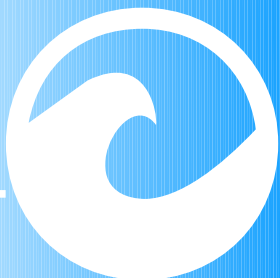


PPRL Bessin & Dives-Orne

Le Préfet du Calvados

Cartographie des aléas littoraux

Secteur Dives-Orne



Maître d'ouvrage :

DDTM du Calvados

*Alp'Géorisques
IMDC*



Références

*Alp'Géorisques
D1301002*

*IMDC
I/RA/12107/15.022/PHI*

Version

2.0

Édition du 03/11/2015

Date

31/10/2015

Identification du document

Projet	PPRL Bessin & Dives-Orne		
Titre	Cartographie des aléas littoraux – Secteur Dives-Orne		
Document	RA15.022 Cartographie aléas Dives Orne_v2.0.odt		
Références	Réf. Alp'Géorisques D1301002	Réf. IMDC I/RA/12107/15.022/PHI	
Proposition n°	D1301002	Référence commande	
Maître d'ouvrage	DDTM du Calvados	Adresse	
Maître d'œuvre ou AMO	-	Adresse	

Modifications

Version	Date	Description	Auteur	Vérifié	Approuvé
1.0	28/08/2015	Rapport concept	PHI / FBR	NZI	GVH
2.0	31/10/2015	Ajout commentaires DDTM / bande de précaution mise à jour	FBR	NZI	GVH

N. Zimmermann 1.0. 2015

Diffusion

Alp'Géorisques	Jean-Pierre Rossetti	04 76 77 92 00	jeanpierre.rossetti@alpgeorisques.com
IMDC	Nicolas Zimmermann	+32 3 270 92 90	nicolas.zimmermann@imdc.be
Diffusion	Papier		
	Numérique	✓	DDTM du Calvados

Archivage

N° d'archivage (référence)	
Titre	PPRL Bessin & Dives-Orne – Cartographie des aléas littoraux - Secteur Dives-Orne
Département	Calvados
Commune(s) concernée(s)	Hermanville-sur-mer, Colleville-Montgomery, Ouistreham, Merville-Franceville, Varaville, Cabourg, Dives-sur-Mer, Périers-en-Auge, Sallenelles, Amfreville, Bénouville, Ranville, Blainville-sur-Orne, Hérouville-Saint-Clair, Colombelles, Mondeville, Caen, Louvigny, Fleury-sur-Orne
Cours d'eau concerné(s)	Dives, Orne
Région naturelle	Basse-Normandie
Thème	Cartographie réglementaire
Mots-clés	Submersion marine risque littoral PPRL

Résumé

Ce rapport s'inscrit dans le cadre de la Phase 2 de la procédure PPRL des secteurs Bessin et Dives-Orne en Basse-Normandie. Il présente la cartographie des aléas pour le secteur Dives-Orne.

Il décrit l'aléa submersion marine (Chapitre II), l'aléa érosion (Chapitre III) ainsi que l'aléa migration dunaire (Chapitre IV).

TABLE DES MATIÈRES

I.Introduction.....	1
I.1.Contexte de l'étude.....	1
I.2.Objet de l'étude.....	1
I.3.Démarche de l'étude.....	1
I.4.Structure du rapport.....	3
II.Aléas de submersion.....	4
II.1.Cartographie.....	4
II.2.Scénarios étudiés.....	6
II.3.Modélisation de la submersion.....	7
II.3.1.Le modèle Infoworks.....	7
II.3.1.1. Construction du modèle 2D	7
II.3.1.2. Calibration des modèles	8
II.4.Scénario de référence +0.20 m.....	8
II.4.1.Débit fluvial.....	9
II.4.2.Niveau marin.....	9
II.4.3.Les entrées d'eau.....	11
II.4.3.1. Rupture de digues	11
II.4.3.2. Franchissements par paquets de mer	12
II.4.3.3. Constructions hydrauliques	12
II.4.4.Bande de précaution.....	15
II.4.5.Bande de chocs mécaniques.....	17
II.4.6.Résultats.....	17
II.5.Scénario de ruine généralisée.....	21
II.5.1.Débit fluvial.....	21
II.5.2.Niveau marin.....	21
II.5.3.Les entrées d'eau.....	21
II.5.3.1. Rupture de digues	21
II.5.3.2. Franchissements par paquets de mer	21
II.5.3.3. Constructions hydrauliques	21
II.5.4.Résultats.....	21
II.6.Scénario à échéance 100 ans.....	23
II.6.1.Débit fluvial.....	23
II.6.2.Niveau marin.....	23
II.6.3.Les entrées d'eau.....	24
II.6.3.1. Rupture de digues	24
II.6.3.2. Franchissements par paquets de mer	24
II.6.3.3. Constructions hydrauliques	24
II.6.4.Résultats.....	25
II.7.Scénario fréquent (TRI – T10).....	27
II.7.1.Débit fluvial.....	27
II.7.2.Niveau marin.....	27
II.7.3.Les entrées d'eau.....	27
II.7.3.1. Rupture de digues	27
II.7.3.2. Franchissements par paquets de mer	28
II.7.3.3. Constructions hydrauliques	28

II.7.4.Résultats.....	28
II.8.Scénario extrême (TRI – T1000).....	30
II.8.1.Débit fluvial.....	30
II.8.2.Niveau marin.....	30
II.8.3.Les entrées d'eau.....	30
II.8.3.1. Rupture de digues.....	30
II.8.3.2. Franchissements par paquets de mer.....	31
II.8.3.3. Constructions hydrauliques.....	31
II.8.4.Résultats.....	31
III.Aléa érosion.....	33
III.1.Erosion des côtes sableuses et meubles.....	33
III.1.1.Erosion moyenne à long terme.....	33
III.1.2.Érosion ponctuelle.....	33
III.2.Recul total.....	34
IV.Aléa migration dunaire.....	36
IV.1.Historique.....	36
IV.2.Méthodologie.....	36
IV.3.Analyse de la dynamique dunaire.....	38
IV.4.Conclusion.....	48
V.Bibliographie et références.....	49

ANNEXES

Annexe A: Note relative aux hypothèses de brèches pour le secteur Dives-Orne.....	50
Annexe B: Cartes du scénario de référence + 0.20 m.....	51
Annexe C: Cartes du scénario de ruine généralisée.....	52
Annexe D: Cartes du scénario à échéance 100 ans.....	53
Annexe E: Cartes du scénario fréquent.....	54
Annexe F: Cartes du scénario extrême.....	55
Annexe G: Cartes ZNM 2013.....	56
Annexe H: Cartes de l'aléa érosion.....	57
Annexe I: Cartes de l'aléa migration dunaire.....	58

Liste des Figures

Figure II.1: Définition de la bande de chocs mécaniques.....	5
Figure II.2: Niveau marin pour le scénario de référence +0.20 m (trois cycles de marée).....	11
Figure II.3: Entrées d'eau scénario de référence +20 cm à Hermanville-sur-mer, Colleville-Montgomery, Ouistreham et Franceville.....	13
Figure II.4: Entrées d'eau scénario de référence +20 cm à Franceville, Varaville, Cabourg et Dives sur Mer.....	14
Figure II.5: Schématisation de la bande de précaution	15
Figure II.6 : Aléa de submersion pour le scénario de référence +0.20 m dans le secteur Dives-Orne.....	18
Figure II.7: Aléa de submersion pour le scénario de ruine généralisée dans le secteur Dives-Orne.....	22
Figure II.8: Aléa de submersion pour le scénario à échéance 100 ans	26
Figure II.9: Aléa de submersion pour le scénario T10.....	30
Figure II.10 Aléa de submersion pour le scénario T1000.....	33
Figure III.1 : Exemple de cartographie aléa recul du trait de cote (Secteur Cabourg).....	36
Figure IV.1: Migration dunaire - situation 1947	39
Figure IV.2: Migration dunaire - situation 1947	40
Figure IV.3: Migration dunaire - situation 1947	40
Figure IV.4: Migration dunaire - situation 1947	41
Figure IV.5: Migration dunaire - situation 1966.....	41
Figure IV.6: Migration dunaire - situation 1966.....	42
Figure IV.7: Migration dunaire - situation 1966.....	42
Figure IV.8: Migration dunaire - situation 1966.....	43
Figure IV.9: Migration dunaire - situation 1992.....	44
Figure IV.10: Migration dunaire - situation 1992.....	45
Figure IV.11: Migration dunaire - situation 1992.....	45
Figure IV.12: Migration dunaire - situation 1992.....	46
Figure IV.13: Migration dunaire - situation 2009.....	47
Figure IV.14: Migration dunaire - situation 2009.....	47
Figure IV.15: Migration dunaire - situation 2009.....	48
Figure IV.16: Migration dunaire - situation 2009.....	48

Liste des Tableaux

Tableau II.1 : Définition de l'aléa de submersion marine.....	4
Tableau II.2 : Aléa de chocs mécaniques, du a l'action de la houle.....	6
Tableau II.3 : Coefficients de Manning.....	7
Tableau II.4 : Niveaux marins du scénario de référence +0.20 m	10
Tableau II.5 : Débits de franchissements par paquets de mer, conditions de référence +20 cm.....	12
Tableau II.6 : Largeurs de la bande de précaution.....	16
Tableau II.7 : Niveaux marin du scénario à échéance 100 ans.....	24
Tableau II.8 : Débits de franchissements par paquets de mer, conditions de référence +20cm.....	24
Tableau II.9 : Niveaux marin du scénario fréquent (TRI).....	28
Tableau II.10 : Niveaux marins du scénario extrême (TRI).....	31
Tableau II.11 : Débits de franchissements par paquets de mer, conditions extrêmes (TRI).....	32
Tableau III.1 : Erosion moyenne à long terme des côtes basses et meubles – secteur Dives-Orne.....	34
Tableau III.2 : Erosion ponctuelle à court terme (par tempête) – secteur Dives-Orne.....	35
Tableau III.3 : Recul du trait de côte total – secteur Dives-Orne.....	36

PPRL Bessin & Dives-Orne

Rapport de modélisation n°2

Cartographie des aléas littoraux - Secteur Dives-Orne

I. Introduction

I.1. Contexte de l'étude

La Direction Départementale des Territoires de la Manche a en charge l'élaboration des Plans de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) sur le département. Elle a confié la réalisation des études techniques à Alp'Géorisques et IMDC.

Le PPRL est un cas particulier du Plan de Prévention des Risques Naturels prévisibles (PPRN) mis en place à la suite de la tempête meurtrière et très dévastatrice Xynthia qui a fortement impacté le littoral français entre le 26 février et le 1^{er} mars 2010 (59 morts et près de deux milliards d'euros de dommages).

I.2. Objet de l'étude

L'étude doit aboutir à une caractérisation précise des aléas littoraux et inondations terrestres présents sur le territoire de ces communes ainsi qu'à l'établissement de cartographies en vue de l'établissement de PPRL couvrant la zone étudiée.

I.3. Démarche de l'étude

La mission comporte **six phases** :

Phase 1 : Analyse du fonctionnement du littoral sur l'ensemble du littoral de la zone d'étude.

L'analyse du site permet de connaître :

- les phénomènes naturels entrant en jeu sur le périmètre d'étude ;
- l'historique des événements majeurs et de leurs conséquences ;
- la description du trait de côte (recensement des ouvrages de défense notamment).

Une carte informative des phénomènes naturels sera ainsi élaborée. Cette analyse sera réalisée sur l'ensemble du littoral de la zone d'étude. La compréhension du fonctionnement des secteurs géographiques permettra de choisir les hypothèses et la méthode de caractérisation des aléas les plus adaptées.

Phase 2 : Caractérisation et cartographie des aléas littoraux par secteur

Cette phase 2 consiste à :

- définir l'événement de référence ;
- caractériser l'aléa de submersion marine ;
- caractériser l'aléa d'évolution du trait de côte et d'avancées/reculs dunaires ;
- définir les phénomènes concomitants d'inondation au niveau des cours d'eau côtiers.

Cette phase permet ainsi d'élaborer la carte des aléas.

Phase 3 : Définition et cartographie des enjeux.

Cette phase consiste à :

- Définir les enjeux surfaciques (type d'occupation du sol, enjeux potentiels, enjeux fonctionnels, zones protégées par un ouvrage) ;
- Définir les enjeux stratégiques (enjeux opérationnels, à sensibilité particulière, et spécifiques) ;
- Relever les infrastructures de transport.

Une carte des enjeux est ainsi établie. L'analyse de cette carte permet d'apprécier la population exposée avec une précision satisfaisante.

Le croisement entre la carte des enjeux et la carte des aléas permet de produire la carte des enjeux exposés.

Phase 4 : Cartographie de zonage réglementaire et proposition de règlement.

La cartographie de zonage réglementaire peut définir :

- Une zone inconstructible ;
- Une zone de projet possible sous maîtrise collective (le cas échéant) ;
- Une zone constructible sous conditions.

Une carte est établie afin de distinguer les zones naturelles exposées au phénomène de référence, les zones urbaines classiques et à enjeux fort en fonction du niveau d'aléa.

Le règlement précise en particulier :

- La définition des objectifs ;
- Les principes généraux ;
- Les interdictions ;
- Les prescriptions ;
- Les recommandations ;
- Les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde.

Phase 5 : Consultation – Rédaction des pièces.

Cette phase consiste à rédiger une note de présentation et réaliser le montage des dossiers :

- Le rapport de présentation ;
- La cartographie des aléas ;
- La cartographie des enjeux ;
- Le zonage réglementaire ;
- Le projet de règlement.

Phase 6 : Assistance à la maîtrise d'ouvrage avant et après l'enquête publique

Six tranches conditionnelles peuvent être exécutées selon les besoins recensés dans la partie technique 1 et 2 :

- TC 1 – rédaction d'un cahier des charges pour des levés topographiques
- TC 2 – rédaction d'un cahier des charges pour des levés bathymétriques
- TC 3 – modélisations de la houle (large et côtier)
- TC 4 – modélisations hydrodynamiques (côtier)
- TC 5 – modélisations de la submersion dynamique
- TC 6 – modélisations hydro-sédimentaires

I.4. Structure du rapport

Le présent document décrit la cartographie des aléas de submersion marine, de recul du trait de côte et de la migration dunaire pour le secteur Dives-Orne.

Le chapitre II porte sur l'aléa submersion marine. Dans ce chapitre, l'approche utilisée pour la détermination des aléas et la liste des scénarios étudiés est présentée. Le modèle de submersion est décrit et les résultats obtenus sont intégrés dans les divers scénarios étudiés :

- scénario de référence +0,20 m ;
- scénario de ruine généralisée ;
- scénario à échéance 100 ans ;
- scénario fréquent ;
- scénario extrême.

L'aléa du recul de trait de côte est présenté dans le chapitre III et l'aléa migration dunaire dans le chapitre IV.

Le chapitre V contient la liste des références bibliographiques.

II. Aléas de submersion

II.1. Cartographie

Une cartographie des aléas est proposée dans les chapitres suivants pour le secteur Dives-Orne sur fond cadastral au 1/5 000. Elle respecte les quatre classes d'aléa établies selon les critères hauteur-vitesse. Les critères suivants sont utilisés pour le PPRL:

- Les seuils de hauteur d'eau:
 - $H < 1$ m aléa fort
 - $0.5 < H < 1$ m aléa modéré
 - $0 < H < 0.5$ m aléa faible

- Les seuils pour les vitesses d'écoulement:
 - $V > 0.5$ m/s vitesse forte, dynamique rapide
 - $0.2 < V < 0.5$ m/s vitesse moyen, dynamique moyenne
 - $0 < V < 0.2$ m/s vitesse faible, dynamique lente

Les classes d'aléa sont déterminées à partir de la combinaison des hauteurs d'eau et de vitesses d'écoulement selon la grille suivante (Tableau II.1).

Tableau II.1 : Définition de l'aléa de submersion marine

Aléa submersion marine		Vitesse de l'écoulement		
		$V < 0,2$ m/s	$0,2 < V < 0,5$ m/s	$V > 0,5$ m/s
Hauteur d'eau	$H < 0,5$ m	Faible	Moyen	Fort
	$0,5 < H < 1$ m	Moyen	Moyen	Fort
	$H > 1$ m	Fort	Fort	Très fort

Les vitesses et les hauteurs d'eau sortent de la modélisation numérique de la submersion. Au cours de l'étude ces critères peuvent être adaptés pour mieux représenter les aléas.

Dans certains cas, des aléas supplémentaires à ceux qui sortiront des résultats de la modélisation numérique de la submersion seront définis.

Une **bande de précaution** sera définie systématiquement derrière toutes les structures pouvant être défaillantes (p.ex. les digues et cordons dunaires de premier rang, écluses ou vannes importantes, etc. protégeant une zone en cuvette).

Dans les cas où le terrain derrière la digue remonte à une cote au-dessus du niveau marin de référence, dans la largeur de bande déterminée comme ci-dessus, la bande de précaution s'arrête à ce point-là. Les zones qui se trouvent à une cote au-dessus du niveau marin de référence sont alors exclues de la bande de précaution. Le calcul de la largeur de la bande de précaution est abordé dans le paragraphe § II.4.4.

Les zones soumises à des **franchissements par paquets de mer, des chocs mécaniques ou à des projections** seront définies à partir:

- des données historiques (fiches tempêtes, IMDC & AGR, 2014a). À ces endroits, une bande de chocs mécaniques de 25 m sera définie, même dans le cas où il n'y a pas eu de débit calculé avec le test de digue. Si le débit de test de digue dépasse 50 l/m/s, la largeur sera de 50 m.
- des débits tirés du test des digues (et les limites comme indiquées dans le guide Eurotop). Trois classes de débits ont été retenues et la largeur de la bande de chocs mécaniques sera modifiée en fonction du débit de franchissements par paquets de mer (Q) :
 - $Q \leq 0,1$ l/m/s : Débit de franchissement faible; pas de bande de chocs mécaniques
 - $0,1 < Q \leq 50$ l/m/s : Débit de franchissement moyen, effet local ; bande de chocs mécaniques de 25m de large
 - $50\text{l/m/s} < Q$: Débit de franchissement important, effet plus loin ; bande de chocs mécaniques de 50 m de large

L'aléa à ces endroits précis sera qualifié de fort.

Le schéma de décision pour la bande de chocs mécaniques est montré dans la figure ci-dessous.

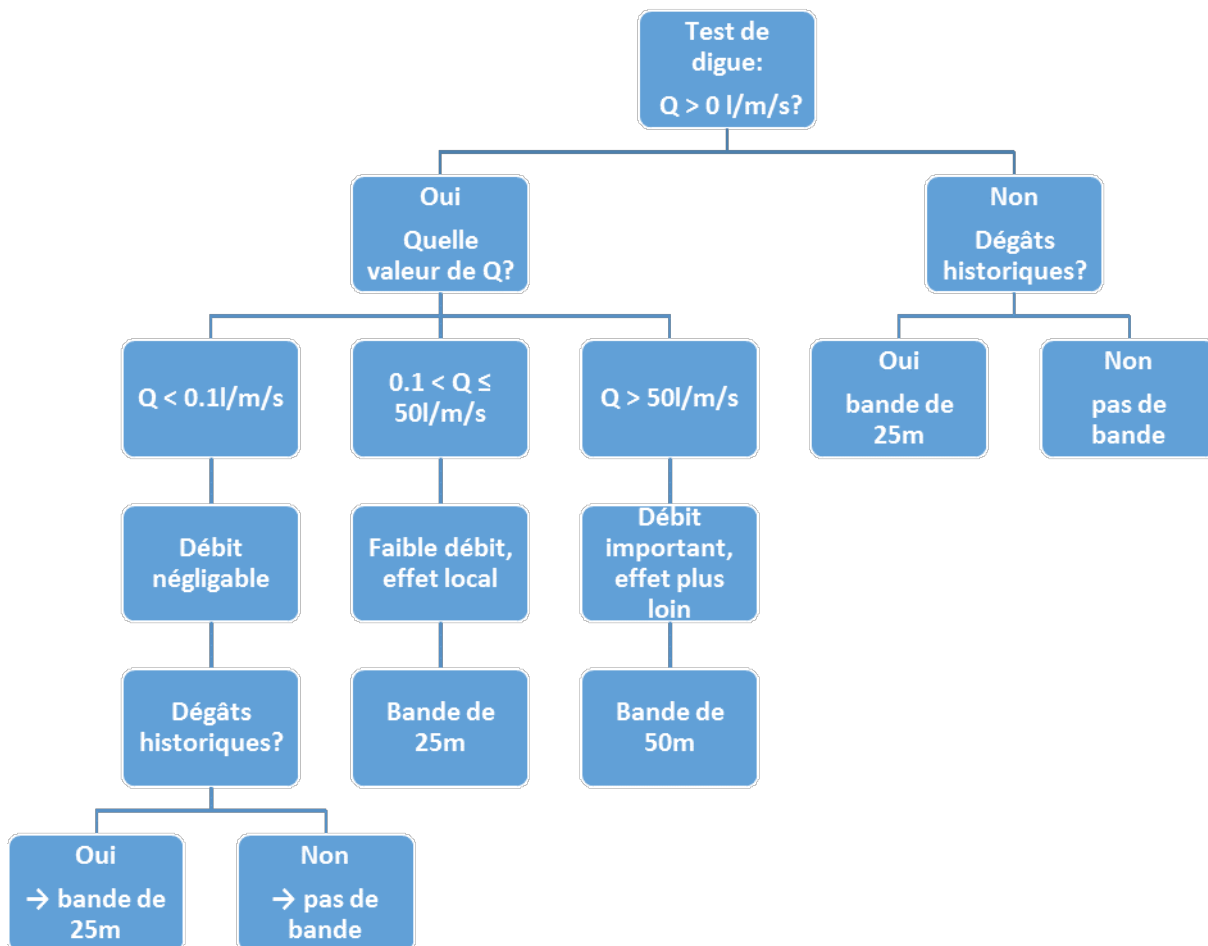


Figure II.1: Définition de la bande de chocs mécaniques

Les débits de franchissement, issus du test de digues sont classifiés dans le tableau suivant. La seule zone caractérisée par des franchissements se situe au niveau de la Dune de Colleville et du perré d'Herrmanville.

Tableau II.2 : Aléa de chocs mécaniques, du à l'action de la houle

Section	Localisation	Classe débit	Chocs mécaniques ?	Largeur bande d'aléa	Événements historiques ?
DOSH2	Cordon dunaire de la Pointe de Cabourg	0	non		
DOSH3	Perré de Cabourg	0	non		
DOSH4	Cordon dunaire de Varaville et Merville-Franceville	0	non		
DOSH9	Cordon dunaire de Riva Bella	0	non		
DOSH10	Perré de Riva Bella	0	non		
DOSH11	Dune de Colleville et perré d'Herrmanville	<50 l/m/s	oui	25m	Érosion de la dune à Colleville

II.2. Scénarios étudiés

Les scénarios suivants sont étudiés dans le cadre du PPRL :

- **scénario de référence** : déterminé à partir de l'événement naturel de référence, aboutissant à la cartographie de l'aléa de référence ;
- **scénario à échéance de 100 ans** : déterminé à partir de l'événement de référence prenant en compte l'élévation du niveau de la mer liée à l'impact du changement climatique, aboutissant à la cartographie de l'aléa à échéance 100 ans ;
- **scénario en l'absence d'ouvrages** (hypothèse de ruine généralisée de l'ensemble des ouvrages de protection), déterminé à partir de l'événement de référence. Ce scénario donnera lieu à une cartographie à titre indicatif ;

D'autre part deux scénarios additionnels sont considérés :

- **scénario basé sur un événement fréquent**, de forte probabilité (**10 ans**) ;
- **scénario extrême, basé sur un événement extrême**, de faible probabilité, supérieur à l'événement de référence (**1000 ans**).

Pour chaque scénario, les séries temporelles des débits sont transférées dans un modèle d'écoulement/courant 2D, comprenant les séries temporelles des débits comme entrée du modèle ainsi que le niveau de la mer et la hauteur des brèches comme conditions aval.

Pour le scénario à échéance 100 ans, la position du trait de côte à échéance 100 ans est à considérer. Le recul de trait de côte à échéance 100 ans est déterminé au chapitre § III.2.

II.3. Modélisation de la submersion

II.3.1. Le modèle Infoworks

Les calculs hydrodynamiques ont été effectués avec le logiciel InfoWorks ICM, version 5.0. Le logiciel InfoWorks ICM offre la possibilité de combiner une modélisation 1D classique avec un module de calcul bidimensionnel (2D). Pour cette étude, les composantes hydrodynamiques 1D et 2D du logiciel ont été utilisées. Cette approche permet une caractérisation précise des aléas littoraux et d'inondation terrestre.

II.3.1.1. Construction du modèle 2D

Le modèle 2D est construit sur base des données topographiques et de l'occupation des sols. La précision des résultats d'un modèle 2D dépendent principalement des données topographiques à partir desquelles la maille 2D a été construite. Pour cette étude des données topographiques Litto3D obtenues par un levé LIDAR ont été utilisées. Ces données ont une résolution d'un mètre qui permet une cartographie détaillée des inondations.

Pour la construction du maillage 2D triangulaire les cours d'eau et leurs berges sont pris en compte. La maille 2D est forcée sur leurs emplacements. La même chose est faite pour les routes et les digues. Dans des zones de rupture, les dunes ou digues sont conceptualisées par des unités « 2D Base Linear Structure » qui sont intégrées dans la maille 2D. Ces structures donnent la possibilité de simuler une rupture d'ouvrage, en fonction du moment d'apparition du pic de crue ou en fonction de la hauteur de surverse.

Le détail de la maille 2D est déterminé par l'occupation des sols. Dans les zones urbaines la majorité des éléments de la maille 2D ont une surface entre 5 et 20 m² (résolution 2-5m) tandis que dans les zones rurales la majorité des éléments ont une surface de 100 m² (résolution 10m). Afin d'éviter des grandes différences de hauteur, le détail de la maille 2D est également fonction de la pente topographique.

Les coefficients de rugosité (Manning) sont également déterminés par l'occupation des sols. Les valeurs de rugosité sont divisées en catégories qui correspondent à une couverture de terrain homogène (agricole, fleuve, marais, tissu urbain et route). Les coefficients de Manning retenus dans le modèle sont les suivants:

Tableau II.3 : Coefficients de Manning

Type de couverture de sols	Coefficient de Manning
Agricole	0.050
Marais	0.080
Fleuve	0.030
Urbain	0.035
Urbain dense	0.030

Comme indiqué dans le paragraphe précédent, tous les calculs hydrodynamiques sont effectués en 2D et incluent l'Orne et la Dives, qui sont conceptualisées par une maille plus fine. L'Orne, le canal, ainsi que les ouvrages hydrauliques sont intégrés comme des ouvrages 1D.

Les conditions limites amont de l'Orne sont basées sur des débits mesurés à May-sur-Orne (situé à environ 8 km de la limite du modèle). Un débit T1 (correspondant à une période de retour de 1 an) de 165 m³/s est utilisé comme condition limite amont.

Les conditions limites aval de l'Orne sont des hauteurs d'eau. Les séries temporelles de hauteur d'eau correspondent soit aux données historiques des niveaux marins soit à des séries synthétiques obtenues par l'analyse statistique des résultats des modèles hydrodynamiques.

Comme les inondations analysées dans cette étude sont causées par des remontées d'eau de mer en amont, les conditions limites avalées sont plus importantes que les conditions limites amont.

Quatre ouvrages hydrauliques sont incorporés dans la grille de l'Orne. Ces ouvrages hydrauliques ont été modélisés à partir des données disponibles (plans, description et des photos des ouvrages d'art). Il s'agit de deux écluses, d'un déversoir et d'un barrage. Les ouvrages hydrauliques ne sont pas réglés à partir des débits et restent statiques pendant les calculs, sauf en cas d'une défaillance. Les ponts de l'Orne ne sont pas pris en compte dans la maille 2D car on estime que leur effet sur l'écoulement est minimal.

Pour la Dives, les conditions limites amont sont basées sur des débits mesurés à Saint-Pierre-du-Jonquet (situé à environ 2 km de la limite du modèle). Le débit T1 à Saint-Pierre-du-Jonquet est de 22 m³/s et un débit de 25 m³/s sera choisi comme condition limite amont afin de compenser pour des entrées d'eau additionnelles dans le domaine.

II.3.1.2. Calibration des modèles

La calibration du modèle hydraulique consiste à affiner les valeurs des paramètres et des coefficients de manière à ajuster les résultats du modèle aux mesures et aux observations disponibles. Étant donné le manque de données de calibration pour le secteur Dives-Orne, nous utiliserons donc des résultats de la calibration pour le secteur Bessin (IMDC & AGR, 2015) correspondant aux simulations effectuées pour la tempête Xynthia. Nous supposons que le modèle est calibré étant donné que la comparaison des enveloppes d'inondation et des hauteurs d'eau sur le terrain à Ver-sur-Mer (AGR & IMDC, 2015b) ont montré une bonne correspondance entre les deux avec des différences entre les hauteurs d'eau modélisées et observées limitées à 0.1 m.

II.4. Scénario de référence +0.20 m

Le scénario de référence est défini dans le guide PPRL comme l'événement historique majeur s'il est supérieur à un événement de période de retour de 100 ans. Par défaut, c'est l'événement de période de retour de 100 ans. Le système de protection est considéré comme fonctionnel.

Dans le rapport IMDC & AGR (2014b), une analyse statistique est effectuée dans le but de définir des couples de hauteur de houle (ci-après Hm0) au large, pour une tempête de probabilité de retour de 100 ans, avec un niveau d'eau extrême (ci-après Z0). Pour cela, une courbe d'isoprobabilité T100 est établie dans le domaine Hm0-Z0. Les couples de Hm0-Z0 sont alors des points qui font partie de cette courbe. 20 couples sont ainsi retenus, 10 pour des conditions centennales d'Ouest (« W ») et 10 pour des conditions centennales du Nord-Nord-Est (« N »).

Afin de sélectionner l'événement de référence, une comparaison des conditions hydrodynamiques historiques et celles avec période de retour 100 ans est faite au large. Il en est conclu que certaines tempêtes de Nord dépassent le niveau centennal au large :

- Février 1996
- Octobre 1998
- Septembre 2001

Ces trois tempêtes et leurs effets sur la protection côtière sont donc retenues pour l'étude PPRL. Pour les conditions d'Ouest la tempête Xynthia (Février 2010) est également retenue.

Dans une prochaine étape, les effets des conditions T100 et historiques sur la protection côtière est analysée dans un modèle de houle, le test de digues et le test de dunes (IMDC & AGR, 2015). De cette analyse il est conclu que l'événement majeur varie entre les différentes conditions et les secteurs étudiés. Pour les entrées d'eau par franchissements par paquets de mer et le set-up de la houle, les valeurs les plus pénalisantes sont retenues pour chaque secteur étudié.

Enfin, le niveau d'eau initialement présent dans les marais n'a pas fait l'objet d'ajustement. Il s'agit du niveau indiqué dans les données Litto3D.

II.4.1. Débit fluvial

Au scénario de référence, des débits de crue correspondant approximativement à une période de retour de 1 an (T1) sont retenus pour l'Orne et la Dives, sur la base du débit de non dépassement de 99 % des mesures disponibles d'Eau France.

Pour l'Orne, les mesures les plus complètes sont disponibles à la station de Thury-Harcourt (station I3521020) sur la période 1985-2014 (soit 10293 jours). De plus, le phasage de la régulation des vannes du port de Caen-Ouistreham est fait sur la base des niveaux d'eau mesurés à cette station.

Le débit T1 à Thury-Harcourt (calculé sur toute la période mesurée) est de 139 m³/s. La lame d'eau est estimée à 1.6 m.

Le débit T1 à Thury-Harcourt est converti vers Louvigny sur la base d'une règle empirique (SOGREAH, 2006), qui prend en compte la surface du bassin versant :

$$\frac{Q_{99,TH}}{S_{TH}^{0.75}} = \frac{Q_{99,L}}{S_L^{0.75}}$$

avec Q_{99,TH} le débit de non dépassement de 99 % à Thury Harcourt (139m³/s) et Q_{99,L} à Louvigny (recherché), S_{TH} la surface du bassin versant de l'Orne à Thury-Harcourt (2180km²), et S_L à Louvigny (2547km²). Le débit annuel calculé est de 156 m³/s.

Pour la Dives, les mesures des stations de Biéville-Quétiéville et Saint-Pierre-du-Jonquet sont disponibles, avec des débits respectifs de 29 m³/s et 22.5 m³/s. Les débits de la station de Saint-Pierre-du-Jonquet, qui est la plus proche des conditions limites, seront utilisés avec une valeur de 25 m³/s.

II.4.2. Niveau marin

La submersion marine devient critique avec un niveau marin maximal. Pour cette raison, le couple « T100k10W » de l'étude statistique est retenu (AGR & IMDC, 2014b). Ce couple (Hm0, Z0) a le niveau marin Z0 maximal de toutes les conditions centennales et historiques confondues, et étudie donc la submersion marine critique. Ce niveau varie le long de la côte du secteur Dives-Orne, comme présenté dans le tableau ci-dessous (Tableau II.4).

Tableau II.4 : Niveaux marins du scénario de référence +0.20 m

N°	Commune	Nom	Z0 [mIGN69]	Wave set-up [m]	Élévation du niveau marin [m]	Niveau total [m IGN69]
1	Cabourg – Dives/M	Embouchure de la Dives	4.88	0	0.20	5.08
2	Cabourg	Dune de la Pointe de Cabourg	4.88	0.21	0.20	5.29
3	Cabourg	Remblai de Cabourg	4.83	0.21	0.20	5.24
4	Varaville Franceville- Merville- Plage	Cordon dunaire de Varaville et Franceville-Merville-Plage	4.73	0.20	0.20	5.13
5-7	Ouistreham, Franceville	Embouchure de l'Orne	4.58	0	0.20	4.78
9	Ouistreham	Dunes Ouistreham	4.58	0.27	0.20	5.05
10	Ouistreham	Remblai Ouistreham	4.58	0.27	0.20	5.05
11	Colleville-Mty et Hermanville / Mer	Cordon dunaire de Colleville et Remblai de Hermanville	4.58	0.30	0.20	5.08

Ce niveau d'eau maximal comprend la concomitance de la marée astronomique et une surcote atmosphérique. Par contre, le set-up de la houle sur les plages n'est pas comprise (Angl. : wave set-up). Ce paramètre est étudié à l'aide du modèle de houle (AGR & IMDC, 2015), et dépend fortement de la bathymétrie et des profils de plages. Pour chaque secteur, le set-up de la houle maximal des différents couples T100 et historiques est retenu. Les valeurs du set-up figurent également dans le tableau. Le wave set-up est uniquement pris en compte le long des plages, et non dans les zones de grande profondeur (canal de l'Orne et les berges de l'Orne, berges de la Dives).

Les niveaux extrêmes sont introduits comme conditions aux limites du modèle, sous forme de trois cycles de marée (voir Figure II.2). Ainsi, le pic du milieu de la suite temporelle correspond au niveau marin de référence PPRL (niveau total du Tableau II.4).

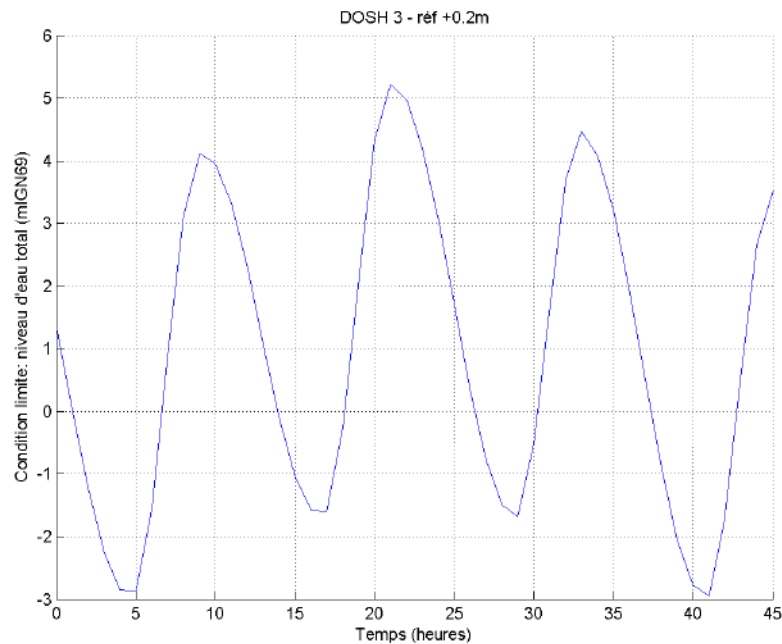


Figure II.2: Niveau marin pour le scénario de référence +0.20 m (trois cycles de marée)

II.4.3. Les entrées d'eau

Les entrées d'eau ont été décrites dans la note des hypothèses de brèche (Voir Les éléments clés sont repris ci-dessous).

II.4.3.1. Rupture de digues

Des hypothèses de brèches sont définies pour :

- Les digues fluviales de la Dive
 - o 2 brèches de 100 m sont définies sur la rive droite de la Dives (D1, D2)
 - o 3 brèches de 100 m sont définies sur la rive gauche (C1, C2, et C5)
 - o elles apparaissent à partir d'une heure avant le pic de la tempête
- Les digues fluviales de l'Orne
 - o 2 brèches de 100 m sont définies sur la rive droite de l'Orne (M3, M4)
 - o 2 brèches de 100 m sont définies sur la rive gauche (O3, O4)
 - o elles apparaissent à partir d'une heure avant le pic de la tempête
 - o par ailleurs, les digues fluviales de premier rang qui sont surversées par une lame d'eau de plus de 20 cm, rompent également dans le modèle (en raison des vitesses de courant trop élevées). Ces ruptures apparaissent sur le tronçon surversé, et à partir du moment de surverse (>20 cm)

Il est à noter que la hauteur des digues le long de l'Orne, la Dives, et le long des canaux est basée sur des DTM/MNT générés à l'aide de LITTO3D. Pour les digues littorales, les mesures s'appuient sur des mesures (profils de plage).

Les différentes ruptures de digues sont décrites en détail dans la note des hypothèses de brèches (AGR & IMDC, 2015b, repris en Annexe A).

II.4.3.2. Franchissements par paquets de mer

En conditions tempétueuses, les conditions de houle près des ouvrages littoraux peuvent causer des submersions marines par les vagues franchissant les digues par paquets de mer. Ces débits de franchissements sont calculés avec le test de digue (AGR & IMDC, 2015). Des débits de franchissements sont retenus au niveau de l'ouvrage littoral :

- Hermanville

Une suite temporelle des débits de franchissements par paquets de mer est établie pour chaque digue. L'ensemble des conditions T100 et historiques sont calculées (H_{m0} , Z_0), et les valeurs les plus pénalisantes par secteur sont retenues pour le scénario de référence +0.20 cm. Les débits sont maximaux au pic de la tempête (niveau d'eau et houle maximales). Ces valeurs maximales sont listées dans le tableau ci-dessous.

Tableau II.5 : Débits de franchissements par paquets de mer, conditions de référence +20 cm

N°	Commune	Nom	Classe débit
H2	Hermanville	Digue d'Hermanville	<50 l/m/s

II.4.3.3. Constructions hydrauliques

Pour le secteur de l'Orne :

Les portes écluses à l'embouchure du canal de Caen à la mer (Point O1 et O2) ne sont pas construites pour résister à des niveaux extrêmes et seront considérées comme défaillantes dans le modèle. De plus les vannes du Flet de Graye, qui se jette dans l'embouchure de l'Orne (S1) seront ouvertes dans le modèle de submersion à partir de 1 heure avant le pic de la tempête. Ceci permettra l'infiltration des eaux de mer sur les Terrains Francois.

Sur la zone Colleville-Montgomery et Hermanville sur Mer, les clapets anti retour des exutoires d'eau pluviale (Points CM1 et H1) seront également considérés comme défaillants, tout comme le déversoir du Maresquier (O5) qui sera ouvert une heure avant le pic de la tempête.

Les ouvrages dans le secteur de Caen seront également défaillants, il s'agit du Barrage de Montalivet sur l'Orne et des Portes de l'Orne (à l'entrée du bassin Saint Pierre). En effet ces ouvrages de régulation ci-dessus sont conçus pour évacuer les crues de l'Orne à Caen lors des fortes marées et non pour retenir les niveaux extrêmes de mer. Ils seront donc effacés dans le modèle.

Pour le secteur de la Dives :

Les vannes de la Divette (C3) au point de rejet dans la Dives seront ouvertes pour la simulation de référence. Le système de vannage au niveau de l'hippodrome du Vieux Cabourg et de la station épuration (C4) sera également considéré comme défaillant, à partir de 1 heure avant le pic de la tempête.

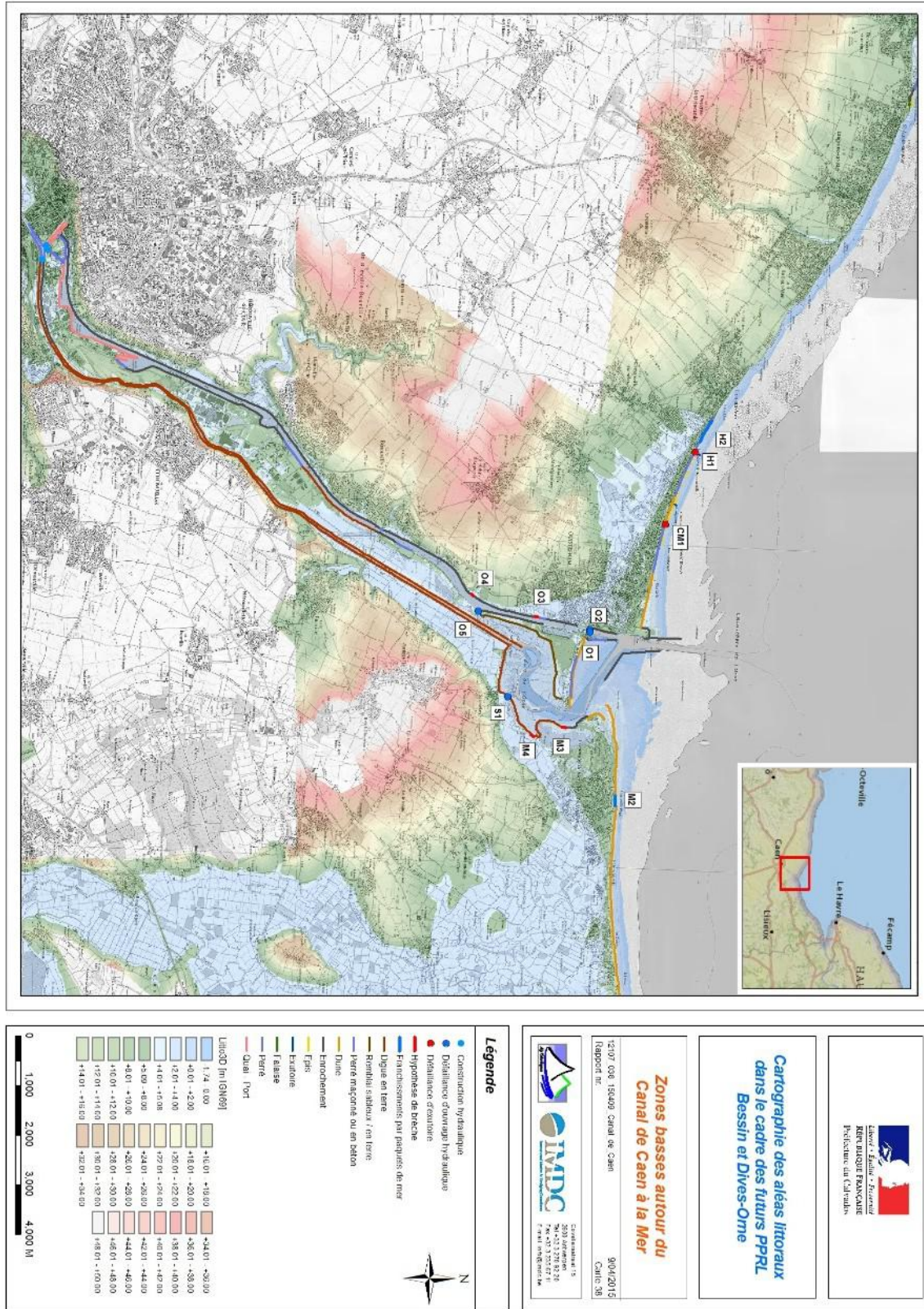


Figure II.3: Entrées d'eau scénario de référence +20 cm à Hermanville-sur-mer, Colleville-Montgomery, Ouistreham et Franceville.

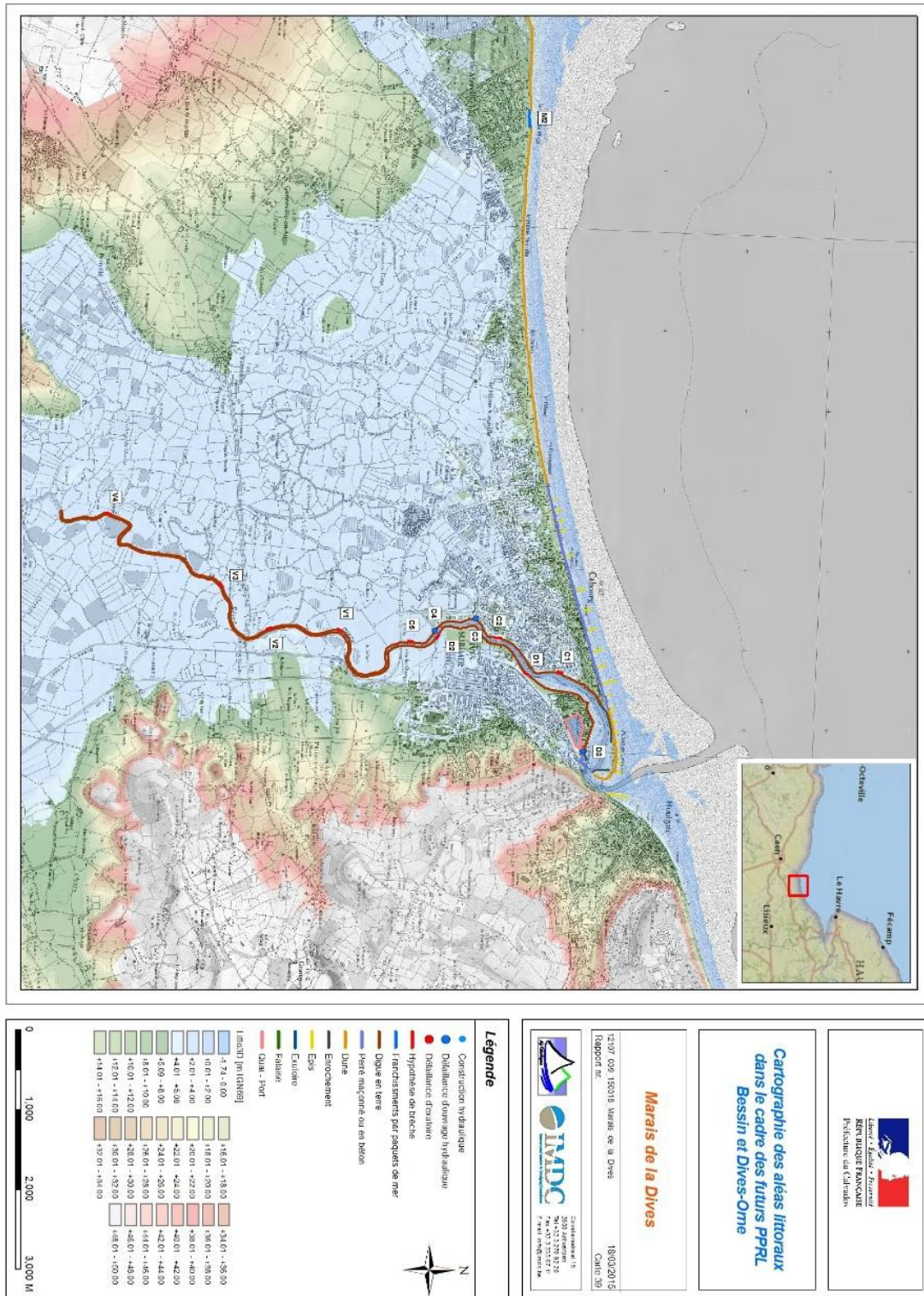


Figure II.4: Entrées d'eau scénario de référence +20 cm à Franceville, Varaville, Cabourg et Dives sur Mer.

II.4.4. Bande de précaution

Une **bande de précaution** est définie systématiquement derrière toutes les structures pouvant être défaillantes (p.ex. les digues fluviales et marines et cordons dunaires de premier rang, écluses ou vannes importantes,... protégeant une zone en cuvette).

La plus majorante des deux approches suivantes sera retenue:

- La bande forfaitaire minimum de 50 m
- Une bande plus large, déterminée à partir des hauteurs d'eau au niveau des structures considérées.

Selon le guide PPRL, la bande de précaution est définie avec une largeur de $100 \times h$, avec h la différence entre le niveau du terrain derrière la digue et le niveau d'eau considéré, sans que cette largeur ne soit inférieure à 50 m. Il faut donc que h soit supérieure à 0.50 m pour dépasser la largeur minimale de 50 m. La hauteur considérée sera au maximum la hauteur comprise entre la cote de crête de l'ouvrage et la cote du terrain naturel immédiatement derrière l'ouvrage, lorsque le niveau marin de référence est supérieur à la crête de l'ouvrage.

Afin d'éviter des variations trop fréquentes de la bande de sécurité, nous adopterons des classes de hauteurs d'ouvrages et par conséquent, des classes de largeur de bandes de sécurité. La cote de l'arrière-pays est déterminée de manière systématique : tous les 10 m les cotes ponctuelles le long d'une ligne située à l'arrière des digues sont extraites du MNT Lidar. La moyenne de tous ces points est déterminée par tronçon.

Le long des fleuves (l'Orne, le canal de Caen à Ouistreham et la Dives), la bande de précaution est définie derrière les digues protégeant des zones basses. Le niveau d'eau considéré pour la détermination de la largeur de la bande de précaution, correspond au niveau d'eau du pic de tempête le long du tronçon de digue considéré (et non le niveau marin au large). La variation du plan d'eau maximal le long des rivières est ainsi prise en compte. Parfois l'altimétrie des digues de rivières est relativement faible, et correspond plutôt à une berge ou un remblai de sable. Dans ces cas, la bande de précaution est seulement définie si une pente vers une zone basse existe, qui peut générer une accélération locale des vitesses d'écoulement des volumes de surverse. Pour les berges horizontales et les quais portuaires, la bande de précaution n'est pas définie.

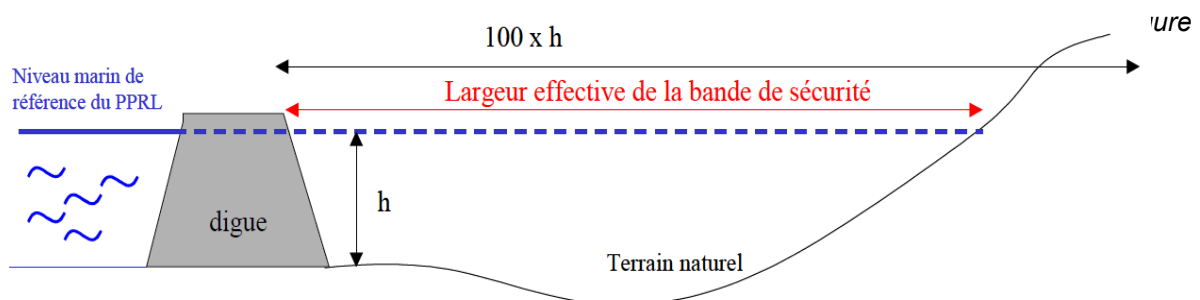


Figure II.5: Schématisation de la bande de précaution

Tableau II.6 : Largeurs de la bande de précaution

N°	Nom	Cote réf.	Cote arrière-pays	Crête d'ouvrage	Largeur B.D.P. (m)
DOSH1	Digue en terre de la Dives- tronçon 1	5	4.9	4.7	50
	Digue en terre de la Dives- tronçon 2	5	3.8	4.8	100
	Digue en terre de la Dives- tronçon 3	4	4.4	4.8	50
	Digue en terre de la Dives- tronçon 4	4.5	2.7	4.5	180
	Digue en terre de la Dives- tronçon 5	3.2	3.2	4.5	130
	Digue en terre de la Dives- tronçon 6	3.2	3.1	3.9	80
	Digue en terre de la Dives- tronçon 7	4.5	3	4	100
	Digue en terre de la Dives- tronçon 8	4.3	3.5	4.8	130
	Digue en terre de la Dives- tronçon 9	3.6	3	4.9	190
	Digue en terre de la Dives- tronçon 10	4.8	3.7	5.2	150
DOSH05	Digue Merville	4	3.2	5.1	80
DOSH06	Digue en terre de l'Orne - tronçon 1	5.1	3.1	4.5	200
	Digue en terre de l'Orne - tronçon 2	4.6	3.4	3.8	50
	Digue en terre de l'Orne - tronçon 3	5.1	3.2	4.8	160
	Digue en terre de l'Orne - tronçon 4	4.8	4.8	4.2	50
	Digue en terre de l'Orne - tronçon 5	4.7	2.4	4.2	180
	Digue en terre de l'Orne - tronçon 6	4.7	3.2	4.6	140
	Digue en terre de l'Orne - tronçon 7	4.7	4.6	4.8	50
	Digue en terre de l'Orne - tronçon 8	5	8	4	50
	Digue en terre de l'Orne - tronçon 9	5	5.2	4	50
	Digue en terre de l'Orne - tronçon 10	5	7	3.5	50
	Digue en terre de l'Orne - tronçon 11	5	3,5	5	150
	Digue en terre de l'Orne - tronçon 12	5	5.2	5	50
	Digue en terre de l'Orne - tronçon 13	4.8	5	4	50
	Digue en terre de l'Orne - tronçon 14	5	9	4.6	50
	Digue en terre de l'Orne - tronçon 15	5	5.2	3.8	50
	Digue en terre de l'Orne - tronçon 16	4	4.7	4	50
	Digue en terre de l'Orne - tronçon 17	5	4.5	5	50
	Digue en terre de l'Orne - tronçon 18	4.7	3.5	4.6	110
	Digue en terre de l'Orne - tronçon 19	4.5	4.7	4.8	50
	Digue en terre de l'Orne - tronçon 20	4.8	4.6	4	50
DOSH07	Digue en terre – tronçon 1	4.5	3	5	200
	Digue en terre – tronçon 2	4.5	3	4.8	180
	Digue en terre – tronçon 3	4.6	3.6	4.4	80
	Digue en terre – tronçon 4	4.7	5	5.2	50
	Digue en terre – tronçon 5	4.5	4.5	4.7	50

Toutes les cotes sont exprimées dans le repère IGN69
 (*) Cote de crête retenue pour calcul

Dans les cas où le terrain derrière la digue remonte à une cote au-dessus du niveau marin de référence, dans la largeur de bande déterminée comme ci-dessus, la bande de précaution s'arrête à ce point-là. Les zones qui se trouvent à une cote au-dessus du niveau marin de référence sont alors exclues de la bande de précaution. Les tronçons de bande de précaution sont définis dans le tableau suivant.

II.4.5. Bande de chocs mécaniques

Les débits de franchissement, issus du test de digues sont répertoriés dans la Tableau II.5.

II.4.6. Résultats

Les enveloppes de submersion modélisées du scénario référence +0,20 m impactent surtout les communes de Ouistreham, Merville-Franceville Plage, Sallenelles, Amfreville, et Ranville sur le secteur de l'Orne. Quelques enjeux sont impactés dans la zone industrielle de Caen et Mondeville également. Pour le secteur Dives, les enveloppes de submersion impactent surtout Cabourg et Dives-sur-Mer (voir Figure II.6).

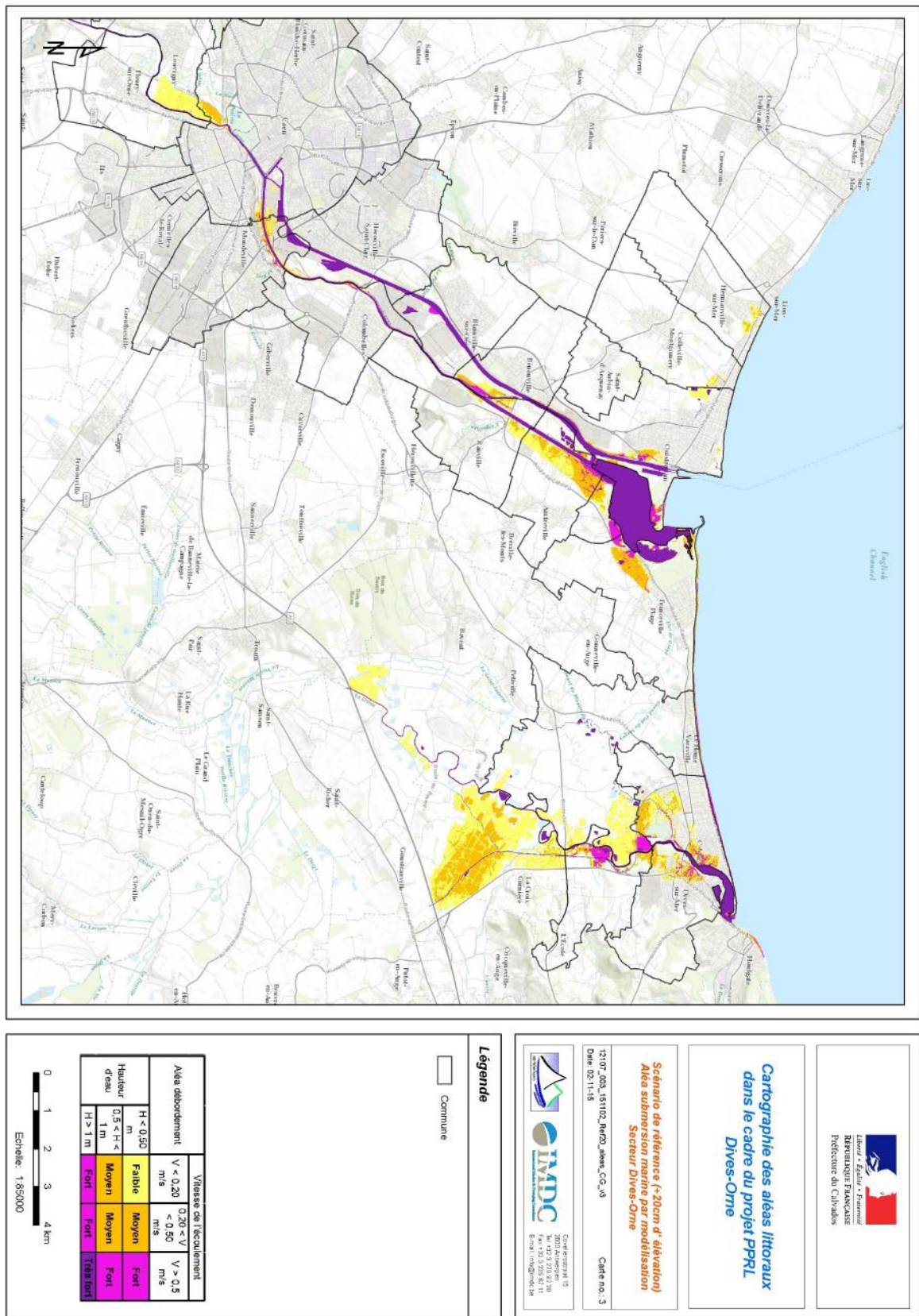


Figure II.6 : Aléa de submersion pour le scénario de référence +0.20 m dans le secteur Dives-Orne

La commune d'Hermanville est affectée par une entrée d'eau (< 50 cm) au niveau de la Brèche d'Hermanville liée aux débits franchissant. Elle impacte une surface assez limitée et est caractérisée par un aléa faible à moyen dans le quartier de la Rosière et du Minotaure. Cet aléa est localement fort sur la route qui relie la zone de chocs mécaniques à la zone basse (Rue de la Rosière). Une deuxième entrée d'eau n'impactant pas d'enjeu est due à la défaillance de l'exutoire du ruisseau La Rosière.

La commune de Colleville Montgomery est soumise à un aléa faible sur la zone des Charmettes, entre la D514 (Route de Lion) et le ruisseau de la Rosière correspondant à une entrée d'eau (<50 cm et vitesse réduite) provenant de la défaillance de l'exutoire au point CM1 (Voir hypothèses de brèches). La partie Ouest de la zone inondée est une zone habitable.

La commune de Ouistreham est affectée par l'aléa submersion à la fois au niveau du Canal de l'Orne mais également localement sur le secteur Riva Bella. Les submersions y sont causées par la combinaison de la défaillance des ouvrages hydrauliques isolant le canal de la mer et des deux brèches imposées au modèle. Au niveau de Riva Bella, un aléa faible à modéré est observé au niveau de la Piscine à l'Ouest de la Gare Maritime, par surverse. La rentrée d'eau est très limitée, localisée autour de la piscine et ne dépasse pas le boulevard maritime.

Dans le centre-ville de Ouistreham, l'étendue de l'enveloppe de submersion est plus importante et impacte toute la zone de la station d'épuration et la zone basse derrière. Sa limite Nord est Rue de l'Union et sa limite Ouest Rue Emile Herblin, ce qui correspond aux zones basses. On note la présence d'un aléa moyen (avec enjeux) à très fort (sans enjeu) sur une zone de quelques centaines de mètres de large depuis la digue. Néanmoins l'enveloppe de submersion est bien inférieure à celle des cartes ZNM (annexe G) et à celle du PPRI de l'Orne.

Le long du Canal de Caen à la mer la submersion par surverse s'étend localement sur les deux rives (fossé de ligne à l'Ouest, route de la Pointe du Siège à l'est) jusqu'au sud de la zone d'activité du Maresquier (Pont de la D514 ; Bénouville). L'enveloppe est assez étroite mais caractérisée par un aléa moyen à fort. Les rentrées d'eau sont liées à la défaillance de l'ouvrage hydraulique du déversoir du Maresquier (O5) et à la brèche sur la rive en face au niveau de la déchetterie (O4).

Dans l'estuaire de l'Orne, toutes les zones intertidales sont évidemment submergées. Une grande partie des rives est soumise à la surverse (Sallenelles, Amfreville, Ranville), en plus des deux brèches M3 et M4 au niveau des Terrains François. Les zones basses correspondant à la baie de l'Orne sont caractérisées par une enveloppe de submersion étendue, avec un aléa moyen à fort. C'est le cas de la pointe du Siège et également de la Pointe de la Roque. La submersion s'étend dans l'estuaire jusqu'au Sud du déversoir du Maresquier jusqu'au Marais de Venoix (à hauteur de la Haute Ecarde).

Sur la rive Est de l'estuaire de l'Orne, les communes de Merville (dont la commune de La Baie) et Sallenelles sont fortement impactées. Les entrées d'eau au niveau des brèches M3 et M4 y mènent à un aléa fort à localement très fort, sans pour autant impacter beaucoup d'enjeux. La commune de Merville-Franceville Plage est touchée par l'aléa submersion moyen à fort sur la partie Ouest avec rentrée d'eau par l'océan au niveau du Banc des Oiseaux (zone naturelle sans enjeu), mais aussi une rentrée d'eau due au débordement via deux brèches (M3 et M4) de l'Orne au niveau du Gros Banc, et inondation de la zone basse (et des terrains agricoles incluant le Moulin du Buisson) délimitée au sud par le chemin des Banques et au Nord par la D514. La submersion s'arrête juste avant le hameau de Franceville plage (Avenue 18 Août 1944) et le hameau du Buisson (au Nord).

Les communes de Sallenelles, d'Amfreville, de Ranville et de Bénouville sont fortement touchées par l'aléa de submersion (globalement moyen) avec une enveloppe qui s'étend sur la totalité de la zone basse des Terrains François (au nord), au Pont de Ranville (la RD514) au sud (incluant le secteur de l'Herbette, du Marais de Cagny, et de la Haute Ecarde). Les entrées d'eau sont liées à la surverse des digues des marais le long de l'Orne dans la zone de l'Herbette et du Marais de Cagny, et également à la défaillance des vannes du Flet de Graye (S1). Cependant les inondations affectent principalement des terrains agricoles et non pas les lieux dits / hameaux de la Haute Ecarde et Basse Ecarde. Les habitations situées dans le village de Sallenelles ne sont pas impactées par l'inondation, qui est confinée par les Terrains François et au Nord par le Chemin des Banques.

Plus au sud un relief plus élevé, combiné à une hauteur d'eau plus faible et une hauteur de digue plus importante permet de limiter l'étendue des inondations.

On note qu'au sud de Ranville, l'aléa y est plutôt moyen. L'étendue de l'enveloppe de submersion est également moins importante sur la rive gauche de l'Orne avec un aléa faible à moyen. Il s'agit de zones dont l'élévation est en moyenne de 1 m à 2 m au dessus du niveau de la mer.

Plus en amont, les submersions sont limitées, avec une surverse locale le long de l'Orne à Colombelles (sans enjeu), et dans la zone industrielle de Mondeville et Caen (enjeux importants). Le Sud du Bassin St Pierre à Caen est également affecté, ainsi que de larges terrains agricoles à Louvigny.

Plus à l'Est sur le littoral, la commune de Varaville n'est pas impactée par l'aléa de submersion. Il n'y a pas d'entrée d'eau, que ce soit par franchissement par paquets de mer, surverse, défaillance d'ouvrage hydraulique ou brèche.

Sur le secteur de la Dives, des brèches par surverses (D1 et D2 sur la rive droite ; C1, C2 et C5 sur la rive gauche) sont à l'origine de la submersion au niveau de la pointe de Cabourg et l'aléa y est très fort. Par ailleurs, la présence de vannes de la Divette (C3) au point de rejet dans la Dives accentue cette submersion. En effet, supposées défaillantes, elles s'ouvrent 1h avant le pic de tempête lors de la simulation et permettent ainsi l'infiltration de l'eau de mer dans les marais de la Divette. Le deuxième système de vannage (C4) également simulé comme défaillant est aussi responsable d'une infiltration d'eau importante, de même que les portes du port Guillaume (D3).

La commune de Cabourg est touchée par l'aléa de submersion moyen à fort au niveau du centre-ville. L'enveloppe de submersion s'étend le long de l'avenue de la République (limite Ouest) et s'arrête à l'avenue du Roi Albert 1^{er} (limite Nord). Le reste de la commune est impacté par l'aléa submersion faible à modéré et particulièrement sur la zone basse située entre la RD513 et la D400B qui comprend l'hippodrome du Vieux Cabourg. Les entrées d'eau ont lieu au niveau de 3 brèches (du nord au sud : centre-ville au bout de la rue du Port / Avenue Pasteur (point C1); au sud du Pont de la D513 – point C2 ; et au Nord du Pont de la D400a, au sud de l'hippodrome (Point C3).

La commune de Dives-sur-Mer est touchée par l'aléa de submersion moyen à fort au niveau du centre-ville. Les secteurs touchés concernent la plupart des zones construites situées sur la zone délimitée par la Rue St Marguerite (limite Nord), le quartier des Courlis (limite Sud) et le boulevard Maurice Thorez (D400) (limite Est).

L'aléa est fort dans le secteur autour de la D513 (Avenue Pasteur), le long des berges de la Dives et de la rue de la Libération, ainsi que la rue Normandie Niemen. Ceci est lié à l'entrée d'eau par brèche (D1). Une deuxième brèche a lieu en rive droite au niveau de l'hippodrome de Cabourg. Elle affecte les zones construites entre le quartier des Cités (au Nord) et le quartier des Courlis (au Sud) avec un aléa moyen à localement fort (Rue Jean Goueslard).

II.5. Scénario de ruine généralisée

Le scénario en l'absence d'ouvrages correspondant à l'hypothèse de ruine généralisée de l'ensemble des ouvrages de protection est déterminé à partir de l'événement de référence. Ce scénario donne lieu à une cartographie à titre indicatif.

II.5.1. Débit fluvial

Dans le scénario de ruine généralisée, un débit typique correspondant à un débit annuel (T1) est retenu pour la Dives et l'Orne, comme dans le scénario de référence +0.20 m.

II.5.2. Niveau marin

Les niveaux marins au scénario de ruine généralisée sont identiques à ceux du scénario de référence +0.20 m (voir Tableau II.4).

II.5.3. Les entrées d'eau

II.5.3.1. Rupture de digues

Les ruptures des digues sont présentes depuis le début de la simulation au lieu d'1h avant le pic de tempête. Les hypothèses de brèche sont les mêmes que pour le scénario de référence +0.20 m (voir § II.4.3.1).

II.5.3.2. Franchissements par paquets de mer

La digue de la promenade d'Hermanville n'est pas entièrement effacée au scénario de ruine généralisée. Le débit de franchissement du scénario de référence (+0.20 m) est donc également retenu au présent scénario (voir § II.4.3.2).

II.5.3.3. Constructions hydrauliques

La défaillance des ouvrages est aussi présente depuis le début de la simulation. Les ouvrages sont les mêmes que pour le scénario de référence +0.20 m.

II.5.4. Résultats

Les enveloppes de submersion modélisées du scénario ruine généralisée impactent surtout les communes de Ouistreham, Merville-Franceville Plage, Sallenelles, Amfreville, et Ranville sur le secteur de l'Orne. Quelques enjeux sont impactés dans la zone industrielle de Caen et Mondeville également. Pour le secteur Dives, les enveloppes de submersion impactent surtout Cabourg, Dives-sur-Mer et l'Est de la commune de Varaville (voir Figure II.7).

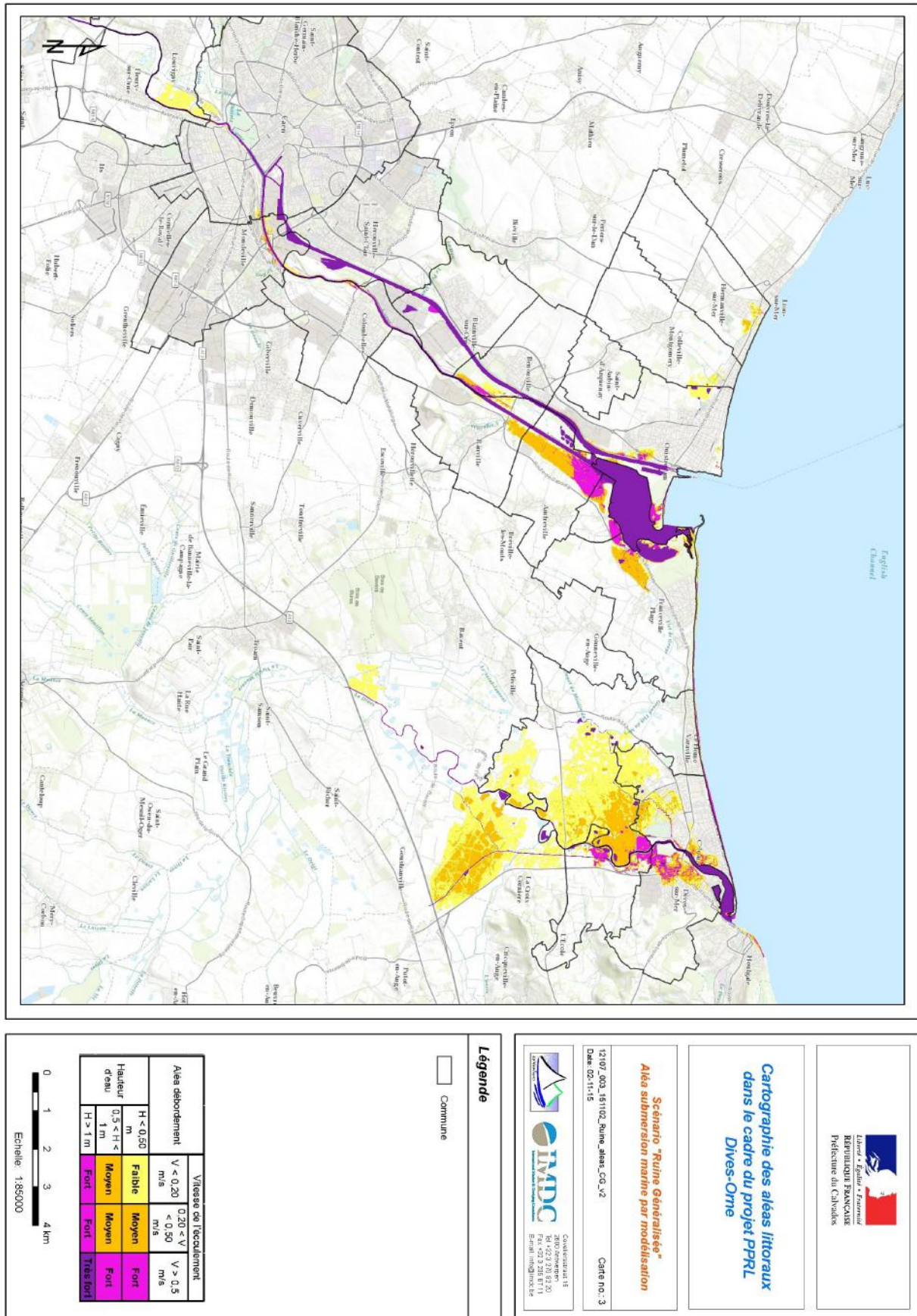


Figure II.7: Aléa de submersion pour le scénario de ruine généralisée dans le secteur Dives-Orne

Sur le secteur de l'Orne, les inondations à Ouistreham sont moins étendues dans le scénario de ruine que dans le scénario de référence +0.20 m malgré le fait que les mêmes conditions aux limites aient été utilisées. La différence est due au fait que les structures hydrauliques sont constamment ouvertes dans le scénario de ruine, ce qui cause une vidange du chenal à marée basse et crée ainsi une zone tampon plus large. Ceci permet de baisser les niveaux d'eau le long du canal de Caen à la mer et le long de l'Orne. Par comparaison, dans le scénario de référence +0.20 m le canal est isolé de la mer jusqu'à une heure avant le pic de la tempête, et a un niveau d'eau uniforme correspondant environ à marée haute (> +3m IGN). Les volumes entrants supplémentaires se déversent donc immédiatement par les brèches.

Sur la rive droite de l'Orne, l'influence du scénario de ruine est plutôt limitée (par rapport au scénario de référence +0.20 m). Les enveloppes de submersion sont plus ou moins les mêmes que celles du scénario de référence +0.20 m.

Concernant le secteur de la Dives, les mêmes observations et remarques que pour le scénario +0.20 m peuvent être appliquées pour le secteur de l'estuaire. Toutefois, les zones soumises aux submersions sont différentes sur les communes de Dives-sur-Mer et Varaville. A Dives-sur-Mer, la zone impactée est la même mais on note des aléas plus forts (aléa fort contre aléa moyen pour le scénario +0.20 m), du fait de l'absence d'ouvrage sur les berges de la Dives. Concernant la commune de Varaville, des changements sont observés en termes d'intensité et d'étendue. En effet, on note d'une part que la zone soumise à un aléa faible lors du scénario +0.20 m est soumise cette fois-ci à un aléa moyen et que d'autre part, la zone s'étend vers l'ouest, quasiment jusqu'au niveau de la route départementale D513.

Les enveloppes de submersion plus étendues du scénario de ruine sont dues au fait qu'une zone plus grande peut être inondée en amont de la ville de Cabourg, ce qui contribue à baisser le niveau d'eau dans la Dives et limite les inondations dans la ville elle-même. Ceci est tout particulièrement visible lors de la comparaison avec le scénario de référence +0.20 m.

II.6. Scénario à échéance 100 ans

II.6.1. Débit fluvial

Le débit fluvial est le même que pour le scénario de référence +0.20 m, soit un débit annuel (T1) pour la Dives et l'Orne.

II.6.2. Niveau marin

Les niveaux marins totaux du pic de tempête, incluant l'élévation du niveau marin par le changement climatique et le wave set-up, sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau II.7 : Niveaux marin du scénario à échéance 100 ans

N°	Commune	Nom	Z0 [m/IGN69]	Wave set-up [m]	Elévation du niveau marin [m]	Niveau total [m IGN69]
N°	Commune	Nom	Z0 [m/IGN69]	Wave set-up [m]	Elévation du niveau marin [m]	Niveau total [m IGN69]
1	Cabourg – Dives/M	Embouchure de la Dives	4.88	0	0.60	5.48
2	Cabourg	Dune de la Pointe de Cabourg	4.88	0.21	0.60	5.69
3	Cabourg	Remblai de Cabourg	4.83	0.21	0.60	5.64
4	Varaville Franceville- Merville- Plage	Cordon dunaire de Varaville et Franceville-Merville-Plage	4.73	0.20	0.60	5.53
5-7	Ouistreham, Franceville	Embouchure de l'Orne	4.58	0	0.60	5.18
9	Ouistreham	Dunes Ouistreham	4.58	0.27	0.60	5.45
10	Ouistreham	Remblai Ouistreham	4.58	0.27	0.60	5.45
11	Colleville-Mty et Hermanville / Mer	Cordon dunaire de Colleville et Remblai de Hermanville	4.58	0.30	0.60	5.48

II.6.3. Les entrées d'eau

II.6.3.1. Rupture de digues

Les ruptures des digues sont présentes depuis le début de la simulation. Les hypothèses de brèche sont les mêmes que pour le scénario de référence +0.20 m (voir § II.4.3.1).

II.6.3.2. Franchissements par paquets de mer

Les classes maximales de débits de franchissements par paquets de mer au moment du pic de la tempête, sont listées dans le tableau suivant.

Tableau II.8 : Débits de franchissements par paquets de mer, conditions de référence +20cm

N°	Commune	Nom	Classe débit
H2	Hermanville	Digue d'Hermanville	<50 l/m/s

II.6.3.3. Constructions hydrauliques

Le fonctionnement des constructions hydrauliques au scénario à échéance 100 ans, est identique au scénario de référence +0.20 m (§II.4.3.3).

II.6.4. Résultats

Les enveloppes de submersion modélisées pour le scénario à échéance 100 ans impactent surtout les communes de Ouistreham, Merville-Franceville Plage, Sallenelles, Amfreville, Ranville et Bénouville sur le secteur de l'Orne. Pour le secteur Dives, les enveloppes de submersion impactent surtout Cabourg, Dives-sur-Mer et Varaville, Périers en Auges étant également touché dans la partie Ouest (voir Figure II.8).

De manière générale les enveloppes de submersion pour ce scénario sont beaucoup plus étendues, voire intensifiées par rapport aux enveloppes du scénario +0.20 m.

A Hermanville et Colleville-Montgomery, l'aléa submersion est très comparable au scénario de référence. Ceci peut être dû aux petits exutoires qui limitent déjà les volumes entrants.

A Ouistreham, au niveau de Riva Bella, quelques enjeux sont maintenant impactés, qui ne l'étaient pas au scénario de référence. Dans le centre-ville de Ouistreham, les différences sont importantes, la submersion s'étendant plus loin dans les quartiers résidentiels, et avec un aléa plus fort que dans le scénario de référence. Néanmoins l'enveloppe de submersion est encore bien inférieure à celle des cartes ZNM (annexe G) et à celle du PPRI de l'Orne.

A Merville-Franceville, le niveau d'eau plus élevé et donc les plus grands volumes entrant par les brèches ont un impact très important sur l'enveloppe de submersion, qui couvre maintenant un gros tiers des quartiers résidentiels de la commune en aléa moyen à très fort. Par comparaison, aucun enjeu n'était touché dans le scénario de référence.

Le long du Canal de Caen à la mer et surtout dans l'estuaire de l'Orne (communes de Sallenelles, d'Amfreville, de Ranville et de Bénouville), une surverse importante mène à un aléa fort à très fort sur les zones basses au lieu de faible à moyen précédemment. Des enjeux isolés y sont maintenant touchés, par exemple à Sallenelles et à Amfreville.

Plus en amont, l'enveloppe de submersion ainsi que l'aléa sont relativement comparables au scénario de référence à Colombelles (sans enjeu), dans la zone industrielle de Mondeville et Caen (enjeux importants), ainsi que sur les terrains agricoles à Louvigny.

Concernant le secteur de la Dives, des changements notables d'aléas sont observés en termes d'intensité et de superficie par rapport au scénario de référence +0.20 m.

La commune de Cabourg est, dans le présent scénario, quasiment entièrement submergée. L'aléa y passe de moyen dans le scénario de référence +0.20 m à fort, voire très fort, dans le scénario à échéance 100 ans. L'eau pénètre par les brèches présentes sur la digue en terre (C1 et C2) et par le système de vannage au niveau de l'hippodrome (C4).

Sur la commune de Dives-sur-Mer, les enveloppes de submersions sont aussi substantiellement plus étendues, avec en particulier une surverse au niveau du bassin portuaire, non présente dans le scénario de référence. L'aléa y est maintenant moyen à fort au lieu de faible à moyen.

Un changement significatif est observé sur la commune de Varaville où l'enveloppe de submersion est bien plus étendue dans ce scénario que dans le scénario de référence, et atteint la route départementale D513 comme dans le scénario ruine. L'eau pénètre par la brèche au nord immédiat du pont de la RD400a (C5). En terme d'intensité l'aléa y reste de manière générale faible. Les enjeux impactés sur cette commune restent cependant limités.

Les résultats des enveloppes de submersion obtenus dans notre étude correspondent à celles de la carte synthétique de submersion lors d'une crue centennale (Ginger Environnement, 2005).

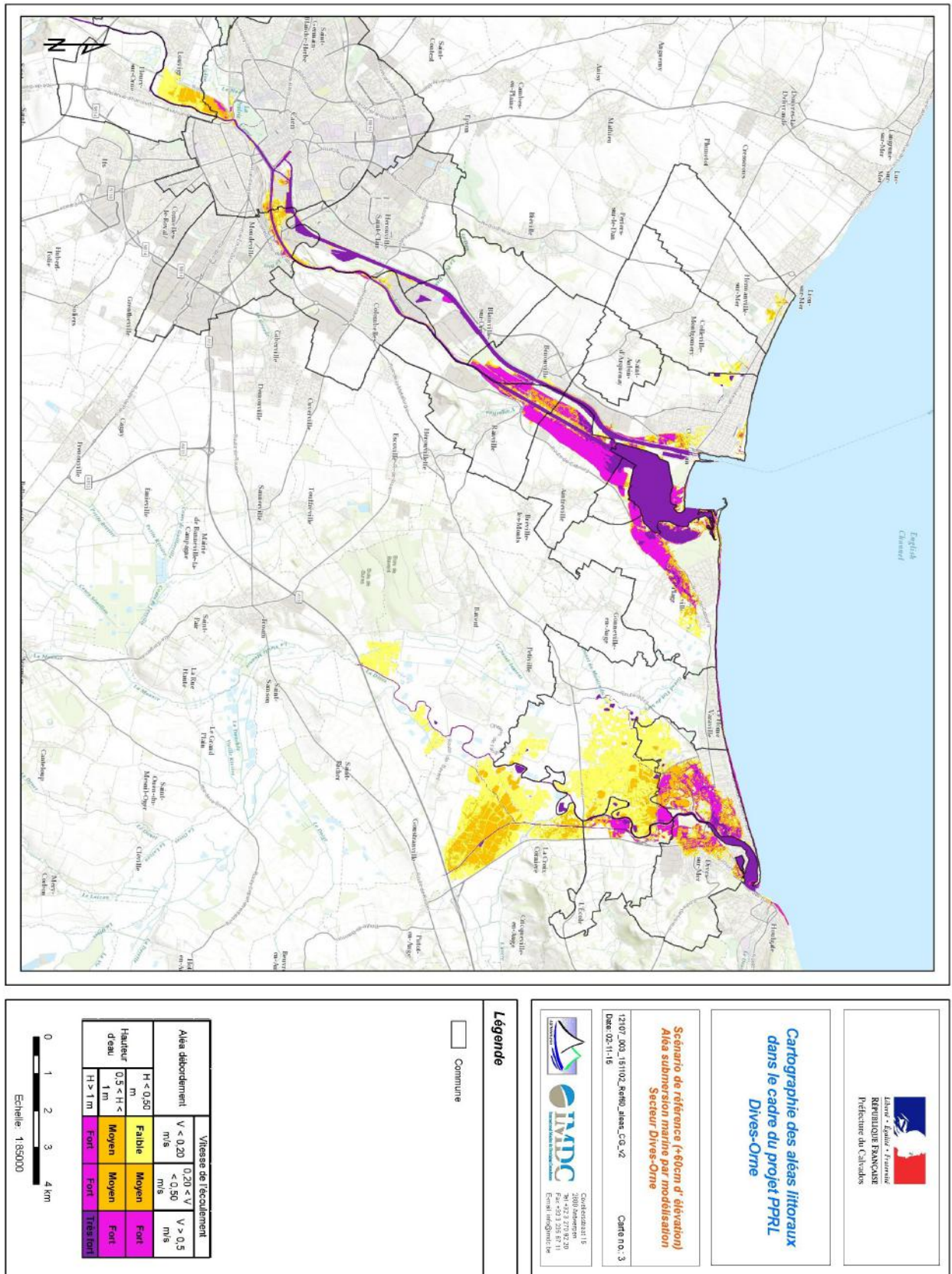


Figure II.8: Aléa de submersion pour le scénario à échéance 100 ans

II.7. Scénario fréquent (TRI – T10)

II.7.1. Débit fluvial

Le débit fluvial est le même que pour le scénario de référence +0.20 m, soit un débit annuel (T1) pour la Dives et l'Orne.

II.7.2. Niveau marin

Les niveaux marins au scénario fréquent (TRI-T10) sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau II.9 : Niveaux marin du scénario fréquent (TRI)

N°	Commune	Nom	Z0 [mIGN69]	Wave set-up [m]	Elévation du niveau marin [m]	Niveau total [m IGN69]
1	Cabourg – Dives/M	Embouchure de la Dives	4.50	0.00	0.20	4.70
2	Cabourg	Dune de la Pointe de Cabourg	4.50	0.10	0.20	4.80
3	Cabourg	Remblai de Cabourg	4.45	0.10	0.20	4.75
4	Varaville Franceville-Merville-Plage	Cordon dunaire de Varaville et Franceville-Merville-Plage	4.36	0.16	0.20	4.72
5-7	Ouistreham, Franceville	Embouchure de l'Orne	4.22	0	0.20	4.42
9	Ouistreham	Dunes Ouistreham	4.22	0.14	0.20	4.56
10	Ouistreham	Remblai Ouistreham	4.22	0.14	0.20	4.56
11	Colleville-Mty et Hermanville / Mer	Cordon dunaire de Colleville et Remblai de Hermanville	4.22	0.16	0.20	4.58

II.7.3. Les entrées d'eau

II.7.3.1. Rupture de digues

Pour le scénario fréquent, aucune rupture de digue n'est retenue dans les ouvrages littoraux.

Seulement les digues fluviales de la Dives, de l'Orne et du Canal de Caen à la Mer, surversées par une lame d'eau de plus de 20 cm peuvent rompre dans le modèle.

II.7.3.2. Franchissements par paquets de mer

Le franchissement des ouvrages par des paquets de mer est relativement peu fréquent dans le secteur de Dives-Orne. Le test de digue est effectué pour l'ensemble des couples T10, et quelques tempêtes historiques, proches du niveau décennal :

- 3 et 4 janvier 1998 (tempête d'Ouest)
- 17 décembre 2004 (tempête d'Ouest)
- 10 mars 2008 (tempête d'Ouest)
- 13 novembre 1996 (tempête du Nord)
- 18 mai 1995 (tempête du Nord)
- 23 janvier 2007 (tempête du Nord)

Dans aucune des conditions étudiées, des débits de franchissement sont trouvés.

II.7.3.3. Constructions hydrauliques

Tous les ouvrages hydrauliques sont en opération normale dans le scénario fréquent, sauf les portes du port Guillaume à Dives-sur-Mer et les écluses de Ouistreham qui sont défaillantes à partir d'1 heure avant le pic de la tempête.

II.7.4. Résultats

Les enveloppes de submersion modélisées pour le scénario fréquent (T10) impactent surtout l'estuaire de l'Orne et la commune d'Amfreville. Pour le secteur Dives, seule la zone estuarienne est impactée (voir Figure II.9).

De manière générale les enveloppes de submersion pour le scénario fréquent (T10) sont nettement moins étendues par rapport aux enveloppes du scénario +0.20 m. Ceci est dû au fait que la surverse ne dépasse pas 0.20 m et donc on ne note pas de défaillance de digue.

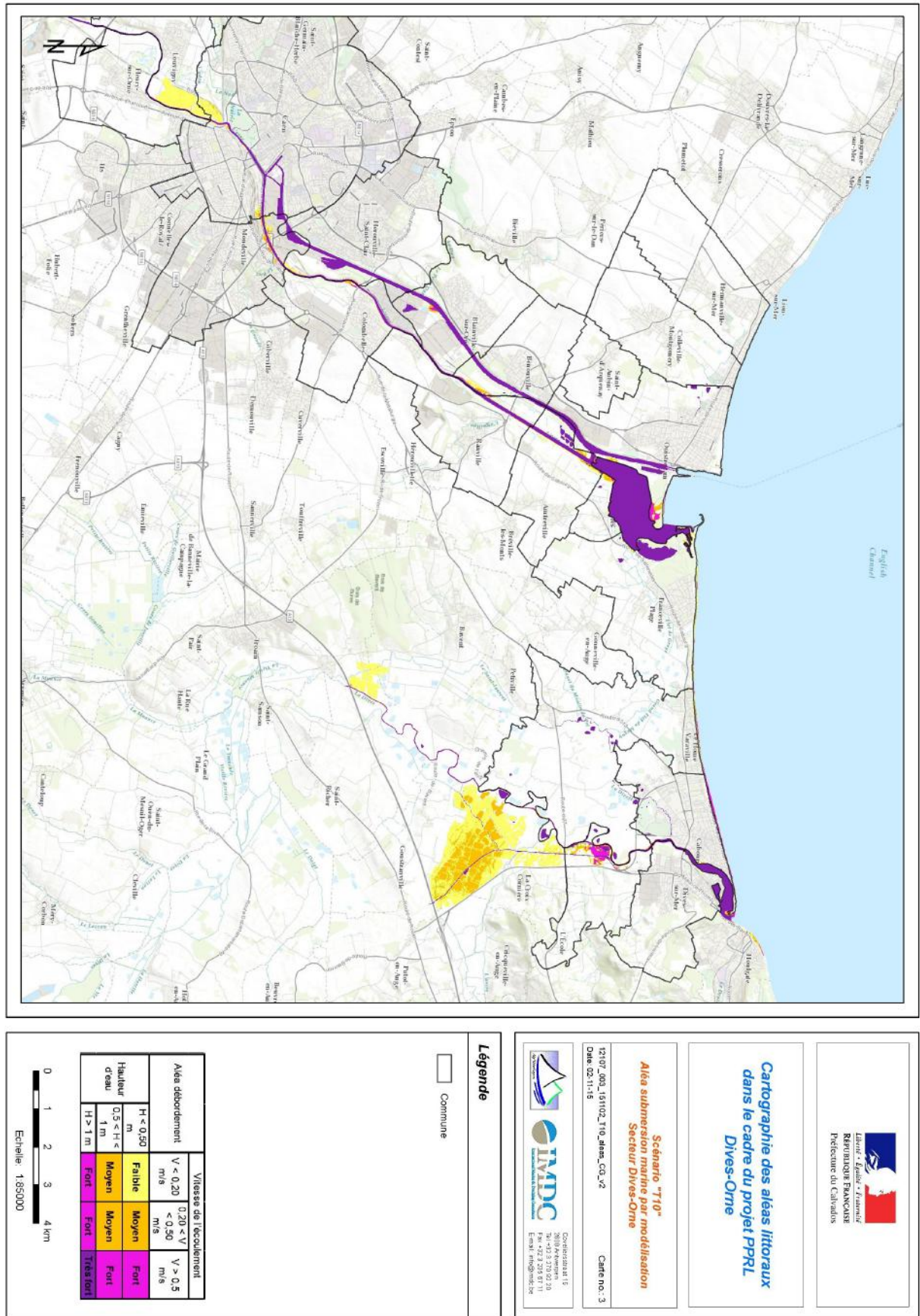


Figure II.9: Aléa de submersion pour le scénario T10

II.8. Scénario extrême (TRI – T1000)

II.8.1. Débit fluvial

Le débit fluvial est le même que pour le scénario de référence +0.20 m, soit un débit annuel (T1) pour la Dives et l'Orne.

II.8.2. Niveau marin

Les niveaux marins maximaux au pic de la tempête du scénario extrême, sont listés dans le tableau suivant. Les valeurs de set-up moins importantes pour le scénario T1000 s'expliquent par la profondeur d'eau et le talus d'ouvrage en « pied d'ouvrage ». Il a déjà été constaté que le set-up variait fortement dans le modèle SWAN avec les niveaux d'eau, et le talus de plage/digue (donc le profil retenu pour chaque secteur). Avec le niveau T1000 on ne se trouve plus au niveau du haut de plage, mais plus proche de la crête de digue ou dune, avec des pentes plus fortes, et donc moins de set-up calculé par SWAN. Avec les niveaux T100 on se trouve dans les zones à pente plus faible, ou le set-up s'accumule sur une zone plus large.

Tableau II.10 : Niveaux marins du scénario extrême (TRI)

N°	Commune	Nom	Z0 [mIGN69]	Wave set-up [m]	Elévation du niveau marin [m]	Niveau total [m IGN69]
1	Cabourg – Dives/M	Embouchure de la Dives	5.29	0.00	0.20	5.49
2	Cabourg	Dune de la Pointe de Cabourg	5.29	0.12	0.20	5.61
3	Cabourg	Remblai de Cabourg	5.23	0.12	0.20	5.55
4	Varaville Franceville-Merville-Plage	Cordon dunaire de Varaville et Franceville-Merville-Plage	5.12	0.10	0.20	5.42
5-7	Ouistreham, Franceville	Embouchure de l'Orne	4.96	0.00	0.20	5.16
9	Ouistreham	Dunes Ouistreham	4.96	0.20	0.20	5.36
10	Ouistreham	Remblai Ouistreham	4.96	0.20	0.20	5.36
11	Colleville-Mty et Hermanville / Mer	Cordon dunaire de Colleville et Remblai de Hermanville	4.96	0.16	0.20	5.32

II.8.3. Les entrées d'eau

II.8.3.1. Rupture de digues

Les hypothèses du scénario extrême correspondent à celles du scénario de ruine généralisée, avec effacement de toute protection contre la submersion marine, dès le début de la tempête (voir § II.5.3.1).

II.8.3.2. Franchissements par paquets de mer

Les digues effacées ne peuvent être franchies par des paquets de mer : l'eau de mer pénètre directement vers l'arrière-pays. Aux endroits où les ouvrages littoraux ne protègent pas de zones basses situées immédiatement à l'arrière du littoral, les débits de franchissements par paquets de mer sont calculés avec le test de digues. Les valeurs maximales, au moment du pic de la tempête sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau II.11 : Débits de franchissements par paquets de mer, conditions extrêmes (TRI)

N°	Commune	Nom	Classe débit
H2	Hermanville	Digue d'Hermanville	<50 l/m/s

II.8.3.3. Constructions hydrauliques

Le fonctionnement des ouvrages hydrauliques pour le scénario extrême est identique au fonctionnement pour le scénario de ruine généralisée (voir § II.5.3.3).

II.8.4. Résultats

Les enveloppes de submersion modélisées pour le scénario extrême (T1000) impactent surtout l'estuaire de l'Orne, les communes de Ouistreham, Merville-Franceville-Plage, Sallenelles et Amfreville. Pour le secteur Dives, les communes de Cabourg, Dives-sur-Mer et Varaville sont concernées (voir Figure II.10).

De manière générale, les enveloppes de submersion sont plus étendues que pour le scénario de ruine généralisée et l'aléa de submersion est intensifié sur les zones concernées.

Du côté de l'Orne, on remarque que la commune de Ouistreham est particulièrement touchée. La zone estuarienne (dont la Pointe du Siège) est entièrement submergée et soumise à un aléa fort voire très fort, de même que la totalité du canal et de l'Orne qui est soumise à un aléa fort. Le niveau d'eau dépasse en effet les 5 m IGN69 et s'infiltré par les écluses (O1 et O2).

La commune de Merville-Franceville est également touchée de manière importante, en aval de la Route Départementale D514 et quasiment jusqu'au lieu dit « le Home Merville ». L'eau s'infiltré par la brèche M3 au sud du club de voile, la brèche M4 de la digue en terre du Moulin du Buisson et par les vannes du Flet de Graye permettant l'infiltration d'eau sur les Terrains François.

Amfreville est également sérieusement touchée (aléa fort à très fort) sur une largeur de 1 km environ en aval du canal de Caen, où l'eau s'introduit par le déversoir du Maresquier (O5). De même, Bénouville est touchée par un aléa fort sur la même largeur en amont du canal de Caen, l'eau s'introduisant par la brèche O4.

Du côté de la Dives, plusieurs changements sont visibles si l'on compare le présent scénario à celui de la ruine généralisée. La commune de Cabourg est en effet quasiment entièrement submergée, l'eau s'introduisant par les brèches C1 et C2. L'aléa y est fort voire très fort sur une largeur de 2 km environ en amont de l'estuaire. Le vélodrome qui n'était pas touché dans le scénario ruine généralisée est dorénavant soumis à un aléa moyen, l'eau s'infiltré par les vannes de la Divette (C3). A l'ouest de la commune, l'aléa reste relativement faible à moyen.

Les enveloppes de submersion dans la commune de Varaville sont quasiment identiques à celles du scénario ruine généralisée en terme d'étendue mais l'aléa y est plus intense.

Sur la commune de Dives-sur-Mer, la même observation que pour Varaville peut être faite. Les enveloppes de submersion sont quasiment identiques à celles du scénario ruine généralisée mais l'aléa y est légèrement plus intense.

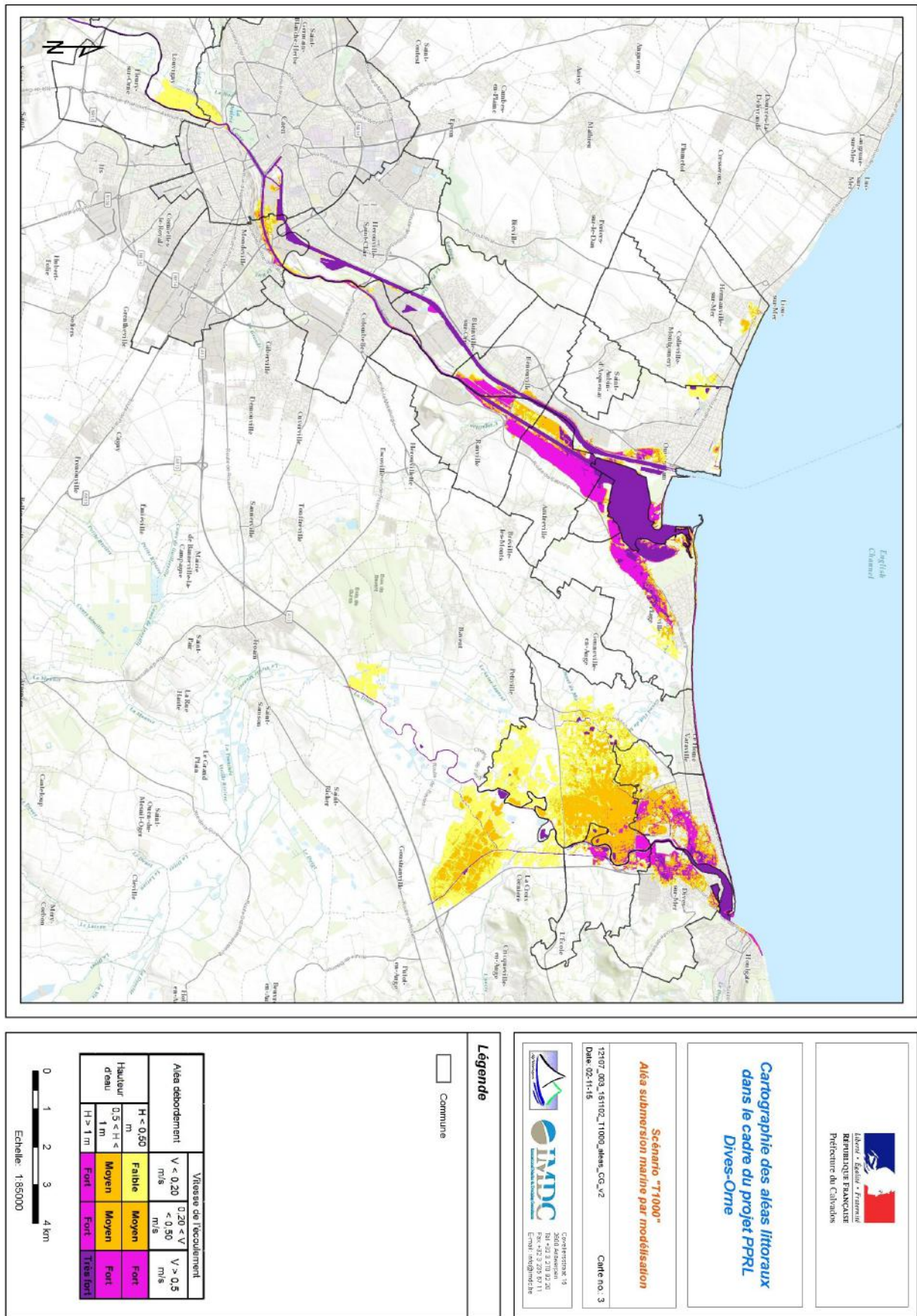


Figure II.10 Aléa de submersion pour le scénario T1000

III. Aléa érosion

III.1. Erosion des côtes sableuses et meubles

III.1.1. Erosion moyenne à long terme

La dynamique des côtes est étudiée de deux manières :

- l'analyse des côtes diachroniques, à partir d'orthophotos et des traits de côte historiques fournis par le CREC (AGR & IMDC, 2015)
- le modèle morphodynamique d'évolution du trait de côte Litpack (AGR & IMDC, 2015)

Les résultats de ces deux analyses sont comparés, et utilisés pour la détermination de l'aléa de recul du trait de côte à long terme.

Le tableau suivant résume les résultats des différentes analyses. Pour chaque section homogène, il est indiqué si la côte se trouve en érosion (E), stabilité (S) ou accrétion (A). L'ensemble des résultats de l'analyse diachronique et de la modélisation numérique avec Litpack montre qu'il n'y a pas d'érosion sur le long terme dans ce secteur.

Tableau III.1 : Erosion moyenne à long terme des côtes basses et meubles – secteur Dives-Orne

Section	Localisation	Lit-pack	Etude diachronique			Conclusion
			1966-2009	1992-2009	TC CREC	
DOSH2	Dune de la Pointe de Cabourg	(A)	A	S	A	→ Stabilité
DOSH3	Perré de Cabourg	S	A	S	A	→ Stabilité
DOSH4	Cordon dunaire de Varaville – Franceville-Merville-Plage	S		S	A	→ Stabilité
DOSH9	Dunes de Ouistreham	A	A		A	→ Stabilité
DOSH1 0	Perré de Ouistreham	A	A		A	→ Stabilité
DOSH1 1	Cordon dunaire de Colleville et perré de Hermanville	A	S		S	→ Stabilité

III.1.2. Érosion ponctuelle

L'érosion ponctuelle par l'événement de référence est déterminée avec le test de dune (voir AGR & IMDC, 2015). Ce calcul ne prend pas en compte l'effet des ouvrages de protection, mais détermine la position de la côte, si aucun ouvrage n'était présent.

Pour chaque secteur étudié, plusieurs profils équidistants sont calculés, tous les 50 m. L'ensemble des couples T100 (Ouest et Nord) sont calculés. Pour chaque secteur, le couple T100 avec le recul maximal est retenu.

Tableau III.2 : Erosion ponctuelle à court terme (par tempête) – secteur Dives-Orne

<i>Section</i>	<i>Localisation</i>	<i>Erosion ponctuelle maximale (m)</i>	<i>Recul ponctuel moyen par section homogène (m)</i>
<i>DOSH2</i>	<i>Dune de la Pointe de Cabourg</i>	<i>15</i>	<i>9</i>
<i>DOSH3</i>	<i>Perré de Cabourg</i>	<i>22</i>	<i>9</i>
<i>DOSH4</i>	<i>Cordon dunaire de Varaville – Franceville-Merville-Plage</i>	<i>17</i>	<i>5</i>
<i>DOSH9</i>	<i>Dunes de Ouistreham</i>	<i>12</i>	<i>4</i>
<i>DOSH10</i>	<i>Perré de Ouistreham</i>	<i>20</i>	<i>10</i>
<i>DOSH11</i>	<i>Cordon dunaire de Colleville et perré de Hermanville</i>	<i>22</i>	<i>9</i>

La Tableau III.2 montre les résultats du couple le plus pénalisant de chaque secteur. Deux valeurs de recul sont listées dans le tableau : le recul maximal (le profil avec l'érosion maximale) et la moyenne du recul de tous les profils. Cette dernière sera retenue pour l'aléa érosion dans le PPRL.

Des reculs ponctuels, correspondant à l'érosion de la plage durant un événement ponctuel uniquement, existent notamment à Ouistreham, Cabourg et Varaville. Cependant, il n'y a pas de tendance à l'érosion à long terme. Les ouvrages de protection se situent en arrière du trait de cote (sur la plage, défini par le niveau d'eau de référence) et n'empêchent donc de toute façon pas ce recul. Les reculs ponctuels impacteront donc la partie située avant l'ouvrage.

III.2. Recul total

Le recul total du trait de côte pour le secteur Dives-Orne est présenté dans le Tableau III.1. Le recul à échéance 100 ans est le plus élevé pour les secteurs de Colleville, Hermanville, Ouistreham et Cabourg. Un exemple de cartographie de l'aléa recul du trait de cote pour Cabourg est présenté dans la Figure III.1.

Tableau III.3 : Recul du trait de côte total – secteur Dives-Orne

Section	Localisation	Recul moyen x (m/an)	Recul ponctuel Lmax (m)	Recul à échéance 100 ans Ltot (m)
DOSH2	Dune de la Pointe de Cabourg	0	9	9
DOSH3	Perré de Cabourg	0	9	9
DOSH4	Cordon dunaire de Varaville – Franceville-Merville-Plage	0	5	5
DOSH9	Dunes de Ouistreham	0	4	4
DOSH10	Perré de Ouistreham	0	10	10
DOSH11	Cordon dunaire de Colleville et perré de Hermanville	0	9	9

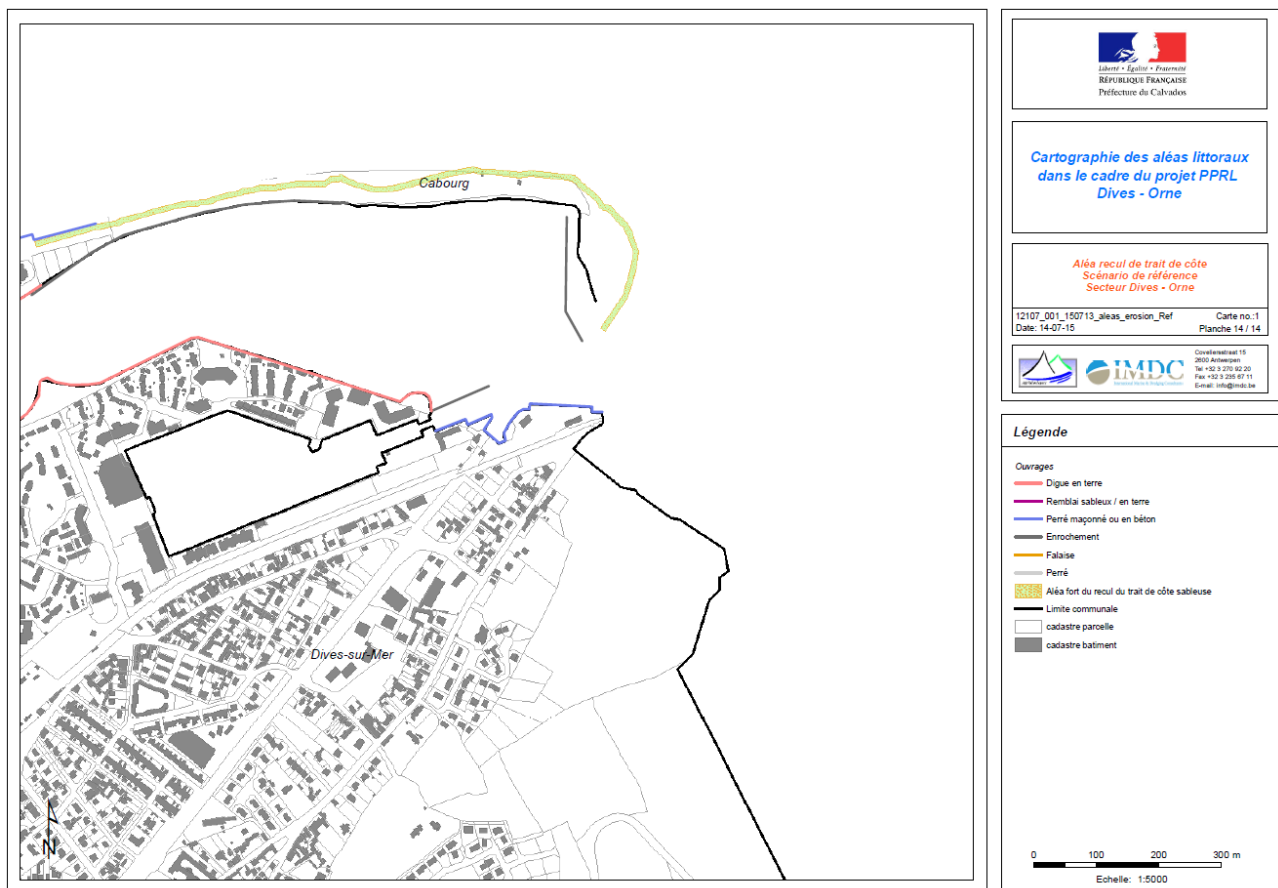


Figure III.1 : Exemple de cartographie aléa recul du trait de cote (Secteur Cabourg)

IV. Aléa migration dunaire

IV.1. Historique

« Les dunes du Calvados prennent souvent la forme d'un cordon dunaire très bas et dégradé qui ne remplit plus son rôle régulateur et protecteur » (Petit-Berghem, 2012). Actuellement, le littoral du Calvados ne possède pas de grands ensembles dunaires en raison du fait d'une forte pression anthropique, notamment la forte urbanisation d'après le XIX^e siècle, mais surtout après les années 1960.

« Le XIX^e siècle marque une étape importante dans l'évolution des systèmes dunaires calvadosiens » (Petit-Berghem et. al., 2010), car c'est à ce moment que les premières stations balnéaires et infrastructures associées ont été construites. « Les dunes littorales du Calvados ont connu une occupation mesurée et des aménagements légers au départ, puis une accélération assez nette après la Seconde Guerre mondiale et surtout après les années 1960 (« l'ère du béton »), une accélération qui trouve ses origines dans le développement de la société de consommation et le bond en avant du tourisme » (Petit-Berghem et. al., 2010). La dégradation contemporaine des dunes et la perte d'une grande partie de son authenticité conduit à l'intervention du Conservatoire du littoral et du Conseil général du Calvados depuis 1975. La maîtrise foncière a permis la préservation de quelques ensembles dont les plus importants sont situés en position estuarienne. Les types de dunes sont décrites dans les paragraphes ci dessous.

La zone d'étude est très diverse sur le plan géo-morphologique et caractérisée à l'Ouest par la Pointe du Siège, la flèche sableuse à Ouistreham barrant l'embouchure de l'Orne. Sur la partie Est de l'estuaire, les dunes de Merville-Franceville s'inscrivent dans le système dunaire le plus étendu du Calvados. Elles sont situées dans une zone d'engraissement qui est favorisée par des bancs de sable au large atténuant les effets de la houle et favorisant la formation d'avant dunes qui sont elles mêmes précédées par des dunes pionnières (Petit-Berghem et. al., 2010). Cependant les falaises dunaires sont peu étendues et principalement visibles à proximité de brèches et près de la base nautique. La forte fréquentation du site a d'ailleurs contribué à la formation de dunes mobiles libres qui montrent la forte dégradation du système dunaire.

Le secteur de Cabourg est caractérisé par une prédominance de falaises qui indiquent une érosion marquée. Des efforts de stabilisation ont été entrepris pour les plages depuis le XIX^e siècle. La zone est caractérisée par des dunes mortes sur la partie Ouest, qui sont séparées de l'estran par une digue en béton. Des dunes se développent au dessus de certaines falaises, enrochées à l'Ouest et non côté front de mer, et en général, la dune entravée rend peu actif le système dunaire. En raison de la pression humaine forte, certains secteurs comme la dune perchée de l'Oyat sont particulièrement vulnérables (Petit-Berghem et. al., 2010). En général les dunes de Cabourg ne constituent pas un site touristique, par rapport à la station balnéaire et ses plages. La plage de Cabourg est stabilisée sur une longueur d'environ 2.5 km à l'aide d'une digue, de dizaines d'épis et cordons d'enrochement.

IV.2. Méthodologie

Dans le cadre du PPRL, la mobilité actuelle des dunes est étudiée. Pour mieux comprendre les phénomènes agissant sur le secteur et pour étudier l'évolution récente des dunes, il est nécessaire de faire le lien avec le passé. L'étude est faite sur la base des orthophotographies fournies par la DDTM du Calvados et des données géologiques et morphologiques. Ces orthophotographies procurent des informations sur la morphologie côtière entre 1947 et 2009.

Quelques incertitudes sont liées à cette analyse de photos aériennes :

- la résolution et le niveau de détail des photos peuvent être faibles sur les photos plus anciennes ;
- les incertitudes liées au géoréférencement, et l'angle d'inclinaison de la prise des photos ;
- l'incertitude de la définition visuelle des dunes.

Ce dernier point pose surtout problème : où commence et s'arrête la dune ? Une première approche consiste en l'identification des végétations dunaires. Ces végétations sont assez bien reconnaissables sur les orthophotographies grâce aux différents fronts de végétation. Ces fronts se manifestent par des bandes successives de végétation parallèles à la côte entrecoupées par du sable clair. La végétation des dunes permet également de différencier les dunes mobiles des dunes fixes grâce à la composition floristique spécifique à chaque type de dune. Cependant, il est assez difficile de les différencier par orthophotographie. Dans tous les cas, la végétation dunaire (végétation herbacée et arbustive) se différencie relativement facilement par orthophotographies de la végétation dense.

Les fronts arrières de la dune sont souvent délimités par d'autres éléments observables sur les photos, telle que des habitations, remblais routiers, etc. Pour mieux délimiter la fin des dunes, il est supposé que les dunes s'arrêtent au niveau :

- des habitations et jardins clôturés sur les dunes, à moins qu'il y ait des signes clairs de progression de la végétation dunaire ;
- des étiers ou marais salants situés directement derrière la dune, qui sont généralement des points bas ; compte tenu de leur altimétrie plus basse, ces zones ne sont pas comprises dans la dune ;
- des végétations plus denses ;
- des routes goudronnées, formant une barrière à la progression de la végétation dunaire ;
- des surfaces agricoles, anthropisées et entretenues quotidiennement.

Sur la base de ces critères, l'avancée des dunes est cartographiée sur différentes sections du massif dunaire pour le secteur Dives-Orne de Cabourg à Ouistreham.

L'évolution des dunes entre 1947 et 2009 est discutée par la suite sur le secteur défini précédemment ainsi que pour chaque commune littorale. Les cartes suivantes comparent donc les éléments délimitant les dunes, c'est une comparaison de l'évolution du sol du littoral calvadosien surtout au niveau des zones urbanisées ainsi que des zones de végétation dense et des marais maritimes, entre 1947 et 2009. La cartographie de la délimitation des dunes permettra de conclure quant à l'existence de l'aléa migration dunaire.

IV.3. Analyse de la dynamique dunaire

Les années d'analyse pour la dynamique dunaire sont les années 1947, 1966, 1992 et 2009. La cartographie de l'occupation du sol pour l'ensemble du secteur de Dives-Orne et pour chacune des années précédentes est présentée en Annexe C et reprise en petit format dans le texte ci-dessous.

De manière générale, la rareté des dunes embryonnaires traduit l'importance de l'érosion en dépit d'une densité importante d'ouvrages de protection. Dans de nombreuses étendues côtières sur ce secteur, les dunes littorales ont été occupées par des zones urbanisées et des surfaces agricoles, anthropisées et entretenues quotidiennement. La vulnérabilité aux aléas naturels est toutefois diminuée, car la dune est enrochée et le trait de côte stabilisé.

La carte de l'occupation du sol en 1947 avec une schématisation de la morphologie dunaire montre des dunes mobiles importantes sur le secteur Dives-Orne (Annexe C) ; parmi celles-ci, les massifs dunaires qui sont en contact avec des surfaces agricoles ou des marais maritimes, montrent déjà des brèches ou sont déstructurés (caractérisé par l'absence de végétation). C'est le cas à Hermanville sur Mer. Ce type de dune est le plus vulnérable aux aléas naturels et anthropiques.

La dynamique évolutive de ces systèmes dunaires étroits et exposés est forte et sa disparition peut être rapide en cas de manque d'entretien ou de budget sédimentaire des plages négatif (système d'érosion). La présence des brèches et l'absence de végétation liée à l'interférence humaine fait augmenter la fragilité intrinsèque de ce type de dune.

Sur les photos de 1947 (Figure IV.1 à Figure IV.4), il est possible d'identifier des dunes mobiles libres (des dunes transversales, situées à l'arrière du rivage sans contact avec la plage, par exemple sur la partie Est de l'embouchure de Ouistreham, des dunes mobiles entravées, des dunes perchées (des dunes au sommet d'un escarpement sableux, par exemple à Merville Franville, et des dunes peu élevées avec protection par un perré en béton, par exemple à l'entrée de Cabourg. Il est important de noter l'absence de cordon dunaire sur la zone urbanisée de Varaville ainsi qu'à Cabourg.

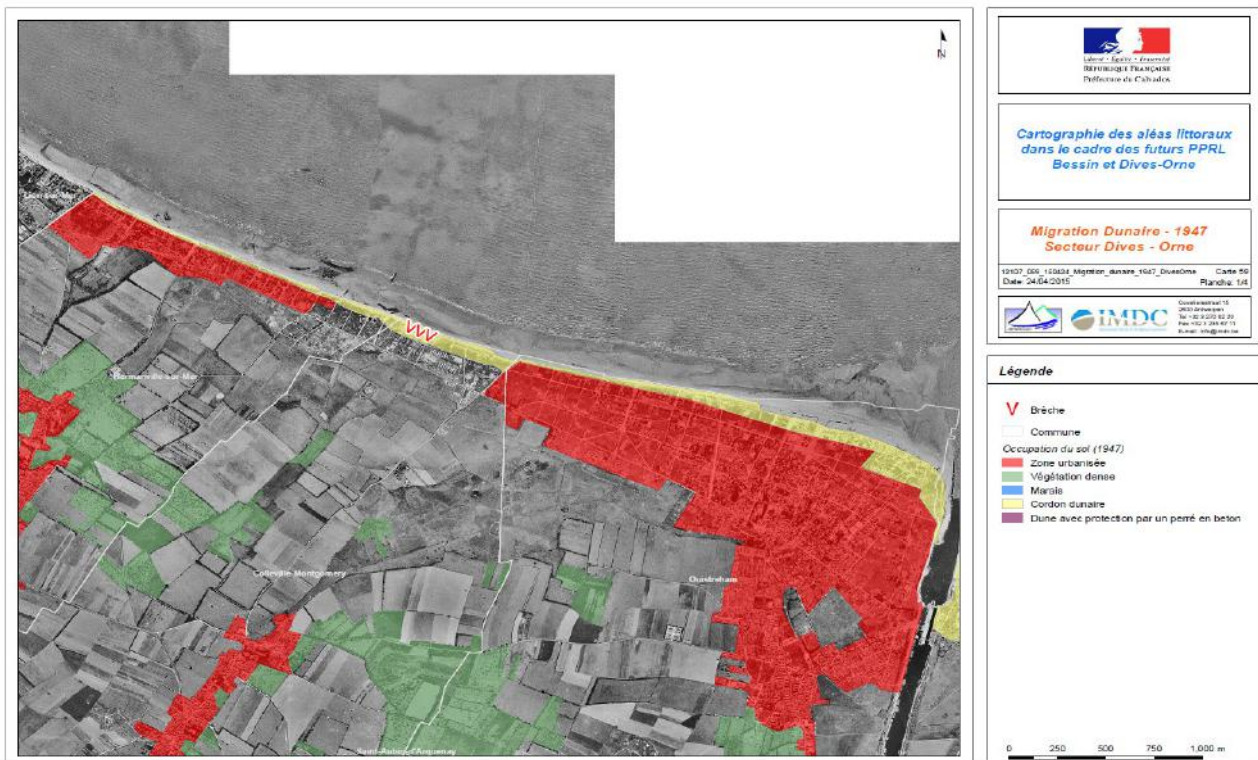


Figure IV.1: Migration dunaire - situation 1947

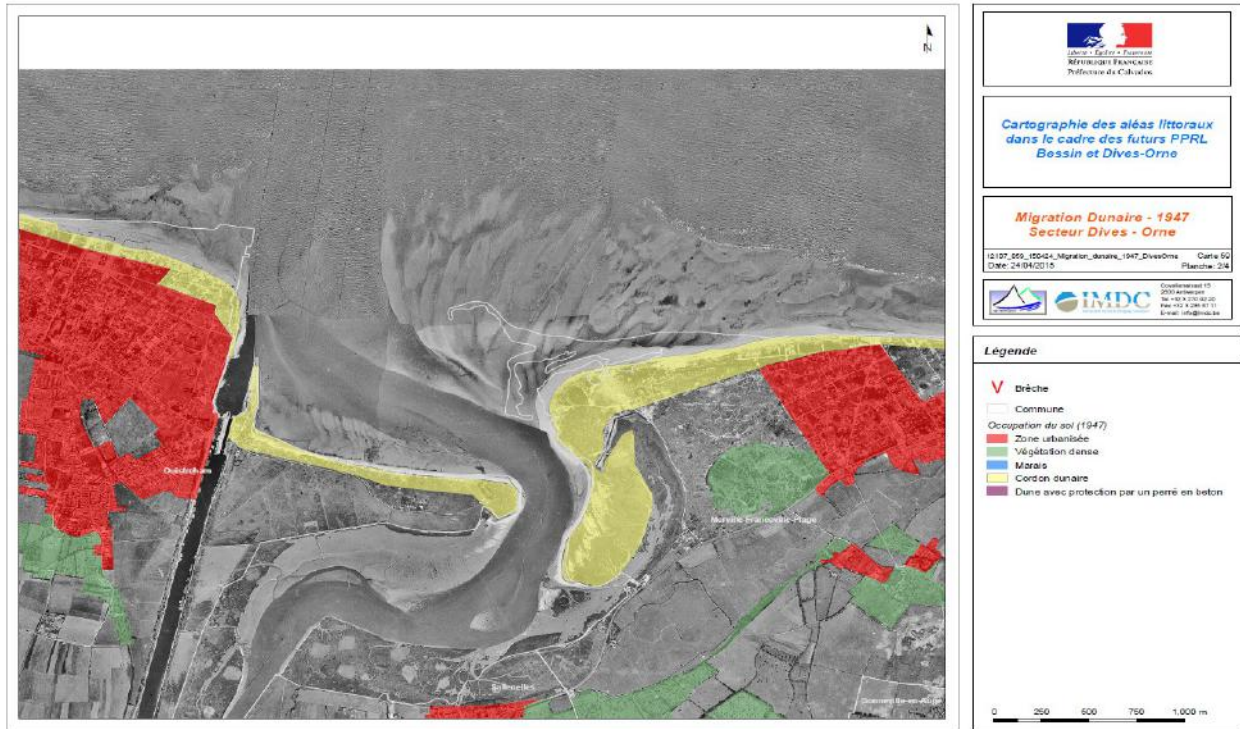


Figure IV.2: Migration dunaire - situation 1947



Figure IV.3: Migration dunaire - situation 1947

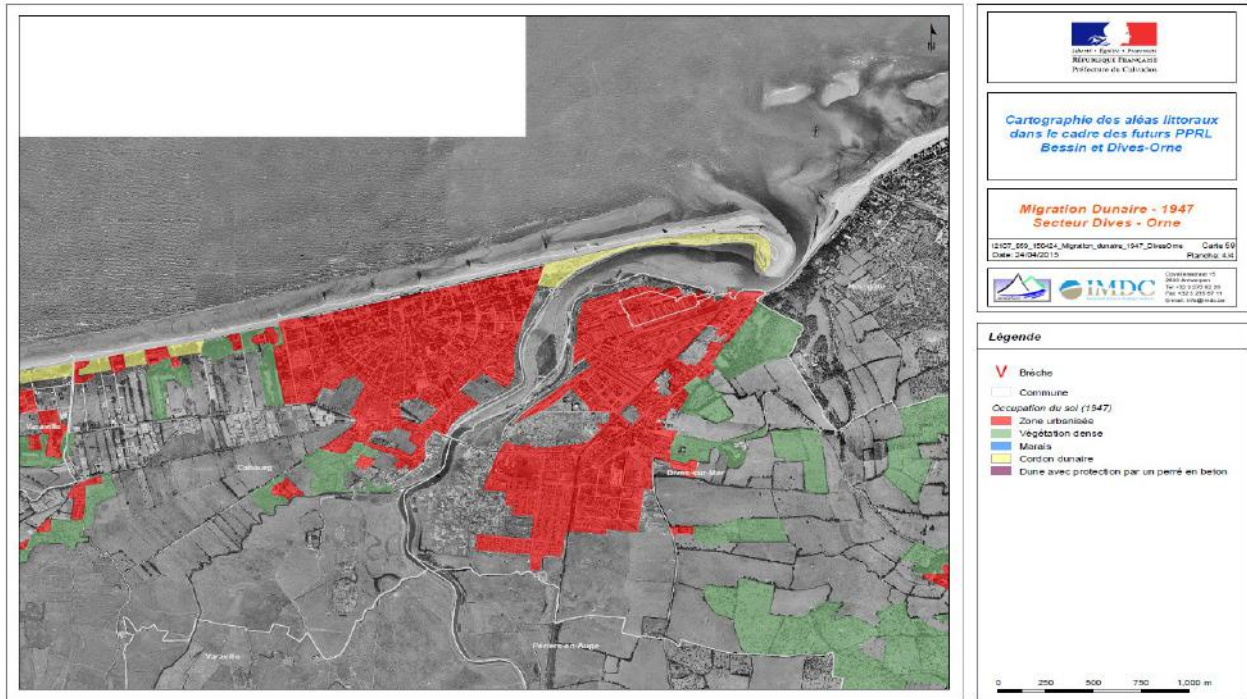


Figure IV.4: Migration dunaire - situation 1947

Les photos de 1966 (Figure IV.5 à Figure IV.8) montrent un recul généralisé des dunes, notamment à Ouistreham, et Merville – Franceville Plage, aussi bien qu'une augmentation de l'urbanisation sur le front de mer au profit du cordon dunaire, par exemple à Hermanville-sur-Mer, Ouistreham et Cabourg. Le cordon dunaire entre Colleville-Montgomery et Ouistreham devient plus étroit et dégradé entre les années 1947 et 1966. Plusieurs nouvelles brèches le long du cordon exposé apparaissent pendant la période 1947-1966, notamment à Ouistreham, Merville – Franceville Plage et Cabourg.



Figure IV.5: Migration dunaire - situation 1966

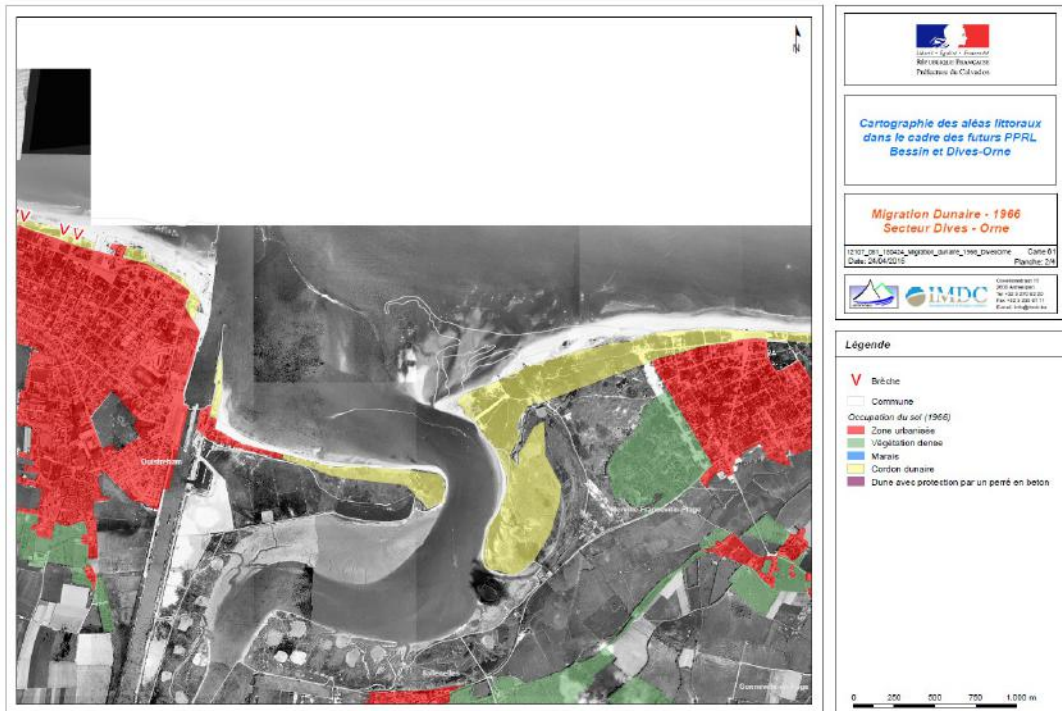


Figure IV.6: Migration dunaire - situation 1966



Figure IV.7: Migration dunaire - situation 1966

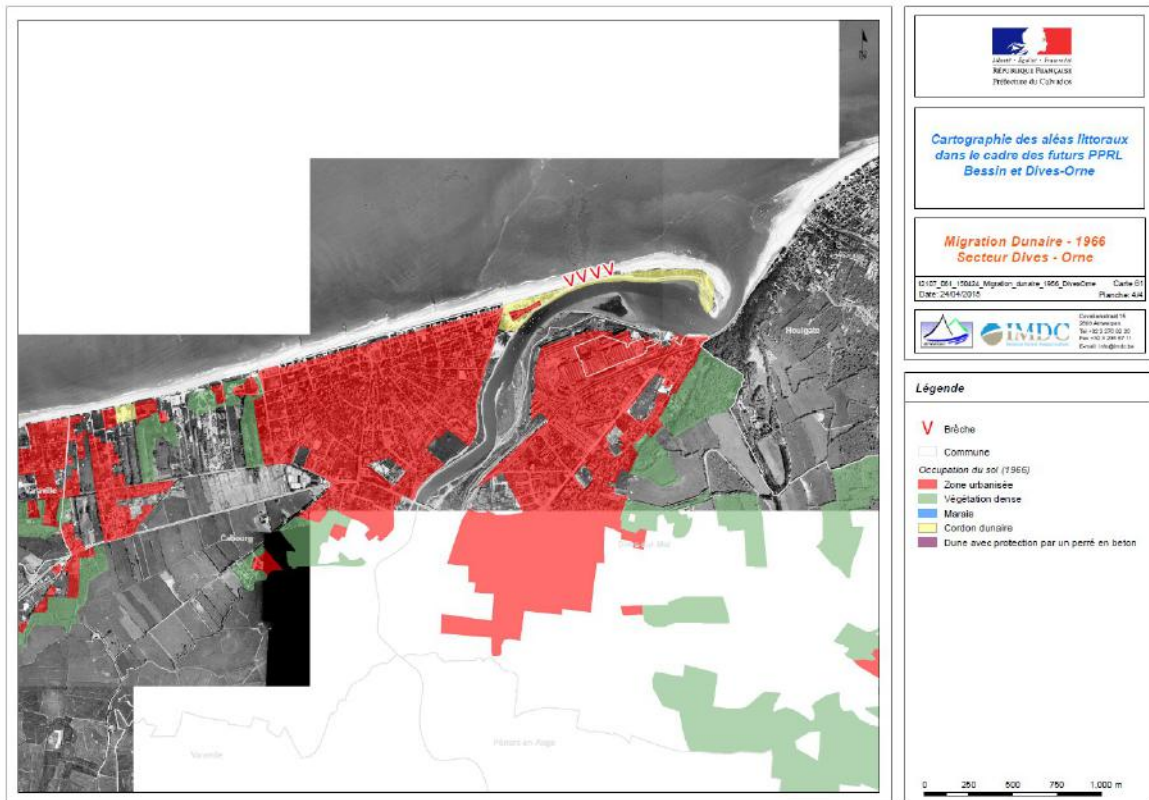


Figure IV.8: Migration dunaire - situation 1966

Entre les années 1966 et 1992 l'urbanisation sur le front de mer progresse. Avec elle progresse aussi l'interférence humaine sur les dunes déjà affaiblies.

Il est de nouveau observé que les dunes entre Hermanville-sur-Mer et Ouistreham deviennent plus fragiles, avec un recul en plusieurs endroits voire la disparition complète du cordon dunaire. Sur l'ensemble des plages de Hermanville-sur-Mer et la partie Ouest des plages de Ouistreham, le système dunaire est démantelé, ce qui peut faciliter l'incursion de la mer.

Sur les photos de l'année 1992 (Figure IV.9 à Figure IV.12), la dune semble avoir avancé sur la plage de la Pointe du Siège (orientée au Nord) au niveau de la flèche sableuse dans l'estuaire, avec la densification de la végétation. Un autre aspect positif observé sur la photo de l'année 1992 est la densification de la végétation du cordon dunaire au niveau de la Pointe de Ouistreham. Par contre la dune est devenue plus mince.

On note la présence de brèches à Merville – Franceville Plage comme en 1966. Les figures indiquent cependant la stabilisation du cordon dunaire dans cette zone même si la densité de la zone urbanisée a augmenté. A noter également l'apparition d'une nouvelle brèche au niveau du cordon de Varaville. Enfin, sur la zone la plus à l'Ouest – Cabourg-Dives sur Mer, l'urbanisation a fortement augmenté, ne laissant plus qu'une zone de dune au niveau de la flèche sableuse et de l'estuaire de la Dives.



Figure IV.9: Migration dunaire - situation 1992

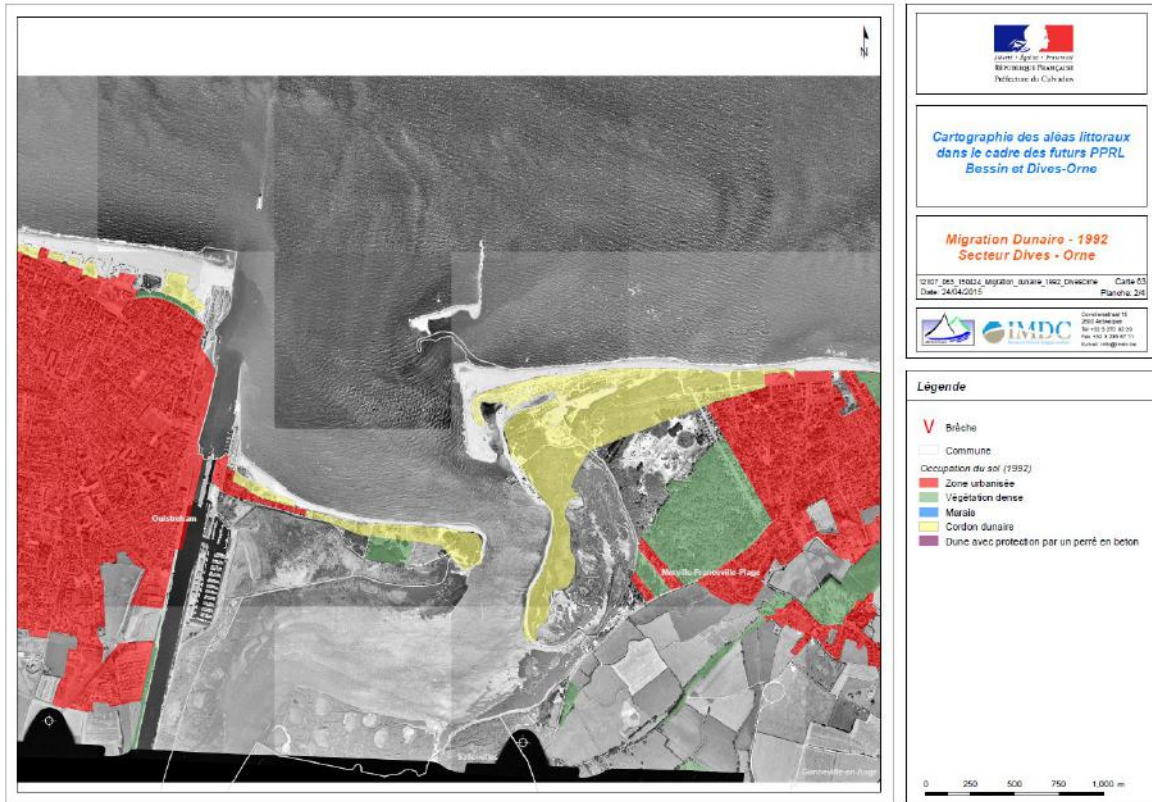


Figure IV.10: Migration dunaire - situation 1992

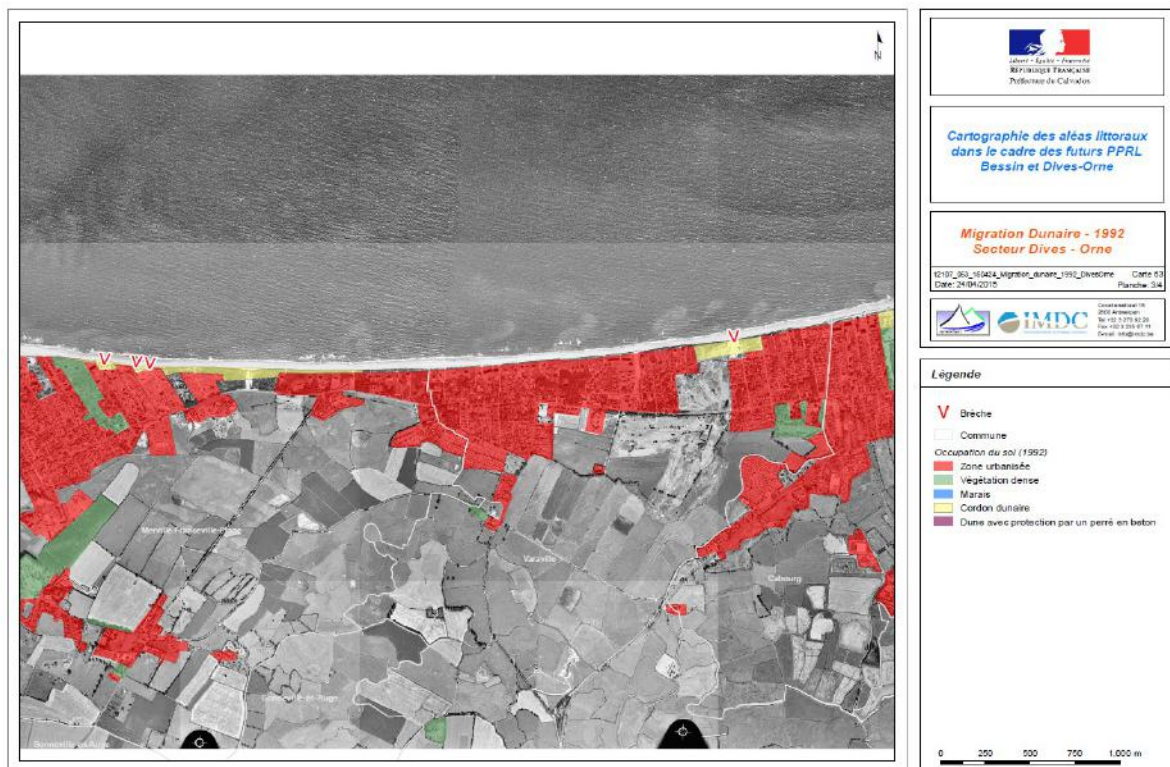


Figure IV.11: Migration dunaire - situation 1992

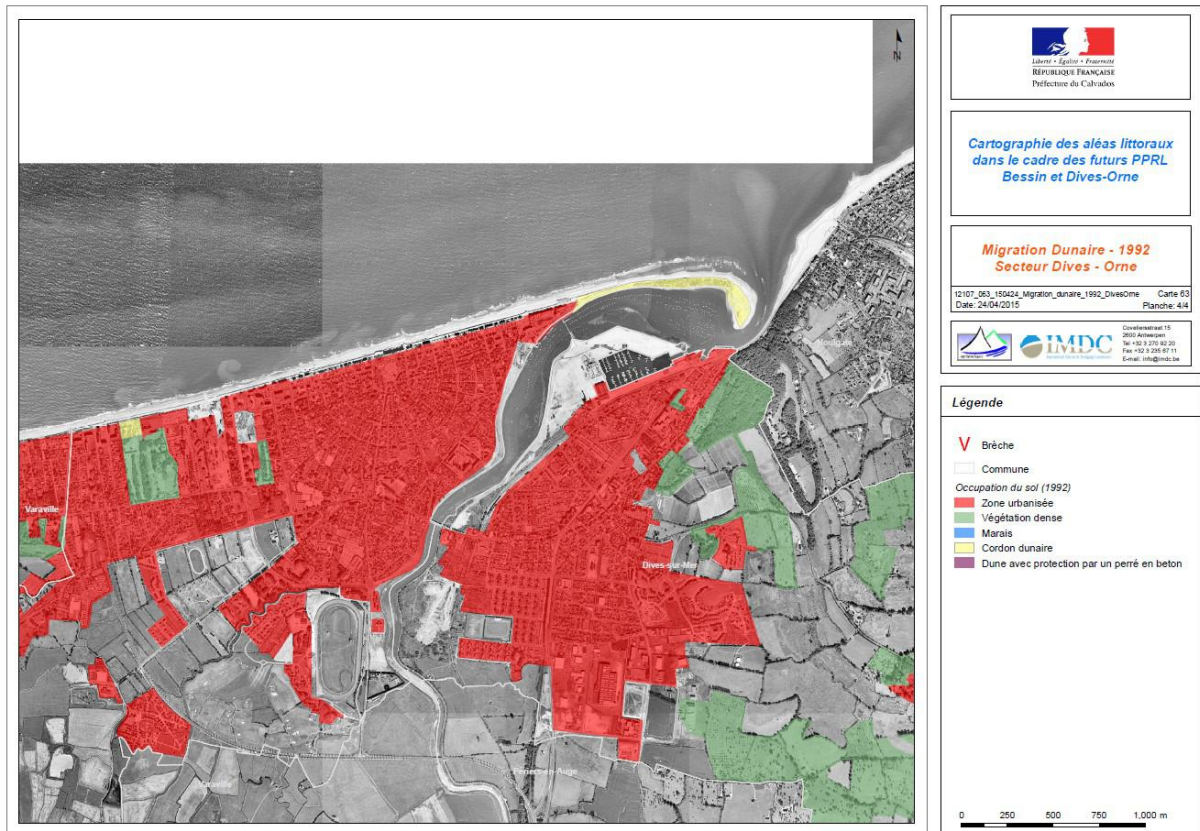


Figure IV.12: Migration dunaire - situation 1992

Sur les photos de l'année 2009 (Figure IV.13 à Figure IV.16), la dynamique est ralentie avec une stabilisation du cordon et peu de changements dans la zone Ouest d'Hermanville et Ouistreham. La plupart des changements morphologiques a eu lieu sur la zone de l'estuaire de l'Orne. Au niveau de la Pointe du Siège, le cordon dunaire a quasiment disparu. Un recul massif / une disparition est également visible sur la Partie Ouest (Gros Banc). Pour ces deux zones, on note une densification de la végétation. Sur le secteur de Merville – Franceville Plage jusqu'à Cabourg, le cordon a totalement disparu avec une forte augmentation de l'urbanisation. On notera toutefois la stabilisation du cordon de la Pointe de Cabourg.

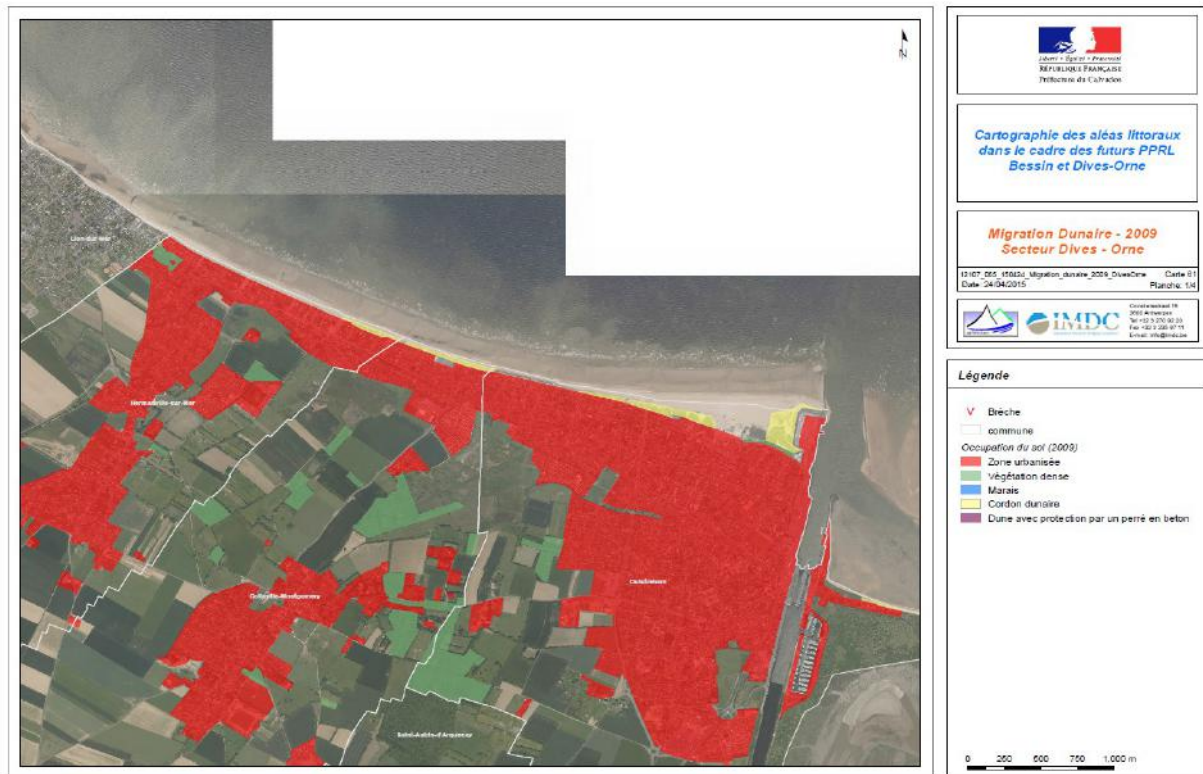


Figure IV.13: Migration dunaire - situation 2009



Figure IV.14: Migration dunaire - situation 2009

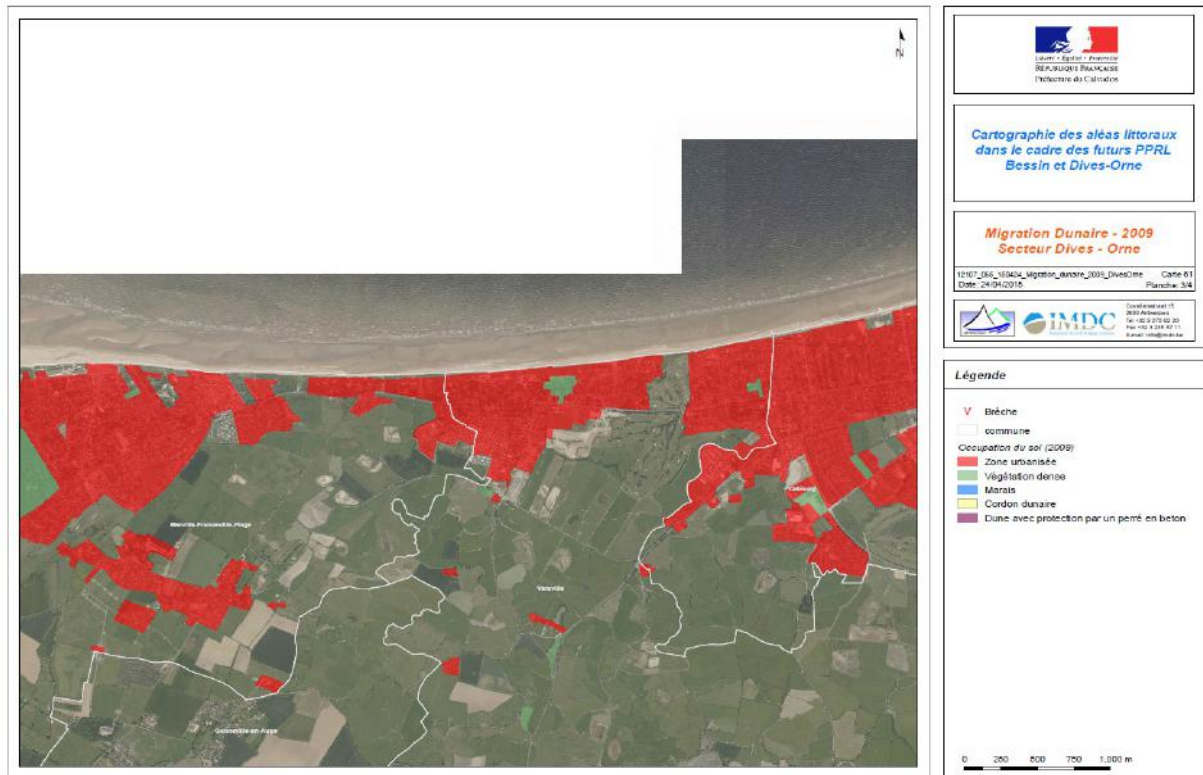


Figure IV.15: Migration dunaire - situation 2009

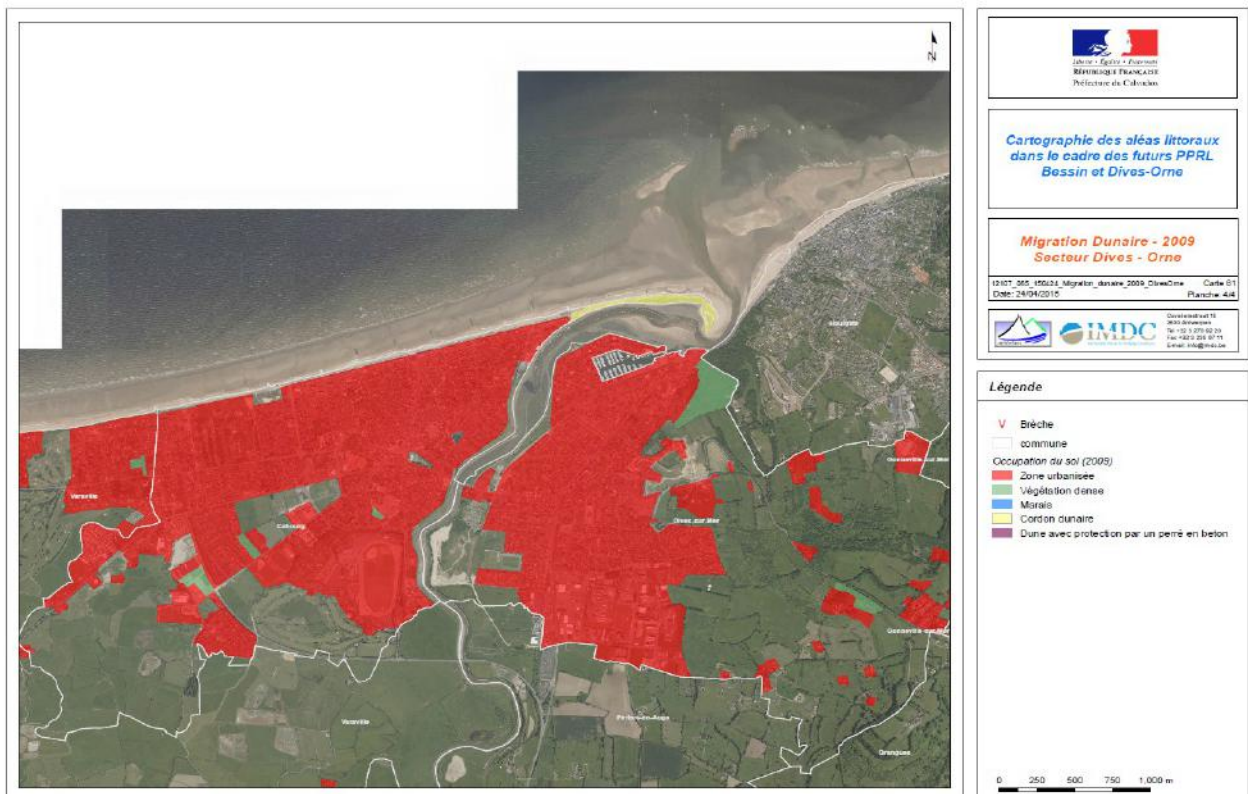


Figure IV.16: Migration dunaire - situation 2009

IV.4. Conclusion

La comparaison de l'évolution du sol entre 1947 et 2009 sur le secteur Dives-Orne montre un accroissement de l'urbanisation sur le front de mer au détriment du cordon dunaire. Les dunes dans ce secteur ne présentent pas de signe significatif d'aléa de migration dunaire. La zone est principalement caractérisée par une urbanisation sur le secteur Dives/Cabourg et la présence d'ouvrages de protection.

V. Bibliographie et références

Alp'Géorisques & IMDC, 2014a. *Plan de Prévention de Risques littoraux : Bessin & Dives-Orne. Phase 1 : Analyse préalable des sites.* Rapport I/RA/12107/13.197/MCO v3.0

Alp'Géorisques & IMDC, 2014b. *Plan de Prévention de Risques littoraux : Bessin & Dives-Orne. Phase 2 : Statistique*

Alp'Géorisques & IMDC, 2015a. *Plan de Prévention de Risques littoraux : Bessin & Dives-Orne. Rapport de modélisation n°1 : houle, test de digue, test de dune, transport sédimentaire.* I/RA/12107/14.273 v1.0

Alp'Géorisques & IMDC, 2015b. *Plan de Prévention de Risques littoraux : Bessin & Dives-Orne. Cartographie des aléas littoraux – Secteur Bessin.* I/RA/12107/15.012 v1.0

GRESARC, 2006. *Atlas des risques naturels littoraux côtiers sur les communes du suivi de l'évolution du littoral dans le département du Calvados.* Caen : Université de Caen et Conseil général du Calvados, 150pp.

Petit-Berghem, Y. , 2005. *Géographie historique d'un espace côtier : l'exemple de la basse vallée de l'Orne (Basse-Normandie)*, M@ppemonde 80 (2005.4).

Petit-Berghem, Y. ; David, AS.; Gennevois, AF. & Foutillou, C., 2010. *Les ensembles dunaires du département du Calvados : présentation, typologie et proposition pour une conservation durable du milieu*, Rapport Final, Université de Caen et Syndicat Mixte Calvados Littoral Espaces Naturels.

Petit-Berghem, Y. , 2012. *Expertiser le territoire : contribution à une nouvelle typologie des dunes du Calvados*, M@ppemonde 108 (2012.4).

SOGREAH Consultants, 2006. *Étude des zones inondables de la Dives aval et de la Divette sur la commune de Cabourg.*

Annexe A: Note relative aux hypothèses de brèches pour le secteur Dives-Orne

Note

Date: 09/04/2015
A l'attention de: M. Hagneré, DDTM du Calvados
Auteur: Philippe De Schoesitter, Annelies Bolle
Référence: I/NO/12107/14.469/PHI v6.0

Objet: 12107 – PPRL Dives-Ornes : proposition des hypothèses de brèche

Index

0. INTRODUCTION	2
1. LES HYPOTHÈSES DE BRÈCHES EN GÉNÉRAL.....	3
1.1 LES PROCESSUS	3
1.2 LES HYPOTHÈSES DE BRÈCHES.....	3
2. LES HYPOTHÈSES RETENUS POUR LE PPRL DIVES-ORNE	7
2.1 LE SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE.....	7
2.1.1 <i>Dives-sur-Mer</i>	8
2.1.2 <i>Zones basses de la Dives, Divette, Flet de Graye et l'Orne</i>	11
2.1.3 <i>Pointe du Siège</i>	18
2.1.4 <i>Marais de Ouistreham, Colleville-Montgomery et Hermanville-sur-Mer</i>	18
2.1.5 <i>Ville de Caen et communes hors-PPRL</i>	27
2.2 LE SCÉNARIO À ÉCHÉANCE DE 100 ANS	28
2.3 LE SCÉNARIO EN L'ABSENCE D'OUVRAGES	28
3. LES HYPOTHÈSES RETENUS POUR LE TRI DIVES-ORNE	29
3.1 LE SCÉNARIO FRÉQUENT	29
3.2 LE SCÉNARIO EXTRÊME	30
4. RÉFÉRENCES	31

0. INTRODUCTION

Le but de cette note est de proposer les hypothèses de brèche pour les scénarios à considérer pour le PPRL et le TRI. Les choix pour les brèches sont argumentés dans cette note, à partir :

- des hypothèses mentionnées dans la méthodologie (Alp'Géorisques et IMDC, 2014b)
- des informations collectées dans la phase 1 : la nature des protections et l'historique des dégâts subis (Alp'Géorisques et IMDC, 2014a)
- les résultats des tests de dunes et tests de digues (la conception et validation des modèles les modèles sera décrits en détail dans le rapport des modélisations ; les résultats détaillés seront inclus dans le rapport de la modélisation des scénarios. En cours de rédaction)

Il est important de se mettre d'accord sur ces scénarios, donc le nombre et les positions des brèches, avant de commencer la modélisation de la submersion marine.

Dès que la confirmation sera reçue, la modélisation de la submersion marine pourra commencer.

1. LES HYPOTHÈSES DE BRÈCHES EN GÉNÉRAL

1.1 LES PROCESSUS

Les processus pertinents lors de la propagation et transformation des couples niveau d'eau – hauteur de houle en mer, côté terre sont :

- l'érosion ;
- le débordement ;
- le franchissement par paquets de mer ;
- la rupture / formation de brèche.

Pour la modélisation des submersions marines, des scénarios spécifiques sont définis pour l'événement marin de référence : par exemple un système de protection fonctionnel, des brèches dans les ouvrages, la ruine généralisée, etc.

Au niveau des digues et des autres systèmes de protection côtière, les submersions marines sont dues au franchissement par des paquets de mer, au débordement ou à la rupture de ces structures. Ces différents types d'entrée d'eau sont analysés sur l'ensemble du littoral, en particulier au niveau des zones basses proches du trait de côte. En premier lieu, la possibilité d'un effacement ou d'une rupture de digue est examinée. Sur les tronçons où une brèche est physiquement possible, l'hypothèse de brèche de digue littorale de 100m de largeur est appliquée. Il en résulte une évolution des débits vers l'arrière-pays pour le modèle de submersion.

Aux endroits où il n'y a pas de brèche, les volumes débordant la crête sont calculés avec le test de digue. Les effets des vagues, et le niveau élevé d'eau sont à l'origine des débits. Dans ce cas aussi, l'évolution des débits vers l'arrière-pays pour le modèle d'inondation est connue.

Les remblais faisant obstacle à l'écoulement d'eau (principalement des infrastructures de transports : autoroute, voie ferrée) ne seront pas pris en compte comme ouvrage de protection, mais comme élément topographique du modèle MNT, prenant ainsi en compte les accumulations en amont, ainsi que les écoulements rapides potentiellement générés par des ouvertures sous les voies, sur la base des données disponibles.

1.2 LES HYPOTHÈSES DE BRÈCHES

Les hypothèses de brèches qui seront adoptées sont cadrées par la méthodologie nationale du ministère (circulaire 07/2011). Elles sont listées dans le rapport méthodologique (Alp'Géorisques & IMDC, 2014b) et seront répétées ci-dessous pour raisons de clarté. On fait la distinction entre :

- Les digues (littorales, fluviales & des marais)
- Les cordons dunaires
- Les constructions hydrauliques (écluses, vannes,...)

Des hypothèses de brèches sont formulées seulement pour des « digues » qui sont définis comme un ouvrage ou une protection d'une zone en cuvette qui se trouve derrière. Les quais

portuaires par exemple (avec derrière un terrain qui se trouve à la même hauteur ou plus haut que le niveau du quai) ne sont pas classés comme « digues », ainsi que les falaises.

Tout d'abord le choix entre deux modes de défaillance sera fait : ruine généralisée (effacement complet) ou défaillances ponctuelles (brèches). Ce choix sera fait sur la base de toutes les informations disponibles : informations historiques, état de l'ouvrage, sollicitations hydrauliques, test de digues, études techniques... Dans le dernier cas, pour une défaillance ponctuelle, il y a plusieurs hypothèses de brèches selon le type d'ouvrage : digue littorale ou fluviale, digue dans le marais salant, cordon dunaires, ...

Les hypothèses de brèches retenues dans cette étude sont :

1. Pour les digues littorales et fluviales, si la ruine généralisée n'est pas retenue, une hypothèse de rupture en deux temps est envisagée:

- a) Une brèche par système de protection / tronçon homogène est définie :
 - le test de digues indique les endroits où il y a des débits importants qui peuvent causer des dommages (ou des brèches dans le cas extrême). Ces informations seront complétées avec des informations historiques et les informations des études de dangers (le cas échéant).
 - une rupture (de forme rectangulaire) de 100 m sera simulée 1 heure avant la pleine mer à l'endroit le plus fragile identifié.
- b) Des brèches supplémentaires seront introduites dans le même tronçon homogène:
 - s'il y a une surverse de plus de 20cm au-dessus des ouvrages, ailleurs que sur les secteurs subissant une brèche de 100 mètres, une brèche supplémentaire (du type effacement total / ruine généralisée) sera simulée sur toute la largeur surversée, à partir du moment où il y a surverse, et sur une largeur minimale de 50 mètres.
- c) Les débits de surverse de moins de 20cm sont pris en compte dans le modèle sur la largeur surversée, sans conséquence pour l'état de la digue (débordement, mais pas de rupture).

Note 1 : dans chaque tronçon homogène, où cela est physiquement possible (arrière-pays situé plus bas que le niveau de référence local) une brèche de 100m est donc simulée. A d'autres endroits du même tronçon où une surverse de plus de 20cm se produit, une brèche supplémentaire est modélisée sur la largeur surversée avec un minimum de 50m. Le critère des guides « d'au moins une brèche de 100m par secteur homogène » est donc accompli, car on ne simule jamais une brèche <100m, sans qu'une autre de 100m dans la même zone homogène n'existe (dans ce cas l'endroit de surverse serait dans un premier temps indiqué comme brèche forfaitaire de 100m, comme étant un « point faible »)

Note 2: Concernant la surverse de plus de 20 cm, la « brèche » simulée est bien l'effacement de toute la partie dont la crête se trouve à la même hauteur. Dans une zone homogène, il est possible qu'il y ait une digue dont la cote de la crête varie. Dans ce cas spécifique, on peut distinguer plusieurs tronçons, qui seront effacés dès que la surverse est supérieure à 20cm, afin d'éviter une approche trop sécuritaire.

2. Pour les digues des marais:

- a) La méthodologie de choix des défaillances sera adaptée, comme les digues ne sont pas forcément des éléments de protection contre les inondations. D'une manière générale une brèche se formera dès qu'il y a surverse d'une lame d'eau de plus de 20 cm, sur l'ensemble de la section surversée. Une largeur minimale de 50m est respectée, sauf si le tronçon de digue est moins long (dans ce cas une brèche de largeur égale au tronçon est prise en compte).
- b) on considère uniquement des brèches dans les digues des marais du premier rang, les autres tiennent. Notons que toutes les digues de chaque rang sont incluses dans le MNT. La surverse par-dessus les digues est donc intrinsèquement incluse dans le modèle.
- c) Les endroits avec des enjeux importants seront traités plus en détail, et il sera décidé cas par cas s'il est nécessaire de considérer d'une manière plus précise les défaillances des digues des marais. Des arguments pour la méthodologie retenue seront alors formulés.

Note 1 : toutes les digues de chaque rang sont incluses dans le MNT. La surverse par-dessus les digues est donc intrinsèquement incluse dans le modèle. Seules les digues des marais de premier rang, avec une surverse de plus de 20cm rompront dans le modèle, sur toute la largeur surversée. Une largeur minimale de 50m est respectée, sauf si le tronçon de digue est moins long (dans ce cas une brèche de largeur égale au tronçon est prise en compte).

Note 2 : le choix de cette méthodologie est basé sur le constat que dans les marais, les digues de second rang ont généralement des niveaux de crête inférieurs à celles de premier rang. Les secondes digues situées derrière des sections surversées ou rompues de premier rang seront donc largement surversées aussi. Elles seront donc considérées comme éléments de topographie, permettant ainsi la propagation de l'inondation dans le modèle. Un recensement des digues de second rang et l'inventaire de leur niveau de crête seront inclus dans le rapport des aléas de submersion.

3. Pour les cordons dunaires :

- a) La ruine généralisée du cordon sera retenue dès lors que l'événement considéré surverse de plus de 1cm le cordon considéré (dans l'état actuel, avant calcul de l'érosion).
- b) Si le résultat du test des dunes indique qu'une brèche (ou baisse de la crête de la dune) se produit dans le cordon dunaire à cause de l'érosion dunaire pendant l'événement considéré, une série temporelle des dimensions de la brèche et des débits sera construite.
- c) Dans le cas où le test de dunes indique que le cordon dunaire résiste à l'événement considéré, on ne retient pas de brèche.

4. Pour les constructions hydrauliques (écluses, vannes,...)

- a) Les constructions hydrauliques, comme les ouvrages de protection, sont supposées incapables de résister à la tempête de référence et sont, par conséquent, modélisées comme brèches.
- b) Seulement s'il existe des documents ou études qui prouvent que la construction hydraulique reste fonctionnelle pour les conditions envisagées, on ne retient pas de brèche.

Les remblais faisant obstacle à l'écoulement d'eau (principalement des infrastructures de transports : autoroute, voie ferrée), sont considérés comme précisé dans le guide PPRL : ils ne seront pas pris en compte comme ouvrage de protection, mais comme élément topographique du modèle MNT, prenant ainsi en compte les accumulations en amont, ainsi que les écoulements rapides potentiellement générés par des ouvertures sous les voies, à partir des données disponibles.

2. LES HYPOTHÈSES RETENUS POUR LE PPRL DIVES-ORNE

Les scénarios suivants seront considérés pour le PPRL :

- **le scénario de référence** : déterminé à partir de l'événement naturel de référence, aboutissant à la cartographie de l'aléa de référence ;
- **le scénario à échéance de 100 ans** : déterminé à partir de l'événement de référence prenant en compte l'élévation du niveau de la mer liée à l'impact du changement climatique, aboutissant à la cartographie de l'aléa à échéance 100 ans ;
- **le scénario en l'absence d'ouvrages** (hypothèse de ruine généralisée de l'ensemble des ouvrages de protection), déterminé à partir de l'événement de référence. Ce scénario donnera lieu à une cartographie à titre indicatif.

Les hypothèses de brèches et plus en général les entrées d'eau seront présentées ci-après par scénario et par section homogène. Une carte avec indication des sections homogènes définies pour le secteur Dives-Ornes et les communes concernées par le PPRL Dives-Orne se trouve en annexe A.

2.1 LE SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE

Le scénario de référence est déterminé à partir de l'événement naturel de référence, aboutissant à la cartographie de l'aléa de référence. Le niveau d'eau de l'événement de référence sera augmenté de 20 cm afin de prendre en compte les premiers effets du changement climatique sur l'élévation du niveau d'eau.

2.1.1 Dives-sur-Mer

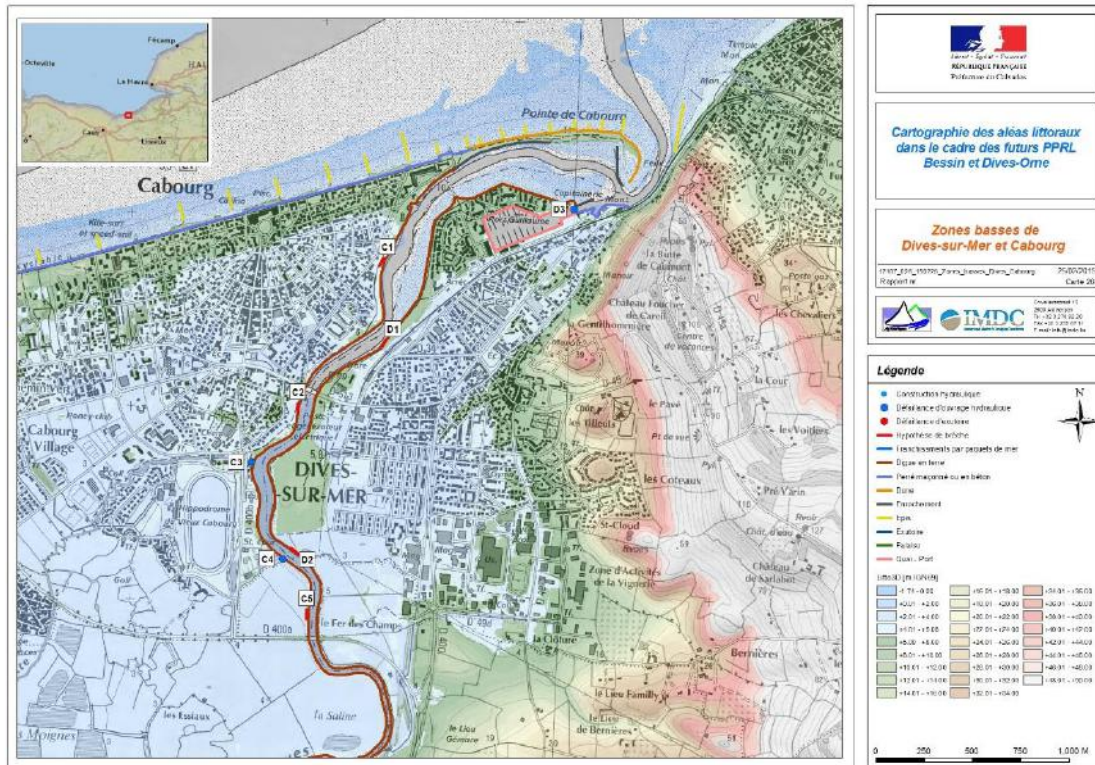


Figure 2-1: Aperçu de la zone basse à Dives-sur-Mer et indication des endroits des hypothèses de brèche (figure plus grande en Annexe B)

Les berges de la Dives protègent les zones basses sur Dives-sur-Mer (rive droite). Sur l'ensemble des digues de la Dives, le critère des « brèches par surverse » sera appliquée (effacement de la digue en cas de surverse de plus de 20cm sur la section surversée).

Sur la rive droite, deux hypothèses de brèche de 100m de large sont retenus, sur la base des hypothèses de défaillance retenues dans l'étude de dangers des berges de la Dives (ARTELIA et SCE, 2013) (définies à leur tour sur la base des diagnostics de digues effectués par Créocéan (2011 et 2012)):

- Au Nord du pont de Cabourg, le premier creux de méandre concave de la Dives (point D1 de la figure en Annexe B). Cette brèche correspond à la brèche du tronçon F4 du scénario 6 de l'étude de dangers de Dives-sur-Mer (« rupture par glissement d'ensemble ») (voir Figure 2-2).
- Au Sud, près de la frontière avec la commune de Périers-en-Auge (point D2 sur la figure en Annexe B). Cette brèche correspond à la brèche du tronçon F2 des scénarios 1, 3, 4 et 5 de l'étude de dangers de Dives-sur-Mer (« rupture par surverse ») (voir Figure 2-2).

N°	Événement	Probabilité de défaillance	Type de rupture	Tronçons	
Scenario 1	E1	C+ : Peu probable	Erosion externe	F2	🔴
Scenario 2	E2	D+ : Très peu probable	Rupture surverse	F1	🟡
Scenario 3	E2	D : Très improbable	Erosion interne Rupture surverse	F1 F2	🟡
Scenario 4	E2	C+ : Peu probable	Erosion externe	F2	🟡
Scenario 5	E3	D : Très improbable	Erosion interne Rupture surverse	F1 F2	🟡
Scenario 6	E3	E+ : Extrêmement peu probable	Rupture par glissement d'ensemble	F4	🟡

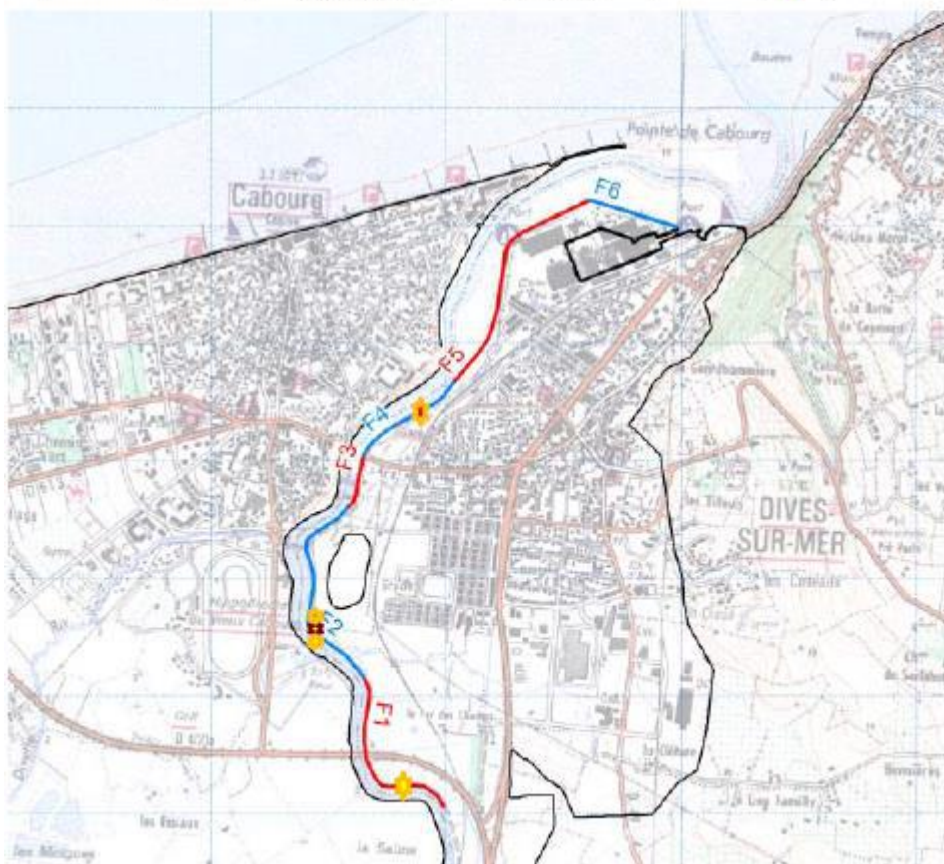


Figure 2-2: Localisation des brèches pour chacun des scénarii envisagés (figure p37 de l'étude de danger, ARTELIA & SCE, 2013).

Ces brèches sont retenues pour deux raisons : premièrement, elles correspondent le mieux aux points de faiblesses qui sont identifiés dans les diagnostics de digues de la Dives (Créocéan, 2011 et 2012). Deuxièmement, ces deux brèches se trouvent au niveau des zones basses de Dives-sur-Mer, et permettront de simuler l'ensemble de la submersion marine théorique. La troisième brèche de l'étude de dangers (tronçon F1, scénarios 2, 3, 5) n'est pas retenue, car elle se trouve sur le territoire de Périers-en-Auge. Il est convenu de ne pas définir de brèches sur les communes hors-PPRL.

Pour le PPRL il est nécessaire de définir l'aléa de submersion marine sur l'ensemble des zones basses des communes concernées. Les brèches définies dans le cadre du PPRL doivent donc couvrir toutes ces zones basses (même si plusieurs zones basses se trouvent dans la même section homogène). Dans le cas des digues fluviales de la Dives, qui sont toutes regroupées dans une section homogène, il est donc indispensable de définir plusieurs

brèches dispersées sur le territoire, afin d'assurer la submersion marine assez étendue. Le même principe est appliqué dans les études de dangers qui étudient plusieurs brèches dans plusieurs scénarios. Pour le PPRL il n'y aura qu'un seul scénario de référence qui combine plusieurs brèches simultanément.

Les portes à flot du Port Guillaume ne sont pas capables de retenir les grandes marées. Elles seront ouvertes à partir de 1 heure avant le pic de la tempête dans le modèle, permettant la surverse des quais du bassin. L'ouverture des portes à flot et la surverse des quais du port Guillaume créeront une entrée d'eau par le Nord.

La submersion marine par les deux brèches et la surverse des quais permettra de définir l'aléa sur l'ensemble des zones basses de Dives-sur-Mer.

2.1.2 Zones basses de la Dives, Divette, Flet de Graye et l'Orne

Les marais de Cabourg, Varaville, et Franceville forment un grand casier hydraulique, dans lequel la submersion marine doit être étudiée pour le PPRL.

Le modèle prendra en compte l'effet des multiples étiers des marais, qui facilitent la propagation de l'onde de submersion.

Les entrées d'eau dans cette zone basse se produisent des manières suivantes :

- Rupture et surverse de digues de la Dives, créant des entrées d'eau de l'Est. Les rejets d'eau des (plus grands) étiers dans la Dives seront également ouverts (à partir de 1 heure avant le pic de la tempête).
- Ruptures de la défense littorale (notamment de la dune de Varaville et Franceville), créant des entrées d'eau par le Nord
- Rupture et surverse de digue de l'Orne, créant des entrées d'eau de l'Ouest. Les rejets d'eau des (plus grands) étiers dans l'Orne seront également ouverts (à partir de 1 heure avant le pic de la tempête).

Ces trois groupes d'entrées d'eau sont décrits aux trois paragraphes suivants.

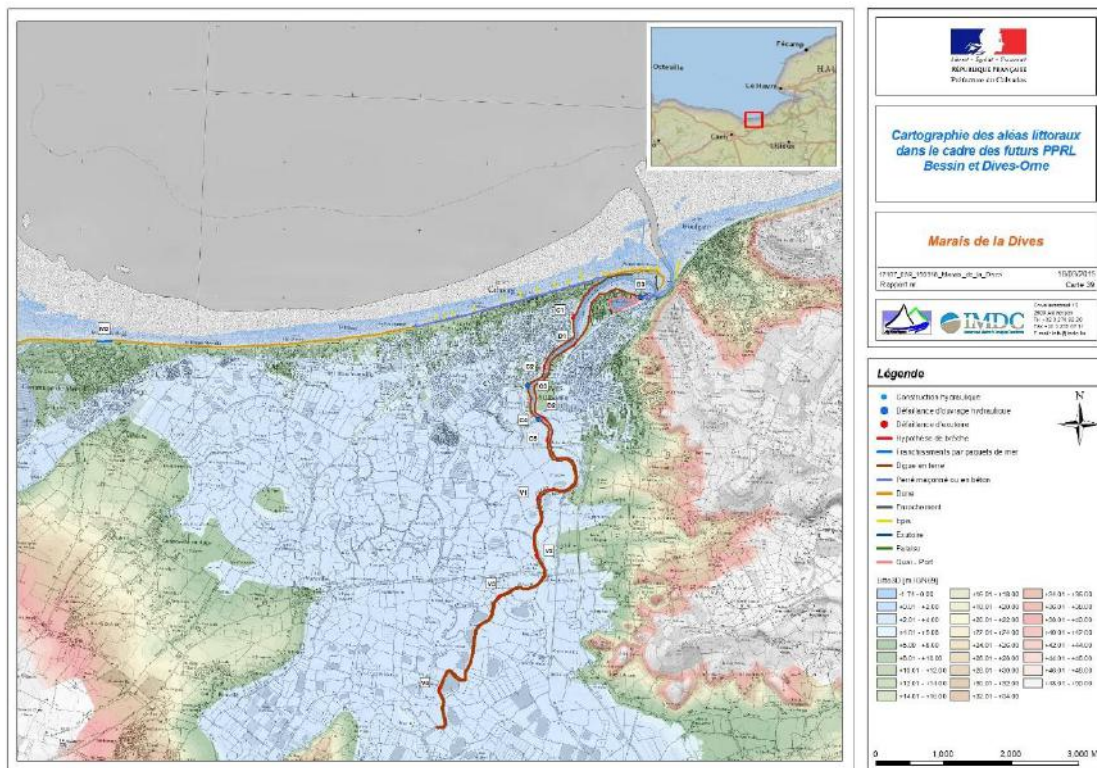


Figure 2-3: Aperçu de la zone basse des marais de Cabourg, Varaville, et Franceville et indication des endroits des hypothèses de brèche (figure plus grande en Annexe B)

2.1.2.1 Entrées d'eau par la Dives

Rive gauche de la Dives : Cabourg

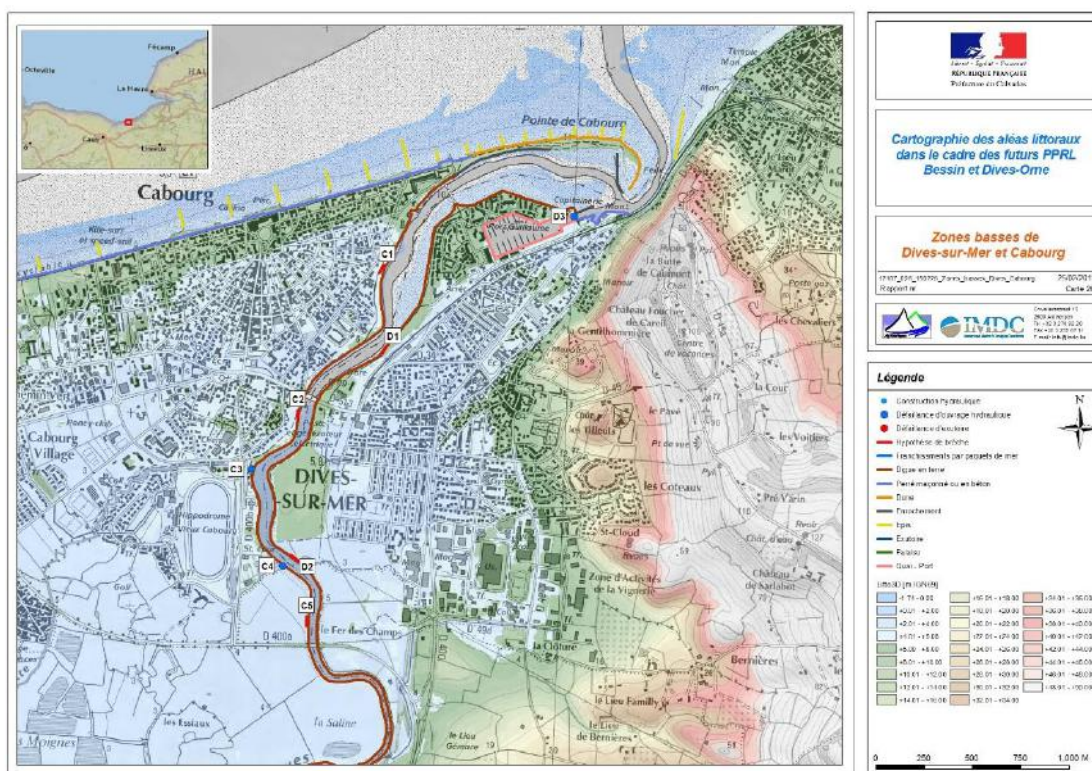


Figure 2-4: Aperçu de la zone basse à Cabourg et indication des endroits des hypothèses de brèche (figure plus grande en Annexe B)

1. La digue de la Dives forme le risque principal de submersion marine sur le territoire de Cabourg. Sur l'ensemble des digues de la Dives, le critère des « brèches par surverse » sera appliquée (effacement de la digue en cas de surverse de plus de 20cm sur la section surversée).
2. Outre l'hypothèse de brèche par surverse, 3 hypothèses de brèche de l'étude de dangers de Cabourg (ARTELIA, 2013) sont reprises pour le scénario de référence PPRL :
 - Une brèche dans la digue de la Dives, au niveau de du creux de méandre concave (point C1 sur la figure en Annexe B). Cette brèche correspond à la brèche des scénarios 1, 2 et 3 dans le tronçon F9 de l'étude de dangers de Cabourg (et expose la partie nord de Cabourg)
 - Une brèche au sud immédiat du pont de la RD513 sur la Dives (point C2 sur la figure en Annexe B). Cette brèche correspond à la brèche du scénario 3 dans le tronçon F6 de l'étude de dangers de Cabourg (et expose une partie de Cabourg sud de la route et du pont)
 - Une brèche au nord immédiat du pont de la RD400a (point C5 sur la figure en Annexe B). Cette brèche correspond à la brèche des scénarios 2 et 4 dans le tronçon F1 de l'étude de dangers de Cabourg.

Ces trois brèches seront simulées dans le modèle avec une largeur de 100m.

Note : Les différentes brèches reprises de l'ED Cabourg font partie de différents scénarios de submersion de cette étude. Pour le PPRL plusieurs brèches sont combinées dans un scénario de submersion. Ceci, dans l'esprit PPRL, qui prescrit que « une brèche minimum doit être retenue par tronçon d'ouvrage et/ou par casier hydraulique » (DGPR du MEDDTL, 2013)

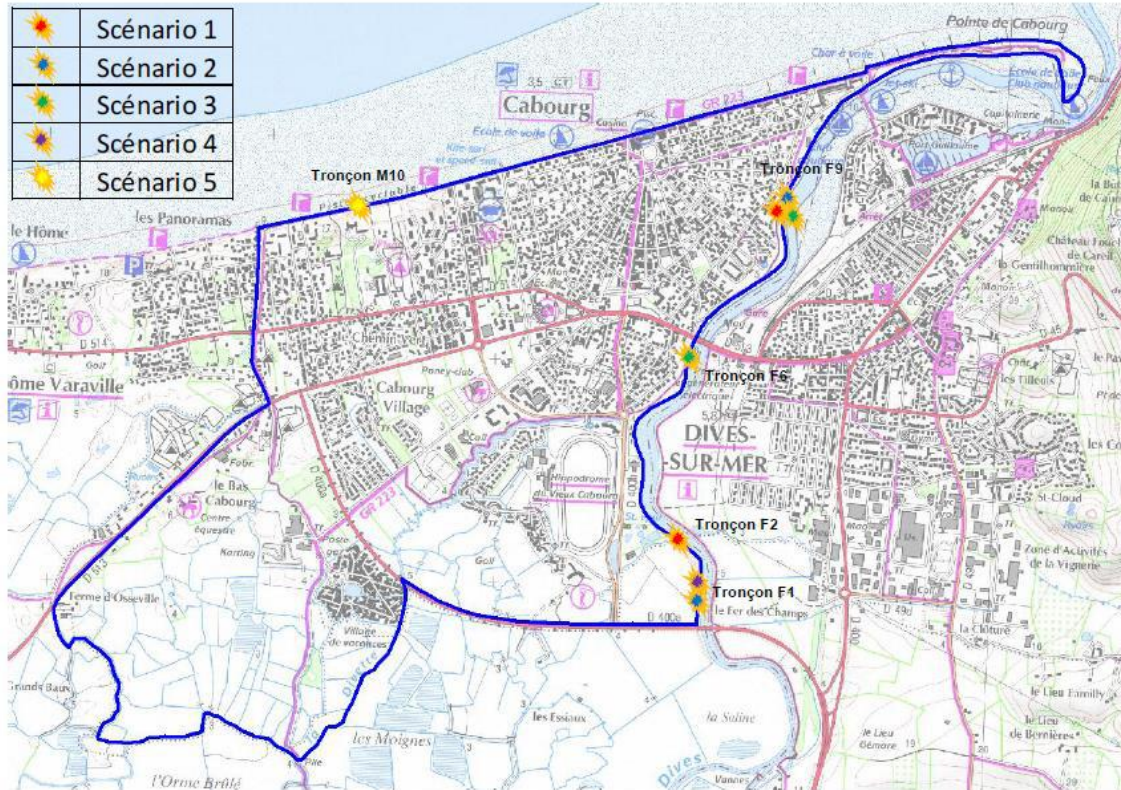


Figure 2-5: Localisation des brèches pour chacun des scénarii envisagés (figure 139 de l'étude de danger, ARTELIA, 2013).

La brèche du tronçon F2 (scénario 1) de l'étude de dangers de Cabourg n'est pas reprise dans le PPRL, pour trois raisons : (1) cette brèche se trouve à peine à 250m de la brèche C5 proposée ci-dessus, (2) elle expose la même zone basse que la brèche C5 et (3) à l'endroit de la brèche du tronçon F2 la défaillance d'un système de vannage est pris en compte. La submersion marine de cette zone basse sera donc largement couverte par la brèche C5 (de 100m de large) et le vannage défaillant C4.

- Par ailleurs, les vannes de la Divette au point de rejet dans la Dives seront ouvertes pour la simulation de référence (permettant l'infiltration de l'eau de mer dans les marais de la Divette, point C3 sur la figure en Annexe B). Un deuxième système de vannage existe au niveau de l'hippodrome du Vieux Cabourg (et la station d'épuration des eaux, point C4 de la même figure en Annexe B), et sera également simulé comme défaillant au scénario de référence. La défaillance de ces ouvrages sera simulée à partir de 1 heure avant le pic de la tempête.

Rive gauche de la Dives : Varaville

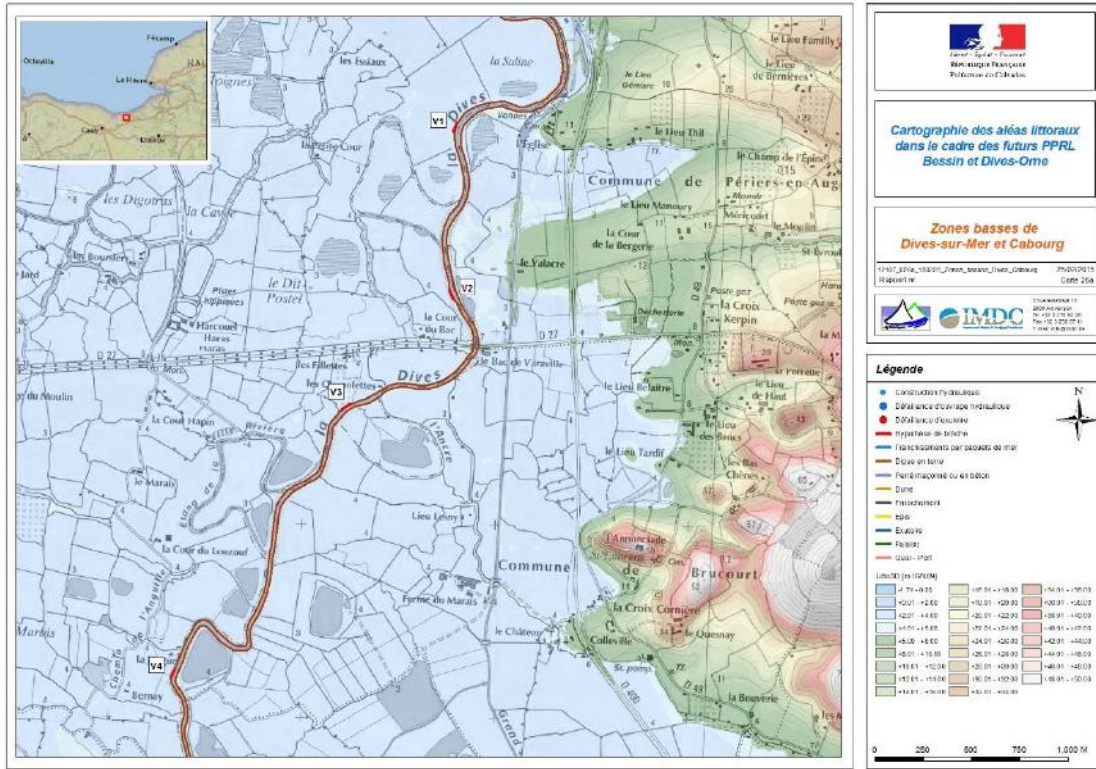


Figure 2-6: Aperçu de la zone basse à Varaville et indication des endroits des hypothèses de brèche (figure plus grande en Annexe B)

La digue de la Dives forme le risque principal de submersion sur la partie sud de Varaville. Les entrées d'eau peuvent se produire par surverse des digues et par rupture (comme assez récemment en janvier 2014, (Le Pays d'Auge, 2014)). Peu d'éléments sont disponibles pour le choix des ruptures de digues sur la commune de Varaville (à défaut d'une étude de dangers et d'un diagnostic de digues). Il est par ailleurs difficile à déduire l'endroit précis de la rupture de l'article susmentionné. Pour la définition des brèches à Varaville, on s'est principalement basé sur la méthodologie des diagnostics et études disponibles sur d'autres communes :

- Pour assurer la définition des aléas sur l'ensemble des zones basses il est nécessaire de simuler plusieurs brèches dispersées le long de la Dives
- Les creux de méandres sont généralement des points plus faibles de la digue, en raison de l'érosion favorisée de ce côté des courbes d'une rivière
- Le MNT (Lidar) est utilisé pour repérer des points où la digue devient plus étroite et donc plus fragile à une possible rupture

Sur la base des critères susmentionnés, les brèches suivantes sont retenues :

1. Sur l'ensemble des digues de la Dives, le critère des « brèches par surverse » sera appliqué (effacement de la digue en cas de surverse de plus de 20cm sur la section surversée).

2. Hormis les ruptures en cas de surverse, quatre hypothèses de brèche de 100m de large sont définies sur les digues de Varaville :
 - dans le creux de méandre en face du lieu-dit de l'Église (point V1, Annexe Dignes de la Dives à Varaville)
 - au nord du Bac de Varaville (point V2, même carte)
 - au niveau des Quenolettes (point V3, même carte)
 - Au Sud de la commune, dans la digue de La Hogue (point V4, même carte)

Ces quatre brèches seront simulées dans le modèle avec une largeur de 100m.

Front littoral de Cabourg

Le front littoral de Cabourg consiste d'une dune naturelle (Pointe de Cabourg) et un perré (en partie en béton et maçonné).

1. Du test de dunes il résulte que le cordon dunaire naturel de la Pointe de Cabourg est résistant aux conditions de référence. Les conséquences d'une rupture dans cette dune sont par ailleurs limités (vue l'entrée d'eau par l'embouchure de la Dives, qui sera prédominant dans le modèle). Il est proposé de ne pas simuler une entrée d'eau par rupture du cordon de la Pointe de Cabourg dans le modèle.
2. Le test de digue n'indique pas de débits de franchissement pour le scénario de référence +20cm.
3. Au niveau du centre de Cabourg, le terrain naturel qui se situe derrière le front littoral est plus haut que le niveau marin de référence. Les zones basses de Cabourg en dessous du niveau de référence se trouvent à une distance d'environ 160 à 200m de la côte. Cette zone plus haute semble suffisamment large pour éviter une rupture de la digue au niveau de l'urbanisation de Cabourg vers la zone basse.

2.1.2.2 Entrées d'eau par la mer : dunes de Varaville et Franceville-Merville-Plage

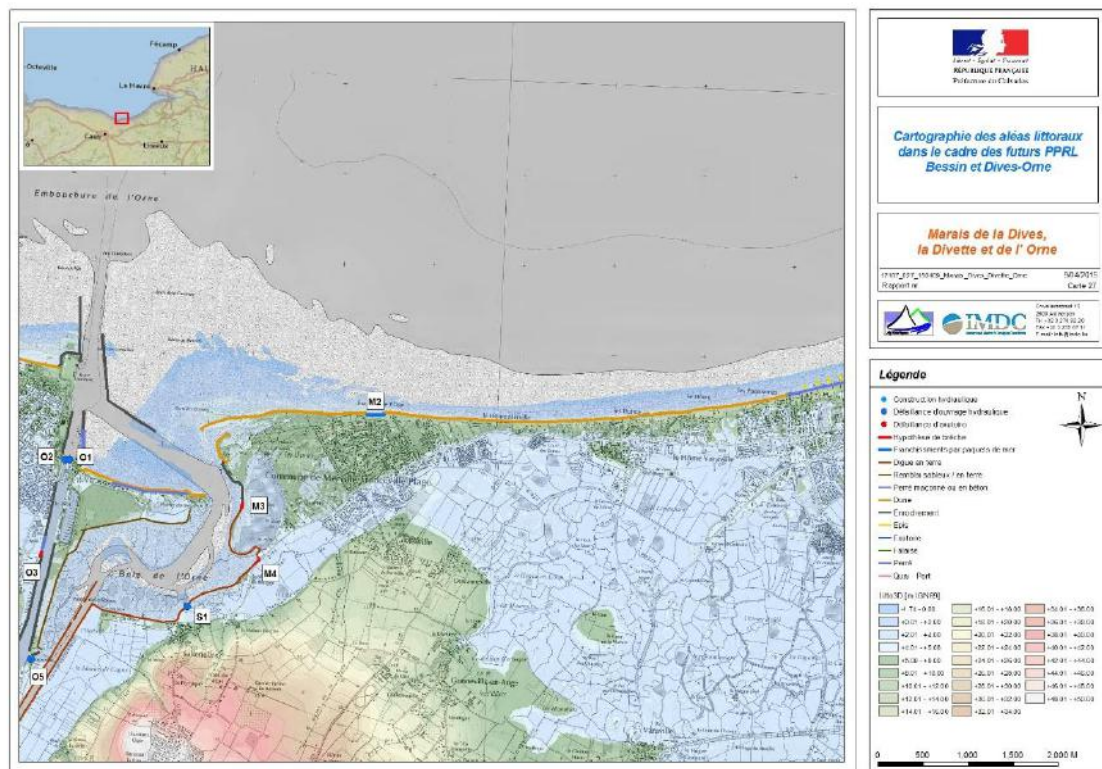


Figure 2-7: Aperçu de la zone basse à Franceville-Merville-Plage, Varaville et Cabourg et indication des endroits des hypothèses de brèche (figure plus grande en Annexe B)

Le front littoral des communes de Varaville et Franceville-Merville-Plage est protégé par une dune naturelle. Cette dune est par endroits assez étroite, et une brèche peut créer une entrée d'eau vers les zones basses des marais de la Dives/Divette et le Flet de Graye.

1. La dune de Varaville et Franceville résiste aux conditions de référence entre Cabourg et le remblai de parking Boulevard Wattier à Franceville. Alors avec les hypothèses retenues, on ne simule pas de brèche.
2. Sur le remblai du parking Boulevard Wattier à Franceville-Merville, qui remplace la localement la dune, des franchissements par paquets d'eau seront simulés dans le modèle (point M2 en Annexe B).
3. Plus à l'est, au niveau de l'embouchure de l'Orne, la dune est assez haute et large pour résister aux conditions de référence. Il n'y a pas de zones basses immédiatement à l'arrière de la dune, et les enjeux sont limités. Il est donc proposé de ne pas simuler de brèche sur ce secteur.

2.1.2.3 Entrées d'eau à partir de l'Orne

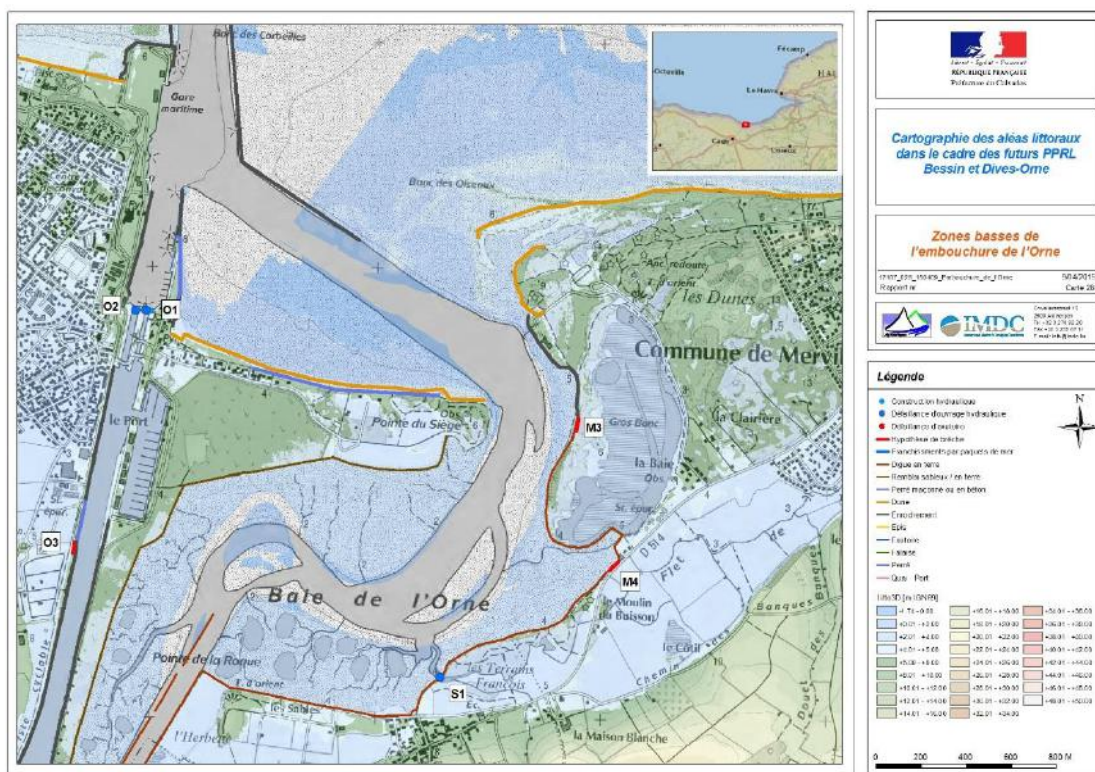


Figure 2-8: Aperçu de la zone basse à Franceville-Merville-Plage et Sallenelles et indication des endroits des hypothèses de brèche (figure plus grande en Annexe B)

Les digues et berges de la rive droite de l'Orne exposent les marais à la submersion marine.

1. Sur l'ensemble des digues de l'Orne, le critère des « brèches par surverse » sera appliqué (effacement de la digue en cas de surverse de plus de 20cm sur la section surversée. Le moment de la rupture est le moment de la surverse >20cm). Il est à noter que plusieurs sections de digues de l'Orne sur la rive droite seront surversées (notamment à Sallenelles).
2. Hormis ces ruptures par surverse, deux hypothèses de brèche de 100m de large sont proposées :
 - juste au Sud du club de voile la digue du Gros Banc est relativement mince (point M3 en Annexe B). Cette digue en terre a été endommagée en 2011 (Grontmij, 2013).
 - au niveau de la digue en terre du Moulin du Buisson (point M4 en Annexe B, un point de faible largeur et hauteur de la digue sera simulé comme brèche (100m)
3. Les vannes du Flet de Graye, qui se jette dans l'embouchure de l'Orne, seront ouvertes dans le modèle de submersion à partir de 1 heure avant le pic de la tempête, permettant l'infiltration des eaux de mer sur les Terrains François (point S1 en Annexe B).

2.1.3 Pointe du Siège

1. Les zones basses sur la Pointe du Siège seront inondées par une entrée d'eau par surverse sur la partie sud de la péninsule. Les secteurs surversés de plus de 20cm de cette digue en terre rompront dans le modèle.
2. Il n'y a pas de débits de franchissement par paquets de mer ou instabilités sur le secteur

2.1.4 Marais de Ouistreham, Colleville-Montgomery et Hermanville-sur-Mer

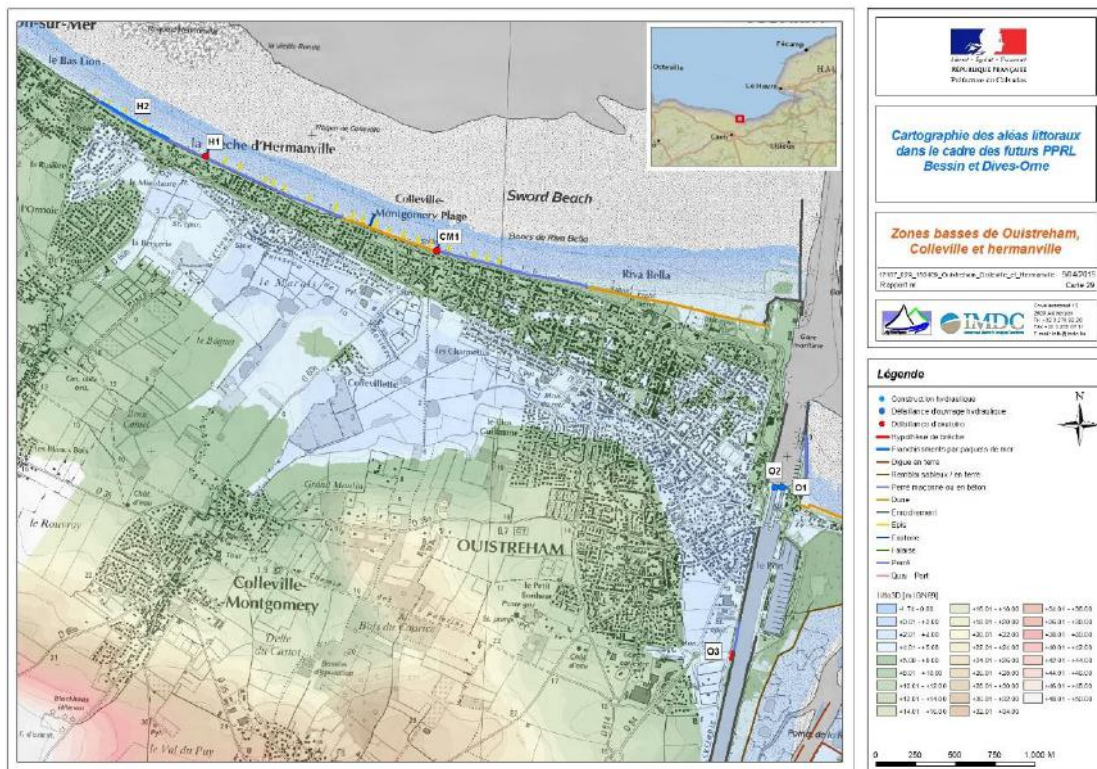


Figure 2-9: Aperçu de la zone basse à Ouistreham, Colleville-Montgomery et Hermanville-sur-Mer et indication des endroits des hypothèses de brèche (figure plus grande en Annexe B)

Une grande zone basse en dessous du niveau marin de référence s'étend sur les trois communes : Ouistreham, Colleville-Montgomery et Hermanville-sur-Mer. A l'Est, cette zone basse est limitée par le canal de Caen à la Mer (sur le territoire de Ouistreham). Plus à l'Ouest (sur Colleville et Hermanville), la zone basse est proche du littoral. Les entrées d'eau de mer sur ces secteurs se produisent donc :

- Par la surverse et rupture de digues de l'Orne à l'Est
- Par des défaillances de protection littorale à l'Ouest

Les différentes entrées d'eau sont décrites aux paragraphes suivants.

2.1.4.1 Berges de l'Orne

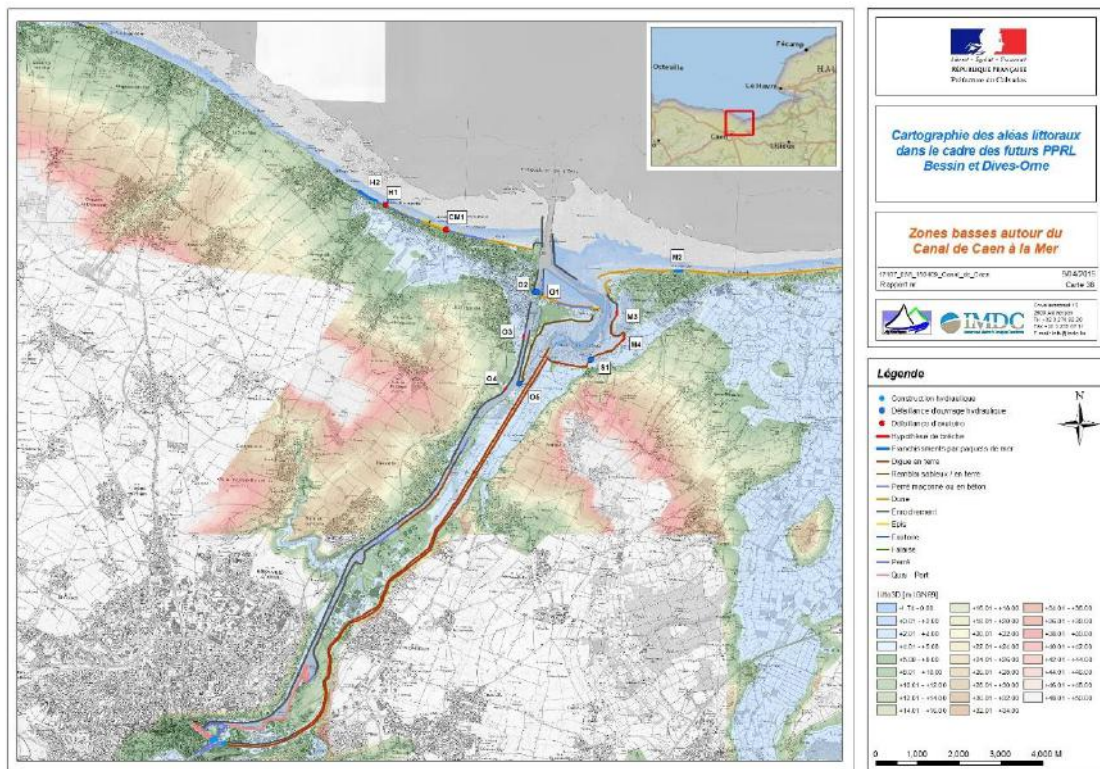


Figure 2-10: Aperçu de la zone basse autour de l'Orne et indication des endroits des hypothèses de brèche (figure plus grande en Annexe B)

1. Les portes écluses à l'embouchure du canal de Caen à la mer ne sont pas construites pour résister à des niveaux marins extrêmes et seront donc ouvertes dans le modèle de submersion à partir de 1 heure avant le pic de la tempête (points O1 et O2 en Annexe B).
2. Sur l'ensemble des berges et digues du canal, le critère de brèche par surverse est appliqué (effacement de la digue si elle est surversée de >20cm)
3. En dehors du critère de brèche par surverse, 3 hypothèses de brèches de 100m de large sont définies sur la rive gauche du canal de Caen à la mer (et sur le territoire de Ouistreham) :
 - Au sud immédiat de la station d'épuration des eaux, au niveau du « Camping des Pommiers » (point O3 en Annexe B). Le point O3 a été identifié comme point faible par rapport aux enjeux situés derrière la digue (zone basse du camping municipal des Pommiers). L'endroit exact de la brèche est mis à la fin du quai de Ouistreham, et au commencement de l'enrochement/digue en terre (le premier point susceptible de la formation d'une brèche). En plus, le niveau du remblai/digue est plus bas sur cette section (niveau comparable au quai, se référer au MNT Lidar).
 - Une brèche qui lie le canal au fossé de ligne, et expose ainsi quelques terrains bas à la submersion (point O4, cote de 4.60 à 4.70m IGN)

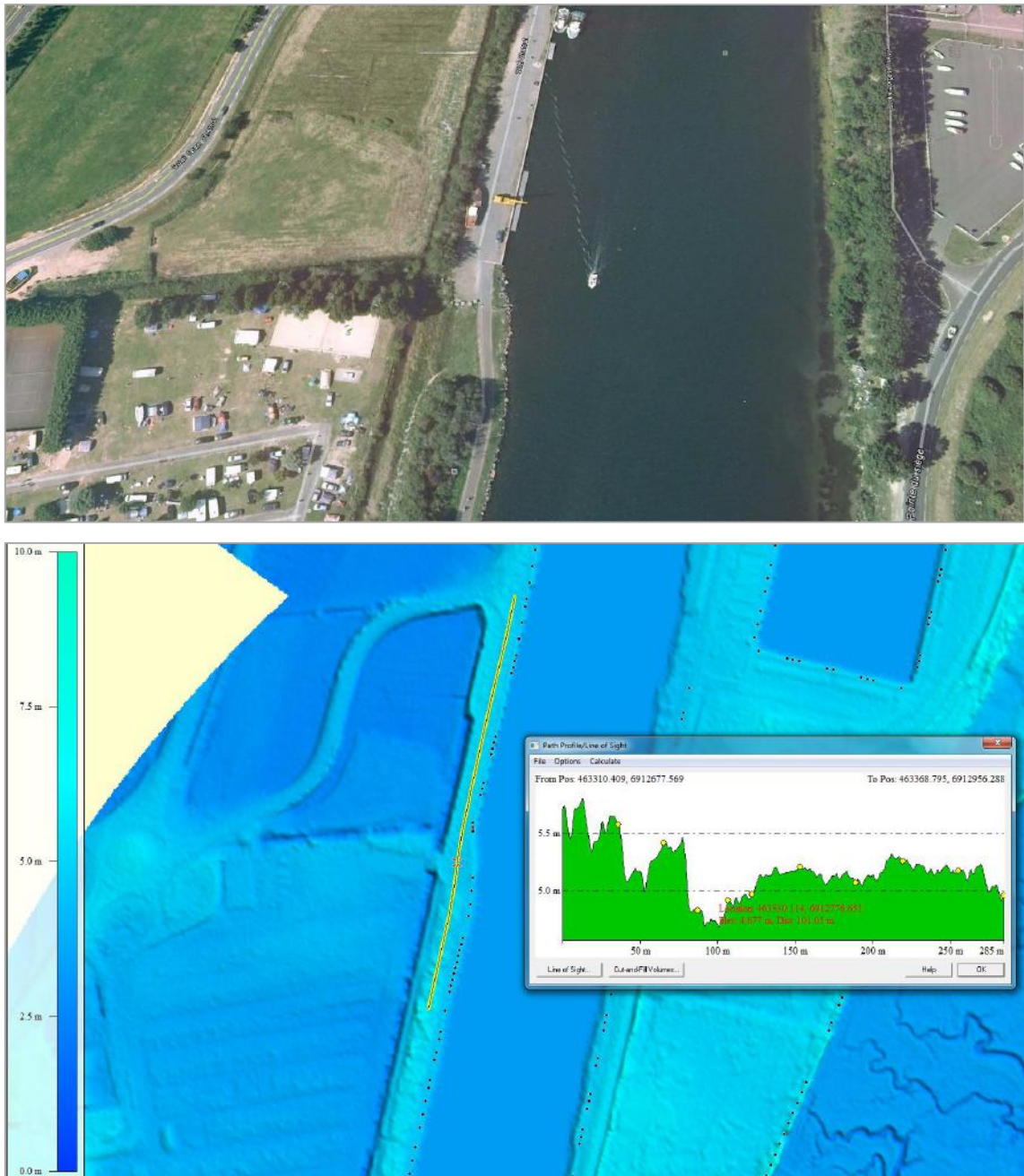


Figure 2-11: Zone plus basse (ca. 4,65m IGN), sud du quai et nord du camping (point O3).



Figure 2-12: Position du point O4 (cercle rouge) et le déversoir du Maresquier (à droite).

4. Le déversoir du Maresquier est considéré comme défaillant. L'ouverture sera simulée à partir d'une heure avant le pic de la tempête (point O5 en annexe B).

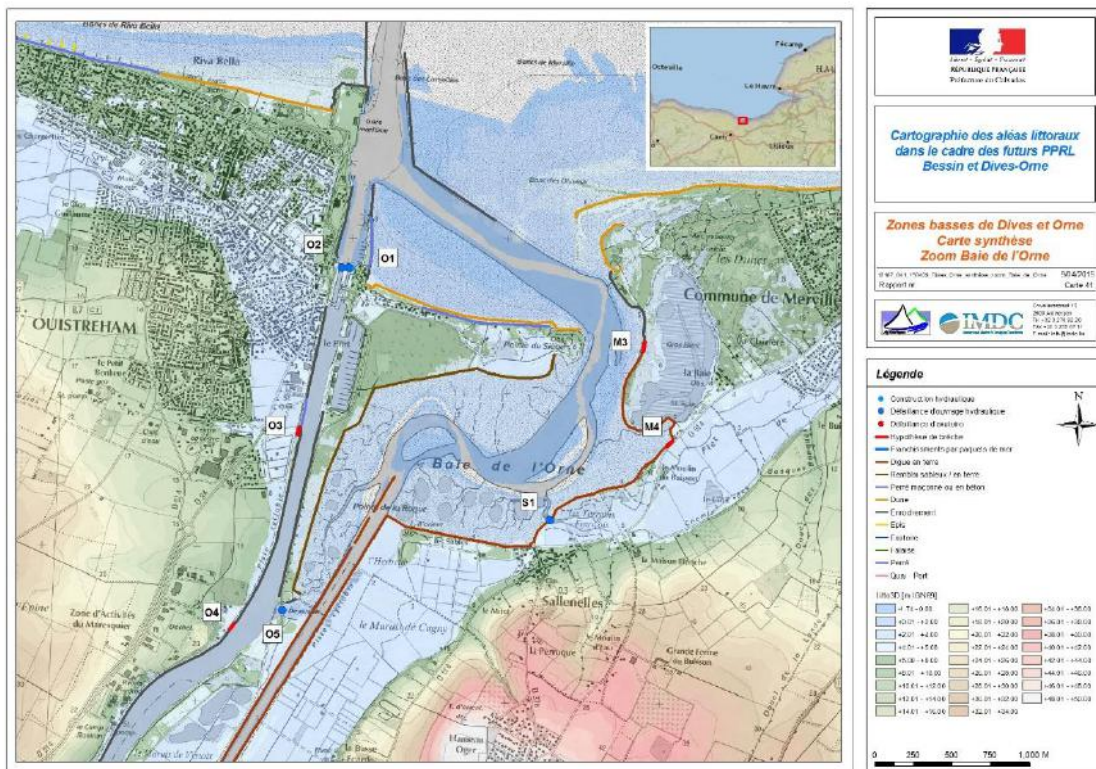


Figure 2-13: Zoom sur les endroits des hypothèses de brèche dans les berges de l'Orne (figure plus grande en Annexe B)

Note : la brèche de 100m au niveau du Camping des Pommiers (**point O3**) expose le centre-ville de Ouistreham. Sans cette brèche, la plupart de l'urbanisation de Ouistreham ne serait pas submergée. Le guide PPRL indique d'inclure des brèches dans les digues de second rang. Surtout dans ce cas-ci, afin de pouvoir étudier l'aléa à Ouistreham.

Note : Le fossé de ligne. La prise en compte de la topographie autour du fossé de ligne est prévue de toute façon. La carte reçue de la DDTM donne des éléments supplémentaires concernant le positionnement des buses. En comparant l'impact possible de cette entrée d'eau par la buse (par le bout dans le port) avec l'impact d'une brèche au niveau du camping, la dernière sera beaucoup plus importante en termes de volume d'eau entrant. On propose alors de seulement retenir cette hypothèse de brèche, en de ne pas ajouter une hypothèse supplémentaire au niveau du clapet anti-retour dans le port. Plus en général, il n'est pas prévu d'intégrer le réseau d'eau pluviale dans le modèle de submersion, parce que c'est un autre niveau de détail et on ne considère pas la pluie. Un peu plus vers le sud, immédiatement sud du camping, il existe un remblai qui traverse le fossé de ligne. A cet endroit il est prévu de prendre en compte les ouvrages dans ce remblai, qui font la connexion entre la partie sud et nord du fossé de ligne (voir photos ci-dessous).



Figure 2-14: Ouvrage dans le fossé de ligne, sud du camping.

Note : MNT entre l'écluse et le camping : voir figure. Le point le plus bas se situe juste nord du camping.

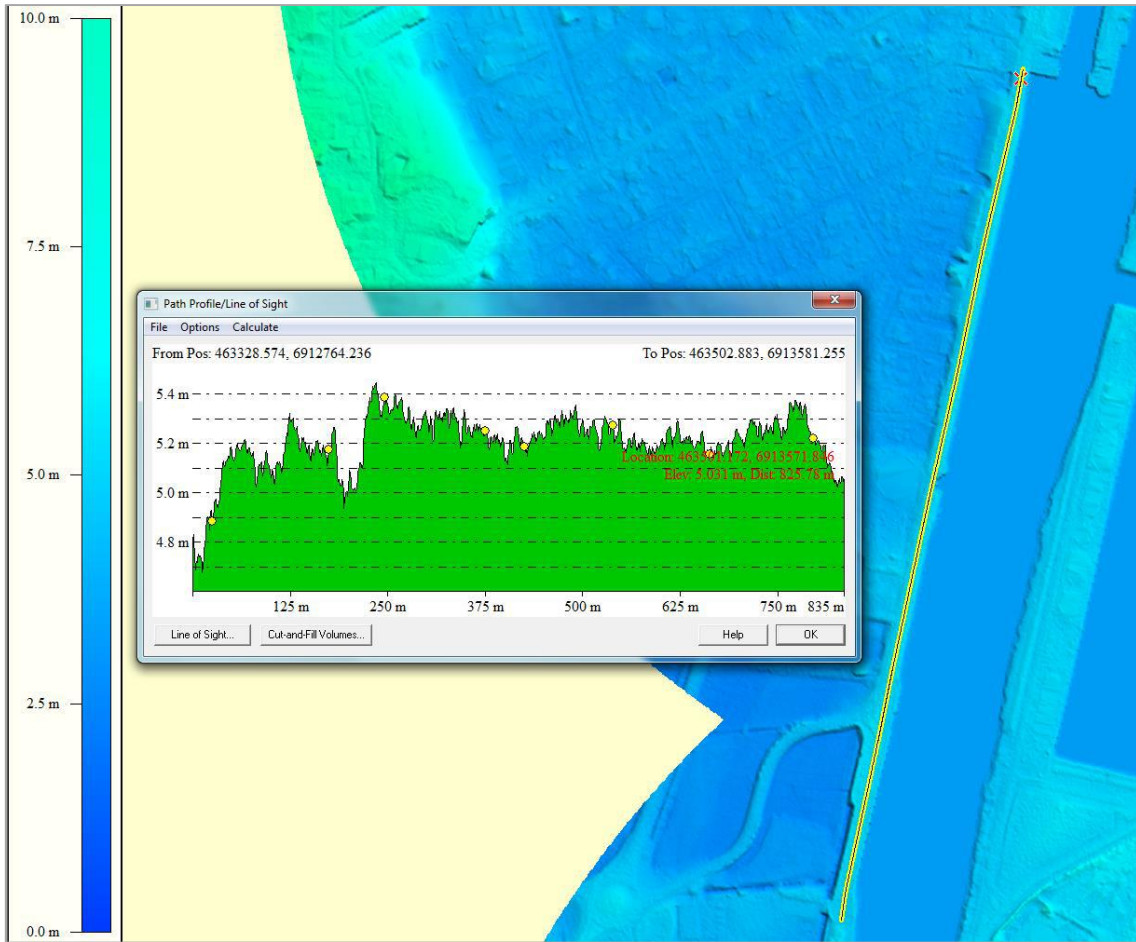


Figure 2-15: MNT entre l'écluse et le camping, à Quistreham.

Note : MNT le long du canal sud du camping : voir figure. Le point le plus bas se trouve à une cote de 4.65m IGN, ce qui est comparable au niveau de la digue à l'endroit de la brèche proposée (nord du camping).

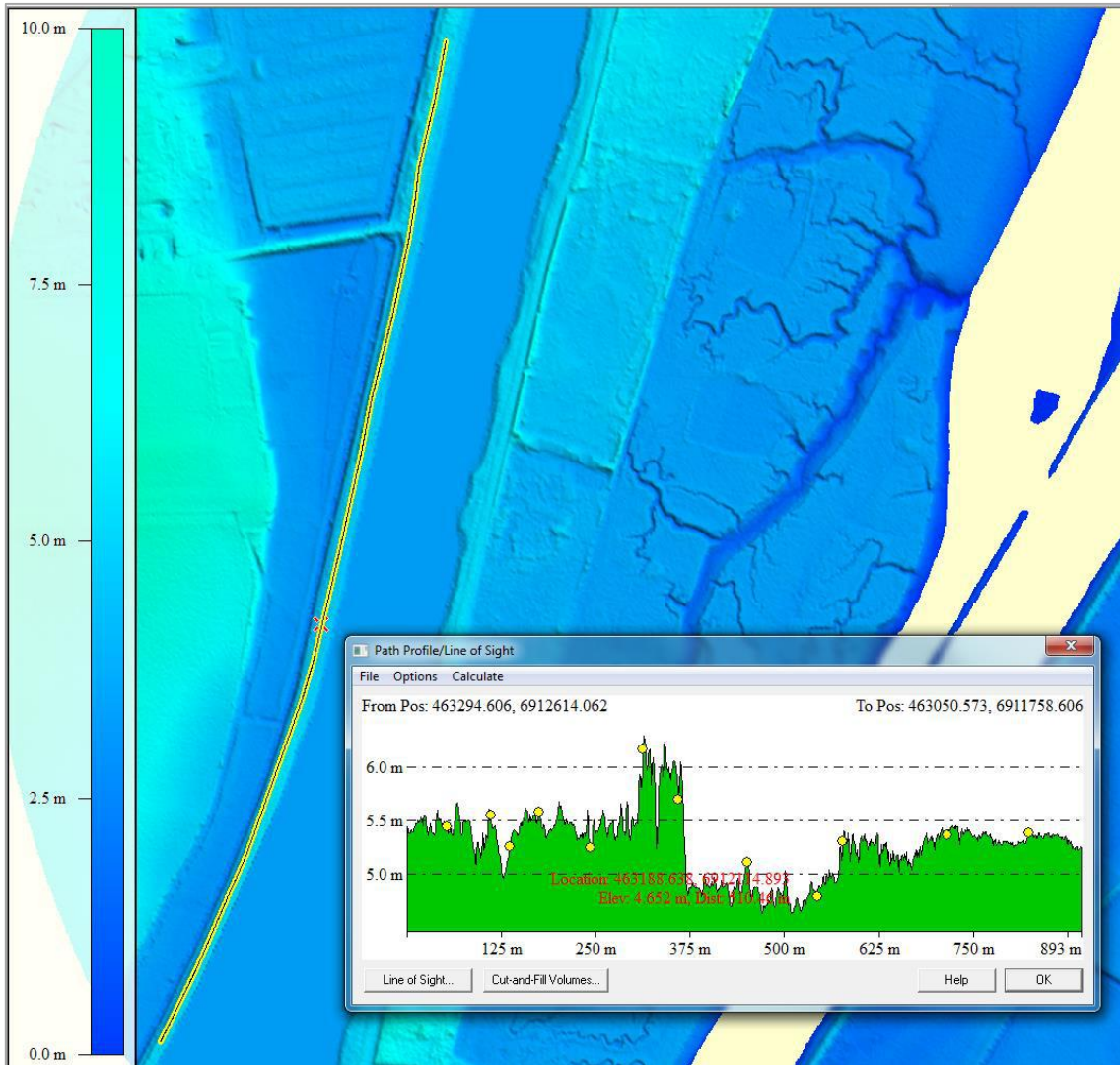


Figure 2-16: MNT sud du camping, à Quistreham.

2.1.4.2 Front littoral

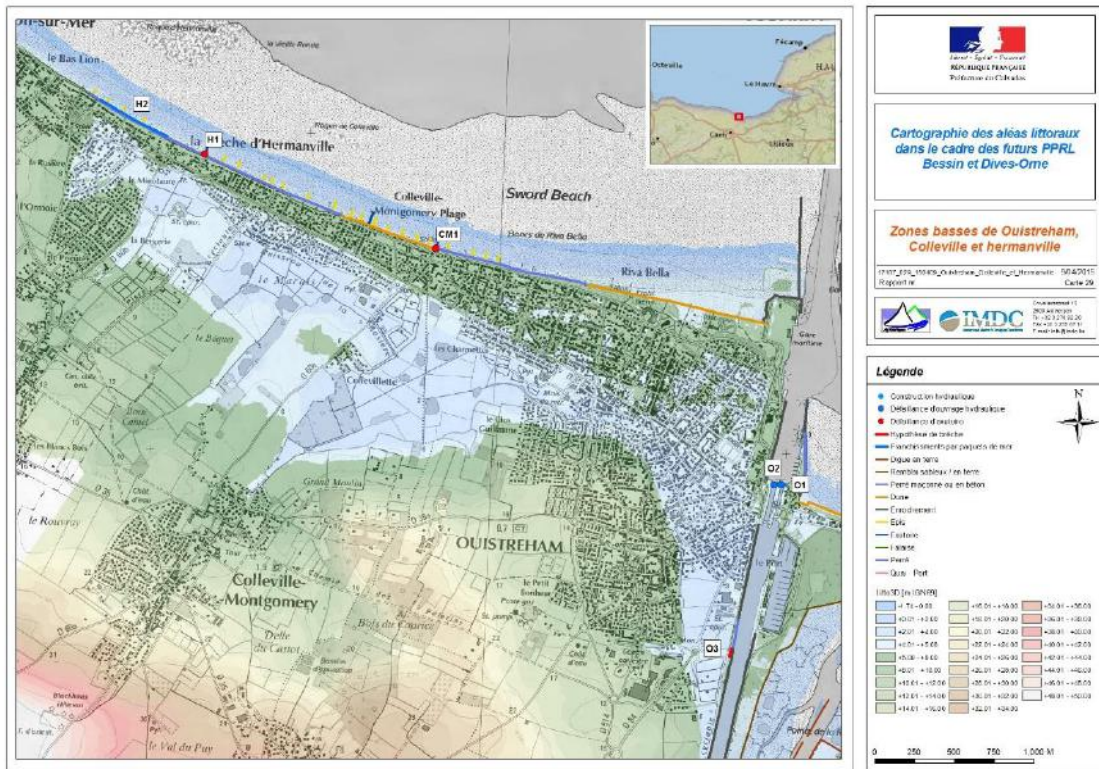


Figure 2-17: Aperçu de la zone basse à Ouistreham, Colleville-Montgomery et Hermanville-sur-Mer et indication des endroits des hypothèses de brèche (figure plus grande en Annexe B)

2.1.4.2.1 Dune de Riva Bella (Ouistreham)

La dune de Riva Bella est résistante aux conditions de référence dans le test de dunes. Le terrain naturel plus élevé que le niveau marin est assez large. Il est donc proposé de ne pas simuler de brèches dans le cordon littoral de Riva Bella.

La zone basse de Ouistreham le long du canal (Caen-Ouistreham) sera inondée par l'effet combinée de l'ouverture des écluses et une brèche de 100m dans la digue en terre au niveau de la station d'épuration des eaux.

2.1.4.3 Perré de Ouistreham

Dans cette section il n'y a pas de zone basse à l'arrière du remblai. Le test de digue n'indique pas de débit de franchissement lors de l'événement de référence +20cm. Le terrain naturel plus haut que le niveau marin est trop large pour simuler une brèche.

Une entrée d'eau vers la zone basse des Charmettes sera créée par la défaillance d'un exutoire en mer sur le territoire de Colleville (point CM1, voir paragraphe suivant).

2.1.4.4 Cordon dunaire de Colleville et Perré de Hermanville

Le test de dunes indique que le cordon dunaire est suffisamment large et haut pour résister aux conditions de référence.

Une zone plus élevée, suffisamment large (ordre de 200 mètres) sépare la zone basse de la mer. Pour cette raison on n'impose pas d'hypothèse de brèches, seulement des débits de franchissement seront imposés au niveau de la crête du remblai. Dans cette section, le test de digue indique un débit de franchissement de 10 l/m/s au niveau du point H2 de la figure (Annexe B) pour le scénario de référence +20cm. L'extension de cette section sujette au franchissement par paquets de mer suit des calculs avec le test de digues (voir description dans le rapport des modélisations, section III.3.3.4). Les franchissements concernent une section le long de la promenade Henri Spriet, environ entre la place de cuirassé Courbet et la (prolongation de la) rue des Ombrages).



Figure 2-18: Photo prise le long de la promenade Henri Spriet à Hermanville-sur-Mer.

Les deux exutoires d'eau pluviale identifiés sur le territoire de Colleville-Montgomery et Hermanville sur-Mer seront également simulés comme entrées d'eau, à partir de 1 heure avant le pic de la tempête (points CM1 et H1 sur la carte en Annexe B, et photos ci-dessous).



Figure 2-19: Exutoire CM1 (proche de l'avenue du 4^{ième} copmmando)



Figure 2-20: Exutoire H1 (proche de l'avenue Felix Fauré)

2.1.5 Ville de Caen et communes hors-PPRL

Les hypothèses d'entrées d'eau définies aux paragraphes précédents se limitent aux communes PPRL (c'est-à-dire les communes littorales, pour lesquelles le PPRL est défini). Ainsi, il n'y a pas d'hypothèses sur les communes de Sallenelles et Ouistreham à Caen et Périers-en-Auge, qui seront intégrées dans le modèle de submersion.

Sur ces secteurs, la submersion se produira par surverse des berges et terrains bas.

Il est néanmoins possible de prendre en compte quelques hypothèses supplémentaires, pour agrandir l'étude de submersion marine et pour avoir des résultats plus réalistes. Dans ce cas, il est proposé de :

- Appliquer le critère de « brèche par surverse » à partir de 20cm de surverse sur l'ensemble des digues de l'Orne, le canal Caen-Ouistreham et la Dives (y compris les communes hors PPRL).
- Ouvrir les ouvrages de régulation des niveaux du canal de Caen-Ouistreham et de l'Orne, dès que ceux-ci sont surversés de plus de 20cm. Il s'agit des ouvrages suivants :
 - Le barrage de Montalivet sur l'Orne à Caen
 - Les Portes de l'Orne (à l'entrée du bassin Saint-Pierre)

Note : *puisque les ouvrages de régulation de l'Orne à Caen (cités ci-dessus) sont conçus pour évacuer les crues de l'Orne lors de fortes marées (et non pour retenir les niveaux extrêmes de mer), il est conseillé de prendre en compte leur effacement dans le modèle.*

Note : *Il est à présent impossible d'indiquer quelles zones seront effectivement surversées dans le modèle. Les niveaux d'eau en amont de rivières dépendent de plusieurs facteurs, et devront être modélisés.*

2.2 LE SCÉNARIO À ÉCHÉANCE DE 100 ANS

Le scénario à échéance de 100 ans est déterminé à partir de l'événement de référence prenant en compte l'élévation du niveau de la mer liée à l'impact du changement climatique, aboutissant à la cartographie de l'aléa à échéance 100 ans. Le niveau d'eau de l'événement de référence sera augmenté de 60 cm afin de prendre en compte les effets du changement climatique sur l'élévation du niveau d'eau sur une période de 100 ans. Pour le scénario à échéance 100 ans, la position du trait de côte à échéance 100 ans est à considérer.

Toutes les hypothèses d'entrées d'eau du scénario de référence sont reprises au scénario à échéance 100 ans. De plus, le recul du trait de côte est pris en compte. Ce recul consistera d'un recul moyen (sur les secteurs exposés à l'érosion à long terme) et ponctuel (calculé en conditions de référence partout) pour prendre en compte un événement majeur. Le recul peut introduire de plus fortes entrées d'eau au niveau des cordons et digues de faible largeur: effacement de la structure par l'érosion.

2.3 LE SCÉNARIO EN L'ABSENCE D'OUVRAGES

Le scénario en l'absence d'ouvrages, avec l'hypothèse de ruine généralisée de l'ensemble des ouvrages de protection, est déterminé à partir de l'événement de référence (niveau d'eau + 20cm). Ce scénario donnera lieu à une cartographie à titre indicatif.

Toutes les structures seront effacées pour ce scénario : aucune digue littorale, digue fluviale ni construction hydraulique ne sera simulé dans le modèle.

Note : *les ouvrages de protection des communes hors PPRL peuvent également être supprimés dans le modèle, mais n'est pas prévu. Le cas ou seulement les ouvrages dans les communes PPRL sont effacés est probablement le plus pénalisant. Il s'agit des berges de l'Orne, la Dives et le canal Caen-Ouistreham, ainsi que les ouvrages de régulation des eaux à Caen.*

3. LES HYPOTHÈSES RETENUS POUR LE TRI DIVES-ORNE

Dans le cadre des études TRI (Territoires à Risque d'Inondation) deux autres scénarios seront étudiés :

- **un scénario basé sur un événement fréquent**, de forte probabilité (**10 ans**) ;
- **un scénario extrême, basé sur un événement extrême**, de faible probabilité, supérieur à l'événement de référence (**1000 ans**).

Les hypothèses de brèches et plus en général les entrées d'eau seront présentées ci-après par scénario et par section homogène. Une carte avec indication des sections homogènes définies pour le secteur Dives-Orne se trouve en annexe A.

3.1 LE SCÉNARIO FRÉQUENT

Le scénario fréquent est basé sur un événement fréquent, de forte probabilité (10 ans).

Le scénario fréquent prend comme point de départ l'état actuel des digues et dunes. L'ensemble de la protection côtière est considéré comme fonctionnel, c'est-à-dire sans définition d'hypothèse de brèche forfaitaire par section homogène. Il est par ailleurs supposé que toutes les constructions hydrauliques et les exutoires d'évacuation des eaux des marais fonctionnent normalement. Quelques ouvrages hydrauliques ne sont pas conçus pour retenir les niveaux d'eau de mer, et seront donc ouverts dans le modèle (comme au scénario de référence). A noter :

- Les portes du port Guillaume à Dives-sur-Mer
- Les écluses de Ouistreham

Le test de digue est effectué pour tester les ouvrages rigides, et pour prendre en compte les éventuels débits de franchissements par paquets de mer. De manière générale, ces débits sont moins importants que les débits correspondants du scénario de référence.

Le test de dune est également effectué en conditions fréquentes. Ces conditions étant plus clémentes que les conditions de référence, le test de dunes ne met pas en évidence de grandes instabilités dans les dunes littorales. Il est donc proposé de ne pas simuler de brèches littorales au scénario du TRI.

Sur les digues fluviales, le critère de surverse et brèche par surverse est gardé. Ainsi, sur le secteur de l'Orne la rive droite de l'Orne et les marais de la presqu'île entre le canal et l'Orne seront inondées. Sur le secteur de la Dives les deux rives seront submergées par surverse des digues fluviales.

3.2 LE SCÉNARIO EXTRÊME

Le scénario extrême est basé sur un événement extrême, de faible probabilité, supérieur à l'événement de référence (1000 ans).

Il est supposé qu'aucun ouvrage ou système de protection contre la submersion marine ne tienne en conditions extrêmes. Toutes les digues, constructions hydrauliques et exutoires d'eau en mer seront effacés pour cette simulation.

Ce scénario diffère de celui de la ruine généralisée uniquement par les conditions aux limites, qui seront d'une période de retour de 1000 ans contre 100 ans au scénario de ruine généralisée.

4. RÉFÉRENCES

Alp'Géorisques & IMDC, 2014a. *Plan de Prévention de Risques littoraux : Bessin & Dives-Orne. Phase 1 : Analyse préalable des sites*. Rapport I/RA/12107/13.197/MCO v3.0

Alp'Géorisques & IMDC, 2014b. *Elaboration des Plans de Prévention des Risques Littoraux de Bessin et Dives-Orne. Phase 2 – Méthodologie et conditions hydrodynamiques*. Rapport I/RA/12107/14137/PHI.

ARTELIA (2013). *Etude de dangers des digues de l'estuaire de la Dives et du front de mer de Cabourg*. Rapport final.

ARTELIA & SCE (2013). *Etude de danger des digues de l'estuaire de la Dives de Dives sur Mer. Digues de la ville de Dives sur Mer*. Rapport des phases 3 et 4.

Créocéan (2011). *Diagnostic de sûreté de la digue est de la Dives entre le Pont de Cabourg et les vannes de Periers-en-Auge*.





Créocéan (2012) *Diagnostic de sûreté de la digue est de la Dives au Nord du pont de Cabourg*.

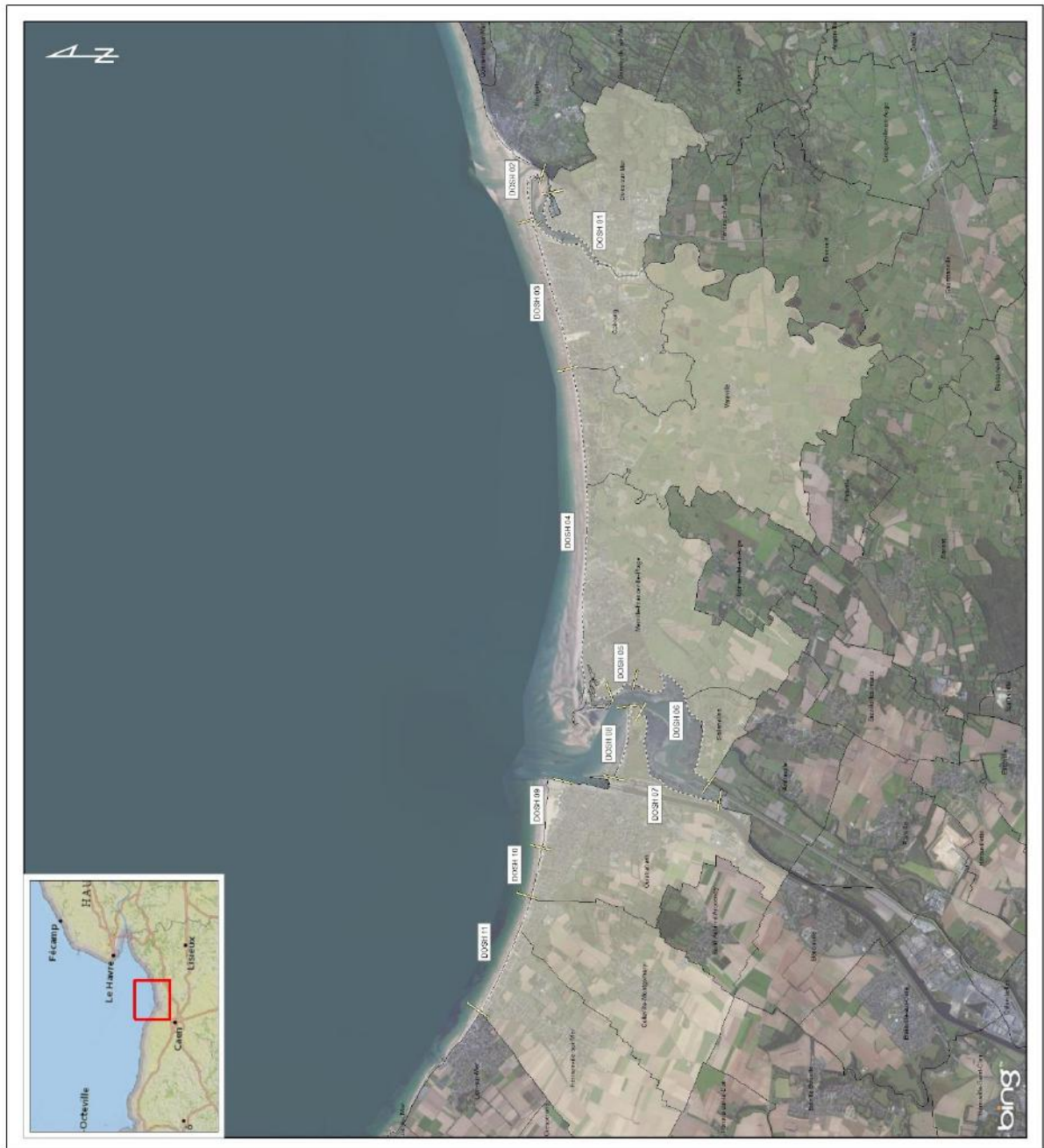
DGPR du MEDDTL, 2013. *Guide méthodologique : Plan de prévention des risques littoraux, version décembre 2013*.

Grontmij (2013). *TRI Dives – Ouistreham : cartes de phénomènes et ouvrages*, transmis en 2013.

Le Pays d'Auge, 2014. *Varaville, Une brèche se forme dans la berge de la Dives*. Le Pays d'Auge, Edition LITTORAL, 07.01.2014.

Annexe A Carte sections homogène Dives-Orne

 République Française Préfecture de Calvados	Cartographie des aléas littoraux dans le cadre des futurs PPRL Bessin et Dives-Orne	Zones Homogènes Dives-Orne	12107_012_140428_zoneshomogenes_DivesOrne_rev_B 6/05/2014 Rapport n° Carte 12  Couverture: 15 250 Avenue BP 203 14100 Dives sur Mer Email: M.C@imdc.fr
Légende  Zones homogènes		 0 1 2 3 4 km	



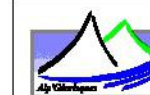
Annexe B Cartes hypothèses

**Cartographie des aléas littoraux
dans le cadre des futurs PPRL
Bessin et Dives-Orne**

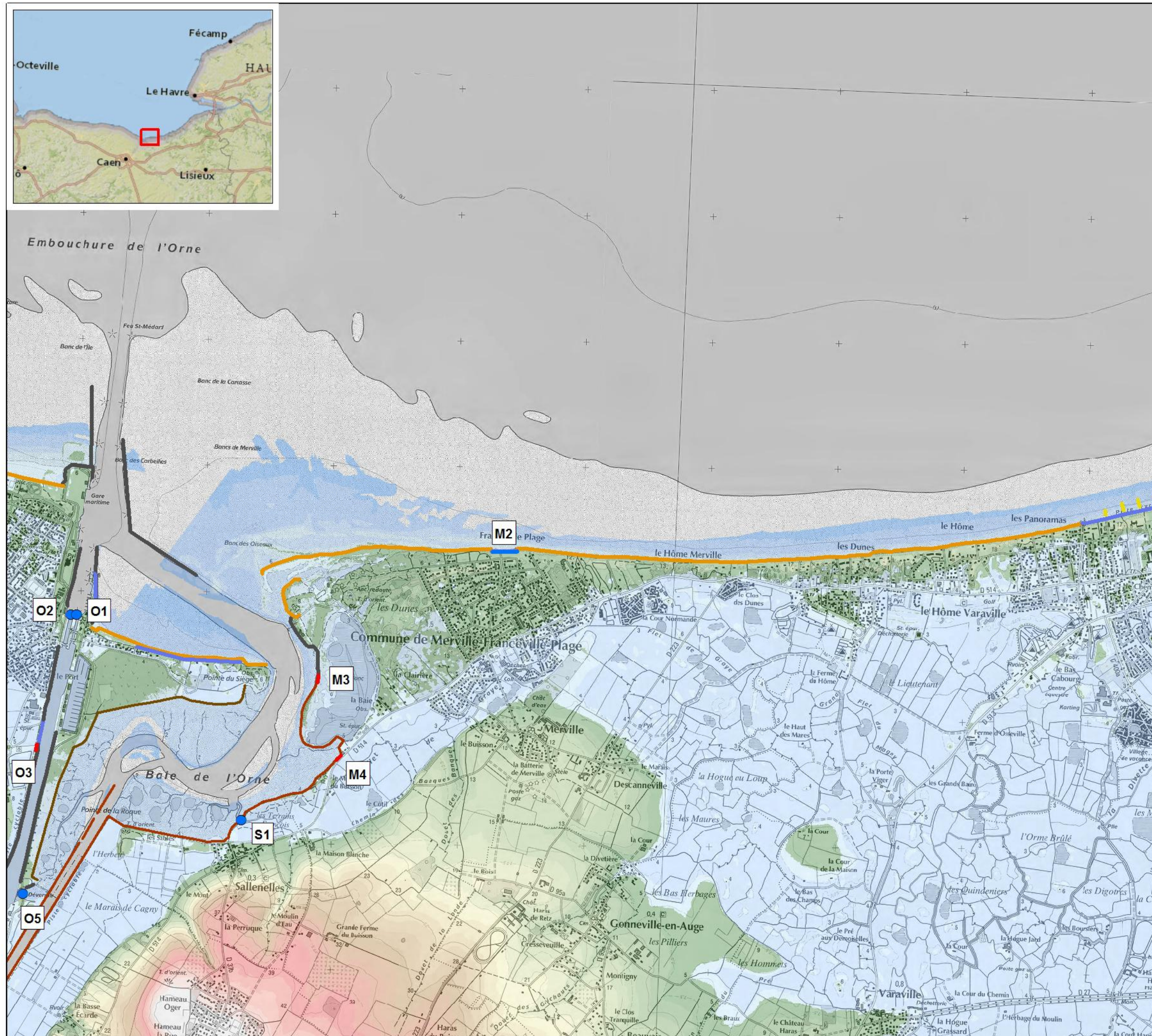
**Marais de la Dives,
la Divette et de l'Orne**

12107_027_150409_Marais_Dives_Divette_Orne
Rapport nr.

9/04/2015
Carte 27



Coveliersstraat 15
2600 Antwerpen
Tel +32 3 270 92 20
Fax +32 3 235 67 11
E-mail: info@imdc.be



Légende

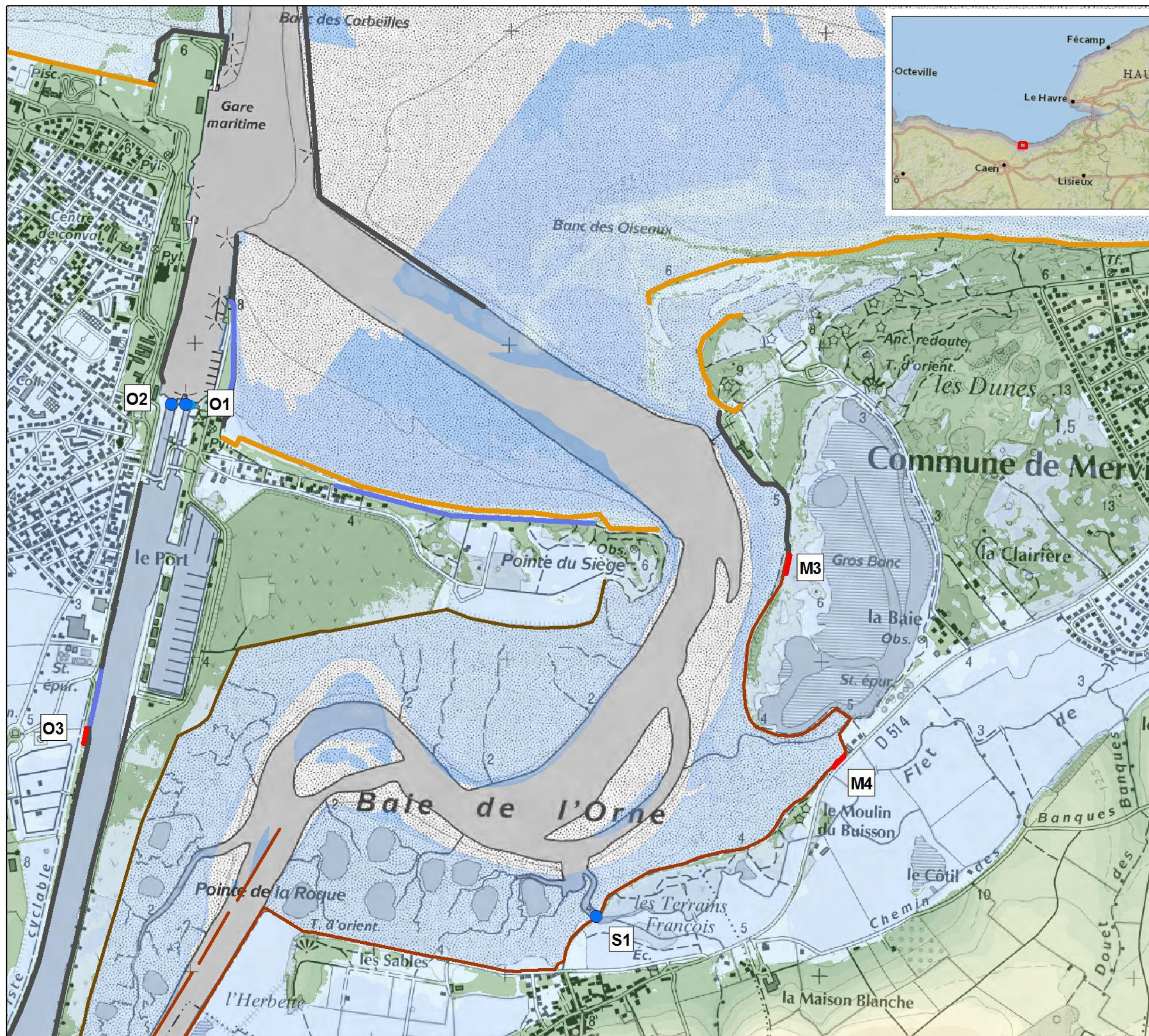
- Construction hydraulique
- Défaillance d'ouvrage hydraulique
- Défaillance d'exutoire
- Hypothèse de brèche
- Franchissements par paquets de mer
- Digue en terre
- Remblai sableux / en terre
- Perré maçonné ou en béton
- Dune
- Enrochement
- Epis
- Exutoire
- Falaise
- Perré
- Quai - Port



Litto3D [m IGN69]

-1.74 - 0.00	+16.01 - +18.00	+34.01 - +36.00
+0.01 - +2.00	+18.01 - +20.00	+36.01 - +38.00
+2.01 - +4.00	+20.01 - +22.00	+38.01 - +40.00
+4.01 - +5.08	+22.01 - +24.00	+40.01 - +42.00
+5.09 - +8.00	+24.01 - +26.00	+42.01 - +44.00
+8.01 - +10.00	+26.01 - +28.00	+44.01 - +46.00
+10.01 - +12.00	+28.01 - +30.00	+46.01 - +48.00
+12.01 - +14.00	+30.01 - +32.00	+48.01 - +50.00
+14.01 - +16.00	+32.01 - +34.00	

0 500 1,000 1,500 2,000 M



**Cartographie des aléas littoraux
 dans le cadre des futurs PPRL
 Bessin et Dives-Orne**

**Zones basses de
 l'embouchure de l'Orne**

12107_028_150409_Embouchure_de_l'Orne
 Rapport nr.

9/04/2015
 Carte 28



Coveliersstraat 15
 2600 Antwerpen
 Tel +32 3 270 92 20
 Fax +32 3 235 67 11
 E-mail: info@imdc.be

Légende

- Construction hydraulique
- Défaillance d'ouvrage hydraulique
- Défaillance d'exutoire
- Hypothèse de brèche
- Franchissements par paquets de mer
- Digue en terre
- Remblai sableux / en terre
- Perré maçonné ou en béton
- Dune
- Enrochement
- Epis
- Exutoire
- Falaise
- Perré
- Quai - Port



Litto3D [m IGN69]

-1.74 - 0.00	+16.01 - +18.00	+34.01 - +36.00
+0.01 - +2.00	+18.01 - +20.00	+36.01 - +38.00
+2.01 - +4.00	+20.01 - +22.00	+38.01 - +40.00
+4.01 - +5.08	+22.01 - +24.00	+40.01 - +42.00
+5.09 - +8.00	+24.01 - +26.00	+42.01 - +44.00
+8.01 - +10.00	+26.01 - +28.00	+44.01 - +46.00
+10.01 - +12.00	+28.01 - +30.00	+46.01 - +48.00
+12.01 - +14.00	+30.01 - +32.00	+48.01 - +50.00
+14.01 - +16.00	+32.01 - +34.00	





Cartographie des aléas littoraux dans le cadre des futurs PPRL Bessin et Dives-Orne

Zones basses de Ouistreham, Colleville et hermanville

12107_029_150409_Ouistreham_Colleville_et_Hermanville 9/04/2015
 Rapport nr. Carte 29

Coveliersstraat 15
 2600 Antwerpen
 Tel +32 3 270 92 20
 Fax +32 3 235 67 11
 E-mail: info@imdc.be

Légende

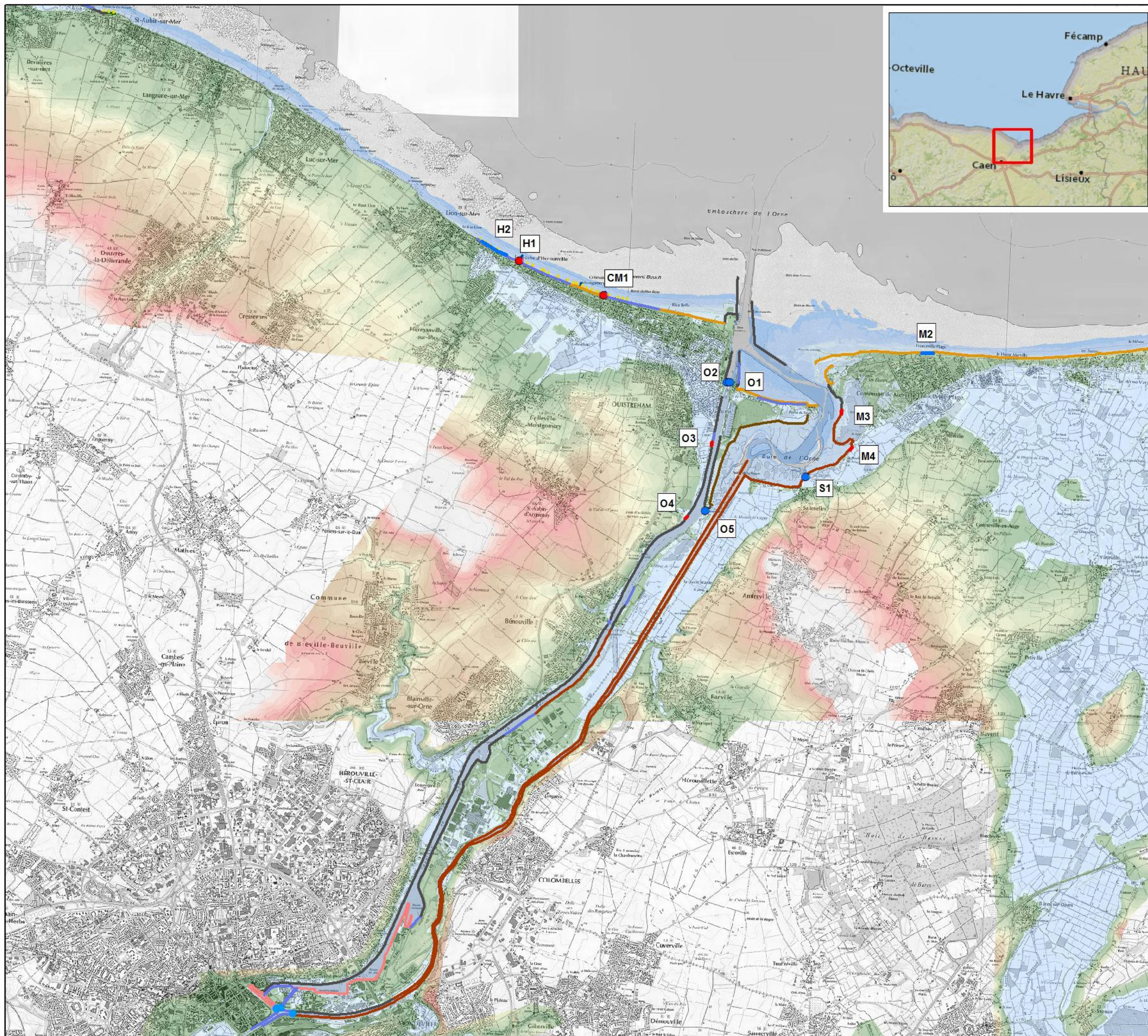
- Construction hydraulique
- Défaillance d'ouvrage hydraulique
- Défaillance d'exutoire
- Hypothèse de brèche
- Franchissements par paquets de mer
- Digue en terre
- Remblai sableux / en terre
- Perré maçonné ou en béton
- Dune
- Enrochement
- Epis
- Exutoire
- Falaise
- Perré
- Quai - Port



Litto3D [m IGN69]

-1.74 - 0.00	+16.01 - +18.00	+34.01 - +36.00
+0.01 - +2.00	+18.01 - +20.00	+36.01 - +38.00
+2.01 - +4.00	+20.01 - +22.00	+38.01 - +40.00
+4.01 - +5.08	+22.01 - +24.00	+40.01 - +42.00
+5.09 - +8.00	+24.01 - +26.00	+42.01 - +44.00
+8.01 - +10.00	+26.01 - +28.00	+44.01 - +46.00
+10.01 - +12.00	+28.01 - +30.00	+46.01 - +48.00
+12.01 - +14.00	+30.01 - +32.00	+48.01 - +50.00
+14.01 - +16.00	+32.01 - +34.00	





Cartographie des aléas littoraux dans le cadre des futurs PPRL Bessin et Dives-Orne

Zones basses autour du Canal de Caen à la Mer

12107_038_150409_Canal_de_Caen Rapport nr. 9/04/2015 Carte 38

Coveliersstraat 15
2600 Antwerpen
Tel +32 3 270 92 20
Fax +32 3 235 67 11
E-mail: info@imdc.be

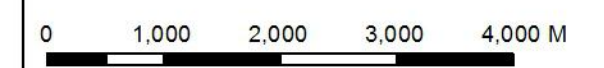
Légende

- Construction hydraulique
- Défaillance d'ouvrage hydraulique
- Défaillance d'exutoire
- Hypothèse de brèche
- Franchissements par paquets de mer
- Digue en terre
- Remblai sableux / en terre
- Perré maçonné ou en béton
- Dune
- Enrochement
- Epis
- Exutoire
- Falaise
- Perré
- Quai - Port



Litro3D [m IGN69]

-1.74 - 0.00	+16.01 - +18.00	+34.01 - +36.00
+0.01 - +2.00	+18.01 - +20.00	+36.01 - +38.00
+2.01 - +4.00	+20.01 - +22.00	+38.01 - +40.00
+4.01 - +5.08	+22.01 - +24.00	+40.01 - +42.00
+5.09 - +8.00	+24.01 - +26.00	+42.01 - +44.00
+8.01 - +10.00	+26.01 - +28.00	+44.01 - +46.00
+10.01 - +12.00	+28.01 - +30.00	+46.01 - +48.00
+12.01 - +14.00	+30.01 - +32.00	+48.01 - +50.00
+14.01 - +16.00	+32.01 - +34.00	

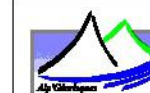


Cartographie des aléas littoraux dans le cadre des futurs PPRL Bessin et Dives-Orne

Marais de la Dives

12107_039_150318_Marais_de_la_Dives
Rapport nr.

18/03/2015
Carte 39



Coveliersstraat 15
2600 Antwerpen
Tel +32 3 270 92 20
Fax +32 3 235 67 11
E-mail: info@imdc.be

Légende

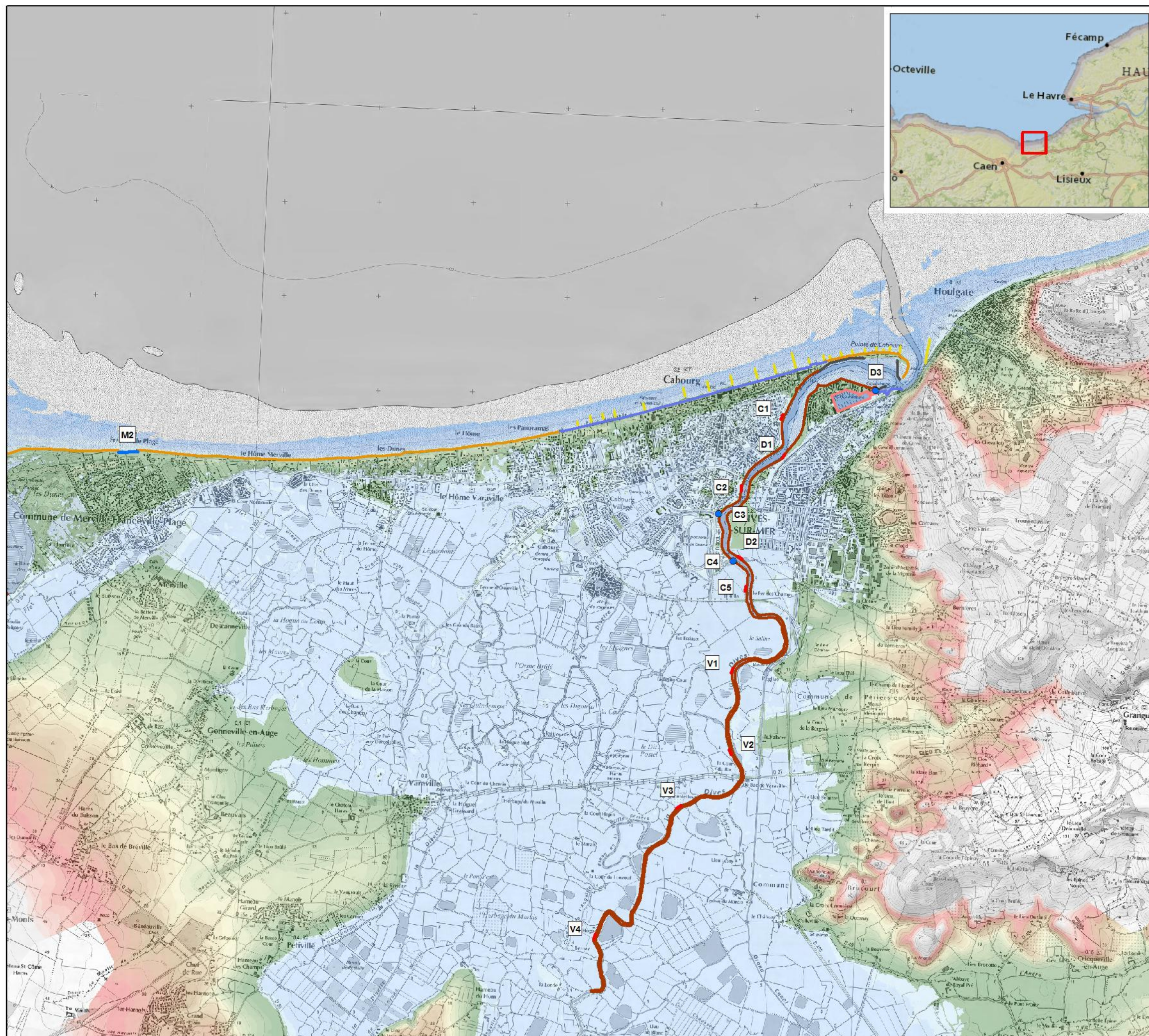
- Construction hydraulique
- Défaillance d'ouvrage hydraulique
- Défaillance d'exutoire
- Hypothèse de brèche
- Franchissements par paquets de mer
- Digue en terre
- Perré maçonné ou en béton
- Dune
- Enrochement
- Epis
- Exutoire
- Falaise
- Quai - Port



Litto3D [m IGN69]

-1.74 - 0.00	+16.01 - +18.00	+34.01 - +36.00
+0.01 - +2.00	+18.01 - +20.00	+36.01 - +38.00
+2.01 - +4.00	+20.01 - +22.00	+38.01 - +40.00
+4.01 - +5.08	+22.01 - +24.00	+40.01 - +42.00
+5.09 - +8.00	+24.01 - +26.00	+42.01 - +44.00
+8.01 - +10.00	+26.01 - +28.00	+44.01 - +46.00
+10.01 - +12.00	+28.01 - +30.00	+46.01 - +48.00
+12.01 - +14.00	+30.01 - +32.00	+48.01 - +50.00
+14.01 - +16.00	+32.01 - +34.00	

0 1,000 2,000 3,000 M

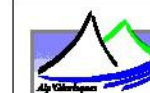


**Cartographie des aléas littoraux
dans le cadre des futurs PPRL
Bessin et Dives-Orne**

**Zones basses de Dives et Orne
Carte synthèse**

12107_040_150409_Dives_Orne_synthese
Rapport nr.

9/04/2015
Carte 40



Coveliersstraat 15
2600 Antwerpen
Tel +32 3 270 92 20
Fax +32 3 235 67 11
E-mail: info@imdc.be

Légende

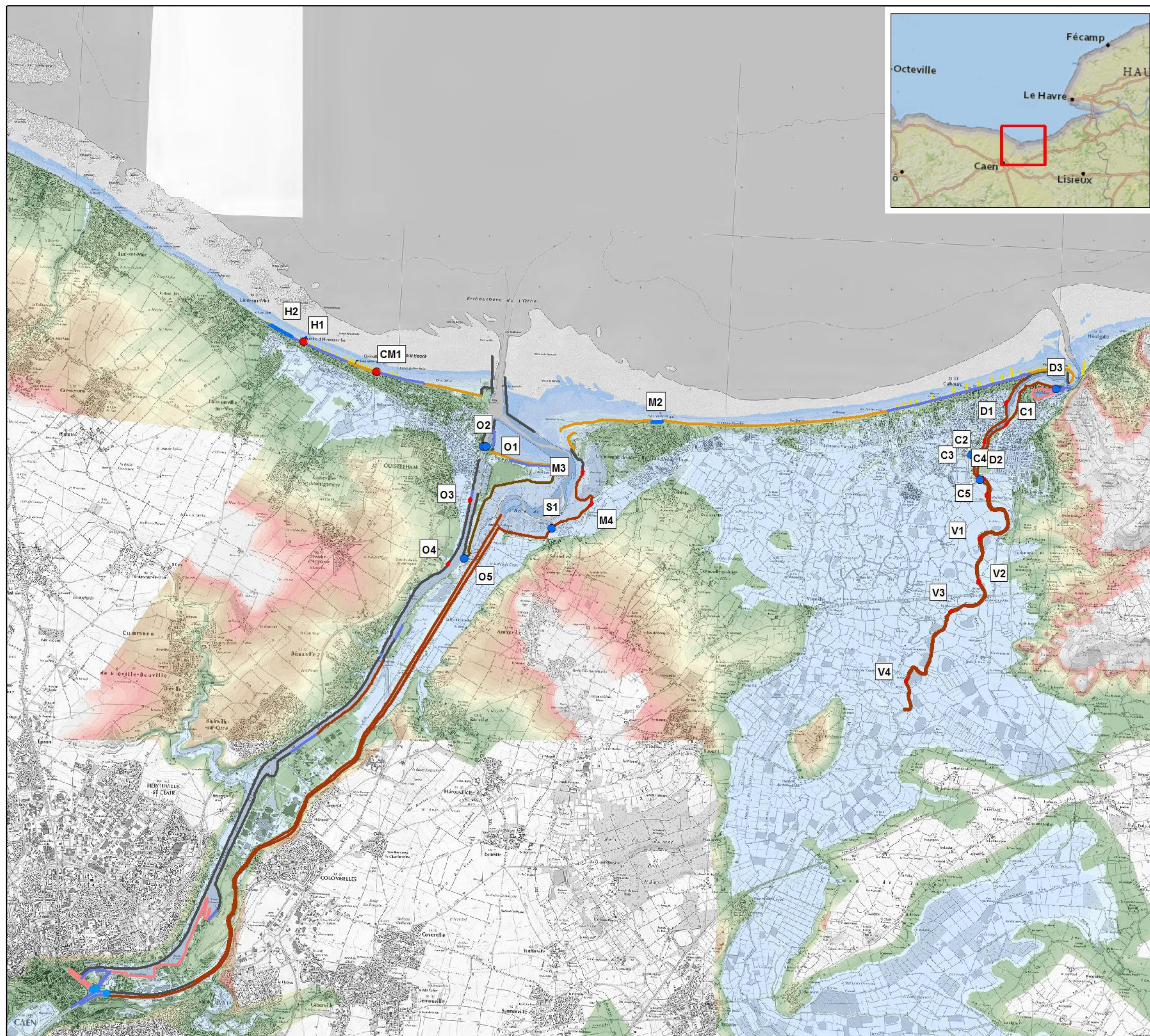
- Construction hydraulique
- Défaillance d'ouvrage hydraulique
- Défaillance d'exutoire
- Hypothèse de brèche
- Franchissements par paquets de mer
- Digue en terre
- Remblai sableux / en terre
- Perré maçonné ou en béton
- Dune
- Enrochement
- Epis
- Exutoire
- Falaise
- Perré
- Quai - Port



Litto3D [m IGN69]

-1.74 - 0.00	+16.01 - +18.00	+34.01 - +36.00
+0.01 - +2.00	+18.01 - +20.00	+36.01 - +38.00
+2.01 - +4.00	+20.01 - +22.00	+38.01 - +40.00
+4.01 - +5.08	+22.01 - +24.00	+40.01 - +42.00
+5.09 - +8.00	+24.01 - +26.00	+42.01 - +44.00
+8.01 - +10.00	+26.01 - +28.00	+44.01 - +46.00
+10.01 - +12.00	+28.01 - +30.00	+46.01 - +48.00
+12.01 - +14.00	+30.01 - +32.00	+48.01 - +50.00
+14.01 - +16.00	+32.01 - +34.00	

0 1,000 2,000 3,000 4,000 M



Annexe B: Cartes du scénario de référence + 0.20 m

Annexe C: Cartes du scénario de ruine généralisée

Annexe D: Cartes du scénario à échéance 100 ans

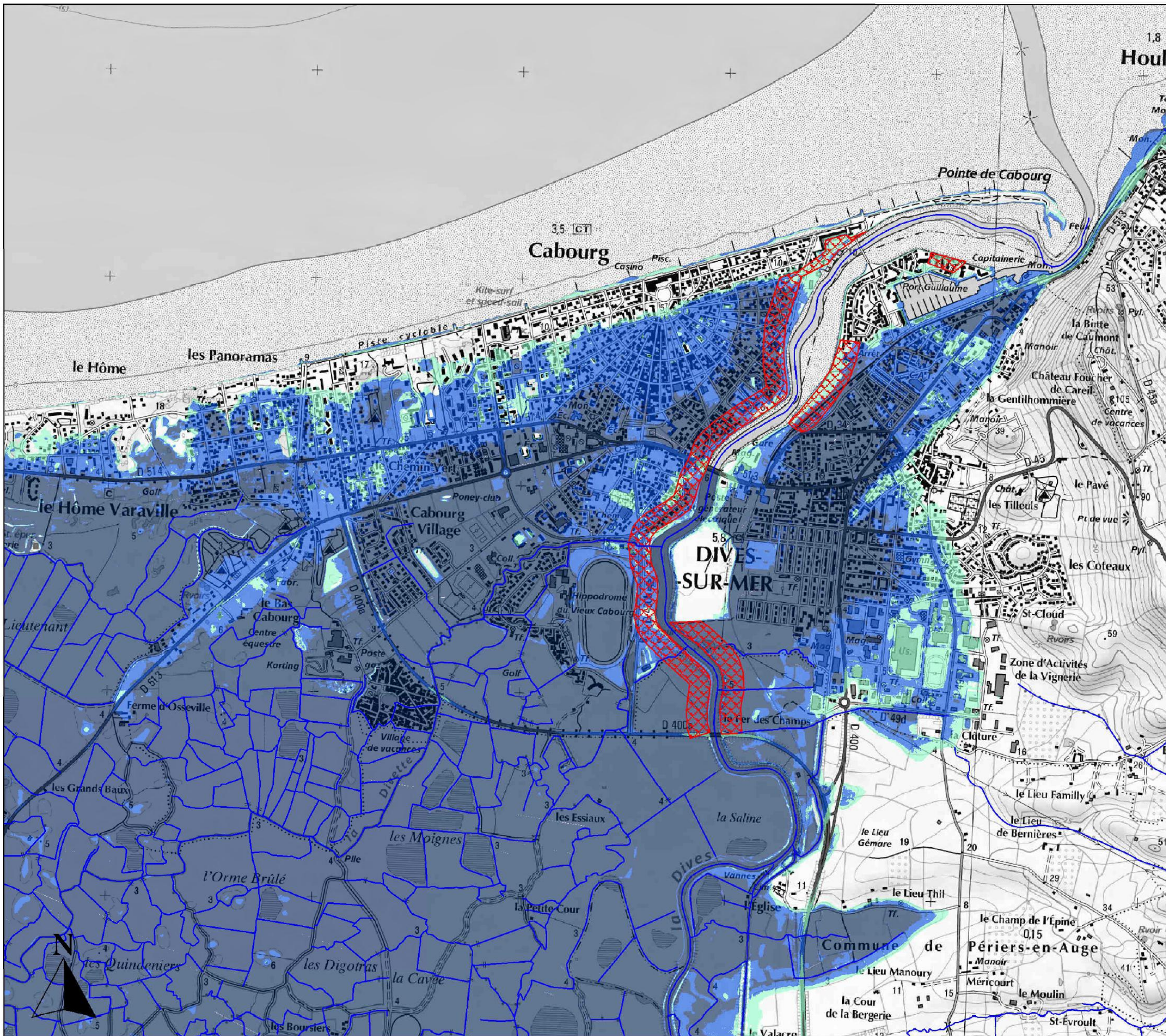
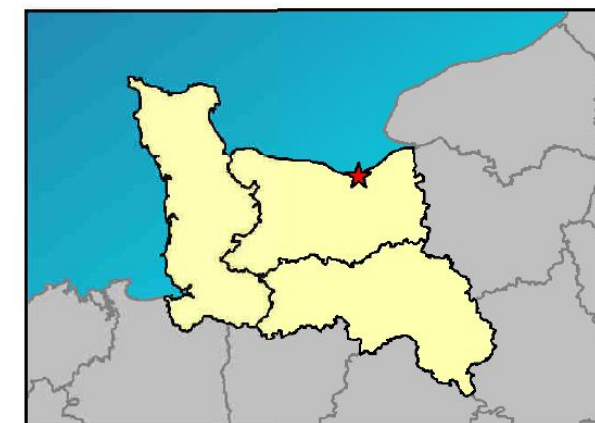
Annexe E: Cartes du scénario fréquent

Annexe F: Cartes du scénario extrême

Annexe G: Cartes ZNM 2013

Atlas régional des zones sous le niveau marin

Etat de la connaissance au : 07/06/2013

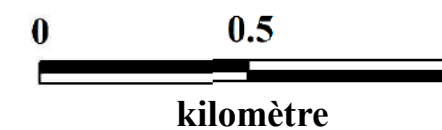


Cabourg

Code INSEE : 14117

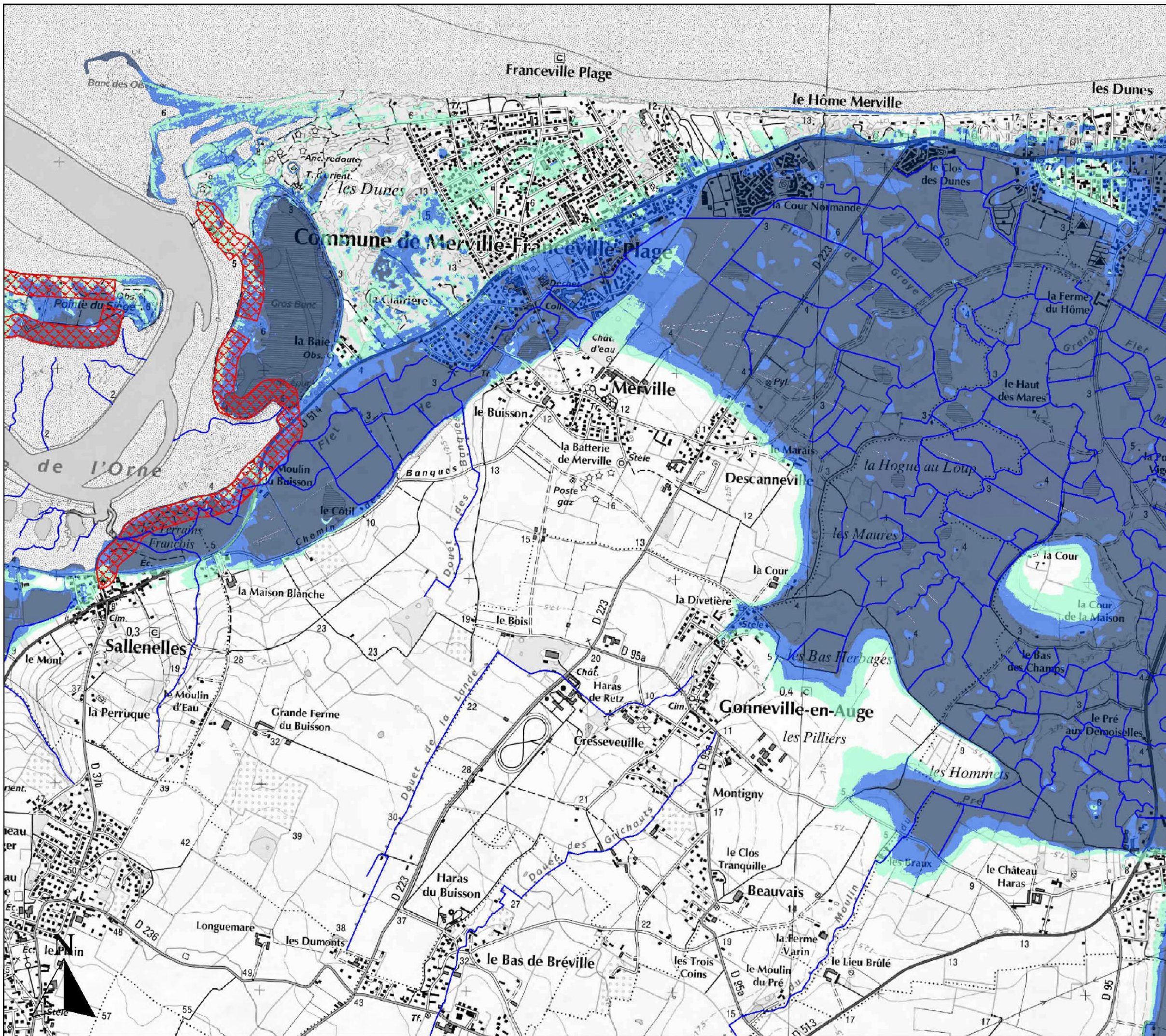
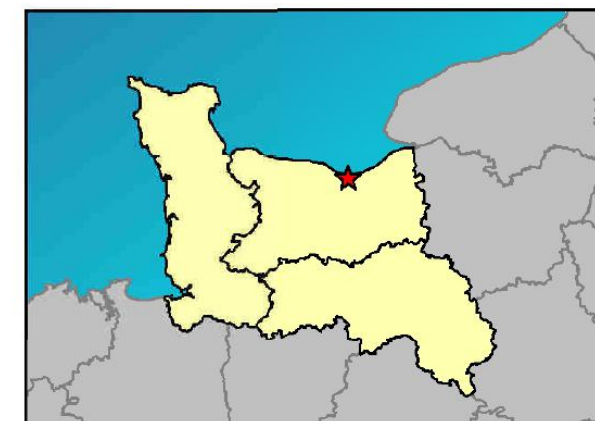
Niveau marin de référence :
5,1 m IGN69

-  Zones situées moins d'un mètre au-dessous du niveau marin de référence
-  Zones situées au-dessous du niveau marin de référence
-  Zones situées plus d'un mètre au-dessous du niveau marin de référence
-  Bande de précaution derrière un ouvrage ou un cordon dunaire jouant un rôle de protection contre les submersions
-  Cours d'eau



Atlas régional des zones sous le niveau marin

Etat de la connaissance au : 07/06/2013

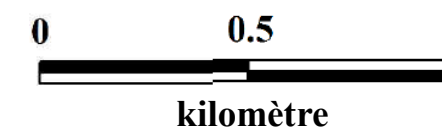


Merville-Franceville-Plage

Code INSEE : 14409

Niveau marin de référence :
4,7 - 5,1 m IGN69

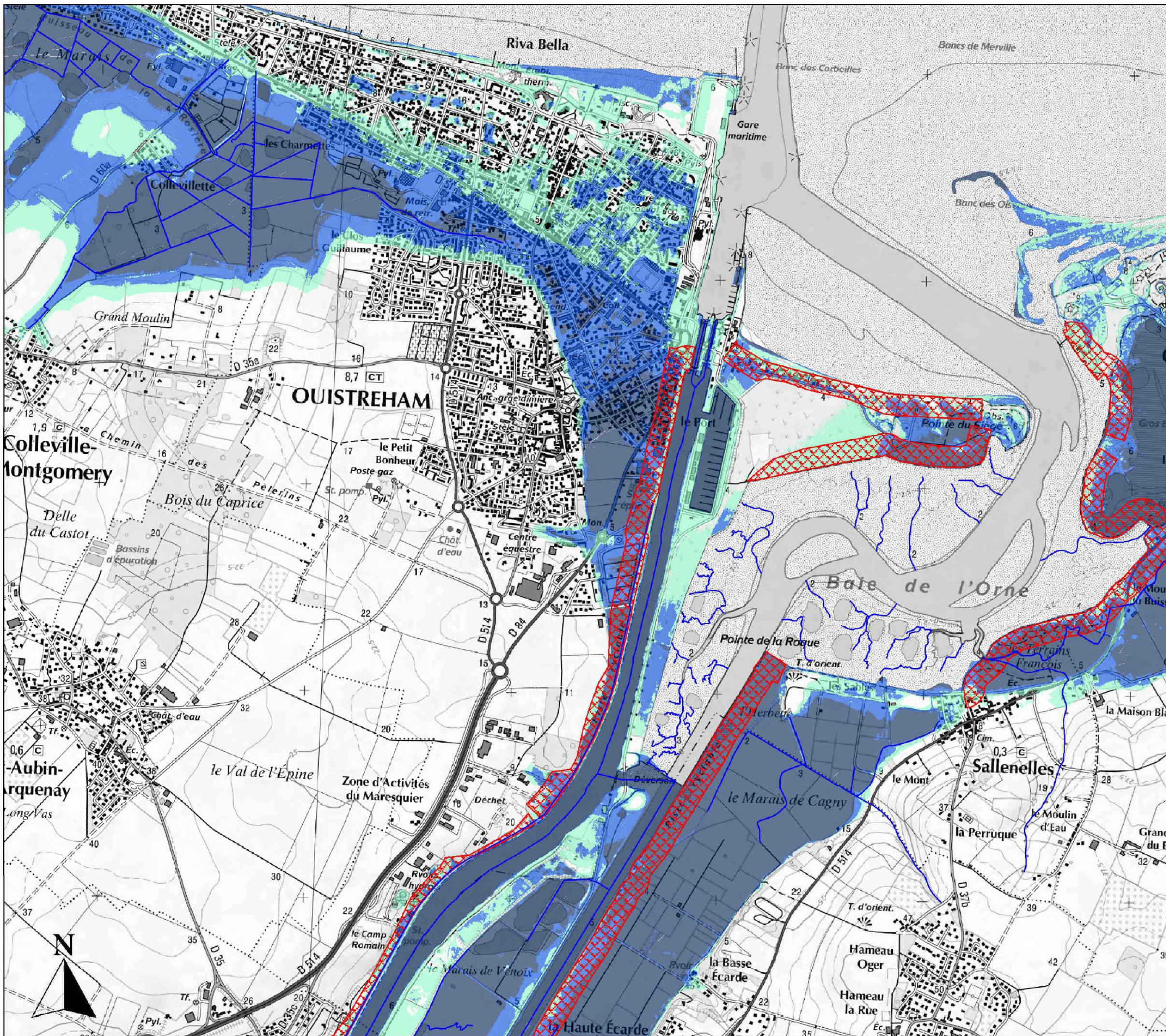
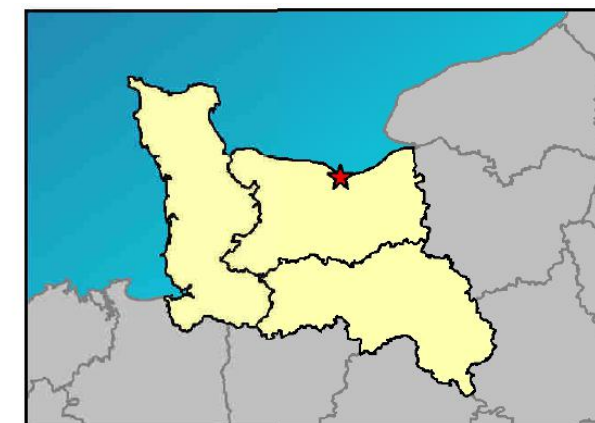
-  Zones situées moins d'un mètre au-dessous du niveau marin de référence
-  Zones situées au-dessous du niveau marin de référence
-  Zones situées plus d'un mètre au-dessous du niveau marin de référence
-  Bande de précaution derrière un ouvrage ou un cordon dunaire jouant un rôle de protection contre les submersions
-  Cours d'eau



Sources :
© DREAL Basse-Normandie
© DDTM14 et DDTM50
© IGN

Atlas régional des zones sous le niveau marin

Etat de la connaissance au : 07/06/2013

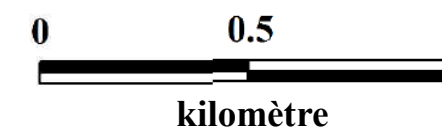


Ouistreham

Code INSEE : 14488

Niveau marin de référence :
4,7 m IGN69

- Zones situées moins d'un mètre au-dessous du niveau marin de référence
- Zones situées au-dessous du niveau marin de référence
- Zones situées plus d'un mètre au-dessous du niveau marin de référence
- Bande de précaution derrière un ouvrage ou un cordon dunaire jouant un rôle de protection contre les submersions
- Cours d'eau



Sources :
© DREAL Basse-Normandie
© DDTM14 et DDTM50
© IGN

Annexe H: Cartes de l'aléa érosion

Annexe I: Cartes de l'aléa migration dunaire