



Analyse du rôle des taillées dans la protection
contre la submersion marine des zones
d'habitats diffus

Etude de l'impact de l'élévation du niveau
moyen de la mer sur les marais salés

Rapport phase 1 : Modélisation

urima
L'expert public des territoires d'eau



MAITRE D'OUVRAGE

RAISON SOCIALE	Syndicat mixte du Bassin de la Seudre
COORDONNÉES	17 rue de l'électricité 17200 ROYAN
INTERLOCUTEUR	Morgan BOYER E-mail : papi@fleuve-seudre.fr .

UNIMA

RAISON SOCIALE	UNIMA Syndicat Mixte formé par Arrêté Ministériel du 9 MARS 1966
COORDONNÉES	28 rue de Vaucanson Z.I. 17180 PÉRIGNY Tel : 05.46.34.34.10
INTERLOCUTEUR	SIMON Clara E-mail : clara.simon@unima.fr
PÔLE	Prévention Inondations

RAPPORT

TITRE	Etude de l'impact de l'élévation du niveau moyen de la mer sur les marais salés Rapport phase 1 : Modélisation
REFERENCE	Programme n°5067
MOTS CLÉS	Modélisation, Estuaire de la Seudre, Changement climatique

RÉVISIONS

INDICE	RÉDACTION	DATE	VÉRIFICATION	DATE
0	Clara SIMON	22/11/2024	JF BREILH	05/12/2024
1	Clara SIMON	18/12/2024		

SOMMAIRE

1.	CONTEXTE DE L'ETUDE	5
1.1.	Contexte général	5
1.2.	Définition de la zone d'étude	6
1.3.	Organisation de l'étude et objectifs	7
2.	PARTIE COMMUNE : MISE EN PLACE DU MODELE SUB-SEUDRE	8
2.1.	Etat des lieux et acquisition de données	8
2.1.1.	Les Unités Hydrauliques Cohérentes (UHC).....	8
2.1.2.	Les Ouvrages Hydrauliques de Gestion	8
2.1.3.	Occupation du sol et niveaux de gestions	9
2.2.	Capteurs de niveau d'eau	11
2.2.1.	Capteurs existants	11
2.2.2.	Capteurs UNIMA	12
2.2.3.	Exploitation des données de capteurs	15
2.3.	Correction du LiDAR CD17.....	16
2.4.	Campagne de levées bathymétriques	18
2.5.	Mise en place du modèle.....	19
2.5.1.	Le système de modélisation SCHISM et les modèles SURVEY	19
2.5.2.	Eléments intégrés au maillage des modèles.....	20
2.5.3.	Le maillage des modèles Tide-Seudre et Sub-Seudre	22
2.5.4.	Le maillage du modèle Sub-Seudre	24
2.5.5.	La topographie et la bathymétrie des modèles Tide-Seudre et Sub-Seudre.....	27
2.5.6.	La friction sur le fond.....	28
2.5.7.	Hypothèse de niveaux d'eau initiaux dans les marais	30
2.5.8.	Les forçages du modèle SNM	31
2.5.9.	Forçage du modèle de marée Tide-Seudre	32
2.5.10.	Forçages du modèle de submersion Sub-Seudre	32
2.6.	Validation des modèles Tide-Seudre et Sub-Seudre	32
2.6.1.	Validation du modèle de marée Tide-Seudre	32
2.6.2.	Validation du modèle Sub-Seudre sur la tempête Xynthia	35
2.6.3.	Validation de l'étendue et des hauteurs de la submersion.....	36
3.	PERSPECTIVES	38
3.1.	Partie SAGE.....	38
3.2.	Partie PAPI	40
4.	CONCLUSIONS	41

INDEX DES FIGURES

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude.	7
Figure 2 : Les UHC et OHG recensés dans l'estuaire de la Seudre (SMBS).	9
Figure 3 : Occupation du sol de l'estuaire de la Seudre 2021.	10
Figure 4 : Localisation des capteurs de niveau d'eau déjà en place et emplacement des capteurs UNIMA.	11
Figure 5 : Niveaux d'eau en m NGF enregistrés au pont de la Seudre et au pont de l'Eguille début 2024.	12
Figure 6 : Emplacement du capteur sur le pont du moulin du Plordonnier.	13
Figure 7 : Niveau d'eau mesuré en m NGF après traitement au capteur du Plordonnier en novembre 2023.	13
Figure 8 : Emplacement du capteur sur le chenal de Bugée.	15
Figure 9 : Niveau d'eau mesuré en m NGF après traitement au capteur au carretet de Bugée en novembre 2023.	15
Figure 10 : Séries temporelles de niveaux d'eau mesurées au pont de la Seudre, dans le chenal de Bugée, dans le chenal du Plordonnier et au pont de l'Eguille en janvier 2024.	16
Figure 11 : A gauche, mise à l'eau du matériel bathymétrique sur le chenal de Bugée, à droite, trajet du bateau en double hélice et MNT bathymétrique résultant sur le chenal du Plordonnier.	18
Figure 12 : Bathymétrie théorique interpolée sur le maillage dans le chenal de Pélard.	19
Figure 13 : Configuration du système de modélisation SCHISM pour le modèle SURVEY.	20
Figure 14 : Récapitulatif des éléments intégrés au maillage : routes, digues, taillées, chenaux et enjeux dans la zone d'étude.	21
Figure 15 : Emprise et résolution du maillage du modèle Tide-Seudre.	23
Figure 16 : Limite et résolution du maillage du modèle Tide-Seudre et localisation des OHG représentés par les points blancs.	24
Figure 17 : Différence entre deux simulations de Xynthia avec un modèle terre/mer et un modèle uniquement maritime.	25
Figure 18 : Emprise et résolution du maillage du modèle Sub-Seudre.	26
Figure 19 : Résolution du maillage du modèle Sub-Seudre autour de la commune de Nieulle-sur-Seudre.	26
Figure 20 : Modèle numérique de terrain bathymétrique du lit mineur de l'estuaire de la Seudre (IFREMER).	27
Figure 21 : Occupation du sol dans la zone du bassin de l'estuaire de la Seudre selon le GIP Littoral Aquitain.	28
Figure 22 : Coefficients de friction au fond dépendant de l'occupation du sol du modèle Sub-Seudre.	30
Figure 23 : Niveaux d'eau discrétisés par activité des bassins intégrés aux modèles.	31
Figure 24 : Schématisation de l'ensemble des forçages du modèle Sub-Seudre.	32
Figure 25 : Marée mesurée en bleu et marée modélisée en rouge aux marégraphes de la Pallice, la Cotinière et l'île d'Aix.	33
Figure 26 : Marée mesurée en bleu et marée modélisée en rouge aux capteurs de niveau d'eau du pont de la Seudre, du chenal de Bugée, du chenal du Plordonnier et du pont de l'Eguille.	34
Figure 27 : Marée modélisée tout au long de l'estuaire, à l'embouchure (bleu), au niveau de Chaillevette (rouge) et à l'Eguille (bleu cyan).	35
Figure 28 : Comparaison des niveaux mesurés et modélisés ainsi que des surcotes mesurées et modélisées par le modèle Sub-Seudre aux marégraphes de la Pallice et de la Cotinière.	36
Figure 29 : Etendue de la submersion engendrée par Xynthia et localisation et écarts entre laisses de submersion observées et modélisées dans l'estuaire de la Seudre.	37
Figure 30 : Scénarios de projection de l'augmentation du niveau marin moyen en fonction du temps à La Pallice et intervalles de confiance. (Nasa.gov)	39

INDEX DES TABLEAUX

Tableau 1 : Pourcentage d'occupation du sol en fonction des usages de l'estuaire de la Seudre.	10
Tableau 2 : Hauteur de gestion dépendante de l'activité des bassins.	11
Tableau 3 : Valeurs des coefficients selon la classification de Bunya (2010).	29
Tableau 4 : Nombre de points de laisses de submersion compris dans les intervalles d'écart entre observations et modèle.	37
Tableau 5 : Récapitulatif des différents scénarios d'augmentation du niveau marin moyen à la Pallice en 2070, chacun dépendant d'une projection d'émission de gaz à effet de serre (Nasa.gov).	39

1. Contexte de l'étude

1.1. Contexte général

Les marais salés de la Seudre estuarienne, sont considérés aujourd'hui comme le plus grand ensemble français de marais maritimes. Les 9 000 ha de marais compris entre 0 et 3 m NGF tels qu'ils existent, résultent d'une succession d'aménagements inhérents à leurs usages. Au cours des siècles et selon des phases successives de développement et d'abandon liées à l'Histoire, cet espace a été façonné, « construit » par l'Homme.

Ce territoire s'étend sur 14 communes : 5 en rive droite et 9 sur la rive gauche. L'étendue de marais de la rive droite est la plus importante (près de 75% de la superficie totale), elle couvre une bande de 1 à 4 km de large. Celle de la rive gauche est plus modeste et ne s'étend que sur une largeur variant de 600 m à 1800 m.

Ce sont les activités économiques (saliculture, ostréiculture, pisciculture) qui ont structuré et entretenu les marais au gré de leurs évolutions. A défaut d'entretien, ce système hydraulique se dégrade vite et de nombreux dysfonctionnements apparaissent : envasement des chenaux, comblement des claires, effondrement des digues, dégradation des ouvrages hydrauliques, etc. Le marais endigué tend alors à retrouver le fonctionnement naturel de la vasière sur laquelle il fut fondé.

Aujourd'hui constitué d'un réseau complexe de chenaux, digues (aussi appelées taillées) et de bassins plus ou moins entretenus, ce territoire est particulièrement exposé à l'élévation du niveau moyen de la mer liée au changement climatique et aux phénomènes tempétueux engendrant des submersions marines.

Les dernières tempêtes majeures (Martin en 1999 et Xynthia en 2010) ont provoqué d'importants dégâts matériels sur l'estuaire de la Seudre. Le Syndicat mixte du bassin de la Seudre (SMBS) s'est donc engagé, avec les collectivités territoriales concernées, Communauté d'Agglomération Royan Atlantique (CARA) et Communauté de Communes du Bassin de Marennes (CCBM), à mettre en œuvre un programme d'actions de prévention des inondations (PAPI) sur le bassin de la Seudre. Une connaissance vernaculaire du rôle du marais dans la protection contre les submersions marines a été mise en avant lors de la construction du PAPI. Afin de pouvoir répondre factuellement aux interrogations posées et mieux gérer le risque, une étude sur le rôle des taillées est inscrite dans le programme.

En outre, le territoire et ses acteurs sont engagés dans une démarche de mise en valeur et de préservation du marais de la Seudre, coordonnée par la CARA et la CCBM via l'Entente intercommunautaire pour le marais salé de la Seudre. Considérant que les questions d'entretien hydraulique, d'activités économiques, de préservation de la biodiversité ou encore des paysages sont étroitement liées, cette démarche vise à aborder ces sujets de façon transversale et non cloisonnée. Aussi, la stratégie choisie sur le territoire repose en particulier sur la redynamisation des activités primaires durables, celles-ci étant les garantes de l'entretien pérenne du marais. Le volet « hydraulique » et « milieux aquatiques » de la démarche est plus spécifiquement pilotée par le SMBS, lequel est compétent en matière de gestion des milieux aquatiques (GEMA). Il prépare ainsi la mise en place d'un programme pluriannuel de gestion (PPG) sur l'ensemble du bassin versant de la Seudre afin de structurer son intervention.

Le marais salé étant presque entièrement privé et peu structuré en Associations Syndicales de propriétaires (AS), la connaissance de son fonctionnement hydraulique demeure très empirique et détenue uniquement par les propriétaires et/ou exploitants concernés.

Cette étude possède deux grands objectifs :

- Une analyse du rôle que peuvent jouer les taillées dans la protection contre les submersions marines (volet PAPI) ;
- Une amélioration de la connaissance de l'impact du changement climatique, notamment de l'élévation du niveau marin, sur le fonctionnement hydraulique du marais de la Seudre. Ce volet SAGE intervient dans la perspective d'une adaptation au changement climatique, en vue de répondre notamment aux orientations du nouveau SDAGE Adour-Garonne 2022-2027. Il s'agit d'améliorer les connaissances sur ce territoire, afin d'orienter les futures actions publiques en termes d'entretien et de préservation du marais salé, d'aménagement du territoire et de redynamisation économique.

Cette étude sera menée en étroite collaboration avec la CARA et la CCBM, structures compétentes en matière de Protection contre les Inondations (PI), et membres de l'Entente intercommunautaire pour le marais salé de la Seudre animant la démarche de mise en valeur et préservation du marais.

1.2. Définition de la zone d'étude

Le périmètre de l'étude correspond au périmètre défini par les communes suivantes :

Arvert, Bourcefranc-le-Chapus, Breuillet, Chaillevette, Etaules, La Tremblade, L'Eguille, Le Gua, Marennes-Hiers-Brouage, Mornac-sur-Seudre, Nieulle-sur-Seudre, Saint-Just-Luzac, Saint-Sornin, Saint-Sulpice-de-Royan, Saujon (Figure 1).

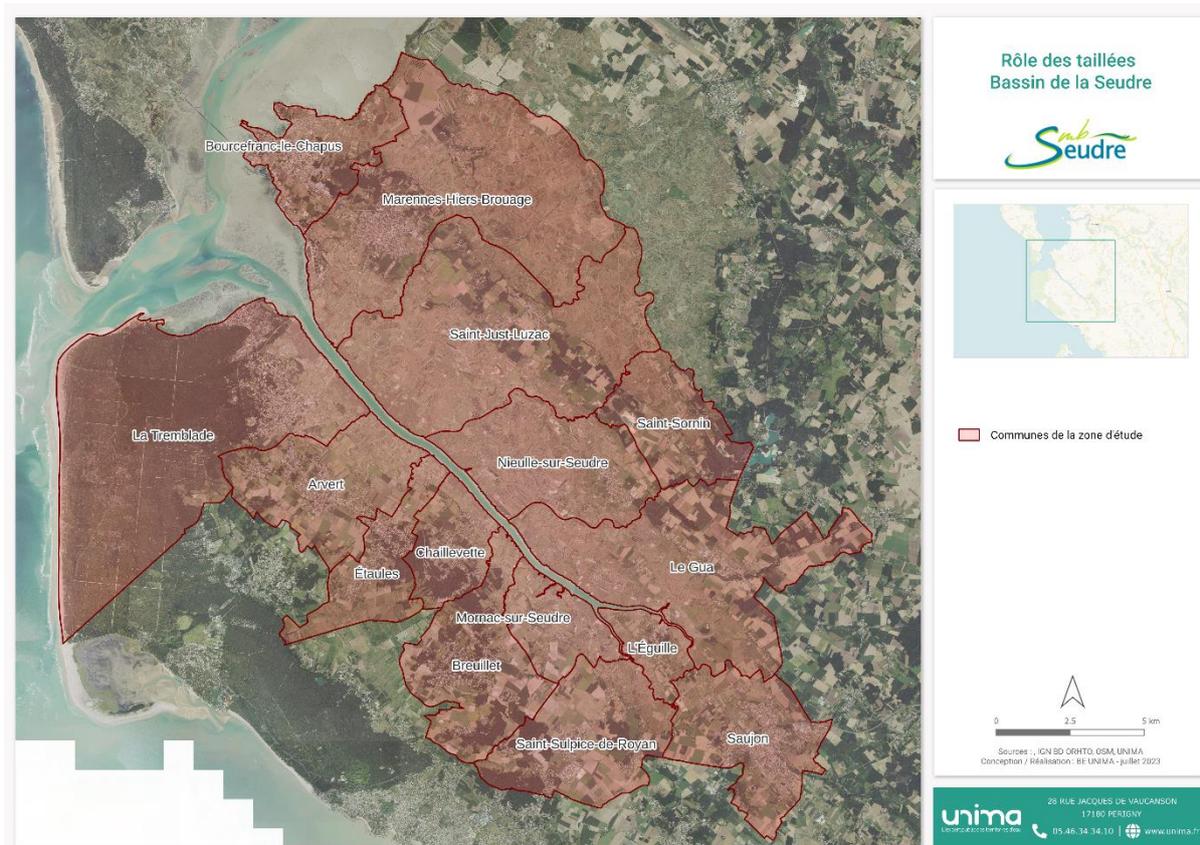


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude.

1.3. Organisation de l'étude et objectifs

La présente étude est divisée en trois parties. Une première partie commune, de déploiement d'un modèle hydrodynamique utilisé pour les volets PAPI et SAGE ; une deuxième partie SAGE, concernant l'influence hydraulique du changement climatique sur le marais de la Seudre. Et une troisième partie, dite PAPI, de l'analyse du rôle des taillées.

La partie commune aux deux volets concerne le déploiement du système de modélisation numérique propre à l'étude. Le modèle SURVEY implémenté par l'UNIMA est déjà mis en place à l'échelle de la Charente-Maritime. Ce modèle est donc amélioré et affiné au niveau de la zone d'étude de l'estuaire de la Seudre. Le modèle qui est implémenté pour cette étude représente toutes les digues de 1^{er} rang aussi appelées taillées du marais de la Seudre. La topographie du modèle est basée sur le LiDAR CD17 2021 corrigé. La méthodologie de correction est détaillée section 2.3. Les altimétries des ouvrages PAPI existants sont intégrées à la topographie. Tous les ouvrages hydrauliques (moines, vannes, busages, etc.) ne sont pas pris en compte. En effet, le marais de la Seudre ne présente pas d'ouvrages hydrauliques structurant en entrée de chenaux susceptibles de contrôler l'alimentation de ceux-ci. En cas de tempête, les impacts sont liés principalement à un niveau de la mer supérieur à celui des taillées entraînant la submersion ponctuelle. En temps normal, le remplissage des bassins est conditionné par l'altitude et la section de chaque ouvrage. Ces éléments sont inconnus, variables, et susceptibles de modifications si besoin (par la gestion des ouvrages ou lors d'une réhabilitation).

2. Partie commune : mise en place du modèle Sub-Seudre

2.1. Etat des lieux et acquisition de données

2.1.1. Les Unités Hydrauliques Cohérentes (UHC)

Les unités hydrauliques cohérentes (UHC), sont des espaces disposant d'une autonomie propre en termes de gestion des niveaux d'eau et d'au moins une entrée et une sortie d'eau (les deux pouvant être confondues). Les UHC sont donc une portion continue du territoire, souvent délimités physiquement par des digues (taillées ou levées) ou autres exhaussements (buttes, bosses, bourrelets de curage, chemins, routes).

Cette définition théorique peut s'avérer difficile à analyser en pratique, en particulier sur les marais en déprise où la fonctionnalité hydraulique peut être altérée du fait de la dégradation d'ouvrages, de digues ou de chenaux. Peuvent également être pris en compte dans l'analyse des UHC, les usages (actuels, passés et potentiels), les évolutions des ouvrages et des chenaux qui ont parfois créé des zones en coupes libres, c'est-à-dire n'ayant plus d'ouvrages de gestion hydraulique et étant complètement tributaire des marées pour les niveaux d'eau.

Sur les marais exploités, cette définition se travaille aussi en concertation avec les acteurs du territoire qui peuvent avoir une vision différente, en y intégrant les usages et les aménagements qu'ils ont réalisés, ainsi que les aspects financiers liés à l'entretien des réseaux (subventions possibles sur les réseaux primaires et secondaires).

Les UHC de l'estuaires de la Seudre ont été définies par analyse hydraulique et ont été fournies par le SMBS (Figure 2). Au nombre de 1 170, elles sont divisées en plusieurs types :

- Les coupes libres
- Les marais doux endigués
- Les marais salés endigués
- Les zones naturelles remarquables
- Les sartières (remembrée et non remembrée)

Environ 70% de la surface totale des UHC déterminées correspond à du marais non soumis au marnage. Ces UHC sont alimentées par les ouvrages hydrauliques de gestion (OHG), ou en cas de surverse des taillées lors d'évènements exceptionnels.

2.1.2. Les Ouvrages Hydrauliques de Gestion

La zone d'étude comprend 1 530 OHG, lesquels permettent la régulation de la circulation hydrodynamique au sein des UHC. Les marais salés endigués ne sont donc alimentés en eaux marines qu'au travers de ces OHG permettent aux UHC de boire et de déboire à chaque marée (Figure 2).

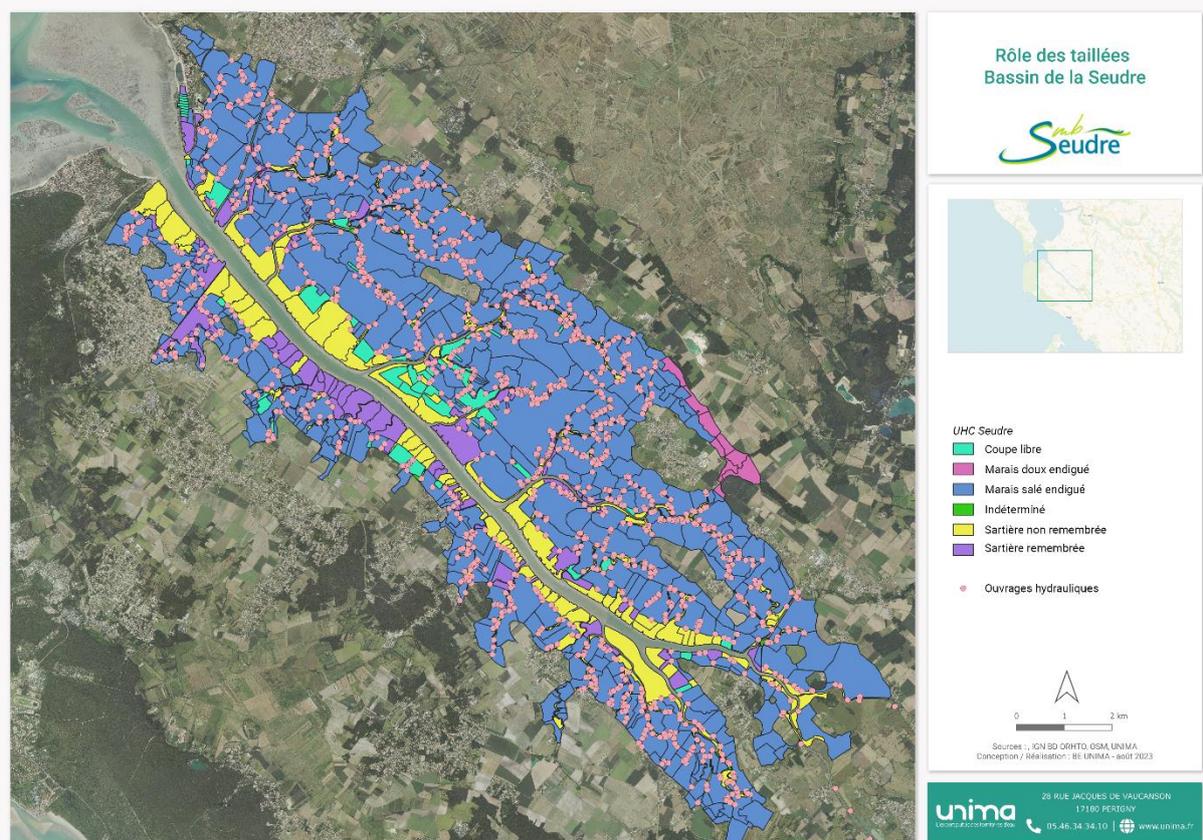


Figure 2 : Les UHC et OHG recensés dans l'estuaire de la Seudre (SMBS).

2.1.3. Occupation du sol et niveaux de gestions

L'estuaire de la Seudre regroupe de nombreuses activités telles que la conchyliculture (principalement l'ostréiculture), l'aquaculture, l'élevage bovin et la saliculture. Ces multiples usages ont façonné l'estuaire et chaque usage défini une Occupation Du Sol (OCS) précise. Les données d'OCS fournies par le SMBS montre un large panel d'usage au sein même des UHC. De part et d'autre de la Seudre, les marais sont essentiellement des sartières non exploitées, des tonnes de chasses et des bassins de claires ostréicoles. La rive gauche de l'estuaire est largement dominée par des marais de claires et de nombreuses bosses de marais ont été érigées entre chaque bassin. Les structures de fossés à poissons sont davantage présentes en amont bien que peu représentées. Concernant la rive droite, beaucoup plus étendue, les usages sont majoritairement des marais de claires et de nombreux marais aménagés dont l'usage n'est pas identifié, des structures de fossés à poissons très présentes en amont de l'estuaire, dont la majorité d'entre elles, comme en rive gauche, sont en déprise depuis des décennies, ainsi que de larges zones de prairies humides couvertes de végétation hygrophile (Figure 3, Tableau 1).

Tableau 1 : Pourcentage d'occupation du sol en fonction des usages de l'estuaire de la Seudre.

Usage	Pourcentage d'occupation du sol
Lit Seudre, chenaux, ruisson, fossés	12 %
Bâti (individuel, collectif, agricole, industriel)	3 %
Forêts	1 %
Prairies	17 %
Sartières	10 %
Fosses à poisson	2 %
Marais salants	0.03 %
Marais de claires	13 %
Mare de tonne	2.3 %
Bosses de marais	23 %
Autre marais	9 %
Autre	7 %

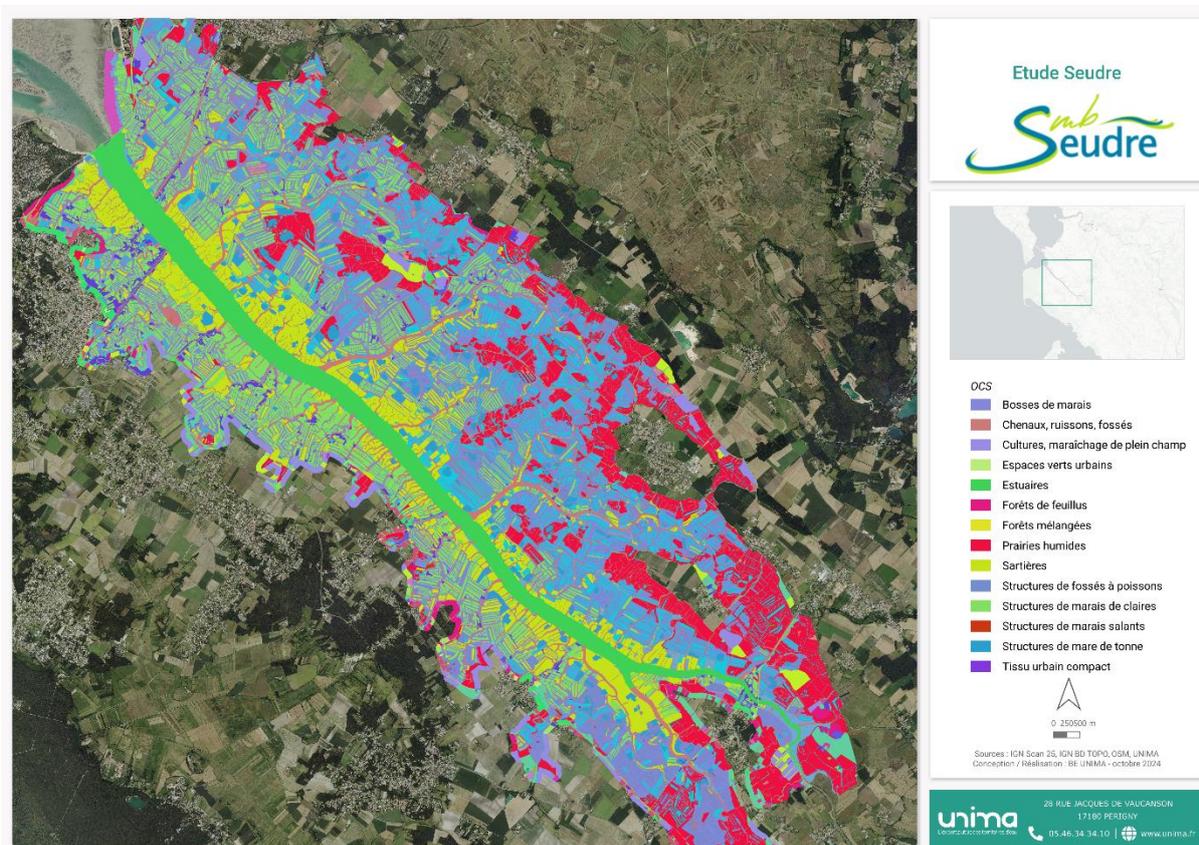


Figure 3 : Occupation du sol de l'estuaire de la Seudre 2021.

Les hauteurs d'eau dans les bassins du marais sont dépendantes de l'usage qui en est fait. Ainsi, après discussions avec le Maître d'ouvrage (MOA), des hauteurs d'eau ont été définies dans chaque bassin en fonction de leur activité associée, laquelle est indiquée dans le fichier d'occupation du sol.

Tableau 2 : Hauteur de gestion dépendante de l'activité des bassins.

Activité des bassins	Gestion estivale	Gestion hivernale
Ostréiculture	0.85 m	0.85 m
Vasais	1.25 m	1.25 m
Métières	0.70 m	0.30 m
Champ de marais	0.05 m	0.25 m
Loisirs	1.00 m	1.00 m
Aquaculture	0.85 m	0.85 m
Chasse	0.50 m	0.50 m
Autres	0.80 m	0.80 m

2.2. Capteurs de niveau d'eau

Des capteurs de niveaux d'eau opérés par Vigicrue et par la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) sont déjà en place dans l'estuaire de la Seudre. Dans le but de compléter l'analyse et de disposer des mesures de la propagation du signal de marée sur la totalité de la zone d'étude, deux capteurs UNIMA ont été déployés à des emplacements stratégiques de l'estuaire. Rive droite sur le chenal de Bugée et rive gauche au niveau du moulin du Plordonnier sur le chenal du même nom (Figure 4).

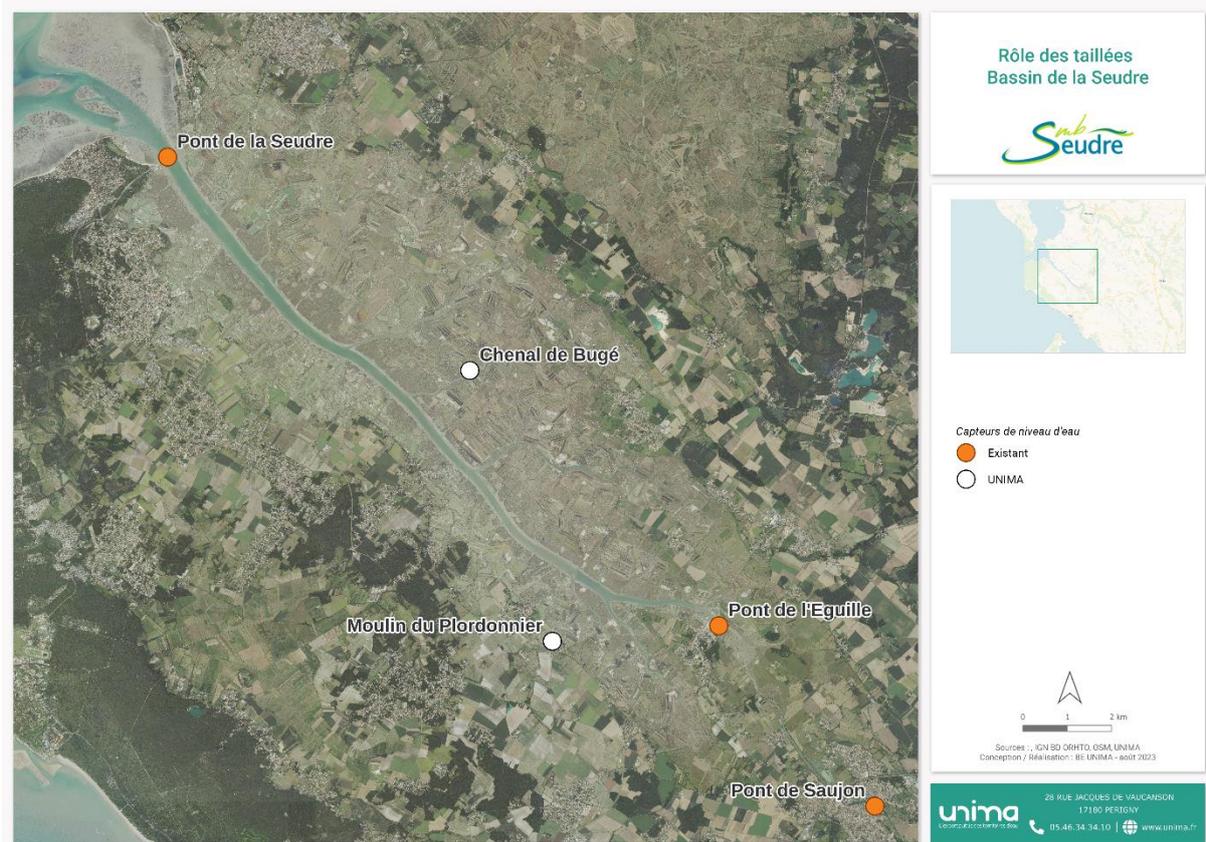


Figure 4 : Localisation des capteurs de niveau d'eau déjà en place et emplacement des capteurs UNIMA.

2.2.1. Capteurs existants

Au total, 2 capteurs de niveaux d'eau sont déjà positionnés dans l'estuaire de la Seudre. Un premier sur le pont de la Seudre en aval de l'estuaire (Vigicrues), le second est situé en amont

de l'estuaire sur le pont de l'Eguille (DREAL). Les niveaux d'eau enregistrés à ces localisations sont visibles en Figure 5.

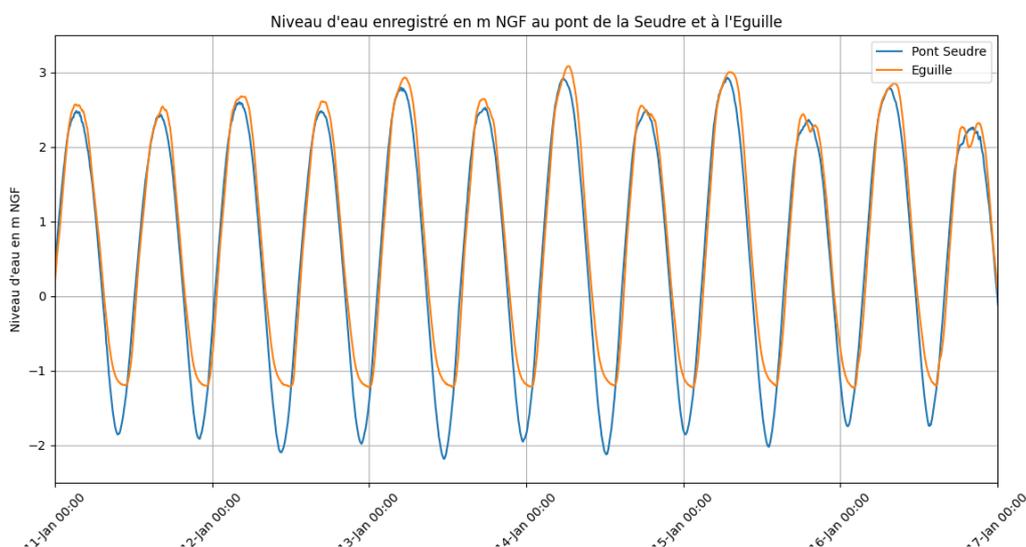


Figure 5 : Niveaux d'eau en m NGF enregistrés au pont de la Seudre et au pont de l'Eguille début 2024.

2.2.2. Capteurs UNIMA

Dans le but de valider le modèle implémenté pour cette étude et afin de compléter les données de niveau d'eau dans l'estuaire de la Seudre, l'UNIMA a déployé deux sondes de mesure de niveau d'eau dans deux chenaux latéraux de la Seudre. Le premier capteur a été placé dans le chenal du Plordonnier sur la commune de Mornac-sur-Seudre, au niveau du moulin de Plordonnier, sur la rive gauche de l'estuaire. Le second capteur a été placé sur un carrelet situé sur le chenal de Bugée sur la rive droite de l'estuaire.

Les capteurs qui ont été déployés sont développés et fournis par la société E8E. Ils sont basés sur la technologie de mesure aérienne par ultrason. Les capteurs effectuent une mesure du tirant d'air qui est ensuite transmise au système de collecte via un protocole de communication sans fil (type LoRa). Le paramétrage des capteurs permet de définir le pas de temps d'acquisition et de caler le plan d'eau dans le référentiel altimétrique souhaité. La résolution est de l'ordre du centimètre (la mesure du tirant d'air dérivant avec les variations de température de l'air).

Les deux capteurs ont été installés dès le mois de novembre avec l'accord des particuliers usagers du pont et du carrelet. La fréquence d'acquisition a été fixée à une donnée enregistrée toutes les 5 minutes.

- Capteur moulin du Plordonnier



Figure 6 : Emplacement du capteur sur le pont du moulin du Plordonnier.

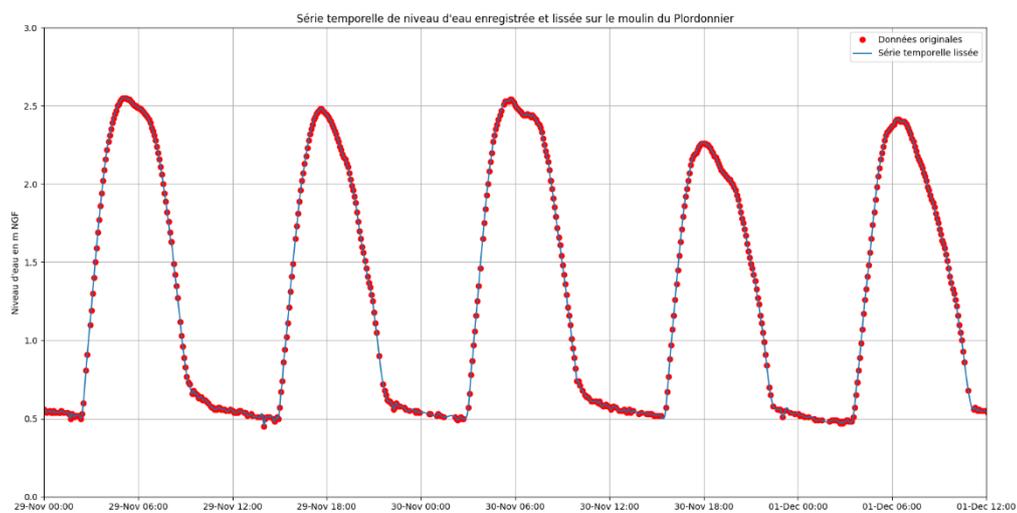


Figure 7 : Niveau d'eau mesuré en m NGF après traitement au capteur du Plordonnier en novembre 2023.

- Capteur carrelet chenal de Bugée



Figure 8 : Emplacement du capteur sur le chenal de Bugée.

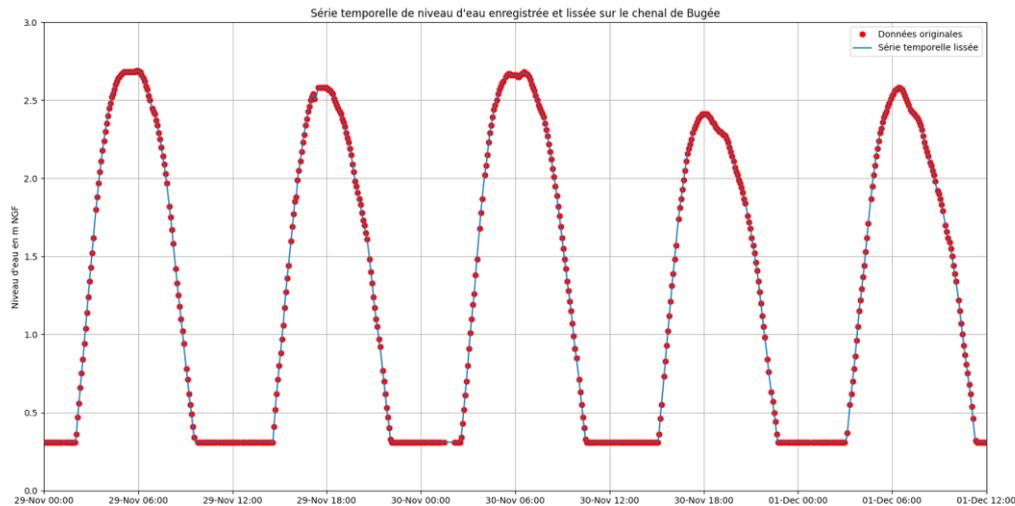


Figure 9 : Niveau d'eau mesuré en m NGF après traitement au capteur au carrelet de Bugée en novembre 2023.

2.2.3. Exploitation des données de capteurs

Grâce au positionnement de ces capteurs supplémentaires, le signal de marée est mesuré de manière précise tout le long de l'estuaire. Ces données enregistrées permettront de valider le modèle de marée sur la zone d'étude.

Sur la figure suivante, les données mesurées montrent une amplification du signal de marée de l'aval vers l'amont mais également un déphasage. Ce déphasage est davantage marqué au flot qu'au jusant, il est estimé sur ce cycle de marée entre 10 et 15 minutes au flot et 25 à 30 minutes au jusant entre le pont de la Seudre et le pont de l'Eguille (Figure 10). L'amplification et le déphasage du signal de marée sont dus à la géomorphologie particulière de l'estuaire de la Seudre. En se propageant dans l'estuaire étroit et de faible profondeur, les constituants de marée se distordent (Friedrichs and Aubrey, 1988)¹. Ainsi, le signal de marée entre l'embouchure de la Seudre et l'Eguille est déformé et le signal s'amplifie vers l'amont de l'estuaire. Le déphasage observé entre le flot et le jusant pourrait être expliqué par la friction sur le fond. En effet, au flot et au jusant les transports sédimentaires ne sont pas linéaires et influencent la friction sur le fond (Toublanc et al, 2015)². Cette friction sur le fond variable module l'écoulement et serait une des causes du déphasage mesuré le long de l'estuaire.

L'intégralité des marées basses n'est pas systématiquement représentée sur les graphiques de marée mesurée. Au niveau des capteurs, la marée basse paraît tronquée. En effet, la mesure enregistrée au pont de Mornac à marée basse correspond au radier de l'ouvrage. Pour le

¹ Friedrichs, C., Aubrey, G., 1988. Non-linear tidal distortion in shallow estuaries: a synthesis. *Estuar., Coast. Shelf Sci.* 27, 521–545.

² Toublanc, F., I. Brenon, T. Coulombier, et O. Le Moine. « Fortnightly Tidal Asymmetry Inversions and Perspectives on Sediment Dynamics in a Macrotidal Estuary (Charente, France) ». *Continental Shelf Research* 94 (février 2015): 42-54. doi:10.1016/j.csr.2014.12.009.

carrelet de bugée, sous 0,5 m NGF, les mesures ne sont pas enregistrées car le tirant d'air est supérieur à la valeur seuil.

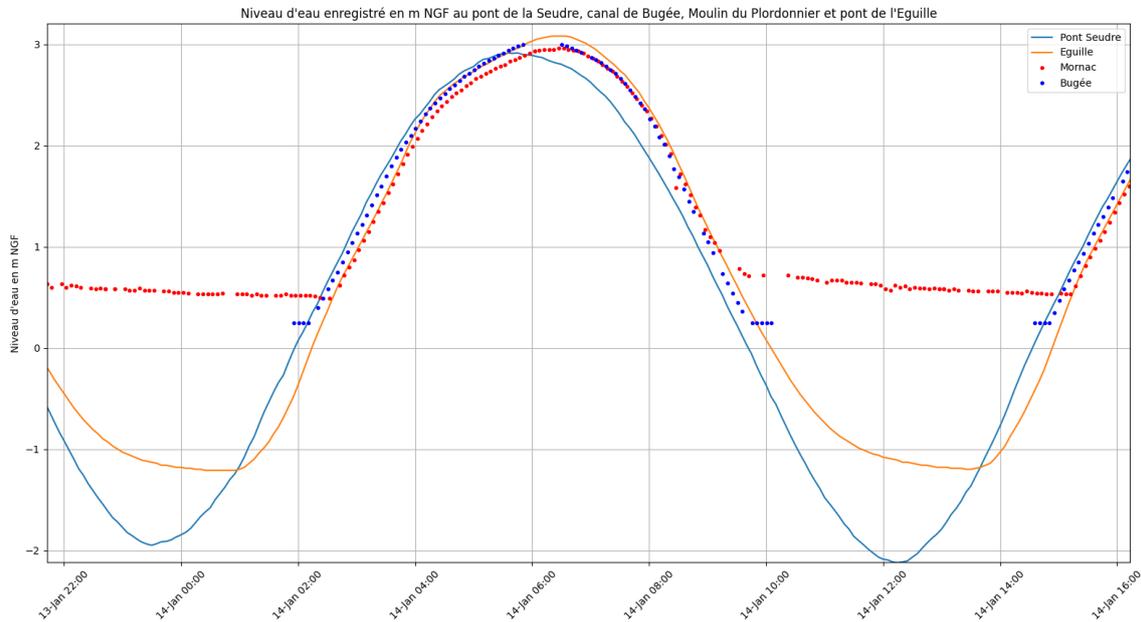


Figure 10 : Séries temporelles de niveaux d'eau mesurées au pont de la Seudre, dans le canal de Bugée, dans le canal du Plordonnier et au pont de l'Eguille en janvier 2024.

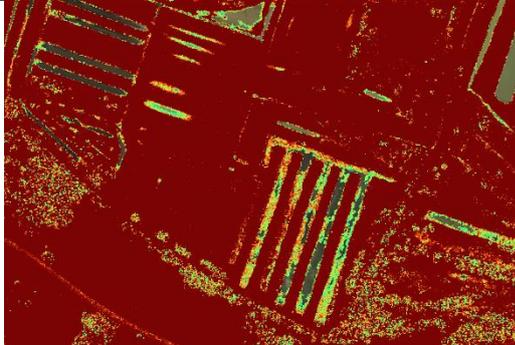
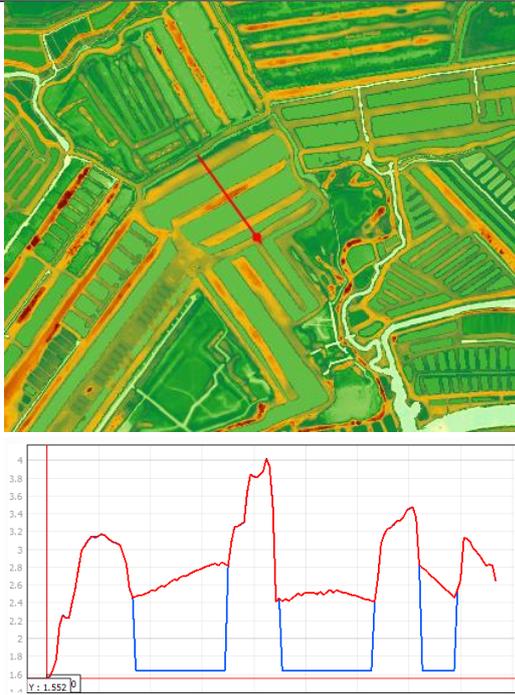
2.3. Correction du LiDAR CD17

Le LiDAR CD17 provient de la données brute LiDAR HD de l'IGN acquise en 2021. La donnée brute LiDAR HD se présente sous la forme d'un nuage de points issu d'une acquisition aérienne LiDAR. La densité d'acquisition est d'au moins une impulsion infrarouge par m² dans les zones de basses altitudes. L'erreur quadratique moyenne est de 25 cm en planimétrie et 10 cm en altimétrie.

La qualité du signal LiDAR CD17 est dégradée sur les surfaces en eau et les zones fortement végétalisées qui sont moins réfléchives. Lors de la production du LiDAR CD17, tout comme la partie terrestre du LiDAR Litto3D de l'IGN de 2011, le signal dégradé est supprimé et les lacunes, qui sont remplacées au moyen d'une interpolation spatiale, apparaissent dans le modèle sous la forme de facettes triangulaires qui ne représentent pas la topographie réelle des terrains. L'altitude des bassins est globalement surestimée, car les facettes triangulaires reflètent en réalité la cote altimétrique des berges et des levées qui les entourent. La différence d'altitude entre le LiDAR CD17 et le fond des bassins peut dépasser 2 m par endroits. L'UNIMA a donc développé une méthode destinée à corriger ces erreurs, ce qui va indirectement améliorer la qualité des modélisations hydrodynamiques qui utiliseront un MNT terrestre plus fidèle à la réalité que le LiDAR CD17.

La donnée ayant servi à corriger le LiDAR CD17 est la donnée brute LiDAR HD IGN. La méthode de correction consiste à créer un raster d'intensité de signal en 3 classes : (1) faible intensité donc mauvaise qualité (bassins en eau), (2) faible intensité mais qualité acceptable et (3) forte intensité donc très bonne qualité. Les données de bonne qualité relevées dans les fonds de bassins vides sont attribuées aux fonds de bassins de mauvaise qualité les plus proches. La

robustesse de cette méthode de correction est (1) de conserver les données du LiDAR CD17 valides, au niveau des bassins qui n'étaient pas en eau au moment du levé aéroporté, et (2) d'attribuer aux surfaces en eau une altitude qui tient compte des variations du terrain naturel environnant.

<p>Utilisation du nuage de point brut</p>	
<p>Création d'un raster d'intensité du signal Rouge → mauvaise qualité (bassins en eau) Jaune → Signal de faible intensité mais données altimétriques acceptables Vert → Signal de forte intensité donc de bonne qualité</p>	
<p>Extraction des altitudes de fond de bassins en jaune (hors d'eau). Attribution de ces altitudes aux bassins en eau où le signal est de mauvaise qualité.</p> <p>Création d'un MNT théorique mais proche de la réalité.</p> <p>En coupe, la comparaison des fonds de bassins relevés dans le LiDAR brut en rouge et corrigés en bleu</p>	

La correction du LiDAR se justifie par le fait qu'une forte proportion de la zone d'étude est caractérisée par des surfaces de canaux et bassins en eau.

Le bassin de la Seudre étant majoritairement composé de marais et de bassins en eau, cette correction est indispensable. Ne pas corriger cet artéfact dans les données LiDAR CD17 induit un très fort biais dans la représentation géomorphologique de ce territoire, au sein du modèle.

2.4. Campagne de levés bathymétriques

Les bathymétries des nombreux chenaux de la Seudre ne sont pas toutes connues. L'UNIMA a réalisé les levés bathymétriques des deux chenaux sur lesquels ont été positionnés les deux capteurs de niveau d'eau : le chenal du Plordonnier (rive gauche) et le chenal de Bugée (rive droite).

La bathymétrie précise des deux chenaux, combinée au niveau d'eau mesuré par les capteurs permet de connaître de manière précise le fonctionnement hydraulique de ces parties de l'estuaire. De telles connaissances sont un avantage considérable pour la bonne réalisation de l'étude, notamment pour la validation.

La méthode employée pour ces levés est la réalisation de trajets en double hélice dans les chenaux suivis d'un traitement des données acquises par interpolations linéaires directionnelles (Figure 11). Les données ont été acquises aux moyens d'un sondeur mono faisceau (Tritech PA500/6S) associé à un GPS RTK (Trimble). Ce montage GPS/Sondeur permet d'obtenir les cotes de fond de chenaux dans le système altimétrique NGF. Le logiciel d'acquisition bathymétrique utilisé est le logiciel Qinsky. Au total, 5.5 km de chenaux ont été levés.



Figure 11 : A gauche, mise à l'eau du matériel bathymétrique sur le chenal de Bugée, à droite, trajet du bateau en double hélice et MNT bathymétrique résultant sur le chenal du Plordonnier.

Ces levés bathymétriques ont permis d'établir une loi mathématique fonction de la profondeur et la largeur le long de chaque chenal levé. Cette loi a été appliquée aux chenaux de l'estuaire qui n'ont pas été levés permettant ainsi d'obtenir une bathymétrie théorique cohérente (Figure 12).



Figure 12 : Bathymétrie théorique interpolée sur le maillage dans le canal de Pélard.

2.5. Mise en place du modèle

2.5.1. Le système de modélisation SCHISM et les modèles SURVEY

Les modèles déployés pour cette étude sera une amélioration des modèles SURVEY (modèles pour l'analyse et la prévision de surcotes et des submersions marines à l'échelle des Pertuis Charentais, développés par l'UNIMA). La stratégie de modélisation Survey est basée sur l'emboîtement de deux modèles : le modèle SNM (Surcote Niveau Max) et le modèle SSM (Surcote Submersion Marine).

Le modèle SNM est un modèle possédant une large emprise géographique : de Notre-Dame-de-Monts au nord, à la pointe du Cap Ferret au sud et jusqu'à 160 km au large des côtes de l'île d'Oléron. Pour une bonne représentation de la surcote, le modèle SNM utilise le système de modélisation couplé SCHISM WWM-III. L'objectif du modèle SNM est de simuler l'hydrodynamique de la zone sous l'effet conjugué des marées, des vagues et des forçages atmosphériques conduisant au calcul des surcotes et l'extension des zones inondées induites. SCHISM est un modèle de circulation permettant de simuler la circulation hydrodynamique. SCHISM résout les équations de circulation en eau peu profonde grâce à une grille non structurée en utilisant la méthode des éléments finis (Zhang et al., 2016). Couplé à SCHISM, le modèle de vague WWMIII (Roland et al., 2012) permet d'inclure les processus physiques propres aux surcotes tels que les gradients de tension de radiation et les contraintes de surface. Ce modèle est mis en place afin de représenter les bons niveaux d'eau engendrés par les événements extrêmes comme Xynthia en chaque point du domaine maillé. Le système de modélisation est schématisé en Figure 13.

Le modèle SSM qui modélise la submersion engendrée par une surcote extrême utilise le système de modélisation SCHISM afin de résoudre les équations de la circulation en eau peu profonde. Ce modèle représente de manière très fine toutes les défenses côtières, les obstacles à la submersion tels que les routes, ainsi que les chenaux et canaux qui ont pour caractéristiques de propager la submersion à terre de l'ensemble des zones basses des Pertuis Charentais. Sur la totalité de la zone d'étude, plus de 100 km de digues de premier rang ainsi que 100 km de canaux ont été intégrés à ce modèle pour une bonne représentation de la propagation de la submersion à terre.

Pour les besoins de cette étude, deux modèles ont été déployés. En effet, les phases SAGE et PAPI possèdent deux objectifs bien distincts. La phase SAGE permettra d'étudier les capacités des bassins de la Seudre à boire et déboire lors de marées classiques superposées à une augmentation du niveau marin et la partie PAPI étudiera la capacité des taillées à protéger les zones d'habitat diffus de l'estuaire. Dans ce cas pour le premier volet SAGE, un modèle appelé **Tide-Seudre** a été mis en place, lequel s'arrête à la limite des taillées. Pour le second volet PAPI, un modèle de plus grande emprise terrestre représentant les enjeux appelé **Sub-Seudre** a été mis en place.

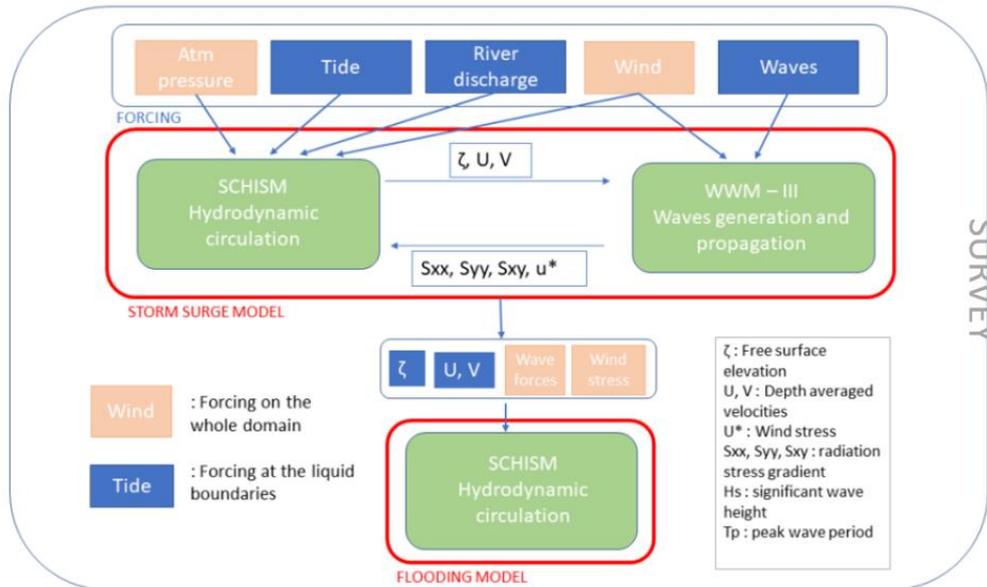


Figure 13 : Configuration du système de modélisation SCHISM pour le modèle SURVEY.

2.5.2. Éléments intégrés au maillage des modèles

Une grande partie de la création d'un modèle hydrodynamique repose sur le recensement des éléments majeurs qui modulent l'écoulement. Lors d'un évènement de submersion marine dans les zones de basses altitudes, les éléments tels que les routes, les levées ou encore les voies de chemins de fer sont des obstacles à la submersion et donc la ralentissent. Au contraire, les fossés et les chenaux sont des vecteurs de submersion et peuvent amener la masse d'eau sur de longues distances à travers le marais, parfois même jusqu'aux zones à enjeux. Afin de reproduire les submersions marines de manière fidèle, tous ces éléments doivent être pris en compte et intégrés au maillage. Dans le cadre de cette étude, les zones d'habitats diffus sont au centre de la troisième partie PAPI, un recensement et une intégration au modèle de ces dernières sont donc indispensables. Tous les éléments recensés afin de construire le modèle sont visibles en Figure 14.

2.5.2.1. Recensement des obstacles à la submersion

Dans la zone d'étude du bassin de la Seudre, les principaux obstacles à la submersion sont les routes, les taillées et les voies de chemin de fer. Pour des raisons de temps de calcul, toutes les routes ne peuvent pas être intégrées au modèle. Des choix ont donc été fait afin de ne prendre en compte que les obstacles dont l'impact sur l'écoulement est significatif. Les axes

principaux, les routes et chemins dont l'altitude est supérieure au terrain naturel et les routes bordant les zones d'habitation ont été intégrés. Les taillées qui sont au cœur de la problématique de la partie PAPI ont toutes été intégrées sans considération de leur altitude ou de leur état.

Au total, environ 500 km d'obstacles à la submersion ont été intégrés au modèle.

2.5.2.2. Recensement des chenaux

Suivant le même principe que les obstacles à la submersion, tous les canaux, chenaux et fossés n'ont pas pu être intégrés au modèle. Cependant, les OHG ont permis de sélectionner tous les chenaux susceptibles de faire boire et déboire les UHC contrôlées par les ouvrages. En effet, la problématique de la partie SAGE est de déterminer si une augmentation du niveau marin entrainerait une modification du temps pendant lequel les UHC se vident et se remplissent. Ainsi, tous les chenaux sur lesquels des OHG sont recensés ont été intégrés au maillage, ce qui représente environ 125 km linéaire.

2.5.2.3. Zones à enjeux

Afin de mettre l'accent sur les zones d'habitat diffus de l'estuaire de la Seudre et ainsi répondre à la problématique de la partie PAPI. Un focus a été fait sur ces zones de bâti, notamment sur le bâti résidentiel. Toutes les zones à enjeux situées sous la cote altimétrique de 6.50 m NGF ont été recensées et intégrées, ce qui représente une surface d'environ 28 km².

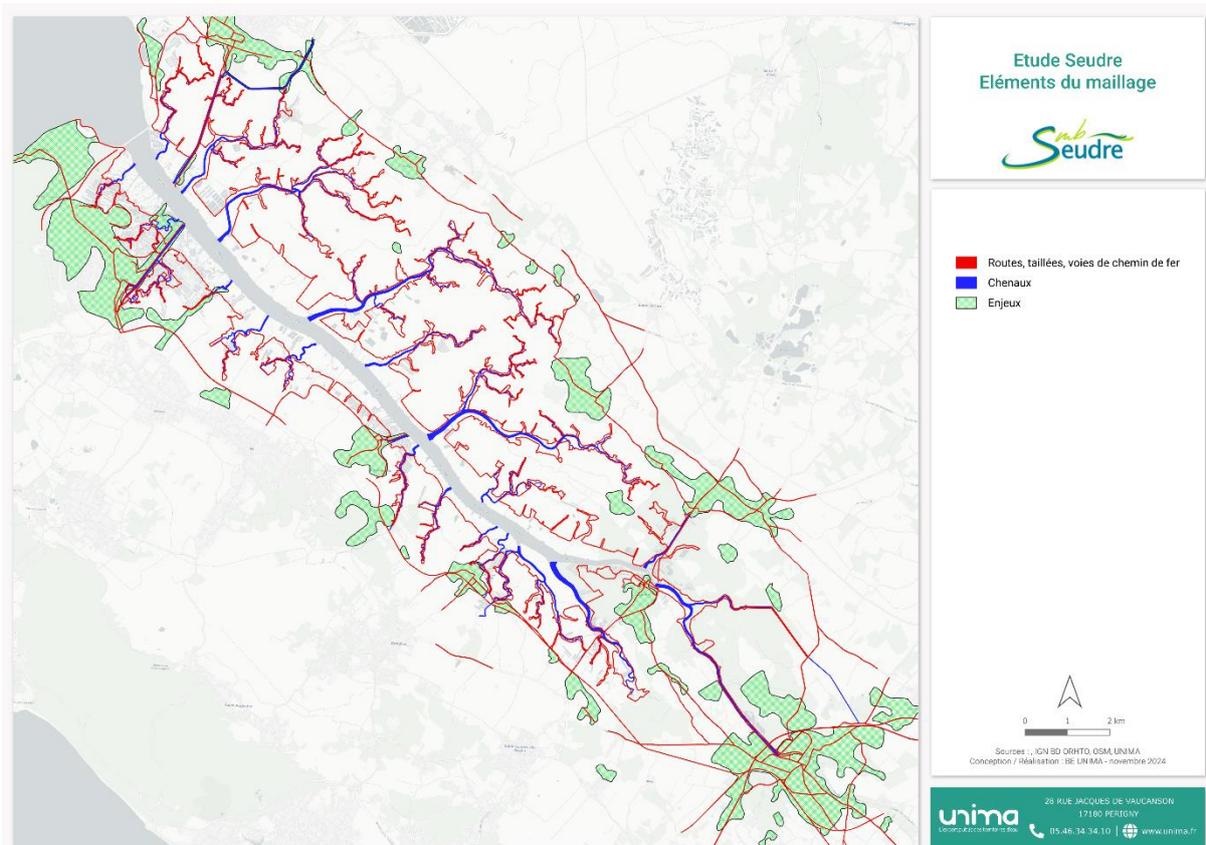


Figure 14 : Récapitulatif des éléments intégrés au maillage : routes, digues, taillées, chenaux et enjeux dans la zone d'étude.

2.5.3. Le maillage des modèles Tide-Seudre et Sub-Seudre

Le domaine maillé du modèle Tide-Seudre s'étend au nord de Jard-sur-Mer jusqu'à la Côte Sauvage au sud. Le modèle ayant pour rôle de représenter le fonctionnement hydraulique du marais en condition de marée classique, les zones inondables par évènements exceptionnels n'ont pas vocation à être représentées dans le modèle. Le maillage du modèle Tide-Seudre s'étend donc au trait de côte des pertuis charentais et aux ouvrages de premier rang de l'estuaire de la Seudre correspondant aux taillées (Figure 15). En effet, les UHC situées en arrière de ces taillées sont totalement endiguées et ne peuvent prendre de l'eau qu'aux travers des OHG traversant ces ouvrages. Le maillage a été défini de telle sorte que toutes les taillées traversées par les OHG constituent la limite du maillage (Figure 16). Le maillage s'étend en amont jusqu'à l'écluse de Riberou dans la commune de Saujon, limite de l'influence de la marée dans l'estuaire.

Concernant la résolution du maillage Tide-Seudre, les mailles les plus larges sont situées au large des pertuis avec une résolution d'environ 200 à 300 m. Dans les pertuis et notamment ceux de Maumusson et d'Antioche, la résolution est de 50 m et diminue progressivement jusqu'à 1 m dans les chenaux pour représenter le plus fidèlement possible l'écoulement au sein des chenaux les plus fins (Figure 15). Le maillage Tide-Seudre est ainsi composé de 560 000 nœuds correspondant à près de 1 012 000 éléments.

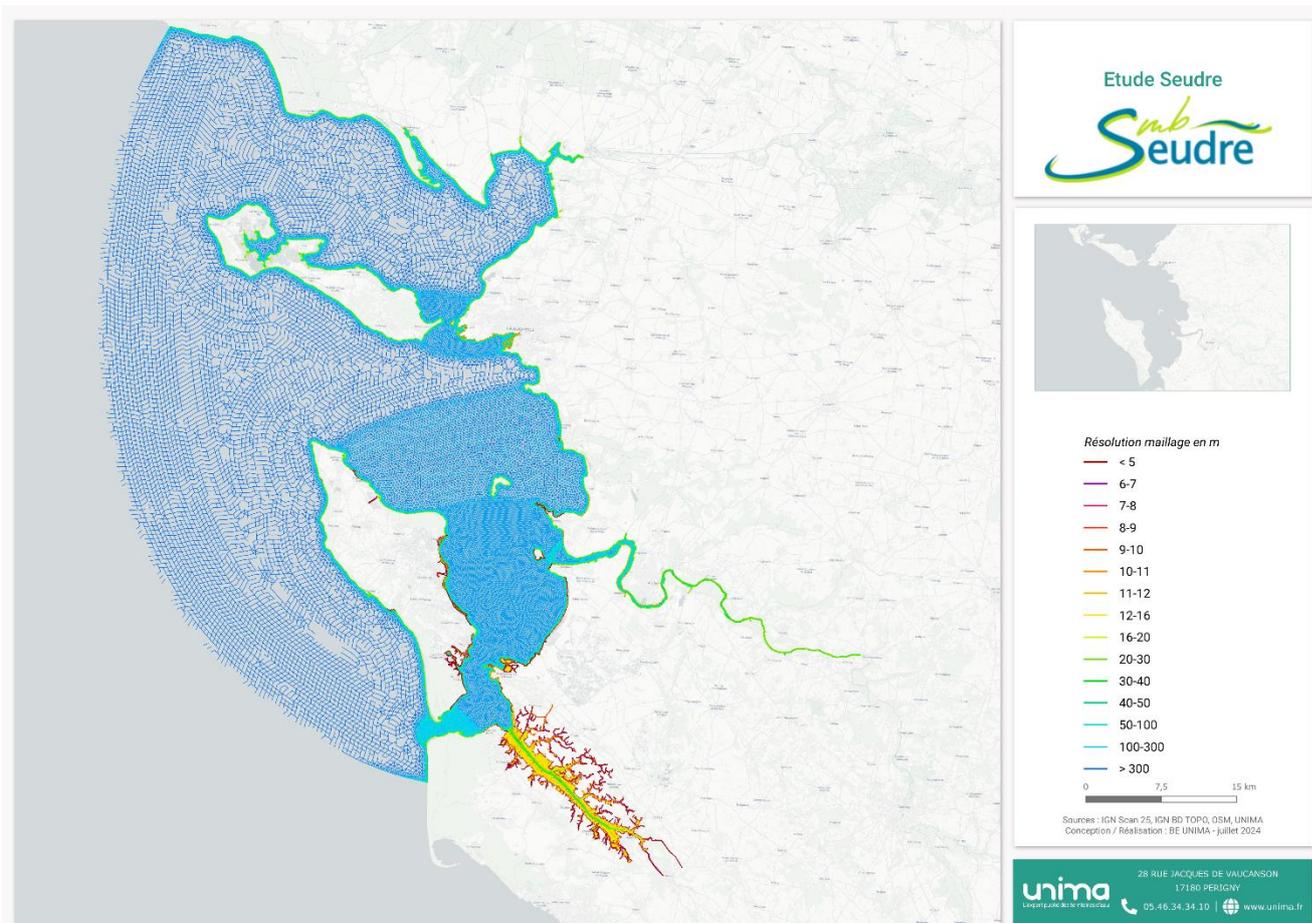


Figure 15 : Emprise et résolution du maillage du modèle Tide-Seudre.

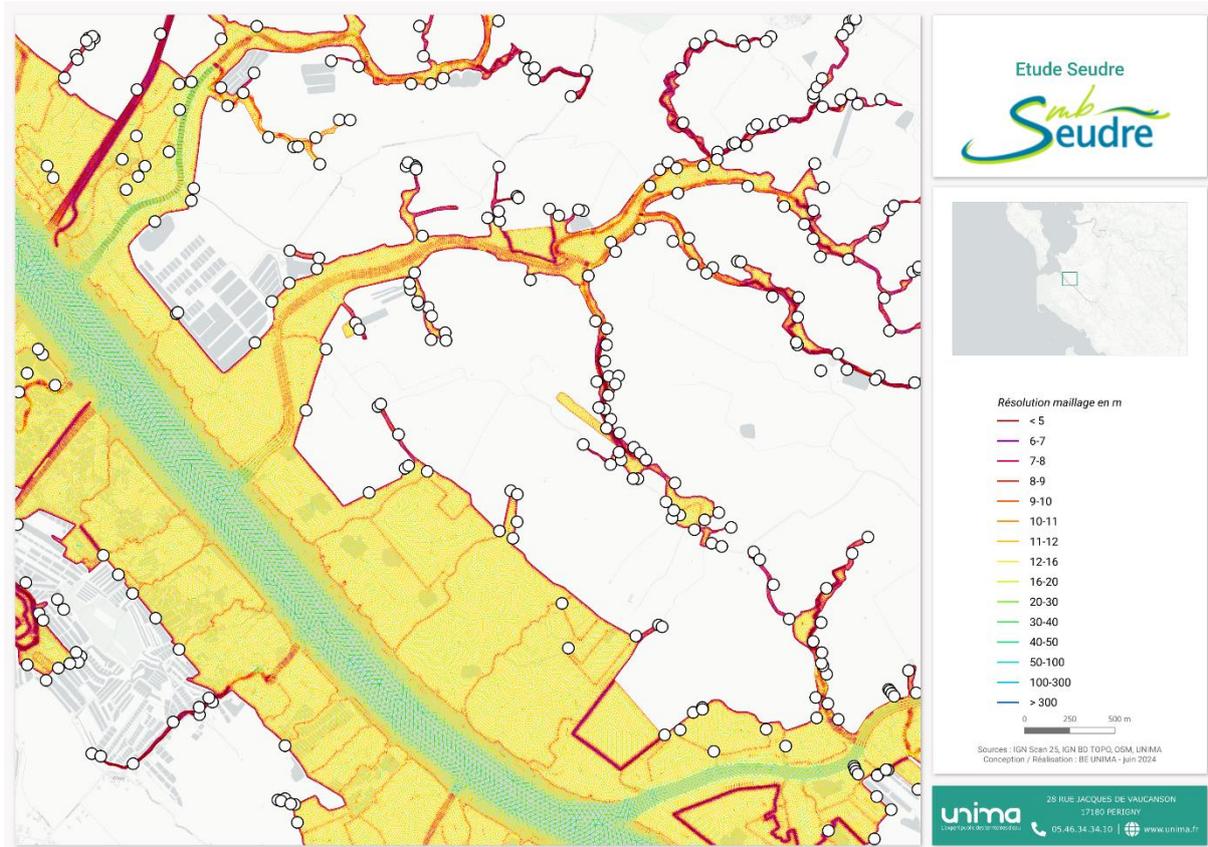


Figure 16 : Limite et résolution du maillage du modèle Tide-Seudre et localisation des OHG représentés par les points blancs.

2.5.4. Le maillage du modèle Sub-Seudre

Le domaine maillé du modèle Sub-Seudre s'étend au nord de Jard-sur-Mer jusqu'à la Côte Sauvage au sud côté mer. Côté estuaire, le domaine est maillé jusqu'à la cote de 6,50 m NGF afin de prendre en compte toute la bande côtière sujette à la submersion par évènement exceptionnel.

Le maillage du modèle Sub-Seudre, s'étend dans les zones basses de l'île d'Oléron, dans tout l'estuaire de la Charente et de la Seudre. L'intérêt d'un modèle continu terre/mer est de permettre aux masses d'eau de submersion de circuler au-delà de la limite littorale, ainsi le modèle permet de représenter l'écrêtage des niveaux d'eau en mer par la submersion marine. Lors de Xynthia, l'inondation des zones basses a limité les niveaux marins dans l'ensemble du Pertuis d'Antioche. La différence de niveau d'eau observé entre deux simulations de Xynthia avec un modèle continu terre/mer et un modèle uniquement maritime est de près de 20 cm dans les estuaires et de l'ordre de 15 cm dans le pertuis d'Antioche (Figure 17).

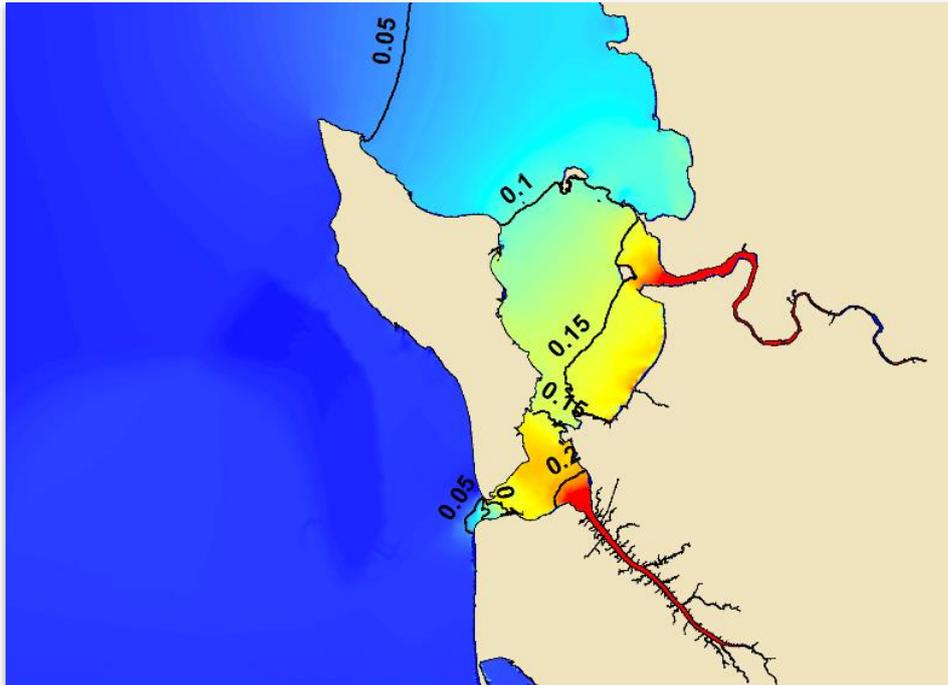


Figure 17 : Différence entre deux simulations de Xynthia avec un modèle terre/mer et un modèle uniquement maritime.

Concernant la résolution du maillage, elle est identique au maillage du modèle Tide-Seudre mise à part les zones de marais et les enjeux. En effet, afin de représenter de manière précise les écoulements au sein des UHC et des enjeux, une haute résolution a été fixée. La résolution du maillage est de l'ordre de 20 m dans les zones de prairies et de marais, 2 à 5 m sur les digues et levées et s'affine jusqu'à 1 m dans les chenaux (Figure 18). Tout le linéaire d'obstacle à la submersion comprenant les digues, routes, voies de chemin de fer et taillées ainsi que les chenaux sont intégrés au maillage.

Le maillage du modèle Sub-Seudre possède 1 600 000 nœuds de calcul correspondant à près de 3 200 000 éléments. Une telle résolution permet d'affiner le maillage sur les canaux, digues, ouvrages de protection et de garder une résolution satisfaisante sur le reste du domaine pour représenter correctement les champs de vitesses et les hauteurs d'eau dans les zones d'expansion des crues et submersions.

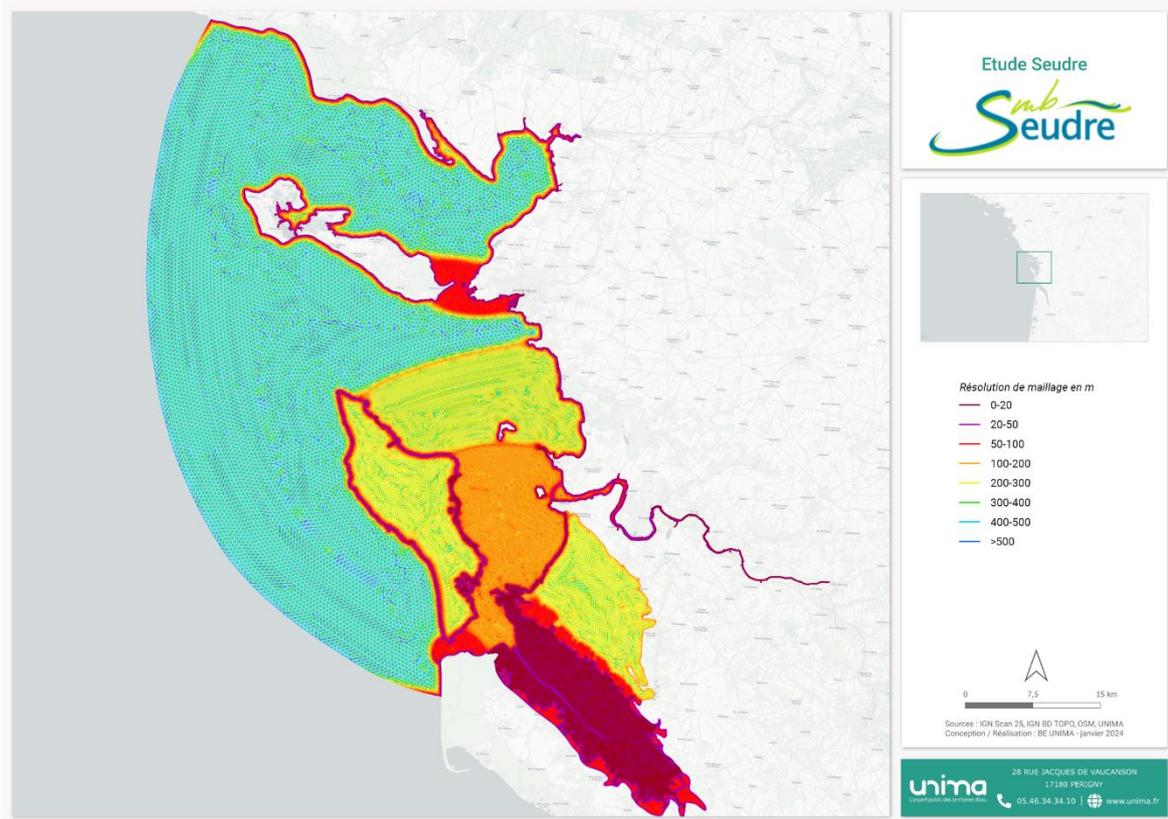


Figure 18 : Emprise et résolution du maillage du modèle Sub-Seudre.

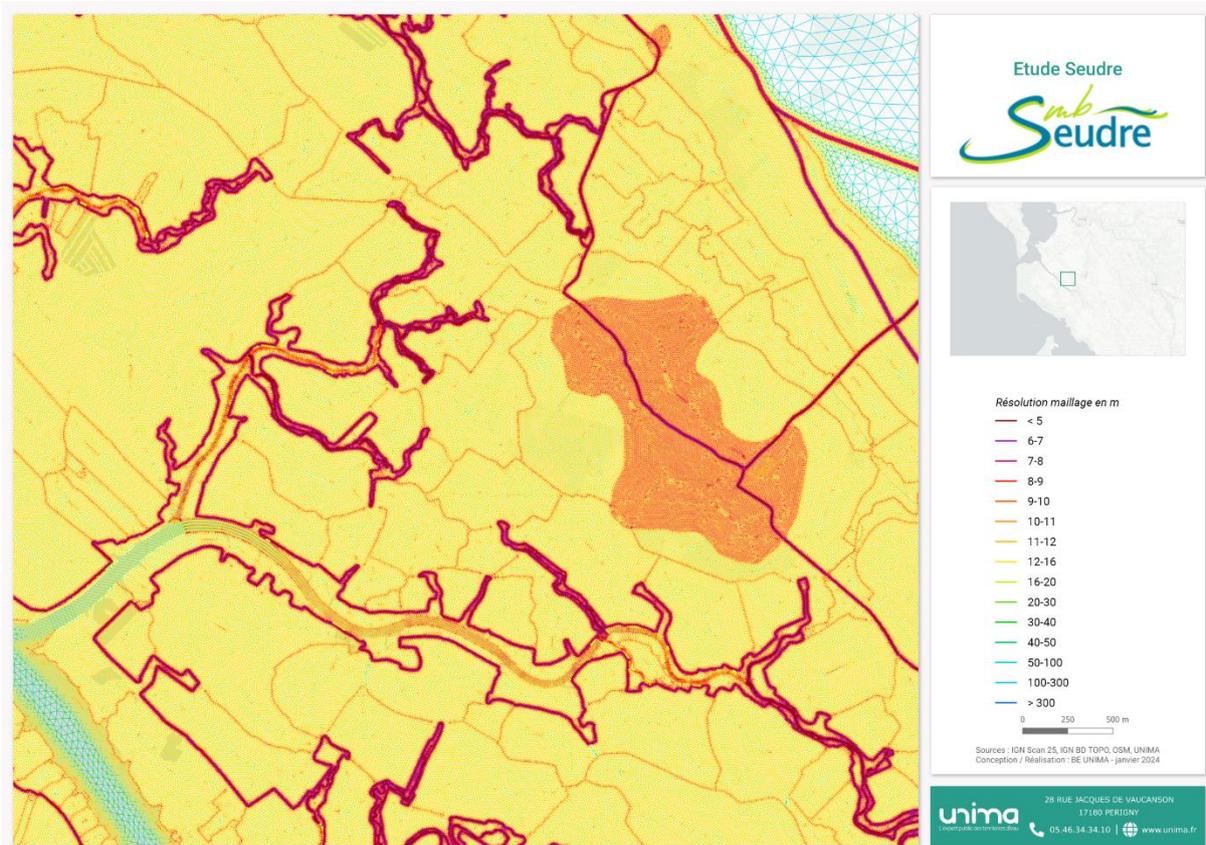


Figure 19 : Résolution du maillage du modèle Sub-Seudre autour de la commune de Nieulle-sur-Seudre.

2.5.5. La topographie et la bathymétrie des modèles Tide-Seudre et Sub-Seudre

2.5.5.1. La topographie

La topographie des vastes zones de submersion est issue des levés LiDAR HD IGN corrigés tel que décrit en partie 2.3. Les digues PAPI existantes et projetées sont intégrées aux altitudes communiquées par le MOA.

2.5.5.2. La bathymétrie

La bathymétrie des zones intertidales provient des données LiDAR HD IGN. Pour les zones subtidales, la bathymétrie provient du SHOM (bathymétrie HOMONIM) et a été mesurée à l'aide d'écho-sondeurs.

La bathymétrie du lit mineur de l'estuaire de la Seudre est issue de levés bathymétriques réalisés par l'IFREMER en 2008 au moyen d'un sondeur hydrographique couplé à un GPS différentiel (Figure 20). Aucune autre campagne de bathymétrie n'a été effectuée à l'échelle de l'estuaire, elle est donc la seule source de données complète de la bathymétrie du lit mineur de l'estuaire de la Seudre à ce jour.

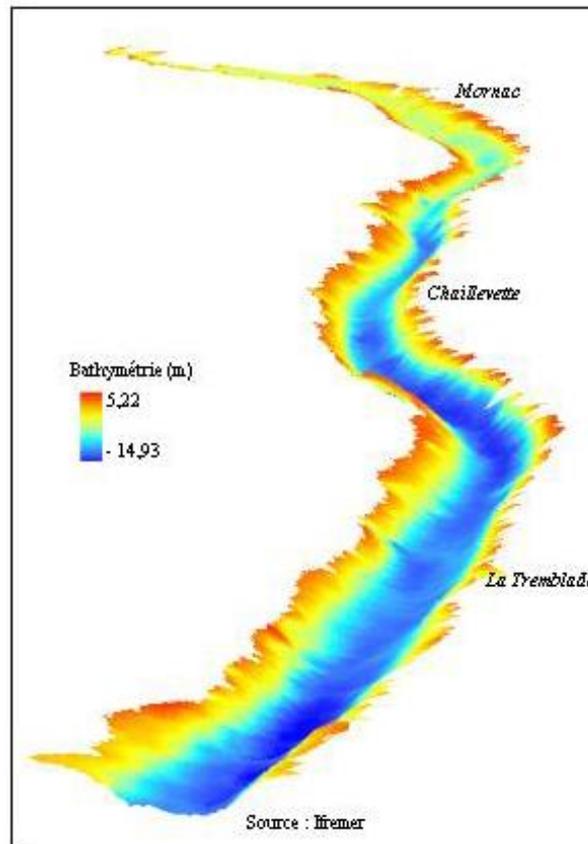


Figure 20 : Modèle numérique de terrain bathymétrique du lit mineur de l'estuaire de la Seudre (IFREMER).

2.5.5.3. Interpolation sur le maillage

Afin d'obtenir la meilleure représentation possible du terrain naturel au sein du maillage, 2 méthodes principales d'interpolation ont été utilisées :

D'une part, l'interpolation dépendante de la résolution du maillage pour l'ensemble des zones hors digues et protections côtières. Et d'autre part, l'interpolation avec recherche de la valeur maximale sur les nœuds de calcul situés sur les digues et autres protections côtières ou obstacles à l'écoulement. Le rayon de recherche a été fixé à 3 m. Ces méthodes d'interpolation permettent une représentation très réaliste du terrain naturel, et une représentation optimale des ouvrages de protection côtière, tout en limitant le nombre de nœuds de calcul et donc les temps de calcul.

2.5.6. La friction sur le fond

La friction au fond des deux modèles est définie par des coefficients de frictions en fonction de l'occupation du sol. Les coefficients de frictions sont tirés de la classification de Bunya (2010)³ et l'occupation du sol est déterminée selon le référentiel néo-aquitain d'Occupation du Sol (OCS) 2020 (Figure 21). A l'échelle de l'estuaire de la Seudre et des UHC, les données d'occupation du sol fournies par le SMBS ont été intégrées au modèle pour lui conférer une plus grande précision.

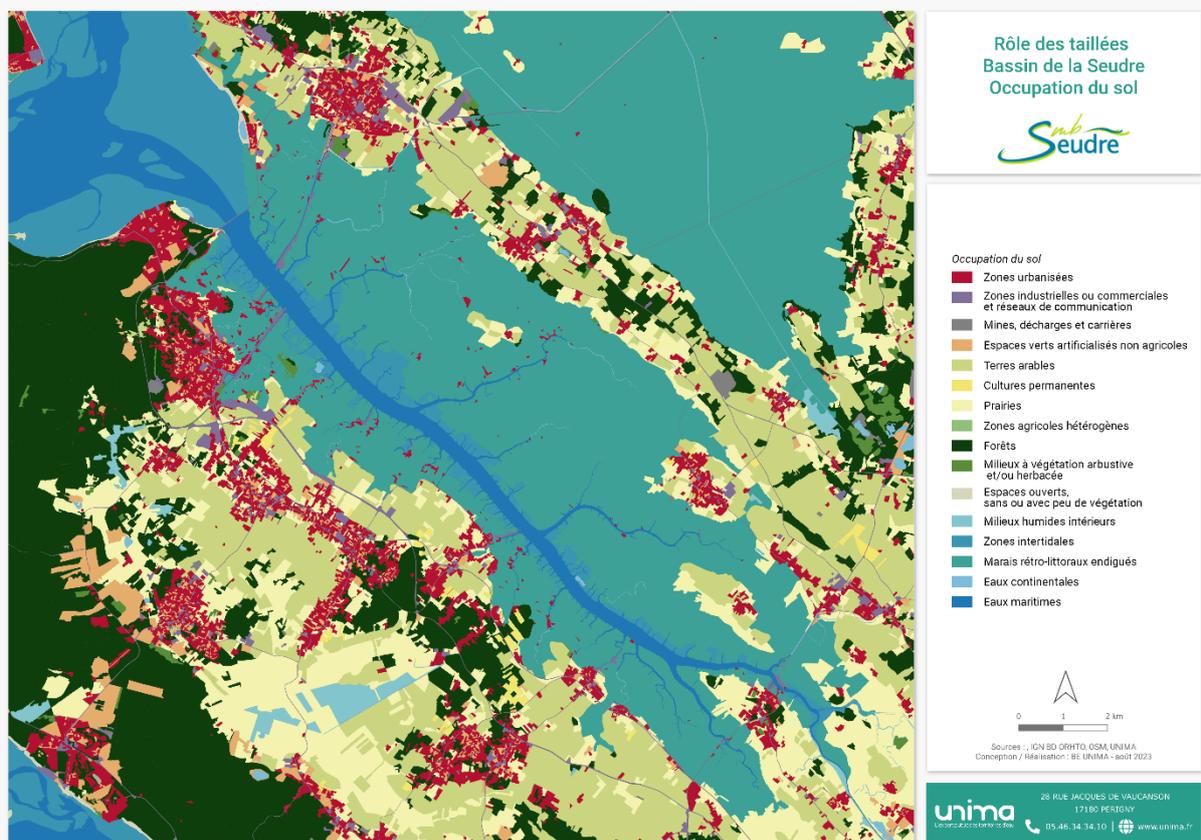


Figure 21 : Occupation du sol dans la zone du bassin de l'estuaire de la Seudre selon le GIP Littoral Aquitain.

³ Bunya, S., Dietrich, J.C., Westerink, J.J., Ebersole, B.A., Smith, J.M., Atkinson, J.H., Jensen, R., Resio, D.T., Luettich, R.A., Dawson, C., Cardone, V.J., Cox, A.T., Powell, M.D., Westerink, H.J., Roberts, H.J., 2010. A High-Resolution Coupled Riverine Flow, Tide, Wind, Wind Wave, and Storm Surge Model for Southern Louisiana and Mississippi. Part I: Model Development and Validation. Mon. Weather Rev. 138, 345–377.

Tableau 3 : Valeurs des coefficients selon la classification de Bunya (2010).

Occupation du sol	Coefficient de friction
Zone urbanisée	0.15
Réseau routier / territoires artificialisés	0.04
Parcelles cultivées	0.06
Prairies / territoires agricoles	0.042
Forêts	0.16
Plages / dunes / sable	0.03
Marais	0.045
Surfaces en eau	0.025
Digues enrochements/maçonnées	0.08
Espaces verts	0.07
Canaux (valeur spécifique)	0.02
Sartières (valeur spécifique)	0.10
Digues en terre (valeur spécifique)	0.08

Pour les chenaux, le coefficient de friction est de 0,02, car les fonds de chenaux sont majoritairement vaseux, la vase possédant une rugosité très faible. Les digues et levées en terre possèdent un coefficient de friction de 0,08. Les marais composés de multiples « bassins » non entretenus comme les sartières possèdent un coefficient de 0,10 afin de modéliser le ralentissement de l'écoulement dû à leur forte rugosité.

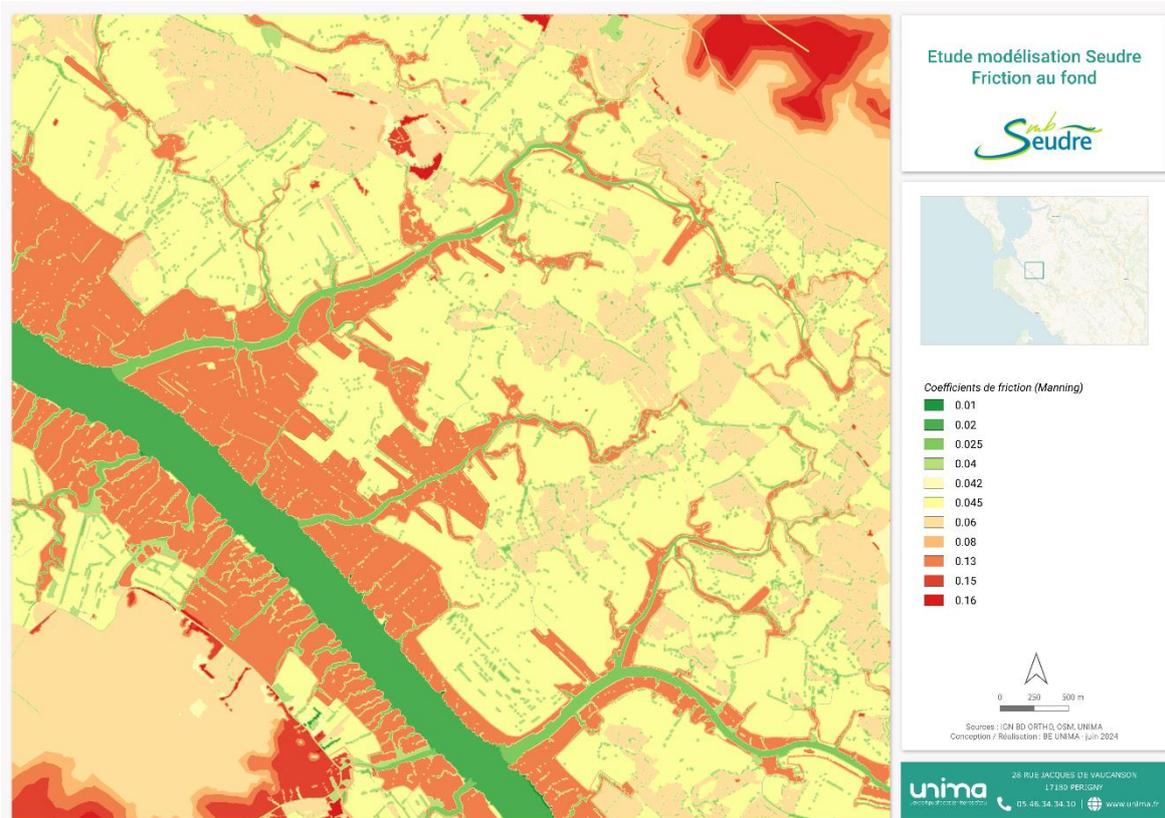


Figure 22 : Coefficients de friction au fond dépendant de l'occupation du sol du modèle Sub-Seudre.

2.5.7. Hypothèse de niveaux d'eau initiaux dans les marais

Le niveau d'eau initial dans les marais avant un épisode de tempête possède un fort impact sur la propagation de la submersion marine. En effet, si les bassins sont totalement vides avant un épisode de submersion, la masse d'eau d'inondation pourra alors se déverser dans ses bassins et permettre aux bassins d'exercer un rôle de tampon. Dans le cas inverse, si les bassins sont remplis comme après un épisode de fortes pluies, la masse d'eau ne pourra pas se stocker et la submersion sera ainsi exacerbée.

L'UNIMA possède une base de données des niveaux de cotes de gestion à l'échelle des marais de la Charente-Maritime. Dans l'estuaire de la Seudre la cote de gestion hivernale est de 2,20 m NGF dans tout le bassin. Cependant, cette cote de gestion est une cote théorique dont les usagers de marais devraient se rapprocher, ce qui, en fonction des usages et des conditions météorologiques, est rarement réalisable. Afin d'avoir une distribution plus précise du niveau d'eau dans tout l'estuaire et à l'échelle de chaque UHC, une hauteur d'eau a été fixée dans chaque bassin en fonction de son usage (Figure 23).

La méthode a consisté à extraire l'altitude de chaque bassin, issue du LiDAR CD17 corrigé et d'y ajouter une hauteur d'eau, en fonction de l'usage hivernale de ce bassin. Les hauteurs d'eau ont été discutées et validées avec le MOA et sont visibles dans le Tableau 2 : Hauteur de gestion dépendante de l'activité des bassins.

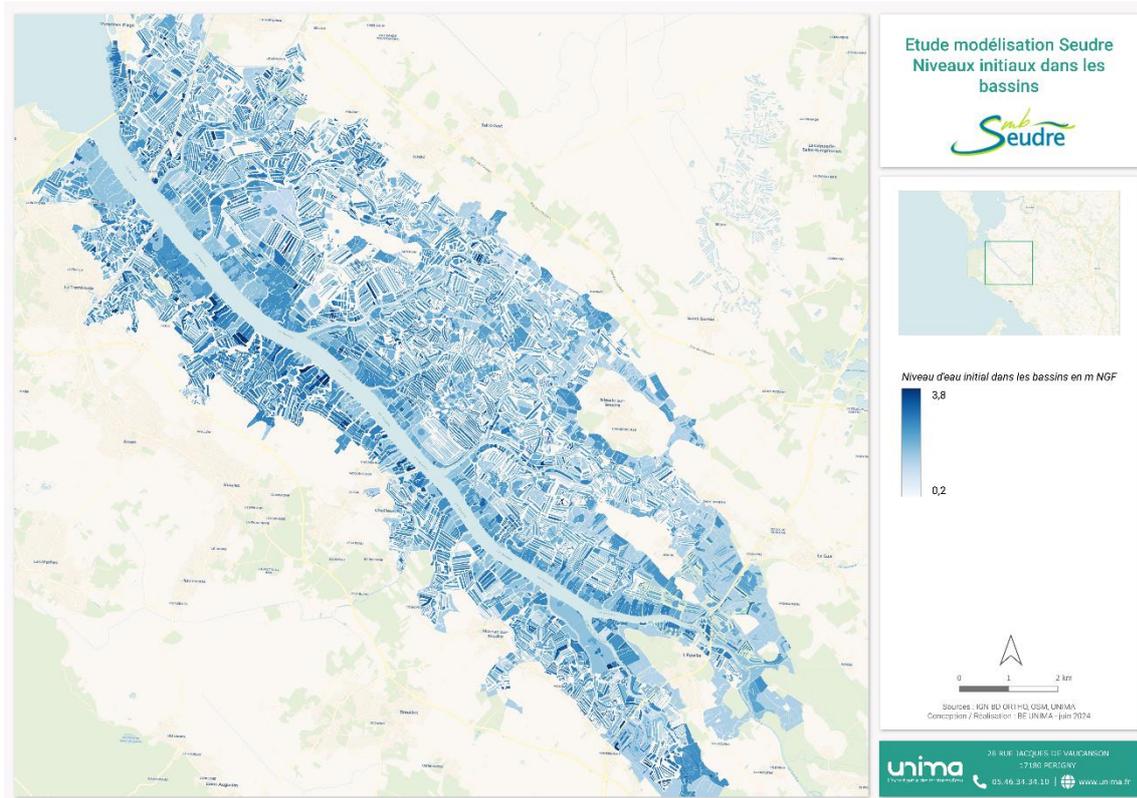


Figure 23 : Niveaux d'eau discrétisés par activité des bassins intégrés aux modèles.

2.5.8. Les forçages du modèle SNM

- **Forçages atmosphériques :**

Pour modéliser les aléas extrêmes de cette étude, le modèle SNM est forcé sur l'ensemble du domaine par des champs de vent et de pression atmosphérique provenant du modèle atmosphérique ARPEGE pour un événement de type Xynthia. L'extension limitée du domaine de modélisation ne permettant pas la bonne représentation des gradients de pression atmosphérique, un effet de baromètre inverse est appliqué le long de la frontière maritime, montant ou abaissant le niveau d'eau de 0,01 m par hPa autour de la pression atmosphérique moyenne de 1013 hPa.

- **Marée :**

Le modèle SNM est également forcé le long de sa frontière maritime par les 16 principaux constituants tidaux : O1, K1, P1, Q1, M2, S2, N2, K2, 2N2, MU2, NU2, M3, M4, MS4, MN4 et M6, interpolés linéairement du modèle régional de marée de Bertin et al. (2012), permettant une très bonne représentation de la marée au sein du domaine.

- **Houle :**

Le modèle SNM est également forcé à sa frontière maritime par des spectres directionnels de houle provenant d'une simulation rétrospective réalisée par Bertin (2013), basée sur le modèle spectral de vague Wavewatch III. Pour simuler Xynthia par exemple, un spectre correspondant à la tempête Xynthia est utilisé.

- **Débits fluviaux :**

Le modèle SNM est forcé à ses frontières fluviales par les débits hivernaux de la Charente, de la Garonne et de la Dordogne.

Les événements modélisés par SNM permettant de forcer le modèle Sub-Seudre, sont modélisés pendant 96 heures et le pas de temps hydrodynamique est de 60 secondes.

2.5.9. Forçage du modèle de marée Tide-Seudre

Pour les modélisations de marée seule sur 15 jours, le modèle Tide-Seudre est forcé à sa frontière liquide par les 16 principaux constituants tidaux : O1, K1, P1, Q1, M2, S2, N2, K2, 2N2, MU2, NU2, M3, M4, MS4, MN4 et M6, interpolés linéairement du modèle régional de marée de Bertin et al. (2012) correspondant à la période souhaitée.

2.5.10. Forçages du modèle de submersion Sub-Seudre

Le modèle Sub-Seudre est forcé à sa frontière liquide par les vitesses de courant moyennées sur la profondeur et l'élévation de la surface libre provenant du modèle SNM. La contrainte due au vent et la force des vagues calculées dans le modèle SNM sont utilisées pour forcer le modèle Sub-Seudre sur l'ensemble de sa partie maritime. Le modèle est également forcé à sa frontière fluviale par le débit de la Charente. Un exemple des forçages impliqué dans le système de modélisation est illustré Figure 24 avec le modèle Sub-Seudre.

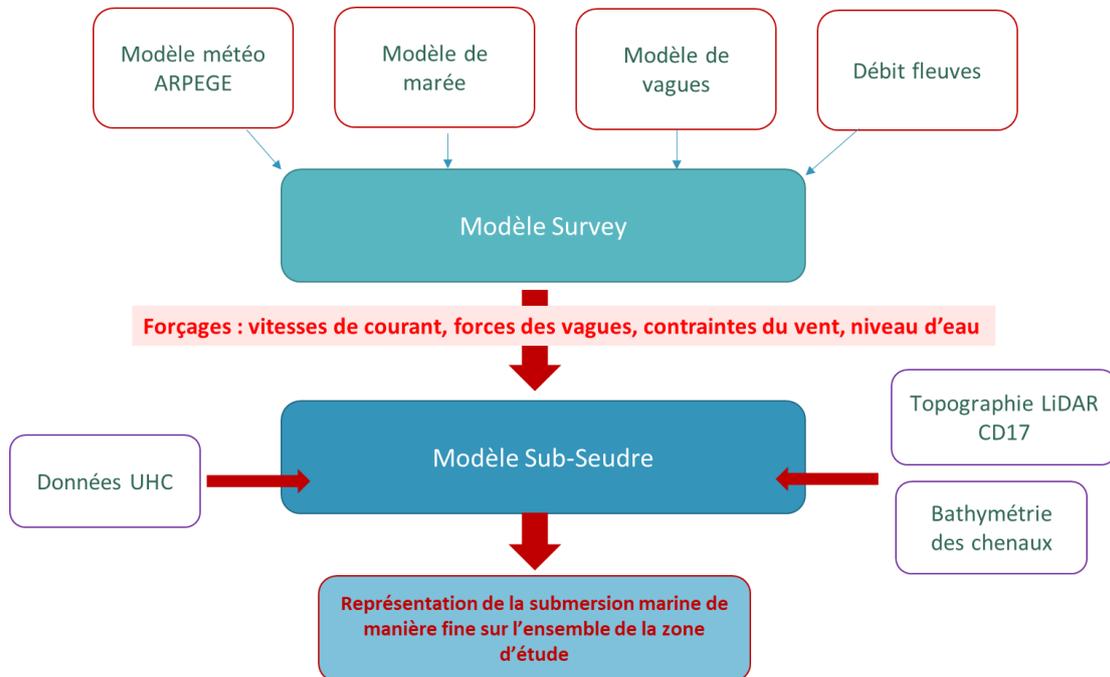


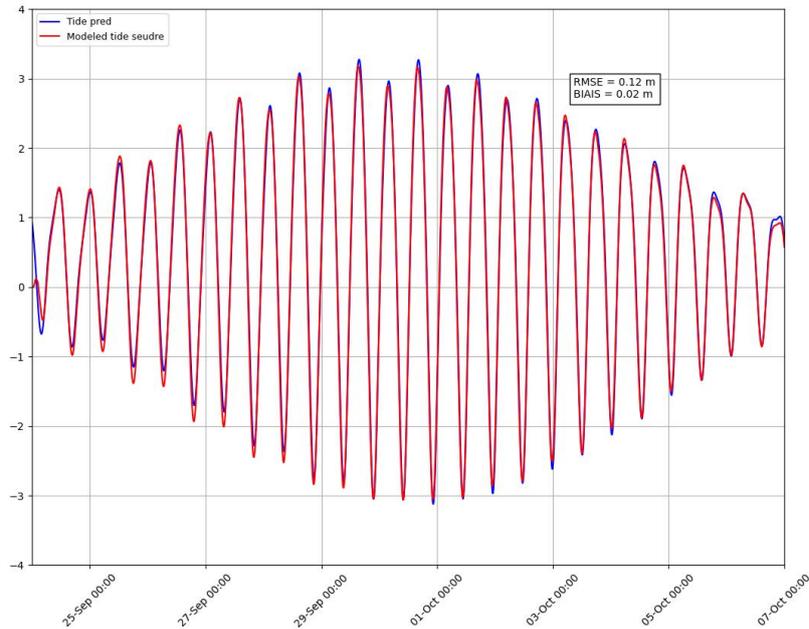
Figure 24 : Schématisation de l'ensemble des forçages du modèle Sub-Seudre.

2.6. Validation des modèles Tide-Seudre et Sub-Seudre

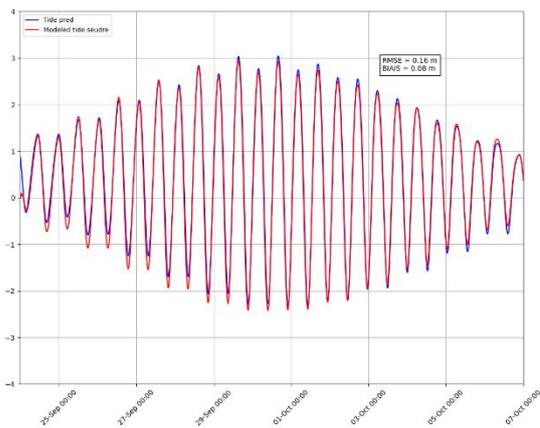
2.6.1. Validation du modèle de marée Tide-Seudre

Le modèle de marée Tide-Seudre a été validé sur une période de 15 jours durant un cycle « vives eaux/mortes eaux » afin de balayer un maximum de coefficients de marée. La première étape a été de valider le modèle de marée aux marégraphes de références contenus dans le domaine de modélisation : La Pallice, la Cotinière et l'île d'Aix.

Niveau d'eau total La Pallice



Niveau d'eau total La Cotinière



Niveau d'eau total île d'Aix

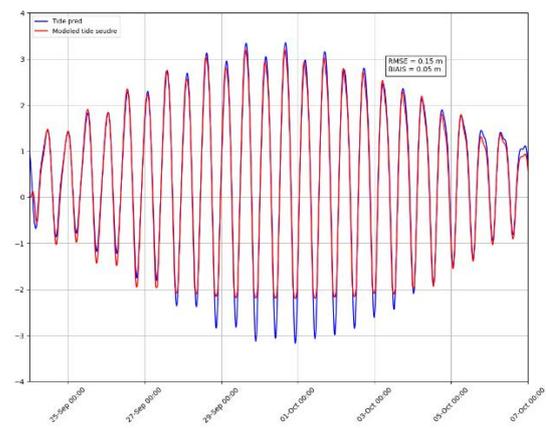


Figure 25 : Marée mesurée en bleu et marée modélisée en rouge aux marégraphes de la Pallice, la Cotinière et l'île d'Aix.

Le modèle Tide-Seudre reproduit de manière précise la marée aux marégraphes de référence avec une erreur quadratique moyenne de 12 cm à la Pallice, 16 cm à la Cotinière et 15 cm à l'île d'Aix. Le signal de marée incomplet aux marées basses de l'île d'Aix est dû à un manque de donnée bathymétrique à la localisation du marégraphe (Figure 25).

Une fois validé à l'échelle de tout le domaine de modélisation, le modèle Tide-Seudre doit être validé à l'échelle de la zone d'étude, c'est-à-dire à l'échelle de l'estuaire de la Seudre. Pour rappel, la zone est quadrillée de 4 capteurs de niveaux d'eau, au pont de la Seudre, dans le chenal de Bugée (rive droite), dans le chenal du Plordonnier (rive gauche) et au pont de l'Eguille. L'enjeu de cette validation a été de reproduire la propagation du signal de marée au sein de l'estuaire de la Seudre. En effet, il s'agit d'un estuaire au sein duquel le signal de marée est amplifié de l'embouchure vers l'amont de l'estuaire. En plus de l'amplification du signal, l'onde de marée est retardée de l'aval vers l'amont comme le montrent les observations (Figure 10). Les données observées ont été comparées aux données modélisées et les ajustements

nécessaires dans le modèle ont été effectués afin de reproduire la propagation de la marée au plus proche de la réalité. Le modèle reproduit la marée avec une erreur quadratique moyenne de l'ordre de 23 cm au pont de la Seudre, 18 cm dans le chenal du Plordonnier, 24 cm dans le chenal de Bugée et enfin 28 cm au pont de l'Eguille (Figure 26). De plus, le modèle reproduit l'amplification ainsi que le déphasage observé de l'aval vers l'amont visible en Figure 27. Au vu de la particularité de la propagation de la marée au sein de l'estuaire de la Seudre, le modèle reproduit correctement la marée dans la zone l'étude.

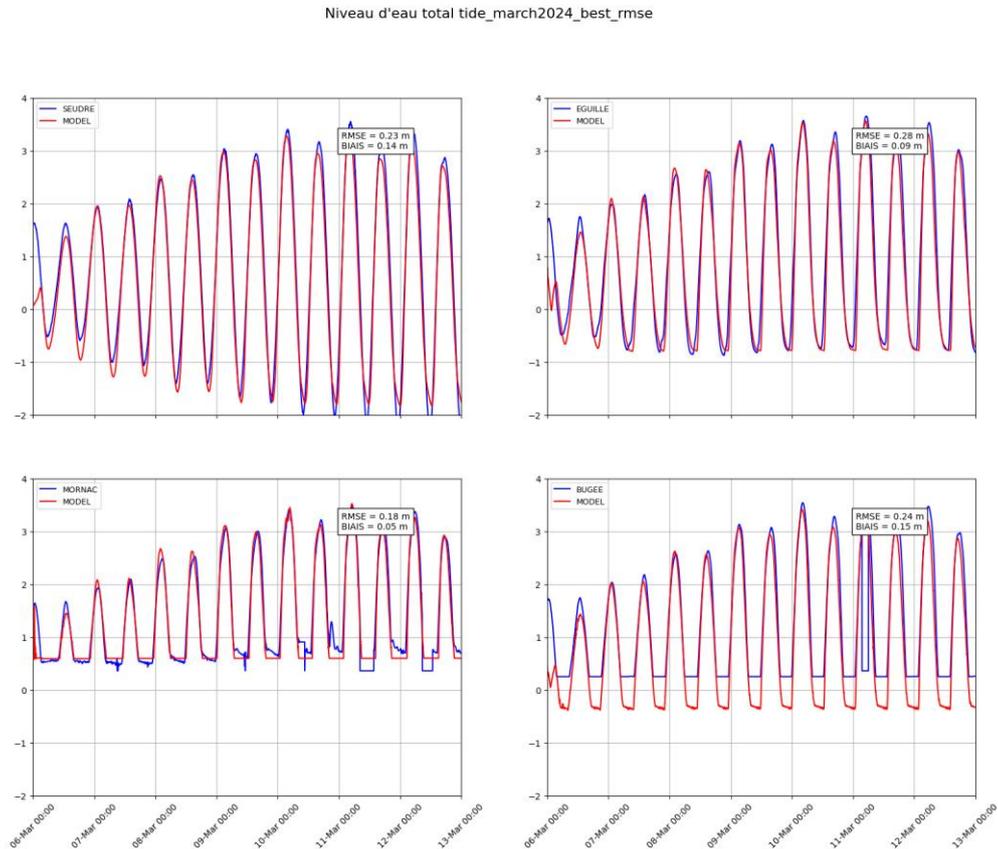


Figure 26 : Marée mesurée en bleu et marée modélisée en rouge aux capteurs de niveau d'eau du pont de la Seudre, du chenal de Bugée, du chenal du Plordonnier et du pont de l'Eguille.

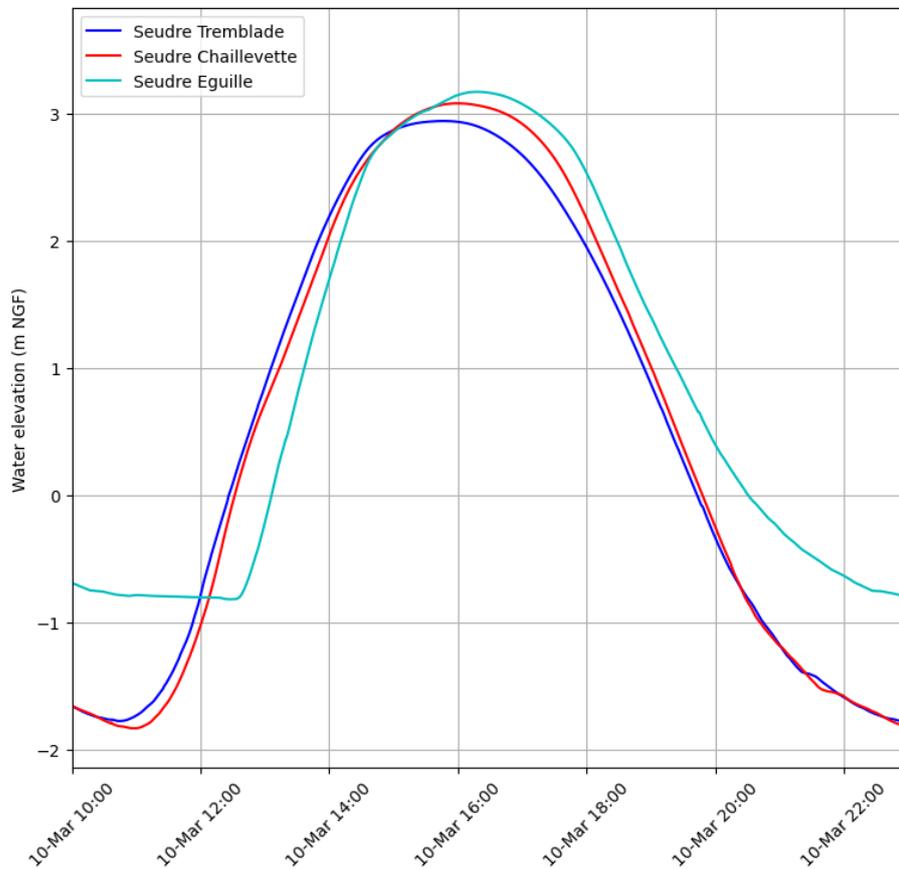


Figure 27 : Marée modélisée tout au long de l'estuaire, à l'embouchure (bleu), au niveau de Chaillevette (rouge) et à l'Eguille (bleu cyan).

2.6.2. Validation du modèle Sub-Seudre sur la tempête Xynthia

La tempête Xynthia est la tempête la mieux référencée dans les pertuis et notamment dans la zone d'étude. C'est donc sur cet événement exceptionnel que le modèle de submersion implémenté pour cette étude est validé. Concernant les conditions initiales, la tempête Xynthia a frappé les côtes de Charente-Maritime en 2010. La topographie prise en compte pour valider le modèle est donc issue du levé LiDAR Litto3D de 2011. Enfin, les brèches issues du REX Xynthia ont été intégrées au modèle et interviennent au pic de l'évènement afin de reproduire la submersion au plus près de la réalité.

2.6.2.1. Validation du niveau d'eau

Le modèle Sub-Seudre est validé aux marégraphes compris dans le domaine de modélisation et ayant enregistré l'évènement : au marégraphe de la Pallice et au marégraphe de la Cotinière. Le modèle reproduit l'évènement avec une erreur moyenne entre 23 et 26 cm aux deux marégraphes. La surcote, quant à elle, est reproduite avec une erreur moyenne de 16 à 19 cm respectivement à la Pallice et à la Cotinière (Figure 28).

Validation Xynthia

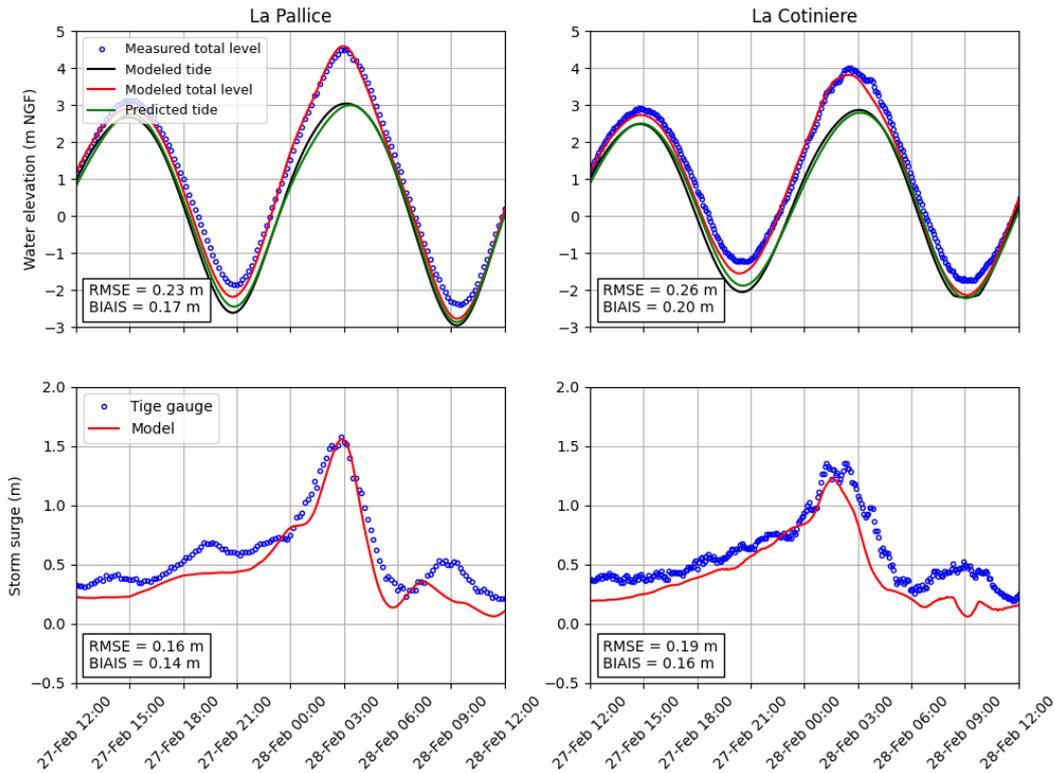


Figure 28 : Comparaison des niveaux mesurés et modélisés ainsi que des surcotes mesurées et modélisées par le modèle Sub-Seudre aux marégraphes de la Pallice et de la Cotinière.

2.6.3. Validation de l'étendue et des hauteurs de la submersion

L'étendue de la submersion engendrée par le modèle est comparée à celle de la submersion réelle relevée lors du REX Xynthia. Le modèle reproduit très bien l'étendue de la submersion de manière générale. De légères différences sont visibles notamment au nord du chenal des Faux et autour de la commune de l'Eguille où le modèle surestime la submersion. Au contraire, la submersion n'atteint pas la limite relevée par le REX sur la frange nord de la rive droite (Figure 29). Pour rappel, le REX a été effectué plusieurs jours après la tempête et le modèle ne prend pas en compte les OHG susceptibles de moduler la propagation de la submersion marine à terre. Pour ces raisons, la comparaison modèle/REX doit être nuancée.

Les hauteurs de submersion relevées lors du REX Xynthia sont également comparées aux valeurs données par le modèle aux mêmes points. Au total, 66 laisses ont pu être comparées avec le modèle. En analysant ces résultats, plus de la moitié des points comparés ont un écart inférieur à 20 cm entre les observations et modélisations (Tableau 4). Le modèle Sub-Seudre ne prend pas en compte l'agitation notamment à l'embouchure de la Seudre ce qui explique les fortes différences observées à ces localisations. De la même manière que pour l'étendue de la submersion, les laisses ont été mesurées plusieurs jours après l'événement et leur fiabilité est à nuancer. Cependant, le modèle reproduit de manière précise le niveau d'eau atteint à terre par la submersion de Xynthia.

Tableau 4 : Nombre de points de laisses de submersion compris dans les intervalles d'écart entre observations et modèle.

Ecart entre modèle et observations	Nombre de point
< 10 cm	15
10 – 20 cm	22
20 – 30 cm	14
> 30 cm	15

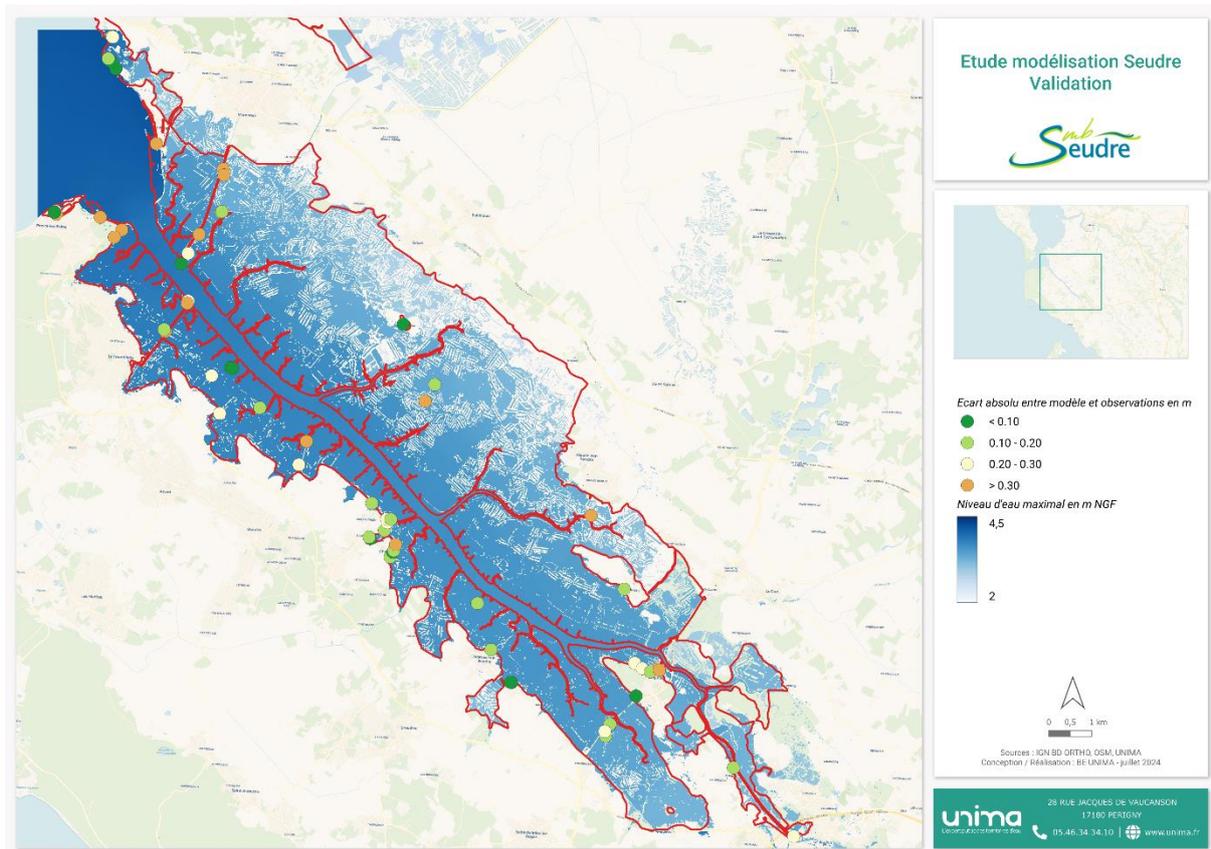


Figure 29 : Etendue de la submersion engendrée par Xynthia et localisation et écarts entre laisses de submersion observées et modélisées dans l'estuaire de la Seudre.

En conclusion de cette partie de validation, les modèles Tide-Seudre et Sub-Seudre ont montré leur aptitude à reproduire les bons niveaux d'eau aussi bien dans les pertuis que dans l'estuaire et également à reproduire les bonnes étendues et hauteurs de submersion. Suite à cette validation, les deux modèles pourront être déployés pour répondre aux objectifs des phases SAGE et PAPI de l'étude.

3. Perspectives

3.1. Partie SAGE

Pour rappel, l'objectif de la partie SAGE est d'améliorer la connaissance de l'impact du changement climatique, notamment de l'élévation du niveau marin, sur le fonctionnement hydraulique du marais de la Seudre. La problématique sous-jacente est de savoir si les usages des marais seront amenés à évoluer avec le changement climatique à moyen terme. L'échéance choisie pour cette partie de l'étude est 2070. La partie SAGE va donc s'attacher à :

1. Comparer la situation actuelle avec la situation projetée en 2070 et quantifier les potentiels changements d'usages à l'échelle de chaque UHC ;
2. Estimer l'impact du comblement sédimentaire de l'estuaire à horizon 2070 sur les usages à l'échelle de chaque UHC.

Les scénarios envisagés pour répondre aux objectifs sont les suivants :

1. Marée sur 15 jours en état actuel ;
2. Marée sur 15 jours avec hypothèse d'augmentation du niveau marin et bathymétrie actuelle ;
3. Marée sur 15 jours avec hypothèse d'augmentation du niveau marin + hypothèse comblement de l'estuaire.

L'hypothèse d'augmentation du niveau marin moyen a été discutée et validée lors du Comité de pilotage (COPIL) de la phase 1. La valeur retenue, basée sur les modélisations du GIEC, est de 0,40 m. Cette valeur correspond à la valeur arrondie du scénario SSP5-8.5 du GIEC correspondant à l'augmentation du niveau marin moyen induite par des émissions hautes de gaz à effet de serre à horizon 2070 à la Pallice. De plus, cette valeur de 0,40 m est une valeur haute contenue dans chaque fourchette d'estimation des projections à horizon 2070 (Figure 30, Tableau 5).

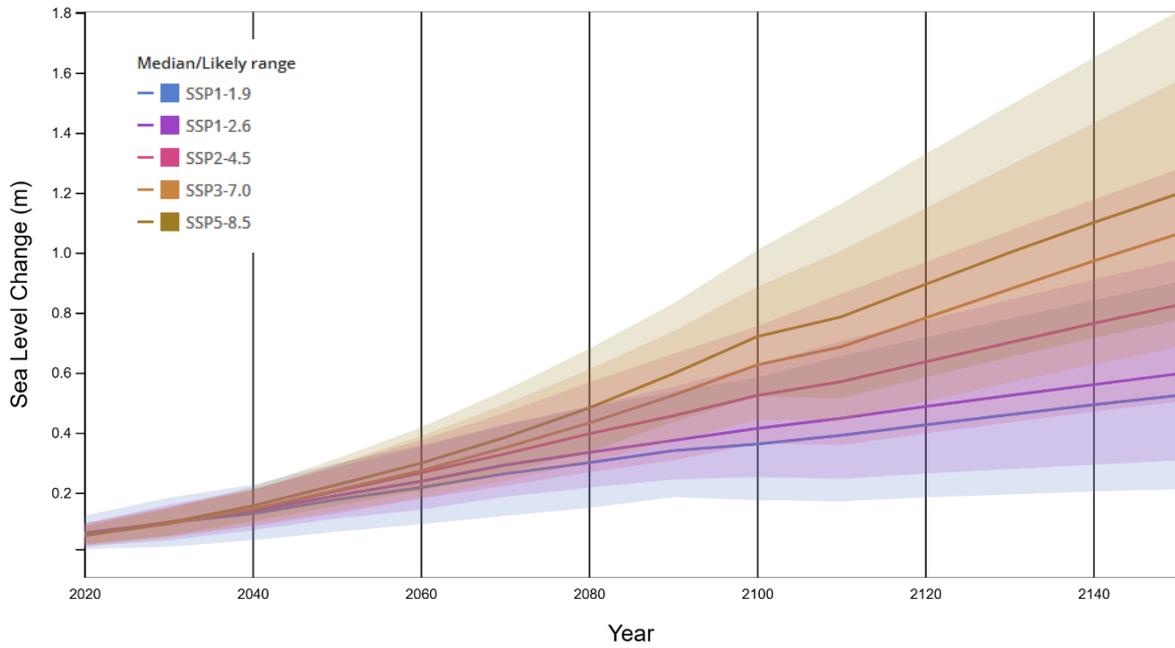


Figure 30 : Scénarios de projection de l'augmentation du niveau marin moyen en fonction du temps à La Pallice et intervalles de confiance. (Nasa.gov)

Tableau 5 : Récapitulatif des différents scénarios d'augmentation du niveau marin moyen à la Pallice en 2070, chacun dépendant d'une projection d'émission de gaz à effet de serre (Nasa.gov).

	SSP1-1.9	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5
Sterodynamic Sea Level	0.15 (0.03–0.27)	0.17 (0.09–0.25)	0.19 (0.12–0.28)	0.20 (0.12–0.29)	0.23 (0.14–0.32)
Glaciers	0.04 (0.03–0.05)	0.05 (0.04–0.06)	0.06 (0.05–0.07)	0.07 (0.06–0.08)	0.08 (0.07–0.09)
Greenland	0.01 (0.01–0.02)	0.01 (0.01–0.02)	0.02 (0.01–0.02)	0.02 (0.01–0.03)	0.02 (0.01–0.03)
Antarctica	0.06 (0.02–0.15)	0.06 (0.02–0.16)	0.06 (0.02–0.16)	0.06 (0.02–0.17)	0.06 (0.02–0.17)
Land Water Storage	0.01 (0.00–0.02)	0.01 (0.00–0.02)	0.01 (0.00–0.02)	0.01 (0.01–0.02)	0.01 (0.00–0.02)
Vertical Land Motion	-0.01 (-0.03–0.01)	-0.01 (-0.03–0.01)	-0.01 (-0.03–0.01)	-0.01 (-0.03–0.01)	-0.01 (-0.03–0.01)
Total (2070)	0.27 (0.13–0.44)	0.30 (0.19–0.43)	0.34 (0.22–0.48)	0.36 (0.24–0.51)	0.39 (0.27–0.55)

3.2. Partie PAPI

Pour rappel, l'objectif de la partie PAPI de cette étude est d'analyser le rôle que peuvent jouer les taillées dans la protection contre les submersions marines des zones d'habitats diffus.

Dans un premier temps, il s'agira de déterminer si les taillées possèdent un rôle de protection des enjeux lors de submersion marines et dans un second temps, cibler les linéaires précis de taillées qui possèdent ce rôle de protection. Ces résultats vont permettre au MOA de déterminer les linéaires de taillées à sauvegarder et à entretenir potentiellement. Le déroulé de cette partie est envisagé comme suit :

Détermination d'un aléa démontrant un impact significatif des taillées dans la protection des submersions marines en testant 3 aléas différents avec et sans taillées :

Aléa	Détermination des zones protégées par l'ensemble des taillées
Aléa 1	Etat initial
	Effacement taillées
Aléa 2	Etat initial
	Effacement taillées
Aléa 3	Etat initial
	Effacement taillées

Sélection de cet aléa et tests de quatre scénarios d'effacement de taillées proches d'enjeux :

Aléa	Description des scénarios
Aléa choisi	Scénario brèche n°1
	Scénario brèche n°2
	Scénario brèche n°3
	Scénario brèche n°4

Pour chacun de ces scénarios un croisement avec une base de données bâti sera effectué afin de quantifier l'impact des taillées sur les zones à enjeux.

4. Conclusions

Cette première phase de l'étude est d'une importance majeure. Elle a permis à l'UNIMA de prendre en main et de développer les connaissances sur la zone d'étude grâce aux données fournies par le MOA et de développer les modèles qui serviront pour les prochaines phases de l'étude. Les réalisations de cette phase sont les suivantes :

- Les données concernant les UHC, l'occupation du sol et les capteurs de niveau d'eau existants ont été récupérées et traitées ;
- L'UNIMA a déployé en novembre 2023 deux capteurs de niveau d'eau dans le chenal de Bugée (rive droite) et dans le chenal du Plordonnier (rive gauche) permettant de quadriller la zone d'étude. L'ajout de ces capteurs a permis d'avoir une représentation précise de la propagation de la marée au sein des chenaux de la Seudre jusqu'alors non mesurée de manière aussi précise ;
- Pour compléter ces données de terrain, l'UNIMA a réalisé une campagne de levées bathymétriques dans les chenaux où sont positionnés les capteurs, cette campagne a permis de construire une bathymétrie théorique cohérente des autres chenaux jusqu'alors inconnue ;
- Le LiDAR CD17 a été corrigé sur toute la zone d'étude, permettant de largement gagner en précision concernant la profondeur des bassins en eau ;
- Le modèle de marée Tide-Seudre a montré son aptitude à reproduire la marée dans l'estuaire de la Seudre et sera déployé pour répondre aux objectifs de la phase SAGE changements climatique ;
- Le modèle de submersion Sub-Seudre a montré son aptitude à reproduire l'évènement extrême Xynthia aussi bien en termes de niveau d'eau total qu'en terme d'étendue et de hauteurs de submersion à terre. Il sera déployé pour répondre aux objectifs de la partie PAPI de cette étude.

Une fois ce volet terminé, la partie SAGE changement climatique va pouvoir débuter. Trois scénarios seront modélisés pour estimer l'impact d'une augmentation du niveau moyen de 0,40 m sur les usages du marais de l'estuaire de la Seudre.

Le COPIL ou COTECH de rendu de la phase SAGE est estimé à la fin du premier trimestre 2025.



RENCONTREZ-NOUS

**28 rue de Vaucanson
17180 PERIGNY**

CONTACTEZ-NOUS



05.46.34.34.10



www.unima.fr

SUIVEZ-NOUS



@UNIMA17



UNIMA 17