

VILLE DE LA ROCHELLE

EXTENSION DU PORT DES MINIMES

**MODELISATIONS COMPLEMENTAIRES, D'AGITATION
ET NIVEAU DE SURCOTE, POUR LA PRISE EN COMPTE
DE L'EVENEMENT XYNTHIA**

Rapport 1-10099I-RA1indD

**La Rochelle, Septembre 2010
Dossier 1-10099I**



Siège Social CREOCEAN
Zone Technocéan / Chef de Baie
Rue Charles Tellier
17000 La Rochelle - France
Tél : 05.46.41.13.13
Fax : 05.46.50.51.02

e-mail : creocean@creocean.fr
web : www.creocean.fr

SOMMAIRE

1 - CONTEXTE - OBJECTIFS DE L'ETUDE	2
2 - METHODOLOGIE.....	3
3 - RECUEIL ET ANALYSE DE DONNEES DISPONIBLES	4
3.1 - RAPPEL DES CONDITIONS LORS DE L'EVENEMENT XYNTHIA.....	4
3.2 - DONNEES NECESSAIRES EN ENTREE DU MODELE	5
4 - MISE EN PLACE DES SIMULATIONS	6
4.1 - DONNEES DISPONIBLES	6
4.1.1 - Bathymétrie.....	6
4.1.2 - Conditions météorologiques	6
4.1.3 - Niveau d'eau : Marée et surcote.....	8
4.2 - MISE EN PLACE DES MODELES.....	10
4.2.1 - Méthodologie	10
4.2.2 - Logiciels utilisés	10
4.2.3 - Emprise et maillage des modèles.....	13
4.2.4 - Conditions aux limites	14
5 - PRESENTATION DES RESULTATS	16
5.1 - NIVEAU D'EAU MAXIMAL	16
5.2 - PROPAGATION DE LA HOULE DU LARGE DANS LA BAIE DE LA ROCHELLE ..	17
5.3 - AGITATION DANS LA BAIE ET LES PORTS	18
6 - CONCLUSIONS.....	20

1 - CONTEXTE - OBJECTIFS DE L'ETUDE

Dans le cadre du projet d'extension du port de plaisance des Minimes, la ville de La Rochelle a souhaité disposer des études nécessaires au dimensionnement et à la justification des scénarios envisagés.

Dans ce sens, la Ville de La Rochelle a confié à CREOCEAN en 2004/2005 une étude définissant les conditions naturelles en matière d'agitation, de courantologie et de sédimentologie. Cette étude comportait :

- Une synthèse et une analyse des données existantes.
- Des mesures de terrain (agitation et courantologie).
- Des modélisations et des simulations afin d'analyser, d'une part, l'influence des nouveaux aménagements sur l'évolution des conditions naturelles susceptibles d'affecter les autres zones sensibles de la baie, et, d'autre part, l'action des conditions naturelles sur les ouvrages et l'incidence de ces conditions sur l'exploitation du nouveau port.
- Une recherche de solutions alternatives, dans le but, d'une part, de limiter les effets négatifs et d'optimiser la conception des ouvrages, et, d'autre part, pour prendre en compte les éventuelles modifications souhaitées par le Maître d'Ouvrage.

Aujourd'hui, suite au passage de la tempête Xynthia les 27 et 28 février 2010, l'évolution des risques d'inondations en fonction de la présence, ou non, de la future extension est à nouveau d'actualité. Le caractère exceptionnel de cet évènement et les dégâts qu'il a engendré amène à reconsidérer les risques liés à l'augmentation du niveau d'agitation et du niveau de surcote.

Dans le cadre de cette étude, Il s'agit donc de simuler les conditions d'agitation et de surcotes observées pendant la tempête Xynthia et d'évaluer l'impact de l'extension du port des Minimes sur l'élévation et l'agitation des plans d'eau et des ports (et tout particulièrement le Vieux Port) dans ces conditions particulièrement exceptionnelles.

2 - METHODOLOGIE

Les précédentes études mises en œuvre pour l'extension du port des Minimes avaient été réalisées à l'aide de différents logiciels de modélisation numérique visant à calculer les courants, les variations du niveau d'eau ainsi que l'agitation sur le plan d'eau et dans les différents ports.

Ces phénomènes étant liés, et interdépendants, ils amènent à envisager l'utilisation d'un logiciel plus performant (MIKE3D) dont CREOCEAN ne disposait pas à l'époque des premières études.

En effet, les simulations des conditions de la tempête Xynthia nécessitent la prise en compte des conditions - le plus précisément possible – de niveaux d'eau et de houle dans la zone des pertuis charentais. Ces conditions pourront permettre de calculer localement les phénomènes mis en jeu dans la baie de La Rochelle et ainsi les surcotes exceptionnelles induites et l'agitation correspondante.

Il s'agit donc de mettre en place une modélisation groupée intégrant :

- Un module hydrodynamique (modélisation des courants) permettant de calculer les niveaux du plan d'eau en fonction du temps, en tenant compte des vents sur la zone et du phénomène de surcote de tempête.
- Un module de propagation de houle, en tenant compte du vent réel, de la houle au large et des niveaux d'eau précédemment calculés.

Etant donné les phénomènes mis en jeu, il convient de mettre en place un modèle à grande échelle (zone englobant largement le golfe de Gascogne). Un seul modèle local, centré uniquement sur les pertuis charentais ne permettrait pas de rendre compte aussi précisément des conditions réelles.

Pour l'analyse de l'agitation dans la baie de la Rochelle et les ports, après différents tests, il a été décidé de conserver le même logiciel, spécialisé dans l'agitation portuaire.

3 - RECUEIL ET ANALYSE DE DONNEES DISPONIBLES

3.1 - Rappel des conditions lors de l'évènement Xynthia

La tempête Xynthia a atteint les côtes françaises le 27 et 28 Février 2010.

Elle est due selon Météo France, à une dépression à basses latitudes au-dessus de l'Atlantique, qui s'est intensifiée progressivement lors de son passage au niveau de l'île Madère.

Cet événement présente un caractère exceptionnel par les phénomènes de submersion et d'érosion constatés. Ces phénomènes sont principalement liés à un niveau de surcote exceptionnel et des conditions de houle au large importantes.

D'après les observations marégraphiques du SHOM, le niveau extrême aurait atteint environ 4.5 m NGF à La Rochelle. Ces niveaux de surcote enregistrés sont ainsi très supérieurs aux niveaux extrêmes prédits par le SHOM pour une période de retour 100 ans (+3.95m NGF).

Concernant les conditions de houle au large, nous ne disposons pas d'enregistrement de bouées aux abords immédiats de la zone d'étude nous permettant de caractériser précisément le climat de houle pendant la tempête. Néanmoins, plus au large, la bouée Gascogne (45°25'N 5°W) a mesuré des hauteurs significatives de l'ordre de 6 m au matin du 28 février 2010. Cette valeur, même si elle est importante, n'est pas exceptionnelle pour la zone. En effet, Les valeurs enregistrées par cette bouée sont régulièrement de l'ordre de 8 mètres ou plus en condition de tempête.

Concernant les conditions de vent, au plus fort de la tempête Xynthia, Météo-France a enregistré une vitesse instantanée de 31.7 m/s à St Clément des Baleines (Ile de Ré).

3.2 - Données nécessaires en entrée du modèle

De façon à simuler le plus précisément possible l'événement considéré, il s'agit dans un premier temps de recueillir l'ensemble des données disponibles nécessaires à la simulation de la tempête Xynthia. Ces données sont :

- **Des données bathymétriques.** Les données utilisées dans les études précédentes seront réutilisées et mises à jour avec les nouvelles données disponibles.
- **Des données relatives aux conditions météorologiques (vent, pression).** Ces données ont été fournies par Météo-France, sous forme de résultats de modèle et/ou de série temporelle mesurée.
- **Des données de niveau d'eau.** Il s'agit essentiellement :
 - De la marée astronomique (fournie par le SHOM)
 - Des mesures de marée au port de La Rochelle

4 - MISE EN PLACE DES SIMULATIONS

4.1 - Données disponibles

4.1.1 - Bathymétrie

Les données utilisées dans les études précédentes pour la baie de la Rochelle ont été réutilisées. Pour les autres zones, les données les plus récentes à notre disposition ont été utilisées.

4.1.2 - Conditions météorologiques

Les données relatives au vent et à la pression atmosphérique ont été recueillies auprès de Météo France sous différentes formes :

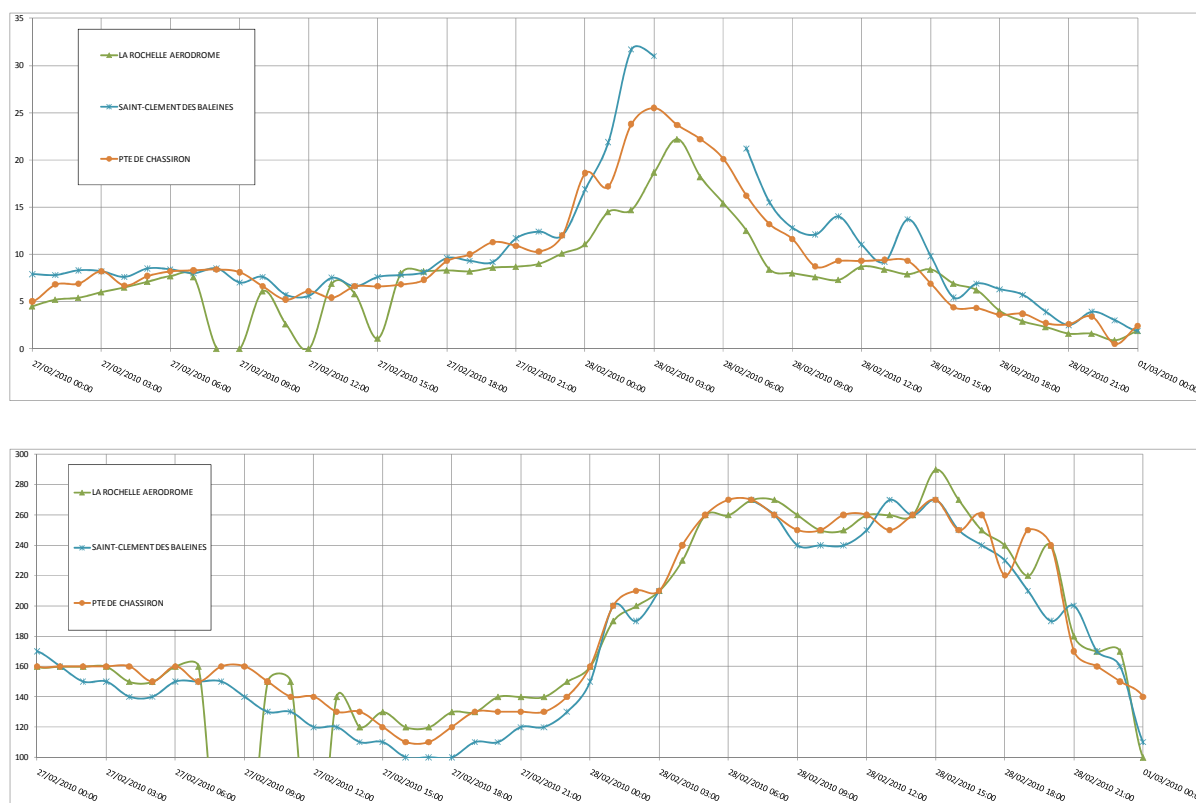
- ✓ Données issues du modèle Aladin (Météo-France) sur une zone incluant l'ensemble du golfe de Gascogne (données de vent en intensité et direction et données de pression au niveau de la mer),
- ✓ Données mesurées par les stations météo sur le littoral vendéen et charentais (direction et intensité du vent).

4.1.2.1 - Données du modèle Aladin

Le modèle Aladdin permet notamment de simuler et de disposer des conditions météorologiques qui se sont produites. Elles sont constamment corrigées et validées en fonction des données météorologiques disponibles. Ces données se présentent sous la forme d'une grille de résolution 0,1° s'étendant sur l'ensemble du golfe de Gascogne. Elles incluent les paramètres vitesse et direction du vent, ainsi que la pression. Elles ont été fournies pour toute la période de la tempête et quelques jours avant.

4.1.2.2 - Données mesurées

Les graphiques ci-dessous montrent les intensités et les directions de vent mesurées pour les stations La Rochelle Aéroport, Saint Clément des Baleines, et Pointe de Chassiron pendant la tempête Xynthia :



On observe un pic dans l'intensité du vent sur l'ensemble des stations de mesure. Le vent forcé et atteint un pic aux alentours de 03h00 le matin du 28 février. Le maximum d'intensité mesuré est de 31,7 m/s et concerne la station de St Clément des Baleine (Ile de ré). Pendant cet épisode, les directions du vent mesurées sont comprises entre 250 et 300°N, soit un vent de secteur Ouest. Au niveau des directions, on observe une variation rapide (entre 160 et 260°N) de l'orientation du vent entre 00h00 et 06h00. Aux environs de 03h00 le matin du 28 février, les vents sont de secteur SudOuest et tournent à l'Ouest à 06h00.

La **figure N°1** visualise le vent moyen enregistré toutes les 6 minutes à la Rochelle. Les vitesses moyennes maximales ont atteint 22,3 m/s à La Rochelle aéroport.

Ces données ont permis de valider et d'ajuster localement les valeurs issues du modèle Aladin et ainsi d'augmenter la précision du forçage en vent.

4.1.3 - Niveau d'eau : Marée et surcote

4.1.3.1 - Marée

Dans le golfe de Gascogne, la marée est semi-diurne de période moyenne de 12 h 25. L'onde de marée se propage en direction du Nord parallèlement à la côte et s'amplifie en parvenant dans les petits fonds. Dans les pertuis charentais, la configuration des côtes conduit à un renforcement de l'amplitude. Le régime de marée y est macrotidal avec un marnage moyen de vives-eaux de 5,1 m.

Les valeurs caractéristiques des niveaux de marée astronomiques sont les suivantes (Source SHOM, port de la Pallice, La Rochelle) :

Marée	Niveau (m CM)	Niveau (m NGF)
Plus Haute Mer Astronomique (PHMA)	6.87	3,37
Pleine Mer de Vive-eau Moyenne (PMVE)	6.05	2.55
Pleine Mer de Morte-eau Moyenne (PMME)	4.90	1.4
Niveau moyen (NM)	3.9	0.4
Basse Mer de Morte-eau Moyenne (BMVE)	2.45	-1.05
Basse Mer de Vives Eaux Moyenne (BMME)	0.95	-2.55
Plus Basse Mer Astronomique (PBMA)	0.17	-3.33

Le niveau moyen de la mer est de + 3,9 m CM. A la Rochelle, le niveau des plus basses mers astronomiques (0 m CM) est situé à - 3,50 m NGF IGN69 (0 m CM = -3,5 m NGF IGN69)

Pour le matin du 28 février, le coefficient de marée était de 102 et le niveau d'eau prévu pour la pleine mer était de 6,48 m CM à 3h28 UT au port de La Pallice.

4.1.3.2 - Surcote

A ces niveaux théoriques de marée, s'ajoutent des phénomènes de surcote et décote. La surcote est la différence d'amplitude entre le niveau d'eau prédit et le niveau d'eau enregistré lorsque ce niveau a atteint son maximum (définition du SHOM).

Ces phénomènes sont liés à plusieurs effets :

- ✓ La pression atmosphérique, qui peut faire varier le niveau d'eau de -0,25 m, en périodes anticycloniques, jusqu'à + 0,5 m lors des passages dépressionnaires ;
- ✓ Les vents marins (secteur Ouest), qui repoussent les masses d'eau vers la terre et peuvent faire monter le niveau de 0,70 à 1 m ;
- ✓ L'effet dynamique de ces 2 phénomènes qui peut nettement s'amplifier aux abords des côtes en fonction de leur vitesse de propagation,
- ✓ Enfin, le déferlement des vagues, qui peut conduire à une surélévation du niveau de la mer de l'ordre de 10 % de la hauteur des brisants.

Les effets conjugués de ces phénomènes génèrent des surcotes qui atteignent fréquemment des valeurs de +0,2 à 0,5 m. en conditions exceptionnelles, ces surcotes peuvent atteindre des hauteurs de l'ordre de 2 mètres (tempête de 1999 à la Rochelle).

Le niveau extrême de référence pour les pertuis calculés par le CETMEF indique, pour des périodes de retour de 100 ans, un niveau d'eau de +3.95 m NGF (+7.75 m CM).

Lors de la tempête Xynthia de Février 2010, le niveau extrême a atteint, d'après les mesures à La Pallice, un niveau de +4.5 m NGF (+8 m CM) à La Rochelle, soit une surcote de l'ordre de 1,5 m.

La **figure N°1** visualise le niveau de marée enregistré à la Rochelle Pallice.

Cette surcote importante est due à la conjonction des différents phénomènes. En effet, lors de la tempête Xynthia, la pleine mer et le pic d'intensité de vent étaient quasiment simultanés.

4.2 - Mise en place des modèles

4.2.1 - Méthodologie

Il s'agit ici de mettre en œuvre une modélisation groupée intégrant :

- Un module hydrodynamique (modélisation des courants) permettant de calculer les niveaux du plan d'eau, en tenant compte des vents sur la zone et du phénomène de surcote de tempête.
- Un module de propagation de la houle, en tenant compte également du vent réel, de la houle au large et des niveaux d'eau issus sur module hydrodynamique.

En outre, la mise en place de ces deux modules couplés permet de simuler les interactions houle/courant telles que la réfraction de la houle par les courants et les modifications de niveaux dues à la houle. L'outil utilisé dans le cadre de cette étude permet donc de prendre en compte pleinement l'ensemble des phénomènes susceptibles d'induire une surcote.

En complément, un modèle d'agitation portuaire a été utilisé.

4.2.2 - Logiciels utilisés

4.2.2.1 - Modèle hydrodynamique

Les simulations relatives à la courantologie ont été effectuées à l'aide du logiciel MIKE-3D, mis au point par le Danish Hydraulic Institute (DHI). Ce code résout, par une méthode éléments finis sur des maillages triangulaires, les équations tridimensionnelles de l'hydraulique (avec l'hypothèse de pression hydrostatique et surface évolutive au cours du temps) et de transport-diffusion de grandeurs intrinsèques (température, salinité, concentration) pour les écoulements tridimensionnels à surface libre de type fluvial ou maritime.

On détermine ainsi en chaque point de maillage du domaine, et à différentes profondeurs, les composantes verticales et horizontales de la vitesse et la concentration des variables (telles que la température ou la salinité) transportées. Le modèle calcule également la hauteur d'eau en tout point du domaine et à chaque pas de temps.

Le code de calcul est capable de prendre en compte les phénomènes suivants :

- Marée,
- Frottement sur le fond,
- Influence de la force de Coriolis,
- Recouvrement/découvrement des zones intertidales,
- Turbulence, par des modèles simples ou complexes (e.g. K-Epsilon) avec prise en compte des effets liés à la force d'Archimède (flottabilité),
- Sources et puits de fluide et de quantité de mouvement à l'intérieur du domaine,
- Influence de phénomènes météorologiques : pression atmosphérique et vent,

4.2.2.2 - Modèle de propagation de la houle

Les calculs d'agitation ont été réalisés avec le modèle MIKE SW.

Il s'agit d'un modèle numérique de troisième génération qui permet le calcul des paramètres caractéristiques de la houle sur les domaines côtiers, les lacs et les estuaires à partir de conditions de houle fournies aux limites du domaine modélisé (conditions aux limites) et/ou de conditions de vent. Il s'agit d'un modèle spectral : la houle est décrite à travers la répartition de l'énergie en fréquences et en directions.

Le modèle est basé sur la résolution des équations de conservation de la densité d'action de la houle. La densité d'action est déterminée à partir de la densité d'énergie exprimée en fonction de deux variables du domaine spectral : la fréquence et la direction.

MIKE SW permet la prise en compte de la majeure partie des phénomènes influant sur la génération et la propagation d'une houle sur un domaine côtier :

- phénomènes de réfraction liés à l'évolution des fonds et/ou à l'interaction avec le courant,
- génération par le vent,

- dissipation de l'énergie par frottement sur le fond,
- dissipation de l'énergie par déferlement,
- interaction de houles,
- shoaling.

La houle est décrite dans MIKE SW à travers sa représentation spectrale. Différents spectres types paramétrés à partir des données caractérisant un état de mer (hauteur, période, direction moyenne de propagation,...) peuvent être utilisés.

4.2.2.3 - Couplage houle/courant

L'utilisation des modèles de la chaîne MIKE permet un réel couplage entre le modèle d'agitation et le modèle hydrodynamique. Ainsi, la houle est propagée sur un plan d'eau prenant en compte le niveau réel du plan d'eau (variable dans le temps et l'espace).

4.2.2.4 - Modèle d'agitation local

Les calculs d'agitation ont été réalisés à l'aide du logiciel ARTEMIS, développé par le Laboratoire National d'Hydraulique d'EDF.

ARTEMIS est l'acronyme de « Agitation and Refraction with TELEMAC on Mild Slope ». Il s'agit d'un logiciel scientifique destiné à reproduire la propagation de la houle sur un domaine côtier ou à l'intérieur d'une structure portuaire. La répartition en fréquence et en direction de l'énergie de la houle (houle aléatoire mono ou multi-directionnelle) est également prise en compte par ARTEMIS. Le code restitue les caractéristiques principales de la houle en chaque point du domaine de calcul : hauteur significative et incidence de la houle, taux de déferlement...

ARTEMIS résout l'équation de Berkhoff (ou « Mild Slope Equation ») à partir d'une formulation de type éléments finis.

Le modèle, complété par un ensemble cohérent de conditions aux limites, rend compte des phénomènes physiques suivants :

- Réfraction par les fonds,
- Diffraction par les ouvrages et les irrégularités des fonds,
- Déferlement bathymétrique,
- Frottement sur le fond,
- Réflexion totale ou partielle sur les ouvrages : épi, brise-lames, talus en enrochements,...
- Conditions de radiation (condition de houle incidente permettant la sortie d'une onde réfléchie hors du domaine de calcul) ou de sortie libre.

En revanche, compte tenu du fait que ce modèle est destiné à calculer l'agitation locale, il ne prend pas en compte l'incidence du vent sur le plan d'eau. Ceci tend à diminuer l'agitation de courte période (clapots) créée par le vent dans la baie.

4.2.3 - Emprise et maillage des modèles

Dans le but de bien prendre en compte les différents phénomènes ayant induit l'importante surcote observée, plusieurs modèles d'emprise différentes ont été mis en place. Le maillage en éléments finis autorise une grande souplesse dans la représentation de zones complexes et dans la distorsion entre mailles, ce qui permet de raffiner localement les mailles aussi précisément que voulu.

Modèle grande emprise

Ce modèle présente une extension de l'ordre de 1000 kilomètres du Nord au Sud et de 700 kilomètres d'Est en Ouest. Il s'étend du Cap Finisterre Espagnol aux côtes Sud de l'Irlande.

Les mailles de ce modèle présentent une taille d'environ 50 kilomètres au large pour atteindre 10 kilomètres aux abords des pertuis charentais.

L'emprise de ce modèle est présentée en **Figure N°2**.

Ce modèle a permis de propager la houle générée au large par le vent.

Modèle intermédiaire

Centré sur la zone des pertuis Charentais, ce modèle couvre l'ensemble du golfe de Gascogne. Il présente une extension géographique de l'ordre de 200 kilomètres vers le large et de 500 kilomètres du Nord au Sud. La taille des mailles est d'environ 20 kilomètres aux limites marines du modèle et de l'ordre de la centaine de mètres dans la baie de La Rochelle.

L'emprise de ce modèle est présentée en **Figure N°3**.

Ce modèle a permis d'intégrer des conditions aux limites en niveau d'eau relatives à la marée et fournies par le SHOM.

Modèle local

Le modèle local est centré sur la baie de la Rochelle et englobe la zone des pertuis charentais. Il s'étend d'une centaine de kilomètres vers le large. Aux limites marines du domaine, la taille des mailles est de l'ordre de 5 kilomètres. Le maillage est ensuite raffiné progressivement jusqu'à obtenir des mailles d'une dizaine de mètres dans la baie de la Rochelle et ses ports.

L'emprise de ce modèle est présentée en **Figure N°4**. La **figure N°5** visualise un zoom sur la baie de La Rochelle

4.2.4 - Conditions aux limites

4.2.4.1.1 - Vent et pression

Les données du modèle ALADIN permettent de simuler sur l'ensemble du golfe de Gascogne les variations de vent et de pression durant les 48 heures précédents la tempête.

4.2.4.1.2 - Niveau

La variation du niveau d'eau due à la marée est fournie par le SHOM. Elle permet de recréer les variations de niveau au cours du temps sur la limite marine du modèle, pour les 48 heures précédant la tempête.

4.2.4.1.3 - Calage du modèle

Etant donné que les conditions de vent et de pression sont elles-mêmes issues d'un modèle et que les niveaux imposés en entrée du modèle ne sont que des niveaux théoriques de la marée astronomique, les résultats préliminaires du modèle ont montré que la surcote au niveau de la Rochelle n'était pas aussi importante que celle réellement enregistrée (Ecart de l'ordre de 50 cm). Afin d'obtenir, en baie de la Rochelle, une courbe de marée comparable à celle réellement enregistrée, des corrections ont été apportées sur les niveaux d'eaux imposés aux limites du modèle. Au final, le niveau maximal atteint à la Pallice est de 8 mètres CM aux environs de 3 heures du matin.

5 - PRESENTATION DES RESULTATS

5.1 - Niveau d'eau maximal

Le niveau d'eau maximal atteint en Baie de La Rochelle est présenté en configuration actuelle sur la **Figure N°6** et en configuration future sur la **Figure N°7**. La différence de niveau entre la configuration initiale et la configuration future est présentée en **Figure N°8**.

Le niveau maximal atteint est, dans les deux configurations, du même ordre de grandeur que celui mesuré à La Pallice (environ 8m CM). Par rapport à La Pallice, l'augmentation du niveau au fond du bassin du vieux port n'est que de quelques centimètres.

Les différences de niveau entre la configuration actuelle et la configuration future sont très faibles et non significatives. En effet, hors zone de la future extension, on observe seulement des variations de niveau inférieures au centimètre :

- Dans l'actuel bassin du port du Minimes, on observe une augmentation du niveau comprise entre 0.2 et 0.5 centimètre.
- Dans le futur bassin du port des Minimes, l'augmentation du niveau calculée est globalement comprise entre 0.5 et 1 centimètre.
- Au niveau du vieux port, la variation du niveau d'eau calculée reste inférieure à 0,2 centimètres, et peut donc être considérée comme négligeable.

Au final, les différentes simulations mises œuvre montrent que les futurs ouvrages d'extension du port des Minimes ne créent aucun impact significatif sur l'élévation du niveau de la marée et de la surcote.

5.2 - Propagation de la houle du large dans la baie de La Rochelle

La **Figure N°9** visualise la propagation de la houle significative dans les pertuis au moment de la pleine mer, au matin du 28 février 2010. Au large, on observe alors une houle de Sud-Ouest, qui s'atténue fortement en pénétrant dans le pertuis d'Antioche.

Les **Figures N°10 et N°11** montrent la propagation de la houle du large arrivant en baie de La Rochelle. Les figures représentent les hauteurs significatives et les directions de la houle.

Note : Pour ces deux simulations, il n'a pas été tenu compte des phénomènes de réflexion sur les ouvrages et sur le littoral. En conséquence, les résultats permettent de visualiser la houle incidente et sa propagation dans la baie.

Aux abords de la baie de La Rochelle, la houle présente une hauteur significative de l'ordre de 3 mètres, avec une direction de secteur Sud-Ouest. En se propageant dans la baie, la houle s'atténue en s'épanouissant de part et d'autre de l'axe du chenal. En fond de baie au niveau de la plage de la Concurrence, on observe une agitation relativement importante, avec des hauteurs significatives de l'ordre de 1.5 mètre.

Par rapport aux conditions de projet simulées dans la précédente étude CREOCEAN (N°103070), les remarques suivantes peuvent être faites :

- L'agitation induite par la tempête Xynthia arrive plus par le Sud et a touché de manière importante le Nord de la baie.
- Le niveau d'eau important (surcote) favorise la propagation de l'agitation et induit une houle importante en entrée de la baie de La Rochelle (supérieure à la tempête de 1999).

La **Figure N° 12** présente les différences de hauteur significative de la houle incidente entre la configuration future et la configuration actuelle, sans, dans ce cas, tenir compte des réflexions sur les ouvrages et sur le littoral.

Ces résultats permettent de constater, concernant la houle arrivant en baie de la Rochelle pendant l'événement Xynthia, que la configuration de la future digue du Lazaret limite l'agitation rentrant dans la Baie de la Rochelle.

5.3 - Agitation dans la baie et les ports

Les résultats sont présentés en **Figure N°14** pour la configuration actuelle et en **Figure N°15** pour la configuration future.

Dans ces simulations, les phénomènes de réflexion sur les ouvrages et le littoral sont pris en compte. Par rapport aux études précédentes, les coefficients de réflexion ont été recalculés en tenant compte du fait que certains ouvrages sont submergés et donc présentent des coefficients de réflexion beaucoup plus faibles.

Comme constaté précédemment, l'agitation entrante dans la baie dans la configuration actuelle est supérieure à celle de la tempête de 1999. Néanmoins, il est à noter que les phénomènes de submersion pris en compte ici (diminution du pouvoir réfléchissant des ouvrages submergés), induisent une agitation plus faible dans l'avant port, notamment dans la zone du quai de l'avenue Michel Crépeau.

La **Figure N°16** présente, pour l'événement Xynthia, les différences de hauteur de houle entre la configuration future et la configuration actuelle.

Ces résultats permettent de faire les observations suivantes :

- Les différences observées ne sont pas significatives (inférieures à 0.1 mètre) dans la plupart des zones de la baie.
- La côte Nord de la baie subit une agitation identique voire plus faible en configuration future.
- Le long des futurs ouvrages (côtés extérieurs de la future digue du lazaret et de la digue nord) l'agitation est du même ordre de grandeur que sur les anciens ouvrages.
- Compte tenu du coefficient de réflexion important de la future digue Nord (coefficient pris égal à 0.9), l'agitation est amplifiée aux abords immédiats de ce futur ouvrage et légèrement amplifiée à l'Est de celui-ci.
- Ainsi dans l'avant-port, entre la station météo et le début de l'esplanade Saint Jean d'Acre, on peut faire les remarques suivantes :

- Dans le chenal d'accès au Vieux Port, l'augmentation de l'agitation est faible (de l'ordre de 10 cm) et ne dépasse pas 0.15 mètre.
 - Le long du quai de l'avenue Michel Crépeau, sur une centaine de mètres dans sa partie Ouest, on observe, en configuration future, une augmentation de l'agitation comprise entre 0.1 et 0.25 mètre par rapport à la configuration actuelle.
 - Très localement, au niveau de la station météo, étant donné que la hauteur plus importante du quai Nord favorise les réflexions (mais supprime aussi les submersions), l'augmentation de l'agitation dépasse légèrement 0.25 mètre.
- Plus à l'Est, à l'entrée du vieux port et du bassin des Chalutiers, il n'y a pas d'augmentation sensible de l'agitation.

Après analyse, ce phénomène de légère augmentation de l'agitation le long d'une partie du quai de l'avenue Michel Crépeau, n'est pas de nature à modifier les niveaux de submersion atteints lors de la tempête Xynthia. En effet, pour cette zone de quai relativement basse, le niveau de la submersion a été tel que l'agitation n'a pas pu modifier sensiblement les volumes d'eaux ayant participé à l'inondation.

6 - CONCLUSIONS

Dans cette étude, les conditions océano-météorologiques réelles (niveau, courant, agitation, vent, ...) de la tempête Xynthia du 28 février 2010 ont été simulées, dans la configuration actuelle ainsi que dans la configuration future du Port des Minimes.

La comparaison de ces simulations a permis d'établir les conclusions suivantes, spécifiques à la tempête Xynthia :

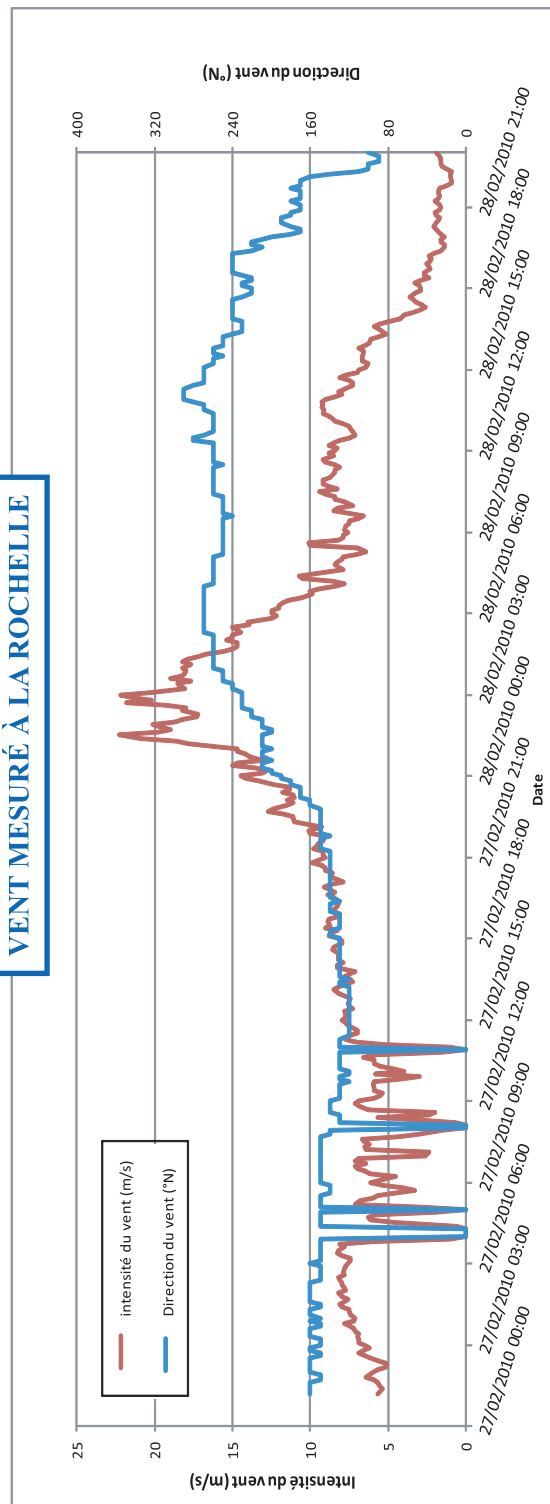
- Les futurs ouvrages d'extension du port des Minimes ne créent aucun impact significatif sur l'élévation du niveau de la marée et de la surcote.
- la configuration de la future digue du Lazaret limite l'agitation rentrant dans la Baie de la Rochelle.
- En configuration future, l'agitation dans la baie n'est pas sensiblement modifiée dans la baie, hormis le long des futurs ouvrages.
- Le long du littoral, il n'est pas constaté globalement d'augmentation de l'agitation, hormis le long du quai de l'avenue Michel Crépeau, dans sa partie Ouest, où une légère augmentation de l'agitation est constatée sur une centaine de mètres.
- Cette légère augmentation de l'agitation aurait été sans incidence sur le niveau des eaux atteint dans la zone inondée sur l'avenue Michel Crépeau et en arrière de celle-ci.

FIGURES

EXTENSION DU PORT DES MINIMES : MODÉLISATIONS DE L'ÉVÈNEMENT XYNTHIA

Données utilisées

VENT MESURÉ À LA ROCHELLE



NIVEAU D'EAU MESURÉ À LA ROCHELLE

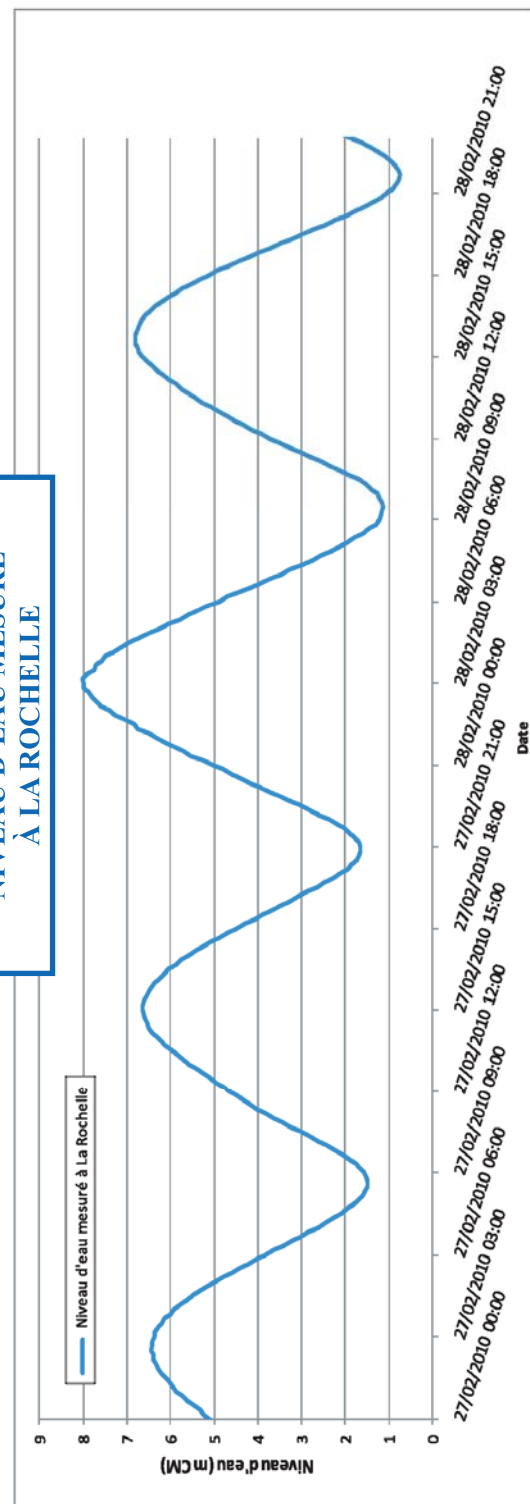


Figure 1

EXTENSION DU PORT DES MINIMES : MODÉLISATIONS DE L'ÉVÈNEMENT XYNTHIA

Maillage – Modèle grande emprise

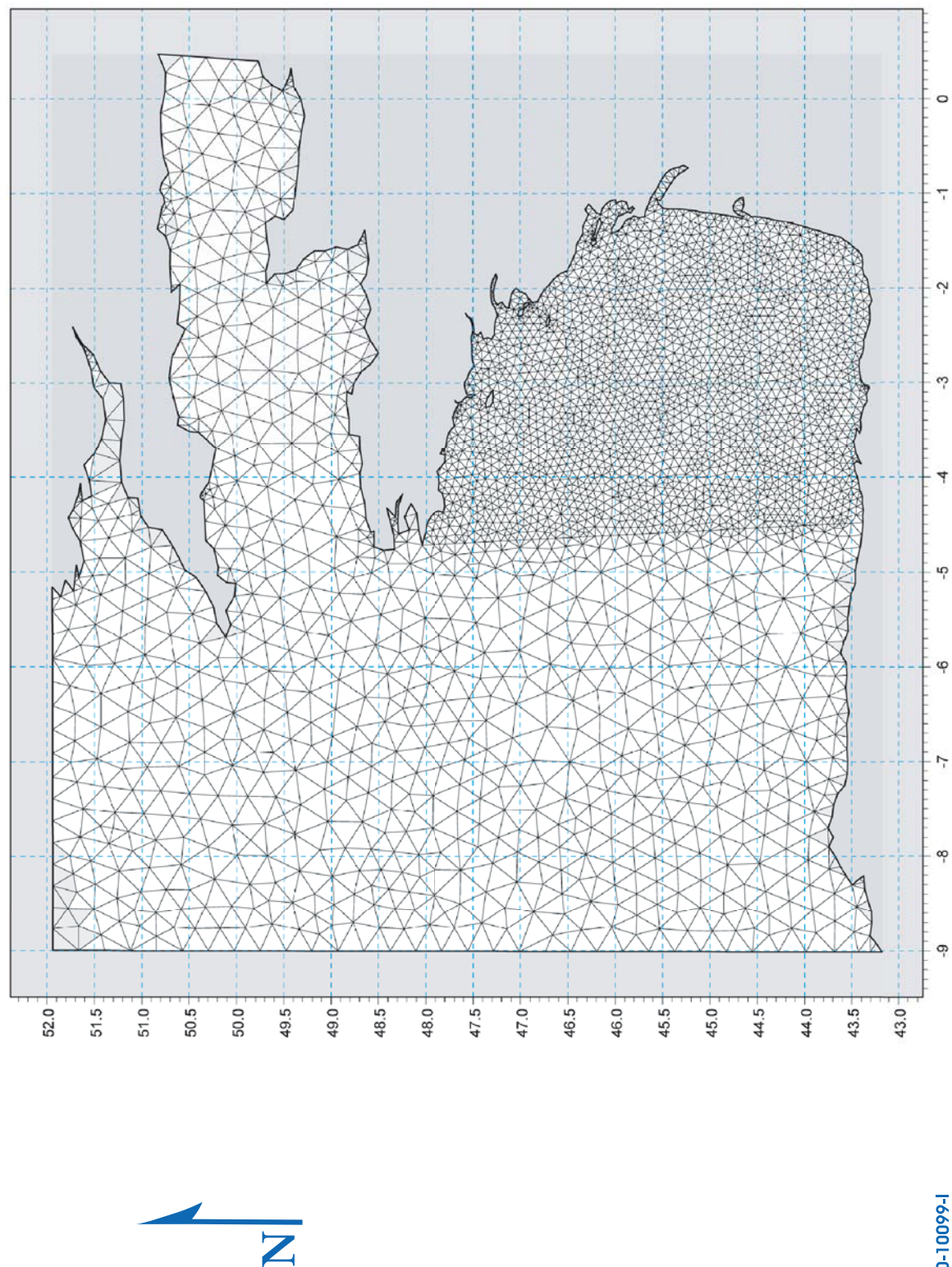


Figure 2

EXTENSION DU PORT DES MINIMES : MODÉLISATIONS DE L'ÉVÈNEMENT XYNTHIA

Maillage – Modèle intermédiaire

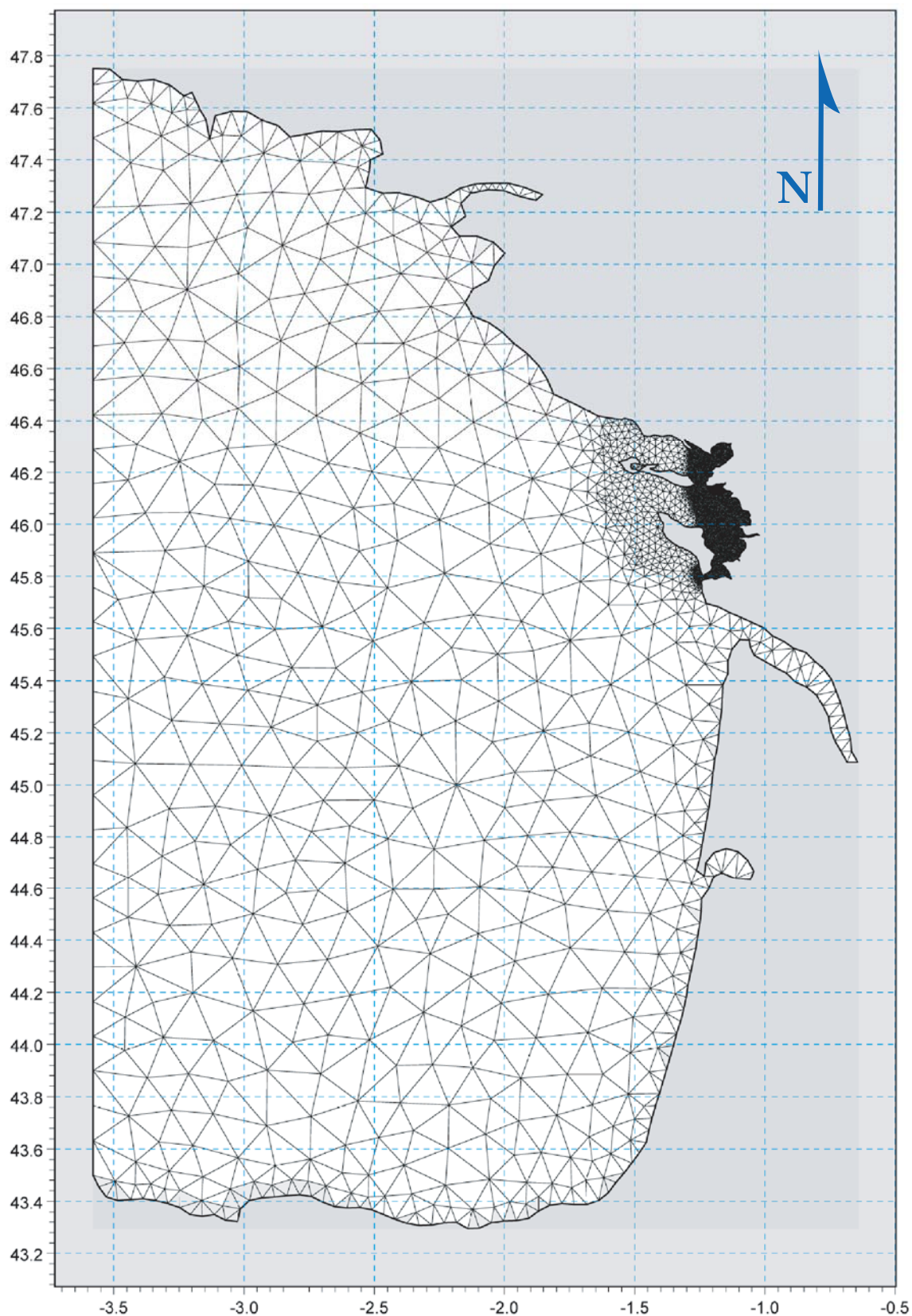


Figure 3

EXTENSION DU PORT DES MINIMES : MODÉLISATIONS DE L'ÉVÈNEMENT XYNTHIA

Maillage – Modèle local

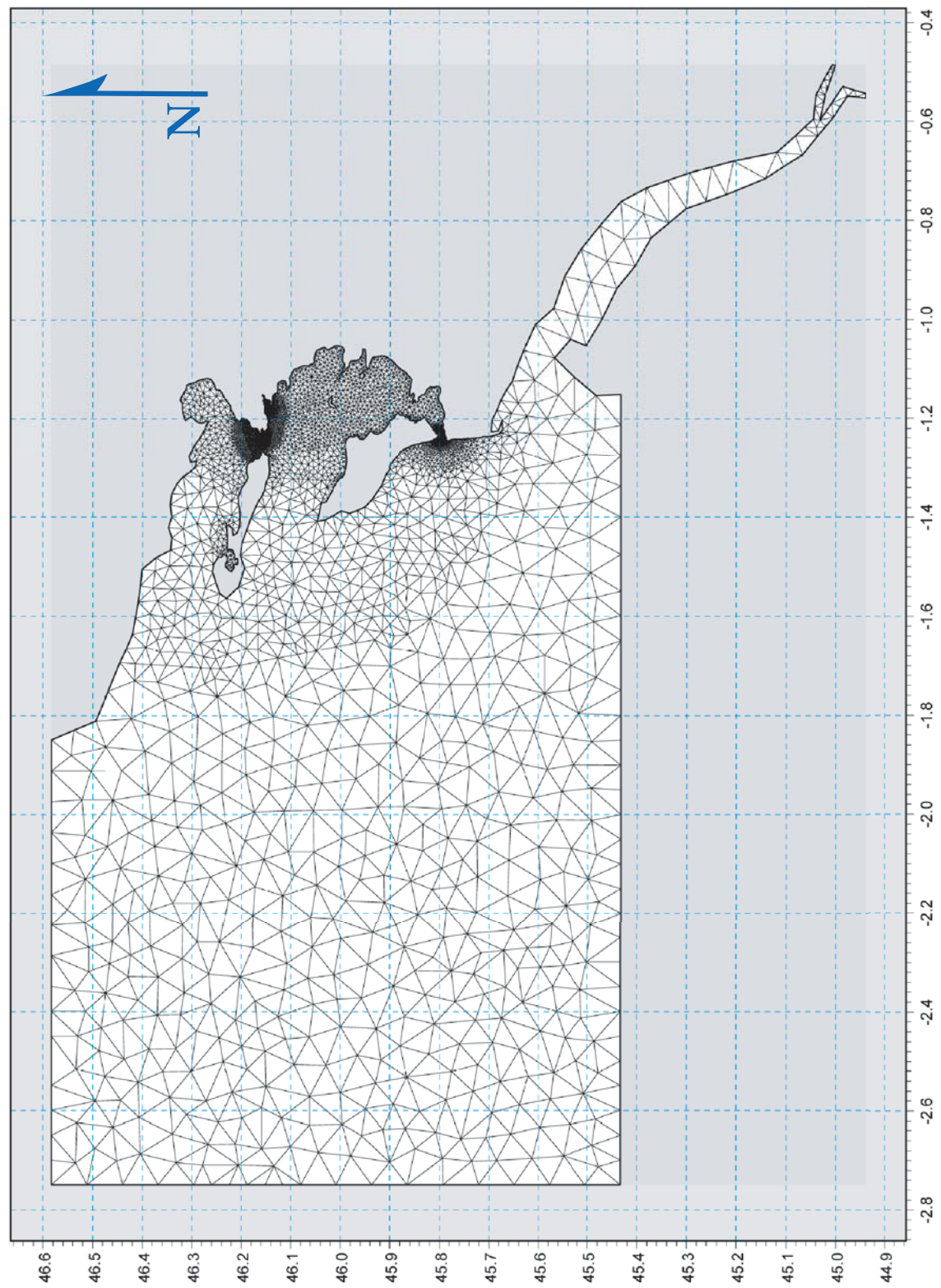
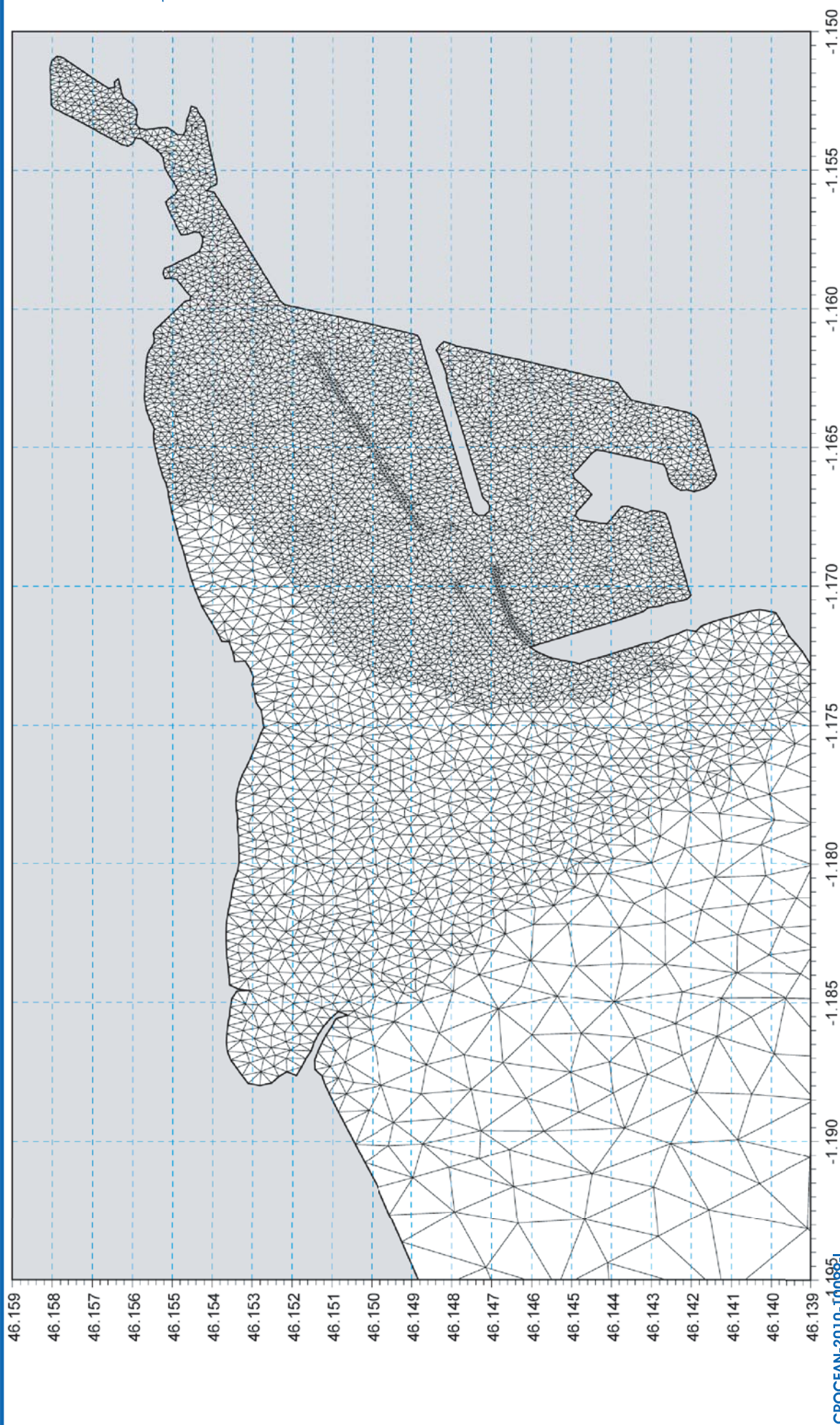


Figure 4

EXTENSION DU PORT DES MINIMES : MODÉLISATIONS DE L'ÉVÈNEMENT XYNTHIA

Maillage – Modèle local (Zoom sur la zone d'intérêt)



EXTENSION DU PORT DES MINIMES : MODÉLISATIONS DE L'ÉVÈNEMENT XYNTHIA

Résultats– Cas Initial – Niveau d'eau à Pleine-Mer

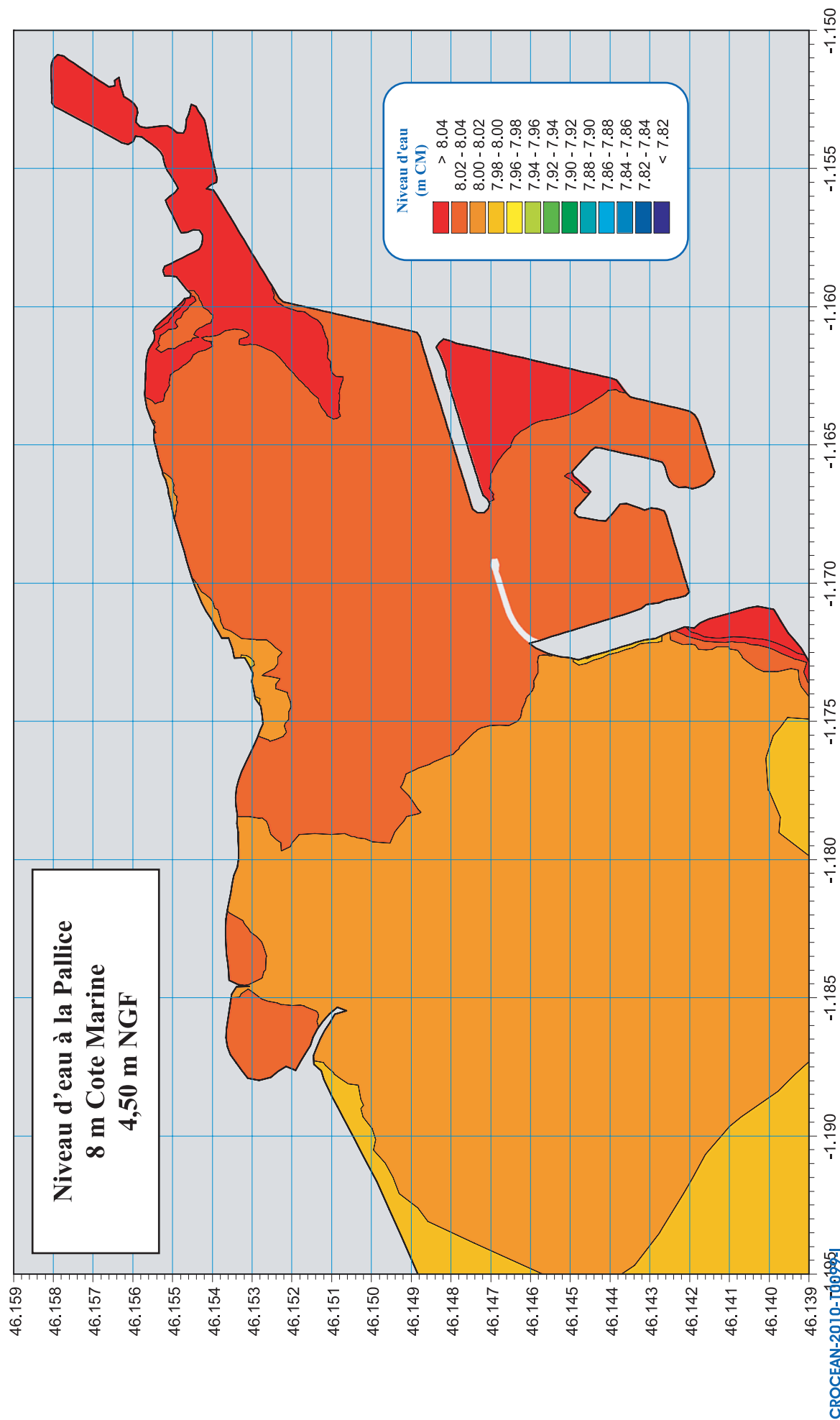


Figure 6

EXTENSION DU PORT DES MINIMES : MODÉLISATIONS DE L'ÉVÈNEMENT XYNTHIA

Résultats— Cas Futur – Niveau d'eau à Pleine-Mer

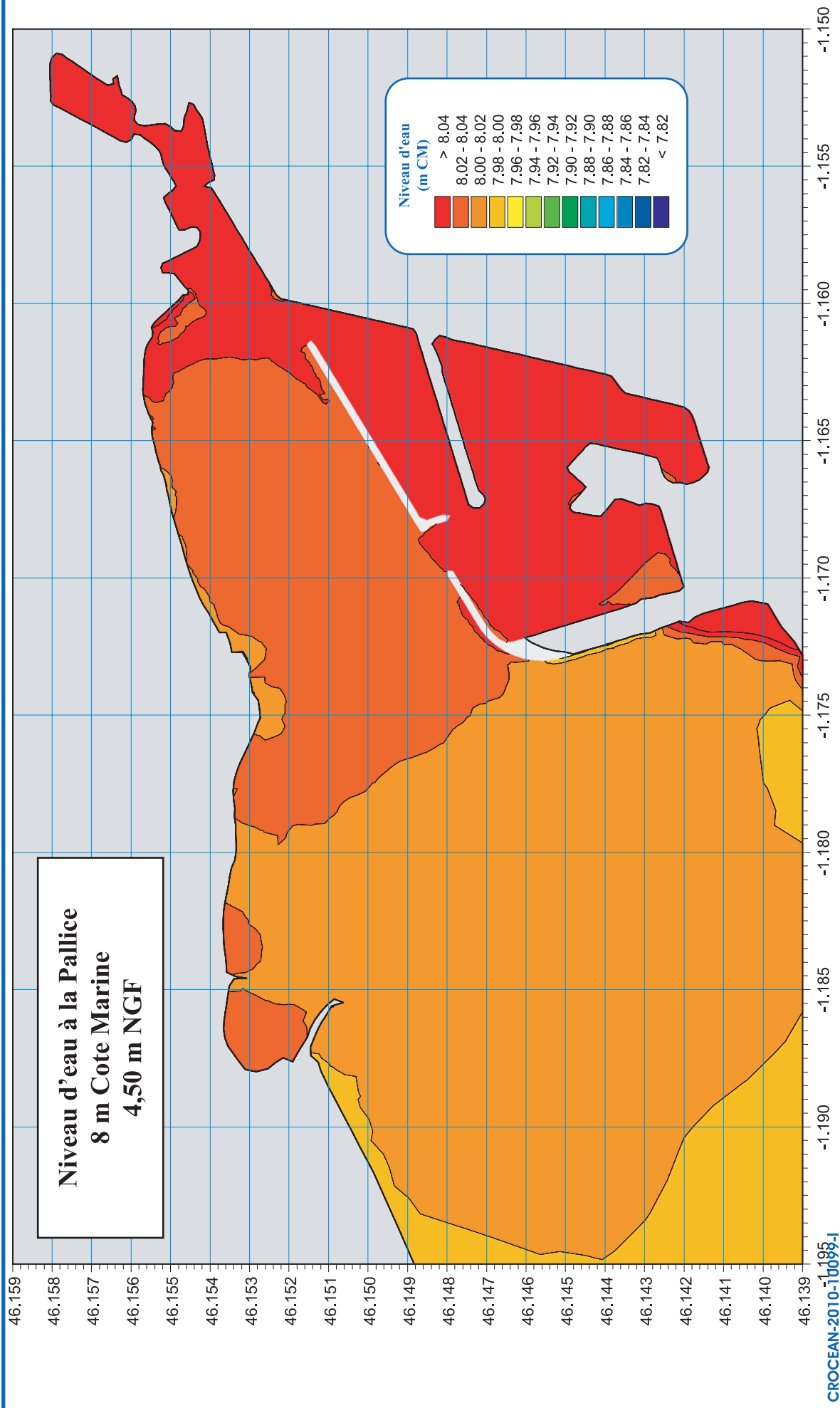


Figure 7

EXTENSION DU PORT DES MINIMES : MODÉLISATIONS DE L'ÉVÈNEMENT XYNTHIA

Résultats— Différence de niveau d'eau entre le cas futur et le cas initial

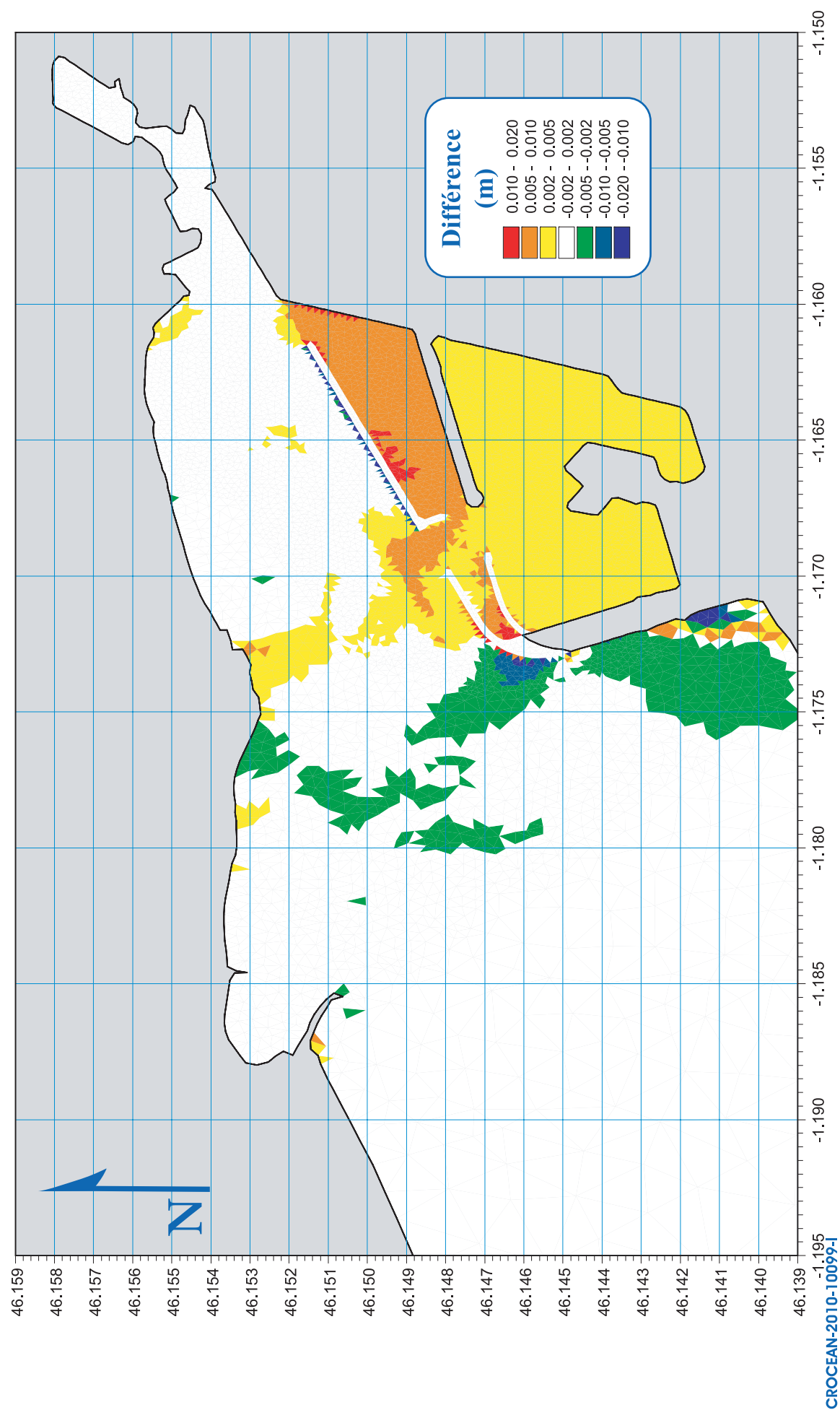


Figure 8

EXTENSION DU PORT DES MINIMES : MODÉLISATIONS DE L'ÉVÈNEMENT XYNTHIA

Résultats – Propagation de la houle dans les Pertuis

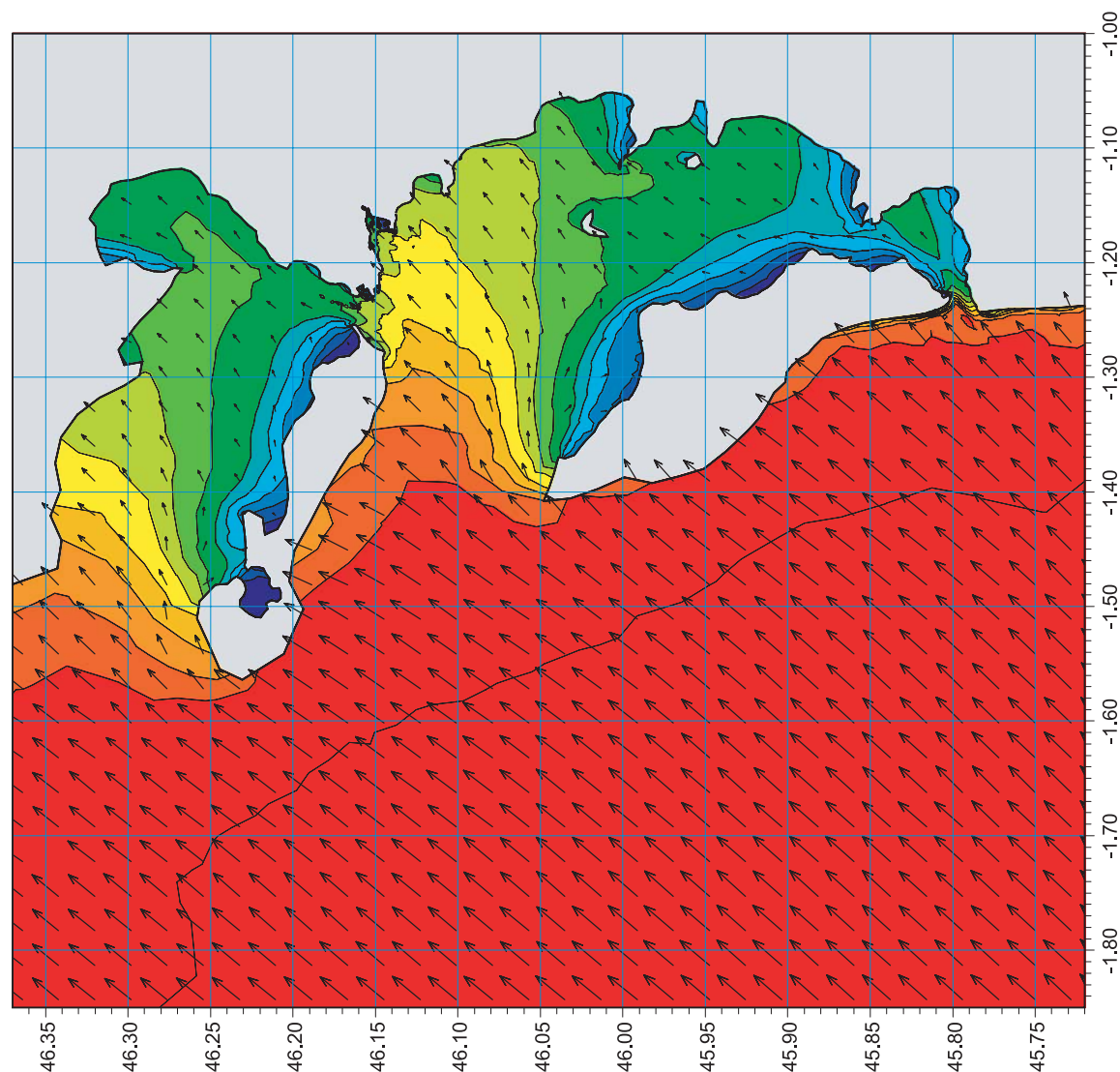
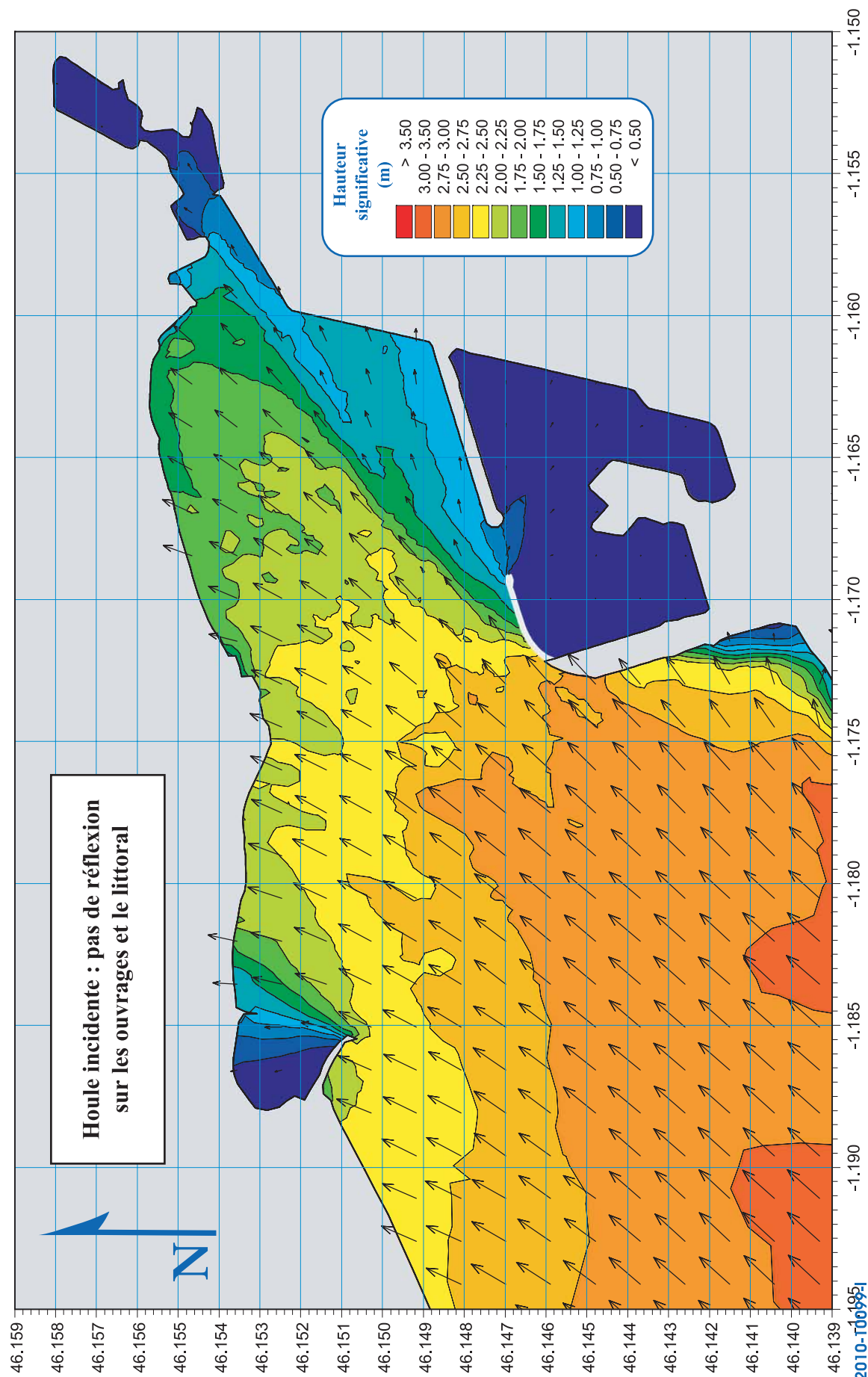


Figure 9

EXTENSION DU PORT DES MINIMES : MODÉLISATIONS DE L'ÉVÈNEMENT XYNTHIA

Résultats – Hauteur significative de la houle incidente -- Cas initial à Pleine-Mer



EXTENSION DU PORT DES MINIMES : MODÉLISATIONS DE L'ÉVÈNEMENT XYNTHIA

Résultats – Hauteur significative de la houle incidente Cas futur à Pleine-Mer

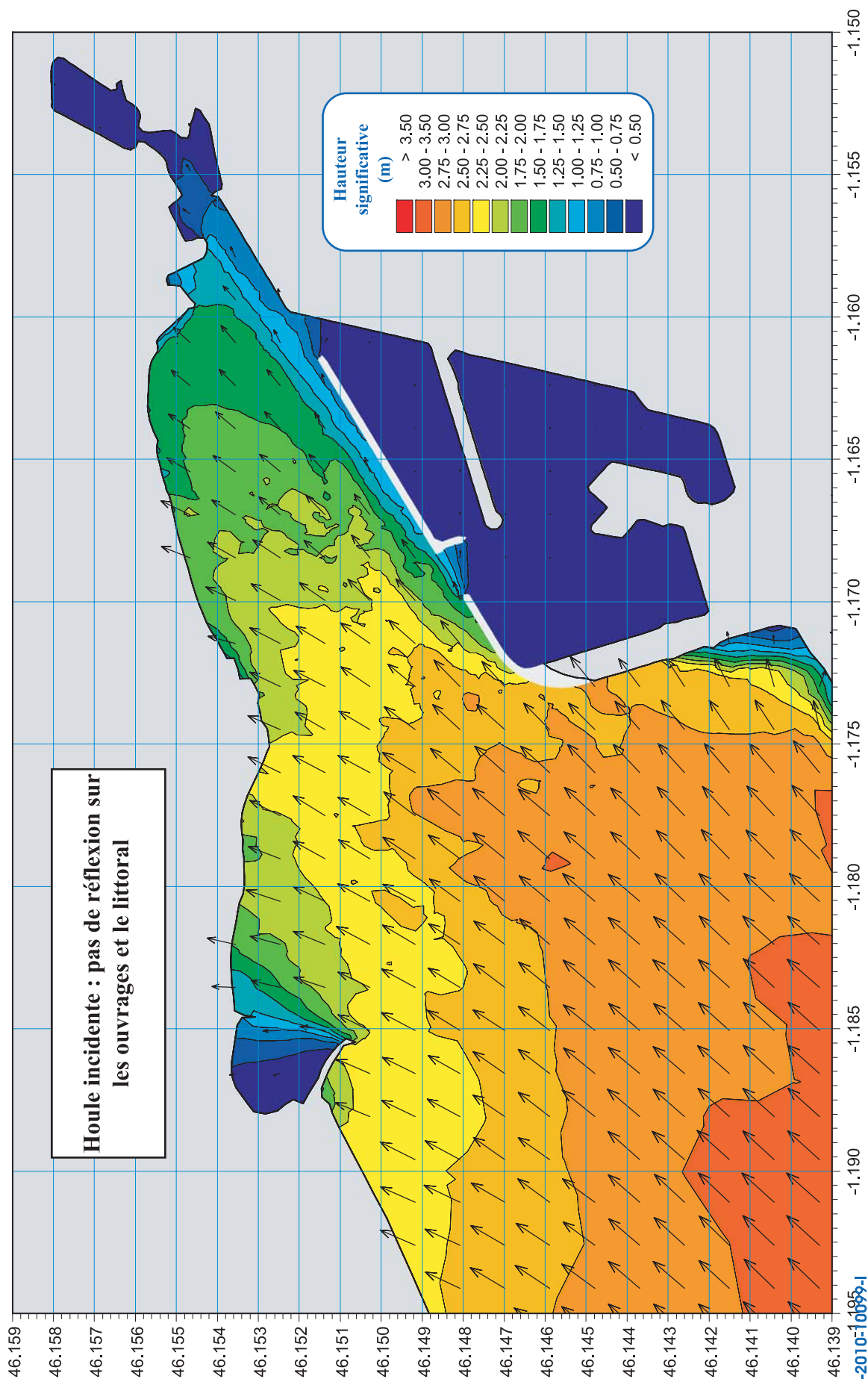


Figure 11

EXTENSION DU PORT DES MINIMES : MODÉLISATIONS DE L'ÉVÈNEMENT XYNTHIA

Résultats – Différence de hauteur significative de la houle incidente entre le cas futur et le cas initial

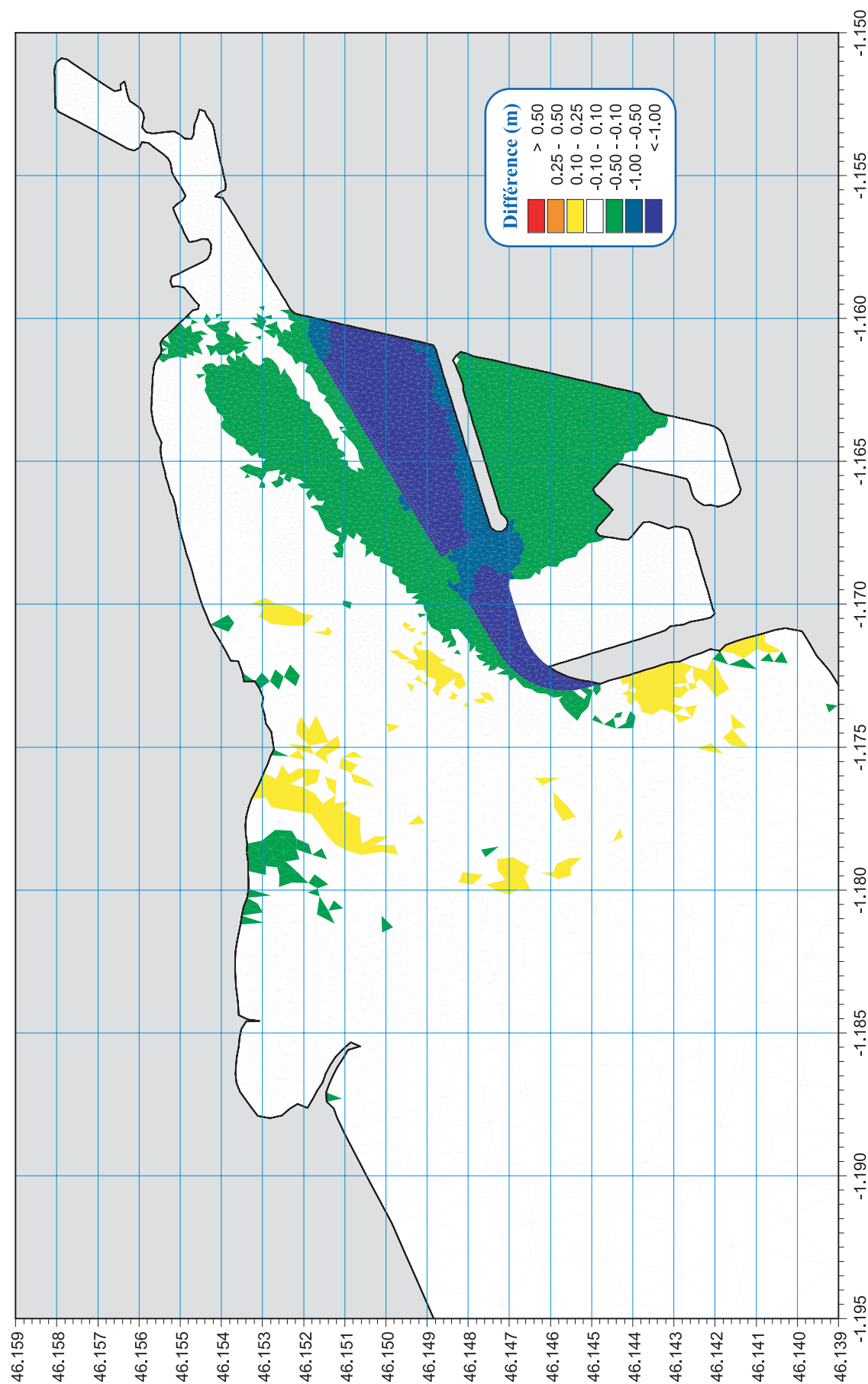
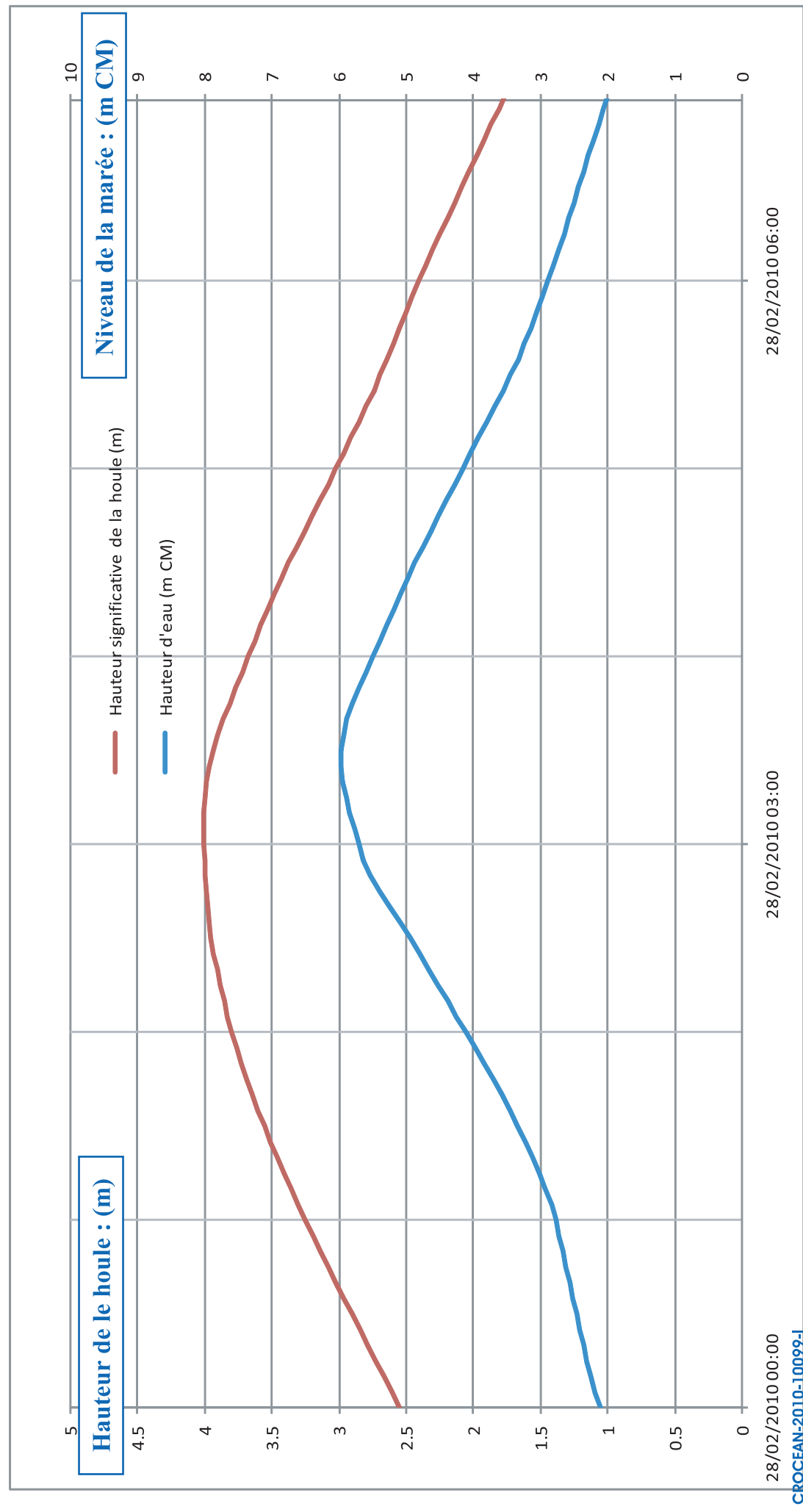


Figure 12

EXTENSION DU PORT DES MINIMES : MODÉLISATIONS DE L'ÉVÈNEMENT XYNTHIA

Résultats – Evolution de la hauteur significative et de la houle le 28 février 2010 au matin à l'entrée de la baie de La Rochelle



EXTENSION DU PORT DES MINIMES : MODÉLISATIONS DE L'ÉVÈNEMENT XYNTHIA

Résultats – Propagation de l'agitation dans la baie de La Rochelle (à Pleine-Mer) Cas initial

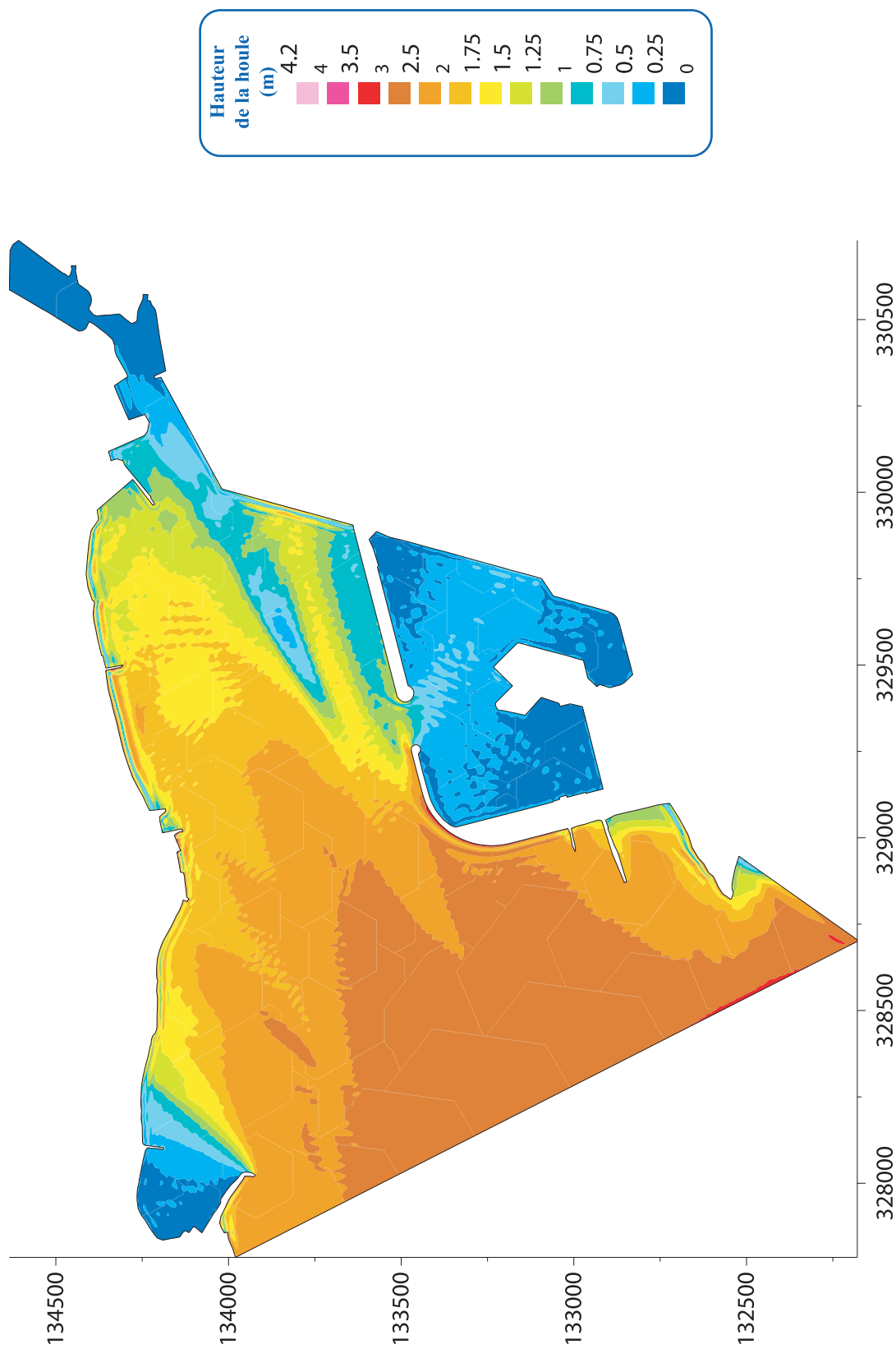


Figure 14

EXTENSION DU PORT DES MINIMES : MODÉLISATIONS DE L'ÉVÈNEMENT XYNTHIA

Résultats – Propagation de l'agitation dans la baie de La Rochelle (à Pleine-Mer) Cas futur

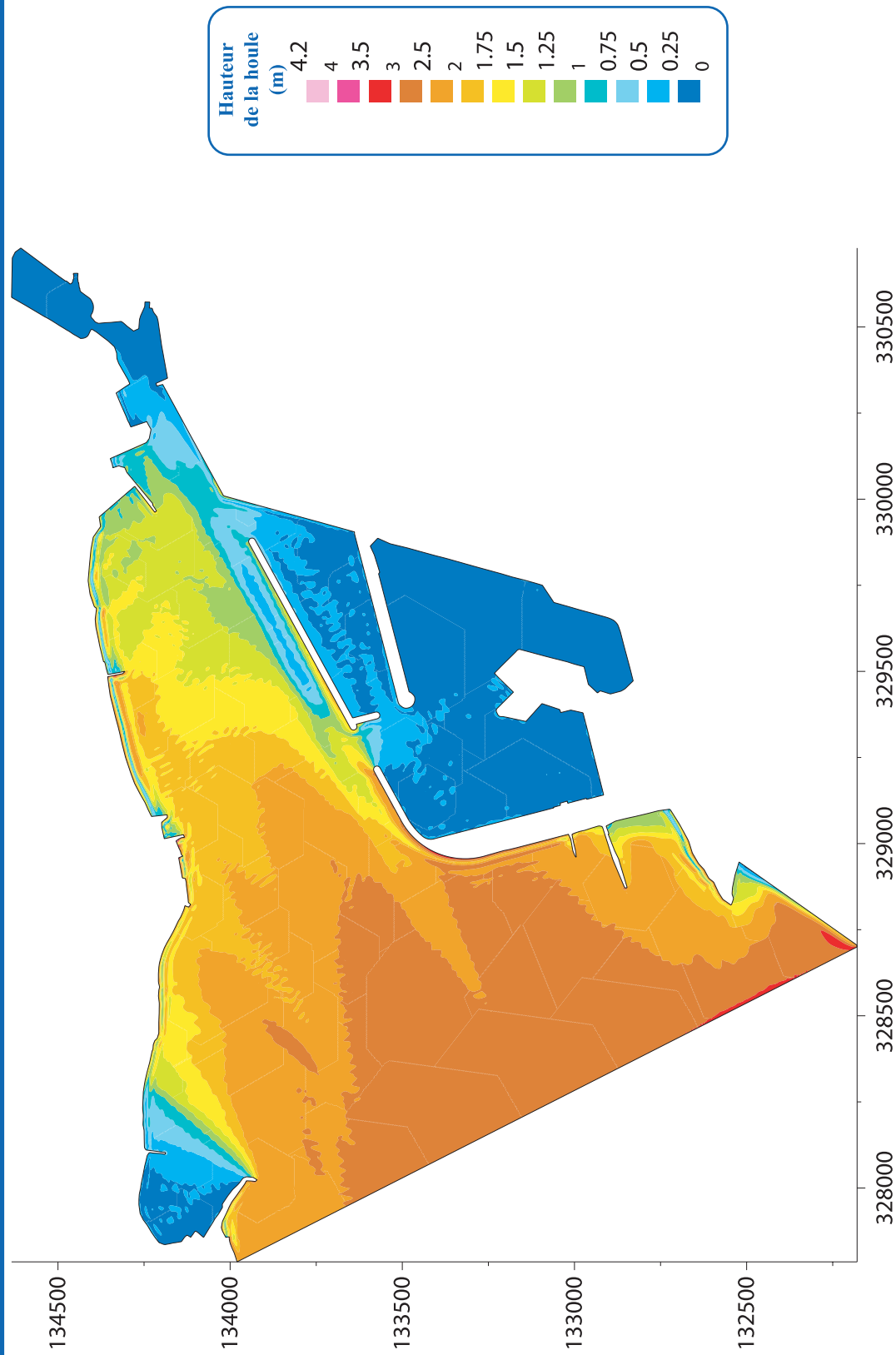


Figure 15

EXTENSION DU PORT DES MINIMES : MODÉLISATIONS DE L'ÉVÈNEMENT XYNTHIA

Résultats – Propagation de l'agitation dans la baie de La Rochelle (à Pleine-Mer)

Différence entre cas futur et cas initial

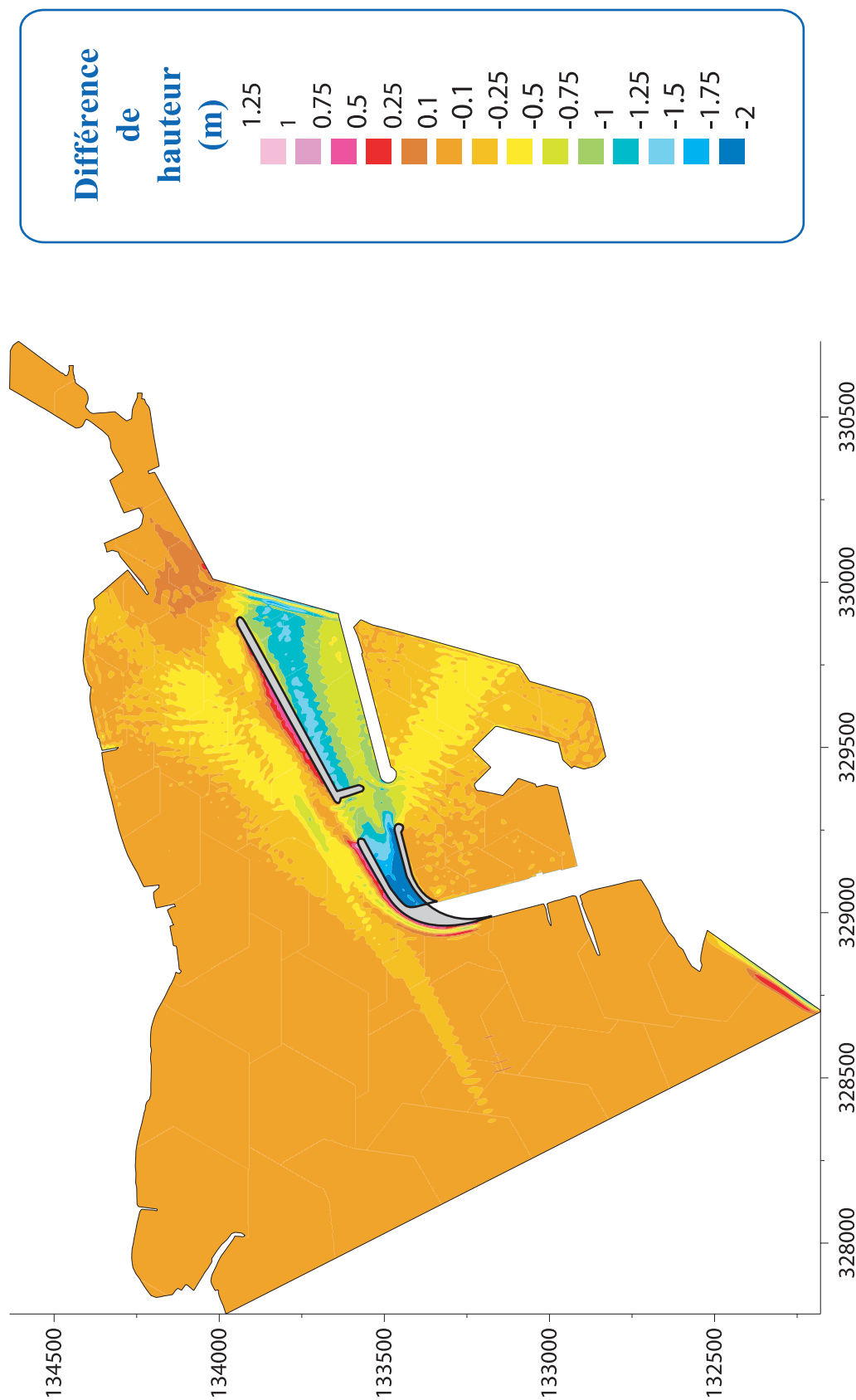


Figure 16