4.2 Hydrologie

Les données analysées dans ce chapitre sont celles de la station Météo-France de Caen-Carpiquet sur la période 1981-2010 pour les données générales et 1967-2012 pour les données statistiques.

4.2.1 Données générales

Les mois les plus pluvieux de l'année sont, sans surprise, les mois d'Octobre à Décembre avec des cumuls dépassant les 70 mm par mois. Le cumul précipité sur ces 3 mois représente 30 % du cumul total annuel.

Si le mois de Janvier présente une hauteur précipitée moyenne assez importante (~66 mm), les autres mois varient entre 50 et 60 mm de précipitation moyenne. Le graphique suivant représente les hauteurs de précipitations moyennes par mois entre 1981 et 2010.

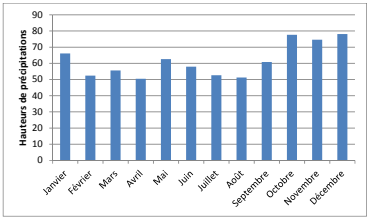


Figure 7 : Hauteurs moyenne de précipitations (source : Météo France 1981-2010)

4.2.2 Pluies extrêmes et pluies de projet

La station de Caen-Carpiquet a enregistré sur la période du 13/10/1944 au 02/03/2016 des records de précipitation quotidienne. Le tableau et le graphique suivants représentent ces records enregistrés.

	Hauteur quotidienne maximale (mm)	Année
Janvier	31	1958
Février	38.7	1950
Mars	28.7	1986
Avril	36	2014
Mai	29.8	2009
Juin	93	2006
Juillet	86.2	1978
Août	50.3	1975
Septembre	42.8	1973
Octobre	82.1	1955
Novembre	57.5	1961
Décembre	40.6	1978

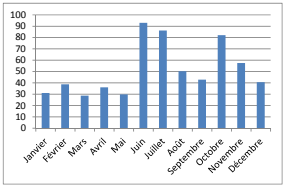


Figure 8 : Records de précipitation quotidienne enregistrés (source : Météo France)

A la lecture de ce graphique, les records se trouvent au mois de Juin, Juillet et Octobre avec des hauteurs quotidiennes dépassant les 80 mm.

Les coefficients de Montana permettant de construire des pluies de projet en vue du dimensionnement des aménagements prévu dans la suite de l'étude sont présentés dans le tableau suivant :

$$h(t) = a \times t^{1-b}$$

Coefficients de Montana pour des pluies de durée de 6 minutes à 6 heures

	a	b
1 an		
5 ans		
10 ans		
20 ans		
50 ans		
80 ans		
100 ans		

Figure 9 : Coefficients de Montana (source : Météo France 1967-2012)

Suite à la réunion de concertation avec, entre autre, les services de l'État, les prescriptions de la DDTM en matière de gestion des eaux pluviales sur le site sont une gestion des eaux pluviales jusqu'à l'occurrence décennale.

Le tableau suivant présente les hauteurs de pluie calculées pour l'occurrence décennale pour un temps d'averse allant de 6 minutes à 6 heures.

Temps (min)	Hauteur précipitée (mm)
6	11.5
15	16.0
30	20.5
60	26.3
120	33.8
180	39.1
360	50.3
720	64.6

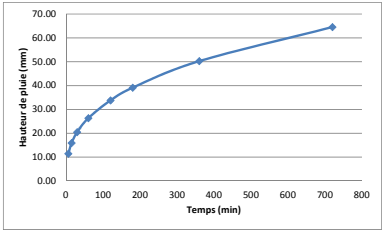


Figure 10 : Pluies décennales - hauteurs précipitées (à partir des coefficients de Montana)

Ces hauteurs de pluies serviront pour le dimensionnement des ouvrages de collecte et éventuellement de stockage qui aura lieu dans la phase 2 de la présente étude.

4.3 Hydrographie

4.3.1 Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique du secteur d'étude est constitué par :

- l'Orne ;
- le canal de Caen à la Mer ;
- le Biez qui traverse le site de Mondeville.

La figure suivante localise ce réseau hydrographique.

Figure 11 : Réseau hydrographique

Les caractéristiques de l'Orne à May-sur-Orne (en amont du barrage de Montalivet) sont présentées dans la figure ci-dessous :

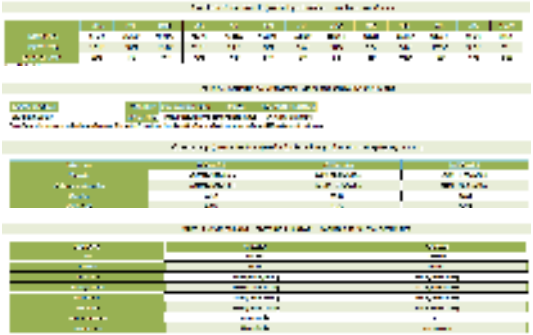


Figure 12 : Caractéristiques quantitatives de l'Orne à May-sur-Orne

Ce tableau synthétise :

- Les écoulements mensuels naturels : ces données sont des moyennes mensuelles calculées sur 33 années d'enregistrement continue) ;
- Les modules interannuels (moyennes annuelles) calculées sur 33 années :
  - **module** : le module (interannuel) désigne le débit moyen annuel (pluriannuel ou interannuel) en un point d'un cours d'eau (moyenne évaluée sur une période d'observations suffisamment longue pour être représentative).
- Les données sur les basses eaux calculées sur 33 années :
  - **QMNA5** : calculé sur plusieurs années comme le QMNA médian à partir d'un ajustement à une loi statistique, le QMNA5 est le débit mensuel minimal annuel de fréquence quinquennale sèche (ayant une probabilité 1/5 (chaque année) de ne pas être dépassé).
  - **QMNA médian** : débit mensuel minimal annuel, c'est le plus faible des débits des 12 débits mensuels d'une année civile. Le QMNA médian, calculé sur plusieurs années, est donc établi à partir de mois différents (ex. septembre 2013, août 2014, octobre 2015, septembre 2016…).
- Les données sur les crues calculées sur 33 années. Ces données sont calculées en fonction d'une fréquence d'apparition :
  - **QIX** correspond à un calcul de crue utilisant les débits instantanés maximaux mensuels en entrée.
  - **QJ** correspond à un calcul de crue utilisant les débits journaliers en entrée

Il n'existe pas de station de mesures sur le Biez.

4.3.2 Barrage de Montalivet

Le barrage de l'Orne a été construit en 1908. Il a pour double objectif de réguler les effets de la marée et de maintenir un niveau d'eau minimum pour l'alimentation du canal et du bassin portuaire de Caen.

Figure 13 : Vues sur le barrage de Montalivet (1908 – 2016)

En situation normale et en période de basses eaux, le barrage de Montalivet et les 2 vannes situées à l'entrée du bassin Saint-Pierre laissent passer une fraction du débit de l'Orne permettant d'alimenter le bassin et le canal en le maintenant à la cote maritime de 7.80 CMH. Le débit moyen nécessaire dans le canal est de 1.7 à 3 m³/s.

Le barrage de Montalivet est utilisé pour réguler le niveau d'eau du canal maritime de l'Orne en prélevant les eaux du fleuve. Il empêche l'eau salée de remonter plus en amont. Le débit réservé de l'estuaire à l'aval du barrage est de 2.4 m³/s.

5 Risque inondation

5.1 Plan de Prévention des Risques Inondation

5.1.1 Sectorisation

Le secteur d'étude est concerné par le Plan de prévention des risques inondation de la basse vallée de l'Orne.

La figure suivante représente les zones délimitées du PPRi :

Figure 14 : Cartographie du PPRi

5.1.2 Règlement

Le règlement du PPRi est présenté en annexe du présent rapport.

Les paragraphes suivants explicitent les différentes zones.

5.1.2.1 Zone rouge foncée

Cette zone correspond :

- aux zones bâties ou non bâties soumises aux aléas les plus forts ;
- aux zones localisées directement derrière une digue et pouvant subir des dommages importants en cas de rupture ou de submersion de celle-ci.

Dans ces zones, la protection des personnes et des biens y est primordiale. En conséquence, l'inconstructibilité est quasi totale et la capacité d'écrêtement des crues sur les secteurs encore non bâtis doit être préservée.

5.1.2.2 Zone rouge clair

Cette zone correspond à des secteurs naturels soumis à des aléas faibles à forts susceptibles de servir de champs d'expansion de la crue.

Ces zones sont déjà classées, le plus souvent, en espaces naturels à conserver dans les documents d'urbanisme (PLU, SCoT).

Dans cette zone, le principe général est le maintien de la capacité de stockage des champs d'expansion de crue par conséquent, l'inconstructibilité sur cette zone est quasi totale.

5.1.2.3 Zone jaune

Cette zone correspond aux zones urbanisées, ou qui ont vocation à l'être, **qui sont protégées de la crue centennale par les travaux de lutte contre les inondations**. Le développement y est autorisé mais des mesures de préservation de la sécurité des personnes et des biens sont prescrites au regard de la vulnérabilité de ces derniers, notamment dans le cas d'un dysfonctionnement d'ouvrage.

5.1.2.4 Zone bleue

Cette zone correspond à des secteurs urbanisés qui ne sont pas les plus exposés au risque d'inondation où un développement conditionnel peut être admis sous respect de certaines prescriptions.

5.1.3 Impact du projet vis-à-vis du PPRi

L'urbanisation du site Caennais est principalement concernée par le secteur jaune du PPRi.

Cette zone correspond aux zones urbanisées, ou qui ont vocation à l'être, qui sont protégées de la crue centennale par les travaux de lutte contre les inondations.

En effet, le secteur est protégé par la digue Caffarelli.

La digue fait l'objet d'une prescription formelle (Déclaration d'Utilité Publique DUP du 29/01/01 et arrêté complémentaire du 07/08/03) lui donnant un objectif de protection contre les crues de période de retour centennales.

L'étude de danger de la digue de Caffarelli (Octobre2015), stipule que :

« La cote de la crue de période de retour centennale varie de 5.12 m NGF en amont au droit du barrage de Montalivet à 4.85m NGF au droit de la station d'épuration du Nouveau Monde (selon modélisation reprise par SOGREAH après réalisation des ouvrages de lutte contre les inondations). On note dans cette portion de l'Orne située à l'aval du barrage de Montalivet que le niveau de l'eau est également influencé par la marée. Les niveaux d'eaux présentés ci-dessus correspondent à un coefficient de marée de 90. »

Le couplage coefficient de marée moyen de 90 / débit centennal de l'Orne correspondant au niveau de protection attendu par les services de l'Etat.

Dans cette étude, il est également stipulé que le niveau de protection le plus bas de cette digue est de 5.15 mNGF, ce qui place l'ensemble du secteur du site Caennais hors de la zone inondable par crue centennale de l'Orne lors d'une marée moyenne.

Le règlement du PPRi, présenté en annexe stipule que l'urbanisation y est autorisée sous conditions :

- la cote du premier plancher habitable soit supérieure à 0,20 m de la cote de référence ;
- les couloirs d'écoulements doivent être préservés ;
- les réseaux techniques intérieurs des constructions soient équipés d'un dispositif de mise hors service automatique ou seront installés au moins à 0,20 m au dessus de la cote de référence ;
- les parties de constructions réalisées sous la cote du terrain naturel et en premier lieu les sous-sols soient conçus de façon à limiter les effets de dégradation des eaux (enveloppe étanche par exemple, dispositif de protection des ouvertures pour éviter la submersion) et que les utilisateurs soient dûment avertis des dispositions à prendre en cas de crue liée à un dysfonctionnement d'ouvrage notamment ;
- les chaudières, les citernes, enterrées ou non, et les citernes sous pression, ainsi que tous les récipients contenant des hydrocarbures, du gaz, des engrais liquides, des pesticides et, d'une façon générale, des produits dangereux ou polluants soient fixés et situés au moins à 0,20 m au dessus de la cote de référence.

L'urbanisation du site hérouvillais n'est concerné par aucune zone du PPRi ; la friche, étant surélevée protège ce secteur des débordements de l'Orne.

L'urbanisation du site Mondevillais est principalement concernée par le secteur jaune du PPRi :

Le règlement, présenté en annexe stipule que l'urbanisation y est autorisée sous conditions :

- la cote du premier plancher habitable soit supérieure à 0,20 m de la cote de référence ;
- les réseaux techniques intérieurs des constructions soient équipés d'un dispositif de mise hors service automatique ou seront installés au moins à 0,20 m au dessus de la cote de référence ;
- les parties de constructions réalisées sous la cote du terrain naturel et en premier lieu les sous-sols soient conçus de façon à limiter les effets de dégradation des eaux (enveloppe étanche par exemple, dispositif de protection des ouvertures pour éviter la submersion) et que les utilisateurs soient dûment avertis des dispositions à prendre en cas de crue liée à un dysfonctionnement d'ouvrage notamment ;
- les chaudières, les citernes, enterrées ou non, et les citernes sous pression, ainsi que tous les récipients contenant des hydrocarbures, du gaz, des engrais liquides, des pesticides et, d'une façon générale, des produits dangereux ou polluants soient fixés et situées au moins à 0,20 m au dessus de la cote de référence.

5.2 PPRL

A l'inverse des PPI, les plans de prévention des risques (PPR) ne sont pas des plans de secours. Ils poursuivent un but préventif et ont pour principal objet de réglementer l'urbanisme dans des zones exposées à des risques majeurs, naturels ou technologiques. Les 3 objectifs principaux d'un PPR sont :

- délimiter les zones exposées aux risques et, en fonction de la nature et de l'intensité du risque encouru, limiter ou interdire toute construction ;
- délimiter les zones non directement exposées aux risques mais où certains aménagements pourraient provoquer une aggravation des risques ou une apparition de nouveaux risques ;
- définir les mesures de prévention, de protection ou de sauvegarde qui doivent être mises en œuvre dans les zones directement ou indirectement exposées.

Les plans de prévention des risques naturels (PPRN) ont pour objet de réglementer l'urbanisme dans des zones géographiques exposées à des risques naturels tels que les inondations par débordement de rivière, les submersions marines, les risques littoraux et les mouvements de terrains.

Le Plan de Prévention des Risques Littoraux Dives-Orne est en cours d'élaboration. Pour l'Orne il concerne plusieurs communes et remonte, depuis la mer jusqu'au communes de Louvigny et de Fleury-sur-Orne.

La Direction Départementale des Territoires de la Manche a en charge l'élaboration des Plans de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) sur le département.

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 1er mars 2010 (59 morts et près de deux milliards d'euros de dommages).

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.

Il concerne donc sur le secteur d'étude :

- Hérouville-Saint-Clair ;
- Colombelles ;
- Mondeville ;
- Caen.

Plusieurs scenarii ont été réalisés dans le cadre de ce PPRL :

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

Caen Presqu'Ile
Etude hydraulique et gestion des EP dans le cadre du projet Caen Presqu'Ile

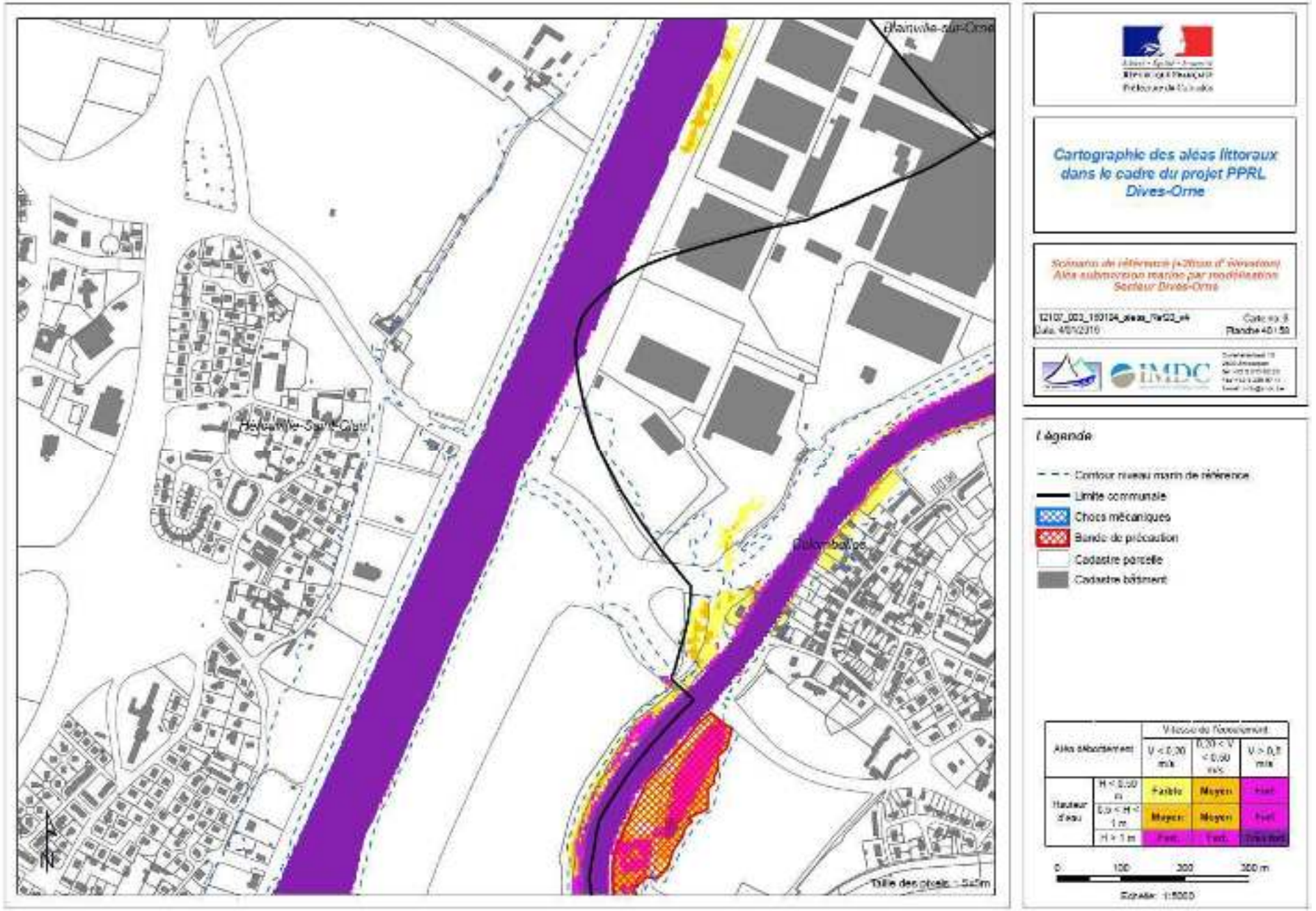
Après consultation de la DDTM, la carte d'aléa faisant foi est le **scenario de référence (+ 20 cm d'élévation).**

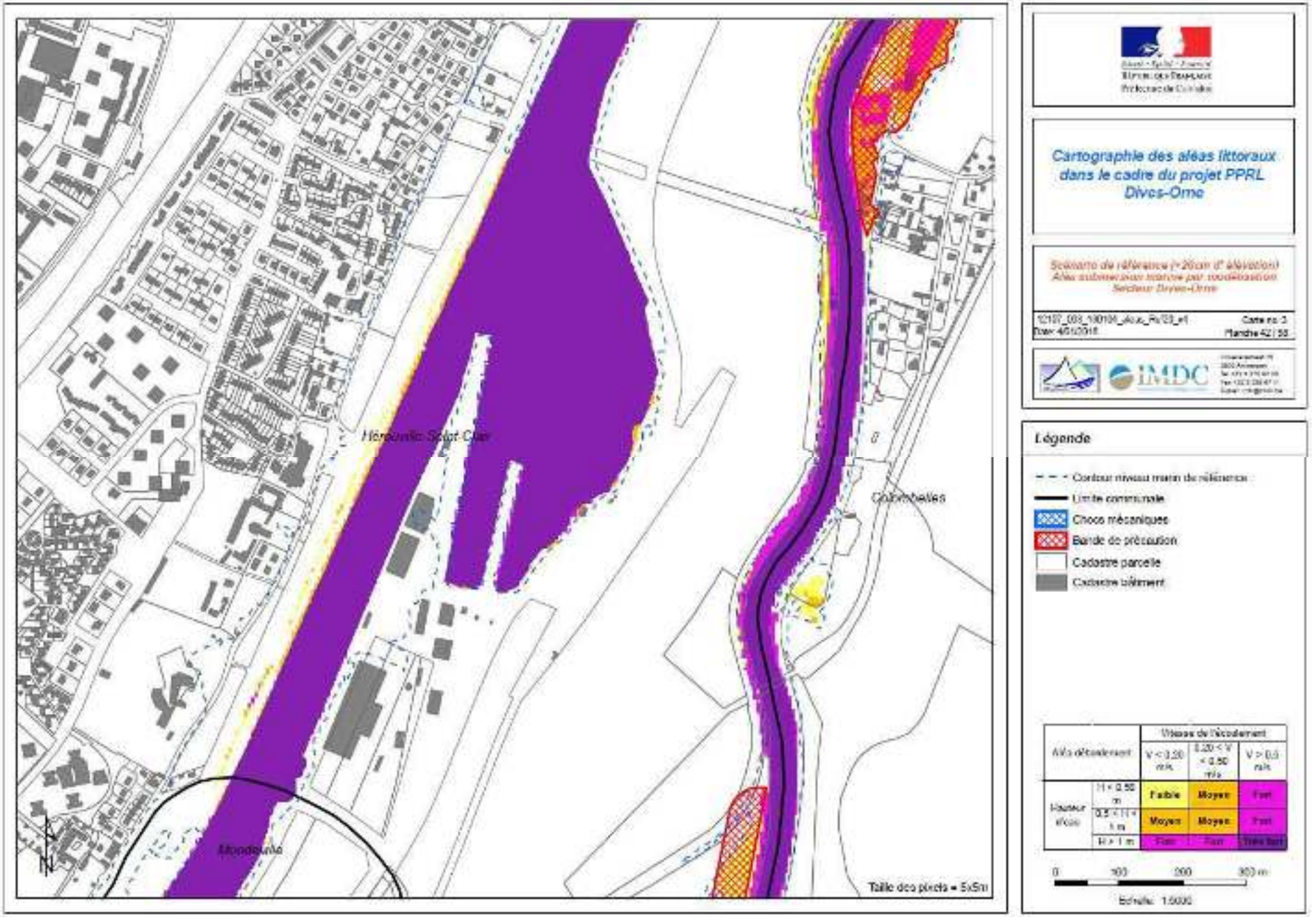
Les cartes pages suivantes présentent la cartographie de l'aléa sur le secteur d'étude.

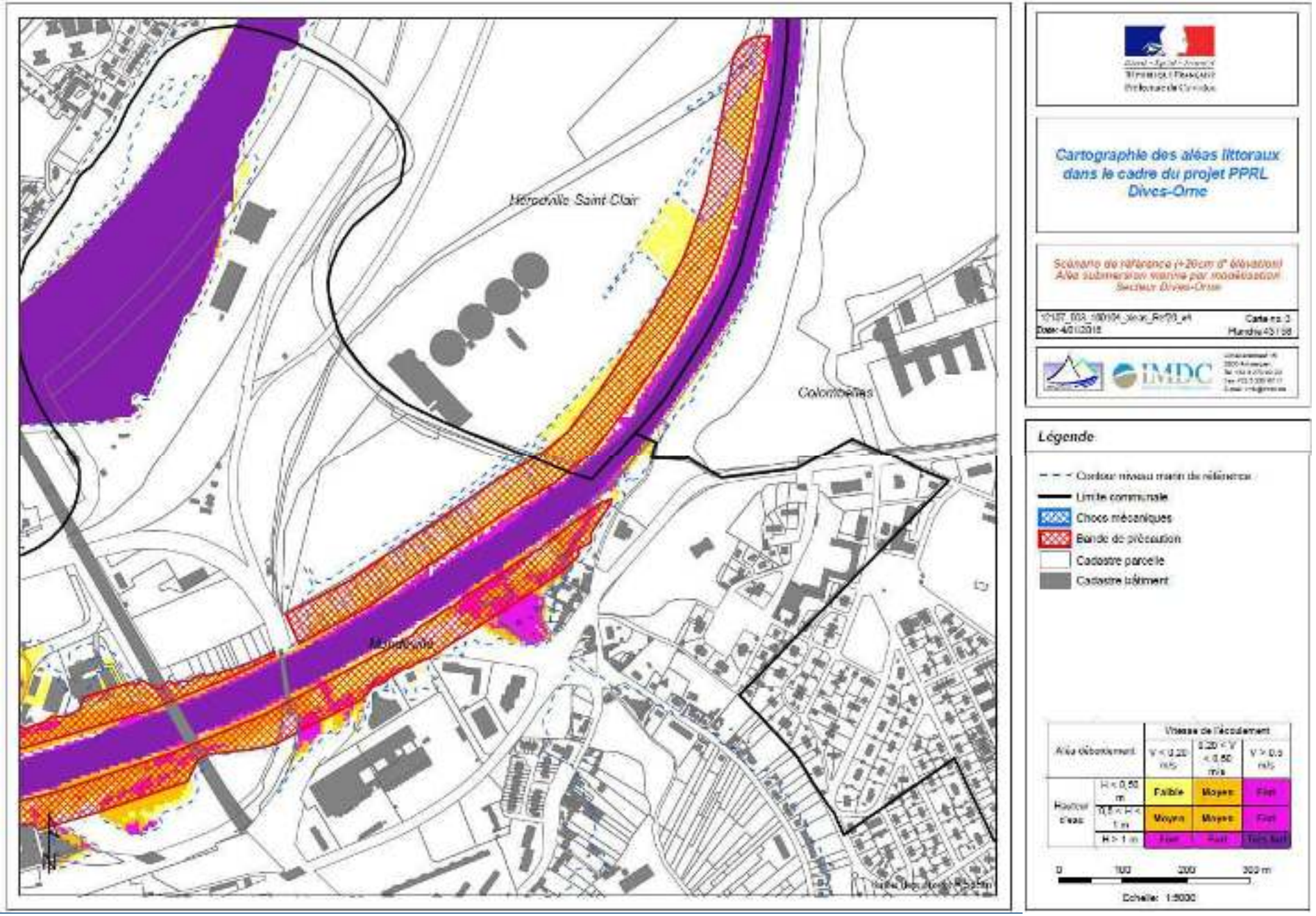
L'arrêté prescrivant l'élaboration du PPRM a été signé le 20 mai 2016 et le travail sur la rédaction du règlement du PPR multirisque sera réalisé en 2016 en concertation avec les communes.

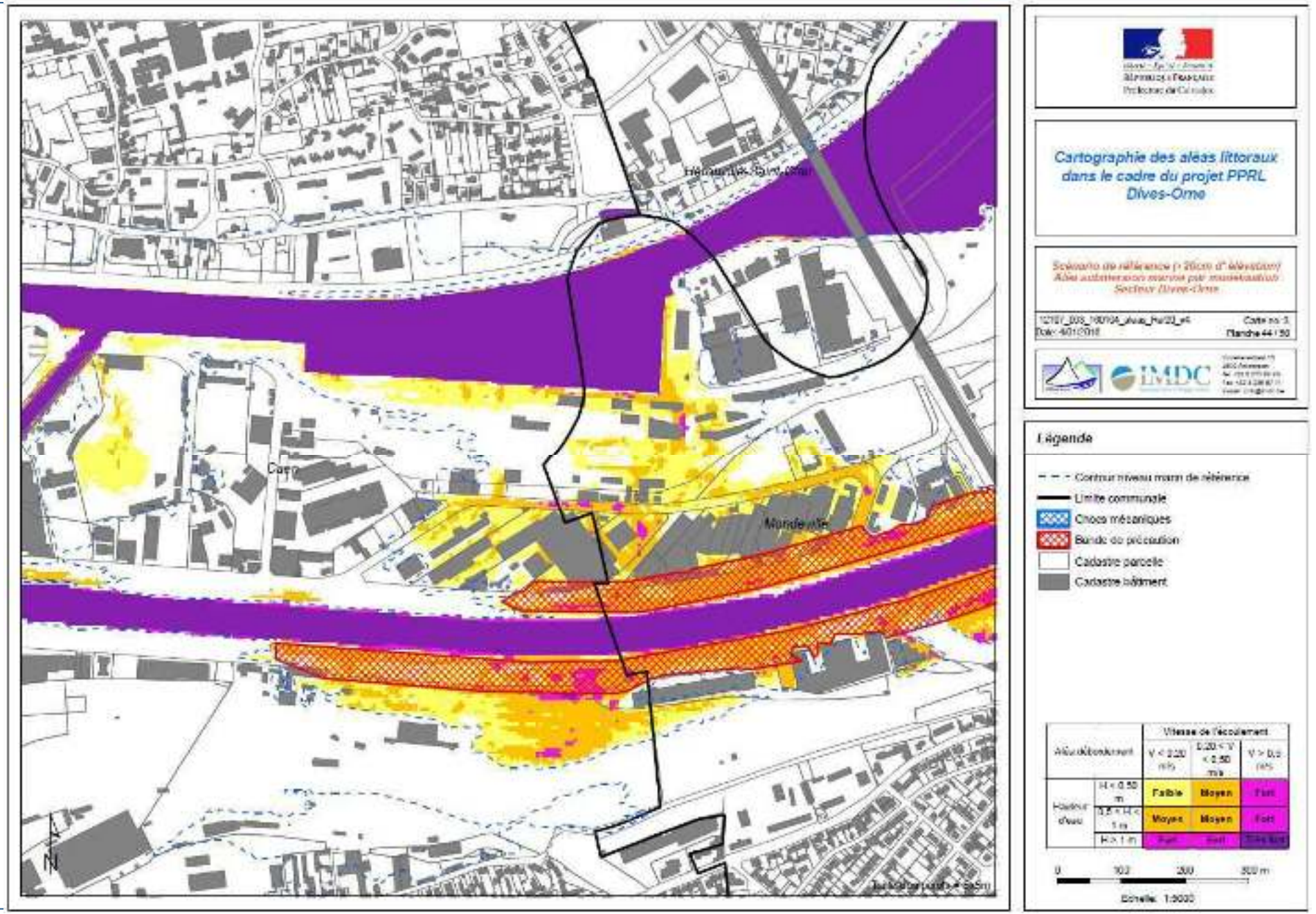
Le PPRi et le PPRL ne seront pas cumulés, les deux zonages seront comparés et l'aléa le plus fort des deux sera retenu, il n'y aura pas d'effet cumulatif.

A l'instar du PPRi, ce sont les sites de Mondeville et de Caen qui sont concernés par le PPRL Dives-Ornes. En effet le site d'Hérouville-Saint-Clair est « protégé » par la friche surélevée séparant l'Orne du site à urbaniser.


Cartographie des aléas littoraux dans le cadre du projet PPRL Dives-Orne
Scénario de référence (+20cm d'élévation)
Aléa submersion marine par modélisation
Secteur Dives-Orne
Légende
Contour niveau marin de référence
Limite communale
Chocs mécaniques
Bande de précaution
Cadastre parcelle
Cadastre bâtiment
Aléa submersion
Vitesse de l'écoulement
Hauteur d'eau
Faible
Moyen
Fort
0
100
200
300 m


Cartographie des aléas littoraux
dans le cadre du projet PPRL
Dives-Orne
Légende
Contour niveau marin de référence
Limite communale
Chocs mécaniques
Bande de précaution
Cadastre parcelle
Cadastre bâtiment
Aléa d'écoulement
Vitesse de l'écoulement
Hauteur d'eau
Faible
Moyen
Fort
Très fort
Taille des pixels = 5x5m


Hérouville Saint Clair
Colombelles
Mondeville
Cartographie des aléas littoraux dans le cadre du projet PPRL Dives-Orne
Scénario de référence (+20cm d'élévation) Aléa submersion marine par modélisation
Secteur Dives-Orne
IMDC
Légende
Contour niveau marin de référence
Limite communale
Chocs mécaniques
Bande de précaution
Cadastre parcelle
Cadastre bâtiment
Aléa débordement
Vitesse de l'écoulement
V < 0,20 m/s
0,20 < V < 0,50 m/s
V > 0,5 m/s
Hauteur d'eau
H < 0,50 m
Faible
Moyen
Fort
0,5 < H < 1 m
Moyen
Moyen
Fort
H > 1 m
Fort
Fort
Très fort
0
100
200
300 m
Echelle: 1:5000


Cartographie des aléas littoraux
dans le cadre du projet PPRL
Dives-Orne
Légende
Contour niveau marin de référence
Limite communale
Choc mécaniques
Bande de précaution
Cadastre parcelle
Cadastre bâtiment
Aléa débordement
Vitesse de l'écoulement
Hauteur d'eau
Faible
Moyen
Fort
0
100
200
300 m
Echelle: 1:5000

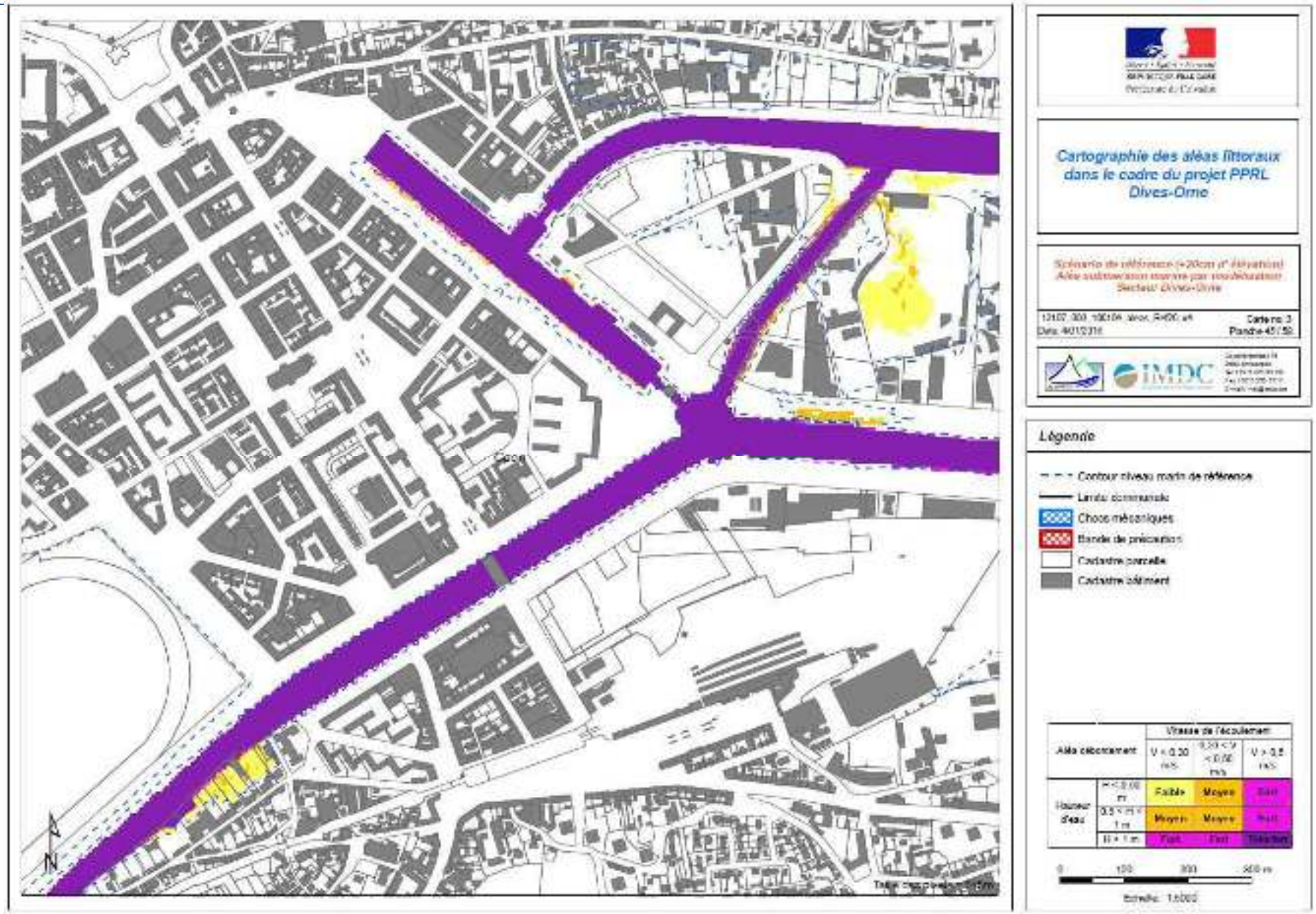


Figure 15 : Cartographies du PPRL

5.3 Synthèse vis-à-vis du risque inondation et de la réglementation

Au regard de cette analyse règlementaire, il apparaît que seul le site Caennais, est soumis à l'aléa inondation par submersion marine.

Le site de Mondeville est, en effet, situé en secteur jaune du PPRi, donc protégé de la crue centennale par des aménagements de lutte contre l'inondation. De plus, la cartographie de l'aléa littoral, réalisée dans le cadre du PPRL, place le secteur à urbaniser en dehors des secteurs à risque. Il n'est donc pas concerné par le risque de submersion marine.

Le secteur d'Hérouville-Saint-Clair est quant à lui, de par sa topographie, en dehors des zones inondables par crue de l'Orne et par submersion marine.

Le site Caennais est protégé vis-à-vis du risque inondation par crue centennale de l'Orne (digue Caffarelli). Le PPRL montre en revanche des secteurs à risque et des aléas avérés concernant la submersion marine. Il convient donc d'étudier précisément les secteurs les plus à risques et dans une logique de résilience, de prévoir et concevoir des aménagements permettant d'assurer la sécurité des biens et des personnes dans le cas d'une submersion marine lors de l'aménagement du site.
Les modélisations menées dans le cadre de la présente étude permettront de quantifier ces secteurs vulnérables et de prévoir des solutions d'aménagement permettant d'assurer cette sécurité.

6 Investigations de terrain

6.1 Démarche

Des investigations de terrain ont eu lieu permettant d'appréhender les sites voués à l'urbanisation vis-à-vis du risque inondation, du fonctionnement hydraulique actuel de ceux-ci, des dysfonctionnements éventuels, de la présence d'ouvrages, la présence de réseau pluvial…

Ces investigations de terrain sont couplées à l'analyse des éléments existants (notamment les digues de protection, le SIG recoupant les plans de réseaux des communes, …)

Sur le terrain, certains regards pluviaux ont été visités afin de vérifier et/ou compléter les données fournies dans le SIG des communes.

Le tableau présenté en annexe de ce document synthétise les reconnaissances de réseaux qui ont eu lieu. **La planche**, quant à elle regroupe tous les éléments levés sur le terrain.

6.2 Le Nouveau Bassin

Le secteur du Nouveau Bassin est un secteur très peu pentu. Peu de réseau pluvial y a été relevé (seulement une branche de canalisation se rejetant dans l'Orne a été relevée sur le secteur à urbaniser).

On notera sur le secteur, la présence d'ouvrages sur le cours d'eau :

- le barrage de Montalivet ;
- l'écluse du bassin de Saint-Pierre ;
- l'écluse du canal de jonction Victor Hugo.

L'Orne est le fleuve le plus important de la région Basse-Normandie de par sa longueur (170 kilomètres) et sa superficie de bassin (2 928 km²).

L'agglomération caennaise se situe sur la partie aval de ce bassin versant, en tête de l'estuaire qui s'étend sur 15km. Le canal de Caen à la mer longe le cours de l'Orne. Il est alimenté en eau par le fleuve, au niveau de Caen. A l'étiage il prélève dans l'Orne 120000 m³/j soit environ 60% de son débit (1,5m³/s environ). Le *Niveau* Normal de Navigation du canal est à 3m60 (côté PHEC 4,09).

Deux ouvrages régissent le fonctionnement du canal. Le barrage de Montalivet qui permet l'alimentation et les bassins et écluses de Ouistreham qui permettent l'évacuation du débit vers la mer et le maintien d'une côte maritime suffisante pour la navigation des navires de commerce.

Figure 16 : Vue sur le barrage de Montalivet

Figure 17 : Vue sur l'ouvrage du bassin Saint-Pierre

La vanne (Portes de l'Orne) est située à l'entrée du bassin Saint Pierre. En situation hydrologique normale et en période de basses eaux, l'effet combiné du barrage Montalivet et des 2 vannes situées à l'entrée du bassin Saint Pierre, laisse passer une fraction du débit de l'Orne permettant d'alimenter le canal en le maintenant à une cote marine de 7.80 CM. Le débit moyen nécessaire dans le canal varie de 1.7 à 3 m³/s (source : État des lieux – SAGE Ornes Aval Seulles).

Un ouvrage complémentaire a été ajouté permettant la gestion des crues – canal de jonction de l'Orne au Canal (Canal Victor HUGO) en amont du barrage Montalivet.

Figure 18 : Vue sur l'ouvrage du canal Victor HUGO

Le Canal de jonction fonctionne dès que le débit de l'Orne dépasse 160m³/s et jusqu'à 625m³/s pour une marée de 70-80 (+30cm) ou 450m³/s pour une marée de 110 (+30cm).

Pour la suite de l'étude (modélisation) nous considérerons cet ouvrage transparent, dans la mesure où la situation modélisée sera un débit moyen annuel de l'Orne (156 m³/s) combinée avec une marée centennale.

La figure ci-dessous synthétise le fonctionnement hydraulique du site

Figure 19 : Schéma de fonctionnement hydraulique de l'Orne et du canal (source : Diagnostic Technique environnement MA-GEO)

Figure 20 : Ouvrages existants

	Vanne du Bassin Saint Pierre
	Ouvrage du Canal Victor Hugo
	Barrage de Montalivet
	Digues de protection
	Fossé existant

En rive droite et gauche de l'Orne, au droit du projet, des digues protègent les secteurs urbanisés des débordements éventuels de l'Orne. Celles-ci sont présentées et détaillées au paragraphe §5.5.

Au nord du secteur (au nord du canal) tous les rejets se font dans un fossé dont l'exutoire est situé à l'aval du barrage de Montalivet (via une canalisation sous vide)

Figure 21 : Vues sur le fossé situé au nord du canal

6.3 Le Cœur Calix

Le secteur du Cœur Calix est légèrement pentu. Il s'agit du secteur de transition entre les coteaux de la vallée de l'Orne et la Presqu'île.

Ce secteur est pourvu du réseau pluvial de la commune de Mondeville allant du Ø400 mm au Ø900 mm.

Il est à noter que le cours d'eau du Biez traverse ce secteur et est exutoire de quelques branches de réseaux communales. Un repère de crue est d'ailleurs présent à la jonction du Biez et de l'Orne (5.44 mNGF).

Figure 22 : Vue sur le cours d'eau du Biez

Figure 23 : Repère de Crue de L'Orne au droit du site Cœur Calix

La digue Montalivet est présente en rive droite de l'Orne sur ce secteur.

Il n'y a pas de dysfonctionnement pluvial majeur recensé sur le site.

Un bassin de rétention est présent et reçoit les ruissellements du Cœur de Calix. Un ouvrage hydrocarbure est également existant en amont du bassin. L'exutoire de ce bassin rejoint l'Orne.

Figure 24 : Vue sur le bassin du Cœur Calix

6.4 Les Paysages Habités

Il s'agit du secteur compris entre le canal de Caen à la Mer et l'Orne. Une zone rehaussée entre le secteur à aménager et l'Orne le protège de tout débordement du fleuve vers le site à aménager.

Figure 25 : Vue sur le bassin du Cœur Calix

Il s'agit d'un secteur vierge de toute installation ou réseaux pluvial. Seule une ancienne voie ferrée est présente sur le secteur.

6.5 Digues

Cette partie est essentiellement extraite de l'étude de danger des digues Cafarelli et Montalivet (SOCOTEC 2015).

Ces digues constituent des protections dites «complémentaires» à l'action dynamique des ouvrages hydrauliques du canal de liaison dans la Presqu'île à Caen et du déversoir du Maresquier à Ouistreham. L'effet du système est d'abaisser la ligne d'eau dans toute la zone concernée, mais certains secteurs restant vulnérables pour une crue centennale, des digues ont été installées.

Les études de dangers ont montré, pour la digue Cours Montalivet et celle du Cours Caffarelli, un risque de surverse et une instabilité hydraulique sur la partie aval dans le cas d'une crue centennale.

6.5.1 Digue Cafarelli

La digue de Caffarelli est constituée de deux portions bien distinctes. La première portion débute à hauteur du barrage de Montalivet, elle présente une hauteur faible et une largeur en base et en crête importante, elle est constituée en matériaux argilo-limoneux. L'ensemble de la digue est engazonné. On relève deux alignements d'arbres régulièrement espacés d'environ 10 m délimitant un chemin en crête. La digue est traversée par des réseaux d'évacuation d'eaux pluviales équipés de clapets anti-retour.

Figure 26 : Vue sur la digue Caffarelli (secteur amont – rive gauche)

Le talus amont est prolongé par la berge de la rivière. Sur une centaine de mètres à l'aval du barrage, les berges sont stabilisées par des enrochements. Ces enrochements présents sur les berges et également dans le fond de la rivière jouent le rôle de dissipateur d'énergie du barrage. L'eau jaillissant des passes du barrage présente des vitesses très élevées et il existe une zone de forte agitation avec des ressauts hydrauliques. Sans protections, les berges et le lit de la rivière subiraient une érosion très importante.

La deuxième portion de digue située à l'aval, est constituée d'un merlon de hauteur (1m à 1.5 m) et de section régulière (largeur en base de 2 à 2.75 m) en matériau argilo-limoneux. L'ensemble de la digue est engazonné. On relève sur une portion de celle-ci des poteaux traversant la digue en son cœur. Le long de la rue du Nouveau

Monde située dans le prolongement du Cours Caffarelli, le pied du talus aval est maintenu par un soutènement en béton constitué de glissières type GBA.

Figure 27 : Vue sur la digue Caffarelli (au droit de la STEP)

Un relevé topographique a été réalisé en 2008. Il a depuis été mis en place une surveillance de l'évolution de la morphologie de la digue par des relevés topographiques annuels. On dispose donc de ces relevés pour 2008, 2009, 2010, 2011 et 2012, l'agglomération de Caen dispose de relevés topographiques jusqu'en 2015. Ces relevés fournissent des indications précieuses sur l'évolution de la digue. Ils permettent de constater dans un premier temps à partir des levés topographiques de 2011 que la cote minimale d'arase de la digue dans la zone amont est assurée pour une crue centennale à +5.15 m NGF, Pour le secteur aval, situé à hauteur du franchissement de la voie SNCF, la cote de +4.90 NGF est assurée.

5.5.2 Digue Montalivet

La quasi-totalité de la digue de Montalivet est constituée d'un merlon de hauteur et de section variable en matériau argilo-limoneux. On relève un aménagement particulier sur environ cent cinquante mètres à hauteur du viaduc du périphérique Nord. L'ensemble de l'endiguement est parcouru par une piste cyclable en pied aval de la digue. A l'aval de la piste cyclable, on relève une rangée d'arbres régulièrement espacés.

Depuis le barrage de Montalivet vers l'aval, la cote d'arase présente une valeur moyenne théorique de +5.12 m NGF. Ce premier tronçon est une motte de terre sur laquelle sont implantés de nombreux arbres et arbustes. Ce merlon présente une hauteur d'environ 50 cm et une largeur en base de 60 à 70 cm. Dans le secteur du barrage, le matériau constitutif est à nu sans couverture herbeuse sur quelques centaines de mètres. Ensuite, la crête et le talus aval de la digue sont couverts d'un gazon entretenu. Le talus amont est prolongé par la berge de la rivière. Sur une centaine de mètres à l'aval du barrage, les berges sont stabilisées par des enrochements. Ces enrochements présents sur les berges et également dans le fond de la rivière jouent le rôle de dissipateur d'énergie du barrage. L'eau jaillissant des passes du barrage présente des vitesses très élevées et il existe une zone de forte agitation avec des ressauts hydrauliques. Sans protections, les berges et le lit de la rivière subiraient une érosion très importante.

Figure 28 : Vue sur la digue Montalivet (secteur amont – rive droite)

En continuant vers l'aval, lorsque le système d'endiguement pénètre sur la commune de Mondeville, on observe un changement de morphologie. Il s'agit d'une forme de merlon avec une base étroite et une hauteur plus conséquente de l'ordre de 1.2 m. Dans cette portion, la crête et les talus sont bien entretenus.

Figure 29 : Vue sur la digue Montalivet (secteur aval au Cœur Calix)

Sur 150 mètres linéaires à l'amont du franchissement de la rivière par le viaduc du périphérique, un aménagement spécifique a été réalisé. La crête et le talus aval sont constituées par un casier formant une jardinière sur lequel prend appui le talus amont de la digue directement prolongé par la berge de la rivière. Sur ce secteur la rangée d'arbres a été entièrement éliminée et les souches broyées.

Le dernier tronçon de digue à l'aval du viaduc de franchissement, présente de nouveau une forme de merlon de hauteur moins significative (de 80 cm à 1 m). L'ouvrage est recouvert de végétation basse ou entièrement engazonné.

Un relevé topographique a été réalisé en 2008. Il a depuis été mis en place une surveillance de l'évolution de la morphologie de la digue par des relevés topographiques annuels. On dispose donc de ces relevés pour 2008, 2009, 2010, 2011 et 2012, l'agglomération de Caen dispose de relevé topographique jusqu'en 2015. Ces relevés fournissent des indications précieuses sur l'évolution de la digue. Ils permettent de constater dans un premier temps à partir des levés topographiques de 2012 que la cote minimale d'arase de la digue dans la zone amont est assurée pour une crue centennale à +5.19 m NGF, Pour le secteur aval, situé à hauteur du franchissement de la voie SNCF, la cote de +4.90 NGF est assurée

7 Les projets d'urbanisation

L'étude, qui porte sur l'ensemble de la zone de la Presqu'île (environ 600 ha) fait l'objet de 3 sites où l'analyse et la réflexion sont plus poussées. Ces trois sites d'urbanisation sont présentés dans la figure suivante :

Figure 30 : Sites d'urbanisation

7.1 Le Nouveau Bassin

L'objectif est de mêler les différentes valorisations, loisirs, tourisme, résidence hôtelière, logements et industries nautiques autour des atouts variés du site, pour former un complexe urbain fort rassemblant les deux berges, et associé à l'image maritime du Nouveau Bassin.

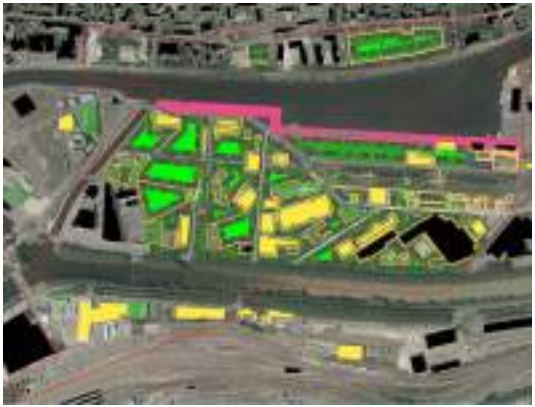


Figure 31 : Projet d'aménagement du Nouveau Bassin

Légende
Jardin collectif
Jardin privatif
Espace vert
Bâtiment conservé
Bâtiment reconstruit
Espace piéton
Espace partagé
Quais
Darse
Parc d'activité

7.2 Le Cœur Calix

La formation du projet s'opérera selon une libération successive des lieux encore très actifs, en maintenant les bâtiments des anciens abattoirs pour garder l'activité positive pour le projet, la trace et la mémoire du lieu qu'il a été et le repère qu'il constitue notamment depuis le Viaduc. Le parc du Biez aujourd'hui peu perceptible depuis l'entrée de ville s'étend jusqu'à l'Orne, remettant dans la scène urbaine le fleuve renié jusque-là.

Les différents bâtis forment la mosaïque de jardins par le processus des offsets permettant de s'entourer progressivement de programmes d'habitat à taille humaine (460 logements) qui font le pari de réinvestir ce site à caractère routier et économique, alors qu'il se situe à la convergence de valeurs naturelles fortes oubliées de la ville de Mondeville.

Figure 32 : Projet d'aménagement du Cœur Calix

7.3 Les Paysages habités

Site majeur dans l'aménagement de la Presqu'île, territoire d'évidence première car situé à proximité et en continuité de l'aire urbaine d'Hérouville-Saint-Clair. Ce site vierge et au foncier maitrisé permet d'imaginer un quartier aux codes résolument nouveaux offrant un habitat ciblé pour une population souhaitant trouver à la fois une relation forte au paysage naturel et un habitat à échelle humaine.

Le projet développe 1400 logements environ avec les équipements et services nécessaires. Le nouveau quartier est relié au centre-ville d'Hérouville par un nouveau pont prolongé d'une liaison directe sur l'échangeur RD 515. Le plan met en place des cônes de vues vers des repères du paysage urbain et crée ainsi de grandes darses sur ces ouvertures visuelles. La rive habitée coté canal laisse place en revanche au parc naturel de l'Orne écologique préservée coté Colombelles. Ce parc de l'Orne s'infiltre dans les parties habitées pour créer un paysage intérieur, vecteur de l'identité forte et naturelle de ce quartier.

Figure 33 : Projet d'aménagement des Paysages Habités

La carte page suivante superpose les premiers projets d'urbanisation avec les éléments hydrauliques existants

8 Conclusion de la phase diagnostic

La première mission de cette étude, qui avait pour but d'établir le diagnostic de la situation actuelle s'est déroulée en trois phases :

- Recueil de données ;
- Investigations de terrain ;
- Analyse et synthèse du diagnostic.

Le recueil de données a permis d'établir un état initial de la situation et de lister tous les éléments existants pouvant servir la cause de l'étude.

Les investigations de terrain combinées au recensement des données ont permis d'établir un fonctionnement hydraulique actuel du secteur d'étude mettant en exergue, entre autre, les points suivants :

- La présence du barrage de Montalivet ayant pour double objectif de réguler les effets de la marée et de maintenir un niveau d'eau minimum pour l'alimentation du canal et du bassin portuaire de Caen ;
- L'ouvrage du bassin Saint-Pierre assurant un niveau d'eau constant dans le bassin portuaire ;
- L'ouvrage sur le canal Victor Hugo (canal anti-crue) ;
- La présence d'une digue de protection contre les inondations sur chaque rive de l'Orne en aval du barrage de Montalivet ;
- La présence de réseau pluvial, principalement sur le secteur Cœur Calix (avec la présence d'un ouvrage de régulation des eaux pluviales, à l'exutoire).

Les réseaux pluviaux existant seront testés dans suite de l'étude pour savoir si leur dimensionnement est en corrélation avec les prescriptions des services de la DDTM, à savoir une collecte des ruissellements pour l'occurrence décennale.

Des calculs de débits de pointe et de volumes ruisselés permettront dans un premier temps de connaître l'impact de l'urbanisation du secteur en termes de débit de pointe et de volume ruisselé et d'autre part de dimensionner les aménagements pour un état futur d'urbanisation.

Concernant la gestion du risque inondation, seul le secteur du nouveau bassin est réellement impacté par le débordement de l'Orne par submersion marine, il s'agit en effet du seul secteur parmi les trois étudiés, où l'emprise des débordements empiète sur les secteurs à bâtir.

La mission 2 de la présente étude s'attachera donc à réaliser une modélisation bidimensionnelle sur ce secteur pour pouvoir dans un premier temps quantifier l'impact des projets d'urbanisation (remblai de certains secteurs, et construction de bâtiments) et dans un deuxième temps proposer des éventuelles mesures compensatoires aux impacts de l'urbanisation du secteur du Nouveau Bassin.

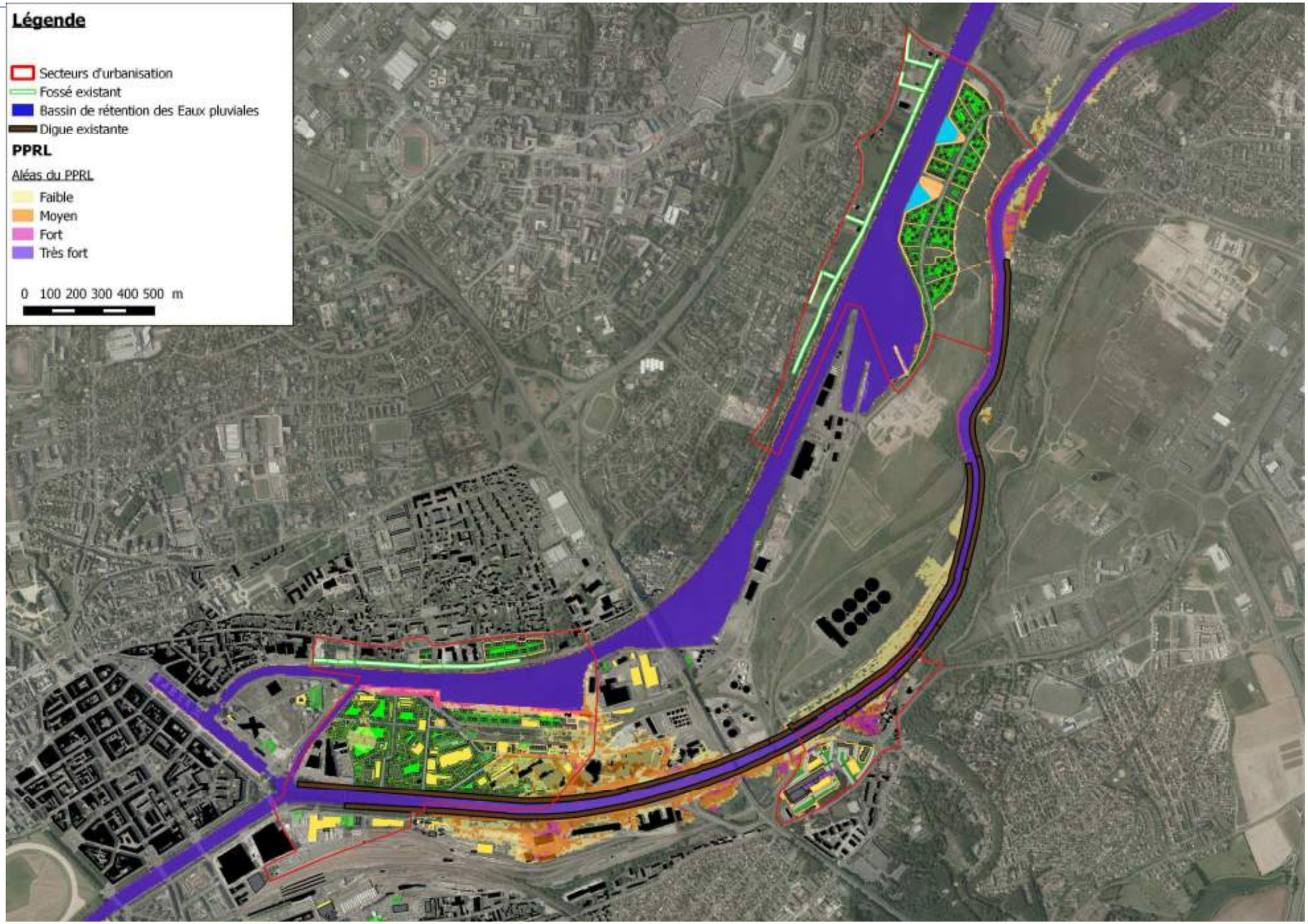


Figure 34 : Principales contraintes du secteur

9 Impacts du projet

9.1 Impacts sur les champs d'inondations par submersion marine

Comme démontré dans la mission 1 de la présente étude, seul le secteur du nouveau bassin est réellement impacté par le débordement de l'Orne par submersion marine, il s'agit en effet du seul secteur parmi les trois étudiés, où l'emprise des débordements empiète sur les secteurs à bâtir, en témoigne l'image suivante :

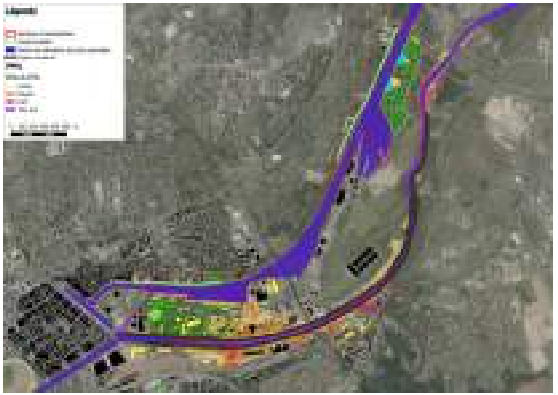


Figure 35 : Principales contraintes du secteur

De ce fait seul ce secteur sera traité et modélisé dans cette partie. En effet, le Secteur de Cœur Calix (Mondeville) n'est pas impacté par des zones de débordement par submersion marine.

9.1.1 Modélisation de la situation actuelle

9.1.1.1 Topographie

La topographie utilisée pour modéliser le secteur d'étude est une combinaison de différentes sources d'entrée :

- données topographique LIDAR ;
- levés topographiques des digues Montalivet et Caffarelli (2015, données SMLCI) ;
- bathymétrie du port et du canal de Caen à la Mer (données PNA) ;
- interpolation des profils en travers de cours d'eau pour le canal Victor Hugo et la partie amont du barrage de Montalivet (Syndicat Mixte de Lutte contre les Inondations)

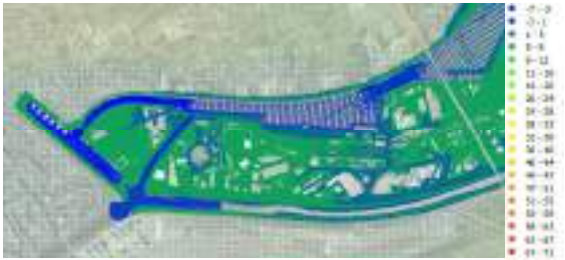


Figure 36 : Topographie utilisée

Une visualisation en 3 dimensions, avec un facteur d'exagération verticale de 2 (les reliefs sont représentés avec une exagération verticale doublée par rapport à la réalité afin de mieux se rendre compte de la variation topographique du secteur), est représentée sur la figure suivante

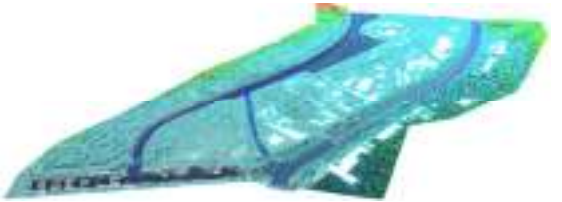


Figure 37 : Visualisation 3D du secteur modélisé

9.1.1.2 Hydrologie

Les conditions hydrologiques ont été prises identiques à l'étude réalisée dans le cadre de l'élaboration des cartes d'aléas du PPRL.

9.1.1.2.1 Débit fluvial

Au scenario de référence, des débits de crue correspondant approximativement à une période de retour de 1 an (T1) sont retenus pour l'Orne, 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 **Q99,TH** le débit de non dépassement de 99 % à Thury-Harcourt (139m3/s)

Q99,L le débit de non dépassement de 99 % à Louvigny (recherché),

STH la surface du bassin versant de l'Orne à Thury-Harcourt (2180km2),

SL la surface du bassin versant de l'Orne à Louvigny (2547km2).

Le débit annuel calcule est de **156 m3/s.**

9.1.1.2.2 Niveau marin

Le scenario 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.

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'iso probabilité 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

Le tableau suivant présente les niveaux marins du scenario retenu dans le cadre de cette étude : référence + 0.20 m

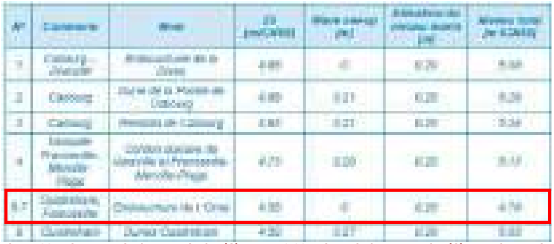


Figure 38 : Niveau marin du scenario de référence + 0.20 m (extrait du rapport de référence du PPRL)

Ce niveau d'eau maximal comprend la concomitance de la marée astronomique et une surcote atmosphérique. Par contre, le setup de la houle sur les plages n'est pas compris (Angl. : wave setup). 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).

Le graphique suivant présente la condition à la limite aval imposée au modèle :

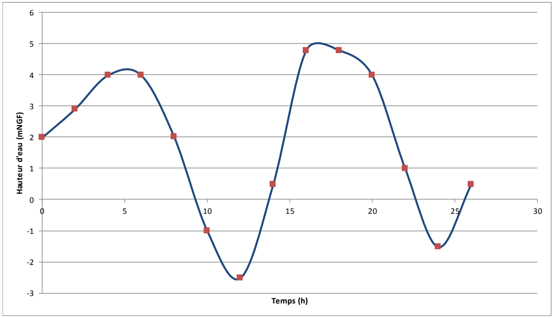


Figure 39 : Condition à la limite aval

9.1.1.3 Construction du maillage

La construction du maillage a été réalisée pour un total de 176207 cellules.

Différentes tailles de maille ont ainsi été utilisées afin d'affiner les calculs sur les secteurs à enjeux (notamment pour le secteur du nouveau bassin et le cœur de Presqu'île). Les mailles vont ainsi de 10 m à 2 m de long.

Afin de prendre en considération la présence des bâtiments et la résistance qu'ils opposent aux flux débordants, ceux-ci ont été retirés du maillage, simulant ainsi la présence des murs des bâtiments.

La figure suivante représente le maillage du secteur d'études mis en œuvre dans le cadre de la modélisation de l'état initial.

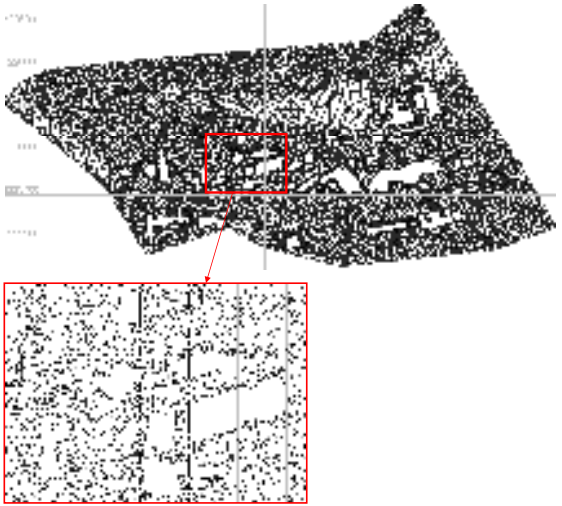


Figure 40 : Maillage de la situation initiale

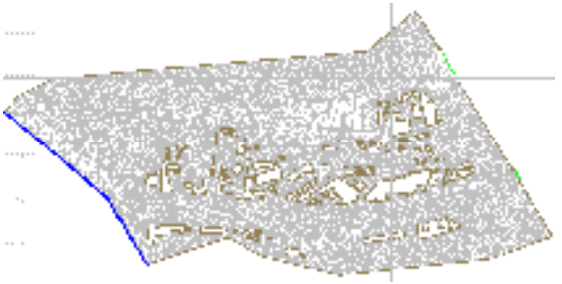
Lors de la submersion marine (scenario de référence + 0.20 m), les ouvrages dans le secteur de Caen seront défaillants, il s'agit du Barrage de Montalivet sur l'Orne et des Portes de l'Orne (à l'entrée du bassin Saint Pierre). En effet ces ouvrages de régulation ci-dessus sont conçus pour évacuer les 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 comme pour l'élaboration du PPRL.

9.1.1.4 Les conditions aux limites

Trois types de conditions aux limites ont été rentrés dans le modèle :

- conditions à la limite ouverte avec un débit prescrit ;
- conditions à la limite ouverte avec une hauteur d'eau prescrite ;
- conditions à la limite fermée (mur).

La figure ci-dessous localise ces conditions à la limite :



	Condition à la limite amont (débit)
	Condition à la limite aval (hauteur)
	Condition à la limite physique du modèle (limite fermée)

Figure 41 : Conditions aux limites du modèle

La condition à la limite amont est donnée avec un profil de vitesse. Ce profil a été rentré afin de localiser les apports de l'Orne sur le lit mineur du fleuve.

Nota : Seuls les bâtiments présents sur le secteur étudié (le nouveau bassin et cœur de Presqu'île ont été pris en considération dans la modélisation). Cela a permis d'alléger le maillage en dehors de ce secteur et de concentrer la distribution des mailles sur celui-ci.

9.1.1.5 Résultats de la modélisation

Dans cette partie sont présentés les résultats issus de la modélisation calée.

Plusieurs modélisations ont été nécessaires afin d'obtenir un bon calage du modèle.

Le calage a été fait en se référant aux résultats des cartes d'aléas du PPRL.

Les pages suivantes présentent les résultats des modélisations.

Figure 42 : Résultats en termes de hauteurs d'eau pour la situation initiale (0 – 0.25 m, 0.25-0.5 m, 0.5 – 1 m, > 1 m)

On note quelques différences avec les cartes d'aléas du PPRL. Tout d'abord l'intégralité des bâtiments présents a été intégrée dans la modélisation mise en œuvre dans le cadre de cette étude. Certaines zones apparaissent donc hors d'eau alors qu'elles ne l'étaient pas dans les résultats du PPRL.

Le secteur débordant le plus à l'ouest de la Presqu'île est situé sous le niveau marin de référence + 0.20 mNGF et en lien avec le débordement du lit mineur. Le débordement y est donc justifié.

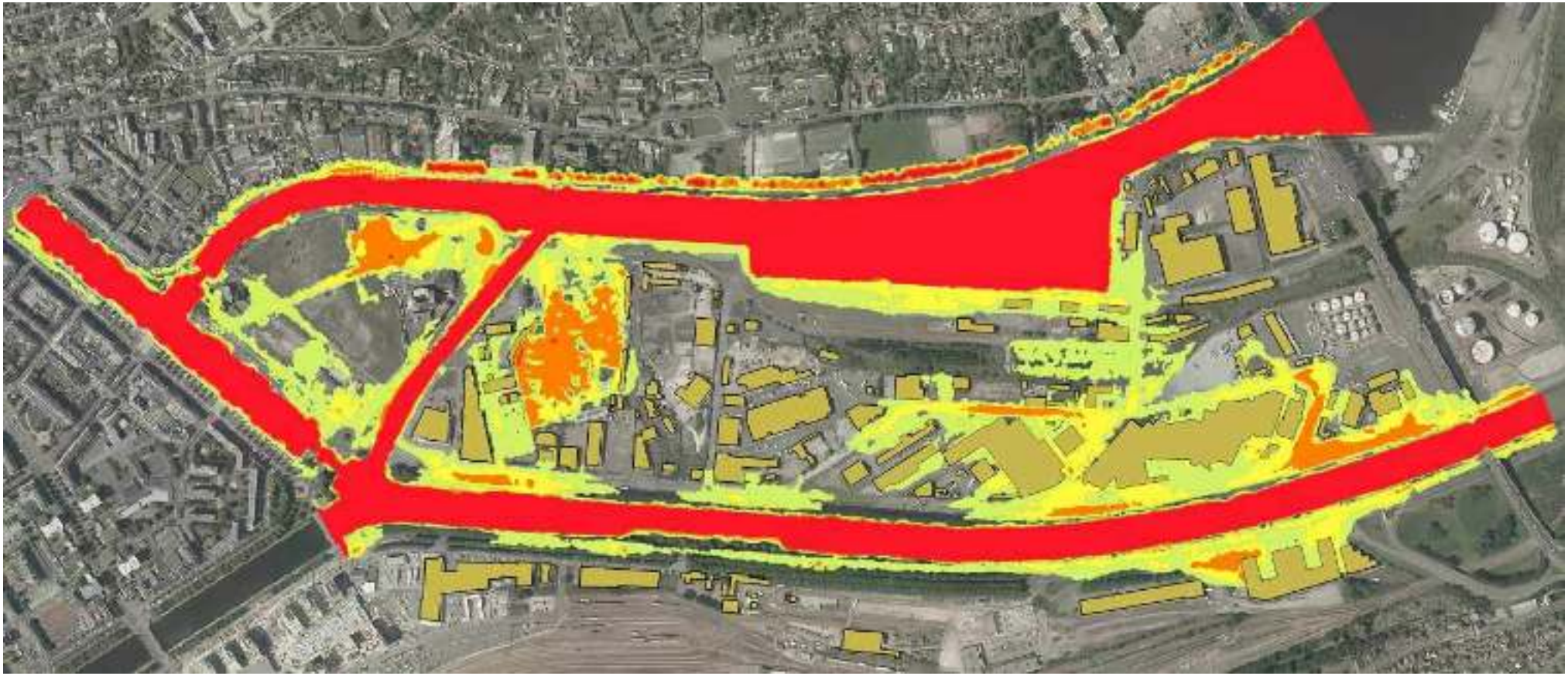


Figure 42 : Résultats en termes de hauteurs d'eau pour la situation initiale (0 – 0.25 m, 0.25-0.5 m, 0.5 – 1 m, > 1 m)

On note quelques différences avec les cartes d'aléas du PPRL. Tout d'abord l'intégralité des bâtiments présents a été intégrée dans la modélisation mise en œuvre dans le cadre de cette étude. Certaines zones apparaissent donc hors d'eau alors qu'elles ne l'étaient pas dans les résultats du PPRL.

Le secteur débordant le plus à l'ouest de la Presqu'île est situé sous le niveau marin de référence + 0.20 mNGF et en lien avec le débordement du lit mineur. Le débordement y est donc justifié.

9.1.2 Modélisation d'une situation future

9.1.2.1 Modification du maillage

La modification du maillage pour la simulation du projet d'urbanisation a été réalisée en deux étapes :

- ajout des bâtiments futurs (à extraire du maillage) ;
- augmentation de la topographie du site sur certains secteurs pour simuler le remblai prévus sur certain secteur pollué. Les hypothèses prises en compte sont un remblai de 20 cm de terre végétale dans le cadre de ce scenario.

Les figures ci-dessous montrent respectivement :

- les bâtiments sortis du maillage ;
- les secteurs remblayés ;
- Le maillage modifié ;
- La comparaison des maillages à l'état initial et à l'état projeté.

Figure 43 : Bâtiments et zones remblayées à l'état futur

L'idée est de conserver au maximum les couloirs d'écoulement préférentiels en lit majeur pour ne pas perturber les zones inondables.

La figure page suivante compare les deux situations (initiales et projetée) en termes de topographie.

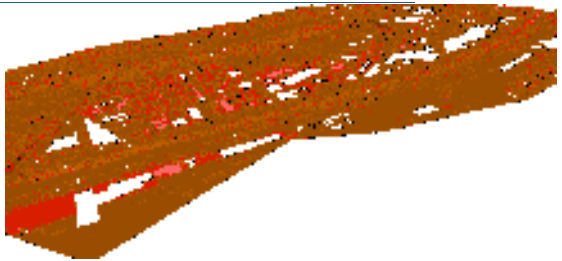


Figure 44 : Comparaison de la topographie de la situation initiale avec la situation projetée

La figure précédente superpose les résultats de l'interpolation de la topographie de l'état actuel et futur sur les maillages respectifs. Le secteurs apparaissant en rouge sont ceux qui diffèrent topographiquement d'une situation à l'autre. Les point rouges isolés sont des artefacts de l'interpolation graphique et ne rentrent pas en ligne de compte dans les calculs, seul les secteurs représentés dans les zones rouges étendues présentent de réelles différences topographiques (20 cm) en plus des secteurs sortis du modèles (nouveaux bâtis).

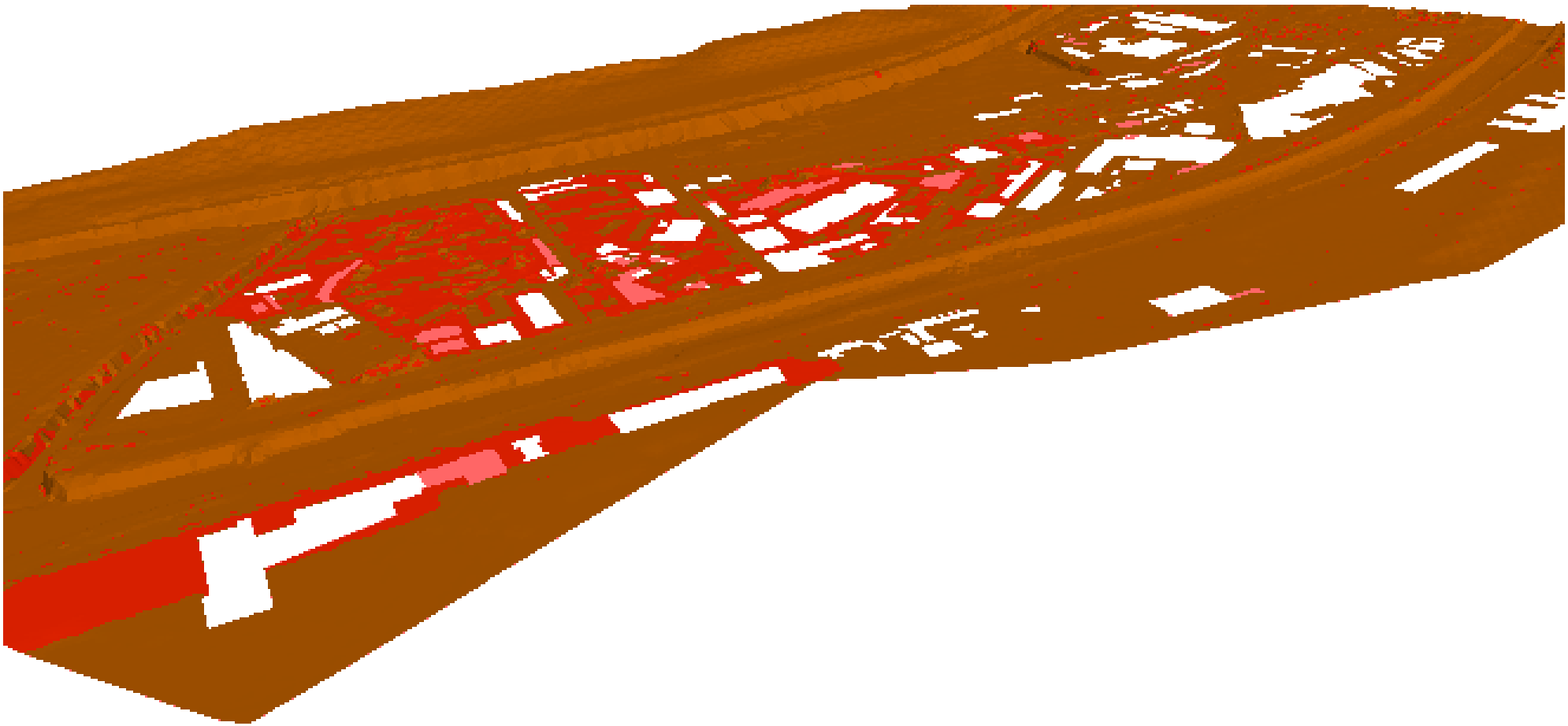


Figure 44 : Comparaison de la topographie de la situation initiale avec la situation projetée

La figure précédente superpose les résultats de l'interpolation de la topographie de l'état actuel et futur sur les maillages respectifs. Le secteurs apparaissant en rouge sont ceux qui diffèrent topographiquement d'une situation à l'autre. Les point rouges isolés sont des artefacts de l'interpolation graphique et ne rentrent pas en ligne de compte dans les calculs, seul les secteurs représentés dans les zones rouges étendues présentent de réelles différences topographiques (20 cm) en plus des secteurs sortis du modèles (nouveaux bâtis).

9.1.2.2 Résultats de la modélisation

Les mêmes conditions hydrologiques ont été modélisées dans ce scenario d'aménagement.

La page suivante présente les hauteurs d'eau de débordements atteintes sur le secteur du Nouveau Bassin.

Figure 45 : Résultats en termes de hauteurs d'eau pour la situation projetée (0 – 0.25 m, 0.25–0.5 m, 0.5 – 1 m, > 1 m)

La modélisation de la situation projetée montre de nombreuses similitudes avec la situation initiale. Toutefois, de par l'implantation de bâtiments en zone de débordement, des modifications limitées des champs d'expansion ont eu lieu. Il convient d'analyser cette situation plus attentivement.

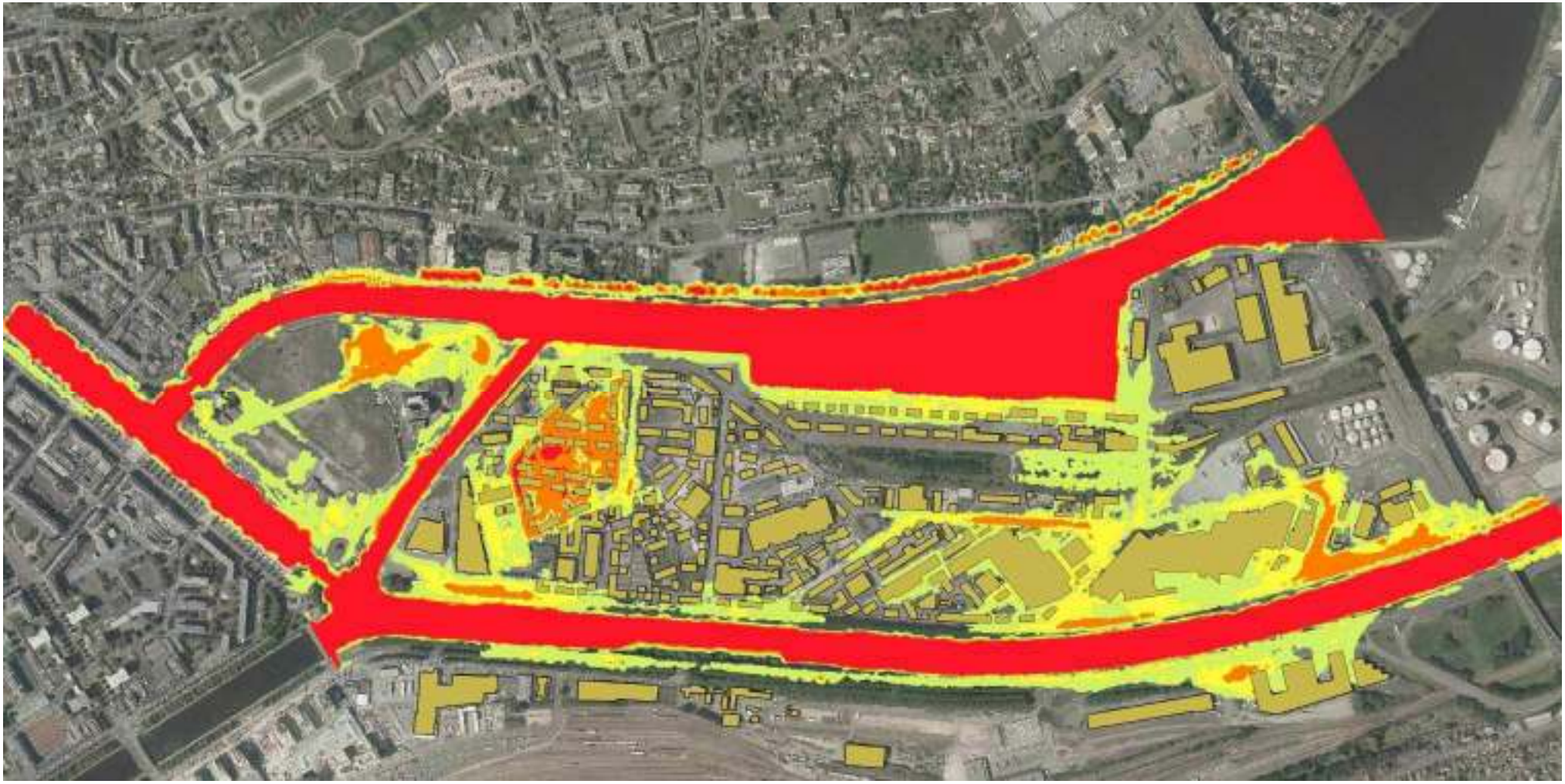


Figure 45 : Résultats en termes de hauteurs d'eau pour la situation projetée (0 – 0.25 m, 0.25-0.5 m, 0.5 – 1 m, > 1 m)

La modélisation de la situation projetée montre de nombreuses similitudes avec la situation initiale. Toutefois, de par l'implantation de bâtiments en zone de débordement, des modifications limitées des champs d'expansion ont eu lieu. Il convient d'analyser cette situation plus attentivement.