

Volet aménagements maritimes

Modélisation courantologique et hydrosédimentaire Phase PROJET

PORNICHET - 44

Marché de conception réalisation
pour le réaménagement des ports de
plaisance de Pornichet



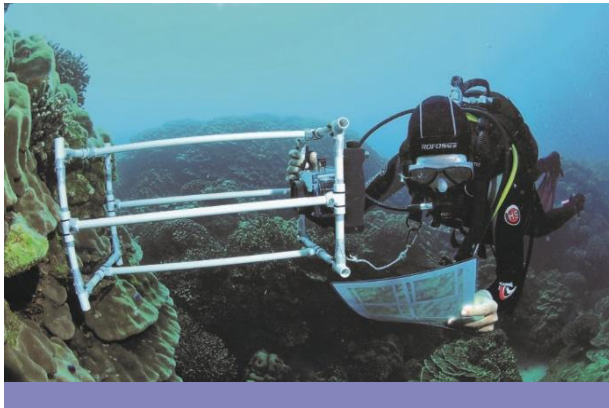
SEM CEPP

SOUS-TRAITANCE



Modifications	Indice	Date	Établi	Vérifié	Validé	Suivi des modifications	État
	A	20/05/2025	IAZ	GDU	MC	Émission initiale	
B	02/09/2025	IAZ	GDU	MC	Mise à jour		

ÉMETTEUR	ENTITÉ		NUMÉRO INTERNE	DOCUMENT	PHASE ÉTUDE	THÈME	N° DOCUMENT	INDICE	STATUT
CHA	NA	C	24009	NDC	PRO	EXP	004	B	PVI



RAPPORT

Conception et réalisation du programme d'aménagement des ports de plaisance de Pornichet

Modélisation courantologique et hydrosédimentaire

Août 2025

CHARIER GENIE CIVIL



CLIENT : Charier Génie Civil

COORDONNÉES	2 Rue des Meuniers 44220 Couëron
INTERLOCUTEUR	Monsieur Milig Collobert mcollobert@charier.fr

CREOCEAN

COORDONNÉES	Siège social Zone Technocéan – Rue Charles Tellier 17000 LA ROCHELLE Tél. : 05 46 41 13 13 E-mail : commercial@creocean.fr
INTERLOCUTEUR	Monsieur Gaëtan Dufour gaetan.dufour@creocean.fr

RAPPORT

TITRE	Conception et réalisation du programme d'aménagement des ports de plaisance de Pornichet Modélisation courantologique et hydrosédimentaire
NOMBRE DE PAGES TOTAL	33

VERSION

RÉFÉRENCE	VERSION	DATE	REDACTEUR	CONTRÔLE QUALITE
241208_Courantologie_Hydrosed	Version 2	22/08/2025	IAZ	GDU

Sommaire

1. Méthodologie de modélisation	4
1.1. Description des logiciels utilisés	4
1.1.1. Principes généraux	4
1.1.2. Modélisation du transport sédimentaire avec le modèle GAIA	4
1.2. Domaine, maillage et bathymétrie	4
1.3. Calage du modèle	6
1.4. Stratégie de modélisation	7
2. Résultats des modélisations de courantologie	7
2.1. Courantologie en état initial	9
2.2. Modification de la courantologie en état futur	11
2.3. Synthèse de la courantologie	14
3. Modélisation hydrosédimentaire	15
3.1. Compréhension de la dynamique sédimentaire générale	15
3.2. Modélisation du transport sédimentaire	17
3.2.1. Logiciel utilisé	17
3.2.2. Couplage des courants de la houle et du transport sédimentaire	17
3.2.3. Zones érodables	17
3.2.4. Résultats	18
3.3. Synthèse du transport hydrosédimentaire	21

Liste des Figures

<i>Figure 1-1 : Bathymétrie du modèle de grande emprise</i>	<i>4</i>
<i>Figure 1-2 : Bathymétrie du modèle de grande emprise</i>	<i>5</i>
<i>Figure 1-3 : Maillage de l'état actuel – Zoom sur la zone d'étude</i>	<i>5</i>
<i>Figure 1-4 : Maillage de l'état aménagé – Zoom sur la zone d'étude</i>	<i>6</i>
<i>Figure 1-5: Comparaison des résultats du modèle avec les données du marégraphe de Saint-Nazaire.....</i>	<i>7</i>
<i>Figure 2-1 : Illustration de la zone d'extraction.....</i>	<i>8</i>
<i>Figure 2-2 : Visualisation des vitesses de courant du CAS 4 - Basse Mer</i>	<i>9</i>
<i>Figure 2-3 : Visualisation des vitesses de courant du CAS 4 - Flot.....</i>	<i>10</i>
<i>Figure 2-4 : Visualisation des vitesses de courant du CAS 4 - Jusant.....</i>	<i>10</i>
<i>Figure 2-5 : Visualisation des vitesses de courant du CAS 4 - Pleine Mer</i>	<i>11</i>
<i>Figure 2-6 : Illustration du différentiel entre l'état aménagé et actuel – CAS 2</i>	<i>12</i>
<i>Figure 2-7 : Série temporelle de courant et de niveau de marée au niveau de la passe d'entrée - CAS 2</i>	<i>13</i>
<i>Figure 2-8 : Illustration du différentiel entre l'état aménagé et actuel – CAS 6</i>	<i>13</i>
<i>Figure 2-9 : Série temporelle de courant et de niveau de marée au niveau de la passe d'entrée - CAS 6</i>	<i>14</i>
<i>Figure 3-1 : Bilan sédimentaire de la plage de Pornichet 2004-2014 (Source : Artelia 2017)</i>	<i>16</i>
<i>Figure 3-2 : Schéma du fonctionnement du littoral au niveau de la baie</i>	<i>16</i>
<i>Figure 3-3 : Visualisation des zones érodables et non érodables du modèle (Zone érodable : en rouge, zone non-érodable : en bleu)</i>	<i>17</i>
<i>Figure 3-4 : Visualisation du différentiel de l'épaisseur sédimentaire entre l'état aménagé et l'état actuel – CAS3.....</i>	<i>18</i>
<i>Figure 3-5 : Visualisation du différentiel de l'épaisseur sédimentaire entre l'état aménagé et l'état actuel – CAS6.....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 3-6 : Extrait de la stratégie d'échantillonnage pour l'étude Géotechnique (FondOuest,2020)</i>	<i>20</i>
<i>Figure 3-7 : Résultat de l'analyse Pressiométrique du point SP1 (Fondouest,2020)</i>	<i>20</i>

Liste des tableaux

Aucune entrée de table d'illustration n'a été trouvée.

Liste des annexes

..... 21

LEXIQUE DEFINITIONS ET CONVENTIONS

Définition des paramètres

Notations relatives au vent

Notation	Unité	Définition
Ws	m/s	Vitesse moyenne du vent sur 10 minutes À une altitude de 10 m
Wd	° / Nord	Direction du vent Associée à Ws

Notations relatives au niveau de la mer

Notation	Unité	Définition
Surcote ou Décote	m	Surcote ou Décote atmosphérique incluant l'effet du vent, le baromètre inverse, et la variation saisonnière du niveau de la mer Marée et réchauffement climatique exclus
Niveau de marée	m	Niveau de marée d'origine astronomique

Notations relatives aux niveaux caractéristiques de marée

Notation	Unité	Définition
PHMA	m	Plus Haute Mer Astronomique
PMVE	m	Pleine Mer Moyenne de Vive-Eau
NM	m	Niveau Moyen
BMVE	m	Basse Mer Moyenne de Vive-Eau
PMBA	m	Plus Basse Mer Astronomique

Notations relatives aux vagues

Notation	Unité	Définition
Hm0 or Hs	m	Hauteur de houle significative spectrale = $4 \sqrt{E}$, où E est l'énergie du spectre de houle
H1/3	m	Hauteur de houle significative Définie comme la moyenne du 1/3 supérieur des vagues En eau profonde H1/3=Hm0
Hmax	m	Hauteur de houle maximum = $0.707 \times H1/3 \sqrt{(\ln N)}$ où N est le nombre de vagues
Tp	s	Période pic Définie comme l'inverse de la fréquence la plus énergétique du spectre total, après somme des directions
DirM	° / North	Direction moyenne Définie comme la direction Moyenne du spectre de houle
DirTp	° / North	Direction pic Définie comme la direction la plus énergétique de la bande de fréquence correspondant au Tp

Conventions

TRES IMPORTANT :

- ▶ Par convention, les directions données sont :
 - Celles d'où viennent les vagues ;
 - Celles d'où vient le vent ;
 - Celles où se dirigent les courants ;
- ▶ Les coordonnées sphériques se rapportent à la projection de Mercator dans le système WGS84 ;
- ▶ Les coordonnées verticales sont relatives au ZH (Zéro Hydrographique).

Statistiques

Les diagrammes présentés dans ce document sont utilisés pour montrer la répartition statistique de deux variables :

- ▶ Un **Scatter plot (corrélogramme ou nuage de points)** est une représentation graphique permettant de montrer les valeurs simultanées de deux variables issues d'une base de données. Les couples de données sont affichés sous forme de collection de points, la valeur du premier paramètre déterminant la position sur l'axe horizontal, la valeur du second celle sur l'axe vertical.
- ▶ Un **diagramme quantile-quantile (ou Q-Q plot)** est une méthode graphique pour comparer les distributions statistiques de deux paramètres en affichant pour chaque quantile leur valeur respective.

1. Méthodologie de modélisation

1.1. Description des logiciels utilisés

1.1.1. Principes généraux

La modélisation hydrodynamique implique la mise en œuvre et le couplage de trois modules du code de calcul TELEMAC-MASCARET :

- ▶ Modèle de propagation de la houle (modèle spectral) : TOMAWAC.
- ▶ Modèle courantologique : TELEMAC-2D
- ▶ Modèle de transport sédimentaire : GAIA

1.1.2. Modélisation du transport sédimentaire avec le modèle GAIA

Le module GAIA calcule les transports sédimentaires sur le fond et en suspension sous l'action combinée des courants et de la houle. Ce modèle de transport sédimentaire couplé aux modules TELEMAC 2D et TOMAWAC permet de simuler un nombre important de processus physiques comme l'évolution du fond, le transport sédimentaire en suspension, les sédiments cohésifs ou non-cohésifs, des fonds non-érodables...

1.2. Domaine, maillage et bathymétrie

Pour cette phase d'étude, nous avons mis en œuvre deux modèles emboîtés : un premier, à large couverture, sert principalement à calibrer l'ensemble, tandis qu'un second, de moindre extension mais doté d'une très fine résolution sur la zone d'intérêt, est imbriqué dans le premier.

Le modèle à grande échelle s'étend de Le Croisic à l'ouest jusqu'à La Plaine-sur-Mer à l'est, en incluant la Loire. Sa maille passe de 350 m au large à 25 m près de la zone étudiée (voir figure ci-dessous). L'objectif de ce modèle est de fournir au modèle local des paramètres validés - notamment les niveaux d'eau et les paramétrisations des modèles issus du modèle régional.

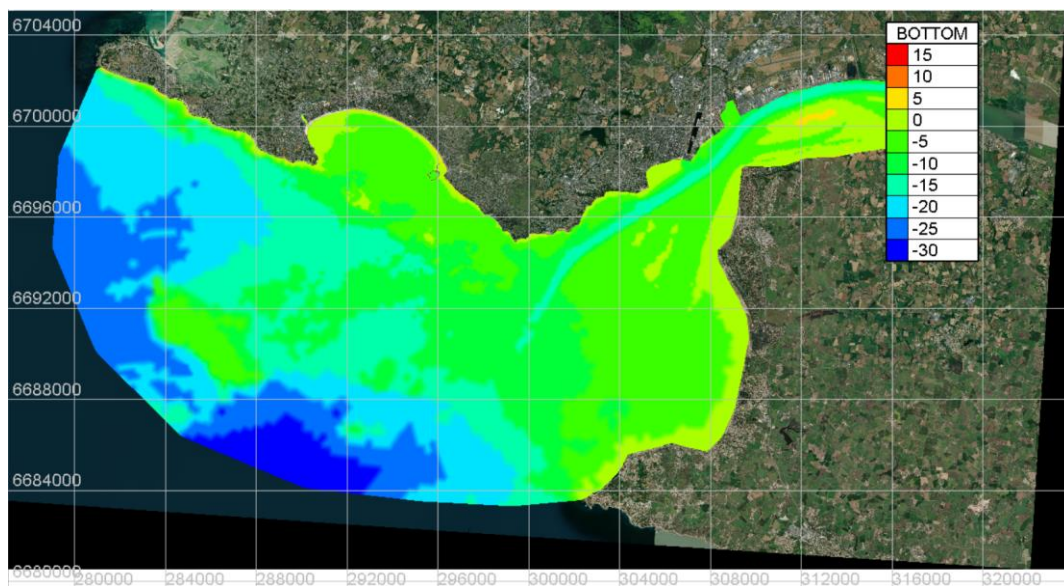


Figure 1-1 : Bathymétrie du modèle de grande emprise

Le modèle local, quant à lui, reprend les mêmes limites que celui utilisé pour la propagation des houles, avec des mailles allant de 250 m au large à seulement 3 m autour du port et de ses abords. Cette résolution fine est indispensable pour simuler avec précision les courants et le transport sédimentaire.

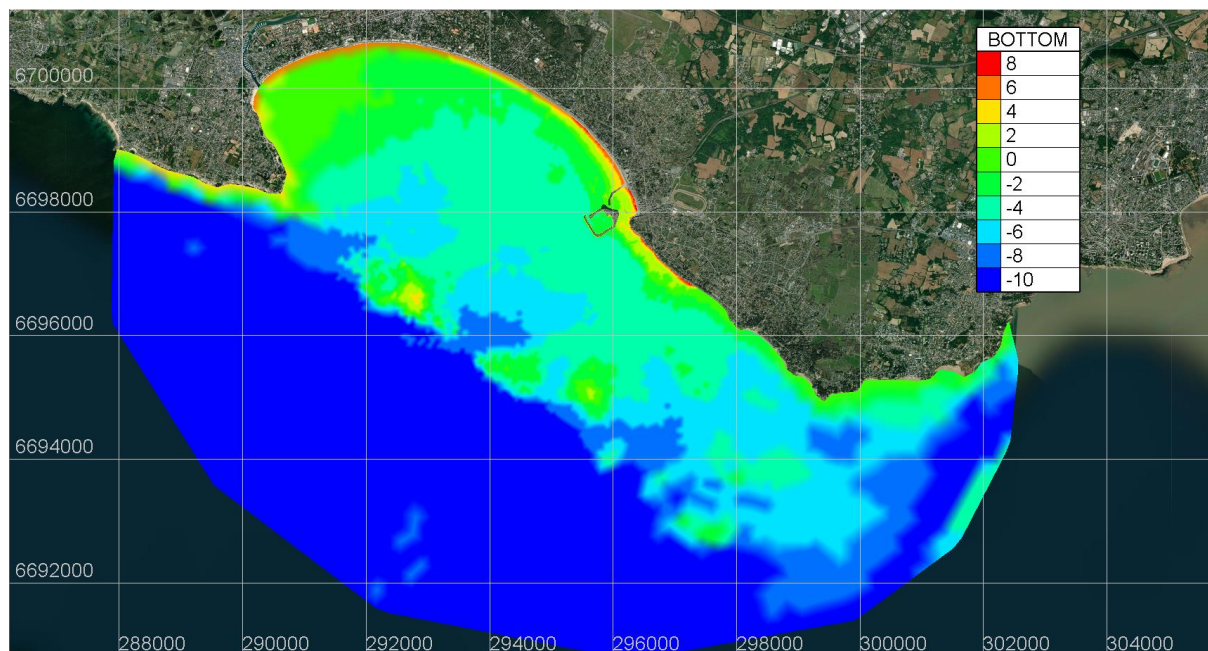


Figure 1-2 : Bathymétrie du modèle de grande emprise

Le modèle est exploité selon deux configurations, détaillées ci-après :

- ▶ L'état actuel.
- ▶ L'état aménagé, qui inclut à la fois le confortement de l'épi et l'aménagement du terre-plein.

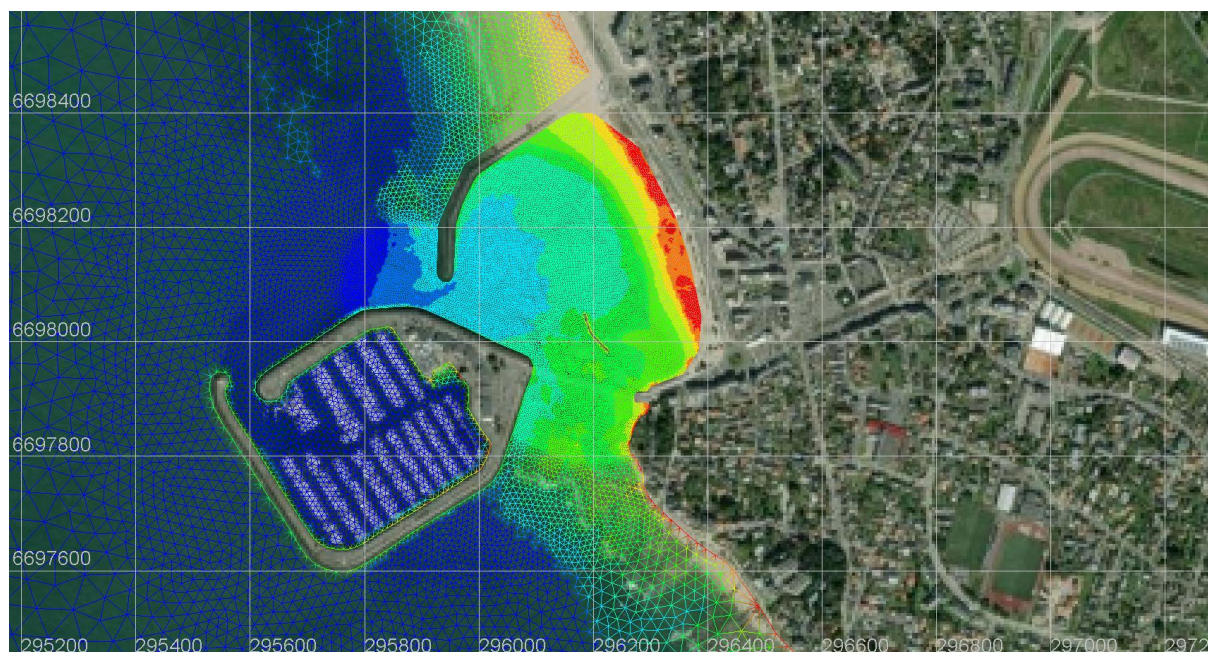


Figure 1-3 : Maillage de l'état actuel – Zoom sur la zone d'étude



Figure 1-4 : Maillage de l'état aménagé – Zoom sur la zone d'étude

1.3. Calage du modèle

Le modèle de grande emprise a été calé par rapport au marégraphe de Saint-Nazaire.

Plusieurs tests de sensibilité ont été réalisés pour calibrer la simulation de la marée par le modèle. Les niveaux ont dans un premier temps été ajustés pour correspondre au référentiel altimétrique maritime des données marégraphiques servant à la validation. Dans un second temps, le paramètre de longueur de rugosité du domaine de calcul a été ajusté pour réduire l'erreur par rapport aux données issues des marégraphes.

Les résultats des simulations montrent que le modèle reproduit les niveaux d'eau de manière très satisfaisante, bien qu'au début il est observé que le modèle surestime légèrement la courbe marée, il se stabilise par la suite, il est donc conclu globalement qu'une bonne cohérence entre le modèle et les données de mesure du marégraphe de Saint Nazaire.

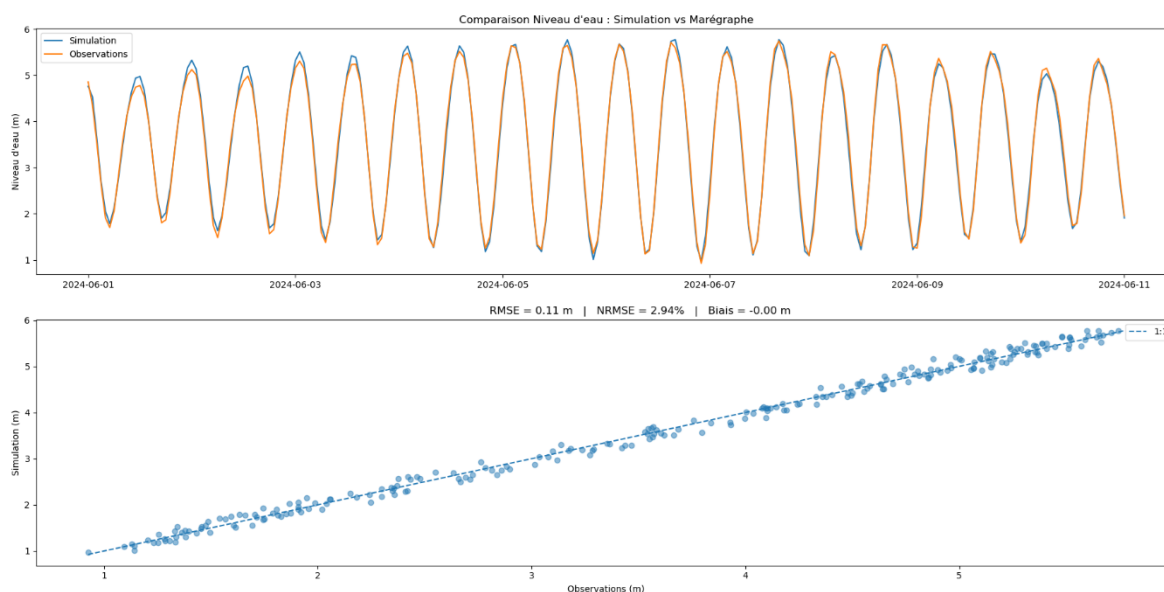


Figure 1-5: Comparaison des résultats du modèle avec les données du marégraphe de Saint-Nazaire

1.4. Stratégie de modélisation

Dans le cadre de cette étude nous prévoyons une stratégie de modélisation en deux étapes.

La première étape consiste à modéliser les dynamiques hydrosédimentaires de l'état initial pour une large gamme de conditions de forçages. Ces simulations hydrosédimentaires seront réalisées en couplant les modules TELEMAC 2D, TOMAWAC et GAIA.

La seconde étape consiste à modéliser uniquement l'hydrodynamisme en 3D, à l'aide du modèle TELEMAC 3D couplé avec TOMAWAC. Pour ces simulations courantologiques, nous avons défini 4 scénarios de forçages, permettant de bien comprendre l'hydrodynamisme de la zone et chacun de ces scénarios sera modélisé pour l'état initial et l'état aménagé de la zone d'étude.

Cette méthode permet, d'une part de bien comprendre les dynamiques hydrosédimentaires actuelles dans la zone d'étude et pour un large panel de conditions hydrodynamiques. Et d'autre part d'anticiper les changements sur la courantologie qu'auront les aménagements prévus.

Les cas simulés

Les conditions de houles étudiées dans le cadre de l'étude de propagation de houle ont été reprises, cette fois, l'ensemble des modèles ont été couplés avec un cycle de marée de Vive-Eau, pour rappel les conditions sont présentées dans le tableau suivant :

Nom scénario	Hm0 (m)	Tp (s)	Dir (°)	Niveau (mCM)
Cas 1	0.84	12.5	245	6.27 *
Cas 2	1.90	12.8	245	6.27 *
Cas 3	0.73	9.1	245	6.27 *
1 an niveau haut	3.49	12.5	245	6.41
10 ans niveau haut	4.23	13.5	245	6.61
100 ans niveau haut	4.96	14.5	245	6.91

Les houles sont très majoritairement de secteur Sud-Ouest, c'est pourquoi seule la direction 245°N est modélisée. Les coups de mer d'autres secteurs comme le secteur Sud sont beaucoup moins fréquents et ont donc un impact très limité sur la courantologie et le transport sédimentaire sur une année globale.

2. Résultats des modélisations de courantologie

Les résultats en chaque nœud de calcul du domaine d'étude ont été post-traités afin d'être mis en forme cartographiquement. Les résultats sont présentés sous forme de cartes de vitesses et directions des courants aux maximas de flot et de jusant en état initial et en état futur, les cartes de Pleine Mer sont également représentées compte tenu de l'intensité des phénomènes qui s'y produisent.

Pour analyser les impacts hydrodynamiques induits par les aménagements, des cartes de différentiels de vitesse (état futur – état initial) ont également été générées.

Une zone spécifique a été définie pour l'extraction temporelle des vitesses de courant, localisée à l'aplomb du terre-plein dans le chenal d'accès au port de mouillage. Cette extraction temporelle est réalisée sur l'ensemble des mailles de la zone pour toute la durée des simulations. Pour chaque cas étudié, un graphique restitue les vitesses maximales relevées dans la zone d'extraction à chaque pas de temps, permettant une comparaison directe entre les états initial et futur. La figure ci-après illustre l'emplacement de cette zone d'extraction.

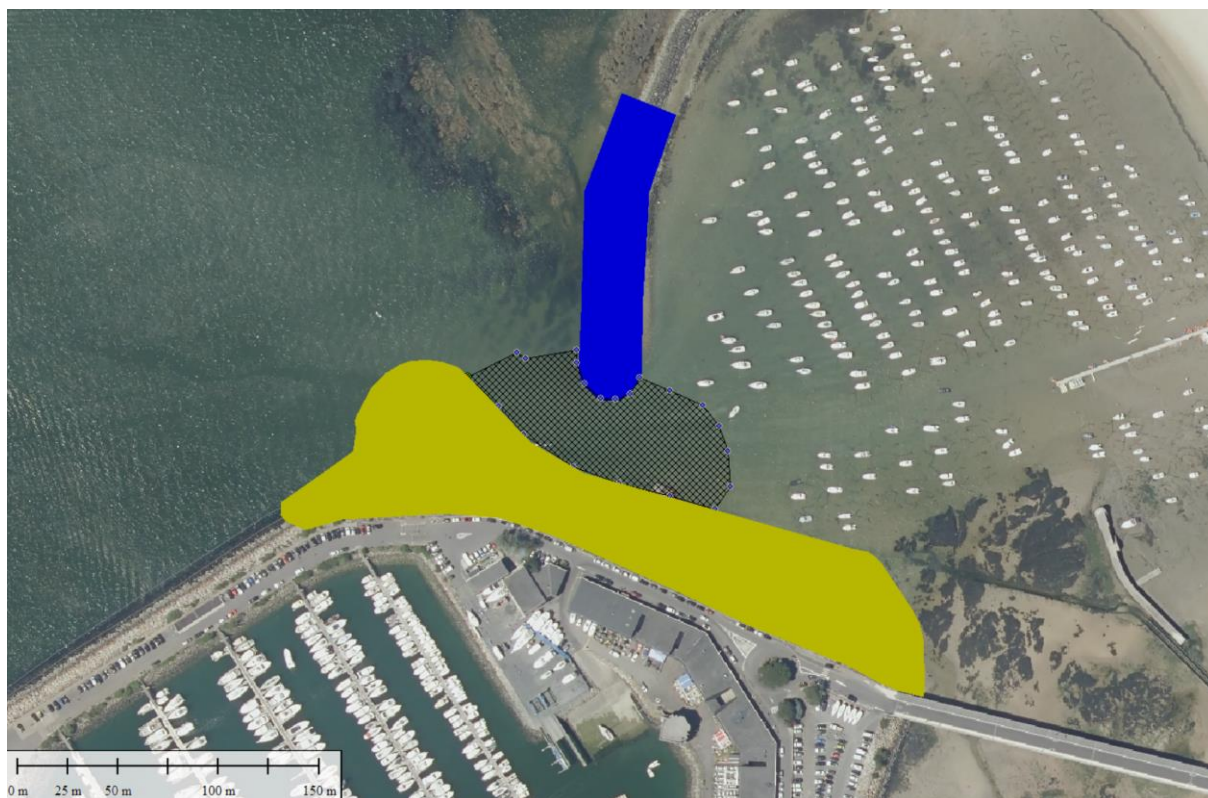


Figure 2-1 : Illustration de la zone d'extraction

2.1. Courantologie en état initial

Les résultats issus des différents cas simulés présentent tous un schéma de circulation global similaire, avec des variations d'intensité selon les configurations. Il est constaté que les courants de remplissage et de vidange sont significativement plus marqués lors des phases de flot et de jusant, en comparaison avec ceux observés à la basse mer. Toutefois, les vitesses maximales sont désormais enregistrées à la pleine mer, période durant laquelle l'influence des processus liés à la houle est la plus forte.

Sous le viaduc, les courants restent soutenus et se propagent jusqu'à l'intérieur du bassin, en particulier autour du vieux môle, où une légère diminution de vitesse est observée. Par ailleurs, un courant de retour est identifié sous la partie ouest du viaduc, longeant la digue du port en eaux profondes.

Le long du littoral adjacent au port, la dérive littorale présente une variabilité directionnelle, avec des courants orientés alternativement vers le nord ou vers le sud. Des phénomènes de convergence et de divergence sont également observés, en lien avec les variations locales du trait de côte et de la topobathymétrie.

En conditions extrêmes, les schémas de circulation restent globalement identiques, bien que les vitesses s'intensifient. À la pleine mer, un écoulement sortant par la passe, lié au remplissage sous le viaduc, peut atteindre jusqu'à 1,8 m/s lors d'un événement centennal.

En synthèse :

- ▶ **Par temps calme**, les courants restent modérés, avec des vitesses maximales localisées à mi-flot et mi-jusant, notamment au niveau de la passe d'entrée.
- ▶ **Sous conditions de houle extrême**, une veine de courant significative se développe en raison du volume d'eau apporté par le déferlement des vagues sur le platier sud du viaduc. Ce surplus est ensuite évacué par la passe d'entrée du port.

Cas 4 - Événement de houle extrême - Hs = 3.49 m - Tp : 12.5 s - Direction : 245° N - Cycle de marée de vive-eau

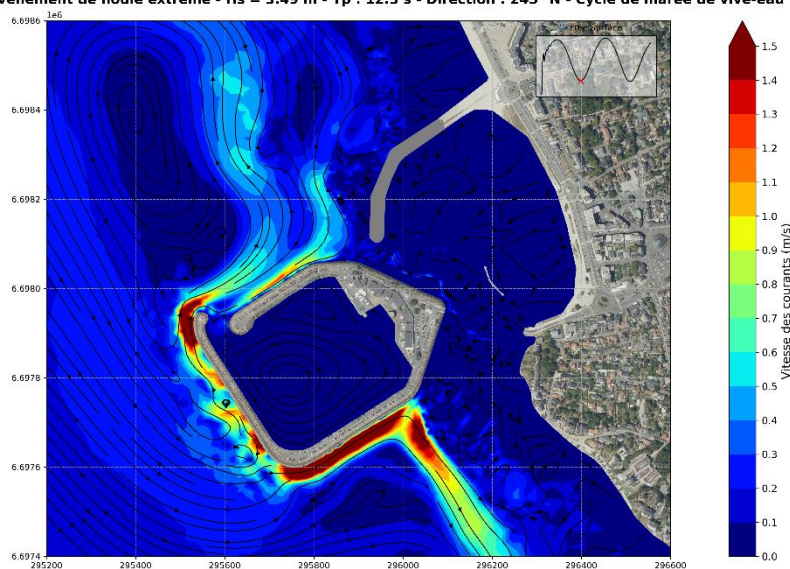


Figure 2-2 : Visualisation des vitesses de courant du CAS 4 - Basse Mer

Cas 4 - Événement de houle extrême - Hs = 3.49 m - Tp : 12.5 s - Direction : 245° N - Cycle de marée de vive-eau

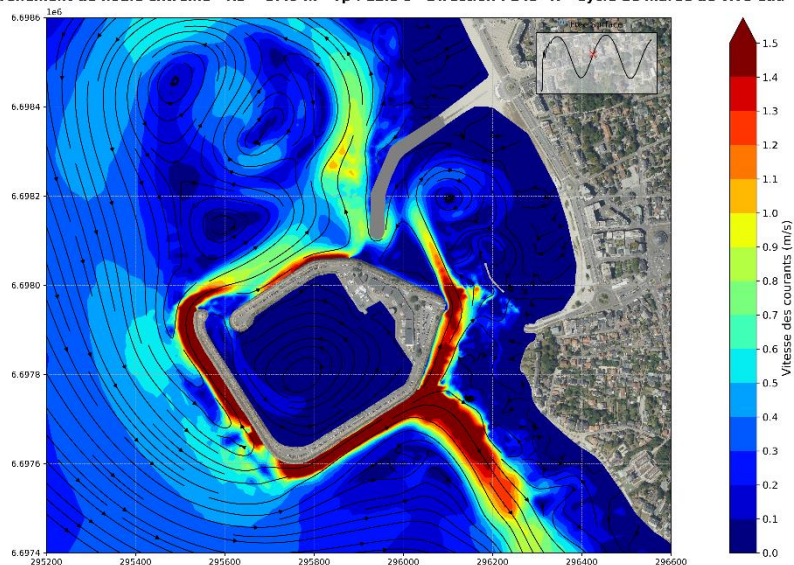


Figure 2-3 : Visualisation des vitesses de courant du CAS 4 - Flot

Cas 4 - Événement de houle extrême - Hs = 3.49 m - Tp : 12.5 s - Direction : 245° N - Cycle de marée de vive-eau

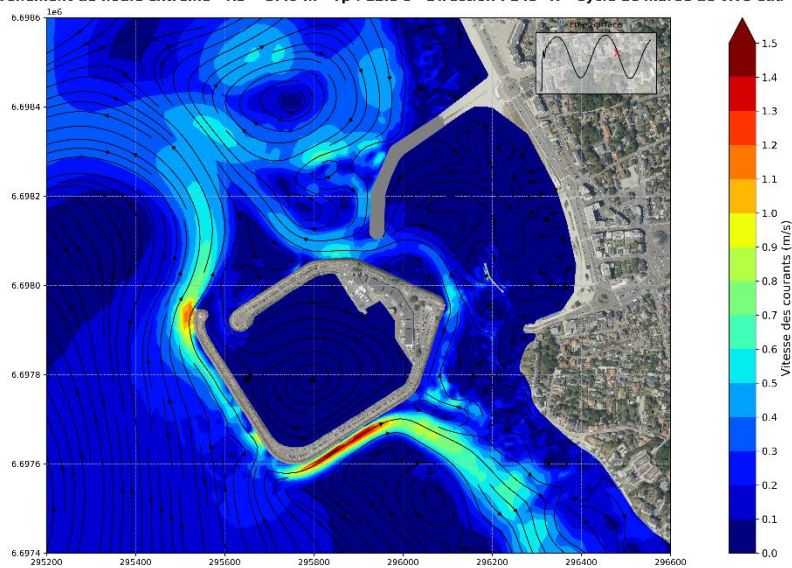


Figure 2-4 : Visualisation des vitesses de courant du CAS 4 - Jusant

Cas 4 - Événement de houle extrême - Hs = 3.49 m - Tp : 12.5 s - Direction : 245° N - Cycle de marée de vive-eau

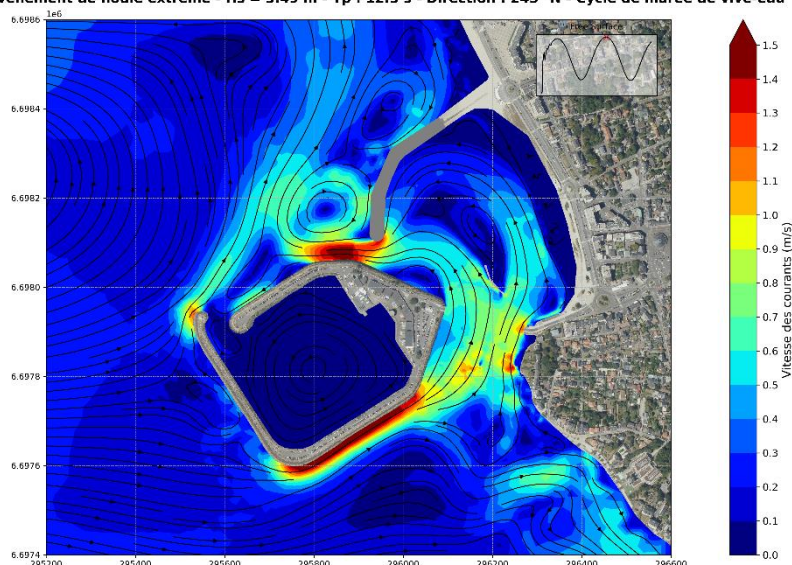


Figure 2-5 : Visualisation des vitesses de courant du CAS 4 - Pleine Mer

2.2. Modification de la courantologie en état futur

Dans la configuration future, l'effet de l'aménagement sur la dynamique des courants est mis en évidence grâce à un traitement différentiel : il est calculé, à chaque pas de temps et pour chaque cellule du maillage, l'écart de vitesse entre l'état aménagé et la situation actuelle. Ces écarts, moyennés sur l'ensemble d'un cycle de marée, sont ensuite cartographiés pour visualiser la répartition spatiale des modifications, tandis que des profils extraits le long de la passe d'entrée permettent de suivre pas à pas l'évolution des vitesses maximales.

La principale modification observée est **l'augmentation de la vitesse des courants au niveau de la passe**. La réduction de la section d'écoulement entre l'état initial (passe d'environ 70 m) et l'état futur (environ 32 m) induit mécaniquement cette augmentation : la section diminue d'environ 50 %.

Pour les **cas fréquents**, l'augmentation de la vitesse de courant dans la passe d'entrée varie de **0,2 à 0,3 m/s**, soit **+ 10 à 15 %** selon les cas. Le scénario fréquent caractérisé par la houle la plus énergétique (Hs = 1,90 m) présente l'impact le plus marqué ; le différentiel met en évidence une augmentation de la vitesse des courants pour ce cas qui s'étend davantage que dans les autres cas fréquents. L'analyse des graphiques d'extraction au niveau de la passe confirme cette tendance et souligne que l'augmentation de la vitesse est particulièrement sensible pendant le jusant, lors des phases de vidange.

Pour les **cas extrêmes**, l'augmentation de la vitesse des courants à la passe d'entrée est encore plus prononcée : le déferlement des vagues apporte un volume d'eau supplémentaire qui doit être évacué par la passe. Le différentiel montre qu'une période de retour annuelle peut engendrer une augmentation de la vitesse atteignant **0,6 m/s**, et jusqu'à **0,8 m/s** pour l'événement centennal.

La modification du régime de courants dépasse alors la passe d'entrée : bien que les plus fortes augmentations de la vitesse dues à l'implantation du terre-plein se concentrent dans ce secteur, le calcul différentiel révèle que, sous conditions extrêmes, l'augmentation de la vitesse des courants s'étend jusqu'au nord de la passe. On observe parallèlement une **légère diminution de la vitesse** (– 0,2 à – 0,3 m/s) dans le chenal de remplissage sous le viaduc, tandis qu'un **renforcement très localisé** – toujours sous la forme d'une augmentation de la vitesse – apparaît au droit du môle.

De manière synthétique :

- ▶ La principale évolution courantologique à l'état aménagé est **l'augmentation de la vitesse des courants au niveau de la passe d'entrée.**
- ▶ Cette augmentation est principalement due à la réduction d'environ 50 % de la section d'écoulement dans la passe.
- ▶ Dans les situations fréquentes, l'augmentation de la vitesse demeure modérée, tandis qu'elle devient nettement plus élevée lors des conditions extrêmes.
- ▶ Les houles énergétiques associées aux cas extrêmes injectent un volume d'eau supplémentaire après déferlement ; elles augmentent donc les débits de remplissage et de vidange dans la passe, et l'augmentation de la vitesse se prolonge jusque hors de la passe.
- ▶ Sur le reste du plan d'eau du port de mouillage, à l'état futur, les courants sont globalement ralentis, tout particulièrement dans le chenal de remplissage, tandis que les écarts restent négligeables ailleurs.

Cas 2 - Événement de houle fréquent - Hs = 1.90 m - Tp : 12.8 s - Direction : 245° N - Cycle de marée de vive-eau

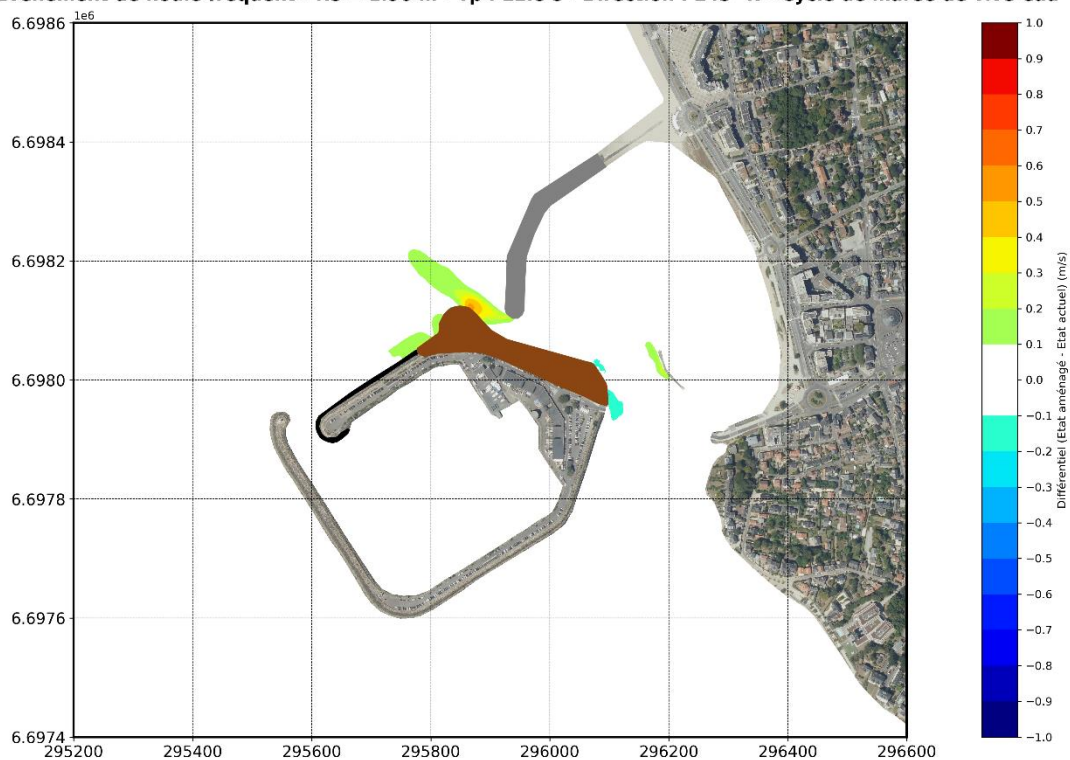


Figure 2-6 : Illustration du différentiel entre l'état aménagé et actuel – CAS 2

Cas 2 - Événement de houle fréquent - Hs = 1.90 m - Tp : 12.8 s - Direction : 245° N - Cycle de marée de vive-eau

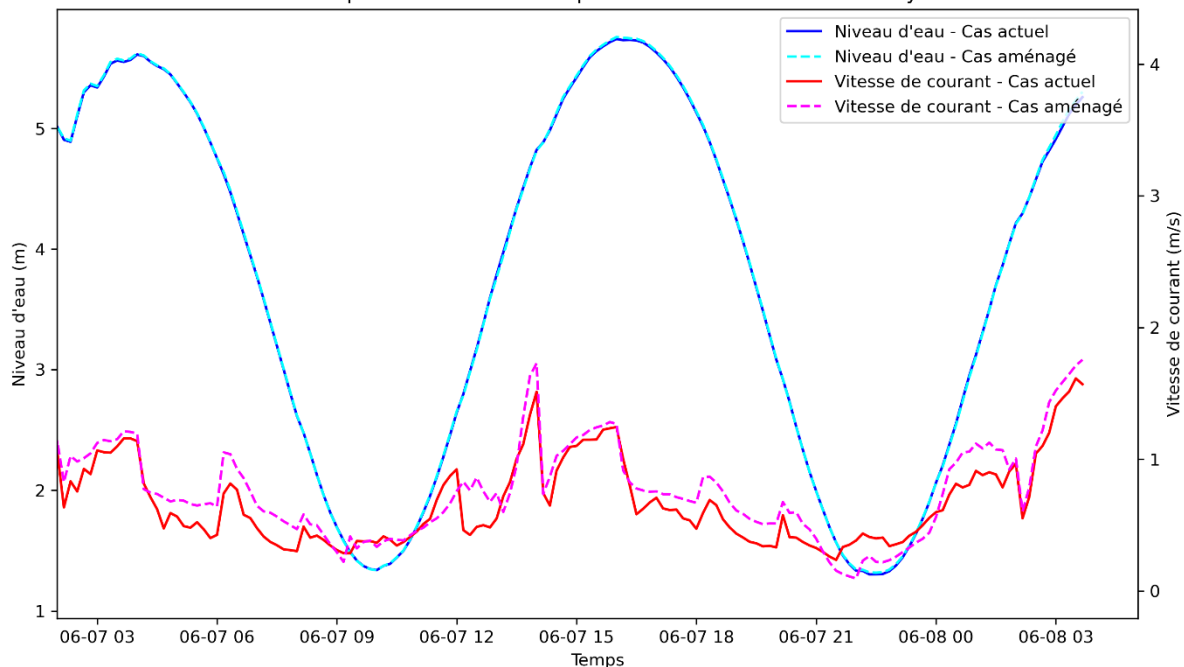


Figure 2-7 : Série temporelle de courant et de niveau de marée au niveau de la passe d'entrée - CAS 2

Cas 6 - Événement de houle extrême - Hs = 4.96 m - Tp : 14.5 s - Direction : 245° N - Cycle de marée de vive-eau



Figure 2-8 : Illustration du différentiel entre l'état aménagé et actuel – CAS 6

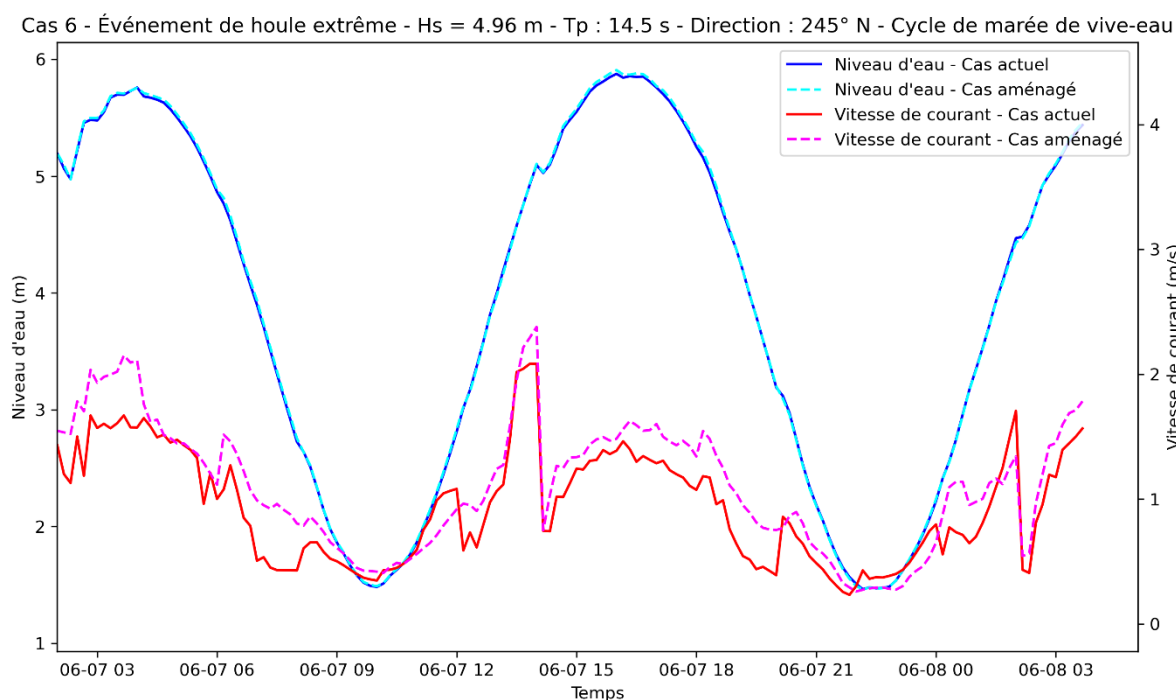


Figure 2-9 : Série temporelle de courant et de niveau de marée au niveau de la passe d'entrée - CAS 6

2.3. Synthèse de la courantologie

Dans l'état actuel, Le port est parcouru par des courants de remplissage et de vidange qui se renforcent aux moments intermédiaires de la marée, mais c'est désormais à la pleine mer que les vitesses culminent, sous l'influence de la houle. Sous le viaduc, le flux pénètre jusque devant le vieux môle, tandis qu'un courant de retour se dessine sous la travée ouest le long de la digue. La dérive littorale alterne entre un transport vers le nord et vers le sud, avec des zones de convergence et de divergence liées à la géométrie côtière. **En conditions extrêmes, le schéma général reste le même, mais les vitesses s'intensifient nettement, surtout dans la passe d'entrée.**

Dans la configuration future, **La réduction de la largeur de la passe agit comme un entonnoir : les courants y accélèrent sensiblement. Cet effet est perceptible lors des situations courantes et devient très marqué lorsque la houle est énergique ou lors d'événements exceptionnels.** L'accélération peut même se propager au-delà de la passe. À l'inverse, l'intérieur du port connaît plutôt un ralentissement général, hormis quelques zones localisées autour du môle où les vitesses se renforcent légèrement.

La principale conséquence de l'implantation du terre-plein est l'apparition d'un jet plus rapide dans la passe, avec des implications possibles pour la navigation, notamment en période agitée, mais aucun impact majeur n'est observé au niveau du plan d'eau du port d'échouage.

3. Modélisation hydrosédimentaire

3.1. Compréhension de la dynamique sédimentaire générale

La compréhension de la dynamique sédimentaire de la zone permet de bien préparer le modèle hydrosédimentaire et de prendre en compte l'ensemble des phénomènes sédimentaires qui régissent la zone d'étude.

La dynamique sédimentaire étudiée dans le cadre de cette étude, concerne principalement la dynamique sableuse, qui peut transporter sous l'effet des houles et des courants associés des matériaux sableux dans le chenal d'accès au port ou l'enracinement de l'épi-digue actuel.

Selon Artelia 2017, La dynamique des sables dans la baie est associée principalement aux directions dominantes de la houle. Celles-ci favorisent un transport des sédiments du centre de la Baie vers ses extrémités avec une forte prédominance de transport vers l'extrémité Est.

Ainsi, les matériaux transportés sur la plage et les petits fonds se déposent le long de l'épi digue. Ces dépôts progressifs se sont traduits par des phénomènes de « débordement » de l'épi à son enracinement et la formation d'un dépôt le long de l'ouvrage et au droit du platier rocheux.

En ce qui concerne les tendances au dépôt de sédiments fins dans les ports, ARTELIA (2017) dresse les observations suivantes :

- ▶ Dans le port en eaux profondes : 20 000 m³/ an en moyenne (Idra, 2013), nécessitant des opérations de dragage d'entretien régulières ;
- ▶ Dans le port d'échouage : la dynamique de dépôts est mal connue. Le premier dragage du port (construction en 1954) ayant été réalisé seulement en 2015.

En l'absence de données bathymétriques comparatives, il est donc délicat d'estimer le taux d'envasement actuel dans le port d'échouage.

SOGREAH a établi en 2012 un schéma de fonctionnement hydrosédimentaire du littoral de Pornichet, à partir d'une étude diachronique d'évolution du trait de côte et de résultats de modélisations de propagation de vagues et de courants induits (Etude relative à la gestion durable du trait de côte de la Région des Pays de la Loire – Fascicule USII). La plage de Pornichet à proximité immédiate du port possède une largeur comprise entre 50 et 100 m et un début de cordon dunaire.

Les sables prélevés en 2002 dans le cadre de l'opération relative à la restauration de la plage présentent une granulométrie plutôt fine sur le secteur compris entre les Evens et le port de Pornichet ($D_{50} = 0.180$ mm).

SOGREAH (2012) a établi sur la base des cartes présentées ci-dessus la présence d'un courant longitudinal Ouest/Est bien établi qui indique que la plage de la Baule située à proximité immédiate du port est en déséquilibre. La recherche de la position d'équilibre statique passe donc par des érosions de la zone centrale au profit d'engraissements au niveau du port de Pornichet.

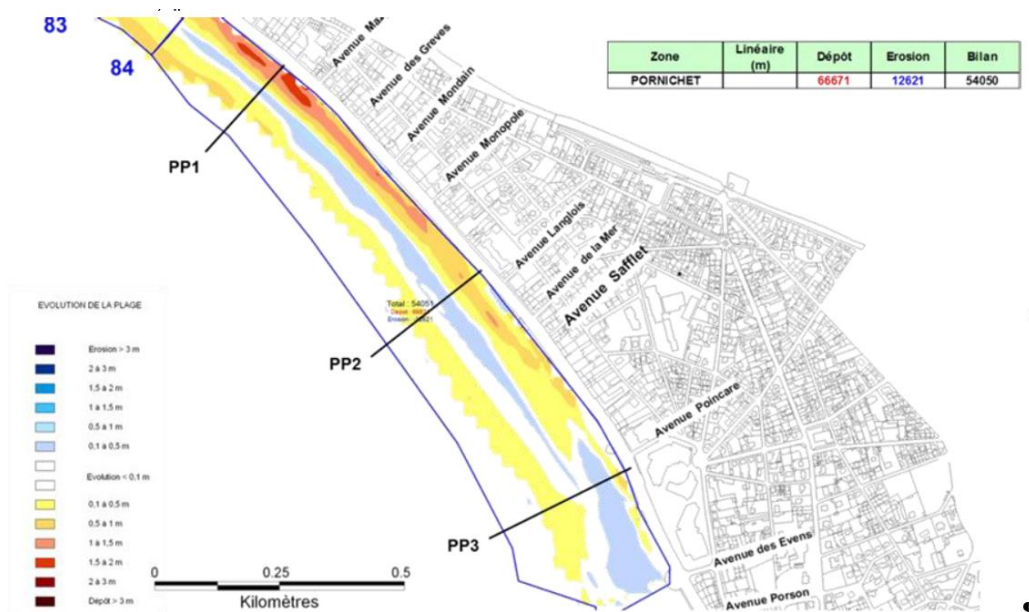


Figure 3-1 : Bilan sédimentaire de la plage de Pornichet 2004-2014 (Source : Artelia 2017)

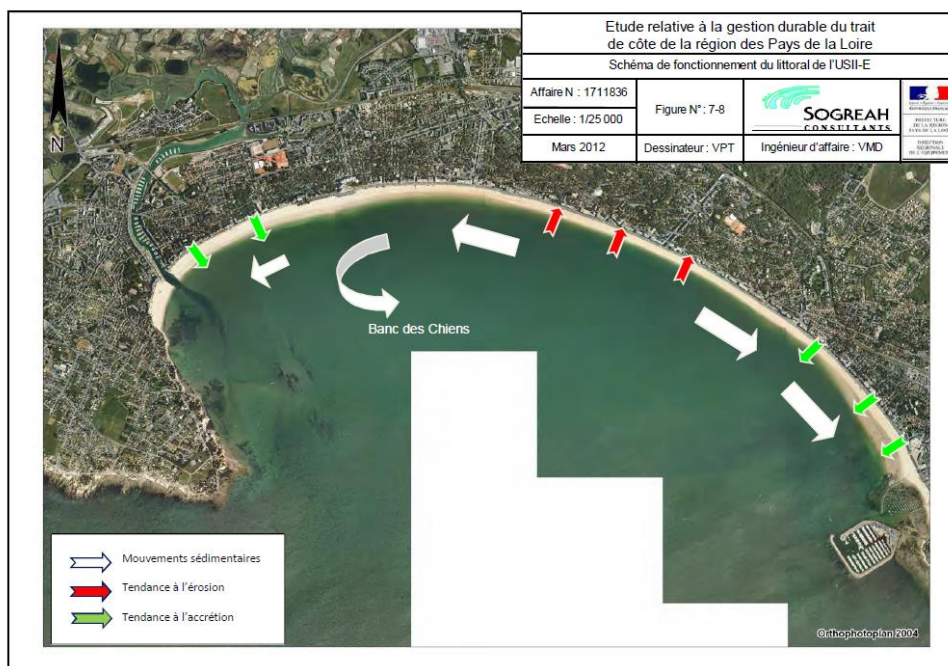


Figure 3-2 : Schéma du fonctionnement du littoral au niveau de la baie

3.2. Modélisation du transport sédimentaire

3.2.1. Logiciel utilisé

Le module GAIA calcule les transports sédimentaires sur le fond et en suspension sous l'action combinée des courants et de la houle. Ce modèle de transport sédimentaire couplé aux modules TELEMAC 3D et TOMAWAC permet de simuler un nombre important de processus physiques comme l'évolution du fond, le transport sédimentaire en suspension, les sédiments cohésifs ou non-cohésifs, des fonds non-érodables...

3.2.2. Couplage des courants de la houle et du transport sédimentaire

Au large, la propagation de la houle ne participe pas significativement au déplacement des masses d'eau. En revanche, près des côtes et tout particulièrement dans les zones de déferlement, les contraintes de radiation induites par la houle génèrent des courants, principalement lorsque les hauteurs de vague et les intensités de déferlement présentent une variabilité significative le long du rivage.

Pour prendre pleinement en compte ces phénomènes, les modules de propagation de houle et courantologique sont couplés. Les courants induits par la houle seront pleinement intégrés aux courants du module courantologique.

De plus, les courants (notamment) induits par la houle peuvent générer du transport sédimentaire. Les évolutions bathymétriques induites vont à leur tour modifier le comportement de la houle et des courants. C'est pourquoi le système de modélisation mis en place est un couplage simultané entre les 3 modules du code de calcul Telemac.

3.2.3. Zones érodables

La modélisation du transport sédimentaire requiert d'identifier les secteurs érodables et non érodables. Un secteur érodable correspond à la partie du lit où le forçage hydrodynamique peut mobiliser les sédiments. Sur la base de l'analyse bibliographique et de l'examen des archives d'images aériennes, les zones érodables autour du port de Pornichet ont été délimitées ; elles figurent en rouge sur la figure ci-après.

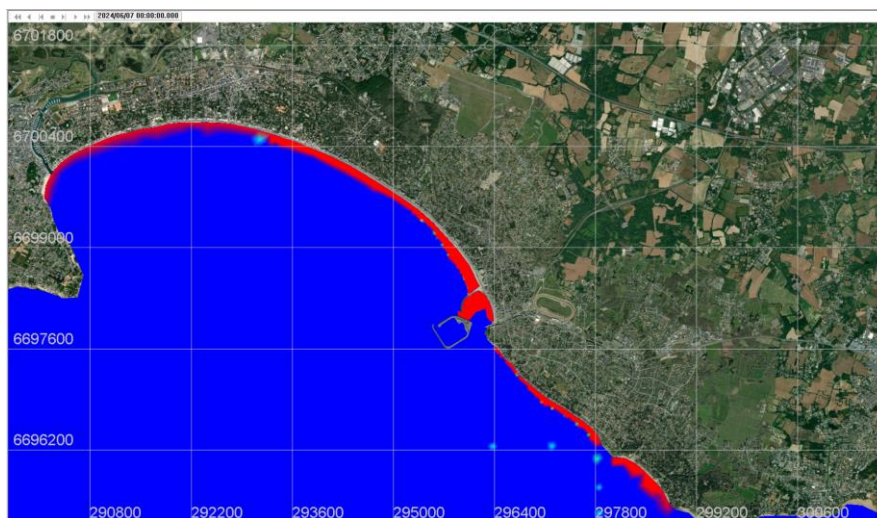


Figure 3-3 : Visualisation des zones érodables et non érodables du modèle (Zone érodable : en rouge, zone non-érodable : en bleu)

3.2.4. Résultats

Ce chapitre porte sur l'analyse du potentiel impact de l'implantation d'un terre-plein sur le transport hydro-sédimentaire de la zone d'étude. À l'instar de l'approche utilisée pour la courantologie, les simulations hydrosédimentaires ont été réalisées en configurations d'état actuel et aménagé, complétées par un calcul de différentiels entre ces états.

L'analyse des résultats indique que, dans les cas fréquents tels que les cas 1 et 3, le transport sédimentaire est négligeable, voire inexistant. Ceci s'explique principalement par des conditions de houle peu énergétiques qui ne génèrent pas suffisamment de courants pour mobiliser les sédiments.

En revanche, pour le cas 2 des conditions fréquentes, on observe un transport significatif localisé principalement au niveau de la passe d'entrée, particulièrement près du musoir de l'épi-digue. Le sable, déplacé par les courants, contourne ce musoir sur quelques mètres tout en restant confiné à proximité immédiate de la passe.

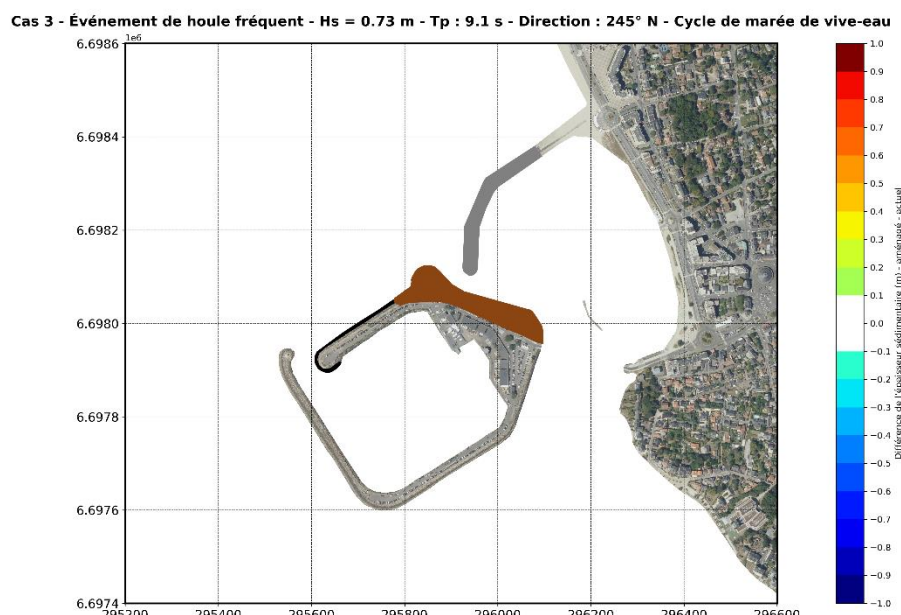


Figure 3-4 : Visualisation du différentiel de l'épaisseur sédimentaire entre l'état aménagé et l'état actuel – CAS3

Concernant les conditions extrêmes, les résultats mettent en évidence des déplacements notables du sable accompagnés de variations importantes de l'épaisseur sédimentaire. L'effet de déferlement lié à de fortes houles provoque des processus simultanés d'érosion et d'accrétion, particulièrement perceptibles depuis le nord de l'épi-digue, sur la plage de Pornichet, à travers la passe et jusque dans la partie ouest du port d'échouage. Toutefois, l'évolution bathymétrique la plus marquée se concentre clairement au niveau de la passe d'entrée.

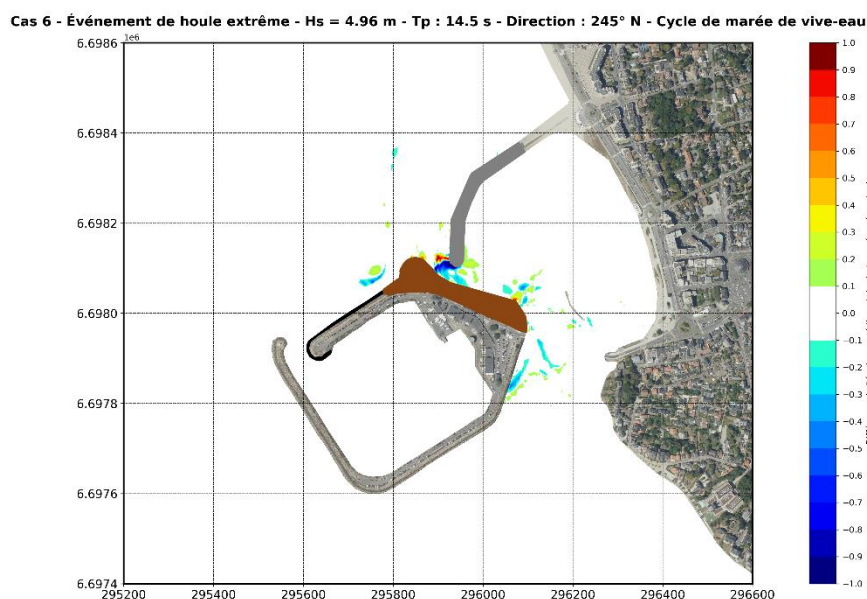


Figure 3-5 : Visualisation du différentiel de l'épaisseur sédimentaire entre l'état aménagé et l'état actuel – CAS6

Les résultats suggèrent également que l'aménagement du terre-plein induit, en conditions énergétiques typiques des tempêtes, des mouvements sédimentaires potentiellement significatifs, dépassant parfois le mètre en déplacement vertical de sable. Cependant, il convient de noter deux points critiques : d'une part, la simulation a été menée sur une période prolongée durant laquelle le forçage en conditions extrêmes a été maintenu en permanence (sur 3 cycles de marée), ce qui amplifie artificiellement les effets tempétueux. D'autre part, le modèle suppose que toute l'épaisseur bathymétrique consiste uniquement en sable, ce qui conduit à une surestimation des évolutions bathymétriques réelles.

Le rapport géotechnique établi par Fondouest en 2020, basé sur une campagne d'échantillonnage ponctuelle dans le secteur du port d'échouage, offre des informations complémentaires précieuses sur les caractéristiques mécaniques des sols. La figure suivante présente les emplacements des points d'échantillonnage géotechnique. **À titre illustratif, l'analyse pressiométrique réalisée au point SP1 indique clairement que l'épaisseur réelle du sable ne dépasse pas 2 mètres. Ce constat renforce l'idée que l'interprétation des résultats de simulation doit rester qualitative plutôt que quantitative.**

Il demeure néanmoins essentiel de considérer que des événements de tempêtes énergétiques pourraient provoquer des mouvements sédimentaires importants au niveau de la passe, notamment au pied des ouvrages tels que l'épi-digue et le terre-plein, entraînant potentiellement des phénomènes d'affouillement à leur base.



Figure 3-6 : Extrait de la stratégie d'échantillonnage pour l'étude Géotechnique (Fondouest,2020)

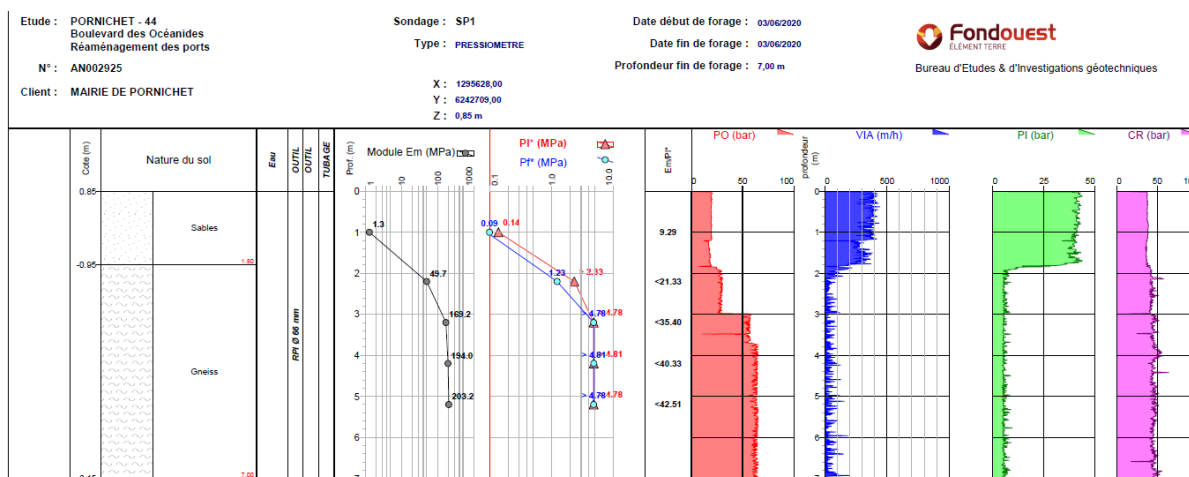


Figure 3-7 : Résultat de l'analyse Pressiométrique du point SP1 (Fondouest,2020)

3.3. Synthèse du transport hydrosédimentaire

En synthèse de l'étude hydrosédimentaire :

- ▶ **Dépendance au régime de courants** : Le transport hydrosédimentaire est étroitement lié à la courantologie. Comme précédemment montré, l'implantation du terre-plein modifiera peu les courants pour les conditions fréquentes ; en revanche, sous conditions extrêmes, elle engendre une alternance marquée de petites zones d'érosion et d'accrétion. Les variations de fond peuvent alors atteindre très localement $\pm 0,6$ m, depuis la plage située au nord de l'épi jusqu'à l'ouest du port d'échouage, avec un maximum d'évolution dans la passe.
- ▶ **Dynamique sédimentaire du port d'échouage** : Les observations satellitaires révèlent des déplacements sédimentaires notables au fil des ans. La durée des simulations étant limitée, il reste incertain que le transport ait atteint un régime stabilisé dans la passe.
- ▶ **Dynamique sédimentaire globale** : les résultats de courantologie et de transport sédimentaire montrent que le projet d'aménagement du port n'a aucune incidence sur la baie du Pouliguen. En effet, les cartes de différentiels présentés dans le cadre de ce rapport montrent que les modifications courantologiques et hydrosédimentaires sont localisées dans la zone du port uniquement.
- ▶ **Épaisseur sédimentaire non prise en compte** : Le modèle suppose un lit sableux de profondeur illimitée, alors que le rapport géotechnique montre une épaisseur réelle inférieure à 2 m. Cette hypothèse peut conduire à surestimer l'intensité des transferts sédimentaires.
- ▶ **Mesures de gestion recommandées** : À titre de précaution, il est conseillé :
 - Surveillance post-tempête : après toute houle significative ($Hm0 \geq 2$ m), inspecter la passe et le pied des ouvrages pour détecter d'éventuels affouillements.
 - Dragage ponctuel : programmer, si nécessaire, des dragages de remise à niveau.
 - Suivi bathymétrique régulier : réaliser des levés fréquents de la passe et du pied de l'épi-digue, avec une vigilance accrue après chaque événement extrême afin d'ajuster le calendrier de dragage et les actions de maintenance.

