



# Plan de Prévention des Risques Naturels Littoraux

Département du Finistère

PPRN-L 1

Phase 2 : Caractérisation des aléas

Rapport – version définitive



12/07/2016

HYN21668L



## Informations qualité du document

### Informations générales

<b>Auteur(s)</b>	Guillaume GHESQUIERE, Amel MECHROUH, M-Laure BOSSIS
<b>Titre du projet</b>	Plan de Prévention des Risques Naturels Littoraux –PPRN-L 1
<b>Titre du document</b>	Phase 2 : Rapport
<b>Date</b>	<b>12/07/2016 – modifié suite à enquête publique</b>
<b>Référence</b>	<b>HYN21668L</b>

### Destinataires

Envoyé à :		
Nom	Organisme	Envoyé le :
D. BLAISE	DDTM	29/06/2016
Copie à :		
Nom	Organisme	Envoyé le :

### Historique modifications

Version	Date	Rédigé par	Visé par :
V0	21/10/2013	Guillaume GHESQUIERE	Jacques PIALLAT/ Marie-Laure BOSSIS
V1	06/12/2013	Guillaume GHESQUIERE	Jacques PIALLAT/ Marie-Laure BOSSIS
V2	22/08/2014	Guillaume GHESQUIERE, Amel MECHROUH	Jacques PIALLAT / ML BOSSIS
V3	6/11/2014	Guillaume GHESQUIERE, Amel MECHROUH	ML BOSSIS
V4	18/12/2014	Guillaume GHESQUIERE, Amel MECHROUH, ML BOSSIS	ML BOSSIS
V5	12/02/2015	ML BOSSIS	PA RIELLAND
V6	11/10/2015	ML. BOSSIS	
V7	04/11/2015	ML. BOSSIS	
V8	03/02/2016	Z.LAURENT	ML.BOSSIS
V9	29/06/2016	ML.BOSSIS (suite aux modifications de l'enquête publique)	



## Sommaire

<b>Sommaire</b>	<b>4</b>
<b>Table des annexes</b>	<b>7</b>
<b>Atlas cartographique (document spécifique)</b>	<b>7</b>
<b>Acronymes et abréviations</b>	<b>8</b>
<b>Lexique</b>	<b>10</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>15</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>17</b>
<b>Préambule</b>	<b>18</b>
<b>Chapitre 1 - Introduction</b>	<b>19</b>
1 Règlementation	19
2 Contexte et objectif global des PPRN-L	19
3 Phasage	20
4 Objectif du présent rapport	20
<b>Chapitre 2 - Sources</b>	<b>21</b>
1 Documents	21
2 Sites internet	24
<b>Chapitre 3 - Statistique des houles et des niveaux marins</b>	<b>25</b>
1 <b>Statistiques des houles extrêmes au large</b>	<b>25</b>
1.1 Données disponibles sur le PPRLN1	25
1.2 Houles extrêmes	26
1.2.1 Détermination des houles extrêmes par secteur directionnel	26
1.2.2 Houles extrêmes considérées dans le cadre du PPRLN	29
1.3 Choix des houles à modéliser dans le cadre de l'étude	31
1.3.1 De Combrit au Guilvinec	31
1.3.2 Penmarc'h	32
1.3.3 Bilan	32
2 <b>Etude des niveaux marins théoriques</b>	<b>32</b>
3 <b>Corrélation entre houles extrêmes au large et niveaux marins théoriques</b>	<b>34</b>
3.1 Présentation de la méthode de CIRIA	34
3.2 Choix du coefficient de corrélation	35
3.3 Résultats obtenus	36
<b>Chapitre 4 - Définition des évènements à la côte</b>	<b>40</b>
1 <b>Méthodologie</b>	<b>40</b>
2 <b>Détermination des évènements incidents</b>	<b>41</b>
2.1 Evènements historiques considérés	41
2.2 Focus sur les tempêtes dommageables à l'échelle des bassins de risque hiver 2013-2014	45

2.3 Comparaisons des périodes de retour et choix des tempêtes incidentes à retenir .....	46
<b>3 Propagation des houles du large à la côte.....</b>	<b>50</b>
3.1 Présentation du modèle .....	50
3.2 Le modèle et son emprise .....	50
3.2.1 Emprise des modèles.....	51
3.2.2 Bathymétrie du modèle .....	53
3.2.3 Maillage du modèle .....	54
3.2.4 Calage du modèle .....	56
3.2.5 Cas de calculs retenus .....	61
3.3 Résultats issus des modélisations numériques .....	65
3.3.1 Hauteurs significatives.....	65
3.3.2 Mers de vent.....	69
3.3.3 Setup et définition des niveaux marin à la côte .....	70
<b>4 Définition des niveaux marins à la côte .....</b>	<b>72</b>
4.1 Définition des niveaux marin hors zones estuariennes.....	72
4.2 Niveaux marins dans les estuaires.....	75
4.2.1 Les zones estuariennes.....	75
4.2.2 L'estimation des niveaux marins en fond d'estuaire .....	76
4.3 Détermination des évènements hydrodynamiques passés de période de retour supérieure à 100 ans à la côte .....	79
<b>5 Calculs des franchissements .....</b>	<b>80</b>
5.1 Analyse du littoral .....	80
5.2 Période de calcul des franchissements.....	80
5.3 Construction des cycles de marée .....	81
5.4 Méthode de calculs des franchissements .....	82
5.4.1 Présentation des formules pour les digues :.....	83
5.4.2 Présentation des formules pour les cordons dunaires :.....	84
5.4.3 Présentation des formules pour les ouvrages verticaux : .....	84
5.5 Résultats des calculs de franchissements .....	85
<b>Chapitre 5 - Aléa érosion .....</b>	<b>87</b>
<b>1 Méthodologie .....</b>	<b>87</b>
1.1 Principes de caractérisation et de cartographie de l'aléa.....	87
1.2 Prise en compte des ouvrages de protection.....	89
1.2.1 Côtes basses meubles .....	89
1.2.2 Minima pris en compte pour les côtes artificialisées.....	92
1.2.3 Côtes à falaises.....	93
1.3 Prise en compte du changement climatique .....	93
1.4 Qualification de l'aléa .....	94
<b>2 Analyse de l'évolution du trait de côte à 100 ans.....</b>	<b>94</b>
2.1 Bilan du recul moyen annuel historique « Tx » .....	96
2.2 Analyse du recul maximal lors d'une tempête « Lmax ».....	99
2.2.1 Commune de Combrit : .....	99
2.2.2 Commune de l'Île Tudy .....	101
2.2.3 Commune de Pont l'Abbé : .....	101
2.2.4 Commune de Loctudy .....	101
2.2.5 Commune de Plobannaec-Lesconil.....	102
2.2.6 Commune de Treffiagat.....	103
2.2.7 Commune du Guilvinec .....	104
2.2.8 Commune de Penmarc'h.....	105
2.2.9 Conclusion.....	106
2.3 Bilan.....	109
<b>Chapitre 6 - Aléa submersion marine .....</b>	<b>114</b>
<b>1 Choix des scénarios références.....</b>	<b>114</b>

1.1	Méthodologie .....	114
1.1.1	Découpage du littoral .....	114
1.1.2	Choix de l'évènement de référence pour chaque tronçon de littoral.....	115
1.1.3	Choix du scénario de défaillance pour les tronçons de type structure de protection.....	118
1.2	Application sur chaque bassin de risque.....	125
1.2.1	Combrit (de Sainte Marine à la plage de Kermor) .....	128
1.2.2	Bassin de risque Combrit / Ile-Tudy .....	129
1.2.3	Le centre bourg de l'Ile Tudy .....	135
1.2.4	L'estuaire de la rivière de Pont l'Abbé .....	136
1.2.5	La zone côtière depuis la pointe de Langoz à Poulluen .....	137
1.2.6	Bassin de risque de Ster Kerdour.....	150
1.2.7	Plobannalec/Lesconil .....	154
1.2.8	Treffiatgat depuis Kersauz à Lechiagat .....	157
1.2.9	Port du Guilvinec .....	165
1.2.10	Le Guilvinec et Penmarc'h : bassin de risque de Kerity .....	167
1.2.11	Bassin de risque de Penmarc'h depuis Kervily à St-Guérolé.....	173
1.2.12	Pors Carn à Penmarc'h .....	182
2	<b>La caractérisation de l'aléa.....</b>	<b>185</b>
2.1	Méthode superposition topographique.....	186
2.2	La répartition des volumes entrants sur la topographie, via une modélisation simplifiée à casier .....	187
2.2.1	Les volumes entrants par rupture ou par débordement.....	187
2.2.2	Les volumes franchis par paquets de mer.....	188
2.2.3	Les données topographiques qui permettent de créer le modèle simplifié à casiers.....	188
2.3	L'utilisation d'un modèle hydraulique 2D.....	189
2.3.1	Le logiciel IWRS .....	189
2.3.2	La définition du maillage de la topographie .....	190
2.3.3	La prise en compte de l'occupation du sol et du bâti .....	191
2.3.4	La prise en compte des ruptures des structures de protection .....	192
2.3.5	Le calage et les tests de sensibilité .....	192
2.3.6	La représentation de l'effet de nasse avec l'utilisation des modèles 2D.....	193
2.4	La démarche menant à la caractérisation de l'aléa.....	193
2.4.1	Vérification de l'inondabilité effective des différentes zones basses submergées.....	194
2.4.2	Définition des zones submergée uniquement par franchissement par paquets de mer .....	194
2.4.3	Qualification des critères de dynamique de submersion .....	196
2.4.4	Spécificité bande de précaution .....	196
2.4.5	Aléa spécifique choc mécanique des vagues et projection .....	197
2.5	La qualification de l'aléa submersion .....	198
2.5.1	Méthode de qualification de l'aléa submersion.....	198
2.5.2	Application de la méthode de qualification de l'aléa submersion.....	200
2.6	Guide de lecture des cartes d'aléa submersion .....	203
2.7	Guide de lecture des cartes des cotes d'eau .....	206

## Table des annexes

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

Annexe 2 : Calage du modèle SWAN – Modèle n°2

Annexe 3 : Résultats modélisations SWAN – Modèle n°1

Annexe 4 : Résultats modélisations SWAN – Modèle n°2

Annexe 5 : Résultats des houles spécifiques pour les différents évènements

Annexe 6 : 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

<b>ANEMOC</b>	Atlas Numérique d'Etats de Mer Océanique et Côtier
<b>BD ALTI</b>	Base de Données Altimétrique de l'IGN
<b>BRGM</b>	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
<b>CATNAT</b>	Catastrophe Naturelle
<b>CD</b>	Tronçon du littoral de type cordon dunaire
<b>CEREMA</b>	Centre d'Etude et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement
<b>CETE</b>	Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement
<b>CETMEF</b>	Centre d'Études Techniques Maritimes et Fluviales
<b>CM</b>	Cote marine
<b>DDE</b>	Direction Départementale de l'Equipement
<b>DDTM</b>	Direction Départementale des Territoires et de la Mer
<b>DGPR</b>	Direction Générale de la Prévention des Risques
<b>DREAL</b>	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
<b>E</b>	Est
<b>EDF R&amp;D LNHE</b>	EDF, département Recherche et Développement, Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement
<b>ERNM</b>	Evènement référence générant le plus haut niveau marin
<b>ERV</b>	Evènement référence générant les volumes franchis les plus importants
<b>EST</b>	Tronçon du littoral en estuaire
<b>GR</b>	Grande Randonnée
<b>IGN</b>	Institut National de l'Information Géographique et Forestière
<b>IFREMER</b>	Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer
<b>IUEM</b>	Institut Universitaire Européen de la Mer
<b>LIDAR</b>	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.
<b>MATE</b>	Ministère de l'Aménagement, du Territoire et de l'Environnement
<b>MEDDE</b>	Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie
<b>MEDDTL</b>	Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement
<b>METL</b>	Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement
<b>MNT</b>	Modèle Numérique de Terrain



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

## Lexique

<b>Accrétion engraissement accumulation)</b> (ou ou	Progression de la ligne de rivage par accumulation de sédiments.
<b>Aléa</b>	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).
<b>Aléa de référence</b>	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.
<b>Arrière-côte</b>	Espace terrestre du rivage situé au-dessus du niveau des plus hautes mers.
<b>Avant-côte</b>	Espace ou domaine côtier sous le niveau des plus basses mers, proche du rivage, concerné par des échanges avec la côte.
<b>Bassin de risque</b>	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> ).
<b>Budget sédimentaire (ou bilan sédimentaire)</b>	Bilan des apports et des pertes en sédiments sur une zone.
<b>Caoudeyre siffle-vent)</b> (ou	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.
<b>Cellule sédimentaire (ou unité sédimentaire)</b>	Cellule du littoral indépendante du point de vue des transits sédimentaires.
<b>Climat de houle (ou de climatologie de houle)</b>	Caractéristiques des houles (hauteur, période, direction, etc.) en un point.
<b>Cordon dunaire</b>	Formation littorale constituée d'une accumulation de sable, parallèle à la côte.
<b>Corrélogramme</b>	Corrélation entre deux variables dans le temps.
<b>Dérive littorale</b>	Flux de sédiments sensiblement parallèle au rivage, en proche côtier, résultant de différentes causes : vagues, courants, vent.

<b>Digues côtières</b>	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.
<b>Drosser</b>	En parlant du vent, des courants, pousser un navire vers un danger, une obstruction, et par extension vers la côte.
<b>Dune (ou cordon dunaire)</b>	Formation sableuse d'origine éolienne, généralement parallèle à la côte.
<b>Enjeux</b>	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.
<b>Érosion (ou démaigrissement)</b>	Perte de sédiments pouvant entraîner un recul du trait de côte ou un abaissement de l'estran ou de la plage.
<b>Estran</b>	Espace compris entre le niveau des plus hautes et des plus basses mers connues ou zone de balancement des marées.
<b>Estuaire</b>	Embouchure d'un fleuve sur la mer.
<b>États de mer</b>	Agitation locale de la mer due à la superposition de la mer, du vent et de la houle.
<b>Evènement naturel</b>	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.
<b>Evènement naturel de référence</b>	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.
<b>Evènement historique</b>	Evènement naturel ayant eu lieu
<b>Evènement théorique</b>	Evènement naturel statistique. Il présente une période de retour (ex : évènement centennale : il a 1 chance sur 100 de se produire chaque année)
<b>Falaise</b>	Escarpeement vertical ou sub-vertical.
<b>Flèche littorale</b>	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.

<b>Flot</b>	Période pendant laquelle la marée est montante.
<b>Franchissement par paquets de mer</b>	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.
<b>Hauteur significative</b>	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).
<b>Houle</b>	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.
<b>Jet de rive</b>	Masse d'eau projetée sur un rivage vers le haut de l'estran par l'action du déferlement des vagues (en anglais : swash).
<b>Jusant</b>	Période pendant laquelle la marée est descendante
<b>Lagune</b>	Étendue d'eau à salinité variable, séparée de la mer par un cordon littoral.
<b>Loc'h</b>	Désigne généralement un étang côtier mais correspond localement à des prés inondés et des espaces marécageux.
<b>Lmax</b>	Désigne le recul maximal du trait de côte lors d'un évènement de tempête
<b>Marée astronomique</b>	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.
<b>Marnage</b>	Différence de hauteur d'eau entre une pleine mer et une basse mer successive.
<b>Mer du vent</b>	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.
<b>Morphodynamique</b>	Discipline consacrée à l'étude des formes littorales et à leur évolution sous l'action de facteurs hydrodynamiques et éoliens.
<b>Niveau d'eau</b>	Il s'agit de la cote m NGF à terre.
<b>Niveau marin au large</b>	Niveau intégrant les effets de la marée et de la surcote météorologique. Les niveaux extrêmes présentent des périodes de retour élevées
<b>Niveau marin à la côte</b>	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 élevées

<b>Niveau marin de référence</b>	Niveau marin à la côte associé à l'événement de référence.
<b>Ouvrage de protection côtier</b>	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.
<b>Palud</b>	Mot de vieux français désignant un marais.
<b>Période de retour</b>	Cela correspond à la probabilité d'observer un événement chaque année (ex : 1 chance sur 100 chaque année correspond à un événement de période de retour centennale)
<b>Placître</b>	Terrain vague, souvent herbeux, délimité par une clôture, fréquemment un mur, entourant les chapelles, églises ou fontaines bretonnes.
<b>Plage de poche</b>	(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.
<b>Platier</b>	Étendue rocheuse à l'affleurement sur l'estran.
<b>Polder</b>	Zone basse conquise sur la mer par endiguement.
<b>Profil de plage</b>	Topographie de la plage représentée dans un plan vertical orienté de la terre vers la mer.
<b>Risque</b>	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.
<b>Ru</b>	Petit ruisseau
<b>Run-up</b>	Altitude maximale atteinte par le jet de rive.
<b>Rupture</b>	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.
<b>Scénario d'événements</b>	Enchaînement d'événements naturels et technologiques, considéré à l'échelle du bassin de risque.
<b>Seiche</b>	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.
<b>Set-up</b>	cf. Surcote liée aux vagues.

<b>Structure côtière de protection</b>	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.
<b>Submersion</b>	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.
<b>Subsidence</b>	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 PPRLN.
<b>Sur-aléa</b>	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).
<b>Surcote</b>	Différence positive entre le niveau marégraphique observé/mesuré et le niveau de marée prédite.
<b>Surcote liée aux vagues</b>	Surcote locale provoquée par la dissipation d'énergie liée au déferlement des vagues.
<b>Surcote météorologique</b>	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.
<b>Surverse</b>	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>
<b>Système de protection/défense</b>	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.
<b>Terrigène</b>	Qui provient de l'érosion des terres émergées.
<b>Trait de côte</b>	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.
<b>Zone basse</b>	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 – PPRLN 1 .....	20
Figure 2 : Localisation des points ANEMOC sur le site du PPRLN1 .....	26
Figure 3 : Houles extrêmes au point ANEMOC 0421 – Modèle n°1 .....	27
Figure 4 : Houles extrêmes au point ANEMOC 1232 – Modèle n°2 .....	28
Figure 5 : Répartition des communes sur le PPRLN 1 .....	31
Figure 6 : Niveaux marins de pleines mers en Bretagne Sud – Période de retour de 100 ans (SHOM version 2008 et 2012) .....	33
Figure 7 : Correspondance et coefficients de corrélation (Rock Manual, CETMEF).....	35
Figure 8 : Evènements de période de retour centennale – PPRLN 1 .....	39
Figure 10 : Emprise du modèle n°1 .....	51
Figure 11 : Emprise du modèle n°2 .....	52
Figure 12 : Bathymétrie concaténée du modèle numérique n°1 .....	53
Figure 13 : Bathymétrie concaténée du modèle numérique n°2 .....	54
Figure 14 : Emprise des maillages du modèle numérique n°1.....	55
Figure 15 : Emprise des maillages du modèle numérique n°2.....	55
Figure 16 : Séries chronologiques utilisées pour les cas de calage du modèle numérique n°1.....	57
Figure 17 : Séries chronologiques utilisées pour les cas de calage du modèle numérique n°2.....	60
Figure 18 : Exemple de résultat d'agitation – Modèle n°1.....	65
Figure 19 : Exemple de résultat d'agitation – Modèle n°2.....	66
Figure 20 : Localisation des secteurs homogènes pour l'analyse des résultats du modèle SWAN – Modèles n°1 et 2 .....	67
Figure 21 : Bilan des Hs max de houle pour les 12 cas d'évènements théoriques centennaux – Modèles n°1 et 2 .....	68
Figure 22 : Longueur du fetch maximum .....	69
Figure 23 : Exemple de résultat du wave setup – Modèle n°1.....	71
Figure 24 : Exemple de résultat du wave setup – Modèle n°2.....	71
Figure 25 : Bilan des niveaux marins à la côte pour des évènements centennaux – Modèles n°1 et 2 .....	74
Figure 26 : Bilan des niveaux marins à la côte pour les évènements tempétueux – Modèles n°1 et 2.....	74
Figure 27 : Localisation des estuaires – PPRLN 1.....	75
Figure 28 : Schéma de la prise en compte des niveaux marins en zone estuarienne .....	77
Figure 29 : Bilan des niveaux marins (en m NGF) dans les estuaires pour les 4 évènements tempétueux – PPRLN1 .....	78
Figure 30 : Localisation des secteurs homogènes pour l'analyse des résultats du modèle SWAN – Modèles n°1 et 2 .....	82
Figure 31 : modèle de cycles de marée construit pour l'évènement marin de référence sur secteur S18 (Loctudy).....	82
Figure 32 : Illustration des vagues impulsives/non impulsives.....	84
Figure 33 : tableau de synthèse des calculs de franchissements sur chaque tronçon homogène exposé à la houle .....	86
Figure 34 : Démarche simplifiée de prise en compte des ouvrages .....	92
Figure 35 : Cartes présentant le recul moyen annuel historique du trait de côte « Tx » .....	99

Figure 36 : Cartes présentant le recul maximal du trait de côte lors d'une tempête « Lmax ».....	109
Figure 37 : Démarche pour le choix de l'évènement.... (à garder pour pas faire sauter la pagination) ....	116
Figure 38 : Démarche pour la prise en compte des structures humaines.....	119
Figure 39 : Démarche simplifiée de prise en compte des cordons dunaires.....	121
Figure 40 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Combrit .....	128
Figure 41 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux – Combrit.....	129
Figure 42 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Combrit/Ile tudy.....	129
Figure 43 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux – Combrit/Ile-Tudy.....	130
Figure 44 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Loctudy (1/2).....	137
Figure 45 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux – Loctudy (1/2).....	138
Figure 46 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Loctudy (2/2).....	150
Figure 47 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux – Loctudy (2/2).....	151
Figure 48 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Plobannalec/Lesconil .....	154
Figure 49 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux – Plobannalec/Lesconil .....	155
Figure 50 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Treffiagat.....	157
Figure 51 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux – Treffiagat.....	158
Figure 52 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Le Guilvinec/Penmarc'h .....	167
Figure 53 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux – Le Guilvinec/Penmarc'h .....	168
Figure 54 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Penmarc'h (1/3).....	174
Figure 55 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux – Penmarc'h (1/3).....	175
Figure 56 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Penmarc'h (2/3).....	176
Figure 57 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux – Penmarc'h (2/3).....	177
Figure 58 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Penmarc'h (3/3).....	182
Figure 59 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux – Penmarc'h (3/3).....	183
Figure 60 : démarche simplifié du choix de la méthode de caractérisation des aléas .....	185
Figure 61 : Représentation de la topographie de la zone de Combrit / Ile-Tudy sur la base des données LIDAR.....	191
Figure 62 : schéma précisant la définition de la bande de précaution (source : guide méthodologique du PPRLN29) .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 63 : Possibilité de déplacement des personnes en fonction de la vitesse d'écoulement et de la hauteur d'eau (source ; guide méthodologique du PPRLN) .....	199
Figure 64 : qualification de l'aléa lorsque les vitesses ne sont pas définies via un modèle 2D (extrait du guide PPRLN – Mai 2014) .....	199
Figure 65 : qualification de l'aléa lorsque les vitesses sont définies via un modèle 2D (extrait du guide PPRLN – Mai 2014) .....	199



## Liste des tableaux

Tableau 1 : Résultats statistiques au point ANEMOC 0421 – Modèle n°1.....	30
Tableau 2 : Résultats statistiques au point ANEMOC 1232 – Modèle n°2.....	30
Tableau 3 : Bilan des houles les plus dommageables par commune .....	32
Tableau 4 : Bilan des niveaux marins théoriques par commune – PPRLN 1.....	34
Tableau 5 : Tableau des corrélations pour les communes du PPRLN1.....	36
Tableau 6 : Caractéristiques océano-météorologiques des tempêtes de l'hiver 2013/2014 .....	43
Tableau 7 : Tableau des cas de calage retenus pour le modèle numérique n°1 .....	56
Tableau 8 : Tableau des résultats des cas de calage pour le modèle numérique n°1 .....	58
Tableau 9 : Tableau des cas de calage retenus pour le modèle numérique n°2 .....	59
Tableau 10 : Tableau des résultats des cas de calage du modèle numérique n°2.....	61
Tableau 11 : Tableau des cas de calculs SWAN – Modèle numérique n°1 .....	63
Tableau 12 : Tableau des cas de calculs SWAN – Modèle numérique n°2.....	64
Tableau 13 : Liste des zones estuariennes .....	75
Tableau 14 : Evènements hydrodynamiques passés supérieurs à la période de retour 100 ans pour chaque secteur .....	79
Tableau 15 : Bilan de l'analyse de l'évolution future du trait de côte .....	113
Tableau 16 : Côte niveau marin référence pour chaque tronçon et correspondance avec le « secteur » .....	127

## 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 PPRLN 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 PPRLN 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 PPRLN 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'évènements 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'évènement 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 Règlements

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 (PPRLN) 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 (PPRLN) 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 :

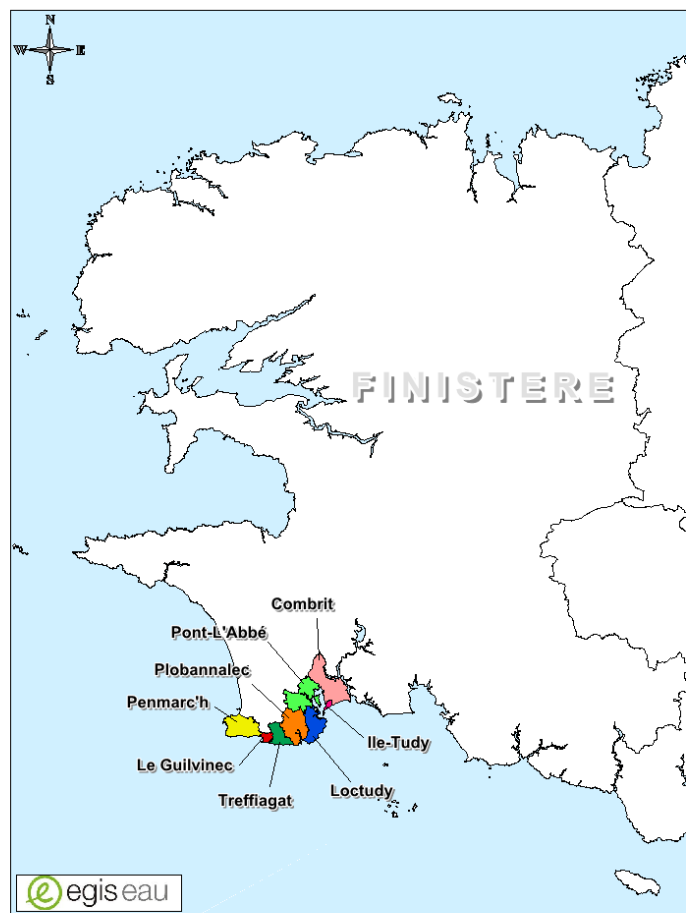
- **Phase 1** : L'analyse des sites. Elle permet de caractériser les phénomènes naturels présents sur le territoire de l'étude, l'historique des événements majeurs et leurs conséquences ainsi qu'une description du trait de côte.
- **Phase 2** : Caractérisation des aléas pour chaque site.
- **Phase 3**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

Les huit communes concernées par le présent PPRN-L sont localisées sur la carte suivante. Il s'agit de Penmarc'h, Le Guilvinec, Treffiagat, Plobannalec-Lesconil, Loctudy, Pont-L'Abbé, Ile-Tudy, Combrit.

**Figure 1 : Localisation des communes concernées – PPRN 1**



## Chapitre 2 - Sources

### 1 Documents

Référence	Liste des documents
<b>A – Documents liés au projet</b>	
A0	Guide méthodologique des PPRLN - mai 2014 - Direction Générale de la Prévention des Risques - Service des Risques Naturels et Hydrauliques
A1	DIGUE DE KERMOR, Étude de dangers, Dossier n° 18282, Rapport final – Ile-Tudy – Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement de l'Ouest – Septembre 2011
A2	Commune de Combrit, Confortement du cordon dunaire depuis le Treustel jusqu'à Kermor, Expertise Géomorphologique, Rapport d'étude – réalisé par Ptolémée pour SMLNL Combrit-Ile Tudy et DDE29 – 2001
A3	Défense côtière du Polder de Combrit, Schéma de confortement à court, moyen et long terme du cordon dunaire – SIVOM de Combrit Ile-Tudy – Avril 2011
A4	Etude diagnostic de défense côtière, Site du Polder de Combrit (communes de Combrit et de l'Ile Tudy), Rapport d'étude, 2 <sup>ème</sup> volet : Solutions techniques de défense côtière – Ptolémée, Kelenn-Techniconsult, Gaëlle Barbeau, Laurence David pour le Conservatoire de l'Espace Littoral et des Rivages Lacustres – 2004
A5	Étude des risques d'érosion et de submersion sur trois communes Bretonnes (notamment Combrit et Ile Tudy) – UBO, master Egel, PATEL
A6	Confortement du cordon dunaire dunaire de Léhan - expertise géomorphologique (commune de Treffiagat) – Ptolémée pour DDE 29 et commune de Treffiagat – 2002
A7	Étude ZPPAUP sur la commune de Pont-l'Abbé – 2010
A8	Plan de Prévention des Risques Naturels Prévisibles Submersion Marine, Communes de Combrit et de l'Ile Tudy – DDE 29 pour Préfecture 29 – 1997, 2000, 2002
A9	Plan de Prévention des Risques Naturels Prévisibles Submersion Marine, Communes de Loctudy, Plobannaec et Lesconil – DDE 29 pour Préfecture 29 – 1999, 2002
A10	Plan de Prévention des Risques Naturels Prévisibles Submersion Marine, Commune de Penmarc'h – DDE 29 pour Préfecture 29 – 1999, 2002
A11	Plan de Prévention des Risques Naturels Prévisibles Submersion marine, Commune de Treffiagat – DDE 29 pour Préfecture 29 – 1999, 2002

A12	Bulletins municipaux de la commune de Treffiagat – 1988-2011
A13	Étude préalable au projet de réhabilitation du cordon dunaire de Léchiagat – 2012
A14	Étude de la protection du littoral côte Finistère – SOGREAH – Mars 1976
A15	Confortement du cordon dunaire des Sables Blancs, réalisation d'épis transversaux, CCTP (commune de Plobannaec-Lesconil) – DDE – 2003
A16	Commune du Guilvinec, Bilan écologique des aménagements du site de la Grève Blanche – Le BIHAN INGENIEURIE – Juin 2008
A17	Réaménagement du réseau hydraulique et du maillage bocager – Confluences – 2000
A18	Compte-rendu de la réunion du 3 avril 2002 concernant l'étude géomorphologique sur le secteur de Léhan – Commune de Treffiagat
A19	Dunes de Léhan, Réfection des enrochements, Notice explicative et profils en travers – DDE Finistère – Février 2005
A20	Arrêté préfectoral relatif à la régularisation de l'occupation d'une dépendance du domaine public maritime par superposition de gestion comprenant une protection contre la mer en enrochement – Préfecture du Finistère – Février 2006
A21	Eléments de recollement, Chantier Stabiplage, Plage de Léhan – ESPACE PUR – Février 2011
A22	Extrait de registre des délibérations du Conseil Municipal de la commune de Treffiagat relatif aux travaux de confortement de la dune de Léhan – 02 août 2010
A23	Projet de confortement du cordon dunaire de Léhan, Notice d'impact – EGIS EAU – Juillet 2010
A24	Compte-rendu de la réunion du 10 mars 2010 relative à la défense côtière des dunes de Léhan – Commune de Treffiagat
A25	Arrêté préfectoral relatif à l'autorisation d'occupation temporaire du domaine public maritime pour la mise en place de ganivelles d'un tapis au niveau de Léhan – Préfecture du Finistère – Juin 2011
A26	Plans topographiques et profils en travers de la dune du Léhan – Cornouaille Ingénierie et Topographie – Octobre 2010
A27	Analyse coûts bénéfiques du projet de défense côtière du polder de Combrit / Ile-Tudy, Rapport final – Egis Eau – Janvier 2012
A28	Etude sédimentaire et notice d'incidence au titre du Code de l'Environnement, Protection d'urgence de la dune du Léhan – Egis Eau – Juillet 2010
A29	Digue de Stêr-Kerdour, Rapport de l'inspection périodique du service du contrôle du 27 mars 2012 – DREAL Bretagne

<b>B – Autres documents de référence</b>	
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
<b>C – Données disponibles</b>	
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
<a href="http://www.refmar.shom.fr">www.refmar.shom.fr</a>	Données de marégraphes
<a href="http://www.cocorisco.fr">www.cocorisco.fr</a>	Connaissance, compréhension et gestion des risques côtiers
<a href="http://www.sdap-finistere.culture.gouv.fr">www.sdap-finistere.culture.gouv.fr</a>	Anciennes cartes postales
<a href="http://www.archives-finistere.fr">www.archives-finistere.fr</a>	Cadastre napoléonien
<a href="http://www.geoportail.gouv.fr">www.geoportail.gouv.fr</a>	Cartes historiques
<a href="http://anemoc.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/carte2/">http://anemoc.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/carte2/</a>	Données de houles
<a href="http://www.windfinder.com">www.windfinder.com</a>	Données sur les vents



# Chapitre 3 - Statistique 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<sup>nde</sup> 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 ici pris en compte uniquement des points de niveau 2 et 3, soit des données statistiques de houle disponibles sur les points COAST 0281, COAST 2650, COAST 2632 et COAST 3268.**

### 1.1 Données disponibles sur le PPRLN1

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  $H_s$ , la période  $T_p$ , la direction et l'étalement directionnel.

La carte ci-après localise les différents points ANEMOC disponibles à proximité des côtes littorales du PPRLN1. Dans le cadre de notre étude, les points ANEMOC de niveau 1 suivants ont été retenus pour représenter les données de houle au large.

- Le point ANEMOC n°0421,
- Le point ANEMOC n°1232,
- Le point ANEMOC n°1176.

Le premier point servira de données d'entrées au modèle tandis que le deuxième plus proche de la côte, sera utilisé pour le calage du modèle afin de vérifier la pertinence des résultats obtenus numériquement.

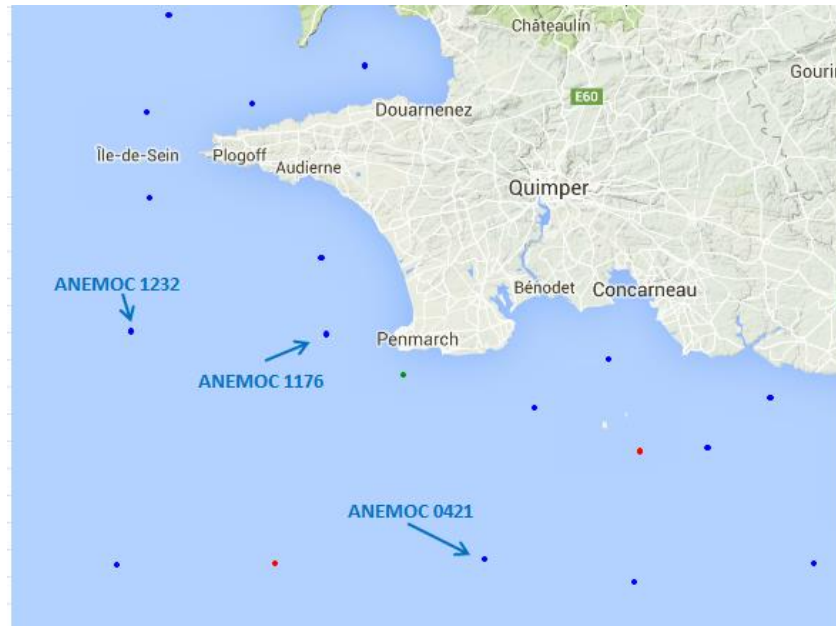


Figure 2 : Localisation des points ANEMOC sur le site du PPRLN1

## 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 PPRLN.

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.

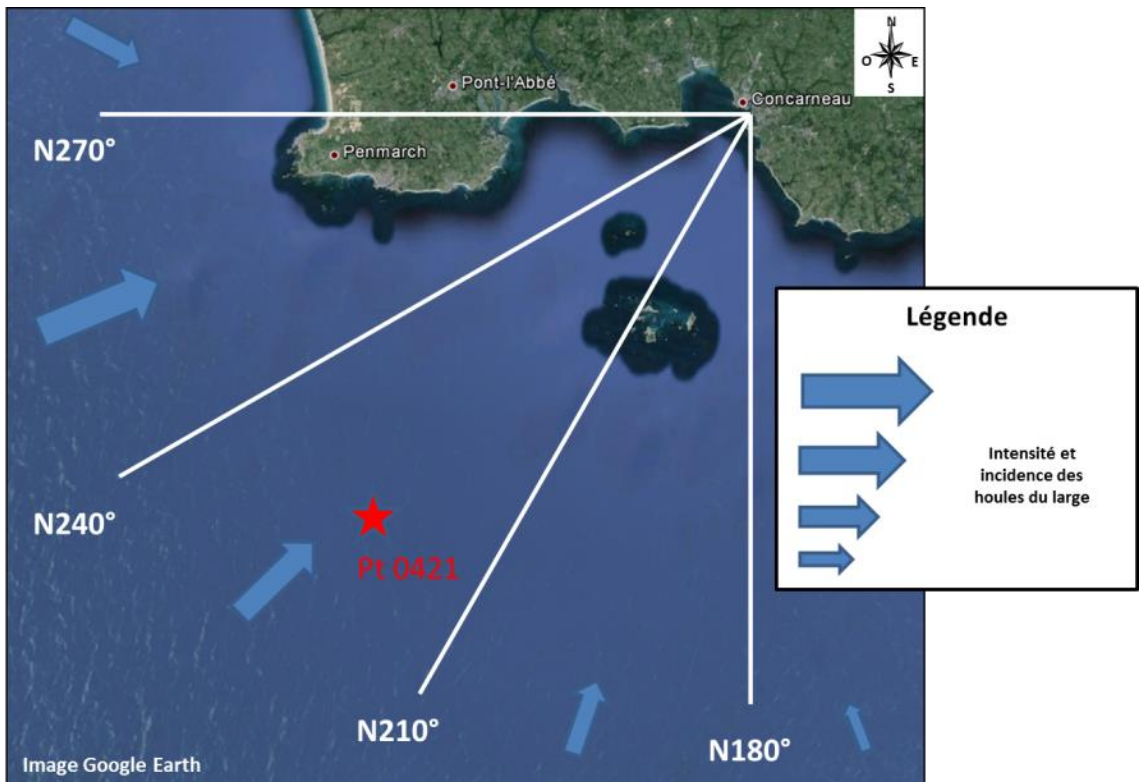
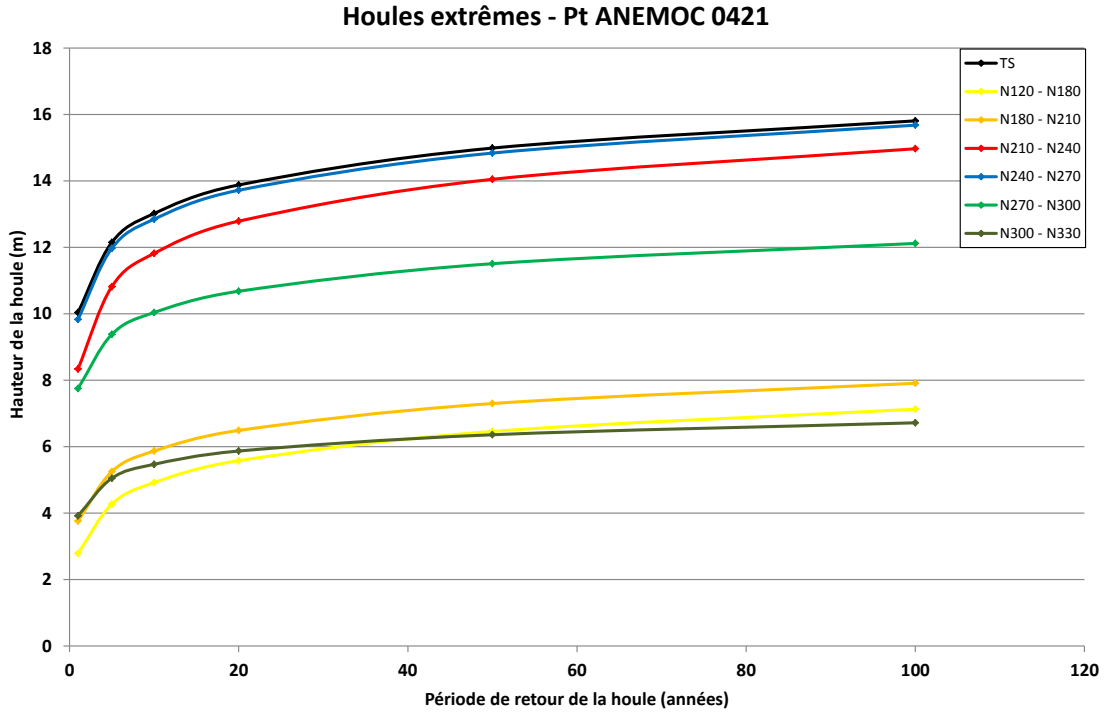
L'indépendance entre les événements est donnée par une durée d'au moins 3 jours entre chaque pic retenu. Enfin, les intervalles de confiance représentés sur les graphiques sont de 90%.

### 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 - 3.2.1)).

Point en entrée du modèle n°1 (n°0421):

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 – Modèle n°1**

Point en entrée du modèle n°2 (n°1232):

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

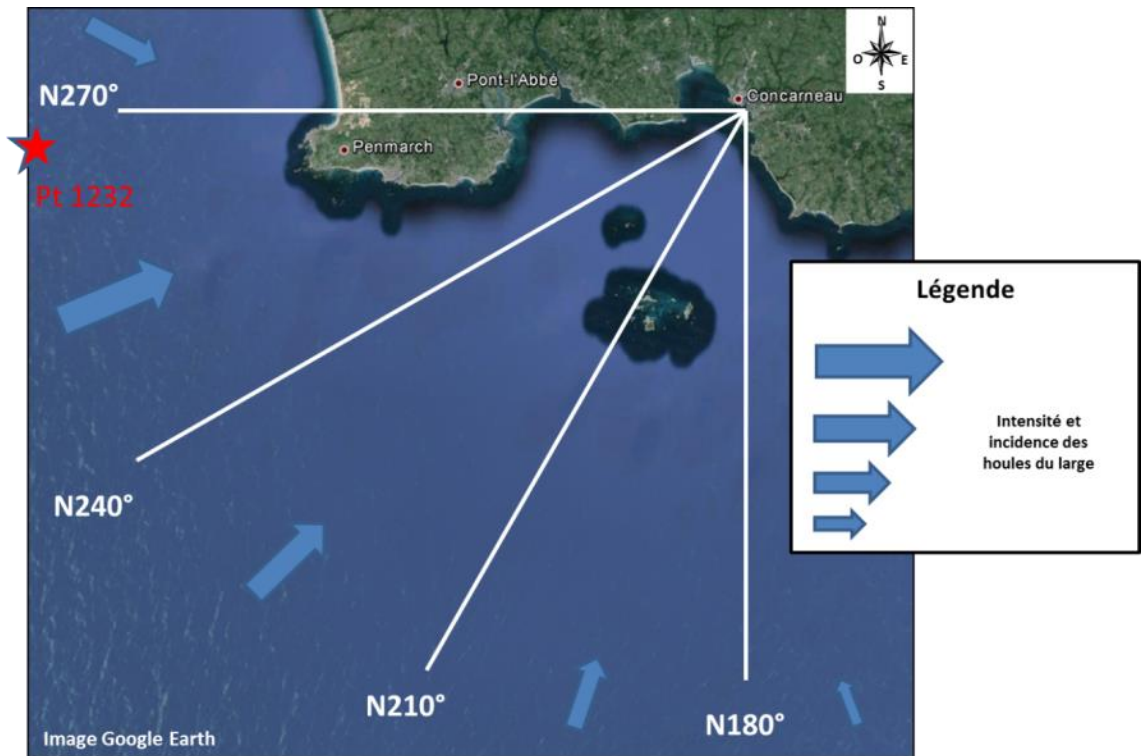
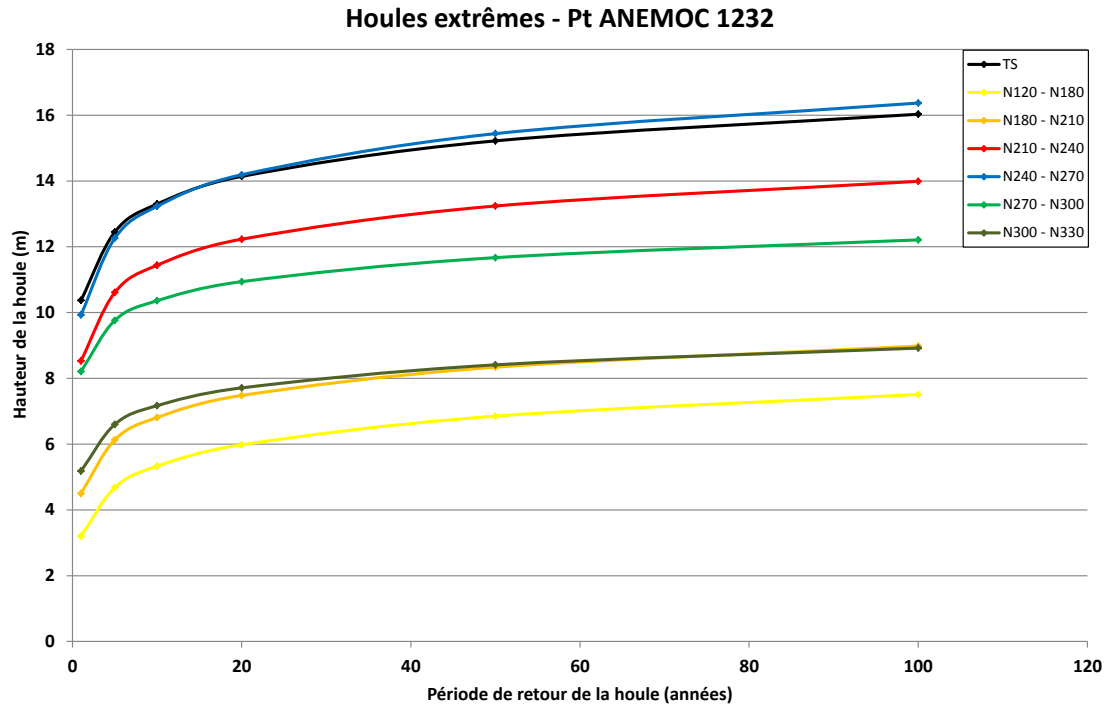


Figure 4 : Houles extrêmes au point ANEMOC 1232 – Modèle n°2

Cette analyse nous permet de mettre en évidence les secteurs directionnels de houles les plus défavorables pour le site d'étude du PPRLN 1.

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 PPRLN 1, les deux incidences de houle les plus défavorables sont N240°-N270° et N210°-N240°.**

### 1.2.2 Houles extrêmes considérées dans le cadre du PPRLN

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) (cf. Chapitre 3 -1.2)

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 du PPRLN, obtenus en suivant cette méthodologie sont présentés ci-après. Dans les tableaux 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 – Modèle n°1**

## 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		

**Tableau 2 : Résultats statistiques au point ANEMOC 1232 – Modèle n°2**

## Point 1232 : résultats statistiques

Secteur		Période de retour	Hs (m)	Tp (s)	Seuil	Nombre de tempêtes par an considérées
SW	[ N210° - N240° [	1 an	8,5	14	6 m	4,7
		5 ans	10,6	15		
		10 ans	11,4	16		
		50 ans	13,2	18		
		100 ans	14,0	18		
WSW	[ N240° - N270° [	1 an	9,9	16	7 m	6,2
		5 ans	12,3	17		
		10 ans	13,2	17		
		50 ans	15,4	18		
		100 ans	16,4	18		
WNW	[ N270° - N300° [	1 an	8,2	15	6 m	5,4
		5 ans	9,8	16		
		10 ans	10,4	17		
		50 ans	11,7	17		
		100 ans	12,2	17		

### 1.3 Choix des houles à modéliser dans le cadre de l'étude

Nous rappelons sur la figure ci-après les communes considérées par le PPRLN 1 et leur localisation :

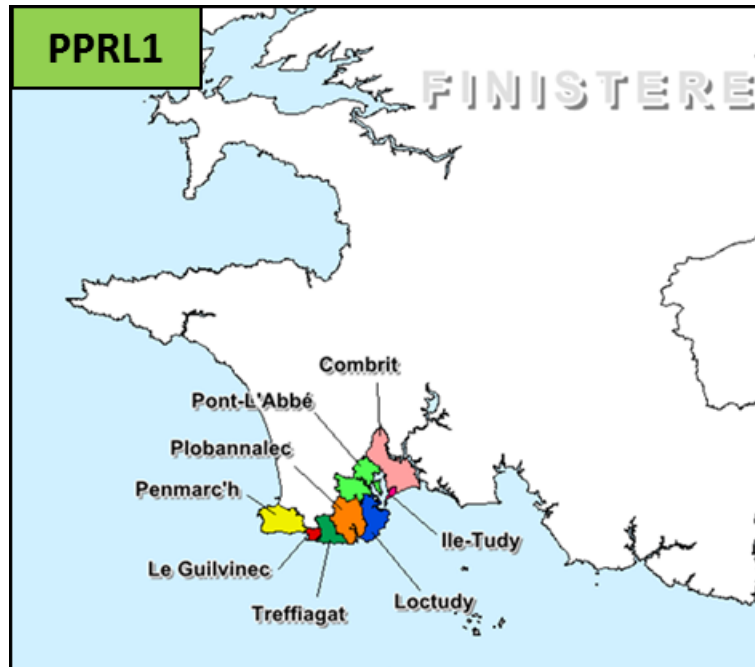


Figure 5 : Répartition des communes sur le PPRLN 1

Le littoral d'étude du PPRLN 1 s'étend de Combrit à Penmarc'h.

#### 1.3.1 De Combrit au Guilvinec

Le littoral s'étendant de la commune de Combrit à Le Guilvinec 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 PPRLN 1 orientées Sud est Sud à Sud-Ouest (N210°-N240°).**

### 1.3.2 Penmarc'h

Pour la commune de Penmarc'h et notamment sur sa façade Ouest, les houles engendrant le plus d'agitation sont les houles d'incidence Ouest à Ouest-Nord-Ouest pour la baie de Pors Carn au Nord et Ouest à Ouest-Sud-Ouest pour la partie Sud-Ouest du littoral.

Comme il a été constaté lors de l'analyse des houles extrêmes par secteur directionnel (cf. Chapitre 3 -1.2.1 et la Figure 4), les houles de provenance d'Ouest à Sud-Ouest (N240°-N270°) sont les houles les plus pénalisantes sur le site de Penmarc'h.

Le littoral de Penmarc'h étant soumis d'une part à des houles d'Ouest-Sud-Ouest et d'autre part à des houles d'Ouest-Nord-Ouest, nous considérons les houles d'Ouest (N270°) comme les plus dommageables sur cette commune en prenant en compte pour être sécuritaire les valeurs extrêmes des houles de secteur N240°-N270° qui sont plus fortes que celles de N270°-N300°.

**Ainsi, la direction des houles choisie pour la modélisation pour la commune de Penmarc'h est Ouest (N240°-N270°).**

### 1.3.3 Bilan

Le tableau suivant dresse un bilan des houles les plus dommageables considérées sur les communes des PPRLN1.

**Tableau 3 : 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
Combrit	1	S à SW (N210°-N240°)	421	Modèle 1
Ile Tudy	1	S à SW (N210°-N240°)	421	Modèle 1
Pont l'Abbé	1	S à SW (N210°-N240°)	421	Modèle 1
Loctudy	1	S à SW (N210°-N240°)	421	Modèle 1
Plobannaec	1	S à SW (N210°-N240°)	421	Modèle 1
Treffiat	1	S à SW (N210°-N240°)	421	Modèle 1
Le Guilvinec	1	S à SW (N210°-N240°)	421	Modèle 1
Penmarc'h	1	W (N240°-N270°)	1232	Modèle 2

## 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 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) 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**

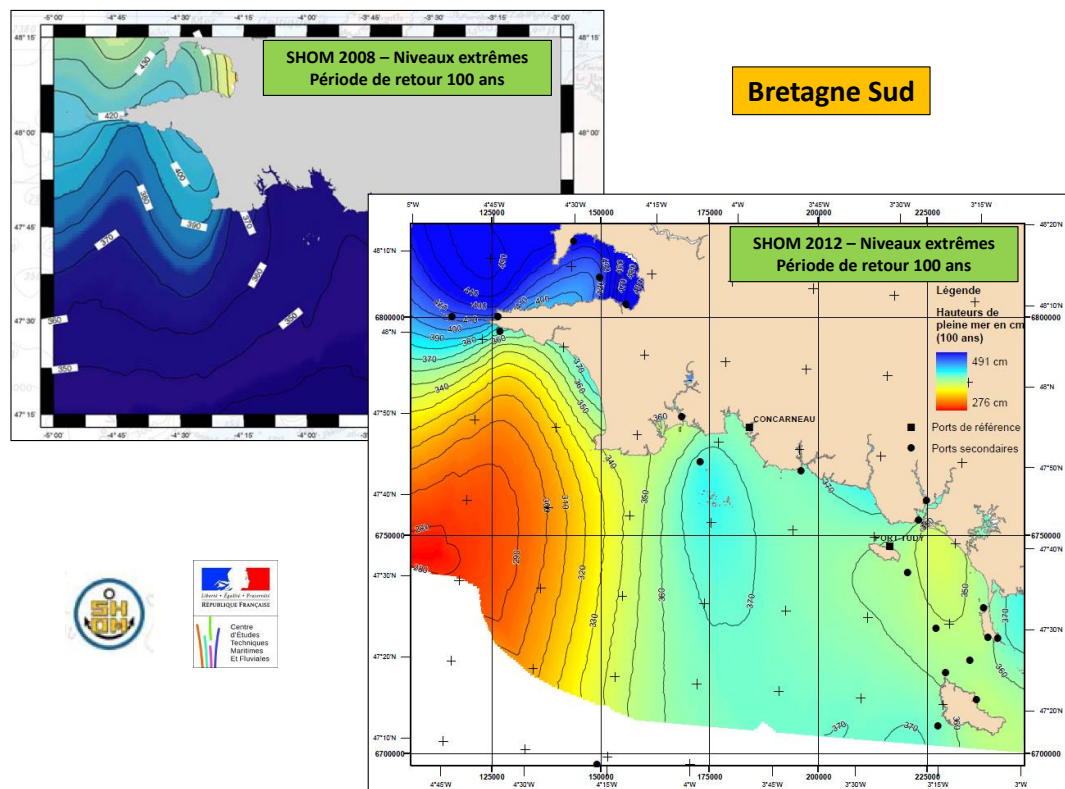


à partir de séries d'observations disponibles (observations de marées dans les ports de référence tels que Brest et Concarneau et dans les autres ports dits secondaires).

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 marins 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 6).

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



**Figure 6 : Niveaux marins de plaines 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 PPRLN 1 les niveaux marins théoriques :

Tr du niveau d'eau (ans)	Communes						
	Combrit	Ile-Tudy	Loctudy	Plobannalec	Treffiagat	Le Guilvinec	Penmarc'h
	Niveau d'eau (en mIGN)						
0.02	2.67	2.87	2.87	2.83	2.79	2.73	2.97
0.05	2.77	2.98	2.96	2.90	2.88	2.84	3.07
0.1	2.86	3.02	3.02	2.98	2.96	2.94	3.15
0.2	2.93	3.07	3.07	3.05	3.03	3.03	3.23
0.5	3.03	3.15	3.16	3.14	3.13	3.15	3.33
1	3.11	3.22	3.22	3.21	3.21	3.23	3.41
2	3.19	3.27	3.27	3.27	3.27	3.33	3.48
5	3.28	3.35	3.35	3.35	3.37	3.43	3.58
10	3.35	3.40	3.40	3.40	3.45	3.50	3.65
20	3.45	3.50	3.50	3.50	3.55	3.60	3.75
50	3.55	3.55	3.55	3.60	3.60	3.70	3.85
100	3.60	3.60	3.60	3.70	3.70	3.80	3.90

Tableau 4 : Bilan des niveaux marins théoriques par commune – PPRLN 1

### 3 Corrélation entre houles extrêmes 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 l'échelle du tronçon 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 7 : 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 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 marins 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  $C=20$ <sup>1</sup>.**

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.

<sup>1</sup> 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).

### 3.3 Résultats obtenus

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

**Tableau 5 : Tableau des corrélations pour les communes du PPRLN1**

Tableau des corrélations de Combrit			
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	2.87	100	14.97
0.05	2.97	57	14.15
0.1	3.01	28	13.20
0.2	3.05	14	12.20
0.5	3.12	6	11.00
1	3.20	2.8	9.90
2	3.25	1.4	8.80
5	3.30	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

*Combrit : Houles au large : [N210°-N240°]*

Tableau des corrélations de l'île Tudy			
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	2.87	100	14.97
0.05	2.98	57	14.15
0.1	3.02	28	13.20
0.2	3.07	14	12.20
0.5	3.15	6	11.00
1	3.22	2.8	9.90
2	3.27	1.4	8.80
5	3.35	0.6	7.50
10	3.40	0.28	6.50
20	3.50	0.14	5.50
50	3.55	0.06	4.40
100	3.60	0.03	3.20

*Île Tudy : Houles au large : [N210°-N240°]*

Tableau des corrélations de Loctudy			
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	2.87	100	14.97
0.05	2.96	57	14.15
0.1	3.02	28	13.20
0.2	3.07	14	12.20
0.5	3.16	6	11.00
1	3.22	2.8	9.90
2	3.27	1.4	8.80
5	3.35	0.6	7.50
10	3.40	0.28	6.50
20	3.50	0.14	5.50
50	3.55	0.06	4.40
100	3.60	0.03	3.20

*Loctudy : Houles au large : [N210°-N240°]*

Tableau des corrélations de Plobannalec			
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	2.83	100	14.97
0.05	2.90	57	14.15
0.1	2.98	28	13.20
0.2	3.05	14	12.20
0.5	3.14	6	11.00
1	3.21	2.8	9.90
2	3.27	1.4	8.80
5	3.35	0.6	7.50
10	3.40	0.28	6.50
20	3.50	0.14	5.50
50	3.60	0.06	4.40
100	3.70	0.03	3.20

*Plobannalec : Houles au large : [N210°-N240°]*

Tableau des corrélations de Treffiagat			
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	2.79	100	14.97
0.05	2.88	57	14.15
0.1	2.96	28	13.20
0.2	3.03	14	12.20
0.5	3.13	6	11.00
1	3.21	2.8	9.90
2	3.27	1.4	8.80
5	3.37	0.6	7.50
10	3.45	0.28	6.50
20	3.55	0.14	5.50
50	3.60	0.06	4.40
100	3.70	0.03	3.20

*Treffiagat : Houles au large : [N210°-N240°]*

Tableau des corrélations du Guilvinec			
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	2.73	100	14.97
0.05	2.84	57	14.15
0.1	2.94	28	13.20
0.2	3.03	14	12.20
0.5	3.15	6	11.00
1	3.23	2.8	9.90
2	3.33	1.4	8.80
5	3.43	0.6	7.50
10	3.50	0.28	6.50
20	3.60	0.14	5.50
50	3.70	0.06	4.40
100	3.80	0.03	3.20

*Le Guilvinec : Houles au large : [N210°-N240°]*

Tableau des corrélations de Penmarc'h			
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	2.97	100	16.37
0.05	3.07	57	15.60
0.1	3.15	28	14.80
0.2	3.23	14	13.60
0.5	3.33	6	12.50
1	3.41	2.8	11.50
2	3.48	1.4	10.40
5	3.58	0.6	9.20
10	3.65	0.28	8.00
20	3.75	0.14	7.10
50	3.85	0.06	6.00
100	3.90	0.03	5.00

*Penmarc'h : Houles au large : [N240°-N270°]*

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

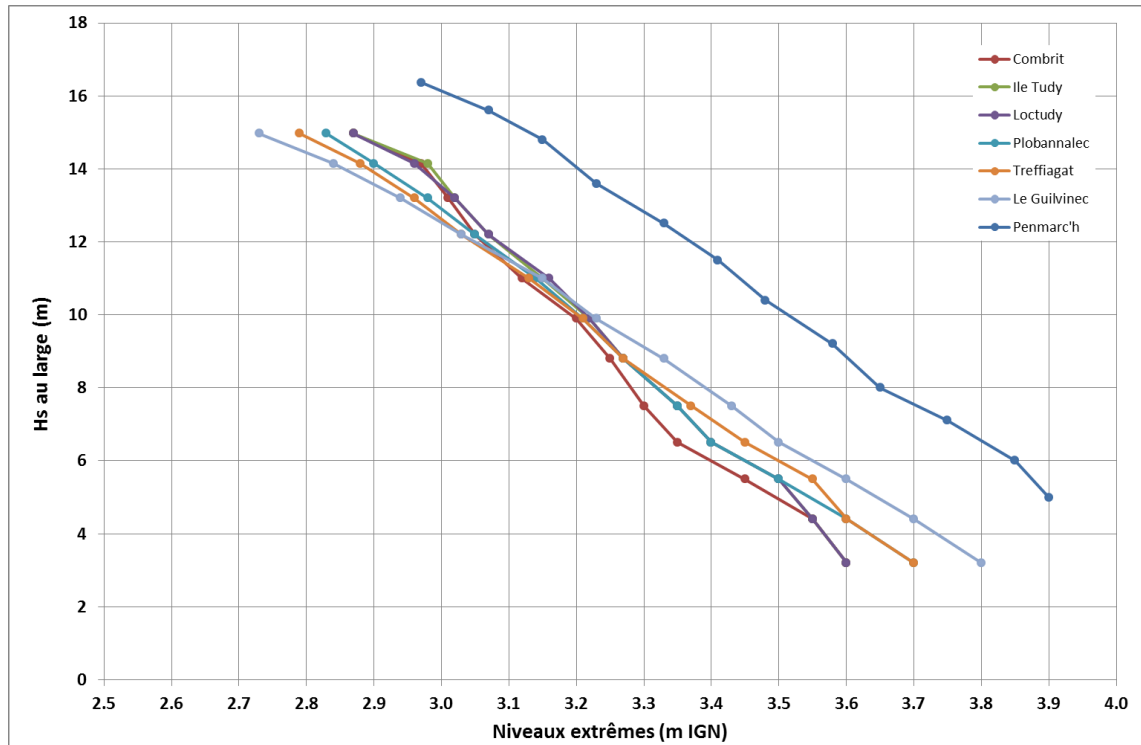


Figure 8 : Evènements de période de retour centennale – PPRLN 1

# Chapitre 4 - Définition des évènements à la côte

---

## 1 Méthodologie

L'évènement naturel de référence est l'évènement historique majeur s'il est supérieur à un évènement **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:**
  - Définition des évènements historiques considérés et de leurs caractéristiques au large
  - Définition des évènements historiques ayant eu les incidences les plus marquées à la côte
  - 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)
  - 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 :**
  - 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.
  - Sont modélisés les évènements historiques retenus et les 12 évènements théoriques de période de retour centennale (cf. chapitre 4 - 3)
  - Le niveau marin à la côte est ainsi défini par ajout du niveau marin historique ou théorique, et des valeurs suivantes : set-up, incertitudes (+25 cm) et changement climatique (+ 20 cm)



- 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 évènements incidents

### 2.1 Evènements historiques considérés

Sur notre zone d'étude, les évènements 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 évènements historiques suivants : la tempête du 10 Mars 2008<sup>2</sup> et les tempêtes successives de l'hiver 2013/2014.**

Les caractéristiques de chacune des tempêtes sont issue de :

- Données de vent :
  - Prévisions de vents moyens issus des modèles de WINDGURU ([www.windguru.cz](http://www.windguru.cz))
  - Relevés de vents maximums en rafales issus de données Météo-France

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

■ 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 :

- Préviation des marées astronomiques au port de Concarneau,
- 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](http://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 chapitre 6 - 5 du 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 6 : 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 ( <a href="http://maree.info/93">http://maree.info/93</a> )			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 ( <a href="http://maree.info/93">http://maree.info/93</a> )			Mesures au marégraphe de Concarneau			
N°	Noms	Période de vent moyen > 40 km/h	Durée (h)	Heure de 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 Camaret 144 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	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 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 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 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.

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.

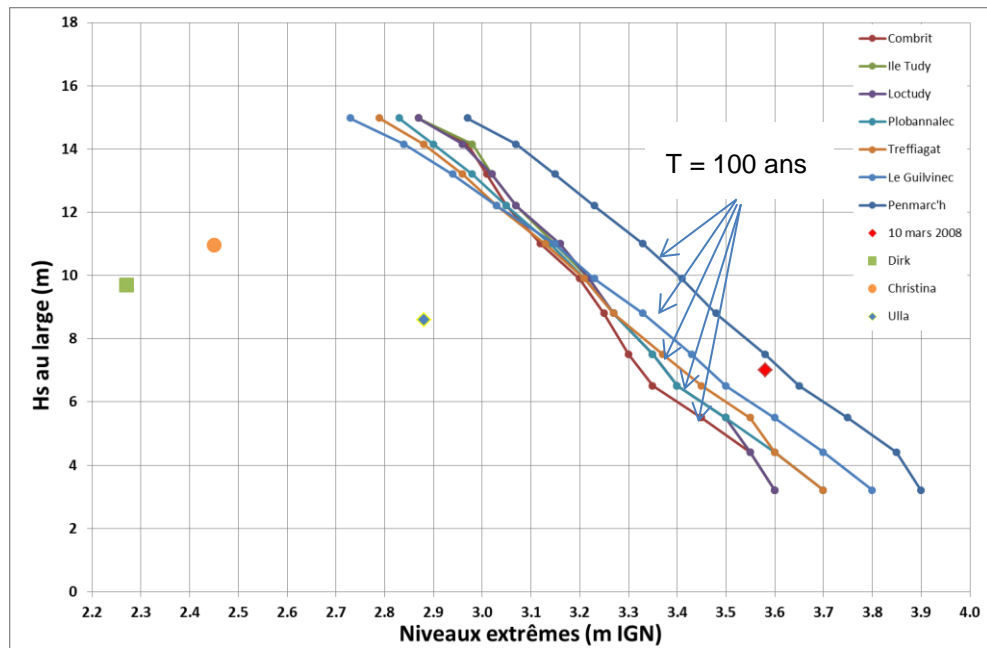
Nadja est la tempête qui a engendré le plus haut niveau marin (+2,87 mNGF) car elle s'est produit en même temps que la pleine mer de coefficient 114.

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

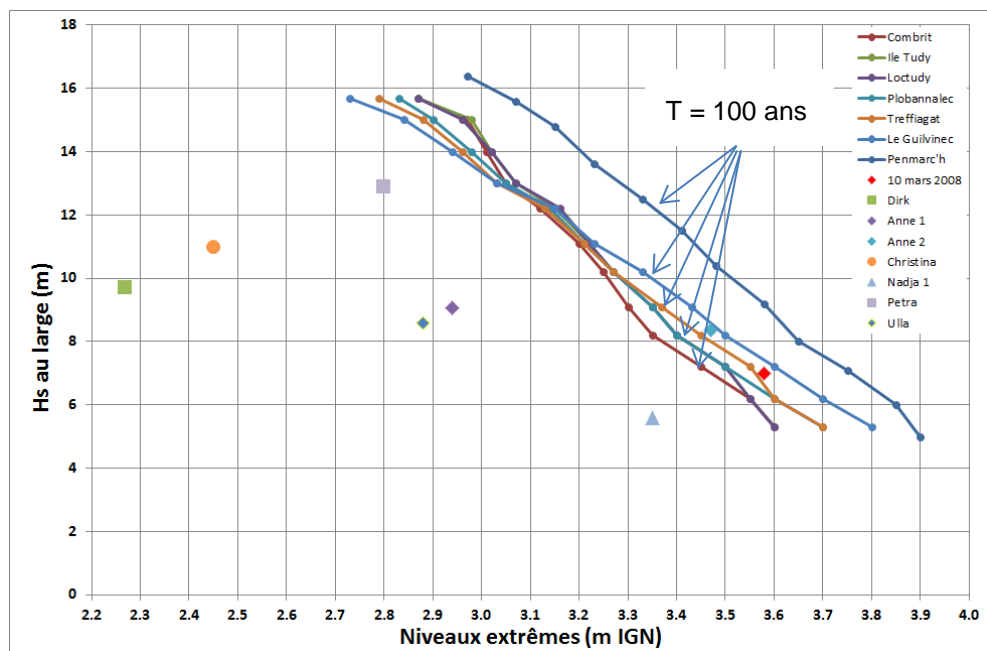
Les graphiques suivants présentent l'occurrence de la tempête du 10 mars 2008 et des tempêtes successives de l'hiver 2013/2014 ayant engendrées de forts dégâts sur le littoral du PPRLN1 par rapport aux événements centennaux déterminés par analyse statistique (cf. Chapitre 3 -3).

*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°]**

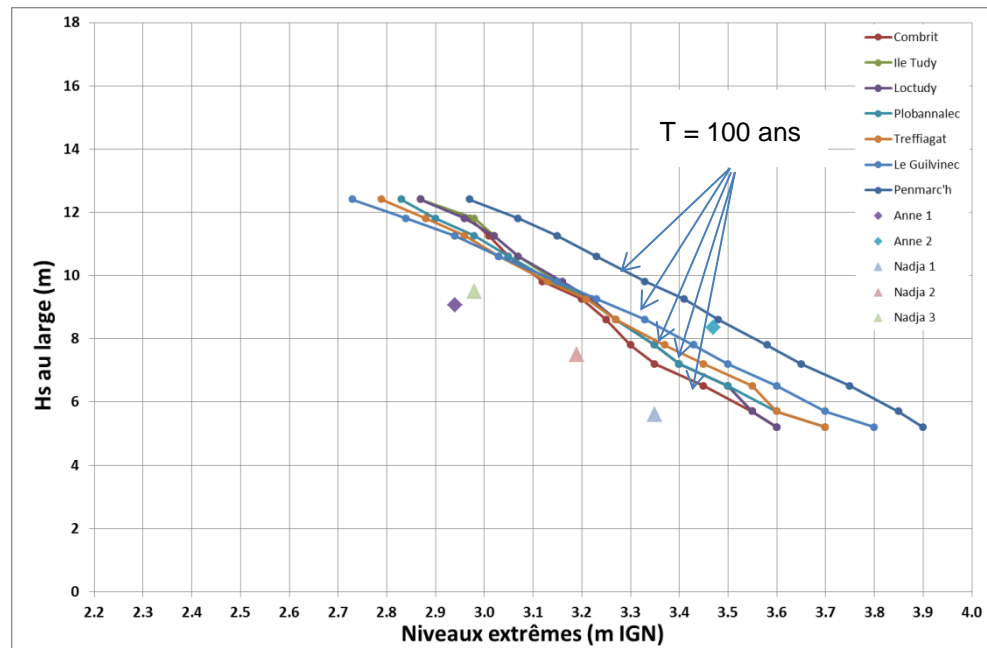
10 mars 2008 : N240° (>100 ans) Dirk : N240° Christina : N240° Ulla : N240°



**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 9 : Croisement Houle / Niveau des différentes tempêtes recensées – PPRLN 1**

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 événement 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,**
- **Petra.**



Seule la commune de Penmarc'h présente des événements de période de retour centennaux supérieurs à la tempête du 10 mars 2008. Cela s'explique par le fait que la donnée de niveaux marins enregistrée est à Concarneau et est plus faible que le niveau marin en général sur la commune de Penmarc'h (environ 20 cm plus bas). **Cette correction du niveau marin sera prise en compte dans la définition du niveau marin à la côte du littoral de Combrit à Penmarc'h.**

**De manière globale, sur le littoral du PPRLN 1, 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 (cf. Chapitre 6 -).**

*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 PPRLN 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 PPRLN, la hauteur significative et le setup entre 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 ouvrages, 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 ouvrages 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 PPRLN:**

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

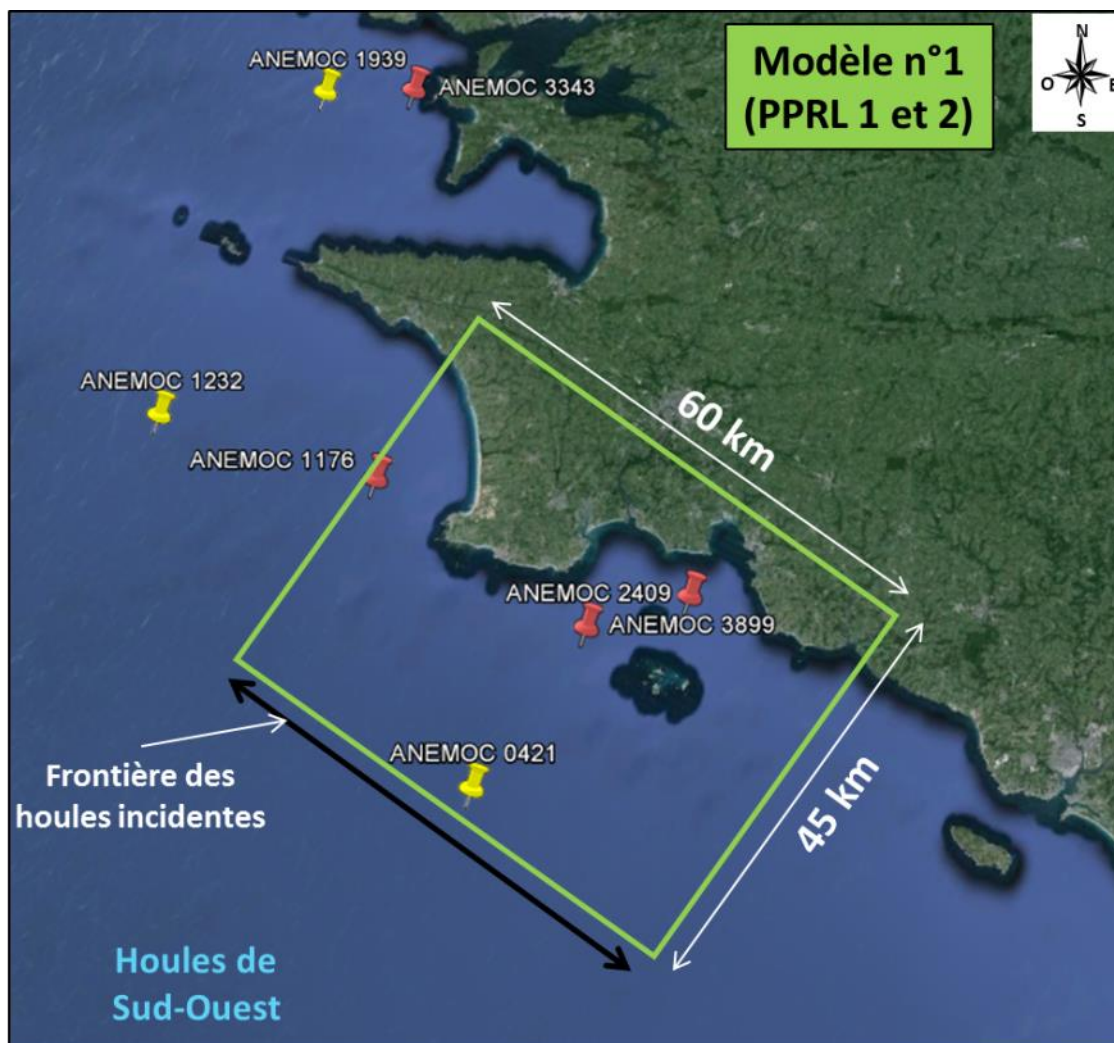
Deux modèles différents ont été mis en œuvre pour le PPRLN 1 car les houles incidentes des modèles proviennent des secteurs Sud-Ouest et Ouest.

Ainsi, pour des raisons liées à l'orientation des frontières incidentes des modèles, le modèle n°1 servira pour la propagation des houles de Sud-Ouest et le modèle n°2 pour les houles d'Ouest.

## 3.2.1 Emprise des modèles

**Modèle n°1**

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



**Figure 10 : 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. 0).

### Modèle n°2

Le modèle n°2 possède une emprise d'environ 60 x 45 km qui est présentée sur la figure ci-après.

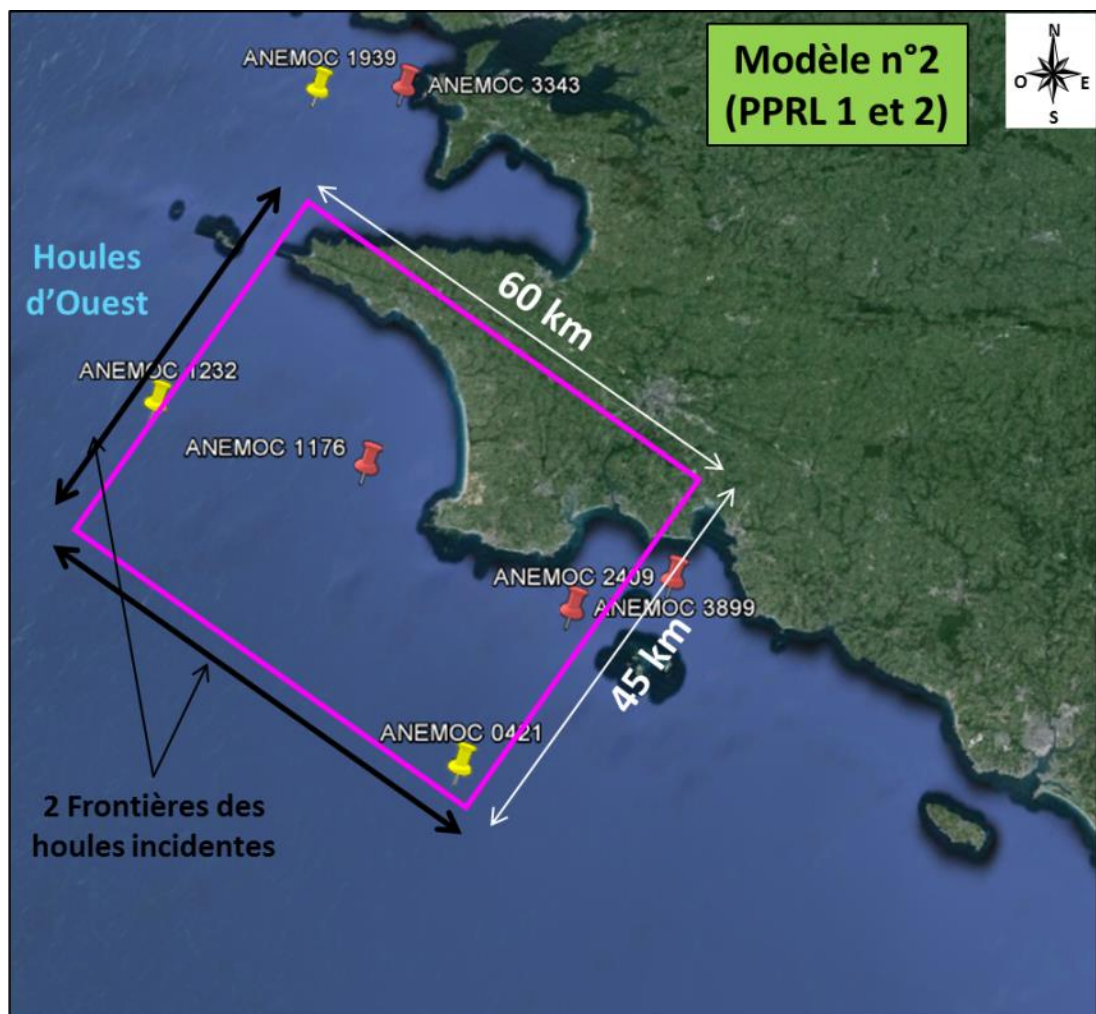


Figure 11 : Emprise du modèle n°2

A l'Est, la frontière du modèle s'appuie sur le méridien passant par la pointe de Moustierlin tandis qu'à l'Ouest, la frontière du modèle s'appuie sur le méridien passant entre la pointe du Raz et l'île de Sein.

Au large (en frontière Ouest), le modèle s'appuie sur le méridien passant par le point ANEMOC 1232.

Cette emprise permet :

- de représenter avec précision la propagation des houles d'incidence Ouest à Nord-Ouest à l'approche des côtes bretonnes
- d'avoir le point de houle ANEMOC 1232 en limite Ouest du modèle, les conditions d'entrée des cas simulés provenant de ces bases de données.

Le point ANEMOC 1232 situé au large et servant de données d'entrées au modèle est représenté par une balise jaune. La balise rouge quant à elle est utilisée pour représenter le point ANEMOC 1176 utilisés pour notre étude et servant pour le calage du modèle (cf. 0).

### 3.2.2 Bathymétrie du modèle

#### 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.

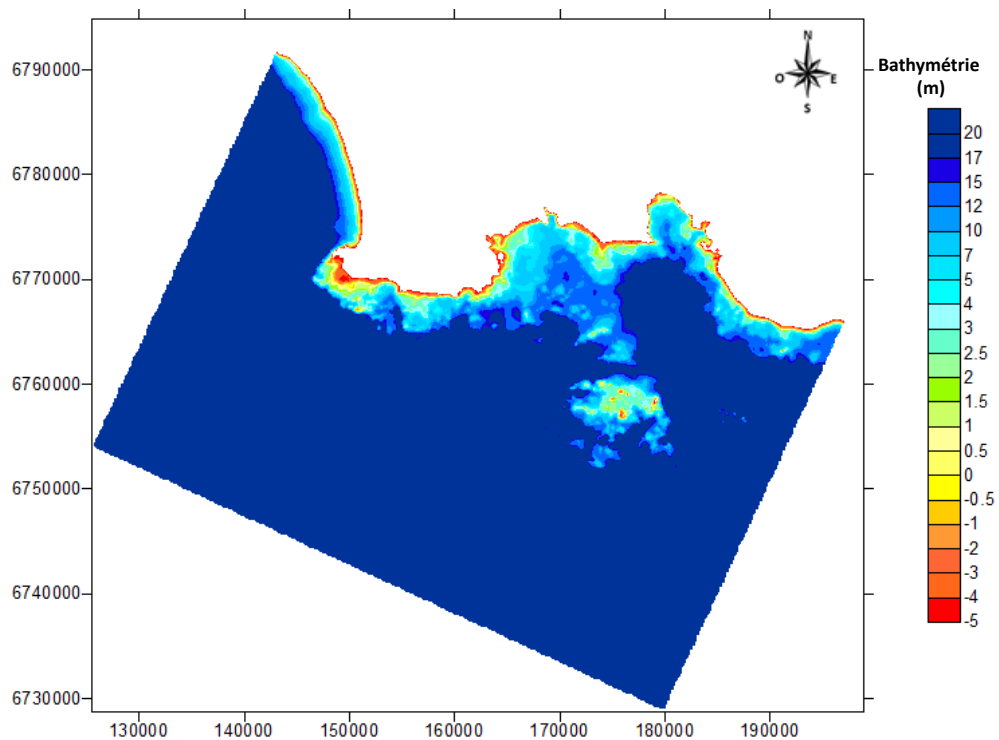


Figure 12 : Bathymétrie concaténée du modèle numérique n°1

## Modèle n°2

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.

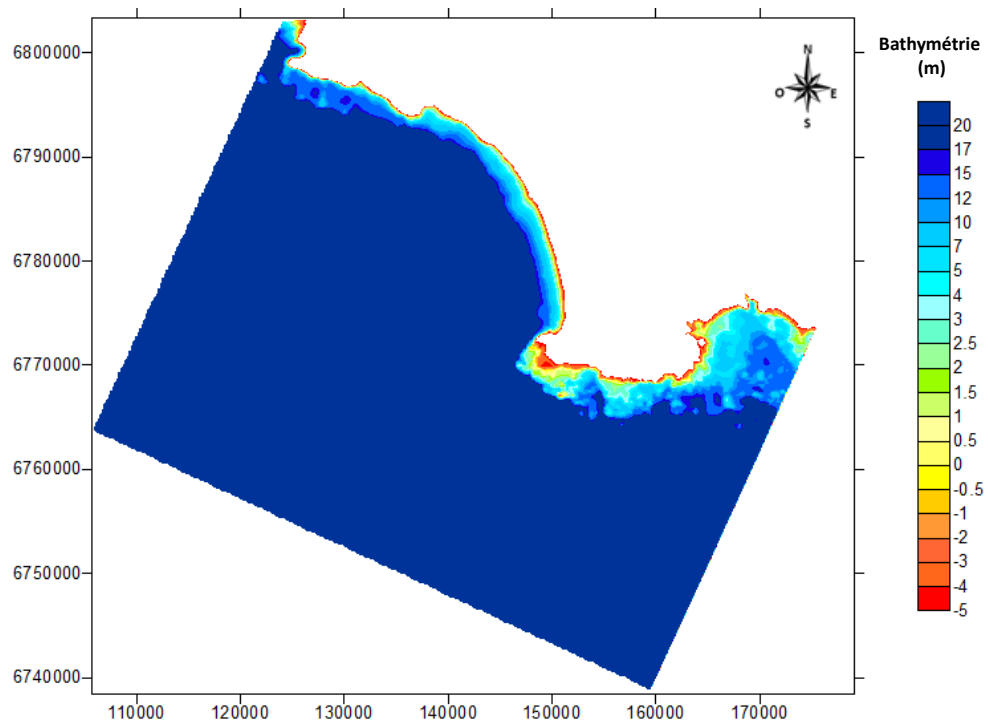


Figure 13 : Bathymétrie concaténée du modèle numérique n°2

### 3.2.3 Maillage du modèle

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.

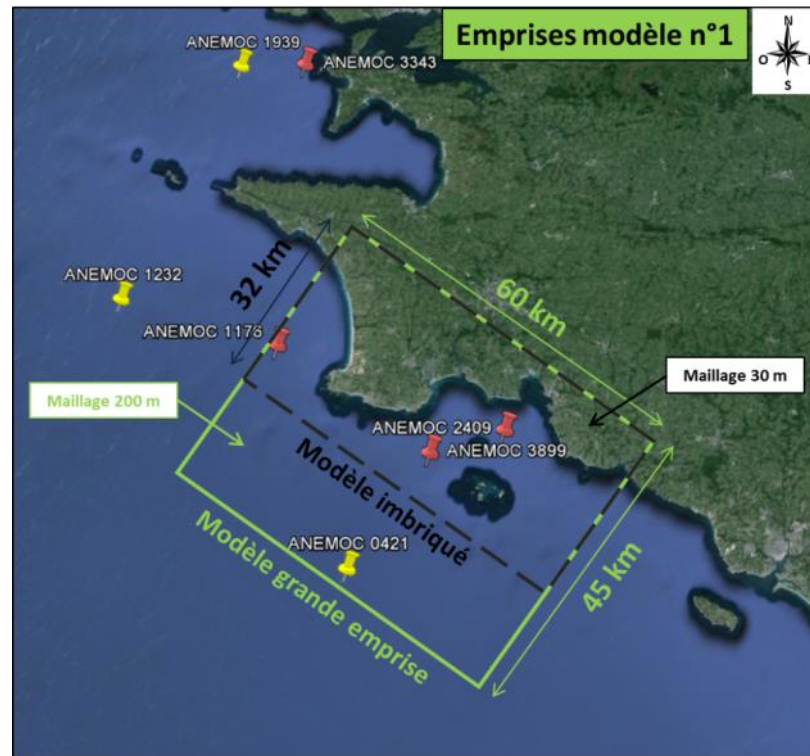
**Modèle n°1**

Figure 14 : Emprise des maillages du modèle numérique n°1

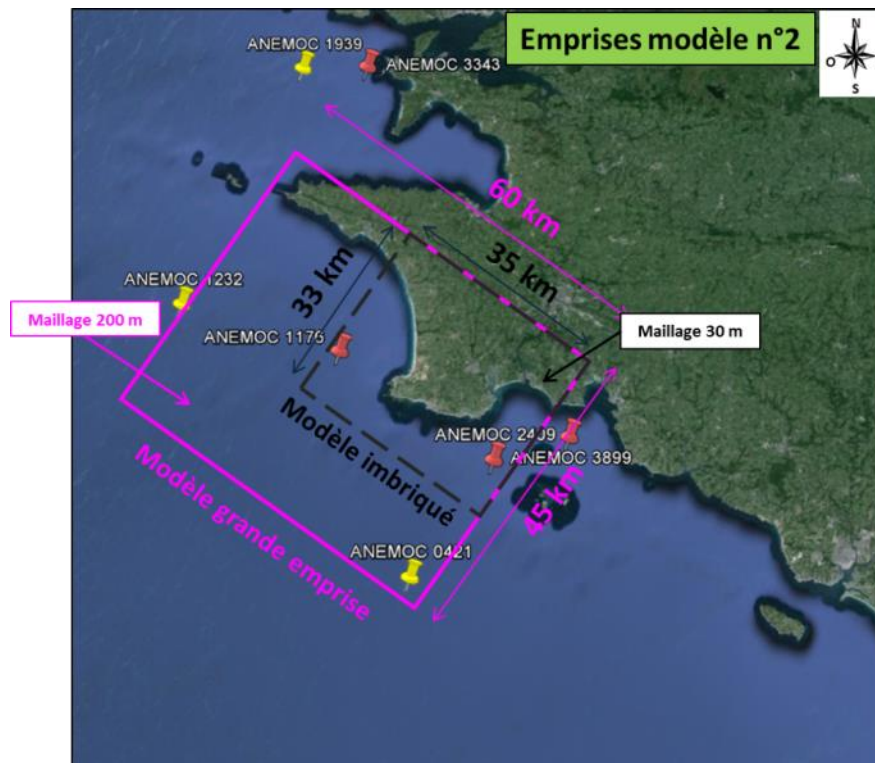
**Modèle n°2**

Figure 15 : Emprise des maillages du modèle numérique n°2

### 3.2.4 Calage du modèle

#### **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 événements 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 16). 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.

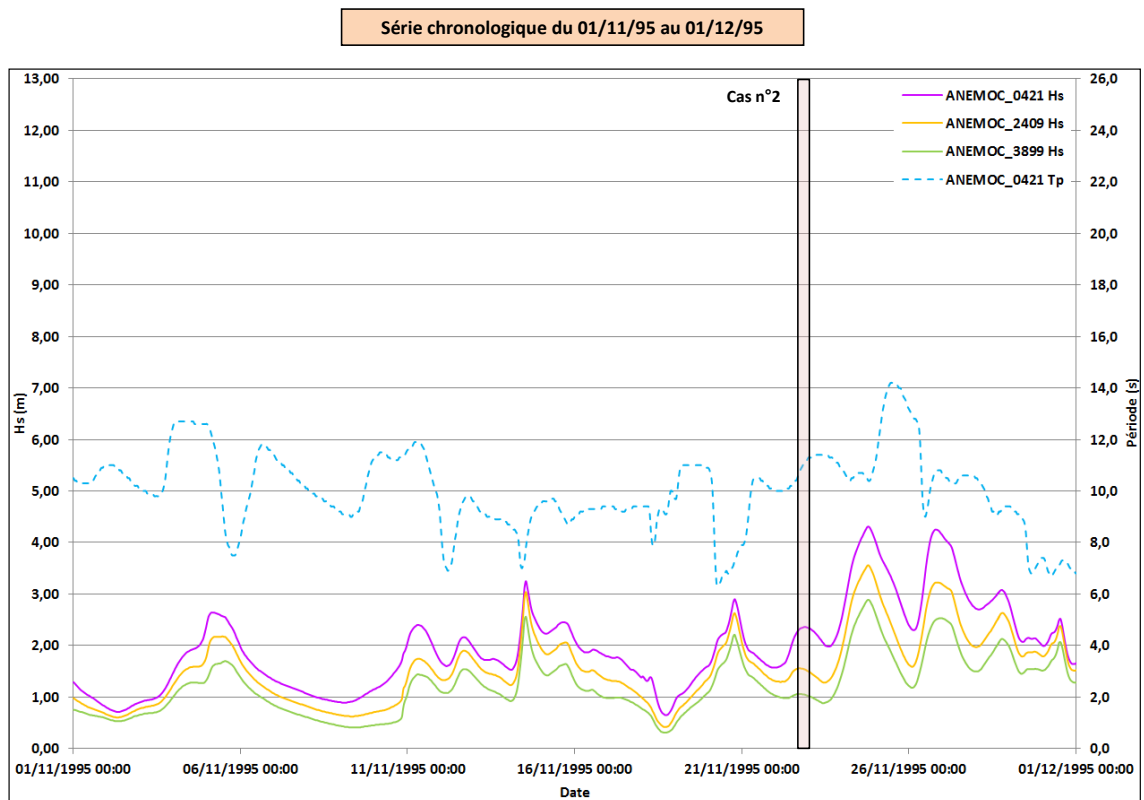
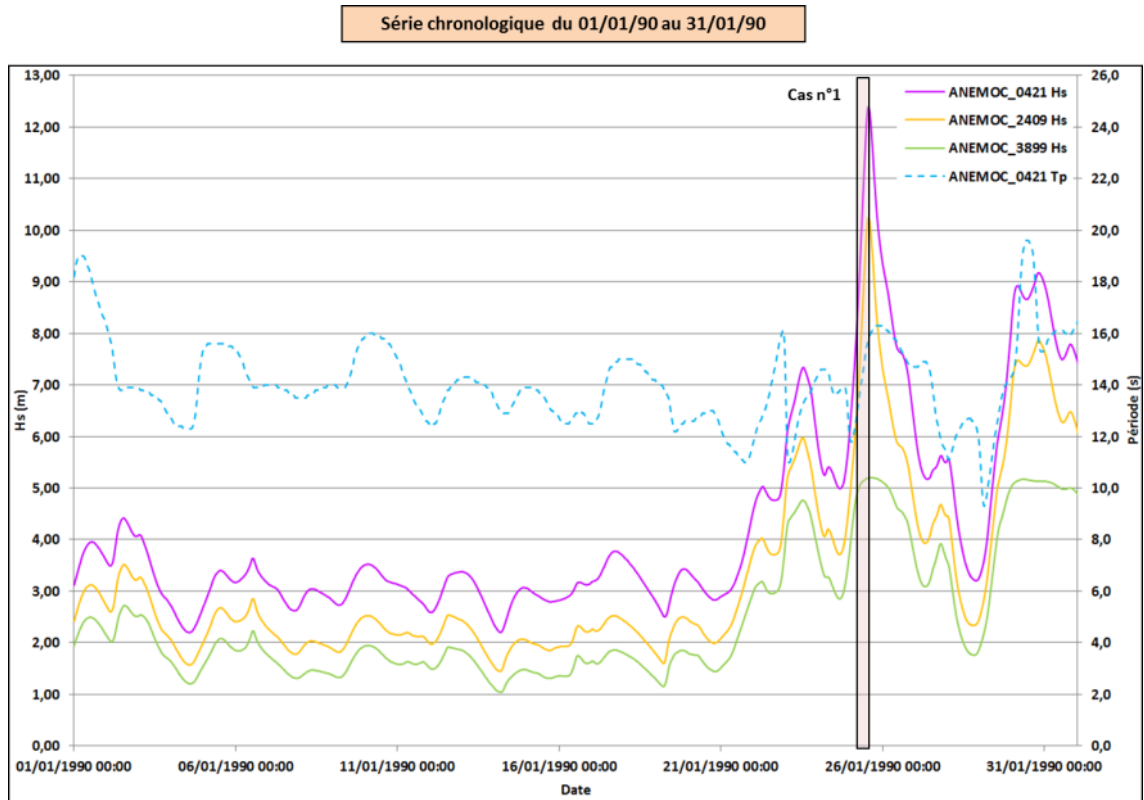
Leurs caractéristiques sont reportées dans le tableau ci-après :

**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.





**Figure 16 : 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.**

## Modèle n°2

### Méthodologie du calage

La méthodologie qui a été employée pour le calage du modèle numérique n°2 est présentée ci-après :

- comparaison entre les données de houles fournies par les différentes stations ANEMOC présentées plus haut et les données de houle obtenues en sortie du modèle numérique SWAN.
- la comparaison a été réalisée sur plusieurs événements 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 1232 a servi de donnée d'entrée. La station ANEMOC 1176 a quant à elle été utilisée pour le calage (cf. Figure 17). 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 9 : Tableau des cas de calage retenus pour le modèle numérique n°2**

ANEMOC 1232 (modèle 2)							
3	22/01/1995 15:00	243	10,31	15,0	3,00	20,0	243
4	17/07/2001 04:00	225	2,21	7,0	3,00	0,0	0

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

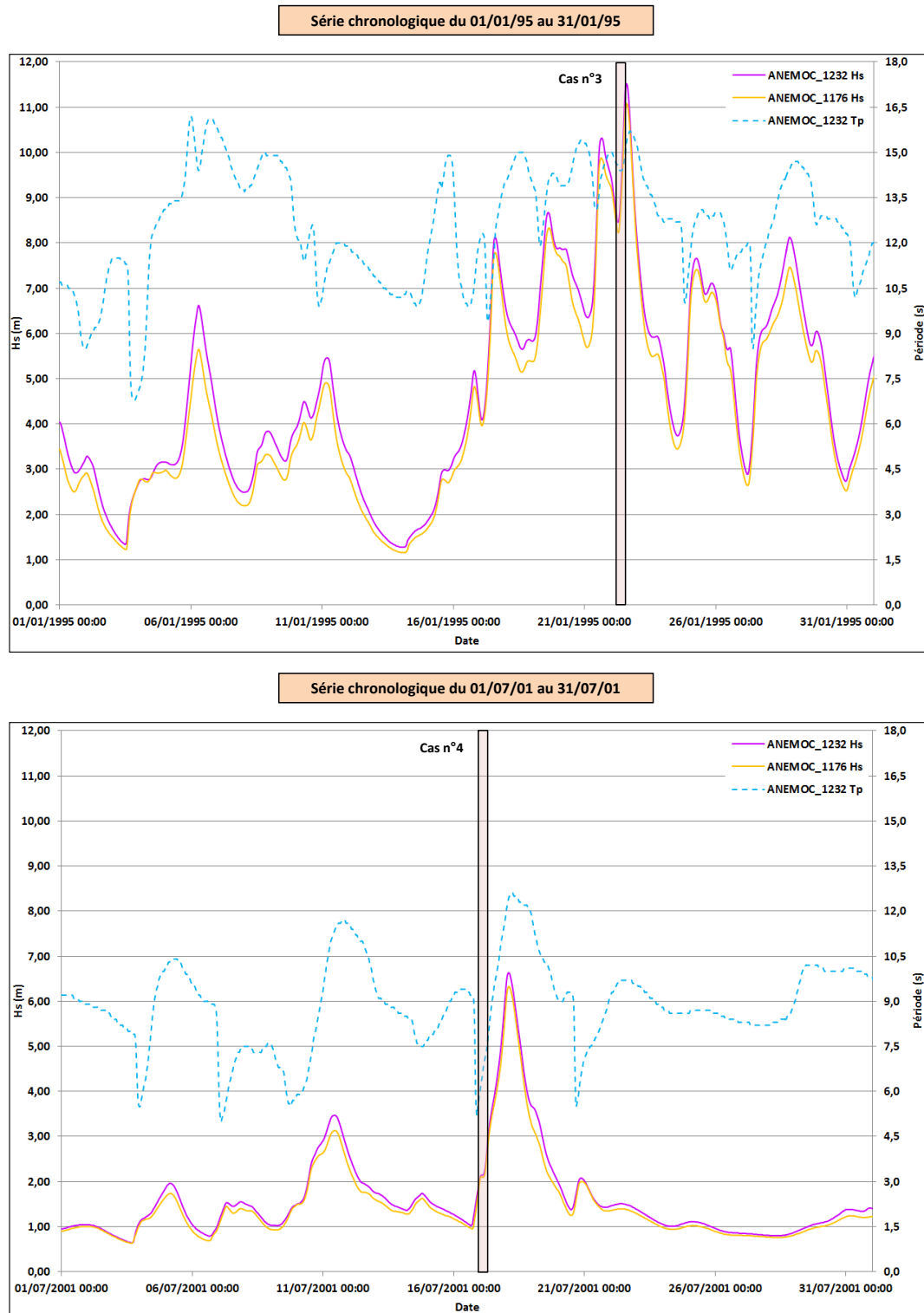


Figure 17 : Séries chronologiques utilisées pour les cas de calage du modèle numérique n°2

### Résultats des modélisations de calage

Les sorties graphiques relatives au calage du modèle n°2 sont présentées en Annexe 2.

Le tableau suivant présente les résultats du calage du modèle numérique n°2 pour les deux cas de calage.

Tableau 10 : Tableau des résultats des cas de calage du modèle numérique n°2

ANEMOC 1232										
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)
3	22/01/1995 15:00	243	10,31	10,31	0,00	0,0	15,0	3,00	20,0	243
4	17/07/2001 04:00	225	2,21	2,21	0,00	0,0	7,0	3,00	0,0	0

ANEMOC 1176										
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)
3	22/01/1995 15:00	233	11,08	10,53	-0,55	4,9	15,7	3,00	20,0	243
4	17/07/2001 04:00	222	2,13	2,08	-0,05	2,5	6,9	3,00	0,0	0

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

- *Au niveau du point ANEMOC\_1176* : en valeur absolue, la différence est estimée entre 0,05 et 0,55 m, soit une marge d'erreur sur les cas testés de 2,5 à 4,9 %.

**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.**

**Les résultats modélisés obtenus sont satisfaisants et cohérents avec les données fournies au niveau du point ANEMOC 1176.**

### 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 PPRLN, des marges d'incertitude ont été rajoutées aux valeurs des niveaux marins car « *de nombreuses incertitudes concernent l'événement de référence et les évènements 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 total 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 (à la place 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

**Ainsi, les niveaux marins modélisés dans les calculs prennent en compte le réchauffement climatique. Les marges liées à l'incertitude seront rajoutées au niveau marin à la côte avec le wave setup.**

### *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 PPRLN 1 et 2, le modèle n°1 a été utilisé pour modéliser à la fois les communes du PPRLN 1 et celles du PPRLN 2 (de Concarneau à Bénodet). **Les modélisations avec le modèle n°1 ont donc été réalisées conjointement entre les PPRLN 1 et 2.** Seuls les résultats des communes du PPRLN 1 sont présentés dans ce document.

Pour toutes les modélisations du modèle numérique n°1, les niveaux marins au large considérés sont ceux de la commune de la Forêt-Fouesnant (PPRLN 2) car ce sont les plus élevés et donc les plus problématiques en termes de submersion marine.

#### Modèle n°2

Pour toutes les modélisations du modèle numérique n°2, les niveaux marins considérés sont ceux de la commune de Penmarc'h car ce sont les plus élevés et donc les plus problématiques en termes de submersion marine.

Tableau 11 : 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

Tableau 12 : Tableau des cas de calculs SWAN – Modèle numérique n°2

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	270	16,37	18	270	20	0,02	2,97	RC (+0,20m)	3,17
2	57	270	15,60	18	270	20	0,05	3,07		3,27
3	28	270	14,80	18	270	20	0,1	3,15		3,35
4	14	270	13,60	18	270	20	0,2	3,23		3,43
5	6	270	12,50	17	270	20	0,5	3,33		3,53
6	2,8	270	11,50	16	270	20	1	3,41		3,61
7	1,4	270	10,40	16	270	20	2	3,48		3,68
8	0,6	270	9,20	15	270	20	5	3,58		3,78
9	0,28	270	8,00	15	270	20	10	3,65		3,85
10	0,14	270	7,10	14	270	20	20	3,75		3,95
11	0,06	270	6,00	13	270	20	50	3,85		4,05
12	0,03	270	5,00	13	270	20	100	3,90		4,10
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 Annexes 3 et 4 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.

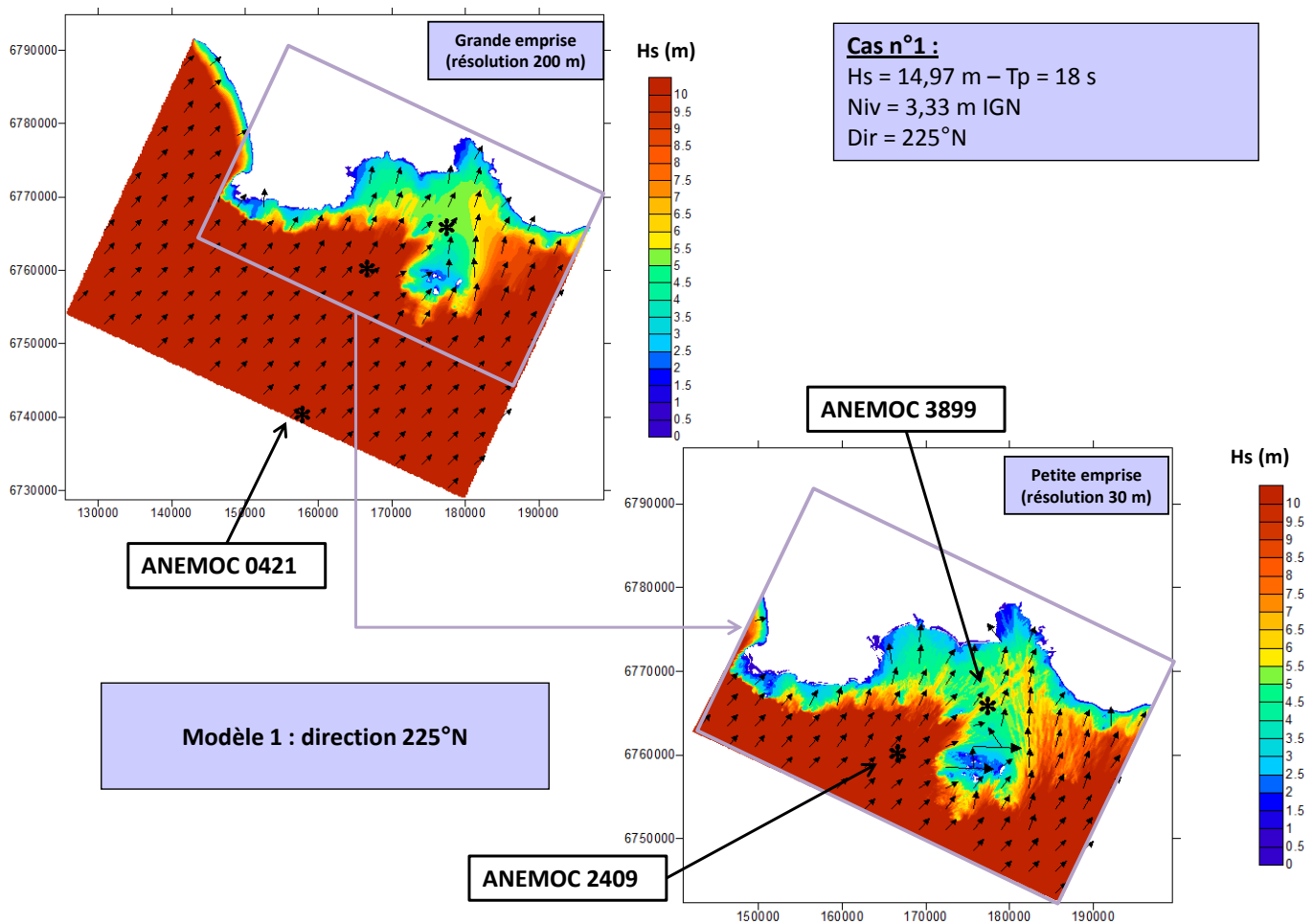


Figure 18 : Exemple de résultat d'agitation – Modèle n°1

Les graphiques des autres cas sont présentés en Annexe 3 (seul le modèle de petite emprise de résolution 30 m, plus précis aux abords du littoral est présenté).

### Modèle n°2

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.

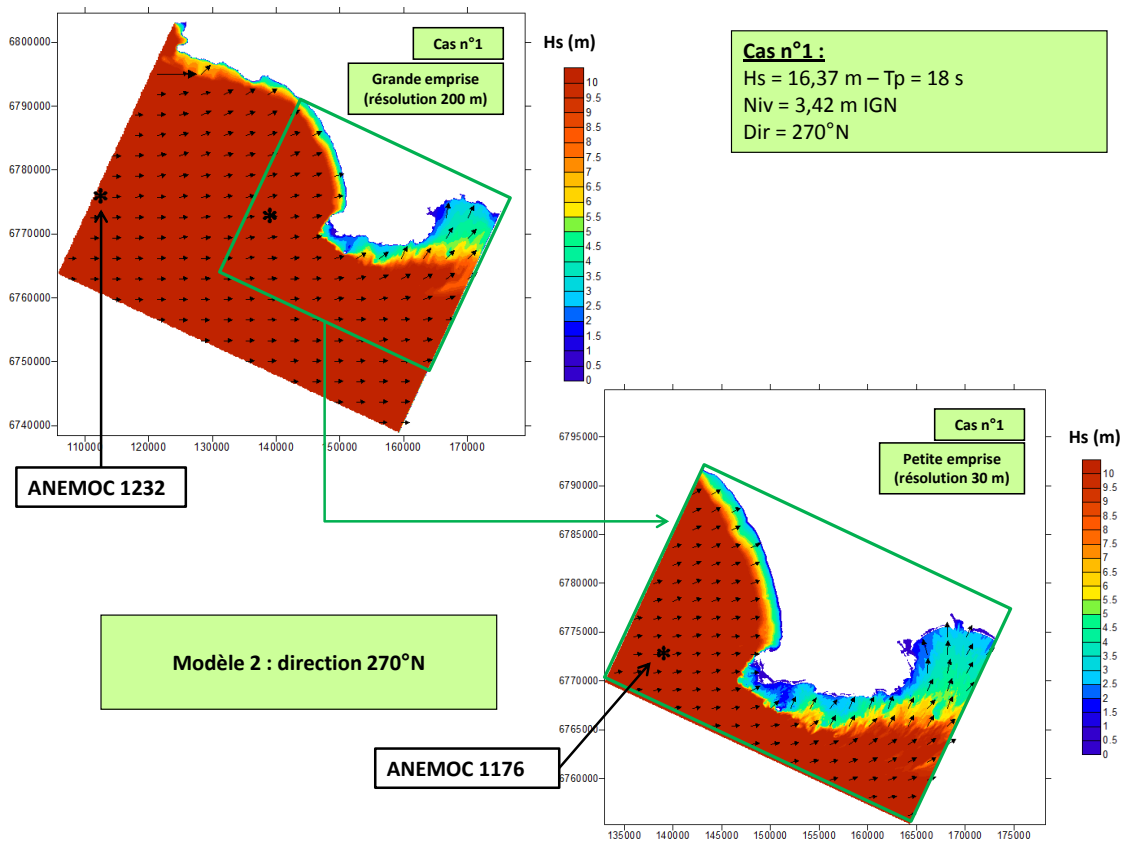


Figure 19 : Exemple de résultat d'agitation – Modèle n°2

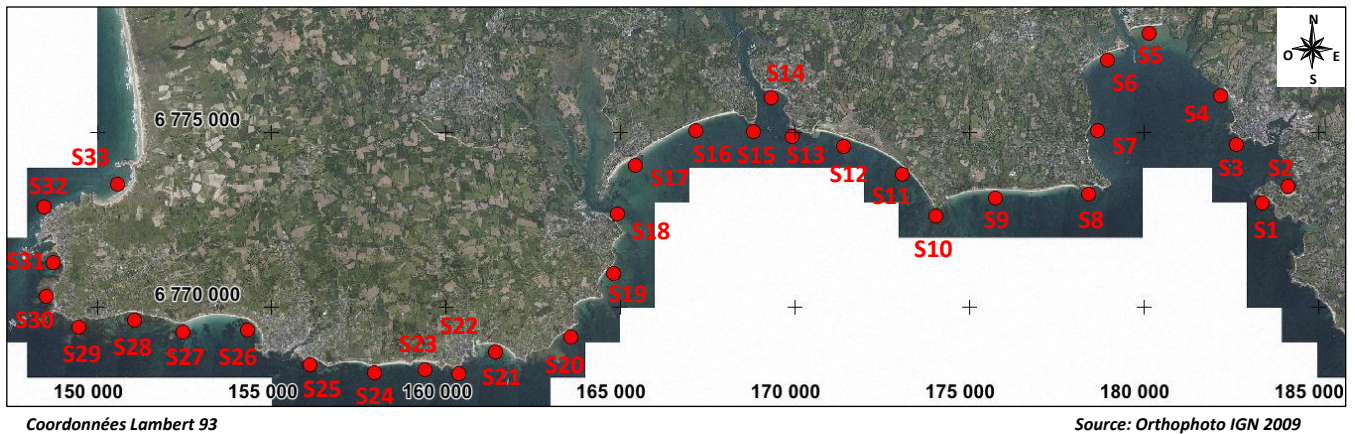
On remarque que sur la grande et la petite emprise, les points ANEMOC sont signalés à l'aide d'un symbole.

Les graphiques des autres cas sont présentés en Annexe 4 (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, 33 secteurs homogènes ont été déterminés sur les modèles 1 et 2 et sont localisés sur la figure ci-après.



**Figure 20 : Localisation des secteurs homogènes pour l'analyse des résultats du modèle SWAN – Modèles n°1 et 2**

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.**

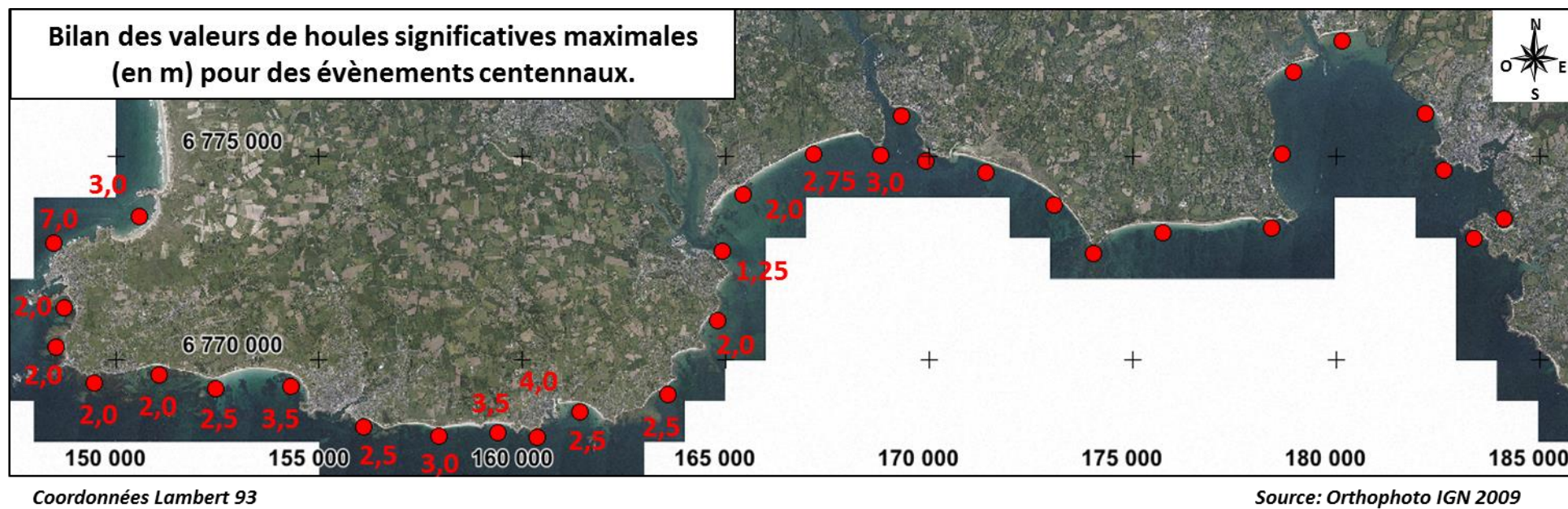


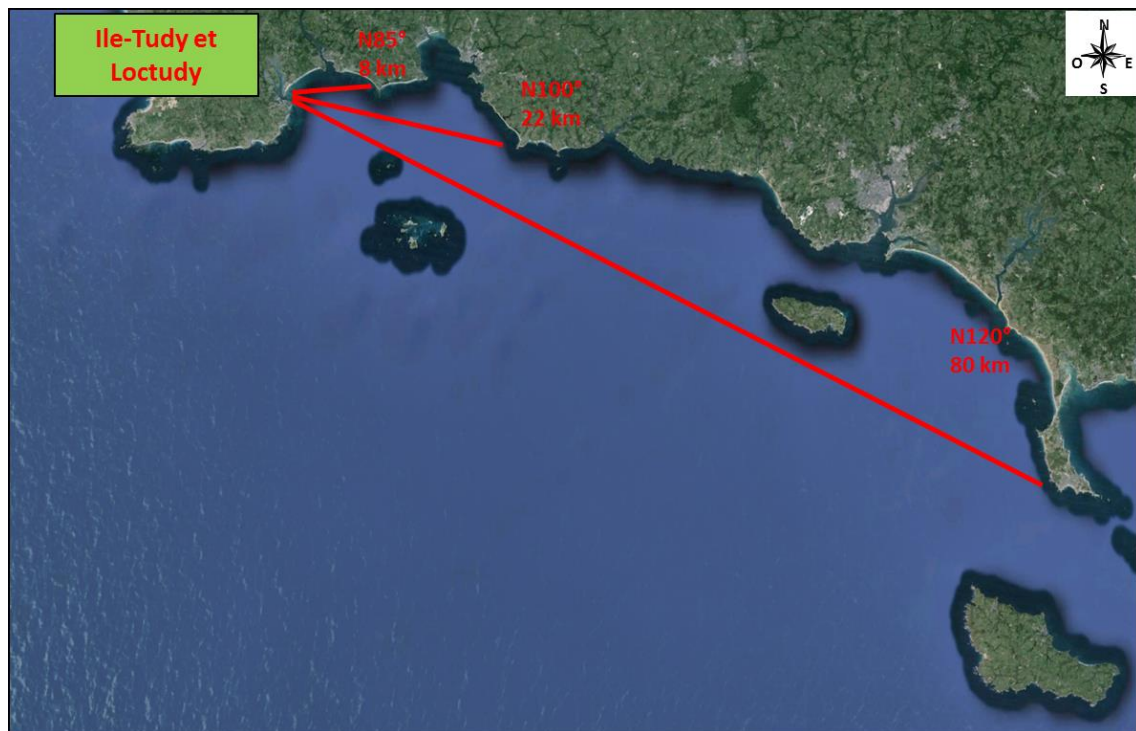
Figure 21 : Bilan des Hs max de houle pour les 12 cas d'évènements théoriques centennaux – Modèles n°1 et 2

### 3.3.2 Mers de vent

**La concomitance d'une mer de vent et d'une houle n'est pas envisagée. C'est le phénomène le plus impactant qui est pris en compte. Il a été fait une analyse de sensibilité des mers de vent à la côte générées par des vents de 15 à 20 m/s sur une période de 3h.**

Les secteurs 17 et 18 situés au niveau des plages de l'Île-Tudy et de Loctudy (littoral Nord) sont des secteurs où il y a un enjeu en termes de franchissements (aléa submersion) et qui sont soumis en plus des houles du large à des mers de vent.

Du fait de la configuration de ces secteurs, seules les mers de vents d'incidence Est à Sud Est (N85° à N120°) (cf. figure suivante) présentent des fetchs suffisants pour générer une agitation significative sur la zone d'étude pouvant être supérieure à la houle océanique.



**Figure 22 : Longueur du fetch maximum**

En première approche, des calculs de mers de vent (par la méthode SMB) générées par des vents de Sud-Est et d'Est ( $V = 15$  à  $20$  m/s pendant une durée de 3h) ont été réalisés.

Les résultats de ces calculs montrent que les mers de vent peuvent soulever une agitation de :

- Commune de l'Île-Tudy – Secteur 17 :
  - agitation de l'ordre de  $H_s=1,7$  m /  $T_p=5$  s pour les vents de Sud-Est,
  - agitation de l'ordre de  $H_s=1,5$  m /  $T_p=5$  s pour les vents d'Est,

Les mers de vent génèrent une agitation supérieure aux houles océaniques pour les cas 11 et 12 ( $H_s=1,7$  m contre  $H_s = 1,25$  à  $1,5$  m).

■ Commune de Loctudy – Secteur 18 :

- agitation de l'ordre de  $H_s=1,7$  m /  $T_p=5$  s pour les vents de Sud-Est,
- agitation de l'ordre de  $H_s=1,5$  m /  $T_p=5$  s pour les vents d'Est,

Les mers de vent génèrent une agitation supérieure aux houles océaniques pour l'ensemble des cas 1 à 12 ( $H_s=1,5$  à  $1,7$  m contre  $H_s = 1,25$  m).

■ Commune de Loctudy – Secteur 19 :

- agitation de l'ordre de  $H_s=1,3$  m /  $T_p=5$  s pour les vents de Sud-Est,
- agitation de l'ordre de  $H_s=1,4$  m /  $T_p=5$  s pour les vents d'Est,

Les mers de vent génèrent une agitation inférieure aux houles océaniques pour l'ensemble des cas 1 à 12. ( $H_s=1,3$  à  $1,4$  m contre  $H_s = 1,75$  à  $2,0$  m).

**Les mers de vents seront prises en compte à la place des houles pour les secteurs et cas suivants : secteur 17, cas 11 et 12 ; secteur 18, cas 1 à 12.**

### 3.3.3 Setup et définition des niveaux marin à la côte

#### Le calcul du Wave set-up

**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 PPRLN, 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

##### 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.

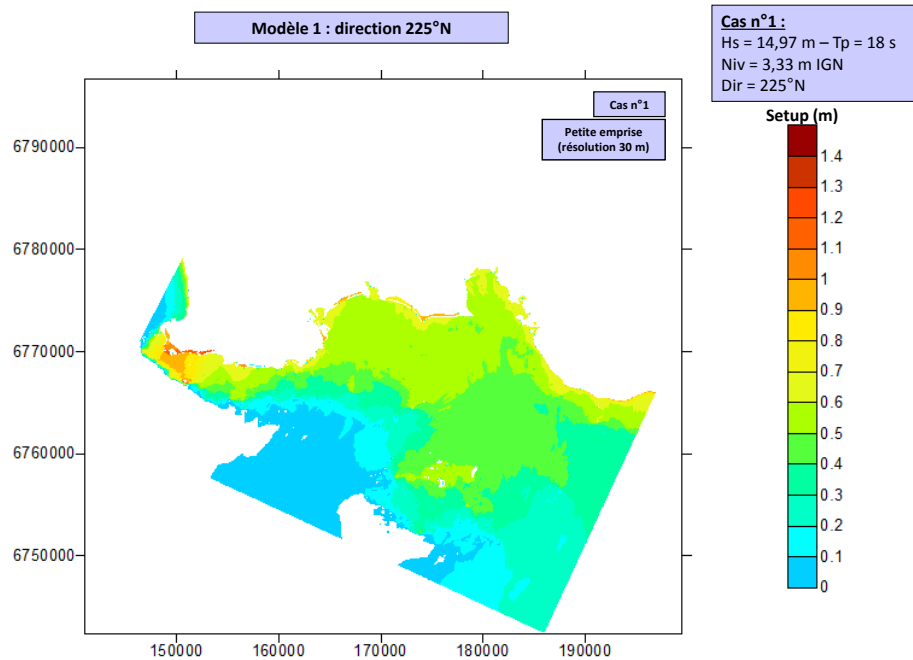


Figure 23 : Exemple de résultat du wave setup – Modèle n°1

Les graphiques des autres cas sont présentés en Annexe 3 (seul le modèle de petite emprise de résolution 30 m, plus précis aux abords du littoral est présenté).

### Modèle n°2

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.

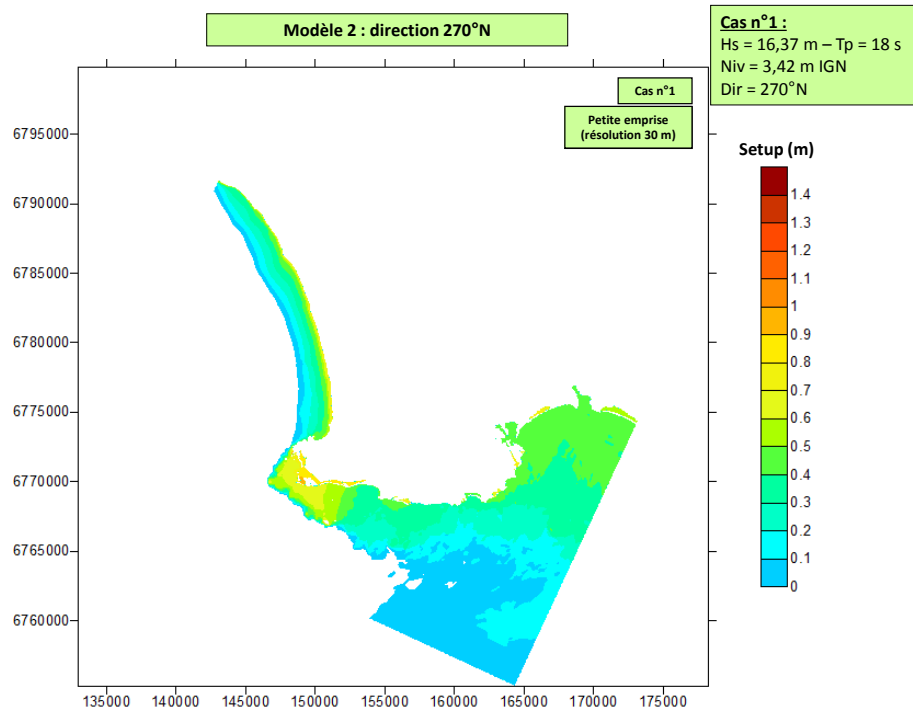


Figure 24 : Exemple de résultat du wave setup – Modèle n°2

Les graphiques des autres cas sont présentés en Annexe 4 (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. Ainsi, 33 secteurs homogènes ont été déterminés et sont localisés sur la Figure 20 ci-avant. Les résultats détaillés sont fournis en annexe. Seul le niveau marin maximum parmi les événements analysés (12 cas théoriques centennaux et 4 cas historiques) a été représenté sur la figure page suivante.

**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 PPRLN, 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 marin hors zones estuariennes

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),
  - 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 PPRLN, 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.
Incertitude 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 <u>données résultent de simulations numériques de houle</u> . 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 la hauteur des houles à la côte est limitée par les fonds. Aussi les résultats des houles à la côte des cas 1 à 12 sont très similaires.

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

Les figures ci-après présentent un bilan des niveaux marin 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, 33 secteurs homogènes ont été déterminés et sont localisés sur la Figure 20 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 les secteurs du PPRLN1, le niveau marin à la côte le plus élevé correspond à celui de la tempête du 10 mars 2008 à l'exception des secteurs 26 et 29, pour lequel le cas 12 de l'évènement théorique centennal est le plus élevé.**

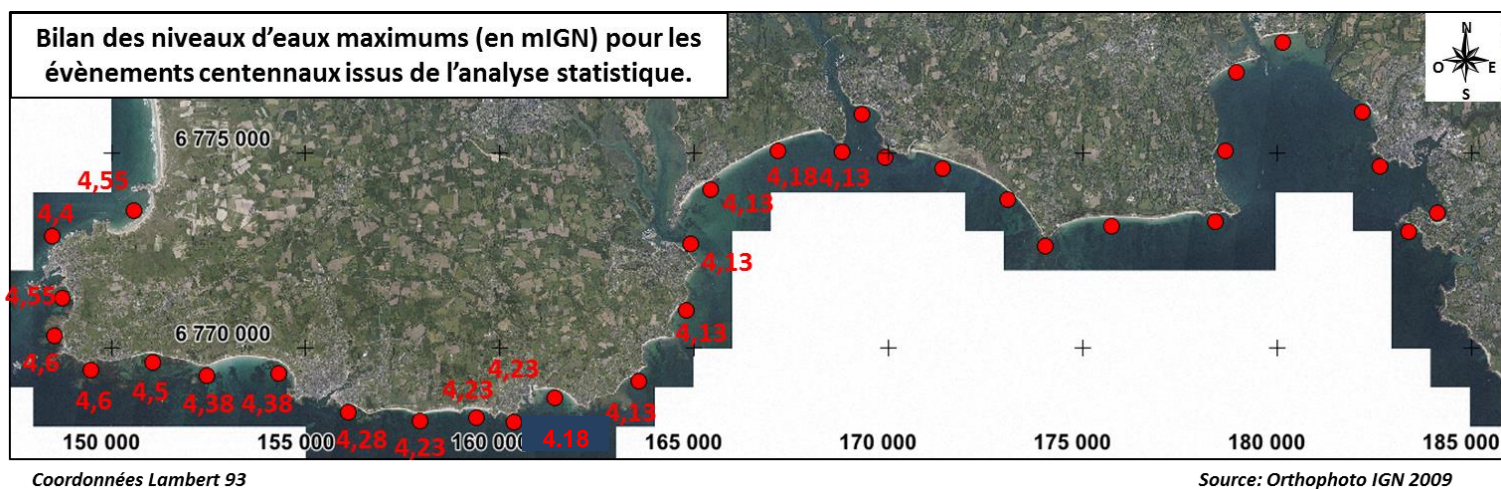
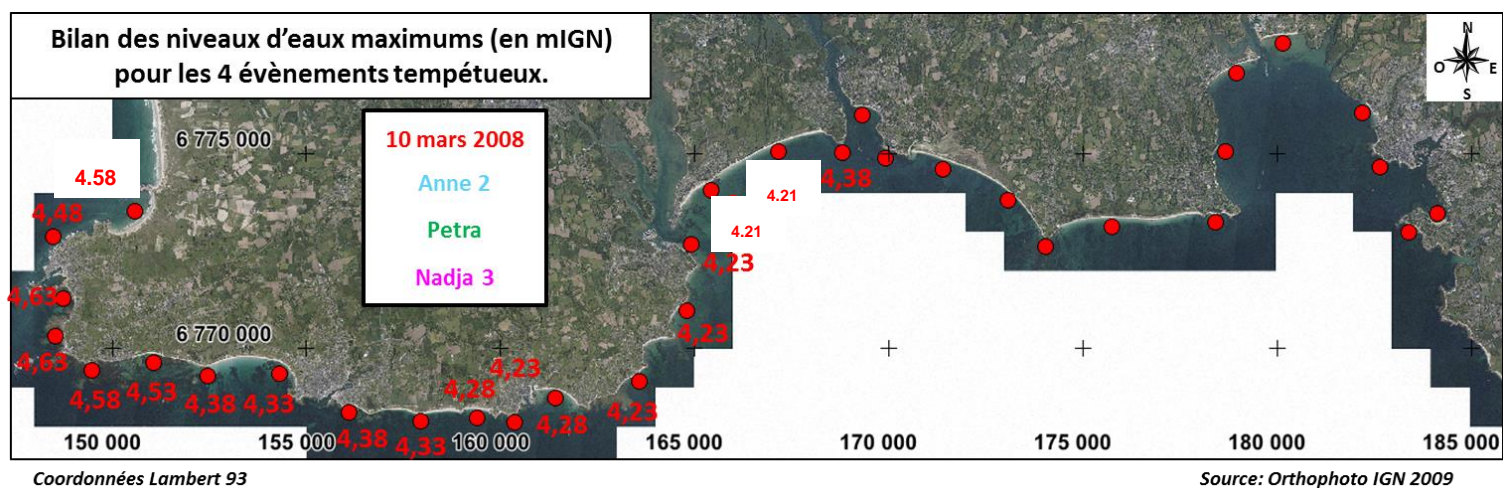


Figure 25 : Bilan des niveaux marins à la côte pour des évènements centennaux – Modèles n°1 et 2



4.21

Figure 26 : Bilan des niveaux marins à la côte pour les évènements tempétueux – Modèles n°1 et 2

## 4.2 Niveaux marins dans les estuaires

### 4.2.1 Les zones estuariennes

Sur le littoral du PPRLN 1, on note les zones estuariennes suivantes :

Commune	Nom de l'estuaire	Numéros de l'estuaire
Combrit / Bénodet	Estuaire de l'Odet	E7
Combrit / Ile Tudy / Pont l'Abbé / Loctudy	Anse du Poulidon et estuaire de Pont – l'Abbé	E8
Plobannalec-Lesconil	Estuaire du Stêr	E9

**Tableau 13 : Liste des zones estuariennes**

Les différents estuaires sont localisés sur la figure suivante :



**Figure 27 : Localisation des estuaires – PPRLN 1**

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 :

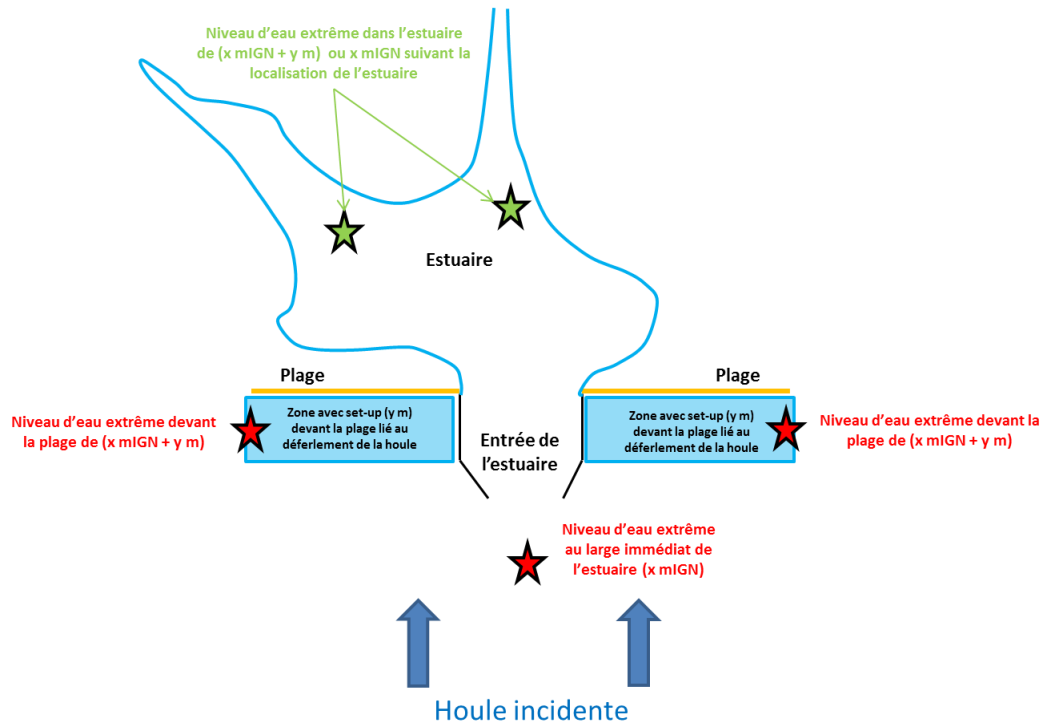


Figure 28 : Schéma de la prise en compte des niveaux marins en zone estuarienne

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

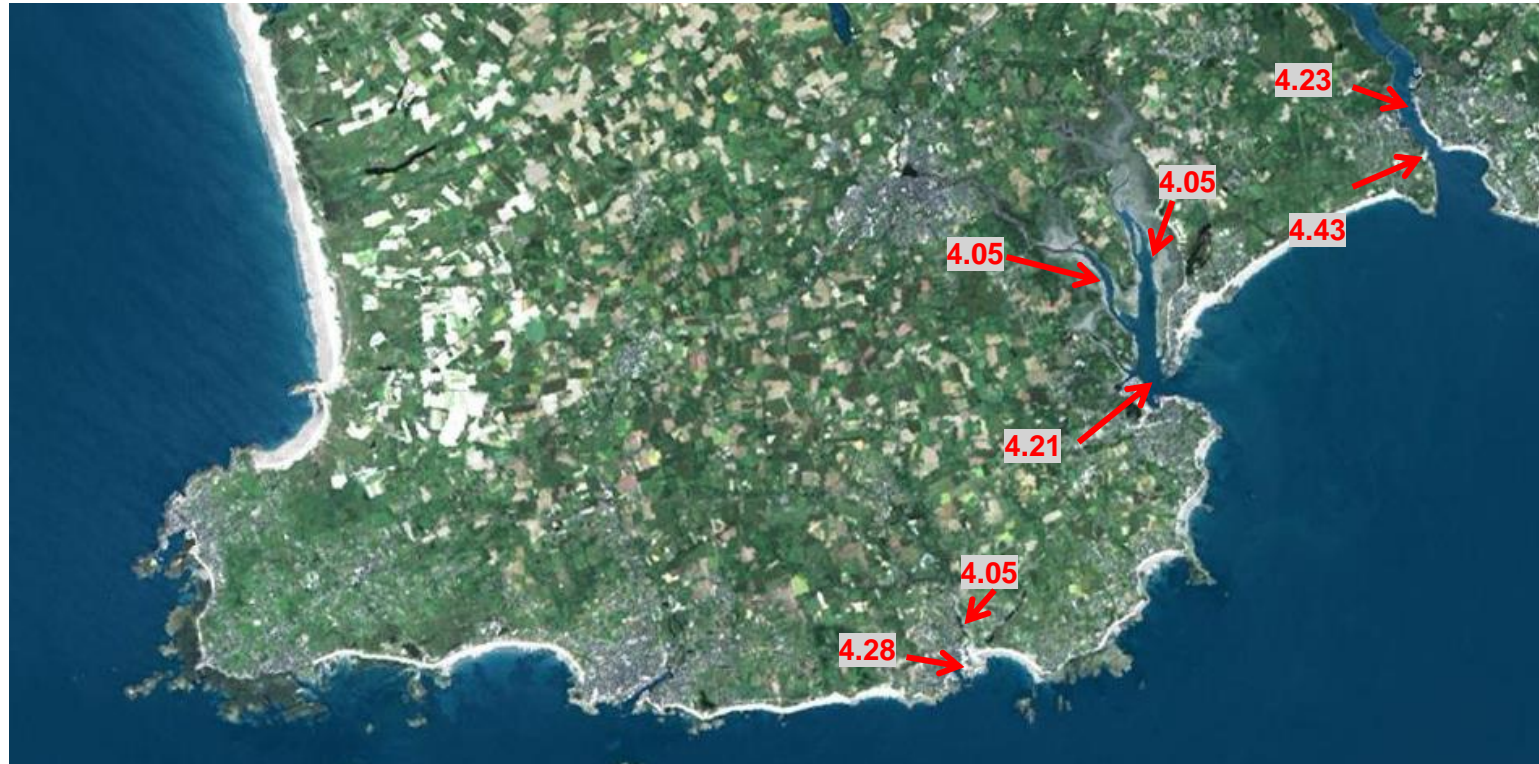


Figure 29 : Bilan des niveaux marins (en m NGF) dans les estuaires pour les 4 événements tempétueux – PPRLN1

On constate que pour chaque secteur du PPRLN1, le niveau marin le plus élevé dans les estuaires correspond à celui de la tempête du 10 mars 2008 ou au cas 12 de l'évènement centennal théorique. 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 passés 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	Tempêtes de période de retour > 100 ans (Classées par ordre décroissant d'intensité)	
	Bassi	Secteur
Combrit	15	10 mars 2008, Anne 2 et Nadja 3
	16	10 mars 2008, Anne 2 et Nadja 3
Ile-Tudy	17	10 mars 2008, Anne 2 et Nadja 3
Loctudy	18	10 mars 2008
	19	10 mars 2008 et Anne 2
	20	10 mars 2008 et Anne 2
	21	10 mars 2008 et Anne 2
Plobannalec-Lesconil	22	10 mars 2008 et Anne 2
Treffiagat-Lechiagat	23	10 mars 2008 et Anne 2
	24	10 mars 2008 et Anne 2
	25	10 mars 2008 et Anne 2
Le Guilvinec	26	10 mars 2008
	27	10 mars 2008
Penmarc'h	28	10 mars 2008
	29	10 mars 2008
	30	10 mars 2008
	31	10 mars 2008
	32	10 mars 2008, Anne 2 et Nadja 3
	33	10 mars 2008, Anne 2 et Nadja 3

**Tableau 14 : Evènements hydrodynamiques passés supérieurs à la période de retour 100 ans pour chaque secteur**

On retiendra que la tempête du 10 mars 2008 (incrémentée des surcotes liées aux incertitudes et au changement climatique) 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 de mars 2008 est l'évènement générant le plus haut niveau marin en tous points du littoral, à l'exception du secteur 29 (Penmarc'h) où il s'agit de l'évènement théorique centennal.

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 ouvrages tels que le type, 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, 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 PPRLN, 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 PPRLN 1 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 PPRLN 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 marée<sup>3</sup> 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.

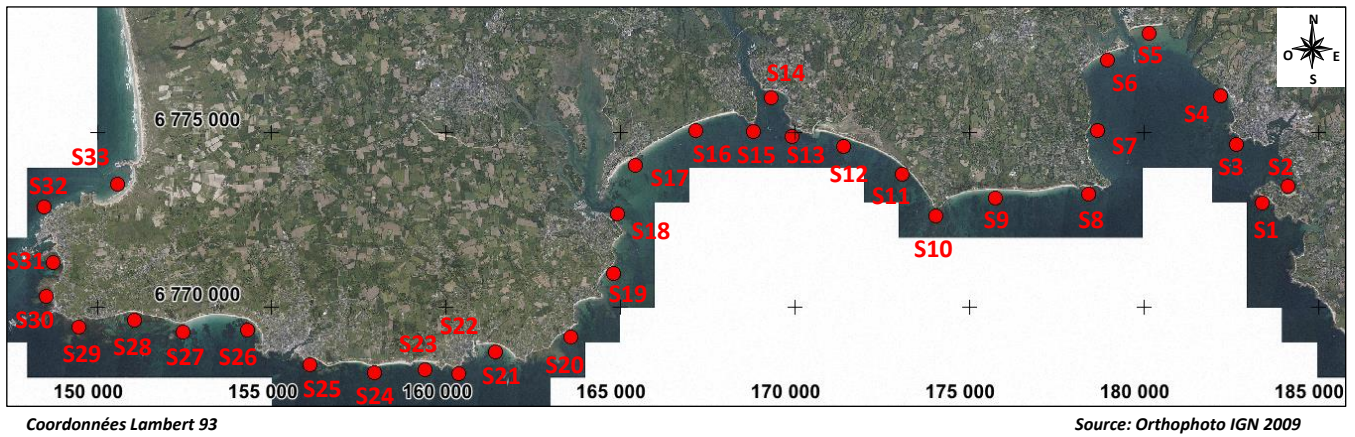
Pour les évènements théoriques centennaux, les cycles de marée sont construits par la détermination du niveau de pleine mer qui est issu des niveaux marins extrêmes<sup>4</sup> pour le premier cycle et des caractéristiques générales de vive-eaux (coefficient 95) pour le second cycle. Le niveau de basse 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 marins sont ajoutés les hauteurs 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...).

---

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

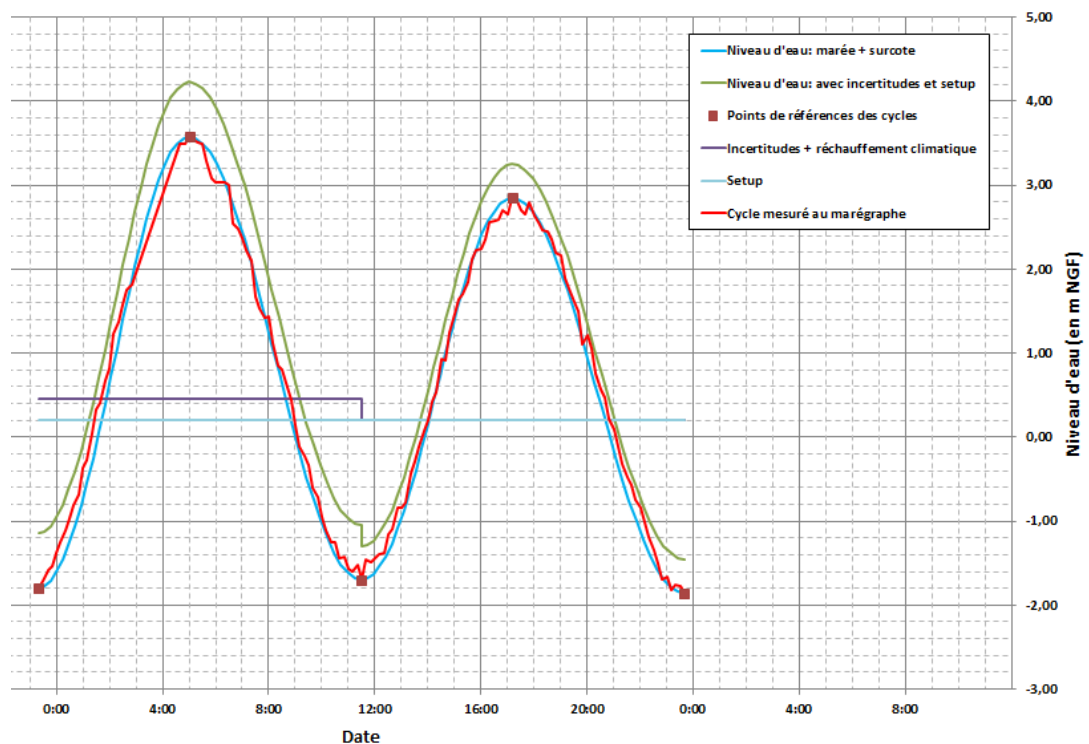
<sup>4</sup> Source : Statistique des niveaux marins extrêmes des côtes de France – Edition 2008 et 2012 (Source SHOM)  
Plan de Prévention des Risques Naturels Littoraux n°1 – Rapport de phase 2



**Figure 30 : 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 PPRLN 1 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 S18 de Loctudy est présenté ci-après.



**Figure 31 : modèle de cycles de marée construit pour l'évènement marin de référence sur secteur S18 (Loctudy)**

#### 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 événements 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 PPRLN.

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/s<sup>2</sup>,
- H<sub>m0</sub> : Hauteur de houle significative spectrale au niveau de l'ouvrage,
- α : angle de l'ouvrage avec l'horizontale,
- ξ<sub>m-1,0</sub> : Paramètre de déferlement (nombre d'Iribarren) :  $\tan \alpha / s_0$ ,
- s<sub>0</sub> : Cambrure de la houle : H/L<sub>0</sub> avec H la hauteur de houle locale et L<sub>0</sub> 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,
- $\gamma_\beta$  : facteur d'obliquité  $\gamma_\beta = 1 - 0.0063|\beta|$  (1 si l'obliquité n'est pas considéré),
- $\gamma_b$  : facteur de berme (1 si pas de berme),
- $\gamma_v$  : 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  $\alpha_{wall}$ =angle du mur (°) (égal à 90° pour un mur vertical)
- $\gamma_f$  : 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.

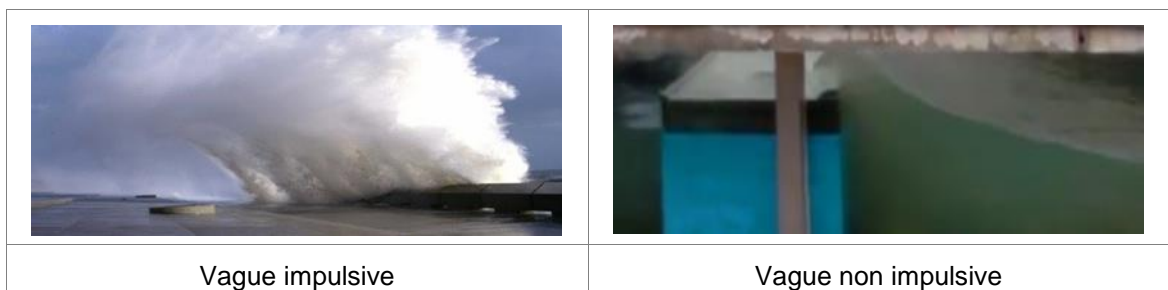
*Nota : les facteurs d'obliquité, de berme et de prise en compte d'un mur sont pris égaux à 1.*

#### 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 PPRLN 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 32 : 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 ( $h^* > 0.3$ ) :

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

- 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
TR1	0	S14 à S15	0
CD2	0	S16	1 à 10
CD3	> 100	S16	> 100
SC4	10 à 100	S17	> 100
CD5	10 à 100	S17	> 100
SC6	surverse	S17	surverse
SC7a	surverse	S17	surverse
SC7b1	surverse	E8b	surverse
SC7b2	> 100	E8b	> 100
SC7c	surverse	E8b	surverse

SC7d	surverse	E8b	surverse
SC7e	>100	E8b	>100
CD8	1 à 10	E8b	10 à 100
SC9	10 à 100	S18	> 100
SC10	0	S18	1 à 10
SC11a	surverse	S19	surverse
SC11b	10 à 100	S19	10 à 100
CD12	0	S19	0
CD13	0	S20	1 à 10
CD14	> 100	S20	> 100
SC15	surverse	S20	surverse
TR16	0	S22	0
CD17	0	S23	1 à 10
CD18	0	S24	1 à 10
CD19	0	S24	1 à 10

Tronçons	Volumés (l/s/ml)		
	état actuel	secteur correspondant	état à 100 ans
SC20	1 à 10	S25	10 à 100
CD21	> 100	S25	> 100
TR22	> 100	S25	> 100
SC23	> 100	S25 - set up	surverse
SC24	0	S25	0
SC25	> 100	S25	> 100
CD26	surverse	S26	surverse
CD27	10 à 100	S26	> 100
CD28	surverse	S27	surverse
CD29	surverse	S28	surverse
SC30b	surverse	S28	surverse
SC30c	surverse	S28 - set up	surverse
CD31	surverse	S29	surverse
CD32a	> 100	S29	surverse
SC32b	10 à 100	S30	> 100
SC33a	> 100	S31	> 100
TR33b	0	S31	0
CD34	0	S31 - set up	0
CD35	0	S32	0

**Figure 33 : 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 PPRLN 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 PPRLN, 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  $T_x$  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. Les cotes rocheuse et les cotes basses meubles avec ouvrage bétonné ne font pas l'objet d'incertitudes.

**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.

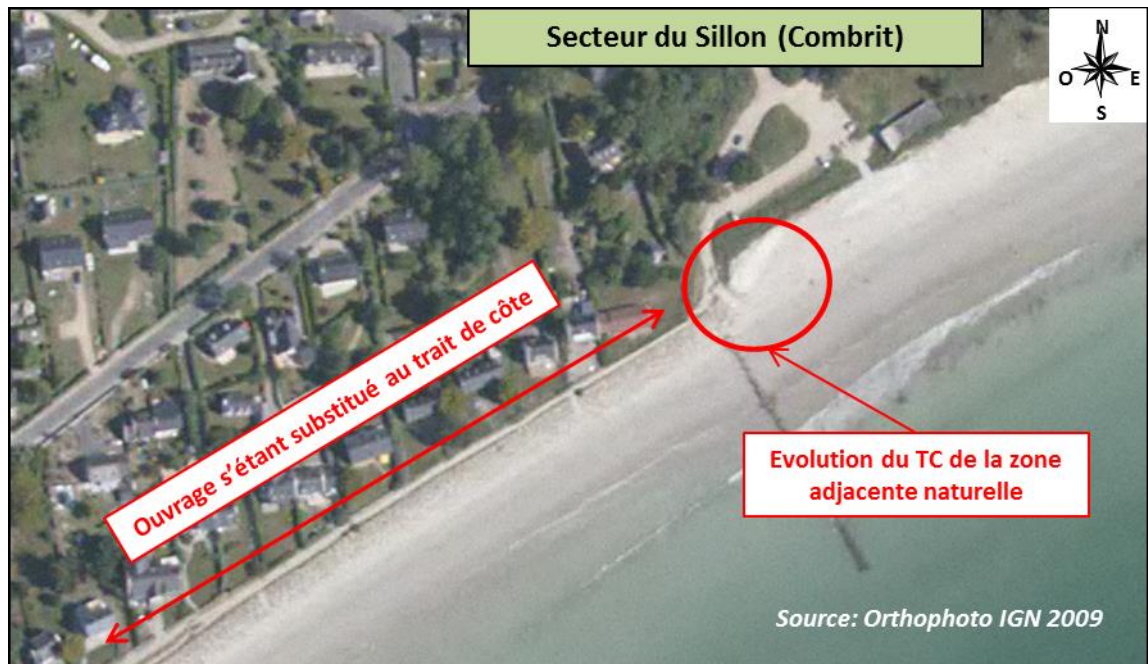
Un littoral dont la ligne de rivage est en apparence fixée peut ainsi être soumis à un phénomène d'érosion pouvant se traduire par un abaissement du profil, des affouillements en pied d'ouvrages, etc.

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 PPRLN1 au niveau de la protection longitudinale du Sillon sur la commune de Combrit :



- **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 PPRLN1 notamment dans le secteur de la plage de Lodonnec et Ezer sur la commune de Loctudy :



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

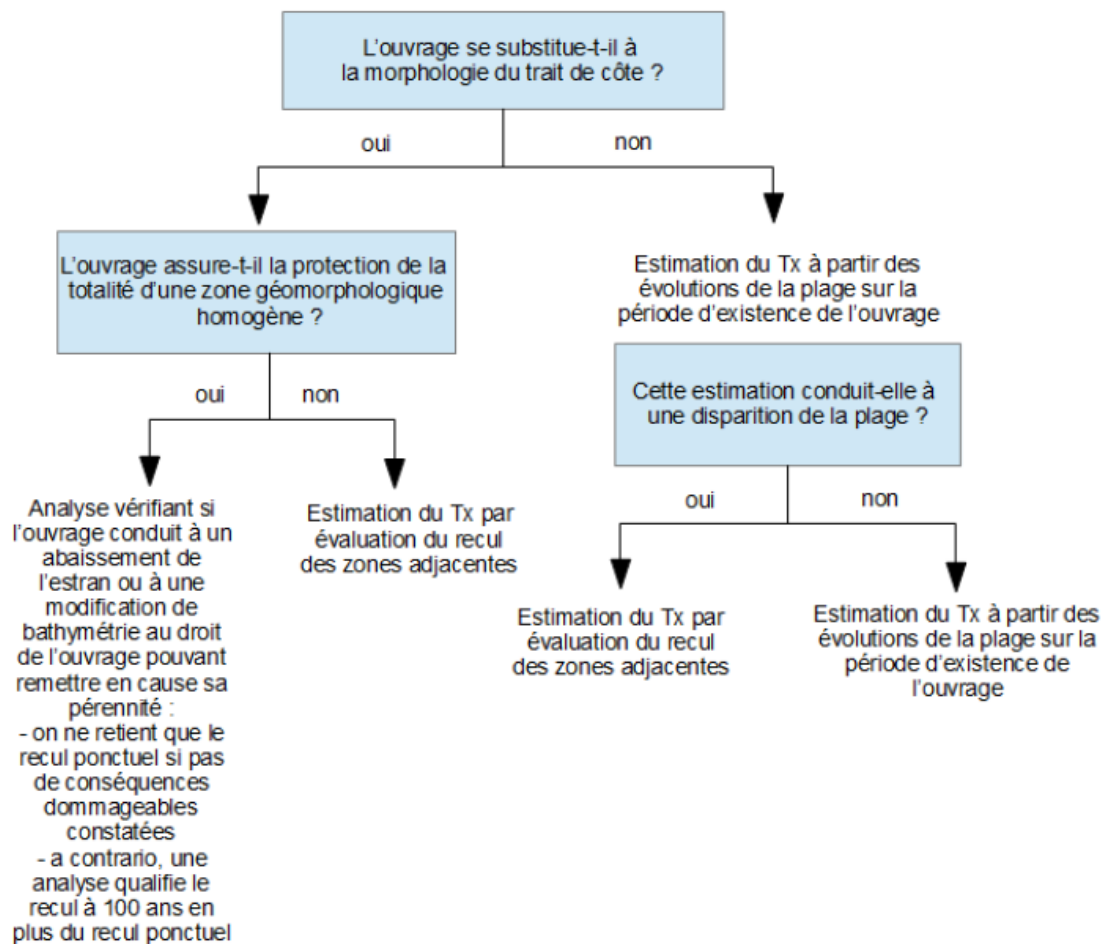
- **Pour les ouvrages s'étant substitué au trait de côte**, deux cas peuvent se présenter :
  - **l'ouvrage assure la protection d'une partie d'une zone géomorphologique homogène et l'évolution de la zone protégée serait de même type que celle des zones adjacentes en absence d'ouvrage.** Dans ce cas, 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.**



**Figure 34 : Démarche simplifiée de prise en compte des ouvrages  
(Guide PPRLN 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 PPRLN)
- 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 :
  - 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.
  - Un recul minimum de 2 m est donc à considérer.
  - 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.

- 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 cotes basses meubles présentant un ouvrage bétonné.

### 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. Aucune incertitude n'est prise en compte.

## 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** (platières), 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 PPRLN 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 événement 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:

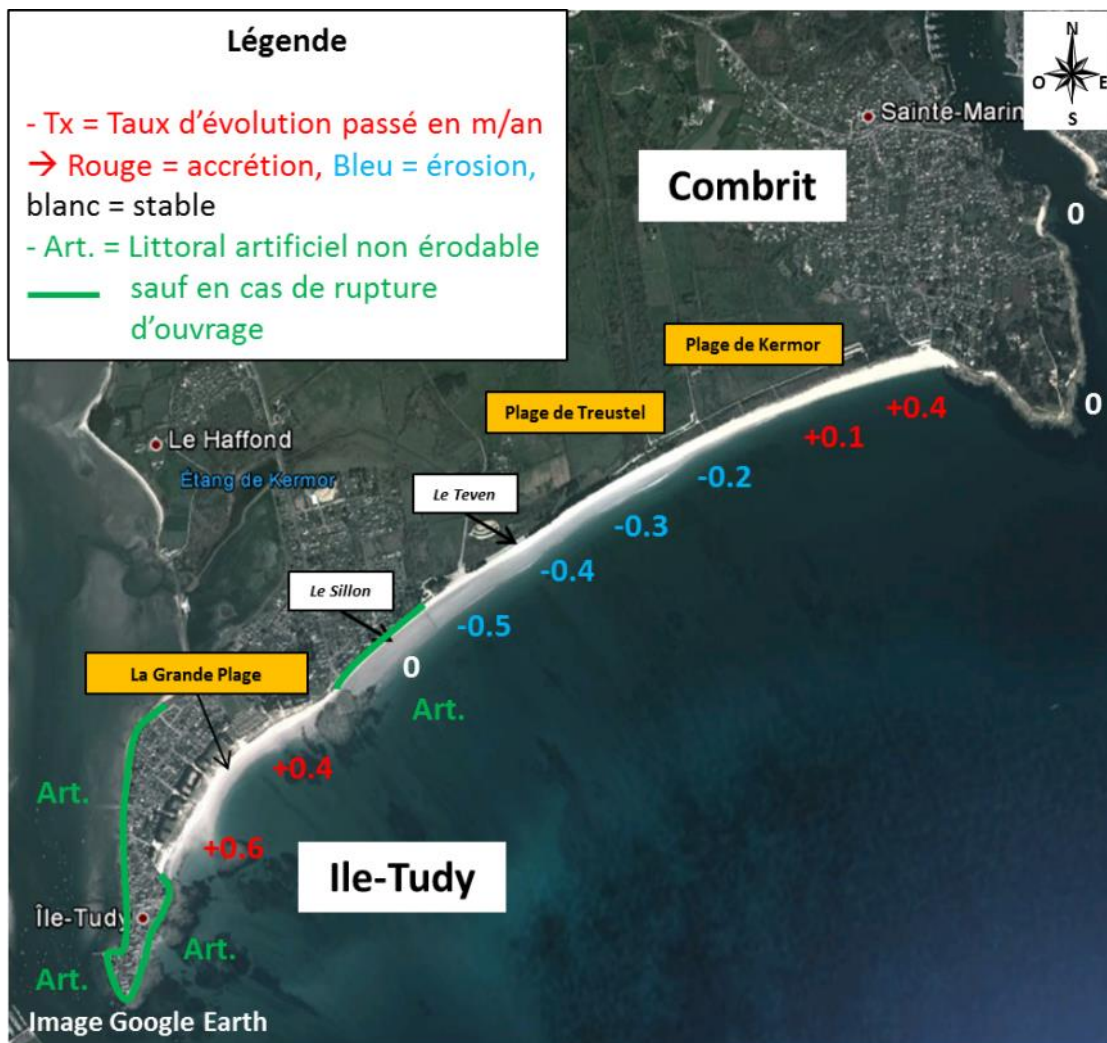
- M1 : De manière générale, règle de 3 entre l'élévation du niveau de la mer sur la période de l'évolution passée et entre l'élévation de 60 cm à 100 ans → règle de 3 sur l'évolution passée du TC.
- M2 : Côtes basses meubles sans évolution passée du TC: le recul à 100 ans sera calculé sur la base des 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 marin de +60 cm → recul de 30 m).

**La méthode la plus pénalisante sera prise en compte pour le positionnement du trait de côte à l'échéance 2100 avec la prise en compte du changement climatique.**

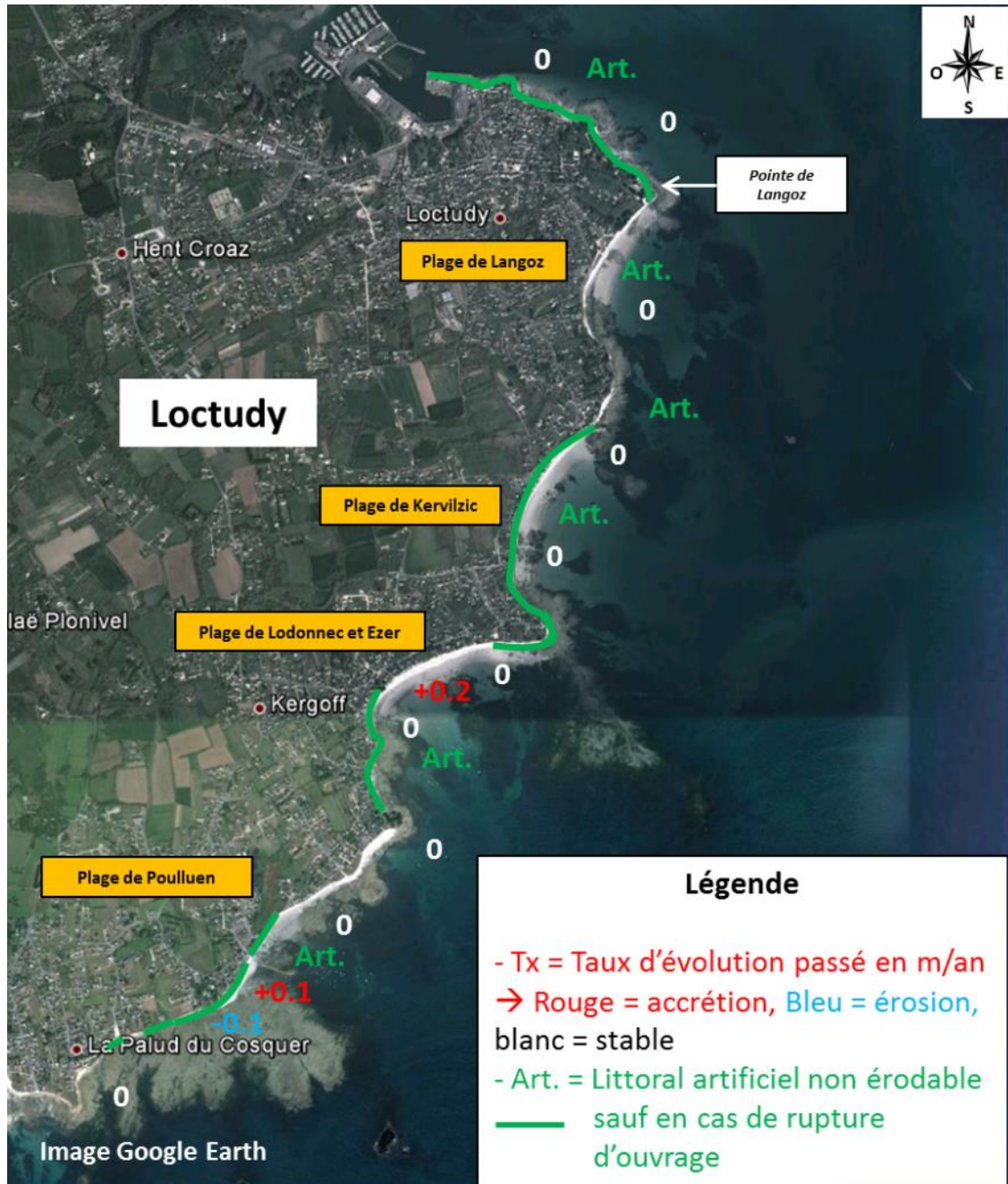
**Au vu des incertitudes quant aux méthodes empiriques appliquées pour définir l'aléa érosion à 100 ans intégrant le changement climatique, il est important de rappeler que l'aléa érosion à 100 ans avec prise en compte du changement climatique ne correspond donc pas à l'aléa référence retenu pour la carte réglementaire. Aussi, ces approximations concernant l'impact du changement climatique sur l'aléa érosion, n'ont pas d'incidence sur le zonage réglementaire.**

## 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 PPRLN29. Nous renvoyons donc au rapport de phase 1.







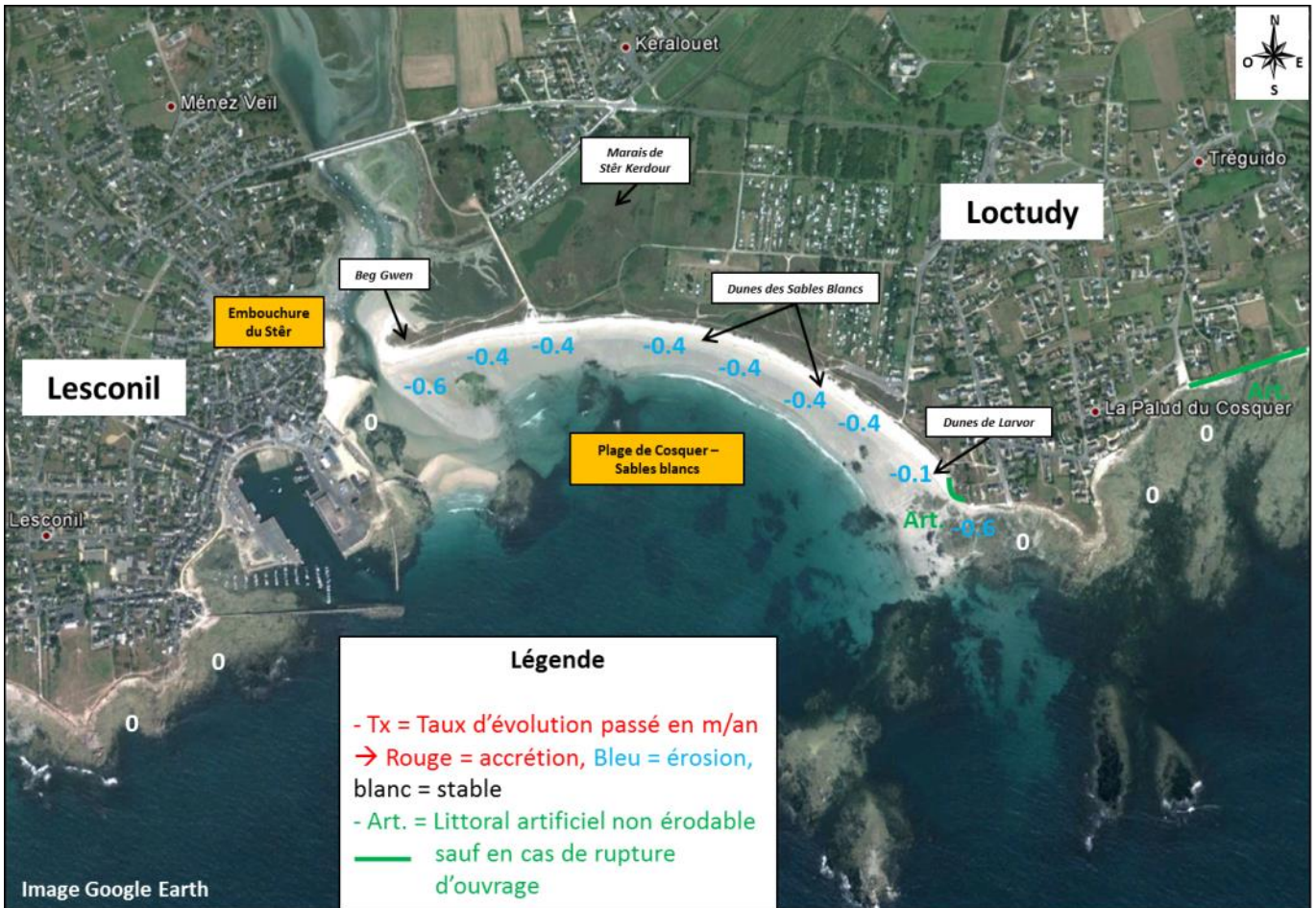




Figure 35 : Cartes présentant le recul moyen annuel historique du trait de côte « Tx »

## 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 Combrit :

#### Evènements historiques :

- 1830 : 3 brèches interrompent le cordon au niveau du Treustel.
- 4 décembre 1865 : ouverture de 5 brèches entre le Treustel et Beg ar Fry lors d'une tempête.
- Février 1879 : ouverture d'une brèche à l'Ouest du Treustel.
- 3 et 4 décembre 1896 : ouverture de 5 nouvelles brèches au Treustel (10 à 65 m de large).
- 9 au 11 février 1936 : recul brutal du cordon dunaire sur 450 m au droit du Treustel lors des tempêtes : sa largeur en crête passe de 5 à 1,5 m sur un linéaire de 80 m.

- 16 février 1941 : recul au Treustel de -0.5 à -1 m de largeur sur un linéaire de 90 m.
- 23 décembre 1945 : la crête de la dune est réduite à 0,5 m sur une longueur de 200 m.
- 11 janvier 1962 : nouveau recul de plusieurs mètres au Treustel.
- Tempête de 1967 : trois petites brèches au Treustel
- 13 décembre 1978 : Recul généralisé du front dunaire entre l'Île-Tudy et Sainte-Marine (-2 à -3 m entre Kermor Braz et Sainte-Marine) et ouverture de nouvelles brèches. Recul de la dune du Teven de plusieurs mètres.
- Janvier et février 1979 : recul du front dunaire de 2 à 3 m au niveau du Teven, destruction des protections (ganivelles, plantations).
- 23 novembre 1984 : ouverture de nouvelles brèches au droit du Treustel. Recul local de la dune de 4 à 5 m. Destructures des protections (ganivelles, plantations) et de l'escalier en remblais réalisé en 1983.
- 6 et 7 avril 1985 : recul du cordon dunaire.
- 15 octobre 1987 : recul du cordon dunaire de 1,5 m.
- 15 au 18 décembre 1989 : les dunes du Teven et de Treustel ont été fortement érodées. Au niveau du Teven, le recul de la dune a été jusqu'au niveau de l'entrée des jardins.
- 25 et 26 janvier 1990 : recul de la dune au niveau du Teven.
- 12 et 13 décembre 1993 : recul de la dune au niveau du Teven.
- 22 janvier 1996 : recul au niveau du Treustel de 3 à 4 m.
- 2 février 1996 : recul du cordon dunaire.
- 5 et 13 Janvier 1998 : recul de la dune sur plusieurs mètres.
- 29 mars 1998 : érosion côtière localisée.
- Septembre 1998 : recul important des dunes du Treustel.
- 12 décembre 2000 : recul du rivage.
- 27 octobre 2004 : recul de la dune au niveau du Teven et du Treustel. Les cordons dunaires ont été entamés de plusieurs mètres.
- 10 mars 2008 : très forte érosion sur la dune du Treustel, plusieurs brèches dans le cordon dunaire.
- 3 mars 2010 : érosion et ouverture d'une brèche dans la dune du Treustel.
- 28 février 2012 : très forte érosion sur la dune du Treustel, plusieurs brèches dans le cordon dunaire.
- 23 au 24 décembre 2013 (Dirk) : pas d'érosion significative
- 1<sup>er</sup> et 2 janvier 2014 : recul de 3 m du trait de côte sur certains secteurs
- 3 et 4 janvier 2014 (Anne) : recul de 3 m du trait de côte sur certains secteurs
- 5 et 7 janvier 2014 (Christina) : pas d'érosion significative
- 31 janvier au 1<sup>er</sup> février (Nadja) : recul du trait de côte de 3m par endroits

**Conclusion :** Sur l'ensemble du cordon dunaire du littoral de Combrit, le risque de recul lors des tempêtes est très sensible. D'après l'analyse historique passée, la valeur du recul du trait de côte consécutif à un évènement tempétueux majeur (Lmax) est de 10 m. Le risque le plus important se situe au niveau du Treustel et du Teven.

### 2.2.2 Commune de l'Île Tudy

Les cordons dunaires érodables sont situés sur la commune de Combrit (cf. ci-avant). La Grande-Plage de l'Île-Tudy n'a pas subi d'évènements majeurs ayant entraîné un recul important de sa plage.

**Conclusion :** Sur le littoral de l'Île Tudy (essentiellement constitué d'ouvrages longitudinaux en dur hormis la Grande-Plage), le risque de recul lors des tempêtes est faible. D'après l'analyse historique passée, la valeur du recul du trait de côte consécutif à un évènement tempétueux majeur (Lmax) est de 2 m.

### 2.2.3 Commune de Pont l'Abbé :

Cette commune n'est pas concernée par le risque d'érosion.

### 2.2.4 Commune de Loctudy

#### **Evènements historiques :**

- 18 et 19 avril 1935 : La flèche du Cosquer subit une érosion avec un recul de 7,5 m. Le rivage fut également affecté avec un recul de la dune jusqu'à 9 m et un abaissement de 1,5 m à son extrémité.
- Février 1936 : la dune a reculé de 9 m sur 165 m dans la zone centrale directement soumise aux houles et protégé par aucun obstacle rocheux. Un abaissement de 1,5 m a été constaté à son extrémité. Des travaux ont été nécessaires sur 300 m afin d'éviter que la mer n'envahisse l'arrière-pays.
- 1937 : une nouvelle tempête ouvre des brèches dans la dune du Cosquer.
- 1939 : brèche dans le cordon dunaire (flèche du Cosquer) sur 65 m de long et 10 m de profondeur.
- 22 au 25 octobre 1949 : la dune s'est effondrée et une importante fraction de terrains agricoles est menacée de disparaître.
- 11 janvier 1962 : les tempêtes successives ont arasé la dune et les terres labourables sont menacées.
- Hiver 1966-1967 : les tempêtes ont endommagé la dune et la crête s'est trouvée abaissée. La dune est très éprouvée à l'Ouest, près des marais.
- 10 et 11 février 1974 : la flèche du Cosquer est affectée par un recul du rivage artificiel avec l'arrachement des défenses en place et l'apparition de brèche dans le cordon.
- 20 novembre 1974 : érosion du cordon et submersion en arrière de la dune au niveau de Beg Gwen.
- 25 octobre 1976 : dune de la Palud du Cosquer érodée.

- 13 décembre 1978 : Le cordon dunaire des Sables Blancs est rongé sur 40 m de long avec un affaissement de la flèche. Il fut renforcé par des apports de matériaux et de remblais divers.
- Septembre 1981 : la largeur du cordon s'est trouvée localement réduite à moins de 2 m à l'Ouest, près du marais de Ster Kerdour.
- 15 novembre 1986 : tempêtes successives qui conduisent à l'érosion en microfalaise de la flèche au niveau de Beg Gwen.
- 15 au 18 décembre 1989 : érosion importante observée sur les dunes des Sables Blancs et de Larvor.
- 25 janvier 1990 : dune des Sables Blancs dégradée et franchissement de la dune par la mer à hauteur du camping.
- 1994 : recul de la dune à l'Est de la jetée du port.
- 1996 : successions de tempêtes avec dommages sur les dunes : effondrements en plusieurs endroits avec risque de brèches sur le cordon des Sables Blancs et érosion sur la dune de Kerloc'h.
- 27 octobre 2004 : recul de la dune des Sables Blancs au niveau de la pointe de Beg Gwen.
- 10 mars 2008 : dunes fortement endommagées avec recul du trait de côte dans le secteur des Sables Blancs.
- Evènements de l'hiver 2013/2014 : recul de 5m de la pointe de Kérafédé à St-Oual et de 10m au droit de la plage des Sables Blancs

**Conclusion :** Sur l'ensemble du littoral de Loctudy, seul le cordon dunaire s'étendant de la pointe de Beg Gwen à Kerloc'h présente un risque d'érosion très sensible en tempête. Le reste du littoral de Loctudy est artificialisé ou bien est constitué par des côtes rocheuses végétalisées qui sont moins sujettes à l'érosion et dont le recul Lmax est considéré à 2 m voire 5 m pour certaines portions des plages de Poulluen et de Lodonnet et Ezer.

D'après l'analyse historique passée, la valeur du recul du trait de côte consécutif à un événement tempétueux majeur (Lmax) est de 10 m. Le risque se situe sur l'ensemble du cordon dunaire du Cosquer.

Aujourd'hui, le littoral est artificialisé sur la pointe du Larvor (sur environ 50 ml) avec des protections longitudinales en enrochements permettant de stabiliser le trait de côte. Ainsi, à cet endroit, le recul Lmax lors d'une tempête est nul à moins qu'il y ait une rupture de l'ouvrage.

### 2.2.5 Commune de Plobannalec-Lesconil

#### **Evènements historiques :**

- 22 au 25 octobre 1949 : la dune de Lesconil s'est effondrée.
- 10 et 11 février 1974 : ouverture de brèches dans la dune du Ster.
- Evènement de l'hiver 2013/2014 : Les deux plages de poche à l'Ouest du port de Lesconil n'ont pas ou très peu été érodées. La plage à l'Est du port a légèrement modifié son orientation du trait de côte suite aux tempêtes et son niveau s'est abaissée légèrement.

**Conclusion :** Le littoral de Plobannaec-Lesconil soumis potentiellement à un risque de recul lors d'une tempête est faible et se concentre au niveau de l'embouchure du Ster au Nord du port de Lesconil. Les autres secteurs sont essentiellement artificialisés ou bien constitués par des côtes rocheuses végétalisées qui sont moins sujettes à l'érosion. D'après l'analyse historique passée, peu d'évènements ont été recensés présentant un recul du trait de côte lors d'une tempête. Ainsi, la valeur du recul du trait de côte consécutif à un évènement tempétueux majeur (Lmax) est de 5 m sur la zone de l'embouchure du Stêr et de 2 m ailleurs.

## 2.2.6 Commune de Treffiagat

### Evènements historiques :

- 4 décembre 1865 : dégradation de la dune.
- 8 au 9 janvier 1924 : la mer a rompu la dune de Pors-Treillen.
- 29 décembre 1924 et 24 février 1925 : la dune littorale a subi depuis quelques années un léger affaissement et de ce fait, sa crête n'est plus, en certains points, qu'à 0,6 m au-dessus des plus fortes marées.
- 23 mars 1928 : entre Léchiagat et Léhan, la dune a été abaissée de 0,5 m sur un linéaire de 890 m.
- 5 mars 1936 : affaiblissement continu de la dune et recul du rivage naturel.
- Hiver 1945 : violente tempête ayant ravagée la dune.
- 1969 : ouverture d'une brèche dans le cordon dunaire.
- 1970 : une brèche est apparue dans le cordon entre Léchiagat et Léhan.
- 1973 et 1974 : affaiblissement de la dune aux endroits sensibles.
- 13 décembre 1978 : ouverture de brèches entre Léchiagat et Léhan, dont une de plus de 90 m. Réduction de la largeur du cordon au droit des carrières (de Léhan à la limite communale). Erosion du cordon dunaire entre le Porz Treillen et Léhan. Apparition de trois brèches dans la dune de Kervai (15, 10 et 5 m de large). Au niveau de Kerloc'h : ouverture de deux brèches dans le cordon dunaire.
- 23 novembre 1984 : recul du rivage naturel avec brèche dans le cordon entre Léchiagat et Léhan.
- 15 octobre 1987 : les dunes de Squvidan ont été terriblement endommagées lors de la tempête. Devant les prairies de Kersauz-Kervai, trois brèches importantes sont apparues.
- 15 au 18 décembre 1989 : le cordon dunaire a été rompu entre Léchiagat et Léhan, au niveau de Kersauz et du Reun. Un recul de la dune de 2 m est également observé au niveau du Reun. Après cette tempête, d'importants travaux ont été entrepris par le Conseil Général du Finistère pour colmater et renforcer le cordon dunaire entre Léhan et Lesconil.
- Hiver 1990 : des tempêtes successives ont érodé la dune au niveau du Squvidan.
- 6 septembre, 24 octobre et du 22 au 24 décembre 1995 : nombreux dégâts occasionnés aux dunes.
- Novembre 1999 : dune effondrée sur la plage du Rheun.

- Hiver 2009 : recul de l'à-pic dunaire.
- Hiver 2013 /2014 : érosion importante au droit des maisons de la pointe de Lechiagat avec un recul du cordon sur plusieurs mètres. Recul successif sur le secteur du Léhan (3m les 2 et 3 janvier, 6m maximum le 6 janvier, et encore 2m sur la suite des évènements tempétueux). Sur le tronçon de cordon non urbanisé, recul de 5 à 10m.

**Conclusion :** Sur l'ensemble du cordon dunaire du littoral de Treffiagat, le risque de recul lors des tempêtes est très sensible. D'après l'analyse historique passée, la valeur du recul du trait de côte consécutif à un évènement tempétueux majeur (Lmax) est de 10 m. Le risque le plus important se situe entre la plage de Porz Treillen à l'Ouest et le Squvidan plus à l'Est.

Aujourd'hui, le littoral est artificialisé au niveau du Léhan (sur environ 500 ml) avec des protections longitudinales en enrochements permettant de stabiliser le trait de côte. Ainsi, à ces endroits, le recul Lmax lors d'une tempête est nul à moins qu'il y ait une rupture de l'ouvrage.

### 2.2.7 Commune du Guilvinec

#### Evènements historiques :

- 3 et 4 décembre 1896 : les dunes furent détruites.
- 12 et 13 février 1978 : les dunes ont subi quelques dommages.
- 15 au 18 décembre 1989 : la dune de Men Meur a subi une érosion importante et a nécessité un reprofilage sur une centaine de mètres.
- 12 décembre 2000 : un recul du trait de côte a été observé suite à l'action de la mer, avec un effondrement de la dune de la Grève Blanche sur 200 m.
- Hiver 2003 : tempêtes successives ayant entraîné un recul du rivage naturel par érosion de la dune.
- Hiver 2013/2014 : agrandissement de l'exutoire de la Dour Red de quelques dizaines de mètres ; léger abaissement de l'estran de la Grève Blanche.

**Conclusion :** Le littoral du Guilvinec soumis à un risque de recul lors d'une tempête est situé à l'Ouest du port au niveau de la Grève Blanche essentiellement. Les autres secteurs sont essentiellement artificialisés et donc moins sujets à l'érosion hormis en cas de rupture d'ouvrages.

D'après l'analyse historique passée, des reculs du trait de côte ont été recensés sur la dune de la Grève Blanche. La valeur du recul du trait de côte consécutif à un évènement tempétueux majeur (Lmax) est de 10 m dans ce secteur.

Aujourd'hui, le littoral est artificialisé sur le linéaire à l'Est de la Grève Blanche (sur environ 500 ml) avec des protections longitudinales en enrochements et en géotextile permettant de stabiliser le trait de côte. Ainsi, à ces endroits, le recul Lmax lors d'une tempête est nul à moins qu'il y ait une rupture de l'ouvrage.



## 2.2.8 Commune de Penmarc'h

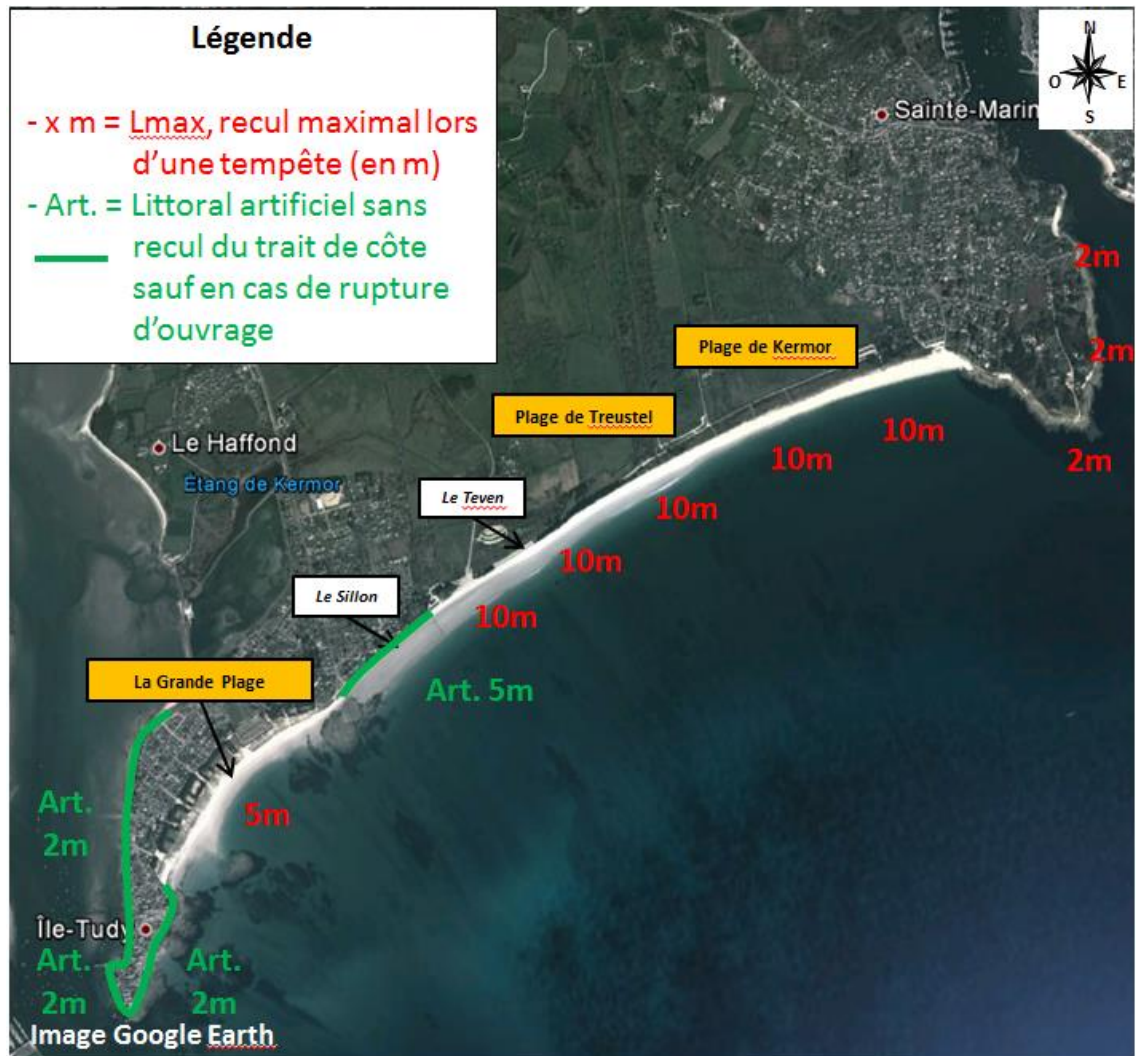
### Evènements historiques :

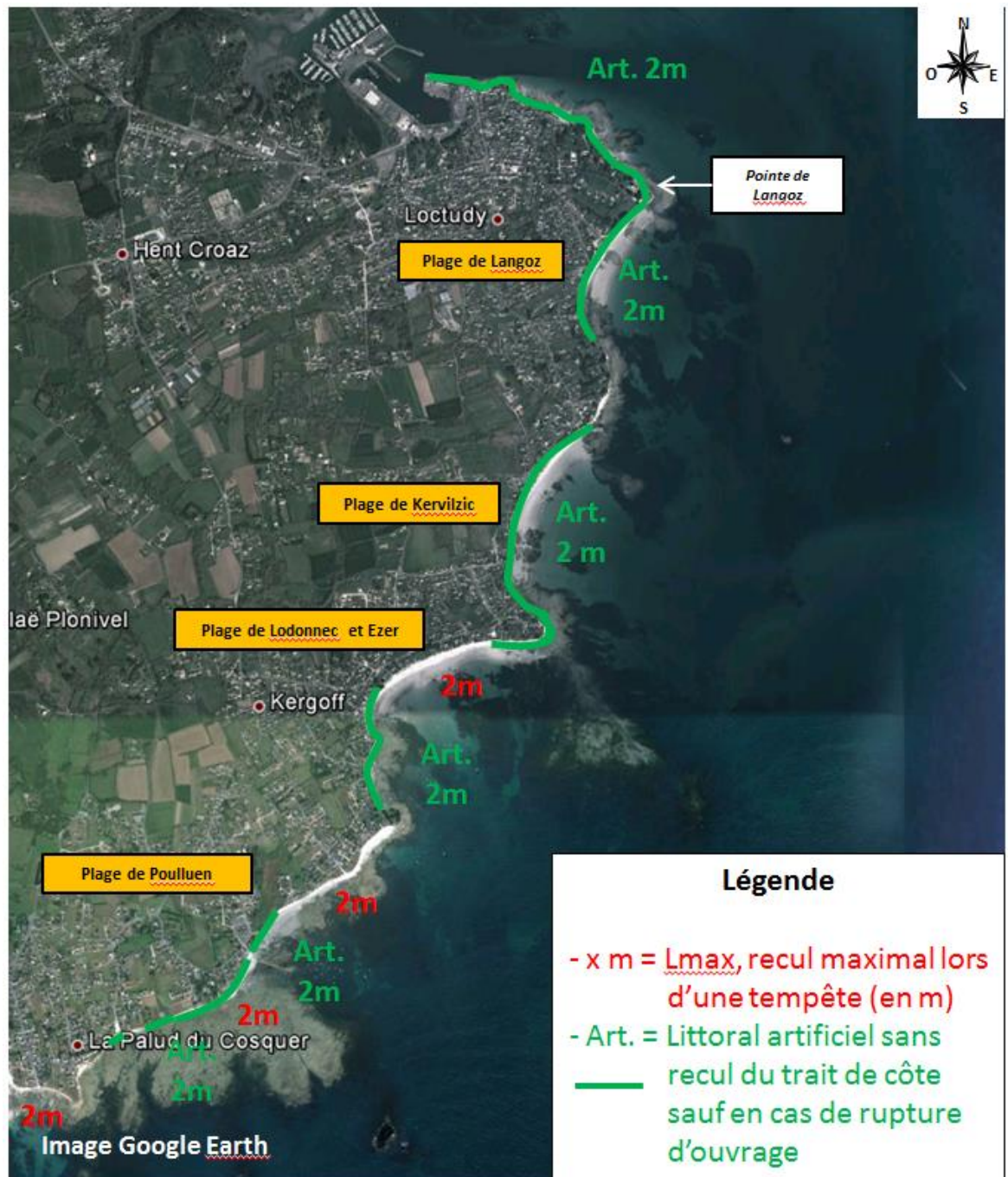
- 4 décembre 1898 : la dune de Toul-ar-Stêr, située à l'Est de Kéerty fut rompue lors de cet évènement.
- 2 février 1904 : suite à l'ouverture de 4 brèches de 90 à 40 m autour de la chapelle Notre Dame de la Joie.
- 4 et 5 février 1912 : la dune qui protégeait les terres à l'Est de Kéerty fut détruite en plusieurs endroits et sur une longueur de plus d'un kilomètre.
- 28 au 30 octobre 1913 : au niveau de Kerity, le mur de protection subit un affouillement et la dune à l'Est de ce mur fut érodée. La dune de la Joie fut à nouveau écrêtée sur 100 m près du phare d'Eckmühl.
- 8 et 9 janvier 1924 : les dunes de la Joie et de Toul-ar-Stêr sont affectées par des brèches et laissent les flots s'engouffrer jusqu'aux habitations.
- Hiver 1967 : deux tempêtes successives ont entraîné un recul du front dunaire (non localisé).
- 13 décembre 1978 : une dégradation du cordon dunaire sur la plage du Stêr et une érosion sur la plage de Pors Carn.
- 15 au 18 décembre 1989 : les dunes de Toul-ar-Stêr (emportées sur 2 m) et de Port de Bouc ont nécessité une remise en état. La dune de Pors Carn a subi un recul de 2 m.
- 25 et 30 janvier 1990 : deux tempêtes successives ont causé de légers dommages sur la dune du Stêr.
- Tempêtes de 1994, des 21 et 22 janvier 1995, 21 août 1995, février 1996, janvier et décembre 1998 et du 15 janvier 1999 : des phénomènes de tempêtes successives associés ou non à de grandes marées ont causé un recul du rivage au niveau du Stêr, avec un déchaussement du blockhaus présent sur le site.
- 10 mars 2008 : apparition de brèches dans le port de Saint-Guérolé. Recul du cordon dunaire avec destruction de palissades sur 500 m linéaire dans le secteur du Stêr. Recul du cordon dunaire avec destruction de palissades sur un linéaire de 500 m dans le secteur de Pors Carn.
- Hiver 2013/ 2014 : Pors Carn recul de 10 à 15m du cordon dunaire ; La Joie : recul de 2m maximum ; Le Stêr : recul de 2 à 3m

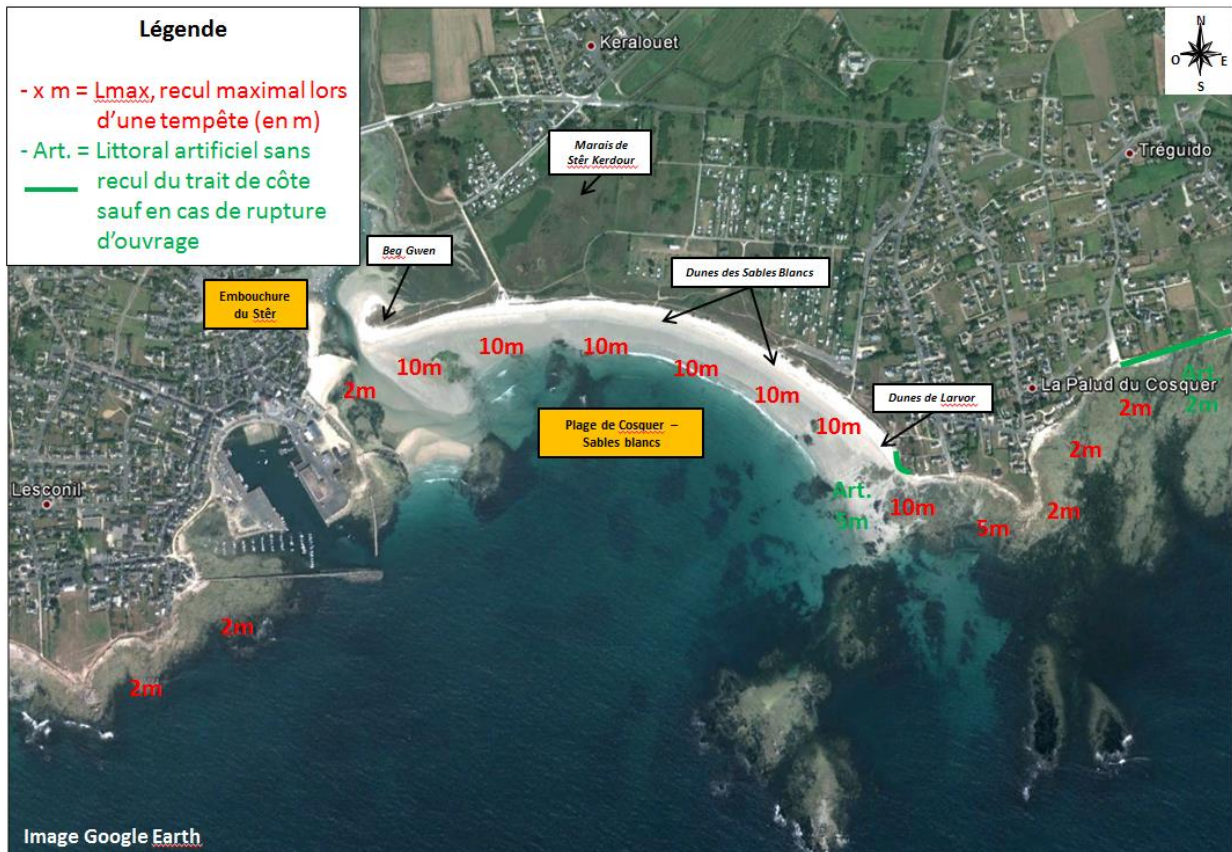
**Conclusion : Le littoral de Penmarc'h, de par sa façade ouverte à l'ouest est fortement exposé aux tempêtes d'Ouest. Les phénomènes d'érosion lors d'un évènement de tempête sont essentiellement localisés sur les sites de Pors Carn, les dunes de la Joie, les dunes allant de Kerity jusqu'à la Grève Blanche au Guilvinec. D'après l'analyse historique passée, des reculs du trait de côte ont été recensés. La valeur du recul du trait de côte consécutif à un évènement tempétueux majeur (Lmax) est de 10 m et peut atteindre jusqu'à 15 m sur le secteur Nord de l'anse de Pors Carn. Les autres secteurs sont essentiellement artificialisés et donc moins sujets à l'érosion hormis en cas de rupture d'ouvrages. Sur le secteur rocheux compris entre le Port de Saint-Guérolé et l'anse de Pors Carn, la valeur du recul du trait de côte consécutif à un évènement tempétueux majeur (Lmax) est de 2 m environ.**

## 2.2.9 Conclusion

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







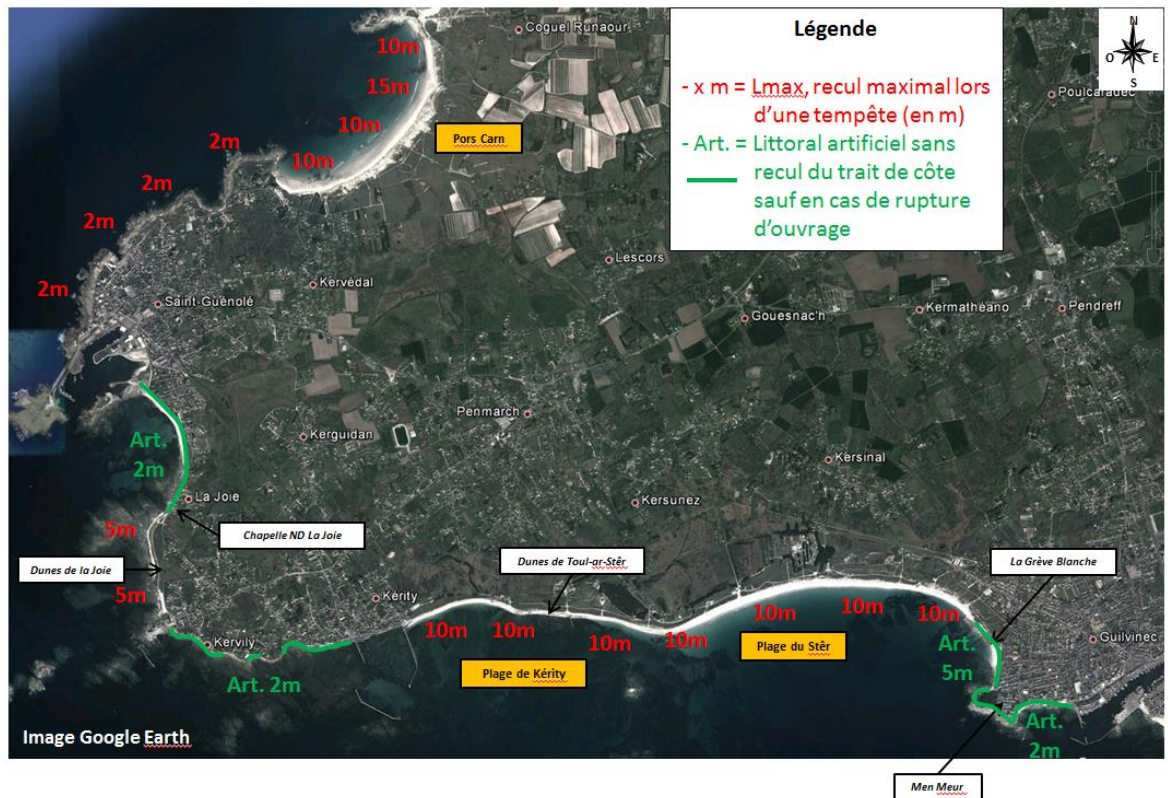


Figure 36 : Cartes présentant le recul maximal du trait de côte lors d'une tempête «  $L_{max}$  »

### 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 116, 120, 125 pour Treffiagat et pages 134, 137, 145, 146 pour Loctudy et Combrit/Ile Tudy).*

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 $L_r = 100Tx + L_{max}$	Enveloppe maximale du recul du trait de côte $L_r = 100Tx + L_{max}$	Méthode considérée	Recul du trait de côte avec changement climatique	Enveloppe maximale du recul du trait de côte avec changement climatique
Combrit	Sainte Marine		côte basse meuble et côte rocheuse		0	2				-10	-2	-12	2	-8	-18
Combrit	Kermor	P1 à 10	côte basse meuble		0,4	10				-10	30	20	2	0	-10
Combrit	Kermor	P11 à P16	côte basse meuble		0,1	10				-10	0	-10	2	-30	-40
Combrit	Kermor	P17 à 21	côte basse meuble		-0,2	10				-10	-30	-40	1	-70	-80
Combrit	Kermor	P22 à 27	côte basse meuble		-0,2	10				-10	-30	-40	1	-70	-80
Combrit	Le Treustel	P28 à 35	côte basse meuble		-0,4	10				-10	-50	-60	1	-130	-140
Combrit	Le Treustel	P36 à 42	côte basse meuble		-0,5	10				-10	-60	-70	1	-160	-170
Combrit	Sillon	P43 à 51	côte basse meuble	ouvrage longitudinal en enrochements	0	5	oui	non, ce par zones adjacentes (Est)		-10	-55	-65	1	-155	-165
Ile tudy	Grande Plage	P52 à 56	côte basse meuble		0,4	5				-10	35	25	2	20	10
Ile tudy	Grande Plage	P57 à 66	côte basse meuble		0,6	5				-10	55	45	2	40	30
Ile tudy	Ville		côte artificialisée et bétonnée	ouvrages longitudinaux en béton	0	2	oui	portion de linéaire fixée sur le long terme		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
Loctudy	Langoz		côte basse meuble	ouvrages longitudinaux de haut de plage	0	2	oui	oui, recul ponctuel, abaissement		-10	-2	-12	3	-17	-27
Loctudy	Kervilizic		côte basse meuble	ouvrages longitudinaux de haut de plage	0	2	oui	oui, recul ponctuel, abaissement		-10	-2	-12	3	-17	-27
Loctudy	Lodonnec et Ezer	P1 à 16	côte basse meuble	ouvrages longitudinaux de haut de plage	0	2	non		Tx à partir du recul de la plage	-10	-2	-12	3	-17	-27
Loctudy	Lodonnec et Ezer	P17 à 23	côte basse meuble	ouvrages longitudinaux de haut de plage	0,1	2	non		Tx à partir du recul de la plage	-10	8	-2	3	-7	-17
Loctudy	Lodonnec et Ezer	P23 à 25	côte basse meuble	ouvrages longitudinaux de haut de plage	0	2	oui	oui, recul ponctuel, abaissement		-10	-2	-12	3	-17	-27
Loctudy	Poulluen	P1 à 15	côte basse meuble	ouvrages longitudinaux de haut de plage	0	2	non		Tx à partir du recul de la plage	-10	-2	-12	3	-10	-20
Loctudy	Poulluen	P16 à 19	côte basse meuble	ouvrage longitudinal en enrochements	0	2	oui	oui, recul ponctuel, abaissement		-10	-2	-12	3	-10	-20
Loctudy	Poulluen	P20 à 25	côte basse meuble	ouvrages longitudinaux de haut de plage	0,1	2	non		Tx à partir du recul de la plage	-10	8	-2	3	0	-10
Loctudy	Poulluen	P26 à 36	côte basse meuble		-0,1	2				-10	-12	-22	1	-32	-42
Loctudy	Cosquer - Sables blancs	P1 à 7	côte basse meuble		0	5				-10	-5	-15	3	-20	-30
Loctudy	Cosquer - Sables blancs	P8 à 9	côte basse meuble		-0,6	10				-10	-70	-80	1	-190	-200
Loctudy	Cosquer - Sables blancs	P10 à 11	côte basse meuble	ouvrage longitudinal en enrochements	0	5	oui	non, tx par zones adjacentes (Est)		-10	-65	-75	1	-185	-195
Loctudy	Cosquer - Sables blancs	P12 à 22	côte basse meuble		-0,1	10				-10	-20	-30	1	-40	-50
Loctudy	Cosquer - Sables blancs	P23 à 39	côte basse meuble		-0,4	10				-10	-50	-60	1	-130	-140
Loctudy	Cosquer - Sables blancs	P40 à 44	côte basse meuble		-0,6	10				-10	-70	-80	1	-190	-200
Lesconil	Lesconil - Port (Nord)		côte basse meuble	ouvrages longitudinaux de haut de plage	0	2	non		Tx à partir du recul de la plage	-10	-2	-12	3	-10	-20
Lesconil	Lesconil - Port (Sud)		côte basse meuble	ouvrage longitudinal en enrochements	0	2	oui	portion de linéaire fixée sur le long terme		-10	-2	-12	2	-8	-18

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
Treffiat	Kersauz	P1 à 5	côte basse meuble		0	10				-10	-10	-20	2	-40	-50
Treffiat	Kersauz	P6 à 11	côte basse meuble		-0.4	10				-10	-50	-60	1	-130	-140
Treffiat	Rheun	P12 à 24	côte basse meuble		-0.2	10				-10	-30	-40	1	-70	-80
Treffiat	Squididan	P25 à 31	côte basse meuble		-0.3	10				-10	-40	-50	1	-100	-110
Treffiat	Lehan	P32 à 36	côte basse meuble		-0.8	10				-10	-90	-100	1	-250	-260
Treffiat	Lehan	P37 à 41	côte basse meuble	ouvrages longitudinaux (enrochements et géotextile)	0	5	oui	non, tx par zones adjacentes (Est)		-10	-85	-95	1	-245	-255
Treffiat	Lechiagat	P42 à 48	côte basse meuble		0	10				-10	-10	-20	2	-40	-50
Treffiat	Lechiagat contre le port du Guilvinec		côte basse meuble et artificialisée		0	2				-10	-2	-12	2	-8	-18
Le Guilvinec	Littoral de Men Meur		côte rocheuse et artificialisée		0	2				0	-2	-2	2	-8	-8
Le Guilvinec	Grève Blanche	P1 à 8	côte basse meuble	ouvrages longitudinaux (enrochements et géotextile)	0	5	oui	non, tx par zones adjacentes (Ouest)		-10	-65	-75	1	-185	-195
Le Guilvinec	Grève Blanche	P9 à 15	côte basse meuble		-0.6	10				-10	-70	-80	1	-190	-200
Le Guilvinec	Stér	P16 à 24	côte basse meuble		-0.1	10				-10	-20	-30	2	-50	-60
Le Guilvinec	Stér	P25 à 45	côte basse meuble		0.1	10				-10	0	-10	2	-30	-40
Le Guilvinec	Stér	P46 à 53	côte basse meuble		0	10				-10	-10	-20	2	-40	-50



Communes	Plages	N° Profils de l'analyse passée du trait de côte	Types de littoral	Ouvrages de protection	Tz 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 Tz 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 = 100Tz + Lmax	Enveloppe maximale du recul du trait de côte Lr = 100Tz + Lmax	Méthode considérée	Recul du trait de côte avec changement climatique	Enveloppe maximale du recul du trait de côte avec changement climatique	
Penmarc'h	Kerity	P54 à 62	côte basse meuble		-0.1	10				-10	-20	-30	2	-50	-60	
Penmarc'h	Kerity	P63 à 70	côte basse meuble		0.2	10				-10	10	0	2	-20	-30	
Penmarc'h	Kerity	P71 à 81	côte basse meuble		-0.1	10				-10	-20	-30	2	-50	-60	
Penmarc'h	Façade artificialisée de Penmarc'h		côte artificialisée	ouvrages longitudinaux en béton	0	2	oui	portion de linéaire fixée sur le long terme		0	-2	-2	2	-8	-8	
Penmarc'h	Dunes de la Joie		côte basse meuble		0	5				-10	-5	-15	2	-20	-30	
Penmarc'h	Façade artificialisée de Saint-Guénoé		côte artificialisée	ouvrages longitudinaux en béton	0	2	oui	portion de linéaire fixée sur le long terme		0	-2	-2	2	-8	-8	
Penmarc'h	Littoral entre Saint-Guénoé et Pors Carn		côte rocheuse		0	2				-10	-2	-12	2	-8	-18	
Penmarc'h	Pors Carn	P1 à 7	côte basse meuble		0	10				-10	-10	-20	2	-40	-50	
Penmarc'h	Pors Carn	P8 à 14	côte basse meuble		-0.1	10				-10	-20	-30	2	-50	-60	
Penmarc'h	Pors Carn	P15 à 26	côte basse meuble		-0.2	10				-10	-30	-40	1	-70	-80	
Penmarc'h	Pors Carn	P27 à 30	côte basse meuble		0	10				-10	-10	-20	2	-40	-50	
Penmarc'h	Pors Carn	P31 à 34	côte basse meuble		-0.8	15				-10	-95	-105	1	-255	-265	
Penmarc'h	Pors Carn	P35 à 50	côte basse meuble		-0.2	10				-10	-30	-40	1	-70	-80	

Tableau 15 : 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 de submersion marine. La méthodologie est issue du guide du PPRLN 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,) au droit de la côte (cf. résultats aux chapitre 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 PPRLN 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)  $z_0$ ,
- les vagues de **hauteur significative  $H_s$**  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)**

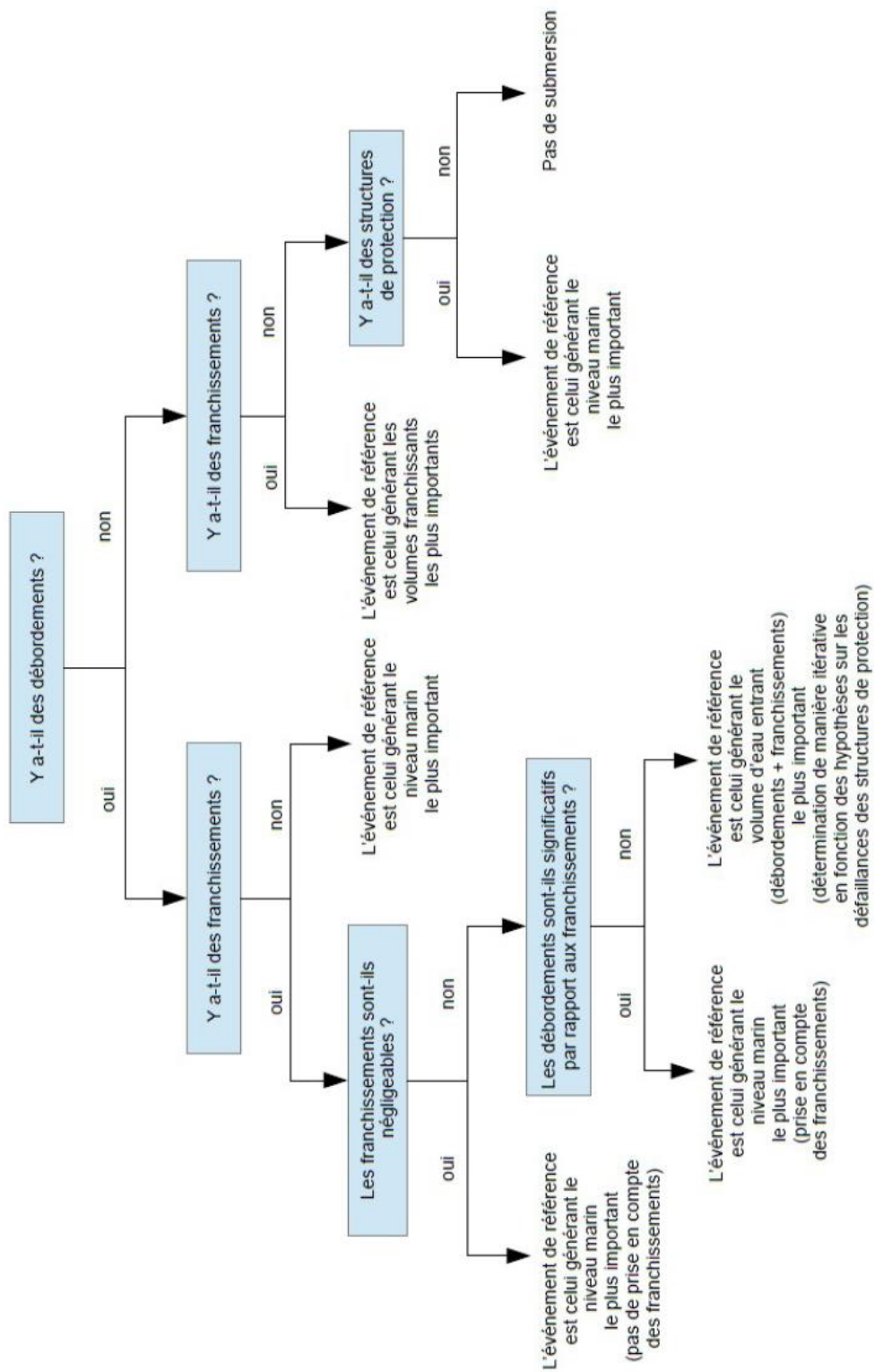


Figure 44 : Démarche pour le choix de l'événement de référence (Source : PPRL 2013)

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 Combrit jusqu'à Penmar'ch, 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 définit 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 consultable page 123.**

**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 cadre de l'étude, des informations techniques ont été fournies uniquement pour les digues de Kermor (Combrit- Ile Tudy) et de Ster Kerdour (Loctudy). Sur les autres digues secondaires de classe D, aucune donnée n'a été fournie.

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

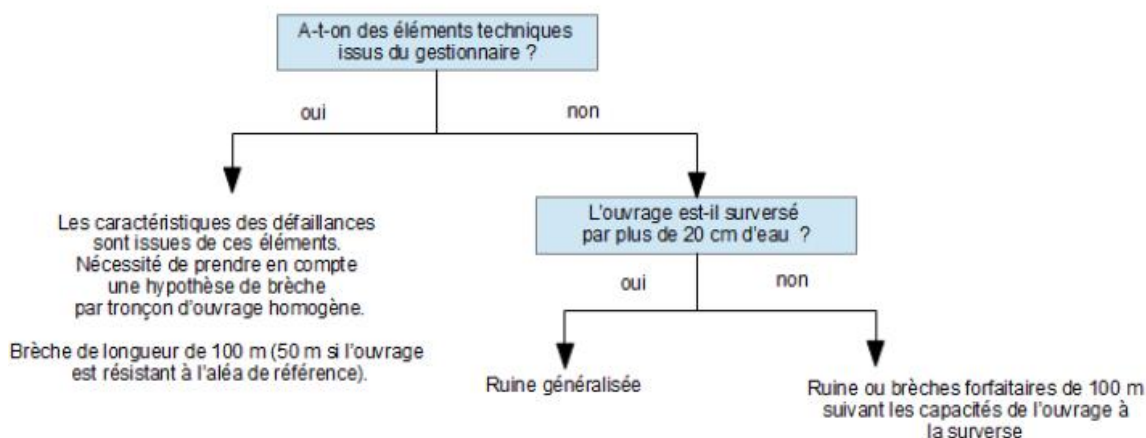


Figure 38 : Démarche pour la prise en compte des structures humaines

(Source : Guide PPRLN 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'événement 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 PPRLN 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 :

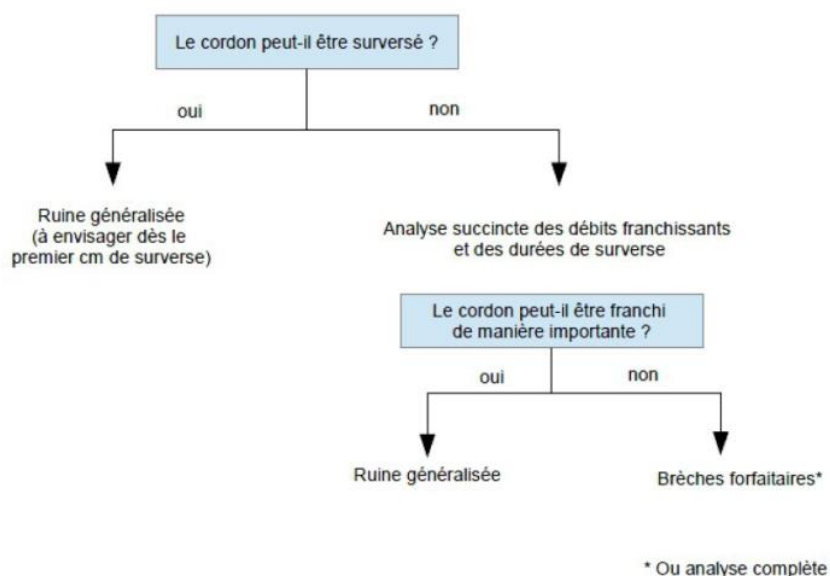
**La cote d'arase de la ruine ou des brèches correspond à la cote du terrain naturel à l'arrière de l'ouvrage.**

**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 PPRLN de Mai 2014, la démarche de prise en compte de ces structures naturelles se fait comme suit :





**Figure 39 : Démarche simplifiée de prise en compte des cordons dunaires (Source : Guide PPRLN 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.*

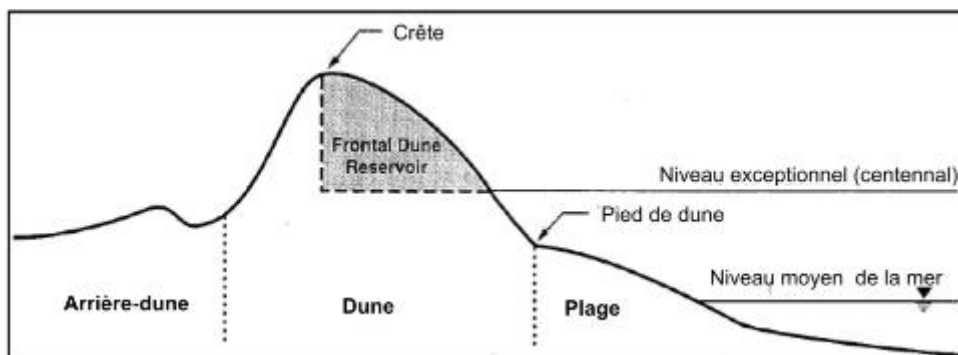
La démarche est la suivante :

- **Analyse du risque de surverse** : si la surverse existe, la ruine est retenue à partir du 1<sup>er</sup> 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'analyse 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 m<sup>2</sup>) 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 m<sup>2</sup> (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 :**

- 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 des cordons dunaires :

**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 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.

**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 **penne 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  $L_{max}$  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 évènements historiques réalisé 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, établit 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 à 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.

## 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 PPRLN1 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. Ces lettres ont pour objectif de différencier la prise en compte des tronçons lors de calculs de franchissements.

- Tronçon sur la façade littoral potentiellement soumis aux franchissements :
    - les cordons dunaires naturel homogènes sont notés CD1, CD2, etc
    - 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 repris 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
TR1	S14 à S15	4,21 à 4,3m NGF
CD2	S16	4,21 m NGF
CD3	S16	4,21 m NGF
SC4	S17	4,21 m NGF
CD5	S17	4,21 m NGF
SC6	S17	4,21 m NGF
EST1	E8b	4,05m NGF
EST2	E8b	4,05m NGF
EST3	E8b	4,05m NGF
EST4	E8b	4,05m NGF
EST4b	E8b	4,05m NGF
EST5a	E8b	4,05m NGF
EST5b	E8b	4,05m NGF
SC7a	S18	4,23m NGF
SC7b	S18	4,23m NGF
SC7c	S19	4,23m NGF
SC7d	S19	4,23m NGF
SC7e	S19	4,23m NGF
CD8	S20	4,23m NGF
SC9	S20	4,23m NGF
SC10	S20	4,23m NGF
SC11a	S20	4,23m NGF
SC11b	S20	4,23m NGF
CD12	S21	4,28m NGF
CD13	S21	4,28m NGF
CD14	S21	4,28m NGF
EST6	E9b	4,05mNGF
SC15	S21	4,28m NGF

Tronçons	secteur correspondant	cote NMR
EST7	E9b	4,05m NGF
POR1	S21 - set up	4,05m NGF
TR16	S22	4,23m NGF
CD17	S23	4,28m NGF
CD18	S24	4,33m NGF
CD19	S24	4,33m NGF
SC20	S25	4,38m NGF
CD21	S25	4,38m NGF
TR22	S25	4,38m NGF
POR2	S25 - set up	4,15m NGF
SC23	S25	4,38m NGF
SC24	S25	4,38m NGF
SC25	S26	4,38 m NGF
CD26	S26	4,38 m NGF
CD27	S27	4,38 m NGF
CD28	S28	4,53 m NGF
CD29	S28	4,53 m NGF
POR3	S28 - set up	4,35 m NGF
SC30b	S29	4,60m NGF
SC30c	S29	4,60m NGF
CD31	S30	4,63m NGF
CD32a	S31	4,63m NGF
SC32b	S31	4,63m NGF
POR4	S31 - set up	4,35m NGF
SC33a	S32	4,48m NGF
TR33b	S32	4,48m NGF
CD34	S33	4,58m NGF
CD35	S33	4,58m NGF

**Tableau 16 : Côte niveau marin référence pour chaque tronçon et correspondance avec le « secteur »**

1.2.1 Combrit (de Sainte Marine à la plage de Kermor)

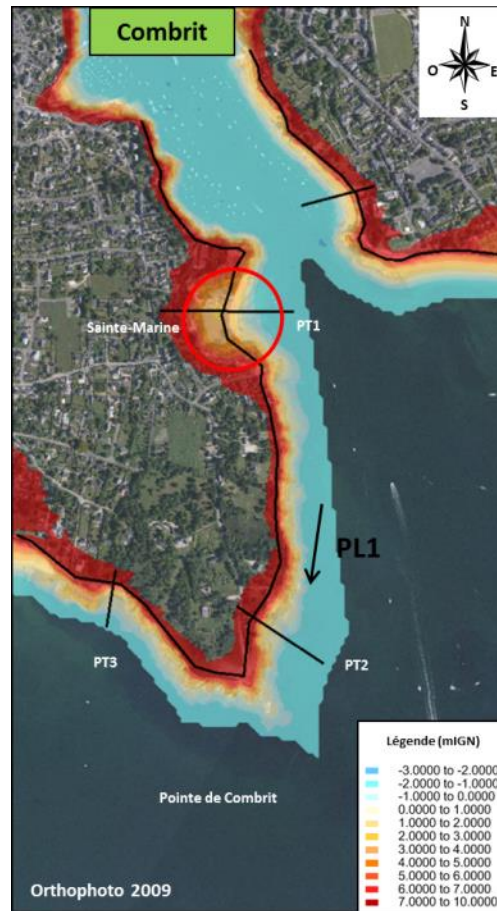
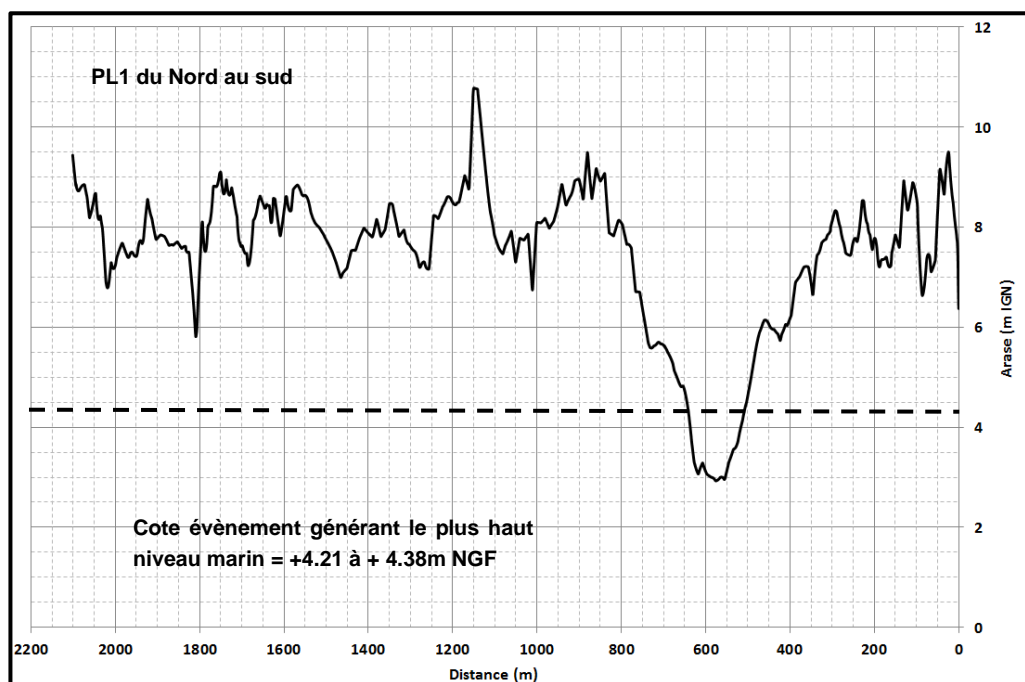


Figure 40 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Combrit





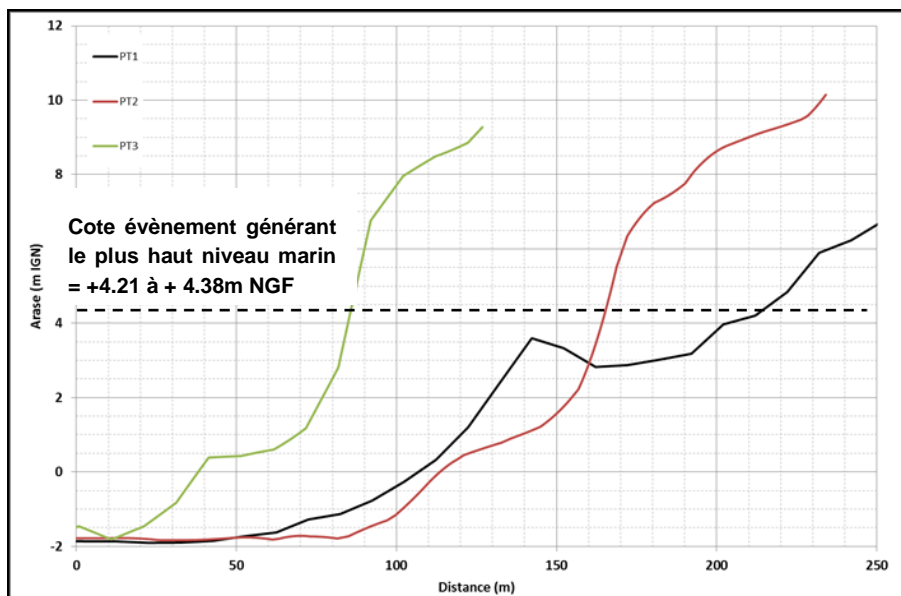


Figure 41 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux – Combrit

La côte est de nature rocheuse et il n’y a pas de plage hormis celle de Sainte-Marine où la plage est surplombée par un terrain végétalisé. Ce tronçon est noté **TR1**.

On constate qu’il existe une seule toute petite zone basse (sous le niveau marin) à l’arrière de ce littoral, au niveau de la plage de Ste-Marine. Pour le reste du tronçon, l’altimétrie est très haute (environ 8m NGF). De ce fait, **les franchissements sur ce secteur sont considérés comme négligeables. Seule la surverse sera prise en compte sur la plage de Ste-Marine.**

1.2.2 Bassin de risque Combrit / Ile-Tudy

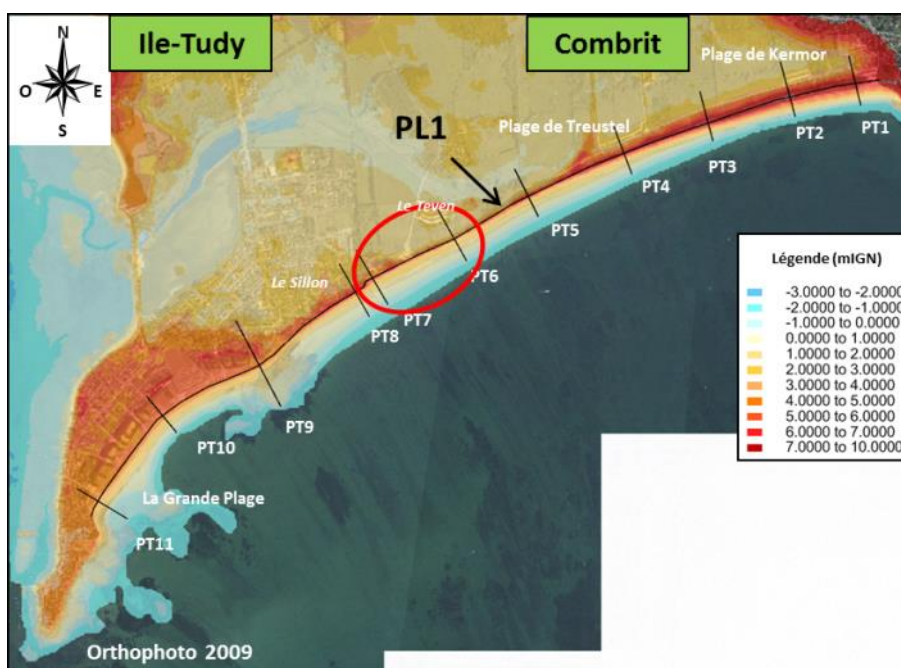


Figure 42 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Combrit / Ile tudy

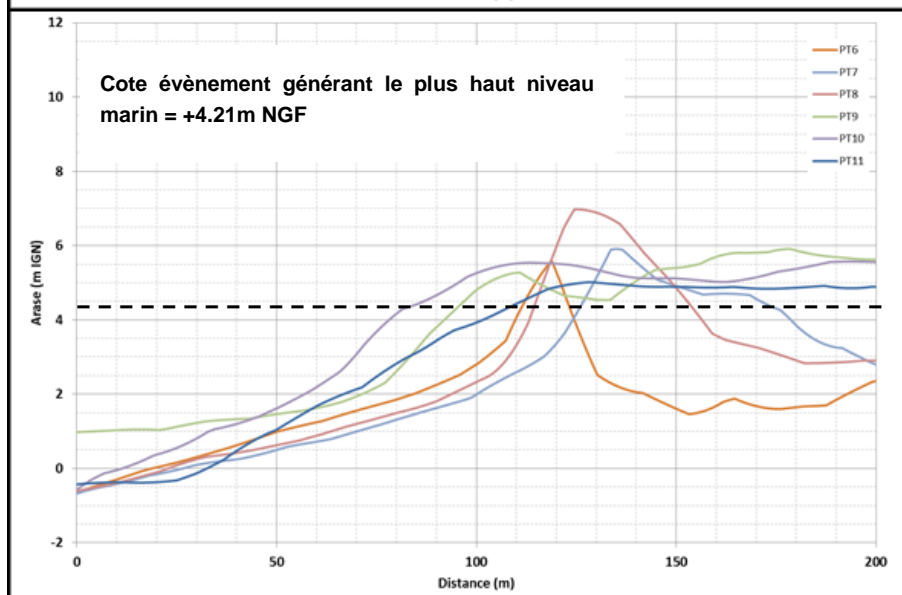
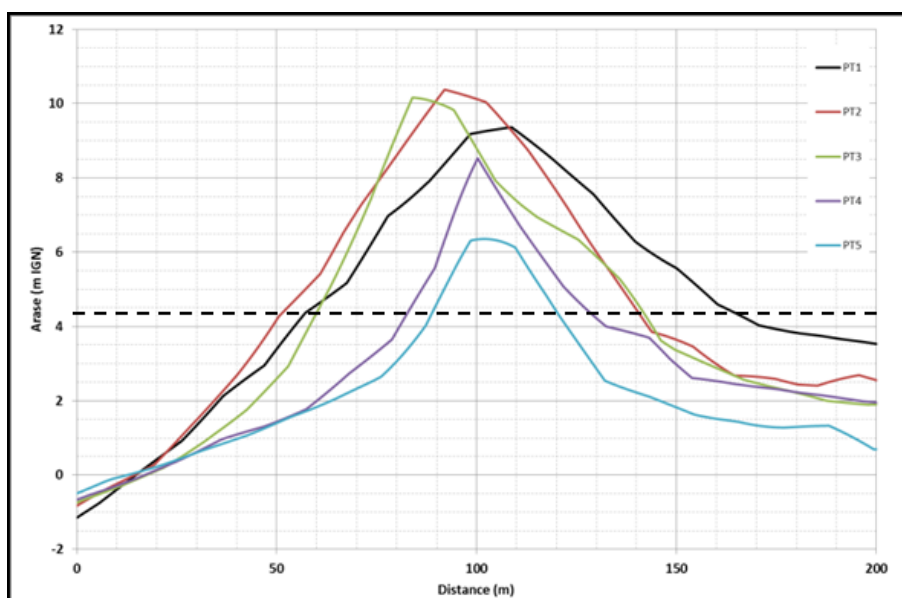
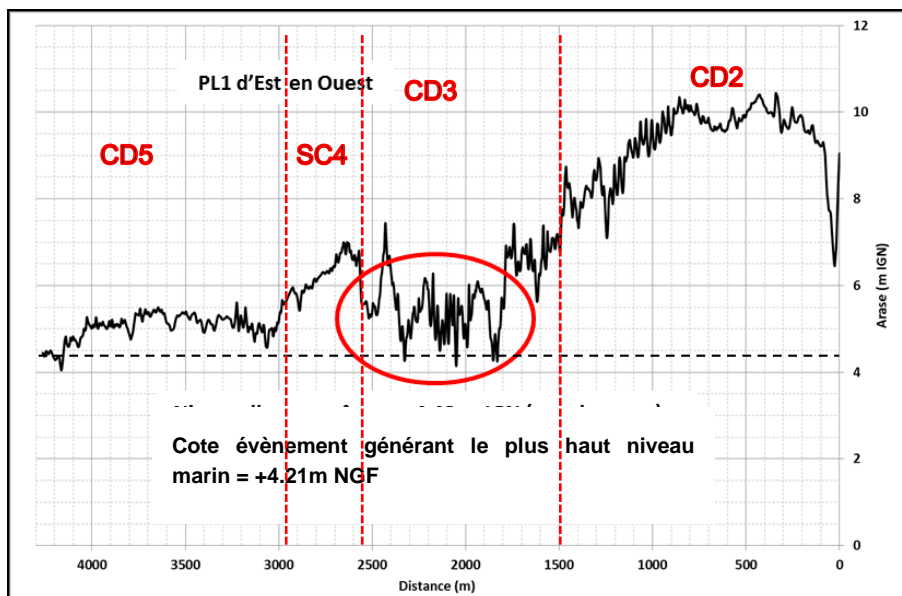


Figure 43 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux – Combrit/Ile-Tudy

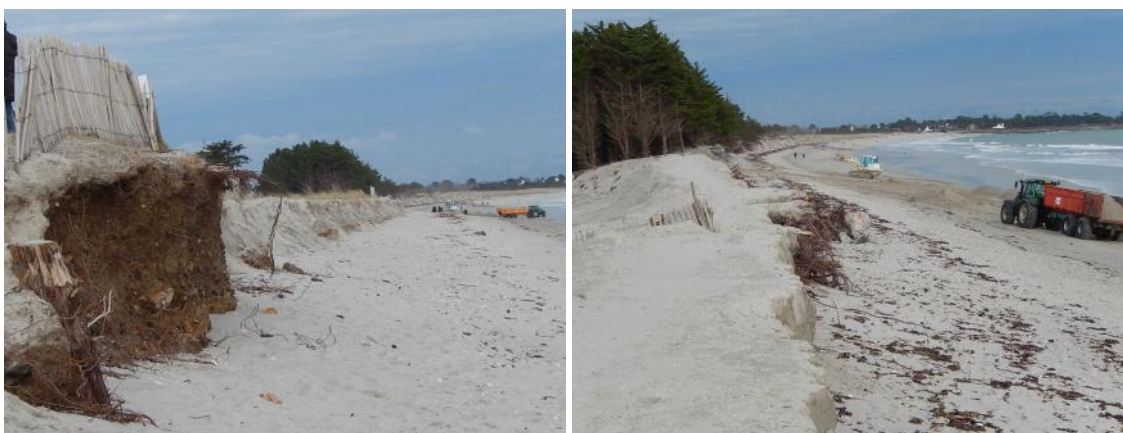
### Analyse et séparation en tronçons homogènes

**Le littoral des profils PT1 à 11** 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. Le cordon dunaire peut être séparé en divers tronçons homogènes :

- **CD2 : PK 0 à 1500 m – PT 1 à 4** : le cordon dunaire (**structure de protection**) est hautement arasé (+7 à +10 m NGF). Sa largeur<sup>5</sup> varie de 100 à 50 m d'Est en Ouest. La tendance générale de la dynamique sédimentaire du cordon est à l'accrétion sur sa partie Est et à une légère érosion sur sa partie Ouest. Lors des événements de l'hiver 2013/2014, le recul du cordon était de l'ordre de 2m sur la partie Ouest.



- **CD3 : PK 1500 à 2550 m – PT 5 à 7** : le cordon dunaire (**structure de protection**) est arasé entre +4 et +7 m NGF. Sa largeur varie de 15 à 40 m. Le cordon dunaire est instable et présente des dimensions faibles (arase de la crête et largeur). L'évolution passée du trait de côte montre une érosion récurrente dans ce secteur. Lors de l'hiver 2013/2014, le recul du trait de côte est important. Un démarrage de brèche est observé et des franchissements de paquets de mer ont lieu. Ce sont les entretiens réguliers avec apports de sédiments et consolidation du cordon dunaire entre les différentes tempêtes qui ont permis d'éviter une inondation du polder à l'arrière.



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

- **SC4 : Le Sillon : PK 2550 à 2975 m – PT 8.** Correspond à un talus en enrochements positionné sur un cordon dunaire (**structure de protection**). La cote d'arase est comprise entre +5,5 et +7 m NGF. L'évolution passée du trait de côte montre une stabilité de ce secteur grâce à l'ouvrage longitudinal en enrochements depuis sa construction.

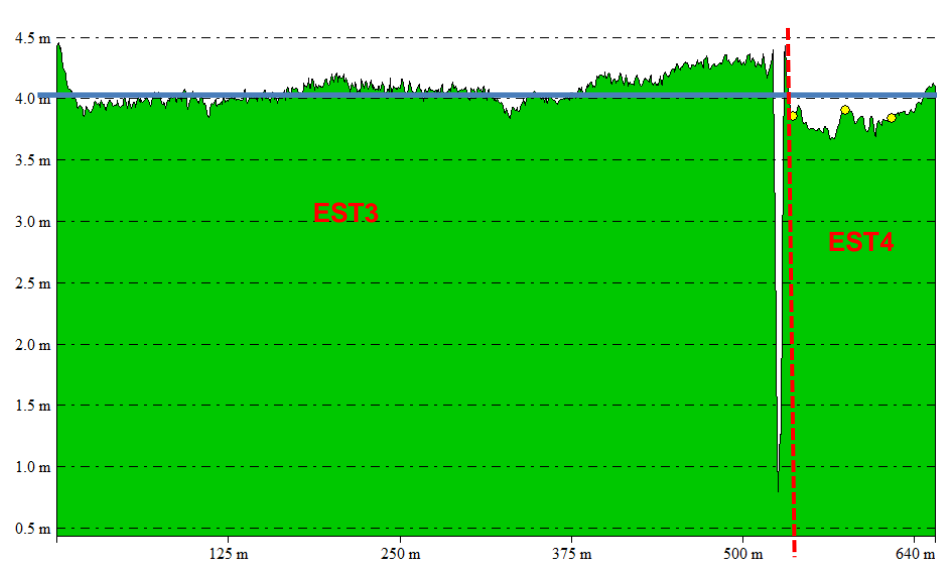


- **CD5 : La Grande-Plage : PK 2975 à 4300 m – PT 9 à 11 :** ce tronçon correspond à un cordon dunaire (**structure de protection**). Il ne présente pas de zone basse à l'arrière. Ce secteur est constitué par une zone végétalisée relativement basse (arase de l'ordre de +5 m NGF en haut de plage) jusqu'aux premières habitations situées à environ 100 à 120 m du haut de l'estran. La zone à l'arrière est arasée entre +5 et +6 m NGF. L'évolution passée du trait de côte montre que ce tronçon est en sédimentation et ne présente donc pas une tendance érosive. Ce secteur n'a pas présenté de dommages importants lors des tempêtes de l'hiver 2013/2014.



- **EST2 et EST4b** présentent des cotes supérieures à la cote de l'évènement générant les niveaux marins les plus importants. Ils ne sont donc pas surversés. La cote de l'évènement référence est de 4.05m NGF sans prise en compte du set-up sur cette façade estuarienne non soumise à l'influence de la houle. Ces tronçons ne sont pas non plus concernés par les franchissements puisque situés à l'abri des houles. **Aucun phénomène ne sera pris en compte.**
- **EST3 : Digue de Kermor :** La digue est une **structure de protection**. D'après l'étude de danger mise à disposition, le premier risque correspond à la surverse de la digue via les points bas situés au sud. La cote de l'évènement référence est de 4.05m NGF sans prise en compte du set-up sur cette façade estuarienne non soumise à l'influence de la houle. La cote de la chaussée (et non du mur de couronnement) est prise en compte, avec un point bas autour de 3.80m NGF.
- **EST4a** présentent des cotes inférieures à la cote de l'évènement générant les niveaux marins les plus importants. Il ne s'agit pas d'une structure de protection mais du terrain

naturel. On note la présence d'un ouvrage de régulation des niveaux marins du polder situé également sous la cote de l'évènement référence. La cote de l'évènement référence est de 4.05m NGF sans prise en compte du set-up sur cette façade estuarienne non soumise à l'influence de la houle. Ce tronçon n'est pas concerné par les franchissements puisque situé à l'abri des houles. **Seule la surverse sera prise en compte.**



**En synthèse parmi les tronçons présentés, les tronçons CD2, CD3, SC4, CD5, EST3 sont considérés comme des structures de protection.**

### Scénarios de défaillance des structures de protection

Sur ce secteur, la cote de l'évènement générant les niveaux marins les plus importants est de +4,21 m NGF.

- **CD2** : PK 1 à 1500 m – PT 1 à 4 : Crête d'arase du cordon dunaire élevée (>+7 m NGF) en continu. Compte tenu de l'altimétrie supérieure au niveau marin, le risque de surverse est écarté. Les franchissements sont également négligeables (proche de 0l/s/ml) pour le cas le plus défavorable. **Le risque de brèche devrait théoriquement être considéré. Cependant, d'après la méthode du FEMA le stock sédimentaire de ce tronçon de cordon est suffisant pour résister aux conditions océano-météorologiques. Aussi, aucune défaillance ne sera prise en compte.**
- **CD3** : PK 1500 à 2550 m – PT 5 à 7 : Cote d'arase de la crête discontinue et variant entre +4 et +7 m NGF. L'érosion et le recul lors de fortes tempêtes (Lmax) est très marqué sur ce tronçon. **D'après la méthode du FEMA le stock sédimentaire de ce tronçon de cordon n'est pas suffisant pour résister aux conditions océano-météorologiques.** De plus, des secteurs sont soumis au risque de surverse et donc de franchissements (> 100l/s/ml) donc **il est considéré une ruine généralisée de l'ensemble du tronçon CD3.**
- **SC4** : Le Sillon : PK 2550 à 2975 m – PT 8 : 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 faible** sur la base des critères suivants :

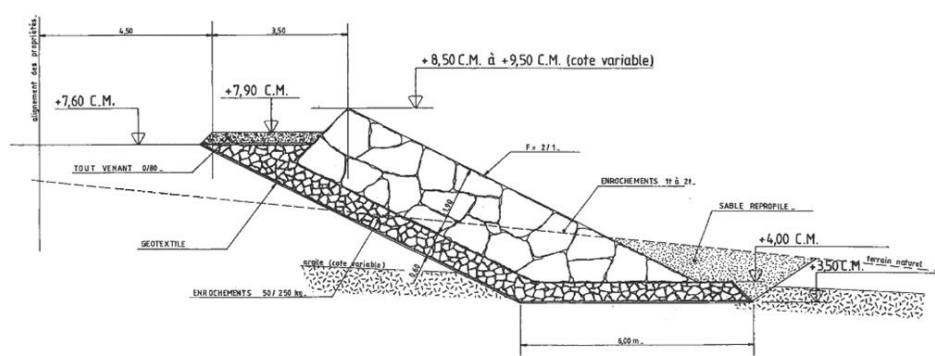
- Largeur du cordon au-dessus du niveau marin de référence : 60m
- Pente de 5% sur la face arrière du cordon
- Franchissements modéré à faible
- Artificialisation forte de la crête et de la face arrière du cordon

**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 une rupture possible du cordon, à l'exception d'une petite partie du cordon. Cependant, ce cordon est protégé par un talus en enrochements avec les caractéristiques suivantes :

- pente de talus de 2/1,
- carapace en double couche d'enrochements de blocs 1 / 2 t
- sous-couche en enrochements 50/250 kg et géotextile de séparation avec le TN.

L'ouvrage en enrochements est dans un état correct et paraît suffisamment dimensionné pour reprendre les conditions océano-météorologiques. Mais il existe un risque d'érosion en pied d'ouvrage. *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 SC4.



*Extrait d'un plan de l'ouvrage de protection du tronçon de cordon dunaire SC4 fourni par la commune*

**En conclusion, aucune hypothèse de défaillance ne sera prise en compte sur le tronçon SC4.**

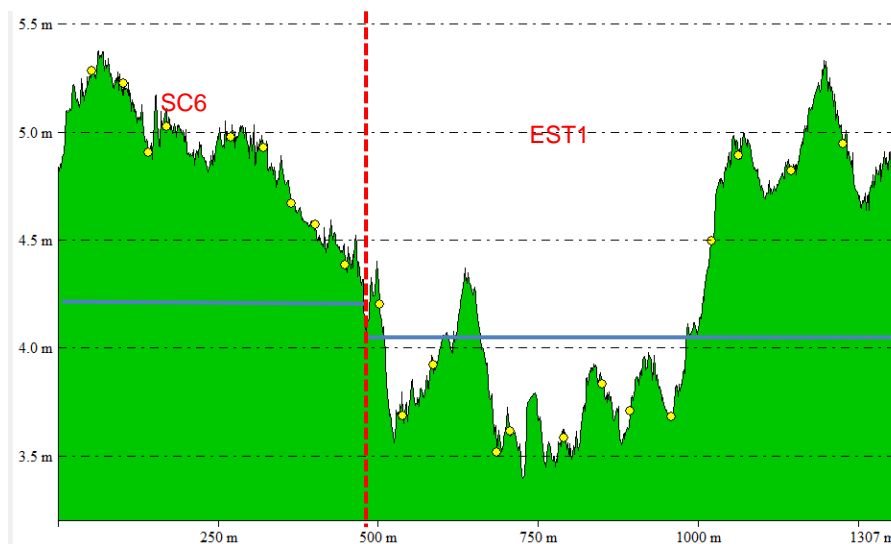
- **CD5 : La Grande-Plage : PK 2975 à 4300 m – PT 9 à 11 :** L'altimétrie du cordon dunaire et du terrain naturel à l'arrière (environ +5 m NGF) est supérieure au niveau marin. Le risque de surverse est écarté. Les volumes franchis se situent entre 10 et 100l/s/ml pour le cas le plus défavorable. **La prise en compte d'une brèche n'a pas de signification puisque le terrain naturel situé à l'arrière est à un niveau supérieur au niveau marin. Seuls les franchissements doivent donc être pris en compte.**

Dans l'estuaire, la cote de l'évènement générant les niveaux marins les plus importants est 4.05m NGF.

- **Est3 : La digue de Kermor :** L'altimétrie de cet ouvrage met en évidence le risque de surverse. La surverse est de plus de 20 cm sur certains secteurs du corps de digue. **La rupture avec une ruine de l'ouvrage est considérée.**

### 1.2.3 Le centre bourg de l'île Tudy

- **SC6 : Ile Tudy-ville : – après PT 11.** Correspond à des murs et quais verticaux. La cote d'arase sur la façade maritime est d'environ 4.90 m NGF. Sur cette façade, les franchissements correspondent au phénomène prépondérant. L'intensité de ces franchissements est supérieure à 100l/s/ml. Le terrain naturel ne présente pas de zone de cuvette mais uniquement une zone d'écoulement. Les lames d'eau liées aux franchissements traversent ainsi le centre bourg.





- **EST1** : sur la façade estuarienne de l'île Tudy, non soumise à la houle, le risque principal est la surverse avec des cotes inférieures au niveau marin sans set-up. La cote de l'évènement référence est de 4.05m NGF sans prise en compte du set-up sur cette façade estuarienne non soumise à l'influence de la houle. **Le phénomène de surverse sera donc pris en compte.**

#### 1.2.4 L'estuaire de la rivière de Pont l'Abbé

**EST5a** : Le littoral de cet estuaire n'est pas soumis à l'impact des houles. La cote de l'évènement référence ne prend donc pas en compte le set-up. La cote de l'évènement référence est de 4.05m NGF sans prise en compte du set-up sur cette façade estuarienne non soumise à l'influence de la houle. De plus, le phénomène de franchissement n'existe pas sur ce bassin de risque.

En conséquence **seule la surverse sera prise en compte.**

Les digues de classe D recensées sur ce secteur sont des ouvrages de moins d'1m 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. Ces digues sont donc supposées ruinées comme le précise le rapport de phase 1.

**EST5b** : Il s'agit ici de la zone urbaine de Pont l'Abbé. La cote de l'évènement référence est de 4.05m NGF sans prise en compte du set-up sur cette façade estuarienne non soumise à l'influence de la houle. De plus, le phénomène de franchissement n'existe pas sur ce bassin de risque. Cette zone est soumise à la conjonction de phénomènes fluviaux (inondations liées à la saturation du bassin versant en amont) et maritimes. Il est scientifiquement impossible de définir un évènement d'une période de retour 100 ans combinant un évènement marin et un évènement fluvial, car ces 2 évènements sont « statistiquement indépendants ». Pour autant, un évènement marin extrême peut être associé à une pluviométrie importante. Dans le cas du PPRNL, il a été retenu de ne considérer que l'évènement marin, mais de faire le choix d'une application de la méthode de superposition topographique, plus sécuritaire.



1.2.5 La zone côtière depuis la pointe de Langoz à Poulluen

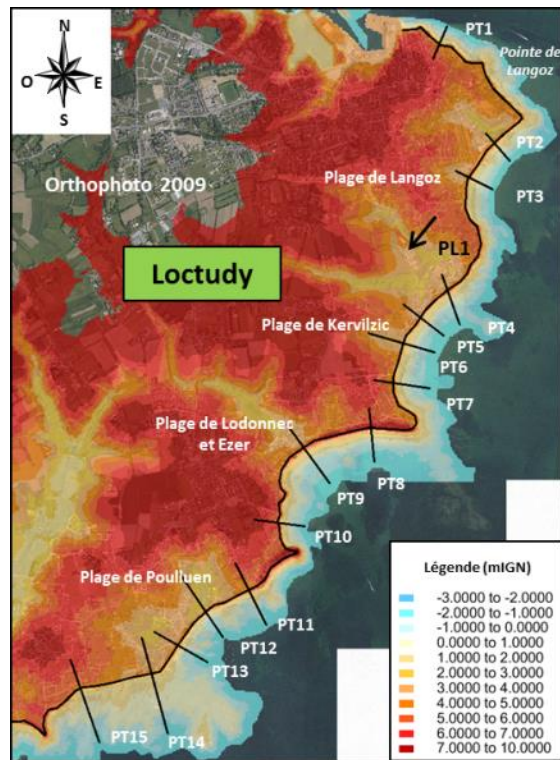
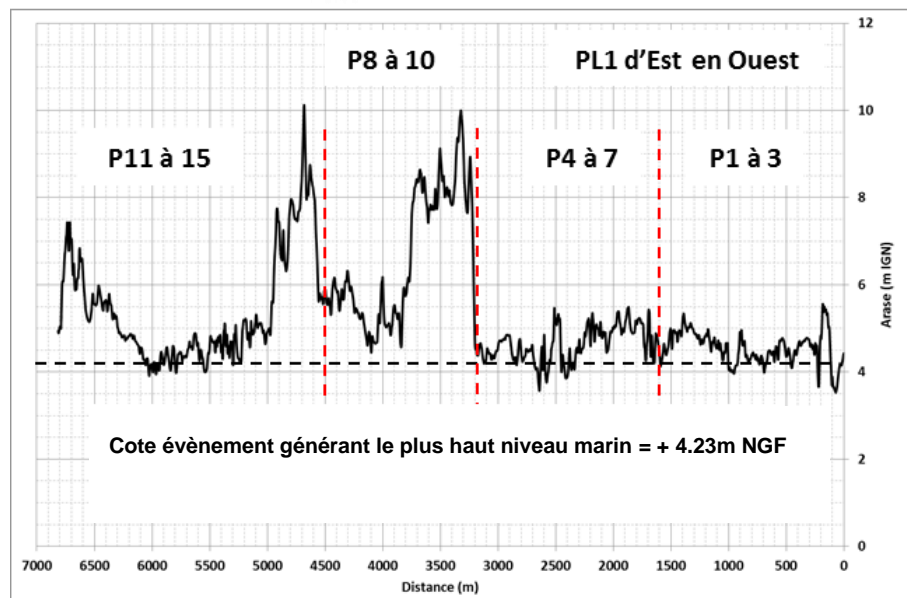


Figure 44 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Loctudy (1/2)



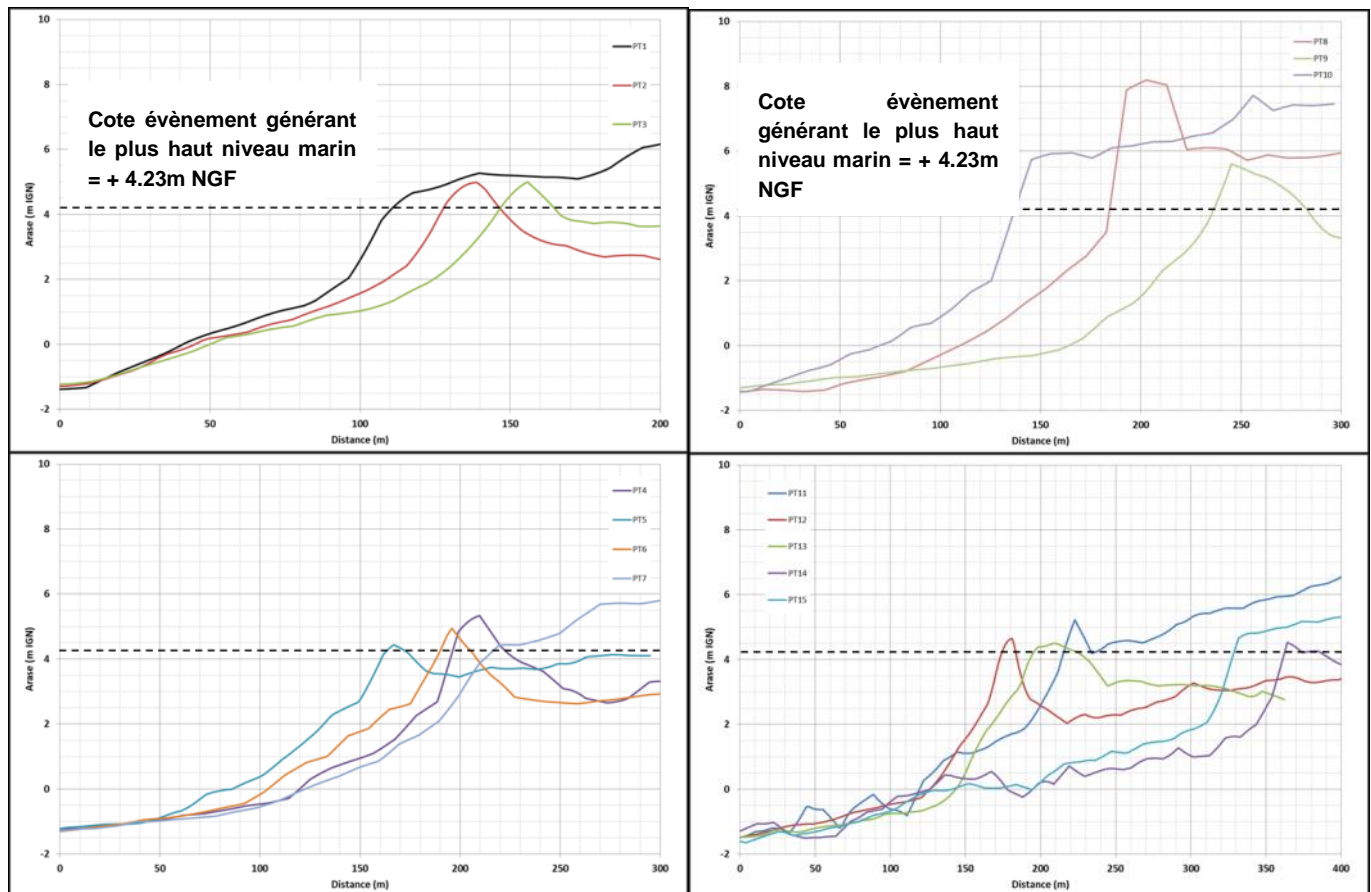


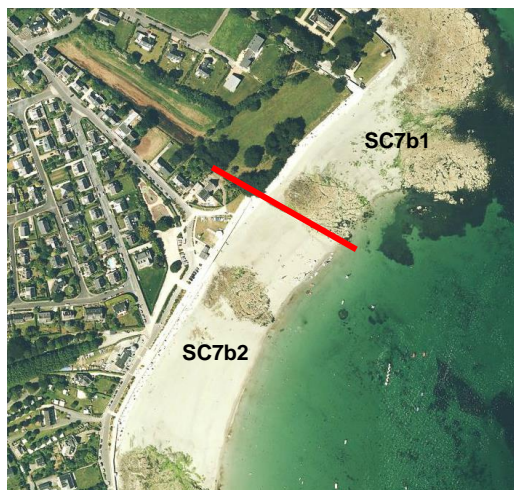
Figure 45 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux – Loctudy (1/2)

Le long du littoral de Loctudy, se succède des zones basses à l'arrière des plages. Ces zones basses sont situées en retrait de structures de protection de type cordons dunaires, inférieures à la cote de l'évènement générant les niveaux marins les plus importants (y compris le setup) de +4,23 m NGF. Ces zones basses (bassins de risques) sont situées à : Langoz, Kervilzic, Lodonnet et Ezer et Poulluen. En revanche, les côtes littorales situées entre ces plages sont essentiellement rocheuses et ne présentent pas de zones basses à l'arrière.

### *Analyse et séparation en tronçons homogènes*

- **SC7a** : Au Nord de la Plage de Langoz : PK 0 à 950 m – PT 1 : Il ne s'agit pas d'une structure de protection. La cote d'arase est de l'ordre de +5 m NGF avec quelques points bas (3.5m NGF) sous la cote de l'évènement référence. **Le phénomène de surverse est à prendre en compte pour l'évènement référence.** Cette zone est également soumise aux **franchissements** avec des volumes franchis supérieurs à 100l/s/ml pour l'évènement le plus défavorable. L'évolution passée du trait de côte est stable et aucun recul majeur du trait de côte n'a été observé suite aux tempêtes de l'hiver 2013/2014.

- **SC7b** : Plage de Langoz : PK 950 à 1490 m – PT 2 et 3 : Il s'agit d'un cordon de haut de plage d'une largeur d'environ 50m présentant une zone basse à l'arrière, et donc d'une **structure de protection**. Ce cordon situé devant une zone basse peut à nouveau être scindé en 2 tronçons SC7b1 et SC7b2.



- **SC7b1** : Le cordon est construit sur sa crête et sur sa face arrière. Il est également protégé par des murs sur sa face avant. La cote d'arase est de l'ordre de +5 m NGF.
- **SC7b2** : Le cordon est protégé par un mur sur sa face avant. La cote d'arase est de l'ordre de +4.5 m NGF avec un point plus bas (4m NGF) sous la cote de l'évènement générant le plus haut niveau marin. Ce tronçon est également soumis à des projections de matériaux (galets, sables, pierres).



- **SC7c** : entre la Plage de Langoz et de Kervilzic : PK 1490 à 2200 m : Il ne s'agit pas d'une structure de protection. La cote d'arase est de l'ordre de +5 m NGF avec quelques points bas (néanmoins supérieurs à la cote du niveau marin). Le terrain naturel à l'arrière monte très vite. Aussi, **aucun phénomène de surverse n'est envisageable pour l'évènement référence. En revanche cette zone est soumise à des franchissements supérieurs à 100l/s/ml pour l'évènement le plus défavorable.**
- **SC7d** : Plage de Kervilzic : PK 2200 à 2700 m – PT 4 à 6 : Il s'agit d'un cordon de haut de plage et donc d'une **structure de protection**. Le cordon est construit sur sa crête et

sur sa face arrière. Il est également protégé par des murs sur sa face avant. La cote d'arase est de l'ordre de +4 à +5 m NGF. On recense de nombreux points bas (3.5m NGF) sous l'évènement générant le plus haut niveau marin.



- **SC7e** : Pointe de Kerafédé : PK 2700 à 3800 m PT6 à PT8 : Il ne s'agit pas d'une structure de protection. La cote d'arase est de l'ordre de +4.5 à +8 m NGF. Le terrain naturel à l'arrière monte très vite. **Aucun phénomène de surverse n'est envisageable pour l'évènement référence.** Selon les calculs, **cette zone est soumise aux franchissements uniquement sur la partie nord** (>100l/s/ml pour le cas le plus défavorable).
- **CD8** : Plage de Lodonsec et Ezer : PK 3800 à 4200 m – PT 9 : Le cordon (**structure de protection**) est arasé à +5 m NGF environ et sa largeur est de l'ordre de 30 m. Le cordon est construit sur sa crête et sur sa face arrière. Il est également protégé par des murs sur sa face avant, mais pas sur l'ensemble de son linéaire. Une zone basse inférieure à l'évènement générant le plus haut niveau marin est présente à l'arrière. L'évolution passée du trait de côte montre une stabilité dans ce secteur. Il peut cependant y avoir un léger recul du cordon lors d'une tempête. Ainsi, lors des tempêtes de l'hiver 2013/014 le recul du trait de côte est de l'ordre de 2m.



- **SC9** : Plage de Lodonsec et Ezer : PK 4200 à 4500 m – PT 10 : Le cordon présente une cote d'arase de l'ordre de +6 m NGF. Le cordon est également protégé par des murs sur sa face avant. Le terrain naturel à l'arrière est supérieur au niveau marin et monte très vite. **Aucun phénomène de surverse n'est envisageable pour l'évènement référence. Il n'y a pas de notion de protection de cet ancien cordon.** En revanche cette zone est soumise aux franchissements avec un volume situé entre 10 et 100l/s/ml pour l'évènement le plus défavorable.



- **SC10 : Pointe de St-Ouam à Kerfriam : PK 4500 à 5300 m (PT11) :** Le cordon (**structure de protection**) est arasé entre +6,5 et +8 m NGF avec une décroissance d'Est en Ouest et sa largeur est de l'ordre de 50 m. Ce cordon est partiellement protégé par des murs. La zone à l'arrière n'est pas une zone basse (>+5,5 m NGF). L'évolution passée du trait de côte montre une stabilité dans ce secteur. On peut néanmoins observer un léger recul du trait de côte lors d'une tempête. Ce tronçon ne présente **pas de risque de surverse ou de rupture. Il n'y a pas de notion de protection de cet ancien cordon. Cette zone n'est pas soumise aux franchissements selon les calculs réalisés.**
- **SC11a : Plage de Poulluen : PK 5300 à 6300 m – PT 12 à 14 :** Il s'agit d'un cordon (**structure de protection**). Le cordon est construit sur sa crête et sur sa face arrière. Il est également protégé par des murs sur sa face avant. Les zones à l'arrière sont des zones basses inondables. La cote d'arase varie entre +4 et +5 m NGF au niveau des PT 12 à 14 et est >+7 m NGF au niveau des PT 11 et 15. On recense donc **quelques points bas sous la cote de l'évènement générant le plus haut niveau marin**. Ce tronçon est donc, de fait, soumis également aux franchissements (>100l/s/ml). L'évolution passée du trait de côte montre une stabilité de ce secteur. Ce tronçon est également soumis pour partie aux chocs mécaniques de vagues



- **SC11b : Pointe de Kerafédé : PK 6300 à 6900 m (PT15) :** Il ne s'agit pas d'une structure de protection. On note la présence de mur de protection sur l'ensemble de ce tronçon de littoral. La cote d'arase est de l'ordre de +6 m NGF. Le terrain naturel à l'arrière monte très vite. **Aucun phénomène de surverse n'est envisageable pour l'évènement référence. En revanche les franchissements calculés sont de l'ordre de 10 à 100l/s/ml sur ce tronçon pour l'évènement le plus défavorable.**

En synthèse parmi les tronçons présentés, les tronçons SC7b, SC7d, CD8, SC9, SC10 et SC11a sont considérés comme des structures de protection. Néanmoins les structures de protection SC9 et SC10 ne présentent pas de zone basse à l'arrière pour le niveau marin référence. Aussi, seules les 4 autres structures de protection sont analysées ci-après.

### Scénarios de défaillance des structures de protection

Sur ce secteur, la cote de l'évènement générant les niveaux marins les plus importants, y compris le setup, est de +4,23 m NGF.

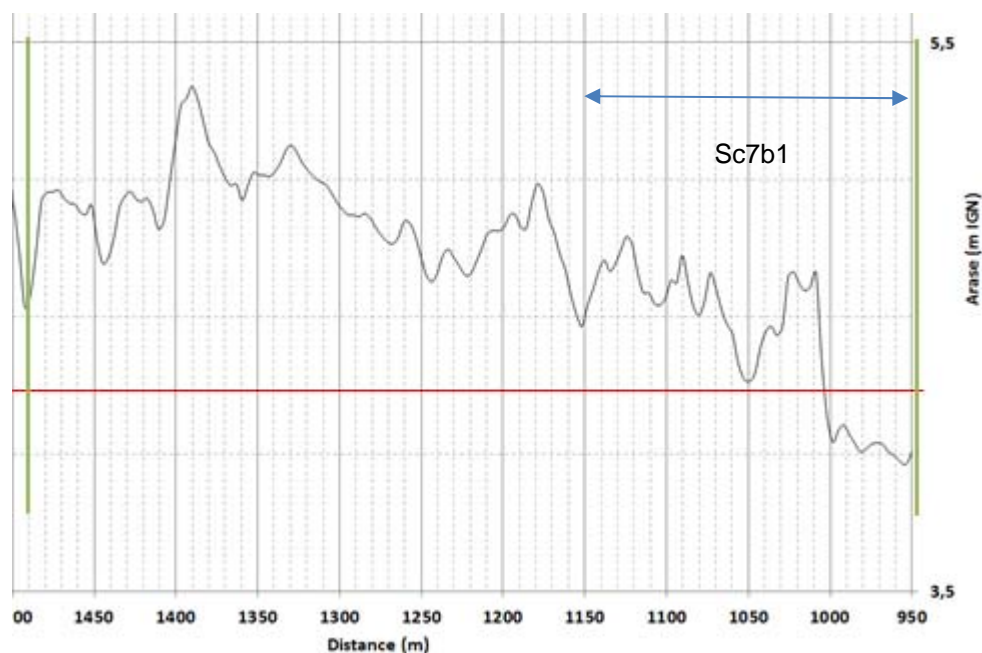
- **SC7b1 : PK 950 à 1170 m :** Ce tronçon de cordon est protégé par un ouvrage longitudinal. La définition du scénario de défaillance nécessite d'analyser les phénomènes suivants : risque d'affaissement de la crête et de la face arrière du cordon par érosion (arrachage des sédiments) liée à la surverse 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 très fort sur la base des critères suivants :

- Largeur du cordon à sa base : 15m
- Pente de 5% sur la face arrière du cordon
- Franchissements très forts (la surverse, représentée sur le profil en long) a lieu à l'est de la zone basse sur la partie du tronçon qui ne correspond plus au cordon dunaire
- Aucune artificialisation de la crête et de la face arrière du cordon

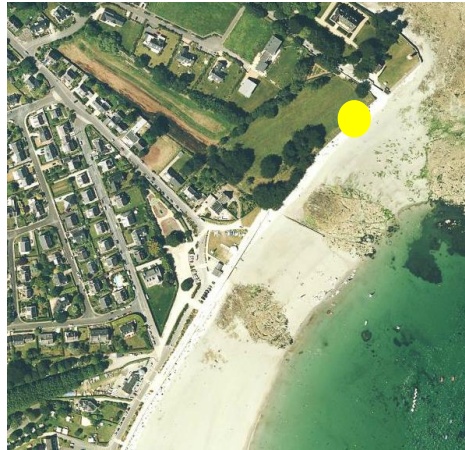
#### 2 - Définition du risque de rupture brutale du cordon par érosion de contact :

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. Ce cordon est protégé par des murs. **Le risque est estimé à fort** à cause du manque de connaissance sur la résistance des ouvrages (aucune donnée n'a été fournie sur les caractéristiques de l'ouvrage par la commune). *Les critères d'analyses de l'ouvrage sont décrits dans le chapitre 6 - 1.1.*



Extrait du profil en long du SC7b1

En conclusion, nous retiendrons sur le tronçon SC7b1, une hypothèse de de brèche dans le cordon dunaire de 100m de large. En effet, le phénomène correspond à un affaissement du cordon dunaire par arrachage de sédiments sur la crête non protégée, puis à une rupture consécutive du muret, lié à l'amaigrissement par l'arrière du cordon dunaire (déjà très peu large). Le phénomène de franchissement sera également pris en compte.

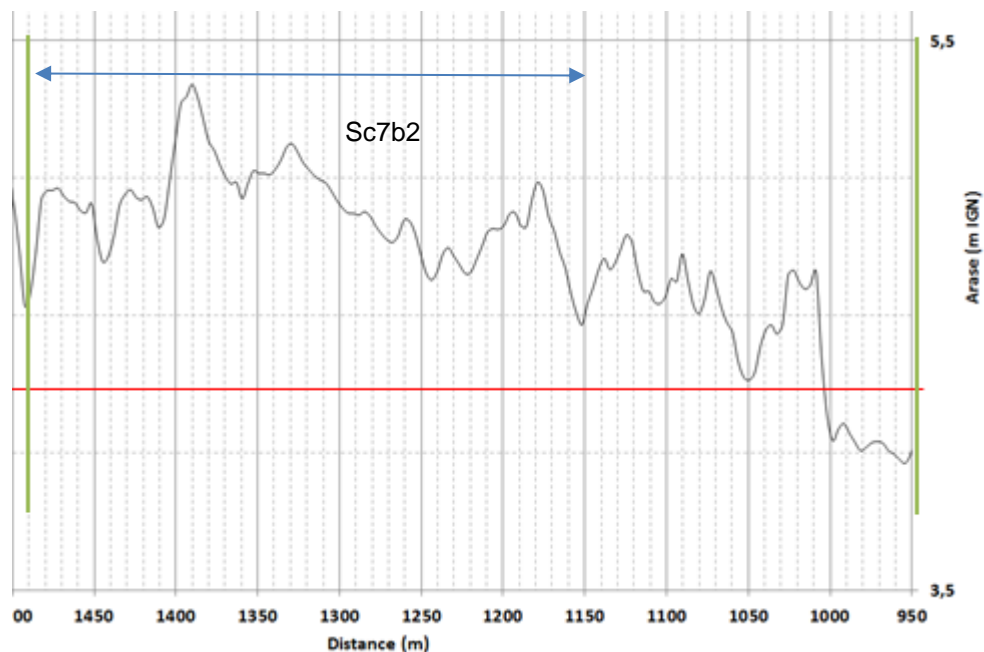


Localisation de la brèche de 100m sur le tronçon SC7b1

- **SC7b2 (PK1170 à 1490) – PT2 et 3:** Ce tronçon de cordon est protégé par un ouvrage longitudinal et est 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.

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

- Largeur du cordon au-dessus du niveau de la mer : 30m
- Pente de 5% sur la face arrière du cordon
- Franchissements forts
- Pas de surverse
- Artificialisation à 100% de la crête et de la face arrière du cordon



Extrait du profil en long du SC7b1

## 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. Ce cordon est protégé par un ouvrage de protection longitudinale.

Cet ouvrage au Sud comprend principalement une digue promenade réalisée en pierres et béton, un muret, un espace végétalisé, une voie communale en enrobé et des places de stationnement en enrobé. Les propriétés privées situées en retrait ont édifié des murs de clôture donnant sur la voie. La digue a été construite entre 1937 et 1939.

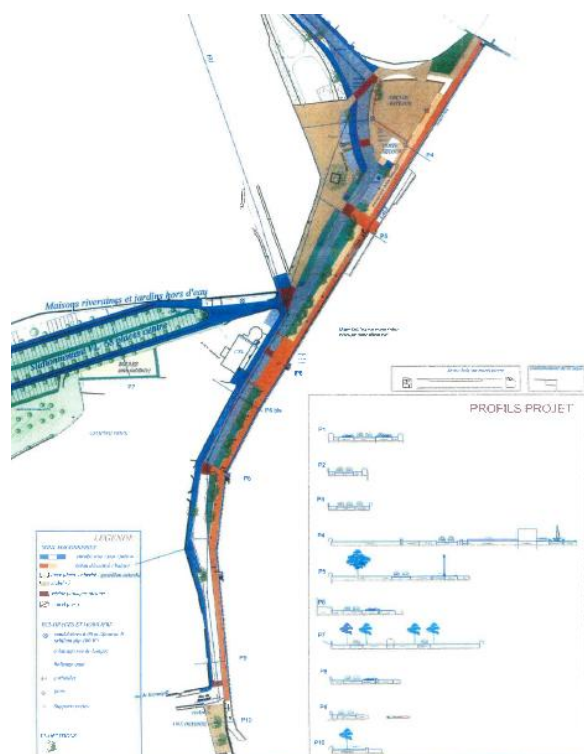
Le réaménagement de l'ensemble de l'espace public a été réalisé en 2007-2008.

Le couronnement en pierres de la digue promenade a été repris suite à malfaçons en 2015.

Nous ne disposons pas de données avec des coupes-type précises sur le secteur de la plage de Langoz hormis un plan masse.

**Le risque est estimé à modéré** à cause du manque de connaissance sur la résistance des ouvrages (aucune donnée n'a été fournie sur les caractéristiques de l'ouvrage par la commune), cependant en première approche cet ouvrage semble adapté aux conditions océano-météorologiques. *Les critères d'analyses de l'ouvrage sont décrits dans le chapitre 6 - 1.1.*





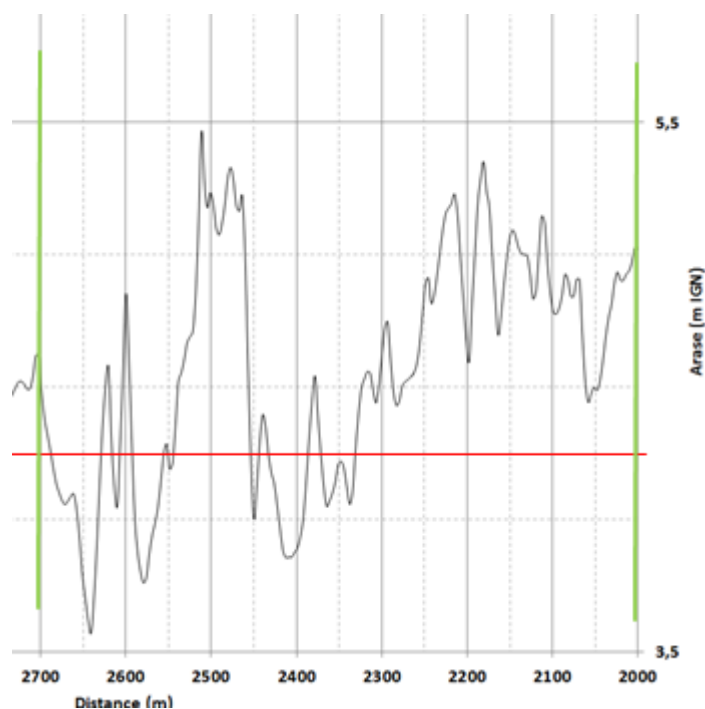
Extrait de plan de l'ouvrage SC7b2 (source : commune)

**En conclusion, nous ne retiendrons pas de défaillance pour le sous-tronçon SC7b2. Le phénomène de franchissement sera pris en compte.**

- **SC7d : Plage de Kervilzic : PK 2200 à 2700 m – PT 4 à 6 :** Ce tronçon de cordon est protégé par un ouvrage longitudinal et est 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.

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

- Largeur du cordon à la base : 30m
- Pente de 5% sur la face arrière du cordon
- Franchissements très forts sur tout le cordon
- Surverse de 25 cm environ sur 200m
- Artificialisation moyenne de la crête et de la face arrière du cordon



Extrait du profil en long du tronçon SC7d

## 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. Ce cordon est protégé par des murs.

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 leur maison construite sur le cordon dunaire.

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

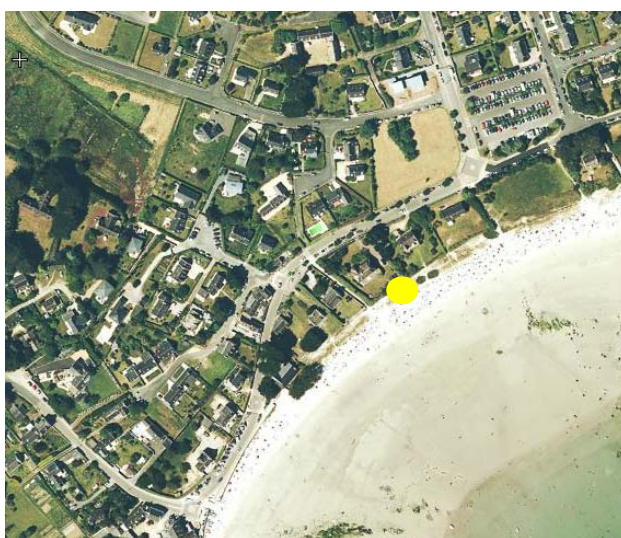
**Le risque est estimé à fort** en lien avec l'ancienneté et la non homogénéité des ouvrages, avec le manque de connaissance sur la résistance des ouvrages, et le fait qu'ils ne sont pas entretenus par la commune mais par des particuliers. *Les critères d'analyses de l'ouvrage sont décrits dans le chapitre 6 - 1.1.*

**En conclusion, nous retiendrons sur le SC7d, une défaillance de type affaissement de la crête du cordon dunaire entre les habitations, sur une profondeur d'1m, et ce sur les zones concernées par la surverse situées principalement au sud du cordon. Le phénomène de franchissement sera également pris en compte.**



Localisation zones d'affaissement cordon dunaire

- **CD8 : Plage de Lodonnec et Ezer : PK 3800 à 3980 m – PT 9** : Il s'agit d'un tronçon de cordon non protégé par des murs. **D'après la méthode du FEMA le stock sédimentaire de ce tronçon de cordon n'est pas suffisant pour résister aux conditions océano-météorologiques.** Il n'existe cependant pas de risque de surverse. Les volumes franchis sont inférieurs à 10l/s/ml pour le cas le plus défavorable. Il ne s'agit donc pas d'un phénomène pouvant engendrer la ruine. **Aussi, l'hypothèse de rupture du cordon correspond à une brèche de 100m localisée sur la zone de défaillance la plus probable, à savoir le point le plus bas.** La carte ci-après localise le point le plus bas et le plus étroit du cordon (point jaune). Le phénomène de franchissement sera également pris en compte.

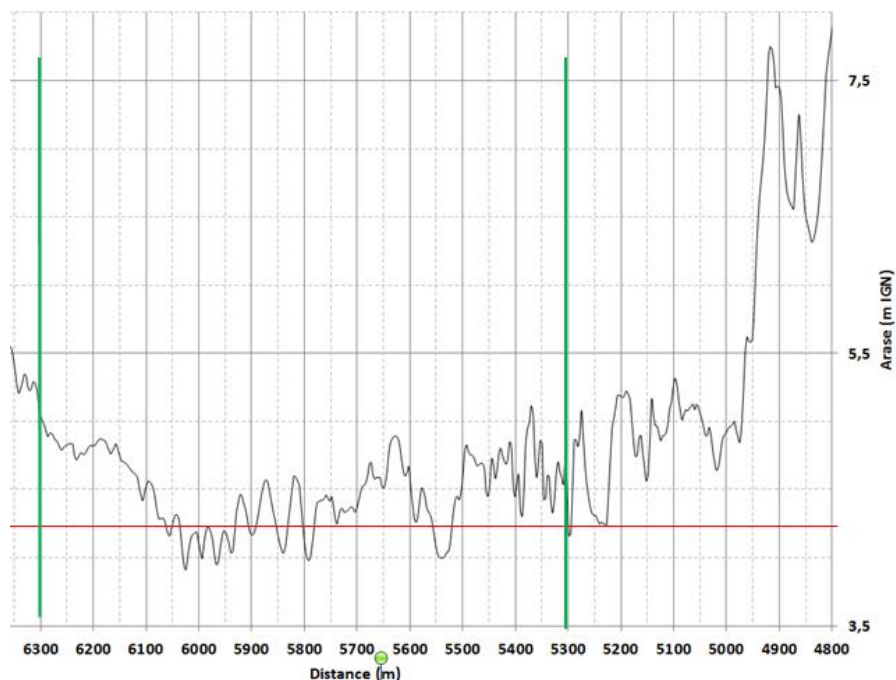


- **SC11a : Plage de Poulluen : PK 5300 à 6300 m – PT 11 à 15** : Ce tronçon de cordon est protégé par un ouvrage longitudinal et est construit sur sa crête. La définition du scénario de défaillance nécessite d'analyser les phénomènes suivants : risque d'affaissement de la crête et de la face arrière 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.

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

- Largeur du cordon à sa base : variable de 10 à 35m (secteur nord ou sud)
- Pente de 7% sur la face arrière du cordon
- Franchissements extrêmement forts
- Surverse de 10 cm environ sur 170m de large
- Artificialisation variable de la crête et de la face arrière du cordon en fonction des secteurs, mais restant assez faible.



*Extrait du profil en long du tronçon SC11a*

**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. Ce cordon est protégé par des murs en pierre ou en béton édifiés par des particuliers.

Nous ne disposons pas de données ni de coupe-types sur les ouvrages/murs présents le long de la plage.

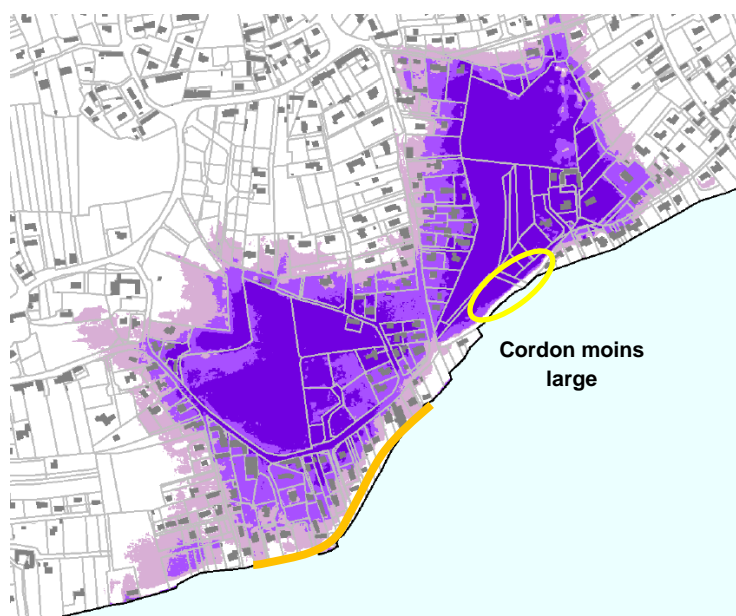
A noter la présence à l'Est immédiat de l'ouvrage transversal d'une protection longitudinale en enrochements récente dont on ne connaît pas les caractéristiques techniques.

**Le risque est estimé à fort** en lien avec l'ancienneté et la non homogénéité des ouvrages, avec le manque de connaissance sur la résistance des ouvrages, et le fait qu'ils ne sont pas entretenus par la commune mais par des

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

On distingue deux cuvettes derrière le tronçon de cordon SC11a avec une morphologie différente :

- La cuvette au nord-est où la largeur du cordon ne dépasse pas 10m. Sur cette zone, l'arrachage des sédiments sur la crête et la face arrière (là où l'artificialisation de la crête est nulle) peut créer un amaigrissement du cordon par l'arrière puis une disparition totale de celui-ci de manière à déstabiliser les murs de protection situés devant. Il est donc proposé une brèche du cordon dunaire au niveau où le cordon est le plus mince.
- La cuvette au sud-ouest où la largeur du cordon est globalement plus importante à la base environ 35m). Sur cette zone, même si on observe parfois un phénomène local de surverse, le cordon est néanmoins plus large. Le phénomène prédominant sera celui de l'affaissement de la crête du cordon entre les habitations.



**En conclusion, il sera retenu 2 défaillances : une brèche sur la partie nord du cordon là où il est moins épais à sa base ; un affaissement du cordon dunaire entre les habitations sur une profondeur d'1m, sur la partie sud du cordon, au droit des zones surversées. Le phénomène de franchissement sera également pris en compte. Une partie du tronçon est également concerné par les chocs mécaniques.**

1.2.6 Bassin de risque de Stér Kerdour

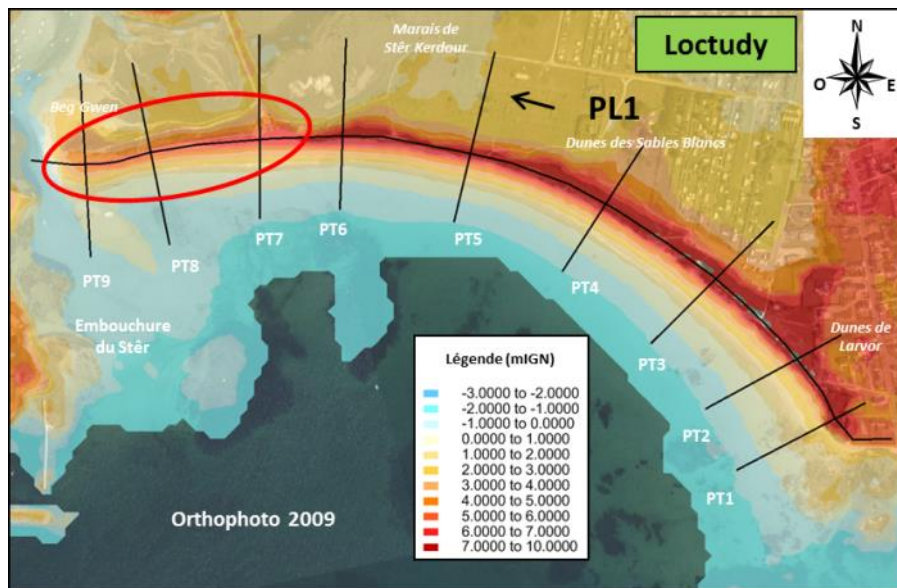
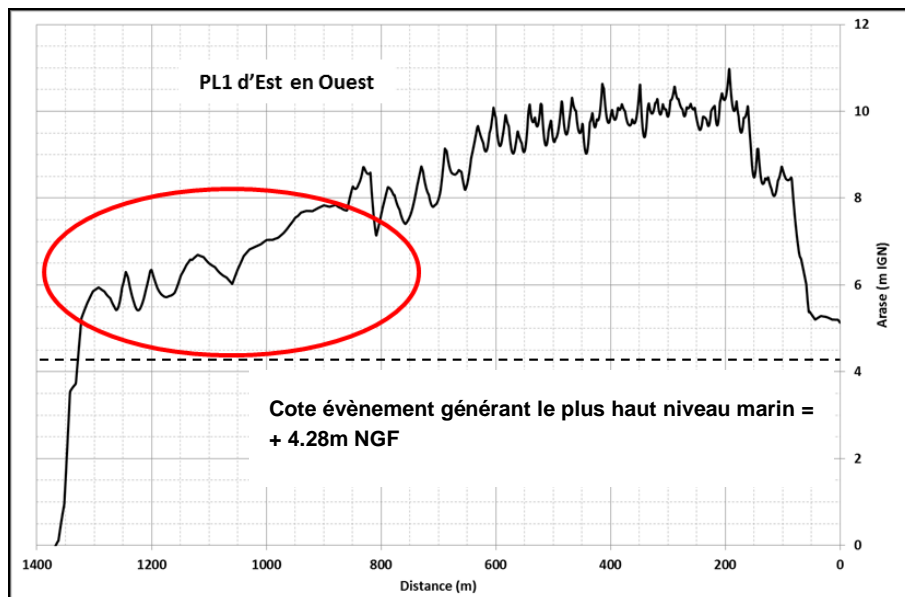


Figure 46 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Loctudy (2/2)



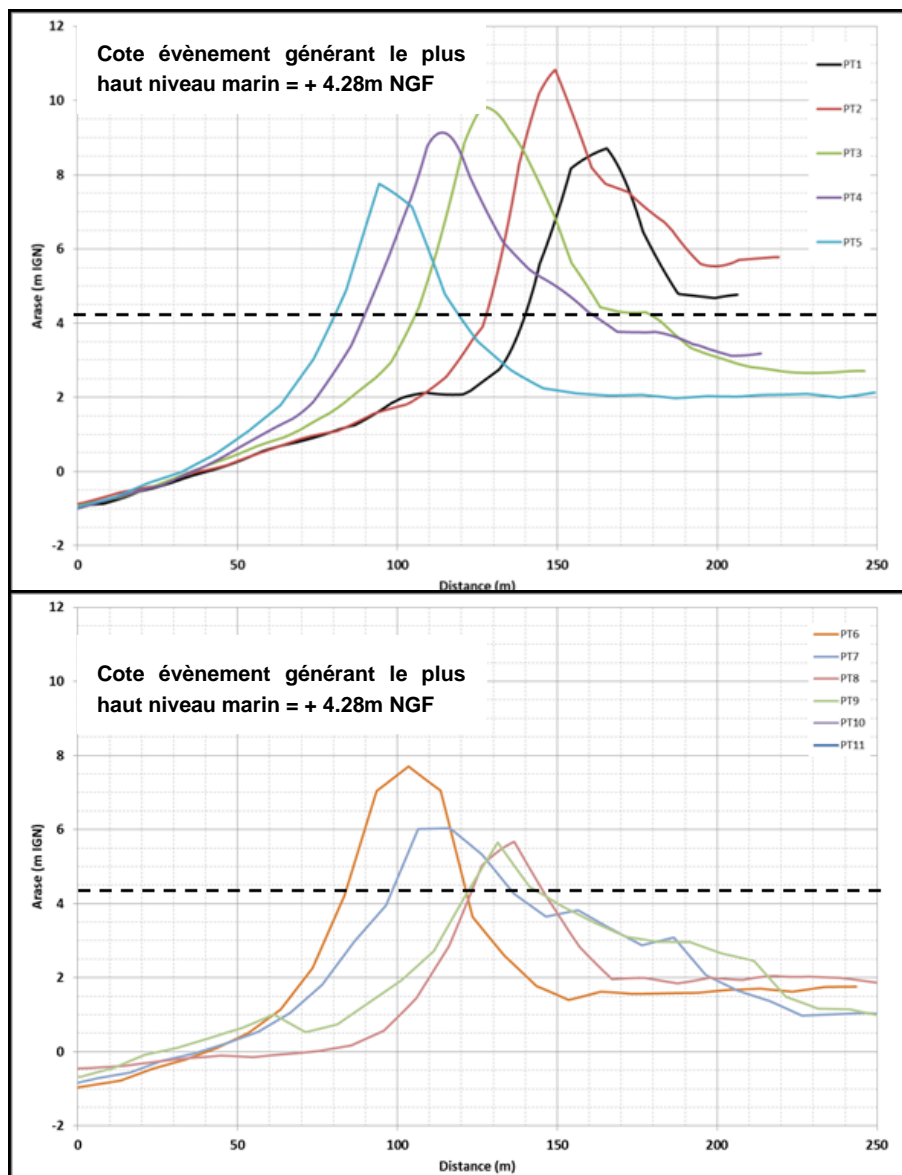


Figure 47 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux – Loctudy (2/2)

### Analyse et séparation en tronçons homogènes

Le littoral de Loctudy au niveau de la plage des Sables Blancs (PT1 à 9) est un littoral constitué par un cordon dunaire protégeant une zone base 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 également protégée par la digue de Ster Kerdour située dans la zone estuarienne (pas de houle, ni de phénomène de franchissement).

Le cordon dunaire peut être séparé en 3 tronçons homogènes :

- **CD12 : PK 50 à 600 m – PT 1 à 4 :** le cordon dunaire (**structure de protection**) est hautement arasé (+8 à +11 m NGF) et a une largeur variant de 50 à 70 m. Le cordon dunaire est stable et présente des dimensions conséquentes (arase de la crête et largeur) permettant de correctement protéger les zones arrières. L'évolution passée du

trait de côte montre une faible érosion dans ce secteur. Le recul du trait de côte est également faible lors des tempêtes. Une légère érosion (< 2 m) s'est produite au pied du cordon dunaire lors des dernières tempêtes de l'hiver 2013-2014.



- **CD13: PK 600 à 1000 m – PT 5 à 6** : le cordon dunaire (**structure de protection**) est arasé entre +7 et +9 m NGF et sa largeur est d'environ 40 m. Le cordon dunaire présente une instabilité croissante d'Est en Ouest (arase de la crête et largeur). L'évolution passée du trait de côte montre une forte érosion dans ce secteur. Le recul du trait de côte est également fort lors des tempêtes, puisqu'une forte érosion du cordon dunaire s'est produite (recul d'environ 5 à 10 m voire plus localement) liée à l'attaque des houles et à la destruction des épis transversaux en géotextile qui n'ont pas permis de protéger correctement le cordon dunaire. A la fin de l'hiver, le cordon dunaire côté océan était constitué par des falaises verticales d'environ 2 à 3 m de hauteur.



- **CD14 : PK 1000 à 1300 m – PT 7 à 9** : le cordon dunaire (**structure de protection**) est arasé entre +5 et +7 m NGF et sa largeur varie de 20 à 30 m. Le cordon dunaire présente une instabilité et des zones de fragilité importantes (arase de la crête et largeur). L'évolution passée du trait de côte met en évidence une érosion de ce secteur. Ce tronçon a notamment fait l'objet de recul important lors des tempêtes de l'hiver 2013/2014. Une érosion du cordon dunaire s'est produite (recul d'environ 2 à 5 m voire plus localement) liée à l'attaque des houles. A la fin de l'hiver, le cordon dunaire à l'extrémité Ouest était très mince. Il y a eu des démarrages de petites brèches et de nombreux franchissements par-dessus le cordon dunaire.





- **EST6 : La digue de Ster Kerdour :** La crête de cette digue est approximativement de 4,27m NGF. La cote de l'évènement référence est de 4.05m NGF sans prise en compte du set-up sur cette façade estuarienne non soumise à l'influence de la houle. Concernant la digue de Ster-Kerdour, l'inspection périodique réalisée par la DDTM en 2012 fait état d'une absence totale d'entretien et de surveillance de l'ouvrage par le gestionnaire.

En synthèse parmi les tronçons présentés (CD12, CD13, CD14 et EST6), tous les tronçons sont considérés comme des structures de protections. Les chapitres ci-après présentent une synthèse de la stabilité des cordons et les hypothèses de défaillance retenues pour chaque structure de protection.

### *Scénarios de défaillance des structures de protection*

Sur ce secteur, la cote de l'évènement générant les niveaux marins les plus importants, y compris le setup, est de +4,28 m NGF.

**CD12 : PK 50 à 600 m – PT 1 à 4 :** Crête d'arase du cordon dunaire élevée (>+8 m NGF), avec une largeur de 50 à 70m et stable d'un point de vue sédimentaire. Le phénomène de franchissement n'a pas lieu pour les évènements marins analysés (4 cas historiques et 12 cas théoriques centennaux). **Le risque de brèche devrait théoriquement être considéré. Cependant, d'après la méthode du FEMA le stock sédimentaire de ce tronçon de cordon est suffisant pour résister aux conditions océano-météorologiques. Aussi, aucune défaillance ne sera prise en compte. La bande de précaution ne sera donc pas prise en compte sur ce tronçon de cordon.**

- **CD13 : PK 600 à 1000 m – PT 5 à 6 :** Crête d'arase du cordon dunaire élevée (>+7 m NGF) en continu donc il n'y a pas de risque de surverse. **D'après la méthode du FEMA le stock sédimentaire de ce tronçon de cordon est suffisant pour résister aux conditions océano-météorologiques. Cependant, l'évolution passée de ce trait de côte correspond à une forte érosion et les dégâts ont été importants lors de l'hiver 2013/2014 avec un recul d'environ 10m, voir plus localement. Des brèches ayant engendré une submersion des marais ont déjà été observées, notamment en 1974. On retiendra donc l'hypothèse d'une ruine généralisée.**

- **CD14: PK 1000 à 1300 m – PT 7 à 9 :** Cote d'arase de la crête discontinue et variant entre +5 et +7 m NGF. Il n'y a pas de risque de surverse, mais un **risque important de brèche, confirmée par l'application de la méthode du FEMA. Cependant cette brèche n'a pas d'impact puisqu'on ne note pas de zone basse en retrait. Aussi, aucune hypothèse de rupture ne sera retenue. Les franchissements seront néanmoins pris en compte.**
- **EST6 :** La digue de Ster Kerdour : La crête de cette digue est de 4,27m NGF. Aussi pour l'évènement marin référence (cote 4.05m NGF sans prise en compte du set-up puisque l'on se situe en zone estuarienne), cette digue n'est pas submergée. En conséquence, le scénario de ruine ne peut être retenu. La digue n'a semble-t-il présenté aucune défaillance par le passé. Cet ouvrage de classe C au titre du décret N°2007 – 1735 du 11 décembre 2007, a fait l'objet d'une inspection périodique réalisée par la DDTM en 2012 ; celle-ci fait état d'une absence totale d'entretien et de surveillance de l'ouvrage par le gestionnaire, mais qui note un état apparemment satisfaisant de l'ouvrage d'un point de vue visuel. Cependant, aucune étude de danger n'ayant été réalisée, nous ne disposons pas dans le cadre du PPRL de données suffisantes pour assurer de la stabilité de cet ouvrage. **Une brèche de 100m sera donc prise en compte conformément aux recommandations du guide méthodologique des PPRL.**

### 1.2.7 Plobannalec/Lesconil

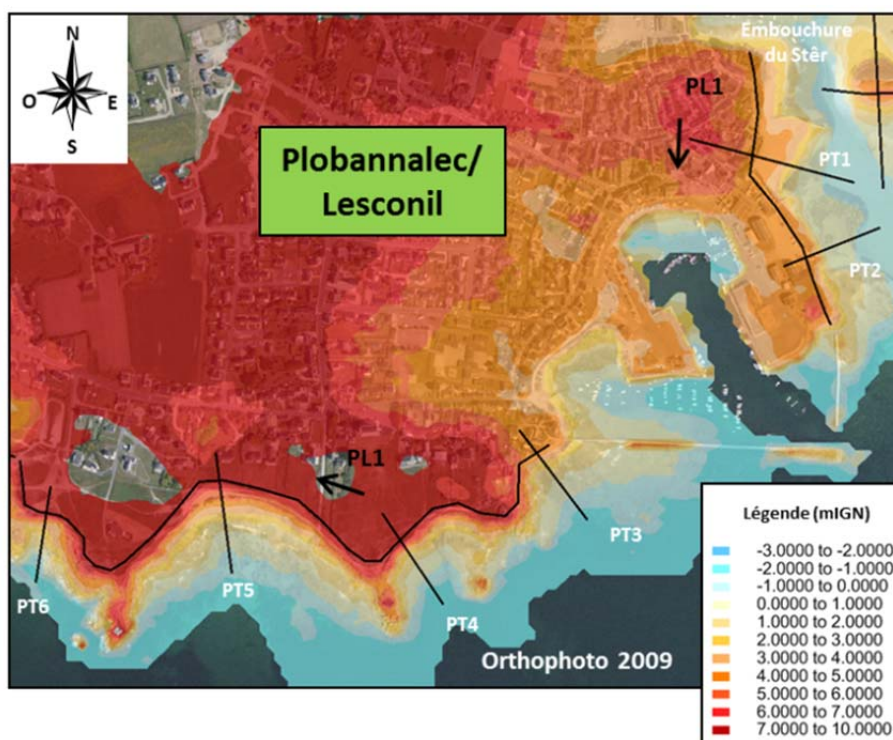


Figure 48 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Plobannalec/Lesconil

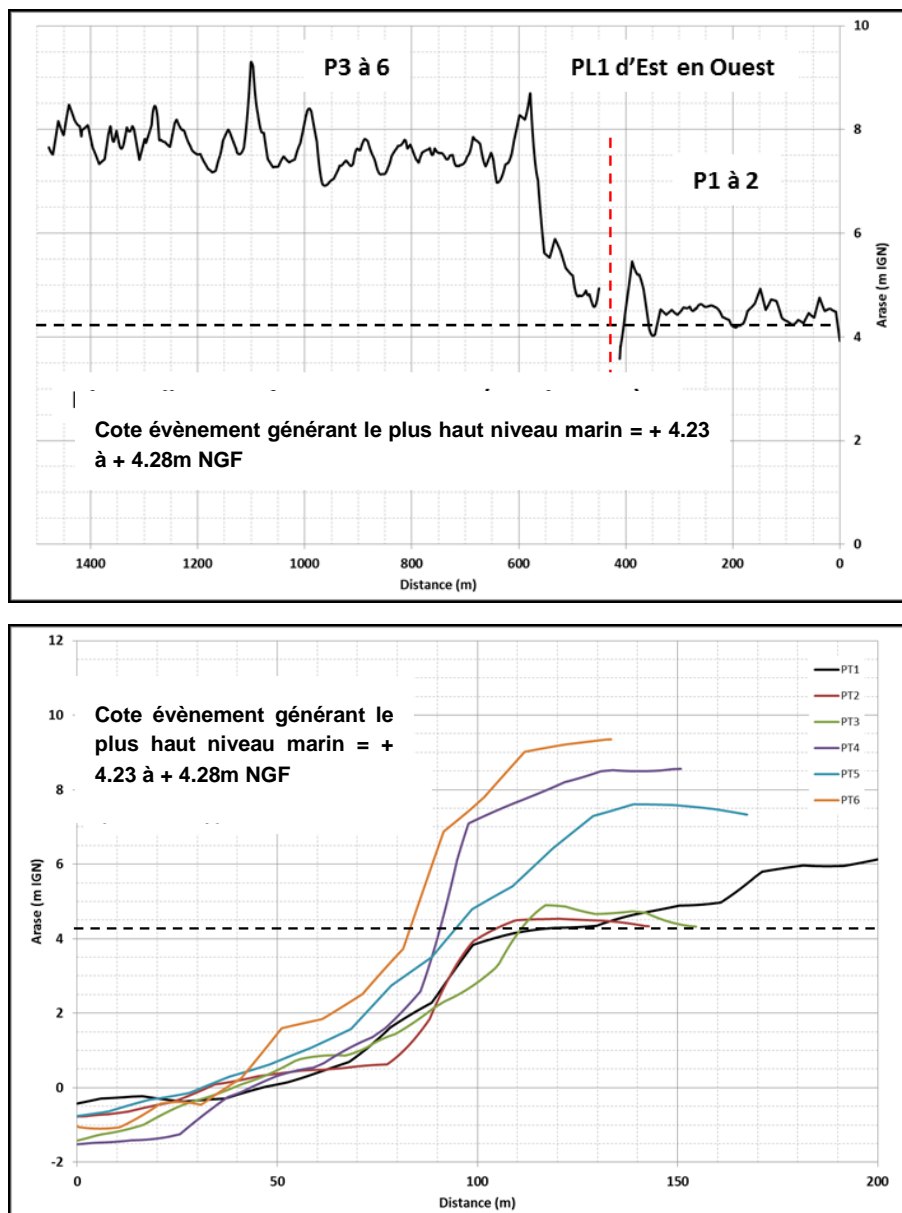


Figure 49 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux – Plobannalec/Lesconil

### Analyse et séparation en tronçons homogènes

#### Zone littorale :

**SC15** : Plage au Nord du port : PK 0 à 400 m – PT 1 et 2 : des ouvrages longitudinaux en enrochement se sont substitués à l'ancien cordon. L'évolution passée du trait de côte montre une stabilité de ce secteur. La cote d'arase est de l'ordre de +4 à +5.5 m NGF. Cependant la zone arrière monte progressivement, **aussi il ne s'agit pas d'une structure de protection contre la submersion. Le phénomène de surverse sera néanmoins vérifié (cote du niveau marin de 4.28m NGF) sur de toutes petites zones et le phénomène de franchissement est à prendre en compte.**



**POR1 : Port de Lesconil : le port n'est pas sous influence de la houle. Le phénomène de franchissement n'existe donc pas.** Seul le phénomène de surverse au-dessus des quais sera donc pris en compte. La cote de l'évènement référence est de 4.05m NGF sans prise en compte du set-up sur cette façade estuarienne non soumise à l'influence de la houle. L'exutoire eaux pluviales du port qui relie une zone basse située en retrait du port sera néanmoins supposé défaillant comme précisé dans la méthodologie (Chap. 8.1). 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).

**TR16 : Littoral à l'Ouest du port : PK 450 à 1500 m – PT 3 à 6 :** Ce secteur n'est pas considéré comme étant un cordon dunaire. **Il n'y a pas de zones basses en arrière de ce littoral rocheux. La cote d'arase est de l'ordre de +7 à +9 m NGF.** L'évolution passée du trait de côte montre une stabilité de ce secteur. Les phénomènes de franchissement sont également négligeables sur ce tronçon selon les calculs.



#### Zone estuarienne :

**EST7 : Estuaire de Plobannalec-Lesconil.** Dans cette zone estuarienne, l'influence de la houle n'existe pas. Il n'y a donc pas de phénomène de franchissement.

Les digues de classe D recensées sur ce secteur sont des ouvrages de moins d'1m 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. Ces digues sont donc supposées ruinées comme le précise le rapport de phase 1.

**En prenant en compte le phénomène de surverse sera pris en compte,** la cote de l'évènement référence est de 4.05m NGF sans prise en compte du set-up sur cette façade estuarienne non soumise à l'influence de la houle.

Le remblai routier qui traverse l'estuaire n'a pas fait l'objet d'étude de danger ou d'étude géotechnique. A défaut, conformément à la méthodologie, une brèche de 100m a été testée. Il n'existe pas d'écart de niveau d'eau entre le scénario avec ou sans brèche.

### 1.2.8 Treffiagat depuis Kersauz à Lechiagat

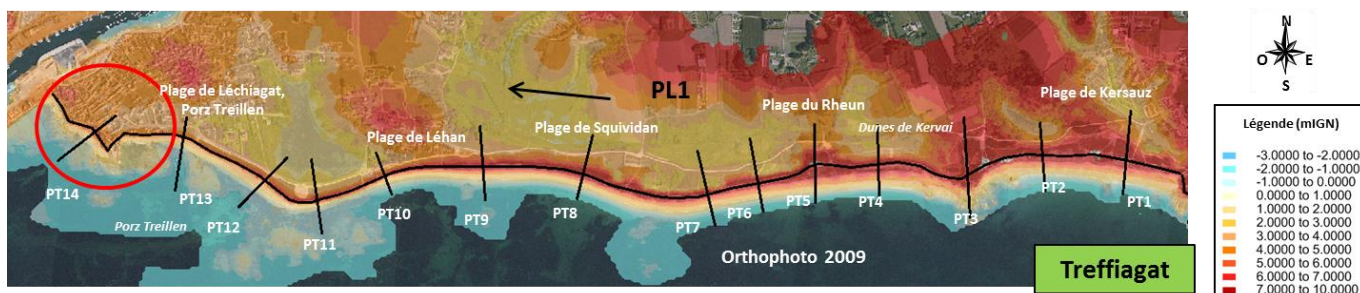
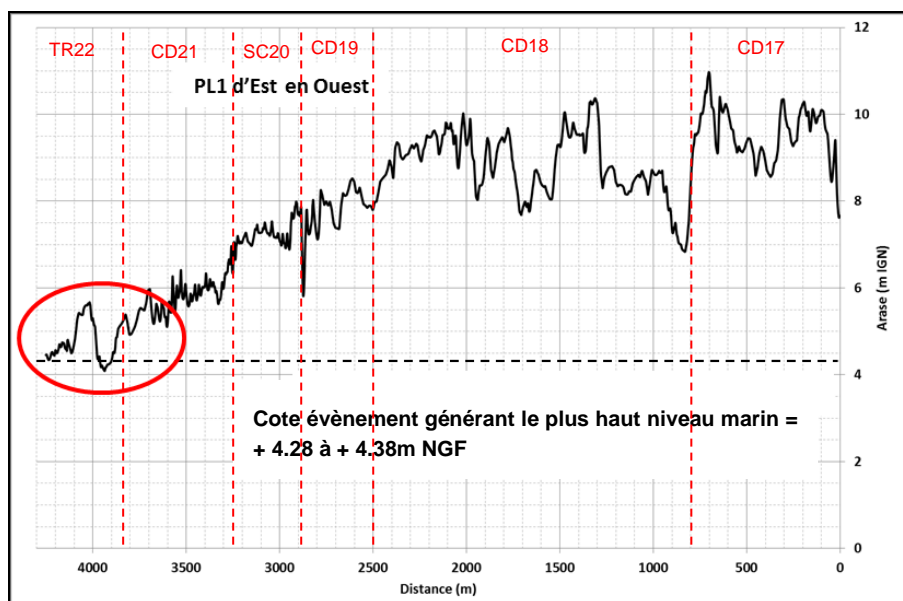


Figure 50 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Treffiagat



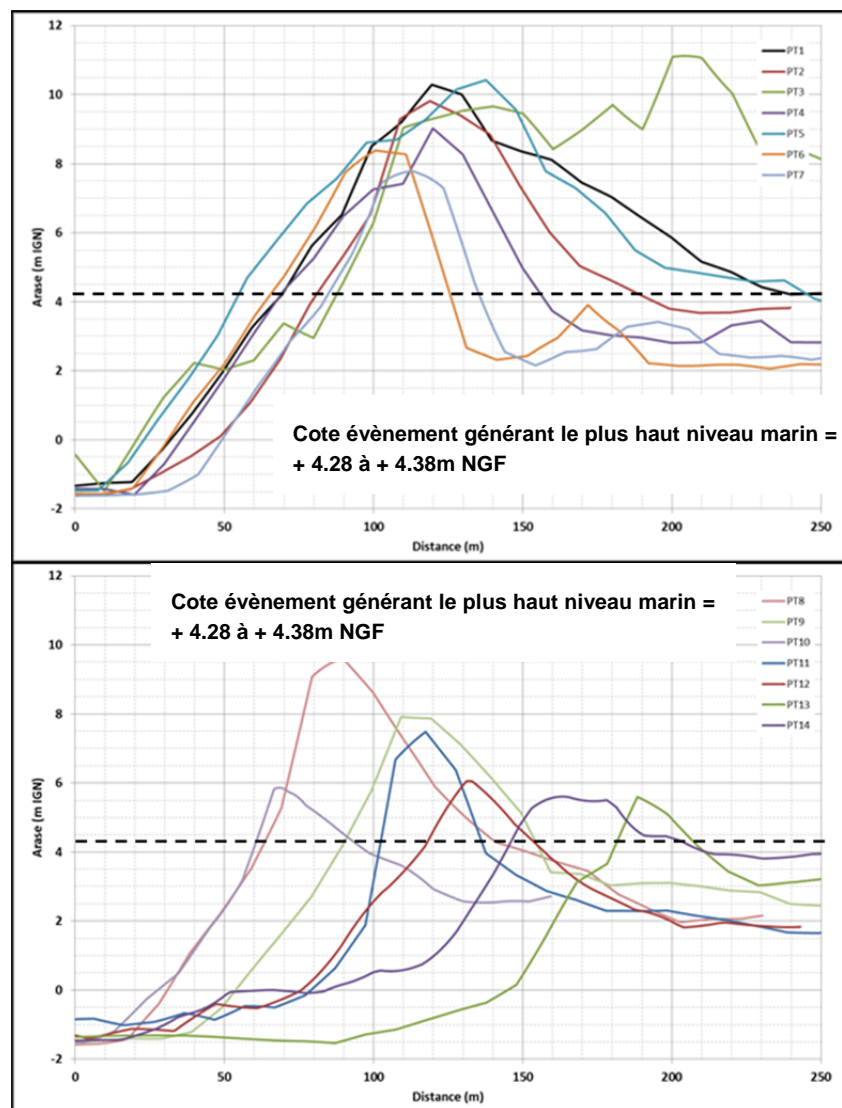
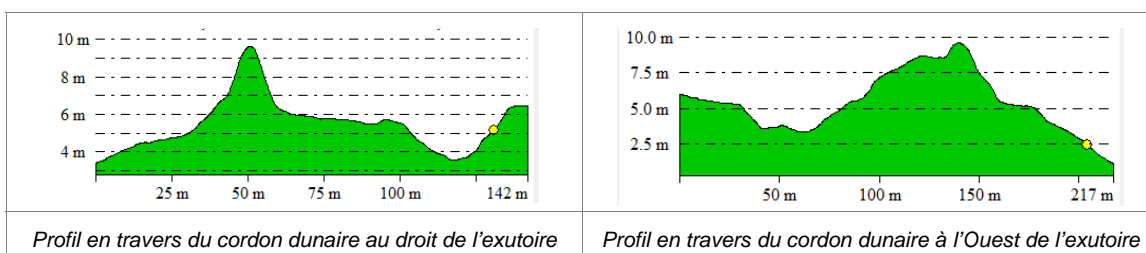


Figure 51 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux – Treffiagat

Le littoral de Treffiagat jusqu'à Lechiagat est un littoral 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. Le cordon dunaire peut être séparé en plusieurs tronçons homogènes.

### Analyse et séparation en tronçons homogènes

- **CD17 : PK 0 à 800 m – PT 1 à 3 – Plage de Kersauz** : le cordon dunaire (**structure de protection**) est hautement arasé (+8 à +11 m NGF). Au droit de la confluence, le cordon est nettement moins large (comme l'illustre le profil en travers ci-après). Le cordon dunaire est stable et présente des dimensions conséquentes (arase de la crête et largeur) en continu permettant de correctement protéger les zones arrières à l'exception de la zone située face à l'exutoire, sur 25m de long. L'évolution passée du trait de côte montre une érosion dans ce secteur. Lors de l'hiver 2013/2014, une légère érosion (< 2 m) s'est produite au pied du cordon dunaire A l'Est. L'érosion a été plus forte, à l'Ouest de l'ordre de 5 m voire plus localement.



- **CD18** : PK 800 à 2500 m – PT 4 à 9 – Plages du Rheun et de Squididan: le cordon dunaire (**structure de protection**) est hautement arasé (+6.9 à +9 m NGF) et a une largeur variant de 50 à 100 m. L'évolution passée du trait de côte montre une faible érosion dans ce secteur. Une érosion du cordon dunaire s'est produite essentiellement au niveau de la plage du Squididan (recul d'environ 2 à 5 m voire plus localement) liée à l'attaque des houles. On note des brèches historiques sur la partie Ouest du cordon dunaire (cf. rapport de phase 1).



- **CD19** : PK 2500 à 2850 m – PT 10 – Plage de Léhan : le cordon dunaire (**structure de protection**) est arasé entre +5.5 et +7.5 m NGF et sa largeur varie de 20 à 30 m. Il présente une instabilité et des zones de fragilité importantes (largeur). L'évolution passée du trait de côte montre une érosion forte dans ce secteur. Lors des tempêtes de l'hiver 2013/2014, une forte érosion (5 à 10 m) s'est produite au niveau de la plage de Léhan à l'Est immédiat de la protection en enrochements. La protection longitudinale en géotextile a été détruite et a favorisé l'érosion du cordon dunaire. Le cordon dunaire était à la limite de la rupture ce qui aurait pu entraîner une submersion des zones basses à l'arrière du cordon. Les entretiens réguliers effectués au cours de l'hiver pour reconsolider le cordon dunaire (apports de sédiments, reprofilage du cordon, etc...) ont été nécessaires et ont permis d'éviter l'apparition d'une brèche. A la fin de l'hiver 2014, le cordon dunaire à l'extrémité Ouest était fortement aminci et mettait en évidence des falaises verticales de 2 à 3 m de hauteur sur la façade maritime.



- **SC20** : Le Léhan : PK 2850 à 3250 m – PT 11 : **Un ouvrage longitudinal en enrochements s'est substitué au cordon dunaire. Cependant, celui-ci est toujours considéré comme un cordon dunaire (structure de protection)**. La cote d'arase est de l'ordre de +7 m NGF et la largeur du cordon est de l'ordre de 30 m environ. L'évolution passée du trait de côte montre une stabilité du profil de plage de ce secteur grâce à l'ouvrage longitudinal en enrochements, depuis 1995. Des franchissements ont eu lieu lors de l'hiver 2013/2014. Ce tronçon est également soumis à des projections de matériaux (galets, sables, pierres).



- **CD21** : Porz Treillen : PK 3250 à 3875 m – PT 12 et 13 : le cordon dunaire (**structure de protection**) est arasé entre +4.1 et +6.5 m NGF avec une décroissance d'Est en Ouest et sa largeur varie de 20 à 30 m. Sur environ 100m, sa cote est inférieure au niveau marin. Il est **renforcé** par un petit muret en béton (environ 0,5 m de hauteur) en haut de plage à l'Est et par **un mur de protection à l'Ouest**. L'évolution passée du trait de côte montre une érosion faible dans ce secteur. Lors des tempêtes de l'hiver 2013/2014, on a néanmoins pu observer une érosion de l'ordre de 2 à 5 m à l'extrémité Ouest du tronçon au droit des habitations. A l'Est, le petit muret a permis de stabiliser le cordon dunaire malgré les nombreux franchissements observés.





- **TR22 : Est du port de Lechiagat (PK 3875 à 4300) :** le terrain naturel est arasé à environ +5.5 m NGF. La côte est protégée par un muret sur l'ensemble du linéaire de ce tronçon. L'évolution passée du trait de côte de ce secteur est stable. **Cette zone est seulement concernée par le phénomène de franchissement avec un volume calculé à plus de 100l/s/ml pour l'évènement le plus défavorable.** Les volumes franchis s'engouffrent ensuite dans les rues et les écoulements peuvent rejoindre la zone de marais, ou bien la zone portuaire et s'écouler avec des vitesses importantes qui augmentent l'intensité de l'aléa. La définition de l'aléa doit être réalisée sur ce secteur, à partir d'un modèle hydraulique en 2 dimensions. La densité des bâtiments présents sur ce secteur et l'intensité des franchissements engendrent des hauteurs de lames d'eau importantes sur Lechiagat. Ce tronçon est également soumis à des projections de matériaux (galets, sables, pierres).

En synthèse parmi les tronçons présentés tous les tronçons sont considérés comme des structures de protections à l'exception du TR22. Les chapitres ci-après présentent une synthèse de la stabilité des cordons et les hypothèses de défaillance retenues pour chaque structure de protection.

### Scénarios de défaillances des structures de protection

Sur ce secteur, la cote de l'évènement générant les niveaux marins les plus importants, y compris le setup, est de +4,38 m NGF.

- **CD17 : PK 1 à 800 m – PT 1 à 3 – Plage de Kersauz :** Crête d'arase du cordon dunaire élevée (>+8 m NGF) en continu sauf au droit de l'exutoire du cours d'eau. **D'après la méthode du FEMA le stock sédimentaire de ce tronçon est suffisant en tout point pour résister aux conditions océano-météorologiques.** Seul, l'exutoire représente un point de fragilité d'après l'application de cette méthode. Il est donc **retenu une brèche au droit de l'exutoire sur une largeur de 25m, car la sensibilité du cordon dunaire est totalement localisée sur l'exutoire.**



- **CD18 : PK 800 à 2500 m – PT 4 à 9 – Plages du Rheun et de Squvidan :** Crête d'arase du cordon dunaire élevée (>+8 m NGF) en continu. Le calcul des franchissements met en évidence un risque nul y compris pour l'évènement le plus défavorable.

**D'après la méthode du FEMA le stock sédimentaire de ce tronçon de cordon est suffisant pour résister aux conditions océano-météorologiques, à l'exception de la partie Ouest du cordon, sur environ 100m (le long du CD19).**

L'évolution passée du trait de côte montre une faible érosion dans ce secteur. Une érosion du cordon dunaire s'est produite essentiellement au niveau de la plage du Squvidan (recul d'environ 2 à 5 m voire plus localement) liée à l'attaque des houles.

On note des brèches historiques sur la partie Ouest du cordon dunaire (cf. rapport de phase 1).

**Sur le secteur ouest, il sera donc retenu une brèche de 100m accolée au tronçon CD19.**

Enfin, à l'Est du cordon, on note un point bas, à la cote 6.9m NGF, permettant l'érosion de la crête via des franchissements importants sur environ 50m de long. Cependant, aucune zone de basse n'est présente sur cette partie du cordon situé à l'Est. Cet affaissement n'a pas d'incidence sur une potentielle entrée d'eau. Il sera donc uniquement conservé les entrées d'eau par franchissement au droit de ce point bas.

- **CD19 : PK 2500 à 2850 m – PT 10 – Plage de Léhan :** La cote d'arase de la crête est d'environ +7.5 m NGF avec un accès plage à la cote 6m NGF. **Les franchissements calculés sont considérés comme négligeables y compris pour l'évènement le plus défavorable** en dehors de l'accès plage. Aussi le risque de rupture par érosion de la crête est faible. En revanche, lors des derniers évènements de l'hiver 2013-2014, le **risque de rupture par érosion de contact s'est avéré réel** au vu de la très faible largeur du cordon. La **méthode du FEMA corréle cette analyse historique. L'hypothèse de rupture retenue est donc celle de la ruine de l'ensemble de ce tronçon.**

- **SC20 : Le Léhan : PK 2850 à 3250 m – PT 11 :** 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 définit comme faible** sur la base des critères suivants :

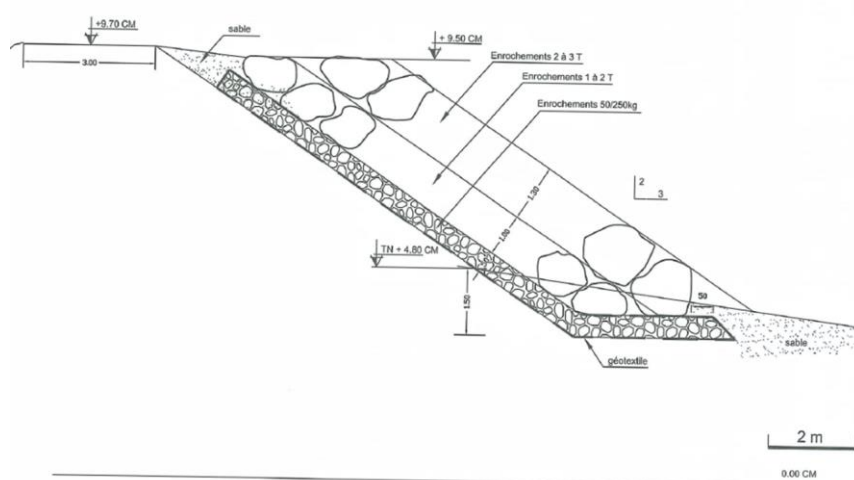
- Largeur du cordon au-dessus du niveau marin de référence : 25m
- Pente de 17% sur la face arrière du cordon
- Franchissements modéré à faible
- Pas d'artificialisation de la crête et de la face arrière du cordon

**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. Ce cordon est protégé par un ouvrage de protection longitudinale sous-dimensionné et en très mauvais état avec de nombreux blocs déplacés, trous dans la carapace etc..., qui ne permet pas d'assurer une protection cohérente avec les 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 très fort** sur l'ensemble du tronçon SC20.

Les caractéristiques globales de l'ouvrage sont les suivantes : La protection est un talus en enrochements:

- pente de talus de 3/2,
- carapace en double couche d'enrochements de blocs 1 / 2 t et la couche supérieure est en 2 / 3 t sur la partie Est et centrale.
- sous-couche en enrochements 50/250 kg et géotextile de séparation avec le TN.



Extrait d'un plan de l'ouvrage de protection du tronçon de cordon dunaire SC20 fourni par la commune

En conclusion, nous retiendrons sur le tronçon SC20, une hypothèse de brèche de 100m centrée sur le point le plus à l'Est de ce sous-tronçon. Le phénomène de franchissement sera également pris en compte.



Localisation de la brèche de 100m sur le tronçon SC20

- **CD21 : Porz Treillen : PK 3250 à 3875 m – PT 12 et 13 :** 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 ;** Pour cela, le cordon dunaire est scindé en sous-tronçons :

- **Tronçon ouest** (sur 160m de linéaire) : **Risque défini comme fort** sur la base des critères suivants :
  - Largeur du cordon à sa base : 30m et largeur au-dessus du niveau marin de référence : 20m
  - Pente de 7% sur la face arrière du cordon
  - Franchissements très forts (>200l/s/ml)
  - Artificialisation d'environ 50% de la crête et de la face arrière du cordon
- **Tronçon est** (sur 350m de linéaire) : **Risque défini comme faible** sur la base des critères suivants :
  - Largeur du cordon à sa base : 45m et largeur au-dessus du niveau marin de référence : 30m
  - Pente de 7% sur la face arrière du cordon
  - Franchissements modéré
  - Pas d'artificialisation de la crête et de la face arrière du cordon

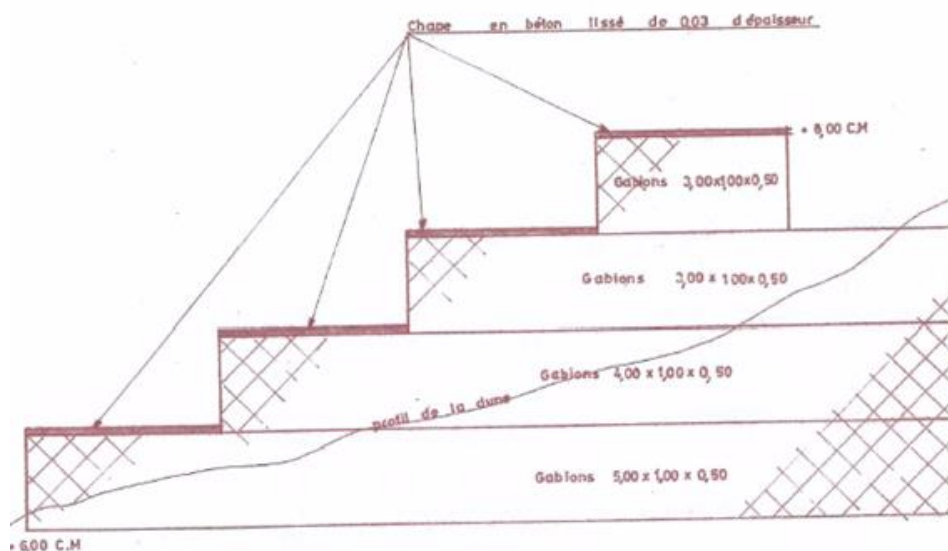


**2 - Définition du risque de rupture brutale du cordon par érosion de contact :**

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. Ce cordon est protégé par un type d'ouvrage de protection longitudinale, qui ne représente pas forcément la règle de l'art en termes de protection longitudinale littorale pour une côte exposée aux tempêtes. *Les critères d'analyses de l'ouvrage sont décrits dans le chapitre 6 - 1.1.* En conséquence, le **risque est estimé à fort** sur l'ensemble du tronçon CD21.

Les caractéristiques globales de l'ouvrage sont les suivantes :

- Ce qu'on appelle couramment mur est en réalité un système de gabions sur plusieurs étages (entre 2 et 4 étages) recouvert par une chape en béton de 3 cm.
- Chaque étage de gabion mesure 0.5 m de hauteur, 1 m de large et sont posés sur une longueur de l'ordre de 3 à 5 m.



Extrait d'un plan de l'ouvrage de protection du tronçon de cordon dunaire CD21 fourni par la commune

**En conclusion, nous retiendrons sur le tronçon CD21, une hypothèse de brèche de 100m sur la zone ouest du cordon, centrée sur le point le plus bas du cordon. Le phénomène de franchissement sera également pris en compte.**



Localisation de la brèche sur le tronçon CD21

### 1.2.9 Port du Guilvinec

- **POR2 : Port du Guilvinec.** La zone portuaire est protégée par des épis. Aussi, on ne note aucun franchissement et le niveau marin ne prend pas en compte le set-up. **Cette zone est soumise au phénomène de surverse.** La cote de l'évènement référence est de 4.15m NGF sans prise en compte du set-up sur cette façade estuarienne non soumise à l'influence de la houle. La zone basse à l'ouest du port est reliée par une conduite eaux pluviales au port.

Cet **exutoire eaux pluviales** équipée d'un clapet anti-retour **sera supposé comme défaillant**, conformément à la méthodologie. 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).

Enfin, le remblai routier qui traverse l'estuaire n'a pas fait l'objet d'étude de danger ou d'étude géotechnique. A défaut, conformément à la méthodologie, une **brèche de 100m a été testée dans le remblai routier et le cas le plus défavorable** (avec ou sans brèche) **est retenu pour la cartographie des aléas. Quel que soit l'hypothèse retenue, les conséquences hydrauliques sont identiques.**

- **SC23 : Avant PT1 – A l'Ouest du Port de Lechiagat :** Linéaire composé de murs verticaux culminant à environ +5 m NGF soit environ la cote du terrain naturel en arrière. La cote du niveau marin est de 4.38m NGF. **Ce tronçon est soumis à des phénomènes de franchissements. Les calculs réalisés amènent à un volume supérieur à 100l/s/ml sur ce tronçon pour l'évènement le plus défavorable.**
- **SC24 : Avant PT1 – Au Sud-Ouest du Port de Lechiagat :** Linéaire composé de murs hauts et de côtes naturelles. Le linéaire culmine à une cote minimale d'environ +6 m NGF. La cote du niveau marin est de 4.38m NGF. **Après calcul, les franchissements sont considérés comme négligeables sur ce tronçon, y compris pour l'évènement le plus défavorable.**

1.2.10 Le Guilvinec et Penmarc'h : bassin de risque de Kerity

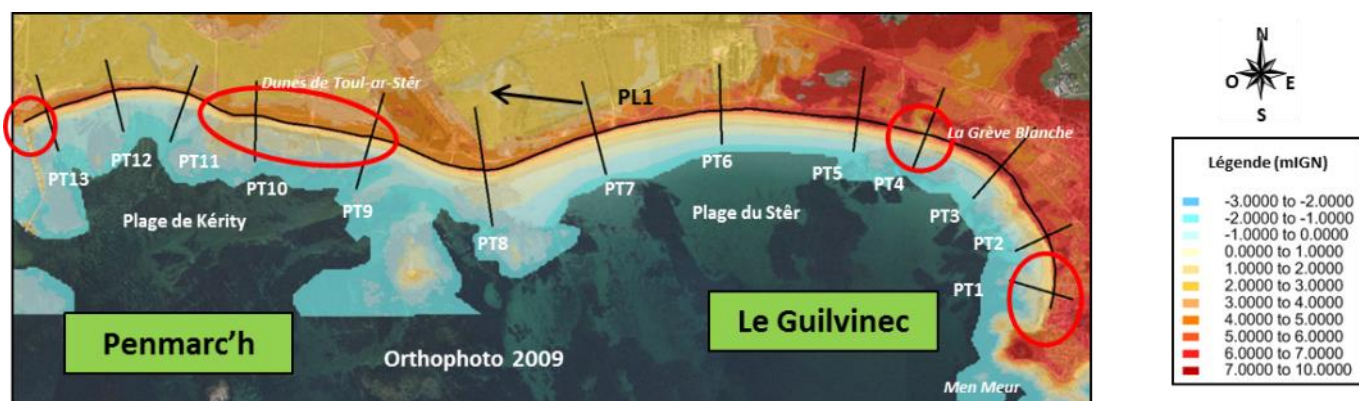
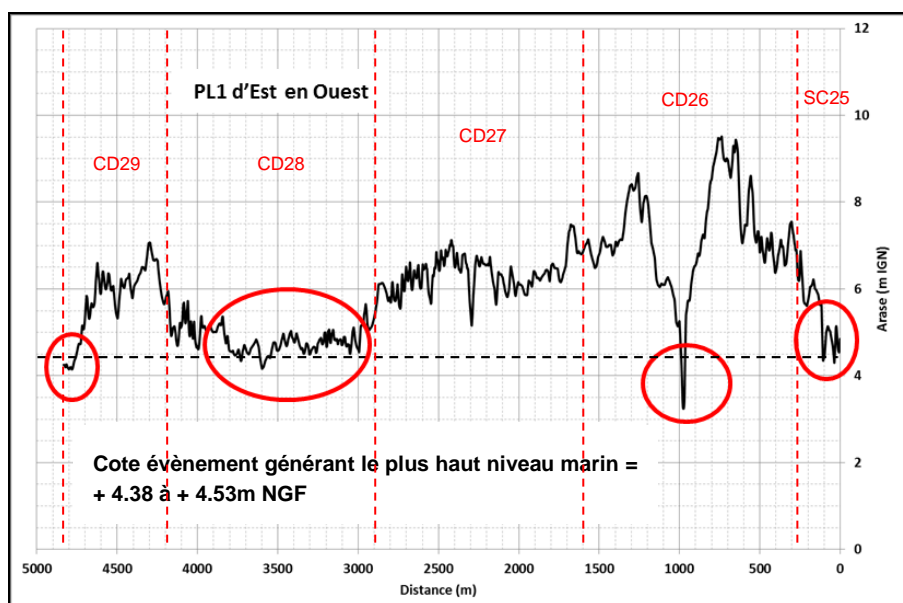


Figure 52 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Le Guilvinec/Penmarc'h

La cote de l'évènement générant les niveaux marins les plus importants est variable sur ce bassin de risque. Elles vont de 4.38m NGF à 4.53m NGF. Cependant, au vu de l'échelle du tracé des profils, nous présentons une seule cote à 4.53m NGF.



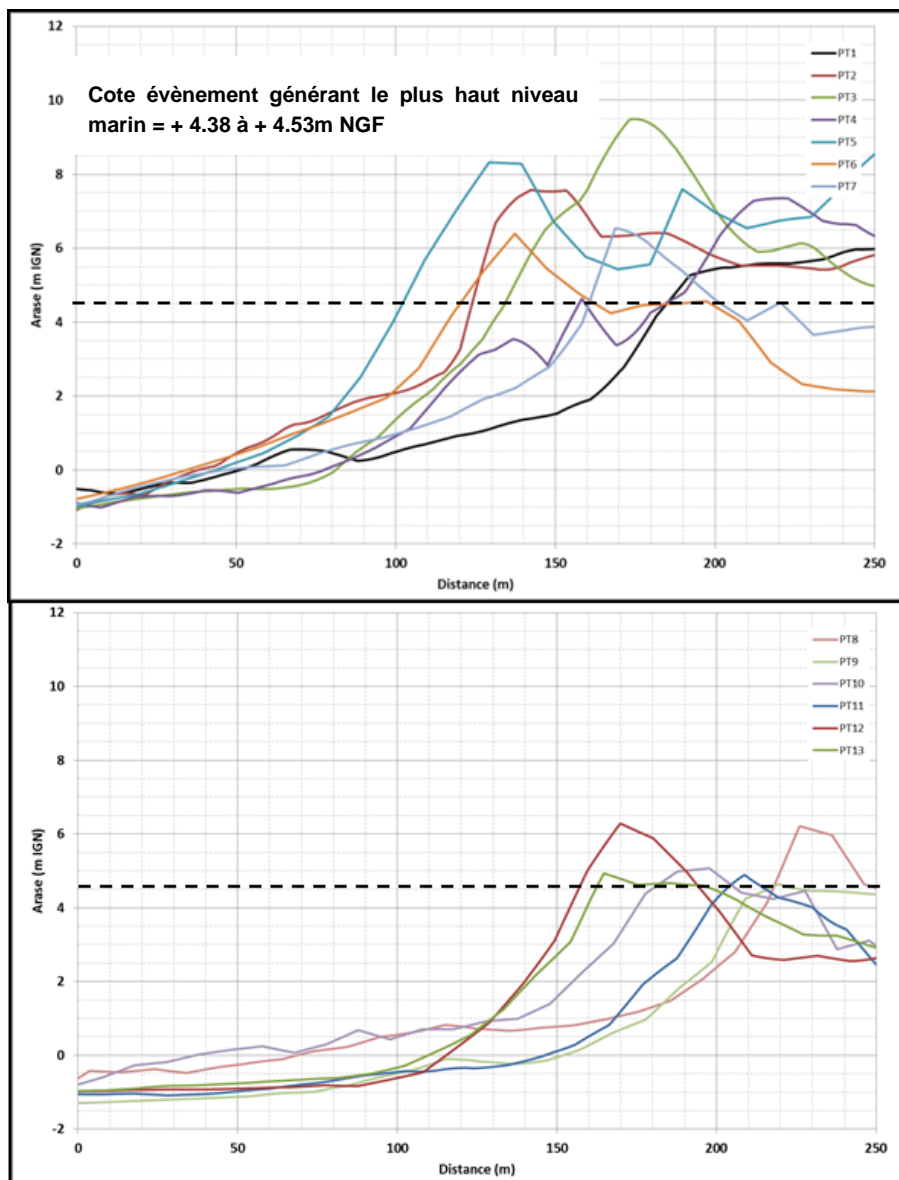


Figure 53 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux – Le Guilvinec/Penmarc'h

Le littoral du Guilvinec à Penmarc'h (Kéerty) est **un littoral 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. Le cordon dunaire peut être séparé en plusieurs tronçons homogènes.

### *Analyse et séparation en tronçons homogènes*

**SC25 : La Grève Blanche : PK 0 à 250 m – PT 1 :** Un ouvrage longitudinal en enrochements s'est substitué au **cordon dunaire**. La cote d'arase est de l'ordre de +4.2 à +6 m NGF avec un terrain naturel qui monte progressivement. **On ne peut donc plus parler de structure de protection.** L'évolution passée du trait de côte montre une stabilité de ce secteur depuis la création de l'ouvrage longitudinal en enrochements. Des secteurs sont soumis au risque de surverse. Cependant compte tenu du fait que le terrain naturel en arrière monte très vite, le phénomène de submersion est très limité.



Les franchissements n'engendrent pas de stockage de volume d'eau au vu de la configuration du terrain naturel. **Les franchissements sont calculés (supérieurs à 100l/s/ml pour le cas le plus défavorable) et la surverse est également prise en compte. Seul l'exutoire du cours d'eau représente un point de fragilité.**



- **CD26** : PK 250 à 1600 m – PT 2 à 5 – Plages de la Grève Blanche et du Stêr : le cordon dunaire (**système de protection**) est hautement arasé (+6 à +9 m NGF) et a une largeur supérieure à 50 m. La zone basse à l'arrière correspond au lit majeur du cours d'eau le « Red Dour ». Le cordon dunaire est stable et présente des dimensions conséquentes (arase de la crête et largeur) permettant de correctement protéger les zones à l'arrière. Il y a une seule discontinuité dans le cordon dunaire par l'intermédiaire de l'embouchure de la rivière. L'évolution passée du trait de côte montre une érosion dans ce secteur. Lors des tempêtes de l'hiver 2013/2014, une érosion de l'ordre de 2 à 5 m s'est produite à l'Ouest immédiat de la protection longitudinale en géotextile. Plus à l'Ouest, le recul était plus faible (< 2 m) mais des franchissements se sont produits sur la face maritime du massif dunaire.



- **CD27** : PK 1600 à 2900 m – PT 6 à 8 – Plage du Stêr: le cordon dunaire (**système de protection**) est arasé entre +6.5 à +7 m NGF (à l'exception d'un accès plage) et a une largeur variant de 30 à 40 m. Il présente quelques discontinuités au niveau de son arase. L'évolution passée du trait de côte montre une faible érosion dans ce secteur. Lors des tempêtes de l'hiver 2013/2014, on a observé un faible recul du cordon dunaire (< 2 m) mais des traces de franchissements sur la face maritime du massif dunaire



- **CD28** : PK 2900 à 4200 m – PT 9 et 10 – Dunes de Toul-ar-Stêr : le cordon dunaire (**système de protection**) est faiblement arasé et de manière discontinue entre +4 et +5 m NGF et sa largeur varie de 5 à 20 m. Le cordon dunaire présente une instabilité et des zones de fragilité importantes (arase de la crête et largeur). L'évolution passée du trait de côte met en évidence une érosion dans ce secteur. Lors des tempêtes de l'hiver 2013/2014, on a observé un faible recul du cordon dunaire (< 2 m). De très nombreux franchissements se sont produits par-dessus le cordon dunaire. On retiendra surtout la submersion des zones basses à l'arrière avec l'inondation du club de voile avec près de 80 cm d'eau.

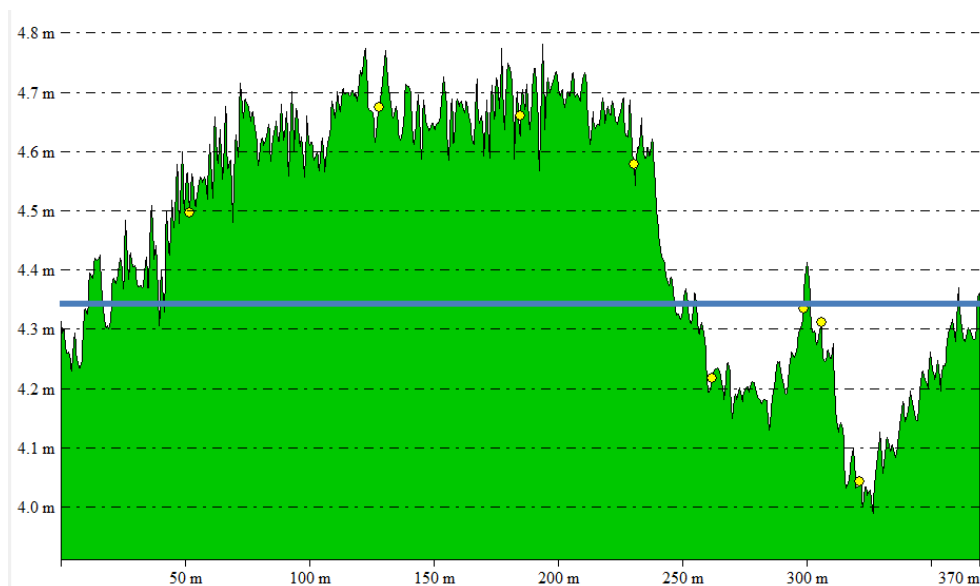


- **CD29** : PK 4200 à 4850 m – PT 11 à 13 – Plage de Kérity : le cordon dunaire (**système de protection**) est arasé entre +5.5 et +7 m NGF hormis à l'extrémité Ouest, plus basse avec une arase à +4 m NGF environ, sous le niveau marin. La largeur du cordon est de l'ordre de 30 m. L'évolution passée du trait de côte montre une faible érosion dans ce secteur. Ce secteur est relativement bien abrité des houles océaniques.



- **POR3** : port de Kerity : le port de Kerity n'est pas soumis aux houles (pas de prise en compte du set-up, ni des franchissements sur ce tronçon). **Il s'agit d'un cordon**

**dunaire et donc d'une structure de protection.** La cote de l'évènement référence est de 4.35m NGF sans prise en compte du set-up sur cette façade estuarienne non soumise à l'influence de la houle. La cote de ce tronçon de littoral est située sous la cote générant le plus haut niveau marin sur environ 100m avec un point bas à 4.00m NGF. On observe donc une **surverse**.

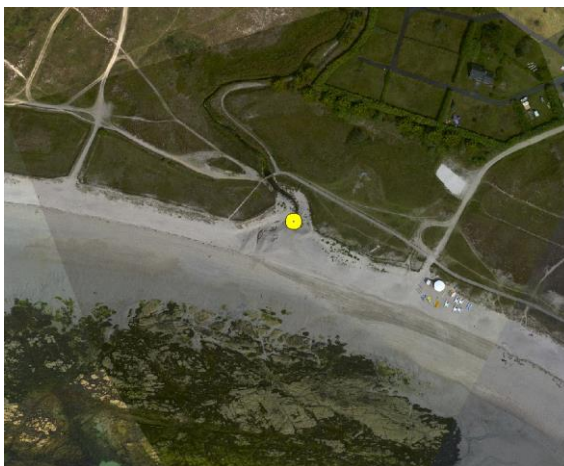


En synthèse parmi les tronçons présentés tous les tronçons sont considérés comme des structures de protections à l'exception du SC25. Les chapitres ci-après présentent une synthèse de la stabilité des cordons et les hypothèses de défaillance retenues pour chaque système de protection.

### Scénarios de défaillances des structures de protections

Sur ce secteur, la cote de l'évènement générant les niveaux marins les plus importants, y compris le setup, est de +4,53 m NGF.

**CD26 : PK 250 à 1600 m – PT 2 à 5 – Plages de la Grève Blanche et du Stêr :** Crête d'arase du cordon dunaire élevée (+6 à +9 m NGF) en continu à l'exception du point bas situé au droit de l'exutoire du Red Dour. Les volumes franchis sont négligeables à l'exception des pourtours immédiats du point bas. **Ce cordon dunaire est uniquement en rapport avec le petit bassin de risque du lit majeur du Red Dour. Il sera retenu un élargissement de l'exutoire sur une largeur de 100m** (conformément à la largeur des brèches recommandées par le guide et en relation avec l'évènement qui a eu lieu lors de l'hiver 2013-2014). **L'élargissement est représenté comme une brèche sur la carte de synthèse, cependant il n'existe pas le même effet dynamique puisque l'entrée d'eau a lieu dès le début de l'évènement via l'exutoire.** **Pour rappel, le reste du cordon ne présente plus la morphologie d'un cordon dunaire. Il ne sera donc pas spécifié de bande de précaution.**



- **CD27** : PK 1600 à 2900 m – PT 6 à 8 – Plage du Stêr : Crête d'arase du cordon dunaire élevée (+6.5 à +7 m NGF) en continu à l'exception d'un point d'accès à la plage à la cote 5.5m NGF. Les volumes franchis pour ce cordon sont situés entre 10 et 100l/s/ml pour l'évènement le plus défavorable, sauf pour la zone d'accès à la plage où ils sont supérieurs à 100l/s/ml. Seule la zone d'accès à la plage est soumise à un risque de rupture par érosion de la crête. **La méthode du FEMA met en évidence une possible rupture par érosion de contact, sur l'ensemble du linéaire du cordon avec une sensibilité plus forte sur la partie Ouest. L'hypothèse de rupture retenue est une brèche de 100m** au droit du point le plus sensible, à savoir le point topographiquement le plus bas et concerné par des volumes franchis très important.

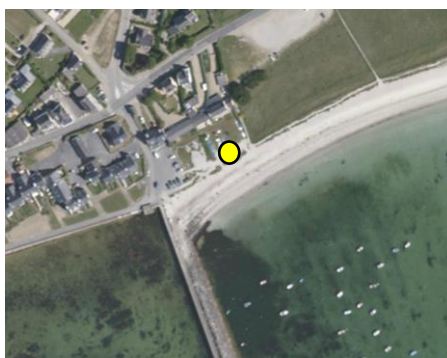


- **CD28** : PK 2900 à 4200 m – PT 9 et 10 – Dunes de Toul-ar-Stêr : Cote d'arase de la crête discontinue et variant entre +4 et +5 m NGF avec quelques points bas sous la cote de l'évènement générant les plus hauts niveaux marins (4.38m NGF à 4.53 m NGF en allant vers l'ouest). Les phénomènes de franchissements importants sont estimés supérieurs à 100l/s/ml sur la quasi-totalité du cordon. Aussi, le risque de rupture par érosion de la crête existe sur la totalité du cordon. **La méthode du FEMA met en évidence une possible rupture par érosion de contact, sur l'ensemble du linéaire du cordon. Aussi, la ruine généralisée du cordon dunaire est prise en compte.**
- **CD29** : PK 4200 à 4850 m – PT 11 à 13 – Plage de Kérity : Crête d'arase du cordon dunaire variant entre +4 et +7 m NGF. La cote du niveau marin est de 4.53 m NGF. Aussi, bien que ce cordon soit homogène au niveau morpho-sédimentaire, sa hauteur

et donc sa sensibilité à la surverse et aux franchissements varie. **Les phénomènes de surverse sont possibles à l'ouest sur une faible portion du cordon, de même que des franchissements >100l/s/ml pour une zone un peu plus large de 100 m à l'ouest.** Sur le reste du cordon, les franchissements sont < à 100l/s/ml. Le risque de rupture par érosion de la crête se localise donc sur l'ouest du cordon. **La méthode du FEMA met en évidence une possible rupture par érosion de contact, sur l'ensemble du linéaire du cordon.**

**Le risque principal de rupture sur ce cordon se situe donc à l'ouest, sur la zone soumise à érosion de la crête et érosion de contact. Il est retenu une brèche de 100m.**

La localisation de la brèche se situe donc à l'extrémité ouest, sur le point bas du cordon correspondant également au secteur de concentration de l'énergie des houles au pied de la digue du port.



*Localisation de la brèche sur le cordon CD29*

**La bande de précaution sera conservée sur l'ensemble du tronçon, car le risque de rupture reste réel.**

- **POR3** : port de Kerity : le port de Kerity est soumis à la surverse sur la partie ouest du tronçon. Cependant, ce cordon, protégé par un quai n'est pas soumis à l'impact des houles. Aussi les risques de ruine liés à l'érosion de contact ou l'érosion de la crête, sont inexistantes sur ce cordon dunaire, construit sur le dessus et protégé par un mur sur sa face avant. **Aussi, le phénomène retenu correspond à la surverse.** Une brèche de 100m étant prise en compte sur le tronçon voisin CD29, à la limite avec le tronçon POR3, la **bande de précaution du CD29 viendra donc recouvrir une partie du tronçon POR3.**

#### 1.2.11 Bassin de risque de Penmarc'h depuis Kervily à St-Guérolé

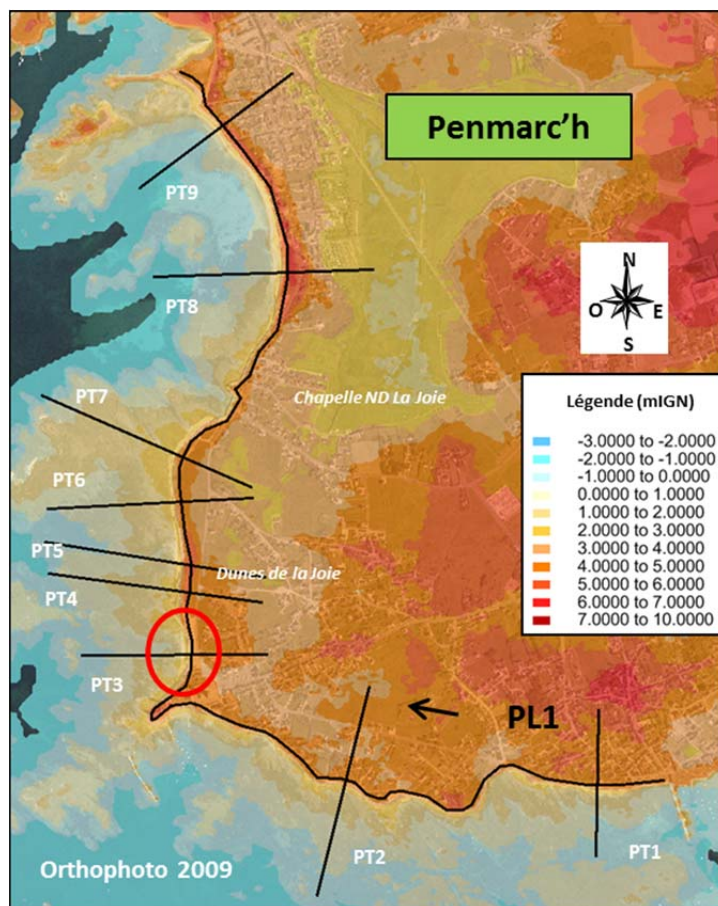
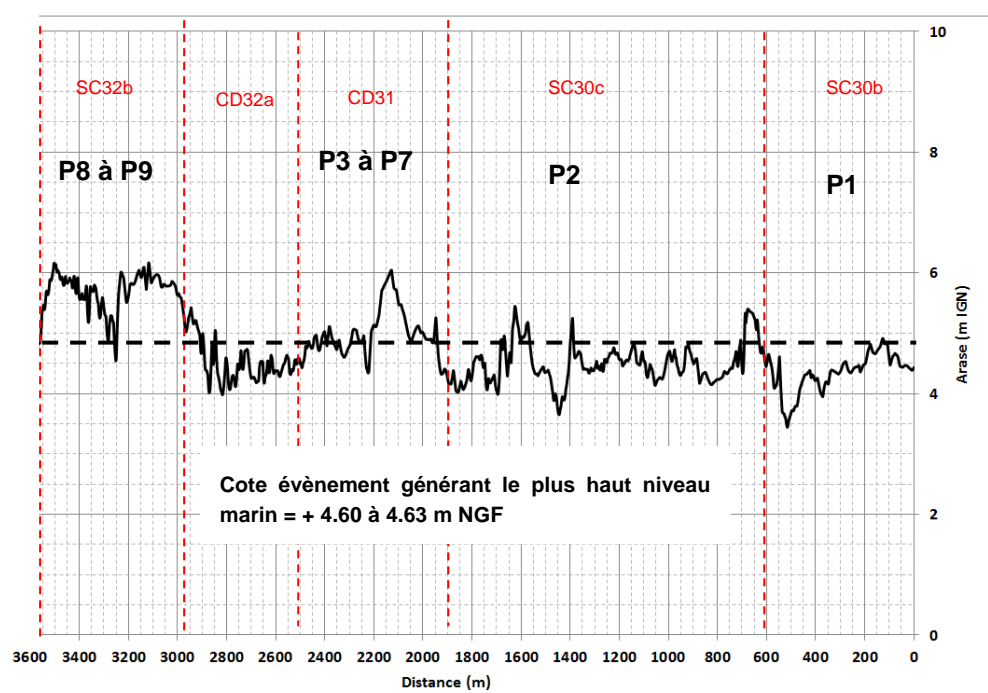


Figure 54 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Penmarc’h (1/3)

La cote de l'évènement générant les niveaux marins les plus importants est variable sur cette portion côtière depuis Kervily au port. Elles vont de 4.60m NGF à 4.63m NGF. Cependant, au vu de l'échelle du tracé des profils, nous présentons une seule cote à 4.63m NGF. Le profil ne prend pas en compte la crête des ouvrages lorsqu'il s'agit de muret.



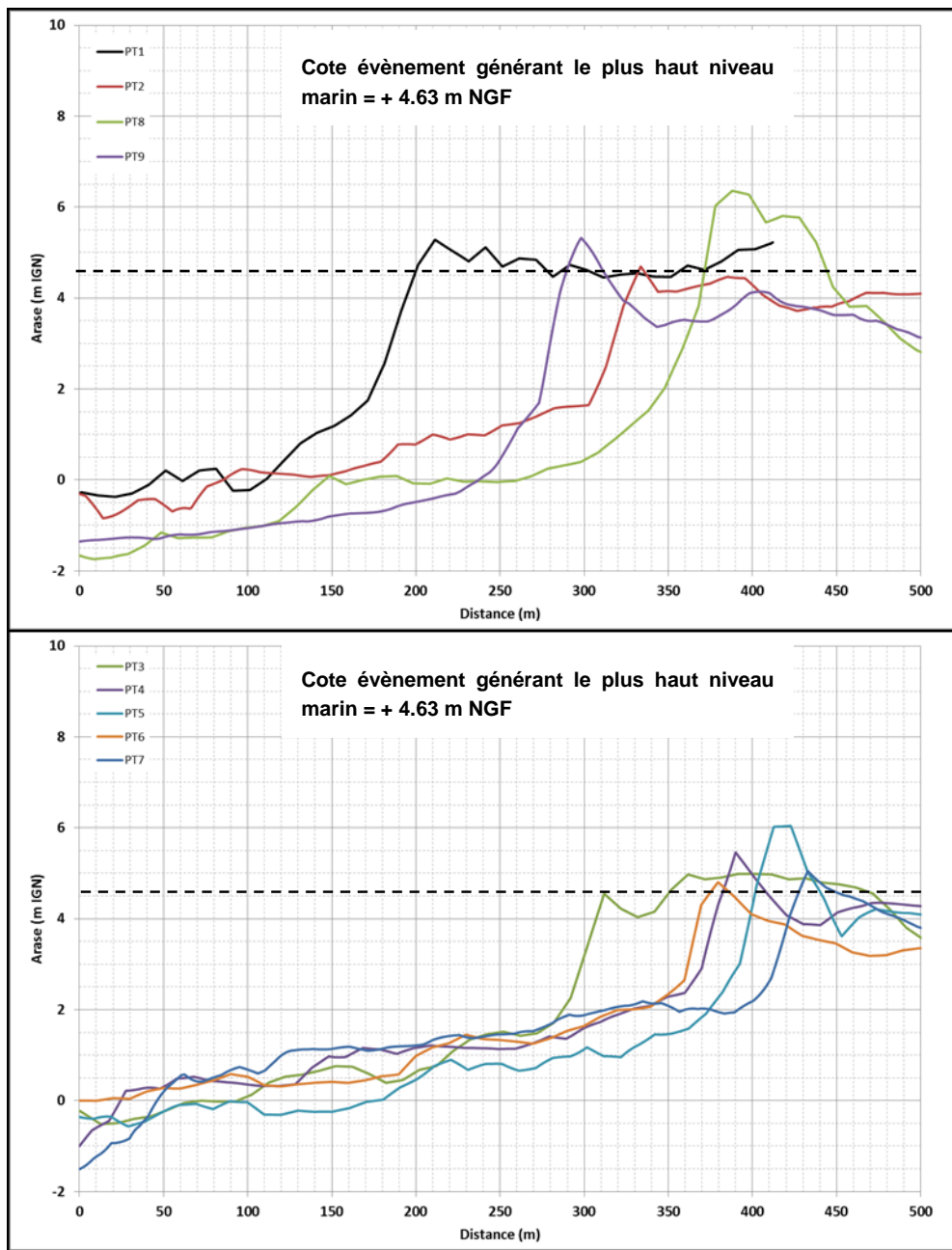


Figure 55 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux – Penmarc’h (1/3)

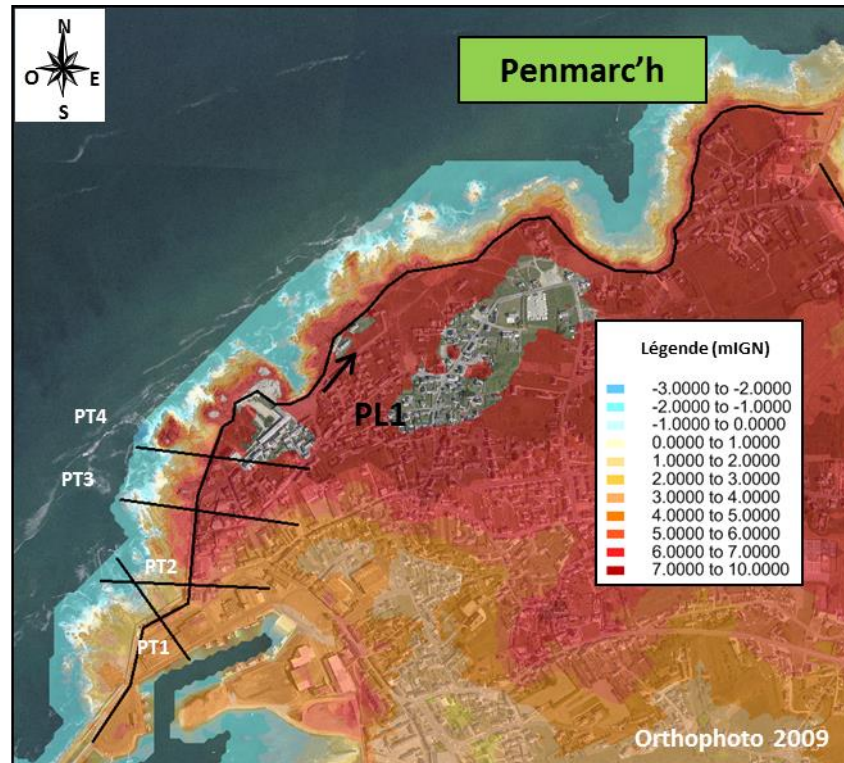
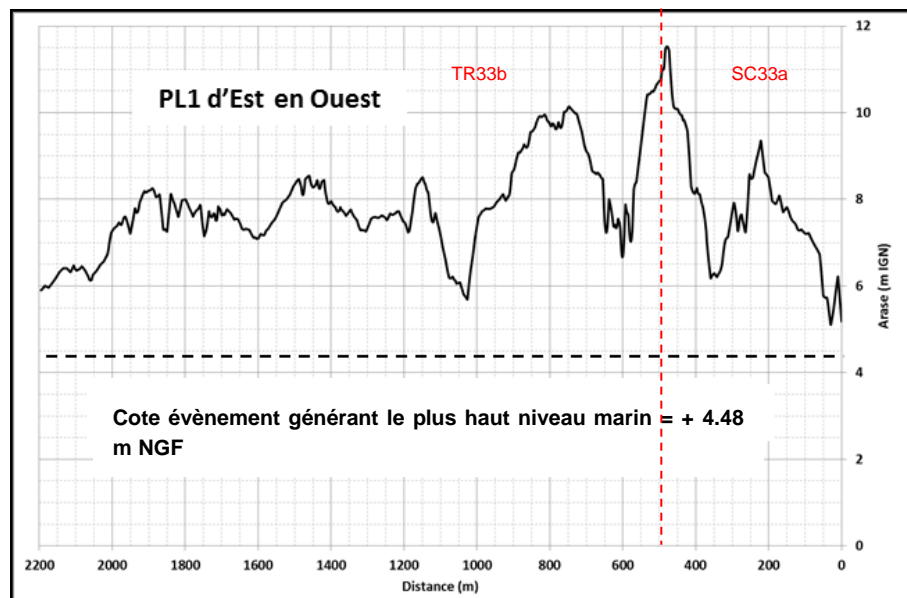


Figure 56 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Penmarc'h (2/3)





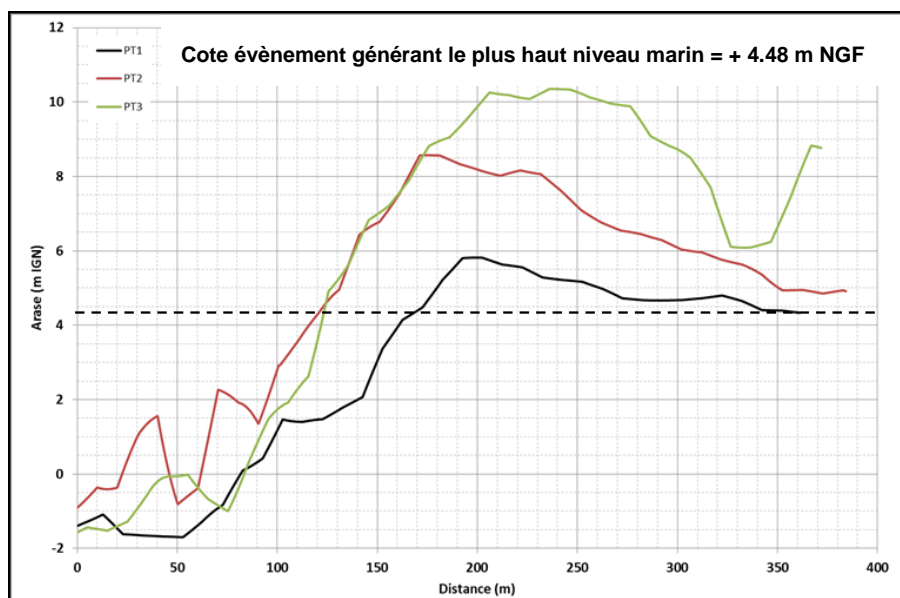


Figure 57 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux – Penmarc'h (2/3)

Le littoral de Penmarc'h sur ce grand bassin de risque est diversifié. Le littoral est essentiellement constitué par des ouvrages longitudinaux en dur qui se sont substitués au trait de côte. Sur la partie sud, depuis Kerity au phare d'Eckmul, des perrés maçonnés protègent la côte de l'érosion. Depuis le phare d'Eckmul au port de St-Guérolé, les ouvrages longitudinaux de type mur ou enrochement protègent un grand cordon dunaire. Sur la partie nord (Port de St-Guérolé), la côte rocheuse est plus élevée. Enfin, des zones basses inférieures à la côte de niveau marin (y compris le setup) sont situées en arrière des structures de protection.

### Analyse et séparation en tronçons homogènes

**SC30b : PK 0 à 600 m – PT 1 : Un ouvrage longitudinal en béton s'est substitué au trait de côte.** La cote d'arase est de l'ordre de +3.5 à +5 m NGF (sans prendre en compte la rehausse du muret). Le terrain naturel à l'arrière présente une pente montante. L'historique de l'évolution du trait de côte met en évidence une tendance stable liée notamment à l'artificialisation du trait de côte. Ceci n'empêche pas une éventuelle érosion verticale du profil de plage non vérifiée à ce jour. Un recul maximum de 2m en cas de tempête a été défini dans l'aléa érosion, notamment pour palier à ce type de risque. **Ce tronçon n'est pas considéré comme une structure de protection contre la submersion, mais seulement contre l'érosion. Aussi, il sera pris en compte la surverse et les franchissements sur ce tronçon.** Ce tronçon est également soumis à des projections de matériaux (galets, sables, pierres).

- **SC30c : PK 600 à 1870 m – PT 2 : Un ouvrage longitudinal en béton s'est substitué au trait de côte.** La cote d'arase est de l'ordre de +3.7 à +5.5 m NGF (sans prendre en compte la rehausse du muret). Le terrain naturel est en pente descendante vers une zone basse. L'historique de l'évolution du trait de côte met en évidence une tendance stable liée notamment à l'artificialisation du trait de côte. Ceci n'empêche pas une éventuelle érosion verticale du profil de plage non vérifiée à ce jour. Un recul maximum de 2m en cas de tempête a été défini dans l'aléa érosion, notamment pour palier à ce type de risque. **Ce tronçon n'est pas considéré comme une structure de protection**

**contre la submersion, mais seulement contre l'érosion. Aussi, il sera pris en compte la surverse et les franchissements sur ce tronçon.**

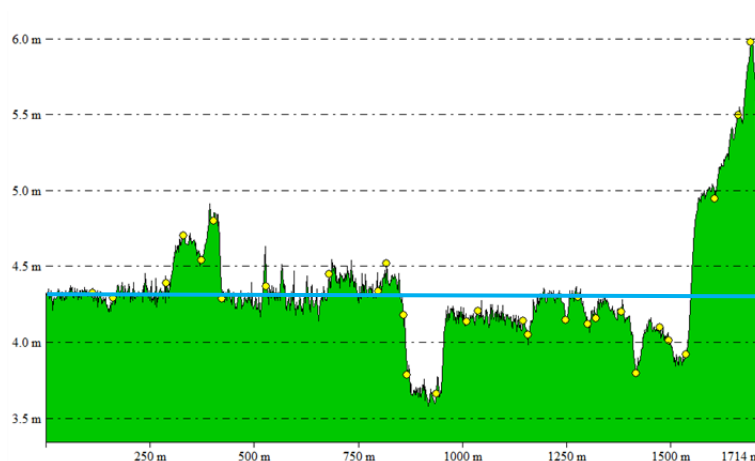


- **CD31 : PK 1870 à 2500 m – PT 3 à 7 – Dunes de la Joie : Ce tronçon est considéré comme étant un cordon dunaire (système de protection).** Le cordon dunaire est arasé à une cote variant entre +4.3 et +6 m NGF environ et sa largeur est de l'ordre de 5 à 30 m. Il est protégé sur une partie de son linéaire par un mur (ouvrage longitudinal en béton) puis par un enrochement. Une zone basse inférieure au niveau marin est présente à l'arrière donc il y a un risque en terme de submersion. L'évolution passée du trait de côte montre une stabilité dans ce secteur voire une légère érosion du cordon.
- **CD32a : PK 2500 à 2980 m :** Ce tronçon est considéré comme étant un cordon dunaire (**système de protection**). Un ouvrage longitudinal en béton s'est substitué au trait de côte. Cependant La cote d'arase est très basse, de l'ordre de +4.5 m NGF, soit en grande partie sous la cote de l'évènement générant les plus hauts niveaux marins. L'ouvrage de protection est réhaussé d'un muret associé à l'ouvrage qui vient rehausser la cote de protection à 5.2m NGF.
- **SC32b : PK 2980 à 3550 m – PT 8 et 9 :** Ce tronçon est considéré comme étant un cordon dunaire (**système de protection**). **Un ouvrage longitudinal s'est substitué au trait de côte. De plus ce cordon a été aménagé via des constructions sur sa crête et sur sa face arrière.** La cote d'arase est de l'ordre de +5 à +6 m NGF. Sa largeur à la base est de l'ordre de 60 à 80m et sa largeur au-dessus du niveau marin de référence est de 20 à 80m.



- **POR4 : Port de St-Guénolé :** La zone portuaire est protégée. Le niveau marin ne tient donc pas compte du set-up. La cote de l'évènement référence est de 4.35m NGF sans

prise en compte du set-up sur cette façade estuarienne non soumise à l'influence de la houle. Le phénomène de franchissement n'existe pas dans la zone portuaire. Cependant, **le phénomène de surverse est possible** avec des cotes de quais autour de 3m NGF.



- **SC33a : PK 0 à 500 m sur Penmarch 2/3 – PT 1 à 3 – Littoral Sud de Saint-Guérolé :** **Ce tronçon n'est pas considéré comme un système de protection.** Ce tronçon est protégé par des murs pour limiter les franchissements. La surverse n'est pas possible sur ce secteur (vérifié sur la base de la cote de la route en arrière de 5m à 7m NGF et non des murs de protection). **Le phénomène de submersion correspond aux franchissements.** Les volumes franchis s'engouffrent ensuite dans les rues et les écoulements peuvent rejoindre la zone de marais, ou bien la zone portuaire et s'écouler avec des vitesses importantes qui augmentent l'intensité de l'aléa. La définition de l'aléa doit être réalisée sur ce secteur, à partir d'un modèle hydraulique en 2 dimensions.  
Ce tronçon est également soumis à des projections de matériaux (galets, sables, pierres).
- **TR33b : PK 500 à 2200 m sur Penmarch 2/3 – littoral Nord de Saint-Guérolé :** Ce littoral rocheux présente une altimétrie élevée avec une arase de l'ordre de +7 à +11 m NGF donc **il n'y a pas de risque de submersion.**

**En synthèse parmi les tronçons présentés les tronçons CD31, CD32a, SC32b sont considérés comme des structures de protections. Les chapitres ci-après présentent une synthèse de la stabilité des cordons et les hypothèses de défaillance retenues pour chaque système de protection.**

### **Scénarios de défaillances des structures de protection**

Sur ce secteur de cordons dunaires, la cote de l'évènement générant les niveaux marins les plus importants, y compris le setup, est de +4,63 m NGF.

- **CD31 : PK 1870 à 2500 m – PT 3 à 7 – Dunes de la Joie :** Crête d'arase du cordon dunaire variant entre +4.3 et +6 m NGF. Il existe un risque de franchissement par paquets de mer d'intensité supérieure à 100l/s/ml sur un linéaire de 550m sur les 630m du cordon dunaire. **Il existe donc un risque de rupture par érosion de la crête, sur**

**la quasi-totalité du cordon. La méthode du FEMA met également en évidence une possible rupture par érosion de contact, sur l'ensemble du linéaire du cordon.** Le risque de rupture par érosion de la crête et érosion de contact étant avéré sur l'ensemble du tronçon, il est **considéré une ruine généralisée du cordon.**

- **CD32a : PK 2500 à 2980 m :** Cote d'arase de la crête du cordon atteint environ 4.5m NGF. Elle est rehaussée par l'ouvrage de protection situé sur la face avant à la cote 5,2m NGF. La totalité de ce tronçon est soumis à des franchissements d'intensité supérieure à 100l/s/ml. **Il existe donc un risque de rupture par érosion de la crête, sur la quasi-totalité du cordon. La méthode du FEMA met également en évidence une possible rupture par érosion de contact, sur l'ensemble du linéaire du cordon.** Cette analyse est à pondérer au vu de la présence d'un ouvrage de protection sur le devant du cordon, qui présente une structure globalement cohérente aux conditions météo-océanographique. En conclusion, en lien avec le risque d'érosion de la crête et de la face arrière du cordon sur l'ensemble du linéaire, il est **considéré un affaissement de la crête du cordon dunaire à la cote 3.75m NGF engendrant de façon régressive la destruction de la partie haute du muret de protection.**
- **SC32b : PK 2980 à 3550 m – PT 8 et 9 :** 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 ;** Pour cela, le cordon dunaire est scindé en sous-tronçons :

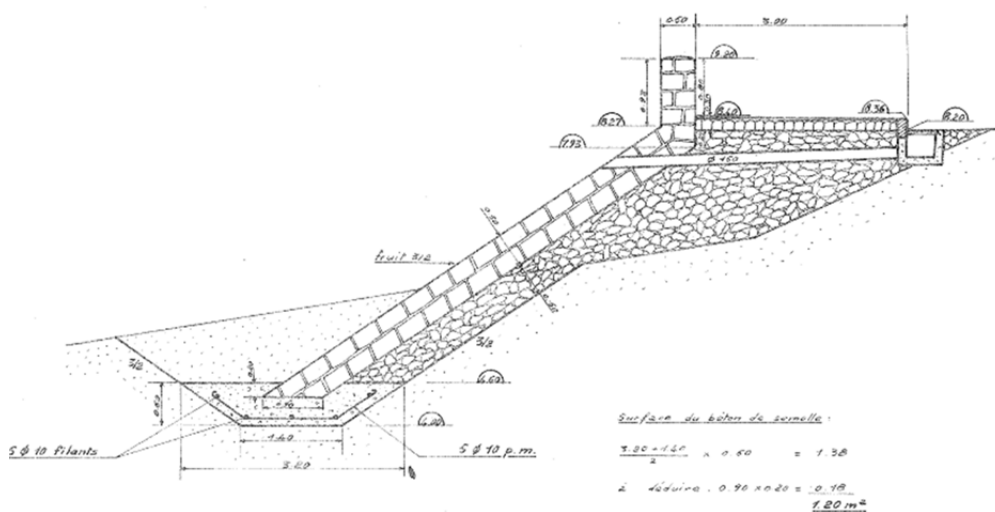
- **Tronçon central** (sur 60m de linéaire) : **Risque définit comme fort** sur la base des critères suivants :
  - Largeur importante du cordon à sa base (env. 80m)
  - Pente de 5% sur la face arrière du cordon
  - Franchissements très forts (>200l/s/ml)
  - Artificialisation quai totale de la crête et de la face arrière du cordon
- **Tronçon nord** (sur 30m de linéaire) : **Risque définit comme fort** sur la base des critères suivants :
  - Largeur importante du cordon à sa base (env. 80m)
  - Pente de 3% sur la face arrière du cordon
  - Franchissements très forts (>200l/s/ml)
  - Artificialisation très forte de la crête et de la face arrière du cordon
- **Reste du cordon** : **Risque définit comme modéré** sur la base des critères suivants :
  - Largeur importante du cordon à sa base (env. 80m) et largeur de 60m au-dessus du niveau marin de référence
  - Pente de 5% sur la face arrière du cordon
  - Franchissements modérés
  - Artificialisation 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 une rupture possible du cordon. Cependant, le cordon est large avec une très faible pente et dispose surtout d'un ouvrage de protection longitudinale, qui apparaît globalement adapté pour répondre 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 modéré** sur l'ensemble du tronçon SC32b.

Les caractéristiques globales de l'ouvrage sont les suivantes :

- Talus de pente 3/2 et mur vertical de 0.96 m de haut et de 0.5 m de large en maçonnerie de moellons ordinaires hourdée au mortier de ciment.
- Buses d'évacuation Phi20.
- Semelles en béton armé lorsque les fondations ne sont pas dans le rocher.
- La structure de l'ouvrage est posée sur des remblais pierreux.
- Un remblai pierreux a été posé également sur la semelle du talus.



Extrait d'un plan de l'ouvrage de protection du tronçon de cordon dunaire SC32b fourni par la commune

En conclusion, nous retiendrons sur le tronçon SC32b, une hypothèse d'affaissement du cordon dunaire sur la zone centrale (60m) et sur la zone située au nord (30m), là où les phénomènes de franchissements sont les plus intenses pour l'évènement référence. L'affaissement du cordon dunaire suppose une diminution d'1m de la cote de la crête d'arase du cordon sur les linéaires cités. Le phénomène d'affaissement de la crête du cordon n'a pas pour conséquence de remplissage brutal de la zone basse située à l'arrière, aussi aucune bande de précaution ne sera prise en compte sur le tronçon SC32b.



1.2.12 Pors Carn à Penmarc'h

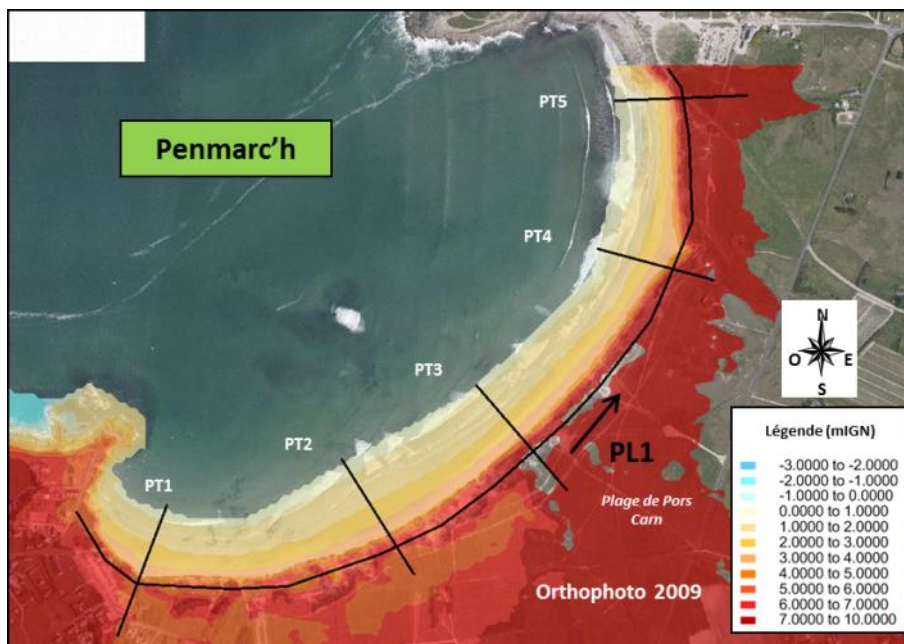


Figure 58 : Localisation des profils transversaux et longitudinaux – Penmarc'h (3/3)

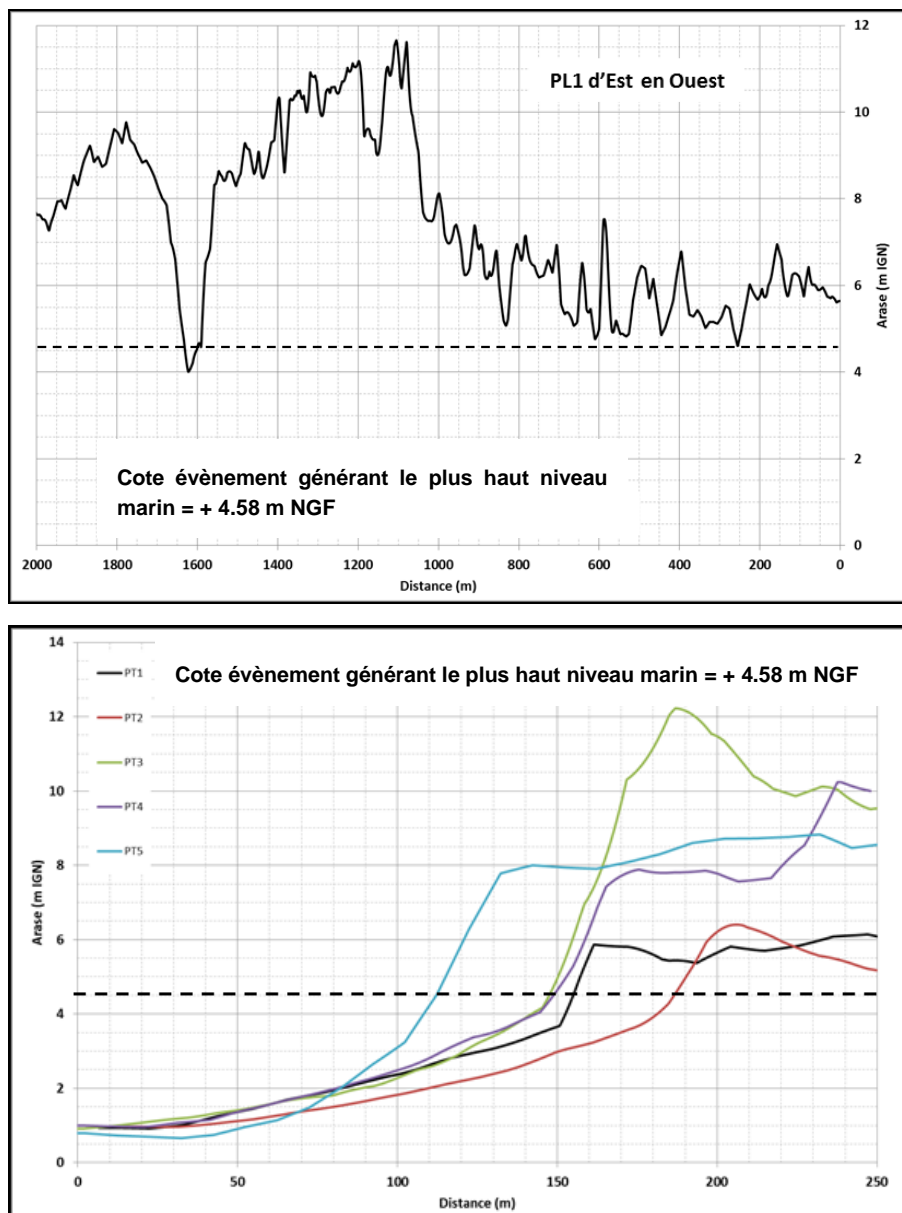


Figure 59 : Analyse des profils transversaux et longitudinaux – Penmarc'h (3/3)

Le littoral de l'anse de Pors Carn à Penmarc'h est constitué par un système de cordon dunaire. Il n'y a pas de zones basses à l'arrière avec un niveau inférieur au niveau marin (+4,58 m NGF, y compris le setup). Le cordon dunaire peut être séparé en 2 tronçons homogènes.

### *Analyse et séparation en tronçons homogènes*

- **CD34 : PK 0 à 1000 m – PT 1 et 2 – Secteur Est** : le cordon dunaire est arasé entre +4,5 et +9 m NGF. Les zones basses ont un niveau supérieur au niveau marin donc les enjeux en termes de risque de submersion sont inexistants. **Aucune hypothèse de défaillance ne sera donc prise en compte.**



- **CD35 : PK 1000 à 2000 m – PT 3 à 5 – Secteur Ouest : le cordon dunaire est arasé entre +7.5 et +12 m NGF. Il n'y a pas de zones basses à l'arrière donc il n'y a aucun risque en termes de submersion. **Aucune hypothèse de défaillance ne sera donc prise en compte.****





## 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.

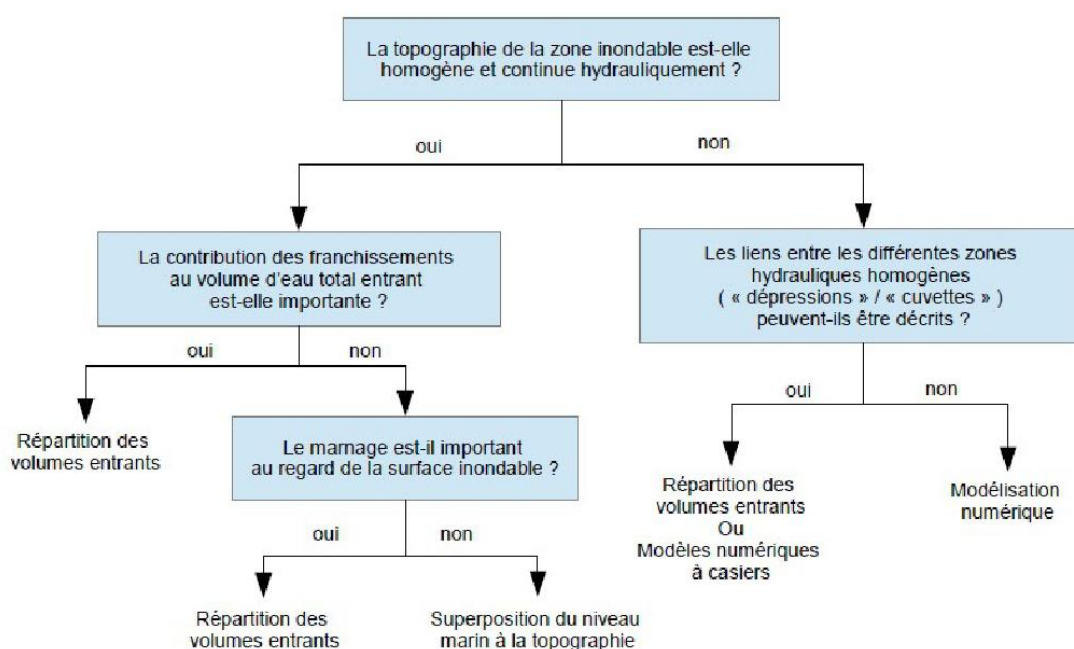
Plusieurs types de méthodes sont possibles pour déterminer les caractéristiques de l'aléa :

- 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 PPRLN, 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 PPRLN mai 2014).



**Figure 60 : démarche simplifié du choix de la méthode de caractérisation des aléas**

De manière plus simplifiée et dans le cadre spécifique de ce PPRLN, 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
- Modèle à casier : tous les autres cas

Ces 3 méthodes 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 ».**

Le logiciel utilisé est Infoworks RS. Celui-ci est présenté dans le chapitre suivant (modélisation hydraulique 2D), en effet, il s'agit du même logiciel pour lequel l'option 2D n'est pas activée.

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 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 intégrée. 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.

Tests de sensibilités sur les volumes entrants :

- **Rugosité de la loi de seuil :** Dans le modèle à casier, comme dans le modèle 2D, 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 -2.3.5 concernant la modélisation 2D.
- **Modalités de la rupture des structures de protection.** Les tests sont également présentés dans le chapitre concernant la modélisation hydraulique 2D.

- **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.

### 2.2.2 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.

### 2.2.3 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.

## 2.3 L'utilisation d'un modèle hydraulique 2D

**Dans les cas les plus complexes, les méthodes citées précédemment ne sont pas adaptées et le recours à la modélisation numérique 2D peut être nécessaire.**

L'utilisation des modèles bi-dimensionnels est opportune dès qu'une appréciation de la dynamique est nécessaire ou lorsque le fonctionnement du site est complexe et difficile à appréhender.

Dans le cadre de ce PPRLN, les bassins de risques faisant l'objet de ce type de modélisation sont ceux pour lesquels on observe des secteurs urbains qui présentent une dynamique d'écoulement au-delà de la bande de précaution.

En conséquence 3 modèles bi-dimensionnels (2D) ont été construits pour répondre aux besoins de ce PPRLN (cf. carte « **synthèse des modes de submersion et d'écoulement et des hypothèses de défaillance des structures de protection** ») :

- Bassin de risque de Combrit / Ile-Tudy
- Bassin de risque de Tréffiagat, notamment pour définir la lame d'eau qui s'écoule sur la zone de Lechiagat via les franchissements par paquets de mer
- Bassin de risque de Penmarc'h nord, notamment pour définir la lame d'eau qui s'écoule sur la zone de St-Guérolé via les franchissements par paquets de mer

### 2.3.1 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 PPRLN 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 d'eau 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.

#### **Le module 2D**

Un module 2D a été développé par HR WALLINGFORD, permettant de modéliser les écoulements de surface complexes en zones inondables par un maillage bidimensionnel. La

zone inondable est alors représentée par des mailles triangulaires. Les hauteurs d'eau et vitesses sont calculées localement en chaque point du maillage.

Il résout les équations de St Venant pour la hauteur et la vitesse en deux dimensions. La solution utilise la méthode des volumes finis, basée sur le programme de Gudonov et le solveur de Riemann. Le modèle de résolution est semi-implicite. La surface à modéliser est discrétisée en un maillage triangulaire. Le MNT doit être utilisé pour la création du maillage. Des zones de vides, des lignes de contrainte et des murs peuvent être inclus dans le maillage.

Les résultats fournis aux points du maillage 2D sont :

- Hauteur
- Direction
- Niveau
- Nombre de Froude
- Vitesse
- Débit

Les débits peuvent être calculés au travers d'une ligne 2D, ainsi qu'au travers des limites du polygone.

### 2.3.2 La définition du maillage de la topographie

Le maillage du modèle est adapté à la configuration de la zone d'étude. La densité du maillage résulte de contraintes de représentation des écoulements.

Les zones modélisées sont représentées par des mailles triangulaires dont les extrémités sont à la fois les points de calcul et les points de données topographiques.

Le maillage est construit pour prendre en compte les particularités des écoulements (bâtiments, obstacles, remblais, digues, ouvrages, discontinuités topographiques...). Les blocs continus de bâtiments seront identifiés et sont représentés spécifiquement dans le maillage (limites insubmersibles).

**L'intérêt de la modélisation bidimensionnelle avec le logiciel utilisé (aux éléments finis) est la souplesse dans la construction du maillage :** la taille des mailles peut varier et s'adapter aux contraintes et au projet réellement réalisé. Elle n'est pas fixée comme dans les logiciels aux différences finies basées sur la construction d'une grille rectangulaire de pas d'espace constant.

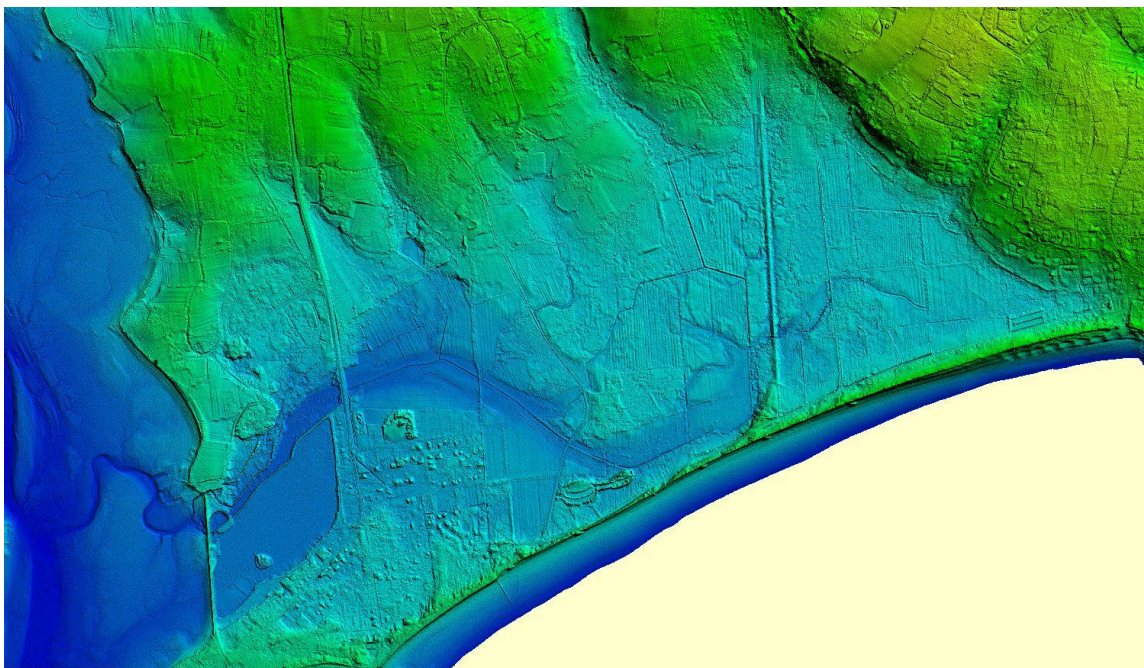
La taille des mailles est de **quelques dizaines de mètres à quelques mètres.**

**La qualité du MNT est extrêmement importante pour la modélisation des écoulements.** Le MNT est basé sur les données LIDAR d'une précision de +/-15 cm avec un maillage de 10 points au m<sup>2</sup>.

Le lidar est un 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.

Ces données permettent d'avoir une représentation de la topographie d'une zone étendue, à un pas d'espace de 1m, et avec une précision en altimétrie de l'ordre de 15 à 20 cm.

Le M.N.T est intégré à la modélisation mathématique et sert de base à la représentation des bassins de risque.



**Figure 61 : Représentation de la topographie de la zone de Combrit / Ile-Tudy sur la base des données LIDAR**

### 2.3.3 La prise en compte de l'occupation du sol et du bâti

Les variations de l'occupation du sol ont un impact sur les écoulements. Il convient donc d'identifier les zones homogènes d'occupation (bâti, marais ou étang...) et d'adapter le modèle à cette occupation.

Les coefficients de frottement (rugosité de ces zones) ont une importance lorsqu'il s'agit de zone d'écoulement. S'il s'agit d'une zone de stockage d'eau, alors l'impact du coefficient de rugosité est nul.

Les coefficients de frottement (Manning) suivant ont été retenus :

- Les ilots urbains : 0.10
- Les zones de marais et étang : 0.25
- Les routes : 0.025
- Toutes les autres zones : 0.05

La présence de bâtiments peut présenter un effet significatif sur les écoulements. En effet, en zone densément urbanisée, les constructions peuvent représenter un obstacle à l'écoulement pouvant impacter les hauteurs de submersion ou influencer sur les sens privilégiés des écoulements et leurs vitesses. La contraction de l'écoulement entre les bâtiments peut par ailleurs engendrer une augmentation significative des vitesses d'écoulement.

La présence du bâti doit par conséquent être prise en compte.

Les modèles réalisés prennent donc en compte les zones bâties soit à l'échelle du bâtiment, soit à l'échelle de l'îlot de maisons par une modulation du coefficient de frottement (cf. coefficient précisé ci-avant) en fonction du rôle de la zone dans l'écoulement des eaux.

### 2.3.4 La prise en compte des ruptures des structures de protection

Les hypothèses prises en compte pour les ruines ou brèches de structures de protection ont été définies dans le chapitre 6 - 1.2.

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

### 2.3.5 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 PPRLN 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 cordon), 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 des évènements incidents traités dans le PPRLN, 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 PPRLN, 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 coefficients de rugosité de la zone basse : réalisé sur le modèle de Combrit / Ile-Tudy
- Les modalités de rupture des structures de protection (valable pour les modèles 2D et les modèles à casiers) et réalisé sur les modèles à casier de Penmarc'h Sud:
  - 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)

Une variation des **coefficients de rugosité** de +/- 10% engendre un impact inférieur à 2% en tout point du maillage, dans la variation des niveaux d'eau et des vitesses, ce qui reste négligeable.

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 <sup>3</sup>	2 168 000 m <sup>3</sup>	2 205 000 m <sup>3</sup>	2 062 000 m <sup>3</sup>

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.

### 2.3.6 La représentation de l'effet de nasse avec l'utilisation des modèles 2D

L'outil de modélisation 2D a pour conséquence directe la représentation des effets dynamiques d'écoulement notamment de type effet de nasse. Cette représentation est inhérente à l'outil.

L'effet de nasse correspond à la surélévation du plan d'eau consécutive à un phénomène de rupture. Ce type de phénomène ne peut être décrit que via un modèle à 2 dimensions. Les modèles 1D ne peuvent le représenter.

**On observe ainsi un phénomène courant en cas de rupture, à savoir une onde de surélévation du plan d'eau, qui se traduit notamment par des cotes d'aléas à terre supérieures au niveau marin de référence.**

La connaissance de cette information liée au type de modélisation employée, est donc prise en compte dans les cartes d'aléas et dans les cartes de cotes d'eau.

Le modèle 2D permet également d'éviter les approximations faites sur la définition des aléas puisque le champ des vitesses est décrit précisément et permet une classification automatique de l'aléa sur la base de la dynamique de submersion. Contrairement au modèle 1D qui, lui ne fournit pas cette indication, et qui nécessite donc la mise en place d'une analyse empirique permettant de définir la dynamique de submersion (cf. chapitre 6 – 2.5.2).

## 2.4 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**

#### 2.4.1 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.

#### 2.4.2 Définition des zones submergée 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 PPRLN et les recommandations du guide méthodologique du PPRLN. Le cas du tronçon SC4 de Combrit 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 événements 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.**

### 2.4.3 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.

### 2.4.4 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 :  $100 \times (\text{cote de la crête} - \text{cote d'arase de la structure})$
- Lorsque 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.**

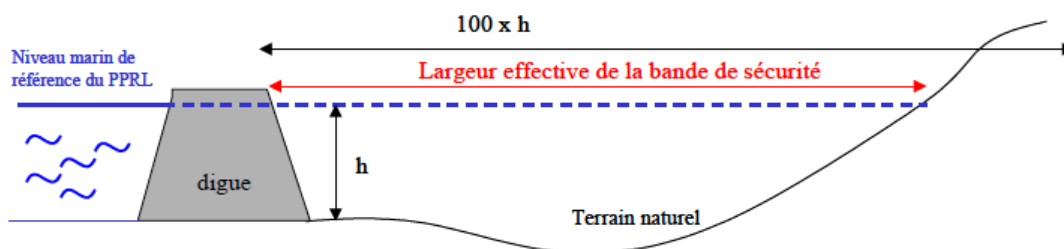


Figure 62 : schéma précisant la définition de la bande de précaution (source : guide méthodologique du PPRLN29)

#### 2.4.5 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 PPRLN).

**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 PPRLN 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.

## 2.5 La qualification de l'aléa submersion

### 2.5.1 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 PPRLN 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 :

- $V > 0,50$  m/s vitesse d'écoulement rapide,
- $0,20 < V < 0,50$  m/s vitesse d'écoulement moyenne,
- $0 < V < 0,20$  m/s vitesse d'écoulement lente.

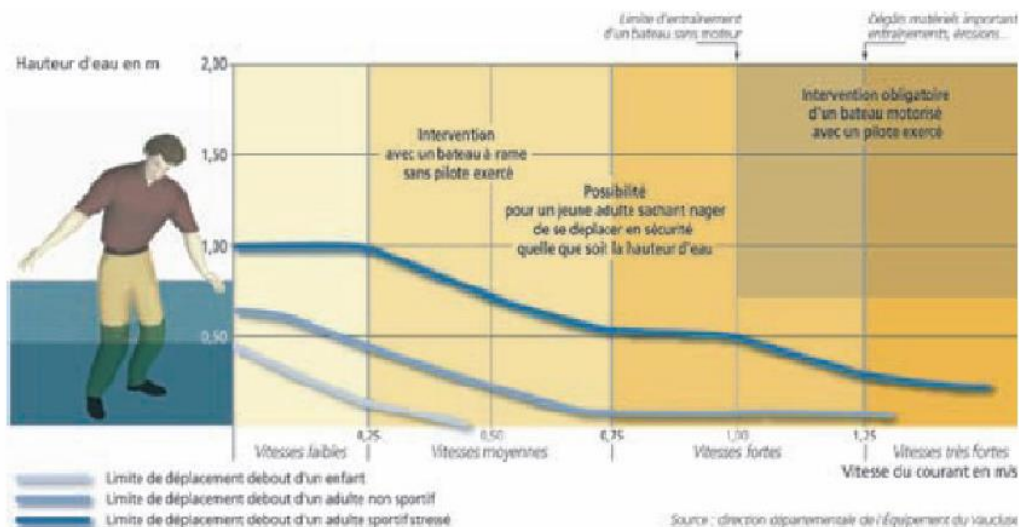


Figure 63 : Possibilité de déplacement des personnes en fonction de la vitesse d'écoulement et de la hauteur d'eau (source ; guide méthodologique du PPRLN)

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	$h < 0.5$	<b>Faible</b>	<b>Fort</b>
	$0.5 < h < 1$	<b>Modéré</b>	<b>Fort</b>
	$h > 1$	<b>Fort</b>	<b>Très fort</b>

Figure 64 : qualification de l'aléa lorsque les vitesses ne sont pas définies via un modèle 2D (extrait du guide PPRLN – Mai 2014)

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

Figure 65 : qualification de l'aléa lorsque les vitesses sont définies via un modèle 2D (extrait du guide PPRLN – 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.

#### 2.5.2 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 PPRLN.

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

---

### **Les bassins de risque au fonctionnement hydraulique complexe qui font l'objet d'une modélisation 2D**

Pour ces bassins de risques, la modélisation bi-dimensionnelle permet d'obtenir le champ des hauteurs d'eau mais également des vitesses sur chaque maille du modèle.

Ainsi la dynamique de submersion peut être qualifiée en 3 classes et les aléas sont ainsi définis sur la base de la Figure 65 : qualification de l'aléa lorsque les vitesses sont définies via un modèle 2D.

Seule une définition des zones spécifiques en aléa très fort est réalisée :

- Les zones où la hauteur d'eau est supérieure à 1.50m sont passées en aléa très fort
- Pour les linéaires de structures de protection non concernés par les brèches ou les ruines, la définition des bandes de précaution est établie par la méthode forfaitaire présentée précédemment. Ces bandes de précaution sont ensuite passées en aléa très fort.



### ***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 64** : qualification de l'aléa lorsque les vitesses ne sont pas définies via un modèle 2D (extrait du guide PPRLN – Mai 2014).

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 globalement définie comme « 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, 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 63, 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 inférieure à 1m, font l'objet d'une rapide montée des eaux avec environ plus de 50cm en moins d'1/2 heure (d'après les modèles hydrauliques de type casier construit pour chacun de ces bassins de risque). 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 - 2.4.2). 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 modéré
- De 10 à 100l/s/ml : bande de 25 m en aléa fort
- 100l/s/ml (à la limite de la surverse : bande de 50m en aléa fort

## 2.6 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 :
  - 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.
  - Bande de précaution définie sur la base du niveau marin référence état actuel
  - 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 :
  - 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.
  - 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 20 cm, ce qui procure une rehausse des niveaux référence pris en compte de 40cm.** Sa construction reprend les éléments suivants :

- 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.**
- Bande de précaution définie sur la base du niveau marin référence état actuel (non modifiée sur la base du niveau marin à 100 ans)
- 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 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 inconstructibles des zones qui seront constructibles sur la base de l'aléa de référence actuel, sauf cas très limités.*

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"> <li> Faible</li> <li> Moyen</li> <li> Fort</li> <li> Très fort</li> </ul> <p>Gamme de couleurs n°2 pour la représentation des aléas :</p> <p>Aléas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Faible</li> <li> Moyen</li> <li> Fort</li> <li> Très fort</li> </ul>	<p><b>Cartographie de l'aléa submersion.</b></p> <p>Celui-ci intègre l'aléa submersion liée aux phénomènes de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• franchissements par paquets de mer (cf. Chapitre 6 – 2.4.2)</li> <li>• rupture</li> <li>• surverse</li> </ul> <p>La qualification de l'aléa est réalisée à partir des règles édictées dans le chapitre 6 - 2.4 et 2.5.</p> <p>Il existe 2 gammes de couleurs pour la visualisation des aléas :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 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"> <li>○ La carte d'aléas de référence avec prise en compte des structures de protection</li> <li>○ La carte d'aléa de référence à 100 ans.</li> </ul> </li> <li>• 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.</li> </ul>
 Bandes de précaution	<p><b>Bande de précaution</b></p> <p>Les bandes de précaution sont intégrées en tant qu'aléa très fort. Le chapitre 6 – 2.4.4. précise leur définition.</p> <p>La limite des bandes de précaution définie par la méthode forfaitaire est localisée sur la carte.</p> <p>Pour les zones modélisées en 2D, cette zone n'est fournie qu'à titre indicatif mais n'a pas d'impact sur la bande d'aléa très fort. L'aléa très fort est calculé à partir des modèles.</p>
 Zones soumises à des chocs mécaniques des vagues	<p><b>Cartographie de l'aléa choc mécanique des vagues : aléa fort</b> (cf. chapitre 6 – 2.4.5)</p>
 Zones soumises à des projections et à des chocs mécaniques des vagues	<p><b>Cartographie de l'aléa projection : aléa fort</b> (lorsqu'on observe cet aléa projection, l'aléa choc mécanique des vagues est également présent) (cf. chapitre 6 – 2.4.5)</p>

## 2.7 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 la cote d'eau est-elle représentée différemment ?

### *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 (notamment secteur de Léchiaggat ou de St-Guérolé).

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.


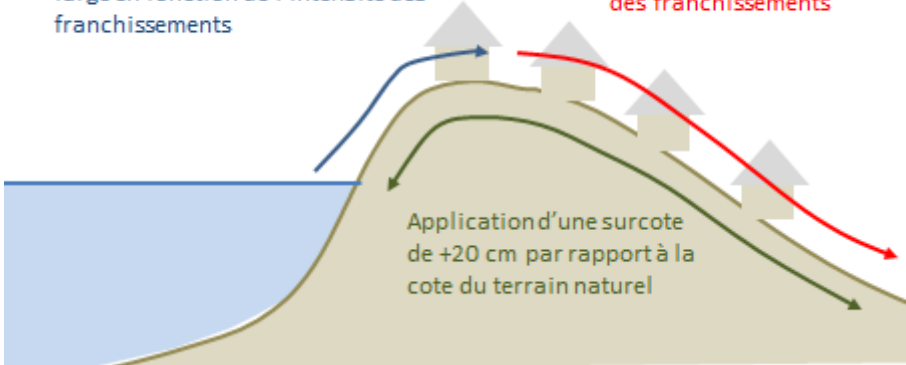




 <p>Cote m NGF = cote terrain naturel en m NGF + 20 cm</p>	<p>Les zones concernées par ce zonage correspondent aux zones concernées par des franchissements, et, dans le cas des cordons dunaires, concernées ensuite par des écoulements sur la face arrière du cordon dunaire.</p> <p>Franchissement définit 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>Se référer à la carte zoomée précisée dans l'étiquette</p>	<p>Sur ces zones, la cote n'est pas homogène par bassin de risque, aussi une carte spécifique a été réalisée pour les secteurs de Combrit, Penmar'ch et Treffiagat, afin de permettre la lecture de la cote d'eau en m NGF IGN69 sur chaque 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 66 : 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.

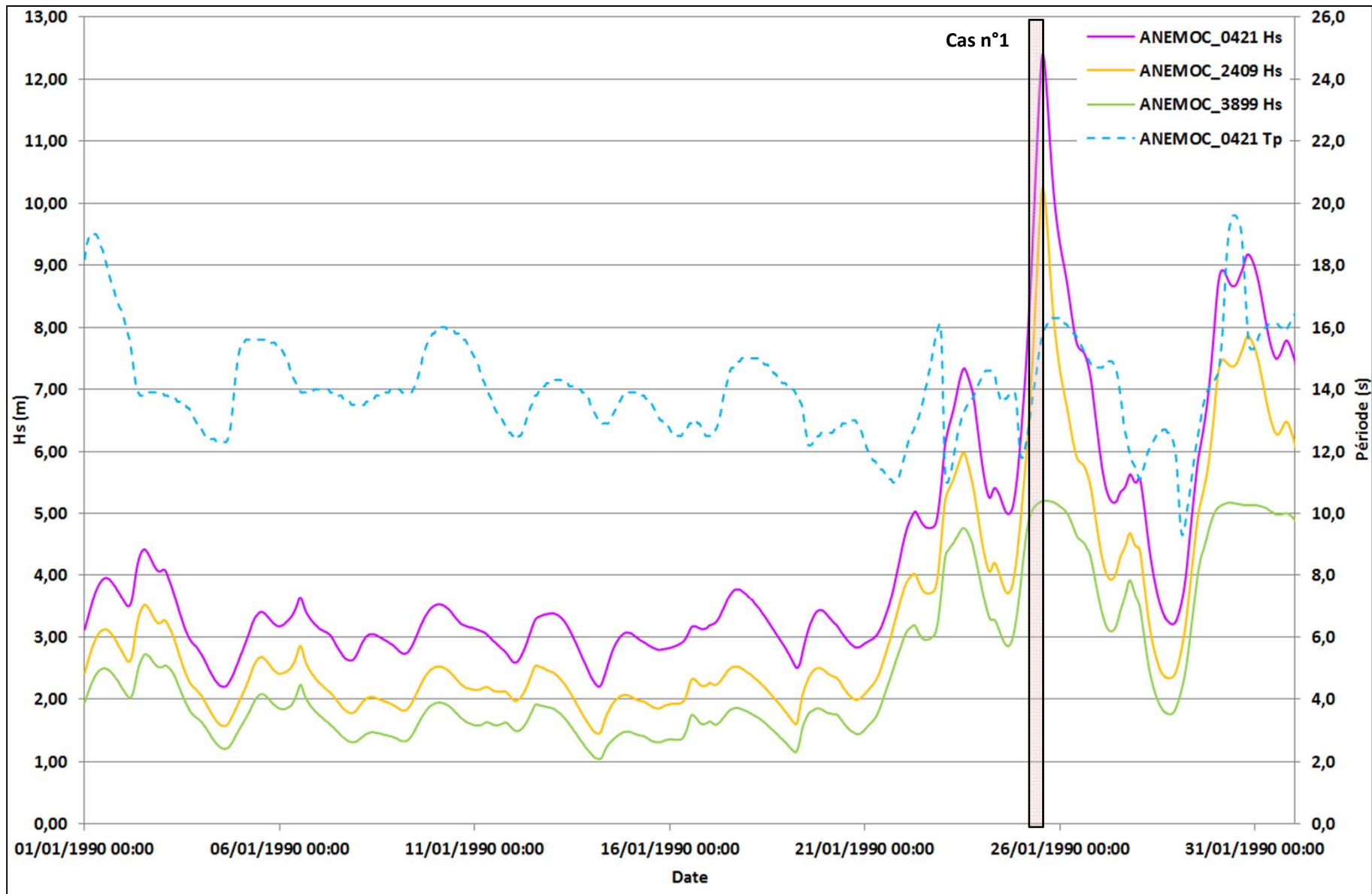
Cela correspond uniquement aux parcelles présentes sur une portion du cordon dunaire, dont la cote est supérieure au niveau marin de référence et qui ne présente pas de risque de franchissement par paquets de mer. Sur ce type de zone, le risque correspond uniquement à l'affaissement ou la rupture du cordon dunaire et non pas à la submersion de la crête du cordon (par surverse ou franchissements).

## **ANNEXES**

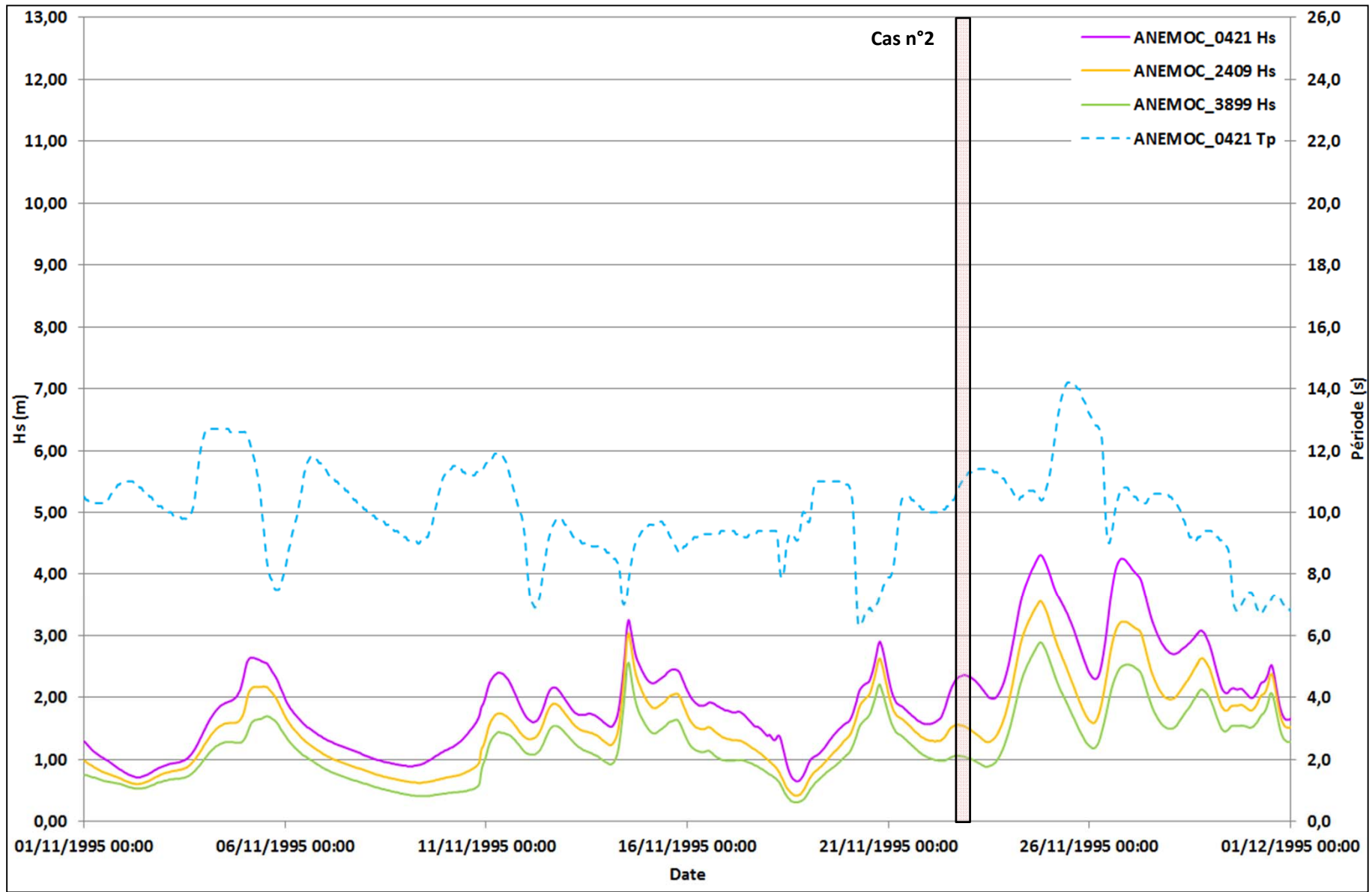
**Annexe 1 : Calage du modèle SWAN – Modèle n°1**



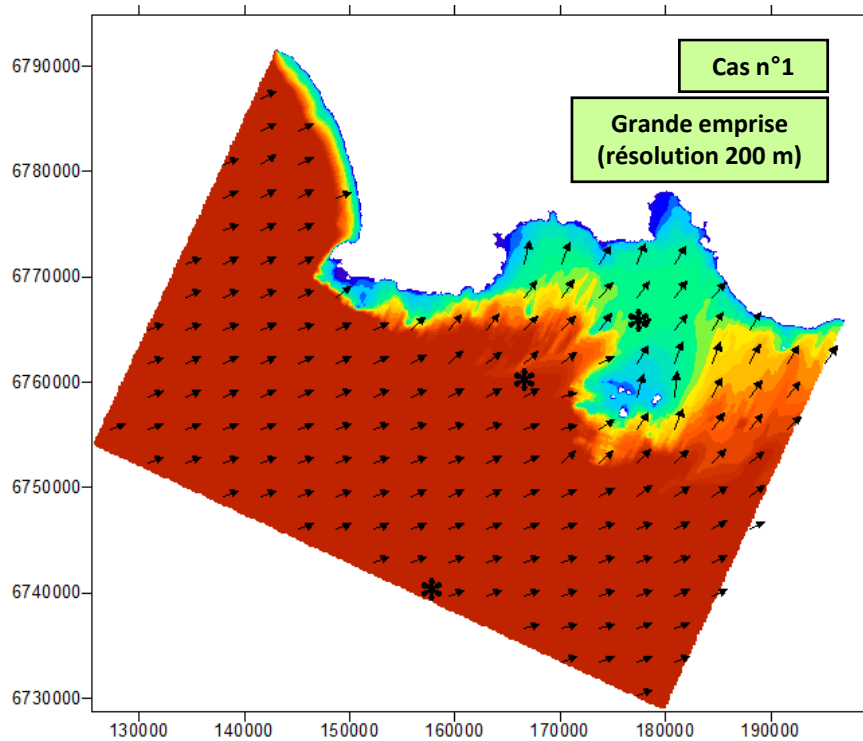
Série chronologique du 01/01/90 au 31/01/90



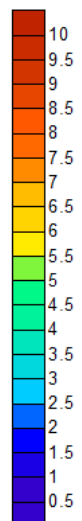
Série chronologique du 01/11/95 au 01/12/95







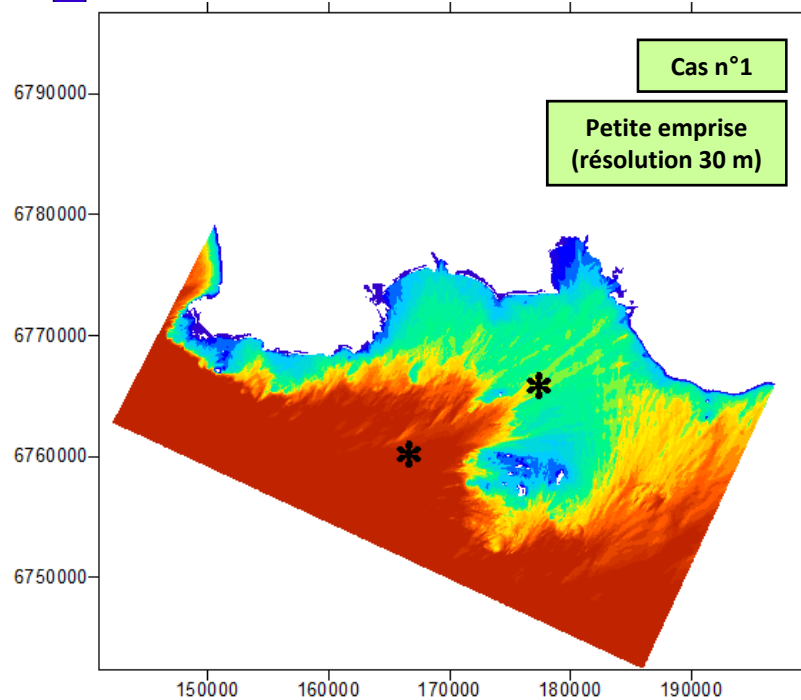
Hs (m)



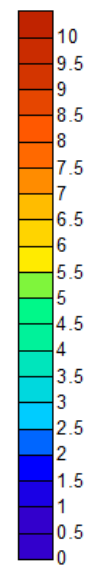
**Cas n°1 :**

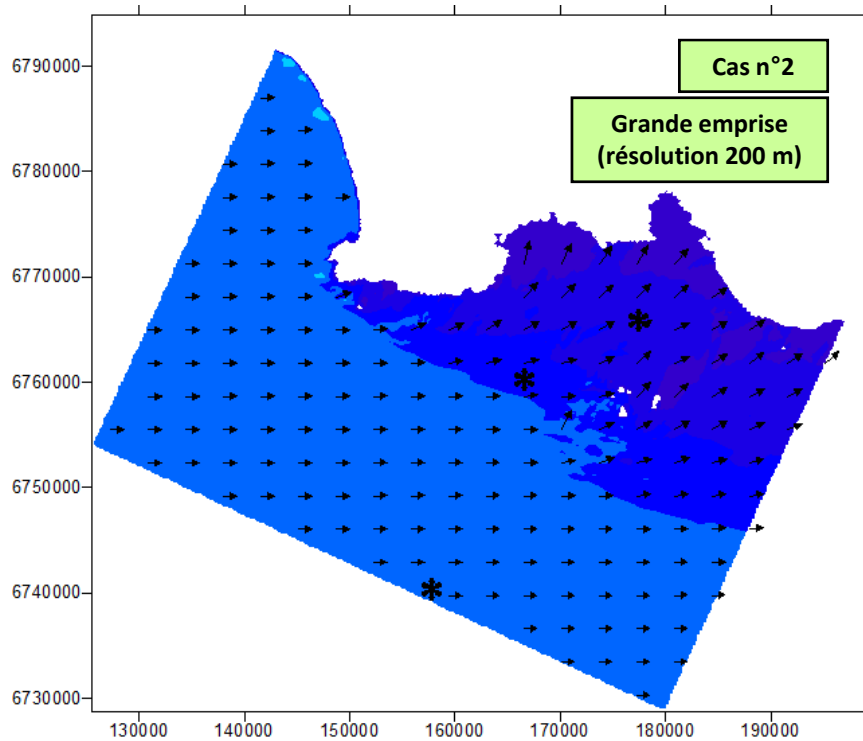
Hs = 12,39 m – Tp = 16,3 s

Dir = 250°N

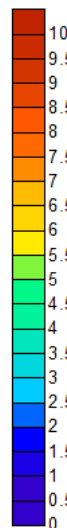


Hs (m)





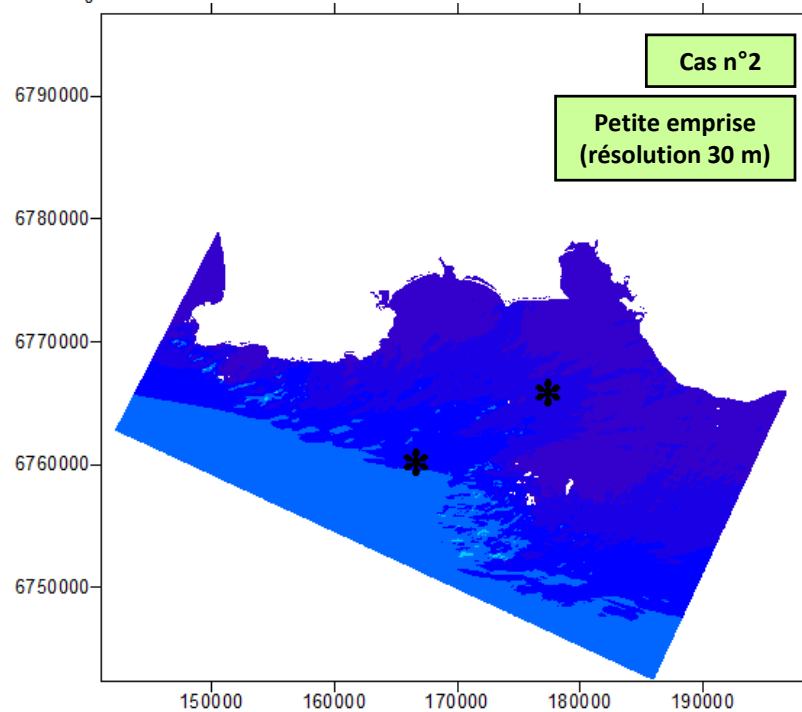
Hs (m)



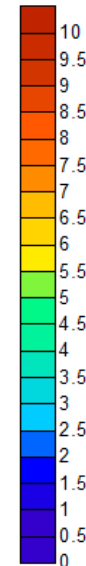
**Cas n°2 :**

Hs = 2,33 m – Tp = 11 s

Dir = 270°N



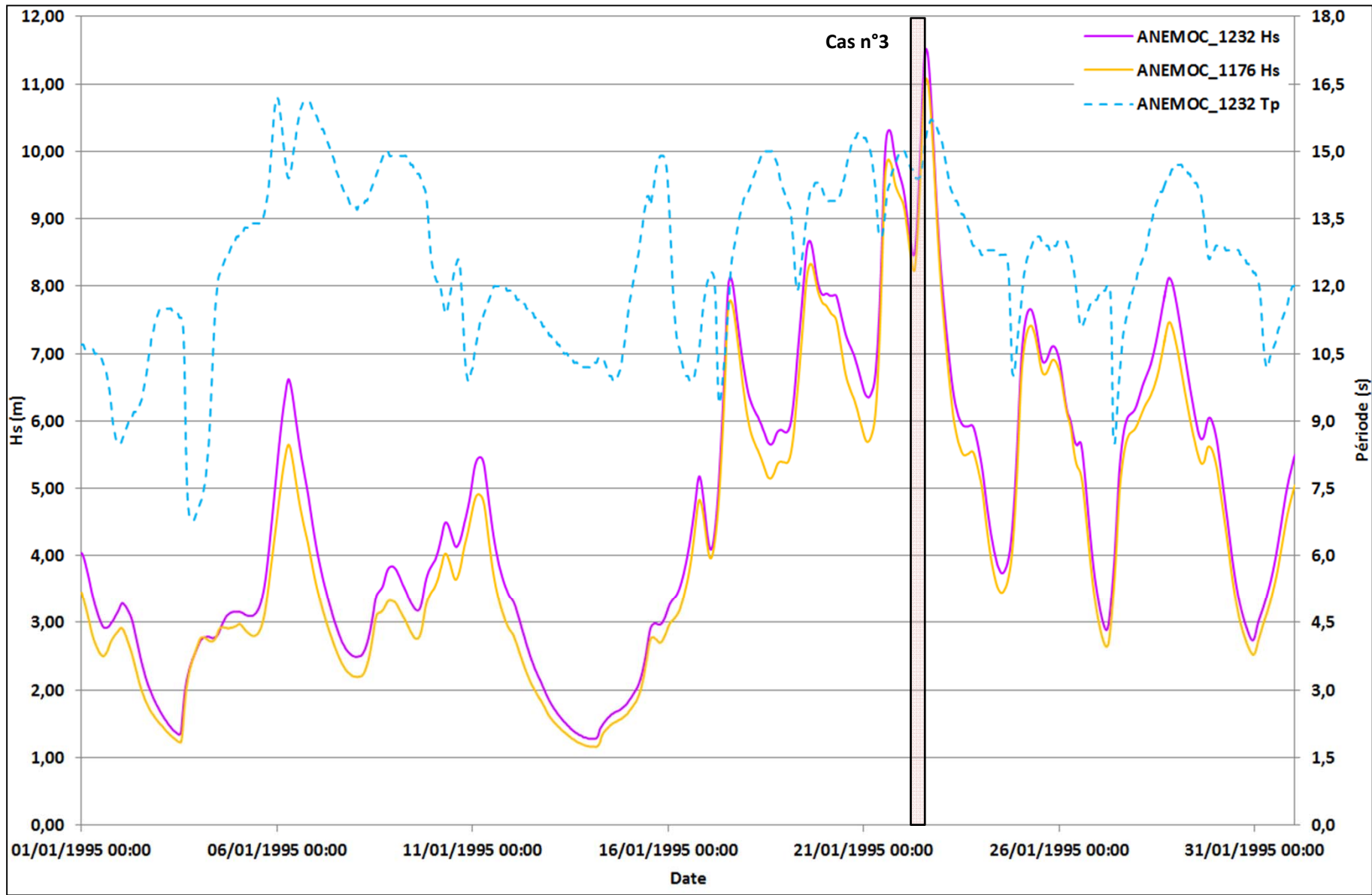
Hs (m)



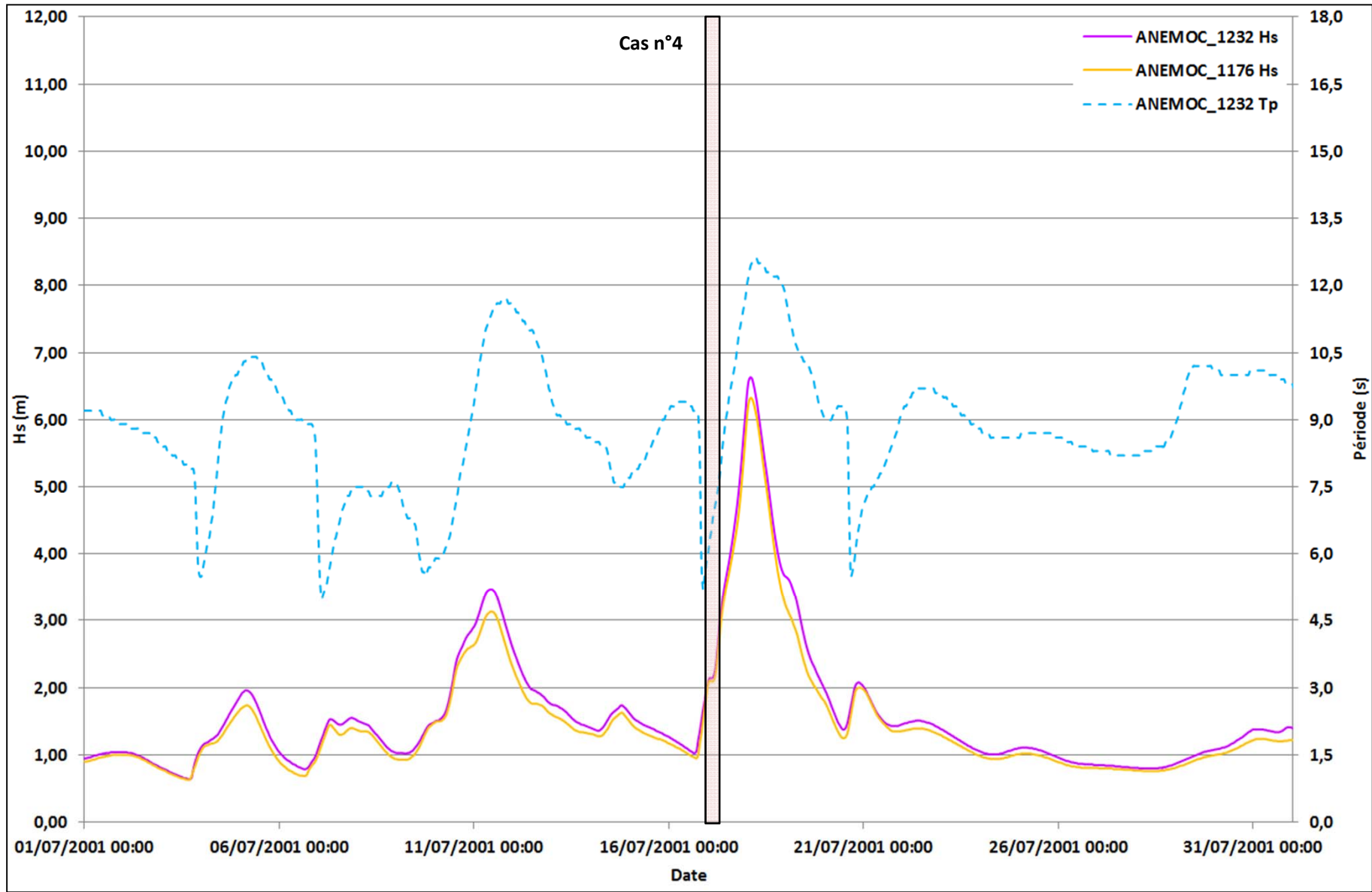
**Annexe 2 : Calage du modèle SWAN – Modèle n°2**

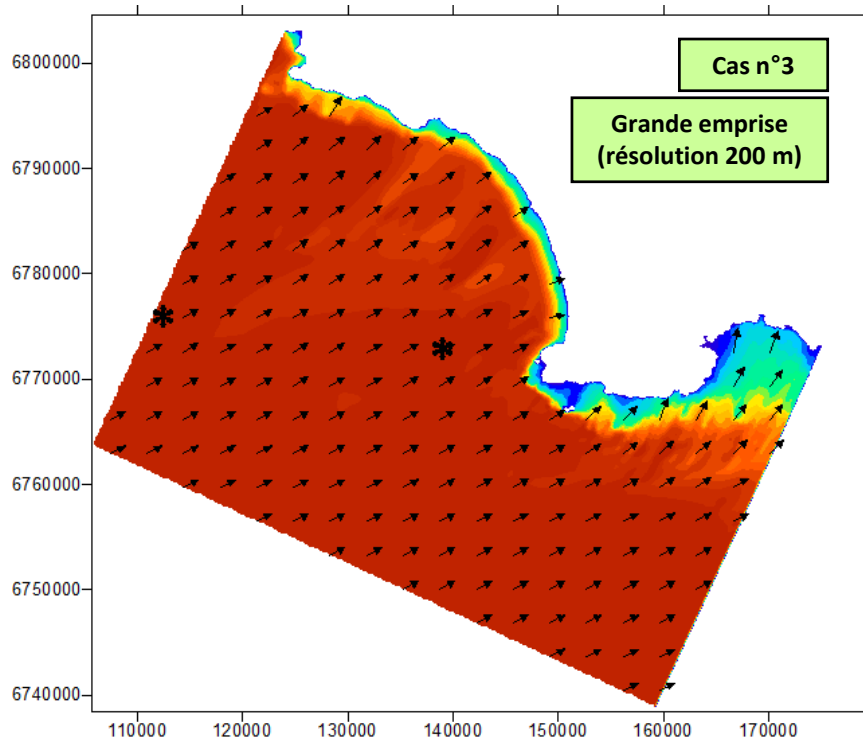


Série chronologique du 01/01/95 au 31/01/95

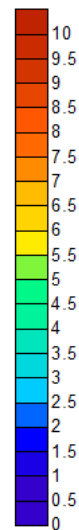


Série chronologique du 01/07/01 au 31/07/01





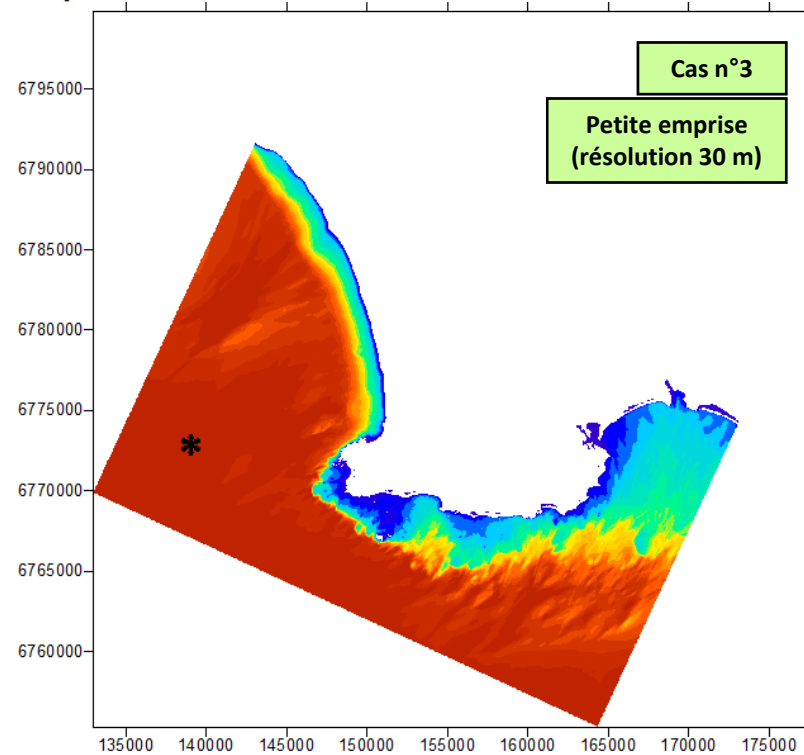
Hs (m)



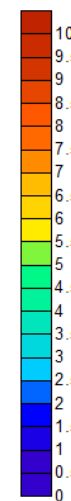
**Cas n°3 :**

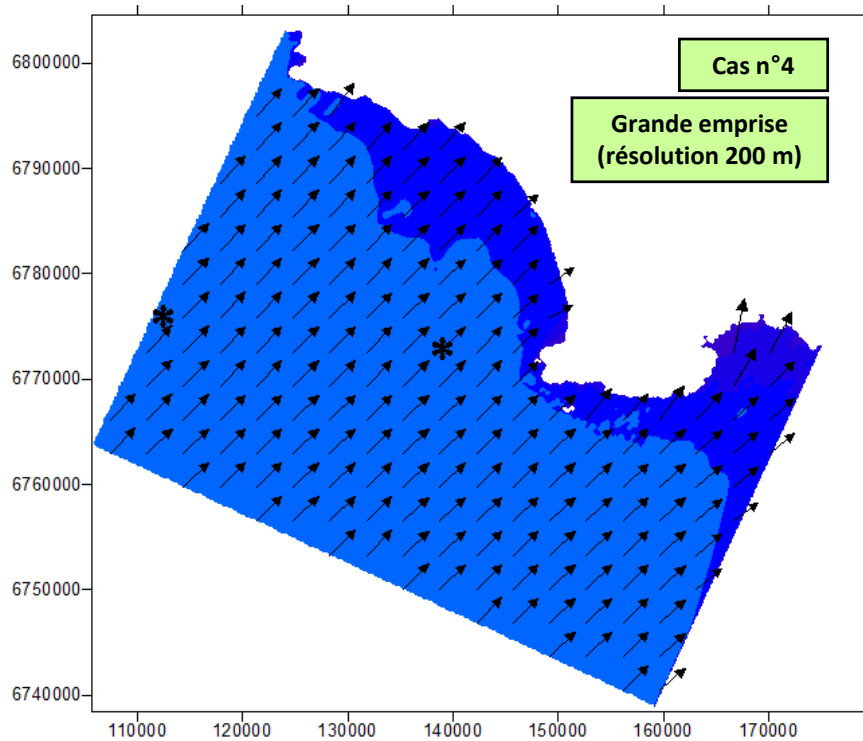
Hs = 10,31 m – Tp = 15 s

Dir = 243°N

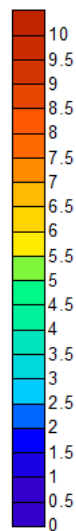


Hs (m)





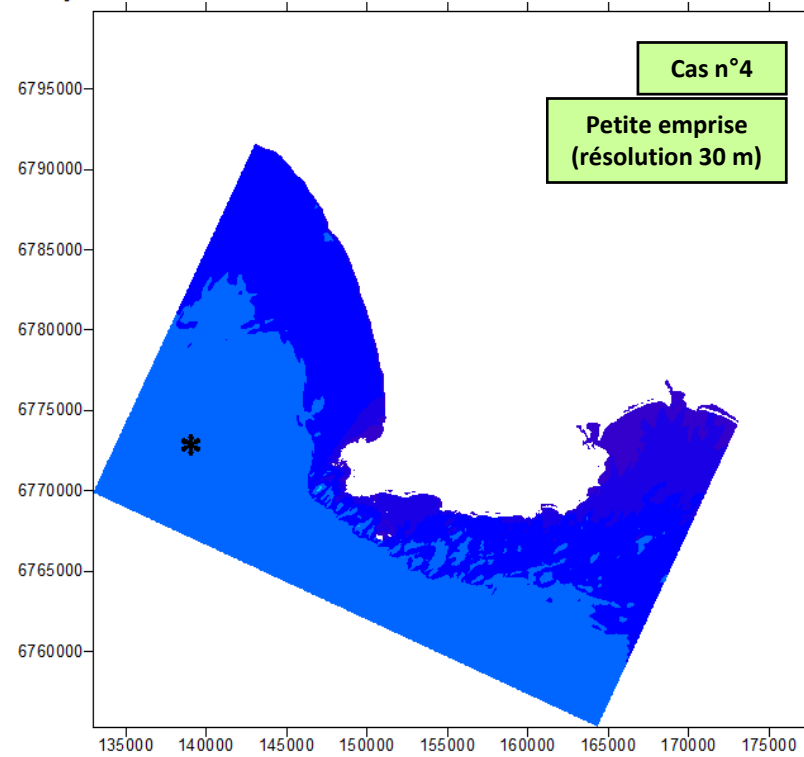
Hs (m)



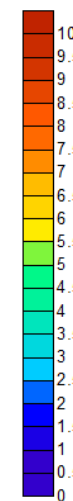
**Cas n°4 :**

Hs = 2,21 m – Tp = 7 s

Dir = 225°N

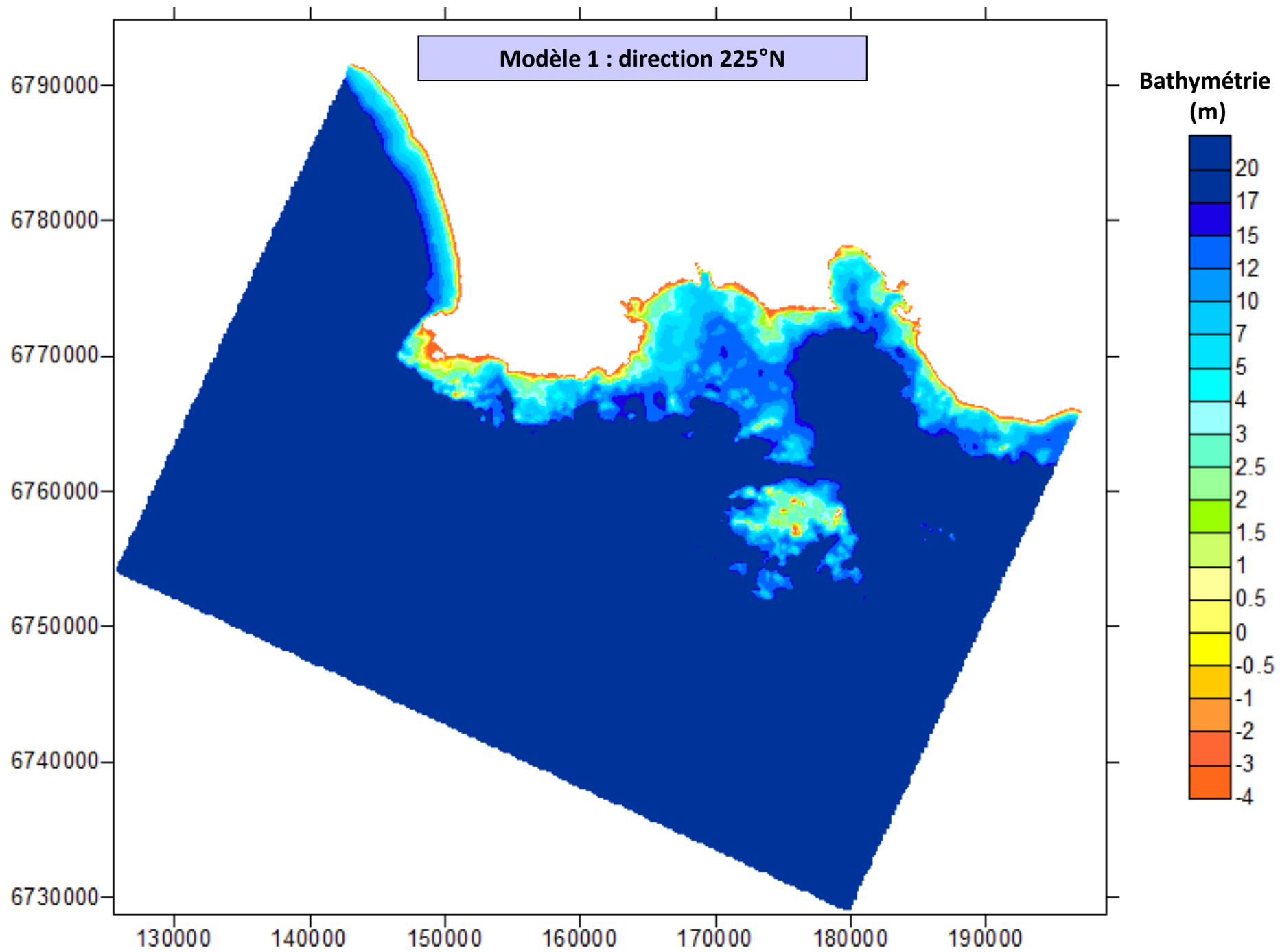


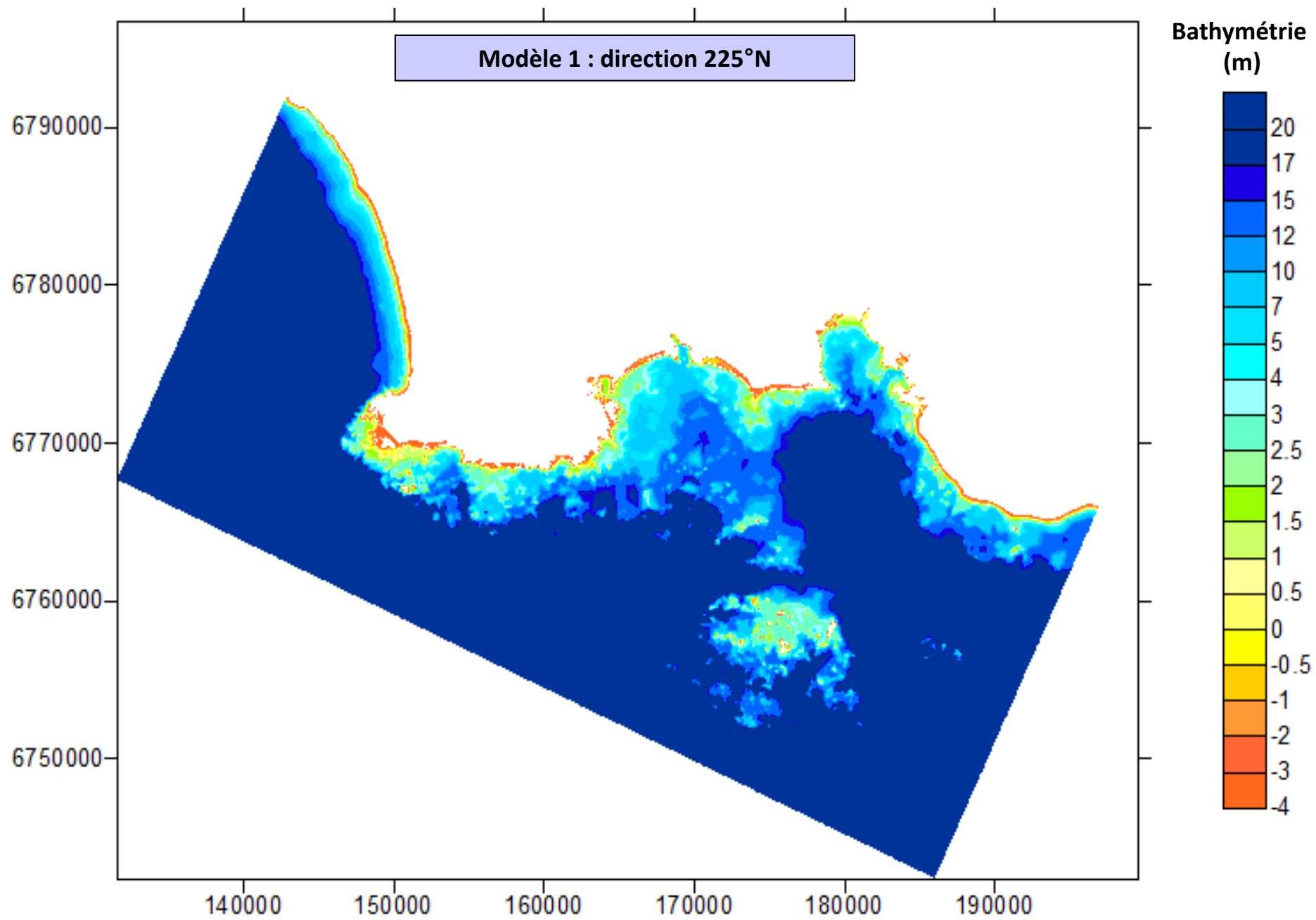
Hs (m)

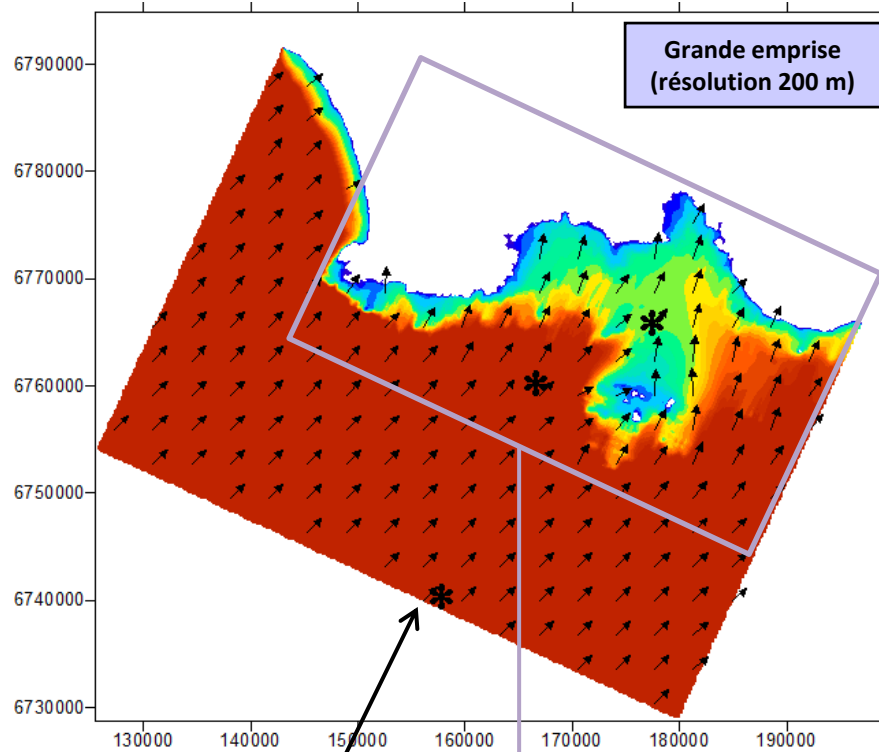




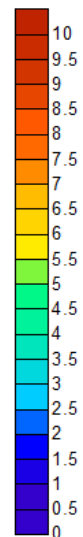
## **Annexe 3 : Résultats modélisations SWAN – Modèle n°1**







Hs (m)



**Cas n°1 :**

Hs = 14,97 m – Tp = 18 s

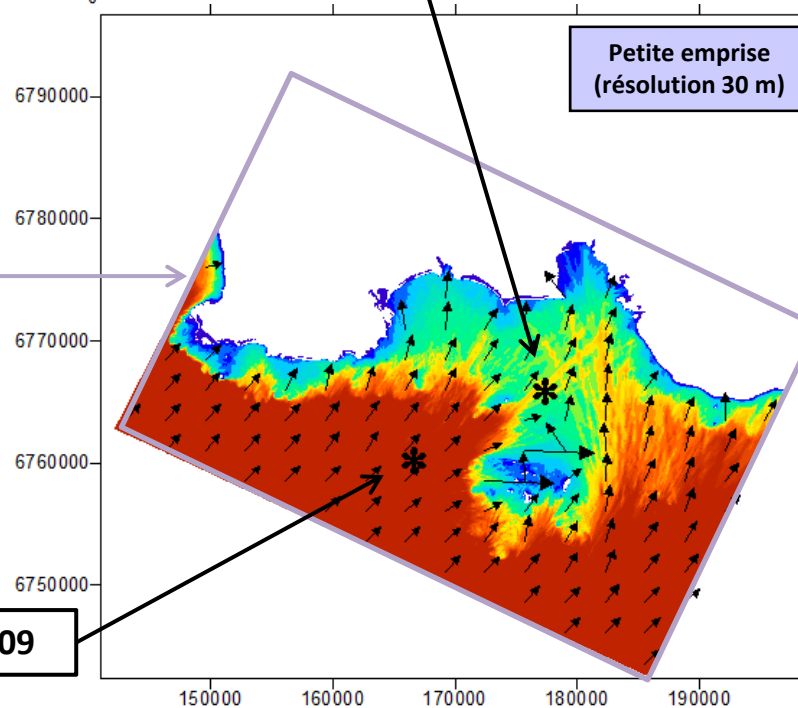
Niv = 3,08 m IGN

Dir = 225°N

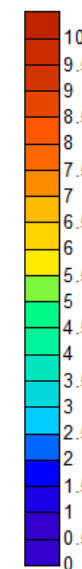
**ANEMOC 0421**

**Modèle 1 : direction 225°N**

**ANEMOC 3899**



Hs (m)



**ANEMOC 2409**

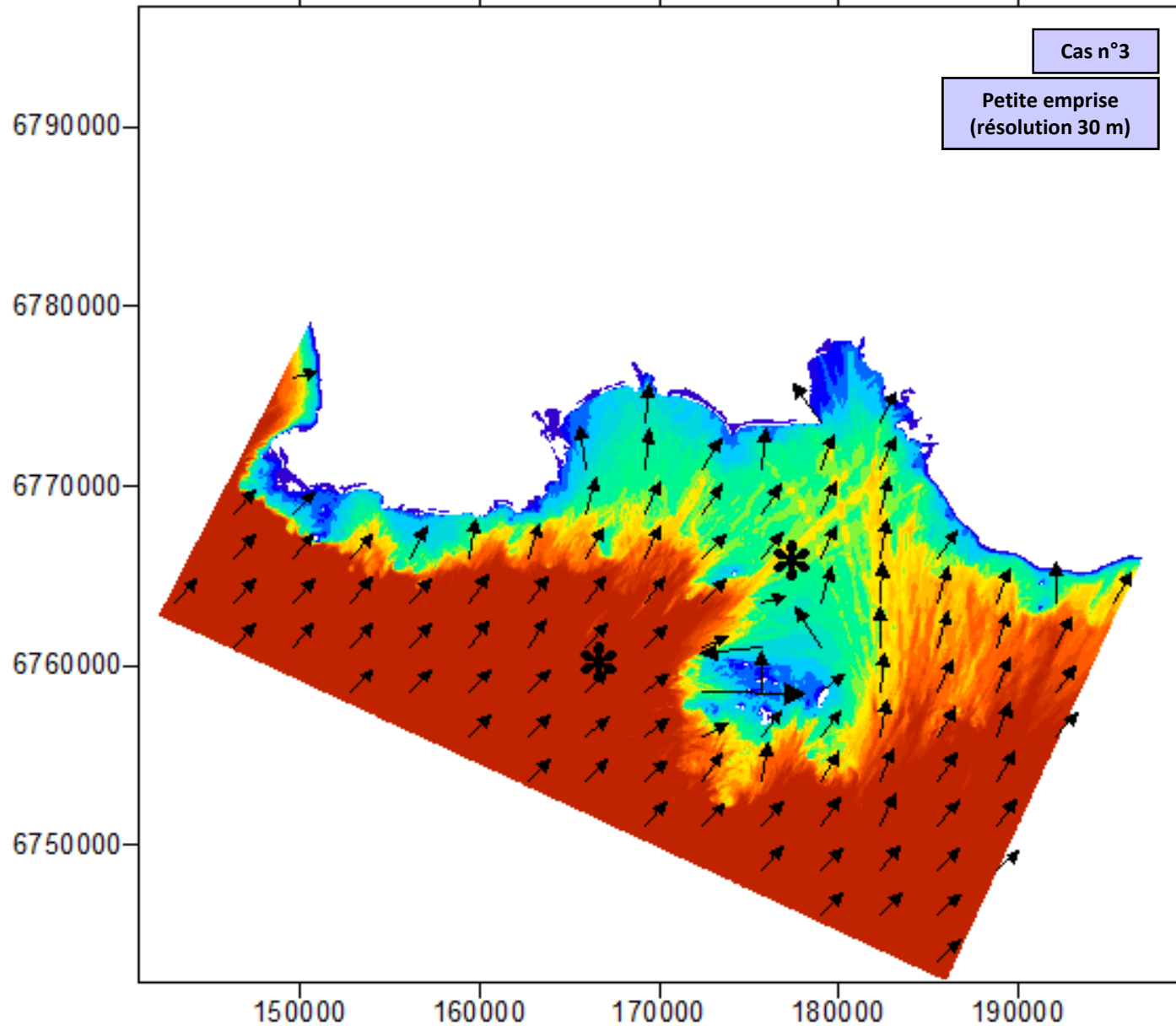
Modèle 1

Cas n°3 :

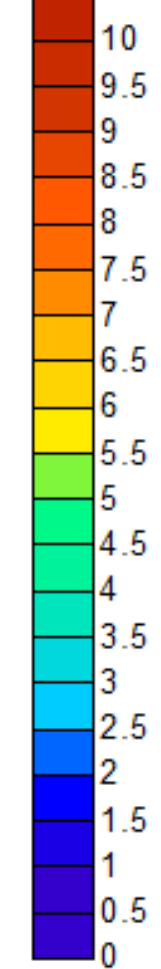
Hs = 13,20 m – Tp = 18 s

Niv = 3,23 m IGN

Dir = 225°N



Hs (m)



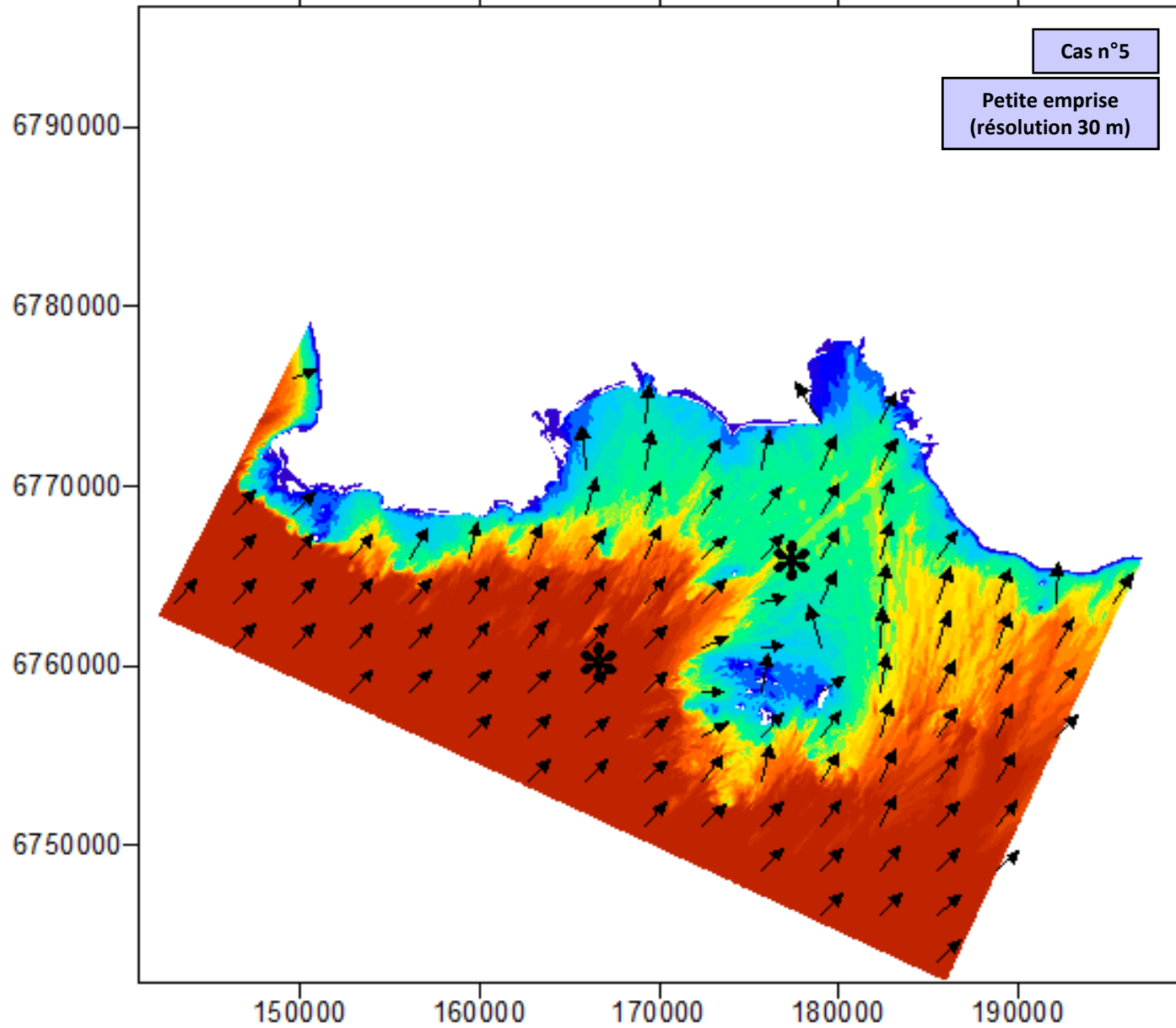
Modèle 1

Cas n°5 :

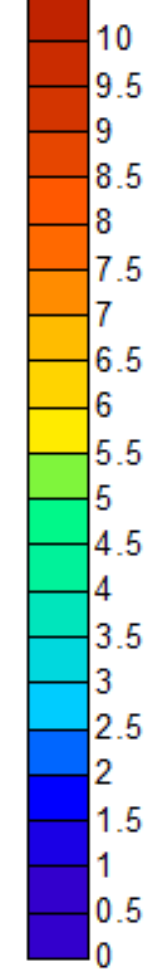
Hs = 11 m – Tp = 16 s

Niv = 3,37 m IGN

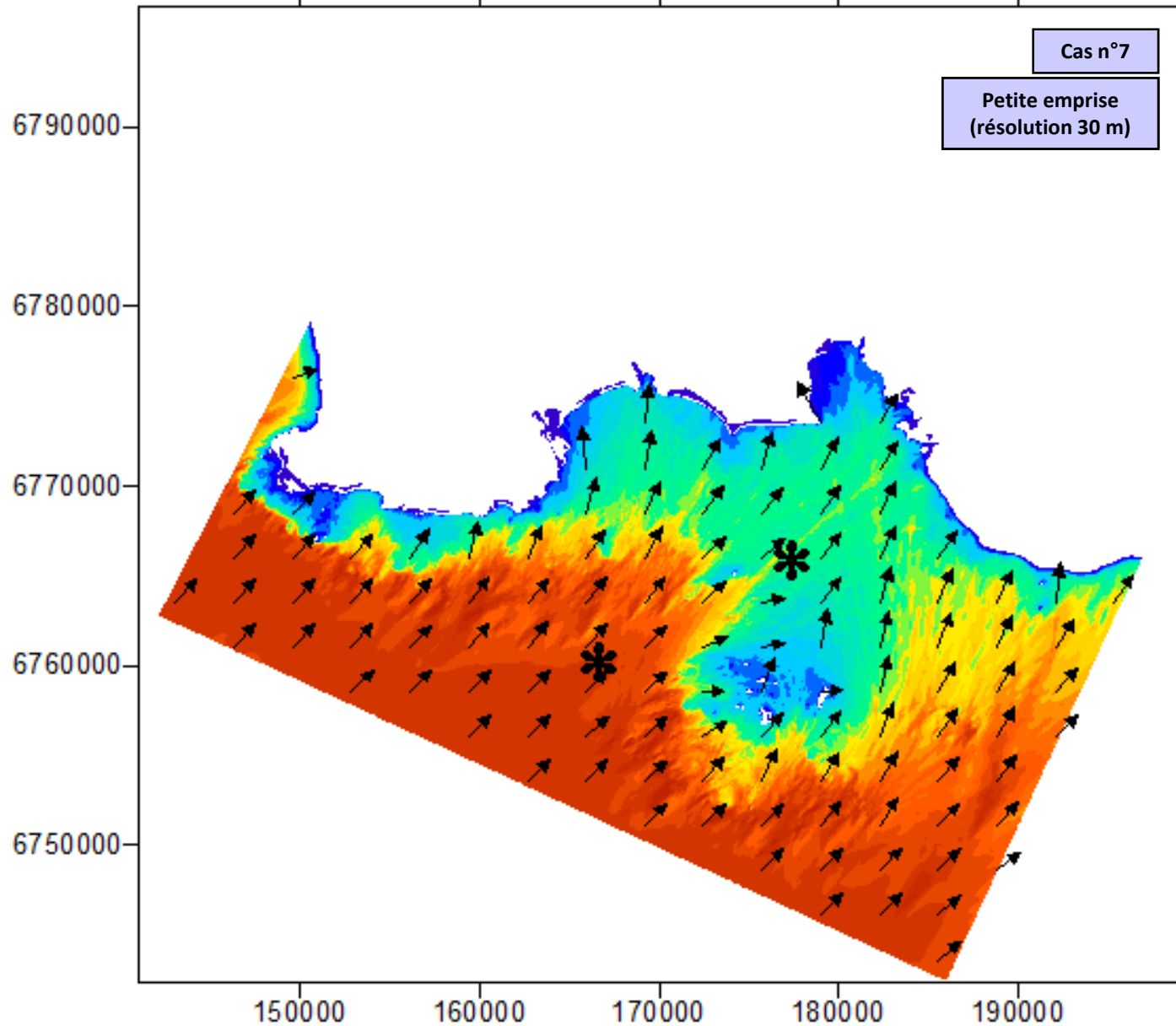
Dir = 225°N



Hs (m)



Modèle 1



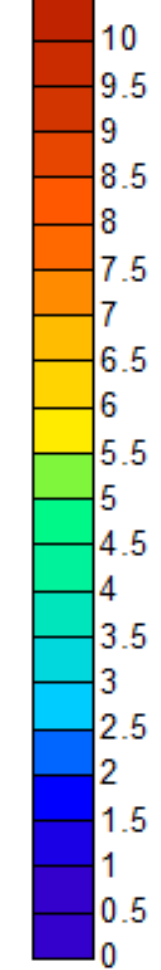
**Cas n°7 :**

Hs = 8,80 m – Tp = 14 s

Niv = 3,50 m IGN

Dir = 225°N

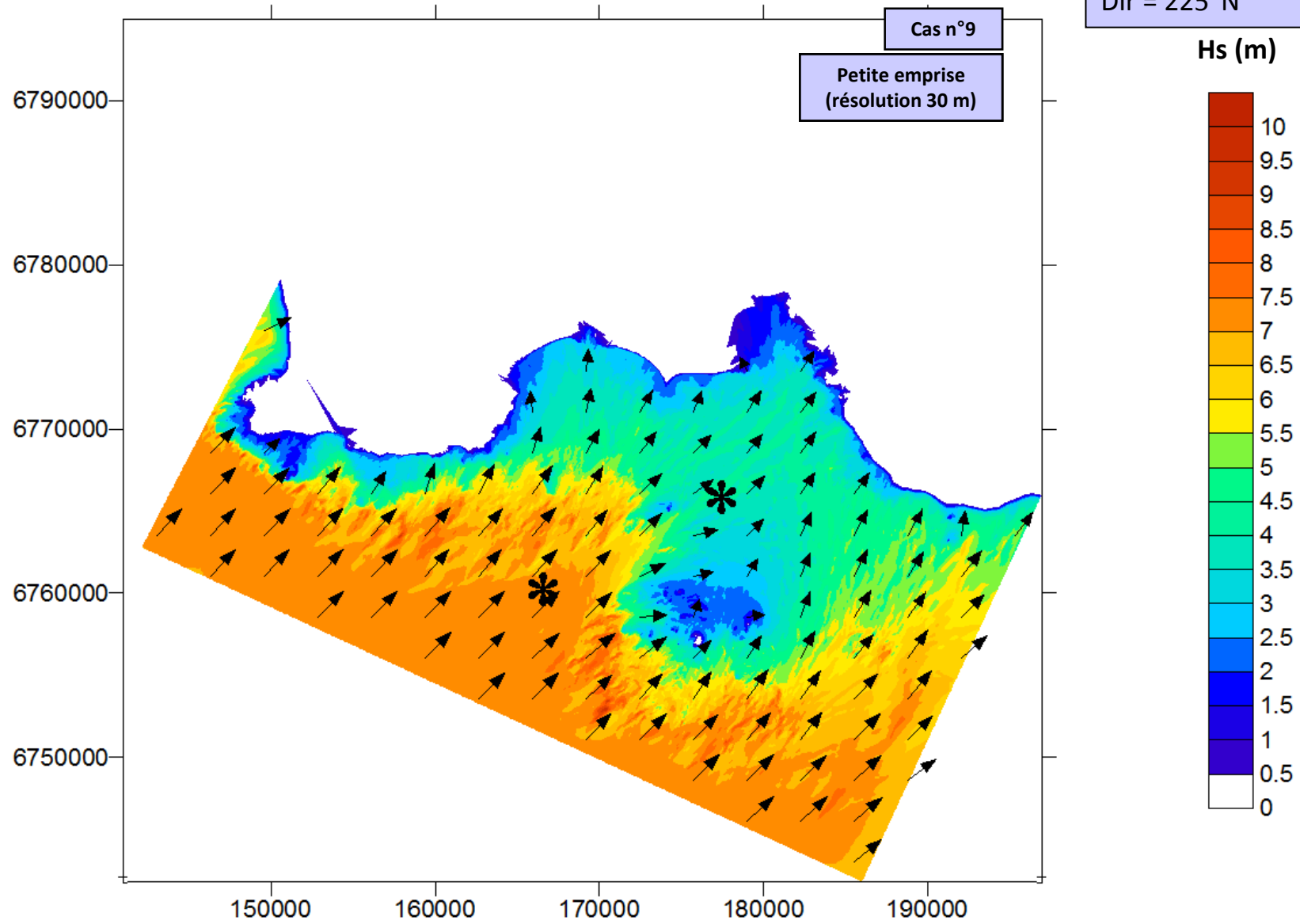
Hs (m)



**Modèle 1**

**Cas n°9 :**

Hs = 6,5 m – Tp = 13 s  
Niv = 3,65 m IGN  
Dir = 225°N





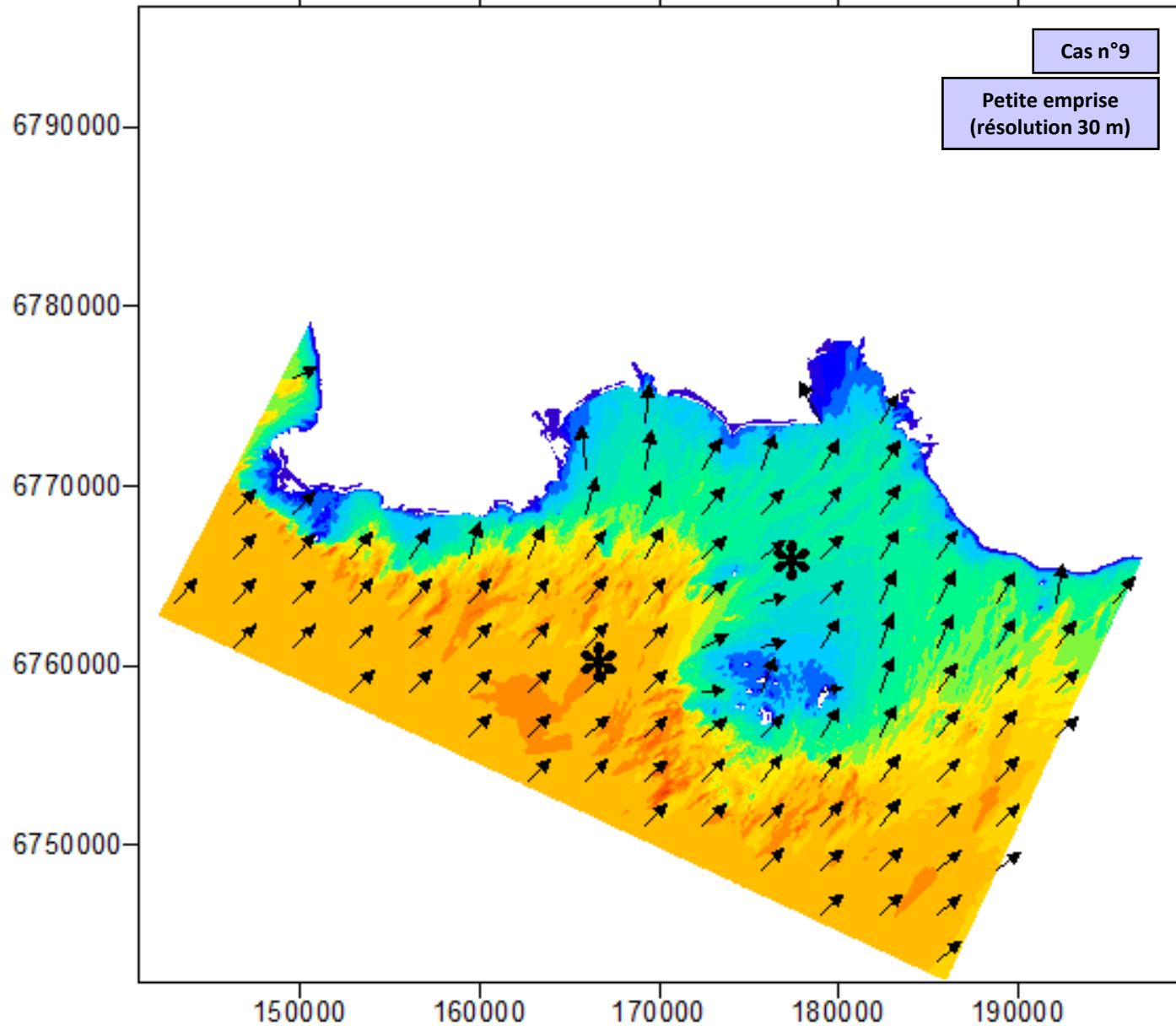
Modèle 1

Cas n°9 :

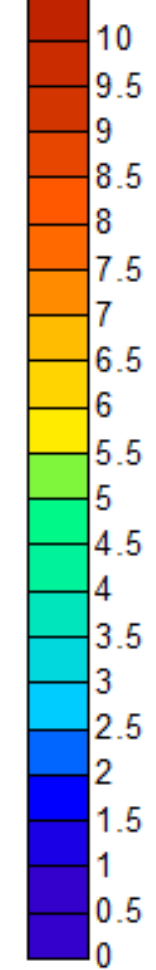
Hs = 6 m – Tp = 13 s

Niv = 3,65 m IGN

Dir = 225°N

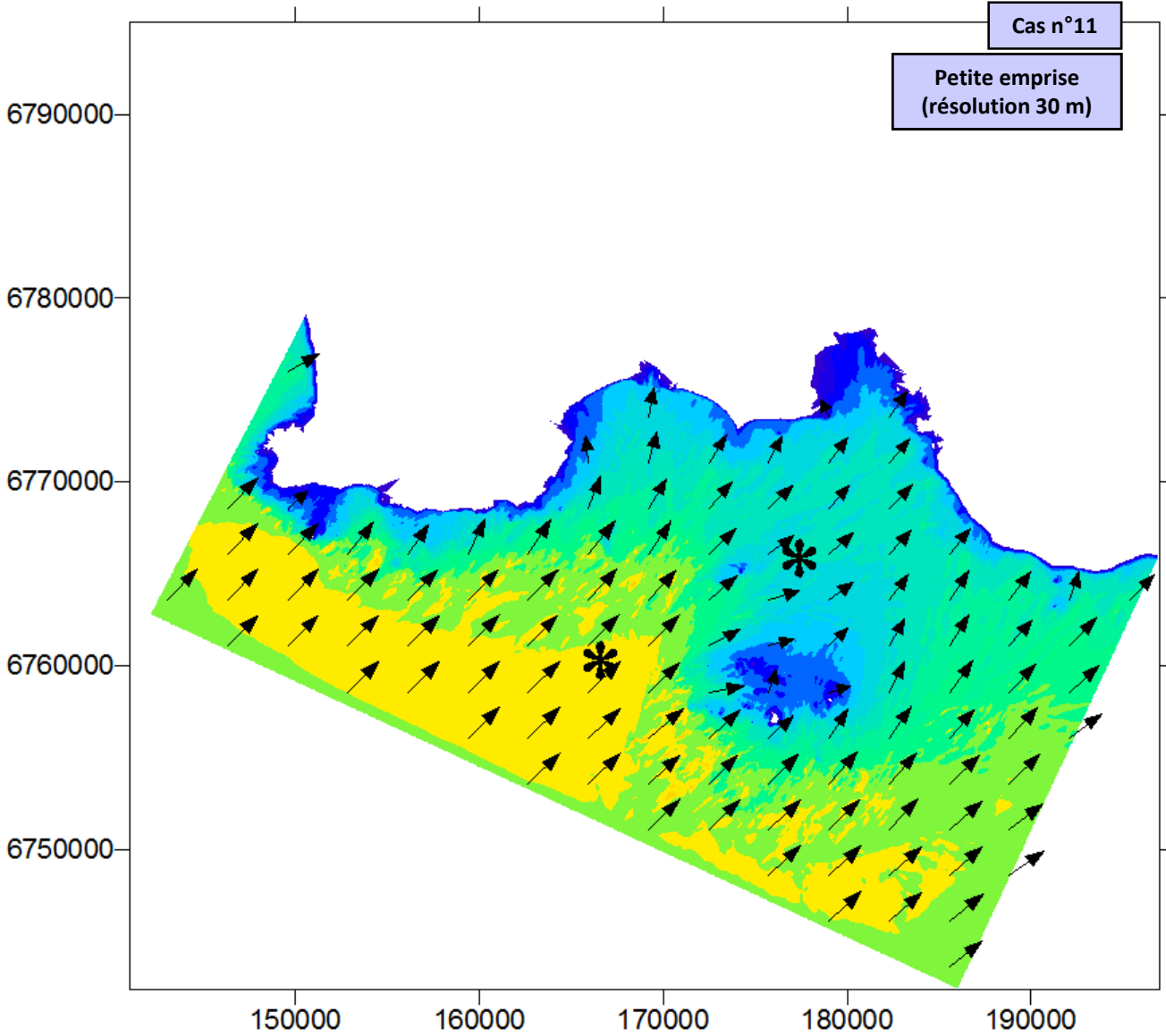


Hs (m)

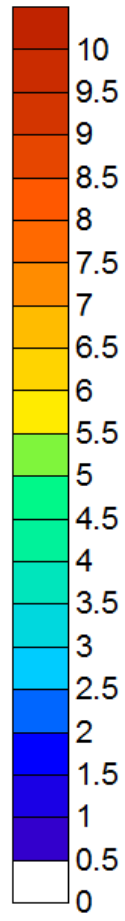


**Modèle 1**

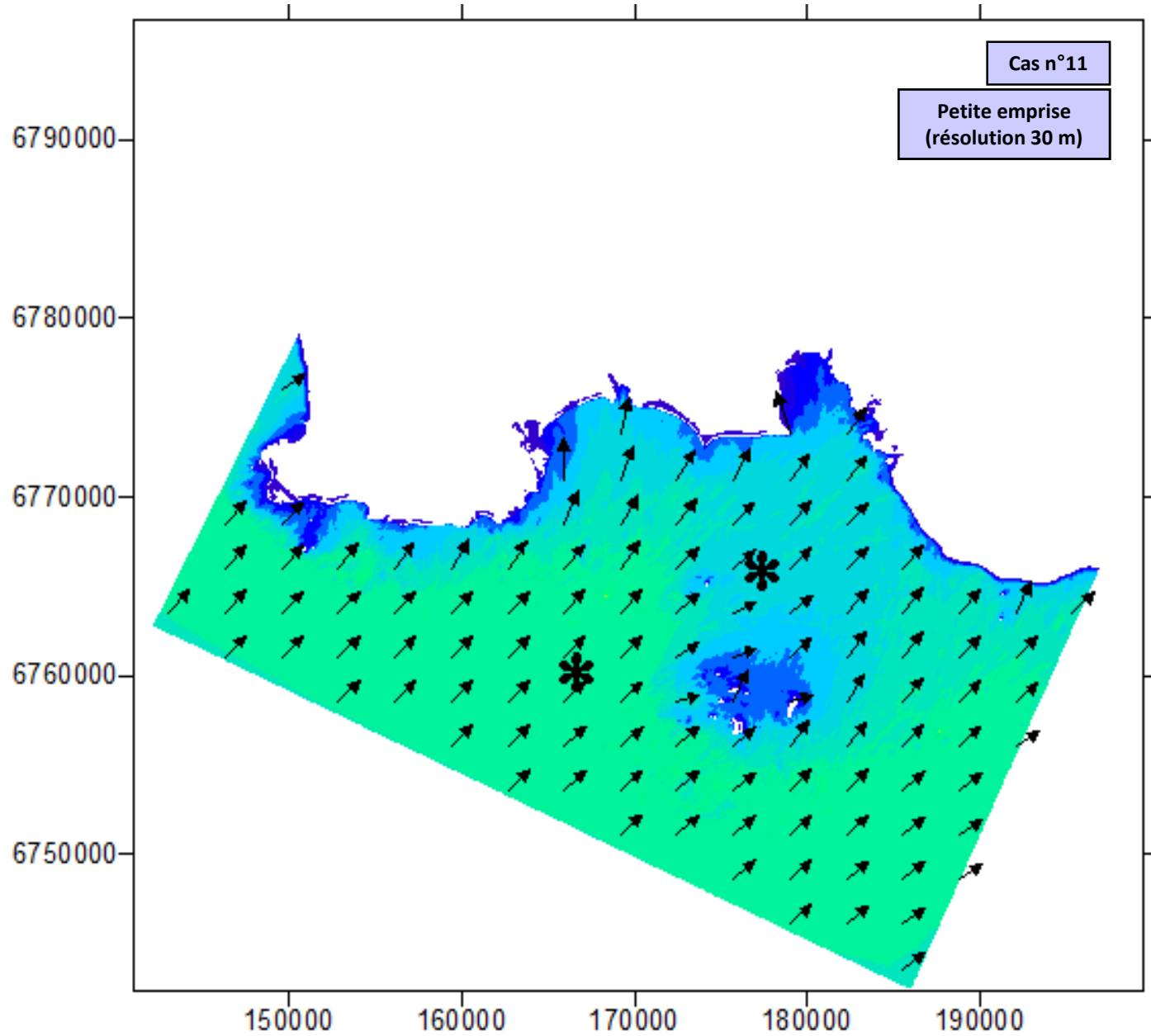
**Cas n°11 :**  
Hs = 4,40 m – Tp = 10 s  
Niv = 3,80 m IGN  
Dir = 225°N



**Hs (m)**

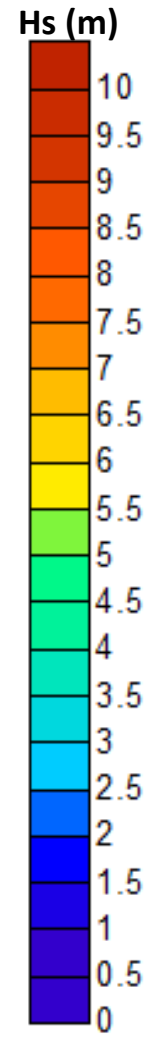


Modèle 1



Cas n°11  
Petite emprise  
(résolution 30 m)

**Cas n°11 :**  
Hs = 2,50 m – Tp = 10 s  
Niv = 3,80 m IGN  
Dir = 225°N



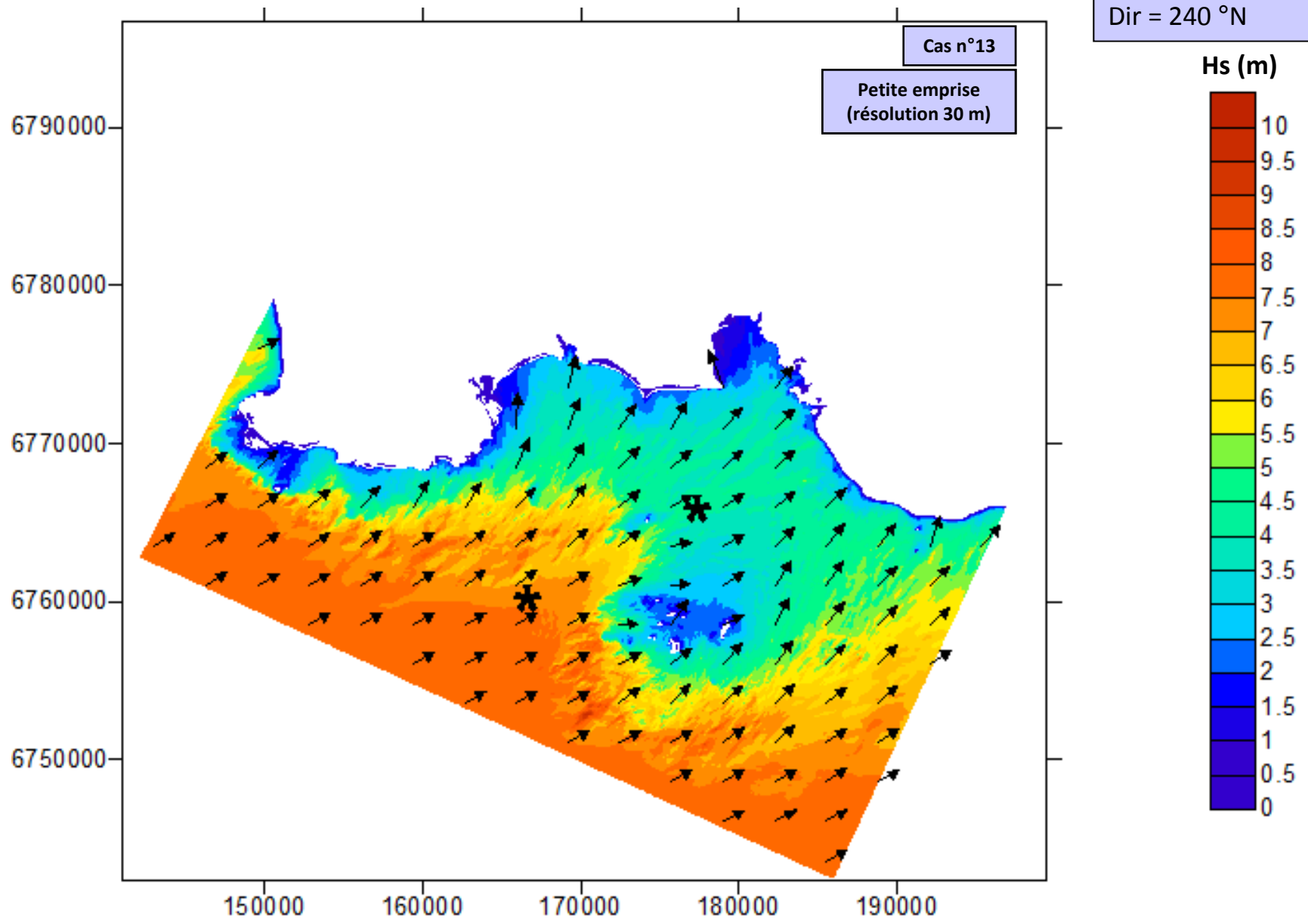
Modèle 1

Cas n°13 :

Hs = 7,00 m – Tp = 11,5 s

Niv = 3,78 m IGN

Dir = 240 °N



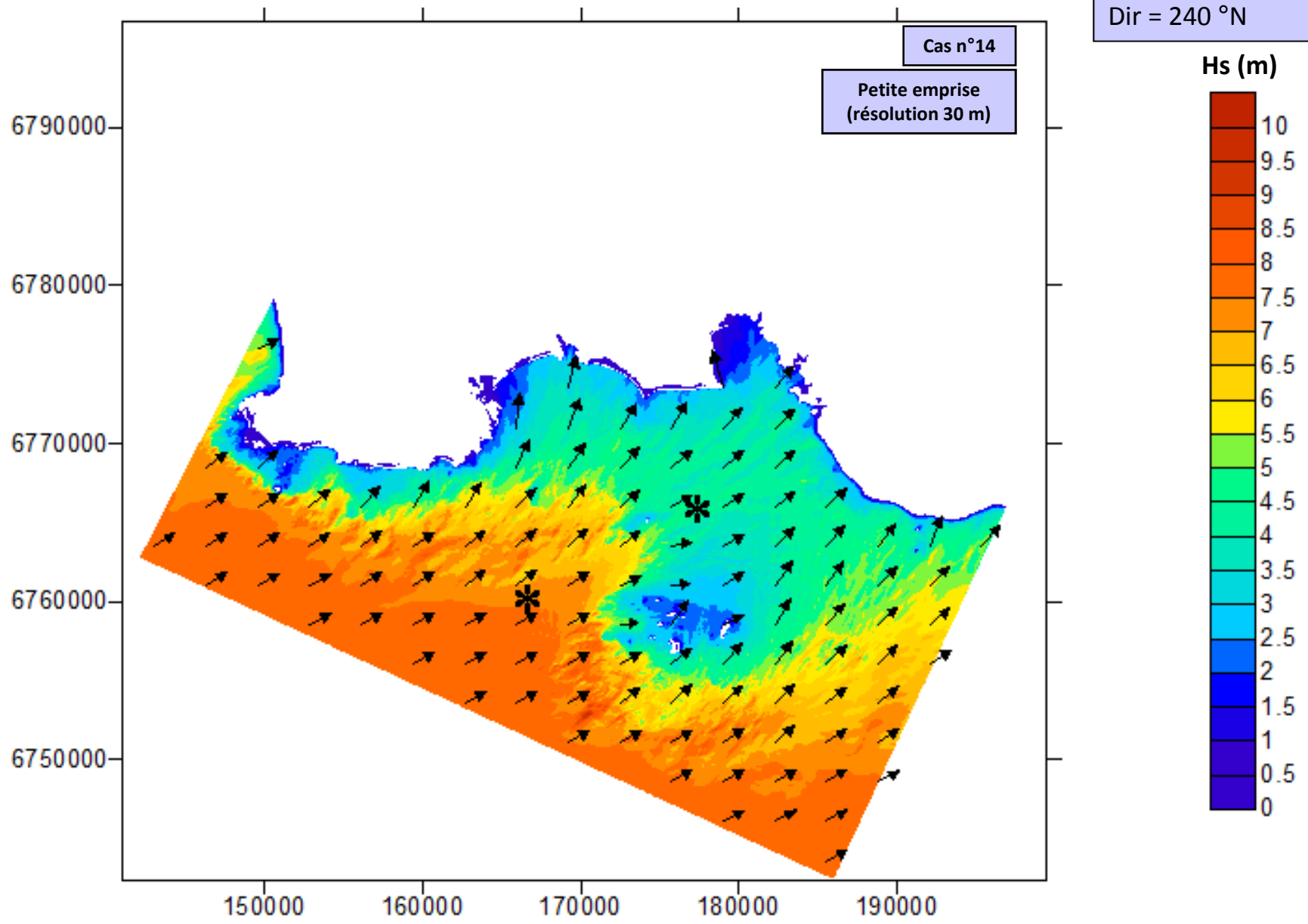
Modèle 1

Cas n°14 :

Hs = 7,00 m – Tp = 11,5 s

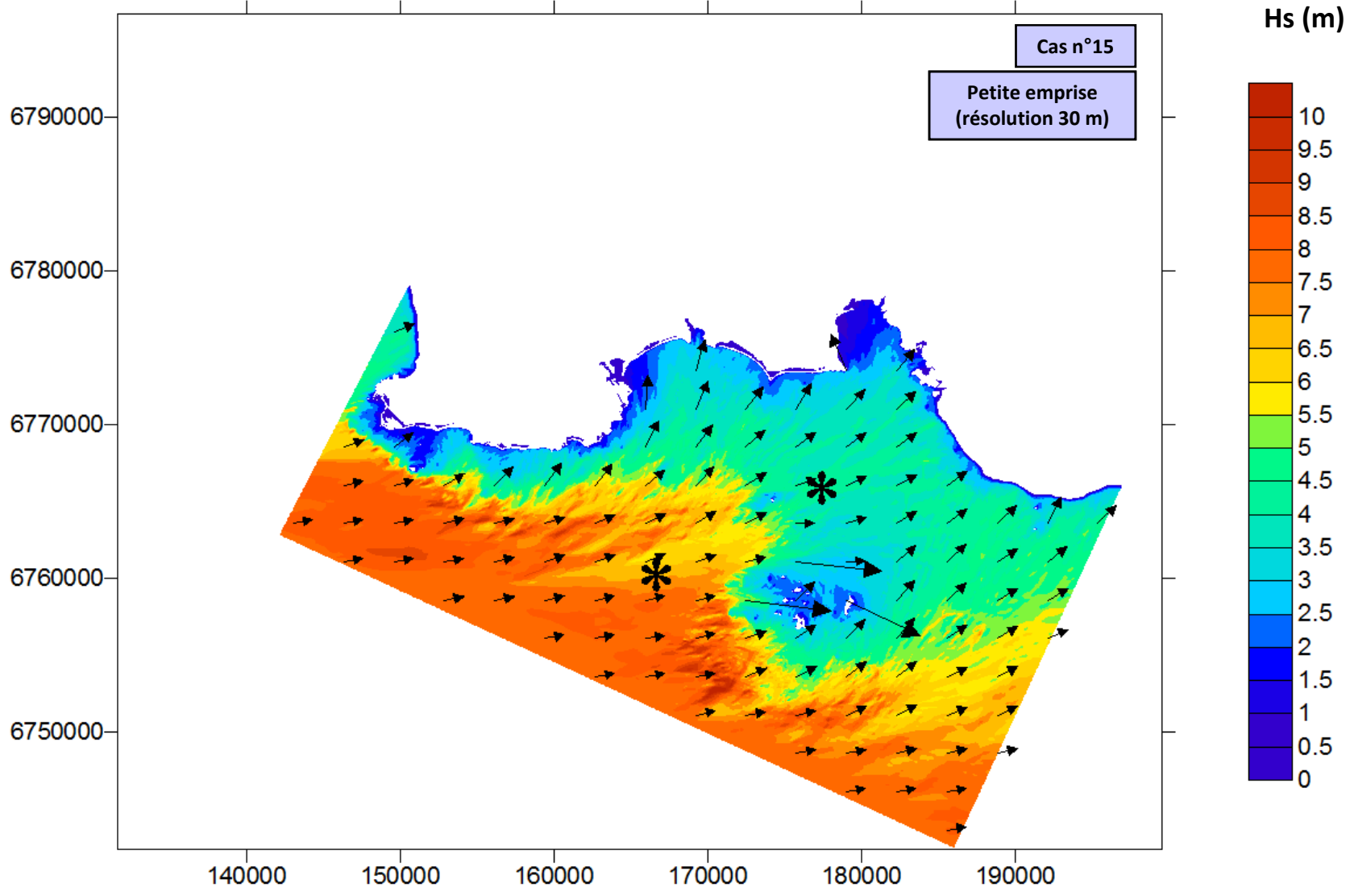
Niv = 4,28 m IGN

Dir = 240 °N



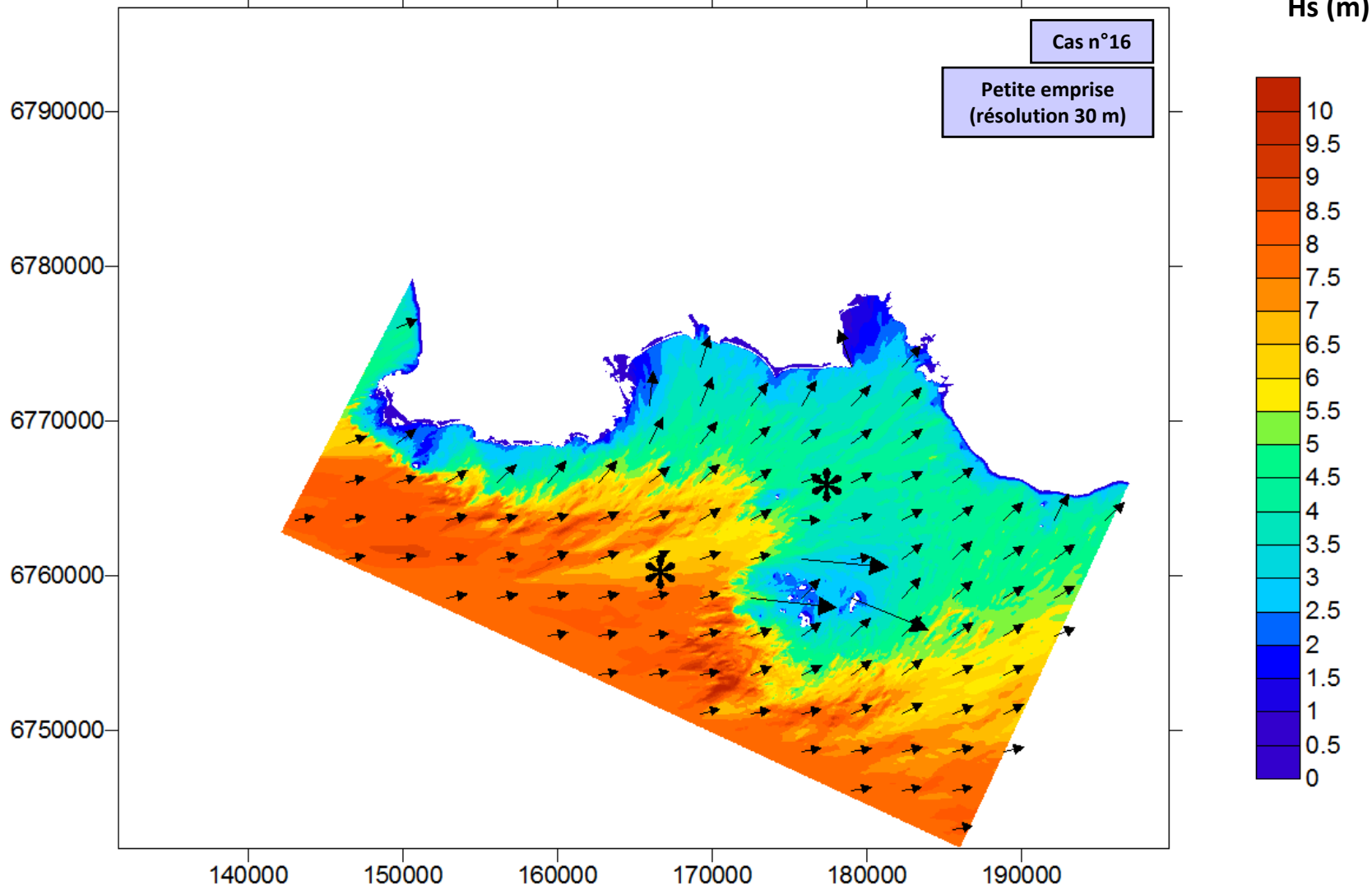
**Modèle 1**

**Cas n°15 :**  
Hs = 8,36 m – Tp = 15 s  
Niv = 3,67 m IGN  
Dir = 270 °N



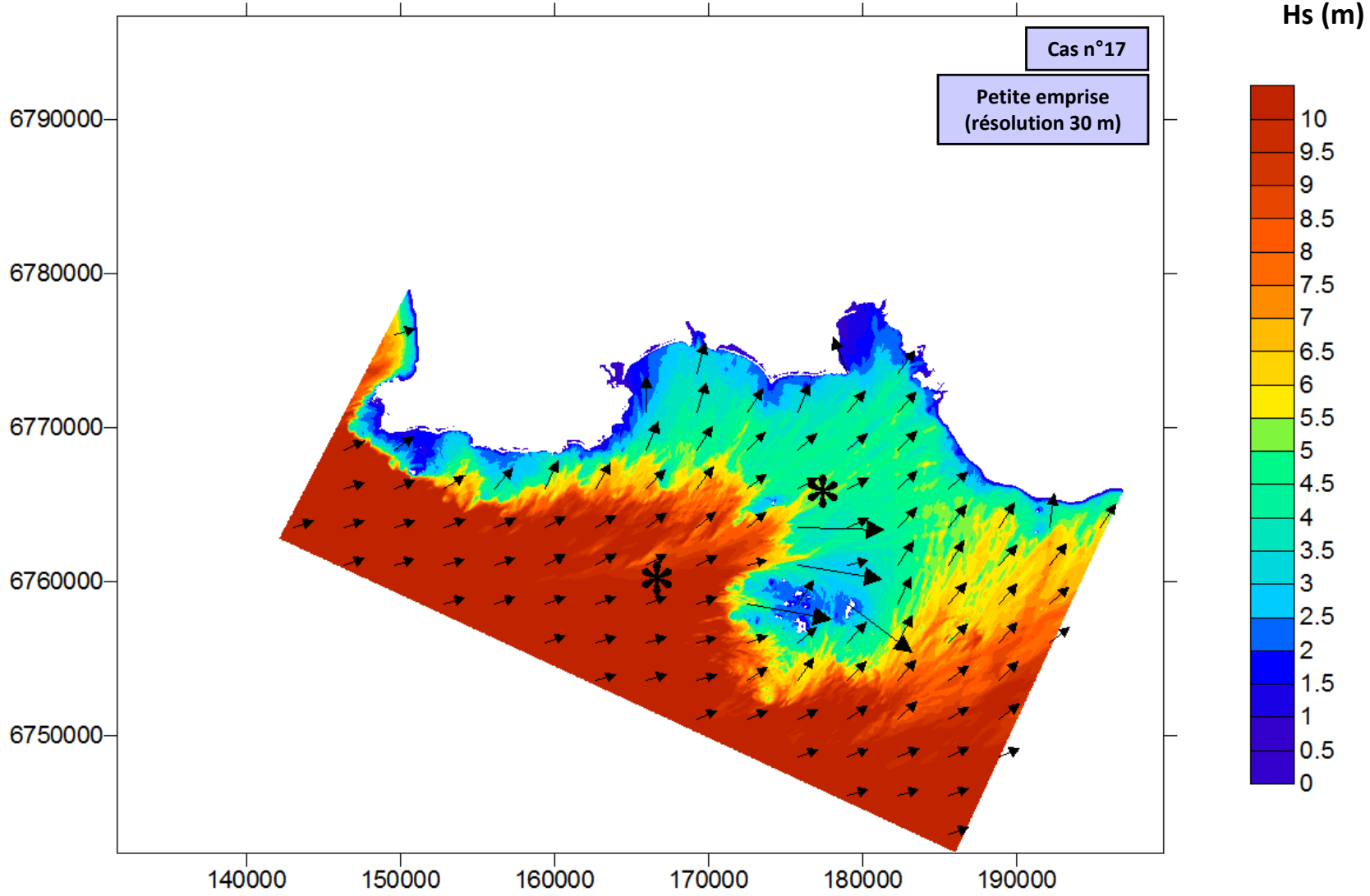
**Modèle 1**

**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





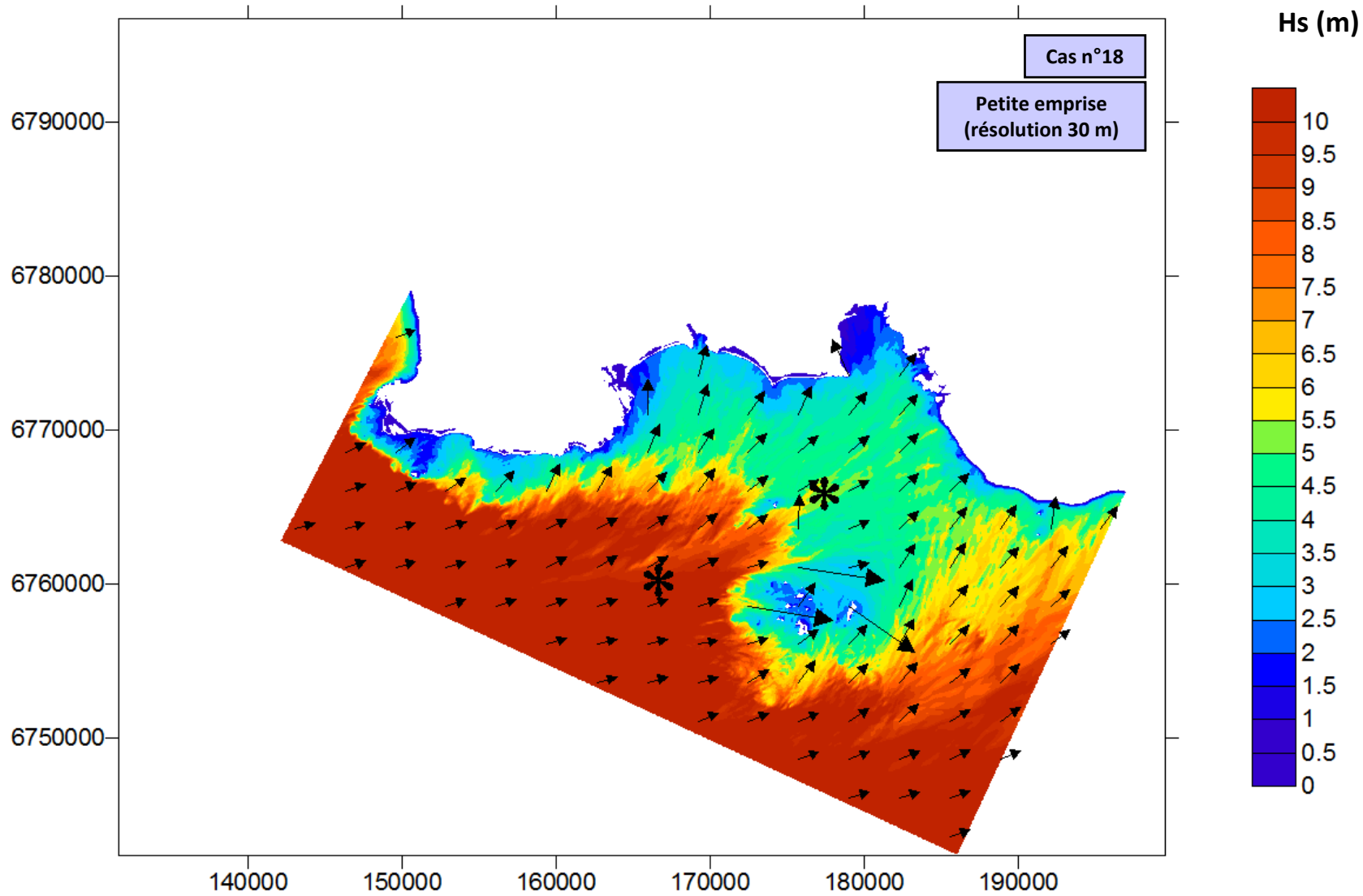
**Modèle 1**

**Cas n°18 :**

Hs = 12,87 m – Tp = 17 s

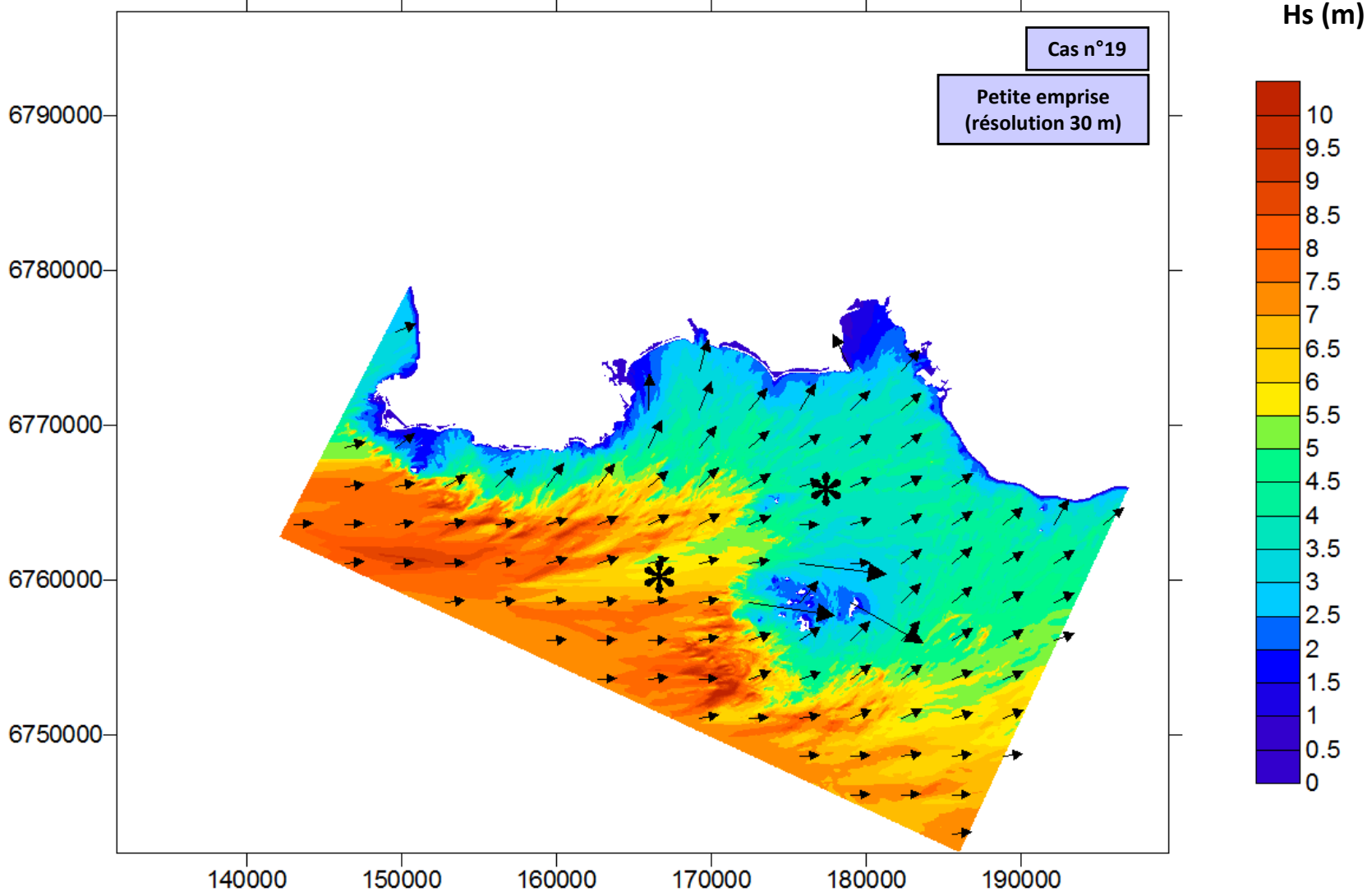
Niv = 3,50 m IGN

Dir = 260 °N



**Modèle 1**

**Cas n°19 :**  
Hs = 9,50 m – Tp = 18 s  
Niv = 3,55 m IGN  
Dir = 285 °N



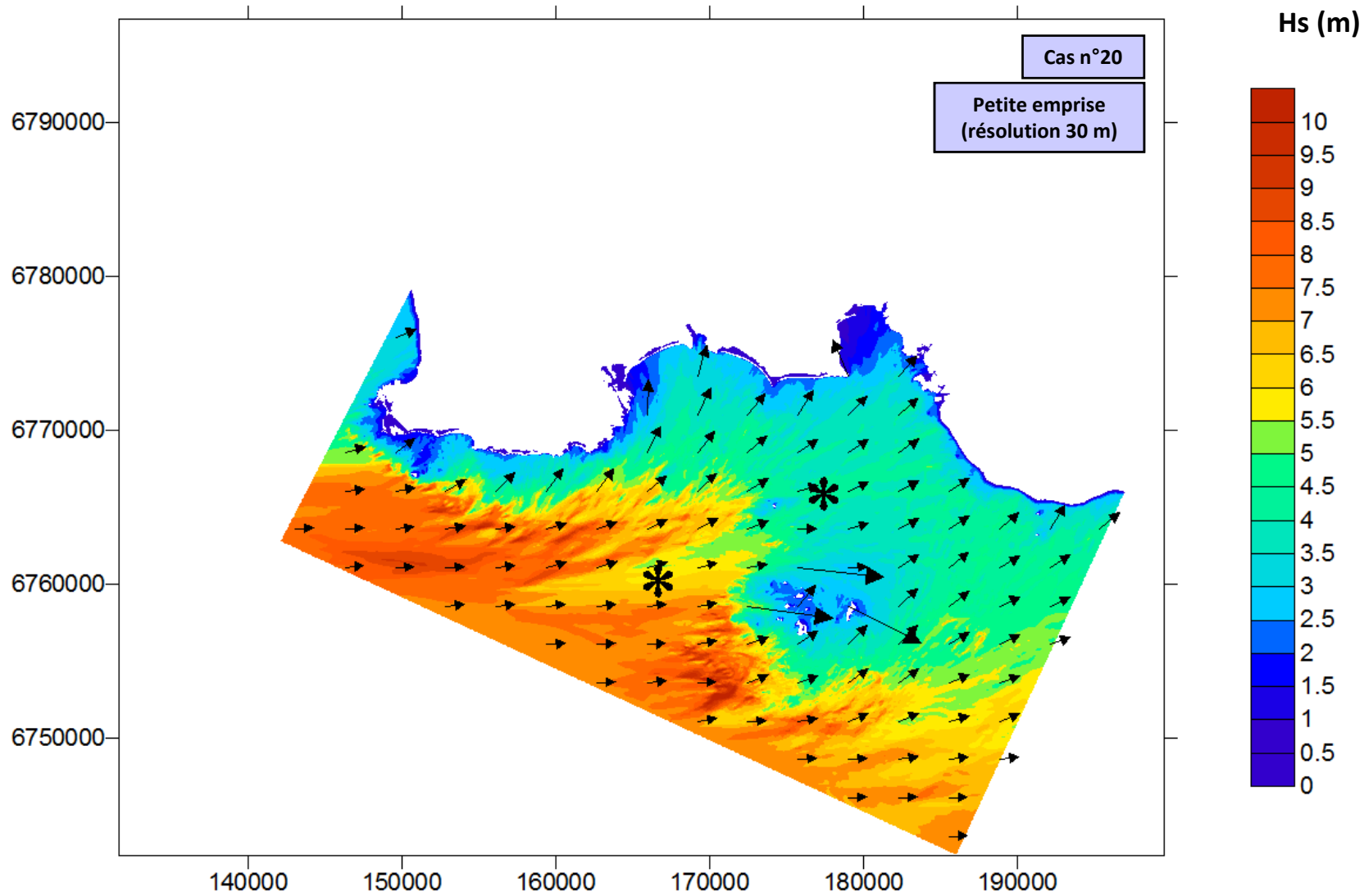
Modèle 1

Cas n°20 :

Hs = 9,50 m – Tp = 18 s

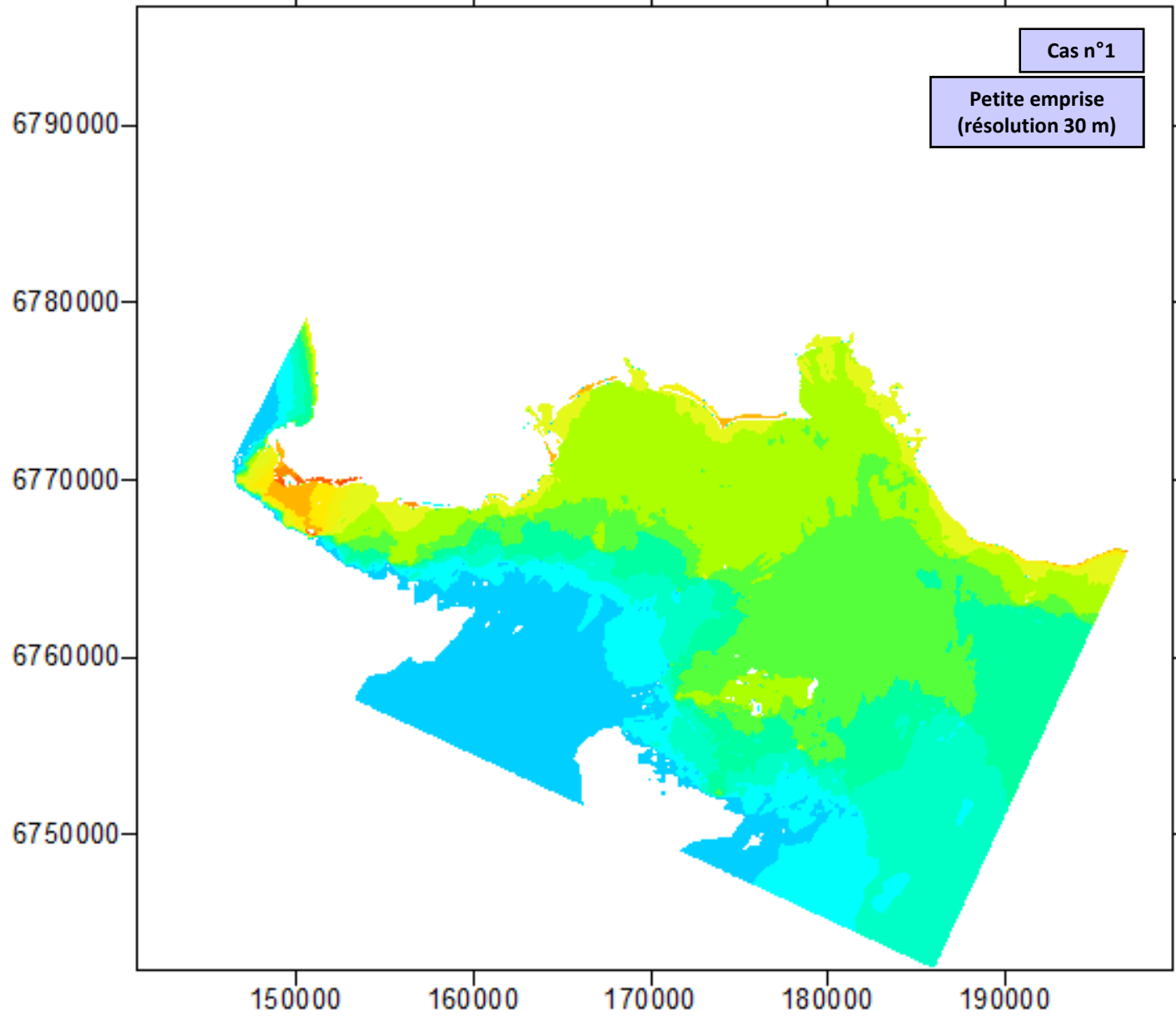
Niv = 4,05 m IGN

Dir = 285 °N

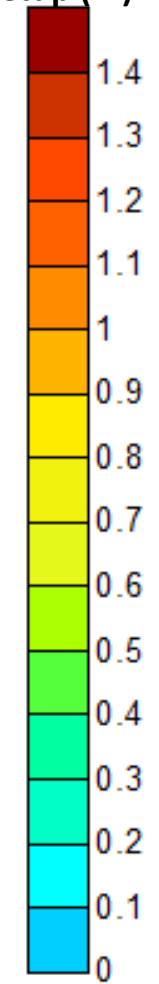


**Modèle 1**

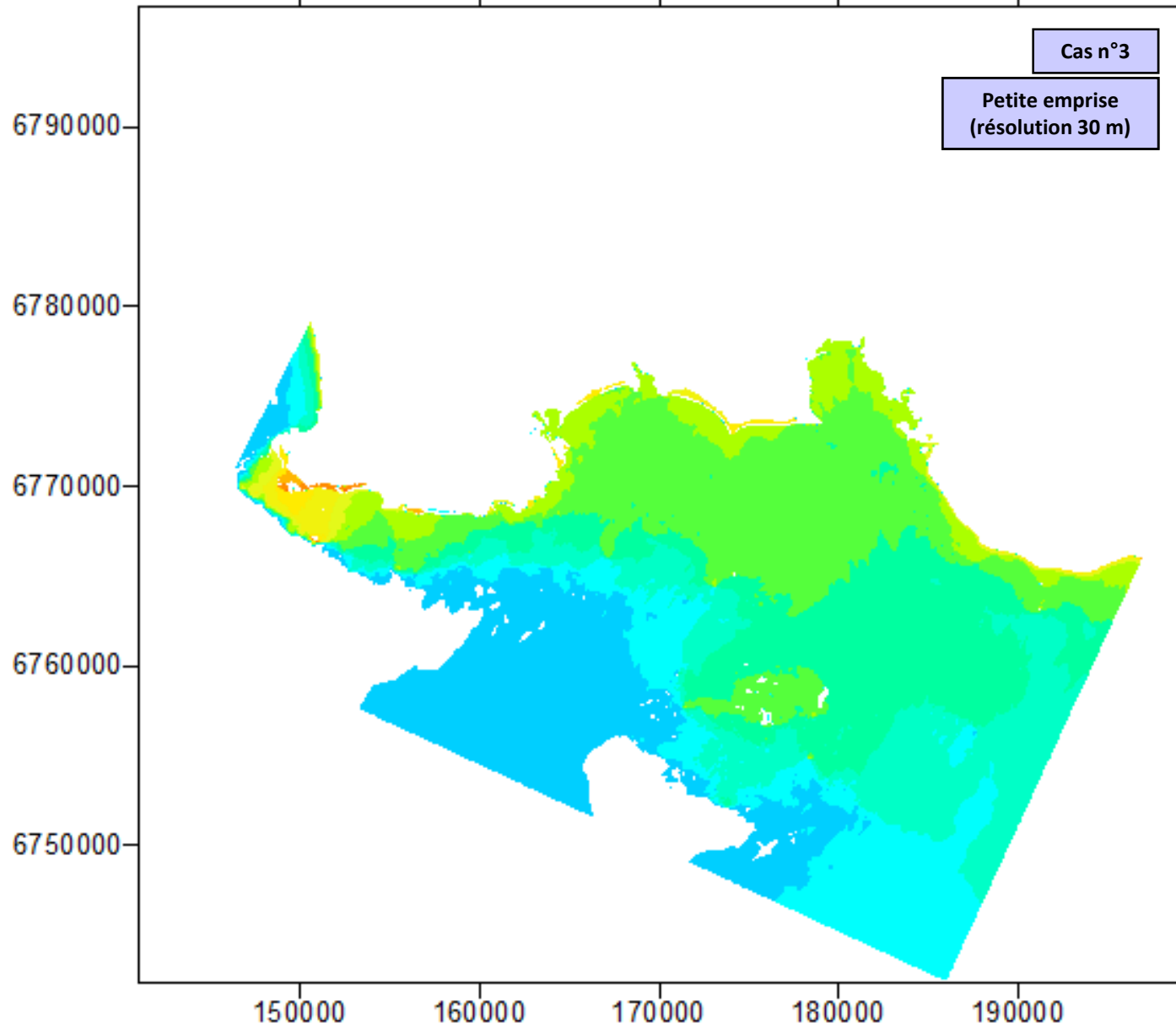
**Cas n°1 :**  
Hs = 14,97 m – Tp = 18 s  
Niv = 3,08 m IGN  
Dir = 225°N



**Setup (m)**



**Modèle 1**



Cas n°3

Petite emprise  
(résolution 30 m)

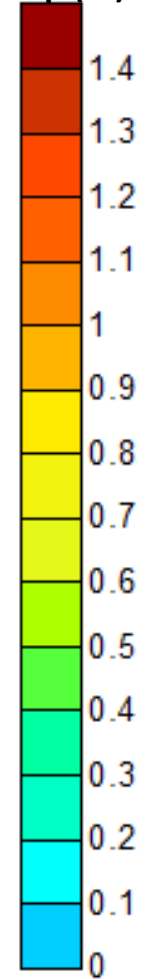
**Cas n°3 :**

Hs = 13,20 m – Tp = 18 s

Niv = 3,23 m IGN

Dir = 225°N

**Setup (m)**



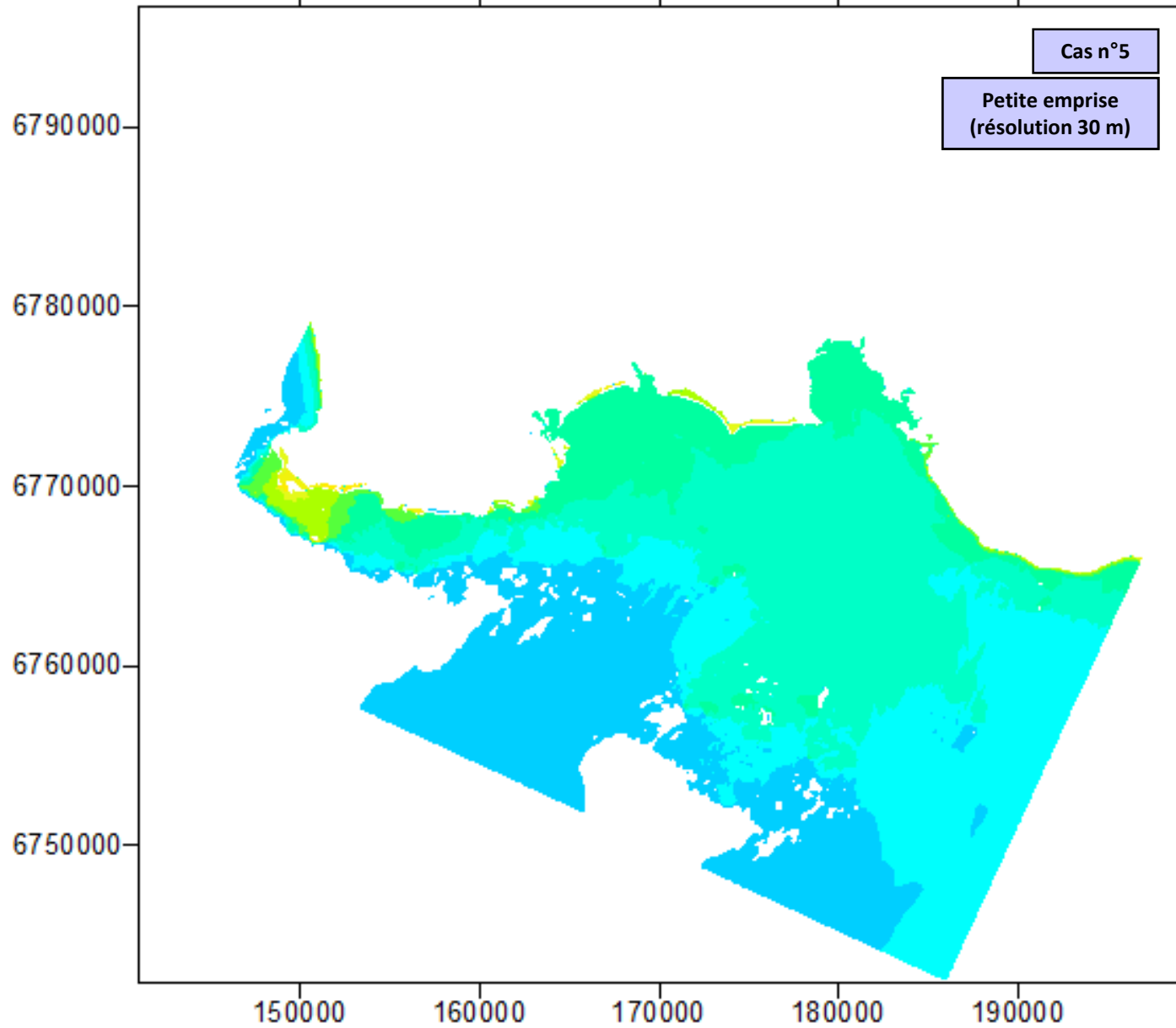
**Modèle 1**

**Cas n°5 :**

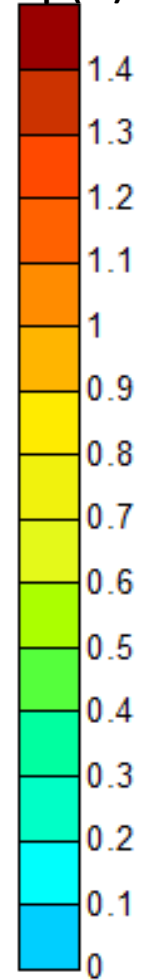
Hs = 11 m – Tp = 16 s

Niv = 3,37 m IGN

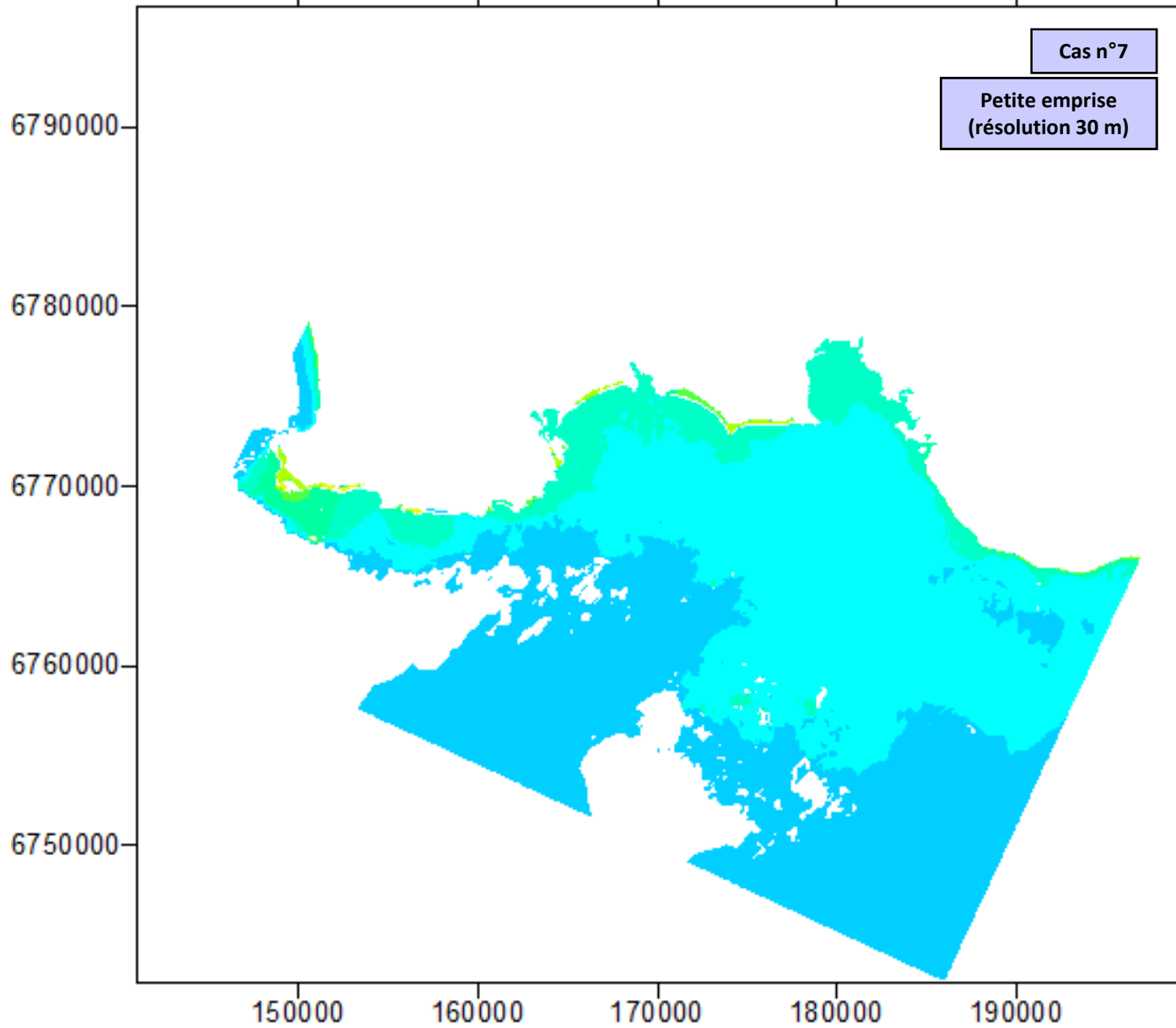
Dir = 225°N



**Setup (m)**

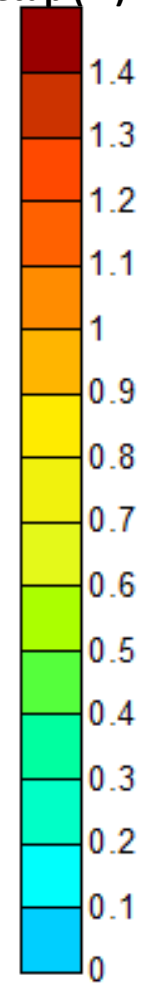


**Modèle 1**



**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 :

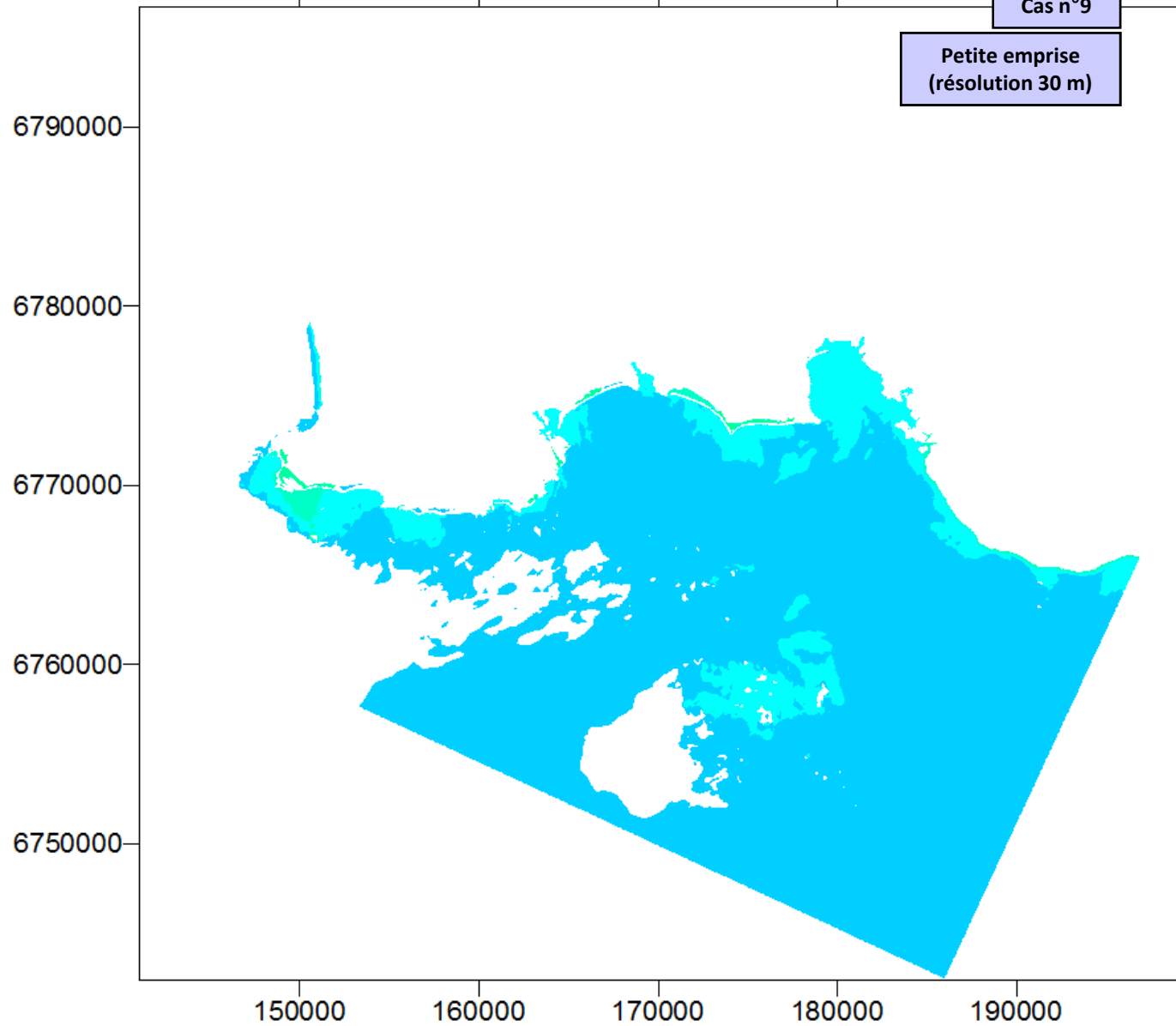
Hs = 6 m – Tp = 13 s

Niv = 3,65 m IGN

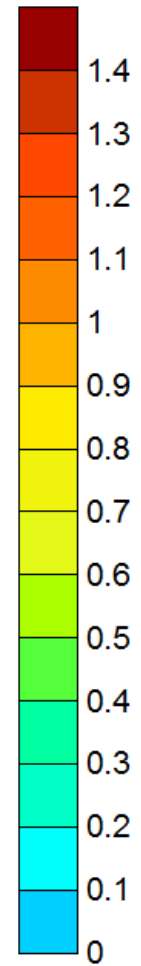
Dir = 225°N

Cas n°9

Petite emprise  
(résolution 30 m)



Setup (m)

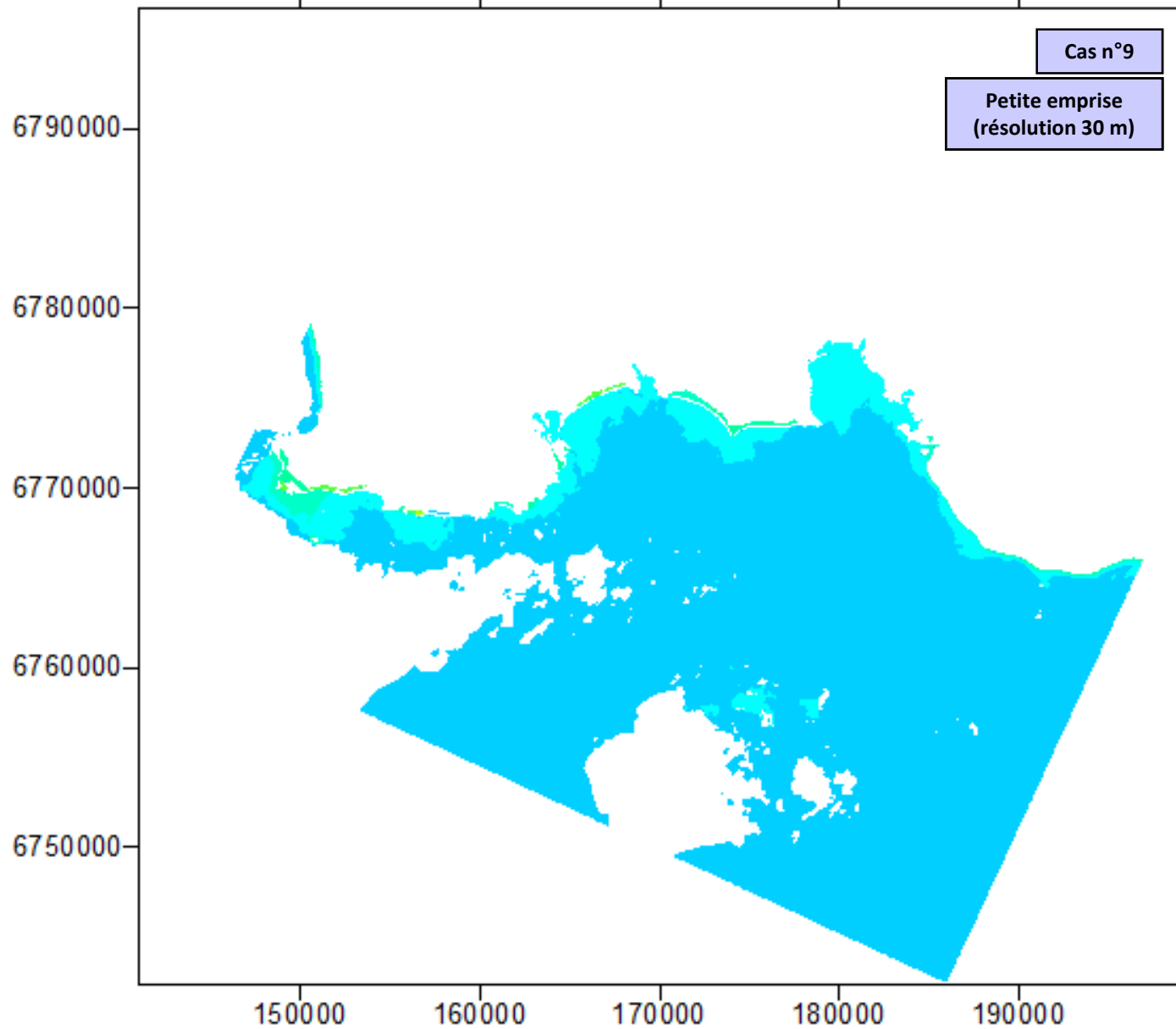




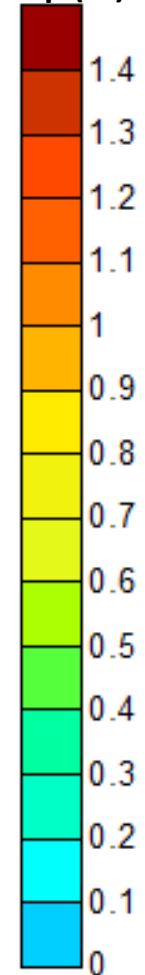
**Modèle 1**

**Cas n°9 :**

Hs = 6 m – Tp = 13 s  
Niv = 3,65 m IGN  
Dir = 225°N



**Setup (m)**



**Modèle 1**

Cas n°11

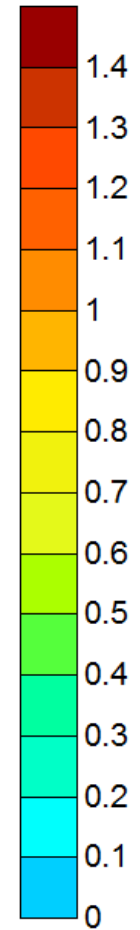
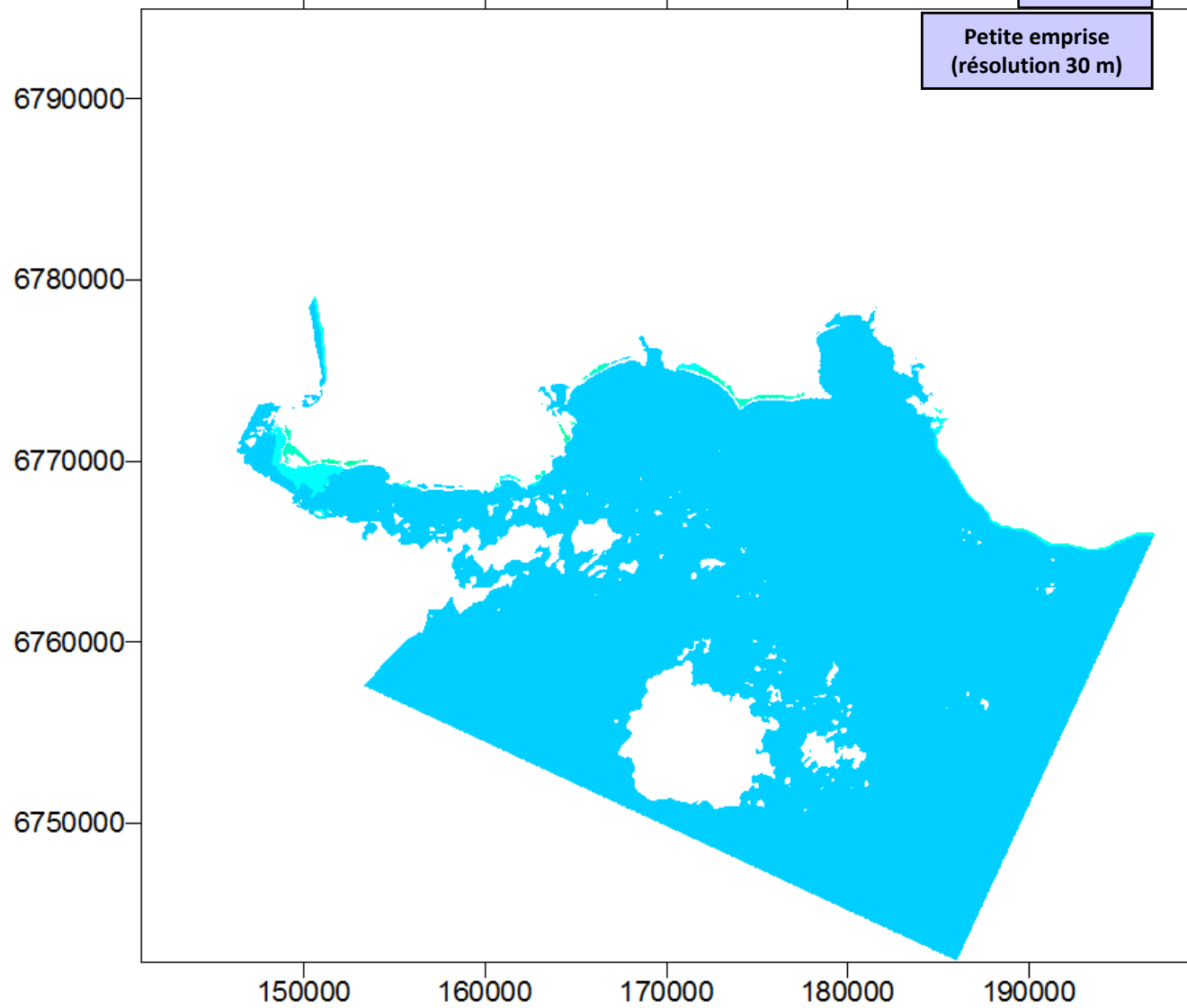
**Cas n°11 :**

Hs = 4,40 m – Tp = 10 s

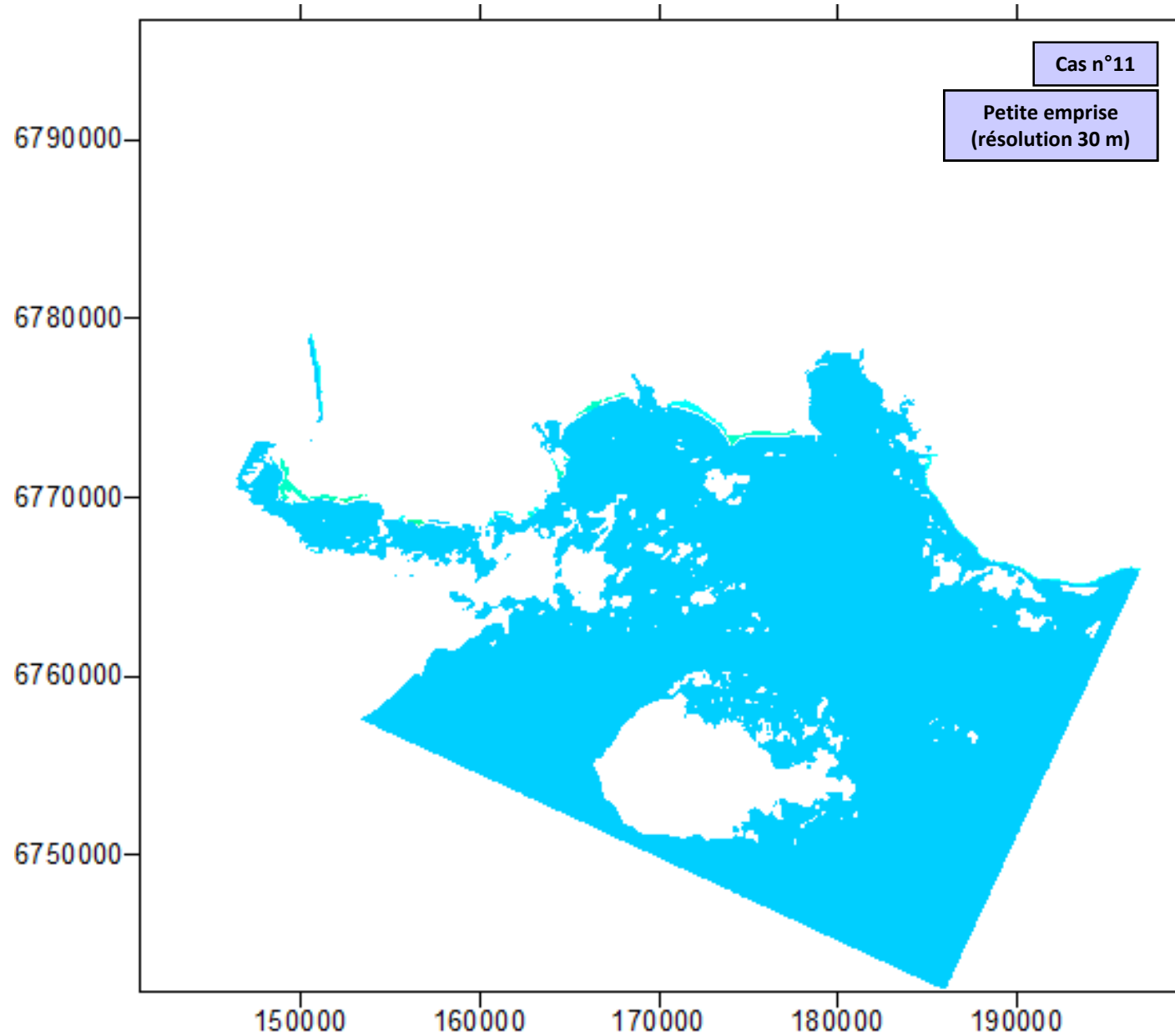
Niv = 3,80 m IGN

Dir = 225°N

**Setup (m)**

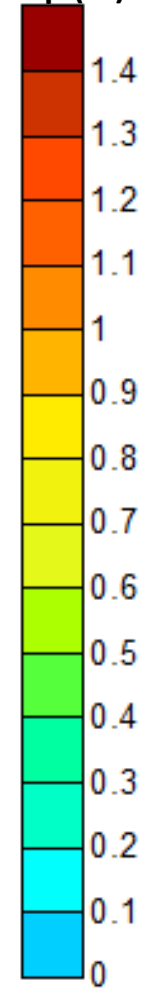


**Modèle 1**

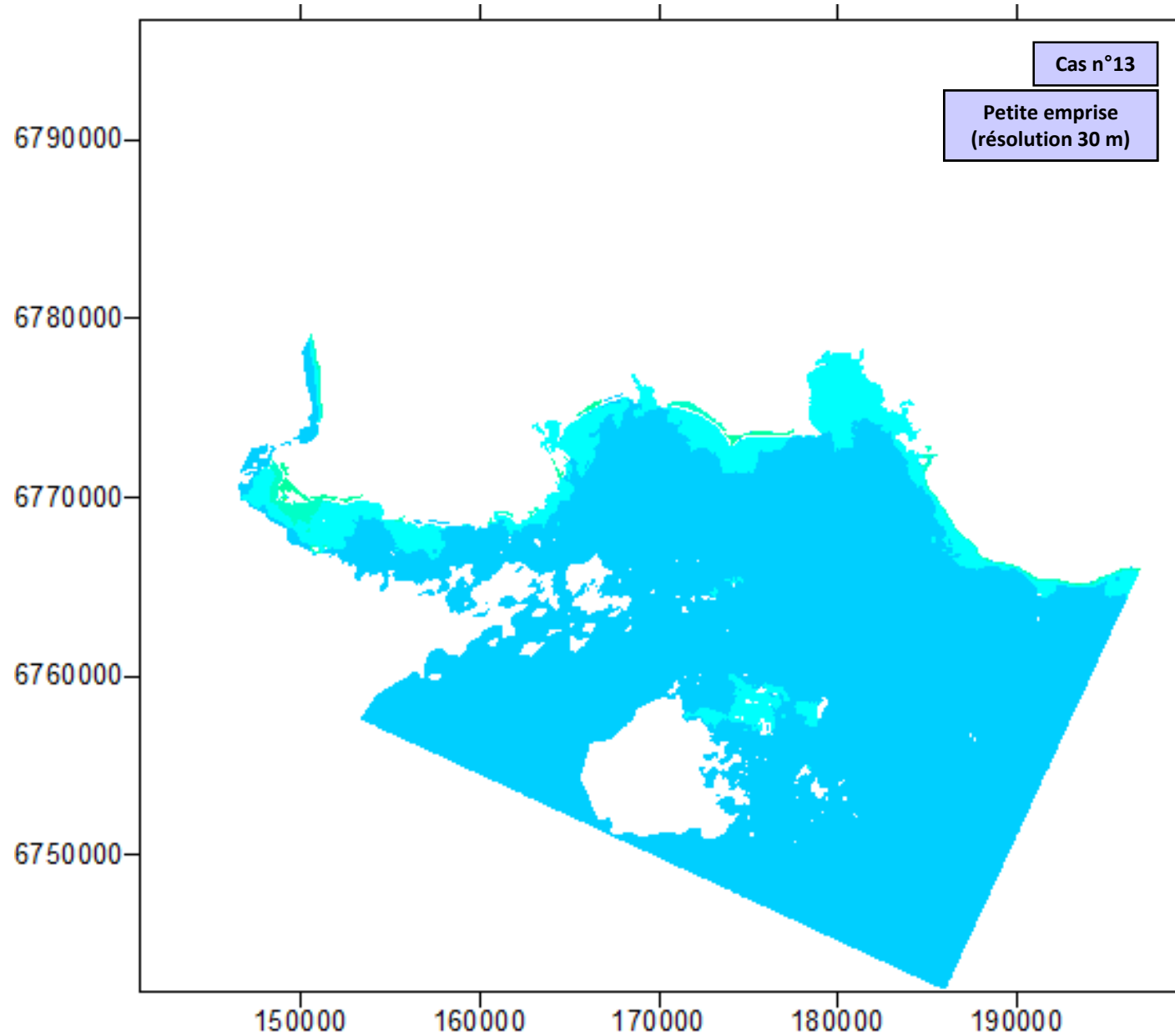


**Cas n°11 :**  
Hs = 2,50 m – Tp = 10 s  
Niv = 3,80 m IGN  
Dir = 225°N

**Setup (m)**

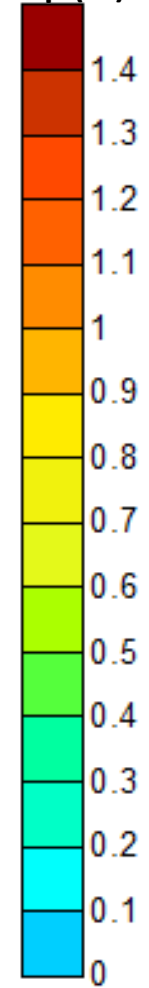


**Modèle 1**

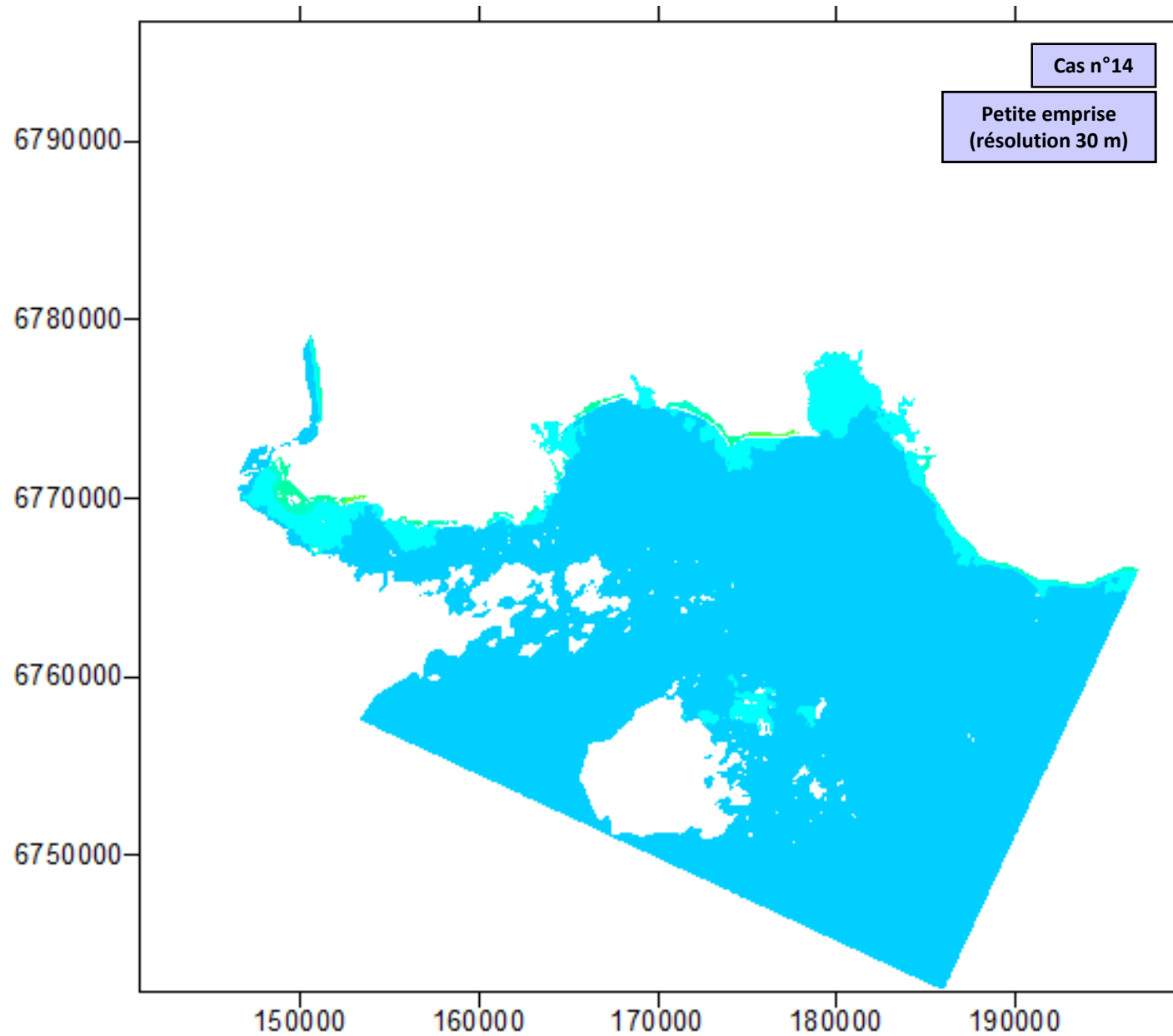


**Cas n°13 :**  
Hs = 7,00 m – Tp = 11,5 s  
Niv = 3,78 m IGN  
Dir = 240°N

**Setup (m)**



**Modèle 1**

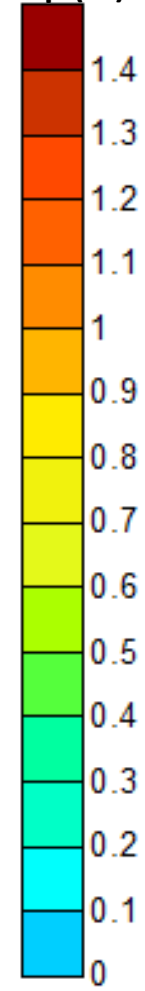


Cas n°14

Petite emprise  
(résolution 30 m)

**Cas n°14 :**  
Hs = 7,00 m – Tp = 11,5 s  
Niv = 4,28 m IGN  
Dir = 240°N

**Setup (m)**



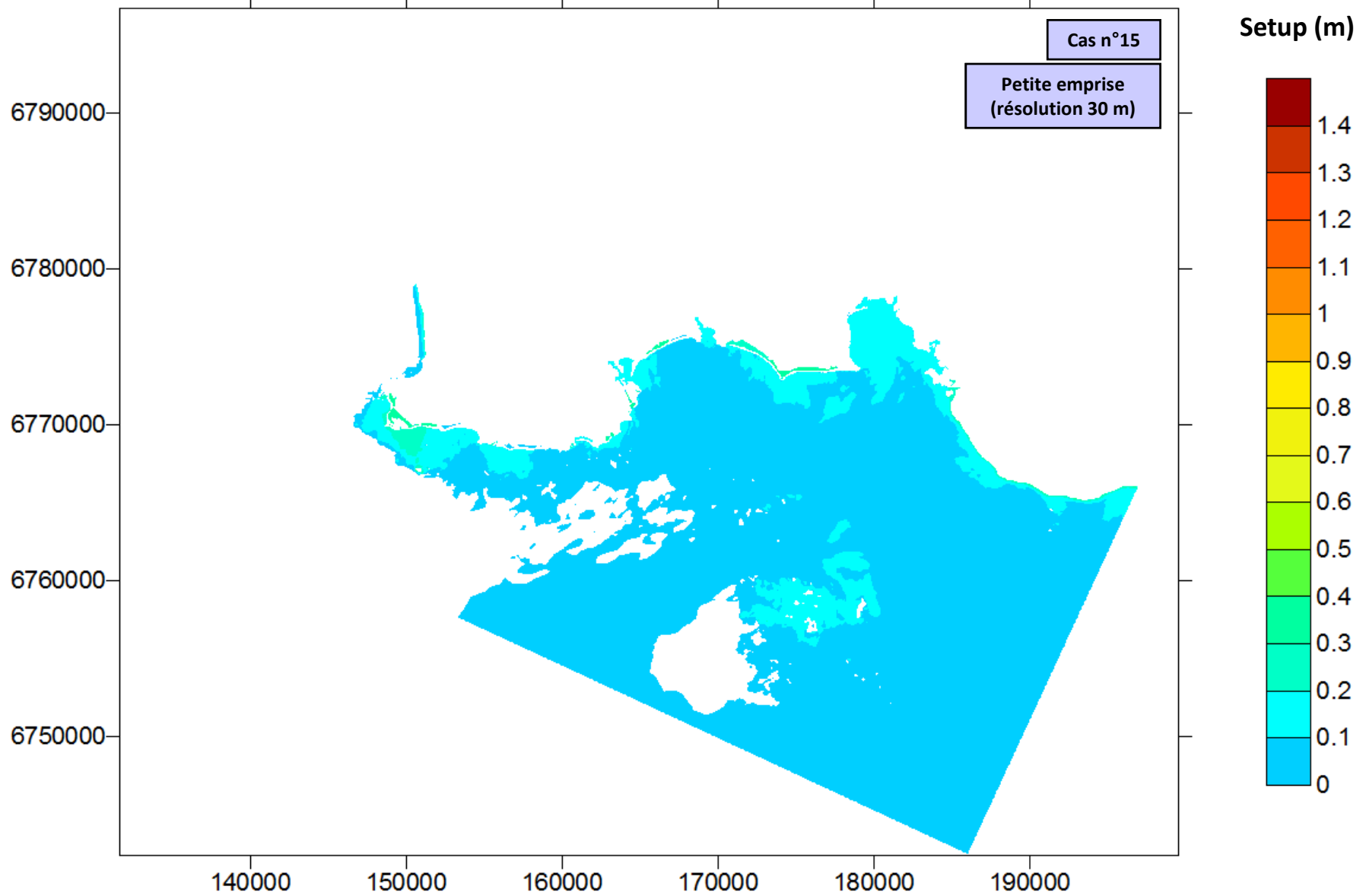
**Modèle 1**

**Cas n°15 :**

Hs = 8,36 m – Tp = 15 s

Niv = 3,67 m IGN

Dir = 270 °N



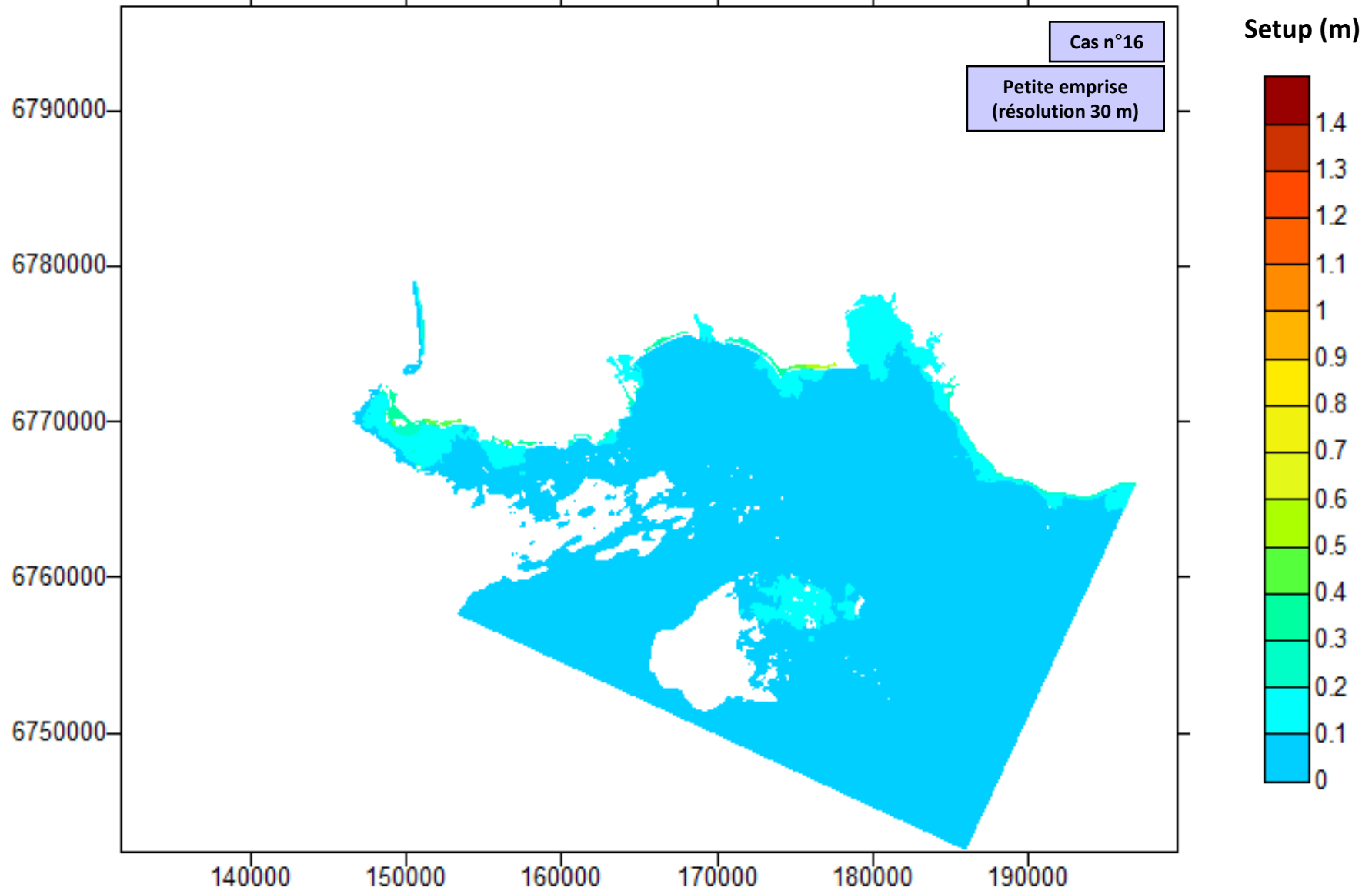
Modèle 1

**Cas n°16 :**

Hs = 8,36 m – Tp = 15 s

Niv = 4,17 m IGN

Dir = 270 °N



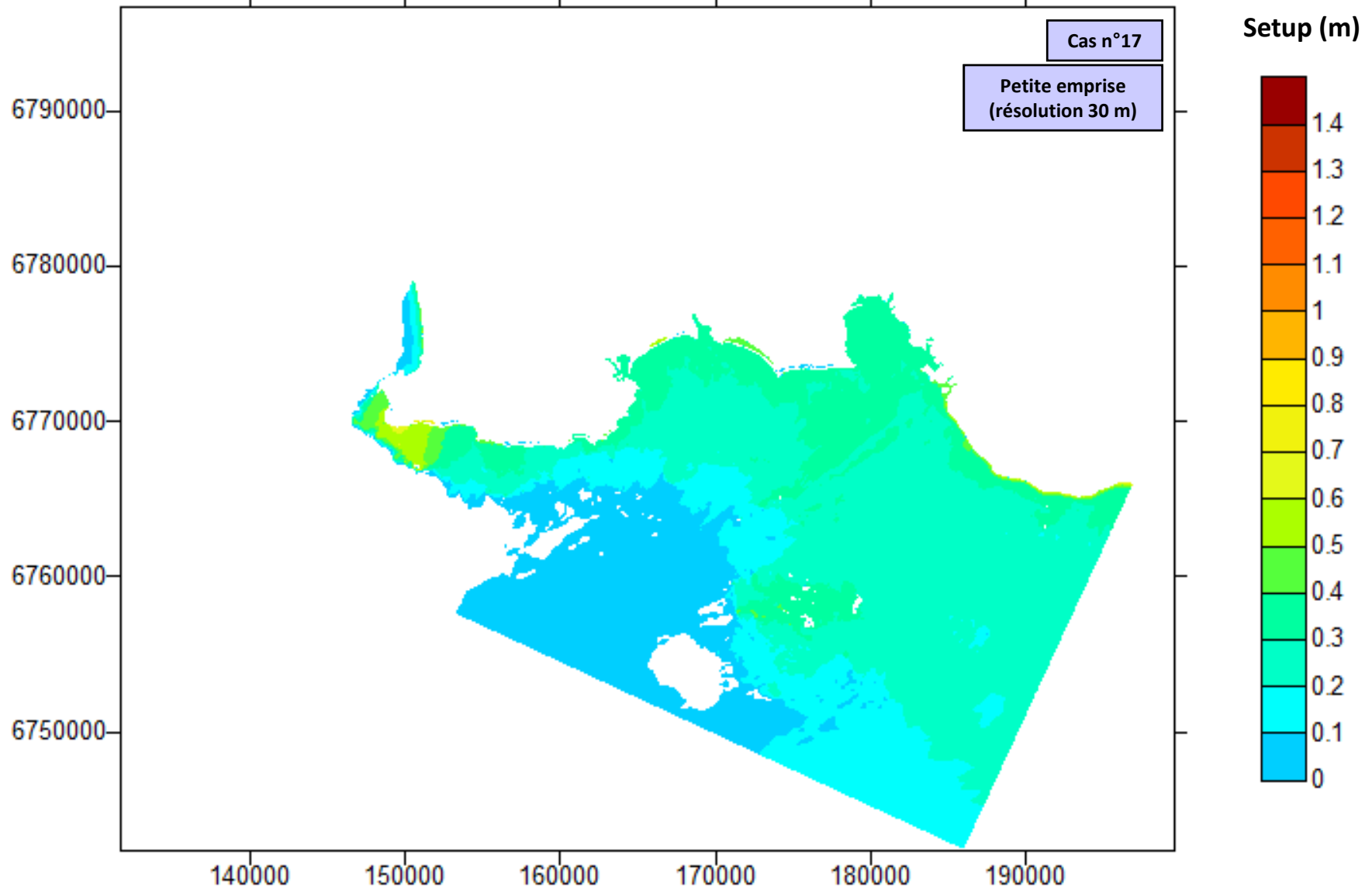
Modèle 1

**Cas n°17 :**

Hs = 12,87 m – Tp = 17 s

Niv = 3,00 m IGN

Dir = 260 °N





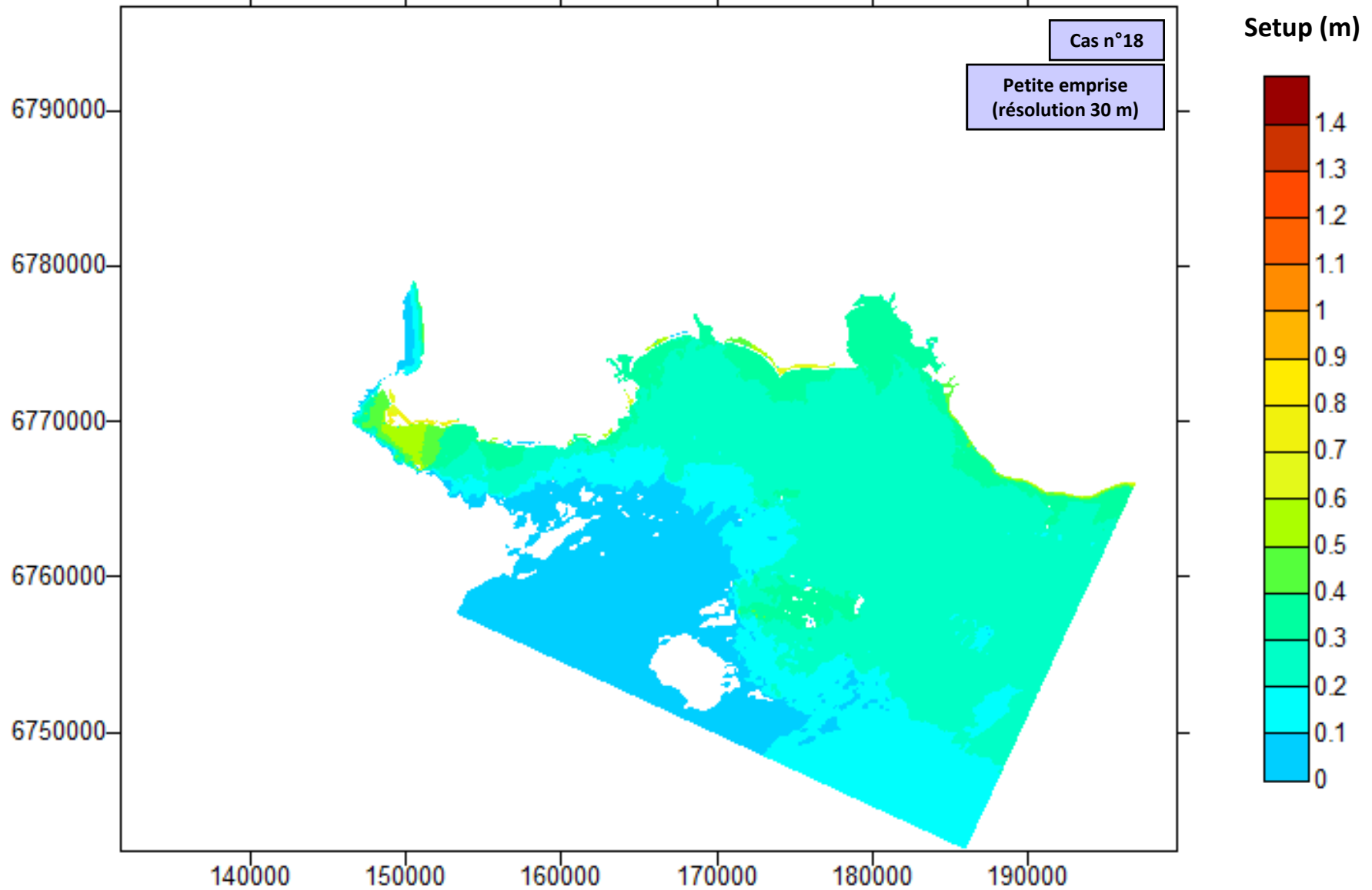
Modèle 1

**Cas n°18 :**

Hs = 12,87 m – Tp = 17 s

Niv = 3,50 m IGN

Dir = 260 °N



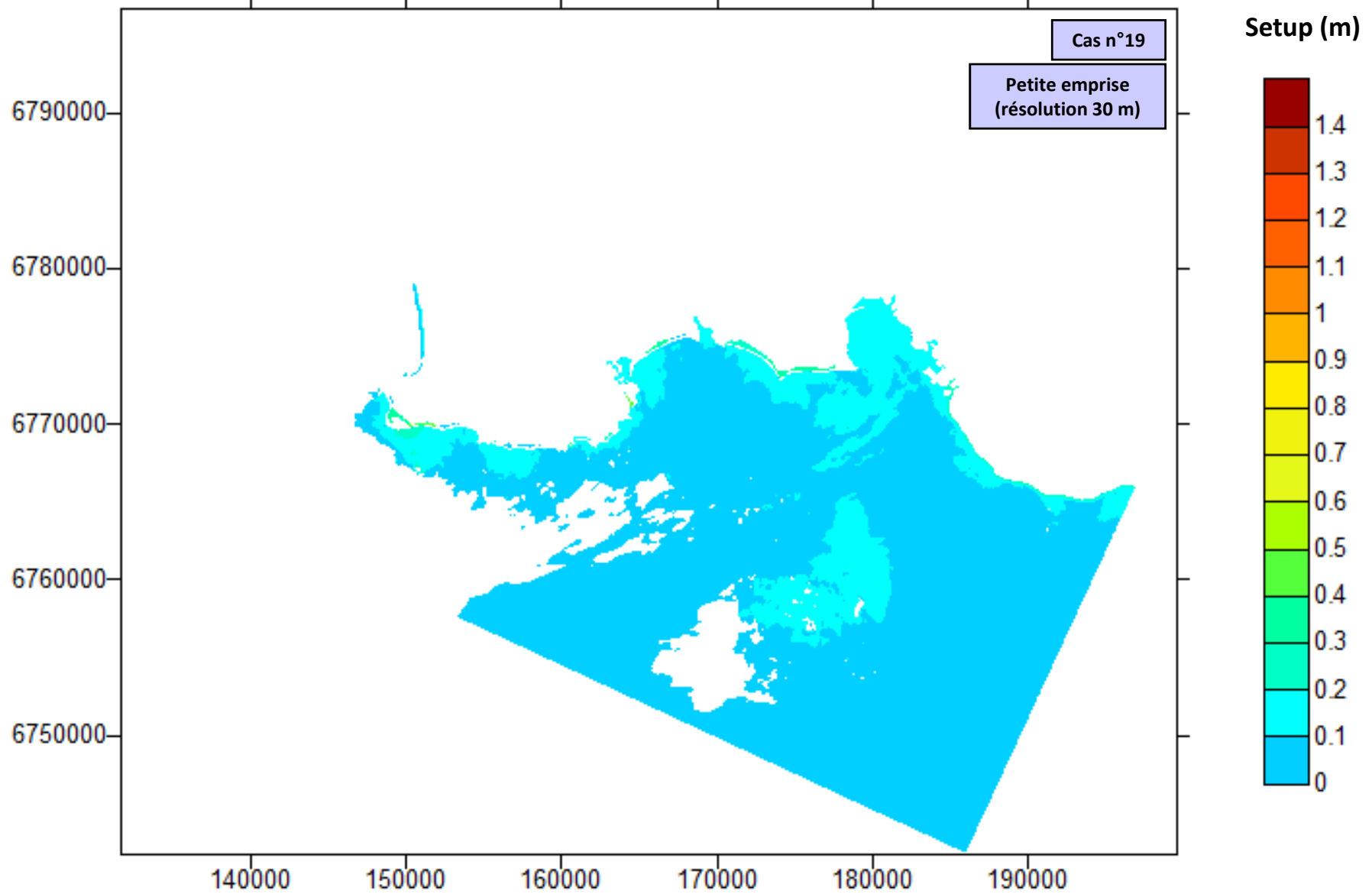
Modèle 1

**Cas n°19 :**

Hs = 9,50 m – Tp = 18 s

Niv = 3,55 m IGN

Dir = 285 °N



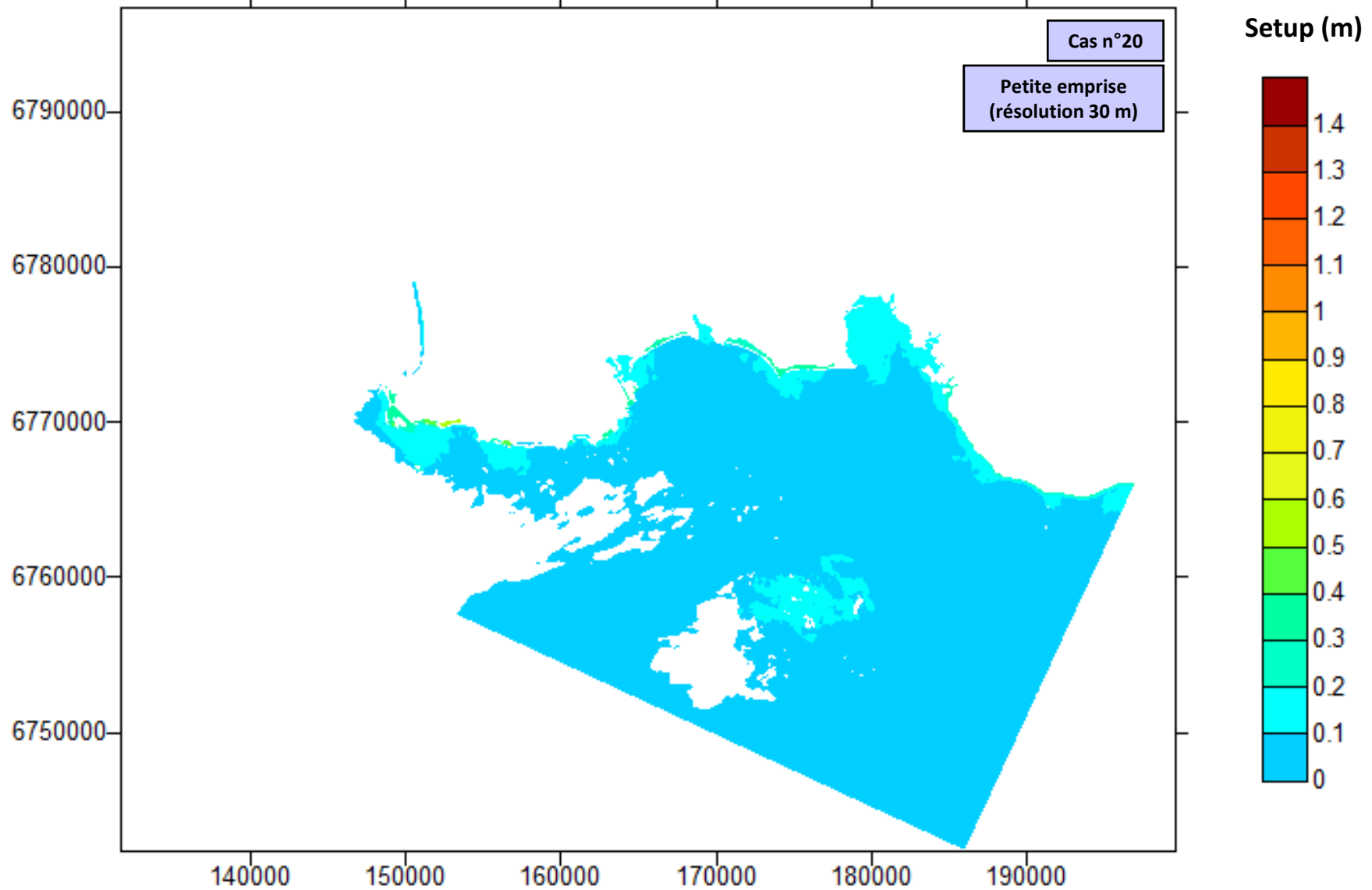
Modèle 1

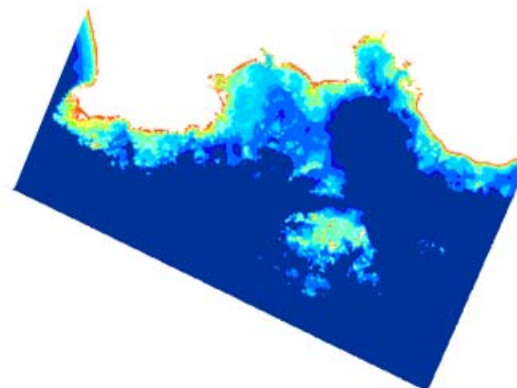
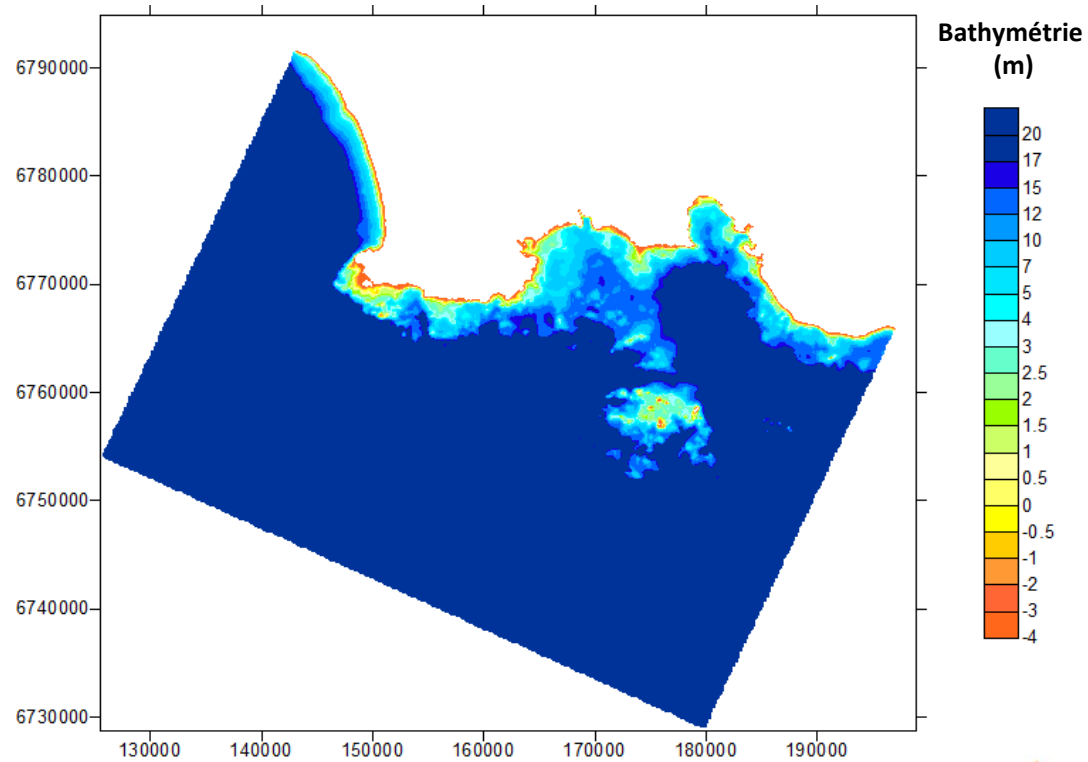
**Cas n°20 :**

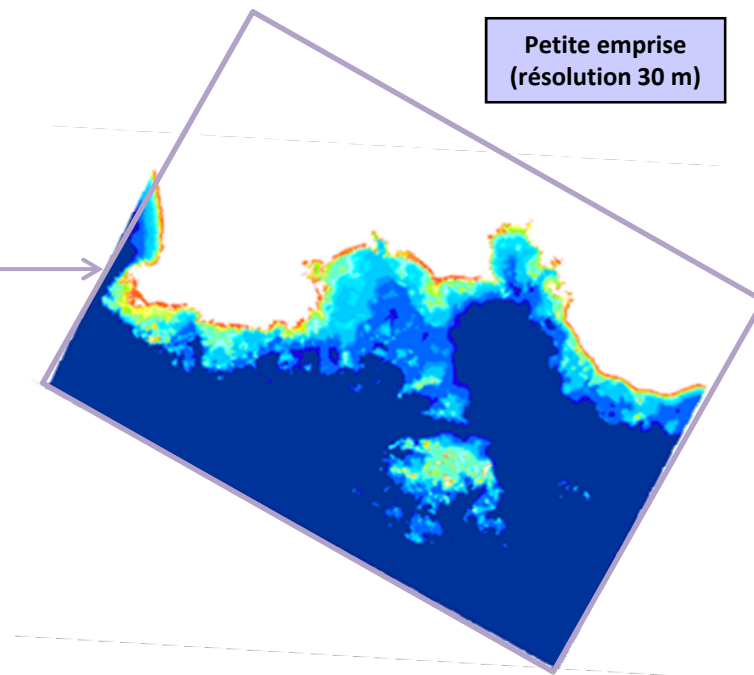
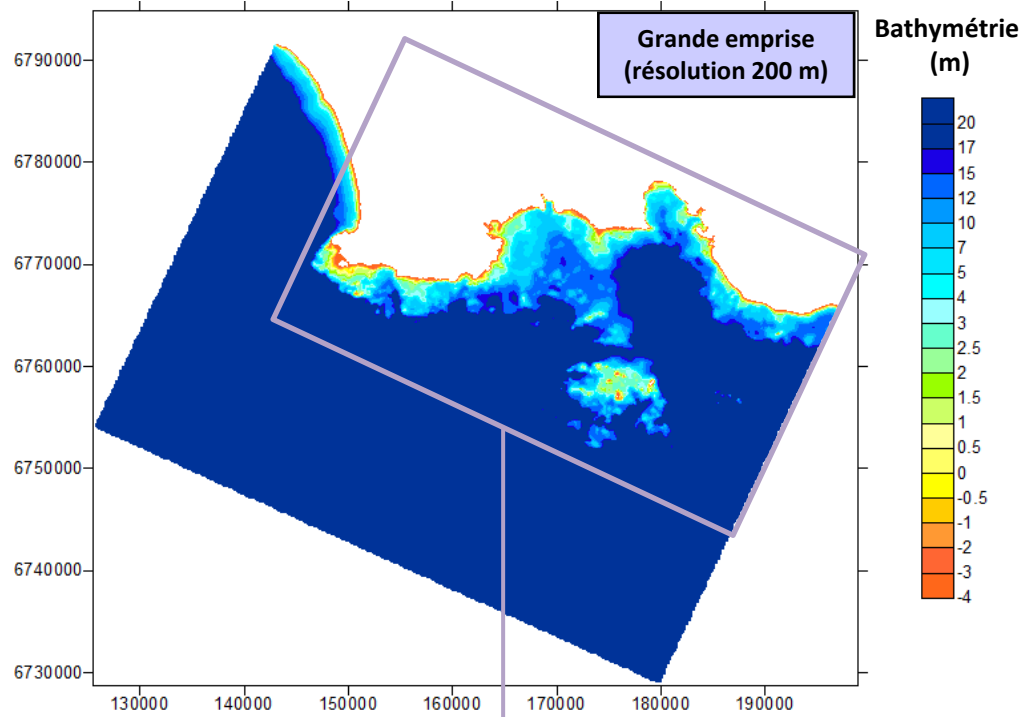
Hs = 9,50 m – Tp = 18 s

Niv = 4,05 m IGN

Dir = 285 °N

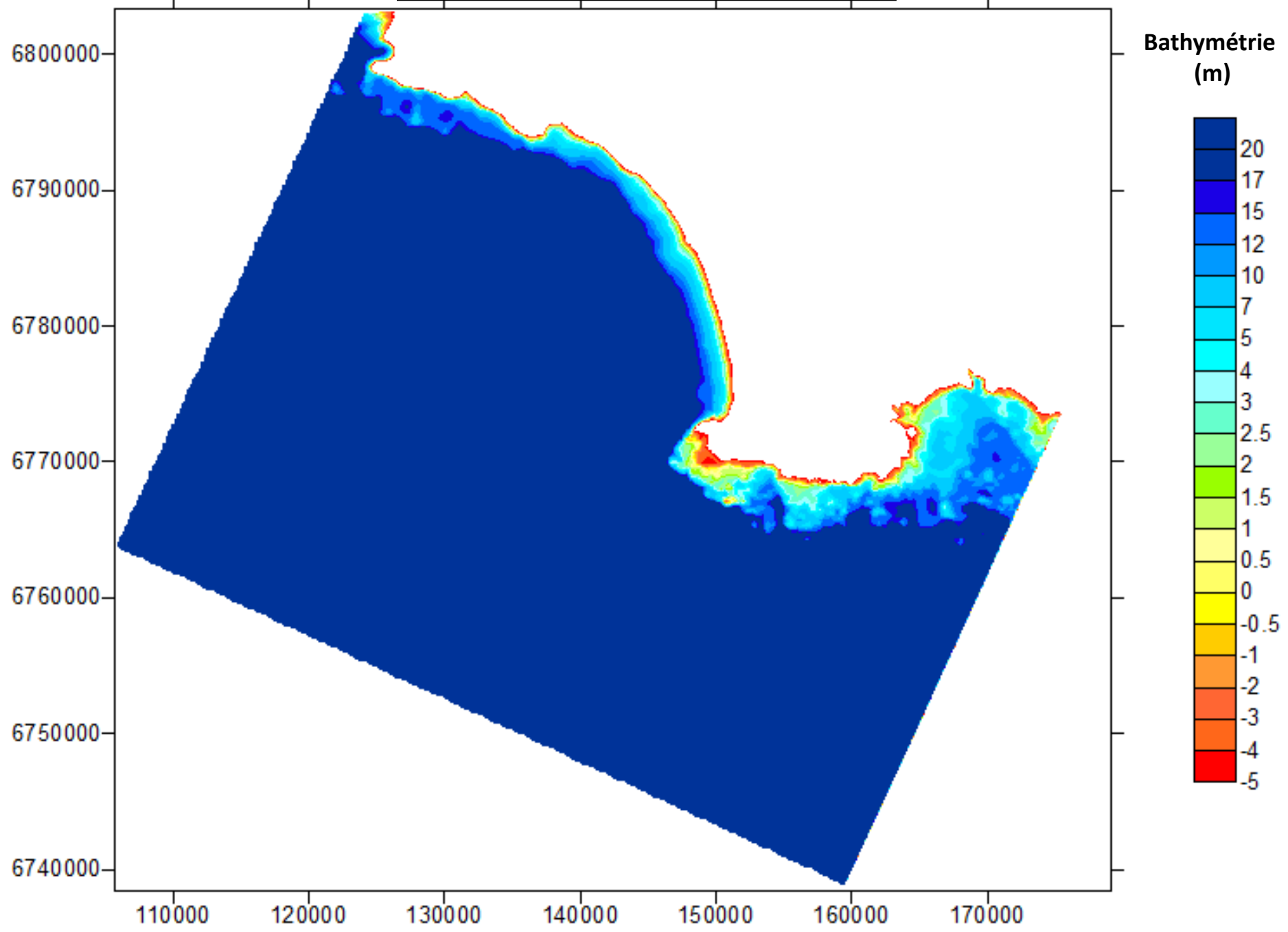






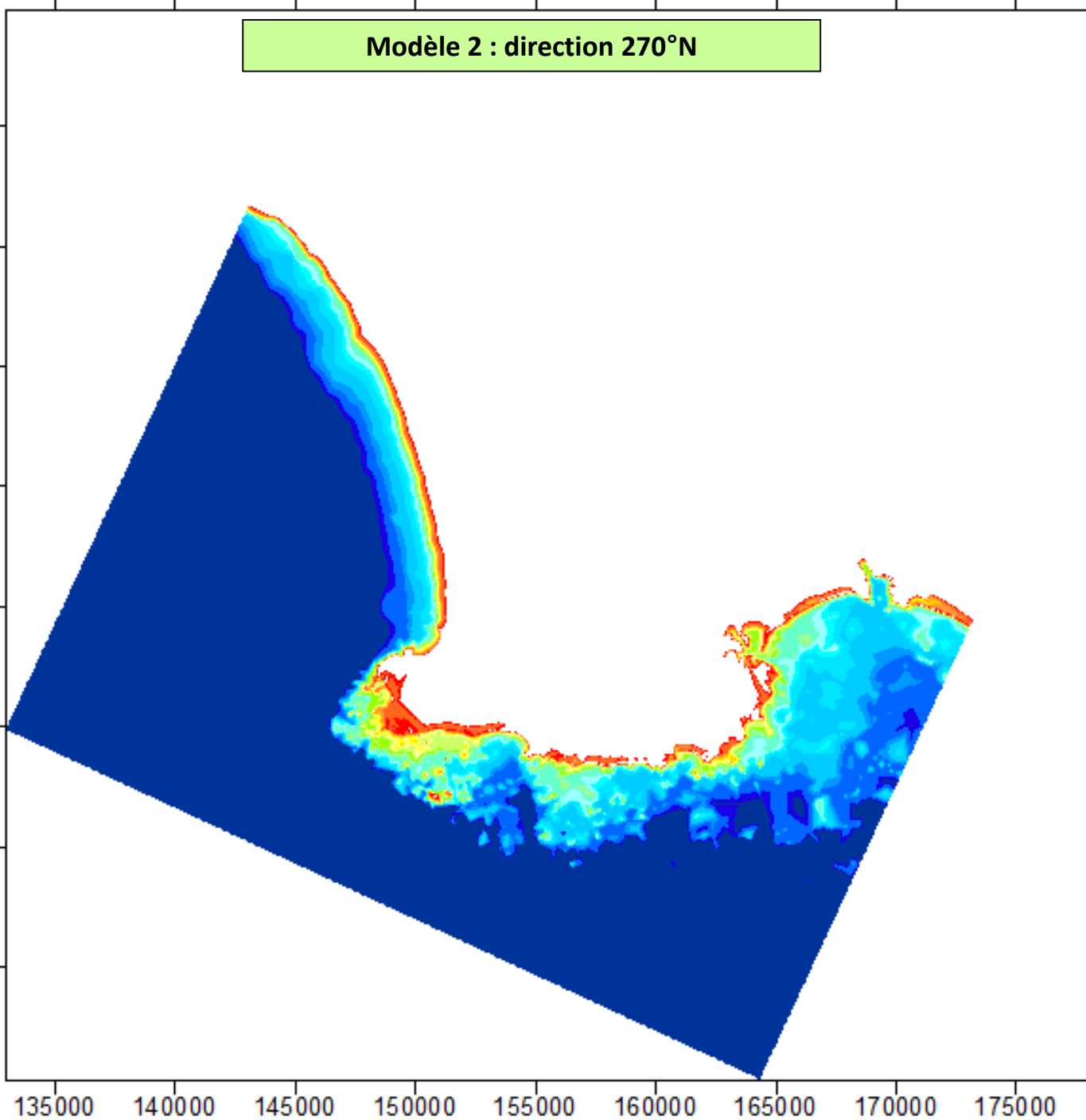
## **Annexe 4 : Résultats modélisations SWAN – Modèle n°2**

Modèle 2 : direction 270°N

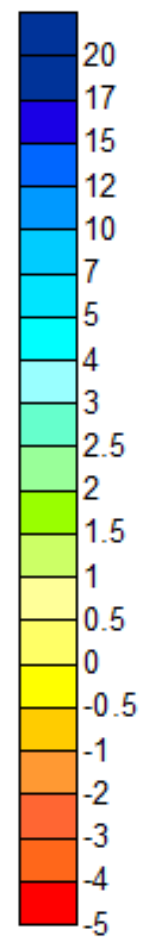


Modèle 2 : direction 270°N

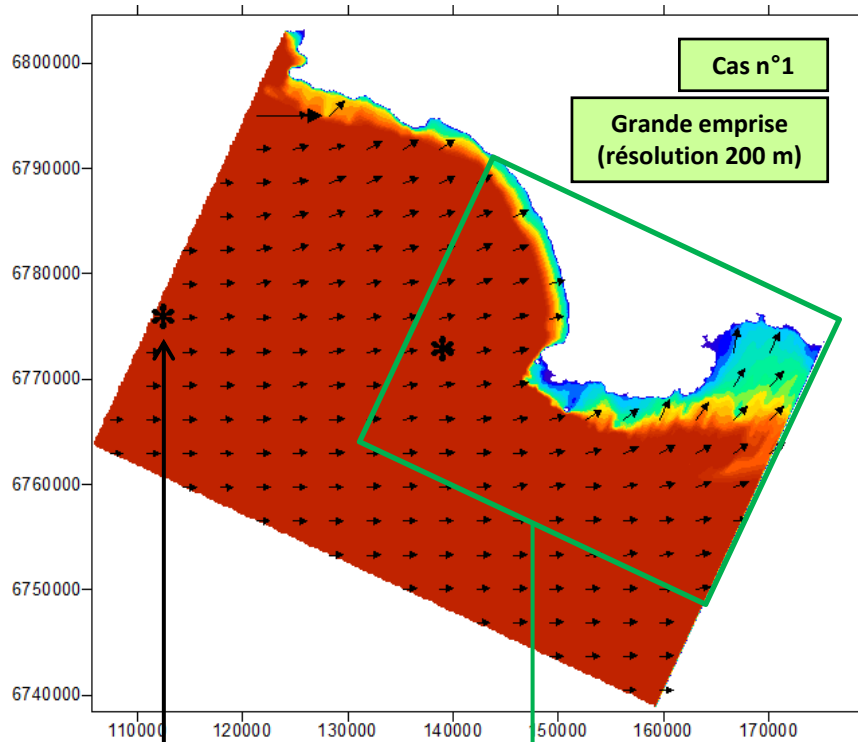
6795000  
6790000  
6785000  
6780000  
6775000  
6770000  
6765000  
6760000



Bathymétrie  
(m)

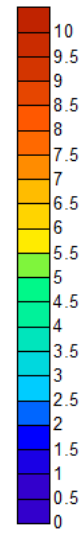






Cas n°1  
Grande emprise  
(résolution 200 m)

Hs (m)

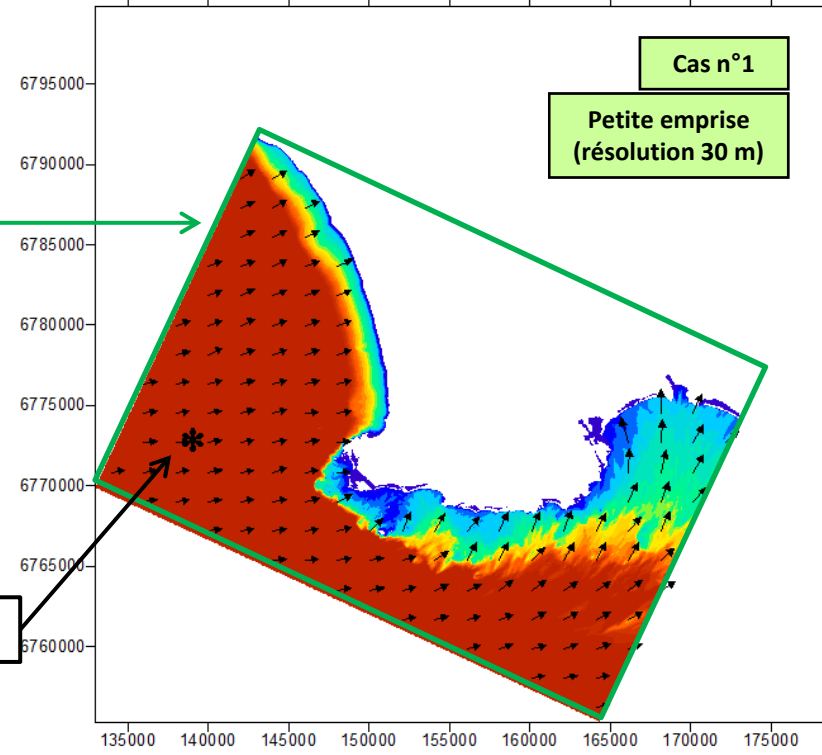


**Cas n°1 :**  
Hs = 16,37 m – Tp = 18 s  
Niv = 3,17 m IGN  
Dir = 270°N

ANEMOC 1232

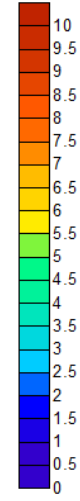
Modèle 2 : direction 270°N

ANEMOC 1176



Cas n°1  
Petite emprise  
(résolution 30 m)

Hs (m)



Modèle 2

Cas n°3 :

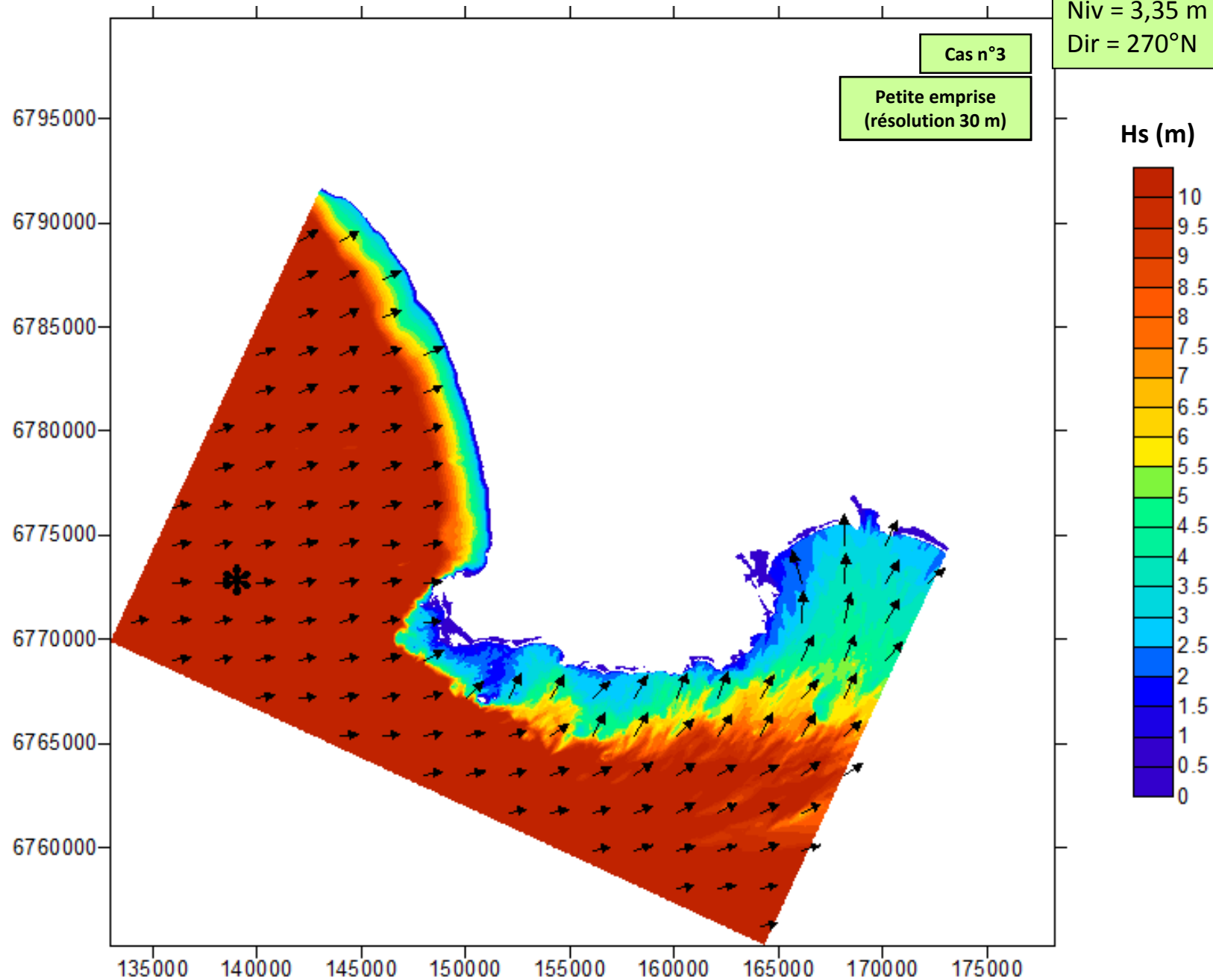
Hs = 14,80 m – Tp = 18 s

Niv = 3,35 m IGN

Dir = 270°N

Cas n°3

Petite emprise  
(résolution 30 m)



Modèle 2

Cas n°5 :

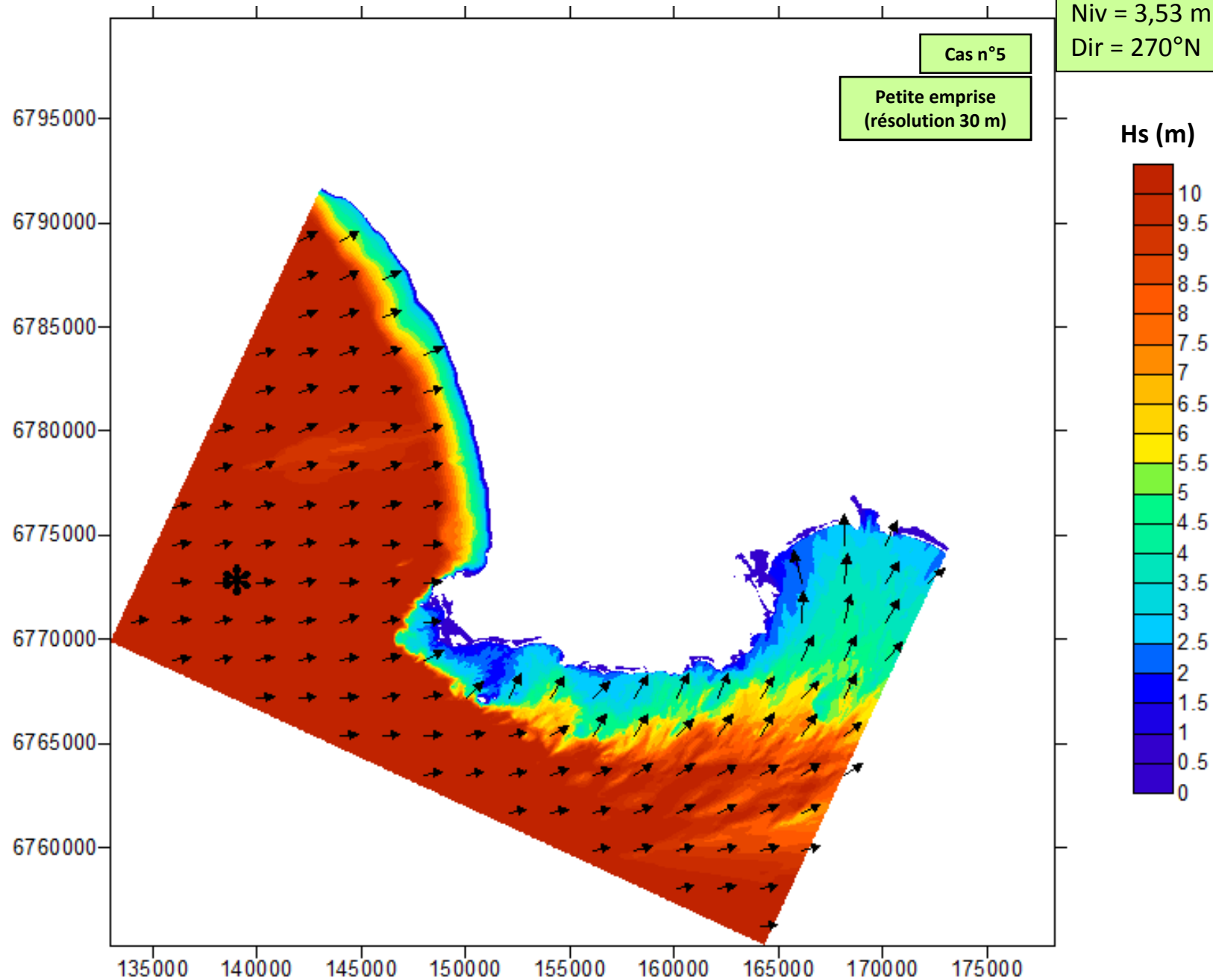
Hs = 12,50 m – Tp = 17 s

Niv = 3,53 m IGN

Dir = 270°N

Cas n°5

Petite emprise  
(résolution 30 m)



Modèle 2

Cas n°7 :

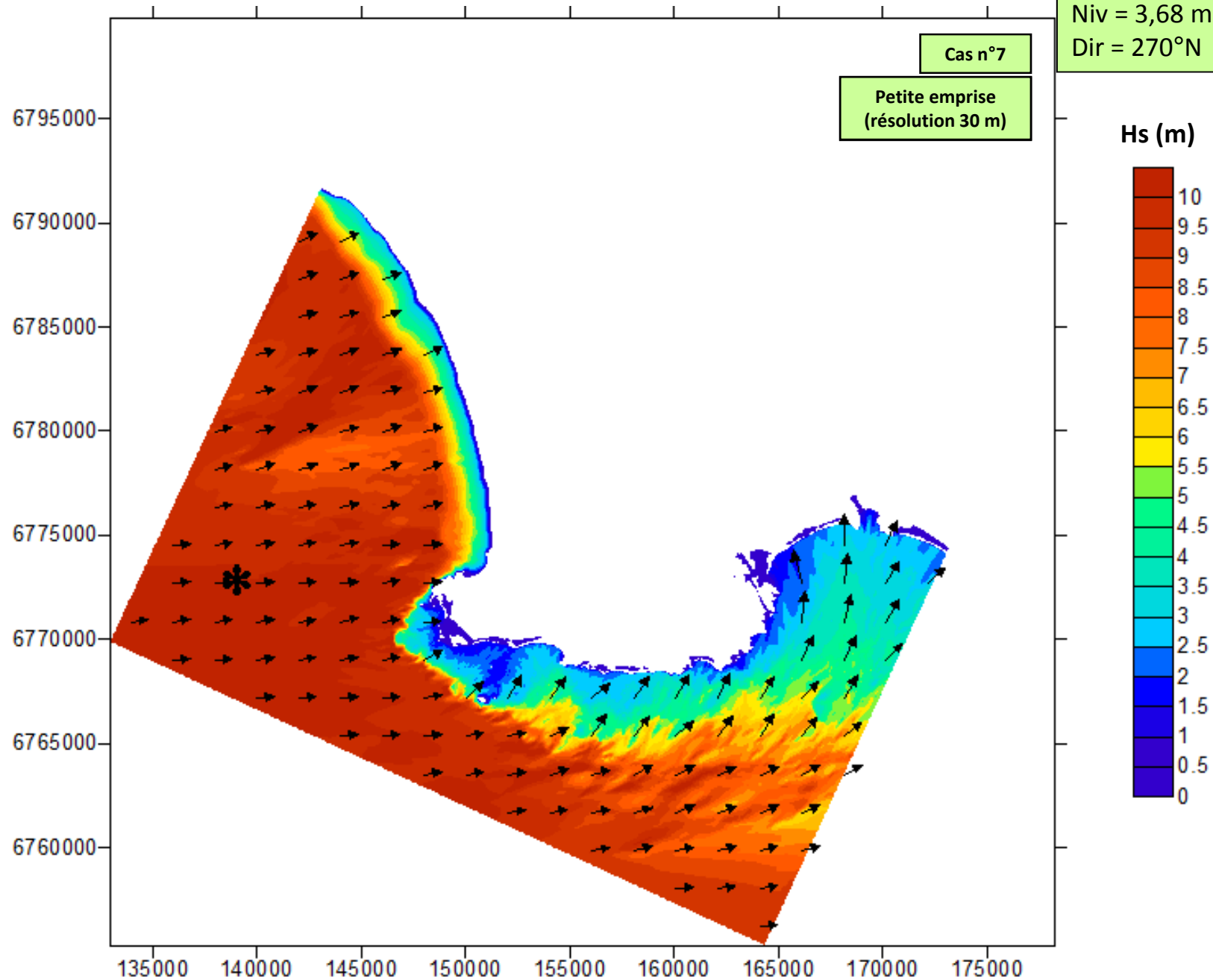
Hs = 10,40 m – Tp = 16 s

Niv = 3,68 m IGN

Dir = 270°N

Cas n°7

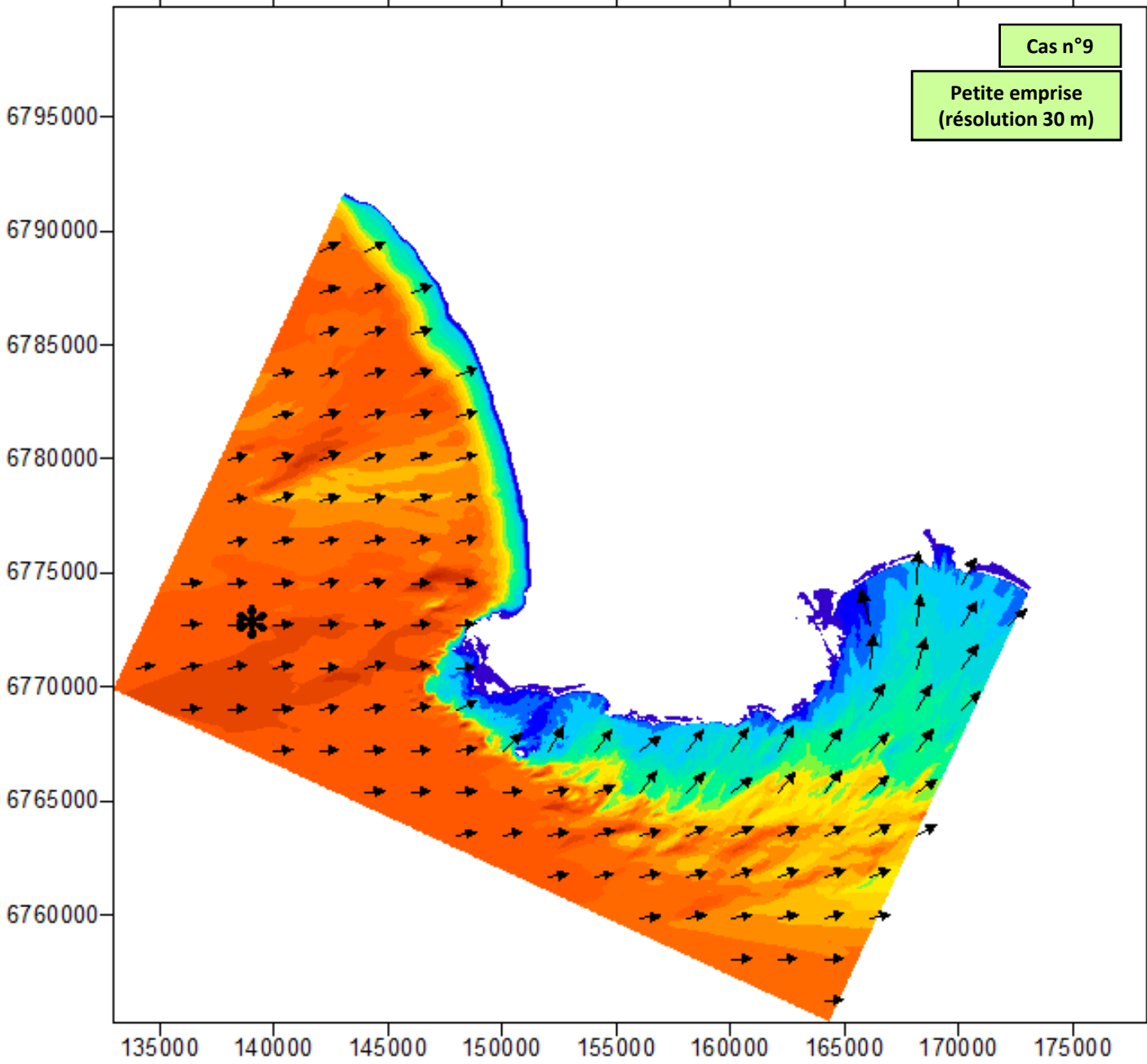
Petite emprise  
(résolution 30 m)



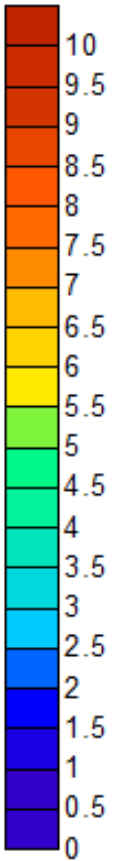
**Modèle 2**

**Cas n°9 :**  
Hs = 8 m – Tp = 15 s  
Niv = 3,85 m IGN  
Dir = 270°N

Cas n°9  
Petite emprise  
(résolution 30 m)



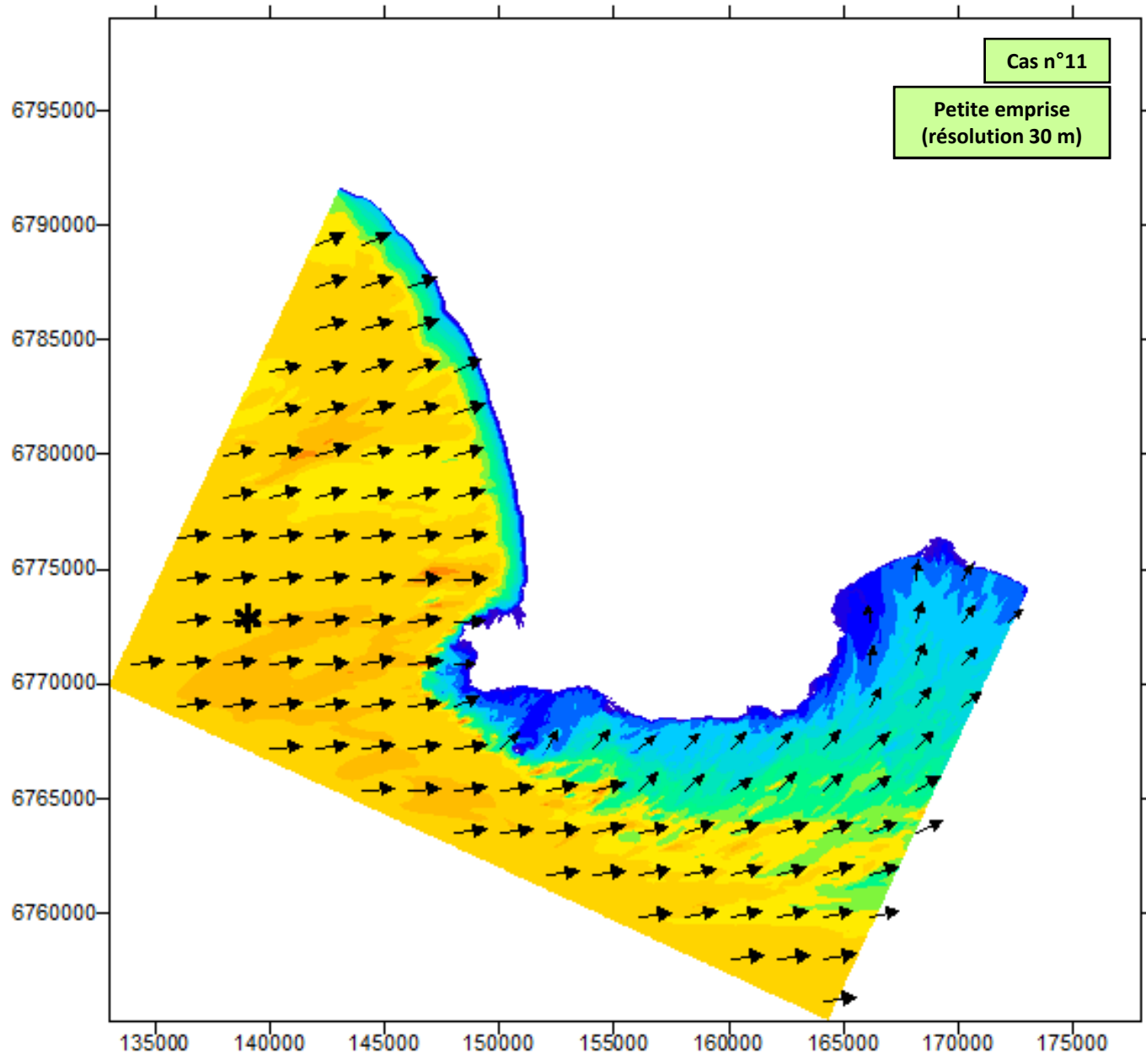
**Hs (m)**



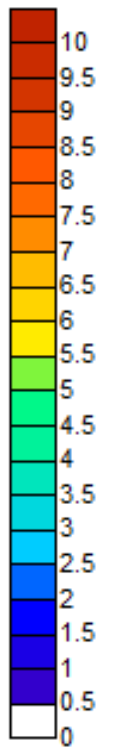
**Modèle 2**

**Cas n°11 :**  
Hs = 6,0 m – Tp = 13 s  
Niv = 4,05 m IGN  
Dir = 270°N

Cas n°11  
Petite emprise  
(résolution 30 m)



Hs (m)

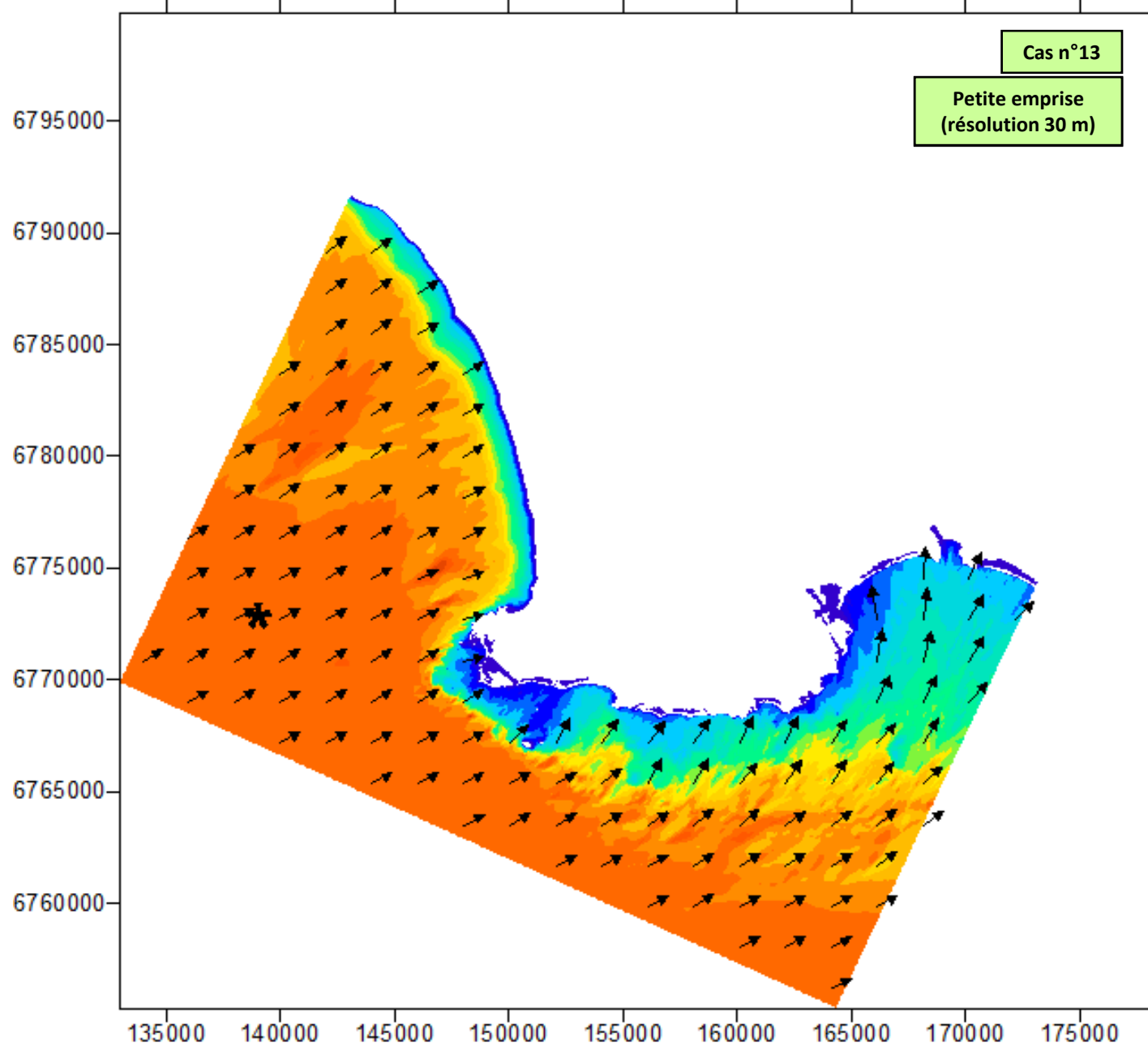


Modèle 2

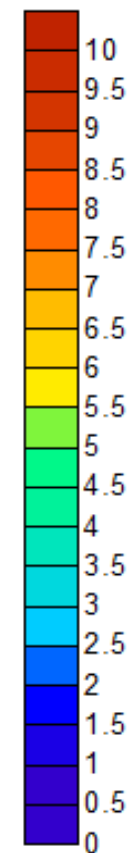
**Cas n°13 :**  
Hs = 7,00 m – Tp = 11,5s  
Niv = 3,78 m IGN  
Dir = 240°N

Cas n°13

Petite emprise  
(résolution 30 m)



Hs (m)



Modèle 2

Cas n°14 :

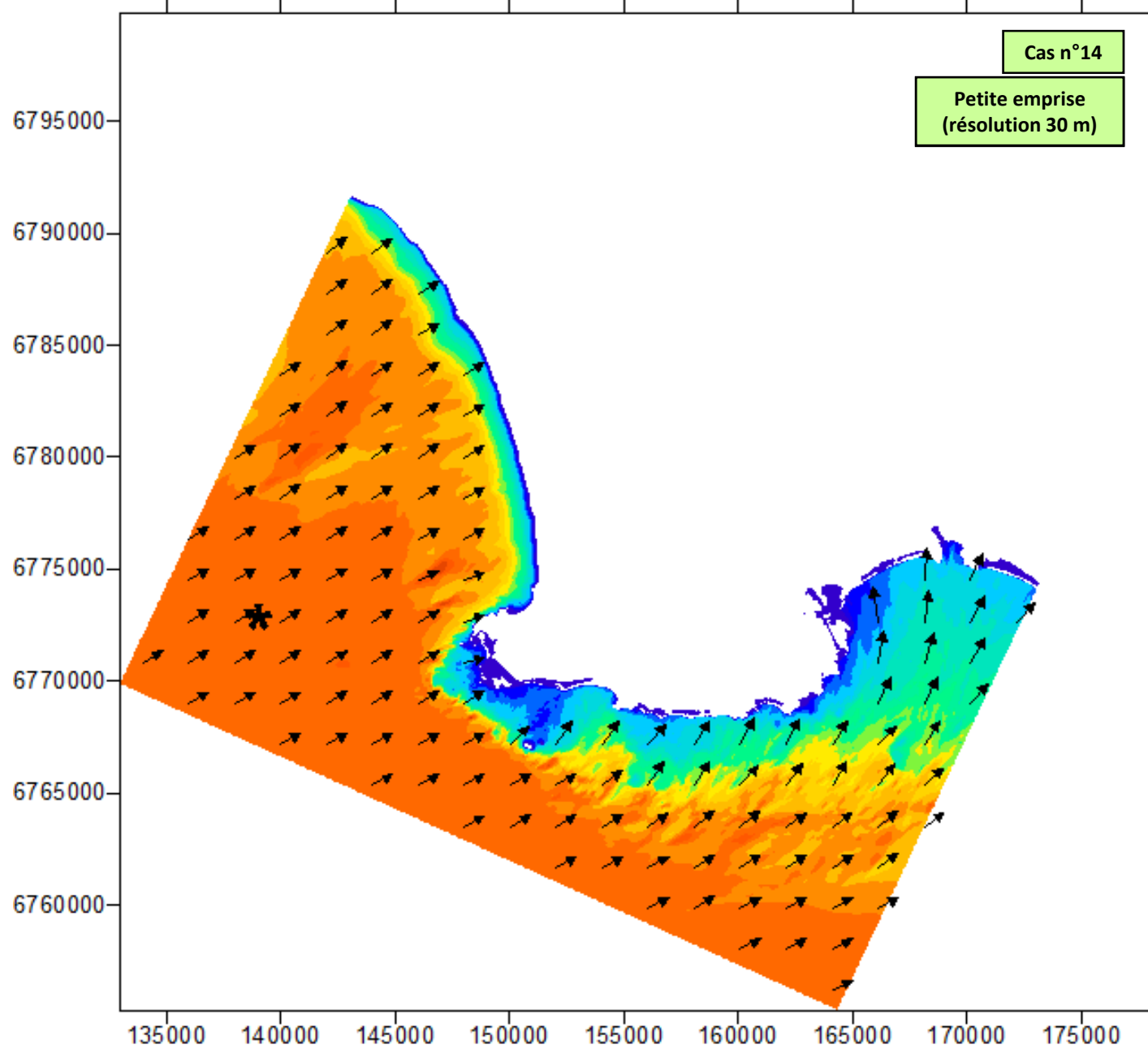
Hs = 7,00 m – Tp = 11,5s

Niv = 4,28 m IGN

Dir = 240°N

Cas n°14

Petite emprise  
(résolution 30 m)





Modèle 1

Cas n°15 :

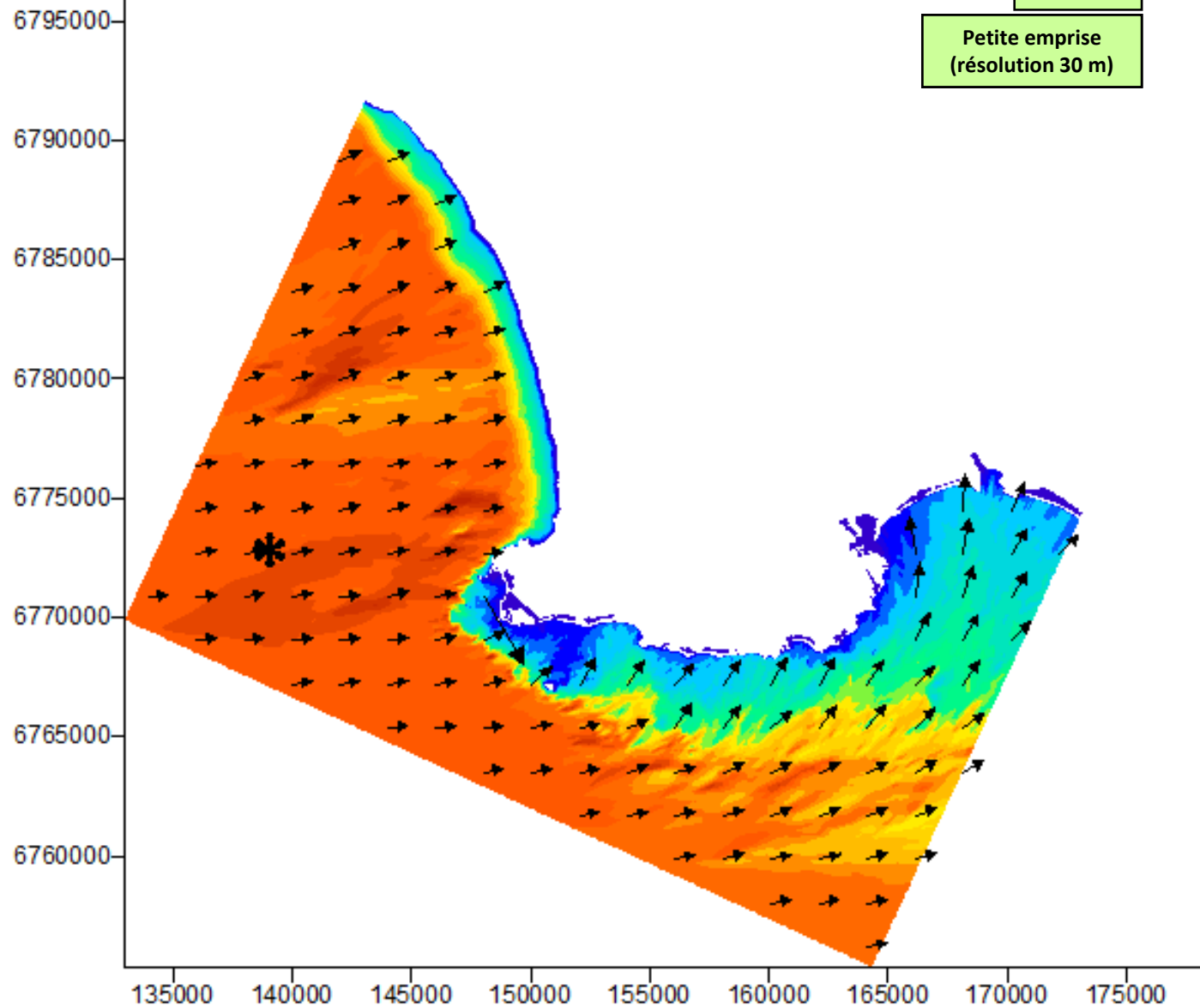
Hs = 8,36 m – Tp = 15 s

Niv = 3,67 m IGN

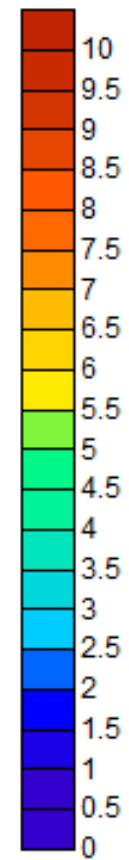
Dir = 270 °N

Cas n°15

Petite emprise  
(résolution 30 m)

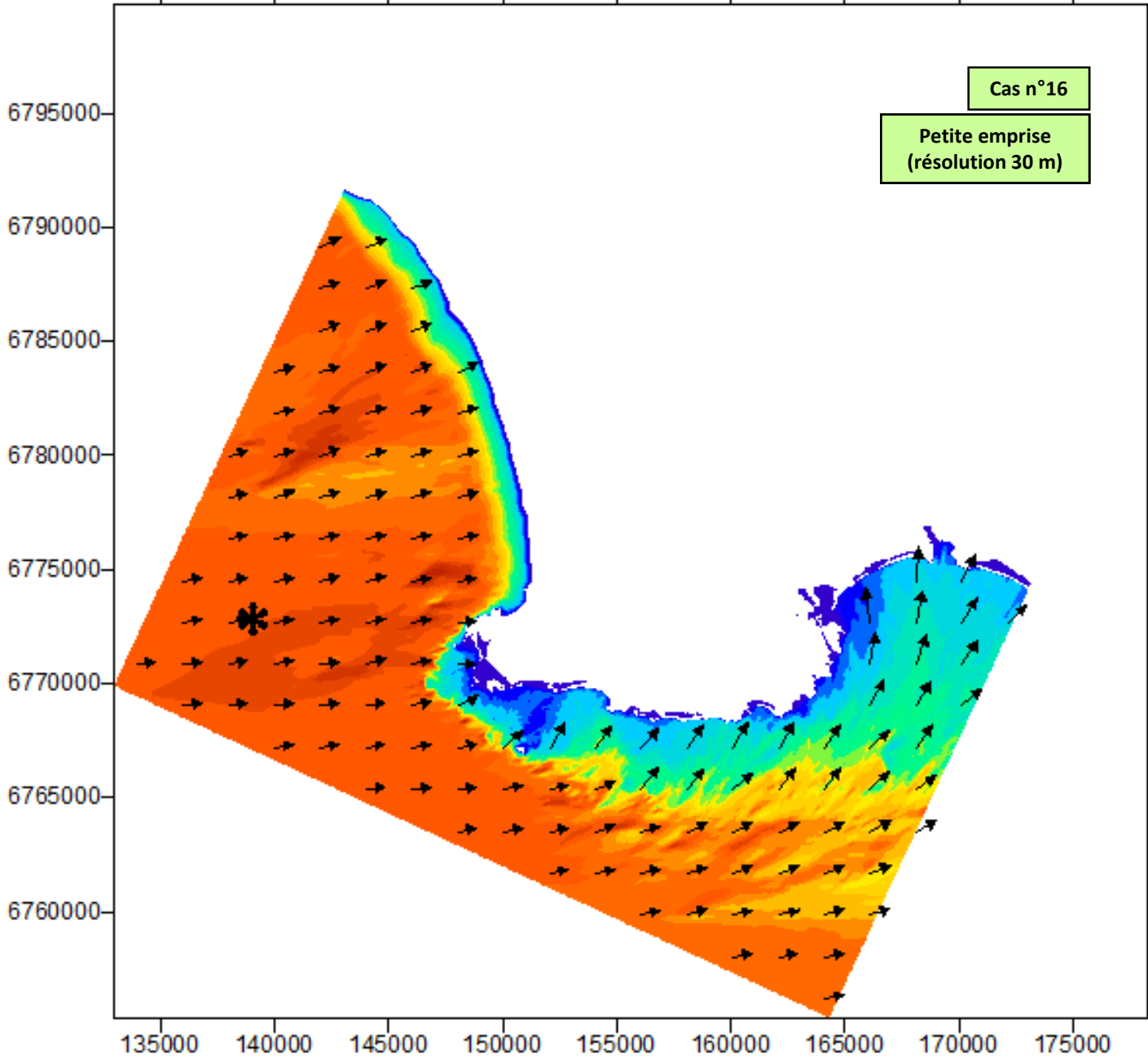


Hs (m)

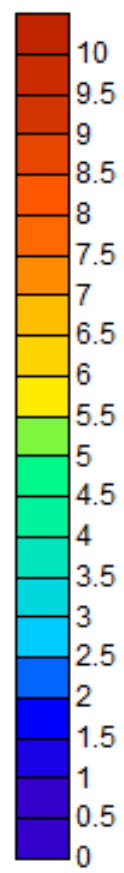


**Modèle 1**

**Cas n°16 :**  
Hs = 8,36 m – Tp = 15 s  
Niv = 4,17 m IGN  
Dir = 270 °N



**Hs (m)**



Modèle 1

Cas n°17 :

Hs = 12,87 m – Tp = 17 s

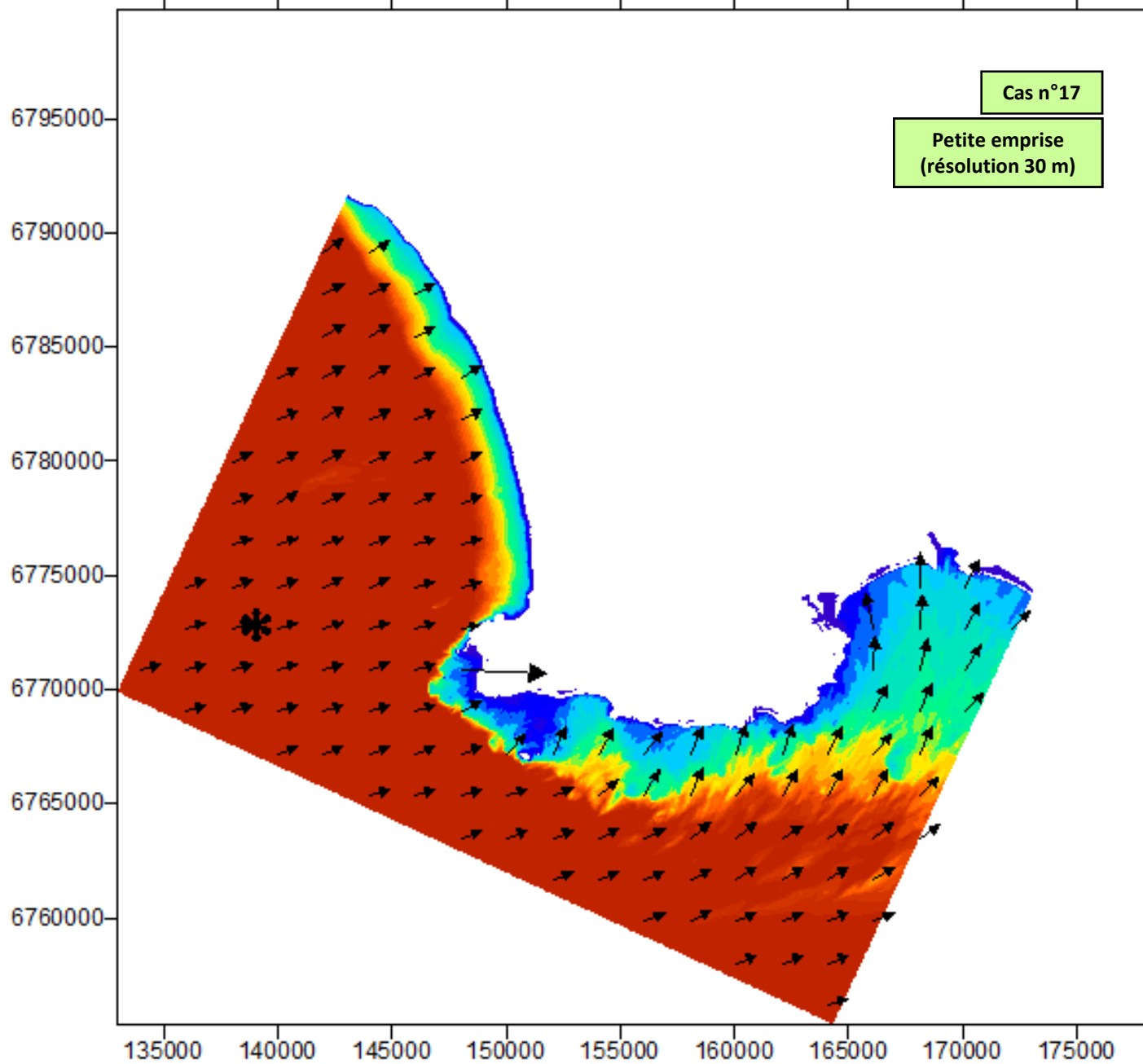
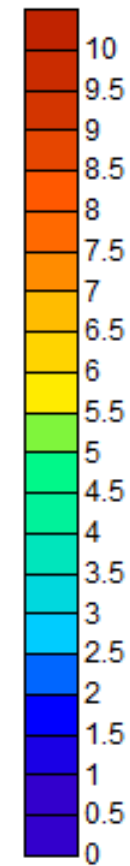
Niv = 3,00 m IGN

Dir = 260 °N

Cas n°17

Petite emprise  
(résolution 30 m)

Hs (m)



Modèle 1

Cas n°18 :

Hs = 12,87 m – Tp = 17 s

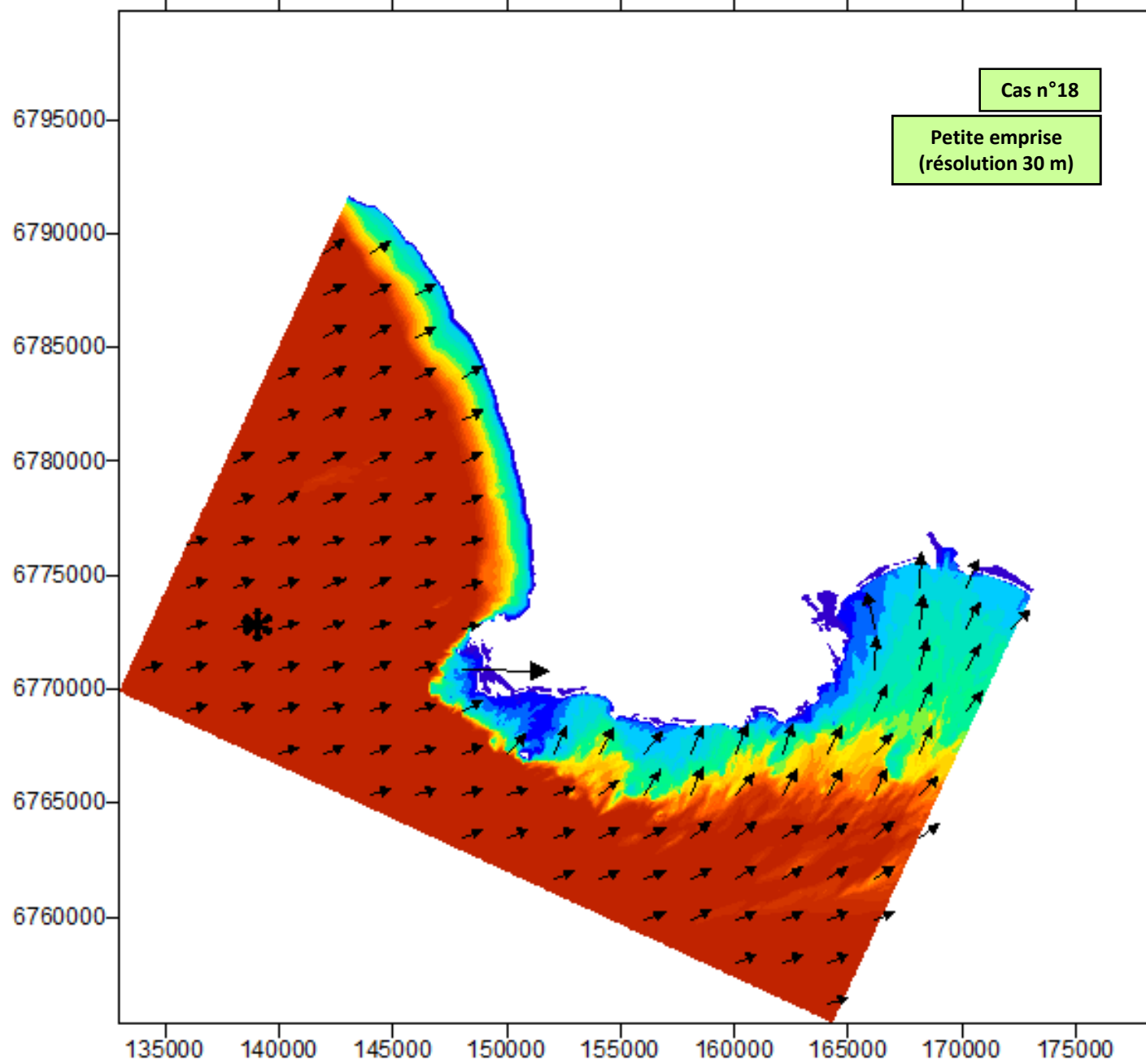
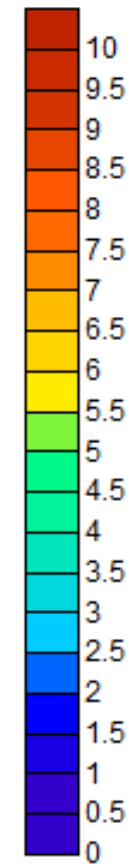
Niv = 3,50 m IGN

Dir = 260 °N

Cas n°18

Petite emprise  
(résolution 30 m)

Hs (m)



Modèle 1

Cas n°19 :

Hs = 9,50 m – Tp = 18 s

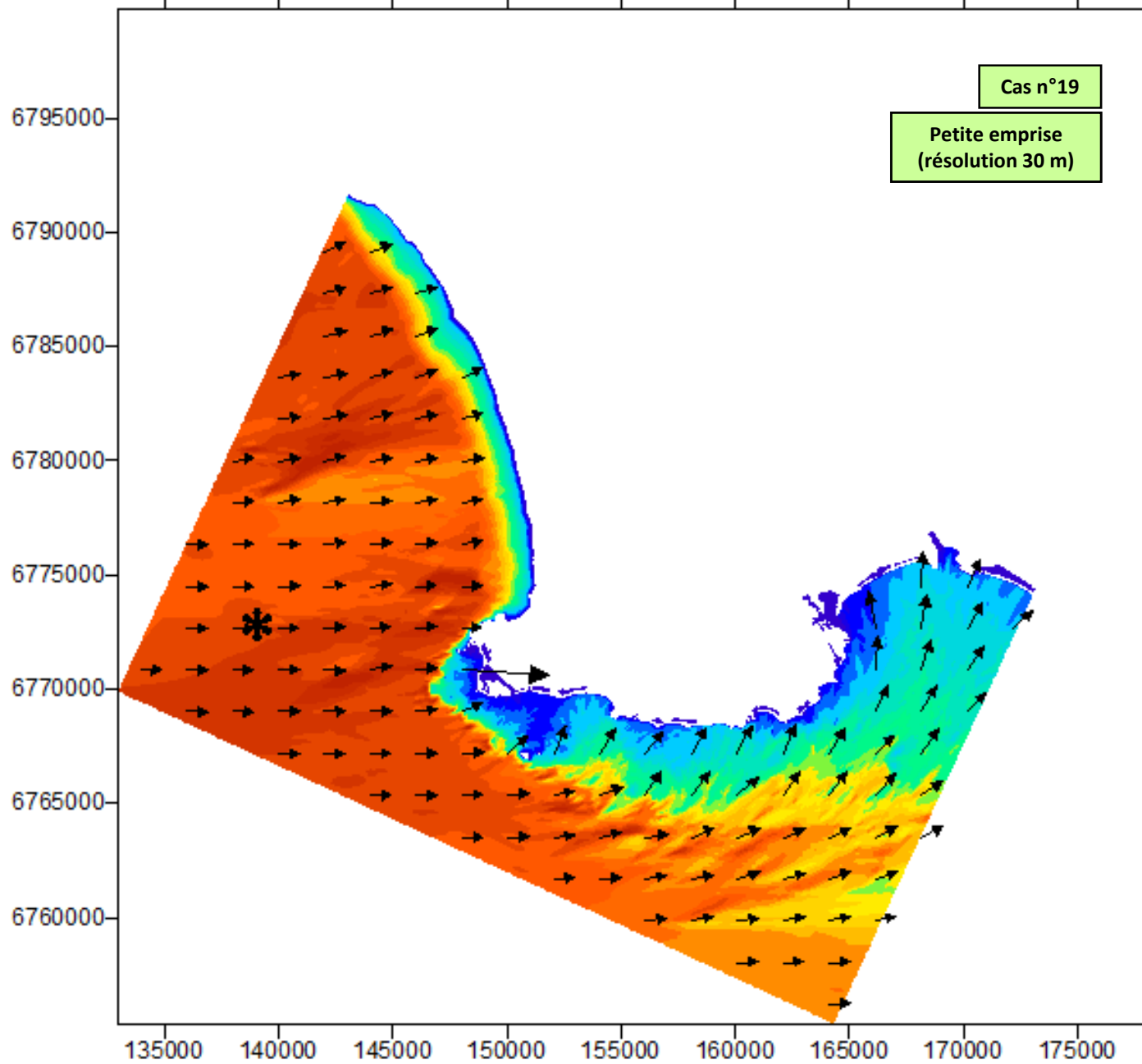
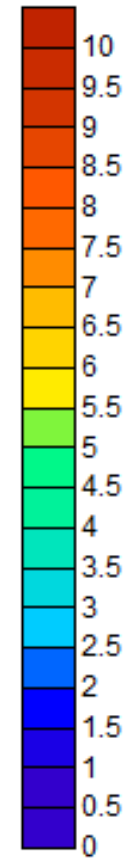
Niv = 3,55 m IGN

Dir = 285 °N

Cas n°19

Petite emprise  
(résolution 30 m)

Hs (m)



**Modèle 1**

**Cas n°20 :**

Hs = 9,50 m – Tp = 18 s

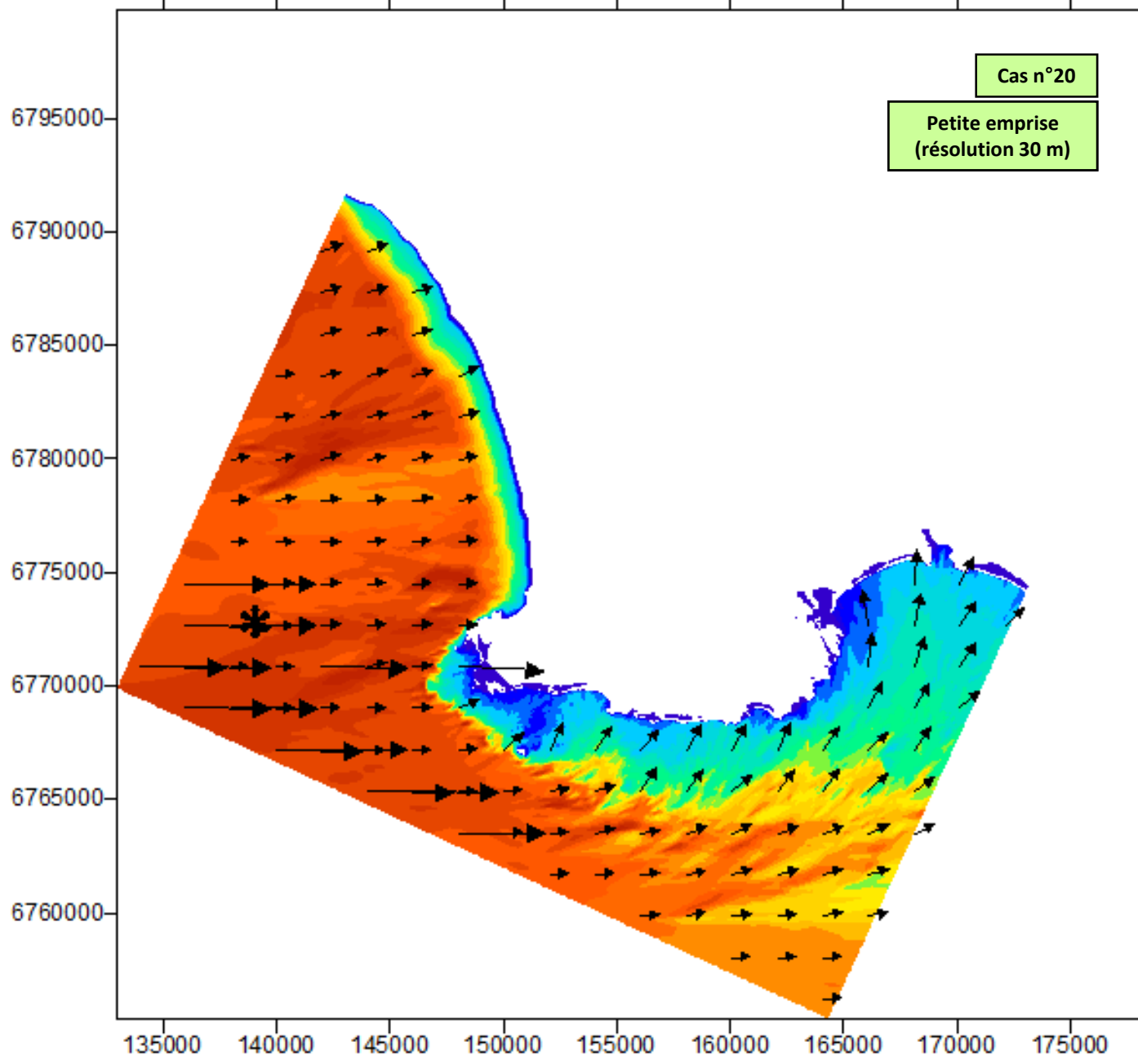
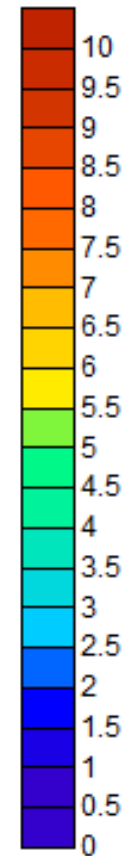
Niv = 4,05 m IGN

Dir = 285 °N

Cas n°20

Petite emprise  
(résolution 30 m)

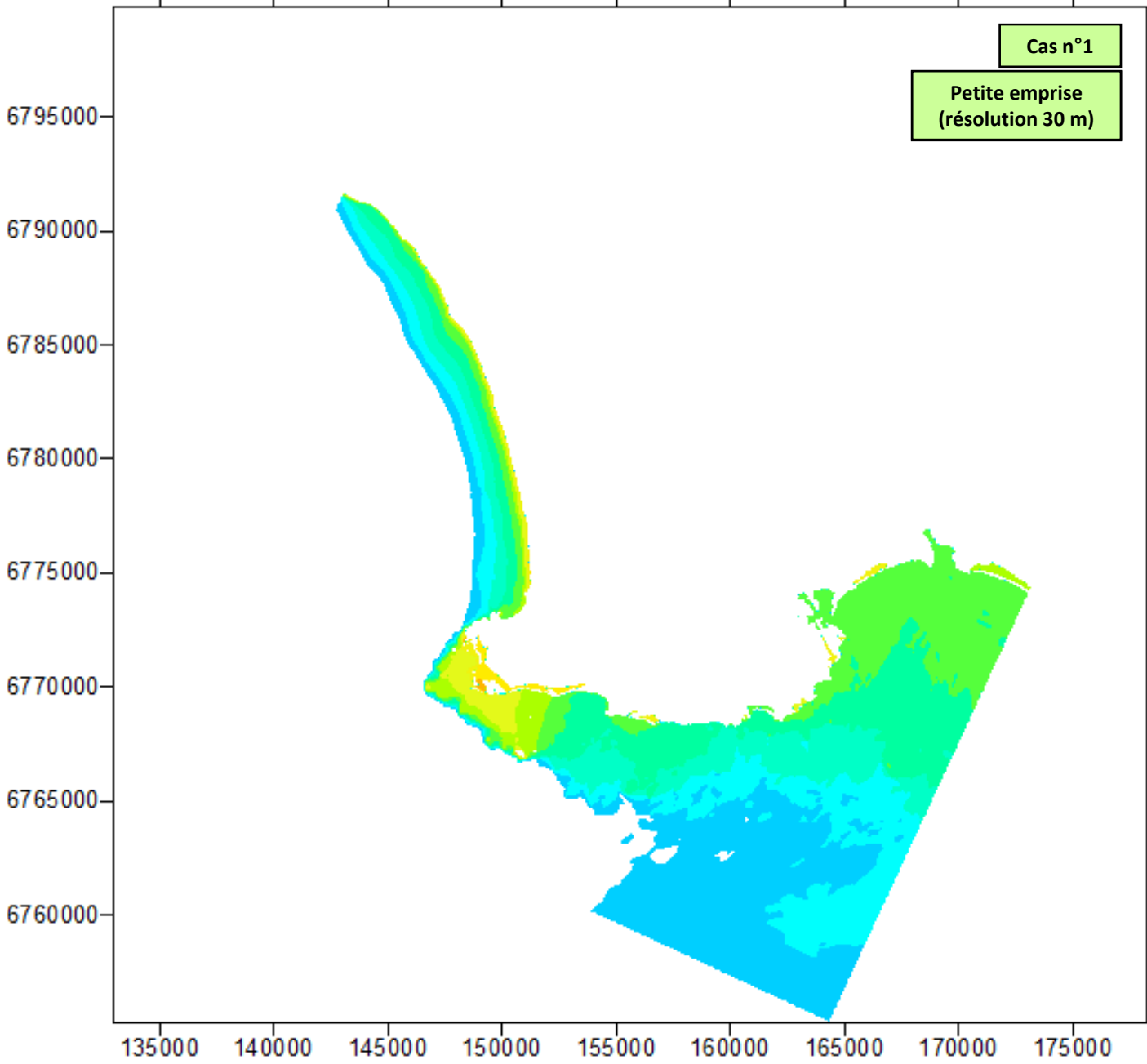
Hs (m)



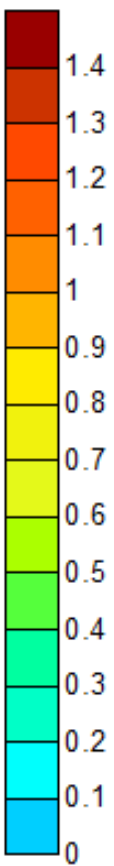
**Modèle 2**

**Cas n°1 :**  
Hs = 16,37 m – Tp = 18 s  
Niv = 3,17 m IGN  
Dir = 270°N

Cas n°1  
Petite emprise  
(résolution 30 m)



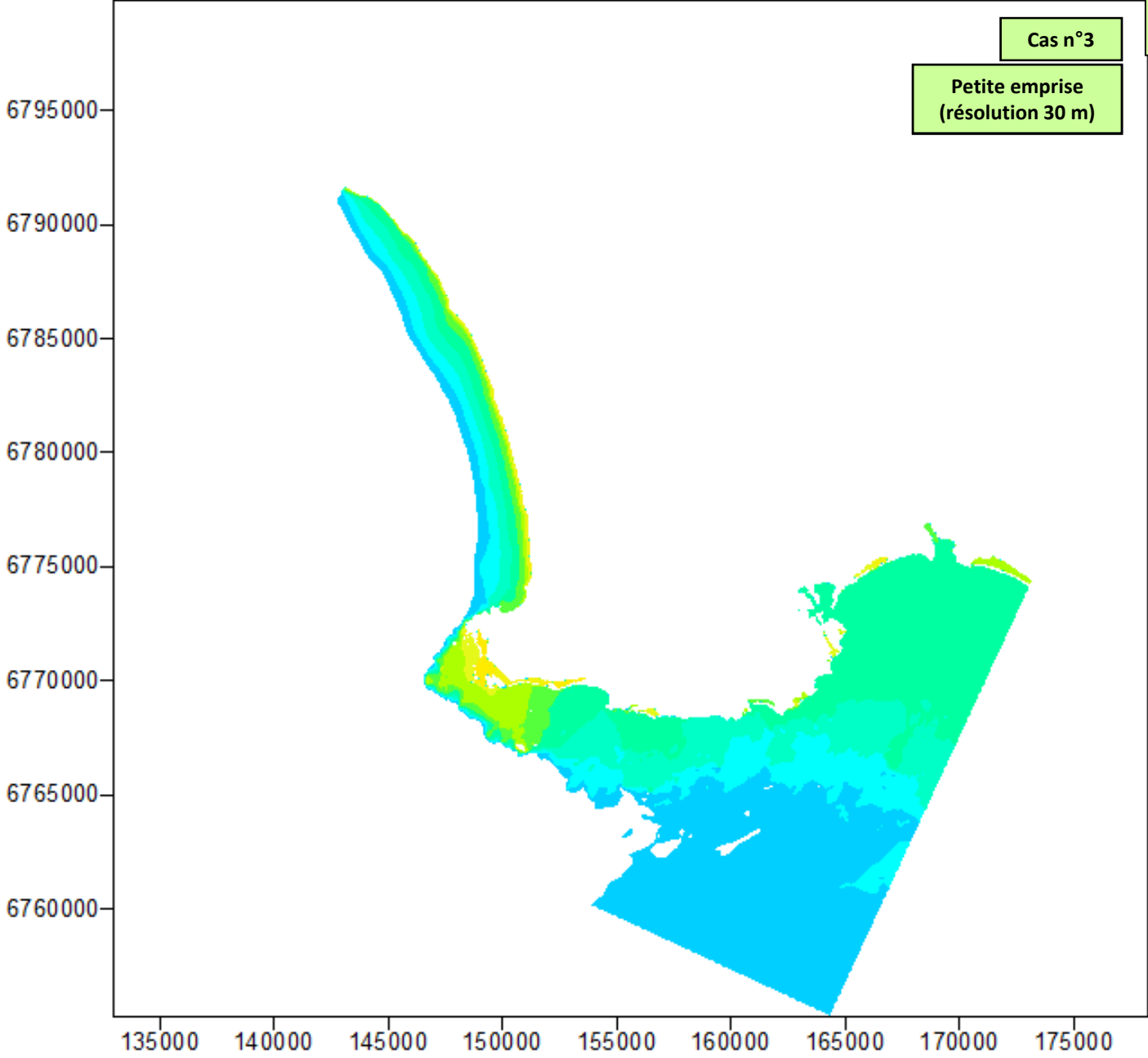
**Setup (m)**



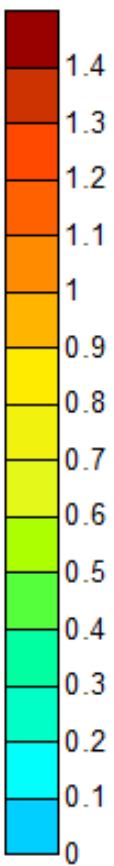
**Modèle 2**

**Cas n°3 :**  
Hs = 14,80 m – Tp = 18 s  
Niv = 3,35 m IGN  
Dir = 270°N

Cas n°3  
Petite emprise  
(résolution 30 m)



**Setup (m)**





Modèle 2

Cas n°5 :

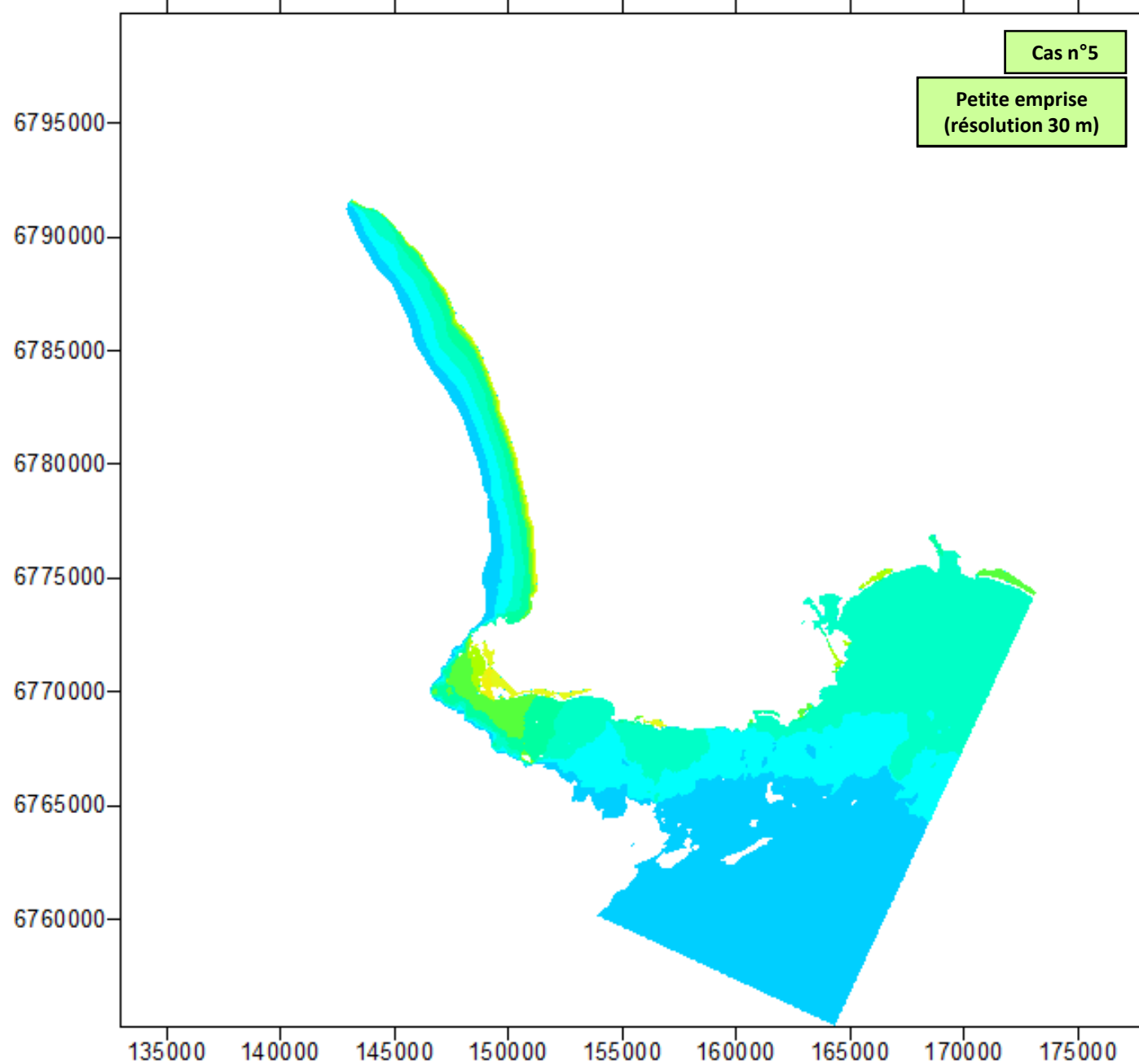
Hs = 12,50 m – Tp = 17 s

Niv = 3,53 m IGN

Dir = 270°N

Cas n°5

Petite emprise  
(résolution 30 m)



Setup (m)

1.4

1.3

1.2

1.1

1.0

0.9

0.8

0.7

0.6

0.5

0.4

0.3

0.2

0.1

0

Modèle 2

Cas n°7 :

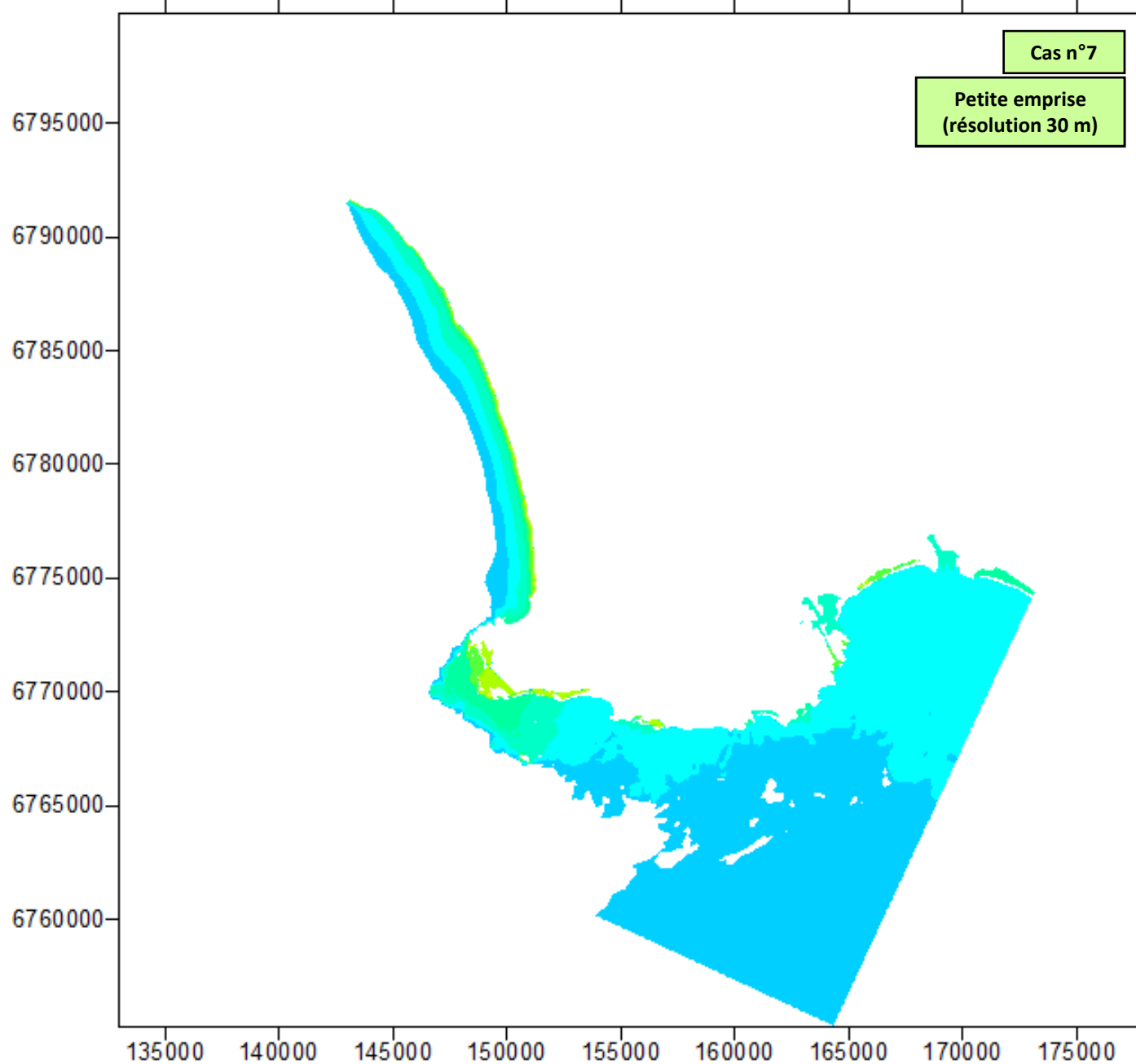
Hs = 10,40 m – Tp = 16 s

Niv = 3,68 m IGN

Dir = 270°N

Cas n°7

Petite emprise  
(résolution 30 m)



Setup (m)

1.4

1.3

1.2

1.1

1.0

0.9

0.8

0.7

0.6

0.5

0.4

0.3

0.2

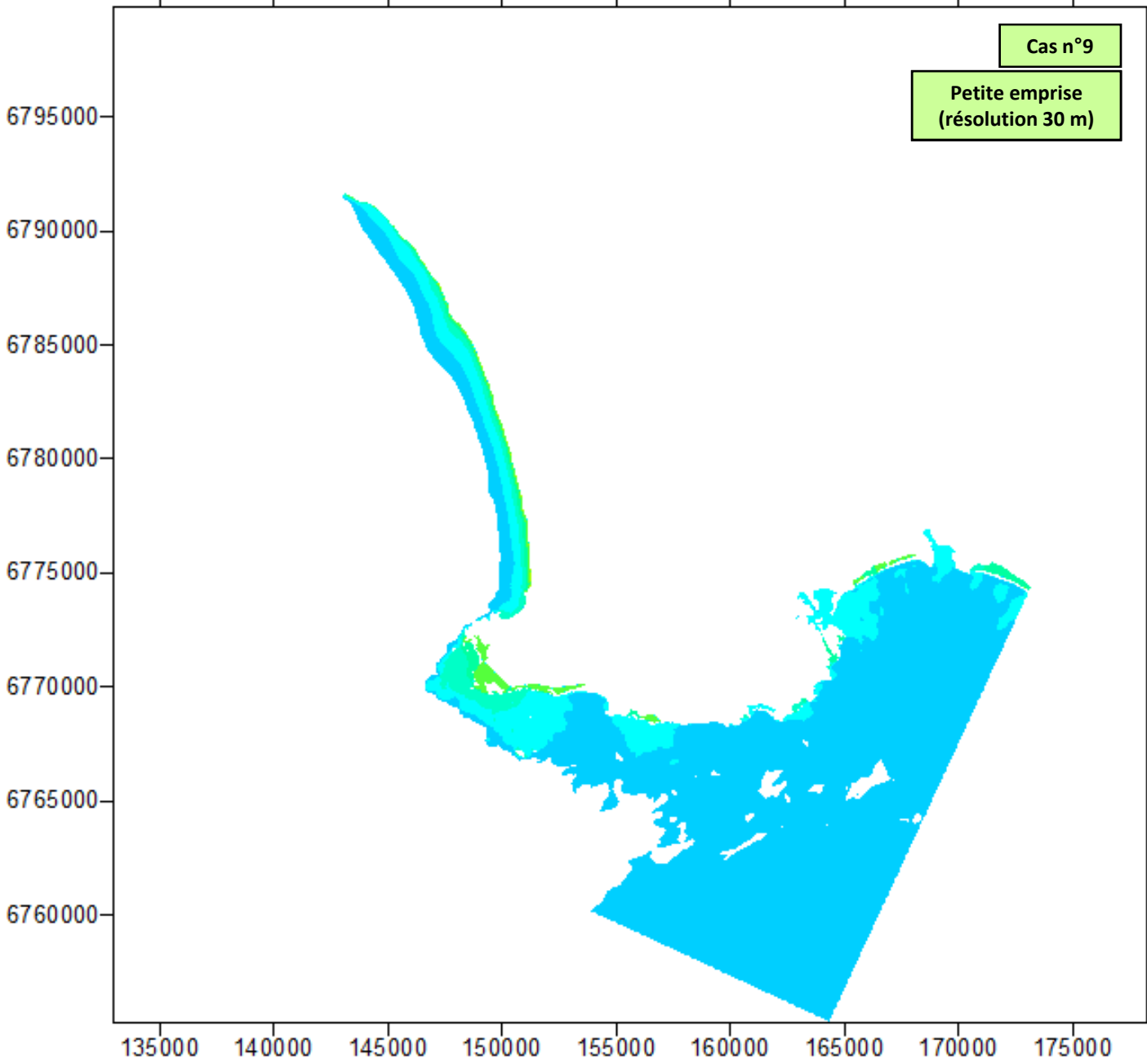
0.1

0

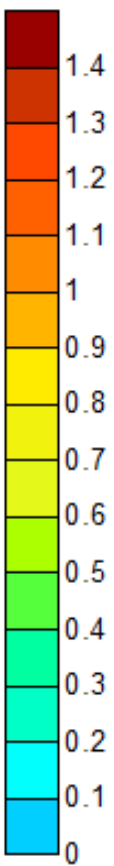
**Modèle 2**

**Cas n°9 :**  
Hs = 8 m – Tp = 15 s  
Niv = 3,85 m IGN  
Dir = 270°N

**Cas n°9**  
**Petite emprise**  
**(résolution 30 m)**



**Setup (m)**



**Modèle 2**

**Cas n°11 :**

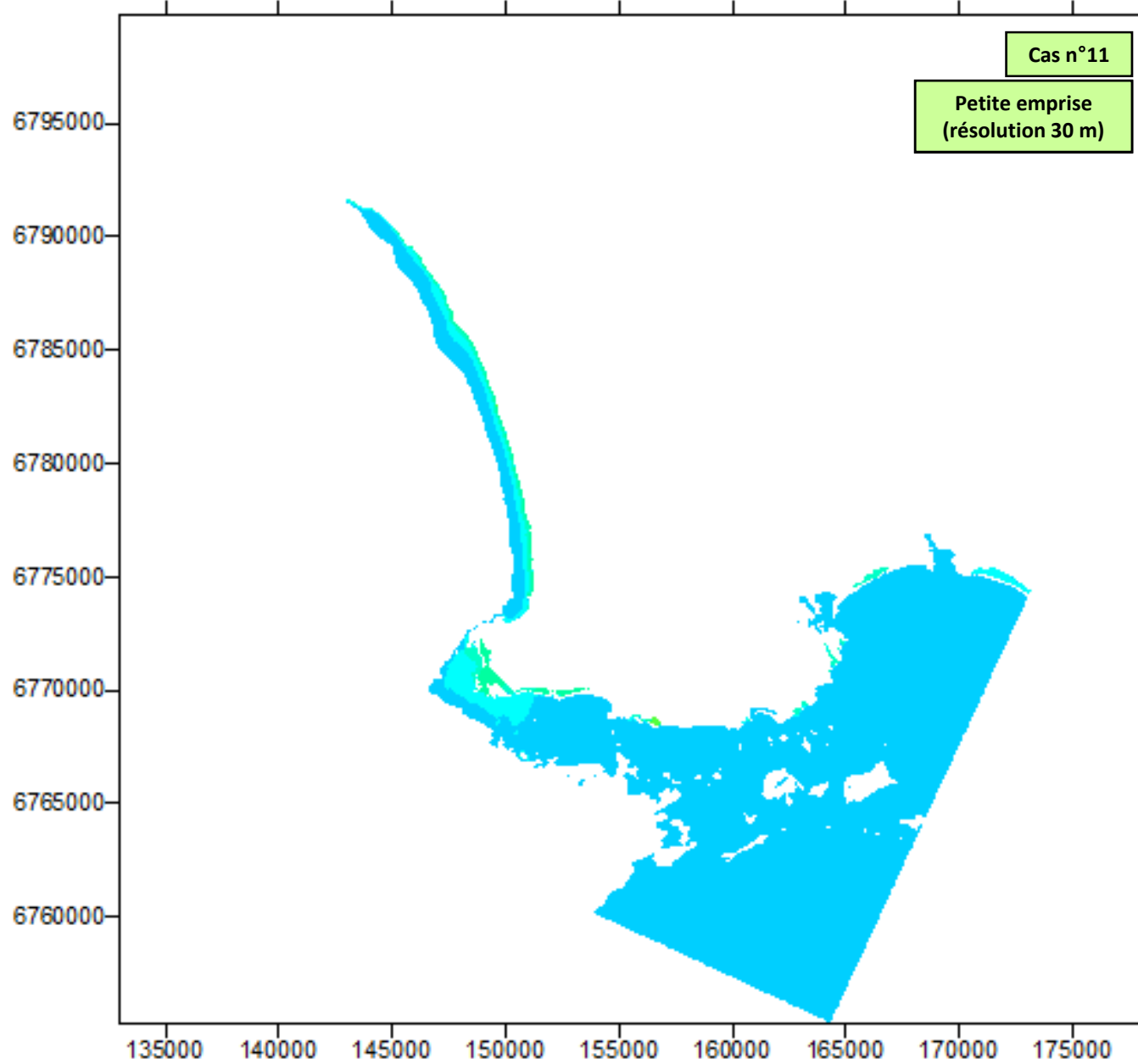
Hs = 6,0 m – Tp = 13 s

Niv = 4,05 m IGN

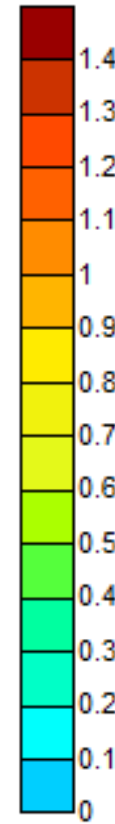
Dir = 270°N

Cas n°11

Petite emprise  
(résolution 30 m)



**Setup (m)**

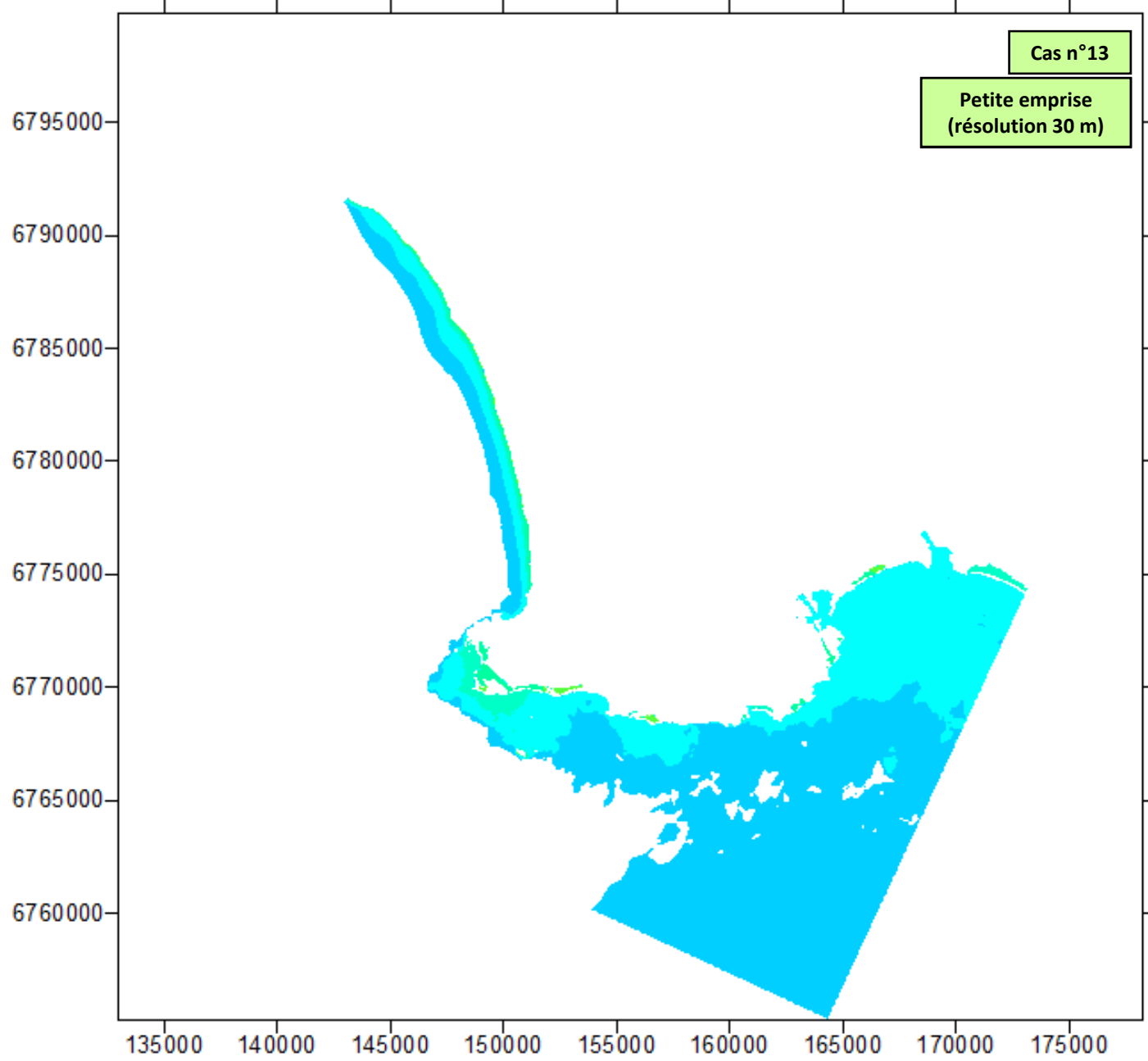


**Modèle 2**

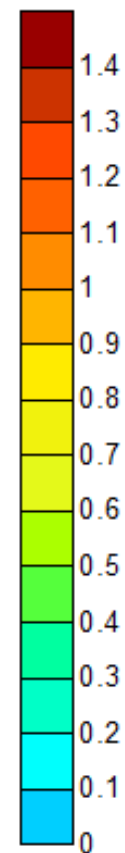
**Cas n°13 :**  
Hs = 7,00 m – Tp = 11,5s  
Niv = 3,78 m IGN  
Dir = 240°N

Cas n°13

Petite emprise  
(résolution 30 m)



**Setup (m)**



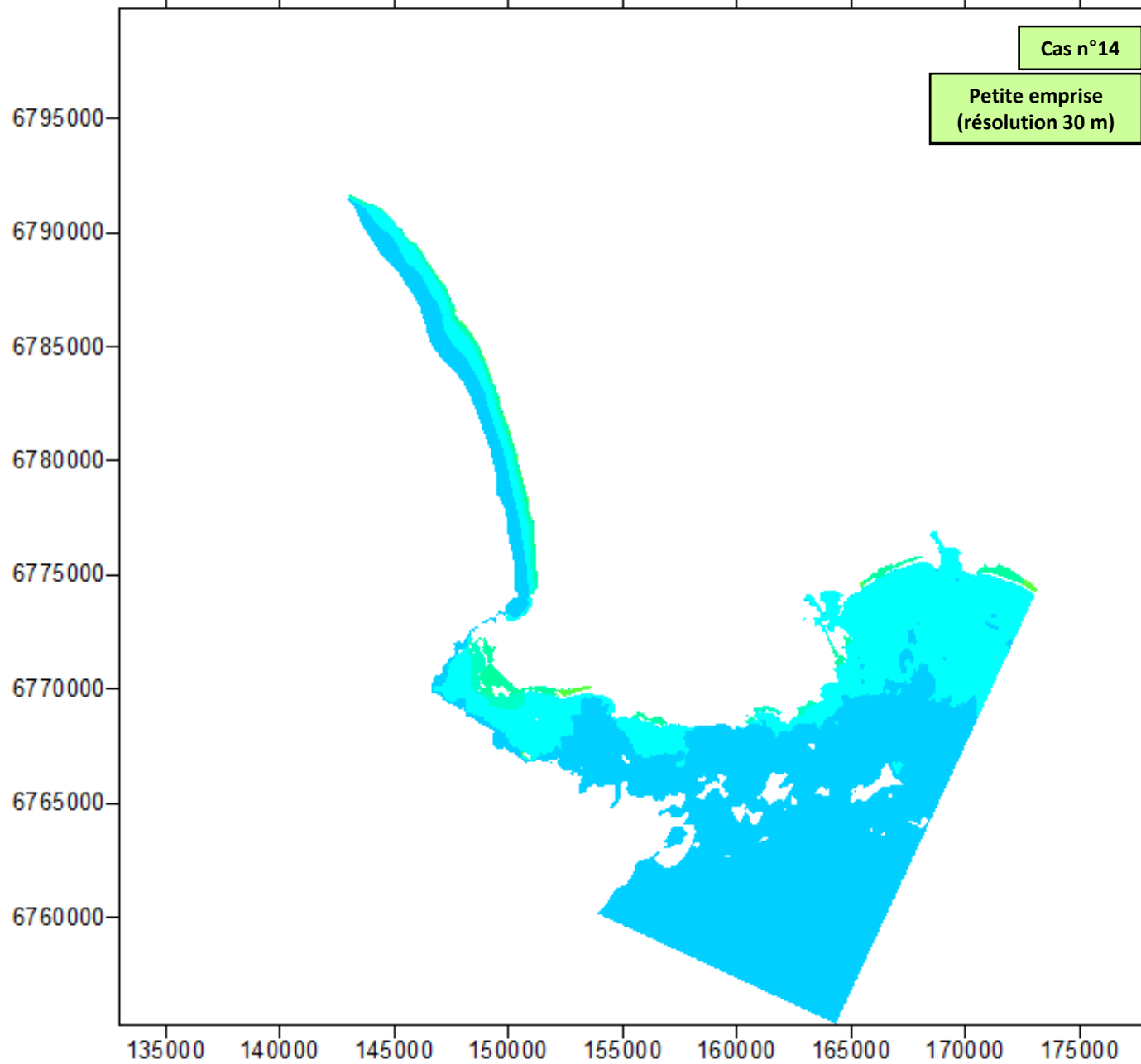
**Modèle 2**

**Cas n°14 :**

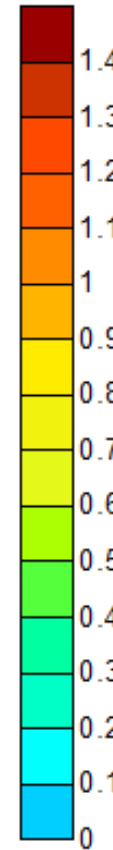
Hs = 7,00 m – Tp = 11,5s  
Niv = 4,28 m IGN  
Dir = 240°N

Cas n°14

Petite emprise  
(résolution 30 m)



**Setup (m)**



**Modèle 1**

**Cas n°15 :**

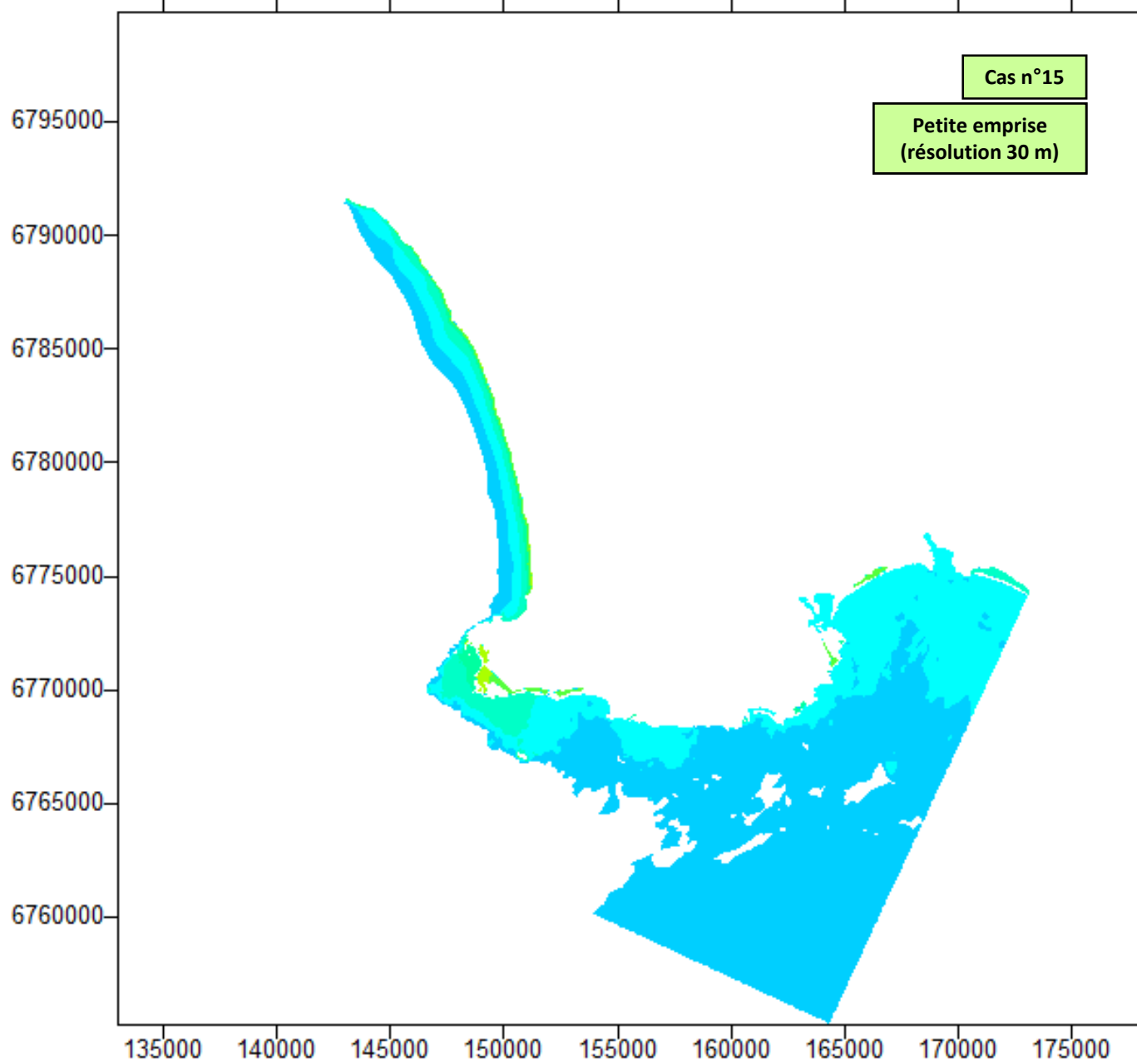
Hs = 8,36 m – Tp = 15 s

Niv = 3,67 m IGN

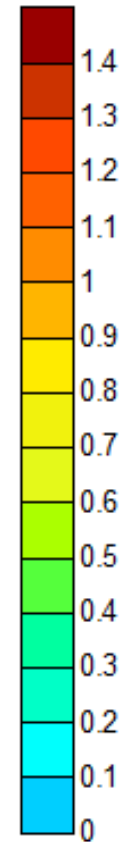
Dir = 270 °N

Cas n°15

Petite emprise  
(résolution 30 m)



**Setup (m)**



**Modèle 1**

**Cas n°16 :**

Hs = 8,36 m – Tp = 15 s

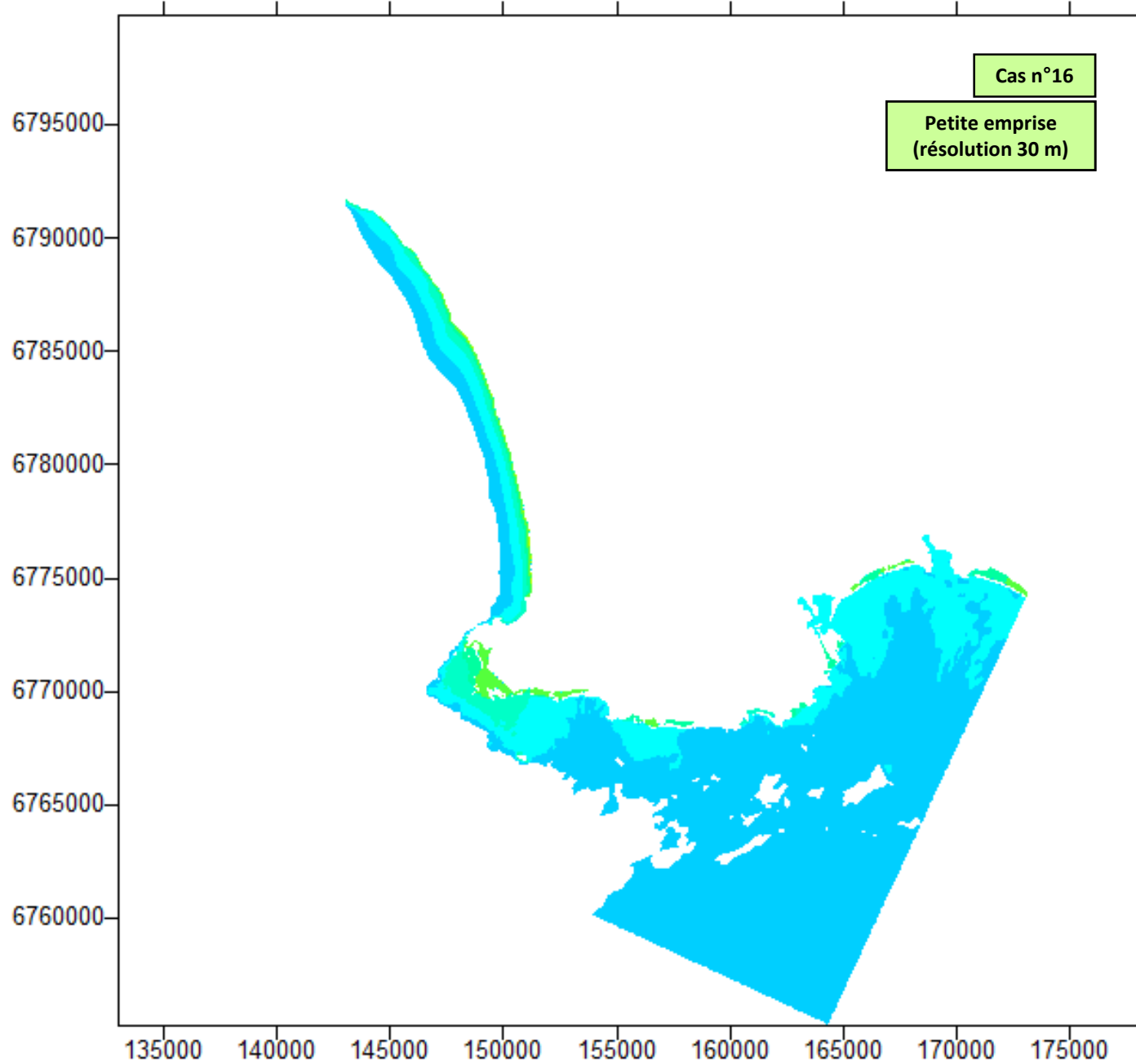
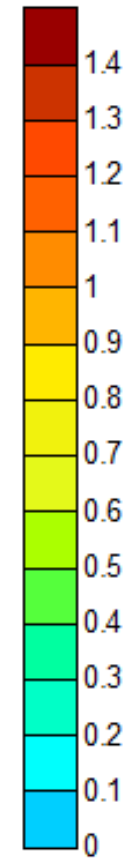
Niv = 4,17 m IGN

Dir = 270 °N

Cas n°16

Petite emprise  
(résolution 30 m)

**Setup (m)**





**Modèle 1**

**Cas n°17 :**

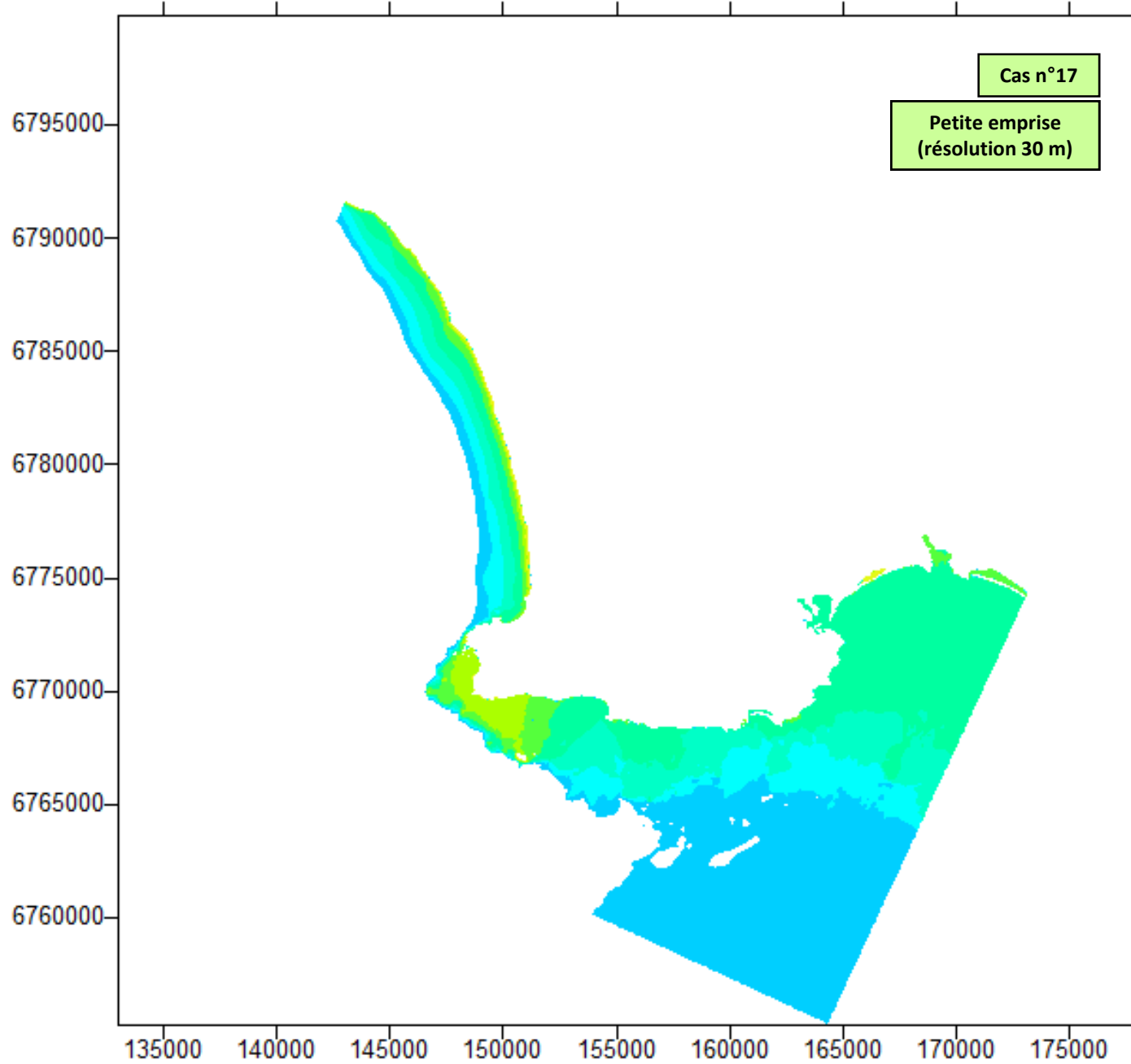
Hs = 12,87 m – Tp = 17 s

Niv = 3,00 m IGN

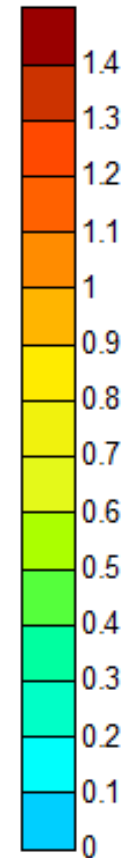
Dir = 260 °N

Cas n°17

Petite emprise  
(résolution 30 m)



**Setup (m)**



# Modèle 1

## Cas n°18 :

Hs = 12,87 m – Tp = 17 s

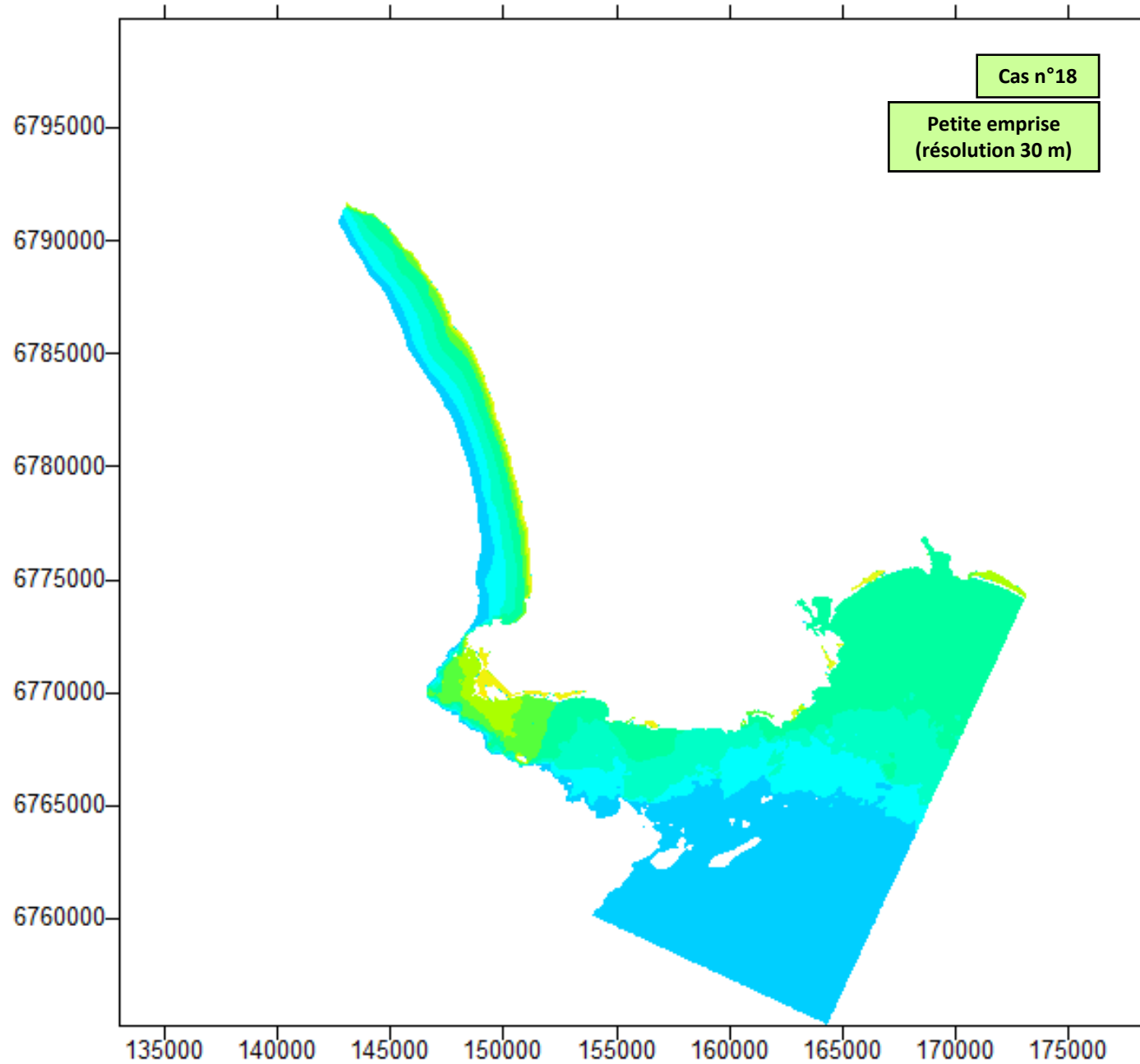
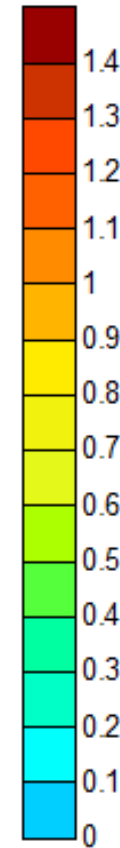
Niv = 3,50 m IGN

Dir = 260 °N

Cas n°18

Petite emprise  
(résolution 30 m)

## Setup (m)



**Modèle 1**

**Cas n°19 :**

Hs = 9,50 m – Tp = 18 s

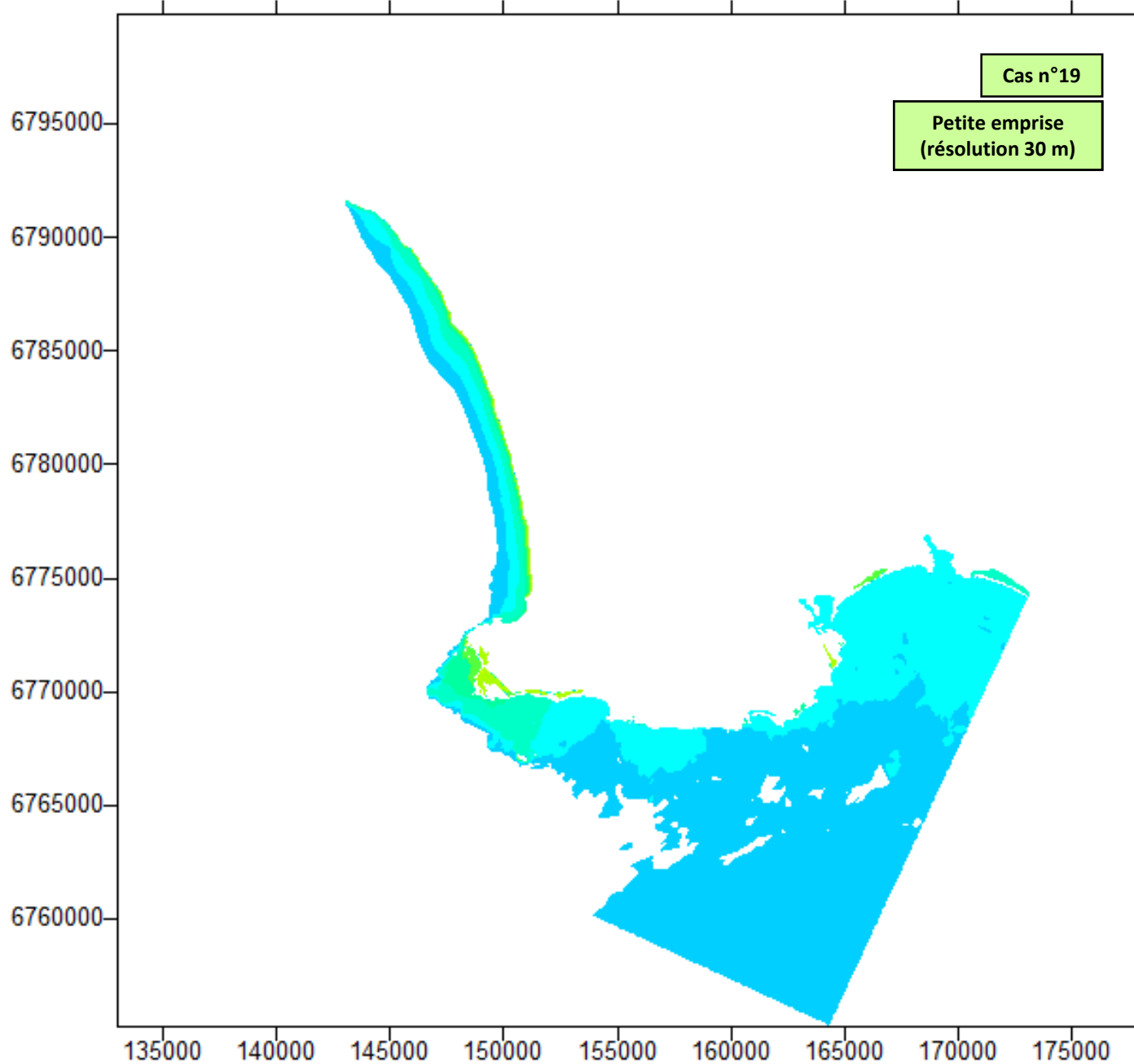
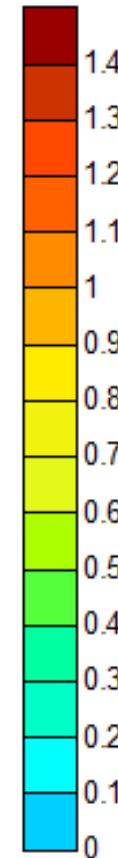
Niv = 3,55 m IGN

Dir = 285 °N

Cas n°19

Petite emprise  
(résolution 30 m)

**Setup (m)**



**Modèle 1**

**Cas n°20 :**

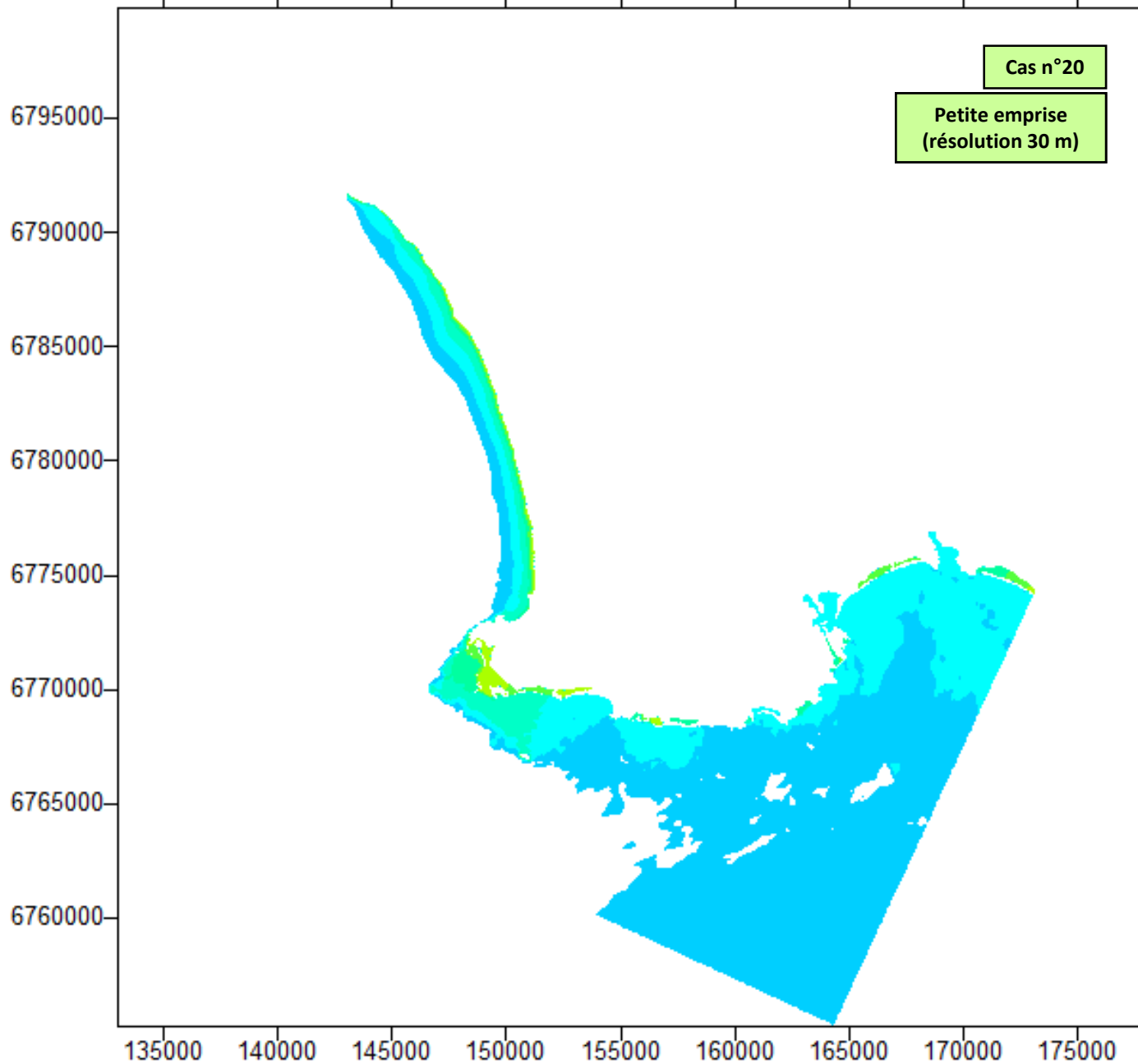
Hs = 9,50 m – Tp = 18 s

Niv = 4,05 m IGN

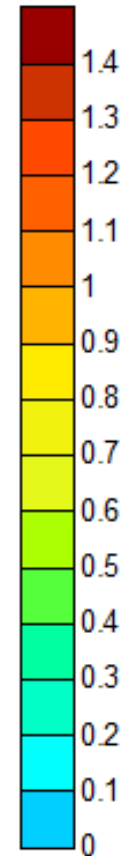
Dir = 285 °N

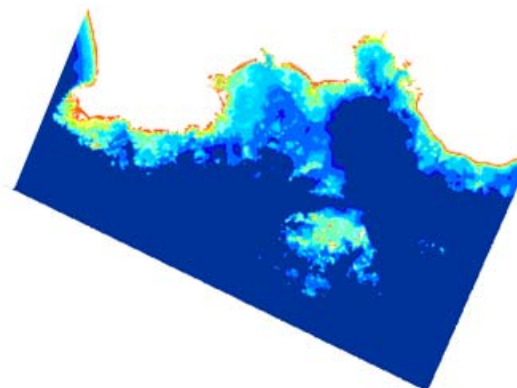
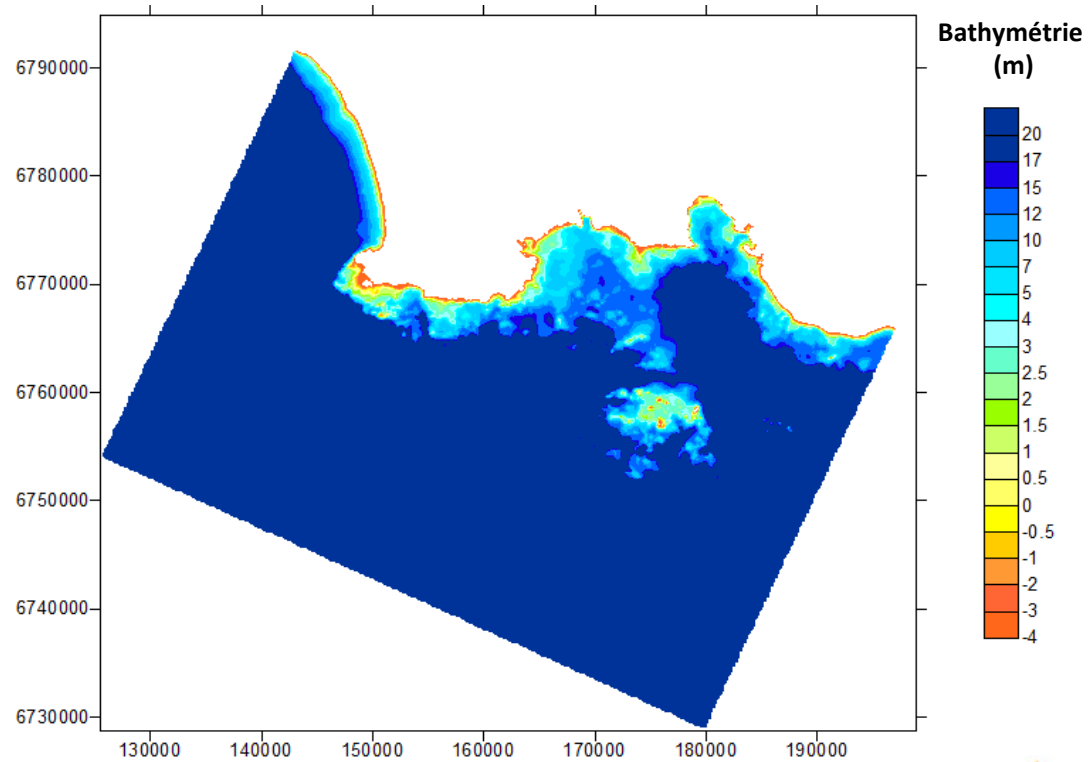
Cas n°20

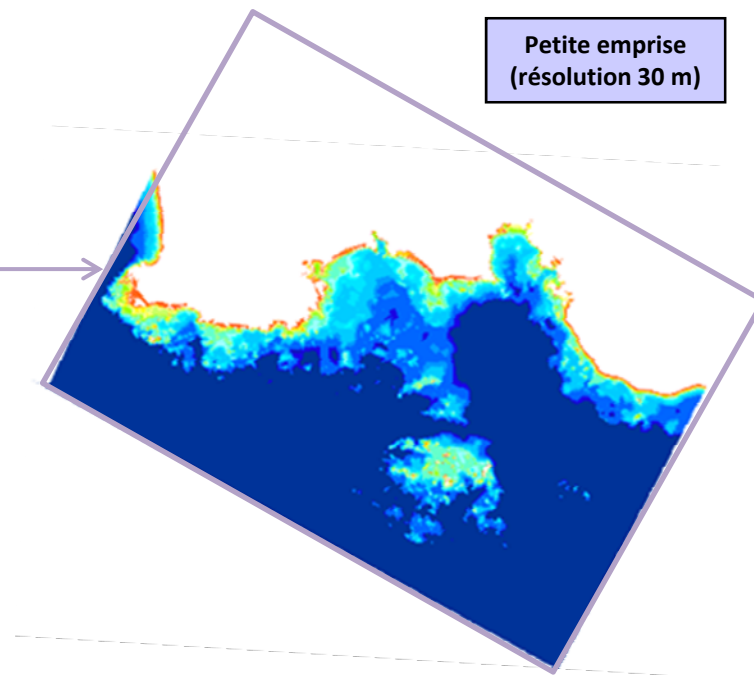
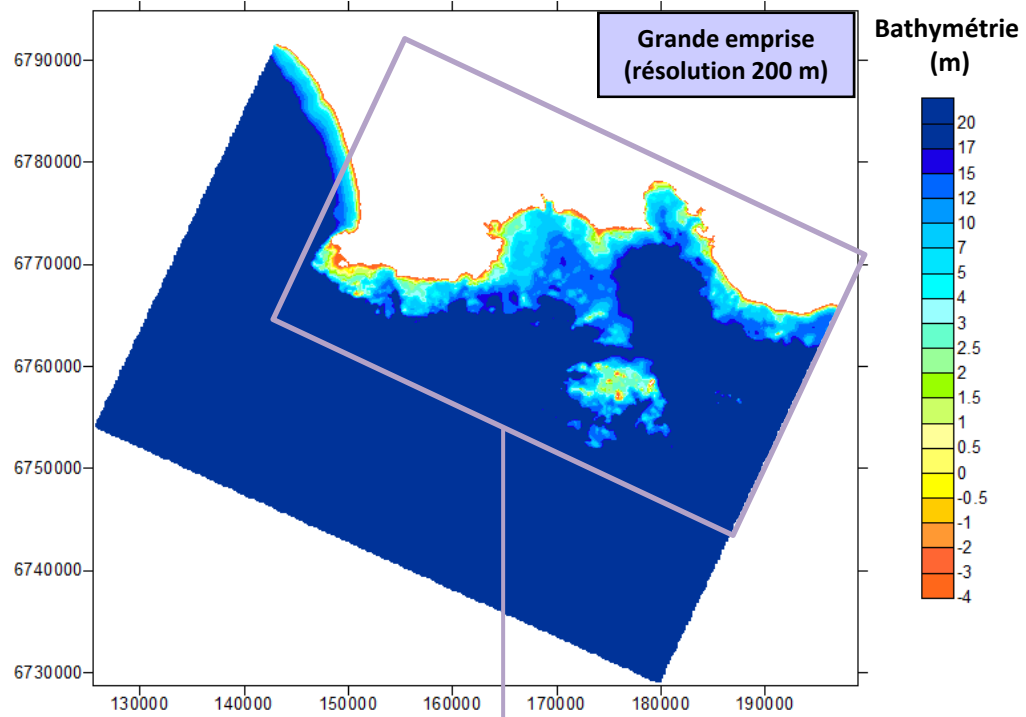
Petite emprise  
(résolution 30 m)



**Setup (m)**







**Annexe 5 : Résultats des houles spécifiques pour les différents évènements**

COMBRIT	Secteurs	
Cas de calculs	15	16
	Houle Hs (m)	
1	3,00	2,75
2	3,00	2,75
3	3,00	2,75
4	3,00	2,75
5	3,00	2,75
6	3,00	2,75
7	3,00	2,75
8	3,00	2,75
9	3,00	2,75
10	3,00	2,75
11	2,75	2,50
12	2,50	2,25
13	3,00	2,75
14	3,00	2,75
15	3,00	2,75
16	3,00	2,75
17	3,00	2,75
18	3,00	2,75
19	3,00	2,75
20	3,00	2,75



ILE TUDY	Secteur
Cas de calculs	17
	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	2,00
10	2,00
11	1,75
12	1,50
13	2,00
14	2,00
15	2,00
16	2,00
17	2,00
18	2,00
19	2,00
20	2,00

LOCTUDY	Secteurs			
Cas de calculs	18	19	20	21
	Houle Hs (m)			
1	1,25	2,00	2,50	2,50
2	1,25	2,00	2,50	2,50
3	1,25	2,00	2,50	2,50
4	1,25	2,00	2,50	2,50
5	1,25	2,00	2,25	2,50
6	1,25	2,00	2,25	2,50
7	1,25	2,00	2,25	2,50
8	1,25	2,00	2,25	2,50
9	1,25	2,00	2,25	2,50
10	1,25	2,00	2,25	2,25
11	1,25	2,00	2,25	2,25
12	1,25	1,75	2,00	2,00
13	1,25	2,00	2,25	2,25
14	1,25	2,00	2,25	2,50
15	1,25	2,00	2,25	2,25
16	1,25	2,00	2,25	2,25
17	1,25	2,00	2,25	2,25
18	1,25	2,00	2,25	2,50
19	1,25	2,00	2,25	2,00
20	1,25	2,00	2,25	2,25

PLOBANNALEC - LESCONIL	Secteur
Cas de calculs	22
	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	3,50
18	3,75
19	3,50
20	3,75

TREFFIAGAT - LECHIAGAT	Secteurs		
Cas de calculs	23	24	25
	Houle Hs (m)		
1	3,50	3,00	2,50
2	3,50	3,00	2,50
3	3,50	3,00	2,50
4	3,50	3,00	2,50
5	3,50	3,00	2,50
6	3,50	3,00	2,50
7	3,50	3,00	2,50
8	3,50	3,00	2,50
9	3,50	3,00	2,50
10	3,25	3,00	2,50
11	3,00	2,75	2,25
12	2,75	2,50	2,00
13	3,50	2,75	2,50
14	3,50	3,00	2,50
15	3,25	2,50	2,50
16	3,25	2,75	2,50
17	3,50	2,75	2,50
18	3,50	3,00	2,50
19	3,25	2,50	2,50
20	3,25	2,75	2,50

LE GUILVINEC	Secteurs	
Cas de calculs	26	27
	Houle Hs (m)	
1	3,50	2,50
2	3,50	2,50
3	3,50	2,50
4	3,50	2,50
5	3,50	2,50
6	3,50	2,50
7	3,50	2,50
8	3,50	2,50
9	3,50	2,50
10	3,25	2,50
11	3,00	2,25
12	2,50	2,00
13	3,00	2,50
14	3,00	2,50
15	2,75	2,25
16	2,75	2,25
17	3,00	2,50
18	3,00	2,50
19	2,75	2,25
20	2,75	2,25

PENMARC'H	Secteurs					
Cas de calculs	28	29	30	31	32	33
	Houle Hs (m)					
1	2,00	2,00	2,00	2,00	7,00	3,00
2	2,00	2,00	2,00	2,00	6,75	3,00
3	2,00	2,00	2,00	2,00	6,50	3,00
4	2,00	2,00	2,00	2,00	6,25	3,00
5	2,00	2,00	2,00	2,00	6,00	3,00
6	2,00	2,00	2,00	2,00	5,75	3,00
7	2,00	2,00	2,00	2,00	5,50	3,00
8	2,00	2,00	2,00	2,00	5,25	3,00
9	2,00	2,00	2,00	2,00	5,00	3,00
10	2,00	2,00	2,00	2,00	4,75	3,00
11	2,00	2,00	2,00	2,00	4,50	3,00
12	2,00	2,00	2,00	2,00	4,00	3,00
13	2,00	2,00	2,00	2,00	4,50	3,00
14	2,00	2,00	2,00	2,00	4,50	3,00
15	2,00	2,00	2,00	2,00	5,50	3,25
16	2,00	2,00	2,00	2,00	5,50	3,25
17	2,00	2,00	2,00	2,00	6,00	3,00
18	2,00	2,00	2,00	2,00	6,00	3,00
19	2,00	2,00	2,00	2,00	5,50	3,25
20	2,00	2,00	2,00	2,00	5,50	3,25

## **Annexe 6 : 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.*

BENODET / COMBRIT			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 / COMBRIT			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

COMBRIT			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 la commune de Concarneau	15			16		
			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	2,87		0,45	0,60	3,92	0,45	0,65	3,97
2	2,97		0,45	0,55	3,97	0,45	0,63	4,05
3	3,01		0,45	0,50	3,96	0,45	0,60	4,06
4	3,05		0,45	0,43	3,93	0,45	0,50	4,00
5	3,12		0,45	0,35	3,92	0,45	0,40	3,97
6	3,20		0,45	0,30	3,95	0,45	0,35	4,00
7	3,25		0,45	0,25	3,95	0,45	0,30	4,00
8	3,30		0,45	0,20	3,95	0,45	0,25	4,00
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	0,18	4,08
11	3,55		0,45	0,10	4,10	0,45	0,15	4,15
12	3,60		0,45	0,08	4,13	0,45	0,13	4,18
13	3,58		0,45	0,18	4,21	0,45	0,18	4,21
15	3,47		0,45	0,18	4,10	0,45	0,18	4,10
17	2,80		0,45	0,44	3,69	0,45	0,44	3,69
19	3,35		0,45	0,20	4,00	0,45	0,20	4,00

ILE TUDY			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 la commune de Concarneau	17		
			Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)
1	2,87		0,45	0,70	4,02
2	2,98		0,45	0,65	4,08
3	3,02		0,45	0,60	4,07
4	3,07		0,45	0,50	4,02
5	3,15		0,45	0,40	4,00
6	3,22		0,45	0,35	4,02
7	3,27		0,45	0,30	4,02
8	3,35		0,45	0,25	4,05
9	3,40		0,45	0,20	4,05
10	3,50		0,45	0,15	4,10
11	3,55		0,45	0,10	4,10
12	3,60		0,45	0,08	4,13
13	3,58		0,45	0,18	4,21
15	3,47		0,45	0,18	4,10
17	2,80		0,45	0,44	3,69
19	3,35		0,45	0,20	4,00

ILE TUDY			Secteur			Secteur			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 la commune de Concarneau	E8a			E8b			E8c		
			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	2,87		0,45	0,70	4,02	0,45		3,32	0,45		3,32
2	2,98		0,45	0,65	4,08	0,45		3,43	0,45		3,43
3	3,02		0,45	0,60	4,07	0,45		3,47	0,45		3,47
4	3,07		0,45	0,50	4,02	0,45		3,52	0,45		3,52
5	3,15		0,45	0,40	4,00	0,45		3,60	0,45		3,60
6	3,22		0,45	0,35	4,02	0,45		3,67	0,45		3,67
7	3,27		0,45	0,30	4,02	0,45		3,72	0,45		3,72
8	3,35		0,45	0,25	4,05	0,45		3,80	0,45		3,80
9	3,40		0,45	0,20	4,05	0,45		3,85	0,45		3,85
10	3,50		0,45	0,15	4,10	0,45		3,95	0,45		3,95
11	3,55		0,45	0,10	4,10	0,45		4,00	0,45		4,00
12	3,60		0,45	0,08	4,13	0,45		4,05	0,45		4,05
13	3,58		0,45	0,18	4,21	0,45		4,03	0,45		4,03
15	3,47		0,45	0,18	4,10	0,45		3,92	0,45		3,92
17	2,80		0,45	0,44	3,69	0,45		3,25	0,45		3,25
19	3,35		0,45	0,20	4,00	0,45		3,80	0,45		3,80

LOCTUDY			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 la commune de Concarneau	18			19			20			21		
			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	2,87		0,45	0,70	4,02	0,45	0,60	3,92	0,45	0,70	4,02	0,45	0,80	4,12
2	2,96		0,45	0,65	4,06	0,45	0,58	3,99	0,45	0,65	4,06	0,45	0,75	4,16
3	3,02		0,45	0,60	4,07	0,45	0,55	4,02	0,45	0,60	4,07	0,45	0,70	4,17
4	3,07		0,45	0,50	4,02	0,45	0,45	3,97	0,45	0,50	4,02	0,45	0,60	4,12
5	3,16		0,45	0,40	4,01	0,45	0,35	3,96	0,45	0,40	4,01	0,45	0,50	4,11
6	3,22		0,45	0,35	4,02	0,45	0,30	3,97	0,45	0,35	4,02	0,45	0,43	4,10
7	3,27		0,45	0,30	4,02	0,45	0,25	3,97	0,45	0,30	4,02	0,45	0,35	4,07
8	3,35		0,45	0,25	4,05	0,45	0,23	4,03	0,45	0,25	4,05	0,45	0,30	4,10
9	3,40		0,45	0,20	4,05	0,45	0,20	4,05	0,45	0,20	4,05	0,45	0,25	4,10
10	3,50		0,45	0,15	4,10	0,45	0,15	4,10	0,45	0,15	4,10	0,45	0,20	4,15
11	3,55		0,45	0,10	4,10	0,45	0,10	4,10	0,45	0,10	4,10	0,45	0,15	4,15
12	3,60		0,45	0,08	4,13	0,45	0,08	4,13	0,45	0,08	4,13	0,45	0,13	4,18
13	3,58	0	0,45	0,20	4,23	0,45	0,20	4,23	0,45	0,20	4,23	0,45	0,25	4,28
15	3,47	0	0,45	0,20	4,12	0,45	0,20	4,12	0,45	0,20	4,12	0,45	0,25	4,17
17	2,80	0	0,45	0,35	3,60	0,45	0,35	3,60	0,45	0,35	3,60	0,45	0,40	3,65
19	3,35	0	0,45	0,20	4,00	0,45	0,20	4,00	0,45	0,20	4,00	0,45	0,25	4,05

LOCTUDY								
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 la commune de Concarneau	E9a			E9b		
			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	2,87		0,45	0,80	4,12	0,45		3,32
2	2,96		0,45	0,75	4,16	0,45		3,41
3	3,02		0,45	0,70	4,17	0,45		3,47
4	3,07		0,45	0,60	4,12	0,45		3,52
5	3,16		0,45	0,50	4,11	0,45		3,61
6	3,22		0,45	0,43	4,10	0,45		3,67
7	3,27		0,45	0,35	4,07	0,45		3,72
8	3,35		0,45	0,30	4,10	0,45		3,80
9	3,40		0,45	0,25	4,10	0,45		3,85
10	3,50		0,45	0,20	4,15	0,45		3,95
11	3,55		0,45	0,15	4,15	0,45		4,00
12	3,60		0,45	0,13	4,18	0,45		4,05
13	3,58	0	0,45	0,25	4,28	0,45		4,03
15	3,47	0	0,45	0,25	4,17	0,45		3,92
17	2,80	0	0,45	0,40	3,65	0,45		3,25
19	3,35	0	0,45	0,25	4,05	0,45		3,80

PLOBANNALEC-LESCONIL			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 la commune de Concarneau	22		
			Rechauffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)
1	2,60		0,45	0,55	3,60
2	2,72		0,45	0,50	3,67
3	2,80		0,45	0,45	3,70
4	2,89		0,45	0,38	3,72
5	3,01		0,45	0,30	3,76
6	3,10		0,45	0,25	3,80
7	3,18		0,45	0,20	3,83
8	3,30		0,45	0,18	3,93
9	3,40		0,45	0,15	4,00
10	3,50		0,45	0,13	4,08
11	3,60		0,45	0,10	4,15
12	3,70		0,45	0,08	4,23
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	0,30	3,60
19	3,35	0,05	0,45	0,15	4,00

TREFFIAGAT - LECHIAGAT			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 la commune de Concarneau	23			24			25		
			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	2,79		0,45	0,60	<b>3,84</b>	0,45	0,65	<b>3,89</b>	0,45	0,70	<b>3,94</b>
2	2,88		0,45	0,55	<b>3,88</b>	0,45	0,60	<b>3,93</b>	0,45	0,65	<b>3,98</b>
3	2,96		0,45	0,50	<b>3,91</b>	0,45	0,55	<b>3,96</b>	0,45	0,60	<b>4,01</b>
4	3,03		0,45	0,43	<b>3,91</b>	0,45	0,48	<b>3,96</b>	0,45	0,53	<b>4,01</b>
5	3,13		0,45	0,35	<b>3,93</b>	0,45	0,40	<b>3,98</b>	0,45	0,45	<b>4,03</b>
6	3,21		0,45	0,30	<b>3,96</b>	0,45	0,35	<b>4,01</b>	0,45	0,40	<b>4,06</b>
7	3,27		0,45	0,25	<b>3,97</b>	0,45	0,30	<b>4,02</b>	0,45	0,35	<b>4,07</b>
8	3,37		0,45	0,20	<b>4,02</b>	0,45	0,25	<b>4,07</b>	0,45	0,30	<b>4,12</b>
9	3,45		0,45	0,15	<b>4,05</b>	0,45	0,20	<b>4,10</b>	0,45	0,25	<b>4,15</b>
10	3,55		0,45	0,13	<b>4,13</b>	0,45	0,15	<b>4,15</b>	0,45	0,20	<b>4,20</b>
11	3,60		0,45	0,10	<b>4,15</b>	0,45	0,10	<b>4,15</b>	0,45	0,15	<b>4,20</b>
12	3,70		0,45	0,08	<b>4,23</b>	0,45	0,08	<b>4,23</b>	0,45	0,13	<b>4,28</b>
13	3,58	0,1	0,45	0,15	<b>4,28</b>	0,45	0,20	<b>4,33</b>	0,45	0,25	<b>4,38</b>
15	3,47	0,1	0,45	0,15	<b>4,17</b>	0,45	0,20	<b>4,22</b>	0,45	0,25	<b>4,27</b>
17	2,80	0,1	0,45	0,30	<b>3,65</b>	0,45	0,35	<b>3,70</b>	0,45	0,40	<b>3,75</b>
19	3,35	0,1	0,45	0,15	<b>4,05</b>	0,45	0,20	<b>4,10</b>	0,45	0,25	<b>4,15</b>



LE GUILVINEC			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 la commune de Concarneau	26			27		
			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	2,73		0,45	0,70	3,88	0,45	0,80	3,98
2	2,84		0,45	0,65	3,94	0,45	0,75	4,04
3	2,94		0,45	0,60	3,99	0,45	0,70	4,09
4	3,03		0,45	0,50	3,98	0,45	0,60	4,08
5	3,15		0,45	0,40	4,00	0,45	0,50	4,10
6	3,23		0,45	0,35	4,03	0,45	0,45	4,13
7	3,33		0,45	0,30	4,08	0,45	0,40	4,18
8	3,43		0,45	0,25	4,13	0,45	0,33	4,21
9	3,50		0,45	0,20	4,15	0,45	0,25	4,20
10	3,60		0,45	0,15	4,20	0,45	0,20	4,25
11	3,70		0,45	0,10	4,25	0,45	0,15	4,30
12	3,80		0,45	0,13	4,38	0,45	0,13	4,38
13	3,58	0,1	0,45	0,20	4,33	0,45	0,25	4,38
15	3,47	0,1	0,45	0,20	4,22	0,45	0,25	4,27
17	2,80	0,1	0,45	0,35	3,70	0,45	0,45	3,80
19	3,35	0,1	0,45	0,20	4,10	0,45	0,25	4,15

PENMARO'H			Secteurs								
Car de calcul	Niveau d'eau (m IGN) : Merée + vent et prochain	Adaptation du niveau de la commune par rapport au niveau d'eau de la commune de Concarneau	28			29			30		
			Raufflement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)	Raufflement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)	Raufflement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)
			1	2,97		0,45	0,70	4,12	0,45	0,80	4,22
2	3,07		0,45	0,65	4,17	0,45	0,75	4,27	0,45	0,75	4,27
3	3,15		0,45	0,60	4,20	0,45	0,70	4,30	0,45	0,70	4,30
4	3,23		0,45	0,55	4,23	0,45	0,65	4,33	0,45	0,65	4,33
5	3,33		0,45	0,50	4,28	0,45	0,60	4,38	0,45	0,60	4,38
6	3,41		0,45	0,45	4,31	0,45	0,55	4,41	0,45	0,55	4,41
7	3,48		0,45	0,40	4,33	0,45	0,50	4,43	0,45	0,50	4,43
8	3,58		0,45	0,35	4,38	0,45	0,45	4,48	0,45	0,45	4,48
9	3,65		0,45	0,30	4,40	0,45	0,40	4,50	0,45	0,40	4,50
10	3,75		0,45	0,25	4,45	0,45	0,35	4,55	0,45	0,35	4,55
11	3,85		0,45	0,20	4,50	0,45	0,30	4,60	0,45	0,30	4,60
12	3,90		0,45	0,15	4,50	0,45	0,25	4,60	0,45	0,25	4,60
13	3,58	0,2	0,45	0,30	4,53	0,45	0,35	4,58	0,45	0,40	4,63
15	3,47	0,2	0,45	0,30	4,42	0,45	0,30	4,42	0,45	0,40	4,52
17	2,80	0,2	0,45	0,45	3,90	0,45	0,55	4,00	0,45	0,50	3,95
19	3,35	0,2	0,45	0,30	4,30	0,45	0,35	4,35	0,45	0,40	4,40

PENMARC'H			Secteur								
Ordre de calcul	Niveau d'eau (m IGN) : Merle + vent et prazinn	Adaptation du niveau de la commune par rapport au niveau d'eau de la commune de Concarneau	31			32			33		
			Recheffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)	Recheffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)	Recheffement Climatique + incertitudes (m)	Setup (m)	Niveau d'eau extrême (m IGN)
1	2,97		0,45	0,80	4,22	0,45	0,60	4,02	0,45	0,75	4,17
2	3,07		0,45	0,75	4,27	0,45	0,55	4,07	0,45	0,70	4,22
3	3,15		0,45	0,70	4,30	0,45	0,50	4,10	0,45	0,65	4,25
4	3,23		0,45	0,65	4,33	0,45	0,45	4,13	0,45	0,63	4,31
5	3,33		0,45	0,60	4,38	0,45	0,40	4,18	0,45	0,60	4,38
6	3,41		0,45	0,55	4,41	0,45	0,35	4,21	0,45	0,55	4,41
7	3,48		0,45	0,50	4,43	0,45	0,30	4,23	0,45	0,50	4,43
8	3,58		0,45	0,45	4,48	0,45	0,25	4,28	0,45	0,45	4,48
9	3,65		0,45	0,40	4,50	0,45	0,20	4,30	0,45	0,40	4,50
10	3,75		0,45	0,35	4,55	0,45	0,15	4,35	0,45	0,33	4,53
11	3,85		0,45	0,30	4,60	0,45	0,10	4,40	0,45	0,25	4,55
12	3,90		0,45	0,20	4,55	0,45	0,05	4,40	0,45	0,20	4,55
13	3,58	0,2	0,45	0,40	4,63	0,45	0,25	4,48	0,45	0,35	4,58
15	3,47	0,2	0,45	0,40	4,52	0,45	0,25	4,37	0,45	0,35	4,47
17	2,80	0,2	0,45	0,50	3,95	0,45	0,25	3,70	0,45	0,45	3,90
19	3,35	0,2	0,45	0,50	4,50	0,45	0,25	4,25	0,45	0,40	4,40