



PRISE EN COMPTE DU RISQUE INONDATION DANS LE PROJET D'AMÉNAGEMENT EN ARRIÈRE DU TERMINAL PORTUAIRE DE GRATTEQUINA

Rapport

ÉTUDE HYDRAULIQUE – ETAT INITIAL



PRISE EN COMPTE DU RISQUE INONDATION DANS LE PROJET D'AMÉNAGEMENT EN ARRIÈRE DU TERMINAL PORTUAIRE DE GRATTEQUINA

Rapport
Electro Mobility Materials Europe
Étude hydraulique – Etat initial

VERSION	DESCRIPTION	ÉTABLI(E) PAR	APPROUVÉ(E) PAR	DATE
1	Première version	Adrian CUNAUD	Antoine LYDA	10/2023
2	Ajout simulation Tempête + 1m	Adrian CUNAUD	Antoine LYDA	12/2023
3	Optimisation du projet	Adrian CUNAUD	Antoine LYDA	05/2024
4	Mise à jour de la forme du projet Intégration des remarques de la contre-expertise CDR Ajout des simulations Tempête + 120 cm Ajout d'une analyse sur les digues en place	Antoine LYDA	Antoine LYDA	08/2024
5	Complément sur le fonctionnement de l'estuaire sur les événements supérieurs à Tempête + 120 cm	Antoine LYDA	Antoine LYDA	10/2024
Note : Le présent document est l'extrait de la version 5 du rapport d'étude hydraulique datant d'octobre 2024 relatif à l'état initial à l'endroit du projet.				
Agence de Bordeaux Parc Sextant – Bâtiment D – 6-8 avenue des Satellites – 33187 LE HAILLAN CEDEX TEL : 05 56 13 85 82				

ARTELIA SAS – Siège Social : 16 rue Simone Veil – 93400 SAINT-OUEN . France
Capital : 4 671 840 Euros . 444 523 526 RCS Bibigny . SIRET 444 523 526 00804 . APE 7112B
N° identification TVA : FR 40 444 523 526 . www.arteliagroup.com

SOMMAIRE

1.	DESCRIPTION DE L'ÉTUDE	6
2.	CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE	8
2.1.	Détermination de l'aléa.....	8
2.2.	Cotes de seuils.....	9
2.3.	Zonage du PPRI de 2022	11
3.	MODÈLE MIS EN ŒUVRE	12
3.1.	Outil de modélisation	12
3.2.	Avantages de la modélisation bidimensionnelle	13
3.3.	Construction du maillage.....	13
3.4.	Hypothèses et limites associées	15
3.4.1.	Interpolation entre les points de calcul	15
3.4.2.	Houles et clapots.....	16
3.4.3.	Cartographie des résultats.....	16
4.	HYPOTHÈSES DE MODÉLISATION RETENUES	17
4.1.	Evènement de référence actuel : Tempête + 20 cm au Verdon	17
4.2.	Prise en compte du système de protection	18
4.2.1.	Système de protection actuel	18
4.2.2.	Configurations de protection étudiées	18
4.3.	Prise en compte du PAPI de l'estuaire de la Gironde	20
5.	ANALYSE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE ACTUEL ...	21
5.1.	Analyse générale	21
5.2.	Résultats pour l'état initial du site.....	23
5.2.1.	Etat initial – Tempête + 20 cm - Configuration avec digues	24
5.2.2.	Etat initial – Tempête + 20 cm – Configuration avec défaillance généralisée	28
6.	ANALYSE DES CONSÉQUENCES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	32
6.1.	Prise en compte du changement climatique	32
6.2.	Analyse des résultats pour les différents évènements simulés	33

6.3.	Simulation de l'évènement Tempête + 1,2 m à l'état initial	34
6.3.1.	Etat initial – Tempête + 1,2 m – Configuration avec digues	35
6.3.2.	Etat initial – Tempête + 1,2 m – Configuration défaillance généralisée	36
6.4.	Conditions hydrauliques pour des évènements supérieurs à Tempête + 1,2 m.....	37

FIGURES

Figure 1 : Localisation du projet sur fond IGN	6
Figure 2 : Localisation du projet sur la vue aérienne	7
Figure 3 – Cote de seuil approuvées dans le PPRI de février 2022 – communes de Parempuyre et Blanquefort	10
Figure 4 : Zonage du PPRI sur les communes de Parempuyre et de Blanquefort	11
Figure 5 : Fond, hauteur d'eau, niveau d'eau	12
Figure 6 : Emprise du modèle 2D	14
Figure 7 - Interpolation du niveau d'eau entre deux points de calcul	15
Figure 8 - Localisation de la ruine modélisée pour la configuration défaillance généralisée	19
Figure 9 : Localisation des travaux prévus dans le PAPI du SMIDDEST	20
Figure 10 - Schéma de principe du fonctionnement hydraulique (source : règlement PPRI 2005)	21
Figure 11 : Carte topographique avec mise en évidence des zones de transfert et des zones de stockage	22
Figure 13 - Etat initial – Avec digues - Hauteurs d'eau maximales	24
Figure 14 - Etat initial – Avec digues - Niveaux d'eau maximaux	25
Figure 15 - Etat initial – Avec digues - Vitesses maximales des écoulements.....	26
Figure 16 - Etat initial – Avec digues - Aléas	27
Figure 17 - Etat initial – Défaillance généralisée - Hauteurs d'eau maximales	28
Figure 18 - Etat initial - Défaillance généralisée - Niveaux d'eau maximaux.....	29
Figure 19: Etat initial - Défaillance généralisée - Vitesses maximales des écoulements	30
Figure 20: Etat initial - Défaillance généralisée - Aléas	31
Figure 21 : Localisation des points sondes pour l'analyse des niveaux d'eau maximaux	33
Figure 22 : Etat projet final – Avec digues – Tempête + 1,2m - Hauteurs d'eau maximales	35
Figure 23 : Etat projet final – Défaillance généralisée – Tempête + 1,2m - Hauteurs d'eau maximales	36
Figure 24 : Evolution du niveau d'eau maximal dans le lit mineur de l'estuaire de la Gironde ...	38
Figure 25 : Niveaux d'eau maximaux pour des événements allant de Tempête + 20 cm à Tempête + 3 m - Avec digues	40
Figure 26 : Niveaux d'eau maximaux pour des événements allant de Tempête + 20 cm à Tempête + 3 m - Avec défaillance généralisée	41

TABLEAUX

Tableau 1 : Tableau de croisement pour la détermination des aléas	9
Tableau 2 : Niveaux d'eau maximaux pour les événements allant de Tempête + 20 cm à Tempête + 1,2 m	34

1. DESCRIPTION DE L'ETUDE

Cette étude hydraulique concerne l'aménagement de terrains situés à l'arrière du terminal portuaire de Grattequina, situé sur les communes de Parempuyre et de Blanquefort, en rive gauche de la Garonne.

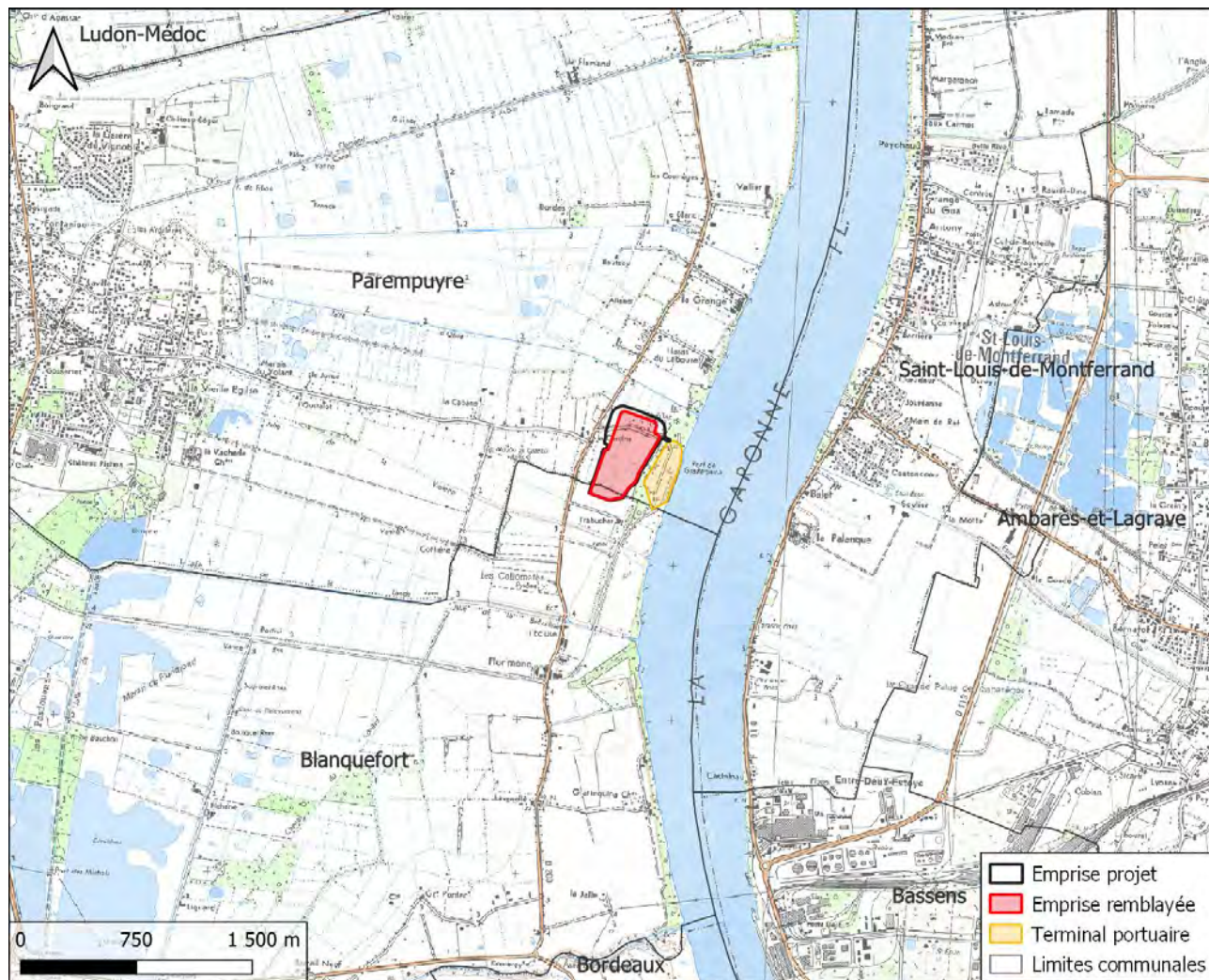


Figure 1 : Localisation du projet sur fond IGN

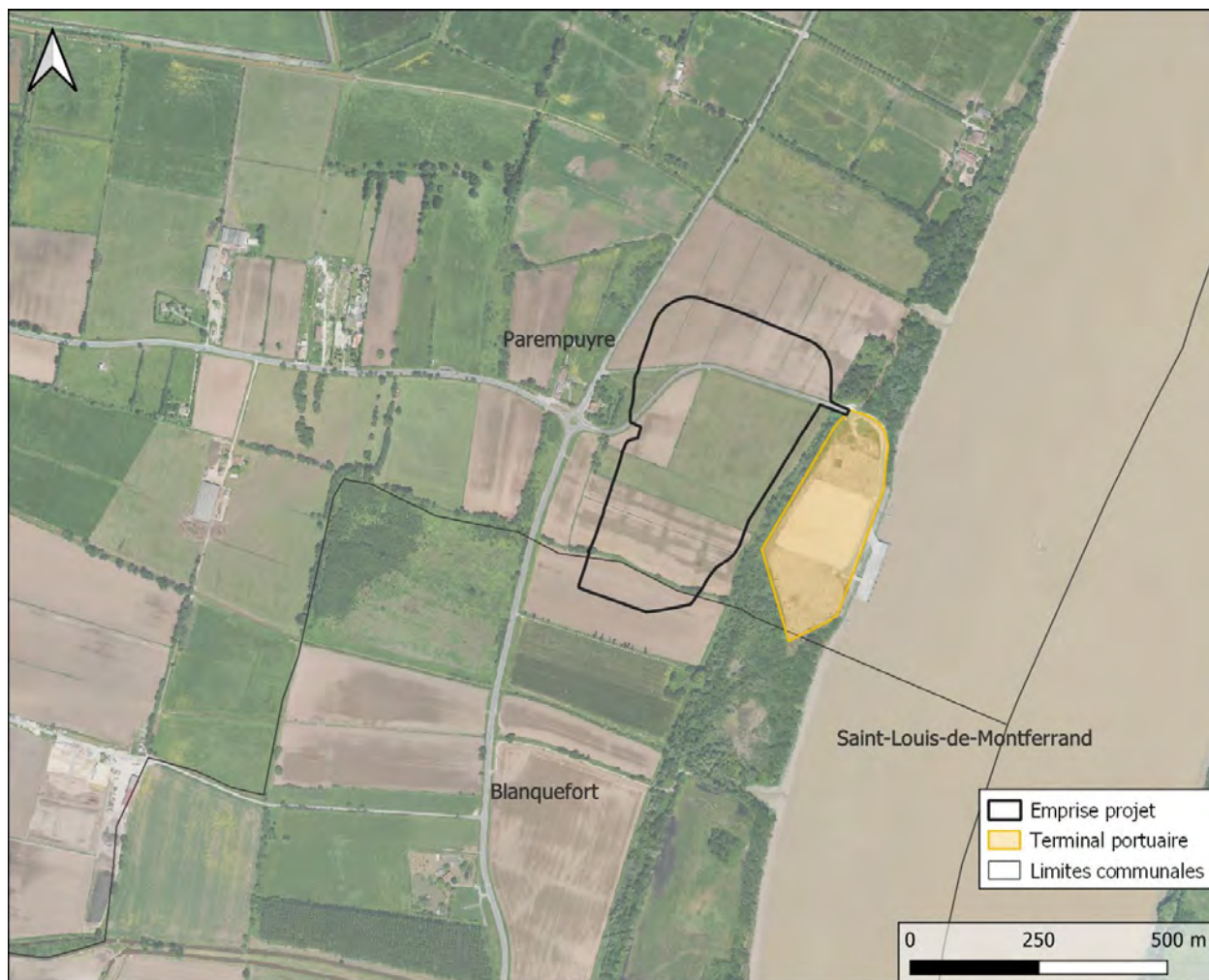


Figure 2 : Localisation du projet sur la vue aérienne

Ces terrains sont la propriété du Grand Port Maritime de Bordeaux (GPMB).

2. CONTEXTE REGLEMENTAIRE

Sur l'agglomération bordelaise, le nouveau PPRI a été approuvé sur les communes de Blanquefort et Parempuyre le 23 février 2022.

Le PPRI est le document réglementaire définissant les règles d'urbanisation des secteurs soumis au risque inondation.

Les inondations consécutives à la tempête Xynthia de février 2010 ont mis en évidence les limites de la politique de prévention du risque de submersion marine menée jusqu'alors et notamment le rôle majeur que peuvent jouer les protections (digues) en cas de défaillances.

Dans l'optique de réactualisation du cadre méthodologique de définition de ce risque, qui concerne le territoire de la métropole, l'Etat a publié le 27 juillet 2011 une circulaire définissant les modalités de prise en compte de l'aléa de submersion marine et des ouvrages de protections dans les plans de prévention des risques littoraux.

Cette circulaire définit notamment :

- l'évènement de référence : il s'agit dans notre cas de l'évènement Tempête de décembre 1999 + 20 cm au Verdon,
- l'évènement de référence à l'horizon 100 ans intégrant la prise en compte du changement climatique : il s'agit de l'évènement Tempête de décembre 1999 + 60 cm au Verdon,
- le caractère non pérenne des ouvrages de protections, à travers la représentation et la prise en compte de la ruine des digues par secteurs homogènes pour l'évènement de référence.

Ces exigences permettent de répondre au contexte réglementaire. Dans le cadre de cette étude, un évènement supplémentaire sera modélisé pour représenter les scénarios les plus défavorable vis-à-vis des derniers rapports du GIEC pour un horizon 2100. Plus précisions sont apportées sur ce point dans le chapitre 6.

2.1. DETERMINATION DE L'ALEA

Sur le secteur d'étude, la tempête Martin du 27 décembre 1999 a généré les niveaux d'eau maximaux en lit mineur les plus importants du siècle.

Les niveaux d'eau mesurés au Verdon lors de la tempête Martin sont rehaussés de 20 cm et 60 cm sur l'ensemble de la période étudiée pour constituer les évènements de référence, respectivement, à court terme et à l'horizon 2100.

Deux points sont à noter :

- l'ensemble des brèches des ouvrages de protection observées sur l'ensemble de l'estuaire lors de cette tempête (évènement réel) ne sont pas pris en compte pour la représentation de ces évènements ; ceci se traduit par une rehausse du niveau d'eau maximal en lit mineur au niveau de Bordeaux par rapport à celui qui a été observé lors de l'évènement réel, du fait d'un volume moindre débordé sur les secteurs à l'aval (Médoc et Blayais) ; les études du RIG montrent que la non prise en compte des ruptures observées sur l'estuaire lors de la tempête de 1999 induisent une rehausse de 13 cm du niveau d'eau de la Garonne au marégraphe de Bordeaux ;
- la rehausse du niveau d'eau au Verdon de 20 cm se traduit, pour des conditions hydro-météorologiques données et identiques à celles observées lors de la tempête Martin, par une rehausse du niveau d'eau maximal de 1 cm environ au marégraphe de Bordeaux.

Le PPRI prend en compte deux aléas distincts, l'aléa de référence et un aléa à l'horizon 2100, avec une progressivité de la réglementation entre les deux, conditionnée par le caractère urbanisé ou non de la zone considérée.

La qualification de l'aléa est menée en croisant les paramètres des hauteurs d'eau maximales et des vitesses maximales observées en chaque point de calcul, indépendamment de leur possible occurrence simultanée.

Le tableau de croisement utilisé est présenté ci-après.

Tableau 1 : Tableau de croisement pour la détermination des aléas

Aléa		Vitesses en m/s			
		Lente	Moyenne	Rapide	Très rapide
		V < 0.20 m/s	0.20 m/s <V < 0.50 m/s	0.50 m/s <V < 1.75 m/s	V > 1.75 m/s
Hauteur d'eau en m	H < 0.50 m	Faible	Modéré	Fort	Très Fort
	0.50 m < H < 1.0 m	Modéré	Modéré	Fort	Très Fort
	1.0 m < H < 2.0 m	Fort	Fort	Très Fort	Très Fort
	H > 2.0 m	Très Fort	Très Fort	Très Fort	Très Fort

2.2. COTES DE SEUILS

Les cotes de seuils sont déterminées à partir de la cote d'inondation obtenue pour l'évènement à l'horizon 2100 en prenant en compte les résultats maximaux obtenus pour les différentes configurations simulées, avec ou sans défaillance généralisée des protections.

Les extraits présentés ci-après présentent les cotes de seuil des PPRI de Parempuyre et de Blanquefort.

Cette cote de seuil minimale permet d'assurer la sécurité des futurs aménagements, des personnes qui vont y travailler et aussi d'éviter que les produits de l'usine soient inondés.

Ces cotes de seuil sont recalculées après intégration du projet dans la suite du rapport.

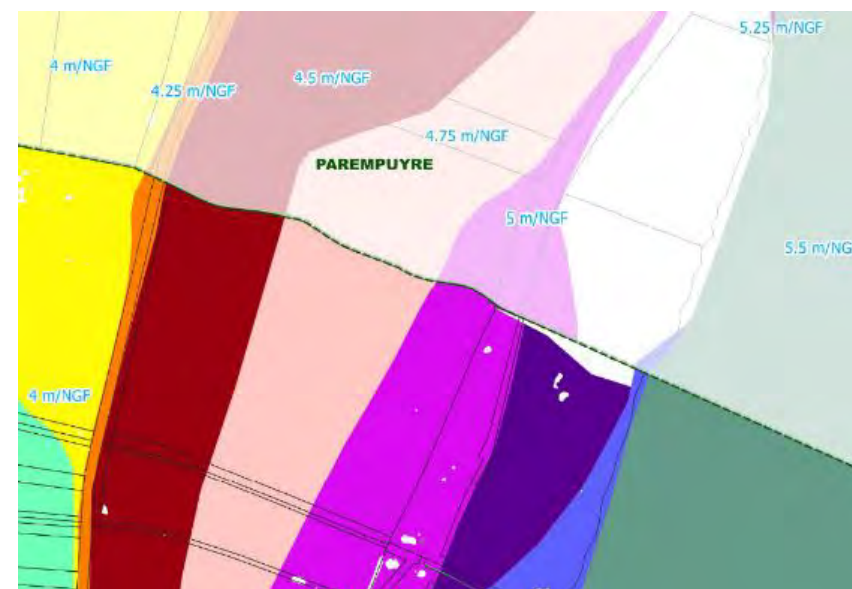
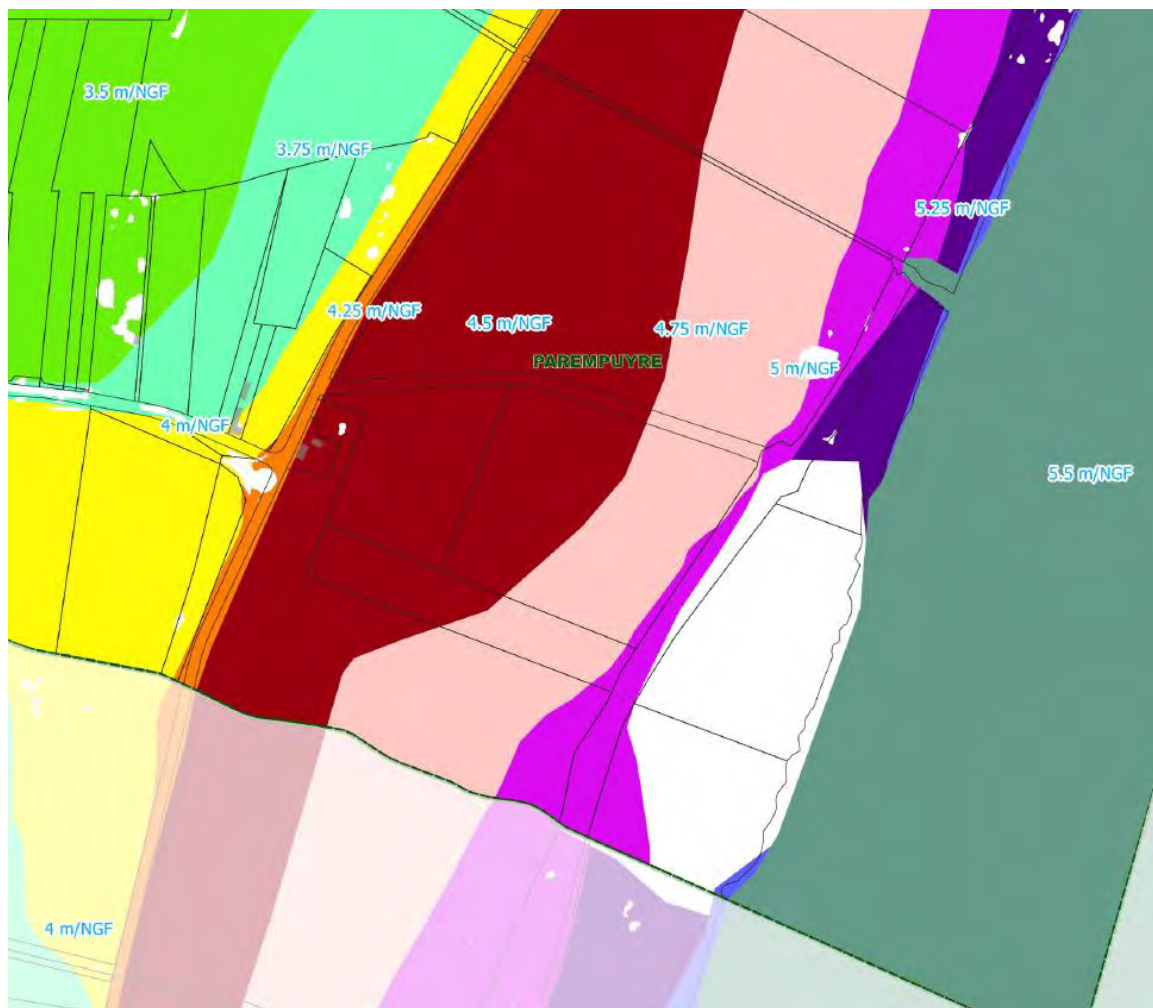


Figure 3 – Cote de seuil approuvées dans le PPRI de février 2022 – communes de Parempuyre et Blanquefort

2.3. ZONAGE DU PPRI DE 2022

Les cartes ci-dessous présentent des extraits du zonage du PPRI de 2022 sur les communes de Parempuyre et Blanquefort.

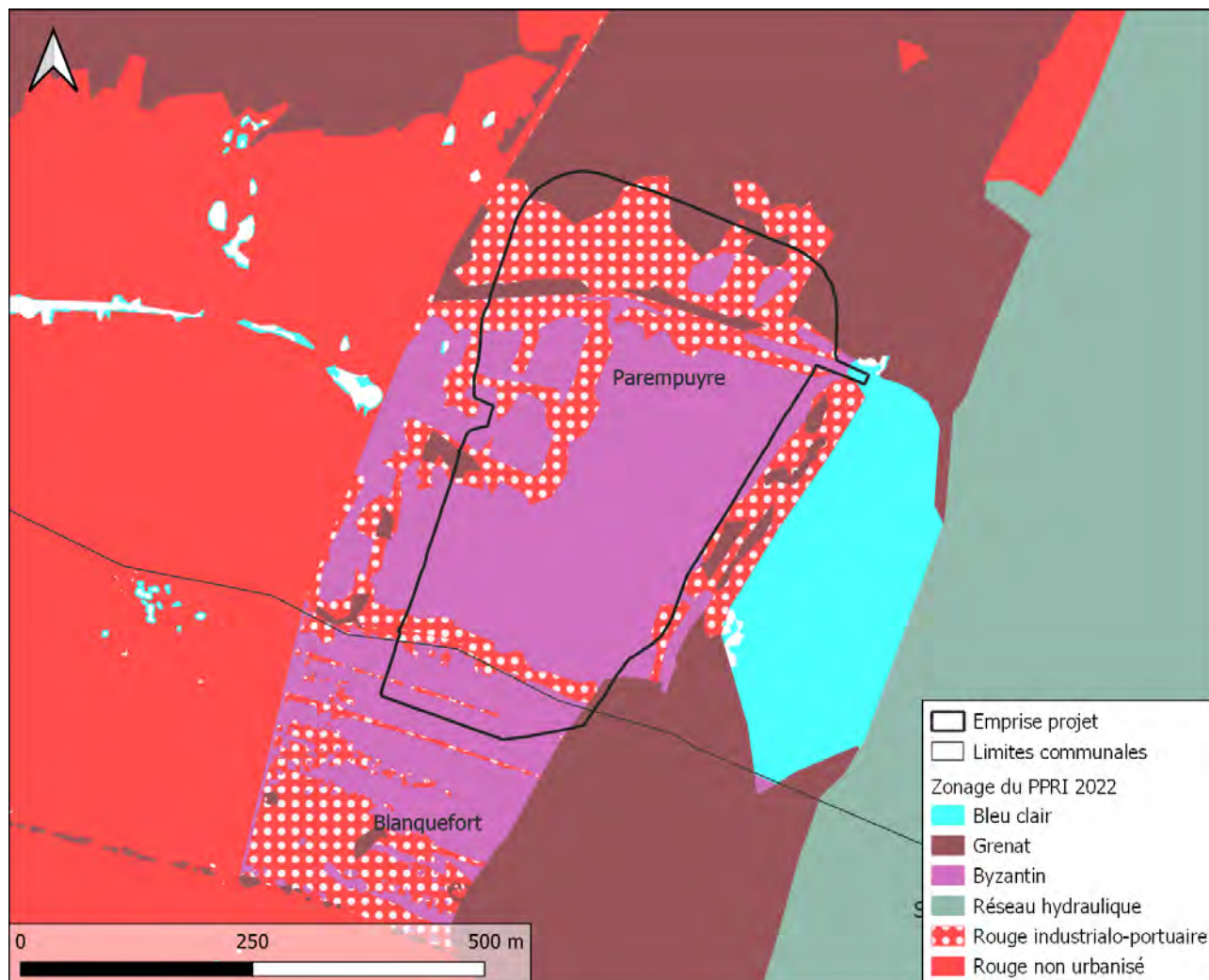


Figure 4 : Zonage du PPRI sur les communes de Parempuyre et de Blanquefort

Sur le plan de zonage du PPRI l'emprise des aménagements est située principalement en zone byzantine qui correspond aux secteurs industrialo-portuaires exposés à un aléa faible ou modéré. Dans cette zone, les activités industrialo-portuaires et leurs équipements sont bien autorisés sous réserve du respect de certaines prescriptions et dispositions.

3. MODELE MIS EN ŒUVRE

3.1. OUTIL DE MODELISATION

Afin de déterminer avec précision les conditions d'écoulement de la Garonne au niveau du projet, une modélisation mathématique bidimensionnelle a été mise en œuvre à l'aide du logiciel TELEMAC-2D.

Les équations de la physique gérant les écoulements sont résolues numériquement par le code de calcul TELEMAC-2D.

La réalité du terrain est représentée de manière schématique à l'aide d'un maillage, maquette virtuelle du secteur d'étude. Le maillage est composé de triangles de tailles variables dont les sommets servent de points de calculs. Chaque point de calcul possède une information de géo-référencement spatial (X et Y) et altimétrique (Z).

La modélisation mise en œuvre dans le cadre de l'étude est une modélisation hydrodynamique bidimensionnelle, ce qui signifie :

- hydrodynamique : les caractéristiques des écoulements (hauteur d'eau et vitesse) sont déterminées de manière dynamique, c'est-à-dire en chaque instant de l'évènement simulé,
- bidimensionnelle : le modèle fournit les vitesses de déplacement de la colonne d'eau (vitesses moyennées sur la verticale) dans l'espace (plan horizontal).

En chaque point de calcul et pour chaque instant de l'évènement modélisé, le niveau d'eau et la vitesse (intensité et direction) sont déterminés par calcul. À partir de ces informations et de la cote altimétrique de chaque point, les variables hydrauliques suivantes sont déterminées : hauteur d'eau (niveau d'eau – niveau du fond), débit linéique scalaire et vectoriel (vitesse x hauteur d'eau), ...

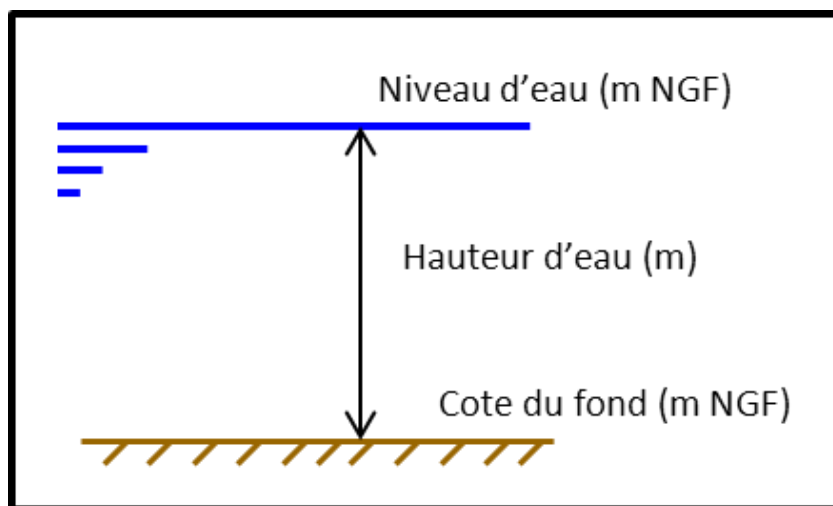


Figure 5 : Fond, hauteur d'eau, niveau d'eau

3.2. AVANTAGES DE LA MODELISATION BIDIMENSIONNELLE

La méthodologie de modélisation mise en œuvre présente les avantages suivants :

- le terrain est représenté par un assemblage de facettes triangulaires de tailles et de formes variables, nommé maillage. Ce maillage épouse avec fidélité les géométries complexes que l'on rencontre dans la nature, l'altimétrie, les chenaux préférentiels des courants, la définition précise des ouvrages du secteur (merlon, digues, ...) ;
- la possibilité de densifier le maillage et donc d'affiner les résultats fournis par le modèle dans les zones d'intérêt (au voisinage du projet en particulier) ;
- une comparaison directe des résultats fournis par des calculs distincts en soustrayant les valeurs de l'un par rapport à l'autre, permettant ainsi une finesse d'analyse de l'incidence des aménagements.

La force de l'approche bidimensionnelle réside dans une représentation réaliste du terrain naturel et des éléments structurants du point de vue du comportement hydraulique par le modèle numérique de terrain associé au maillage du modèle.

Sur ce maillage, le logiciel TELEMAT résout les équations bidimensionnelles régissant la dynamique des écoulements. Il calcule donc, en chaque instant de la crue et en tout point de la zone d'étude, aussi bien dans le lit ordinaire que dans la plaine inondable, la hauteur d'eau et la vitesse de l'écoulement. Pour cette dernière variable, le calcul restitue à la fois l'intensité de la vitesse et la direction du courant.

3.3. CONSTRUCTION DU MAILLAGE

Un modèle de grande emprise a été repris. Il s'étend du Verdon à l'aval, à La Réole en amont de la Garonne et jusqu'à Pessac-sur-Dordogne, sur la Dordogne.

La zone d'étude a été reprise et affinée afin de représenter finement les éléments structurants du secteur : routes, surélévations diverses de terrain, remblai...

La zone du projet a été représentée finement. Les principaux éléments structurants aux alentours ont été intégrés au maillage, ces derniers jouant un rôle dans la propagation des écoulements et la répartition des volumes débordés à l'intérieur du lit majeur.

La figure suivante présente l'emprise du modèle utilisé.

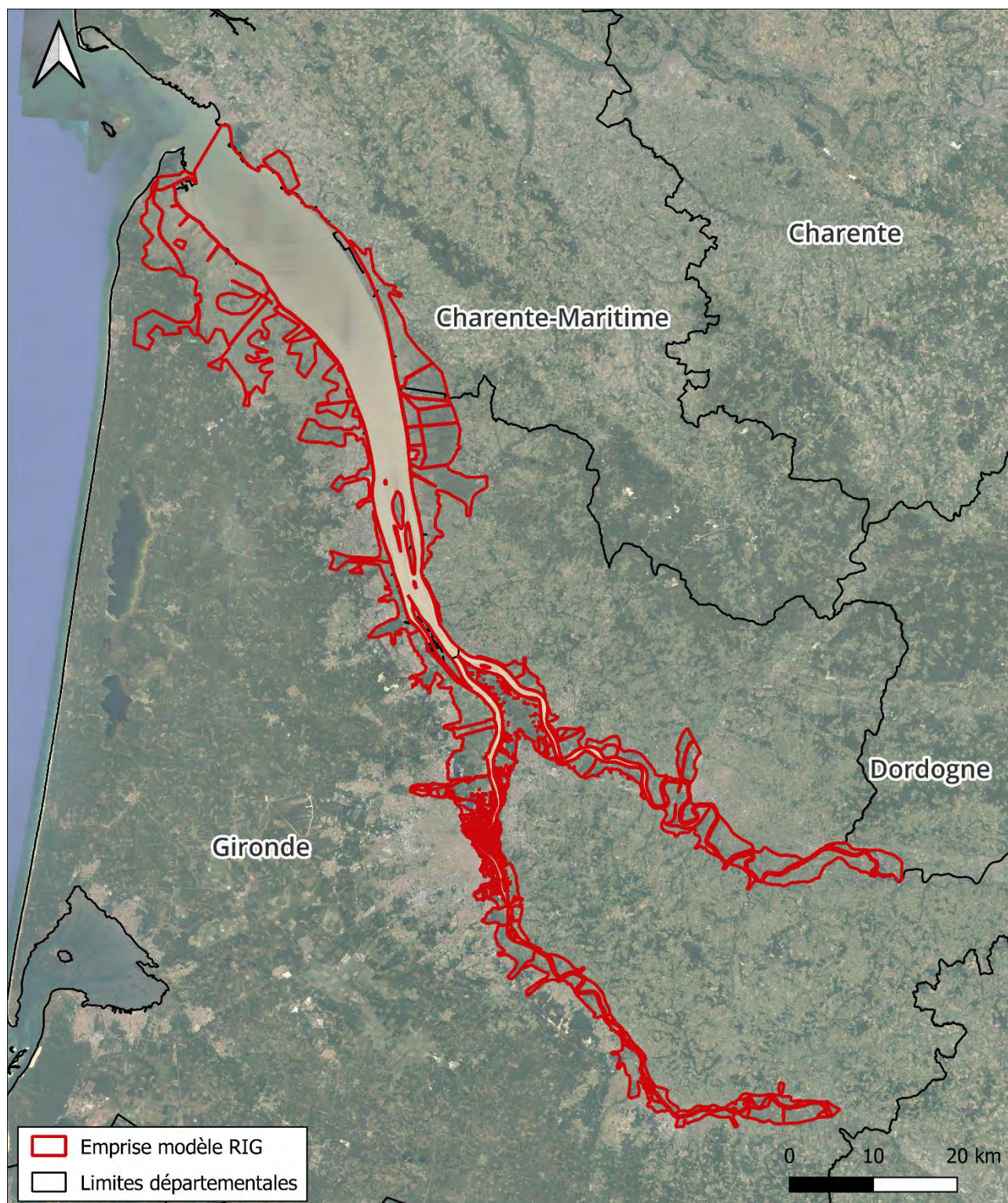


Figure 6 : Emprise du modèle 2D

3.4. HYPOTHESES ET LIMITES ASSOCIEES

3.4.1. Interpolation entre les points de calcul

Les limites associées à la modélisation mise en œuvre sont liées aux hypothèses propres aux modèles bidimensionnels et à la précision des données de base qui ont servi à leur élaboration.

La précision des résultats obtenus est directement liée à la précision :

- des données d'entrée,
- de la taille des mailles du maillage : les résultats obtenus à une échelle spatiale inférieure à la taille d'une maille sont directement interpolés à partir des résultats des points de calculs de la maille (sommet du triangle).

De même, la limite de la zone inondée ne peut être déterminée de manière précise avec un modèle présentant des mailles de taille trop importante. En effet, la limite inondable est déterminée en considérant la dernière maille en eau et la suivante, ce qui induit le calcul d'une rehausse artificielle du niveau d'eau lors de l'exploitation du modèle. Cette rehausse tend donc à surestimer l'emprise de la zone inondée.

Dans le cadre de la présente étude, et au niveau du secteur raffiné, la taille des mailles du modèle permet de limiter très fortement cet effet numérique.

Ce phénomène est illustré sur la figure suivante.

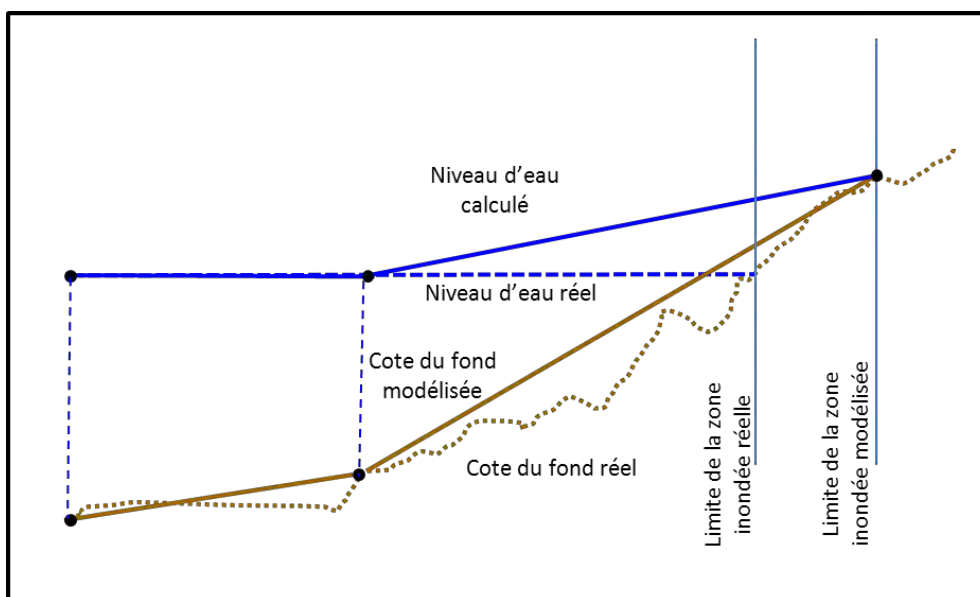


Figure 7 - Interpolation du niveau d'eau entre deux points de calcul

3.4.2. Houles et clapots

De plus il convient de rappeler que seul le niveau statique est représenté par la modélisation mise en œuvre. L'influence de la houle et des clapots, notamment sur les parties aval de l'estuaire, ne sont pas prise en compte dans les calculs réalisés.

De même, les volumes des paquets de mer passant par-dessus les protections et pouvant générer l'inondation des terrains en arrière des digues n'est pas représenté et étudié ici. Seule l'inondation par surverse par-dessus les protections ou le terrain naturel, par le niveau statique de marée de l'estuaire est prise en compte.

La houle et le clapot peuvent générer une sur-inondation des secteurs inondés ou par l'inondation de terrains comme non inondés.

Cependant, ces éléments n'ont que peu d'influence au niveau du secteur d'étude car les débordements en niveau statique sont très importants et que la houle provenant du large est très atténuée. Le clapot local génèrerait quand à lui des entrées d'eau négligeables au regard des volumes de remplissage sur le secteur d'étude.

3.4.3. Cartographie des résultats

Dans le cadre de la présente étude, les résultats obtenus permettent l'élaboration des cartes des paramètres hydrauliques maximaux et des aléas. Ces cartes représentent la représentation des hauteurs d'eau, des niveaux d'eau et des vitesses maximales. Elles ne constituent pas une « photographie » d'un instant de l'évènement, mais traduisent les paramètres maximaux observés en chaque point d'étude tout au long de l'évènement.

Les cartes présentées dans ce rapport sont les cartographies « brutes », i.e. non retouchées, des résultats des modélisations mises en œuvre. Ces résultats ne font pas l'objet de retouches locales spécifiques ou d'une re-projection sur une topographie plus fine, ce qui peut expliquer quelques imperfections très locales sur des secteurs spécifiques.

4. HYPOTHESES DE MODELISATION RETENUES

4.1. EVENEMENT DE REFERENCE ACTUEL : TEMPETE + 20 CM AU VERDON

Les conditions hydrométéorologiques retenues pour les événements de référence sont celles basées sur celles observées et mesurées lors de la tempête de décembre 1999, à l'exception du niveau de marée.

L'événement du 27 décembre 1999 est l'événement historique qui a entraîné les niveaux les plus hauts du siècle sur l'ensemble de l'estuaire de la Gironde.

Le coefficient de marée associé à cet événement est faible (77) et les débits fluviaux moyens (inférieurs à 2 ans pour la Dordogne et à 10 ans pour la Garonne). Cependant, le vent a soufflé à des pointes de 194 km/h, ce qui a entraîné des surcotes de 1,55 m au Verdon et de 2,25 m à Bordeaux.

Il n'y a pas eu concomitance de la surcote maritime du 27 décembre et du pic de crue du 29 décembre.

Les temps de retour associés aux niveaux d'eau maximaux dans l'estuaire sont très importants. Ils sont de plus de 50 ans au Verdon. Le vent dans l'estuaire a accentué la surcote lors de sa remontée vers Bordeaux. Les niveaux maximaux atteints lors de la tempête possèdent des périodes de retour de plus de 100 ans entre les marégraphes de Laména et de Bordeaux.

Conformément à la circulaire du 27 juillet 2011, une surcote de 20 cm au Verdon est ajoutée au niveau de marée réel enregistré en décembre 1999 afin d'intégrer une première adaptation au changement climatique. Cet événement de référence est nommé Tempête + 20 cm au Verdon.

L'événement de référence Tempête + 20 cm au Verdon possède les caractéristiques suivantes :

- coefficient de marée : 77,
- vent moyen : 33 m/s (120 km/h),
- vent en pointe : 54 m/s (194 km/h),
- surcote au Verdon : 1,50 m + 20 cm = 1,70 m.

La marée reconstituée au Verdon reprend le cycle de marée réel intégrant la surcote océanique. Les débits sont ceux mesurés aux stations de La Réole et de Pessac-sur-Dordogne, avec le décalage observé alors entre la pointe de marée la plus forte et le pic de crue. Le vent modélisé lors des phases de calage (schématisation du vent réel) est conservé.

Les conditions hydrométéorologiques retenues pour l'événement de référence sont basées sur celles observées et mesurées lors de la tempête de décembre 1999, à l'exception du niveau de marée.

Conformément à la circulaire du 27 juillet 2011, une surcote de 20 cm au niveau du Verdon est ajoutée au niveau de marée réel enregistré en décembre 1999 afin d'intégrer une première adaptation au changement climatique. La surcote au Verdon associée à cet événement est de 1,70 m par rapport au niveau de pleine-mer de la marée théorique.

L'événement de référence est nommé Tempête + 20 cm au Verdon.

La marée reconstituée au Verdon reprend le cycle de marée réel intégrant la surcote océanique. Les débits sont ceux mesurés aux stations de La Réole et de Pessac-sur-Dordogne, avec le décalage observé alors entre le pic de marée et le pic de crue. Le vent modélisé lors des phases de calage (schématisation du vent réel) est conservé.

4.2. PRISE EN COMPTE DU SYSTEME DE PROTECTION

4.2.1. Système de protection actuel

Le système de protection actuel est situé sur la rive droite de la Garonne, au droit du secteur d'étude.

4.2.2. Configurations de protection étudiées

Dans le cadre de la présente étude, deux scénarios ont été étudiés pour prendre en compte l'éventuelle défaillance des ouvrages de protection dans la définition du risque inondation à l'échelle du secteur d'étude :

- **Avec digues : l'ensemble du système de protection de l'aire d'étude est pris en compte sans défaillances pour cette configuration.** En effet, il est possible qu'en cas d'évènement débordant, aucune défaillance ne soit constatée sur les digues.
- **Défaillance généralisée des digues (digues non-pérennes) : l'ensemble du système de protection de l'aire d'étude est considéré comme non pérenne.** En effet, en l'absence d'études de danger précisant le comportement des protections face à un évènement fort, la DDTM33 considère l'ensemble du système de protection de l'aire d'étude comme non pérenne. La défaillance des ruines se fait sur l'ensemble des digues situées entre la Jalle de Blanquefort et le canal du Despartins.

Ces 2 configurations du système de protection ont été étudiées pour l'évènement de référence actuel.

La configuration avec défaillance généralisée génère les plus hauts niveaux d'eau à l'arrière du projet, et constitue à ce titre la configuration la plus défavorable. En réalité, les digues ne sont pas conçues pour résister à de tels niveaux d'eau. Leur défaillance lors des évènements exceptionnels modélisés dans le cadre de cette étude constitue donc un évènement hautement probable.



Figure 8 - Localisation de la ruine modélisée pour la configuration défaillance généralisée

4.3. PRISE EN COMPTE DU PAPI DE L'ESTUAIRE DE LA GIRONDE

Le Programme d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI) est un outil porté par les collectivités qui permet d'élaborer et de mettre en œuvre une politique globale pour lutter contre les inondations et leurs conséquences à l'échelle d'un bassin de risque cohérent.

Elaboré à la suite du PAPI d'intention conduit par le SMIDDEST de février 2013 à mai 2015, le PAPI de l'estuaire de la Gironde (2016-2021) vise à instaurer une stratégie de gestion, globale, efficace, cohérente et équilibrée des risques d'inondations sur l'estuaire de la Gironde, pour réduire la vulnérabilité des enjeux humains, économiques et environnementaux.

Dans le cadre de ce programme, le SMIDDEST porte plusieurs actions de travaux sur des ouvrages de protection hydrauliques situés à proximité du projet. Il s'agit en particulier des 2 actions suivantes :

- Action 7.8 : Restauration de la digue de Macau (chemin de Bord de l'eau) en bord de Garonne
- Action 7.9 : Recul de la digue nord de Pachan

Ces travaux sont prévus avec des altimétries de digues proches de l'altimétrie initiale. Les impacts hydrauliques de ces aménagements sont limités comme cela a été démontré dans les études d'impact hydraulique réalisées par ARTELIA pour le compte du gestionnaire le SMBVAM (octobre 2018 pour la digue de Pachan, septembre 2023 pour la digue de Macau).

Par conséquent, les aménagements prévus dans le PAPI de l'estuaire de la Gironde n'ont aucun impact sur les résultats obtenus au niveau du projet.

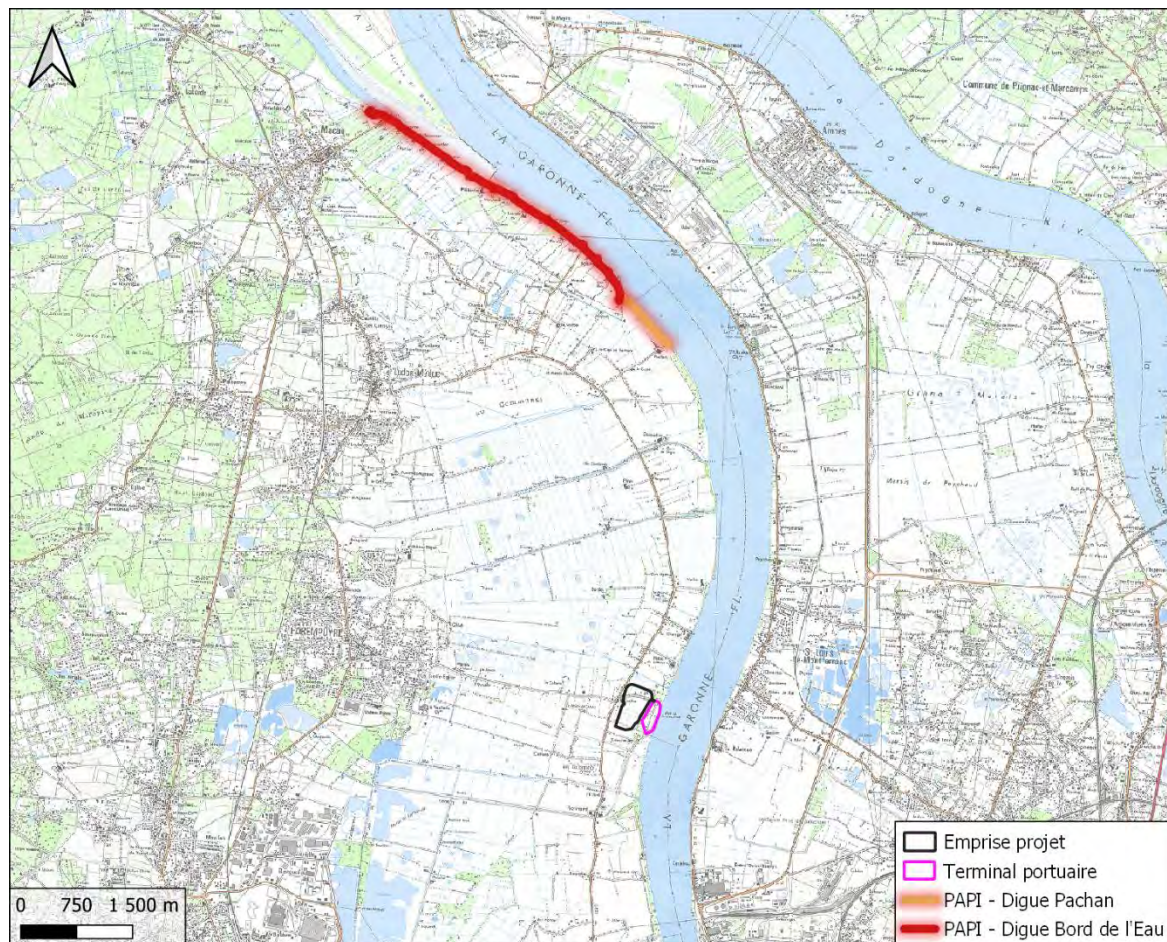


Figure 9 : Localisation des travaux prévus dans le PAPI du SMIDDEST

Étude hydraulique – Etat initial

PRISE EN COMPTE DU RISQUE INONDATION DANS LE PROJET D'AMÉNAGEMENT EN ARRIÈRE DU TERMINAL PORTUAIRE DE GRATTEQUINA

5. ANALYSE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE ACTUEL

5.1. ANALYSE GENERALE

Le secteur d'étude est situé dans une zone de cuvette très marquée en plein cœur de la rive droite de l'agglomération bordelaise. Les terrains situés en bord de Garonne ont une altimétrie globalement comprise entre 3,5 et 4,5 m NGF tandis qu'au fond de cette cuvette, l'altimétrie des terrains diminue entre 0,5 et 2,0 m NGF essentiellement.

Le secteur d'étude recouvre des zones situées aux alentours de ce fond de cuvette et des zones au fond de cette cuvette. On peut donc distinguer 2 types de zones avec des fonctionnements hydrauliques distincts :

- **les zones de transfert** (dans lesquelles les débordements de la Garonne vont s'écouler depuis les bords de fleuve jusqu'au fond de cuvette) ;
- **les zones de stockage** (où les volumes débordés viennent s'accumuler dans le fond des cuvettes topographiques).

Ce fonctionnement est illustré sur la coupe ci-dessous extraite du règlement du PPRI actuel :

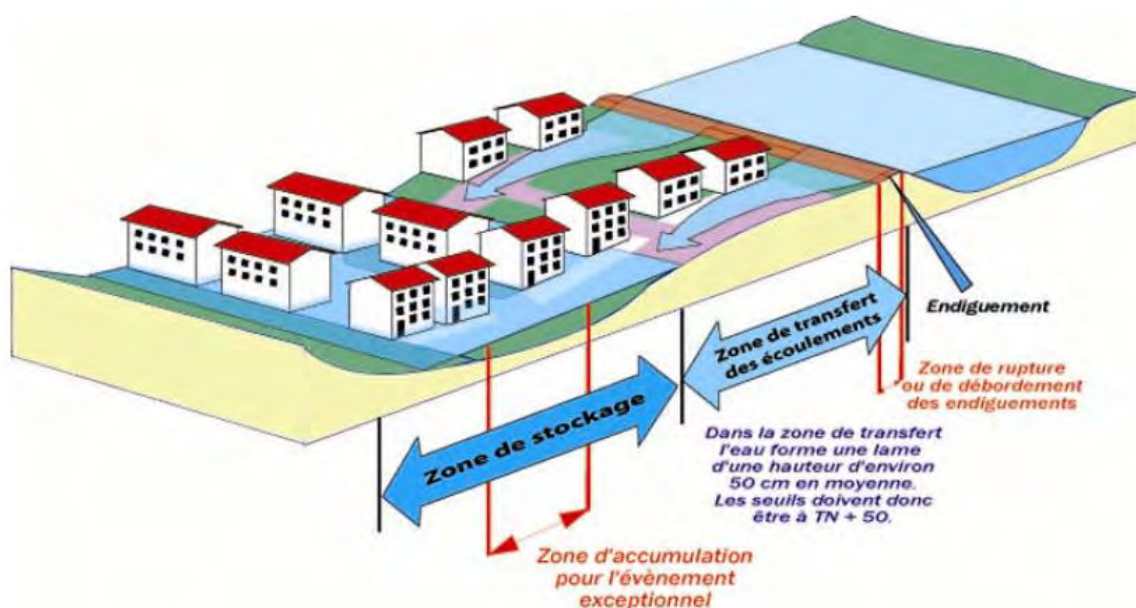


Figure 10 - Schéma de principe du fonctionnement hydraulique (source : règlement PPRI 2005)

Sur le secteur d'étude, deux zones de marais font office de zones de stockages, avec des hauteurs comprises entre 0 et 2 m NGF. Ces zones de stockage Sud-Ouest et Nord-Ouest sont séparés par la rue des Palus. Le futur remblai est lui situé sur la zone de transfert, avec des terrains plus haut, compris entre 3,5 et 4,5 m NGF. Sur ces terrains, l'écoulement ne fait que transiter, et finalement, l'installation d'un remblai sur une telle zone permet de ne pas modifier de manière substantielle les volumes d'expansion des inondations.

La figure suivante permet de visualiser ces différentes zones, avec la topographie utilisée dans le modèle, permettant de mettre en évidence les zones de stockages et les zones de transfert.

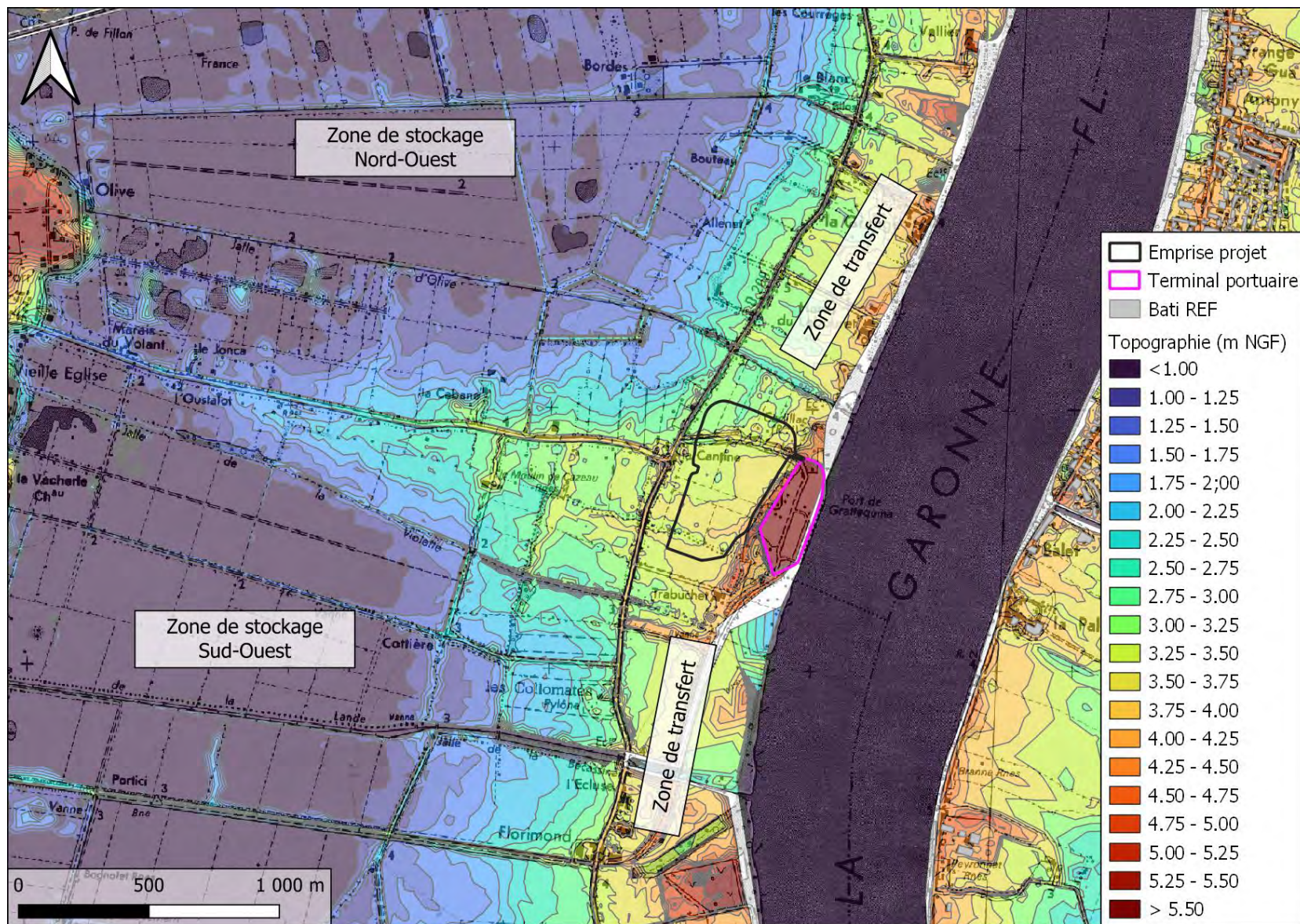


Figure 11 : Carte topographique avec mise en évidence des zones de transfert et des zones de stockage

Étude hydraulique – Etat initial

PRISE EN COMPTE DU RISQUE INONDATION DANS LE PROJET D'AMÉNAGEMENT EN ARRIÈRE DU TERMINAL PORTUAIRE DE GRATTEQUINA

5.2. RESULTATS POUR L'ETAT INITIAL DU SITE

Quatre paramètres hydrodynamiques permettent de caractériser les contraintes hydrauliques actuelles sur le site du projet :

- la hauteur d'eau maximale (différence entre le niveau d'eau maximal et l'altimétrie du terrain, exprimée en mètres),
- le niveau d'eau maximal (exprimé en m NGF),
- la vitesse maximale d'écoulement (sans indication de la direction, exprimée en m/s),
- l'aléa (faible, modéré, fort ou très fort) qui résulte du croisement entre les hauteurs d'eau maximales et les vitesses maximales.

Le projet se situe dans une zone inondée dans les deux configurations de digues.

Les niveaux d'eau maximaux atteints au cours de l'évènement de référence à l'arrière du terminal portuaire de Grattequina varient entre 4,00 mNGF et 4,25 mNGF. Pour ce qui est des vitesses maximales, elles atteignent des valeurs comprises entre 0,20 et 0,50 m/s au niveau de l'emprise du projet. Enfin, ce dernier se situe majoritairement dans une zone d'aléa modéré.

Pour la configuration défaillance généralisée, les niveaux d'eau maximaux atteignent des valeurs légèrement plus élevées que dans la configuration avec digues, avec des valeurs comprises entre 4,20 et 4,40 mNGF. Les vitesses maximales, sont quant à elles bien plus élevées au Nord et au Sud du projet dans la configuration avec défaillance généralisée des digues. Elles ne varient cependant pas de manière significative à l'arrière du terminal portuaire de Grattequina, au niveau de l'emprise du projet. Il en est de même pour l'aléa.

Les résultats de ces simulations servent de base au calcul des impacts du projet global.

5.2.1. Etat initial – Tempête + 20 cm - Configuration avec digues

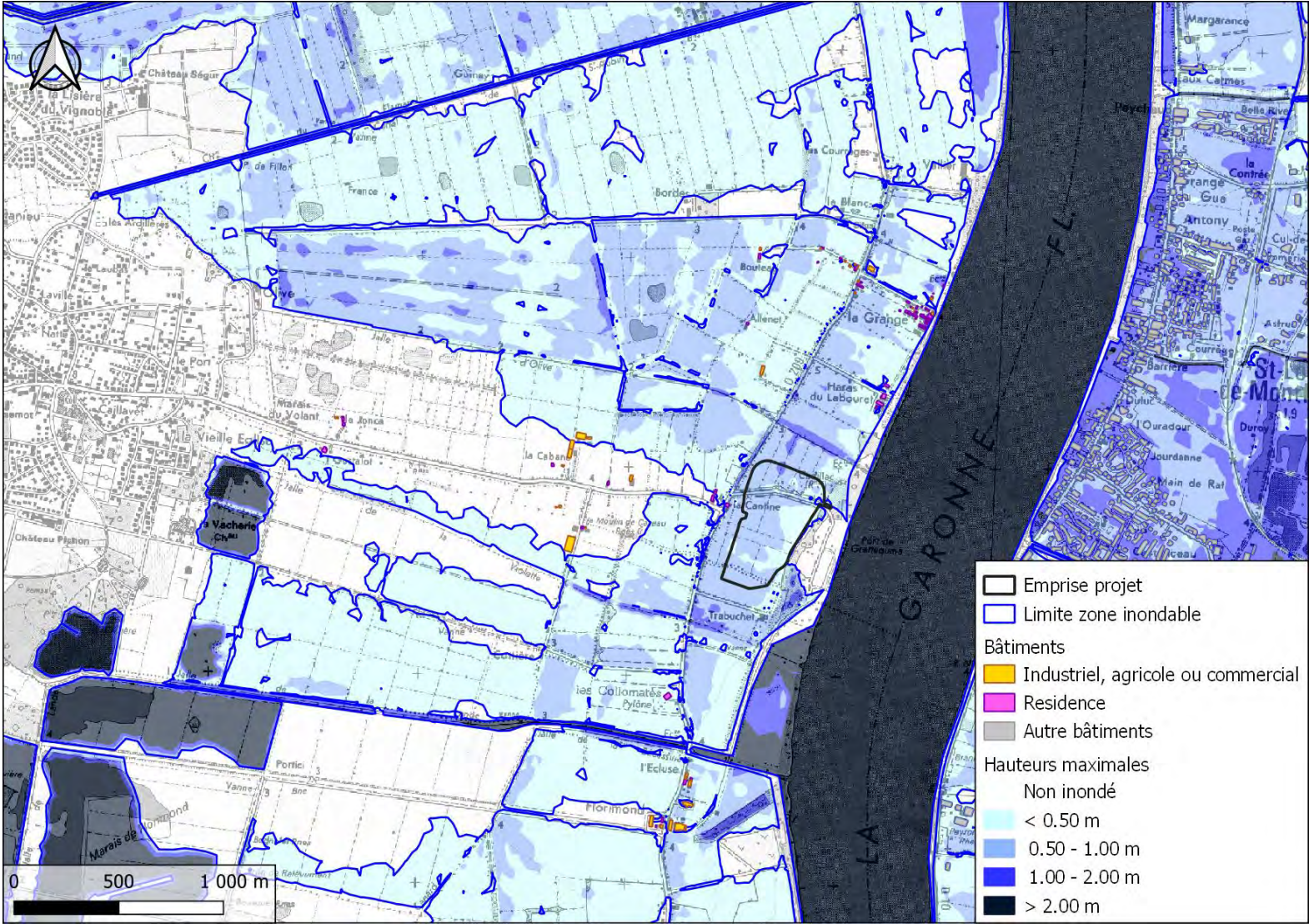


Figure 12 - Etat initial – Avec digues - Hauteurs d'eau maximales

Étude hydraulique – Etat initial

PRISE EN COMPTE DU RISQUE INONDATION DANS LE PROJET D'AMÉNAGEMENT EN ARRIÈRE DU TERMINAL PORTUAIRE DE GRATTEQUINA

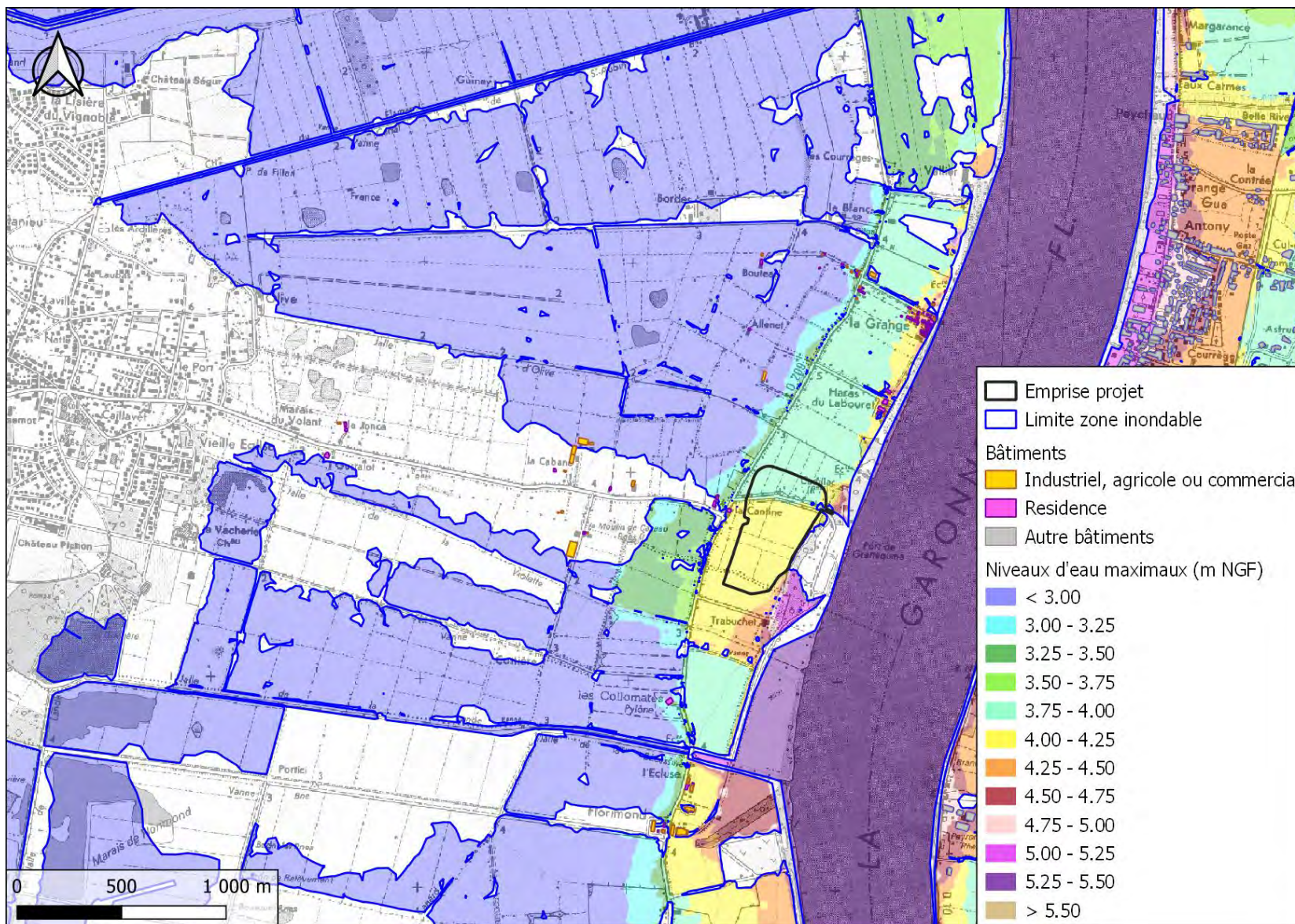


Figure 13 - Etat initial – Avec digues - Niveaux d'eau maximaux

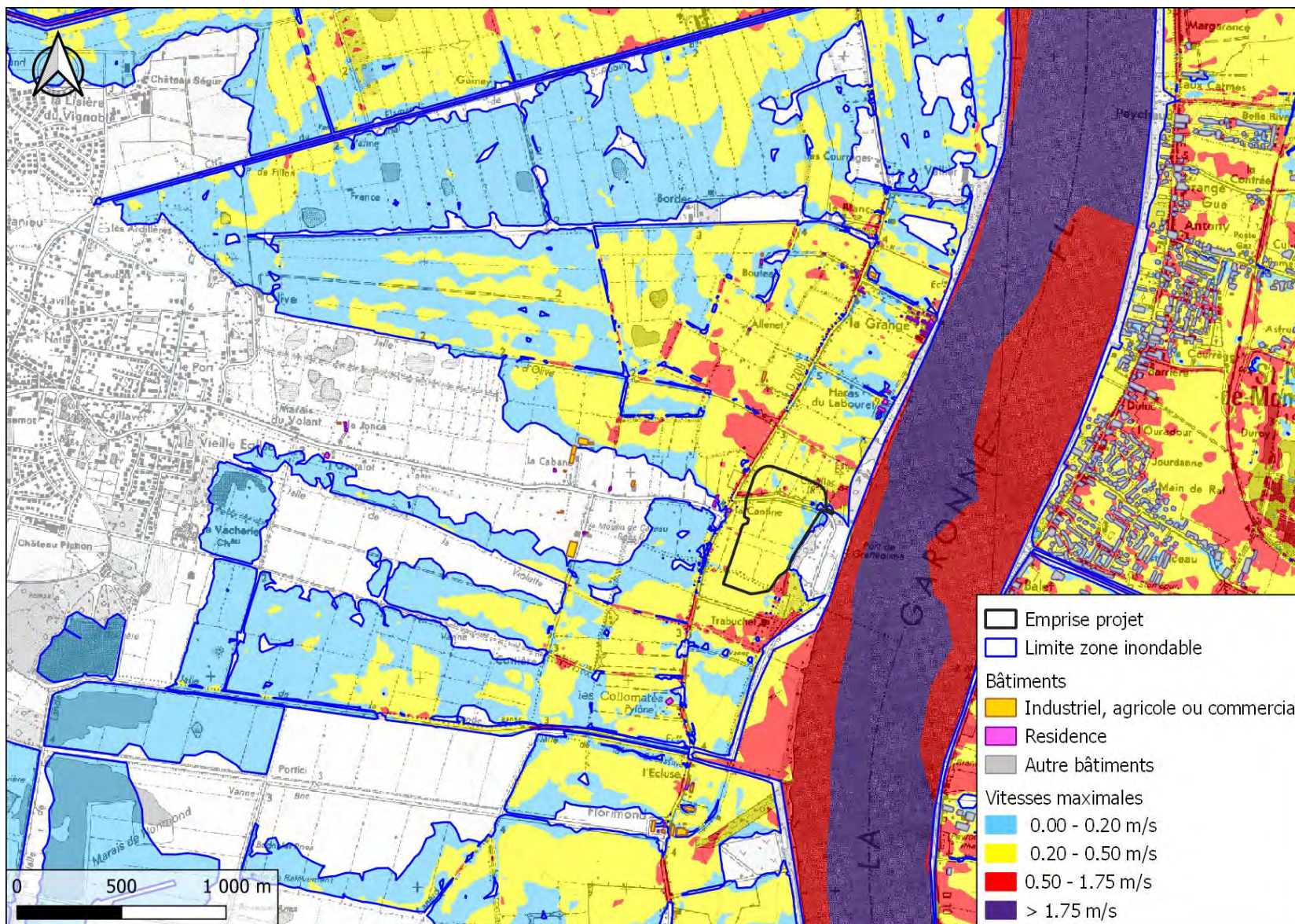


Figure 14 - Etat initial – Avec digues - Vitesses maximales des écoulements

Étude hydraulique – Etat initial

PRISE EN COMPTE DU RISQUE INONDATION DANS LE PROJET D'AMÉNAGEMENT EN ARRIÈRE DU TERMINAL PORTUAIRE DE GRATTEQUINA

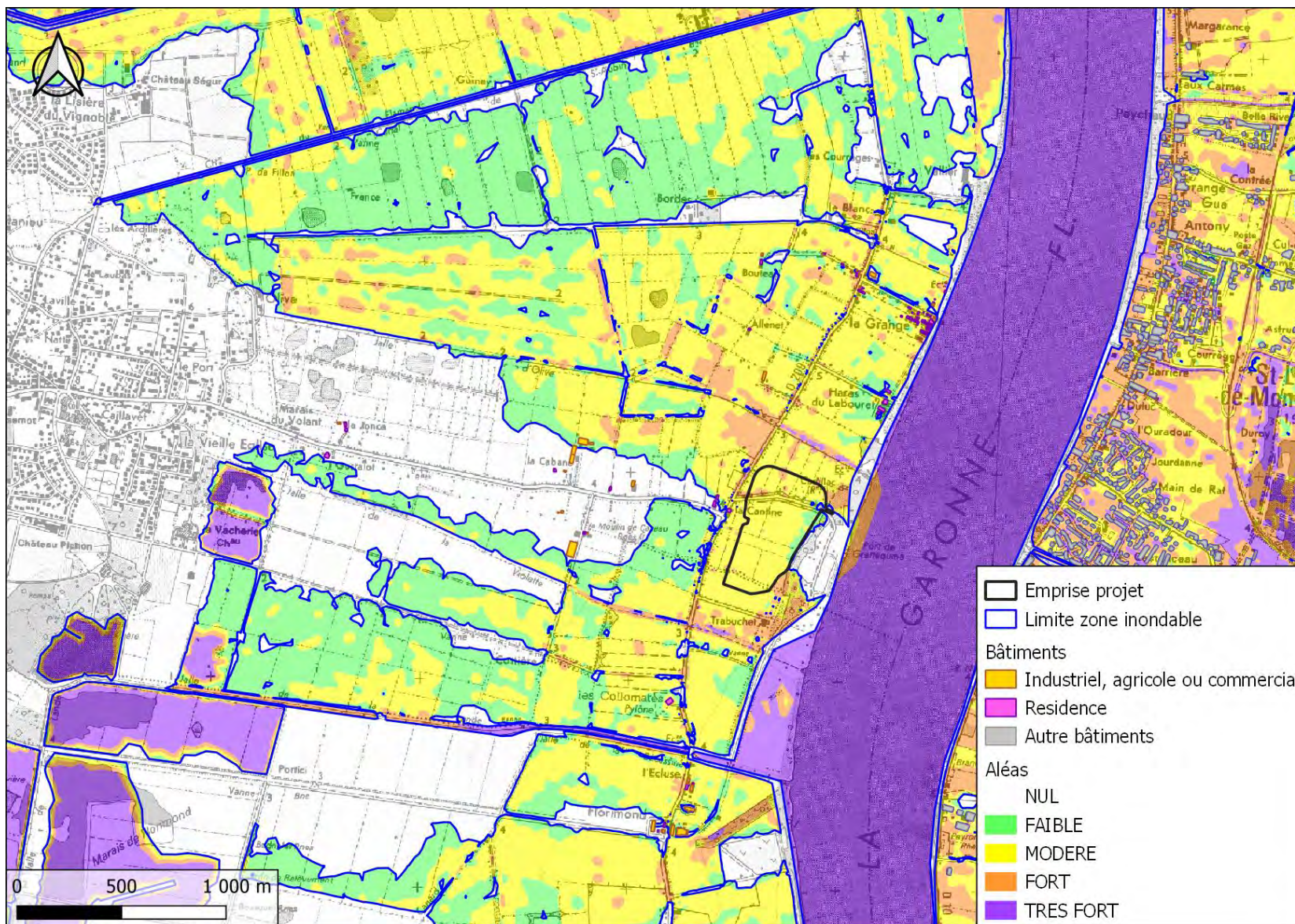


Figure 15 - Etat initial – Avec digues - Aléas

Étude hydraulique – Etat initial
PRISE EN COMPTE DU RISQUE INONDATION DANS LE PROJET D'AMÉNAGEMENT EN ARRIÈRE DU TERMINAL PORTUAIRE DE GRATTEQUINA

5.2.2. Etat initial – Tempête + 20 cm – Configuration avec défaillance généralisée

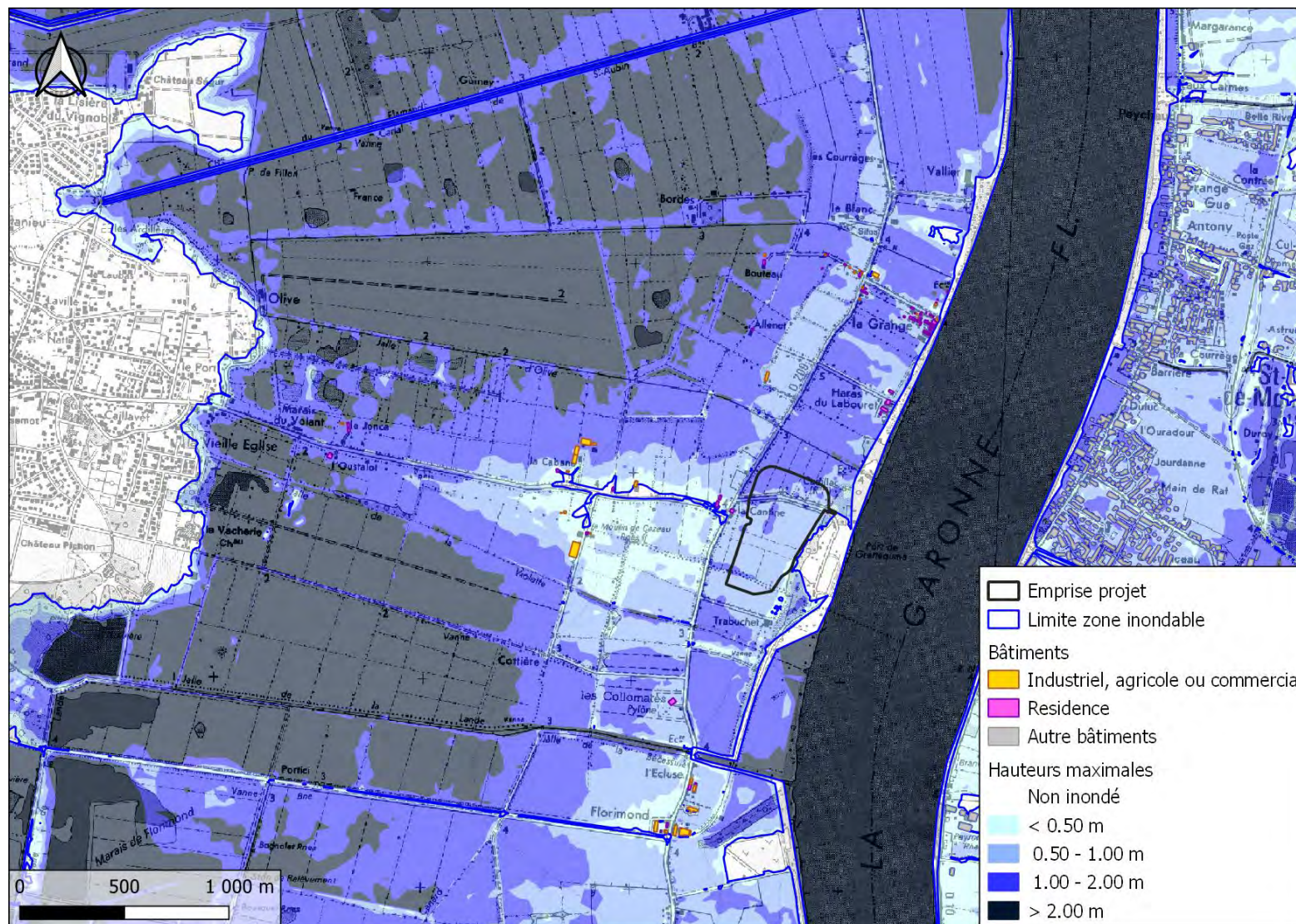


Figure 16 - Etat initial – Défaillance généralisée - Hauteurs d'eau maximales

Étude hydraulique – Etat initial

PRISE EN COMPTE DU RISQUE INONDATION DANS LE PROJET D'AMÉNAGEMENT EN ARRIÈRE DU TERMINAL PORTUAIRE DE GRATTEQUINA

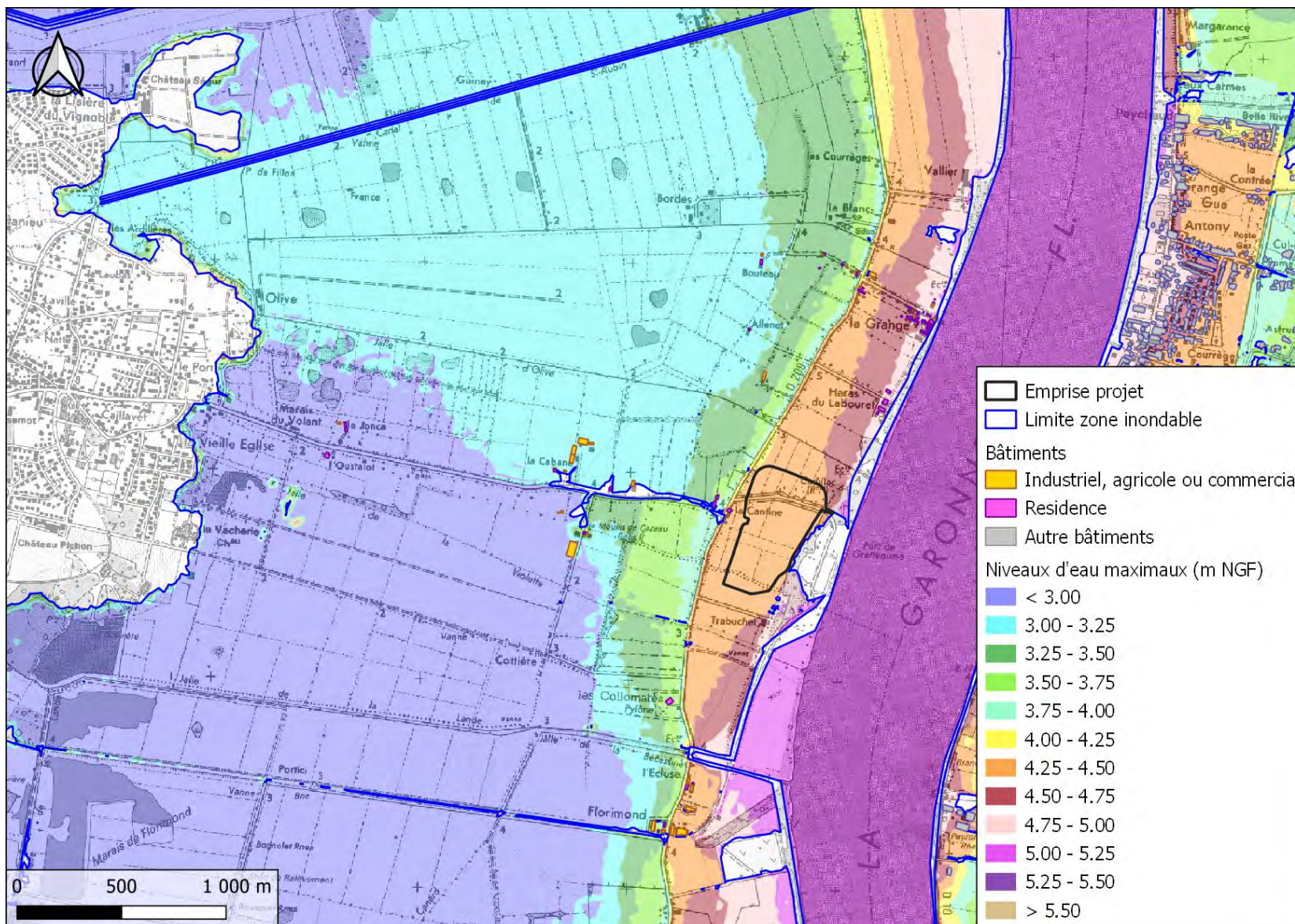


Figure 17 - Etat initial - Défaillance généralisée - Niveaux d'eau maximaux

Étude hydraulique – Etat initial

PRISE EN COMPTE DU RISQUE INONDATION DANS LE PROJET D'AMÉNAGEMENT EN ARRIÈRE DU TERMINAL PORTUAIRE DE GRATTEQUINA

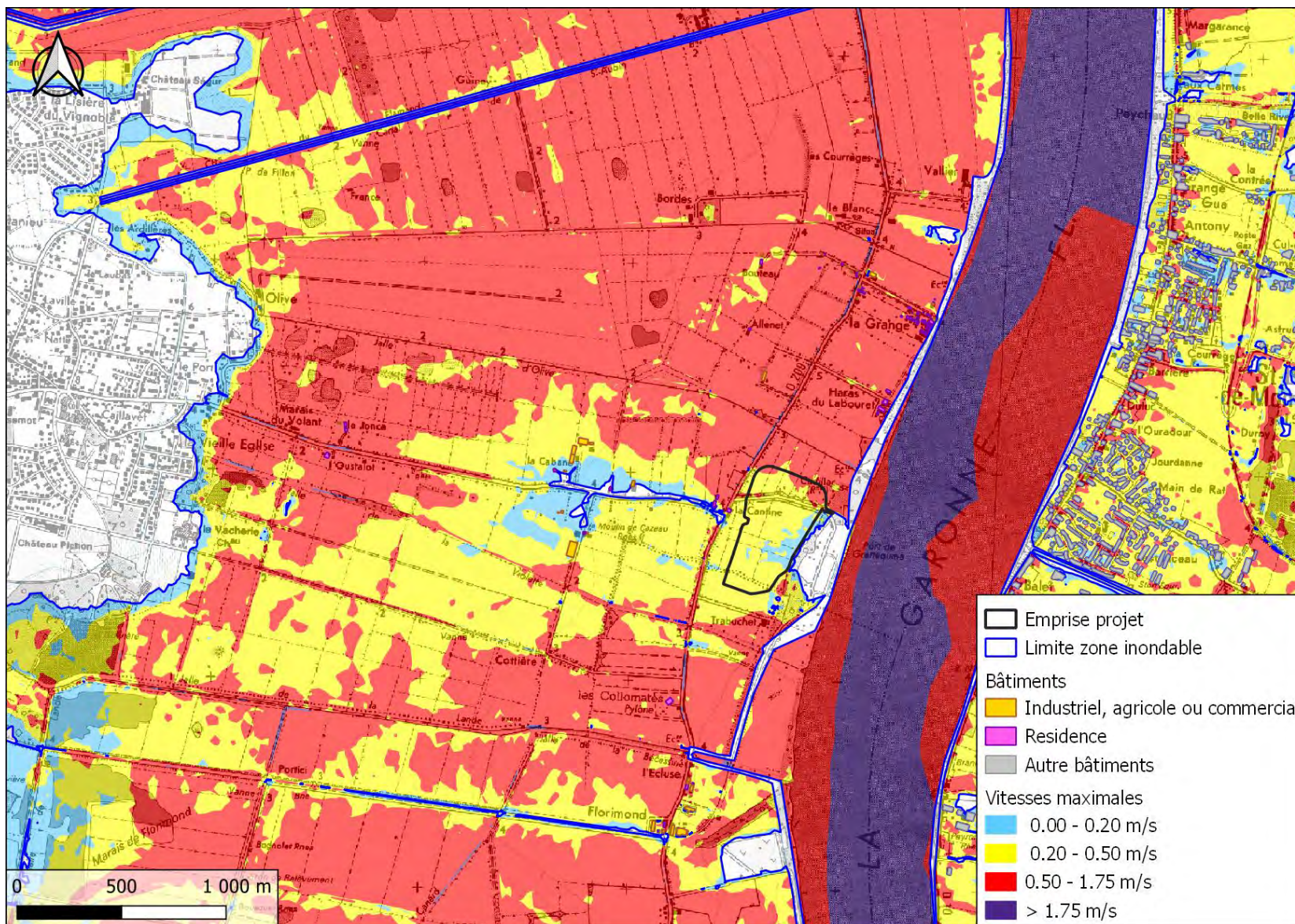


Figure 18: Etat initial - Défaillance généralisée - Vitesses maximales des écoulements

Étude hydraulique – Etat initial

PRISE EN COMPTE DU RISQUE INONDATION DANS LE PROJET D'AMÉNAGEMENT EN ARRIÈRE DU TERMINAL PORTUAIRE DE GRATTEQUINA

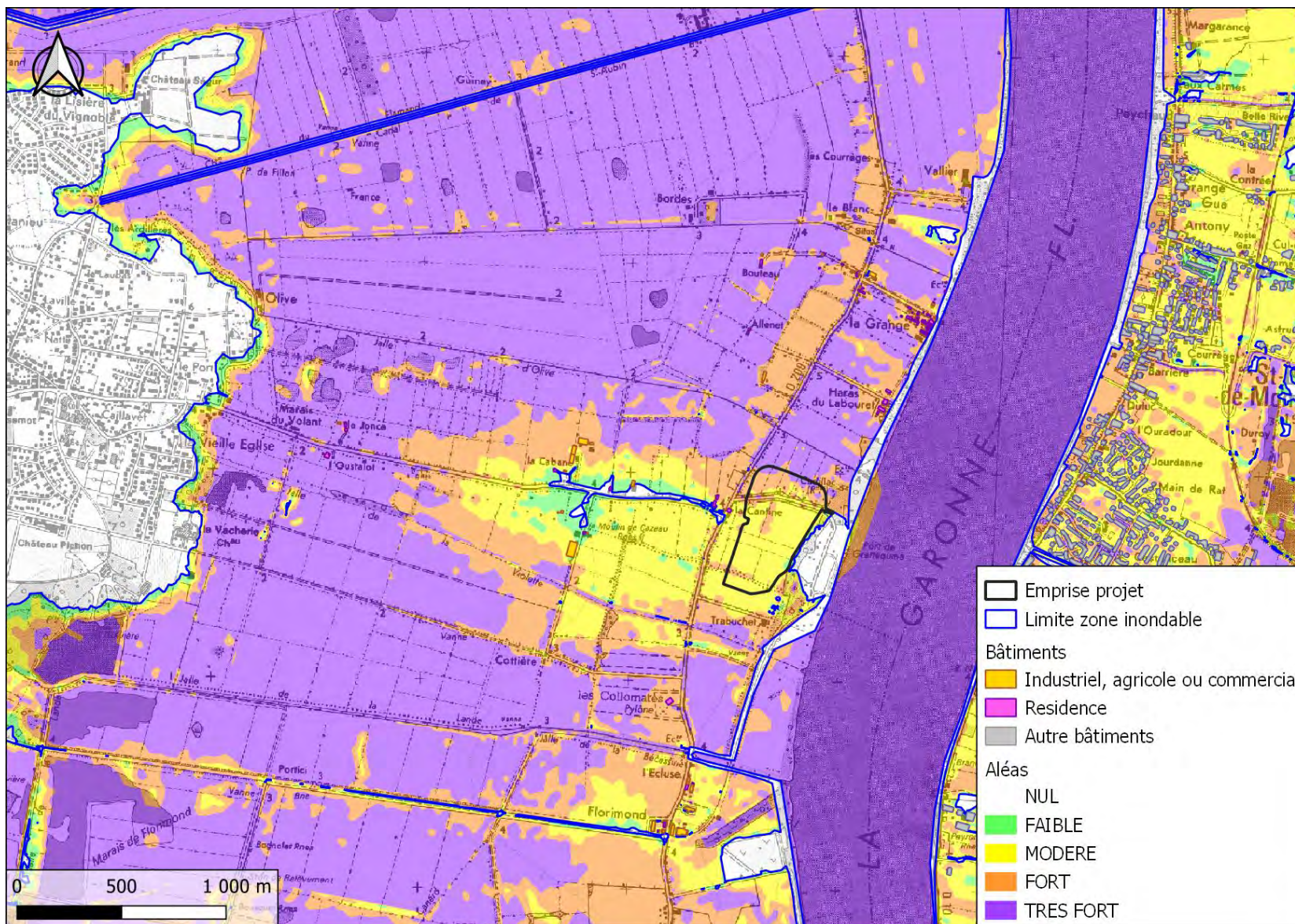


Figure 19: Etat initial - Défaillance généralisée - Aléas

Étude hydraulique – Etat initial

PRISE EN COMPTE DU RISQUE INONDATION DANS LE PROJET D'AMÉNAGEMENT EN ARRIÈRE DU TERMINAL PORTUAIRE DE GRATTEQUINA

6. ANALYSE DES CONSEQUENCES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

6.1. PRISE EN COMPTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

D'après les connaissances issues des prévisions du GIEC publiées ces dernières années, le changement climatique actuellement observé à l'échelle planétaire se traduit par une élévation du niveau moyen des océans. Ce phénomène est déjà observé depuis le début du XX^e siècle.

D'après le rapport du Groupe de travail I de 2021, premier volet du 6^e rapport d'évaluation (AR6) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), il est pratiquement certain que le niveau moyen des océans qui a subi une accélération progressive au cours du 20^{ème} siècle continuera de s'élever au cours du 21^{ème} siècle.

A l'horizon 2050, les différents scénarios climatiques divergent peu, l'élévation du niveau de la mer par rapport à la période 1995-2014 serait comprise entre 15 cm et 30 cm.

Au-delà, pour les horizons 2100 ou 2150, les projections sont très variables suivant les scénarios retenus par le GIEC. D'après les données du site Sea Level Change de la Nasa, les rehausses attendues au Verdon pour les différents scénarios de réchauffement sont les suivants :

Nom du scénario	Réchauffement mondial d'ici 2100	Rehausse du niveau de la mer au Verdon en 2100	Rehausse du niveau de la mer au Verdon en 2150
SSP1-2.6	+2 °C	0,44	0,61
SSP2-4.5	+3 °C	0,57	0,84
SSP3-7.0	+4 °C	0,65	1,04
SSP5-8.5	+5 °C	0,73	1,21

Après échange avec les services de Bordeaux Métropole et avec le CEREMA, il a été retenu de compléter l'étude avec un évènement basé sur les paramètres hydrométéorologiques de la tempête Martin de 1999 (qui reste l'évènement le plus fort connu) en intégrant une rehausse du niveau moyen des océans de 1,2 m.

Cette rehausse sera imposée sur l'ensemble du signal de marée appliqué en condition aval du modèle hydraulique.

Les résultats obtenus pour cet évènement doivent permettre :

- De vérifier que les impacts hydrauliques du projet restent acceptables pour cette projection à long terme ;
- De s'assurer que la cote de seuil minimal retenue sur le projet permette bien la mise en sécurité des biens et des personnes pour un tel évènement.

6.2. ANALYSE DES RESULTATS POUR LES DIFFERENTS EVENEMENTS SIMULES

Avant de présenter les impacts hydrauliques calculés pour cet évènement, nous proposons une première analyse des résultats obtenus pour les différentes rehausses du niveau des océans. En effet, la remontée de la marée dans l'estuaire est influencée par de nombreux paramètres, notamment les paramètres hydrométéorologiques (coefficient de marée, surcote, vents, débits, etc...) mais également les digues qui bordent l'estuaire.

Pour les évènements les plus importants, des débordements sont observés par-dessus ces digues et différents casiers hydrauliques se remplissent alors. Parmi les plus grands casiers de l'estuaire de la Gironde nous pouvons citer les marais du Bas Médoc, les marais du Blayais, les marais de la presqu'île d'Ambès ou bien encore les marais du Haut Médoc où se situe le projet.

Lorsque les débordements vers ces casiers vont se produire, l'évolution du niveau de la marée dans le lit mineur de la Gironde va être influencée. Nous allons observer un écrêtement du pic de marée haute car ce pic de marée va se déverser dans les grands marais. En raison de ce phénomène, les niveaux d'eau dans le lit de la Gironde vont peut varier tandis que les débordements vont durer plus longtemps vers les zones inondables des marais où les niveaux vont varier de manière plus importante tant qu'il n'y a pas d'équilibre entre le niveau en lit mineur et en lit majeur.

Afin d'illustrer cela, nous avons extrait des résultats les niveaux d'eau maximaux atteints en 6 points que nous avons jugé représentatif du secteur d'étude pour plusieurs évènements et différentes configurations de calcul. Ces 6 points sont localisés ci-dessous :

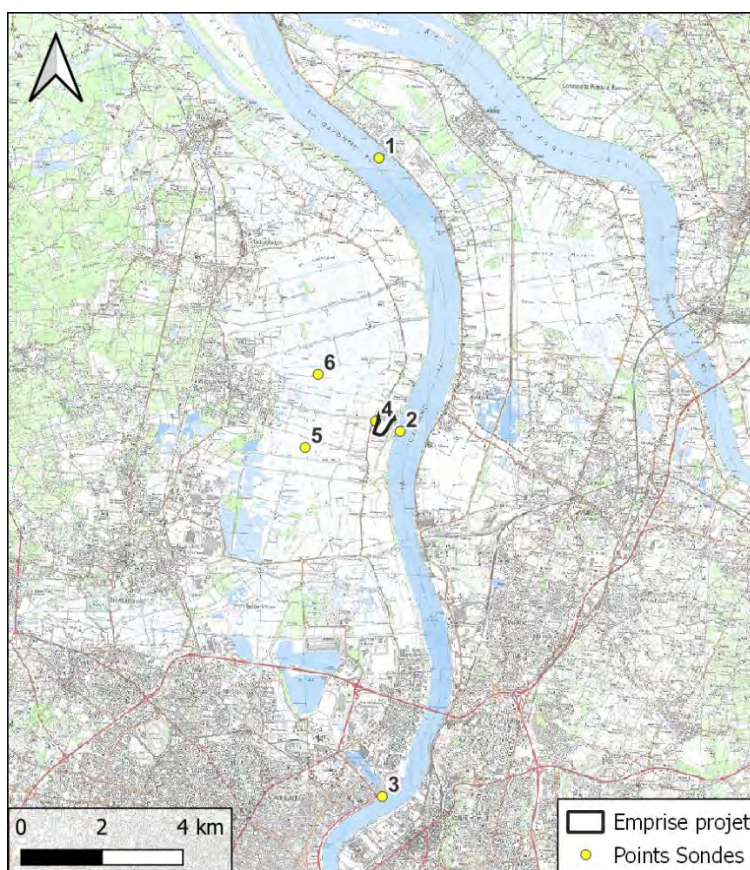


Figure 20 : Localisation des points sondes pour l'analyse des niveaux d'eau maximaux

Les points sondes 1 à 3 correspondent à des points du lit mineur de la Garonne. Les points 1 et 3 sont situés aux marégraphes du Marquis et de Bordeaux, les 2 marégraphes qui encadrent le site du projet. Le point 2 indique le niveau au droit du terminal portuaire de Grattequina. Les points 4 à 6 sont situés dans le lit majeur inondable de la Garonne et nous donnent des indications en différents points : juste derrière le projet et dans les marais au Sud-Ouest et au Nord-Ouest.

Tableau 2 : Niveaux d'eau maximaux pour les événements allant de Tempête + 20 cm à Tempête + 1,2 m

Etat des sols	N°	1	2	3	4	5	6
	Evènement \ Localisation	Le Marquis	Grattequina	Bordeaux	Entrée du site	Marais Sud Ouest	Marais Nord Ouest
Actuel avec digues	Tempête + 20 cm	5.15	5.28	5.39	4.07	0.52	0.88
	Tempête + 60 cm	5.37	5.44	5.50	4.15	1.03	1.53
	Tempête + 1,2 m	5.45	5.47	5.50	4.17	2.16	2.16
Actuel avec défaillance généralisée	Tempête + 20 cm	5.06	5.18	5.31	4.33	2.96	3.02
	Tempête + 60 cm	5.26	5.34	5.42	4.40	3.24	3.29
	Tempête + 1,2 m	5.36	5.37	5.42	4.42	3.95	3.96

Dans le lit mineur de la Garonne, nous pouvons observer une augmentation des niveaux de l'aval (Le Marquis) vers l'amont (Bordeaux) quel que soit la configuration étudiée. Plus la rehausse océanique imposée est importante, plus cette augmentation diminue (24 cm d'écart pour Tempête + 20 cm et seulement 5 cm d'écart pour Tempête + 1,2 m).

Nous constatons surtout que le niveau d'eau maximal semble « plafonner » à environ 5,5 m NGF sur le secteur d'étude. En effet, pour ces événements, les marais jouent parfaitement leur rôle de zone d'expansion de crue et le niveau de la marée ne monte quasiment plus tant que ces marais ne sont pas pleins (ce qui n'est pas encore le cas même pour l'évènement Tempête + 1,2 m avec défaillance généralisée).

En parallèle, le niveau d'eau continue de monter dans la zone de stockage que constitue les marais en arrière du site. Lorsque les rehausses du niveau marin sont importantes, les différences en lit mineur sont faibles entre les 3 tempêtes simulées mais les écarts en lit majeur sont très importants : pour un écart d'environ 20 cm dans la Garonne entre Tempête + 20 cm et Tempête + 1,2 m, nous observons des écarts de 1 à 1,5 m dans les marais (points sondes 5 et 6).

Dans la zone de transfert entre le lit mineur et cette zone de stockage, les résultats du point 4 montre que les écarts sont faibles d'un événement à l'autre. Sur ce secteur, tant que les marais ne sont pas remplis, les débordements ne font que passer avec une lame d'eau dont la hauteur varie peu d'un événement à l'autre.

6.3. SIMULATION DE L'ÉVÈNEMENT TEMPÊTE + 1,2 M A L'ÉTAT INITIAL

Afin d'analyser les impacts hydrauliques du projet pour un événement Tempête + 1,2 m, des simulations de cet événement ont été réalisées pour les 2 configurations des digues étudiées. Les cartes des hauteurs présentées ci-après illustrent bien le phénomène détaillé au chapitre précédent en mettant en avant l'augmentation importante des hauteurs dans la zone de stockage et les faibles variations dans la zone de transfert par rapport à un événement Tempête + 20 cm.

6.3.1. Etat initial – Tempête + 1,2 m – Configuration avec digues

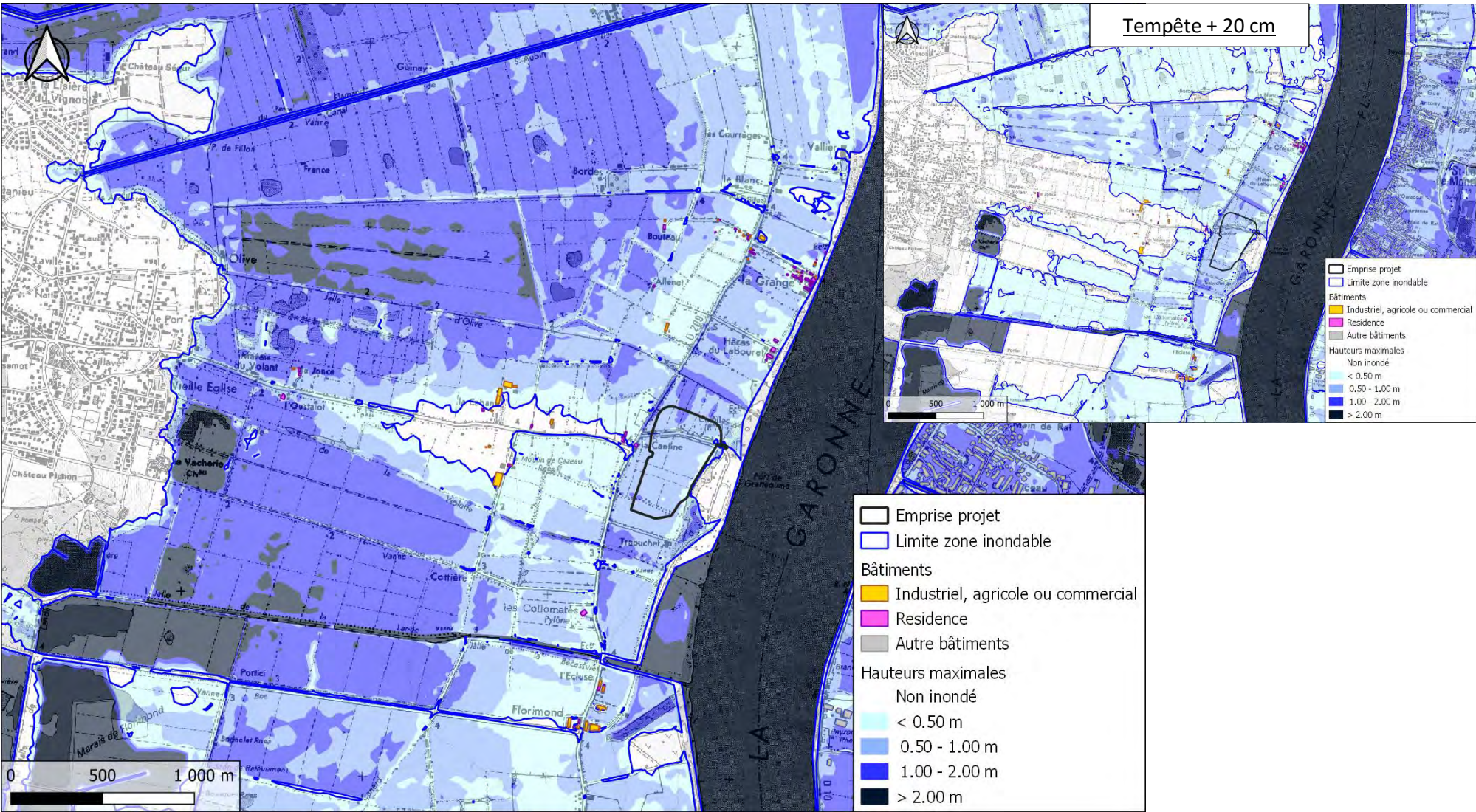


Figure 21 : Etat projet final – Avec digues – Tempête + 1,2m - Hauteurs d'eau maximales

6.3.2. Etat initial – Tempête + 1,2 m – Configuration défaillance généralisée

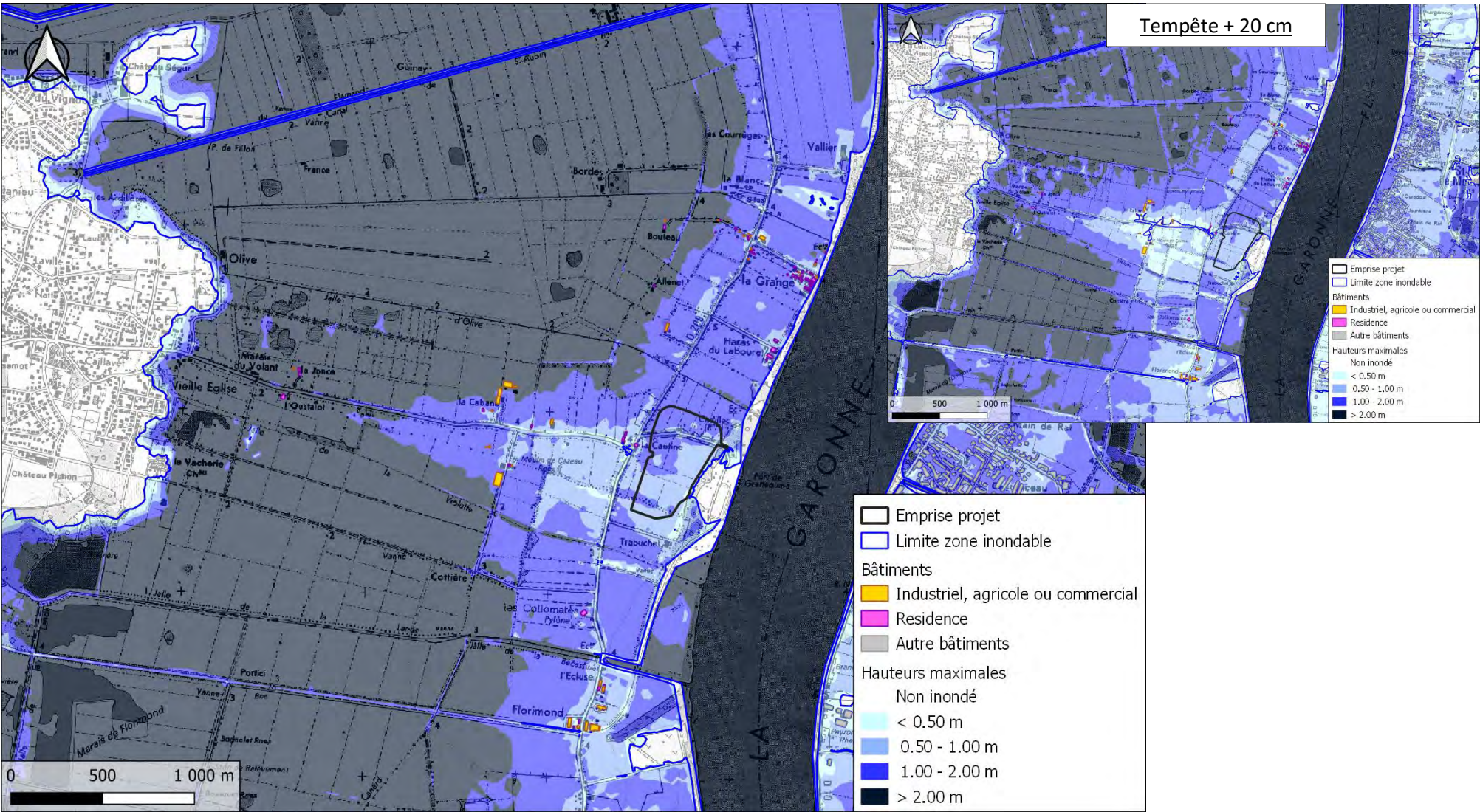


Figure 22 : Etat projet final – Défaillance généralisée – Tempête + 1,2m - Hauteurs d'eau maximales

Étude hydraulique – Etat initial

PRISE EN COMPTE DU RISQUE INONDATION DANS LE PROJET D'AMÉNAGEMENT EN ARRIÈRE DU TERMINAL PORTUAIRE DE GRATTEQUINA

6.4. CONDITIONS HYDRAULIQUES POUR DES EVENEMENTS SUPERIEURS A TEMPETE + 1,2 M

Dans le cadre de l'étude hydraulique, les événements simulés sont construits à partir des paramètres hydrométéorologiques de la tempête Martin de décembre 1999 que sont : la marée et la surcote associée, le vent, les débits provenant de l'amont.

Le signal de marée intégrant la surcote est imposé à l'aval du modèle à proximité du marégraphe du Verdon. Nous ajoutons ensuite à ce signal une élévation du niveau moyen des océans pour simuler différents événements.

Lorsque le signal de marée se propage à l'intérieur de l'estuaire, il se déforme. Il est notamment influencé par le déversement par-dessus les digues de l'estuaire. Ce phénomène est bien observé par les différents marégraphes qui mesurent l'évolution du niveau de la marée en différents points de l'estuaire de la Gironde, du Verdon-sur-Mer jusqu'à Bordeaux.

Les mesures et les résultats montrent également que le décalage de niveau au Verdon n'est pas propagé de manière régulière dans l'estuaire. Ainsi, nous ne retrouvons pas 1 m d'écart en tout point de l'estuaire entre les événements Tempête + 20 cm et Tempête 1,2 m. A certains endroits, notamment dans le lit mineur de la Gironde ou de la Garonne, l'écart est nettement plus faible. En revanche, les différences peuvent être supérieures à 1 m par endroits, par exemple dans le fond de certains secteurs de marais.

C'est pourquoi nous appuyons notre analyse sur des modélisations hydrauliques permettant de prendre en compte les différents paramètres influençant le fonctionnement hydraulique de l'estuaire, en particulier le déversement par-dessus les digues ainsi que l'effet des vents.

Pour les événements de référence du PPRI (Tempête + 20 cm et Tempête + 60 cm), le niveau du pic de marée augmente progressivement en remontant l'estuaire. Le pic de marée déborde dans de nombreuses zones de stockage présentes en bord d'estuaire (marais du Nord-Médoc, marais du Blayais, marais de la Presqu'île d'Ambès, mais aussi marais de Blanquefort-Parempuyre). Tant que ces marais ne sont pas remplis, le débordement continue ce qui écrête le pic de marée : le signal est déformé et le pic de marée haute atténué.

Les zones de stockage de l'estuaire ne sont alors pas encore saturées. C'est encore le cas pour l'événement Tempête + 1,2 m et c'est ce qui explique que les niveaux d'eau maximaux calculés dans le lit mineur de la Garonne sont très proches les uns des autres (cf. Tableau 3 – chapitre 6.2).

Afin d'approcher ce phénomène de saturation de l'estuaire, nous avons simulé 2 événements supplémentaires : Tempête + 2 m et Tempête + 3 m. Ces 2 événements prennent en compte une rehausse du niveau des océans supérieure aux prévisions les plus pessimistes du GIEC à l'horizon 2150.

Tout d'abord, nous avons analysé l'évolution du niveau d'eau maximal dans le lit mineur de l'estuaire dans la configuration avec digues.

Cette évolution du pic de marée en remontant l'estuaire du Verdon jusqu'à Bordeaux est illustrée sur le graphique suivant qui présente la ligne d'eau maximale atteinte à marée haute pour plusieurs événements Tempête de 1999 avec une élévation du niveau des océans allant de 20 cm à 3 m.

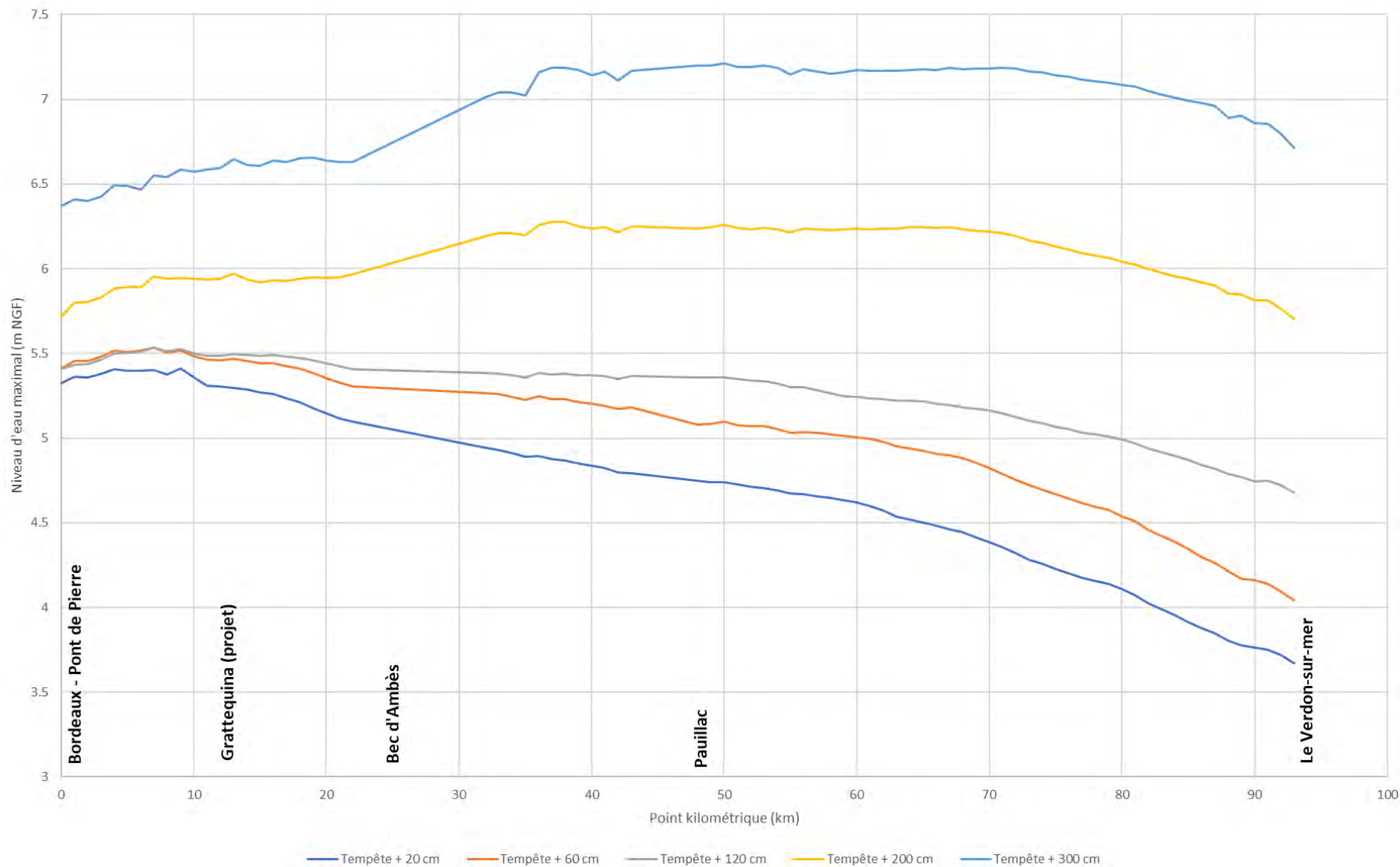


Figure 23 : Evolution du niveau d'eau maximal dans le lit mineur de l'estuaire de la Gironde

Ce graphique met bien avant un fonctionnement similaire pour les évènements jusqu'à Tempête + 1,2 m, avec une augmentation du niveau du pic de marée de l'océan vers l'intérieur de l'estuaire.

Plus la marée remonte dans l'estuaire, plus l'écart entre ces évènements s'atténue dans le lit mineur. Ce phénomène est lié aux débordements par-dessus les digues : tant que le volume de marée entrant dans l'estuaire peut se stocker dans les zones de stockage, alors le niveau du pic de marée haute varie très peu.

Notons que ce constat concerne uniquement le lit mineur. En effet, dans le lit majeur, les débordements sont plus importants et les écarts de niveaux maximaux calculés peuvent dépasser l'écart imposé au Verdon.

Ensuite, pour les évènements Tempête + 2 m et Tempête + 3 m, nous pouvons remarquer que la forme de la ligne d'eau commence à varier de manière notable. Les zones de stockage commencent à être saturées dans l'estuaire (équilibre de niveau entre les zones inondables des marais et le lit mineur de l'estuaire). La montée du pic de marée n'est alors plus atténuée comme pour les premiers évènements : la montée du pic se poursuit.

Ce phénomène de saturation est illustré sur les figures des 2 pages suivantes. Les niveaux d'eau en lit mineur sont globalement en équilibre avec ceux du lit majeur pour les 2 évènements les plus forts, alors que des grandes différences (plusieurs mètres) apparaissent pour les 3 premiers. Notons que ce constat vaut pour les configurations avec digues ou avec défaillance généralisée.

Les niveaux d'eau maximaux dans la Garonne au droit du projet commencent alors à dépasser 5,5 m NGF :

- Tempête 1999 + 200 cm : 5,95 m NGF (avec digues) / 5,80 m NGF (sans digues)
- Tempête 1999 + 300 cm : 6,60 m NGF (avec digues) / 6,65 m NGF (sans digues)

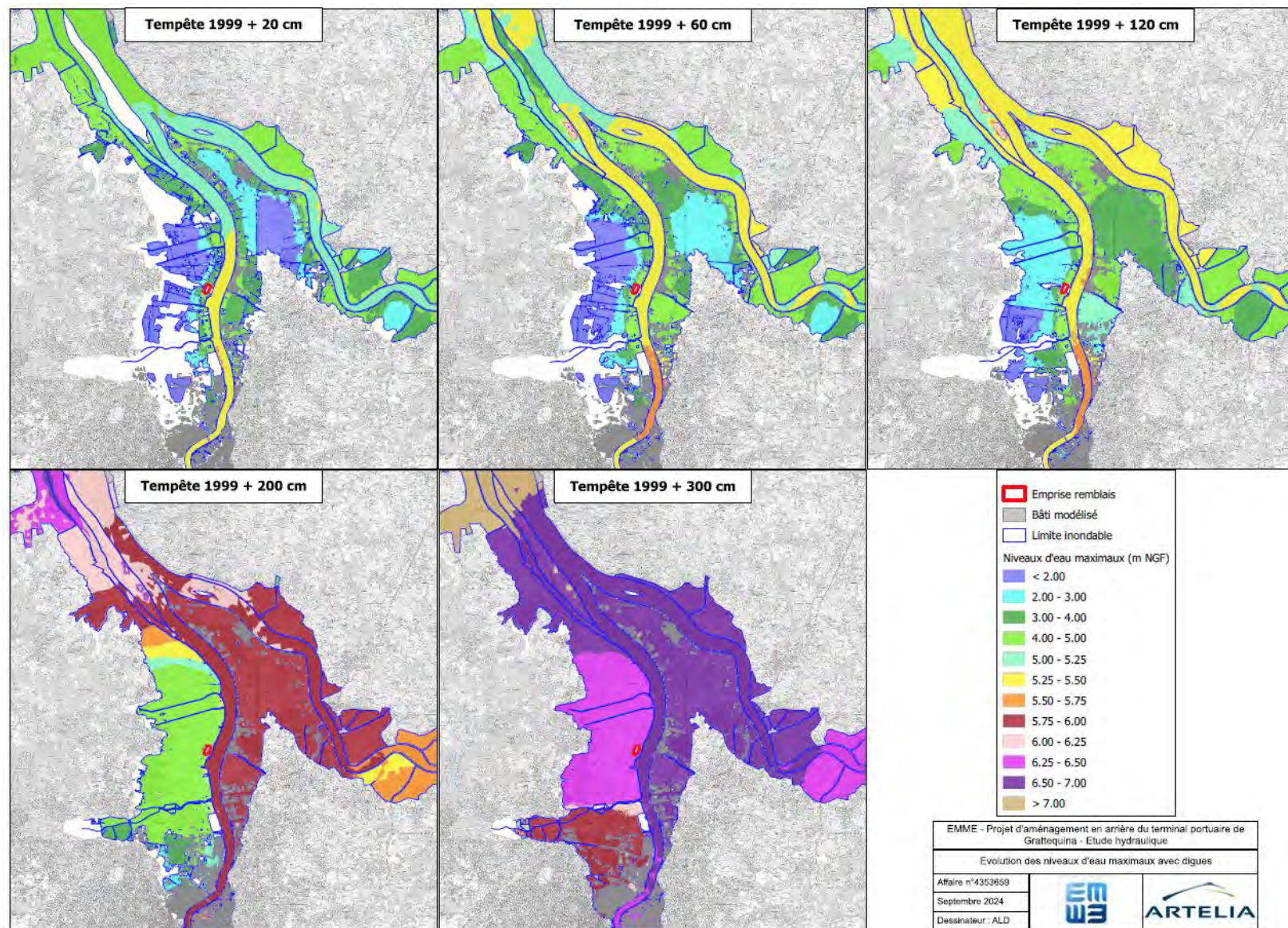


Figure 24 : Niveaux d'eau maximaux pour des évènements allant de Tempête + 20 cm à Tempête + 3 m - Avec digues

Étude hydraulique – Etat initial

PRISE EN COMPTE DU RISQUE INONDATION DANS LE PROJET D'AMÉNAGEMENT EN ARRIÈRE DU TERMINAL PORTUAIRE DE GRATTEQUINA

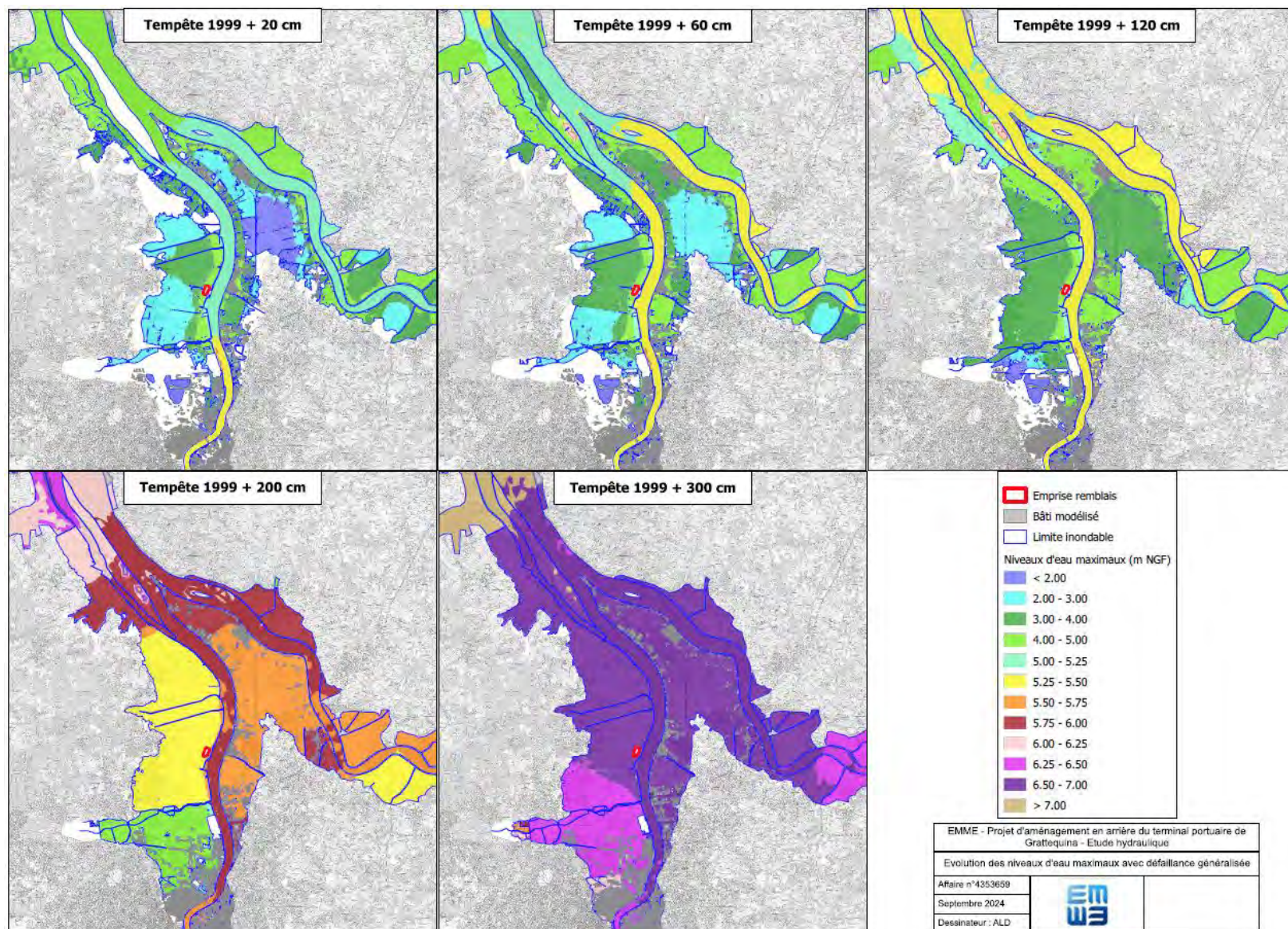


Figure 25 : Niveaux d'eau maximaux pour des événements allant de Tempête + 20 cm à Tempête + 3 m - Avec défaillance généralisée

Étude hydraulique – Etat initial

PRISE EN COMPTE DU RISQUE INONDATION DANS LE PROJET D'AMÉNAGEMENT EN ARRIÈRE DU TERMINAL PORTUAIRE DE GRATTEQUINA