

RAPPORT

Renouvellement de l'autorisation de rejet du système d'assainissement d'Arzon

Compléments aux dossiers pour la DDTM

décembre 2025

GOLFE DU MORBIHAN – VANNES AGGLOMERATION



Sources des illustrations :
Station d'épuration de Kerners ARZON (© SCE.)
Emissaire de rejet à la sortie du port du Crouesty (@Erwan - Google Maps)

CLIENT : GOLFE DU MORBIHAN – VANNES AGGLOMERATION

| | |
|----------------|---|
| RAISON SOCIALE | GOLFE DU MORBIHAN – VANNES AGGLOMERATION |
| COORDONNÉES | Parc d'innovation Bretagne Sud II 30 rue Alfred Kastler CS 70206 56006 VANNES Cedex |
| INTERLOCUTEUR | Benoît GOUSSET b.gousset@gmvagglo.bzh 02 56 63 09 19 |

CREOCEAN

| | |
|---------------|--|
| COORDONNÉES | Zone Technocéan – Chef de Baie – Rue Charles Tellier 17000 LA ROCHELLE Tél. : 05 46 41 13 13 - Fax : 05 46 50 51 02 E-mail : creocean@creocean.fr |
| INTERLOCUTEUR | Solène MORA Tél. : 06 74 81 22 95 E-mail : solene.mora@creocean.fr |

RAPPORT

| | |
|-----------------------|--|
| TITRE | Renouvellement de l'autorisation de rejet du système d'assainissement d'Arzon Compléments aux dossiers pour la DDTM |
| N° DE COMMANDE | 250931 |
| NOMBRE DE PAGES TOTAL | 61 |
| NOMBRE D'ANNEXES | 1 |

VERSION

| RÉFÉRENCE | VERSION | DATE | REDACTEUR | CONTRÔLE QUALITE |
|-----------|---------|------------|------------------------------------|---|
| N° 250931 | V1 | 27/10/2025 | Mora Solène / Lesueur Thomas | Caroline Pallu / Emmanuel Rochais |
| N° 250931 | V2 | 27/11/2025 | Mora Solène / Lesueur Thomas | Caroline Pallu / Emmanuel Rochais |

GOLFE DU MORBIHAN – VANNES AGGLOMERATION
RENOUVELLEMENT DE L'AUTORISATION DE REJET DU SYSTEME D'ASSAINISSEMENT D'ARZON

| | | | | |
|-----------|----|------------|------------------------------------|---|
| N° 250931 | VF | 03/12/2025 | Mora Solène / Lesueur Thomas | Caroline Pallu / Emmanuel Rochais |
|-----------|----|------------|------------------------------------|---|

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| Sommaire | 5 |
| Liste des figures | 7 |
| Liste des tableaux | 9 |
| Liste des annexes..... | 10 |
| Liste des abréviations, sigles et acronymes..... | 10 |
| 1. Introduction..... | 11 |
| 2. Rappel sur le rejet de la station..... | 13 |
| 3. Modélisation..... | 14 |
| 3.1. Recueil des données météo-océaniques..... | 14 |
| 3.1.1. Analyse des vents..... | 14 |
| 3.1.2. Analyse de la houle | 18 |
| 3.1.3. Résumé des conditions météo-océaniques et détermination des scénarios hydrodynamiques à modéliser | 22 |
| 3.1.4. Généralités sur la marée..... | 23 |
| 3.2. Stratégie de modélisation | 24 |
| 3.2.1. Principes généraux du système de modélisation | 24 |
| 3.3. Construction du système de modélisation | 25 |
| 3.3.1. Maillage et bathymétrie..... | 25 |
| 3.3.2. Calibration de l'hydrodynamisme | 27 |
| 3.4. Simulation des conditions hydrodynamiques | 30 |
| 3.4.1. Scénarios simulés..... | 30 |
| 3.4.2. Résultats de la modélisation | 32 |
| 3.4.3. Synthèse des résultats de modélisation..... | 41 |
| 4. Analyse environnementale sur le milieu marin..... | 45 |
| 4.1. Incidences Natura 2000..... | 45 |
| 4.1.1. La Zone de Protection Spéciale « Golfe du Morbihan » (FR 5310086) | 45 |
| 4.1.2. La Zone Spéciale de Conservation « Golfe du Morbihan, côte ouest de Rhuys » (FR 5300029)..... | 46 |
| 4.2. Cartographie des habitats marins au droit du point de rejet..... | 48 |
| 4.3. Analyse des incidences sur les enjeux marins en lien avec les résultats de la modélisation | 52 |
| 4.3.1. Température et pH..... | 52 |
| 4.3.2. Teneur en matière organique et turbidité | 52 |

| | |
|---|-----------|
| 4.3.3. Salinité..... | 52 |
| 4.3.4. Contamination | 54 |
| 4.3.5. Apport en Azote et eutrophisation..... | 55 |
| 5. Conclusion | 58 |
| Bibliographie..... | 59 |
| Annexes..... | 60 |

Liste des figures

| | |
|--|-----------|
| Figure 1-1. Localisation de la STEP d'Arzon et de son point de rejet | 11 |
| Figure 1-2. Demandes de compléments au dossier d'évaluation Natura 2000 – STEP d'Arzon . | 12 |
| Figure 3-1. Localisation de la zone d'étude et du point au large | 14 |
| Figure 3-2. Rose des vents réalisée à partir des données de vent extraites du modèle Homere au point d'extraction Homere entre janvier 1994 et avril 2020..... | 15 |
| Figure 3-3. Corrélogramme réalisé à partir des données de vent extraites du modèle Homere au point d'extraction Homere entre janvier 1994 et avril 2020..... | 16 |
| Figure 3-4 : Rose des vents mensualisés | 17 |
| Figure 3-5 : Evolution des conditions de vent de 1994 à 2020. | 17 |
| Figure 3-6 Rose des houles réalisée à partir des données de houle extraites du modèle Homere au point d'extraction Homere entre janvier 1994 et avril 2020. | 19 |
| Figure 3-7 Corrélogrammes Tp/ Hm_0, Dp/ Hm_0 et Dp/Tp réalisés à partir des données de houle extraites du modèle Homere au point d'extraction Homere entre janvier 1994 et avril 2020..... | 20 |
| Figure 3-8 : Histogramme des houles réalisé à partir des données de houle extraites du modèle Homere au point d'extraction Homere entre janvier 1994 et avril 2020..... | 21 |
| Figure 3-9 : Evolution des conditions de houle de 1994 à 2020. | 21 |
| Figure 3-10 : Boîte à moustaches de la variabilité mensuelle en Hm_0. La boîte représente l'intervalle entre le premier et le troisième quartile, la médiane et la moyenne sont représentées respectivement par des traits pleins et pointillés vert. Les valeurs extrêmes sont représentées par des points..... | 22 |
| Figure 3-11. Carte des différents sites d'observation de la marée entre dans la zone de marée Loire (SHOM 2022)..... | 23 |
| Figure 3-12 : Maillage interpolé sur le MNT réalisé..... | 27 |
| Figure 3-13 : Comparaison des niveaux d'eau mesurés et modélisés au niveau du marégraphe. | 28 |
| Figure 3-14 : Surcotes et décotes mesurées et prévues sur la période modélisée (SHOM). | 29 |
| Figure 3-15 : Position des 4 points d'extraction. | 32 |
| Figure 3-16 : Mosaïque des courants au niveau de la zone d'étude pour des conditions estivales de mortes eaux. | 33 |
| Figure 3-17 : Houles modélisées au niveau de la zone d'étude pour des conditions de mortes eaux estivales (à gauche) et hivernales (à droite). | 34 |
| Figure 3-18 : Courants moyens sur un cycle de marée au niveau de la zone d'étude dans des conditions estivales de mortes eaux..... | 34 |
| Figure 3-19: Courants moyens sur un cycle de marée au niveau de la zone d'étude dans des conditions hivernales de mortes eaux..... | 35 |

| | |
|--|-----------|
| Figure 3-20 : Evolution de la concentration en E.coli (ufc/100ml) au cours d'un cycle de marée de mortes eaux dans des conditions estivales..... | 36 |
| Figure 3-21 : Carte des concentrations en E.coli maximales atteintes lors des scénarios de mortes eaux au niveau de la zone d'étude. Conditions hivernales en haut, mi saison au milieu et estivales en bas..... | 37 |
| Figure 3-22 : Série temporelle des concentrations en E.coli (ufc/100ml) au niveau des points d'extractions pour le scénario de conditions de estivales lors d'une marée de mortes-eaux.... | 38 |
| Figure 3-23 : Mosaïque des courants modélisés pour des conditions hivernales de vives-eaux..... | 39 |
| Figure 3-24 Evolution de la concentration en E.coli (ufc/100ml) au cours d'un cycle de marée de vives eaux dans des conditions hivernales..... | 40 |
| Figure 3-25 : Carte des concentrations maximales atteintes lors du scénario estival de vives eaux..... | 41 |
| Figure 3-26 : Série temporelle des concentrations en E.coli (ufc/100ml) au niveau des points d'extractions pour le scénario de conditions mi-saison lors d'une marée de vives-eaux. | 41 |
| Figure 3-27. Classement 2024 de la qualité des eaux de baignades à proximité du point de rejet (source image : https://www.baignades.sante.gouv.fr/baignades/homeMap.do#) | 43 |
| Figure 4-1. Localisation des sites Natura 2000 aux alentours du point de rejet de la STEP..... | 45 |
| Figure 4-2. Répartition des habitats d'intérêt communautaire à proximité du point de rejet | 49 |
| Figure 4-3. Evolution surfacique des herbiers de zostères au sein de l'aire d'étude (Source : OFB/i-Sea, 2023) | 50 |
| Figure 4-4. Données existantes de cartographie des herbiers de zostère à proximité du point de rejet (Source : OFB/l-sea (2023))..... | 51 |
| Figure 4-5. Modélisation du panache de salinité minimum atteint lors de marée de mortes seaux en été | 53 |
| Figure 4-6. Contribution des différentes sources d'azote (graphique issu de la synthèse des éléments de connaissance sur les phénomènes d'algues vertes sur vasières, SMLS 2020). | 55 |

Liste des tableaux

| | |
|---|-----------|
| Tableau 2-1. Niveaux de rejets proposés (issus de l'étude d'incidence du dossier de renouvellement de l'autorisation de rejet du système d'assainissement de la station de Kerners à Arzon) | 13 |
| Tableau 3-1 : Tableau de synthèse des tailles des mailles..... | 26 |
| Tableau 3-2 : Synthèse des scénarios modélisés..... | 31 |
| Tableau 3-3 : Classes de qualité des eaux de baignade en fonction de la concentration en E.coli (https://www.baignades.sante.gouv.fr)..... | 42 |
| Tableau 3-4 : Classement sanitaire pour la conchyliculture en fonction de la concentration en E.coli (https://www.baignades.sante.gouv.fr)..... | 43 |
| Tableau 4-1. Liste des habitats d'intérêt communautaire de la ZSC "Golfe du Morbihan, côte ouest de Rhuys" concernés par l'étude (source : FSD)..... | 47 |
| Tableau 4-2. Analyse de l'incidence du panache de dessalure sur les habitats du site Natura 2000 : proportion de surface de l'habitat exposée au panache et sensibilité de l'habitat à la pression de dessalure..... | 54 |
| Tableau 4-3. Proportion des habitats du site Natura 2000 exposés au panache de dispersion de E. coli | 54 |
| Tableau 4-4. Analyse de l'incidence sur les habitats du site Natura 2000 de l'enrichissement en azote : proportion de surface de l'habitat exposée au panache et sensibilité de l'habitat à la pression d'enrichissement en nutriment..... | 56 |

Liste des annexes

Annexe 1. Courrier de réponse de Golfe du Morbihan Vanne Agglomération adressé à la DDTM
..... 60

Liste des abréviations, sigles et acronymes

DDTM Direction départementale des
territoires et de la mer

DOCOB Document d'objectif d'un site
Natura 2000

FSD Formulaire Standard de Données

OFB Office Français de la Biodiversité

ZPS Zone de Protection Spéciale

ZSC Zone Spéciale de Conservation

1. Introduction

Le système d'assainissement de la station d'épuration de Kerners est implanté sur le territoire de la communauté d'agglomération Golfe du Morbihan - Vannes agglomération. Ce système s'étend sur les communes de Arzon et Sarzeau. Le transfert d'effluents est en totalité séparatif. La station d'épuration a été mise en service en 1998.

Bien adaptés aux besoins actuels et futurs, la station d'épuration et son réseau de collecte seront pérennisés. L'arrêté d'autorisation de ce système d'assainissement doit toutefois être renouvelé (autorisation jusqu'au 31 décembre 2007). Golfe du Morbihan Vannes Agglomération porte le dossier de renouvellement de l'autorisation du système d'assainissement.



Figure 1-1. Localisation de la STEP d'Arzon et de son point de rejet

Les eaux traitées issues de la station d'épuration de Kerners sont rejetées dans l'Océan Atlantique au niveau du chenal d'accès au Port du Crouesty (cf. Figure 1-1. Localisation de la STEP d'Arzon et de son point de rejet ci-dessus), à environ 2 km au sud-ouest de la station d'épuration de Kerners. La masse d'eau réceptrice est le Golfe du Morbihan (large) (code FRGC38). Le code Sandre de l'ouvrage de rejet est OR0456005S0001, et sa position est la suivante (Lambert 93) :

- ▶ X : 6732240.59,
- ▶ Y : 256361.05.

Le point de rejet est également situé dans une Zone Spéciale de Conservation (ZSC) et à moins d'un kilomètre d'une zone de protection spéciale (ZPS).

A la suite du dépôt du dossier de renouvellement de l'autorisation environnementale du système d'assainissement d'Arzon - Kerners, une demande de compléments a été faite par la DDTM du Morbihan. Ces compléments concernent l'évaluation des incidences au titre de Natura 2000 et sont détaillés dans la figure ci-dessous :

Une évaluation des incidences au titre de NATURA 2000 plus poussée est demandée, les éléments suivants doivent y apparaître :

- des modélisations, à la capacité nominale de la station de traitement des eaux usées d'Arzon, du panache du rejet de la station de traitement des eaux usées d'Arzon sont demandées :

- Elles concerneront l'azote, le phosphore et l'E Coli.
- Elles couvriront une durée de douze heures démarrant 1 heure après l'étape de la haute mer (au pas de temps de deux heures).
- Elles devront être réalisées, dans les conditions de morte eau et de vive eau.

- une cartographie des habitats marins dans la zone d'influence du rejet ,

- une superposition entre les habitats marins d'intérêts communautaires et le panache de dispersion dû au point de rejet de la station de traitement des eaux usées d'Arzon

- une évaluation des incidences potentielles des rejets de la station de traitement des eaux usées d'Arzon et les habitats marins d'intérêt communautaires connus dans la zone d'influence du projet, et la mise en œuvre de la séquence « ER » en cas d'impacts prévisibles.

Figure 1-2. Demandes de compléments au dossier d'évaluation Natura 2000 – STEP d'Arzon

La modélisation des paramètres azote et phosphore a été retirée de la demande de complément. Par courriel en date du 17 mars 2025, Golfe du Morbihan Vannes Agglomération a sollicité ce retrait et l'a justifié dans un courrier de réponse adressé à la DDTM (cf. courrier en annexe 1). La DDTM a validé cette demande et a confirmé, dans un courriel de réponse en date du 16 mai 2025, la seule modélisation du paramètre de *E. coli*.

La présente étude constitue une réponse à cette demande de compléments concernant la modélisation du panache de rejet concernant *E. coli* et l'évaluation des incidences Natura 2000.

2. Rappel sur le rejet de la station

Le rejet est effectué via un bassin à marée, uniquement à marée descendante (1h après l'étalement de haute mer sur une durée de 5h maximum) afin d'assurer une meilleure dispersion du rejet vers le large.

Pour rappel, dans le cadre du renouvellement de l'autorisation du système d'assainissement de Kerners il est proposé :

- de maintenir les prescriptions des arrêtés du 5 Mars 1997 et 19 janvier 2012 et de les reconduire pour le renouvellement d'autorisation de rejet.
- de passer la conformité sur les paramètres azotés en moyenne annuelle, tel qu'indiqué dans l'arrêté du 21/07/2015, et non plus en moyenne journalière.

Les niveaux de rejets proposés pour le renouvellement de l'autorisation de la STEP sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2-1. Niveaux de rejets proposés (issus de l'étude d'incidence du dossier de renouvellement de l'autorisation de rejet du système d'assainissement de la station de Kerners à Arzon)

| Niveaux de rejet proposés | | | | |
|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|---------------------|
| Paramètres | Concentration maximale (mg/L) | Concentration rédhibitoire (mg/L) | Rendement minimal (%) | Flux maximal (kg/j) |
| DBO5 (*) | 25 | 50 | 80 | 115 |
| DCO (*) | 90 | 180 | 75 | 416 |
| MES (*) | 30 | 75 | 90 | 138 |
| NGL (**) | 15 | - | 70 | 70 |
| Ptot (**) | 1 | - | 80 | 4,7 |

(*) Exigence définie pour un échantillon moyen 24h

(**) Exigence définie en moyenne annuelle

La hausse prévue des charges traitées et rejetées par le système d'assainissement à horizon 2038 est relativement limitée (+6 %).

3. Modélisation

3.1. Recueil des données météo-océaniques

Afin d'analyser les conditions hydrodynamiques auxquelles le site d'étude est soumis, une étude sur une longue période est nécessaire. Les données de vent et de houle ont été extraites à partir de la base HOMERE de l'Ifremer. Ces données couvrent un point situé à l'ouest d'Arzon et ont été utilisées pour calculer des valeurs statistiques caractéristiques.

La base HOMERE fournit des informations détaillées sur les caractéristiques de la houle (hauteur significative, période, direction) ainsi que sur les vents et conditions météorologiques influençant la propagation de la houle. Ces données, largement utilisées en recherche scientifique et en modélisation, permettent d'établir une analyse précise des conditions environnementales.

Le point sélectionné est situé aux coordonnées suivantes :

- ▶ Longitude : -3.4°W ;
- ▶ Latitude : 47.4°N .

La Figure 3-1 illustre la position du point en lien avec la zone d'étude. Toutes les caractéristiques analysées dans ce chapitre en sont issues.

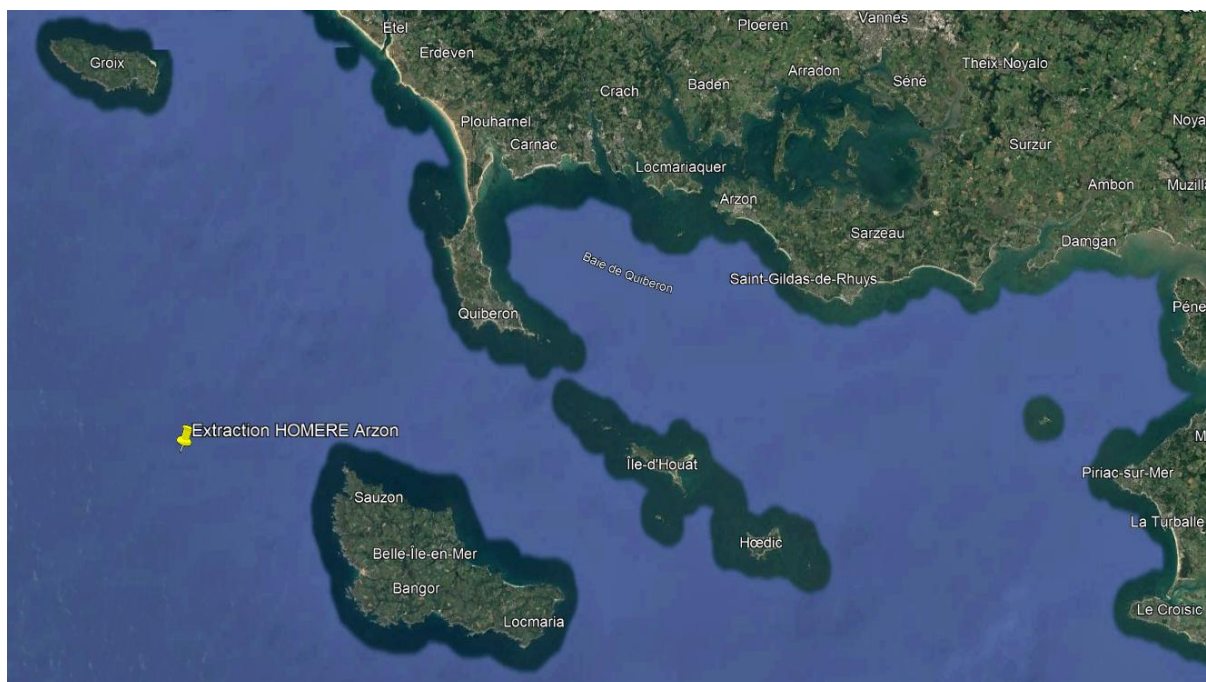


Figure 3-1. Localisation de la zone d'étude et du point au large

3.1.1. Analyse des vents

La base de données HOMERE contient également des données de vent. Ces données sont issues du modèle ERA 5. Le modèle **ERA5** est une réanalyse météorologique et climatique développée par le **Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme (ECMWF)**. Il fournit des données atmosphériques, terrestres et océaniques globales avec une résolution spatiale fine (environ **31 km**) et une résolution temporelle horaire. ERA5 couvre une période historique longue, de 1950 à

aujourd'hui, et inclut des variables telles que la vitesse et la direction du vent, la température, la pression et les précipitations.

Les données de vent sont extraites au niveau du point Homere choisi et ont donc une résolution temporelle horaire sur la période 1994-2020 et ont été convertis en vents moyennés sur 10 minutes en utilisant la formule fournie par les recommandations ROSA 2000.

La vitesse du vent au large d'Arzon varie de manière importante au cours des saisons. Les vents durant la période hivernale sont plus intenses que ceux de la période estivale. On observe en effet une vitesse moyenne du vent entre octobre et avril de l'ordre de 9m/s (environ 32km/h, période hivernale) et une vitesse moyenne de 6.3m/s (environ 22 km/h) entre avril et octobre (période estivale).

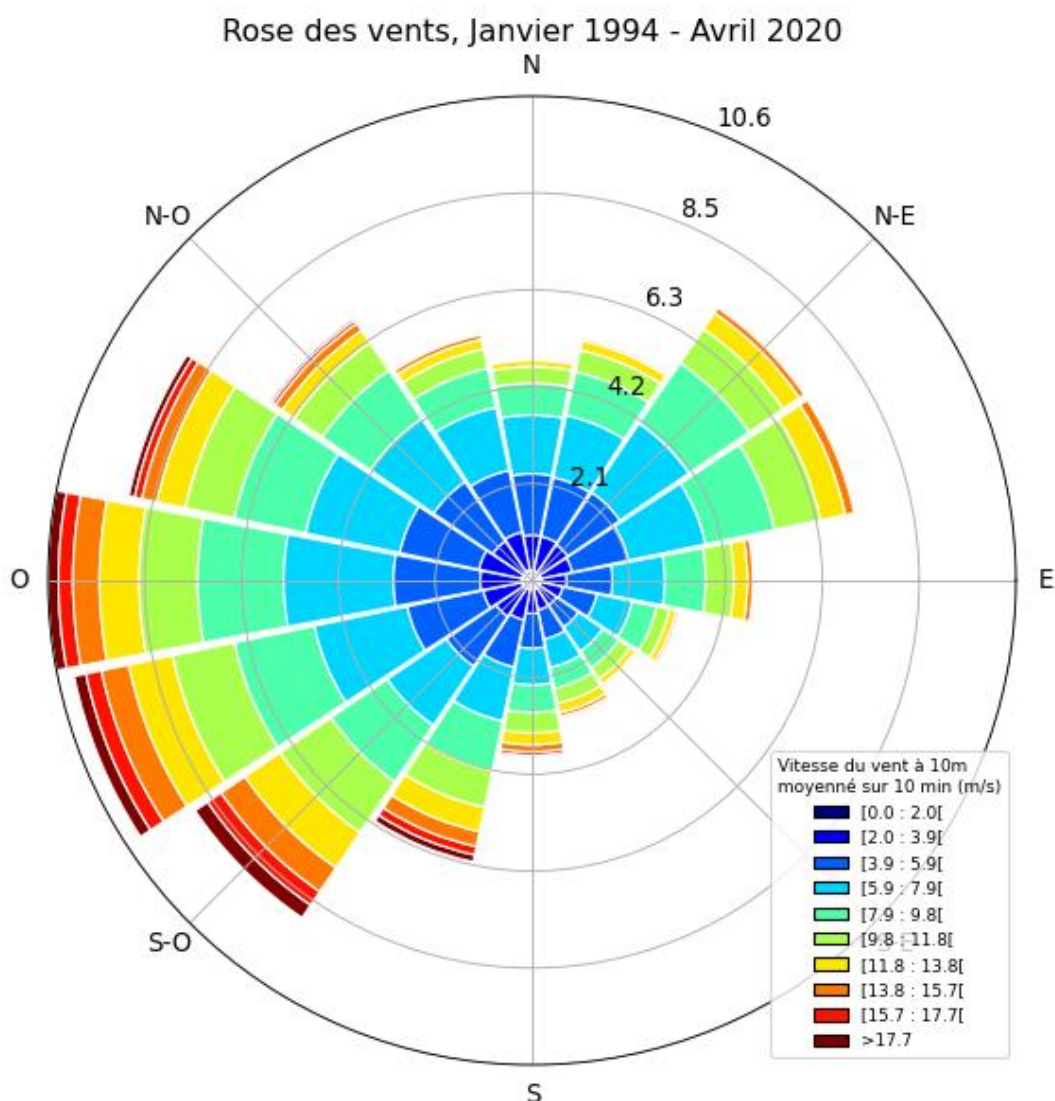


Figure 3-2. Rose des vents réalisée à partir des données de vent extraites du modèle Homere au point d'extraction Homere entre janvier 1994 et avril 2020

GOLFE DU MORBIHAN – VANNES AGGLOMERATION
RENOUVELLEMENT DE L'AUTORISATION DE REJET DU SYSTEME D'ASSAINISSEMENT D'ARZON

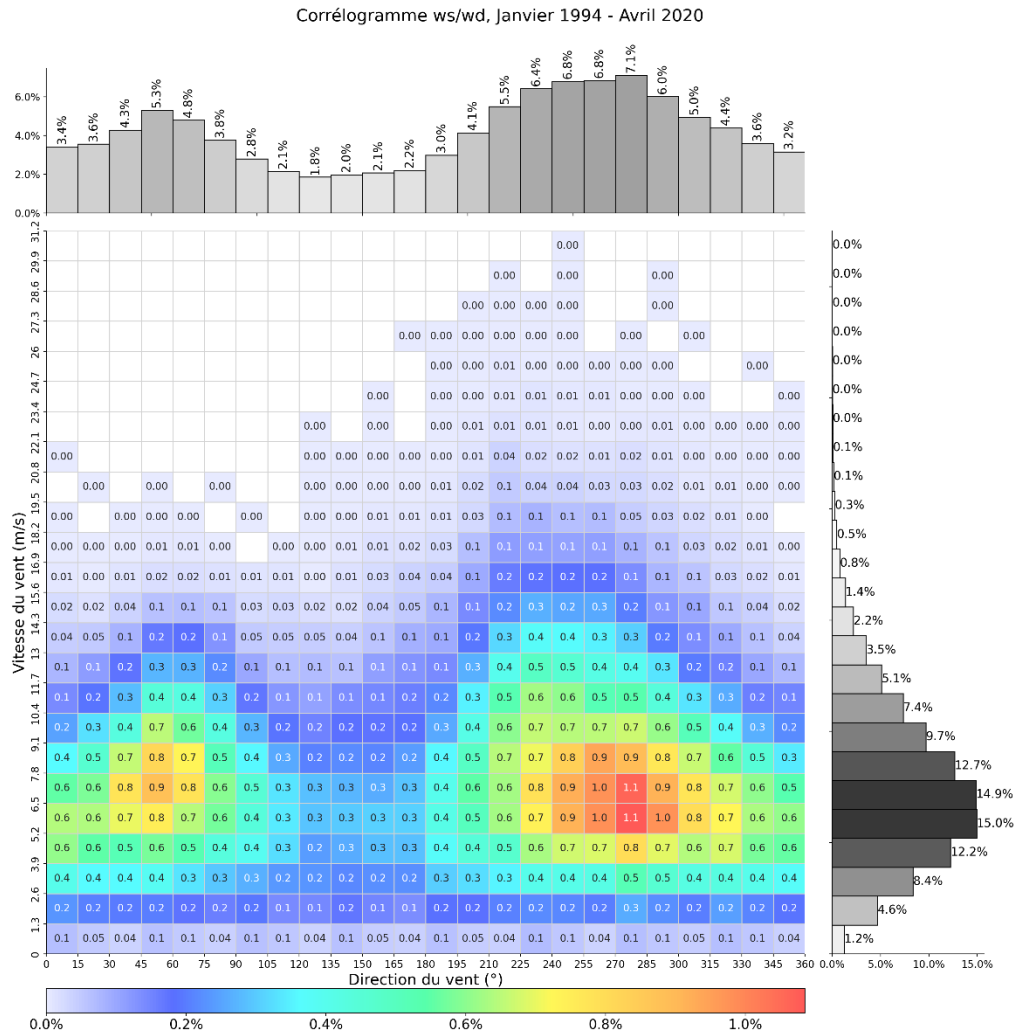


Figure 3-3. Corrélogramme réalisé à partir des données de vent extraites du modèle Homere au point d'extraction Homere entre janvier 1994 et avril 2020

GOLFE DU MORBIHAN – VANNES AGGLOMERATION
RENOUVELLEMENT DE L'AUTORISATION DE REJET DU SYSTEME D'ASSAINISSEMENT D'ARZON

Rose des vents, janvier 1994 - Avril 2020

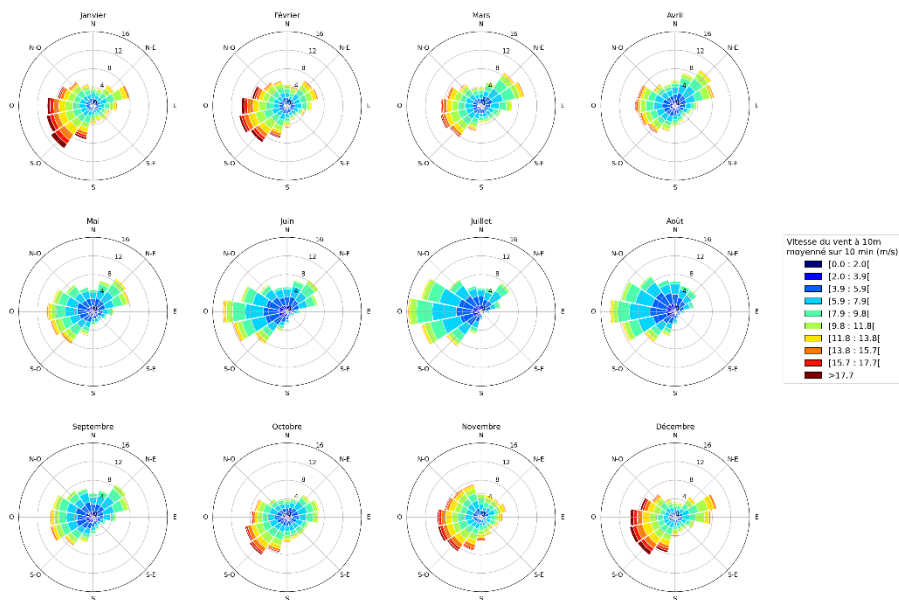


Figure 3-4 : Rose des vents mensualisés

Moyenne et tendance trimestrielle et saisonnière de vent, janvier 1994 - Avril 2020

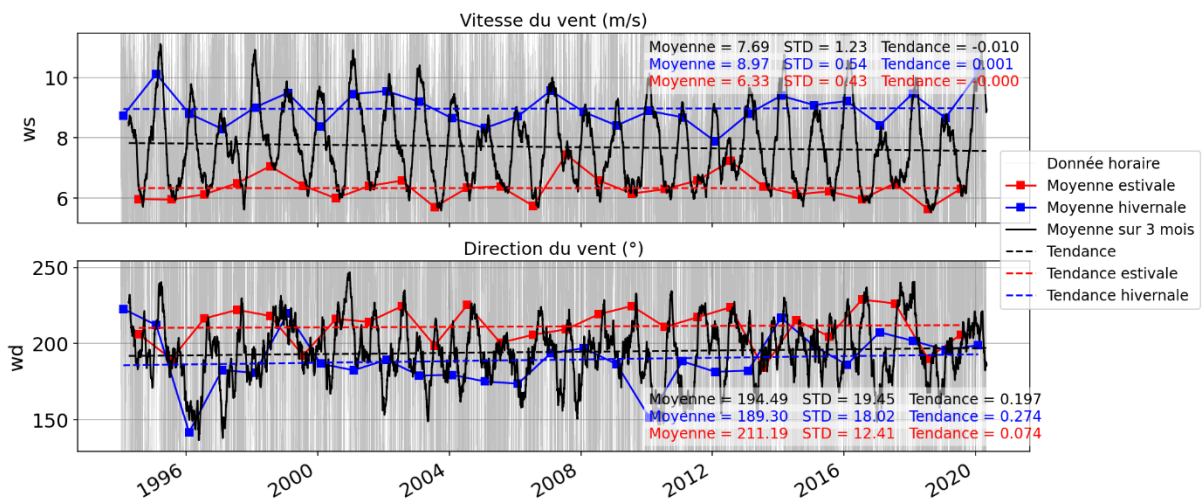


Figure 3-5 : Evolution des conditions de vent de 1994 à 2020.

Résumé des constats :

- **Distribution directionnelle :**

La Figure 3-2 présente la rose des vents basée sur les données HOMERE de 1994 à 2020. Les vents proviennent de tous les secteurs, avec une prédominance marquée des secteurs Ouest à Sud-ouest et Nord-est.

- **Variabilité saisonnière et long terme :**

- Les vents dépassent 15 m/s environ 24 heures par mois.
- Les vitesses moyennes maximales (10 minutes) atteignent environ 31 m/s.
- Une variabilité saisonnière significative est observée. Les vents sont généralement plus intenses durant la période hivernale et les climats de vent de nord-est sont plus fréquents vers la fin de l'hiver et au printemps. (Figure 3-9).

3.1.2. Analyse de la houle

Les données de houle ont été extraites de la base de données HOMERE pour la période 1994-2020. Ces données offrent une vision détaillée des caractéristiques des houles dominantes au point d'extraction.

3.1.2.1. Distribution des houles

La Figure 3-6 et la Figure 3-8 illustrent respectivement la rose des houles et l'histogramme de leur répartition. La rose des houles met en évidence que la houle provient quasi systématiquement du secteur Ouest, confirmant une dominance marquée de ces directions.

Pour une analyse plus approfondie, des corrélogrammes $Hm0/Tp$, $Hm0/Dp$ et Tp/Dp ont été réalisés (Figure 3-7). Ces corrélogrammes permettent de visualiser les relations entre hauteur significative ($Hm0$), période de pic (Tp) et direction de propagation (Dp) de la houle.

3.1.2.2. Variabilité temporelle

L'évolution des conditions de houle entre 1994 et 2020 est présentée en Figure 3-9. Une forte variabilité saisonnière est observable, aussi bien en termes de hauteur significative que de période. En particulier, les mois d'octobre à mars se révèlent les plus énergétiques, tandis que la période d'avril à septembre est globalement plus calme. Cette tendance est confirmée par les diagrammes en boîtes à moustaches (Figure 3-10), qui illustrent la distribution mensuelle des hauteurs significatives ($Hm0$).

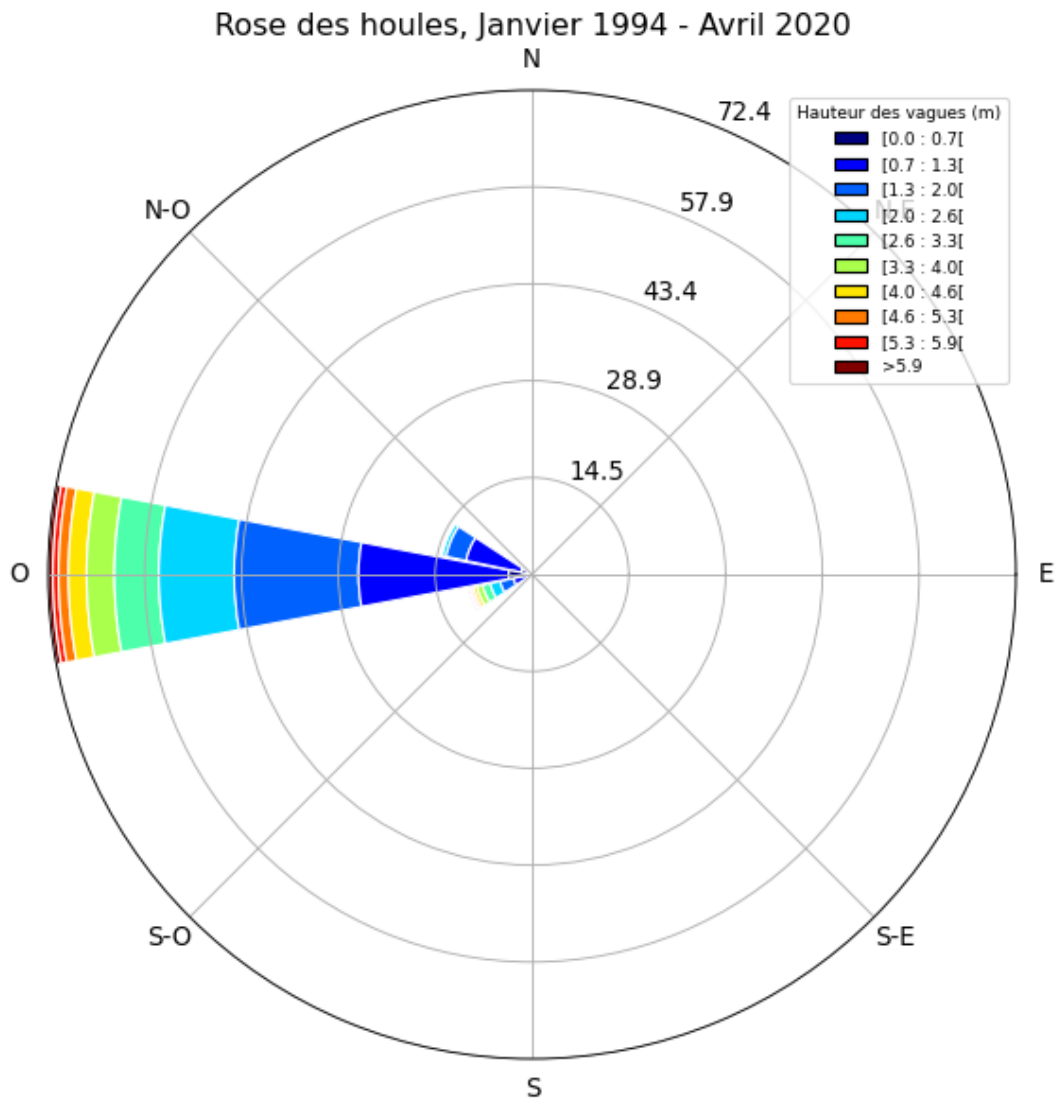


Figure 3-6 Rose des houles réalisée à partir des données de houle extraites du modèle Homere au point d'extraction Homere entre janvier 1994 et avril 2020.

GOLFE DU MORBIHAN – VANNES AGGLOMERATION

RENOUVELLEMENT DE L'AUTORISATION DE REJET DU SYSTEME D'ASSAINISSEMENT D'ARZON

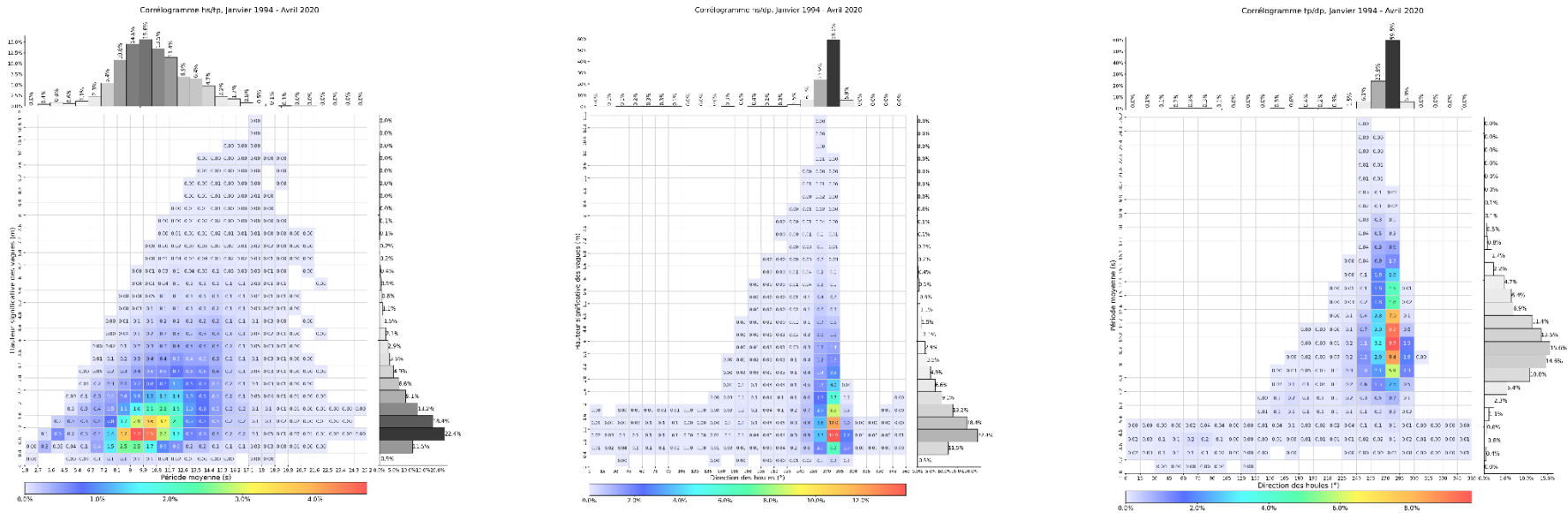


Figure 3-7 Corrélogrammes T_p/Hm_0 , D_p/Hm_0 et D_p/T_p réalisés à partir des données de houle extraites du modèle Homere au point d'extraction Homere entre janvier 1994 et avril 2020

Histogrammes de hs et tp au point d'extraction
 Janvier 1994 - Avril 2020

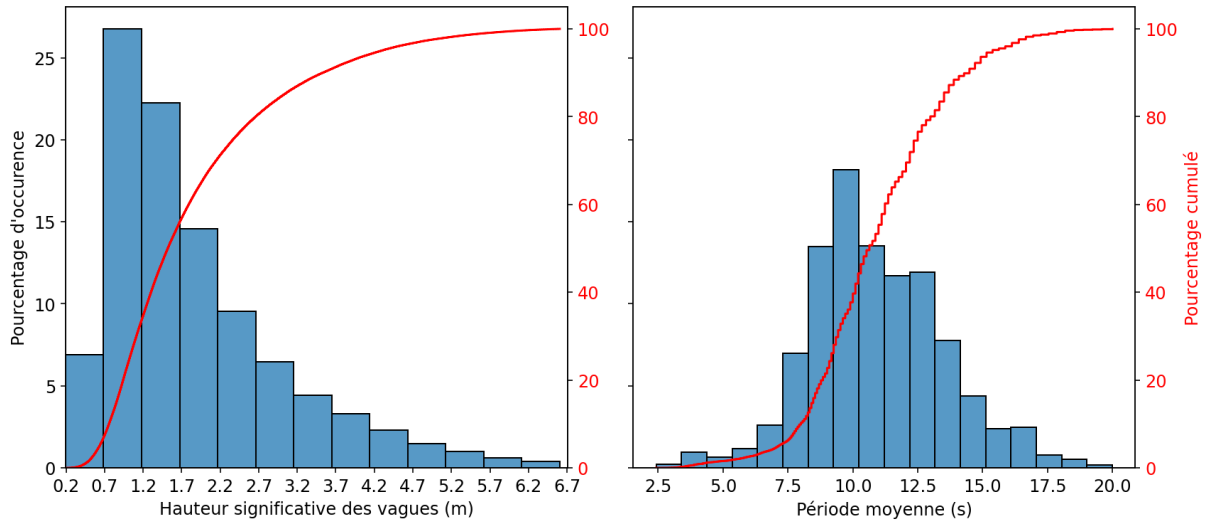


Figure 3-8 : Histogramme des houles réalisé à partir des données de houle extraites du modèle Homere au point d'extraction Homere entre janvier 1994 et avril 2020.

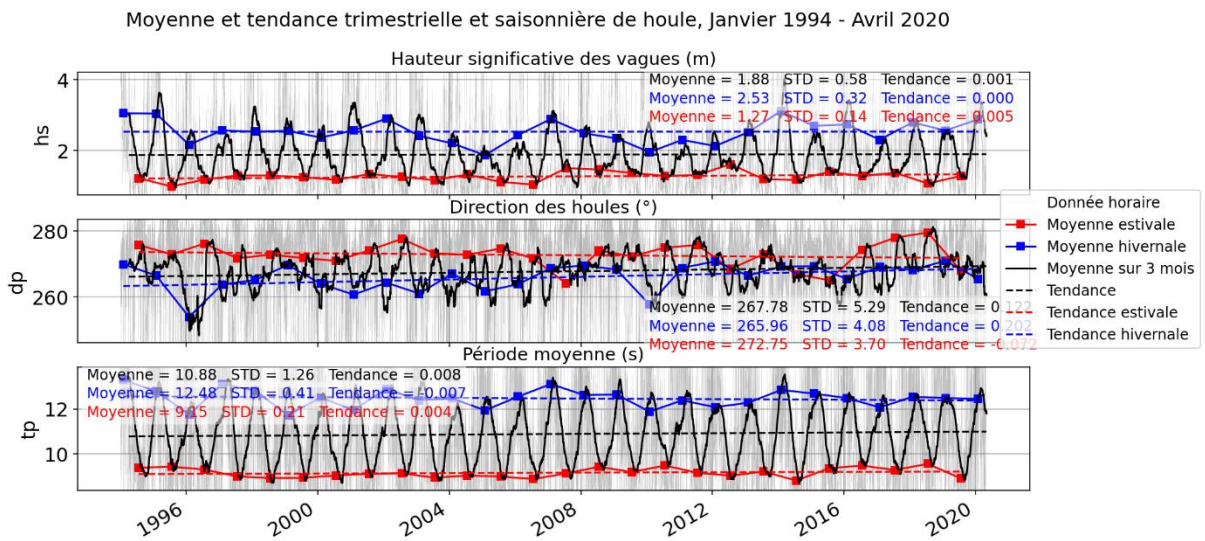


Figure 3-9 : Evolution des conditions de houle de 1994 à 2020.

Boxplot de la variabilité mensuelle des vagues, Janvier 1994 - Avril 2020

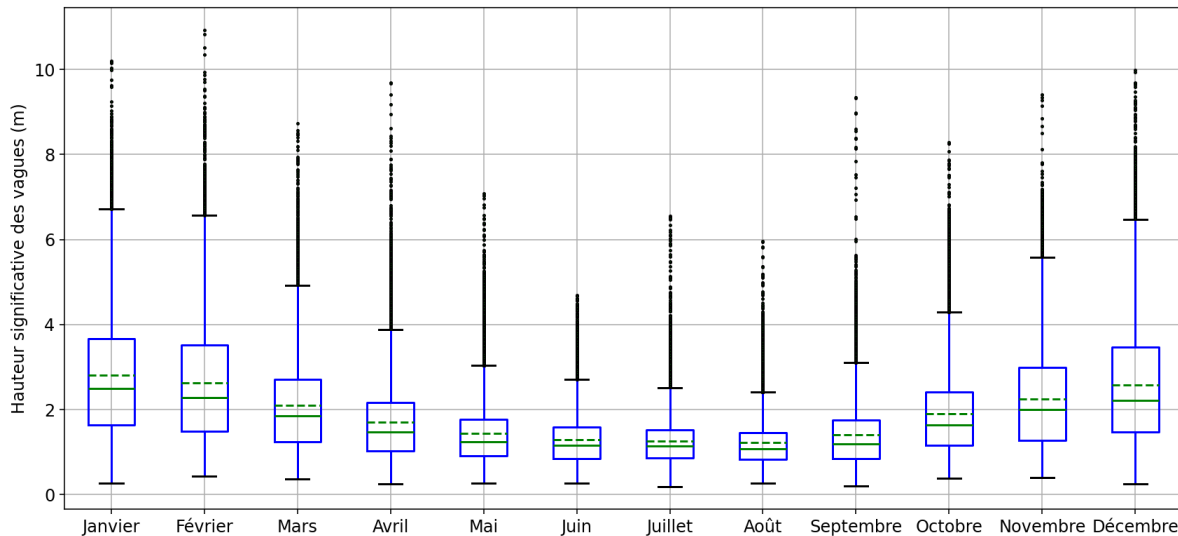


Figure 3-10 : Boîte à moustaches de la variabilité mensuelle en Hm0. La boîte représente l'intervalle entre le premier et le troisième quartile, la médiane et la moyenne sont représentées respectivement par des traits pleins et pointillés vert. Les valeurs extrêmes sont représentées par des points.

3.1.3. Résumé des conditions météo-océaniques et détermination des scénarios hydrodynamiques à modéliser

Les analyses statistiques permettent de dégager les observations suivantes :

- Plus de 95 % des vagues proviennent du secteur Ouest-Nord-Ouest à Ouest-Sud-Ouest.
- Les vagues les plus hautes, dépassant 10 m de hauteur significative, viennent principalement de l'Ouest.
- Les hauteurs significatives des houles sont de l'ordre de 2,5m en hiver contre 1,3m en été.
- Les houles les plus longues proviennent de l'Ouest-sud-ouest, avec des périodes de pic pouvant dépasser les 20 secondes. Les périodes moyennes au point d'extraction sont de l'ordre de 11s.
- A l'instar des houles les vents les plus puissants sont observables durant la période hivernale et la direction prédominante du vent est l'ouest. Les vents moyens en hiver sont de l'ordre de 9m/s contre 6,3m/s en été
- Le vent a une variabilité directionnelle beaucoup plus importante que la houle puisque du vent venant de toutes les directions sont observables.

La dispersion et la diffusion du rejet de la station d'épuration sont fortement dépendantes de la courantologie locale. Cette courantologie est elle-même induite par différents phénomènes physiques mais principalement la marée, la houle et le vent. C'est pourquoi nous allons déterminer différentes conditions de forçage usuelles, produisant des conditions hydrodynamiques les plus distinctes possibles ce qui permettra, in fine, d'estimer les emprises maximales d'influence du rejet de la STEP.

La précédente étude statistique a mis en évidence différentes conditions météo-océanographiques usuelles, et dans le cadre de cette étude, nous en retiendrons 3 :

- ▶ Des conditions hivernales, avec des houles et un vent énergétique ;
- ▶ Des conditions estivales, avec des houles et un vent faible ;
- ▶ Des conditions mi-saison avec des houles moyennes et un vent moyen de nord-est.

Chacune de ces 3 conditions météo-océanographique sera modélisée lors de marée de vives eaux et mortes eaux, ce qui conduira à la réalisation d'un total de 6 scénarios de modélisation.

3.1.4. Généralités sur la marée

La marée au niveau du golfe du Morbihan est caractérisée par un régime semi-diurne, avec deux pleines mers et deux basses mers par jour lunaire (environ 24 h 50 min). La période séparant deux pleines mers successives est d'environ 12 h 25 min, entraînant un décalage quotidien d'environ 50 minutes. Ce littoral relève d'un régime dit « mésothétial », avec un marnage typique de l'ordre de 3 à 6 mètres.

La configuration géographique du Golfe de Gascogne, doté d'un large plateau continental et d'une bathymétrie graduelle, limite la concentration des masses d'eau observée dans les golfes en entonnoir. En période de vives-eaux (coefficient ≈ 95), les amplitudes atteignent en moyenne 4,6 m au port du Crouesty, tandis que les grandes marées peuvent approcher 6 m (coefficients > 100). Les courants de marée s'intensifient à l'approche des côtes.

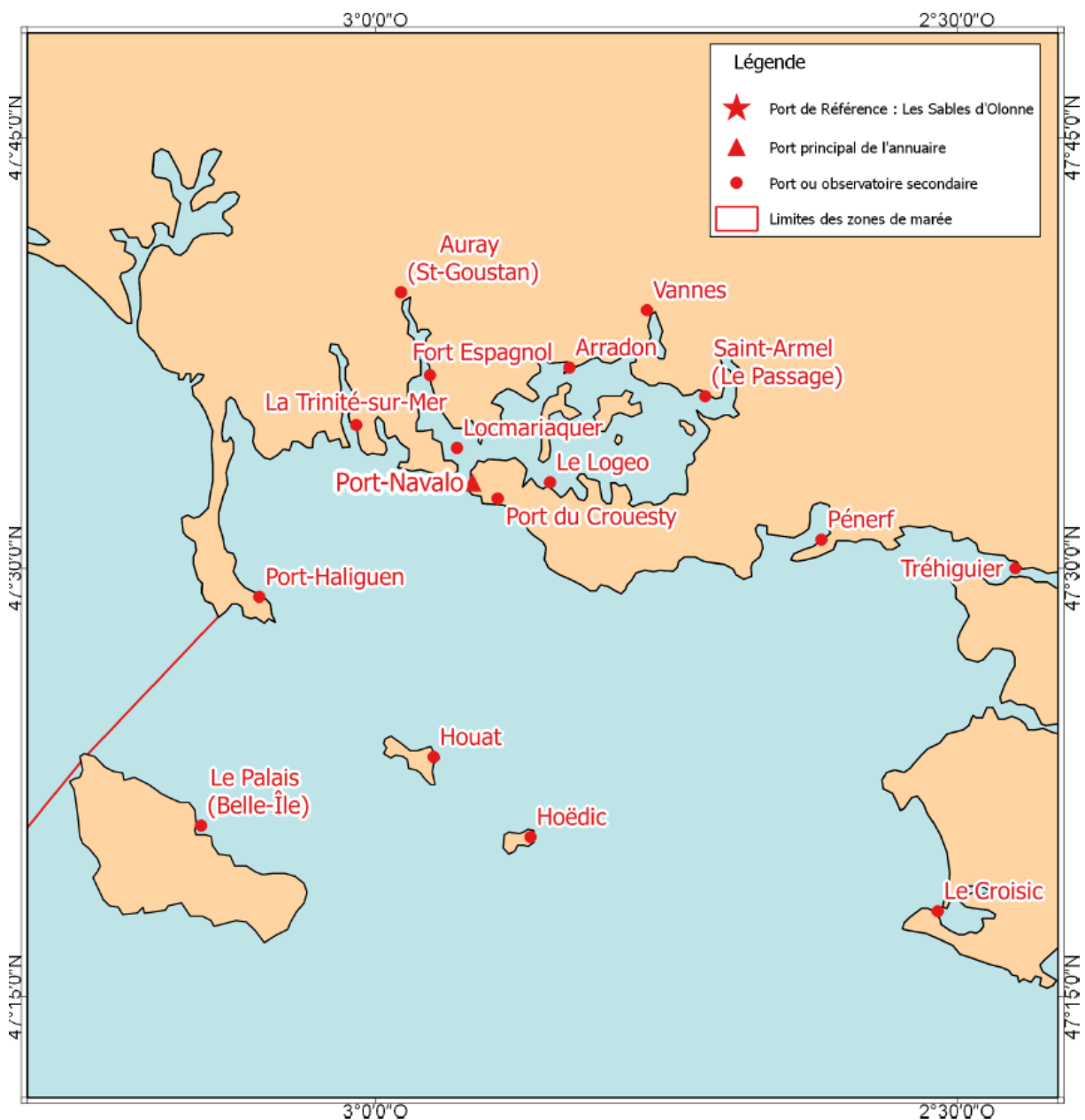


Figure 3-11. Carte des différents sites d'observation de la marée entre dans la zone de marée Loire (SHOM 2022)

3.2. Stratégie de modélisation

L'objectif principal du système de modélisation développé par CREOCEAN est de simuler le plus précisément possible les courants, les niveaux d'eau et la diffusion du rejet de la station d'épuration.

3.2.1. Principes généraux du système de modélisation

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-3D
- ▶ Modèle de qualité de l'eau : WAQTEL

3.2.1.1. Modélisation de la propagation de la houle avec le modèle spectral TOMAWAC

Le modèle spectral TOMAWAC permet le calcul des paramètres caractéristiques de la houle sur les domaines côtiers, les lacs, et les estuaires à partir de conditions de houle fournies aux limites du domaine modélisé et/ou de conditions de vent. Il s'agit d'un modèle spectral : la houle est décrite à travers la répartition de l'énergie en fréquences et en directions. Le modèle est basé sur la résolution des équations de conservation de la densité d'action de houle en conditions stationnaires. Le modèle permet ainsi la prise en compte de la majeure partie des phénomènes influant sur la génération et la propagation d'une houle sur un domaine côtier :

- ▶ Phénomènes de réfraction liés à l'évolution des fonds et/ou à l'interaction avec le courant ;
- ▶ Génération des vagues par le vent ;
- ▶ Dissipation de l'énergie par frottement sur le fond ;
- ▶ Dissipation de l'énergie par déferlement ;
- ▶ Interaction des houles ;
- ▶ Shoaling (gonflement des houles avant déferlement).

3.2.1.2. Modélisation hydrodynamique/courantologique avec le modèle TELEMAC-3D

Le modèle courantologique TELEMAC-3D permet de simuler la dynamique des masses d'eau et les écoulements en tenant compte :

- ▶ Des variations de profondeur liées à la marée ;
- ▶ Des courants induits par les vagues simulées par le modèle TOMAWAC ;
- ▶ Des variations de niveaux induits par le vent et les vagues simulées par le modèle TOMAWAC (set-up).

Le modèle mis en place utilise une méthode des éléments finis sur des maillages triangulaires. La représentation des courants et des propriétés physiques de l'eau est réalisée sur l'intégralité de la zone d'étude et permet d'évaluer avec précision le déplacement des masses d'eau en fonction des différentes conditions modélisées. Le code de calcul sera capable notamment de prendre en compte les phénomènes suivants :

- ▶ Frottements sur le fond ;
- ▶ Influence de phénomènes météorologiques : pression atmosphérique et vent ;
- ▶ Sources de fluide et de quantité de mouvement à l'intérieur du modèle ;
- ▶ Dissipation de l'énergie par turbulence ;
- ▶ Dispersion d'un Traceur (ici rejet de la STEP).

3.2.1.3. Modélisation de la qualité de l'eau avec le module WAQTEL

Le module WAQTEL résout l'équation d'advection-diffusion pour différents traceurs (substances transportées dans l'eau), tout en intégrant des termes sources qui décrivent leurs interactions biogéochimiques. Cela permet de modéliser à la fois leur transport, leur dispersion et leurs transformations internes.

Un exemple typique est la dégradation bactérienne (par ex. des bactéries *E. coli*). WAQTEL propose pour cela une loi de dégradation spécifique, basée sur une cinétique du premier ordre : la concentration du traceur diminue au fil du temps selon un coefficient T90, qui correspond au temps nécessaire pour que 90 % de la population bactérienne ou virale initiale disparaisse.

Plus largement, WAQTEL permet de représenter la plupart des processus influençant la qualité de l'eau :

- ▶ Dégradation des traceurs (loi de dégradation) ;
- ▶ Évolution de la température de l'eau (THERMIC), incluant les échanges de chaleur avec l'atmosphère ;
- ▶ Dynamique de l'oxygène dissous (O₂), en interaction avec la charge organique et ammoniacale ;
- ▶ Croissance du phytoplancton (BIOMASS) ;
- ▶ Eutrophisation (EUTRO), combinant oxygène dissous et biomasse algale ;
- ▶ Transport de micropolluants (MICROPOL), incluant les échanges avec les sédiments fins ;
- ▶ Couplage avec le modèle AED2, spécialisé en écologie aquatique.

3.2.1.4. Couplage des courants et de la houle

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.

3.3. Construction du système de modélisation

3.3.1. Maillage et bathymétrie

Le domaine de calcul s'étend du Croisic à Sainte-Barbe afin de pouvoir représenter correctement les marées, la propagation de la houle et ses courants associés ainsi que l'impact du vent sur la courantologie.

Le maillage en éléments finis autorise une grande souplesse dans la représentation des zones complexes et dans la distorsion entre mailles, ce qui permet de raffiner localement les mailles aussi précisément que nécessaire.

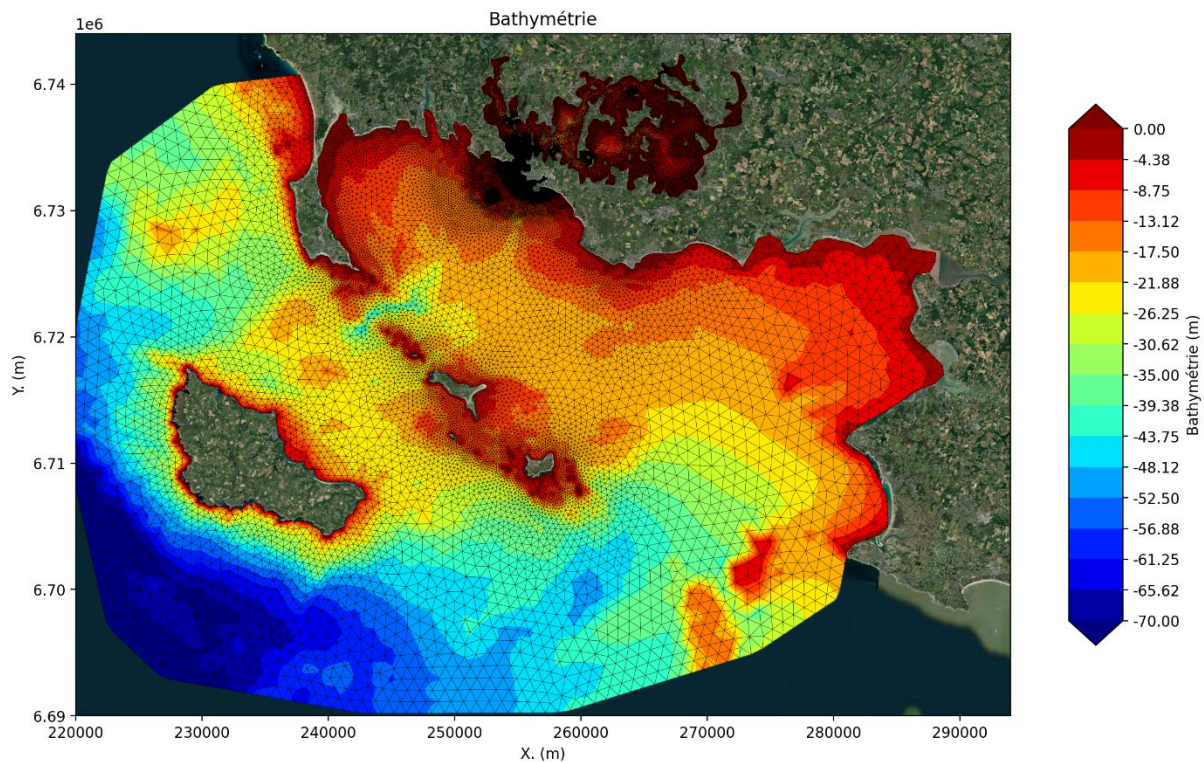
Dans les zones d'intérêt (secteurs proches du point de rejet de la STEP ou intégrant des phénomènes complexes à simuler), le maillage est fin. A l'extérieur des zones d'intérêt, le maillage est plus grossier avec des mailles allant jusqu'à 1km de large. Le maillage étant en 3D il a été défini sur 3 niveaux régulièrement espacés. La taille des mailles est fournie dans le Tableau 3-1. Nous utilisons un maillage différent pour la propagation de la houle et la courantologie. En effet, afin de respecter les critères de stabilité du modèle de houle spectrale, il est recommandé de définir des tailles de mailles plus importantes que pour le modèle courantologique, en particulier en zone peu profonde.

Tableau 3-1 : Tableau de synthèse des tailles des mailles.

| Zones | Taille des mailles (m) |
|--------------------------------------|------------------------|
| Autour du point de rejet | 5 |
| Alentours du port du Crouesty | 30 |
| Zone côtière et hauts fonds | 100 |
| Zone au large | 1000 |

Une bonne représentation de la bathymétrie est essentielle pour la précision des calculs de courantologie. Le modèle numérique de terrain (MNT) a été réalisé à partir de :

- ▶ MNT bathymétrique de façade Atlantique (projet HOMONIM du SHOM) pour la zone au large. Ce MNT à une résolution de 0.001° soit environ 100m.
- ▶ LITTO3D (SHOM) pour la zone proche de la côte et du site d'étude. Cette base de données altimétrique fournit une représentation tridimensionnelle de la forme et de la position du sol sur la frange littorale. Ce produit du SHOM est notamment accessible sous la forme de MNT de précision 1 et 5m. Pour les zones les plus proches des sites d'étude, le MNT de précision 1 mètre a été choisi et celui de 5 mètres a été préféré pour des zones plus éloignées.



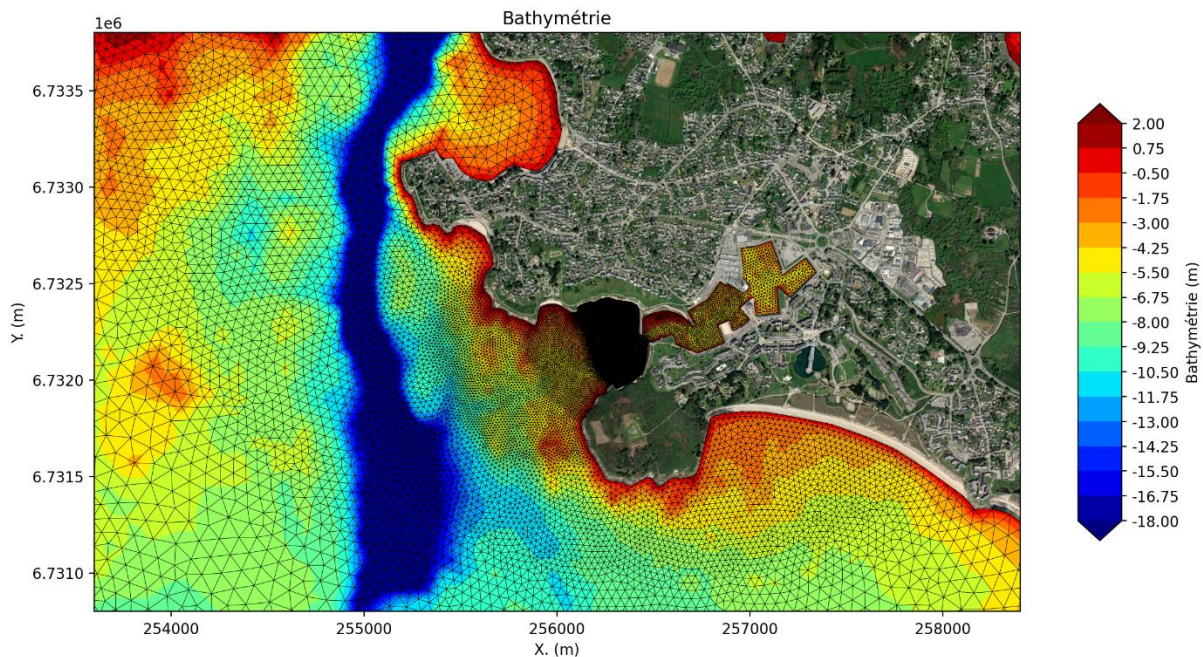


Figure 3-12 : Maillage interpolé sur le MNT réalisé.

3.3.2. Calibration de l'hydrodynamisme

L'objectif de cette partie est de valider la capacité du modèle à reproduire correctement les différents forçages hydrodynamiques au niveau de la zone d'étude à partir des mesures de niveaux d'eau du marégraphe du Crouesty. La validation repose sur la comparaison de ces mesures aux résultats de la modélisation.

3.3.2.1. Forçage du modèle hydrodynamique

Les données de marée proviennent du modèle de marées Atlantic Ocean de TPXO de résolution 1-12° (Egbert et Erofeeva 2002). Ce modèle de marée barotropique, centré autour de l'océan Atlantique force le système de modélisation en courants et niveaux d'eau et permet ainsi une bonne représentation des niveaux de marée.

Les mesures du marégraphe de Crouesty sont en accès gratuit sur le site du SHOM. Ce sont des mesures de niveau d'eau précises avec un pas de temps d'une minute. Ces mesures intègrent donc les variations des niveaux d'eau induits par les phénomènes atmosphériques contrairement au modèle TELEMAC développé qui ici ne sera forcé qu'avec la marée, ce qui pourra expliquer les potentiels écarts entre les résultats de modélisation et les mesures.

3.3.2.2. Validation du modèle

Nous avons choisi de calibrer notre modèle sur la période du 27 mars 2025 au 4 avril 2025, durée sur laquelle s'est produit un cycle complet de marées vives-eaux mortes-eaux. Ainsi le modèle est calibré sur une large gamme de marées ce qui renforce sa validation.

Les niveaux d'eau ont été calibrés en ajustant les coefficients sur les niveaux de marée forcés sur les frontières du modèle.

La Figure 3-13 montre les comparaisons entre les niveaux d'eau mesurés et modélisés. On observe **une forte corrélation entre le modèle et les mesures** avec une NRMSE (Normalized Root Mean Square Error) d'environ 3%.

On peut toutefois expliquer les erreurs observées par le fait que le modèle développé ne permet pas de modéliser la variation de niveau d'eau induite par les phénomènes atmosphériques. Le SHOM fournit les surcotes et décotes mesurées et prévues au niveau du marégraphe du Crouesty et on remarque

que les surcotes mesurées varient du même ordre de grandeur et de manière synchronisée avec les erreurs observées entre le modèle et les mesures.
Nous pouvons donc supposer qu'une part importante des erreurs observées sont dus à des phénomènes météorologiques.

Malgré les potentielles sources d'erreurs, **le modèle ainsi paramétré représente bien la variation des niveaux d'eau et est considéré comme calé.**

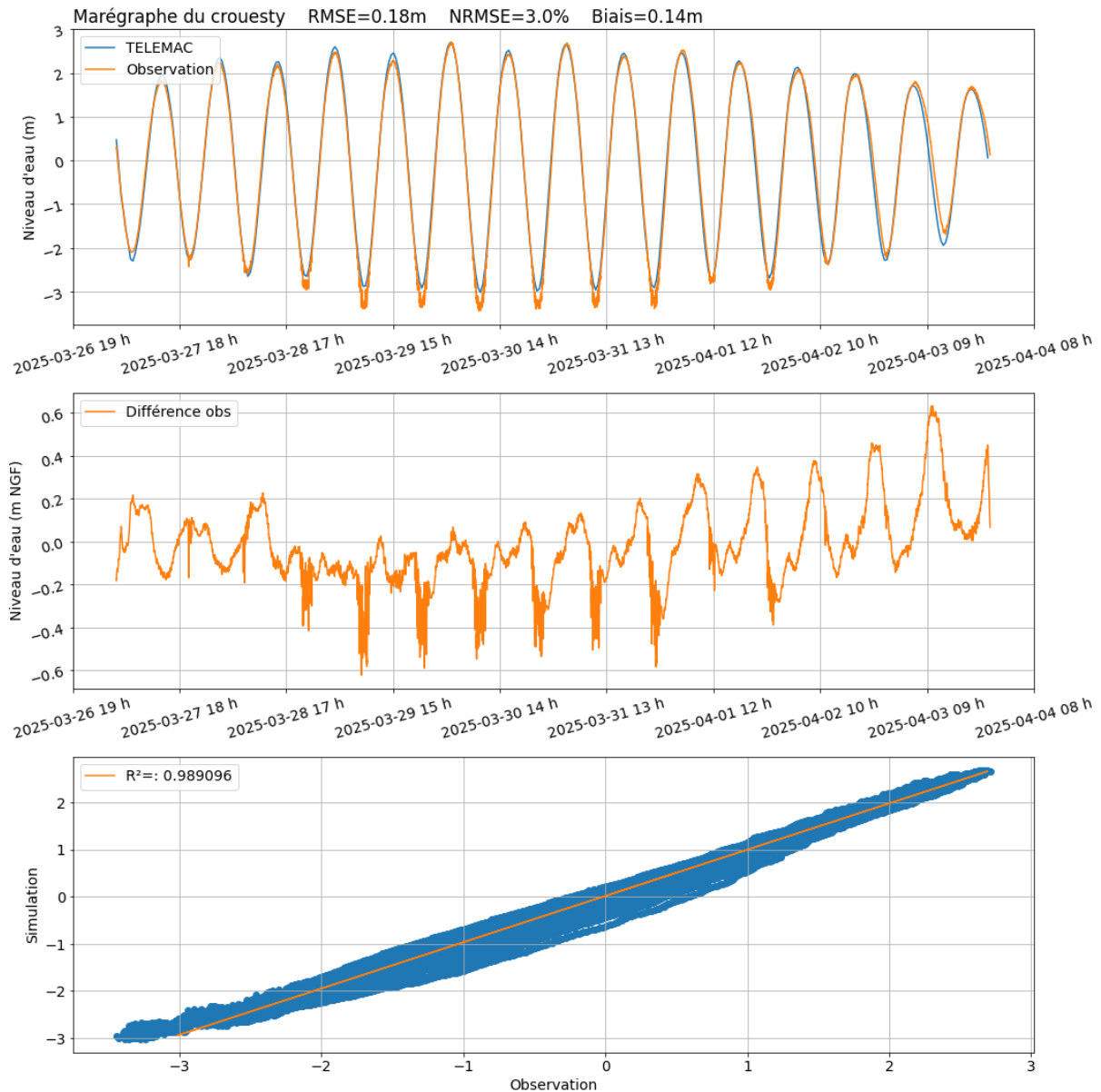


Figure 3-13 : Comparaison des niveaux d'eau mesurés et modélisés au niveau du marégraphe.

GOLFE DU MORBIHAN – VANNES AGGLOMERATION
RENOUVELLEMENT DE L'AUTORISATION DE REJET DU SYSTEME D'ASSAINISSEMENT D'ARZON

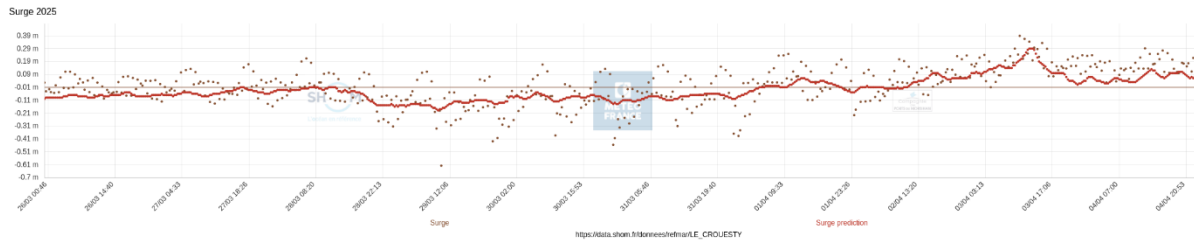


Figure 3-14 : Surcotes et décotes mesurées et prévues sur la période modélisée (SHOM).

3.4. Simulation des conditions hydrodynamiques

3.4.1. Scénarios simulés

Dans le cadre de cette étude, un total de 6 simulations sont réalisées. Ces 6 simulations sont divisées en 6 conditions hydrodynamiques différentes détaillées dans le Tableau 3-2.

Dans la simulation, la disparition d'*E. coli* est modélisée par une décroissance du premier ordre, caractérisée par le T_{90} (temps nécessaire pour réduire la concentration de 90 %). Par choix conservatif, nous avons fixé $T_{90} = 48$ h : cette valeur reflète des conditions côtières tempérées où la protection par particules/sédiments, les périodes nocturnes (absence d'UV) et les épisodes nuageux peuvent fortement ralentir la dégradation bactérienne.

La station d'épuration rejette à capacité nominale, comme demandé par la DDTM, un volume journalier de 4625 m³/j avec une concentration de 10⁵ ufc/100 mL. Le rejet est activé 1 h après l'étalement de haute mer et dure 5 h.

Pour tous les scénarios, les caractéristiques du rejet (volume et concentration) sont identiques ; seules varient les conditions hydrodynamiques (marée, vent, houle). Chaque simulation couvre une durée de 48 h, et intègre trois épisodes de rejet pendant les marées descendantes : si un phénomène d'accumulation devait se produire, le modèle serait capable d'en rendre compte.

GOLFE DU MORBIHAN – VANNES AGGLOMERATION
RENOUVELLEMENT DE L'AUTORISATION DE REJET DU SYSTEME D'ASSAINISSEMENT D'ARZON

Tableau 3-2 : Synthèse des scénarios modélisés.

| Simulation | Marée | Force du vent (m/s) | Direction du vent | Hauteur significative (m) | Période pic des vagues (s) | Direction des vagues | Condition de rejet | Objectif de la simulation |
|------------------------------|-------------|---------------------|-------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------|---|---|
| Mortes eaux estivale | Mortes eaux | 6 | O | 1.1 | 9 | O | 4625m ³ /j à 10 ⁵ ufc / 100ml | Modélisation de la dispersion du panache d'E.coli dans des conditions estivales de mortes eaux |
| Mortes eaux hivernale | Mortes eaux | 9 | SO | 2.6 | 12.5 | O | 4625m ³ /j à 10 ⁵ ufc / 100ml | Modélisation de la dispersion du panache d'E.coli dans des conditions hivernales de mortes eaux |
| Mortes eaux mi-saison | Mortes eaux | 7 | NE | 1.9 | 10.8 | O | 4625m ³ /j à 10 ⁵ ufc / 100ml | Modélisation de la dispersion du panache d'E.coli dans des conditions de mi-saison de mortes eaux |
| Vives eaux estivale | Vives eaux | 6 | O | 1.1 | 9 | O | 4625m ³ /j à 10 ⁵ ufc / 100ml | Modélisation de la dispersion du panache d'E.coli dans des conditions estivales de vives eaux |
| Vives eaux hivernale | Vives eaux | 9 | SO | 2.6 | 12.5 | O | 4625m ³ /j à 10 ⁵ ufc / 100ml | Modélisation de la dispersion du panache d'E.coli dans des conditions hivernales de vives eaux |
| Vives eaux mi-saison | Vives eaux | 7 | NE | 1.9 | 10.8 | O | 4625m ³ /j à 10 ⁵ ufc / 100ml | Modélisation de la dispersion du panache d'E.coli dans des conditions de mi-saison de vives eaux |

3.4.2. Résultats de la modélisation

Cette section présente les résultats produits par le couplage TELEMAC–TOMAWAC–WAQTEL : les résultats sont présentés sous forme de mosaïques spatiales des panaches au niveau du port de Camaret-sur-Mer et courbes temporelles des concentrations en *E. coli* (ufc/100 mL) pour quatre points d'usage.

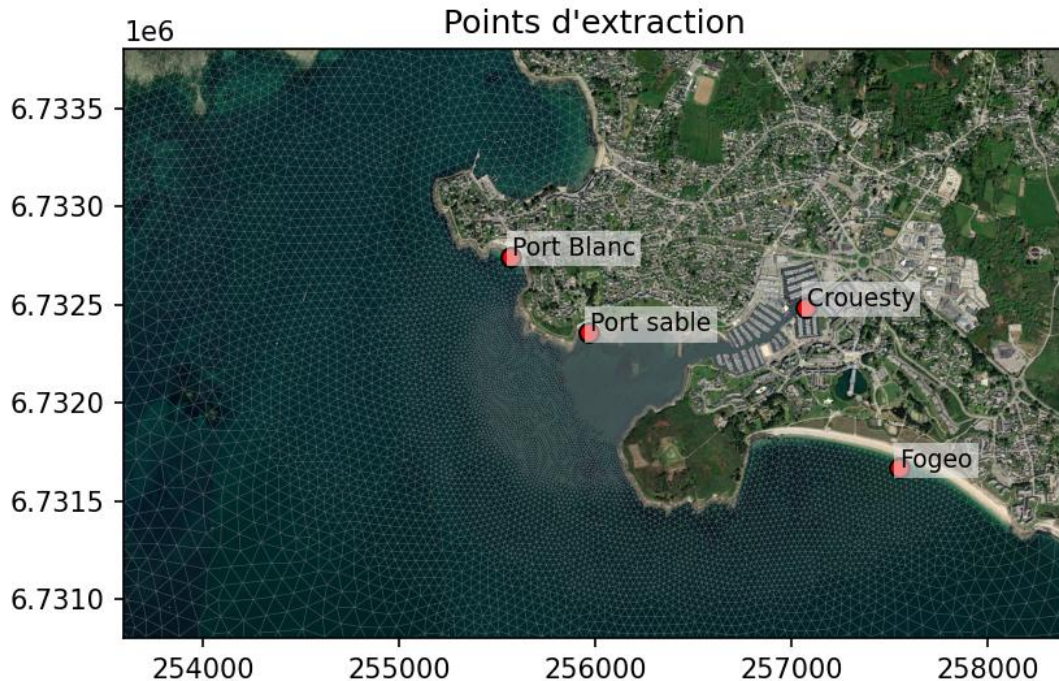


Figure 3-15 : Position des 4 points d'extraction.

3.4.2.1. Conditions de mortes eaux

L'objectif de ces simulations est d'évaluer la dispersion et la décroissance du panache de rejet en *E. coli* dans des conditions de marée de mortes-eaux.

La dynamique locale au voisinage du port du Crouesty et de l'entrée du Golfe du Morbihan est essentiellement tidale. La marée contrôle la circulation générale ; la houle et le vent n'en restent pas moins capables de moduler localement la courantologie et, par conséquent, la dispersion du panache.

La Figure 3-16 illustre la distribution des courants pour des conditions estivales de mortes-eaux, à plusieurs instants du cycle de marée. On constate une forte variabilité spatiale et temporelle, tant en intensité qu'en direction. Lors de la montante, les courants s'orientent vers le nord et alimentent progressivement le golfe. Durant la descendante, les masses d'eau s'écoulent vers le sud, générant des vitesses pouvant dépasser $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

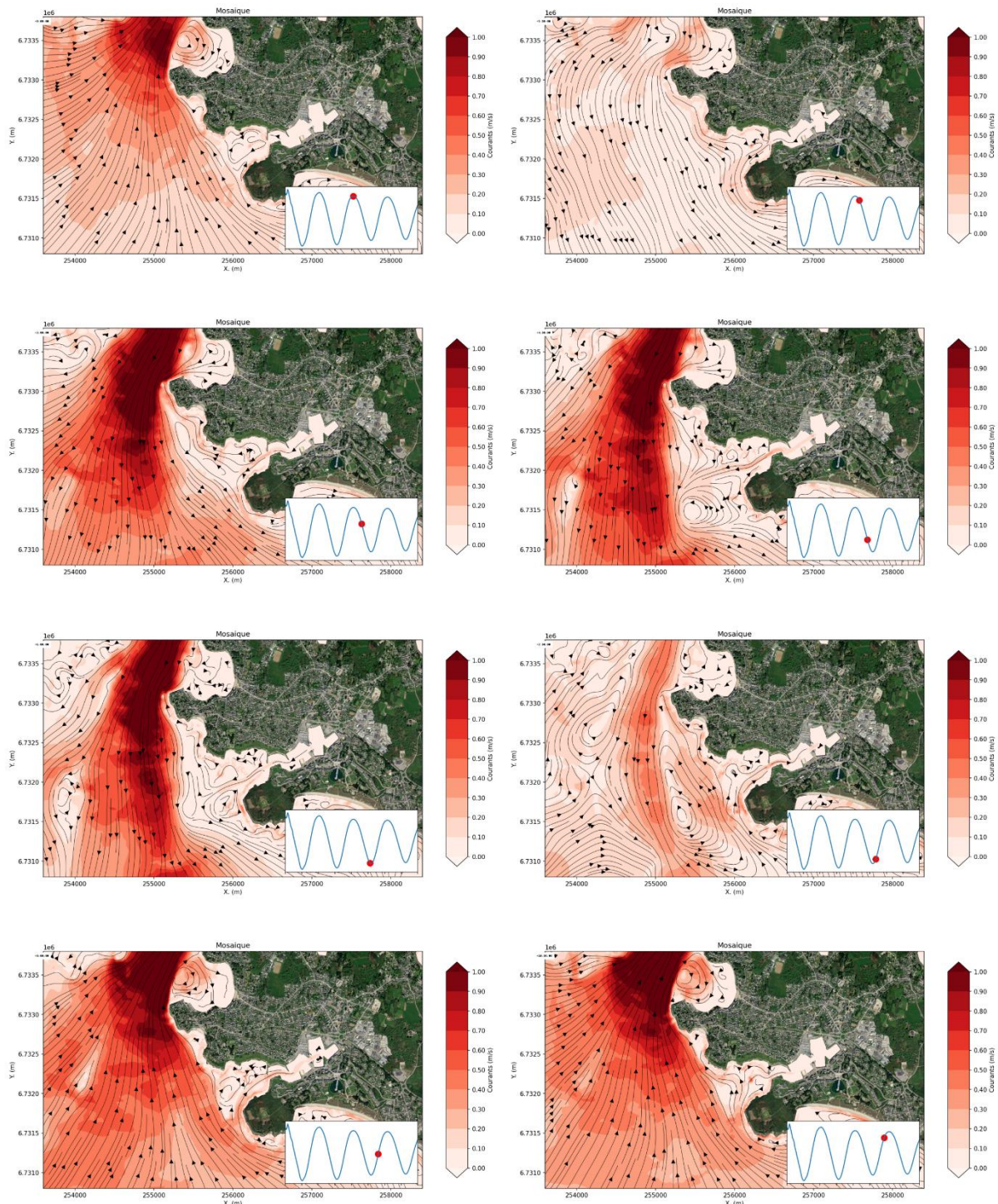


Figure 3-16 : Mosaïque des courants au niveau de la zone d'étude pour des conditions estivales de mortes eaux.

Bien que la marée demeure le forçage dominant, la houle influe elle aussi sur la courantologie et, de ce fait, sur la dispersion du rejet. La Figure 3-17 compare les hauteurs significatives obtenues en conditions estivales et hivernales pour des marées de mortes-eaux. La zone d'étude est relativement protégée des houles du large : malgré des différences marquées au large, l'atténuation côtière ramène l'écart entre houles estivales et hivernales à environ 0,5 m localement. Sur un même cycle de mortes-eaux, la hauteur de houle locale varie peu : la propagation de la houle est faiblement sensible aux variations tidales, avec des différences à la côte de l'ordre de 0,1 m entre basse et pleine mer (houle légèrement plus importante à la pleine mer).

Les Figure 3-18 et Figure 3-19 montrent les courants moyennés sur un cycle de marée pour les conditions estivales et hivernales de mortes-eaux. Elles confirment le rôle prépondérant de la marée : les variations des conditions météo-océaniques n'altèrent que modestement la courantologie locale. On note toutefois une intensification des courants dans le proche côtier en conditions hivernales, liée au déferlement de la houle, et une légère atténuation des courants de marée dans ces mêmes conditions.

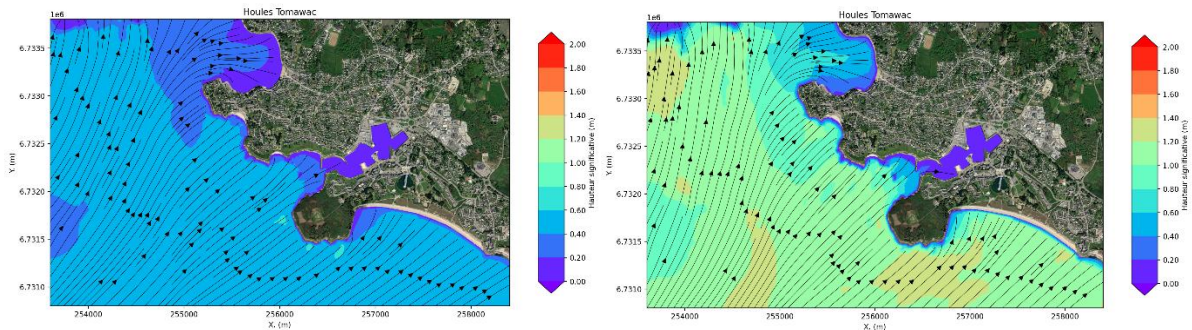


Figure 3-17 : Houles modélisées au niveau de la zone d'étude pour des conditions de mortes eaux estivales (à gauche) et hivernales (à droite).

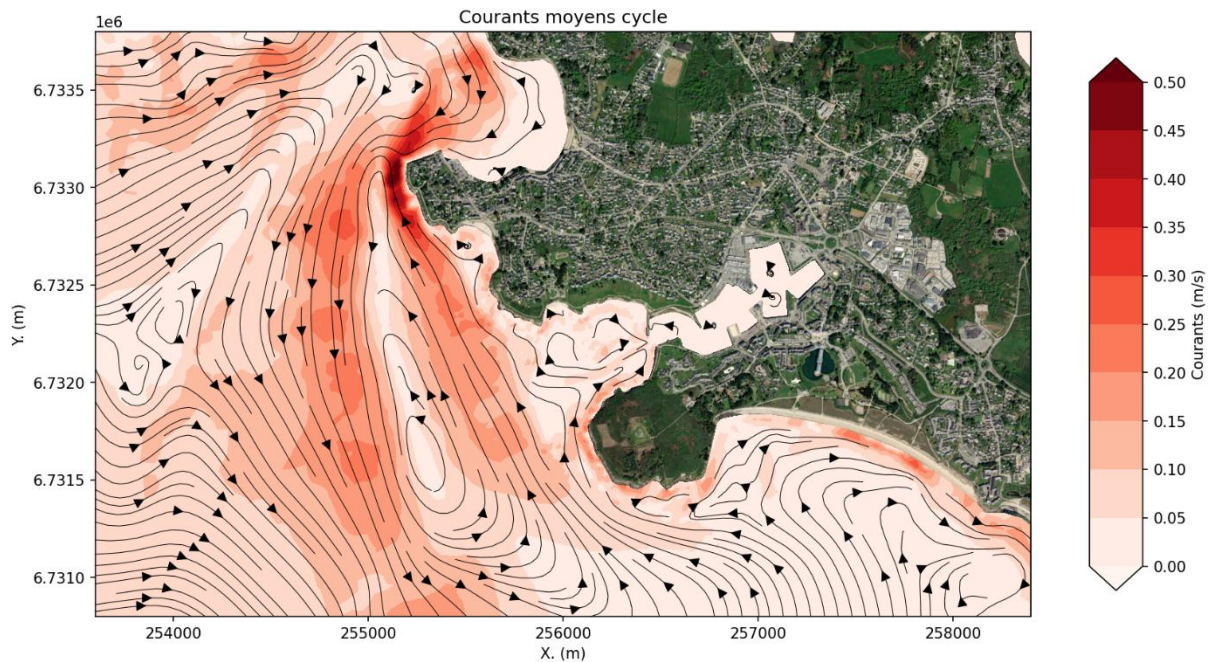


Figure 3-18 : Courants moyens sur un cycle de marée au niveau de la zone d'étude dans des conditions estivales de mortes eaux.

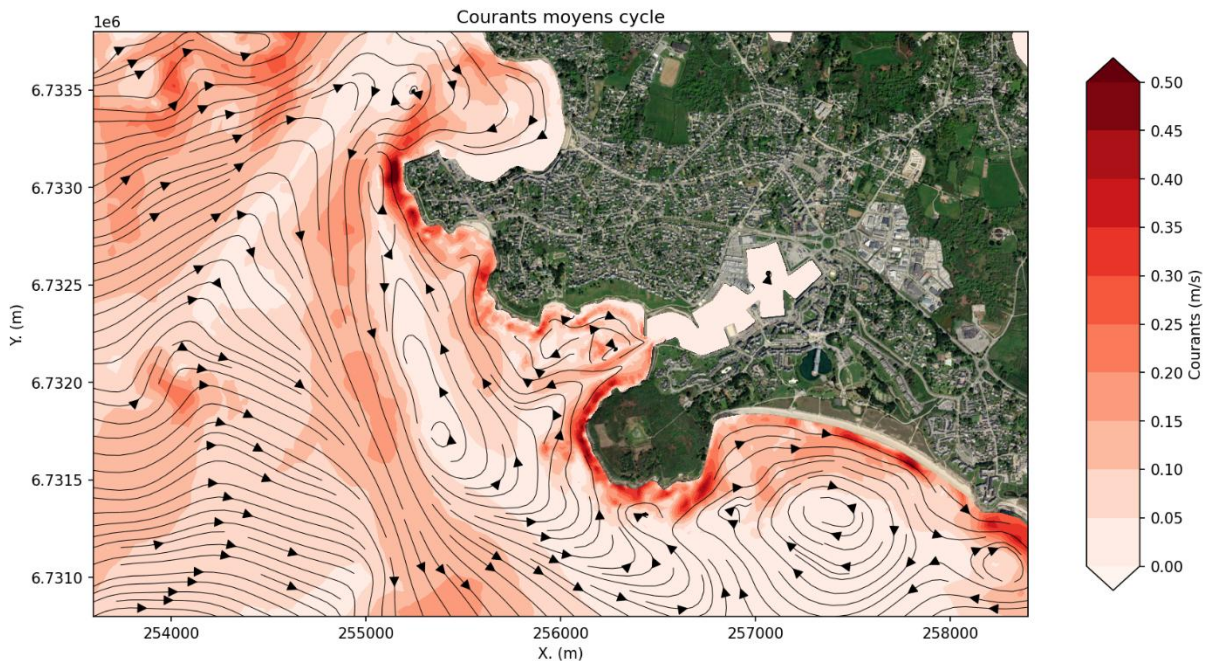


Figure 3-19: Courants moyens sur un cycle de marée au niveau de la zone d'étude dans des conditions hivernales de mortes eaux.

La Figure 3-20 présente des cartes de concentration en *E. coli* à plusieurs instants du cycle de marée pour le scénario estival. Au début du rejet (≈ 1 h après la pleine mer), la concentration reste faible (< 100 ufc/100 mL) et la zone la plus impactée se situe à l'intérieur du port du Crouesty. Lors de la descendante, le vidage du port favorise l'export du panache vers le large ; une fois hors de l'enceinte portuaire, le panache est entraîné vers le sud par le courant de marée. À l'étape de pleine basse, l'inversion des courants provoque une translation du panache vers le nord, en direction de l'entrée du golfe, tandis qu'une part du rejet, restée proche du port, est réaspirée lors du flot.

La Figure 3-21 synthétise les concentrations maximales atteintes lors des simulations de mortes-eaux pour chaque condition modélisée (limites des biocénoses indiquées en trait noir). Ces cartes mettent en évidence des différences nettes de dispersion : **les conditions hivernales favorisent une dispersion plus large — les isoconcentrations supérieures ou égales à 20 ufc/100 mL couvrent une surface supérieure à celle observée en été — alors que les scénarios estivaux montrent un panache plus concentré et moins étendu.**

Enfin, la Figure 3-22 présente les séries temporelles des concentrations en *E.coli* au niveau des différents points d'extractions (Figure 3-15) pour des conditions estivales lors d'une marée de mortes eaux. Les séries sont proches entre les différents scénarios de mortes-eaux, raison pour laquelle seule la courbe estivale est présentée. Les concentrations varient fortement avec la marée ; le point situé à l'intérieur du port du Crouesty enregistre les valeurs maximales, d'environ 300 ufc/100 mL.

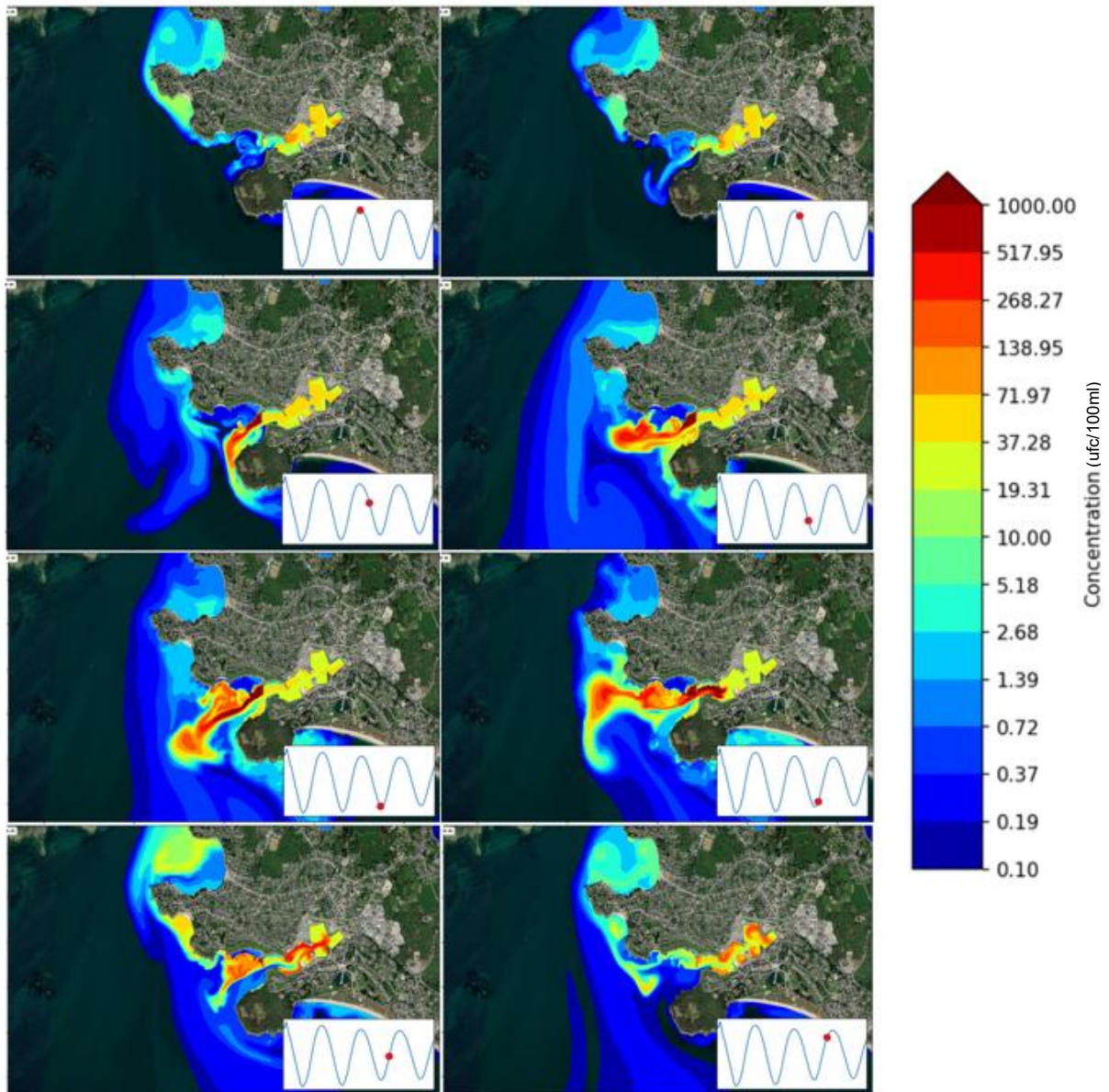


Figure 3-20 : Evolution de la concentration en E.coli (ufc/100ml) au cours d'un cycle de marée de mortes eaux dans des conditions estivales.

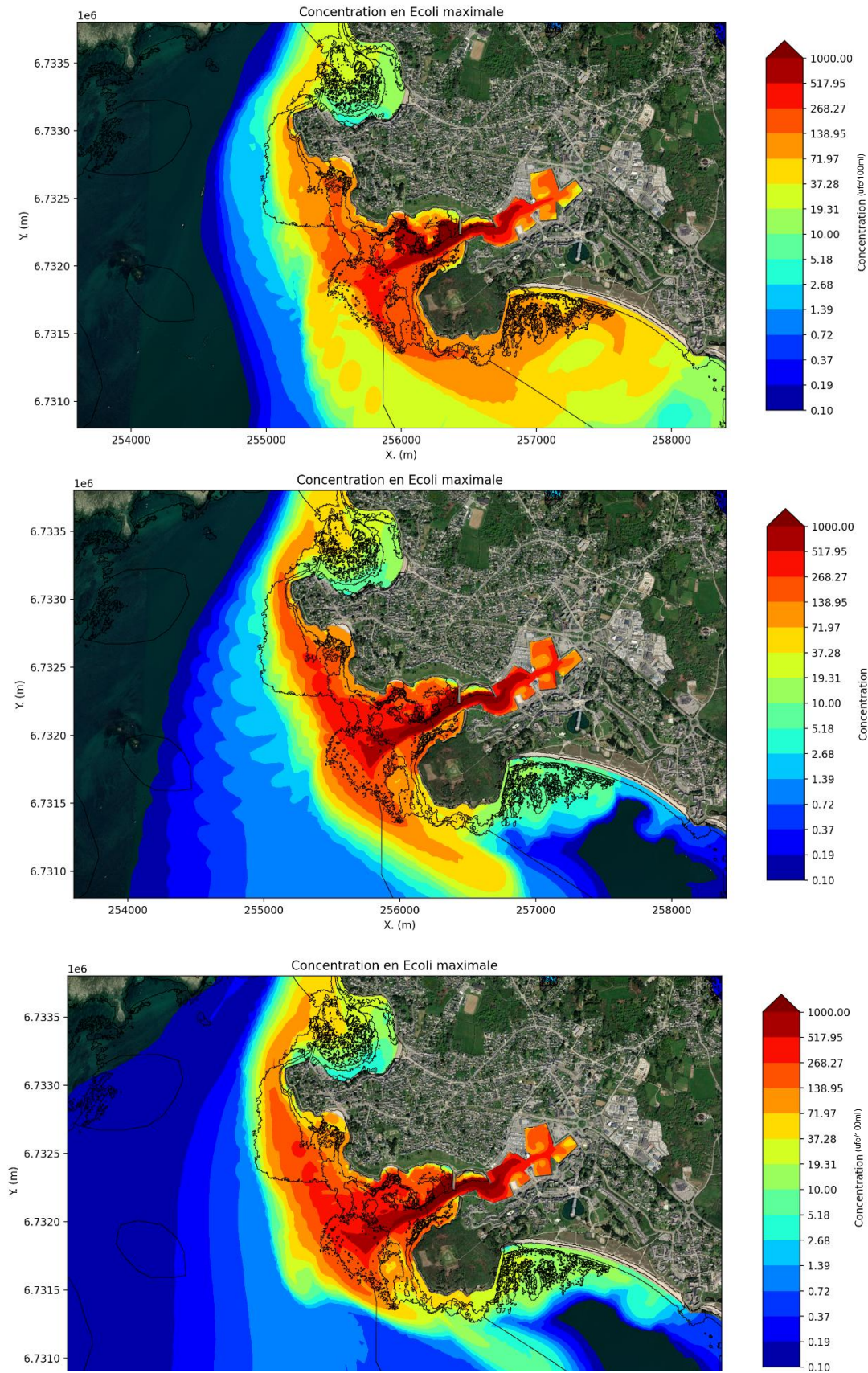


Figure 3-21 : Carte des concentrations en E.coli maximales atteintes lors des scénarios de mortes eaux au niveau de la zone d'étude. Conditions hivernales en haut, mi saison au milieu et estivales en bas.

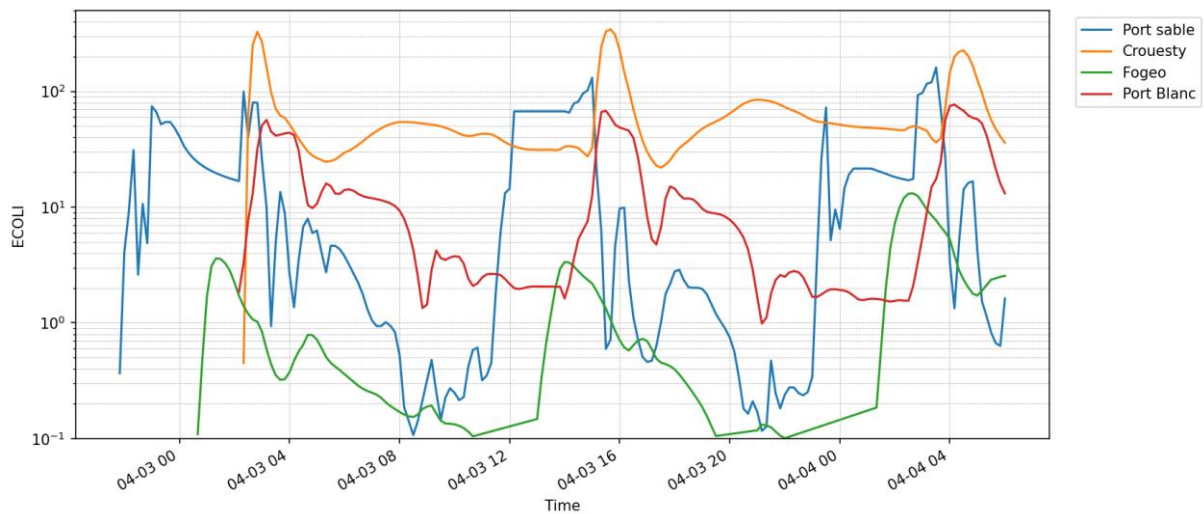


Figure 3-22 : Série temporelle des concentrations en E.coli (ufc/100ml) au niveau des points d'extractions pour le scénario de conditions de estivales lors d'une marée de mortes-eaux.

3.4.2.2. Conditions de vives eaux

Les simulations décrites ici portent sur les conditions de vives-eaux ; la méthodologie est identique à celle exposée au §3.4.1. Pour éviter les redondances, cette section insiste principalement sur les différences hydrodynamiques et leurs conséquences sur la dispersion du panache par rapport aux cas de mortes-eaux.

Dans ces scénarios, la dominance tidale sur la circulation est encore plus marquée : on observe une intensification notable des courants, notamment dans le chenal guidant les échanges à l'embouchure du Golfe du Morbihan, où les vitesses peuvent localement dépasser $3,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en fin de marée descendante. Hormis cette amplification, la structure générale de la courantologie reste comparable à celle décrite pour les mortes-eaux.

L'influence de la houle demeure du même ordre que précédemment, elle accentue essentiellement les courants dans le proche côtier via le déferlement. En revanche, la modulation de la hauteur de houle par le niveau d'eau est plus marquée en vives-eaux : lors de forts marnages, la variation du niveau et des courants modifie la capacité de la houle à pénétrer la zone d'étude. Par exemple, au débouché du chenal du Crouesty, la hauteur de houle peut varier de l'ordre de 0,4 m selon le niveau d'eau dans le

scénario hivernal. Malgré cela, les hauteurs de houle atteintes localement restent globalement comparables à celles calculées pour les mortes-eaux.

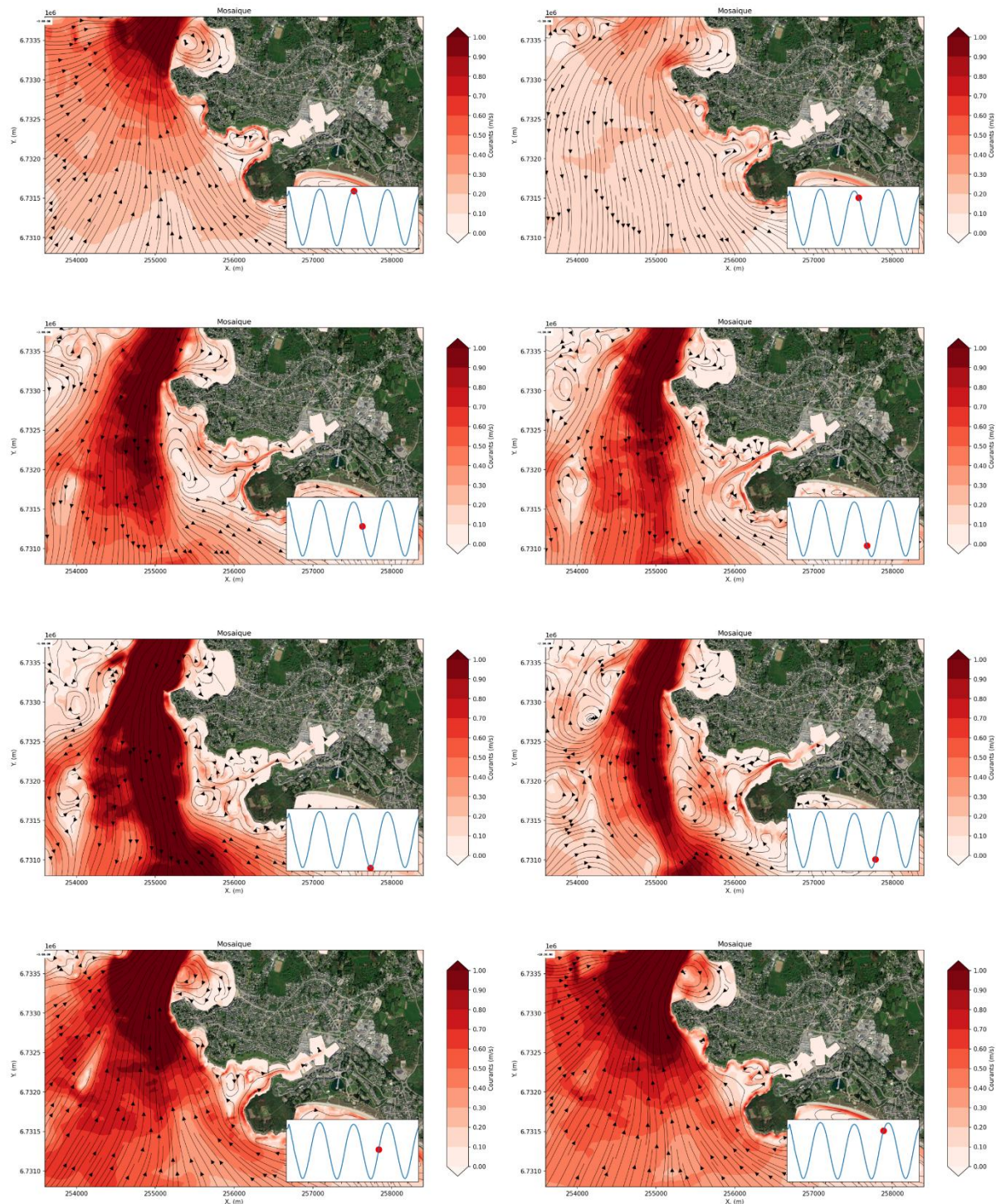


Figure 3-23 : Mosaïque des courants modélisés pour des conditions hivernales de vives-eaux.

Les cartes de concentration (Figure 3-24) montrent qu'au démarrage d'un nouveau cycle de rejet — \approx 1 h après la pleine mer — des concentrations résiduelles d'*E. coli* subsistent, vestiges des épisodes précédents. Ces concentrations résiduelles sont toutefois généralement moins élevées qu'en mortes-eaux et, dans le port du Crouesty, leur niveau est du même ordre que celui observé au voisinage immédiat du point de rejet.

Les dynamiques de dispersion restent qualitativement similaires : export initial du panache hors de l'enceinte portuaire, transport vers le sud en jusant, puis redirection vers le nord en flux montant. En revanche, l'intensification des courants en vives-eaux engendre une dilution plus rapide mais élargit l'aire affectée par des concentrations faibles à modérées.

Les cartes des concentrations maximales (Figure 3-25) confirment ce constat : l'extension spatiale du panache augmente en vives-eaux, tandis que les valeurs maximales locales demeurent proches de celles obtenues en mortes-eaux.

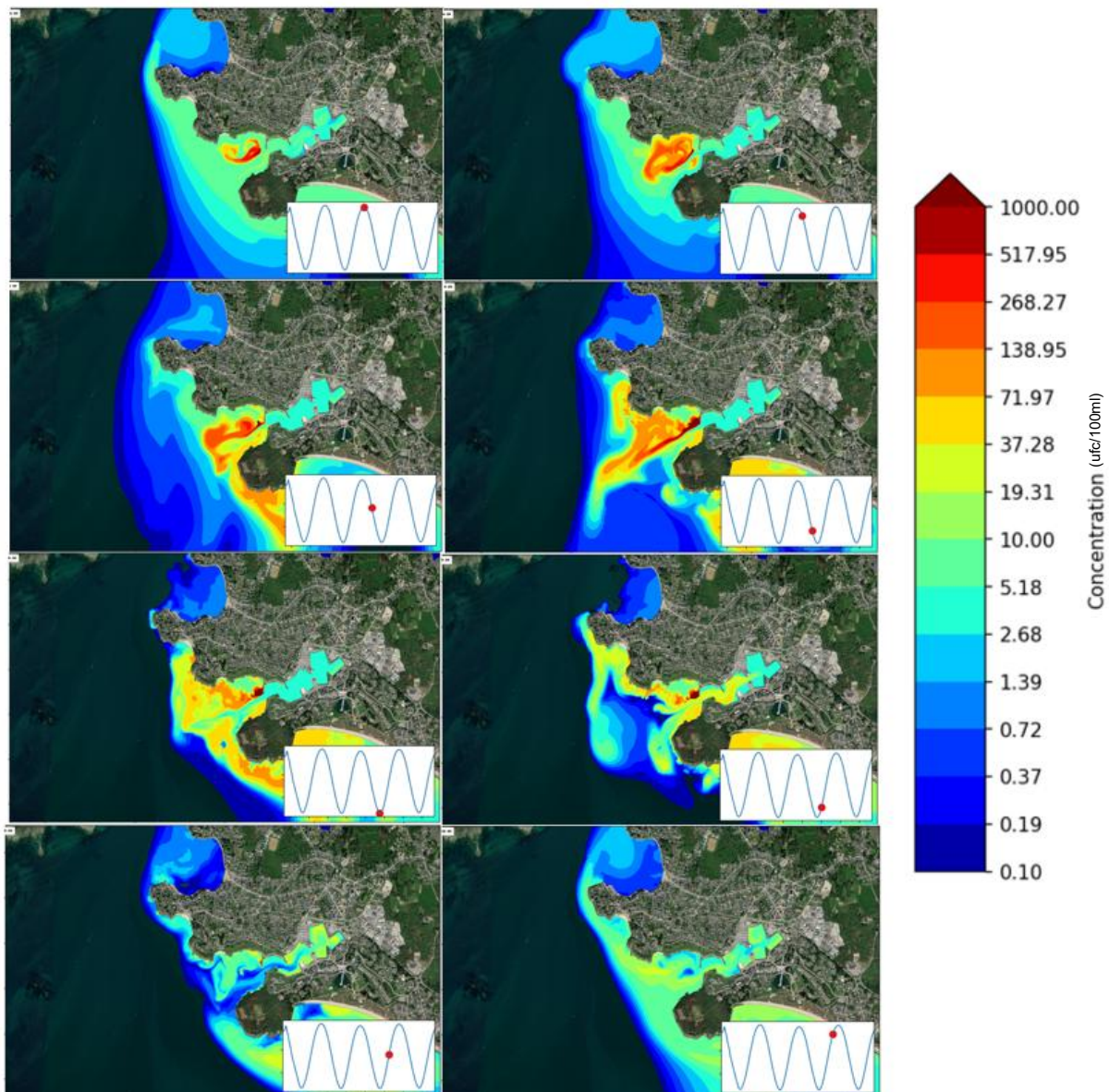


Figure 3-24 Evolution de la concentration en *E.coli* (ufc/100ml) au cours d'un cycle de marée de vives eaux dans des conditions hivernales.

Les séries temporelles (Figure 3-26, scénario mi-saison) illustrent la forte variabilité liée au cycle tidal ; les niveaux maximaux observés aux points d'extraction sont légèrement inférieurs à ceux des scénarios de mortes-eaux, sans rupture d'ordre de grandeur. Le point le plus impacté reste Port Sable, avec des concentrations maximales d'environ 200 ufc/100 mL.

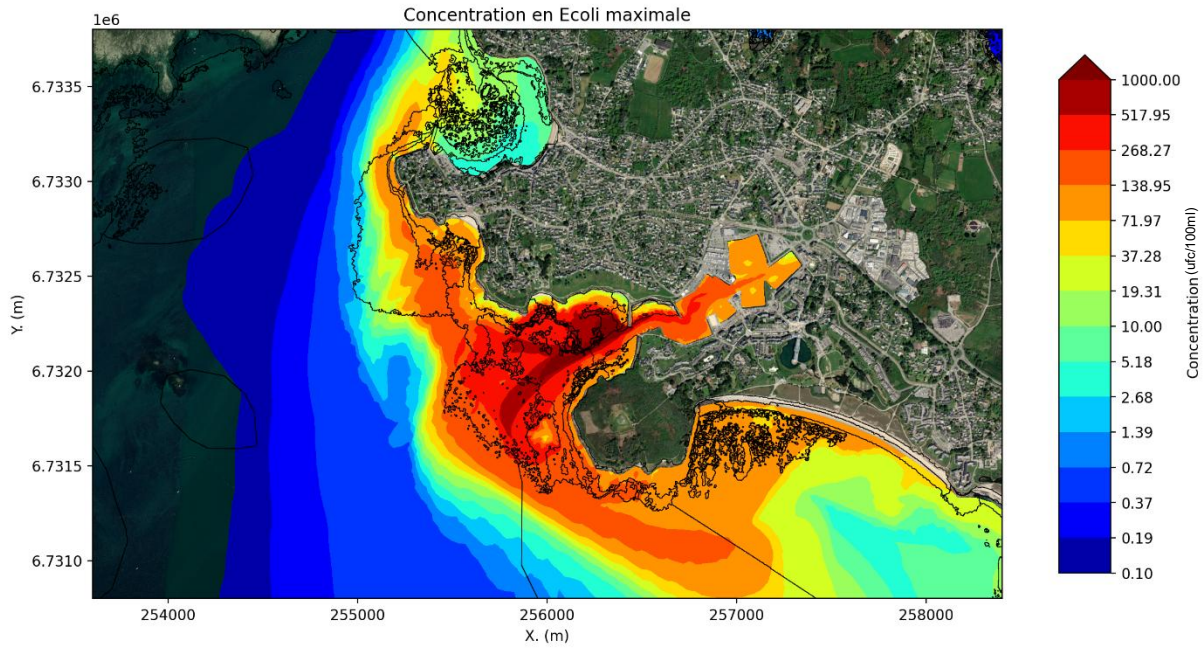


Figure 3-25 : Carte des concentrations maximales atteintes lors du scénario estival de vives eaux.

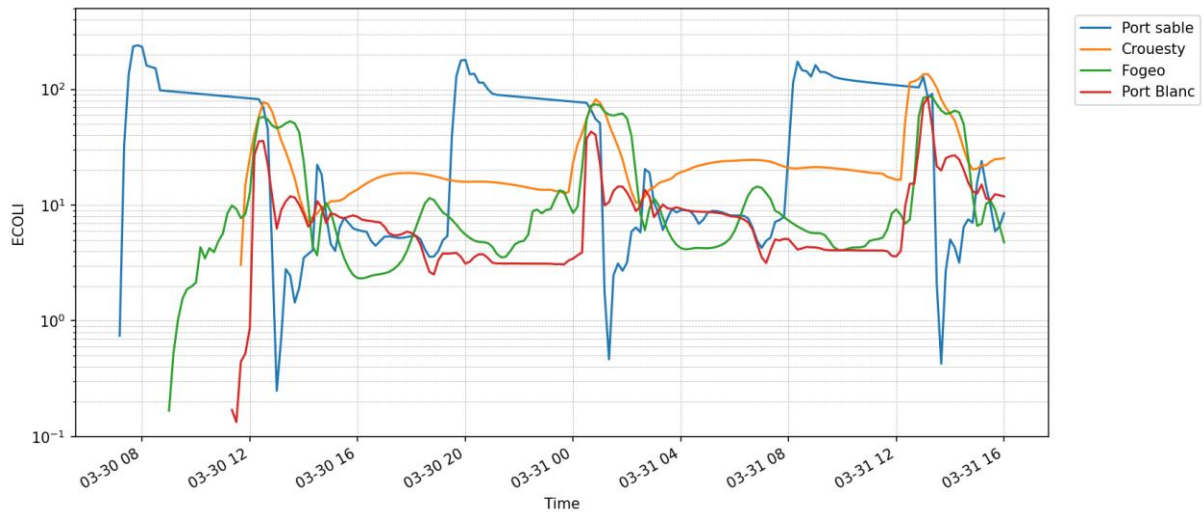


Figure 3-26 : Série temporelle des concentrations en E.coli (ufc/100ml) au niveau des points d'extractions pour le scénario de conditions mi-saison lors d'une marée de vives-eaux.

3.4.3. Synthèse des résultats de modélisation

3.4.3.1. Contexte général

L'objectif de l'étude était d'évaluer l'impact des rejets de la station d'épuration de Kerners sur le milieu marin en conditions hydrodynamiques représentatives (six scénarios couvrant mortes-eaux et vives-eaux). Les simulations ont été réalisées avec le système couplé TELEMAC / TOMAWAC / WAQTEL. La dégradation d'*E. coli* a été modélisée par une décroissance du premier ordre avec $T_{90} = 48$ h (hypothèse conservatrice). Le rejet simulé correspond à $4625 \text{ m}^3/\text{j}$ à $10^5 \text{ ufc}/100 \text{ mL}$, réparti sur les fenêtres d'émission (trois épisodes de rejet sur 48 h — deux cycles de marée descendante par jour), conduisant à un débit horaire effectif de $462,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ pendant les périodes d'émission.

3.4.3.2. Principaux résultats

3.4.3.2.1. Mortes-eaux

- ▶ **Courants** : dominance tidale, variabilité spatiale et temporelle importante. Pointes observées jusqu'à 1,5 m/s lors de la descendante.
- ▶ **Concentrations en E.coli** : Les concentrations varient spatialement et temporellement en fonction du cycle de marée. Les concentrations peuvent dépasser 300 ufc/100ml dans le port du Crouesty. A la fin de la montante, donc juste avant un nouveau cycle de rejet, la concentration résiduelle est de l'ordre de 100ufc/100ml dans le port.
- ▶ **Saisonnalité** : Les conditions hivernales, plus énergétiques favorisent la dispersion et lors des conditions estivales, le panache est plus concentré et moins étendu

3.4.3.2.2. Vives-eaux

- ▶ **Courants** : dominance tidale amplifiée ; vitesses localement supérieures à 3 m/s en fin de descendante à l'embouchure du golfe du Morbihan.
- ▶ **Effet houle-marée plus marqué** : la propagation de la houle jusqu'au site d'étude dépend davantage du niveau d'eau ; variations locales de la hauteur de houle d'environ 0.4m modélisées selon le niveau de marée
- ▶ **Concentrations en E.coli** : l'intensification des courants favorise la dispersion du panache impliquant une empreinte élargie et des concentrations plus faibles. Les concentrations résiduelles entre deux cycles de rejet sont plus faibles. Les concentrations maximales atteintes au niveau des points d'extraction sont d'environ 200ufc/100ml au niveau de Port Sable.

3.4.3.2.3. Autres observations

- ▶ **Forçage dominant** : la marée. Dans la zone d'étude (port du Crouesty / entrée du Golfe du Morbihan) la circulation est essentiellement tidale.
- ▶ **Rôle secondaire de la houle et du vent**. La houle modifie localement la courantologie (intensification proche-côtier liée au déferlement) et peut moduler la hauteur locale des houles selon le niveau d'eau, mais n'enlève rien au rôle prépondérant de la marée.
- ▶ Les simulations montrent la persistance de **concentrations résiduelles** issues d'épisodes antérieurs. En revanche la modélisation ne montre **pas d'effet d'accumulation** des concentrations au fur et à mesure des cycles de rejet.

3.4.3.3. Interprétation vis-à-vis des usages

Les seuils réglementaires pour la baignade et la conchyliculture sont synthétisés dans les Tableau 3-3 et Tableau 3-4 ci-dessous.

Toutes les simulations réalisées présentent des concentrations en *E.coli* -certes variables- mais assez cohérentes entre elles et du même ordre de grandeur.

Les résultats montrent que la qualité des eaux de baignade reste excellente au niveau des 4 sites d'étude lors de marée de vives eaux et se dégrade à bonne dans le port du Crouesty lors de marée de mortes eaux. On observe tout de même des zones proches du point de rejet (sur les cartes) où la concentration en *E.coli* dépasse fréquemment les 500 ufc/100ml (localement et en fonction du moment de la marée) ce qui rend la qualité de l'eau insuffisante pour la baignade, mais la zone n'est pas classée comme site de baignade.

Tableau 3-3 : Classes de qualité des eaux de baignade en fonction de la concentration en E.coli
 (<https://www.baignades.sante.gouv.fr>).

| Classe de qualité | E. coli (UFC/100 mL) | Critère d'évaluation |
|-------------------|----------------------|----------------------------|
| Excellente | ≤ 250 | 95 ^e percentile |
| Bonne | ≤ 500 | 95 ^e percentile |
| Suffisante | ≤ 500 | 90 ^e percentile |
| Insuffisante | > 500 | 90 ^e percentile |

Tableau 3-4 : Classement sanitaire pour la conchyliculture en fonction de la concentration en E.coli
 (<https://www.baignades.sante.gouv.fr>)

| Classement sanitaire | E. coli (UFC/100 g de chair et liquide intervalvaire) | Interprétation |
|----------------------|---|--|
| Classe A | ≤ 230 | Consommation directe autorisée |
| Classe B | ≤ 4 600 | Consommation après purification ou cuisson |
| Classe C | ≤ 46 000 | Consommation après traitement spécifique |
| Classe D | >46 000 | Pêche interdite |

Il convient de noter qu'à ce jour, le point de rejet ne semble pas affecter la qualité des eaux de baignade des plages avoisinantes. Les données les plus récentes disponibles (Classement 2024) indiquent que les plages de baignades à proximité sont classées en état « excellent », à l'exception de la plage de Port LENN (au Nord) qui bénéficie d'un classement « bon ».

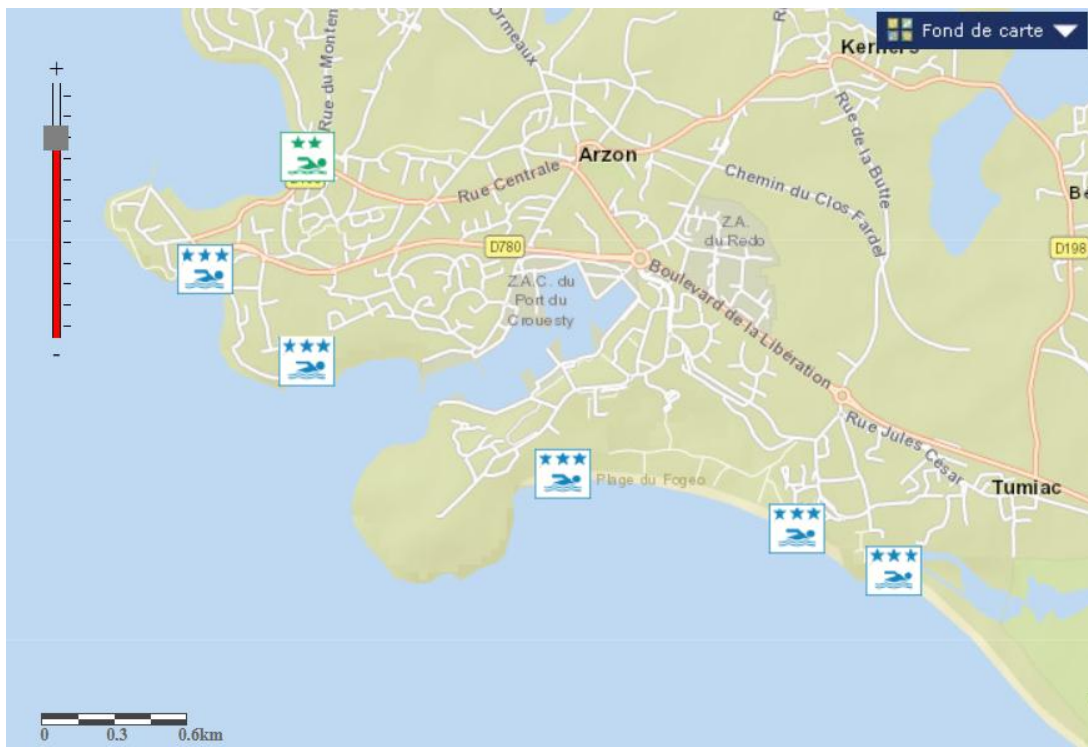


Figure 3-27. Classement 2024 de la qualité des eaux de baignades à proximité du point de rejet (source image : <https://www.baignades.sante.gouv.fr/baignades/homeMap.do#>)

De même pour la conchyliculture, le dernier classement sanitaire disponible (arrêté du 18 juillet 2023)¹ montre que la zone « Bande côtière Presqu'île de Rhuys côte océan » (56.14.1) est classé A.

3.4.3.4. Incertitudes et limites de l'étude

Il est important de noter qu'il existe toujours une certaine incertitude quant aux résultats de la modélisation, même si le modèle en question a été correctement validé au niveau du marégraphe du Crouesty. Par ailleurs, dans le cadre de cette étude, il n'a pas été recherché d'être exhaustif pour couvrir l'ensemble des conditions de marée, de vent, de houle ou de rejet de la station d'épuration. Ainsi, il a été défini 6 scénarios de conditions météo-océanographiques classiques. Toutefois, ces simulations ne permettent pas d'assurer que les seuils calculés ne pourront jamais être dépassés. **Il faut également**

¹ Site consulté le 20/11/2025 : <https://www.atlas-sanitaire-coquillages.fr/fr/classements-sanitaires#map>

rappeler que dans le cadre de cette étude, des hypothèses de dégradation faible ont été prises ce qui conduit à des concentrations probablement surestimées et donne des scénarios de rejet défavorables.

Les résultats et les analyses produites lors de cette étude hydrodynamique permettent de nourrir la réflexion sur les incidences potentielles d'un tel rejet sur les espèces et habitats naturels situés autour du rejet.

4. Analyse environnementale sur le milieu marin

4.1. Incidences Natura 2000

Le point de rejet de la STEP d'Arzon se fait au niveau du chenal d'accès du port du Crouesty. Il est inclus dans le site Natura 2000 ZSC « Golfe du Morbihan, côte ouest de Rhuys » (FR 5300029). Le point de rejet est également situé à moins d'un kilomètre de la ZPS « Golfe du Morbihan » (FR 5310086) est située à moins d'un km du point de rejet. Ces deux sites Natura 2000 sont cogérés par le Parc naturel régional du Golfe du Morbihan et l'Office Français de la Biodiversité.

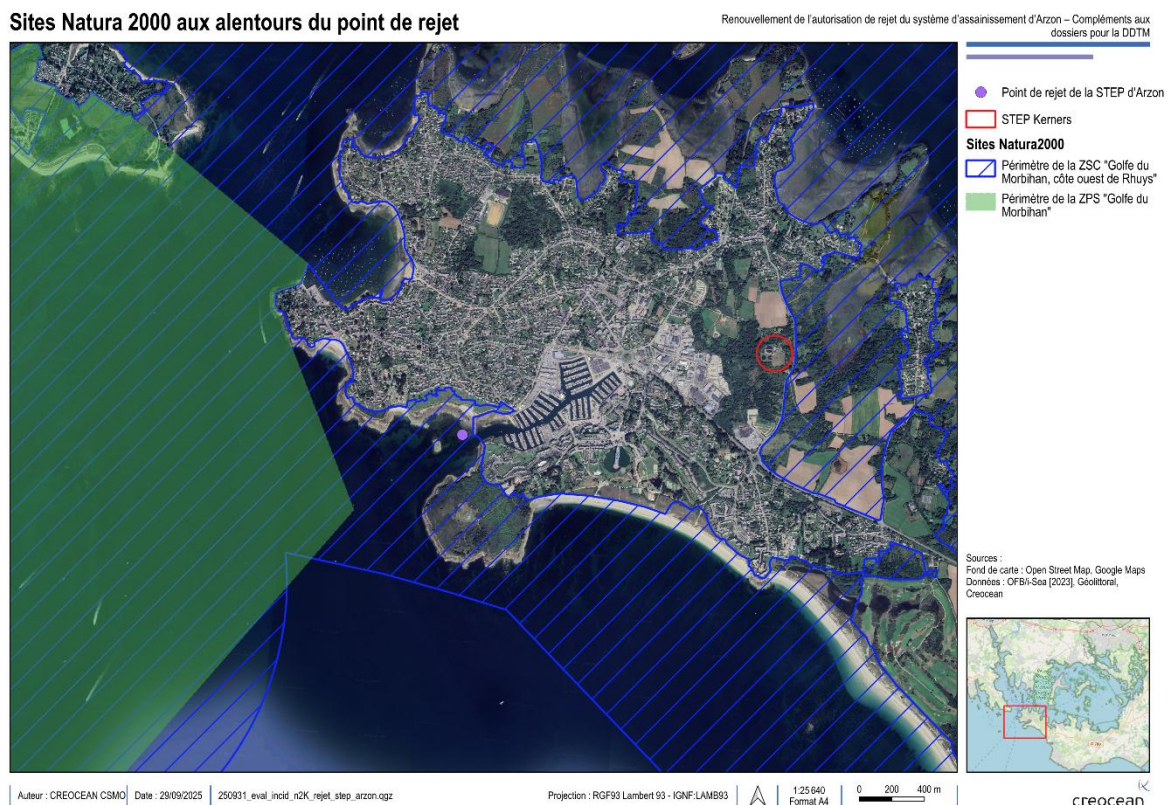


Figure 4-1. Localisation des sites Natura 2000 aux alentours du point de rejet de la STEP

4.1.1. La Zone de Protection Spéciale « Golfe du Morbihan » (FR 5310086)

La ZPS « Golfe du Morbihan », désignée au titre de la directive « Oiseaux », constitue une zone humide d'intérêt international (au titre de la convention RAMSAR). Elle joue un rôle écologique majeur pour les oiseaux d'eau, en particulier comme site d'hivernage et d'escale migratoire pour la spatule blanche (*Platalea leucorodia*) et la sterne de Dougall (*Sterna dougallii*). Les secteurs littoraux de la ZPS offrent également des zones de reposoirs à marée haute pour de nombreuses espèces. L'îlot de Méaban, situé au large, représente un site de nidification de première importance pour le goéland marin (*Larus marinus*), le goéland brun (*Larus fuscus*) et le cormoran huppé (*Phalacrocorax aristotelis*). Le point de rejet en mer de la station d'épuration est localisé à moins d'un kilomètre du périmètre du site Natura 2000. L'emprise maximale du panache de rejet (cf. 3.4.2. Résultats de la modélisation)

intersecte cependant le périmètre de cette ZPS. Cependant, cette zone de chevauchement représente une très faible proportion de la surface de la ZPS.

Au regard de ces éléments (distance, qualité des effluents et enjeux écologiques du site), les eaux de rejet de la station ne sont pas susceptibles d'engendrer d'incidences significatives sur les espèces d'intérêt communautaire présent au sein de la ZPS « Golfe du Morbihan » (FR5310086).

4.1.2. La Zone Spéciale de Conservation « Golfe du Morbihan, côte ouest de Rhuys » (FR 5300029)

La **ZSC « Golfe du Morbihan, côte ouest de Rhuys »** est constitué d'une vaste étendue sablo-vaseuse bordée de prés-salés et de marais littoraux, aux multiples indentations, parsemée d'îles et d'îlots, et séparée de la mer par un étroit goulet parcouru par de violents courants de marée.

Le document d'objectif (DOCOB) du site (SIAGM et ONCFS (Coord.) et al. 2013) a été élaboré en 2005 et actualisée en 2013. Le Formulaire Standard de Données (FSD) du site, actualisé en 2017, a été utilisé pour recenser les habitats et espèces d'intérêt communautaire justifiant la désignation du site.

Pour les **espèces d'intérêt communautaire**, 4 espèces végétales et 20 espèces animales (invertébrés, amphibiens, reptiles, mammifères et poissons) ont été identifiées comme d'intérêt communautaire. Seuls 7 espèces sont concernés par cette étude. Il s'agit des **quatre espèces de poissons amphihalins** :

- 1095 - la Lamproie marine (*Petromyzon marinus*) ;
- 1102 - l'alose (*Alosa alosa*) ;
- 1103 - l'alose feinte (*Alosa fallax*) ;
- 1106 - le Saumon atlantique (*Salmo salar*).

Et **trois espèces de mammifères marins** :

- 1349 - le grand dauphin (*Tursiops truncatus*) ;
- 1364 - le phoque gris (*Halichoerus grypus*) ;
- 1365 - le phoque veau marin (*Phoca vitulina*).

Compte tenu de la répartition spatiale des espèces, de la position du point de rejet et de l'emprise limitée du panache de dispersion, les eaux rejetées ne sont pas susceptibles d'avoir d'incidence sur ces espèces.

Pour ce qui est des habitats d'intérêt communautaire, le site abrite principalement des habitats marins, mais comprend également quelques habitats terrestres. Les habitats recensés dans le FSD sont les suivants :

- 1110 - Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine
- 1130 - Estuaires
- 1140 - Replats boueux ou sableux exondés à marée basse
- 1150 - Lagunes côtières*
- 1160 - Grandes criques et baies peu profondes
- 1170 - Récifs
- 1210 - Végétation annuelle des laissés de mer
- 1230 - Falaises avec végétation des côtes atlantiques et baltiques
- 1310 - Végétations pionnières à Salicornia et autres espèces annuelles des zones boueuses et sableuses
- 1320 - Prés à Spartina (*Spartinion maritimae*)
- 1330 - Prés-salés atlantiques (*Glauco-Puccinellietalia maritimae*)
- 1410 - Prés-salés méditerranéens (*Juncetalia maritimi*)
- 1420 - Fourrés halophiles méditerranéens et thermoatlantiques (*Sarcocornietea fruticosi*)
- 2120 - Dunes mobiles du cordon littoral à *Ammophila arenaria* (dunes blanches)

- 2130 - Dunes côtières fixées à végétation herbacée (dunes grises)*
- 4020 - Landes humides atlantiques tempérées à *Erica ciliaris* et *Erica tetralix* *
- 4030 - Landes sèches européennes
- Et deux espèces de plantes marines : la zostère marine (*Zostera marina*) et la zostère naine (*Zostera noltei*).

Dans le cadre de cette analyse d'incidence, seuls les **habitats d'intérêt communautaire marins** présents dans l'aire d'étude sont concernés (cf. Figure 4-2 et Tableau 4-1 ci-dessous). La liste des habitats concernés et la surface de l'habitat au sein de la ZSC sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4-1. Liste des habitats d'intérêt communautaire de la ZSC "Golfe du Morbihan, côte ouest de Rhuys" concernés par l'étude (source : FSD)

| Habitat d'intérêt communautaire (code générique) | Surface au sein de la ZSC (en ha) |
|--|-----------------------------------|
| 1110 - Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine | 2 097 |
| 1140 - Replats boueux ou sableux exondés à marée basse | 789 |
| 1160 - Grandes criques et baies peu profondes | 8 328 |
| 1170 - Récifs | 1 275 |

Deux habitats particuliers sont présents au sein de l'aire d'étude : il s'agit d'herbiers de zostère marine (*Zostera marina*) et d'un banc de maërl. Les **herbiers de zostère marine** forment des ensembles homogènes couvrant de vastes surfaces ce qui est rare à l'échelle de la façade, ils doivent donc être préservés. Le **banc de Maërl** par sa superficie, sa morphologie et son bon état de conservation est remarquable et présente donc un enjeu de conservation (SIAGM et ONCFS (Coord.) et al. 2013).

Ces habitats d'intérêt communautaire identifiés dans l'aire d'étude sont donc susceptibles d'être affectés par les eaux de rejet. La suite du rapport est donc consacrée à l'évaluation des incidences potentielles sur ces habitats d'intérêt communautaire (cf. tableau ci-dessus).

4.2. Cartographie des habitats marins au droit du point de rejet

Une synthèse cartographique des données existantes a été réalisée afin d'établir la cartographie des habitats d'intérêt communautaire sur l'aire d'étude (cf. Figure 4-2 ci-dessous).

Pour la ZSC "Golfe du Morbihan, côte ouest de Rhuys", les données actuellement disponibles sont les suivantes :

- le **socle cartographique** des habitats d'intérêt communautaire produit en 2002 par TBM dans le cadre de la rédaction du DOCOB. A noter, cette couche de données contient uniquement les codes élémentaires des habitats, il n'y a pas de description des habitats dans une typologie nationale.

Des données plus récentes ont été acquises pour certains habitats du site :

- **Herbiers de zostère** : la répartition des herbiers de zostères marine et naine a été cartographiée en 2022. Il s'agit d'une cartographie prédite par classification supervisée de la série d'images Pléiades 2022 du site Natura 2000 (Marché OFB - TBM environnement - iSea 2022);
- **Bancs de maërl** : un projet d'évaluation de l'état de conservation de certains habitats du site Natura 2000 a été réalisé en 2024 par TBM (Marché OFB-TBM 2023). Une campagne de prospection terrain a été réalisée et a permis de détourer cet habitat via l'interpolation des données stationnelles acquises (taux de recouvrement et vitalité) sur les zones prospectées (marché OFB-TBM 2023). Seule une partie de l'habitat « banc de maërl » a été étudiée lors de ce marché. Dans l'aire d'étude de ce projet, cela ne modifie pas la répartition de cet habitat par rapport à l'enveloppe de 2002 ;
- Habitat à **gorgones** *Eunicella verrucosa* : projet de cartographie des faciès à gorgones sur deux sites (Marché OFB-POSEIDON 2023). Cet habitat est présent à proximité de l'île longue à l'intérieur du golfe du Morbihan, donc en dehors de l'aire d'étude.

La seule couche de données pertinente à utiliser pour cette étude est donc celle concernant les herbiers. Elle a été utilisée pour mettre à jour le socle cartographique de 2002 et réaliser une carte de répartition des habitats d'intérêt communautaire présents dans l'aire d'étude (cf. Figure 4-2 ci-dessous).

Cartographie des habitats d'intérêt communautaire dans l'aire d'étude

Renouvellement de l'autorisation de rejet du système d'assainissement d'Arzon – Compléments aux dossiers pour la DDTM

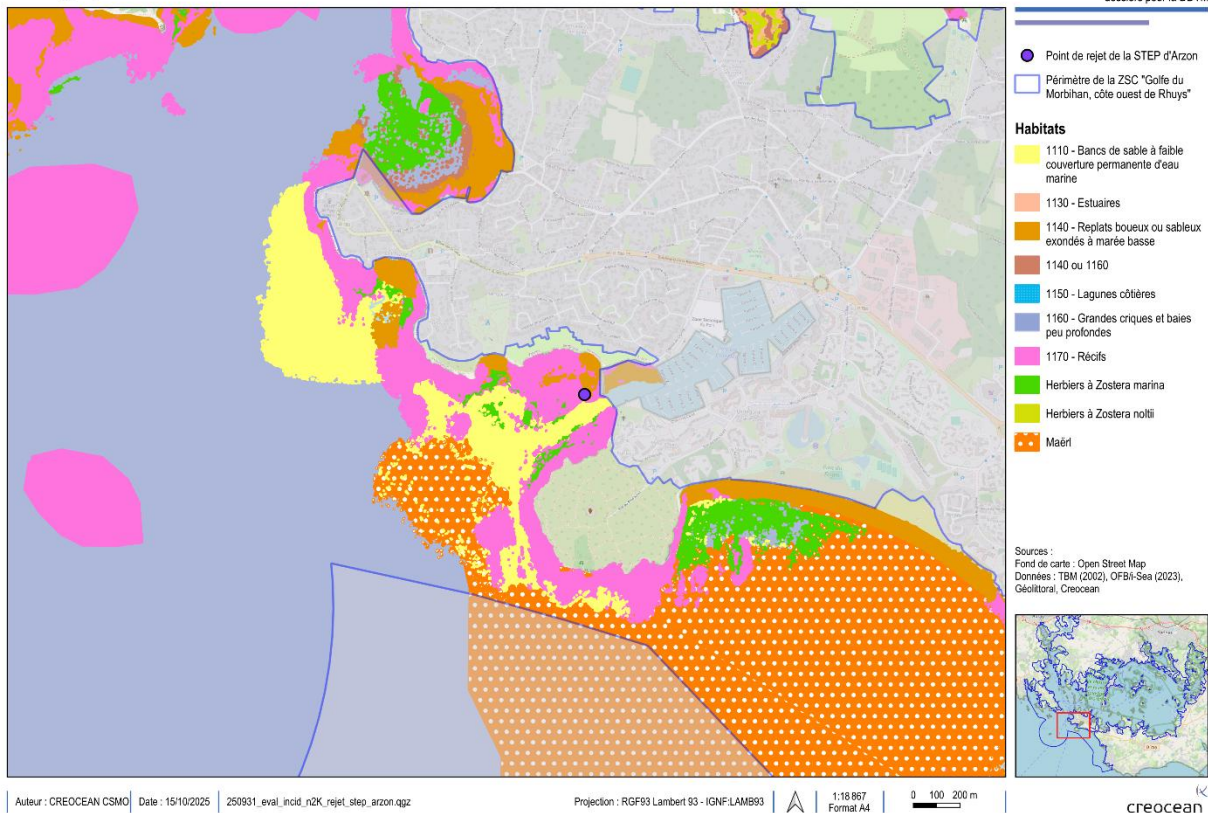


Figure 4-2. Répartition des habitats d'intérêt communautaire à proximité du point de rejet

Il est à noter qu'au moment de la réalisation de cette analyse, un marché OFB de mise à jour de la cartographie des habitats du site Natura 2000 était en cours. Les résultats étant attendus pour début 2026, ils n'ont pas pu être intégrés dans cette étude. La couche de répartition des herbiers utilisée reste cependant la même que celle utilisée dans cette étude (cf. paragraphe ci-dessus). Cependant le marché en cours de mise à jour du socle cartographique du site pourra apporter quelques corrections à cette donnée notamment concernant les zones de présence d'herbiers non validées par des prospections terrains.

- **Les herbiers de zostères :**

Une analyse des évolutions surfaciques des herbiers du site Natura 2000 a également été réalisé (TBM environnement et i-Sea 2023). Cette analyse a été réalisée par comparaison de trois jeux de données : un jeu de données issu de la photo-interprétation de données historiques de 1960 à 2002, le socle de données cartographié en 2002 et la cartographie réalisée en 2022. Les résultats de cette analyse pour l'aire d'étude sont présentés dans la Figure 4-3 ci-dessous :

Evolution surfacique des enveloppes d'herbiers entre 1960 et 2022

Renouvellement de l'autorisation de rejet du système d'assainissement d'Arzon – Compléments aux dossiers pour la DDTM

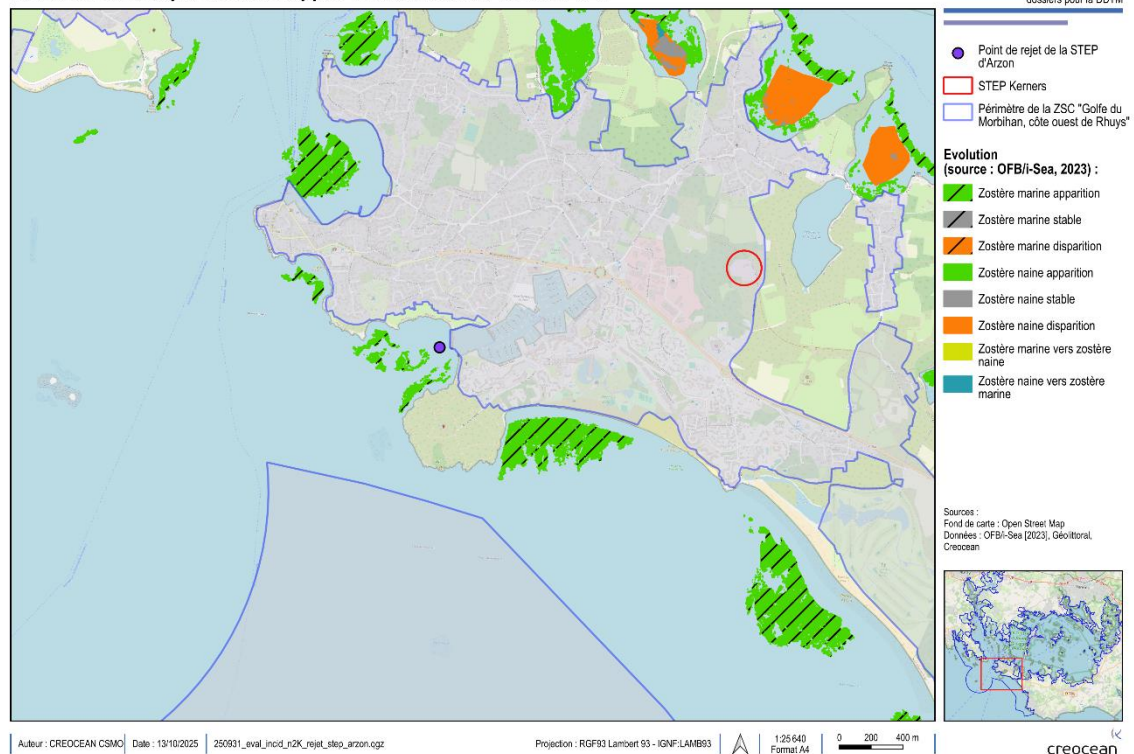


Figure 4-3. Evolution surfacique des herbiers de zostères au sein de l'aire d'étude (Source : OFB/i-Sea, 2023)

Au niveau de l'aire d'étude, les herbiers de zostère marine sont en apparition sur la période entre 1960 et 2022.

Cependant, il est important de noter que certaines zones n'ont pas été vérifiées par une validation terrain. C'est notamment le cas des zones d'herbiers en sortie du **port du Crouesty** et la zone d'herbier **au Sud de la Pointe du Navalo** (cf. Figure 4-4 ci-dessous). L'indice de confiance attribué à cette donnée est moyen car la détermination d'herbiers dans ces zones repose donc **uniquement sur la prédiction issue de la photo-interprétation des images des pléiades**.

Répartition des herbiers de zostères à proximité du point de rejet

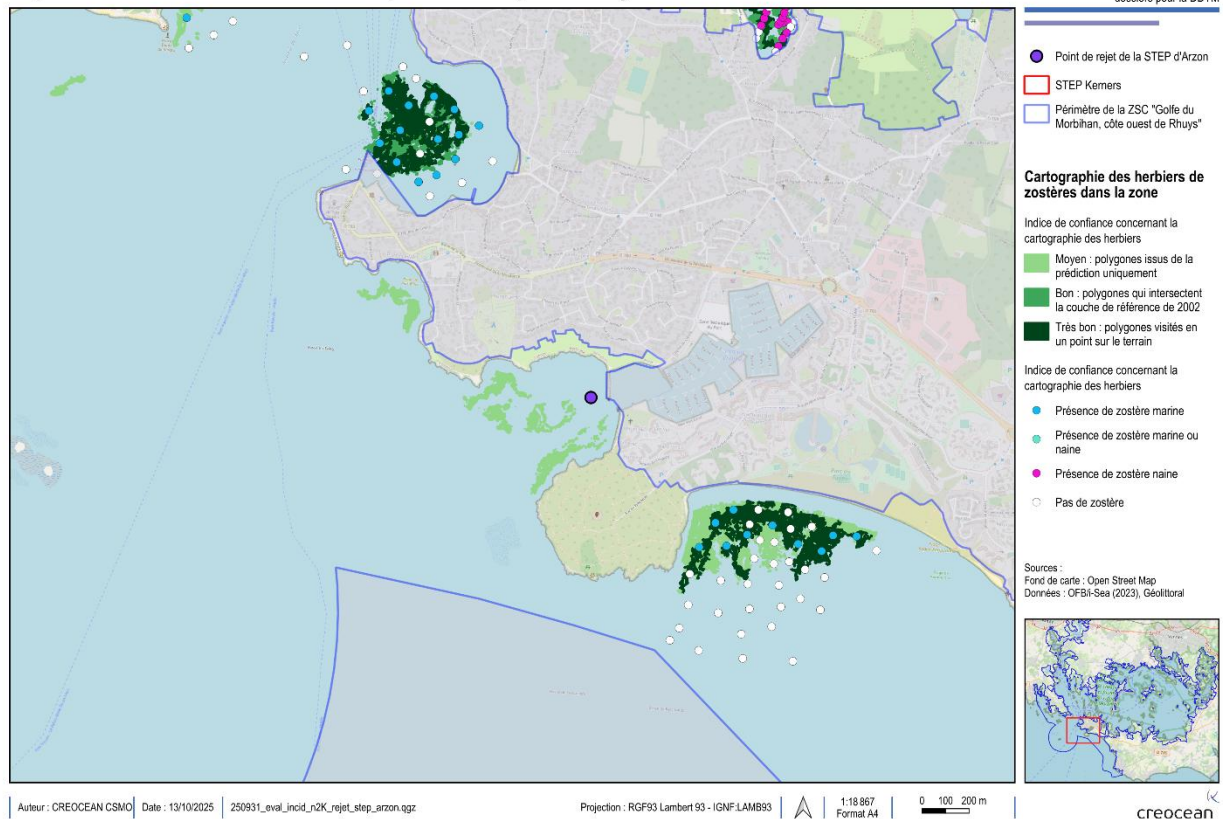


Figure 4-4. Données existantes de cartographie des herbiers de zostère à proximité du point de rejet (Source : OFB/I-sea (2023))

Les données de cartographie des habitats issues du portail EMODnet² ont également été examinées. Celles-ci ne se révèlent ni plus précises dans la description des habitats, ni plus récentes, puisqu'elles datent de 2009. Elles présentent toutefois un intérêt : elles permettent d'obtenir une description de l'habitat à la sortie du port, à proximité du point de rejet, caractérisé comme des graviers envasés infralittoraux.

- **Focus sur les bancs de maërl :**

Une évaluation de l'état de conservation de certains habitats du site Natura 2000 a été réalisée en 2024 (Marché OFB-TBM 2023). Si la plupart des habitats et stations étudiés sont éloignés de l'aire d'étude, le **banc de maërl de la baie d'Abraham**, localisé au sud de l'aire d'étude, constitue toutefois un point de comparaison pertinent. Bien que cette évaluation se limite à la partie méridionale et côtière de l'habitat, elle apporte des éléments intéressants concernant le banc de maërl présent dans l'aire d'étude, au large du port du Crouesty, non couvert par l'étude.

Les résultats de l'évaluation montrent que le banc de maërl de la baie d'Abraham présente un **état de conservation globalement favorable à légèrement dégradé**, marqué par un **enrichissement important en matière organique**. Les sédiments y sont très hétérogènes, mêlant vases, sables et graviers. La vitalité du maërl au sein du banc est également très variable : plus faible au large et plus forte près de la côte. Le banc est majoritairement composé de maërl vivant ou mêlé à du maërl mort.

² [EMODnet Map Viewer](#)

La faune benthique présente est dense, mais très hétérogène, influencée par les conditions hydrodynamiques élevées et la granulométrie contrastée du secteur.

4.3. Analyse des incidences sur les enjeux marins en lien avec les résultats de la modélisation

Le rejet provient des eaux traitées d'une station d'épuration. Cette station, et donc le rejet, fonctionne depuis 1998 et aucune augmentation de sa capacité n'est prévue. Il n'y a donc pas de phase de travaux prévu, l'analyse d'incidences concerne uniquement la phase d'exploitation. Au niveau du point de rejet, certains paramètres environnementaux peuvent être modifiés localement, ce qui est susceptible d'affecter les habitats présents.

4.3.1. Température et pH

Aucune variation significative de la température ou du pH n'est observée au point de rejet. Aucune incidence notable sur les habitats n'a été identifiée.

4.3.2. Teneur en matière organique et turbidité

Les eaux rejetées ayant été traitées, elles sont considérées comme claires. Elles ne présentent donc pas d'incidence notable sur la turbidité ou la charge organique des eaux réceptrices. Ces paramètres ne sont donc pas modifiés par les eaux rejetées.

4.3.3. Salinité

Une diminution locale de la salinité est possible. La modélisation de la salinité a été conduite en parallèle des simulations hydrodynamiques et bactériologiques décrites précédemment afin d'évaluer l'empreinte physico-chimique du panache sur les habitats côtiers. Le rejet a été représenté comme une émission d'eau douce (salinité = 0 PSU) injectée dans un milieu de référence à 35 PSU, et simulé au sein du couplage TELEMAC-3D / TOMAWAC / WAQTEL. La salinité a été traitée comme un traceur soumis aux processus d'advection-diffusion et aux effets de densité associés aux gradients salins. Les modalités d'émission sont identiques à celles retenues pour *E. coli* : trois épisodes de rejet lors des phases de jusant sur une fenêtre de 48 h, avec les mêmes débits horaires, et application à l'ensemble des six scénarios hydrodynamiques modélisés.

Ces calculs nous ont permis d'extraire les concentrations minimales atteintes dans l'eau aux alentours du point de rejet et constituent donc un indicateur de pression sur les habitats.

Les résultats issus de la modélisation ont été intégrés à la cartographie de répartition des habitats marins, permettant d'identifier les habitats potentiellement impactés (cf. Figure 4-5 ci-dessous). L'exemple de la modélisation du panache de dessalure lors de marée de mortes eaux d'été a été choisi car il s'agit du panache le plus large.

Modélisation du panache de salinité minimum atteint aux alentours du point de rejet de la STEP de Kerners

Renouvellement de l'autorisation de rejet du système d'assainissement d'Arzon – Compléments aux dossiers pour la DDTM

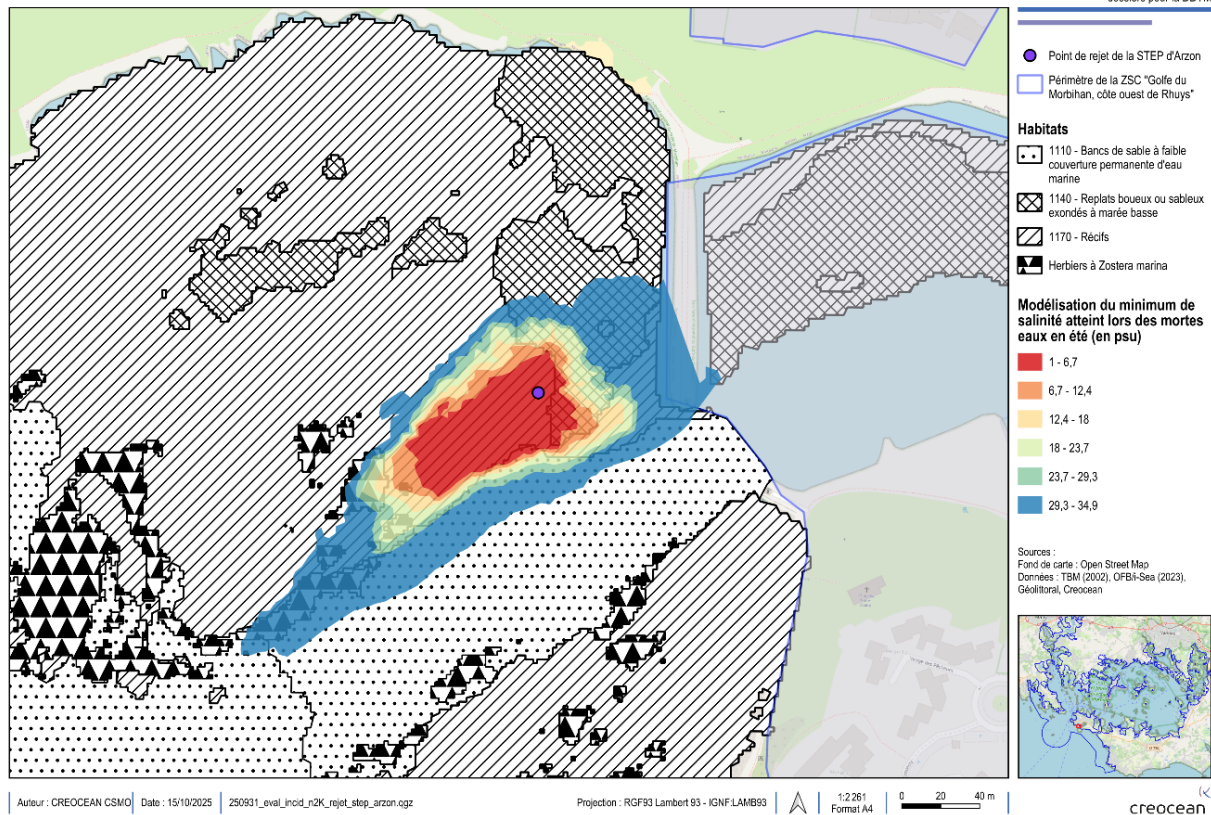


Figure 4-5. Modélisation du panache de salinité minimum atteint lors de marée de mortes seaux en été

L'emprise maximale du panache de dessalure couvre une surface de 18 822 m² (0.019km²). L'impact du panache est donc très localisé et concerne trois habitats d'intérêt communautaire dont les herbiers de zostère marine.

L'analyse d'incidence vise à évaluer l'effet potentiel d'une pression environnementale (ici, le panache de dessalure) sur les habitats marins. Pour cela, deux éléments sont utilisés :

- **La proportion de surface exposée** : il s'agit du ratio entre la surface de l'habitat d'intérêt communautaire exposée au panache et la surface totale de cet habitat à l'échelle du site Natura 2000. Ce ratio, exprimé en pourcentage, permet d'évaluer l'ampleur de l'impact potentiel du panache sur chaque habitat.
- **Le niveau de sensibilité de l'habitat à la pression** : il s'agit de la capacité de l'habitat à résister à cette pression, ainsi que du temps nécessaire à sa reconstitution une fois la perturbation terminée, en fonction de ses caractéristiques écologiques. La sensibilité des habitats à la dessalure a été obtenue à partir de la base de données **MarLIN (Marine Life Information Network)**³. Pour cela, les descriptions des habitats issues du socle de donnée produit (cf. 4.2. Cartographie des habitats marins au droit du point de rejet) ainsi que celles disponibles dans EMODnet ont été mobilisées afin de caractériser au mieux les habitats et d'établir les correspondances avec la typologie EUNIS 2022 utilisé dans MarLIN.

La combinaison de ces deux facteurs permet d'analyser l'incidence potentielle de la pression sur chacun des habitats concernés. L'ensemble de ces informations est synthétisé dans le tableau ci-dessous :

³ [Home - MarLIN - The Marine Life Information Network](https://www.marlin.ac.uk/)

Tableau 4-2. Analyse de l'incidence du panache de dessalure sur les habitats du site Natura 2000 : proportion de surface de l'habitat exposée au panache et sensibilité de l'habitat à la pression de dessalure

| Habitats d'intérêt communautaire | Proportion de surface exposée | Niveau de sensibilité de l'habitat à la pression de dessalure (source MarLIN) |
|---|-------------------------------|--|
| 1110 - Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine Description EMODnet de l'habitat "Graviers envasés infralittoraux à <i>Dosinia exoleta</i> et <i>Venus verrucosa</i> (code EUNIS 2007: A5.43_FR01)" Correspondance EUNIS 2022 : MB42 - Sédiment hétérogène du supra- et du médiolittoral en Atlantique | 0,01% | Moyen. Biotope généralement dans des zones à faible salinité (<18 psu). Le changement de salinité est considéré comme un passage vers de l'eau douce. La modélisation montre une diminution de salinité pouvant atteindre au minimum 6 psu au niveau de ces habitats. Au regard de l'impact très limité sur l'habitat et de sa sensibilité moyenne à cette pression l'incidence est très faible. |
| 1140- Replats boueux ou sableux exondés à marée basse Description EMODnet de l'habitat "Habitats sableux de l'estran" Correspondance EUNIS 2022 : MA52 - Sable du supra- et du médiolittoral en Atlantique | 0,08% | Moyen. Cet habitat d'estran est naturellement soumis à des variations de salinité. Au regard de l'impact très limité sur l'habitat et de sa sensibilité moyenne à cette pression l'incidence est faible. |
| 1170 - Récifs Description EMODnet de l'habitat "Habitats rocheux d'estran" Correspondance EUNIS 2022 : MA12 - Roche supra- et médiolittorale en Atlantique | 0,06% | Moyen Habitat de l'estran naturellement exposé à des variations naturelles de salinité. Au regard de l'impact très limité sur l'habitat et de sa sensibilité moyenne à cette pression l'incidence est faible. |
| Herbiers de zostère marine (1110) Correspondance EUNIS 2022 : MB5-223 - Herbiers à <i>Zostera marina/angustifolia</i> sur sable propre ou vaseux de l'infralittoral en Atlantique | 0,02% | Moyen. Habitat à large tolérance à une variation de salinité [10-25 psu], mais une salinité réduite aura toutefois un impact sur ses performances et entraîner de la mortalité. La dessalure au niveau des zones d'herbiers ne descend pas en dessous de 10 psu (cf. figure ci-dessus). Il n'y a donc pas d'incidence sur ces habitats. |

Compte tenu de la faible proportion de surface exposée au panache de dessalure et du niveau de sensibilité moyen à faible des habitats concernés, **l'incidence** du panache de dessalure sur ces habitats **est donc faible voire nulle**. Par conséquent, il est peu probable que la dessalure entraîne une dégradation significative des habitats d'intérêt communautaire concernés.

4.3.4. Contamination

La demande de complément formulée par la DDTM porte sur la présence de la bactérie *Escherichia coli*.

Les résultats de la modélisation du panache de dispersion de *Escherichia coli* (cf. 3.4.2 Résultats de la modélisation), combinés à la carte de répartition des habitats, permettent d'identifier la proportion des habitats d'intérêt communautaire du site Natura 2000 exposés au panache.

Tableau 4-3. Proportion des habitats du site Natura 2000 exposés au panache de dispersion de E. coli

| Habitats d'intérêt communautaire | Proportion de surface de l'habitat exposée |
|----------------------------------|--|
|----------------------------------|--|

| | |
|--|------|
| 1110 - Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine | 36 % |
| Banc de maërl (1110) | 15 % |
| 1170 - Récifs | 8 % |
| 1140- Replats boueux ou sableux exondés à marée basse | 5 % |
| Herbiers de zostère marine (1110) | 5 % |
| 1160 - Grandes criques et baies peu profondes | 4 % |
| Herbiers de zostère naine | 2 % |
| 1140 ou 1160 | 1 % |

Cependant, à ce jour, il n'existe pas de données permettant d'évaluer la sensibilité des habitats marins à une contamination par cette bactérie. **MarLIN** évalue la sensibilité des habitats marins à différentes pressions, notamment à la **contamination chimique** (composés synthétiques tels que les pesticides ou les produits pharmaceutiques) et à l'**introduction de pathogènes biologiques**. Cependant, *E. coli* ne figure pas parmi les agents considérés dans ces analyses.

Les **seuils réglementaires relatifs à *E. coli*** concernent essentiellement la qualité sanitaire des eaux de baignade ou des zones de conchyliculture. Ils ne sont pas conçus pour évaluer d'éventuelles incidences écologiques sur les habitats marins. **En conséquence, à l'état actuel des connaissances, il n'est pas possible de caractériser la sensibilité des habitats d'intérêt communautaire à une contamination par *E. coli* et donc de conclure concernant l'incidence de cette bactérie sur ces habitats.**

4.3.5. Apport en Azote et eutrophisation

Le Golfe du Morbihan est concerné par le phénomène de prolifération d'algues vertes (ulves) qui sont l'une des causes de la non-atteinte du bon état des masses d'eau du Golfe du Morbihan. Le CEVA (Centre d'Etudes sur la Valorisation des Algues) effectue un suivi de ces algues vertes dans les masses d'eau du Golfe. Une étude a été réalisée en 2015 pour définir la contribution des différentes sources d'azote au développement des algues vertes. Les résultats de la modélisation réalisée pour le Golfe du Morbihan pour l'année 2015 sont présentés dans la figure ci-dessous :

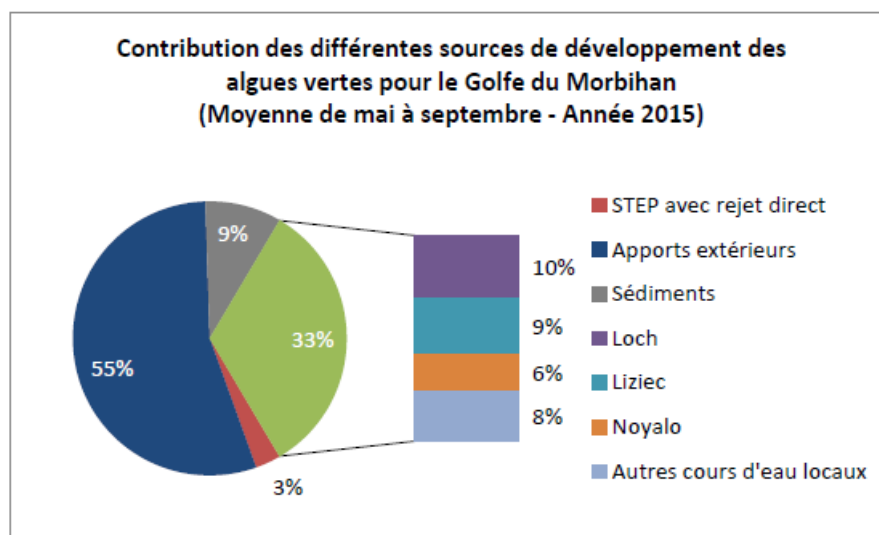


Figure 4-6. Contribution des différentes sources d'azote (graphique issu de la synthèse des éléments de connaissance sur les phénomènes d'algues vertes sur vasières, SMLS 2020).

Cette étude montre que pour la masse d'eau Golfe du Morbihan, les apports extérieurs (principalement issue des fleuves Loire et Vilaine) représente plus de la moitié des apports à l'entrée du Golfe. Les cours d'eaux locaux constituent la deuxième source de contribution, avec environ un tiers des apports.

D'après le bilan de fonctionnement du système d'assainissement de Kerners, le flux journalier moyen d'azote (NGL) en sortie de station entre 2017 et 2022 est de 14,5 kg/j, ce qui représente environ

5,3 T/an. Ce flux augmentera de 6% (pour atteindre 5,6 T/an) à horizon 2038. L'évaluation d'incidence réalisée (voir l'étude d'incidence du dossier de renouvellement de l'autorisation de rejet du système d'assainissement de la station de Kerners à Arzon) indique que la contribution aux flux d'azote des rejets de la station d'épuration de Kerners dans le Golfe du Morbihan est limitée (0,5 % environ).

Pour rappel, le rejet des eaux se fait à marée descendante. La modélisation du panache de dispersion de *E. coli* (cf. 3.4.2 Résultats de la modélisation) met en évidence la dynamique de dispersion suivante :

- un export initial du panache hors de l'enceinte portuaire, puis un transport vers le sud en jusant, puis redirection vers le nord en flux montant. Cette dynamique s'observe aussi bien lors des mortes eaux que les vives eaux ;
- l'extension spatiale du panache augmente en vives-eaux, tandis que les valeurs maximales locales demeurent proches de celles obtenues en mortes-eaux ;
- les conditions hivernales favorisent une dispersion plus large alors que les scénarios estivaux montrent un panache plus concentré et moins étendu.

En se basant sur cette dynamique de dispersion, les habitats qui pourraient être exposés au panache ont été récupérés et sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 4-4. Analyse de l'incidence sur les habitats du site Natura 2000 de l'enrichissement en azote : proportion de surface de l'habitat exposée au panache et sensibilité de l'habitat à la pression d'enrichissement en nutriment

| Habitats d'intérêt communautaire | Niveau de sensibilité de l'habitat à la pression d'enrichissement en nutriment (source MarLIN) |
|--|--|
| 1110 - Bancs de sable à faible couverture permanente d'eau marine Description EMODnet de l'habitat "Graviers envasés infralittoraux à <i>Dosinia exoleta</i> et <i>Venus verrucosa</i> (code EUNIS 2007: A5.43_FR01)" Correspondance EUNIS 2022 : MB42 - Sédiment hétérogène du supra- et du médiolittoral en Atlantique | Non sensible à cette pression |
| 1140- Replats boueux ou sableux exondés à marée basse Description EMODnet de l'habitat "Habitats sableux de l'estran" Correspondance EUNIS 2022 : MA52 - Sable du supra- et du médiolittoral en Atlantique | Non sensible à cette pression |
| 1170 - Récifs - médiolittoraux : "Habitats rocheux d'estran" (Description EMODnet). Correspondance EUNIS 2022 : MA12 - Roche supra- et médiolittorale en Atlantique - ou infralittoraux : "Roches paléozoïques infralittorales" (description EMODnet). Correspondance EUNIS 2022 : MB12 - Roche infralittoral en Atlantique | Non sensible à cette pression |
| Herbiers de zostère marine (1110) Correspondance EUNIS 2022 : MB5-223 - Herbiers à <i>Zostera marina/angustifolia</i> sur sable propre ou vaseux de l'infralittoral en Atlantique | Moyen car les phénomènes d'eutrophisation entraînent une réduction de la pénétration de la lumière et l'étouffement des épiphytes |
| Banc de maërl (1110) EUNIS 2022 : MB3-22 Bancs de maërl sur sédiment grossier de l'infralittoral en Atlantique | Fort car à court ou moyen terme peut avoir des effets limités ou réversibles sur la croissance et la physiologie du maërl. Et pourrait avoir des effets néfastes sur les communautés benthiques associés. |
| 1160 – Grandes criques et baies peu profondes Graviers envasés Eunis 2022 : MB32 ou MB42 Sédiments grossiers ou mixtes de l'infralittoral en Atlantique | Non sensible à cette pression |
| Herbiers de zostère naine (1130) | Moyen car les phénomènes d'eutrophisation entraînent une réduction de la pénétration de la lumière et l'étouffement des épiphytes |

La plupart des habitats, à savoir **1110, 1140, 1160 et 1170**, ne sont pas sensibles à la pression d'enrichissement en nutriments. Il n'y a donc pas d'incidence pour ces habitats.

Les **herbiers de zostère marine**, ont un niveau de sensibilité moyen à cette pression. Cependant, les herbiers sont en apparition dans cette zone entre 1960 et 2022 (cf. Figure 4-3) voire depuis 2002 car la

cartographie de 2002 ne montre pas d'herbiers dans l'aire d'étude. Or, le rejet existe depuis 1998 et il n'est pas prévu d'augmentation de la capacité de la STEP.

L'extension récente des herbiers à proximité de la zone de rejet semble donc indiquer qu'il n'y a pas d'effet négatif du rejet sur ces habitats.

Le **banc de maërl**, habitat fortement sensible à l'enrichissement en nutriment, présente un état de conservation globalement favorable à légèrement dégradé, notamment en lien avec un enrichissement important en matière organique observé localement, sur le banc de la baie d'Abraham situé à proximité (cf. 4.2. *Cartographie des habitats marins au droit du point de rejet*). Cependant, les rejets azotés de la station d'épuration de Kerners s'élèvent à environ 5,3 tonnes par an, avec une augmentation projetée de 6 % d'ici 2038. Cette contribution relativement faible, combinée à la faible surface de banc de maërl exposée dans l'aire d'étude, limite significativement les risques d'incidence négative liée au rejet sur cet habitat. **Compte tenu de sa sensibilité et de son état de conservation, le banc de maërl s'avère être un enjeu majeur pour lequel il peut être pertinent d'avoir une attention particulière. Néanmoins, sans quantification de cette pression et de sa contribution relative, au regard des autres sources potentielles (cf. Contribution des différentes sources d'azote (graphique issu de la synthèse des éléments de connaissance sur les phénomènes d'algues vertes sur vasières, SMLS 2020).Figure 4-6) à l'enrichissement en matière organique de l'habitat, il n'est pas possible de conclure sur un éventuel impact.**

5. Conclusion

L'objectif de l'étude était d'évaluer l'impact des rejets de la station d'épuration de Kerners sur le milieu marin en conditions hydrodynamiques représentatives (six scénarios couvrant mortes-eaux et vives-eaux). Les simulations réalisées avec le système couplé TELEMAC / TOMAWAC / WAQTEL mettent en évidence le rôle prépondérant de la marée dans la dynamique de transport et de dilution des effluents, tandis que les effets de la houle et du vent demeurent secondaires et localisés. En conditions de vives-eaux, l'intensification des courants favorise la dispersion du panache, entraînant des concentrations plus faibles et une empreinte plus étendue. À l'inverse, les périodes de mortes-eaux se traduisent par une moindre dispersion et des concentrations plus élevées, pouvant localement dépasser 500 ufc/100 mL à proximité du point de rejet, sans pour autant provoquer d'accumulation au fil des cycles. Néanmoins, les concentrations observées au niveau des sites de baignades sont compatibles avec une bonne à excellente qualité des eaux de baignade, notamment lors des marées de vives-eaux. Cependant, les premières zones de baignades Ces résultats, obtenus à partir d'hypothèses conservatrices ($T_{90} = 48$ h – en période de fort ensoleillement, ce T_{90} est d'ordinaire plutôt estimé à 24h), traduisent une approche prudente, avec des concentrations probablement surestimées.

Les résultats de la modélisation ont permis de nourrir l'évaluation d'incidences Natura 2000, notamment concernant les paramètres de salinité, de contamination à *E. coli* et des apports en azote.

Les variations de salinité induites par le rejet apparaissent très limitées, ne concernant qu'une faible surface à proximité immédiate du point de rejet, sans incidence notable sur les habitats d'intérêt communautaire présents.

Concernant la contamination à *E. coli*, aucune donnée scientifique ne permet actuellement de relier la présence de cette bactérie à des effets potentiels sur les habitats marins, les seuils réglementaires existants se rapportent uniquement à la qualité sanitaire des eaux.

Enfin, s'agissant des apports azotés, la modélisation montre une dispersion rapide et une dilution importante des rejets, traduisant une contribution modeste à l'enrichissement local du milieu. Les herbiers de zostère marine présent à proximité du point de rejet, sous réserve de la validation terrain de leur présence par l'OFB (*marché en cours*), semblent plutôt montrer une dynamique d'expansion depuis la mise en service de la station, ce qui tend à indiquer l'absence d'effet défavorable. Le banc de maërl, en revanche, constitue un habitat plus sensible et à fort enjeu de conservation. Bien que la contribution azotée du rejet soit faible (environ 5,3 t N/an) et que la surface de banc exposée soit limitée, l'état de conservation légèrement dégradé observé localement dans la baie d'Abraham suggère qu'une vigilance particulière demeure nécessaire.

En conclusion, les résultats de la modélisation croisés à l'évaluation d'incidence Natura 2000 semble indiquer que le rejet des eaux traitées de la station d'épuration de Kerners n'induit pas d'incidences significatives sur les habitats d'intérêt communautaire du site Natura 2000. Les effets potentiels sont localisés, de faible ampleur et sans incidence notable sur ces habitats, une attention particulière pouvant toutefois être portée au banc de maërl, compte tenu de sa sensibilité et de sa valeur écologique.

Bibliographie

- Egbert, Gary D., et Svetlana Y. Erofeeva. 2002. « Efficient Inverse Modeling of Barotropic Ocean Tides ». *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 19 (2): 183-204. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2002\)019%253C0183:EIMOBO%253E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2002)019%253C0183:EIMOBO%253E2.0.CO;2).
- Marché OFB - TBM environnement - iSea. 2022. « Cartographie des herbiers de zostères prédite par classification supervisée de la série d'images Pléiades 2022 du site Natura 2000 FR5300029 "Golfe du Morbihan, côte ouest de Rhuys" ».
- Marché OFB-POSEIDON. 2023. « Évaluation de la superficie et de l'état de conservation des enveloppes de gorgones *Eunicella verrucosa* présentes dans le Golfe du Morbihan ».
- Marché OFB-TBM. 2023. « Evaluation de l'état de conservation des habitats du site Natura 2000 « golfe du Morbihan côte ouest de Rhuys » (FR 5300029) ».
- SIAGM et ONCFS (Coord.), Cosson T., Mézac A. (SIAGM), et Picard L (ONCFS). 2013. *Document d'objectifs des sites Natura 2000 ZSC « Golfe du Morbihan – côte ouest de Rhuys » (FR 53 000 89) et ZPS « Golfe du Morbihan » (FR 53 100 86)*. Syndicat Intercommunal d'Aménagement du Golfe du Morbihan et Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage.
- TBM environnement et i-Sea. 2023. *Cartographie, caractérisation de l'état de conservation et stratégie de suivi des herbiers de zostères du Golfe du Morbihan. Rapport d'analyse. Contrat TBM/OFB.*

Annexes

Annexe 1. Courrier de réponse de Golfe du Morbihan Vanne Agglomération adressé à la DDTM



Monsieur le Directeur
Direction départementale des territoires et
de la mer
Service Eau, Biodiversité et Risques
Unité Préservation de la Ressource en Eau
1, Allée Général Le Troadec
56019 VANNES

A l'attention de Frédéric GOULVEN

Dossier suivi par : Benoît GOUSSET
Direction : Eau et Assainissement
E.mail : b.gousset@gmvaglo.bzh
N. Réf : 20250415-0966BG



VANNES,
Le 15/04/2025

OBJET : Courrier de réponse à la demande de compléments du 13 mars 2025
Dossier de déclaration instruit au titre des articles L. 214-1 à L. 2014-6 du code de
l'environnement : **renouvellement de l'autorisation de rejet du système
d'assainissement d'Arzon**

Monsieur le Directeur,

En réponse à votre courrier du 10 mars 2025, relatif au renouvellement de l'autorisation
de rejet du système d'assainissement d'Arzon-Keners, nous avons bien noté les
éléments demandés en annexe, requis pour la complétude et la régularité du dossier.

- 1) Pour ce qui est de la canalisation et du point de rejet, le dossier sera rempli avec
les informations requises pour la canalisation, et également avec un dossier de
demande de CUDPM.
- 2) Concernant l'évaluation plus poussée des incidences au titre de Natura 2000, il est
demandé des modélisations complémentaires de l'impact du rejet, puis
l'évaluation des incidences du rejet de la station sur les habitats marins d'intérêt
communautaire (avec mise en œuvre de la séquence ER si impacts prévisibles).
 - Sur ce point, la modélisation du paramètre E. coli sera réalisée.
 - La modélisation pour le paramètre azote pose par contre question. En
effet, les mécanismes de dégradation et d'assimilation des différentes
formes de l'azote en milieu marin sont peu décrits dans la littérature. Or,
pour tirer des conclusions, il faut que le paramétrage du modèle soit le plus
précis possible (vitesse de dégradation ou d'assimilation de l'azote en
fonction de l'ensoleillement, de la température...), pour être le plus proche
possible de la réalité. Dans le cas contraire, aucune conclusion fiable ne
pourra être tirée des simulations réalisées. Ces études de modélisation du
paramètre azote ne sont pas communément réalisées par les bureaux
d'études spécialisés. Il est proposé de ne pas réaliser cette modélisation.
 - En ce qui concerne, le phosphore, comme pour l'azote, les mécanismes de
dégradation et d'assimilation du phosphore en milieu marin sont peu
documentés. De plus, ce n'est pas un paramètre limitant dans le
développement des algues vertes. Il est proposé de ne pas réaliser cette
modélisation.

GOLFE DU MORBIHAN
VANNES AGGLOMERATION

Parc d'Innovation Bretagne Sud II
30 rue Alfred Kastler - CS 70206
56006 VANNES CEDEX

Téléphone : 02 97 68 14 24
Fax : 02 97 68 14 25
Courriel : courrier@gmvaglo.bzh

golfedumorbihan-vannesagglomeration.bzh

- 3) Concernant le plan d'actions visant à supprimer les rejets d'eaux usées non traitées au milieu naturel, celui-ci sera intégré au document.

Dans l'attente, et restant à votre disposition, je vous prie d'agréer, Monsieur le directeur, l'expression de mes salutations distinguées.

David ROBO
Président





www.creocean.fr

