



Etude des aléas et enjeux du bassin de la Seudre et des marais de Brouage

PARTIE 2 - PRINCIPE DE MODÉLISATION

RAPPORT

ARTELIA Eau & Environnement Sud-Ouest
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





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

N° Affaire		8310773		
Indice	Date	Établi par	Vérifié par	Commentaires / Modifications
Ind01	Aout 2016	Rpxanne Caillaud	Denis Lartigue	Première version

SOMMAIRE

Section 1

Mise en œuvre d'un outil de modélisation 2D des submersions marines

7

1 - OBJECTIFS

8

2 - LE PHÉNOMÈNE DE SUBMERSION MARINE

9

2.1. ORIGINE DE LA SUBMERSION

9

2.2. LE PHÉNOMÈNE DE SUBMERSION MARINE

10

2.3. OUTIL DE MODÉLISATION

11

2.3.1. Présentation du logiciel : TELEMAR-2D

12

2.3.2. Principes de calcul

13

2.4. ZONE MODÉLISÉE

17

2.4.1. Emprise maritime

17

2.4.2. Emprise terrestre

18

2.5. CARACTÉRISTIQUES DU MODÈLE

19

2.5.1. Système altimétrique et géo-référencement

19

2.5.2. Le maillage : une représentation schématique de la réalité

19

2.5.3. Caractéristiques du maillage mis en œuvre

23

2.5.4. Bathymétrie et topographie

26

2.6. HYPOTHÈSES ET LIMITES ASSOCIÉES

26

2.6.1. Interpolation entre les points de calcul

26

2.6.2. Cartographie des résultats

27

Section 2

Calage du modèle 2D

28

3 - PRÉAMBULE

29

4 - CALAGE DU MODÈLE MARITIME

29

4.1. CALAGE DE LA PARTIE OCÉANIQUE POUR DES CONDITIONS USUELLES DE MARÉE

29

4.2. CALAGE POUR DES ÉVÉNEMENTS GÉNÉRANT DES NIVEAUX D'EAU IMPORTANTS

33

4.2.1. Tempête Martin

33

4.2.1.1. CALAGE AU MARÉGRAPHES

33

4.2.1.2. CALAGE DANS L'ESTUAIRE DE LA SEUDRE

34

4.2.2. Tempête Xynthia

36

4.2.2.1. PARAMÈTRES HYDRO-MÉTÉOROLOGIQUES

36

4.2.2.2. NIVEAUX D'EAU MAXIMAUX POUR LA TEMPÊTE XYNTIA

40

5 - CALAGE DU MODÈLE TERRESTRE

43

5.1. PRINCIPES

43

5.1.1.1. REPRÉSENTATION DES FROTTEMENTS

43

5.1.1.2. REPRÉSENTATION DU LINÉAIRE DE PROTECTION

44

5.2. REMARQUES	44
5.3. COMPARAISON DES RÉSULTATS DU MODÈLE ET DES OBSERVATIONS	44
5.4. SYNTHÈSE SUR LE CALAGE DU MODÈLE	45

Section 3

Mise en œuvre d'un outil de modélisation 1D des inondations fluviales

	46
--	-----------

6 - OBJECTIFS	47
----------------------	-----------

7 - PRÉSENTATION DE MODÈLE 1D	47
--------------------------------------	-----------

7.1. LE CODE MASCARET	47
7.2. CONSTRUCTION DE LA STRUCTURE DU MODÈLE	48
7.2.1. Réalisation des profils en travers	48
7.2.2. Représentation du réseau hydraulique	49
7.3. CALAGE DU MODÈLE SUR LA CRUE DE 1982	50
7.3.1. Connaissances des niveaux atteints	50
7.3.2. Apports des bassins versant pour la crue de 1982	51
7.3.3. Coefficients de Strickler	53
7.3.4. Résultats du calage pour la crue de 1982	53

Section 4

Exploitation des modèles 1D et 2D

8 - DÉTERMINATION DES ÉVÉNEMENTS DE RÉFÉRENCE	55
--	-----------

8.1. CADRE RÉGLEMENTAIRE	55
8.2. ÉVÉNEMENT DE RÉFÉRENCE MARITIME	55
8.2.1. Rappel de l'analyse des tempêtes historiques	55
8.2.2. Modélisation d'événements majorants	58
8.2.2.1. ÉLÉMENTS TECHNIQUES SUR LA MODÉLISATION BIDIMENSIONNELLE	58
8.2.2.2. SIMULATIONS DE DEUX ÉVÉNEMENTS THÉORIQUES	59
8.2.3. Confrontation des résultats et conclusion	63
8.3. ÉVÉNEMENT DE RÉFÉRENCE FLUVIAL	64
8.4. ÉVÉNEMENT DE RÉFÉRENCE CONCOMITANCE FLUVIO MARITIME	65

9 - ÉVÉNEMENTS PRIS EN COMPTE DANS LE CADRE DU PPR	67
---	-----------

9.1. ÉVÉNEMENT COURT TERME	67
9.2. ÉVÉNEMENT LONG TERME	67

10 - ÉVÉNEMENTS PRIS EN COMPTE DANS LE CADRE DU PAPI	68
---	-----------

10.1. ÉVÉNEMENTS FRÉQUENTS	68
10.1.1. Événement fréquent maritime	68
10.1.2. Événement fréquent fluvial	69
10.2. ÉVÉNEMENTS MOYENS	70
10.2.1. Événement moyen maritime	70
10.2.2. Événement moyen fluvial	70
10.3. ÉVÉNEMENTS RARES	70
10.3.1. Événement rare maritime	70

10.3.2. Événement rare fluvial	71
--------------------------------	----

Section 5	
Documents annexes	72

Annexe 1	
Calage de la tempête Martin	73

Annexe 2	
Calage de la tempête Xynthia	74

TABLEAUX

TABL. 1 - DÉBITS D'APPORT ESTIMÉS POUR LA CRUE DE 1982 POUR CHAQUE SOUS-BASSIN VERSANT PAR LA FORMULE DE MYER	52
---	----

FIGURES

FIG. 1.	SCHÉMA ILLUSTRANT LES PRINCIPAUX MÉCANISMES À L'ORIGINE DE L'ÉLEVATION DU NIVEAU MARIN DANS LE CAS D'UNE TEMPÊTE (SOURCE : BRGM)	9
FIG. 2.	FOND, HAUTEUR D'EAU, NIVEAU D'EAU	12
FIG. 3.	SYNOPTIQUE DE LA MODÉLISATION MISE EN ŒUVRE CONSTITUANT AU FINAL UN SEUL MODÈLE SOUS TELEMAR	14
FIG. 4.	EMPRISE DU MODÈLE MARITIME GLOBAL	18
FIG. 5.	EMPRISE DU MODÈLE TERRESTRE	19
FIG. 6.	REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DES DIGUES DE MARAIS OU INFRASTRUCTURES LINÉAIRES EN REMBLAI	21
FIG. 7.	MAILLAGE DU MODÈLE - PARTIE SEUDRE	23
FIG. 8.	MAILLAGE DU MODÈLE - PARTIE BROUAGE	24
FIG. 9.	MAILLAGE DU MODÈLE (ZOOMS SUR LA CITADELLE DE HIRS BROUAGE)	25
FIG. 10.	MAILLAGE DU MODÈLE (ZOOMS SUR SAUJON)	25
FIG. 11.	INTERPOLATION DU NIVEAU D'EAU ENTRE DEUX POINTS DE CALCUL	27
FIG. 12.	COMPARAISON DE L'ÉVOLUTION DES NIVEAUX D'EAU DONNÉS PAR LE MODÈLE HYDRODYNAMIQUE ET CEUX PRÉDITS PAR LE SHOM	30
FIG. 13.	LOCALISATION DES POINTS SHOM	31
FIG. 14.	COMPARAISON DES VITESSES CALCULÉES ET DES INDICATIONS FOURNIES PAR LE SHOM	32
FIG. 15.	TEMPÊTE MARTIN – ANALYSE DES VENTS	33
FIG. 16.	TEMPÊTE MARTIN – COMPARAISON AU MARÉGRAPHE DU VERDON	34
FIG. 17.	TEMPÊTE MARTIN – COMPARAISON DANS L'ESTUAIRE DE LA SEUDRE	35
FIG. 18.	TEMPÊTE XYNTIA - MARÉE ASTRONOMIQUE – COMPARAISON AU MARÉGRAPHE DE LA ROCHELLE	36
FIG. 19.	TEMPÊTE XYNTIA - MARÉE ASTRONOMIQUE COMPARAISON AU MARÉGRAPHE DU VERDON	37
FIG. 20.	TEMPÊTE XYNTIA – SURCOTE ATMOSPHÉRIQUE	38
FIG. 21.	TEMPÊTE XYNTIA – VENT	39
FIG. 22.	TEMPÊTE XYNTIA – HOULE	40
FIG. 23.	TEMPÊTE XYNTIA – COMPARAISON AU MARÉGRAPHE DE LA ROCHELLE	41
FIG. 24.	TEMPÊTE XYNTIA – COMPARAISON AU MARÉGRAPHE DU VERDON	41
FIG. 25.	TEMPÊTE XYNTIA – COMPARAISON DANS L'ESTUAIRE DE LA SEUDRE	42
FIG. 26.	COMPARAISON DANS L'ESTUAIRE DE LA SEUDRE DES LIGNES D'EAU MODÉLISÉE DES TEMPÊTES MARTIN ET XYNTIA	42

Etude des aléas et enjeux du bassin de la Seudre et des marais de Brouage

PARTIE 2 - PRINCIPE DE MODÉLISATION

RAPPORT

FIG. 27.	CARTE DES COEFFICIENTS DE STRICKLER RETENUS	43
FIG. 28.	PROFILS UTILISÉS POUR LA MODÉLISATION MASCARET	49
FIG. 29.	LAISSES DE CRUE DISPONIBLES POUR L'ÉVÈNEMENT DE JANVIER 1982 LE LONG DE LA SEUDRE CANALISÉE	51
FIG. 30.	DÉCOUPAGE DU BASSIN DE LA SEUDRE EN SOUS-BASSINS VERSANTS	52
FIG. 31.	CRUE DE 1982 – COMPARAISON DES NIVEAUX MODÉLISÉS ET DES NIVEAUX RÉELS	53
FIG. 32.	CARTOGRAPHIE DE COMPARAISON DES SURFACES INONDÉES ISSUES DU REX POUR XYNTHIA ET MARTIN	57
FIG. 33.	NIVEAUX D'EAU ATTEINTS DANS L'ESTUAIRE DE LA SEUDRE POUR LES TEMPÊTES XYNTHIA ET MARTIN	58
FIG. 34.	EMPRISE DU MODÈLE BIDIMENSIONNEL MIS EN ŒUVRE	59
FIG. 35.	IMPACT ENTRE LE SCÉNARIO 1 ET LA TEMPÊTE XYNTHIA	61
FIG. 36.	IMPACT ENTRE LE SCÉNARIO 2 ET LA TEMPÊTE XYNTHIA	62
FIG. 37.	COMPARAISON DES FILS D'EAU DES ÉVÈNEMENTS MAJORANTS DANS L'ESTUAIRE DE LA SEUDRE	63
FIG. 38.	COMPARAISON DES EMPRISES INONDÉES POUR DIFFÉRENTS ÉVÈNEMENTS MAJORANTS	64
FIG. 39.	LIGNES D'EAU DANS LA SEUDRE AU NIVEAU DE SAUJON	65
FIG. 40.	LIGNES D'EAU DANS LA SEUDRE AU NIVEAU DE SAUJON POUR DIFFÉRENTS ÉVÈNEMENTS DE CONCOMITANCE D'UNE CRUE FLUVIALE ET D'UNE SUBMERSION MARINE	66
FIG. 41.	LIGNES D'EAU EN LIT MAJEUR AU NORD DE SAUJON	67
FIG. 42.	LIGNES D'EAU DANS L'ESTUAIRE DE LA SEUDRE CALCULÉES DANS LE CADRE DE LA DÉFINITION DE L'ÉVÈNEMENT MARITIME FRÉQUENT	68
FIG. 43.	ZONES INONDÉES MODÉLISÉES DANS LE CADRE DE LA DÉFINITION DE L'ÉVÈNEMENT MARITIME FRÉQUENT	69
FIG. 44.	FILS D'EAU DANS LE LIT MINEUR DE LA SEUDRE POUR LES CRUES VICENNALE ET CENTENNALE	70
FIG. 45.	FILS D'EAU DANS LE LIT MINEUR DE LA SEUDRE POUR LES CRUES MILLÉNALE ET CENTENNALE	71

SECTION 1

MISE EN ŒUVRE D'UN OUTIL DE MODÉLISATION 2D DES SUBMERSIONS MARINES

1 - OBJECTIFS

L'objectif associé à la mise en œuvre de l'outil de modélisation des submersions marines, sur l'ensemble du territoire du bassin de la Seudre et des marais Brouage, est de disposer d'un modèle précis permettant de représenter de manière fidèle le comportement hydrodynamique observé sur ces secteurs, et notamment la submersion des protections et la propagation des écoulements dans les parties terrestres protégées ou pas.

Ce modèle, construit en prenant en compte tout les éléments topographiques disponibles, est tout d'abord calé par comparaison avec l'ensemble des observations réalisées au cours ou à la suite des tempêtes Xynthia et Martin, de manière à s'assurer de sa bonne représentativité des conditions hydrauliques côté maritime et côté terrestre.

Une fois le modèle calé, c'est-à-dire que sa représentativité des phénomènes de submersion est conforme aux observations, le modèle a été exploité : différents événements hydro-météorologiques sont simulés avec différents scénarios de prise en compte le système de protection et les résultats obtenus sont analysés.

L'exploitation de ce modèle permet notamment d'identifier les parties du territoire particulièrement vulnérables vis-à-vis des problématiques de submersions marines et ainsi de déterminer les secteurs protégés par les protections littorales existantes.

Les résultats de modélisation permettront enfin de déterminer et cartographier les aléas qui serviront de base aux futurs Plans de Prévention des Risques Naturels des communes du bassin de la Seudre.

2 - LE PHÉNOMÈNE DE SUBMERSION MARINE

Les submersions marines sont des inondations temporaires de la zone côtière par des eaux d'origine marine lors de conditions météorologiques (forte dépression et vent de mer) et océanographiques (houle et marée) très sévères.

Elles affectent en général des terrains situés en-dessous du niveau des plus hautes mers et peuvent recouvrir, parfois, des terrains situés au-dessus de ces niveaux pour certaines situations topographiques, notamment dans le cas de projections des eaux marines en tempête au-dessus d'ouvrages de protection.

2.1. 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.

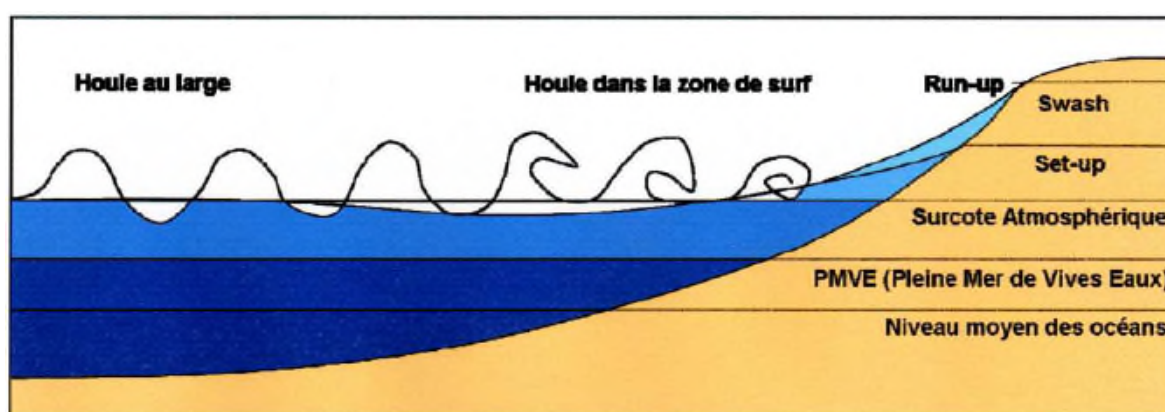


Fig. 1. Schéma illustrant les principaux mécanismes à l'origine de l'élévation du niveau marin dans le cas d'une tempête (Source : BRGM)

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.

2.2. LE PHÉNOMÈNE DE SUBMERSION MARINE

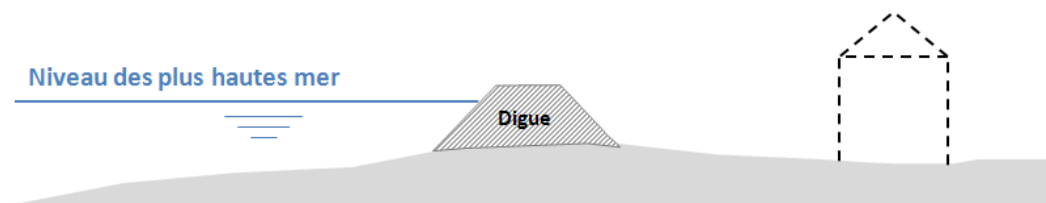
Les submersions marines ou littorales sont générées par la combinaison de différents facteurs liés entre eux pour certains et indépendants pour d'autres. Elles sont issues du croisement du niveau d'eau statistique à la côte, de la houle à la côte (Run up) mais également du système de protection littorale.

Les submersions peuvent en effet être dues :

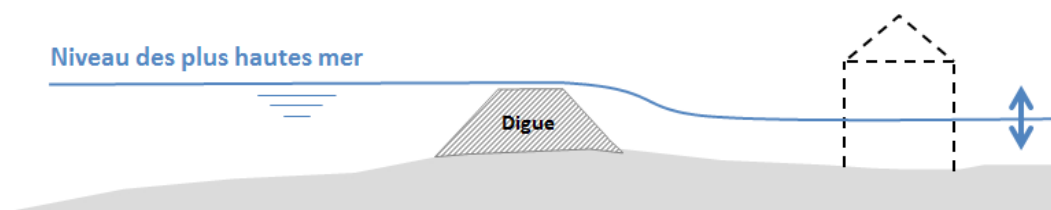
- à la rupture ou à la destruction des ouvrages de protection,
- au débordement par surverse de la mer sur les digues ou ouvrages de protection, le niveau de pleine mer ayant une cote supérieure à celle des crêtes des ouvrages,
- à la rupture ou à la destruction d'un cordon dunaire à la suite d'une érosion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

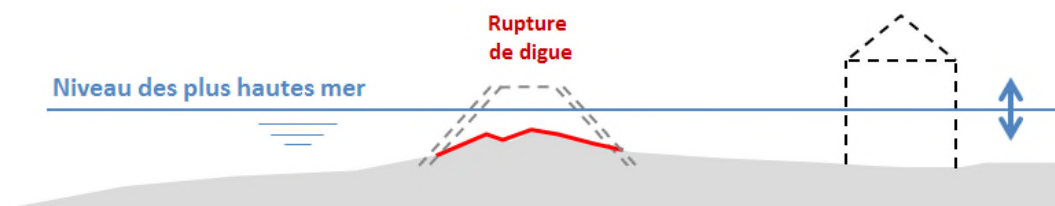
- la submersion devant la digue,



- 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.

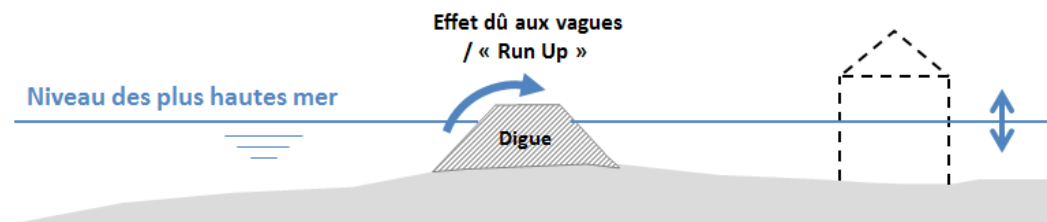


Lors des tempêtes marines, le niveau moyen de la mer augmente sous l'effet conjoint de la dépression atmosphérique et des vents (qui poussent l'eau vers la côte). De plus, l'érosion progressive des cordons dunaires ou des protections identifiées par le vent ou par l'agression de la houle peut provoquer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

Ces submersions se propagent aussi à l'intérieur des marais ou des terrains bas. Cette submersion est amplifiée par la propagation par des chenaux ou canaux et l'inondation peut donc gagner 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 donc également indispensable pour quantifier au mieux ce phénomène.

2.3. OUTIL DE MODÉLISATION

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

Cette modélisation intègre la représentation :

- de l'hydrodynamique côtés maritime et terrestre,
- de la propagation de la houle côté maritime,
- 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 fond), débit linéique scalaire et vectoriel (vitesse x hauteur d'eau)...

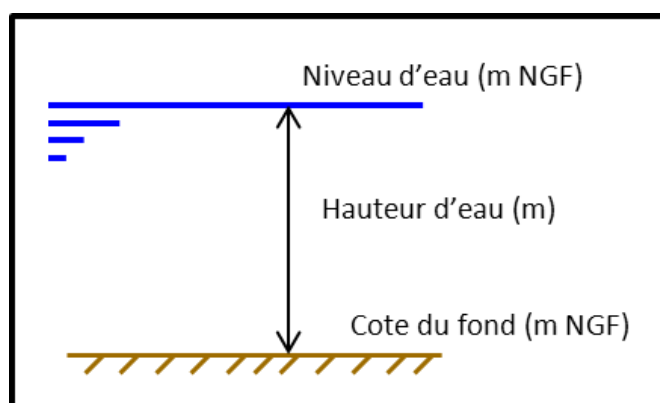


Fig. 2. Fond, hauteur d'eau, niveau d'eau

2.3.1. 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 hydromaritime et la propagation des écoulements côté terrestre sur l'ensemble de notre secteur aval comprenant le Pertuis d'Antioche et l'estuaire de la Seudre remontant jusqu'en amont de Saujon..

2.3.2. Principes de calcul

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

Pour cela, trois outils de modélisations intégrés à TELEMAC 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.

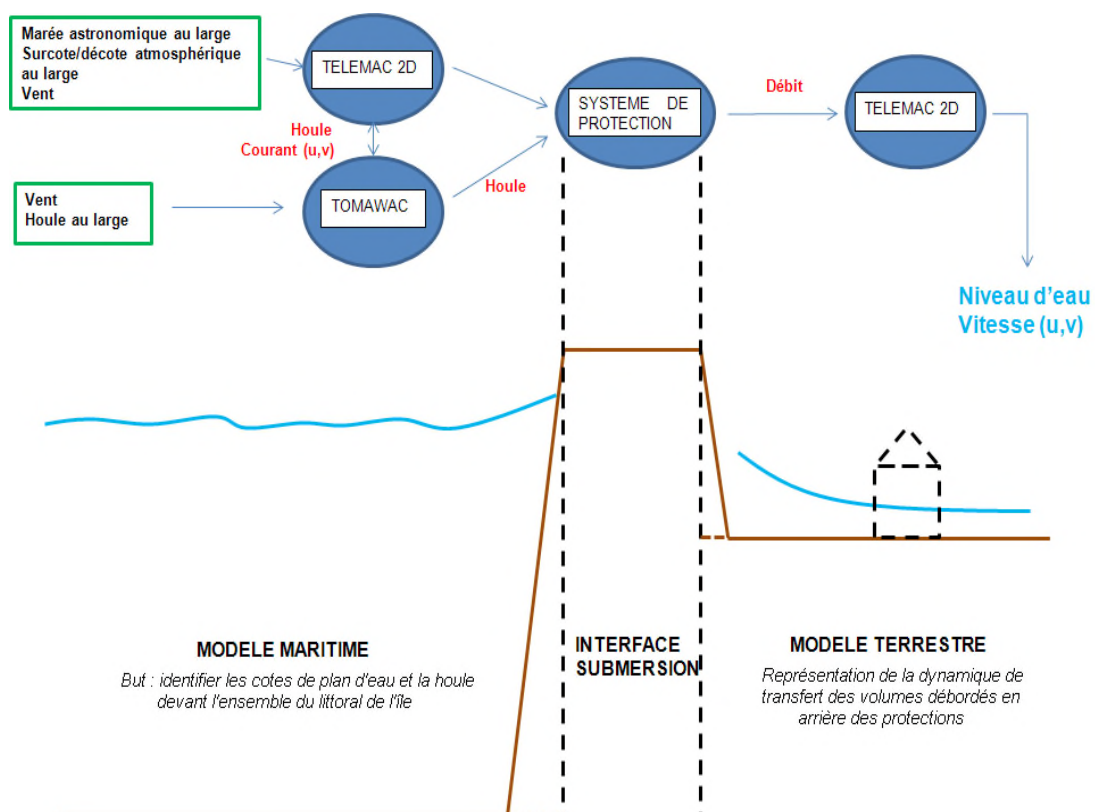


Fig. 3. Synoptique de la modélisation mise en œuvre constituant au final un seul modèle sous TELEMAC

A. 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, TELEMAT-2D permet de représenter l'évolution de l'hydrodynamique maritime et des débordements côté terrestre, 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).

B. 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 TELEMAT. 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 notre secteur, 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 TELEMAT-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.

C. Outil de modélisation des protections

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

Au niveau de cette « interface », un développement spécifique a été réalisé sous TELEMAT 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).

Cette prise en compte des protections est donc entièrement intégrée à la version TELEMAT utilisée pour cette étude et constitue au final un seul modèle utilisé dans le cadre de la présente étude.

2.4. ZONE MODÉLISÉE

Le territoire inclus dans l'emprise de la zone modélisée est défini par des critères hydrauliques et topographiques pour la partie terrestre.

L'intégralité du bassin de la Seudre et des marais de Brouage susceptible d'être inondée pour la configuration à étudier est donc intégrée dans l'emprise du modèle mis en œuvre.

Le modèle mis en œuvre dans le cadre de la qualification des aléas intègre donc :

- un modèle terrestre, représentant l'ensemble du territoire, situé sous 7,0 m NGF sur les marais de la Seudre, et sous une cote maximale de 10 m NGF sur l'amont du secteur d'étude de manière à prendre en compte la totalité du territoire potentiellement inondable,
- un modèle maritime, représentant l'ensemble des pertuis Charentais, mais également une vaste zone allant de la côte Aquitaine au littoral Vendéen et permettant de représenter les cotes et surcotes marines avec leur propagation depuis le large jusqu'à l'intérieur des pertuis.

Les emprises ainsi modélisées sont présentées sur les figures 6 et 7 suivantes.

2.4.1. Emprise maritime

L'emprise au large du modèle se situe à environ 80 km au large de l'embouchure de la Charente, au-delà de l'isobathe -50,0 m NGF IGN 69.

La limite nord du modèle se situe au niveau des Sables d'Olonne, en Vendée, et la limite sud, au niveau de Vendays-Montalivet, le long des côtes Aquitaines en Gironde.

L'ensemble de la façade océanique de la région Poitou-Charentes est ainsi couverte par ce modèle comme le présente l'illustration suivante.

Les principaux fleuves côtiers sont intégrés dans l'emprise du modèle hydrodynamique. Il s'agit des fleuves suivants :

- le Lay,
- la Sèvre Niortaise,
- la Charente,
- la Seudre,
- la Gironde (puis la Garonne et la Dordogne en amont du bec d'Ambés).

Ce choix permet de s'assurer que les différents phénomènes hydrodynamiques sont correctement représentés par le modèle mis en œuvre et notamment l'influence des volumes oscillants de ces fleuves sur l'hydrodynamique des Pertuis.

La figure suivante présente l'emprise du modèle maritime modélisé.

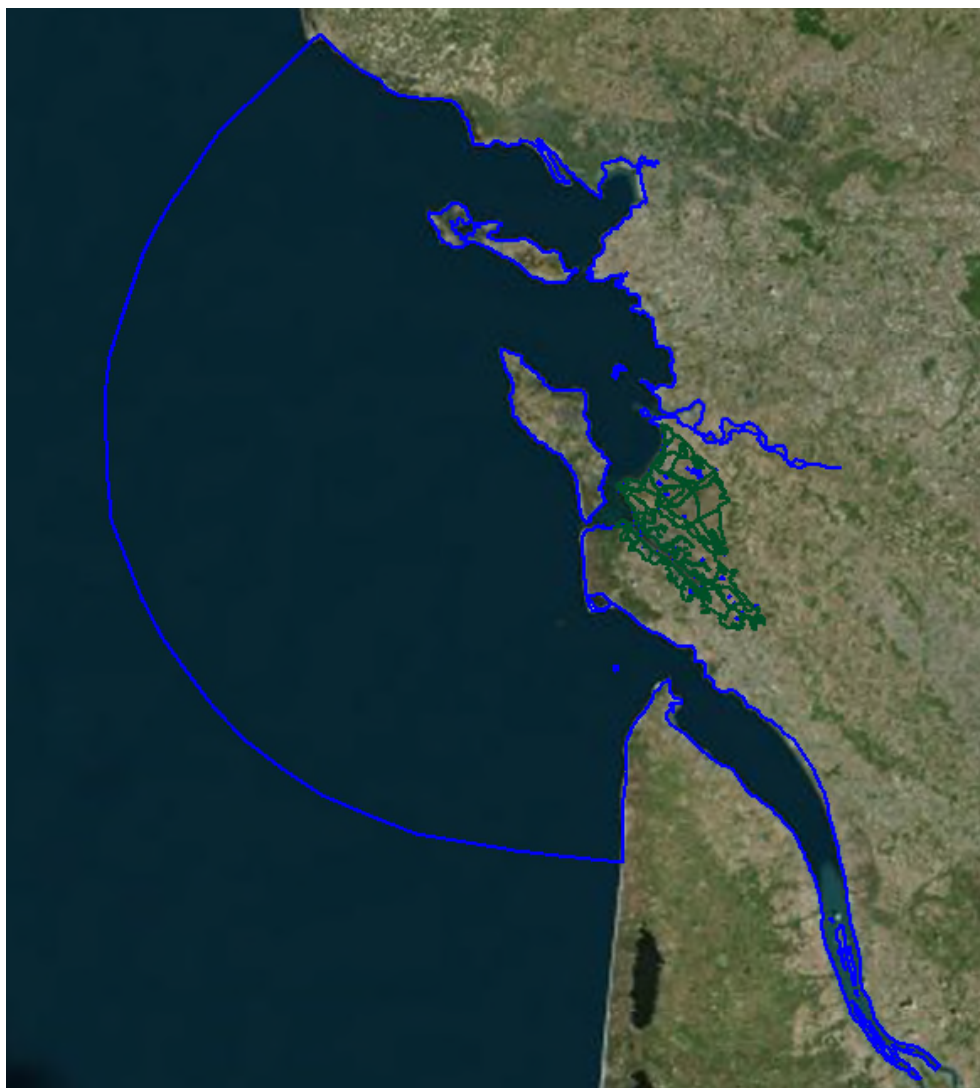


Fig. 4. Emprise du modèle maritime global

2.4.2. Emprise terrestre

L'emprise terrestre du modèle repose essentiellement sur la ligne de niveau 7,0 m NGF sur les marais de la Seudre, et pouvant aller jusqu'à 10 m NGF sur l'amont du secteur d'étude (Corne-Ecluse) afin d'intégrer l'ensemble des territoires situés sous le niveau d'eau à la cote maximale pouvant être atteinte par un évènement quelconque à étudier dans le cadre de cette étude.

La prise en compte de cette limite implique un maillage sur des superficies relativement importantes, correspondant notamment à de vastes territoires de marais.

La figure suivante présente l'emprise du modèle terrestre modélisé.



Fig. 5. Emprise du modèle terrestre

2.5. CARACTÉRISTIQUES DU MODÈLE

2.5.1. 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).

2.5.2. 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.

A. Remblais et digues principaux

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 ou passant par les défaillances au niveau de l'obstacle à l'aide des lois « classiques » de l'hydraulique (lois de seuil).

Pour les digues littorales, le calcul des lois de débordement intègre également les caractéristiques de la houle pour déterminer le débit généré par le phénomène de paquets de mer.

Cette dernière méthode a été retenue pour représenter l'ensemble des digues littorales et bordant l'estuaire de la Seudre. 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, les données topographiques des protections issues du LIDAR présentent un espacement moyen entre les points relevés de 5 m environ. Elles ont été prises 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.

Le modèle permet également de décrire, la réalité physique des points singuliers pouvant influencer sur la propagation des volumes et débits débordés tels que les routes en remblais.

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.

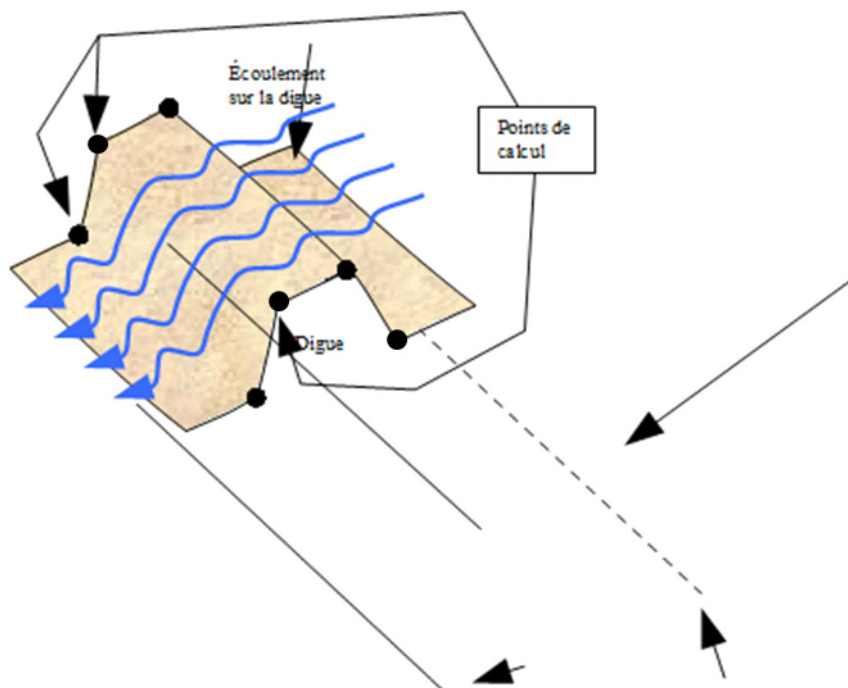


Fig. 6. Représentation schématique des digues de marais ou infrastructures linéaires en remblai

Notons que le bassin de la Seudre est riche en marais ostréicoles et présente donc un grand nombre de digues ou d'ouvrages singuliers en remblai à l'intérieur de ces terres. Or dans un modèle de ce type, il est impossible de prendre en compte tous les modèles de terrain dans les marais.

Ainsi, 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. En effet, la représentation de l'ensemble des digues intérieures des marais aurait nécessité des descriptions de mailles beaucoup plus denses et par conséquent un modèle trop dense et ayant donc des temps de calculs très importants.

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.

B. Bâtiments et zones urbaines

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

Cependant, le secteur d'étude présentant très peu de zone urbaines denses, 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. L'intégration dans le maillage du modèle de 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.

Par ailleurs, la prise en compte des rues pour uniques vecteurs d'écoulement en milieu urbain aurait pour conséquences d'identifier des vitesses (réelles) dans celles-ci beaucoup plus fortes et donc de proposer des zones de vitesses plus importantes que dans le cadre de la modélisation retenue à ce jour en concertation avec les services de l'État. Cette prise en compte des bâtiments n'irait donc pas dans un sens d'une plus importante constructibilité finale de ces secteurs en prenant en compte les règles définies par la DDTM et détaillées plus loin dans ce rapport.

C. Marais

De nombreux marais ostréicoles sont présents notamment sur les bords de la Seudre et dans le marais Brouage.

Comme précisé ci-avant, seules les digues de bord des marais possédant un rôle hydraulique important sur les écoulements (niveaux de la digue, fermeture d'un marais...) sont représentées.

Cette représentation permet donc de bien représenter le phénomène de stockage (volume) et d'atténuation de la vague de submersion vers les zones arrière.

La cote de fond des différents marais n'est pas connue précisément mais il a été retenu dans les calculs que ces marais ne sont pas entièrement vides lors de la survenue d'un événement, tel que la tempête Martin. Ils sont donc représentés au début de l'événement avec un niveau d'eau réaliste.

Le niveau représenté dans le fond des marais correspond donc au niveau levé lors du levé Litto3D réalisé par l'IGN sur le secteur d'étude. Il sera toutefois possible avec le modèle de représenter un niveau de remplissage des marais plus haut que le niveau levé.

D. Réseau de ressuyage et ouvrages hydrauliques

Le réseau de ressuyage (fossés, canaux,...) principal est intégré dans les modèles mis en œuvre.

Le manque d'informations bathymétriques sur ces secteurs nous a conduits à proposer des sections hydrauliques types et à imposer des cotes de fond supposées pour ce réseau. Les cotes des fonds ont été retenues sur la base de notre expertise sur les ouvrages hydrauliques de ce réseau et sur notre visualisation de ces territoires réalisée au préalable de la phase de modélisation.

Les ouvrages hydrauliques principaux, et notamment les ouvrages à l'aval de ce réseau, ont été intégrés dans le modèle. Le fonctionnement des ouvrages spécifiques (clapets, portes-à-flot,...) est également intégré dans les calculs réalisés.

Le réseau secondaire (fossés, ...) n'est, pour la plupart, pas représenté par le modèle, mais les exutoires de celui-ci sont cependant intégrés dans la modélisation mise en œuvre. L'ouvrage exutoire est relié au point bas en arrière de la protection, ce qui signifie que le transfert des eaux depuis le secteur bas jusqu'à la mer n'est pas représenté par le modèle mais que la vidange des points bas réalisée via les exutoires est néanmoins parfaitement prise en compte.

Le réseau pluvial n'est pas représenté de manière détaillée dans les modélisations mises en œuvre. Les principaux exutoires existants sur la zone urbaine sont toutefois intégrés pour représenter la vidange depuis les secteurs bas du lit majeur.

Au total, 61 ouvrages ont été intégrés dans le modèle mis en œuvre.

Le modèle mis en œuvre a pour vocation première la détermination des aléas hydrauliques (niveaux et hauteurs d'eau maximales) liés à des inondations ou submersions importantes. Cependant, la méthodologie de construction employée permet la représentation de la période post-

crue et de la vidange des secteurs inondés.

2.5.3. Caractéristiques du maillage mis en œuvre

Le maillage du modèle terrestre est composé de 356 700 nœuds de calculs composant 676 200 éléments triangulaires.

La partie maritime est composée d'environ 37 100 nœuds composant 58 400 mailles (éléments) triangulaires.

Pour la partie terrestre, les tailles des mailles sont comprises entre 1 et 50 m selon la nature de l'occupation des sols et les obstacles aux écoulements à représenter.

La taille des mailles du maillage maritime varie de 5 km au large à moins de 20 m sur le littoral. Au niveau des Pertuis Bretons et de Maumusson, la taille des mailles est de l'ordre de 100 mètres.

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. En effet, comme les fonds des pertuis sont très faibles, le rôle hydrodynamique joué par les chenaux est d'autant plus important. Cette méthode permet donc la parfaite représentation de l'effet de canalisation des écoulements observé, notamment au niveau du Pertuis de Maumusson.

Les figures suivantes présentent le maillage mis en œuvre sur le territoire dans son ensemble et sur des zooms spécifiques.

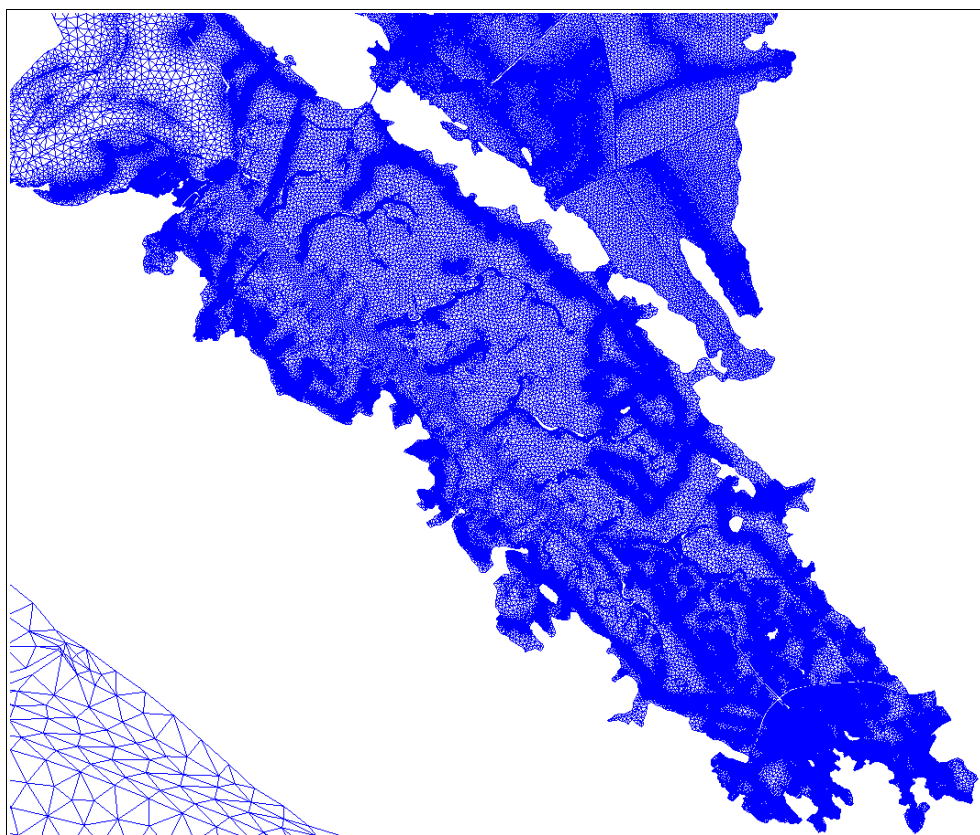


Fig. 7. Maillage du modèle - Partie Seudre

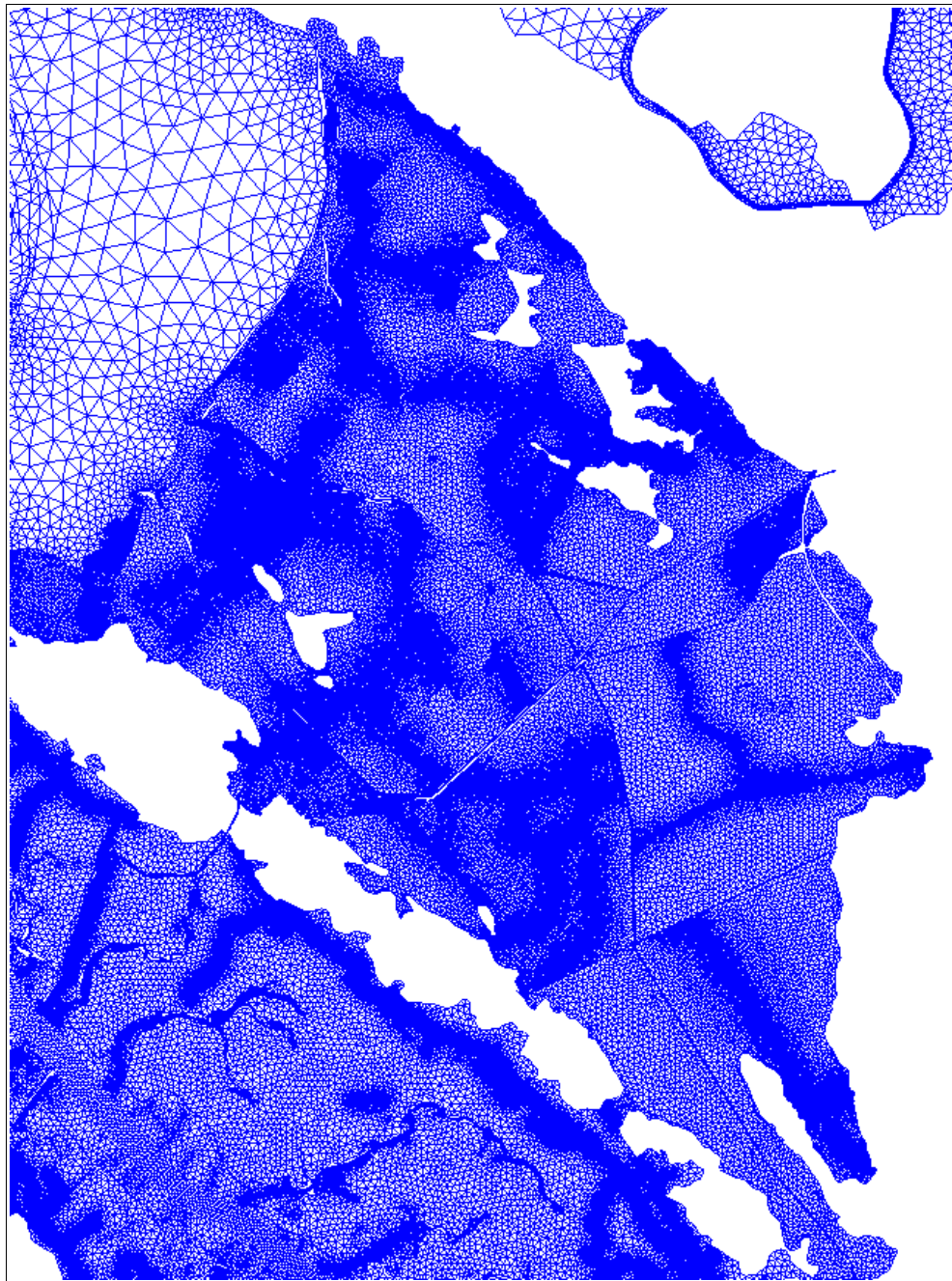


Fig. 8. Maillage du modèle - Partie Brouage

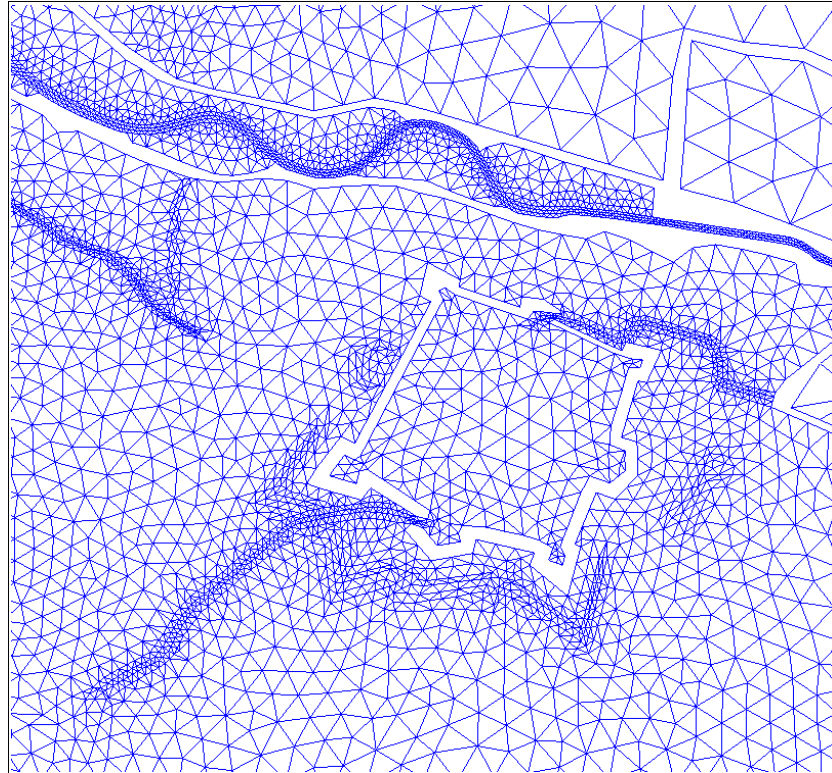


Fig. 9. Maillage du modèle (zooms sur la citadelle de Hiers Brouage)

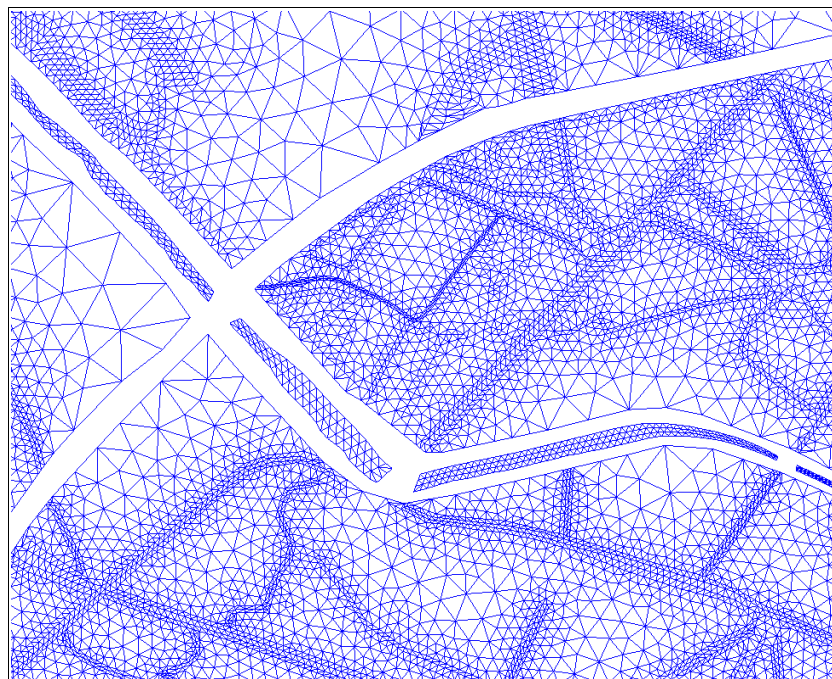


Fig. 10. Maillage du modèle (zooms sur Saujon)

2.5.4. Bathymétrie et topographie

La bathymétrie de la partie maritime du modèle est issue, pour la plupart des zones représentées, des cartes du SHOM disponibles sur le secteur. Toutefois, pour certains secteurs et notamment au plus près de la frange littorale, sur la bande découvrante, les données issues du Lidar ont été utilisées pour affiner la bathymétrie.

La topographie de la partie terrestre du modèle est issue :

- de l'interprétation et de l'exploitation des données LIDAR (LITTO 3D fourni par l'IGN) du secteur d'étude,
- des données topographiques des crêtes de protections issues des levés réalisés sur certains secteurs (notamment sur l'Eguille) ;

L'ensemble de ces données et la finesse du modèle mis en œuvre permet, par conséquent, une représentation fine de la topographie réelle et actuelle des sols.

2.6. HYPOTHÈSES ET LIMITES ASSOCIÉES

2.6.1. Interpolation entre les points de calcul

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

La précision des résultats obtenus est directement liée à la précision de l'ensemble des données d'entrée intégrées dans le modèle.

Par ailleurs, et notamment en termes de cartographie brute issue du traitement informatique direct réalisé avec le modèle, la taille des mailles décrites est un élément d'imprécision cartographique. En effet, 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).

Cette dernière remarque peut expliquer, pour toutes les cartographies produites hors cartographies détaillées au 1/5 000 cadastrale des hauteurs, vitesses et aléas pour les 2 scénarios de référence, le découpage rectiligne de l'emprise des zones inondées obtenu sur les secteurs pour lesquels le modèle mis en œuvre présente des mailles de tailles comprises entre 25 et 50 m en lit majeur.

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

Dans le cadre de la présente étude, et avec la densification réalisée pour représenter finement le territoire, la taille des mailles du modèle permet de limiter très fortement cet effet numérique. Il reste toutefois présent et les cartographies brutes produites restent avec cette petite imprécisions de limite.

Ce phénomène est illustré sur la figure suivante :

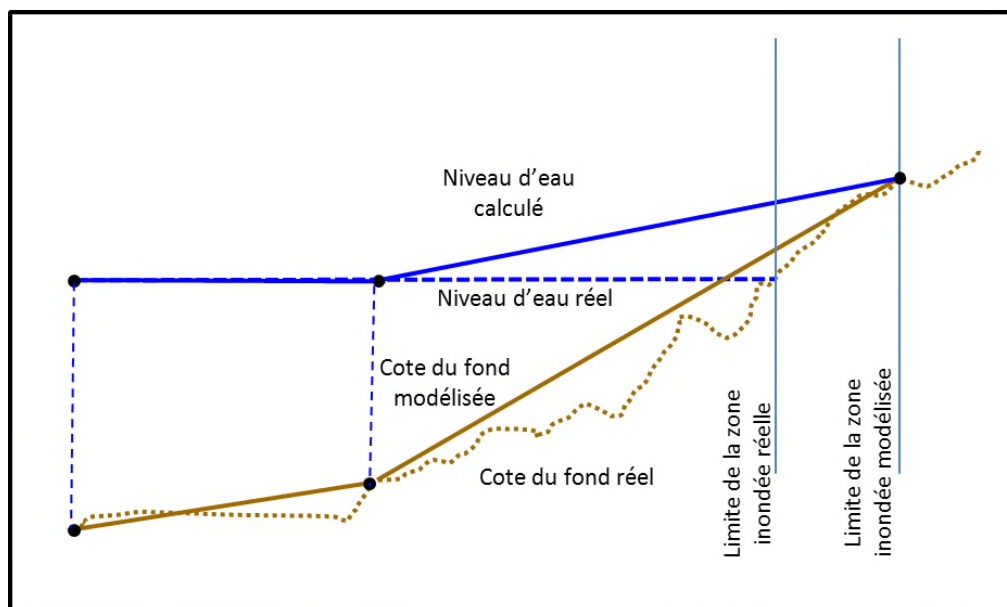


Fig. 11. Interpolation du niveau d'eau entre deux points de calcul

Précisons toutefois que cette imprécision cartographique concerne essentiellement des zones rurales et que, pour les zones urbaines situées souvent sur des terrains plus hauts que le marais, cette imprécision, bien que pouvant être effective, est minimisée par la description de mailles plus resserrées sur ces territoires.

Dans tous les cas, et à l'échelle des cartographies produites, cette imprécision n'induit pas de différences importantes avec une cartographie plus précise que nous avons réalisée et qui est détaillée pour la prise en compte des aléas du PPR ; ce type de cartographie est inutile à mettre en œuvre de façon systématique pour chaque calcul car elle nécessite un temps de travail trop conséquent, incompatible avec les délais de la prestation.

2.6.2. 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.

Notons que ces résultats feront l'objet de retouches locales spécifiques et d'une projection sur une topographie plus fine (LIDAR) lors de la phase de cartographie des aléas réglementaires du PPR décrite en fin de ce rapport.

OOo

SECTION 2

CALAGE DU MODÈLE 2D

3 - PRÉAMBULE

Il s'agit ici de réaliser en premier lieu un calage de la partie maritime du modèle puis d'intégrer, pour les événements exceptionnels ayant affecté ces territoires, un calage des franchissements des protections et identifier au final les paramètres de rugosité permettant de montrer une bonne représentativité des niveaux transférés et observés dans les terres.

Le modèle doit être capable au final de bien reproduire à la côte les niveaux réels générés au droit des marégraphes lors de ces épisodes, mais également devant l'ensemble du littoral et des protections présentes sur ce linéaire.

Une fois le modèle maritime calé et représentatif des niveaux observés lors des tempêtes passées, le calage du modèle terrestre a été réalisé afin de reproduire l'emprise et les niveaux observés sur le secteur lors des tempêtes Martin et Xynthia.

4 - CALAGE DU MODÈLE MARITIME

4.1. CALAGE DE LA PARTIE OCÉANIQUE POUR DES CONDITIONS USUELLES DE MARÉE

Le modèle maritime a été repris à partir du modèle réalisé dans le cadre d'une étude similaire sur le territoire de la Communauté d'Agglomération de La Rochelle. Des retouches mineures ont été apportées à ce modèle au droit de l'estuaire de la Seudre, en bord de cote pour parfaire la représentativité de la zone d'Estran.

Le modèle avait en premier lieu été 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 avait été réalisé par comparaison entre les évolutions du niveau d'eau fournies par le modèle hydrodynamique pour un cycle de marée astronomique aux marégraphes présents sur le littoral Charentais et les prédictions fournies par le SHOM pour ces mêmes marégraphes.

Cette comparaison avait été 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.

Etude des aléas et enjeux du bassin de la Seudre et des marais de Brouage

PARTIE 2 - PRINCIPE DE MODÉLISATION

RAPPORT

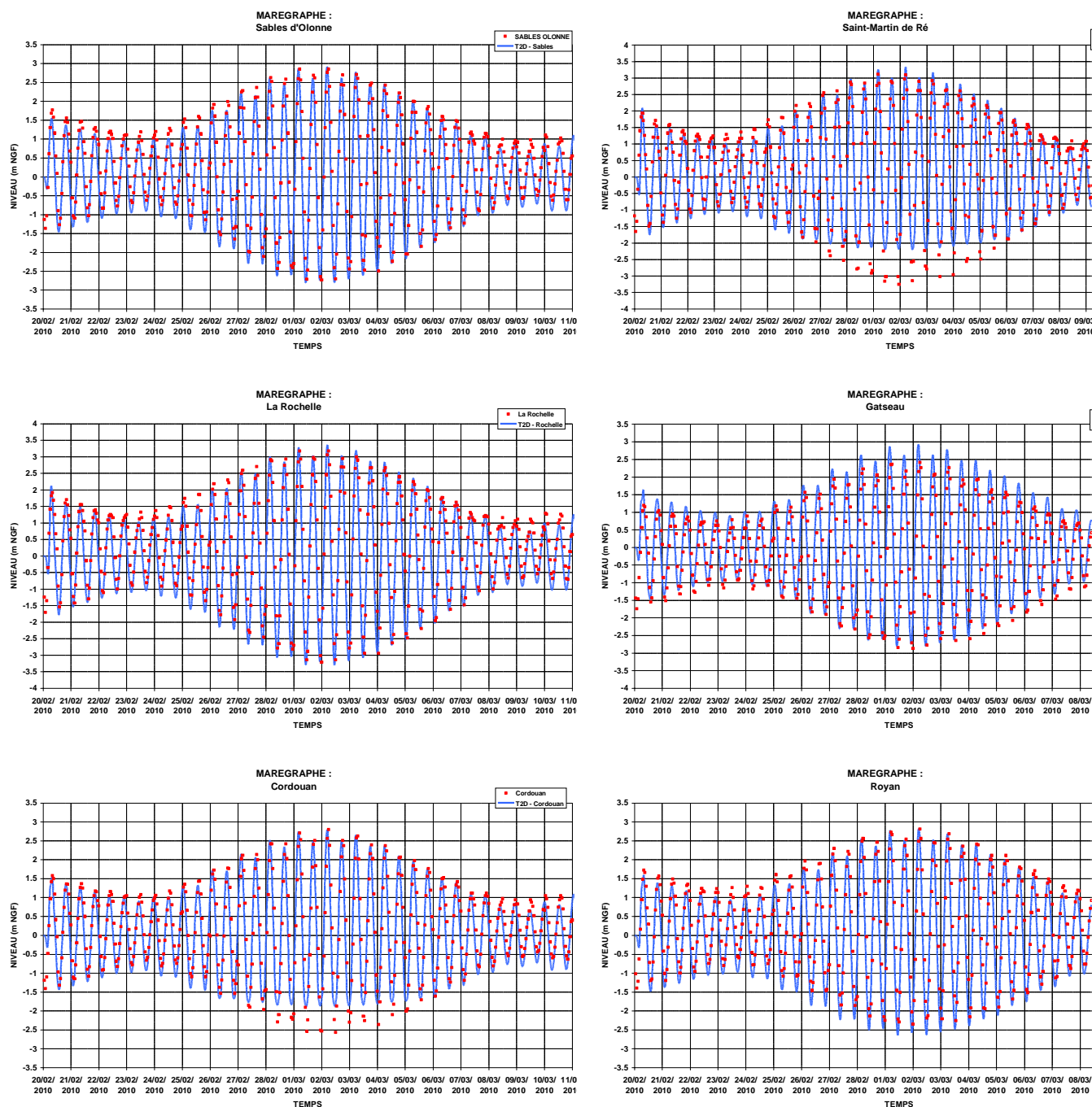


Fig. 12. Comparaison de l'évolution des niveaux d'eau donnés par le modèle hydrodynamique et ceux prédits par le SHOM

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

Etude des aléas et enjeux du bassin de la Seudre et des marais de Brouage

PARTIE 2 - PRINCIPE DE MODÉLISATION

RAPPORT

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.

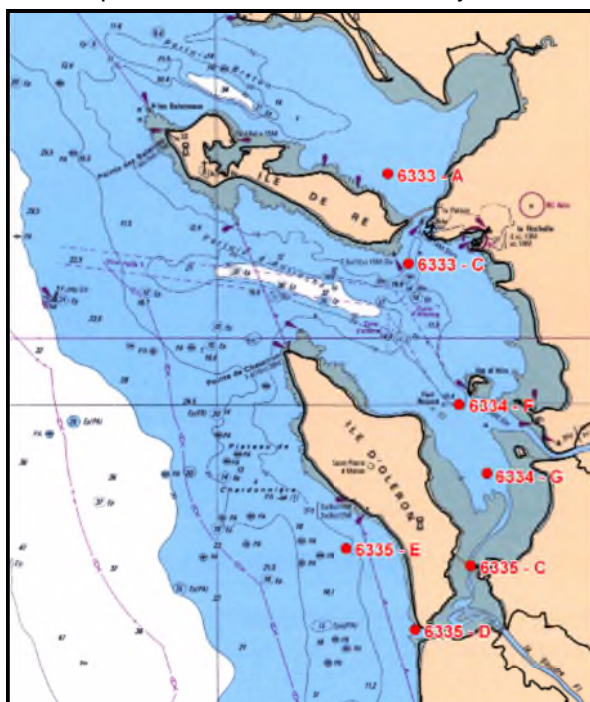
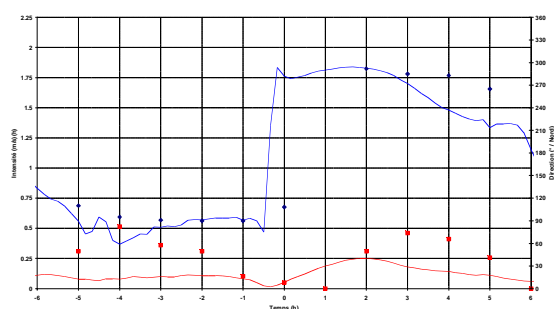


Fig. 13. Localisation des points SHOM

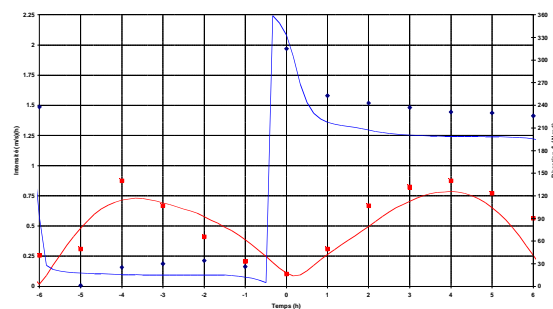
Etude des aléas et enjeux du bassin de la Seudre et des marais de Brouage

PARTIE 2 - PRINCIPE DE MODÉLISATION

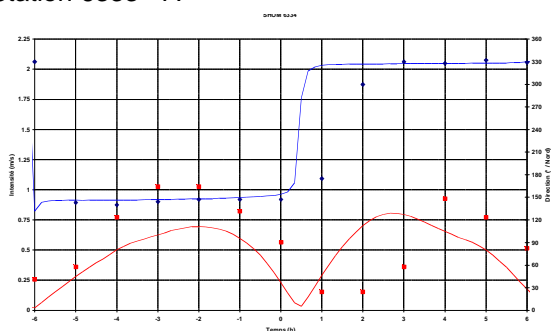
RAPPORT



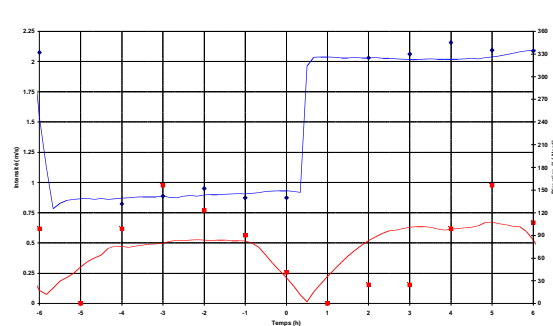
Station 6333 - A



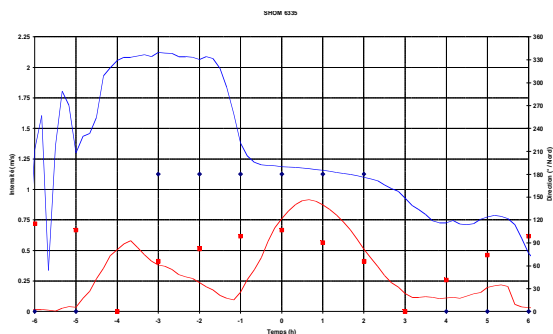
Station 6333 - C



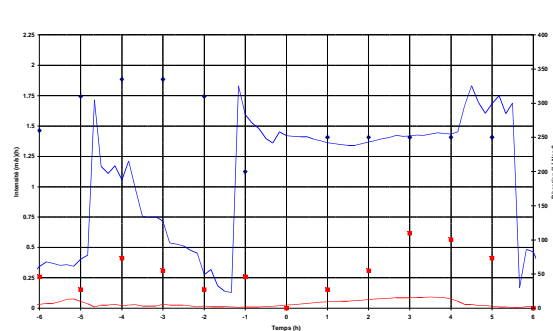
Station 6334 - F



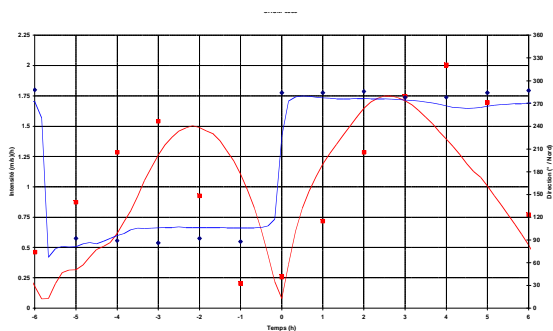
Station 6334 - G



Station 6335 - C



Station 6335 - E



Station 6335 - D

Fig. 14. 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 ».

4.2. CALAGE POUR DES ÉVÉNEMENTS GÉNÉRANT DES NIVEAUX D'EAU IMPORTANTS

4.2.1. Tempête Martin

4.2.1.1. CALAGE AU MARÉGRAPHES

Il a été réalisé en premier lieu un calage du modèle par comparaison aux informations disponibles concernant la tempête Martin du 27/12/1999. Les informations recueillies ne concernent que la partie maritime du secteur d'étude.

Pour cette comparaison, l'influence des chroniques de vents ainsi que celle de la surcote océanique d'origine atmosphérique ont été imposées en plus de la représentation de la marée astronomique.

La figure suivante présente l'ensemble des mesures recueillies pour cet événement au niveau des différentes stations de mesures de la façade atlantique. Elle présente également la chronique de vent qui a été retenue et imposée (intensité et direction) pour cette simulation.

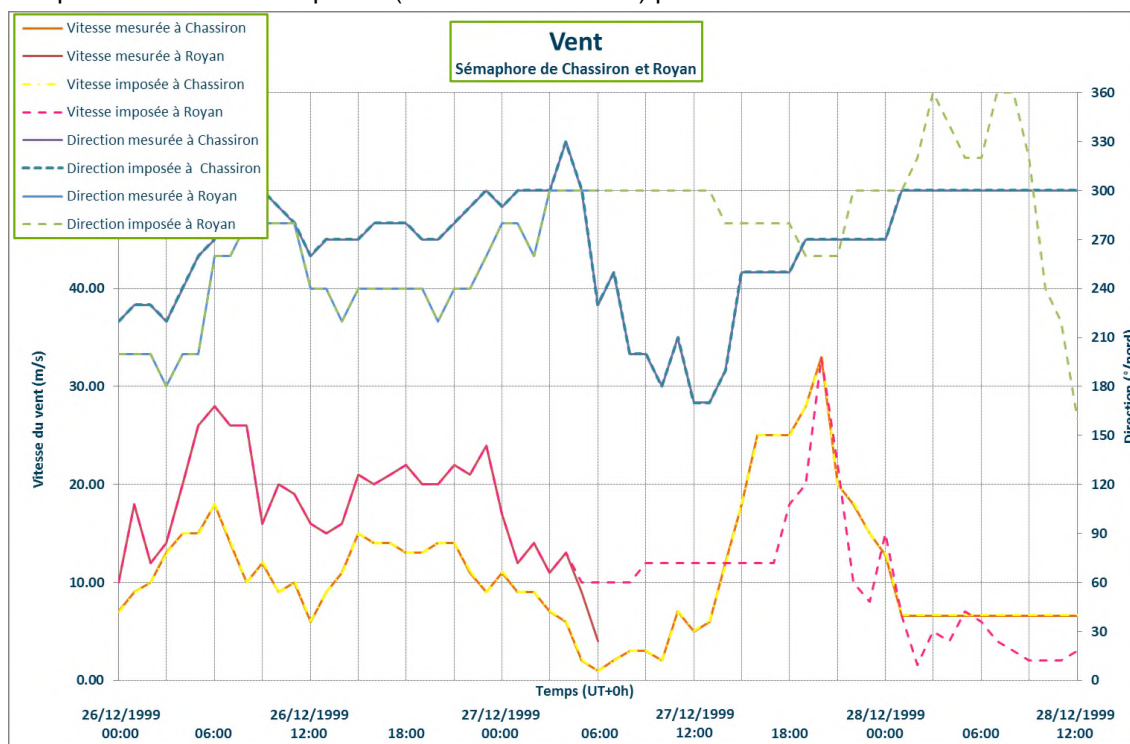


Fig. 15. Tempête Martin – Analyse des vents

La figure suivante présente la comparaison des niveaux d'eau observés et calculés au marégraphe du Verdon pour la tempête Martin ainsi que la surcote barométrique imposée au large sur la marée théorique.

Etude des aléas et enjeux du bassin de la Seudre et des marais de Brouage

PARTIE 2 - PRINCIPE DE MODÉLISATION

RAPPORT

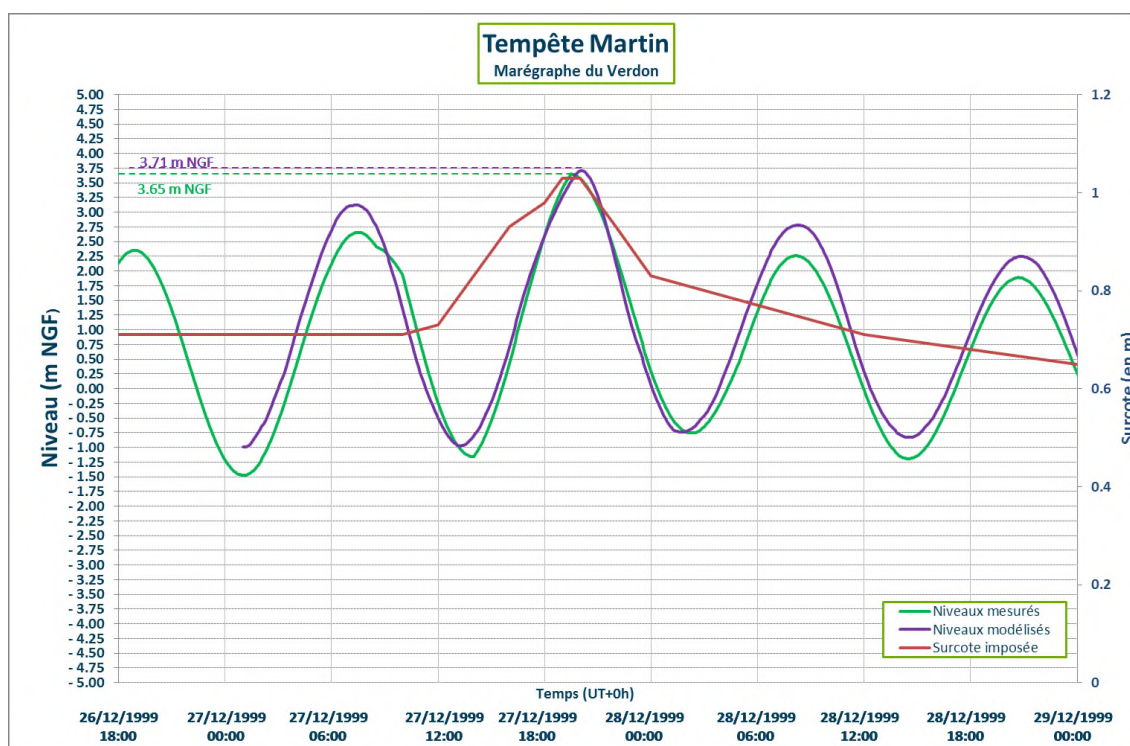


Fig. 16. Tempête Martin – Comparaison au marégraphe du Verdon

La surcote imposée pour cette tempête est concomitante avec la pleine-mer. Elle est de 1,35 m au maximum.

Le marégraphe de La Pallice n'est pas fonctionnel au moment du pic. La cote maximale du niveau d'eau calculée est de 3,50 m NGF environ.

Le niveau maximal atteint au marégraphe du Verdon pour cette tempête est de 3,65 m NGF. Le niveau maximal modélisé est de 3,71 m NGF. Le modèle semble donc bien représentatif des niveaux atteints coté maritime lors de cette tempête.

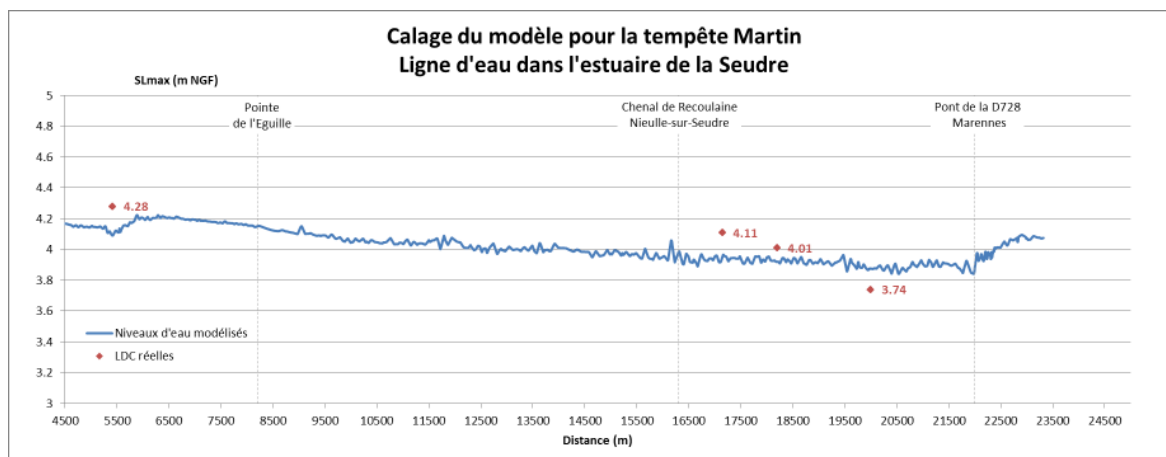
4.2.1.2. CALAGE DANS L'ESTUAIRE DE LA SEUDRE

Il n'existe que peu de laisses en lit mineur permettant de caler le modèle dans l'estuaire de la Seudre pour la tempête Martin. Le profil en long suivant présente les laisses de mer représentatives des niveaux en lit mineur pour Martin, et les niveaux modélisés :

Etude des aléas et enjeux du bassin de la Seudre et des marais de Brouage

PARTIE 2 - PRINCIPE DE MODÉLISATION

RAPPORT

**Fig. 17. Tempête Martin – Comparaison dans l'estuaire de la Seudre**

Les hautes mers sont assez disparates, il est donc impossible de caler le modèle sur l'ensemble des hautes mers en lit mineur.

Le calage de la ligne d'eau dans la Seudre a été réalisé avec des marais présentant initialement un faible tirant d'eau, en prenant en compte les défaillances recensées dans le REX, et en prenant un débit amont de 10m³/s (débit légèrement inférieur au débit décennal). Notons que plusieurs tests ont été réalisés pour évaluer la sensibilité des niveaux d'eau dans l'estuaire au débit amont. Il s'avère que le débit amont a une influence que en amont des écluses du Ribérou, et que cette influence est dépendant du temps de fermeture des écluses. Ainsi, sur la partie purement maritime (entre les écluses et l'entrée de l'estuaire), le débit de la Seudre n'influence pas les niveaux atteints pendant la tempête.

Le calage du modèle minimise l'écart entre l'ensemble des hautes mers et les niveaux modélisés. En ce sens, le calage dans le lit mineur de la Seudre est satisfaisant.

4.2.2. Tempête Xynthia

4.2.2.1. PARAMÈTRES HYDRO-MÉTÉOROLOGIQUES

4.2.2.1.1. Marée astronomique

Le coefficient de marée pour le 28/02/2010 était de 102. Au marégraphe de La Rochelle-La Pallice, la marée théorique présente un niveau de pleine-mer de 6,49 m CM, soit 2,99 m NGF (contre environ 4,50 m NGF atteint lors de la tempête Xynthia).

Pour ce marégraphe, le modèle hydrodynamique 2D mis en œuvre dans le cadre de la présente étude permet de bien représenter l'évolution de la marée théorique, que ce soit sur la représentation de l'amplitude de l'onde de marée, que sur celle des niveaux atteints à pleine et basse mer et celle au phasage de l'onde de marée. Cette comparaison entre la marée théorique fournie par le SHOM et celle représentée par le modèle est présentée sur la figure suivante :

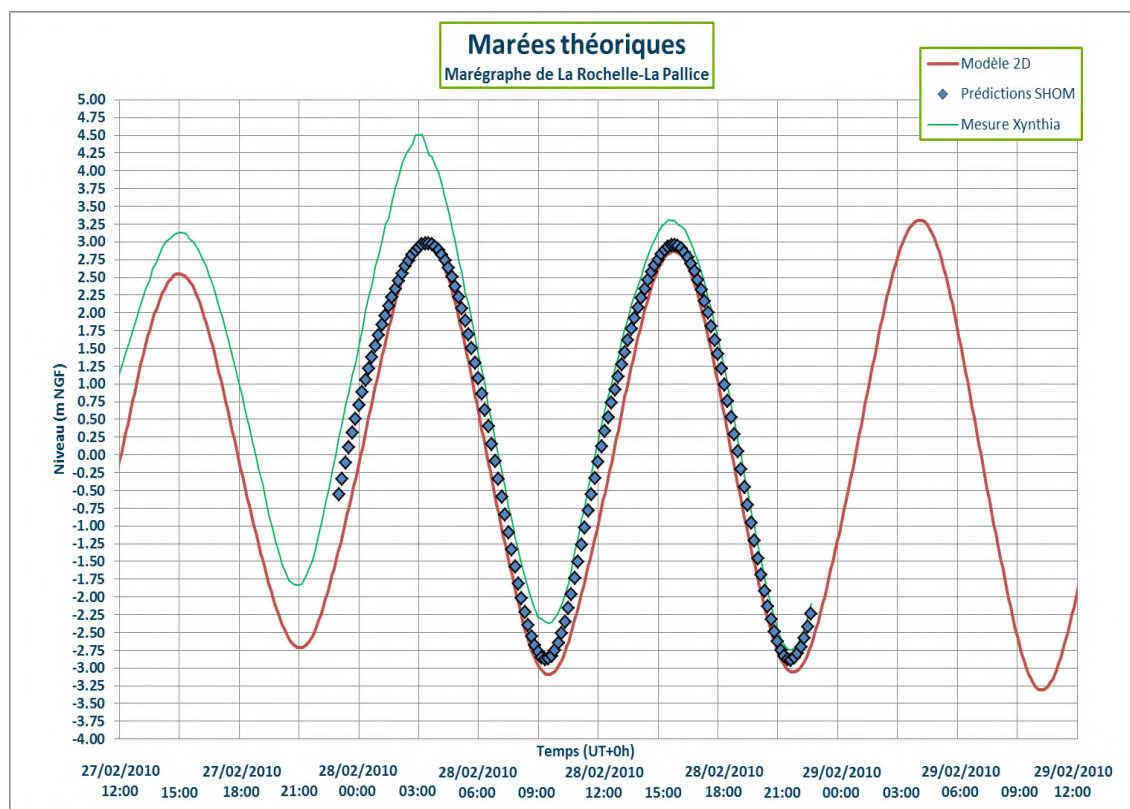


Fig. 18. Tempête Xynthia - Marée astronomique – Comparaison au marégraphe de La Rochelle

La figure suivante illustre la comparaison de l'évolution du niveau d'eau prédit par le SHOM et calculé pour le modèle 2D pour la marée astronomique au marégraphe du Verdon, à l'entrée de l'estuaire de la Gironde. Pour ce marégraphe, le modèle représente parfaitement l'évolution de la marée théorique, en termes de niveaux de pleine et basse mer et pour le phasage de l'onde de marée.

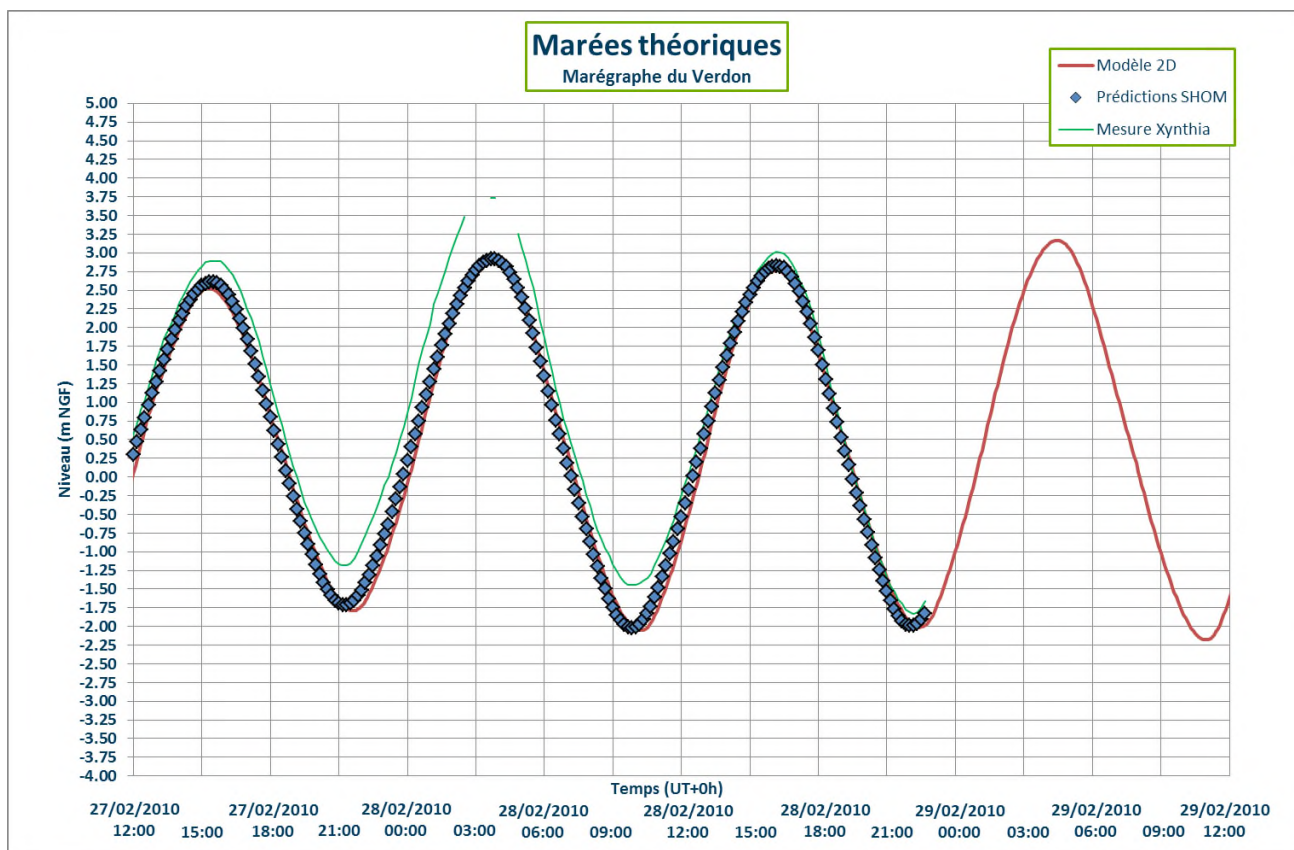


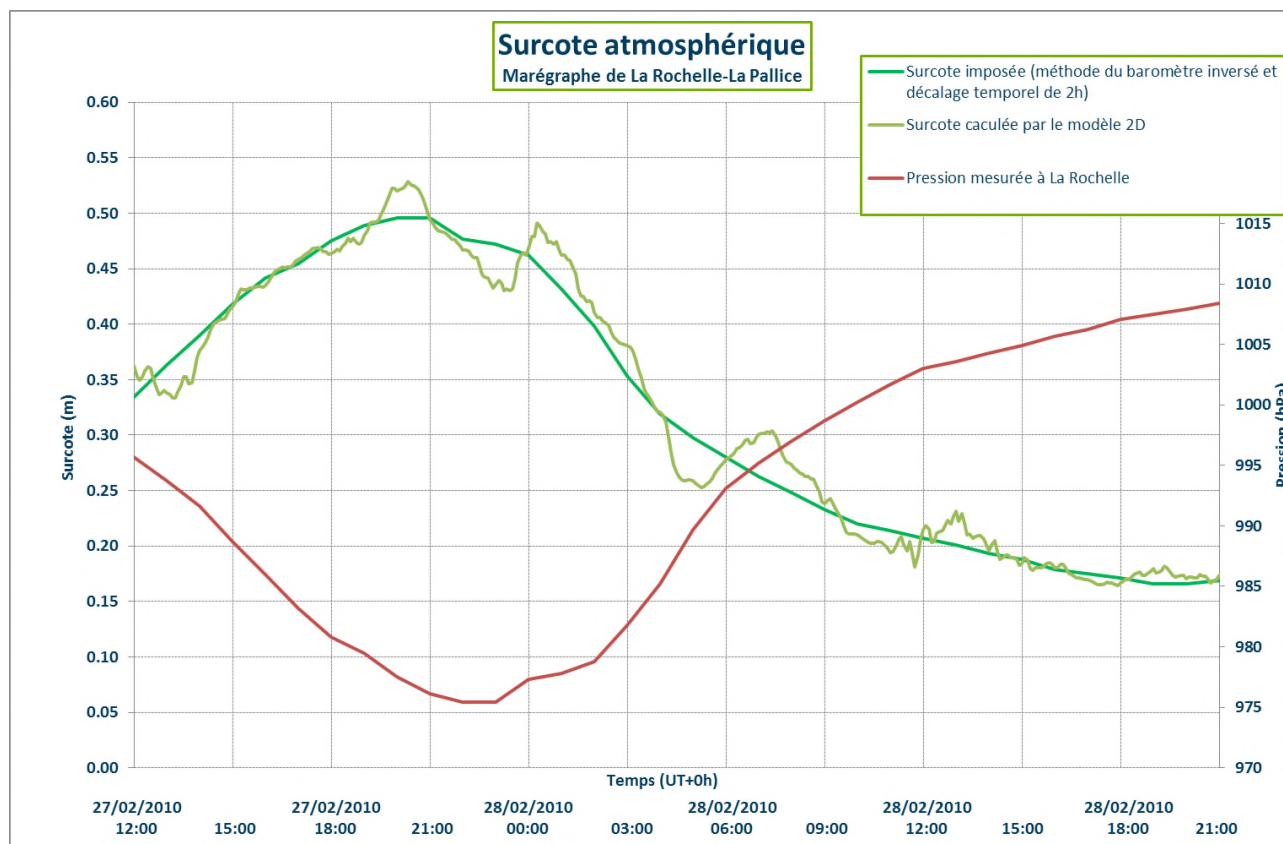
Fig. 19. Tempête Xynthia - Marée astronomique
Comparaison au marégraphe du Verdon

Cette analyse permet de valider la représentation par le modèle de la marée astronomique sur la façade de la Charente-Maritime.

4.2.2.1.2. Surcote « atmosphérique »

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 2h est imposé pour considérer l'éloignement de la frontière au large du modèle (temps de propagation de la dépression). Cette méthode implique l'imposition d'une surcote maximale de près de 50 cm au large. Ceci est illustré sur la figure suivante où est également représentée la surcote calculée au niveau du marégraphe de La Rochelle. Il n'y a pas de phénomène d'amplification de la surcote au large sous l'effet de la bathymétrie à la côte.

**Fig. 20. Tempête Xynthia – Surcote atmosphérique****4.2.2.1.3. Vents**

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.

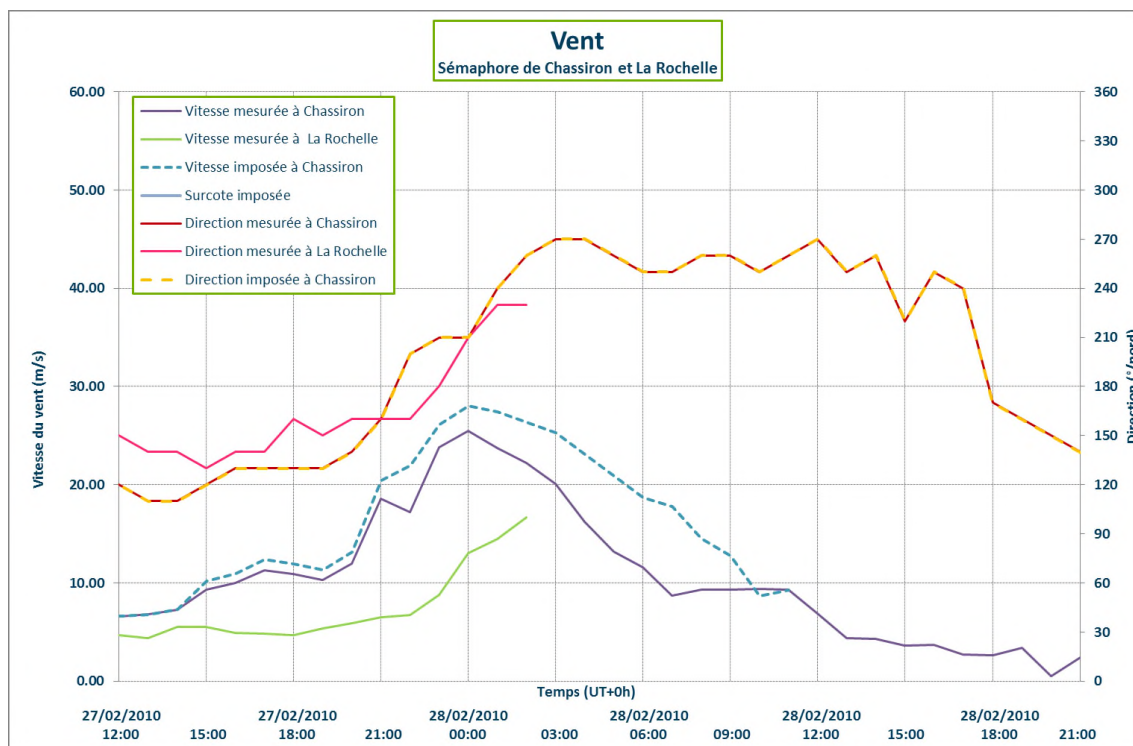
L'influence du vent n'est considérée que sur la partie maritime du modèle.

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. Le sémaphore de La Rochelle a été hors service dès le début de la tempête. Cette chronique est présentée sur la figure suivante.

Etude des aléas et enjeux du bassin de la Seudre et des marais de Brouage

PARTIE 2 - PRINCIPE DE MODÉLISATION

RAPPORT

**Fig. 21. Tempête Xynthia – Vent**

L'imposition de cette chronique de vent sur la partie maritime se traduit par une surcote maximale de près de 1,00 m au marégraphe de La Rochelle-La Pallice.

4.2.2.1.4. **Houles**

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.

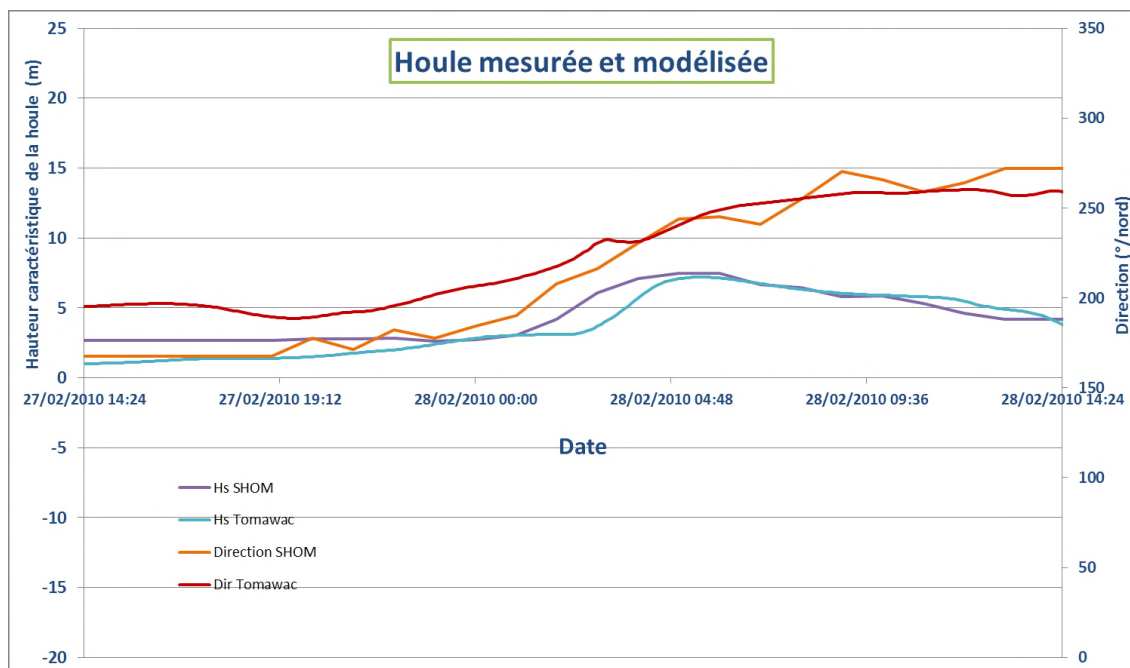
Le modèle mis en œuvre dans le cadre de la présente étude prend en considération, et ce de manière couplée, l'influence de la houle sur les courants de marée qui génèrent le set-up et l'influence des courants de marée sur la propagation de la houle.

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.

Etude des aléas et enjeux du bassin de la Seudre et des marais de Brouage

PARTIE 2 - PRINCIPE DE MODÉLISATION

RAPPORT

**Fig. 22. Tempête Xynthia – Houle****4.2.2.2. NIVEAUX D'EAU MAXIMAUX POUR LA TEMPÊTE XYNTIA****4.2.2.2.1. Aux marégraphes**

Les figures suivantes présentent la comparaison aux marégraphes de La Rochelle-La Pallice, et du Verdon, entre les enregistrements des marégraphes lors de cette tempête et les résultats du modèle intégrant la marée astronomique et les influences de la surcote au large, du vent et de la houle obtenus pour la simulation de cet événement.

Il ressort de l'analyse de ces graphiques les remarques suivantes :

- l'évolution du niveau d'eau observée au marégraphe de La Rochelle-La Pallice est très bien représentée par le modèle. Il existe un léger déphasage lors du flot précédant le pic de l'événement,
- l'évolution du niveau d'eau observée au marégraphe du Verdon est très bien représentée par le modèle. Il existe également un léger déphasage lors du flot précédant le pic de l'événement.

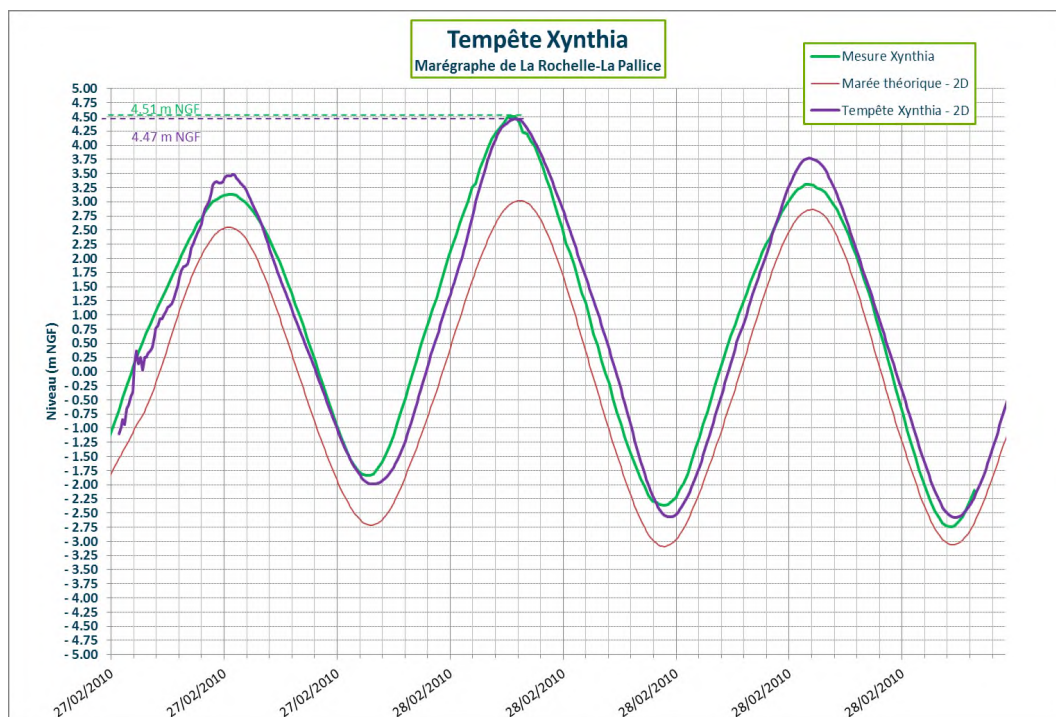
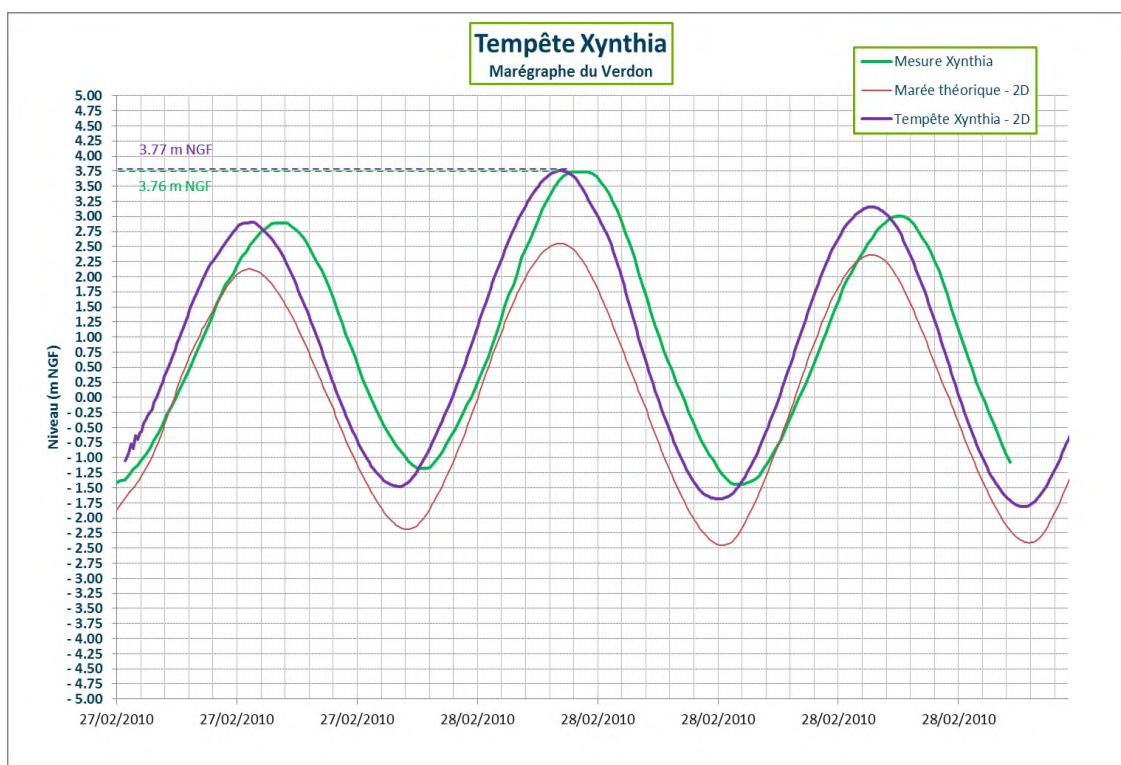
Malgré le faible nombre des enregistrements exploitables, le modèle permet de représenter très précisément le niveau d'eau maximal mesuré au marégraphe de La Rochelle-La Pallice.

Le modèle mis en œuvre permet de représenter fidèlement l'influence des paramètres hydro-météorologiques sur l'évolution du niveau d'eau côté maritime.

Etude des aléas et enjeux du bassin de la Seudre et des marais de Brouage

PARTIE 2 - PRINCIPE DE MODÉLISATION

RAPPORT

**Fig. 23. Tempête Xynthia – Comparaison au marégraphe de La Rochelle****Fig. 24. Tempête Xynthia – Comparaison au marégraphe du Verdon****4.2.2.2. Dans l'estuaire de la Seudre**

Comme pour la tempête Martin, il n'existe que peu de laisses en lit mineur permettant de caler le

Etude des aléas et enjeux du bassin de la Seudre et des marais de Brouage

PARTIE 2 - PRINCIPE DE MODÉLISATION

RAPPORT

modèle dans l'estuaire de la Seudre pour la tempête Xynthia. Le profil en long suivant présente les laisses de mer représentatives des niveaux en lit mineur pour Xynthia, et les niveaux modélisés :

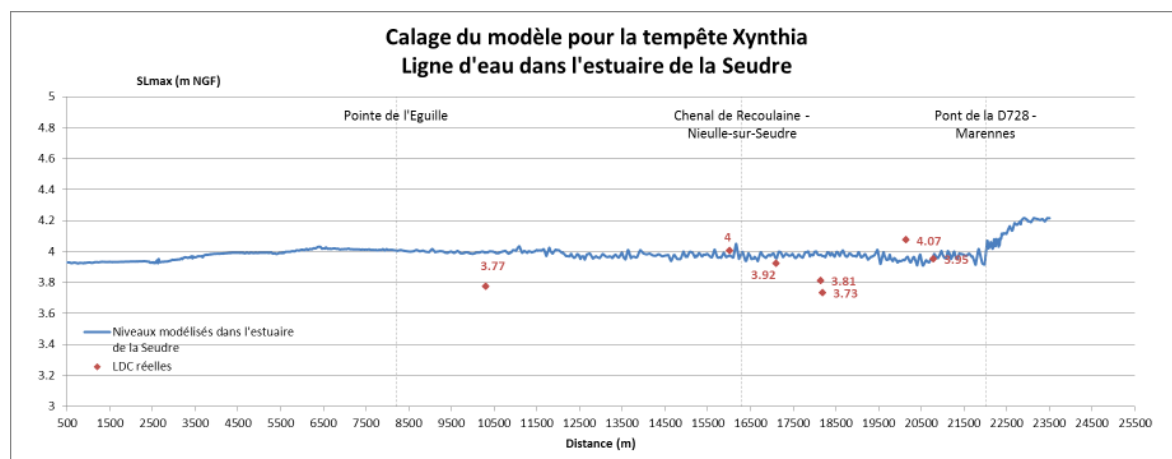


Fig. 25. Tempête Xynthia – Comparaison dans l'estuaire de la Seudre

Le calage a été réalisé en prenant en compte les marais présentant initialement un faible tirant d'eau, les défaillances issues du REX Xynthia, et un débit amont de 5 m³/s.

Les laisses de mer oscillent autour d'un niveau à 3,90 m NGF. Le calage du modèle minimise l'écart entre l'ensemble des laisses et les niveaux modélisés, et modélise également un niveau oscillant entre 3,90 m NGF et 4 m NGF vers la pointe de l'Eguille. En ce sens, le calage dans le lit mineur de la Seudre est satisfaisant.

Il est intéressant de superposer les lignes d'eau modélisées des tempêtes Xynthia et Martin :

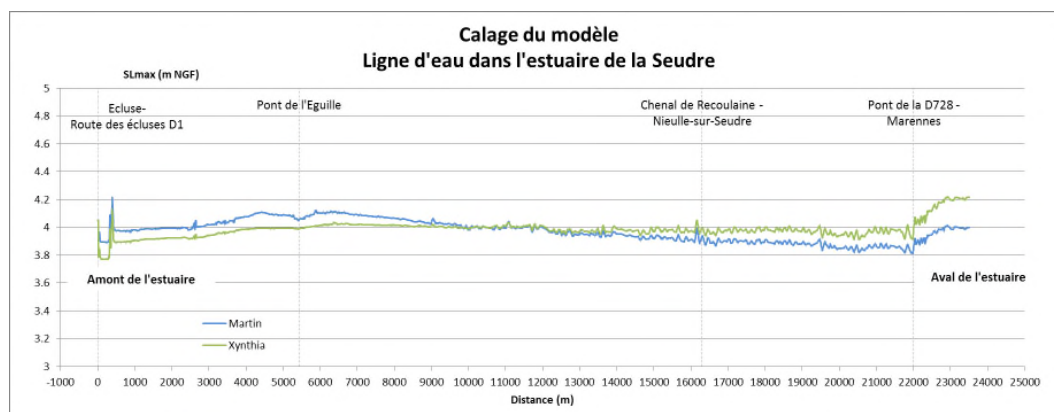


Fig. 26. Comparaison dans l'estuaire de la Seudre des lignes d'eau modélisée des tempêtes Martin et Xynthia

On constate que la ligne d'eau de l'événement Xynthia est relativement plate, alors que la ligne d'eau de l'événement Martin remonte en fond d'estuaire. Les tests de sensibilité ont montré que cette différence n'est pas due au débit de la Seudre, mais bien à l'influence du vent : Pour rappel, le vent de Martin était orienté Nord-Ouest, et a pu pousser l'eau en fond d'estuaire. Lors de Xynthia, le vent était orienté plutôt sud-Ouest et n'a donc pas eu une influence aussi importante dans l'estuaire de la Seudre.

La dynamique de propagation différente pour ces deux événements est également influencée par le rôle joué par l'île d'Oléron sur la propagation des vents (rôle différent selon la direction du vent).

5 - CALAGE DU MODÈLE TERRESTRE

5.1. PRINCIPES

Le principe du calage consiste à reproduire le plus fidèlement possible les niveaux observés, principalement par l'ajustement des coefficients de rugosité des sols (coefficient de Strickler) qui traduit le frottement plus ou moins important de l'eau sur le sol en fonction de l'état de la surface du terrain. **Le calage du modèle hydraulique à l'intérieur des terres constitue une étape essentielle de la modélisation car il conditionne la qualité et la validité des résultats ultérieurs du modèle sur toutes les parties terrestre qui constituent les secteurs à enjeux du territoire.**

Dans le cas de la présente étude et au vu du nombre important d'informations disponibles (Éléments de mémoire de la tempête Martin et celui de la tempête Xynthia), les tempêtes Martin et Xynthia ont été retenues comme événements de calage du modèle dans sa partie terrestre.

5.1.1.1. REPRÉSENTATION DES FROTTEMENTS

En fonction de l'occupation des sols déterminée à partir de CORINE Landcover et de l'analyse des photographies aériennes, 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 laisses de mer recensées, critiquées et validées sur le territoire concerné.

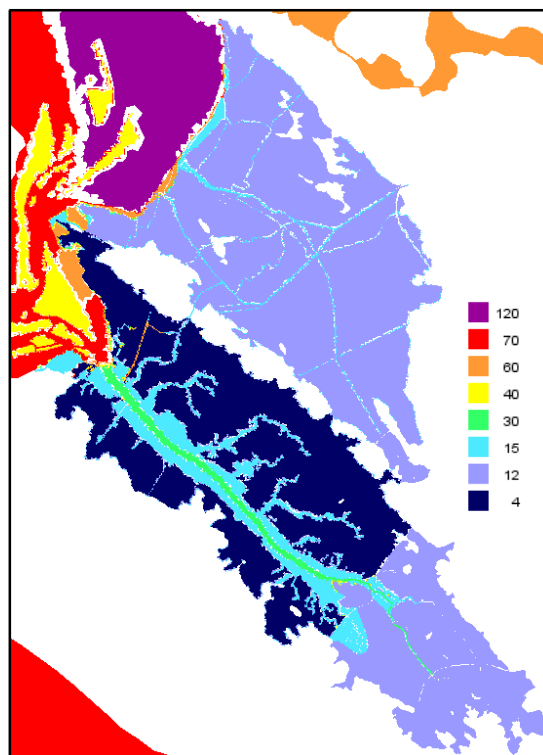


Fig. 27. Carte des coefficients de Strickler retenus

Notons que dans les marais bordant la Seudre, de nombreuses diguettes sont présentes de part la forte activité ostréicole. Ces diguettes constituent un frein important aux écoulements sur ces marais. Ces diguettes, n'ayant pas été intégrées dans la topographie du modèle (afin de ne pas alourdir le modèle), leur effets de frein a été intégré sous forme de frottements. Ainsi, le Strickler appliqué sur ces marais de la Seudre est plus faible, représentant donc des frottements plus importants.

5.1.1.2. REPRÉSENTATION DU LINÉAIRE DE PROTECTION

Afin d'appréhender correctement les volumes d'eau qui ont submergé la partie terrestre, les ruptures et destructions d'ouvrages de protection ont été intégrées dans le modèle. Ces défaillances ont été définies sur la base du recensement réalisé et figurant sur le retour d'éléments de mémoire Martin et Xynthia.

Différents ajustements concernant le linéaire de protection concerné, l'instant de rupture et la hauteur de celle-ci ont été menées pour aboutir au scénario de défaillance final retenu pour le calage du modèle.

5.2. 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 et ces efforts très ponctuels et localisés ne sont pas tous intégrés au modèle.

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, moment de la rupture, évolution de la défaillance au cours de l'événement...),
- cotes de plans d'eau avant l'événement Xynthia dans les marais et notamment pour les marais de Brouage.

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.

5.3. COMPARAISON DES RÉSULTATS DU MODÈLE ET DES OBSERVATIONS

Le calage du modèle a été réalisé sur les événements Martin et Xynthia à partir :

- des conditions hydro-météorologiques des tempêtes (cf. 5.2.2),

- des dégâts observés sur les protections lors des deux événements.

L'objectif de ce calage est de reproduire globalement l'ensemble des côtes et périmètres atteints par les débordements sur l'ensemble du territoire.

Les annexes n°1 et 2 en fin de rapport présente le calage du modèle mis en œuvre respectivement pour les tempêtes Martin et Xynthia.

Ces annexes cartographiques présentes sur le même support pour chaque événement :

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

Au final, 49 laisses de mer ont pu être confrontées aux résultats de la modélisation sur la zone d'étude pour Martin, et 116 pour Xynthia. **Malgré la grande disparité des informations, la précision du modèle est de 3 cm** en moyenne avec des écarts maximaux de +1,09 m et -1,13 m.

Pour le calage sur Martin, 50% des laisses de mer sont représentées avec un écart de moins de 30 cm. Pour le calage sur Xynthia, 64% des laisses de mer sont représentées avec un écart de moins de 30 cm.

Notons que cette analyse intègre notamment toutes les laisses de mer alors qu'une analyse de celles-ci montre que certaines pourraient facilement être écartées, car elles indiquent des incohérences manifestes sur un même secteur. 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. À noter que sur les secteurs bas en arrière des protections, la chronique de défaillance de l'ouvrage contrôle de manière importante la dynamique de remplissage des secteurs arrière, et donc le niveau d'eau maximal qui y est observé.

L'analyse des cartographies fournies en annexe n°1 et 2 montre que l'emprise des secteurs inondés par submersion est correctement représentée par le modèle sur l'ensemble du territoire de l'étude pour les deux tempêtes.

Après l'analyse détaillée de ces résultats par le comité technique de suivi de cette prestation, et compte tenu des remarques précédentes, les écarts obtenus entre les laisses de mer observées et les résultats du modèle sur l'ensemble du territoire sont considérés comme bons. Le modèle mis en œuvre permet de représenter correctement l'emprise inondée lors des événements.

5.4. SYNTHÈSE SUR LE CALAGE DU MODÈLE

L'ensemble des analyses menées et détaillées dans les paragraphes précédents permettent donc de considérer le modèle calé et validé pour la représentation des événements hydro-météorologiques importants générant des niveaux d'eau très forts dans les Pertuis ainsi que pour la représentation de la dynamique des submersions côté terrestre.

OOo

SECTION 3

MISE EN ŒUVRE D'UN OUTIL DE MODÉLISATION 1D DES INONDATIONS FLUVIALES

6 - OBJECTIFS

Sur la partie amont de Corme Écluse, dans un secteur où la Seudre présente un fonctionnement fluvial non influencé par les marées remontant les Pertuis, un modèle 1D de la suite Open Télémac a été élaboré en utilisant le logiciel Mascaret. Ce logiciel, également développé par ARTELIA et EDF, permet de prendre en compte avec un environnement moderne les modèles de terrain sur un secteur fluvial soumis à des écoulements unidimensionnels.

Ainsi, à l'aide des éléments topographiques recueillis (70 profils en travers du lit mineur et levé Lidar du lit majeur), nous avons élaboré un modèle qui représente la vallée de la partie amont du modèle Télémac (soit en aval de Corme Écluse) jusqu'à l'amont de la traversée de l'autoroute A10 par la Seudre. Sur ce linéaire de près de 40 km, les lits mineur et majeur ont été représentés, ainsi que tous les ouvrages répertoriés et relevés en phase 1 ; le modèle a été calé sur les informations de crues anciennes répertoriées précédemment et relevées par le géomètre dans le cadre de la présente étude.

Le transfert de différents apports de débits des bassins versants en amont des parties représentées et pour des périodes de retour visées permettra ainsi, avec ce modèle, d'identifier la forme et l'importance de l'hydrogramme qui sera injecté dans le modèle aval bidimensionnel.

7 - PRÉSENTATION DE MODÈLE 1D

7.1. LE CODE MASCARET

MASCARET est un code hydraulique de modélisation monodimensionnelle des écoulements à surface libre, basé sur les équations de Saint-Venant, développé par EDF et le CEREMA depuis 20 ans.

MASCARET permet des calculs en régimes fluvial et transcritique permanent, fluvial non permanent, transcritique non permanent. Les méthodes de résolution varient selon le régime utilisé pour la modélisation ainsi qu'en fonction du schéma du réseau hydraulique (réseau ramifié pour le noyau fluvial permanent, réseau maillé pour le noyau fluvial non permanent).

MASCARET peut être couplé au module CASIER qui permet de prendre en compte les zones inondables isolées du lit majeur par un ensemble de casiers interconnectés et reliés à la rivière par différentes lois d'échange : digue, seuil, chenal, siphon, orifice... représentant les zones d'échange et les obstacles naturels de l'écoulement.

MASCARET est utilisé pour l'étude de :

- La propagation de crues et la modélisation des champs d'inondations ;
- L'onde de submersion résultant de la rupture d'ouvrages hydrauliques ;
- La régulation de rivières aménagées ;

- La propagation de l'onde dans les canaux.

7.2. CONSTRUCTION DE LA STRUCTURE DU MODÈLE

La construction d'un modèle 1D passe par la réalisation de profils en travers restituant la topographie du lit du cours d'eau. Ils sont notamment réalisés au niveau des ouvrages ou des changements morphologiques de la plaine d'inondation afin de représenter au mieux la réalité du terrain.

Ces profils sont ensuite organisés au sein d'un réseau hydraulique qui intègre les différents éléments du réseau hydrographique, tels que les confluences, les diffluences, les singularités du cours d'eau, ou encore les seuils (entre autres).

C'est en renseignant ces différents éléments qu'est représenté la vallée du cours d'eau au sein du modèle. En implémentant les conditions limites amont et aval, les variables d'étude (notamment Q et H) peuvent alors être calculées au droit de chaque profil en travers modélisé.

7.2.1. Réalisation des profils en travers

Dans le cadre de la modélisation du bassin versant amont de la Seudre, près de 60 ouvrages sont présents sur le lit mineur. Pour bien les représenter, il est choisi de réaliser un profil en amont de l'ouvrage, un profil au niveau de l'ouvrage ainsi qu'un profil en aval de l'ouvrage. Les ouvrages étant répartis de manière plutôt régulière, la création de ces profils restitue la topographie de manière globalement satisfaisante. Cependant, certains tronçons de plusieurs kilomètres ne présentant pas d'ouvrages, des profils supplémentaires ont été réalisés. Ainsi, l'espacement des profils ne dépasse pas le kilomètre, permettant une bonne représentativité du lit majeur potentiellement inondable.

En se basant sur ces profils réels, MASCARET génère des profils interpolés à un espacement défini par l'utilisateur. Les variables y sont également calculées, permettant ainsi une densification du modèle.

Les profils intégrés dans le modèle du bassin versant de la Seudre ont été réalisés sous MAPINFO à partir d'un MNT de la zone d'étude. Des profils sont également tracés au niveau de structures en remblai (les routes notamment) traversant la vallée de la Seudre. Celles-ci faisant obstacle à l'écoulement, il est impératif de bien les intégrer dans le modèle pour représenter correctement le transfert de l'onde de crue.

Au vu des hauteurs de débordements observées en lit majeur, les profils sont tracés de sorte à représenter la topographie jusqu'à 2 à 3 mètres au-dessus des berges du lit mineur. Cela permet de limiter la quantité de données à manipuler.

Finalement, le bassin versant de la Seudre est représenté à l'aide de près de 200 profils en travers comme présenté sur la figure ci-dessous.



Fig. 28. Profils utilisés pour la modélisation MASCARET

Les profils tracés sont ensuite rediscrétisés à 10 m dans le lit majeur et à 1 m dans le lit mineur. Puis, une valeur altimétrique est attribuée à chaque point.

L'acquisition de la topographie par LIDAR ne permet pas de restituer la bathymétrie des cours d'eau, les ondes émises étant réfléchies à la surface de l'eau. Les profils obtenus ne décrivent donc pas le lit mineur. De même, les profils ne contiennent pas les informations sur les ouvrages. Ils doivent donc être modifiés pour prendre en compte les autres données disponibles (levés géomètres, fiches descriptives des ouvrages).

7.2.2. Représentation du réseau hydraulique

Cette étape consiste à représenter, de manière schématique, mais la plus réaliste possible le réseau hydraulique principal du bassin versant étudié en représentant les divers biefs, seuils, affluents, ou autre.

Le réseau hydrographique de la Seudre étant relativement complexe, il n'est pas intégralement représenté. C'est notamment le cas des affluents, sur lesquels les besoins de l'étude ne requièrent pas une modélisation des écoulements mais seulement une prise en compte de leur débits d'apport au lit principal. Le modèle devant restituer le fonctionnement du bassin versant en cas de crues, l'influence des fossés en lit moyen, en général totalement pleins lors du début d'un événement important, est négligeable. Ils ne sont donc pas pris en compte.

Pour le modèle ici réalisé, le lit mineur de la Seudre canalisée a été considéré, avec également les principaux bras annexes destinés à alimenter les moulins. Les clapets mobiles présents sur la Seudre canalisée en aval des diffluences, régissent les niveaux d'eau. Par conséquent, il peut y

avoir une différence de charge entre Seudre canalisée et bras secondaire. Il est donc intéressant de distinguer lit mineur principal et bras secondaires. De plus, ces clapets mobiles se trouvent en amont de Saujon, où se situent la majorité des enjeux, et peuvent éventuellement être utilisés afin de faire de la rétention dynamique. L'objectif affiché lors de leur mise en œuvre étant d'écrêter les crues au niveau des zones les plus urbanisées. et le modèle doit pouvoir simuler et vérifier ce fonctionnement.

Le réseau hydraulique de la Seudre réalisé sous MASCARET comprend donc :

- Le lit mineur de la Seudre canalisée ;
- Les principaux bras secondaires alimentant les moulins ;
- Les différents seuils régissant les niveaux d'eau ;
- Les conditions aux limites qui y seront imposées permettant de prendre en compte le débit de la Seudre en amont et tous les principaux débits d'apport latéraux tout au long du bassin versant.

A ce modèle sont intégrés les profils précédemment établis, et, en renseignant les conditions limites (débits d'apport, débit amont, limnimétrie aval) ainsi que les paramètres de modélisation, les débits et les hauteurs d'eau peuvent être calculés au droit de chaque section.

7.3. CALAGE DU MODÈLE SUR LA CRUE DE 1982

7.3.1. Connaissances des niveaux atteints

Des campagnes de terrain réalisées par ARTELIA ont permis d'inventorier les laisses de crue présentes le long du bassin versant de la Seudre. Elles correspondent pour la plupart à la crue de janvier 1982. C'est donc à partir de cet événement qu'est calé le modèle.

Remarquons ici que ces laisses ne sont pas très nombreuses en raison de l'occupation des sols de la zone inondable : on n'y trouve que peu de secteurs urbanisés. Le recensement d'informations fiables en zone rurale est assez difficile car les agriculteurs rencontrés ne peuvent pas estimer le niveau maximal atteint dans les champs.

Etude des aléas et enjeux du bassin de la Seudre et des marais de Brouage

PARTIE 2 - PRINCIPE DE MODÉLISATION

RAPPORT

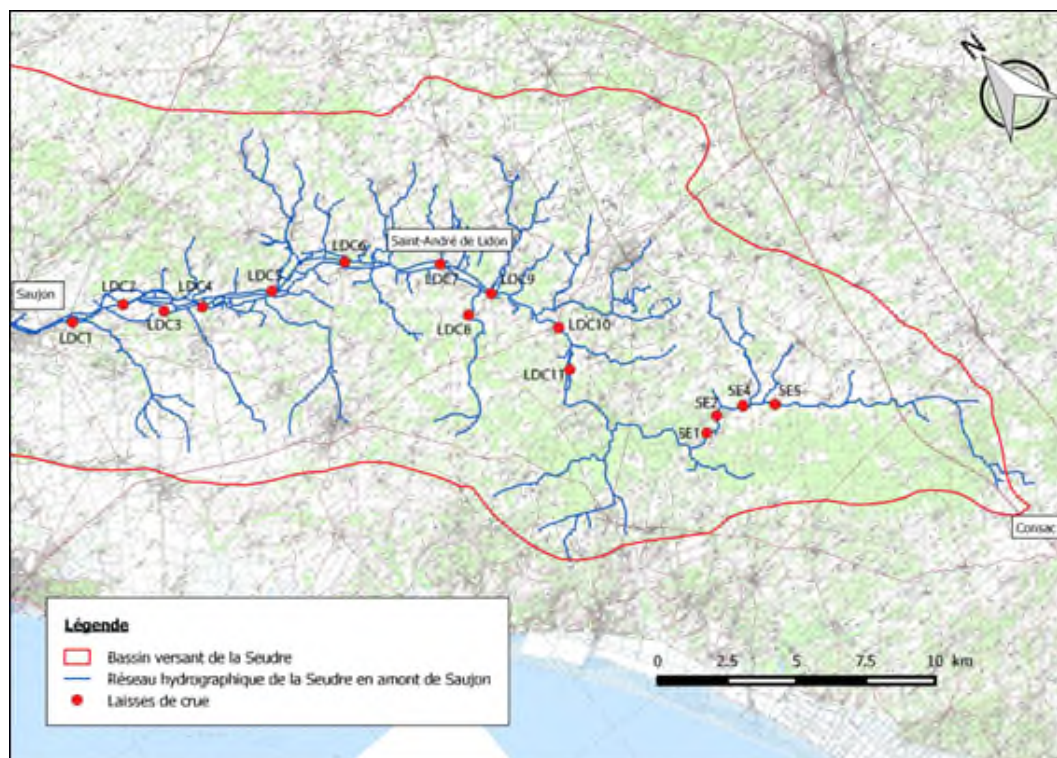


Fig. 29. Laisses de crue disponibles pour l'évènement de janvier 1982 le long de la Seudre canalisée

7.3.2. Apports des bassins versant pour la crue de 1982

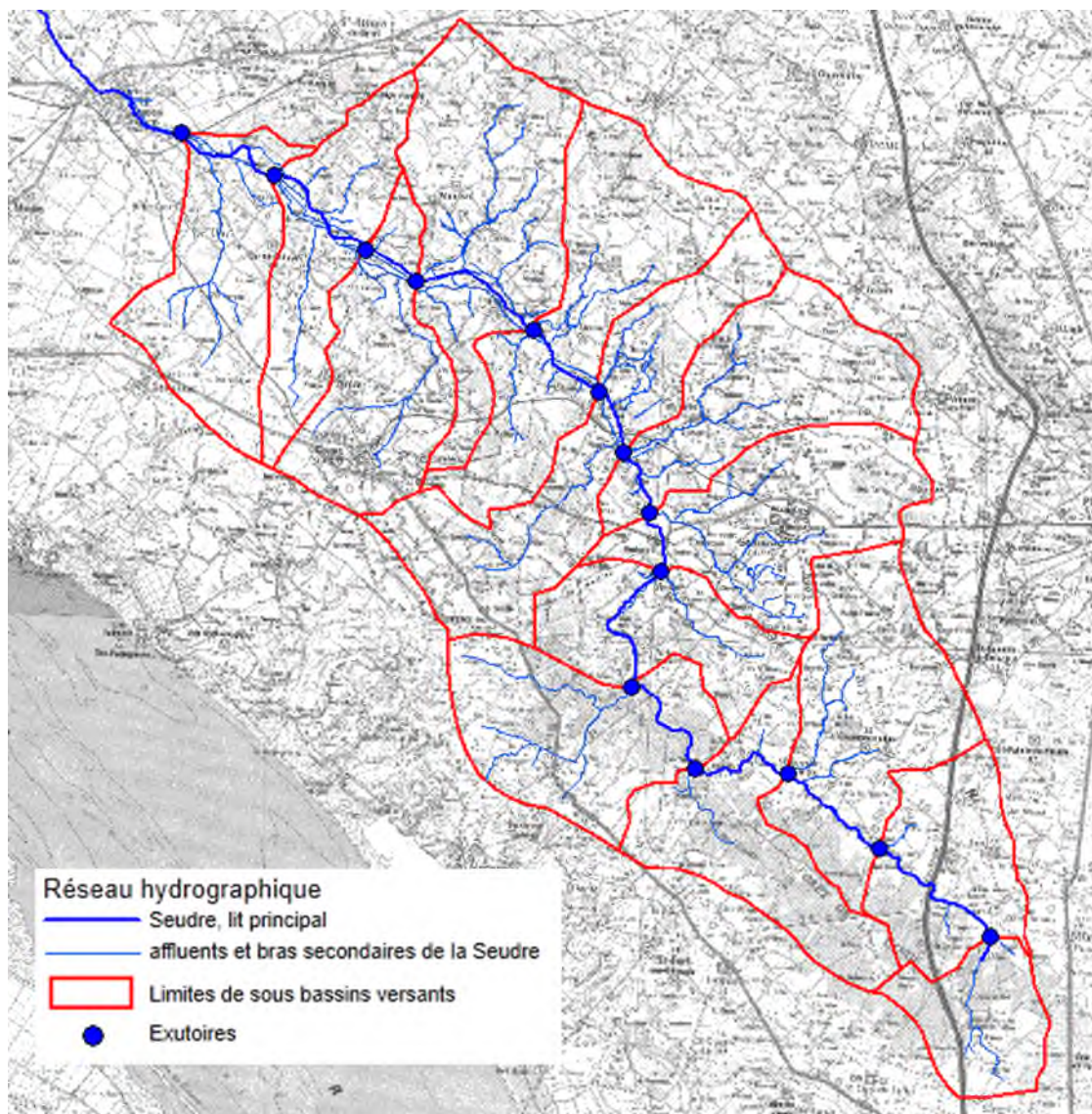
Ce paragraphe traite des apports des bassins versants entre l'amont et Corne-Ecluse pour la crue de 1982.

Les apports des eaux de ruissellement du bassin versant de la Seudre se font de manière progressive le long du cours d'eau. Par conséquent, tout le débit généré par le ruissellement ne peut être injecté en un seul point du modèle. Le bassin versant amont a donc été subdivisé en 14 sous-bassins, dont les débits respectifs sont injectés à leur exutoire. La carte suivante présente ce découpage :

Etude des aléas et enjeux du bassin de la Seudre et des marais de Brouage

PARTIE 2 - PRINCIPE DE MODÉLISATION

RAPPORT

**Fig. 30. Découpage du bassin de la Seudre en sous-bassins versants**

Connaissant le débit à la station de Saint-André de Lidon ainsi que la surface du bassin versant drainé, les débits des sous-bassins peuvent être calculés à l'aide de la formule de Myer.

Tabl. 1 - Débits d'apport estimés pour la crue de 1982 pour chaque sous-bassin versant par la formule de Myer

Bassin versant	Surface (km ²)	Débit d'apport (m ³ /s)	Abscisse exutoire (m)
BV1	14,1	0,60	0
BV2	33,7	0,90	4960
BV3	20,8	0,47	8380
BV4	24,9	0,51	11690
BV5	29,0	0,56	15480
BV6	20,1	0,37	20110

Etude des aléas et enjeux du bassin de la Seudre et des marais de Brouage

PARTIE 2 - PRINCIPE DE MODÉLISATION

RAPPORT

BV7	30,2	0,53	22060
BV8	29,2	0,49	24060
BV9	35,7	0,57	26060
BV10	36,1	0,56	28710
BV11	37,8	0,57	32810
BV12	25,5	0,37	34610
BV13	21,9	0,31	38110
BV14	26,1	0,37	41110

7.3.3. Coefficients de Strickler

Au vu de l'occupation des sols du bassin versant, essentiellement agricole, un coefficient de Strickler de 10 est retenu pour le lit majeur (correspondant à des frottements importants). Le lit mineur de la Seudre étant restreint (5 à 10 m de large), et des embâcles souvent présents des coefficients de 20 pour la partie amont et de 24 pour la partie en aval de Saint-André de Lidon ont été considérés.

7.3.4. Résultats du calage pour la crue de 1982

Le graphique suivant présente la comparaison entre la ligne d'eau de la crue de 1982 simulée et les laisses de crue relevées sur le secteur d'étude pour cette même crue.

On constate donc que le modèle représente correctement les niveaux dans la plaine avec un écart moyen de 2 cm entre le niveau modélisé et le niveau des laisses de crue.

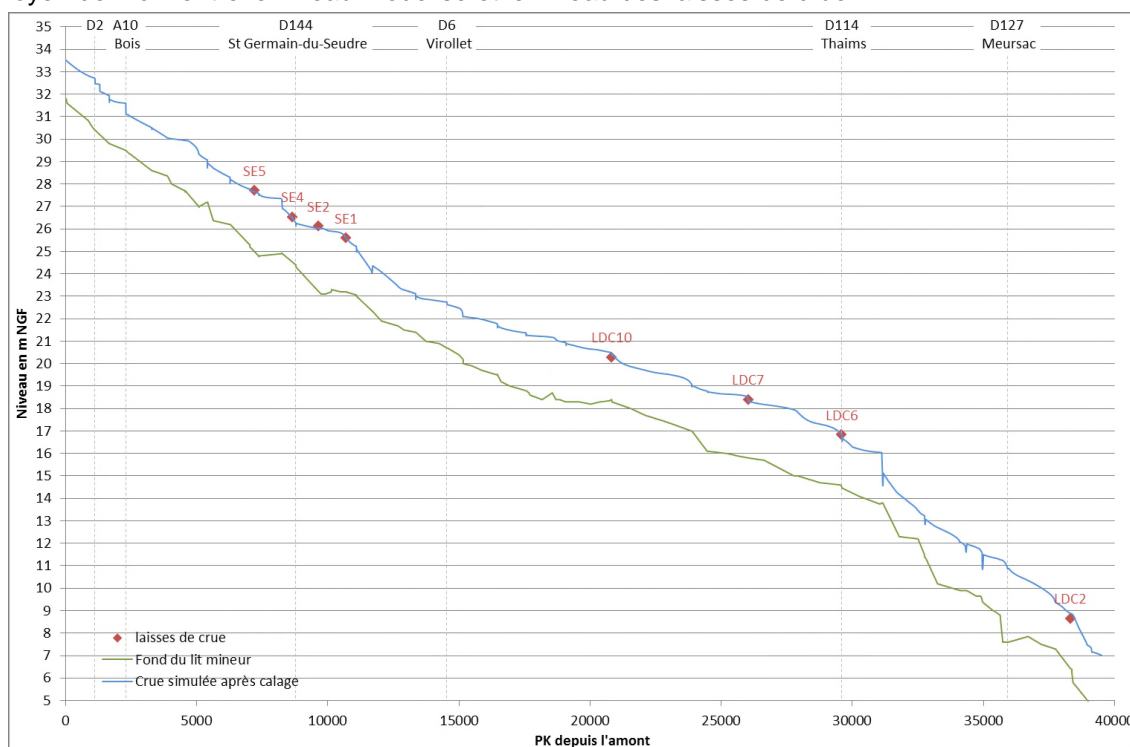


Fig. 31. Crue de 1982 – Comparaison des niveaux modélisés et des niveaux réels

SECTION 4

EXPLOITATION DES MODÈLES 1D ET 2D

8 - DÉTERMINATION DES ÉVÉNEMENTS DE RÉFÉRENCE

8.1. CADRE RÉGLEMENTAIRE

La circulaire de juillet 2011, relative aux PPRL, précise 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.

Le cahier des charges PAPI 2, demande quant à lui de caractériser les aléas selon 3 niveaux : événement fréquent où apparaît les premiers débordements dommageables ; événement moyen devant être au moins centennal et enfin un événement extrême de l'ordre de 300 à 500ans.

Ainsi, le comité technique a décidé que l'événement de référence PPR et l'événement moyen PAPI, choisis dans le cadre de cette étude, seraient identiques.

8.2. ÉVÉNEMENT DE RÉFÉRENCE MARITIME

8.2.1. Rappel de l'analyse des tempêtes historiques

Sur ce secteur, la détermination de l'événement de référence maritime est délicate étant donné l'absence de marégraphe dans l'estuaire de la Seudre (ainsi que dans les pertuis), empêchant donc une approche statistique sur les niveaux permettant de déterminer sur le secteur d'étude la période de retour des événements historiques connus.

Par ailleurs, les différentes informations collectées et intéressantes pour la présente analyse couvrent les années 1924 à 2016 :

1. Il existe peu de connaissances, notamment quantitatives, sur les grandes tempêtes historiques vécues en Charente-Maritime. Leur analyse, réalisée dans le cadre de la présente étude, a mis en évidence :
 - une première tempête remarquable en janvier 1924, présentant des conditions de houle au large exceptionnelles (**hauteur de houle de 18 m**), un coefficient de 97, probablement de forts vents, et un axe dépressionnaire du Groenland au Golfe de Gascogne. De fortes surcotes ont été constatées : « à La Rochelle, la mer a submergé le quai Duperré, abîmant les pontons du bateau des îles de Ré et d'Oléron, la digue de Châtellaillon est rompue en trois endroits. À Royan, la mer a envahi les splendides boulevards de la grande Conche »..
 - une deuxième tempête en février 1957, associée à **un coefficient de 117**, a été observée. Sur le littoral Charentais, le vent a probablement dépassé les 150 km/h en rafales. Les témoignages donnent un aperçu de l'ampleur des dégâts : « Châtellaillon, Ronce-les-Bains, Marennes, Port-des-Barques ont été ravagés; les digues de Loix-en-Ré ont été rompues, comme celles du Blayais, alors que les bas-quartiers de Bordeaux ont été évacués ».

Ces tempêtes ne sont néanmoins pas décrites avec davantage de précision dans la littérature et il est donc difficile d'apprécier leur importance par rapport à Xynthia ou Martin.

2. Les tempêtes Martin et Xynthia sont quant à elle bien décrites, notamment sur le secteur d'étude. Aussi bien pour l'entrée de l'estuaire de la Gironde qu'à La Rochelle, les niveaux marins enregistrés au cours de Xynthia sont supérieurs aux niveaux enregistrés au cours de Martin.

Pour rappel, au Verdon, le niveau maximal atteint pour Xynthia est de 3,74 m NGF contre 3,65 m NGF pour Martin. À La Rochelle, le niveau maximal atteint pour Xynthia est de 4,51 m NGF contre une estimation d'un niveau maximal de 3,5 m NGF pour Martin. La différence de niveau évolue entre ces deux points et cette évolution rapide affecte directement notre secteur d'étude qui se situe entre ces deux points d'observation.

Par ailleurs, les cartes des REX montrent que la zone inondable dans les marais de Brouage est plus importante pour Martin (107 km² dans les marais) que pour Xynthia (31 km²). Cependant, au vu du cumul de pluie qui a précédé la tempête Martin, la différence d'emprises inondées dans les marais de Brouage semble être la conséquence d'un remplissage initial des marais par les eaux de pluies avant l'arrivée de la tempête Martin. La superficie identifiée après Martin n'est donc pas, semble-t-il, le seul fait de la submersion pour cet événement

Sur la Seudre, en fonction de leur exposition au vent, les communes ont pu être plus inondées par Martin que par Xynthia ou inversement. Cependant, les superficies inondées restent sensiblement les mêmes sur l'ensemble de cette partie estuarienne.

Etude des aléas et enjeux du bassin de la Seudre et des marais de Brouage

PARTIE 2 - PRINCIPE DE MODÉLISATION

RAPPORT

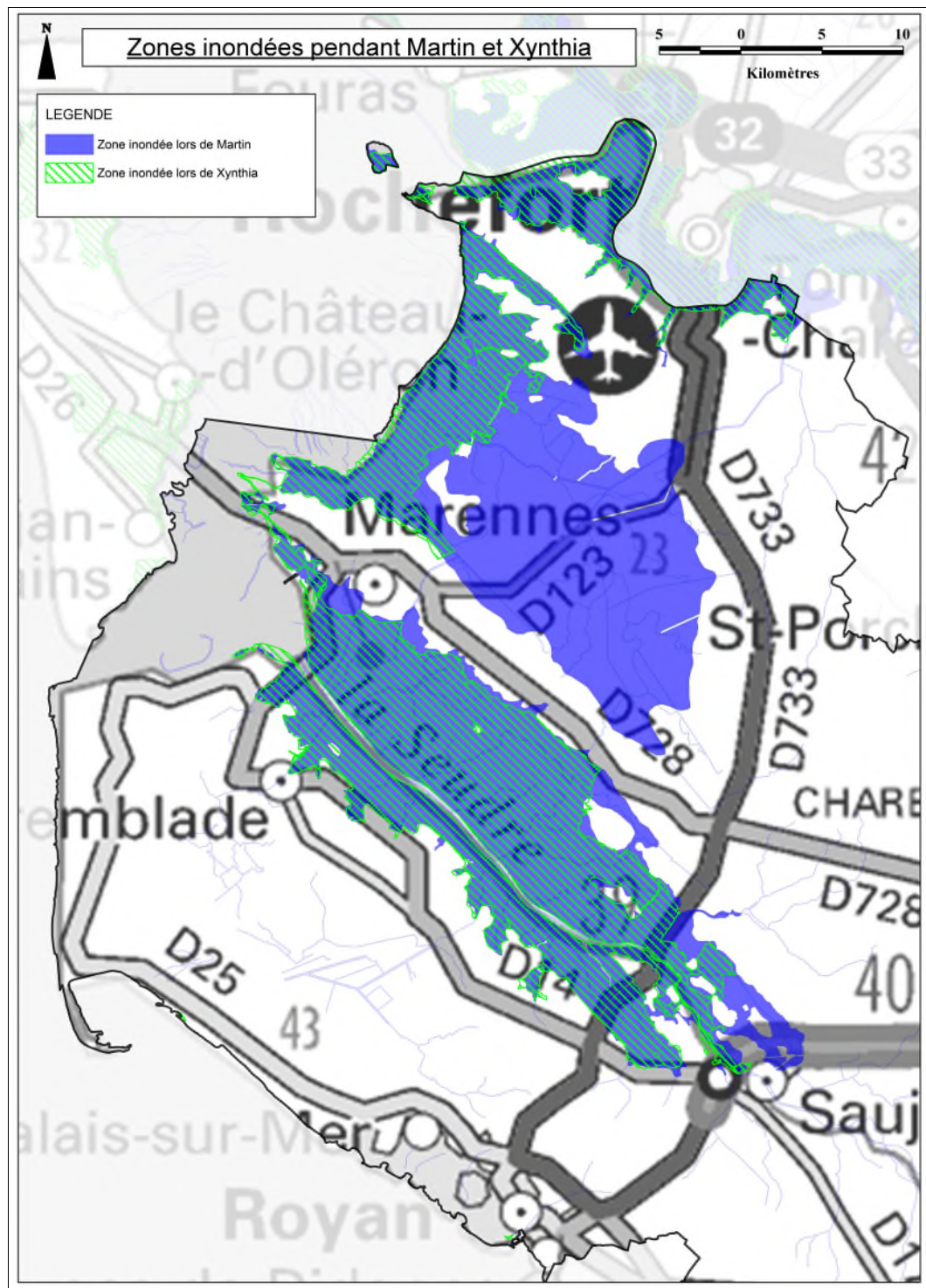


Fig. 32. Cartographie de comparaison des surfaces inondées issues du REX pour Xynthia et Martin

3. L'analyse des laisses de mer par secteur conduit aux observations suivantes (étant donné la disparité des laisses de crue dans un secteur pour un même événement, on parlera de tendances observées, sans retenir une analyse par information localisée, qui dépend trop des obstacles singuliers présents, telles que des digues notamment) :

Etude des aléas et enjeux du bassin de la Seudre et des marais de Brouage

PARTIE 2 - PRINCIPE DE MODÉLISATION

RAPPORT

- Dans les marais de Brouage, les laisses de mer de l'événement Xynthia ont tendance à être plus élevées que les laisses de mer de l'événement Martin.
- Dans le lit mineur de la Seudre, les niveaux Xynthia sont légèrement supérieurs aux niveaux Martin à l'aval, cette tendance s'inverse à l'amont. Cette observation a été confirmée par la simulation de ces deux événements, comme le présente le profil en long ci-dessous.

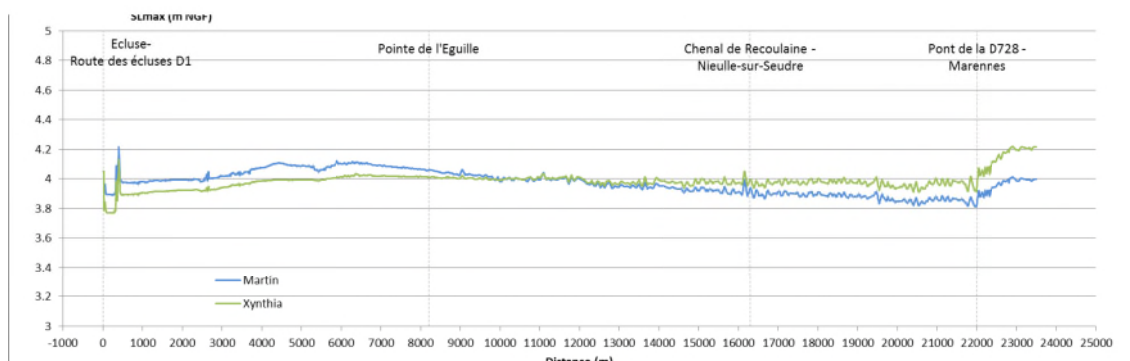


Fig. 33. Niveaux d'eau atteints dans l'estuaire de la Seudre pour les tempêtes Xynthia et Martin

On constate sur ce profil en long que les niveaux atteints lors de Xynthia sont assez homogènes sur l'ensemble du linéaire, et oscillent autour de 4,00 m NGF ; Pour Martin, on constate une rehausse des niveaux en fond d'estuaire. Ainsi, à l'entrée de l'estuaire, le niveau Martin est inférieur au niveau de Xynthia mais, sous l'effet du vent, et surtout de sa direction, qui pousse l'eau en fond d'estuaire, le niveau Martin devient supérieur à celui de Xynthia environ 3 km à l'aval de la pointe de l'Eguille. Ainsi les niveaux Martin varient entre 3,85 m NGF à l'entrée de l'estuaire et 4,15 m NGF au niveau de l'Eguille.

Ainsi, dans l'estuaire de la Seudre, les tempêtes Martin et Xynthia ont des niveaux similaires pour des paramètres de formation différents, et sont survenues avec dix ans d'écart. Au vu de ce constat, et en l'absence de mesures continues permettant la mise en œuvre d'analyses statistiques, il est difficile d'attribuer dans l'estuaire, comme pour les secteurs du littoral plus au Nord, à l'un ou l'autre de ces événements une période de retour de 100 ans. Par conséquent, aucune de ces deux tempêtes ne peut être retenue comme événement de référence du PPRL et du PAPI. L'ensemble de ces éléments ont amené à estimer leurs période autour de 50 ans à l'intérieur du système estuarien.

Ainsi, pour être conforme aux préconisations PPR / PAPI, la simulation d'événements théoriques majorants a été réalisée afin de déterminer un événement de référence compatible avec les textes régissant les PPR.

8.2.2. Modélisation d'événements majorants

8.2.2.1. ÉLÉMENTS TECHNIQUES SUR LA MODÉLISATION BIDIMENSIONNELLE

Le modèle bidimensionnel (TELEMAC) mis en œuvre est constitué d'une frontière maritime à environ 90 km au large des côtes (frontière rouge sur la figure ci-dessous). Le territoire maillé, sur lequel la propagation de l'onde de submersion est modélisée, est constitué d'une large partie maritime autour du golfe de Gascogne, des estuaires de la Gironde, de la Seudre, de la Charente

et de la Sèvre, et des parties terrestres submersibles sur tout ce secteur d'étude (zone grise sur la figure ci-dessous).

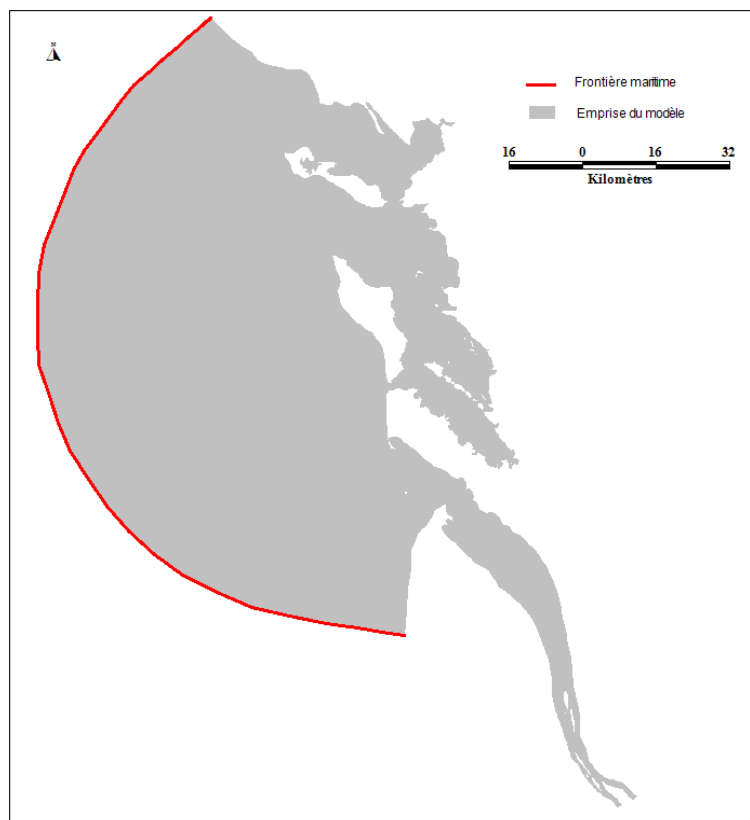


Fig. 34. Emprise du modèle bidimensionnel mis en œuvre

Pour la simulation d'événements passés, la sinusoïde du cycle de marée théorique de l'événement ainsi que la surcote liées à la dépression sont appliquées à la frontière maritime. Le vent, mesuré au sémaphore de Chassiron, est appliqué sur l'ensemble de la zone maritime et de l'estuaire de la Seudre. Ainsi, en chaque point du maillage, et pour chaque pas de temps, l'intensité et la direction du vent, de l'événement à simuler sont appliquées. Le modèle calcule ensuite la surcote liée à l'effet du vent en chaque point du modèle. Ainsi celui-ci va calculer la propagation de l'onde de marée depuis la frontière maritime jusqu'aux côtes en intégrant les niveaux au large, ainsi que les effets du vent et de la houle en chaque point du maillage.

Le modèle construit a été calé sur les deux tempêtes historiques bien documentées que sont les tempêtes Martin et Xynthia. Ont donc été modélisés dans le cadre du calage du modèle les événements suivants :

- Tempête Martin : Sinusoïde du cycle de la marée théorique de Martin appliquée au large, surcote mesurée lors de Martin appliquée au large, vent mesuré lors de Martin au sémaphore de Chassiron appliqué sur l'ensemble du modèle.
- Tempête Xynthia : Sinusoïde du cycle de la marée théorique de Xynthia appliquée au large, surcote mesurée lors de Xynthia appliquée au large, vent mesuré lors de Xynthia au sémaphore de Chassiron appliqué sur l'ensemble du modèle.

8.2.2.2. SIMULATIONS DE DEUX ÉVÉNEMENTS THÉORIQUES

Afin de définir un événement majorant pertinent sur le secteur d'étude, l'historique des tempêtes remarquables sur l'estuaire de la Seudre a été repris pour mettre en relief les paramètres

défavorables de chaque tempête :

- Janvier 1924, hauteur de houle au large de 18 m
- Février 1957, coefficient de marée de 117
- Décembre 1999 (Martin), intensité remarquable du vent et direction défavorable à l'estuaire de la Seudre
- Février 2010 (Xynthia), surcote remarquable

Ainsi, pour identifier un événement plus important que les deux dernières tempêtes vécues dans l'estuaire, il a été choisi par le comité technique de suivi de l'étude d'étudier deux événements regroupant certains des effets majorants des paramètres les plus importants vécus sur le secteur. Ces deux événements sont les suivants :

- Scénario 1. Événement construit à partir de la sinusoïde du cycle de la marée théorique de Xynthia, de la surcote barométrique de Xynthia, associées avec l'intensité et la direction du vent Martin (Noté NXVM pour Niveaux Xynthia au large et Vent Martin).
- Scénario 2. Événement construit à partir à partir de la sinusoïde d'une marée théorique correspondant à un coefficient de 117, de la surcote barométrique de Xynthia, et du vent Martin.

8.2.2.2.1. Analyse du scénario 1

La carte ci-dessous présente la comparaison entre les niveaux maximaux atteints au cours de l'événement théorique (Scénario 1) et ceux atteints au cours de Xynthia :

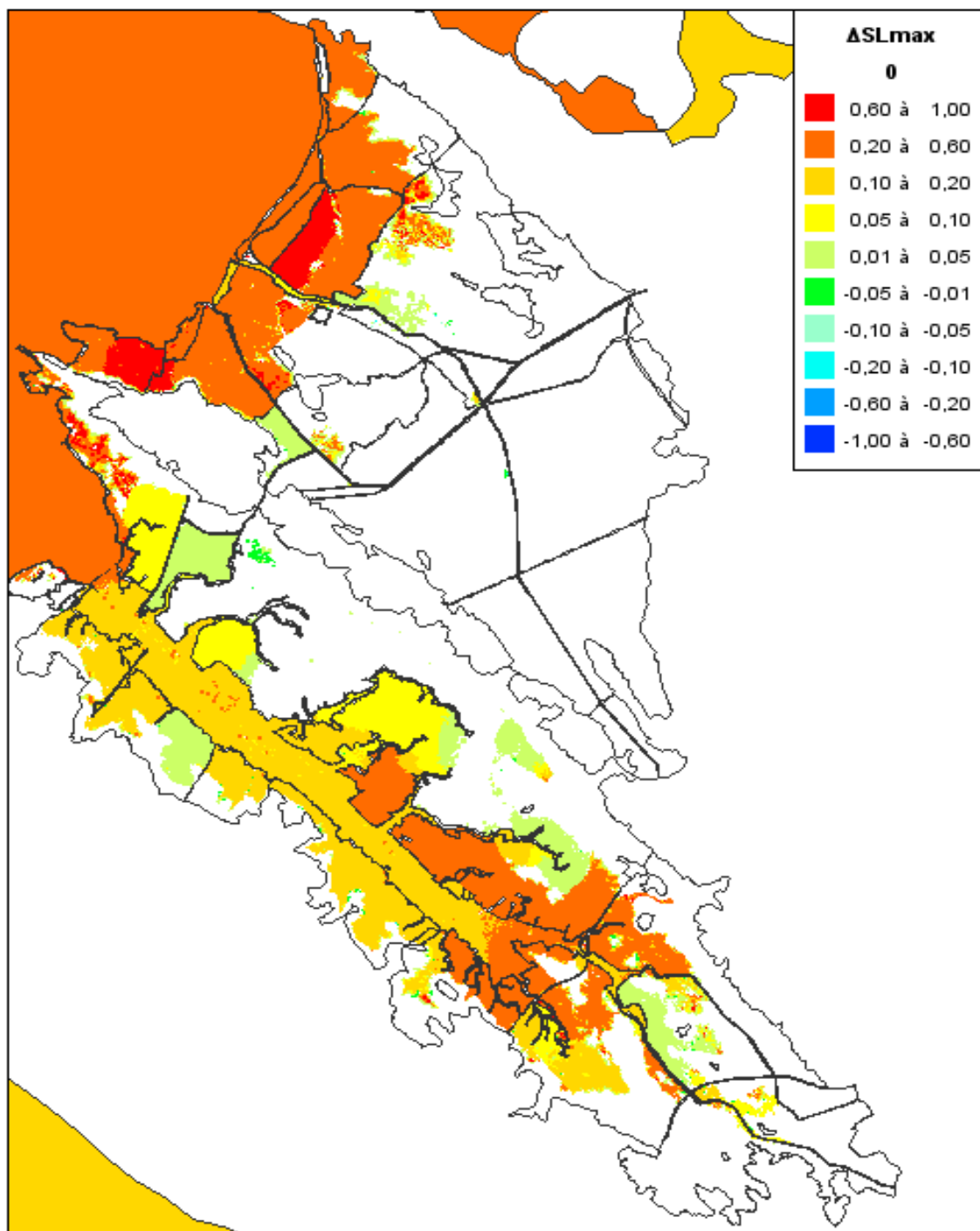


Fig. 35. Impact entre le scénario 1 et la tempête Xynthia

Lorsque la différence est positive, les niveaux du scénario 1 sont supérieurs aux niveaux de Xynthia, et inversement pour une différence négative.

Ainsi, on constate que l'application d'un vent type Martin sur des conditions de marée et de surcote type Xynthia induit une rehausse des niveaux de 10 à 15 cm dans l'estuaire de la Seudre pouvant aller jusqu'à 30 cm en fond d'estuaire (cf. figure 6), et devant les marais de Brouage.

8.2.2.2.2. **Analyse du scénario 2**

La carte ci-dessous présente la comparaison entre les niveaux maximaux atteints au cours de l'événement théorique (Scénario 2) et ceux atteints au cours de Xynthia :

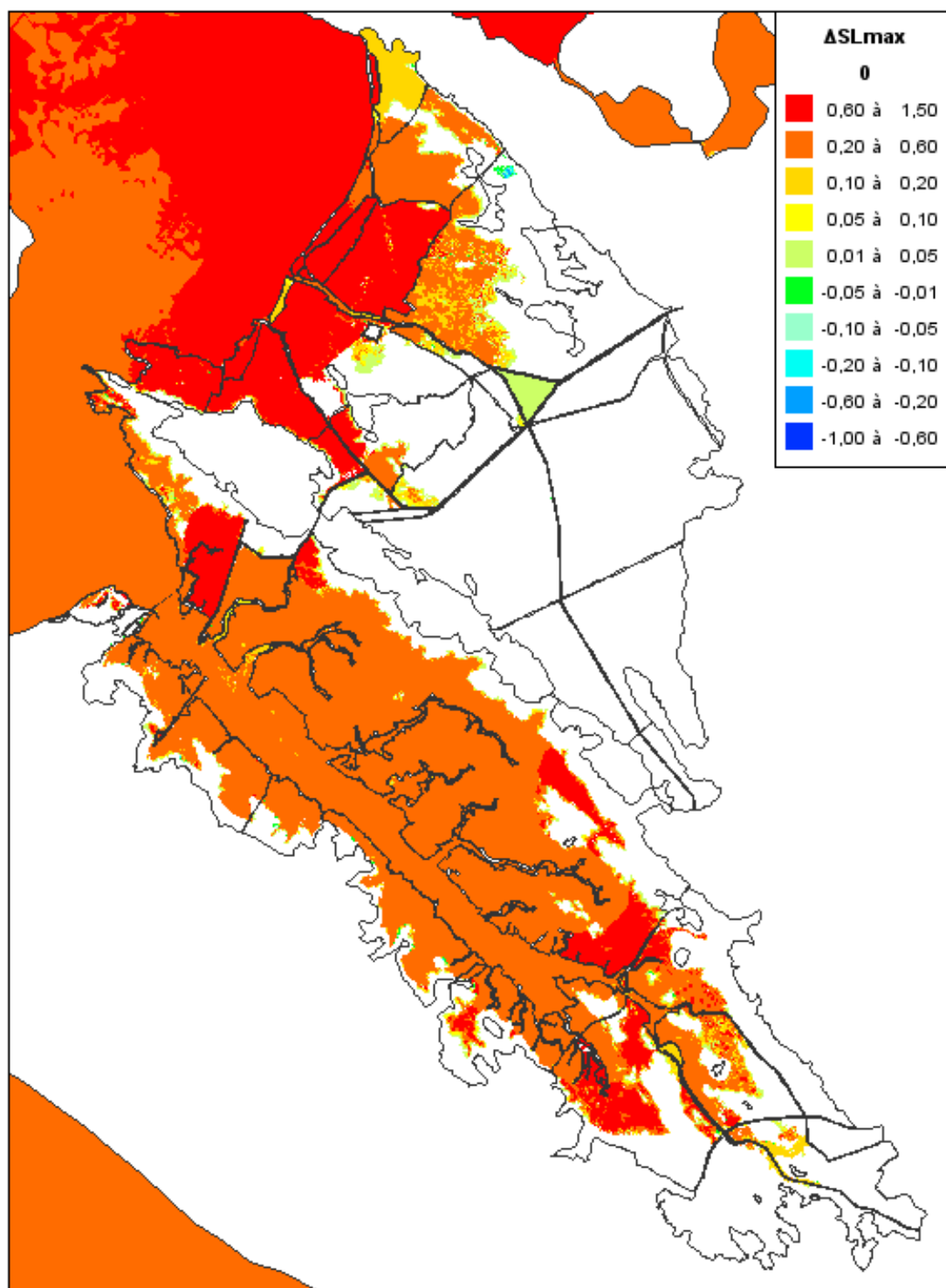


Fig. 36. Impact entre le scénario 2 et la tempête Xynthia

Ainsi un événement très majorant intégrant un fort coefficient, une surcote importante et des vents

importants engendreraient une rehausse des niveaux d'environ 35 cm dans l'estuaire de la Seudre et pouvant aller jusqu'à 60 cm devant les marais de Brouage.

8.2.3. Confrontation des résultats et conclusion

L'impact de l'application de paramètres majorants dans les scénarios 1 et 2 peut également s'évaluer en observant un profil en long des niveaux dans la Seudre :

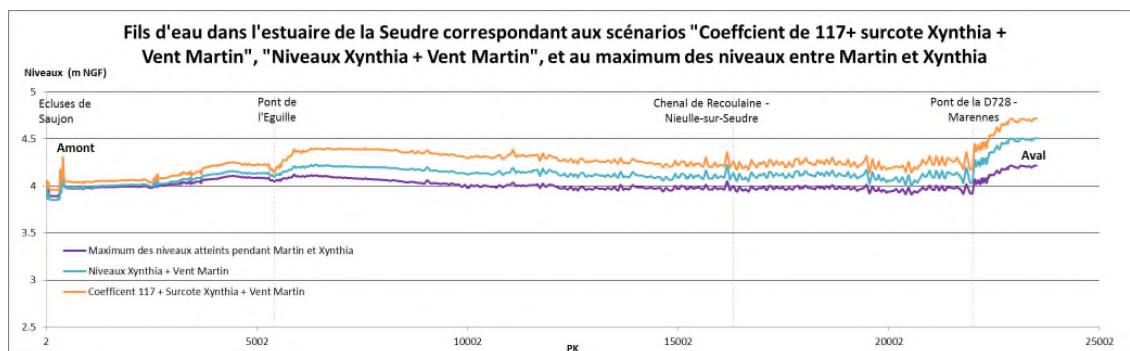


Fig. 37. Comparaison des fils d'eau des événements majeurs dans l'estuaire de la Seudre

On retrouve bien les impacts évoqués dans les paragraphes précédents. On peut également noter qu'à l'amont du pont de l'Eguille, l'influence des paramètres majorants diminue pour devenir quasi nulle sur Saujon. Ceci semble dû, en première approche, à l'obstruction que constitue cet ouvrage ainsi que la configuration du site de celui-ci.

En termes d'emprise inondable, la carte ci-dessous permet de constater le peu de variations de l'emprise inondée entre les différents scénarios car l'eau s'arrête en pieds de coteaux, déjà atteints par les événements historiques vécus. La différence s'appréhende de façon plus importante en termes de niveaux d'eau atteints, comme mentionné précédemment.



Fig. 38. Comparaison des emprises inondées pour différents événements majeurs

Il est intéressant de constater que l'événement calculé NXVM est en moyenne 15 cm plus haut par rapport à Xynthia dans l'estuaire. Une analyse du SPC de La Rochelle (M. Villenave), à partir des cartographies du SHOM, estime pour le secteur entre l'estuaire de la Charente et celui de la Gironde, qu'une variation de +15cm du niveau d'eau équivaut à un rapport de 2 à 3 en terme de période de retour.

Il est bien rappelé à ce stade que les occurrences estimées dans ce paragraphe, et par la suite, sont des estimations faites au vu de l'analyse de la corrélation entre niveaux relatifs et périodes de retour sur le secteur. Ces estimations ne sont en aucun cas issues d'une analyse statistique des niveaux sur le secteur.

Ainsi, pour cette partie du littoral à l'abri de l'île d'Oléron, si la période de retour de Xynthia dans l'estuaire de la Seudre est estimée de l'ordre de 50 ans, on peut estimer que l'événement NX+VM a une **période de retour comprise entre 100 et 150 ans**. Ainsi, cet événement calculé répond bien aux exigences PPR/PAPI pour toute cette partie estuarienne.

Sur ces considérations, et pour garder une homogénéité sur l'ensemble du secteur d'étude, il est donc proposé de retenir comme événement de référence maritime l'événement construit à partir de la sinusoïde de la marée théorique de Xynthia, de la surcote mesurée lors de Xynthia, et du vent Martin.

8.3. ÉVÉNEMENT DE RÉFÉRENCE FLUVIAL

Pour rappel, l'événement de référence fluvial, qui s'applique sur l'amont du secteur d'étude depuis le pont de la rue E. Mousnier est la crue de 1982 dont la période de retour est estimée à cent ans.

8.4. ÉVÉNEMENT DE RÉFÉRENCE CONCOMITANCE FLUVIO MARITIME

Concernant le secteur de fond d'estuaire pouvant être affecté de façon maximaliste par un événement maritime et fluvial (essentiellement sur la commune de Saujon), diverses simulations avec des conditions de marée ou de débit plus ou moins contraignantes ont été réalisées.

Le profil suivant présente les lignes d'eau des différents événement modélisés dans l'estuaire de la Seudre au niveau de Saujon, sur la partie de la rivière principale entre l'aval des écluses du Ribérou et le pont de la rue Pompiere.

Y figurent les scénarios suivants :

- Crue de 1982 ; rappelons ici que, comme validé en COTECH et par le SPC, la crue de 1982 en amont de Saujon a présenté un débit que l'on peut qualifier de centennal en fonction de toutes les analyses réalisées sur ce thème à la station de Saint-André-de-Lidon.
- Xynthia
- Martin
- Événement de référence court terme (NX20VM)
- Événement de référence long terme (NX60VM)
- Concomitance événement de référence court terme (NX20VM) et débit fluvial décennal (10,6 m³/s à Saint André de Lidon ; 14,4 m³/s à Corme-Ecluse)

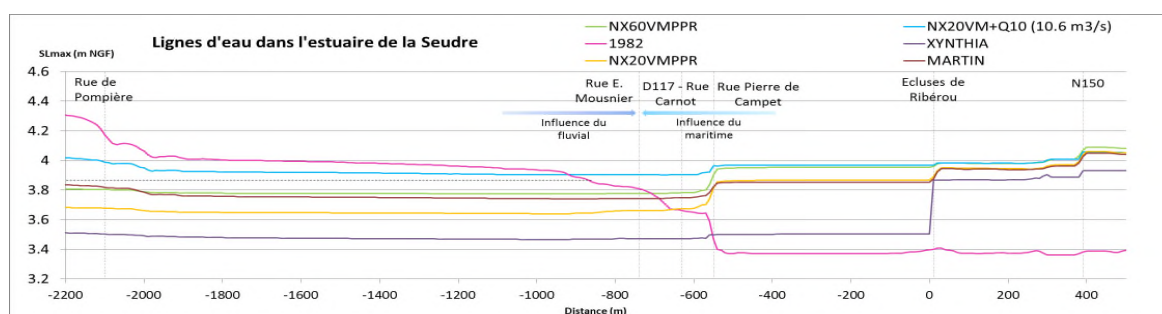


Fig. 39. Lignes d'eau dans la Seudre au niveau de Saujon

Ce profil montre que sur le secteur du lit mineur de la Seudre en aval des Écluses, l'événement maritime court terme (NX+20+VM) est majorant et peu dépendant du débit fluvial. Cependant en amont des Écluses du Ribérou, cet événement présente des niveaux de l'ordre de 3,80 m NGF lorsque le débit fluvial est faible.

Par ailleurs, sur ce même secteur en amont des Écluses, le profil en long de la crue de 1982 (débit centennal) montre qu'étant donné le temps important d'ouverture des portes de l'Écluse, généré par la faible marée aval lors de cette crue, le niveau dans le bief entre le pont de la rue Mousnier et de l'écluse a fortement chuté pour s'établir à 3,40 m NGF environ. Il est important de noter que la cote d'eau maximale dans ce secteur est directement influencée par le temps d'ouverture possible des portes et donc par la forme et l'altitude de la marée aval remontant l'estuaire.

Le SPC a réalisé une analyse statistique sur les niveaux obtenus depuis 20 ans au niveau de leur station de mesure située sur le pont Carnot. Cette analyse identifie une valeur du **niveau centennal en ce point de l'ordre de 3,86 m NGF**. La prise en compte du maximum de niveau obtenu par l'événement NX20VM ou par l'événement de référence fluvial ne permet pas d'atteindre cette cote de 3,86 m NGF dans ce secteur d'1 km de linéaire compris entre les ponts et les écluses.

Etude des aléas et enjeux du bassin de la Seudre et des marais de Brouage

PARTIE 2 - PRINCIPE DE MODÉLISATION

RAPPORT

On constate en outre que la concomitance de l'événement de référence court terme avec un débit de crue décennale de la Seudre (14,4 m³/s à Corme-Ecluse), événement noté par la suite NX20VM+Q10, engendre un niveau de l'ordre de 3,90 m NGF dans toute cette partie de Saujon comprise entre les écluses et le pont de la rue Mousnier.

Ainsi la concomitance de l'événement de référence maritime court terme avec un débit fluvial décennal peut être retenu comme événement de référence fluvio-maritime sur ce linéaire de 1000 m environ.

En outre, à titre informatif, différentes simulations ont été réalisées pour constater l'effet sur les niveaux de la concomitance de différents événements de période de retour différents. Ainsi, sur le graphe suivant figurent les événements de concomitance suivants :

- Tempête Martin avec débit cinquantennal (24,5 m³/s)
- Tempête Xynthia avec débit centennal (29,2 m³/s)
- Niveaux Xynthia + 20 cm + vent Martin avec débit décennal (10,6 m³/s)
- Niveaux Xynthia – 30 cm avec un débit vicennal

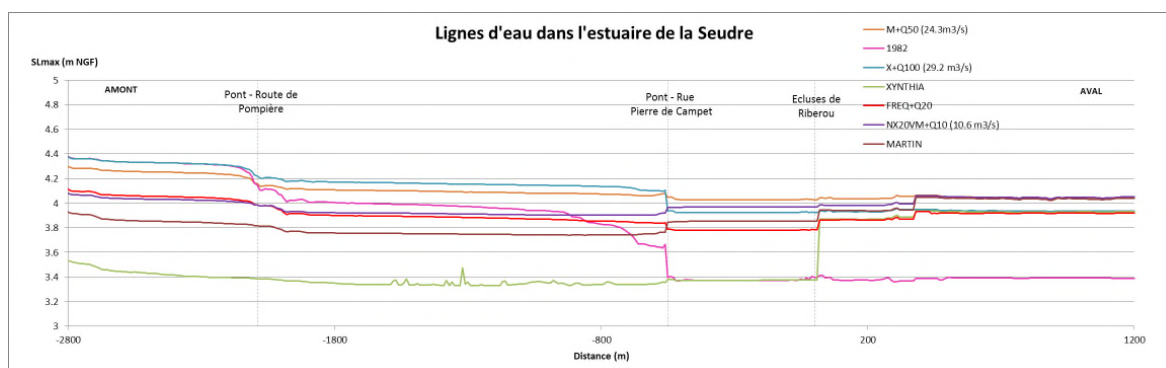


Fig. 40. Lignes d'eau dans la Seudre au niveau de Saujon pour différents événements de concomitance d'une crue fluviale et d'une submersion marine

Il est difficile d'attribuer des périodes de retour à ces événements de concomitance étant donné que les événements maritimes et fluviaux peuvent être dépendants. On peut cependant constater que, entre la rue Pierre Campet et les Ecluses, la concomitance la plus pénalisante serait un événement moyen maritime (de type Martin) avec une crue de la Seudre moyenne (débit cinquantennal). En effet, dans un tel cas de figure, l'évacuation du débit amont vers l'aval n'est pas possible étant donné que les niveaux aval sont relativement important et engendrent la fermeture des écluses. Ainsi, cela engendre une retenue importante à l'amont des Ecluses. Ce graphe met donc en relief l'impact de la durée de fermeture de l'Ecluse sur les niveaux dans Saujon.

Par ailleurs, le centre ville de Saujon peut être contourné par un secteur qui s'inonde au Nord lors de crues importantes. Le profil en long suivant, établi sur cet axe (La Justice - La Baratte - la Cabane - Le Pontet - L'Ilate), montre que la crue de 1982 est plus forte que l'événement NX20VM+Q10 jusqu'en amont du remblai de la route du Gua, similaire à cet événement entre la route du Gua et celle de l'Ilate, et plus faible en aval. Ainsi, à l'aval de l'Ilate, les niveaux pris en compte pour la définition des aléa court terme seront les niveaux de l'événement de référence maritime court terme, alors qu'à l'amont de l'Ilate, les niveaux retenus seront ceux de l'événement de référence fluvial.

Etude des aléas et enjeux du bassin de la Seudre et des marais de Brouage

PARTIE 2 - PRINCIPE DE MODÉLISATION

RAPPORT

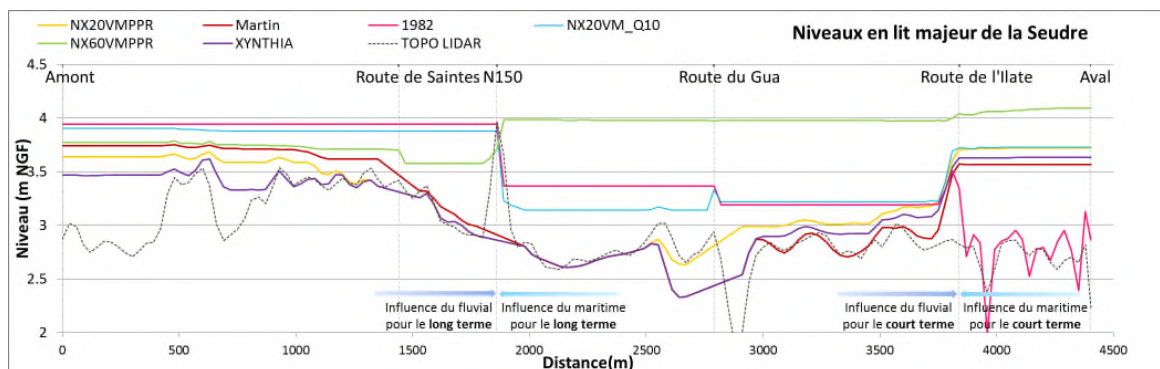


Fig. 41. Lignes d'eau en lit majeur au Nord de Saujon

Remarquons également que ce contournement du centre est effectif pour des crues significatives et donc que cela influe certainement sur les niveaux à l'échelle de Saujon, mais cet amortissement est intégré au calcul de l'ajustement statistique puisque l'échantillon de mesure a intégré la crue de 1982 qui a affecté ce secteur.

9 - ÉVÉNEMENTS PRIS EN COMPTE DANS LE CADRE DU PPR

Pour le PPR, 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).**

9.1. ÉVÉNEMENT COURT TERME

Cet événement est déterminé à partir de l'événement de référence intégrant une élévation du niveau moyen de la mer liée à l'impact du changement climatique à court terme. Il inclut également des hypothèses sur les structures de protection, aboutissant à la cartographie de l'aléa de référence.

Ainsi, l'aléa à court terme (événement de référence + 20 cm), est défini à partir de l'événement de référence (marée et surcote Xynthia et vent Martin pour la présente étude) auquel on rajoutera au large 20 cm en chaque point du marégramme ;

9.2. ÉVÉNEMENT LONG TERME

Cet événement est déterminé à partir de l'événement de référence prenant en compte l'élévation du niveau de la mer à échéance 100 ans et des mêmes hypothèses sur les structures de protection que le scénario de référence, aboutissant à la cartographie de l'aléa à échéance 100 ans.

Ainsi, l'aléa à 100 ans (événement de référence + 60 cm), est défini à partir de l'événement de référence mais en ajoutant au large à chaque point du marégramme 60 cm.

La caractérisation des aléas de ces deux événements est détaillée dans le rapport suivant.

10 - ÉVÉNEMENTS PRIS EN COMPTE DANS LE CADRE DU PAPI

10.1. ÉVÉNEMENTS FRÉQUENTS

10.1.1. Évènement fréquent maritime

L'évènement maritime fréquent est défini par la directive inondation comme un événement présentant une période de retour entre 10 et 30 ans. Au regard de la configuration du secteur d'étude, il se définit également comme un événement « pour lequel les premiers dommages sont constatés ».

Trois scénarios ont été testés dans le but de définir l'évènement fréquent en prenant comme base que Xynthia avait dans notre secteur une période de retour de 50 ans. :

- Scénario 1 : Évènement construit à partir de la sinusoïde de la marée théorique de Xynthia, de la surcote barométrique de Xynthia moins 10 cm au large, et du vent Xynthia (X-10cm)
- Scénario 2 : Évènement construit à partir de la sinusoïde de la marée théorique de Xynthia, de la surcote barométrique de Xynthia moins 20 cm au large, et du vent Xynthia (X-20cm)
- Scénario 3 : Évènement construit à partir de la sinusoïde de la marée théorique de Xynthia, de la surcote barométrique de Xynthia moins 30 cm au large, et du vent Xynthia (X-30cm)

Les niveaux modélisés dans l'estuaire de la Seudre pour ces trois scénarios sont présentés sur le graphique suivant :

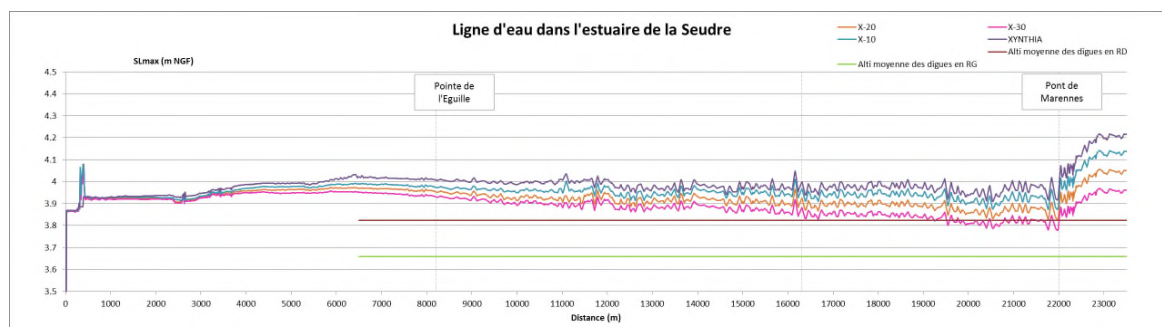


Fig. 42. Lignes d'eau dans l'estuaire de la Seudre calculées dans le cadre de la définition de l'évènement maritime fréquent

Sont également présentés sur le graphe les niveaux moyens des digues en rive droite et gauche de la Seudre.

Ainsi, on constate que le scénario X-30 cm surverse les digues en rive gauche d'environ 15 cm, mais reste à la limite du débordement pour les digues en rive droite.

En termes d'emprise inondée (Cf figure 9), le scénario X-30 cm impacte des bâtiments ostréicoles et quelques maisons. Des maisons supplémentaires sont touchées par les scénarios X-20cm et X-10cm, mais avec peu de variation de l'emprise inondée. Les bâtiments ostréicoles en bord de Seudre étant régulièrement inondés, l'apparition des premières maisons inondées par le scénario X-30cm correspond bien à la définition de l'évènement « pour lequel les premiers dommages sont constatés ». Par ailleurs, ce scénario engendrant un abaissement du niveau en entrée d'estuaire

d'environ 30 cm, sa **période de retour est estimée dans une fourchette de 5 à 20 ans** selon les observations du SPC.

Ainsi, le scénario X-30cm répond bien aux critères de définition d'un événement fréquent dans le cadre du PAPI.

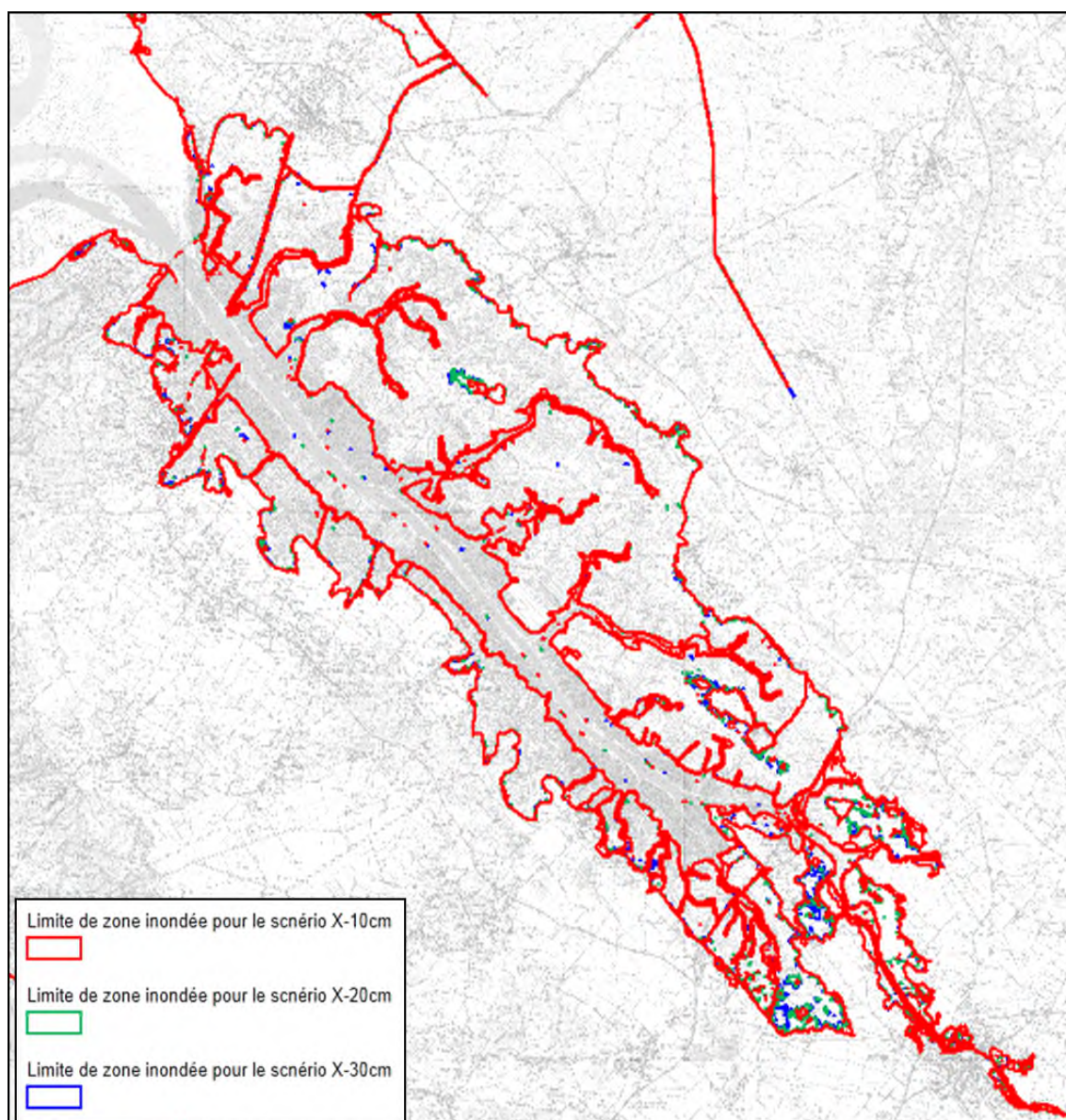


Fig. 43. Zones inondées modélisées dans le cadre de la définition de l'événement maritime fréquent

10.1.2. Événement fréquent fluvial

Étant donné qu'une analyse statistique a été réalisée sur les débits de saint-André-de Lidon, l'événement fréquent répondant aux critères de la Directive Inondation (période de retour entre 10 et 30 ans) a été caractérisé par un débit vicennale à cette même station. Ce débit est de 15,5 m³/s.

La ligne d'eau modélisée correspondant à ce débit vicennal sur Saint-André-de-Lidon est présentée ci-dessous, en comparaison avec la ligne d'eau centennale.

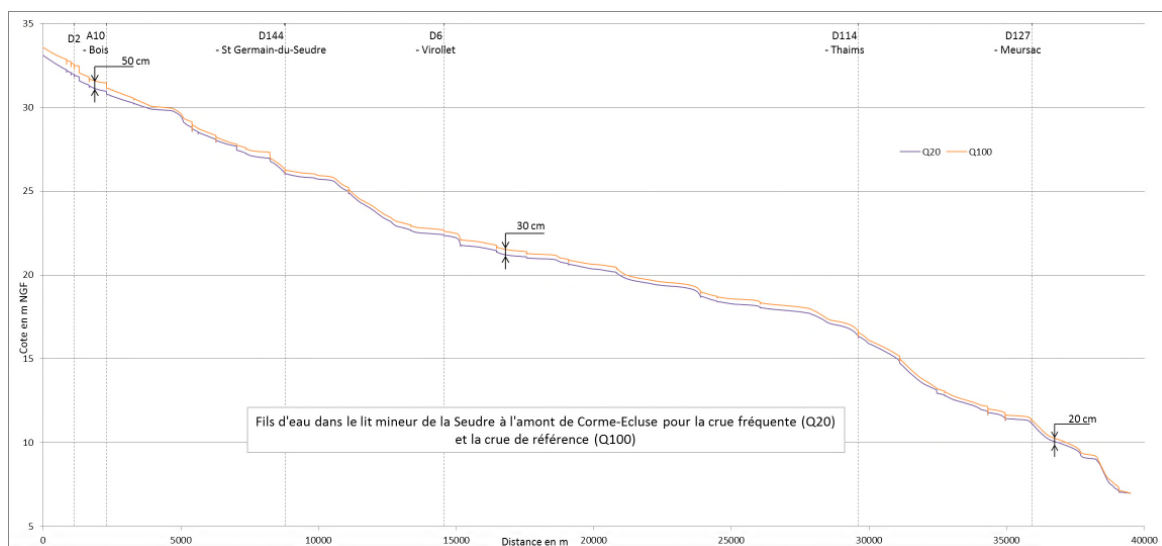


Fig. 44. Fils d'eau dans le lit mineur de la Seudre pour les crues vicennale et centennale

10.2. ÉVÉNEMENTS MOYENS

Le cahier des charge PAPI définit l'événement moyen comme un événement de probabilité moyenne : période de retour probable supérieure ou égale à cent ans.

10.2.1. Événement moyen maritime

A partir de la définition de l'événement moyen rappelée précédemment et de l'analyse de la période de retour de l'événement théorique Niveaux Xynthia et Vent Martin (Cf § 8.2.Événement de référence maritime), il semble pertinent de retenir cet événement de référence maritime comme événement moyen du PAPI.

10.2.2. Événement moyen fluvial

Étant donné la définition de l'événement moyen rappelée précédemment et l'analyse statistique faite par le Service de Prévision des Crues de La Rochelle (Cf Rapport de phase 1), la crue de 1982 est retenue comme événement moyen fluvial dans le cadre du PAPI.

10.3. ÉVÉNEMENTS RARES

10.3.1. Événement rare maritime

Pour rappel, sur la partie du littoral à l'abri de l'île d'Oléron, si la période de retour de Xynthia dans l'estuaire de la Seudre est dans une fourchette de 50 ans, on peut estimer que l'événement NX+VM a une **période de retour comprise entre 100 et 150 ans**.

En appliquant le même raisonnement basé sur l'exploitation des cartes du SHOM/CETMAF, le

SPC a attribué à l'événement **Niveaux Xynthia +20 cm au large + Vent Martin** une période de retour actuelle estimée autour de 300 ans. Cet événement sera donc retenu comme l'événement rare dans le cadre du PAPI.

10.3.2. Événement rare fluvial

De même que pour la détermination de l'événement fréquent, l'analyse statistique réalisée sur les débits de saint-André-de-Lidon, l'événement rare répondant aux critères de la Directive Inondation a été caractérisé par un débit millénal à cette même station. Ce débit est de 35,2 m³/s.

La ligne d'eau modélisée correspondant à ce débit millénal sur Saint-André-de-Lidon est présentée ci-dessous, en comparaison avec la ligne d'eau centennale.

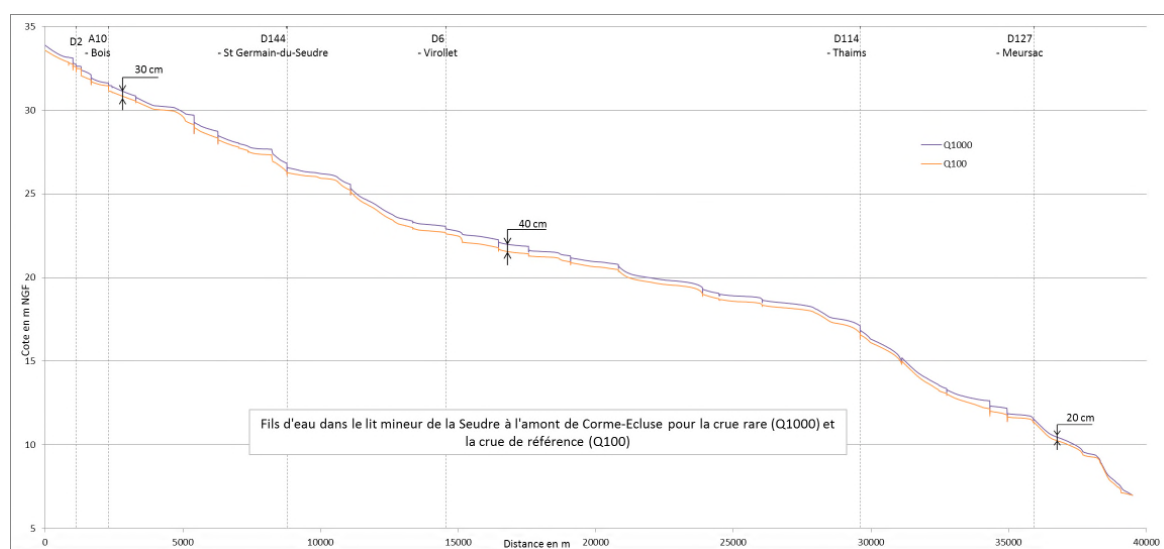


Fig. 45. Fils d'eau dans le lit mineur de la Seudre pour les crues millénale et centennale

SECTION 5

DOCUMENTS ANNEXES

ANNEXE 1

Calage de la tempête Martin

ANNEXE 2

Calage de la tempête Xynthia