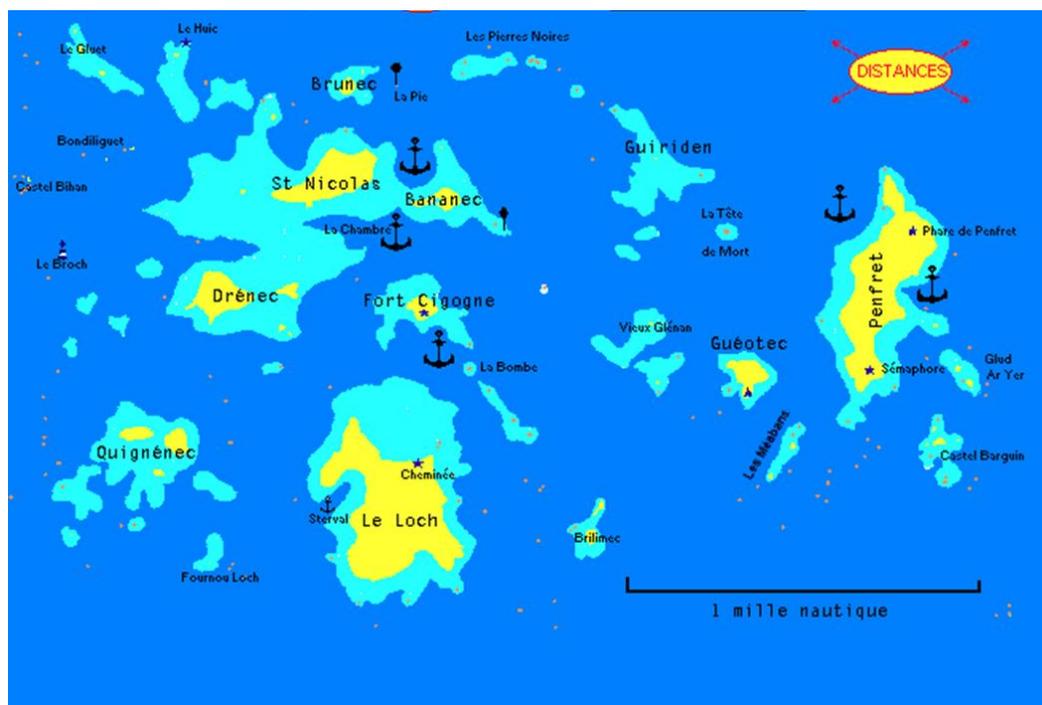


Figure 44 : carte de localisation des îles Glénans (source : <http://fbouf.fr/fbglenan/glenan.htm>)

1.2.2 Bénodet

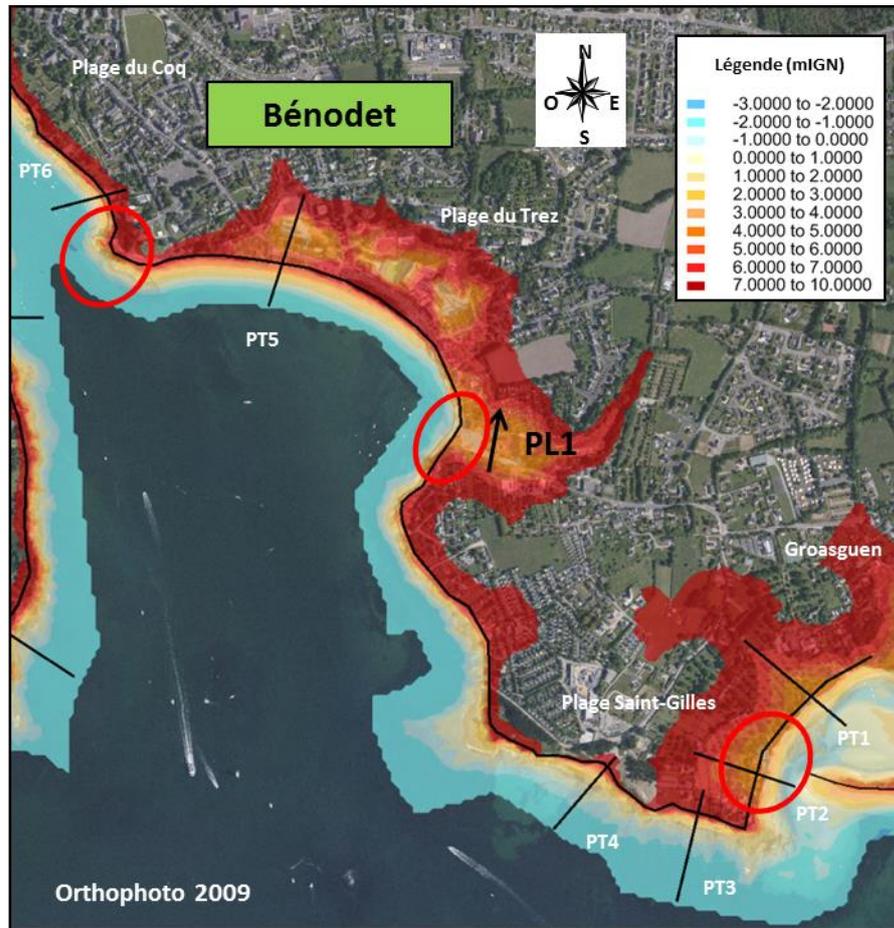
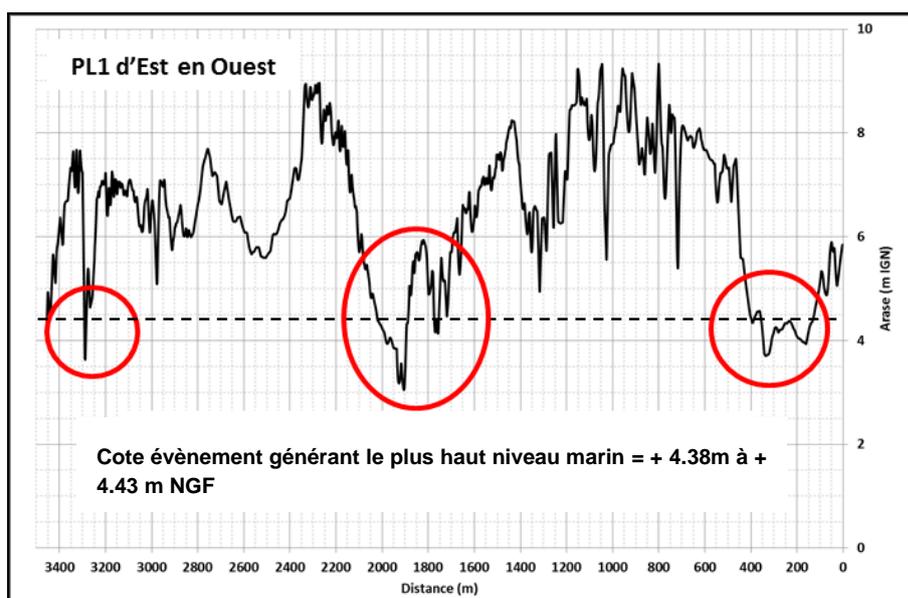


Figure 45 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Bénodet



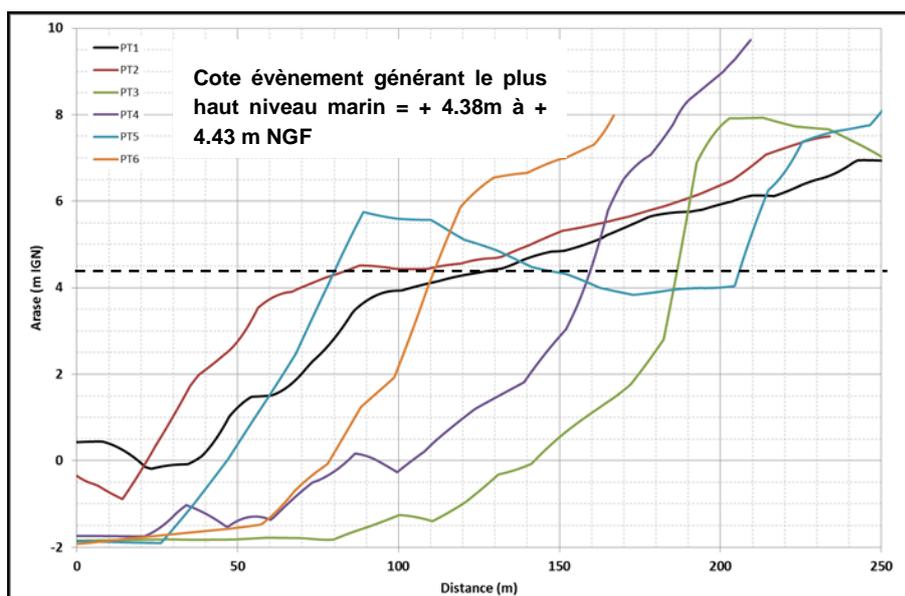


Figure 46 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux – Bénodet

Sur ce secteur, le niveau marin maximum, y compris le setup, est de +4.38m à + 4,43 m NGF.

Le littoral de Bénodet est essentiellement un littoral rocheux avec des zones basses en arrière uniquement concentrées en arrière des plages du Groasguen et du Trez. Les autres secteurs présentent une cote d'arasement supérieure à la cote de l'évènement générant le plus haut niveau marin.

Analyse et séparation en tronçons homogènes

- **TR53 : Anse du Groasguen – PK 0 à 450 m – PT 1 à 2 :** Ce secteur présente une arasement de l'ordre de +4 à +6 m NGF. Les profils 1 et 2 montrent qu'il n'y a pas de cordon dunaire et que l'altimétrie augmente progressivement en allant vers l'arrière-plage. Cependant, un secteur d'environ 50 m de profondeur, au niveau de l'arrière-plage est topographiquement bas (+4 à +5 m NGF) et est soumis à un risque de submersion. **Le phénomène de surverse sera donc retenu. Ce tronçon n'est pas concerné par les franchissements car protégé de la houle.**



- **SC54** : PK 450 à 1800 m – PT 3 à 4 : L'arase du haut de la plage est de l'ordre de +6 à +9 m NGF. Il n'y a pas de zone basse à l'arrière donc les phénomènes de submersion sont limités. De plus, aucun franchissement historique n'a été recensé sur ce secteur. **Aucun phénomène de submersion ne sera pris en compte.**



- **SC55a** : PK 1800 à 2100 m : Ce secteur est artificialisé avec la présence d'ouvrages longitudinaux qui se sont substitués au cordon dunaire (**système de protection**). Il s'agit bien néanmoins d'un système de protection arasé entre +3 et +6 m NGF dont un secteur (PK 1900 à 2000 m) plus bas au niveau du rond-point (arase à 3m NGF). L'évolution passée du trait de côte montre une stabilité dans ce secteur. **Un phénomène de rupture devra être envisagé. Ce tronçon est également concerné par les franchissements.** Ce tronçon est également soumis à des projections de matériaux (galets, sables, pierres).

- **SC55b** : PK 2100 à 2570 m – PT 5 : Ce secteur est artificialisé avec la présence d'ouvrages longitudinaux qui se sont substitués au cordon dunaire (**système de protection**). Il s'agit bien néanmoins d'un système de protection de type cordon dunaire arasé entre +5,5 et +9 m NGF. L'évolution passée du trait de côte montre une stabilité dans ce secteur. **Un phénomène de rupture devra être envisagé.** Ce tronçon est également soumis à des projections de matériaux (galets, sables, pierres).



- **SC56** : PK 2570 à 3450 m – PT 6 : L'arase du haut de la plage est de l'ordre de +6 à +7,5 m IGN. Il n'y a pas de zone basse à l'arrière et cette zone est faiblement exposée à la houle. **Aucun phénomène de submersion n'est retenu sur ce tronçon.**



Scénarios de défaillance

- **SC55a** : PK 1800 à 2100 m : Une analyse plus détaillée de la forme du cordon dunaire montre qu'il s'agit ici de trace d'un ancien cordon dunaire, quasiment totalement arasé à ce jour. **Aussi, il ne sera retenu aucune hypothèse de défaillance sur ce tronçon.** L'eau entrera dans la zone basse pas simple surverse.
- **SC55b** : PK 2100 à 2570 m – PT 5 : Ce tronçon de cordon est protégé par un ouvrage longitudinal et construit sur sa crête. La définition du scénario de défaillance nécessite d'analyser les phénomènes suivants : risque d'affaissement de la crête et de la face arrière du cordon par érosion (arrachage des sédiments) liée à la surverse ou aux franchissements et risque de rupture brutale par érosion de contact. *Les principes de l'analyse de ce type de phénomène sont décrits dans le chapitre 6 – 1.1.3.*

1 - Définition du risque d'affaissement de la crête du cordon : Risque défini comme faible sur la base des critères suivants :

- Largeur du cordon au-dessus du niveau marin de référence : 60m
- Pente de 13% sur la face arrière du cordon
- Franchissements modéré
- Artificialisation très forte de la crête et de la face arrière du cordon

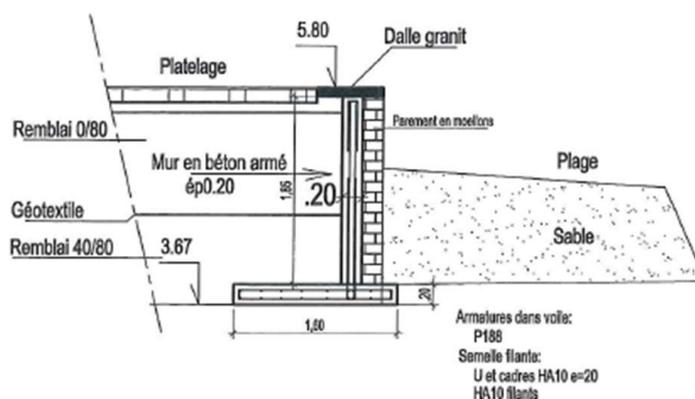
2 - Définition du risque de rupture brutale du cordon par érosion de contact :

L'application de la méthode du FEMA sur la base du cordon dunaire sans ouvrage de protection met en évidence, suivant les profils, un stock sédimentaire insuffisant ou suffisant pour résister aux tempêtes. Même si les valeurs de stocks sédimentaires ne sont pas toujours >50 m², la localisation relativement abritée et en fond de baie de la plage permet de conclure que le stock sédimentaire est suffisant malgré tout.

L'ouvrage actuel consiste en un muret en haut de plage avec en son arase un platelage avec un cheminement piéton. A l'arrière, un autre muret et/ou des cabines puis encore en retrait un cordon dunaire aménagé.

Le muret vertical est en parement en moellons et mesure entre 1.85 m et 3.5 m de hauteur suivant le stock de sable. Le mur est en béton armé et il repose sur une semelle filante variant de 1,5 m à 2,4 m.

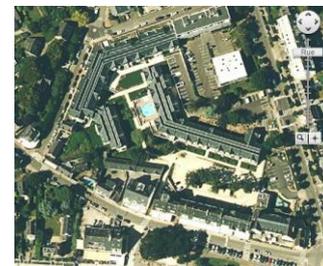
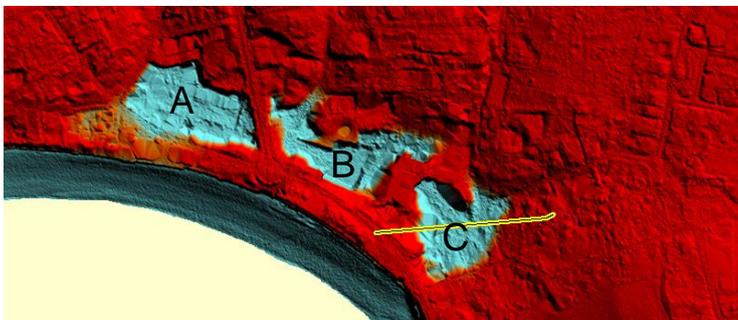
Les ouvrages apparaissent en bon état (récent) et semblent adaptés aux conditions océano-météorologiques. *Les critères d'analyses de l'ouvrage sont décrits dans le chapitre 6 - 1.1.* En conséquence, **le risque est estimé à faible** sur l'ensemble du tronçon SC55b.



Extrait d'un plan de l'ouvrage de protection du tronçon de cordon dunaire SC55b fourni par la commune

En conclusion, aucune hypothèse de défaillance ne sera prise en compte sur le tronçon SC55b. Seul le phénomène de franchissement sera retenu associé au risque d'inondation par ruissellement (Q10).

Le tronçon SC55b comprend à l'arrière 3 zones de cuvettes :



Zoom cuvette A

Les cuvettes B et C sont concernées par un phénomène de franchissement faible (entre 0 et 10 l/s/ml). Aussi, le remplissage de la zone basse ne pourra voir lieu uniquement par le biais de ce phénomène.

Dans ce cas, il est prévu dans le cadre du PPRL :

- d'intégrer la possibilité d'une inondation par ruissellement pour vérifier si la zone basse peut se remplir de façon plus importante.
- de supposer la défaillance des exutoires pluviaux

Il s'avère en effet que la combinaison du phénomène de franchissement et du phénomène d'inondation par ruissellement (Q10) engendre le remplissage de la zone basse au-dessus du niveau marin référence. Il a été validé avec les services de l'Etat qu'un phénomène autre que la submersion ne peut être une justification pour augmenter la cote référence à terre au-dessus du niveau marin. Aussi le remplissage de la cuvette ne s'élèvera pas au-dessus de la cote de l'évènement référence engendrant le plus haut niveau marin.

Pour la cuvette A, les franchissements sont supérieurs (>100 l/s/ml) via une zone basse du cordon dunaire à la cote 5.5 m NGF. Cependant, l'entrée d'eau ne peut avoir lieu par franchissement uniquement via quelques passages entre les maisons (2 passages de 2.5m et un passage d'environ 4m). De plus, des franchissements plus faibles peuvent avoir lieu au niveau du giratoire entre les bassines A et B. Ce phénomène de franchissements par paquets de mer engendre un remplissage partiel de la zone basse avec un volume d'environ 5000m³ pour un volume total d'environ 16 000m³, soit un remplissage approximatif à la cote du niveau marin (4.43m NGF). Cependant, il existe également sur ce secteur un risque d'inondation par ruissellement et un risque de défaillance des exutoires eaux pluviales (principes définis dans le guide méthodologique national du PPRL). La cote du cordon dunaire étant située à 5.5m NGF, en cas de concomitance d'évènement, elle ne permettrait pas l'évacuation de l'eau dans la cuvette avant cette même cote. L'emprise de la zone inondable ne varierait pas. En revanche, la cote du niveau d'eau à terre pourrait donc être plus élevée que la cote du niveau marin référence. Malgré cette éventualité, il a été validé avec les services de l'Etat qu'un phénomène autre que la submersion ne peut être une justification pour augmenter la cote référence à terre au-dessus du niveau marin. Aussi le remplissage de la cuvette ne s'élèvera pas au-dessus de la cote de l'évènement référence engendrant le plus haut niveau marin. Pour autant le remplissage de la zone basse peut être très rapide et les aléas seront qualifiés en conséquence (cf. Ch6 – 2.4).

1.2.3 Estuaire de l'Odét

Ce bassin de risque s'étend depuis l'entrée de l'estuaire de l'Odét, après le tronçon SC56 jusqu'à la limite de la zone estuarienne sur le ruisseau du Corroac'h et jusqu'à la limite communale sur le cours d'eau de l'Odét.

Ce tronçon est concerné par une double influence fluviale et maritime. Une étude a été menée sur l'Odét pour le compte du SIVALODET : « Etude des scénarios d'aménagement de protection contre les crues de l'Odét – Note sur l'influence du niveau marin et du réchauffement climatique » - EGIS – en cours. Les conclusions de cette étude mettent en évidence que

l'évènement fluvial n'a pas d'incidence sur les niveaux marins sur la partie aval de l'estuaire et notamment celle située sur la commune de Combrit, objet de la mission PPRNL29.

Aussi, l'évènement référence générant le plus haut niveau marin (sans set-up car pas d'incidence de la houle dans l'estuaire), sera retenu sur ce bassin de risque.

Le phénomène pris en compte sur ce bassin de risque correspond uniquement à la surverse.

2 La caractérisation de l'aléa

L'objectif est de cartographier et de caractériser l'aléa de submersion marine à partir des scénarios retenus.

Les aléas submersion seront définis en fonction de 3 critères :

- les hauteurs d'eau maxima atteintes (m),
- les vitesses d'écoulement (m/s)
- la rapidité de submersion (m/min)

Ces caractéristiques doivent donc être quantifiées ou qualifiées sur chaque bassin de risque..

Plusieurs types de méthodes sont possibles pour déterminer les caractéristiques de l'aléa :

- la superposition du niveau marin de référence à la topographie,
- la répartition des volumes entrants sur la topographie, via une modélisation casier simplifiée
- l'utilisation de modèles numériques 2D.

Pour réaliser les analyses mentionnées, des données topographiques précises sont nécessaires afin de disposer d'un modèle numérique de terrain adéquat. Dans le cadre de ce PPRNL, un levé LIDAR est disponible et assure une précision topographique à +/- 15 cm près.

La méthode de superposition du niveau marin à la topographie doit systématiquement être mise en œuvre. Elle peut apparaître comme non suffisante pour aboutir à la réalisation de la cartographie de l'aléa mais est dans ce cas une étape d'analyse et de compréhension de l'aléa indispensable.

Le choix de la méthode dépend principalement des caractéristiques du site et des données disponibles. Le schéma suivant présente le principe (extrait du guide PPRNL mai 2014).

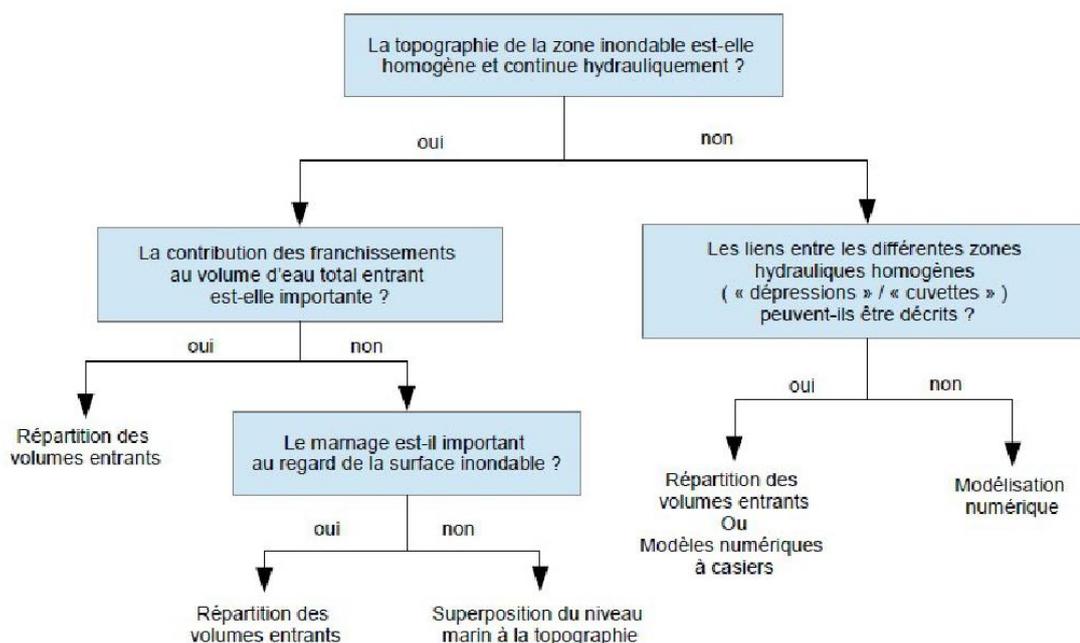


Figure 47 : démarche simplifiée du choix de la méthode de caractérisation des aléas

De manière plus simplifiée et dans le cadre spécifique de ce PPRNL, les critères de choix de méthodes pour chaque bassin de risque peuvent se résumer de la manière suivante :

- Superposition topographique : pas de zone de cuvette et terrain naturel montant progressivement
- Modèle 2D (bi-dimensionnel) : zone urbaine avec dynamique de surverse au-delà de la bande de précaution : il n'en existe pas sur la zone du PPRNL2
- Modèle à casier : tous les autres cas

Les 2 méthodes utilisées dans le PPRNL2 sont décrites dans les chapitres suivants.

Le choix de la méthode est présenté sur les cartes « synthèse des modes de submersion et d'écoulement et des hypothèses de défaillance des structures de protection ».

2.1 Méthode superposition topographique

La méthode consistant à superposer le niveau marin de référence au relevé topographique est dans de nombreux cas, suffisante pour approcher la zone soumise à l'aléa submersion marine. Cette méthode doit donc systématiquement être mise en œuvre.

Cette analyse a fait l'objet d'une première série de carte d'aléa basée sur la superposition topographique. Il ne s'agit pas des cartes d'aléas définitives.

Pour les bassins de risque concernés par cette méthode, les vérifications suivantes ont été effectuées :

- comparaison de la cartographie obtenue avec les zones inondées par les événements historiques connus,
- analyse du rôle des systèmes de drainage, de stockage et d'évacuation et des obstacles à l'écoulement (topographie et structures naturelles de protection, ouvrages de protection, remblais...) sur le volume total entrant, cette méthode ne permettant pas de prendre en compte le rôle d'obstacle à l'écoulement des ouvrages,

Ainsi, les zones situées sous le niveau marin de référence conduisent, sous réserve d'une analyse finale intégrant la dynamique de submersion, à la détermination de la zone soumise à l'aléa submersion marine.

2.2 La répartition des volumes entrants sur la topographie, via une modélisation simplifiée à casier

La méthode de répartition des volumes entrants sur la topographie peut être utilisée lorsque :

- les volumes entrants sont potentiellement surestimés par la méthode de superposition du niveau marin à la topographie (marnage important ou obstacles à l'écoulement, via un système de protection ou autre)
- la topographie arrière-littorale n'est pas trop complexe, c'est-à-dire s'il n'y a qu'une seule dépression, ou un nombre limité de dépressions dont les relations entre elles sont connues, une seconde méthode simple de caractérisation de l'aléa peut être mise en œuvre.

Dans ce cas, il a été retenu d'appliquer une modélisation simplifiée à casier. Le casier hydraulique représente la zone basse dite « cuvette ».

Les données entrantes à ce modèle simplifié correspondent :

- Aux hydrogrammes entrants par rupture, franchissement ou surverse
- A la loi hauteur/volume du casier

2.2.1 Le logiciel IWRS

La suite logicielle éditée par la société britannique Wallingford Software (Innovyze) n°1 mondial du marché des logiciels de modélisation dans le cycle de l'eau représente l'état de l'art actuel de ces modèles. Cette suite logicielle adresse les applications de modélisation autour des réseaux d'assainissement (CS), de l'AEP (WS), et des **rivières (RS)**. Il s'agit donc sur le PPRNL du logiciel IWRS.

InfoWorks RS modélise l'écoulement dans les canaux ouverts sur n'importe quels réseaux de canaux maillés ou ramifiés. InfoWorks RS propose un grand nombre de singularités hydrauliques, tels que ponts, seuils, buses, vannes, surverses,...

Les débits et hauteurs sont calculés à partir des équations de Barré de Saint Venant. InfoWorks RS permet les simulations en régime permanent et transitoire.

Disposant d'une base de données relationnelle, InfoWorks est bien adapté pour résoudre les problèmes d'importation et d'exportation des données (formats shape, mapinfo, csv, DWG, xml, etc...). La possibilité de récupérer simplement « pratiquement » tous types de données facilite la tâche d'édition et évite les erreurs de transcription.

InfoWorks RS propose un fonctionnement en régime transitoire (évolution du débit ou du niveau marin dans le temps) aussi bien en 1D qu'en 2D (bi-dimensionnel).

Les résultats (hauteur, débit, vitesse) sont identifiés pour tous les pas de temps.

2.2.2 Les volumes entrants par rupture ou par débordement

Les volumes entrants par débordement ou rupture sont calculés à partir des cycles de marées des événements pour chaque tronçon homogène (événement générant le niveau marin le plus important / événement générant les volumes franchis les plus importants). Les cycles de marées (marégrammes) ont été présentés dans le chapitre 4 - 5.3. Les simulations sont réalisées sur deux pleines mers minimum, le niveau marin de référence étant appliqué à la première pleine mer.

Les volumes entrants par surverse sont calculés par le logiciel via une loi de seuil. Cette loi de seuil permet de définir en fonction du marégramme de l'évènement retenu et de la cote d'arase de la structure de protection ou de la cote du terrain naturel, les volumes qui rentrent dans la zone basse, dite « cuvette ».

Les hypothèses prises en compte pour les ruines ou brèches de structures de protection ont été définies dans le Chapitre 6 -1.1.3.

Une loi de seuil représente la structure de protection. Celle-ci évolue dans le temps conformément aux hypothèses définies.

Des tests de sensibilité ont été menés sur les modalités de la rupture des structures de protection.

Tests de sensibilités sur les volumes entrants :

- **Rugosité de la loi de seuil** : Dans le modèle à casier, une loi de seuil représente la structure de protection. Celle-ci est gérée en fonction du temps conformément aux hypothèses retenues. Des tests de sensibilité seront réalisés sur les brèches pour estimer les incertitudes liées au coefficient de rugosité. Cette analyse est présentée dans le chapitre 6 - 2.2.5.
- **Modalités de la rupture des structures de protection**. Cette analyse est présentée dans le chapitre 6 - 2.2.5.
- **Cote d'arase de la ruine ou des brèches des cordons dunaires**. Cette cote est définie en fonction du profil du cordon dunaire à dire d'expert. En effet, aucune formule n'existe dans la bibliographie pour déterminer la cote d'arase d'un cordon dunaire.

Aussi, lorsque l'analyse du profil en travers du cordon présente des incertitudes et que le bassin de risque associé est suffisamment grand pour qu'une variation du volume d'eau entrant engendrent des écarts sur la cote de l'aléa de submersion à terre, alors des tests de sensibilités sont effectués avec différentes cote d'arase (cote d'arase potentielle +/- 50cm). Si l'hypothèse basse de la cote d'arase (-50cm) ne peut être écartée à dire d'expert et que celle-ci engendre une rehausse significative de la cote de submersion à terre, alors, il sera retenue cette hypothèse sécuritaire.

2.2.3 Les volumes franchis par paquets de mer

Certains bassins de risque nécessitent la prise en compte des franchissements dans le calcul des volumes (cf. carte de synthèse).

Les résultats des calculs de franchissements ont été présentés au chapitre 4 - 5.5. Ils sont proposés sous forme de classes de volumes franchis. Les résultats bruts des calculs sur l'ensemble des 2 cycles de marées (sur un pas de temps de 30 minutes) ont été exploités pour définir l'hydrogramme des volumes franchis.

2.2.4 Les données topographiques qui permettent de créer le modèle simplifié à casiers

De manière générale, la construction d'un modèle à casier nécessite une phase terrain afin de réaliser :

- une identification des remblais d'infrastructure, d'éventuelles digues de second rang, des talus et des divers obstacles à l'écoulement (et leurs éventuelles transparences par réseau ou autre passage), etc.
- une analyse du fonctionnement du site et une déduction des lieux d'écoulements préférentiels.

Le levé LIDAR permet de créer sous le logiciel IWRS, un ou plusieurs casiers représentant la zone basse. La limite des casiers est définie sur la base des éléments précités.

Hydrauliquement, une loi hauteur surface est calculée pour chaque casier.

Le logiciel calcule la cote d'eau dans chaque casier.

2.2.5 Le calage et les tests de sensibilité

Des données insuffisantes pour réaliser un calage

La mise en œuvre de modèles numériques nécessite une phase de calage afin d'adapter l'ensemble des paramètres (frottement, résolution de la topographie, prise en compte du bâti, prise en compte des ouvrages de protection ou d'autres obstacles...) au site.

Idéalement, ce calage implique de recourir à l'exploitation d'un évènement particulier fournissant des données d'entrée et des conséquences en termes d'inondation.

La phase 1 de ce PPRNL a permis de présenter de nombreux évènements historiques de submersion. Parmi ces évènements recensés depuis les années 1850, on peut séparer :

- les évènements ayant engendré des conséquences majeures en terme de submersion, via des ruptures de structures de protection (de type cordons), mais qui sont anciens dans les mémoires et n'ont donc pas pu permettre la définition d'un contour de zone inondée. De plus, ces évènements anciens n'ont pas fait l'objet d'enregistrement de conditions météo-océanographiques.
- les évènements plus récents ayant engendré uniquement des submersions par débordement ou franchissement par paquets de mer. Pour ces évènements plus récents (mars 2008, hiver 2013/2014 notamment), les contours de zones inondées n'ont pas pu être rapportés à un évènement spécifique, y compris pour les inondations de l'hiver 2013/2014. Ceci s'explique d'autant plus en raison de la rapide succession des évènements.

Aussi, à défaut de détenir des données de calage, les modèles hydrauliques réalisés ont fait l'objet de tests de sensibilité et d'une analyse critique des résultats au regard des contours de zones inondées cartographiées en phase 1.

De manière générale, le guide méthodologique d'élaboration des PPRNL, précise que lorsque des données de calage ne sont pas disponibles et/ou lorsque les études de sensibilité ne permettent pas de se prononcer, les hypothèses qui sont faites doivent privilégier la sécurité.

Des tests de sensibilité

Les tests de sensibilité réalisés concernent :

- Les modalités de rupture des structures de protection (valable pour les modèles 2D et les modèles à casiers) et réalisé sur le modèle à casier de Penmarc'h Sud (PPRNL1):
 - La pente des talus de la brèche (passage de 1/1 à 1/2)
 - La rugosité de la brèche (passage d'un coefficient de seuil de 0.385 à 0.23)
 - La dynamique de rupture de la brèche (passage de 1/2h à 1h de temps de rupture)

Pour les tests sur les **modalités de rupture**, un exemple est présenté dans le tableau suivant. Il met en évidence un très faible impact de ces paramètres sur les volumes entrants et donc sur la cote d'aléa submersion à terre :

Tronçon	Cas de base pour comparaison	Pente de talus	Rugosité de la brèche	Dynamique de la rupture
CD27	2 329 000 m ³	2 168 000 m ³	2 205 000 m ³	2 062 000 m ³

Au-delà des volumes, l'impact de ces variations sur les niveaux d'eau est inférieur à 4 %. Les tests de sensibilité mettent donc en évidence une faible incertitude des modèles.

2.3 La démarche menant à la caractérisation de l'aléa

A l'issue de l'application de ces 3 méthodes, il est nécessaire de compléter l'analyse par :

- la vérification de l'inondabilité effective des différentes zones topographiquement basses cartographiées.
- la définition des zones touchées uniquement par des franchissements par paquets de mer
- la détermination des zones d'écoulement des eaux (et non uniquement de stockage final des volumes) et la qualification des critères de dynamique de submersion
- une analyse spécifique des bandes de précaution liées aux structures de protection
- la définition des zones soumises à choc mécanique des vagues et à projection

2.3.1 Vérification de l'inondabilité effective des différentes zones basses submergées

Il s'agit ainsi de bien vérifier que chaque zone topographiquement basse cartographiée comme inondable est en lien avec la mer, soit :

- directement par des points d'entrée d'eau identifiés et visibles (via un phénomène de débordement),
- indirectement dans le cas d'une dépression enclavée du fait d'une structure de protection ou d'un terrain naturel plus élevé sur la façade littorale. Ces zones peuvent néanmoins être submergées par rupture de la structure de protection, par défaillance d'un exutoire, par les franchissements par paquets de mer...

Cette analyse a fait l'objet du Chapitre 6 -1.2.

2.3.2 Définition des zones submergées uniquement par franchissement par paquets de mer

En dehors des bassins de risques identifiés, il existe des secteurs littoraux qui sont soumis aux franchissements par paquets de mer, sans qu'il y ait présence de zone basse et donc de zone d'écoulement privilégié puis de zone de stockage d'eau.

Les franchissements ont alors lieu sur une côte où le terrain naturel monte progressivement. Pour ces tronçons de littoral soumis aux franchissements, la méthode décrite ci-après a été appliquée.

Le littoral a été découpé en plusieurs tronçons homogènes afin de pouvoir définir un profil en travers par tronçon homogène et ainsi calculer les volumes franchissants sur ce profil type. Ce travail a été présenté dans le Chapitre 4 -5.

Ces tronçons ont été définis en fonction de différents paramètres à savoir :

- l'exposition aux houles (basée sur les résultats de plans de vagues),
- les caractéristiques des ouvrages tels que le type, l'état, l'altimétrie, la pente, etc (basées sur les visites de site réalisées sur les ouvrages et le LIDAR),
- les caractéristiques des terrains en arrière tels que l'altimétrie et la topographie du terrain (basées sur le LIDAR et les visites de sites),
- les épisodes de franchissements historiques (basés sur le retour d'expérience),

Dans le Chapitre 4 -5.5, les résultats des calculs ont été présentés pour chaque tronçon par des classes de volumes franchis. Ces résultats sont reliés à la cartographie de l'aléa submersion de la manière suivante.

- Débits franchis > 100 l/s/ml : bande de franchissement de 50m de large en aléa fort
- Débits franchis 10 à 100 l/s/ml : bande de franchissement de 25m de large en aléa fort
- Débits franchis < 10 l/s/ml : bande de franchissement de 25 m de large en aléa modéré

La largeur des bandes de franchissement et la qualification de leur aléa est basée sur l'analyse des résultats des modèles bi-dimensionnels réalisés dans le cadre du PPRNL. Le cas du tronçon SC4 de Combrit du PPRNL1 a été retenu pour cette analyse. En effet, sur ce tronçon, le terrain naturel monte très progressivement sur une largeur de plus de 100m avant de redescendre vers une zone de cuvette. Cette configuration avec un terrain naturel montant très progressivement sur les 25 à 50 premiers mètres est à l'image de ce que l'on observe sur le littoral du Finistère.

De manière générale, sur les zones concernées uniquement par le franchissement, les hauteurs d'eau sont inférieures à 20cm, mais les vitesses d'écoulement sont très élevées, ce qui nécessite la qualification spécifique d'un aléa.

- Bande de franchissement de 50m en aléa très fort :

Lors que le débit franchi se rapproche de 100l/s/ml, la zone submergée dépasse les 25m et se rapproche d'une largeur moyenne de 50m de terrain naturel (variable en fonction de la topographie précise de chaque zone). Les vitesses d'écoulement sont supérieures à 1 m/s (vitesse d'écoulement rapide) sur la façade littorale mais s'atténuent très vite à l'intérieur des terres. Pour ces tronçons de littoral concernés par des volumes franchis supérieurs à 100l/s/ml, il a été retenu une bande de 50m et un classement en aléa fort.
- Bande de franchissement de 25m de large en aléa fort :

Pour des débits franchissants inférieurs (10 à 100l/s/ml), la largeur de la zone submergée est moindre, mais la dynamique d'écoulement est encore rapide (vitesses supérieures à 1m/s). Les vitesses d'écoulement s'atténuent cependant très vite à l'intérieur des terres. Une largeur de 25m et un classement en aléa fort a été retenu.
- Bande de franchissement de 25m de large en aléa modéré :

Pour des débits franchissants inférieurs à 10 l/s/ml, les vitesses d'écoulement sont de l'ordre de 0.5m/s soit une dynamique également forte mais s'atténuent très vite à l'intérieur des terres pour passer sous les 0.5m/s. La bande d'aléa de 25m est donc classée en aléa modéré.

Sur chaque tronçon, l'altimétrie n'est pas équivalente sur l'ensemble du linéaire. Aussi, pour chaque tronçon, les zones soumises aux franchissements ont été affinées à dire d'expert sur la base :

- du résultat du calcul de franchissement
- des variations de l'altimétrie sur le tronçon considéré (dans le cas de gros écarts engendrant un changement de classe d'aléa potentiel)
- du retour d'expérience des évènements historiques

Les bandes de franchissements se termine par un arc de cercle en bout de bande. En effet, la vague une fois entrée à terre, va s'étaler sur le terrain naturel à l'arrière.

2.3.3 Qualification des critères de dynamique de submersion

Une phase d'analyse à dire d'expert porte sur la qualification des critères de dynamique de submersion, notamment la vitesse d'écoulement, la vitesse de montée des eaux ou la durée de submersion.

Les critères de classement pour la dynamique de submersion sont précisés dans la qualification de l'aléa, puisqu'ils sont également en lien avec la hauteur d'eau.

2.3.4 Spécificité bande de précaution

Derrière les structures jouant un rôle de protection, faisant de fait obstacle à l'écoulement, des aléas particuliers doivent être pris en compte. En effet, la zone située à l'arrière d'un ouvrage subit de fortes vitesses d'écoulement lors des surverses. Par ailleurs, en cas de rupture, des vitesses d'écoulement, encore plus fortes, sont susceptibles de se produire. Une bande de précaution est donc appliquée derrière ces ouvrages.

La largeur de la bande de précaution ne peut être inférieure à 50 mètres.

Les structures de protection naturelle (cordon dunaire) qui ne font pas l'objet de brèche font néanmoins l'objet d'une bande de précaution.

En revanche, les cordons dunaires anthropisés (protégés par un ouvrage et construits sur la crête) qui ne font pas l'objet d'une hypothèse de défaillance de type brèche ne sont pas soumis à bande de précaution. Cette hypothèse a été validée par les services de l'Etat après analyse spécifique de ces cordons dunaires anthropisés.

La bande de précaution permet de rendre compte des fortes dynamiques de submersion quel que soit le (ou les) point(s) de surverse ou de rupture.

La largeur forfaitaire est définie de la manière suivante :

- Lorsque le niveau marin de référence est supérieur à la cote de la crête de la structure de protection : $100 \times (\text{cote de la crête} - \text{cote d'arase de la structure})$
- Lors que le niveau marin de référence est inférieur à la cote de la crête de la structure de protection : $100 \times (\text{cote du niveau marin référence} - \text{cote de l'arase de la structure})$

La bande de précaution débute à la crête de l'ouvrage. Ceci est applicable pour les structures de type digue. Dans le cas des cordons dunaires, qui représentent la très grande majorité des structures de protection sur le PPRLN, la bande de précaution débute également à la crête du cordon.

Il est important de rappeler que la cote du cordon est évolutive en fonction de la morphologie du cordon. Aussi avec un même niveau marin de référence, **la largeur de la bande de précaution varie sur un même cordon.**

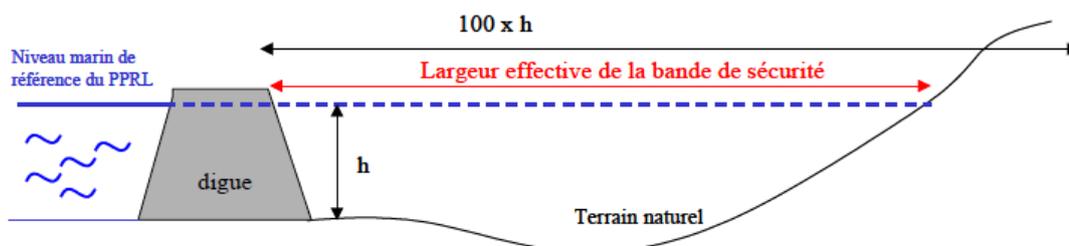


Figure 48 : schéma précisant la définition de la bande de précaution (source : guide méthodologique du PPRLN29)

2.3.5 Aléa spécifique choc mécanique des vagues et projection

L'aléa choc mécanique des vagues a lieu lorsque la vague déferle sans être atténuée par les fonds et par la plage. L'aléa choc mécanique des vagues représente un linéaire de côte concerné par des phénomènes de franchissement par paquets de mer qui engendrent des pressions tellement importantes que celles-ci peuvent être amenées à détériorer la structure d'un bâtiment.

L'aléa choc mécanique des vagues est distinct de l'aléa submersion.

L'aléa choc mécanique des vagues présente une **bande de 25m de large en aléa fort** (largeur et type d'aléa définis dans le cadre du guide méthodologique du PPRNL).

L'aléa projection prend en compte les éventuelles projections de matériaux (sables, galets, etc.). Les secteurs soumis aux projections ont été identifiés à partir des données recueillies dans la phase 1 d'état des lieux du PPRNL et cartographiés dans une topologie spécifique. L'aléa projection ne peut avoir lieu que sous condition d'un aléa choc mécanique des vagues, aussi le classement d'aléa est identique, à savoir **aléa fort**.

Dans la cartographie, le choix a été fait pour une meilleure lisibilité de représenter une bande liées :

- Soit aux chocs mécaniques des vagues uniquement,
- Soit aux chocs mécaniques et aux projections si ces dernières représentent un phénomène.

2.4 La qualification de l'aléa submersion

2.4.1 Méthode de qualification de l'aléa submersion

Echelle de qualification

Comme pour tout aléa inondation, il existe dans le cadre de la submersion marine une gradation dans la manifestation des phénomènes. Cette gradation doit se traduire par un mode de qualification adéquat afin d'être confrontée à la connaissance des enjeux. Le mode de qualification retenu ici reprend les principes mis en œuvre habituellement dans les PPR inondation. Notamment, la limite entre l'aléa modéré et l'aléa fort dépend de la capacité à se mouvoir, d'un adulte en bonne santé, lui permettant ainsi d'échapper sans assistance au phénomène en cours.

Le PPRNL comporte à minima deux catégories d'aléa, modéré et fort. Il peut, le cas échéant, comporter des catégories supplémentaires selon les contextes locaux (faible et/ou très fort).

Mode de qualification

La qualification de l'aléa, c'est-à-dire la détermination du niveau d'aléa, dépend des paramètres suivants :

La hauteur d'eau produite par la submersion

Les hauteurs d'eau sont systématiquement quantifiées pour l'aléa de référence. Les seuils de hauteur d'eau sont définis par un pas de 50 cm (soit $<0,5\text{m}$; $0,5 < h < 1\text{m}$; $h > 1\text{m}$; $h > 1,50\text{m}$...) de la même manière que pour l'inondation par débordement de cours d'eau.

La dynamique de submersion liée à la rapidité du phénomène (vitesse de montée des eaux), à la durée de submersion et à la vitesse d'écoulement de l'eau.

La dynamique de submersion est qualifiée à partir du paramètre le plus défavorable entre la vitesse d'écoulement des eaux et la vitesse de montée des eaux. La dynamique de submersion est qualifiée suivant deux à trois classes, à dire d'expert sur la base des éléments à disposition. Les critères suivants, rendant compte du fonctionnement hydraulique du site, peuvent être utiles à la qualification de la dynamique de submersion :

- présence d'ouvrages de protection, structures naturelles de protection et autres obstacles à l'écoulement (bande de dynamique forte à l'arrière en cas de rupture),
- particularités topographiques (sens de circulation préférentiel des écoulements, points d'entrée d'eau),
- analyse des événements historiques (vitesses d'écoulement importantes, sens de circulation préférentiel des écoulements, points d'entrée d'eau).

Les seuils suivants sont utilisés pour la vitesse d'écoulement :

- $V > 0,75$ m/s vitesse d'écoulement rapide,
- $0,25 < V < 0,75$ m/s vitesse d'écoulement moyenne,
- $0 < V < 0,25$ m/s vitesse d'écoulement lente.

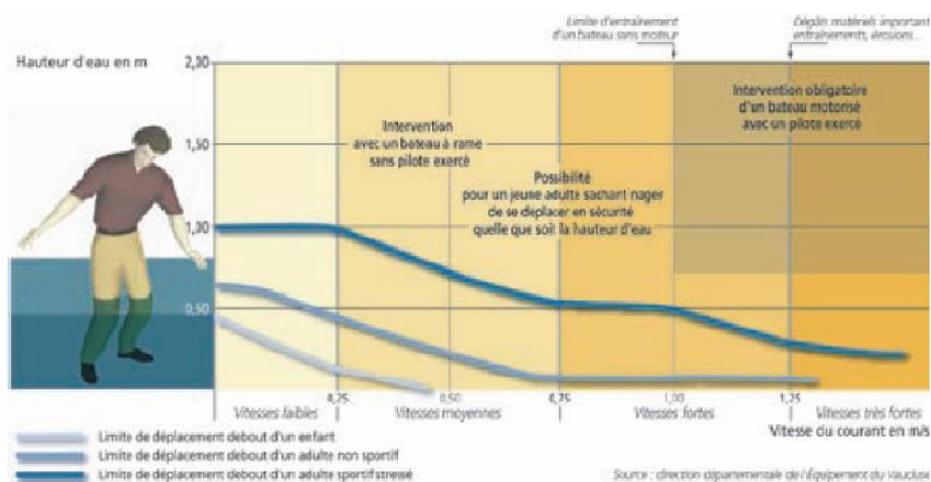


Figure 49 : Possibilité de déplacement des personnes en fonction de la vitesse d'écoulement et de la hauteur d'eau (source ; guide méthodologique du PPRNL)

La vitesse de montée des eaux ou la durée de submersion peuvent, lorsqu'elles sont défavorables, venir majorer le niveau de dynamique de submersion. Sous 1/2h de durée de remplissage, la dynamique de submersion est estimée rapide. La vitesse de montée des eaux a un impact principalement lorsque les hauteurs d'eau maximales atteintes ne sont pas faibles. Ce critère peut donc ne pas être considéré pour des hauteurs d'eau inférieures à 0,5 m.

Lorsque des modélisations numériques sont réalisées et que l'aléa est variable dans le temps, la cartographie de l'aléa de référence résulte de la prise en compte en tout point du territoire de l'aléa le plus pénalisant (hauteur ou couple hauteur/dynamique de submersion).

L'aléa submersion marine peut ainsi être caractérisé selon l'un des deux tableaux suivants en fonction des éléments disponibles :

		Dynamique de submersion	
		Lente	Rapide
Hauteurs d'eau	$h < 0.5$	Faible	Fort
	$0.5 < h < 1$	Modéré	Fort
	$h > 1$	Fort	Très fort

Figure 50 : qualification de l'aléa lorsque les vitesses ne sont pas définies via un modèle 2D (extrait du guide PPRNL – Mai 2014)

		Dynamique de submersion		
		Lente	Moyenne	Rapide
Hauteurs d'eau	$h < 0.5$	Faible	Modéré	Fort
	$0.5 < h < 1$	Modéré	Modéré	Fort
	$h > 1$	Fort	Fort	Très fort

Figure 51 : qualification de l'aléa lorsque les vitesses sont définies via un modèle 2D (extrait du guide PPRNL – Mai 2014)

Niveau d'aléa très fort

Du fait de la force des phénomènes littoraux, un aléa « très fort » a été introduit. Cette qualification est réservée aux phénomènes susceptibles de produire des dégâts majeurs et immédiats sur les enjeux rencontrés.

L'analyse de l'aléa (cf. analyses menant à la caractérisation de l'aléa peut donc conduire à retenir certaines zones en aléa très fort en complément des catégories prévues par le tableau précédent. Il s'agit :

- de zones présentant des hauteurs d'eau très importantes (à savoir supérieure à 1.50m),
- des zones liées aux bandes de précaution à l'arrière d'une digue, dont la rupture peut engendrer un flot pouvant détruire très rapidement les habitations exposées.
- de zones en « cuvette » où les vitesses de montée des eaux peuvent être très rapides et les niveaux d'eau importants peuvent mettre en danger la vie des personnes.

2.4.2 Application de la méthode de qualification de l'aléa submersion

La présentation de la qualification des aléas qui précède est extraite du guide méthodologique du PPRNL.

Il est expliqué ci-après la mise en application de ces principes de qualification sur les communes du littoral Finistérien faisant l'objet du PPRNL. L'application est faite en fonction du type de bassin de risque observé sur cette côte Finistérienne.

Les bassins de risques concernés par une structure de protection faisant l'objet d'une modélisation casier

La méthode suivante est appliquée pour représenter la dynamique de submersion en 2 classes « lente et rapide ». Une fois la dynamique de submersion définie, la méthode de qualification des aléas appliquée est celle de la Figure 50 : qualification de l'aléa lorsque les vitesses ne sont pas définies via un modèle 2D.

Les bassins de risque sont classés en « petit bassin » et « grand bassin » à la fois en fonction de la superficie du bassin de risque mais également en fonction de la distance entre la structure de protection et le point le plus éloigné du bassin de risque. L'objectif de ce classement est de définir la dynamique de submersion à retenir et donc la qualification de l'aléa.

La « *carte de synthèse des modes de submersions et d'écoulement et des hypothèses de défaillance des structures de protection* » définit le type de bassin de risque.

Petit bassin de risque :

La dynamique de submersion est « rapide » car :

- la superficie et donc le volume de la zone est faible, aussi le remplissage maximum du bassin de risque lors de la rupture s'effectue en moins d'1/2h. La durée de remplissage est donc particulièrement faible et constitue un élément de dangerosité.
- les vitesses d'écoulement sont fortes sur l'ensemble du bassin de risque (> 0.50m/s) car la distance entre la structure de protection et le point le plus éloigné du bassin est relativement faible (inférieure à 500m). Cette constatation (vitesses supérieures à 0.50m/s sur une bande de 500 m sur des bassins de risque en cuvette) a pu être faite via l'exploitation des 3 modèles bi-dimensionnels (réalisés pour le PPRNL1), et ce même avec de faible profondeur de brèche.

Cela entraîne selon la règle de croisement retenu que l'ensemble du bassin de risque sera en aléa fort à très fort. Ceci semble trop pénalisant notamment pour les pourtours du bassin de risque, concernés par une hauteur d'eau inférieure à 20cm. Sur ces zones, il sera considéré un classement intermédiaire de type modéré. En effet, en référence à la Figure 49, sur ces zones, un adulte « non sportif » est en capacité de se déplacer pour une vitesse comprise entre 0.5m/s et 0.75 m/s.

Pour ces bassins de risque, la qualification suivante est retenue, au-delà de la bande de précaution (classée systématiquement en aléa très fort) :

- $H < 0.2m$: aléa modéré
- $0.2m < H < 0.5m$: aléa fort
- $0.5m < H < 1m$: aléa fort
- $H > 1m$: aléa très fort

Grands bassins de risque avec à minima un tronçon de la structure de protection faisant l'objet d'une ruine :

La dynamique de submersion est estimée « rapide » sur les zones où la hauteur d'eau est supérieure à 1m. En effet, via la ruine d'un tronçon de la structure de protection, les zones les plus basses de ces grands bassins de risque, où la hauteur d'eau est supérieure à 1m, font l'objet d'une rapide montée des eaux avec environ plus de 50cm en moins d'1/2 heure. Les vitesses d'écoulement sont également élevées dans ces zones, tout comme les axes d'écoulement qui y mènent et qui sont représentés par les bandes de précaution.

En revanche la dynamique de submersion est estimée « lente » sur les zones où la hauteur d'eau est inférieure à 1m.

Pour ces bassins de risque, la qualification suivante est retenue, au-delà de la bande de précaution (classée systématiquement en aléa très fort) :

- $H < 0.5m$: aléa faible
- $0.5m < h < 1m$: aléa modéré
- $H > 1m$: aléa très fort

Grands bassins de risque dont les structures de protection ne font l'objet que de brèches :

La dynamique de submersion est estimée « lente » en dehors des bandes de précaution.

Pour ces bassins de risque, la qualification suivante est donc retenue, au-delà de la bande de précaution (classée systématiquement en aléa très fort) :

- $H < 0.5m$: aléa faible
- $0.5m < h < 1m$: aléa modéré
- $H > 1m$: aléa fort

***Les bassins de risques
concernés uniquement par la
surverse sur un terrain naturel
montant progressivement***

Pour ces bassins de risque la dynamique de submersion est « lente » puisque le niveau d'eau à terre monte en parallèle du niveau marin en mer :

- **H < 0.5m : aléa faible**
- **0.5m < h < 1m : aléa modéré**
- **H > 1m : aléa fort**

***Les linéaires de côte à pente
douce et montante soumis
uniquement aux
franchissements***

Ces zones submergées concernent les tronçons de littoraux qui ne sont soumis qu'aux franchissements par paquets de mer et pour lesquels aucune zone basse ne se dessine en retrait. La côte présente donc un terrain qui monte progressivement.

Pour ces secteurs, une définition de l'aléa a été pondérée en fonction de l'intensité des franchissements (cf. chapitre 6 - 2.4.1). Celle-ci représente à la fois l'emprise potentielle en fonction des volumes franchis et le risque lié aux phénomènes, impliquant des vitesses élevées :

- < 10l/s/ml : bande de 25m en aléa fort
- De 10 à 100l/s/ml : bande de 25 m en aléa très fort
- 100l/s/ml (à la limite de la surverse) : bande de 50m en aléa très fort

2.5 Guide de lecture des cartes d'aléa submersion

3 cartes d'aléas sont présentées :

- **La carte d'aléas de référence avec prise en compte des structures de protection : elle sert de base à la carte réglementaire du PPRLN.** Sa construction reprend les éléments suivants :
 - a. Aléa submersion pour l'évènement référence état actuel avec prise en compte de l'état des ouvrages (hypothèse de défaillance, présentées dans la carte de « synthèse des modes de submersion et d'écoulement et des hypothèses de défaillance des structures de protection »). Cela intègre l'aléa lié aux 3 types de phénomène : surverse, rupture et franchissement.
 - b. Bande de précaution définie sur la base du niveau marin référence état actuel
 - c. Bande soumise au choc mécanique des vagues et à des projections sur la base du niveau marin référence à l'état actuel
- **La carte d'aléas de référence sans prise en compte des structures de protection : elle est fournie à titre indicatif** pour comparaison de l'aléa avec ou sans prise en compte des structures de protection. Sa construction reprend les éléments suivants :
 - a. Aléa submersion pour l'évènement de référence état actuel sans prise en compte de l'effet des ouvrages. Il s'agit donc d'une simple superposition topographique du niveau marin de référence associée à la prise en compte de l'aléa lié aux franchissements par paquets de mer.
 - b. Bande soumises au choc mécanique des vagues et à des projections sur la base du niveau marin référence à l'état actuel
- **La carte d'aléa de référence à 100 ans :** Dans cette carte, **la rehausse prise en compte est de 60cm et non pas de 0 cm, ce qui procure une rehausse des niveaux référence pris en compte de 40cm.** Sa construction reprend les éléments suivants :
 - a. Aléa submersion pour l'évènement référence état dans 100 ans avec prise en compte de l'état des ouvrages dans les conditions identiques à l'état actuel (hypothèse de défaillance, présentées dans la carte de « synthèse des modes de submersion et d'écoulement et des hypothèses de défaillance des structures de protection »). Cela intègre l'aléa lié aux 3 types de phénomène : surverse, rupture et franchissement. **Aussi, la seule variable par rapport à la carte aléa état actuel avec prise en compte des ouvrages correspond à la cote du niveau marin de référence.**
 - b. Bande de précaution définie sur la base du niveau marin référence état actuel (non modifiée sur la base du niveau marin à 100 ans)

- c. Bande soumise au choc mécanique des vagues et à des projections sur la base du niveau marin référence à l'état actuel (non modifiée sur la base du niveau marin à 100 ans)

Pour rappel, le zonage réglementaire réalisé repose essentiellement sur la base de l'aléa actuel. Bien que les connaissances de l'aléa à échéance 100 ans, incluant une surélévation du niveau de la mer liée au changement climatique, conduisent à adapter le règlement et les prescriptions, elles n'auront pas pour conséquence de rendre inconstructible des zones qui seront constructibles sur la base de l'aléa de référence actuel, sauf cas très limité.

Pour chacune de ces 3 cartes, les éléments de lecture sont les suivants :

<p>Gamme de couleurs n°1 pour la représentation des aléas :</p> <p>Aléas</p> <ul style="list-style-type: none">  Faible  Moyen  Fort  Très fort <p>Gamme de couleurs n°1 pour la représentation des aléas :</p> <p>Aléas</p> <ul style="list-style-type: none">  Faible  Moyen  Fort  Très fort 	<p>Cartographie de l'aléa submersion.</p> <p>Celui-ci intègre l'aléa submersion liée aux phénomènes de :</p> <ul style="list-style-type: none"> • franchissements par paquets de mer (cf. Chapitre 6 – 2.3.2) • rupture • surverse <p>La qualification de l'aléa est réalisée à partir des règles édictées dans le chapitre 6 - 2.3 et 2.4.</p> <p>Il existe 2 gammes de couleurs pour la visualisation des aléas :</p> <ul style="list-style-type: none"> • La gamme de couleur n°1 a été utilisée pour les cartes qui servent de base à la réalisation de la carte réglementaire, à savoir : <ul style="list-style-type: none"> ○ La carte d'aléas de référence avec prise en compte des structures de protection ○ La carte d'aléa de référence à 100 ans. <p>La gamme de couleur n°2 a été utilisée pour la carte d'aléas de référence sans prise en compte des structures de protection – fournie à titre indicatif.</p>
<p> Bandes de précaution</p>	<p>Bande de précaution</p> <p>Les bandes de précaution sont intégrées en tant qu'aléa très fort. Le chapitre 6 – 2.3.4. précise leur définition.</p> <p>La limite des bandes de précaution définie par la méthode forfaitaire est localisée sur la carte.</p>
<p> Zones soumises à des chocs mécaniques des vagues</p>	<p>Cartographie de l'aléa choc mécanique des vagues : aléa fort (cf. chapitre 6 – 2.3.5)</p>
<p> Zones soumises à des projections et à des chocs mécaniques des vagues</p>	<p>Cartographie de l'aléa projection : aléa fort (lorsqu'on observe cet aléa projection, l'aléa choc mécanique des vagues est également présent) (cf. chapitre 6 – 2.3.5)</p>

2.6 Guide de lecture des cartes des cotes d'eau

A quoi sert la carte des cotes d'eau ?

Les dispositions constructives imposent pour chaque construction neuve ou extension de bâtiment existant, une cote de constructibilité.

En fonction du type de bâtiment (locaux à sommeil, ERP, activité économique), des conditions de construction ou reconstruction, **cette cote de constructibilité est fournie en référence à l'une de ces 2 cotes d'eau :**

- **la cote NR**, qui renvoie à la carte des cotes d'eau pour l'aléa référence avec prise en compte des ouvrages
- **la cote N2100**, qui renvoie à la carte des cotes d'eau pour l'aléa 2100 (à échéance 100 ans) avec prise en compte des ouvrages

Tout projet devra donc comporter des cotes rattachées au système de nivellement général de France (cote en mètre NGFIGN69) afin d'être comparées aux cotes NR (Niveau de Référence Actuel) et N2100 (Niveau de Référence à échéance 2100).

A quoi correspond la cote d'eau ?

Dans le présent PPRL, cette cote de référence est exprimée dans le système altimétrique français de référence NGF-IGN69 (cote altimétrique dans le système de nivellement général de la France).

La cote de référence correspond à la cote d'eau à terre résultant de la définition de l'évènement de référence et de sa projection à terre selon les éventuelles hypothèses de défaillance des systèmes de protection.

Le détail de la méthodologie de définition de l'aléa et de ses caractéristiques (notamment la cote d'eau) a été précisé dans le chapitre 4.

La cote d'eau est définie pour les 2 aléas suivant :

- **l'aléa référence** avec prise en compte des ouvrages : **la cote d'eau est nommée NR**
- **l'aléa 2100** (à échéance 100 ans) avec prise en compte des ouvrages : **la cote d'eau est nommée N2100**

Pourquoi plusieurs représentations de la cote d'eau ?

Représentation de la cote pour les zones modélisées en 1D ou caractérisées par superposition topographique

La cote est définie pour l'ensemble du bassin de risque. Parfois, une scission du bassin de risque est proposée en une ou plusieurs zones (lorsqu'on note des variations importantes de la cote sur ce même bassin) et donc plusieurs cotes.

Représentation de la cote pour les zones modélisées en 2D

Sur ces secteurs, le type d'outil utilisé permet :

- une plus grande précision de la cote dans la zone submergée, notamment avec la représentation des effets dynamiques (de type effet de nasse – cf. explication chapitre 6 – 2.3.6)
- de définir la cote d'eau liée à la lame d'eau qui s'écoule via les volumes franchis.

Aussi, il n'est pas possible d'afficher une cote unique. Il a donc été fait le choix de proposer une carte avec des classes de hauteurs d'eau tous les 10 cm. Si la cote maximum à l'endroit est de 4.31m NGF IGN69, la classe proposée sera alors de 4.30 à 4.40m NGF IGN69.

Représentation de la cote pour les bandes de franchissements

Pour les secteurs faisant l'objet de franchissement mais pas de modélisation 2D, nous retenons une hauteur de lame d'eau forfaitaire sur la largeur de la bande. En effet, il n'est pas possible de définir la hauteur d'eau générée par les franchissements sans modélisation 2D.

La hauteur forfaitaire proposée est donc de + 20cm sur l'ensemble des zones soumises aux franchissements et non modélisées en 2D.

La justification vient du fait qu'à la lecture des modèles 2D, on observe des fourchettes de hauteurs d'eau similaires. Cependant, il est tout à fait possible que par endroit, la lame d'eau soit supérieure (ou inférieure) à 20cm lors d'un événement de tempête.

Cette hauteur de lame d'eau s'applique :

- par rapport au niveau du TN : lorsque la zone soumise aux franchissements ne fait pas l'objet de surverse (correspond à la partie du cordon dunaire au-dessus du niveau marin référence ou autres zones littorales côtières uniquement soumises aux franchissements)
- par rapport au niveau d'eau lorsque la bande de franchissement vient recouvrir la zone submersible située dans le bassin en arrière.

La carte des cotes d'eau localise ces bandes de franchissements sur lesquelles sont applicables la surcote de +20cm.

Comment trouver l'information ?

L'ensemble des éléments (cartes et tableau) permettant de définir la cote d'eau sur une parcelle est situé dans le dossier des annexes.

Le dossier des annexes est composé des éléments suivants :

- Annexe 1 – La carte des tronçons de littoral (aide à la lecture des données des tableaux et cartes en annexes 2, 3, 4 et 5)
- Annexe 2 - le tableau des niveaux marin de référence et des cotes d'eau correspondantes à terre
- Annexe 3 - les cartes des cotes d'eau référence
- Annexe 4 - le tableau des niveaux d'eau marin 2100 (à échéance 100 ans) et des cotes d'eau correspondantes à terre
- Annexe 5 - les cartes des cotes d'eau à échéance 2100 (à échéance 100 ans)

2 jeux de cartes existent donc pour la carte des cotes d'eau :

- **La carte des cotes d'eau pour l'aléa référence avec prise en compte des ouvrages, où l'on pourra lire la cote NR**
- **La carte des cotes d'eau pour l'aléa 2100 (à échéance 100 ans) avec prise en compte des ouvrages, où l'on pourra lire la cote N2100**

Les cartes sont en lien avec les tableaux des niveaux marins de référence et des cotes d'eau correspondantes à terre que l'on retrouve également dans le dossier des annexes.

Ces cartes ont pour objectif de définir la cote de référence du niveau d'eau à terre en m NGF IGN69.
Ce niveau de référence est exprimé dans le système altimétrique français de référence en mètre NGF IGN69 (cote altimétrique dans le système de nivellement général de la France - NGF).

Attention, il s'agit donc bien d'une cote en m NGF IGN69 et en aucun cas d'une hauteur d'eau.

La lecture de la cote en m NGF IGN69 a pour objectif, en lien avec le règlement, de permettre ensuite la définition de la cote de constructibilité.
Pour se faire, tout projet devra comporter des cotes rattachées au système de nivellement général de France (cote en mètre NGFIGN69) afin d'être comparées aux cotes NR (Niveau de Référence Actuel) et N2100 (Niveau de Référence à échéance 2100).

Méthodologie de recherche de l'information :

- 1 Définir quel est le niveau référence recherché (NR ou N2100) en rapport avec la disposition constructive du règlement
- 2 Prendre la carte correspondante en annexe 3 ou 5 :
 - a. carte des cotes d'eau référence (annexe 3) pour NR et carte des cotes d'eau à échéance 2100 (échéance 100ans) (annexe 5) pour N2100
 - b. carte de la commune de la parcelle projet
- 3 Lire la cote d'eau (NR ou N2100) sur la carte : cf. « comment lire l'information de cote d'eau sur la parcelle projet »
- 4 Pour des détails supplémentaires (à titre informatif), concernant notamment le niveau de référence en mer ayant permis d'aboutir à cette cote d'eau à terre, il est possible de se référer à l'annexe 1 puis 2 et 4 :
 - a. Définir globalement d'après la carte des tronçons (annexe 1), le tronçon face auquel se situe globalement la parcelle
 - b. Noter le numéro de tronçon
 - c. Se référer au tableau de l'annexe 2 pour le NR et de l'annexe 4 pour le N2100
 - d. Lire pour le tronçon indiqué :
 - i. l'évènement référence qui a été retenu pour caractériser les aléas
 - ii. la cote du niveau de référence en mer avec ses différentes composantes (niveau marin, surcote de déferlement, surcote liée au changement climatique, surcote liée aux incertitudes). La compréhension de ces éléments est détaillée au chapitre
 - iii. **la cote de référence à terre (NR ou N2100),**

Les tableaux ne sont fournis qu'à titre indicatif et ne remplace en aucun cas la lecture de la cote d'eau (NR ou N2100) sur l'une des cartes des cotes d'eau.

Comment lire l'information de cote d'eau sur la parcelle projet ?

Pour chacune des 2 cartes de cotes d'eau, la méthode de lecture pour définir la cote d'eau concernée par la parcelle du projet est présentée dans le tableau ci-joint.

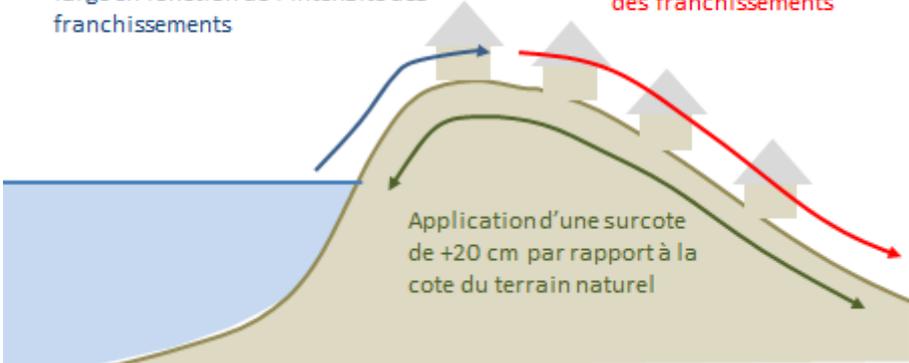
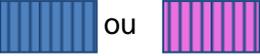
 <p>Cote m NGF = cote terrain naturel en m NGF + 20 cm</p>	<p>Les zones concernées par ce zonage correspondent aux zones concernées par des franchissements, et, dans le cas des cordons dunaires, concernées ensuite par des écoulements sur la face arrière du cordon dunaire.</p> <p>Franchissement défini conformément au guide méthodologique 25 ou 50m de large en fonction de l'intensité des franchissements</p> <p>Zone d'écoulement des franchissements</p>  <p>Application d'une surcote de +20 cm par rapport à la cote du terrain naturel</p> <p>Sur ces zones, l'eau ne se stocke pas : elle s'écoule. Il existe une lame d'eau en lien avec les phénomènes de franchissements par paquets de mer.</p> <p>La surcote de 20cm par rapport au niveau du terrain naturel a été définie de manière homogène pour l'ensemble du PPRL, à dire d'expert sur la base des résultats des modélisations 2D réalisées sur 4 des bassins de risque du PPRL.</p> <p><i>Ex : Si le terrain naturel au droit de la future construction ou extension est à la cote 4.25m NGF, alors la cote d'eau (NR ou N2100) correspondante est de 4.25m NGF + 0.20 m, soit 4.45m NGF.</i></p>
 <p>Se référer à la cote précisée dans les étiquettes</p>	<p>Sur ces zones, la cote est homogène par bassin de risque, aussi les étiquettes permettent aisément la lecture de la cote d'eau en m NGF IGN69, sur n'importe quelle parcelle.</p>
 <p>OU</p>	<p>Il est nécessaire de retenir la cote la plus pénalisante entre la cote correspondant à la zone tramée et la cote correspondant à la zone pleine (rose ou bleu).</p> <p><i>Ex :</i></p> <p><i>Si la cote sur la zone tramée est de 4.45m NGF (= 4.25 m + 0.20m)</i></p> <p><i>Et que la cote sur la zone bleu est indiquée à 4.50m NGF</i></p> <p><i>Alors, il sera nécessaire de retenir la cote de 4.50m NGF.</i></p>

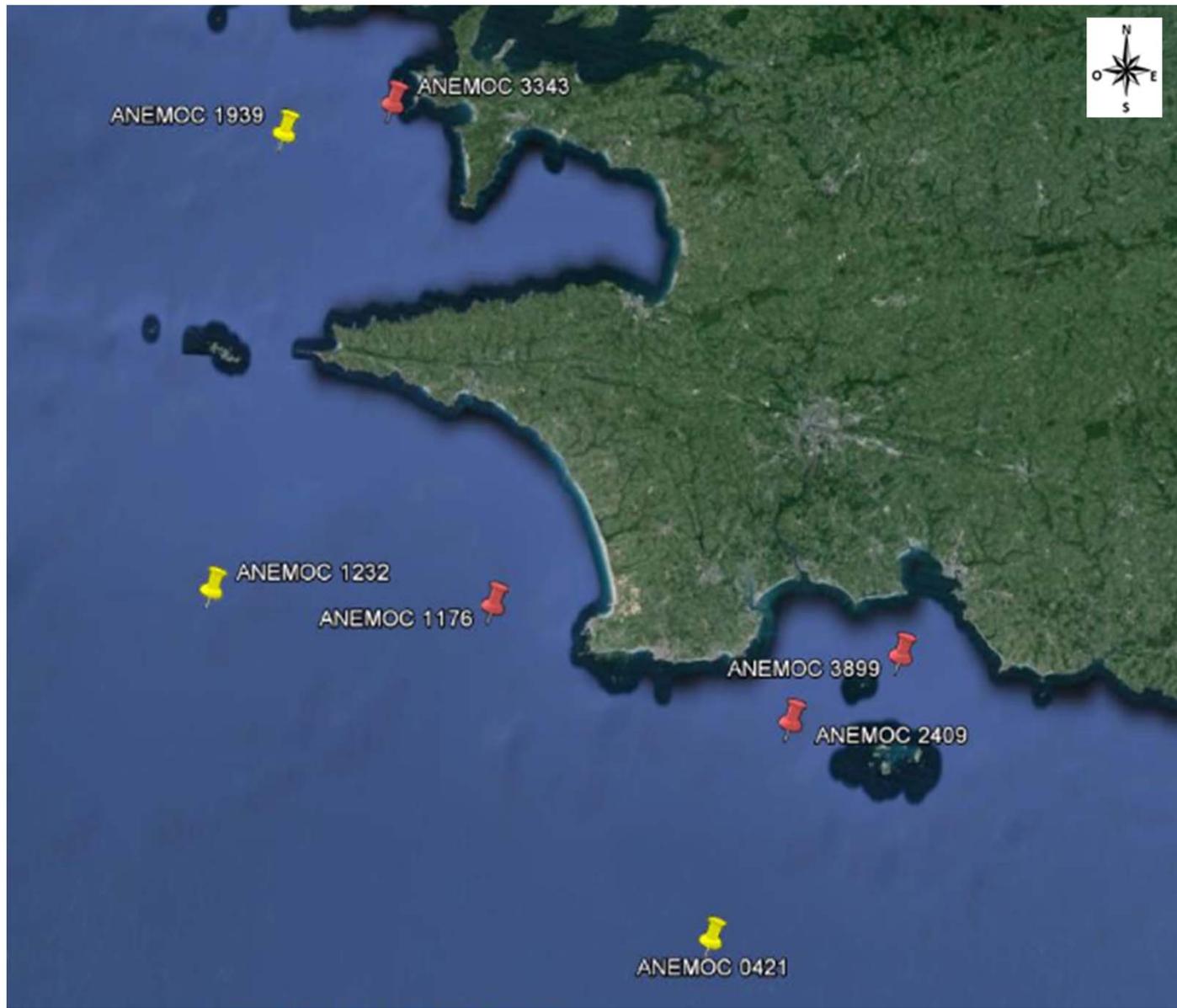
Figure 52 : guide de lecture de la carte des cotes d'eau

Lorsque la notion de cote d'eau en m NGF n'apparaît pas sur une parcelle donnée, cela implique qu'elle n'a pas de signification et ne sera donc pas nécessaire pour définir la cote de constructibilité.

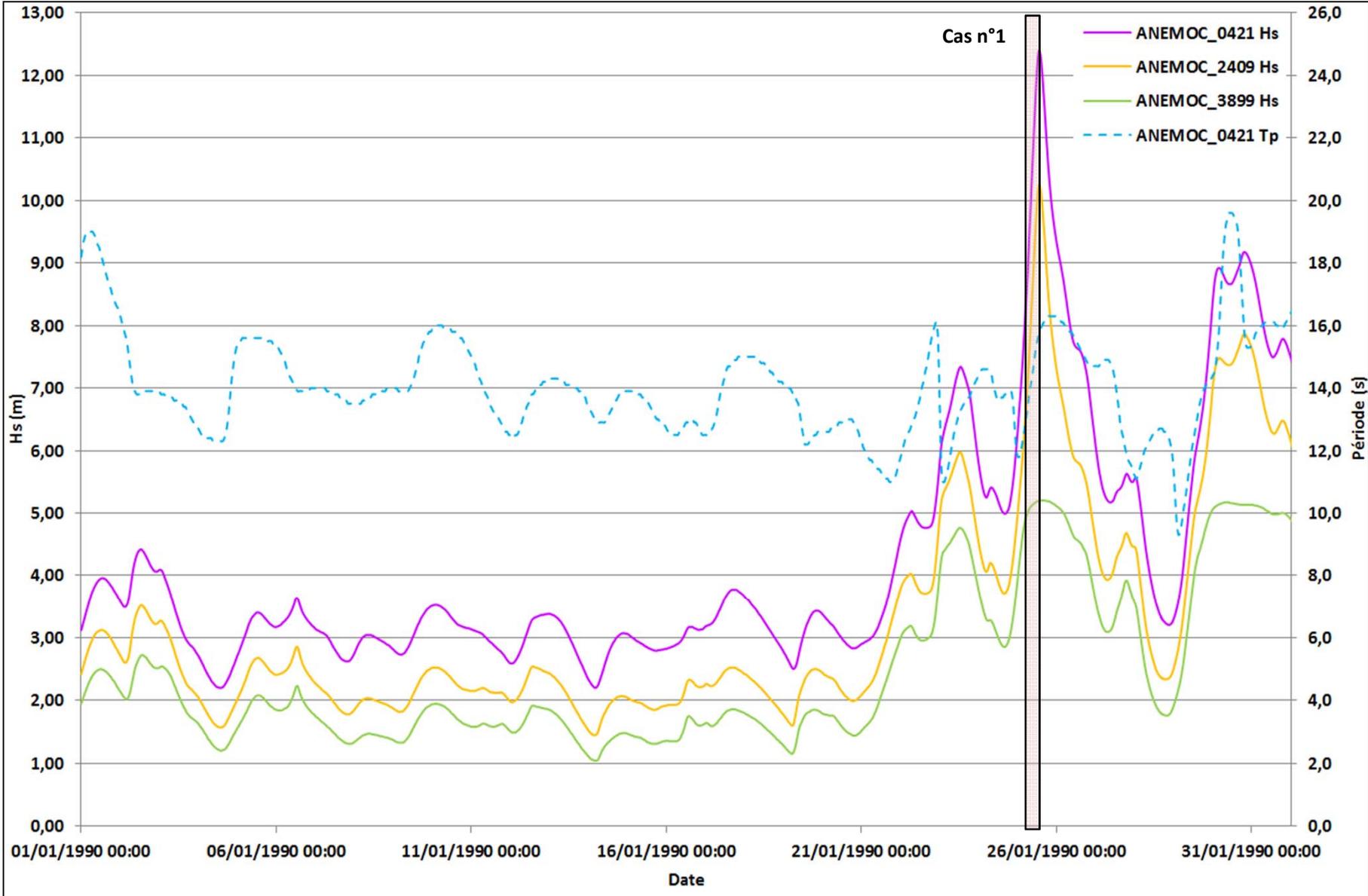
Cela correspond uniquement aux parcelles présentes sur une portion du cordon dunaire, dont la cote est supérieure au niveau marin de référence et qui ne présente pas de risque de franchissement par paquets de mer. Sur ce type de zone, le risque correspond uniquement à l'affaissement ou la rupture du cordon dunaire et non pas à la submersion de la crête du cordon (par surverse ou franchissements).

ANNEXES

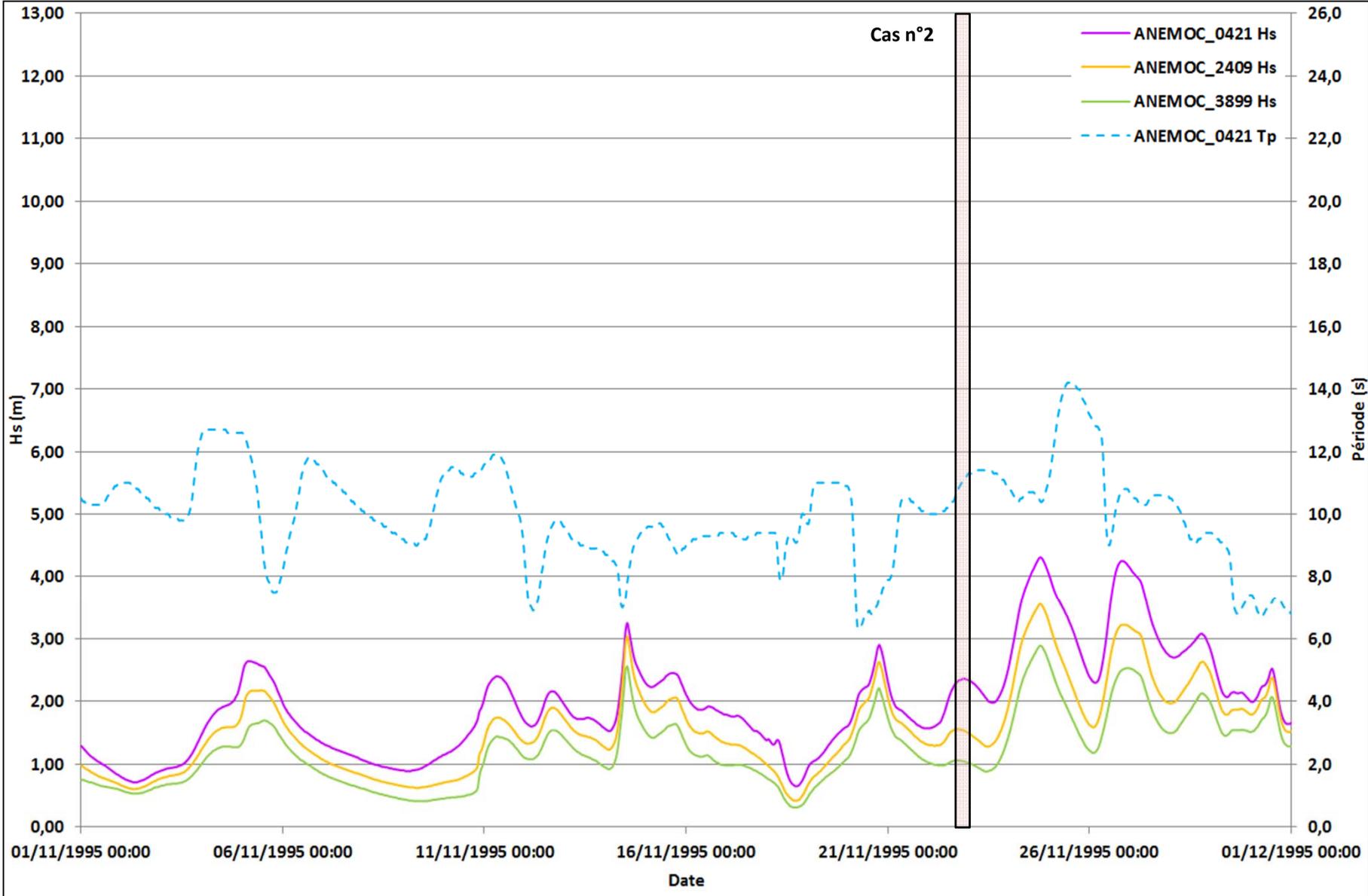
Annexe 1 : Calage du modèle SWAN – Modèle n°1

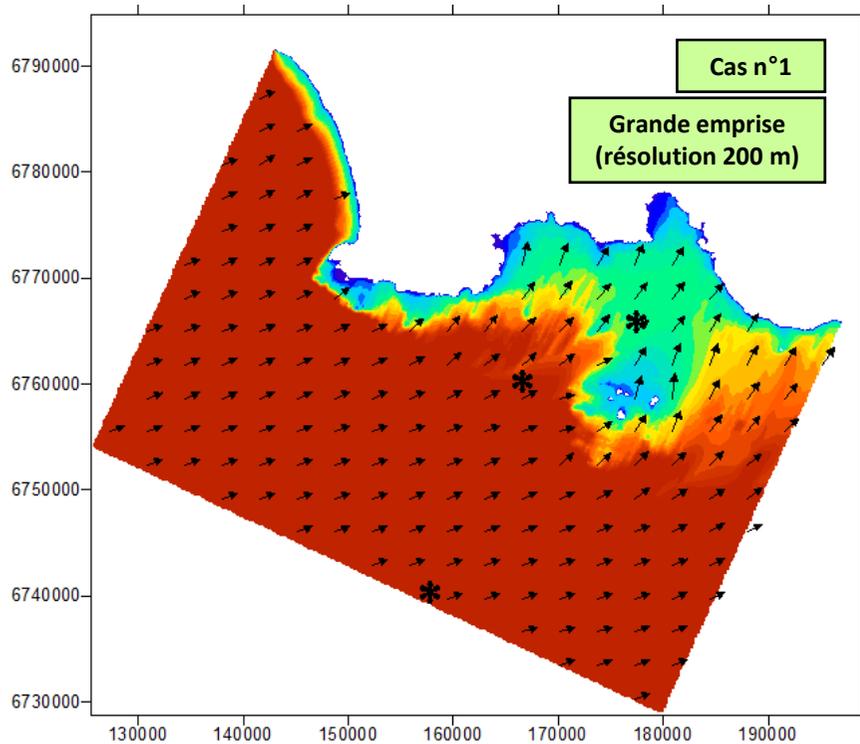


Série chronologique du 01/01/90 au 31/01/90

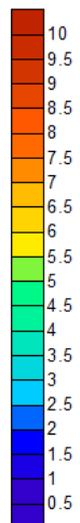


Série chronologique du 01/11/95 au 01/12/95





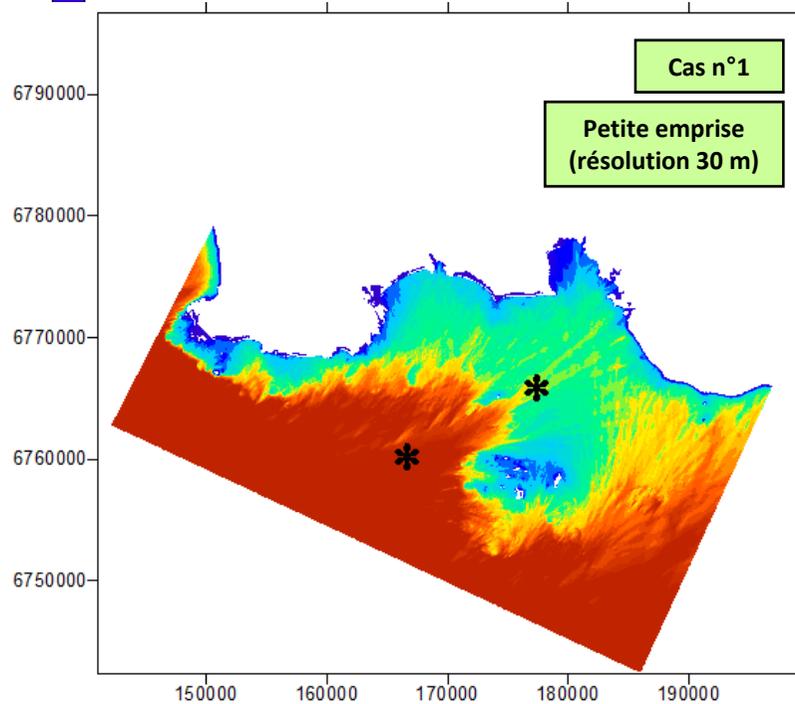
Hs (m)



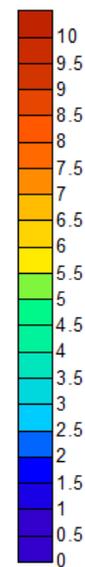
Cas n°1 :

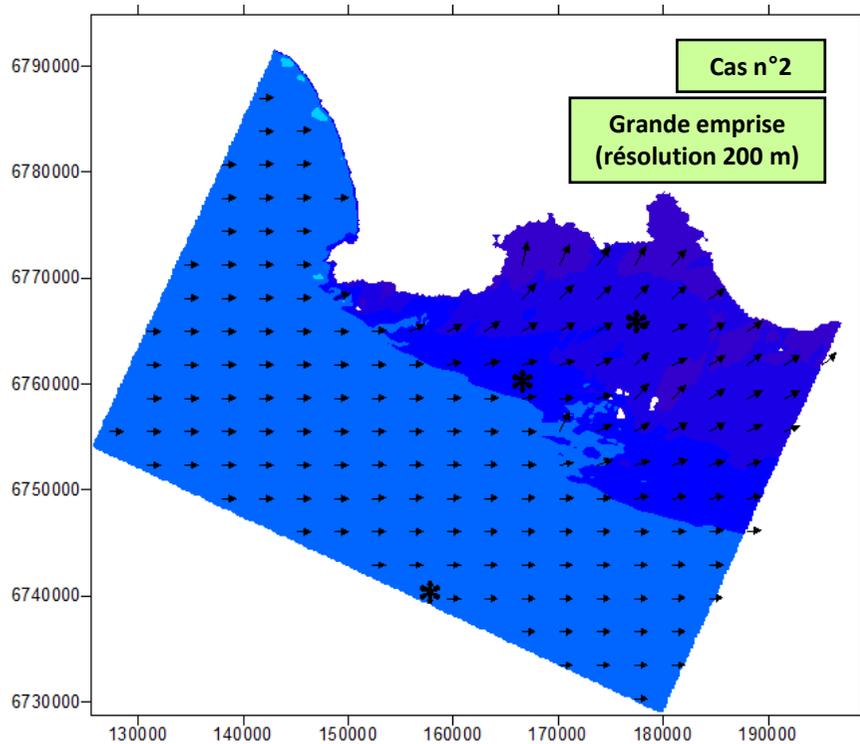
Hs = 12,39 m – Tp = 16,3 s

Dir = 250°N

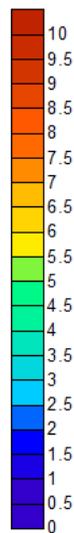


Hs (m)





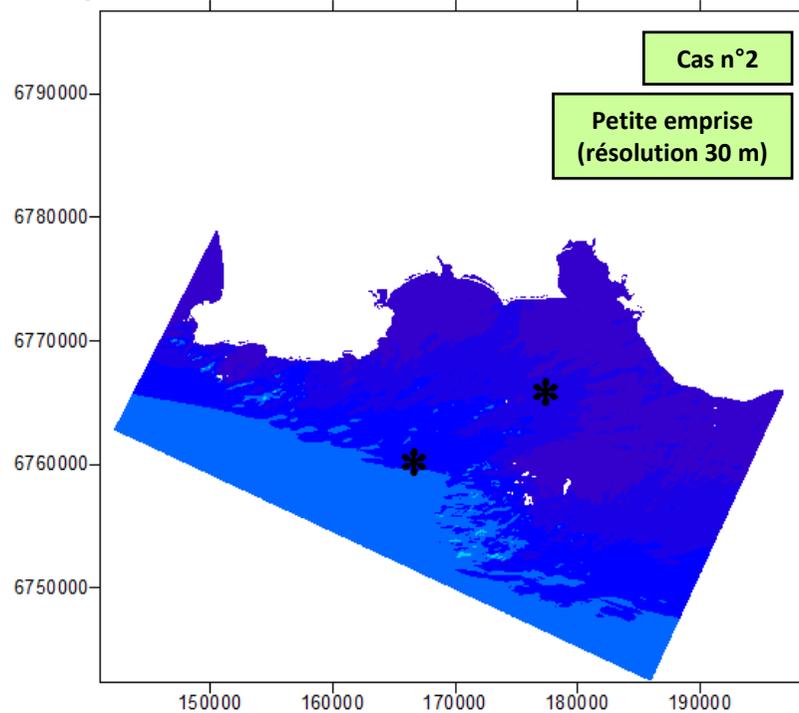
Hs (m)



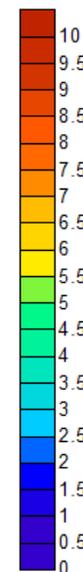
Cas n°2 :

Hs = 2,33 m – Tp = 11 s

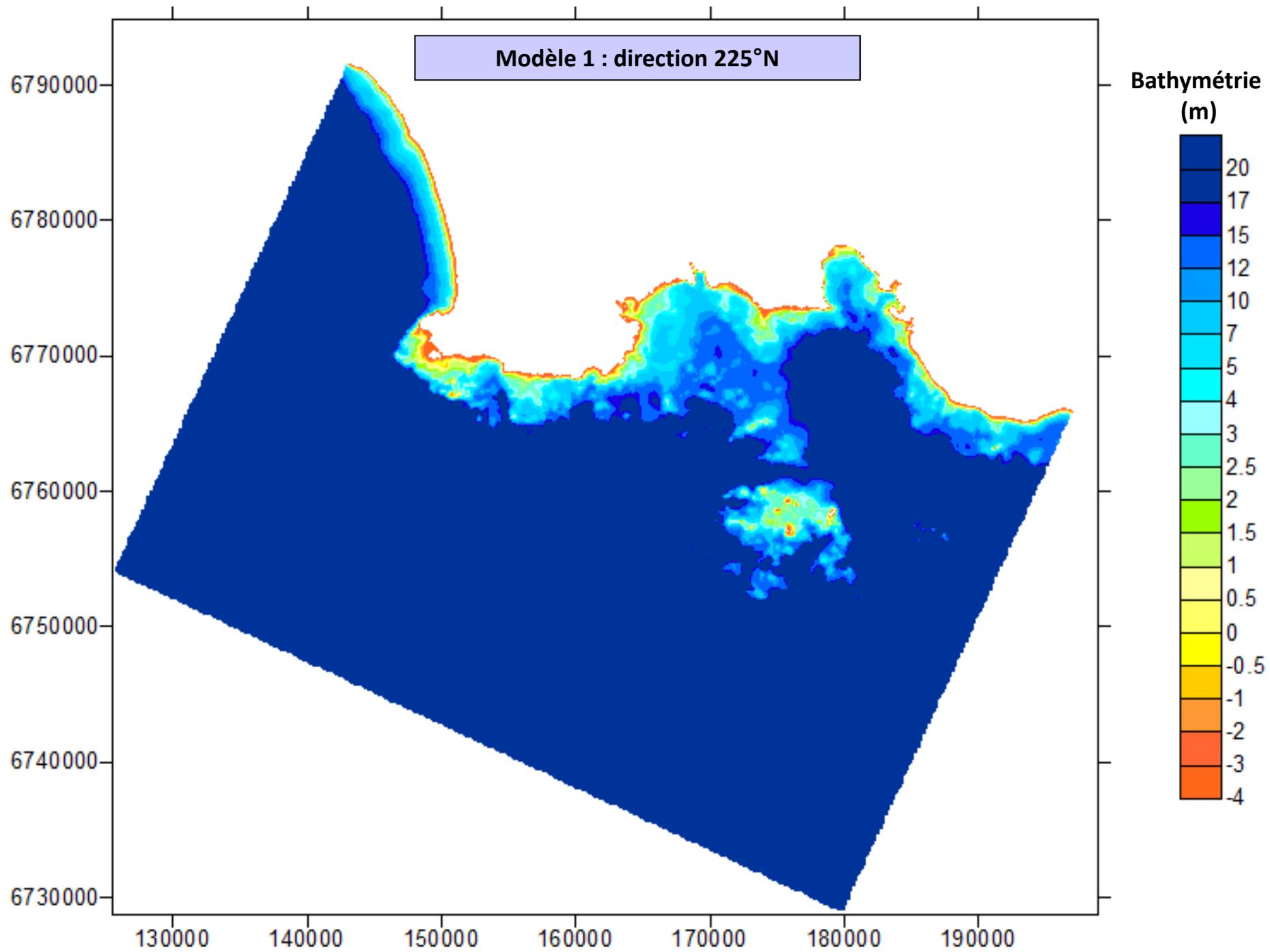
Dir = 270°N

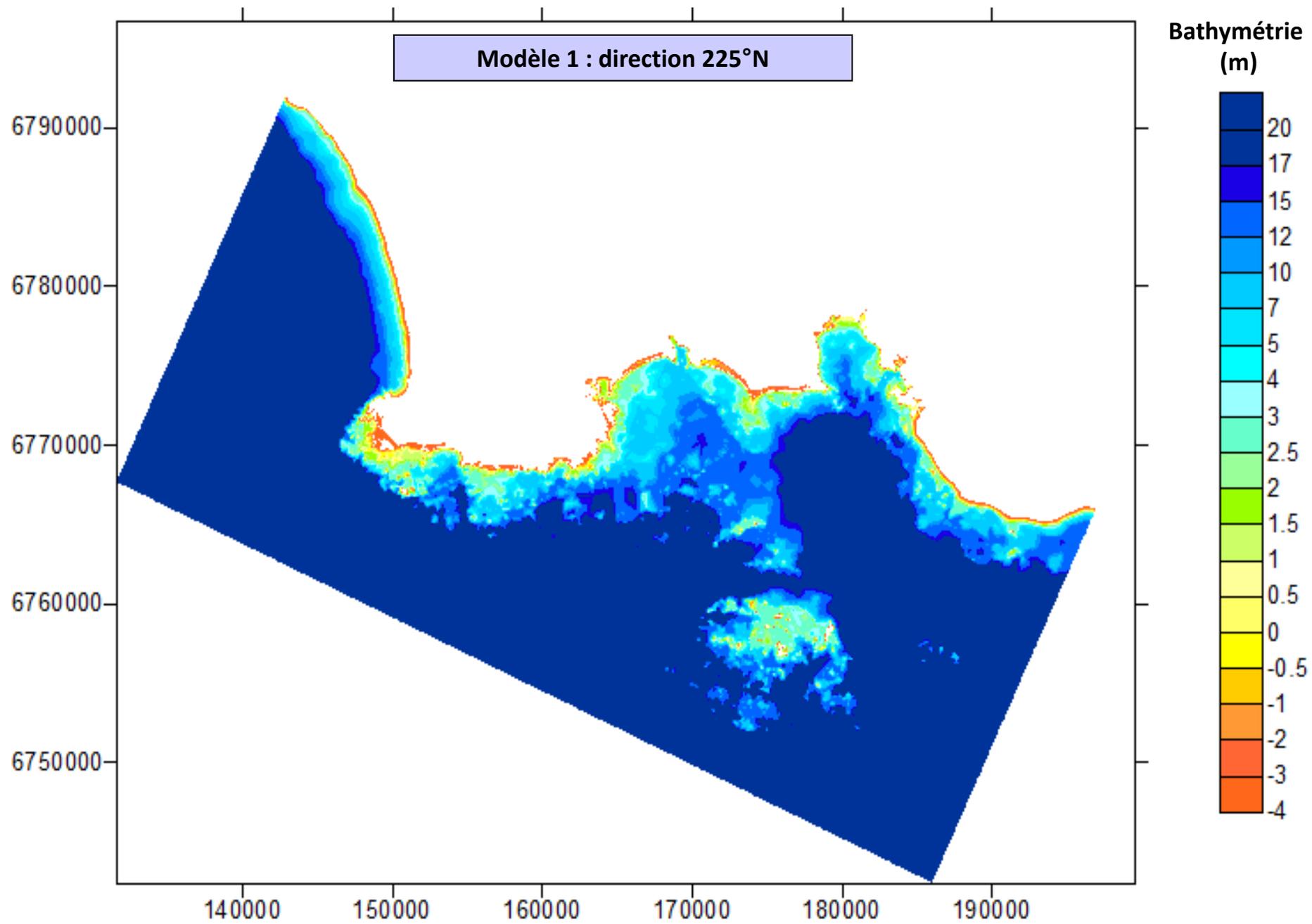


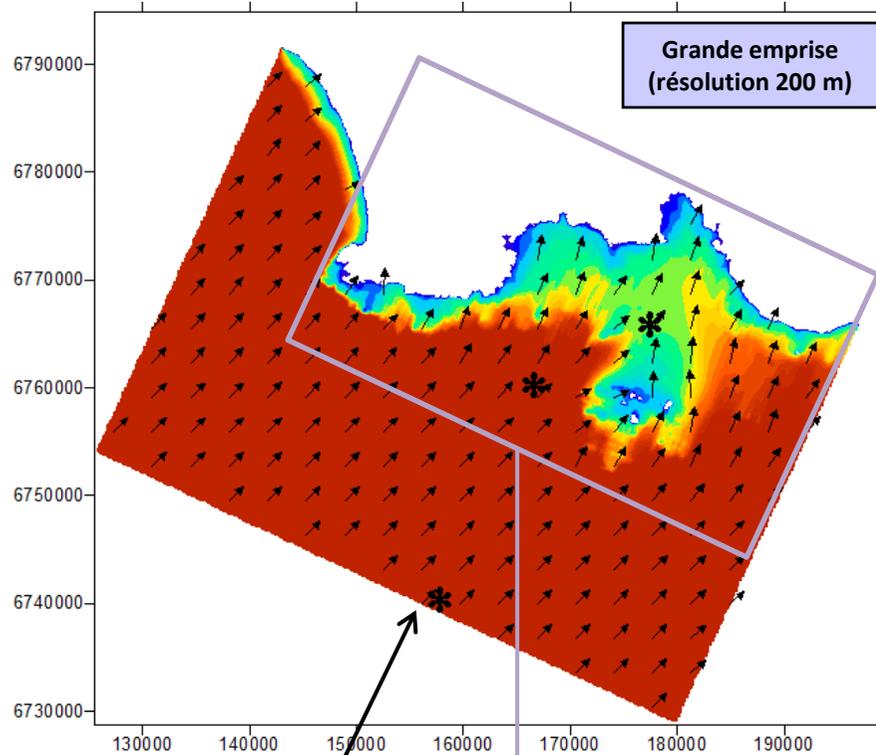
Hs (m)



Annexe 2 : Résultats modélisations SWAN – Modèle n°1

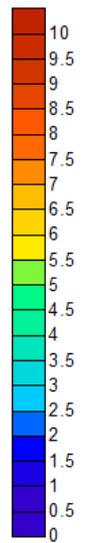






Grande emprise
(résolution 200 m)

Hs (m)

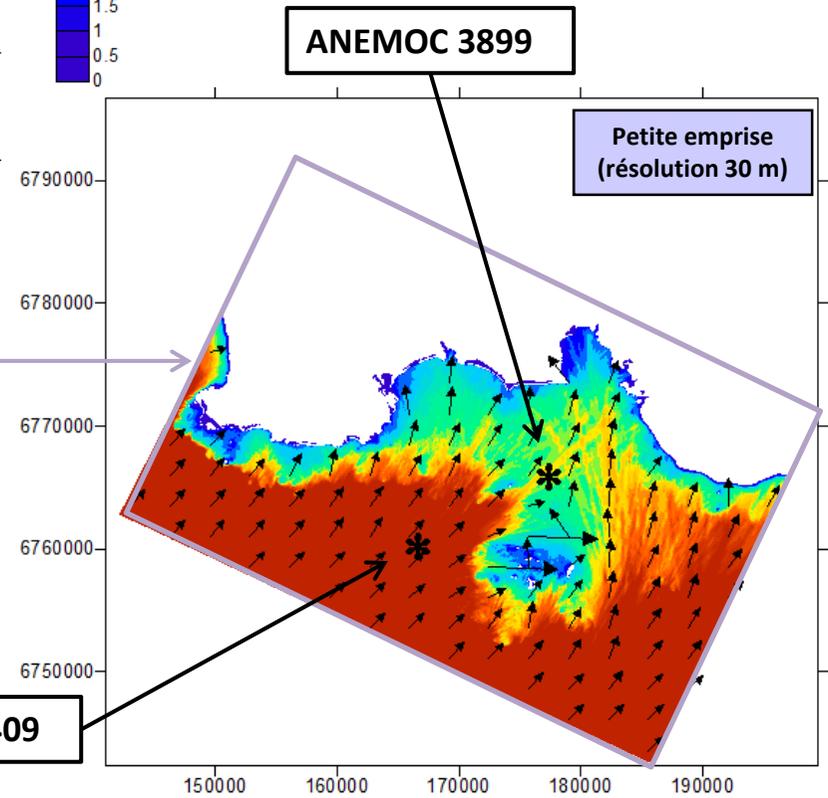


Cas n°1 :
 Hs = 14,97 m – Tp = 18 s
 Niv = 3,08 m IGN
 Dir = 225°N

ANEMOC 0421

Modèle 1 : direction 225°N

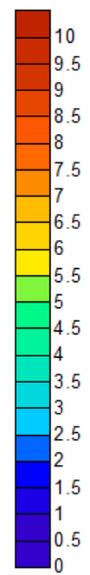
ANEMOC 2409



ANEMOC 3899

Petite emprise
(résolution 30 m)

Hs (m)



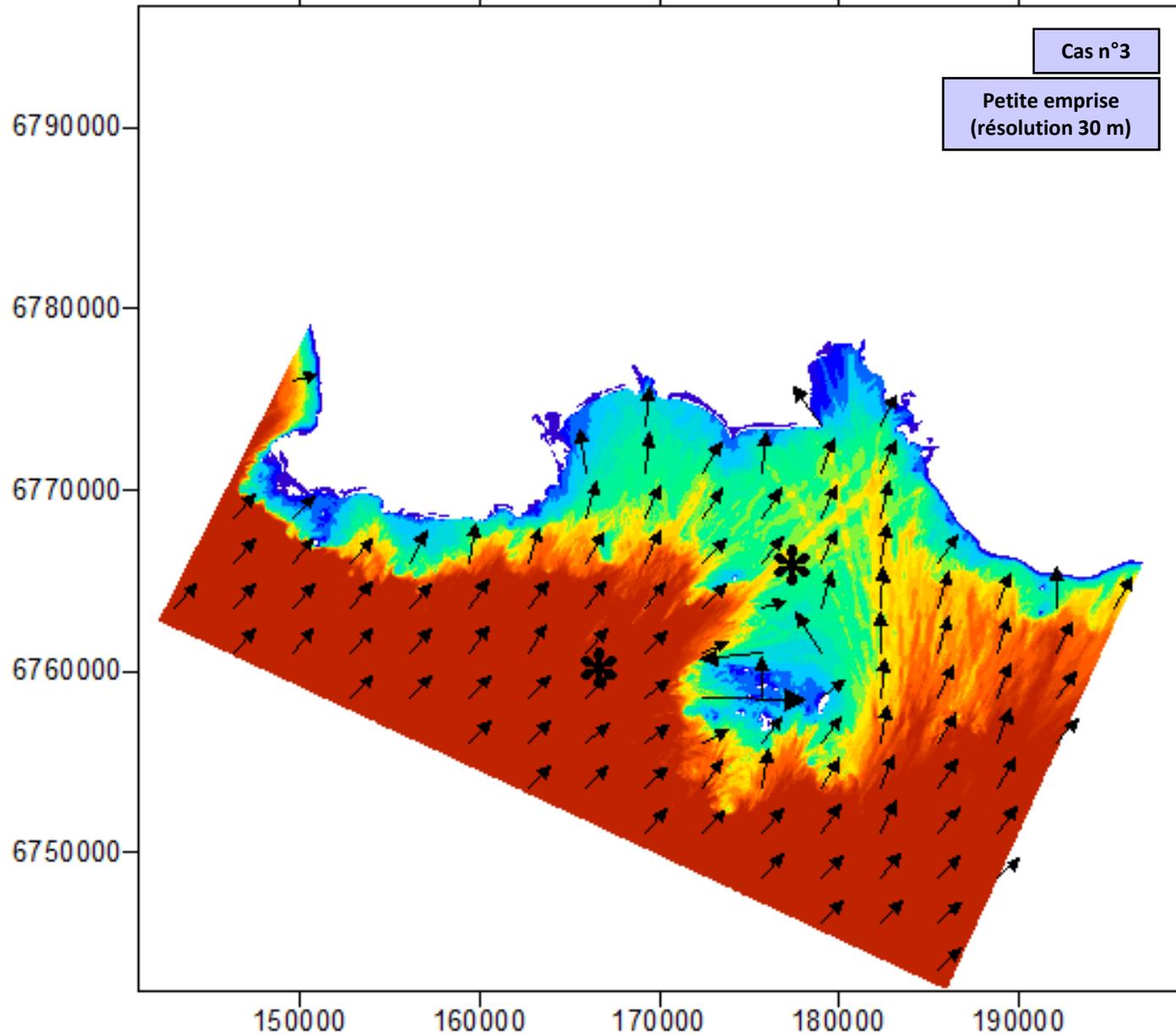
Modèle 1

Cas n°3 :

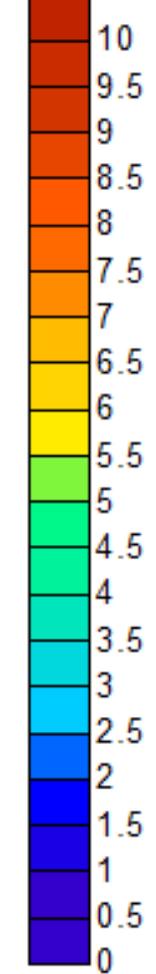
Hs = 13,20 m – Tp = 18 s

Niv = 3,23 m IGN

Dir = 225°N



Hs (m)



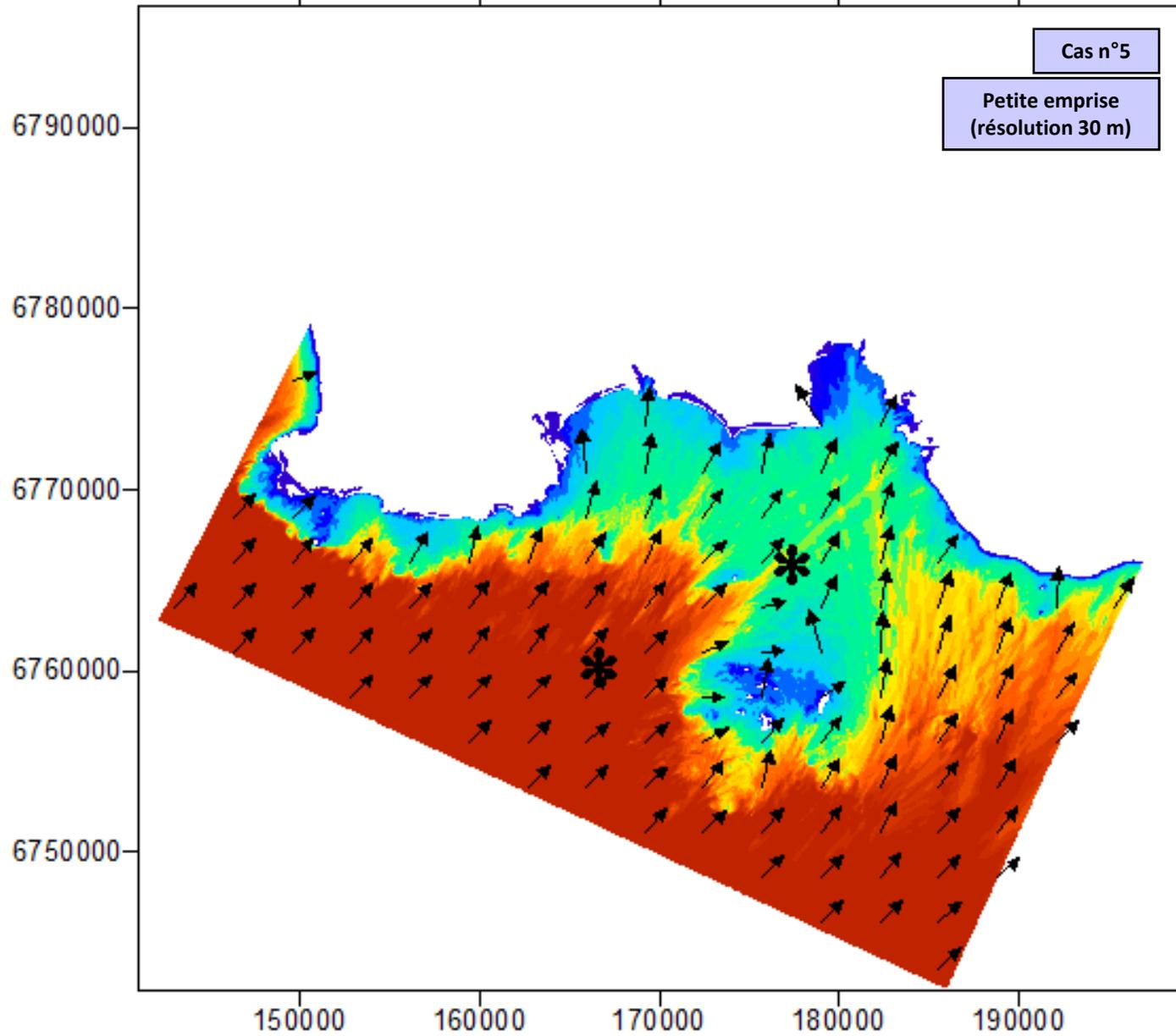
Modèle 1

Cas n°5 :

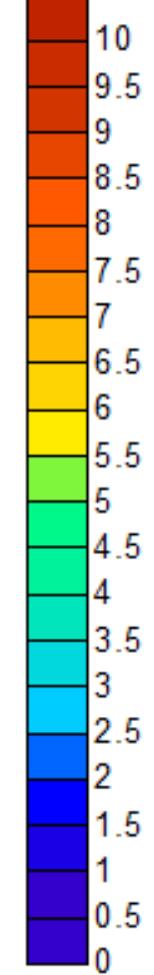
Hs = 11 m – Tp = 16 s

Niv = 3,37 m IGN

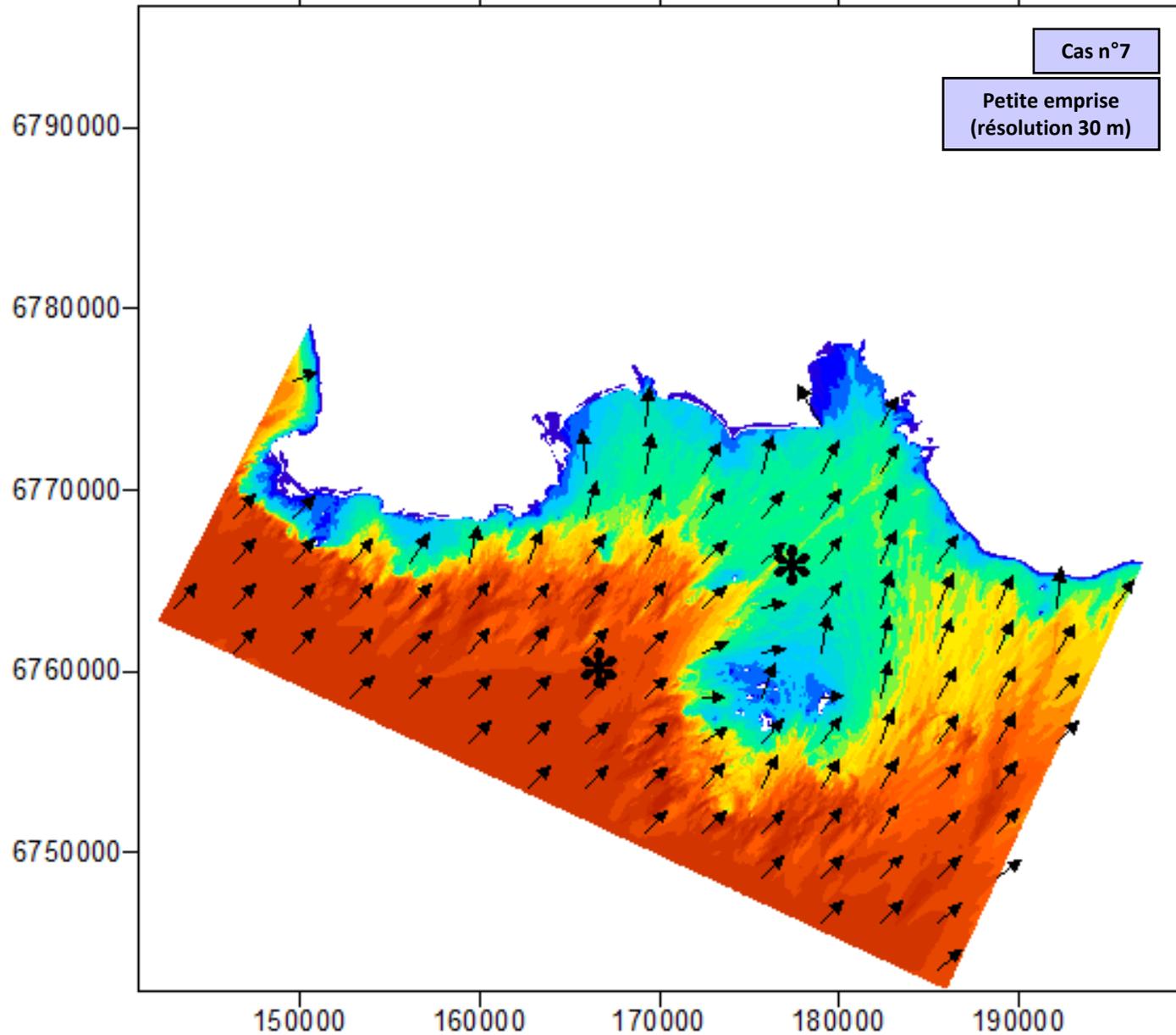
Dir = 225°N



Hs (m)



Modèle 1



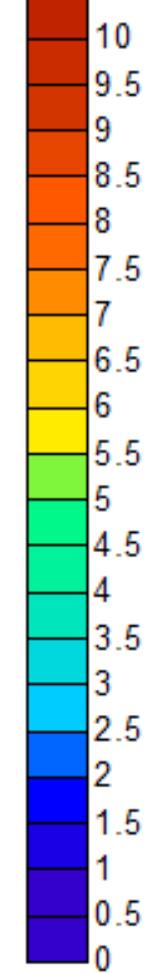
Cas n°7 :

Hs = 8,80 m – Tp = 14 s

Niv = 3,50 m IGN

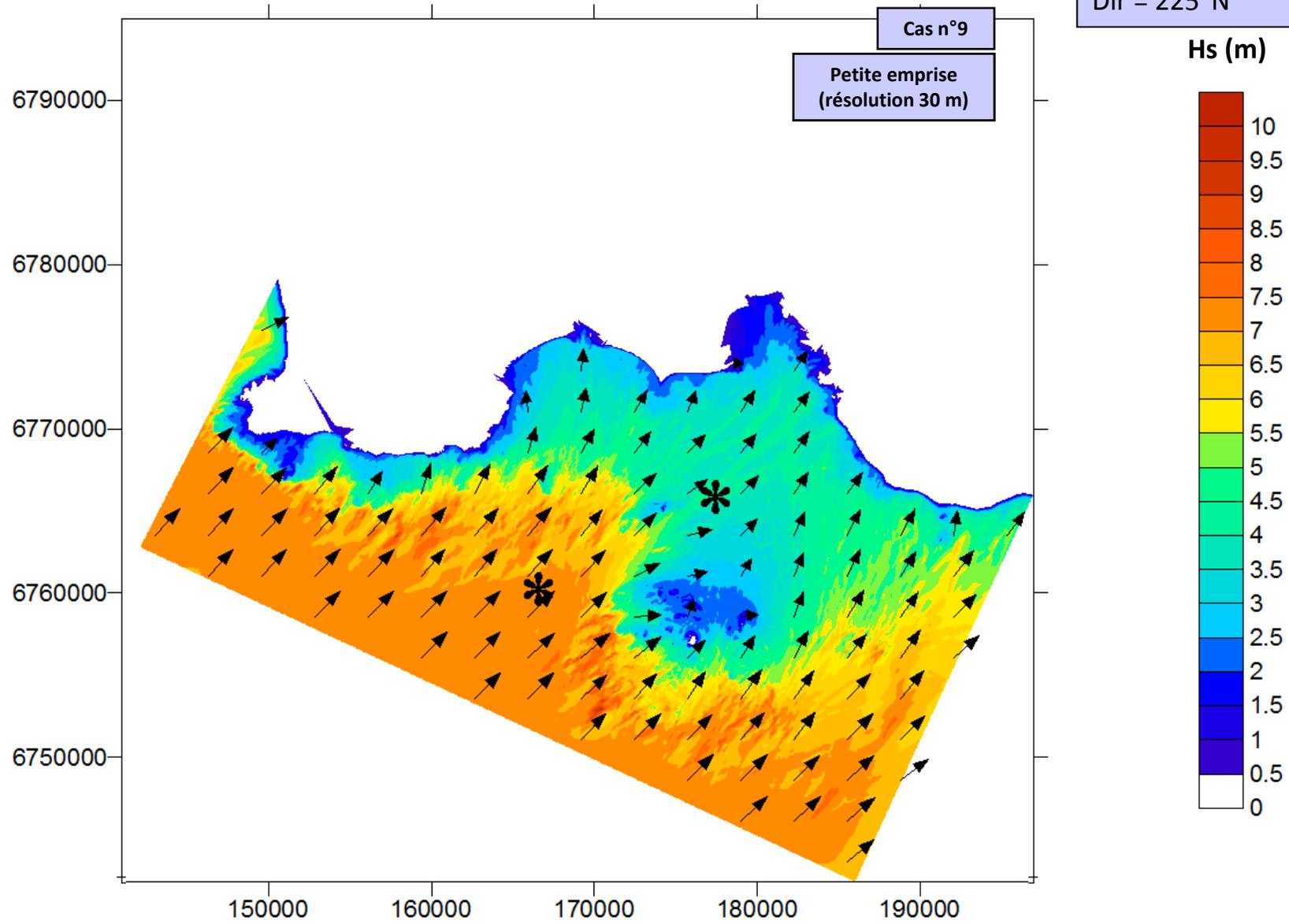
Dir = 225°N

Hs (m)



Modèle 1

Cas n°9 :
Hs = 6,5 m – Tp = 13 s
Niv = 3,65 m IGN
Dir = 225°N



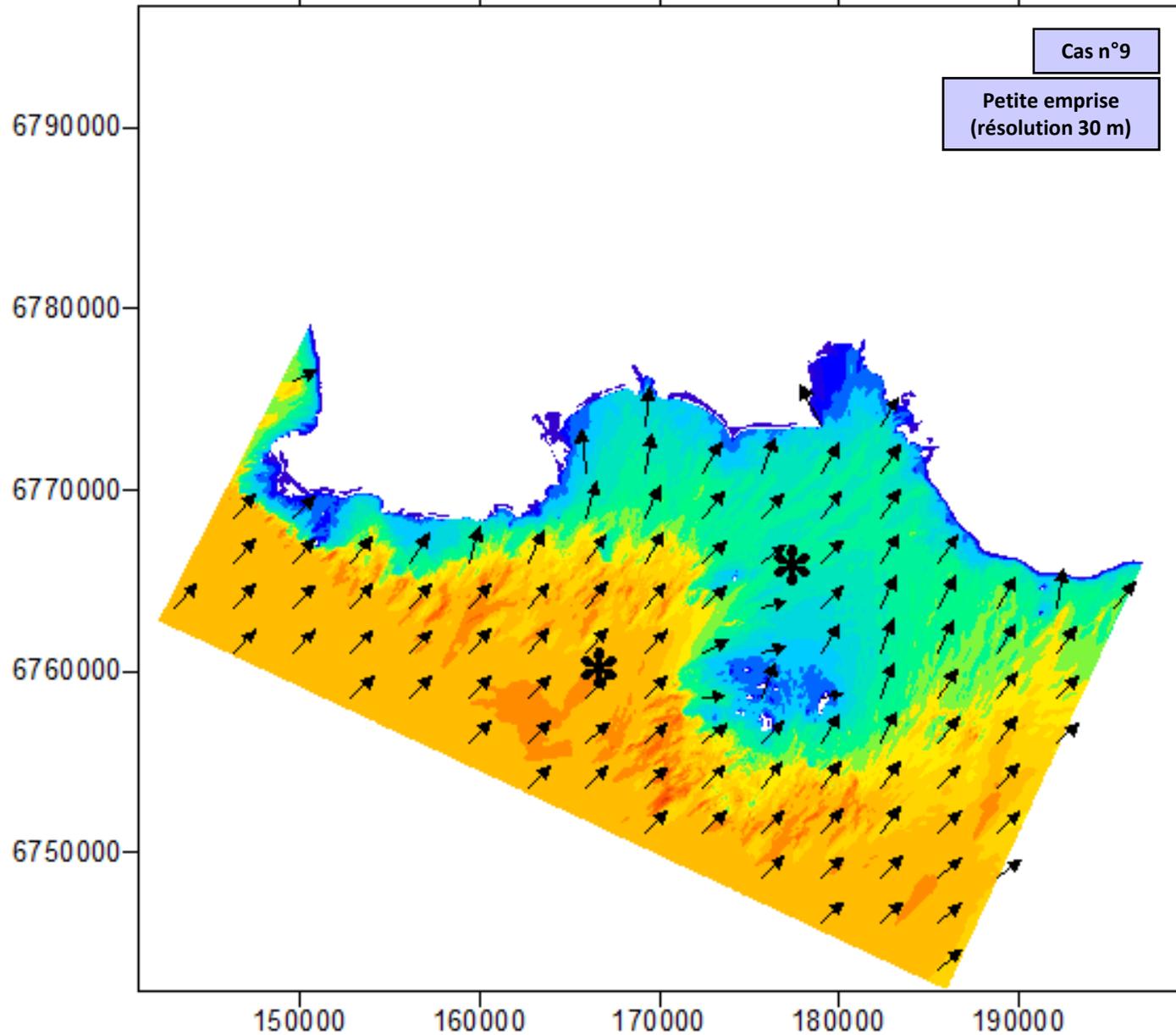
Modèle 1

Cas n°9 :

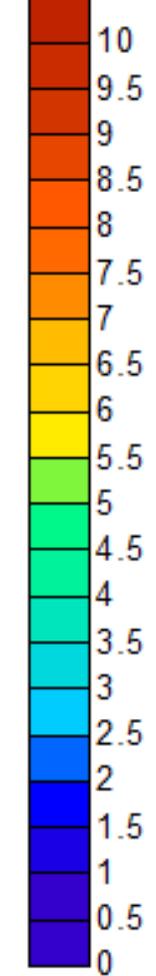
Hs = 6 m – Tp = 13 s

Niv = 3,65 m IGN

Dir = 225°N

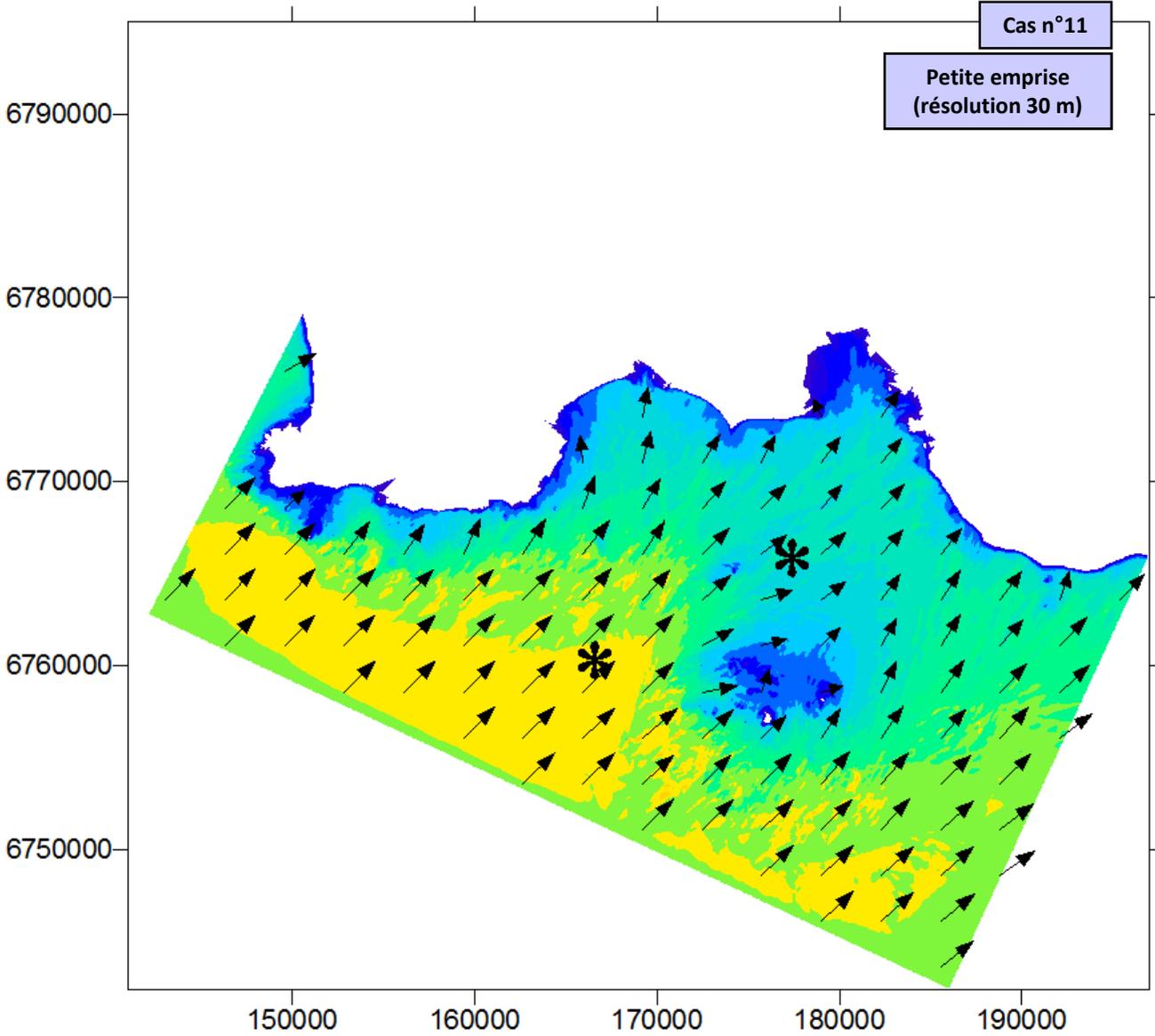


Hs (m)

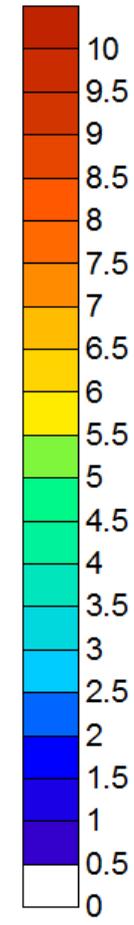


Modèle 1

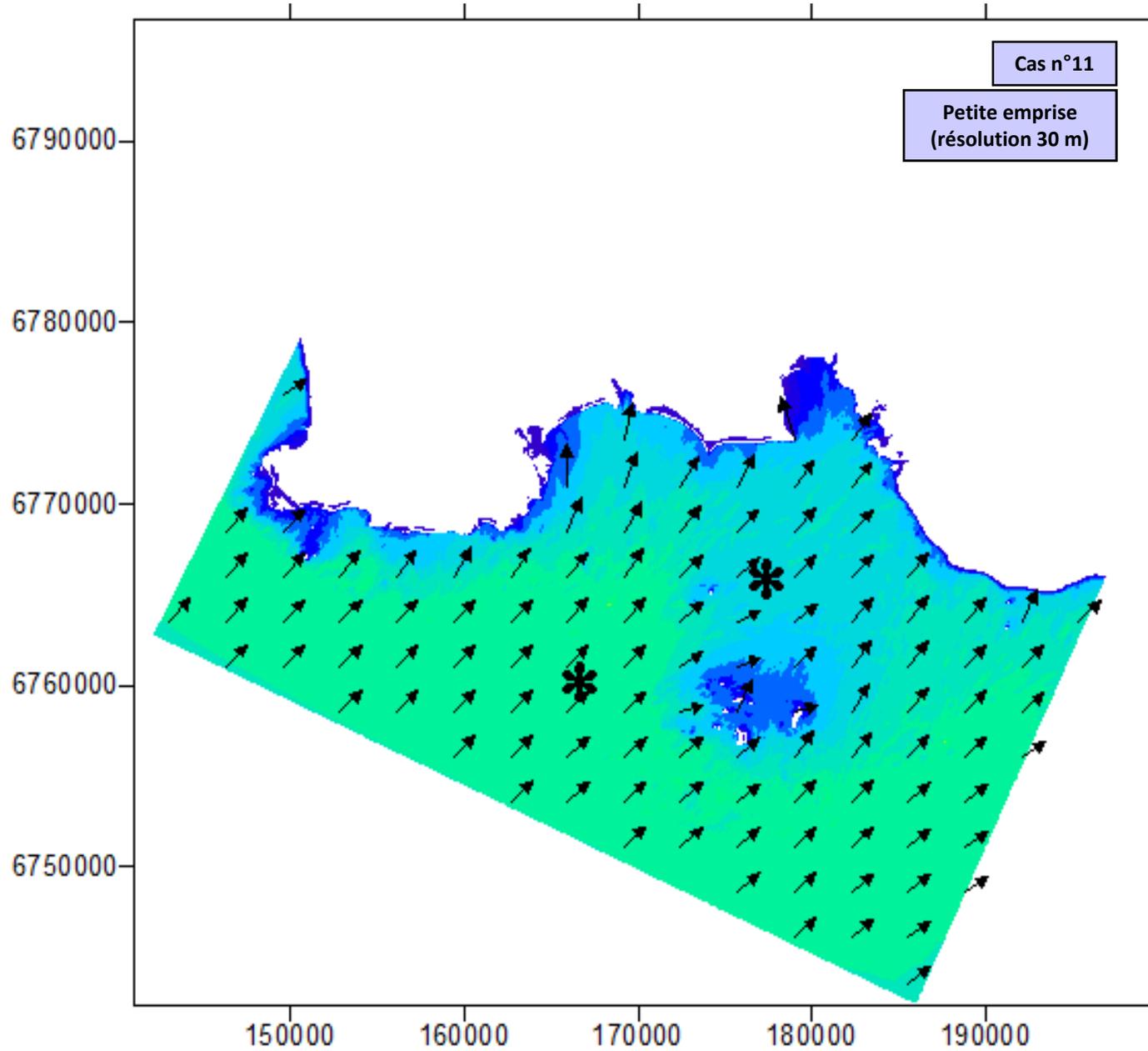
Cas n°11 :
Hs = 4,40 m – Tp = 10 s
Niv = 3,80 m IGN
Dir = 225°N



Hs (m)

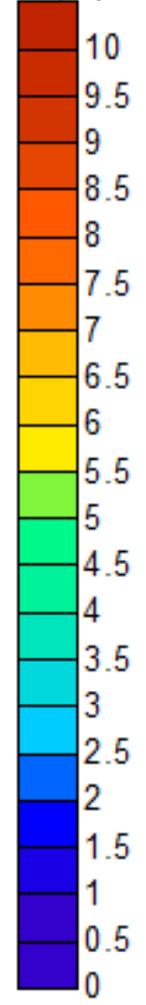


Modèle 1



Cas n°11 :
Hs = 2,50 m – Tp = 10 s
Niv = 3,80 m IGN
Dir = 225°N

Hs (m)



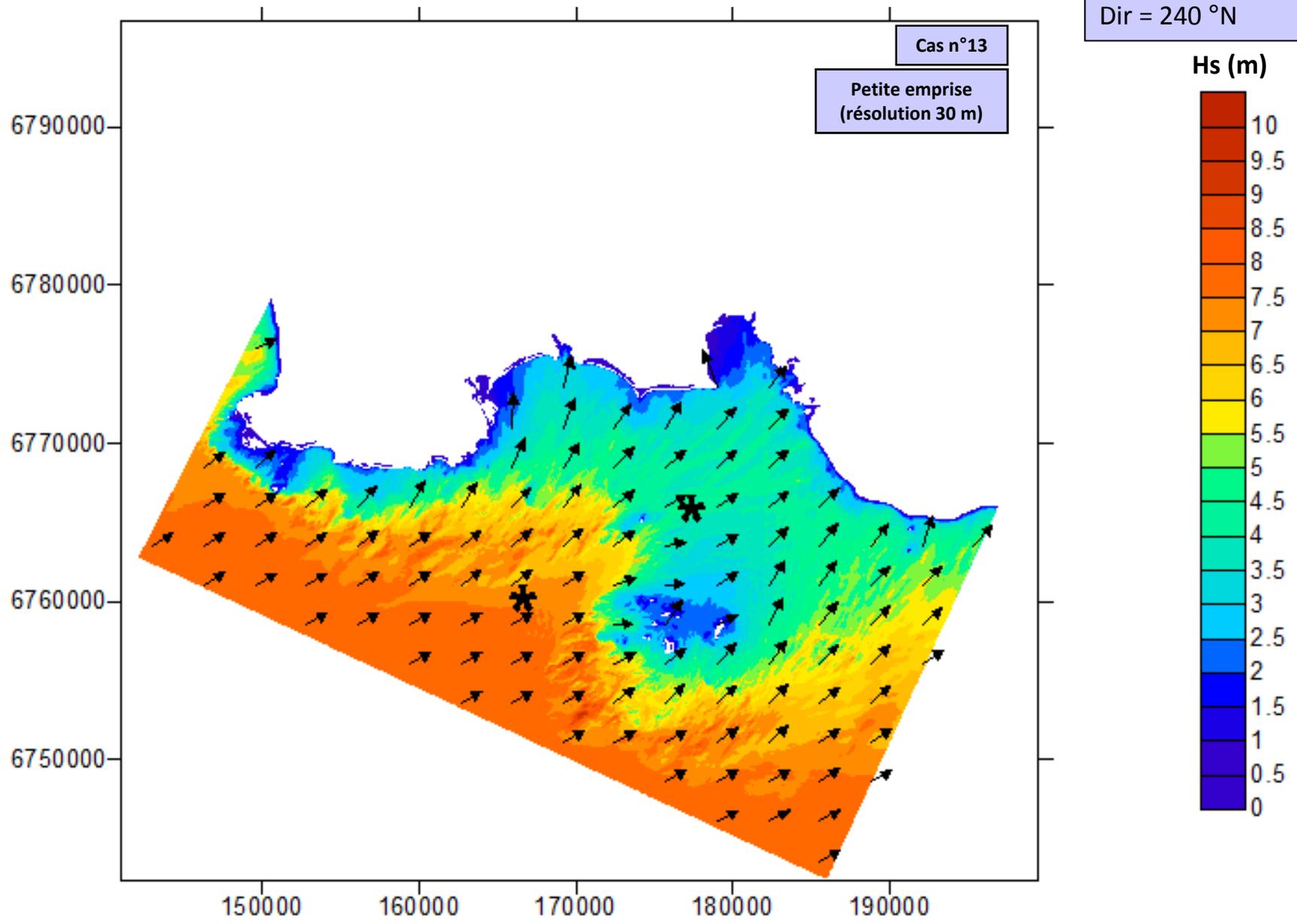
Modèle 1

Cas n°13 :

Hs = 7,00 m – Tp = 11,5 s

Niv = 3,78 m IGN

Dir = 240 °N



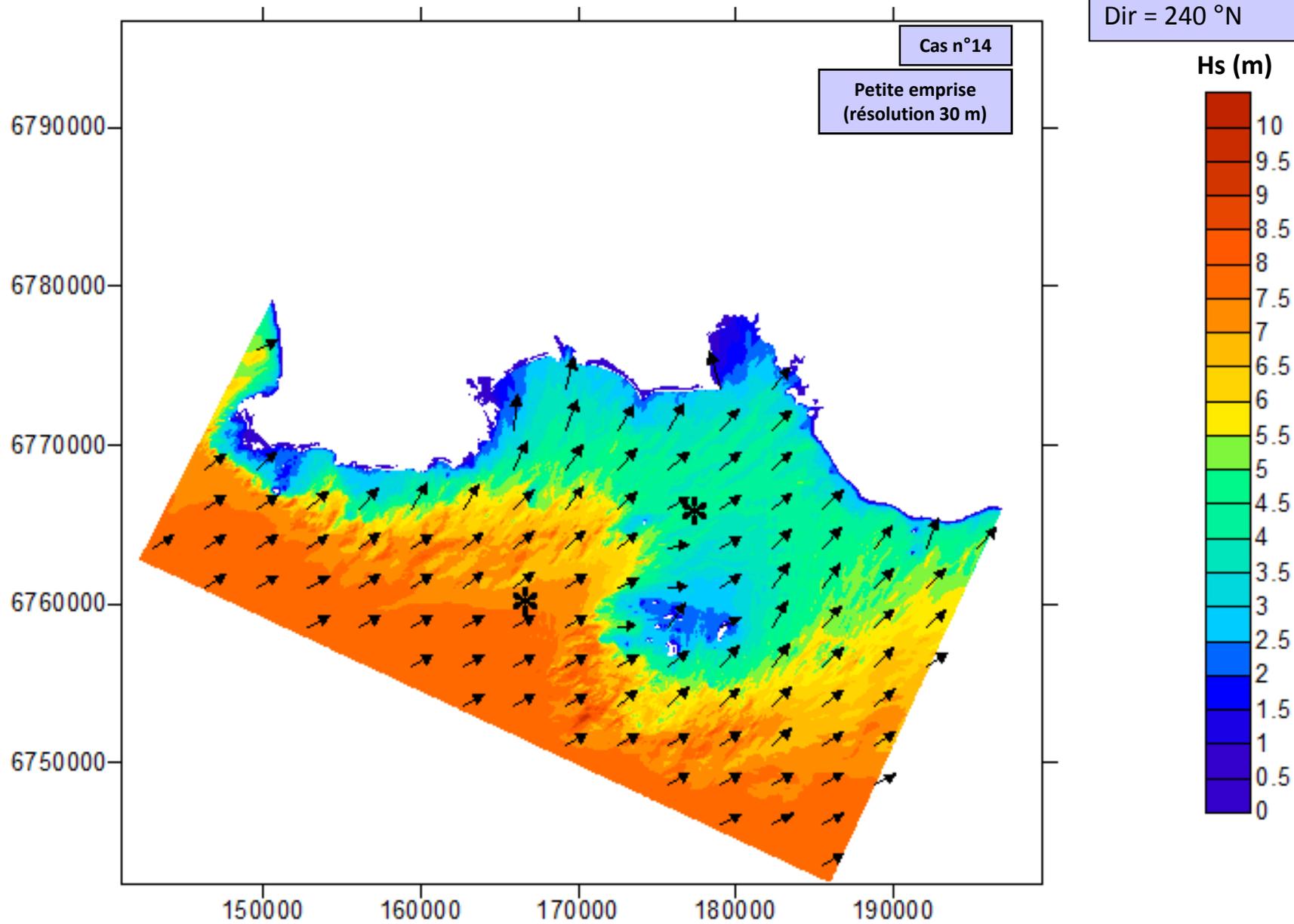
Modèle 1

Cas n°14 :

Hs = 7,00 m – Tp = 11,5 s

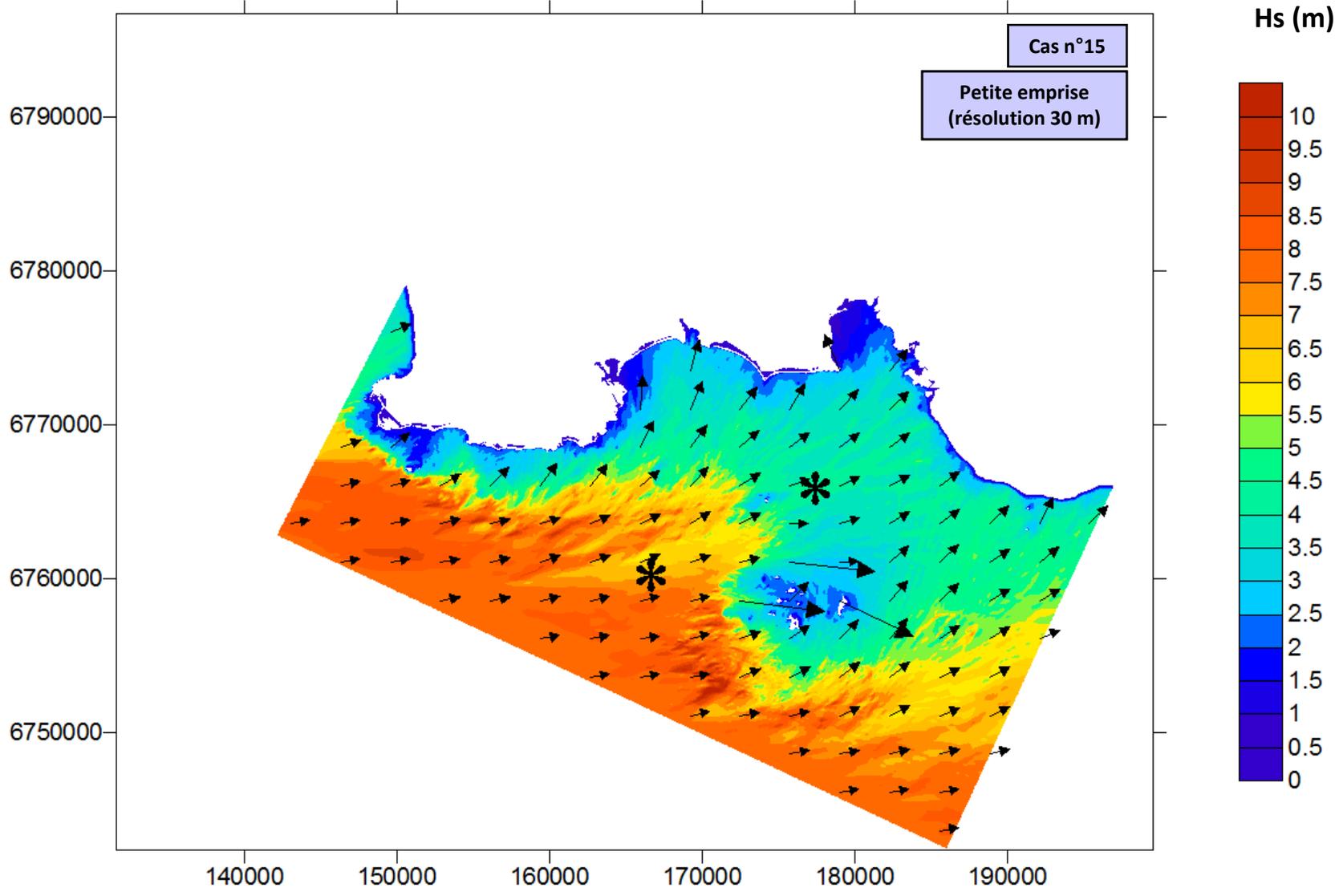
Niv = 4,28 m IGN

Dir = 240 °N



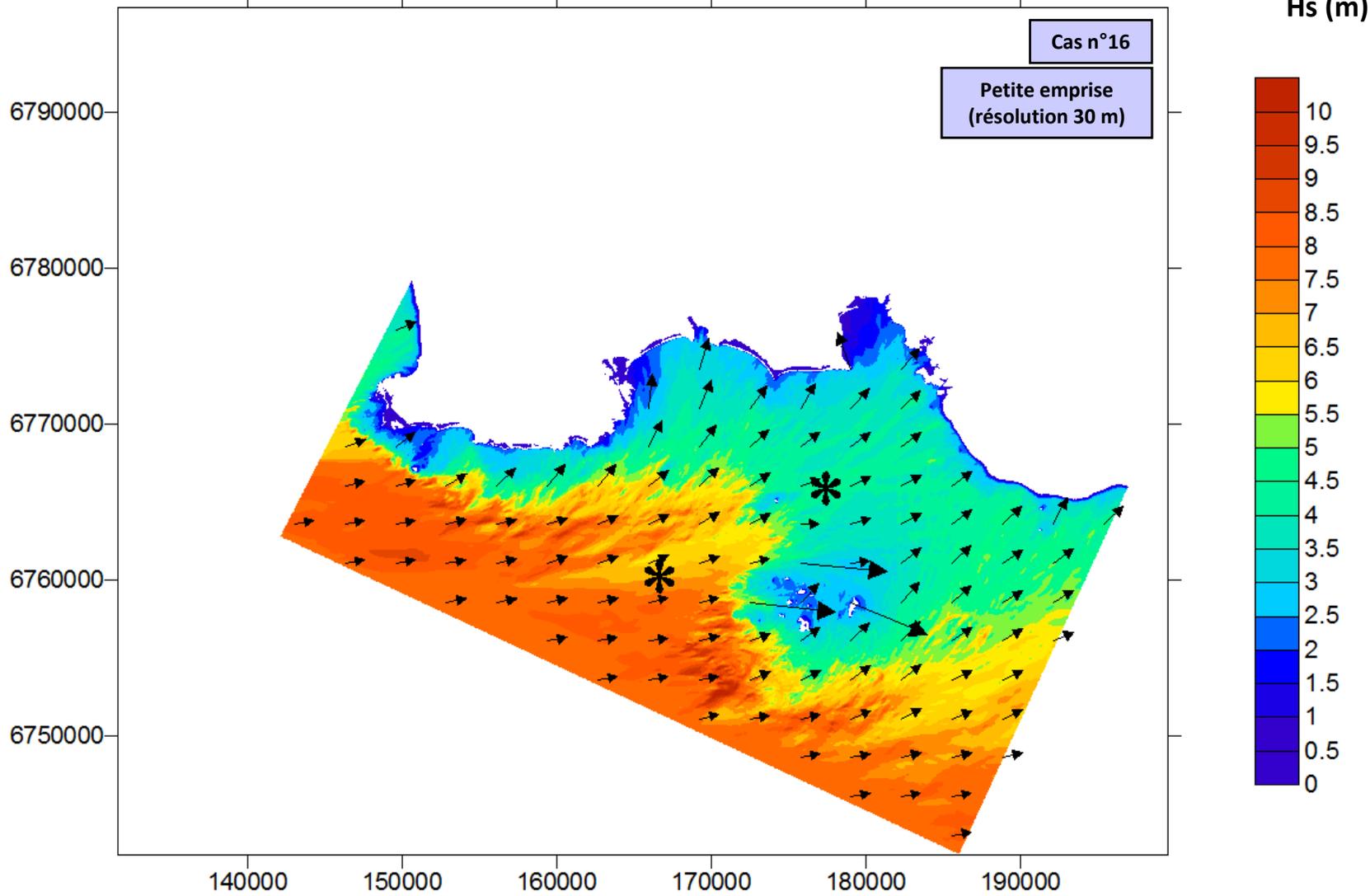
Modèle 1

Cas n°15 :
Hs = 8,36 m – Tp = 15 s
Niv = 3,67 m IGN
Dir = 270 °N



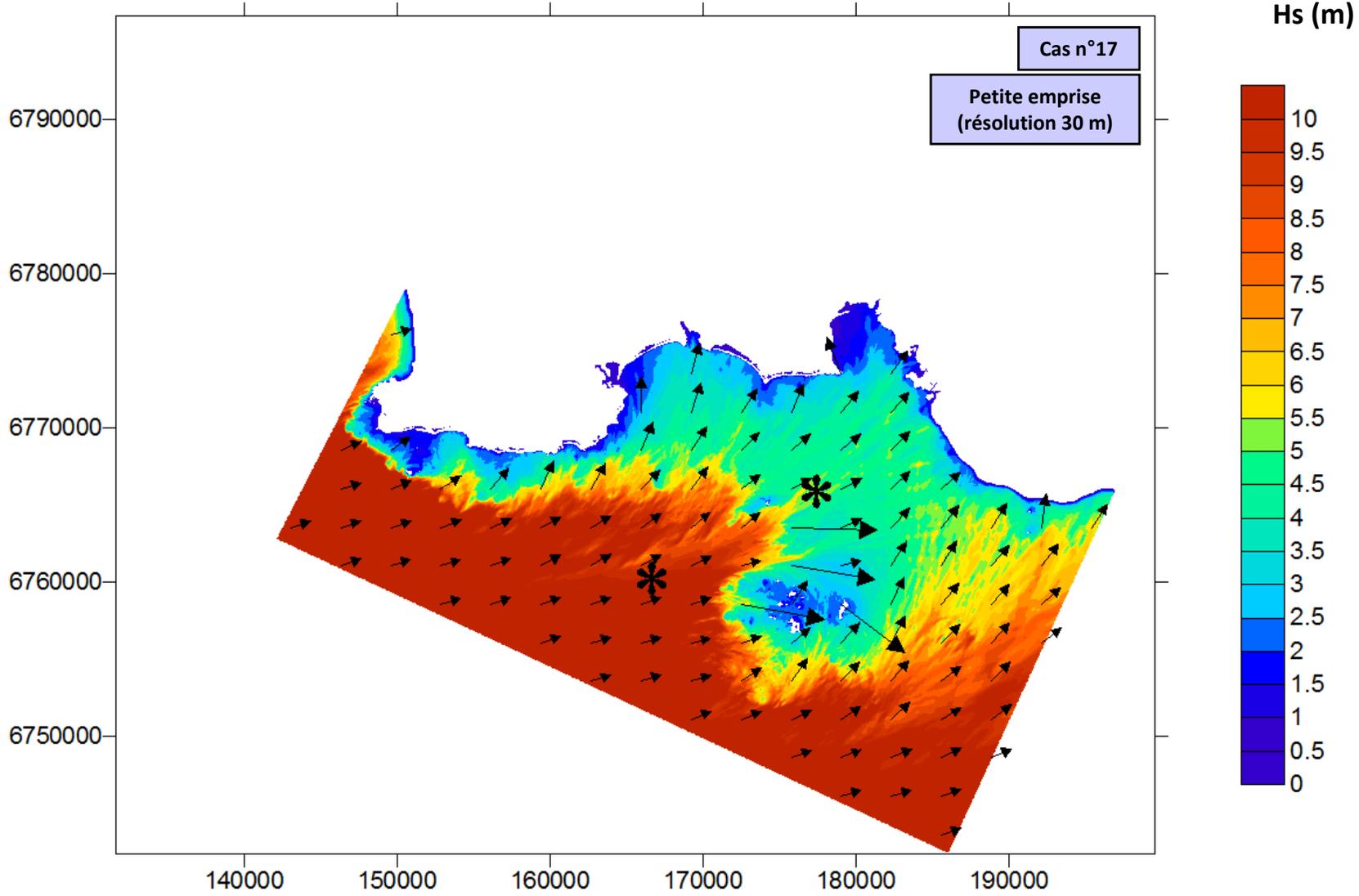
Modèle 1

Cas n°16 :
Hs = 8,36 m – Tp = 15 s
Niv = 4,17 m IGN
Dir = 270 °N



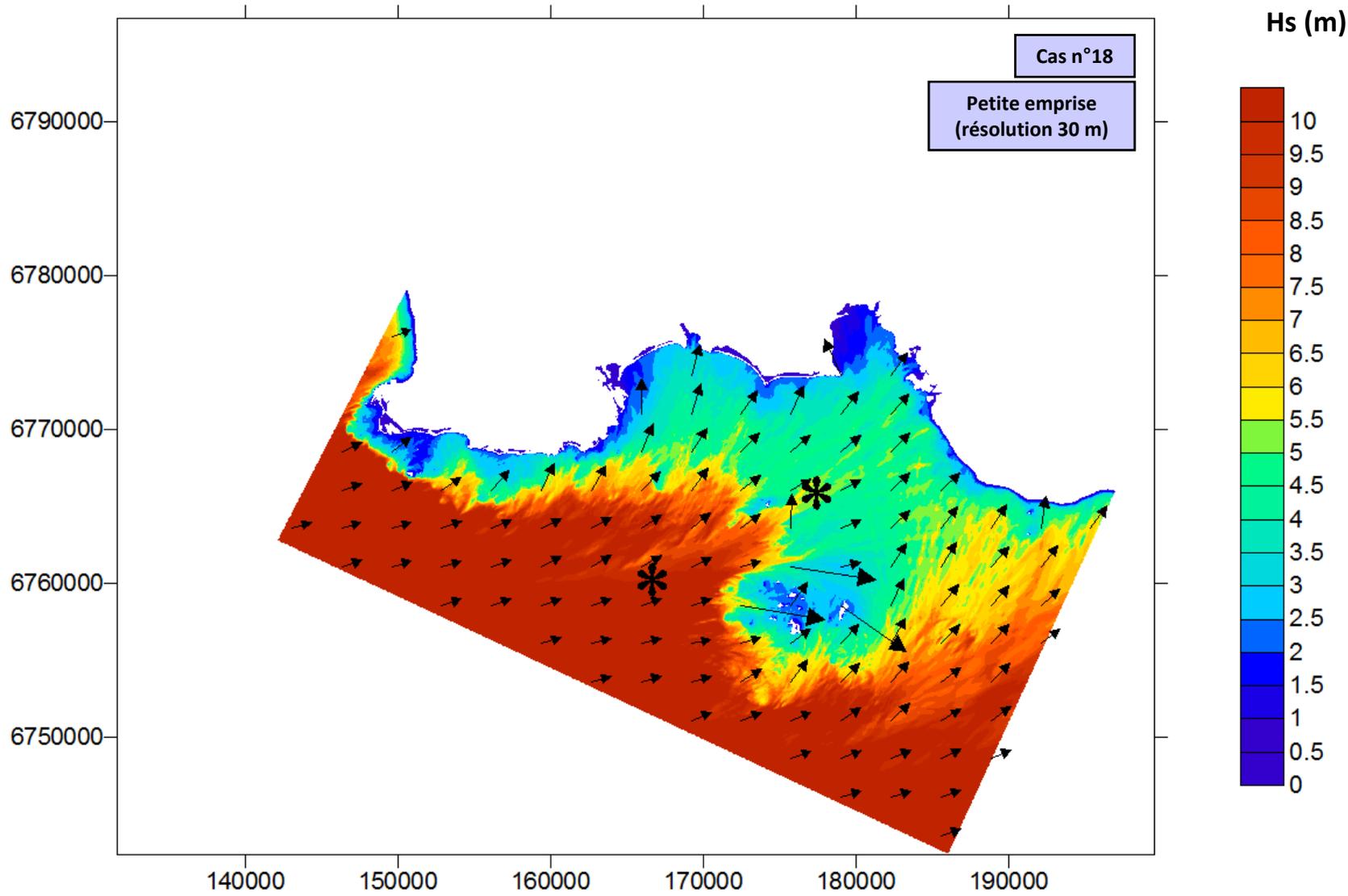
Modèle 1

Cas n°17 :
Hs = 12,87 m – Tp = 17 s
Niv = 3,00 m IGN
Dir = 260 °N



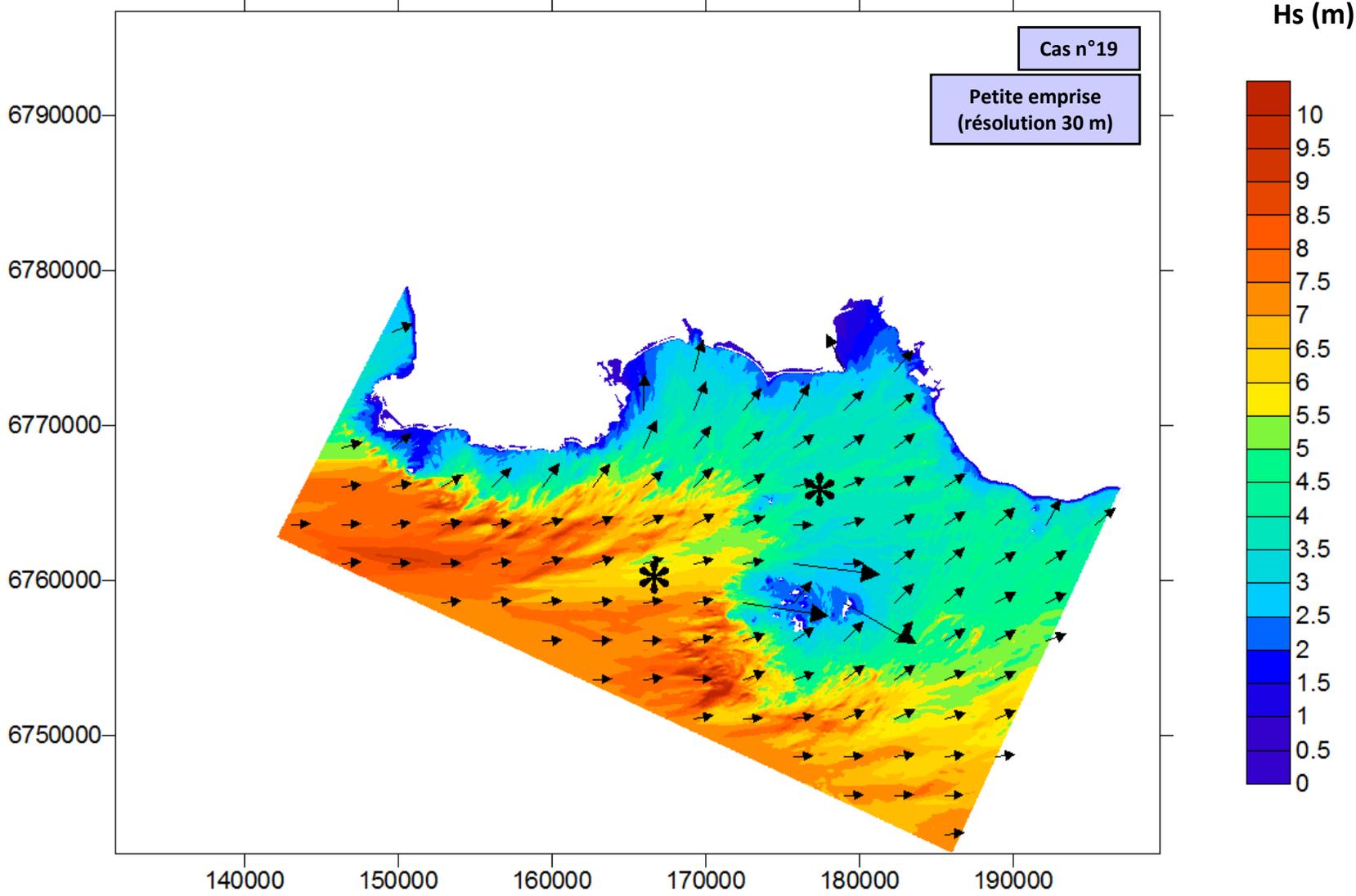
Modèle 1

Cas n°18 :
Hs = 12,87 m – Tp = 17 s
Niv = 3,50 m IGN
Dir = 260 °N



Modèle 1

Cas n°19 :
Hs = 9,50 m – Tp = 18 s
Niv = 3,55 m IGN
Dir = 285 °N



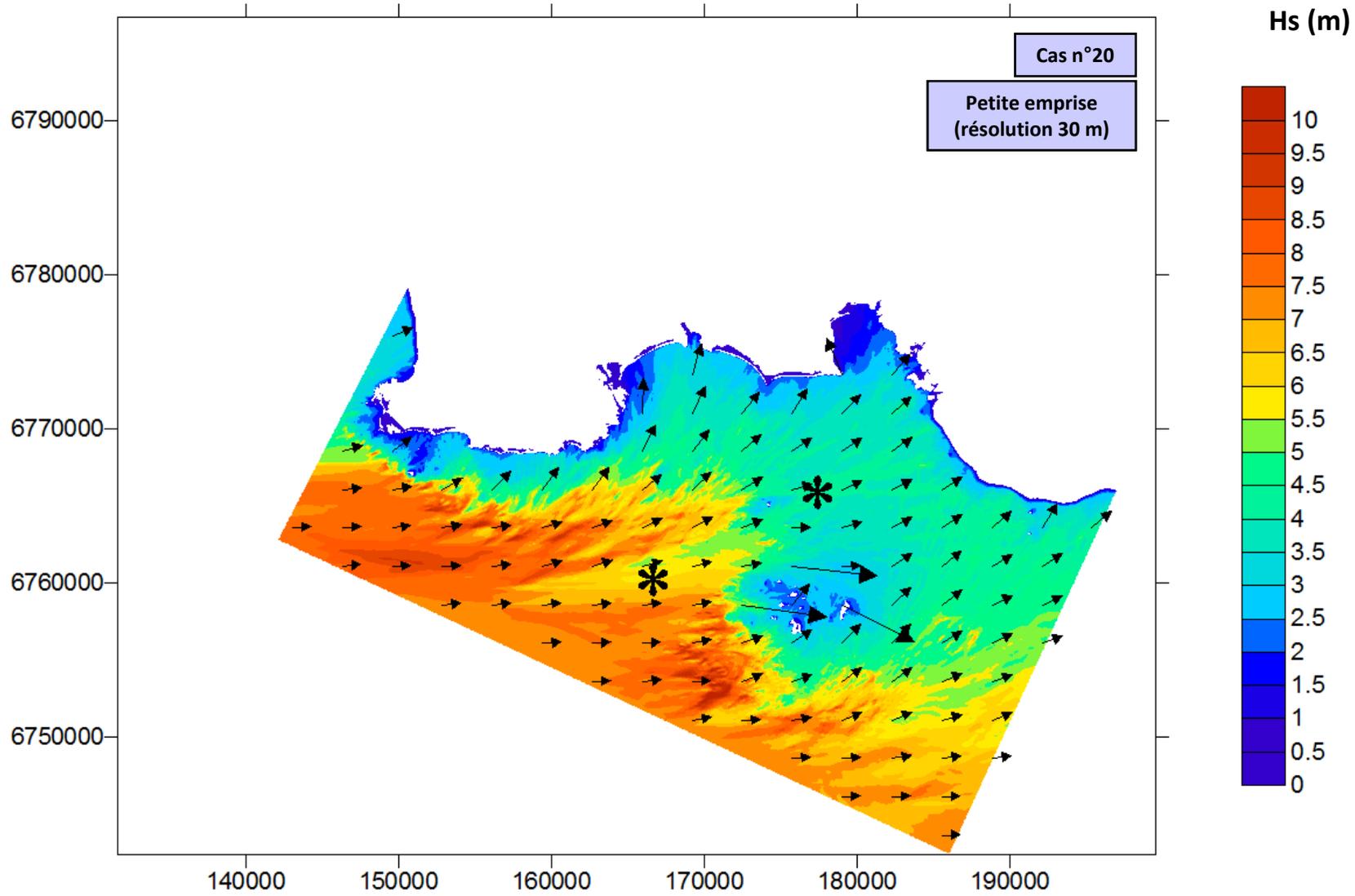
Modèle 1

Cas n°20 :

Hs = 9,50 m – Tp = 18 s

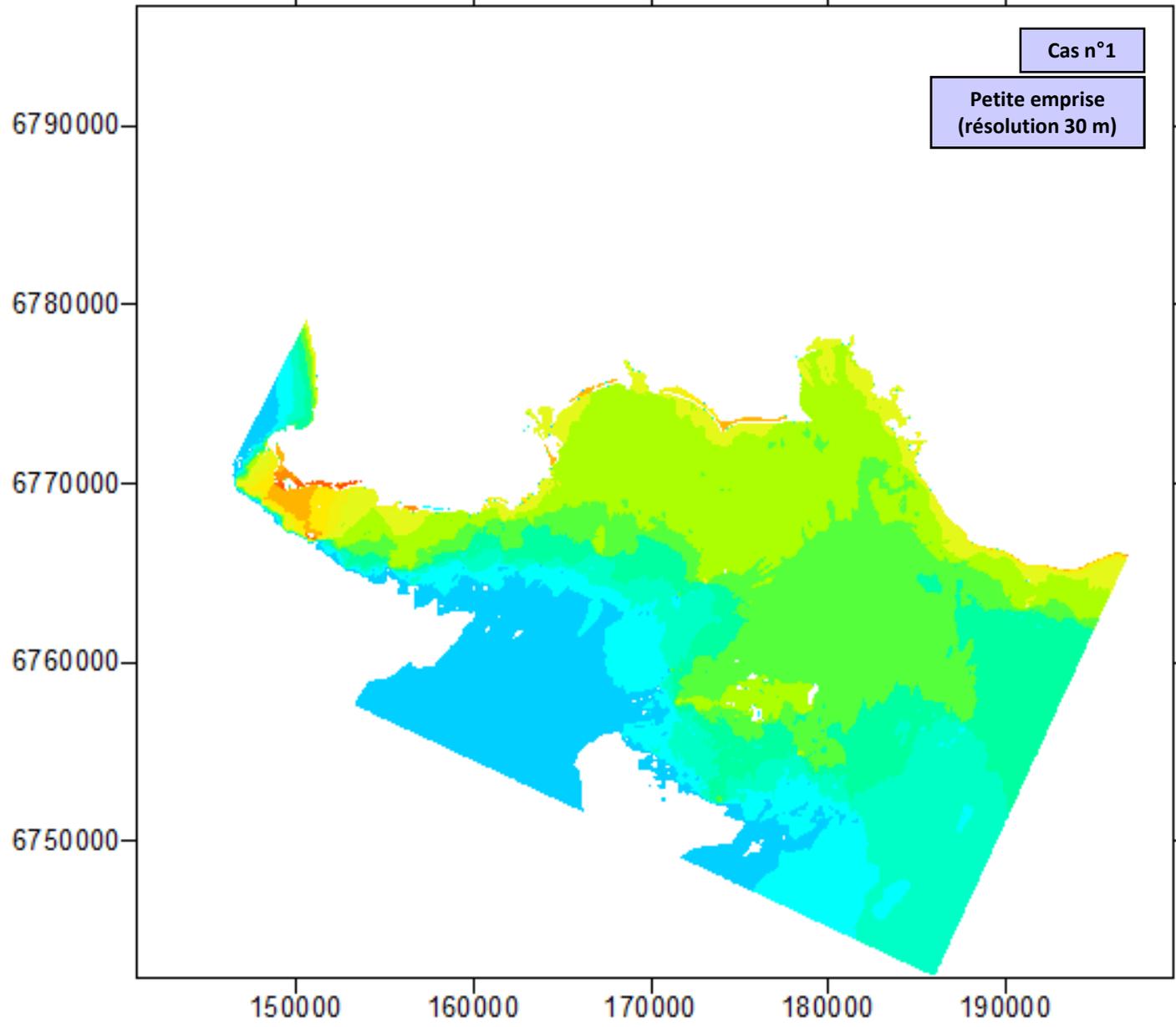
Niv = 4,05 m IGN

Dir = 285 °N

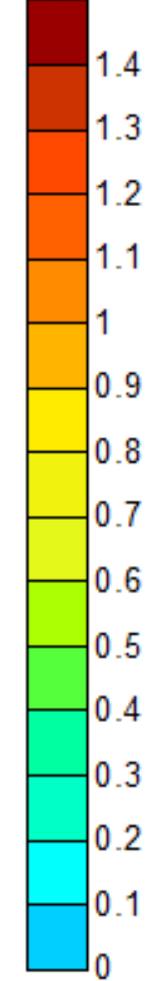


Modèle 1

Cas n°1 :
Hs = 14,97 m – Tp = 18 s
Niv = 3,08 m IGN
Dir = 225°N

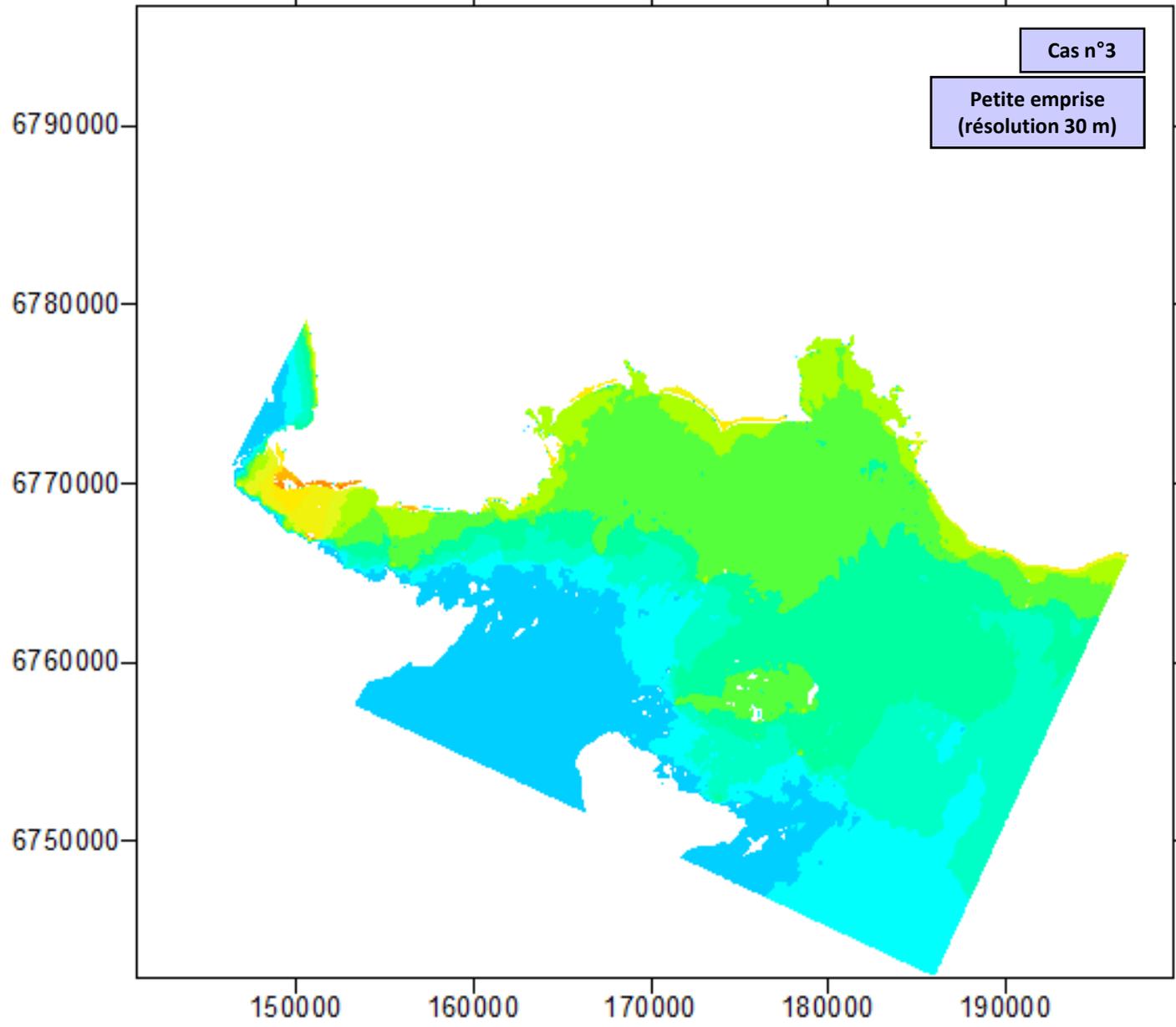


Setup (m)

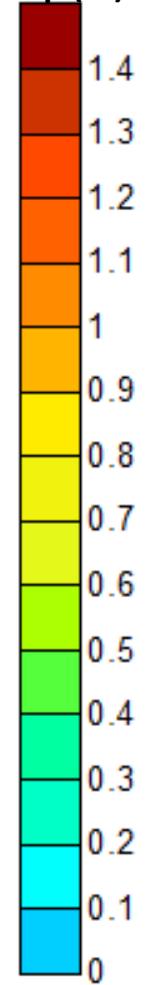


Modèle 1

Cas n°3 :
Hs = 13,20 m – Tp = 18 s
Niv = 3,23 m IGN
Dir = 225°N



Setup (m)



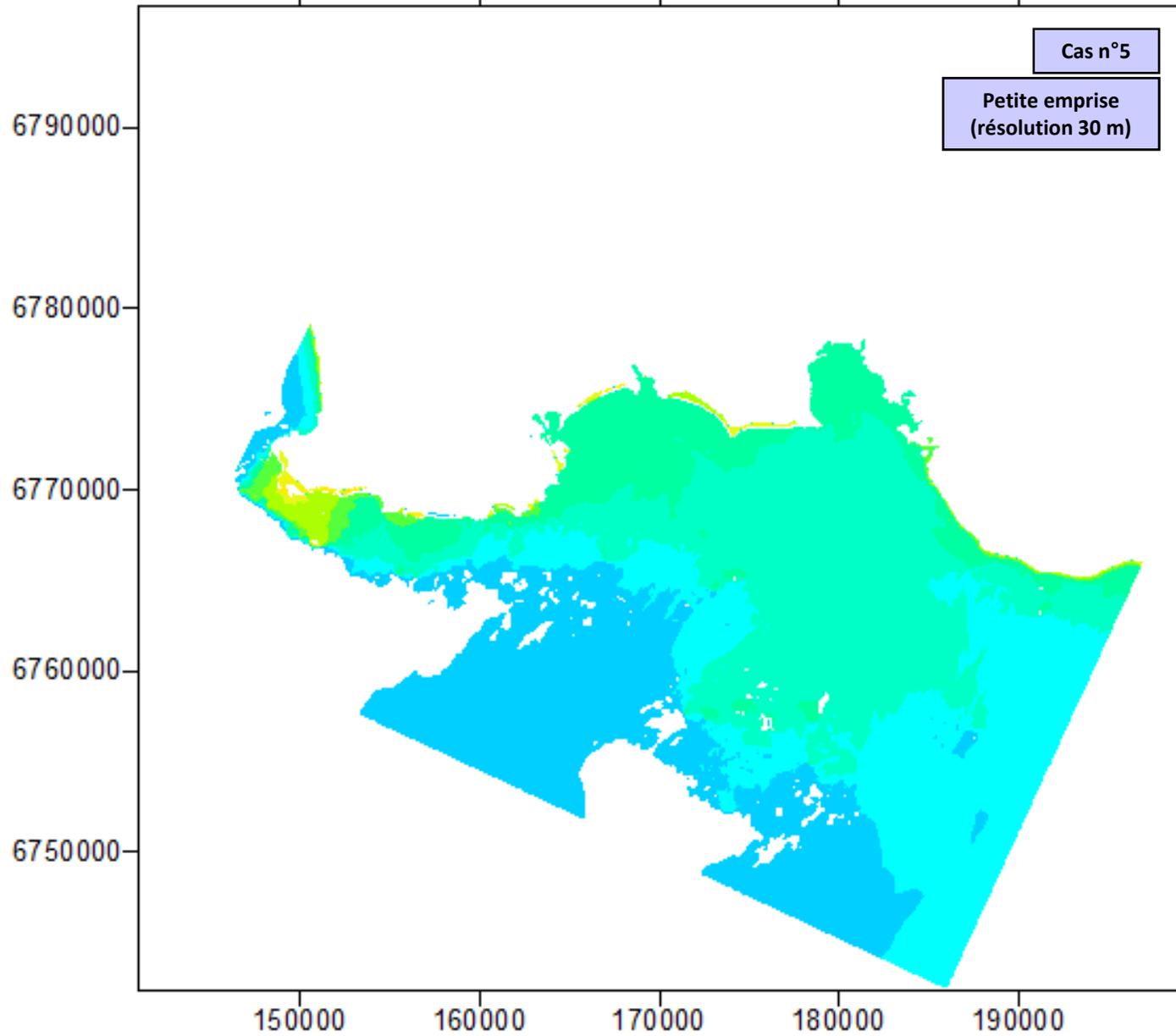
Modèle 1

Cas n°5 :

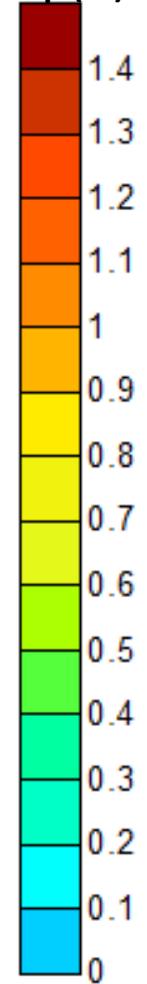
Hs = 11 m – Tp = 16 s

Niv = 3,37 m IGN

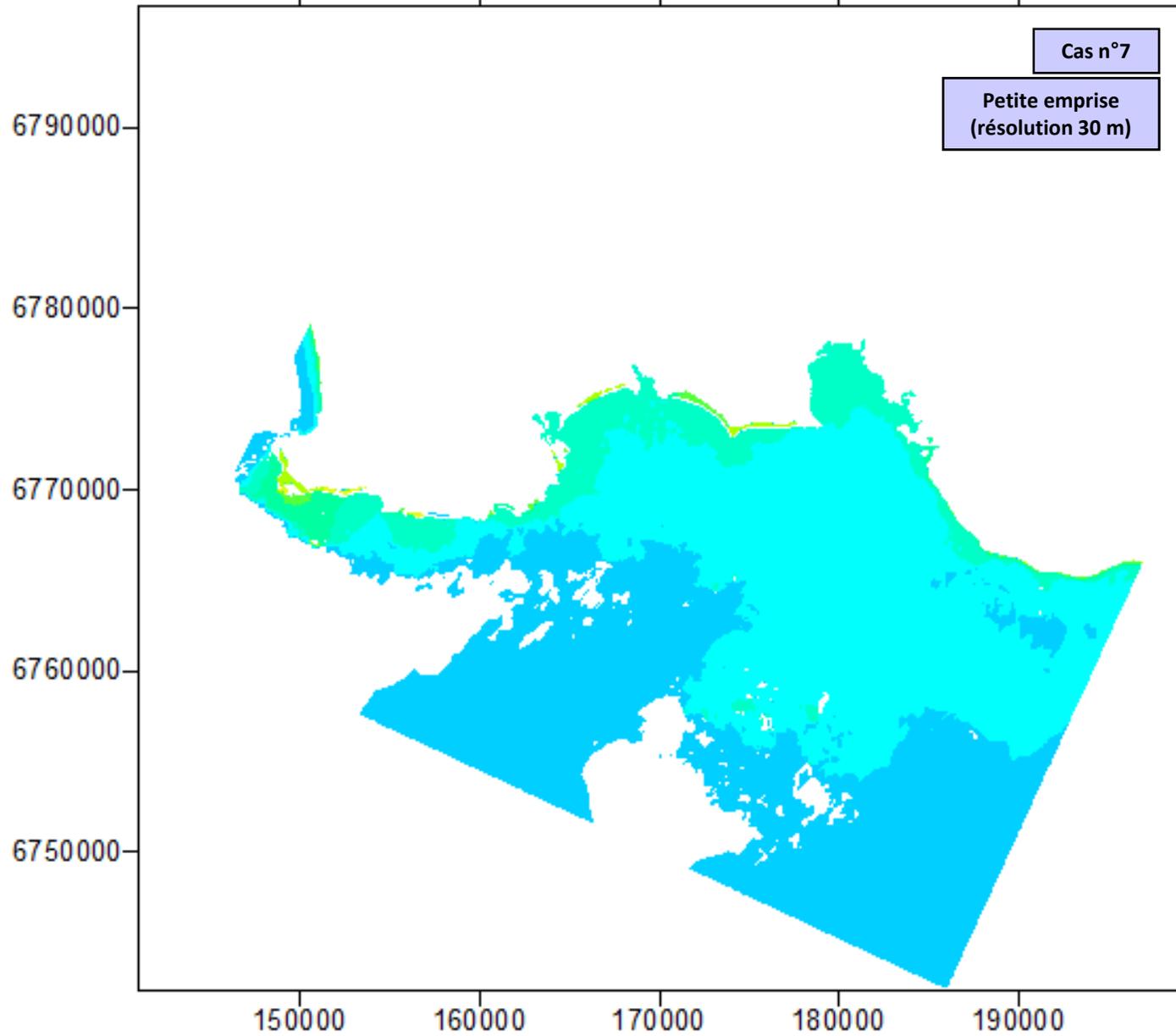
Dir = 225°N



Setup (m)



Modèle 1



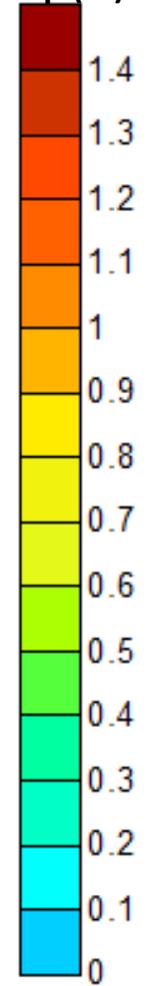
Cas n°7 :

Hs = 8,80 m – Tp = 14 s

Niv = 3,50 m IGN

Dir = 225°N

Setup (m)



Modèle 1

Cas n°9 :

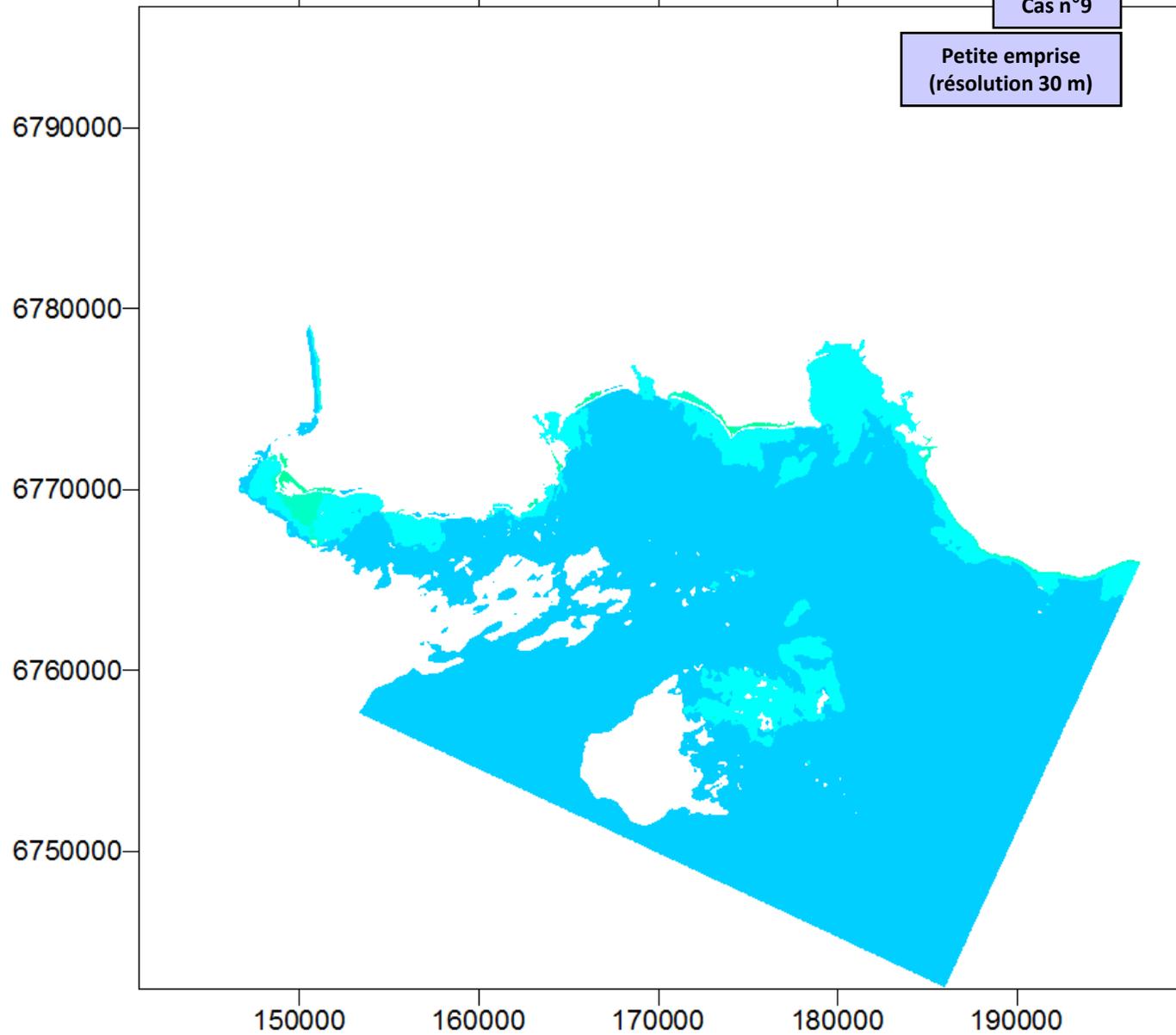
Hs = 6 m – Tp = 13 s

Niv = 3,65 m IGN

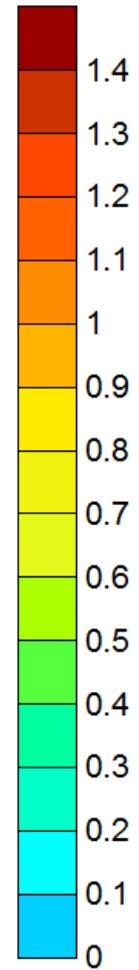
Dir = 225°N

Cas n°9

Petite emprise
(résolution 30 m)



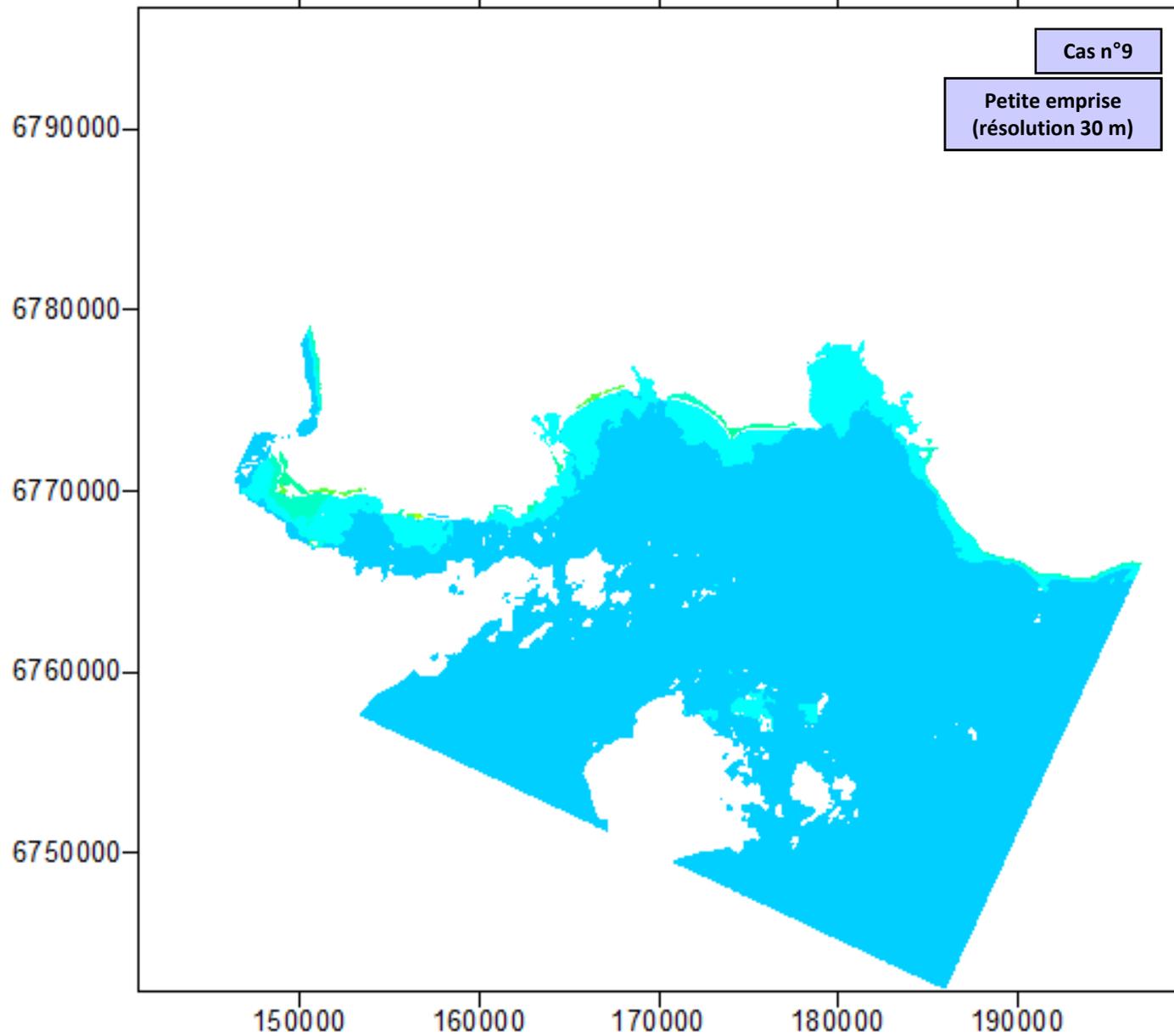
Setup (m)



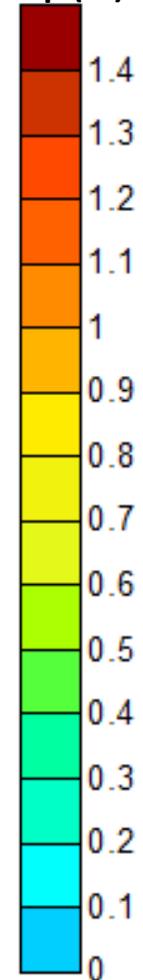
Modèle 1

Cas n°9 :

Hs = 6 m – Tp = 13 s
Niv = 3,65 m IGN
Dir = 225°N



Setup (m)



Modèle 1

Cas n°11

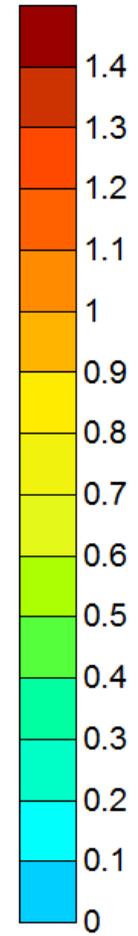
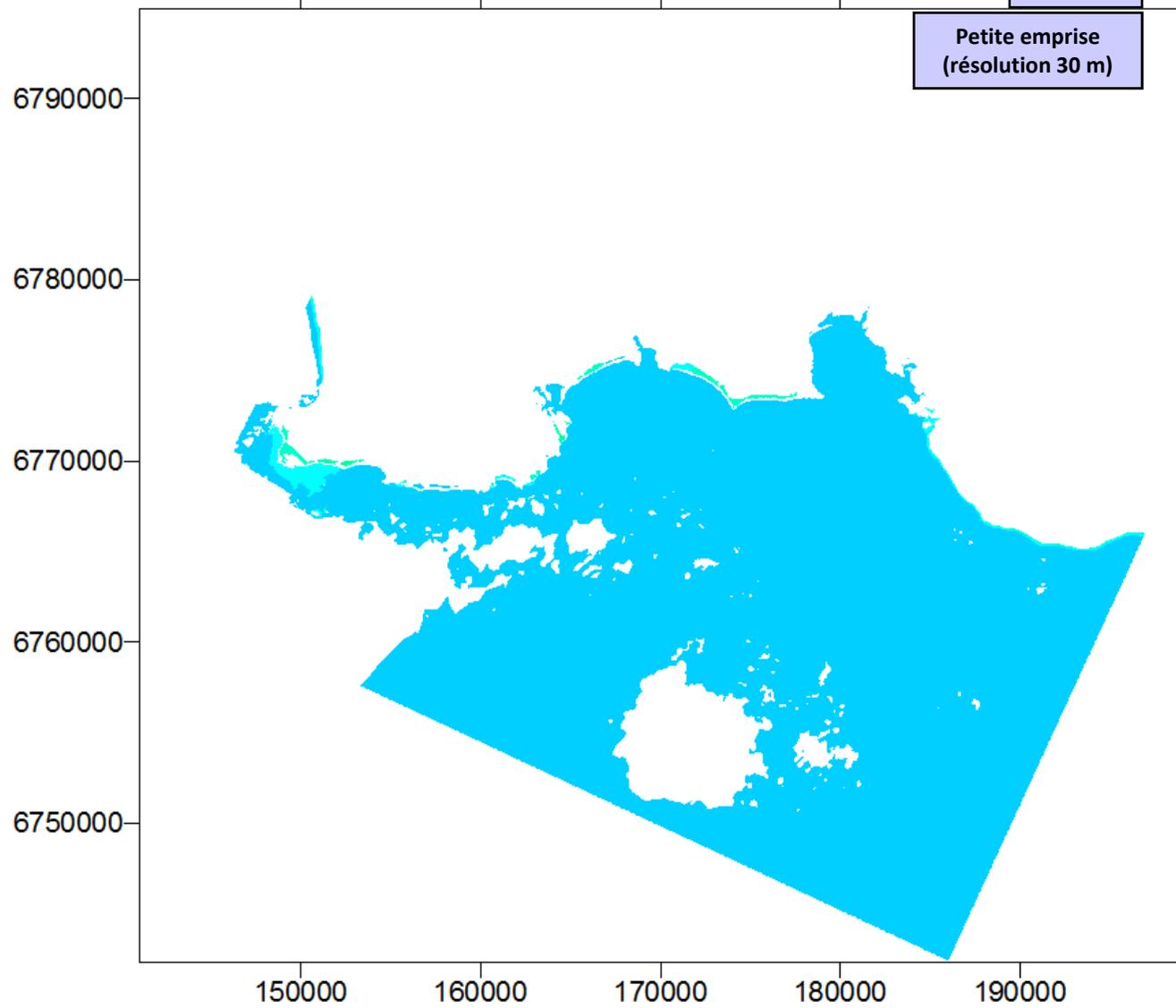
Cas n°11 :

Hs = 4,40 m – Tp = 10 s

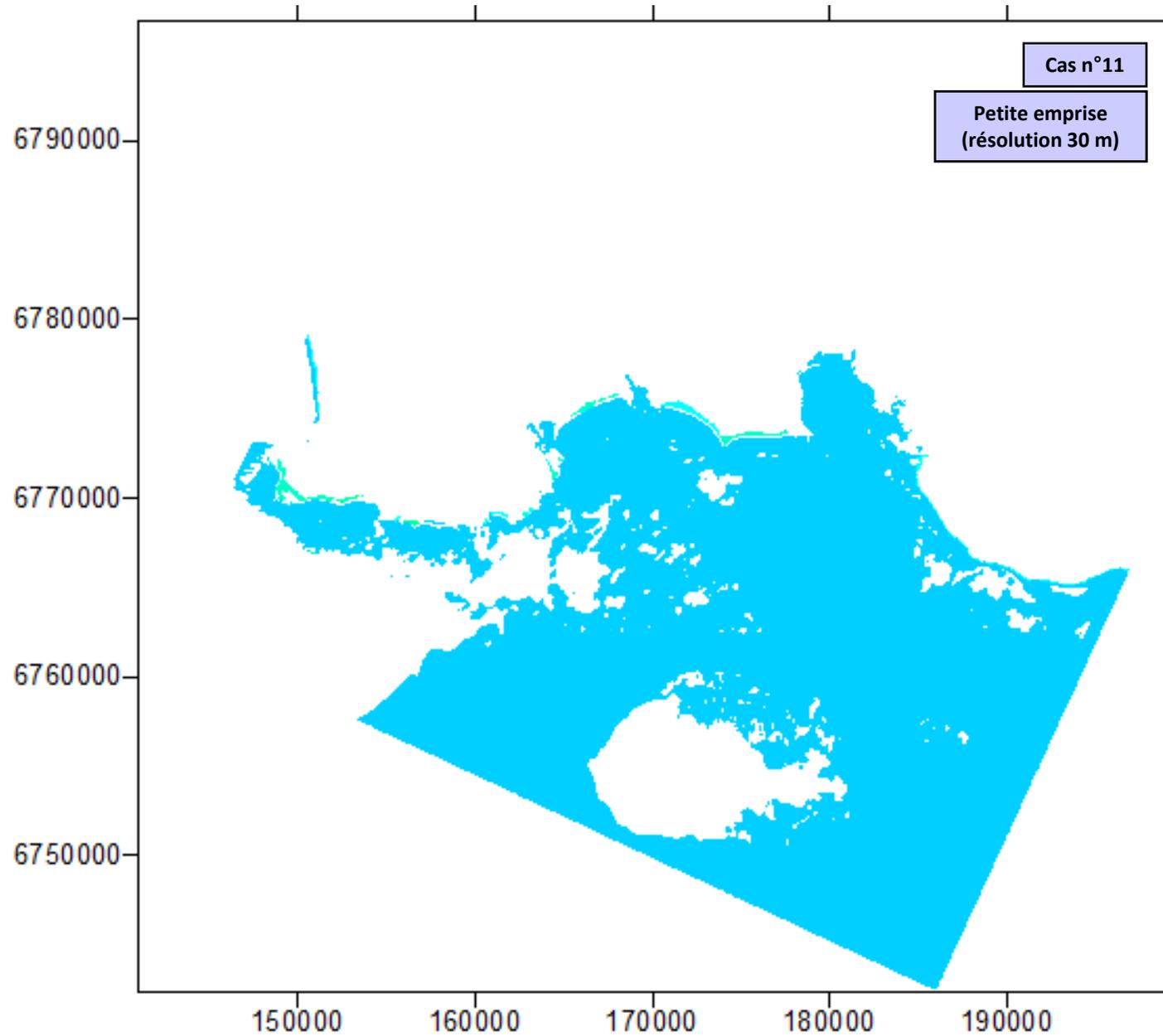
Niv = 3,80 m IGN

Dir = 225°N

Setup (m)

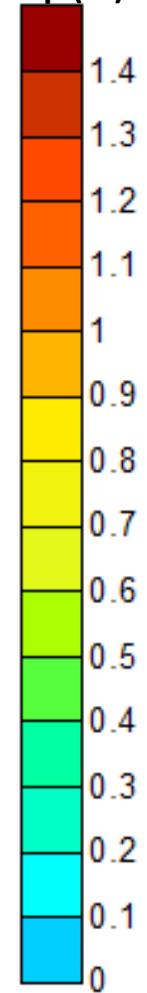


Modèle 1

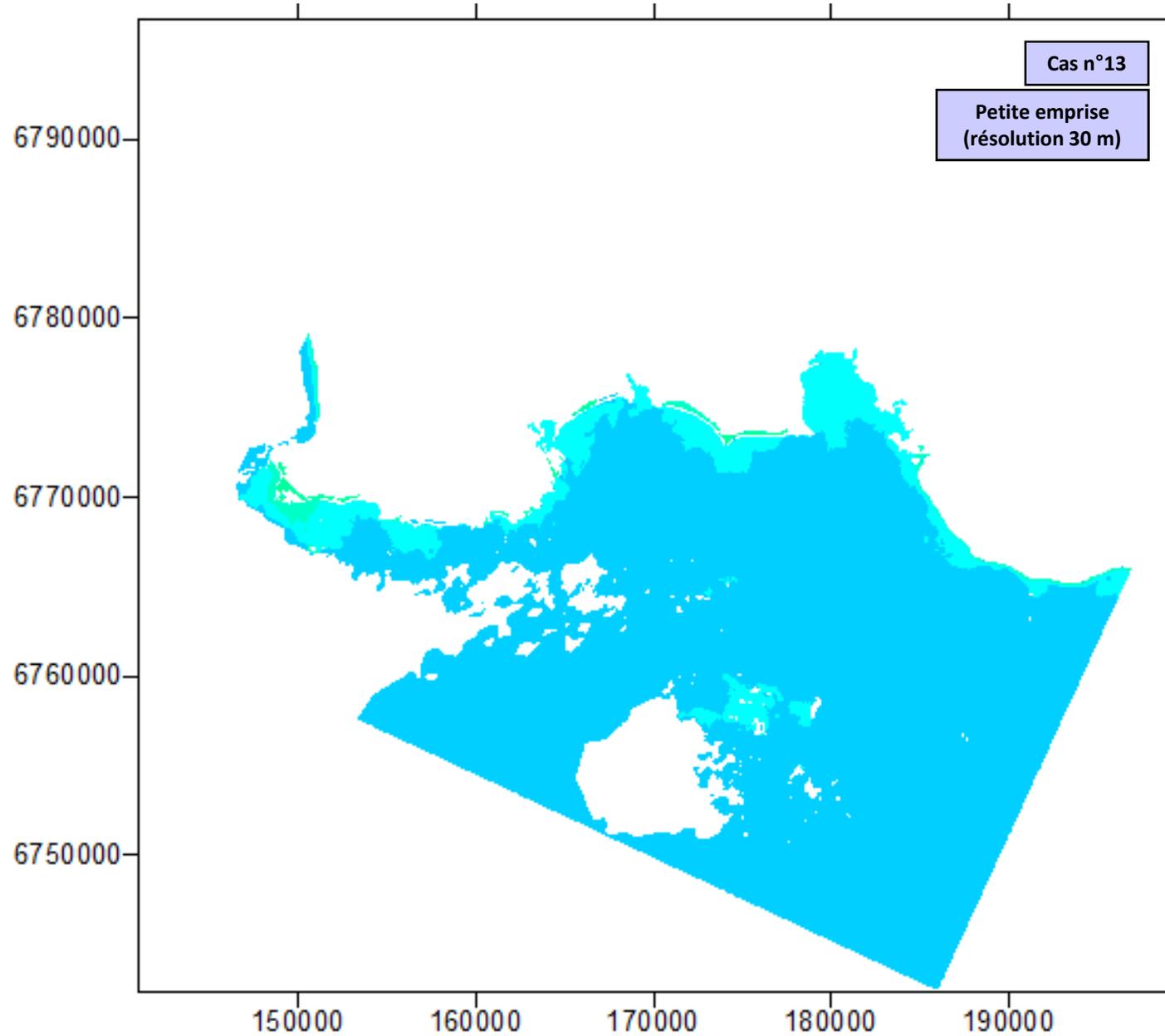


Cas n°11 :
Hs = 2,50 m – Tp = 10 s
Niv = 3,80 m IGN
Dir = 225°N

Setup (m)

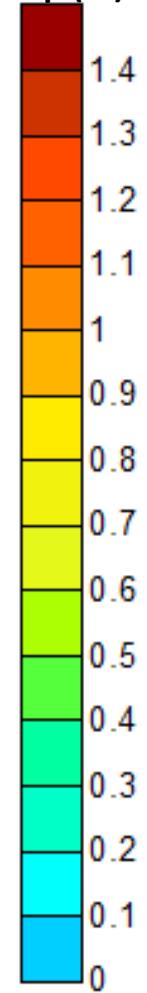


Modèle 1

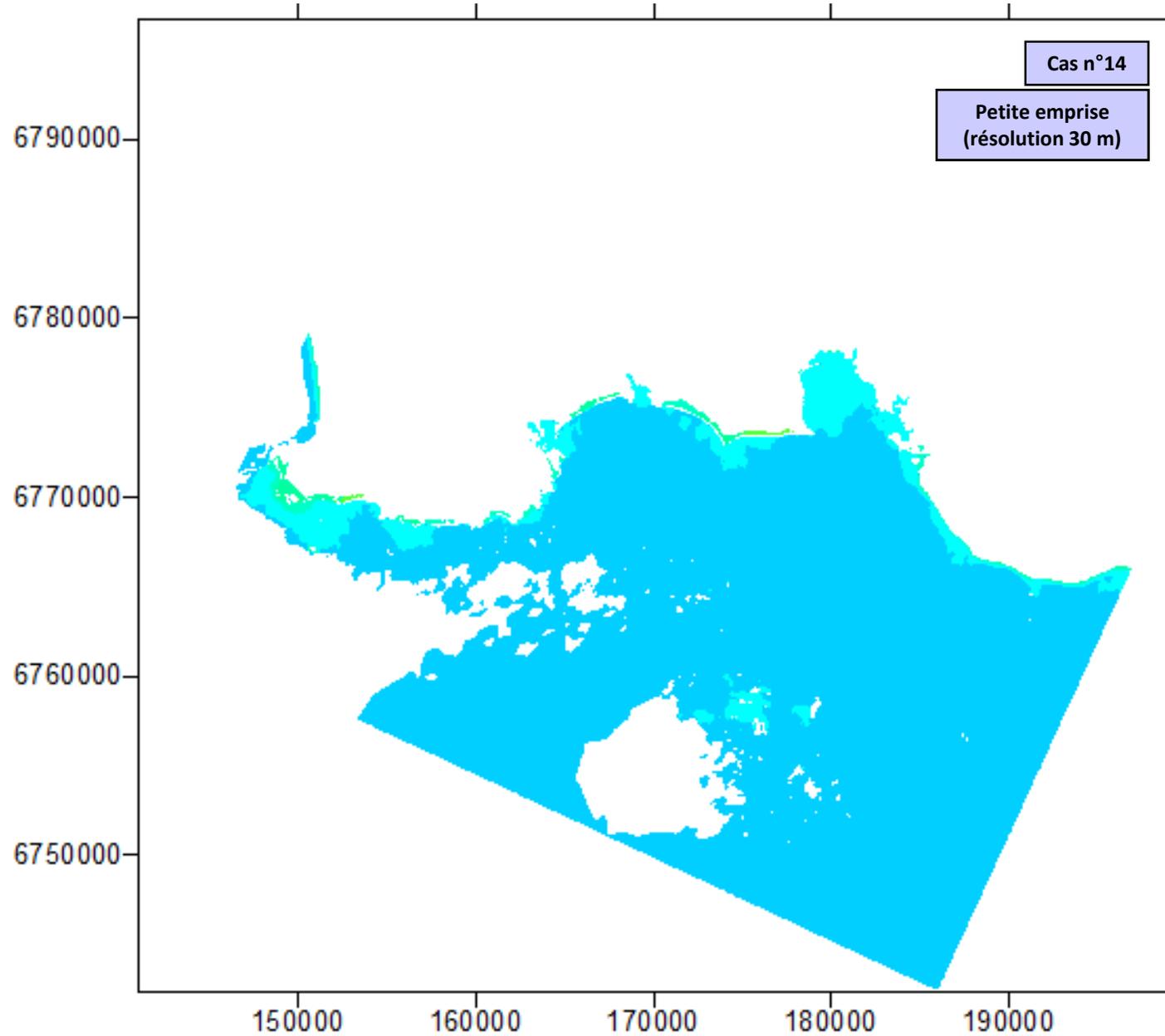


Cas n°13 :
Hs = 7,00 m – Tp = 11,5 s
Niv = 3,78 m IGN
Dir = 240°N

Setup (m)

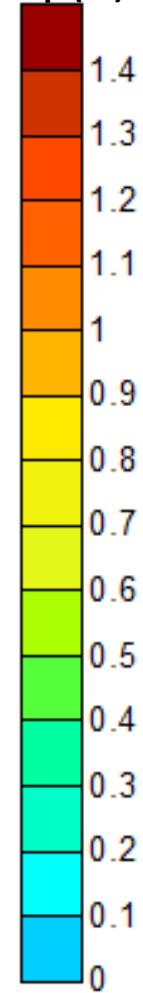


Modèle 1



Cas n°14 :
Hs = 7,00 m – Tp = 11,5 s
Niv = 4,28 m IGN
Dir = 240°N

Setup (m)



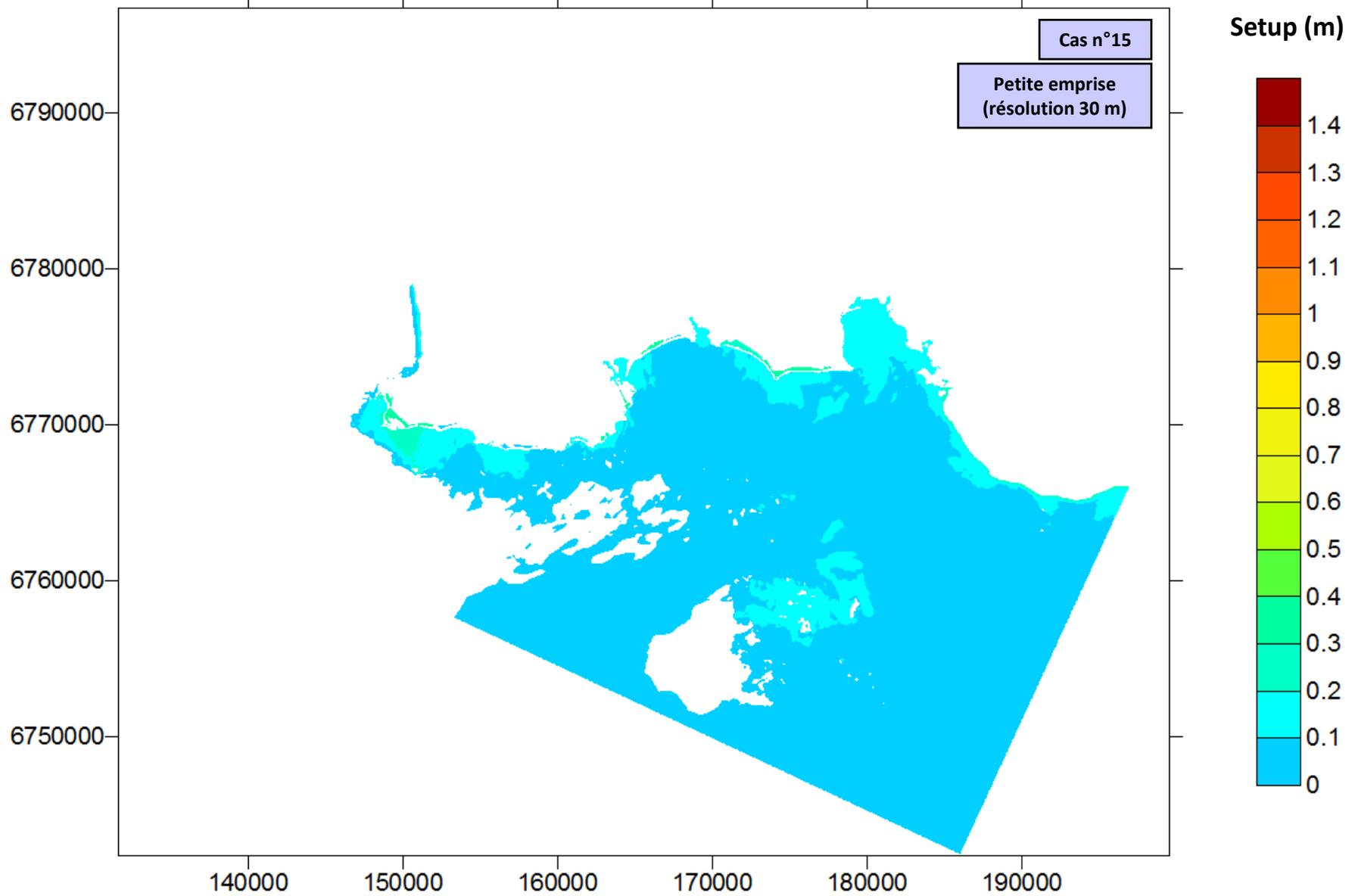
Modèle 1

Cas n°15 :

Hs = 8,36 m – Tp = 15 s

Niv = 3,67 m IGN

Dir = 270 °N



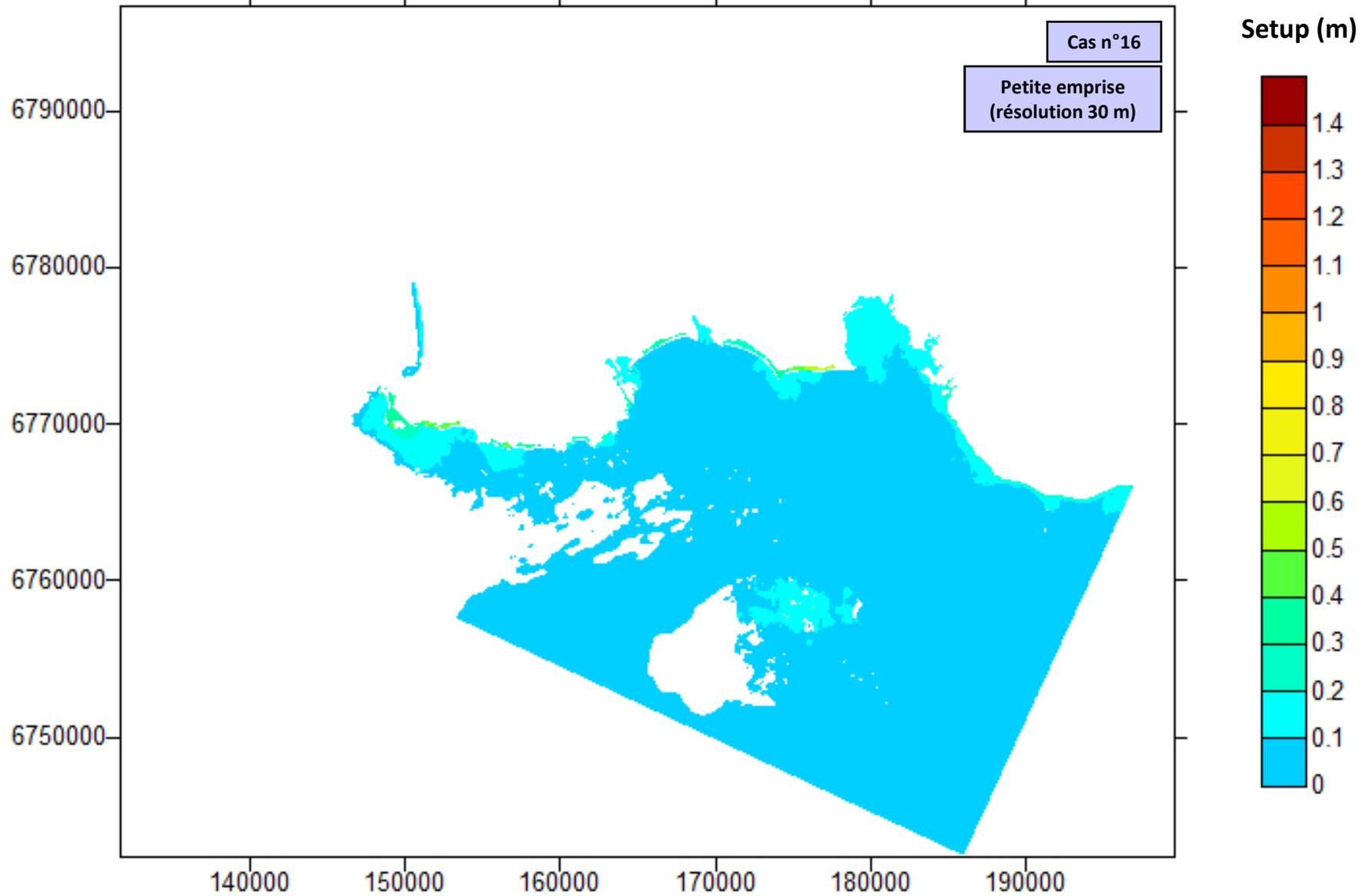
Modèle 1

Cas n°16 :

Hs = 8,36 m – Tp = 15 s

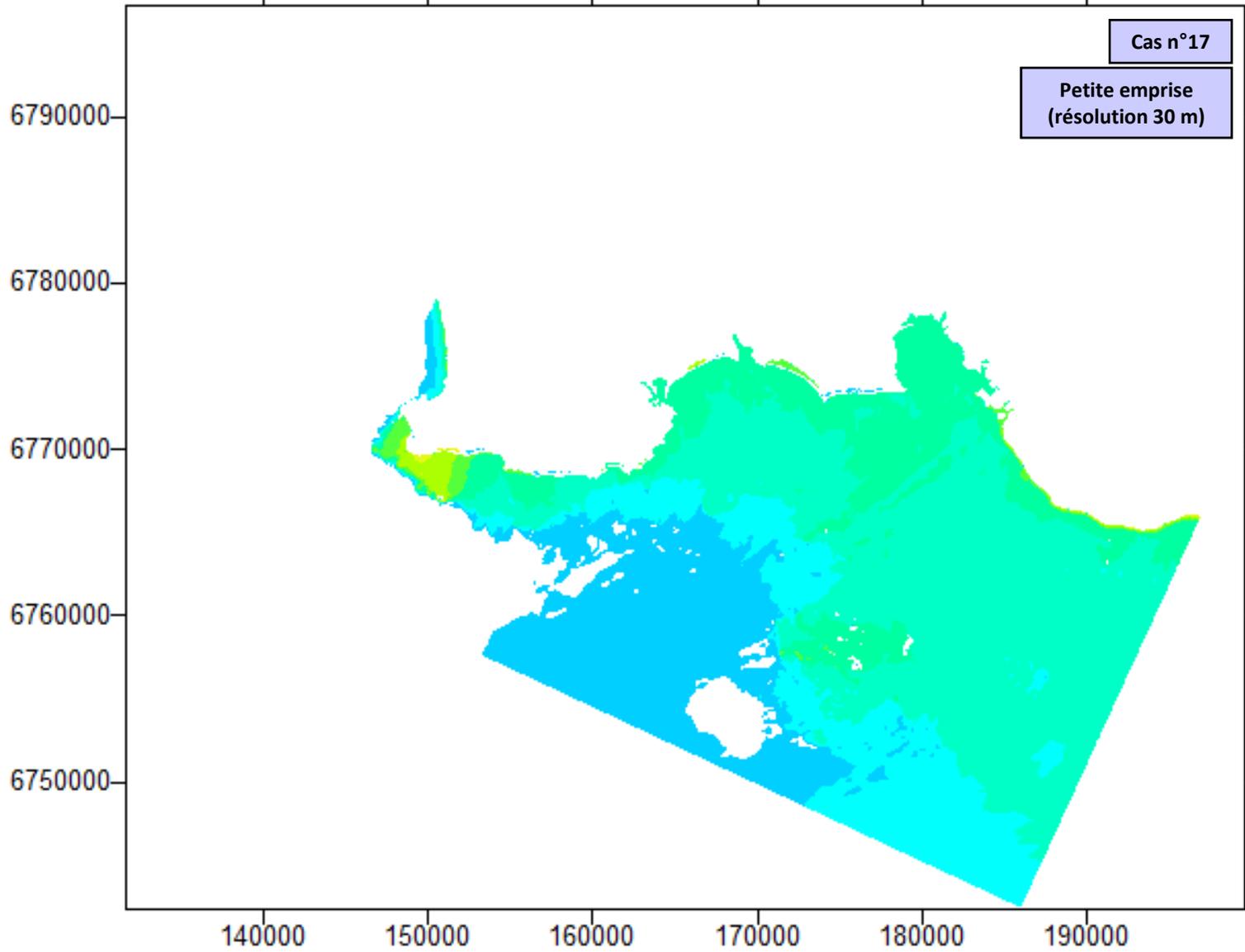
Niv = 4,17 m IGN

Dir = 270 °N



Modèle 1

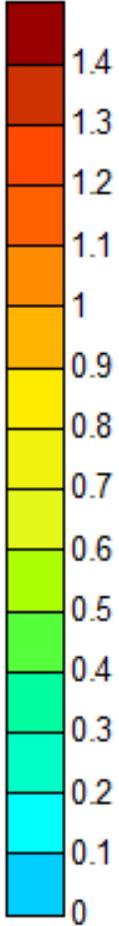
Cas n°17 :
Hs = 12,87 m – Tp = 17 s
Niv = 3,00 m IGN
Dir = 260 °N



Cas n°17

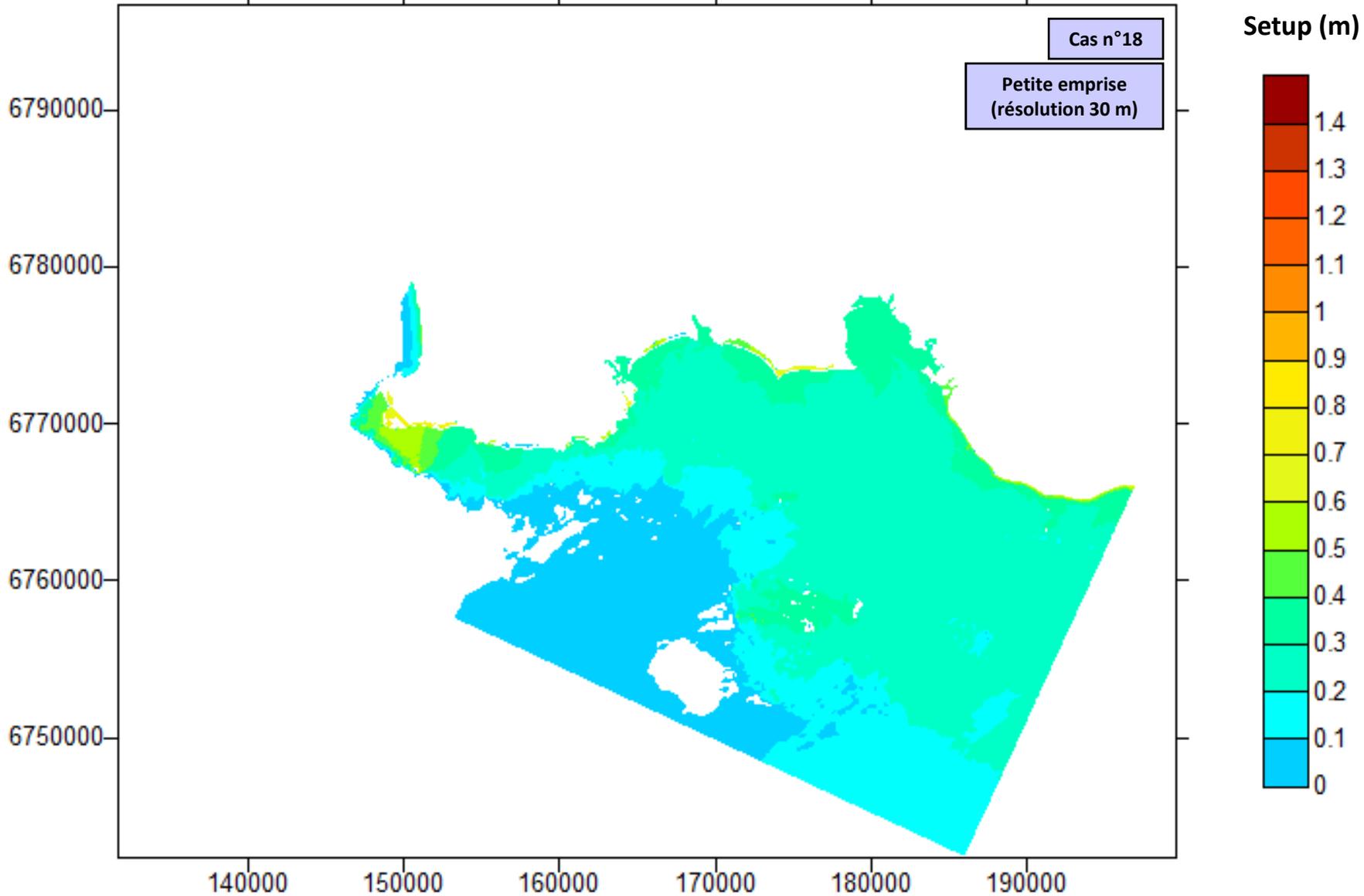
Petite emprise
(résolution 30 m)

Setup (m)



Modèle 1

Cas n°18 :
Hs = 12,87 m – Tp = 17 s
Niv = 3,50 m IGN
Dir = 260 °N



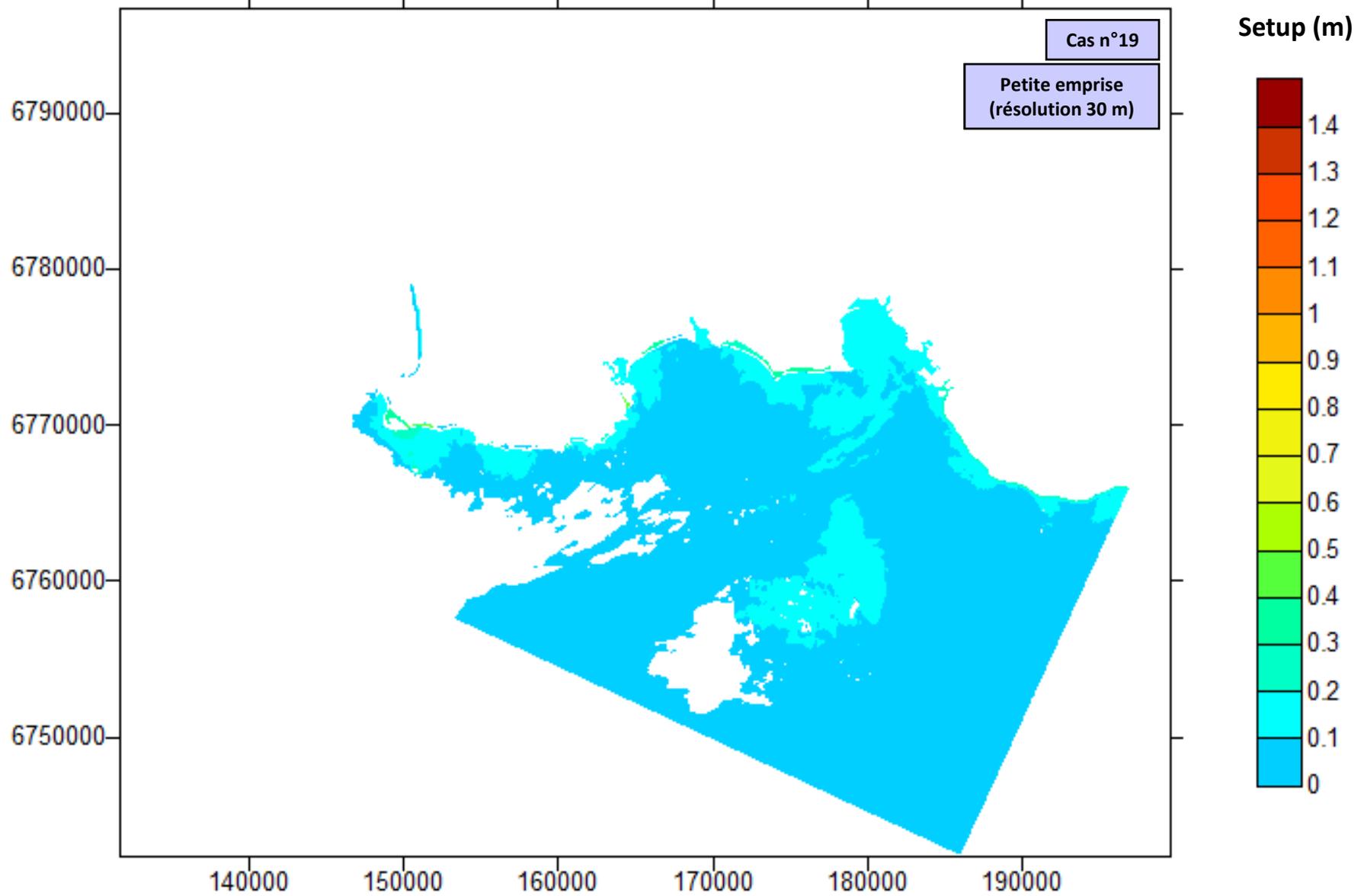
Modèle 1

Cas n°19 :

Hs = 9,50 m – Tp = 18 s

Niv = 3,55 m IGN

Dir = 285 °N



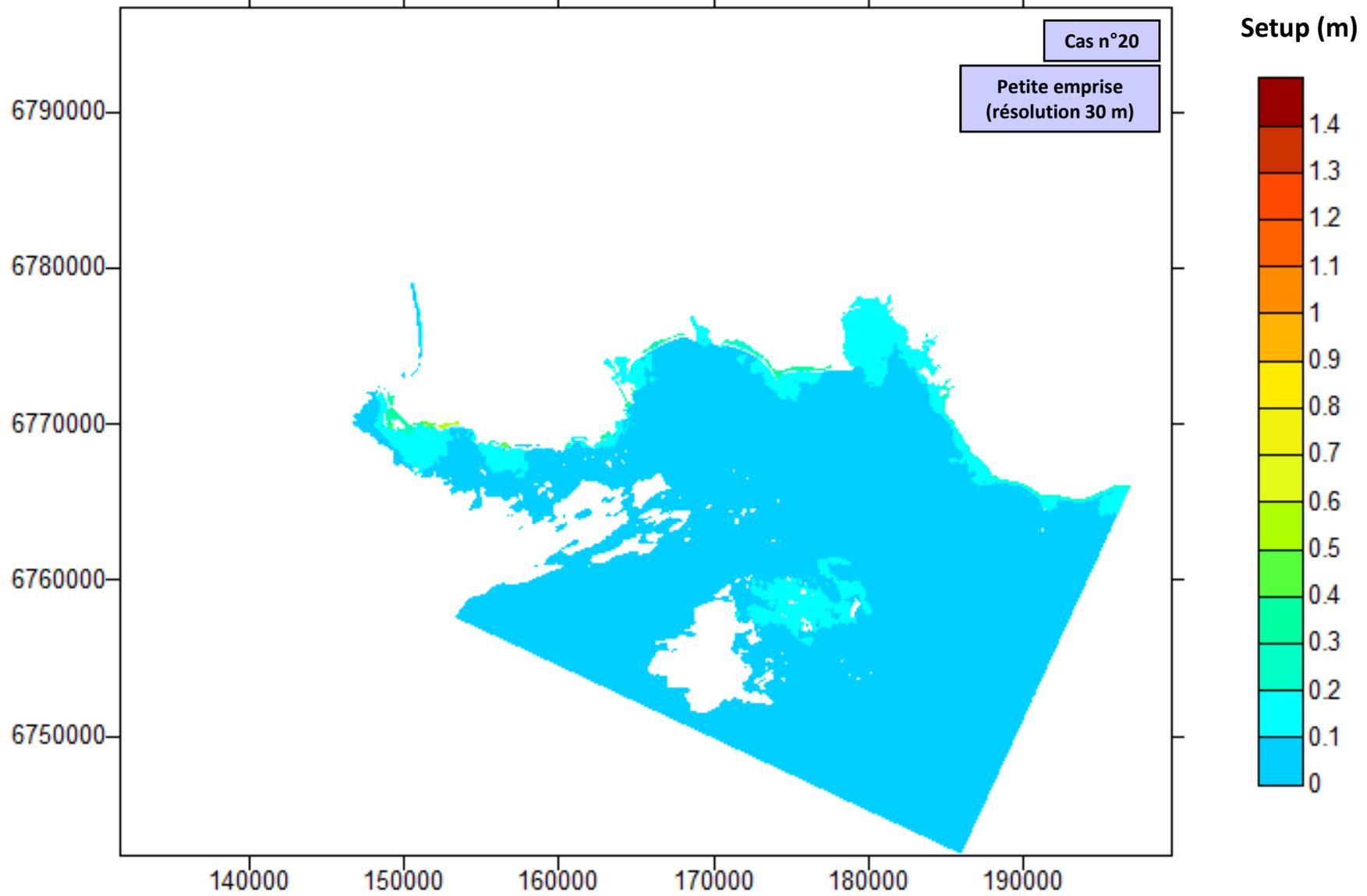
Modèle 1

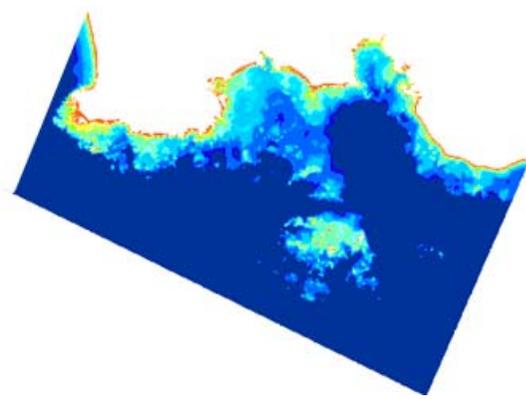
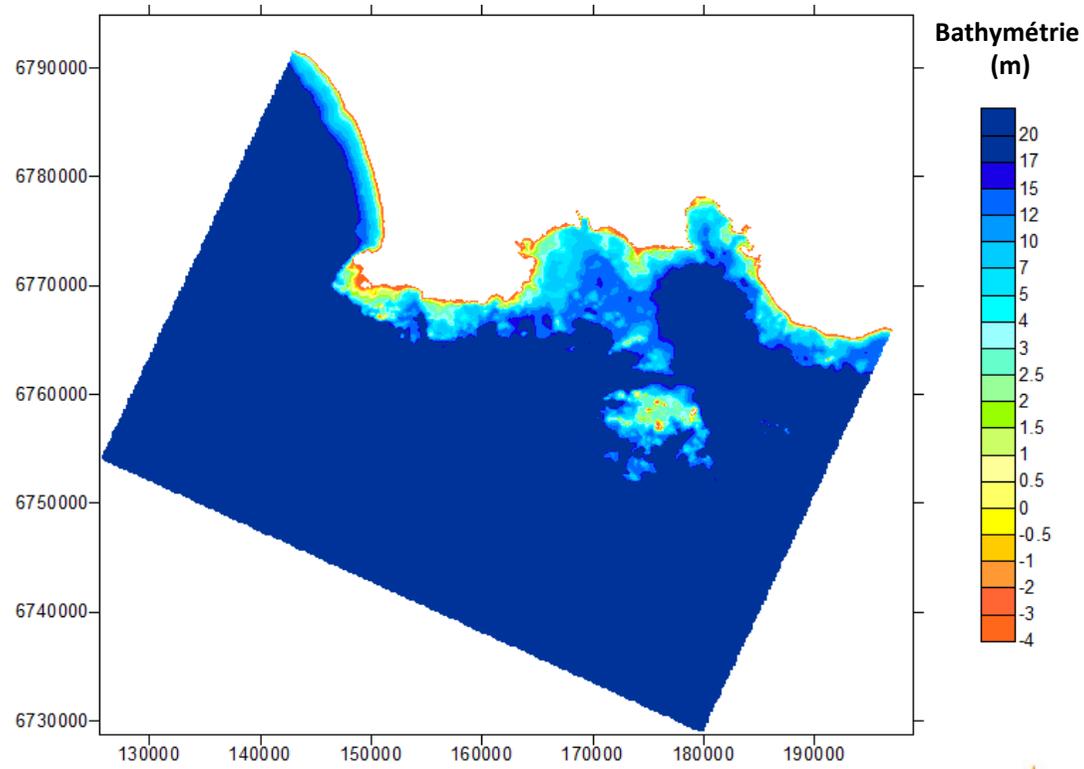
Cas n°20 :

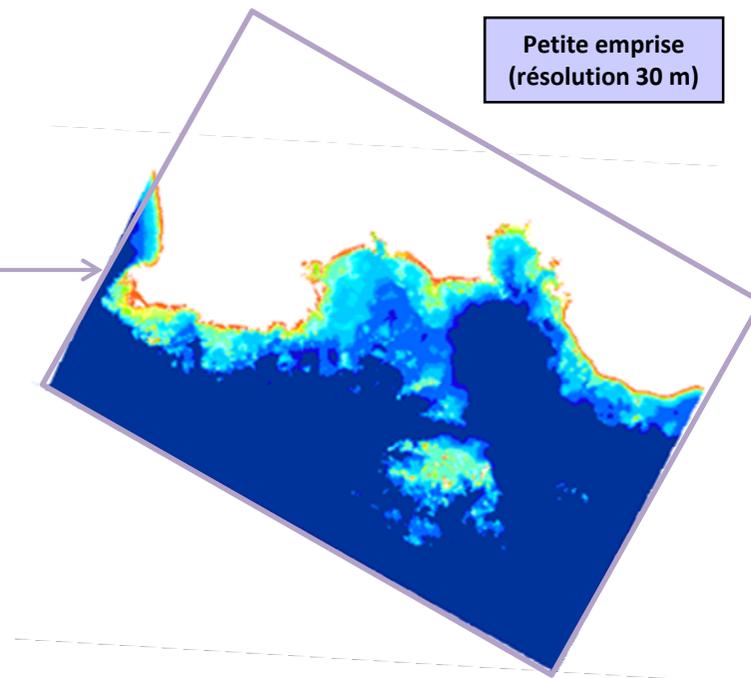
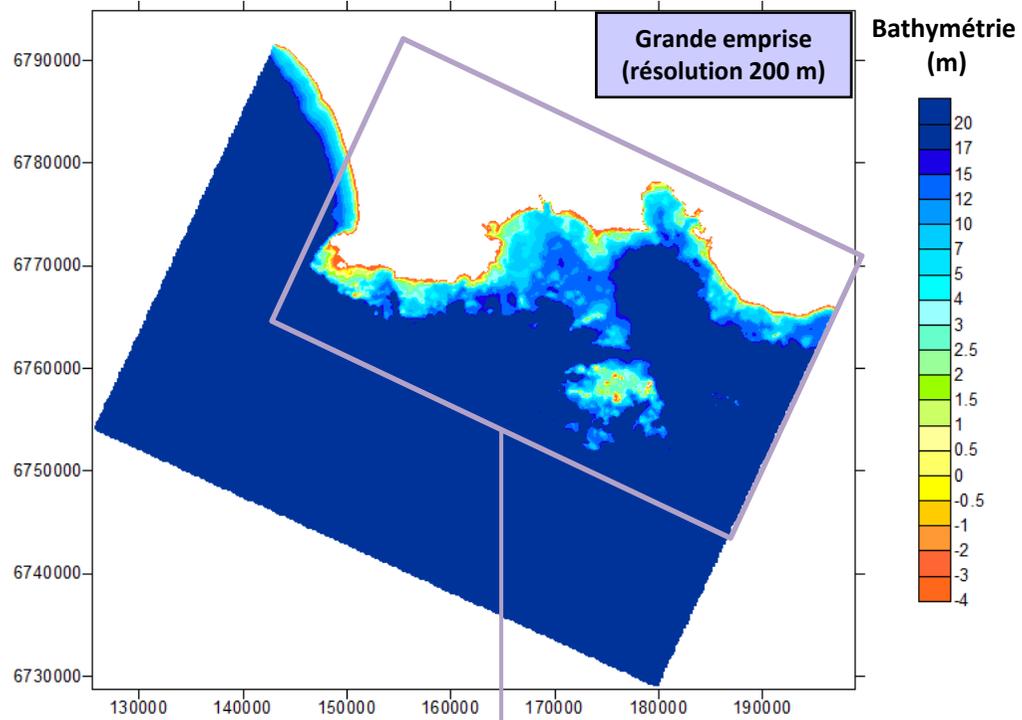
Hs = 9,50 m – Tp = 18 s

Niv = 4,05 m IGN

Dir = 285 °N







Annexe 3 : Résultats des houles spécifiques pour les différents évènements

CONCARNEAU	Secteurs			
Cas de calculs	1	2	3	4
	Houle Hs (m)			
1	2,50	1,00	2,50	2,25
2	2,50	1,00	2,50	2,25
3	2,50	1,00	2,50	2,25
4	2,50	1,00	2,50	2,25
5	2,50	1,00	2,50	2,25
6	2,50	1,00	2,50	2,25
7	2,50	1,00	2,50	2,25
8	2,50	1,00	2,50	2,25
9	2,50	1,00	2,50	2,00
10	2,50	1,00	2,50	2,00
11	2,25	1,00	2,25	2,00
12	2,00	1,00	2,00	1,75
13	2,25	1,00	2,25	2,25
14	2,75	1,00	2,50	2,25
15	2,25	1,00	2,25	2,25
16	2,75	1,00	2,50	2,25
17	2,25	1,00	2,00	2,25
18	2,50	1,00	2,25	2,25
19	2,25	1,00	2,25	2,25
20	2,50	1,00	2,50	2,25

LA FORET FOUESNANT	Secteur
Cas de calculs	5
	Houle Hs (m)
1	2,00
2	2,00
3	2,00
4	2,00
5	2,00
6	2,00
7	2,00
8	2,00
9	1,75
10	1,75
11	1,75
12	1,50
13	1,75
14	1,75
15	1,75
16	1,75
17	1,75
18	1,75
19	1,75
20	1,75

FOUESNANT	Secteurs						
Cas de calculs	6	7	8	9	10	11	12
	Houle Hs (m)						
1	2,00	1,50	3,50	2,50	2,00	2,50	3,00
2	2,00	1,50	3,50	2,50	2,00	2,50	3,00
3	2,00	1,50	3,50	2,50	2,00	2,50	3,00
4	1,75	1,50	3,50	2,50	2,00	2,50	3,00
5	1,50	1,50	3,50	2,50	2,00	2,50	3,00
6	1,50	1,50	3,25	2,50	2,00	2,50	3,00
7	1,50	1,50	3,00	2,50	2,00	2,50	3,00
8	1,50	1,50	3,00	2,50	2,00	2,50	3,00
9	1,50	1,50	3,00	2,50	2,00	2,50	3,00
10	1,50	1,50	3,00	2,50	2,00	2,50	3,00
11	1,50	1,50	2,75	2,50	2,00	2,50	2,75
12	1,25	1,25	2,50	2,25	2,00	2,25	2,50
13	1,25	1,50	3,00	2,50	2,00	2,50	2,75
14	1,25	1,50	3,00	2,50	2,00	2,50	3,00
15	1,25	1,50	3,00	2,50	2,00	2,50	2,75
16	1,25	1,50	3,00	2,50	2,00	2,50	3,00
17	1,25	1,50	3,00	2,25	2,00	2,50	2,75
18	1,25	1,50	3,25	2,50	2,00	2,50	3,00
19	1,25	1,50	2,75	2,25	2,00	2,50	2,75
20	1,25	1,50	2,75	2,50	2,00	2,50	3,00

FOUESNANT (Iles de Glénan)	Secteurs
Cas de calculs	-
	Houle Hs (m)
1	4,00
2	4,00
3	4,00
4	4,00
5	4,00
6	4,00
7	4,00
8	3,75
9	3,50
10	3,25
11	3,00
12	2,75
13	3,50
14	3,75
15	3,50
16	3,75
17	3,75
18	4,00
19	3,50
20	3,75

BENODET	Secteurs	
Cas de calculs	13	14
	Houle Hs (m)	
1	3,00	2,25
2	3,00	2,25
3	3,00	2,25
4	3,00	2,25
5	3,00	2,25
6	3,00	2,25
7	3,00	2,25
8	3,00	2,25
9	3,00	2,25
10	3,00	2,25
11	2,75	2,25
12	2,50	2,00
13	2,75	2,25
14	3,00	2,25
15	2,75	2,25
16	3,00	2,25
17	2,75	2,25
18	3,00	2,25
19	2,75	2,25
20	3,00	2,25

Annexe 4 : Résultats du set-up et du niveau marin pour les différents évènements

La cote générant le plus haut niveau marin correspond à la cote maximum de la colonne « niveau marin extrême » dans les graphiques suivant.

CONCARNEAU		Secteurs											
Cas de calculs	Niveau d'eau (m IGN) : Marée + vent et pression	1			2			3			4		
		Setup (m)	Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)	Setup (m)	Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)	Setup (m)	Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)	Setup (m)	Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)
1	2,80	0,65	0,45	3,90	0,70	0,45	3,95	0,70	0,45	3,95	0,70	0,45	3,95
2	2,90	0,60	0,45	3,95	0,65	0,45	4,00	0,65	0,45	4,00	0,65	0,45	4,00
3	2,96	0,55	0,45	3,96	0,60	0,45	4,01	0,60	0,45	4,01	0,60	0,45	4,01
4	3,03	0,45	0,45	3,93	0,50	0,45	3,98	0,50	0,45	3,98	0,50	0,45	3,98
5	3,12	0,35	0,45	3,92	0,40	0,45	3,97	0,40	0,45	3,97	0,40	0,45	3,97
6	3,18	0,30	0,45	3,93	0,35	0,45	3,98	0,35	0,45	3,98	0,35	0,45	3,98
7	3,25	0,25	0,45	3,95	0,30	0,45	4,00	0,30	0,45	4,00	0,30	0,45	4,00
8	3,34	0,20	0,45	3,99	0,25	0,45	4,04	0,25	0,45	4,04	0,25	0,45	4,04
9	3,41	0,15	0,45	4,01	0,20	0,45	4,06	0,20	0,45	4,06	0,20	0,45	4,06
10	3,48	0,13	0,45	4,06	0,15	0,45	4,08	0,15	0,45	4,08	0,15	0,45	4,08
11	3,56	0,10	0,45	4,11	0,10	0,45	4,11	0,10	0,45	4,11	0,10	0,45	4,11
12	3,63	0,08	0,45	4,16	0,05	0,45	4,13	0,05	0,45	4,13	0,05	0,45	4,13
13	3,58	0,15	0,45	4,18	0,15	0,45	4,18	0,15	0,45	4,18	0,15	0,45	4,18
15	3,47	0,15	0,45	4,07	0,15	0,45	4,07	0,15	0,45	4,07	0,15	0,45	4,07
17	2,80	0,35	0,45	3,60	0,35	0,45	3,60	0,35	0,45	3,60	0,35	0,45	3,60
19	3,35	0,15	0,45	3,95	0,15	0,45	3,95	0,15	0,45	3,95	0,15	0,45	3,95

CONCARNEAU										
Cas de calculs	Niveau d'eau (m IGN) : Marée + vent et pression	E1a			E1b			E2		
		Setup (m)	Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)	Setup (m)	Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)	Setup (m)	Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)
1	2,80	0,65	0,45	3,90		0,45	3,25		0,45	3,25
2	2,90	0,60	0,45	3,95		0,45	3,35		0,45	3,35
3	2,96	0,55	0,45	3,96		0,45	3,41		0,45	3,41
4	3,03	0,45	0,45	3,93		0,45	3,48		0,45	3,48
5	3,12	0,35	0,45	3,92		0,45	3,57		0,45	3,57
6	3,18	0,30	0,45	3,93		0,45	3,63		0,45	3,63
7	3,25	0,25	0,45	3,95		0,45	3,70		0,45	3,70
8	3,34	0,20	0,45	3,99		0,45	3,79		0,45	3,79
9	3,41	0,15	0,45	4,01		0,45	3,86		0,45	3,86
10	3,48	0,13	0,45	4,06		0,45	3,93		0,45	3,93
11	3,56	0,10	0,45	4,11		0,45	4,01		0,45	4,01
12	3,63	0,08	0,45	4,16		0,45	4,08		0,45	4,08
13	3,58	0,15	0,45	4,18		0,45	4,03		0,45	4,03
15	3,47	0,15	0,45	4,07		0,45	3,92		0,45	3,92
17	2,80	0,35	0,45	3,60		0,45	3,25		0,45	3,25
19	3,35	0,15	0,45	3,95		0,45	3,80		0,45	3,80

LA FORET-FOUESNANT			Secteur		
Cas de calculs	Niveau d'eau (m IGN) : Marée + vent et pression	Adaptation du niveau de la commune par rapport au niveau d'eau de l'évènement de mars 2008 enregistré à la	5		
			Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)
1	2,88		0,45	0,65	3,98
2	2,96		0,45	0,63	4,04
3	3,03		0,45	0,60	4,08
4	3,09		0,45	0,48	4,02
5	3,17		0,45	0,35	3,97
6	3,24		0,45	0,30	3,99
7	3,30		0,45	0,25	4,00
8	3,38		0,45	0,20	4,03
9	3,45		0,45	0,15	4,05
10	3,50		0,45	0,13	4,08
11	3,60		0,45	0,10	4,15
12	3,65		0,45	0,08	4,18
13	3,58	0,05	0,45	0,15	4,23
15	3,47	0,05	0,45	0,15	4,12
17	2,80	0,05	0,45	0,35	3,65
19	3,35	0,05	0,45	0,15	4,00

LA FORET-FOUESNANT			Secteur											
Cas de calculs	Niveau d'eau (m IGN) : Marée + vent et pression	Adaptation du niveau de la commune par rapport au niveau d'eau de l'évènement de mars 2008 enregistré à la	E3a			E3b			E4a			E4b		
			Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)	Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)	Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)	Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)
1	2,88		0,45	0,65	3,98	0,45		3,33	0,45	0,65	3,98	0,45		3,33
2	2,96		0,45	0,63	4,04	0,45		3,41	0,45	0,63	4,04	0,45		3,41
3	3,03		0,45	0,60	4,08	0,45		3,48	0,45	0,60	4,08	0,45		3,48
4	3,09		0,45	0,48	4,02	0,45		3,54	0,45	0,48	4,02	0,45		3,54
5	3,17		0,45	0,35	3,97	0,45		3,62	0,45	0,35	3,97	0,45		3,62
6	3,24		0,45	0,30	3,99	0,45		3,69	0,45	0,30	3,99	0,45		3,69
7	3,30		0,45	0,25	4,00	0,45		3,75	0,45	0,25	4,00	0,45		3,75
8	3,38		0,45	0,20	4,03	0,45		3,83	0,45	0,20	4,03	0,45		3,83
9	3,45		0,45	0,15	4,05	0,45		3,90	0,45	0,15	4,05	0,45		3,90
10	3,50		0,45	0,13	4,08	0,45		3,95	0,45	0,13	4,08	0,45		3,95
11	3,60		0,45	0,10	4,15	0,45		4,05	0,45	0,10	4,15	0,45		4,05
12	3,65		0,45	0,08	4,18	0,45		4,10	0,45	0,08	4,18	0,45		4,10
13	3,58	0,05	0,45	0,15	4,23	0,45		4,08	0,45	0,15	4,23	0,45		4,08
15	3,47	0,05	0,45	0,15	4,12	0,45		3,97	0,45	0,15	4,12	0,45		3,97
17	2,80	0,05	0,45	0,35	3,65	0,45		3,30	0,45	0,35	3,65	0,45		3,30
19	3,35	0,05	0,45	0,15	4,00	0,45		3,85	0,45	0,15	4,00	0,45		3,85

LA FORET-FOUESNANT			Secteur								
Cas de calculs	Niveau d'eau (m IGN) : Marée + vent et pression	Adaptation du niveau de la commune par rapport au niveau d'eau de l'évènement de mars 2008 enregistré à la	E5a			E5b			E5c		
			Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)	Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)	Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)
1	2,88		0,45	0,65	3,98	0,45		3,33	0,45		3,33
2	2,96		0,45	0,63	4,04	0,45		3,41	0,45		3,41
3	3,03		0,45	0,60	4,08	0,45		3,48	0,45		3,48
4	3,09		0,45	0,48	4,02	0,45		3,54	0,45		3,54
5	3,17		0,45	0,35	3,97	0,45		3,62	0,45		3,62
6	3,24		0,45	0,30	3,99	0,45		3,69	0,45		3,69
7	3,30		0,45	0,25	4,00	0,45		3,75	0,45		3,75
8	3,38		0,45	0,20	4,03	0,45		3,83	0,45		3,83
9	3,45		0,45	0,15	4,05	0,45		3,90	0,45		3,90
10	3,50		0,45	0,13	4,08	0,45		3,95	0,45		3,95
11	3,60		0,45	0,10	4,15	0,45		4,05	0,45		4,05
12	3,65		0,45	0,08	4,18	0,45		4,10	0,45		4,10
13	3,58	0,05	0,45	0,15	4,23	0,45		4,08	0,45		4,08
15	3,47	0,05	0,45	0,15	4,12	0,45		3,97	0,45		3,97
17	2,80	0,05	0,45	0,35	3,65	0,45		3,30	0,45		3,30
19	3,35	0,05	0,45	0,15	4,00	0,45		3,85	0,45		3,85

FOUESNANT			Secteurs											
Cas de calculs	Niveau d'eau (m IGN) : Marée + vent et pression	Adaptation du niveau de la commune par rapport au niveau d'eau de l'évènement de mars 2008 enregistré à la commune de Concarneau	6			7			8			9		
			Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)	Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)	Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)	Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)
1	2.88		0.45	0.60	3.93	0.45	0.55	3.88	0.45	0.60	3.93	0.45	0.70	4.03
2	2.96		0.45	0.58	3.99	0.45	0.53	3.94	0.45	0.55	3.96	0.45	0.65	4.06
3	3.03		0.45	0.55	4.03	0.45	0.50	3.98	0.45	0.50	3.98	0.45	0.60	4.08
4	3.09		0.45	0.45	3.99	0.45	0.40	3.94	0.45	0.40	3.94	0.45	0.50	4.04
5	3.17		0.45	0.35	3.97	0.45	0.30	3.92	0.45	0.30	3.92	0.45	0.40	4.02
6	3.24		0.45	0.30	3.99	0.45	0.28	3.97	0.45	0.25	3.94	0.45	0.35	4.04
7	3.30		0.45	0.25	4.00	0.45	0.25	4.00	0.45	0.20	3.95	0.45	0.30	4.05
8	3.38		0.45	0.20	4.03	0.45	0.20	4.03	0.45	0.15	3.98	0.45	0.25	4.08
9	3.45		0.45	0.15	4.05	0.45	0.15	4.05	0.45	0.10	4.00	0.45	0.20	4.10
10	3.50		0.45	0.13	4.08	0.45	0.13	4.08	0.45	0.10	4.05	0.45	0.18	4.13
11	3.60		0.45	0.10	4.15	0.45	0.10	4.15	0.45	0.10	4.15	0.45	0.15	4.20
12	3.65		0.45	0.08	4.18	0.45	0.08	4.18	0.45	0.08	4.18	0.45	0.13	4.23
13	3.58	0.05	0.45	0.15	4.23	0.45	0.15	4.23	0.45	0.10	4.18	0.45	0.15	4.23
15	3.47	0.05	0.45	0.15	4.12	0.45	0.15	4.12	0.45	0.10	4.07	0.45	0.15	4.12
17	2.80	0.05	0.45	0.35	3.65	0.45	0.35	3.65	0.45	0.30	3.60	0.45	0.35	3.65
19	3.35	0.05	0.45	0.15	4.00	0.45	0.15	4.00	0.45	0.10	3.95	0.45	0.15	4.00

FOUESNANT			Secteurs								
Cas de calculs	Niveau d'eau (m IGN) : Marée + vent et pression	Adaptation du niveau de la commune par rapport au niveau d'eau de l'évènement de mars 2008 enregistré à la commune de Concarneau	10			11			12		
			Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)	Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)	Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)
1	2.88		0.45	0.80	4.13	0.45	0.70	4.03	0.45	0.70	4.03
2	2.96		0.45	0.75	4.16	0.45	0.65	4.06	0.45	0.65	4.06
3	3.03		0.45	0.70	4.18	0.45	0.60	4.08	0.45	0.60	4.08
4	3.09		0.45	0.60	4.14	0.45	0.50	4.04	0.45	0.50	4.04
5	3.17		0.45	0.50	4.12	0.45	0.40	4.02	0.45	0.40	4.02
6	3.24		0.45	0.45	4.14	0.45	0.35	4.04	0.45	0.35	4.04
7	3.30		0.45	0.40	4.15	0.45	0.30	4.05	0.45	0.30	4.05
8	3.38		0.45	0.35	4.18	0.45	0.25	4.08	0.45	0.25	4.08
9	3.45		0.45	0.30	4.20	0.45	0.20	4.10	0.45	0.20	4.10
10	3.50		0.45	0.25	4.20	0.45	0.18	4.13	0.45	0.18	4.13
11	3.60		0.45	0.20	4.25	0.45	0.15	4.20	0.45	0.15	4.20
12	3.65		0.45	0.15	4.25	0.45	0.13	4.23	0.45	0.13	4.23
13	3.58	0.05	0.45	0.30	4.38	0.45	0.20	4.28	0.45	0.20	4.28
15	3.47	0.05	0.45	0.30	4.27	0.45	0.20	4.17	0.45	0.20	4.17
17	2.80	0.05	0.45	0.50	3.80	0.45	0.40	3.70	0.45	0.40	3.70
19	3.35	0.05	0.45	0.30	4.15	0.45	0.20	4.05	0.45	0.20	4.05

FOUESNANT								
Cas de calculs	Niveau d'eau (m IGN) : Marée + vent et pression	Adaptation du niveau de la commune par rapport au niveau d'eau de l'évènement de mars 2008 enregistré à la commune de Concarneau	E6a			E6b		
			Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)	Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)
1	2,88		0,45	0,70	4,03	0,45		3,33
2	2,96		0,45	0,65	4,06	0,45		3,41
3	3,03		0,45	0,60	4,08	0,45		3,48
4	3,09		0,45	0,50	4,04	0,45		3,54
5	3,17		0,45	0,40	4,02	0,45		3,62
6	3,24		0,45	0,35	4,04	0,45		3,69
7	3,30		0,45	0,30	4,05	0,45		3,75
8	3,38		0,45	0,25	4,08	0,45		3,83
9	3,45		0,45	0,20	4,10	0,45		3,90
10	3,50		0,45	0,18	4,13	0,45		3,95
11	3,60		0,45	0,15	4,20	0,45		4,05
12	3,65		0,45	0,13	4,23	0,45		4,10
13	3,58	0,05	0,45	0,20	4,28	0,45		4,08
15	3,47	0,05	0,45	0,20	4,17	0,45		3,97
17	2,80	0,05	0,45	0,40	3,70	0,45		3,30
19	3,35	0,05	0,45	0,20	4,05	0,45		3,85

FOUESNANT (Iles de Glénan)			Secteurs		
Cas de calculs	Niveau d'eau (m IGN) : Marée + vent et pression	Adaptation du niveau de la commune par rapport au niveau d'eau de l'évènement de mars 2008 enregistré à la commune de Concarneau	Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)
1	2,98		0,45	0,70	4,13
2	3,06		0,45	0,65	4,16
3	3,13		0,45	0,60	4,18
4	3,19		0,45	0,50	4,14
5	3,27		0,45	0,40	4,12
6	3,34		0,45	0,35	4,14
7	3,40		0,45	0,30	4,15
8	3,48		0,45	0,25	4,18
9	3,55		0,45	0,20	4,20
10	3,60		0,45	0,15	4,20
11	3,70		0,45	0,10	4,25
12	3,75		0,45	0,08	4,28
13	3,58	0	0,45	0,20	4,23
15	3,47	0	0,45	0,20	4,12
17	2,80	0	0,45	0,40	3,65
19	3,35	0	0,45	0,20	4,00

BENODET			Secteurs					
Cas de calculs	Niveau d'eau (m IGN) : Marée + vent et pression	Adaptation du niveau de la commune par rapport au niveau d'eau de l'évènement de mars 2008 enregistré à la commune de Concarneau	13			14		
			Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)	Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)
1	2,67		0,45	0,60	3,72	0,45	0,70	3,82
2	2,77		0,45	0,55	3,77	0,45	0,65	3,87
3	2,86		0,45	0,50	3,81	0,45	0,60	3,91
4	2,93		0,45	0,43	3,81	0,45	0,50	3,88
5	3,03		0,45	0,35	3,83	0,45	0,40	3,88
6	3,11		0,45	0,30	3,86	0,45	0,35	3,91
7	3,19		0,45	0,25	3,89	0,45	0,30	3,94
8	3,28		0,45	0,20	3,93	0,45	0,25	3,98
9	3,35		0,45	0,15	3,95	0,45	0,20	4,00
10	3,45		0,45	0,13	4,03	0,45	0,15	4,05
11	3,55		0,45	0,10	4,10	0,45	0,10	4,10
12	3,60		0,45	0,08	4,13	0,45	0,08	4,13
13	3,58	0,2	0,45	0,15	4,38	0,45	0,20	4,43
15	3,47	0,2	0,45	0,15	4,27	0,45	0,20	4,32
17	2,80	0,2	0,45	0,35	3,80	0,45	0,40	3,85
19	3,35	0,2	0,45	0,15	4,15	0,45	0,20	4,20

BENODET			Secteurs					
Cas de calculs	Niveau d'eau (m IGN) : Marée + vent et pression	Adaptation du niveau de la commune par rapport au niveau d'eau de l'évènement de mars 2008 enregistré à la commune de Concarneau	E7a			E7b		
			Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)	Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)
1	2,67		0,45	0,70	3,82	0,45		3,12
2	2,77		0,45	0,65	3,87	0,45		3,22
3	2,86		0,45	0,60	3,91	0,45		3,31
4	2,93		0,45	0,50	3,88	0,45		3,38
5	3,03		0,45	0,40	3,88	0,45		3,48
6	3,11		0,45	0,35	3,91	0,45		3,56
7	3,19		0,45	0,30	3,94	0,45		3,64
8	3,28		0,45	0,25	3,98	0,45		3,73
9	3,35		0,45	0,20	4,00	0,45		3,80
10	3,45		0,45	0,15	4,05	0,45		3,90
11	3,55		0,45	0,10	4,10	0,45		4,00
12	3,60		0,45	0,08	4,13	0,45		4,05
13	3,58	0,2	0,45	0,20	4,43	0,45		4,23
15	3,47	0,2	0,45	0,20	4,32	0,45		4,12
17	2,80	0,2	0,45	0,40	3,85	0,45		3,45
19	3,35	0,2	0,45	0,20	4,20	0,45		4,00