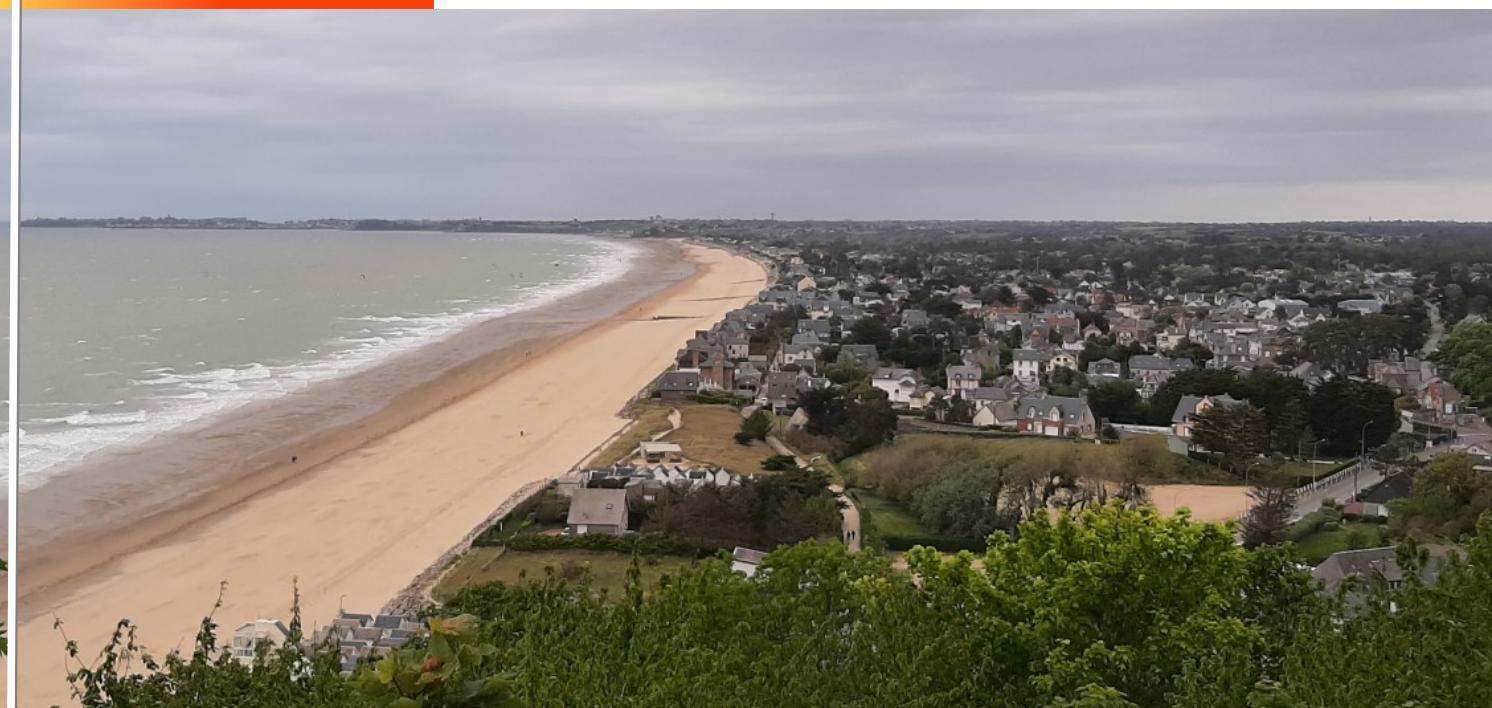


Version soumise à enquête
publique en application
de l'article R.562-8 du code
de l'environnement



Plan de Prévention des Risques Littoraux des communes de Granville (Saint-Nicolas-Plage), Saint-Pair-sur-Mer, Jullouville et Carolles

Rapport de présentation



Référence	Provisoire	Version	3.0
Date	avril 2025	Édition	11/05/2025

ALP'GEORISQUES – Z.I. – 52, rue du Moirond – Bâtiment Magbel – 38420 DOMENE – FRANCE

Tél. : 04-76-77-92-00 Fax : 04-76-77-55-90

sarl au capital de 18 300 € – Siret : 380 934 216 00025 - Code A.P.E. 7112B

N° TVA Intracommunautaire : FR 70 380 934 216

Email : contact@alpgeorisques.com – Site Internet : <http://www.alpgeorisques.com/>

Identification du document

Projet	Plan de Prévention des Risques Littoraux des communes de Granville (Saint-Nicolas-Plage), Saint-Pair-sur-Mer, Jullouville et Carolles		
Sous-titre	Rapport de présentation		
Document	Rapport_presentation_global_v4.0.odt		
Référence	Provisoire		
Proposition n°	D2008063	Référence marché	DDTM50-SETRIS-2020-05
Maître d'ouvrage	Direction Départementale des Territoires et de la Mer de La Manche	477, Boulevard de la Dollée BP 60355 50015 Saint-Lô cedex Tél : 02.33.06.39.00 - Email : ddtm@manche.gouv.fr	
Maître d'œuvre ou AMO	/	/	

Modifications

Version	Date	Description	Auteur	Vérifié par
1.0	16/01/2025	Document provisoire de validation	DMB	
2.0	19/03/2025	Document provisoire de validation	DMB	
3.0	22/04/2025	Document provisoire de validation	DMB	
4.0	09/05/2025	Version finale	DMB	

Diffusion

Chargé d'études	Didier MAZET-BRACHET	04 76 77 92 00	
Diffusion	Papier		
	Numérique	✓	

Archivage

N° d'archivage (référence)	Provisoire
Titre	Plan de Prévention des Risques Littoraux des communes de Granville (Saint-Nicolas-Plage), Saint-Pair-sur-Mer, Jullouville et Carolles
Département	50
Commune(s) concernée(s)	Granville (Saint-Nicolas-Plage), Saint-Pair-sur-Mer, Jullouville et Carolles
Cours d'eau concerné(s)	La Saigue, le Thar, le Crapeux
Région naturelle	Ouest-Cotentin, Baie du Mont-Saint-Michel
Thème	PPRL
Mots-clefs	PPRL Note de présentation

TABLE DES MATIÈRES

I. PRÉAMBULE.....	17
II. CONTEXTE LÉGISLATIF ET RÉGLEMENTAIRE.....	18
II.1. Rappel de l'objet du PPRN.....	18
II.2. Prescription du PPRN.....	19
II.3. Approbation et révision du PPRN.....	20
II.4. Contenu du PPR.....	20
II.5. Périmètre du PPRL.....	21
II.6. Phénomènes pris en compte par ce PPRL.....	21
II.7. Motivation du PPRL.....	21
III. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU TERRITOIRE.....	23
III.1. Contexte humain.....	24
III.1.1. Développement du territoire.....	24
III.1.1.1. Jusqu'au milieu du 19 ^e siècle.....	25
III.1.1.2. Fin 19 ^e siècle : la naissance d'une station balnéaire.....	28
III.1.1.3. Depuis le milieu du 20 ^e siècle.....	31
III.1.2. Population et logements.....	33
III.1.2.1. Une croissance démographique affirmée depuis 1968.....	33
III.1.2.2. Une densité de population de plus en plus élevée.....	33
III.1.2.3. L'augmentation importante du nombre de logements en cinquante ans.....	34
III.1.2.4. La prédominance de la maison individuelle.....	34
III.1.3. Mutation des activités économiques.....	35
III.1.3.1. L'augmentation de la proportion des emplois liés au tourisme.....	35
III.1.3.2. La part de l'hébergement marchand.....	36
III.1.3.3. L'offre importante de camping.....	36
III.1.3.4. Une agriculture en difficulté.....	37
III.2. Contexte géographique.....	37
III.2.1. Géologie, morphologie et hydrogéologie.....	37
III.2.1.1. Contextes géologique et géomorphologique terrestres.....	37
III.2.1.2. Contexte géologique du milieu marin et nature des fonds.....	42
III.2.1.3. Secteur nord : De Granville au débouché du Thar.....	45
III.2.1.4. Secteur Central : Du débouché du Thar aux falaises de Carolles.....	48
III.2.1.5. Secteur sud : Les falaises de Carolles.....	53
III.2.2. Contexte hydrogéologique.....	56
III.2.3. Nature et description générale du trait de côte actuel.....	56
III.2.4. Contexte morphosédimentaire.....	59
III.2.4.1. Unités morphosédimentaires.....	59
III.2.4.2. Dérive littorale à l'échelle de la sous-cellule sédimentaire.....	60
III.2.4.3. Dynamiques sédimentaires côtières.....	60
III.2.4.4. Accumulations sédimentaires sur l'estran au droit du site.....	60
III.2.4.5. Réseau hydrographique à l'échelle des bassins versants.....	61
IV. PRÉSENTATION DES PHÉNOMÈNES NATURELS.....	64
IV.1. Niveaux marins.....	64

IV.1.1. Définition du niveau marin.....	64
IV.1.2. Niveaux caractéristiques de la marée.....	65
IV.1.3. Statistiques des niveaux marins et surcotes extrêmes.....	66
IV.1.3.1. Présentation générale des travaux du SHOM/CEREMA.....	66
IV.1.3.2. Synthèse des travaux.....	68
IV.1.3.3. Analyse des extrêmes à partir du modèle MIKE 21 HD _{GNB}	72
IV.1.3.4. Synthèse sur les niveaux marins.....	74
IV.1.4. Mesures du niveau marin et des surcotes.....	75
IV.1.4.1. Mesures du Service hydrographique et océanographique de la marine.....	75
IV.1.4.2. Mesures au droit ou à proximité du site.....	76
IV.1.5. Conséquences du réchauffement climatique.....	77
IV.1.5.1. Démarche générale du PPRL.....	77
IV.1.5.2. Considérations sur la rehausse du niveau marin.....	77
IV.2. Houle et courants.....	78
IV.2.1. Généralités.....	78
IV.2.2. Houles mesurées : réseau CANDHIS.....	78
IV.3. Pluviométrie.....	81
IV.3.1. Pluviométrie mesurée.....	81
IV.3.2. Pluviométrie de projet.....	82
IV.4. Hydrologie des cours d'eau.....	82
IV.4.1.1. Données pour le Thar.....	82
IV.4.2. Données pour le Crapeux et la Saigue.....	86
IV.4.3. Données issues de modèles pluie/débit.....	86
IV.4.3.1. Données SHYREG.....	86
IV.5. Présentation du trait de côte et de sa protection.....	87
IV.5.1. Présentation générale du trait de côte et de son évolution d'ensemble, et de l'historique et de la gestion des ouvrages de protection.....	87
IV.6. Évènements historiques météo-marins ayant occasionné des dommages.....	90
IV.6.1. Avertissement.....	90
IV.6.2. Évènements recensés dans les archives.....	91
IV.6.2.1. Intérêt et limites des archives.....	91
IV.6.2.2. Présentation de l'ensemble des évènements recensés.....	92
IV.6.2.3. Évènements d'érosion du trait de côte.....	94
IV.6.2.4. Dégradations des ouvrages côtiers.....	96
IV.6.2.5. Submersions marines.....	97
IV.7. Évènements historiques de crue et d'inondation de la zone littorale urbanisée.....	98
IV.7.1. Préambule et synthèse des évènements recensés.....	98
IV.8. Problématiques vis-à-vis de la submersion marine seule.....	104
IV.8.1. Franchissements.....	104
IV.8.1.1. Préambule.....	104
IV.8.1.2. Avenue de la Mer à Carolles-Plage.....	105
IV.8.1.3. Secteur Beausoleil à Saint-Pair-sur-Mer.....	105
IV.8.2. Synthèse des phénomènes littoraux.....	108
IV.9. Problématique des inondations terrestres et lien avec les conditions marines.....	109
IV.9.1. Le Thar.....	110
IV.9.1.1. Fonctionnement général des crues et des inondations.....	110

IV.9.1.2. Synthèse générale sur les phénomènes d'inondations terrestres de la zone littorale urbanisée	112
IV.9.2. Le Crapeux.....	113
IV.9.2.1. Fonctionnement général des crues et des inondations.....	113
IV.9.2.2. Effets des conditions marines.....	114
IV.9.3. La Saigue.....	114
IV.9.3.1. Fonctionnement général des crues et des inondations.....	114
IV.9.3.2. Ouvrages d'endiguement et de franchissement.....	115
IV.10. Problématique de l'évolution des plages et du trait de côte.....	116
IV.10.1. Généralités.....	116
IV.10.2. Données principales de suivi disponibles.....	116
IV.10.2.1. Photo-interprétation de la position du trait de côte et indicateur national de l'érosion côtière.	116
IV.10.2.2. Suivi des plages et du stock sableux.....	117
IV.10.2.3. Données d'archives et retour d'expérience des acteurs locaux.....	117
IV.10.3. Evolution des plages et problématiques au droit du trait de côte fixé par des ouvrages de protection en dur.....	119
IV.10.3.1. Présentation des données de suivi du CREC.....	119
IV.10.4. Evolution des secteurs non fixés par des ouvrages en dur.....	121
IV.10.4.1. Débouché du Thar.....	121
IV.10.4.2. Cordon dunaire à l'exutoire du Crapeux.....	126
IV.10.4.3. Dune de l'Agriculture.....	126
IV.10.5. Éléments de témoignage divers sur l'évolution des plages.....	127
IV.10.6. Synthèse.....	128
V. QUALIFICATION DE L'ALÉA.....	130
V.1. Caractérisation de l'aléa érosion.....	130
V.1.1. Présentation de l'aléa érosion.....	130
V.1.2. Rappels de la démarche classique PPRL pour la détermination de l'aléa érosion....	131
V.1.3. Caractérisation proprement-dite de l'aléa érosion ayant un impact sur l'aléa submersion.....	132
V.1.3.1. Secteurs artificialisés.....	132
V.1.3.2. Dune de l'agriculture.....	132
V.1.3.3. Flèche sableuse du Thar et schorre en arrière.....	134
V.1.3.4. Encoche d'érosion en partie Nord du débouché du Thar.....	135
V.2. Caractérisation et cartographie de l'aléa submersion marine.....	136
V.2.1. Construction du modèle numérique local de submersion de Saint-Pair-Sur-Mer, Jullouville et Carolles.....	136
V.2.1.1. Bases de données topographiques-bathymétriques.....	136
V.2.1.2. Le modèle couplé MIKE 21/3 Model FM.....	137
V.2.1.3. Emprise, maillage et topo-bathymétrie du modèle – Intégration des cours d'eau et du bâti.....	137
V.2.1.4. Prise en compte des débits des cours d'eau dans le modèle.....	139
V.2.1.5. Représentation des ouvrages hydrauliques et des bords de cours d'eau dans le modèle.....	139
V.2.1.6. Conditions aux limites du modèle.....	140
V.2.1.7. Validation du modèle local de submersion.....	140
V.2.2. Évènement de référence pour la submersion par débordement.....	140
V.2.2.1. Évènements centennaux de projet considérés.....	141
V.2.2.2. Modélisation des couples centennaux et calcul de la surcote de déferlement.....	141
V.2.2.3. Conclusion sur l'évènement de référence pour la submersion par débordement.....	142
V.2.3. Évènement de référence pour le franchissement par paquets de mer.....	143

V.2.3.1. Modélisation des débits de franchissements sur le front de mer.....	143
V.2.3.2. Conclusion sur l'évènement de référence pour la submersion par franchissement.....	148
V.2.4. Descriptions des évènements météo-marins et de crue modélisés.....	148
V.2.4.1. Évènement météo-marins.....	148
V.2.4.2. Prise des cours d'eau et des phénomènes de crues.....	149
V.2.5. Détails de la dynamique des niveaux d'eau sur les trois cours d'eaux.....	150
V.2.5.1. Le Thar.....	150
V.2.5.2. La Saigue.....	152
V.2.5.3. Le Crapeux.....	153
V.2.6. Scénarios de Brèche et d'effacement d'ouvrage.....	154
V.3. Approche géomorphologique.....	158
V.3.1. Zones concernées.....	158
V.3.2. Principe de l'analyse hydrogéomorphologique.....	159
V.3.2.1. Méthodologie.....	159
V.3.2.2. Finalité.....	160
V.4. Principe d'établissement des cartes d'aléa.....	160
V.4.1. Définition des aléas.....	160
V.4.2. Bandes de précaution.....	160
V.4.3. Bandes de chocs mécaniques.....	161
V.4.4. Cartographie des aléas.....	162
VI. ENJEUX DU TERRITOIRE.....	171
VI.1. Concept.....	171
VI.2. Méthodologie.....	171
VI.2.1. Recensement des données disponibles.....	171
VI.2.2. Vérification des données sur le terrain.....	172
VI.3. Évolution du territoire sur le long terme.....	172
VI.3.1. Commune de Granville (Saint-Nicolas-Plage).....	172
VI.3.2. Commune de Saint-Pair-sur-Mer.....	172
VI.3.3. Commune de Jullouville.....	174
VI.3.4. Commune de Carolles.....	175
VI.4. Tendances récentes et structure de la population.....	177
VI.4.1. Commune de Saint-Pair-sur-Mer.....	177
VI.4.2. Commune de Jullouville.....	178
VI.4.3. Commune de Carolles.....	179
VI.5. Parc de logements.....	181
VI.5.1. Commune de Saint-Pair-sur-Mer.....	181
VI.5.2. Commune de Jullouville.....	181
VI.5.3. Commune de Carolles.....	181
VI.6. Analyse de la vulnérabilité par commune.....	182
VI.6.1. Cartographie des enjeux.....	182
VI.6.2. Vulnérabilité du territoire.....	184
VI.6.2.1. ERP exposés.....	184
VI.6.2.2. Vulnérabilité du bâti.....	184
VI.6.2.3. Granville (Saint-Nicolas-Plage).....	185
VI.6.2.4. Saint-Pair-sur-Mer.....	186
VI.6.2.5. Jullouville.....	188

VI.6.2.6. Carolles.....	189
VI.7. Cartographie de la vulnérabilité.....	190
VII. ZONAGE RÉGLEMENTAIRE ET RÈGLEMENT.....	194
VII.1. Critères de croisement des aléas et des enjeux.....	194
VII.1.1. Zones rouges.....	195
VII.1.2. Zones bleues.....	195
VII.2. Le plan de zonage et la carte des cotes de référence.....	195
VII.3. Le règlement.....	203
VIII. ANNEXES HORS TEXTE.....	205

Index des figures

Figure III.1: Localisation du site d'étude à l'échelle de la métropole française.....	23
Figure III.2: Localisation du site d'étude à l'échelle régionale.....	23
Figure III.3: Localisation du site d'étude à l'échelle communale avec limites communales.....	24
Figure III.4: Extrait de la carte d'une partie des costes de Normandie où l'on a marqué les capitaineries garde-costes (1740), source Gallica.bnf.fr.....	25
Figure III.5: Extrait d'une carte ancienne Lingreville – Carolles (Gallica.bnf.fr).....	26
Figure III.6: Extrait de la carte de Granville de Jean Magin (début 18ème siècle) (Gallica.bnf.fr).....	27
Figure III.7: Cartes postales illustrant une pêcherie sur l'estran et le ramassage du varech.....	27
Figure III.8: Extrait de la carte de Cassini (fin 18 ^e siècle).....	28
Figure III.9: Extrait de la carte d'État-major (milieu 19 ^e siècle).....	29
Figure III.10: Plan de Jullouville/Paul Dupuy, 1896 (Archives Départementales de la Manche).....	30
Figure III.11: Le front de mer de Saint-Pair-sur-Mer.....	30
Figure III.12: Carolles-Plage.....	31
Figure III.13: Carte d'Etat-major (1950) et Carte IGN (2008).....	32
Figure III.14: Evolution de la population sur l'ensemble des trois communes entre 1968 et 2017 (INSEE).....	33
Figure III.15: Evolution de la population par commune entre 1968 et 2017 (INSEE).....	33
Figure III.16 : Evolution de la densité de population (en hab/km ²) sur le territoire des trois communes entre 1968 et 2017 (INSEE).....	34
Figure III.17: Part de logements selon leur type (en%) en 2017 (INSEE).....	34
Figure III.18: Evolution du nombre de résidences sur le territoire des trois communes entre 1968 et 2017 (INSEE).....	35
Figure III.19: Evolution de la part des résidences secondaires (en%) sur le territoire des trois communes entre 1968 et 2017 (INSEE).....	35
Figure III.20: Répartition (en %) de la capacité d'accueil touristique en 2020 en nombre de lits sur les 3 communes (Latitude Manche).....	36
Figure III.21: Evolution de la part des emplois (en %) selon le secteur d'activité dans les communes de Jullouville et de Saint-Pair-sur-Mer (INSEE).....	36
Figure III.22: Répartition (en%) de la capacité d'accueil touristique en 2020 en nombre de lits sur les 3 communes (Latitude Manche).....	37
Figure III.23: Evolution du nombre d'exploitations agricoles sur le territoire des 3 communes (Agreste, Recensement Agricole 2010).....	37
Figure III.24: Situation de la feuille Granville à 1/50 000 (Carte géologique de la France au 1/50 000 – Granville).....	38
Figure III.25: Esquisse structurale de la partie continentale de la feuille de Granville (Carte géologique de la France au 1/50 000 – Granville).....	39
Figure III.26: Extraits de la carte géologique 1/50 000 vecteur harmonisée du BRGM.....	40
Figure III.27: Analyse topographique d'ensemble du site d'étude – Altimétries en m IGN69 (RGE Altim [®] V2.0).....	41

Figure III.28: Analyse topographique des zones comprise entre 0 et 20 m IGN69 – Altimétries en m IGN69 (RGE Alti® V2.0).....	42
Figure III.29: Morphologie du domaine marin au large du secteur et grand ensemble de la Baie du Mont-Saint-Michel (Scan Littoral® Métropole).....	43
Figure III.30: Représentation de la morphologie du domaine marin au droit du secteur (Scan Littoral® Métropole).....	44
Figure III.31: Nature des fonds marins au large du secteur élargi.....	45
Figure III.32: Saint-Nicolas Plage (premier plan) et plage de Saint-Pair-sur-Mer (second plan) avec le rocher Saint-Gaud (au fond).....	46
Figure III.33: Extrait de la carte géologique 1/50 000 imprimée du BRGM - Littoral au nord du débouché du Thar.....	46
Figure III.34: Topographie de la zone arrière littorale basse de Saint-Pair-sur-Mer – Altimétries entre 7 et 11 m IGN69 (RGE Alti).....	47
Figure III.35: Faciès sédimentaire - Secteur nord (Augris, 2008).....	47
Figure III.36: Topographie de la zone arrière littorale basse de Saint-Pair-sur-Mer –Altimétries entre 7 et 11 m IGN69 (RGE Alti® V2.0).....	48
Figure III.37: Extrait de la carte géologique 1/50 000 imprimée du BRGM_Zone basse principale.....	49
Figure III.38: Extrait de la carte SCAN Littoral® - Secteur central: Faciès sédimentaire - Secteur Central (Augris, 2008).....	50
Figure III.39: Faciès sédimentaire - Secteur Central (Augris, 2008).....	50
Figure III.40: Topographie de la zone arrière littorale basse du secteur central – Altimétries entre 7 et 15 m IGN69 (RGE Alti).....	51
Figure III.41: Vue aérienne du débouché du Thar, de la flèche sableuse de Kairon-Plage et de la pointe rocheuse au nord du débouché (GoogleEarth, mai 2020).....	52
Figure III.42: Vues de la zone de schorre au débouché du Thar sous protection de la flèche sableuse (Alp'Géorisques, mai 2021).....	53
Figure III.43 : Le promontoire granitique de Carolles.....	53
Figure III.44 : Vue du massif granitique de Carolles et du platier rocheux (Alp'Géorisques mai 2021)....	54
Figure III.45: Extrait de la carte géologique 1/50 000 imprimée du BRGM_Falaises de Carolles.....	54
Figure III.46: Extrait de la carte SCAN Littoral® - Secteur sud.....	55
Figure III.47: Faciès sédimentaire - Secteur sud des falaises de Carolles (Augris, 2008).....	55
Figure III.48 : Représentation schématique du biseau salé et de l'aquifère du cordon dunaire sur la zone littorale.....	56
Figure III.49 : Recensement et type d'ouvrages et aménagements littoraux sur l'entité 1.....	57
Figure III.50 : Recensement et type d'ouvrages et aménagements littoraux sur l'entité 2.....	58
Figure III.51 : Recensement et type d'ouvrages et aménagements littoraux sur l'entité 3 nord du secteur.	58
Figure III.52 : Recensement et type d'ouvrages et aménagements littoraux sur l'entité 3 sud du secteur.	59
Figure III.53: Découpage du littoral en unité morphosédimentaire dans la région étudiée.....	59
Figure III.54 : Bassins versants topographiques et cours d'eau – Échelle des bassins versants.....	61
Figure III.55 : Occupation du sol des bassins versants traversant Saint-Pair-sur-Mer, Jullouville et Carolles (Corine Land Cover 2018).....	62
Figure III.56 : Topographie des bassins versants traversant Saint-Pair-sur-Mer, Jullouville et Carolles (BD Alti 75 m).....	62
Figure III.57 : Occupation des sols du bassin versant du Crapeux et du Lude.....	63
Figure IV.1: Schématisation du run-up dans la zone de jet de rive (ou swash).	64
Figure IV.2 : Composantes du niveau marin à la côte sans surcote liée au vent ou à un effet local (BRGM).....	65
Figure IV.3: Valeurs extrêmes de niveau PM estimés à Saint-Malo par le SHOM / CEREMA.....	69
Figure IV.4: Valeurs extrêmes de niveau PM estimés à Cherbourg par le SHOM / CEREMA.....	69
Figure IV.5: Ajustement statistique des valeurs extrêmes de surcote de PM d'après le SHOM/CEREMA : gauche : pour le port de Saint-Malo ; droite : pour le port de Cherbourg.....	70
Figure IV.6: Cartographie des niveaux extrêmes centennaux en m IGN69 le long du trait de côte autour du site d'étude produite en 2022, et localisation des ports de référence encadrant (SHOM/CEREMA)...	71

Figure IV.7: Emplacement du point d'extraction des niveaux d'eau à partir du modèle MIKE 21 HD _{GNB}	72
Figure IV.8: Localisation du point « Jullouville-Large » pour l'extraction des données du modèle, valeurs des niveaux extrêmes pour le T100 du SHOM/CEREMA 2022 (à gauche) et isolignes de la note SHOM/CEREMA de 2013.....	73
Figure IV.9: Élévation moyenne du niveau de la mer à 100 ans dans le rapport IPCC-AR6, selon différents scenarios socio-économiques. Source : NASA Sea level change portal.....	78
Figure IV.10: Position des houlographes CANDHIS au large du site d'étude.....	79
Figure IV.11: Exemple de mesures du H1/3 et du Hmax à la bouée CANDHIS des Minquiers nord (Source : CEREMA).....	80
Figure IV.12: Rose des houles – Hauteurs significatives des houles en fonction de la direction au pic pour les bouées CANDHIS des Minquiers nord (en haut) et des Minquiers (en bas) (CEREMA).....	80
Figure IV.13: Emplacement de la station hydrométrique du Thar à Jullouville.....	83
Figure IV.14: Histogramme des débits moyens mensuels du Thar à Jullouville – Données calculées sur 52 ans (Source : Banque Hydro).....	84
Figure IV.15: Comparaison de la pluviométrie journalière et de la hauteur d'eau dans le Thar mesurée au pont de Lézeaux.....	86
Figure IV.16: Comparaison des photos aériennes entre juin 1947 et mai 2019 à l'échelle globale du trait de côte étudié (Géoportail).....	87
Figure IV.17: Comparaison des photos aériennes entre juin 1947 et mai 2019 à l'échelle du débouché du Thar (Géoportail).....	88
Figure IV.18: Comparaison des photos aériennes entre juin 1947 et mai 2019 à l'échelle de l'ancien débouché du Crapeux (Géoportail).....	88
Figure IV.19 : Découpage des ouvrages longitudinaux de protection et périmètre des 5 ASA de défense contre la mer sur les trois communes littorales étudiées.....	89
Figure IV.20 : Franchissements de la digue d'Étretat en décembre 2019 (CD76).....	91
Figure IV.21 : Répartition chronologique des évènements météo-marins ayant occasionné des dommages sur secteur – Recensement des archives/ tous types de dommages confondus.....	92
Figure IV.22 : Répartition saisonnière des évènements météo-marins ayant occasionné des dommages sur le secteur – Recensement des archives/ tous types de dommages confondus.....	92
Figure IV.23 : Extraits du reportage de France 2 sur l'inondation de décembre 1999 : résidence bel air, à gauche, et allée du camping au sud de cette résidence, à droite (Source : INA).....	101
Figure IV.24 : Vues générales de l'inondation de décembre 1999 à Jullouville, entre l'avenue du Docteur-Lemonnier et l'Avenue des Sapins (Source : ouest France).....	102
Figure IV.25 : Inondation de l'avenue du Mont-Saint-Michel le 02 mars 2010 à 8h30.....	102
Figure IV.27 : Vues de l'inondation du parking de la Plage à Jullouville liée au Crapeux le 22 janvier 2005.....	103
Figure IV.26 : Photos du parking entre le chemin des pêcheurs et la rue du Mont de Dol le 1er mars 2010 (en haut) et du parking de la plage d'Edenville autour de cette date (en bas) (Source : ouest France). 103	
Figure IV.28 : Vues de la montée en charge du Crapeux et de l'inondation de l'aire de camping-cars le 22/12/2020 (Source : Mairie de Jullouville).....	104
Figure IV.29: Franchissements au droit de l'avenue de la Mer à Carolles le 11 mars 2020 (Source : JP David).....	105
Figure IV.31 : Vue du tronçon bas de la RD911 au sud de Beausoleil (démarrage du tronçon à l'intersection avec la RD569) inondé le 03 janvier 2018 à 8h05.....	106
Figure IV.30: Vues des franchissements s'accumulant sur le parking en arrière de l'enrochement au droit de Beausoleil le 03 mars 2014.....	106
Figure IV.32: Photographie des franchissements au droit de Beausoleil en 1984.....	107
Figure IV.33: Identification et topographie du site soumis aux franchissements au droit de Beausoleil – Représentation schématique de l'écoulement des eaux franchies (GoogleEarth, RGE Alti® V2.0).....	107
Figure IV.34: Cartographie du risque de remontée et de débordement de la nappe phréatique au droit du Thar et du Ruet à Jullouville (DREAL).....	111
Figure IV.35: Remontées de nappe et zones inondées en amont du pont de Lézeaux (premier plan) et de la mare de Bouillon (second plan) le 16 mars 2001 (DDTM50).....	111
Figure IV.36: Remontées de nappe et zones inondées au niveau et en amont du pont de Lézeaux le 16 mars 2001 (DDTM50).....	111

Figure IV.37 : Identification des zones basses autour du tronçon aval de la Saigue – Altimétries en m IGN69 (RGE Alti® V2.0).....	115
Figure IV.38 : Coupe au droit de la rue Malais – Altimétries en m IGN69 (RGE Alti® V2.0).....	115
Figure IV.39 : Représentation schématique du positionnement du trait de côte dans le suivi terrestre du CREC.....	117
Figure IV.40 : Tendances d'évolution en cm/an du niveau et évolutions relatives du volume en m ³ /ml entre 1991/1992 et 2020 pour le profil de plage (deux à gauche) et pour la haute plage (deux à droite).	119
Figure IV.41 : Vue de Saint-Nicolas-Plage au nord de la piscine d'eau de mer de Saint-Pair-sur-Mer le 15/10/2021 (DHI).....	121
Figure IV.42 : Evolution du trait de côte de 1947 à 2019 au nord de l'enrochement Beausoleil (Sources : CEREMA/ROLNHDF/DDTM).....	122
Figure IV.43 : Evolution du trait de côte au débouché du Thar de 1947 à 2020 (Sources : ROLNHDF).	123
Figure IV.44 : Evolution du trait de côte au débouché du Thar de 1947 à 2020 – Zoom sur la racine de la partie sud de la flèche sableuse (Sources : ROLNHDF).....	124
Figure IV.45 : Vue des deux nouvelles fascines au droit de la partie mince de la flèche, au premier plan (Ville de Saint-Pair-sur-Mer).....	125
Figure IV.46 : Vue des fascines et du pied de la flèche sableuse en septembre 2021 (Ville de Saint-Pair-sur-Mer).....	125
Figure IV.47 : Evolution du trait de côte au droit du cordon dunaire à l'exutoire du Crapeux de 1947 à 2010 (Sources : ROLNHDF).....	126
Figure IV.48 : Evolution du trait de côte au droit de la dune de l'Agriculture à Carolles de 1947 à 2010 (Sources : ROLNHDF).....	127
Figure V.1: Application de la méthode FEMA sur deux profils de la dune de l'agriculture.....	133
Figure V.2: Application de la méthode FEMA à la flèche Sableuse à l'embouchure du Thar.....	134
Figure V.3: Prise en compte de l'érosion de la flèche de l'embouchure du Thar à échéance 100 ans. La première figure représente la bathymétrie actuelle, et la seconde figure correspond à la bathymétrie après effacement de la flèche.....	135
Figure V.4: Représentation des bâtiments dans le modèle local de submersion. Vue du niveau d'eau issue d'un résultat de simulation. Les bâtiments sont représentés par une hauteur constante arbitraire de 4 m dans le modèle.....	137
Figure V.5 : Maillage et bathymétrie du modèle local de submersion.....	138
Figure V.6 : Vue rapprochée du maillage et de la bathymétrie du modèle local de submersion à l'embouchure de la Saigue.....	138
Figure V.7 : Vue rapprochée du maillage du modèle de submersion à l'embouchure du Thar.....	139
Figure V.8 : Simulation du phénomène de déferlement de vagues à la côte par MIKE 3 WAVE FM.....	144
Figure V.9 : Emprise et topo-bathymétrie (en m IGN69) du modèle MIKE 3 Wave de St-Pair – Jullouville – Carolles (haut), détail sur le débouché du Crapeux (bas).....	145
Figure V.10 : Exemple de champ de vague modélisé par MIKE 3 Wave à un instant donné au droit du débouché du Thar.....	146
Figure V.11 : Série temporelle de niveau marin – évènement de référence (noire), et hydrogrammes pour la crue centennale (rouge), la crue décennale (vert), la crue annuelle (bleu) imposés en amont du Thar.	150
Figure V.12 : Hydrogrammes du Thar imposé en amont du modèle (noir) et obtenu à la sortie de la mare du Bouillon (vert). Marégramme imposé en mer (bleu) pour le scenario crue et niveau marin décennale.	150
Figure V.13: Hydrogrammes du Thar imposé en amont du modèle (noir) et obtenu à la sortie de la mare du Bouillon (vert). Marégramme imposé en mer (bleu).....	151
Figure V.14: Localisation des points de référence sur le Thar.....	151
Figure V.15 : Localisation des points d'extraction des niveaux d'eau le long du Thar (haut) et évolution temporelle de hauteurs d'eau extraites le long du Thar (bas) aux points 1, 2 et 3 (respectivement courbes bleues, vertes et oranges). Le point n°3 étant situé le plus en amont et le point n°1 étant le plus en aval.....	152
Figure V.16: Localisation des points de référence sur la Saigue.....	152

Figure V.17 : Position des points d'extractions (haut) et variation temporelle du niveau d'eau (bas) le long de la Saigue aux points 1 et 2 (respectivement courbes bleue et verte) ainsi que du niveau marin au large (courbe noire). Le point n°2 étant le point en aval par rapport au point n°1.....	153
Figure V.18: Localisation des points de référence sur le Crapeux.....	153
Figure V.19 : Position du point d'extraction (haut) et variation temporelle du niveau d'eau extrait dans le Crapeux (courbe bleue) et du niveau marin (courbe noire).....	154
Figure V.20 : Profil bathymétrique en travers de la route RD911. La position de la crête de la route département en début de simulation, avant le pic de la tempête (7h) est représenté par le trait bleu et le trait rouge indique sa position une heure après le pic de la tempête.....	155
Figure V.21 : Position et série temporelle de niveau d'eau et de hauteur d'eau extrait à l'arrière de la brèche du RD911.....	156
Figure V.22 : Localisation de la flèche du Thar qui est effacé dans la modélisation de l'évènement de référence à échéance 100 ans.....	157
Figure V.23 : Carte de hauteur d'eau pour le scénario à échéance 100 ans CC + 0,6 m avec brèche de la flèche sableuse.....	157
Figure V.24 : Carte de hauteur d'eau pour le scénario à échéance 100 ans CC + 0,6 m sans brèche de la flèche sableuse.....	158
Figure V.25: Schéma d'une plaine alluviale (Source : Ballais et al., 2011).....	159
Figure V.26 : Représentation de la bande de précaution derrière les structures de protection (Source : Circulaire du 27/07/2011).....	161
Figure V.27 : Exemple de détermination de la largeur de la bande de précaution.....	161
Figure V.28 : Aléas centennal de référence - feuille nord.....	163
Figure V.29 : Aléas centennal de référence - feuille sud.....	164
Figure V.30 : Aléas centennal de référence - feuille est.....	165
Figure V.31 : Aléas centennal avec prise en compte du réchauffement climatique à + 0,60 m - feuille nord	167
Figure V.32 : Aléas centennal avec prise en compte du réchauffement climatique à + 0,60 m - feuille sud	168
Figure V.33 : Aléas centennal avec prise en compte du réchauffement climatique à + 0,60 m - feuille est	169
Figure VI.1: Occupation du sol pour la commune de Saint-Pair-sur-Mer.....	173
Figure VI.2: Evolution de la population de la commune de Saint-Pair-sur-Mer (source : Ldh/EHESS/Cassini et INSEE).....	173
Figure VI.3: Occupation du sol pour la commune de Jullouville.....	174
Figure VI.4 : Evolution de la population pour la commune de Jullouville. (Source : Ldh/EHESS/Cassini et INSEE).....	175
Figure VI.5: Occupation du sol pour la commune de Carolles.....	176
Figure VI.6: Evolution de la population pour la commune de Carolles (Sources : Ldh/EHESS/Cassini et INSEE).....	176
Figure VI.7: Évolution du nombre de résidents dans la commune de Saint-Pair-sur-Mer entre 1968 et 2021 (INSEE, 2024).....	177
Figure VI.8: Répartition de la population de Saint-Pair-sur-Mer par tranche d'âge en 2021 (INSEE, 2024).....	177
Figure VI.9: Évolution de la répartition de la population de Saint-Pair-sur-Mer entre 2010 et 2021 (INSEE, 2024).....	178
Figure VI.10: Évolution du nombre de résidents dans la commune de Jullouville entre 1968 et 2021 (INSEE, 2024).....	178
Figure VI.11: Répartition de la population de Jullouville par tranche d'âge en 2021 (INSEE, 2024).....	179
Figure VI.12: Évolution de la répartition de la population de Jullouville entre 2010 et 2021 (INSEE, 2024)	179
Figure VI.13: Évolution de la population de Carolles entre 1968 et 2021 (INSEE, 2024).....	180
Figure VI.14: Répartition de la population de Carolles par tranches d'âge en 2021 (INSEE, 2024).....	180
Figure VI.15: Évolution de la répartition de la population de Carolles par tranche d'âge entre 2010 et 2021 (INSEE, 2024).....	181
Figure VI.16: Légende de la carte des enjeux (* : d'après PLU).....	182

Figure VI.17 : Cartographie globale des enjeux.....	183
Figure VI.18 : Carte de vulnérabilité du territoire - feuille nord.....	191
Figure VI.19 : Carte de vulnérabilité du territoire - feuille sud.....	192
Figure VI.20 : Carte de vulnérabilité du territoire - feuille est.....	193
Figure VII.1 : Légende du plan de zonage PPRL.....	196
Figure VII.2 : Plan de zonage PPRL - feuille nord.....	197
Figure VII.3 : Cotes de référence PPRL - feuille nord.....	198
Figure VII.4 : Plan de zonage PPRL - feuille sud.....	199
Figure VII.5 : Cotes de référence PPRL - feuille sud.....	200
Figure VII.6 : Plan de zonage PPRL - feuille est.....	201
Figure VII.7 : Cotes de référence PPRL - feuille est.....	202

Index des tableaux

Tableau III.1: Nature du trait de côte d'après le recensement CEREMA.....	56
Tableau III.2 : Répartition par nature des ouvrages longitudinaux au droit de la côte d'accumulation étudiée selon le recensement DDTM50.....	57
Tableau IV.1 : Niveaux de marée de référence à Granville et au Mont-Saint-Michel.....	66
Tableau IV.2 : Niveaux de marée de référence à Saint-Malo.....	66
Tableau IV.3 : Comparaison des estimations de niveaux extrêmes de PM (en m IGN69) dans les différents travaux du SHOM / CEREMA pour le port de Saint-Malo.....	68
Tableau IV.4 : Comparaison des estimations de niveaux extrêmes de PM (en m IGN69) dans les différents travaux du SHOM / CEREMA pour le port de Cherbourg.....	68
Tableau IV.5 : Période de retour des valeurs extrêmes de surcote de PM pour le port de Saint-Malo d'après le SHOM / CEREMA.....	70
Tableau IV.6 : Période de retour des valeurs extrêmes de surcote de PM pour le port de Saint-Malo d'après le SHOM / CEREMA.....	70
Tableau IV.7 : Niveaux marins extrêmes de PM (en m IGN69) le long du trait de côte au droit du site d'étude selon le SHOM/CEREMA, éditions 2008, 2012 et 2022.....	71
Tableau IV.8 : Niveaux marins extrêmes de PM (en m IGN69) retenus le long du trait de côte au droit du site d'étude.....	72
Tableau IV.9 : Niveaux marins extrêmes de PM (en m IGN69) issus du modèle MIKE 21 HD _{GNB} comparés à ceux de l'approche SHOM/CEREMA au port de Saint-Malo.....	73
Tableau IV.10 : Niveaux marins extrêmes de PM (en m IGN69) issus du modèle MIKE 21 HD _{GNB} comparés à ceux de l'approche SHOM/CEREMA au large du secteur d'étude.....	74
Tableau IV.11 : Synthèse des niveaux marins caractéristiques et extrêmes au droit du site d'étude, au point « Jullouville-Large ».....	74
Tableau IV.12 : Niveaux d'eau validés SHOM les plus hauts mesurés au marégraphe de Saint-Malo depuis 1986 en données validées horaires (valeur interpolée/corrigée CEREMA 2018).....	75
Tableau IV.13: Caractéristiques des campagnes CANDHIS au large du site d'étude.....	79
Tableau IV.14: Hauteurs maximales des précipitations en 24h à Sartilly et Granville avant 1999.....	81
Tableau IV.15: Données Hauteur cumulée (mm)-Durée-Fréquence pour les pas de temps 6 minutes à 24h sur l'amont des bassins versants et sur la frange littorale étudiés.....	82
Tableau IV.16: Valeurs des débits moyens mensuels et du module du Thar à la station de Jullouville – Données calculées sur 52 ans (Banque Hydro).....	83
Tableau IV.17: Quantiles journaliers (m ³ /s) sur le Thar à Jullouville et leur intervalle de confiance (Source : Banque hydro).....	84
Tableau IV.18: Débits instantanés caractéristiques sur le Thar à Jullouville et leur intervalle de confiance (Source : Banque hydro).....	85
Tableau IV.19: Plus forts débits connus sur les stations du Thar et hauteurs d'eau He correspondantes (Source : Banque hydro).....	85
Tableau IV.20 : Liste des évènements météo-marins recensés dans les archives.....	93

Tableau IV.21 : Répartition des évènements météo-marins recensés dans les archives par commune et par type de dommage.....	94
Tableau IV.22 : Évènements ayant provoqué une érosion du trait de côte.....	95
Tableau IV.23 : Évènements ayant provoqué une dégradation des dommages sur les ouvrages côtiers jusqu'en 1970.....	96
Tableau IV.24 : Évènements ayant provoqué une dégradation des dommages sur les ouvrages côtiers de 1970 à 2020.....	97
Tableau IV.25 : Évènements ayant provoqué une dégradation des dommages sur les ouvrages côtiers de 1970 à 2020.....	98
Tableau IV.26 : Évènements d'inondation recensés jusqu'en 2000.....	100
Tableau IV.27 : Évènements d'inondation recensés depuis 2002.....	101
Tableau IV.28 : Synthèse des évènements récents d'érosion du trait de côte observés sur le secteur..	118
Tableau V.1 : Description des données topo-bathymétriques utilisées.....	136
Tableau V.2 : Débits des cours d'eau retenus pour les modélisations.....	139
Tableau V.3 : Couples centennaux analysés pour définir l'évènement de référence.....	141
Tableau V.4 : Présentation du niveau d'eau modélisé à la côte pour chaque couple centennal considéré.	142
Tableau V.5 : Composantes du niveau de l'évènement de référence actuel et à échéance 100 ans pour le débordement.....	143
Tableau V.6 : Volumes de franchissements obtenus par la modélisation sur le front de mer de Saint-Pair-sur-Mer, Jullouville et Carolles pour les couples centennaux considérés.....	147
Tableau V.7 : Résumés des scénarios modélisés.....	148
Tableau V.8 : Simulations de concomitance évènements marins/crues considérés.....	149
Tableau V.9 : Définition de l'aléa en fonction des hauteurs d'eau et vitesses de courant instantanées..	160
Tableau VI.1 : Evolution de la population pour la commune de Saint-Pair-sur-Mer.....	173
Tableau VI.2 : Evolution de la population pour la commune de Jullouville.....	174
Tableau VI.3 : <i>Evolution de la population pour la commune de Jullouville (source :Ldh/EHESS/Cassini de 1793 à 1946 et INSEE de 1975 à 2018)</i>	176
Tableau VI.4 : Typologie de l'occupation du sol figurant sur la carte des enjeux.....	182
Tableau VI.5 : Exposition du territoire sur l'ensemble du territoire étudié (les trois communes de Carolles, Jullouville, Saint-Pair-sur-Mer et sud de Granville) à l'aléa de submersion marine et d'inondations (en hectares).....	184
Tableau VI.6 : Exposition de la zone sud de Granville aux aléas inondation et submersion marine, selon les types d'occupation du sol.....	185
Tableau VI.7 : Routes exposées aux aléas inondation et submersion marine au sein de la zone étudiée de la commune de Granville.....	186
Tableau VI.8 : Exposition de la commune de Saint-Pair-Sur-Mer aux aléas inondation et submersion marine, selon les types d'occupation du sol.....	187
Tableau VI.9 : Routes exposées aux aléas inondation et submersion marine au sein de la commune de Saint-Pair-sur-Mer.....	187
Tableau VI.10 : Exposition de la commune de Jullouville aux aléas inondation et submersion marine, selon les types d'occupation du sol.....	188
Tableau VI.11 : Routes exposées aux aléas inondation et submersion marine au sein de la commune de Jullouville.....	189
Tableau VI.12 : Exposition de la commune de Carolles aux aléas inondation et submersion marine, selon les types d'occupation du sol.....	190
Tableau VI.13 : Routes exposées aux aléas inondation et submersion marine au sein de la commune de Carolles.....	190
Tableau VII.1 : Grille de croisement aléas-enjeux-risques.....	194

I. Préambule

La Direction Départementale des Territoires et de la Mer de La Manche est chargée d'instruire le plan de prévention des risques littoraux (PPRL) de Granville (partie Saint-Nicolas-Plage), Saint-Pair-sur-Mer, Jullouville et Carolles-sur-Mer. Au sens du code de l'environnement, ce PPRL est un plan de prévention des risques naturels prévisibles (PPRN).

Cette note de présentation expose, notamment, les données utilisées et les méthodologies mises en œuvre pour l'établissement de la cartographie des aléas et des enjeux. Elle présente également les principes d'élaboration du zonage réglementaire. Ce zonage réglementaire et le règlement écrit associé constituent la partie opposable du PPRN.

La cartographie a été élaborée à partir de modélisations des submersions marines et fluviales, complétées par des reconnaissances géomorphologiques de terrain. Les études techniques réalisées ou exploitées dans le cadre de l'élaboration du PPRL ne sont pas reprises ici dans leur intégralité. Seules les informations essentielles ont été retranchées, si nécessaires, sous une forme non technique.

II. Contexte législatif et réglementaire

Le plan de prévention des risques littoraux de Granville (Saint-Nicolas-Plage), Saint-Pair-sur-Mer, Jullouville et Carolles-sur-Mer est établi en application de l'article L.562-1 du code de l'environnement..

Les articles R.562-1 à R.562-11 du code de l'environnement fixent les modalités d'application de ces textes. Un ensemble de guides méthodologiques récapitulent ces textes et proposent des orientations et des méthodes de mise en œuvre. Un guide méthodologique général résume l'ensemble de la démarche technique et administrative d'élaboration des PPRN.

II.1. Rappel de l'objet du PPRN

Les objectifs des PPRN sont définis par l'article L. 562-1 du Code de l'environnement.

Article L. 562-1 :

« I.-L'État élabore et met en application des plans de prévention des risques naturels prévisibles tels que les inondations, les mouvements de terrain, les avalanches, les incendies de forêt, les séismes, les éruptions volcaniques, les tempêtes ou les cyclones.

II.-Ces plans ont pour objet, en tant que de besoin :

1° De délimiter les zones exposées aux risques, en tenant compte de la nature et de l'intensité du risque encouru, d'y interdire tout type de construction, d'ouvrage, d'aménagement ou d'exploitation agricole, forestière, artisanale, commerciale ou industrielle, notamment afin de ne pas aggraver le risque pour les vies humaines ou, dans le cas où des constructions, ouvrages, aménagements ou exploitations agricoles, forestières, artisanales, commerciales ou industrielles, pourraient y être autorisés, prescrire les conditions dans lesquelles ils doivent être réalisés, utilisés ou exploités ;

2° De délimiter les zones qui ne sont pas directement exposées aux risques mais où des constructions, des ouvrages, des aménagements ou des exploitations agricoles, forestières, artisanales, commerciales ou industrielles pourraient aggraver des risques ou en provoquer de nouveaux et y prévoir des mesures d'interdiction ou des prescriptions telles que prévues au 1° ;

3° De définir les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde qui doivent être prises, dans les zones mentionnées au 1° et au 2°, par les collectivités publiques dans le cadre de leurs compétences, ainsi que celles qui peuvent incomber aux particuliers ;

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

III.-La réalisation des mesures prévues aux 3° et 4° du II peut être rendue obligatoire en fonction de la nature et de l'intensité du risque dans un délai de cinq ans, pouvant être réduit en cas d'urgence. À défaut de mise en conformité dans le délai prescrit, le préfet peut, après mise en demeure non suivie d'effet, ordonner la réalisation de ces mesures aux frais du propriétaire, de l'exploitant ou de l'utilisateur.

IV.-Les mesures de prévention prévues aux 3° et 4° du II, concernant les terrains boisés, lorsqu'elles imposent des règles de gestion et d'exploitation forestière ou la réalisation de travaux de prévention

concernant les espaces boisés mis à la charge des propriétaires et exploitants forestiers, publics ou privés, sont prises conformément aux dispositions du titre II du livre III et du livre IV du code forestier.

V.-Les travaux de prévention imposés en application du 4° du II à des biens construits ou aménagés conformément aux dispositions du code de l'urbanisme avant l'approbation du plan et mis à la charge des propriétaires, exploitants ou utilisateurs ne peuvent porter que sur des aménagements limités.

VI. — Les plans de prévention des risques d'inondation sont compatibles ou rendus compatibles avec les dispositions du plan de gestion des risques d'inondation défini à l'article L.566-7.

VII. — Des décrets en Conseil d'État définissent en tant que de besoin les modalités de qualification des aléas et des risques, les règles générales d'interdiction, de limitation et d'encadrement des constructions, de prescription de travaux de réduction de la vulnérabilité, ainsi que d'information des populations, dans les zones exposées aux risques définies par les plans de prévention des risques naturels prévisibles.

II.2. Prescription du PPRN

Les articles R. 562-1 et R. 562-2 du Code de l'environnement définissent les modalités de prescription des plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPRN).

Article R. 562-1 :

« L'établissement des plans de prévention des risques naturels prévisibles mentionnés aux articles L. 562-1 à L. 562-9 est prescrit par arrêté du préfet.

Lorsque le périmètre mis à l'étude s'étend sur plusieurs départements, l'arrêté est pris conjointement par les préfets de ces départements et précise celui des préfets qui est chargé de conduire la procédure. »

Article R. 562-2< :

« L'arrêté prescrivant l'établissement d'un plan de prévention des risques naturels prévisibles détermine le périmètre mis à l'étude et la nature des risques pris en compte. Il désigne le service déconcentré de l'État qui sera chargé d'instruire le projet. Il mentionne si une évaluation environnementale est requise en application de l'article R. 122-18. Lorsqu'elle est explicite, la décision de l'autorité de l'État compétente en matière d'environnement est annexée à l'arrêté. Cet arrêté définit également les modalités de la concertation et de l'association des collectivités territoriales et des établissements publics de coopération intercommunale concernés, relatives à l'élaboration du projet. Il est notifié aux maires des communes ainsi qu'aux présidents des collectivités territoriales et des établissements publics de coopération intercommunale compétents pour l'élaboration des documents d'urbanisme dont le territoire est inclus, en tout ou partie, dans le périmètre du projet de plan.< Il est, en outre, affiché pendant un mois dans les mairies de ces communes et aux sièges de ces établissements publics et publié au recueil des actes administratifs de l'État dans le département. Mention de cet affichage est insérée dans un journal diffusé dans le département. Le plan de prévention des risques naturels prévisibles est approuvé dans les trois ans qui suivent l'intervention de l'arrêté prescrivant son élaboration. Ce délai est prorogeable une fois, dans la limite de dix-huit mois, par arrêté motivé du préfet si les circonstances l'exigent, notamment pour prendre en compte la complexité du plan ou l'ampleur et la durée des consultations. »

Le plan de prévention des risques littoraux de Granville (Saint-Nicolas-Plage), Saint-Pair-sur-Mer, Jullouville et Carolles a été prescrit par arrêté préfectoral n° DDTM-SETRIS-2024-20 DU 15 juillet 2024.

II.3. Approbation et révision du PPRN

Les articles R. 562-7, R. 562-8 et R. 562-9 du Code de l'environnement définissent les modalités d'approbation des plans de prévention des risques naturels prévisibles. « Le projet de plan de prévention des risques naturels prévisibles est soumis à l'avis des conseils municipaux des communes et des organes délibérants des établissements publics de coopération intercommunale compétents pour l'élaboration des documents d'urbanisme dont le territoire est couvert, en tout ou partie, par le plan. Si le projet de plan contient des mesures de prévention des incendies de forêt ou de leurs effets ou des mesures de prévention, de protection et de sauvegarde relevant de la compétence des départements et des régions, ces dispositions sont soumises à l'avis des organes délibérants de ces collectivités territoriales. Les services départementaux d'incendie et de secours intéressés sont consultés sur les mesures de prévention des incendies de forêt ou de leurs effets. Si le projet de plan concerne des terrains agricoles ou forestiers, les dispositions relatives à ces terrains sont soumises à l'avis de la chambre d'agriculture et du centre national de la propriété forestière. < Tout avis demandé en application des trois alinéas ci-dessus qui n'est pas rendu dans un délai de deux mois à compter de la réception de la demande est réputé favorable. »

Articles R. 562-8 :

« Le projet de plan est soumis par le préfet à une enquête publique dans les formes prévues par les articles R. 123-6 à R. 123-23, sous réserve des dispositions des deux alinéas qui suivent. Les avis recueillis en application des trois premiers alinéas de l'article R. 562-7 sont consignés ou annexés aux registres d'enquête dans les conditions prévues par l'article R. 123-13. Les maires des communes sur le territoire desquelles le plan doit s'appliquer sont entendus par le commissaire enquêteur ou par la commission d'enquête une fois consigné ou annexé aux registres d'enquête l'avis des conseils municipaux. »

Articles R. 562-9 :

« À l'issue des consultations prévues aux articles R. 562-7 et R. 562-8, le plan, éventuellement modifié, est approuvé par arrêté préfectoral. Cet arrêté fait l'objet d'une mention au recueil des actes administratifs de l'Etat dans le département ainsi que dans un journal diffusé dans le département. Une copie de l'arrêté est affichée pendant un mois au moins dans chaque mairie et au siège de chaque établissement public de coopération intercommunale compétent pour l'élaboration des documents d'urbanisme sur le territoire desquels le plan est applicable.

Le plan approuvé est tenu à la disposition du public dans ces mairies et aux sièges de ces établissements publics de coopération intercommunale ainsi qu'en préfecture. Cette mesure de publicité fait l'objet d'une mention avec les publications et l'affichage prévus à l'alinéa précédent. »

II.4. Contenu du PPR

L'article R. 562-3 du Code de l'environnement définit le contenu des plans de prévention des risques naturels prévisibles :

Articles R. 562-3 :

« Le dossier de projet de plan comprend :

1° Une note de présentation indiquant le secteur géographique concerné, la nature des phénomènes naturels pris en compte et leurs conséquences possibles, compte tenu de l'état des connaissances ; : 2° Un ou plusieurs documents graphiques délimitant les zones mentionnées aux 1° et 2° du II de l'article L. 562-1 ; : 3° Un règlement précisant, en tant que de besoin : : a) Les mesures d'interdiction et les prescriptions applicables dans chacune de ces zones en vertu des 1° et 2° du II de l'article L. 562-1 ; : b)

Les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde mentionnées au 3° du II de l'article L. 562-1 et les mesures relatives à l'aménagement, l'utilisation ou l'exploitation des constructions, des ouvrages, des espaces mis en culture ou plantés existant à la date de l'approbation du plan, mentionnées au 4° de ce même II. Le règlement mentionne, le cas échéant, celles de ces mesures dont la mise en œuvre est obligatoire et le délai fixé pour celle-ci. »

Conformément à ce texte, le plan de prévention des risques littoraux de Granville (partie sud), Saint-Pair-sur-Mer, Jullouville et Carolles-sur-Mer comporte, outre la présente note de présentation, des documents graphiques et un règlement écrit.

Cette note décrit succinctement le territoire de Granville (Saint-Nicolas-Plage), Saint-Pair-sur-Mer, Jullouville et Carolles-sur-Mer et leurs contextes géographique, démographique et économique. Elle présente en outre les phénomènes naturels pris en compte par le plan de prévention des risques littoraux , les enjeux présents et les aléas auxquels le territoire est exposé. : Plusieurs documents graphiques y sont annexés :

- une carte de localisation des phénomènes naturels ;
- une carte par aléa ;
- une carte des enjeux.

II.5. Périmètre du PPRL

Le PPRL est prescrit sur l'intégralité du territoire communal de Saint-Pair-sur-Mer, Jullouville et Carolles-sur-Mer. Pour Granville, le périmètre se limite au bassin versant de la Saigue et à Saint-Nicolas-Plage, au sud de la cale du Fourneau.

II.6. Phénomènes pris en compte par ce PPRL

Le PPRL de Granville (Saint-Nicolas-Plage), Saint-Pair-sur-Mer, Jullouville et Carolles concerne :

- la submersion marine en situation actuelle et avec le réchauffement climatique ;
- le débordement des cours d'eau ;
- le choc mécanique des vagues.

II.7. Motivation du PPRL

La vulnérabilité d'une grande partie du littoral français s'illustre au travers des phénomènes tels que la submersion marine, l'inondation liée au débordement des cours d'eau côtiers ou l'érosion des côtes meubles. Ces processus directement liés aux actions hydrauliques marines et terrestres peuvent être aggravés par les activités humaines.

Le littoral constitue également une zone de forte fréquentation, ce qui se traduit par une urbanisation qui se densifie de plus en plus proche de la mer et donc de plus en plus vulnérable aux risques côtiers. Le territoire de Granville (Saint-Nicolas-Plage), Saint-Pair-sur-Mer, Jullouville et Carolles-sur-Mer est situé au débouché des trois petits fleuves côtiers (La Saigue, le Thar et le Crapeux), le long du cordon dunaire protégé par un ensemble de dispositifs disparates. Les communes présentent un bord de mer densément urbanisé sur une bande d'un km environ en arrière du trait de côte (sauf au niveau des falaises de Carolles).

La sensibilité de ce littoral à l'érosion, à la submersion marine et à l'inondation par débordement des cours d'eau de ce territoire a engagé les services de l'État dans La Manche à prescrire un PPRL intégrant les effets du changement climatique et les débordements fluviaux continentaux. La finalité de ce PPRL est clairement :

- de limiter les implantations humaines nouvelles dans les zones les plus fortement exposées ;
- de prescrire des mesures d'adaptation des projets autorisés ;
- de limiter la vulnérabilité des personnes et des biens déjà implantés dans les zones exposées.

III. Présentation générale du territoire

Le PPRL concerne les quatre communes littorales de Granville (Saint-Nicolas-Plage), Saint-Pair-sur-Mer, Jullouville et Carolles situées sur la façade ouest du Cotentin, dans le département de La Manche, entre Granville au nord et la petite baie du Mont-Saint-Michel au sud.



Figure III.1: Localisation du site d'étude à l'échelle de la métropole française



Figure III.2: Localisation du site d'étude à l'échelle régionale

Le périmètre s'étend, au sud de Granville, sur un linéaire d'environ 10 km de l'embouchure de la Saigne à la Pointe de Champeaux.



Figure III.3: Localisation du site d'étude à l'échelle communale avec limites communales

III.1. Contexte humain

III.1.1. Développement du territoire

La reconstitution de l'évolution de la configuration du paysage du littoral de Carolles, Jullouville et Saint-Pair-sur-Mer a été réalisée par la fusion de différentes informations collectées auprès des Archives Départementales de la Manche, des communes et de la presse régionale. Concernant Saint-Nicolas-Plage, l'histoire de ce petit territoire est intimement lié au développement de Saint-Pair-sur-Mer. Il ne sera pas individualisé ici. Des informations illustratives ont également été recueillies dans les publications et récits locaux consultés.

L'analyse des divers documents recueillis fait ressortir une transformation significative des paysages littoraux depuis la fin du 19^e siècle.

3 périodes se distinguent :

- jusqu'au milieu du 19^e siècle : un littoral à l'état de nature ;
- fin du 19^e siècle : la naissance d'une station balnéaire ;
- depuis le milieu du 20^e siècle : le développement de l'urbanisation

III.1.1.1. Jusqu'au milieu du 19^e siècle

Jusqu'au milieu du 19^e siècle, le littoral offrait une configuration totalement différente de celui que nous connaissons aujourd'hui.

a. Mobilité de la ligne de rivage

Entre le massif granitique de Carolles et le massif briovérien de Saint-Pair-sur-Mer, la ligne de rivage s'est à plusieurs reprises déplacée avant d'occuper la position qui est aujourd'hui la sienne.

L'abbé Manet rapporta, en 1829, qu'un raz-de-marée dévastateur aurait détruit, en 709, la forêt de Scissy qui aurait occupé l'emplacement actuel de la Baie du Mont-Saint-Michel. Sa thèse sur l'existence et la submersion au 8^e siècle de cette forêt reposait sur une interprétation de deux manuscrits de l'abbaye du Mont-Saint-Michel (9^e et 12^e siècles). La présence dans les sous-sols tourbeux de troncs d'arbres couchés, a longtemps contribué à appuyer cette thèse. Aucune preuve scientifique ne permet aujourd'hui de l'accréditer, au contraire. La datation par Carbone 14, des horizons tourbeux et des troncs d'arbres, a en effet donné des âges très nettement antérieurs à la date de 709. Elle a en effet donné un âge de 5 200 à 4 100 BP. Des formes de construction sédimentaire y ont évolué ensuite en fonction des processus naturels (F.Verger, 2009).

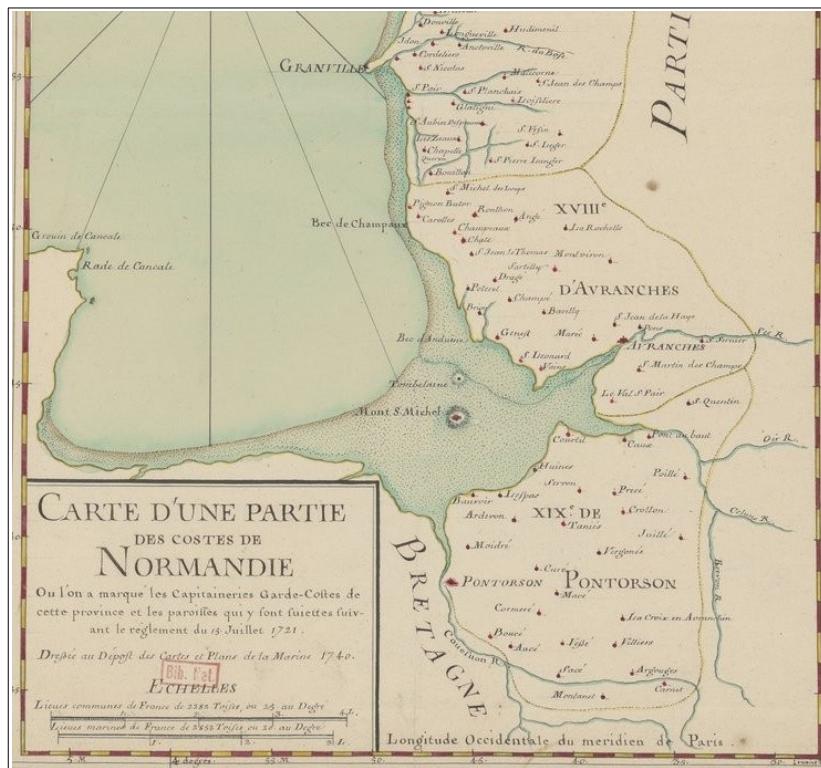


Figure III.4: Extrait de la carte d'une partie des costes de Normandie où l'on a marqué les capitaineries garde-costes (1740), source Gallica.bnf.fr.

La remontée du niveau des mers avait abouti à une invasion marine de la Baie du Mont-Saint-Michel à partir de 8 000 BP (BRGM, 1999). Elle a entraîné une transgression et une migration des sédiments des fonds vers les bordures littorales (notamment au pied des falaises de Carolles à Saint-Pair-sur-Mer) où ils se sont accumulés.

Dans son article sur l'histoire de Carolles, Marius Dujardin (1957) mentionne que « le long du rivage jusqu'à Saint-Pair-sur-Mer là où se trouvent actuellement les stations balnéaires de Carolles-Plage, Edenville Jullouville, se déployaient à perte de vue, de vastes étendues désolées de dunes solitaires, les mielles, qui n'étaient parcourues par aucune voie de communication. Ailleurs des chemins boueux,

impraticables une partie de l'année. Le seul chemin vers Saint-Pair-sur-Mer et Granville passait par Bouillon à l'intérieur des terres. Au début du 19^e siècle, la rivière Le Thar sortait de la Mare de Bouillon, à l'angle sud-ouest, sous les Bréholles (et non à l'angle nord-ouest comme aujourd'hui), et, après quelques sinuosités dans les sables, tournait brusquement de l'ouest vers le nord et coulait parallèlement à la mer (un peu à l'est de la Route Nationale actuelle) jusqu'au Pont-Bleu où elle rejoignait son lit actuel; les marécages et les lagunes rendaient cette région très insalubre. Avec le temps, des travaux d'amélioration furent entrepris et le cours du Thar modifié; mais la limite entre les communes de Bouillon et de Saint-Pair continua à suivre l'ancien lit du Thar ».

b. Une occupation humaine très ponctuelle

Le haut moyen-âge voit s'organiser le territoire à partir de l'évangélisation initiée par les évêchés. Entre le 10^e et le 13^e siècle, c'est le temps du développement des prieurés (rayonnement de puissantes abbayes régionales), de la mise en culture et de l'exploitation des ressources maritimes : les hameaux se constituent, les pêcheries se développent, les bateaux pratiquent l'échouage. Les cartes de Magin (début 18^e) et de Cassini (fin 18^e siècle) indiquent la présence sur les points hauts : des principaux bourgs (Saint-Pair-sur-Mer, Kairon, Carolles, Bouillon), des villages (La Joye, Gatgny, Les Eaux, La Gicquelière,...), des corps de garde ou « Cabane Vauban », édifiées à la fin du 17^e siècle pour la surveillance des côtes et signaler les vaisseaux ennemis.¹ L'habitat est groupé au niveau des bourgs et des villages. Aucune construction n'est alors présente sur le cordon dunaire.

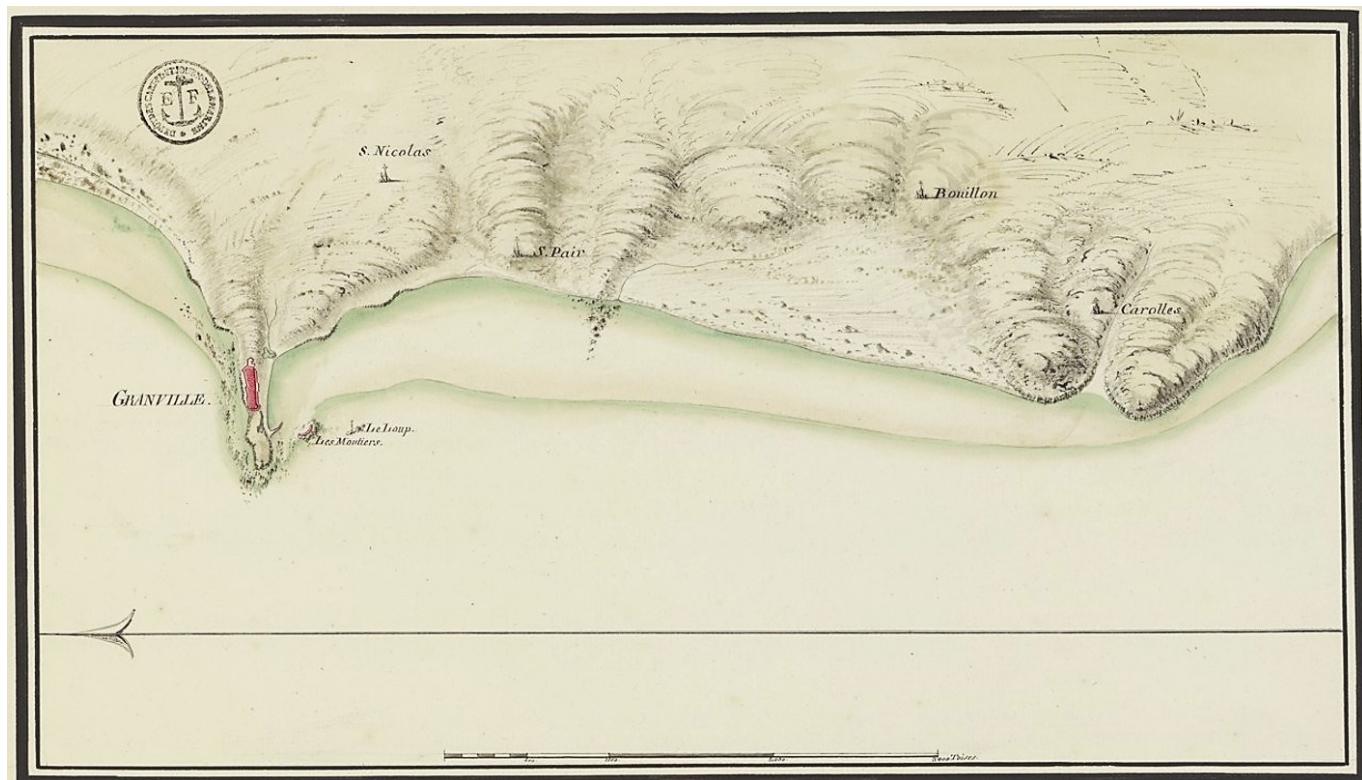


Figure III.5: Extrait d'une carte ancienne Lingreville – Carolles (Gallica.bnf.fr).

Par ailleurs, le plateau de Carolles constitue un site naturel de défense et d'observation depuis l'époque néolithique. On observe aujourd'hui les vestiges d'un oppidum gaulois (sur 7 ha), connue sous le nom de Camp-Romain ou Camp des Châtelliers.

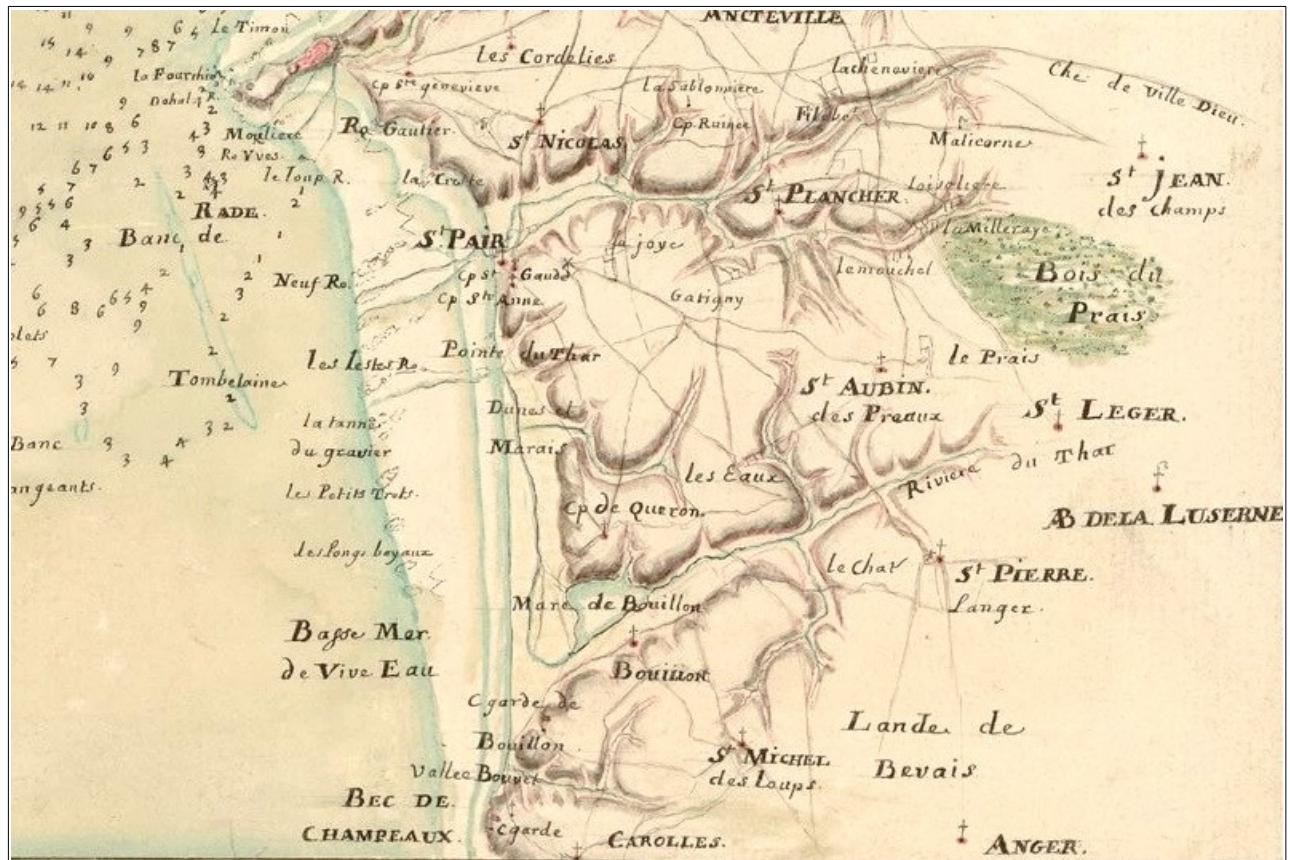


Figure III.6: Extrait de la carte de Granville de Jean Magin (début 18ème siècle) (Gallica.bnf.fr.)

Le secteur dunaire et les marécages bordant le Thar ont jusqu'ici probablement dissuadé les habitants de s'installer trop près du rivage. Ce rivage est constitué d'un large massif dunaire recouvert d'oyats. Seules des pêcheries sont implantées sur l'estran, la pêche étant pour une partie de la population, un des moyens d'existence le plus estimé. La mer fournissait également le varech, un engrais utilisé pour les cultures maraîchères.



Figure III.7: Cartes postales illustrant une pêcherie sur l'estran et le ramassage du varech.

La population ne varie pas du 18^e au milieu du 19^e siècle avec environ 500 habitants à Carolles, 1500 à Saint-Pair-sur-Mer, 700 à Jullouville. Le littoral étant à l'état de nature, les tempêtes laissent cette population indifférente. La tempête n'est redoutée que pour les dégâts qu'elle occasionne aux pêcheries.



Figure III.8: Extrait de la carte de Cassini (fin 18^e siècle).

III.1.1.2. Fin 19^e siècle : la naissance d'une station balnéaire

Le rivage et le massif dunaire restent peu attractifs jusqu'au milieu du 19^e siècle. À partir de cette période, on voit s'opérer un changement des mentalités et un attrait grandissant de la population pour le bord de mer avec notamment la pratique de la baignade, non seulement pour des raisons médicales mais également pour le plaisir et la détente. Ainsi quelques personnes se rapprochent du rivage (baigneurs, amateurs de pêche) et implantent des cabanes de bains.<

a. Naissance de la station de Jullouville

En 1876, le projet de station balnéaire prend forme avec l'achat, par Armand Jullou, de 40 ha de mielles (dunes) entre le rivage et la mare de Bouillon. Il effectue des plantations de résineux pour assécher les parcelles humides.



Figure III.9: Extrait de la carte d'État-major (milieu 19e siècle).

Avec Paul Dupuy, son gendre, architecte de métier, il crée la « Société de Jullouville, Dupuy et Compagnie », en 1881. Il élabore le plan d'ensemble de la station (forme en éventail avec trois grandes avenues rectilignes qui convergent vers le casino et une promenade de bord de mer).

Dans la décennie qui suit, de nombreux immeubles sont construits : le Casino, l'hôtel de la Plage, l'hôtel Chevalier, l'hôtel du Lac, le Chalet Gaston et une chapelle. Puis des parcelles sont acquises, des villas sont construites (La Tarasque, Les Flots, l'Aubette, Marie-Pol, Madeleine, etc.).

En 1884 fut construit le premier immeuble (l'hôtel Edenville) édifié près de la plage de Carolles, sur la rive droite du Crapeux (commune de Bouillon). Il donna son nom un demi-siècle plus tard, à l'ensemble de l'agglomération des maisons bâties à l'angle sud-ouest de la commune de Bouillon.



Figure III.10: Plan de Jullouville/Paul Dupuy, 1896 (Archives Départementales de la Manche).

Puis, sont construites des cabines de bains, des maisons et des villas, notamment sur les hauteurs de la Mazurie, les plateaux de la Croix-Paqueray et en bordure de mer sur l'ancienne mielle. Apparaissent par la suite les hôtels (tel l'hôtel du Casino en 1901) les agences de locations et d'autres commerces.

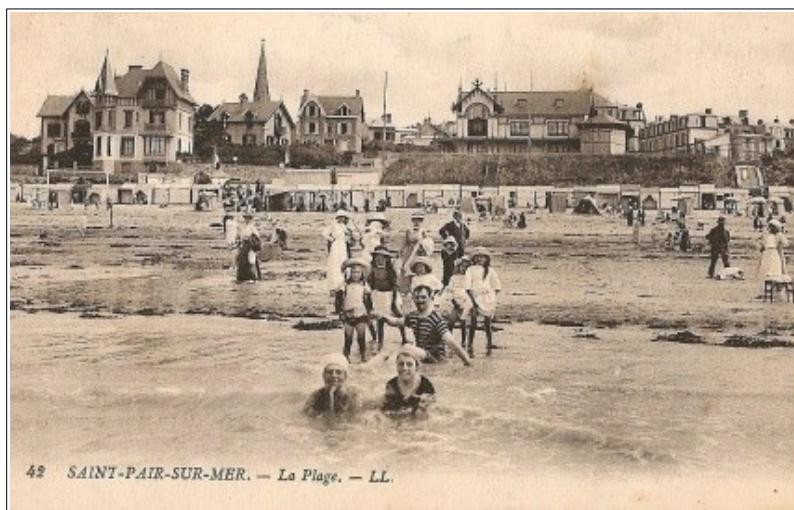


Figure III.11: Le front de mer de Saint-Pair-sur-Mer.

b. Le développement de l'urbanisation de Saint-Pair-sur-Mer

L'urbanisation se développe autour du centre-bourg de Saint-Pair-sur-Mer. Entre 1875 et 1900, sont construits des hôtels (hôtel de France, hôtel des Bains, hôtel de Saint-Pair) mais également de nombreuses villas et le Casino.



Figure III.12: Carolles-Plage

Jusqu'aux années 1890, la route principale reliant Carolles à Saint-Pair-sur-Mer et Granville passait à l'est du massif dunaire par Le Hamelet, Groussey, Bouillon bourg et Lézeaux. En 1892 est ouverte à travers la mielle une nouvelle route qui relie Carolles, Jullouville et Saint-Pair-sur-Mer. Cet axe de communication apportera un nouvel attrait à la station. De nouvelles parcelles seront acquises et de nouvelles villas seront construites en bord de mer. En 1908, la ligne Granville-Avranches du chemin de fer côtier est inaugurée. Des gares sont créées à Saint-Pair-sur-Mer, Jullouville, Carolles-Plage et Carolles. Le développement ferroviaire permettra l'expansion de la pratique des bains de mer et donnera un nouvel élan à l'activité touristique des trois communes. La ligne sera active jusqu'en 1935.

III.1.1.3. Depuis le milieu du 20^e siècle

a. Inquiétude concernant l'évolution du trait de côte

Durant l'entre-deux-guerres, l'urbanisation se poursuit, de nombreuses maisons sont construites en bord de mer. Très vite, les propriétaires des villas en crête de dune, s'inquiètent en voyant le cordon dunaire les séparant de la mer se fragiliser en raison de l'augmentation de la fréquentation touristique et s'amoindrir sous l'effet des tempêtes. Après les tempêtes de l'hiver 1924-1925, de novembre 1928, et d'octobre 1930, un besoin de défense de ces habitations contre la mer se fait sentir. L'association Syndicale de défense contre la mer de la plage de Carolles est créée (en 1929) en vue de la construction d'un ouvrage de 288 mètres (en 1930) destiné à la protection des habitations édifiées immédiatement en bordure de rivage. À Jullouville l'Association Syndicale autorisée de défense contre la mer (ASA), créée en 1934, décide de la construction d'une digue longue de 1170 mètres qui sera réalisée de 1935 à 1937. Par ailleurs, la mobilité du trait de côte au niveau de l'estuaire du Crapeux menace les habitations de la rive droite. Le débouché du cours d'eau était alors plus au nord que l'exutoire actuel, au droit du parking de l'avenue des Dunes (Station SNSM). Plusieurs projets visant à rétablir le lit du Crapeux sont menés au début des années 1930.

À partir du milieu du 20^e siècle, la frange littorale devient progressivement un espace attractif, convoité. Selon les éléments de la DATAR (Plan Tourisme), c'est le temps du développement de l'urbanisation (étalement urbain le long du rivage et forte consommation d'espace), d'une densification de l'habitat par les lotissements de résidences secondaires, ainsi que des aménagements spécifiques liés aux activités économiques et de loisirs (zones d'activités, cales, campings, parkings, colonies de vacances, postes SNSM, piscine sur l'estran...), de la fixation du trait de côte (par des ouvrages

longitudinaux devant les fronts de mer urbanisés). Les constructions de nouveaux logements se font de plus en plus nombreuses sur le territoire des trois communes, jusqu'à occuper l'ensemble du cordon dunaire. Le littoral est urbanisé de manière continue, de Saint-Pair-sur-Mer à Carolles-Plage (hormis le secteur de l'embouchure du Thar).

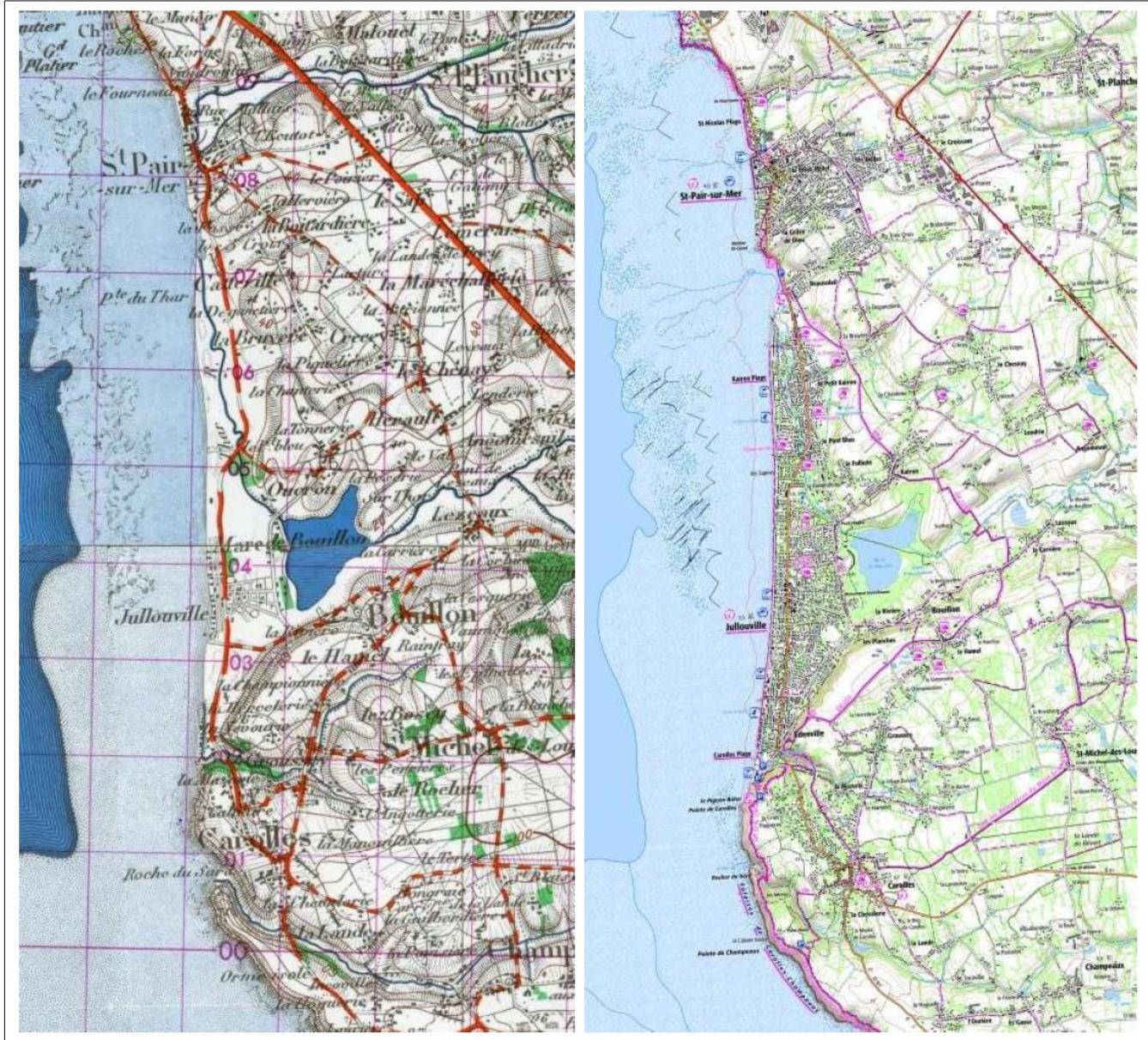


Figure III.13: Carte d'Etat-major (1950) et Carte IGN (2008).

Les cartes d'État-major (1950) et de l'IGN (2008) offrent la possibilité d'avoir un aperçu général de l'évolution de l'urbanisation de cette frange côtière. On observe ainsi qu'elle s'est développée en prenant appui sur les centres-bourgs (de Carolles, Bouillon, Kairon, et Saint-Pair-sur-Mer), sur les premiers quartiers des stations balnéaires de Jullouville, de Carolles-Plage et d'Edenville, ainsi que sur les villages anciens, puis qu'elle s'est étendue ensuite en suivant les axes de communication.

III.1.2. Population et logements

III.1.2.1. Une croissance démographique affirmée depuis 1968

De 1968 à 2017, la population de l'ensemble des communes de Saint-Pair-sur-Mer, Carolles et Jullouville a augmenté de 95 %. Elle a donc été quasiment multipliée par deux en l'espace d'un demi-siècle. Cette croissance a été importante entre 1968 et 1999 avec une hausse du nombre d'habitants de 2,1 % par an sur le territoire des trois communes. Depuis 1999, la population a continué d'augmenter malgré un léger ralentissement de cette croissance (1 % par an), voir une stagnation depuis 2012.

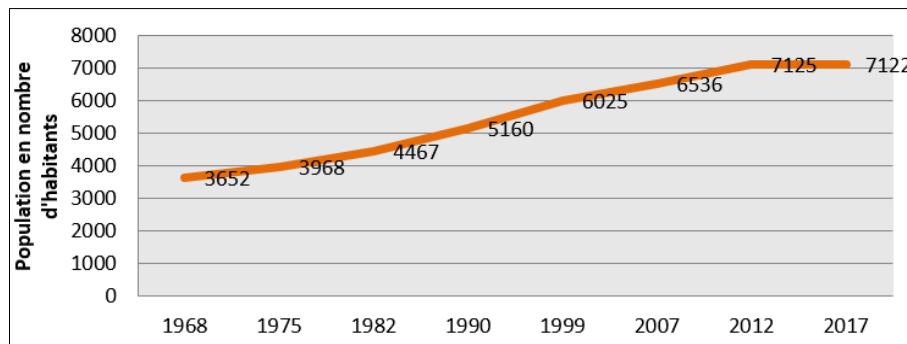


Figure III.14: Evolution de la population sur l'ensemble des trois communes entre 1968 et 2017 (INSEE).

III.1.2.2. Une densité de population de plus en plus élevée

Cette croissance a été particulièrement marquée à Jullouville (+98,6 %) et surtout à Saint-Pair-sur-Mer (+121,6%) où la population a plus que doublé en 50 ans. A Carolles et Jullouville le nombre d'habitants a cependant légèrement baissé entre 2012 et 2017 alors qu'à Saint-Pair-sur-Mer, celui-ci continue d'augmenter mais beaucoup moins vite que par le passé.

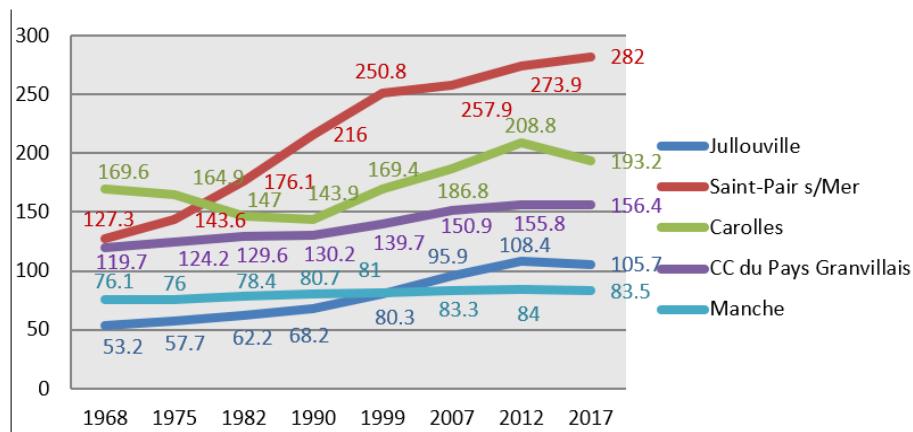


Figure III.15: Evolution de la population par commune entre 1968 et 2017 (INSEE).

La densité de population est nettement plus élevée sur le territoire des 3 communes que dans le reste du département de la Manche. La densité de population a augmenté depuis 1968 sur l'ensemble du territoire et surtout à Saint-Pair-sur-Mer qui comptait 282 habitants/km² en 2017.

De plus, cette densité est surtout élevée sur le littoral de ces communes (elle peut notamment dépasser les 2 400 hab/km² dans le centre-bourg de Saint-Pair-sur-Mer). À l'inverse, la densité de population est bien plus faible dans l'arrière-pays hormis dans quelques hameaux (comme Bouillon, Saint-Michel des

Loups...) ou le centre-bourg de Carolles. Evolution de la densité de population (en hab/km²) sur le territoire des 3 communes entre 1968 et 2017(INSEE).

III.1.2.3. L'augmentation importante du nombre de logements en cinquante ans

L'étalement urbain est la conséquence d'une forte augmentation du nombre de logements. En une cinquantaine d'années, leur nombre a été multiplié par 2,3 sur l'ensemble des 3 communes, passant de 3553 en 1968 à 8109 au total en 2017. C'est à Jullouville que cette hausse a été la plus importante puisque ce chiffre y a été multiplié par 3,1 contre 2,1 pour Saint-Pair sur Mer et 1,6 pour Carolles.

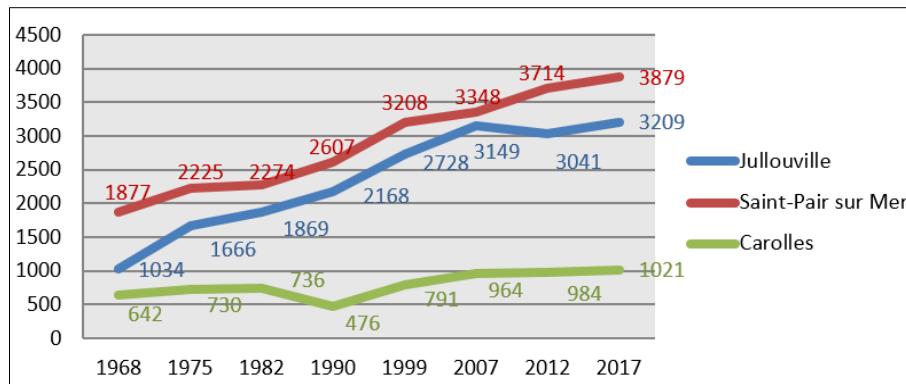


Figure III.16 : Evolution de la densité de population (en hab/km²) sur le territoire des trois communes entre 1968 et 2017 (INSEE).

III.1.2.4. La prédominance de la maison individuelle

Sur le territoire des trois communes, 85,7 % des logements sont des maisons individuelles. La part de ce type de logement y est donc très élevée, supérieure à la moyenne du département de la Manche (81,3%) et surtout à celle des communes alentours (74,7 %).

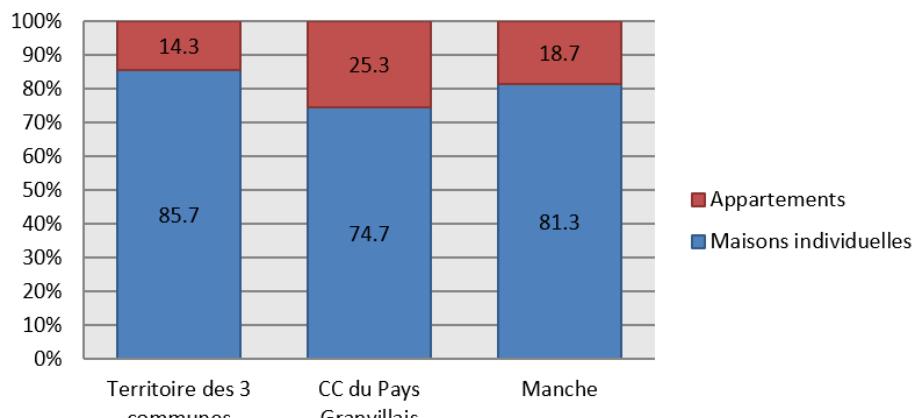


Figure III.17: Part de logements selon leur type (en%) en 2017 (INSEE).

Depuis 1968, le nombre de résidences secondaires est supérieur à celui des résidences principales et témoigne du caractère touristique du territoire. Entre 1968 et 2017, leur nombre a été quasiment multiplié par deux.

Cependant, si aujourd'hui les résidences secondaires restent les plus nombreuses, leur part tend à diminuer progressivement depuis 1975 (63,9% en 1975 contre 52,2% en 2017) au profit des résidences principales (32,4% contre 43%).

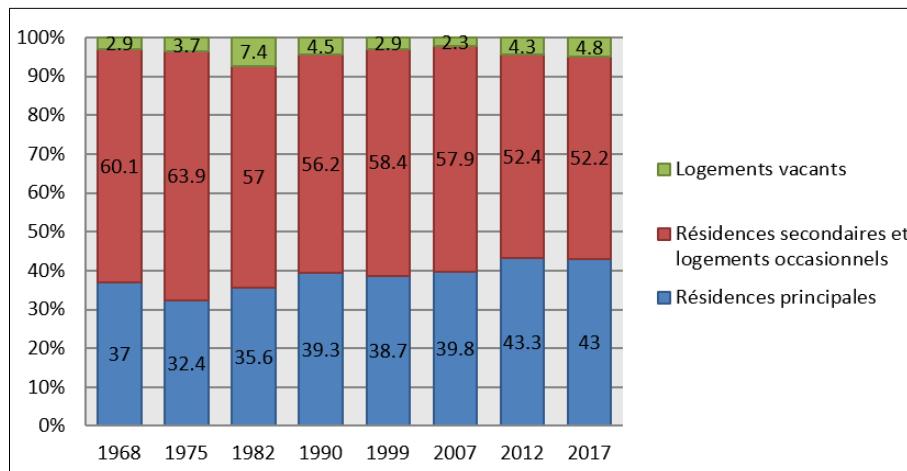


Figure III.18: Evolution du nombre de résidences sur le territoire des trois communes entre 1968 et 2017 (INSEE).

III.1.3. Mutation des activités économiques

III.1.3.1. L'augmentation de la proportion des emplois liés au tourisme

Le territoire connaît une forte attractivité touristique, ce qui entraîne une augmentation de la population en période estivale. Si la commune de Saint-Pair-sur-Mer compte 4077 habitants à l'année, sa population peut atteindre entre 13 000 et 15 000 personnes sur cette période (Source : PLU de Saint-Pair-sur-Mer).

Entre 2007 et 2017, la part des emplois du secteur du commerce, des transports et des services divers est passé de 32,3 % à 44,5 %. Les activités commerciales et de services, sont donc devenues les principales activités économiques du territoire, profitant d'une croissance démographique continue depuis plus de 50 ans et d'une activité touristique très importante l'été. À l'inverse, les secteurs secondaires et primaires ont connu une baisse de leur part des emplois.

Aucune donnée INSEE n'est disponible pour la commune de Carolles pour ce domaine.

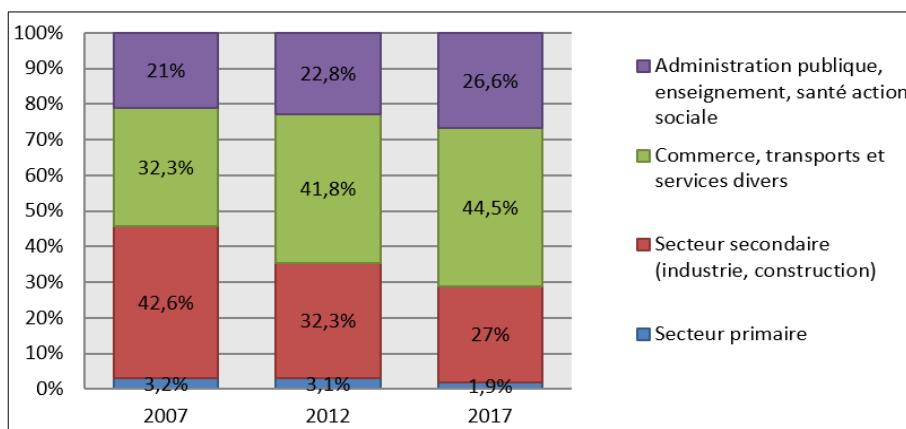


Figure III.19: Evolution de la part des résidences secondaires (en%) sur le territoire des trois communes entre 1968 et 2017 (INSEE).

III.1.3.2. La part de l'hébergement marchand.

En matière d'offre touristique, l'hébergement marchand occupe une place peu importante à Carolles et Jullouville. En revanche celui-ci est plus important à Saint-Pair-sur-Mer. Sur l'ensemble des 3 communes, en janvier 2020, la capacité totale d'accueil était de 26 959 lits répartis de la manière suivante :

- 21 178 lits non-marchands (soit 78 % de la capacité d'accueil totale) répartis dans les résidences secondaires et aires de camping-car présentes sur le territoire.
- 5 771 lits marchands (soit 22% de la capacité d'accueil totale) répartis dans les campings, hôtels, chambres d'hôtes, meublés et gîtes village vacances, hébergements insolites ou parc résidentiel de loisir.

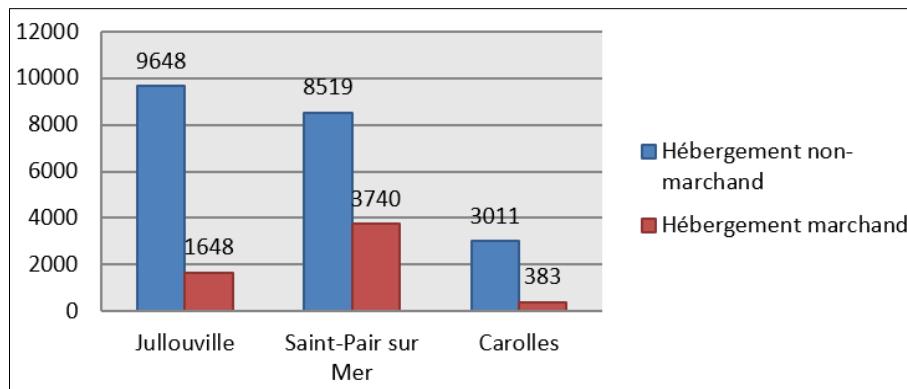


Figure III.20: Répartition (en %) de la capacité d'accueil touristique en 2020 en nombre de lits sur les 3 communes (Latitude Manche).

A Saint-Pair-sur-Mer, en revanche, celle-ci est supérieure (30,5 %) à la moyenne de la Manche et bien plus importante que dans ses deux communes voisines.

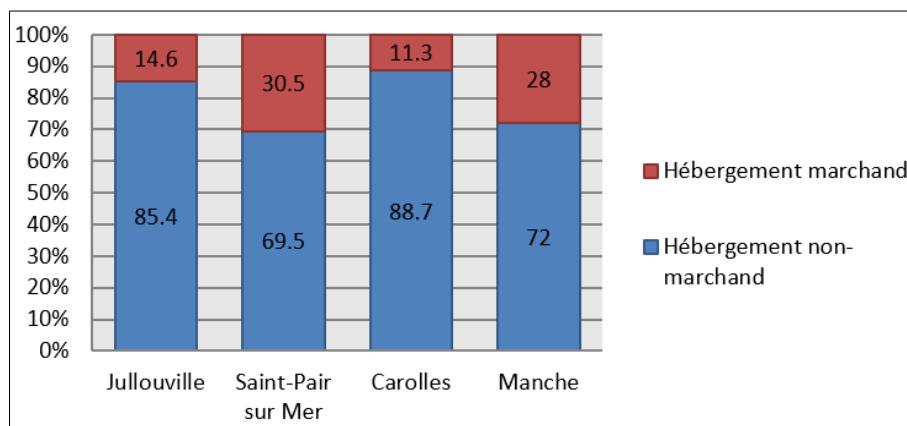


Figure III.21: Evolution de la part des emplois (en %) selon le secteur d'activité dans les communes de Jullouville et de Saint-Pair-sur-Mer (INSEE).

III.1.3.3. L'offre importante de camping

En nombre de structures, les chambres d'hôtes (18 au total) et les meublés et gîtes (105) sont majoritaires, devant les campings (14) et hôtel-restaurants (seulement 2). Cependant, ce sont les 14 campings (dont la moitié se situent à moins d'un kilomètre de la mer) qui représentent la grande majorité de l'offre touristique marchande sur le territoire.<

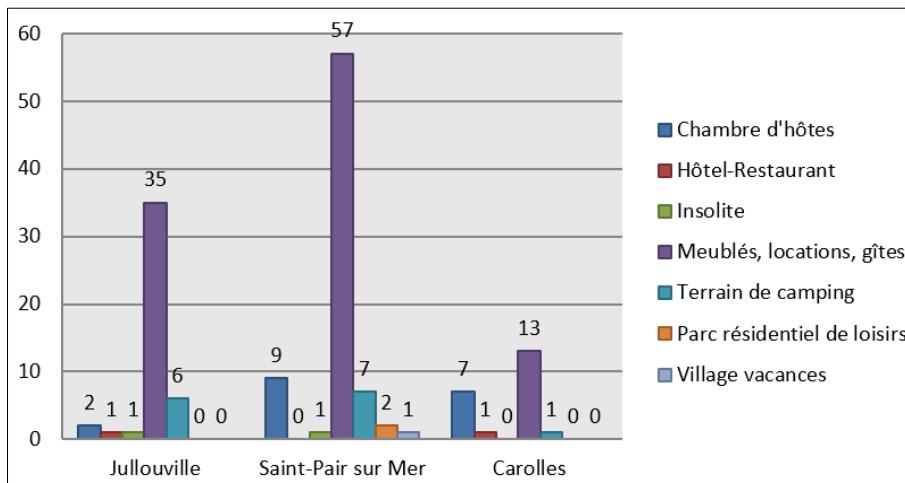


Figure III.22: Répartition (en%) de la capacité d'accueil touristique en 2020 en nombre de lits sur les 3 communes (Latitude Manche).

III.1.3.4. Une agriculture en difficulté

L'agriculture peine à se maintenir sur le territoire face à la pression foncière : la SAU a diminué de 25,4 % en 40 ans.

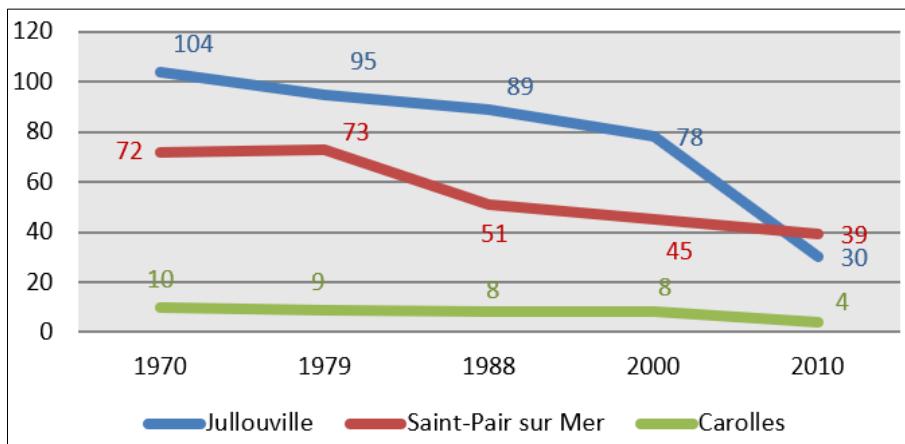


Figure III.23: Evolution du nombre d'exploitations agricoles sur le territoire des 3 communes (Agreste, Recensement Agricole 2010).

En effet, le nombre d'exploitations est en chute libre depuis le début des années 1970. Elles étaient alors 186 contre 73 en 2010. Leur nombre a donc été divisé par 2,5 en une quarantaine d'années.

III.2. Contexte géographique

III.2.1. Géologie, morphologie et hydrogéologie

III.2.1.1. Contextes géologique et géomorphologique terrestres

Les terrains géologiques rencontrés dans la Baie du Mont-Saint-Michel sont d'âge Précambrien (Briovérien) à quaternaire, avec aucun dépôt régional daté aux ères secondaire et tertiaire. Les terrains

affleurant dans la Baie font partie d'un ensemble plus vaste de près de 12 000 km² appelé Mancélia, qui s'étend sur les confins de la Bretagne et de la Normandie. Cet ensemble est délimité au nord-ouest par la faille Granville - Cancale, à l'est par des couches du Bassin Parisien et au sud par la zone broyée nord-armoricaine.

Le relief a été principalement formé au cours du cycle Cadomien, entre la fin du Précambrien et le Cambrien (début de l'ère Primaire). La chaîne Cadomienne est schisteuse et gréseuse avec des intrusions granitiques qui forgent l'ossature du relief. Une zone de dépôts grossiers transgressive datant du primaire, la Zone Bocaine, est présente sur le socle arasé de cette chaîne cadomienne. Le secteur étudié est bordé au sud par le massif granitique de Carolles-Vire très haut, bordé par une auréole proximale de schiste métamorphisé de contact. Au nord de ce massif, la topographie est localement ordonnée selon les plis N 60-70° de la chaîne cadomienne. L'érosion du socle schisteux et gréseux a abouti à un « relief en creux », à caractère bocage. Les cours d'eau coulent sur leur partie amont dans des vallées encaissées.

L'ensemble des terrains est parcouru par un réseau de nombreuses failles.

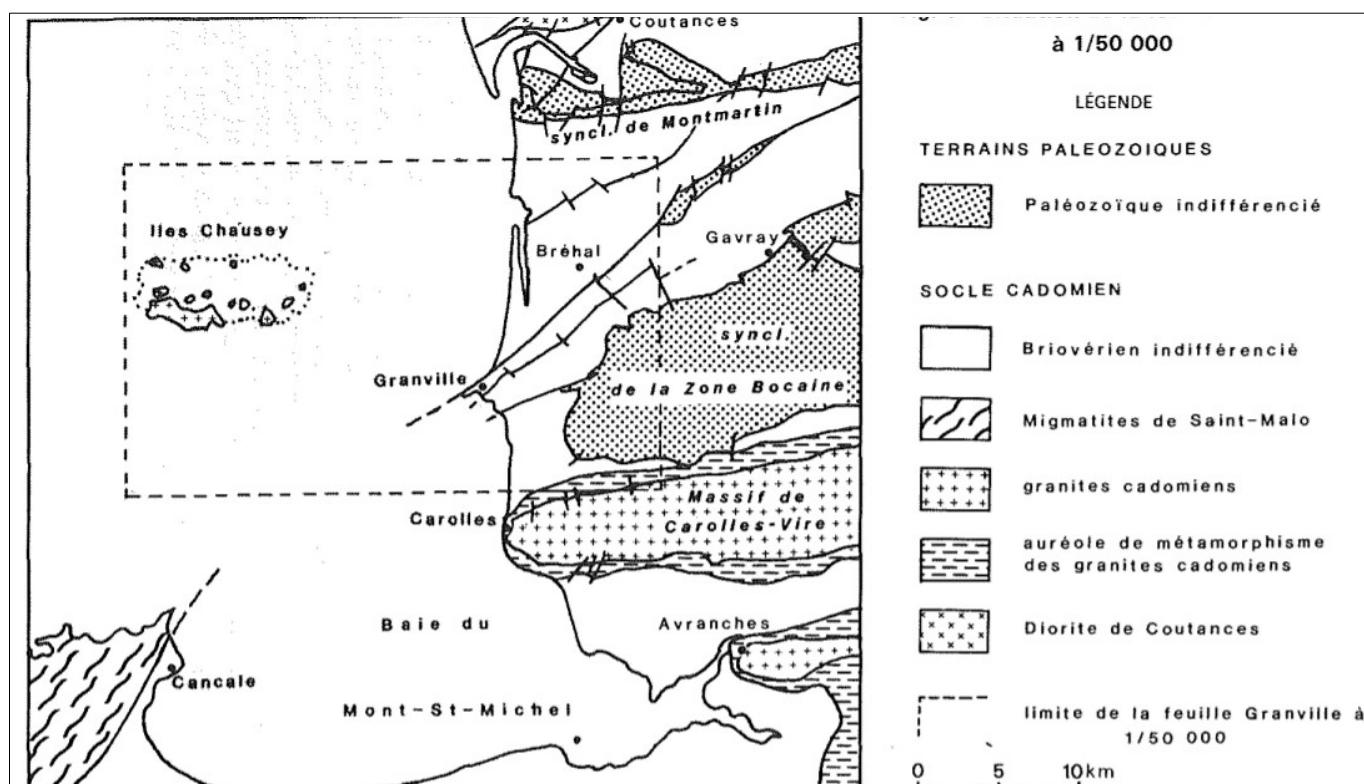


Figure III.24: Situation de la feuille Granville à 1/50 000 (Carte géologique de la France au 1/50 000 – Granville).

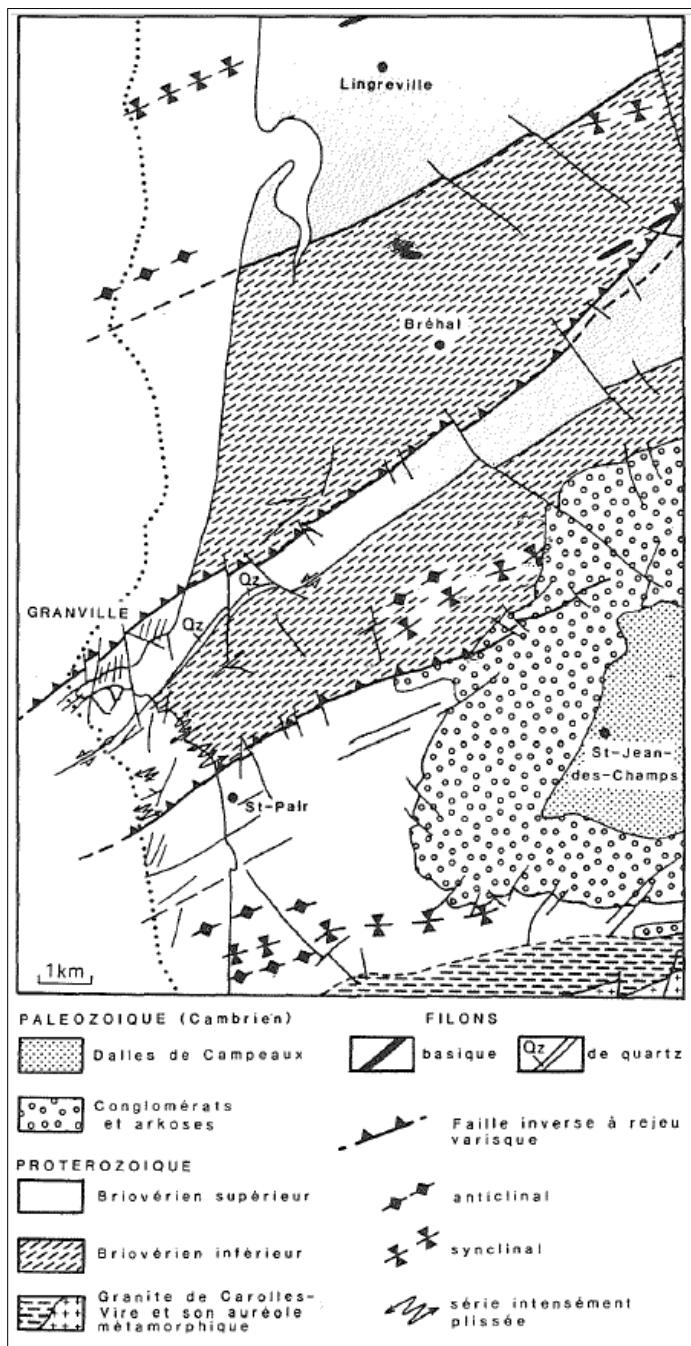


Figure III.25: Esquisse structurale de la partie continentale de la feuille de Granville (Carte géologique de la France au 1/50 000 – Granville).

La côte étudiée est située au sud de l'éperon résistant des grès et conglomérats briovériens du cap de Granville et au nord du massif de Carolles-Vire. Dès Saint-Nicolas-Plage, l'érosion positive se traduit par une cote de falaises vives se reliant au roc de Granville. Au sud, un cordon dunaire subsiste et dévie les cours d'eau parallèlement au trait de côte. Il se termine au nord par une flèche étroite qui dévie le Thar.

Sur le secteur, les formations superficielles dominantes, hormis l'accident géologique de Granville, sont :

- les zones de dépôts ou de remblaiement dans les vallées ;
- les dunes récentes, réduites au proche littoral urbanisé. Ces dunes recouvrent les graviers de la barrière littorale. Elles sont formées de sables bioclastiques essentiellement d'origine éolienne composés d'une fraction sableuse détritique pouvant atteindre 60%.

- les sables loessiques (Oey) et les sables éoliens fins et bien classés (Ny) sur les plateaux en arrière-pays, et sur les versants pentus à mi-hauteur des vallées. Leur médiane respective est 450-250 µm et 25 µm ;
- Les loess limoneux dans les secteurs intermédiaires de pentes moyennes.

Ces terrains sont d'épaisseur réduite (quelques mètres maximum) et généralement assez perméables aux eaux de ruissellement, sauf en période pluvieuse de saturation. Des tangues (Mz3) et sables récents tapissent le lit du Thar au droit et en amont de la mare de Bouillon. La tangue est un matériau caractéristique de la Baie du Mont-Saint-Michel. Elle est formée essentiellement de limons, de sablons et de très fins débris calcaire. Le contexte géologique général simplifié à l'échelle du secteur élargi est représenté par la carte géologique vecteur harmonisée du BRGM :

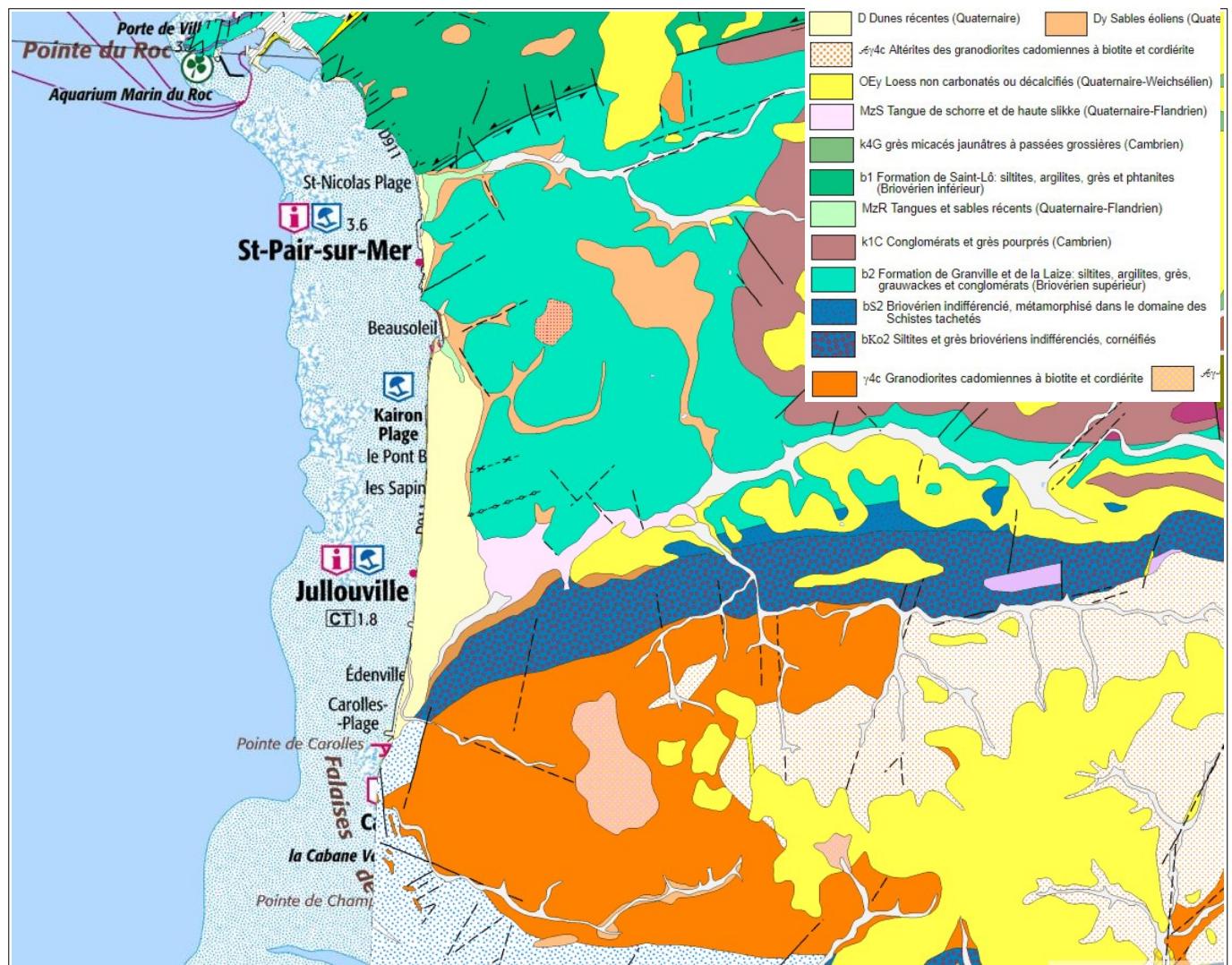


Figure III.26: Extraits de la carte géologique 1/50 000 vecteur harmonisée du BRGM

Cette carte simplifiée permet de distinguer les trois entités géologiques et géomorphologiques principales du site, à savoir :

- le promontoire de Saint-Pair-sur-Mer, constitué de schistes briovériens, qui s'étend jusqu'en bordure de littoral au nord du débouché du Thar ;
- le massif dunaire du débouché du Thar aux falaises au sud qui s'étend sur les trois communes Saint-Pair-sur-Mer, Jullouville et Carolles ;
- le promontoire granitique de Carolles

L'analyse topographique du secteur dans son ensemble fait ressortir le relief. Ce dernier est marqué au nord par les hauteurs relatives au droit de Granville, jusqu'à 65 m IGN69 environ, et au droit de Saint-Pair-sur-Mer à environ 2 km du trait de côte où les 55 m IGN69 sont atteints au maximum. Au sud, le massif imposant de Carolles atteint les 70 m IGN69 à proximité sur le littoral et progressivement 100 m IGN69 et plus à 4,5 km environ du trait de côte.

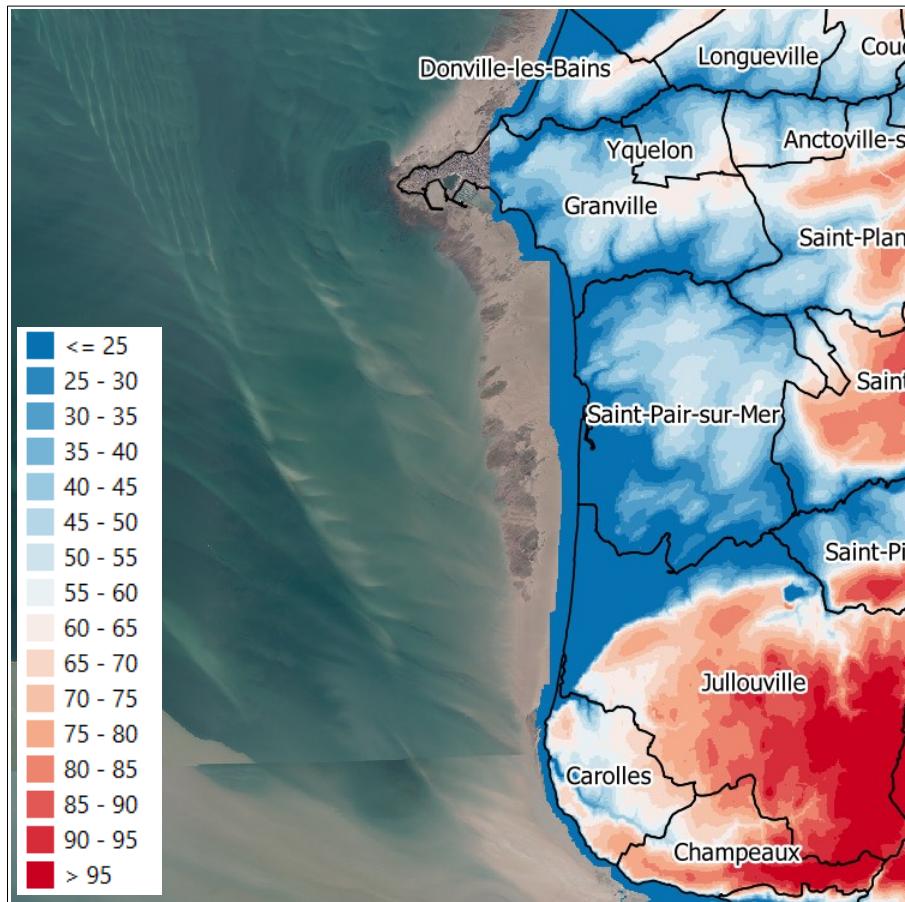


Figure III.27: Analyse topographique d'ensemble du site d'étude – Altimétries en m IGN69 (RGE Alti® V2.0).

Une analyse topographique spécifique entre 0 et 20 m IGN69 (sur la base du RGE ALTI) fait ressortir la géomorphologie du secteur en distinguant les terrains hauts et les zones basses :

- celle de la basse vallée de la Saigue à Saint-Pair-sur-Mer au nord ;<
- la zone basse principale au sud s'étendant sur les trois communes concernées par le PPRL. Cette zone intègre le débouché du Thar et la Mare de Bouillon. Elle s'étend sur plus de 5 km de long entre ce débouché et les falaises de Carolles et fait jusque 900 m de large environ (hors mare).

Cette analyse topographique montre que, sauf au débouché du Thar, les deux zones basses se situent en arrière d'une bande de front de mer nettement plus élevée, entre 10 à 15 m IGN69 environ.

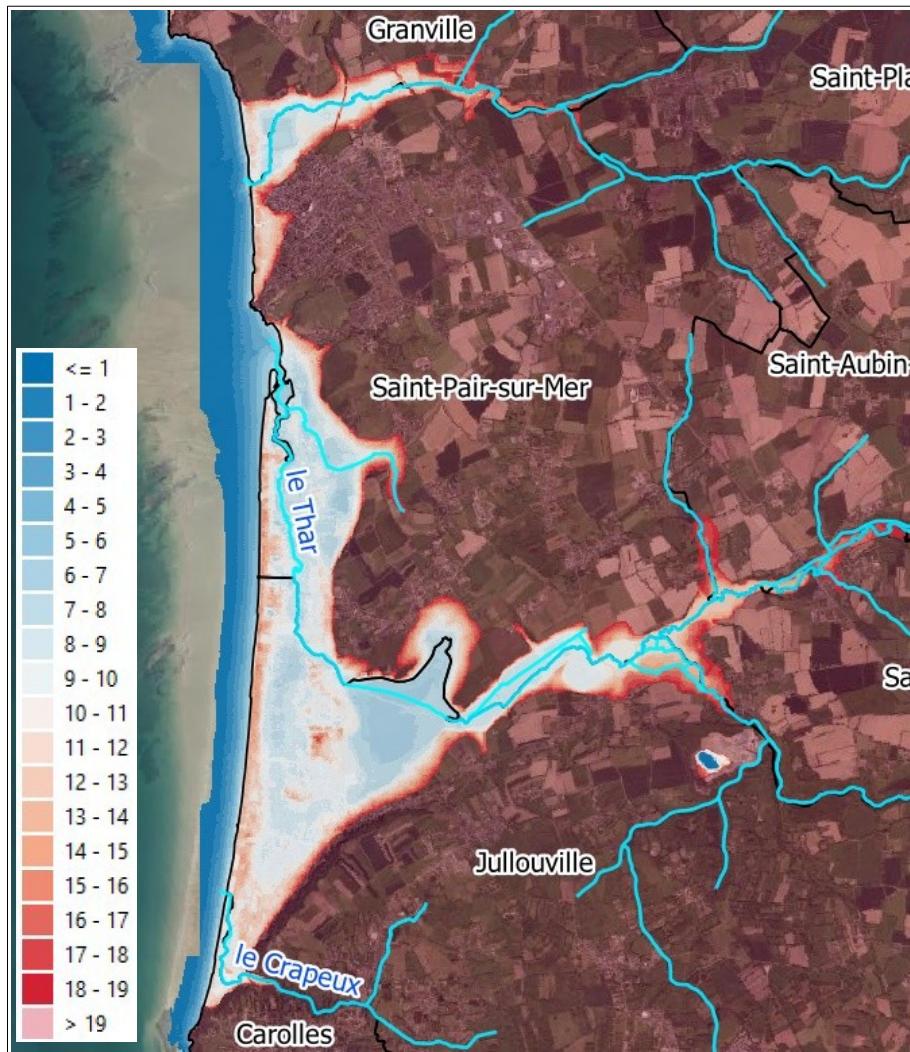


Figure III.28: Analyse topographique des zones comprise entre 0 et 20 m IGN69 – Altimétries en m IGN69 (RGE Alti® V2.0).

III.2.1.2. Contexte géologique du milieu marin et nature des fonds

Le linéaire de côte étudié appartient à un ensemble plus vaste (délimité au nord par le Roc de Granville et au sud-ouest par la Pointe du Grouin à Cancale) qui constitue la grande Baie du Mont-Saint-Michel, caractérisée par une géométrie de la côte en forme d'entonnoir et de faibles profondeurs.

Au large, on note la présence des îles (Archipel) granitiques de Chausey constituées d'une grande île et d'une infinité d'îlots cernés d'une zone intertidale beaucoup plus vaste. Les fonds au large dans le domaine marin n'atteignent qu'exceptionnellement l'isobathe - 20 m.

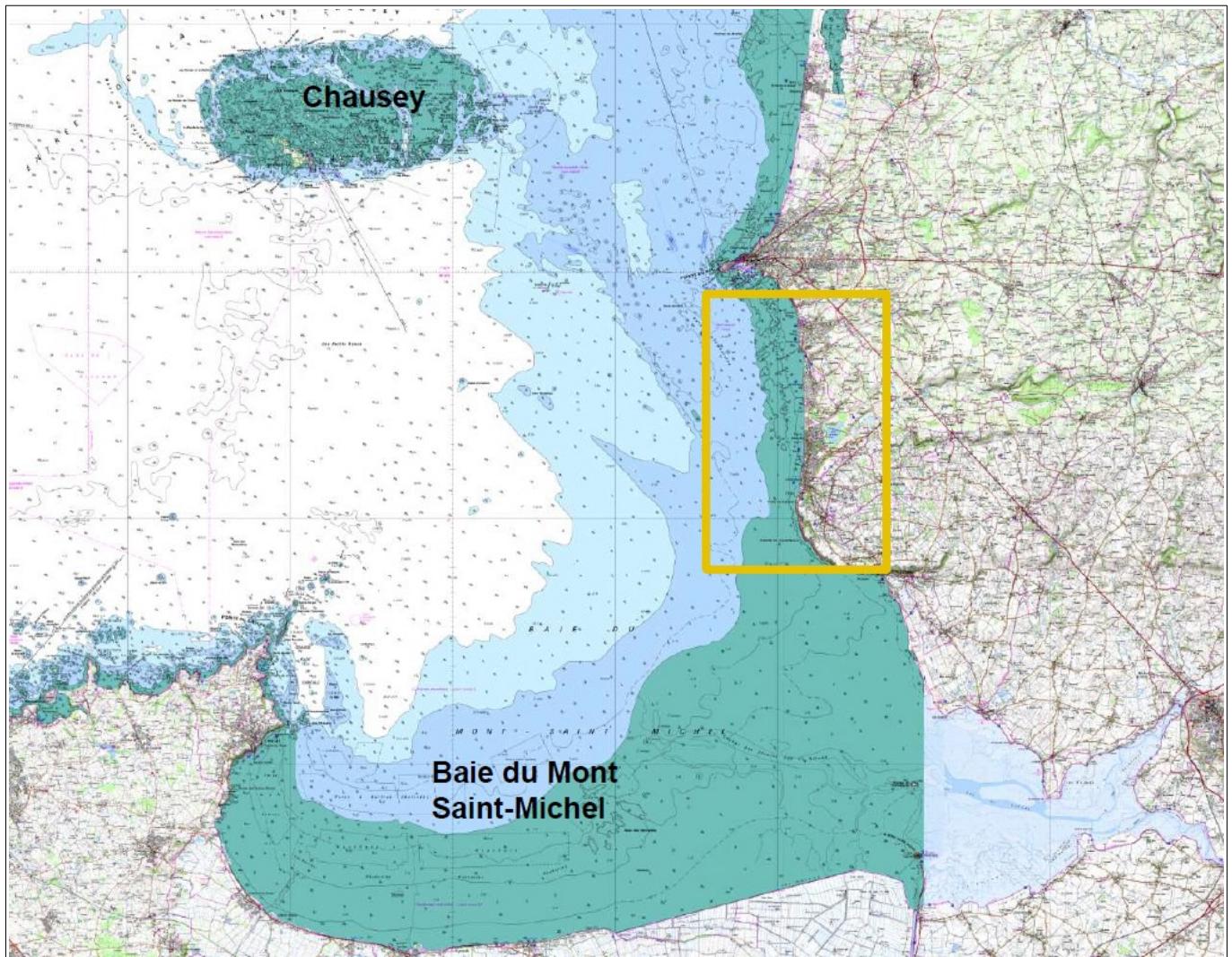


Figure III.29: Morphologie du domaine marin au large du secteur et grand ensemble de la Baie du Mont-Saint-Michel (Scan Littoral® Métropole).

Dans le domaine proche côtier, l'isobathe - 5 m dessine les bancs sableux au droit du site. L'estran se découvre :

- sur 1 kilomètre devant la Pointe de Carolles,
- sur 1,5 à 1,8 kilomètre entre Saint-Pair/Mer et Carolles-Plages

À la côte, on observe la présence d'un platier rocheux prolongeant les falaises de Carolles au sud sur une courte distance et s'étendant de plus en plus loin en remontant vers la pointe rocheuse du Roc au nord. Ce platier est plus ou moins continu et plus ou moins recouvert de sédiments. À l'extrémité nord du site étudié (limite communale de Saint-Pair-sur-Mer), la limite au large du platier se situe à environ 2 km du trait de côte. En dehors du platier, l'estran est principalement constitué de sédiments sableux fins avec d'importants débris coquilliers. Ce stock sédimentaire est ponctuellement complété en haut de plage par des graviers et galets provenant de l'érosion des platiers et des falaises. Les plages et les dunes, reposent sur des vestiges de tangues. D'après Glâtre et Meunier (Projet d'ingénierie du littoral : Lutte contre le recul du trait de côte et l'aléa submersion / DDTM50 - 2013), les vestiges de tangues à faciès de schorre et slikke que l'on rencontre plus au sud, au niveau de Saint-Jean-le-Thomas, sont datés à environ -1 050 BP.

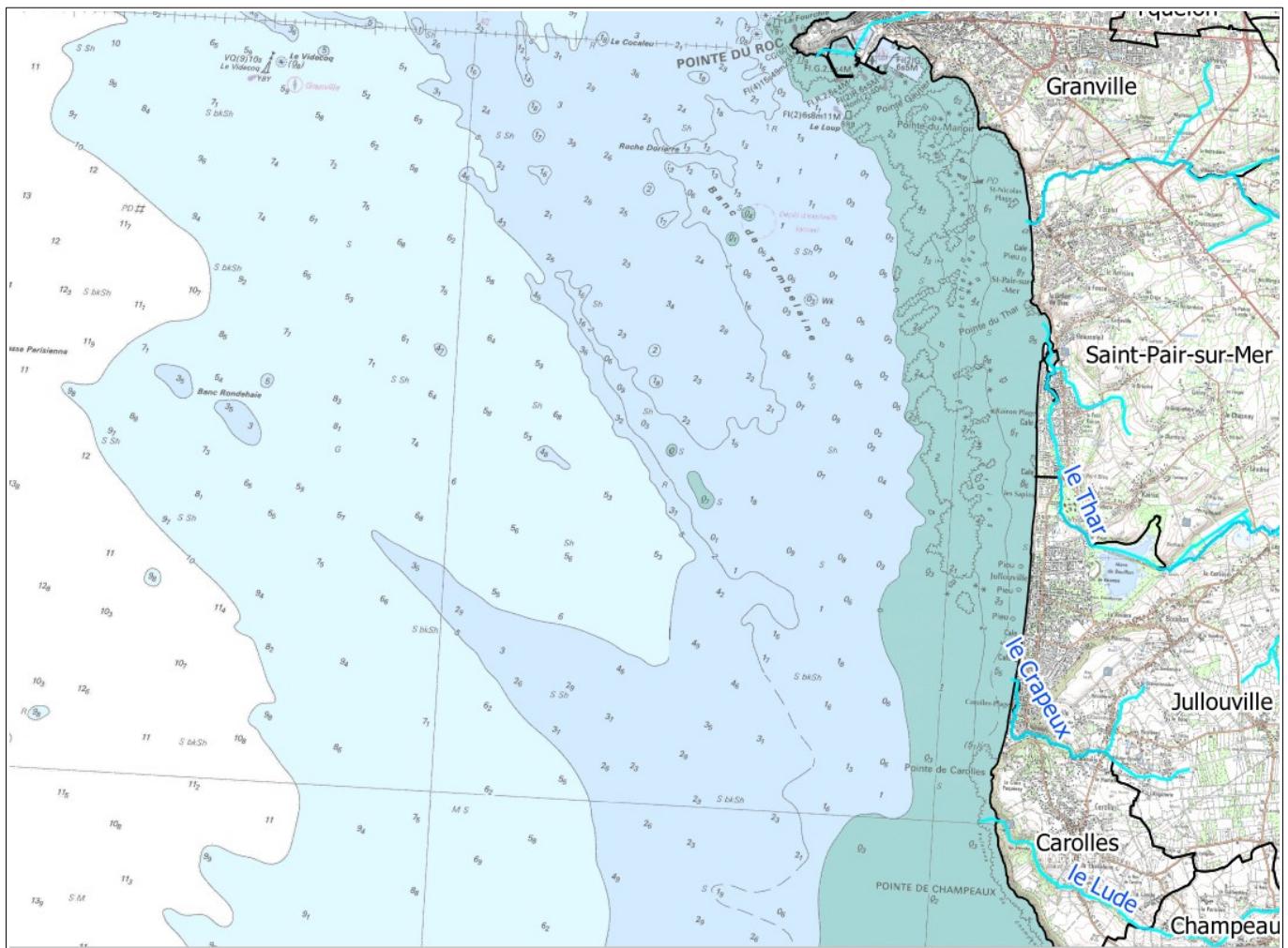


Figure III.30: Représentation de la morphologie du domaine marin au droit du secteur (Scan Littoral® Métropole).

D'après des données sédimentaires collectées de ces propres observations et prélèvements, mais également auprès d'organismes extérieurs (BRGM, Ifremer, universités, ports autonomes, sociétés de services, etc.), le Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM) alimente sa base de données sédimentologiques (BDSS). L'exploitation conjointe de cette base et des données de morphologie permet au SHOM d'établir une cartographie de la nature des fonds.

La figure suivante présente cette cartographie à l'échelle du secteur élargi.

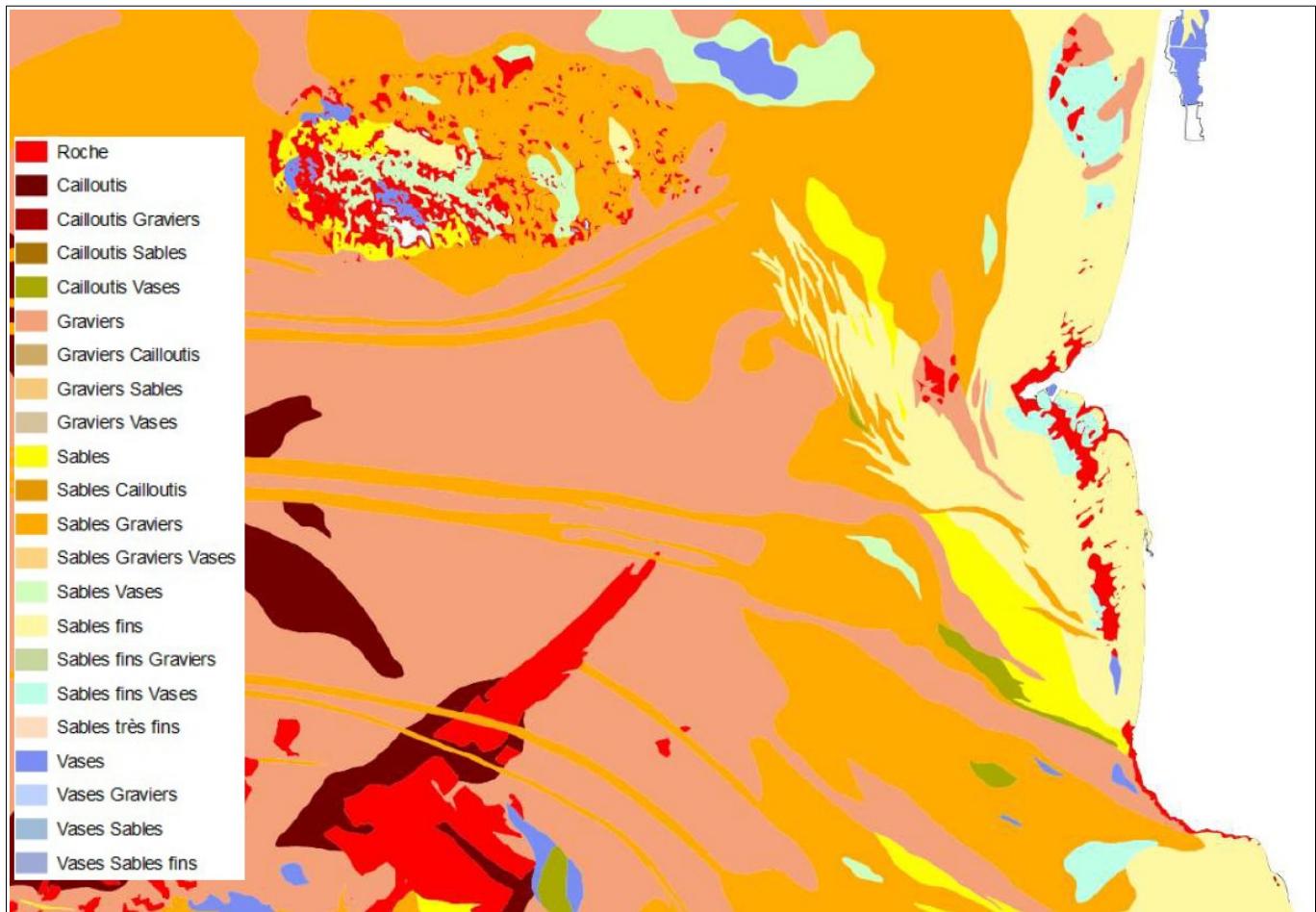


Figure III.31: Nature des fonds marins au large du secteur élargi.

III.2.1.3. Secteur nord : De Granville au débouché du Thar

Le promontoire rocheux de Saint-Pair-sur-Mer s'élève progressivement d'ouest en est jusqu'à une cinquantaine de mètres d'altitude au niveau de la RD973 (Le Croissant). Il est constitué de formations schisteuses du Briovérien qui affleurent sur l'estran du haut de plage et dans le bas de la falaise au niveau de la pointe rocheuse de Saint-Gaud (ou pointe du Thar sur le Scan Littoral®) qui se situe entre le débouché du Thar et la plage de Saint-Pair-sur-Mer. On note que la plage de Saint-Pair-sur-Mer s'étend sur environ 900 m environ la pointe de Saint-Gaud et le débouché de la Saigue (limite communale entre Granville et Saint-Pair-sur-Mer) qui se situe au droit d'un affleurement du promontoire rocheux. La côte devient totalement rocheuse au nord Saint-Nicolas-Plage vers la Pointe-du-Roc à Granville.

Au niveau des secteurs urbanisés qui ont recouvert une côte sablonneuse, le rivage a été artificialisé par des ouvrages longitudinaux (perrés, murs, enrochements). Ce rivage domine la plage d'une douzaine de mètres d'altitude.



Figure III.32: Saint-Nicolas Plage (premier plan) et plage de Saint-Pair-sur-Mer (second plan) avec le rocher Saint-Gaud (au fond).

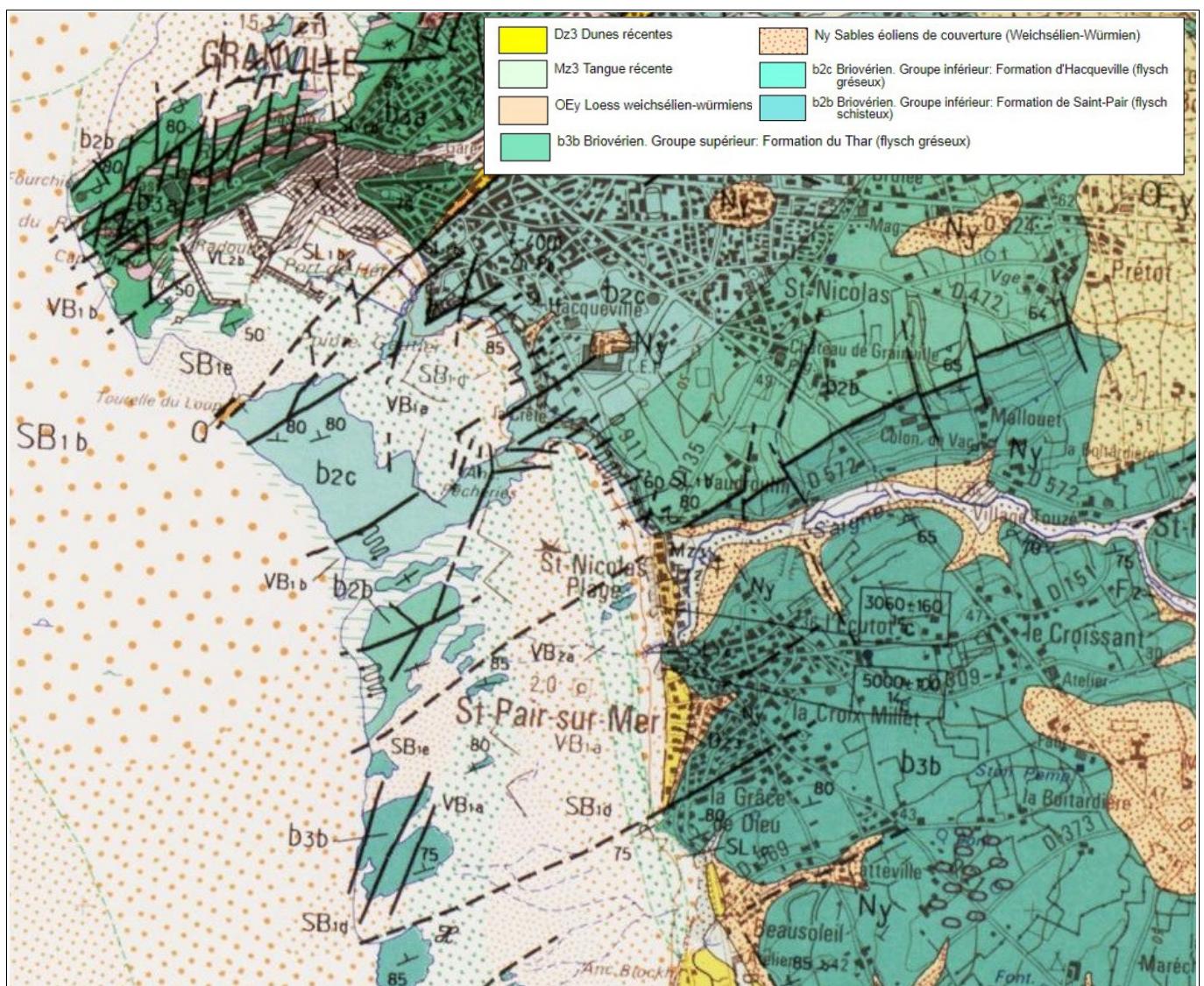


Figure III.33: Extrait de la carte géologique 1/50 000 imprimée du BRGM - Littoral au nord du débouché du Thar

Les deux figures suivantes détaillent le contexte du milieu marin et de la nature des fonds pour le secteur nord.

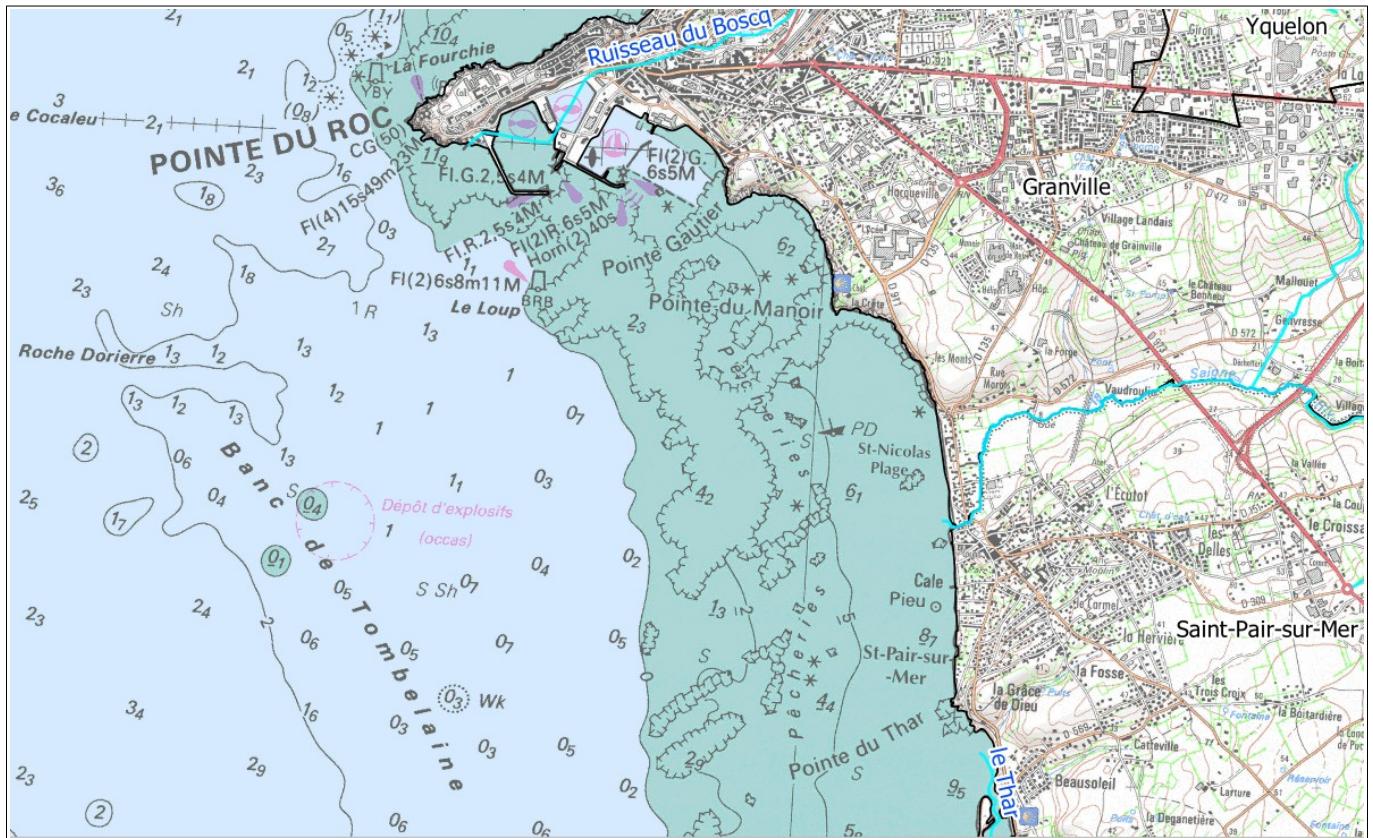


Figure III.34: Topographie de la zone arrière littorale basse de Saint-Pair-sur-Mer – Altimétries entre 7 et 11 m IGN69 (RGE Alti).

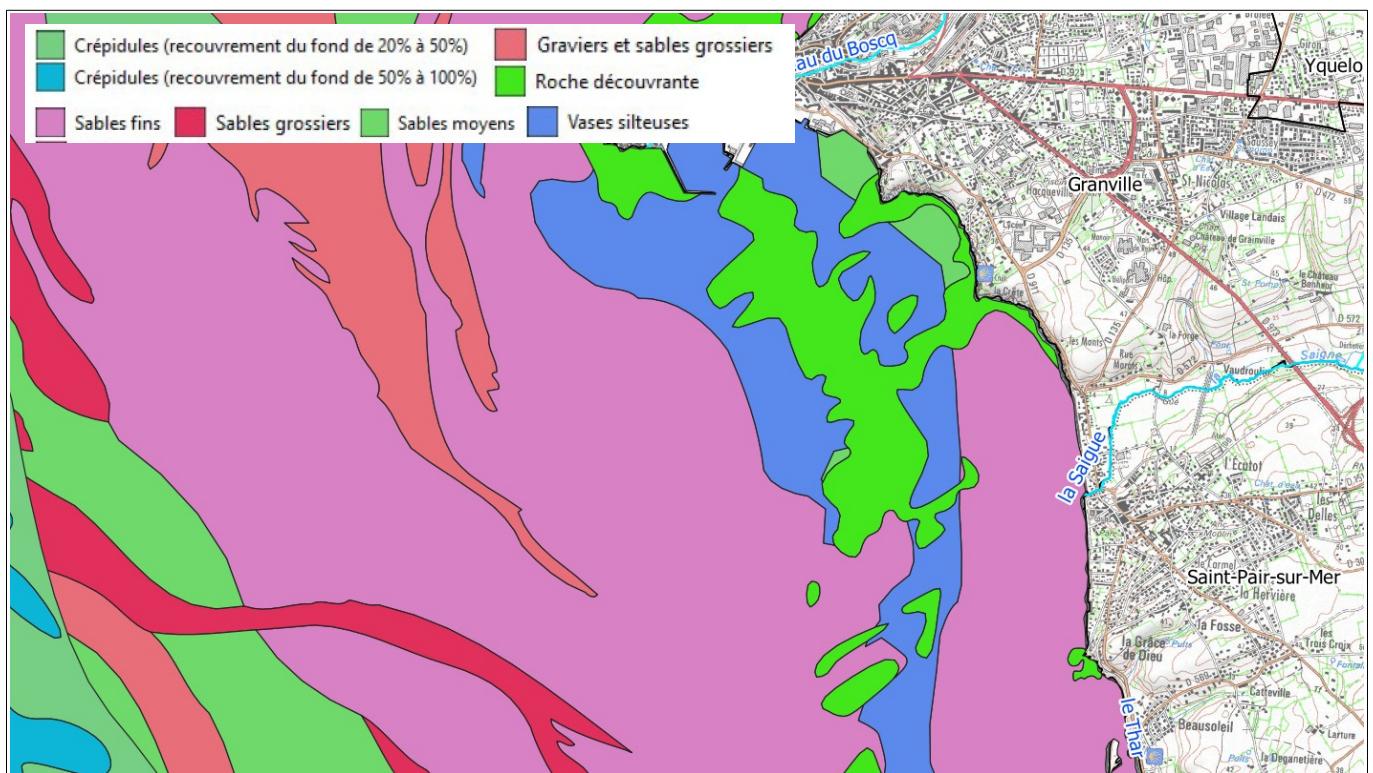


Figure III.35: Faciès sédimentaire - Secteur nord (Augris, 2008).

Ce secteur nord intègre la zone basse de la basse vallée de la Saïgne, séparée du haut de plage par un cordon haut (> 10 m IGN69) de 65 à 155 m de large environ.

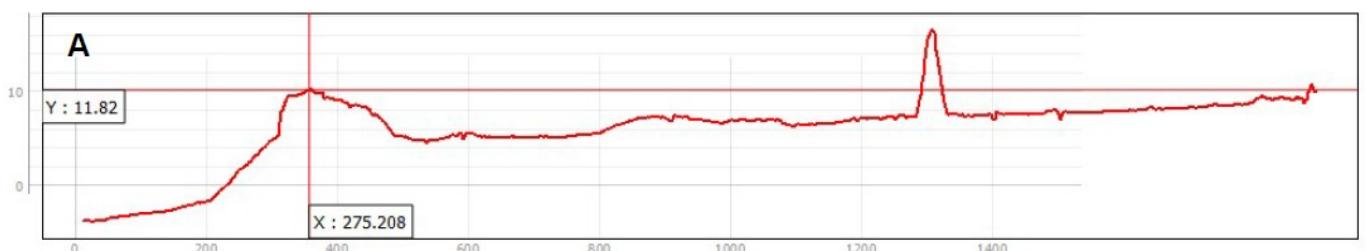
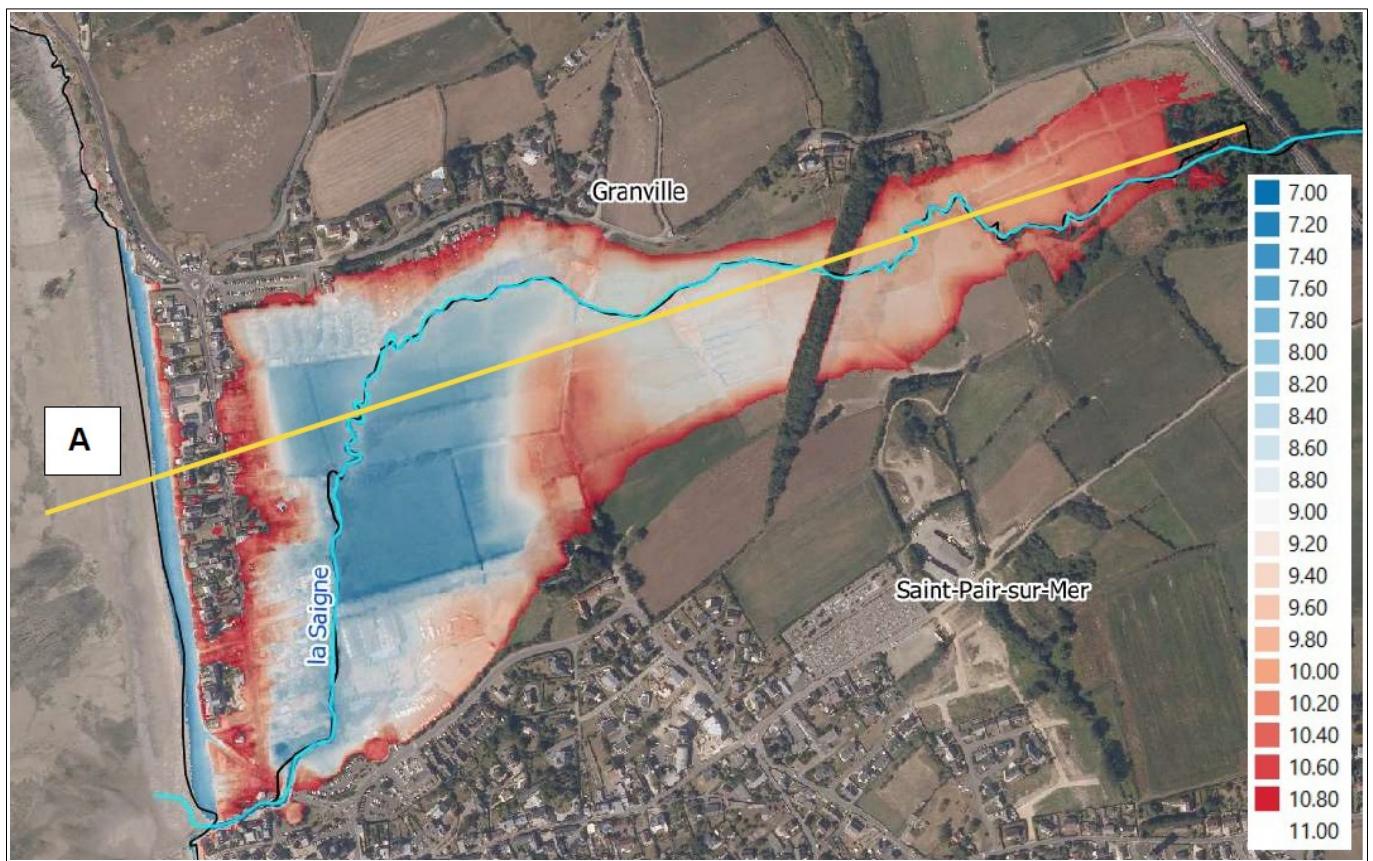


Figure III.36: Topographie de la zone arrière littorale basse de Saint-Pair-sur-Mer –Altimétries entre 7 et 11 m IGN69 (RGE Alti® V2.0)..

III.2.1.4. Secteur Central : Du débouché du Thar aux falaises de Carolles

Ce secteur est celui du massif dunaire qui s'étend sur environ 5,6 km, débouché du Thar compris, jusqu'à Carolles-Plage. Ce massif est orienté nord-sud et constitue une côte sableuse rectiligne côté mer.

Le massif dunaire se développe sur une épaisseur variant d'une centaine de mètres (au niveau de Carolles-Plages) à 900 mètres (au niveau de la Mare de Bouillon). Il est constitué de sables holocènes mis en place lors de la transgression flandrienne, entre 6 500 et 1 500 BP (source : Litothèque de Normandie).

Le secteur central est caractérisé par :

- l'embouchure du Thar au nord ;
 - un cordon dunaire de 5 km majoritairement haut, qui s'élève jusqu'à une altitude supérieure à 15 m IGN69. Sur la face côté mer du cordon trait de côte est artificialisé avec une alternance de murs de défense, de perrés maçonnés et d'enrochements, protégeant les zones urbanisées. Seuls deux secteurs de cordon dunaire au sud de Jullouville et au droit de Carolles-Plage sont encore visibles, sans protection en dur. Au nord, le cordon se termine par une flèche sableuse qui protège le débouché du Thar ;
 - le massif dunaire de Saint-Pair-sur-Mer, Jullouville et Carolles ;
 - la zone arrière littorale basse, entre 7 et 11 m globalement, constituée par un couloir humide (qui suit un axe nord-sud parallèle au rivage) occupé par les cours du Thar et du Crapeux. Cette zone intègre la mare de Bouillon sur le parcours du Thar, entre 900 et 1 500 m en arrière du trait de côte ;
 - une falaise morte (sur laquelle et venu s'adosser le massif dunaire) d'orientation SW-NE au sud de la Mare de Bouillon et d'orientation SSE-NNW au nord de celle-ci. C'est sur cette falaise morte que les centres-bourgs historiques de Bouillon et de Kairon ont été construits.

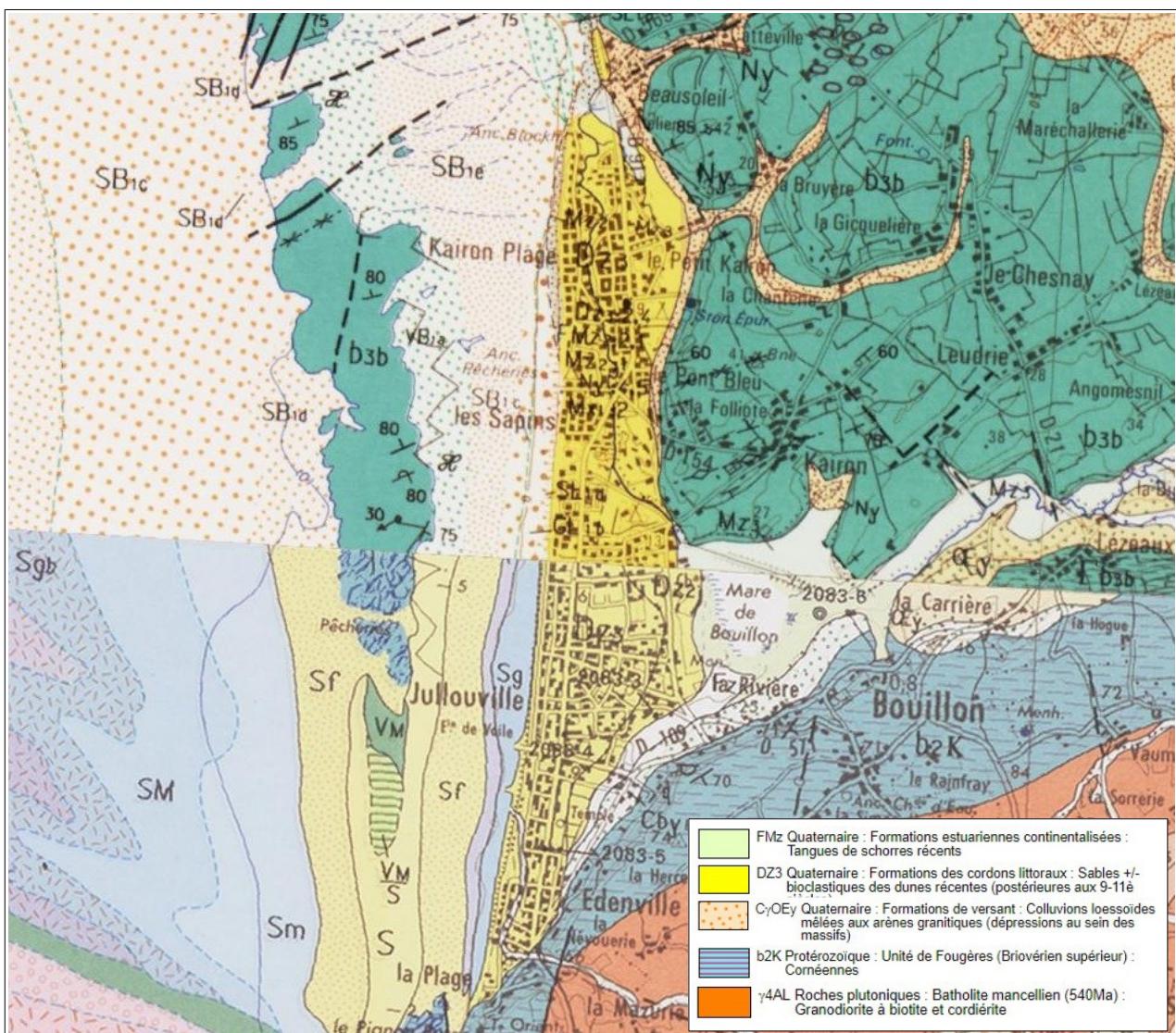


Figure III.37: Extrait de la carte géologique 1/50 000 imprimée du BRGM. Zone basse principale.

Les deux figures suivantes détaillent le contexte du milieu marin et de la nature des fonds pour le secteur Central.

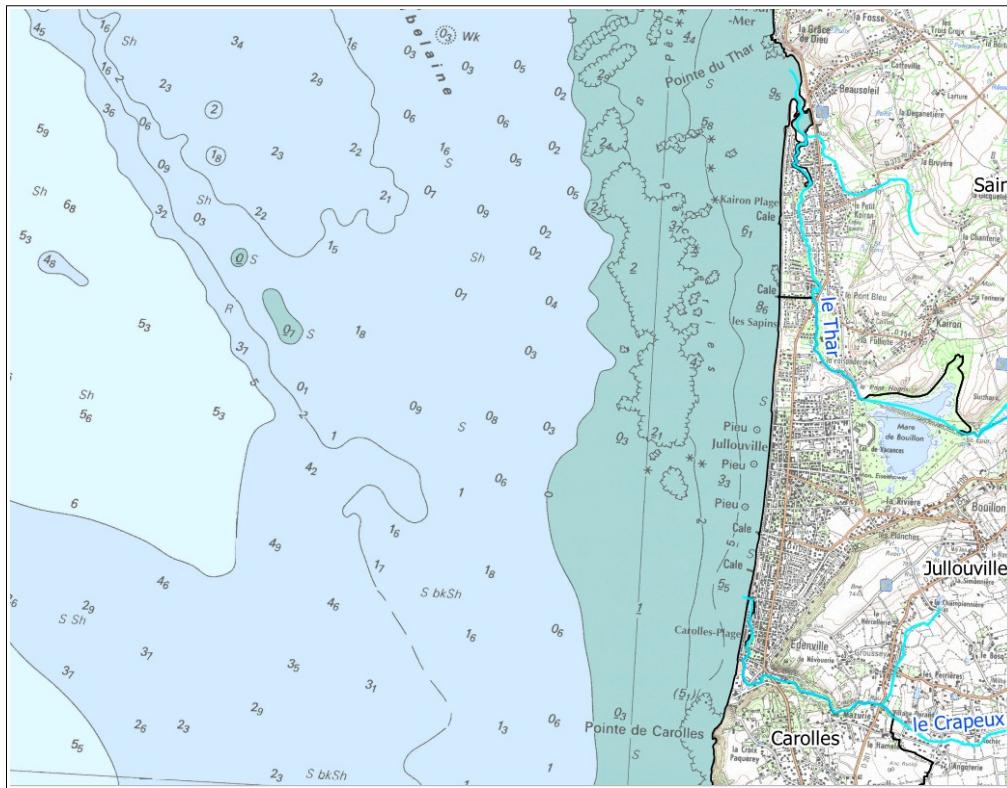


Figure III.38: Extrait de la carte SCAN Littoral® - Secteur central: Faciès sédimentaire - Secteur Central (Augris, 2008).

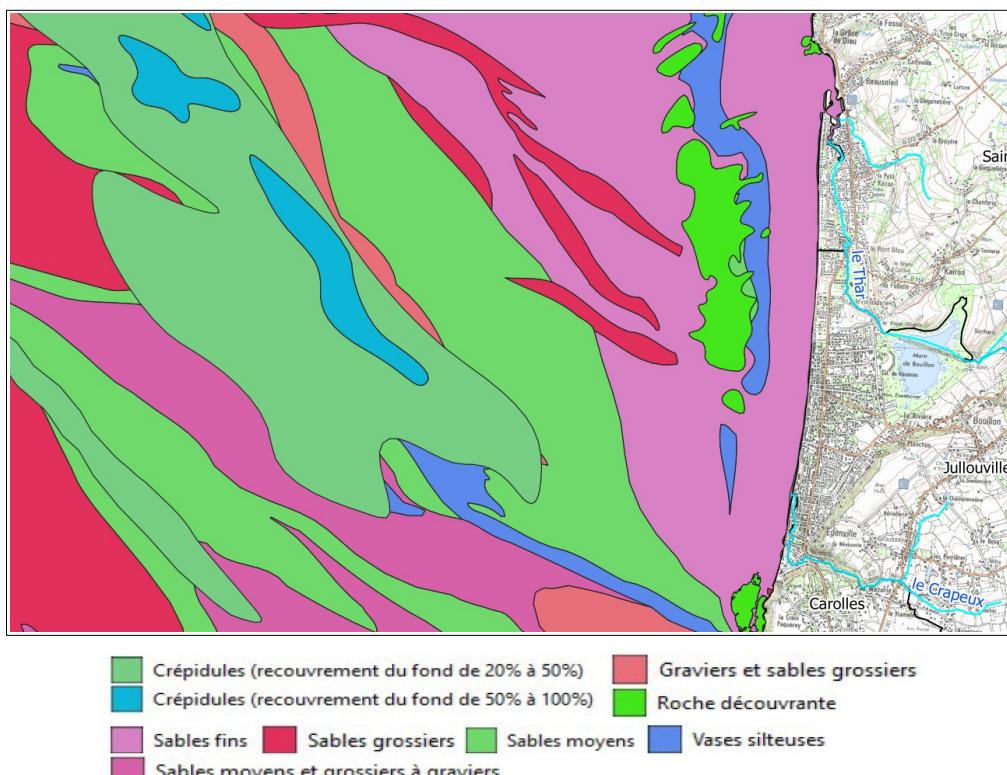


Figure III.39: Faciès sédimentaire - Secteur Central (Augris, 2008).

Le cordon dunaire entre le haut de plage et la zone arrière littorale basse est globalement haut et bien marqué. Sa largeur est toutefois assez variable, entre 30/40 m et 150 m.

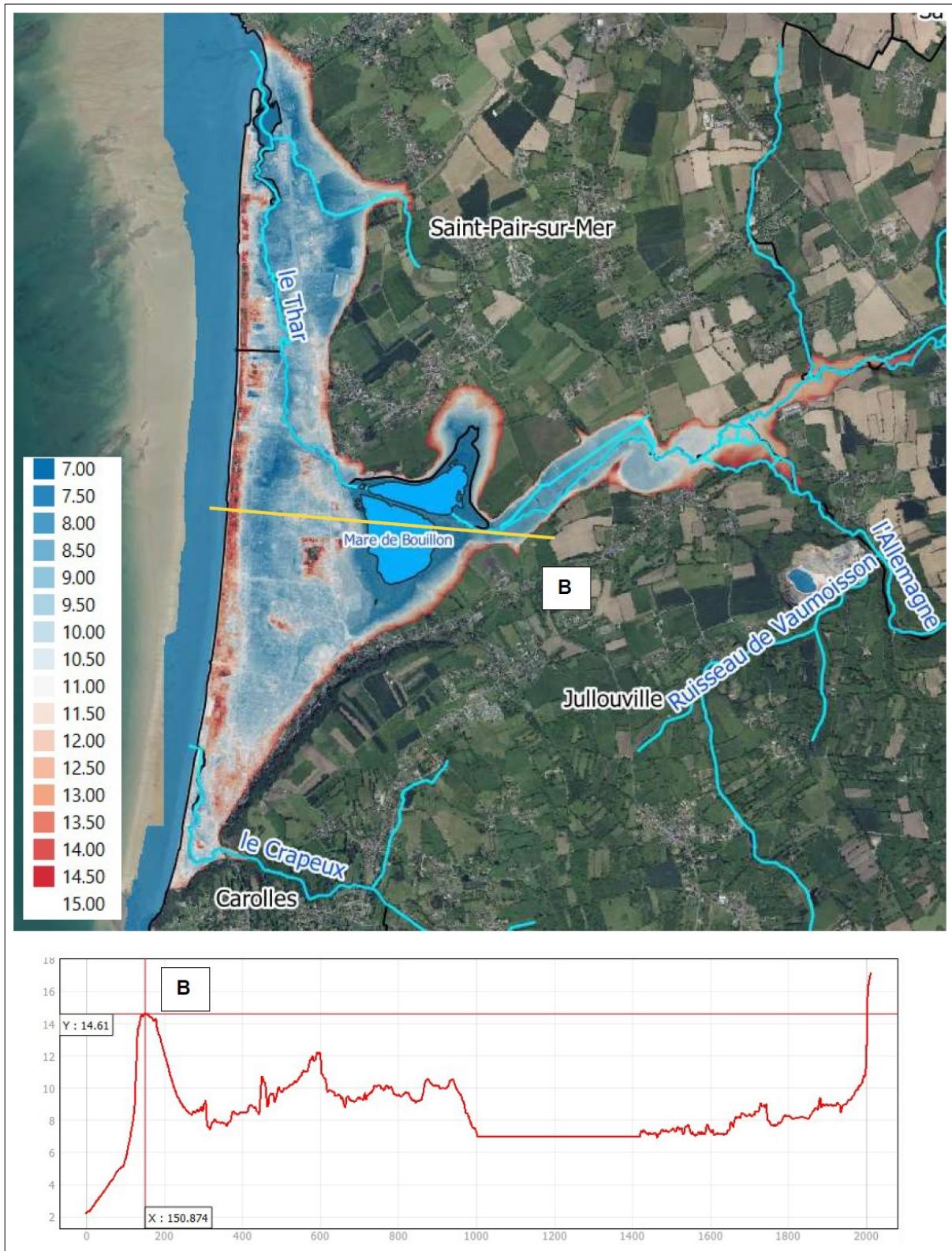


Figure III.40: Topographie de la zone arrière littorale basse du secteur central – Altimétries entre 7 et 15 m IGN69 (RGE Alti).

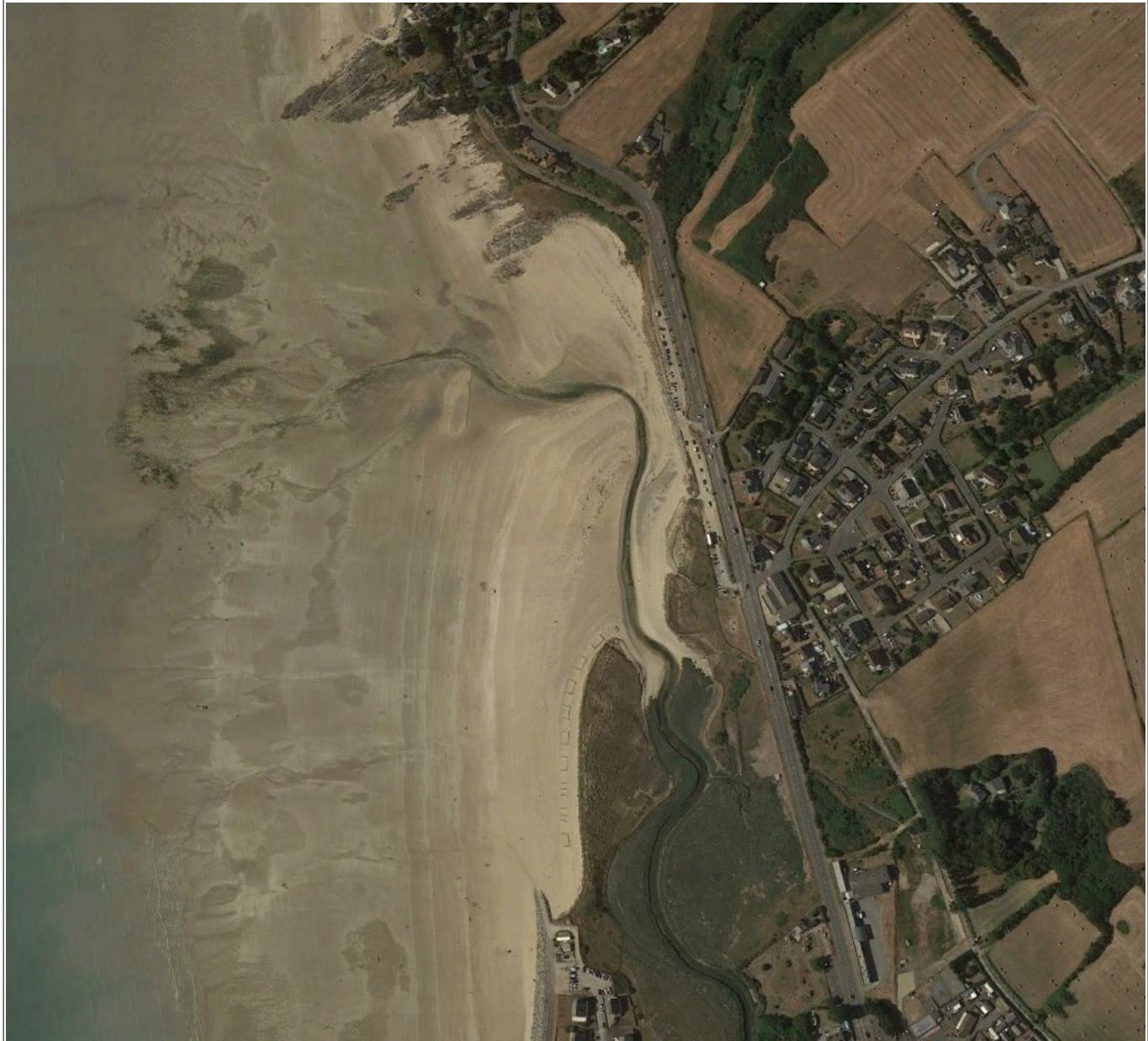


Figure III.41: Vue aérienne du débouché du Thar, de la flèche sableuse de Kairon-Plage et de la pointe rocheuse au nord du débouché (GoogleEarth, mai 2020).



Figure III.42: Vues de la zone de schorre au débouché du Thar sous protection de la flèche sableuse (Alp'Géorisques, mai 2021).

III.2.1.5. Secteur sud : Les falaises de Carolles

Au sud, sur un linéaire côtier d'environ 3 km, le secteur est limité par le massif granitique de Carolles qui forme un promontoire s'avancant dans la baie du Mont-Saint-Michel. Les falaises rocheuses très hautes sont constituées de granodiorites ceinturées par une auréole de métamorphisme.



Figure III.43 : Le promontoire granitique de Carolles.



Figure III.44 : Vue du massif granitique de Carolles et du platier rocheux (Alp'Géorisques mai 2021).

Deux fleuves côtiers parcourent les falaises de Carolles :

- le Lude qui traverse la commune en creusant une vallée aux pentes marquées avant de se jeter dans la mer au Port du Lude, entre deux falaises ;
- le Crapeux, qui s'écoule dans la Vallée des Peintres, avant de traverser le massif dunaire.

Cette partie est dépourvue d'habitations en bordure de côte. Les falaises de Carolles/Champeaux constituent un site naturel de grande importance écologique.

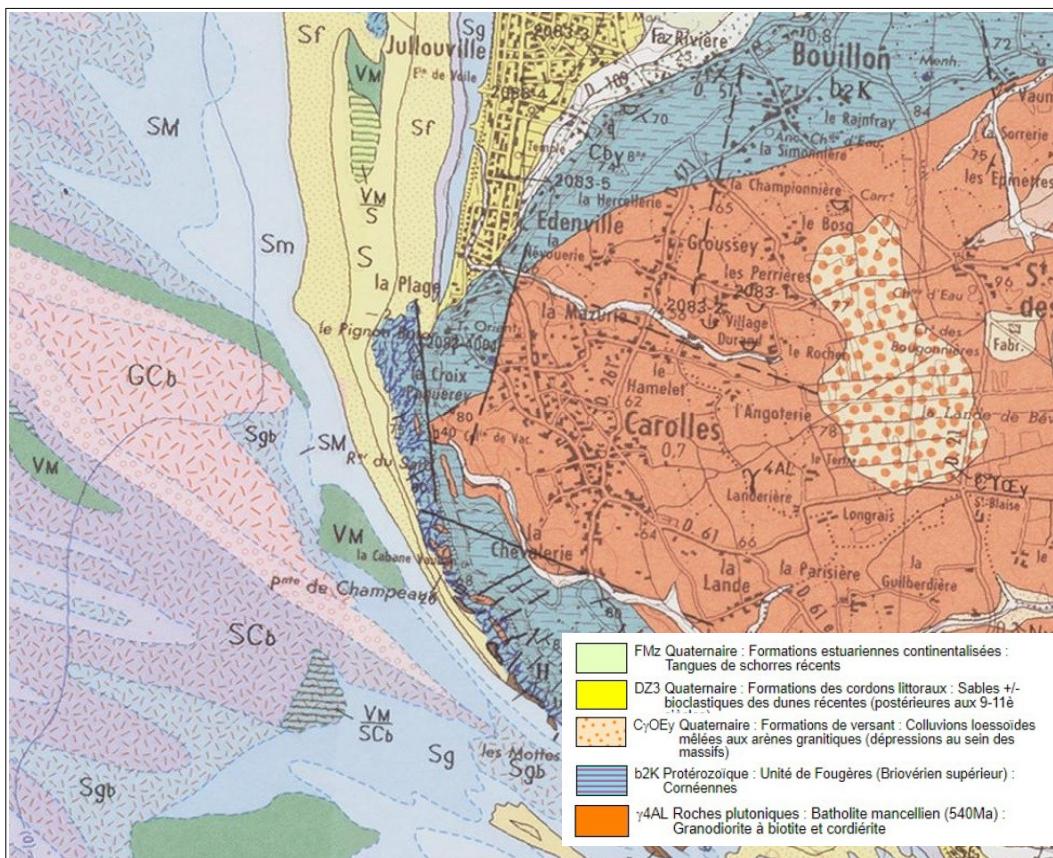


Figure III.45: Extrait de la carte géologique 1/50 000 imprimée du BRGM_Falaises de Carolles.



Figure III.46: Extrait de la carte SCAN Littoral® - Secteur sud.

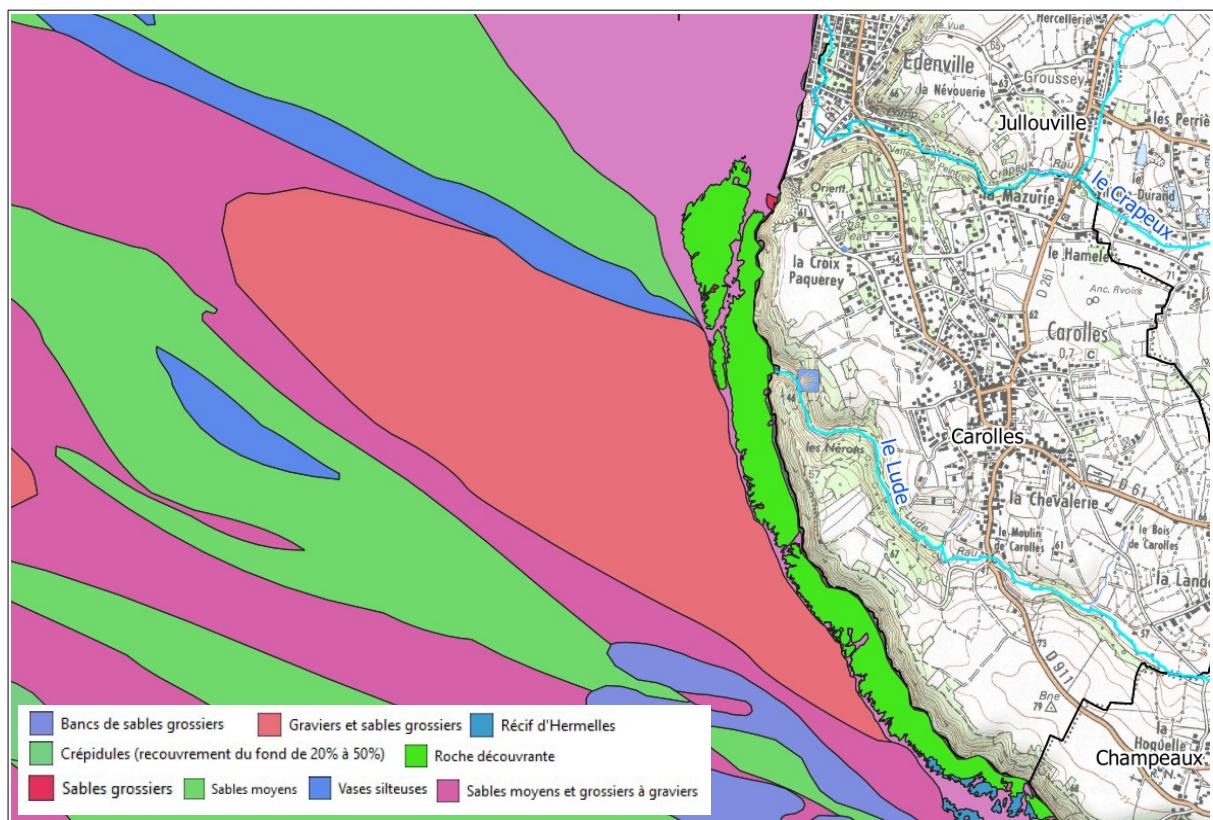


Figure III.47: Faciès sédimentaire - Secteur sud des falaises de Carolles (Augris, 2008..).

III.2.2. Contexte hydrogéologique

Hors de la zone côtière ou des vallées à remplissage d'alluvions quaternaires, il n'existe pas de nappes aquifères véritables. L'imperméabilité générale du sous-sol (roche massive sans porosité interstitielle) implique une pauvreté de la ressource en eau souterraine et amène à des exploitations locales de nombreuses sources et puits à débit faible et variable. Le Syndicat de Mutualisation de l'eau Potable du Granvillais et de l'Avranchin (SMPGA) n'a plus qu'une seule prise d'eau potable sur le Thar. Au droit des vallées, il existe un aquifère d'altérites de subsurface. Sur la zone littorale du débouché du Thar aux falaises de Carolles, et notamment sur la frange ouest et sud-ouest de la mare de Bouillon, on trouve également un aquifère du cordon dunaire présent dans les sables au-dessus du biseau salé, en liaison avec la mer.

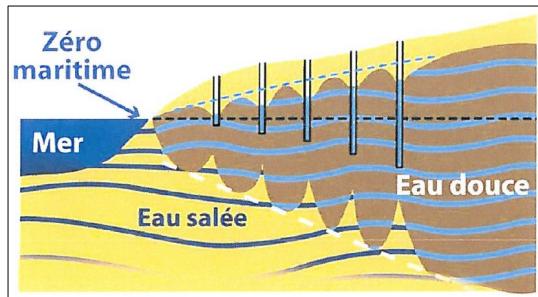


Figure III.48 : Représentation schématique du biseau salé et de l'aquifère du cordon dunaire sur la zone littorale.

III.2.3. Nature et description générale du trait de côte actuel

Selon le travail réalisé à l'échelle nationale par le CEREMA, mis à jour en avril 2019, le trait de côte étudié est orienté nord-sud et est constitué de quatre entités principales distinctes qui sont du nord au sud :

Tableau III.1: Nature du trait de côte d'après le recensement CEREMA.

Entité	Type	Etendue (du nord au sud)	Linéaire	Commune
1	Côte d'accumulation	Débouché de la Saigue (limite communale) à la pointe du Thar	~1 km	Saint-Pair-sur-Mer
2	Non identifié	Pointe du Thar à la cale au Nord de Kairon Plage. Débouché du Thar.	~0,7 km	Saint-Pair-sur-Mer
3	Côte d'accumulation	Nord de Kairon Plage à la pointe de Carolles	~4,8 km	Saint-Pair-sur-Mer/Jullouville/Carolles
4	Côte à falaises	De la pointe de Carolles à la limite communale	~3 km	Carolles

D'après le travail de recensement des ouvrages et aménagements littoraux de protection effectué par la DDTM50 et présenté par les figures suivantes, la côte d'accumulation est presque entièrement fixée par des ouvrages longitudinaux de type « protections dures » se substituant au trait de côte. Ces ouvrages sont des perrés, des murs ou encore des cordons d'enrochements.

Tableau III.2 : Répartition par nature des ouvrages longitudinaux au droit de la côte d'accumulation étudiée selon le recensement DDTM50.

Nature		Entité 1	Entité 2	Entité 3
Perré	Béton armé	280 m	25 m	1 770 m
	Maçonnerie	370 m	--	--
Cordon d'enrochements naturels		695 m	160 m	2 730 m
Mur		65 m	--	--
Brises-vents/ganivelles		--	--	250 m

Seuls trois tronçons de l'entité 3 (tableau III.1), représentant au total un peu moins 500 m de côte, ne sont pas protégés par de tels ouvrages. Ces trois tronçons se situent en partie sud de l'entité 3, au droit de la partie sud de Jullouville et de Carolles-Plage. Un cordon d'enrochement a été récemment aménagé à l'exutoire du Crapeux.

En termes d'ouvrages transversaux, le recensement effectué par la DDTM de la Manche identifie également des cales et des exutoires qui jouent le rôle d'épis. Aucun épi n'est recensé en tant que tel (avec uniquement cette fonction). Les figures suivantes montrent les ouvrages et aménagements recensés pour chacune des entités.

À noter que sur l'extrême nord de l'entité 1, la piscine d'eau de mer de Saint-Pair-sur-Mer est située en avant du perré.

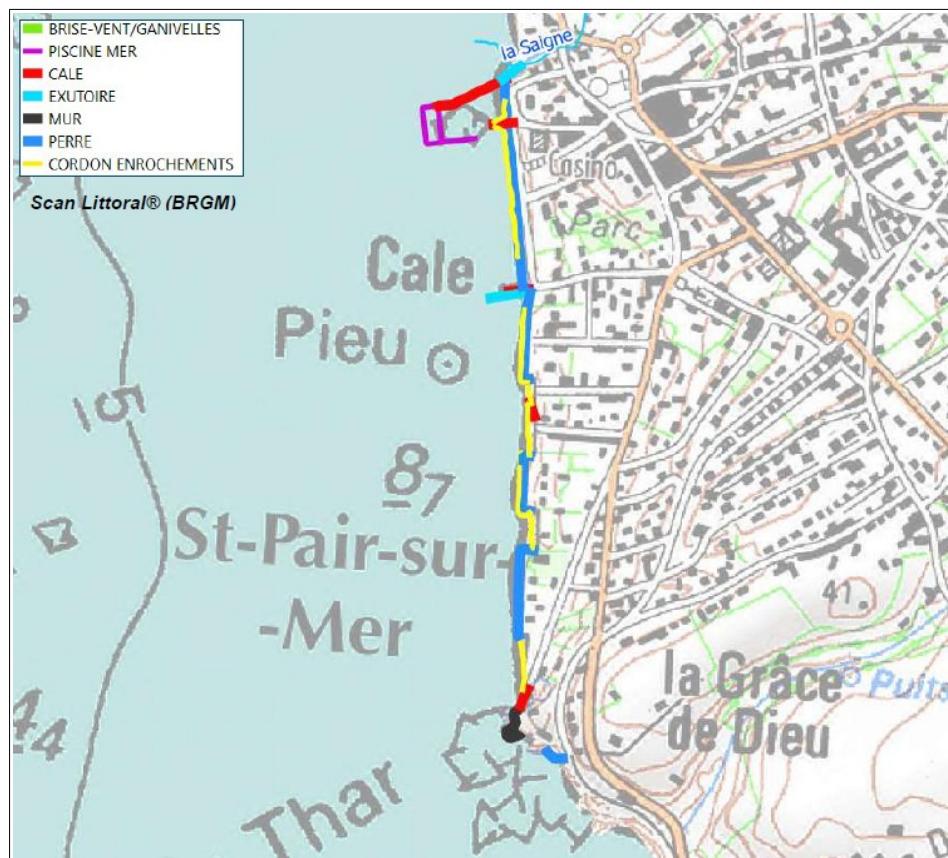


Figure III.49 : Recensement et type d'ouvrages et aménagements littoraux sur l'entité 1.



Figure III.50 : Recensement et type d'ouvrages et aménagements littoraux sur l'entité 2

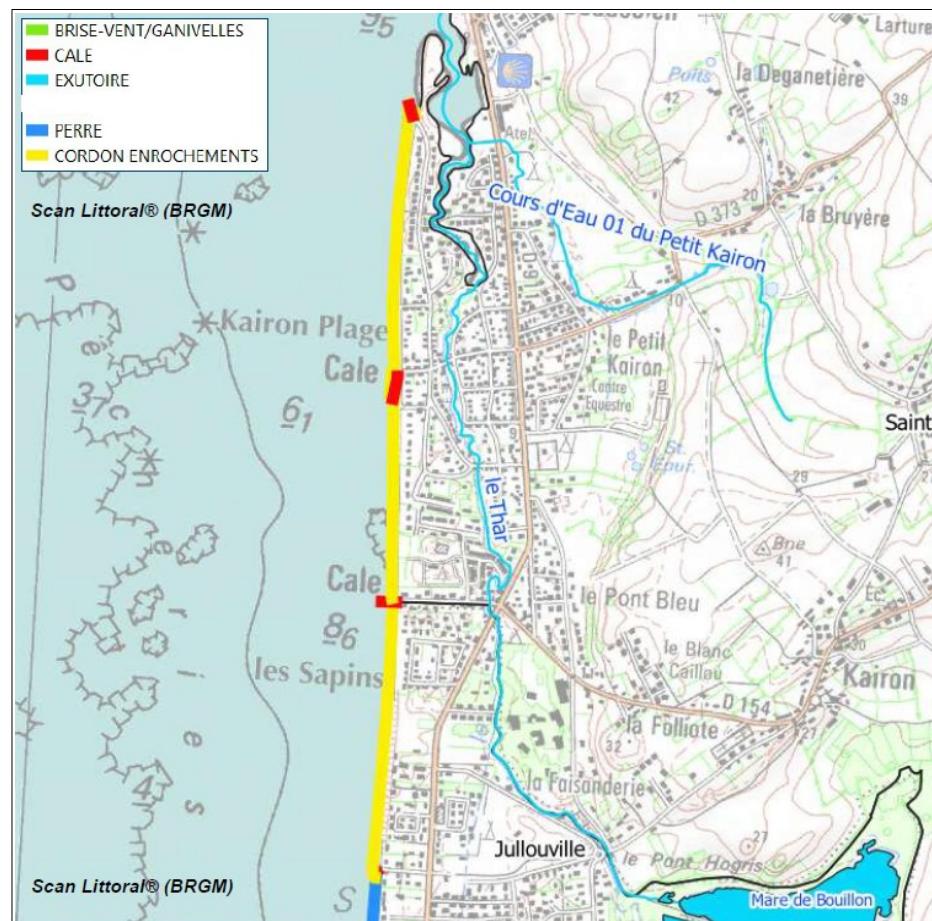


Figure III.51 : Recensement et type d'ouvrages et aménagements littoraux sur l'entité 3 nord du secteur.

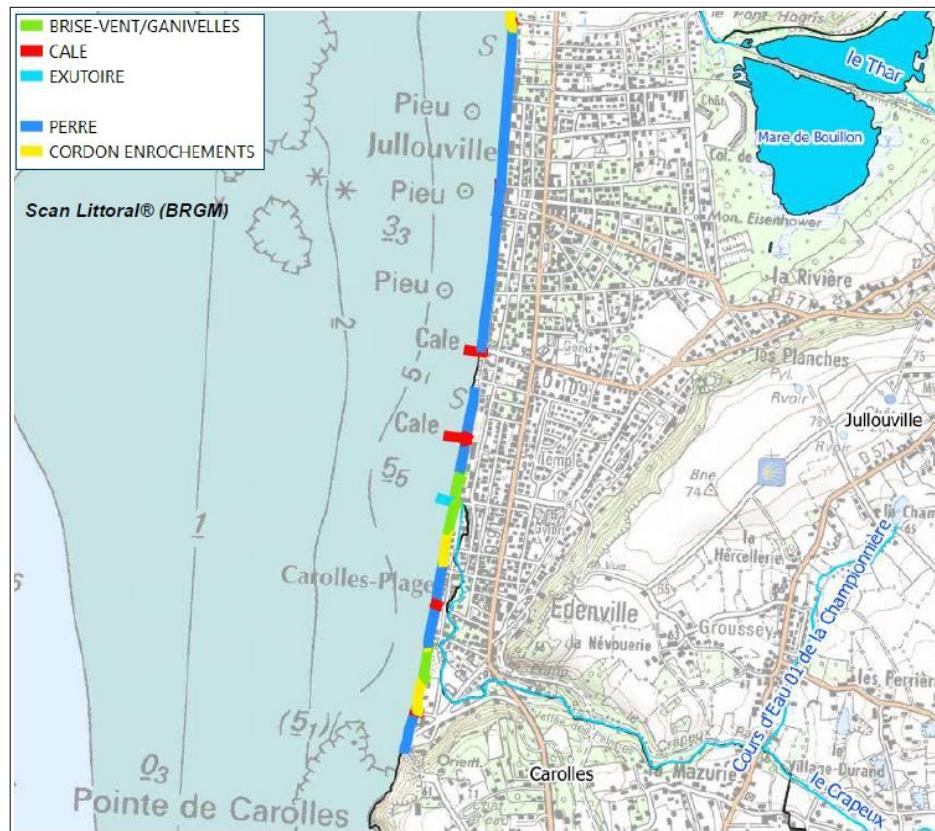


Figure III.52 : Recensement et type d'ouvrages et aménagements littoraux sur l'entité 3 sud du secteur.

Nota : les ganivelles identifiées au niveau du l'exutoire du Crapeux ont depuis été remplacées par des enrochements.

III.2.4. Contexte morphosédimentaire

III.2.4.1. Unités morphosédimentaires

Le littoral peut être découpé en unités morphosédimentaires qui sont homogènes en forme, nature et exposition de la côte. Le secteur constitue la partie la plus au nord de l'unité morphosédimentaire qui s'étend de la Pointe-du-Roc (Granville) à la pointe du Grouin (Saint-Malo). Cette unité correspond à la grande baie du Mont-Saint-Michel.

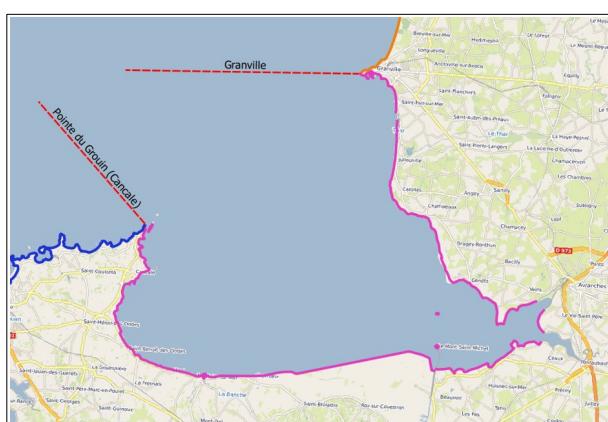


Figure III.53: Découpage du littoral en unité morphosédimentaire dans la région étudiée

III.2.4.2. Dérive littorale à l'échelle de la sous-cellule sédimentaire

Le transit des sédiments (fins ou grossiers) dans la bande littorale s'effectue sous l'action des courants de marée, de la houle et du vent dominants. Lorsque ce transit s'effectue parallèlement au rivage, il est appelé dérive littorale.

Sur les plages et sous l'action principale des houles, ce transport/transit se fait en « dents de scie »; selon l'efficacité du déferlement et du retrait de chaque vague. Lors de la modification de la direction des vagues, cette dérive littorale change de sens. La dérive « résultante » dépend du sens dominant annuel des vagues.

Une sous-cellule sédimentaire correspond à un compartiment du littoral homogène du point de vue de la dérive littorale et au fonctionnement sédimentaire autonome vis-à-vis des compartiments limitrophes. Elle est délimitée par des obstacles majeurs, soit naturels (cap ou embouchure), soit anthropiques (digue portuaire par exemple).

Le site s'intègre dans la sous-cellule sédimentaire de Jullouville qui s'étend de la Pointe-du-Roc aux falaises de Carolles.

La dérive littorale dans cette sous-cellule est :

- nord-sud entre la Pointe-du-Roc et l'embouchure du Thar délimitée au nord par la pointe rocheuse de Saint-Gaud ;
- sud-nord de cette embouchure aux falaises de Carolles.

III.2.4.3. Dynamiques sédimentaires côtières

Cette dérive est donc principalement dépendante des éléments naturels que sont les pointes rocheuses et le rejet à la mer du cours d'eau principal.

Elle peut également être influencée par des ouvrages transversaux (par rapport au trait de côte) anthropiques qui peuvent bloquer le transit sédimentaire. Ici, les ouvrages transversaux susceptibles d'intercepter une partie du transit sédimentaire se limitent à des cales d'accès, la piscine d'eau de mer et à des exutoires de cours d'eau ou de réseaux. Aucun ouvrage transversal recensé sur le site n'a cependant été réalisé à cette fin d'interception du transit sédimentaire, et donc de protection du trait de côte.

III.2.4.4. Accumulations sédimentaires sur l'estran au droit du site

Le bourrelet de haut de plage sur ce secteur se limite à quelques accumulations de sables et cailloutis. Il est presque totalement détruit du fait d'une faible alimentation en sédiments par le Thar et de la rupture des échanges avec le cordon dunaire du fait de la présence des protections côtières. Les accumulations sédimentaires sur le platier rocheux sont peu structurées. Des argiles anciennes apparaissent à la limite inférieure de la haute plage érodée, notamment pendant les périodes de tempête. Les matériaux sableux sont globalement fins sur le bas-estran. Le démantèlement des niveaux argileux contribue à la formation de placages de vase molle surmontant des niveaux de sable plus résistants. Au sud de Jullouville, le platier rocheux est de largeur réduite, quasi-inexistant. Les matériaux fins qui constituent le bas-estran ne présentent pas de morphologie particulière. Au droit des falaises, le haut-estran est constitué de blocs rocheux éboulés. La haute plage est peu alimentée en sables fins, mais quelques accumulations probablement issues d'un transport sédimentaire oblique sont présentes. Au nord de la plage de Saint-Pair-sur-Mer s'achève la côte rocheuse du Roc de Granville. Un estran sableux existe dans l'anse de Saint-Nicolas, mais il n'existe pas de structure complète avec un bourrelet d'estran de sables moyens.

III.2.4.5. Réseau hydrographique à l'échelle des bassins versants

La Saigue, le Thar, le Crapeux et le Lude traversent le territoire des communes de Saint-Pair-sur-Mer, Jullouville et Carolles et débouchent dans la Manche au droit du trait de côte de ces communes. Les cours d'eau et bassins versants sont présentés en Figure III.54 et Figure III.55. Du fait de la géologie de la zone, les cours d'eau sont principalement alimentés par le ruissellement de surface. Les crues ont donc lieu pendant la période d'automne-hiver lors des fortes précipitations.

Ces bassins versants sont majoritairement ruraux (cultures et prairies). Les zones urbanisées se concentrent en aval sur le littoral (Cf. Figure III.55). Le bassin versant de la Saigue, drainé par la rivière du même nom, est de forme allongée, s'étend sur environ 30 km² et présente des pentes de 3,5 % en moyenne (48 % de surface entre 2 et 5 %). La Saigue fait 8 km de long. Sa partie aval s'écoule le long de la limite communale entre Granville et Saint-Pair-sur-Mer. Ce cours d'eau est très encaissé et endigué sur les derniers mètres avant son embouchure (partie la plus urbanisée).

Le bassin versant du Thar et de l'Allemagne couvre une superficie d'environ 85 km² et présente des pentes de 3,5 % en moyenne (38 % de surface entre 2 et 5%). C'est le plus pentu avec 13% de surface à plus de 10 % de pente Il est également de forme allongée. Les deux cours d'eau confluent en aval de Saint-Pierre-Langers, puis le Thar s'écoule le long de la limite communale entre Saint-Pair-sur-Mer et Jullouville jusqu'à son embouchure. Le Thar fait 17 km de long.

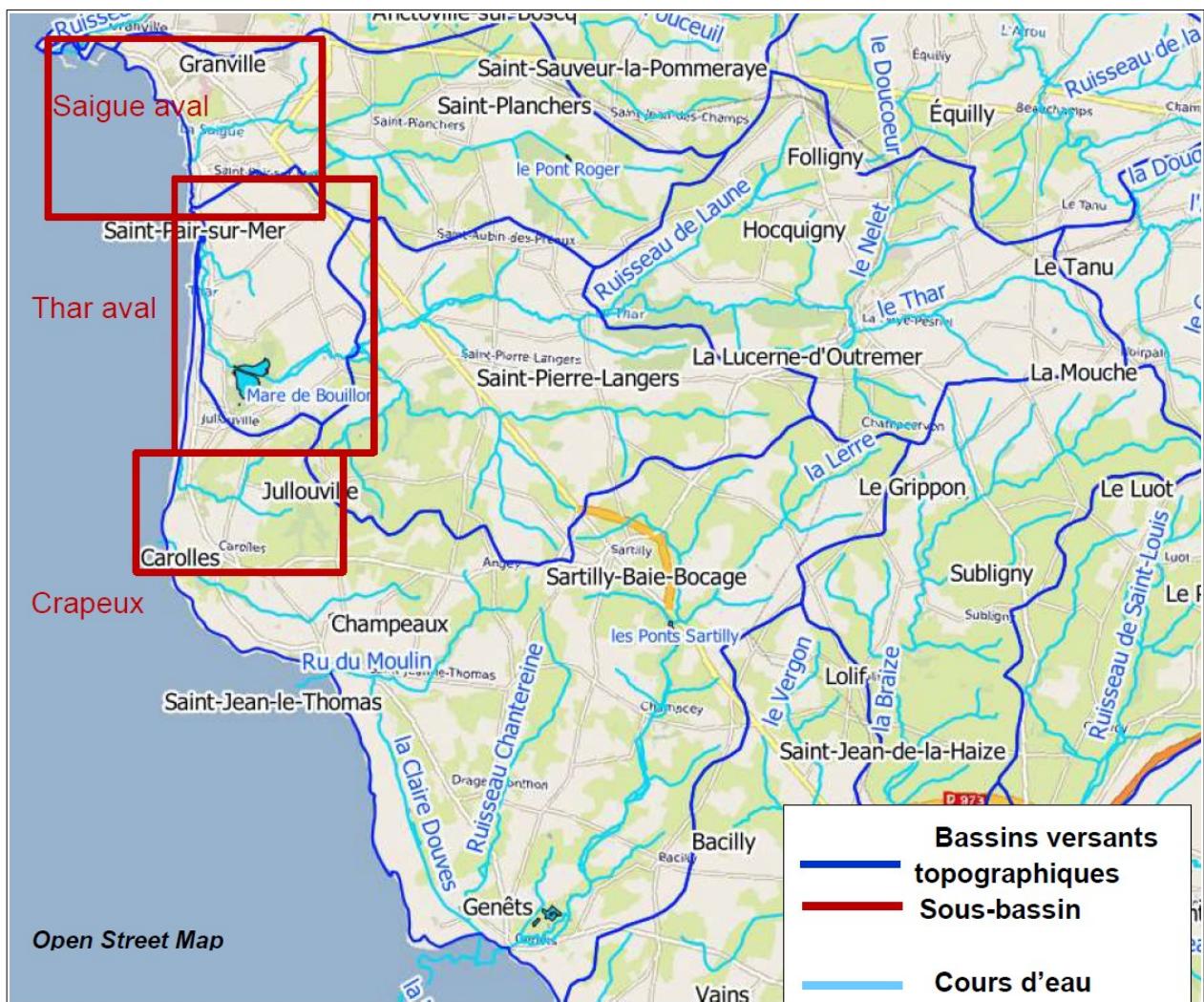


Figure III.54 : Bassins versants topographiques et cours d'eau – Échelle des bassins versants.

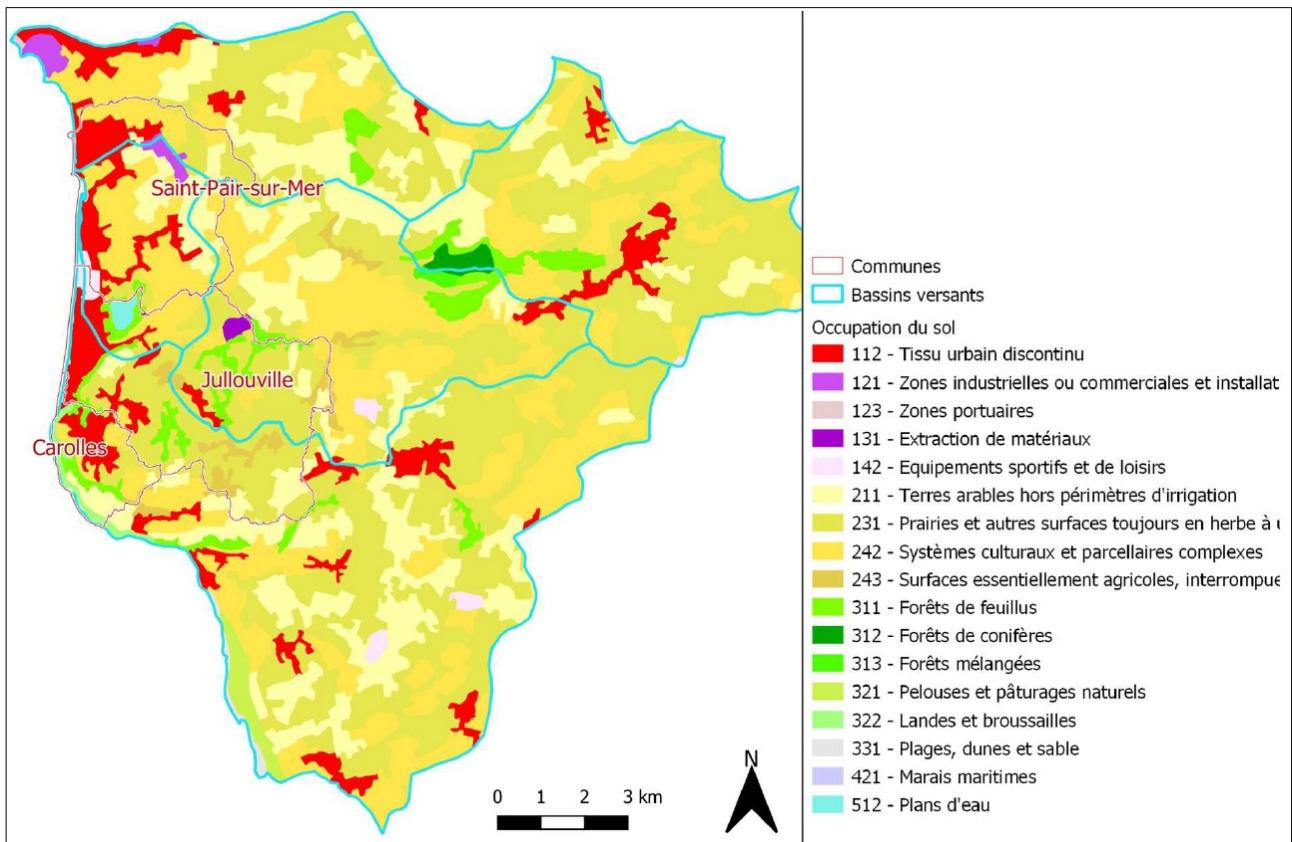


Figure III.55 : Occupation du sol des bassins versants traversant Saint-Pair-sur-Mer, Jullouville et Carolles (Corine Land Cover 2018).

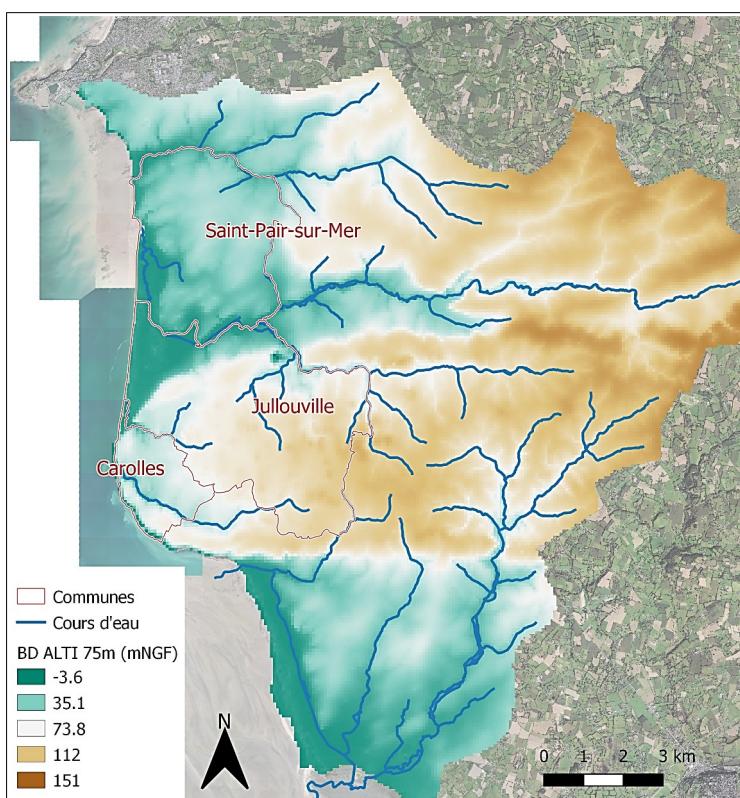


Figure III.56 : Topographie des bassins versants traversant Saint-Pair-sur-Mer, Jullouville et Carolles (BD Alti 75 m).

Le Crapeux draine un petit bassin versant d'environ 5 km² et qui présente peu de pente, (47 % de surface à moins de 2 % et 36 % entre 2 et 5 %). Il fait environ 3 km de long. Il s'écoule à la limite communale entre Carolles et Jullouville. Sur sa partie aval il traverse une zone pavillonnaire au nord de Carolles puis est canalisé sur les derniers mètres avant son exutoire dans la Manche.

Le Lude draine un petit bassin versant de 10 km² également peu pentu (similaire à celui du Crapeux) traversant alternativement les communes de Carolles et Champeaux. Les berges et l'exutoire de ce cours d'eau sont naturelles. Peu de zones urbanisées se trouvent à proximité du Lude et il s'écoule à travers une zone en hauteur par rapport au littoral.

Les plus fortes pentes sont sur la partie amont des cours d'eau pour les bassins de la Saigue et du Thar, et sur la partie aval pour le Crapeux (Vallée des Peintres) et pour le Lude (Vallée du Lude)

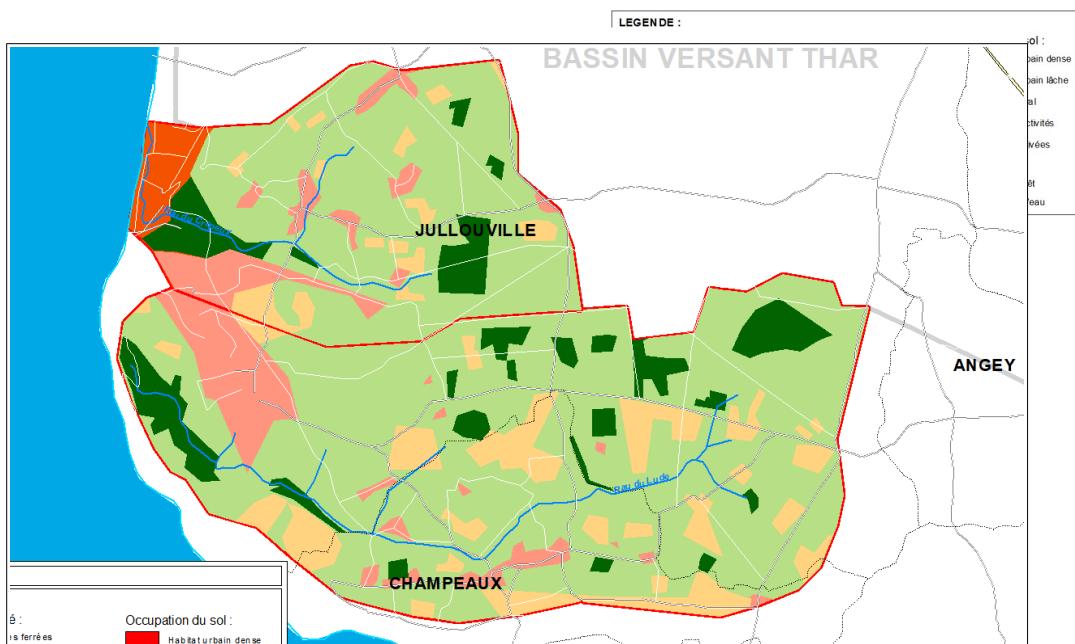


Figure III.57 : Occupation des sols du bassin versant du Crapeux et du Lude.

Avant leur confluence, les versants du Thar et l'Allemagne sont majoritairement Agricoles (cultures 47 % et pâturages 42 %). Sur la partie aval, les cultures restent dominantes (59 %), la proportion de pâturages diminue (7 %) et le bassin versant est davantage urbanisé à 21 %. Cette urbanisation se concentre sur le secteur littoral. On trouve une zone humide juste en amont de la zone urbanisée dans laquelle la mare du Bouillon couvre 55 ha. Cette mare est alimentée par le Thar et les ruissellements des versants. Le Thar est endigué dans sa traversée, ce qui limite son rôle d'écrêtement. L'alimentation par le Thar et l'évacuation de la mare sont contrôlés par des ouvrages hydrauliques.

La partie aval du Thar et du Crapeux traverse des zones à enjeux susceptibles d'être atteints par leurs débordements. Le Lude ne s'écoule pas à proximité d'enjeux.

IV. Présentation des phénomènes naturels

IV.1. Niveaux marins

IV.1.1. Définition du niveau marin

Le niveau marin moyen total à un instant t est composé, de manière cumulative :

- au large, du niveau moyen « au repos » qui intègre :
 - le niveau de la marée astronomique, seule composante entièrement prédictive et applicable à chaque instant ;
 - l’élévation liée aux effets du changement climatique, en fonction de l’horizon temporel considéré. Cette élévation s’applique directement à la marée ;
 - la surcote (ou décote) atmosphérique, essentiellement générées par le passage des dépressions (ou anticyclones). La chute de la pression atmosphérique entraîne une surélévation du niveau marin sur la durée du phénomène météorologique ;
- à la côte, des composantes suivantes applicables sur la durée des phénomènes météorologiques marins :

les composantes intégrées au niveau « au repos » :

- la surcote de vent, engendrée par des vents de la mer vers la terre qui provoquent une accumulation d’eau et donc une surélévation du niveau «au repos ». Cette surcote est modérée le long des côtes mais plus forte dans les estuaires ;
- le cas échéant, La surcote due à un effet local lié à la configuration particulière du littoral. Cela peut être le cas dans les baies par exemple ;

une composante « dynamique » :

- la surcote de déferlement des vagues à la côte, ou « **set-up** », ces vagues dépendant de la houle générée au large par le vent et qui se propage au littoral. Le set-up dépend de la période de la houle au large, de la hauteur des vagues à la côte et de la pente de l’estranglement ou de la protection littorale contre la mer (si le déferlement n’a pas lieu avant d’atteindre cette protection).

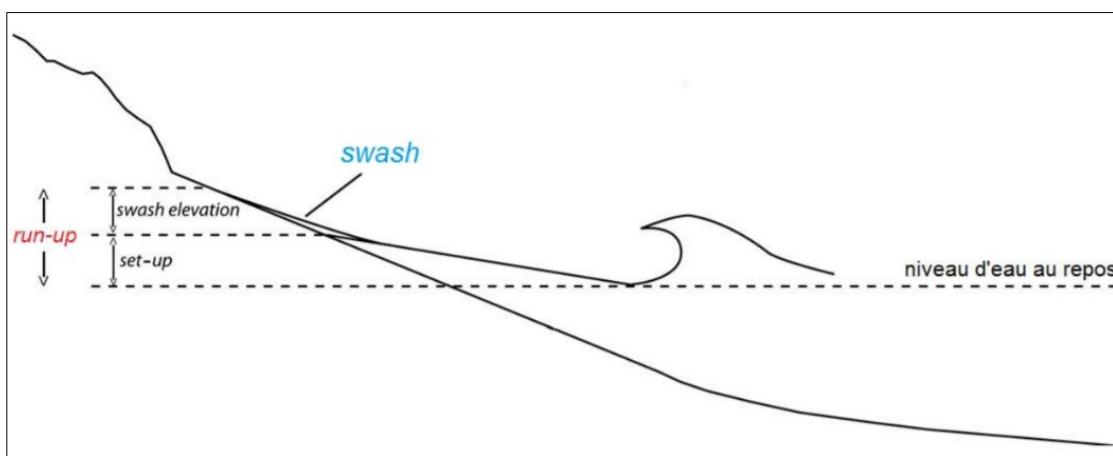


Figure IV.1: Schématisation du run-up dans la zone de jet de rive (ou swash).

Compte-tenu de la configuration du site, les phénomènes de surcote de vent ou de surcote due à un effet local seront nuls ou négligeables. La Figure IV.2 illustre la décomposition du niveau marin sans ces phénomènes.

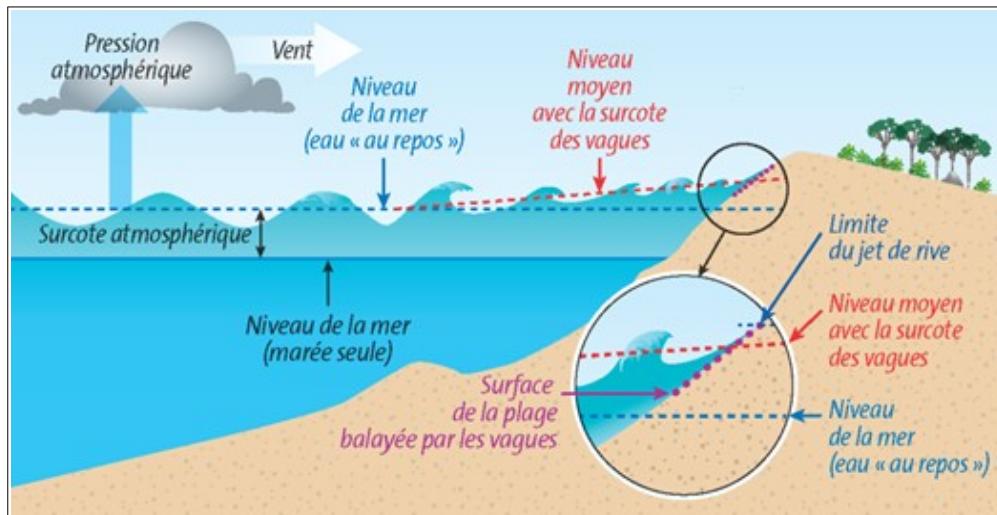


Figure IV.2 : Composantes du niveau marin à la côte sans surcote liée au vent ou à un effet local (BRGM).

IV.1.2. Niveaux caractéristiques de la marée

Dans une marée, on distingue une phase de montée, le flot, jusqu'à la pleine mer où le niveau maximal est atteint et une phase descendante, le jusant, jusqu'à la basse mer où le niveau d'eau est minimal.

La période de la marée (temps entre deux basses mers ou entre deux pleines mers) est voisine de 12h25, caractéristique de l'onde lunaire principale semi-diurne. Ses niveaux caractéristiques sont établis par le SHOM dans les Références Altimétriques Maritimes (RAM) dont la version la plus récente à ce jour est celle de 2020.

Les points les plus proches pour lesquels les données sont disponibles sont Granville et Le Mont-Saint-Michel. Les niveaux pour ces deux points sont rapportés dans le Tableau IV.1 en m CM et en m NGF.

Le zéro hydrographique à Granville se situe à - 6,62 m IGN69 (ZH/Ref), et celui au Mont-Saint-Michel se situe à - 6,74 m IGN69 (à noter que les données pour le point du Mont-Saint-Michel sont partielles).

Le marnage est très important dans l'ensemble du Golfe, et est maximal dans la grande baie du Mont-Saint-Michel et au droit du site étudié où il peut atteindre plus de 14 m par un coefficient de 120. C'est la forme du Golfe en « entonnoir » et les faibles profondeurs de la grande baie qui donnent lieu à un gonflement de l'onde de marée et engendrent donc ce marnage exceptionnel. Pour un même coefficient de marée, le marnage est plus faible au flot qu'au jusant en tout point du golfe normand-breton. Le flot est donc plus court que le jusant, surtout en période de vives-eaux.

Tableau IV.1 : Niveaux de marée de référence à Granville et au Mont-Saint-Michel.

Niveau de référence	Coefficient	Granville		Le Mont-Saint-Michel	
		m CM	m NGF	m CM	m NGF
Plus Haute Mer Astronomique (PHMA)	120	14,26	7,64	14,86	8,12
Pleine Mer Vive-Eau	95	12,85	6,23	13,20	6,46
Pleine Mer Morte-Eau	45	9,80	3,18	-	-
Niveau Moyen	-	7,10	0,48	7,19	0,45
Basse Mer Morte-Eau	45	4,55	-2,07	-	-
Basse Mer Vive-Eau	95	1,50	-5,12	-	-
Plus Basse Mer Astronomique	120	-0,13	-6,75	-	-

Les niveaux de référence sont également fournis pour le port de Saint-Malo, port de référence le plus proche, pour lequel le zéro hydrographique se situe à -6,289 m IGN69.

Les niveaux de PM à Granville sont supérieurs à ceux de Saint-Malo, de 15-20 cm en morte-eau et environ 30 cm en vive-eau.

Tableau IV.2 : Niveaux de marée de référence à Saint-Malo.

Niveau de référence	Coefficient	Niveau d'eau	
		m CM	m NGF
Plus Haute Mer Astronomique (PHMA)	120	13,59	7,30
Pleine Mer Vive-Eau	95	12,20	5,91
Pleine Mer Morte-Eau	45	09,30	3,01
Niveau Moyen	-	06,78	0,49
Basse Mer Morte-Eau	45	04,30	-1,99
Basse Mer Vive-Eau	95	01,50	-4,79
Plus Basse Mer Astronomique	120	00,01	-6,28

IV.1.3. Statistiques des niveaux marins et surcotes extrêmes

IV.1.3.1. Présentation générale des travaux du SHOM/CEREMA

Depuis 1994, le SHOM et le CEREMA (ancien CETMEF) développent une approche théorique d'estimation de la probabilité d'atteindre des niveaux marins extrêmes sur la façade Manche et Atlantique basée sur une analyse statistique des mesures marégraphiques dans les ports de référence (plus de 10 ans de mesures effectives) et sur une analyse spatiale permettant d'obtenir les niveaux en tout point de la côte. Ces analyses ont été notamment diffusées et mises à jour dans des rapports de 2008, 2012, 2018 et 2022.

Ces niveaux extrêmes intègrent à la fois la marée astronomique et la surcote météorologique (liée à la pression atmosphérique et au vent) et éventuellement un wave set-up portuaire (même si les dispositifs et actions dans les ports tendent à diminuer l'agitation). Le long de la côte, ils n'intègrent pas le déferlement lié à la morphologie de l'estran ou aux protections littorales, ou encore la surcote due à un effet local.

Le résultat des travaux est présenté sous forme de période de retour. Pour rappel, une période de retour de X années signifie que le niveau extrême a une chance sur X d'être observé dans l'année. Mais rien n'interdit que ce niveau soit observé plusieurs fois dans l'année et/ou plusieurs années de suite.

À noter que les estimations de ces travaux sont assorties de deux types d'incertitudes :

- les incertitudes liées aux prédictions de marée : ± 15 cm dans les ports de référence et ± 25 cm entre les ports de référence ;
- les incertitudes statistiques liées à la méthode d'analyse. Plus la période de retour est élevée, plus ces incertitudes augmentent.

Les publications du SHOM/CEREMA (ex CETMEF) relatives à ce sujet sont présentées ci-après de manière succincte. A chaque actualisation de ces travaux, les données utilisées pour l'analyse statistique sont de plus longue durée. Cette dernière est donc de plus en plus précise. Le niveau moyen du niveau de la mer évolue également entre ces actualisations : il est calculé à une date proche de la fin de la période de mesures utilisée.

En 2018 et en 2022, il a été publié des mises à jour de l'estimation des niveaux extrêmes aux ports de référence avec une évaluation de l'incertitude statistique (intervalles de confiance à 70% et 95%), ainsi qu'une nouvelle méthode d'interpolation des résultats le long de la côte pour les données de 2022. **D'autre part, pour Saint-Malo uniquement il a été introduit en 2022 un modèle de dépendance marée-surcote qui apporte une plus-value sur l'analyse statistique des niveaux extrêmes.** En effet, l'analyse des intervalles de confiance liée à la durée d'observation a montré qu'il existe une dépendance marée / surcote sur Saint-Malo spécifique à ce site. Ce modèle n'a en outre aucun effet notable sur les autres ports ce qui justifie cette spécificité.

Alors qu'en 2012, les niveaux extrêmes calculés (ports de référence et points secondaires) étaient directement interpolés, la méthode de 2022 sur la façade Manche et Atlantique est la suivante :

- utilisation des prédictions de marée entre les ports (SHOM) ;
- interpolation 1D des surcotes extrêmes calculées aux ports de référence : valeur au point de la côte considéré fonction de la valeur des surcotes aux ports de référence encadrant et de l'éloignement relatif du point à ces ports. Pour prendre en compte les variations locales, le résultat brut de cette interpolation est modulé par un facteur d'amplification ou de diminution calculé à partir des simulations numériques de surcote HOMONIM (Projet SHOM Météo-France) ;
- combinaison de la distribution de marée avec la distribution de surcote interpolée aux points d'interpolation sur la côte.

Les incertitudes sont également évaluées pour les niveaux extrêmes le long du trait de côte.

Le SHOM/CEREMA fournit ainsi en 2022 une estimation des niveaux extrêmes aux ports de référence et sur l'ensemble du linéaire du trait de côte avec un espacement des points de l'ordre du kilomètre.

Ainsi, aux ports de référence et entre les ports de références, les résultats 2022 sont considérés par le SHOM/CEREMA plus fiables que ceux des produits précédents.

IV.1.3.2. Synthèse des travaux

Les tableaux suivants comparent les niveaux extrêmes de PM estimées pour les deux ports de référence de Saint-Malo et Cherbourg encadrant le site d'étude dans les différentes publications du SHOM / CEREMA.

Remarque : les valeurs pour 2008 sont lues directement sur les cartes et les informations entre parenthèses sont la date (mois/année) de fin des observations exploitées et la durée utile d'observation exploitée pour le port considéré.

Tableau IV.3 : Comparaison des estimations de niveaux extrêmes de PM (en m IGN69) dans les différents travaux du SHOM / CEREMA pour le port de Saint-Malo.

Période de retour	2008 (9,3 années)	2012 (15.4 années)	2022 (27.4 années)		
			Niveau	Int.Conf.70%	Int.Conf.95%
5 ans	/	7.20	7.24	7.24 à 7.24	7.24 à 7.25
10 ans	~7.40	7.27	7.29	7.29 à 7.30	7.29 à 7.31
20 ans	~7.45	7.34	7.35	7.34 à 7.36	7.34 à 7.37
50 ans	~7.55	7.43	7.42	7.41 à 7.44	7.40 à 7.48
100 ans	~7.60	7.49	7.49	7.47 à 7.53	7.46 à 7.59
200 ans	/	/	7.57	7.53 à 7.63	7.59 à 7.73
500 ans	/	/	7.66	7.60 à 7.76	7.57 à 7.95
1 000 ans	/	/	7.73	7.65 à 7.87	7.62 à 8.15

Tableau IV.4 : Comparaison des estimations de niveaux extrêmes de PM (en m IGN69) dans les différents travaux du SHOM / CEREMA pour le port de Cherbourg.

Période de retour	2008 (28.7 années)	2012 (33.7 années)	2022 (47.5 années)		
			Niveau	Int.Conf.70%	Int.Conf.95%
5 ans	/	3.94	3.96	3.95 à 3.96	3.95 à 3.97
10 ans	4.00	4.00	4.01	4.01 à 4.02	4.00 à 4.03
20 ans	4.0 à 4.1	4.06	4.07	4.06 à 4.08	4.05 à 4.10
50 ans	4.1 à 4.2	4.14	4.14	4.12 à 4.16	4.11 à 4.20
100 ans	4.20	4.20	4.19	4.17 à 4.23	4.15 à 4.29
200 ans	/	/	4.25	4.21 à 4.30	4.19 à 4.39
500 ans	/	/	4.32	4.27 à 4.40	4.24 à 4.55
1 000 ans	/	/	4.38	4.31 à 4.49	4.28 à 4.69

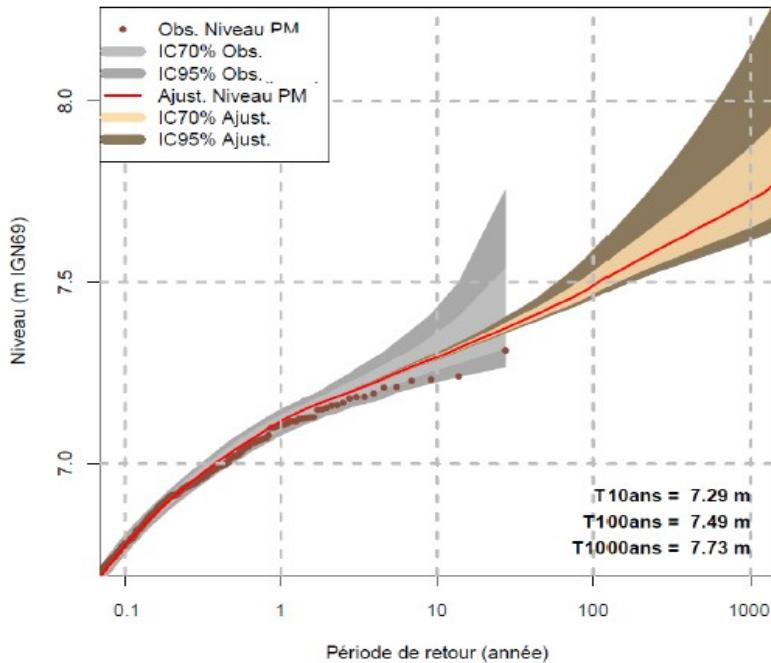


Figure IV.3: Valeurs extrêmes de niveau PM estimées à Saint-Malo par le SHOM / CEREMA.

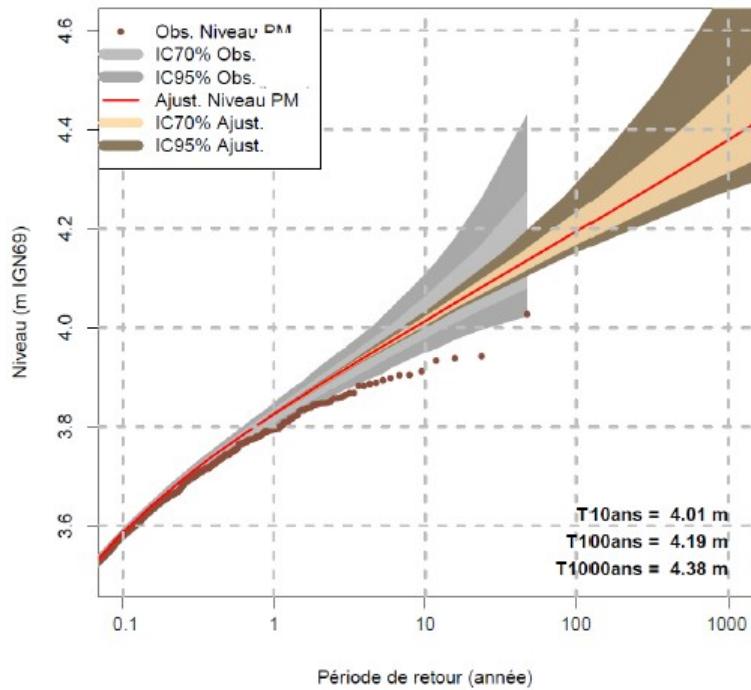


Figure IV.4: Valeurs extrêmes de niveau PM estimées à Cherbourg par le SHOM / CEREMA.

La comparaison des niveaux extrêmes de PM issus des différentes études SHOM / CEREMA à Saint-Malo montre que les estimations sont globalement stables entre 2012 et 2022. En revanche, les niveaux extrêmes ont baissé entre 2008 et 2012/2022. A Cherbourg, les valeurs sont très stables depuis 2008, probablement du fait d'un grand nombre d'années d'observations exploitées dès 2008.

Dans sa publication de 2022, le CEREMA a également réalisé deux nouvelles estimations des surcotes de pleine mer aux ports de référence pour des périodes de retour de 5 à 1000 ans. Ces estimations sont établies via un ajustement statistique d'une distribution de Pareto (GPD) et d'une loi exponentielle (Loi Exp.) sur les pics de tempêtes.

Tableau IV.5 : Période de retour des valeurs extrêmes de surcote de PM pour le port de Saint-Malo d'après le SHOM / CEREMA

Période de retour	GPD			Loi Exp.		
		Int. Conf. 70 %	Int. Conf. 95 %		Int. Conf. 70 %	Int. Conf. 95 %
5 ans	0.74 m	0.70 m à 0.77 m	0.67 m à 0.81 m	0.74 m	0.70 m à 0.77 m	0.68 m à 0.80 m
10 ans	0.81 m	0.75 m à 0.86 m	0.71 m à 0.91 m	0.81 m	0.77 m à 0.85 m	0.74 m à 0.89 m
20 ans	0.89 m	0.80 m à 0.95 m	0.75 m à 1.04 m	0.89 m	0.84 m à 0.93 m	0.80 m à 0.98 m
50 ans	0.98 m	0.86 m à 1.09 m	0.79 m à 1.22 m	0.98 m	0.93 m à 1.04 m	0.88 m à 1.10 m
100 ans	1.06 m	0.90 m à 1.19 m	0.81 m à 1.39 m	1.06 m	0.99 m à 1.12 m	0.94 m à 1.19 m
200 ans	1.13 m	0.94 m à 1.31 m	0.83 m à 1.57 m	1.13 m	1.06 m à 1.20 m	1.00 m à 1.28 m
500 ans	1.23 m	0.98 m à 1.48 m	0.85 m à 1.86 m	1.23 m	1.15 m à 1.31 m	1.08 m à 1.40 m
1 000 ans	1.30 m	1.01 m à 1.61 m	0.86 m à 2.10 m	1.30 m	1.22 m à 1.39 m	1.15 m à 1.49 m

Tableau IV.6 : Période de retour des valeurs extrêmes de surcote de PM pour le port de Saint-Malo d'après le SHOM / CEREMA

Période de retour	GPD			Loi Exp.		
		Int. Conf. 70 %	Int. Conf. 95 %		Int. Conf. 70 %	Int. Conf. 95 %
5 ans	0.62 m	0.60 m à 0.64 m	0.59 m à 0.66 m	0.62 m	0.60 m à 0.64 m	0.59 m à 0.65 m
10 ans	0.68 m	0.65 m à 0.71 m	0.62 m à 0.74 m	0.67 m	0.65 m à 0.69 m	0.64 m à 0.71 m
20 ans	0.74 m	0.69 m à 0.77 m	0.66 m à 0.82 m	0.72 m	0.70 m à 0.75 m	0.68 m à 0.77 m
50 ans	0.81 m	0.75 m à 0.87 m	0.70 m à 0.94 m	0.79 m	0.77 m à 0.82 m	0.74 m à 0.85 m
100 ans	0.87 m	0.79 m à 0.94 m	0.73 m à 1.04 m	0.85 m	0.81 m à 0.88 m	0.79 m à 0.91 m
200 ans	0.93 m	0.83 m à 1.02 m	0.75 m à 1.15 m	0.90 m	0.86 m à 0.93 m	0.84 m à 0.96 m
500 ans	1.01 m	0.87 m à 1.14 m	0.78 m à 1.32 m	0.97 m	0.93 m à 1.01 m	0.90 m à 1.04 m
1 000 ans	1.07 m	0.91 m à 1.23 m	0.81 m à 1.46 m	1.02 m	0.98 m à 1.06 m	0.94 m à 1.10 m

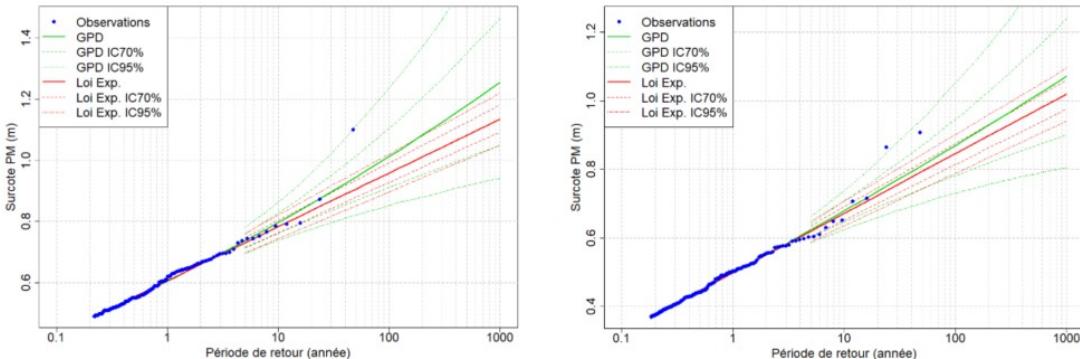


Figure IV.5: Ajustement statistique des valeurs extrêmes de surcote de PM d'après le SHOM/CEREMA : gauche : pour le port de Saint-Malo ; droite : pour le port de Cherbourg.

Les données numériques produites par le SHOM/CEREMA en 2022 intègrent sous forme de fichier géographique les estimations des valeurs de niveaux d'eau extrêmes interpolées le long du trait de côte, et notamment au droit du site d'étude.



Figure IV.6: Cartographie des niveaux extrêmes centennaux en m IGN69 le long du trait de côte autour du site d'étude produite en 2022, et localisation des ports de référence encadrant (SHOM/CEREMA).

Le tableau suivant donne les niveaux extrêmes de pleine mer des différents produits SHOM/CEREMA pour les différentes périodes de retour au droit deux points encadrant le site d'étude : au Sud immédiat de la pointe du Roc (Granville) et à la Pointe de Champeaux au Sud (Carolles).

Les valeurs pour les produits 2008 et 2012 sont peu précises car lues directement sur les cartes d'isolignes produites par le SHOM/CEREMA.

Pour rappel, ces niveaux extrêmes n'intègrent pas la surcote de déferlement des vagues liée à la morphologie de l'estran et les effets locaux éventuels.

Tableau IV.7 : Niveaux marins extrêmes de PM (en m IGN69) le long du trait de côte au droit du site d'étude selon le SHOM/CEREMA, éditions 2008, 2012 et 2022

Période retour	Sud de la Pointe du Roc			Pointe de Champeaux		
	2008	2012	2022	2008	2012	2022
10 ans	7,90	7,60	7,80	8,00	7,50	7,91
20 ans	7,95	7,70	7,87	8,05	7,60	7,97
50 ans	8,05	7,80	7,97	8,15	7,70	8,07
100 ans	8,10	7,90	8,04	8,20	7,80	8,14

Du nord au sud, la variation du niveau d'eau semble être d'environ 10cm.

Il est alors pertinent de retenir les valeurs de niveaux extrêmes de 2022. Ce choix est conforme à la méthodologie préconisée par le SHOM/CEREMA, qui recommande d'utiliser ces valeurs qui sont dotées d'une meilleure fiabilité que les produits précédents.

Tableau IV.8 : Niveaux marins extrêmes de PM (en m IGN69) retenus le long du trait de côte au droit du site d'étude.

Période retour	Sud de la Pointe du Roc	Kairon-Plage	Pointe de Champeaux
10 ans	7,80	7,88	7,91
20 ans	7,87	7,95	7,97
50 ans	7,97	8,04	8,07
100 ans	8,04	8,11	8,14

IV.1.3.3. Analyse des extrêmes à partir du modèle MIKE 21 HD_{GNB}

Les modélisations effectuées avec le modèle MIKE 21 HD_{GNB} (DHI) permettant de reconstituer les données de niveaux d'eau pendant la période 1994-2022 ont été exploitées afin de réaliser l'analyse des extrêmes sur le site d'étude pour comparaison avec les résultats du CEREMA/SHOM. La validation du modèle MIKE 21 a été réalisée à partir du point « Extraction HDgnb » situé à 800m au Nord-Ouest du marégraphe REFMAR de Saint-Malo (Cf. Figure IV.7).



Figure IV.7: Emplacement du point d'extraction des niveaux d'eau à partir du modèle MIKE 21 HD_{GNB}.

Les niveaux marins ainsi déterminés à l'aide du modèle MIKE 21 HD_{GNB} à Saint-Malo sont présentés dans le Tableau IV.9. Ils sont comparés aux valeurs de l'approche SHOM/CEREMA au marégraphe pour le produit de 2022.

Tableau IV.9 : Niveaux marins extrêmes de PM (en m IGN69) issus du modèle MIKE 21 HD_{GNB} comparés à ceux de l'approche SHOM/CEREMA au port de Saint-Malo.

Période de retour	Modèle HD _{GNB}	Approche SHOM / CEREMA 2022
1 an	7.17	/
5 ans	7.31	7.24
10 ans	7.35	7.29
20 ans	7.38	7.35
50 ans	7.42	7.42
100 ans	7.45	7.49

Les niveaux extrêmes issus du modèle HD_{GNB} sont très proches de ceux déterminés par l'approche SHOM / CEREMA.

Le même travail d'analyse des niveaux marins extrêmes à l'aide des modélisations du modèle MIKE 21 HD_{GNB} a été réalisé au droit du site d'étude. Les niveaux d'eaux ont ainsi été extraits du modèle au large à environ 2 km de la côte au point « Jullouville Large ».

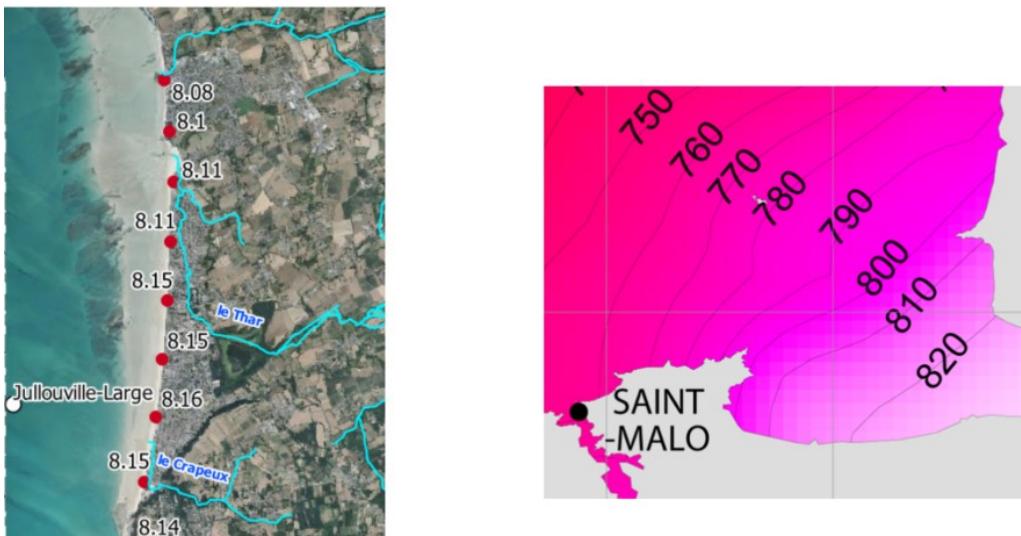


Figure IV.8: Localisation du point « Jullouville-Large » pour l'extraction des données du modèle, valeurs des niveaux extrêmes pour le T100 du SHOM/CEREMA 2022 (à gauche) et isolignes de la note SHOM/CEREMA de 2013.

Les niveaux marins extrêmes ainsi déterminés à l'aide du modèle MIKE 21 HD_{GNB} au droit du site d'étude sont présentés dans le Tableau IV.10. Ils sont comparés aux valeurs de l'approche SHOM/CEREMA pour le produit 2022 à la côte de part et d'autre de la limite communale Nord de Jullouville, entre la mare de Bouillon et l'embouchure du Thar. Ce tronçon à la côte est retenu compte-tenu de la localisation du point d'extraction des données du modèle et des isolignes de niveaux retenues par le SHOM/CEREMA dans sa note méthodologique de 2013.

Tableau IV.10 : Niveaux marins extrêmes de PM (en m IGN69) issus du modèle MIKE 21 HD_{GNB} comparés à ceux de l'approche SHOM/CEREMA au large du secteur d'étude.

Période de retour	Modèle HD _{GNB}	Approche SHOM / CEREMA 2022
1 an	7.64	7.64 à 7,67
5 ans	7.81	7.81 à 7,85
10 ans	7.88	7.88 à 7,91
20 ans	7.95	7.95 à 7,98
50 ans	8.04	8.04 à 8,07
100 ans	8.12	8.11 à 8,15

Les niveaux extrêmes au large du secteur d'étude issus du modèle MIKE 21 HD_{GNB} sont quasiment égales aux valeurs estimées par l'approche SHOM / CEREMA.

IV.1.3.4. Synthèse sur les niveaux marins

Une synthèse sur les niveaux marins caractéristiques et extrêmes au droit du secteur d'étude (au point Jullouville-Large) est présentée dans le tableau suivant.

Tableau IV.11 : Synthèse des niveaux marins caractéristiques et extrêmes au droit du site d'étude, au point « Jullouville-Large ».

Cadre	Description	Niveau (m IGN69)
Niveaux caractéristiques de la marée (SHOM 2022) <i>(Marée astronomique)</i>	Niveau moyen	0.48
	Plus hautes mers astronomiques	7.64
Niveaux marins extrêmes (SHOM / CEREMA 2022) <i>(Marée astronomique + pression atmosphérique)</i>	Niveau décennal	7.88 à 7,91
	Niveau vicennal	7.95 à 7,98
	Niveau cinquantennal	8.04 à 8,07
	Niveau centennal	8.11 à 8,15
Niveaux marins extrêmes (DHI) <i>(Marée astronomique + pression atmosphérique)</i>	Niveau décennal	7.88
	Niveau vicennal	7.95
	Niveau cinquantennal	8.04
	Niveau centennal	8.12

IV.1.4. Mesures du niveau marin et des surcotes

IV.1.4.1. Mesures du Service hydrographique et océanographique de la marine

Le Tableau IV.12 recense les niveaux marins les plus hauts mesurés au marégraphe de Saint-Malo depuis 1986 et validés par le SHOM. Les données validées « temps différé » sont utilisées car elles ont un pas de temps plus resserré et limitent le risque de manquer le pic de marée.

Tableau IV.12 : Niveaux d'eau validés SHOM les plus hauts mesurés au marégraphe de Saint-Malo depuis 1986 en données validées horaires (valeur interpolée/corrigée CEREMA 2018).

Date et heure (UTC)	Tempête	Niveau (m CM)	Niveau (m IGN69)
10 mars 2008 7h50	Johanna	13,63	7,34 (7,22)
3mars 2014 7h30	Christine	13,60	7,31 (7,32)
2 mars 2014 19h00	Christine	13,51	7,22 (7,26)
2 mars 2014 6h50	Christine	13,51	7,22 (7,22)
21 février 2015 7h50	-	13,50	7,21 (7,17)
30 septembre 2019 19h20	-	13,50	7,21
02 mars 2010 7h10	Xynthia	13,48	7,19 (7,20)
10 septembre 2010 19h30	-	13,47	7,18 (7,16)
11 mars 2020 7h20	-	13,46	7,17
08 octobre 2006	-	13,46	7,17 (7,17)

Remarques :

- pour une marée donnée, il n'est retenu que le niveau validé le plus haut de la pleine-mer correspondante ;
- ces valeurs diffèrent des valeurs maximales d'observation présentées dans la note du CEREMA de 2018 sur les niveaux extrêmes (Etu.5/) dans laquelle les données horaires validées du SHOM sont interpolées/corrigées pour obtenir la valeur de pic. Ces valeurs interpolées/corrigées du CEREMA sont indiquées entre parenthèses à titre de comparaison dans le tableau.
Les valeurs sont proches à l'exception du plus haut niveau mesuré ou un écart de plus de 10 cm est observé. Seules les données validées du SHOM seront considérées par la suite.

Le plus haut niveau mesuré au marégraphe de Saint-Malo validé par le SHOM a donc atteint 13,63 m CM, soit 7,34 m IGN69, en mars 2008 pendant la tempête Johanna. Pour information, le niveau de référence des PHMA pour Saint-Malo est de 13,59 m CM.

La note du CEREMA de 2018 donne les valeurs maximales des surcotes de PM calculées au marégraphe de Saint-Malo sur la base du décalage observé entre le niveau mesuré et le niveau prédict (donnée brutes ?).

Tableau IV.8 : Classement des plus fortes surcotes PM calculées au marégraphe de Saint-Malo

Date	Surcote PM
30/10/2000	1,04 m
14/11/2002	0,90 m
05/01/1998	0,79 m
18/01/1998	0,77 m
14/02/2014	0,73 m
04/01/1998	0,73 m
28/02/2010	0,71 m
02/01/2003	0,69 m
10/03/2008	0,68 m
11/02/2007	0,67 m

IV.1.4.2. Mesures au droit ou à proximité du site

a. Grandes marées de 2015

Le niveau de la pleine mer a été mesuré au droit du seuil marin (Résidence Les Dunes à Kairon Plage) à :

- autour de 7,50 m IGN69 (deux mesures à 7,49/7,53) le 21 février 2015 au matin, soit une différence d'environ 0,30 m avec la mesure au marégraphe de Saint-Malo (7,21 m IGN69). Le niveau prédict était de 7,59 m IGN69 à Granville. Il est donc constaté une décote de 9 cm alors que le niveau mesuré a suivi le niveau prédict à Saint-Malo ;
- 7,01 m IGN69 le 29 septembre 2015 au matin, soit une différence d'environ 0,25 m avec la mesure au marégraphe de Saint-Malo (6,75 m IGN69). Le niveau prédict était de 7,31 m IGN69 à Granville. Cette décote de 30 cm est cohérente avec celle mesurée à Saint-Malo : 23 cm.

b. Mesures au Mont-Saint-Michel

Des mesures au niveau du nouveau barrage au Mont-Saint-Michel du 19/10/2015 au 22/11/2021 ont été mises à disposition par l'Établissement Public du Mont-Saint-Michel. Elles montrent que le niveau maximal atteint sur cette période a été mesuré à 7,91 m IGN69 le 03/01/2018 à 6h50 (Eleanor). Il était au même moment de 7 m IGN69 environ au marégraphe de Saint-Malo.

Le 30/09/2019 à 19h20, le niveau mesuré au Mont était de 7,80 m IGN69 contre 7,21 m IGN69 à Saint-Malo. Le 11/03/2020 à 7h20, le niveau mesuré au Mont était de 7,78 m IGN69 contre 7,17 m IGN69 à Saint-Malo. Il y a donc environ 70 cm d'écart entre les mesures à Saint-Malo et celles au Mont-Saint-Michel pour ces niveaux extrêmes.

Si on se réfère aux isolignes établies par le SHOM pour les niveaux centennaux (Cf. Figure IV.8) et à ce qui précède, le niveau de PM au droit de la zone PPRL le 03/01/2018 au matin aurait atteint 7,80 à 7,90 m IGN69 de Granville à la pointe de Champeaux.

c. Autres données

D'autres niveaux marins mesurés au poste à crue de Granville figurent dans les études précédentes :

- 7,30 m IGN69 relevé le 05/11/2013 (tempête Godehart) pour 6,72 m IGN9 prédict, soit 60 cm de surcote environ. Au marégraphe de Saint-Malo, la mesure est à 6,60 m IGN69, avec une surcote de 23 cm ;

- 7,55 m IGN69 relevé le 01/02/2014 pour 7,32 m IGN9 prédit, soit 23 cm de surcote environ. Au marégraphe de Saint-Malo, la mesure est à 7,16 m IGN69, avec une surcote de 22 cm.

Dans l'étude du PPRSM du Marais de Dol d'Hydratec, il est indiqué une surcote maximale observée au Mont-Saint-Michel de 1,81 m le 30 octobre 2000. Soit une différence de 0,77 m avec la surcote observée à Saint-Malo pour la même marée. Les valeurs maximales annuelles des surcotes observées au Mont-Saint-Michel étaient plus fortes de 40 à 35 cm (selon que l'on intègre ou non dans le calcul la plus forte valeur de 1,81 m) en moyenne que celles observées à Saint-Malo.

Une surcote de 1,60 m a été observée à Granville le 16 octobre 1987. Cette surcote a eu lieu en morte-eau exceptionnelle avec un niveau de PM prédit < 2 m IGN69 (coefficient de marée probablement inférieur à 30).

IV.1.5. Conséquences du réchauffement climatique

IV.1.5.1. Démarche générale du PPRL

Le réchauffement climatique va affecter les aléas d'inondation par débordement de cours d'eau et par submersion marine, avec une intensité dépendant du niveau de réchauffement et de la zone géographique. En France, un cadre méthodologique a été établi via une circulaire de 2011 pour la prise en compte de l'impact du changement climatique sur la rehausse du niveau de la mer dans les PPRN traitant de submersion marine. Le contenu de cette circulaire a ensuite été repris dans le code de l'environnement, qui demande à ce que les PPRN traitant de submersion marine intègrent :

- un scenario de référence à échéance actuelle, prenant en compte un premier niveau d'élévation du niveau de la mer de +20 cm
- un scenario à échéance 100 ans, qui intègre une élévation d'au moins +60 cm par rapport aux niveaux marins actuels

Au moment de l'étude des aléas du présent PPRL (2023-2024), il n'y avait ni cadrage national ni consensus scientifique sur la méthode et les valeurs concrètes à considérer pour la prise en compte du changement climatique sur les autres phénomènes clés influençant les inondations sur la zone d'étude (débit des cours d'eau, pluviométrie, houle). Il est attendu un cadrage technique national sur ces sujets d'ici la fin de l'année 2025. L'influence éventuelle du changement climatique sur ces paramètres n'a donc pas été étudiée dans le présent PPRL.

IV.1.5.2. Considérations sur la rehausse du niveau marin

Les cartes d'aléa du présent PPRL reposent sur les hypothèses socles de la réglementation mentionnée ci-dessus quant à l'élévation du niveau de la mer (+20 cm à court terme, +60 cm à long terme). Les dernières prévisions du GIEC (6^e rapport d'évaluation, IPCC-AR6) à ce sujet indiquent des valeurs médianes à 100 ans comprises entre 48 et 90 cm sur le secteur d'étude, selon les scénarios socio-économiques qui sont projetés.

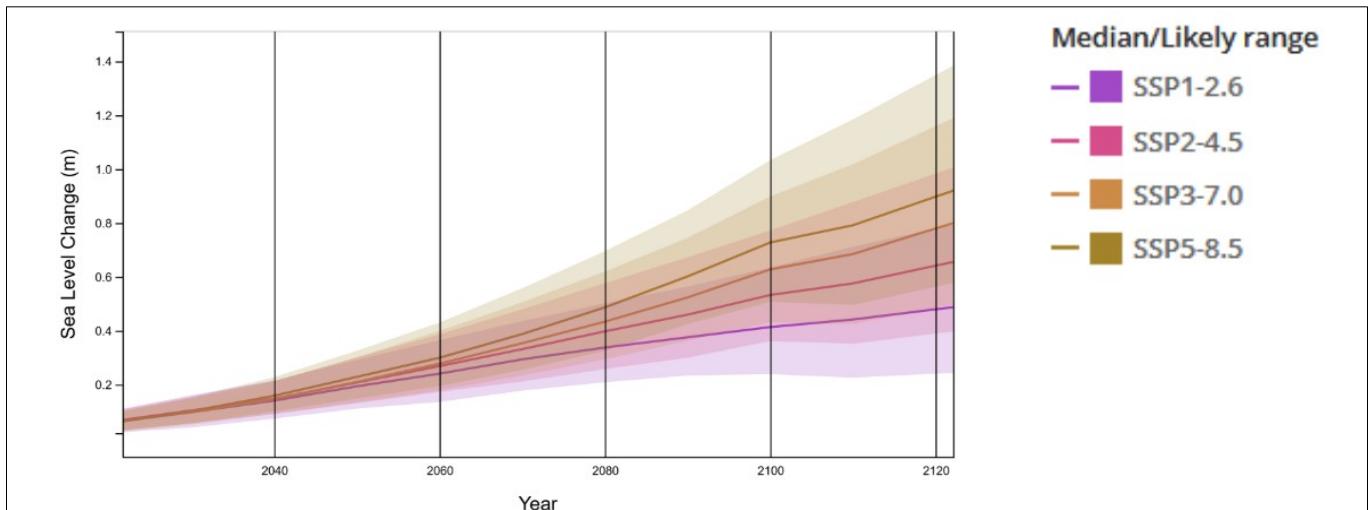


Figure IV.9: Élévation moyenne du niveau de la mer à 100 ans dans le rapport IPCC-AR6, selon différents scénarios socio-économiques. Source : NASA Sea level change portal

La projection de la rehausse du niveau de la mer dépend en effet à la fois de notre compréhension des phénomènes physiques régissant le climat, mais aussi des hypothèses sur l'évolution de nos sociétés et de nos économies sur le temps long (scénario socio-économiques, dits « SSP »). Ainsi, dans le cadre de la révision de son plan national d'adaptation au changement climatique, l'État français travaille à établir une trajectoire de référence sur le changement climatique. Ceci consiste notamment à choisir un scénario socio-économique et un niveau de réchauffement, que les politiques publiques doivent prendre en compte de manière coordonnée, et notamment les plans de prévention des risques. Ce nouveau cadre s'accompagnera (courant 2025) d'un cadrage technique particulier sur les valeurs de rehausse du niveau de la mer à considérer dans les PPRN. La révision régulière des PPRL permettra de prendre en compte ces nouvelles trajectoires d'adaptation.

IV.2. *Houle et courants*

IV.2.1. Généralités

L'Archipel de Chausey à 10-15 km au large de la côte influence les conditions hydrodynamiques au large au nord du secteur. Les houles dominantes d'ouest qui se propagent du large vers la côte sont en partie dissipées et en parties diffractées (changement d'orientation) par ces obstacles.

Entre les îles et la côte, une mer de vent peut se créer sous l'effet du vent de sud-est/sud-ouest.

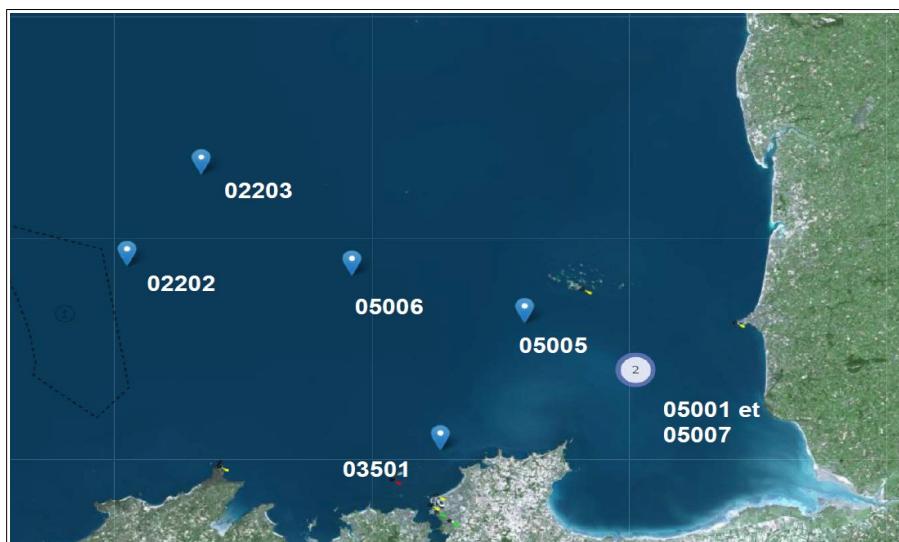
IV.2.2. *Houles mesurées : réseau CANDHIS*

La base de données nationale de mesures de houle in situ CANDHIS (Centre d'Archivage National de Données de Houle In-Situ) du CEREMA rassemble des informations et des mesures d'un réseau de houlographes côtiers. Selon les bouées, les données disponibles sont celles en temps réel, des données mensuelles de hauteurs de vagues, et des données statistiques (histogrammes et corrélogrammes).

Tableau IV.13: Caractéristiques des campagnes CANDHIS au large du site d'étude.

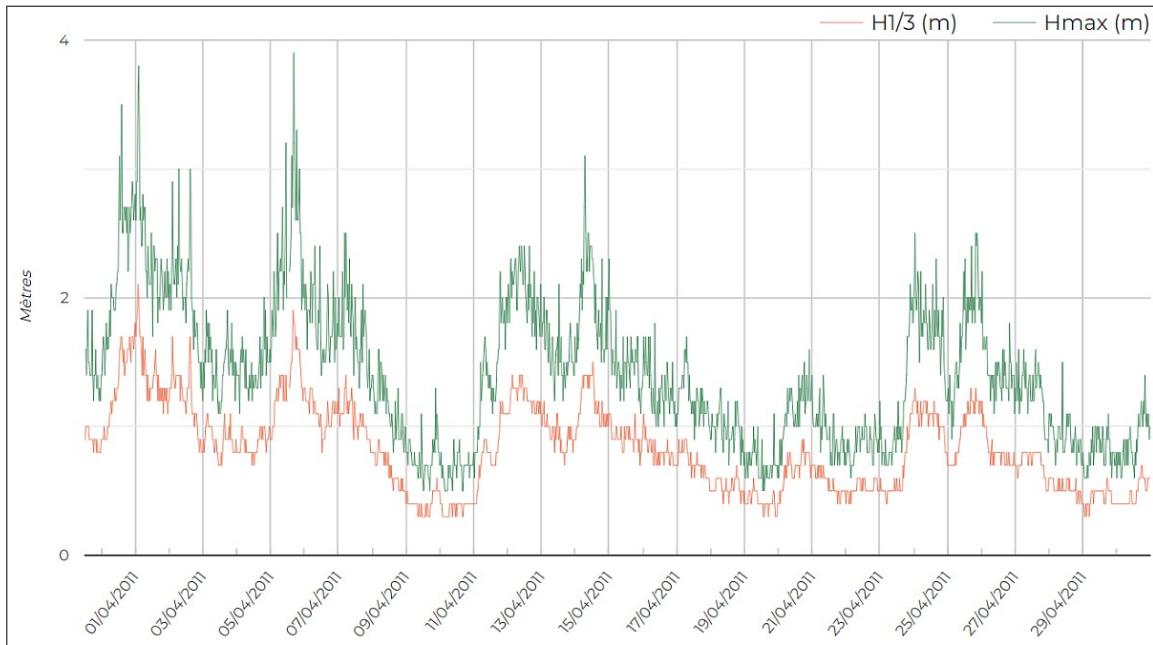
Code campagne	Longitude [deg]	Latitude [deg]	Prof. [m]	Période de mesures	Direction	Nombre mesures
05001 Mont Saint-Michel	48°47,100'N	01°45,000'W	15	du : 20/02/1997 au : 27/05/1997	non	666
05007 Mont Saint-Michel 2	48°47,097'N	01°44,984'W	15	du : 06/02/2003 au : 17/04/2003	non	1654
05005 Chausey Sud	48°49,977'N	01°54,000'W	26	du : 05/02/2003 au : 05/03/2003	non	1305
03501 Saint-Malo	48°42,000'N	02°01,000'W	25	du : 09/08/1993 au : 23/09/1995	non	4222
05006 Chausey Ouest	48°52,989'N	02°08,230'W	33	du : 06/02/2003 au : 10/03/2003	non	1476
02203 Les Minquiers Nord	48°59,305'N	02°20,580'W	35	du : 30/03/2011 au : 24/10/2013	oui	34570
02202 Les Minquiers2	48°53,550'N	02°26,580'W	35	du : 20/08/1997 au : 16/05/2009	oui	54504

Les bouées CANDHIS les plus proches du secteur sont celles du Mont-Saint-Michel et de Chausey-sud.

*Figure IV.10: Position des houlographes CANDHIS au large du site d'étude.*

Les deux houlographes du Mont-Saint-Michel et de Chausey sont anecdotiques, car les campagnes de mesures sont très courtes (1 à 3 mois).

Les données exploitables sont essentiellement celles des bouées des Minquiers avec des mesures disponibles sur une quinzaine d'années de 1997 à 2013 (avec un trou de 2009 à 2011). Des données mesurées sur 3 ans à Saint-Malo, de 1993 à 1995, peuvent compléter ces données principales.



Les roses des houles aux Minquiers répartissant les hauteurs significatives en fonction de la période pic (T_p) montrent que les houles mesurées au large du secteur ont une direction ouest-nord-ouest à ouest.

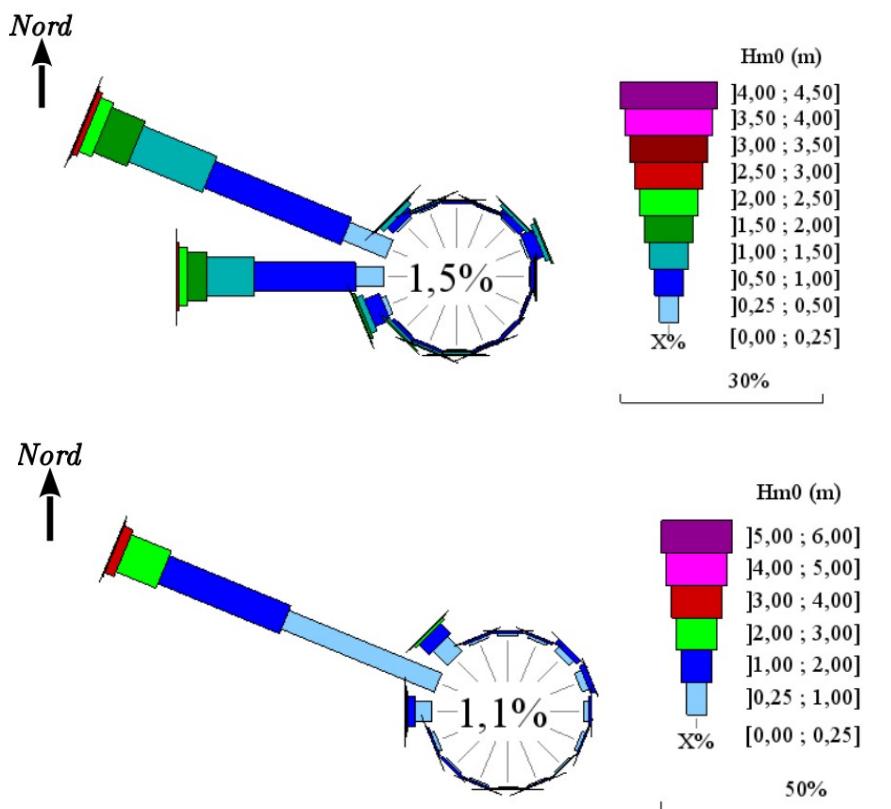


Figure IV.12: Rose des houles – Hauteurs significatives des houles en fonction de la direction au pic pour les bouées CANDHIS des Minquiers nord (en haut) et des Minquiers (en bas) (CEREMA).

IV.3. Pluviométrie

IV.3.1. Pluviométrie mesurée

Les précipitations moyennes annuelles au droit du site étudié forment un gradient entre la frange littorale et l'intérieur des terres, avec 600 à 650 mm/an à Granville et 1200 mm/an à Sartilly (8,5 km dans les terres au niveau de Carolles). Cela s'explique par l'orientation des vents dominants d'ouest et l'augmentation des reliefs en pénétrant à l'intérieur des terres. D'après des observations d'avant 2000, les mois les plus pluvieux sont les mois d'hiver entre septembre et février, avec des précipitations mensuelles maximales atteintes généralement en octobre, novembre et décembre. Il est observé des écarts marqués de 20 à 55 mm de pluie au cours d'un mois entre la frange littorale (Granville) et l'intérieur des terres (Sartilly) sur la période 1989-1999, avec des écarts plus grands les mois les plus pluvieux.

Sur la période 1989-1999, il est observé que les jours de pluie efficace (>1 mm) sont bien supérieurs à l'intérieur des terres (et dans la moyenne nationale sur la frange littorale), mais que le nombre moyen d'averses avec plus de 5 ou 10 mm de pluie semble équivalent entre la frange littorale et les bassins versants amont.

Une analyse des précipitations journalières (en 24h) maximales pour chaque mois à Granville et Sartilly entre 1989 et 1999 montre que les événements extrêmes sont souvent concordants entre Granville et Sartilly : Cf. Tableau IV.14. Pour ces événements concordants, les précipitations à Sartilly sont bien supérieures à celles de Granville. Les valeurs journalières maximales à Granville mesurées entre 1961 et 1990 (29 ans) peuvent toutefois atteindre celles mesurées Sartilly entre 1989 et 1999 (11 ans), pour un même mois. Les événements les plus forts sont néanmoins probablement plus fréquents à l'intérieur des terres.

L'évènement pluvieux du 09 août 1994 semble exceptionnel à Granville et Sartilly.

Tableau IV.14: Hauteurs maximales des précipitations en 24h à Sartilly et Granville avant 1999.

Lieu ^{xx}	GRANVILLE,-POINTE-DU-ROC-(1961-1990) ^{xx}		SARTILLY-(1989-1999) ^{xx}		GRANVILLE,-POINTE-DU-ROC-(1989-1999) ^{xx}	
Mois ^{xx}	Lame d'eau ^{xx}	Date ^{xx}	Lame d'eau ^{xx}	Date ^{xx}	Lame d'eau ^{xx}	Date ^{xx}
JAN ^{xx}	28.2 ^{xx}	31/01/1965 ^{xx}	32.9 ^{xx}	23/01/1990 ^{xx}	21.6 ^{xx}	23/01/1990 ^{xx}
FEV ^{xx}	44.8 ^{xx}	18/02/1978 ^{xx}	41.0 ^{xx}	13/02/1990 ^{xx}	15.4 ^{xx}	09/02/1990 ^{xx}
MAR ^{xx}	23.4 ^{xx}	15/03/1978 ^{xx}	20.4 ^{xx}	18/03/1995 ^{xx}	13.2 ^{xx}	18/03/1995 ^{xx}
AVR ^{xx}	18.2 ^{xx}	07/04/1979 ^{xx}	24.8 ^{xx}	03/04/1994 ^{xx}	23.4 ^{xx}	22/04/1996 ^{xx}
MAI ^{xx}	28.6 ^{xx}	14/05/1967 ^{xx}	41.5 ^{xx}	16/05/1994 ^{xx}	30.8 ^{xx}	16/05/1994 ^{xx}
JUN ^{xx}	52.2 ^{xx}	14/06/1968 ^{xx}	45.8 ^{xx}	10/06/1993 ^{xx}	24.1 ^{xx}	10/06/1993 ^{xx}
JUL ^{xx}	57.2 ^{xx}	11/07/1977 ^{xx}	26.0 ^{xx}	01/07/1994 ^{xx}	15.7 ^{xx}	20/07/1992 ^{xx}
AOU ^{xx}	39.0 ^{xx}	05/08/1981 ^{xx}	65.6 ^{xx}	09/08/1994 ^{xx}	49.6 ^{xx}	09/08/1994 ^{xx}
SEP ^{xx}	29.7 ^{xx}	15/09/1986 ^{xx}	34.2 ^{xx}	10/09/1989 ^{xx}	33.9 ^{xx}	02/09/1998 ^{xx}
OCT ^{xx}	40.8 ^{xx}	03/10/1976 ^{xx}	45.2 ^{xx}	24/10/1998 ^{xx}	33.4 ^{xx}	19/10/1997 ^{xx}
NOV ^{xx}	45.6 ^{xx}	02/11/1965 ^{xx}	32.6 ^{xx}	05/11/1999 ^{xx}	18.9 ^{xx}	04/11/1989 ^{xx}
DEC ^{xx}	28.2 ^{xx}	19/12/1965 ^{xx}	40.2 ^{xx}	08/12/1998 ^{xx}	25.2 ^{xx}	19/12/1998 ^{xx}
Année ^{xx}	57.2^{xx}	11/07/1977 ^{xx}	65.6^{xx}	09/08/1994 ^{xx}	49.6^{xx}	09/08/1994 ^{xx}

Une analyse complémentaire sur la période janvier 1995 à juin 1996 à Granville, Sartilly et Equilly (au niveau de Granville, à environ 15 km à l'intérieur des terres) montre que les comportements des postes de Sartilly et Equilly sont similaires, en termes de pluviométries mensuelles et journalières (nombre de jours et hauteurs d'eau) et de maximums mensuels.

Les caractéristiques du poste de Sartilly sont appliquées à l'ensemble des bassins versants amont (même si situé dans un paysage de plateau plus ouvert que les vallées « entonnoirs » des bassins versants des cours d'eau), **et celles de Granville à la frange littorale.**

IV.3.2. Pluviométrie de projet

Les données Hauteur-Durée-Fréquence sont déterminées pour les pas de temps 6 min à 24 h sur le secteur amont des bassins-versants et sur la frange littorale du secteur d'étude sur la base :

- des hauteurs de précipitations sur 24h pour différentes périodes de retour déterminées pour Sartilly et Granville par classement des précipitations quotidiennes > 10 mm sur la période 1989-1999 ;
- de l'utilisation des données Hauteur-Durée-Fréquence pour les pas de temps 6 min à 24h de la station de Cherbourg-Gonneville, station aux caractéristiques pluviométriques jugées les plus proches de celle de Sartilly.

Ces données sont synthétisées dans le tableau suivant :

Tableau IV.15: Données Hauteur cumulée (mm)-Durée-Fréquence pour les pas de temps 6 minutes à 24h sur l'amont des bassins versants et sur la frange littorale étudiés.

Intervalle	Durée de retour					
	2 ans		5 ans		10 ans	
	Bassin amont	Frangé littorale	Bassin amont	Frangé littorale	Bassin amont	Frangé littorale
6 minutes	6,9	4,8	10,4	8,0	13,0	10,8
15 minutes	7,9	5,5	11,4	8,7	14,3	11,9
30 minutes	10,2	7,0	14,3	11,0	17,7	14,7
1 heure	13,8	9,5	17,5	13,4	20,7	17,2
2 heures	18,0	12,4	22,8	17,5	27,0	22,4
3 heures	21,1	14,6	27,1	20,8	32,2	26,8
6 heures	30,1	20,8	35,2	27,0	40,9	34,0
24 heures	41,5	28,6	51,3	39,4	60,3	50,1

IV.4. Hydrologie des cours d'eau

IV.4.1.1. Données pour le Thar

a. Données mesurées

Le débit spécifique du Thar est de 13,7 l/s/ha. Une station hydrométrique (dite Le Thar à Jullouville ou station de Lezeaux) existe sur le Thar immédiatement en aval de la confluence avec l'Allemagne. Elle collecte un bassin versant de 73 km² et fournit des données continues depuis 1970. Ces données sont calculées avec un intervalle de confiance de 95 %.

Les débits mensuels et le module (débit moyen interannuel) sont donc caractérisés à Jullouville sur une durée de 52 ans (1970-2021) comme indiqués par le tableau ci-après.

Tableau IV.16: Valeurs des débits moyens mensuels et du module du Thar à la station de Jullouville – Données calculées sur 52 ans (Banque Hydro).

Débits moyens mensuels et module à Jullouville (m ³ /s)													
Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année	
1,80	1,90	1,41	0,99	0,73	0,51	0,39	0,32	0,32	0,66	1,22	1,81	1,00	



Figure IV.13: Emplacement de la station hydrométrique du Thar à Jullouville.

Le module interannuel sur une période de retour de 5 ans est de 0,75 m³/s pour une période sèche et de 1,30 m³/s pour une période humide.

L'évolution saisonnière des débits est caractéristique des cours d'eau du Grand ouest avec des pics hivernaux les plus élevés mesurés au mois de février et des périodes d'étiage entre juillet et septembre.

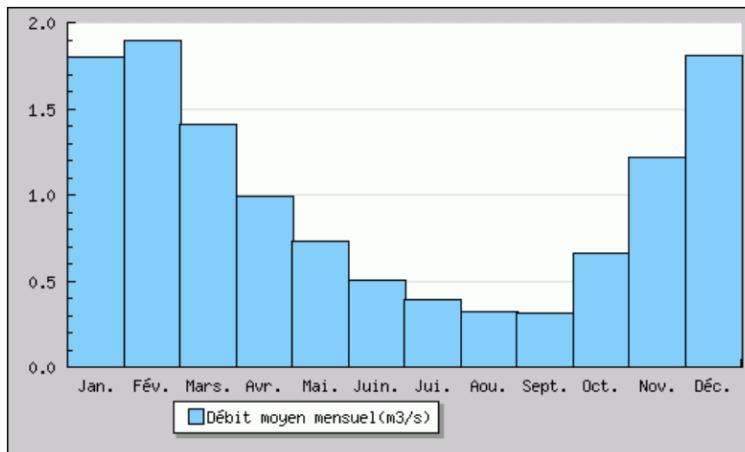


Figure IV.14: Histogramme des débits moyens mensuels du Thar à Jullouville – Données calculées sur 52 ans (Source : Banque Hydro).

L'analyse des valeurs extrêmes sur 49 ans des débits de la station de Jullouville a permis de déterminer les débits journaliers et instantanés caractéristiques du Thar par ajustement de la loi de Gumbel (année hydrologique de septembre à août). Ils sont présentés dans le Tableau IV.17 et le Tableau IV.18.

Les débits journaliers du Thar présentent de fortes fluctuations intra et inter-annuelles, avec une période de hautes eaux qui apparaît globalement entre les mois de novembre et d'avril.

Remarque : une seconde station hydrométrique a également existé entre 2005 et 2012 à la Mare de Bouillon à Jullouville, soit en aval de la première. Elle collectait un bassin versant de 75,4 km². Cette station ne disposait pas de suffisamment de données pour estimer les quantiles de débits.

Tableau IV.17: Quantiles journaliers (m³/s) sur le Thar à Jullouville et leur intervalle de confiance (Source : Banque hydro).

Fréquence	Débit journalier (m ³ /s)	Borne inférieure (m ³ /s)	Borne supérieure (m ³ /s)
Biennale	5,7	5,1	6,5
Quinquennale	8,3	7,5	9,7
Décennale	10	8,9	12
Vicennale	11,7	10,3	14,2
Cinquantennale	13,8	12,1	17
Centennale	Non calculée	/	/

Remarque : Il a été considéré avec les données de l'époque un débit journalier de crue décennale de 12,30 m³/s (9,40 m³/s pour T=5 ans et 5,50 m³/s pour T=2 ans), ainsi qu'une durée de 6,5 jours avec des débits > 5,5 m³/s à une fréquence décennale (3,9 jours T = 5 ans).

Le Tableau IV.19 donne les valeurs des plus forts débits connus aux deux stations de Jullouville, avec les hauteurs d'eau correspondantes. Le débit instantané maximal de 17 m³/s atteint le 19/02/1978 est probablement surestimé selon la Banque Hydro.

Tableau IV.18: Débits instantanés caractéristiques sur le Thar à Jullouville et leur intervalle de confiance (Source : Banque hydro).

Fréquence	Débit instantané (m ³ /s)	Borne inférieure (m ³ /s)	Borne supérieure (m ³ /s)
Biennale	7,5	6,7	8,4
Quinquennale	10,8	9,7	12,6
Décennale	13	11,6	15,5
Vicennale	15,1	13,3	18,2
Cinquantennale	17,8	15,5	21,9
Centennale	Non calculée	/	/

À la station principale, en amont de la Mare de Bouillon, la hauteur d'eau maximale instantanée a été mesurée le 22/12/2012 à 164 cm. Soit 10,94 m IGN69. Elle correspond à un débit de pointe de 10,3 m³/s. Le débit journalier associé à la station du Lézeaux est de 7,55 m³/s.

Tableau IV.19: Plus forts débits connus sur les stations du Thar et hauteurs d'eau He correspondantes (Source : Banque hydro).

Station	Débit journalier maximal	Débit instantané maximal
Le Thar à Jullouville (Lezeaux)	13,5 m ³ /s, le 12/02/1988 He = 161 cm 12,70 m ³ /s, le 16/11/1979 He = 142 cm	> 16 m ³ /s les 17/12/1982 et 12/02/1988 17 m ³ /s, le 19/02/1978 He = 158 cm
Jullouville, Mare de Bouillon	9,96 m ³ /s le 28/02/2010 He non disponible	10,90 m ³ /s, le 14/11/2010 He non disponible

De 1970 à 2021, le débit journalier du Thar maximal à la station du Lézeaux a dépassé 10 m³/s (T= 10 ans) à 6 reprises uniquement : le 20/02/1978 (11 m³/s), le 16/11/79 (12,70 m³/s), le 20/12/82 (12,1 m³/s), le 12/02/1988 (plus fort débit connu) le 15/02/1990 (11 m³/s) et le 26/01/95 (12,3 m³/s).

Sur cette même période, 6 événements ont également dépassé le décennal en termes de débit instantané : le 19/02/78 (plus fort débit connu), le 19/12/79 (14,4 m³/s), le 17/12/82 (16,2 m³/s), le 12/02/88 (16,4 m³/s), le 14/02/90 (14,1 m³/s), et le 26 janvier 1995 (14,6 m³/s).

Ce sont les mêmes évènements, à l'exception de ceux de 1979.

On note que les épisodes de crues des 20 dernières années, et surtout des 10 dernières années, sont hydrologiquement moins intenses qu'entre 1970 et 2000 (pas de dépassement des 10 m³/s pour les débits journaliers maximums). La crue la plus intense sur cette période est celle du 11 novembre 2008 avec 11,7 m³/s en débit instantané (seule valeur >10) et 9,69 m³/s en débit journalier.

b. Réaction à la pluviométrie

Le Thar a réagi de manière importante aux précipitations du 5 au 8 novembre 2000 qui ont dépassé les 15 mm, avec un temps de réponse qui semble se situer entre 6 et 24 heures.

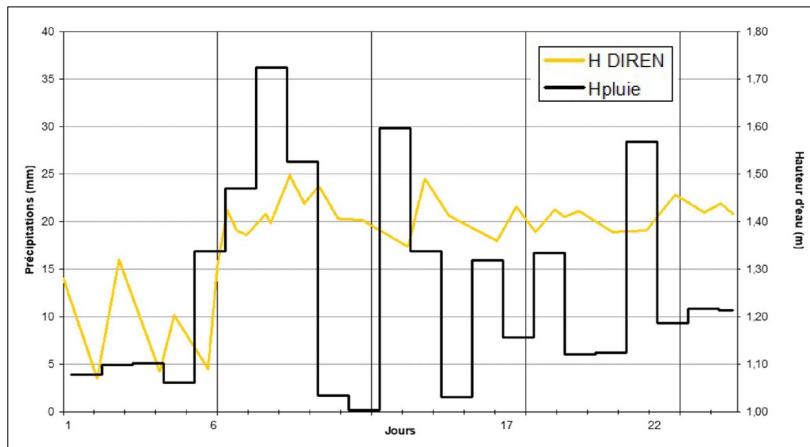


Figure IV.15: Comparaison de la pluviométrie journalière et de la hauteur d'eau dans le Thar mesurée au pont de Lézeaux

À la suite de cette hausse significative de la hauteur d'eau, des averses successives de moindre importance (en quantité et en durée) que celles du 5 au 08/11 ont maintenu le niveau du Thar autour de celui engendré par l'évènement de pluie génératrice de la crue. Ces averses peuvent provoquer de nouveaux pics de crues, comme cela s'est produit le 12 novembre 2000.

IV.4.2. Données pour le Crapeux et la Saigue

Le débit moyen interannuel du Crapeux est 0,08 m³/s. Le débit de crue quinquennale est de 0,81 m³/s.

Le débit moyen interannuel de la Saigue est 0,42 m³/s. Le débit de crue quinquennale est de 4,2 m³/s et le débit de crue décennal instantané a été estimé par corrélation à 5,21 m³/s par la DREAL.

IV.4.3. Données issues de modèles pluie/débit

IV.4.3.1. Données SHYREG

La méthode SHYREG permet de constituer une base de données de quantiles de pluie et de débit à l'échelle d'une région au pas de 1 km². Des pluies « synthétiques » sont calculées et injectées dans un modèle pluie/débit pour obtenir les quantiles de débits en différents points des bassins versants. L'analyse statistique des résultats de cette modélisation permet de déterminer des quantiles de débits pour différentes périodes de retour.

Les quantiles SHYREG de débits estimés par l'IRSTEA sur les bassins versants étudiés pour des périodes de retour de 2 à 100 ans sont présentés sur le tableau suivant. Les quantiles estimés pour le Thar au point I7913610 sont supérieurs à ceux calculés à partir des données de la station de Jullouville mais se situent dans le même ordre de grandeur.

IV.5. Présentation du trait de côte et de sa protection

IV.5.1. Présentation générale du trait de côte et de son évolution d'ensemble, et de l'historique et de la gestion des ouvrages de protection

La comparaison des photographies aériennes entre 1947 et 2019 à l'échelle de l'ensemble de la zone littorale étudiée en Figure IV.16 montre que la position du trait de côte n'a que très peu évolué en plus de 70 ans.



Figure IV.16: Comparaison des photos aériennes entre juin 1947 et mai 2019 à l'échelle globale du trait de côte étudié (Géoportail).

Les deux zones où une évolution est constatée sont :

- Le débouché ou havre du Thar : On note un redressement et une progression vers le nord de la flèche sableuse qui termine le cordon dunaire en partie sud du débouché, ainsi que la formation

d'une encoche d'érosion en partie nord du havre. Cette évolution est présentée en détails en Figure IV.17 ;



Figure IV.17: Comparaison des photos aériennes entre juin 1947 et mai 2019 à l'échelle du débouché du Thar (Géoportail).

- L'ancien débouché du Crapeux, au droit du parking actuel de Jullouville bordant l'avenue des Dunes (station SNSM) : L'ancien havre est devenu un parking. Il a été intégré au trait de côte linéaire actuel, désormais fixé par un enrochements. Cette zone reste une zone basse par rapport au cordon dunaire. Au sud de cette zone, il subsiste un cordon dunaire non protégé au droit des résidences de la mer. Cf. Figure IV.18



Figure IV.18: Comparaison des photos aériennes entre juin 1947 et mai 2019 à l'échelle de l'ancien débouché du Crapeux (Géoportail).

La quasi-totalité du linéaire de trait de côte étudié est fixé par des ouvrages de protection longitudinaux : Cf. § III.2.3. D'autre part, il existe des ouvrages transversaux mais auxquels il n'est pas attribué la fonctionnalité de protection contre la mer (Cf. § III.2.4.2).

Les ouvrages de défense contre la mer (murs maçonnés, perrés bétonnés, cordons en enrochements...) ont été implantés progressivement, depuis le début du 20^e siècle, au fur et à mesure de l'étalement de l'urbanisation sur la frange littorale, afin de fixer le trait de côte. La plupart de ces ouvrages sont gérés

par des Associations Syndicales Autorisées (ASA) de défense contre la mer, au nombre de 5 sur le territoire, créées au gré des phases d'urbanisation.

Le découpage par type des ouvrages longitudinaux de protection, simplifié par rapport au recensement de la DDTM50 présenté au § III.2.3, ainsi que le périmètre des différentes associations syndicales sont présentés en figure suivante.



Figure IV.19 : Découpage des ouvrages longitudinaux de protection et périmètre des 5 ASA de défense contre la mer sur les trois communes littorales étudiées.

Les différentes entités composant le trait de côte protégé ou « naturel » sont présentées dans les paragraphes suivants de la Section IV.5.1. Pour chaque entité, il est indiqué quand des désordres visuels évidents ont été observés pendant les visites de terrains réalisées au cours de l'étude. Aucune visite technique des ouvrages n'a toutefois été effectuée.

IV.6. Évènements historiques météo-marins ayant occasionné des dommages

IV.6.1. Avertissement

Il s'agit ici de recenser les **événements météo-marins** qui ont occasionné des dommages sur le rivage étudié à savoir :

- l'**érosion du trait de côte**
- a **dégradation des ouvrages anthropiques** de défense contre la mer ;
- la **submersion marine** des terres en arrière du trait de côte, consécutive ou non au phénomène d'érosion ou de dégradation des ouvrages côtiers.

Ces trois types de dommages peuvent être rencontrés pour un même évènement. Ils sont engendrés par des conditions météorologiques et océaniques défavorables (basses pressions atmosphériques et vents forts) de quelques heures à quelques jours, et souvent en période de grands coefficients de marée.

Le Guide méthodologique des Plans de Prévention des Risques Littoraux (Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, 2014) précise que le **recul du trait de côte** est le déplacement vers l'intérieur des terres de la limite entre le domaine marin et le domaine continental. Généralement, c'est la conséquence d'une perte de matériaux sous l'effet de l'érosion marine, érosion naturelle induite par les forces marines, combinée parfois à des actions continentales, ou d'une érosion générée ou accélérée par l'homme (sur-fréquentation, extraction, aménagements et ouvrages de protection, urbanisation proche du littoral entraînant des ruissellements de surface et la présence de réseaux, etc.). **L'érosion est une perte de sédiments pouvant entraîner un recul du trait de côte, ou un abaissement de l'estran ou de la plage lorsque le trait de côte est fixé par des ouvrages.**

De manière générale, la submersion marine est une inondation temporaire de la zone côtière par la mer qui peut intervenir par :

- **débordement** : le niveau marin moyen total est supérieur à la cote de crête de l'ouvrage longitudinal de défense du trait de côte ou à la côte du terrain naturel. Le débordement se caractérise alors par un flot continu au-dessus de la protection ;
- **franchissement** : le niveau marin moyen total est inférieur à la crête de la protection de front de mer mais l'effet de la houle implique que des **paquets de mer** franchissent la protection. Ce mode de submersion concerne les sites significativement exposés à la houle. Les franchissements dépendent des conditions de mer à la côte (houle et niveau d'eau) et des caractéristiques de la protection anthropique ou naturelle (crête, pente et nature). Ils se caractérisent par un flot discontinu, au gré des vagues. **Ces phénomènes peuvent être non négligeables en termes de volumes d'eau franchi susceptibles de se propager à terre ;**



Figure IV.20 : Franchissements de la digue d'Étretat en décembre 2019 (CD76).

- **rupture ou défaillance du système de protection** : une brèche se crée dans un ouvrage anthropique ou dans un cordon dunaire ou un ouvrage (souvent un ouvrage hydraulique) subit une défaillance. Ce phénomène se produit suite à l'attaque frontal de la houle, à un phénomène de surverse, à un mauvais entretien d'un ouvrage, ou encore à une érosion intensive du trait de côte. Il engendre une submersion si le terrain en arrière est situé sous le niveau marin.

Les submersions marines dont il est question ici ne concernent pas les effets liés à la remontée des eaux de mer dans les cours d'eau ou aux effets des conditions marines sur les évacuations des cours d'eau ou des réseaux.

Les dégradations d'ouvrages prises en compte concernent les digues et perrés longitudinaux et également les ouvrages transversaux (cale d'accès à la mer), et sont uniquement des dégradations structurelles partielles ou totales. Les dégradations dont il est question ici n'engendent pas de submersion marine.

Le recensement de tels événements s'appuie sur les études antérieures, les témoignages des acteurs locaux du territoire et personnes ressources rencontrées, et enfin sur les données et les indices retrouvés dans les différentes archives consultées, à savoir :

- archives des services de l'État (Ponts et Chaussées, Service maritime, etc.);
- archives départementales de la Manche ;
- archives de la presse régionale (La Presse de la Manche, Ouest France, La Manche Libre) et de la presse ancienne.

IV.6.2. Évènements recensés dans les archives

IV.6.2.1. Intérêt et limites des archives

Les évènements recensés dans les archives sont distingués en priorité car la quasi-totalité de ceux qui y sont mentionnés sont ceux qui ont provoqué des dommages.

Les limites des archives consultés sont toutefois les suivantes :

- Les archives antérieures aux années 1920, relatant les tempêtes et leurs conséquences, sont extrêmement rares ;
- Les évènements dommageables sont recensés et décrits de manière plus systématique à partir du moment où l'on observe une occupation humaine sur la frange littorale ;
- Il existe très peu d'informations précises sur l'extension des zones submergées.

IV.6.2.2. Présentation de l'ensemble des évènements recensés

Ce sont 36 événements météo-marins, recensés dans les archives (sur la période comprise entre 1899 et 2020), qui ont occasionné des dommages sur un ou plusieurs secteurs du rivage compris entre les falaises de Carolles-Champeaux (Carolles) au sud et l'embouchure de la Saigne (Saint-Pair-sur-Mer) au nord.

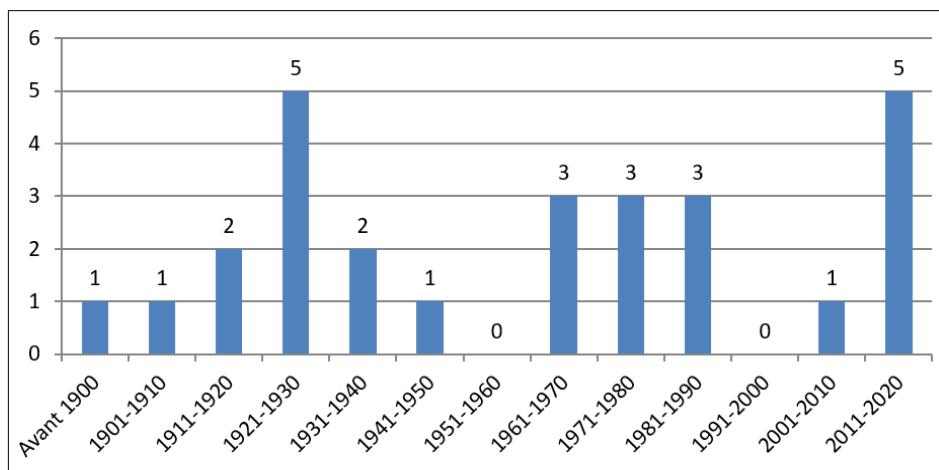


Figure IV.21 : Répartition chronologique des événements météo-marins ayant occasionné des dommages sur secteur – Recensement des archives/ tous types de dommages confondus.

En termes de saisonnalité, il apparaît dans ce recensement effectué dans les archives que :

- la quasi-totalité (80%) des événements dommageables se sont produits en hiver (janvier-février-mars) et en automne (octobre-novembre-décembre),
- seulement 20% se produisent au printemps (avril-mai-juin) et en été (juillet-août-septembre).

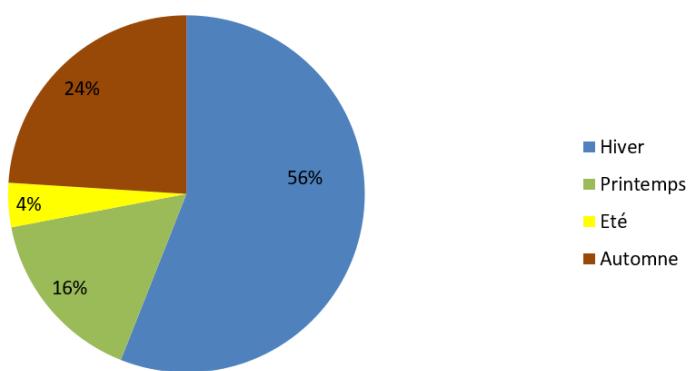


Figure IV.22 : Répartition saisonnière des événements météo-marins ayant occasionné des dommages sur le secteur – Recensement des archives/ tous types de dommages confondus.

Ces événements sont listés dans le Tableau IV.20 qui indique par événement la fiche de référence historique et la commune concernée.

Le graphique suivant donne la répartition chronologique des événements recensés par périodes de 10 ans.

On remarque que deux périodes de 10 ans, 1921-1930 et 2011-2020 présentent le nombre maximal de 5 événements.

Tableau IV.20 : Liste des évènements météo-marins recensés dans les archives.

Date de l'évènement météo-marin	N° de fiche	Commune
12 février 1899	1	Saint-Pair-sur-Mer
1906	2	Jullouville
6 mars 1912	3	Saint-Pair-sur-Mer
1913	4	Jullouville
Hiver 1924-25	5	Jullouville
26-27 Novembre 1928	6	Jullouville
	7	Carolles
8 août 1929	8	Carolles
3 octobre 1929	9	Carolles
23 octobre 1930	10	Jullouville
30-31 octobre 1932	11	Saint-Pair-sur-Mer
14 mars 1937	12	Carolles
Avril 1941	13	Jullouville
5 au 8 avril 1962	14	Saint-Pair-sur-Mer
	15	Jullouville
	16	Carolles
27 mars 1967	17	Saint-Pair-sur-Mer
2 et 3 novembre 1967	18	Carolles
	19	Jullouville
	20	Saint-Pair-sur-Mer
9 et 10 février 1974	21	Saint-Pair-sur-Mer
10 et 12 janvier 1978	22	Saint-Pair-sur-Mer
30 mars 1979	23	Saint-Pair-sur-Mer
23 novembre 1984	24	Jullouville
	25	Saint-Pair-sur-Mer
12 et 13 février 1990	26	Saint-Pair-sur-Mer
26,27 et 28 février 1990	27	Saint-Pair-sur-Mer
	28	Jullouville
10 mars 2008	29	Saint-Pair-sur-Mer
21 février 2015	30	Saint-Pair-sur-Mer
12 janvier 2017	31	Saint-Pair-sur-Mer
3 janvier 2018	32	Saint-Pair-sur-Mer
	33	Jullouville
13 et 14 février 2020	34	Jullouville
	35	Carolles
11 mars 2020	36	Jullouville

Le tableau suivant présente la répartition des évènements météo-marins et des différents types de dommages occasionnés par commune.

Tableau IV.21 : Répartition des évènements météo-marins recensés dans les archives par commune et par type de dommage.

Commune	Erosion ou recul du trait de côte	Dégradation des ouvrages	Submersion marine		
			Débordement	Franchissement	Rupture ou défaillances
Saint-Pair-sur-Mer	<u>1932/ 1962/ 1967/ 1990/ 2008/ 2015</u>	<u>1899/ 1912/ 1962/ 1967/ 1974/ 1978 1979/ 1984/ 1990/ 2018/</u>		<u>1984/ 2017/</u>	
Jullouville	<u>1906/ 1913/ 1924-25/ 1928/ 1930/ 1967/ 1990/ 2018/ 2020</u>	<u>1928/ 1930/ 1941/ 1962/ 1967/ 1984/ 1990/ 2018/ 2020/</u>		<u>1990/ 2020/</u>	
Carolles	<u>1937/ 2020/</u>	<u>1929/ 1937/ 1962/ 1967</u>			
Année soulignée (cf fiche-événement en annexe A) : L'évènement météo-marin identifié a impacté plusieurs secteurs et/ou a provoqué plusieurs types de dommages					

IV.6.2.3. Évènements d'érosion du trait de côte

16 évènements, recensés entre 1906 et 2020, ont provoqué une érosion du trait de côte sur un ou plusieurs secteurs. Ils sont présentés par date dans le tableau suivant.

Ces évènements se sont généralement produits en période de tempête (avec des vents de nord-ouest) et de grande marée (coefficients de marée supérieurs à 100).

Tableau IV.22 : Évènements ayant provoqué une érosion du trait de côte

Date de l'évènement météo-marin (nom)	N° de fiche	Commune	Conditions météocéaniques		
			Coeff de marée (SHOM)	Vent/Houle (archives)	Surcote (archives)
1906	2	Jullouville	-	-	-
1913	4	Jullouville	-	-	-
Hiver 1924-25	5	Jullouville	-	-	-
26-27 Novembre 1928	6	Jullouville	93 à 104	Tempête	-
23 octobre 1930	10	Jullouville	105 et 103	Tempête	-
30-31 octobre 1932	11	Saint-Pair-sur-Mer	107 et 108	Tempête	-
14 mars 1937	12	Carolles	109 et 110	Tempête très violente	-
5 au 8 avril 1962	14	Saint-Pair-sur-Mer	92 à 116	Fort vent de Nord Ouest soufflant à 100 km/h	Dépression atmosphérique importante
27 mars 1967	20	Saint-Pair-sur-Mer	116 et 117	Fort vent de Nord-Ouest	-
2 et 3 novembre 1967	19	Jullouville	107 à 110	Vent de secteur Ouest-Nord-Ouest de 34 noeuds avec rafales à 48	-
12 et 13 février 1990	26	Saint-Pair-sur-Mer	85 à 93	Mer forte	-
26,27 et 28 février 1990 (Viviane)	27	Saint-Pair-sur-Mer	101 à 107	Rafales à 130 km/h et mer déchainée. Vents d'Ouest à Nord-Ouest	-
	28	Jullouville			
10 mars 2008 (Johanna)	29	Saint-Pair-sur-Mer	105 et 103	Vents violents	-
21 février 2015	30	Saint-Pair-sur-Mer	117 et 115	Précipitations et vent à 60km/h	Hauteur d'eau de 14,15m
3 janvier 2018 (Eleanor)	33	Jullouville	107	Flux d'Ouest	-
13 et 14 février 2020 (Ciara)	34	Jullouville	100 à 115	Fortes houles. Flux d'Ouest et Sud-Ouest	-
	35	Carolles			

IV.6.2.4. Dégradations des ouvrages côtiers

Ce sont 20 événements, recensés entre 1899 et 2020, qui ont occasionné des dommages aux ouvrages de défense contre la mer situés sur le littoral des trois communes. Ils sont présentés par date dans le tableau suivant.

Ces événements se sont produits principalement en période de tempête, par fort coefficient de marée (supérieurs à 100).

Tableau IV.23 : Événements ayant provoqué une dégradation des dommages sur les ouvrages côtiers jusqu'en 1970

Date de l'événement météo-marin	N° de fiche	Commune	Conditions météocaniques		
			Coeff de marée (SHOM)	Vent/Houle (archives)	Surcote (archives)
12 février 1899	1	Saint-Pair-sur-Mer	114 et 113	Tempête	Mer furieuse d'une grande hauteur
6 mars 1912	3	Saint-Pair-sur-Mer	109 à 99	Tempête	
26-27 Novembre 1928	6	Jullouville	93 à 104	Tempête	-
8 août 1929	8	Carolles	98 et 95	Tempête	-
3 octobre 1929	9	Carolles	101 et 102	Tempête	-
23 octobre 1930	10	Jullouville	105 et 103	Tempête	-
14 mars 1937	12	Carolles	109 et 110	Tempête très violente	-
Avril 1941	13	Jullouville	-	-	-
5 au 8 avril 1962	14	Saint-Pair-sur-Mer	92 à 116	Fort vent de Nord Ouest soufflant à 100 km/h	Dépression atmosphérique importante
	15	Jullouville			
	16	Carolles			
27 mars 1967	17	Saint-Pair-sur-Mer	116 et 117	Fort vent de Nord-Ouest	-
2 et 3 novembre 1967	18	Carolles	107 à 110	Vent de secteur Ouest-Nord-Ouest de 34 nœuds avec rafales à 48	-
	19	Jullouville			
	20	Saint-Pair-sur-Mer			

Tableau IV.24 : Évènements ayant provoqué une dégradation des dommages sur les ouvrages côtiers de 1970 à 2020.

Date de l'évènement météo-marin (nom)	N° de fiche	Commune	Conditions météocéaniques		
			Coeff de marée (SHOM)	Vent/Houle (archives)	Surcote (archives)
9 et 10 février 1974	21	Saint-Pair-sur-Mer	100 à 112	Vents de secteur Ouest à 112 km/h	-
10 et 12 janvier 1978	22	Saint-Pair-sur-Mer	88 à 109		-
30 mars 1979	23	Saint-Pair-sur-Mer	110 et 106	Tempête	-
23 novembre 1984	24	Jullouville	102	Pointes de vent à 133 km/h	-
	25	Saint-Pair-sur-Mer			
12 et 13 février 1990	26	Saint-Pair-sur-Mer	85 à 93	Mer forte	-
26,27 et 28 février 1990 (Viviane)	27	Saint-Pair-sur-Mer	101 à 107	Rafales à 130 km/h et mer déchainée. Vents d'Ouest à Nord-Ouest	-
3 janvier 2018 (Eleanor)	32	Saint-Pair-sur-Mer	107	Flux d'Ouest	-
	33	Jullouville			
13 et 14 février 2020 (Ciara)	34	Jullouville	100 à 115	Flux d'Ouest et Sud-Ouest	-
	35	Carolles			
11 mars 2020	36	Jullouville	115 et 111	Forte houle	-

IV.6.2.5. Submersions marines

Concernant les submersions marines, seuls des évènements ayant entraîné des franchissements par paquets de mer ont été identifiés dans les archives.

4 évènements ont été identifiés entre 1984 et 2020 à Jullouville et Saint-Pair-sur-Mer. Ils se sont produits en période de forte houle et de grande marée (coefficient de marée supérieur à 100).

Tableau IV.25 : Évènements ayant provoqué une dégradation des dommages sur les ouvrages côtiers de 1970 à 2020.

Date de l'évènement météo-marin (nom)	N° de fiche	Commune	Conditions météocaniques		
			Coeff de marée (SHOM)	Vent/Houle (archives)	Surcote (archives)
23 novembre 1984	25	Saint-Pair-sur-Mer	102	Pointes de vent à 133 km/h	-
26,27 et 28 février 1990 (Viviane)	28	Jullouville	101 à 107	Rafales à 130 km/h et mer déchainée. Vents d'Ouest à Nord-Ouest	-
12 janvier 2017 (Egon)	31	Saint-Pair-sur-Mer	96 et 99	Mer déchainée	
11 mars 2020	36	Jullouville	115 et 111	Forte houle	-

IV.7. Évènements historiques de crue et d'inondation de la zone littorale urbanisée

IV.7.1. Préambule et synthèse des évènements recensés

Dans cette Section sont présentés les éléments connus sur les évènements de crue et d'inondation de la zone littorale urbanisée qui ont été recensés dans les études précédentes et au travers des échanges avec les acteurs du territoire. **Ces évènements sont ceux liés à l'hydrologie des cours d'eau ou à la remontée de la marée dans les cours d'eau, ou encore aux effets combinés des deux.**

À noter que l'ensemble de ces évènements pour le Thar et le Ruet antérieur à décembre 2000 a eu lieu avant l'amélioration significative du système de relèvement des eaux au niveau rejet du Ruet dans le Thar (installation d'une pompe en supplément de la vis d'Archimède), alors que le Ruet présente un point bas sous la cote de fond du lit du Thar au point de rejet du Ruet dans ce dernier. Les évènements antérieurs à 1979 ont même eu lieu alors qu'aucun poste de relevage n'était installé à l'exutoire du Ruet.

D'autre part, une première phase de mise à jour des canalisations du Ruet a eu lieu de 1995 à 2000.

Les inondations historiques jusque 1977 se sont produites avec une porte à flots qui équipait l'exutoire. Pour celles entre 1977 et 2001, il faut noter que les modifications importantes recensées sur le Crapeux sont le retrait de la porte à flots à l'exutoire (1977), le doublement du dalot d'origine au niveau de l'avenue de la Mer et la démolition d'une passerelle avec de multiples usages qui aggravait significativement les débordements (début des années 2000, localisation de la passerelle non précisée).

Le Tableau IV.27 synthétise les évènements d'inondation terrestre plus récents, recensés entre 2002 et aujourd'hui. A noter pour ceux liés au Thar et au Ruet que des améliorations majeures ont eu lieu en 2015 (Ø800 m de l'avenue du Thar à l'exutoire dans le Thar) et tout récemment.

Aucun aménagement majeur pouvant influer dans l'historique des inondations terrestres n'a été recensé sur le tronçon aval de la Saigue.

Les paragraphes suivants détaillent les éléments connus par évènement. Ces éléments concernent des précisions sur le déroulé de l'évènement et les emprises et enjeux impactés, les phénomènes et dommages observés, les conditions météorologiques, les conditions fluviales mais également les conditions marines. Ces dernières sont précisées de manière à faire l'analyse des concomitances possibles et des effets d'une grande marée pendant un épisode de crue.

L'hydrologie prise en référence par défaut est celle du Thar à la station de mesure du Lézeaux (enregistrements depuis 1970, données de la Banque Hydro). **Les niveaux prédits sont ceux fournis par le SHOM à Granville. Les niveaux et les surcotes « estimés » le sont à partir des mesures au marégraphe de Saint-Malo lorsque disponibles.**

Nota : les niveaux « estimés » sont donc ici par défaut obtenus en appliquant la surcote mesurée à Saint-Malo à la prédition à Granville. Dans la pratique, on remarque que les surcotes peuvent être cohérentes entre Saint-Malo et Jullouville (ou Granville) ou parfois très différentes avec une tendance à l'amplification de la surcote ou de la décote. L'hypothèse prise est donc cohérente mais plutôt conservatrice.

Certains évènements ne font pas l'objet d'un paragraphe détaillé, par manque de donnée. Ces évènements sont les suivants :

- **1912** : il est uniquement noté que le Jullouville de l'époque est totalement inondé, et que l'évènement s'est produit aux grandes marées ;
- **1946** : débordements du Crapeux qui sont à priori surtout liés à une problématique d'encombrement et donc d'entretien insuffisant du lit mineur ;
- **Novembre 1976/Janvier 1977** : débordements du Crapeux par conjugaison de fortes précipitations et fort coefficient de marée. Ces évènements ont entraîné le retrait de la porte à flots à l'exutoire. Pas de date précise pour les évènements ;
- **1978 à 1982** : inondations successives liée au Crapeux, entraînant le doublage du dalot d'origine par une canalisation en amont de l'avenue de la Mer (1986/1987). Pas de date précise pour les évènements ;
- **1989** : aucune information sur les inondations liées au Thar et au Ruet. Pas de date précise pour l'évènement.

Le Tableau IV.26 et le Tableau IV.27 donnent d'autres informations récoltées sur les inondations terrestres vécues au droit du site étudié, avec également des informations générales et des évènements non datés ou qui sont très localisés.

Tableau IV.26 : Évènements d'inondation recensés jusque 2000.

Date évènement	Cours d'eau	Commune s	Conséquences de l'évènement
1912	Thar	Jullouville	Importantes inondations de Jullouville.
Hiver 1946	Crapeux	<i>Non déterminées</i>	<i>Non déterminées.</i>
Novembre 1976 et Janvier 1977	Crapeux	Carolles-Plage	Inondations de la partie basse d'Edenville et de Carolles-Plage.
18-22 février 1978	Thar, Saigue Crapeux	Jullouville, Carolles-Plage	Inondation de la partie basse de Jullouville, du secteur d'Edenville et du chemin de Blot dans la nuit du 18 au 19 février. Inondation du camping le long de la RD572 ou route de Vaudroulin (Granville) et routes coupées à Saint-Pair-sur-Mer. Inondation de 19 villas à Carolles-Plage et partie basse d'Edenville.
1978 à 1982	Crapeux	Jullouville, Carolles-Plage	5 inondations successives de carolles-Plage et de la partie basse d'Edenville.
29 janvier au 14 février 1988	Thar	Jullouville	Débordements de la mare de Bouillon (les Planches) et inondation des terrains Roch, avenue Lanos-Dior.
1989	Thar	Jullouville	Inondations, notamment sur le secteur d'Edenville, au point bas de la RD911.
14 au 18 février 1990			Débordements non identifiés. Plusieurs garages et sous-sols envahis par l'eau à Jullouville.
10 août 1994	Thar et Ruet	Jullouville	Inondation du camping Lemonnier et nombreuses propriétés et sous-sols inondés par le Ruet
26 au 30 janvier 1995	Thar	Thar	Avenue des Huguenants inondée le 26/01.
28-29 décembre 1999	Thar, Saigue	Jullouville, Saint-Pair-sur-Mer	Jullouville : 120 à 150 habitations inondées au niveau des Bréholles, au Pont Hogris et au Ruet avenue des Huguenants. Jusqu'à 1.50 m d'eau dans les maisons. 350 maisons menacées au total. Dégâts aussi importants qu'en 1912. Débordement de la mare de Bouillon. Saint-Pair-sur-Mer : inondation des tennis.
Novembre 2000	Thar, Crapeux	Jullouville, Carolles-Plage	7 habitations inondées et débordement de la mare avec inondation des Planches. Pas de débordement avenue des Huguenants grâce à une digue construite en urgence. Inondation des caves et sous-sols au-delà de l'évènement (remontées de nappe). Crapeux : inondation parking camping-cars (Carolles) et du parking de la plage (Jullouville). A l'amont, débordement et dégradations du chemin rural et inondation moulin de la Hiette (première fois)
Avril 2001	Crapeux	Jullouville, Carolles-Plage	Laisse de crue du 10/04/2001 niveau du passage de la RD61 correspondant à une hauteur d'eau de 50 cm.

Tableau IV.27 : Évènements d'inondation recensés depuis 2002.

Date évènement	Cours d'eau	Commune	Conséquences de l'évènement
22 janvier 2005	Crapeux	Carolles-Plage, Jullouville	Inondation du parking de la Plage le long de la RD61E et probablement de l'aire de camping-cars
28 février 2010	Thar	Saint-Pair-sur-Mer (Kairon-Plage) Carolles-Plage/Jullouville (Edenville)	Inondation rue du Thar, avenue du MontSaint-Michel à Saint-Pair-sur-Mer inondations du parking de la plage d'Edenville et du parking camping-cars à Carolles.
Mars 2014	Thar	Saint-Pair-sur-Mer (Kairon-Plage)	Inondation rue du Thar, avenue du MontSaint-Michel.
2015	Thar	Saint-Pair-sur-Mer (Kairon-Plage) ?	Légers débordements (pas de localisaiton).
Décembre 2020	Crapeux	Carolles-Plage	Inondation de l'aire de camping-cars uniquement à Carolles-Plage. Débordement du Crapeux en aval de l'avenue de la Plage (Jullouville) quelques jours auparavant.

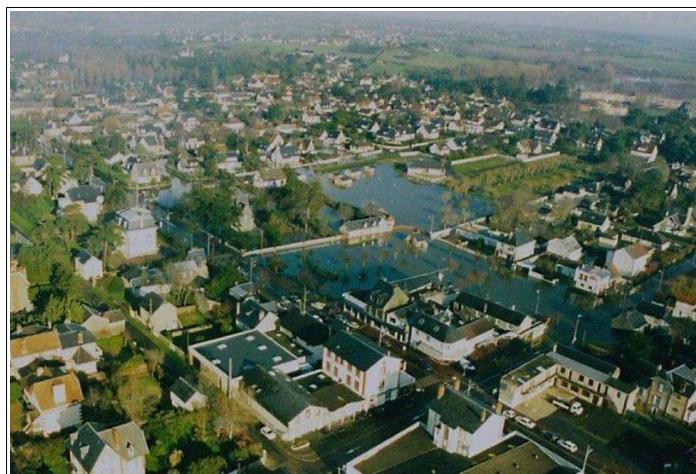
*Figure IV.23 : Extraits du reportage de France 2 sur l'inondation de décembre 1999 : résidence bel air, à gauche, et allée du camping au sud de cette résidence, à droite (Source : INA).*



Figure IV.24 : Vues générales de l'inondation de décembre 1999 à Jullouville, entre l'avenue du Docteur-Lemonnier et l'Avenue des Sapins (Source : ouest France).



Figure IV.25 : Inondation de l'avenue du Mont-Saint-Michel le 02 mars 2010 à 8h30.

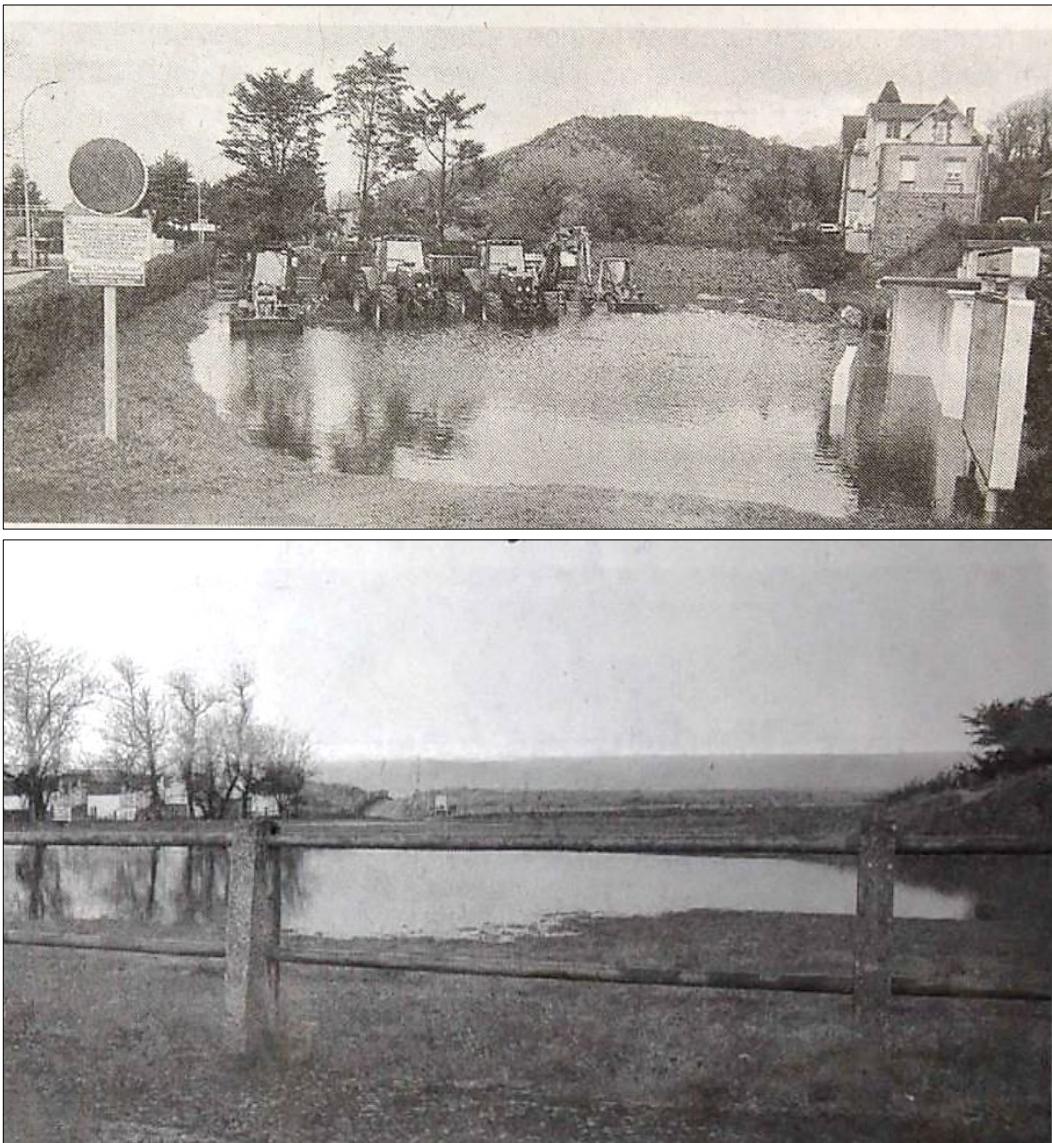


Figure IV.26 : Photos du parking entre le chemin des pêcheurs et la rue du Mont de Dol le 1er mars 2010 (en haut) et du parking de la plage d'Edenville autour de cette date (en bas) (Source : ouest France).



Figure IV.27 : Vues de l'inondation du parking de la Plage à Jullouville liée au Crapeux le 22 janvier 2005.



Figure IV.28 : Vues de la montée en charge du Crapeux et de l'inondation de l'aire de camping-cars le 22/12/2020 (Source : Mairie de Jullouville).

IV.8. Problématiques vis-à-vis de la submersion marine seule

IV.8.1. Franchissements

IV.8.1.1. Préambule

Le secteur ne semble pas soumis au phénomène de franchissements par paquets de mer de manière fréquente et intense.

Ainsi, depuis les 20 dernières années, il est recensé plusieurs évènements mineurs où de l'eau a atteint la crête des protections longitudinales de front de mer, mais sans créer de réelle inondation et avec un retour rapide à la normale.

Il est ainsi noté dans les témoignages des « franchissements » :

- au droit de la digue du soleil couchant à Saint-Pair-sur-Mer, comme en janvier 2017. Selon la ville, la mer atteint de plus en plus le niveau des cabines, mais sous forme d'embruns et de projections diffuses. Des paquets de mer auraient franchi l'ensemble de la protection au droit du Casino, selon un acteur du territoire. Cela reste néanmoins à vérifier, compte-tenu de la hauteur importante de la crête de digue ;
- en quelques endroits à Jullouville (cale du Pont Bleu et digue en béton principale de Jullouville Centre), en janvier 2018. Le parking des plaisanciers a également déjà été atteint par quelques vagues pour quelques tempêtes.

A priori, ces « franchissements » n'en sont pas réellement puisqu'il n'est pas retrouvé la trace de volumes d'eau franchis qui se seraient propagés en arrière de la crête de la protection. Pour la digue principale en béton de Jullouville, les témoignages indiquent l'atteinte des cabines, soit la plateforme intermédiaire de l'ouvrage et non la crête.

Dans le recensement des évènements effectués, il apparaît néanmoins deux endroits où ce phénomène peut se produire mais avec une ampleur et donc des conséquences différentes :

- L'avenue de la Mer, à Carolles-Plage ;
- Le secteur de Beausoleil au débouché du Thar, à Saint-Pair-sur-Mer ;
- La rue de Scissy. Il n'a pas été retrouvé d'images permettant de se rendre compte des franchissements se produisant au droit de cette rue. Les témoignages sont peu précis à ce sujet.

IV.8.1.2. Avenue de la Mer à Carolles-Plage

Le secteur concerné est la terminaison de l'avenue de la Mer en arrivant sur la digue, à Carolles-plage. Cet accès à la plage est un point bas dans la protection (> 8,50 m IGN69 au droit du perré de part et d'autre), et des entrées d'eau se produisent par paquets de mer au cours de gros coefficients de marée conjugués à des vents d'ouest et une dépression atmosphérique. L'eau se propage jusqu'à l'intersection avec l'avenue des Tamaris. Des protections sont mises en travers de l'avenue de la Mer en période de forte tempête, dans l'objectif d'interdire l'accès et de limiter un peu les volumes d'eau franchis.

Les photos suivantes montrent ces phénomènes de franchissement avenue de la Mer qui se sont produits au cours de la tempête du 11 mars 2020. On voit que sur cet évènement, les volumes franchis restent très limités et que la « propagation » des eaux est très courte.

Il n'a pas été récupéré de photographies d'évènements de franchissement avec une propagation des eaux dépassant l'avenue des Tamaris. Celle-ci serait néanmoins déjà arrivée selon un acteur du territoire (aucune photographie n'ayant été récupérée).



Figure IV.29: Franchissements au droit de l'avenue de la Mer à Carolles le 11 mars 2020
(Source : JP David).

IV.8.1.3. Secteur Beausoleil à Saint-Pair-sur-Mer

Des franchissements se produisent également au droit de la rive droite du Thar au droit de son débouché, où se situe l'ouvrage de protection en enrochement. Cela a été le cas en mars 2014, en janvier 2017 et pendant Eleanor en janvier 2018. Sur ce secteur, la RD911 borde le trait de côte et est située en arrière d'un parking en arrière immédiat de l'enrochement.

La RD présente un point bas, inférieur à 8,50 m IGN69, sur un tronçon d'une cinquantaine de mètres entre Beausoleil et Kairon, au sud immédiat de l'enrochement.

Lorsque les vagues s'abattent sur l'enrochement et que les franchissements sont importants, les eaux franchies s'accumulent d'abord sur le parking puis finissent par s'écouler vers la route le long de laquelle elles descendent ensuite, vers le point bas. C'est ce qui s'est produit le 03 janvier 2018 à la PM de 7h50 environ. Le tronçon de la RD911 a donc été inondé et interdit à la circulation. La ville de Saint-Pair rapporte une hauteur d'eau de 30 cm sur le parking et de 20 cm au droit de la RD911 pour cet évènement.



Figure IV.30: Vues des franchissements s'accumulant sur le parking en arrière de l'enrochement au droit de Beausoleil le 03 mars 2014.

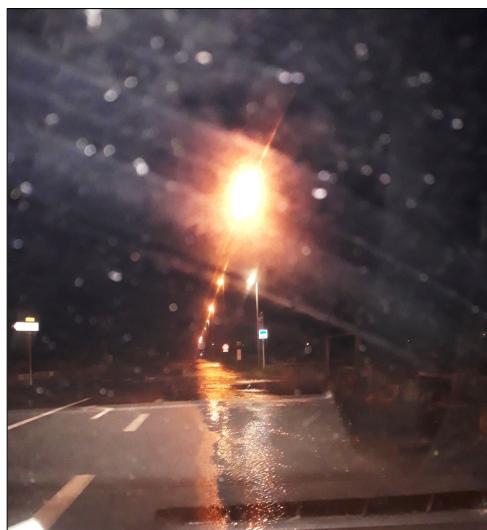


Figure IV.31 : Vue du tronçon bas de la RD911 au sud de Beausoleil (démarrage du tronçon à l'intersection avec la RD569) inondé le 03 janvier 2018 à 8h05.

Au niveau du point bas de la RD, les eaux sont alors reprises par les deux avaloirs (un de part et d'autre de la chaussée) du réseau EP qui se jette à la mer à ce niveau par l'exutoire 2. La Mairie de Saint-Pair-sur-Mer rapporte que de l'eau issue de franchissements aurait également déjà pénétré au droit des lotissements, en arrière de la route (pas de photographie récupérée).

Une photographie ancienne récupérée montre ce phénomène de franchissements au droit de Beausoleil pendant une tempête qui a lieu en 1984 à priori.



Figure IV.32: Photographie des franchissements au droit de Beausoleil en 1984.

Le site de Beausoleil sujet aux franchissements est localisé sur la figure suivante, ainsi que le point bas de la RD911. Le cheminement de l'eau jusqu'au point bas de la route est représenté par une flèche.

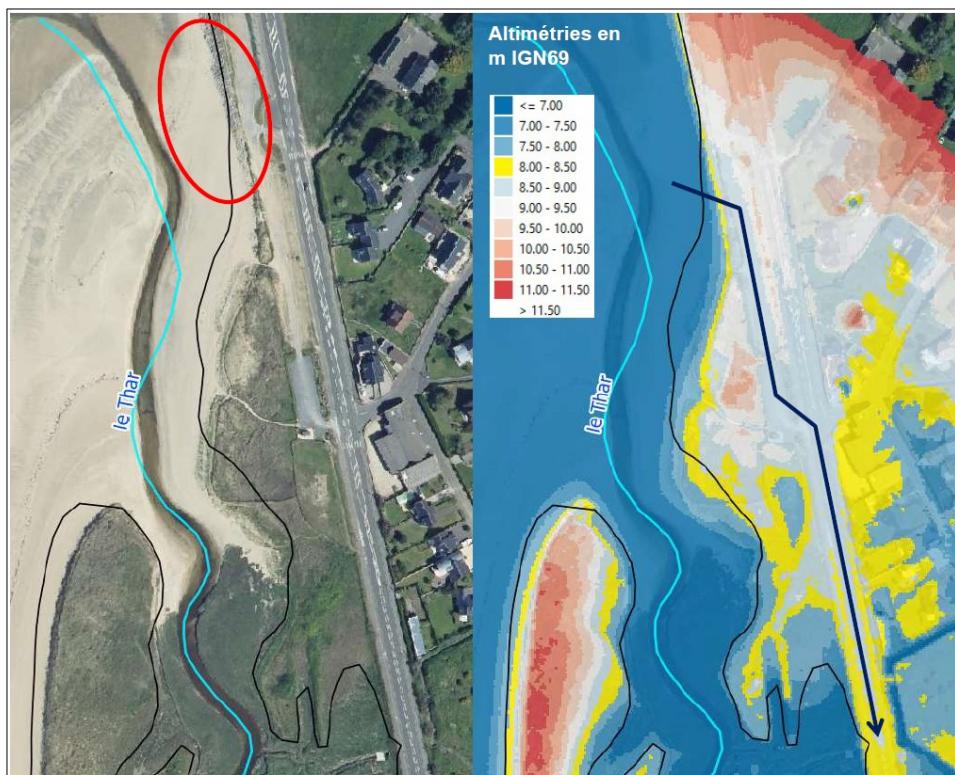


Figure IV.33: Identification et topographie du site soumis aux franchissements au droit de Beausoleil – Représentation schématique de l'écoulement des eaux franchies (GoogleEarth, RGE Alti® V2.0).

IV.8.2. Synthèse des phénomènes littoraux

Le recensement des événements passés et l'analyse du territoire montrent que le phénomène de submersion marine par débordement ou rupture des protections littorales n'est pas une problématique rencontrée sur le secteur actuellement.

La raison principale a cela est que le front de mer présente, de manière générale, une altimétrie élevée par rapport aux niveaux marins totaux rencontrés sur le site.

Depuis 1960 (date du début des données mesurées au marégraphe de Saint-Malo), le niveau marin total maximum connu sur site pourrait avoir été atteint le 10 mars 2008 en approchant les 8,0 m IGN69, voire en les dépassant en considérant la surcote de déferlement. Le niveau centennal actuel est lui situé entre 8,0 et 8,50 m IGN69.

La crête de la protection longitudinale du trait de côte (ou des terrains est toujours supérieure à ces niveaux extrêmes, et assez significativement de manière générale, sauf au droit de la RD911 à l'endroit où celle-ci borde le débouché du Thar entre Beausoleil et les Belles-Rives.

Avec un niveau marin supérieur à 8,40 m IGN69 environ, cette route peut être submergée par débordement en ce point bas, avec une propagation des eaux dans la zone basse en arrière qui s'étend à l'est de la RD911 de Beausoleil jusqu'au niveau du Pont Bleu. Le côté ouest de la route, au droit de Kairon-Plage, serait évidemment également inondé. Un tel évènement n'a à priori pas encore été vécu et est peu probable à l'échéance actuelle.

Il pourrait venir se rajouter aux problématiques d'inondation que connaît cette zone par grandes marées, lorsque les eaux du réseau EP et de drainage des zones humides n'arrivent pas à être évacuées à la mer à cause des niveaux hauts de cette dernière.

À échéance de 100 ans avec l'élévation du niveau marin, la potentialité que cela se produise va augmenter. Pour des niveaux entre 8,45 et 9 m IGN69, la RD911 pourrait être submergée en plusieurs endroits, jusqu'au Pont Bleu.

Des franchissements de paquets de mer sont actuellement possibles et ont été vécus, principalement par gros coefficients et vent d'ouest. Les vrais franchissements, à savoir ceux qui engendrent des volumes d'eau significatifs dépassant la crête de la protection littorale, concernent toutefois un nombre d'endroits limités du trait de côte qui sont du sud au nord : l'avenue de la Mer à Carolles-Plage, le parking le long de la RD911 à Beausoleil (Saint-Pair-sur-Mer) et la rue de Scissy à Saint-Pair-sur-Mer.

Les autres « franchissements » rapportés n'en sont pas réellement puisqu'ils ne concernent à priori que quelques paquets de mer franchis, voire uniquement de l'écume, ou encore qu'ils n'ont pas atteints la vraie crête de la protection longitudinale (Cela n'a pas dans tous les cas pas été vérifié pour la digue au droit du Casino à Saint-Pair-sur-Mer, ni au droit de la digue principale de Jullouville).

D'autre part, les franchissements réels qui se sont produits ne semblent pas être le risque principal qui marque les esprits des acteurs du territoire. Ceux de l'avenue de la Mer et de la rue de Scissy ont des effets très limités puisque même si la crête de la protection longitudinale est franchie, le profil en long de la route monte ensuite vers les terres. Ils n'ont pas encore engendré d'inondation proprement-dite (même si l'avenue des Tamaris aurait été atteinte en arrière de l'avenue de la Mer), probablement aussi parce que les volumes franchis sont restés jusqu'à présent limités.

Ceux qui se sont déjà produits au droit du parking de Beausoleil ont été en revanche potentiellement plus marquants, comme en 1984 ou en janvier 2018 au cours de la tempête Eleanor. En effet, la RD911 a été en partie inondée au cours de ces deux événements.

L'évacuation des eaux inondant la RD est possible grâce aux avaloirs au point bas de la route et à l'exutoire dans le débouché du Thar. Cependant, les conditions de pleine-mer peuvent empêcher

temporairement cette évacuation. Les eaux franchies ainsi récupérées par le réseau sont susceptibles de remonter les réseaux hydrographiques et hydrauliques en arrière de la RD et d'inonder les terres en arrière de la route et les lotissements présents à ce niveau. Cette inondation en arrière de la RD, liée à un évènement marin a déjà eu lieu selon les acteurs du territoire.

Pour la même raison de blocage temporaire de l'évacuation des réseaux, l'inondation des terres en arrière de la RD peut également être aggravée ou uniquement provoquée par l'accumulation des eaux terrestres.

En revanche, dès la baisse du niveau marin, il semblerait (d'après les informations recueillies) que le ressuyage de ces terrains arrière et des eaux de submersion inondant la route se déroule rapidement. Aucun élément de preuve tangible n'a cependant été retrouvé à ce sujet.

Des évènements combinés houle/niveau marin plus défavorables que ceux vécus pourraient engendrer des volumes franchis plus importants, avec des conséquences plus importantes et potentiellement une propagation plus importante au droit des terrains à l'est de la RD911. L'augmentation des niveaux marins à échéance de 100 ans va accentuer le phénomène et sa gravité au droit de cette zone.

IV.9. Problématique des inondations terrestres et lien avec les conditions marines

Dans les paragraphes suivants sont présentées les problématiques des inondations terrestres sur le secteur et leur lien avec l'urbanisation des terrains, la saturation en eau des sols et également les conditions de rejet par rapport aux niveaux marins.

Ils présentent les mécanismes des inondations historiques ainsi que les changements majeurs qui sont intervenus depuis ces dernières et qui peuvent jouer un rôle dans ces mécanismes.

Étant donné le contexte géologique et leur encaissement, les cours d'eau réagissent rapidement aux évènements pluvieux. Les débits de crues sont générés dans les périodes critiques où se conjuguent saturation des terrains superficiels et évènement pluvial exceptionnel.

Les débordements dommageables du Thar, du Crapeux et de la Saigue sont observés sur leur tronçon aval avant leur rejet à la mer, au droit des zones urbanisées des communes de Jullouville, Carolles et Saint-Pair-sur-Mer.

Ces débordements dommageables sont engendrés par des évènements météorologiques mais sont aussi directement liés à l'urbanisation du littoral qui a impliqué de contraindre le lit mineur des cours d'eau et les écoulements au sein même des propriétés privées et du bâti des communes (rétrécissement du lit mineur, ouvrages de franchissement, busages, équipements de gestion/régulation), et in fine de réduire les capacités d'expansion naturelle et de divagation des cours d'eau.

Ces aménagements au droit des tronçons aval ont donc augmenté la vulnérabilité aux inondations à la fois par le développement des enjeux et par l'augmentation de l'aléa liée aux contraintes pesant sur les lits mineurs. Compte-tenu de ces dernières, toute réduction supplémentaire des sections d'écoulement augmente les risques d'inondation. **Ainsi, la formation d'embâcles a été facilitée et présente un risque majeur sur les tronçons aval des trois cours d'eau.**

D'autre part, les pleine-mers de vives-eaux constituent un frein hydraulique pour les trois cours d'eau qui se rejettent directement à la mer, sans équipement empêchant la remontée des eaux marines au niveau du point de rejet.

Pour le Crapeux, l'exutoire légèrement surélevé par rapport au niveau de la plage limite en partie de cette contrainte que constitue la marée.

En amont des zones urbanisées, les zones d'expansion des crues sont dues essentiellement aux ouvrages de franchissement des voiries qui limitent les débits des cours d'eau.

Le risque d'inondation terrestre est donc lié aux crues et/ou à la formation d'embâcles, et il est augmenté par la conjonction de ces phénomènes avec une marée de vives-eaux.

IV.9.1. Le Thar

IV.9.1.1. Fonctionnement général des crues et des inondations

De manière générale, les débordements du Thar sont régulés. Les zones d'expansion se trouvent en amont de la mare de Bouillon avec un rôle important joué par les trois ouvrages de franchissement des voiries que sont le pont du Lézeaux (RD2), le pont du Guigeois et le pont à la Rose (RD143) et les talus routiers.

Une zone de débordements importante se situe ainsi en amont du pont du Guigeois, situé sur la route du même nom entre Angomesnil et Mesnil Grimeult.

Juste en aval, la RD21 (relativement haute) et le pont du Lézeaux sur cette RD jouent également le rôle de barrage et mobilisent une zone d'expansion des crues en amont du pont au droit de parcelles non urbanisées. Enfin, les prairies situées dans le talweg entre la mare de Bouillon et le pont du Lézeaux constituent une très importante zone d'expansion.

En comparant l'enveloppe de la zone inondable cartographiée dans l'Atlas des Zones inondables (AZI) produite par la DREAL et la topographie, on en déduit que la plus haute cote d'eau relevée au droit de la station hydrométrique de Lézeaux est autour de 11 m IGN69. Cette analyse valide la hauteur d'eau maximale de 164 cm relevée à la station.

Le niveau des nappes est également un élément important à considérer dans le mécanisme des inondations du Thar. Lorsqu'il est haut, il sature les terrains bas de part et d'autre du Thar en amont de la mare de Bouillon. Les photos prises par la DDTM50 le 16 mars 2001 au niveau du pont de Lézeaux et entre le pont et la mare de Bouillon présentées ci-après en attestent. La capacité de stockage des eaux dans cette mare est également dépendante du niveau de la nappe.

La Figure IV.34 donne à titre d'information l'extrait de la cartographie du risque de remontées de la nappe phréatique réalisée par la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) de Normandie au début des années 2000 (suite aux inondations constatées pendant l'hiver et le printemps 2001) au droit du Thar et du Ruet à Jullouville.

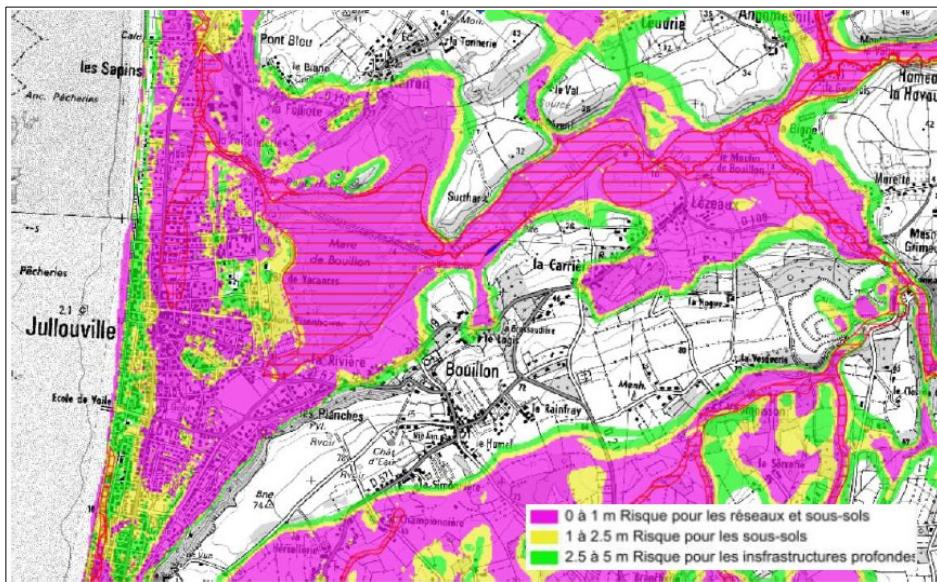


Figure IV.34: Cartographie du risque de remontée et de débordement de la nappe phréatique au droit du Thar et du Ruet à Jullouville (DREAL).



Figure IV.35: Remontées de nappe et zones inondées en amont du pont de Lézeaux (premier plan) et de la mare de Bouillon (second plan) le 16 mars 2001 (DDTM50).



Figure IV.36: Remontées de nappe et zones inondées au niveau et en amont du pont de Lézeaux le 16 mars 2001 (DDTM50).

Les niveaux exceptionnels de la nappe phréatique (saturation des sols) coïncident avec des niveaux d'eau très hauts de la mare de Bouillon engendrés par les fortes pluies. Ces derniers exercent une pression sur la nappe locale et provoquent alors des remontées d'eau au droit de la zone basse urbanisée de Jullouville en aval de la mare. En mars-avril 2001, suite à une pluviométrie très forte durant

l'automne et l'hiver, ces phénomènes ont ainsi engendré des inondations de sous-sols et caves dans Jullouville et des remontées d'eau au droit des terrains Saint-Roch.

Jusqu'à la mare de Bouillon, le Thar ne cause plus de dégâts aux biens et aux personnes. En aval de la mare de Bouillon, le lit majeur du Thar disparaît en entrant dans la zone urbanisée. C'est sur ce tronçon aval peu pentu et donc la capacité intrinsèque a été estimée à 11 m³/s en 2001 (hypothèse d'une section trapézoïdale de 4 m en base, 8 m en ouverture et hauteur 2,5 m et pente de 0,5 %) que les débordements, toujours possibles malgré la régulation à l'amont, sont susceptibles de provoquer des désordres.

Outre les conditions hydrologiques, divers facteurs combinés ou non engendent l'aggravation des inondations et donc de ces désordres au droit de la zone urbanisée.

Les fortes marées et les contraintes pesant sur le lit mineur du cours d'eau sur son tronçon aval, **notamment une réduction importante de la section d'écoulement à l'aval du Pont Bleu**, sont des paramètres importants à considérer dans les risques de débordements du cours d'eau. La **création d'embâcles** dans le lit mineur constraint est également un facteur de risque important vis-à-vis de ces risques.

Enfin, le fonctionnement hydraulique du Ruet et des réseaux EP qu'il structure prend une part essentielle dans le risque inondation de la zone urbanisée.

IV.9.1.2. Synthèse générale sur les phénomènes d'inondations terrestres de la zone littorale urbanisée

Les inondations terrestres historiques marquantes de la zone littorale urbanisée par débordement du Thar et par le Ruet se sont toutes produites avant 2001 et pendant une période d'hydrologie intense à soutenue du cours d'eau en débit de pointe et/ou en débit mensuel, et/ou en durée.

Si aucune inondation d'ampleur sur cette zone littorale urbanisée n'a été vécue depuis 2000, c'est donc avant tout lié au fait que les 20 dernières années, et surtout les 10 dernières, ont été hydrologiquement moins intenses qu'entre 1970 et 2001 (d'après mesures à la station du Lézeaux).

Les événements de février 1990 et janvier 1995 notamment montrent que des débits très forts sur une semaine à 15 jours peuvent provoquer à eux seuls des inondations de la zone littorale urbanisée.

Toutefois, il est avéré qu'une période de plusieurs grandes marées successives avec des niveaux de PM très hauts joue un rôle de frein hydraulique aux écoulements du Thar, avec des incidences sur la capacité d'évacuation du cours d'eau. Cela peut indirectement participer au remplissage de la mare de Bouillon. Ce rôle peut être joué autour du pic de crue, ou pendant un épisode d'hydrologie soutenu précédant le pic de crue. Les deux mécanismes peuvent se combiner (2014 ?).

Ce rôle de frein hydraulique est mis en évidence dans les événements récents de mars 2010 (Xynthia) et de mars 2014 où les périodes de grandes marées sont intervenues pendant une crue d'intensité relativement faible. Ces deux événements mettent bien en évidence l'importance du couple débit du Thar et niveau marin dans la survenance ou non de l'inondation : niveau marin maximal plus fort en 2014 mais débit de pointe plus faible. Pour un débit trop faible ou pour des niveaux marins pas suffisamment hauts, les débordements ne se produisent pas malgré la coïncidence crue/grandes marées. Il est fait l'hypothèse que les niveaux marins doivent dépasser 7 m IGN69 pour les effets se fassent sentir.

Le rôle de frein hydrauliques des conditions marines est moins évident à qualifier sur les événements plus anciens, d'hydrologie plus intense.

Pour les événements jusque 2001, les grandes marées suffisamment fortes ont eu un rôle important supplémentaire : celui de participer directement au remplissage de la mare de Bouillon, et donc à la plus

grande réduction de sa capacité de stockage voire à son débordement. Ce phénomène de remplissage par la mer est aujourd’hui peu probable à une échéance actuelle puisque le seuil du chenal a été rehaussé à 7,04 m IGN69.

Enfin, l’encombrement du lit mineur sur le tronçon aval du Thar est un facteur aggravant important dans les phénomènes de débordement sur la zone littorale. Les embâcles majeurs au Pont Bleu en décembre 1999 sont probablement à l’origine de la gravité de l’inondation qui s’est produite.

Les dispositifs de régulation au droit des ponts amont franchissant le Thar sont parfois installés lorsqu’il est jugé que la combinaison des pluies et des grandes marées prévues peut engendrer un phénomène de débordement au droit de la zone littorale urbanisée (cela a été le cas en février 2020 également).

Les travaux d’amélioration du Ruet réalisés au fur et à mesure du temps, et notamment de son évacuation dans le Thar, ont contribué à diminuer les risques de montée en charge et d’inondation par refoulement/débordement de réseau hydraulique. A noter que des travaux restent à venir : agrandissement du bassin tampon sur les terrains Roch et doublement de la pompe de relevage au poste de refoulement dans le Thar.

Concernant la zone de Kairon-Plage, le risque d’inondation de la rue du Thar, en rive droite du cours d’eau en aval immédiat de l’avenue du Mont Saint-Michel, a été réduit par la réalisation d’une diguette entre la rue et le lit mineur du Thar.

IV.9.2. *Le Crapeux*

IV.9.2.1. *Fonctionnement général des crues et des inondations*

Compte-tenu du profil en long de son lit mineur, les zones humides dans les talwegs en amont de la RD911 sont inexistantes sur le bassin versant du Crapeux.

Les débordements se manifestent sur le tronçon final du cours d’eau à l’aval de la vallée des Peintres après le passage de la RD911, au droit de la zone urbanisée de Carolles-Plage et au sud de Jullouville.

Sur ce tronçon aval, le lit du Crapeux passe au sein de propriétés privées et est particulièrement contraint :

- par des murs verticaux en rive réduisant la section et empêchant le débordement, de la RD911 à la rue du Mont Dol. La largeur du lit mineur est ponctuellement réduite de moitié par rapport à celle en amont ;
- par des passages busés en Ø1000 mm, des passages sous dalot, ou par des murs verticaux en rives, de la rue du Mont Dol à l’exutoire en mer.

Les passages aériens sont le plus souvent d'une section supérieure à celle d'une canalisation Ø1000 mm mais que les constructions privées ont réduit le lit du Crapeux et ses capacités d'expansion.

Suites aux inondations de février 1978, la DDA préconisait une dérivation du trop-plein du Crapeux avant la chapelle de Carolles-Plage. Il est néanmoins observé quelques années plus tard, en 1985, par cette même DDA que les écoulements au niveau de l'exutoire de Jullouville sont loin de se faire à pleine section. Il a donc plutôt été supprimé un étranglement du lit en amont de l'exutoire, au niveau de l'avenue de la Mer.

Ainsi, quelques correctifs ont été réalisés sur le tronçon aval du Crapeux (dont la suppression de la porte à flots à l'exutoire fin des années 1970) mais cela n’empêche pas les débordements au droit de ce tronçon du fait de la problématique majeure liée aux contraintes pesant sur le lit mineur sur cette partie.

Le point bas sur le parcours du cours d'eau en amont et en aval de l'avenue des Pierrots sous laquelle le cours d'eau passe en Ø 1000 mm constitue une autre source de désordre. Une mise en charge de la canalisation peut engendrer des débordements du tronçon en passage ouvert juste en amont de la canalisation. Cette mise en charge est effective pour une crue décennale, puisque la capacité intrinsèque du Ø 1000 mm avec une faible pente comme sur ce secteur (0,5 à 1‰) est inférieure au débit de pointe calculé pour une telle crue.

L'aménagement hydraulique du Crapeux est incohérent dans sa partie aval, avec une réduction de plus de la moitié de la section hydraulique alors même que la pente diminue. Les débordements occasionnés sont dus à une mise en charge des passages busés.

IV.9.2.2. *Effets des conditions marines*

Le fait que l'exutoire soit aérien sur la plage permet de s'affranchir en partie de la contrainte aval que constitue la marée.

IV.9.3. *La Saigue*

IV.9.3.1. *Fonctionnement général des crues et des inondations*

Les zones à l'amont de la RD971 présentent une bonne aptitude à l'expansion des crues, avec un impact majeur sur l'hydrologie du cours d'eau.

A l'aval, les prairies de part et d'autre du cours d'eau en amont et en aval de l'ancienne clinique vétérinaire, rue Malais, sont d'un intérêt tout aussi important en participant en dernier recours à la protection de la majeure partie de la zone urbanisée.

Selon les acteurs du territoire, la Saigue déborde fréquemment à la suite de pluviométries importantes ou non, et les zones d'expansion du tronçon aval du cours d'eau peuvent se mettre en eau sans concomitance avec des grandes marées. Cette concomitance aggrave néanmoins les inondations qui sont susceptibles de se produire au sud de la RD572 et en arrière de la RD911 qui borde le littoral. La zone la plus basse se situe au droit des prairies au nord de l'impasse des Fourneaux. L'analyse topographique jusque 10,50 m IGN69 ci-dessous permet de localiser les zones basses autour de la Saigue aval.

Il n'a pas été recensé d'inondation au droit du tronçon aval du cours d'eau depuis une dizaine d'année. Cela est vraisemblablement surtout lié à la période hydrologique calme sur ces 10 dernières années.

Des mesures de conductivité réalisées par la ville de Saint-Pair-sur-Mer montrent une influence réelle de la mer jusqu'aux terrains de tennis.

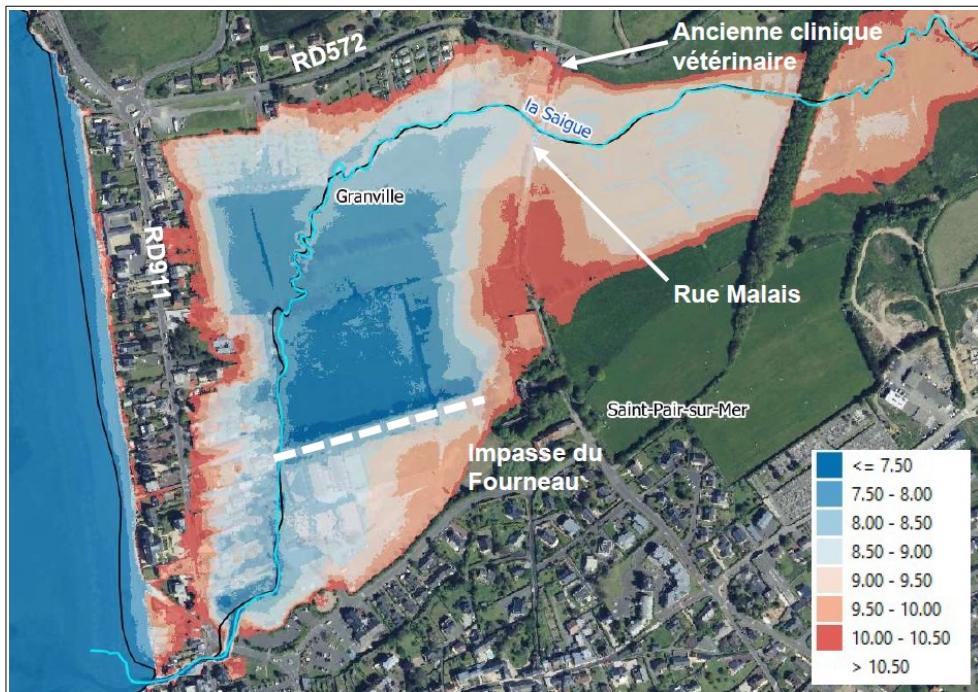


Figure IV.37 : Identification des zones basses autour du tronçon aval de la Saigue – Altimétries en m IGN69 (RGE Alti® V2.0).

Les facteurs qui influencent les débordements du cours d'eau et les risques liés aux inondations sont notamment l'envasement du tronçon aval (diminution des capacités d'écoulement), le remblaiement d'une fraction de la zone d'expansion et en particulier celui au droit du camping (augmentation des hauteurs d'eau dans les zones inondées) et les nombreux méandres du cours d'eau sur sa partie aval (frein à l'écoulement). Ces derniers ralentissent l'évacuation des crues au niveau de la rue Malais, mais ralentissent les écoulements en protégeant les aménagements à l'extrême aval avant le rejet à la mer. Selon les acteurs du territoire, c'est ce second rôle qui est prédominant.

Les acteurs du territoire indiquent également que l'urbanisation grandissante en amont à Saint-Planchers a un impact sur les débits du cours d'eau. Cet impact n'est pas défini.

IV.9.3.2. Ouvrages d'endiguement et de franchissement

En amont de ce tronçon aval, les formes de diguettes des talus bordant la rue Malais, basse, semblent protéger cette dernière ainsi que le bâtiment de l'ancienne clinique vétérinaire contre les inondations. Outre la maison en bordure immédiate du cours d'eau, le camping est l'enjeu principalement menacé en aval de la rue Malais car situé en partie au droit des zones basses.

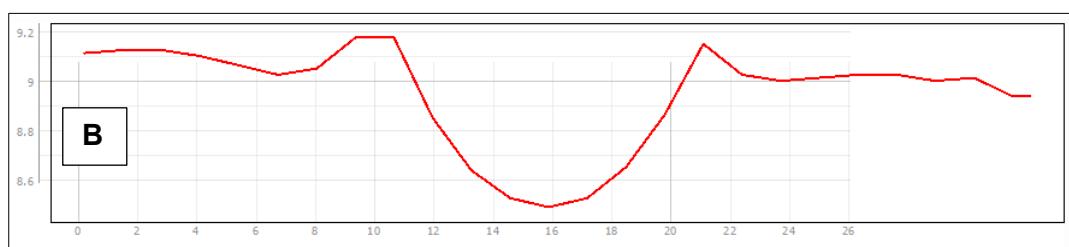


Figure IV.38 : Coupe au droit de la rue Malais – Altimétries en m IGN69 (RGE Alti® V2.0).

La rue Malais franchit la Saigue par le pont de Saint-Pair. Le fond du cours d'eau est à 8,25 m IGN69 à ce niveau. Le débit maximum pouvant transiter par cet ouvrage a été estimé à 6,4 m³/s au maximum

(hypothèse haute du fait d'une restriction de section aval. Il est d'autre part indiqué que la réfection du pont (date non mentionnée) a amélioré les conditions d'écoulements, avec une évacuation plus rapide des crues qu'avant.

IV.10. Problématique de l'évolution des plages et du trait de côte

IV.10.1. Généralités

L'érosion d'une côte meuble sableuse correspond à une perte de sable qui se manifeste par un recul du trait de côte non fixé et/ou par un abaissement du niveau de plage.

Cette érosion, et particulièrement la baisse du niveau de sable en pied des ouvrages de protection longitudinaux en dur, est la problématique qui préoccupe l'ensemble des acteurs du territoire, en particulier les gestionnaires de ces ouvrages.

Pour rappel, le trait de côte sur le secteur est quasiment entièrement fixé par ce type d'ouvrages. Au cours d'un épisode tempétueux, le niveau de plage devant ces ouvrages est susceptible de s'abaisser, avec des conséquences potentiellement dommageables pour ces derniers.

IV.10.2. Données principales de suivi disponibles

IV.10.2.1. Photo-interprétation de la position du trait de côte et indicateur national de l'érosion côtière

Dans le cadre de la Stratégie Nationale de Gestion Intégrée du Trait de Côte, le Ministère de l'Ecologie (MEDDE/CEREMA) a positionné en plan les traits de côte anciens des années 30 et de 1947 et de traits de côte récents de 2009 et 2010 par interprétation de photographies aériennes. Selon la méthode CETMEF/CEREMA de 2012 (*Levé du trait de côte à partir de photographies aériennes orthorectifiées – Proposition de méthodologie nationale*), l'indicateur de position du trait de côte retenu au droit du secteur est la limite de végétation pérenne ou le haut de falaise dunaire dans le cas d'une zone en érosion.

Sur le secteur, l'indicateur national de l'érosion côtière a été déterminé en 2015 par le CEREMA sur la base de ces deux traits de côte de 1947 et 2010. Le taux d'érosion a été calculé de manière automatisée à l'aide du logiciel MobiTC, outil informatique développé par le CETE Méditerranée en 2011-2012.

Cette méthode permet de faire une analyse de plusieurs traits de côte. Son principe est de déterminer la distance entre chacun des traits de côte et une ligne de base arbitraire servant de référence. Cette distance est déterminée à des intervalles réguliers le long de la côte, ici 200 m pour l'indicateur national. Ces distances, ainsi repérées, sont reportées dans un graphique en fonction des différentes dates (1 graphique en début et fin de chaque intervalle). Une analyse statistique (régression linéaire) est alors effectuée ; la pente de la droite représente le taux moyen de recul annuel.

Pour le secteur, le positionnement des traits de côte de 1947 et 2010 et l'indicateur national de l'érosion côtière sont disponibles en formats SIG.

Le ROLNHF, en partenariat avec la DREAL Basse-Normandie, a complété ce travail du CEREMA selon une méthodologie identique, et a développé ainsi une analyse des tendances évolutives du littoral bas-normand sur la base de 6 traits de côte (les deux linéaires côtiers du CEREMA complétés par ceux des années 1977, 1982, 1991/92 et 2001).

Ces traits de côte ne sont déterminés que pour les secteurs non fixés par des ouvrages longitudinaux. Depuis 1947 ces derniers sont très réduits sur le secteur.

IV.10.2.2. Suivi des plages et du stock sableux

Un suivi des plages du département de la Manche est réalisé depuis 1991-1996/1997 (en fonction du secteur) par le laboratoire Centre de Recherche en Environnements Côtiers (CREC)/Station marine de l'université de Caen. Il a été initié dans le cadre de l'étude globale de défense contre la mer des côtes de la Manche (Levoy et Larsonneur, 1994).

Des stations positionnées sur le haut de l'estran servent de repères pour le suivi terrestre et/ou aérien des plages. Elles comportent généralement deux bornes en bois espacées d'une vingtaine de mètres. Elles permettent de mesurer :

- **L'évolution altimétrique des plages**, à partir de la comparaison de profils topographiques et de mesures ponctuelles de variations du niveau de la haute plage prises à l'emplacement des bornes en bois ;
- **L'évolution planimétrique du trait de côte** matérialisé, en fonction de la tendance évolutive, par une limite de la végétation vivace ou une microfalaise d'érosion. Cette matérialisation valable pour le suivi « terrestre » a changé avec le suivi LiDAR (cf. ci-après).

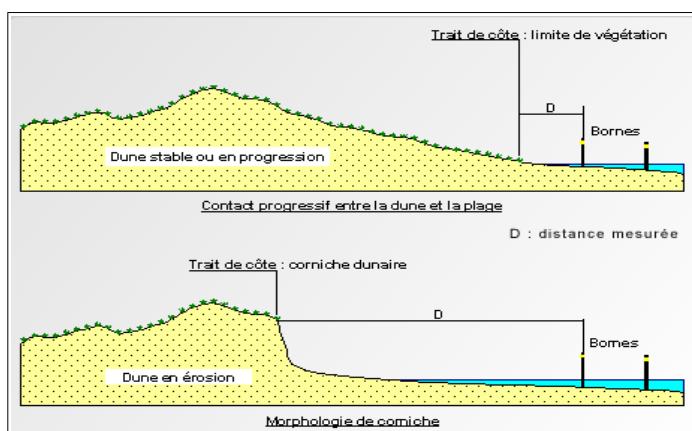


Figure IV.39 : Représentation schématique du positionnement du trait de côte dans le suivi terrestre du CREC.

Les résultats sont disponibles en ligne sur le site crec.unicaen.fr/suivi50/.

La côte ouest du Cotentin est ainsi suivi depuis 1991 sur le secteur. Il est concerné par 7 stations positionnées au droit des communes concernées par le PPRL, SW93 à SW99. 2 stations, SW91 et SW93, se trouvent sur la commune de Granville immédiatement au nord du secteur et concernent la cellule hydrosédimentaire du secteur.

IV.10.2.3. Données d'archives et retour d'expérience des acteurs locaux

Dans les retours d'expérience des gestionnaires, il est ainsi relevé les évènements synthétisés dans le tableau suivant :

Tableau IV.28 : Synthèse des évènements récents d'érosion du trait de côte observés sur le secteur.

Date	Description évènement	Localisation/Ouvrage concerné	Description de l'érosion et conséquences	Action consécutive
Février 1990	Gros coefficients et fort vent fin février	Digue du soleil couchant à Saint-Pair-sur-Mer et Jullouville de la rue du Pont Bleu à l'avenue de Scissy	Abaissement haut de plage, jusqu'à > 4 m au total. Recul du cordon dunaire jusqu'à plus de 10 m à Jullouville	Travaux réparation digue Saint-Pair et Enrochement à Jullouville
Janvier 2000		Dune de la Grâce de Dieu à Saint-Pair-sur-Mer	Erosion de la dune et effondrement de l'enrochement	
19 mars 2007	Vent NO et coeffs 108 à 113	Dune devant la résidence de la Mer à Jullouville (Rés de la mer)	Recul de la dune	
		Partie Sud de la digue bétonnée de Carolles-Plage (entre avenue des Pierrots et avenue de la Plage) et enrochement dans la continuité	Baisse de 70 cm du haut de plage avec déstabilisation de l'enrochement uniquement.	Reprise enrochement en juillet 2007
		Dune de l'Agriculture à Carolles-Plage (au droit de l'avenue des Tamaris)	Recul de la dune	
		Enrochement entre dune de l'Agriculture et cale RD61	Affaissement partiel de l'enrochement	
21 février 2015	Grande marée	Embouchure du Thar, au droit de Kairon Plage	Erosion du cordon dunaire	
Hiver 2016-2017		Enrochement au Nord de Jullouville entre rue du Pont Bleu et avenue de Scissy	Baisse importante du niveau de sable. Recharge naturelle au ¾ pendant l'été	
Janvier 2017		Enrochement au droit du parking Beausoleil, à l'embouchure du Thar	Erosion du remblai soutenant l'enrochement sur l'ensemble de l'ouvrage, avec déplacement blocs	Travaux de remblais en crête en mars 2017
Hiver 2017-2018		Enrochement au Nord de Jullouville entre rue du Pont Bleu et avenue de Scissy	Baisse importante du niveau de sable avec atteinte niveau géotextile.	Recharge naturelle au ¾ pendant l'été
2-3 janvier 2018	Eléonor. Coeff 107	Partie Nord de la digue bétonnée de Jullouville Centre (entre avenue de Scissy et avenue de la Tanguière)	Affouillement en pied d'ouvrage jusqu'à apparition des pieux bois de fondation	Rechargement en tangue
Février 2020	Ciara/Inès		Baisse générale du niveau de sable en haut de plage	
Février 2020	Ciara/Inès	Enrochement entre dune de l'Agriculture et cale RD61		Réenrochement en juin 2020
		Dune devant la résidence de la Mer (Rés de la mer) et de la Plage	Recul de la dune, de 2 m selon mairie	Rechargement d'urgence les 13 et 14 février

IV.10.3. Evolution des plages et problématiques au droit du trait de côte fixé par des ouvrages de protection en dur

IV.10.3.1. Présentation des données de suivi du CREC

Les données disponibles sur le site du CREC font l'objet d'une présentation ci-après sous la forme de cartographies établies sous SIG. Les graphiques disponibles ont été exploités pour déterminer d'autres évolutions relatives entre deux dates et les amplitudes des évolutions sur une période donnée, toujours en prenant en compte que le levé du début de période considérée est le «zéro» de référence pour le calcul de ces paramètres. Pour les amplitudes, il est indiqué l'évolution négative maximale/l'évolution positive maximale autour de cette référence. Lorsqu'il n'y a pas d'évolution négative ou positive sur la période, aucune valeur n'est indiquée : « -145/- » par exemple.

Au total, 5 types d'indicateurs de suivi sont disponibles pour le suivi des évolutions sur une période donnée : les tendances altimétriques en cm/an et les écarts relatifs de volume en m³/ml pour le profil de plage et la haute plage, et les évolutions altimétriques relatives du haut de plage (pied de borne) en cm.

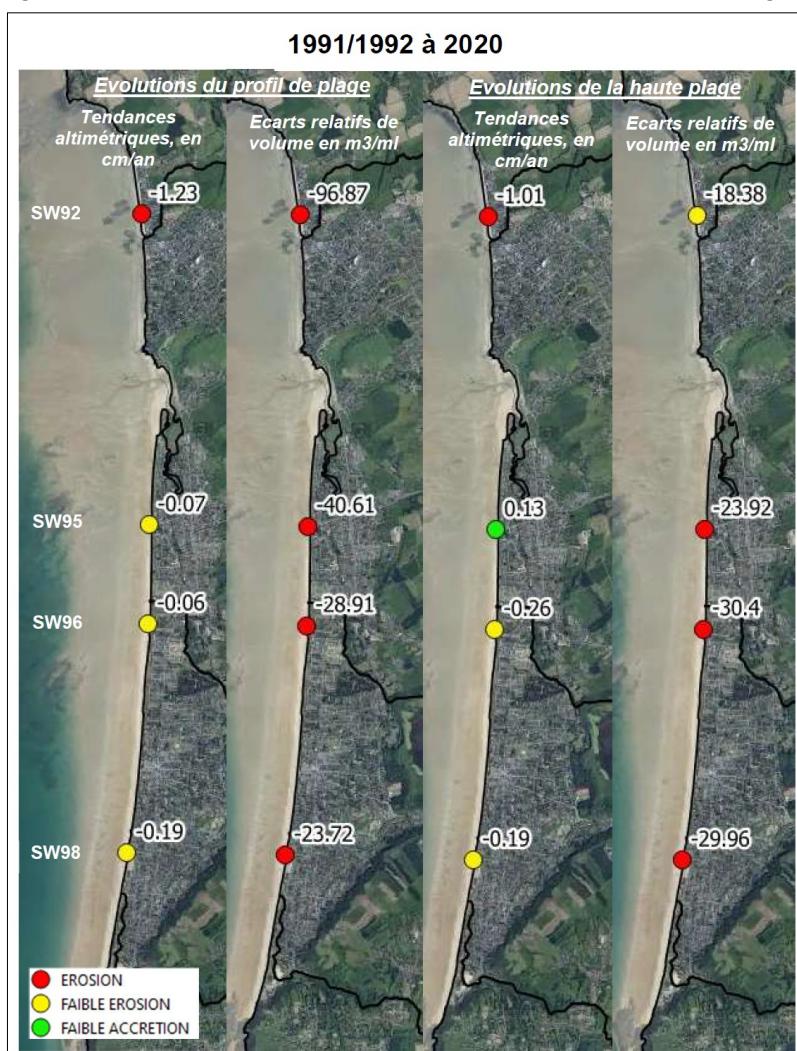


Figure IV.40 : Tendances d'évolution en cm/an du niveau et évolutions relatives du volume en m³/ml entre 1991/1992 et 2020 pour le profil de plage (deux à gauche) et pour la haute plage (deux à droite).

L'analyse générale de ces données chiffrées de suivi du CREC montre que **sur une période longue de presque 30 ans (1991/1992 à 2020)**, la totalité de la côte basse sableuse entre Granville au nord et Carolles au sud fixée par des ouvrages de défense subit une érosion plus ou moins importante. L'ensemble des indicateurs disponibles traduisent cette érosion sur cette période, à l'exception d'un seul : la tendance d'évolution altimétrique de la haute plage pour la station SW95 au droit de Kairon-plage. Cette dernière montre une légère accrédition sur la période.

Remarque : La station SW99 à l'extrême sud de la côte sableuse étudiée est exclue de cette analyse sur la période longue puisque les tendances altimétriques et écarts relatifs de volume pour le profil de plage et la haute plage ne sont fournies que pour la période 2009-2020, et le graphique des évolutions altimétriques levé par levé s'arrête en mars 2008.

L'observation des indicateurs sur les périodes 1991/1992 à 2009 et 2009 à 2020 permet d'affiner cette analyse générale, et de mieux comprendre les phénomènes.

De 1991/1992 à 2009, l'ensemble de la côte sableuse fixée de Saint-Nicolas-Plage à Granville au nord jusqu'au lieu-dit Les Sapins au sud de Kairon-Plage (limite nord de la commune de Jullouville) peut être considérée globalement stable.

Les niveaux et volumes de plage en septembre/octobre 2009 étaient très proches de ceux en 1991/1992 pour les stations SW91, SW92, SW95 et SW96. Seule la station SW93 au nord du débouché du Thar au niveau de la rue de Scissy à Saint-Pair-sur-Mer accusait une baisse du niveau de la haute plage. Cette baisse, de 25 cm, restait néanmoins relativement faible. Le graphique du suivi levé par levé des altimétries du haut de plage montre de plus qu'une phase de remontée continue du niveau entamée début 1995 s'achevait en septembre 2019, après une baisse importante d'1,5 m de ce dernier entre janvier 1992 et avril 1995.

Au droit du perré de Jullouville en revanche, les données de suivi des stations SW97 et SW98 indiquent que le niveau du haut de plage a très vite significativement baissé au début du suivi, et qu'il s'est ensuite stabilisé autour d'un niveau plus bas d'1m en moyenne (en ordre de grandeur) par rapport à celui de 1991/1992.

Sur cette période de 1991/1992 à 2009, seule l'extrême sud de la côte sableuse étudiée, au nord immédiat de la falaise de Carolles, présentait une réelle accrédition avec une augmentation de près d'1 m du niveau du haut de plage (station SW99).

C'est en réalité sur la période **de 2009 à 2020** que l'érosion de cette côte fixée par des ouvrages de défense est marquée et qu'elle se généralise à l'ensemble du linéaire étudié. Les secteurs déjà en érosion voient le phénomène s'accentuer et s'accélérer.

Ainsi, au droit de Saint-Pair-sur-Mer (station SW93), la remontée du niveau de la haute plage évoquée précédemment a brutalement stoppée et ce niveau a fortement baissé : 1,5 m environ de septembre 2009 à avril 2020. Cette baisse du niveau est accompagnée d'une perte significative de volume de sable, la plus importante du linéaire de côte étudié pour le profil et la haute plage sur la période 2009-2020.

Au droit du perré de Jullouville (stations SW97 et SW98), le niveau du haut de plage a de nouveau perdu environ 1,20 m de hauteur de sable de septembre 2009 à avril 2020, soit autant en 10,5 ans qu'en presque 18 ans de 1992 à 2009.

Pour les stations SW93 de Saint-Pair-sur-Mer et SW98 au droit du perré de Jullouville, la perte de niveau en avril 2020 est pour le moment dans des proportions proches des pertes maximales déjà vécues en 1994/1995. Ce n'est pas le cas au droit de la station SW97 au droit du perré de Jullouville où les niveaux du haut de plage en avril 2020 sont environ 50 cm plus bas que les minimums atteints sur la période 1992/2009. A ce niveau, le haut de plage en avril 2020 est 2 m plus bas qu'en janvier 1992. C'est la baisse la plus conséquente observée depuis l'état initial au début du suivi sur le linéaire de côte

étudié. Néanmoins, un point positif au droit de cette station SW97 est que le volume de profil de plage est en augmentation sur la période 2009-2020, de manière non négligeable. Hormis le très haut de plage, le profil de plage a tendance à plutôt s'élever.

D'autre part, les secteurs qui présentaient une stabilité subissent maintenant une érosion nette. Cette observation est là encore à nuancer en fonction des secteurs.

Saint-Nicolas-Plage au droit de Granville au nord (stations SW91 et SW92) présente une érosion limitée. Le niveau du haut de plage en avril 2020 est supérieur aux niveaux les plus bas observés sur la durée du suivi, notamment de 1991/1992 à 2009. Tandis que le volume du haut de plage reste globalement stable voire en légère accrédition, avec le maintien d'une dune embryonnaire en très haut de plage, le profil de plage a subi une perte de volume non négligeable sur la période 2009-2020 (3 et 4^{ème} valeur les plus fortes sur le linéaire de côte).

Outre la dune embryonnaire, la plage au nord de la piscine d'eau de mer est également constituée de cailloutis, vraisemblablement produits par d'érosion du platier rocheux et/ou du Roc de Granville au nord. La photo suivante prise en octobre 2021 montre l'importance de ces cailloutis en quantité.



Figure IV.41 : Vue de Saint-Nicolas-Plage au nord de la piscine d'eau de mer de Saint-Pair-sur-Mer le 15/10/2021 (DHI).

Au droit de l'enrochement de Kairon-Plage et jusqu'à l'extrémité nord de Jullouville (stations SW95 et SW96), l'érosion est inédite pour une plage qui est restée très stable jusque mai 2014 voir un peu au-delà. Le niveau de la haute plage a ainsi baissé de 0,50 à 1 m en ordre de grandeur du nord au sud, et le profil et le haut de plage accusent une perte de volume de sable non négligeables.

A noter que l'élévation du niveau constatée fin des années 90/début des années 2000 au droit de la station SW96 résulte de la construction en 1995-1996 de l'ouvrage en enrochements et d'une partie en remblais.

IV.10.4. Evolution des secteurs non fixés par des ouvrages en dur

IV.10.4.1. Débouché du Thar

Les données de suivi du trait de côte et de la plage disponibles au droit du secteur du débouché du Thar sont principalement celles issues des photo-interprétations du CEREMA/ROLNHF, et de la station SW94 du CREC (suivi de janvier 1992 à avril 2020) pour la flèche sableuse en partie sud.

Des données complémentaires récentes de suivi ont été récupérées. Il s'agit de celles :

- de la DDTM, qui complète le suivi de la position du trait de côte. Les positions de 2018, 2019 et 2020 en automne et au printemps 2019 ont été récupérées.
- de Granville Terre-et-Mer qui a réalisé des campagnes de suivi de la flèche sableuse en partie sud du débouché en préalable et après l'installation des premières fascines en octobre 2019. Ce suivi consiste en des observations et des levés terrestres au GPS pour suivre le positionnement du pied de cordon dunaire et quelques profils intégrant le haut de plage et l'interface avec ce cordon. Les suivis de septembre et décembre 2019, c'est-à-dire juste avant et juste après installation des fascines, ainsi que celui de juillet 2020 ont été mis à disposition.

Au nord de l'enrochement du lieu-dit Beausoleil, le positionnement des traits de côte de 1947 à 2019 montre très clairement qu'une encoche d'érosion s'est créée avec un recul du trait de côte de 1947 à 2010 estimé en ordre de grandeur entre 15 et 25 m. Depuis 2010, cette encoche n'a pas progressé avec une stabilisation du trait de côte.

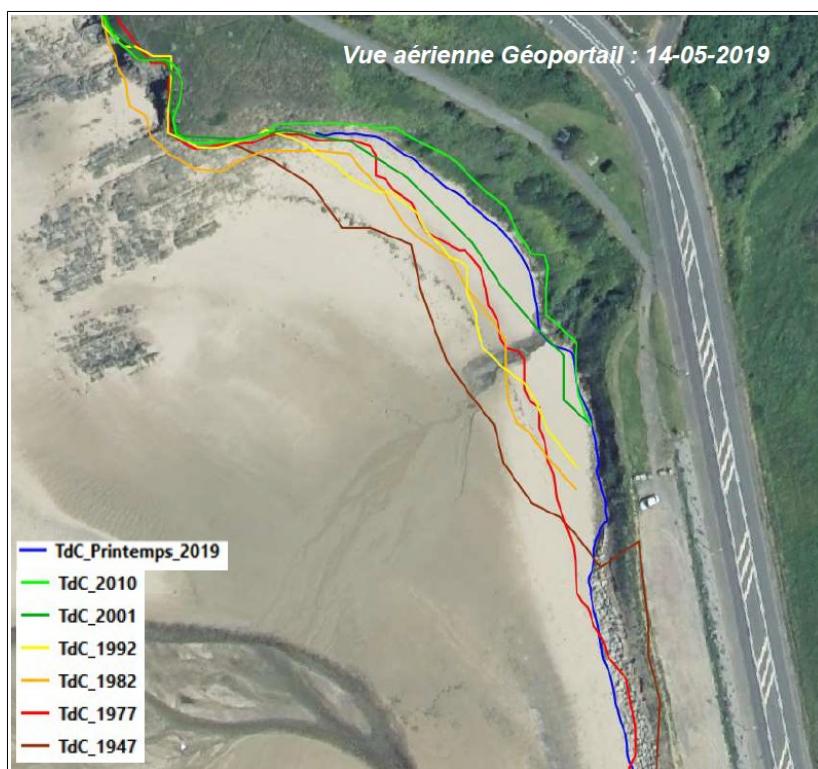


Figure IV.42 : Evolution du trait de côte de 1947 à 2019 au nord de l'enrochement Beausoleil (Sources : CEREMA/ROLNHDF/DDTM).

Au droit du débouché proprement dit, l'observation des traits de côtes montre :

- le développement/redressement de la flèche sableuse vers le nord en rive gauche du Thar, avec une morphologie générale de cette flèche (limites en plan et emprise) qui s'est globalement stabilisée. Tous les levés de trait de côte depuis 2001 sont en effet compris dans une enveloppe très resserrée ;
- un développement du schorre en rive droite du Thar, le long de la RD911, entre 1947 et aujourd'hui. Cette progression a connu une phase régressive au début des années 1990 avec un recul significatif du trait de côte (une trentaine de mètres au maximum en comparant les traits de côte de 1992 et 1982). Dans les années 2000, la surface de schorre a de nouveau augmenté.

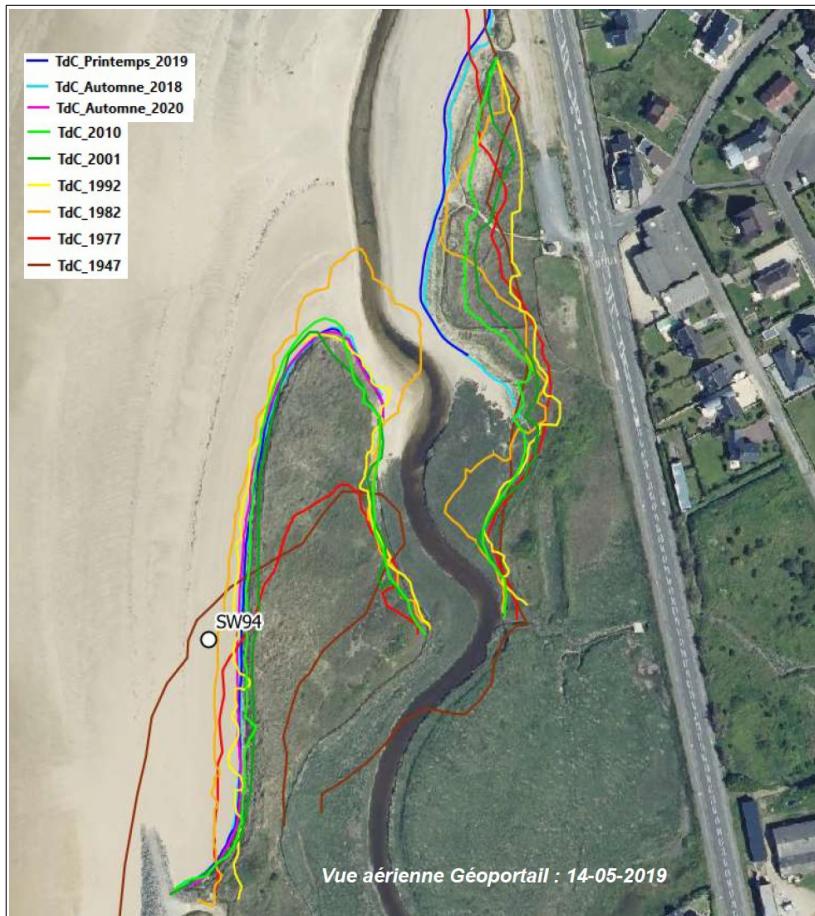


Figure IV.43 : Evolution du trait de côte au débouché du Thar de 1947 à 2020 (Sources : ROLNHDF).

La station de suivi SW94 du CREC se trouve au droit de la flèche sableuse, plutôt sur sa partie sud. Les deux figures suivantes montrent un zoom sur la position en plan des traits de côte de 1947 à 2020 sur la partie sud de la flèche et un graphique d'évolution du trait de côte de janvier 1992 à avril 2020 issu des mesures du CREC. Les deux sources d'information sont cohérentes et complémentaires.

La « linéarisation » de la flèche jusque dans les années 80/90 est très probablement liée à l'aménagement de la côte et à sa protection longitudinale en dur au sud. Elle a impliqué le recul du trait de côte sur la partie sud de la Flèche.

Les données disponibles montrent qu'après une légère phase d'accrétion au début des années 90, cette partie sud de la flèche a connu successivement une phase de recul de 7 ans de début 1998 à fin 2004, puis une phase d'accrétion jusqu'à l'automne 2019. De l'automne 2019 à l'automne 2020, le trait de côte a reculé pour retrouver une position qui est quasi-identique à celle de 1992.

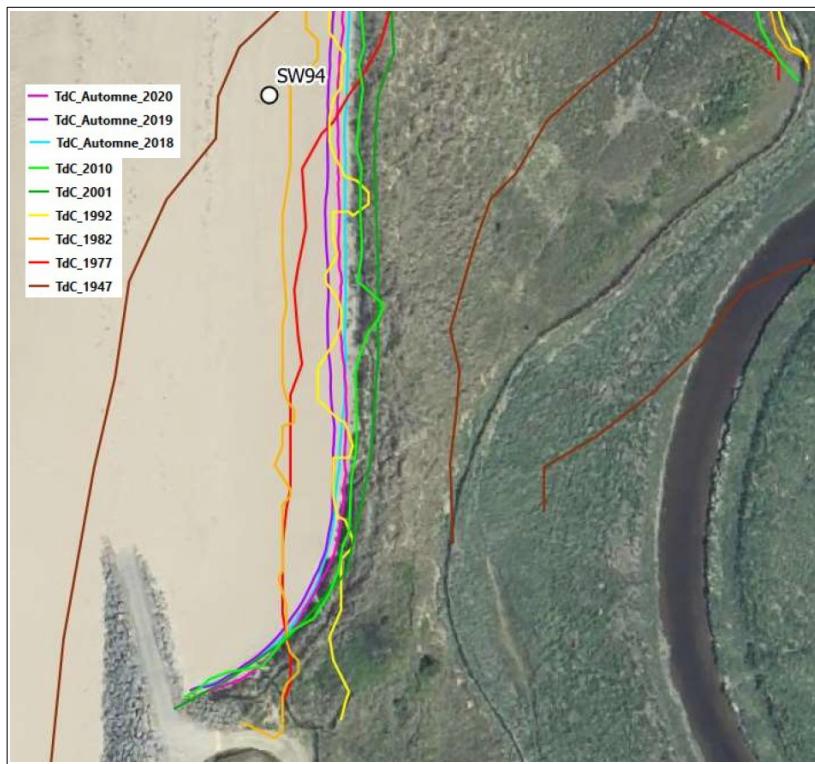


Figure IV.44 : Evolution du trait de côte au débouché du Thar de 1947 à 2020 – Zoom sur la racine de la partie sud de la flèche sableuse (Sources : ROLNHDF).

Le suivi du CREC concerne également le niveau du haut de plage. Il montre logiquement que ce dernier a suivi les mêmes variations que celles de la position du trait de côte, mais décalée dans le temps. En effet, la baisse du haut de plage a eu lieu de 1995 à avril 2000, avec une très forte baisse (2,5 m sous le niveau initial du suivi) qui s'est produite en 1995. Ce décalage dans le temps s'explique par le creusement important du haut de plage qui précède une phase d'abord une phase de raidissement du talus du cordon dunaire avant de provoquer, dans un second temps, le recul de ce dernier.

La partie la plus étroite du cordon dunaire, à l'extrême sud de la flèche, ne semble pas connaître de variations différencierées par rapport à celles présentées ci-dessus.

Les éléments du suivi réalisé par Granville Terre et Mer depuis la mise en place des fascines permettent toutefois de compléter cette analyse. Dans le cadre de ce suivi, GTM lève au GPS les 3 mêmes profils localisés sur la figure suivante ainsi que le trait de côte déterminé en considérant la ligne des végétaux fixés (densité > 2 plants/m²) et le point d'inflexion de la pente.

D'après les observations de GTM en juillet 2020, le site ne présente globalement pas de signe d'érosion importante. La partie sud de la flèche, entre les dernières fascines et la cale d'accès à la mer en bout d'enrochement, est néanmoins plus exposée à l'érosion du fait des ouvrages en durs. Les fascines les plus au sud sont de plus installées différemment de celles au nord, et notamment moins proche du trait de côte. Sur cette partie sud du cordon, il est donc observé en juillet 2020 des signes d'érosion qui sont une pente marquée et dénuée de végétation, ainsi qu'un déchaussement des ganivelles en crête de dune. Sur l'extrémité sud, au raccordement avec la cale, le pied de dune est légèrement plus bas de 5 à 20 cm que la moyenne sur le reste de la flèche.

A l'exception de cette partie sud, il est observé par GTM que la végétation progresse bien sur la pente du cordon dunaire et qu'elle colonise progressivement la partie haute de l'estran jusqu'aux boxes des fascines. Il n'est pas observé de raidissement significatif de la pente du cordon dunaire pour les profils

CD et AB. Néanmoins le pied de cordon a globalement baissé sur l'ensemble de la flèche entre septembre 2019 et juillet 2020 :

- au droit du profil CD, le haut de plage s'est abaissé de 40 cm au plus sur 10 m environ en avant du pied de cordon, mais le profil s'est très légèrement engrassé à une vingtaine de mètres du pied de cordon ;
- plus au nord, au droit du profil AB, la plage en pied de cordon s'est abaissée de 20 à 30 cm. La plage s'est abaissée de 50 cm jusqu'à environ 25 m en avant du pied de cordon ;

En février 2021, 5 nouvelles retenues de sables à l'aide de fascines ont été réalisées, dont 2 à son extrémité sud au niveau de l'endroit où la flèche est la plus mince.



Figure IV.45 : Vue des deux nouvelles fascines au droit de la partie mince de la flèche, au premier plan (Ville de Saint-Pair-sur-Mer).

Le dernier suivi de septembre 2021 est encourageant puisqu'il est noté un rehaussement général du niveau de sable de + 5 à + 50 cm au droit des fascines de 2019 et de + 25 à + 65 cm au droit de celles posées début 2021. Au pied du poteau du CREC (SW94, c'est un gain de 13 cm qui est relevé. D'autre part, la végétation s'est fortement densifiée entre les différents ouvrages et le cordon dunaire.



Figure IV.46 : Vue des fascines et du pied de la flèche sableuse en septembre 2021 (Ville de Saint-Pair-sur-Mer).

Ces résultats positifs en septembre 2021 sont à nuancer par une période de conditions faiblement énergétiques vécue pendant l'année, et en particulier pendant l'hiver 2020/2021.

IV.10.4.2. Cordon dunaire à l'exutoire du Crapeux

Au niveau de l'exutoire du Crapeux, il subsiste encore pour le moment un cordon dunaire non protégé par un ouvrage en dur. Ce cordon est à cheval entre les communes de Jullouville et Carolles et est situé entre le perré de Jullouville au nord et l'enrochement au sud sur la commune de Carolles.

L'observation des traits de cotes de 1947 à 2010 positionnés par le CEREMA/ROLNHF (cf. Figure IV.47) indique une progression comprise entre 5 à 10 m de 1947 à 2001, puis une érosion du même ordre de grandeur de 2001 à 2010.

Ce secteur peut subir des reculs importants en période de tempêtes. Il est néanmoins prévu de le protéger à court terme (2 ans) par un ouvrage longitudinal en enrochement.



Figure IV.47 : Evolution du trait de côte au droit du cordon dunaire à l'exutoire du Crapeux de 1947 à 2010 (Sources : ROLNHDF).

IV.10.4.3. Dune de l'Agriculture

Au sud du secteur, sur la commune de Carolles, la dune de l'Agriculture est coincée entre des protections longitudinales en dur du trait de côte.

L'observation des traits de cotes de 1947 à 2010 positionnés par le CEREMA/ROLNHF (cf. Figure IV.48) montre un recul important entre 1947 et 1982, de près de 40 m au maximum. Le cordon a ensuite été

reformé avec globalement une progression du trait de côte entre 1982 et 2010 pour aboutir à un positionnement environ 10 m en arrière de celui de 1947.

Sur la partie nord de la dune, il est observé un recul de 5 m maximum entre 2001 et 2010.



Figure IV.48 : Evolution du trait de côte au droit de la dune de l'Agriculture à Carolles de 1947 à 2010 (Sources : ROLNHDF).

Le positionnement des traits de côte de 1982 et 2001 ne semblent pas réalistes aux acteurs du territoire, qui indiquent qu'il est plutôt lié à la présence de sables volage (induisant ainsi une erreur sur l'interprétation du positionnement du trait de côte réalisé sur la base de la limite de végétation).

IV.10.5. Éléments de témoignage divers sur l'évolution des plages

Selon les acteurs locaux, la côte sur une tendance érosive qui dure depuis le début des années 90. Avant cela, il y avait beaucoup de sable au pied des ouvrages. Les tempêtes récentes Eleanor et Ciara ont provoqué un abaissement généralisé du haut de plage.

Les observations particulières par zone sont les suivantes, du sud au nord :

- selon l'ASA de Carolles, l'enrochement au sud immédiat de la digue bétonnée entre l'avenue des Pierrots et l'avenue de la plage (ouvrage n°3) est un point de faiblesse de la protection. L'enrochement est à priori faiblement enraciné et peut être déstabilisé en cas d'affaissement de la plage, comme en mars 2007.
- l'extrémité nord de la digue bétonnée de Jullouville entre l'avenue de Scissy et l'avenue de la Tanguière est une zone identifiée par l'ASA de Jullouville Centre où les risques d'abaissement du haut de plage sont plus importants. Les fondations de l'ouvrage ont été découvertes après le passage de la tempête Eleanor, les 2-3 janvier 2018, mais la baisse a eu lieu tout l'hiver 2017-2018.
- la zone le long de la RD911, au niveau du débouché du Thar, est mentionnée par les acteurs locaux comme une zone de forte érosion par les élus. L'enrochement est sollicité et a subi des

dégradations en janvier 2017. La partie nord de l'ouvrage est la plus sollicitée/fragile selon la commune de Saint-Pair-sur-Mer ;

- le haut de plage au droit de l'enrochement au nord immédiat de la pointe rocheuse du Thar a baissé d'1 à 1,50 m à l'hiver 2019/2020, et l'enrochement s'est affaissé ;
- le niveau de plage au droit de la partie au nord de la pointe rocheuse jusqu'au débouché de la Saigue est très fluctuant selon la ville de Saint-Pair-sur-Mer. La tangue sous le sable peut être atteinte lorsqu'une tempête ou plusieurs érodent la plage, ce qui est à priori de plus en plus le cas.

IV.10.6. Synthèse

La fixation généralisée du trait de côte par des solutions en dur, comme c'est très majoritairement le cas sur ce site, engendre de manière générale un démaigrissement des plages et en particulier ces phénomènes d'érosion du haut de plage par réflexion de la houle sur les ouvrages, notamment pendant les périodes de tempêtes très énergétiques.

Cette érosion est très souvent source de dégâts causés aux ouvrages, ce qui est observé au droit du secteur (recensement des dommages et témoignages).

Les indicateurs de suivi montrent une tendance actuelle à l'érosion généralisée de la côte sableuse étudiée, à quelques exceptions près, et un abaissement parfois important du haut de plage au pied des ouvrages de protection longitudinale.

Le suivi réalisé par le CREC permet de dire que sur la période 2009-2020, seule la plage de Carolles à l'extrême sud du secteur montre une stabilité, voire une tendance d'évolution légèrement positive. Les tendances d'évolutions altimétriques du profil et de la haute plage de mai 2019 à avril 2020 montrent une érosion nette et parfois forte pour l'ensemble de la côte sableuse, y compris à son extrémité sud.

Attention néanmoins à prendre en compte les effets de tempêtes (abaissement possible de plus d'un mètre) et d'éventuels effets de cycles longs pour établir les tendances futures. Après la tempête de 1967, le niveau de plage était très bas : était-on dans une tendance érosive longue ? Le niveau de sable le plus bas connu figure à 5,38 m IGN69 sur un plan d'archives du perré de Carolles au sud du site. Soit 90 cm sous le niveau actuel (estimation).

Dans les commentaires du suivi disponibles sur son site, le CREC nuance les observations chiffrées concernant les variations des volumes du profil de plage à l'aide des comparaisons visuelles des profils. Il indique de manière générale que les pertes de sable en volume sont essentiellement liées à la baisse de la très haute plage, au pied des ouvrages de défense contre la mer.

Les observations et les dommages historiques tendent à confirmer la tendance érosive.

De manière générale, certains secteurs semblent plus à risque, comme l'extrême nord du perré béton principal de Jullouville (Ouvrage n°6), l'ouvrage n°9 en enrochement au débouché du Thar, ou de manière générale les transitions entre ouvrage de nature différente. La digue principale de Jullouville est particulièrement vulnérable, car sa partie supérieure n'est pas protégée. Il existe un projet de renforcement général de l'ouvrage.

À noter que les ouvrages transversaux présents au droit du site ne semblent pas avoir d'effets notables sur le transit sédimentaire, et donc sur l'évolution des stocks sédimentaires devant les ouvrages. Seule la piscine d'eau de mer de Saint-Pair-sur-Mer semble avoir provoqué le démaigrissement de la plage, selon les acteurs du territoire.

Concernant les secteurs non fixés par des ouvrages en dur, les perspectives et les enjeux sont différents :

- la Dune de l'Agriculture est protégée par des ganivelles mais subit de l'érosion. L'évolution historique du trait de côte au droit de cette dune est incertaine. La transition avec le perré au nord est un point de fragilité, à un endroit où la dune est la plus mince. Rien n'indique qu'elle fasse l'objet d'un suivi régulier ;
- le cordon dunaire au droit de l'exutoire du Crapeux a lui aussi subi des reculs majeurs à l'occasion de tempêtes, de plusieurs mètres, mais il sera à court terme protégé par un enrochement ;
- la portion de cordon dunaire avant le perré en béton principal de Jullouville n'est pas protégée et il n'est pas prévu qu'elle le soit. Il n'y a pas réellement de problématique mise en avant sur ce secteur ;
- la flèche sableuse du Thar est quant à elle protégée par des fascines, suivie régulièrement et le système de protection est entretenue et complété/amélioré. La partie mince de la flèche est évidemment la zone où une brèche serait la plus simple à créer et où les conséquences seraient peut-être les plus fortes, avec en arrière le point bas de la RD911 ;
- enfin, l'encoche d'érosion au nord du débouché du Thar, juste au sud de la pointe rocheuse, semble active et assez continue depuis 1947. Potentiellement, cette érosion si elle se poursuit peut menacer la RD911. A voir néanmoins si cette érosion ne sera pas limitée par la présence du substratum rocheux avant cela (limite nord du massif dunaire géologique).

V. Qualification de l'aléa

V.1. Caractérisation de l'aléa érosion

Le phénomène d'érosion d'une côte naturelle, interface du domaine maritime et continental, est la **perte définitive ou cyclique** de matériaux constitutifs de cette côte (sédiment ou roche) sous l'effet de l'assaut des sollicitations hydrauliques marines, mais également des conditions climatiques terrestres (pluie, vent, etc.). Il peut être accéléré par les actions directes de l'homme : sur-fréquentation d'un site, aménagements et ouvrages de protection du littoral, etc.).

L'érosion est le phénomène qui entraîne :

- un abaissement du haut de l'estran, que ce soit une plage de sable ou de galets ou un platier rocheux ;
- un recul du trait de côte vers l'intérieur des terres. Ce trait de côte est généralement marqué par le pied du cordon dunaire végétalisé ou la limite haute de l'estran pour les côtes basses meubles, ou la bordure des falaises (ligne de crête ou pied).

Pour les côtes meubles uniquement, ce phénomène d'érosion est à différentier impérativement de la mobilité naturelle du trait de côte. Cette mobilité est marquée par l'évolution de la morphologie des estrans et cordons dunaires. Elle se traduit par des successions de pertes et de gains de matériaux sur des cycles saisonniers ou plus longs.

La détermination de cet aléa érosion s'appuie sur :

- la connaissance de l'évolution dans un temps le plus long possible des positions du trait de côte, et de l'altimétrie du haut de plage. L'objectif étant de déterminer des évolutions moyennes dans le passé ;

Deux outils principaux sont principalement utilisés pour connaître l'évolution de la position du trait de côte : les photographies aériennes et, plus récemment, les levés topographiques. Les données disponibles permettent généralement d'avoir plus de 50 années d'observation de la variation de la position du trait de côte. Pour l'évolution altimétrique du haut de plage, les levés topographiques sont utilisés ;

- des observations visuelles peuvent être utilisées, mais avec un degré de précision moindre ;
- la connaissance des évènements tempétueux ou ponctuels historiques et de leurs conséquences sur la côte. La quantification des effets de tels évènements est soit réalisée par des levés, mais le plus souvent par de simples observations visuelles effectuées lors de visites post-événement ;
- de manière générale, une connaissance du fonctionnement du littoral, et particulièrement des mouvements sédimentaires le long des côtes intégrant le rôle des ouvrages aménagés et des actions anthropiques diverses.

Elle est entachée de nombreuses et diverses imprécisions et incertitudes, qui peuvent être liées notamment :

- à la précision des photographies, levés ou observations visuelles permettant de quantifier les évolutions passées et les évènements exceptionnels ;
- aux diverses définitions d'un trait de côte naturel (pied de cordon dunaire, rupture de pente significative, limite de la végétation, laisses des plus hautes-mers, etc.), et à l'imprécision de son positionnement inhérente au type de définition retenu ;
- à la précision des différents levés topographiques effectués sur la durée de suivi ;
- pour les effets des évènements tempétueux, à la précision de la connaissance de l'état de référence « avant tempête ».

V.1.2. Rappels de la démarche classique PPRL pour la détermination de l'aléa érosion

Selon le guide méthodologique des Plans de Préventions des Risques Littoraux, la détermination de l'aléa érosion, systématiquement qualifié d'**aléa fort uniquement**, consiste à déterminer la tendance **irréversible** à long terme du recul du trait de côte, en intégrant les mobilités cycliques et un évènement brutal ou ponctuel. Ainsi la démarche consiste à déterminer un aléa de référence à 100 ans basé sur un taux moyen de recul, T_x en mètres par an, appliqué sur 100 ans et sur l'ajout d'un recul brutal survenant au cours d'un évènement tempétueux, L_{max} en mètres.

L'aléa recul du trait de côte est donc défini sur les secteurs en érosion comme la zone délimitée par le trait de côte projeté à 100 ans.

Le recul du trait de côte lié à un évènement tempétueux majeur L_{max} peut être déterminé par une analyse des reculs ponctuels passés lorsque des données historiques sont disponibles. Pour les plages sableuses, le recul L_{max} concerne la variation morphologique du haut de plage, au niveau du cordon dunaire. L'estimation de L_{max} s'appuie sur les indicateurs associés au haut de plage (pied de dune).

Sur les secteurs stables, l'aléa recul du trait de côte est déterminé uniquement par le recul lié à un évènement tempétueux.

Sur les secteurs en accrétion, aucun aléa recul du trait de côte n'est pris en compte.

Dans cette démarche, les projections dans le futur les tendances d'évolutions observées et des évènements passés doivent tenir compte d'une analyse experte du fonctionnement du littoral ayant pour objet de déterminer en particulier :

- la possibilité de considérer qu'une évolution moyenne déterminée dans le temps passé sera linéaire dans le futur ;
- la manière d'intégrer l'évènement tempétueux ou ponctuel, qui peut provoquer un recul brutal, dans une projection à long terme (sachant que des évènements sont déjà forcément intégrés dans les évolutions moyennes déterminées) ;
- la pertinence, la possibilité et la manière de prendre en compte les effets du changement climatique.

Le rôle des ouvrages de protection est pris en compte dans la durée. Une fixation du trait de côte par un ouvrage peut être considérée définitive ou temporaire, en fonction de la pérennité de l'ouvrage et/ou du comportement des secteurs adjacents. La méthodologie suivie est celle décrite par le logigramme ci-après.

V.1.3. Caractérisation proprement-dite de l'aléa érosion ayant un impact sur l'aléa submersion

Pour rappel, l'objet du présent PPRL n'est ni de zoner, ni de réglementer l'aléa recul du trait de côte.

Cet aléa n'est caractérisé ici qu'en fonction de l'impact qu'il peut avoir sur l'aléa submersion à échéance 100 ans.

V.1.3.1. Secteurs artificialisés

Sur l'ensemble des secteurs protégés par des ouvrages longitudinaux, **il est considéré que les ouvrages seront maintenus et entretenus dans le temps.**

Il est considéré compte-tenu des enjeux que les dégâts, qui seraient engendrés ou amplifiés par la baisse du niveau de plage, et qui pourraient provoquer l'attaque du cordon dunaire en arrière, pourront être réparés avant de provoquer un recul ou une brèche dans le cordon dunaire susceptible d'engendrer un aléa submersion.

Cette considération repose sur le mode de gestion historique des ouvrages et aux projets de renforcement/amélioration en cours (comme celui du perré béton principal de Jullouville) et sur le fait que la partie très élevée (par rapport aux niveaux marins extrêmes actuels et futurs) du cordon est suffisamment large et massive pour empêcher cela.

Les études en phase 1 ne permettent pas d'affirmer que la tendance érosive observée sur le secteur du début des années 90 au début des années 2020 va se poursuivre, et qu'une configuration de plage au pied des ouvrages longitudinaux plus basse que celles historiquement vécues va se produire.

Sur ces secteurs artificialisés, il n'est donc pas caractérisé d'aléa érosion ayant un impact sur l'aléa submersion.

Il n'empêche que l'impact des phénomènes d'érosion sur les ouvrages doit faire l'objet d'un suivi par les gestionnaires. Pour rappel, certains secteurs semblent particulièrement à surveiller comme l'extrémité Nord du perré béton principal de Jullouville, l'ouvrage en enrochement au débouché du Thar, ou de manière générale les transitions entre ouvrage de nature différente.

La digue principale de Jullouville est particulièrement vulnérable car sa partie supérieure n'est pas protégée. Elle le sera d'autant plus à long terme avec l'élévation du niveau de la mer. Mais comme indiqué plus haut, il existe un projet de renforcement général de l'ouvrage.

V.1.3.2. Dune de l'agriculture

La dune de l'Agriculture se situe sur la commune de Carolles. Elle subit de l'érosion avec un recul du trait de côte sur le long terme (recul maximum estimé entre 10 et 15 m entre 1946 et 2022). Elle fait actuellement l'objet de protection de type ganivelles qui semblent actuellement bénéficier à la reprise de la végétation en pied de dune. Si les positions historiques du trait de côte ne sont pas toutes certaines sur ce secteur (notamment du fait des sables volage), ce trait de côte ne semble pas avoir significativement évolué sur ces 20 dernières années.

La transition avec le perré au Nord a été classifiée comme un point de fragilité.

Du fait de la tendance actuelle à la stabilité, voir à la reprise de la végétation, et aux actions entreprises pour maintenir cette dune, il n'est pas considéré que celle-ci puisse disparaître par un recul du trait de côte sur le long terme.

Concernant le recul ponctuel, il a été utilisé une **méthode FEMA** pour étudier le risque de rupture par brèche au droit de deux profils du cordon dont celui de plus faible largeur sur sa partie Nord.

La méthode FEMA (Federal Emergency Management Agency), permet de prendre les profils de dune et calculer la surface de dune érodé en fonction de la période de retour T associé à un niveau d'eau. Il permet de déterminer la résilience des cordons dunaires. Pour un profil perpendiculaire au trait de côte, la dune est érodée d'une aire « A » (en m²) selon la formule suivante :

$$A = 8 \times T^{0.4}$$

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. Si cette surface est supérieure à 50 m², la dune est censée résister à la tempête.

En considérant le niveau d'eau centennal à échéance **100 ans** avec prise en compte d'un changement climatique et une augmentation du niveau de la mer de **60 cm**, ainsi qu'une incertitude de **25 cm**, soit une valeur de niveau d'eau finale de 8.97 m IGN69, le résultat du calcul est le suivant pour la dune de l'Agriculture :

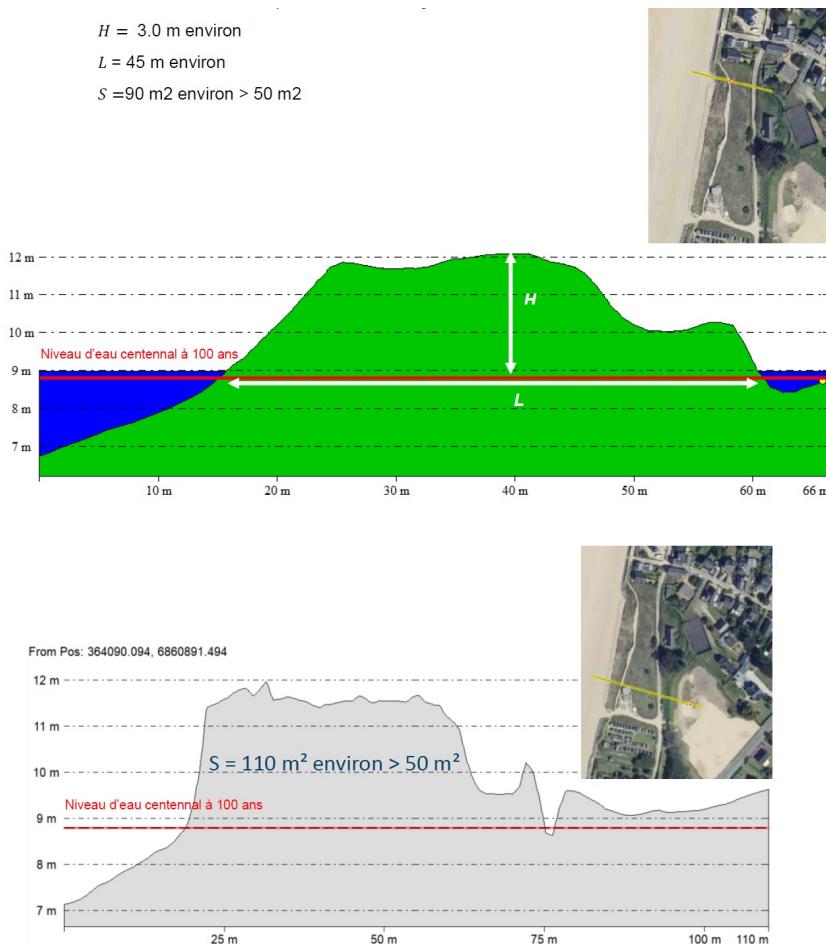


Figure V.1: Application de la méthode FEMA sur deux profils de la dune de l'agriculture.

La dune de l'agriculture **est considérée résiliente** face à une tempête centennale à échéance 100 ans selon la méthode FEMA.

Il n'est donc pas caractérisé sur ce tronçon d'aléa érosion ayant un impact sur l'aléa submersion.

V.1.3.3. Flèche sableuse du Thar et schorre en arrière

Pour la flèche du Thar, il est difficile de définir un taux d'évolution à long terme du trait de côte puisque depuis 1947, la flèche a progressé vers le Nord et s'est redressée. La morphologie de cette flèche est globalement stable depuis 30 ans. Elle présente une partie mince en partie Sud qui semble un point de fragilité du fait de sa faible largeur et d'une évolution fluctuante de la position du trait de côte depuis les années 90, avec des phases avancées et de recul.

Depuis 2019, cette flèche est protégée par des fascines et un suivi régulier de la dune a été mis en place et est fonctionnel. Le dispositif de fascines a été complété en 2021. Ses effets semblent globalement positifs, même si cette conclusion est à nuancer avec les conditions de sollicitations par la mer plus ou moins énergétiques au fil du temps.

Le schorre en arrière présente lui un développement historique.

La partie mince de la flèche apparaît comme un point faible avec impact potentiellement important sur le risque d'aléa submersion, le point bas de la RD911 étant située en arrière.

La méthode FEMA a été appliquée au droit d'un profil de cette partie mince pour évaluer le risque de brèche.

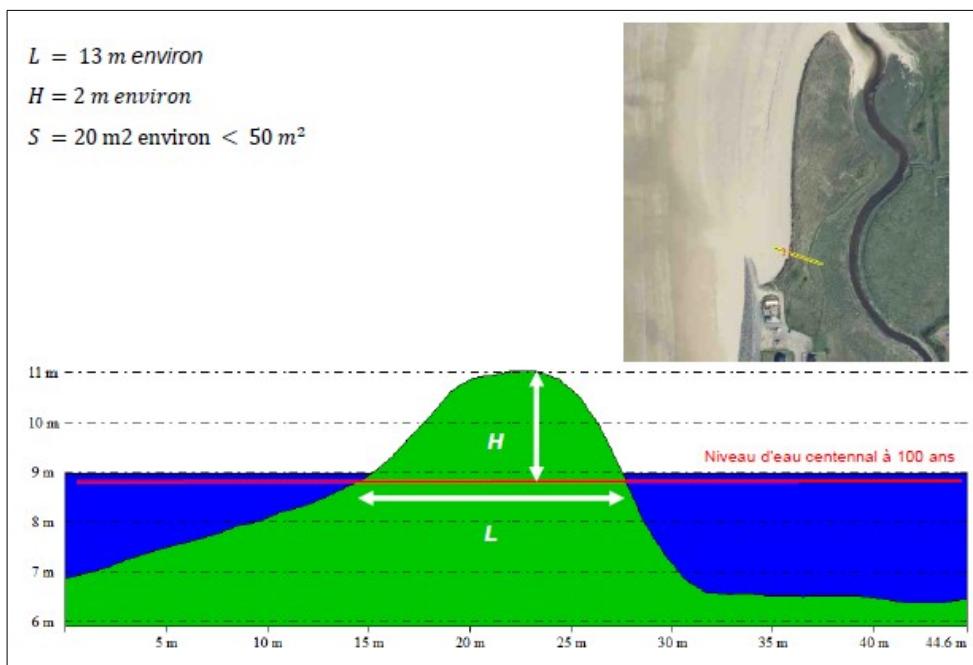


Figure V.2: Application de la méthode FEMA à la flèche Sableuse à l'embouchure du Thar.

En conclusion, la flèche sableuse au droit de sa partie mince **n'est pas résiliente** face à une tempête centennale à échéance 100 ans selon la méthode FEMA.

D'autre part, même si elle semble stable sur la période récente et bénéficie de protections douces, une flèche sableuse est par définition une zone de forte variabilité long terme de la morphologie du trait de côte. Cette variabilité est ici dépendante des conditions météocéaniques et des effets des crues du Thar. Il n'est donc pas à exclure que cette flèche évolue fortement à échéance 100 ans.

Il a donc été considéré un aléa érosion à échéance 100 ans ayant un impact sur l'aléa érosion au droit de cette flèche sableuse.

Au-delà d'une simple brèche, possible, il a été considéré une situation dans laquelle cette flèche disparaît complètement. Pour cette configuration, il a été retenu une topographie corrigée avec une flèche arasée et une topographie des terrains dans la continuité de ceux du schorre en arrière.

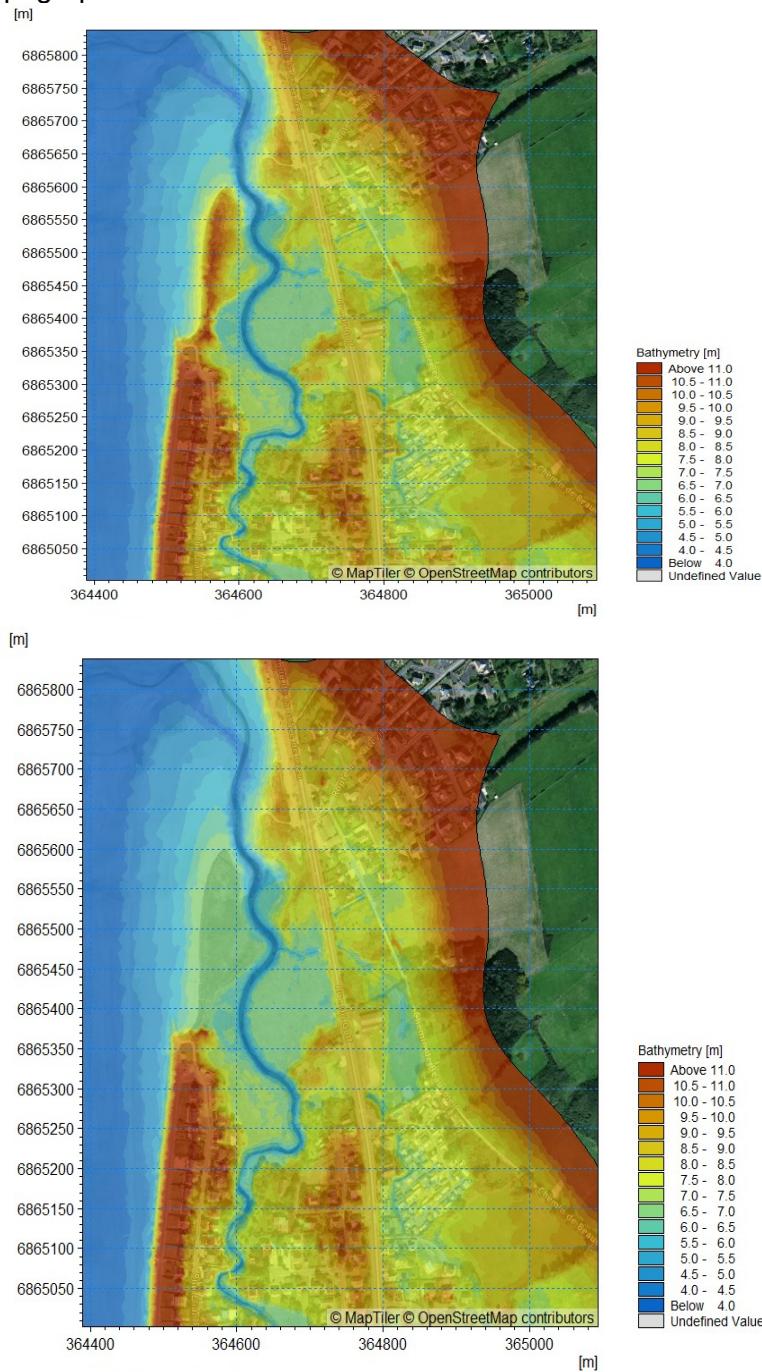


Figure V.3: Prise en compte de l'érosion de la flèche de l'embouchure du Thar à échéance 100 ans. La première figure représente la bathymétrie actuelle, et la seconde figure correspond à la bathymétrie après effacement de la flèche.

V.1.3.4. Encoche d'érosion en partie Nord du débouché du Thar

L'encoche d'érosion au Nord du débouché du Thar, au Sud immédiat de la pointe rocheuse semble active et assez continue depuis 1947. Ce phénomène pourrait dès lors venir menacer la RD911 si elle se poursuit dans le temps. Le substratum rocheux pourrait cependant constituer une barrière à cette érosion.

Toutefois, les terrains en arrière du trait de côte sont très hauts à ce niveau. Il n'est donc caractérisé ici d'aléa érosion ayant un impact sur l'aléa submersion.

V.2. Caractérisation et cartographie de l'aléa submersion marine

V.2.1. Construction du modèle numérique local de submersion de Saint-Pair-Sur-Mer, Jullouville et Carolles

La caractérisation de l'aléa submersion marine nécessite une connaissance précise des conditions de houle et de niveaux marins à l'échelle locale, c'est-à-dire au droit du secteur d'étude.

À ce titre, un modèle local 2D à l'échelle des communes de Saint-Pair-Sur-Mer – Jullouville – Carolles a été construit pour prendre en compte à l'échelle locale à la fois les niveaux d'eau (marée astronomique et surcotes atmosphériques), la propagation de la houle vers la côte (et la surcote de déferlement induite) et les apports des cours d'eau : le Thar, la Saigue et le Crapeux. Ces trois derniers peuvent influer sur l'étendue des zones inondées et/ou des hauteurs d'eau / vitesses des écoulements de façon plus ou moins marquée.

V.2.1.1. *Bases de données topographiques-bathymétriques*

Les bases de données topographiques utilisées pour la construction du modèle local de submersion sont le RGE ALTI version 2.0 et les levées LIDAR du Réseau d'Observation du Littoral de Normandie et des Hauts de France (ROLNHF) de 2018 et de 2020.

Les altimétries de ces données sont en m IGN69.

Tableau V.1 : Description des données topo-bathymétriques utilisées.

Nom	Résolution	Source	Emprise des jeux de données
RGE 2012	1m	IGN	
MNT ROLNHF 2016- 2018/Litto3D	1m	ROLNHF/SHOM	
MNT ROLNHF 2020	1m	ROLNHF	

V.2.1.2. Le modèle couplé MIKE 21/3 Model FM

Les simulations ont été réalisées avec l'outil MIKE 21/3 Coupled FM, qui associe plusieurs modules et notamment les modules hydrodynamiques et de houles spectrales propres à la suite logicielle MIKE. Il utilise une description bidimensionnelle permettant de représenter les écoulements à surface libre, tant dans les zones côtières que dans les lacs, les rivières et les estuaires. Le code de calcul résout les équations de Barré-de-Saint-Venant en différences finies pour les régimes transitoires. Pour la présente étude, il permet de simuler les écoulements en tenant compte du frottement sur le fond et du recouvrement / découvrement des zones sèches.

De plus, le niveau d'eau calculé par le module HD est utilisé dans le module SW pour calculer les vagues et inversement : le rayonnement des ondes générées par les vagues formées avec SW est injecté dans les paramètres d'entrée de HD.

Le modèle permet ainsi l'estimation de la surcote de déferlement à la côte.

V.2.1.3. Emprise, maillage et topo-bathymétrie du modèle – Intégration des cours d'eau et du bâti

Le modèle local s'étend de la Pointe du Roc à Granville jusqu'à la Pointe de Champeaux au Sud. Il fait 10 à 11 km, au moins 2 km de large en mer et intègre les zones basses terrestres.

Les données MNT du RGE-Alti et du ROLNHF/SHOM sont utilisées pour construire le maillage du modèle et le domaine est discrétré en éléments triangulaires plus ou moins fins. L'outil de génération de mailles de MIKE permet de créer des mailles flexibles. Dans le cas présent les mailles sont grossières au large et se raffinent à l'approche de la zone côtière. Leurs tailles passent d'environ 100 m près des frontières à 10m à la côte et 5 m sur la partie terrestre. L'ensemble du domaine terrestre est discrétré en mailles triangulaires

Les cours d'eau Saigue, Thar et Crapeux sont représentés dans le modèle local 2D par un maillage adapté plus fin au droit de leur emprise. Des mailles quadrangulaires de 2 m par 5 m ont été retenues.

Les bâtiments sont pris en compte dans le modèle en intégrant leurs formes vectorielles ; dans le cas présent, cette donnée est issue du site des bases de données topographique BD topo. Une hauteur ou un niveau très élevé est attribué aux bâtiments pour les rendre insubmersibles. Ainsi lorsqu'un bâtiment est placé sur une maille, celle-ci reste hors de l'eau comme illustré sur la figure suivante.



Figure V.4: Représentation des bâtiments dans le modèle local de submersion. Vue du niveau d'eau issue d'un résultat de simulation. Les bâtiments sont représentés par une hauteur constante arbitraire de 4 m dans le modèle.

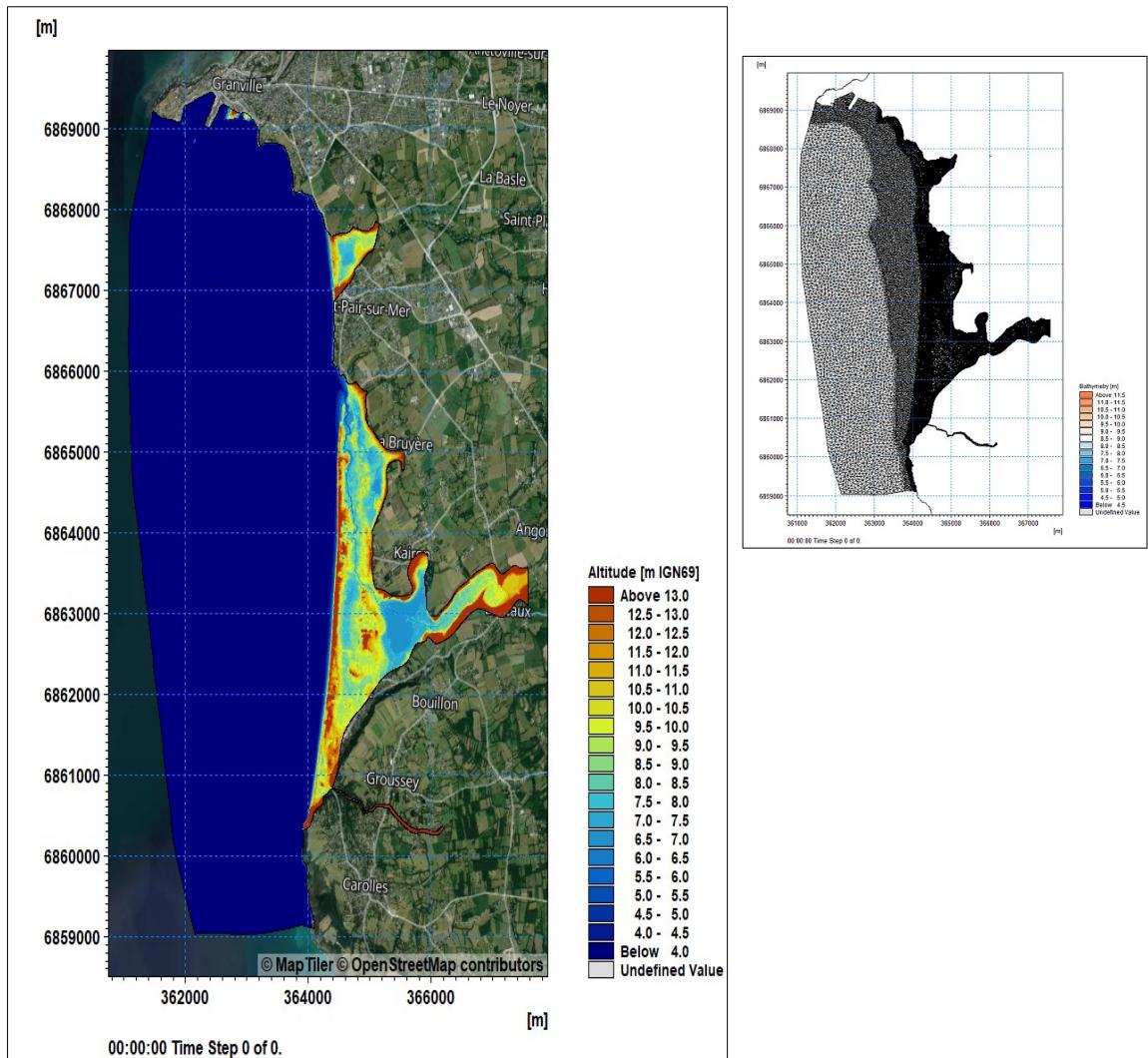


Figure V.5 : Maillage et bathymétrie du modèle local de submersion.

La topographie de la zone est marquée par deux zones basses et un cordon dunaire cumulant à environ 10 m à 15 m IGN69.

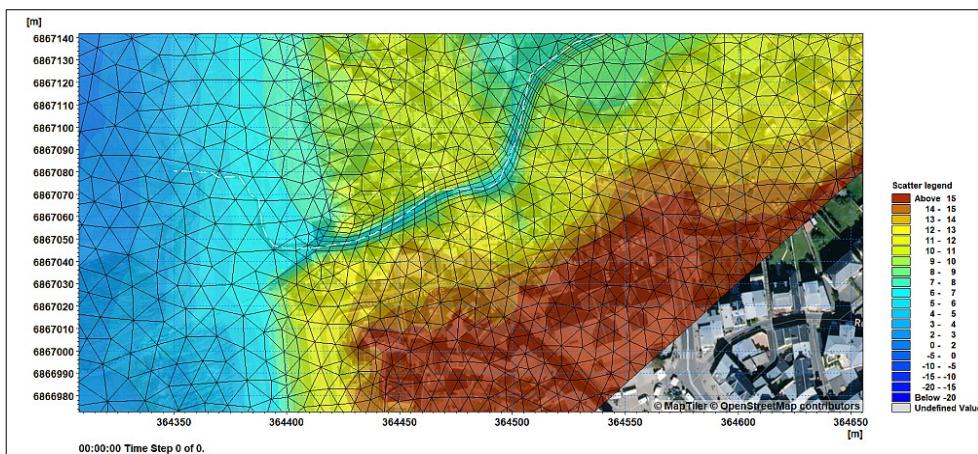


Figure V.6 : Vue rapprochée du maillage et de la bathymétrie du modèle local de submersion à l'embouchure de la Saïge.

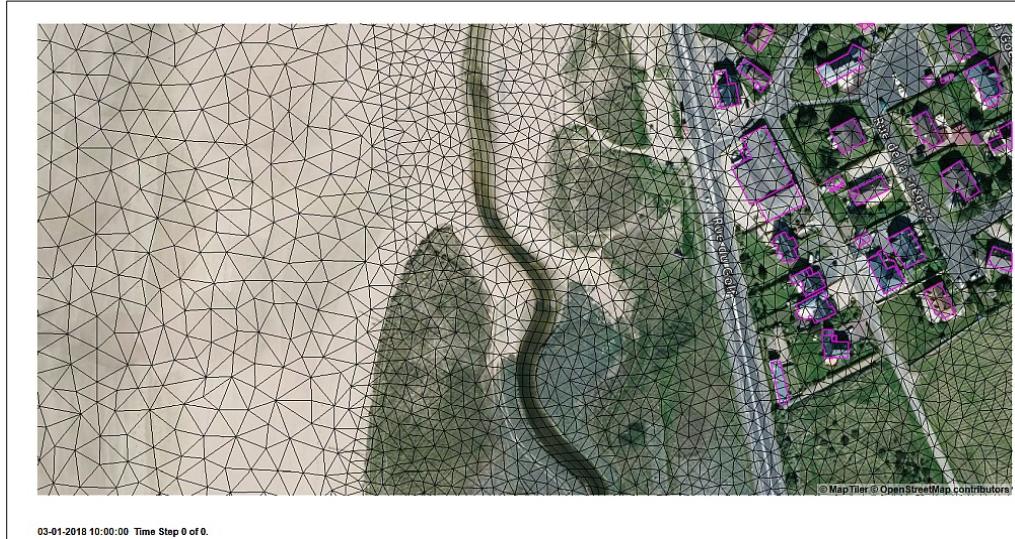


Figure V.7 : Vue rapprochée du maillage du modèle de submersion à l'embouchure du Thar.

V.2.1.4. Prise en compte des débits des cours d'eau dans le modèle

Des sources ont été rajoutées dans le modèle pour injecter les débits des cours d'eau en amont. Les débits pris en compte pour les cours d'eau de la Saigue et du Crapeux correspondent aux données SHYREG présentées dans le rapport de Phase 1. Les données hydrométriques du Thar sont issues de l'hydroportail¹ sur le site Eau France, qui donne accès aux données publiques quantitatives relatives aux cours d'eau. Dans le cas du Thar, le débit est mesuré à la station du Lézeaux (THAR).

Tableau V.2 : Débits des cours d'eau retenus pour les modélisations.

	Crue annuelle	Crue décennale	Crue centennale
Débit Saigue (m ³ /s)	0.42	3.4	7.27
Débit Thar (m ³ /s)	3	12.9	19.9
Débit Crapeux (m ³ /s)	0.08	1.85	3.99

V.2.1.5. Représentation des ouvrages hydrauliques et des bords de cours d'eau dans le modèle

Le Crapeux est busé sur une partie de son tracé. Pour représenter cette buse, on intègre une structure dans le modèle qui prends en compte ses caractéristiques, telles que son diamètre ; sa longueur, la topographie en amont et celle en aval immédiat de la buse.

Les berges des cours d'eau sont représentées par des profils topographiques spécifiques intégrés au modèle, permettant de représenter les altitudes exactes des crêtes de berges. Ces profils ont été construits à l'aide des données LiDAR disponibles.

Le chenal du Thar passe au centre de la Mare du Bouillon et l'alimente à travers des brèches. Ces dernières ont été créés dans les profils topographiques de la berge droite et de la berge rive gauche, et sont donc bien intégrées au modèle.

1 Hydroportail :<https://hydro.eaufrance.fr/>

Les réseaux hydrauliques d'eaux pluviales ne sont pas intégrés au modèle.

V.2.1.6. *Conditions aux limites du modèle*

Les conditions limites pour le modèle local de Saint-Pair-Sur-Mer, Jullouville et Carolles ont été extraites du modèle du Golf Normand Breton.

Un jeu de données est extrait pour la frontière sud et la frontière ouest, à l'entrée du modèle. Les paramètres utilisés en conditions aux frontières pour le modèle hydrodynamique sont :

- le niveau d'eau ;
- la vitesse du courant ;
- la direction du courant.

Pour le modèle de propagation des vagues, les grandeurs utilisées en données d'entrées sont :

- la hauteur significative des vagues ;
- les directions moyennes de provenances ;
- les périodes des vagues.

Les conditions de vents sont fournies par le modèle CFSR et les grandeurs suivantes font office de forçage spatial dans le modèle local de Saint-Pair – Jullouville – Carolles :

- la pression atmosphérique ;
- les composantes vectorielles de vitesses du vent U et V permettent d'en déduire l'intensité et la direction.

V.2.1.7. *Validation du modèle local de submersion*

Afin de s'assurer de la capacité d'un modèle à restituer correctement les phénomènes de submersion et de propagation à terre, l'idéal est de pouvoir reproduire correctement avec le modèle des événements historiques marins pour lesquels il s'est produit des inondations correctement documentées par des témoignages collectés ou/et des photographies prises sur le terrain lors de ces événements.

Il faut faire alors attention de bien représenter la configuration du site de l'époque des événements, à minima topographique mais également en ce qui concerne les ouvrages et aménagements hydrauliques.

La difficulté sur ce site est qu'il existe peu d'évènement de submersion marine, et qu'ils sont peu documentés car peu marquants. Les inondations marquantes et documentées concernent les cours d'eau et réseaux, dans des configurations qui ne sont au passage plus celles d'aujourd'hui.

Les événements marins historiques identifiés sont la tempête Xynthia en février 2010 et la tempête Christine de mars 2014.

Ces deux événements ont donc été reproduits par le modèle local à partir de leur conditions météo marines historiques, extraites à partir du modèle du Golfe Normand-Breton, et des données d'enregistrement des débits des cours d'eau existantes.

V.2.2. *Évènement de référence pour la submersion par débordement*

Selon l'approche méthodologique, dans le cadre d'une étude PPRL pour la caractérisation de l'aléa submersion marine, l'événement de référence sur un secteur homogène est :

- soit un évènement centennal ;
- soit un évènement historique si celui-ci est supérieur au centennal.

Au droit du site d'étude, il n'a pas donc pas été identifié de manière certaine un évènement historique récent supérieur à un évènement centennal.

L'évènement de référence retenu pour la cartographie des submersions correspondra donc à un évènement centennal.

V.2.2.1. Évènements centennaux de projet considérés

Pour évaluer le couple centennal houle/niveau d'eau impliquant le niveau d'eau le plus élevé à la côte, plusieurs couples ont été considérés le long de la courbe de probabilité conjointe centennale, dont les caractéristiques sont rappelées dans le tableau suivant :

Tableau V.3 : Couples centennaux analysés pour définir l'évènement de référence.

Couple	Niveau marin (m IGN 69) (marée + surcote atmosphérique)	Hauteur de la houle (m)	Période de pic (s)
Couple 1	7.40	3.5	11.4
Couple 2	7.70	2.75	10.4
Couple 3	7.90	2.15	9.3
Couple 4	8.12	1.25	7.4

V.2.2.2. Modélisation des couples centennaux et calcul de la surcote de déferlement

Chaque couple défini ci-dessus a été modélisé avec le modèle local de Saint-Pair-sur-Mer – Jullouville – Carolles pour obtenir les conditions marines à la côte correspondantes, ainsi qu'une estimation de la surcote induite par le déferlement des vagues dans chaque cas.

Sur sa frontière Ouest, le modèle local est alimenté par des séries temporelles de niveaux marins et de vagues, qui sont des paramètres variables temporellement sur la durée de la simulation (du fait principalement du phénomène de marée pour les niveaux d'eau) et spatialement le long de cette frontière de la Pointe du Roc à celle de Champeaux.

De façon à modéliser une chronique de tempête réaliste, les séries temporelles des caractéristiques d'état de mer (hauteur, période de pic et direction de la houle) ainsi que des niveaux marins ont été extraits des modèles HD_{GNB} et SW_{GNB} pour la tempête Eleanor du 3 janvier 2018, qui est l'évènement le plus intense ressenti sur le secteur d'étude sur les 29 dernières années. Ces extractions ont été effectuées en 20 points le long d'un profil correspondant à la frontière du modèle local.

Ces séries temporelles extraites des modèles régionaux ont ensuite été adaptées pour obtenir les caractéristiques du couple centennal considéré au pic de la tempête sur la durée de la simulation au point « Jullouville Large » de l'analyse des extrêmes et des probabilités conjointes (point nommé « JPA » en frontière maritime du modèle sur les figures ci-après). Ce sont ces chroniques retravaillées qui sont injectées dans le modèle local.

Le niveau d'eau total maximal modélisé à la côte pour chacun des 4 couples est présenté dans le tableau ci-dessous. Pour chaque couple pour ce niveau total maximal, il est également précisé la valeur

de la surcote liée au déferlement des vagues obtenue. Celle-ci est au maximum de 24 cm pour le couple n°1 et est quasiment inexistante pour le couple n°4 qui est constitué de la hauteur de houle la plus faible.

Tableau V.4 : Présentation du niveau d'eau modélisé à la côte pour chaque couple centennal considéré.

Couples centennaux considérés	Hauteur de la houle (m)	Niveau d'eau (m IGN69) (marée + surcote atmosphérique)	Surcote des vagues (m)	Niveau total maximal à la côte (m IGN69) (Variable à +/-10cm le long de la côte)
Couple 1	3.50	7.40	0.24	7.64
Couple 2	2.75	7.70	0.15	7.85
Couple 3	2.15	7.90	0.13	8.03
Couple 4	1.25	8.12	0.01	<u>8.13</u>

Finalement, le couple qui sera le plus défavorable en termes de niveau d'eau à la côte est le couple n°4 avec un niveau d'eau total maximal modélisé de **8.13 m IGN69**.

V.2.2.3. Conclusion sur l'évènement de référence pour la submersion par débordement

Les niveaux d'eau atteints aux abords du secteur d'étude ont été modélisés pour les événements (couples houles / niveaux d'eau) centennaux théoriques. La modélisation couplée des houles et des niveaux d'eau a permis d'établir les niveaux totaux atteints pour les différents cas, en tenant compte de la marée astronomique et des surcotes (atmosphérique et de déferlement).

L'évènement de référence retenu pour la submersion par débordement est l'évènement donnant lieu aux niveaux marins les plus élevés sur le site d'étude. Il s'agit du couple centennal n°4 établi par l'analyse des événements conjoints : niveau de 8,12 m IGN69 et houle de 1,25 m au large.

Le guide méthodologique d'élaboration des PPRL prévoit que le niveau marin de l'évènement de référence soit constitué :

- du niveau centennal obtenu par la modélisation (intégrant marée astronomique, surcote atmosphérique et surcote liée au déferlement des vagues) ;
- des impacts de l'augmentation du niveau marin lié au changement climatique. Deux horizons sont déterminés :
- l'horizon actuel avec une prise en compte de l'élévation des niveaux marins à court terme (+ **0.20 m**) .
- à échéance de 100 ans avec une prise en compte de l'élévation des niveaux marins à moyen terme (**+ 0.60 m**) .
- cette surélévation s'applique sur toute la durée de l'évènement modélisé ;
- des incertitudes via une estimation forfaitaire de + 0.25 m.

Les niveaux retenus pour l'évènement de référence à l'horizon actuel et l'horizon 100 ans sont décrits dans le Tableau V.5 ci-après.

Tableau V.5 : Composantes du niveau de l'évènement de référence actuel et à échéance 100 ans pour le débordement.

	Niveau centennal (marée + surcote atmosphérique + surcote des vagues)	Prise en compte de l'incertitude	Prise en compte du changement climatique	Niveau total
Évènement de référence	8.12 mIGN69 (+ surcote des vagues)	+25 cm	+20 cm	8.57 m IGN69 (+ surcote des vagues)
Évènement horizon 100 ans		+25 cm	+60cm	8.97 m IGN69 (+ surcote des vagues)

Le niveau d'eau final à considérer est de **8.57 m IGN69**, pour la modélisation de l'évènement de référence actuel et de **8.97m IGN69** pour l'événement à l'échéance 100 ans.

A noter que lors de la modélisation de l'évènement de référence (actuel et 100 ans), **la surcote des vagues sera prise en compte directement via le calcul à la côte de la propagation des houles et ce sur l'ensemble du linéaire côtier étudié**. En fonction de nombreux effets et phénomènes locaux, la surcote peut varier spatialement et cela est correctement restitué lors de la simulation de l'évènement de référence.

V.2.3. Évènement de référence pour le franchissement par paquets de mer

Les phénomènes de submersion par franchissements de paquets de mer liés aux vagues ont été quantifiés par la modélisation fine vague à vague de l'agitation du plan d'eau et des franchissements réalisée avec le modèle MIKE 3 Wave FM. Cette méthode a été appliquée pour estimer les débits de franchissement sur l'ensemble du linéaire côtier du secteur d'étude, soit entre Saint-Pair-sur-Mer et Carolles-Plage.

Avec la même approche que pour l'étude des niveaux d'eau, les débits de franchissement ont été calculés pour les événements centennaux théoriques. **L'aléa de référence retenu pour le franchissement correspond à l'événement pour lequel les débits franchissant sont les plus importants.**

V.2.3.1. Modélisation des débits de franchissements sur le front de mer

Le modèle vague à vague de propagation de la houle MIKE 3 WAVE FM

MIKE 3 WAVE FM (M3W) est un modèle 3D, non hydrostatique, résolvant les équations de Navier-Stokes moyennées (RANS, Reynolds Averaged Navier-Stokes). **C'est donc un modèle vague à vague, pour lequel chaque vague est créée à la frontière marine du modèle et propagée à la côte.**

Il est exploité à partir d'un maillage flexible permettant une parfaite représentation des géométries. Les maillages flexibles et non-structurés sont la base pour des modèles multidisciplinaires de qualité. MIKE 3 WAVE FM permet ainsi de modéliser les phénomènes suivants :

- la submersion et les inondations côtières ;
- la transmission des vagues à travers des milieux poreux ;
- les zones d'interactions vagues-courant ;
- les chenaux de navigation exposés ;
- les zones de profondeur intermédiaire.

Contrairement aux autres modèles numériques de propagation de vagues, ce modèle ne présente pas de limitation de hauteur ou de période de vague et il permet une parfaite représentation des phénomènes de déferlement., du run up à la côte et du franchissement des vagues.

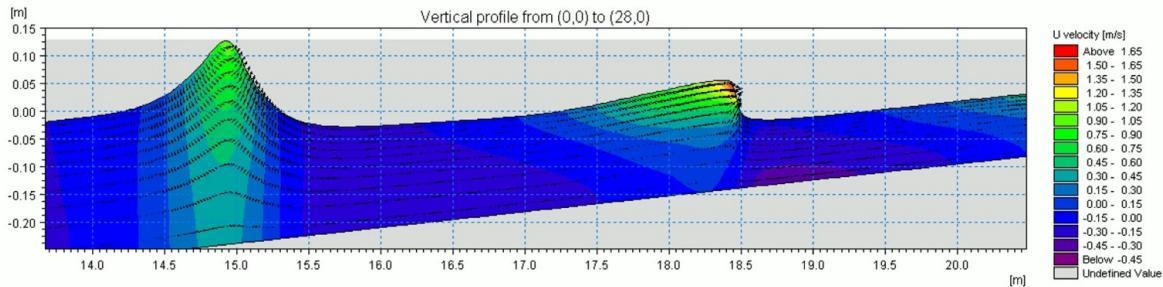


Figure V.8 : Simulation du phénomène de déferlement de vagues à la côte par MIKE 3 WAVE FM.

a. Emprise, topo-bathymétrie et maillage

Le modèle couvre une surface d'environ 7.8 km sur 1 à 1.6 km à terre. Le maillage est régulier et composé d'éléments de 5-6 m de dimension au large et de 2 à 3 m dans la zone de déferlement et au droit des ouvrages de protection.

L'emprise est aussi prolongée à terre. Cette prolongation à terre des modèles M3W permet de faire pénétrer en arrière des ouvrages de protection l'ensemble des volumes qui doivent franchir ces ouvrages pendant la tempête simulée. Les volumes franchis ne sont ainsi pas limités par un effet de « trop-plein » artificiel. D'autre part, elle permet de réaliser une première propagation à terre des volumes d'eau franchis même si celle-ci n'est pas totalement fidèle (cf. limites). Cette première représentation permet le calage des modèles M3W sur des événements qui se sont produits. Le bâti est également pris en compte, par exclusion du maillage.

Les données topo-bathymétriques utilisées pour décrire les élévations sont les mêmes que pour le modèle local (cf. Section V.2.1.1).

Un exemple de l'emprise, du maillage et de la bathymétrie obtenue est présenté en Figure V.9

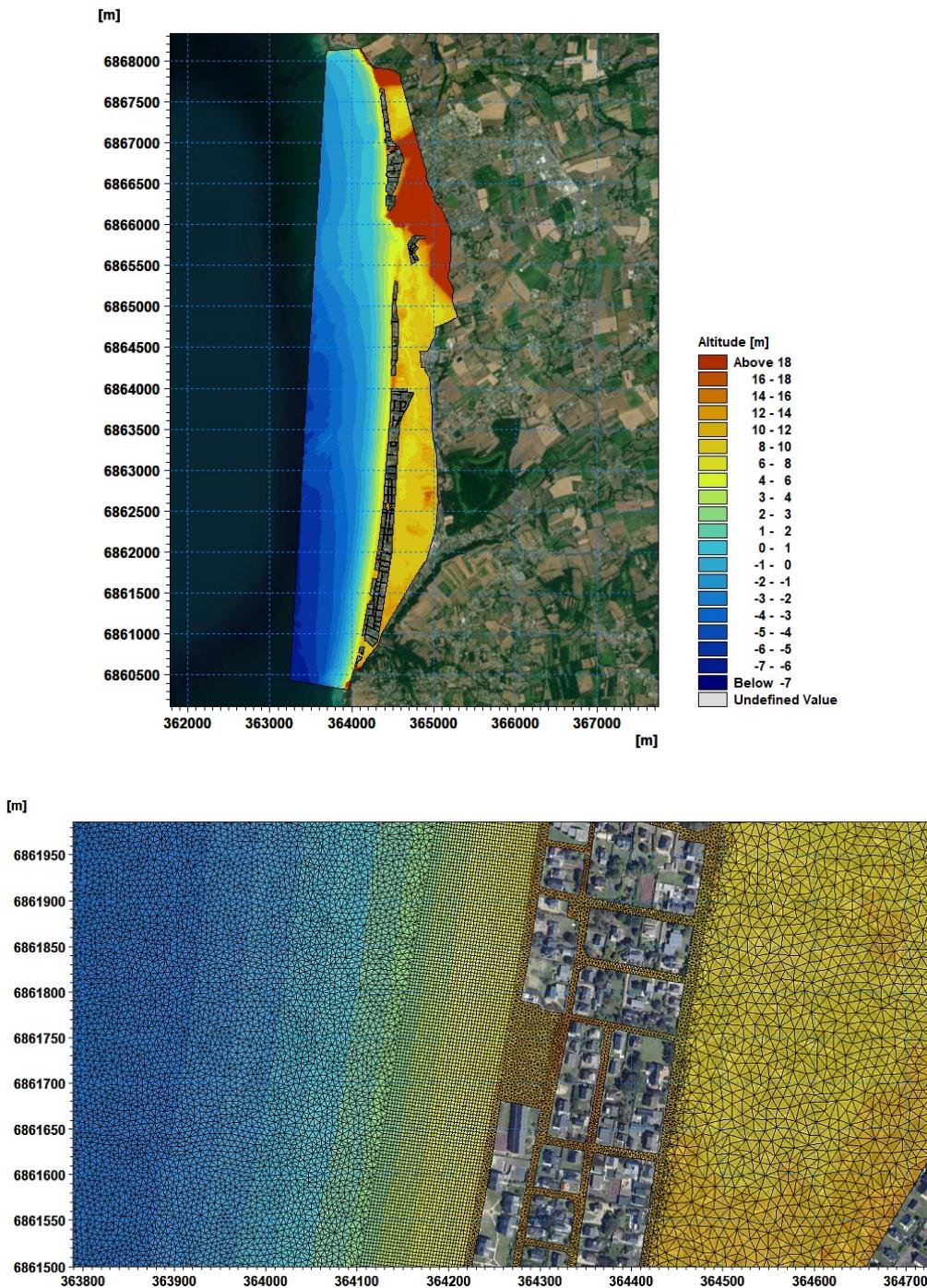


Figure V.9 : Emprise et topo-bathymétrie (en m IGN69) du modèle MIKE 3 Wave de St-Pair – Jullouville – Carolles (haut), détail sur le débouché du Crapeux (bas).

b. Conditions de forçage

Les conditions de forçage du modèle d'agitation et de franchissement sont extraites des résultats des modélisations avec le modèle régional du Golfe Normand-Breton.

Les vagues en elles-mêmes sont générées avec une hauteur, période et direction aléatoires dont les valeurs sont régies par un spectre de Jonswap pour lequel les caractéristiques sont tirées du modèle du SW_{GNB} au point « Jullouville Large » situé sur la frontière au large du modèle MIKE 3 Wave.

Un exemple de champ de vague ainsi généré est présenté sur la Figure V.10 ci-dessous.

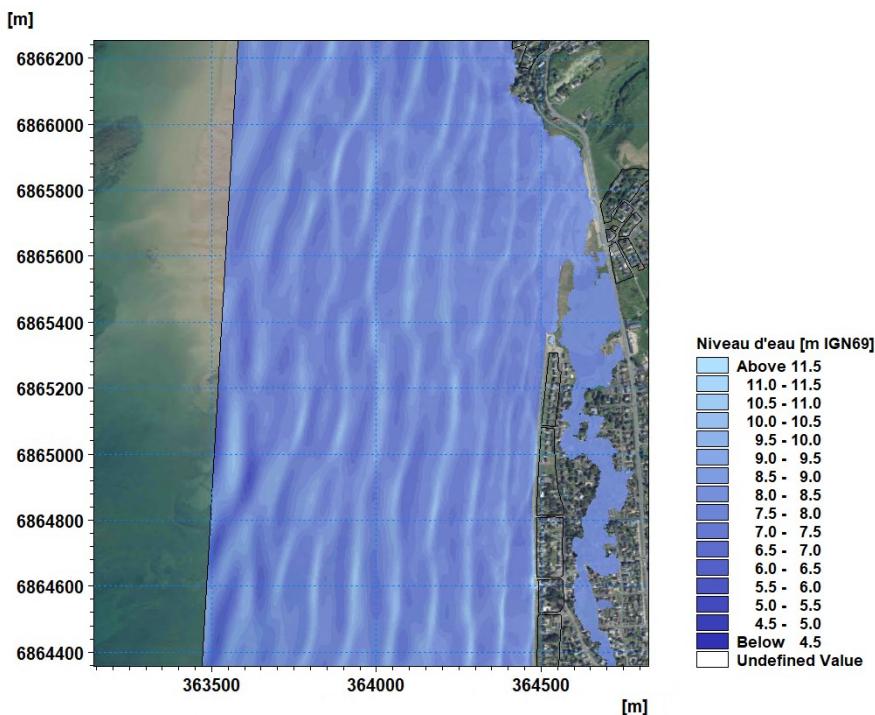


Figure V.10 : Exemple de champ de vague modélisé par MIKE 3 Wave à un instant donné au droit du débouché du Thar.

c. Grandeur calculées et extraction des résultats

Pour un état de mer donné, c'est-à-dire un niveau marin constant et une condition de vagues donnée, MIKE 3 WAVE permet donc le calcul à chaque seconde, sur toute la durée de simulation, des volumes, et donc des débits, de franchissement sur l'ensemble du linéaire de trait de côte représenté dans le modèle.

Il donne également le volume d'eau total franchi sur ce linéaire sur la durée de simulation.

Pour la présentation des résultats, le linéaire de trait de côte étudié est découpé en plusieurs tronçons. Ce découpage est généralement réalisé en fonction de la nature ou/et des caractéristiques de la protection longitudinale et peut être adapté aux besoins de l'étude réalisé.

Dans ce cas, le modèle fournit les caractéristiques physiques des franchissements décrits ci-avant pour chacun des tronçons.

Les résultats fournis par tronçon sont :

- le volume total franchi ;
- le débit linéique moyen représentatif de la durée de simulation, calculé comme le volume total franchi divisé par la durée de simulation et par le linéaire du tronçon, et exprimé en L/s/ml ou m³/s/ml.

Ces débits linéiques moyens sur la durée de la simulation sont ceux utilisés comme donnée d'entrée dans les modèles 2D de propagation terrestre (en adaptant la valeur au pas de temps de la simulation de cette propagation).

d. Validation du modèle de franchissement

Par la même approche que celle mise en œuvre pour la validation du modèle local de St-Pair – Jullouville – Carolles, le modèle de franchissement a été validé à partir de comparaisons entre les

résultats modélisés et des observations de photographies réalisées lors de plusieurs évènements tempétueux.

Ainsi, pendant la tempête du 3 mars 2014 où l'ouvrage de protection en enrochement, situé sur la rive droite du débouché du Thar (Saint-Pair-sur-Mer), a été franchi par les vagues entraînant une légère inondation du parking en arrière immédiat de l'enrochement. **Cela a également été le cas en janvier 2017 et pendant Eleanor le 3 janvier 2018** où les masses d'eaux, probablement poussées par les fortes rafales de vent de NO, ont envahies la RD911 adjacente.

Un second secteur sujet aux franchissements par paquets de mer au droit de l'avenue de la Mer à Carolles où à l'accès à la plage constitue une ouverture de la digue du front de mer, et donc un point très bas favorable aux intrusions marines lors des fortes tempêtes. Des protections sont mises en travers de l'avenue de la Mer pendant ces évènements par mesure de sécurité pour la population et permettent de limiter les volumes d'eaux propagés. Aucune photographie n'a été prise pendant la tempête Eleanor mais on peut supposer qu'il y a eu des franchissements au moins équivalents à ceux du 11 mars 2020.

Le modèle de franchissements par paquets de mer a alors été utilisée afin de reproduire la propagation de la houle à la côte et de ce fait franchissements par paquets de mer survenus pendant la tempête Eleanor.

Les caractéristiques de la tempête Eleanor retenues en données d'entrées du modèle sont les suivantes, correspondant aux conditions hydrauliques extraites au point « Jullouville Large » :

- hauteur significative de houle : 3,5 m ;
- période de pic : 11,7 s ;
- direction moyenne de provenance des vagues : 280° ;
- niveau marin : 7,5 m IGN69. Cette valeur a été prise comme un compromis correspondant aux incertitudes liées entre la valeur très surestimée du modèle MIKE 21 HD_{GNB} et le rejet HYWAT, pour lequel la valeur de 7.4 m IGN69 a été rehaussée de 10 centimètres.

e. Volumes de franchissement modélisés

Les couples houle / niveau centennaux sélectionnés ont été modélisés par le modèle de franchissement. Le présente les volumes de franchissement obtenus par la modélisation le long du front de mer. Il est à noter que les franchissements de la digue promenade ne sont pas pris en considération, à l'inverse des nombreux accès à la mer ou certaines zones ouvertes où l'urbanisation est réduite telles que le débouché du Crapeux ou encore aux accès de part et d'autre de la dune de l'Agriculture à Carolles-Plage. Les résultats montrent que le couple n°3 présente les franchissements les plus importants.

Tableau V.6 : Volumes de franchissements obtenus par la modélisation sur le front de mer de Saint-Pair-sur-Mer, Jullouville et Carolles pour les couples centennaux considérés.

Couples considérés	Hauteur houle (m)	Période de pic (s)	Niveau d'eau (m IGN69)	Volume de franchissement (m ³)
Couple 1	3.5	11.7	7.4	850
Couple 2	2.75	10.4	7.7	1150
Couple 3	2.15	9.3	7.90	1672
Couple 4	1.25	7.4	8.12	890

V.2.3.2. Conclusion sur l'évènement de référence pour la submersion par franchissement

Les débits de franchissement sur le littoral ont été estimés pour les différents couples houles / niveaux d'eau centennaux théoriques. Ils ont été estimés par leur modélisation avec l'aide du modèle MIKE 3 WAVE le long du linéaire côtier du secteur d'étude.

L'évènement le plus défavorable pour la submersion par franchissements est l'évènement, donnant lieu aux franchissements les plus importants, est le couple n°3 (houle de 2.15 m / niveau d'eau de 7.90 m IGN69).

Pour évaluer l'aléa à terre, associé aux franchissements, les débits de franchissement calculés et modélisés obtenus pour ce couple centennal n°3 sont introduits dans le modèle local de submersion de St-Pair-sur-Mer – Jullouville – Carolles sous la forme de sources ponctuelles, répartissant les débits calculés dans les éléments de maillage le long du front de mer où ont lieu les franchissements par paquets de mer.

Les simulations ont également été réalisées pour l'évènement à échéance 100 ans pour ce couple 3.

V.2.4. Descriptions des évènements météo-marins et de crue modélisés

V.2.4.1. Évènement météo-marins

Les évènements modélisés sont les suivants :

- évènement de référence actuel** : Évènement marin centennal et crues annuelles
- évènement de référence à échéance 100 ans** avec une augmentation du niveau de la mer de **60 cm** et crues annuelles.
- scénario de forte probabilité** : Évènement marin de période de retour décennale et crue décennale.
- scénario de faible probabilité** : Évènement de référence à échéance 100 ans avec une augmentation du niveau de la mer de **1 m** et crues annuelles.

Tableau V.7 : Résumés des scénarios modélisés

Caractéristique des scénarios	Niveau d'eau (mNGF)	Débit du Thar (m ³ /s)	Débit de la Saigue (m ³ /s)	Débit du Crapeux (m ³ /s)
Evènement De référence actuel	8.57 mIGN69	3 m ³ /s	0.42 m ³ /s	0.08 m ³ /s
Evènement De référence à échéance 100 ans	8.97 mIGN69	3 m ³ /s	0.42 m ³ /s	0.08 m ³ /s
Scénario de forte probabilité	8.33 mIGN69	12.9 m ³ /s	3.4 m ³ /s	1.85 m ³ /s
Scénario de faible probabilité	9.37 mIGN69	3 m ³ /s	0.42 m ³ /s	0.08 m ³ /s

Les valeurs de niveau d'eau présentées dans le tableau sont celles obtenues pendant le pic de la tempête au point « Jullouville Large ». La chronique de niveau d'eau est variable le long de la frontière du modèle local, elle correspond au signal de la tempête Eleanor, ajusté en amplitude pour que le pic puisse correspondre aux valeurs inscrites dans le tableau au pic de la tempête.

V.2.4.2. Prise des cours d'eau et des phénomènes de crues

Afin de préciser l'influence des crues de cours sur les zones inondées, notamment sur les secteurs amont, des simulations de concomitance ont été réalisées, pour des périodes de retour niveau marin/crue différentes. Les valeurs prises en compte pour chaque simulation sont précisées dans le tableau suivant.

Tableau V.8 : Simulations de concomitance évènements marins/crues considérés.

Paramètre	Scénario 1 : T100/Q1	Scénario 2 : T10/Q10	Scénario 3 : T1/Q100
Niveau Marin (mIGN69)	Evènement de référence	7.88 (+45cm)	7.64 (+45cm)
Débit Saigue (m ³ /s)	0.42	3.4	7.27
Débit Thar (m ³ /s)	3	12.9	19.9
Débit Crapeux (m ³ /s)	0.08	1.85	3.99

Txx : Période de retour évènement marin (avec + 20 cm de changement climatique et + 25 cm d'incertitudes, soit + 45 cm)

Q xx: Période de retour des crues

La figure suivante illustre l'hydrogramme imposé en amont du Thar, ainsi que les niveaux marins correspondant.

Le signal de l'hydrogramme correspond à celui mesuré pour le Thar lors de la tempête Eleanor en janvier 2018. Ce signal est ensuite mis à l'échelle pour atteindre les débits de pointe correspondant aux crues annuelle, décennale et centennale.

La même approche a été mise en œuvre pour les débits imposés en amont du Crapeux et de la Saigue.

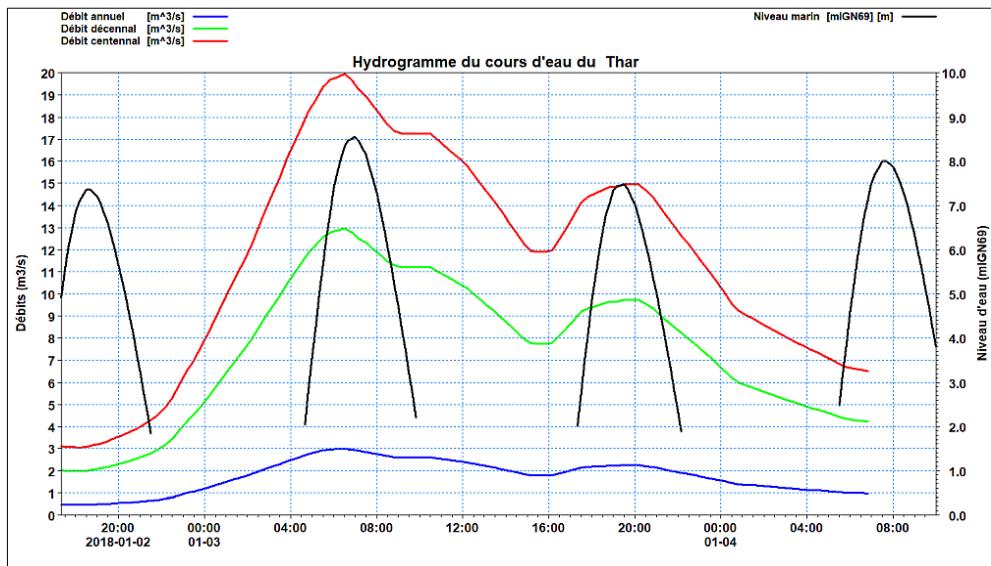


Figure V.11 : Série temporelle de niveau marin – évènement de référence (noire), et hydrogrammes pour la crue centennale (rouge), la crue décennale (vert), la crue annuelle (bleu) imposés en amont du Thar.

V.2.5. Détails de la dynamique des niveaux d'eau sur les trois cours d'eaux

Pour préciser la dynamique d'inondation le long des trois cours d'eau, un hydrogramme et les variations temporelles du niveau d'eau le long de la Saigue, du Thar et du Crapeux sont présentées ci-après. La localisation des points de contrôle de ces niveaux d'eau est également indiquée pour chaque secteur. Le résultat exploité est celui correspondant au scénario de référence.

V.2.5.1. Le Thar

Un hydrogramme du débit d'eau à la sortie de la mare du Bouillon, au niveau du pont Hogris est présenté sur la figure suivante.

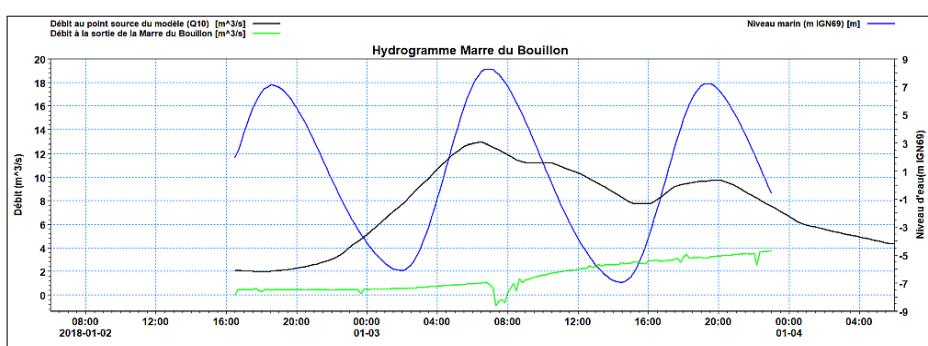


Figure V.12 : Hydrogrammes du Thar imposé en amont du modèle (noir) et obtenu à la sortie de la mare du Bouillon (vert). Maréogramme imposé en mer (bleu) pour le scenario crue et niveau marin décennale.

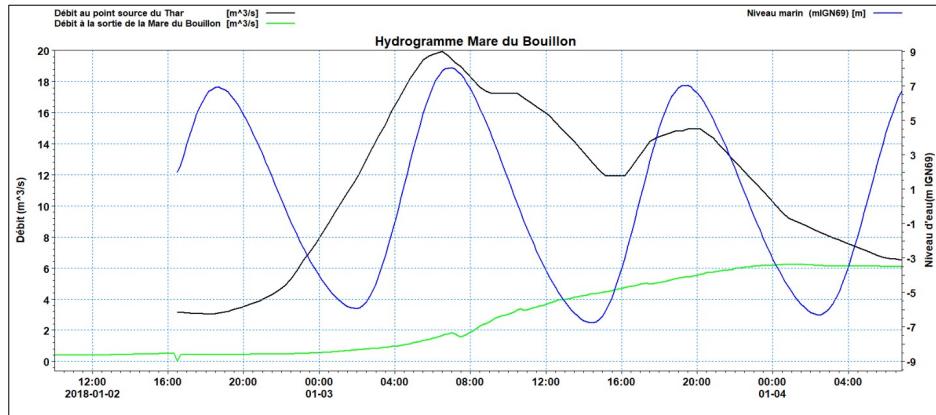


Figure V.13: Hydrogrammes du Thar imposé en amont du modèle (noir) et obtenu à la sortie de la mare du Bouillon (vert). Marégramme imposé en mer (bleu).

L'écoulement se fait principalement dans le sens allant de la mare vers l'embouchure du Thar, sauf quand le niveau marin est suffisamment élevé (très forts coefficients de marée ou niveaux marins exceptionnels) : dans ce cas le courant s'inverse (valeurs de débit négatifs). L'influence de la marée ne remonte pas au niveau de la mare et au-delà.



Figure V.14: Localisation des points de référence sur le Thar.

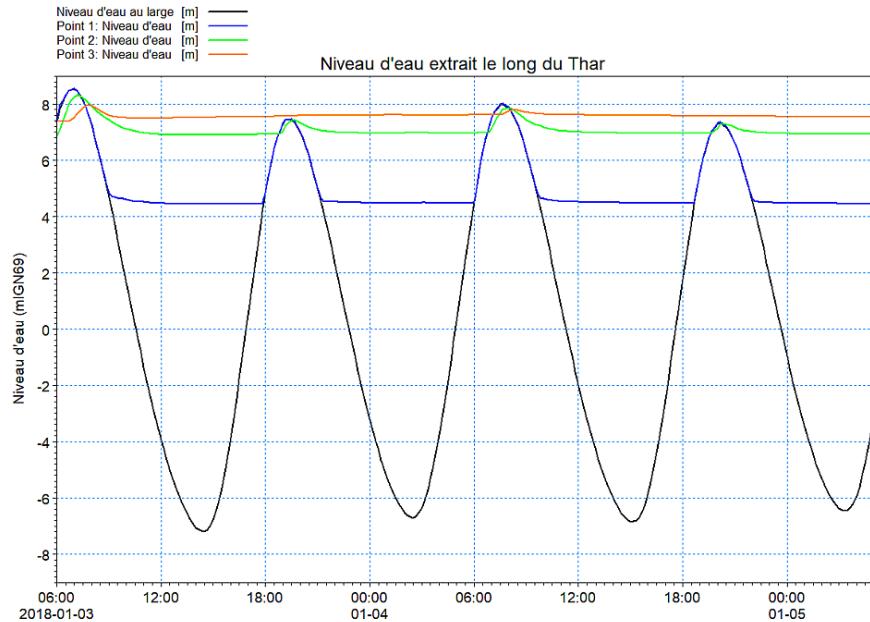


Figure V.15 : Localisation des points d'extraction des niveaux d'eau le long du Thar (haut) et évolution temporelle de hauteurs d'eau extraites le long du Thar (bas) aux points 1, 2 et 3 (respectivement courbes bleues, vertes et oranges). Le point n°3 étant situé le plus en amont et le point n°1 étant le plus en aval.

V.2.5.2. La Saigue

Pour la Saigue, l'influence marine est limitée essentiellement au débouché du cours d'eau. Les inondations sont essentiellement liées aux crues de la Saigue.



Figure V.16: Localisation des points de référence sur la Saigue.

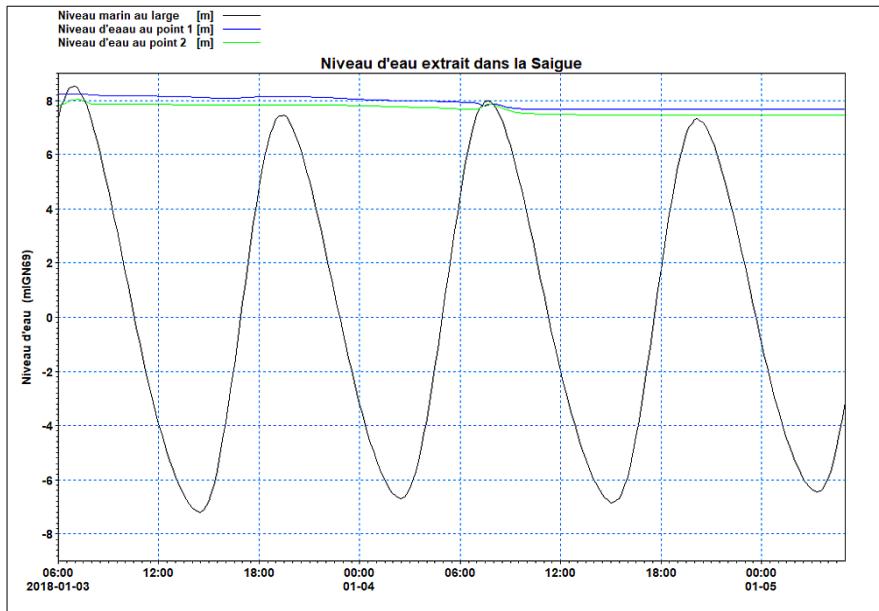


Figure V.17 : Position des points d'extraction (haut) et variation temporelle du niveau d'eau (bas) le long de la Saigue aux points 1 et 2 (respectivement courbes bleue et verte) ainsi que du niveau marin au large (courbe noire). Le point n°2 étant le point en aval par rapport au point n°1.

V.2.5.3. Le Crapeux

Comme pour la Saigue, les inondations sur le secteur sont essentiellement liées aux crues du Crapeux, busé au niveau de son débouché.

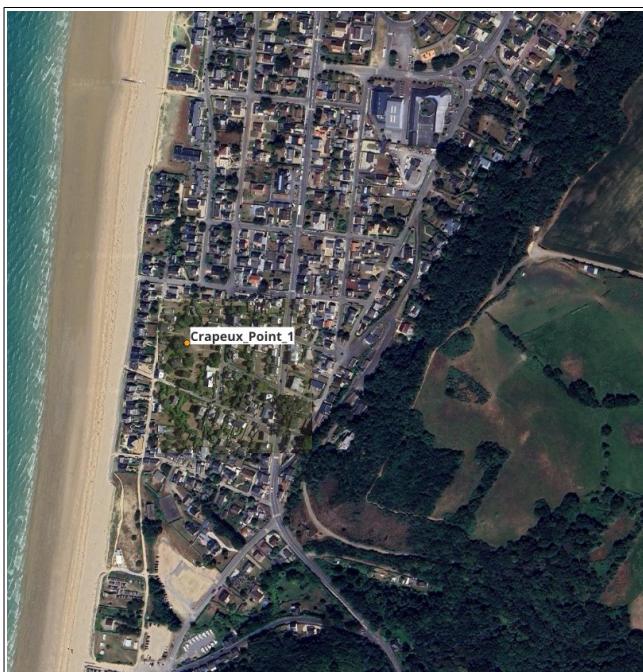


Figure V.18: Localisation des points de référence sur le Crapeux

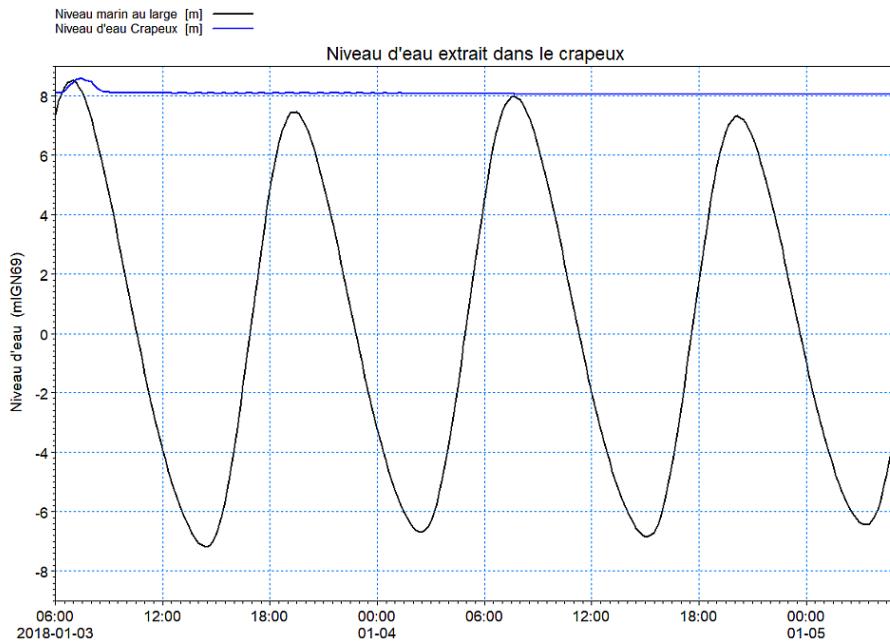


Figure V.19 : Position du point d'extraction (haut) et variation temporelle du niveau d'eau extrait dans le Crapeux (courbe bleue) et du niveau marin (courbe noire).

V.2.6. Scénarios de Brèche et d'effacement d'ouvrage

Pour la modélisation de l'évènement de référence actuel et à échéance 100 ans, une brèche est considérée au niveau de la route RD911.

Cette brèche est réalisée sur une portion de la route qui a l'aspect d'une digue. En effet le terrain est surélevé et présente des pentes d'un côté et de l'autre. Cette forme est notamment due à la présence d'un affluent du Thar à droite de la RD911.

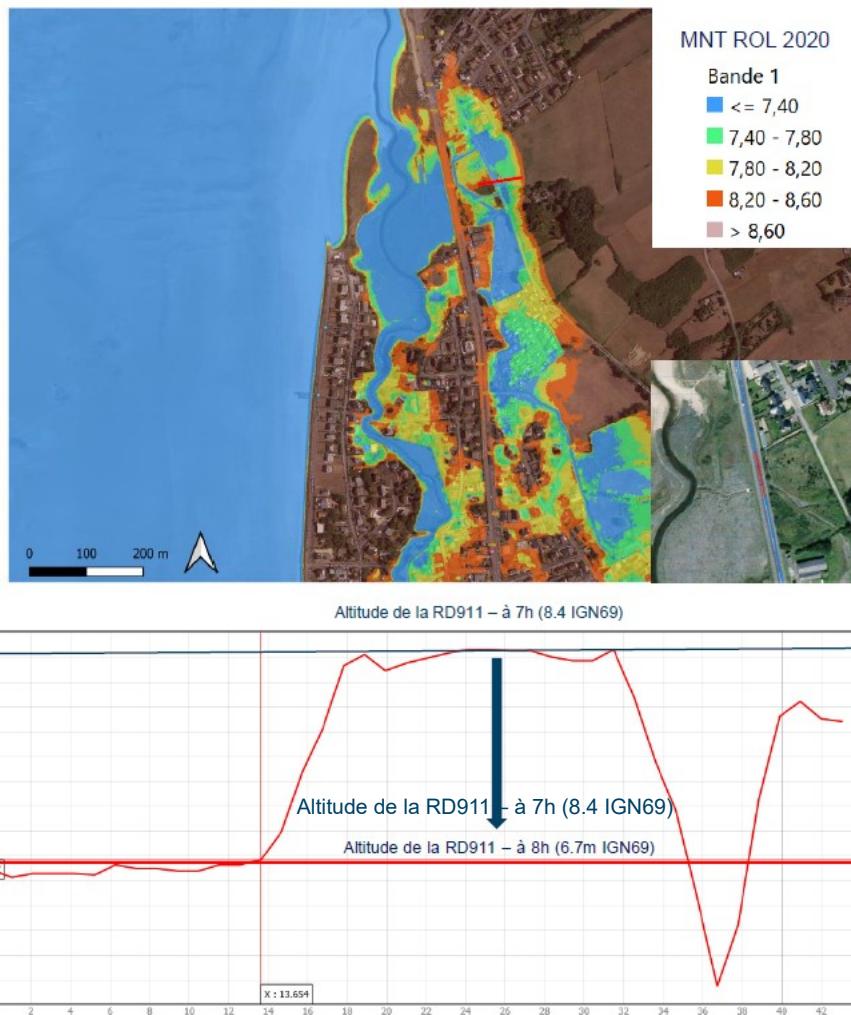


Figure V.20 : Profil bathymétrique en travers de la route RD911. La position de la crête de la route département en début de simulation, avant le pic de la tempête (7h) est représenté par le trait bleu et le trait rouge indique sa position une heure après le pic de la tempête.

La brèche est modélisée en intégrant dans le modèle une digue dont l'altitude de la crête évolue au cours du temps. Après le pic de la tempête la crête de cette digue s'affaisse d'environ 1.7m. La bathymétrie est corrigée sur la largeur de la brèche.

Le graphique suivant présente les évolutions de niveau d'eau dans la zone inondée, permettant d'illustrer le dynamique rapide d'inondation de cette zone basse.

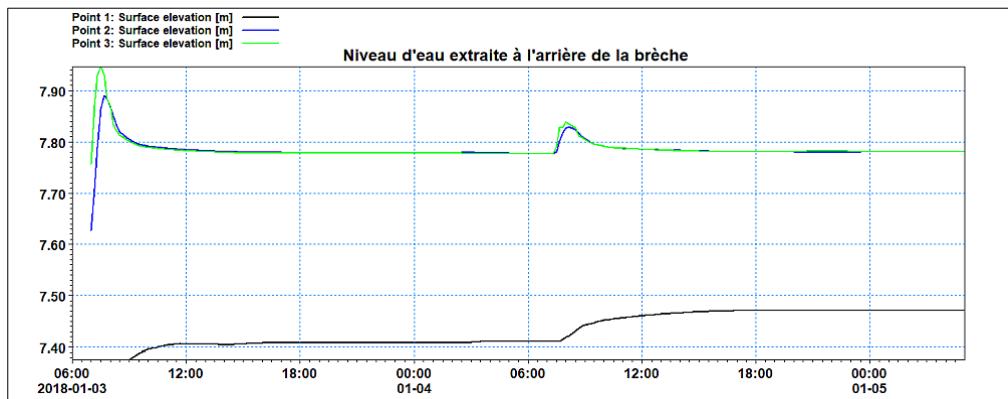


Figure V.21 : Position et série temporelle de niveau d'eau et de hauteur d'eau extrait à l'arrière de la brèche du RD911.

D'autre part, pour la modélisation de l'évènement de référence 100 ans, il est considéré dans le modèle l'effacement total de la flèche sableuse à l'embouchure du Thar.

Cet effacement est effectué selon les caractéristiques décrites en Section V.1.3.3.

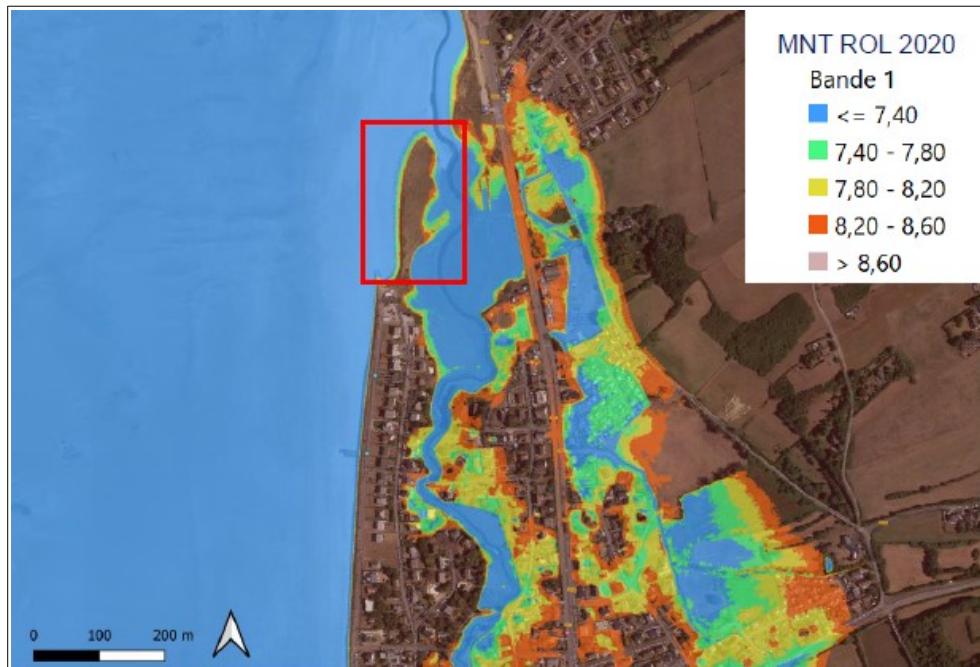


Figure V.22 : Localisation de la flèche du Thar qui est effacé dans la modélisation de l'événement de référence à échéance 100 ans.

L'effacement de la brèche n'a finalement pas d'impact étant donné que le niveau d'eau reste équivalent de part et d'autre de la flèche sableuse, la RD911 étant en surverse au vu des niveaux marins très importants dépassant le terrain naturel sur ce secteur.

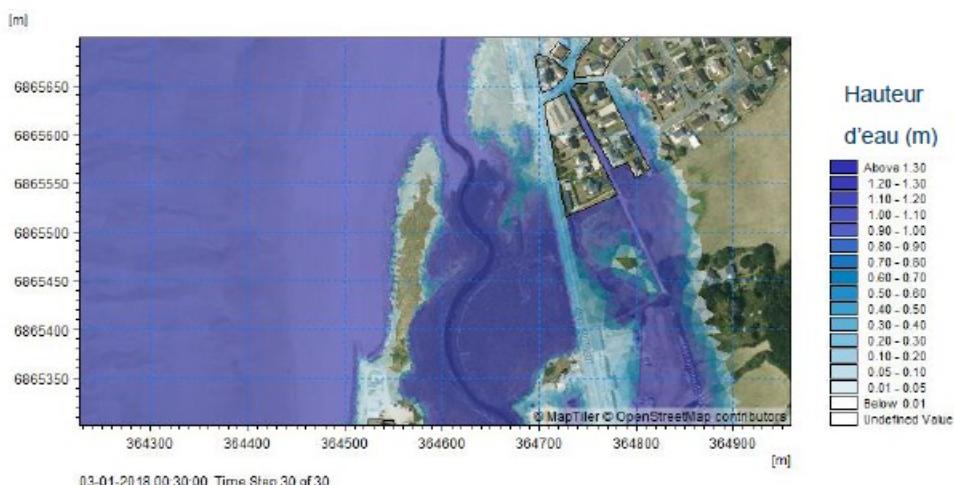


Figure V.23 : Carte de hauteur d'eau pour le scénario à échéance 100 ans CC + 0,6 m avec brèche de la flèche sableuse.

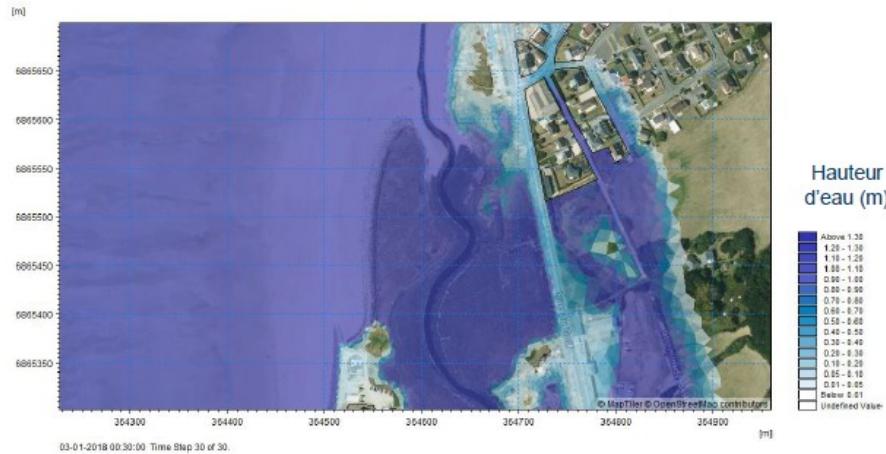


Figure V.24 : Carte de hauteur d'eau pour le scénario à échéance 100 ans CC + 0,6 m sans brèche de la flèche sableuse.

V.3. Approche géomorphologique

V.3.1. Zones concernées

La frange littorale entre le Fourneau à Saint-Nicolas-Plage, jusqu'au début des falaises de Carolles-Champeau à Carolles-Plage sur la commune de Carolles, incluant la façade de Saint-Pair-sur-Mer et de Jullouville a fait l'objet d'une modélisation numérique permettant de déterminer les aléas de submersion marine, d'érosion littorale et de choc mécanique des vagues.

La modélisation a également intégré les zones estuariennes de la Saigue, jusqu'à la RD973, du Thar, jusqu'à la RD21 et du Crapeux, jusqu'à la RD911.

Au-delà, le territoire disposait également d'un atlas des zones inondables (AZI) actualisé le 03/11/2021 couvrant les quatre cours d'eau sus-cités, ainsi que leurs affluents et sous-affluents principaux sur les communes de Granville, Saint-Pair-sur-Mer, Jullouville et Carolles.

L'analyse du réseau hydrographique a permis d'identifier un certain nombre de secteurs urbanisés en bordure de cours d'eau intégrés ou non à l'AZI sur lesquels il s'est avéré nécessaire de procéder à une analyse hydrogéomorphologique afin de vérifier la véracité d'une exposition à l'aléa inondation par débordement des cours d'eau. Ces secteurs sont les suivants :

Commune de Granville :

- La Saigue entre la RD973 et l'ancienne voie de tramway ;
- La Saigue au droit de la déchetterie ;

Commune de Saint-Pair-sur-Mer :

- ruisseau de Beausoleil ;
- ruisseau de La Chanterie au niveau du camping de la Chanterie et dans la traversée du Petit-Kairon ;
- ruisseau de la Maréchallerie à Angomesnil et au niveau du camping de Lézeaux ;

Commune de Jullouville :

- ruisseau de l'Allemagne à La Hiette, Conicat et au Moulin de Bouillon ;

- ruisseau de Vaumoisson à Vaumoisson et près des étangs de St-Michel-des-Loups ;

Commune de Carolles :

- le Lude au niveau de La Lande et du Moulin de Carolles.

Ces sites ont tous fait l'objet d'une visite pédestre. Dans la mesure du possible, des riverains ont pu être rencontrés pour mieux appréhender le fonctionnement hydraulique du secteur.

V.3.2. Principe de l'analyse hydrogéomorphologique

V.3.2.1. Méthodologie

L'approche hydrogéomorphologique vise à identifier les unités géomorphologiques composant la plaine alluviale (lit mineur, moyen, majeur, terrasses anciennes, encaissants, remblais, etc. afin d'interpréter la dynamique des écoulements et d'identifier les zones potentiellement inondables. Le processus permet d'identifier rapidement des enveloppes potentielles d'inondation.

À partir des éléments déjà recueillis (LIDAR, topographie notamment), des visites de terrain de dresser une première cartographie provisoire des entités morphologiques et hydrogéomorphologiques présentes sur les zones d'étude.

Les entités principales recherchées seront :

- le lit mineur. Les hauts de berges sont en général assez facilement identifiables. Les points particuliers tels dérivations, confluences, seront recherchés et cartographiés ;
- le lit moyen, champ d'inondations fréquentes, parfois identifiable via une variation de topographie marquée (banquettes, bourrelets de berge, talus intermédiaire...) ;
- le lit majeur, champ d'inondations exceptionnelles, plus plat et situé en contrebas de l'encaissant ;
- le passage de l'un à l'autre de ces lits induit une modification des écoulements, avec une diminution de la vitesse et de la lame d'eau, un étalement dans l'espace et une tendance au dépôt plutôt qu'au transport de sédiments.
- les terrasses alluviales (zone plane surplombant les versants d'une vallée suite à l'incision et au dépôt successif de sédiments à différentes périodes glaciaires) ;
- les coteaux (versant de faible pente surplombant un talus) ;
- les cônes de déjections, marquant le dépôt de sédiments quand une vallée étroite et pentue débouche dans une autre vallée de plus faible pente et grande largeur. ;
- les éléments anthropiques pouvant influer sur les écoulements, comme les digues et remblais.

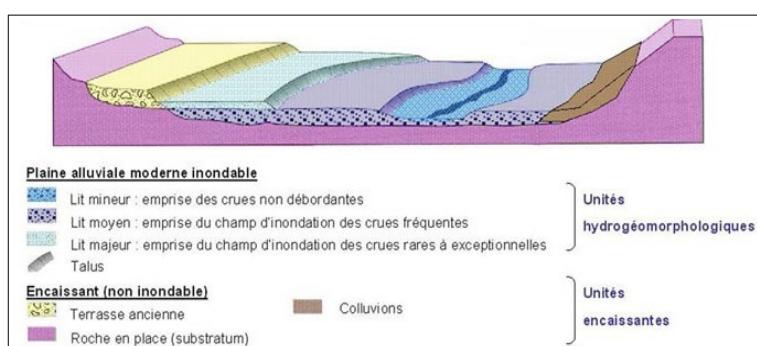


Figure V.25: Schéma d'une plaine alluviale (Source : Ballais et al., 2011)

V.3.2.2. Finalité

L'analyse morphologique des cours d'eau permet d'appréhender l'espace de liberté de la rivière dans les zones prospectées. Les considérations telles que la taille du bassin à l'amont du point d'observation, la pente en long de la rivière ou la largeur du champ d'expansion des crues permettent d'apprécier l'aléa qui s'exprime comme une composant d'un couple hauteur-vitesse estimé à dire d'expert.

En utilisant les informations topographiques et géomorphologiques, les zones d'inondation potentielles sont délimitées. Les terrains bas, les plaines alluviales et les terrasses inférieures sont identifiés comme des zones susceptibles d'être inondées.

Cette méthode est particulièrement adaptée dans les secteurs à faibles enjeux où les données hydrologiques détaillées sont limitées ou absentes.

Compte-tenu de la petite taille des bassins versants et des pentes en long modérées des cours d'eau, l'aléa, dans les secteurs considérés et principalement qualifié en aléa faible d'inondation.

V.4. Principe d'établissement des cartes d'aléa

V.4.1. Définition des aléas

L'aléa instantané est défini par croisement des hauteurs et des vitesses. Le Tableau suivant présente les différentes classes d'aléa retenues en fonction du croisement de ces deux variables.

Tableau V.9 : Définition de l'aléa en fonction des hauteurs d'eau et vitesses de courant instantanées.

Hauteurs \ Vitesses	H < 0.50m	0.50m < H < 1 m	1m < H < 2 m	H > 2m	Alea
U < 0.2 m/s	Faible	Modéré	Fort	Très Fort	Très fort
0.20 < U < 0.5 m/s	Modéré	Modéré	Fort	Très Fort	Fort
U > 0.50 m/s	Fort	Fort	Très Fort	Très Fort	Modéré

L'aléa instantané est calculé tout au long de la propagation de l'inondation à l'aide de cette classification. Finalement, l'aléa cartographié est l'aléa instantané maximal obtenu sur la durée de simulation, en chaque point de l'espace. L'aléa maximal modélisé est donc issu d'un calcul instantané de l'aléa, et non d'un croisement des hauteurs maximales et des vitesses maximales, qui surestimerait l'aléa.

V.4.2. Bandes de précaution

Derrière les structures jouant un rôle de protection, des aléas particuliers doivent être pris en compte. En effet, la zone située à l'arrière d'un ouvrage subit de fortes vitesses en cas de rupture. Une bande de précaution est donc appliquée derrière ces ouvrages. La largeur de cette bande est prise égale à **100 fois le différentiel h entre le niveau d'eau atteignant l'ouvrage et la cote du terrain naturel derrière l'ouvrage de protection**, les éléments topographiques pouvant limiter l'extension de la bande de précaution. Toutefois la bande forfaitaire "ne pourra dans aucun cas être inférieure à 50 mètres (sauf si

le terrain naturel atteint la cote NGF du niveau marin de référence du PPRL)" comme inscrit dans la circulaire 27/07/2011.

Le principe de détermination de la largeur de la bande de précaution est illustré sur la Figure V.26. Les bandes de précaution sont associées à un aléa très fort.

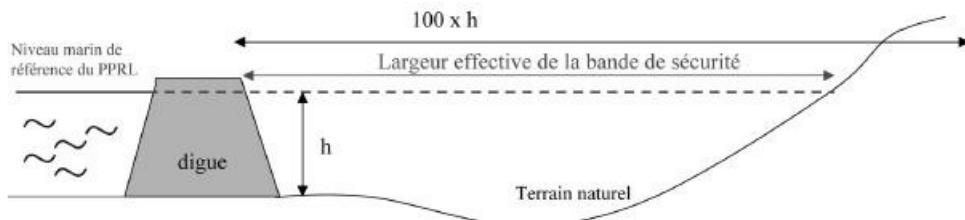


Figure V.26 : Représentation de la bande de précaution derrière les structures de protection (Source : Circulaire du 27/07/2011).

Un exemple de détermination est présenté ci-après pour le cas de la brèche au droit de la RD911. Le calcul de détermination de la bande de précaution est détaillé ci-après pour un profil topographique positionné perpendiculairement à l'axe longitudinal de l'ouvrage (trait jaune sur l'image ci-après). Le niveau marin de référence considéré est à l'altitude de 8,57 m IGN69. Le pied de l'ouvrage est à l'altitude 8,0 m IGN69, donnant ainsi un différentiel h (« Niveau de référence – Altitude en pied d'ouvrage ») de 0,57 m. Le calcul de la bande de précaution donne ainsi une largeur théorique de 57 m ($100 \times h$). L'analyse du profil montre que la largeur potentiellement inondable (largeur effective) s'étend ici à 90m (double flèche rouge sur l'image ci-après, distance prise depuis le pied d'ouvrage en considérant un niveau d'eau de 5,57 m NGF) du fait de la topographie.

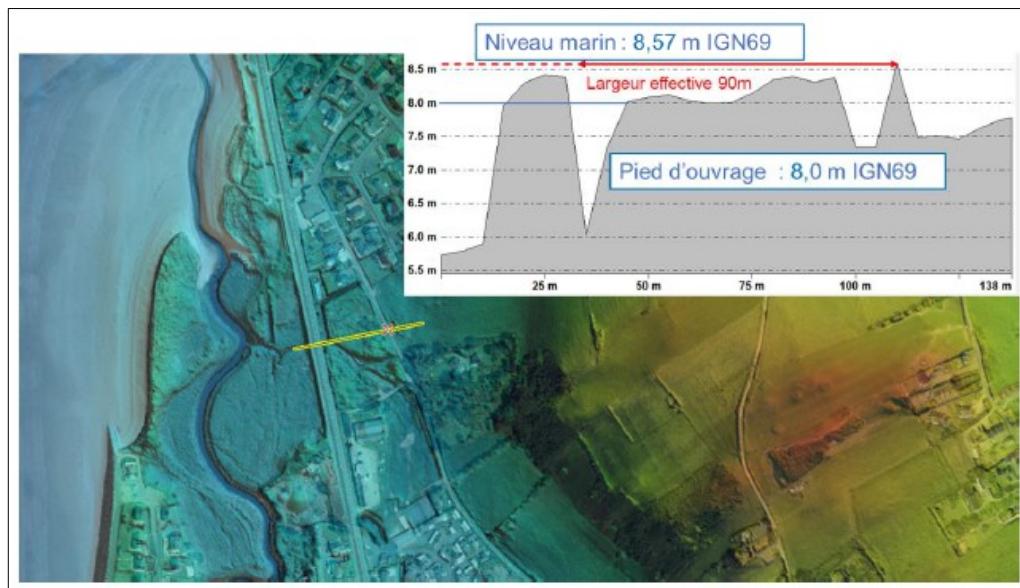


Figure V.27 : Exemple de détermination de la largeur de la bande de précaution.

V.4.3. Bandes de chocs mécaniques

« La zone soumise aux franchissements est sujette à des contraintes spécifiques, en particulier à des chocs mécaniques de vagues et de projections. L'aléa choc mécanique des vagues est donc distinct de l'aléa inondation. Lorsque des zones de franchissements importants sont identifiées, une analyse

spécifique de la topographie en arrière et des efforts et pressions d'impact des franchissements de vagues peut être menée afin de déterminer la largeur de la zone concernée. Dans les zones caractérisées par des franchissements modérés, la largeur de la zone soumise au déferlement peut être considérée par défaut comme égale à 25 m et étendue à 50 m dans un contexte cyclonique ».

La bande de précaution liée aux chocs mécaniques se traduit par la bande littorale impactée par la dissipation de l'énergie des vagues à la côte. Le guide de la méthodologie des PPRL précise que dans la qualification des aléas submersion, les zones soumises à des chocs de vagues ou franchissements par paquets de mer doivent être classées en aléa Fort à Très Fort.

L'exposition à la houle, déterminé par la modélisation (voir section V.2.3), est le principal facteur conditionnant les chocs mécaniques. L'analyse historique apporte également une information à prendre en compte. Les dégradations d'ouvrages côtiers constituent un indicateur indirect des sollicitations auxquels sont soumis les ouvrages.

Pour le secteur d'étude, l'ensemble du front de mer peut être exposé à l'action des houles. La modélisation du franchissement par paquets de mer a permis de déterminer l'étendue de cette bande de protection qui n'est absente que lorsque les franchissements par paquets de mer n'ont pas atteint la crête des ouvrages de protections.

Ainsi la bande n'est pas présente pour l'aléa de référence et l'aléa à échéance de 100 ans (+ 60 cm) entre la rue de Scissy, à Jullouville, et le débouché du Crapeux où la modélisation ne montre pas d'intrusions marines.

Remarque : Les débits de franchissements introduits dans le modèle de submersion sont indiqués sur les cartes d'aléa pour chaque secteur urbain impacté par les franchissements. Cette indication permet uniquement de rendre compte des intrusions marines qui pénètrent dans les terres au droit des accès au front de mer. Toutefois, la houle est tout aussi dangereuse le long de la digue, en particulier le long du boulevard maritime de Jullouville et sur la promenade François-Guimbaud sans pour autant que cela n'engendre d'intrusion marine dans les rues (l'altimétrie haute de ces rues en est principalement la cause). La bande de chocs mécaniques tiendra alors compte de ces zones identifiées par la modélisation.

V.4.4. Cartographie des aléas

Sur la base des éléments décrits ci-avant, les cartes d'aléas ont été établies pour les communes de Granville (Saint-Nicolas-Plage), Jullouville, Carolles et Saint-Pair-sur-mer. Elles sont présentées en trois planches couvrant l'intégralité du périmètre PPRL :

- feuille nord : de Saint-Nicolas-Plage à Jullouville ;
- feuille sud : de Jullouville à Carolles ;
- feuille est : têtes de bassins sur Jullouville et Carolles.

Ces cartes sont déclinées en :

- carte des aléas de référence actuel :
 - par prise en compte de l'aléa maximum en chaque maille de calcul obtenu pour les simulations :
 - évènement de référence marin (T100) et crues annuelles Q1 ;
 - évènement T10 marin et Q10 de crues ;
 - évènement T1 marin et Q100 de crues ;
 - avec intégration des phénomènes de franchissements par paquets de mer
 - le scenario de brèche au niveau de la RD911.

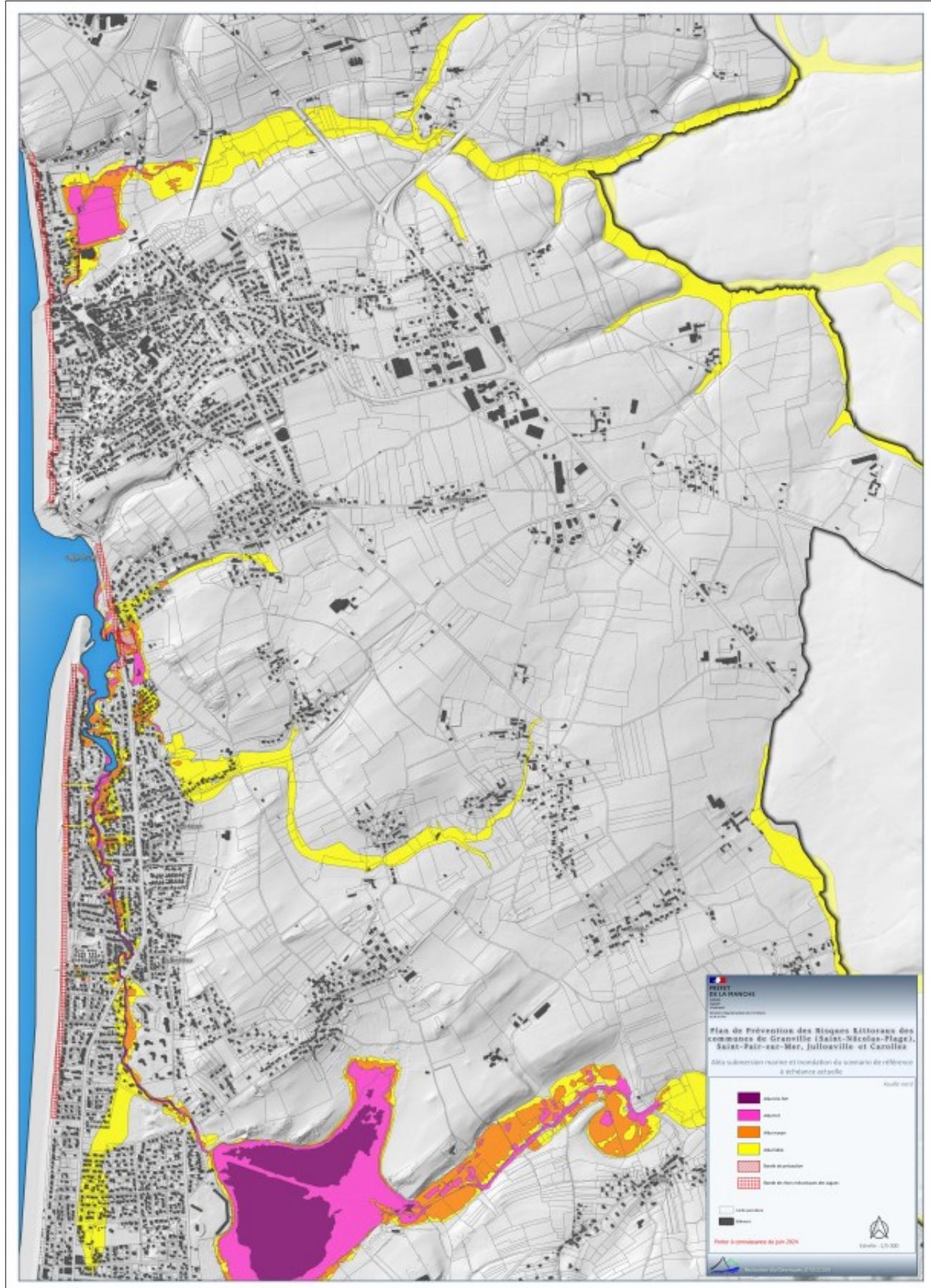


Figure V.28 : Aléas centennal de référence - feuille nord

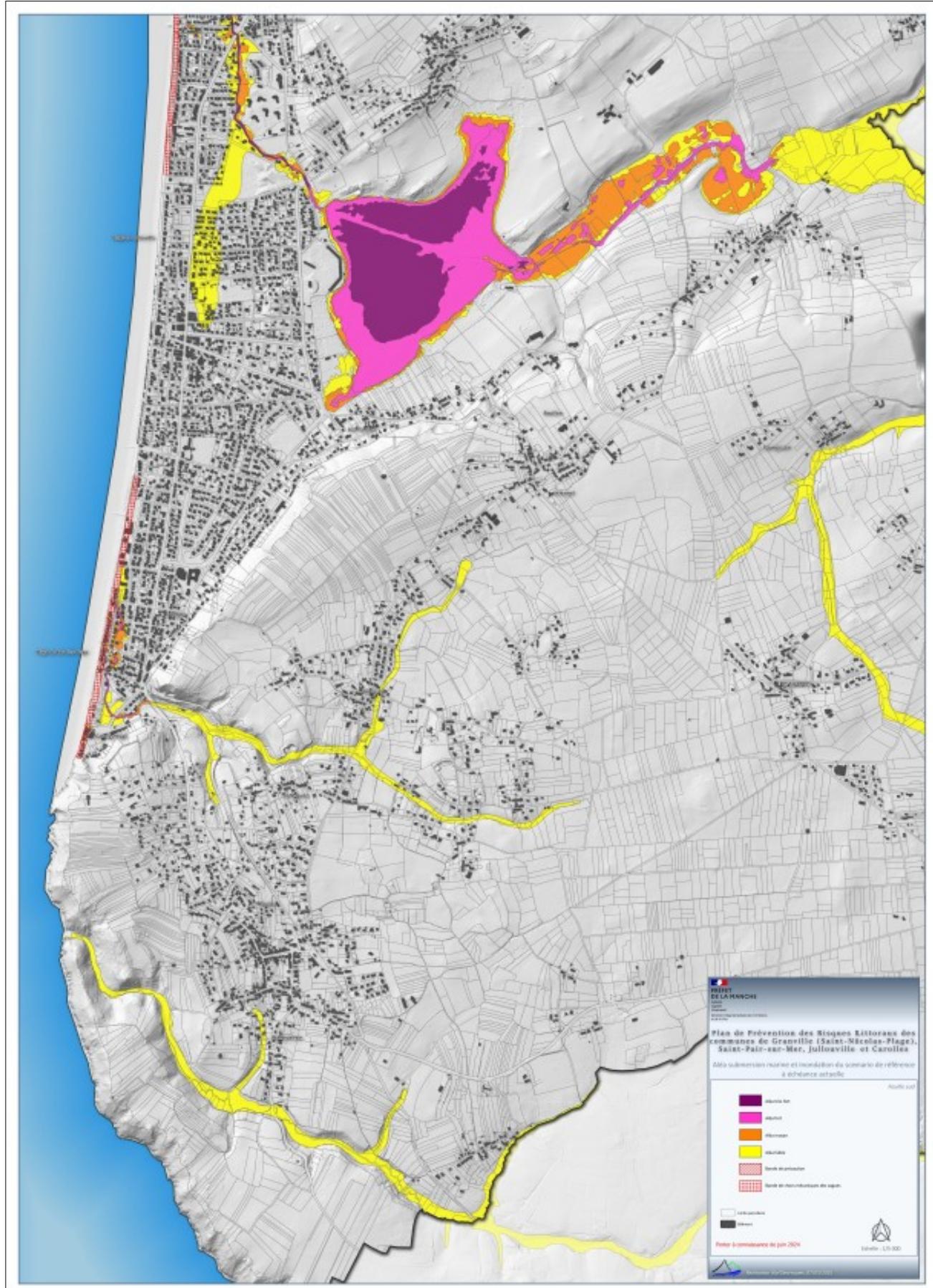


Figure V.29 : Aléas centennal de référence - feuille sud

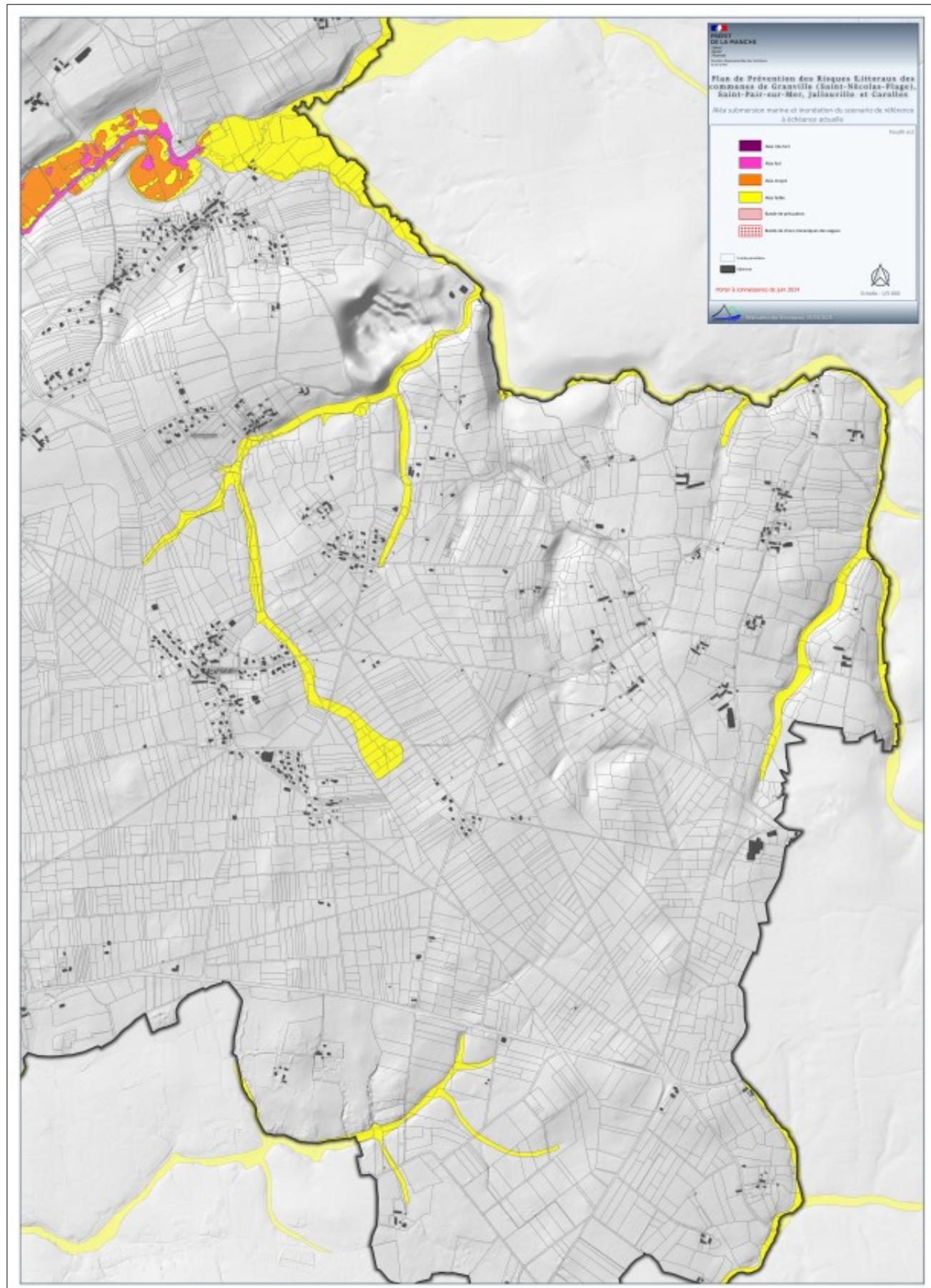


Figure V.30 : Aléas centennal de référence - feuille est

- carte des aléas à échéance 100 ans :
 - par prise en compte de l'aléa maximum en chaque maille de calcul obtenu pour les simulations :
 - évènement de référence marin (T100) et crues annuelles Q1 ;
 - évènement T10 marin et Q10 de crues ;
 - évènement T1 marin et Q100 de crues ;
 - avec intégration des phénomènes de franchissements par paquets de mer
 - les scenarios de brèche au niveau de la RD911 et d'effacement de la flèche sableuse.

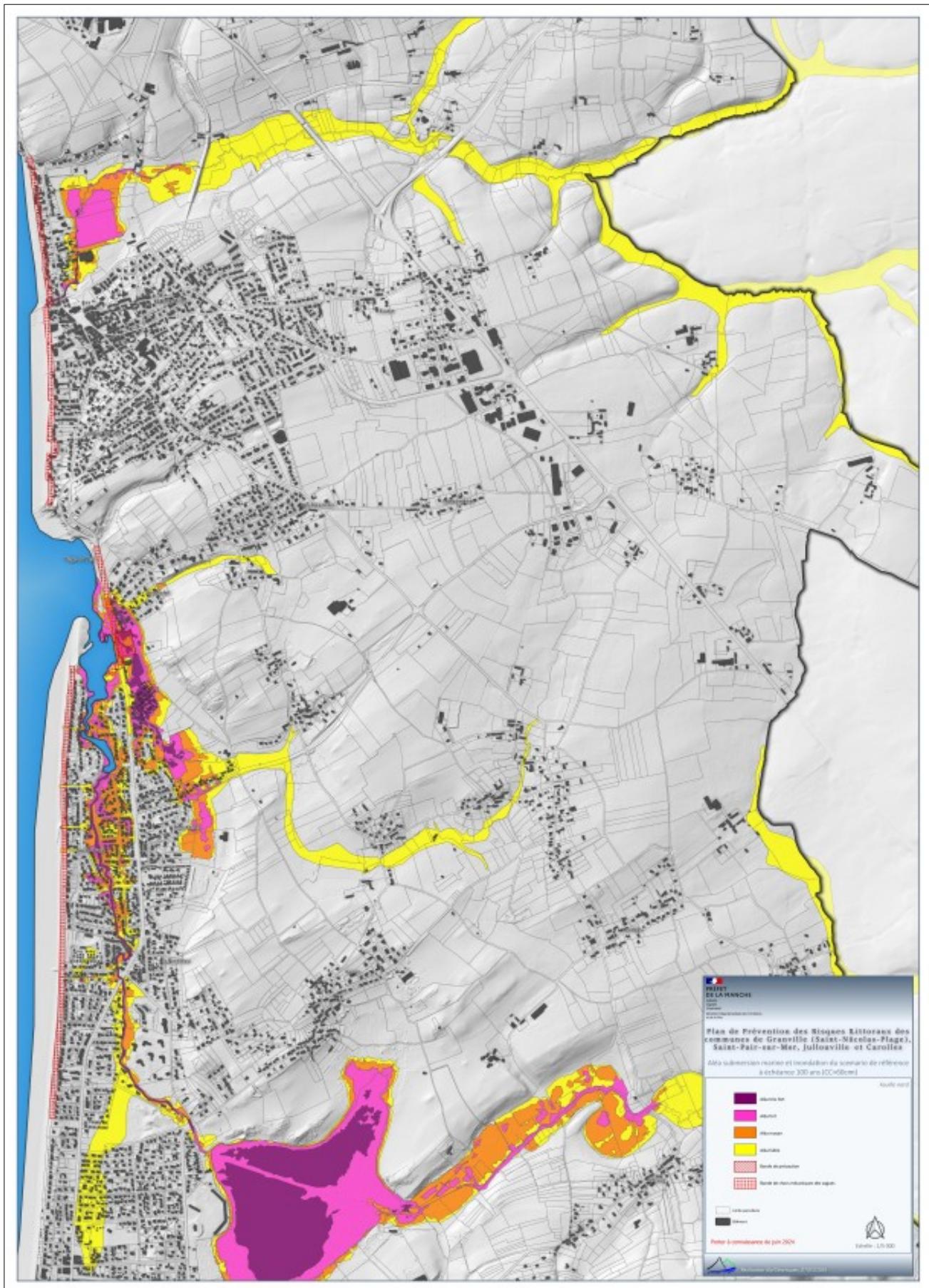


Figure V.31 : Aléas centennal avec prise en compte du réchauffement climatique à + 0,60 m - feuille nord

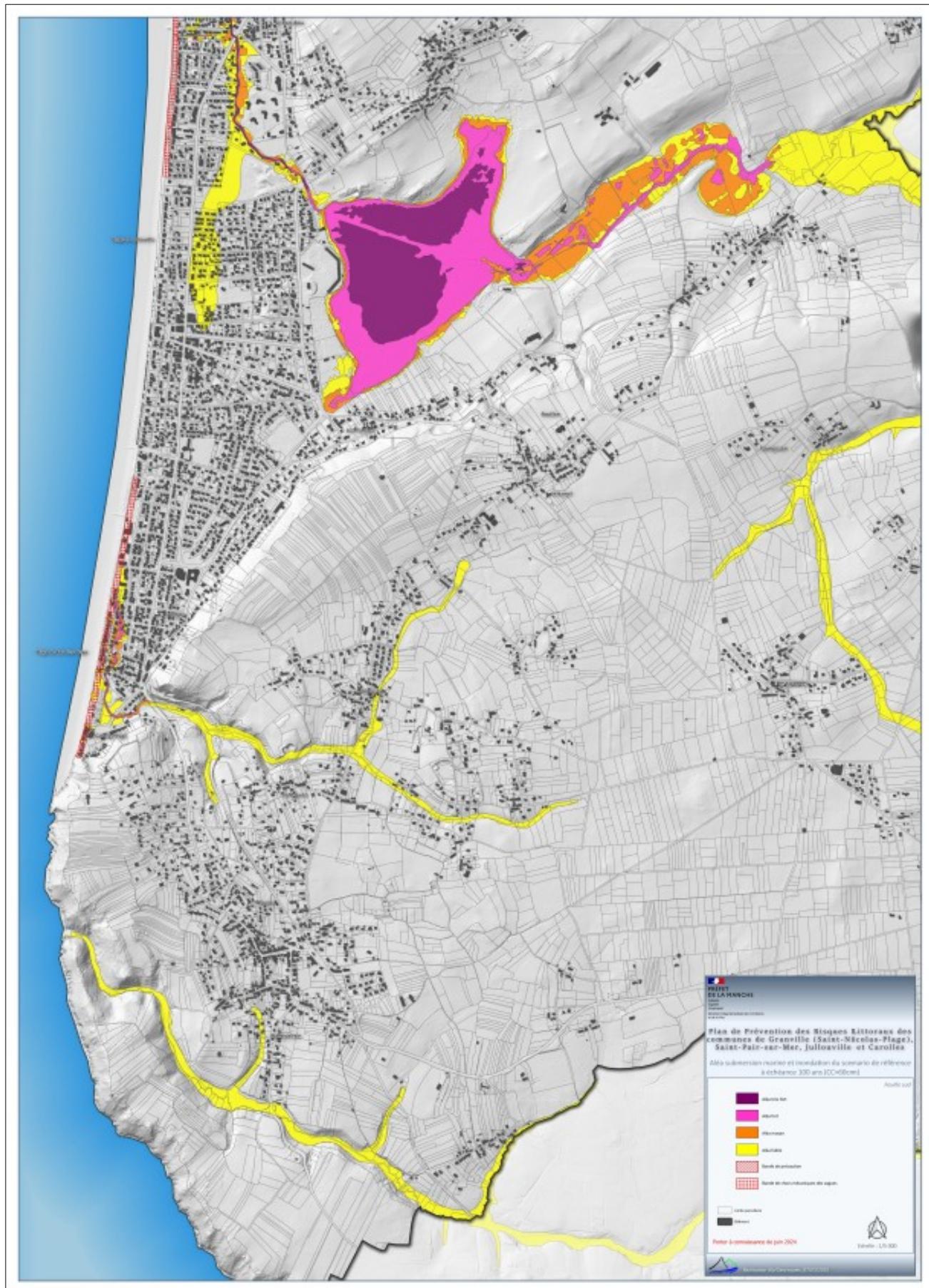


Figure V.32 : Aléas centennal avec prise en compte du réchauffement climatique à + 0,60 m - feuille sud

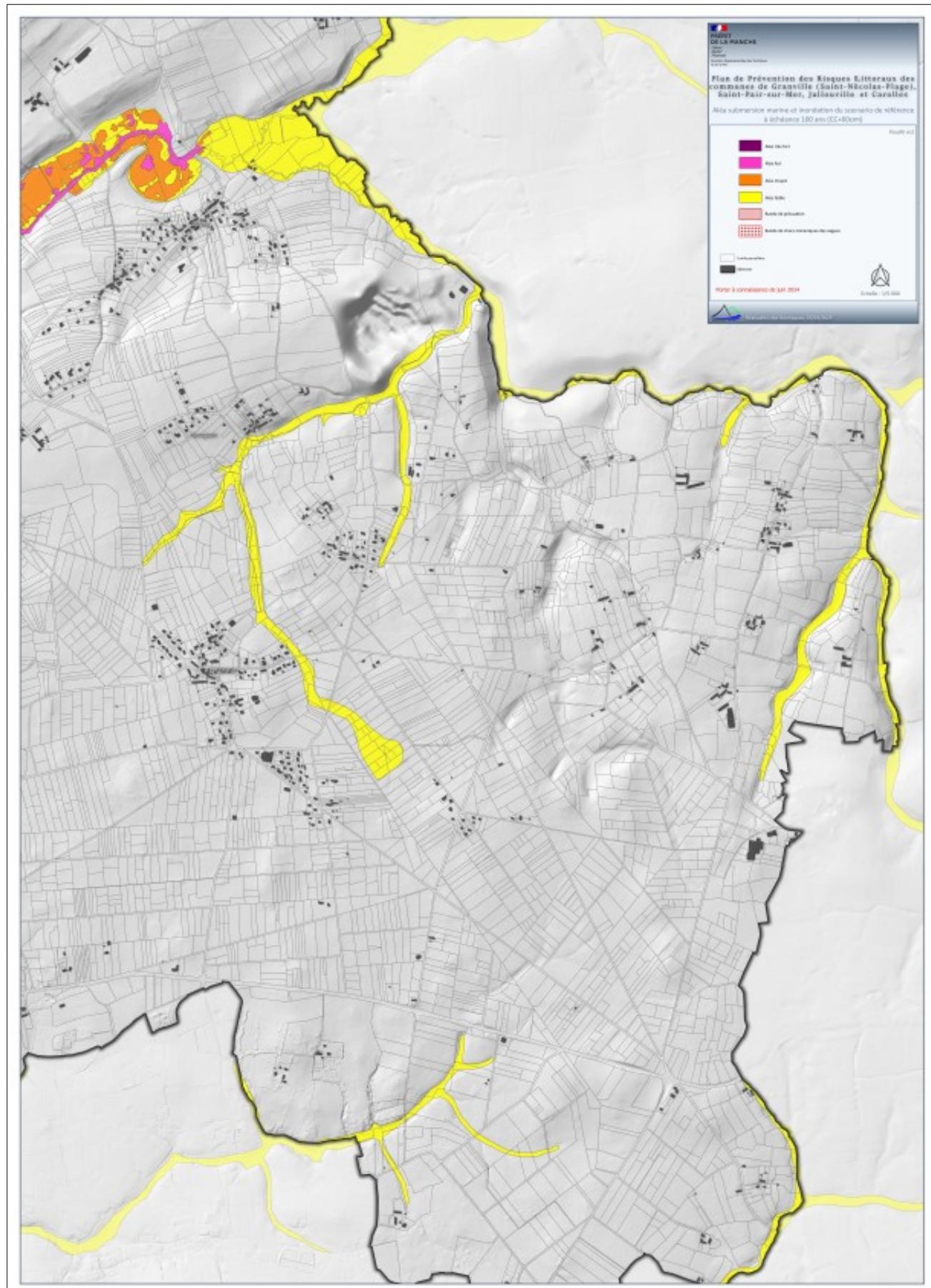


Figure V.33 : Aléas centennal avec prise en compte du réchauffement climatique à + 0,60 m - feuille est

Les aléas ont été lissés par la DDTM et ensuite combinés aux résultats de l'analyse géomorphologique d'Alp'Géorisques sur la partie cours d'eau en amont, ainsi qu'avec l'AZI de la DREAL. Cette intégration permet une vision plus complète et précise des risques dans la zone étudiée. L'analyse géomorphologique, apporte des informations nécessaires pour comprendre les dynamiques du cours d'eau et les risques associés, contribuant ainsi à une meilleure gestion des risques naturels.

VI. Enjeux du territoire

VI.1. Concept

Le vocable enjeux regroupe les personnes, biens, activités, moyens, patrimoine, susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel.

La vulnérabilité exprime le niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène naturel sur ces enjeux, des dommages matériels aux préjudices humains.

Leur identification et leur qualification sont des étapes indispensables de la démarche qui permettent d'assurer la cohérence entre les objectifs de la prévention des risques et les dispositions qui seront retenues. Ces objectifs consistent à :

- préserver les champs d'expansion des crues pour éviter d'aggraver l'aléa ;
- prévenir et limiter le risque humain, en n'accroissant pas la population dans les zones soumises à un risque et en y améliorant la sécurité ;
- favoriser les conditions de développement local en limitant les dégâts aux biens et sans aggraver les aléas. Les enjeux correspondent, au sens du Plan de Prévention des Risques Naturels prévisibles, à l'ensemble des biens et activités présents sur le territoire de la commune lors de l'élaboration du PPRN.

Les personnes ne sont pas considérées comme un enjeu au sens strict, mais les zones habitées et la typologie du bâti en constituent un enjeu essentiel. La fréquentation occasionnelle des espaces naturels, fluviaux ou agricoles et des abords des zones urbanisées ne constitue pas un enjeu spécifique.

La caractérisation des enjeux est une étape importante de la procédure PPRI. En effet, le zonage réglementaire découle directement de l'intensité des phénomènes (l'aléa) et de l'usage des sols (les enjeux). Il est donc primordial que cette analyse des enjeux soit la plus précise et la plus pragmatique possible, puisque la traduction réglementaire en découlera.

Dans ce cadre, nous produirons une analyse des enjeux PPRI à l'échelle du 1/5000 sur fond cadastral. Ce document sera ensuite directement exploitable lors de la définition du zonage réglementaire qui découlera d'une confrontation des enjeux aux aléas.

VI.2. Méthodologie

VI.2.1. Recensement des données disponibles

La cartographie des enjeux est produite à la suite de plusieurs étapes, à partir des données fournies par le maître d'ouvrage ou collectées auprès des collectivités. Plusieurs documents ont été exploités :

- les photographies aériennes sous format numérique ;
- la BD cadastrale des communes du périmètre d'étude ;
- la BD foncière des communes du périmètre d'étude ;
- le projet de PLUI de la Communauté d'Agglomération de Granville-Terre-et-Mer ;
- les PLU des communes des quatre communes concernées ;
- les couches SIG diverses mises à disposition ;

- le recensement des ERP auprès des communes ;
- l'enquête auprès des collectivités.

Ces documents sont ensuite complétés dans une seconde étape par une recherche de documents numériques disponibles comme la BDTOPO de l'IGN ou d'autres prises de vues aériennes (cf. Google Earth, Géoportail, éléments Street View).

VI.2.2. Vérification des données sur le terrain

Le chargé de missions a procédé à des visites sur le terrain et le projet de carte des enjeux a été soumis à l'avis des différentes collectivités. L'objectif de cette démarche est de s'assurer de la parfaite adéquation entre les informations traitées, interprétées par le bureau d'étude et la perception des acteurs locaux.

VI.3. Évolution du territoire sur le long terme

VI.3.1. Commune de Granville (Saint-Nicolas-Plage)

Les données disponibles (notamment INSEE) ne permettent pas de distinguer les caractéristiques de la population et de l'habitat à l'échelle du quartier. Compte-tenu de l'imbrication de Saint-Nicolas-Plage dans le tissu urbain de Saint-Pair-sur-Mer, on peut considérer que les tendances sont certainement voisines, même si le caractère balnéaire de Saint-Pair-sur-Mer est un peu plus marqué, le long d'une côte basse.

VI.3.2. Commune de Saint-Pair-sur-Mer

La commune de Saint-Pair-sur-Mer a connu une croissance modérée durant la fin du XIX^e siècle et du début du XX^e siècle. En 1846, le territoire communal est essentiellement couvert de terres agricoles ou de zones naturelles, seulement 5 % du territoire est dédié à l'urbanisation.

Au milieu du XX^e siècle, Saint-Pair-sur-Mer connaît une extension importante de son bourg et voit sa population doubler entre 1846 et 1946, passant de 1304 à 2562 habitants. Cette augmentation peut s'expliquer par la proximité du bourg avec la mer et l'intérêt que présente cette situation à une époque où se développent les « bains de mer ».

Au début du XXI^e siècle, la surface urbanisée de la commune a presque doublé en 50 ans, passant de 14 % à 26 % du territoire. Cette extension se fait au détriment des zones naturelles et agricoles, passant respectivement de 27 à 22 % et de 55 à 42 % du territoire. L'urbanisation s'étend en périphérie du bourg et des hameaux de la commune. Le développement de l'urbanisation est également lié à l'installation et à l'extension de la station balnéaire de Kairon-Plage qui rejoint la station du Jullouville, créant un tissu urbain qui s'étend désormais du bourg de Saint-Pair-sur-Mer à Carolles-plage. Les dunes sont colonisées et le front de mer progressivement protégé contre l'érosion littorale. La population croît rapidement et en 1999, la commune comptait 1000 habitants de plus qu'en 1946.

En 2018, la population a continué de croître, atteignant les 4053 habitants. De nos jours, l'urbanisation s'est densifiée au niveau du bourg de la commune et sur le front de mer qui s'étend désormais sur les deux rives du Thar (Petit-Kairon) sur une largeur d'environ 600 m.

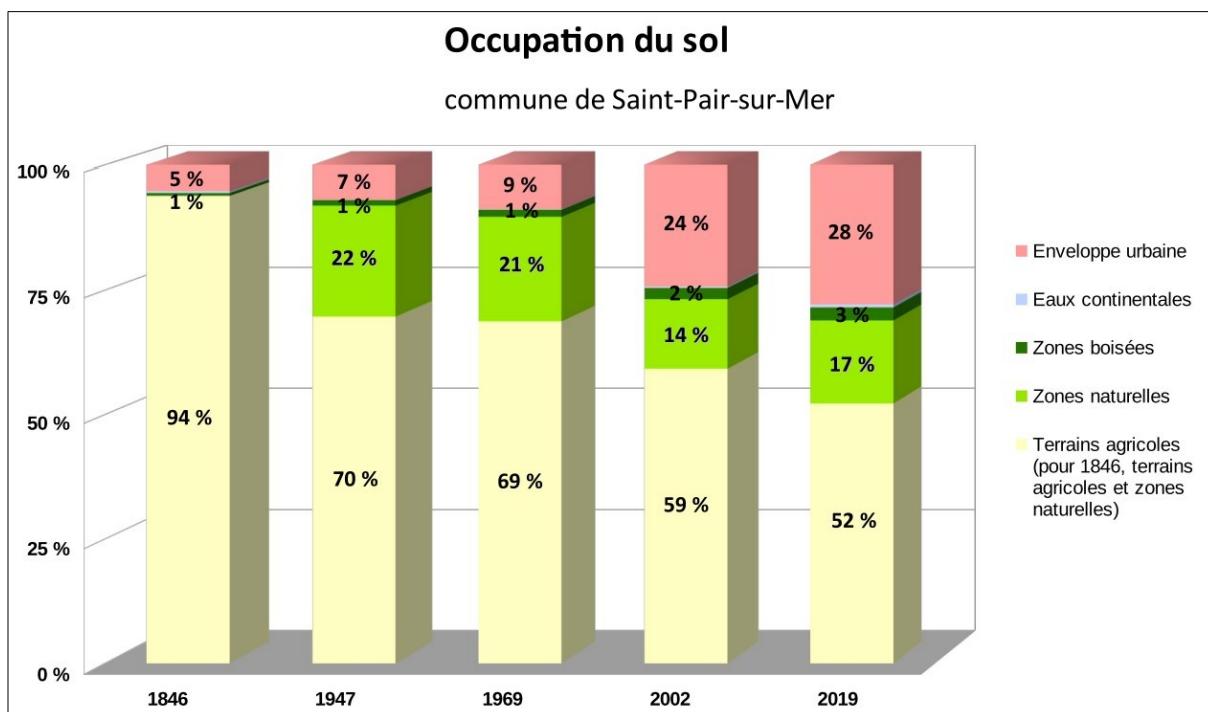


Figure VI.1: Occupation du sol pour la commune de Saint-Pair-sur-Mer.

Tableau VI.1 : Evolution de la population pour la commune de Saint-Pair-sur-Mer
(source :Ldh/EHESS/Cassini de 1793 à 1946 et INSEE de 1975 à 2018).

	1793	1846	1901	1946	1975	1999	2008	2018
Population	1615	1304	1425	2526	2070	3616	3795	4053

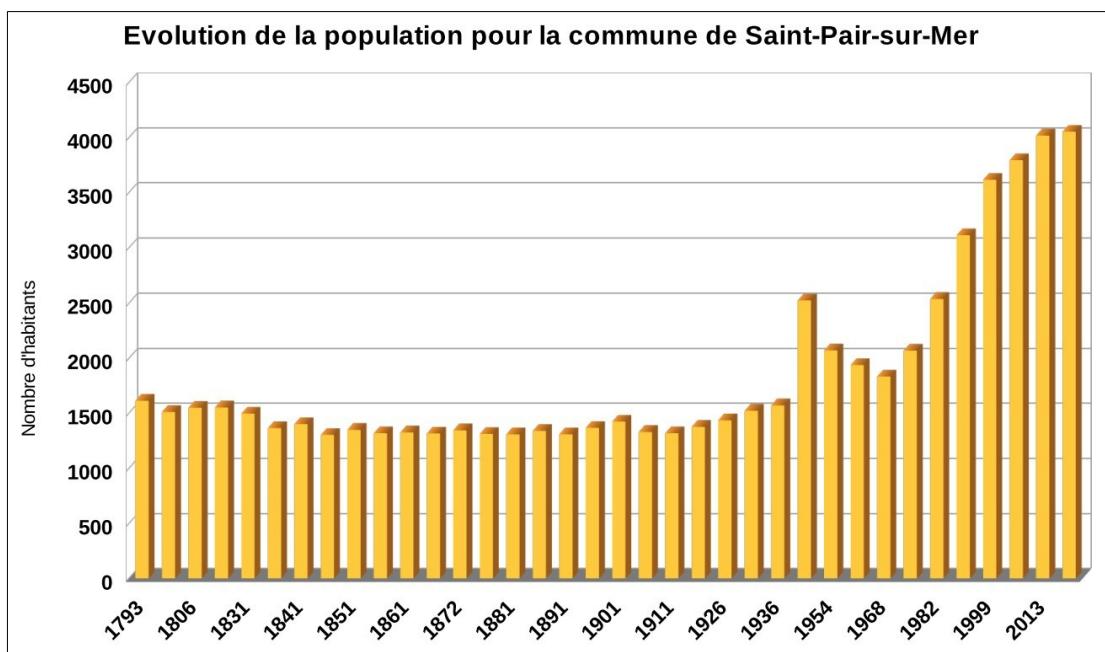


Figure VI.2: Evolution de la population de la commune de Saint-Pair-sur-Mer (source : Ldh/EHESS/Cassini et INSEE)

VI.3.3. Commune de Jullouville

La commune de Jullouville a également connu une croissance modérée durant la fin du XIX^e siècle et du début du XX^e siècle. En 1846, l'urbanisation est principalement concentrée autour des bourgs de Bouillon et Saint-Michel-des-Loups et de quelques hameaux, entourée majoritairement par des terres agricoles. Les zones naturelles étaient situées en grande partie au niveau du littoral (cordon dunaire et marais rétro-littoraux).

L'urbanisation du littoral a débuté avec la création en 1882 de la station balnéaire. Toutefois, en 1947, l'habitat au niveau du littoral est encore très dispersé et les hameaux situés dans les terres ne connaissent que peu d'évolution.

Au cours de la seconde moitié du XX^e siècle, la commune connaît un essor important. Le développement de l'urbanisation est marqué en particulier par l'essor de la station balnéaire et sa densification sur le front de mer. Les bourgs et hameaux situés à l'intérieur des terres ont également connu une croissance importante, l'enveloppe urbaine s'est étendue en périphérie de ceux-ci.

Cet accroissement de l'urbanisation se traduit par une augmentation importante de la population et des capacités d'accueil touristique en bord de mer (nombreuses résidences secondaires). Le nombre d'habitants a doublé en 50 ans, passant de 1233 habitants en 1946 à plus de 2180 habitants en 2008.

De nos jours, la population continue de croître avec 2388 habitants en 2018, l'urbanisation s'est densifiée en bord de mer et des zones pavillonnaires ont été construites autours des hameaux afin d'accueillir de nouveaux habitants.

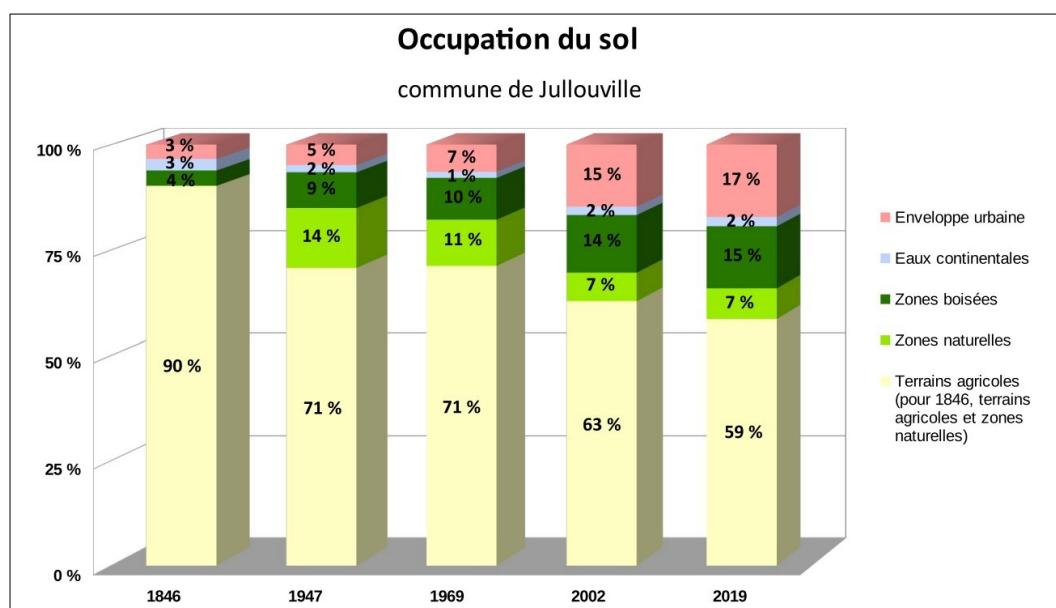


Figure VI.3: Occupation du sol pour la commune de Jullouville.

Tableau VI.2 : Evolution de la population pour la commune de Jullouville
(source :Ldh/EHESS/Cassini de 1793 à 1946 et INSEE de 1975 à 2018).

	1793*	1846*	1901*	1946*	1975	1999	2008	2018
Population	999	1225	931	1233	1263	1757	2180	2338

*Pour les 4 premières dates : Le nombre d'habitants correspond à la population cumulée des communes de Saint-Michel-des-Loups et de Bouillon, communes qui composent aujourd'hui la commune de Jullouville.

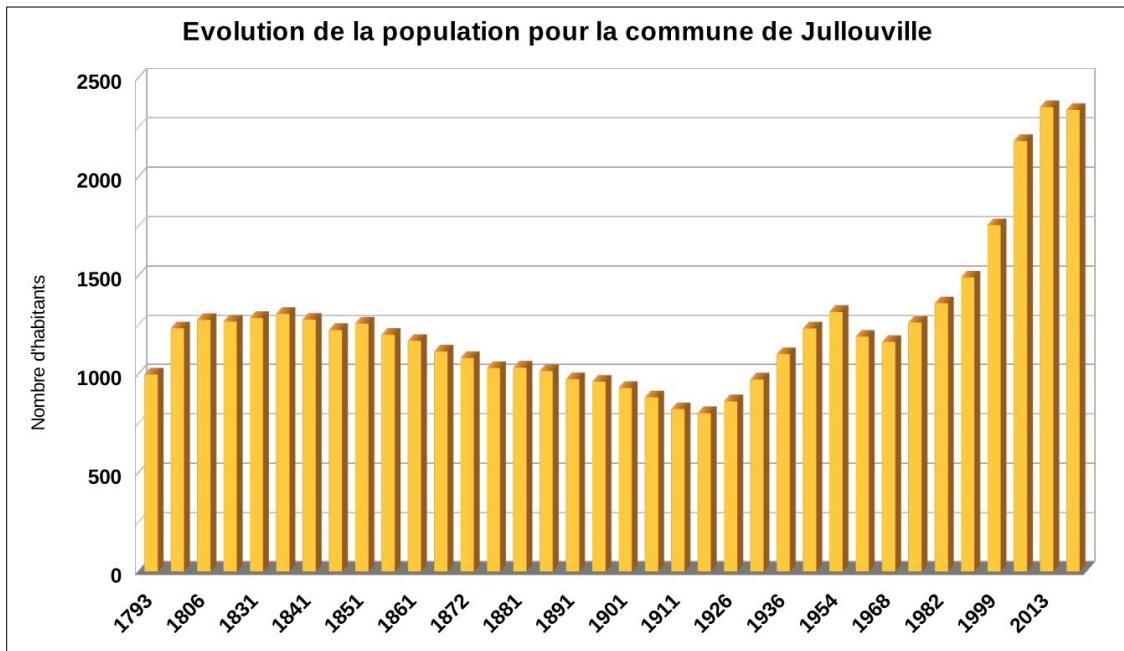


Figure VI.4 : Evolution de la population pour la commune de Jullouville. (Source : Ldh/EHESS/Cassini et INSEE).

VI.3.4. Commune de Carolles

La commune de Carolles est limitrophe de la commune de Jullouville qui la jouxte au nord.

En cent ans, l'urbanisation a connu une forte expansion. La superficie de l'enveloppe urbaine a ainsi été triplée entre 1846 et 1947. Cette anthropisation s'est concentrée autour du bourg de Carolles, s'étendant en grande partie vers le nord et le nord-ouest du bourg, le long des axes de circulation.

En 1947, la petite station de Carolles-Plage est déjà installée au pied du relief, en rive gauche du Crapeux, sensiblement dans l'espace occupé aujourd'hui.

En corollaire, cette expansion de l'urbanisation se traduit par l'augmentation importante de la population sur la commune, avec plus de 200 habitants supplémentaires en 1946, par rapport aux 503 habitants sur la commune en 1846.

L'urbanisation a continué de croître à la fin du XX^e siècle et au début du XXI^e siècle, avec plus d'un quart du territoire urbanisé en 2002. Cette extension du tissu urbain s'est principalement faite au détriment des terres agricoles, avec en 1947, la moitié du territoire voué à l'agriculture, contre seulement 35 % du territoire en 2019.

La population n'a cependant que très peu augmentée avec seulement 747 habitants en 2018, contre 714 habitants en 1947. Cette augmentation de la superficie urbanisée par rapport à une augmentation de la population plus faible, s'explique par la modification du type d'habitat et de la création de zones pavillonnaires, type d'habitat majoritaire sur le territoire communal au XXI^e siècle.

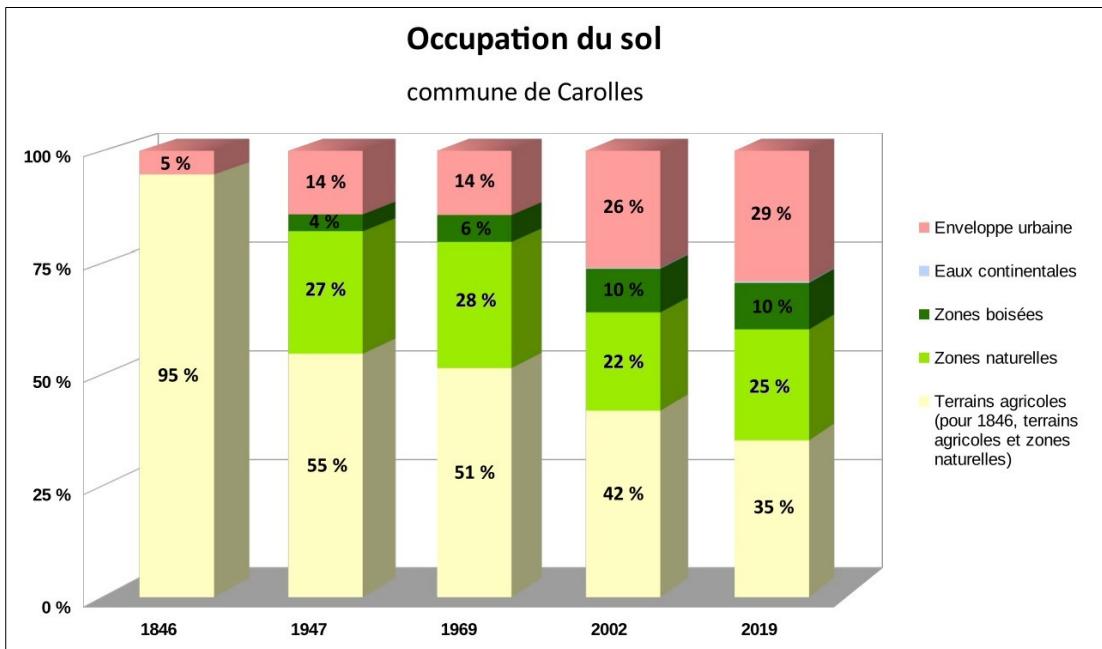


Figure VI.5: Occupation du sol pour la commune de Carolles

Tableau VI.3 : Evolution de la population pour la commune de Jullouville (source :Ldh/EHESS/Cassini de 1793 à 1946 et INSEE de 1975 à 2018).

	1793	1846	1901	1946	1975	1999	2008	2018
Population	637	503	468	714	635	652	742	747

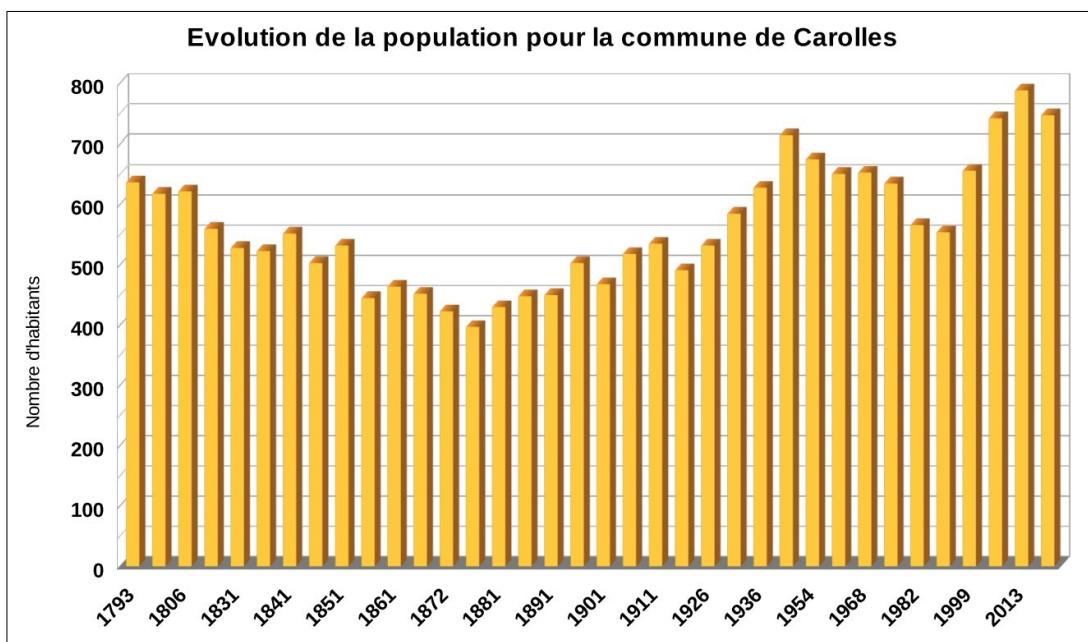


Figure VI.6: Evolution de la population pour la commune de Carolles (Sources : Ldh/EHESS/Cassini et INSEE).

VI.4. Tendances récentes et structure de la population

VI.4.1. Commune de Saint-Pair-sur-Mer

La commune de Saint-Pair-sur-Mer accueillait en 2021 4 238 habitants sur une superficie totale de 14,4 km² (INSEE, 2024). La densité de la population s'élevait alors à 239,9 habitants par km², ce qui s'avère bien supérieur à la moyenne nationale (106,5 habitants par km²). La population n'a cessé de croître progressivement depuis 1968 (INSEE, 2024), date à laquelle Saint-Pair-sur-Mer comptait 1 835 habitants selon les recensements de l'INSEE (Figure VI.7).

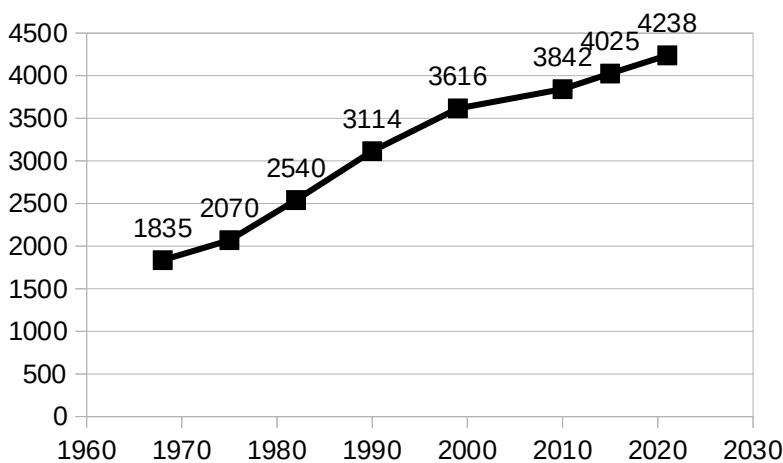


Figure VI.7: Évolution du nombre de résidents dans la commune de Saint-Pair-sur-Mer entre 1968 et 2021 (INSEE, 2024)

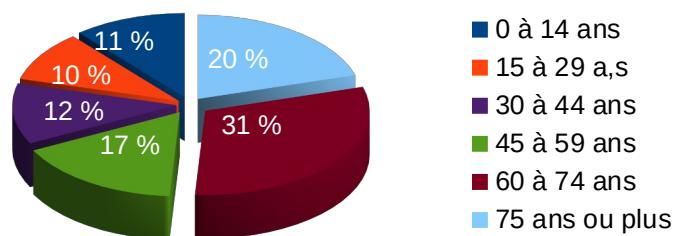


Figure VI.8: Répartition de la population de Saint-Pair-sur-Mer par tranche d'âge en 2021 (INSEE, 2024).

Quant au profil socio-démographique des Saint-Parais, il présentait en 2021 une population plutôt âgée, dont la moitié a plus de 60 ans (51 %). Les enfants de moins de 14 ans constituaient 11 % de la population, alors que les adolescents, les jeunes adultes et les adultes représentaient un peu plus d'un tiers de l'effectif (39 % de personnes ont entre 15 et 59 ans) (Figure VI.8). La population de Saint-Pair-sur-Mer est vieillissante. Depuis 2010 (Cf. Figure VI.9). La part de la population appartenant aux tranches d'âges supérieures à 60 ans s'est progressivement accrue entre 2010 et 2021. C'est ici la

tranche d'âge des 45-59 ans qui perd de sa représentativité au cours de ces dix dernières années, alors que la part de la population appartenant aux tranches d'âge inférieures à 45 ans évolue très peu.

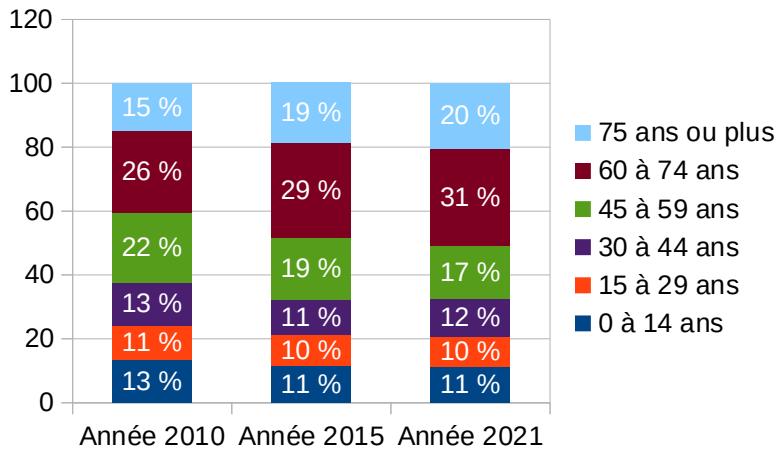


Figure VI.9: Évolution de la répartition de la population de Saint-Pair-sur-Mer entre 2010 et 2021 (INSEE, 2024)

VI.4.2. Commune de Jullouville

En 2021, la commune de Jullouville comptait 2 382 habitants (INSEE, 2024). La superficie totale du territoire approchant 21,9 km², la densité de population s'élevait à près de 108,9 habitants par km², seuil légèrement supérieur à la moyenne nationale (106,5 habitants par km²). Jullouville a connu une croissance constante de la population entre 1968 et 2010, avec une accélération sensible entre 2000 et 2010. Le nombre d'habitants a eu ensuite tendance à stagner entre 2010 et 2021.

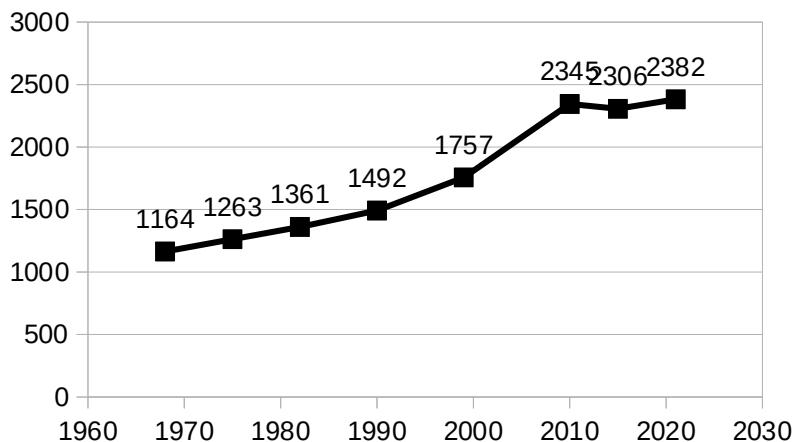


Figure VI.10: Évolution du nombre de résidents dans la commune de Jullouville entre 1968 et 2021 (INSEE, 2024)

Le profil socio-démographique de la population de Jullouville en 2021 montre que plus de la moitié est âgée de 60 ans et plus (52 %), 39 % sont adolescents, de jeunes adultes et des adultes (fourchette des 15 à 59 ans) et 10 % sont des enfants âgés de moins de 15 ans (Figure VI.11).

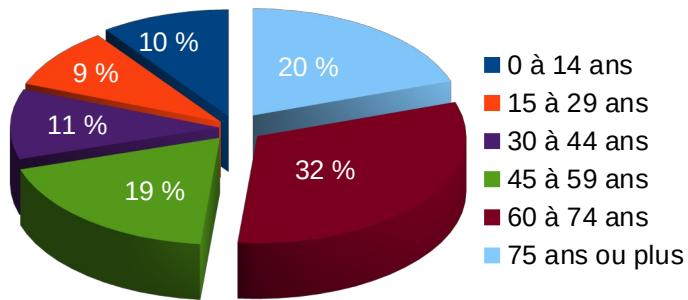


Figure VI.11: Répartition de la population de Jullouville par tranche d'âge en 2021 (INSEE, 2024)

La part de la population vieillissante a eu tendance à augmenter au cours de ces dix dernières années (Figure VI.12). En effet la part des personnes de plus de 60 ans n'était que de 39 % en 2010. Alors que la part des 45-59 ans change peu, la population plus jeune est de moins en moins représentée, toutes tranches d'âge confondues.

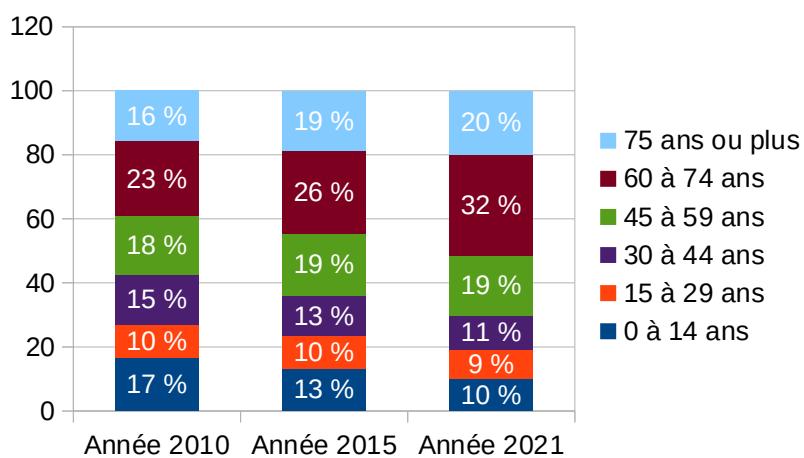


Figure VI.12: Évolution de la répartition de la population de Jullouville entre 2010 et 2021 (INSEE, 2024)

VI.4.3. Commune de Carolles

Carolles est une commune de 3,9 km² et accueillait en 2021 755 résidents permanents (Figure VI.13), ce qui correspond à une densité de population équivalente à 196 habitants par km². Ces chiffres ont très peu évolué au cours de ces quarante dernières années, la variation maximale entre le nombre d'habitants recensés le plus élevé et le nombre le plus bas étant de 234 personnes. Depuis les années 60, c'est en 1990 que Carolles connaît le niveau le plus bas, avec 554 habitants. La population atteint le seuil de 788 personnes en 2010 et diminue progressivement pour atteindre le palier connu de 755 résidents en 2020.

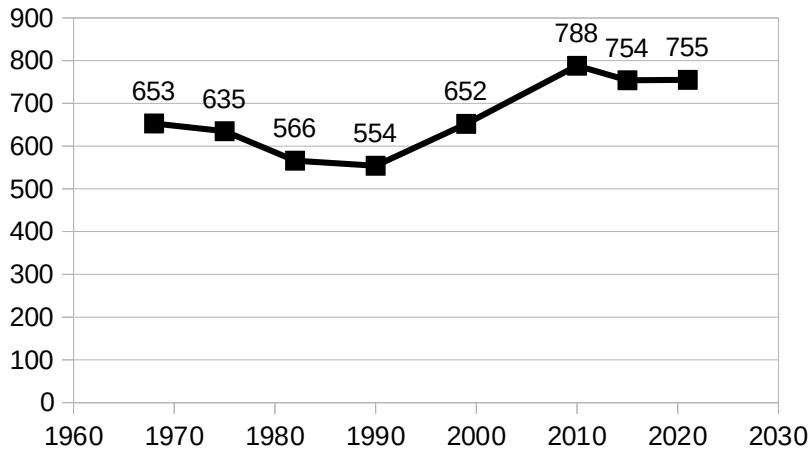


Figure VI.13: Évolution de la population de Carolles entre 1968 et 2021 (INSEE, 2024)

En 2021, la répartition de la population selon l'âge se présente comme suit : la population est composée de 53 % de seniors (âgés de plus de 60 ans), de 36 % d'adolescents, jeunes adultes et adultes (âgés

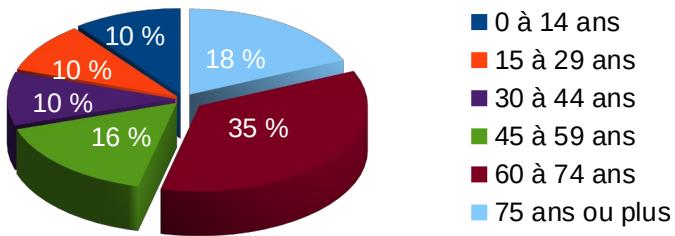


Figure VI.14: Répartition de la population de Carolles par tranches d'âge en 2021 (INSEE, 2024).

entre 15 et 59 ans) et 10 % d'enfants (âgés moins de 15 ans) (Figure VI.14).

Cette répartition est sensiblement la même au cours des dix années précédentes (Figure VI.15), à l'exception de la part des personnes âgées entre 60 et 74 ans qui augmente de 10 points entre 2010 et 2021. En dehors de la part des personnes appartenant à la tranche d'âge des 15 - 29 ans, qui constitue une proportion constante de la population sur cette période, la représentativité des personnes âgées de moins de 60 ans a eu tendance à se réduire.

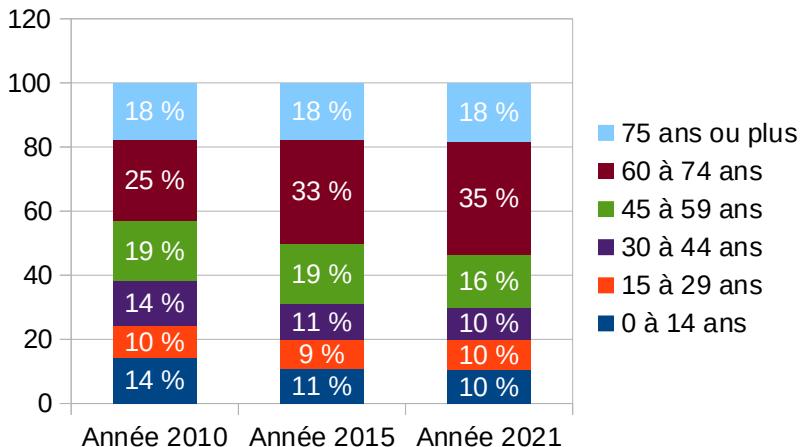


Figure VI.15: Évolution de la répartition de la population de Carolles par tranche d'âge entre 2010 et 2021 (INSEE, 2024).

VI.5. Parc de logements

VI.5.1. Commune de Saint-Pair-sur-Mer

Le profil général des logements recensés est dominé ici par la fonction de résidence principale, qui concerne la moitié des logements (52,5 %) sur 4 102 résidences. L'autre moitié est principalement composée de résidences secondaires et occasionnelles (42,3 %) et de logements vacants (5,2 %) (données INSEE, 2024).

VI.5.2. Commune de Jullouville

Jullouville recense davantage de résidences secondaires et occasionnelles que de résidences permanentes. En effet, 61 % des logements recensés en 2021 étaient des résidences secondaires et occasionnelles, contre 36,8 % de résidences permanentes sur un total de 3 254 logements (INSEE, 2024). 2,2 % sont des logements vacants.

VI.5.3. Commune de Carolles

Le recensement des logements dans la commune par l'INSEE (données de 2021) montre que sur un total de 1044 logements, 60,1 % sont des résidences secondaires et occasionnelles et 2,5 % sont des logements vacants. En somme, seuls 37,4 % des logements recensés dans la commune sont des résidences principales

VI.6. Analyse de la vulnérabilité par commune

VI.6.1. Cartographie des enjeux

La présente étude de vulnérabilité s'appuie sur une méthode d'identification des zones d'occupation du sol sensiblement différente de celle appliquée dans le PLUi. En effet, dans le contexte de l'élaboration du PPRL, la zone urbanisée doit être définie aussi précisément que possible en tenant compte de l'usage du sol effectif du sol.

À ce titre, l'identification des zones urbanisées dans les trois communes est réalisée à l'aide d'un logiciel SIG à partir des informations spatiales des PLU. Ce premier travail d'identification permet de distinguer cinq catégories d'occupation du sol qui sont les suivantes :

Tableau VI.4 : Typologie de l'occupation du sol figurant sur la carte des enjeux

Catégories	Descriptions
Zone urbaine	Habitat collectif et individuel, zones dédiées à des activités industrielles, artisanales ou commerciales et espaces annexes
Zone d'urbanisation future	Zones destinées à être ouvertes à l'urbanisation selon le PLU
Zone de loisirs	Zones naturelles à destination d'équipements touristiques, zones d'équipements sportifs
Zone agricole	Zones en cultures ou à destination agricole
Zone à dominante naturelle	Zone à dominante naturelle

La délimitation des zones de camping, des zones de loisir, ainsi que des zones urbaines s'est ensuite affinée à travers une analyse complémentaire de l'occupation du sol à partir des plateformes officielles d'informations spatiales.

La donnée du bâti utilisée pour évaluer la vulnérabilité est issue de la base de données topographique IGN, triée selon la surface des polygones afin d'en déduire les annexes, garages et autres bâtis qui ne soient ni établissement recevant du public (ERP), ni logements, ni établissements stratégiques. Le bâti a ainsi été sélectionné selon une surface équivalente ou supérieure à 40 m².

Enfin, la carte des enjeux recense les principaux ERP sensibles et bâtiments de gestion de crise du territoire.

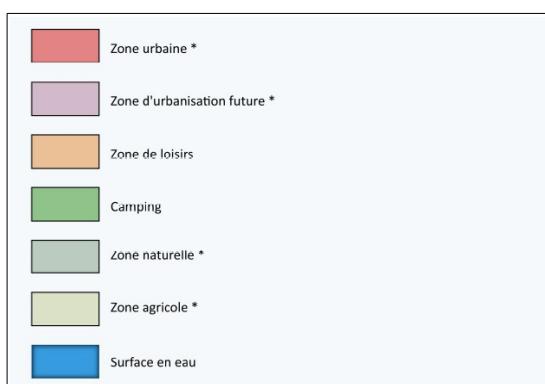


Figure VI.16: Légende de la carte des enjeux (* : d'après PLU)

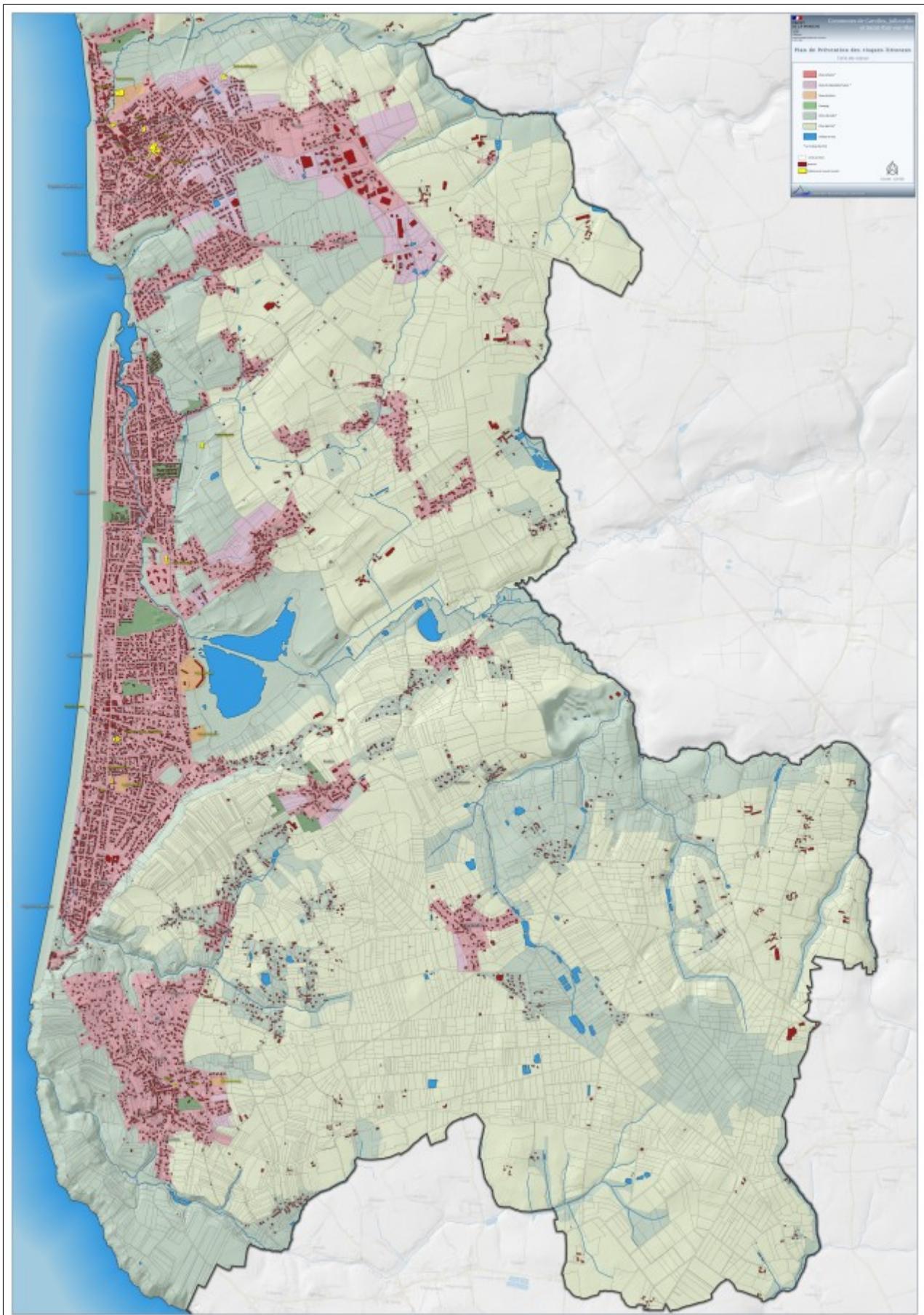


Figure VI.17 : Cartographie globale des enjeux

VI.6.2. Vulnérabilité du territoire

Tableau VI.5 : Exposition du territoire sur l'ensemble du territoire étudié (les trois communes de Carolles, Jullouville, Saint-Pair-sur-Mer et sud de Granville) à l'aléa de submersion marine et d'inondations (en hectares).

	Zone urbaine (ha)	Zone d'urbanisation future (ha)	Zone agricole (ha)	Zone naturelle (ha)	Camping (ha)	Zone de loisirs (ha)
Submersion marine et inondations	38	0	42,4	219,3	7,3	1,5
Choc mécanique des vagues	11,9	0	0	0,8	0,4	0
Superficie sur l'ensemble de la zone étudiée	634,8	103	2311	1314	25,3	9,8
Part de la zone exposée aux submersions marines et aux inondations(%)	6 %	0 %	1,8 %	16,7 %	28,8 %	15,3 %
Part de la zone exposée au choc mécanique des vagues (%)	2 %	0	0	0	1,5 %	0

Aucune zone d'urbanisation future n'est impactée.

VI.6.2.1. ERP exposés

Un seul ERP est exposé sur l'ensemble du territoire sur l'ensemble du territoire. Il s'agit du tennis couvert de Saint-Pair-sur Mer, installé en bordure de la Saigue.

VI.6.2.2. Vulnérabilité du bâti

La base de donnée utilisée pour le comptage des bâtiments est la Base de Données Topographique de l'IGN. La donnée du bâti recensé contient un certain nombre de polygones superflus qui peuvent fausser la représentativité du risque sur le territoire (ils représentent des enjeux inhabités tels que les cabanes de jardin, des cabines de plage ou encore des annexes, installations dont la vulnérabilité est relative n'étant pas liée à une occupation humaine permanente). Nous avons par conséquent procédé au tri de la couche bâtie en fonction de la surface des entités. Ainsi, seul le bâti présentant une surface supérieure ou égale à 20 m² sera analysé.

Sur l'ensemble du périmètre du PPRL, **604 bâtiments** sont concernés par les aléas de submersion marine et d'inondation et 137 bâtiments sont exposés au choc mécanique des vagues, sur un total de **10 564**, soit près de **7 % des bâtiments sont concernés par l'ensemble des aléas**.

Au total, sur 81 km² (zone d'étude), **les aléas de submersion marine et d'inondation couvrent 3 km², soit 3,7 % du territoire**.

VI.6.2.3. Granville (Saint-Nicolas-Plage)

a. *ERP exposés dans la zone étudiée*

Aucun ERP de la zone étudiée de Granville n'est exposé à l'aléa de submersion marine, ni aux inondations.

b. *Vulnérabilité du bâti dans la zone étudiée de Granville*

L'analyse spatiale réalisée sur la zone sud de la commune de Granville montre que, sur un total de 388 bâtiments, 22 sont concernés par le risque de submersion marine et d'inondation et 33 sont exposés au choc mécanique des vagues. Ainsi, 14 % du bâti de la zone étudiée au sud de Granville est concerné par les aléas.

c. *Surfaces communales exposées*

En superficie, la zone la plus exposée aux submersions marines et aux inondations de la zone d'étude de Granville est la zone naturelle, avec près de 22 hectares concernés par les inondations et submersions marines. En termes de proportion de la surface exposée relative à la surface totale, les zones de camping apparaissent comme étant les plus exposées, avec 26 % de leur surface pouvant être inondées. Il s'agit des zones de camping de Saint-Nicolas Plage, concerné par une éventuelle montée des eaux de la Saïgue. Enfin, 0,8 hectares de la zone urbaine sont exposés, ce qui correspond à 4 % de la superficie totale de la zone urbaine (de la zone étudiée au sud de Granville).

La zone urbaine est plus exposée au choc mécanique des vagues en cas de tempêtes qu'aux submersions et inondations. 1,6 hectares y sont en effet concernés.

Tableau VI.6 : Exposition de la zone sud de Granville aux aléas inondation et submersion marine, selon les types d'occupation du sol

	Zone urbaine (en ha)	Zone agricole (en ha)	Zone naturelle (en ha)	Camping (en ha)	Zone de loisirs(en ha)
Submersion marine et inondations	0,825	1	21,8	0,65	0
Choc mécanique des vagues	1,6	0	0,1	0	0
Superficie sur l'ensemble de la zone étudiée	24	153,6	91,5	2,5	0
Part de la zone exposée aux submersions marines et inondations (%)	4 %	0,7 %	24 %	26 %	0 %
Part de la zone exposée au choc mécanique des vagues (%)	6 %	0	0	0	0

d. Routes exposées

Dans la zone étudiée, les routes les plus exposées aux submersions marines et aux inondations sont les routes communales, dont 600 mètres sont concernés par les aléas inondation et submersion marine. Il s'agit principalement des routes d'accès vers le camping de Saint-Nicolas Plage, ainsi que des routes traversant la Saigue. 100 mètres de routes départementales sont également inondables. Il s'agit des routes traversant le cours d'eau de la commune de Granville (RD572 et RD472) et de celle traversant le cours d'eau de la commune de Saint-Planchers, à l'extrémité Est (RD472). Les routes qui longent le littoral ne sont que partiellement exposées : 144 mètres de routes communales et seulement 30 mètres de route départementales.

Tableau VI.7 : Routes exposées aux aléas inondation et submersion marine au sein de la zone étudiée de la commune de Granville.

	<i>Routes départementales (en km)</i>	<i>Routes communales (en km)</i>
<i>Exposées aux aléas submersion marine et inondation</i>	0,141	0,623
<i>Exposées au choc mécanique des vagues</i>	0,03	0,144
Total communal	7,6	17

VI.6.2.4. Saint-Pair-sur-Mer

a. ERP exposés à Saint-Pair-sur-Mer

Parmi les 11 ERP recensés dans la commune de Saint-Pair-sur-Mer, seul le tennis couvert est exposé à l'aléa de submersion marine.

b. Vulnérabilité du bâti à Saint-Pair-sur-Mer

Sur un total de 4832 bâtiments recensés dans la commune, 393 sont exposés à l'aléa submersion marine et 61 au choc mécanique des vagues. C'est donc près de 9 % du bâti qui est concerné.

c. Surfaces communales exposées

Le croisement des données cartographiques ont permis de constater que 8 % de la surface urbaine communale était exposé aux aléas de submersion marine et inondation et près de 2 % est concernée par le choc mécanique des vagues.

Dans la commune de Saint-Pair-Sur-Mer, la zone naturelle est également la plus exposée aux aléas : 57 hectares de terrains naturels sont concernés par les submersions marines et les inondations. Les zones de loisirs et les campings sont particulièrement menacés, avec chacun 40 % et 38 % de surface exposée aux aléas. La zone de loisir correspond à l'espace de tennis couvert, alors que les zones de camping concernées sont celles situées le long du cours d'eau du Petit-Kairon, au niveau de l'embouchure du Thar.

24,5 hectares de zone urbaine sont exposés aux inondations et aux submersions marines, ce qui correspond à 8 % de la surface urbanisée de Saint-Pair-sur-Mer.

Tableau VI.8 : Exposition de la commune de Saint-Pair-Sur-Mer aux aléas inondation et submersion marine, selon les types d'occupation du sol

	Zone urbaine (en ha)	Zone agricole (en ha)	Zone naturelle (en ha)	Camping (en ha)	Zone de loisirs(en ha)
Submersion marine et inondations	24,5	35,2	57	3	1,2
Choc mécanique des vagues	6	0	0,1	0,4	0
Superficie sur l'ensemble de la commune	301	730,5	338	8	3
Part de la zone exposée aux submersions marines et inondations (%)	8 %	5 %	17 %	38 %	40 %
Part de la zone exposée au choc mécanique des vagues (%)	2 %	0	0	5 %	0

d. Routes exposées

Dans la commune, près de 8 km de routes communales sont exposées aux risques inondation et submersion marine. Une grande partie des routes desservant la zone située entre la côte et l'avenue des plages, ainsi que le réseau routier longeant le cours d'eau du Petit-Kairon sont concernées. Enfin, 1,7 km de routes départementales sont exposées. Il s'agit particulièrement de la RD373, au niveau du cours d'eau du Petit-Kairon, et de la RD91, dans la zone de l'estuaire du Thar. Le long du trait de côte, un peu moins de 3 km de routes communales et 1 km de routes départementales sont exposées au choc mécanique des vagues en cas de tempêtes.

Tableau VI.9 : Routes exposées aux aléas inondation et submersion marine au sein de la commune de Saint-Pair-sur-Mer.

	Routes départementales (en km)	Routes communale (en km)
Exposées aux aléas submersion marine et inondation	1,7	7,8
Exposées au choc mécanique des vagues	1	2,8
Total communal	28,5	109,1

VI.6.2.5. Jullouville

a. ERP exposés à Jullouville

Aucun ERP n'est exposé à Jullouville

b. Vulnérabilité du bâti à Jullouville

168 bâtiments sont **exposés** aux aléas de submersion marine et d'inondation et 14 sont concernés par le choc mécanique des vagues soit **4,5 % de l'ensemble du bâti communal** (le total étant estimé à 3977 bâtiments).

c. Surfaces communales exposées

L'emprise des aléas de submersion marine et d'inondation s'étend sur **145 hectares**, soit près de **6,7 % de la surface communale**. Les zones naturelles sont les zones les plus exposées en termes superficie, avec 124 hectares de zone concernée. 3,6 hectares de camping sont également exposés, ce qui correspond à 27 % de la superficie totale des zones de camping. Enfin, 5,2 % de la zone urbaine peut être immergée par les inondations et les submersions marines, notamment entre Carolles Plage et Édenville ; au niveau de l'Avenue de la Libération (RD911) ; ainsi qu'aux abord du Thar.

Le choc mécanique des vagues atteignent près de 3 hectares de la zone urbaine.

Tableau VI.10 : Exposition de la commune de Jullouville aux aléas inondation et submersion marine, selon les types d'occupation du sol

	Zone urbaine (en ha)	Zone agricole (en ha)	Zone naturelle (en ha)	Camping (en ha)	Zone de loisirs(en ha)
Submersion marine et inondations	11	6	124	3,6	0,3
Choc mécanique des vagues	2,7	0	0	0	0
Superficie sur l'ensemble de la commune	210	1317	621	13,3	6,5
Part de la zone exposée aux submersions marines et inondations (%)	5,2 %	0,5 %	20 %	27 %	4,6 %
Part de la zone exposée au choc mécanique des vagues (%)	1,3 %	0	0	0	0

d. Routes exposées

L'analyse spatiale de l'emprise des aléas sur la surface communale permet également d'observer que sur les 30 km de routes départementales qui traversent la commune de Jullouville, seules 300 mètres sont exposées aux submersions et aux inondations. Il s'agit des RD911, RD154, RD21, RD109, RD143, RD261 et RD221. Quant aux routes communales, sur les 122 km tracés sur la commune, 5,7 km y sont exposés.

1 km de routes communales côtières est exposé au choc mécanique des vagues.

Tableau VI.11 : Routes exposées aux aléas inondation et submersion marine au sein de la commune de Jullouville

	<i>Routes départementales (en km)</i>	<i>Routes communale (en km)</i>
Exposées aux aléas submersion marine et inondation	0,3	5,7
Exposées au choc mécanique des vagues	0	1,2
Total communal	30	121,5

VI.6.2.6. Carolles

a. ERP exposés à Carolles

Parmi les deux ERP recensés au sein de la commune de Carolles, **aucun n'est concerné par les aléas**.

b. Vulnérabilité du bâti à Carolles

27 bâtiments sont exposés aux aléas d'inondation et de submersion marine sur un total de 1376, soit 2 % de l'ensemble du bâti recensé sur la commune. L'analyse spatiale montre également que 30 bâtiments sont exposés au choc mécanique des vagues (2 % également).

c. Surfaces communales exposées

Sur 424 hectares, l'emprise des aléas en recouvre 17,5 soit 4 % de la surface communale. Les zones naturelles correspondent aux espaces les plus affectés en cas d'inondation et de submersion marine, dans la mesure où 7,7 % de cet espace est exposé aux aléas. 1,4 % de la zone urbaine est également exposée, avec 1,4 hectare sujet aux inondations et submersions marines. La troisième et dernière zone concernée est la zone agricole, avec 2000 m² de surface exposée.

La zone urbaine est davantage concernée par le choc mécanique des vagues que par les submersions marines et les inondations.

Tableau VI.12 : Exposition de la commune de Carolles aux aléas inondation et submersion marine, selon les types d'occupation du sol

	Zone urbaine (en ha)	Zone agricole (en ha)	Zone naturelle (en ha)	Camping (en ha)	Zone de loisirs(en ha)
Submersion marine et inondations	1,44	0,2	16	0	0
Choc mécanique des vagues	1,6	0	0,6	0	0
Superficie sur l'ensemble de la commune	103	110	207	1,5	0,6
Part de la zone exposée aux submersions marines et inondations (%)	1,4 %	0,2 %	7,7 %	0 %	0 %
Part de la zone exposée au choc mécanique des vagues (%)	1,5 %	0	0	0	0

d. Routes exposées

Sur la commune de Carolles, les routes les plus exposées sont les routes communales : plus de 2 km de route sont concernés par les aléas inondation et submersion marine, la route longeant le Lude étant la plus affectée. 100 mètres de routes départementales sont également exposées aux aléas. Il s'agit de la Route de la Lande (RD61E1) et de la Route de La Chevallerie (RD911) au niveau du pont traversant le Lude. Le choc mécanique des vagues en cas de tempêtes pourrait endommager 600 mètres de routes communales et 20 mètres de routes départementales.

Tableau VI.13 : Routes exposées aux aléas inondation et submersion marine au sein de la commune de Carolles

	Routes départementales (en km)	Routes communales (en km)
Exposées aux aléas submersion marine et inondation	0,1	2,3
Exposées au choc mécanique des vagues	0,02	0,6
Total communal	6,2	36,5

VI.7. Cartographie de la vulnérabilité

La carte de vulnérabilité a été obtenue par croisement de la carte des enjeux (usage du sol) et de la carte des aléas. Elle permet de visualiser les enjeux exposés en termes d'usage du sol (zones urbanisées ou urbanisables et zones naturelles au sens du PPRN – Cf. pages suivantes).

La carte de vulnérabilité est établie au 1/5 000, sur fond d'ombrage, surchargé du réseau hydrographique et des couches bâtiments de l'IGN. Les principaux ERP de la commune sont repérés en jaune.

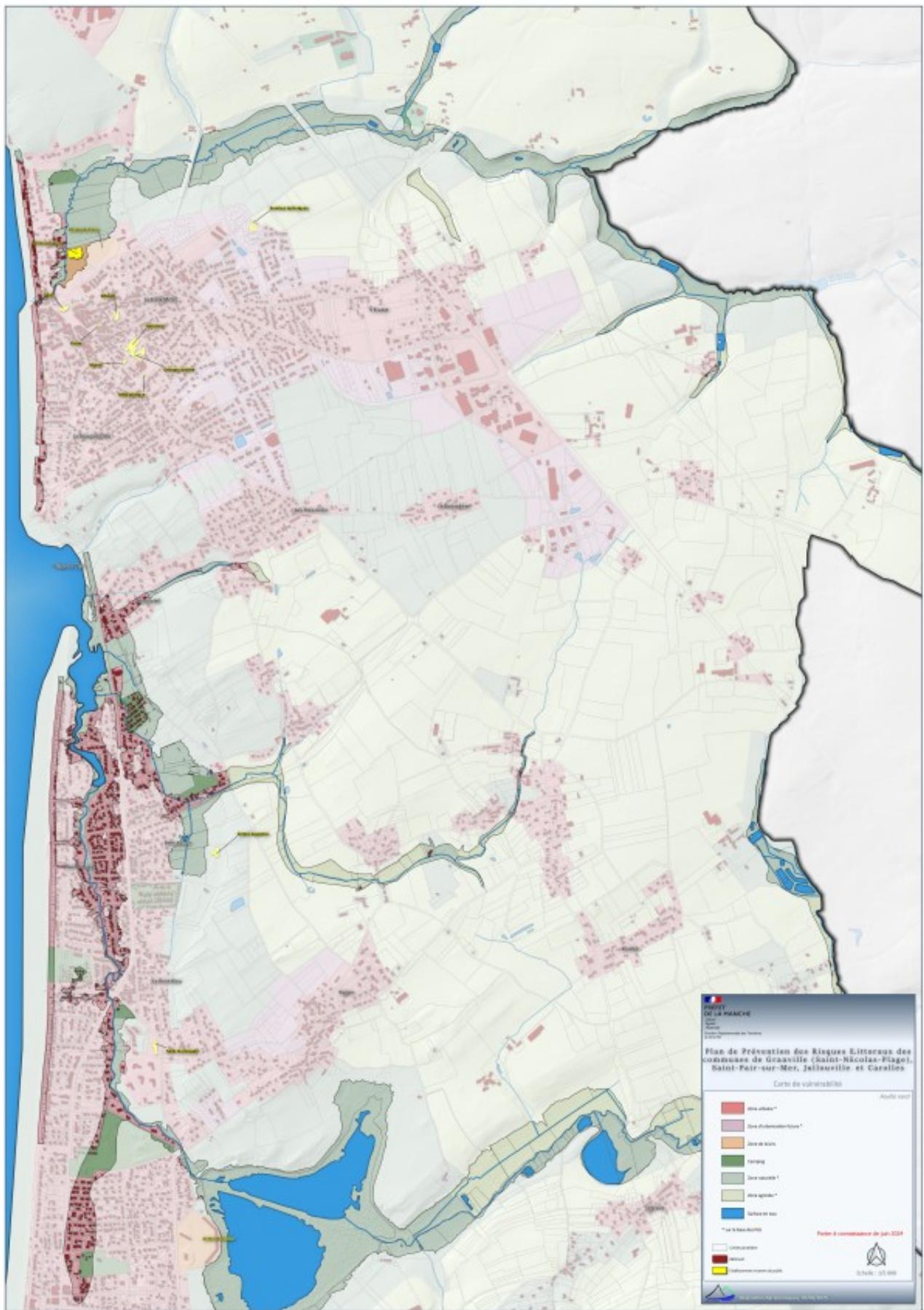


Figure VI.18 : Carte de vulnérabilité du territoire - feuille nord

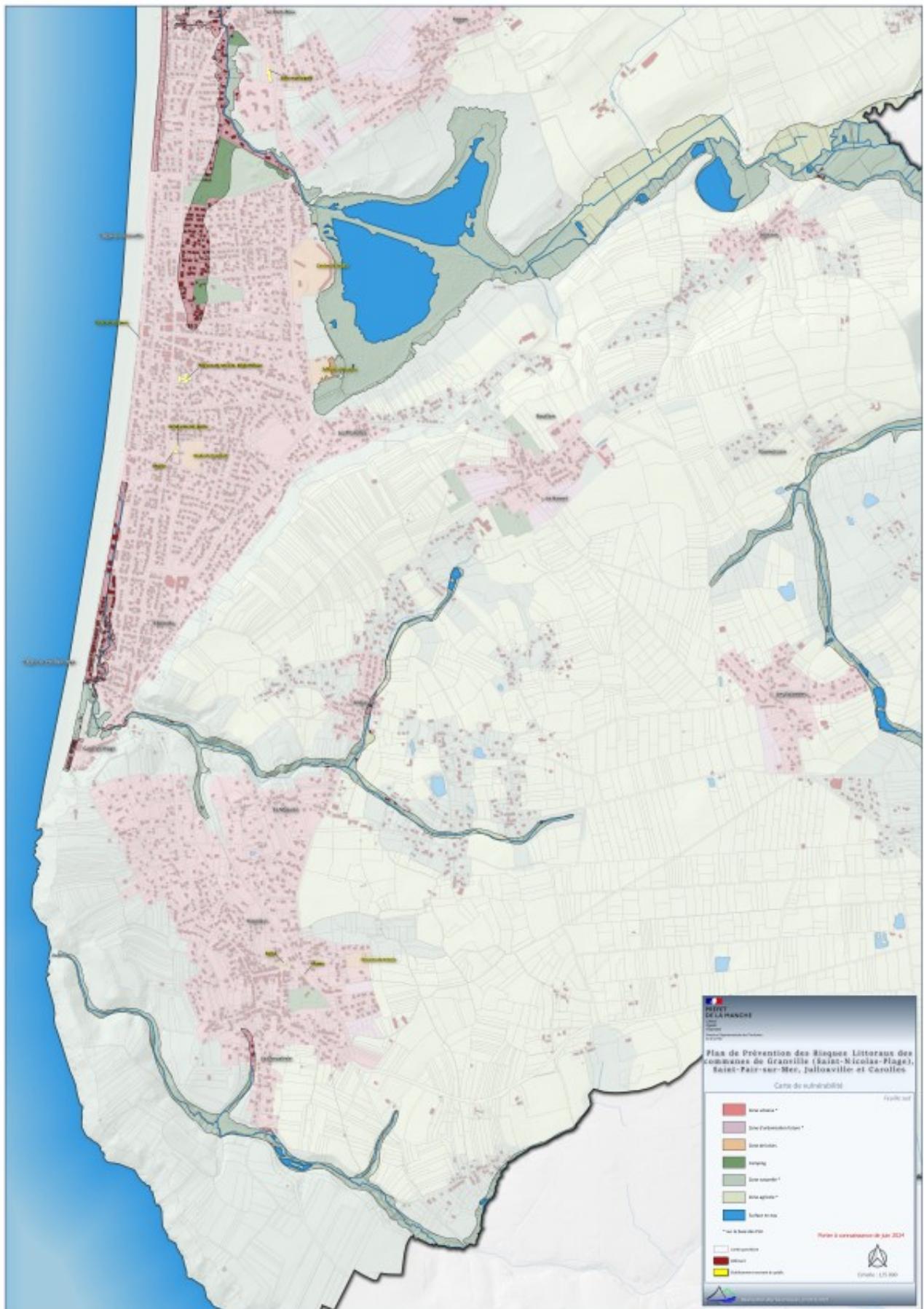


Figure VI.19 : Carte de vulnérabilité du territoire - feuille sud

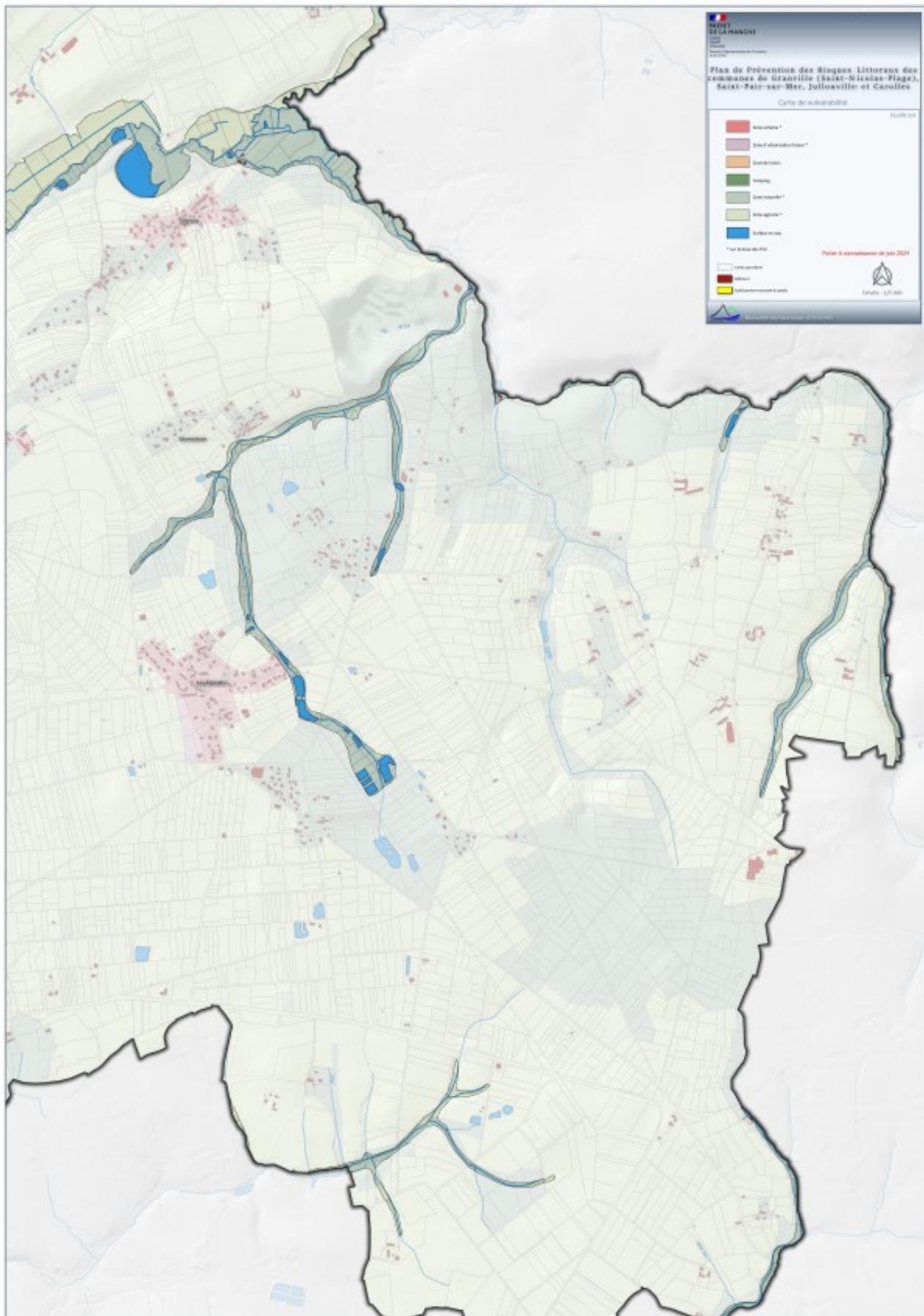


Figure VI.20 : Carte de vulnérabilité du territoire - feuille est

VII. Zonage réglementaire et règlement

Le plan de zonage réglementaire et le règlement (et leurs annexes) constituent les deux pièces opposables aux tiers du PPRL.

VII.1. Critères de croisement des aléas et des enjeux

La délimitation du zonage réglementaire fondée sur les critères de constructibilité et de sécurité est effectuée à partir du croisement des aléas et des enjeux .

Conformément aux dispositions de l'article L. 562-1 du code de l'environnement, le territoire inclus dans le secteur d'étude a été divisé en deux zones, comprenant au total trois sous-zones :

- une zone rouge dite « d'interdiction » comprenant :
 - une sous-zone R1 : aléa fort à très fort dans les zones urbanisées, et aléa faible à très fort dans les zones non urbanisées (sauf cas particulier des zones concernées uniquement par un aléa faible à échéance 100 ans);
 - une sous-zone R2 : aléa fort de chocs mécaniques des vagues (sous-zone R2c) et très fort de bande de précaution à l'arrière des ouvrages de protection (sous-zone R2p) ;
- une zone bleue B dite « d'autorisation » comprenant les zones d'alea faible à moyen dans les zones urbanisées, ainsi que les zones non urbanisées concernées uniquement par un aléa faible à échéance 100 ans.

Les autres secteurs n'étant pas exposés aux phénomènes étudiés lors de l'élaboration de ce PPRL, ils ne sont pas réglementés à ce titre. Ils apparaissent en couleur blanche sur les cartes.

Ce qui donne selon la grille ci-dessous :

Tableau VII.1 : Grille de croisement aléas-enjeux-risques

Submersion marine, bande de précaution derrière les ouvrages de protection et zone de chocs mécaniques des vagues					
Nature de la zone	Aléas de référence	Aléa échéance 100 ans ↓			Bande de précaution et/ou zone de chocs mécaniques des vagues
	Aléa actuel ↓	Faible	Moyen	Fort/Très fort	
Zone urbanisée	Nul	B	B	B	R2
	Faible	B	B	B	R2
	Moyen		B	B	R2
	Fort / Très fort			R1	R2
Zone naturelle	Nul	B	R1	R1	R2
	Faible	R1	R1	R1	R2
	Moyen		R1	R1	R2
	Fort / Très fort			R1	R2

VII.1.1. Zones rouges

Ces zones correspondent à :

- des espaces exposés à des phénomènes de forte intensité ;
- des espaces qu'il convient de protéger contre toute urbanisation nouvelle (préservation de champs d'expansion des inondations et des submersions, notamment).

La règle générale pour les dispositions applicables en zone rouge est l'inconstructibilité. Toutefois, des installations, ouvrages, travaux et aménagements peuvent être autorisés sous réserve de ne pas aggraver les risques ou leurs effets et notamment de ne pas augmenter significativement le nombre de personnes exposées.

Les zones rouges sont définies comme suit :

- Zone « **R1** » :

Elle correspond à la présence d'un aléa de submersion marine ou d'inondation par débordement de cours d'eau

- Zone « **R2** » :

Elle correspond à la présence d'un aléa de choc mécanique des vagues.

VII.1.2. Zones bleues

Il s'agit de zones dans lesquelles il existe des méthodes de prévention économiquement « raisonnables ».

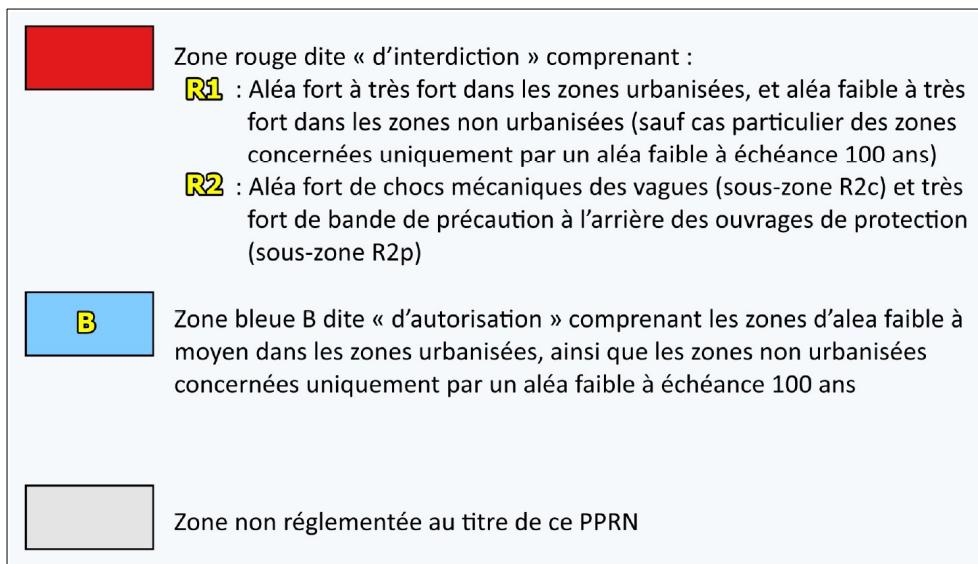
Dans les zones bleues identifiées, des aménagements ou constructions sont autorisés sous réserve de prendre des mesures adaptées au risque, en particulier la réalisation d'une étude géologique et géotechnique préalable au projet.

Ces zones sont représentées sur le plan de zonage par la lettre « B ».

VII.2. Le plan de zonage et la carte des cotes de référence

Le plan de zonage est établi sur fond d'ombrage, surchargé des limites parcellaires et du bâti à l'échelle du 1/5 000.

Le plan de zonage comporte 3 feuilles : nord- sud et est.



À ce plan de zonage est annexée la carte des cotes de référence qui précise dans chaque zone réglementée la « cote de plancher » à respecter. Cette annexe réglementaire comprend également 3 feuilles : nord- sud et est).

Les cartes réglementaires (zonage et cotes de référence) sont à consulter hors texte. Les cartes présentées ci-après sont des illustrations en réduction des cartes officielles. Ces cartes en réduction ne revêtent donc pas de caractère réglementaire.

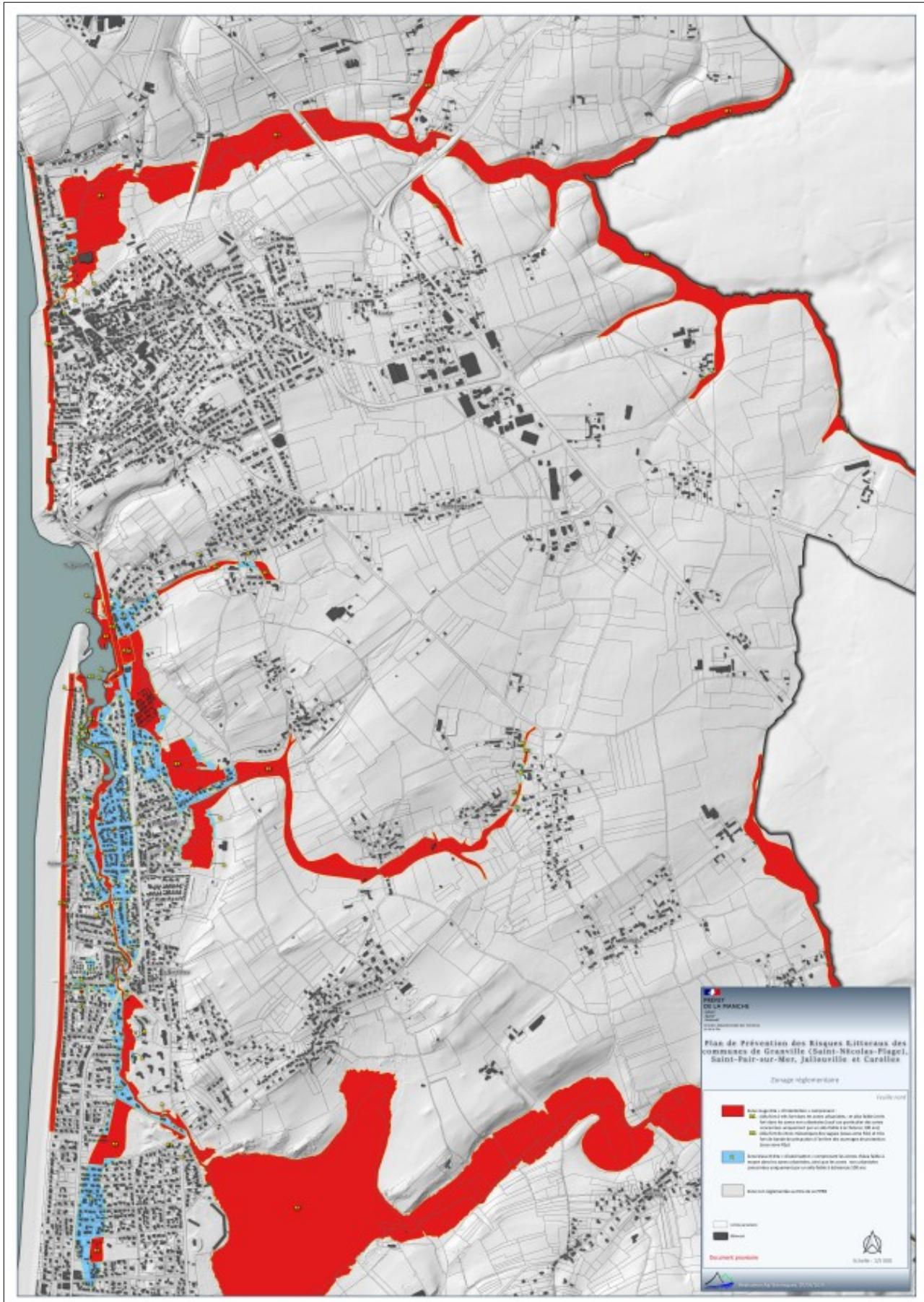


Figure VII.2 : Plan de zonage PPRL - feuille nord

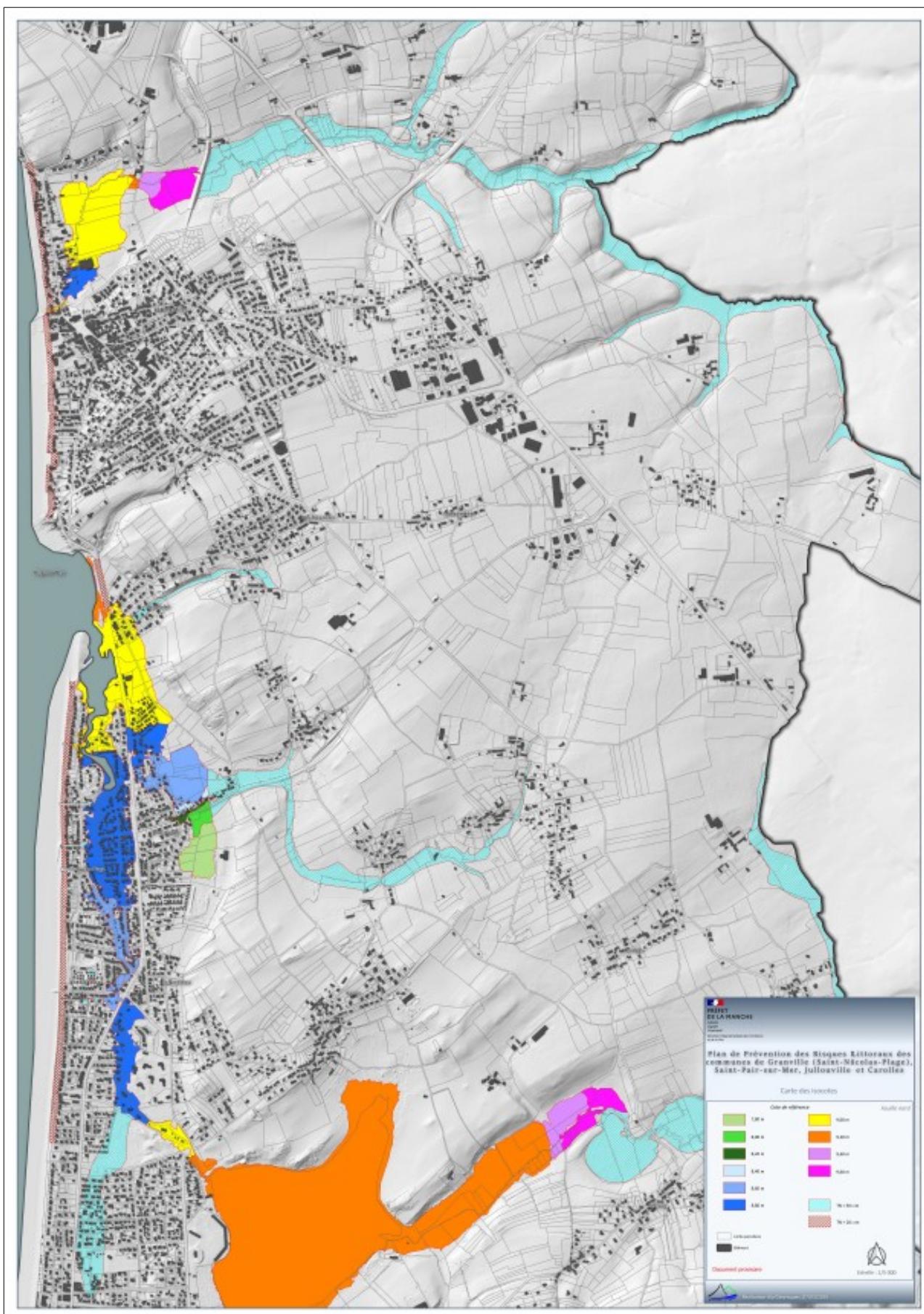


Figure VII.3 : Cotes de référence PPRL - feuille nord

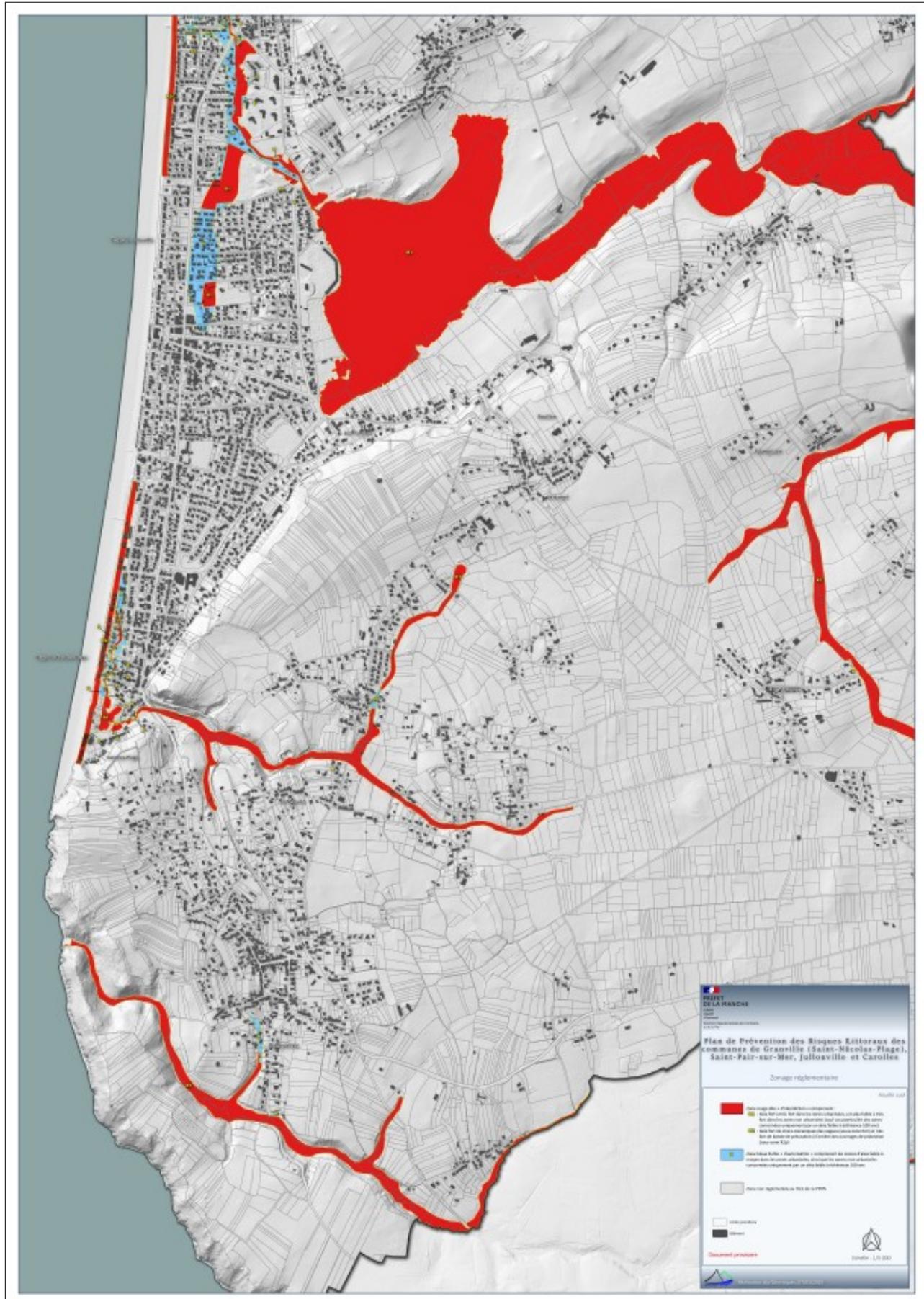


Figure VII.4 : Plan de zonage PPRL - feuille sud

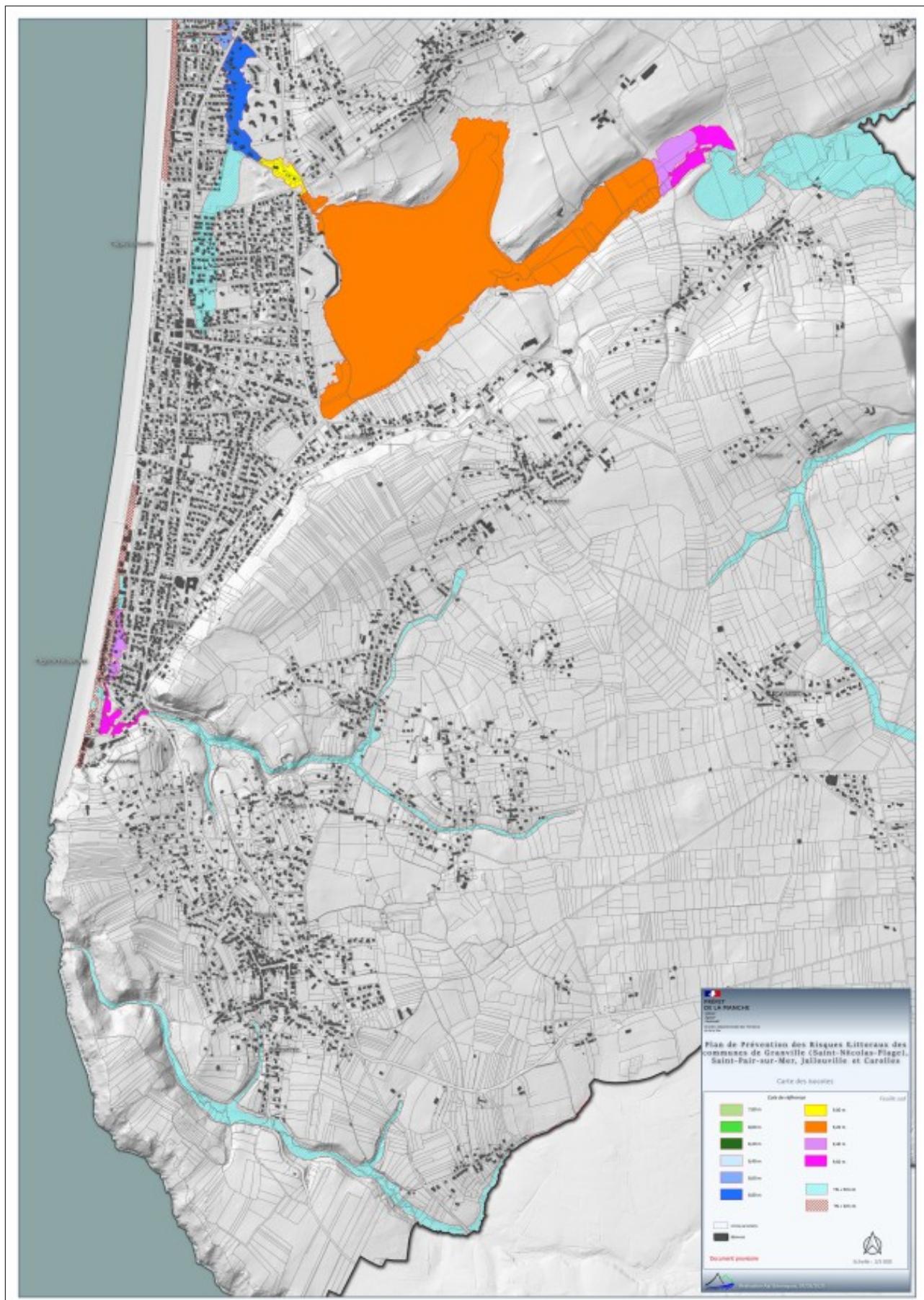


Figure VII.5 : Cotes de référence PPRL - feuille sud

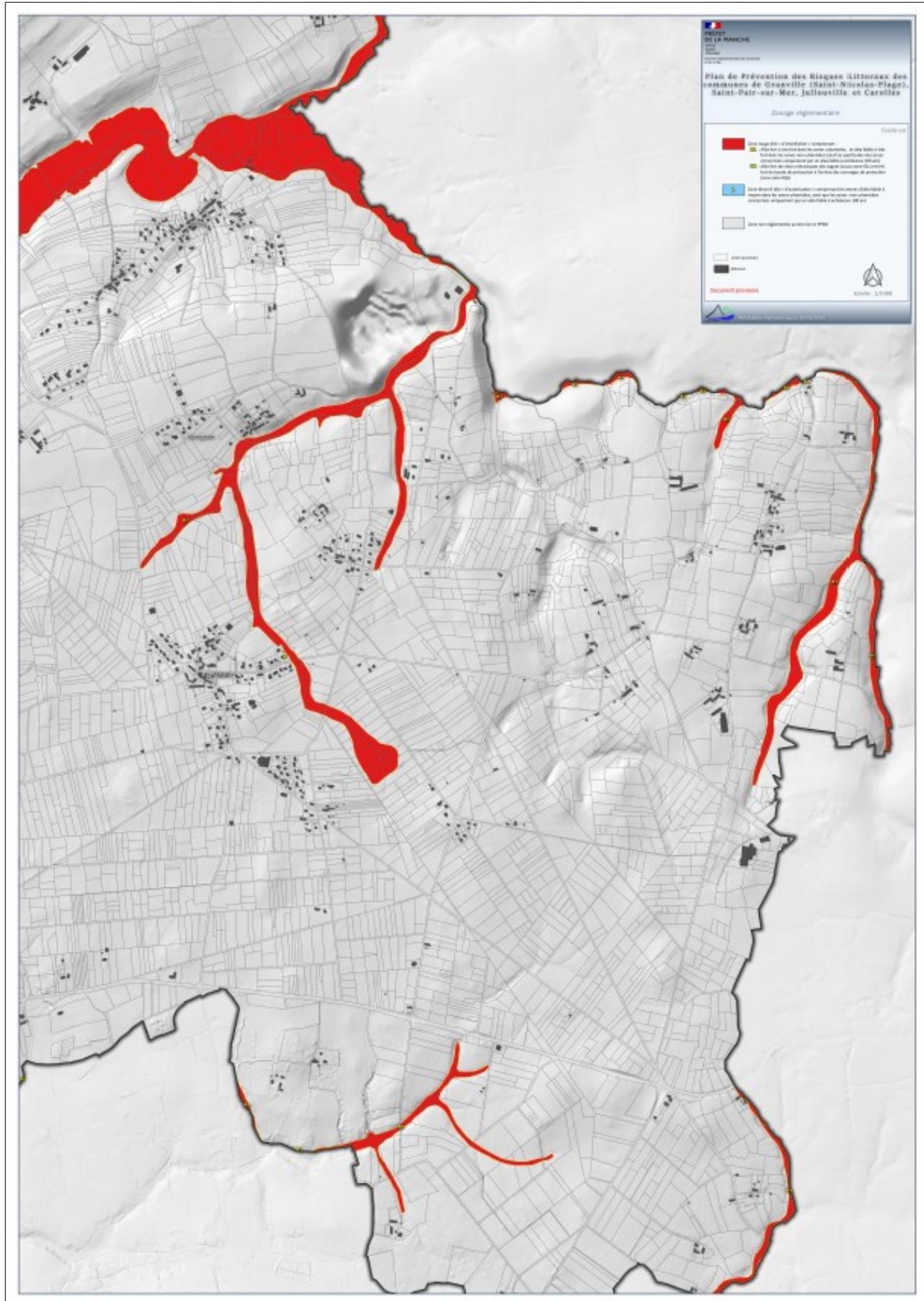


Figure VII.6 : Plan de zonage PPRL - feuille est

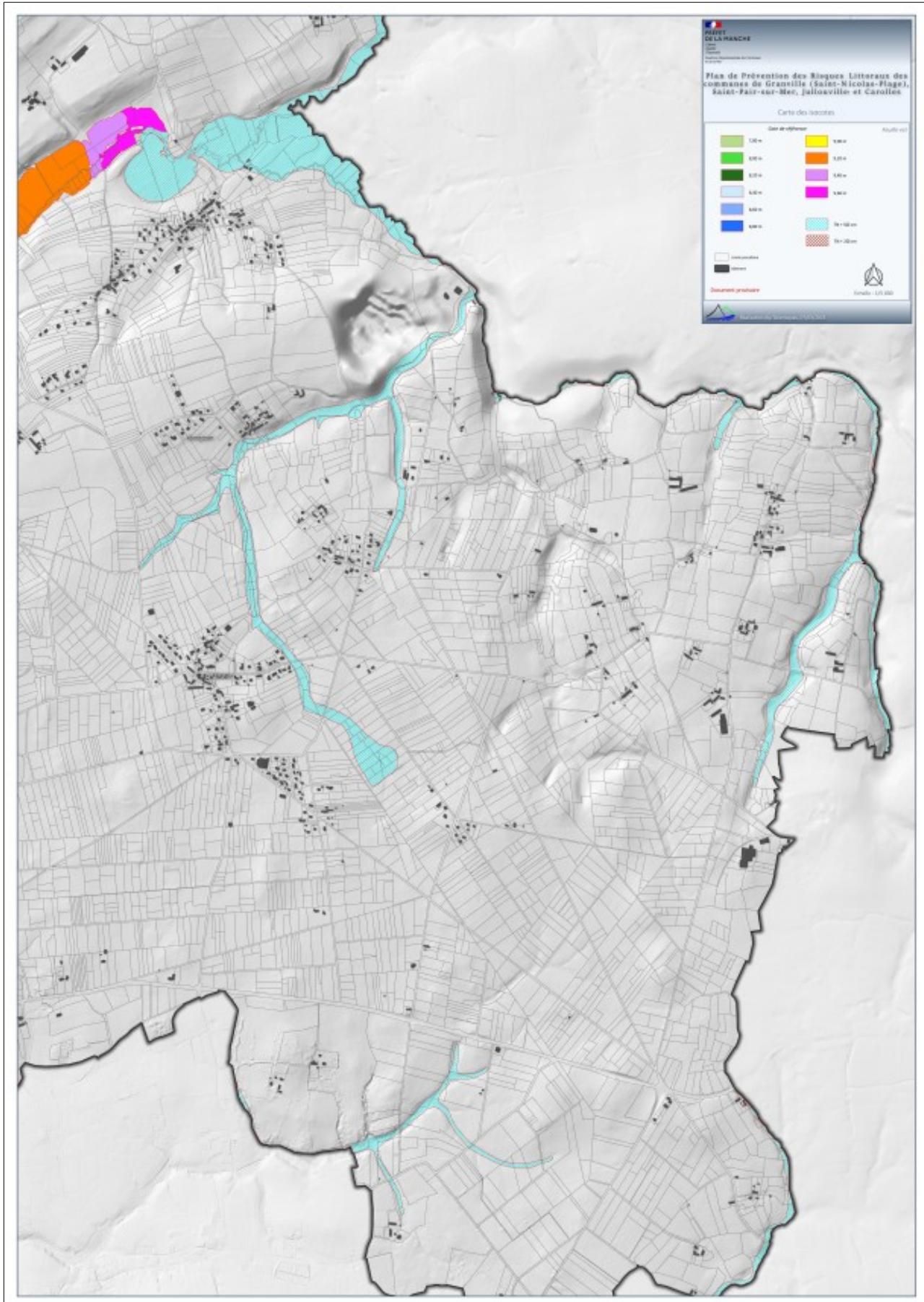


Figure VII.7 : Cotes de référence PPRL - feuille est

VII.3. Le règlement

Les règlements du PPRL fixe les mesures obligatoires (prescriptions) ou recommandées, s'appliquant aux particuliers, aux professionnels et aux collectivités.

Le règlement est organisé en cinq parties :

1. Portée du règlement et dispositions générales
2. Réglementation des projets
3. Mesures de préventions, de protection et de sauvegarde
4. Mesures sur les biens et activités existants
5. Annexes

Attention, certaines mesures sont applicables, même si le propriétaire, le gestionnaire ou l'utilisateur du bien ne prévoit pas de modification de l'existant.

VIII. Annexes hors texte

Sont annexées à ce rapport de présentation :

- La carte des aléas centennaux (3 feuilles : nord- sud et est) ;
- La carte des aléas centennaux à échéance 2100 (3 feuilles : nord- sud et est) ;
- La carte de vulnérabilité (3 feuilles : nord- sud et est) ;



ALP'GEORISQUES - Z.I. - 52, rue du Moirond - Bâtiment Magbel - 38420 DOMENE - FRANCE

Tél. : 04-76-77-92-00 Fax : 04-76-77-55-90

sarl au capital de 18 300 €

Siret : 380 934 216 00025 - Code A.P.E. 7112B
N° TVA Intracommunautaire : FR 70 380 934 216

Email : contact@alpgeorisques.com

Site Internet : <http://www.alpgeorisques.com/>