



Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

ÉTUDE COMPLÉMENTAIRE

RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE

ARTELIA

Agence de Bordeaux

Parc Sextant – Bâtiment D
6-8 avenue des Satellites – CS 70048
33187 LE HAILLAN Cedex

Tel. : 05 56 13 85 82

Fax : 05 56 13 85 63

DDTM DE LA CHARENTE-MARITIME

SOMMAIRE

Section 1	Construction du modèle	1
1.	CONTEXTE DE L'ÉTUDE	2
2.	LES PHÉNOMÈNES D'INONDATIONS	3
2.1.	INONDATIONS PAR SUBMERSION MARINE	3
2.1.1.	Origine de la submersion	3
2.1.2.	Le phénomène de submersion marine	4
2.2.	INONDATIONS PAR CRUE FLUVIALE	5
2.2.1.	Genèse des crues	5
2.2.2.	Formation et types des crues	5
2.2.3.	Fréquence des débordements	6
2.2.4.	L'écoulement des crues	7
3.	MODÉLISATION DES ÉCOULEMENTS	8
3.1.	OUTIL DE MODÉLISATION	8
3.1.1.	Présentation du logiciel : TELEMAC-2D	9
3.1.2.	Principes de calcul	10
3.1.2.1.	TELEMAC-2D : OUTIL DE MODÉLISATION HYDRAULIQUE	11
3.1.2.2.	TOMAWAC : OUTIL DE MODÉLISATION DE LA HOULE	12
3.1.2.3.	OUTIL DE MODÉLISATION DES PROTECTIONS	13
3.2.	CARACTÉRISTIQUES DU MODÈLE	14
3.2.1.	Système altimétrique et géo-référencement	14
3.2.2.	Le maillage : une représentation schématique de la réalité	14
3.2.2.1.	REMBLAIS ET DIGUES	14
3.2.2.2.	BÂTIMENTS ET ZONES URBAINES	16
3.2.2.3.	RÉSEAU DE RESSUYAGE ET OUVRAGES HYDRAULIQUES	16
3.2.3.	Données d'entrée	17
3.2.3.1.	TOPOGRAPHIE ET BATHYMÉTRIE	17
3.2.3.2.	OUVRAGES HYDRAULIQUES	17
3.2.4.	Description du maillage mis en œuvre	19
3.3.	HYPOTHÈSES ET LIMITES ASSOCIÉES	22
3.3.1.	Interpolation entre les points de calcul	22
3.3.2.	Cartographie des résultats	22
Section 2	Calage du modèle	23
4.	MÉTHODOLOGIE DE CALAGE	24
4.1.	PRINCIPES	24
4.2.	COEFFICIENTS DE FROTTEMENT RETENUS	24
4.3.	REMARQUES	25
5.	CALAGE D'UN ÉVÈNEMENT MARITIME	26
5.1.	CALAGE PRÉALABLE DE LA PARTIE MARITIME POUR DES CONDITIONS USUELLES DE MARÉE	26

5.2.	EVÈNEMENT MARITIME XYNTHIA	30
5.3.	DONNÉES HISTORIQUES UTILISÉES POUR LE CALAGE DE LA TEMPÊTE XYNTHIA	30
5.4.	COMPARAISON DES RÉSULTATS DU MODÈLE ET DES OBSERVATIONS	31
6.	CALAGE D'UN ÉVÈNEMENT FLUVIAL	36
6.1.	EVÈNEMENT FLUVIAL : LA CRUE DE DÉCEMBRE 1982	36
6.2.	DONNÉES HISTORIQUES	37
6.3.	COMPARAISON DES RÉSULTATS DU MODÈLE ET DES OBSERVATIONS	37
Section 3	Définition des scénarios de référence	39
7.	EVÈNEMENT DE RÉFÉRENCE	40
7.1.	SYNTHÈSE DES DONNÉES SUR LES ÉVÈNEMENTS HISTORIQUES	41
7.1.1.	Historique des niveaux marins exceptionnels	41
7.1.2.	Les tempêtes au XXème siècle en Charente-Maritime	43
7.1.3.	Analyse spécifique du phénomène Xynthia	45
7.1.3.1.	UN PHÉNOMÈNE MÉTÉOROLOGIQUE	46
7.1.3.2.	UNE CONJONCTION EXCEPTIONNELLE DU VENT ET DE LA MARÉE	48
7.2.	SIMULATION DE L'ÉVÈNEMENT DE RÉFÉRENCE DE L'ACTUEL PPRN	50
7.3.	ANALYSE DES PARAMÈTRES GÉNÉRATEURS DES NIVEAUX EXTRÊMES DANS L'ESTUAIRE	52
7.4.	CONCLUSION SUR L'ÉVÈNEMENT DE RÉFÉRENCE RETENU	53
8.	ALÉAS DE RÉFÉRENCE À RETENIR	53
9.	PRISE EN COMPTE DES OUVRAGES DE PROTECTION	54
9.1.	IDENTIFICATION DE L'ENSEMBLE DES OUVRAGES CONSTITUANT LE SYSTÈME DE PROTECTION	54
9.1.1.	Généralités : les secteurs homogènes initiaux	54
9.1.2.	Application pour l'élaboration du PPRN	54
9.2.	PRISE EN COMPTE DE LA SOLLICITATION À LA HOULE DES OUVRAGES	55
9.3.	PRISE EN COMPTE DE LA PROTECTION	56
9.4.	DYNAMIQUE DE CONSTITUTION DES BRÈCHES OU D'EFFACEMENT D'OUVRAGES	58
9.5.	SCÉNARIOS DE MISE EN ŒUVRE DES DÉFAILLANCES	60
10.	CARTOGRAPHIE DES DEUX ALÉAS DE RÉFÉRENCE DU FUTUR PPRN	61
10.1.	CARTOGRAPHIE DES HAUTEURS D'EAU	61
10.2.	CARTOGRAPHIE DES VITESSES D'ÉCOULEMENT	61
10.3.	CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA DE RÉFÉRENCE	62

Section 4	Annexes	63
ANNEXE 0	Retour d'EXpérience de Xynthia	64
ANNEXE 1	Calage de Xynthia – Hauteurs d'eau	65
ANNEXE 2	Calage de Xynthia – Niveaux d'eau	66
ANNEXE 3	Calage de Xynthia – Tableau des lasses de crues	67
ANNEXE 4	Calage de la crue de 1982 – Profil en long	68
ANNEXE 5	Calage de la crue de 1982 – Emprise inondée	69
ANNEXE 6	Scénarios de défaillance	70

SECTION 1

CONSTRUCTION DU MODÈLE

1. CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Le bassin de l'Estuaire de la Charente comprend 14 communes pour lesquelles les services de l'État de la préfecture de la Charente-Maritime a prescrit le 27 octobre 2008 la réalisation de PPR portant sur les risques littoraux.

A ce jour, les études réalisées sans modélisations spécifiques, ont permis aux services de l'État de la préfecture d'approuver les PPRL sur les 11 communes suivantes :

- St Laurent de la Prée,
- Breuil-Magné,
- Vergeroux,
- Port-des Barques,
- St Nazaire sur Charente,
- Soubise,
- Rochefort,
- Tonnay-Charente,
- Echillais,
- St Hippolyte,
- Cabariot.

Les communes de Aix, Fouras et Yves, également concernées par l'élaboration de ces documents, disposent actuellement de PPR appliqués par anticipation.

Par ailleurs, ARTELIA a réalisé entre 2013 et 2015 une étude pour le compte du Département de la Charente Maritime dans le cadre de l'élaboration du Programme d'Actions de Protection contre les Inondations (PAPI) de ce secteur porté par l'EPTB Charente. Dans le cadre de cette étude, ARTELIA a élaboré une modélisation mathématique permettant de simuler le comportement hydraulique et maritime des Pertuis Charentais et plus globalement entre la côte Vendéenne et la côte Aquitaine. Ce modèle intègre également, en fonction de données bathymétriques et topographiques (Lidar) récentes, la remontée et la possible expansion des crues et des marées entre l'Embouchure de la Charente et l'amont de Saintes.

Ce modèle a été calé à l'aide de nombreuses informations disponibles sur les événements maritime de 1999 (Martin) et de 2010 (Xynthia) mais également pour la crue fluviale de 1982 afin de représenter parfaitement le comportement hydraulique des interconnexions entre les marées et le débit sur le secteur aval de la Charente et donc sur l'ensemble du Bassin de l'Estuaire Charente défini par l'État.

Afin de valoriser les études et la nouvelle connaissance du comportement hydraulique sur ces secteurs et prendre en compte un événement de référence conforme aux dispositions de la circulaire du 27 juillet 2011 et découlant de la nouvelle connaissance amenée par la tempête Xynthia, la DDTM de la Charente Maritime a souhaité engager, avec le modèle ainsi représentatif, une étude complémentaire pour redéfinir les aléas inondation ou submersion sur le territoire du bassin de l'Estuaire de la Charente et identifier les enjeux soumis aux risques.

Notons également que la nouvelle connaissance des phénomènes de submersion marine apportée par les études récentes sur le département, a mis en évidence une déconnexion des phénomènes hydrauliques entre le bassin de la Charente et ses marais associés en aval et le territoire de la commune d'Yves qui ne peut être submergé que par les débordements des protections frontales océaniques de l'Ouest de la commune. Au vu de cette nouvelle connaissance, la commune d'Yves ne fait plus partie du bassin Estuaire Charente mais sera traitée par les services de l'Etat dans le cadre de l'élaboration des PPRL de l'agglomération Rochelaise.

2. LES PHÉNOMÈNES D'INONDATIONS

2.1. INONDATIONS PAR SUBMERSION MARINE

2.1.1. Origine de la submersion

Les mécanismes à l'origine de la submersion marine sont aujourd'hui connus.

L'arrivée d'un important système dépressionnaire s'accompagne d'une **élévation du niveau marin**, selon trois processus principaux :

- **la chute de pression atmosphérique** entraîne une surélévation du niveau du plan d'eau, dont la hauteur équilibre le déficit de pression atmosphérique ; une diminution d'un hectopascal équivaut approximativement à une élévation d'un centimètre de niveau marin,
- le **vent** (force, direction) exerce une contrainte à la surface de l'eau générant une modification du plan d'eau (surcote ou décote) et des courants,
- à l'approche des côtes, les **vagues créées par la tempête déferlent**. Elles transfèrent alors leur énergie sur la colonne d'eau, ce qui provoque une surélévation moyenne du niveau de la mer (surcote liée aux vagues ou "wave setup"), pouvant s'élever à plusieurs dizaines de centimètres.

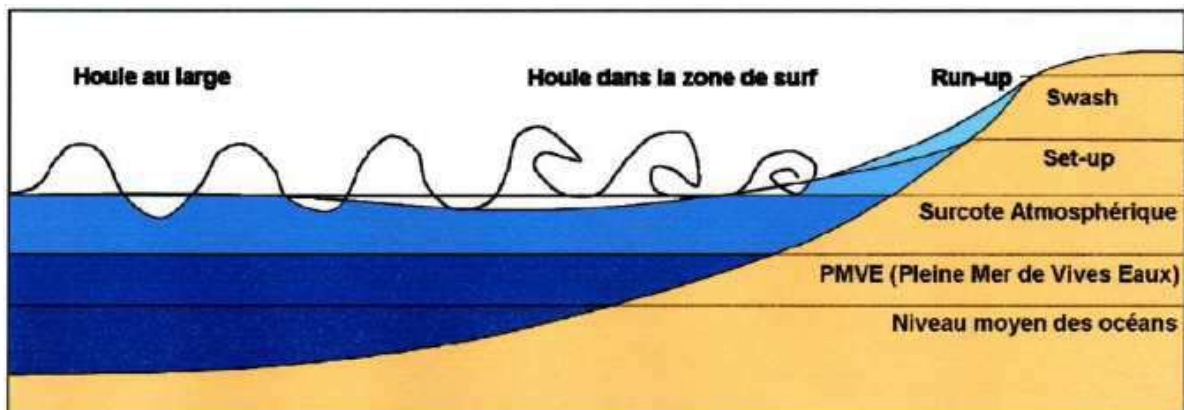


Schéma illustrant les principaux mécanismes à l'origine de l'élévation du niveau marin dans le cas d'une tempête (Source : BRGM)

On appelle "surcote atmosphérique" l'élévation du niveau de la mer causée par les deux premiers mécanismes. Cette surcote accompagne la tempête dans sa progression. Lorsqu'elle se rapproche de la côte, dans les zones où la profondeur d'eau diminue, sa progression est ralentie et sa hauteur augmente. Ce phénomène dépend de la topographie des fonds marins, de la vitesse et de la direction de l'onde. Le niveau moyen de la mer à la côte lors d'une tempête résulte de l'ensemble de ces contributions s'ajoutant à la marée. Pour obtenir le niveau maximal atteint par la mer, il faut aussi tenir compte du jet de rive ("swash"), c'est à dire le flux et le reflux des vagues. On appelle "Run-up" l'altitude maximale atteinte. Ces mécanismes sont illustrés sur la figure précédente.

La conjugaison de ces différents phénomènes provoque des submersions marines. L'action de la houle contribue par ailleurs à l'érosion du trait de côte, par arrachement de matériaux sableux, notamment aux plages et aux cordons dunaires.

La représentation fine des phénomènes de submersion à l'aide d'un outil de modélisation nécessite donc la parfaite représentation de l'ensemble de ces facteurs afin de s'approcher au mieux de la réalité physique du phénomène à étudier.

2.1.2. Le phénomène de submersion marine

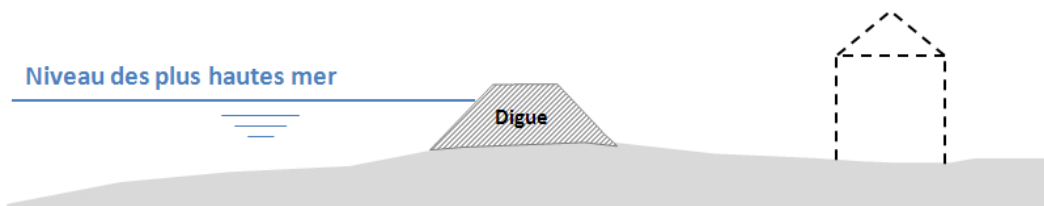
Les submersions marines ou littorales sont générées par la combinaison de différents facteurs liés entre eux pour certains et indépendants pour d'autres. Elles sont issues du croisement du niveau d'eau statistique à la côte, de la houle à la côte (Run up) mais également du système de protection littorale.

Les submersions peuvent en effet être dues :

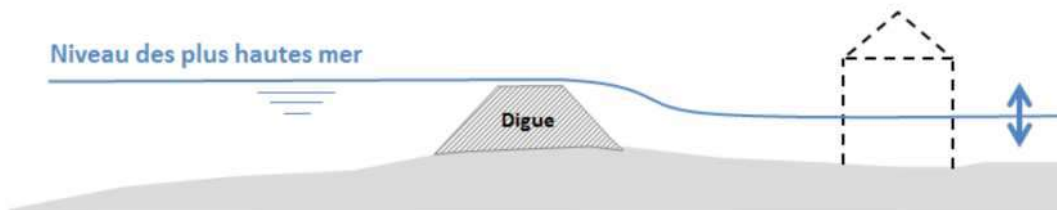
- à la rupture ou à la destruction des ouvrages de protection,
- au débordement par surverse de la mer sur les digues ou ouvrages de protection, le niveau de pleine mer ayant une cote supérieure à celle des crêtes des ouvrages,
- à la rupture ou à la destruction d'un cordon dunaire à la suite d'une érosion intensive.

En présence d'un linéaire de protection, il existe trois possibilités de submersion, comme présenté sur les schémas suivants sans considérer l'effet de vague sur l'ouvrage (Run-up) :

- la submersion devant la digue,



- la submersion derrière la digue par surverse, la cote du plan d'eau étant supérieure à celle du sommet de l'ouvrage,



- la submersion par rupture de la digue.



Lors des tempêtes marines, le niveau moyen de la mer augmente sous l'effet conjoint de la dépression atmosphérique et des vents (qui poussent l'eau vers la côte). De plus, l'érosion progressive des cordons dunaires par le vent ou par l'agression de la houle peut provoquer l'apparition de brèches qui menacent les terrains situés en arrière du littoral dont l'altimétrie est en-dessous du niveau atteint par la mer.

Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

Étude complémentaire

RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE

Ces submersions se propagent aussi à l'intérieur des marais connectés avec la mer par des chenaux ou canaux et peuvent donc inonder des terrains loin du bord de mer.

Les précédents schémas ne prennent pas en compte le déferlement des vagues sur le linéaire de protection. Ainsi, un autre schéma peut également être mis en avant :

- effet du Run-up dû aux vagues entraînant le remplissage derrière la digue; la cote du plan d'eau pouvant être plus haute que les plus hautes eaux marines en fonction du volume du casier à comparer avec les volumes ayant submergé la protection. Ce débordement, également appelé « overtopping », correspond à ce que nous appelons couramment « **franchissement par paquets de mer** » :



Une représentation fidèle de la protection (interface terre/mer) est également indispensable.

2.2. INONDATIONS PAR CRUE FLUVIALE

2.2.1. Genèse des crues

D'une manière générale, les crues de la Charente prennent naissance dans le haut-bassin, à l'amont de Mansle. Ces crues sont engendrées par des pluies relativement uniformément réparties sur l'ensemble du bassin. Ceci a pour conséquence, compte tenu de la superficie des différents sous-bassins alimentant la crue sur le parcours :

- un apport soutenu et progressif des affluents du tronçon Mansle-Angoulême,
- une relative coïncidence des hydrogrammes (même date de démarrage de la montée, même date de la pointe), entre celui de Mansle (Charente) et ceux des affluents à leur confluence avec la Charente.
- sur le secteur en aval de Saintes, les apports de la Boutonne et de la Seugne, sont des éléments pénalisant l'évacuation à l'océan des apports du bassin versant de la Charente en amont de Cognac. Ces apports précèdent de 1 à 4 jours le maximum de la crue de la Charente à Saintes et créent ainsi des conditions de remplissage des biefs qui sont pénalisantes pour favoriser l'évacuation vers l'aval des volumes exceptionnels.

2.2.2. Formation et types des crues

Les crues de la Charente et de ses affluents résultent d'épisodes pluvieux d'origine océanique et dont la répartition spatiale est généralement homogène sur le bassin. La réponse de celui-ci à la pluviométrie est essentiellement régie par les hauteurs d'eau précipitées. L'intensité des précipitations se fait toutefois également sentir en amont, et en particulier lorsque des événements de pluviométrie intense se cumulent avec des pluies de longue durée.

Le fait le plus marquant qui caractérise les crues du bassin réside dans leur caractère saisonnier, 80 % d'entre elles se produisant entre le 15 décembre et le 1^{er} avril de l'année suivante.

Ceci est dû en partie au régime des pluies, mais aussi à la capacité d'absorption des aquifères du bassin (alluviaux ou karstiques).

Par contre, la couverture végétale du bassin, qu'il s'agisse des strates naturelles ou des cultures, est trop pauvre pour assurer un stockage superficiel conséquent des eaux de pluie, excepté dans le haut bassin, soit moins de dix pour cent de l'ensemble.

La montée des eaux et la décrue sont lentes, entraînant des durées de submersion très longues (de 10 à 30 jours).

La forme ramassée du bassin à l'amont favorise l'émergence d'une onde de crue bien marquée par conjugaison des hydrogrammes de la Charente, du Bandiat et de la Tardoire.

Cette onde de crue, en se propageant vers l'aval, subit un important laminage, du fait des débordements dans un lit majeur souvent large. Ce laminage se traduit par un impact positif sur la crue, à savoir un écrêtement des débits de pointe et un déphasage retardé de l'onde. Le phénomène est particulièrement marqué entre Angoulême et Cognac.

Sur l'amont du secteur d'étude, les crues les plus importantes sont générées par des pluviométries longues (supérieures à une semaine) et soutenues.

L'onde de crue est étalée dans le temps à Angoulême sans pointe très marquée. En se propageant vers l'aval, elle se renforce des apports latéraux entretenus par la pluie persistante et vient s'ajouter aux crues des affluents aval, dont les débits sont toujours conséquents, du fait de la pluie qui n'a pas cessé. Le débit à Saintes peut alors atteindre des valeurs très importantes. Ce type d'événement conduit à des crues exceptionnelles à Saintes, et plus moyennes à Angoulême (ex. crues de janvier 1961 – décembre 1982 – janvier 1994).

2.2.3. Fréquence des débordements

Les lits mineurs de la Charente et de ses affluents sont remarquables par leur faible capacité. Les débordements sont donc fréquents, de l'ordre de une fois par an. Les durées annuelles moyennes des inondations sont de plus en plus longues, de l'amont vers l'aval :

- 9 jours à Mansle,
- 15 jours à Angoulême,
- 22 jours à Saintes.

2.2.4. L'écoulement des crues

De manière générale, et sur la majeure partie du réseau hydrographique, les conditions d'écoulement sont difficiles, notamment pour les raisons suivantes :

- lit mineur de faible capacité,
- pentes très faibles, en particulier en aval de Cognac,
- remontée de la marée dans la partie aval,
- méandrement localement développé et allongeant les trajets hydrauliques,
- lit mineur fréquemment encombré pour de multiples raisons : entretien insuffisant, ouvrages vétustes ou mal dimensionnés, occupation abusive du lit par certains aménagements, etc...
- lit majeur, dont la fonction de stockage hydraulique est parfois contrariée par des remblais, des constructions, etc...
- il est à noter toutefois que le ralentissement des écoulements en lit majeur, par des remblais perpendiculaires à l'axe du fleuve, n'est pas totalement négatif, puisqu'il contribue également à augmenter l'effet de laminage, en privilégiant des zones d'expansion sur les hauts bassins versants,
- enfin, présence de deux verrous topographiques (Cognac et Saintes), dont les effets aggravés par l'intervention humaine induisent un relèvement très net des lignes d'eau en crue.

3. MODÉLISATION DES ÉCOULEMENTS

3.1. OUTIL DE MODÉLISATION

Afin de déterminer avec précision le comportement hydrodynamique côté maritime et la propagation des écoulements côté terrestre sur l'ensemble notre zone d'étude, une modélisation mathématique bidimensionnelle a été mise en œuvre à l'aide du logiciel **TELEMAC-2D**.

Cette modélisation intègre :

- l'hydrodynamique maritime et terrestre,
- le calcul des débits de surverse au niveau de l'interface constitué par un système de protection littorale.

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 terrain naturel ou du lit de la rivière), débit linéique scalaire et vectoriel (vitesse x hauteur d'eau),...

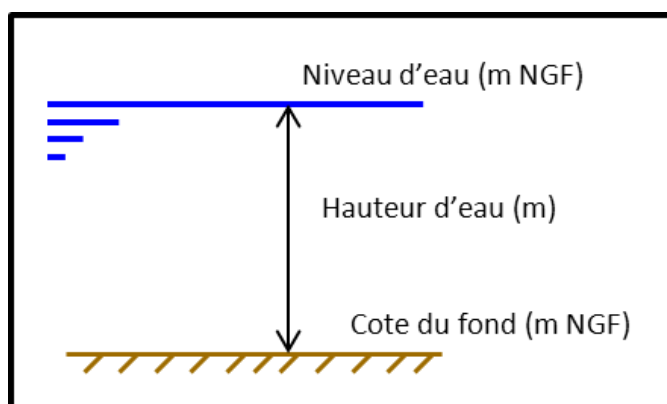


Fig. 1. Fond, hauteur d'eau, niveau d'eau

3.1.1. Présentation du logiciel : TELEMAC-2D

Le système TELEMAC (© EDF), dont fait partie TELEMAC-2D, est développé par le Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement, en respect des procédures d'Assurance de la Qualité des Logiciels Scientifiques et Techniques d'EDF. Ce système logiciel est à présent mis à disposition gratuitement par EDF-DRD en open source et il peut être téléchargé sans aucun coût d'acquisition de licence.

C'est un puissant outil intégré de modélisation dans le domaine des écoulements à surface libre. Utilisé dans le cadre de très nombreuses études partout dans le monde (plusieurs centaines à l'heure actuelle), il est devenu l'un des grands standards dans son domaine.

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 (centre urbain, enjeux...)
- 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 TELEMAC 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, 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.

La précision spatiale des résultats obtenus est fixée par la taille des mailles du modèle bidimensionnel. Le maillage peut donc être affiné dans les secteurs d'hydraulique complexe ou au niveau des zones d'intérêt.

Cette approche est donc parfaitement adaptée au secteur d'étude, à la représentation du comportement hydrodynamique côté maritime et la propagation des écoulements côté terrestre sur l'ensemble de la zone inondable de l'estuaire de la Charente.

Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

Étude complémentaire

RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE

3.1.2. Principes de calcul

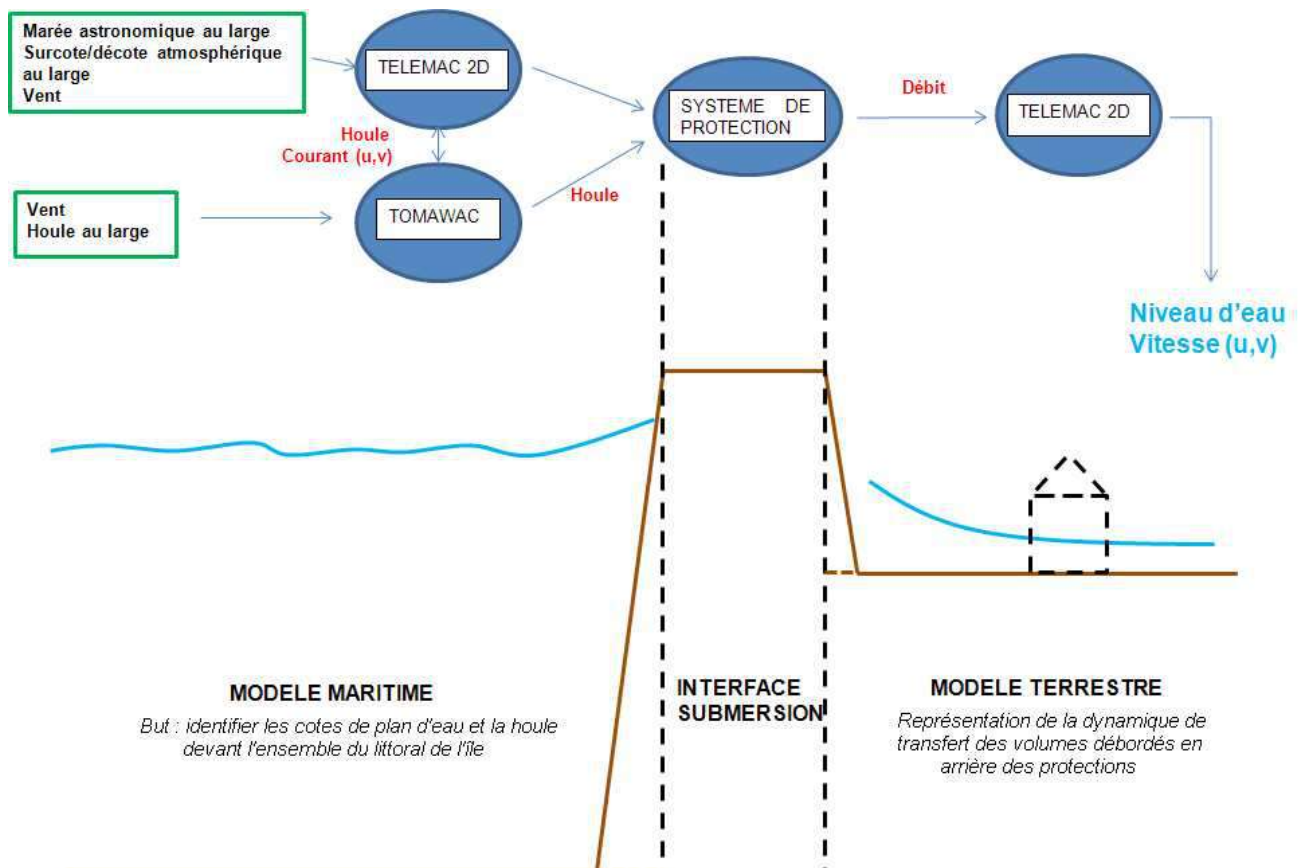
Le modèle mis en œuvre a pour objectif de représenter finement le fonctionnement hydrodynamique côté maritime et terrestre sur l'estuaire de la Charente lors d'événements importants de submersion marine.

Pour cela, trois outils de modélisations sont utilisés afin de reproduire :

- **la marée et la propagation de la houle** devant les protections,
- **les volumes de déversement par-dessus les digues** ou par les brèches ou ruptures de protection,
- **la propagation des volumes débordés** dans les zones potentiellement inondables et donc au final les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement dans ces secteurs.

Le schéma suivant présente la synoptique de l'enchaînement des différents calculs réalisés et des outils utilisés.

Ces différents outils seront ensuite explicités en détail dans les paragraphes suivants.



Synoptique de la modélisation mise en œuvre

Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

Étude complémentaire

RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE

3.1.2.1. TELEMAC-2D : OUTIL DE MODÉLISATION HYDRAULIQUE

Le module *TELEMAC-2D* permet de simuler les écoulements à surface libre à deux dimensions d'espace horizontales. Le logiciel calcule, en chaque point du maillage, la hauteur d'eau ainsi que les deux composantes de la vitesse.

TELEMAC-2D résout les équations de Saint-Venant à l'aide de la méthode des éléments finis sur une grille de calcul à éléments triangulaires. Il permet d'effectuer des simulations en régime transitoire aussi bien qu'en régime permanent.

TELEMAC-2D permet de prendre en compte les phénomènes physiques suivants :

- propagation des ondes longues avec prise en compte des effets non linéaires,
- frottement sur le fond,
- influence de la force de Coriolis,
- influence de phénomènes météorologiques : pression atmosphérique et vent,
- turbulence,
- écoulements torrentiels et fluviaux,
- influence de gradients horizontaux de température ou de salinité sur la densité,
- coordonnées cartésiennes ou sphériques pour les grands domaines,
- zones sèches dans le domaine de calcul : bancs découvrants et plaines inondables,
- entraînement par le courant et diffusion d'un traceur, avec des termes de création ou de disparition,
- suivi de flotteurs et dérives lagrangiennes,
- traitement de singularités : seuils, digues, buses.

Dans la présente étude, TELEMAC-2D permet de représenter l'évolution de l'hydrodynamique maritime et des débordements côté terrestre, ainsi que l'hydrodynamique fluviale, en intégrant :

- la marée théorique aux frontières maritimes du modèle,
- l'évolution de la surcote atmosphérique au large,
- l'influence du vent sur l'emprise maritime du modèle,
- l'influence de la houle sur l'hydrodynamique de la partie maritime. Cette influence, générée par les contraintes de radiation liées à la houle, peut se traduire par une rehausse du niveau d'eau à la côte (effet de set-up),
- les apports de débits provenant de la Charente et de la Boutonne.

3.1.2.2. TOMAWAC : OUTIL DE MODÉLISATION DE LA HOULE

La représentation des états de mer et de la propagation des houles est obtenue à l'aide du logiciel TOMAWAC de la chaîne de calcul TELEMAC. Il intègre :

- génération des vagues par le vent, dissipation par moutonnement et transferts d'énergie non linéaires au sein du spectre,
- gonflement et réfraction de la houle par les fonds marins et les courants,
- déferlement par courant contraire en cas de fort courant opposé aux vagues,
- frottement sur le fond,
- déferlement bathymétrique en faible profondeur d'eau,
- bancs découvrants (estrans).

Les équations sont résolues sur un maillage aux éléments finis, identique à celui utilisé pour la détermination des conditions hydrodynamiques. À chaque point du maillage de calcul, TOMAWAC calcule les informations suivantes :

- hauteur significative des vagues,
- fréquence moyenne de la houle,
- moyenne de direction des vagues,
- fréquence de la houle,
- contraintes de radiations.

Dans le cadre de la modélisation de l'ensemble de l'estuaire de la Charente, les calculs de propagation de la houle intègrent :

- la houle au large, définie par une direction de propagation, une hauteur significative, une période de pic,
- l'effet du vent sur la propagation de la houle,
- l'effet des courants et de l'évolution du niveau d'eau sous l'influence de la marée déterminées par TELEMAC-2D (marée « réelle » intégrant la marée astronomique, le vent, la surcote atmosphérique, ...), en termes d'évolution du niveau d'eau et des courants de marée associés.

3.1.2.3. OUTIL DE MODÉLISATION DES PROTECTIONS

Les protections littorales sont considérées dans la présente modélisation mise en œuvre comme une « **interface** » entre la partie maritime du modèle et la partie terrestre.

Ce même type d'interface est utilisée sur les parties estuarienne et fluviale entre le lit mineur endigué de la Charente et son lit majeur.

Au niveau de cette « interface », un développement spécifique a été réalisé afin de déterminer, à partir des conditions hydrodynamiques et de houles observées à la côte et le type de protection, le débit de franchissement qui arrive côté terrestre.

Le calcul des débits de franchissement prend en compte de manière très précise :

- la configuration structurelle des ouvrages (mur vertical, digue à talus simple, digue à talus + berme, couronnement supérieur de renvoi de la houle...),
- le type de matériau utilisé sur les parements exposés à la houle (parements rugueux, parements lisses),
- le niveau statique du plan d'eau,
- les conditions de houle,
- la configuration des fonds (influence sur les paramètres de gonflement de la houle et de déferlement).

3.2. CARACTÉRISTIQUES DU MODÈLE

3.2.1. Système altimétrique et géo-référencement

Le modèle mis en œuvre est géo-localisé dans le référentiel géographique Lambert II centre.

Le référencement altimétrique retenu est le système de Nivellement Géographique de la France IGN 69 (noté NGF dans la suite du rapport).

3.2.2. Le maillage : une représentation schématique de la réalité

Le maillage constitue une représentation schématique de la réalité. Du fait de cette schématisation, sa construction est une étape essentielle de la réalisation d'une étude de modélisation hydraulique.

Il est en effet indispensable que le maillage intègre et représente de manière la plus fidèle possible la réalité du terrain, et plus spécifiquement au niveau des éléments structurants. Ces éléments sont constitués par les particularités qui ont une influence sur le comportement des écoulements à leur niveau.

Sur le secteur d'étude, les éléments structurants sont nombreux et divers. Leur traitement et la manière de les représenter dans les modèles mis en œuvre sont détaillés dans les paragraphes ci-après.

3.2.2.1. REMBLAIS ET DIGUES

La représentation des remblais et des digues nécessite la bonne représentation du rôle d'obstacle aux écoulements et de leur caractère éventuellement submersible. Pour cela, il est nécessaire de représenter correctement de manière conjointe l'altimétrie des pieds de talus et celle du haut (crête).

Deux principes sont utilisés pour cela, selon la taille de l'obstacle et l'hétérogénéité altimétrique de sa crête :

- la première consiste à intégrer l'obstacle dans le maillage,
- la seconde consiste à représenter l'obstacle sous la forme de deux frontières du modèle et de calculer le débit éventuellement surversant sur l'obstacle à l'aide des lois « classiques » de l'hydraulique (lois de seuil).

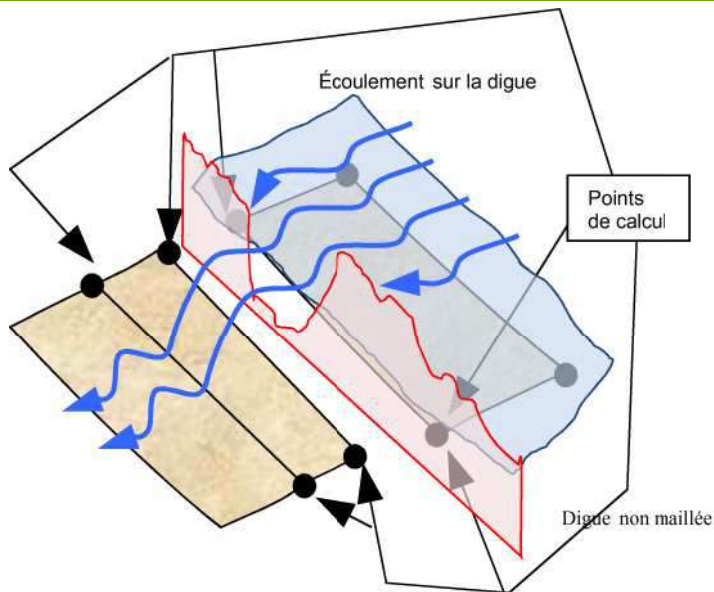
Cette dernière méthode a été retenue pour représenter l'ensemble des digues bordant l'aval de la Charente, de Port-des-Barques à Rochefort. Elle a pour avantage de pouvoir intégrer la représentation altimétrique de la crête du remblai à une échelle bien inférieure à la taille des mailles du maillage.

Par exemple, le levé topographique des protections présente un espacement moyen entre les points relevés de 5 à 10 m environ. Il a été intégralement pris en compte dans le modèle réalisé. Cette méthode permet donc de représenter le débit qui transite sur un point bas de la protection, quelle que soit sa largeur, sans nécessiter le raffinement du maillage sur le secteur en question.

Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

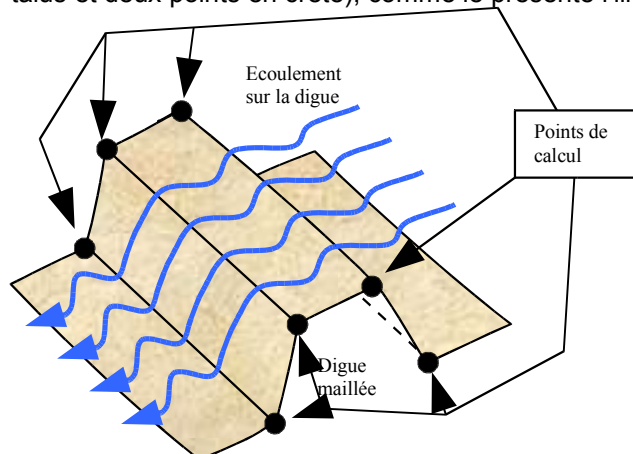
Étude complémentaire

RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE

**Représentation schématique des digues non-maillées**

Le modèle permet également de décrire la réalité physique des points singuliers pouvant influencer sur la propagation des volumes et débits débordés : routes en remblais, digues séparant les différents marais salants, digues de bord de marais....

Ces éléments sont intégrés dans le maillage mis en œuvre ; pour cela, le maillage est alors adapté à la forme trapézoïdale de l'ouvrage, décrite en 4 points de calcul minimum (deux points en pied de talus et deux points en crête), comme le présente l'illustration suivante.

**Représentation schématique des digues maillées**

Précisons que le modèle mis en œuvre n'intègre que les digues principales, jouant un rôle majeur dans la dynamique des écoulements en cas de submersion des digues littorales.

À noter également que les murs et murets dans le lit majeur n'ont pas été représentés dans le modèle, ces éléments n'ayant pas vocation à protéger des débordements.

3.2.2.2. BÂTIMENTS ET ZONES URBAINES

Les bâtiments possèdent un rôle hydraulique très important en zone urbaine, du fait du volume retiré à l'expansion de la crue et des effets de blocage et de déviation des écoulements.

Il a été fait le choix pour cette étude de ne pas représenter les bâtiments existant dans l'emprise de la zone d'étude.

Il convient cependant de noter que les bâtiments, qui peuvent jouer un rôle d'obstacle pour la progression locale des écoulements en secteur urbain dense, ont été en partie pris en compte par une modification locale de la rugosité du modèle (zone de frottement spécifique).

Une analyse de détail prenant en compte la réalité physique des murs des bâtiments n'est pas compatible avec l'emprise de la zone étudiée et donc avec l'échelle de résolution du modèle mis en œuvre ici. En effet, comme de nombreuses zones urbaines sont intégrées dans le maillage du modèle, ce détail de précision aurait nécessité des descriptions de mailles beaucoup plus denses (à l'échelle des rues avec plusieurs points de calcul par sections de voies) et donc, au final, un modèle d'une densité et avec des temps de calculs qui n'étaient plus en adéquation avec le nombre de tests à fournir et les délais identifiés pour cette prestation.

3.2.2.3. RÉSEAU DE RESSUYAGE ET OUVRAGES HYDRAULIQUES

Le réseau de ressuyage (fossés, canaux,...) principal est intégré dans les modèles mis en œuvre par le biais des ouvrages qui permettent le rejet en lit mineur.

De plus, les principaux franchissements des remblais routiers sont également intégrés au modèle.

La loi d'échange générique entre les 2 faces d'un ouvrage notées 1 et 2 est :

$$Q_{12} = S_{12} \sqrt{\frac{2g(\text{cote}_{\text{amont}} - \text{cote}_{\text{aval}})}{CS_2 + CE_1 + L_{12}}}$$

Avec

S la section

CE et CS les coefficients de perte de charge d'entrée et de sortie.

L le coefficient de perte de charge linéaire.

3.2.3. Données d'entrée

3.2.3.1. TOPOGRAPHIE ET BATHYMÉTRIE

Les données topographiques sur l'aval de la zone d'étude, entre Port-des-Barques et Tonnay-Charente, proviennent du LITTO 3D réalisé en 2010. A l'amont du modèle, de Tonnay-Charente à Saintes, la topographie est issue d'un LIDAR fourni par l'institution interdépartementale du fleuve Charente et ses affluents (EPTB Charente).

Les levés de la crête des digues proviennent de l'étude de l'UNIMA de 2010, avec par ailleurs des profils en travers des digues.

La bathymétrie est issue de différentes sources de données :

- EPTB Charente (2007, 2009, 2010),
- IFREMER (2008, 2010),
- Conseil Général 17.

Lorsque des tronçons présentaient plusieurs sources de données, les données les plus récentes étaient appliquées.

3.2.3.2. OUVRAGES HYDRAULIQUES

Une partie des ouvrages hydrauliques a été repérée lors du diagnostic de digues réalisé dans le cadre des études du Programme d'Actions de Protection contre les Inondations (PAPI). Il s'agit des ouvrages de ressuyage des zones de marais sur la partie aval de l'estuaire.

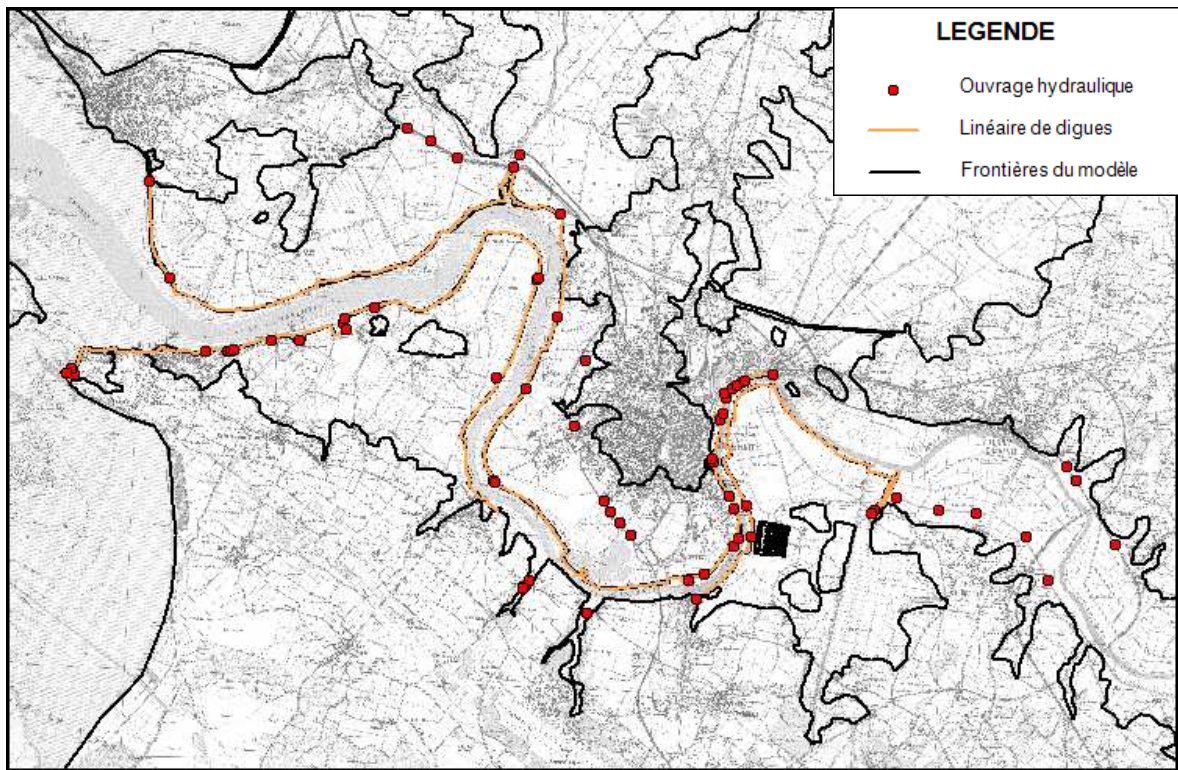
Les ouvrages en lit majeur ont ensuite été intégrés au cours du calage du modèle afin de bien représenter les échanges de part et d'autre des remblais en lit majeur. Le manque d'informations sur ces secteurs nous a conduit à proposer des sections hydrauliques pour affiner le calage du modèle.

Au total, 95 ouvrages ont été intégrés au modèle. Ils sont localisés sur les figures suivantes :

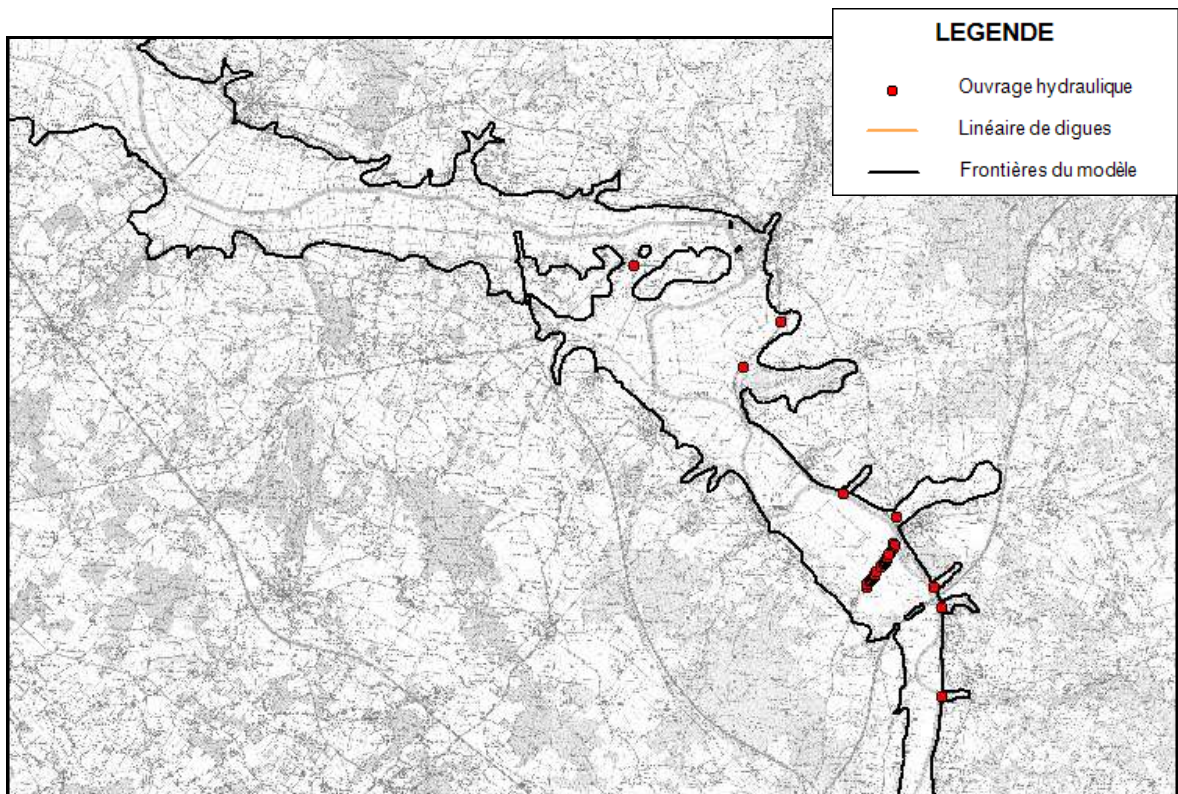
Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

Étude complémentaire

RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE



Localisation des ouvrages intégrés au modèle (secteur aval)



Localisation des ouvrages intégrés au modèle (secteur amont)

3.2.4. Description du maillage mis en œuvre

Le maillage des pertuis charentais possède 42 000 nœuds de calculs. La partie de l'estuaire de la Charente maillée provient majoritairement de l'étude du PAPI. Des secteurs ont été remaillés plus finement dans le cadre de cette étude des aléas : l'île d'Aix, la Pointe de la Fumée à Fouras, la zone urbaine de Rochefort (port de commerce en particulier), secteurs d'habitat regroupés...

Les marais d'Yves ont également été intégrés au modèle numérique dans la mesure où des échanges sont possibles entre ces 2 bassins de risque. Les communes les plus au sud sont également exposées aux risques des marais de Brouage qui a également été modélisé.

L'ensemble du maillage est donc constitué de 160 000 nœuds de calcul et de 300 000 mailles triangulaires.

Sur les secteurs d'étude, les tailles des mailles sont globalement comprises entre 1 et 100 m selon la nature de l'occupation des sols et les obstacles aux écoulements à représenter. La taille des mailles a été adaptée à la taille des éléments à représenter.

La taille des mailles du maillage maritime varie de 5 km au large à moins de 500 m sur le littoral. Précisons que le maillage maritime a été contraint de manière à représenter correctement les sections hydrauliques des nombreux chenaux et bancs existants sur ce secteur.

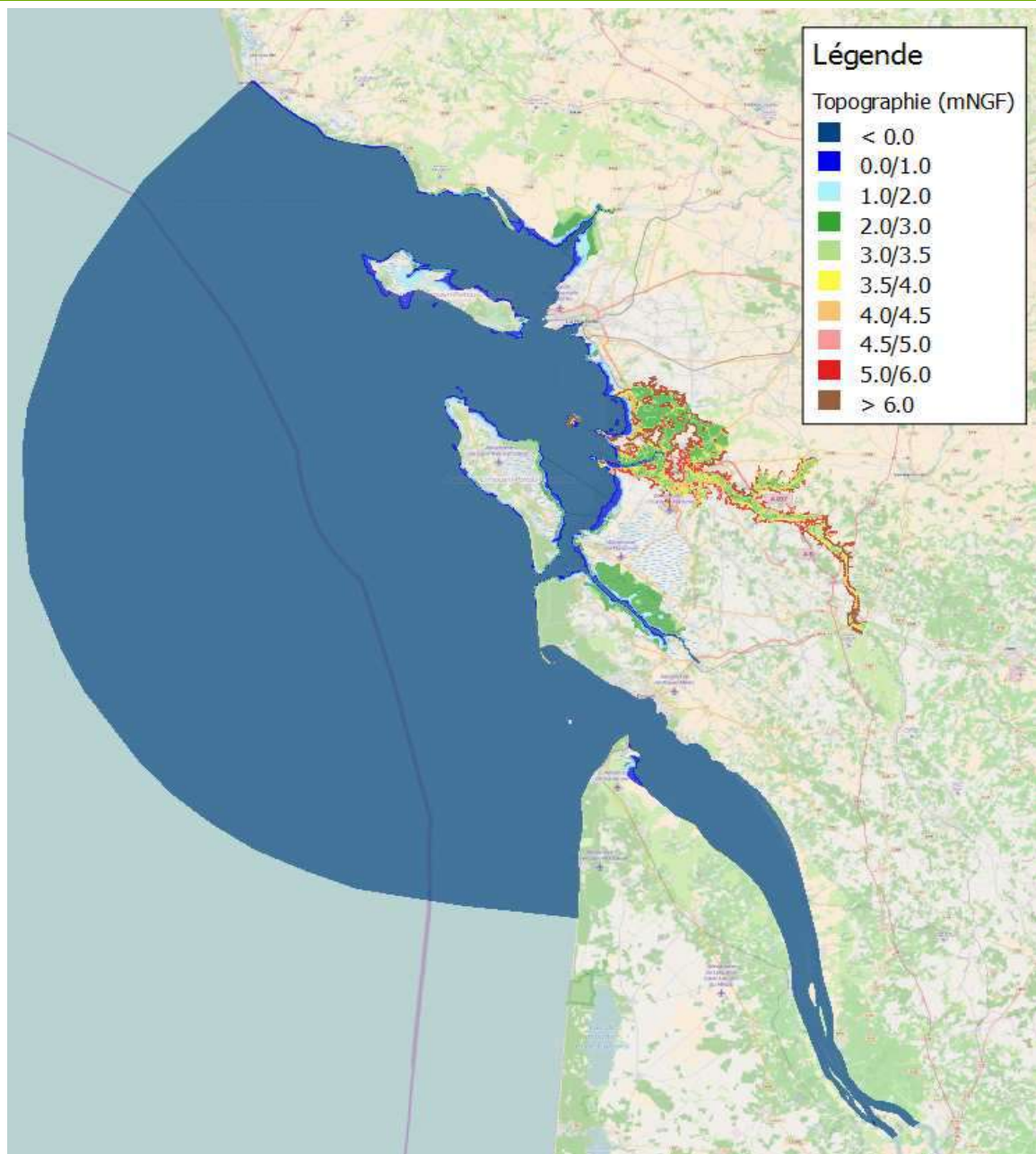
La prise en compte d'une emprise suffisamment étendue au large des côtes charentaises permet de prendre en compte l'influence de l'hydrodynamique des pertuis charentais sur les conditions d'écoulement dans l'estuaire de la Charente. A l'amont, le modèle remonte jusqu'au sud de Saintes, sur un secteur où la marée a une influence très limitée.

L'ensemble du maillage et un zoom sur des secteurs spécifiques est présenté ci-dessous.

Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

Étude complémentaire

RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE

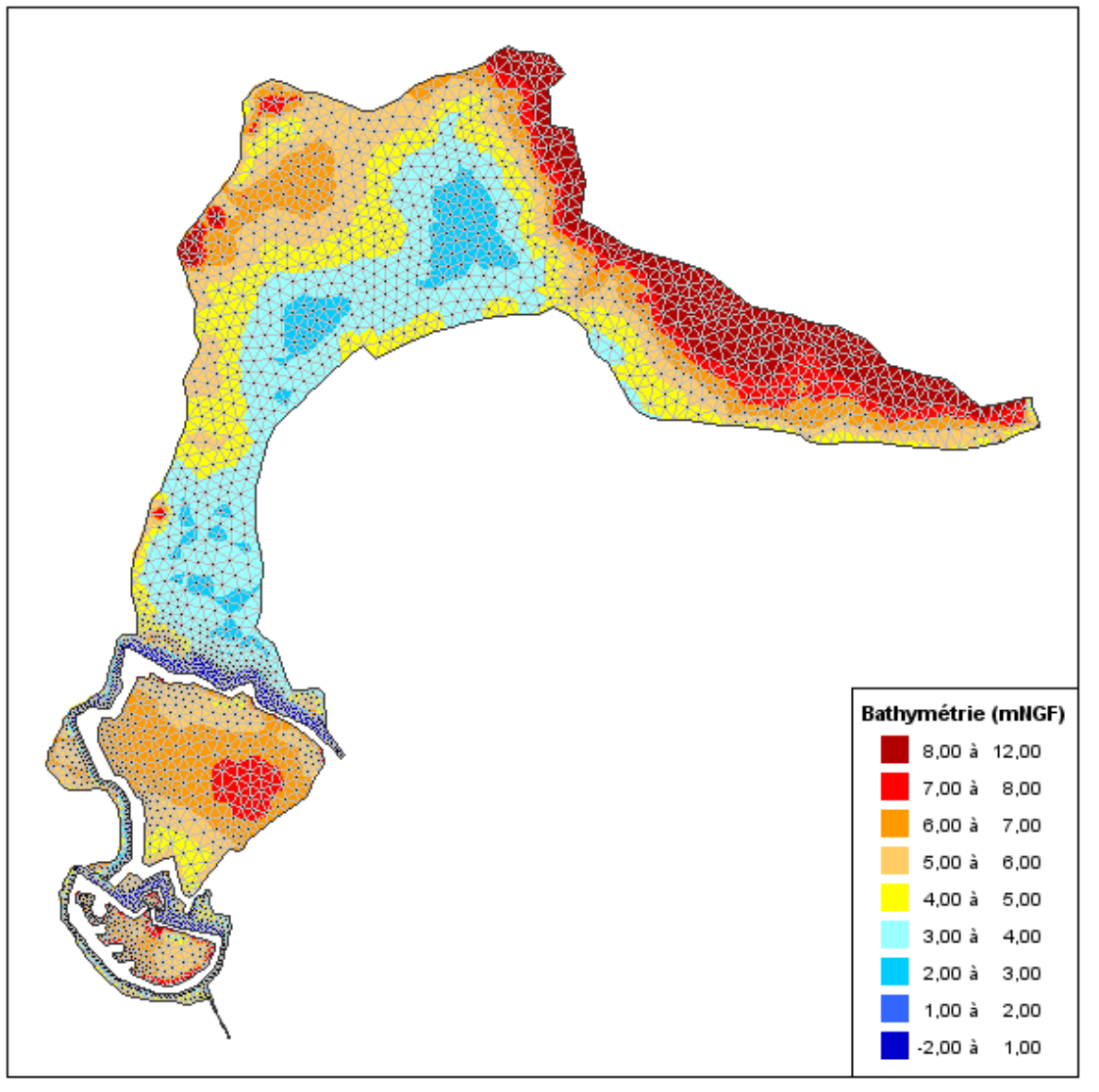


Maillage et topographie du modèle dans son intégralité.

Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

Étude complémentaire

RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE



Maillage détaillée de l'île d'Aix

3.3. HYPOTHÈSES ET LIMITES ASSOCIÉES

3.3.1. Interpolation entre les points de calcul

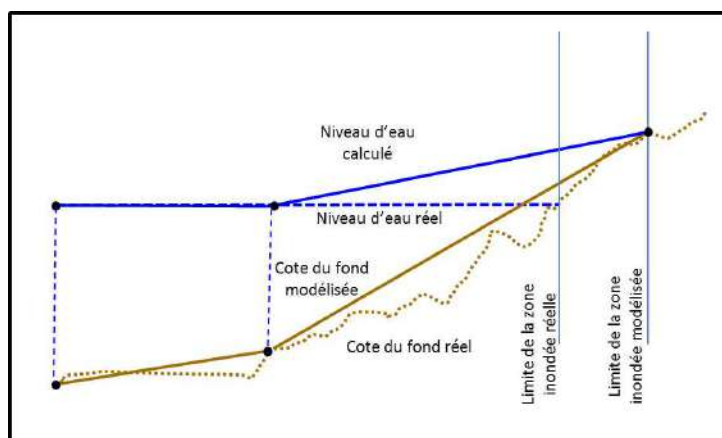
Les limites associées à la modélisation mise en œuvre sont liées aux hypothèses propres aux modèles bidimensionnels et à la précision des données de base qui ont servi à leur élaboration.

La précision des résultats obtenus (notamment sur les cartographies brutes) 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).

Ainsi, la limite de la zone inondée ne peut être déterminée (par exploitation directe) 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.

Ce phénomène est illustré sur la figure suivante.



Interpolation du niveau d'eau entre deux points de calcul

Ainsi, il convient de retenir lors de la lecture des cartes de résultats bruts générés dans le cadre de cette prestation, que des effets de bord peuvent apparaître, ces effets étant d'origine purement numérique, et non des rehausses du niveau d'eau en bordure de zone inondable. Sur les zones d'intérêt, la taille des mailles a été diminuée afin de limiter ces effets.

3.3.2. Cartographie des résultats

Dans le cadre de la présente étude, les résultats obtenus ont permis, tout au long des différents réglages, l'élaboration de cartes présentant différents paramètres. Ces cartes ont mis en avant 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 », c'est à dire non retouchées, des résultats des modélisations mises en œuvre.

SECTION 2

CALAGE DU MODÈLE

4. MÉTHODOLOGIE DE CALAGE

4.1. PRINCIPES

Le principe du calage consiste à reproduire le plus fidèlement possible les écoulements naturels observés en ajustant certains paramètres de modélisation. Le calage du modèle hydraulique constitue une étape essentielle de la modélisation qui conditionne la qualité et la validité des résultats ultérieurs du modèle.

Dans le cas de la présente étude et au vu de la présence de crues à la fois maritimes et fluviales, les événements retenus pour le calage du modèle sont la crue de 1982 (crue fluviale) et la tempête Xynthia (crue maritime).

Nous avons recherché au cours de ce calage un ajustement des paramètres qui permet à la fois d'obtenir une bonne représentativité des événements maritimes et fluviaux. Cet objectif nous a amené à engager le calage des événements maritimes et fluviaux simultanément.

Les principales étapes de la démarche qui a été suivie sont les suivantes :

- calage de la partie maritime pour des événements courants,
- calage de la tempête Xynthia au marégraphe de Rochefort (lit mineur aval),
- calage de la crue de 1982 (lit mineur et lit majeur amont),
- calage des lasses de mer de la tempête Xynthia (lit majeur).

4.2. COEFFICIENTS DE FROTTEMENT RETENUS

Dans le cadre de cette modélisation, 2 lois sont utilisées pour caractériser le frottement de l'eau sur les sols :

- la loi de Chézy sur la partie maritime (jusqu'à l'embouchure de la Charente),
- la loi de Strickler sur la partie terrestre.

En effet, de par notre connaissance du secteur d'étude, nous avons choisi de représenter l'hydrodynamique maritime à l'aide de la loi de Chézy.

Les coefficients de frottement ont alors été déterminés en fonction de la nature des sols (sables, vases, fond rocheux)

Sur le fleuve Charente et sur les parties terrestres, c'est la loi de Strickler qui a été utilisée.

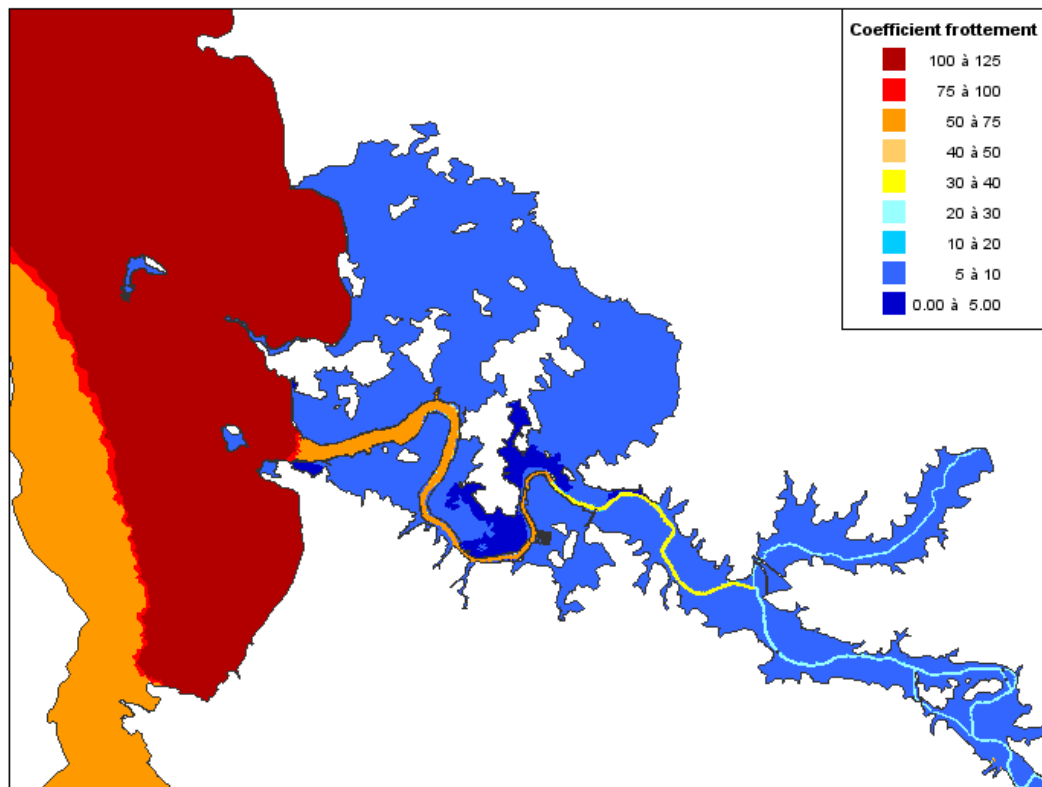
Dans le lit mineur, ce coefficient a été ajusté lors du calage pour ajuster la ligne d'eau aux lasses de crue recensées.

En lit majeur, un coefficient de rugosité a été affecté par secteur homogène du territoire (marais, zone urbaine, secteur rural ...). La rugosité exprime en effet l'état de surface d'un terrain. Les coefficients de rugosité sont alors ajustés, par essais successifs, afin de représenter correctement, à l'aide du modèle, les lasses de crue recensées, critiquées et validées sur le territoire concerné.

Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

Étude complémentaire

RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE

*Interpolation du niveau d'eau entre deux points de calcul***4.3. REMARQUES**

La quantification de la bonne représentativité des conditions hydrodynamiques observées par le modèle se fait par la comparaison des résultats obtenus avec les informations disponibles et recueillies pour l'événement modélisé. Il s'agit dans notre cas de laisses de mer qui indiquent le niveau maximal atteint ponctuellement par la submersion.

Rappelons qu'il existe différents degrés d'incertitudes sur les laisses de mer qui se révèlent plus ou moins fiables (degré de fiabilité). De plus, certaines informations correspondent à un niveau d'eau maximal atteint au cours de l'événement sous influence directe d'un élément structurant (mur créant un point d'arrêt...). Le niveau d'eau associé, bien qu'observé au cours de l'événement n'est pas représentatif du niveau d'eau maximal de la zone sous cet obstacle particulier.

Notons également différentes incertitudes sur les données initiales de l'événement de la tempête Xynthia :

- topographie précise des crêtes des protections existantes lors de l'événement : les cotes des protections ont pu évoluer avec les travaux entrepris post tempête,
- chronologie des défaillances dans les ouvrages de protection au cours de la tempête (dimensions exactes, temps de la rupture...),
- cotes de plans d'eau avant l'événement Xynthia dans les marais salants.

Ces éléments peuvent influencer sur la quantification des volumes débordés vers les zones terrestres et donc sur les cotes atteintes en certains points du modèle mis en œuvre.

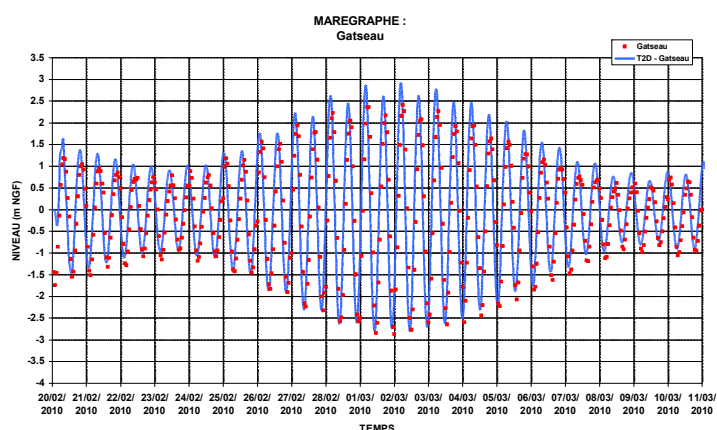
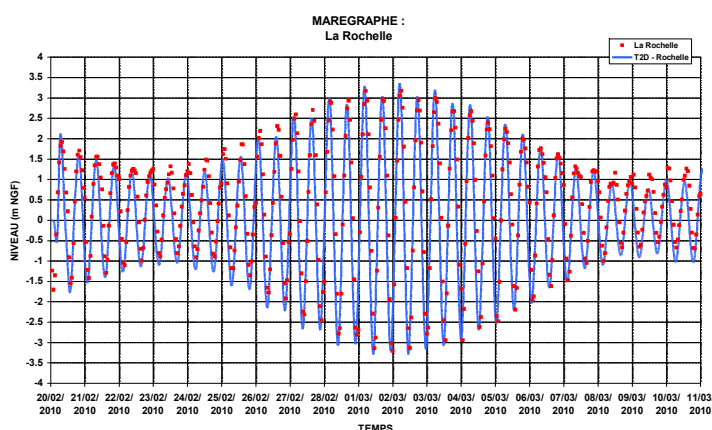
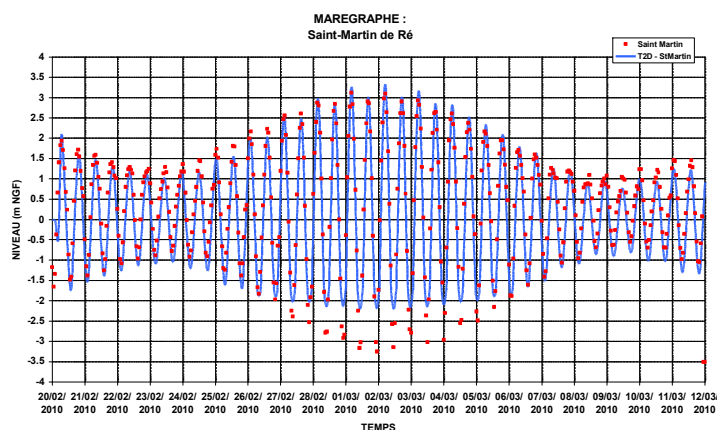
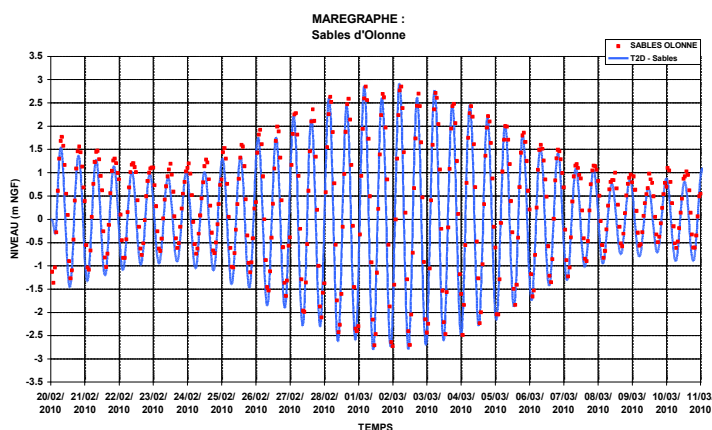
5. CALAGE D'UN ÉVÉNEMENT MARITIME

5.1. CALAGE PRÉALABLE DE LA PARTIE MARITIME POUR DES CONDITIONS USUELLES DE MARÉE

Le modèle hydrodynamique est en premier lieu calé en niveau et en vitesse sur la partie maritime pour des événements « courants », c'est à dire ne présentant pas de paramètres hydro-météorologiques spécifiques (surcote, vent,...).

Ce calage est réalisé par comparaison entre les évolutions du niveau d'eau fournies par le modèle hydrodynamique pour un cycle de plusieurs jours aux différents marégraphes du secteur d'étude et les prédictions fournies par le SHOM pour ces mêmes marégraphes.

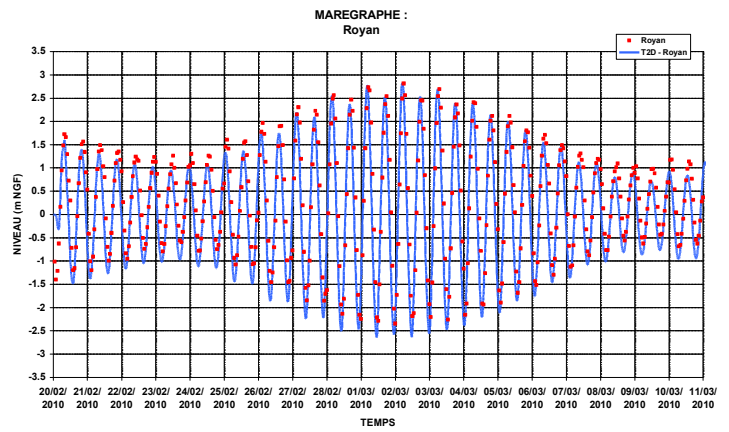
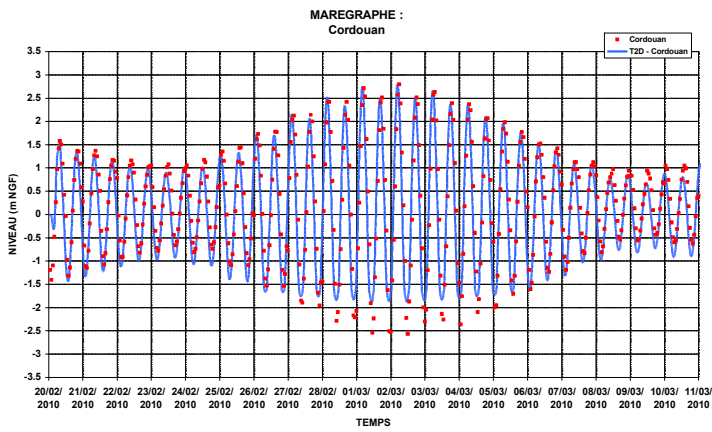
Cette comparaison est faite sur 19 jours, du 20 février au 11 mars 2010, de manière à couvrir l'ensemble des conditions de marée pouvant être rencontrées à l'échelle annuelle sur le secteur d'étude. Les figures suivantes illustrent cette comparaison.



Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

Étude complémentaire

RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE



Comparaison de l'évolution des niveaux d'eau donnés par le modèle hydrodynamique et ceux prédits par le SHOM

Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la CharenteÉtude complémentaire
RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE

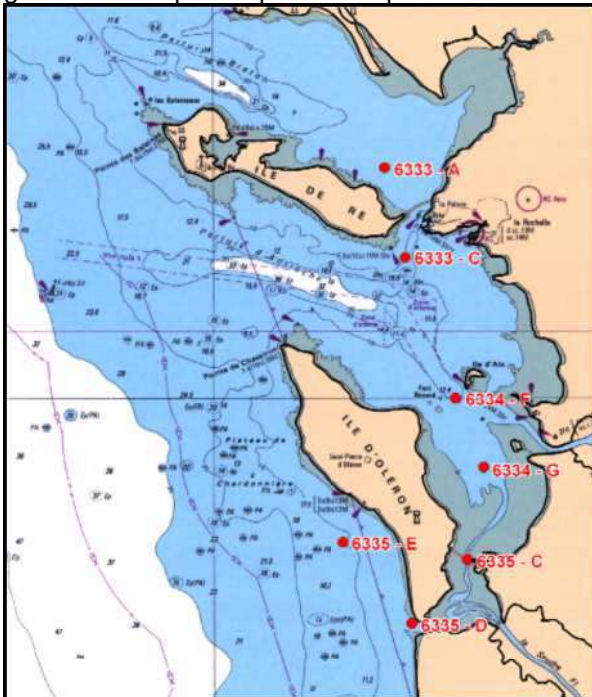
Il est rappelé ici que les marées simulées, tout comme les prédictions du SHOM, correspondent aux marées astronomiques théoriques. Les paramètres météorologiques qui possèdent une influence sur les marées réelles observées (vents et pressions atmosphériques qui génèrent les surcotes et décotes à l'échelle plus vaste du Golfe de Gascogne) ne sont pas représentés dans le cadre de cette simulation des marées usuelles. Notons ainsi que, la période de calage décrite intègre les dates de survenance de la tempête Xynthia qui n'est donc ici pas prise en compte. Les niveaux théoriques de marée prédits sur les marégraphes et reproduits dans le modèle sont bien inférieurs aux niveaux constatés lors de la tempête du fait des surélévations du niveau liées à la surcote atmosphérique et aux vents. Cela ne remet cependant pas en cause la validité du modèle pour la bonne représentation des champs de courants sur la zone.

En effet, l'évolution du niveau d'eau théorique fournie par le modèle sur tous les points de comparaison est très proche de celle prédite par le SHOM, aussi bien en ce qui concerne l'amplitude et les niveaux de pleine et basse-mer que sur le phasage de l'onde de marée.

Les données de vitesses (direction et intensité) pour les marées caractéristiques (vive et morte-eau) indiquées sur les cartes SHOM disponibles sur le secteur d'étude sont également comparées aux résultats fournis par le modèle concernant les vitesses des courants de marée.

Ces comparaisons sont présentées sur les graphiques suivants. Les traits pleins correspondent aux résultats de modélisation et les points aux données du SHOM.

À noter que le SHOM fournit des valeurs de vitesse en nœuds (valeurs entières). Ces données correspondent aux vitesses de surface (problématique de navigation), ce qui rend difficilement comparables ces informations avec les résultats de modélisation qui correspondent aux valeurs de vitesses moyennées sur l'ensemble de la colonne d'eau. Les valeurs de vitesses en surface sont généralement plus importantes que les valeurs de vitesses moyennes.

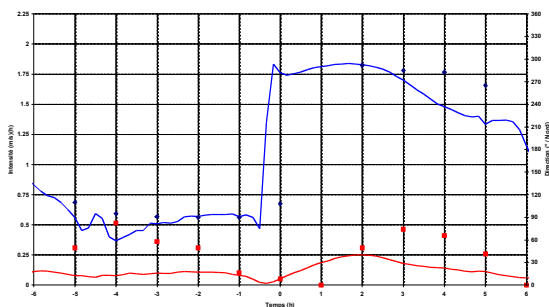


Localisation des points SHOM

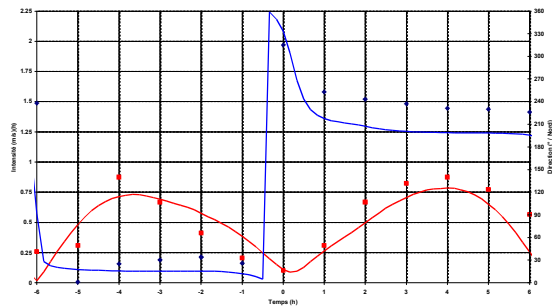
DDTM DE LA CHARENTE-MARITIME -

Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

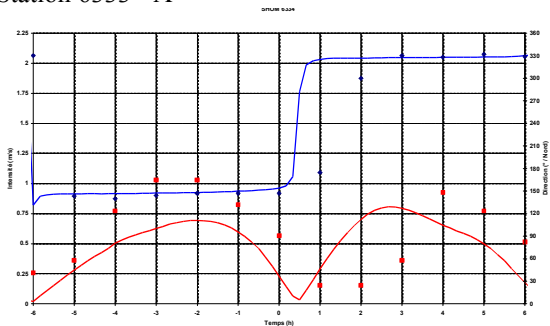
Étude complémentaire
RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE



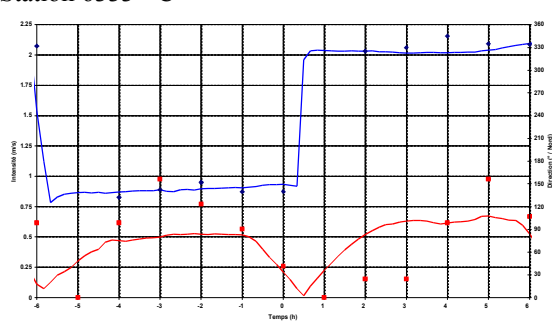
Station 6333 - A



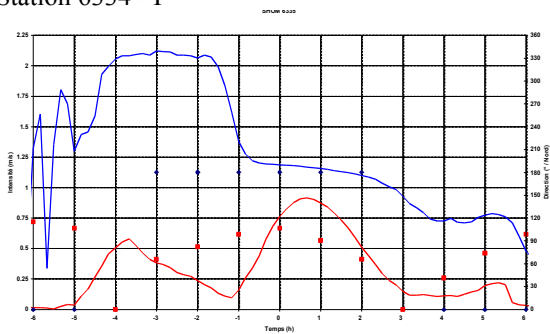
Station 6333 - C



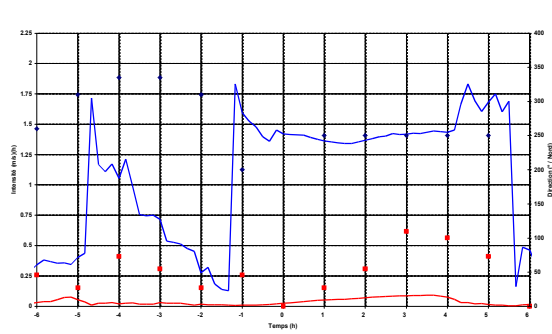
Station 6334 - F



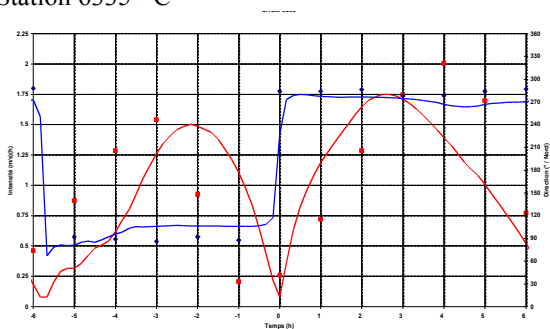
Station 6334 - G



Station 6335 - C



Station 6335 - E



Station 6335 - D

Comparaison des vitesses calculées et des indications fournies par le SHOM

Cette comparaison montre que le modèle calcule des vitesses de courant de marée conformes aux indications fournies par le SHOM, aussi bien en ce qui concerne les ordres de grandeur des vitesses des écoulements, que pour les instants de renverse et les directions associées aux écoulements.

Le modèle hydrodynamique mis en œuvre côté maritime présente un niveau de représentation correct des phénomènes hydrodynamiques associés aux marées pour les événements maritimes « courants ».

5.2. ÉVÉNEMENT MARITIME XYNTHIA

Afin de représenter correctement la tempête Xynthia avec le modèle précédemment construit, nous avons recherché les conditions limites caractéristiques de cet événement.

En ce qui concerne les débits imposés à l'amont des lits mineurs, nous avons choisi d'imposer des débits constants, ce paramètre hydro-maritime n'étant pas prépondérant dans la génération des événements d'origine maritime. Les débits suivants ont été retenus :

- Charente : 140 m³/s,
- Boutonne : 10 m³/s.

Sur la frontière maritime, nous imposons un niveau d'eau issu du modèle de marée mondiale FES 2004 qui détermine le niveau des marées théoriques en fonction des dates de l'évènement. Ce niveau est forcé par une évolution du niveau moyen de la marée qui intègre à la fois le niveau moyen du port de référence (choisi en fonction du secteur étudié) et l'évolution de la surcote liée à la pression atmosphérique.

Ici, nous avons choisi de retenir le niveau moyen indiqué par le SHOM au niveau de Rochefort soit 0,65 m NGF (source : Références Altimétriques Maritimes 2013). La surcote mesurée est ensuite ajoutée à ce niveau moyen.

Le modèle est également forcé par le vent (intensité et direction variable en temps mais uniforme spatialement) qui est imposé sur tout le domaine maritime jusqu'à l'embouchure du fleuve Charente. A ce titre, il ne constitue pas à proprement parler une condition limite mais plutôt un forçage appliqué spatialement.

5.3. DONNÉES HISTORIQUES UTILISÉES POUR LE CALAGE DE LA TEMPÊTE XYNTHIA

Les cartographies issues du retour d'éléments de mémoire présentant les niveaux relevés associés à une fiche d'information et les dysfonctionnements observés ont servi de base au calage du modèle. Rappelons que la cartographie de cet événement reprend exactement les informations recueillies et validées par les élus dans le document « Éléments de mémoire sur la tempête Xynthia du 27 au 28 février 2010 ».

La quantification de la bonne représentativité des conditions hydrodynamiques observées par le modèle se fait par la comparaison des résultats obtenus avec les informations disponibles et recueillies pour l'évènement modélisé. Il s'agit dans notre cas de laisses de mer qui indiquent le niveau maximal atteint ponctuellement par la submersion.

Rappelons qu'il existe différents degrés d'incertitudes sur les laisses de mer qui se révèlent plus ou moins fiables (degré de fiabilité). De plus, certaines informations correspondent à un niveau d'eau maximal atteint au cours de l'évènement sous influence directe d'un élément structurant (mur créant un point d'arrêt...). Le niveau d'eau associé, bien qu'observé au cours de l'évènement n'est pas représentatif du niveau d'eau maximal de la zone sous cet obstacle particulier.

Notons également différentes incertitudes sur les données initiales de l'évènement de la tempête Xynthia, et notamment sur la topographie précise des crêtes des protections existantes lors de l'évènement : les cotes des protections ont pu légèrement évoluer suite aux phénomènes d'érosion ou d'affaissement. Ces éléments peuvent influencer sur la quantification des volumes débordés vers les zones terrestres et donc sur les cotes atteintes en certains points du modèle mis en œuvre.

5.4. COMPARAISON DES RÉSULTATS DU MODÈLE ET DES OBSERVATIONS

Le calage du modèle a été réalisé sur l'événement de la tempête Xynthia à partir :

- des conditions hydro-météorologiques de la tempête Xynthia,
- des lasses de mer recueillies sur la zone d'étude,
- des mesures au marégraphe de Rochefort.

L'objectif de ce calage est de reproduire globalement l'ensemble des côtes et périmètres atteints par les débordements sur la zone d'étude.

Afin de représenter l'événement réel tel qu'il a été observé in situ, différents paramètres hydro-météorologiques ont été intégrés à la modélisation mise en œuvre.

Le premier d'entre eux est la représentation de l'évolution temporelle de la surcote au large. Cette surcote (ou décote selon les instants), se caractérise par l'évolution dans le temps du niveau d'eau moyen autour duquel oscille la marée astronomique. Cette variation du niveau moyen est principalement générée par la succession des dépressions et des anticyclones, et donc de la variation de la pression atmosphérique.

La chronique de la surcote imposée est déterminée par la méthode du baromètre inversé : on considère une élévation du niveau moyen de 1 cm pour une baisse de 1hPa de la pression au niveau de la mer. L'enregistrement de l'évolution de la pression atmosphérique à La Rochelle lors du passage de la tempête Xynthia est utilisé pour cela. Un décalage de 2 h est imposé pour considérer l'éloignement de la frontière au large du modèle (temps de propagation de la dépression). Il n'y a pas de phénomène d'amplification de la surcote au large sous l'effet de la bathymétrie à la côte.

Le second paramètre imposé pour la représentation de l'événement réel est l'influence du vent sur les masses d'eau. Il est imposé, dans le cadre de la présente étude, un vent variable dans le temps (intensité et direction) et spatialement uniforme : le vent imposé est identique sur l'ensemble de l'aire d'étude. L'influence du vent n'est considérée que sur la partie maritime du modèle. La chronique du vent finalement retenue et imposée a été définie par analyse des enregistrements disponibles aux stations de Chassiron (île d'Oléron) et de La Rochelle.

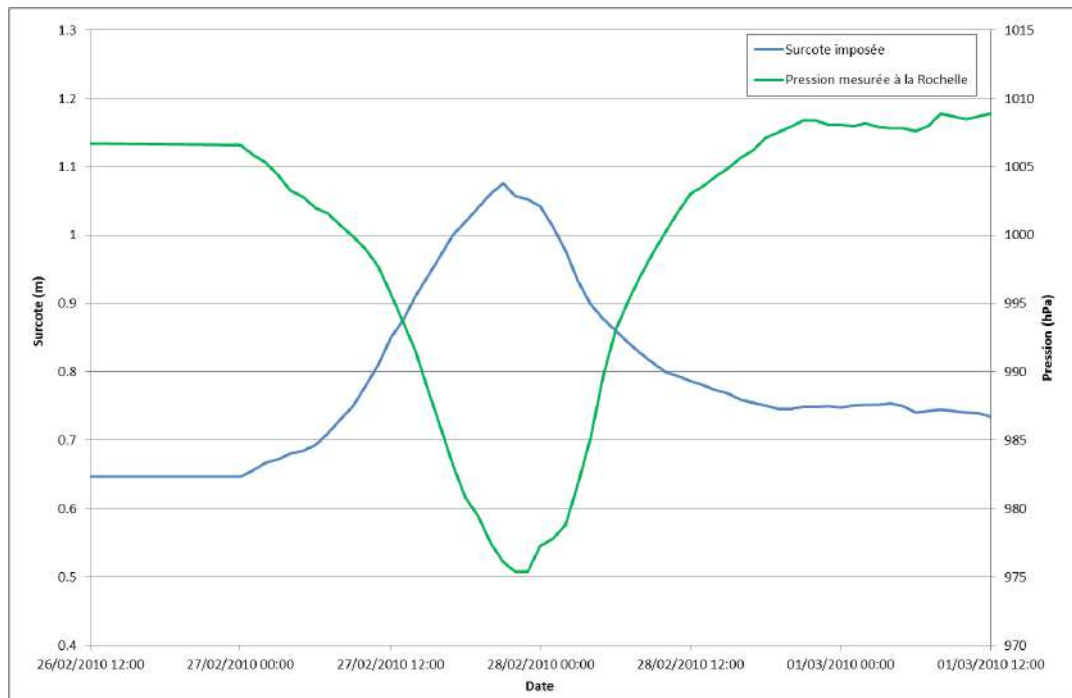
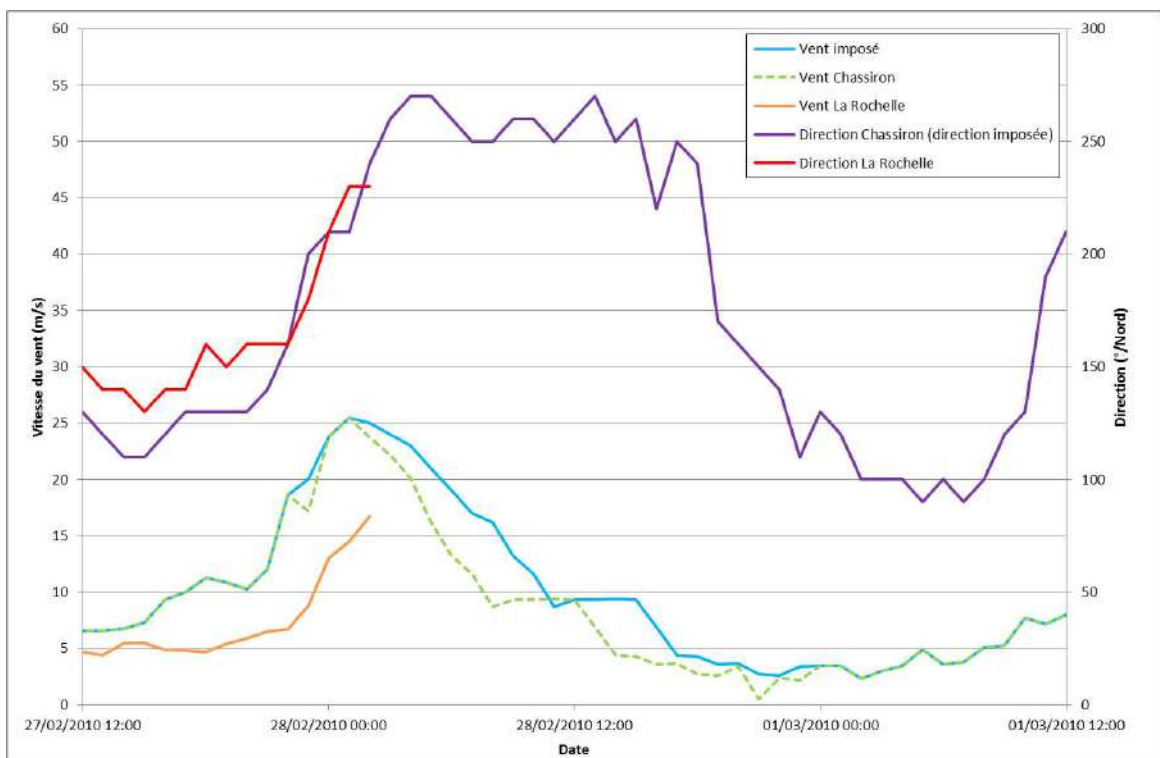
Les paramètres de calages étaient d'une part **les frottements**, aussi bien sur la partie maritime (loi de Chézy) que sur la partie terrestre et estuarienne (loi de Strickler), **la surcote**, et **le vent**. Les chroniques de surcote et de vent appliquées pour le calage maritime ont été reprises et légèrement adaptées afin d'obtenir un signal de marée correct au marégraphe de Rochefort.

En effet, une seule chronique de surcote et une seule chronique de vent (intensité et direction) sont imposées sur l'ensemble du modèle. Le choix de cette méthode de représentation nous pousse donc à adapter le signal imposé pour se rapprocher des observations et des mesures. Ces adaptations restent cependant relativement minimales par rapport aux données initiales.

Les graphiques suivants présentent les chroniques de surcote et de vent mesurées et celles finalement appliquées.

Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

Étude complémentaire

RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE**Chronique de surcote imposée****Chronique de vent imposée**

Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

Étude complémentaire

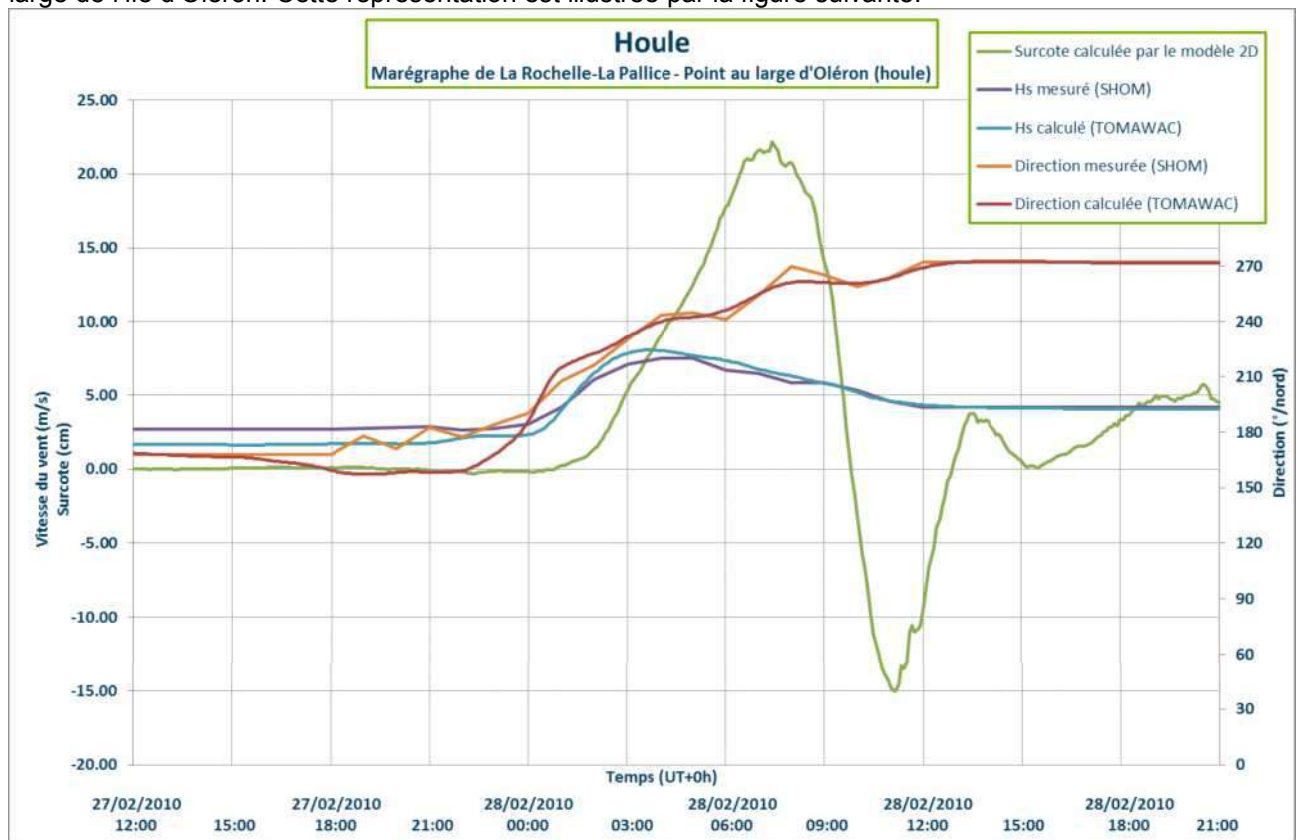
RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE

Le troisième paramètre intégré dans la modélisation de la tempête Xynthia est l'influence de la houle sur :

- la courantologie de la partie maritime,
- les volumes d'eau passant par-dessus les protections et inondant les secteurs terrestres en arrière.

Le modèle mis en œuvre dans le cadre de la présente étude prend en considération, et ce de manière couplée, l'influence de la houle sur les courants de marée qui génèrent le set-up et l'influence des courants de marée sur la propagation de la houle.

La chronique de houle imposée au large (direction, période et hauteur significatives) a été calée de manière à représenter correctement les enregistrements de la bouée houlographique du SHOM au large de l'île d'Oléron. Cette représentation est illustrée par la figure suivante.

**Tempête Xynthia - Houle**

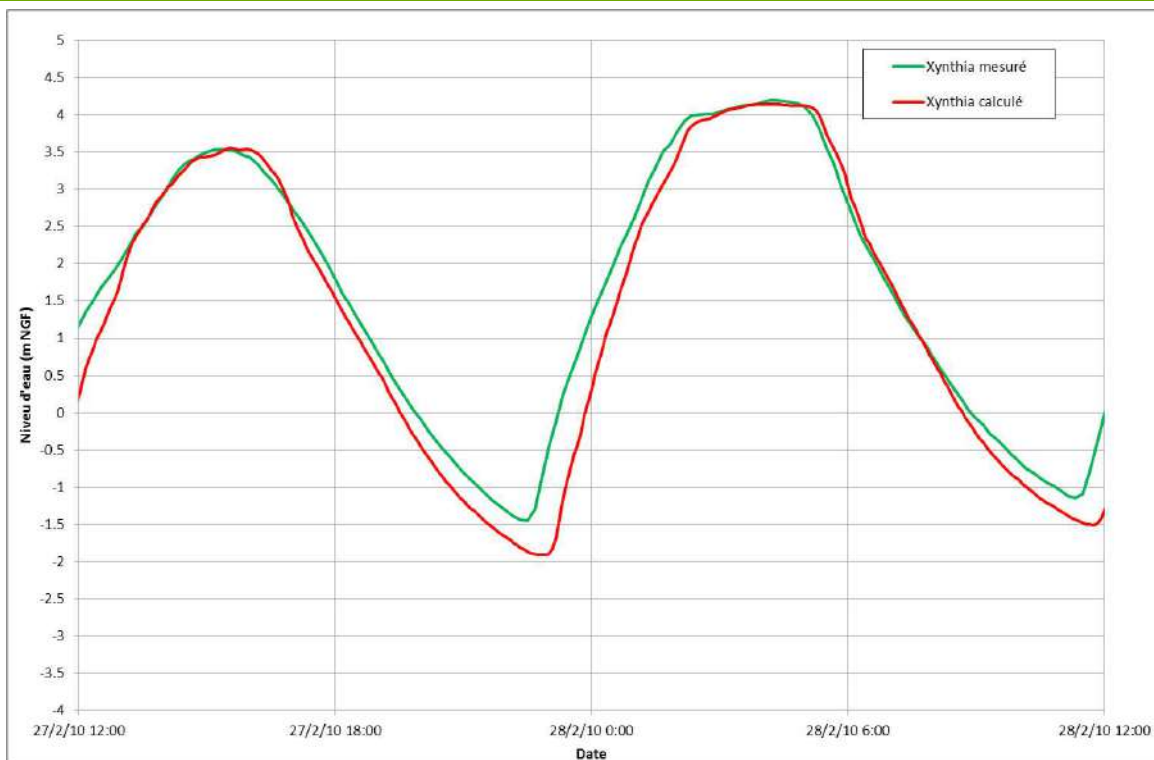
La surcote due à la prise en compte de la houle dans les calculs hydrodynamiques est d'environ 22 cm au maximum au marégraphe de La Rochelle-La Pallice. Cette surcote maximale est observée 4 heures après le pic de l'événement, soit en plein jusant. À noter que la houle génère ensuite une décote de 15 cm au maximum 8 heures après le pic de la tempête Xynthia. L'évolution de la surcote générée par la houle au marégraphe de La Rochelle-La Pallice est présentée dans le paragraphe suivant.

Les évolutions des niveaux d'eau calculés et mesurés aux marégraphes de Rochefort et de La Pallice à la Rochelle sont également présentées ci-après.

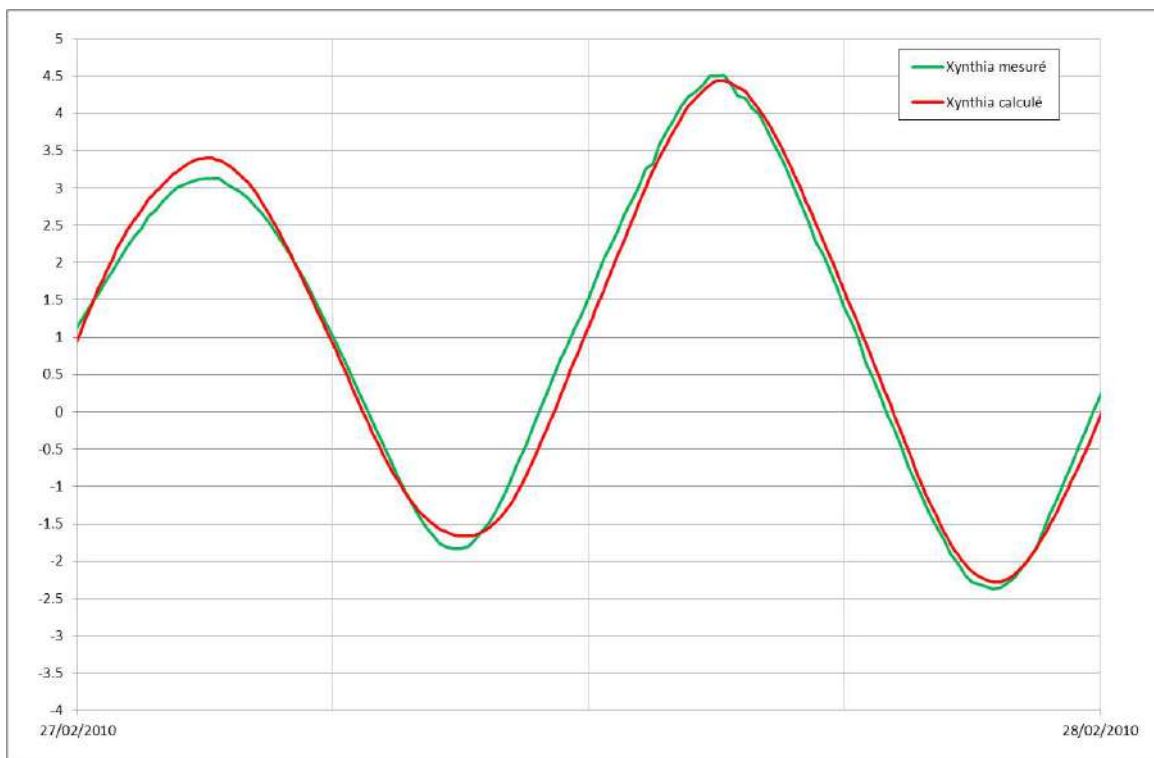
Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

Étude complémentaire

RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE



Évolution du niveau au marégraphe de Rochefort



Évolution du niveau au marégraphe de La Pallice à La Rochelle

Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

Étude complémentaire

RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE

D'après le retour d'expérience, les ouvrages de protection présents sur le secteur d'étude n'ont subi que peu de brèches ou de rupture au cours de la tempête Xynthia (d'après le REX Xynthia). Quelques travaux d'urgence ont été réalisés sur les digues mais il semble qu'aucun changement de l'altimétrie des digues n'ait été réalisé.

Cependant, suite à la tempête Xynthia, des érosions des protections ont été constatés d'après le rapport PAPI rédigé par l'EPTB Charente et d'après le REX Xynthia. Cela veut donc dire que l'altimétrie de la crête des digues a pu bouger au cours de l'évènement (érosion de la crête) ou bien après la tempête (par exemple glissement du talus après érosion sur la face terrestre ou maritime de la digue).

L'analyse des résultats de simulation avec les levés 2011 des digues nous confirme cette tendance, avec des niveaux d'eau calculés plus importants par rapport aux laisses de crue et un niveau d'eau maximal sensiblement plus faible dans le lit mineur au marégraphe de Rochefort.

En l'absence de données sur l'importance des érosions, aucune modification de l'altimétrie des protections n'a été réalisée, les résultats restant suffisamment satisfaisants.

L'annexe n°1 en fin de rapport présente les résultats du calage pour la tempête Xynthia.

Cette annexe cartographique présente sur le même support :

- les hauteurs d'eau maximales atteintes au niveau du secteur terrestre pour la représentation par le modèle 2D de la tempête Xynthia,
- l'emprise de la zone inondée ou submergée issue de l'étude « Retour d'Expérience » (REX) menée sur le territoire de Charente-Maritime par ARTELIA, pour le compte de la DDTM 17,
- l'écart entre le niveau maximal relevé lors de l'étude du REX et celui fourni par la modélisation 2D.

En complément, l'annexe 2 présente les niveaux d'eau maximaux calculés et les compare aux niveaux des laisses de mer.

Au final, 132 laisses de mer ont pu être confrontées aux résultats de la modélisation sur le territoire de la zone d'étude. **Malgré la grande disparité des informations, la précision du modèle est de 9 cm** en moyenne avec des écarts extrêmes de +62 cm et -76 cm. En valeur absolue, les écarts sont en moyenne de 20 cm par rapport aux observations au niveau du secteur terrestre.

Globalement, le modèle représente correctement les niveaux d'eau maximaux sur l'ensemble de la zone d'étude.

L'analyse des cartographies fournies en annexes 1 et 2 montre d'autre part que l'emprise des secteurs inondés par submersion est correctement représentée par le modèle sur l'ensemble du territoire de l'étude.

Compte tenu des observations précédentes, les écarts obtenus entre les laisses de mer observées et les résultats du modèle sur l'ensemble de la zone d'étude sont considérés comme bons.

Le modèle mis en œuvre permet de représenter correctement l'emprise inondée lors de l'évènement Xynthia.

6. CALAGE D'UN ÉVÈNEMENT FLUVIAL

Sur l'estuaire de la Charente, les niveaux extrêmes sont générés par les événements maritimes à l'aval et par les événements fluviaux à l'amont. Afin de caler précisément les limites d'influence de ces types d'événement, la modélisation a été réglée afin de représenter correctement ces 2 types d'événement.

6.1. ÉVÈNEMENT FLUVIAL : LA CRUE DE DÉCEMBRE 1982

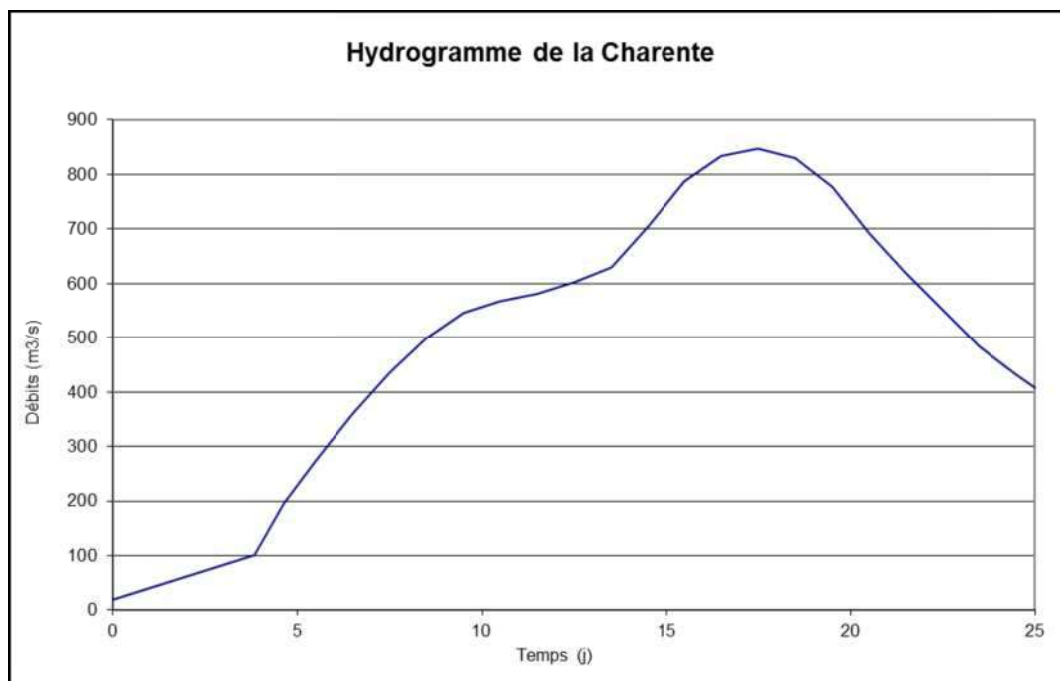
Comme pour la tempête Xynthia, nous imposons sur la frontière maritime un niveau d'eau issu du modèle de marée mondiale FES 2004 qui détermine le niveau des marées théoriques en fonction des dates de l'évènement.

Pour simuler la crue de 1982, les débits injectés dans le modèle ne sont plus constants. Nous avons repris les hydrogrammes de crue déterminés dans le cadre des précédentes études réalisées sur le secteur.

En particulier, l'hydrogramme de crue imposé sur la Charente est issu de l'étude du franchissement de la Charente à Saintes dans le cadre du projet RCEA (2006).

Sur la Boutonne, l'hydrogramme imposé provient d'une étude d'aménagement du fleuve Charente entre Saintes et Rochefort réalisée en 2004.

Les hydrogrammes de crue imposés aux frontières amont du modèle sont présentés ci-après :

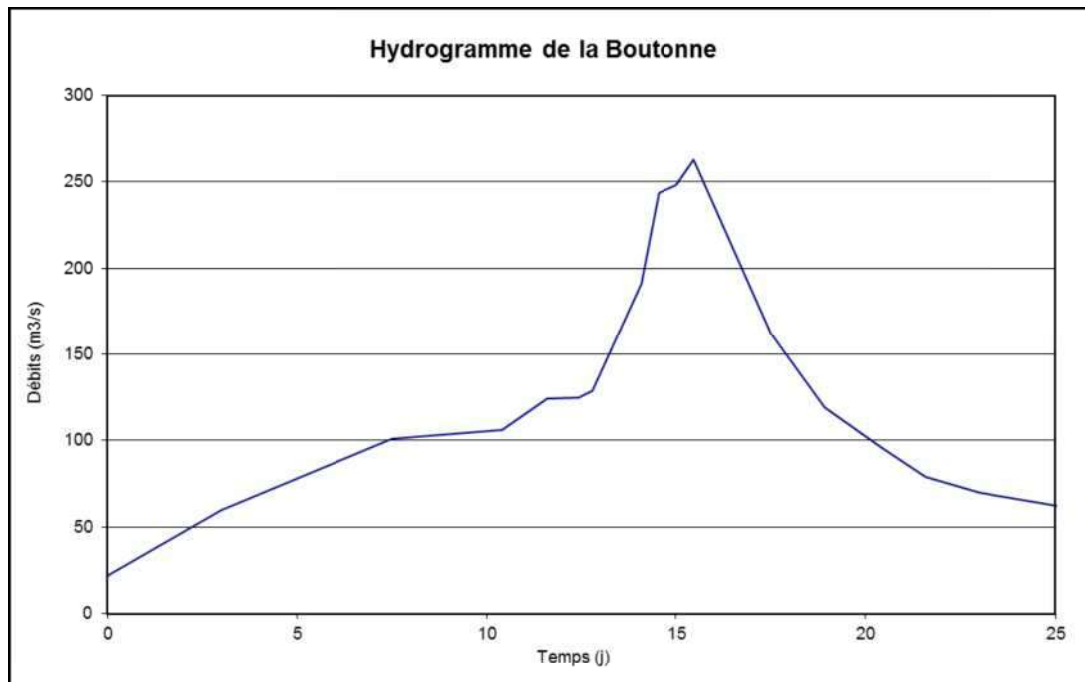


Hydrogramme de la crue de 1982 sur la Charente

Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

Étude complémentaire

RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE

**Hydrogramme de la crue de 1982 sur la Boutonne**

6.2. DONNÉES HISTORIQUES

La quantification de la bonne représentativité des conditions hydrodynamiques observées par le modèle se fait par la comparaison des résultats obtenus avec les informations disponibles et recueillies pour l'événement modélisé.

Il s'agit dans notre cas de laisses de crue qui indiquent le niveau maximal atteint ponctuellement par la submersion. Pour la crue de 1982, l'emprise des inondations n'a pas été évaluée.

Rappelons qu'il existe différents degrés d'incertitudes sur les laisses de mer qui se révèlent plus ou moins fiables (degré de fiabilité). De plus, certaines informations correspondent à un niveau d'eau maximal atteint au cours de l'événement sous influence directe d'un élément structurant (mur créant un point d'arrêt...). Le niveau d'eau associé, bien qu'observé au cours de l'événement n'est pas représentatif du niveau d'eau maximal de la zone sous cet obstacle particulier.

6.3. COMPARAISON DES RÉSULTATS DU MODÈLE ET DES OBSERVATIONS

Dans un second temps, le calage du modèle a été réalisé sur la crue de 1982 à partir :

- des hydrogrammes de la Charente à Saintes et de la Boutonne à Tonnay-Boutonne
- des laisses de crue recueillies sur la zone d'étude (analyse à la fois sur la vue en plan et sur le profil en long)

L'objectif de ce calage est de reproduire globalement l'ensemble des cotes et périmètres atteints par les débordements à l'amont de la zone d'étude entre Tonnay-Charente et Saintes.

Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

Étude complémentaire

RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE

Les paramètres de calages étaient d'une part **les coefficients frottements** sur la partie terrestre (loi de Strickler), **et les pertes de charge** au niveau des différents ponts présents sur la Charente.

En ce qui concerne les pertes de charges réglées au cours du calage, nous pouvons retenir le pont de la RD118 à L'Houmée, les deux barrages fixe et mobile de Saint-Savinien, et le pont de Taillebourg (avec la voie romaine).

Par ailleurs, quelques ouvrages ponctuels en lit majeur ont été ajoutés afin de représenter le passage des écoulements sous les éléments structurants en remblais (routes, voie ferrée...)

L'annexe 4 vient présenter le profil en long calculé en faisant apparaître les niveaux des laisses de crue réelles et ceux calculés au droit de ses laisses dans les modélisations.

L'annexe 5 présente la cartographie associée sur laquelle figure l'écart entre le niveau maximal relevé sur les laisses de crue et celui fourni par la modélisation 2D.

Au final, environ 60 laisses de crue ont pu être confrontées aux résultats de la modélisation sur le territoire de la zone d'étude amont.

Cette analyse intègre notamment toutes les laisses de crue alors qu'une analyse de celles-ci montre que certaines pourraient facilement être écartées, car elles indiquent des incohérences manifestes sur un même secteur et pourraient donc de fait être écartées de l'analyse. Le retrait de ces laisses incohérentes permettrait donc de montrer que la précision du modèle en est encore amplifiée.

Le modèle représente correctement les niveaux d'eau maximaux sur l'ensemble de la zone d'étude.

Compte tenu des remarques précédentes, les écarts obtenus entre les laisses de crue observées et les résultats du modèle sur l'ensemble de l'amont de la zone d'étude sont considérés comme bons.

Le modèle mis en œuvre permet de représenter correctement les niveaux d'eau atteints lors de la crue de 1982.

SECTION 3

DÉFINITION DES SCÉNARIOS DE RÉFÉRENCE

Afin d'élaborer des Plans de Prévention des Risques Littoraux homogènes sur l'ensemble du territoire, le ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement (MEDDTL) a établi une circulaire édictant les principes à respecter pour leur élaboration et pour la détermination de l'aléa submersion marine.

Pour mémoire, un aléa est la combinaison d'un événement hydro-météorologique et d'une configuration du système de protection de secteurs potentiellement inondables.

Cette circulaire, datée du 27 juillet 2011, définit donc les règles à suivre en termes :

- d'aléa de référence,
- de prise en compte des ouvrages de défense,

et précise par ailleurs différents éléments de doctrine réglementaire à prendre en compte ; nous détaillerons ci-après les deux premiers points en identifiant leur prise en compte dans le cadre du travail réalisé pour l'identification des scénarios de référence à retenir pour les futurs PPR.

7. ÉVÈNEMENT DE RÉFÉRENCE

L'événement de référence à retenir est l'événement historique le plus fort ayant affecté le territoire. Toutefois, cet événement doit être caractérisé en termes de période de retour et qu'il doit être au moins centennal. Si ce n'est pas le cas, un événement centennal devra être identifié et pris en compte.

La définition de cet événement passe donc par l'analyse des submersions historiques sur l'estuaire de la Charente qui s'appuie notamment sur les informations recueillies dans :

- Note de présentation du PPRN de Rochefort (DDTM 17 - aout 2013) ;
- Les surcotes et les submersions marines dans la partie centrale du Golfe de Gascogne : les enseignements de la tempête Xynthia (thèse de Mr Breilh de l'Université de La Rochelle - juin 2014),
- Éléments de mémoire sur la tempête Xynthia du 27 et 28 février 2010 (Sogreah – mars 2011).

Notons que sur la partie amont du secteur d'étude, les niveaux d'eau maximaux sont générés par des événements fluviaux. C'est pourquoi la crue de 1982, crue de référence sur ce secteur, a été retenue pour le calcul des aléas.

7.1. SYNTHÈSE DES DONNÉES SUR LES ÉVÉNEMENTS HISTORIQUES

7.1.1. Historique des niveaux marins exceptionnels

La synthèse bibliographique et la recherche de cartes anciennes auprès des Archives Départementales de la Charente-Maritime, des Archives de la Marine, ainsi que des entretiens avec les élus et des historiens de l'université de la Rochelle ont permis de recenser les récits concernant l'envahissement des zones basses par les eaux marines ainsi que les ruptures de digues.

La liste ci-dessous, non exhaustive, présente uniquement les principales tempêtes, appelées cyclone sous nos latitudes (dont la vitesse des vents est supérieure à 90 km/h), qui se sont produites du 16^e siècle au 20^e siècle.

Entre le 16^e siècle et le 18^e siècle, les récits sont peu nombreux et peu détaillés. Toutefois, 3 grandes tempêtes ont pu être répertoriées à partir de l'ouvrage « colère du ciel, de la terre et de la mer à la Rochelle ». Trois événements historiques supplémentaires (marqués par *) sont référencés dans le document SOGREAH Éléments de mémoire sur la tempête Xynthia du 27 et 28 Février 2010 en Charente-Maritime (Mars 2011) :

- le 10 août 1518 : débordement de la mer à La Rochelle causant « une perte incroyable, gâtant toutes les vignes et les champs »,
- le 22 août 1537 : selon Amos Barbot « le débord de la mer fut si grand par les tourmentes qu'elle faillit de submerger entièrement l'île de Ré ... »,
- le 6 janvier 1628 : une terrible tourmente renversa en partie la digue construite par Richelieu à Rochefort. À noter, la même année, le 29 juillet le vent se mit à souffler de tourmente de sorte qu'il rompit une digue de pierre. Même observation les 6, 7, 8 novembre, le vent soufflait avec une telle violence que les digues en plusieurs endroits furent écroulées,
- le 29 janvier 1645*, tempête sur les régions de Saintes et d'Aunis : la mer était tellement agitée que ses flots ont emporté des bourgs entiers, quantité de maisons, tant à La Rochelle, Ré, Oléron, Arvert, Marennes, Nieul, St Saurin, Saujon, et autres lieux dans les îles. La mer entra sur le continent jusqu'à 1 lieue (5,556 km) dans les terres,
- le 6 septembre 1785* : « un raz de marée comme aucun marin ne se rappelle en avoir vu à la Rochelle. Tout à coup, la mer monta dans le Port avec tant de violence qu'elle a couvert les jetées de l'avant-port. Ce n'était point des vagues, c'était un soulèvement de la mer » (8 pieds [2.60m] au-dessus du niveau de la pleine mer). Ce raz de marée a touché la région de Charente-Maritime,
- le 21 février 1788*, à La Rochelle, l'eau pénètre dans les terres, envahit les caves et les maisons. La Baie de l'Aiguillon, La Rochelle et l'île de Ré sont fortement touchées par le vimer. Selon le Mercure de France du 5 avril 1788 : "On écrit de La Tremblade, de Marennes et de l'isle de Rhé, qu'il y a eu dans tous ces parages des coups de mer si violents, que les flots ont renversé plusieurs digues et ont inondé un très grand espace de terrain. Les salines ont été extrêmement endommagées, et on évalue à deux millions les pertes occasionnées par les tempêtes qui ont eu lieu dans les premiers jours de ce mois".

À partir du 19^e siècle, les récits sur les tempêtes deviennent plus précis. Cependant, ceux-ci ne rapportent pas avec exactitude les hauteurs d'eaux atteintes. Il est fait référence aux dégâts importants ou à des estimations que l'on ne peut pas reporter avec précision sur carte. Seule, la tempête du 27 décembre 1999, pour laquelle la mémoire collective et le rapport « éléments de mémoire sur la tempête du 27 décembre 1999 » apportent des informations précises, permet cette opération. Le document SOGREAH Éléments de mémoire sur la tempête Xynthia du 27 et 28 Février 2010 en Charente-Maritime (Mars 2011) a le même objectif.

Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

Étude complémentaire

RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE

- le 20 février 1879 : une tempête sur le marais de Saint-Laurent-de-la-Prée et le marais d'Yves provoqua une inondation marine entre l'anse de Fouras et la RN 137. Un lais de mer a recouvert les prés du marais et une brèche s'est formée dans le cordon littoral qui protège l'anse de Fouras,
- le 22 octobre 1880 : le marais d'Yves a été submergé par la mer. La mer a rompu un certain nombre de barrières naturelles et a inondé des terres du Rocher jusqu'à Voutron, rendant impraticable pendant 9 h la route devenue actuellement la voie ferrée,
- les 5 et 6 mars 1885 : « la tempête s'est faite sentir avec une grande violence dans toute la région. L'ouragan a commencé le 5 au soir (pluie torrentielle, accompagnée de vent du Sud à Sud-Est). Le 6 mars à 12 h 00, à marée montante, la mer furieuse et des rafales soufflant en ouragan du Sud-Ouest ont continué à ravager le littoral. À Fouras, les vagues ont déferlé sur les remparts de la citadelle. L'ouragan a laissé des traces de son passage. Les rues et les places étaient jonchées de tuiles et d'ardoises brisées » (extrait du journal Le courrier de Rochefort du 15 mars 1885),
- le 25 février 1899 : une tempête est observée sur le bourg de Fouras. Des dégâts ont été recensés,
- dans la nuit du 22 au 23 janvier 1890, l'ensemble des côtes Charentaises sont submergées. Le « Courrier de la Rochelle » en date du 23 janvier relate : « (...) c'est dans la nuit dernière que la bourrasque a redoublé de violence. Poussée par un fort vent d'Ouest, la mer a dépassé de plus de 20 cm le couronnement des quais de nos bassins à flot. (...) »,
- les 8 et 9 janvier 1924 : « dans la nuit, vers 4 h 00 un véritable raz de marée a détruit de nombreuses digues sur les communes d'Yves, de Fouras et de Port-des-Barques. Les maisons situées en bordure de mer sont envahies par les eaux. Il a été constaté jusqu'à 60 cm d'eau dans les jardins. Les marais et prés environnants sont submergés » (extrait du journal La Charente inférieure du 11 janvier 1924),
- les 15 et 16 mars 1930 : l'Ingénieur DDE, Subdivisionnaire à Rochefort, a constaté, sur le littoral au Nord de la Charente jusqu'à la commune d'Yves des dommages importants causés par la tempête. Non loin de la R.N.137, des fascinages et des clayonnages construits pour favoriser les dépôts apportés par la mer ont été détruits,
- les 29 et 30 octobre 1932 : « dans la nuit une violente tempête endommage les digues de la commune d'Yves, provoquant une brèche en deux endroits » (extrait du journal Le courrier de La Rochelle du 2 novembre 1932),
- les 22 et 23 février 1935 : « un véritable cyclone a ravagé la région de 22 h à 4 h du matin. Des vents soufflaient à une vitesse de 250 km/h (vitesse enregistrée à la station météorologique du centre de Rochefort). La mer déchaînée a dévasté tout le littoral (barques retournées, digues détruites...). Les dommages sur toute la côte sont très importants. De mémoire d'homme, on n'avait pas enregistré une pareille tempête depuis 1879 » (extrait du journal de Marennes du 3 mars 1935),
- le 17 février 1957 : une tempête a provoqué des raz de marée dans les secteurs ostréicoles de la zone d'étude. Suite à cette tempête, une carte à 1/50 000, établie le 8 juin 1957, fixe les limites d'extension de la submersion (Ces limites ont été reportées sur la carte informative présente en annexe 1 : carte informative « submersion marine » à 1/10 000). La submersion se concentre principalement sur 5 secteurs : les Boucholeurs à Yves, Le Dauphin sur la Baie de Fouras, la pointe des Anses à Port-des-Barques, la partie Sud de l'île Madame et Montportail toujours à Port-des-Barques,
- le 16 décembre 1958 : « vers 15h00 une tornade s'est abattue sur la côte atlantique. Les vents soufflaient à 150 km/h, provoquant le déracinement des arbres, l'arrachement des toitures » (extrait du journal La Charente Libre du 17 décembre 1958),
- le 3 avril 1962 : « les pluies intenses et un vent de 100 km/h provoquent la crue de la Charente jusqu'à Saintes. La ville de Rochefort est submergée. Le coefficient de marée est de 116 » (extrait du journal La Charente Libre du 5 avril 1962),

Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

Étude complémentaire

RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE

- en 1972 : un mini raz de marée a submergé les communes d'Yves, Fouras et Port-des-Barques, ainsi que la ville de Rochefort,
- février 1990 : la tempête a créé des brèches dans le cordon dunaire de la baie d'Yves. Les eaux marines pénètrent par-dessus le cordon et entrent dans la lagune. Les digues d'Yves (digue de Gaveau et digue du Boisseau) sont submergées,
- les 22 et 23 décembre 1995 : dans la nuit, le littoral charentais fut balayé par un coup de vent de force 10, avec une marée de coefficient 107. La mer submerge le littoral en de nombreux endroits provoquant des dégâts par le franchissement de nombreuses digues. L'état de catastrophe naturelle (inondations et choc mécanique des vagues) a été déclaré pour les communes de Port-des-Barques, Rochefort et Fouras. Le débit de la Charente est de 100 m³/s. À Port-des-Barques, la plage Nord a reculé de 5 m, la digue de Montportail et la route Sud de l'île Madame sont endommagées en plusieurs endroits. Les brèches pratiquées par les eaux marines dans le cordon dunaire ont généré la submersion des digues d'Yves (la digue du Gaveau et la digue de Boisseau),
- les 7 et 8 février 1996 : dans la nuit une violente tempête a détruit et a déstabilisé les digues du secteur d'étude. Les vents de secteur Ouest à Nord-Ouest sont supérieurs en moyenne à 100 km/h. À Rochefort, la Charente a envahi la chaussée. Son débit est de 100 m³/s. À Port-des-Barques, des dégâts importants ont été répertoriés sur tout le territoire de la commune : la digue de protection des installations ostréicoles en bordure de Charente a été détruite en plusieurs endroits ; la route Sud de l'île Madame est coupée sur 50 mètres et les protections en place ont été bouleversées sur 2 km ; 12 appontements (carrelets) ont été détruits et emportés en mer ; plusieurs bateaux ont été coulés. Des dégradations importantes ont été constatées sur l'île d'Aix, entre la Pointe du Par et la Pointe Saint-Eulard,
- les 27 au 28 décembre 1999 : dans la nuit, des rafales de vents d'Ouest de 158 km/h, enregistrées à la station météorologique de La Rochelle, ont démonté une mer de coefficient de marée 77. Les assauts de la mer ont créé des brèches dans les cordons dunaires. L'eau entre dans la lagune et pénètre dans les terres par-dessus les digues. Cinquante et un systèmes de protection de la zone d'étude sont submergés et détruits. La surcote par rapport à l'élévation du niveau normal de la mer est de 2 m. Elle a été enregistrée aux marégraphes des ports de La Pallice et du Chapus,
- du 23 au 25 janvier 2009, la tempête Klaus entraîne des submersions sur Rochefort,
- les 27 et 28 février 2010 : après avoir touché le Portugal et l'Espagne, une violente tempête, baptisée « Xynthia », a durement frappé la France, provoquant de nombreux décès (53 morts recensés en France, dont 12 en Charente-Maritime selon les rapports officiels) et d'importants dégâts matériels. Sans être aussi exceptionnelle d'un point de vue météorologique que les tempêtes Lothar et Martin de décembre 1999 et Klaus de janvier 2009, Xynthia a produit des élévations importantes du niveau de la mer qui, se trouvant en phase avec une marée haute à fort coefficient, ont causé des phénomènes de submersion exceptionnels sur les côtes de Vendée et en Charente-Maritime.

7.1.2. Les tempêtes au XXème siècle en Charente-Maritime

Suite à la tempête du 27 décembre 1999, il est apparu important de préciser les périodes de retours pouvant être associées à de tels événements en Charente-Maritime.

Les statistiques disponibles à la station météorologique de La Rochelle sont établies depuis 1962 en ce qui concerne le vent fort maximum et concernent les observations de Chassiron, La Coubre et La Rochelle. Pour la période antérieure à cette date, les informations sont plus fragmentaires et sont issues d'articles de presse.

Sur la période 1962-1996, on constate que le vent annuel maximum dépasse 11 fois 130 km/h (36 m/s ou 70 nœuds). À noter que l'échelle anémométrique de Beaufort définit le seuil de la classe des ouragans de force 12 à partir de 118 km/h.

Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

Étude complémentaire

RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE

Les évènements répertoriés sont généralement destructeurs et peuvent être classés en deux grandes catégories :

- les tempêtes avec des vents dépassant la force de l'ouragan qui, quelle que soit l'amplitude de la marée, provoquent des dommages aux ouvrages côtiers et l'inondation de vastes surfaces en bordure du littoral. Ainsi la tempête du 16 décembre 1958 avec des rafales de 180 km/h, fit 6 victimes en Charente-Maritime,
- les coups de vent moins violents avec des vents de 80 à 100 km/h (force 9 ou 10) surgissant en période de marée de vive-eau et au cours desquels la surcote, même faible, du niveau marin provoque la submersion de digues et la dégradation de dunes ou de digues. On peut citer à ce titre les fortes inondations du 4 avril 1962 par conjonction d'une marée de coefficient 115 avec des vents de 120 km/h (une victime à Oléron).

Au regard de ces quelques indications, il semble que la tempête subie par le département de La Charente-Maritime le 27 décembre 1999 ne soit pas si exceptionnelle qu'il n'y paraît. En l'absence d'une étude spécifique plus détaillée, il peut être proposé une période de retour de 20 à 50 ans en termes de niveau extrême de pleine mer, pour un aléa « submersion marine » de cette ampleur (cf. publication des niveaux extrêmes de pleine mer, BARBOT C. et al, 1999).

Enfin, il est à signaler également le passage fréquent de tornades liées à l'activité orageuse en été et à la présence de fronts froids actifs en hiver. L'analyse des données historiques indique enfin une occurrence hivernale des évènements les plus violents ayant entraîné la submersion généralisée des zones littorales. Cependant, quelques submersions marines se sont aussi produites en période estivale. On ne peut donc pas conclure sur la saisonnalité du phénomène de « submersion marine ».

Par ailleurs dans la thèse de Jean-François Breilh sur les surcotes et les submersions marines dans la partie centrale du Golfe de Gascogne : les enseignements de la tempête Xynthia, une analyse historique a été réalisée.

En particulier une évaluation des niveaux maximaux atteints par les tempêtes de 1924, 1940, 1941, 1957, 1999 et 2010 est présentée au niveau des ports de La Pallice à La Rochelle (ou au Vieux Port) et au Verdon. Cette analyse montre que :

- au Vieux Port de La Rochelle, ces 6 tempêtes ont atteint ou dépassé la cote de 4,10 m NGF,
- au Verdon, les 4 dernières tempêtes ont atteint ou dépassé la cote de 3,50 m NGF,
- à La Pallice, les 4 dernières tempêtes ont dépassé la cote de 3,80 m NGF, les 3 dernières ayant même dépassé la cote de 4 m NGF.

En parallèle, le SHOM a édité le guide statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France de 2012. Les niveaux maximaux de période de retour 100 ans ont été estimés sur toute la côte du secteur d'étude.

Les valeurs proposées sont les suivantes :

- Vieux Port de La Rochelle : entre 3,9 et 4,0 m NGF,
- Verdon : environ 3,7 m NGF,
- La Pallice : environ 3,85 m NGF.

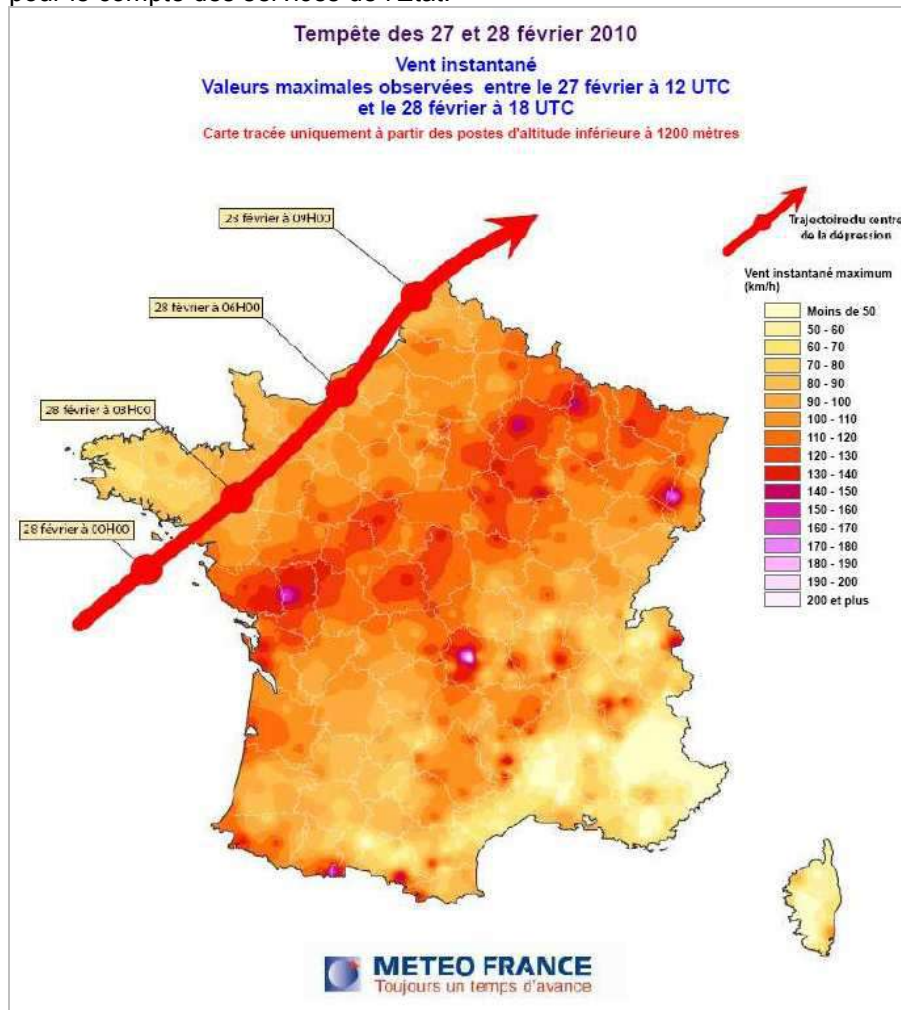
L'analyse de ces résultats fait ressortir les lacunes de l'analyse statistiques, qui ne dispose pas de données suffisantes pour estimer plus finement les niveaux extrêmes qui se retrouvent dès lors sous-estimés.

En revanche, les données issues des archives mettent en avant que des évènements extrêmes dépassant 4,0 m NGF à La Pallice arrivent plusieurs fois par siècle et que parmi les données disponibles, Xynthia ressort bien comme étant l'évènement le plus fort connu sur ce secteur.

7.1.3. Analyse spécifique du phénomène Xynthia

La France a été frappée, les 27 et 28 février 2010, par une violente tempête, baptisée Xynthia, qui a balayé une large bande de territoire allant de la Charente-Maritime aux Ardennes, provoquant de nombreux décès (53 morts recensés en France) et d'importants dégâts matériels.

Les éléments répertoriés dans ce chapitre, visant à analyser de manière spécifique le phénomène de cet événement, sont issus en totalité du document de mémoire élaboré par ARTELIA en 2010 pour le compte des services de l'État.



Vitesses de vent instantanées maximales durant la tempête Xynthia
 (Source: Météo-France)

Le caractère singulier de la tempête Xynthia en France est dû à la concomitance d'une grande marée non exceptionnelle (coefficient 102) et d'une forte dépression qui a engendré des vents violents, tournant du sud à l'ouest au cours de l'événement. Le passage de la tempête s'est accompagné d'une surcote exceptionnelle de 150 cm par rapport au niveau prévisible, du seul fait de la marée, provoquant des phénomènes de submersions rares sur l'ensemble du littoral de la Charente-Maritime.

Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

Étude complémentaire

RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE

7.1.3.1. UN PHÉNOMÈNE MÉTÉOROLOGIQUE

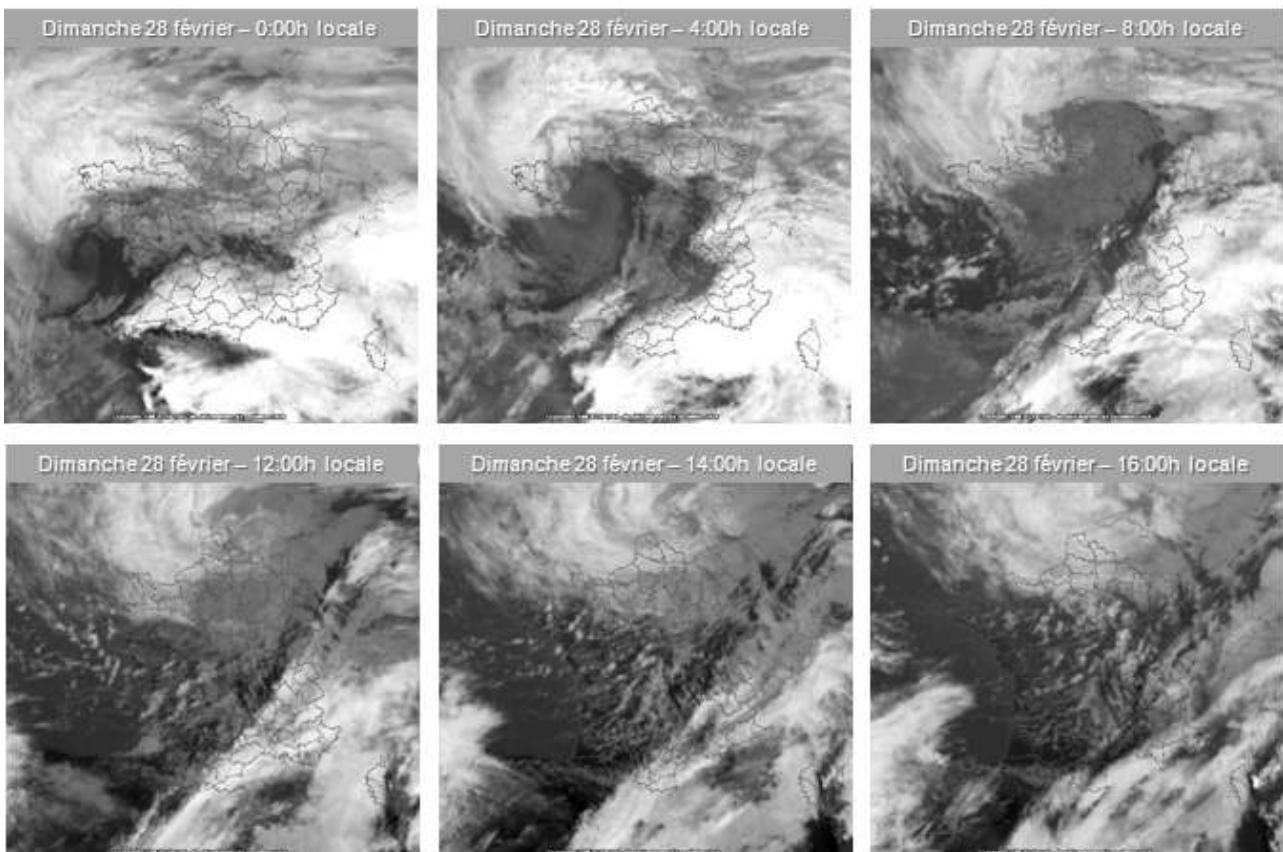
Formation et trajectoire de la tempête

Selon Météo-France, la tempête Xynthia est née d'une dépression atmosphérique située au-dessus de l'Atlantique, à de très basses latitudes. Cette dépression s'est intensifiée le 27 février au matin, en se déplaçant vers l'île de Madère, puis a évolué en tempête l'après-midi, près des côtes portugaises. Elle est remontée vers le golfe de Gascogne en fin de journée du 27 février, balayant la Galice et le Pays Basque Espagnol.

La tempête Xynthia a touché les côtes atlantiques françaises dans la nuit du 27 au 28 février, au maximum de son creusement (centre dépressionnaire à 969 hPa), avant de poursuivre sa route vers le nord de la France. D'autres pays comme l'Angleterre, la Belgique, le Luxembourg, l'Allemagne et les Pays-Bas ont également été touchés par des vents violents.

La zone de formation (en plein cœur de l'Atlantique, près du tropique du cancer) et la trajectoire de Xynthia sont atypiques : il est rare que des dépressions atlantiques se développent à des latitudes aussi basses et évoluent en tempête en remontant vers l'Europe de l'Ouest.

- **Images satellites**



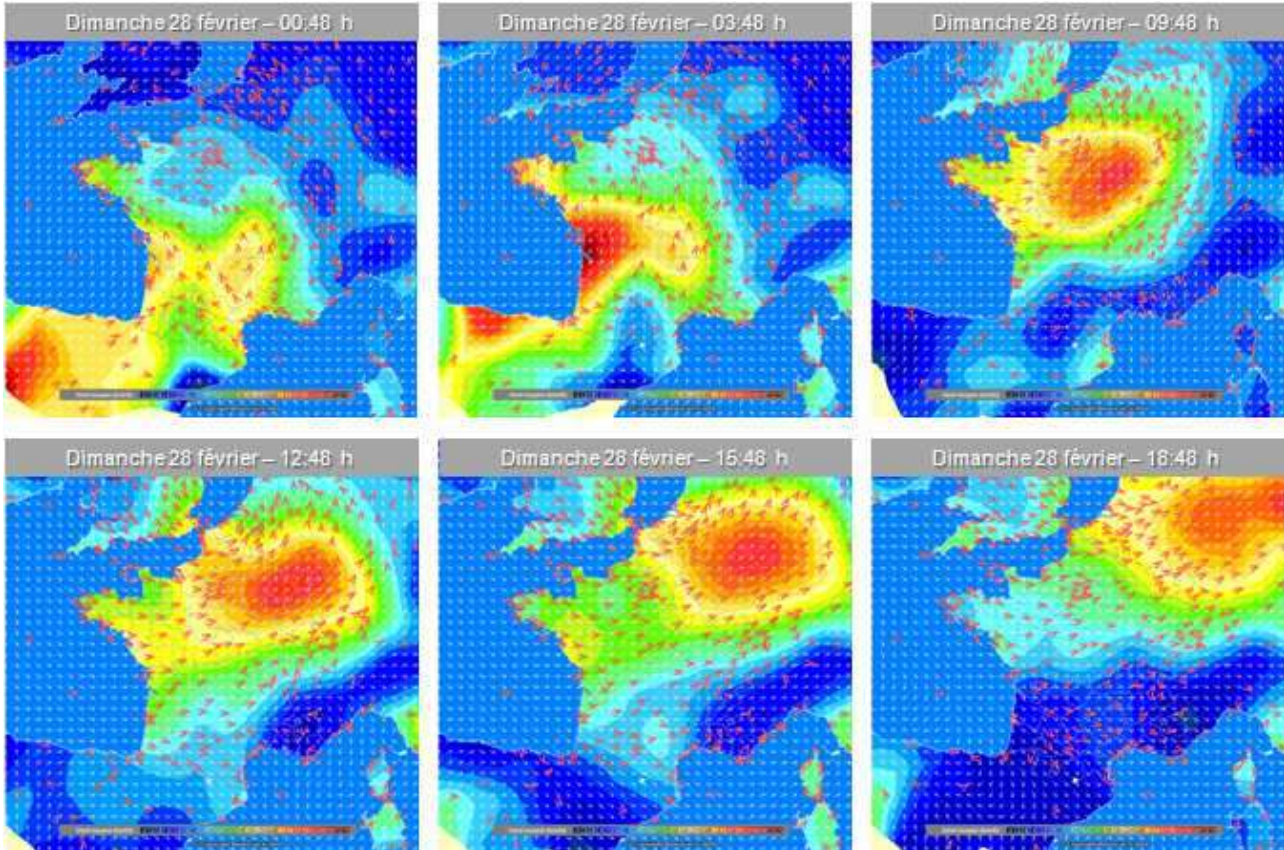
**Images satellite observées entre le 28 février à 00h00 et le 28 février 16h00
(Source: Météo ciel)**

Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

Étude complémentaire

RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE

- **Direction du vent moyen**



Champs de vent moyen (km/h) observés entre le 28 février à 00h50 et le 28 février 18h50 (Source: Météo ciel)

Caractère remarquable de la tempête

Du point de vue météorologique, la tempête Xynthia, de taille et d'intensité peu communes, n'a pas atteint pour autant le caractère exceptionnel des tempêtes Lothar et Martin de décembre 1999, ni celui de Klaus de janvier 2009 :

- les rafales maximales relevées en plaine, de 160 km/h sur le littoral et de 120 km/h à 130 km/h dans l'intérieur des terres, sont inférieures à celles enregistrées lors des événements de 1999 et de 2009, où l'on relevait près de 200 km/h sur le littoral et 150 à 160 km/h dans l'intérieur des terres,
- Xynthia ne peut être qualifiée de "tempête explosive"¹: son creusement (une diminution de 20 hPa en plus de 24 h) est qualifié comme étant "classique" pour une dépression hivernale. Lors des tempêtes de décembre 1999, la pression avait chuté de 32 hPa dans le même laps de temps,
- la tempête a traversé le pays assez rapidement ; sa durée d'action a donc été moindre.

¹ Dépression de type explosive : se dit pour une formation très rapide de la dépression (quelques heures)

Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

Étude complémentaire

RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE

Ci-dessous sont présentées quelques valeurs de rafales de vent mesurées au cours des samedi 27 et dimanche 28 février :

- Saint Clément des Baleines (île de Ré) : 160 km/h
- La pointe de Chassiron (île d'Oléron) : 140 km/h
- Royan : 137 km/h
- La Rochelle : 132 km/h

7.1.3.2. UNE CONJONCTION EXCEPTIONNELLE DU VENT ET DE LA MARÉE

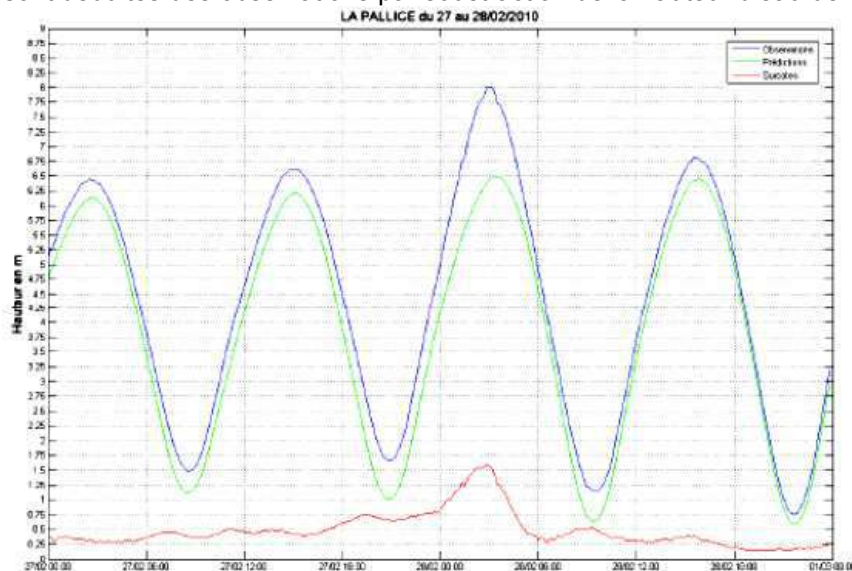
Si *Xynthia* n'a pas atteint l'intensité des tempêtes de décembre 1999, en termes de vitesses maximales instantanées de vent, elle a pourtant été à l'origine de phénomènes de submersions et d'érosions d'une rare intensité, notamment sur les côtes vendéennes et en Charente-Maritime.

Le passage de la tempête a en effet coïncidé avec la pleine mer d'une marée de vives-eaux de coefficient 102 (pour un maximum de 120 pour marées les plus importantes) **et des fortes houles comprises entre 6 et 7 m**, provoquant une surcote² de l'ordre de 1,50 m à La Rochelle.

Hauteurs d'eau observées

Lors du passage de la tempête *Xynthia*, dans la nuit du 27 au 28 février 2010, les niveaux marins atteints ont été enregistrés par les marégraphes du Réseau d'Observation du Niveau de la Mer (RONIM), comprenant 19 marégraphes, ainsi que par les marégraphes du SPC de la DDTM 17 (Rocheftort).

Les observations des hauteurs d'eau (en bleu), les prédictions du niveau de la mer et les surcotes (en rouge) sont présentées ci-dessous à la station de La Rochelle. Les estimations des surcotes sont déduites des observations par soustraction de la hauteur d'eau de la marée prédite (en vert).



Hauteurs d'eau observées à La Rochelle lors du passage de la tempête *Xynthia*
(Source : SHOM)

² Surcote : élévation du niveau de la mer : différence entre la hauteur d'eau observée et la hauteur de la marée prédite.

Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

Étude complémentaire

RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE

La surcote de la pleine mer lors du maximum de l'événement (1,53 m) est particulièrement importante. Cette surcote figure parmi les plus importantes observées depuis que le marégraphe y a été installé en 1997, sachant que ce dernier est tombé en panne lors de la tempête de 1999. Elle est plus importante que la plus grande surcote jamais observée à Brest, où le SHOM dispose de plus de 150 ans de mesures (surcote de 1,42 m observée le 15 octobre 1987).

Le niveau atteint à La Rochelle est de 8,01 m CM (Cotes Marines³), soit 4,51 m NGF. À titre de comparaison, le niveau qui avait été atteint sur la même zone lors de la tempête de 1999 était à 6,76 m CM⁴ (dernière mesure valide avant la pleine mer, la valeur maximale n'ayant pas été établie), et le niveau atteint pour une marée astronomique de 120 est de 6,74 m CM.

L'analyse des observations et des surcotes, réalisée par le SHOM, a permis d'estimer les périodes de retour associées aux niveaux extrêmes atteints lors de l'événement de la tempête Xynthia : ces périodes de retour sont estimées à plus de 100 ans à La Rochelle, aux Sables d'Olonne et à Saint Nazaire, et à plus de 50 ans à La Pointe de Grave.

La concomitance d'une surcote avec l'instant de la pleine mer d'une marée de vives-eaux est en soi un événement très peu probable. En effet, il n'existe en moyenne que 25 jours par an pour lesquels les marées ont un coefficient supérieur à 100, et pour chacune de ces marées, la hauteur d'eau prédite n'est proche de ou égale à la pleine mer que dans un créneau de l'ordre de 1 à 2 heures. C'est dans l'un de ces créneaux qu'une tempête créant une surcote importante peut générer un risque de submersion important.

Le caractère rare de Xynthia, et donc de ses conséquences les plus lourdes, est ainsi dû à la conjonction de :

- la "surcote" importante produite par la tempête (forte dépression),
- une marée de vives-eaux (coefficient important de 102),

l'instant du maximum de l'événement météorologique très proche de la pleine mer.

Le fait que cet événement soit dû à la concomitance de plusieurs événements non exceptionnels (tempête du Sud-Ouest – marée de vives-eaux) doit inciter à se protéger contre des événements similaires ou supérieurs.

³ Cote Marine (CM) : Hauteur d'eau mesurée par rapport au zéro hydrographique (niveau de référence commun pour les cartes marines). Le zéro hydrographique est défini en France comme le niveau des plus basses mers astronomiques ; il s'agit d'un niveau théorique. Par comparaison, généralement le zéro NGF est défini comme étant le niveau moyen de la mer. La cote du zéro IGN 69 par rapport au zéro hydrographique est de 3,504 m à La Rochelle.

⁴ Précisons que la cote de 6,76 m CM identifiée au marégraphe de La Rochelle lors de l'événement de 1999 peut avoir été dépassée en raison d'un dysfonctionnement du marégraphe lors de l'événement et donc du non enregistrement de la pointe de marée maximale.

7.2. SIMULATION DE L'ÉVÈNEMENT DE RÉFÉRENCE DE L'ACTUEL PPRN

Le PPRN précédent définissait un événement de référence à partir de données théoriques sur les différents paramètres générateurs de niveaux marins extrêmes. En effet, compte tenu du manque de données statistiques sur l'estuaire de la Charente, le choix d'un événement de référence théorique semblait plus pertinent.

Les données retenues par le Maître d'Ouvrage pour définir l'évènement de référence théorique (en approximation de niveaux centennaux) sont :

- un coefficient de marée de 90,
- une surcote météorologique de 2 m (mesurée au Port du Chapus lors de la tempête Martin de décembre 1999),
- une marge d'incertitude incluant les conséquences du changement climatique de 0,20 m.

Dans ces conditions, les niveaux maximaux étaient estimés de manière homogène sur chaque commune. Les valeurs retenues sont détaillées dans le tableau ci-dessous :

COMMUNES	PHEM* de référence (en m NGF)
ILE-D'AIX	4,3
BREUIL-MAGNE	4,5
CABARIOT	4,4
ECHILLAIS	4,5
FOURAS	4,6
PORT-DES-BARQUES	4,4
ROCHEFORT	4,4
SAINT-HIPPOLYTE	4,4
SAINT-LAURENT-DE-LA-PREE	4,5
SAINT-NAZAIRE-SUR-CHARENTE	4,3
SOUBISE	4,4
TONNAY-CHARENTE	4,5
YVES	4,5
VERGEROUX	4,6

Cotes des Plus Hautes Eaux Marines calculées (*PHEM)

Les caractéristiques de cet événement ont été modélisées à l'aide de l'outil de calcul bidimensionnel mis en œuvre.

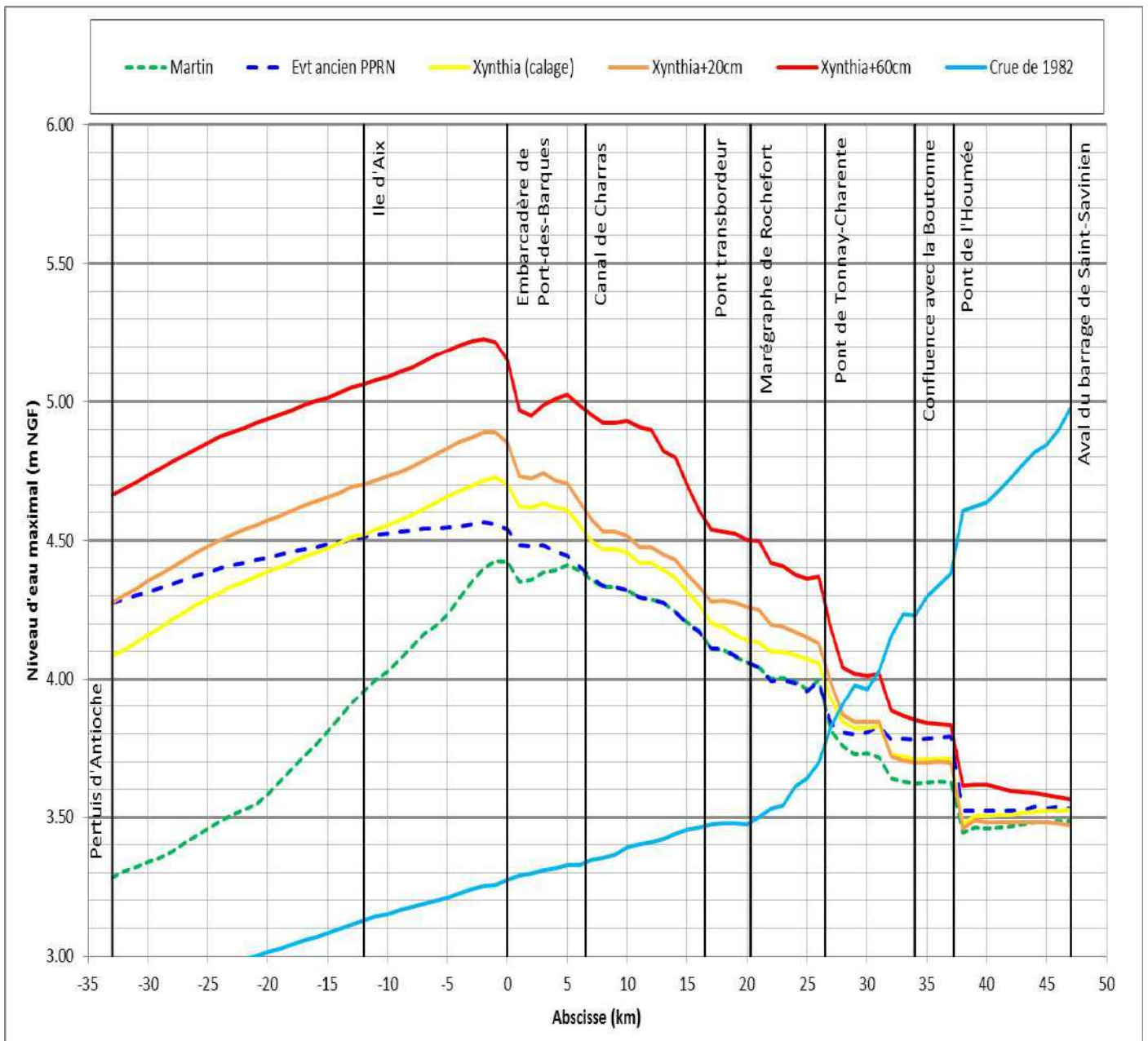
L'analyse des niveaux d'eau maximaux atteints montre qu'à partir de l'île d'Aix, Xynthia a généré des niveaux plus importants que cet événement théorique. Ce dernier redevient plus important que Xynthia entre le pont de Tonnay-Charente et la confluence de la Boutonne, sur un secteur où les niveaux maximaux sont générés par la crue de 1982.

La tempête Xynthia représente donc bien un événement historique avéré suffisamment documenté plus fort que l'évènement centennal théorique du précédent PPRN.

Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

Étude complémentaire

RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE

**Profils en long des niveaux maximaux pour différents évènements**

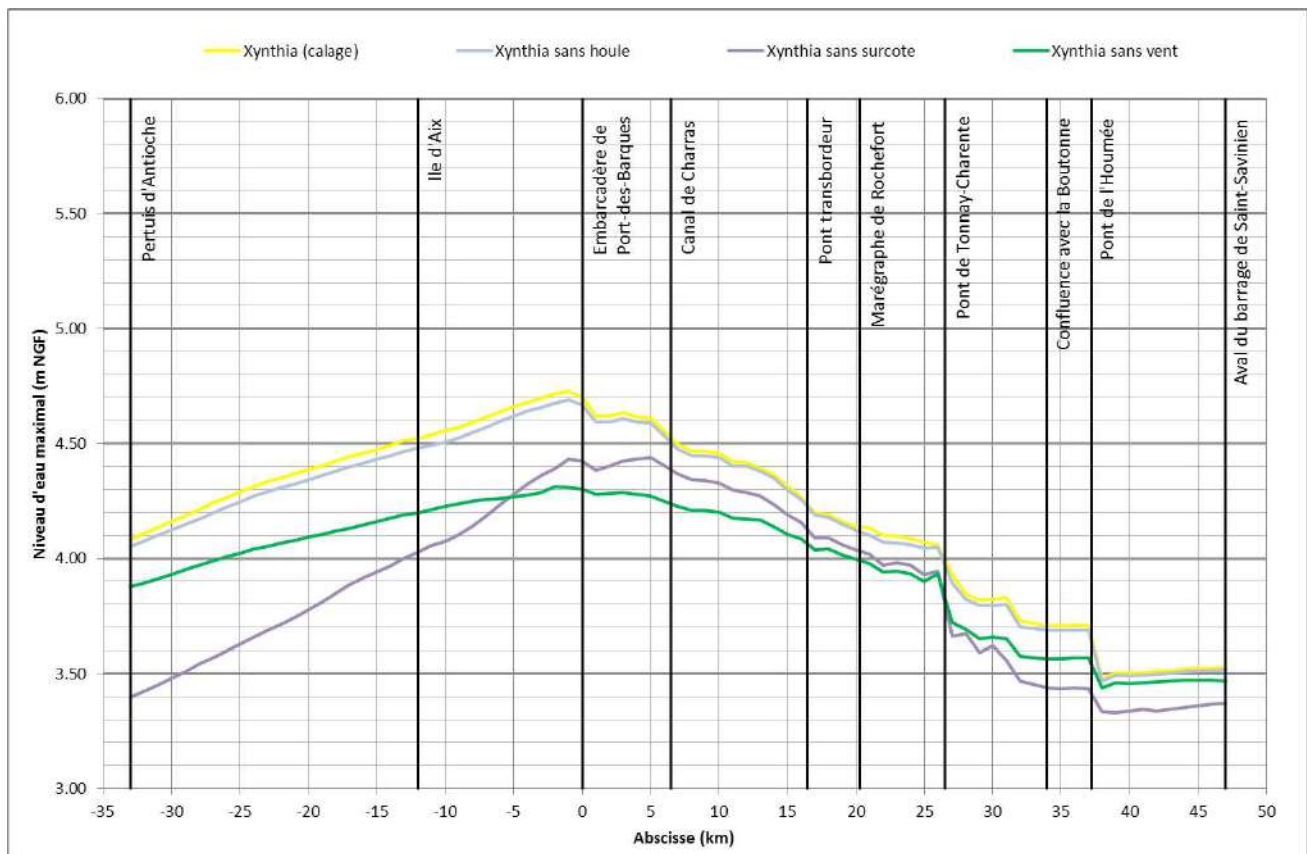
7.3. ANALYSE DES PARAMÈTRES GÉNÉRATEURS DES NIVEAUX EXTRÊMES DANS L'ESTUAIRE

Les quatre principaux paramètres générateurs des niveaux extrêmes sur la façade maritime sont les suivants :

- la marée,
- la houle,
- la surcote atmosphérique,
- le vent.

Seule la marée est une donnée prévisible théorique, nous n'avons donc pas réalisé de tests sur ce paramètre. En revanche, 3 configurations ont été testées en supprimant à chaque fois 1 des paramètres générateurs de niveaux extrêmes identifiés.

Les résultats présentés sur le graphique ci-dessous mettent en avant que la houle et la surcote atmosphérique constituent les principaux paramètres générateurs des niveaux extrêmes dans l'estuaire de la Charente.



Influence des paramètres hydro-météorologiques

Notons que la surcote (à la Pallice) et la vitesse des vents (au phare des Baleines) étaient plus importantes lors de la tempête Martin que lors de Xynthia. Cependant, la marée théorique était bien plus importante pour Xynthia (environ 1,10 m de plus à La Pallice).

7.4. CONCLUSION SUR L'ÉVÈNEMENT DE RÉFÉRENCE RETENU

La circulaire de juillet 2011 identifie que l'événement de référence à retenir est l'événement historique le plus fort ayant affecté le territoire. Toutefois, il est précisé que cet événement doit être caractérisé en termes de période de retour et qu'il doit être au moins centennal. Si ce n'est pas le cas, un événement centennal devra être calculé et pris en compte.

Dans le cadre de cette étude, l'événement Xynthia a affecté récemment le territoire et s'avère être le plus fort événement vécu ou du moins connu, en regard des documents consultés ou des archives analysées.

Par ailleurs, la cote maximale atteinte par cet événement, 4,51 m NGF à La Rochelle (La Pallice) est à comparer à la cote centennale identifiée par les différentes études ou par le SHOM récemment, en prenant en compte cet événement dans les échantillons de mesures utilisés.

Ainsi, la dernière étude du SHOM identifie comme cote centennale à La Rochelle une valeur de 3,85 m NGF, alors que les études menées précédemment retenaient à une valeur de 3,80 m NGF ; même si cette valeur de cote centennale semble sous-évaluée en regard de l'historique des submersions dans le secteur. Nous pouvons toutefois considérer que Xynthia a présenté une cote maximale lui conférant une période de retour de plus de 100 ans, et donc cet événement peut être retenu comme événement de référence dans l'analyse à mener pour cette étude.

L'événement de référence maritime correspond donc aux conditions hydrométéorologiques (vent, marée, surcote...) associées à l'événement de la tempête Xynthia. Un événement de référence fluvial (crue de 1982) est également simulé pour déterminer l'aléa sur le secteur amont.

8. ALÉAS DE RÉFÉRENCE À RETENIR

La circulaire identifie les aléas de référence à prendre en compte dans le cadre des cartographies de submersion à produire sur le territoire. **Ces événements prennent en compte l'impact du changement climatique à court et à long terme (hypothèses de surélévation du niveau de la mer).**

Ainsi, sont à définir deux aléas à partir de l'événement de référence retenu :

- **l'aléa à court terme (événement de référence + 20 cm)**, défini à partir de l'événement de référence (Xynthia) auquel on rajoutera au large une valeur de 0,20 m en chaque point du marégramme ;
- **l'aléa à long terme (événement de référence + 60 cm)**, toujours défini à partir de l'événement de référence Xynthia mais en ajoutant au large à chaque point du marégramme une valeur de 0,60 m, permettant, entre autres, de prendre en compte la possible élévation des niveaux des océans en fonction du réchauffement climatique.

Ces deux événements devront donc être modélisés pour que les emprises inondées associées soient identifiées.

Ainsi, la définition de l'aléa à modéliser permet de préciser les conditions hydrodynamiques à respecter, mais la circulaire précise également comment prendre en compte les protections et donc les volumes de submersion franchissant les protections. Cette prise en compte fait l'objet de l'explication du chapitre suivant.

9. PRISE EN COMPTE DES OUVRAGES DE PROTECTION

9.1. IDENTIFICATION DE L'ENSEMBLE DES OUVRAGES CONSTITUANT LE SYSTÈME DE PROTECTION

9.1.1. Généralités : les secteurs homogènes initiaux

Dans le cadre de cette analyse, il a été décidé de s'appuyer sur le diagnostic de digues réalisé dans le cadre des études du Programme d'Actions de Protection contre les Inondations (PAPI) de l'Estuaire de la Charente qui identifiait 82 tronçons homogènes. A cela s'ajoute 5 tronçons sur la Pointe de la Fumée à Fouras et 3 tronçons sur l'île Madame ce qui nous donne **90 secteurs homogènes** identifiés sur le littoral.

L'homogénéité de ces secteurs est appréciée en regard de différents critères dont :

- le type de défense (présence d'un ouvrage longitudinal de rigidification du trait de côte ou côte « naturelle »),
- la nature de la défense de côtes :
 - falaise ou micro-falaise (défendue ou non),
 - cordon dunaire (défendu ou non),
 - cordon de galets ou remblais.

et pour les secteurs avec ouvrages, la prise en compte du type d'ouvrage (maçonné ou en enrochements).

Enfin, les secteurs où la topographie en arrière de l'ouvrage est surélevée (dunes, falaises), au même niveau ou plus basse, sont également identifiés afin de juger de la pérennité de la côte hors présence des ouvrages.

9.1.2. Application pour l'élaboration du PPRN

L'identification de secteurs homogènes avait pour objectif d'identifier :

- la moyenne du recul ou de l'avancée du trait de côte sur chacun,
- la prise en compte de chaque secteur de défense qui pourra être adaptée en regard des directives de la circulaire de juillet 2011 pour la détermination de la submersion de celle-ci et le calcul de l'aléa submersion en arrière.

Ces secteurs sont présentés dans le tableau de l'annexe 6 qui identifie, par secteur, les critères énoncés précédemment (type et nature de la défense, présence d'un parapet et dénivelée avec terrain en arrière) auxquels nous avons ajouté :

- la longueur du tronçon concerné et son nom,
- l'état de la protection : en l'absence d'information, un état dégradé a été retenu ;
- l'altimétrie de l'ouvrage : l'altimétrie de l'ouvrage a été déterminée à partir du LIDAR.

Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

Étude complémentaire

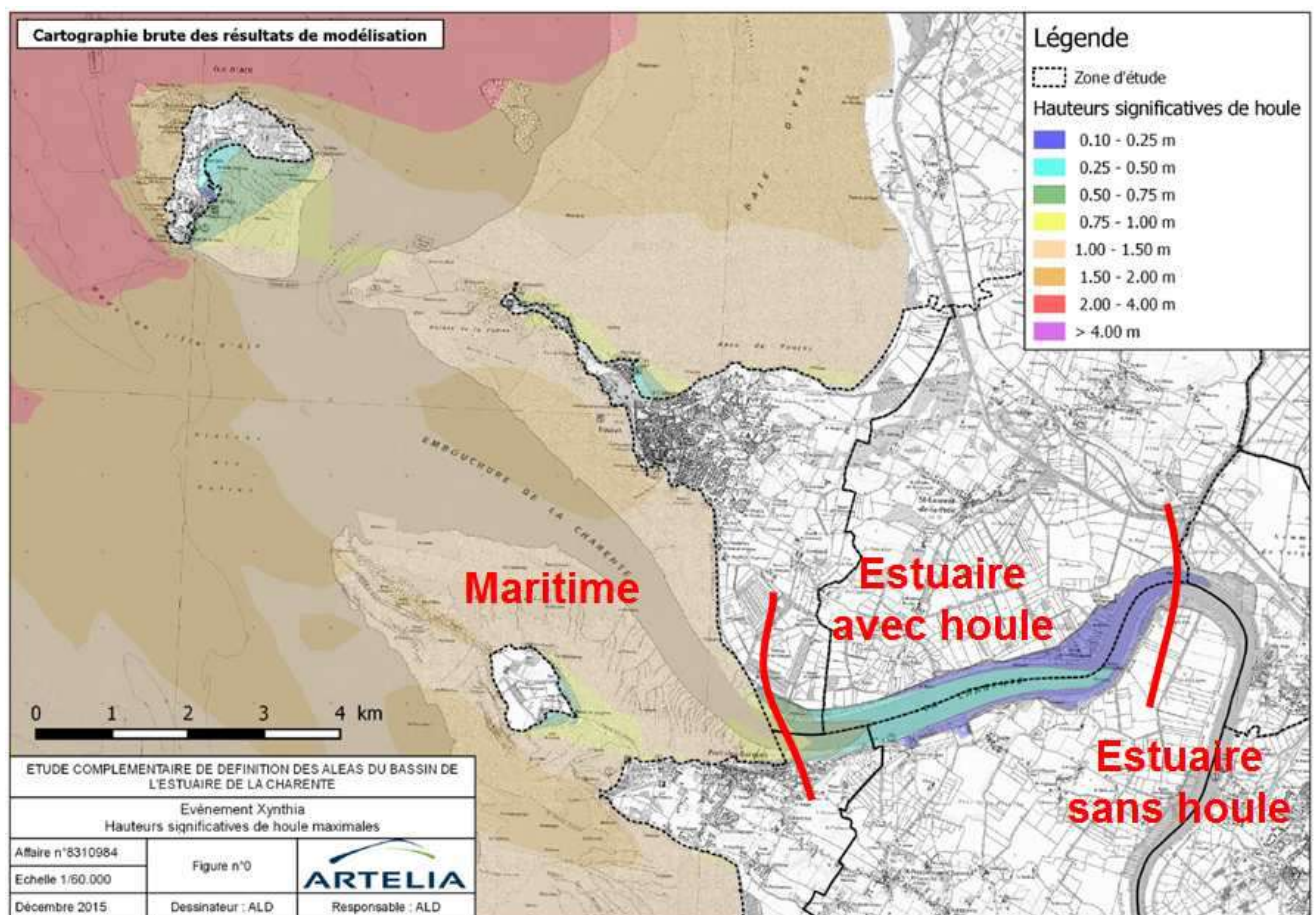
RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE

9.2. PRISE EN COMPTE DE LA SOLLICITATION À LA HOULE DES OUVRAGES

La façade maritime est plus exposée que les bords de l'estuaire de la Charente. Ainsi, afin de différencier ces sollicitations, et les défaillances qu'il en résulte, nous avons marqué par la suite pour chaque secteur son exposition à la houle.

Trois secteurs ont donc été définis en fonction de la simulation de propagation de la houle pour l'événement Xynthia. Ils permettent de différencier les hypothèses des défaillances sur ces 3 types de secteur en fonction de leur exposition à la houle :

- secteur maritime : exposition importante,
- secteur estuarien avec houle, exposition modérée,
- secteur estuarien sans houle : exposition quasi-nulle.



Sectorisation de l'aire d'étude en fonction de l'exposition à la houle

9.3. PRISE EN COMPTE DE LA PROTECTION

L'expression « ouvrage de protection » désigne le système complet de protection : système d'endiguement globalement cohérent du point de vue hydraulique et de la protection effective des populations.

Aucun ouvrage ne peut être considéré comme infaillible, quelles que soient ses caractéristiques et sa résistance présumée. Dans le cadre du projet de PPR, le principe guidant les actions est qu'une zone protégée par une digue reste une zone inondable.

La circulaire du 27 juillet 2011 précise les conditions et principes à appliquer pour la représentation des protections et leur prise en compte dans les calculs.

Ainsi, si :

- la crête de la protection présente une cote la rendant submersible par plus de 0,20 m d'eau par l'aléa pris en compte (cote à identifier en bordure de côte),
- l'état de la protection est caractérisé par un état moyen ou dégradé,

la protection doit être considérée dans le calcul comme s'effaçant totalement sur le linéaire homogène total considéré (critère d'effacement défini dans le chapitre suivant).

Par ailleurs, comme aucune protection ne peut être considérée comme complètement pérenne, pour toute protection considérée en bon état et ayant une cote de crête la rendant soit insubmersible, soit submersible de moins de 0,20 m par rapport à la cote d'eau calculée au droit du secteur pour l'aléa considéré, une hypothèse de brèche doit être considérée dans les calculs ; comme précisé dans le paragraphe précédent, cette hypothèse de brèche est dépendante de l'exposition à la houle de la protection. Ainsi, les linéaires de brèche appliqués sont présentés dans le tableau suivant :

Linéaire de brèche appliqué en fonction de l'exposition à la houle

Ouvrage de protection en état satisfaisant avec une surverse pour l'évènement de référence à modéliser (Xynthia + 20 ou Xynthia + 60) inférieure à 20 cm			
Exposition à la houle			
OUI		NON	
L tronçon	Brèches	L tronçon	Brèches
0 -300 m	1 x 50 m	0 - 300 m	1 x 50 m
300 - 500 m	1 x 100 m	300 - 750 m	1 x 100 m
500 - 1000 m	2 x 100 m	750 - 1250 m	2 x 100 m
1000 - 1500 m	3 x 100 m	1250 - 2250 m	3 x 100 m
1500 - 2000 m	4 x 100 m	2250 - 3250 m	4 x 100 m
2000 - 2500 m	5 x 100 m	3250 - 4250 m	5 x 100 m
2500 - 3000 m	6 x 100 m	L > 4250 m	6 x 100 m

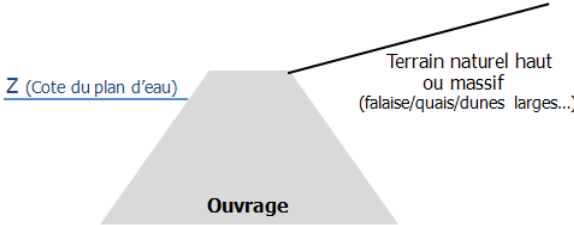
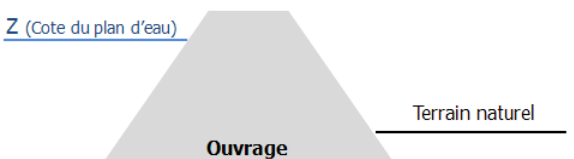
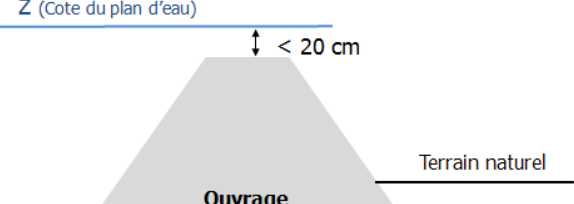
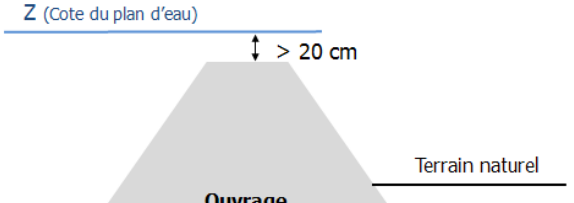
Le schéma suivant récapitule les différents principes retenus pour la prise en compte des protections dans les futurs calculs à réaliser.

Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

Étude complémentaire

RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE

Principes de prise en compte des ouvrages protections

État de l'ouvrage Scénario de l'ouvrage	État satisfaisant	État moyen/dégradé
Secteurs de falaises, de quais, de terrains hauts à l'arrière de la protection ou de dunes larges (cordons de largeur > 25 m) 	Ouvrage pérenne en regard du risque submersion Pas de brèches ni d'effacement d'ouvrage	
Secteurs de protections pour lesquels la cote de protection est supérieure à la cote du plan d'eau 	Simulation de brèches	Simulation d'un effacement de l'ensemble du linéaire sur
Secteurs de protections pour lesquels la cote de protection est supérieure <u>de moins</u> de 20 cm à la cote du plan d'eau 	Simulation de brèches	Simulation d'un effacement de l'ensemble du linéaire sur
Secteurs de protections pour lesquels la cote de protection est supérieure <u>de plus</u> de 20 cm à la cote du plan d'eau 	Simulation d'un effacement de l'ensemble linéaire	Simulation d'un effacement de l'ensemble du linéaire sur

La prise en compte de chaque ouvrage est présentée dans le tableau en annexe 6. Les différents éléments permettant la définition de la défaillance pour chaque niveau d'aléa sont précisés.

9.4. DYNAMIQUE DE CONSTITUTION DES BRÈCHES OU D'EFFACEMENT D'OUVRAGES

La circulaire ne précise pas la dynamique de constitution, au cours du calcul, de la brèche ou de l'effacement de la protection considérée.

Cette problématique de survenue de la dynamique d'arasement (à la cote du terrain naturel en arrière immédiat), influe sur les volumes entrant à l'intérieur des terres (et donc sur les cotes d'inondation dans ces secteurs), mais également sur la dynamique des vitesses dans ces secteurs.

Sur le secteur maritime, les analyses de sensibilité ayant été menées en 2012 lors de l'élaboration des études préalables au PPRn Nord Département ont précisé en détail la dynamique à retenir. Ces éléments précisés ci-après ont été validés par le CETMEF.

Étude des aléas et des enjeux du bassin de l'Estuaire de la Charente

Étude complémentaire

RAPPORT D'ÉTUDE HYDRAULIQUE

Ensuite, pour chaque secteur identifié précédemment (maritime, estuaire avec houle et estuaire sans houle), les principes retenus quant à la dynamique de constitution des brèches ou d'effacements ont été adaptés de la manière suivante :

- secteur maritime :
 - ruine ou effacement se produisant **une heure avant la pleine mer** en tout point du linéaire,
 - ruine ou brèche se produisant **instantanément** dans le calcul,
 - prise en compte après ruine ou brèche de la cote du terrain naturel ou de la route située immédiatement en arrière de la protection initiale.
- secteur estuarien avec houle :
 - ruine ou effacement se produisant **à pleine charge pour les digues en bon état et à pleine charge moins 20 cm pour les digues en état moyen ou dégradé**,
 - ruine ou brèche se produisant **instantanément** dans le calcul,
 - prise en compte après ruine ou brèche de la cote du terrain naturel ou de la route située immédiatement en arrière de la protection initiale.
- secteur estuarien sans houle :
 - ruine ou effacement se produisant **à pleine charge plus 20 cm pour les digues en bon état et à pleine charge pour les digues en état moyen ou dégradé**,
 - ruine ou brèche se produisant **instantanément** dans le calcul,
 - prise en compte après ruine ou brèche de la cote du terrain naturel ou de la route située immédiatement en arrière de la protection initiale.

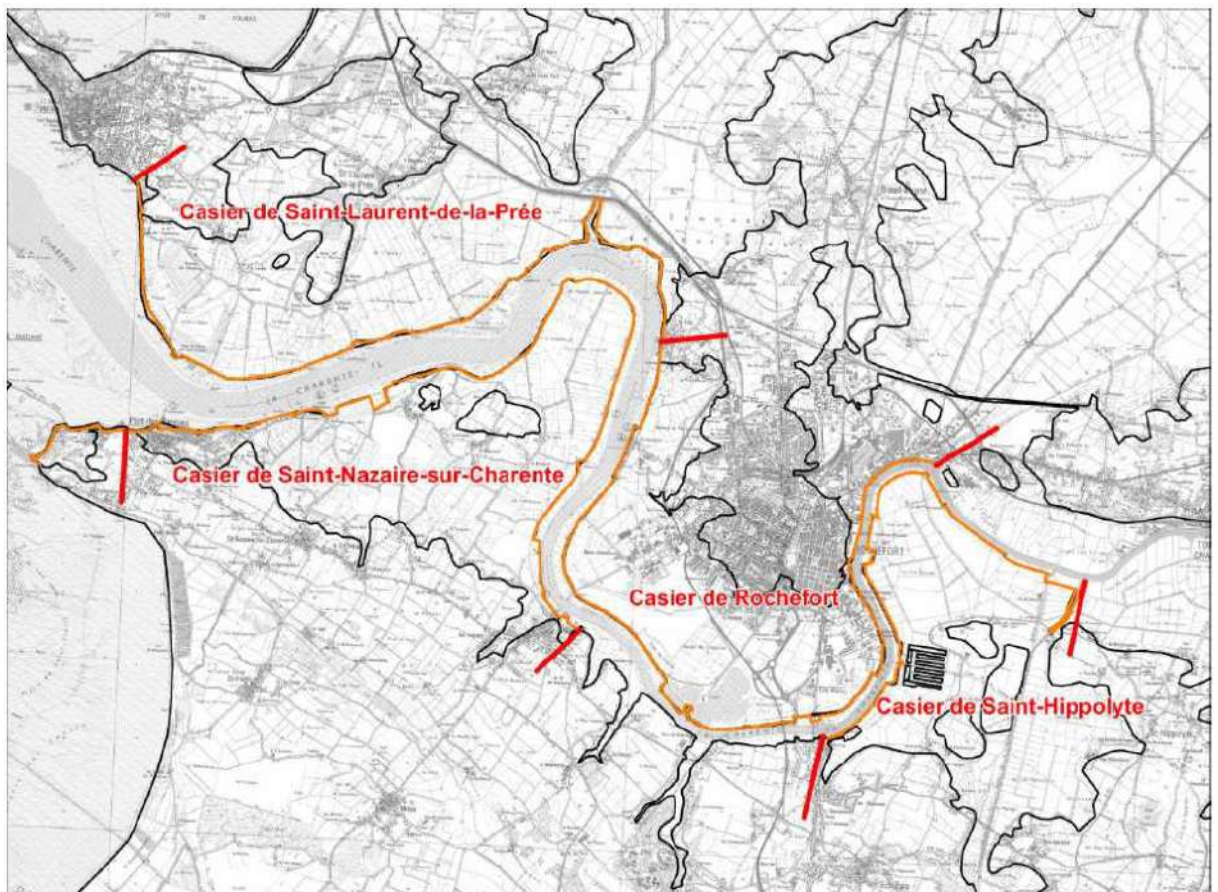
Cette dynamique et ce scénario de rupture (brèche ou ruine) sont donc appliqués selon la situation et la longueur indiquées dans le tableau de l'annexe 6 de l'ensemble des ouvrages, pour tous les calculs réalisés ci-après.

9.5. SCÉNARIOS DE MISE EN ŒUVRE DES DÉFAILLANCES

D'après les résultats de l'étude du Programme d'Actions de Protection contre les Inondations (PAPI) de l'Estuaire de la Charente, l'effacement des protections sur l'ensemble de l'estuaire majeure énormément le volume entrant à l'intérieur de l'estuaire par diminution de la perte de charge à l'embouchure.

C'est pourquoi il a été retenu de décomposer les scénarios de défaillance afin de ne pas trop surévaluer le risque submersion sur le secteur d'étude.

Sur l'estuaire, quatre grands secteurs dénommés casiers hydrauliques ont été identifiés. Afin de quantifier les aléas sur ce bassin de risque, les défaillances des digues n'ont pas été appliquées simultanément sur l'ensemble des casiers. Les quatre casiers hydrauliques sont délimités sur la figure ci-dessous :



Localisation des casiers hydrauliques

Au final, 5 simulations des événements Xynthia + 20 cm et Xynthia + 60 cm ont été réalisés pour déterminer les aléas de référence :

- 4 calculs avec des défaillances sur un casier hydraulique,
- un calcul avec des défaillances sur les autres secteurs (Point de la Fumée, secteur ouest de Port-des-Barques et île Madame).

10. CARTOGRAPHIE DES DEUX ALÉAS DE RÉFÉRENCE DU FUTUR PPRN

Les différentes limites des paramètres retenues pour les cartographies des hauteurs (0,5 et 1 m) et des vitesses (0,20 et 0,05 m/s) présentées dans les paragraphes suivants ont été identifiées en concertation notamment avec les services de la DDTM qui s'appuient, pour les définir, sur les préconisations émises dans le cadre de la dernière circulaire de juillet 2011 qui traite de ces sujets.

10.1. CARTOGRAPHIE DES HAUTEURS D'EAU

Pour les deux scénarios alliant conditions hydrométéorologiques et prise en compte de la protection décrits précédemment, il a été réalisé, sur la base des résultats détaillés issus du modèle, un Modèle Numérique de Terrain (MNT) décrivant le plan d'eau maximal obtenu en tout point de calcul.

Les deux plans d'eau ainsi générés identifient donc les niveaux pour :

- l'aléa à court terme (Xynthia +20 cm au large), avec les brèches et les ruines décrites dans le tableau de l'annexe n°6,
- l'aléa à 100 ans (Xynthia +60 cm au large), avec les brèches et les ruines décrites en dernière colonne du tableau de l'annexe n°6.

10.2. CARTOGRAPHIE DES VITESSES D'ÉCOULEMENT

Pour les deux mêmes scénarios décrits précédemment, il a été extrait des résultats détaillés du modèle une cartographie des vitesses sur support SCAN 25 (comme pour les hauteurs).

Notons ici que, compte tenu du fait que les bâtiments ne sont pas décrits dans le modèle comme des obstacles en dur, la cartographie présentée doit être, dans les zones densément urbanisées, prise en compte comme identifiant ce paramètre à échelle globale et donc sans détailler les sur-vitesses ou zones d'ombre qui pourraient être très localement identifiées en considérant, avec un détail adapté, le bâti présent dans la zone.

10.3. CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA DE RÉFÉRENCE

Le tableau suivant, issu des directives nationales prises en considération par les services de l'État (notamment la circulaire du 27 juillet 2011), identifie le croisement adopté pour décrire le territoire en termes d'aléa :

Définition de l'aléa par croisement des vitesses et des hauteurs d'eau

Hauteur d'eau Vitesse*	0 à 0,50 m	0,50 à 1 m	Supérieure à 1 m
0 à 0,20 m/s	Faible	Modéré	Fort
0,20 à 0,50 m/s	Modéré	Modéré	Fort
Supérieure à 0,50 m/s	Fort	Fort	Très fort

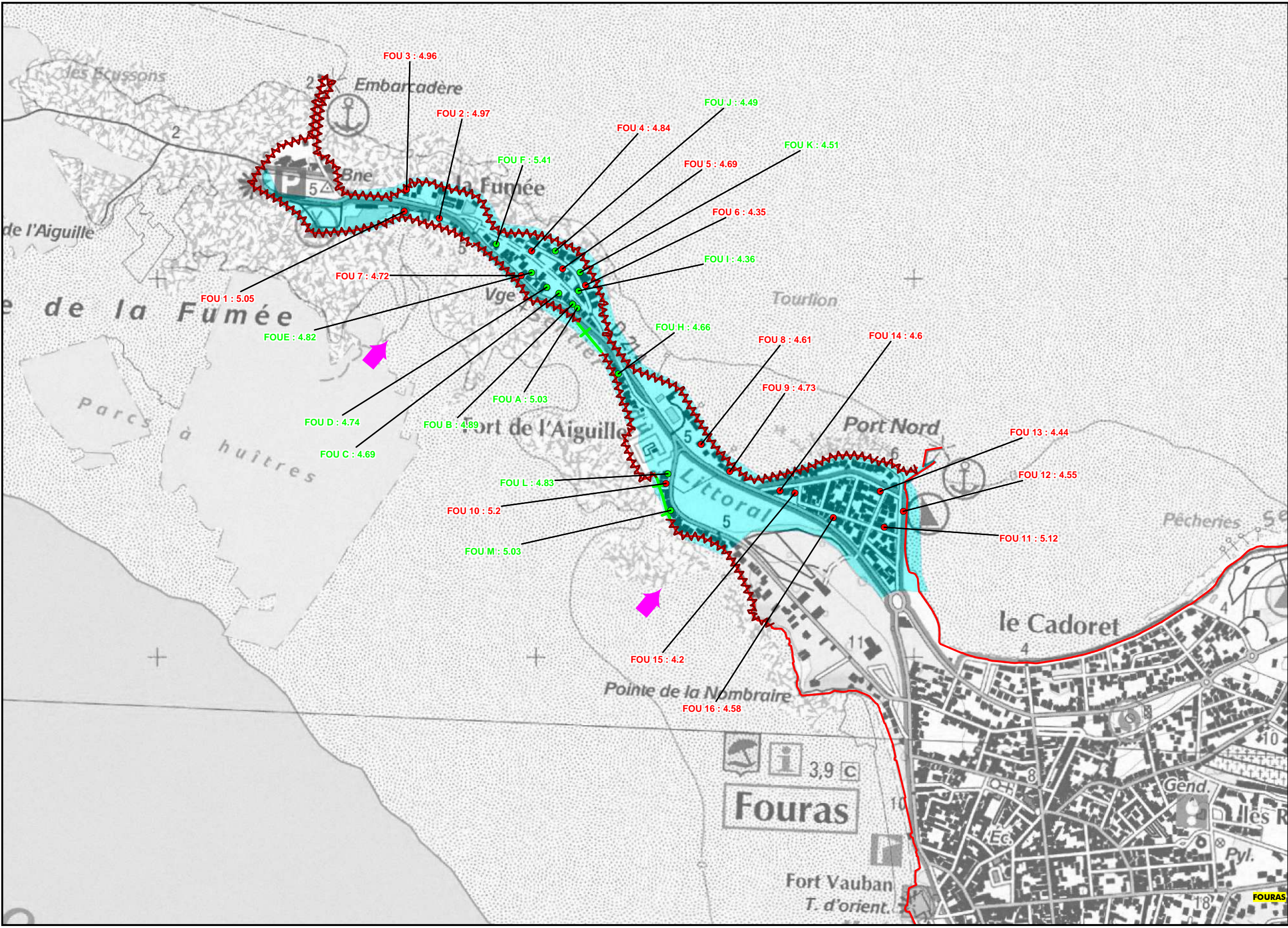
Notons ici que les résultats bruts, obtenus directement par exploitation informatique, ont été lissés et confrontés à la topographie fine issue du Litto3D, pour pouvoir être portées au final sur des plans cadastraux à échelle exploitable.

Ce travail a été réalisé pour les 3 paramètres représentés : la hauteur d'eau, la vitesse et l'aléa.

SECTION 4

ANNEXES

ANNEXE 0
Retour d'EXpérience de Xynthia



LEGENDE

- Zone submergée et/ou inondée selon l'expertise Sogreah
- Limite de commune
- Linéaire des protections (Recensement non exhaustif)

Repères des niveaux d'eau (en m NGF) :

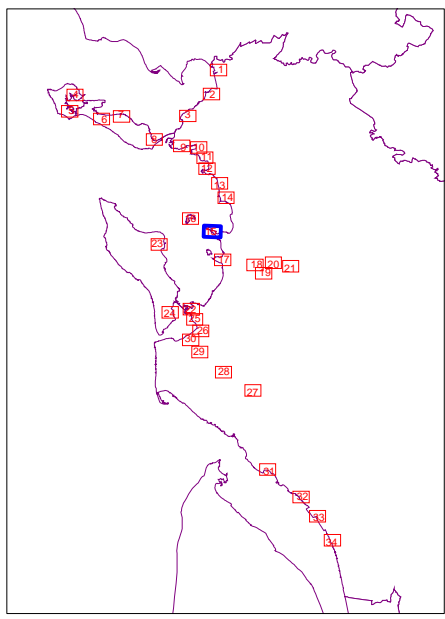
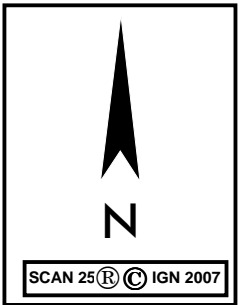
- XXX : 3.68 Source DDTM ou mairie
- 3.68 Source CDA de La Rochelle
- XXX : 3.68 Source Sogreah

Dégradations sur les protections
(explication détaillée dans le texte)

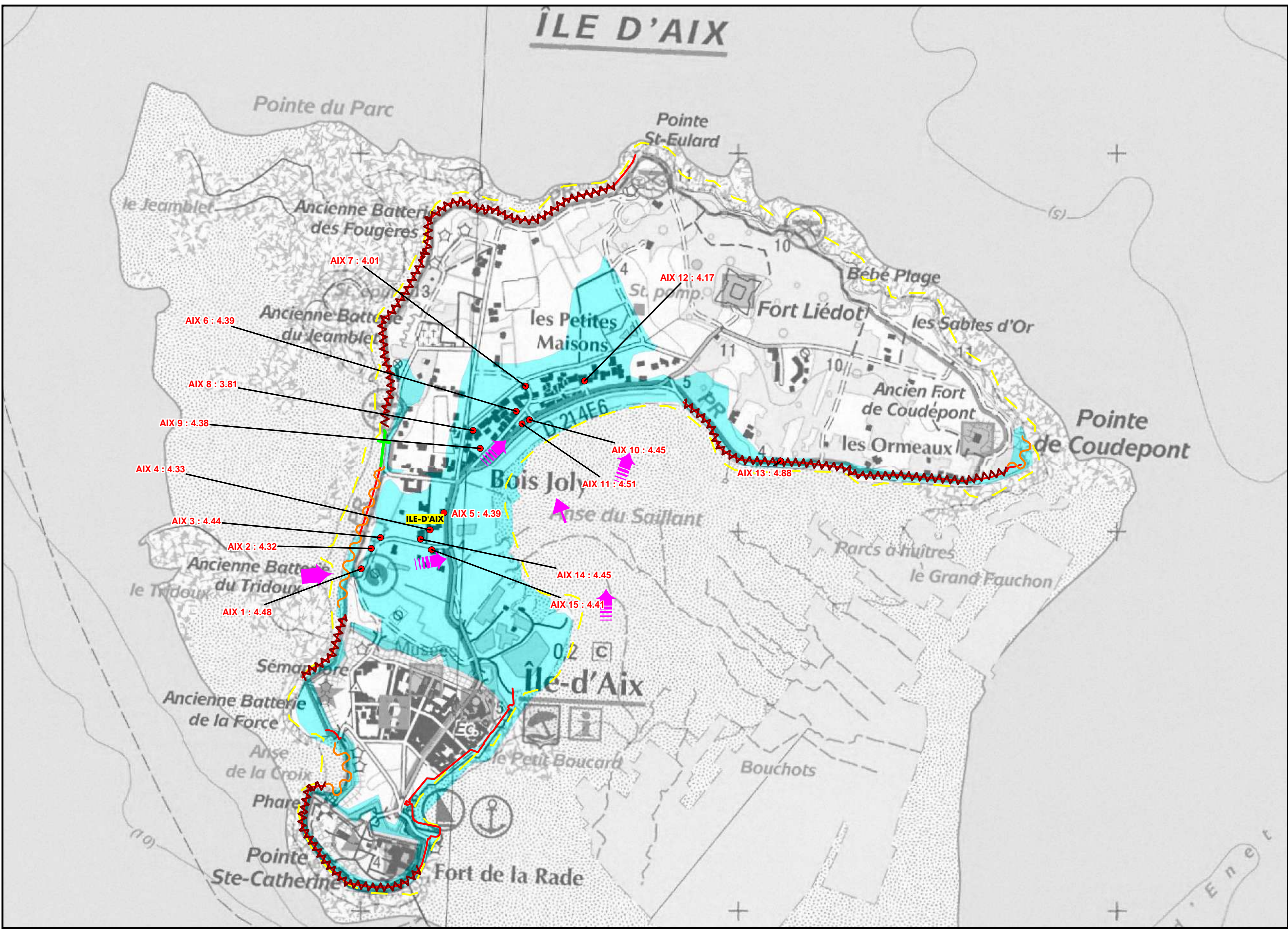
- Brèche localisée
- Erosion ou recul de la protection naturelle
- Erosion avec dégradations ponctuelles
- Dégradations multiples

Sens et dynamique d'écoulement :

- Fort
- Moyen
- Faible

DIRECTION DEPARTEMENTALE DES TERRITOIRES ET DE LA MER DE LA CHARENTE MARITIME				
Élaboration d'un document "Éléments de mémoire et retour d'expérience" de l'événement XYNTHIA				
	Affaire N° : 4311608	Mars 2011	Echelle : 1/10 000	Planche n°15

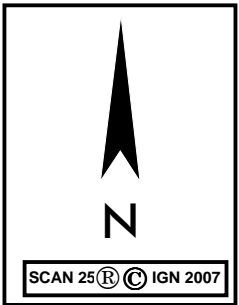
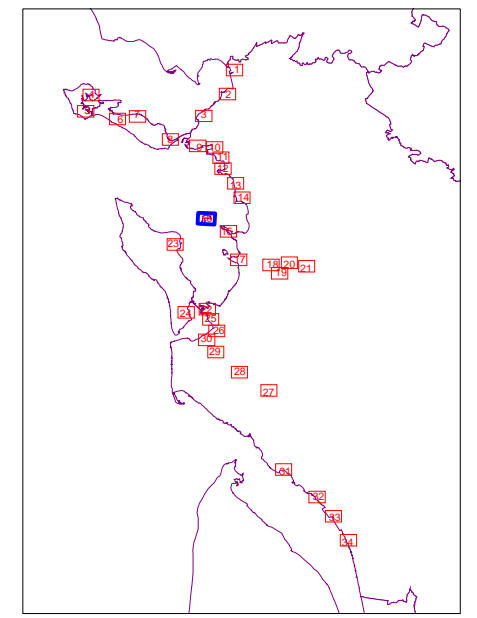


LEGENDE

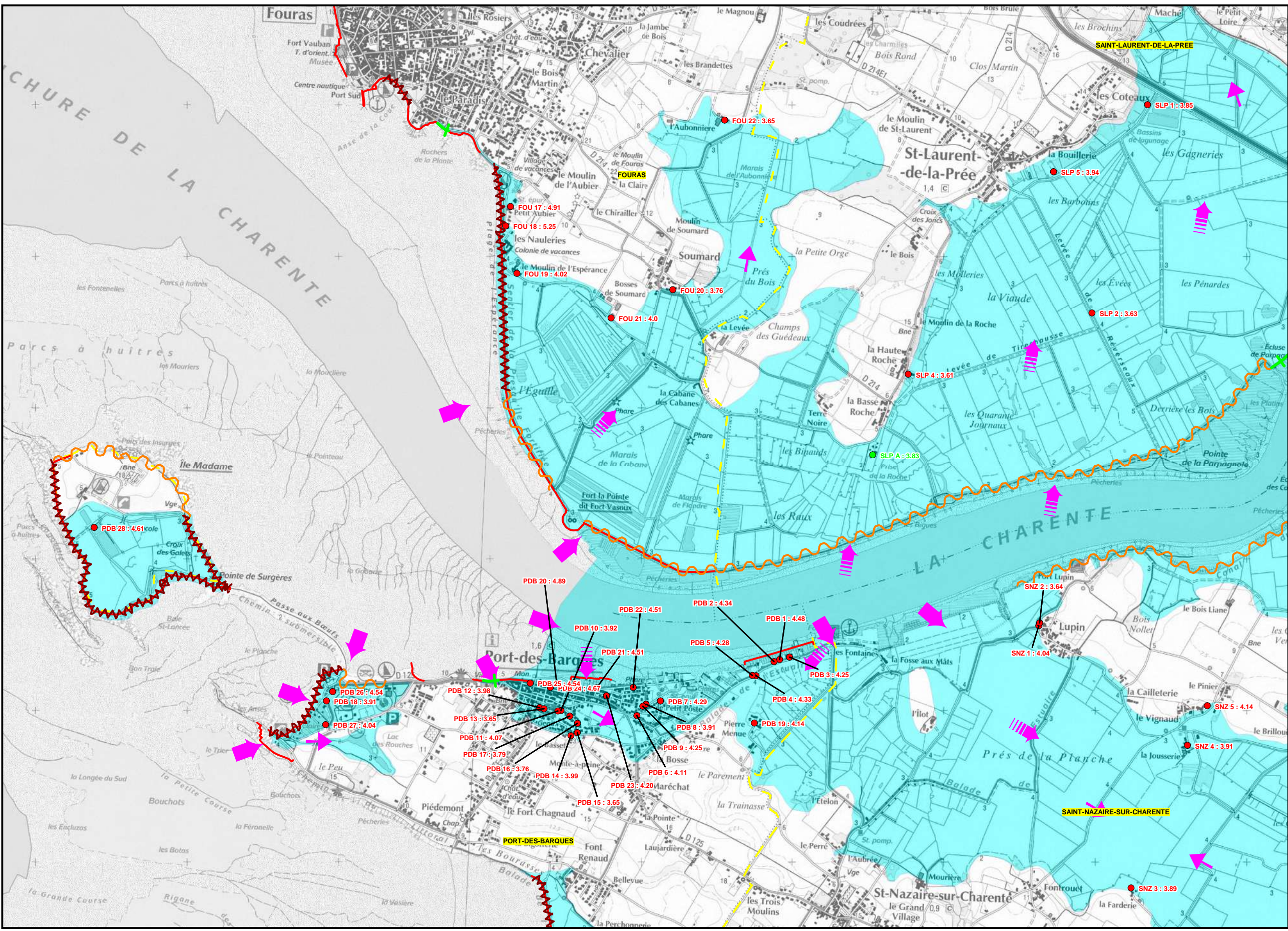
- Zone submergée et/ou inondée selon l'expertise Sogreah
 - Limite de commune
 - Linéaire des protections (Recensement non exhaustif)
- Repères des niveaux d'eau (en m NGF) :**
- XXX : 3.68 Source DDTM ou mairie
 - 3.68 Source CDA de La Rochelle
 - XXX : 3.68 Source Sogreah
- Dégradations sur les protections (explication détaillée dans le texte)**
- + Brèche localisée
 - ~ Erosion ou recul de la protection naturelle
 - ~ Erosion avec dégradations ponctuelles
 - ~ Dégradations multiples

Sens et dynamique d'écoulement :

- Fort
- |||➤ Moyen
- Faible



DIRECTION DEPARTEMENTALE DES TERRITOIRES ET DE LA MER DE LA CHARENTE MARITIME				
Élaboration d'un document "Éléments de mémoire et retour d'expérience" de l'événement XYNTHIA				
	Affaire N° : 4311608	Mars 2011	Echelle : 1/10 000	Planche n°16

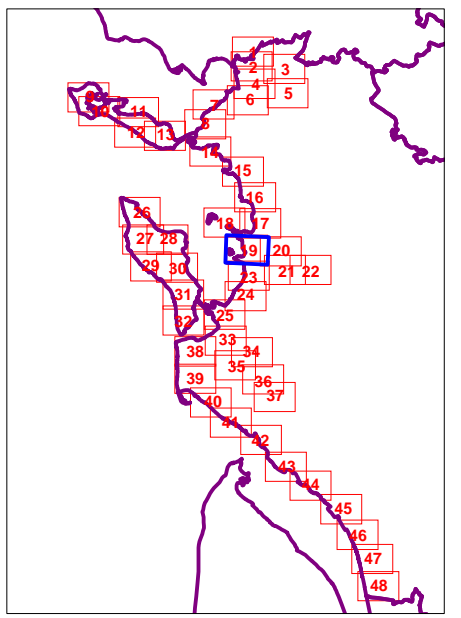


LEGENDE

- Zone submergée et/ou inondée selon l'expertise Sogreah
- Limite de commune
- Linéaire des protections (Recensement non exhaustif)
- Repères des niveaux d'eau (en m NGF) :**
- XXX : 3.68 Source DDTM ou mairie
- 3.68 Source CDA de La Rochelle
- XXX : 3.68 Source Sogreah
- Dégradations sur les protections (explication détaillée dans le texte)**
- + Brèche localisée
- ~ Erosion ou recul de la protection naturelle
- ~ Erosion avec dégradations ponctuelles
- ~ Dégradations multiples

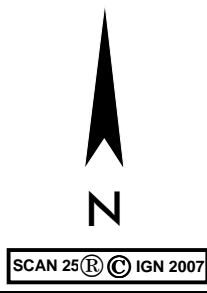
Sens et dynamique d'écoulement :

- ➡ Fort
- ⋮➡ Moyen
- ➡ Faible



DIRECTION DEPARTEMENTALE DES TERRITOIRES ET DE LA MER DE LA CHARENTE MARITIME

Élaboration d'un document "Éléments de mémoire et retour d'expérience" de l'événement XYNTHIA

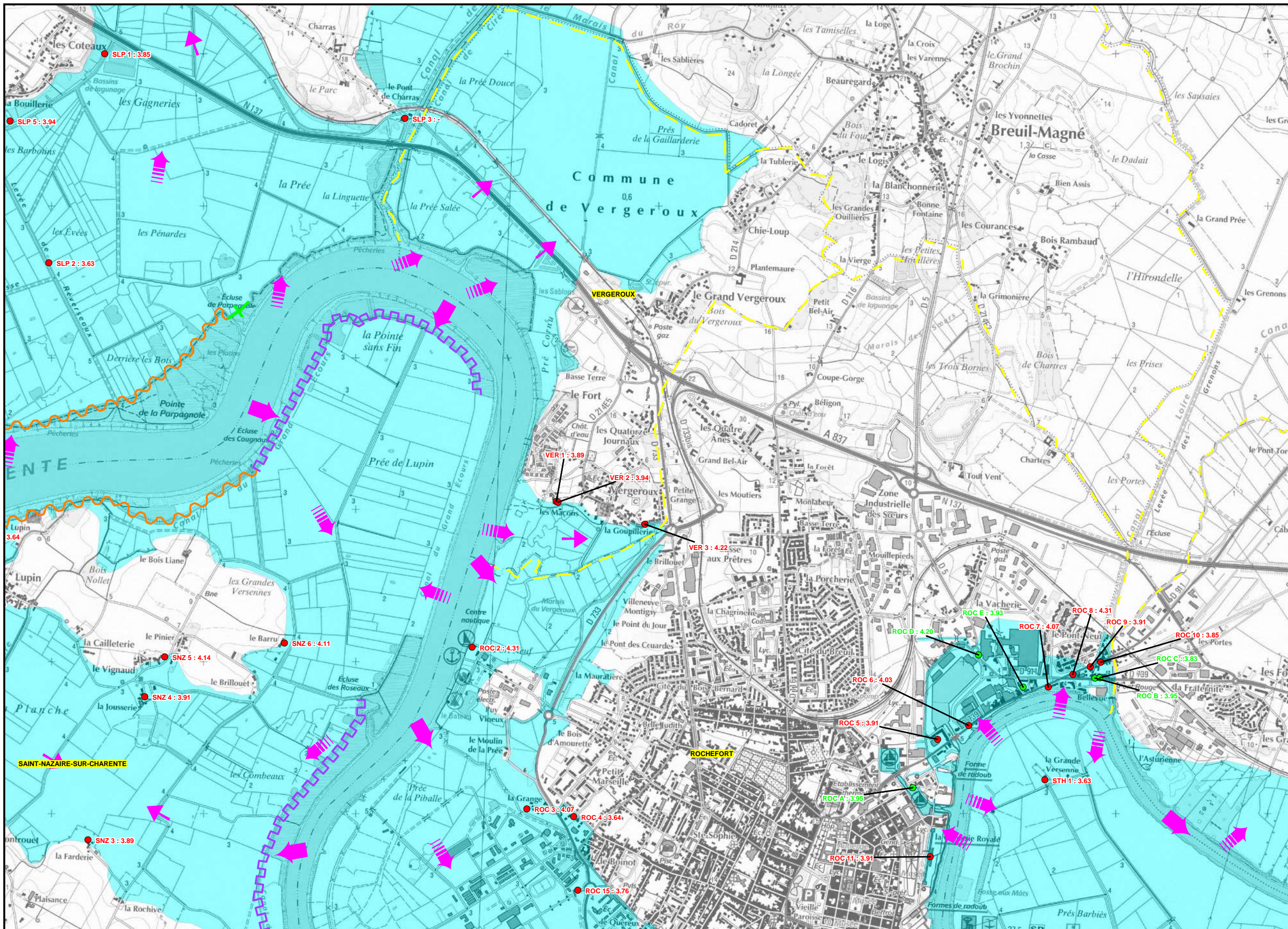


Affaire N° : 4311608

Mars 2011

Echelle : 1/25 000

Planche n° : 19



LEGENDE

- Zone submergée et/ou inondée selon l'expertise Sogreah
- Limite de commune
- Linéaire des protections (Recensement non exhaustif)

Repères des niveaux d'eau (en m NGF) :

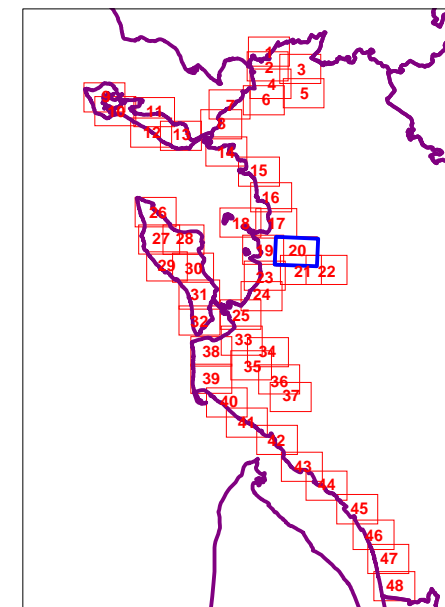
- XXX : 3.68 Source DDTM ou mairie
- 3.68 Source CDA de La Rochelle
- XXX : 3.68 Source Sogreah

Dégradations sur les protections
(explication détaillée dans le texte)

- + Brèche localisée
- ~ Erosion ou recul de la protection naturelle
- ~ Erosion avec dégradations ponctuelles
- ~ Dégradations multiples

Sens et dynamique d'écoulement :

- ➡ Fort
- ⦶ Moyen
- ➡ Faible



DIRECTION DEPARTEMENTALE DES TERRITOIRES ET DE LA MER DE LA CHARENTE MARITIME

Élaboration d'un document "Éléments de mémoire et retour d'expérience" de l'événement XYNTHIA



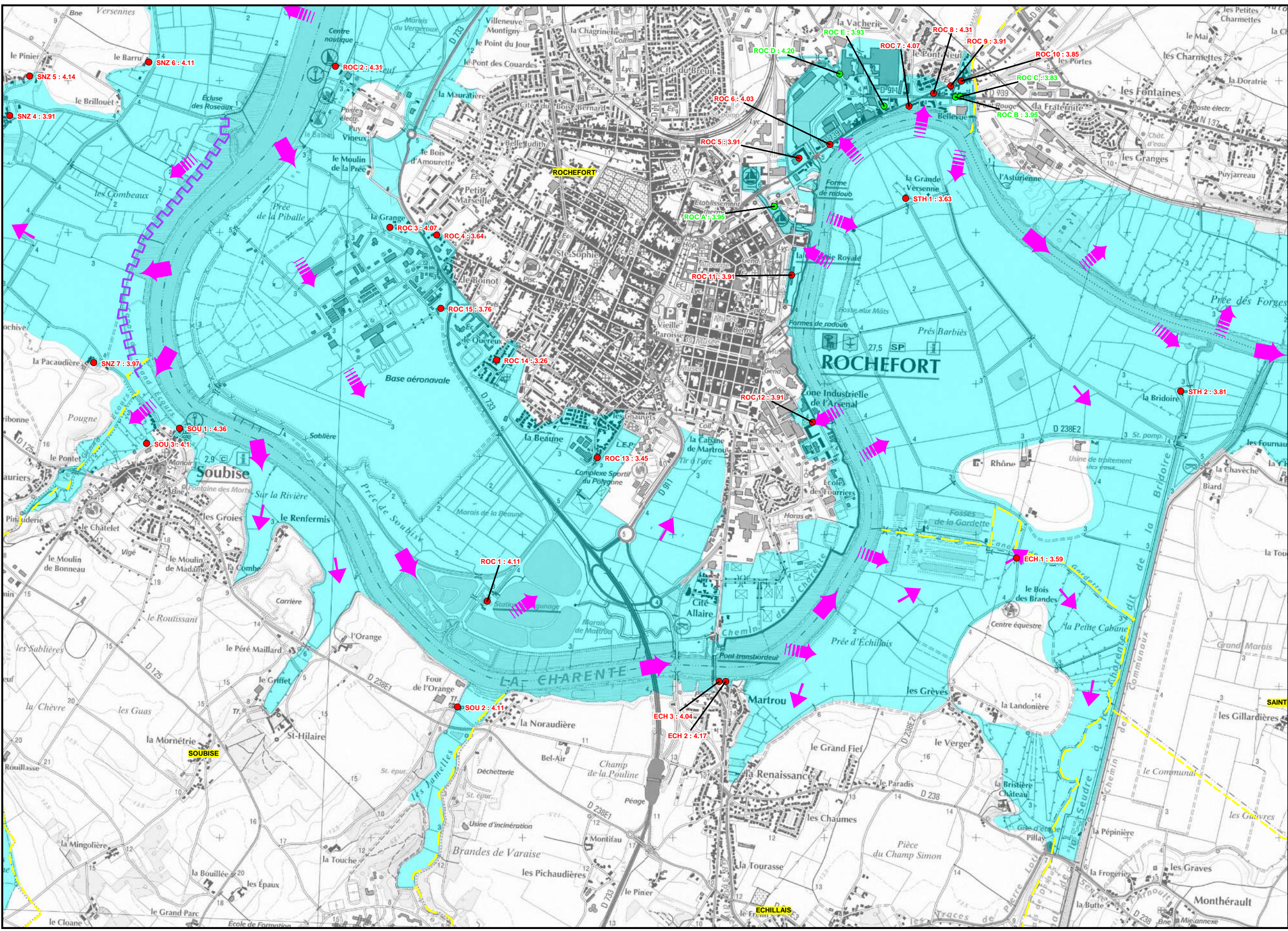
Affaire N° : 4311608

Mars 2011

Echelle : 1/25 000

Planche n° : 20



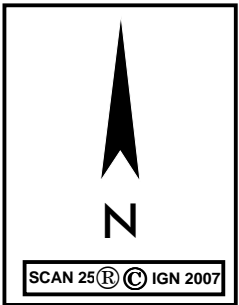
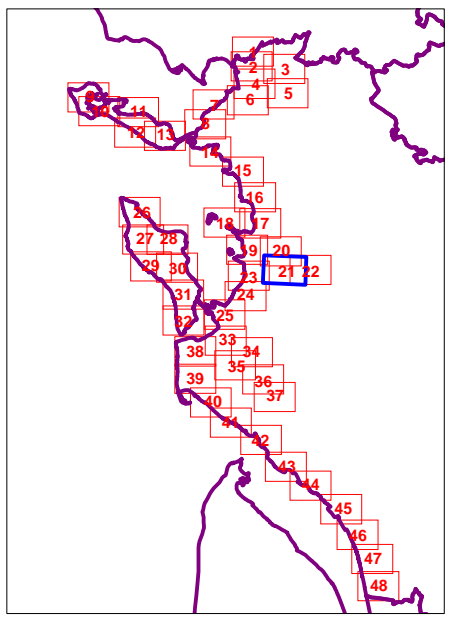


LEGENDE

- Zone submergée et/ou inondée selon l'expertise Sogreah
- Limite de commune
- Linéaire des protections (Recensement non exhaustif)
- Repères des niveaux d'eau (en m NGF) :**
- XXX : 3.68 Source DDTM ou mairie
- 3.68 Source CDA de La Rochelle
- XXX : 3.68 Source Sogreah
- Dégradations sur les protections (explication détaillée dans le texte)**
- + Brèche localisée
- ~ Erosion ou recul de la protection naturelle
- ~ Erosion avec dégradations ponctuelles
- ~ Dégradations multiples

Sens et dynamique d'écoulement :

- ➔ Fort
- ⦿ Moyen
- ➔ Faible



DIRECTION DEPARTEMENTALE DES TERRITOIRES ET DE LA MER DE LA CHARENTE MARITIME

Élaboration d'un document "Éléments de mémoire et retour d'expérience" de l'événement XYNTHIA

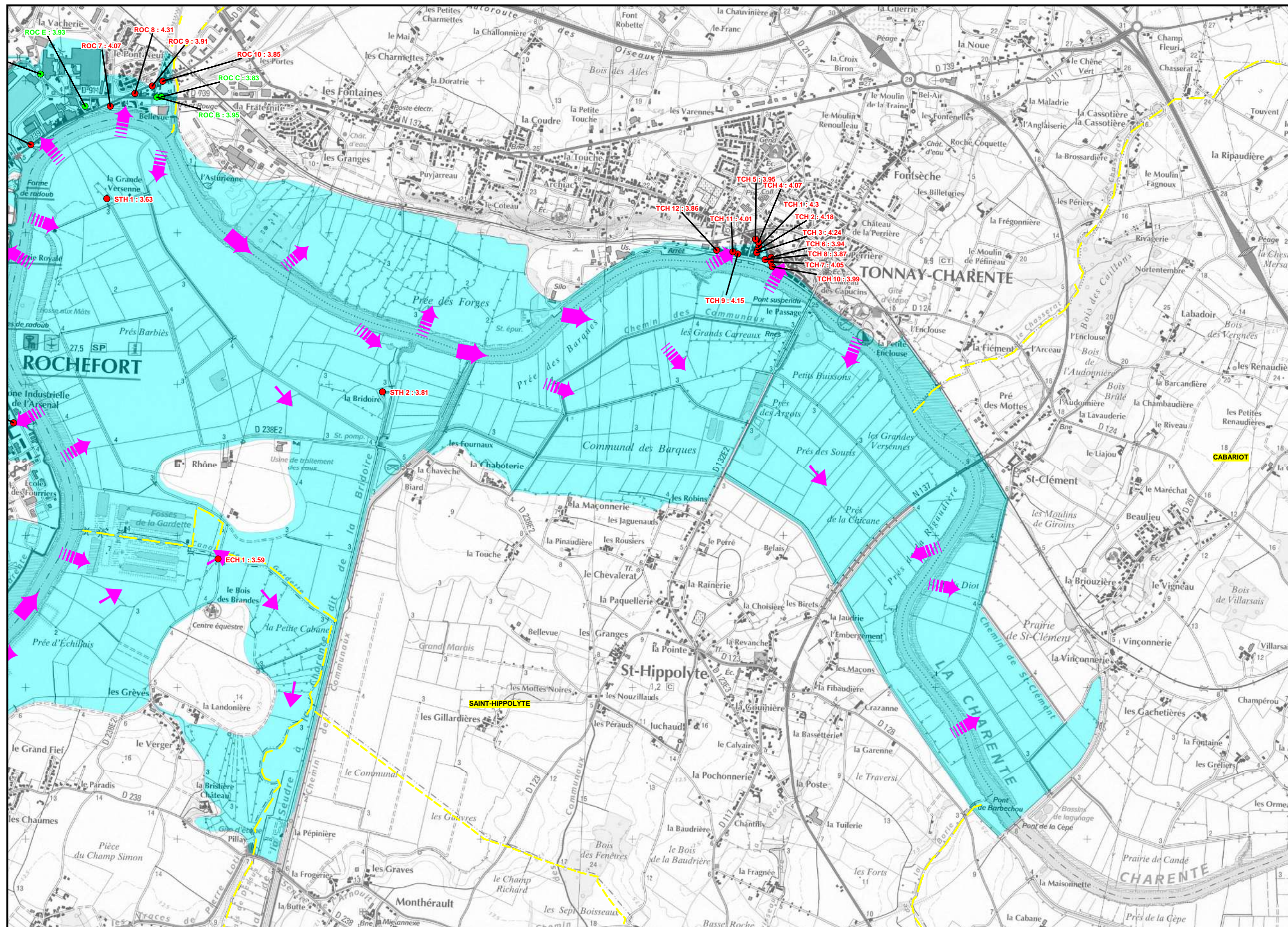


Affaire N° : 4311608

Mars 2011

Echelle : 1/25 000

Planche n° : 21

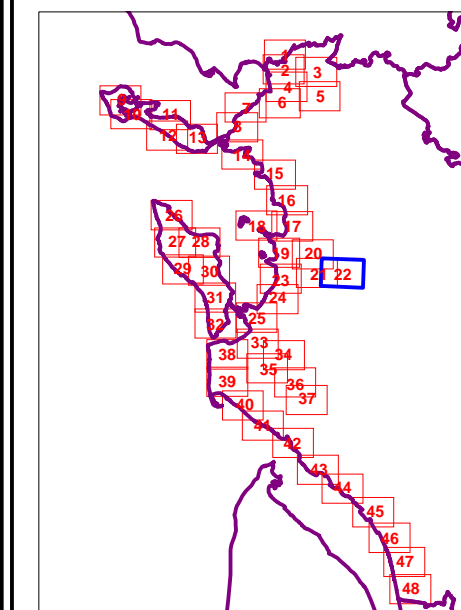


LEGENDE

- Zone submergée et/ou inondée selon l'expertise Sogreah
 - Limite de commune
 - Linéaire des protections (Recensement non exhaustif)
- Repères des niveaux d'eau (en m NGF) :**
- XXX : 3.68 Source DDTM ou mairie
 - 3.68 Source CDA de La Rochelle
 - XXX : 3.68 Source Sogreah
- Dégradations sur les protections**
(explication détaillée dans le texte)
- + Brèche localisée
 - ~ Erosion ou recul de la protection naturelle
 - ~ Erosion avec dégradations ponctuelles
 - ~ Dégradations multiples

Sens et dynamique d'écoulement :

- ➔ Fort
- ⦿ Moyen
- ➔ Faible



DIRECTION DEPARTEMENTALE DES TERRITOIRES ET DE LA MER DE LA CHARENTE MARITIME

Élaboration d'un document "Éléments de mémoire et retour d'expérience" de l'événement XYNTHIA



Affaire N° : 4311608

Mars 2011

Echelle : 1/25 000






Planche n° : 22

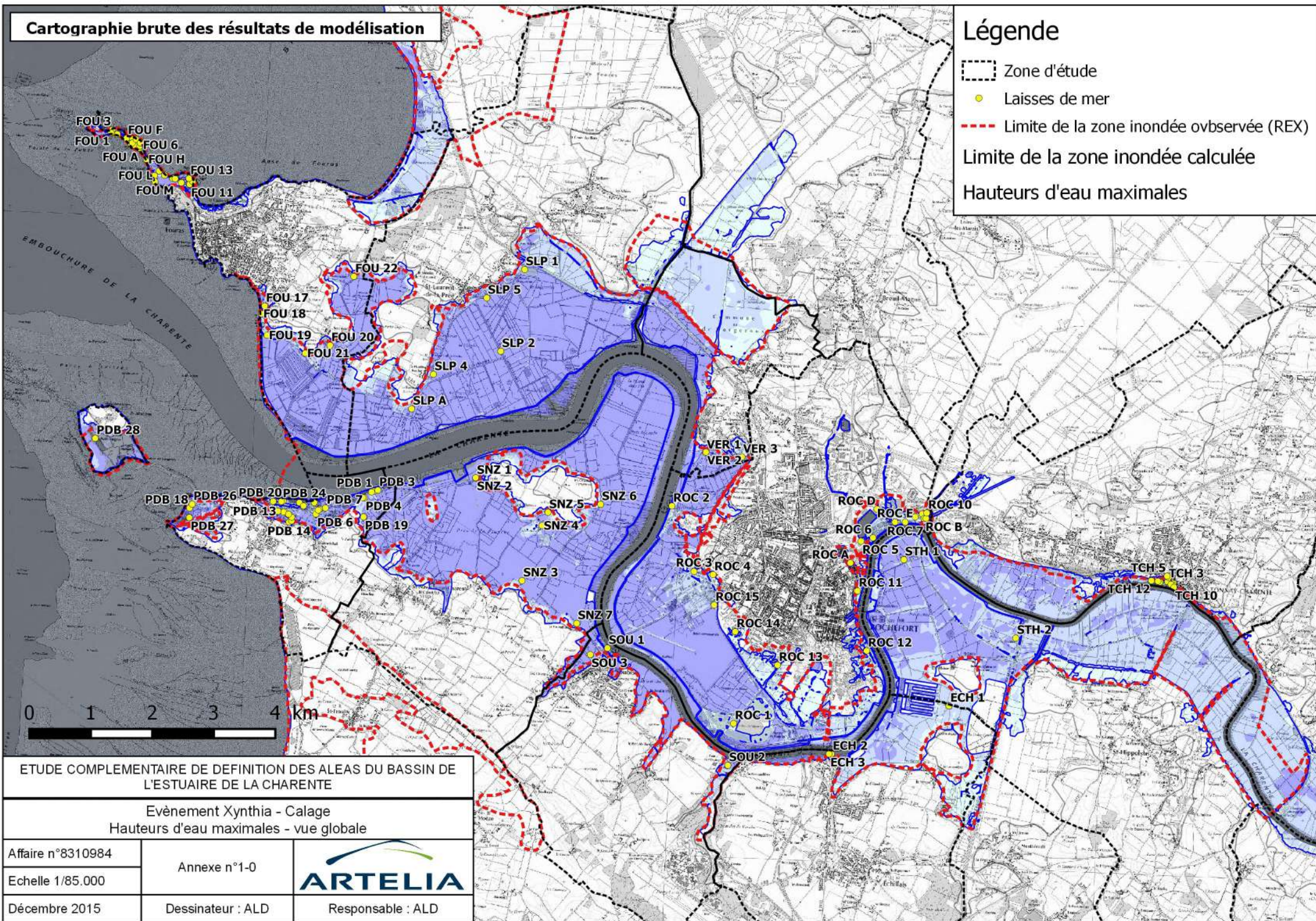
ANNEXE 1

Calage de Xynthia – Hauteurs d'eau

Cartographie brute des résultats de modélisation


Légende

-  Zone d'étude
-  Laisses de mer
-  Limite de la zone inondée observée (REX)
-  Limite de la zone inondée calculée
-  Hauteurs d'eau maximales

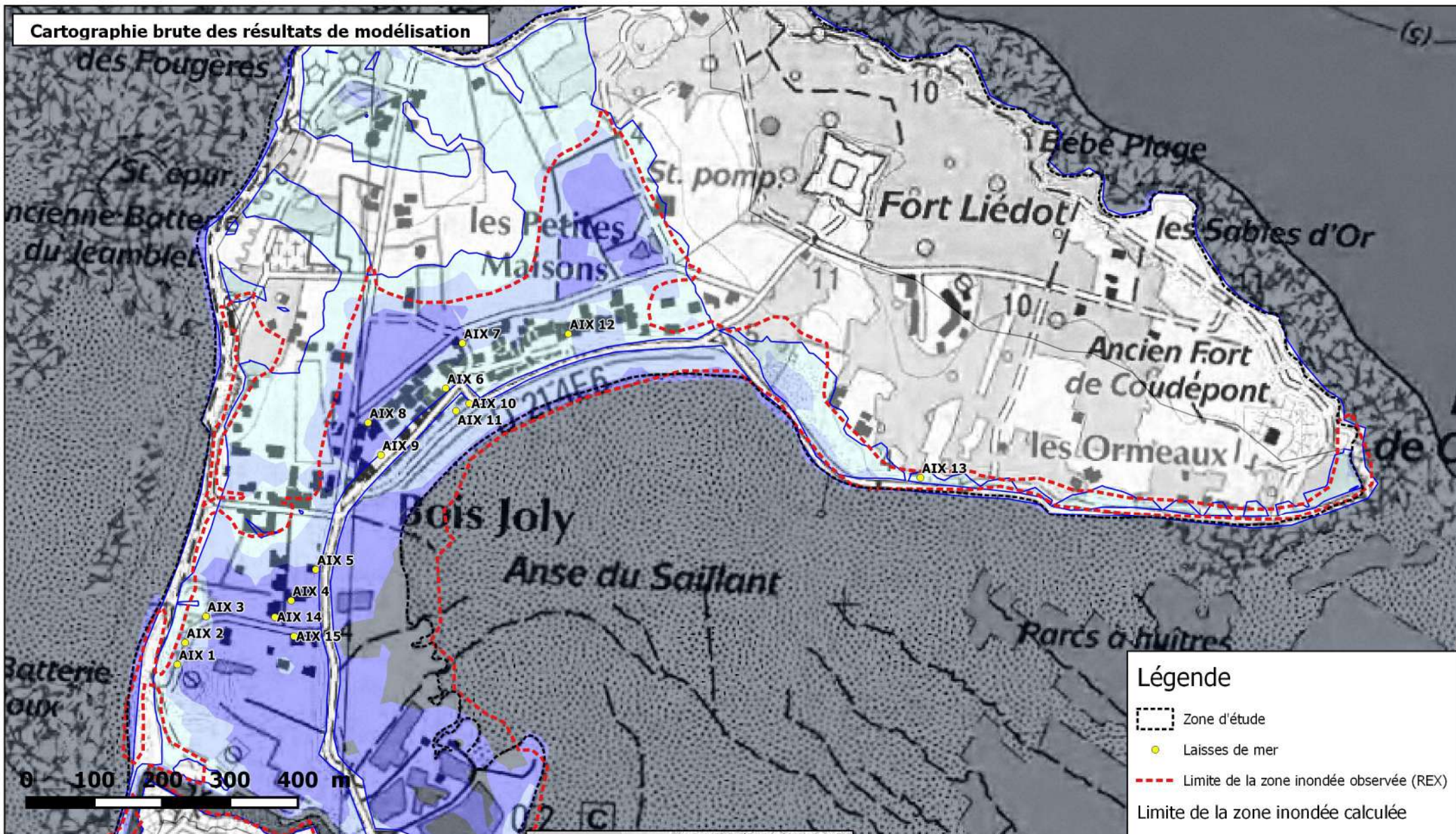


ETUDE COMPLEMENTAIRE DE DEFINITION DES ALEAS DU BASSIN DE L'ESTUAIRE DE LA CHARENTE

Evénement Xynthia - Calage
Hauteurs d'eau maximales - vue globale

Affaire n°8310984	Annexe n°1-0	
Echelle 1/85.000		
Décembre 2015	Dessinateur : ALD	Responsable : ALD

Cartographie brute des résultats de modélisation



ETUDE COMPLEMENTAIRE DE DEFINITION DES ALEAS DU BASSIN DE L'ESTUAIRE DE LA CHARENTE

Evènement Xynthia - Calage
Hauteurs d'eau maximales - zooms

Affaire n°8310984

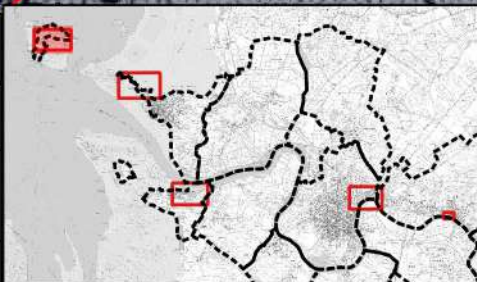
Annexe n°1-1



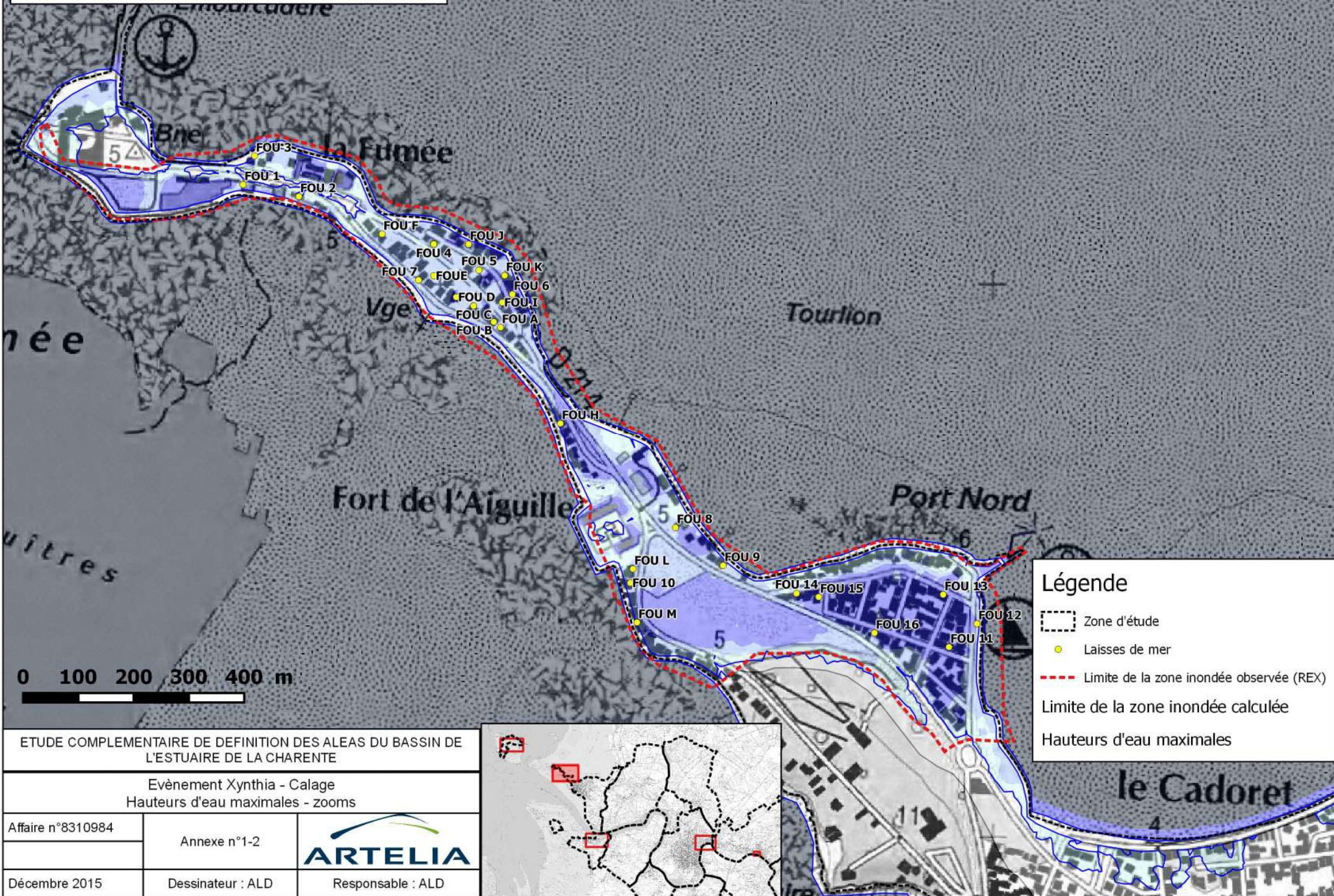
Décembre 2015

Dessinateur : ALD

Responsable : ALD



Cartographie brute des résultats de modélisation



Légende

- Zone d'étude
- Laisses de mer
- Limite de la zone inondée observée (REX)
- Limite de la zone inondée calculée
- Hauteurs d'eau maximales

ETUDE COMPLEMENTAIRE DE DEFINITION DES ALEAS DU BASSIN DE L'ESTUAIRE DE LA CHARENTE

Evènement Xynthia - Calage
Hauteurs d'eau maximales - zooms

Affaire n°8310984

Annexe n°1-2

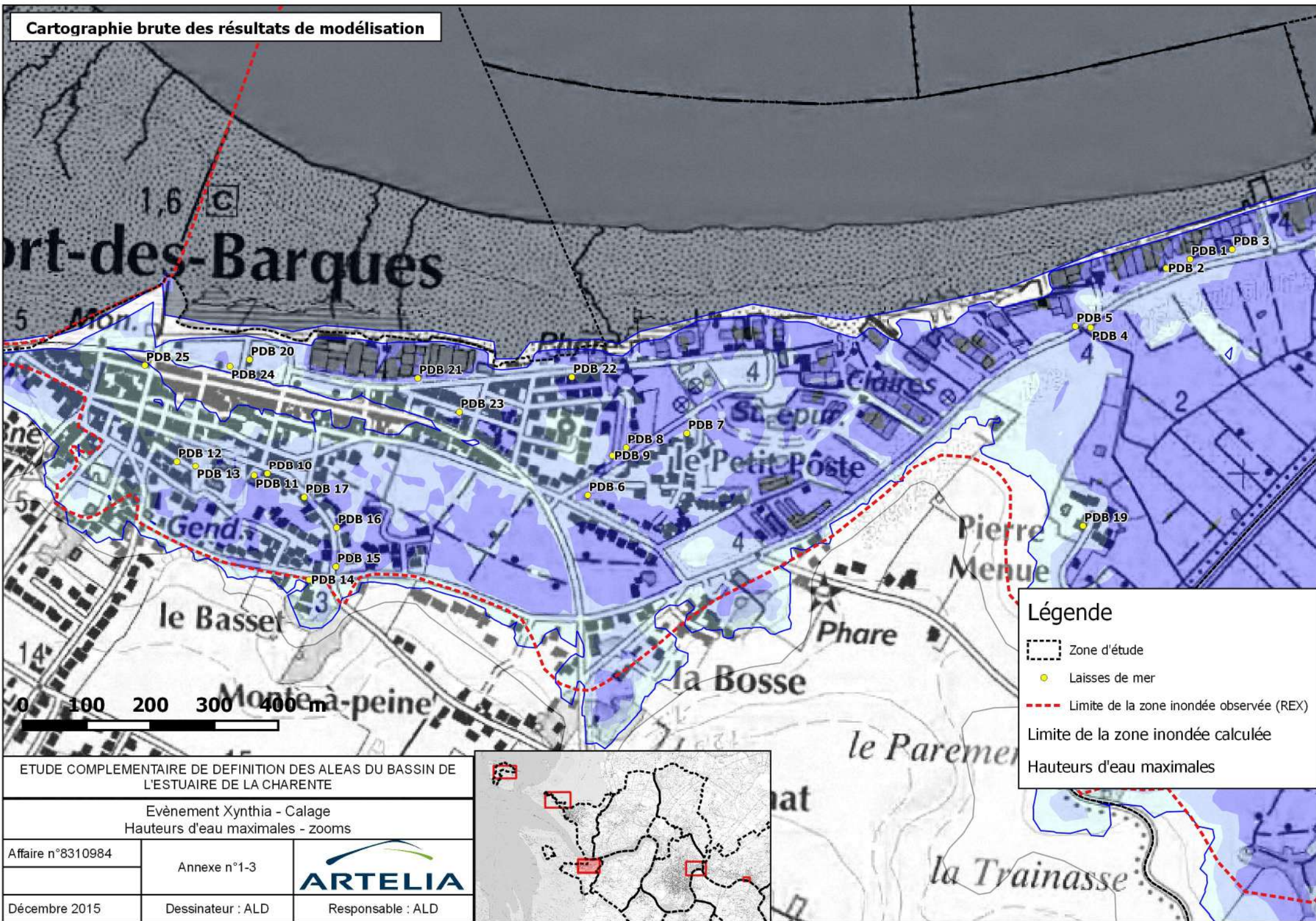


Décembre 2015

Dessinateur : ALD

Responsable : ALD

Cartographie brute des résultats de modélisation



Légende

- Zone d'étude
- Laisses de mer
- Limite de la zone inondée observée (REX)
- Limite de la zone inondée calculée
- Hauteurs d'eau maximales

ETUDE COMPLEMENTAIRE DE DEFINITION DES ALEAS DU BASSIN DE L'ESTUAIRE DE LA CHARENTE

Evènement Xynthia - Calage
Hauteurs d'eau maximales - zooms

Affaire n°8310984

Annexe n°1-3

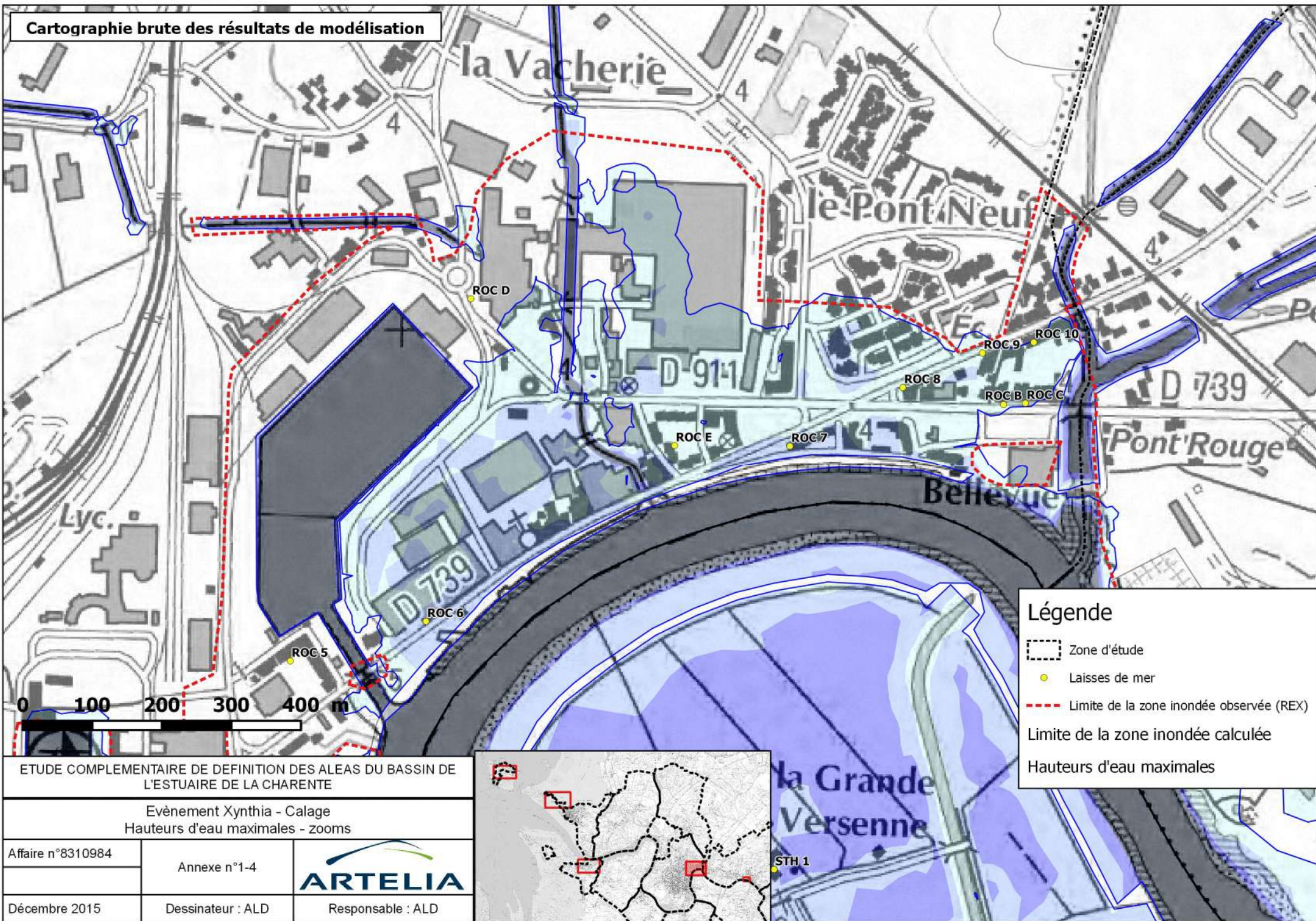


Décembre 2015

Dessinateur : ALD

Responsable : ALD

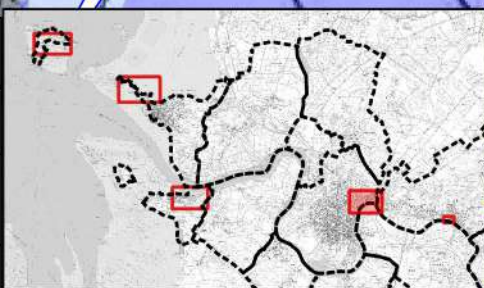
Cartographie brute des résultats de modélisation



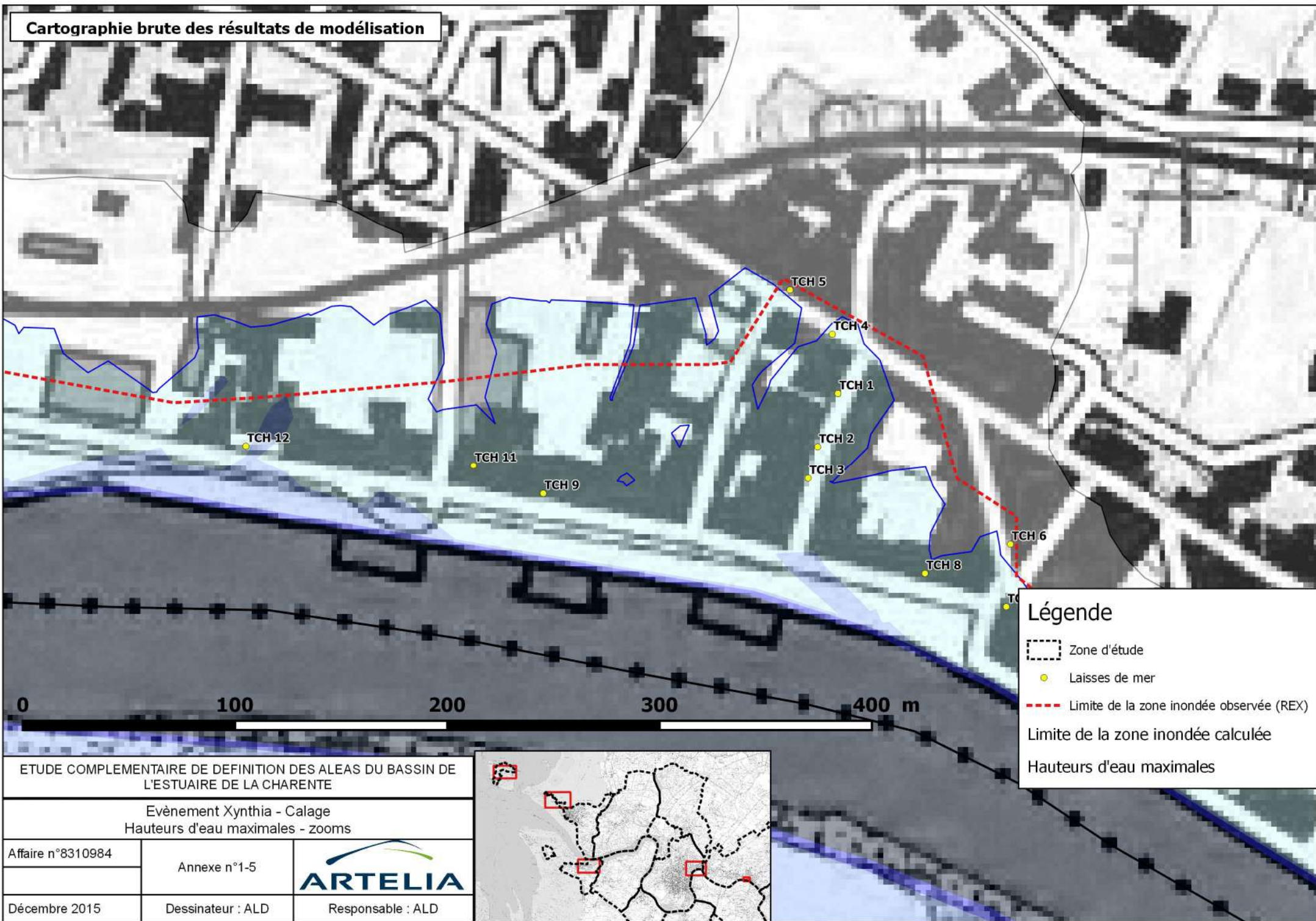
ETUDE COMPLEMENTAIRE DE DEFINITION DES ALEAS DU BASSIN DE L'ESTUAIRE DE LA CHARENTE

Evènement Xynthia - Calage
Hauteurs d'eau maximales - zooms

Affaire n°8310984	Annexe n°1-4	
Décembre 2015	Dessinateur : ALD	
	Responsable : ALD	



Cartographie brute des résultats de modélisation



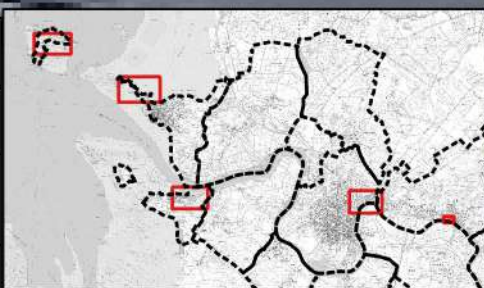
Légende

- Zone d'étude
- Laisses de mer
- Limite de la zone inondée observée (REX)
- Limite de la zone inondée calculée
- Hauteurs d'eau maximales

ETUDE COMPLEMENTAIRE DE DEFINITION DES ALEAS DU BASSIN DE L'ESTUAIRE DE LA CHARENTE

Evènement Xynthia - Calage
Hauteurs d'eau maximales - zooms

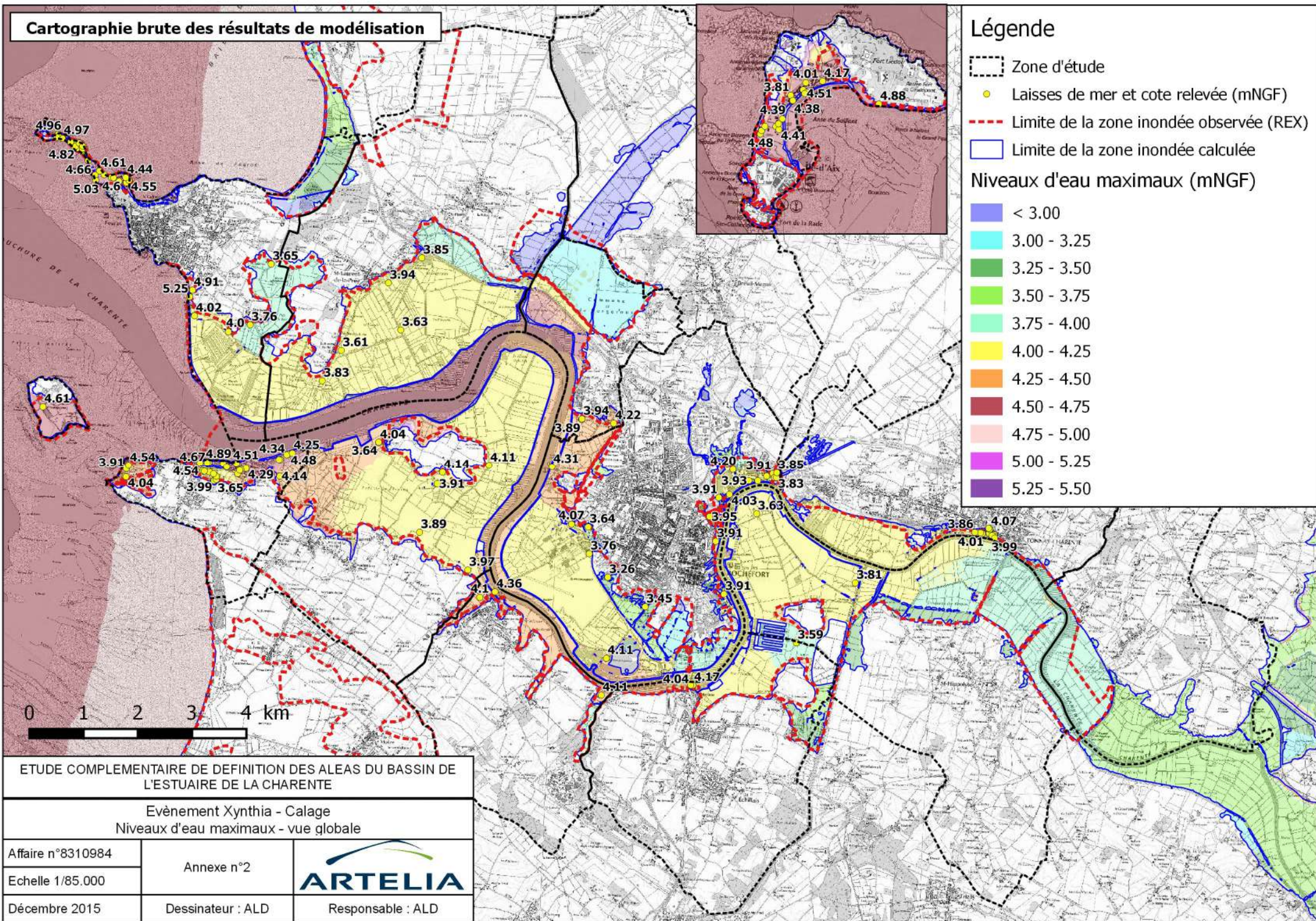
Affaire n°8310984	Annexe n°1-5	
Décembre 2015		



ANNEXE 2

Calage de Xynthia – Niveaux d'eau

Cartographie brute des résultats de modélisation

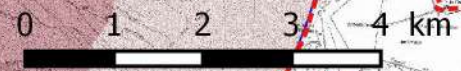


Légende

- Zone d'étude
- Laises de mer et cote relevée (mNGF)
- Limite de la zone inondée observée (REX)
- Limite de la zone inondée calculée

Niveaux d'eau maximaux (mNGF)

- < 3.00
- 3.00 - 3.25
- 3.25 - 3.50
- 3.50 - 3.75
- 3.75 - 4.00
- 4.00 - 4.25
- 4.25 - 4.50
- 4.50 - 4.75
- 4.75 - 5.00
- 5.00 - 5.25
- 5.25 - 5.50



ETUDE COMPLEMENTAIRE DE DEFINITION DES ALEAS DU BASSIN DE L'ESTUAIRE DE LA CHARENTE

Evènement Xynthia - Calage
Niveaux d'eau maximaux - vue globale

Affaire n°8310984	Annexe n°2	
Echelle 1/85.000		
Décembre 2015	Dessinateur : ALD	Responsable : ALD

ANNEXE 3

Calage de Xynthia – Tableau des laisses de crues

Nom	X	Y	Cote relevée (mNGF)	Cote calculée (mNGF)	Ecart (m)
AIX 1	328002.9982	118902.2767	4.48	4.41	-0.07
AIX 10	328447.0616	119296.847	4.45	4.52	0.07
AIX 11	328427.5852	119285.9631	4.51	4.52	0.01
AIX 12	328593.1351	119399.4994	4.17	4.38	0.21
AIX 13	329112.4694	119187.5496	4.88	4.74	-0.14
AIX 14	328160.4139	118980.9845	4.45	4.49	0.04
AIX 15	328188.712	118952.6864	4.41	4.50	0.09
AIX 2	328029.6924	118956.1234	4.32	4.44	0.12
AIX 3	328054.3244	118985.1089	4.44	4.43	-0.01
AIX 4	328184.473	119005.2728	4.33	4.51	0.18
AIX 5	328220.6763	119050.8707	4.39	4.50	0.11
AIX 6	328412.3477	119319.1876	4.39	4.65	0.26
AIX 7	328436.9797	119385.7513	4.01	4.27	0.26
AIX 8	328298.0094	119268.5488	3.81	4.40	0.59
AIX 9	328316.913	119220.8888	4.38	4.56	0.18
ECH 1	346268.8313	107846.9755	3.59	3.87	0.28
ECH 2	344359.1064	107066.542	4.17	4.24	0.07
ECH 3	344320.1534	107066.542	4.04	4.24	0.20
FOU 1	332651.9164	117177.9219	5.05	4.69	-0.36
FOU 10	333344.2475	116458.3237	5.2	4.77	-0.43
FOU 11	333920.8655	116342.496	5.12	4.68	-0.44
FOU 12	333971.3898	116384.6568	4.55	4.67	0.12
FOU 13	333910.3253	116437.2433	4.44	4.69	0.25
FOU 14	333645.2162	116439.3055	4.6	4.72	0.12
FOU 15	333685.2003	116433.0043	4.2	4.73	0.53
FOU 16	333786.1342	116367.8154	4.58	4.70	0.12
FOU 17	335141.0089	114361.0519	4.91	4.85	-0.06
FOU 18	335088.1933	114237.0899	5.25	5.30	0.05
FOU 19	335179.2745	113886.7426	4.02	3.95	-0.07
FOU 2	332744.4869	117159.0183	4.97	4.72	-0.25
FOU 20	336203.9658	113721.0781	3.76	3.85	0.09
FOU 21	335802.1777	113592.9917	4	3.96	-0.04
FOU 22	336591.5475	114841.2041	3.65	3.86	0.21
FOU 3	332664.2897	117232.456	4.96	4.62	-0.34
FOU 4	332988.6301	117072.749	4.84	4.63	-0.21
FOU 5	333070.4313	117025.6618	4.69	4.63	-0.06
FOU 6	333130.9229	116981.897	4.35	4.64	0.29
FOU 7	332961.1339	117007.6747	4.72	4.65	-0.07
FOU 8	333436.818	116561.4344	4.61	4.68	0.07
FOU 9	333512.5471	116489.8298	4.73	4.64	-0.09
FOU A	333109.3842	116921.8636	5.03	4.64	-0.39
FOU B	333097.1255	116931.9456	4.89	4.65	-0.24
FOU C	333060.6931	116960.9311	4.69	4.65	-0.04
FOU D	333029.187	116976.856	4.74	4.64	-0.10
FOU F	332895.0285	117090.9652	5.41	4.65	-0.76
FOU H	333217.8796	116748.0648	4.66	4.72	0.06
FOU I	333112.363	116967.1178	4.36	4.64	0.28
FOU J	333051.4131	117072.5198	4.49	4.63	0.14
FOU K	333116.8311	117016.0381	4.51	4.63	0.12
FOU L	333349.0594	116483.6431	4.83	4.69	-0.14

Nom	X	Y	Cote relevée (mNGF)	Cote calculée (mNGF)	Ecart (m)
FOU M	333356.3917	116386.9482	5.03	4.65	-0.38
FOUE	332988.6301	117015.4653	4.82	4.65	-0.17
PDB 1	336916.1171	111336.0128	4.48	4.55	0.07
PDB 10	335471.1923	110998.9553	3.92	3.99	0.07
PDB 11	335450.5702	110996.0911	4.07	3.99	-0.08
PDB 12	335329.587	111018.7755	3.98	3.99	0.01
PDB 13	335358.6871	111011.3286	3.65	3.99	0.34
PDB 14	335536.7249	110832.718	3.99	4.16	0.17
PDB 15	335578.6566	110853.2255	3.65	3.99	0.34
PDB 16	335579.8023	110914.4046	3.76	3.99	0.23
PDB 17	335528.9343	110961.8355	3.79	3.99	0.20
PDB 18	333920.0635	111062.9985	3.91	4.46	0.55
PDB 19	336748.5049	110917.1542	4.14	4.44	0.30
PDB 2	336878.7681	111322.0356	4.34	4.55	0.21
PDB 20	335443.3524	111178.7117	4.89	4.70	-0.19
PDB 21	335706.8576	111149.6115	4.51	4.66	0.15
PDB 22	335948.1366	111151.33	4.51	4.63	0.12
PDB 23	335771.9319	111096.5668	4.2	4.64	0.44
PDB 24	335412.6484	111168.286	4.67	4.68	0.01
PDB 25	335279.4064	111169.89	4.54	4.60	0.06
PDB 26	333961.4224	111123.9484	4.54	4.46	-0.08
PDB 27	333915.2517	110906.614	4.04	4.46	0.42
PDB 28	332385.4325	112208.9022	4.61	4.68	0.07
PDB 3	336981.8788	111351.4794	4.25	4.54	0.29
PDB 4	336760.4199	111228.8922	4.33	4.51	0.18
PDB 5	336736.3607	111231.069	4.28	4.55	0.27
PDB 6	335973.1123	110965.0434	4.11	4.29	0.18
PDB 7	336128.5804	111063.3422	4.29	4.51	0.22
PDB 8	336033.2603	111040.887	3.91	4.47	0.56
PDB 9	336011.607	111028.3992	4.25	4.46	0.21
ROC 1	342769.5975	107561.9317	4.11	4.19	0.08
ROC 10	345908.7458	110981.6556	3.85	3.87	0.02
ROC 11	344782.204	109716.029	3.91	4.14	0.23
ROC 12	344932.4019	108742.7784	3.91	3.88	-0.03
ROC 13	343484.4984	108510.5502	3.45	3.43	-0.02
ROC 14	342796.5209	109054.4019	3.26	3.33	0.07
ROC 15	342462.4422	109496.174	3.76	4.18	0.42
ROC 2	341766.4449	111095.5357	4.31	4.45	0.14
ROC 3	342126.5304	110031.3186	4.07	4.20	0.13
ROC 4	342435.2897	109980.6798	3.64	3.58	-0.06
ROC 5	344839.7169	110522.3547	3.91	3.61	-0.30
ROC 6	345034.8252	110579.2947	4.03	4.11	0.08
ROC 7	345558.3985	110832.1451	4.07	4.10	0.03
ROC 8	345720.626	110916.5813	4.31	4.09	-0.22
ROC 9	345834.9643	110966.189	3.91	4.04	0.13
ROC A	344667.522	110170.5181	3.95	4.32	0.37
ROC B	345865.2102	110891.9493	3.95	4.02	0.07
ROC C	345896.7162	110893.897	3.83	4.08	0.25
ROC D	345099.4413	111044.324	4.2	3.73	-0.47
ROC E	345392.6194	110833.0617	3.93	4.06	0.13

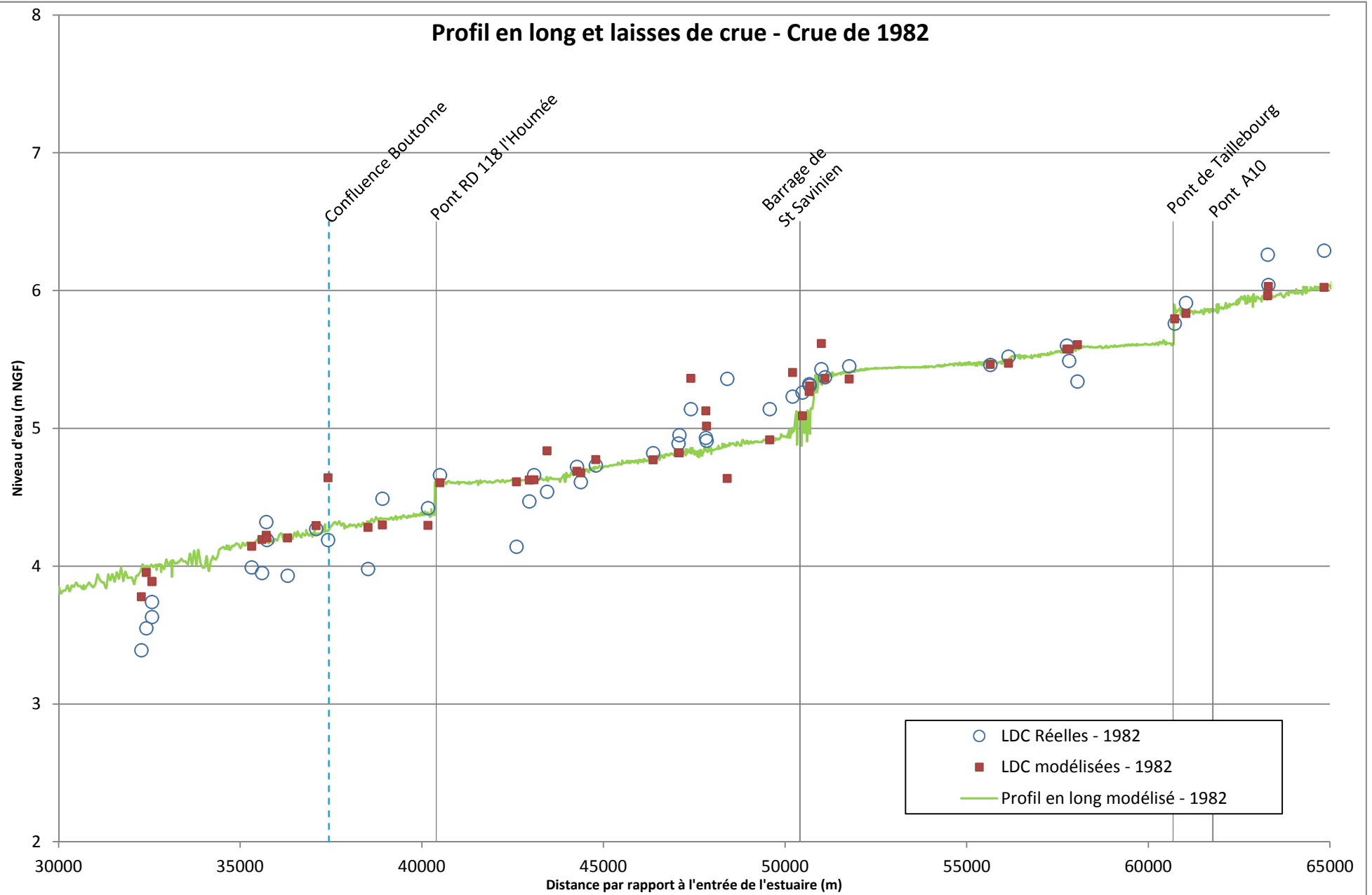
Nom	X	Y	Cote relevée (mNGF)	Cote calculée (mNGF)	Ecart (m)
SLP 1	339368.548	114955.5424	3.85	4.03	0.18
SLP 2	338981.31	113625.6434	3.63	4.03	0.40
SLP 4	337884.4412	113249.9767	3.61	4.02	0.41
SLP 5	338752.748	114493.721	3.94	4.03	0.09
SLP A	337531.2297	112688.7107	3.83	3.99	0.16
SNZ 1	338572.7625	111562.7418	4.04	4.25	0.21
SNZ 2	338572.7625	111575.6879	3.64	4.26	0.62
SNZ 3	339325.9289	109881.9226	3.89	4.13	0.24
SNZ 4	339650.8422	110777.7256	3.91	4.13	0.22
SNZ 5	339748.2246	110991.8521	4.14	4.13	-0.01
SNZ 6	340605.5328	111122.0008	4.11	4.11	0.00
SNZ 7	340215.6598	109187.7584	3.97	4.16	0.19
SOU 1	340715.7467	108785.5121	4.36	4.41	0.05
SOU 2	342676.3396	106882.0884	4.11	4.33	0.22
SOU 3	340436.4313	108681.4848	4.1	4.24	0.14
STH 1	345535.485	110222.7608	3.63	4.09	0.46
STH 2	347353.8997	108948.9999	3.81	4.08	0.27
TCH 1	349836.1182	109906.5546	4.3	4.00	-0.30
TCH 10	349923.7623	109774.3438	3.99	4.17	0.18
TCH 11	349664.3815	109872.4135	4.01	4.02	0.01
TCH 12	349557.1464	109881.6935	3.86	4.03	0.17
TCH 2	349826.6091	109881.3498	4.18	4.01	-0.17
TCH 3	349822.1409	109866.3415	4.24	4.03	-0.21
TCH 4	349833.4831	109934.5091	4.07	4.00	-0.07
TCH 5	349813.5484	109955.3604	3.95	4.06	0.11
TCH 6	349917.3465	109835.1791	3.94	4.09	0.15
TCH 7	349915.3988	109805.7353	4.05	4.05	0.00
TCH 8	349877.1333	109821.431	3.87	4.05	0.18
TCH 9	349697.2624	109859.1237	4.15	4.00	-0.15
VER 1	342313.8482	111972.6641	3.89	4.45	0.56
VER 2	342320.3785	111985.7248	3.94	4.45	0.51
VER 3	342904.558	111904.3819	4.22	4.45	0.23

Ecart-type	0.23
Moyenne des écarts	0.09
Moyenne absolue des écarts	0.20
Ecart minimum	-0.76
Ecart maximum	0.62

ANNEXE 4

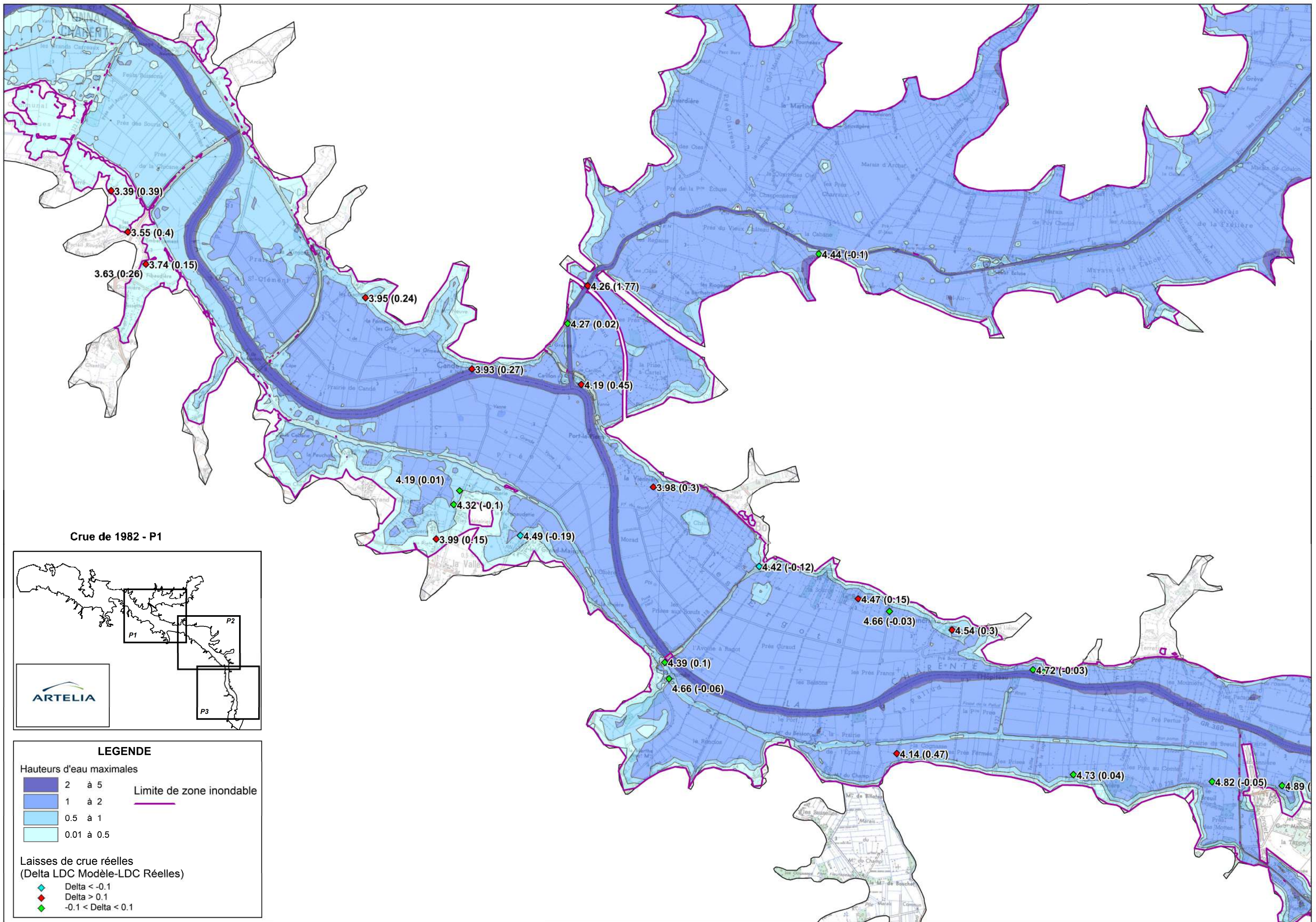
Calage de la crue de 1982 – Profil en long

Profil en long et laisses de crue - Crue de 1982

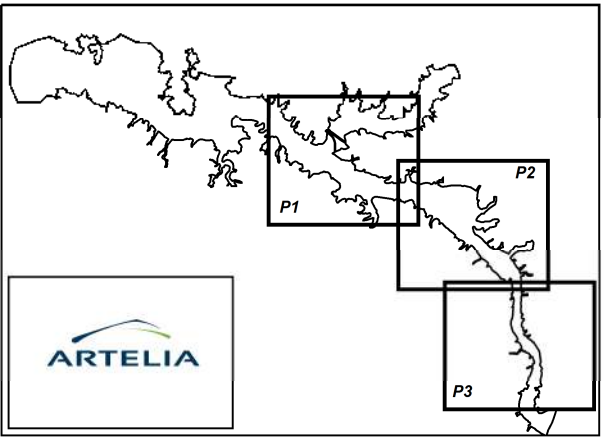


ANNEXE 5

Calage de la crue de 1982 – Emprise inondée



Crue de 1982 - P1



LEGENDE

Hauteurs d'eau maximales

2 à 5	Limite de zone inondable
1 à 2	
0.5 à 1	
0.01 à 0.5	

Laises de crue réelles
(Delta LDC Modèle-LDC Réelles)

◆ Delta < -0.1
◆ Delta > 0.1
◆ -0.1 < Delta < 0.1

3.39 (0.39)

3.55 (0.4)

3.63 (0.26)

3.74 (0.15)

3.95 (0.24)

3.93 (0.27)

4.26 (1.77)

4.27 (0.02)

4.19 (0.45)

4.19 (0.01)

4.32 (-0.1)

3.99 (0.15)

4.49 (-0.19)

3.98 (0.3)

4.42 (-0.12)

4.47 (0.15)

4.66 (-0.03)

4.54 (0.3)

4.39 (0.1)

4.66 (-0.06)

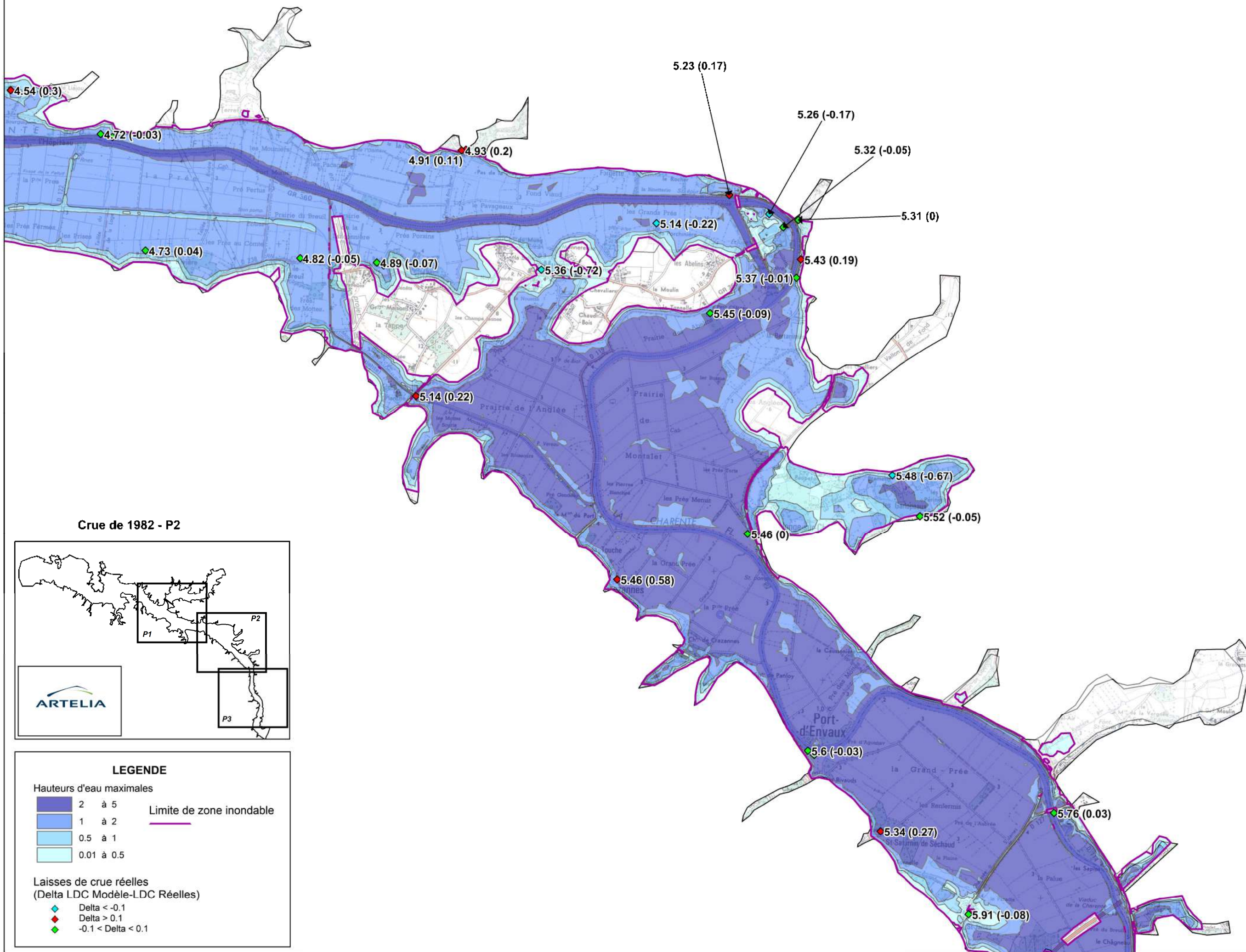
4.72 (-0.03)

4.14 (0.47)

4.73 (0.04)

4.82 (-0.05)

4.89 (0.01)



4.54 (0.3)

4.72 (-0.03)

4.73 (0.04)

4.82 (-0.05)

4.89 (-0.07)

4.91 (0.11)

4.93 (0.2)

5.36 (-0.72)

5.23 (0.17)

5.14 (-0.22)

5.26 (-0.17)

5.32 (-0.05)

5.31 (0)

5.37 (-0.01)

5.43 (0.19)

5.45 (-0.09)

5.14 (0.22)

5.48 (-0.67)

5.52 (-0.05)

5.46 (0)

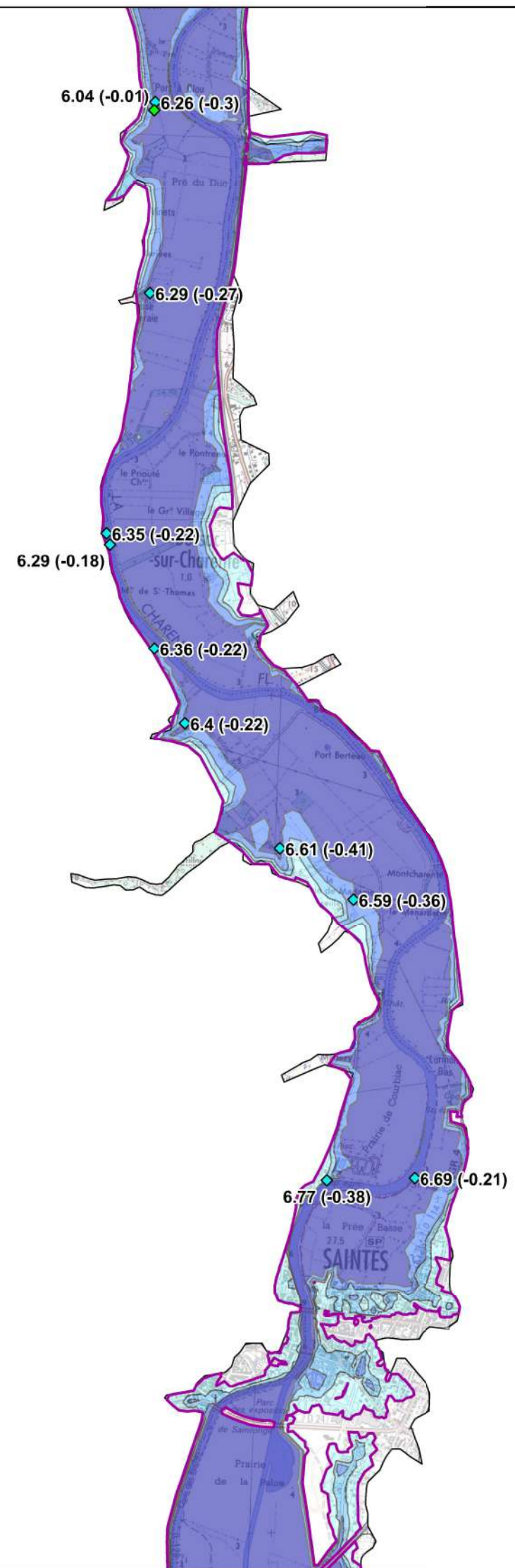
5.46 (0.58)

5.6 (-0.03)

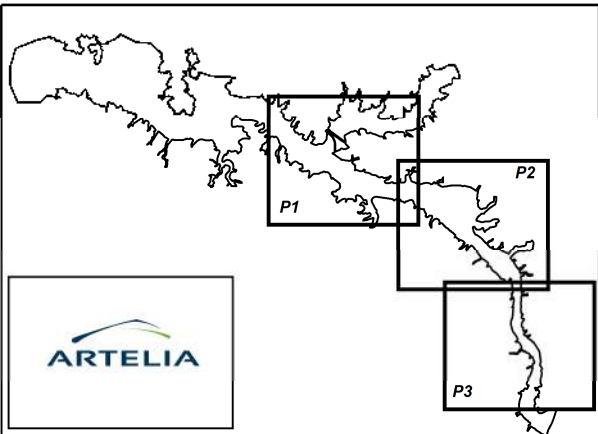
5.34 (0.27)

5.76 (0.03)

5.91 (-0.08)



Cru de 1982 - P3



LEGENDE

- Hauteurs d'eau maximales
- 2 à 5
 - 1 à 2
 - 0.5 à 1
 - 0.01 à 0.5
- Limite de zone inondable
- Laisses de crue réelles
(Delta LDC Modèle-LDC Réelles)
- ◆ Delta < -0.1
 - ◆ Delta > 0.1
 - ◆ -0.1 < Delta < 0.1

ANNEXE 6

Scénarios de défaillance

Prise en compte des ouvrages dans le cadre des scénarios de référence

Legende (au titre de la submersion) :

	Effacement d'ouvrage
	Brèches
	Ouvrage perenne

VERSION au 19 janvier 2016

N° Secteurs	Type de terrain arrière	Type de défense	Nature de défense	Parapet	Hauteur du parapet	Longueur (m)	Etat de l'ouvrage			Altimétries caractéristiques					Exposition Houle	Hypothèses retenues					Hypothèses retenues				
							Etat par visite terrain	Etat retenu	Modélisation selon état	Cote Xynthia large	Z (MNT)	Z min (Géomètre)	Z max (géomètre)	Z ouvrage (géomètre)		Z retenu	Cote Xynthia + 20 cm	Surverse	Franchissabilité (surverse supérieure à 20 cm)	Modélisation pour Xynthia+20	SCENARIO 1 Nombre de breches prévues pour l'événement de réf + 20 cm	Cote Xynthia + 60 cm	Surverse	Franchissabilité (surverse supérieure à 20 cm)	Modélisation finale pour Xynthia+60
DRG01	Même niveau	Ouvrage longitudinal	Digue en terre avec enrochement	NON		91	Bon	Bon			4.82	5.26	5.04		OUI	4.89	-0.15	NON	/		5.24	0.2	NON	/	
DRG02	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre avec enrochement	NON		34	Bon	Bon	Brèche		4.1	4.91	4.505		OUI	4.82	0.315	OUI	Effacement		5.2	0.695	OUI	Effacement	
DRG03	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre avec enrochement	NON		351	Bon	Bon	Brèche		4.82	5.86	5.34		OUI	4.79	-0.55	NON	Brèche	1 x 100 m	5.15	-0.19	NON	Brèche	1 x 100 m
DRG04	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre avec enrochement	NON		105	Bon	Bon	Brèche		4.78	5.36	5.07		OUI	4.81	-0.26	NON	Brèche	1 x 50 m	5.14	0.07	NON	Brèche	1 x 50 m
DRG05	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre avec enrochement	NON		120	Bon	Bon	Brèche		4.45	5.18	4.815		OUI	4.79	-0.025	NON	Brèche	1 x 50 m	5.13	0.315	OUI	Effacement	
DRG06	Même niveau	Ouvrage longitudinal	Digue en maçonnerie avec enrochement	OUI		343	Bon	Bon	/		4.89	6.14	5.515		OUI	4.84	-0.675	NON	/		5.11	-0.405	NON	/	
Digue_PdB	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en maçonnerie avec enrochement	OUI		1230	Bon	Bon	Brèche		5.5	5.5	5.5		OUI	4.77	-0.73	NON	Brèche	1 x 100 m	5.01	-0.49	NON	Brèche	1 x 100 m
Levée Pierre	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		410	Bon	Bon	Brèche		4.7	4.7	4.7		OUI	4.55	-0.15	NON	Brèche	1 x 50 m	5.02	0.32	OUI	Effacement	
DRG12	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		280	Satisfaisant	Satisfaisant	Effacement		3.91	5.13	4.52		NON	4.74	0.22	OUI	Effacement		5.02	0.5	OUI	Effacement	
DRG13	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre avec enrochement	NON		180	Bon	Bon	Brèche		3.67	3.94	3.805		NON	4.74	0.935	OUI	Effacement		5.02	1.215	OUI	Effacement	
DRG14	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en maçonnerie	NON		225	Satisfaisant	Satisfaisant	Effacement		3.65	3.9	3.775		NON	4.74	0.965	OUI	Effacement		5.02	1.245	OUI	Effacement	
DRG15	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre avec enrochement	NON		197	Bon	Bon	Brèche		3.66	4.26	3.96		NON	4.74	0.78	OUI	Effacement		5.02	1.06	OUI	Effacement	
DRG16	Même niveau	Ouvrage longitudinal	plus de digue maçonnée-digue en terre	NON		95	Moyen-Dégradé	Moyen-Dégradé	/		3.79	4.05	3.92		NON	4.7	0.78	OUI	/		5.03	1.11	OUI	/	
DRG17	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en maçonnerie	NON		138	Bon	Bon	Brèche		3.2	3.29	3.245		NON	4.7	1.455	OUI	Effacement		5.03	1.785	OUI	Effacement	
DRG18	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		180	Bon	Bon	Brèche		3.3	3.9	3.6		NON	4.7	1.1	OUI	Effacement		5.06	1.46	OUI	Effacement	
DRG19	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		1200	Bon	Bon	Brèche		3.82	4.24	4.03		NON	4.74	0.71	OUI	Effacement		5.05	1.02	OUI	Effacement	
DRG20	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		191	Bon	Bon	Brèche		3.77	4.21	3.99		NON	4.75	0.76	OUI	Effacement		5.1	1.11	OUI	Effacement	
DRG21	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		470	Bon	Bon	Brèche		3.71	4.05	3.88		NON	4.77	0.89	OUI	Effacement		5.11	1.23	OUI	Effacement	
DRG22	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en maçonnerie	NON		172	Bon	Bon	Brèche		4	5.6	4.8		NON	4.75	-0.05	NON	Brèche	1 x 50 m	5.1	0.3	OUI	Effacement	
DRG23	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		460	Satisfaisant	Satisfaisant	Effacement		3.6	4.13	3.865		NON	4.76	0.895	OUI	Effacement		5.12	1.255	OUI	Effacement	
DRG24	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		983	Moyen-Dégradé	Moyen-Dégradé	Effacement		3.93	4.58	4.255		NON	4.76	0.505	OUI	Effacement		5.16	0.905	OUI	Effacement	
DRG25	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre avec enrochement	NON		432	Satisfaisant	Satisfaisant	Effacement		4.04	5.02	4.53		NON	4.74	0.21	OUI	Effacement		5.16	0.63	OUI	Effacement	
DRG26	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		610	Satisfaisant	Satisfaisant	Effacement		4.11	4.86	4.485		NON	4.74	0.255	OUI	Effacement		5.15	0.665	OUI	Effacement	
DRG27	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		1375	Satisfaisant	Satisfaisant	Effacement		3.94	4.79	4.365		NON	4.59	0.225	OUI	Effacement		5.05	0.685	OUI	Effacement	
DRG28	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		1231	Satisfaisant	Satisfaisant	Effacement		3.45	4.71	4.08		NON	4.55	0.47	OUI	Effacement		5.05	0.97	OUI	Effacement	
DRG29	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		1960	Satisfaisant	Satisfaisant	Effacement		3.98	4.76	4.37		NON	4.56	0.19	NON	Effacement		5.07	0.7	OUI	Effacement	
DRG30	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		1383	Bon	Bon	Brèche		3.72	5.43	4.575		NON	4.57	-0.005	NON	Brèche	3 x 100 m	5.05	0.475	OUI	Effacement	
DRG31	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		186	Bon	Bon	Brèche		4.2	4.27	4.235		NON	4.52	0.285	OUI	Effacement		5.04	0.805	OUI	Effacement	
DRG32	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre + route en crête	NON		191	Bon	Bon	Brèche		3.82	4.38	4.1		NON	4.5	0.4	OUI	Effacement		5.01	0.91	OUI	Effacement	
DRG33	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		811	Bon	Bon	Brèche		3.73	3.96	3.845		NON	4.47	0.625	OUI	Effacement		4.9	1.055	OUI	Effacement	
DRG40	Même niveau	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		230	Moyen-Dégradé	Moyen-Dégradé	/		3.9	4	3.95		NON	4.33	0.38	OUI	/		4.71	0.76	OUI	/	
DRG41	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		810	Satisfaisant	Satisfaisant	Effacement		3.96	5.2	4.58		NON	4.3	-0.28	NON	Effacement		4.7	0.12	NON	Effacement	
DRG42	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		320	Satisfaisant	Satisfaisant	Effacement		3.71	4.07	3.89		NON	4.29	0.4	OUI	Effacement		4.63	0.74	OUI	Effacement	
DRG43	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		730	Satisfaisant	Satisfaisant	Effacement		3.64	5.51	4.575		NON	4.31	-0.265	NON	Effacement		4.66	0.085	NON	Effacement	
DRG44	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		248	Satisfaisant	Satisfaisant	Effacement		3.48	3.95	3.715		NON	4.29	0.575	OUI	Effacement		4.66	0.945	OUI	Effacement	
DRG45	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		393	Satisfaisant	Satisfaisant	Effacement		3.55	3.73	3.64		NON	4.28	0.64	OUI	Effacement		4.63	0.99	OUI	Effacement	
DRG46	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		427	Bon	Bon	Brèche		3.56	3.74	3.65		NON	4.29	0.64	OUI	Effacement		4.62	0.97	OUI	Effacement	
DRG47	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		334	Satisfaisant	Satisfaisant	Effacement		3.63	4.5	4.065		NON	4.28	0.215	OUI	Effacement		4.66	0.595	OUI	Effacement	
DRG48	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		527	Satisfaisant	Satisfaisant	Effacement		3.27	3.6	3.435		NON	4.28	0.845	OUI	Effacement		4.62	1.185	OUI	Effacement	
DRG49	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		1324	Moyen-Dégradé	Moyen-Dégradé	Effacement		3.52	4.14	3.83		NON	4.26	0.43	OUI	Effacement		4.58	0.75	OUI	Effacement	
DRG50	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		210	Bon	Bon	Brèche		3.74	3.84	3.79		NON	4.2	0.41	OUI	Effacement		4.55	0.76	OUI	Effacement	
DRG51	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		1100	Bon	Bon	Brèche		3.65	4.34	3.995		NON	4.21	0.215	OUI	Effacement		4.52	0.525	OUI	Effacement	
DRG52	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		720	Satisfaisant	Satisfaisant	Effacement		3.67	3.92	3.795		NON	4.2	0.405	OUI	Effacement		4.49	0.695	OUI	Effacement	
DRG53	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		1690	Bon	Bon	Brèche		3.88	4.37	4.125		NON	4.2	0.075	NON	Brèche	3 x 100 m	4.67	0.545	OUI	Effacement	
DRD54	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		190	Bon	Bon	Brèche		3.61	4.18	3.895		NON	4.25	0.355	OUI	Effacement		4.58	0.685	OUI	Effacement	
DRD55	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		120	Bon	Bon	Brèche		4.23	4.48	4.355		NON	4.26	-0.095	NON	Brèche	1 x 50 m	4.6	0.245	OUI	Effacement	
DRD56	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Talus en sable protégé par un geotextile	NON		156	Bon	Bon	Brèche		3.65	3.81	3.73		NON	4.27	0.54	OUI	Effacement		4.6	0.87	OUI	Effacement	
DRD57	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		144	Bon	Bon	Brèche		4.15	4.26	4.205		NON	4.27	0.065	NON	Brèche	1 x 50 m	4.59	0.385	OUI	Effacement	
DRD58	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en maçonnerie	NON		590	Bon	Bon	Brèche		3.48	4.28	3.88		NON	4.28	0.4	OUI	Effacement		4.61	0.73	OUI	Effacement	
DRD59	Même niveau	Ouvrage longitudinal	Digue en maçonnerie	NON		110	Bon	Bon	/		3.76	4.28	4.02		NON	4.31	0.29	OUI	/		4.64	0.62	OUI	/	
DRD60	Dé nivelé	Ouvrage longitudinal	Digue en terre + route en crête	NON		428	Bon	Bon	Brèche		3.54	4.17	3.855		NON	4.27	0.415	OUI	Effacement		4.62	0.765	OUI	Effacement	
DRD61	Même niveau	Ouvrage longitudinal	Digue en maçonnerie	NON		103	Bon	Bon	/		3.63	3.66	3.645		NON	4.27	0.625	OUI	/		4.6	0.955	OUI	/	
DRD62	Même niveau	Ouvrage longitudinal	Digue en terre	NON		541	Bon	Bon	/		3.51	3.79	3.65		NON	4.28	0.63	OUI	/		4.61	0.96	OUI	/	
DRD6																									

ETUDE COMPLEMENTAIRE DE DEFINITION DES ALEAS DU BASSIN DE L'ESTUAIRE DE LA CHARENTE

Prise en compte des protections dans le cadre de l'aléa réglementaire à court terme (Xynthia + 20 cm)

Affaire N°: 8310984

Figure N°: 1



Echelle: 1/50 000

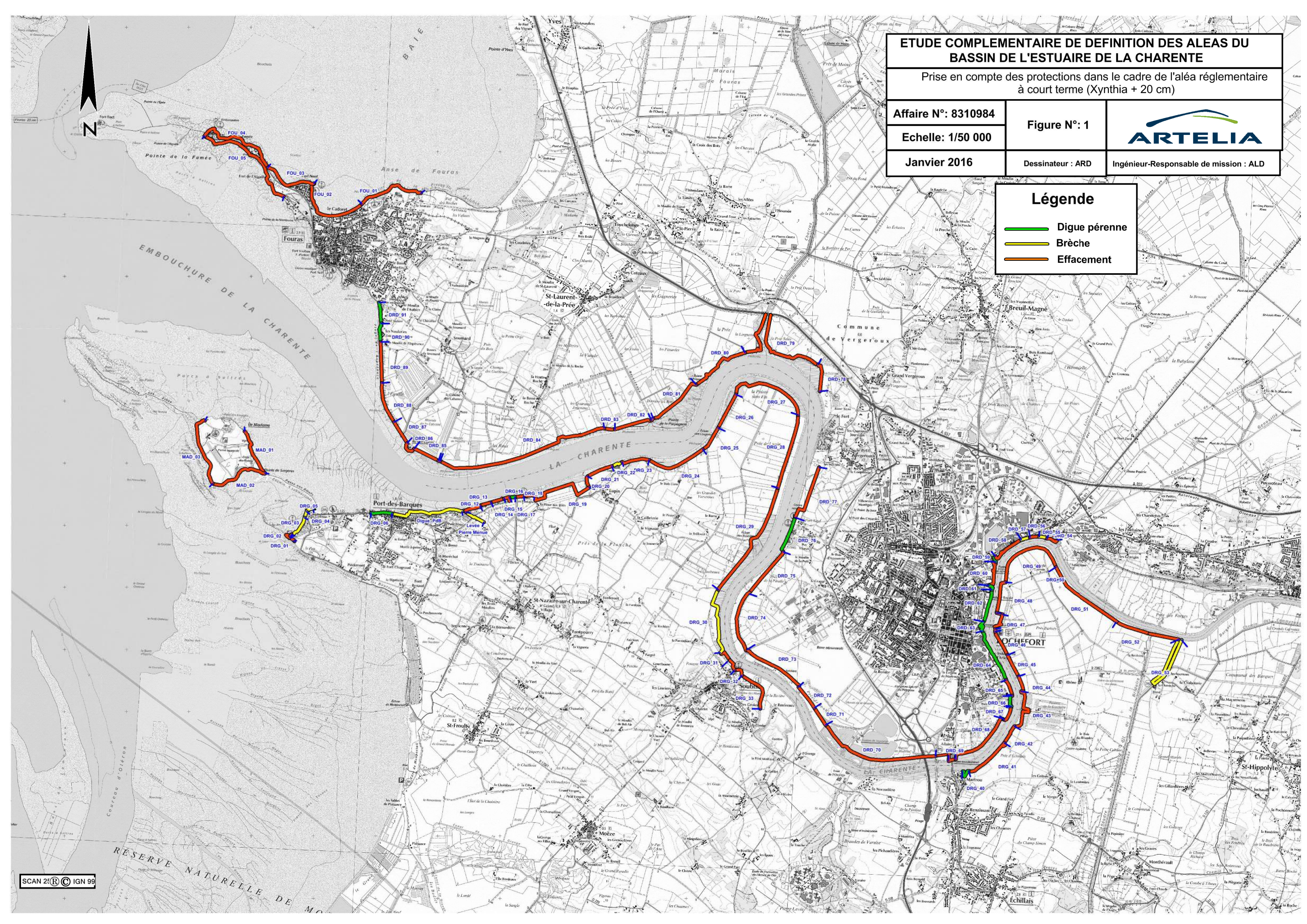
Janvier 2016

Dessinateur : ARD

Ingénieur-Responsable de mission : ALD

Légende

- Digue pérenne
- Brèche
- Effacement



ETUDE COMPLEMENTAIRE DE DEFINITION DES ALEAS DU BASSIN DE L'ESTUAIRE DE LA CHARENTE

Prise en compte des protections dans le cadre de l'aléa réglementaire à long terme (Xynthia + 60 cm)

Affaire N°: 8310984

Figure N°: 2



Echelle: 1/50 000

Janvier 2016

Dessinateur : ARD

Ingénieur-Responsable de mission : ALD

Légende

- Digue pérenne
- Brèche
- Effacement

