



**REALISATION D'UNE USINE DE POTABILISATION PAR
DESSALEMENT SUR GRANDE TERRE A IRONI BE**



**Conception et réalisation de la prise d'eau provisoire, de la canalisation de rejet
des saumures et de la plateforme de la future usine de dessalement de Grande
Terre à Ironi Bé**

**RAPPORT SUR LES ÉTUDES DE DILUTION
EN CHAMP LOINTAIN**

	Nom	Fonction	Date/Visa
Rédaction	DELPHINE LE BRIS	INGÉNIEURE D'ÉTUDE	13/02/2025
Vérification	BRUNO CHAFFRAIX	CONTROLEUR QUALITÉ VOLET MARITIME ARTELIA	13/02/2025
Approbation (*)	COLIN HOUSSAYE	CONTROLEUR QUALITÉ ARTELIA	13/02/2025
Approbation Mandataire (**)			

Groupement :	Émetteur :
Mandataire : Co-Traitants :	

Statut de diffusion :	APR
Critère de diffusion :	EXT

(*) : Le signataire s'engage à respecter les stipulations de l'article 1.8 du PFD : « Ces documents sont conformes au PFD et aux dérogations associées, ainsi qu'aux normes et règlements en vigueur et ne comportent ni erreur, ni omission, ni contradiction normalement décelable par un homme de l'art ».

(**) : Indique que le mandataire a vérifié que l'organisme émetteur indique avoir respecté l'article 1.8 pour ce qui le concerne.

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

Historique des évolutions

Version	Date	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur	Nature de l'évolution
A1	31/01/2025	D. LE BRIS	F. MAZAS B. CHAFFRAIX	C. HOUSSAYE	Première émission
A2	13/02/2025	D. LE BRIS	F. MAZAS B. CHAFFRAIX	C. HOUSSAYE	Ajout de compléments sur le champ proche

Il appartient aux destinataires de détruire ou d'identifier les versions périmées du présent document

Sommaire

1.	Contexte du projet et objet du présent document	7
1.1.	Contexte du projet	7
1.2.	Objet du présent document	8
2.	Description du système prise d'eau / rejet	9
3.	Caractérisation du milieu ambiant	11
3.1.	Bathymétrie	11
3.2.	Vents	12
3.3.	Niveaux marins	14
3.3.1.	Subsidence	15
3.3.2.	Marée astronomique	15
3.4.	Hydrodynamique	16
3.5.	Vagues	20
3.6.	Température et salinité de l'eau de mer	21
3.6.1.	Température	22
3.6.2.	Salinité	24
3.6.3.	Densité	25
4.	Définition des critères de dilution	27
4.1.	Description des enjeux	27
4.2.	Critères de température et salinité	29
4.3.	Critères sur les autres paramètres physico-chimiques	30
5.	Modèle de dilution en champ lointain	32
5.1.	Rappel du modèle de courantologie	32
5.2.	Modifications spécifiques au modèle de dilution	33
5.3.	Paramètres numériques	36
5.4.	Forçages	37
5.5.	Représentation du diffuseur	38
6.	Description des scénarios de calcul	40
6.1.	Périodes de modélisation	40
6.2.	État initial du milieu ambiant	43
6.3.	Caractéristiques du rejet	43
6.4.	Comparaison des résultats dans le champ proche	44
7.	Résultats et analyse	49
7.1.	Sorties du modèle	49

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

7.2.	Configuration de base	51
7.2.1.	Condition de mousson	51
7.2.1.1.	Description des conditions météo-océaniques sur la période.....	51
7.2.1.2.	Courants.....	51
7.2.1.3.	Salinité	52
7.2.1.4.	Température.....	61
7.2.1.5.	Traceur passif	62
7.2.2.	Condition d'alizés	64
7.2.2.1.	Description des conditions météo-océaniques sur la période.....	64
7.2.2.2.	Courants.....	65
7.2.2.3.	Salinité	66
7.2.2.4.	Température.....	72
7.2.2.5.	Traceur passif	73
7.3.	Tests de sensibilité	75
7.3.1.	Test sur l'espacement des buses	75
7.3.2.	Test sur le débit de rejet	78
8.	Conclusions	82
	Références	84
Annexe A	Figures : Description du modèle	85
Annexe B	Figures : Configuration de base et tests de sensibilité	86

Tableaux

Tableau 1 - Niveaux caractéristiques de marée à Dzaoudzi sans et avec effet de la subsidence	16
Tableau 2 - Statistiques de la vitesse du courant mesuré au point Ironi Côte (en m/s)	18
Tableau 3 - Statistiques de la vitesse du courant mesuré au point Ironi Large (en m/s)	18
Tableau 4 - Densité du milieu ambiant.....	26
Tableau 5 - Règlements et limites de salinité pour une sélection d'émissions de saumure (Jenkins et al., 2012)	29
Tableau 6 - Intervalles de valeurs limites maximales des principaux paramètres physico-chimiques à prendre en compte pour le rejet en mer (Ludwig, 2022).....	31
Tableau 7 - Caractéristiques du champ proche basées sur des formules empiriques	45
Tableau 8 - Sur-salinité moyenne et maximum (en g/l) aux points de sonde – Condition de mousson.....	61
Tableau 9 - Concentration en traceur moyenne et maximum (en %) aux points de sonde – Condition de mousson	64
Tableau 10 - Sur-salinité moyenne et maximum (en g/l) aux points de sonde – Condition d'alizés	72

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

Tableau 11 - Concentration en traceur moyenne et maximum (en %) aux points de sonde – Condition d'alizés..... 75
 Tableau 12 - Sur-salinité moyenne et maximum (en g/l) aux points de sonde – Test sur l'espacement entre les buses 78
 Tableau 13 - Sur-salinité moyenne et maximum (en g/l) aux points de sonde – Test sur le débit de rejet 81

Figures

Figure 1 - Localisation du site d'étude.....7
 Figure 2 - Plan-masse des ouvrages de prise d'eau / rejet (version janvier 2025)9
 Figure 3 - Vue préliminaire de détail d'un orifice du diffuseur (Réf. IRO-PLA-ART-2-500-A en date du 24 janvier 2025) 10
 Figure 4 - MNT de façade Mayotte (Shom, 2016)..... 11
 Figure 5 - Levé bathymétrique d'ID OCEAN (vue rapprochée)..... 12
 Figure 6 - Rose annuelle de vent à l'aéroport de Pamandzi..... 13
 Figure 7 - Variabilité mensuelle de la force du vent à l'aéroport Pamandzi 13
 Figure 8 - Roses mensuelles de vent à l'aéroport de Pamandzi..... 14
 Figure 9 - Localisation des points de mesure 17
 Figure 10 - Mesures du courant au point « Ironi Côte » 18
 Figure 11 - Mesures du courant au point « Ironi Large » 18
 Figure 12 - Comparaison des niveaux d'eau mesurés au marégraphe de Dzaoudzi et simulés par le modèle hydrodynamique 3D en septembre 2023 19
 Figure 13 - Champ de courant dans la zone de projet 4 h avant une pleine mer de vive-eau 20
 Figure 14 - Épure d'état de mer le 5 août 2023 4h UTC 21
 Figure 15 - Site de prélèvement de qualité d'eau (source : OCEA Consult') 22
 Figure 16 - Série temporelle de la température (source : OCEA Consult') 23
 Figure 17 - Nuage de points température/profondeur (source : OCEA Consult')..... 23
 Figure 18 - Série temporelle de la salinité (source : OCEA Consult') 24
 Figure 19 - Nuage de points salinité/profondeur (source : OCEA Consult') 25
 Figure 20 - Habitats écologiques sensibles autour du site (source : projet CARMAYOTTE) 28
 Figure 21 - Habitats écologiques sensibles et herbiers subtidiaux autour de l'îlot Mbouzi (source : projet CARMAYOTTE et étude 2017)..... 28
 Figure 22 - Maillage et bathymétrie du modèle hydrodynamique – Vue générale 33
 Figure 23 - Maillage et bathymétrie du modèle de dilution dans le lagon et vue rapprochée sur la baie d'Ironi Bé 34
 Figure 24 - Maillage du modèle de dilution autour de la passe en S 35
 Figure 25 - Maillage du modèle de dilution autour du diffuseur 35
 Figure 26 - Maillage vertical du modèle de dilution 36
 Figure 27 - Champ de vent AROME au 22/06/2022 03h UTC 38
 Figure 28 - Orientation du jet en sortie du diffuseur (vue en plan) 39
 Figure 29 - Variabilité interannuelle de la vitesse du vent dans la baie au mois de janvier 40
 Figure 30 - Variabilité interannuelle de la vitesse du vent dans la baie au mois de juillet..... 41
 Figure 31 - Conditions de marée, de houle (en haut) et de vent (bas) sur le site étude – Condition d'alizés 42
 Figure 32 - Conditions de marée, de houle (en haut) et de vent (bas) sur le site étude – Condition de mousson 42

Figure 33 - Schéma de principe de définition du champ proche (« *near field* »), d'après Jenkins et al. 2012..... 44

Figure 34 - Position des buses de rejet (points rouges) et des profils d'extraction (lignes bleues) 46

Figure 35 - Évolution de la sur-salinité en fonction de la distance au rejet – Débit de 529 m³/h en haut et 1000 m³/h en bas 47

Figure 36 - Position des points de sonde 50

Figure 37 - Conditions de marée, de houle (en haut) et de vent (bas) sur le site d'étude (à l'emplacement de la prise d'eau) – Condition de mousson 51

Figure 38 - Vitesses maximales au fond dans la zone du projet 52

Figure 39 - Maximum de sur-salinité au fond – Condition de mousson 53

Figure 40 - Maximum de sur-salinité à - 12 m NGM – Condition de mousson 54

Figure 41 - Cartographies de sur-salinité au fond au cours de la marée 57

Figure 42 - Coupe verticale de sur-salinité dans l'axe du diffuseur – Condition de mousson 58

Figure 43 - Coupe verticale de sur-salinité perpendiculaire au diffuseur – Condition de mousson 59

Figure 44 - Évolution temporelle de la sur-salinité en différents points de sonde – Condition de mousson..... 60

Figure 45 - Carte de l'échauffement maximum au fond – Condition de mousson 62

Figure 46 - Carte de la concentration maximum en traceur passif au fond (en pourcentage de la concentration au rejet) – Condition de mousson 63

Figure 47 - Conditions de marée, de houle (en haut) et de vent (bas) sur le site d'étude (à l'emplacement de la prise d'eau) – Condition d'alizés 65

Figure 48 - Vitesses maximales au fond dans la zone du projet – Condition d'alizés 66

Figure 49 - Maximum de sur-salinité au fond – Condition d'alizés..... 67

Figure 50 - Maximum de sur-salinité à - 12 m NGM – Condition d'alizés..... 68

Figure 51 - Coupe verticale de sur-salinité dans l'axe du diffuseur – Condition d'alizés 70

Figure 52 - Coupes verticales de sur-salinité perpendiculaire au diffuseur – Condition d'alizés . 70

Figure 53 - Évolution temporelle de la sur-salinité en différents points sonde – Condition d'alizés 71

Figure 54 - Carte de l'échauffement maximum au fond – Condition d'alizés 73

Figure 55 - Carte de la concentration maximum en traceur passif au fond (en pourcentage de la concentration au rejet) – Condition d'alizés 74

Figure 56 - Maximum de sur-salinité au fond – Test sur l'espacement entre les buses 76

Figure 57 - Évolution temporelle de la sur-salinité en différents points sonde – Test sur l'espacement entre les buses 77

Figure 58 - Maximum de sur-salinité au fond – Test sur le débit de rejet 79

Figure 59 - Évolution temporelle de la sur-salinité en différents points sonde – Test sur le débit de rejet 80

1. Contexte du projet et objet du présent document

1.1. Contexte du projet

Les Eaux de Mayotte (LEMA), ci-après le Maître d'Ouvrage (MOA), a décidé la construction d'une usine de potabilisation par dessalement sur Grande Terre à Ironi Bé. Dans ce cadre, le MOA a attribué les lots suivants :

- Lot de marché global de performances pour la conception, la réalisation et l'exploitation de l'usine de dessalement au groupement Stereau / Colas / ARTELIA / AROM / SAUR ;
- Lot de conception et réalisation de la prise d'eau, de la canalisation de rejet des saumures et de la plateforme au groupement NEGRI (mandataire) / ARTELIA / Colas / Ocetra.

L'emplacement envisagé pour l'usine de dessalement est situé sur la côte est de Mayotte, à Ironi Bé situé à environ une dizaine de kilomètre au sud de Mamoudzou (Figure 1). L'usine de dessalement aura pour fonction de compléter les ressources en eau disponible sur l'île en ajoutant un volume d'eau traité de 10 000 m³/jour dans un premier temps puis de 16 670 m³/jour dans un second temps.

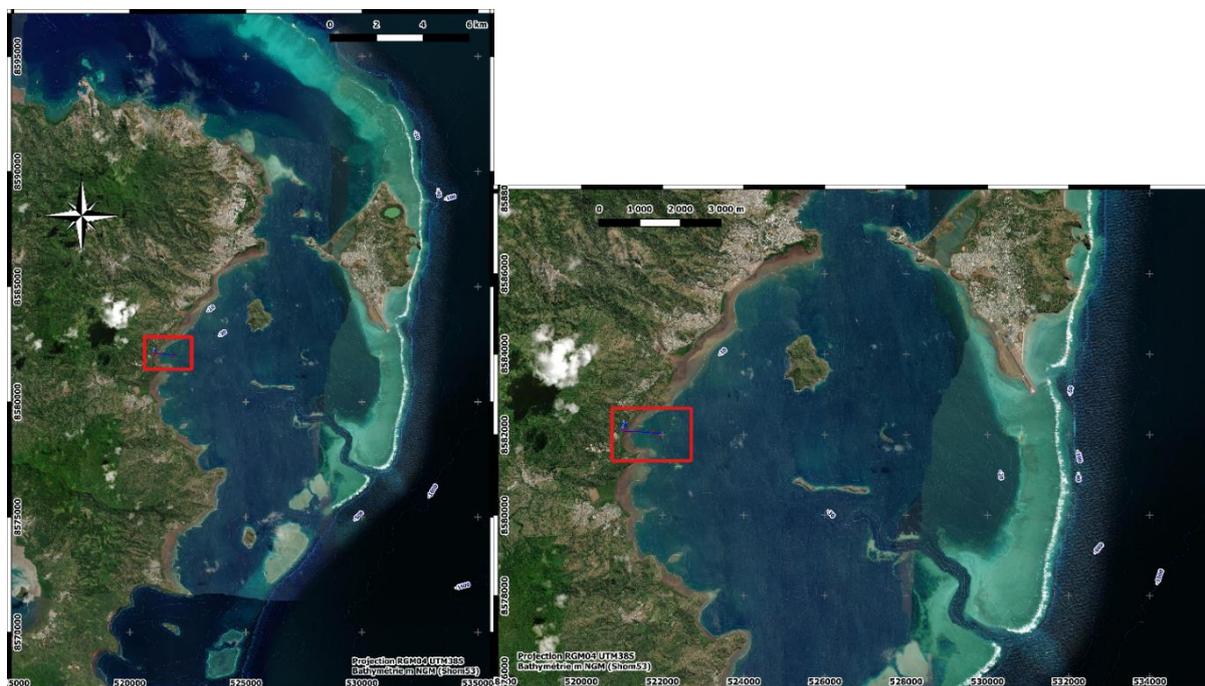


Figure 1 - Localisation du site d'étude

Les infrastructures marines permettront de collecter l'eau brute et de rejeter les eaux de saumures provenant des membranes d'osmose d'inverse.

1.2. Objet du présent document

Le présent document constitue le rapport sur les études de dilution. Il détaille :

- le système de rejet de l'usine ;
- les principales caractéristiques du milieu ambiant, la localisation des principaux habitats sensibles et les critères de dilution retenus ;
- la modélisation hydrodynamique 3D mise en œuvre et les hypothèses associées ;
- les scénarios retenus ;
- les résultats des simulations et leur analyse.

Ce document est une version préliminaire, présentant l'état d'avancement des études de dilution à fin janvier 2025. Il vise à présenter les hypothèses retenues, décrire le modèle utilisé et analyser les premiers calculs réalisés sur une configuration de base, ainsi que des premiers tests de sensibilité.

Par ailleurs, la conception du système de rejet (et la détermination de la courbe de débits associée) ; le dimensionnement du diffuseur et les calculs de dilution en champ proche sont présentés dans la note de conception hydraulique de rejet, actuellement en phase AVP. Le présent rapport se borne à rappeler la configuration de diffuseur retenue à ce stade et les résultats de la dilution en champ proche, qui strictement ne relèvent pas de son périmètre.

Il sera complété lorsque la conception définitive du système de prise d'eau / rejet sera réalisée et que l'ensemble des informations nécessaires seront précisément connues.

Ses conclusions doivent donc être regardées comme provisoires, mais fournissant d'ores et déjà un bon ordre de grandeur des résultats définitifs.

2. Description du système prise d'eau / rejet

Le plan-masse des ouvrages et du système de prise d'eau / rejet est présenté sur la Figure 2.

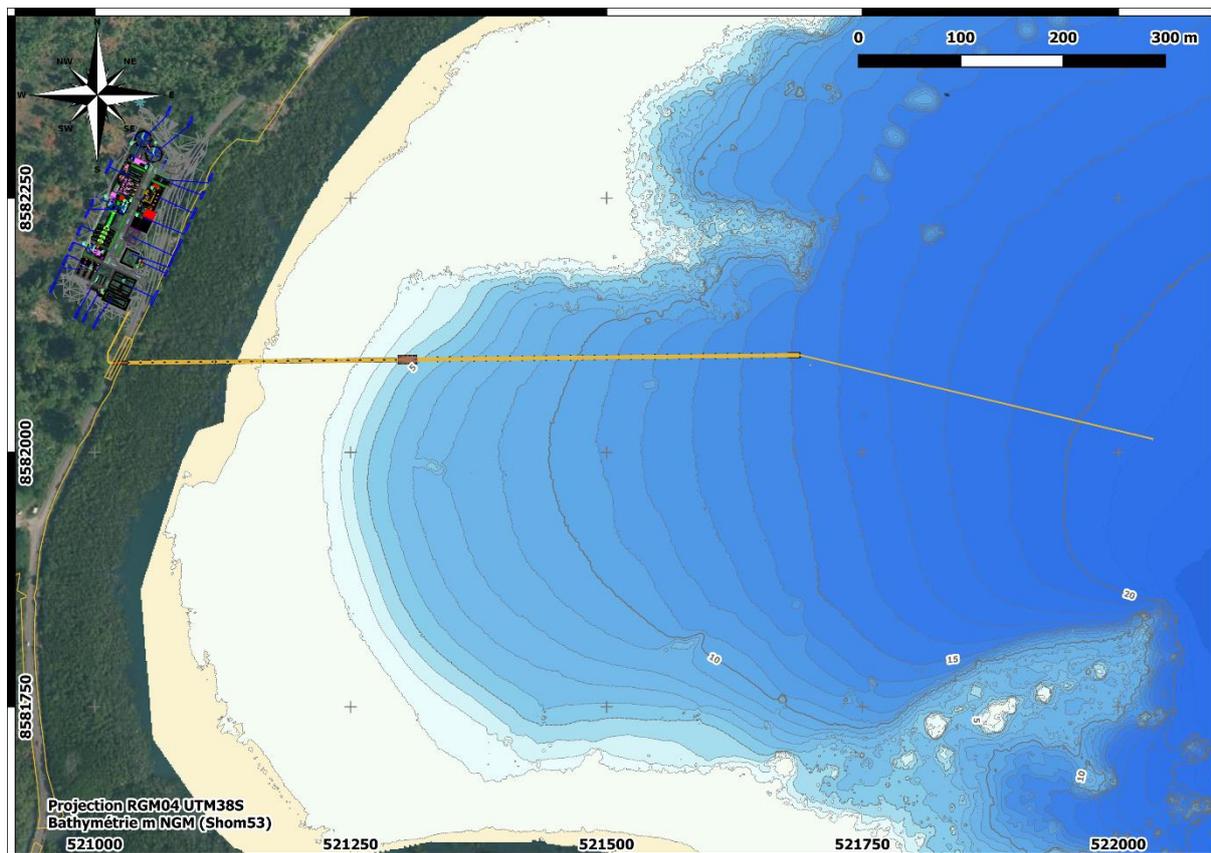


Figure 2 - Plan-masse des ouvrages de prise d'eau / rejet (version janvier 2025)

Le dimensionnement du diffuseur de rejet est détaillé en Réf. [3]. Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

- une conduite de 630 mm SDR17 (diamètre intérieur 555,2 mm), sur une longueur de 700 m environ ;
- le diffuseur est constitué du même tuyau et percé de 8 orifices de diamètre intérieur 0,12 m (tuyau 140 mm SDR 13,6), espacés de 8 m chacun. La longueur totale du diffuseur est donc de 56 m environ ;
- les orifices sont disposés sur la génératrice supérieure du diffuseur et éjectent la saumure avec un angle de 60° dans le plan vertical, et à 45° dans le plan horizontal par rapport à l'axe de celui-ci, en quinconce, c'est-à-dire alternativement de part et d'autre du diffuseur, ceci pour rejeter la saumure en direction du large et l'éloigner de la mangrove, du récif corallien et de la prise d'eau. Pour augmenter les vitesses en sortie de diffuseur et ainsi améliorer la dilution, des « becs de canard » de diamètre 150 mm sont placés sur chaque orifice ;
- le début du diffuseur est positionné au niveau de l'isobathe - 20 m NGM ;

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

- en tenant compte du support de la canalisation de rejet, de l'épaisseur de celle-ci et de la dimension des buses, l'éjection des jets se fera à environ 2,5 m du fond (valeur à affiner).

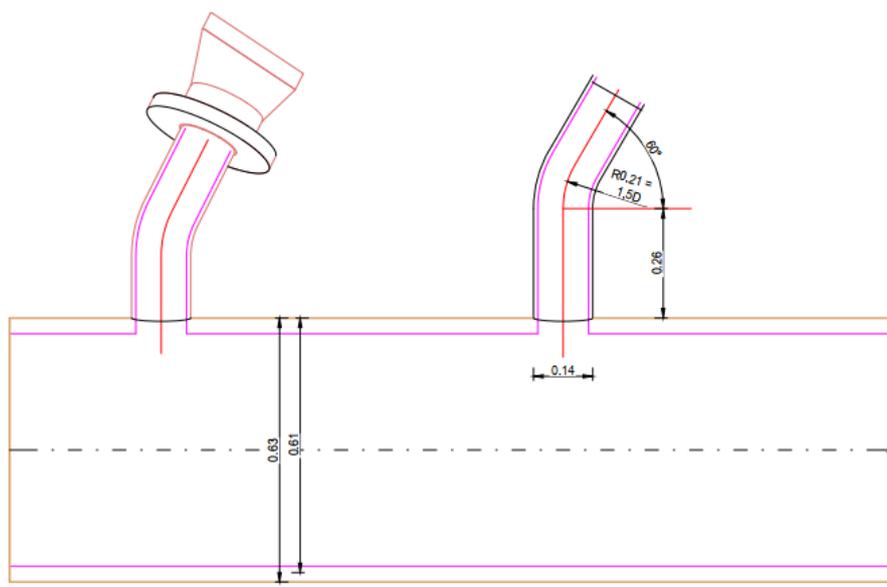


Figure 3 - Vue préliminaire de détail d'un orifice du diffuseur (Réf. IRO-PLA-ART-2-500-A en date du 24 janvier 2025)

L'ouvrage de prise d'eau sera constitué de deux éléments distincts avec d'une part la tête de prise ayant pour rôle de réaliser une préfiltration de l'eau et d'autre part un té de branchement ayant pour rôle de diriger l'eau vers la conduite de prise. La tête est positionnée au niveau de l'isobathe - 15 m NGM, à 3 m au-dessus du fond.

3. Caractérisation du milieu ambiant

3.1. Bathymétrie

Comme détaillé en Réf. [2], la bathymétrie de la zone de projet, du lagon et des fonds océaniques est caractérisée à partir des sources suivantes :

- Modèle Numérique de Terrain (MNT) de façade Mayotte, de résolution 0,001° soit ~110 m (Shom, 2016), représenté en Figure 4 ;
- Litto3D® Mayotte (Shom / IGN 2012) ;
- levés bathymétriques réalisés par ID OCEAN en mai 2023 (zone de 175 ha devant le site) puis février 2024 (zone de 400 ha plus au large du lagon), représentés en Figure 5 ci-après.

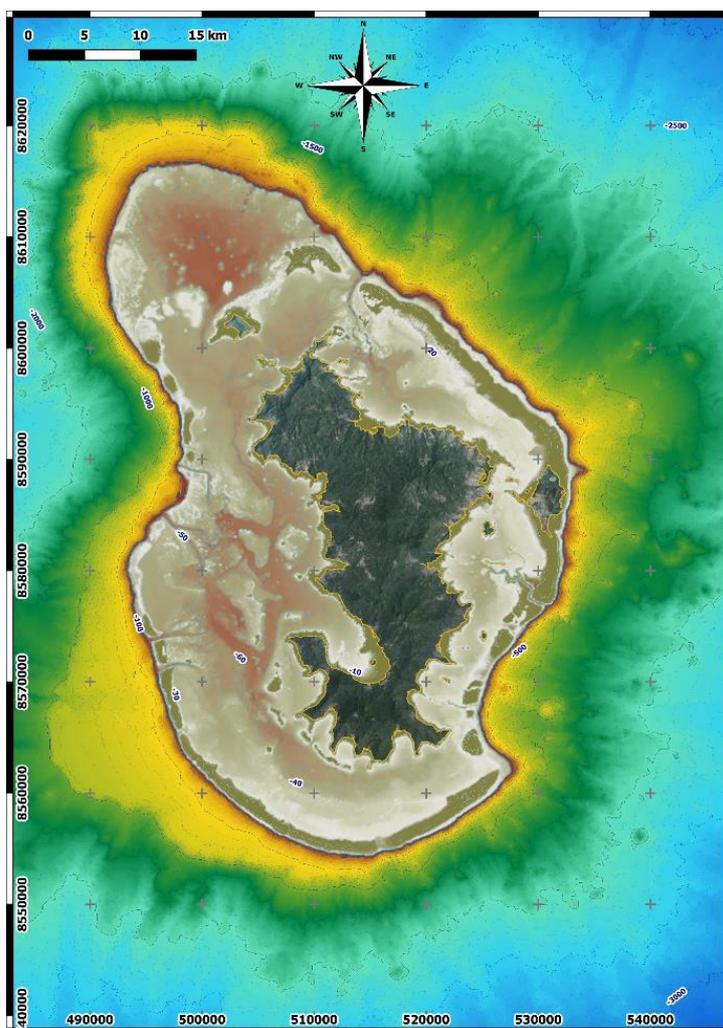


Figure 4 - MNT de façade Mayotte (Shom, 2016)

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

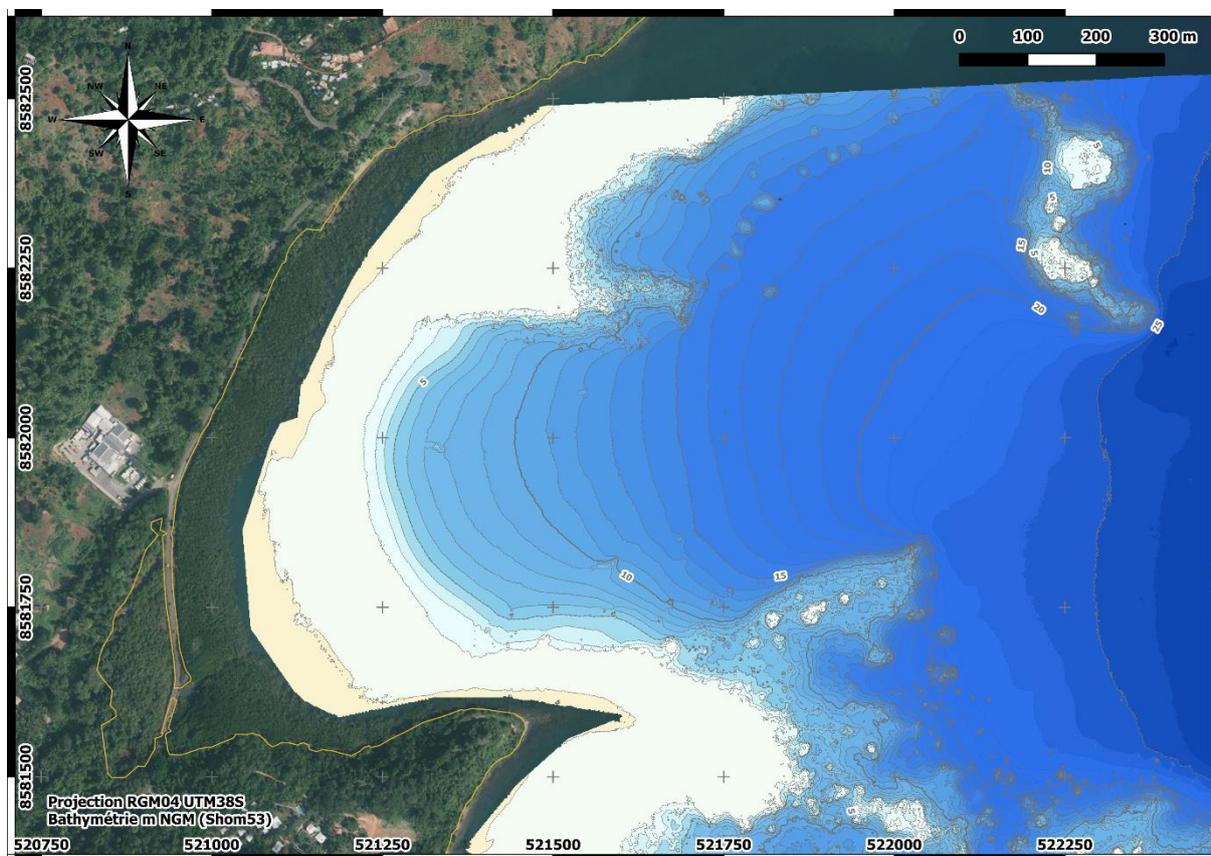


Figure 5 - Levé bathymétrique d'ID OCEAN (vue rapprochée)

3.2. Vents

Une étude détaillée des vents est fournie dans le rapport météo-océanique (Réf. [2]). Ses principaux résultats sont récapitulés ci-après.

La rose annuelle des vents mesurés à l'aéroport de Pamandzi montre une prédominance des vents de sud à sud-est, mais avec une grande variété de directions. La vitesse excède 7 m/s 10 % du temps, et 10 m/s environ 1 % du temps, avec des valeurs maximales sur la période d'environ 15 à 16 m/s.

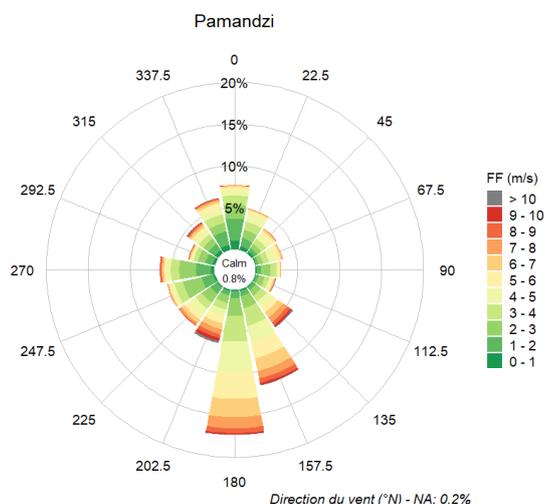


Figure 6 - Rose annuelle de vent à l'aéroport de Pamandzi

Cependant, le climat annuel masque une forte composante saisonnière, bien mise en évidence par les graphes ci-dessous. En moyenne, le vent est nettement plus fort au début de l'hiver austral, de mai à juillet, avec une direction nettement orientée depuis le sud à sud-est : ce sont principalement les alizés, très réguliers. Cependant, les valeurs maximales peuvent être atteintes lors de l'été austral, avec des vents de mousson orientés depuis le nord au nord-ouest.

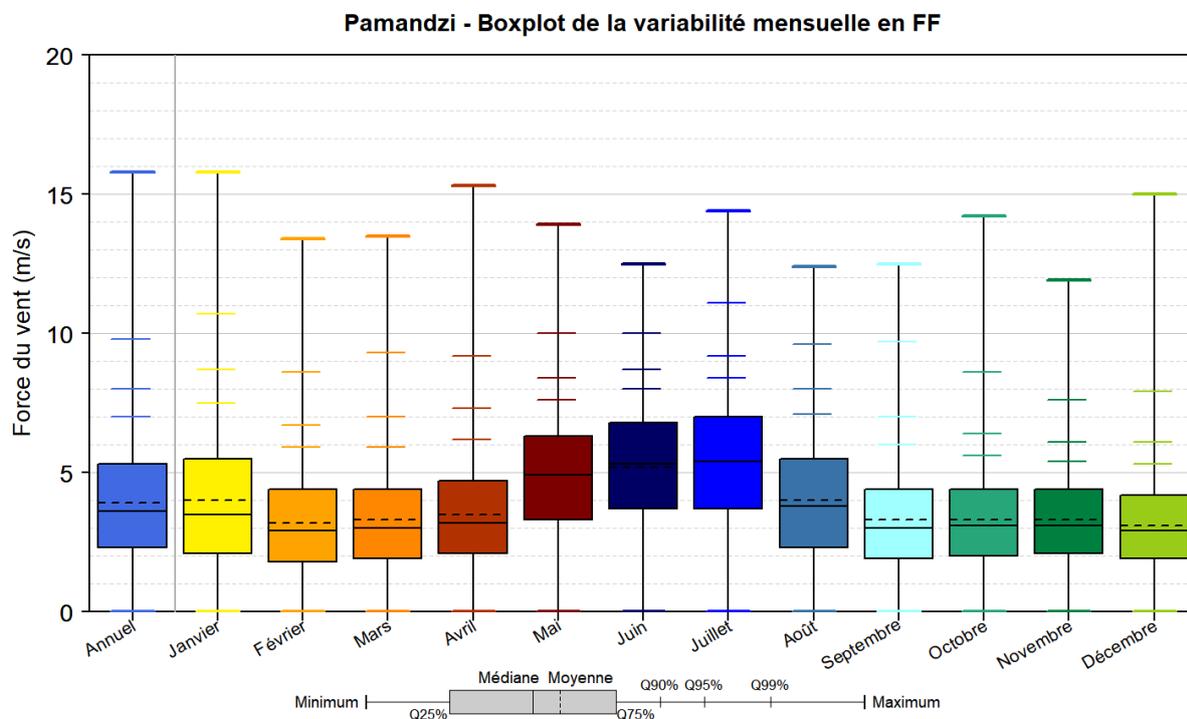


Figure 7 - Variabilité mensuelle de la force du vent à l'aéroport Pamandzi

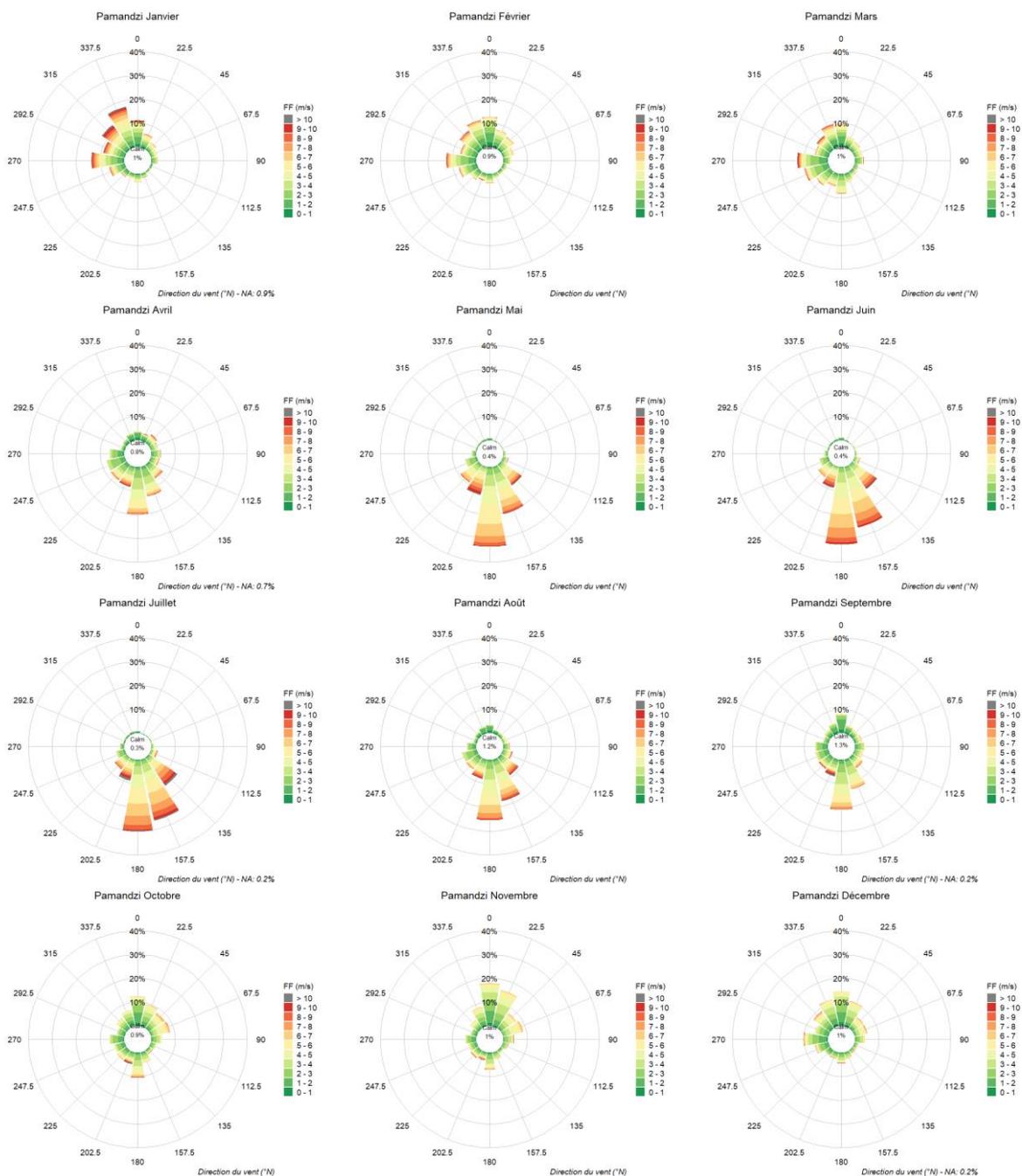


Figure 8 - Roses mensuelles de vent à l'aéroport de Pamandzi

3.3. Niveaux marins

L'analyse des niveaux marins, présentée en détail en Réf. [2], inclut :

- une estimation de la remontée eustatique du niveau moyen au cours de la durée de vie du projet ;

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

- l'analyse des effets de la subsidence due à la crise sismo-volcanique de 2018-2020 ;
- la caractérisation de la marée astronomique ;
- la quantification des surcotes et décotes atmosphériques, en conditions usuelles et en conditions cycloniques ;
- l'analyse des mesures de niveau marin au marégraphe de Pamandzi ;
- la définition des niveaux de projet.

Dans le cadre de la présente étude de dilution, on s'intéresse en premier lieu aux variations usuelles du niveau marin, causées principalement par la marée astronomique dans un contexte post-subsidence. On reproduit donc ci-dessous les analyses réalisées sur ces deux phénomènes.

3.3.1. Subsidence

Depuis 2018, une activité sismique inhabituelle à Mayotte a conduit à la découverte d'un nouveau volcan sous-marin à l'est de l'île.

Le BRGM a assuré dès le début du phénomène le suivi sismologique. Depuis 2019, plusieurs campagnes, océanographiques et à terre, se sont déroulées à Mayotte. En septembre 2019, le Réseau de surveillance volcanologique et sismologique de Mayotte (REVOSIMA) a été mis en place.

Depuis juillet 2018, le nombre de séismes a diminué mais une sismicité continue persiste. Celle-ci fluctue mais peut toujours générer des séismes de magnitudes proches de M4 ressentis à terre.

L'île a subi une subsidence accumulée entre 10 à 19 cm en fonction de l'emplacement entre 2018 et 2020. Dans son bulletin mensuel de septembre 2024, le REVOSIMA relève une évolution nulle au cours des 12 derniers mois.



Dans la présente étude, il est donc proposé de retenir une valeur de subsidence de **0,19 m**.

3.3.2. Marée astronomique

Le marnage à Mayotte est du type semi-diurne avec inégalités diurnes. Il est observé chaque jour deux pleines mers et deux basses mers, mais il existe des différences entre les niveaux des pleines mers et des basses mers d'une même journée et entre les durées du montant et du perdant.

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

Les niveaux caractéristiques de marée à Dzaoudzi sont fournis dans les Références Altimétriques Maritimes (2022) du Shom, **qui n'intègrent pas les conséquences du phénomène de subsidence de 2018-2020**. Il faut donc considérer que le sol s'étant enfoncé d'environ 0,19 m, les valeurs ci-après doivent en réalité être rehaussées d'autant. Le **niveau moyen** y est défini à **+ 0,35 m NGM**.

Les niveaux caractéristiques de la marée sont présentés dans le Tableau 1 ci-après. La première colonne retranscrit les indications des RAM 2022 ; la deuxième colonne inclut les effets de la subsidence (surélévation de 0,19 m).

Tableau 1 - Niveaux caractéristiques de marée à Dzaoudzi sans et avec effet de la subsidence

Niveau caractéristique	RAM 2022 (m NGM)	Valeur 2025 post-subsidence (m NGM)
Plus Haute Mer Astronomique (PHMA)	+ 2,52	+ 2,71
Pleines Mers de Vives-Eaux (PMVE)	+ 1,92	+ 2,11
Pleines Mers de Mortes-Eaux (PMME)	+ 1,02	+ 1,21
Niveau moyen (NM)	+ 0,35	+ 0,54
Basses Mers de Mortes-Eaux (BMME)	- 0,33	- 0,14
Basses Mers de Vives-Eaux (BMVE)	- 1,28	- 1,09
Plus Basse Mer Astronomique (PBMA)	- 1,70	- 1,51

3.4. Hydrodynamique

Dans le cadre du projet, des mesures de courant ont été réalisées par Exail de mai 2023 à mars 2024 en différents points du la gon de Mayotte. Deux de ces points sont localisés dans la zone de projet, le premier dans la baie d'Ironi Bé et le second dans la passe en S (Figure 9). Le point à la côte est localisé environ 300 m au sud-est du diffuseur.

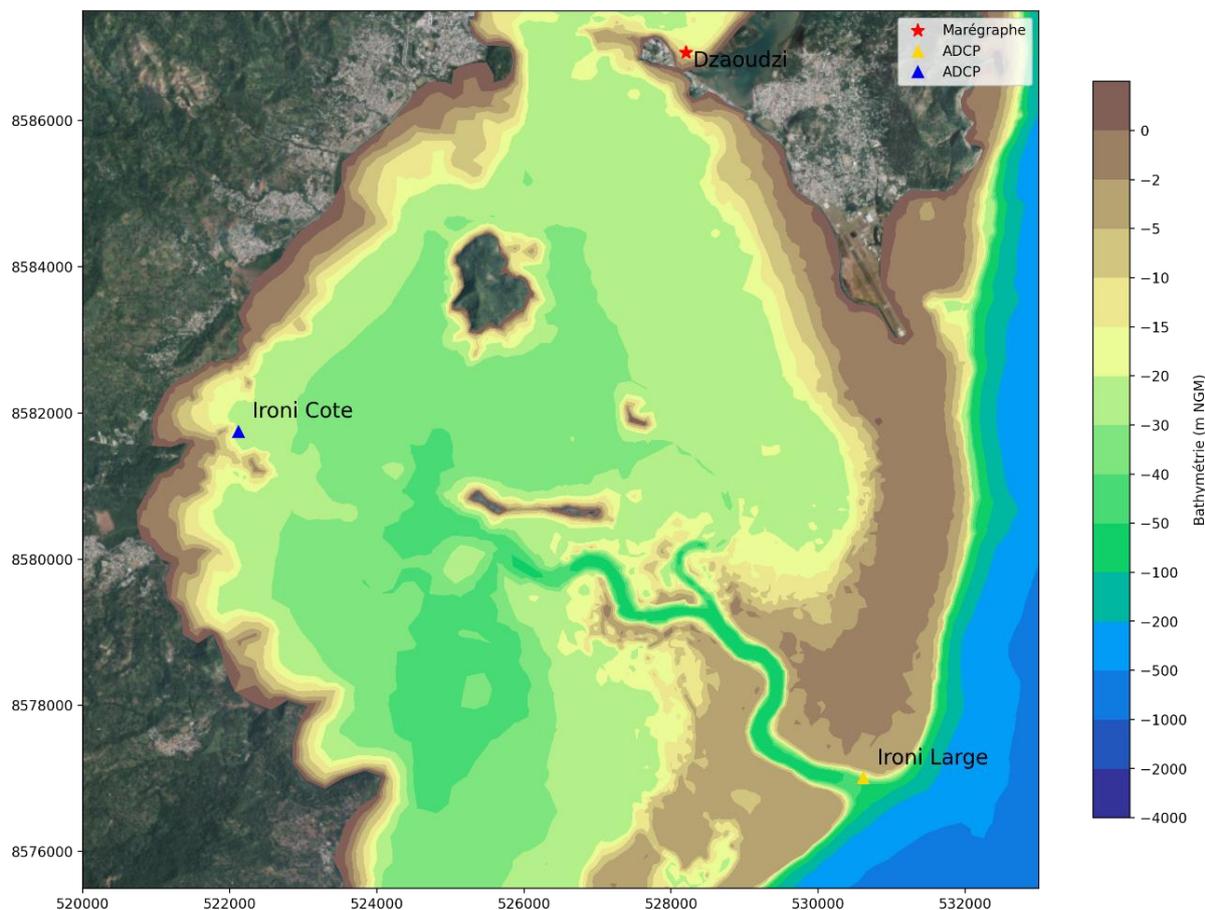


Figure 9 - Localisation des points de mesure

La Figure 10 présente les vitesses du courant mesurées 1,9 m au-dessus du fond et 1 m sous la surface au point Ironi Côte, localisé par des fonds d'environ - 22 m NGM. Les mesures disponibles s'étendent de mai 2023 à février 2024, avec une lacune entre le 23 juin et le 1^{er} août 2023.

En ce point, la vitesse du courant est généralement inférieure à 0,1 m/s. Sur la première période de mesure (mai / juin 2023), l'intensité des courants est légèrement plus élevée en surface qu'au fond. À partir d'août 2023, les vitesses sont davantage homogènes sur la colonne d'eau.

Dans la passe en S (Figure 11), les courants sont plus importants, avec des vitesses maximales de l'ordre de 0,8 m/s en surface et 0,6 m/s au fond. La direction du courant varie avec la marée, avec des courants dirigés vers le nord-ouest au flot et vers le sud-est au jusant.

Les Tableau 2 et Tableau 3 présentent les statistiques de la vitesse du courant aux deux points de mesure.

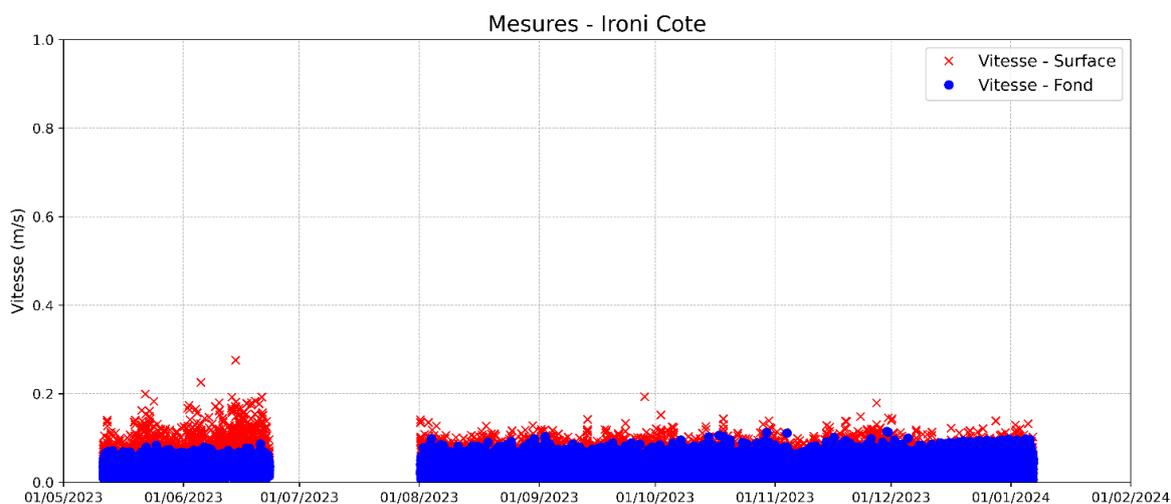


Figure 10 - Mesures du courant au point « Ironi Côte »

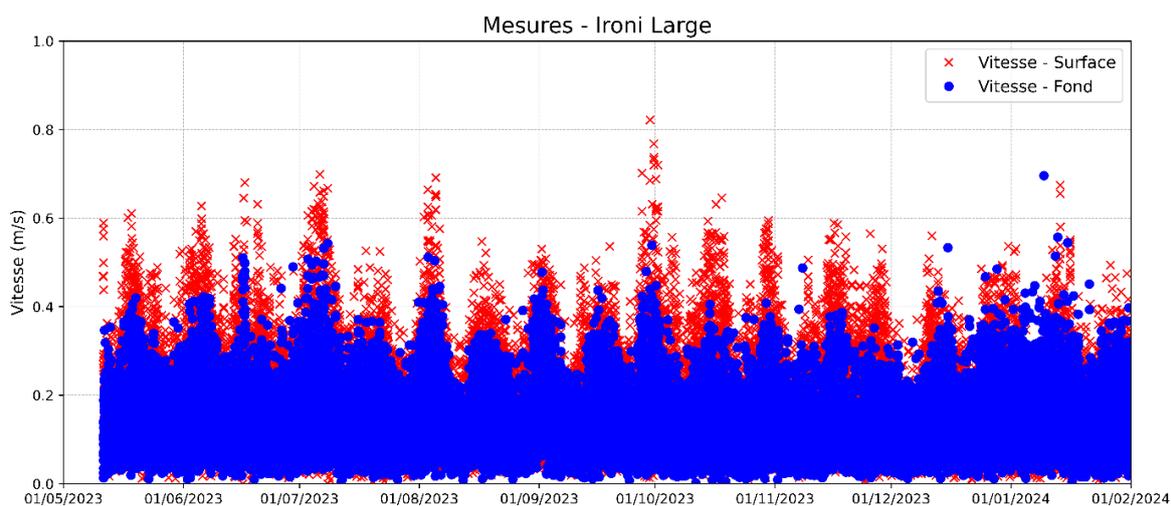


Figure 11 - Mesures du courant au point « Ironi Large »

Tableau 2 - Statistiques de la vitesse du courant mesuré au point Ironi Côte (en m/s)

	Maximum	Moyenne	Percentile50	Percentile75	Percentile95
Surface	0,28	0,04	0,04	0,06	0,09
Fond	0,11	0,03	0,03	0,04	0,06

Tableau 3 - Statistiques de la vitesse du courant mesuré au point Ironi Large (en m/s)

	Maximum	Moyenne	Percentile50	Percentile75	Percentile95
Surface	0,82	0,20	0,18	0,26	0,40
Fond	0,70	0,15	0,14	0,19	0,29

Un modèle hydrodynamique 3D a été mis en œuvre sur la façade Est de Mayotte pour caractériser les courants dans le lagon et le site de projet. Ce modèle est forcé par les champs de vent et de pression atmosphérique du modèle AROME de Météo-France de résolution 0,025° (~ 2,5 km) et de pas de temps horaire ; par la houle océanique et par la marée astronomique. Il a été calé par rapport aux mesures de niveau marin au marégraphe de Dzaoudzi (Figure 12) et aux mesures de courant réalisées par Exail de mai 2023 à mars 2024 à l'extrémité océanique de la passe en S et à proximité de la prise d'eau. Une description complète du modèle est fournie dans le rapport météo-océanique (Réf. [2]).

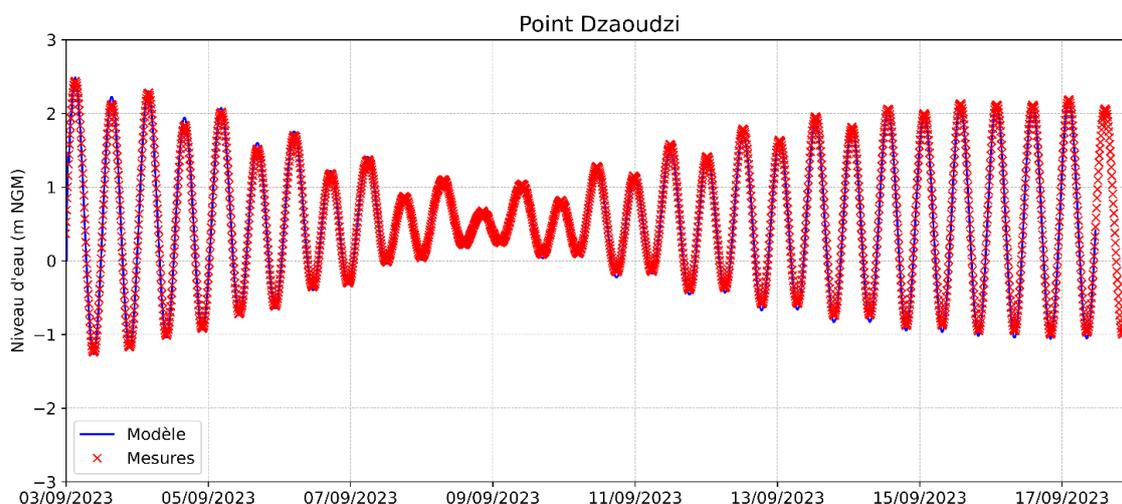


Figure 12 - Comparaison des niveaux d'eau mesurés au marégraphe de Dzaoudzi et simulés par le modèle hydrodynamique 3D en septembre 2023

Les résultats sur un cycle de marée de 15 jours en septembre 2023 montrent la faiblesse des courants de marée à l'intérieur du lagon et en particulier dans la baie d'Ironi Bé (inférieurs à 0,1 m/s quel que soit l'instant de marée). Ils peuvent atteindre 0,2 à 0,4 m/s au niveau du récif corallien et 0,5 m/s au niveau de la passe de Longogori.

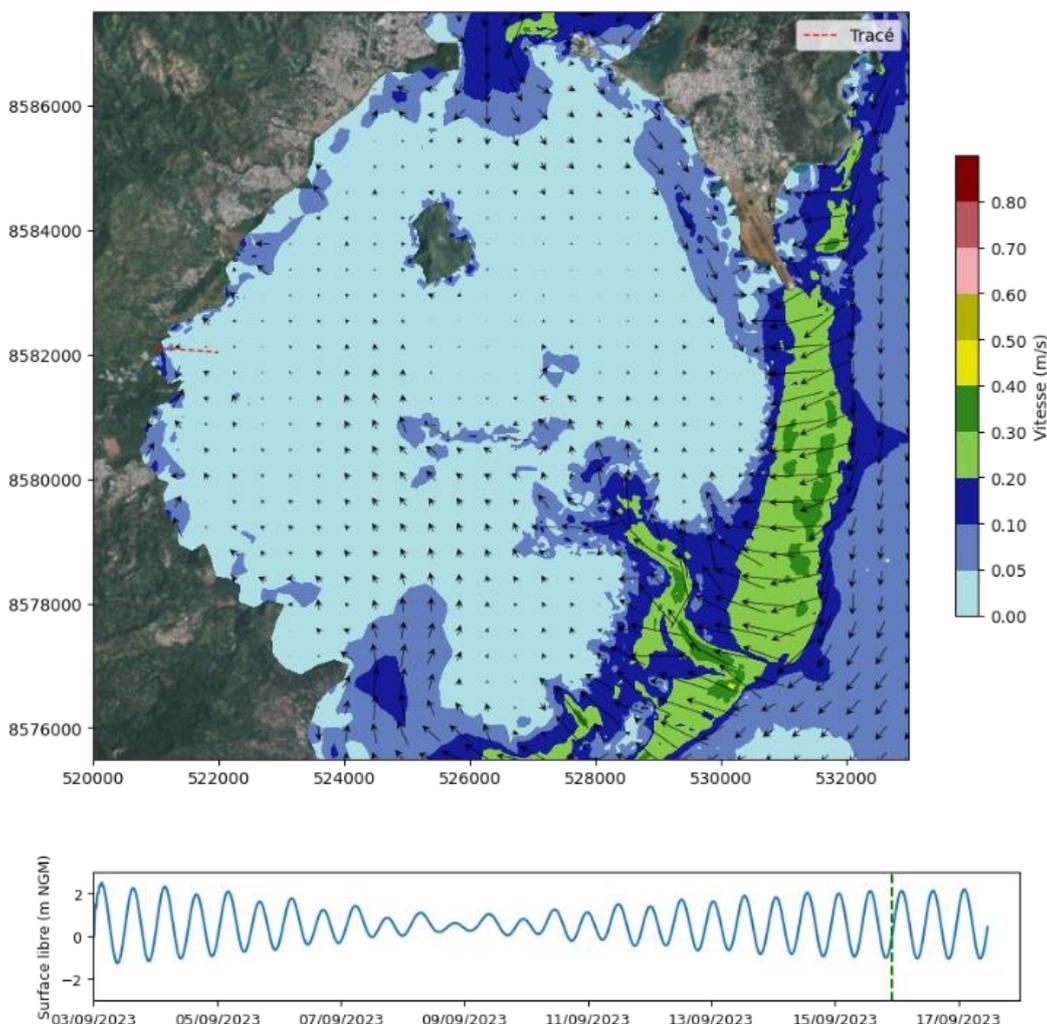


Figure 13 - Champ de courant dans la zone de projet 4 h avant une pleine mer de vive-eau

3.5. Vagues

Un modèle de génération / propagation des états de mer non-cycloniques a été mis en œuvre sur la façade Est de Mayotte. Il est forcé par la houle océanique autour de l'archipel, extraite du modèle global de Copernicus Marine de résolution spatiale 0,2° (~ 20 km), et par les champs de vent horaires du modèle AROME de Météo-France de résolution 0,025° (~ 2,5 km). La période de modélisation s'étend du 27 janvier 2016 au 31 décembre 2023.

Les résultats détaillés en Réf. [2] montrent l'effet de protection du récif-barrière qui fait déferler la houle océanique, et la régénération dans le lagon par le vent local. L'agitation dans le lagon est donc principalement de la mer de vent, dépassant rarement 1 m dans sa partie centrale et 0,3 à 0,4 m au niveau du diffuseur, associée à des périodes de 3 à 8 s. La Figure 13 ci-après illustre la propagation / génération sur le lagon le 5 août 2023, en conditions de sud-est.

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

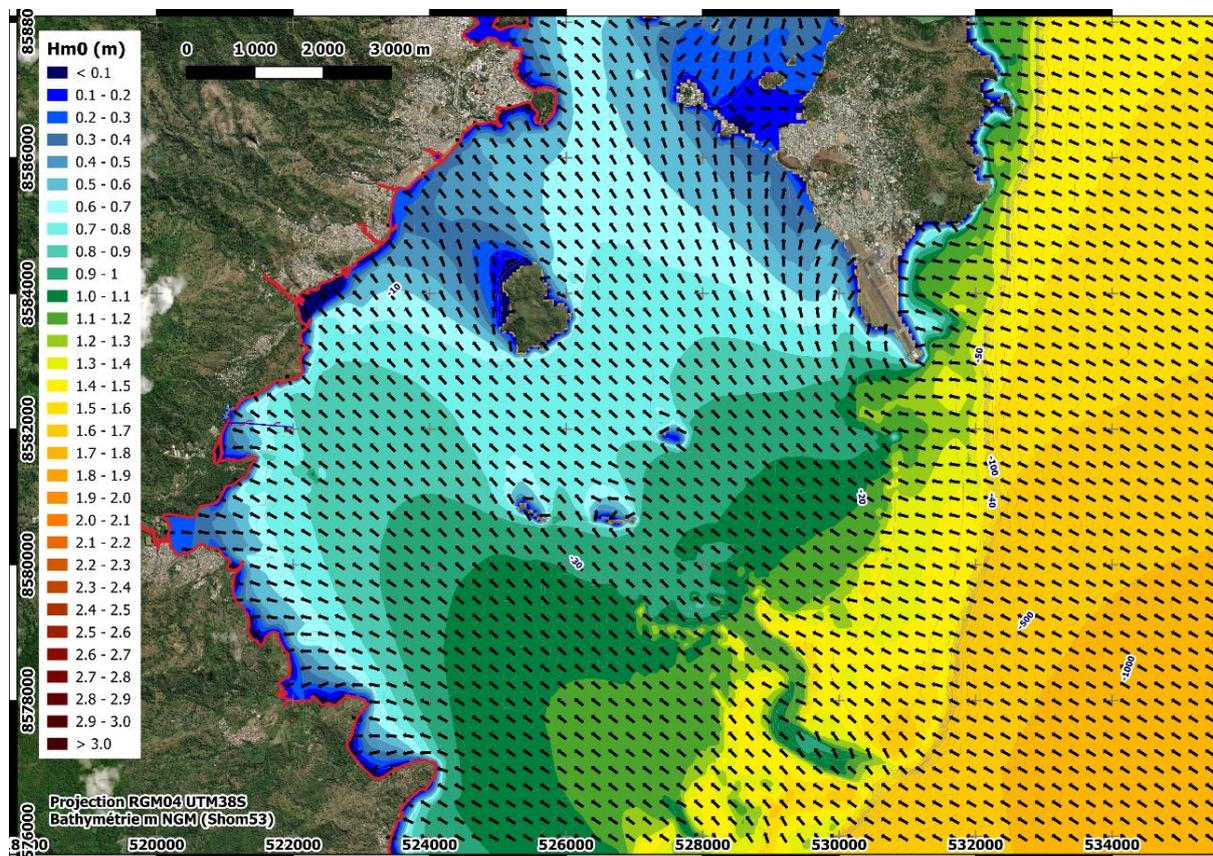


Figure 14 - Épure d'état de mer le 5 août 2023 4h UTC

Cette modélisation de la houle et de la mer du vent est complètement intégrée dans le modèle hydrodynamique de dilution.

3.6. Température et salinité de l'eau de mer

Une campagne de mesure de qualité d'eau a été effectuée par OCEA (Organisme Consultant en Environnement Aquatique) Consult' entre le 31/01/2023 et le 11/07/2024, soit plus d'une année complète. Plusieurs stations de mesure étaient implantées aux alentours d'Ironi Bé telles que présentées sur la Figure 14.

Les mesures sont exploitées à la station « Côte C », située à environ 170 m de la prise d'eau (position définie au démarrage des études), au niveau de l'isobathe -9 m NGM. Elles sont réalisées 2 m au-dessus du fond au démarrage de la campagne, puis 3 m au-dessus du fond à partir de la campagne 8 (9 mai 2023).



Figure 15 - Site de prélèvement de qualité d'eau (source : OCEA Consult')

3.6.1. Température

La série temporelle et le nuage de point présentés sur les Figure 15 et Figure 16 ci-dessous permettent de représenter la répartition de la température en fonction du temps et de la profondeur.

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

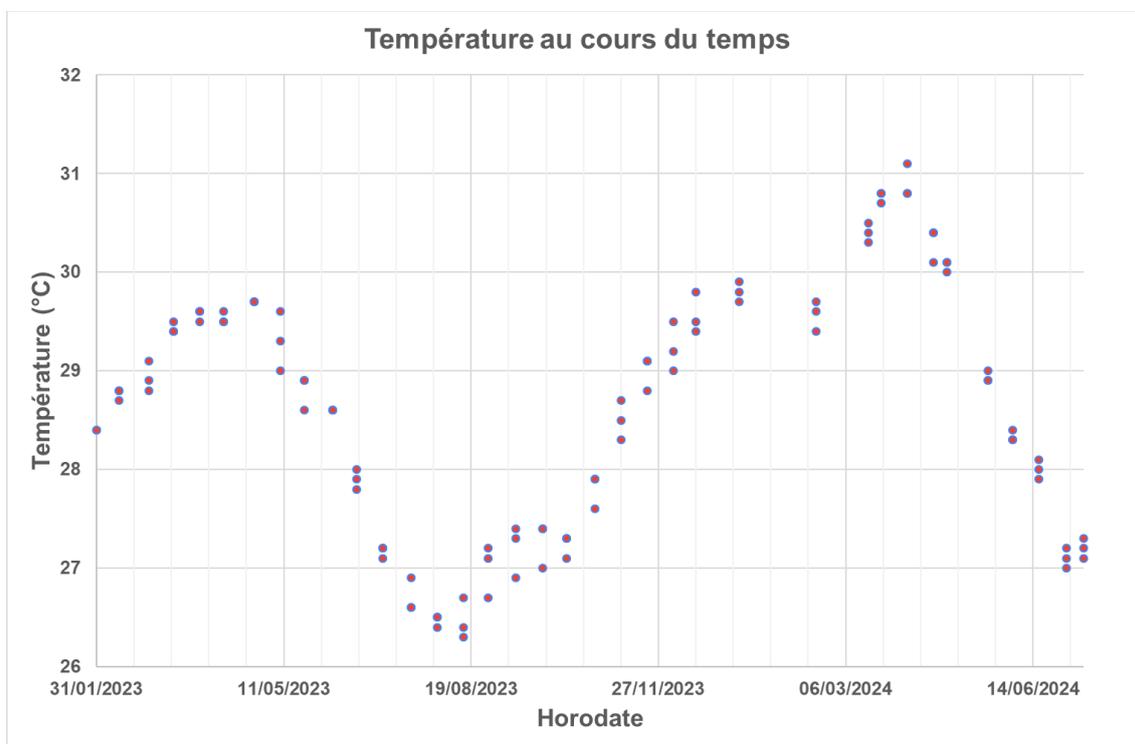


Figure 16 - Série temporelle de la température (source : OCEA Consult')

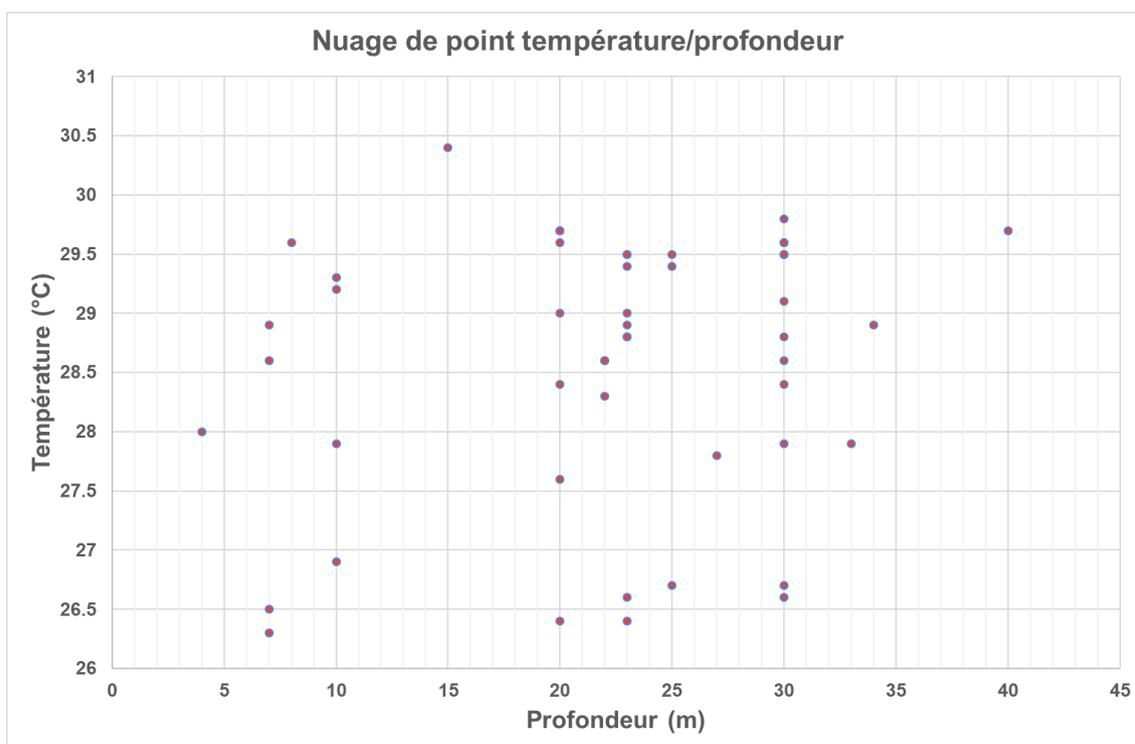


Figure 17 - Nuage de points température/profondeur (source : OCEA Consult')

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

On remarque que :

- la variabilité temporelle est relativement faible avec une valeur moyenne de 28,6°C, une valeur minimale de 26,3°C et une valeur maximale de 31,1°C, soit une amplitude de 5°C environ ;
- la variabilité spatiale est aussi faible avec des amplitudes de température de 3°C environ pour les profondeurs avoisinant les profondeurs du rejet (20-25 m environ).

3.6.2. Salinité

La série temporelle et le nuage de point présentés sur les Figure 17 et Figure 18 ci-dessous permettent de représenter la répartition de la salinité en fonction du temps et de la profondeur.

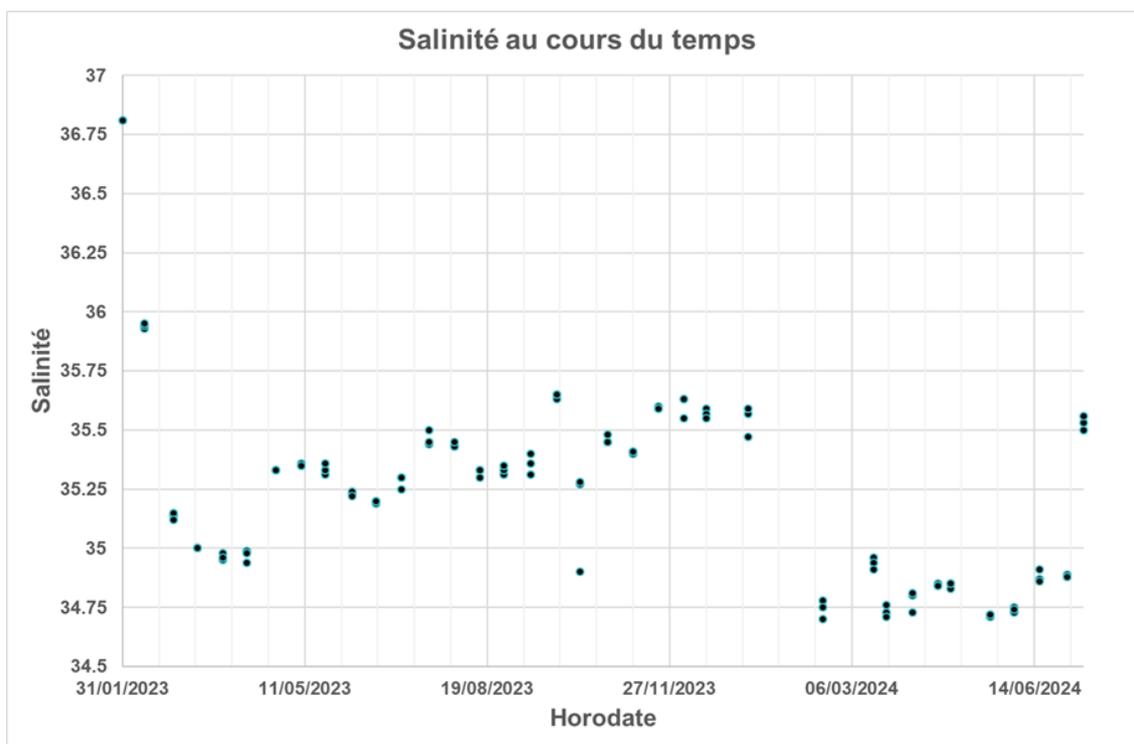


Figure 18 - Série temporelle de la salinité (source : OCEA Consult')

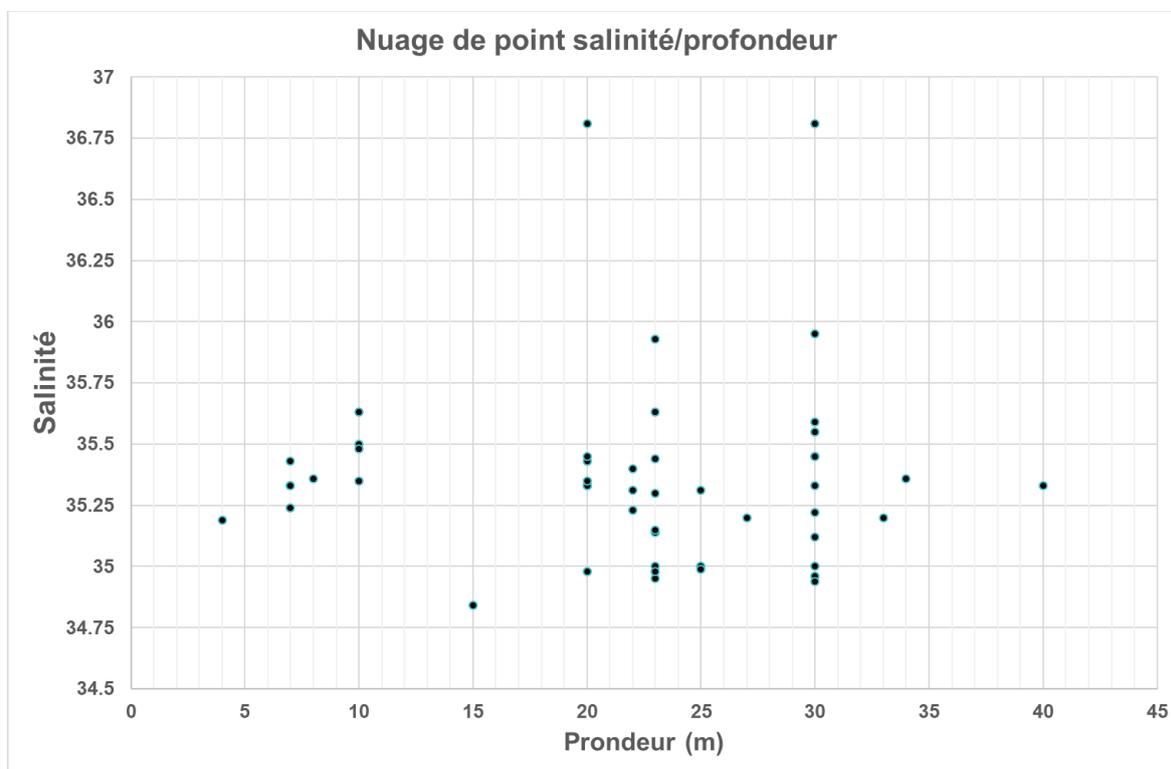


Figure 19 - Nuage de points salinité/profondeur (source : OCEA Consult')

On remarque que :

- la variabilité temporelle est relativement faible avec une valeur moyenne de 35,2 g/l, une valeur minimale de 34,7 g/l et une valeur maximale de 36,8 g/l, soit une variation de salinité de 2 g/l environ, qui est cependant plus fréquemment de l'ordre de 1 g/l ;
- la variabilité spatiale est aussi faible avec des amplitudes de salinité de 2 g/l environ (plus fréquemment 1 g/l) pour les profondeurs avoisinant les profondeurs du rejet (20-25 m environ).

3.6.3. Densité

Suite aux observations précédentes, la densité de l'eau peut être calculée en utilisant les formules de l'UNESCO^[1], sans le terme de pression :

$$\rho(S, T, 0) = \rho_0 + A_{SP}S + B_{SP}S^{1.5} + C_{SP}S^2$$

[1]: UNESCO, 1980, International Equation of State (IES80)

avec :

- ρ_0 la densité de l'eau claire (kg/m^3) ;
- A_{SP} , B_{SP} et C_{SP} des coefficients, dépendants de la température.

Ainsi, les différentes densités peuvent être calculées et sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 4 - Densité du milieu ambiant

Densité (kg/m^3)		Salinité		
		34,7	35,2	36,8
T (°C)	26,3	1022,72	1023,09	1024,30
	28,6	1021,97	1022,35	1023,55
	31,1	1021,12	1021,50	1022,70

4. Définition des critères de dilution

4.1. Description des enjeux

Les principaux enjeux identifiés aux alentours du site de projet sont les suivants :

- enjeux liés au projet :
 - prise d'eau (éviter le pompage de l'eau sursalée précédemment rejetée),
- enjeux naturels dans la zone proche :
 - mangrove en fond de baie,
 - récif corallien situé au nord de la prise d'eau, où se situent les coraux ayant échappé à l'épisode de blanchissement des dernières années,
- enjeux naturels dans le lagon :
 - réserve naturelle de l'îlot Mbouzi et en particulier les récifs et herbiers de sa rive sud,
 - passe en S.

Ces habitats écologiques sensibles ont été cartographiés dans le cadre du projet CARMAYOTTE comme illustré en Figure 19.

En outre, les herbiers subtidaux autour de l'îlot Mbouzi, d'un grand intérêt écologique, ont été recensés dans une étude de 2017 (Figure 20).

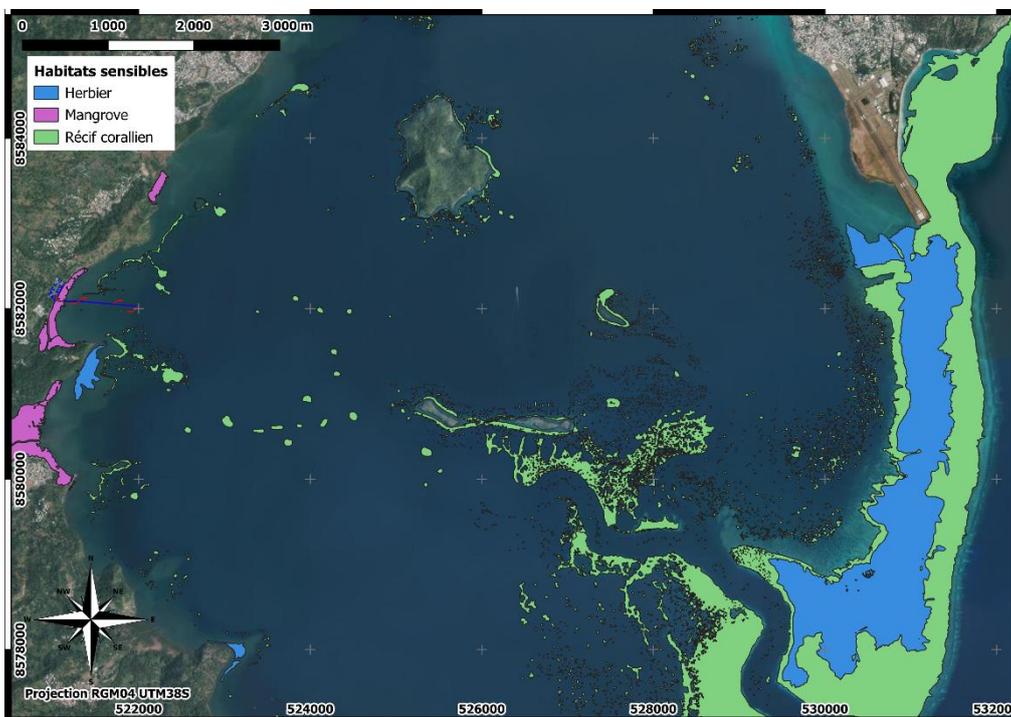


Figure 20 - Habitats écologiques sensibles autour du site (source : projet CARMAYOTTE)

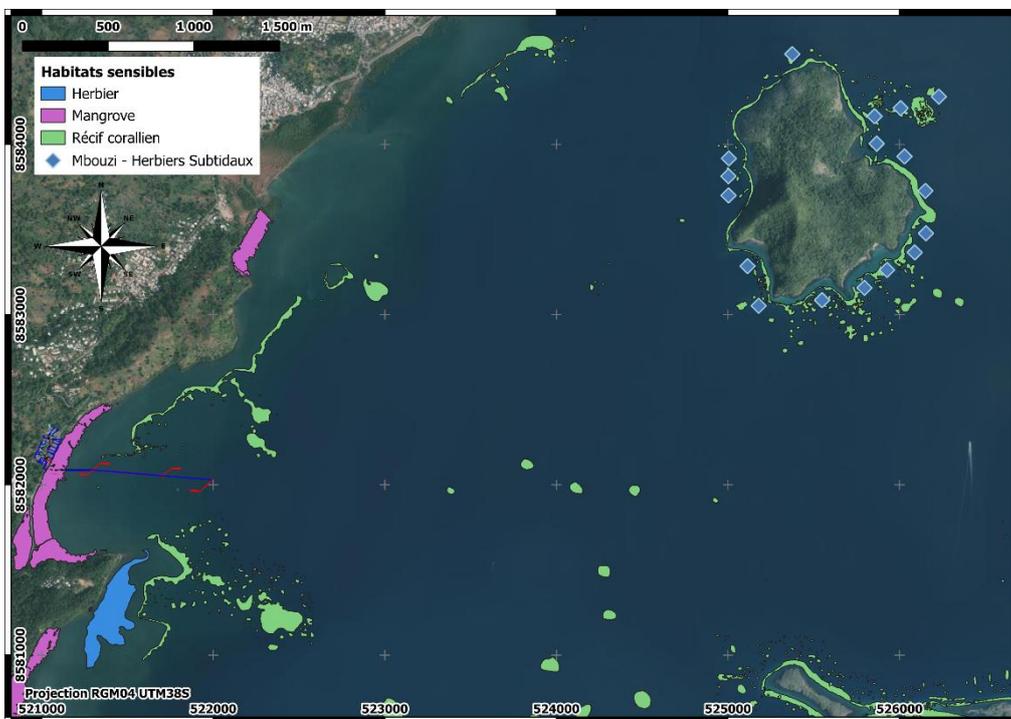


Figure 21 - Habitats écologiques sensibles et herbiers subtidaux autour de l'îlot Mbouzi (source : projet CARMAYOTTE et étude 2017)

4.2. Critères de température et salinité

Aucun critère n'est défini dans le PFD du marché concernant la température et la salinité.

Aussi, une étude bibliographique a été réalisée pour identifier les critères couramment admis pour de tels projets.

Il est à noter qu'aucun critère précis n'a été identifié dans les publications de la Banque Mondiale, par exemple en Réf. [4]: *"Spain experienced major impacts on seafloor communities from brine discharges that raised near-shore salinity to over 39,000 parts per million (ppm) (Ruso and others 2007, 492–503)."* *"Generally, research indicates that the 38,000–40,000 ppm zone represents a tolerance threshold for marine organisms (Jenkins and Graham 2006)."* *"A consensus among many studies is that discharge site selection is the primary factor that determines the extent of ecological impacts of desalination plants (Lattemann and Höpner 2008; Mauguin and Corsin 2005; Tsitourtis 2008). The hydraulic conditions at the discharge site should be able to dilute, disperse, and degrade the salt, heat input, and residual pollutants."*

En revanche, Jenkins et al. (2012) ont mené une analyse bibliographique (Réf. [5]) présentant des éléments très utiles, qui sont récapitulés dans le tableau ci-après.

Tableau 5 - Règlements et limites de salinité pour une sélection d'émissions de saumure (Jenkins et al., 2012)

Region/Authority	Salinity Limit	Compliance Point (relative to discharge)	Source
US EPA	Increment \leq 4 ppt		
Carlsbad, CA	Absolute \leq 40 ppt	1,000 ft	San Diego Regional Water Quality Control Board 2006
Huntington Beach, CA	Absolute \leq 40 ppt salinity (expressed as discharge dilution ratio of 7.5:1)	1,000 ft	Santa Ana Regional Water Quality Control Board 2012
Western Australia guidelines	Increment $<$ 5%		
Oakajee Port, Western Australia	Increment \leq 1 ppt		The Waters of Victoria State Environment Protection Policy
Perth, Australia/Western Australia EPA	Increment \leq 1.2 ppt at 50 m and \leq 0.8 ppt at 1,000m	50 m and 1,000 m	Wec, 2002
Sydney, Australia	Increment \leq 1 ppt	50-75 m	ANZECC (2000);
Gold Coast, Australia	Increment \leq 2 ppt	120 m	GCD Alliance (2006).
Okinawa, Japan	Increment \leq 1 ppt	Mixing zone boundary	Okinawa Bureau for Enterprises
Abu Dhabi	Increment \leq 5%	Mixing zone boundary	Kastner (2008)
Oman	Increment \leq 2 ppt	300 m	Sultanate of Oman (2005)

Les critères identifiés proposent des augmentations acceptables de salinité s'étalant de 1 à 4 unités en valeur absolue, ou inférieures à 5 % en valeur relative, ou bien aboutissant à une salinité absolue ne dépassant pas la valeur totale de 40 unités de salinité. Ces critères s'appliquent en général soit en limite de champ proche (autour de 50 m), soit entre 100 et 1 000 m.

Par ailleurs, les experts du LNEC de Lisbonne sollicités par l'Office Français de la Biodiversité pour étayer l'avis du Parc Naturel Marin de Mayotte font référence à ce tableau pour évoquer un critère de 2 à 3 g/l à une centaine de mètres du point de rejet (Réf. [7], section 2.4).

En ce qui concerne la température, Jenkins et al. (2012) ne mentionnent aucun critère, et les experts mandatés par le PNMM n'en font pas non plus état.

Par ailleurs, Ludwig (2022) fournit une synthèse récente des critères de qualité d'eau à satisfaire (Réf. [6]). Pour la salinité (TDS dans le Tableau 6 ci-après), le critère à satisfaire est de 2 à 5 % de la différence de salinité à la limite du champ proche. Sur la base d'une différence de 32,5 g/l entre l'effluent et le milieu ambiant (cf. section 6.3), le critère correspond à 0,65 à 1,63 g/l de sur-salinité en limite de champ proche, ce qui est cohérent avec Jenkins et al. (2012).

Sur la base des observations de la variabilité naturelle de la température et de la salinité sur le site, et de l'analyse bibliographique présentée ci-dessus, et tenant compte du caractère particulièrement sensible du milieu récepteur, il est donc proposé de considérer les critères suivants, définis sur la couche de fond (cas le plus défavorable) :

- **retrouver, à une distance inférieure à 100 m, la salinité et la température du milieu récepteur, avec une tolérance de 1 g/l pour la salinité et 1°C pour la température.** Cela permet d'éviter tout risque de recirculation entre la prise et le rejet dont la distance est bien supérieure ;
- **accepter une sur-salinité de 1 % maximum sur les zones à fort enjeu écologique.**

Ces critères doivent permettre d'assurer le bon mélange de la saumure dans le milieu marin et d'éviter au maximum les perturbations de la faune et de la flore marine.

4.3. Critères sur les autres paramètres physico-chimiques

Ludwig (2022) fournit le tableau suivant listant les intervalles de valeurs maximales pour les principaux paramètres physico-chimiques à prendre en compte pour les rejets en mer (Réf. [6]).

On note par exemple une limite fixée entre 0,01 et 1 mg/l pour le dichlore (Cl₂), que l'on peut également mettre en rapport avec cette recommandation issue de la Réf. [4]: *"The U.S. Environmental Protection Agency (EPA) places the chlorine exposure limit at 13.0 and 7.5 micrograms per liter for short- and long-term exposure, respectively"*.

Tableau 6 - Intervalles de valeurs limites maximales des principaux paramètres physico-chimiques à prendre en compte pour le rejet en mer (Ludwig, 2022)

Parameter	Unit	Maximum allowable value or range
Outfall discharge point		
pH	–	p _H unit difference to ambient seawater level or p _H range 6.0–8.0; 6.0–9.0; 6.5–8.5; 6.5–9.0
Temperature	°C	2–10 °C difference to ambient seawater temperature
Turbidity	NTU	No limitation/10–75
Suspended solids (SS)	mg/l	15–50
Oxygen (O ₂)	mg/l/%	Min. 5/min. 70–90% saturation
Ammoniacal nitrogen as N ₂	mg/l	1–10
Detergents/surfactants	mg/l	No limitation/0.5–15/biodegradable ≥90%
Copper (Cu)	mg/l	0.005–1.0
Iron (Fe)	mg/l	0.2–20
Chlorine (Cl ₂)	mg/l	0.01–1.0
Chemical oxygen demand (COD)	mg O ₂ /l	100–200
Biological oxygen demand (BOD)	mg O ₂ /l	20–50
Mixing zone (at its boundary)		
Temperature	K/%	Max. 1 K/5% difference to receiving water
Total dissolved solids (TDS)	%	Max. 2–5% difference to receiving water

À ce stade, les concentrations des différentes molécules présentes dans les effluents ne sont pas précisément connues. Leur dilution est donc, dans un premier temps, traitée par l'introduction d'un traceur passif dans la saumure, qui permettra d'obtenir un pourcentage de la concentration initiale en tout point du domaine de calcul.

Ce sujet sera approfondi dans une révision ultérieure du document, lorsque les concentrations dans l'effluent seront connues.

5. Modèle de dilution en champ lointain

Le modèle de dilution du panache de rejet se base sur le modèle hydrodynamique pour la phase de caractérisation des courants et décrit dans le rapport des études météo-océaniques (Réf. [2]).

5.1. Rappel du modèle de courantologie

Le modèle de courantologie est construit à l'aide des logiciels du système TELEMAC- MASCARET, développé par EDF. Le module de calcul hydrodynamique tridimensionnel TELEMAC-3D est utilisé.

Le modèle hydrodynamique intègre toute la façade Est de l'île de Mayotte ainsi que la partie Est du lagon. Ses dimensions sont de l'ordre de 88 km dans la direction Nord/Sud et 25 km dans la direction Est/Ouest.

Le Modèle Numérique de Terrain (représentation numérique de la bathymétrie) a été construit à partir des données suivantes :

- Modèle Numérique de Terrain (MNT) de façade Mayotte (résolution 0,001° ~110 m) ;
- Litto3D® Mayotte (Shom / IGN 2012) ;
- levés bathymétriques réalisés par ID OCEAN en mai 2023 puis février 2024.

Des vues du maillage et de la bathymétrie du modèle global sont présentées sur la Figure 21 ci-dessous.

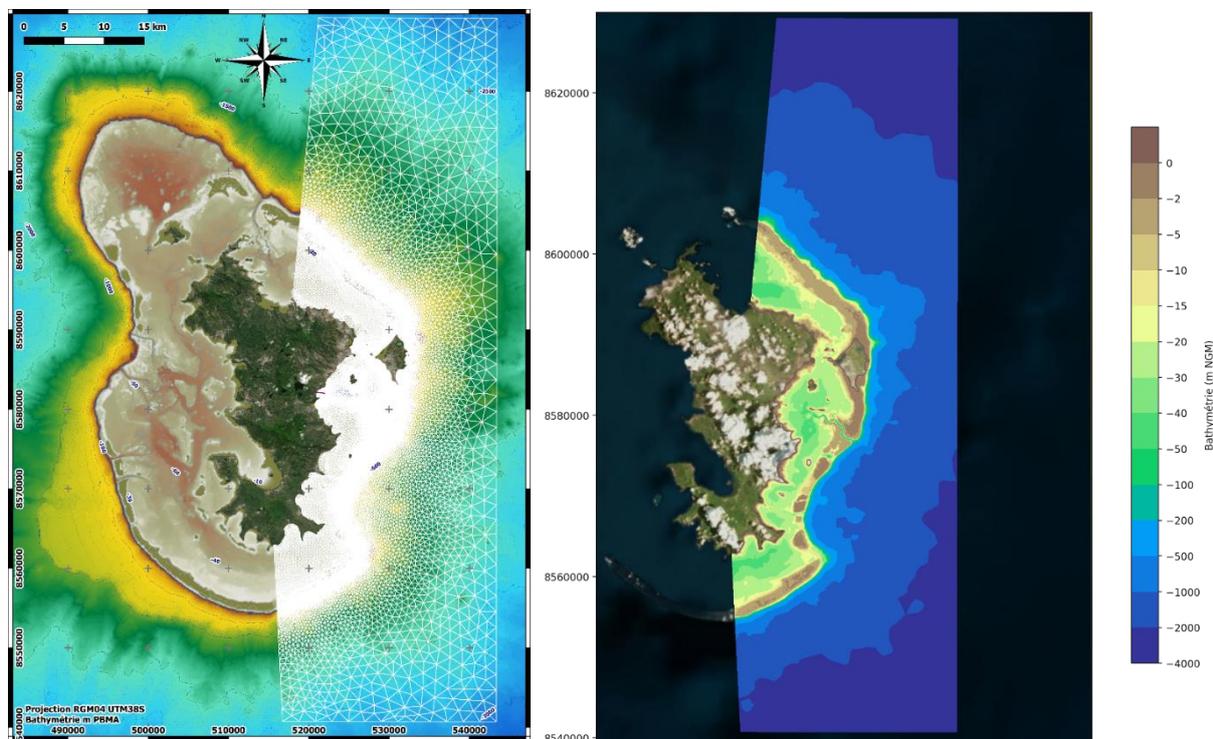


Figure 22 - Maillage et bathymétrie du modèle hydrodynamique – Vue générale

5.2. Modifications spécifiques au modèle de dilution

Afin de représenter correctement le diffuseur et la dilution du panache proche du rejet, le maillage horizontal du modèle est raffiné dans la zone de rejet. La taille de maille au niveau des points de rejet est de 1 m puis elle augmente progressivement. À 100 m du rejet, la taille de maille est de 10 m. Des vues du maillage dans la baie d'Ironi Bé, dans la passe en S et au niveau du diffuseur sont présentées sur les Figure 22 à Figure 25.

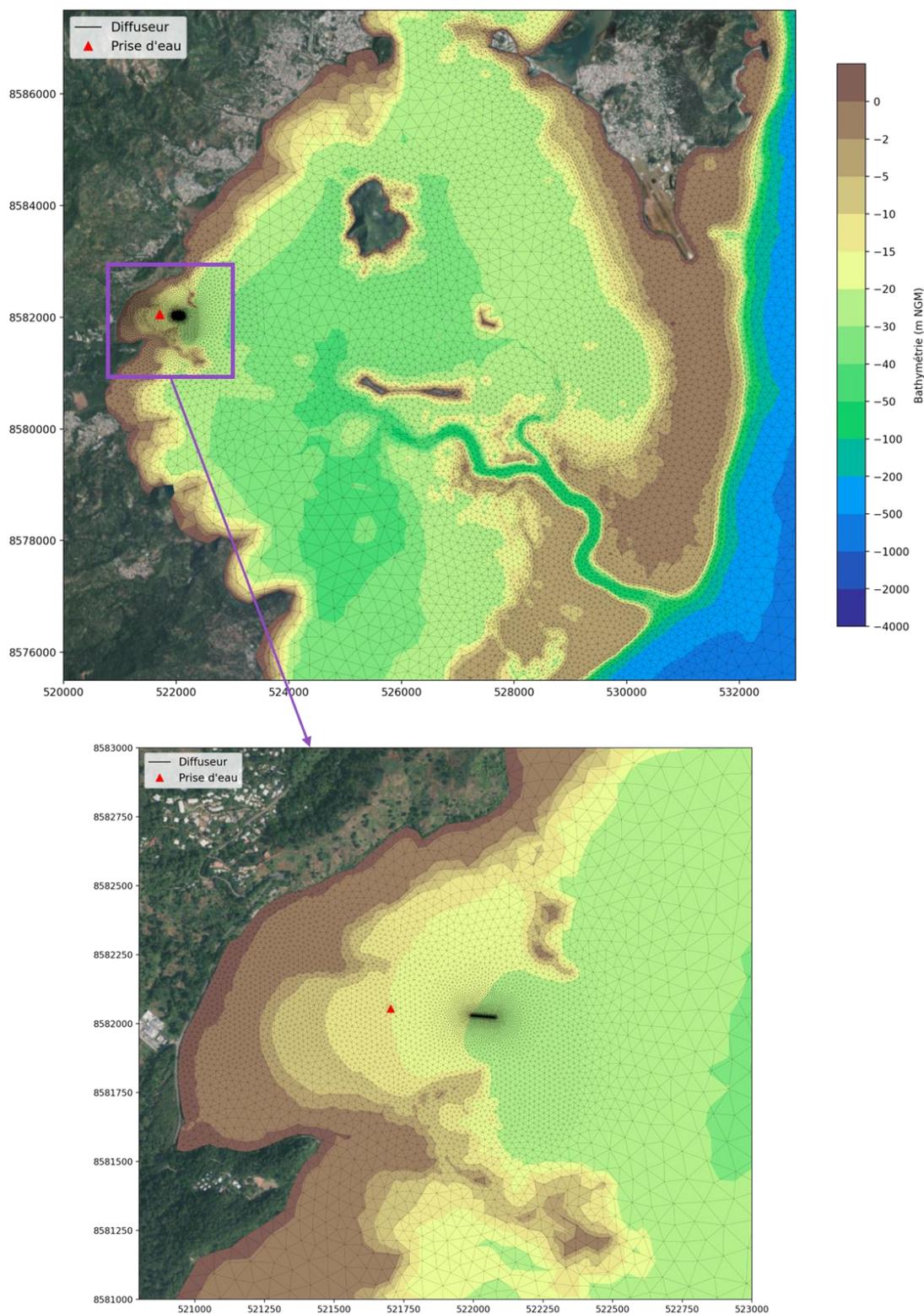


Figure 23 - Maillage et bathymétrie du modèle de dilution dans le lagon et vue rapprochée sur la baie d'Ironi Bé

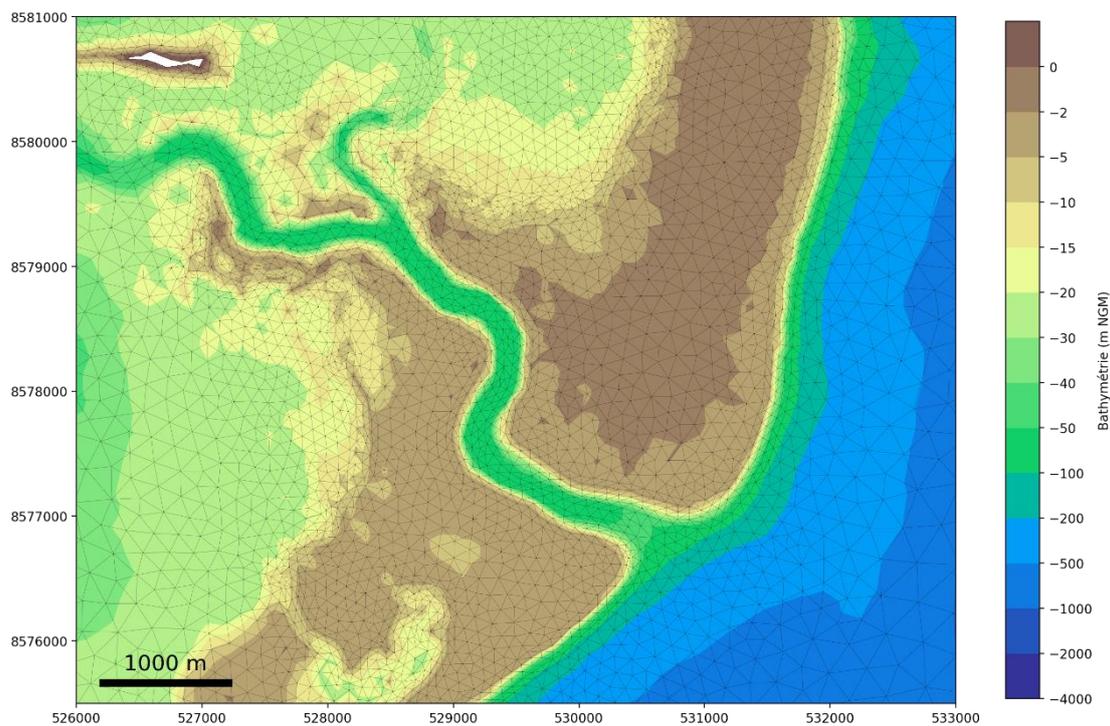


Figure 24 - Maillage du modèle de dilution autour de la passe en S

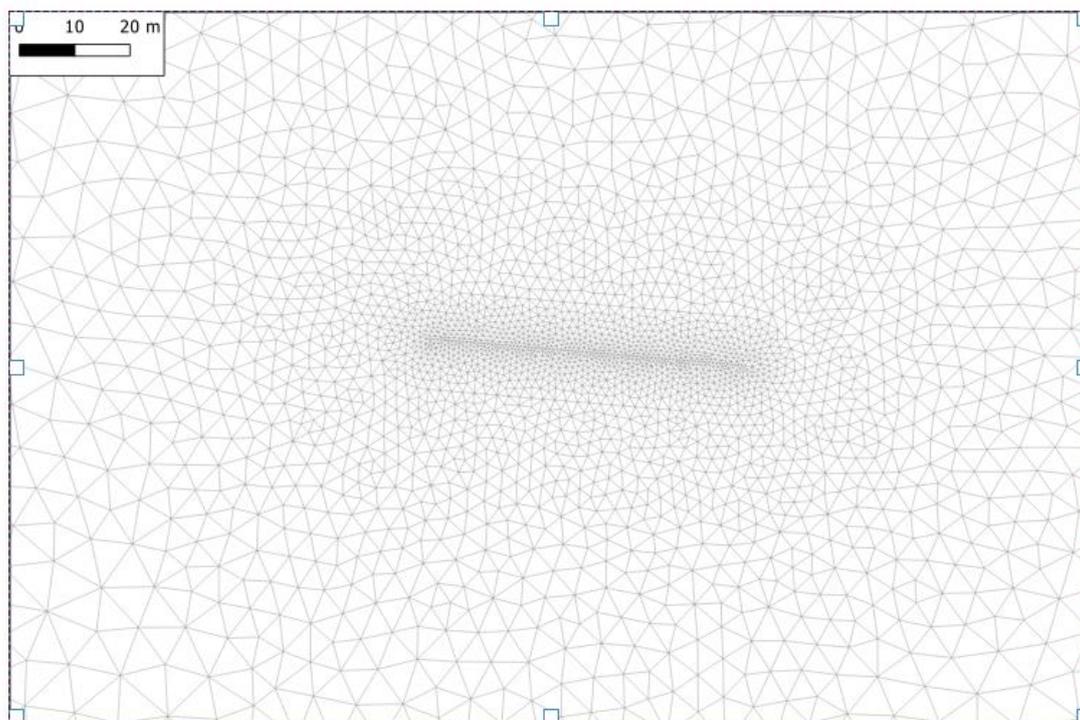


Figure 25 - Maillage du modèle de dilution autour du diffuseur

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

Le maillage tridimensionnel est composé de 16 plans. Il est affiné en surface pour une meilleure prise en compte du vent, et au fond pour une meilleure représentation du rejet. Le treizième plan (le plan 1 représentant le fond) est un plan horizontal fixé à la cote - 2,5 m NGM (soit en dessous du niveau PBMA), les autres plans suivant une transformation « sigma » (les plans 14 et 15 sont positionnés selon l'écart entre le plan 13 et la surface libre et les plans 2 à 12 sont positionnés selon l'écart entre le fond et le plan 13). Ainsi, seule la hauteur des mailles des plans au-dessus du plan 13 varie avec la marée. La hauteur des mailles au fond est constante dans le temps, ce qui limite la diffusion numérique du panache.

La Figure 25 présente la répartition des plans sur une coupe verticale passant dans l'axe du diffuseur. La ligne rouge indique la position du diffuseur (hauteur des buses).

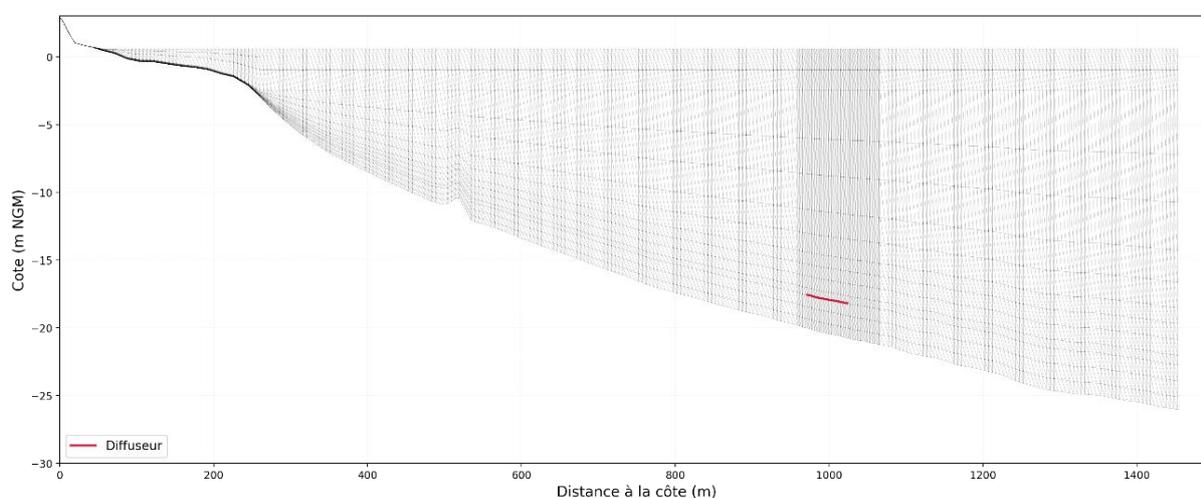


Figure 26 - Maillage vertical du modèle de dilution

5.3. Paramètres numériques

Les paramètres de calcul utilisés pour l'étude de dilution sont les suivants :

- loi de densité : fonction de la salinité et de la température ;
- bancs découvrants : oui ;
- modèle de turbulence horizontal : viscosité constante ;
- coefficient de diffusion horizontal des vitesses : $1.10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$;
- modèle de turbulence vertical : longueur de mélange avec le modèle de Nezu et Nakagawa ;
- fonction d'amortissement : Munk et Anderson ;
- schéma pour la convection des traceurs : schéma LIPS. Ce schéma est celui qui permet de limiter au maximum la diffusion des traceurs, tout en étant conservatif ;
- coefficient de diffusion horizontal des traceurs : $0 \text{ m}^2/\text{s}$;
- coefficient de diffusion vertical des traceurs : $1.10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

5.4. Forçages

Les forçages du modèle de dilution sont similaires à ceux du modèle hydrodynamique, à savoir :

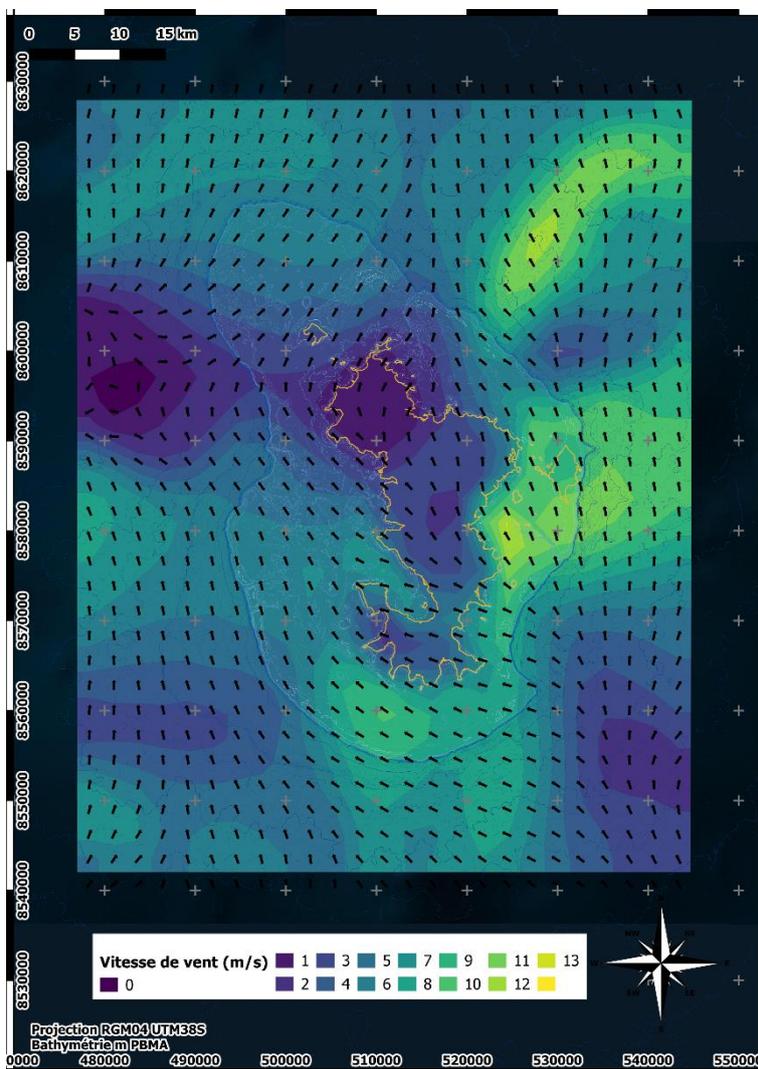
- un signal de marée (niveau d'eau, vitesse et direction du courant) ;
- une condition de houle variable dans le temps, définie par sa hauteur significative, sa période et sa direction de pic à la frontière maritime ;
- un champ de vent et de pression, variable spatialement et dans le temps, appliqué à la surface du modèle.

Les conditions de marée appliquées au modèle sont extraites du modèle de marée mondial FES-2014² qui combine à la fois modélisation numérique et mesures altimétriques. Les données fournies sont l'amplitude et la phase des 32 ondes principales composant le signal de la marée sur une grille de dimensions 1/16°.

Les données de houle imposées aux limites maritimes sont issues du modèle de haute performance « *Global Ocean Waves Analysis and Forecast* » basé sur des techniques d'assimilation de la donnée. Il est calé et validé par comparaison avec des données satellites (altimètres) ou des bouées in-situ. Il possède une résolution horizontale au 1/12° soit environ 10 km et les données sont fournies au format tri-horaire.

Les champs de vent et de pression atmosphérique horaires du modèle de prévision AROME de Météo-France, de résolution 0,025° (~ 2,5 km), sont appliqués à la surface du modèle (Figure 26).

² <https://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products/auxiliary-products/global-tide-fes/description-fes2012.html>



5.5. Représentation du diffuseur

Le diffuseur est constitué de 8 orifices espacés de 8 m (cf. § 2).

Dans le modèle, chaque buse est représentée par un point source. Le débit total du diffuseur est réparti de manière homogène entre les points source. Une vitesse de rejet est appliquée à chaque point source afin de prendre en compte l'orientation du jet en sortie d'orifice (orientation de 60° par rapport à l'horizontale et de 45° par rapport à l'axe de la conduite de manière à orienter la saumure vers le large, flèches bleues sur la Figure 27 ci-dessous).

L'orientation des écoulements de sortie est disposée en quinconce pour disperser au maximum l'effluent. L'orifice le moins profond est orienté vers le sud pour favoriser autant que possible la dilution sur le flanc nord, du fait de la présence des zones coralliennes de ce côté du diffuseur.

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

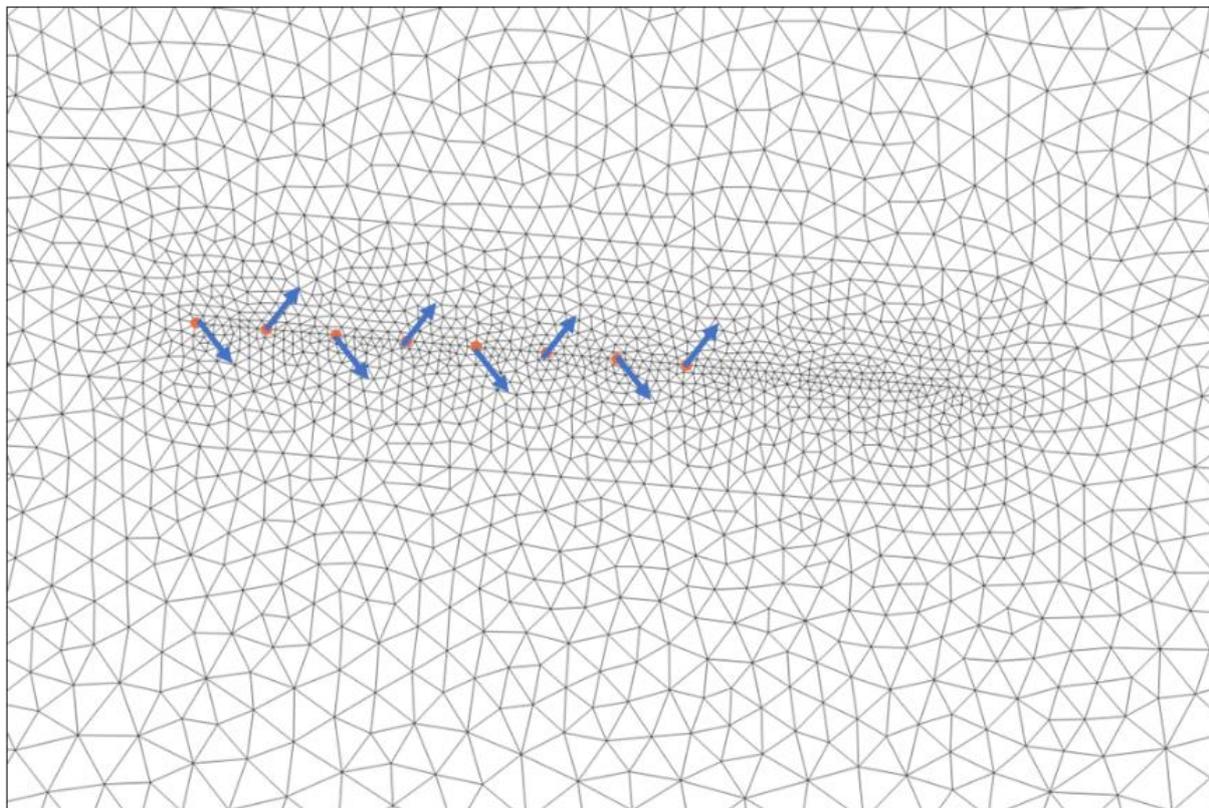


Figure 28 - Orientation du jet en sortie du diffuseur (vue en plan)

La prise d'eau est représentée par un seul point source positionné 3 m au-dessus du fond.

6. Description des scénarios de calcul

6.1. Périodes de modélisation

Deux périodes de modélisation sont simulées, de manière à prendre en compte la saisonnalité du vent, moteur principal de la circulation dans le lagon (cf. section 3.2) :

- un cycle de marée de 15 jours en période d'alizés (mois de juillet) ;
- un cycle de marée de 15 jours en période de mousson (mois de janvier).

La variabilité interannuelle des vents du modèle AROME de Météo-France sur la période disponible est examinée pour les mois de janvier et de juillet au point d'analyse P15, situé dans la baie d'Ironi Bé (cf. Réf. [2]).

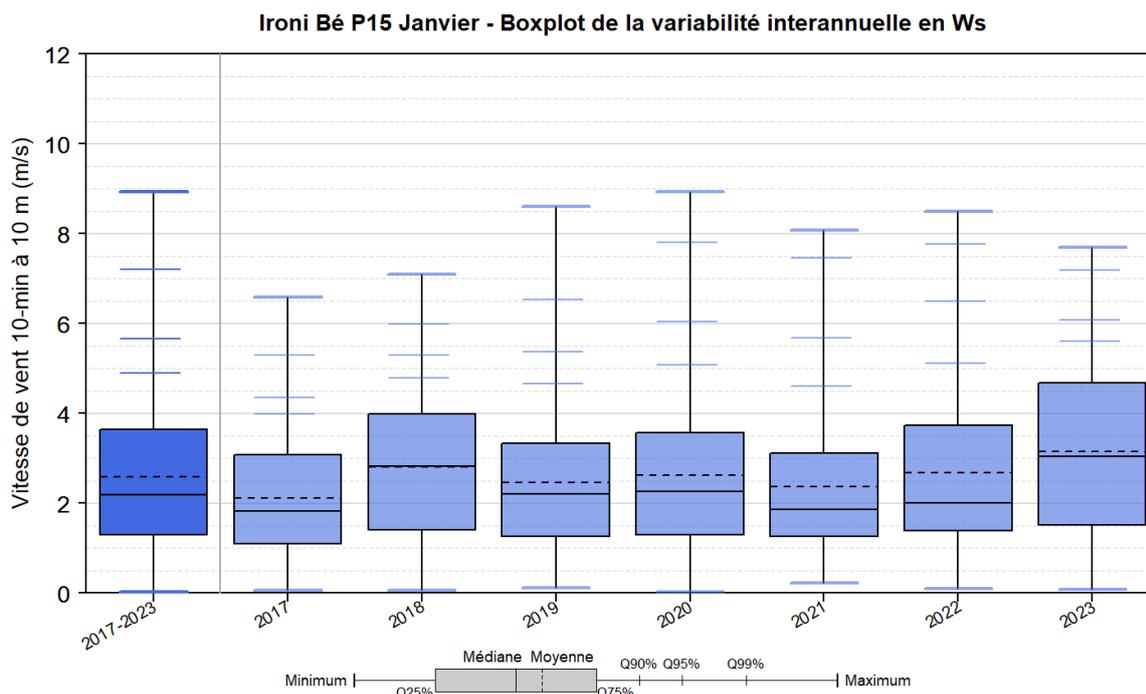


Figure 29 - Variabilité interannuelle de la vitesse du vent dans la baie au mois de janvier

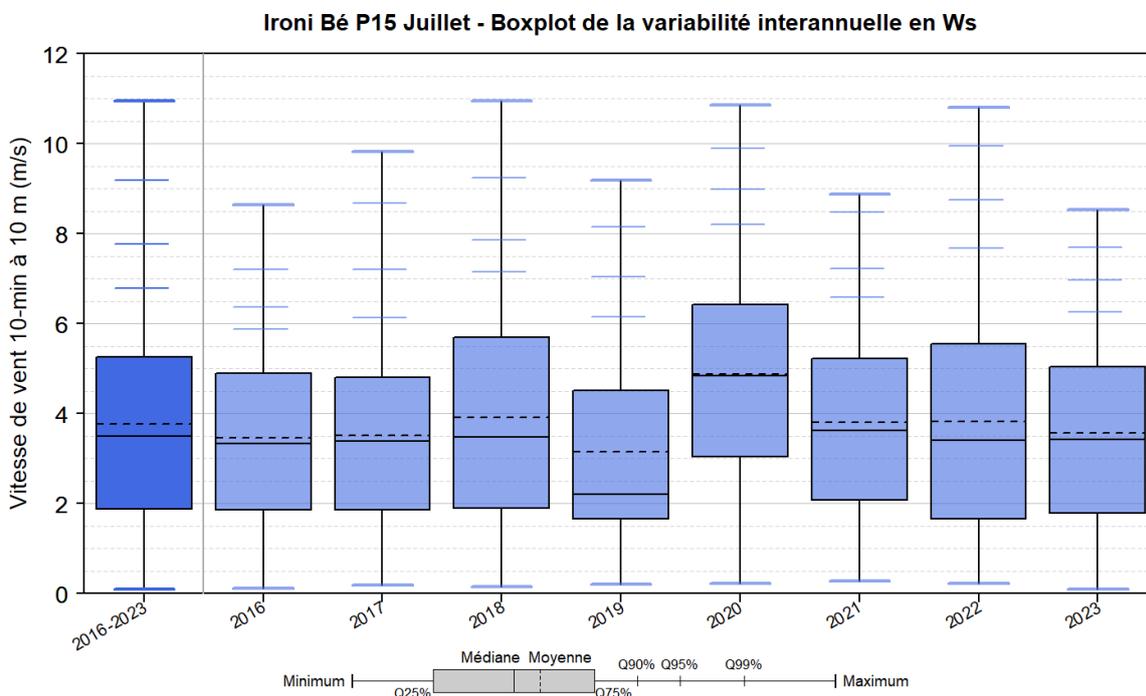


Figure 30 - Variabilité interannuelle de la vitesse du vent dans la baie au mois de juillet

Sur la foi de cette analyse, les mois de janvier 2020 pour les conditions de mousson, et de juillet 2022 pour les conditions d'alizés sont retenus. Ces mois sont jugés caractéristiques de la vitesse du vent à la fois pour les conditions usuelles et les conditions plus sévères, ce qui garantit la représentativité des périodes de simulation retenues.

Les deux périodes finalement retenues sont les suivantes :

- du 12 au 27 janvier 2020, représentative d'un climat de mousson ;
- du 11 au 26 juillet 2022, représentative de conditions d'alizés.

Les variations temporelles de niveau d'eau, de vent et de houle sur la zone d'étude pour chaque période de simulation sont présentées sur les Figure 30 (alizés) et Figure 31 (mousson).

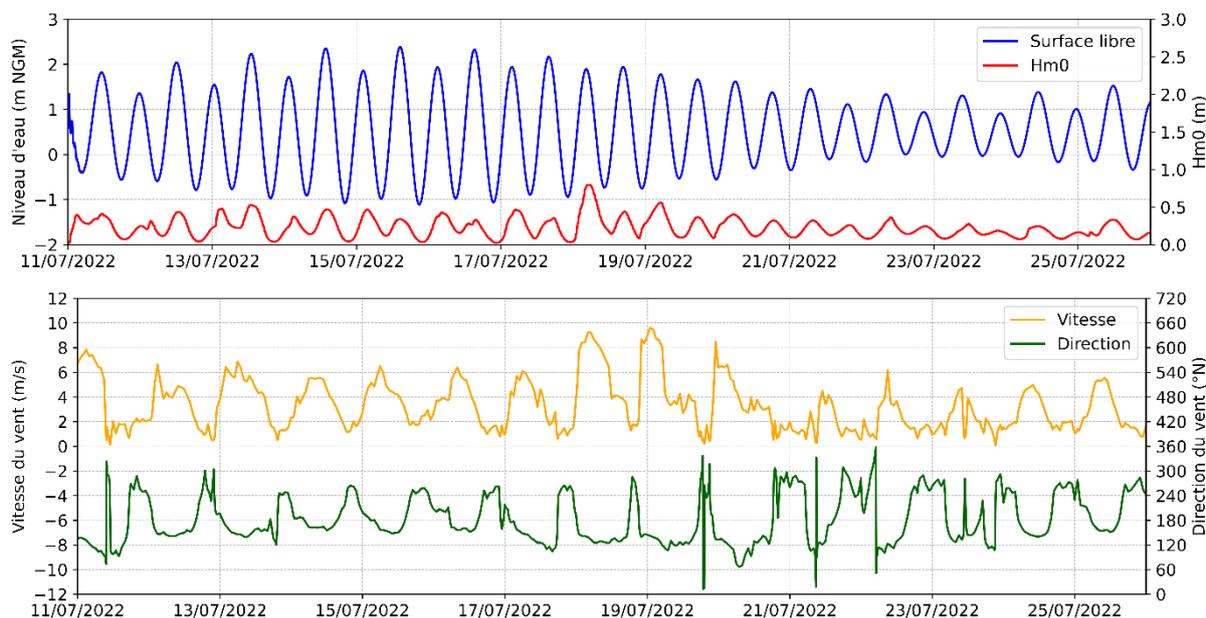


Figure 31 - Conditions de marée, de houle (en haut) et de vent (bas) sur le site étude - Condition d'alizés

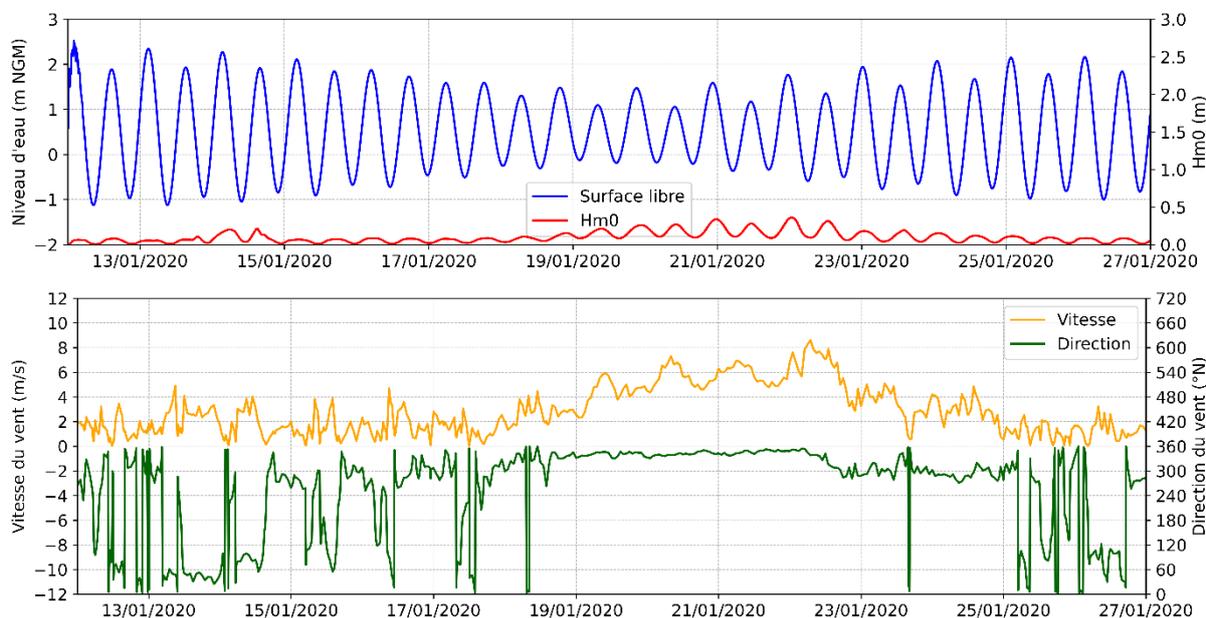


Figure 32 - Conditions de marée, de houle (en haut) et de vent (bas) sur le site étude - Condition de mousson

6.2. État initial du milieu ambiant

Les mesures réalisées par OCEA Consult' dans la zone de rejet (§ 3.6) montrent une variabilité annuelle de température et de salinité relativement faible (environ 5°C pour la température et 3 g/l pour la salinité). Les données disponibles ne montrent pas de stratification sur la colonne d'eau.

Les conditions ambiantes de température et de salinité retenues pour les simulations correspondent aux valeurs moyennes des mesures sur la période janvier 2023/juillet 2024, à savoir :

- 28,6°C pour la température ;
- 35,2 g/l pour la salinité.

La température et la salinité ambiante sont considérées homogènes sur la colonne d'eau.

6.3. Caractéristiques du rejet

Les simulations sont réalisées pour **le débit de rejet de Tranche 0** (3 files d'osmose inverse), à savoir 12 700 m³/j, soit une moyenne de 529 m³/h.

La courbe de débit finale dépendra du fonctionnement exact du système de rejet, incluant la présence en sortie d'usine d'une lagune faisant office de volume tampon, et le débit ne sera pas nécessairement constant dans le temps.

Le système de rejet (de la lagune en sortie d'usine jusqu'au diffuseur, en passant par l'émissaire et les solutions mises en œuvre sur l'estacade) est présenté dans la note hydraulique de rejet (Réf. [3]), émise au stade AVP et actuellement en cours de finalisation.

Dans cette version préliminaire, les calculs sont réalisés avec un débit constant de **529 m³/h** ; néanmoins une étude de sensibilité sera réalisée sur un fonctionnement de débit alternatif entre 0 et 1 000 m³/h, le débit moyen restant égal au débit nominal.

La vitesse des jets en sortie des buses a aussi été prise en compte dans la modélisation. Pour le débit moyen, la valeur de 2,7 m/s définie lors de la phase de dimensionnement du diffuseur (correspondant à la vitesse d'éjection avec « bec de canard ») a été retenue.

Les paramètres de rejet sont les suivants :

- échauffement de + 2°C par rapport à la température de la prise d'eau ;
- taux de conversion des membranes de 48 %, soit une salinité de rejet de 67,7 g/l pour une salinité à la prise de 35,2 g/l.

En complément, un traceur passif a été introduit afin de simuler la dilution des polluants ou espèces chimiques éventuellement présents dans les effluents. La concentration de ce traceur est de 0 dans le milieu ambiant et 100 au niveau du rejet.

6.4. Comparaison des résultats dans le champ proche

Lors d'une étude de rejet, le champ proche est défini comme la zone où le comportement de l'effluent est essentiellement fonction de la dynamique du jet initial (orientation et vitesse du jet en sortie de l'orifice de rejet) et des écarts de densité avec le milieu ambiant, même si toutes les forces en présence jouent un rôle sur la dilution de l'effluent (Figure 33).

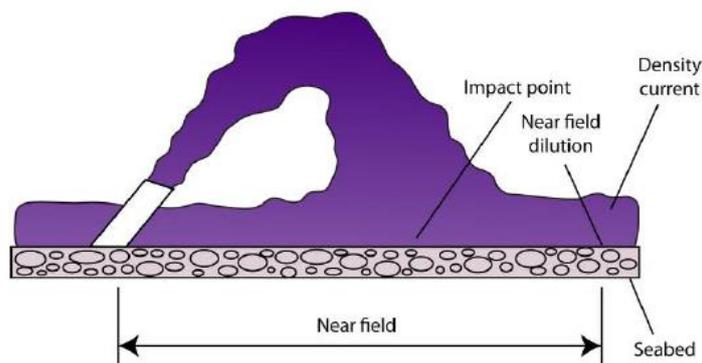


Figure 33 - Schéma de principe de définition du champ proche (« near field »), d'après Jenkins et al. 2012

Lors du dimensionnement initial du diffuseur présenté dans la note de conception hydraulique du rejet (Réf. [2]), des formules empiriques (Réf. [8], [9]) ont été utilisées afin de définir l'extension du champ proche et la salinité résiduelle à sa limite. Ces formules ne prenant en compte qu'un seul orifice, des calculs complémentaires ont été réalisés à l'aide du logiciel CORMIX afin de simuler le rejet de l'ouvrage complet (diffuseur multi-ports).

Le logiciel CORMIX (*Cornell Mixing Zone Expert System*) calcule la dilution d'un fluide émis sous forme de jet ou de panache dans un fluide récepteur. Le milieu récepteur peut être immobile ou soumis aux courants ambiants. Il est également possible de considérer la stratification thermique et saline, et donc la densité de l'eau. CORMIX résout les équations de continuité, de quantité de mouvement et de flottabilité, en supposant une distribution gaussienne asymétrique des vitesses moyennes et des concentrations. Plus de détails sur le logiciel peuvent être trouvés sur le site <http://www.cormix.info/>.

Qu'il s'agisse des formules empiriques ou du logiciel CORMIX, ces outils de dimensionnement considèrent un environnement idéalisé pour ce qui est des fonds ou des conditions de courant ambiant.

Les valeurs calculées, pour le débit moyen en Tranche T0 et le débit maximum, sont présentées dans le Tableau 7 ci-dessous.

Tableau 7 - Caractéristiques du champ proche basées sur des formules empiriques

Débit de rejet (m ³ /h)	529	1 000
Extension du champ proche (m)	19	26
Salinité résiduelle en fin de champ proche (g/l) Issue des formules empiriques	0,8	0,6
Salinité résiduelle en fin de champ proche (g/l) Calculée par CORMIX	0,7	1,0

Ces premiers résultats montrent déjà une différence entre les formules empiriques et le logiciel CORMIX, notamment pour le débit de 1 000 m³/h. Ce constat s'explique aisément car les hypothèses et méthodes de résolution sont différentes. La dilution reste cependant d'un même ordre de grandeur, avec un ratio autour de 30 à 60.

Le logiciel TELEMAC-3D simplifie les conditions de rejet en ne représentant pas la géométrie du diffuseur et des buses. Il ne permet donc pas de représenter précisément le champ proche. L'enjeu est alors d'obtenir un bon accord entre les calculs de champ proche et le modèle de champ lointain à la limite extérieure du champ proche.

Pour cela, la salinité résiduelle calculée par le modèle numérique a été extraite sur la couche de fond, le long de 16 profils situés dans l'axe de chaque orifice et entre deux points de rejet (lignes bleues sur la Figure 34 ci-dessous). Ces profils ne suivent donc pas le centre du panache de l'effluent qui va avoir une forme de cloche sous l'effet des conditions de rejets (orientées vers le haut) puis des effets de densité (effluent plus dense que le milieu ambiant). Pour chaque buse, une moyenne est réalisée entre le profil passant par la buse et le profil suivant afin d'obtenir 8 profils moyens (Cormix ne fournit qu'une dilution moyenne sur la largeur du diffuseur). Cette sur-salinité est alors comparée, à la limite extérieure du champ proche, aux valeurs du Tableau 7 ci-avant.

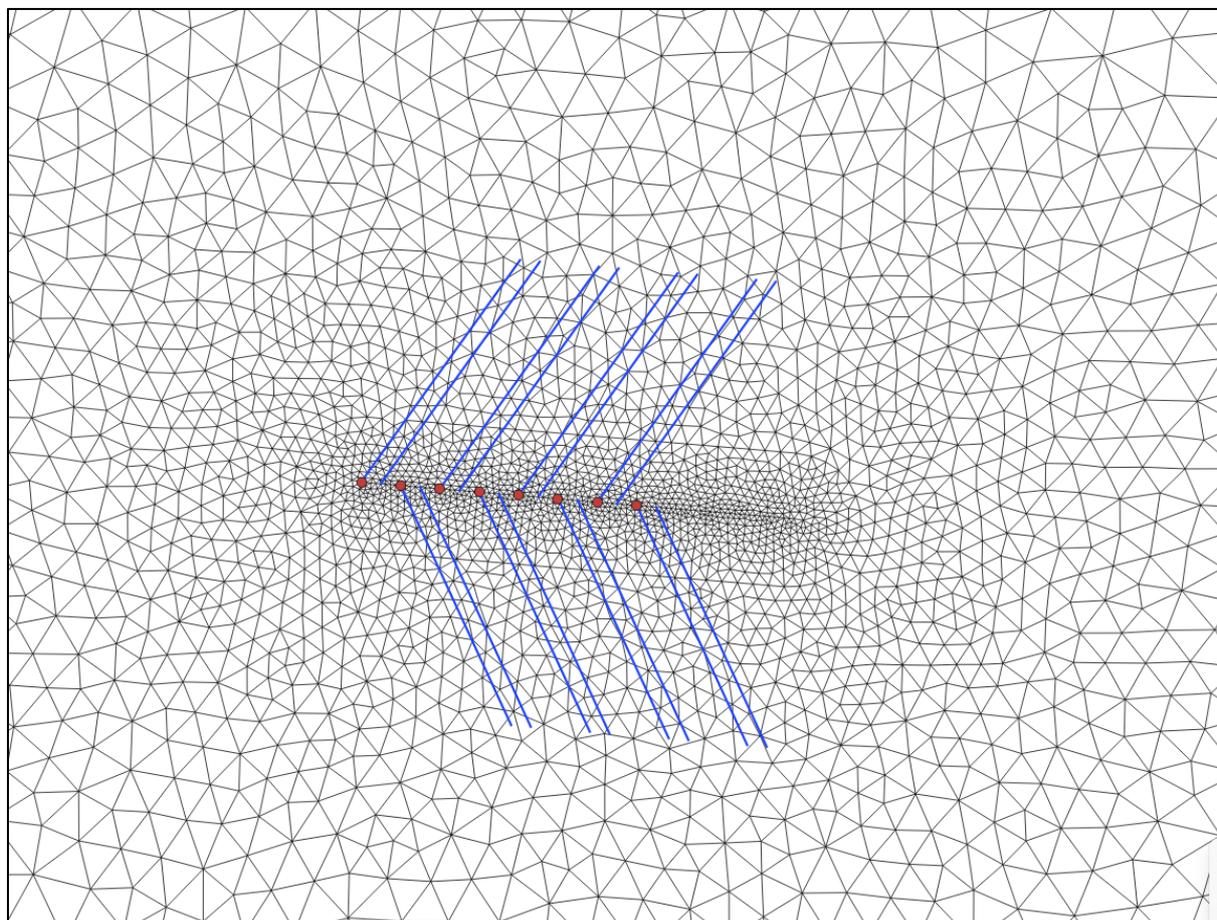


Figure 34 - Position des buses de rejet (points rouges) et des profils d'extraction (lignes bleues)

La Figure 35 compare les résultats du résultat TELEMAC-3D aux valeurs obtenues par la formule empirique et le logiciel CORMIX, pour le débit de 529 m³/h (en haut), et le débit de 1 000 m³/h (en bas) et après 1h de simulation (les calculs TELEMAC sont instationnaires à la différence des deux autres approches).

La ligne noire représente la sur-salinité moyennée sur les 16 profils. La zone orange indique la variabilité des résultats, comprise entre le minimum et le maximum obtenus sur les 8 profils moyennés.

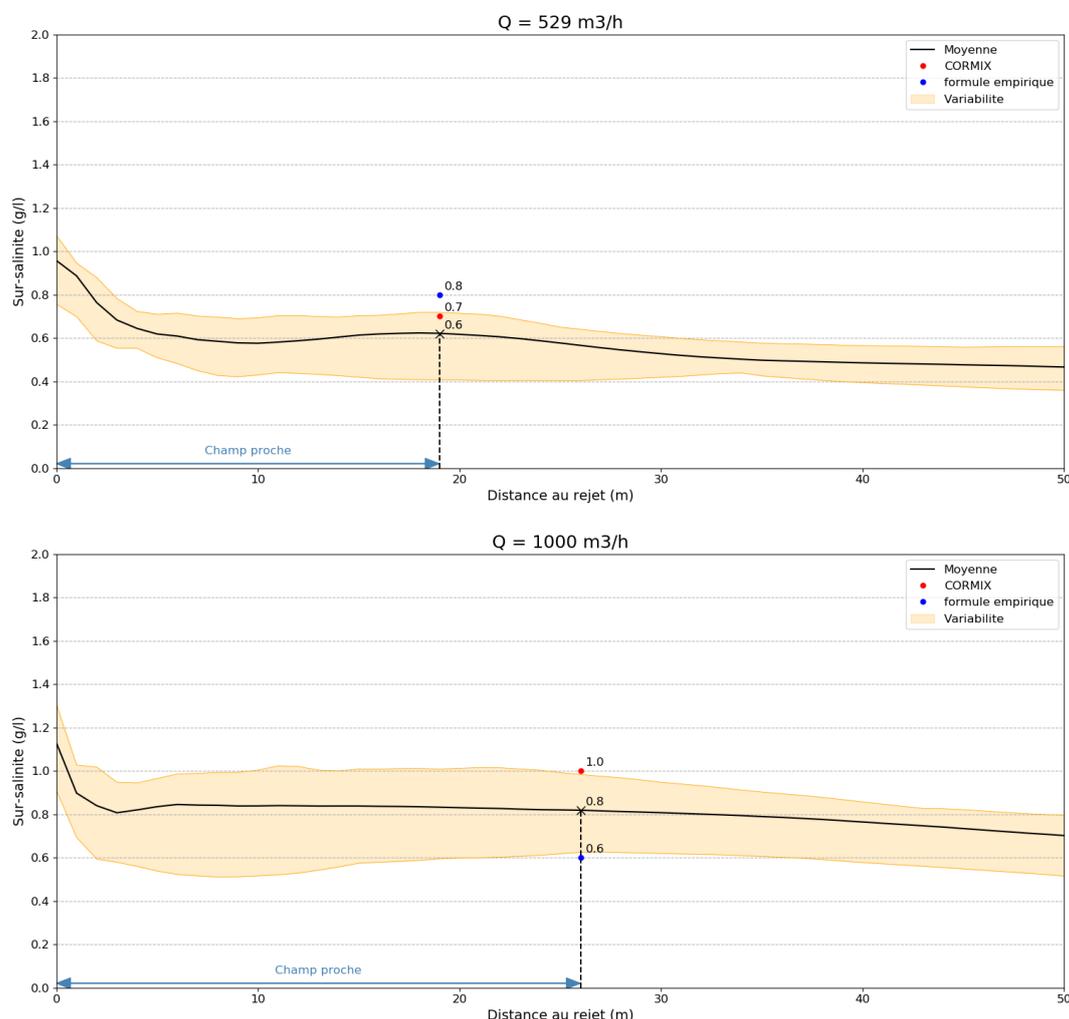


Figure 35 - Évolution de la sur-salinité en fonction de la distance au rejet – Débit de $529 \text{ m}^3/\text{h}$ en haut et $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ en bas

Pour le débit moyen ($529 \text{ m}^3/\text{h}$), la sur-salinité moyenne sur la largeur du diffuseur est légèrement inférieure aux valeurs limites des modèles de champ proche, mais avec un écart faible, de l'ordre de $0,1 \text{ g/l}$ en moyenne. Les sur-salinités maximum en fin de champ proche atteignent la valeur calculée par Cormix.

Pour le débit maximum ($1000 \text{ m}^3/\text{h}$), les résultats à la limite du champ proche entre Cormix et TELEMAC sont très cohérents, avec une sur-salinité moyenne sur la largeur du diffuseur légèrement plus faible pour TELEMAC et une sur-salinité maximum équivalente à celle calculée par Cormix. La valeur issue des formules empiriques est plus faible que les deux autres.

En conclusion, **les résultats en fin de champ proche calculés par TELEMAC-3D sont cohérents avec ceux des calculs de champ proche.** La dilution obtenue par TELEMAC est de 54 et 40 pour les deux débits. Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles trouvées en champ proche (entre 30 et 60).



REALISATION D'UNE USINE DE POTABILISATION PAR
DESSALEMENT SUR GRANDE TERRE A IRONI BE



Par ailleurs, l'environnement plus réaliste considéré dans TELEMAC, avec la variabilité de la bathymétrie et des courants, conduit nécessairement à des résultats différents pour cette comparaison avec les outils de dimensionnement.

Une bonne confiance peut donc être accordée à la cohérence entre les calculs de champ proche et les calculs de champ lointain, et par conséquent dans les résultats présentés dans la section suivante.

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

7. Résultats et analyse

7.1. Sorties du modèle

L'analyse des résultats se base sur :

- des cartographies de sur-salinité maximum (augmentation maximum de salinité atteinte en chaque nœud du modèle par rapport à la salinité ambiante), au fond et à la profondeur de la prise (- 12 m NGM) ;
- des cartographies de l'échauffement maximum (par rapport à la température ambiante), au fond et à la profondeur de la prise ;
- des évolutions temporelles de salinité, température et dilution du traceur passif en différents points du modèle (cf. Figure 32) ;
- un tableau des valeurs maximum et moyennes atteintes aux points sonde et à la prise d'eau.

Sur la figure ci-dessous (et sur l'ensemble des cartographies présentées), la ligne pointillée verte est positionnée à 100 m du diffuseur. Les points de sonde « Nord », « Sud », « Est » et « Ouest » sont placés le long de cette ligne. Les autres points sont positionnés à proximité des zones d'enjeux identifiées en section 4.1.

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

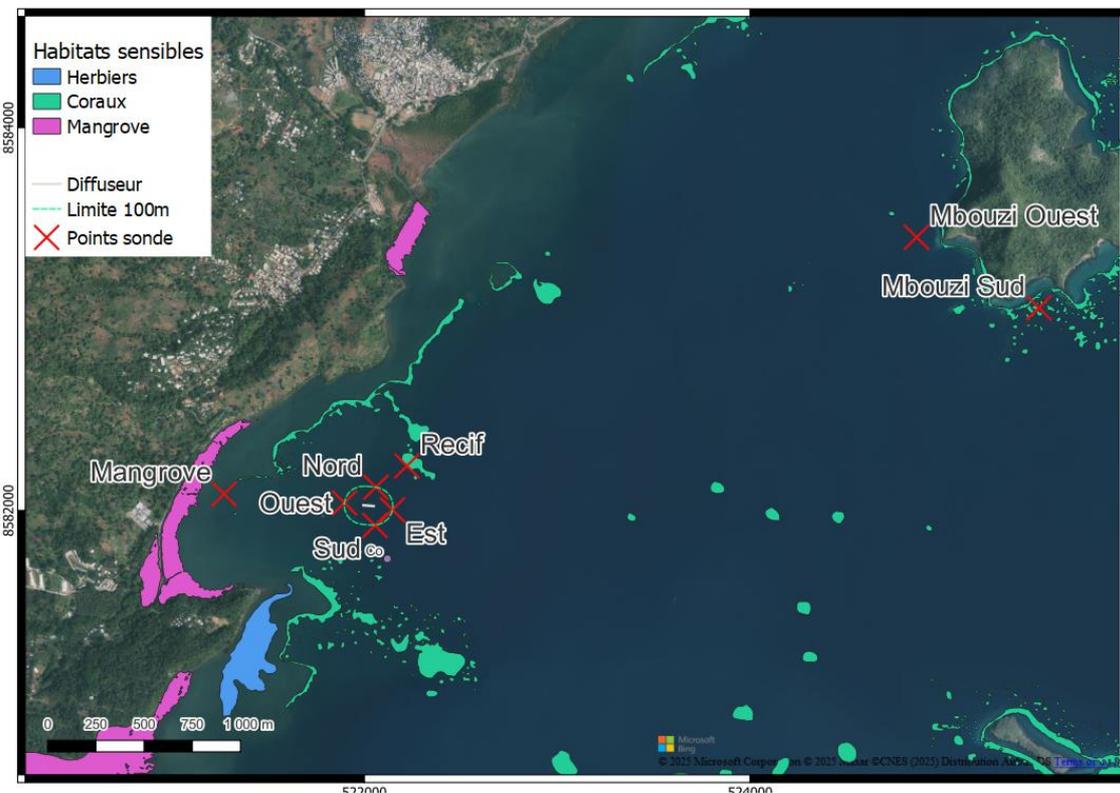
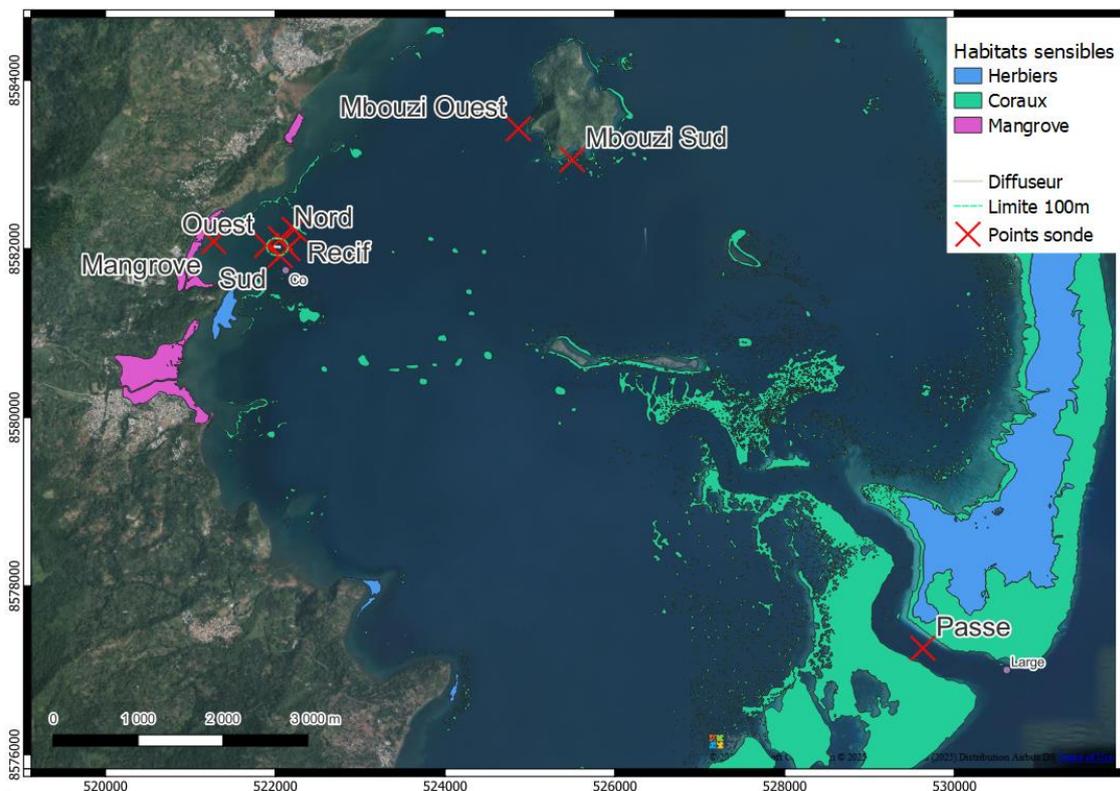


Figure 36 - Position des points de sonde

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

7.2. Configuration de base

7.2.1. Condition de mousson

7.2.1.1. Description des conditions météo-océaniques sur la période

Le scénario de mousson simule les conditions océano-météorologiques du 12 au 27 janvier 2020. Les conditions météo-océaniques de la période sont illustrées sur la Figure 33 (conditions au niveau de la prise d'eau). Celles-ci sont caractérisées par une première semaine de simulation avec des vents faibles (inférieurs à 4 m/s) suivis de 5 jours de vent plus soutenus (intensité entre 4 et 8 m/s) de direction constante Nord.

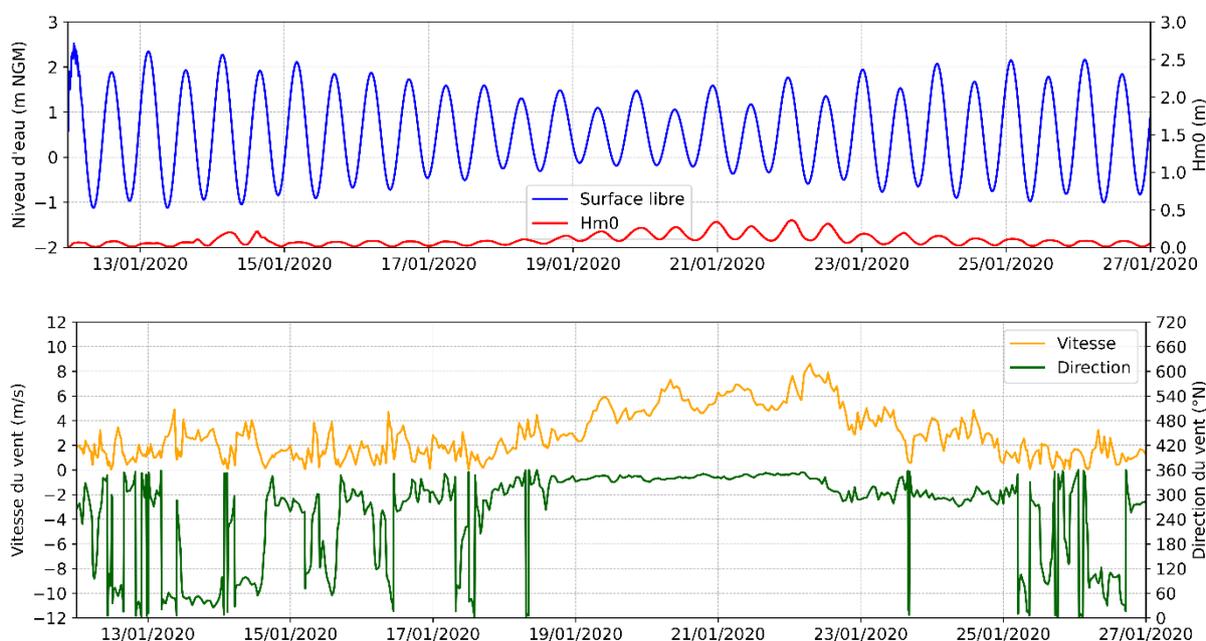


Figure 37 - Conditions de marée, de houle (en haut) et de vent (bas) sur le site d'étude (à l'emplacement de la prise d'eau) – Condition de mousson

7.2.1.2. Courants

La Figure 34 montre les vitesses maximales du courant au fond dans la zone de rejet. Les polygones hachurés indiquent la position des principaux récifs de coraux dans la zone du projet. Les vitesses ambiantes au fond sont très faibles (inférieures à 10 cm/s, excepté au Sud du récif proche du diffuseur) dans toute la zone d'étude. Autour du rejet, les vitesses sont légèrement plus élevées (entre 10 et 20 cm/s) du fait des fortes vitesses d'éjection en sortie des buses. On note aussi une légère augmentation des vitesses au sud du récif de coraux le plus proche du diffuseur.

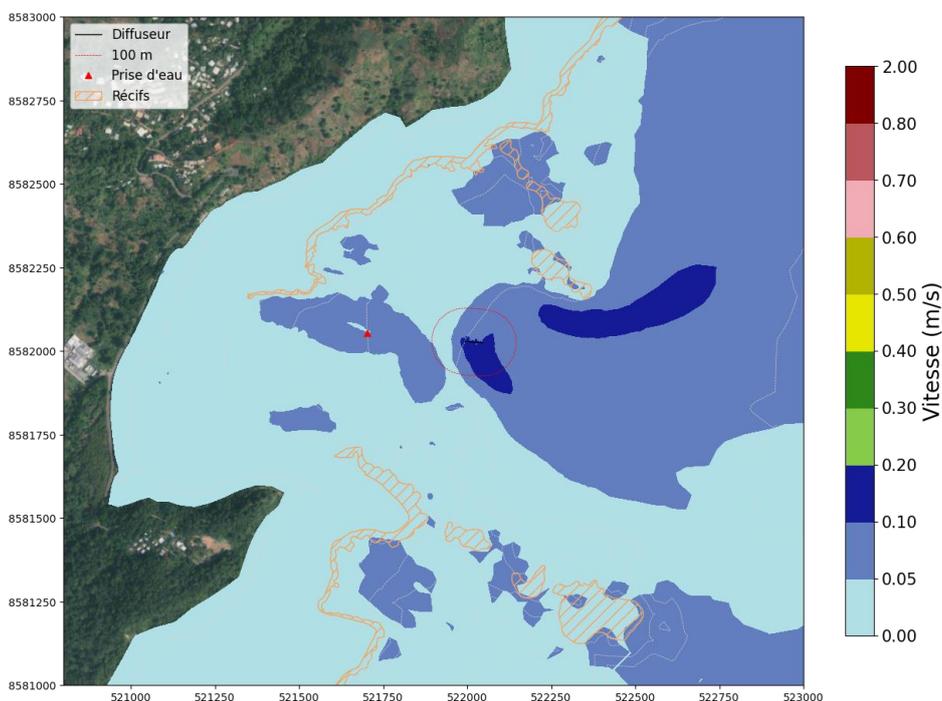


Figure 38 - Vitesses maximales au fond dans la zone du projet

7.2.1.3. Salinité

Les Figure 35 et Figure 36 présentent la sur-salinité maximum dans la baie (augmentation maximum de salinité en chaque nœud de calcul par rapport à la salinité ambiante) sur les 15 jours de simulation, au fond (Figure 35) et à la profondeur de la prise (Figure 36). Les zones grisées sur la Figure 36 indiquent les zones où les fonds sont au-dessus de -12 m NGM.

Ces résultats montrent que sur les fonds, là où le panache est le plus dense, la répartition de celui-ci n'est pas homogène autour de l'ouvrage de rejet. Le panache s'étend davantage vers l'est en suivant la pente de la bathymétrie (le panache de rejet est plus dense que le milieu ambiant). Il est visible (seuil de visibilité défini à 0,1 g/l) jusqu'à environ 1,6 km du diffuseur. Au nord et au sud du diffuseur, l'extension du panache est limitée par des zones de coraux où la bathymétrie est surélevée. Les sur-salinités maximales sont observées au nord et au sud du diffuseur, avec une valeur maximale de l'ordre de 0,6 g/l à 100 m de l'ouvrage. Le critère de dilution (sur-salinité inférieure à 1 g/l à 100 m du rejet) est donc bien respecté.

À - 12 m NGM (profondeur de la prise d'eau), le panache de rejet n'est pas visible (l'augmentation de salinité est inférieure à 0,1 g/l, soit moins de 0,3 % de la salinité ambiante).

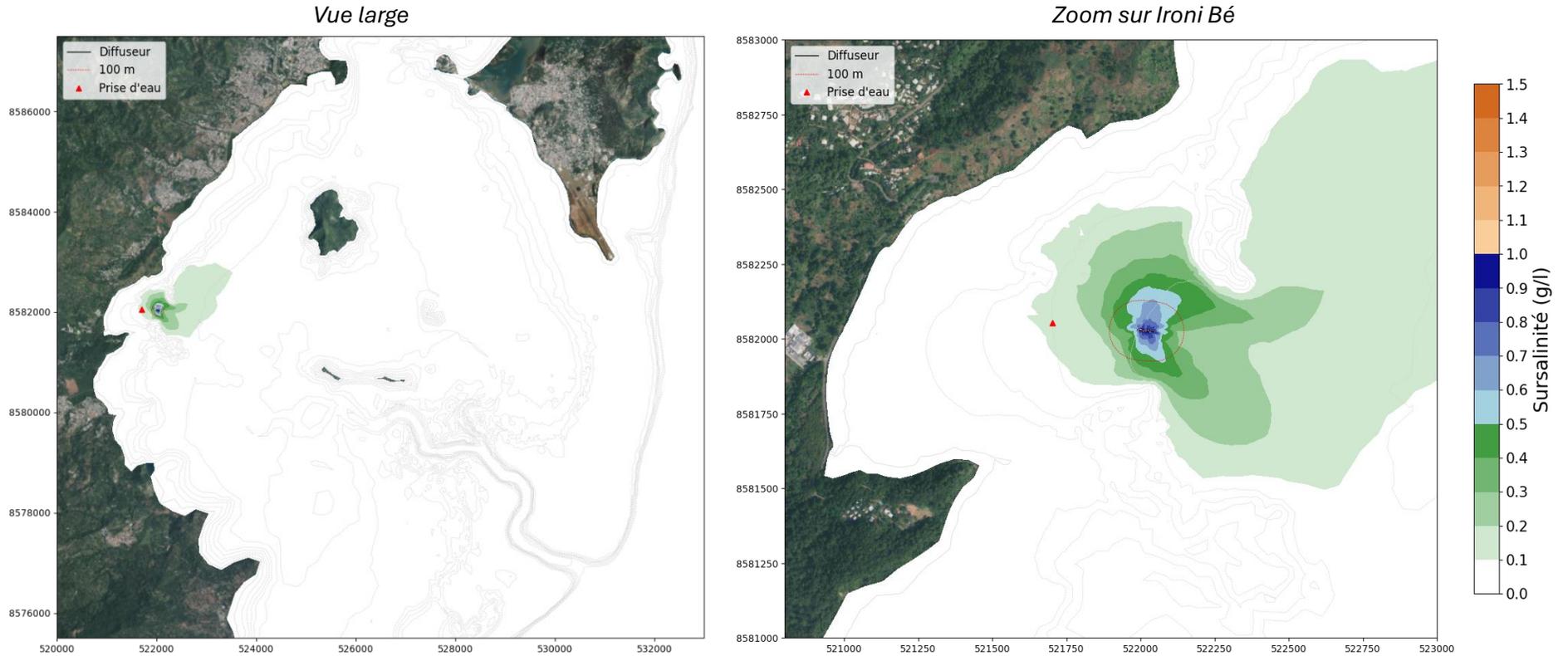


Figure 39 - Maximum de sur-salinité au fond – Condition de mousson

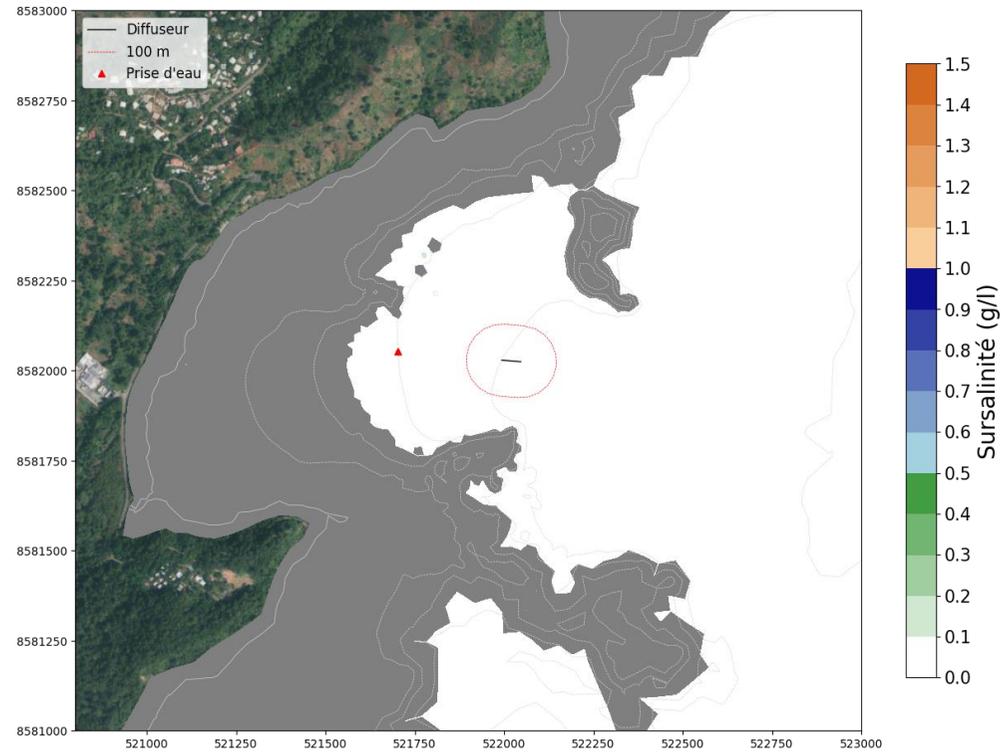


Figure 40 - Maximum de sur-salinité à - 12 m NGM – Condition de mousson

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A



**REALISATION D'UNE USINE DE POTABILISATION PAR
DESSALEMENT SUR GRANDE TERRE A IRONI BE**



Les cartographies de la Figure 37 montrent la variation du panache sur le fond au cours d'une marée. Proche du rejet, la courantologie est essentiellement liée à l'ouvrage de rejet et le panache varie peu au cours du temps. L'instant de la marée a une influence sur l'extension du panache vers l'est.

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

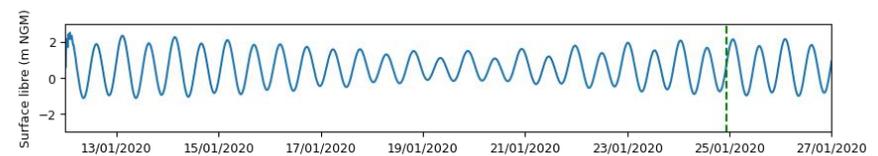
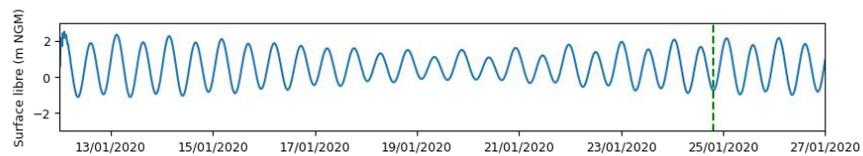
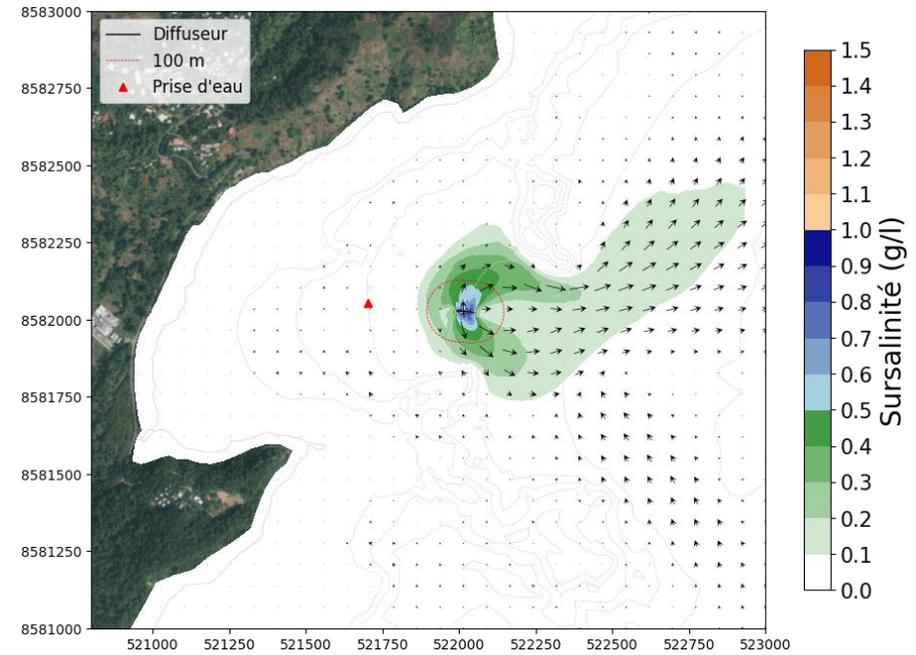
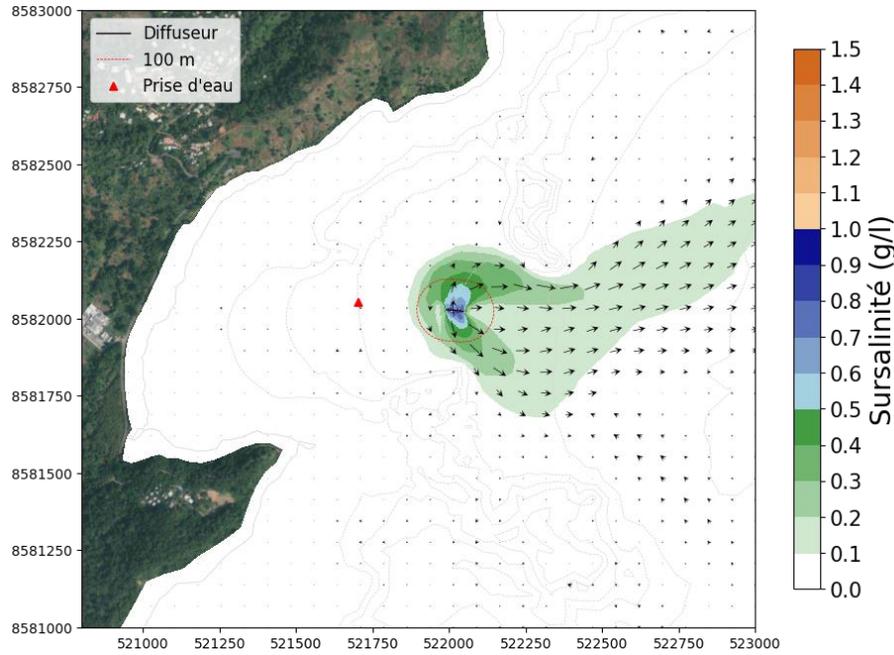


REALISATION D'UNE USINE DE POTABILISATION PAR
DESSALEMENT SUR GRANDE TERRE A IRONI BE



Basse-mer

Mi-flot



I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

Pleine mer

Mi-jusant

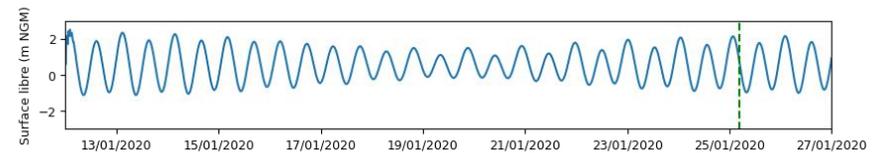
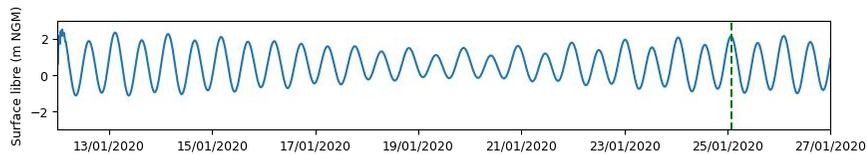
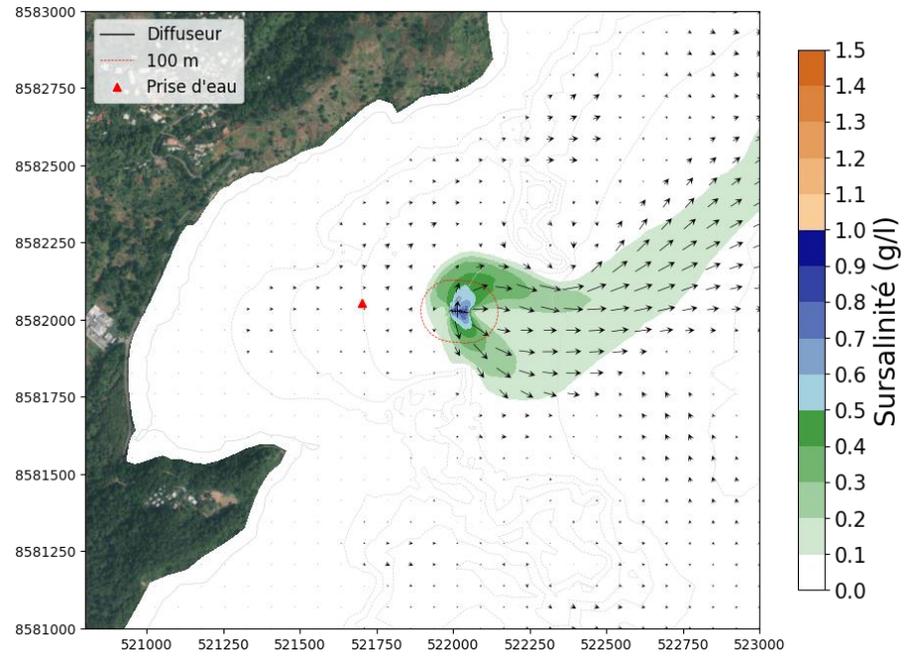
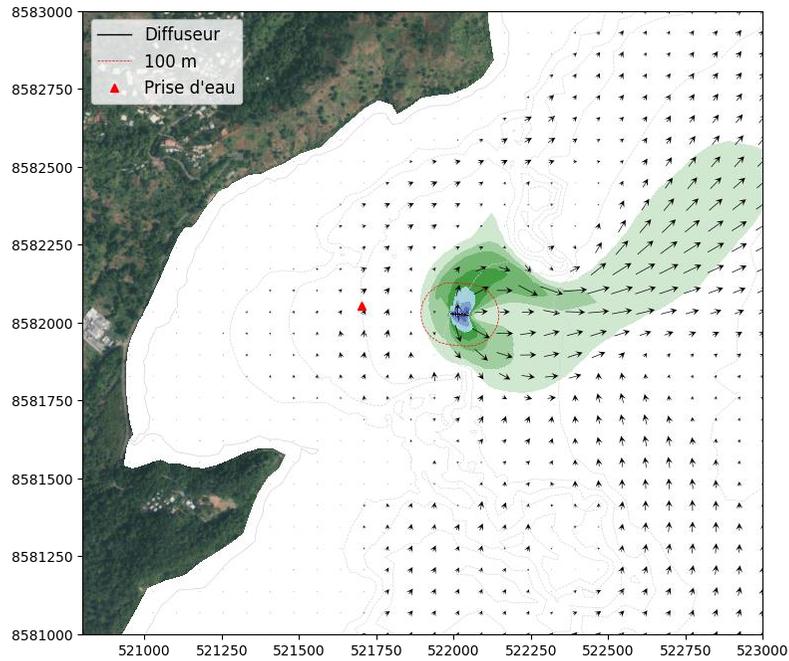


Figure 41 - Cartographies de sur-salinité au fond au cours de la marée

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

Les Figure 38 et Figure 39 montrent la répartition verticale de la salinité après 15 jours de simulation sur une coupe longitudinale et sur une coupe transversale (lignes bleues sur la première image). Sur la coupe longitudinale, le panache est visible sur environ 100 m en amont du diffuseur, sous l'action des recirculations locales générées par le rejet. Puis le panache, plus lourd que le milieu ambiant, suit la pente des fonds et s'étend vers le large, par écoulement de densité. Sur la coupe transversale, l'accumulation du panache sur le fond apparaît également clairement. Il est visible (sur-salinité supérieure à 0,1 g/l) jusqu'à la cote - 18 m NGM environ.

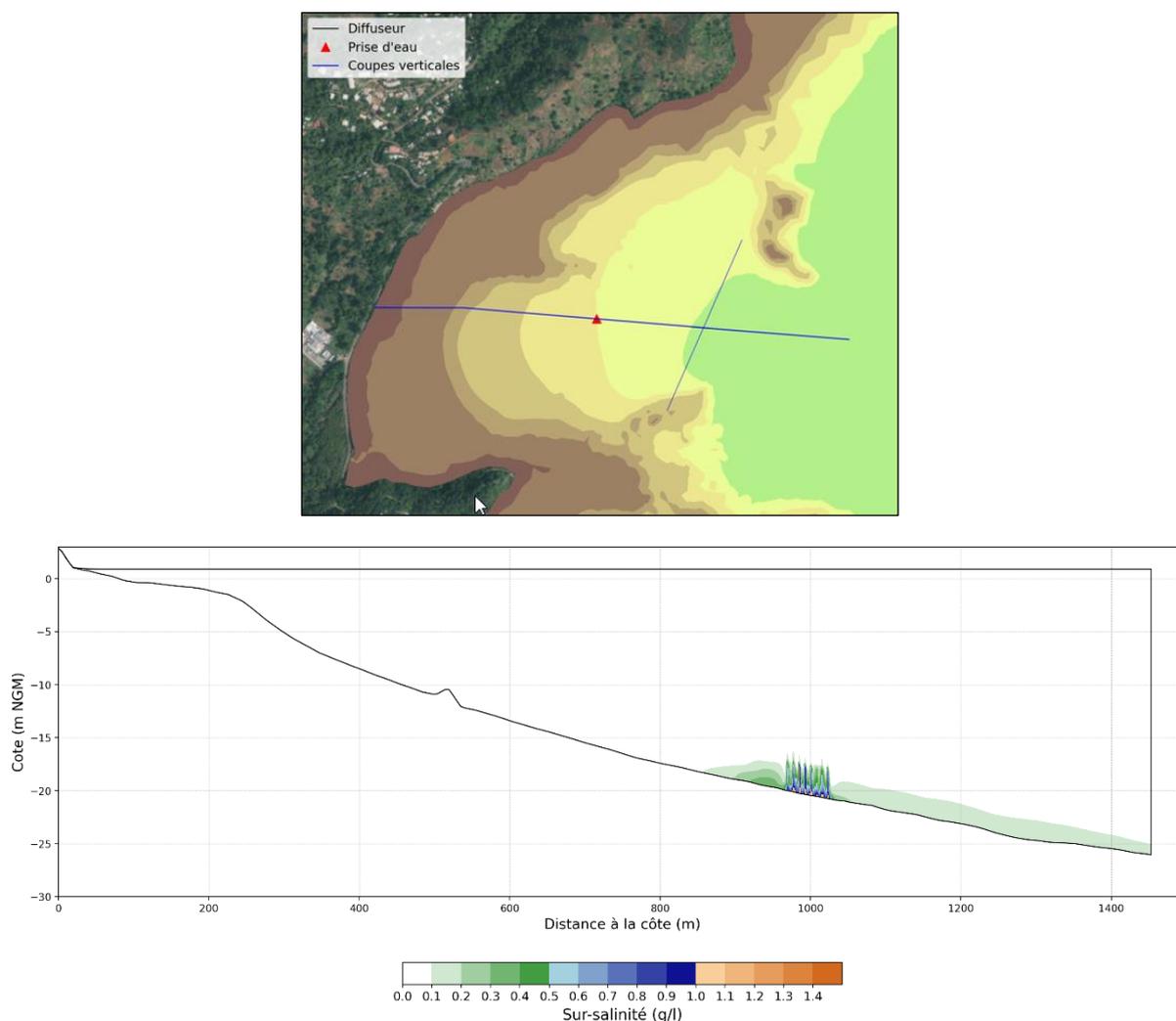


Figure 42 - Coupe verticale de sur-salinité dans l'axe du diffuseur – Condition de mousson

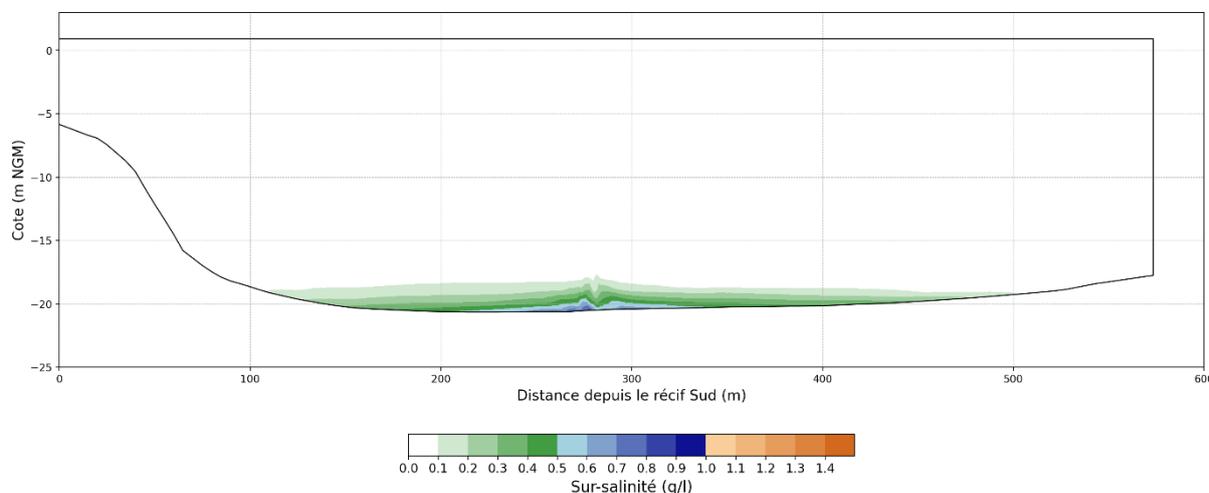


Figure 43 - Coupe verticale de sur-salinité perpendiculaire au diffuseur – Condition de mousson

Les graphes de la Figure 40 montrent les variations temporelles de sur-salinité sur le fond, aux différents points de sonde (Figure 32). Le graphe du haut montre les résultats sur les points à 100 m du rejet et le deuxième graphe sur les points d'intérêt plus éloignés.

Après 1 jour de simulation, la salinité à 100 m du rejet est stabilisée. On observe par la suite de légères variations liées à la marée et aux conditions de vent.

Au sud, la salinité semble légèrement plus importante lors de la période de vent fort. À l'ouest, les variations semblent liées à la marée avec des variations plus importantes sur les marées de vives-eaux.

Aux points d'intérêt éloignés du rejet, les variations de sur-salinité sont très faibles (inférieures à 0,1 g/l). À l'ouest de l'îlot Mbouzi, les variations de salinités semblent principalement dues à la marée (salinité plus élevée sur les marées de vives-eaux) alors qu'aux points « Récif » et « Mangrove » la salinité augmente sur la période de vents forts.



Figure 44 - Évolution temporelle de la sur-salinité en différents points de sonde – Condition de mousson

Le Tableau 7 récapitule les valeurs maximum et moyenne de sur-salinité au fond aux différents points de sonde.

Au niveau de la prise d'eau, il n'y a pas de sur-salinité observée. La recirculation entre la prise d'eau et le rejet est nulle sur 15 jours de simulation.

Tableau 8 - Sur-salinité moyenne et maximum (en g/l) aux points de sonde – Condition de mousson

Point de sonde	Moyenne	Maximum
Nord	0,5	0,6
Est	0,1	0,2
Sud	0,3	0,5
Ouest	0,1	0,3
Récif	< 0,05	< 0,05
Mbouzi Ouest	< 0,05	0,1
Mbouzi Sud	< 0,05	< 0,05
Passe	< 0,05	< 0,05
Mangrove	< 0,05	0,1
Prise d'eau	< 0,05	< 0,05

7.2.1.4. Température

La Figure 41 présente la cartographie de l'échauffement (augmentation de la température par rapport à la température ambiante) maximum au fond durant les 15 jours de simulation. L'échauffement lié au rejet reste inférieur à 0,1°C dans tout le domaine et il n'est supérieur à 0,05°C que localement autour du diffuseur. La prise d'eau n'est pas échauffée par le panache de rejet.

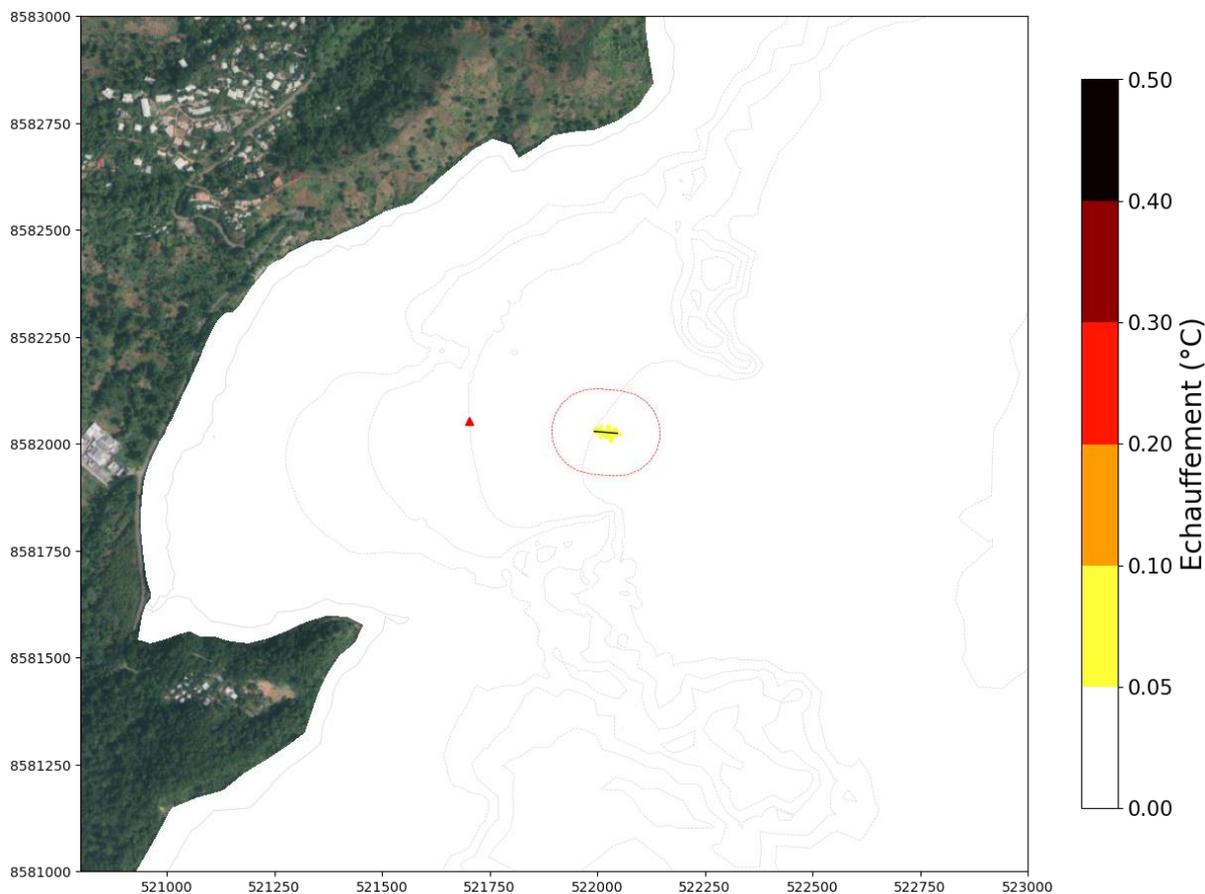


Figure 45 - Carte de l'échauffement maximum au fond – Condition de mousson

7.2.1.5. Traceur passif

La dilution des espèces chimiques présentes dans le rejet est modélisée par un traceur passif (sans incidence sur la courantologie). Leur concentration dans l'effluent n'étant pas encore fixée, la concentration du traceur passif a été fixée à 100 au rejet et 0 dans le milieu ambiant. Les résultats sont alors présentés en pourcentage de la concentration initiale. La Figure 42 présente la cartographie de la concentration maximum en traceur au fond (en % de la concentration initiale). Celle-ci ne dépasse pas 5 % de la concentration initiale dans tout le domaine. À 100 m du rejet, elle est inférieure à 2 % et à 750 m, elle est inférieure à 0,5 %.

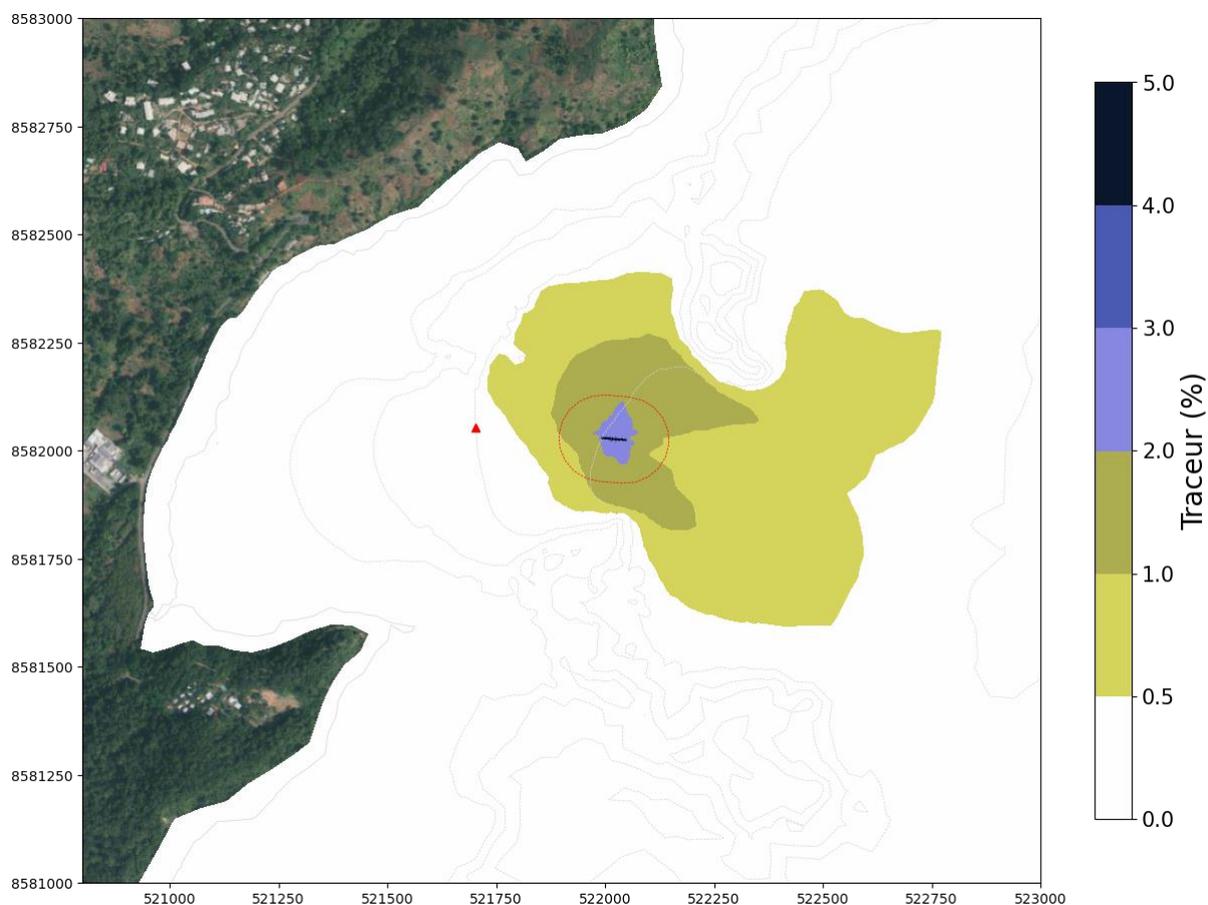


Figure 46 - Carte de la concentration maximum en traceur passif au fond (en pourcentage de la concentration au rejet) – Condition de mousson

Le Tableau 8 récapitule les valeurs maximum et moyenne de concentration en traceur au fond (en pourcentage de traceur initial) aux différents points de sonde.

Au niveau de la prise d'eau, la concentration maximale en traceur est égale à 0,1 % de la concentration ambiante. La recirculation entre la prise d'eau et le rejet est quasiment nulle sur 15 jours de simulation.

Tableau 9 - Concentration en traceur moyenne et maximum (en %) aux points de sonde – Condition de mousson

Point de sonde	Moyenne	Maximum
Nord	1,4	1,9
Est	0,4	0,7
Sud	1,1	1,5
Ouest	0,4	1,0
Récif	< 0,05	0,1
Mbouzi Ouest	0,1	0,2
Mbouzi Sud	< 0,05	< 0,05
Passe	< 0,05	< 0,05
Mangrove	< 0,05	0,2
Prise d'eau	< 0,05	0,1

7.2.2. Condition d'alizés

7.2.2.1. Description des conditions météo-océaniques sur la période

Le scénario d'alizés simule les conditions océano-météorologiques du 11 au 26 juillet 2022. Les conditions météo-océaniques de la période sont rappelées sur la Figure 43 (conditions au niveau de la prise d'eau). Celles-ci sont caractérisées par une première semaine de marée de vives-eaux puis une deuxième semaine de morte-eau. Sur toute la période on observe une alternance d'intensité et de direction du vent. Les intensités les plus fortes sont visible les 18 et 19 juillet.

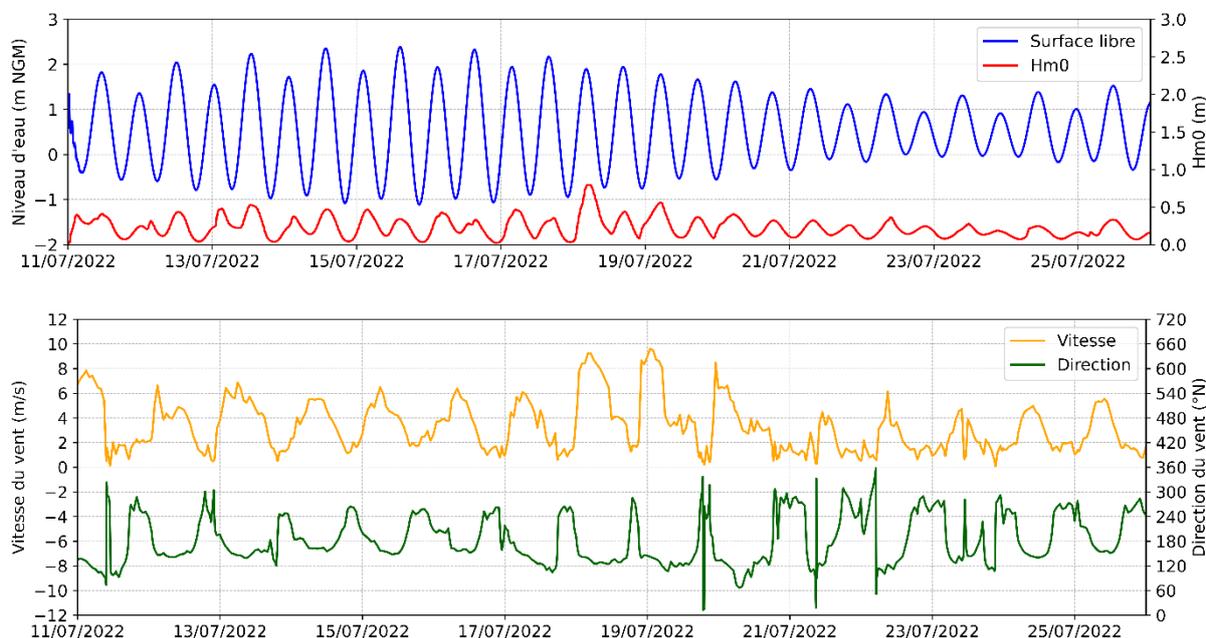


Figure 47 - Conditions de marée, de houle (en haut) et de vent (bas) sur le site d'étude (à l'emplacement de la prise d'eau) – Condition d'alizés

7.2.2.2. Courants

La Figure 44 montre les vitesses maximums du courant au fond dans la zone de rejet. Les polygones hachurés indiquent la position des principaux récifs de coraux dans la zone du projet.

Comme pour le scénario précédent, les vitesses ambiantes au fond sont très faibles (inférieures à 20 cm/s) dans toute la zone d'étude. Dans la zone de rejet, les vitesses sont supérieures à 10 cm/s.

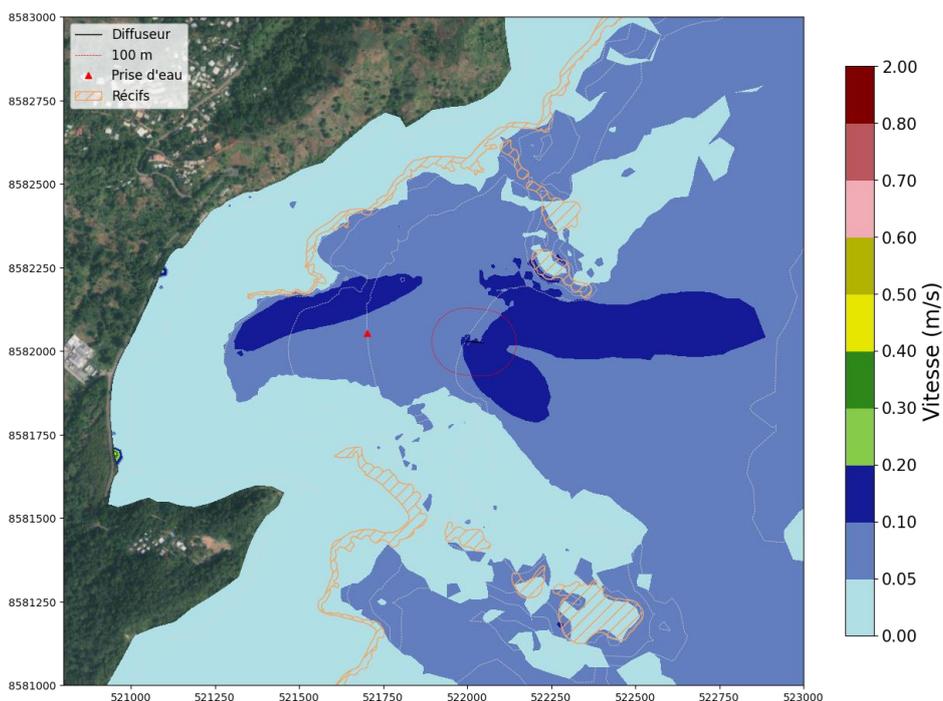


Figure 48 - Vitesses maximales au fond dans la zone du projet – Condition d'alizés

7.2.2.3. Salinité

Les Figure 45 et Figure 46 présentent la sur-salinité maximum dans la baie (augmentation maximum de salinité en chaque nœud de calcul par rapport à la salinité ambiante) sur les 15 jours de simulation, au fond (Figure 45) et à la profondeur de la prise (Figure 46). Les zones grisées sur la Figure 46 indiquent les zones où les fonds sont au-dessus de - 12 m NGM.

Autour de l'ouvrage de rejet, la répartition du panache reste similaire à celle du calcul en condition de mousson. L'extension globale du panache est aussi relativement similaire, même si son extension en direction de la côte est légèrement plus faible par condition d'alizés. L'extension du panache vers le nord-est est légèrement plus faible que pour la condition de mousson (1 500 m).

Les sur-salinités maximales sont observées au nord et au sud du diffuseur, avec une valeur maximale de l'ordre de 0,55 g/l à 100 m de l'ouvrage. Le critère de dilution (sur-salinité inférieure à 1 g/l à 100 m du rejet) est aussi respecté pour ce scénario.

À - 12 m NGM (profondeur de la prise d'eau), le panache de rejet n'est pas visible.



REALISATION D'UNE USINE DE POTABILISATION PAR
DESSALEMENT SUR GRANDE TERRE A IRONI BE



Vue large

Zoom sur Ironi Bé

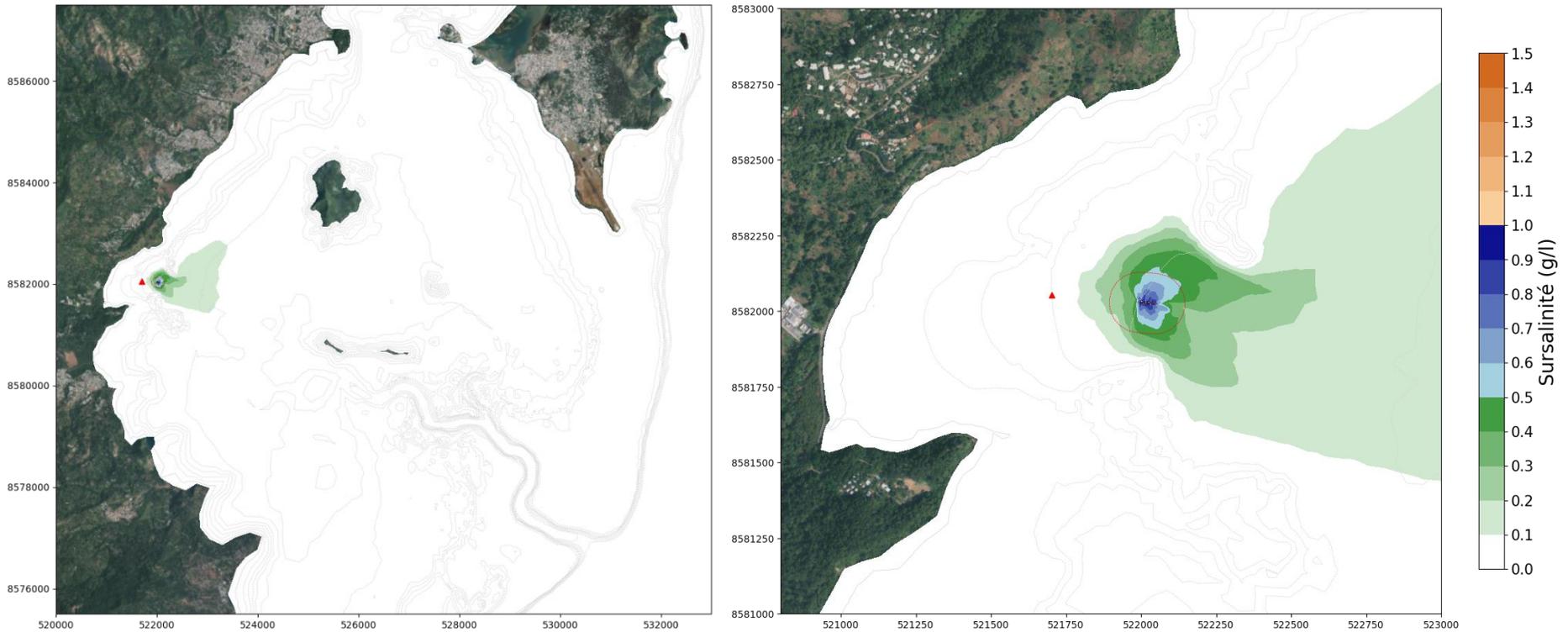


Figure 49 - Maximum de sur-salinité au fond – Condition d'alizés

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

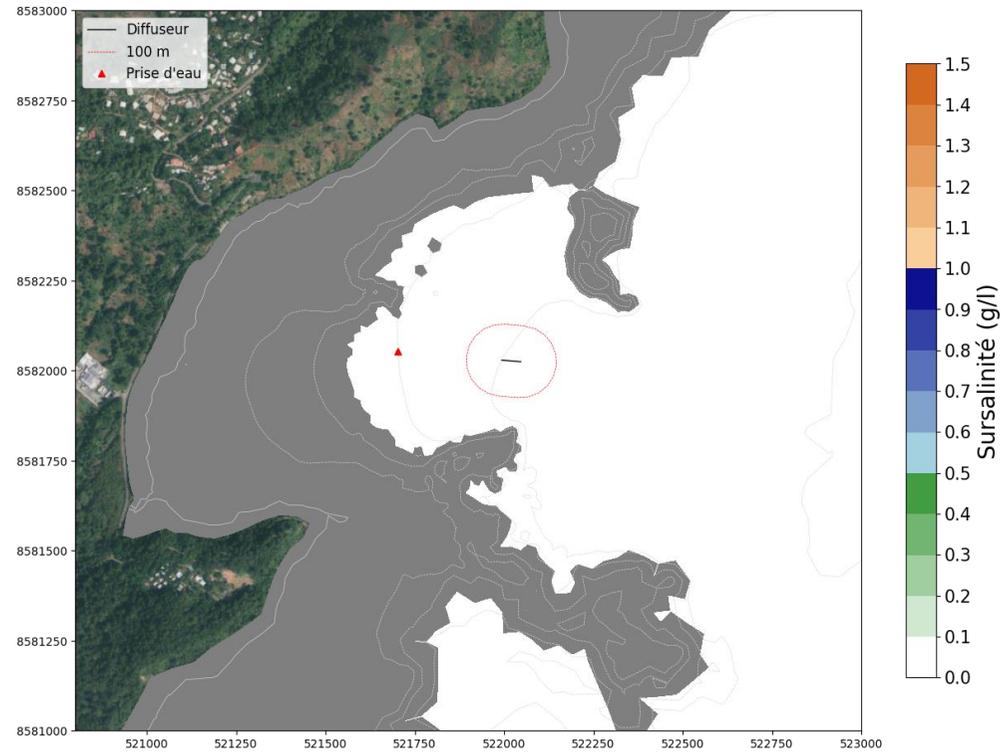


Figure 50 - Maximum de sur-salinité à - 12 m NGM – Condition d'alizés

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

Les Figure 47 et Figure 48 montrent la répartition verticale de la salinité après 15 jours de simulation sur une coupe longitudinale et sur une coupe transversale (lignes bleues sur la première image).

Comme pour la condition de mousson, le panache est essentiellement visible (augmentation de salinité de plus de 0,1 g/l) en aval du diffuseur et en amont sur environ 100 m sur la coupe longitudinale et au fond jusqu'à la cote - 18 m NGM sur la coupe transversale.

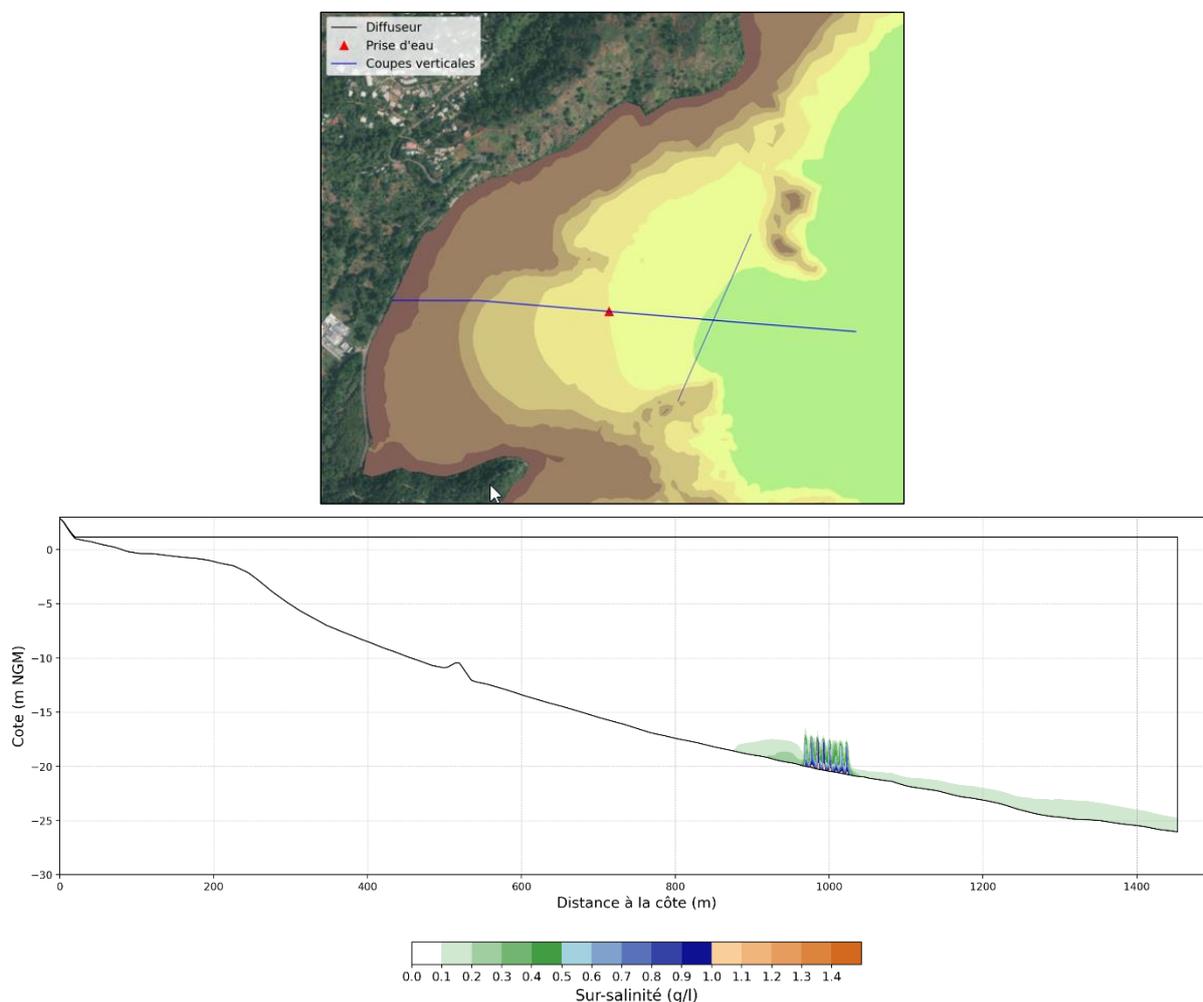


Figure 51 - Coupe verticale de sur-salinité dans l'axe du diffuseur – Condition d'alizés

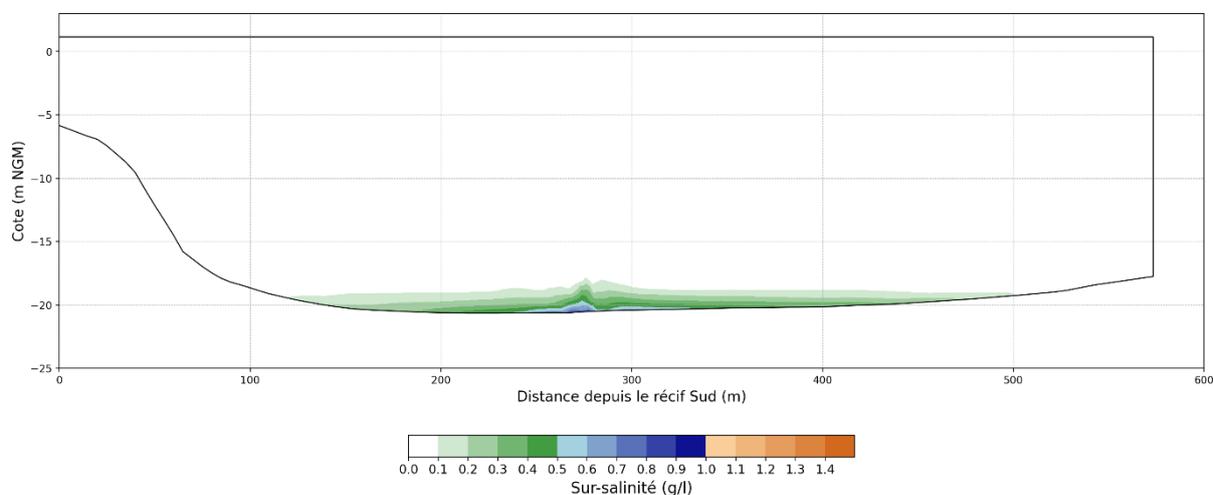


Figure 52 - Coupes verticales de sur-salinité perpendiculaire au diffuseur – Condition d'alizés

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

Les graphes de la Figure 49 montrent les variations temporelles de sur-salinité sur le fond, en différents points de sonde. Le graphe du haut montre les résultats sur les points à 100 m du rejet et le deuxième graphe sur les points d'intérêt plus éloignés.

Après 1 jour de simulation, la salinité à 100 m du rejet est stabilisée. On observe par la suite de légères variations liées à la marée et aux conditions de vent. Sur l'ensemble des points, l'impact du rejet est légèrement plus faible que pour la condition de mousson.

À l'ouest, les variations semblent liées à la marée avec des variations plus importantes en période de vives-eaux.

Aux points d'intérêt éloignés du rejet, les variations de sur-salinité sont très faibles (inférieures à 0,1 g/l).

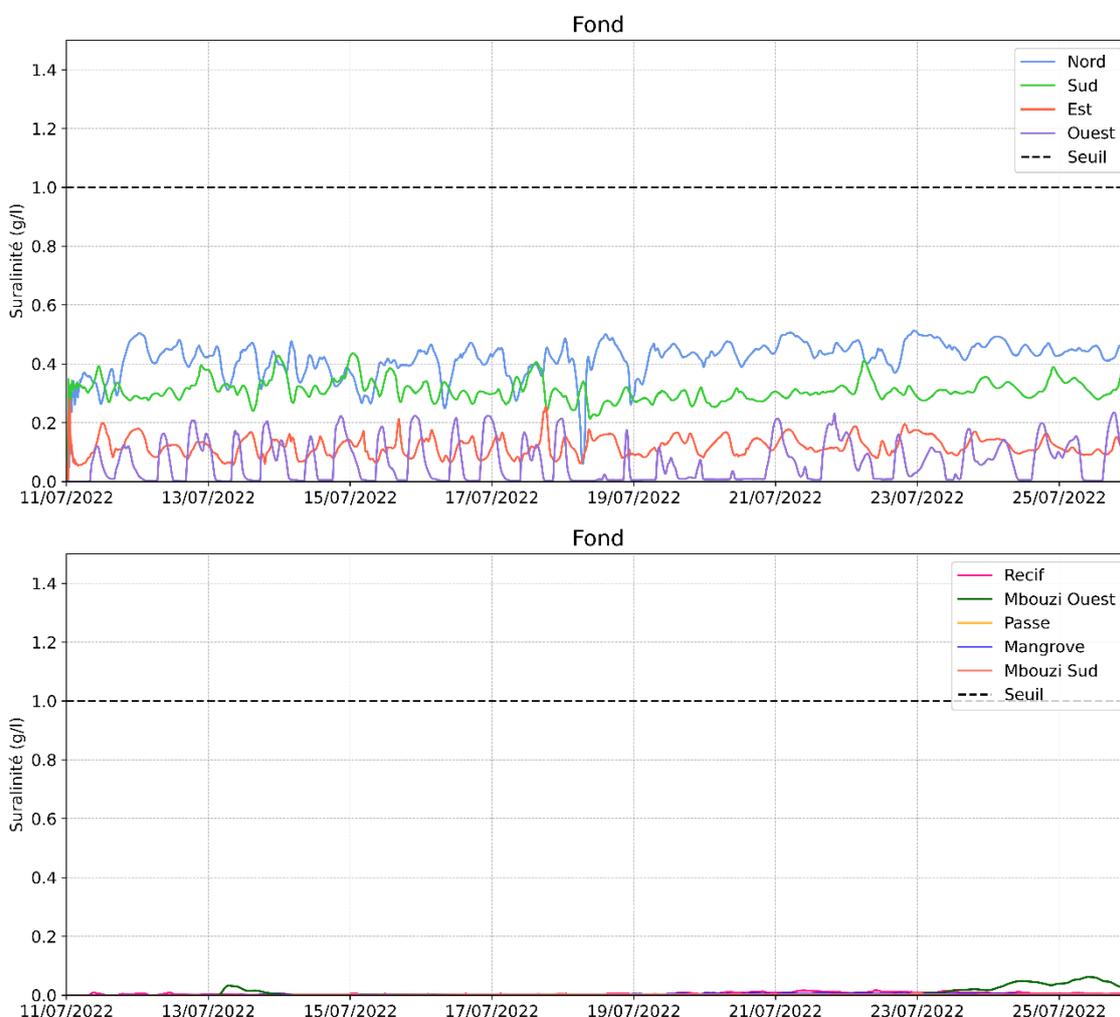


Figure 53 - Évolution temporelle de la sur-salinité en différents points sonde – Condition d'alizés

Le Tableau 9 récapitule les valeurs maximum et moyenne de sur-salinité au fond aux différents points de sonde.

I	R	O	-	N	C	A	-	A	R	T	-	2	-	0	1	5	-	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Au niveau de la prise d'eau, il n'y a pas de sur-salinité observée. La recirculation entre la prise d'eau et le rejet est nulle sur 15 jours de simulation.

Tableau 10 - Sur-salinité moyenne et maximum (en g/l) aux points de sonde - Condition d'alizés

Point de sonde	Moyenne	Maximum
Nord	0,4	0,5
Est	0,1	0,3
Sud	0,3	0,4
Ouest	0,1	0,2
Récif	< 0,05	< 0,05
Mbouzi Ouest	< 0,05	0,1
Mbouzi Sud	< 0,05	< 0,05
Passe	< 0,05	< 0,05
Mangrove	< 0,05	< 0,05
Prise d'eau	< 0,05	< 0,05

7.2.2.4. Température

La Figure 50 présente la cartographie de l'échauffement maximum au fond durant les 15 jours de simulation. L'échauffement lié au rejet reste inférieur à 0,1°C dans tout le domaine et il n'est supérieur à 0,05°C que localement autour du diffuseur. La prise d'eau n'est pas échauffée par le panache de rejet.

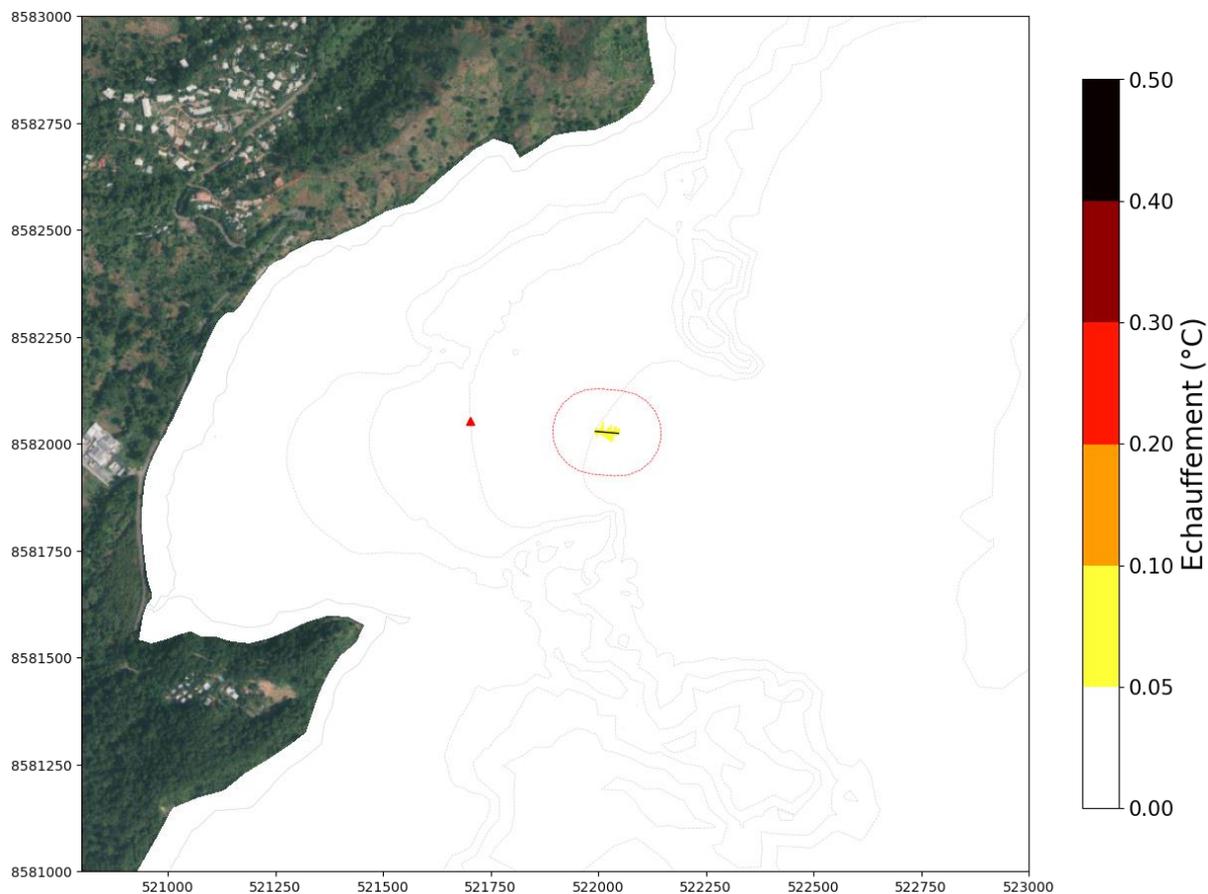


Figure 54 - Carte de l'échauffement maximum au fond – Condition d'alizés

7.2.2.5. Traceur passif

La Figure 51 présente la cartographie de la concentration maximum en traceur au fond (en % de la concentration initiale). La concentration en traceur passif au fond ne dépasse pas 3 % de la concentration initiale. À 100 m du rejet, elle est inférieure à 2 % et à 700 m, elle est inférieure à 0,5 %.

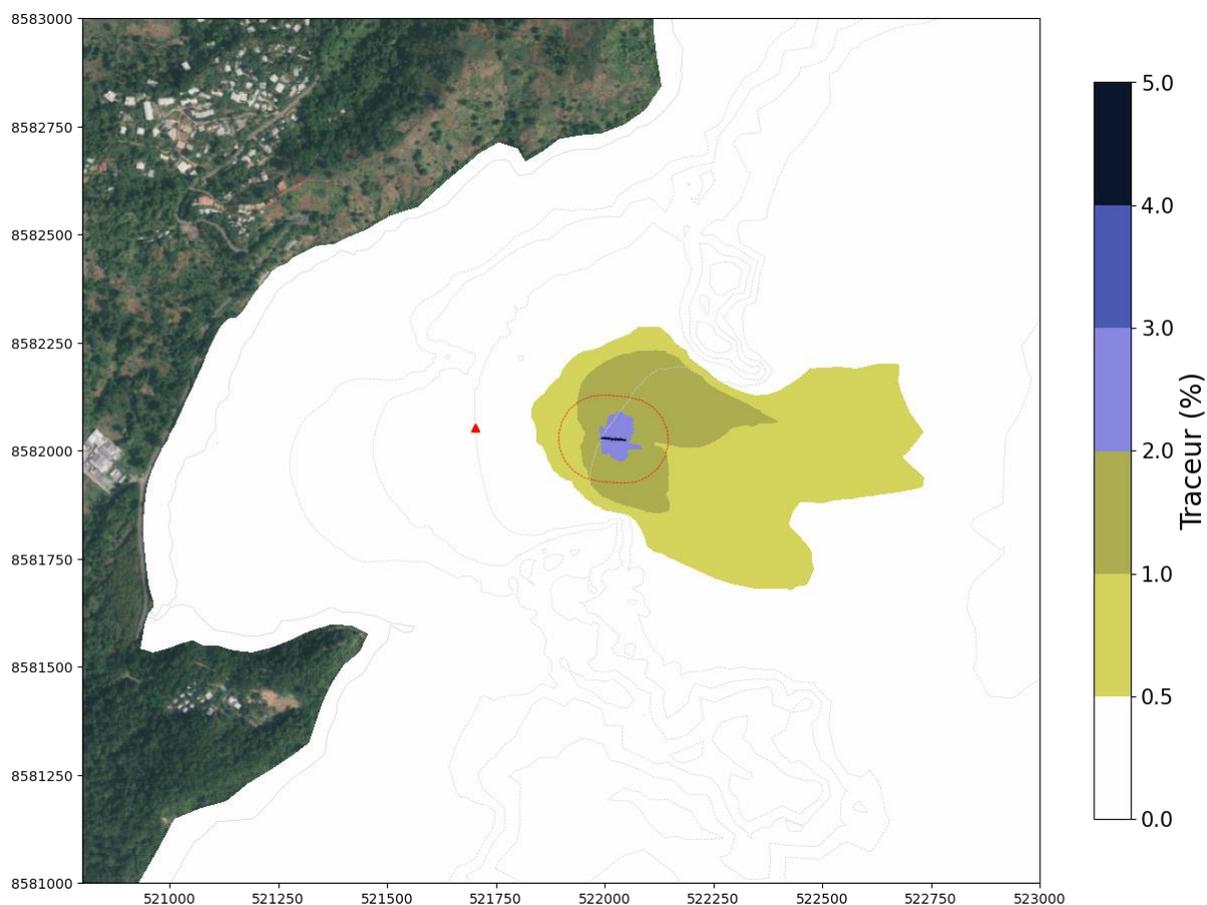


Figure 55 - Carte de la concentration maximum en traceur passif au fond (en pourcentage de la concentration au rejet) – Condition d'alizés

Le Tableau 10 récapitule les valeurs maximum et moyenne de concentration en traceur au fond (en pourcentage de traceur initial) aux différents points de sonde.

Au niveau de la prise d'eau, il n'y a pas de recirculation du panache de rejet sur 15 jours de simulation.

Tableau 11 - Concentration en traceur moyenne et maximum (en %) aux points de sonde – Condition d'alizés

Point de sonde	Moyenne	Maximum
Nord	1,3	1,6
Est	0,4	0,9
Sud	1,0	1,4
Ouest	0,2	0,7
Récif	< 0,05	0,1
Mbouzi Ouest	< 0,05	0,2
Mbouzi Sud	< 0,05	< 0,05
Passe	< 0,05	< 0,05
Mangrove	< 0,05	< 0,05
Prise d'eau	< 0,05	< 0,05

7.3. Tests de sensibilité

En complément, deux tests de sensibilité ont été réalisés sur les conditions météo-océaniques d'alizés :

- un test sur l'espacement des buses : les 8 buses de rejet sont espacées de 12 m (au lieu de 8 m dans la configuration de base) ;
- un test sur le fonctionnement du rejet : alternance de fonctionnement à débit maximum (1 000 m³/h) pendant 1h03 et arrêt pendant 57 minutes.

Tous les autres paramètres sont identiques à ceux de la configuration de base.

7.3.1. Test sur l'espacement des buses

Pour ce calcul, les buses sont espacées de 12 m au lieu de 8 m. La taille de maille au niveau du rejet reste constante (1 m) sur la longueur du diffuseur allongé.

La Figure 52 présente la cartographie de la sur-salinité maximum au fond. En augmentant la distance entre les buses, le panache proche du rejet est légèrement plus étalé dans l'axe du diffuseur et un peu moins perpendiculairement. De ce fait, la sur-salinité à 100 m ne dépasse pas 0,5 g/l.

Au large, le panache est similaire à celui de la configuration de base.



REALISATION D'UNE USINE DE POTABILISATION PAR
DESSALEMENT SUR GRANDE TERRE A IRONI BE

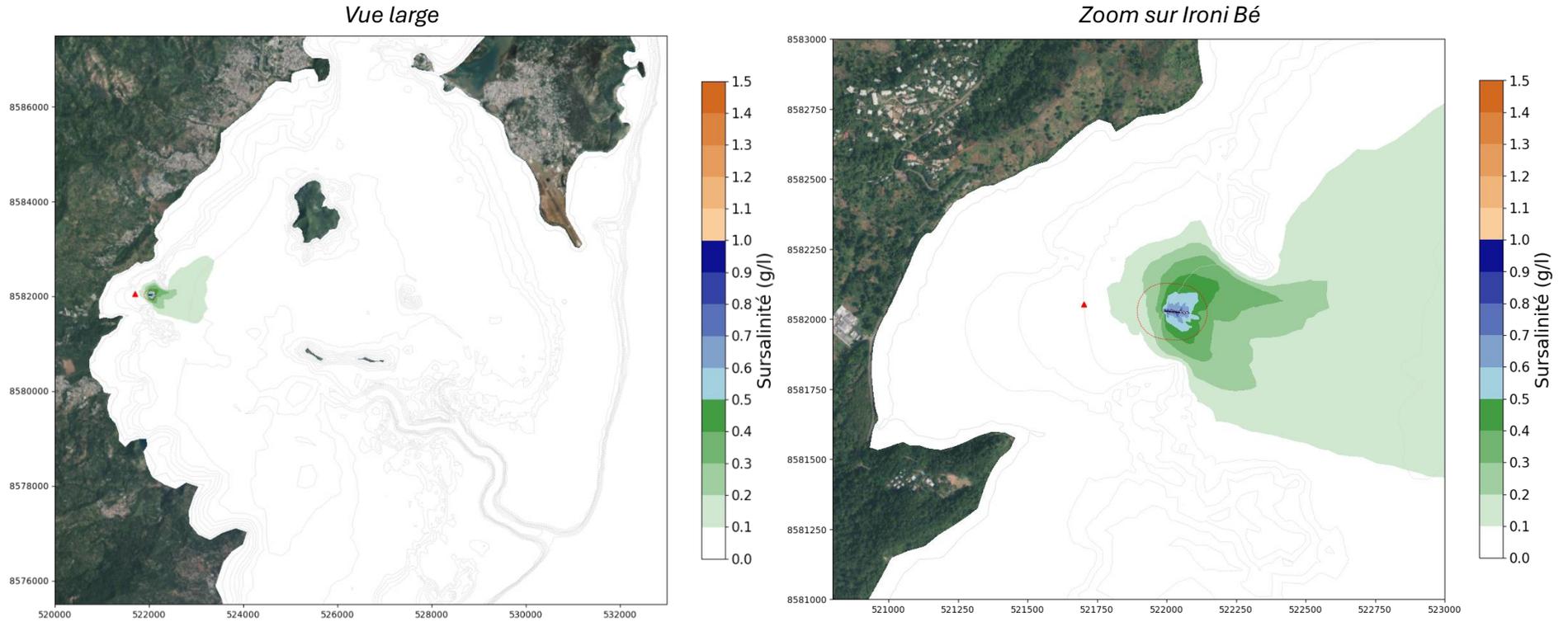


Figure 56 - Maximum de sur-salinité au fond – Test sur l'espacement entre les buses

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

Les graphes de la Figure 53 montrent les variations temporelles de sur-salinité au fond, sur les mêmes points sonde que précédemment.

À 100 m, les variations temporelles sont similaires à celles de la configuration de base mais les valeurs atteintes sont légèrement plus faibles.

Sur les autres points, les résultats sont similaires à ceux de la configuration de base.

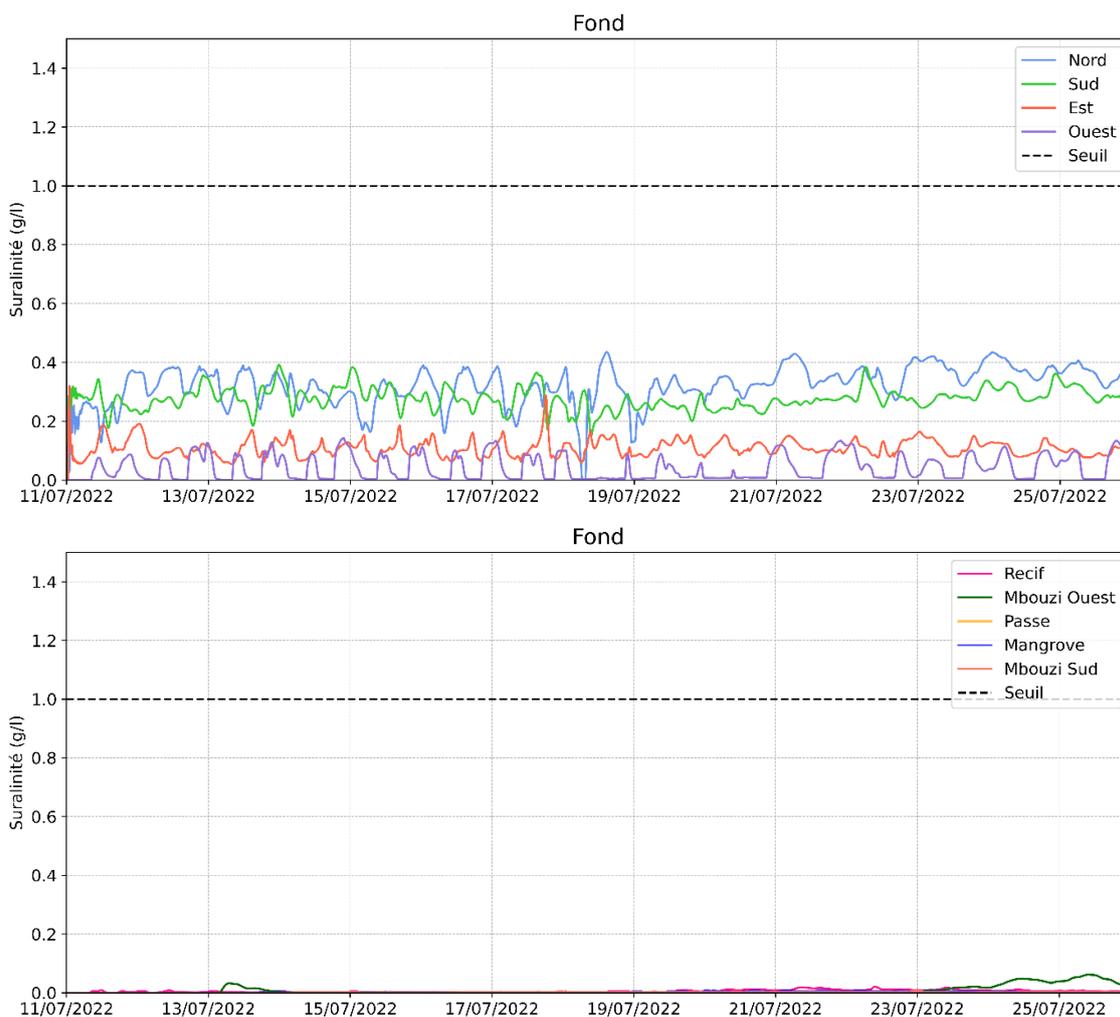


Figure 57 - Évolution temporelle de la sur-salinité en différents points sonde – Test sur l’espacement entre les buses

Le Tableau 11 récapitule les valeurs maximum et moyenne de sur-salinité au fond aux différents points de sonde. Les deux colonnes de gauche rappellent les valeurs du calcul de base. Pour les points Sud et Nord, les valeurs maximums sont supérieures à celles du cas de base mais les valeurs moyennes sont inférieures. Pour les autres points, les valeurs moyennes et maximums sont identiques au calcul de base.

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

Tableau 12 - Sur-salinité moyenne et maximum (en g/l) aux points de sonde – Test sur l'espace entre les buses

Point de sonde	Configuration de base (8 m)		Buses espacées de 12 m	
	Moyenne	Maximum	Moyenne	Maximum
Nord	0,4	0,5	0,3	0,4
Est	0,1	0,3	0,1	0,3
Sud	0,3	0,4	0,3	0,4
Ouest	0,1	0,2	< 0,05	0,1
Récif	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Mbouzi Ouest	< 0,05	0,1	< 0,05	0,1
Mbouzi Sud	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Passe	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Mangrove	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05

7.3.2. Test sur le débit de rejet

Pour ce calcul, le rejet fonctionne de manière alternée avec le débit maximum (1 000 m³/h) pendant environ 1h03 et arrêt pendant environ 57 minutes. En cumulé sur les 15 jours de simulation, la quantité de saumure rejetée est identique à celle du cas de référence avec un débit de rejet constant à 529 m³/h.

La Figure 54 présente les cartographies de la sur-salinité maximum au fond. En augmentant le débit de rejet, la quantité de saumure déversée instantanément est plus importante, ce qui induit des sur-salinités légèrement plus importantes proches du rejet. La sur-salinité à 100 m peut atteindre 0,6 g/l pour ce calcul, contre 0,55 g/l dans le cas de base. Cependant, le critère de 1 g/l est toujours respecté.

Au large, le panache est similaire à celui de la configuration de base.



REALISATION D'UNE USINE DE POTABILISATION PAR
DESSALEMENT SUR GRANDE TERRE A IRONI BE

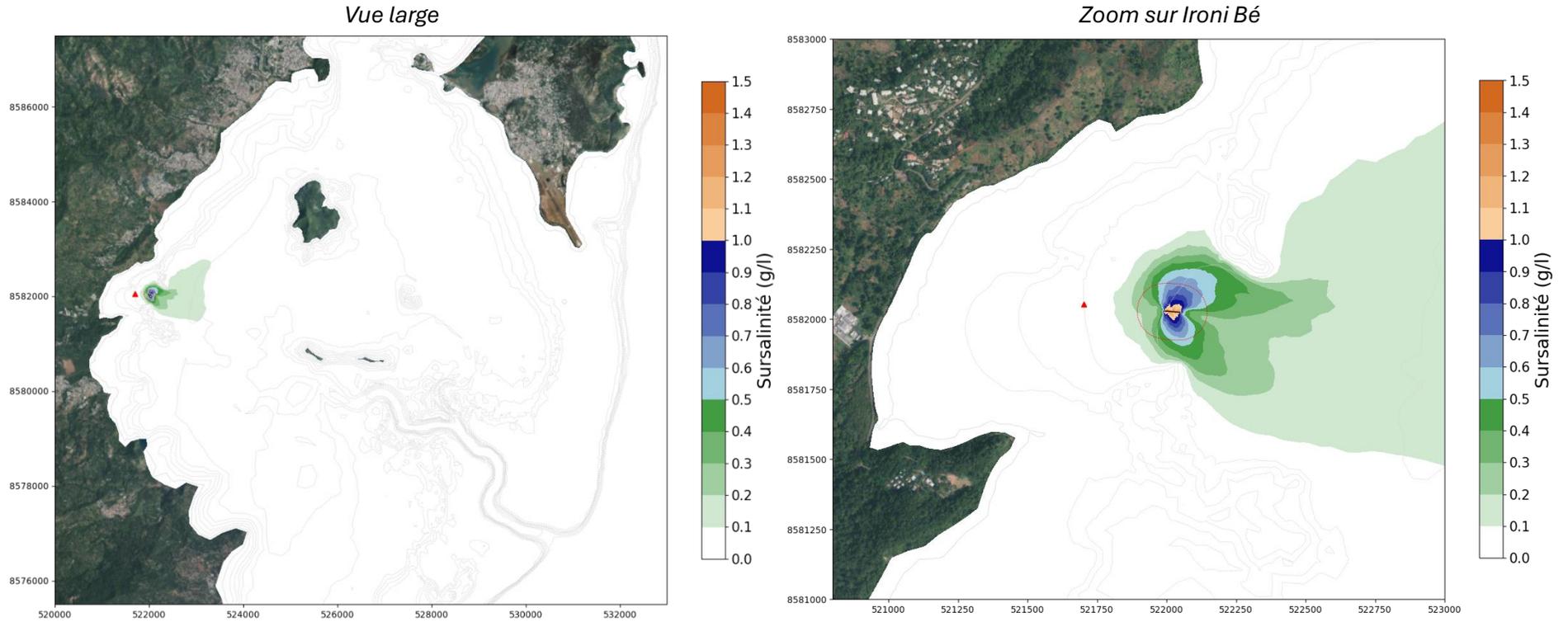


Figure 58 - Maximum de sur-salinité au fond – Test sur le débit de rejet

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

Les graphes de la Figure 55 montrent les variations temporelles de sur-salinité sur le fond, aux mêmes points de sonde que précédemment.

À 100 m, les variations temporelles sont beaucoup plus importantes que pour les calculs précédents (en particulier les points Nord et Sud) et dépendent de l'activation ou non du rejet.

Sur les autres points, les résultats sont similaires à ceux de la configuration de base.

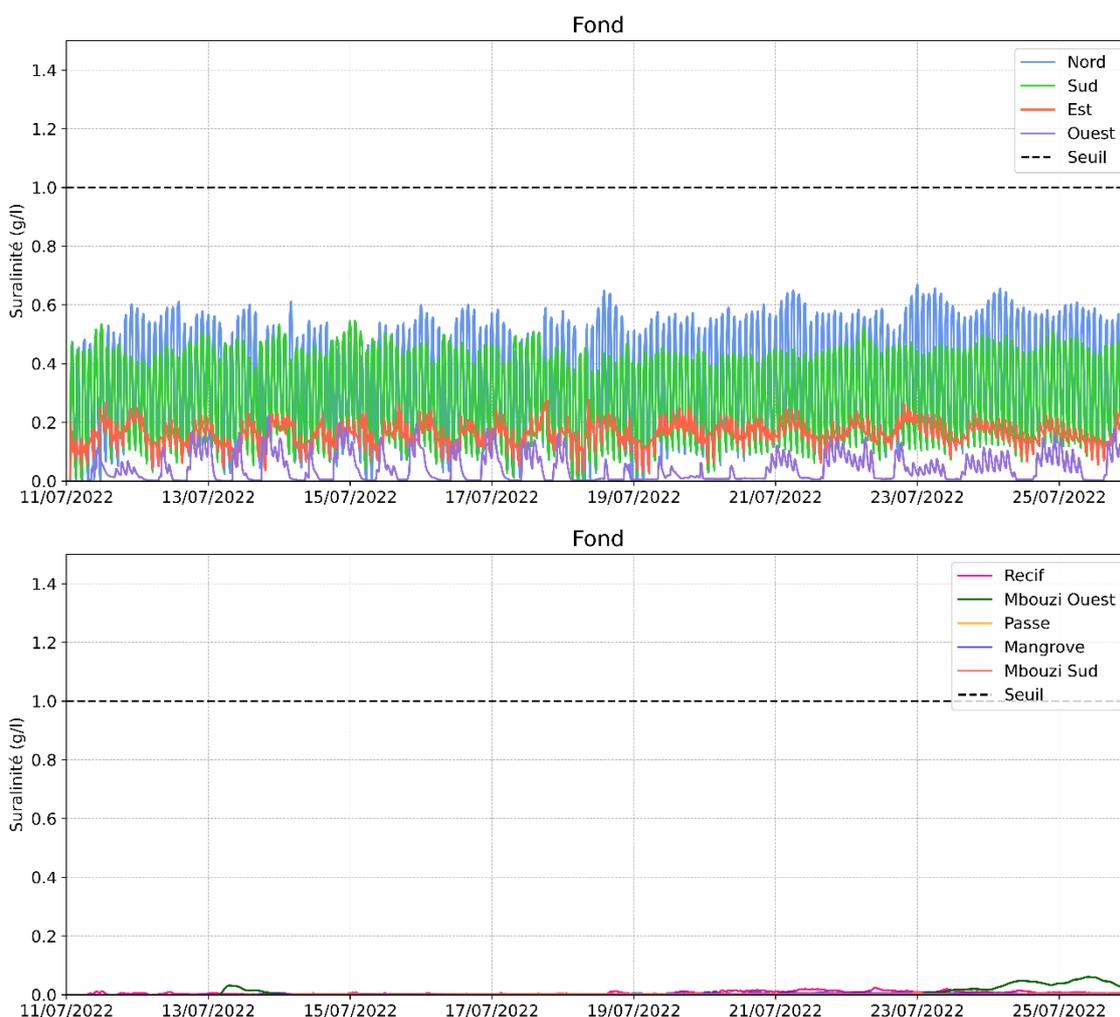


Figure 59 - Évolution temporelle de la sur-salinité en différents points sonde – Test sur le débit de rejet

Le Tableau 12 récapitule les valeurs maximum et moyenne de sur-salinité au fond aux différents points de sonde. Les deux colonnes de gauche rappellent les valeurs du calcul de base. Pour les points Sud et Nord, les valeurs maximums sont supérieures à celles du cas de base mais les valeurs moyennes sont inférieures. Pour les autres points, les valeurs moyennes et maximums sont identiques au calcul de base.

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

Tableau 13 - Sur-salinité moyenne et maximum (en g/l) aux points de sonde – Test sur le débit de rejet

Point de sonde	Configuration de base		Débit variable	
	Moyenne	Maximum	Moyenne	Maximum
Nord	0,4	0,5	0,3	0,7
Est	0,1	0,3	0,1	0,3
Sud	0,3	0,4	0,3	0,5
Ouest	0,1	0,2	< 0,05	0,2
Récif	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Mbouzi Ouest	< 0,05	0,1	< 0,05	0,1
Mbouzi Sud	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Passe	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Mangrove	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

8. Conclusions

La dilution du panache de rejet est étudiée sur deux périodes de 15 jours, représentatives des conditions météo-océaniques du site : une simulation sur le mois de janvier, en période de mousson et une simulation sur juillet, en période d'alizés.

Pour les deux simulations, les résultats sont très similaires :

- les courants au fond sont inférieurs à 10 cm/s dans toute la baie, excepté dans la zone de rejet (où ils sont compris entre 10 et 20 cm/s) ;
- le panache de rejet est maximum au fond, du fait de sa densité ;
- le panache de rejet s'étend d'abord vers l'est, par écoulement de densité en suivant la pente des fonds puis vers le nord-est sous l'action des courants, jusqu'à une distance de 1,5 à 1,7 km ;
- proche du rejet, les salinités maximales sont visibles au nord et au sud du diffuseur ;
- à 100 m du rejet, la sur-salinité ne dépasse pas 0,6 g/l. Le critère de dilution (sur-salinité inférieure à 1 g/l à 100 m) est donc respecté ;
- l'élévation de température est négligeable en toutes circonstances et sur tout le domaine ;
- la sur-salinité dans les zones d'habitat écologique sensible (mangrove, récif, passe en S, îlot Mbouzi est quasi-nulle en moyenne et ne dépasse pas 0,1 g/l (soit moins de 0,3 % de la salinité ambiante, ou encore 5 % de la variabilité naturelle) ;
- aucune augmentation de salinité ni de température n'est relevée au niveau de la prise d'eau, ce qui indique l'absence de recirculation entre le diffuseur et la prise ;
- l'introduction d'un traceur passif dans l'effluent pour caractériser la dilution des additifs (chlore, etc.) montre que la concentration ne dépasse pas 2 % de la teneur initiale à 100 m du rejet et 0,5 % à 500 m. Dans les zones d'habitat écologique sensible, la concentration ne dépasse pas 0,2 % de la valeur initiale (sans prise en compte de la dégradation ou de la recombinaison des molécules concernées).

Les tests de sensibilité réalisés montrent que :

- l'augmentation de la distance entre les buses permet de légèrement diminuer la salinité maximum autour du diffuseur. À 100 m du rejet, la diminution de la salinité moyenne est de 0,1 g/l au point « Nord » ;
- avec un débit variable entre 0 et 1 000 m³/h, la salinité maximale autour du diffuseur est plus importante car l'apport instantané de saumure peut être plus important. À 100 m, les valeurs maximales sont augmentées de 0,2 g/l et 0,1 g/l aux points « Nord » et « Sud » respectivement. En revanche, les valeurs moyennes sont diminuées ;
- pour ces deux tests, l'emprise globale du panache n'est pas modifiée par rapport à la configuration de base.

À ce stade des modélisations, il est possible d'estimer que les principaux résultats de la dilution dans le champ lointain sont bien approchés, et qu'ils sont encourageants quant à la qualité de la dilution de la saumure dans le lagon et à la minimisation des impacts sur les zones d'habitats écologiques

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A



**REALISATION D'UNE USINE DE POTABILISATION PAR
DESSALEMENT SUR GRANDE TERRE A IRONI BE**



sensibles. Ce rapport provisoire fournit également une description détaillée du modèle hydrodynamique employé, permettant son évaluation par des tiers.

Ce rapport sera complété lorsque la finalisation de la conception du système complet de rejet permettra le dimensionnement définitif du diffuseur, la détermination des courbes de débit et une estimation des quantités d'additifs dans l'effluent.

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

RÉFÉRENCES

- [1] Groupement Negri, **Note de définition des critères de projet**, réf. EXT-IRO-NHY-ART-2-002-A, émise par ARTELIA le 27/09/2024.
- [2] Groupement Negri, **Rapport sur les études météo-océaniques**, réf. EXT-IRO-NTE-ART-2-005-A, émis par ARTELIA le 27/11/2024.
- [3] Groupement Negri, **Conception hydraulique du rejet – Avant-projet**, réf. EXT-IRO-NTE-ART-2-010-A, émis par ARTELIA le 29/01/2025.
- [4] World Bank. 2012. Renewable Energy Desalination: An Emerging Solution to Close the Water Gap in the Middle East and North Africa. Washington, DC: World Bank. DOI: 10.1596/978-0-8213-8838-9.
- [5] Jenkins, S., Paduan, J., Roberts, P., Schlenk, D., & Weis, J. (2012). Management of brine discharges to coastal waters - Recommendations of a science advisory panel. Mesa, CA, USA: Southern California Coastal Water Research Project Costa.
- [6] Ludwig, H. (2022). *Reverse Osmosis Seawater Desalination Volume 2: Planning, Process Design and Engineering—A Manual for Study and Practice*. Springer Nature.
- [7] Laboratório Nacional de Engenharia Civil – Département d'Hydraulique et Environnement. Expertise sur la modélisation hydrodynamique et la dispersion de saumure associées à un projet d'usine de dessalement à Mayotte. Rapport 000/2024, Novembre 2024.
- [8] Abessi, O., & Roberts, P. J. (2016). Dense jet discharges in shallow water. *Journal of Hydraulic Engineering*, **142(1)**, 04015033.
- [9] Abessi, O., & Roberts, P. J. (2014). Multiport diffusers for dense discharges. *Journal of Hydraulic Engineering*, **140(8)**, 04014032.

ANNEXE A

FIGURES : DESCRIPTION DU MODÈLE

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

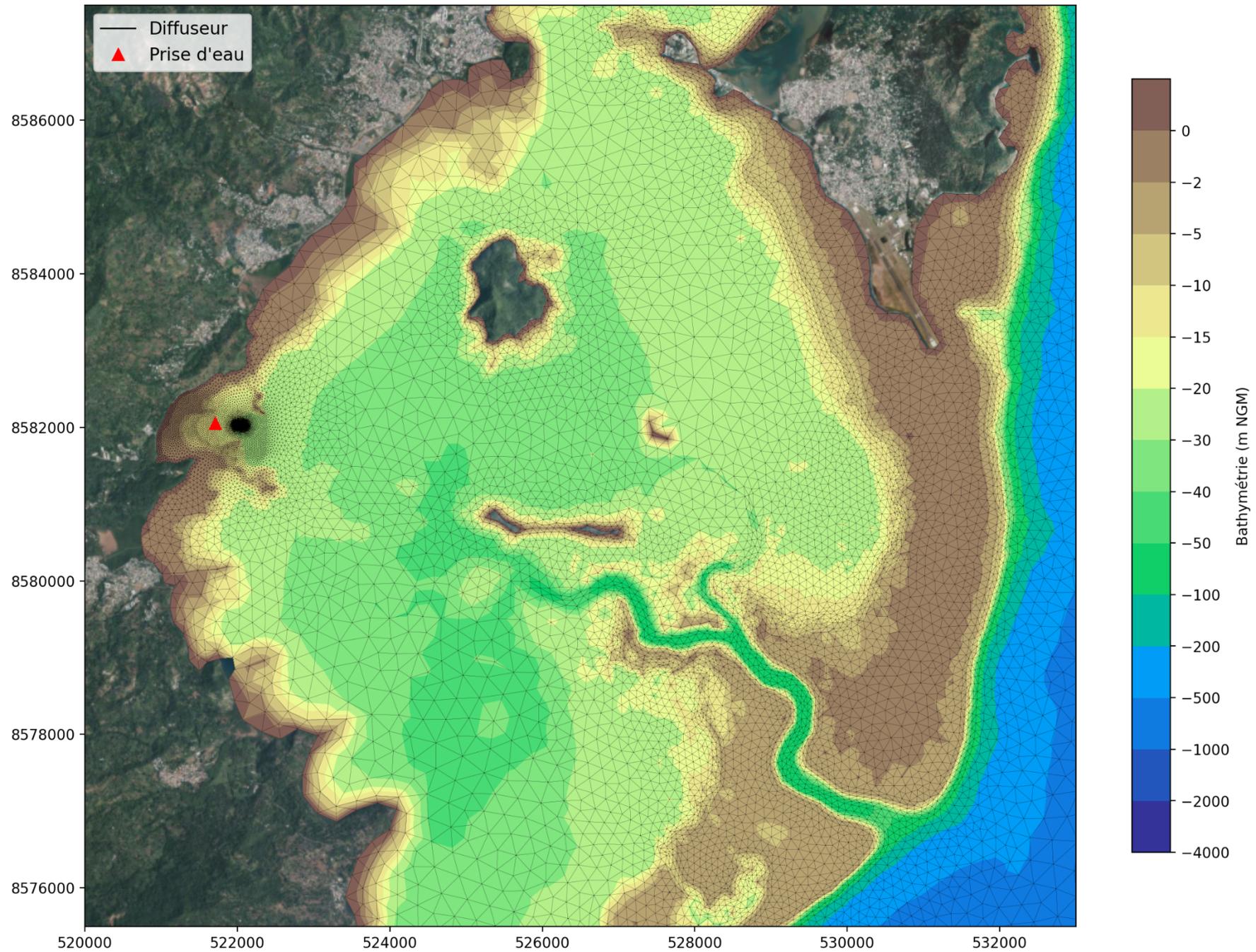
Usine de dessalement d'Ironi Be

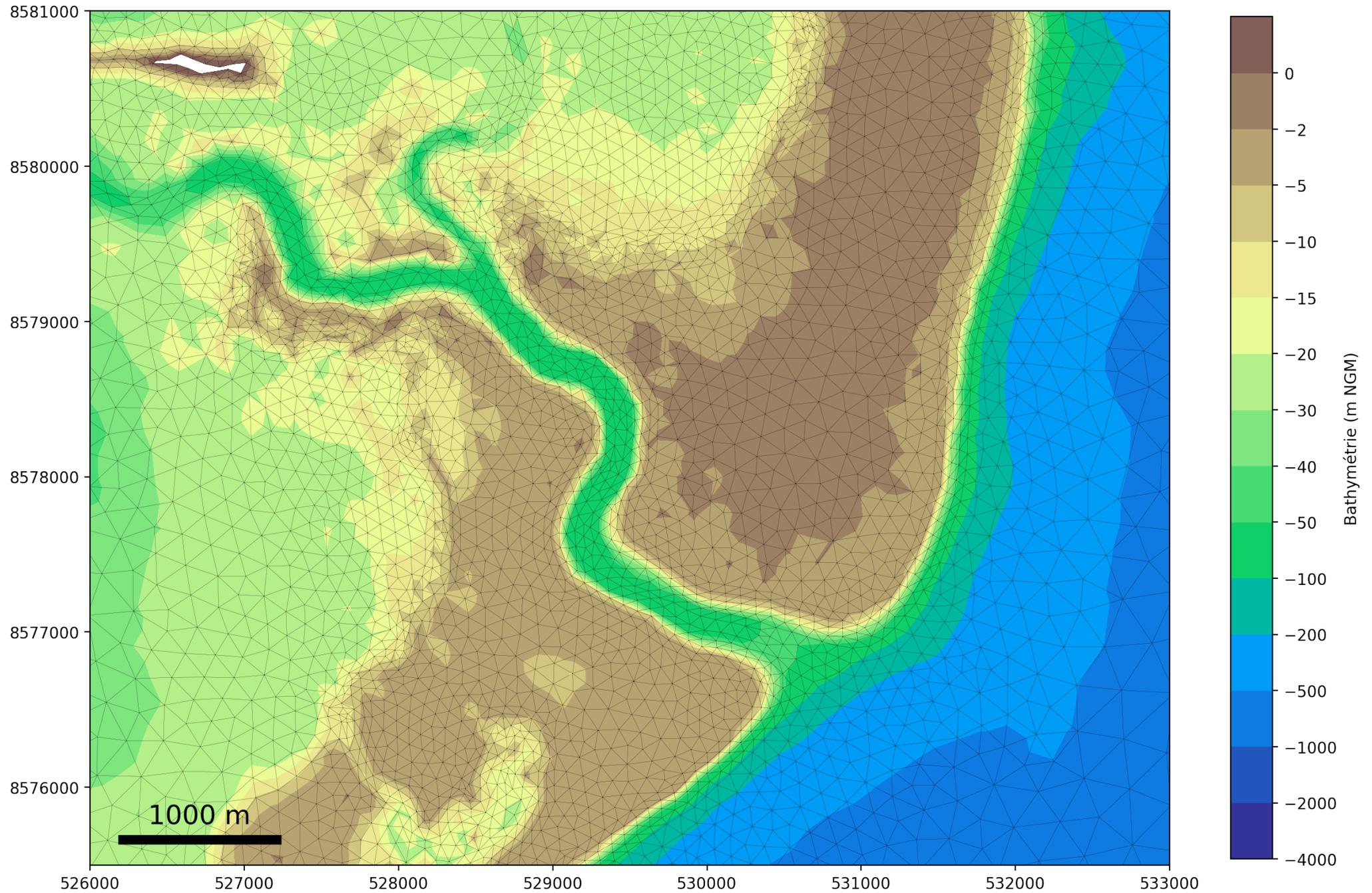
Rapport sur les études de dilution

Annexe A – Description du modèle



MAILLAGE ET BATHYMÉTRIE DU MODÈLE





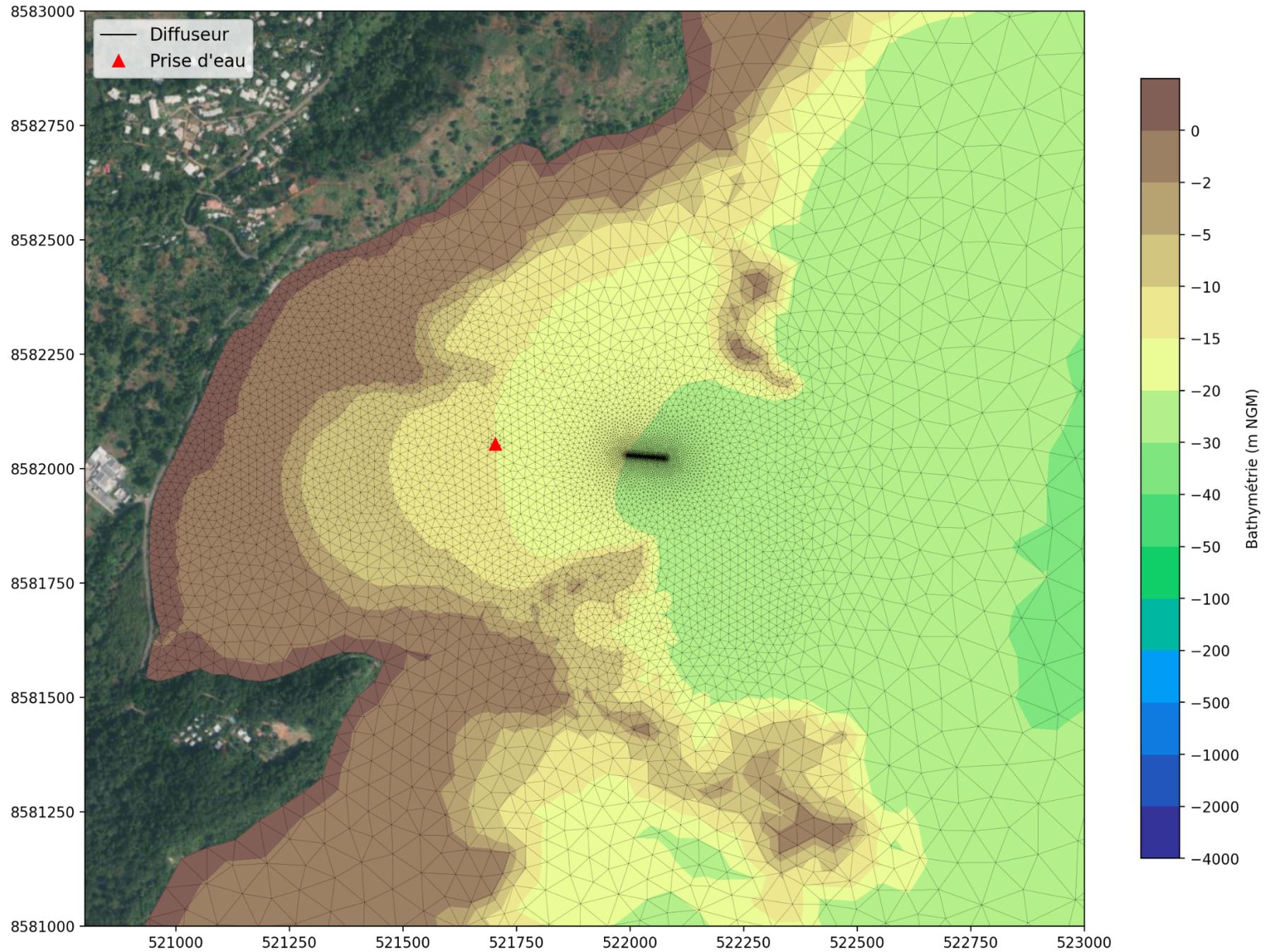


Figure A-5

Maillage vertical dans l'axe longitudinal du diffuseur

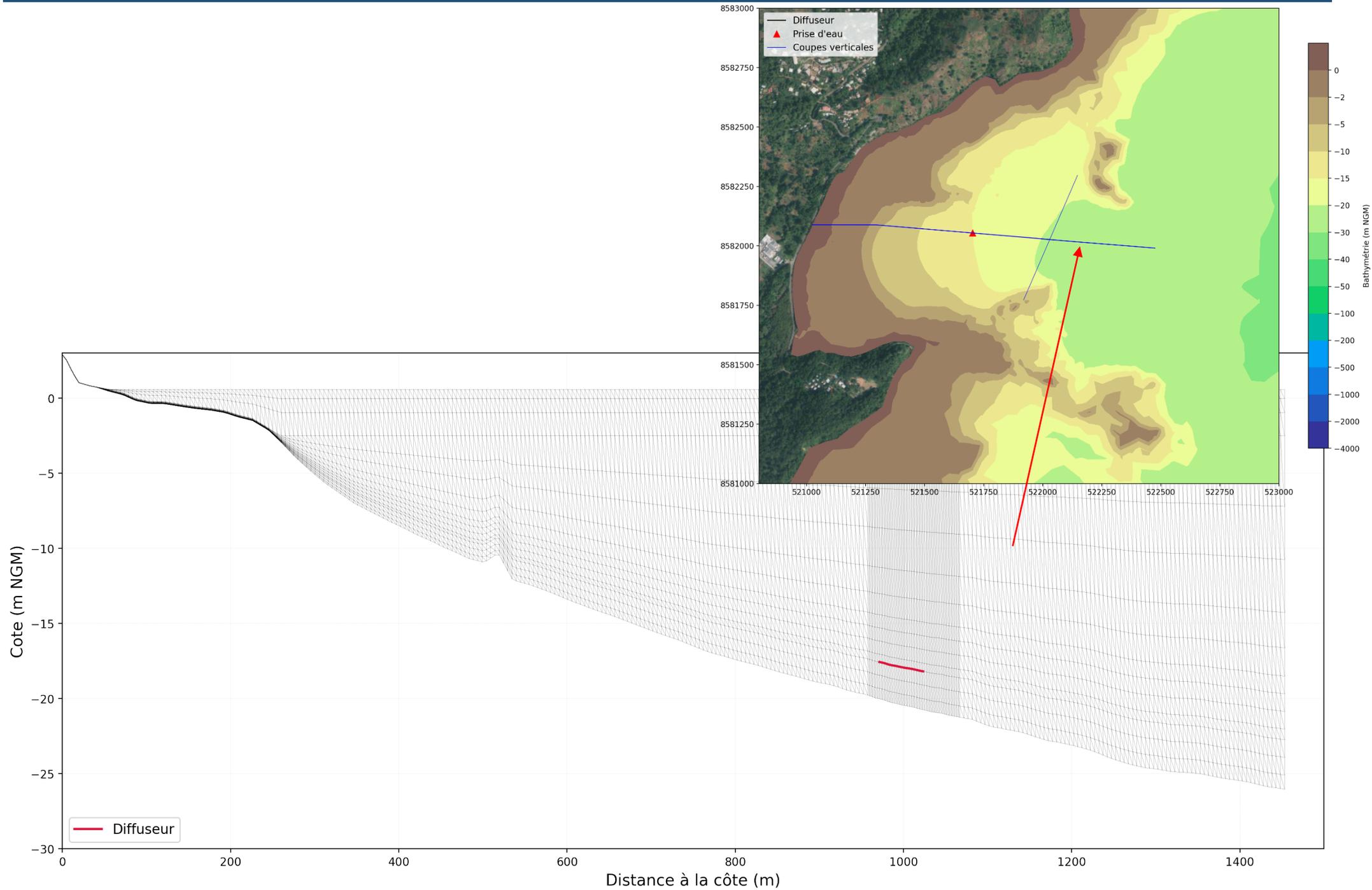
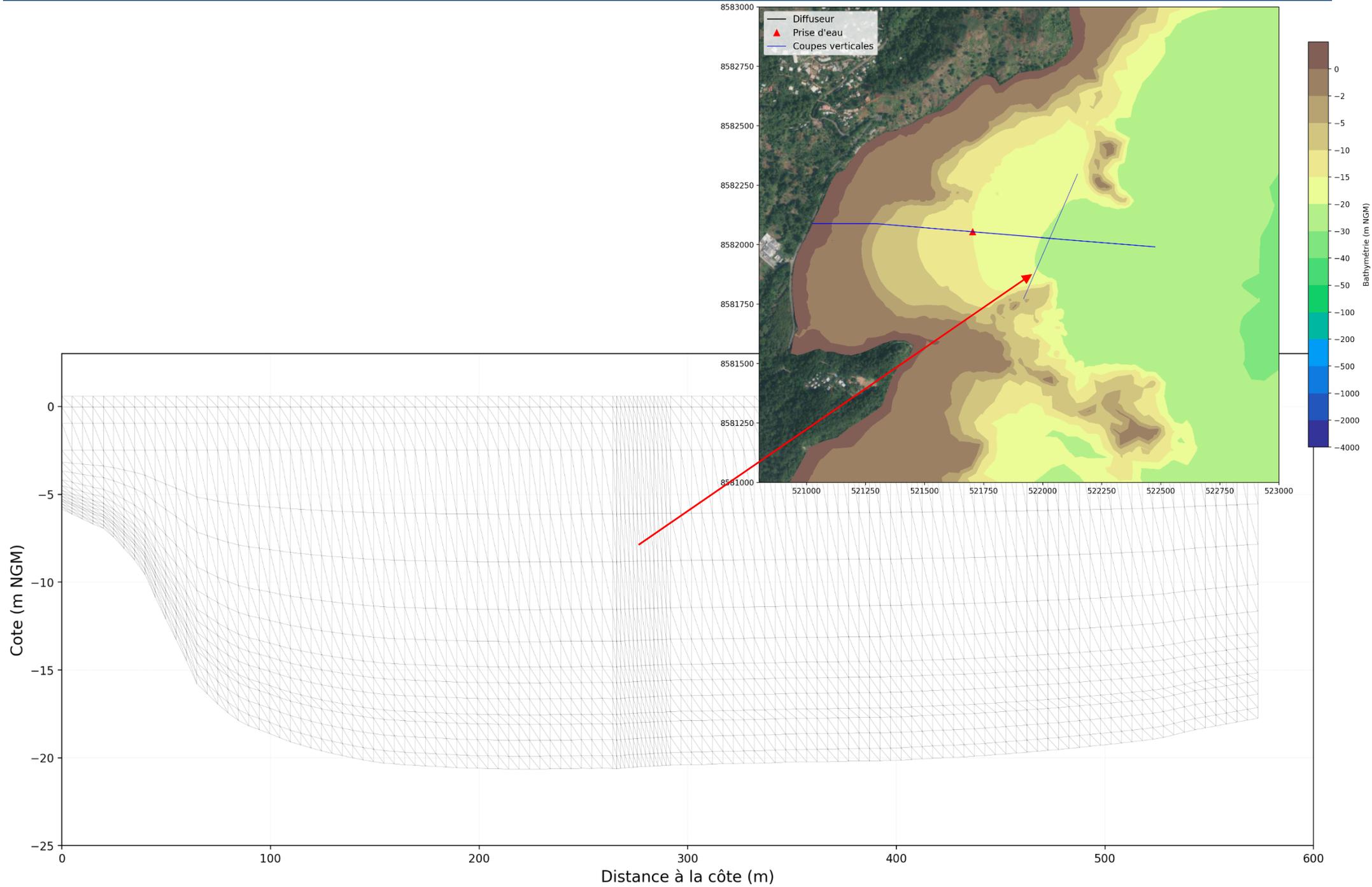


Figure A-6

Maillage vertical dans l'axe transversal du diffuseur





www.arteliagroup.com

ANNEXE B

FIGURES : CONFIGURATION DE BASE ET TESTS DE SENSIBILITÉ

I R O - N C A - A R T - 2 - 0 1 5 - A

Usine de dessalement d'Ironi Be

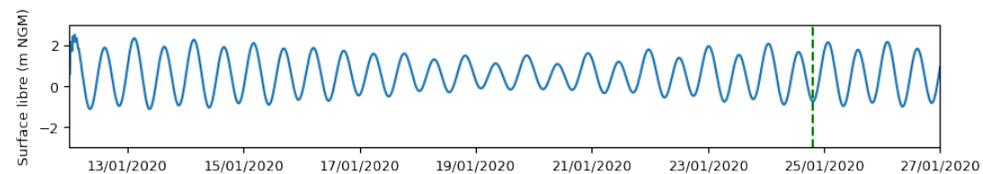
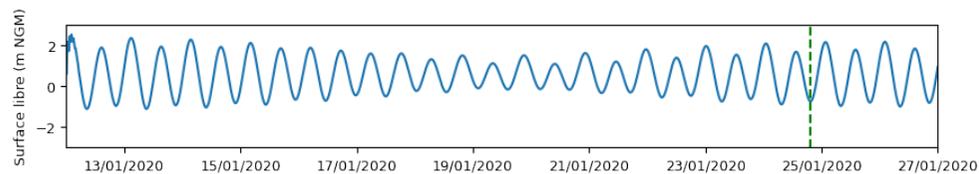
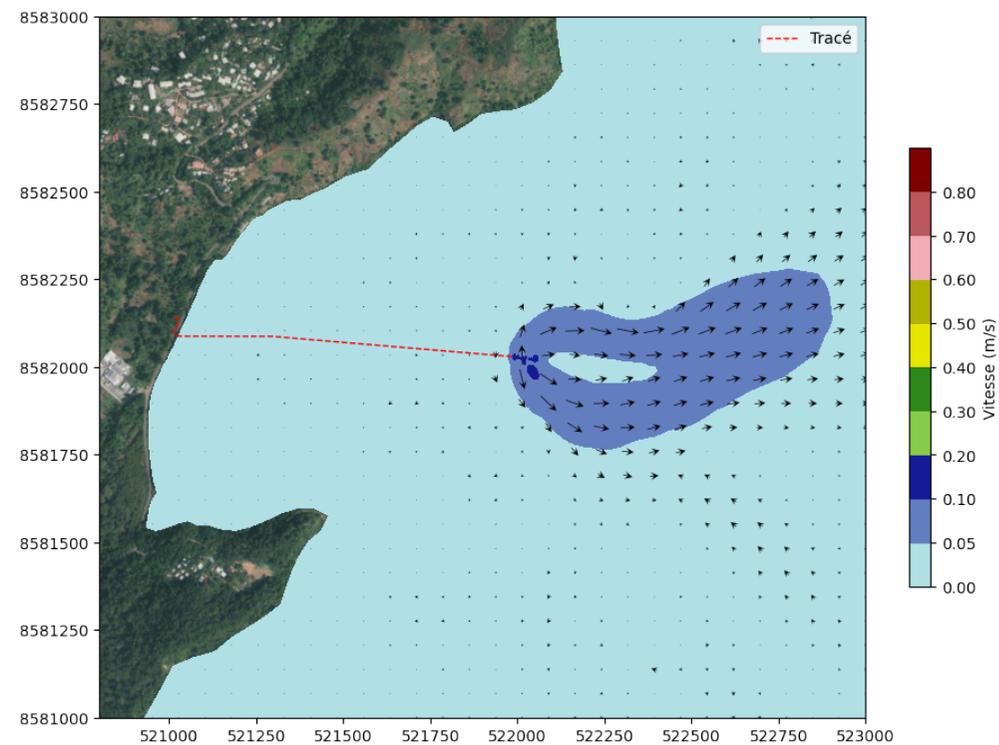
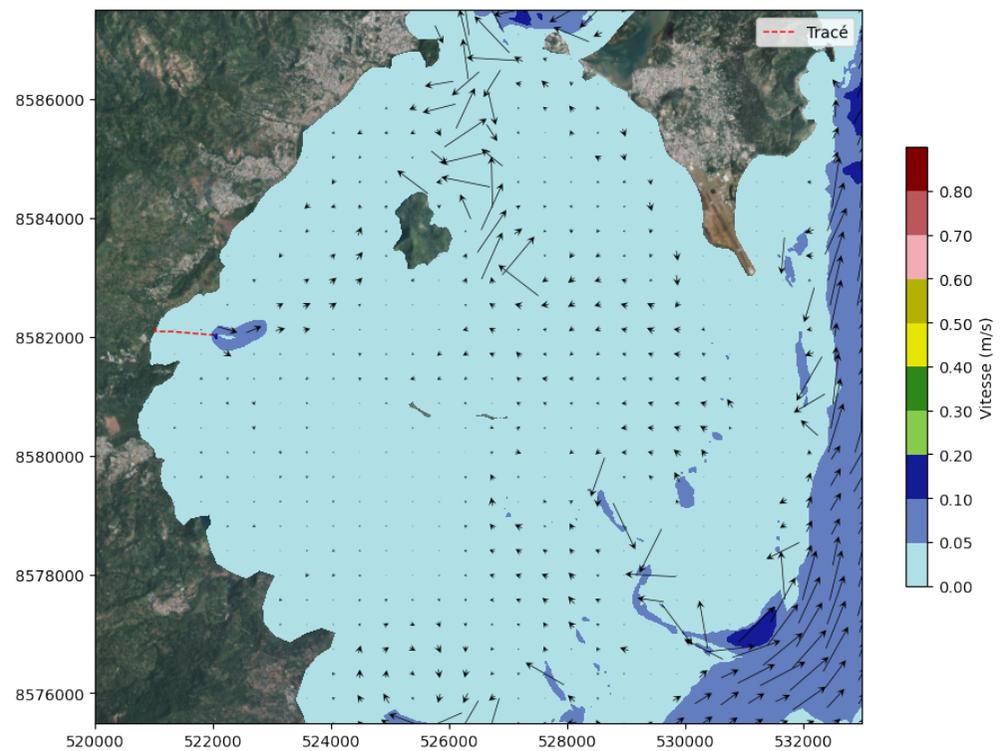
Rapport sur les études de dilution

Annexe B – Configuration de base et tests de sensibilité



CARTES DE COURANT SUR LE FOND

Figure B-2



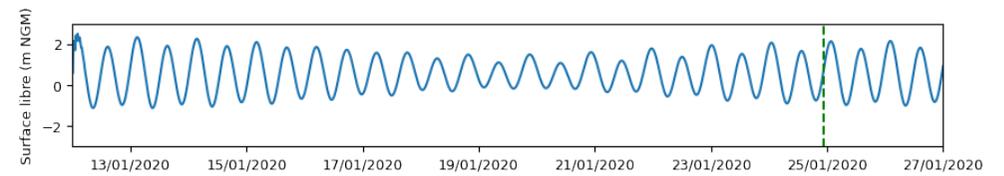
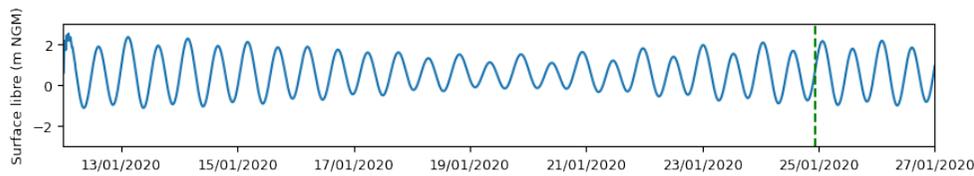
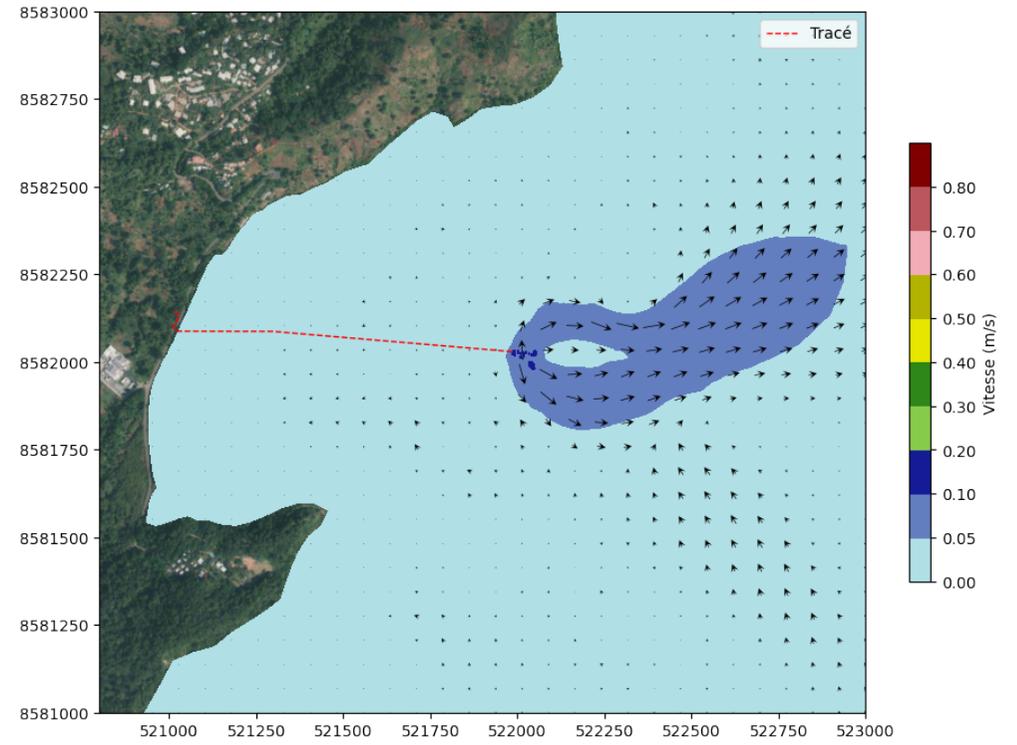
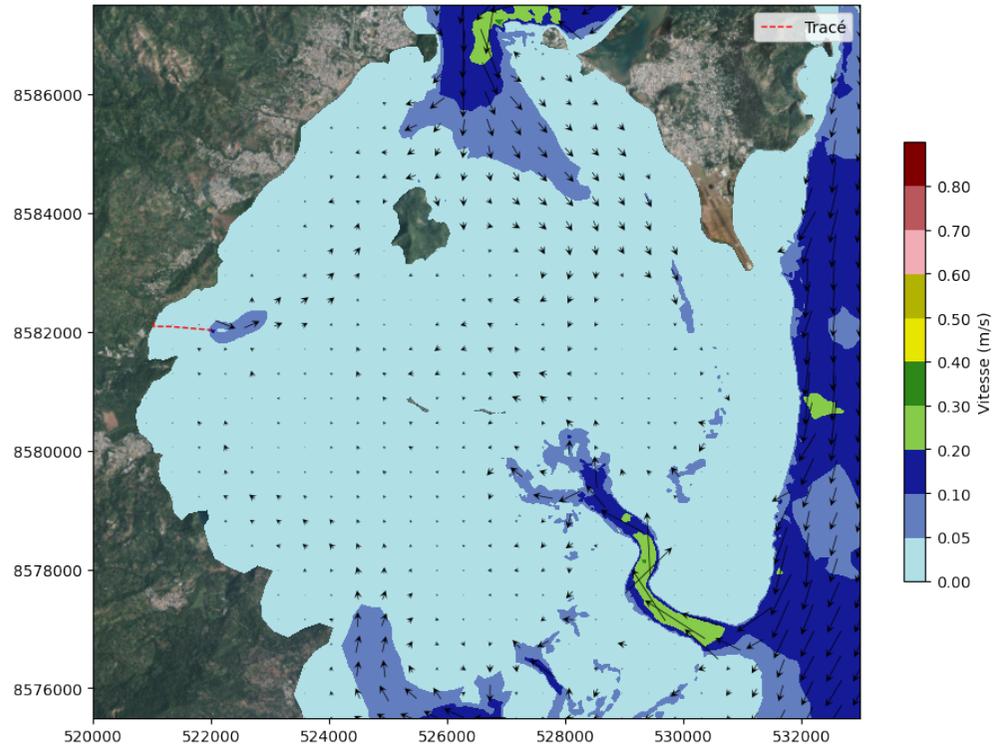
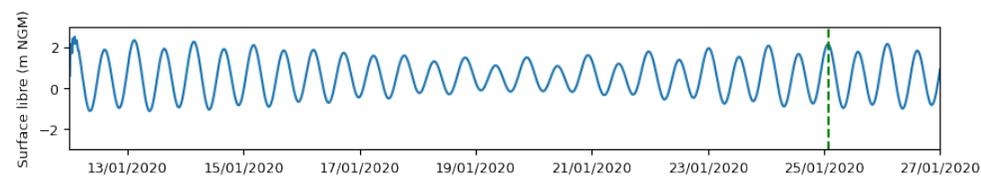
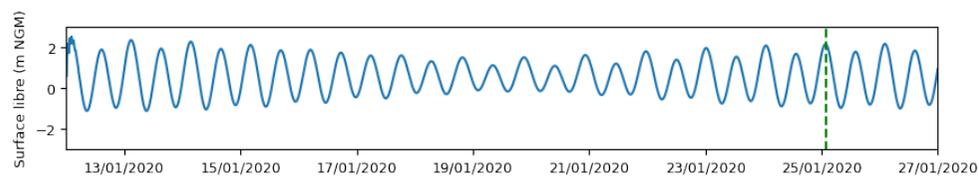
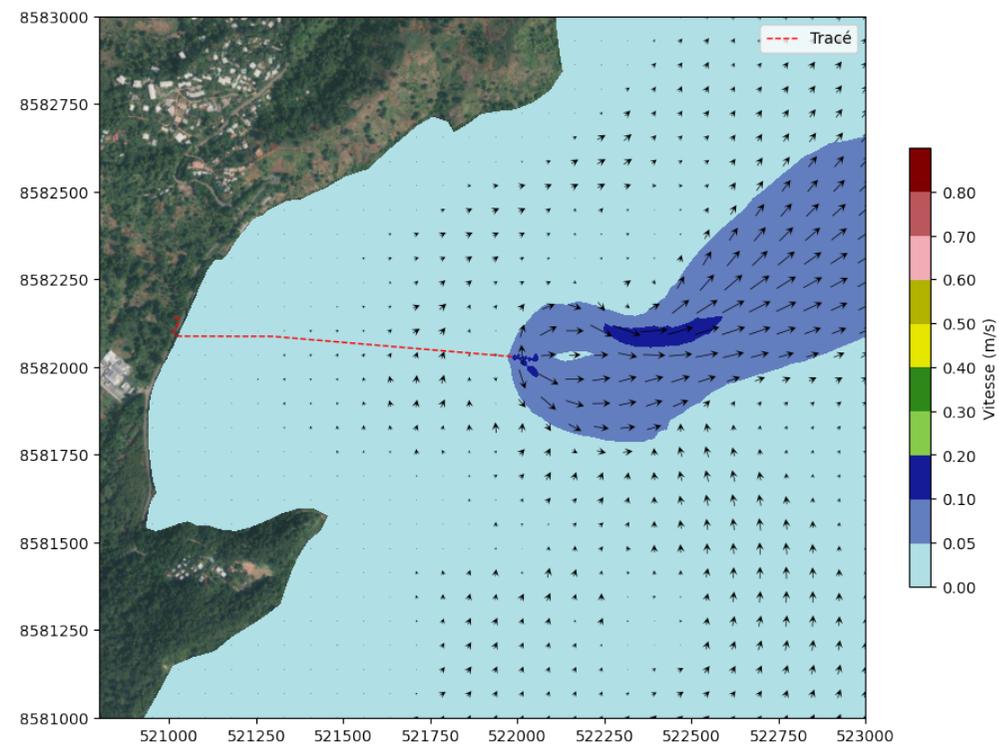
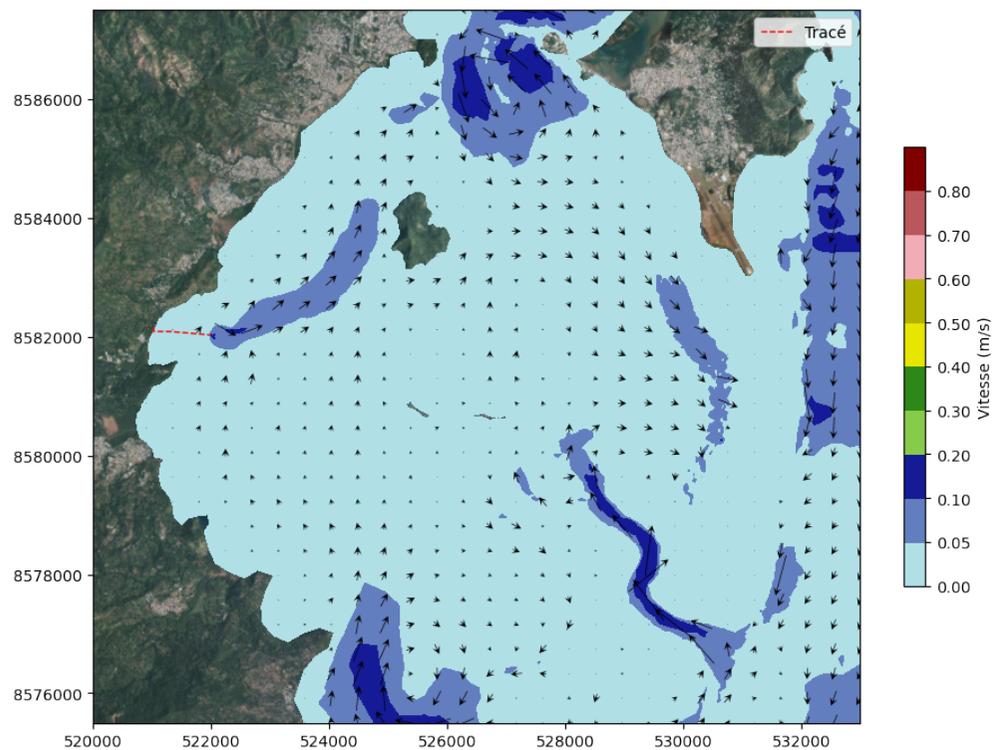
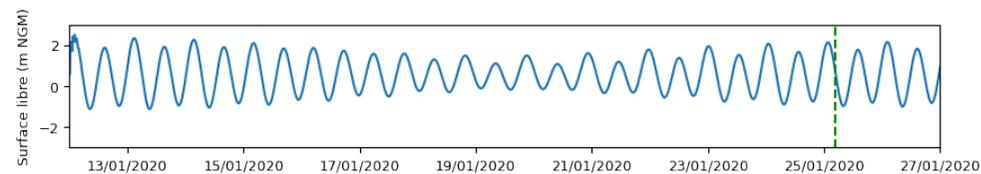
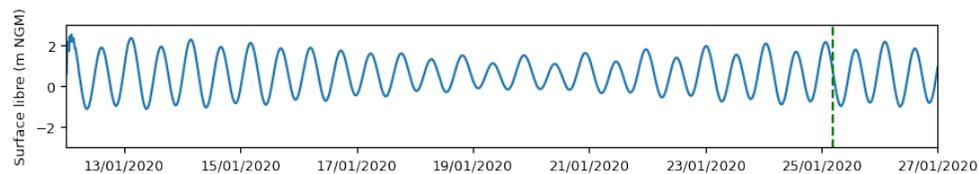
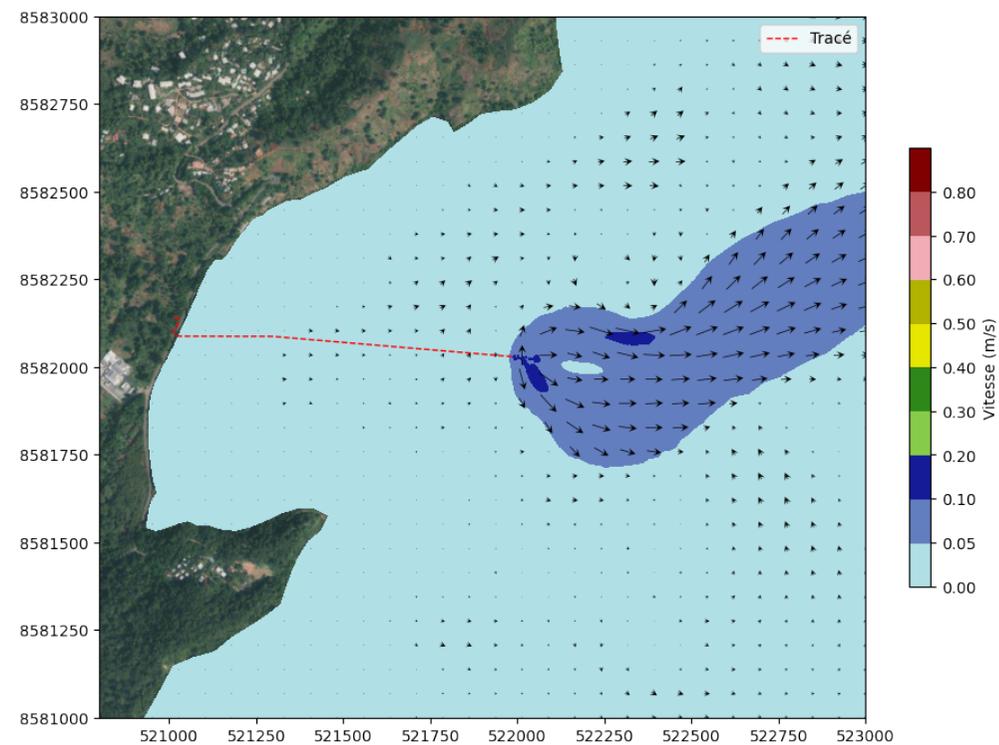
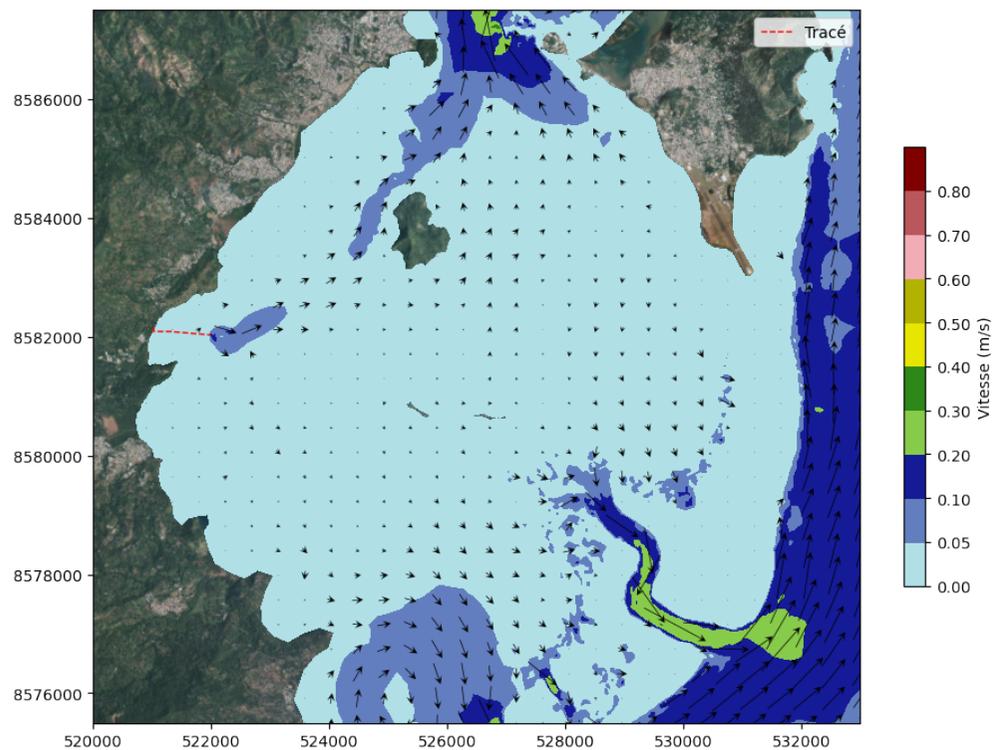


Figure B-4





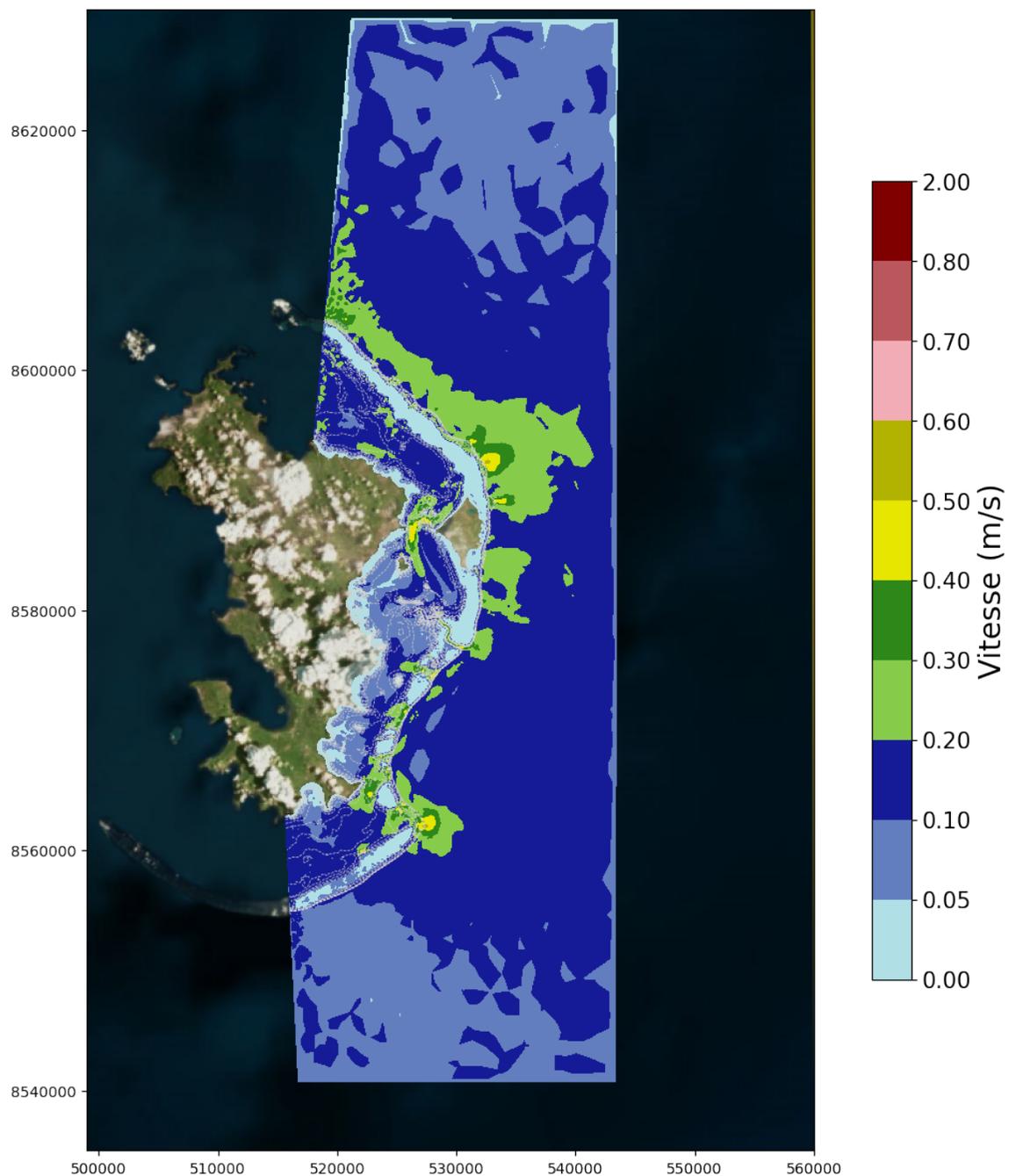


Figure B-7

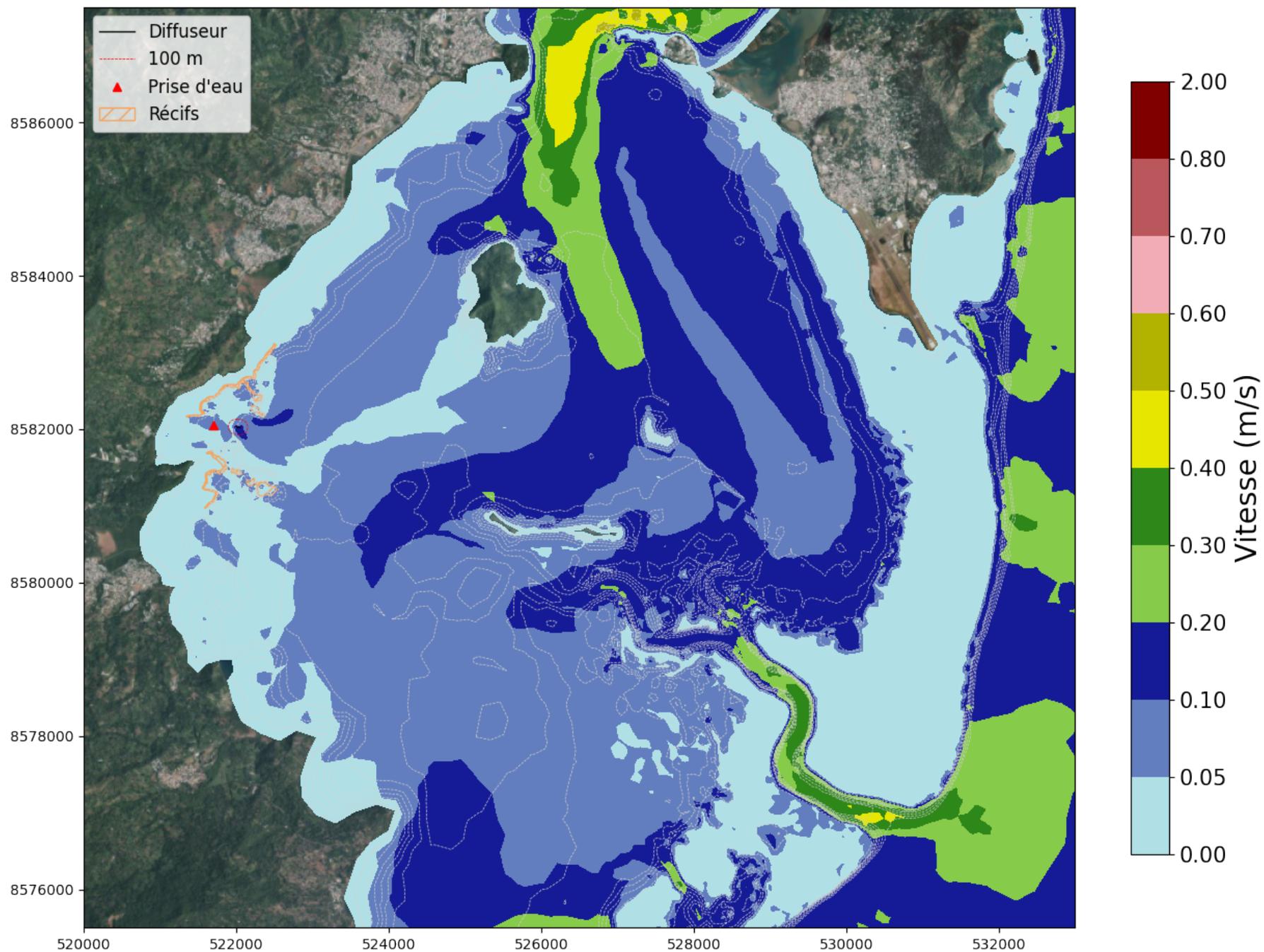
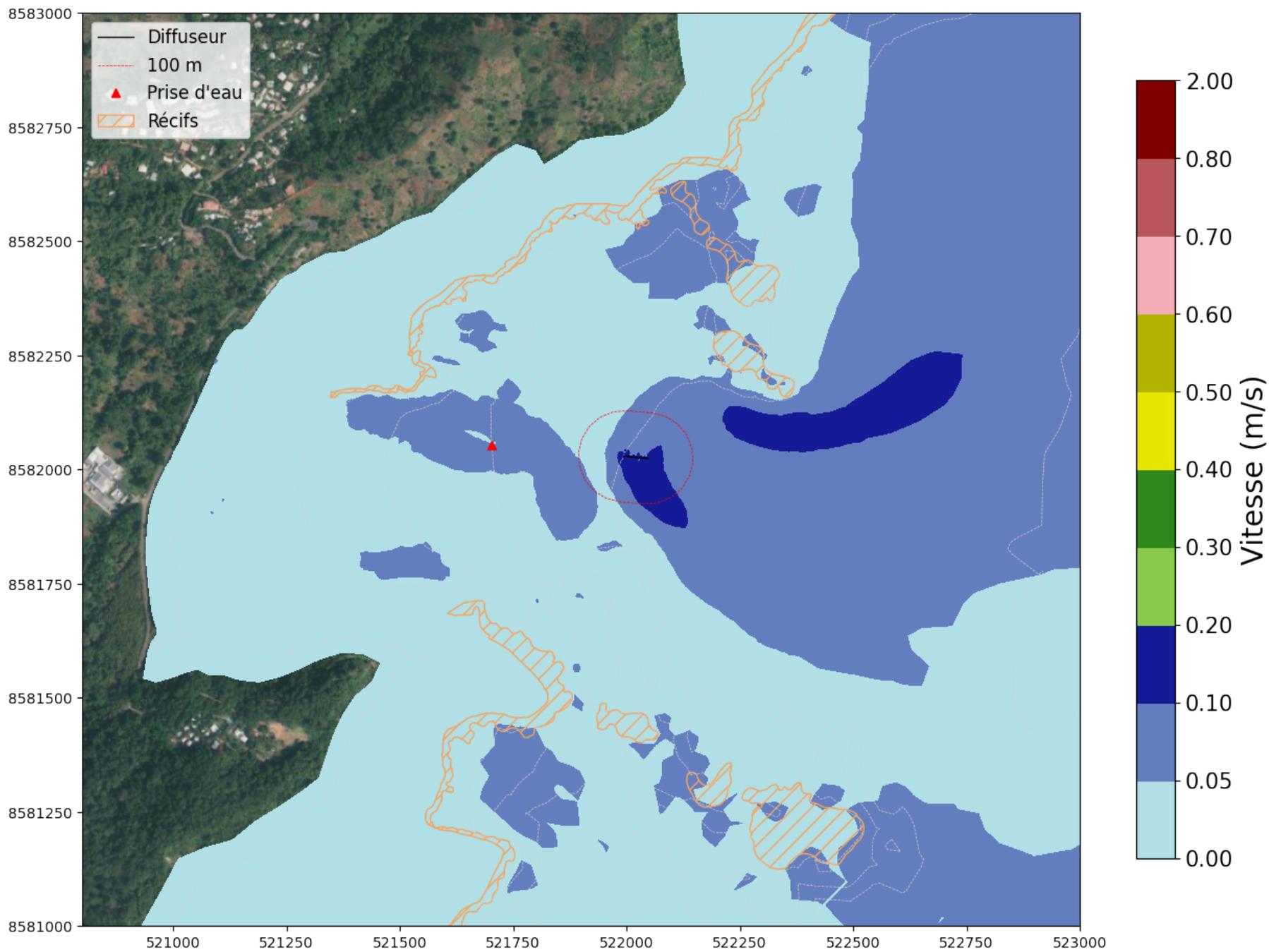
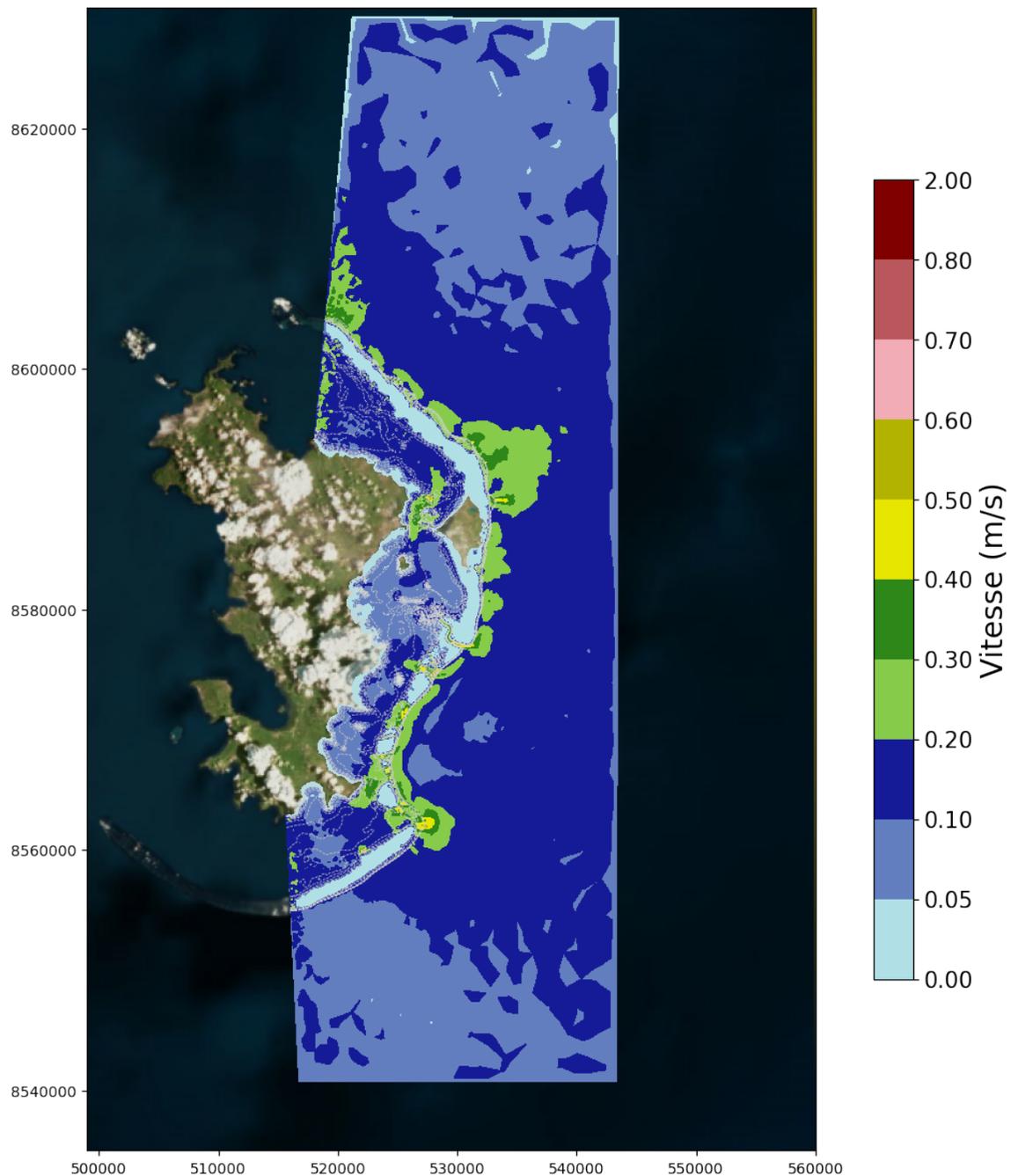


Figure B-8





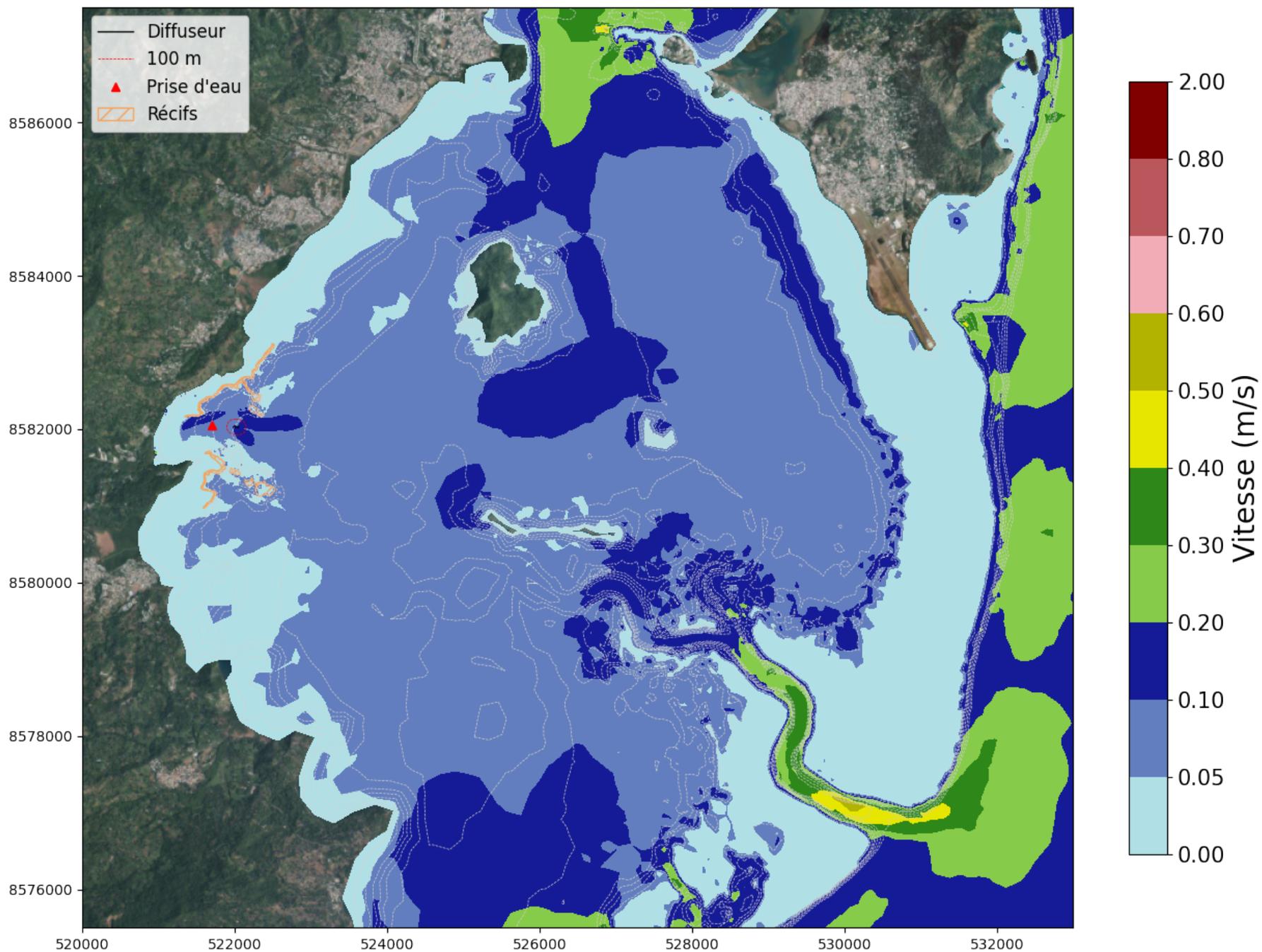
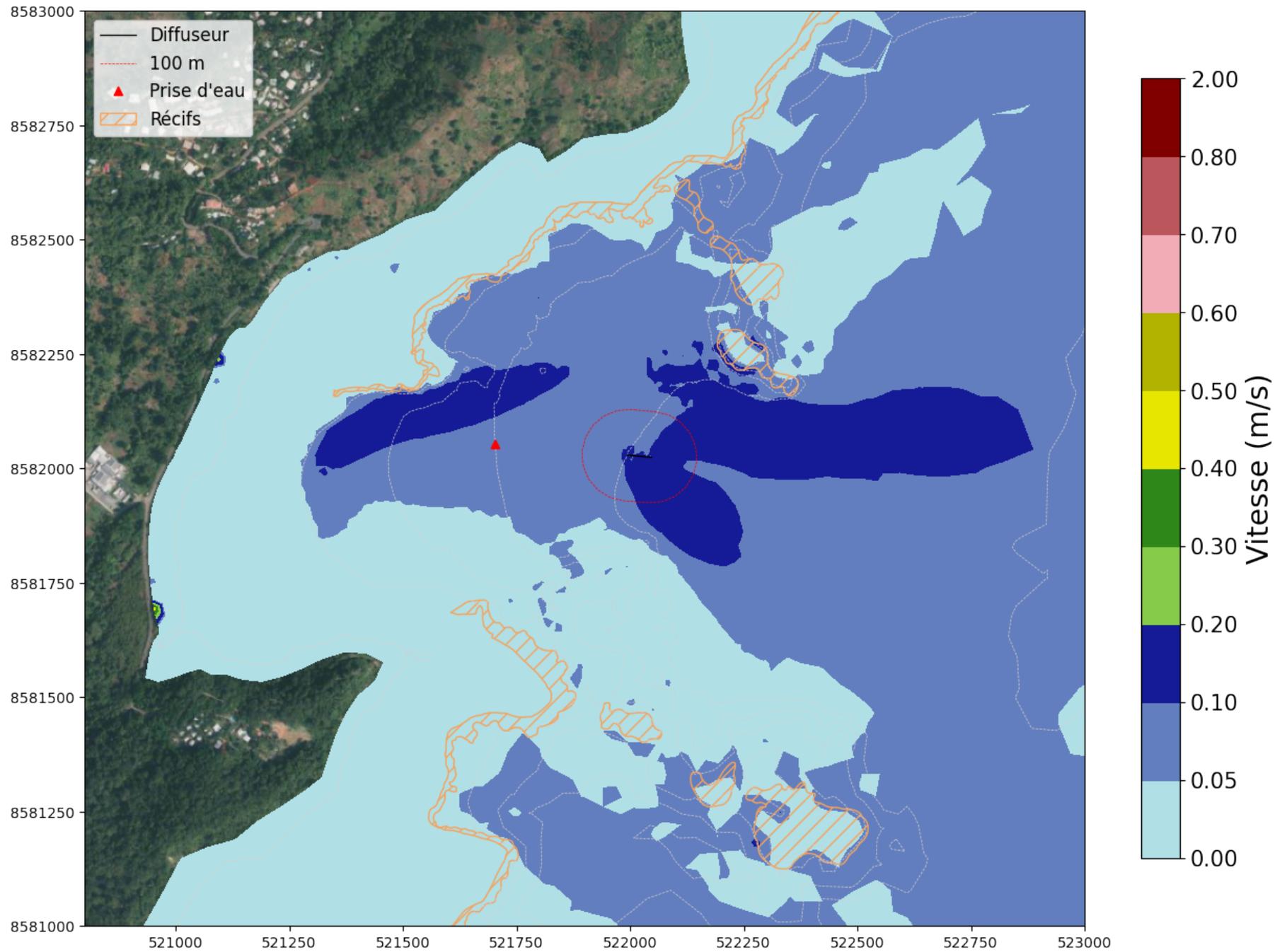
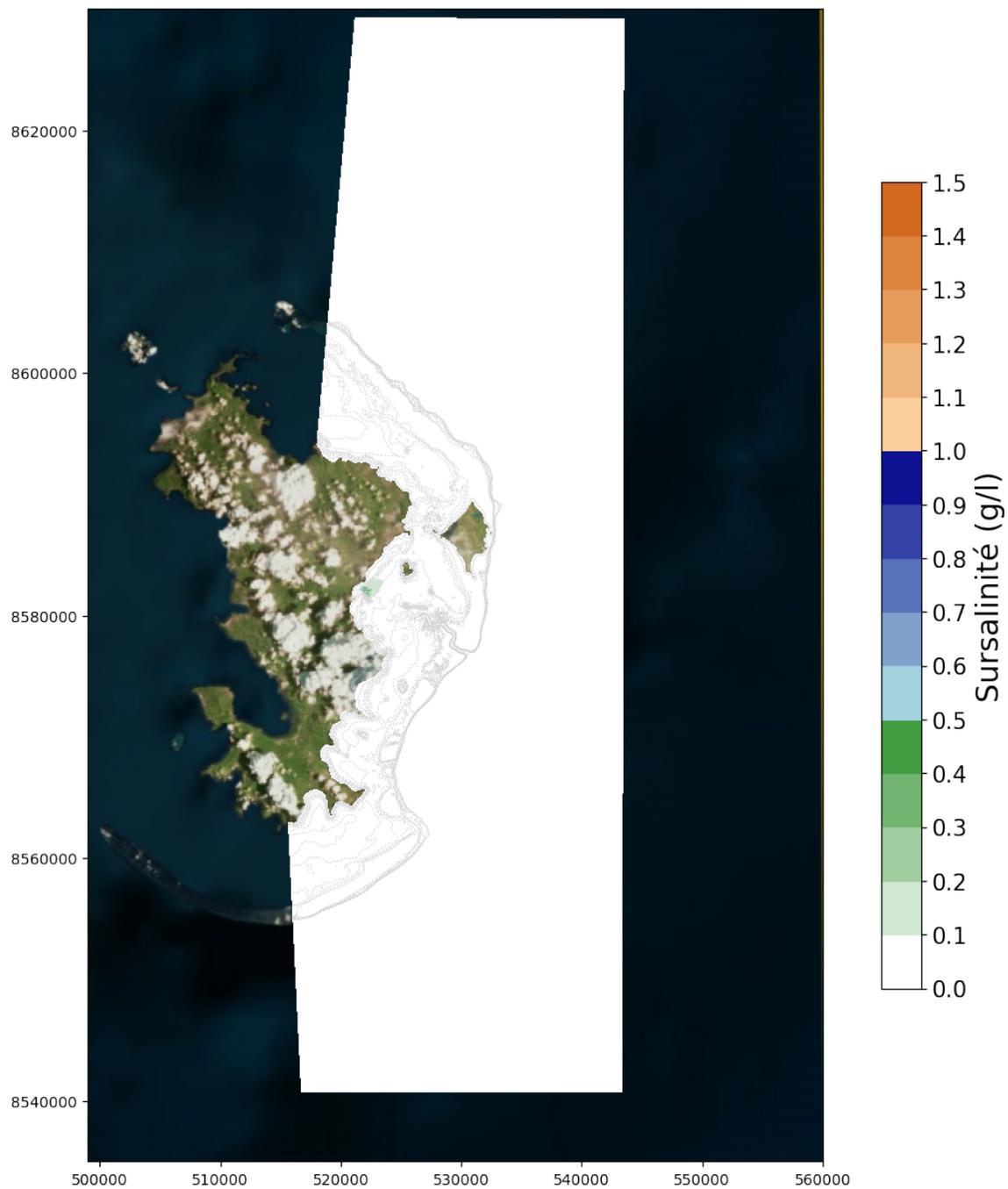
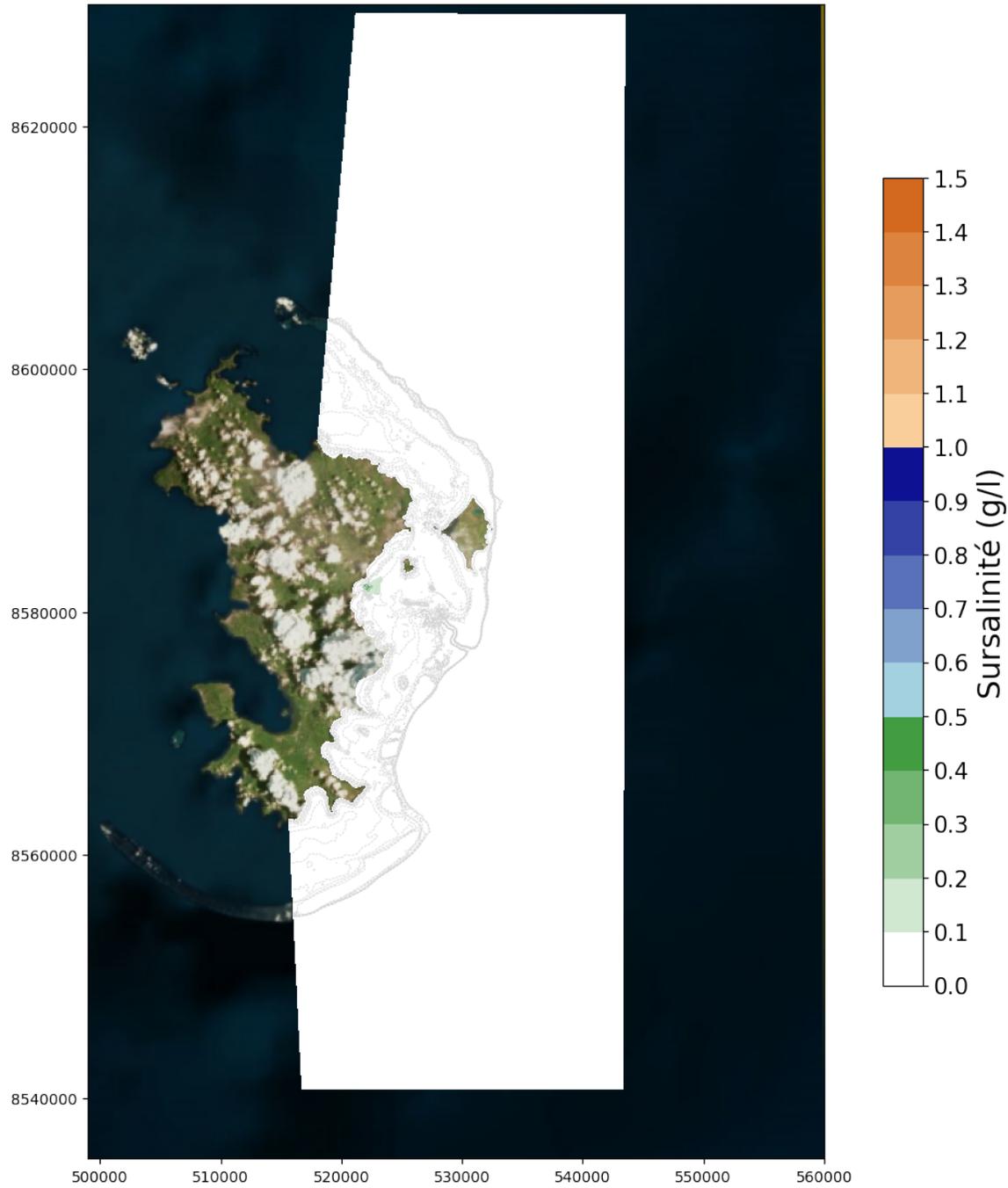


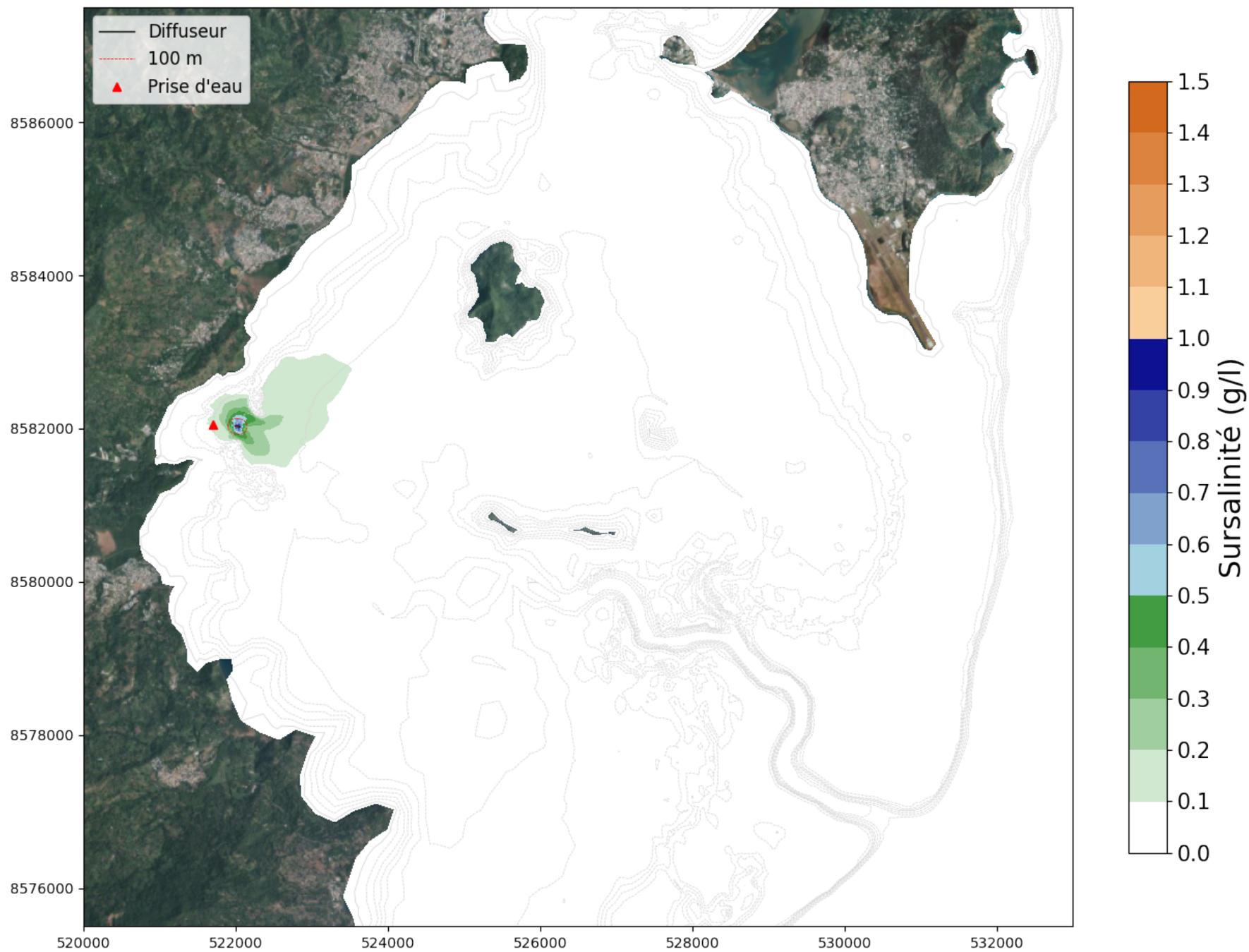
Figure B-11



CARTES DE SALINITÉ







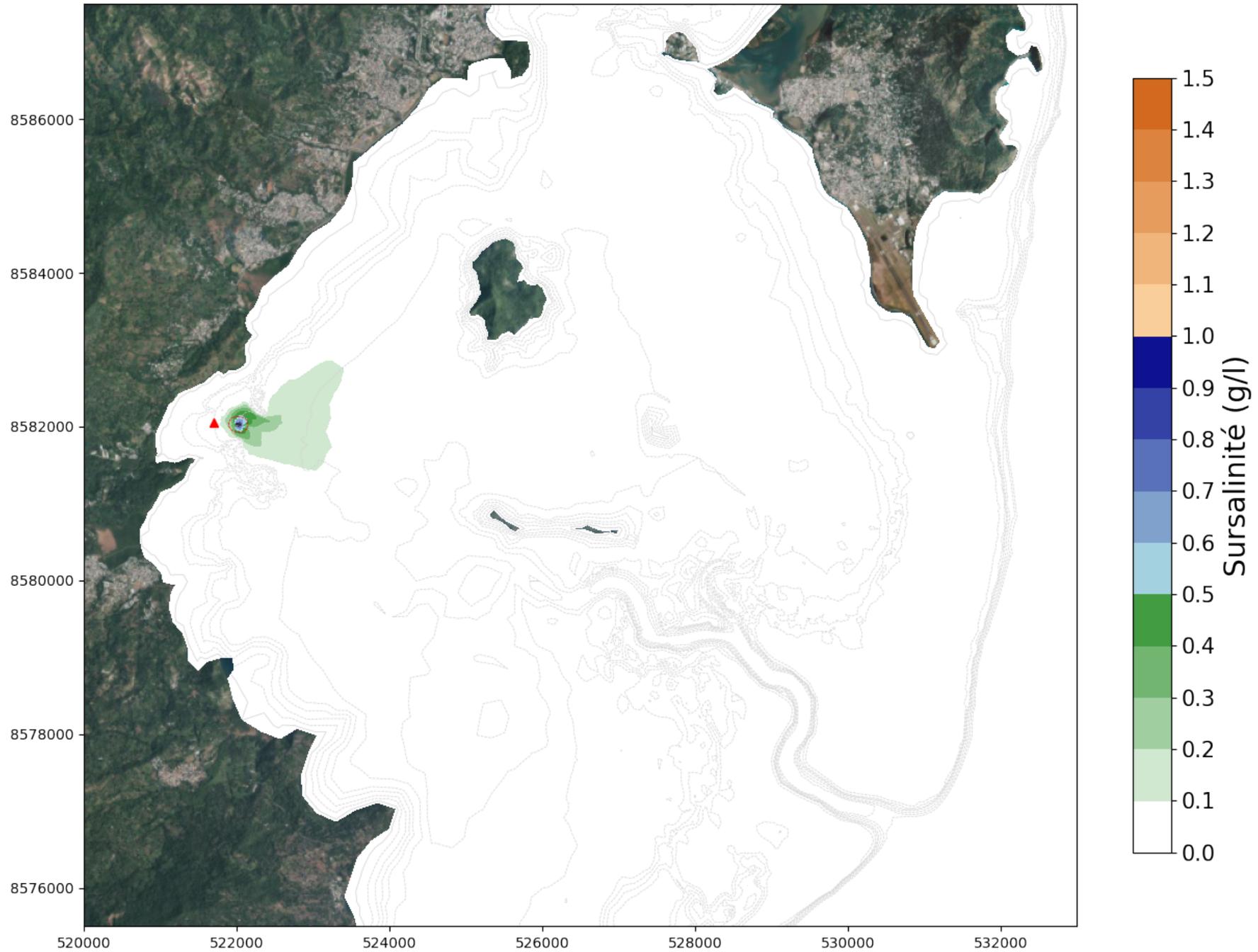


Figure B-17

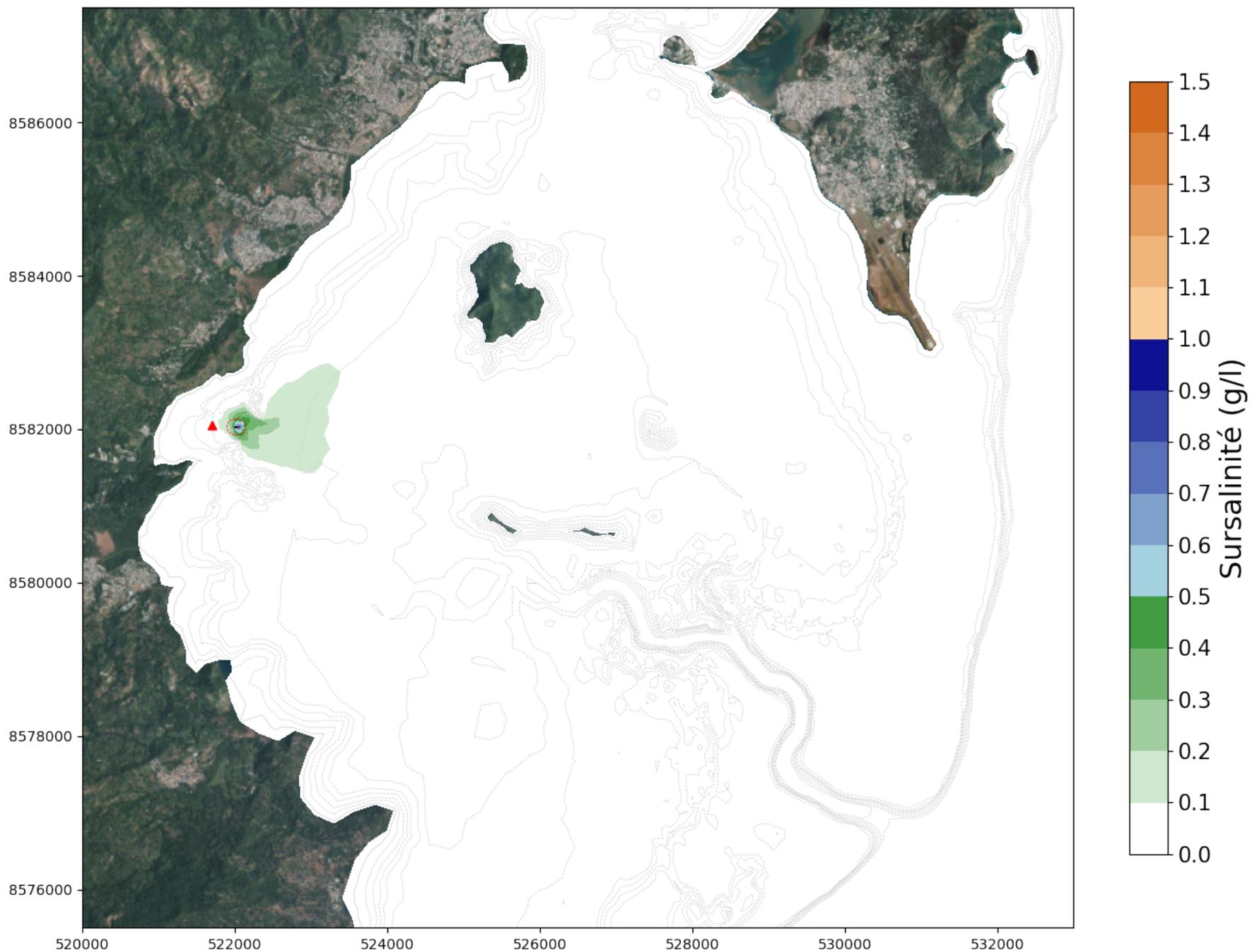


Figure B-18

Sur-salinité maximale au cours de la simulation de 15 j en conditions d'alizés (11-26 juillet 2022)
Test de sensibilité au débit (débit alternatif 0 / 1000 m³/h)

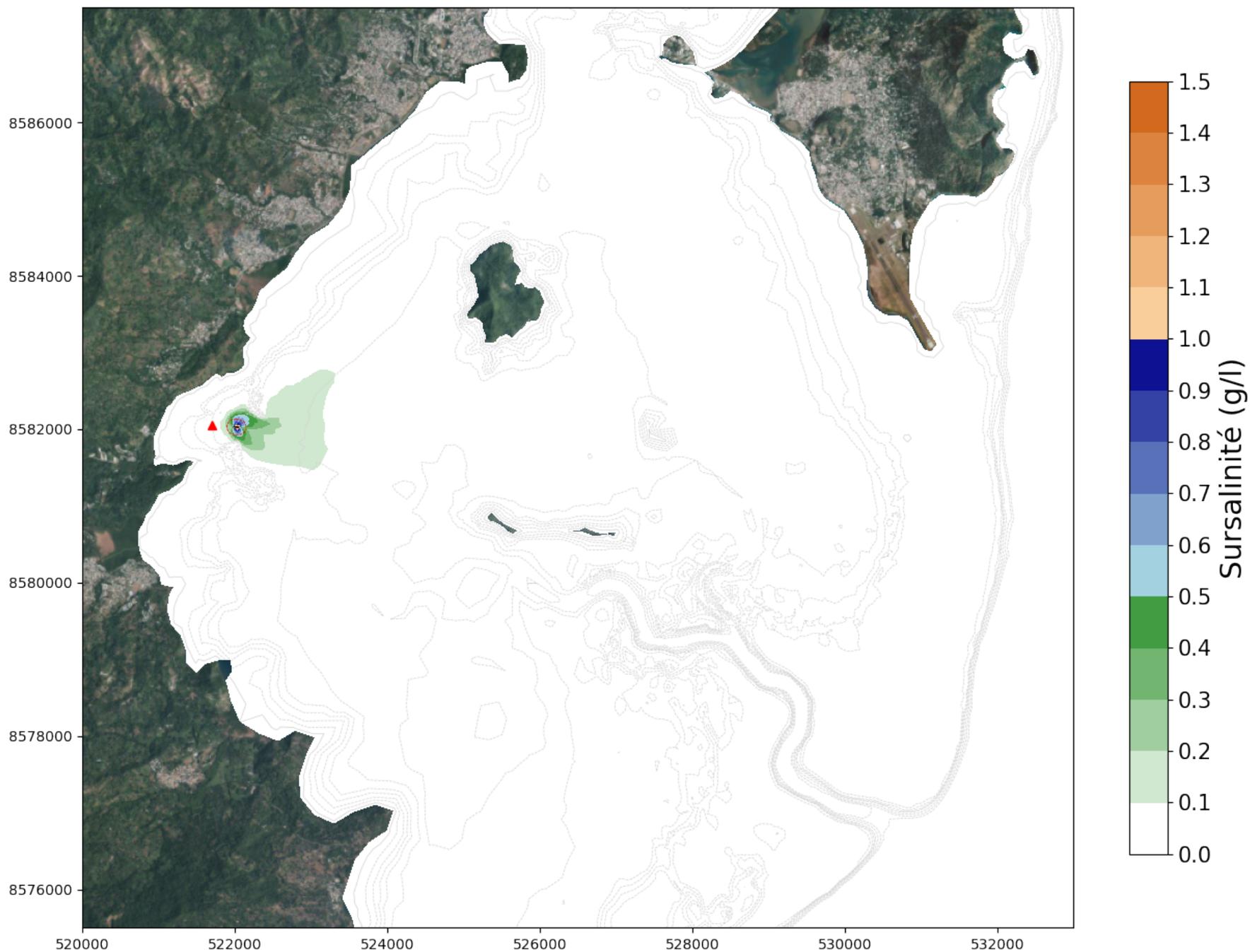


Figure B-19

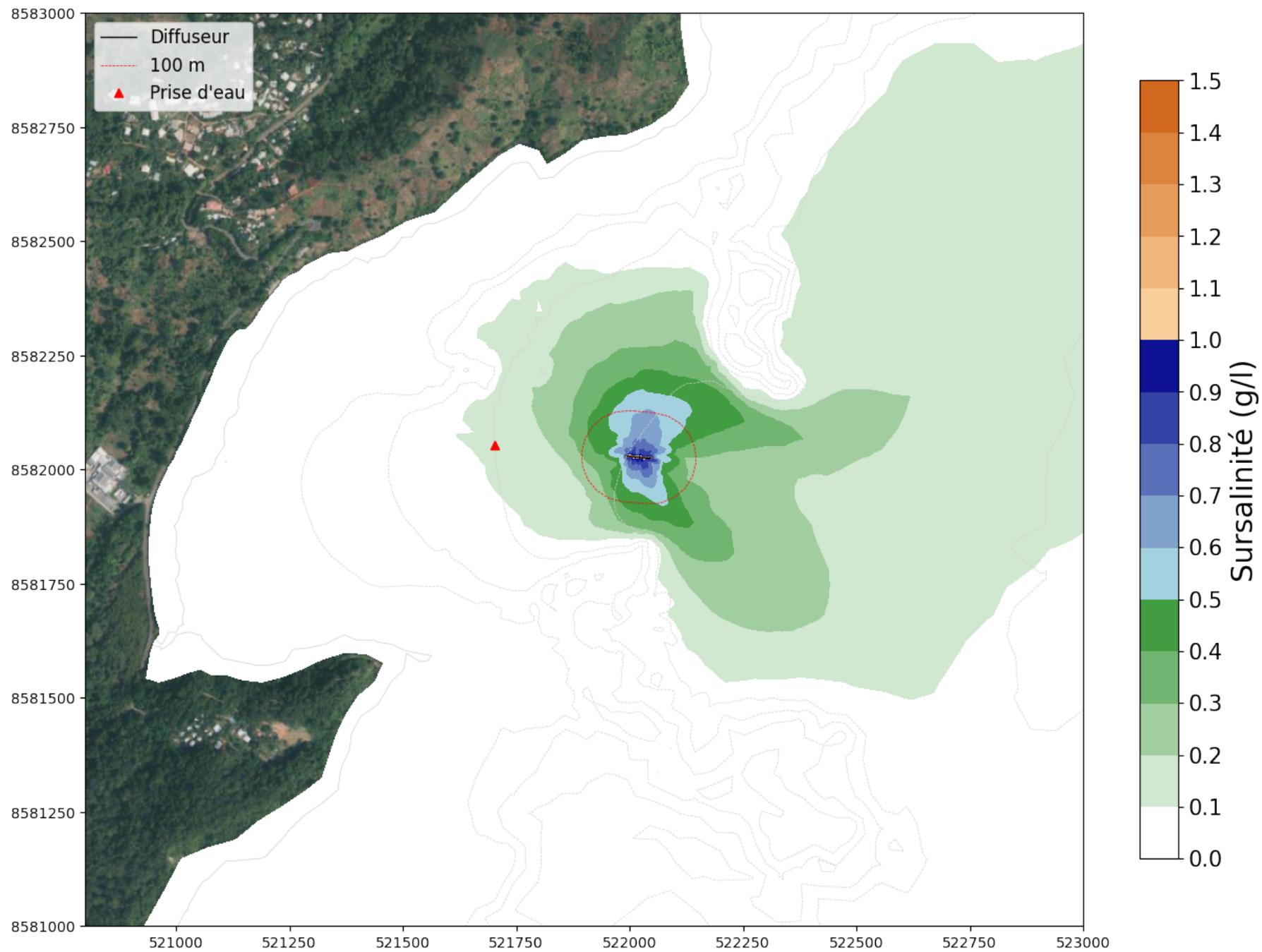


Figure B-20

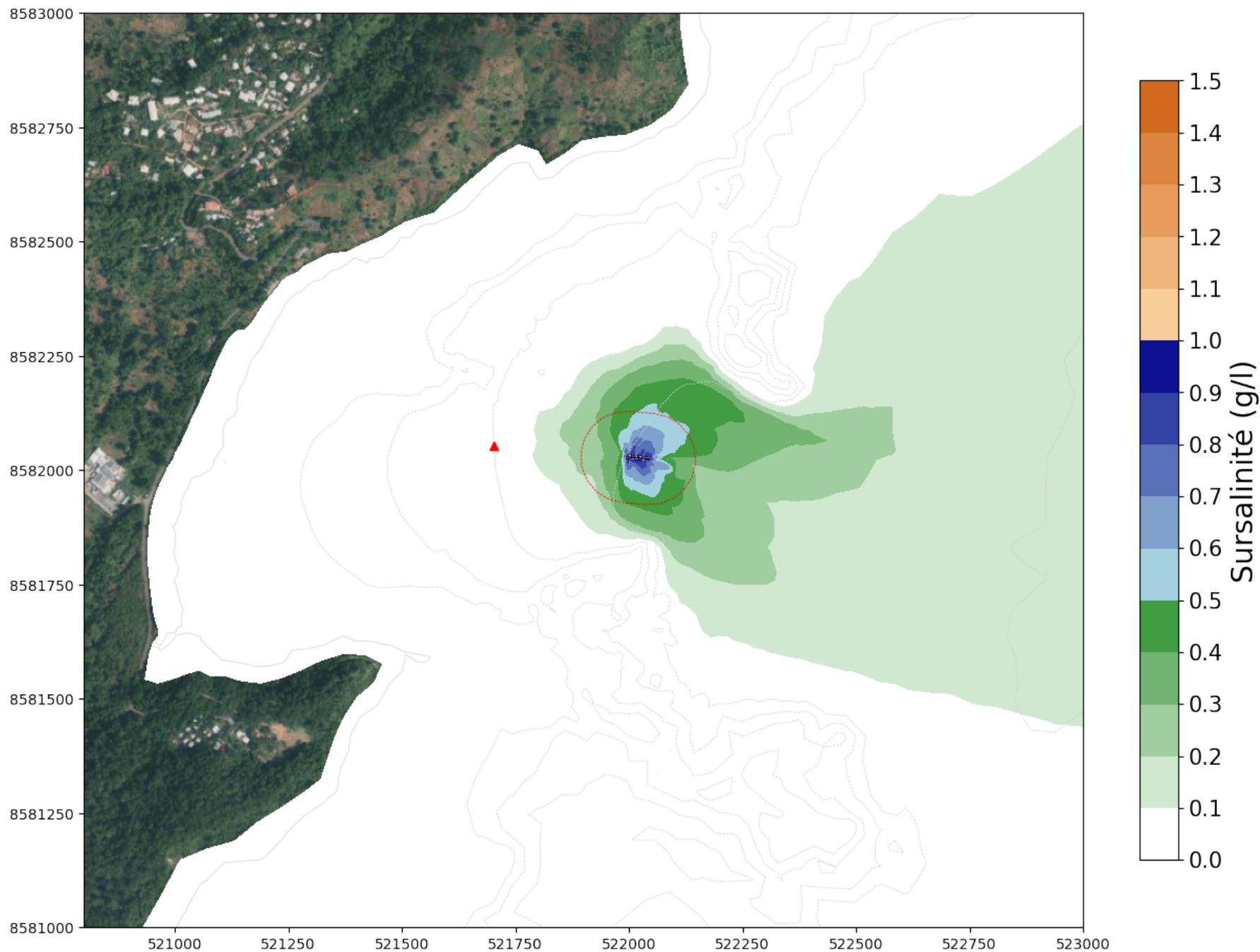


Figure B-21

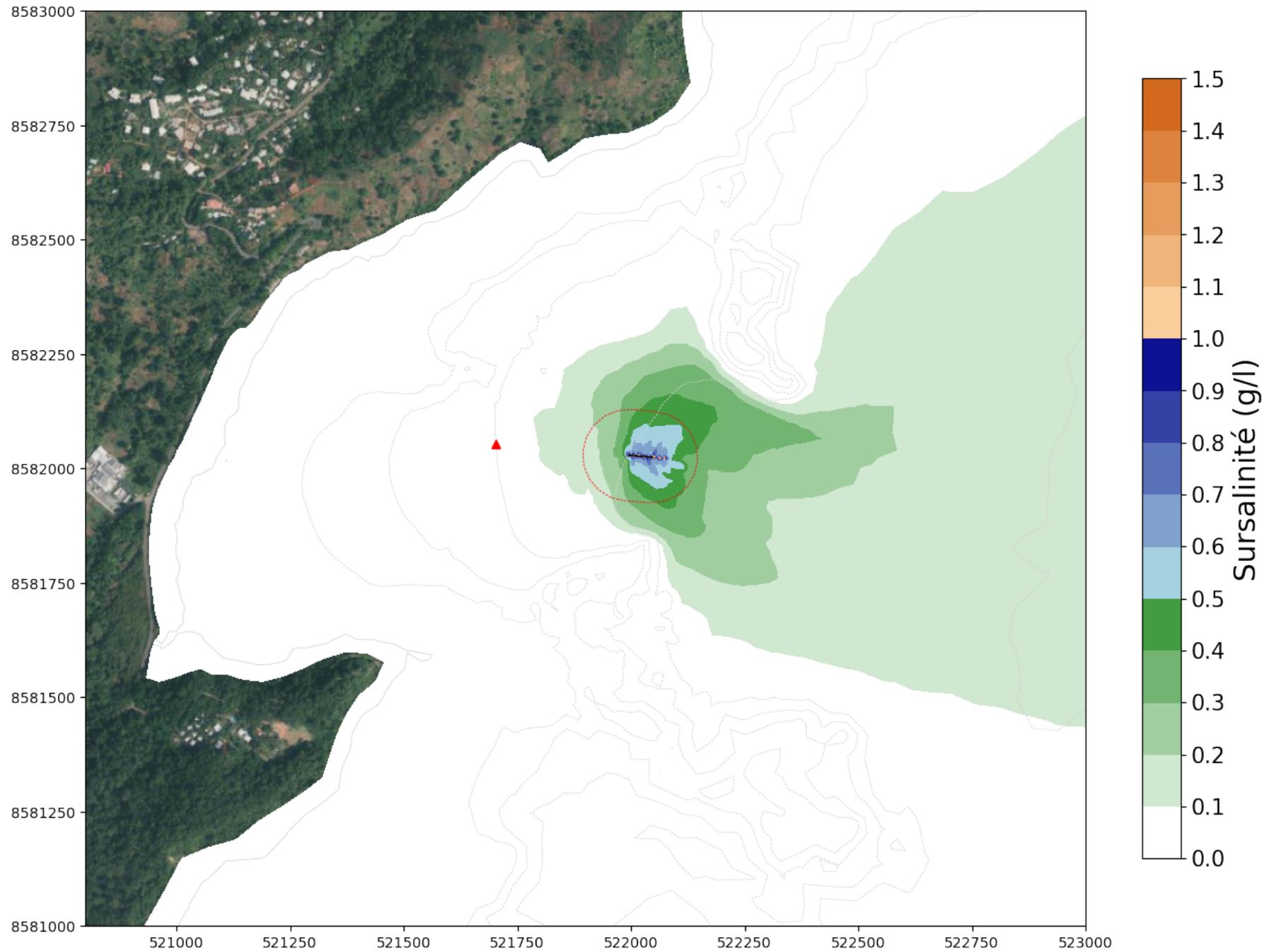
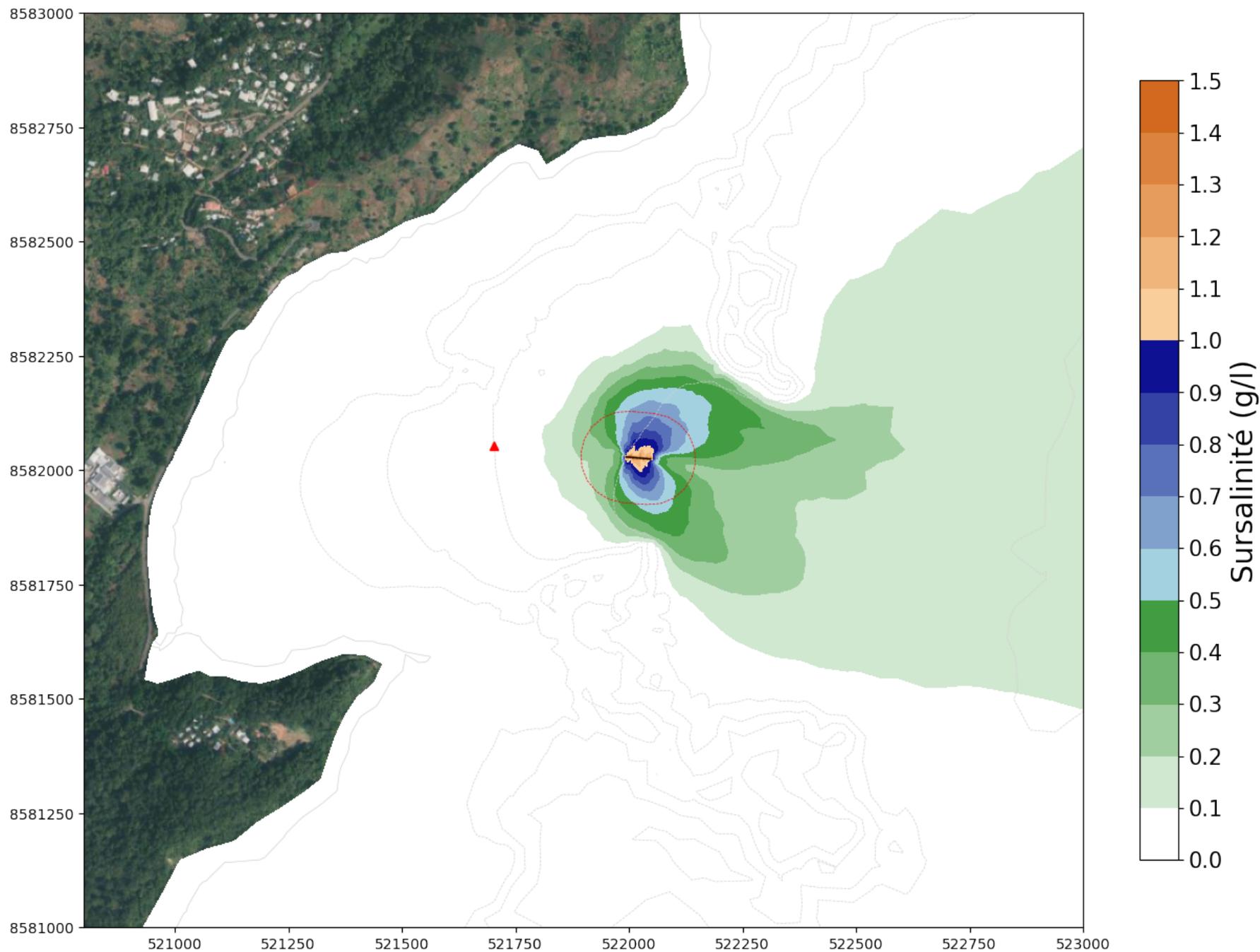


Figure B-22

Sur-salinité maximale au cours de la simulation de 15 j en conditions d'alizés (11-26 juillet 2022)
Test de sensibilité au débit (débit alternatif 0 / 1000 m³/h)



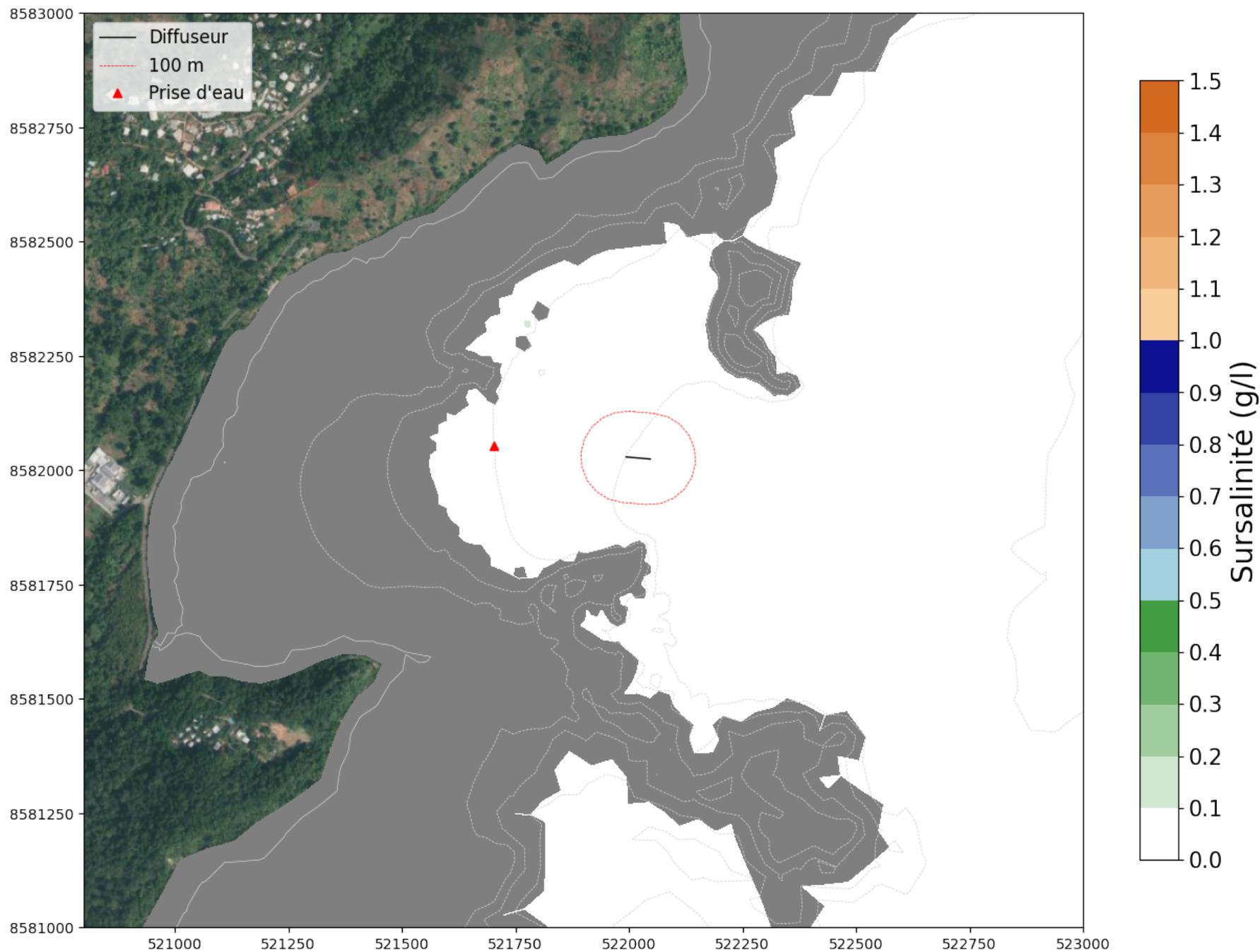
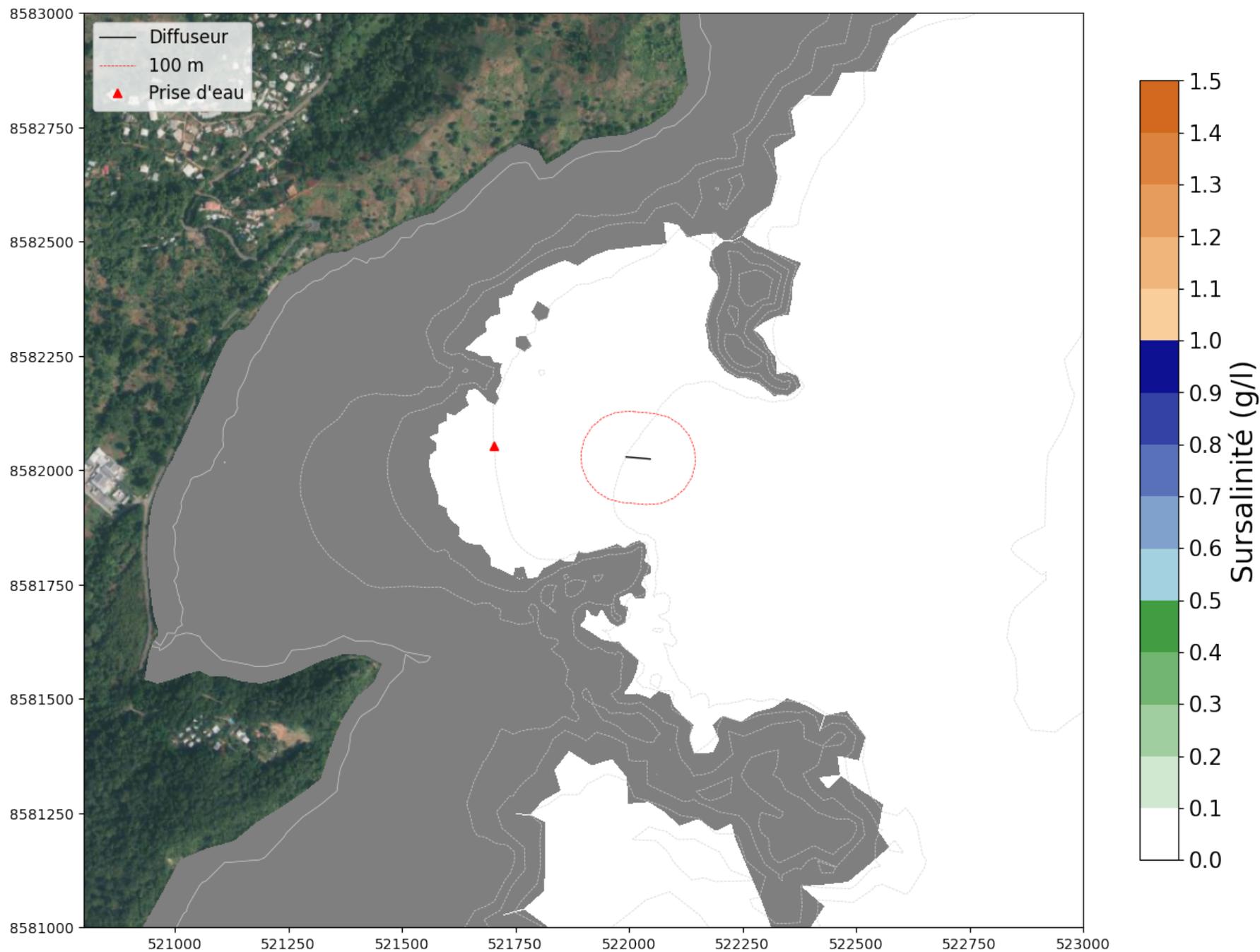


Figure B-24



PROFILS VERTICAUX DE SALINITÉ

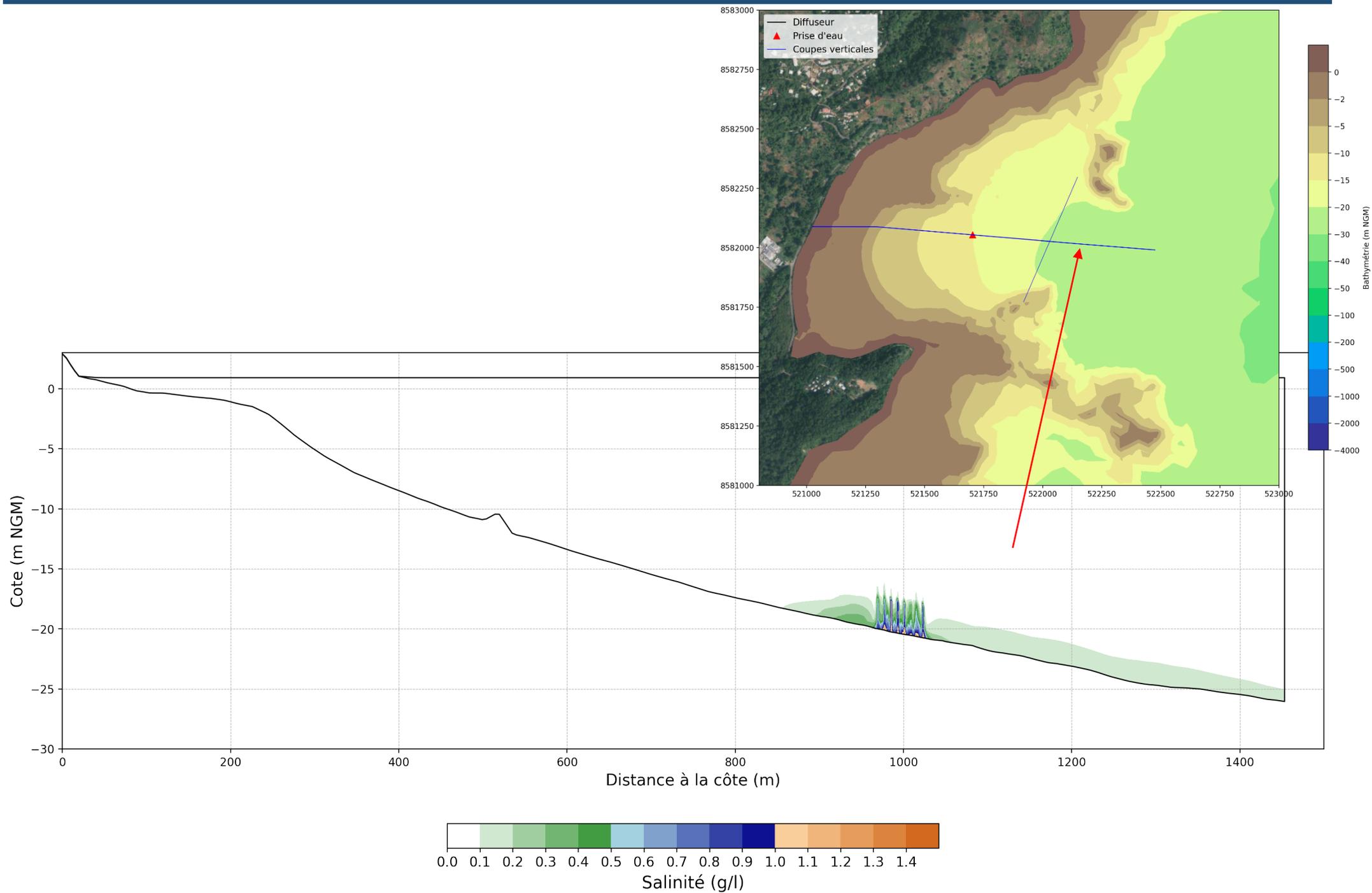


Figure B-27

Sur-salinité en fin de la simulation de 15 j en conditions d'alizés (11-26 juillet 2022) dans l'axe longitudinal du diffuseur
Configuration de base

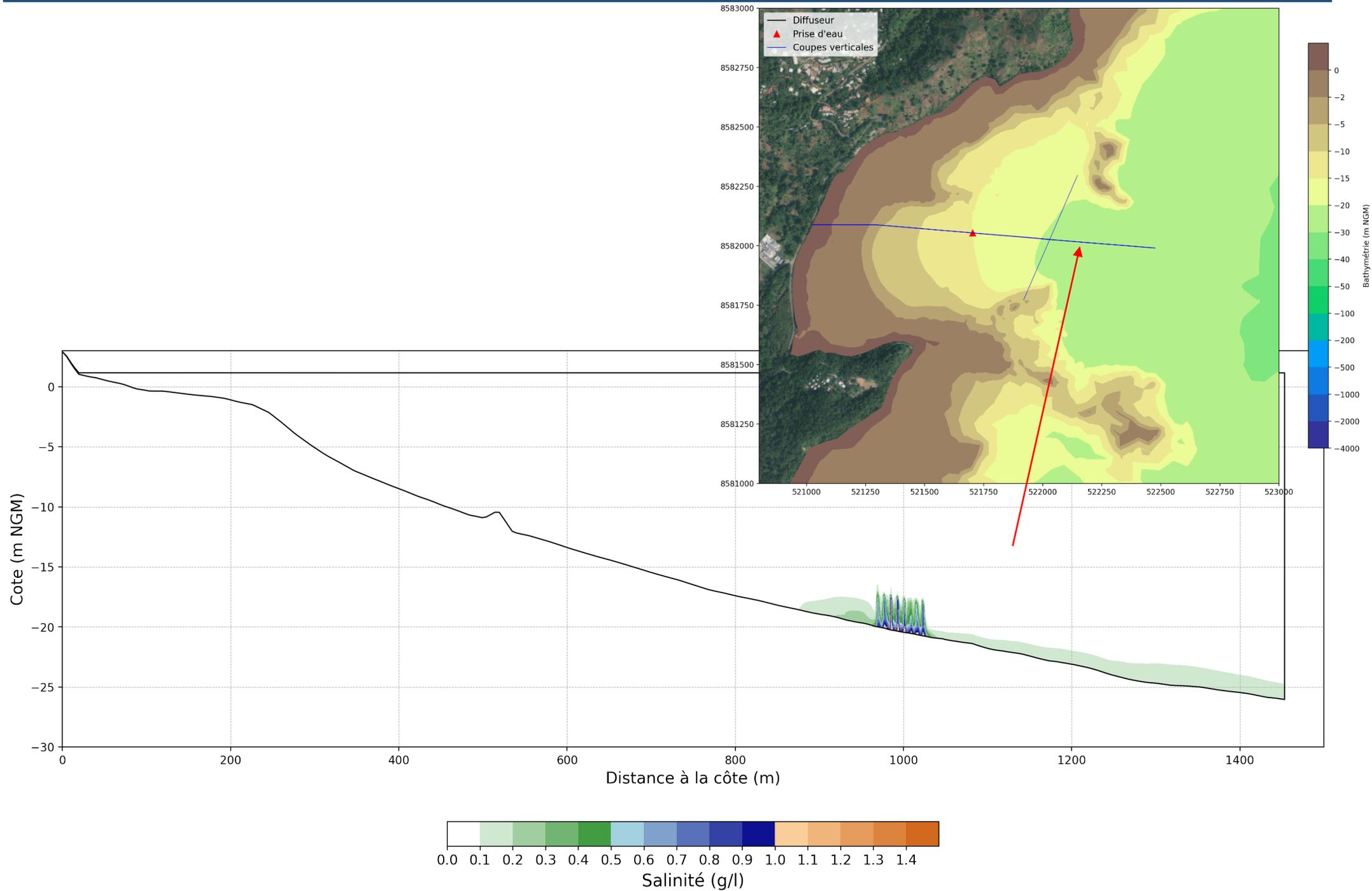
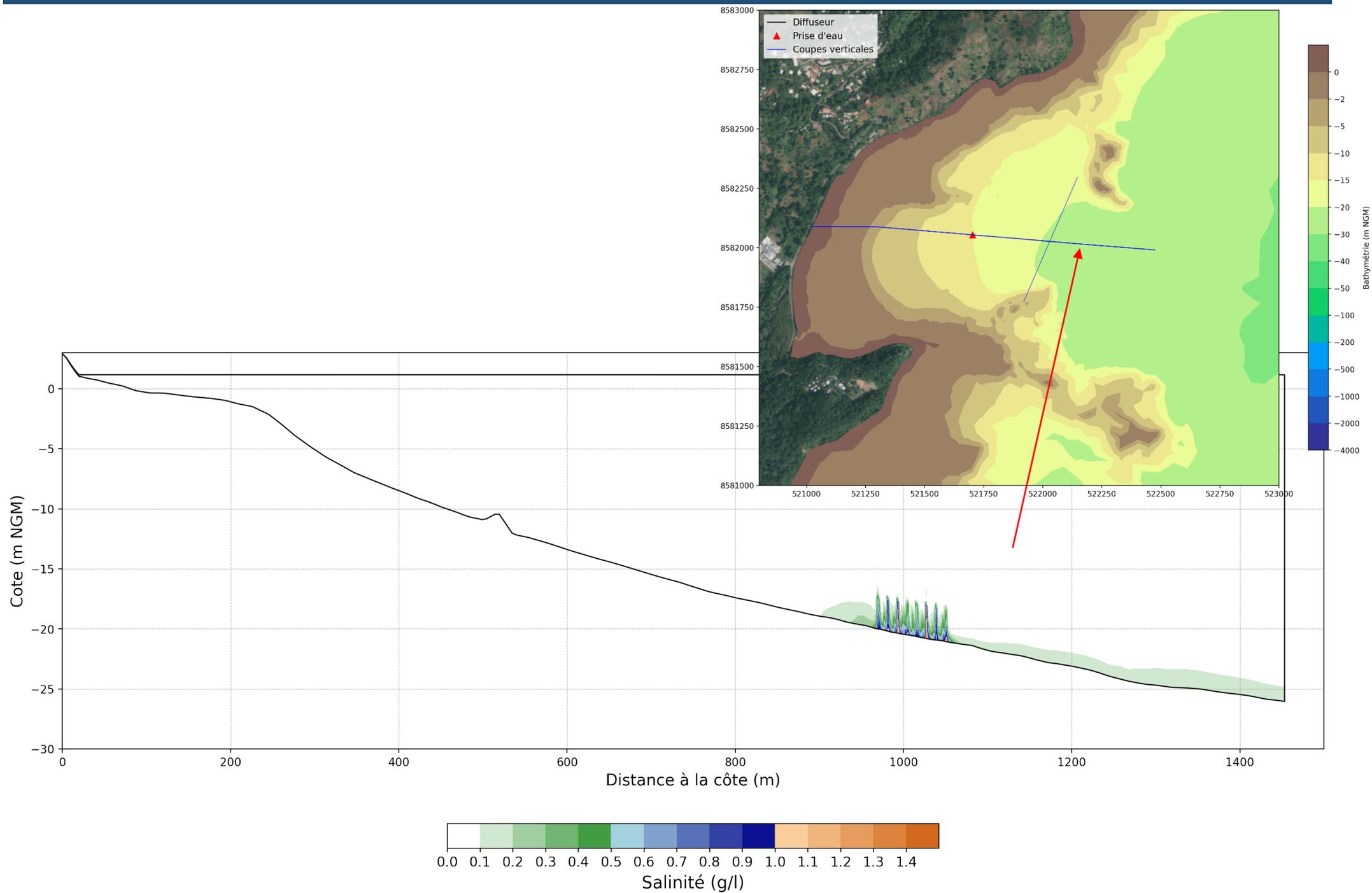


Figure B-28

Sur-salinité en fin de la simulation de 15 j en conditions d'alizés (11-26 juillet 2022) dans l'axe longitudinal du diffuseur
Test de sensibilité à l'espacement des buses (12 m)



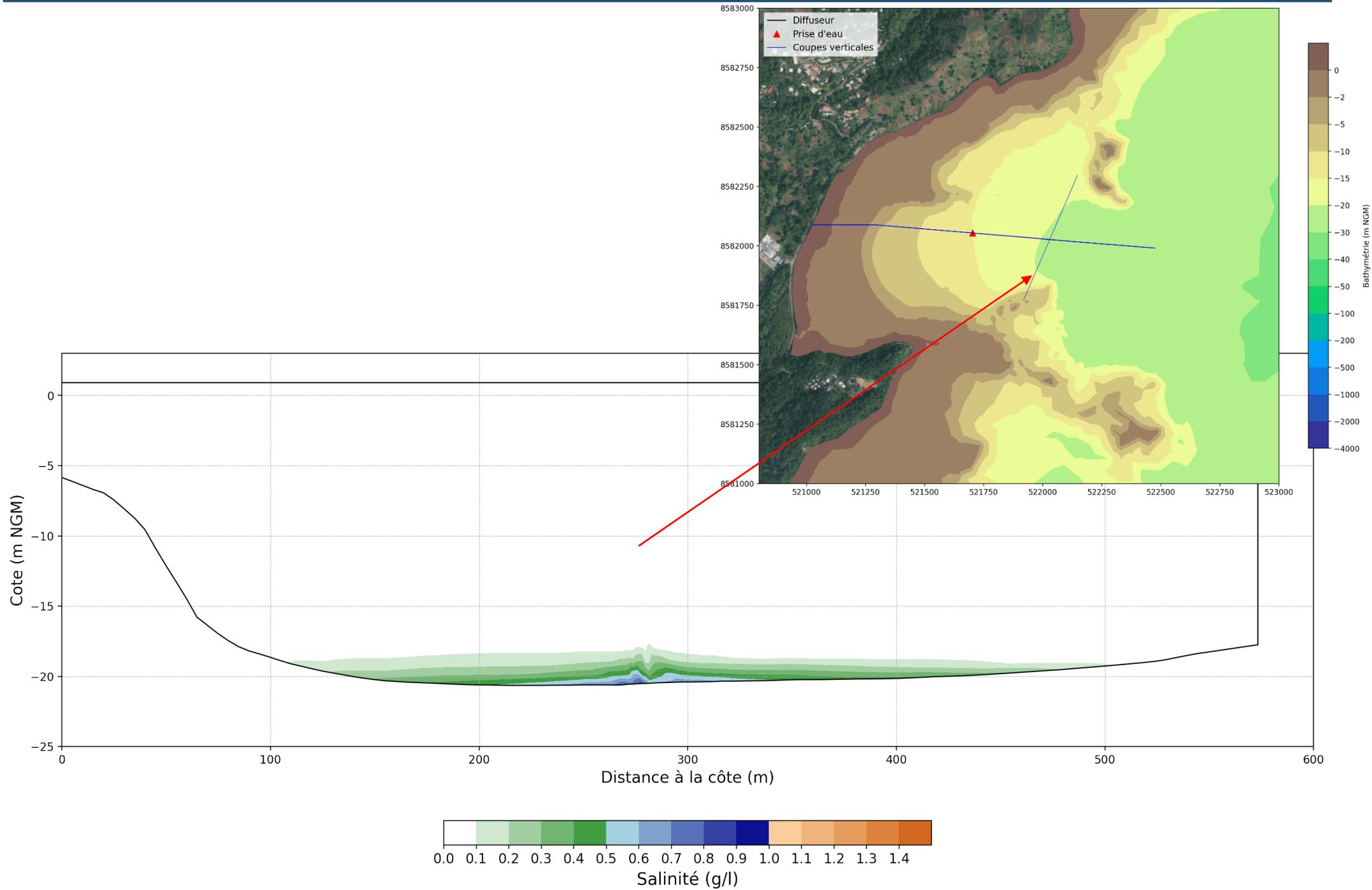


Figure B-30

Sur-salinité en fin de la simulation de 15 j en conditions d'alizés (11-26 juillet 2022) dans l'axe transversal du diffuseur
Configuration de base

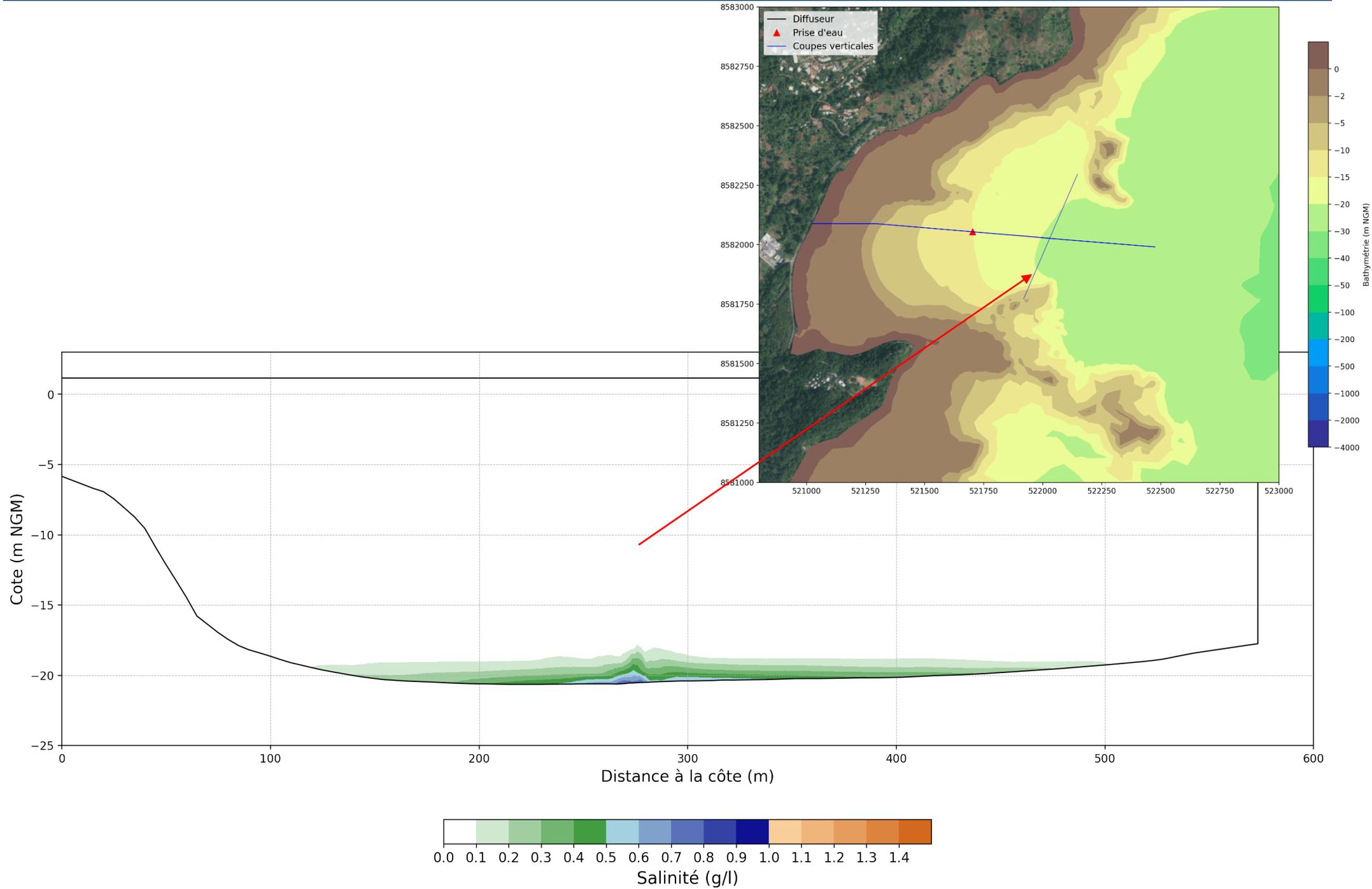
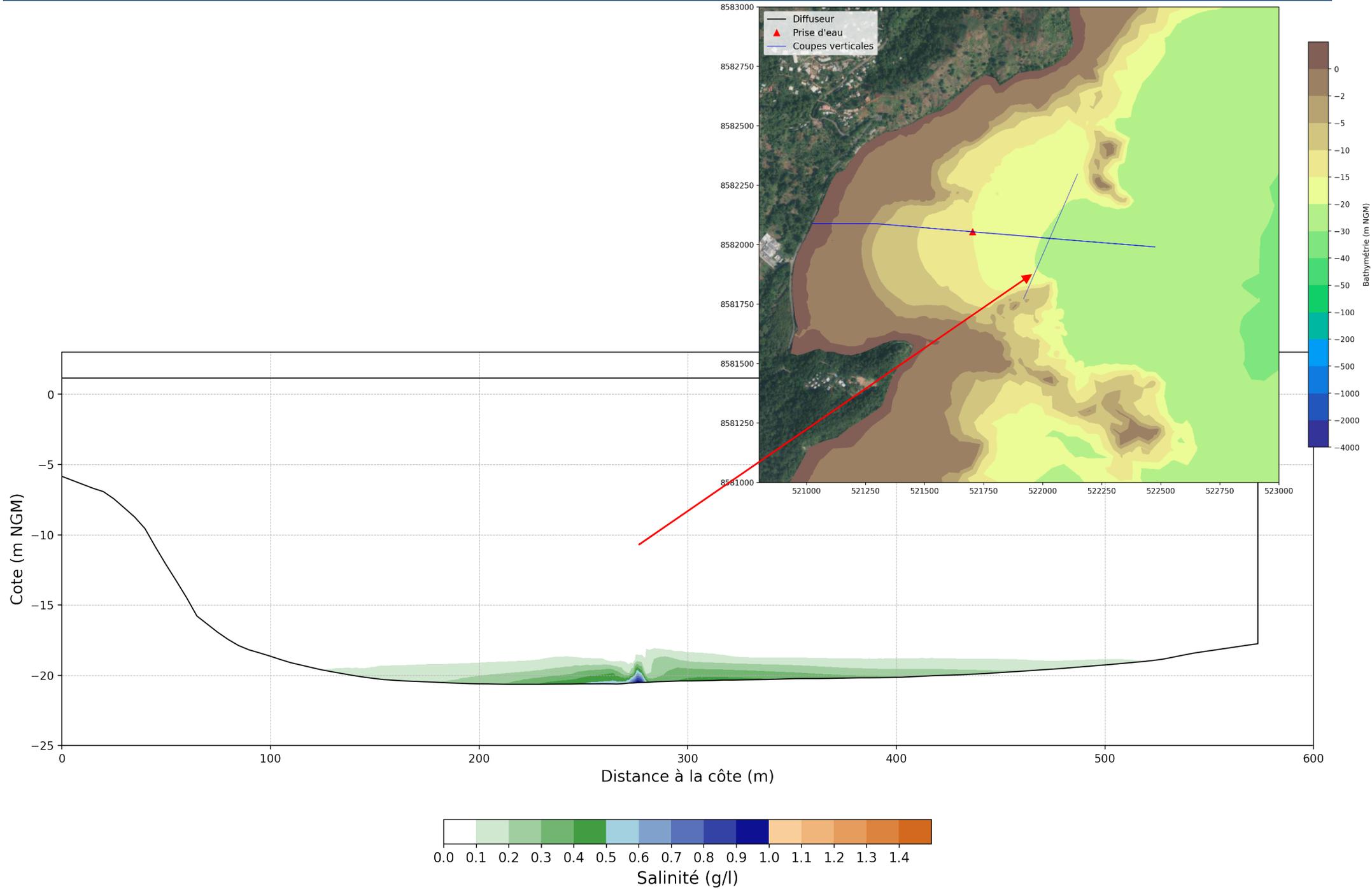


Figure B-31

Sur-salinité en fin de la simulation de 15 j en conditions d'alizés (11-26 juillet 2022) dans l'axe transversal du diffuseur
Configuration de base



CARTES DE TEMPÉRATURE

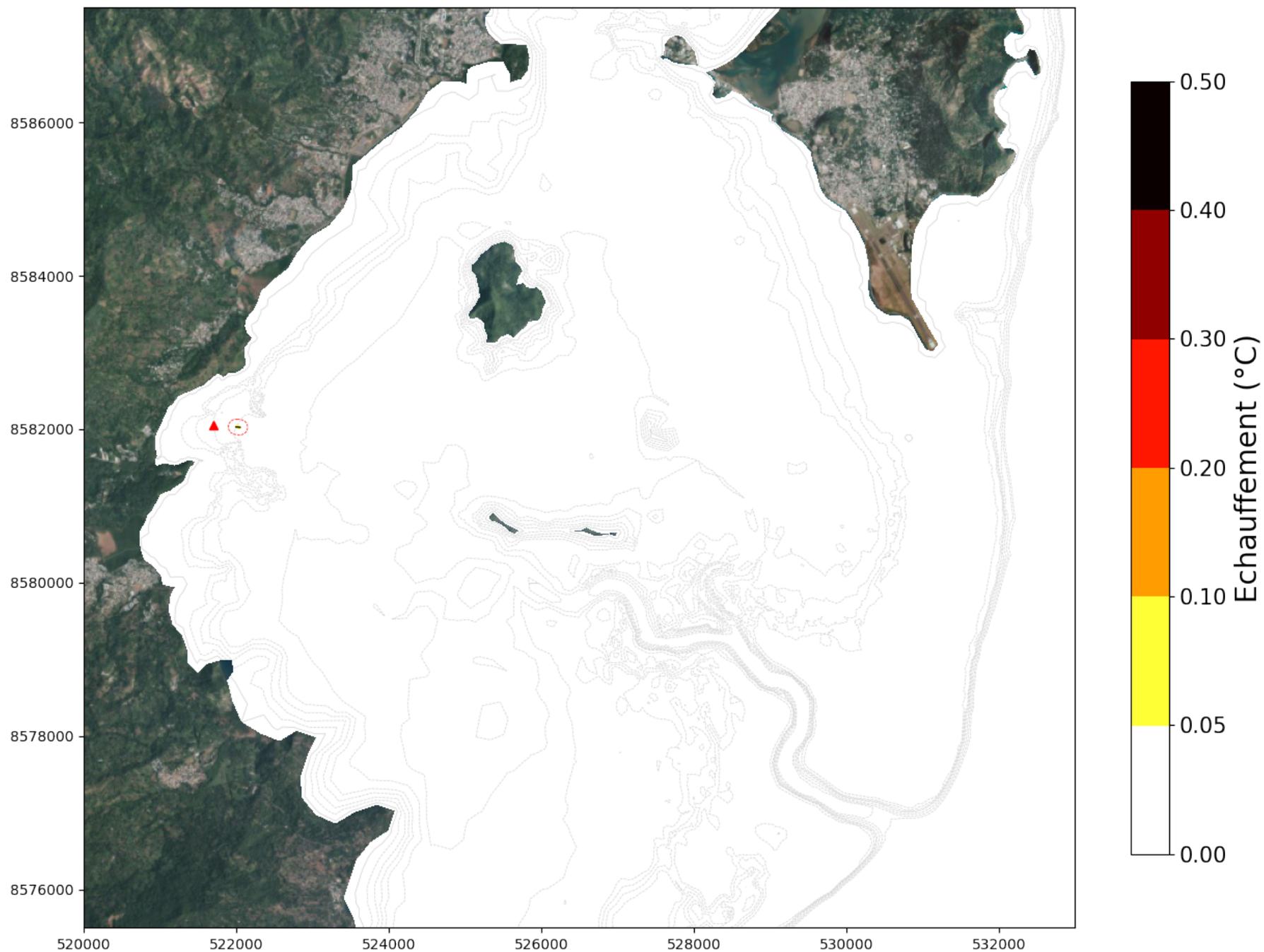
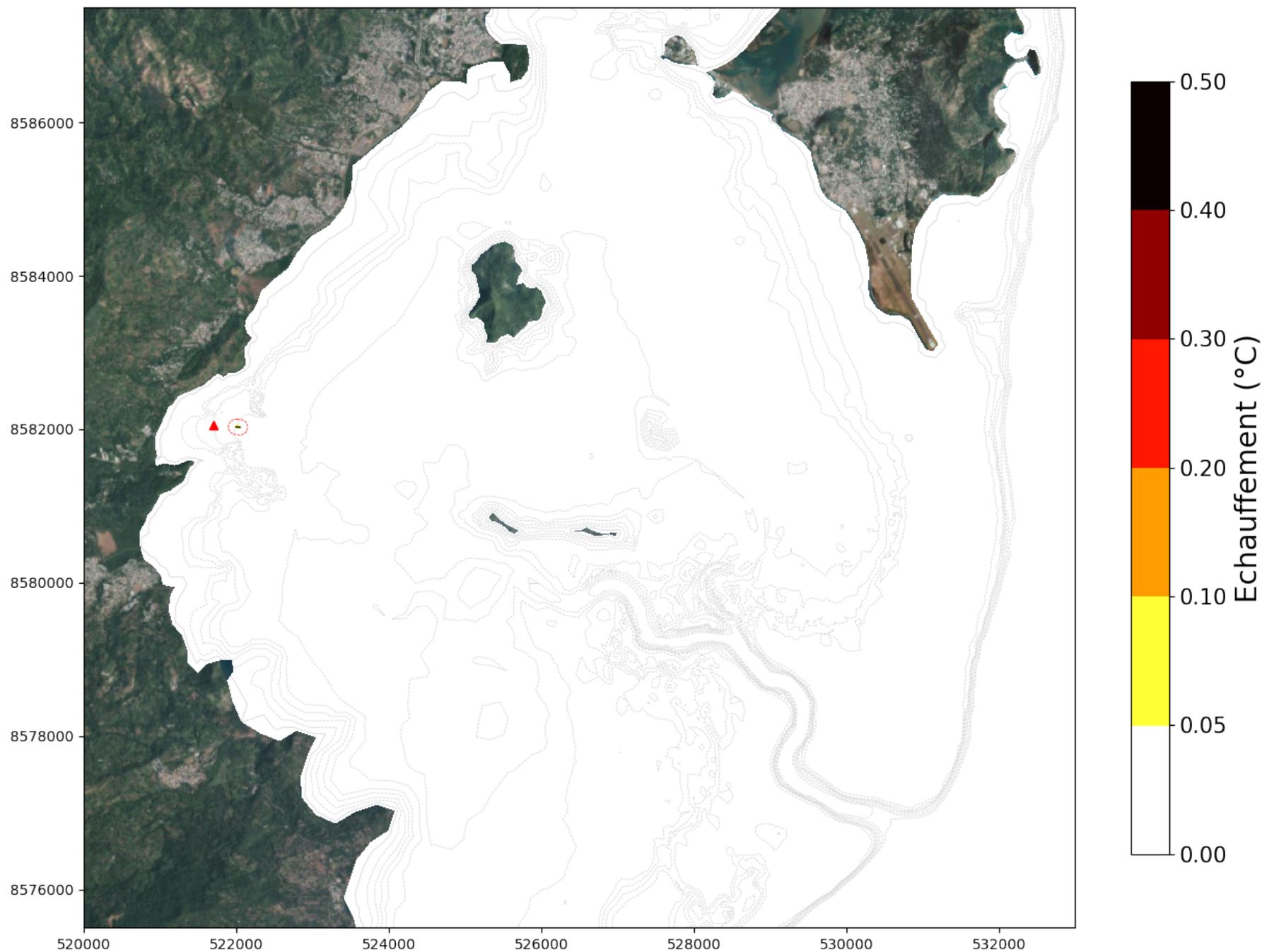


Figure B-34



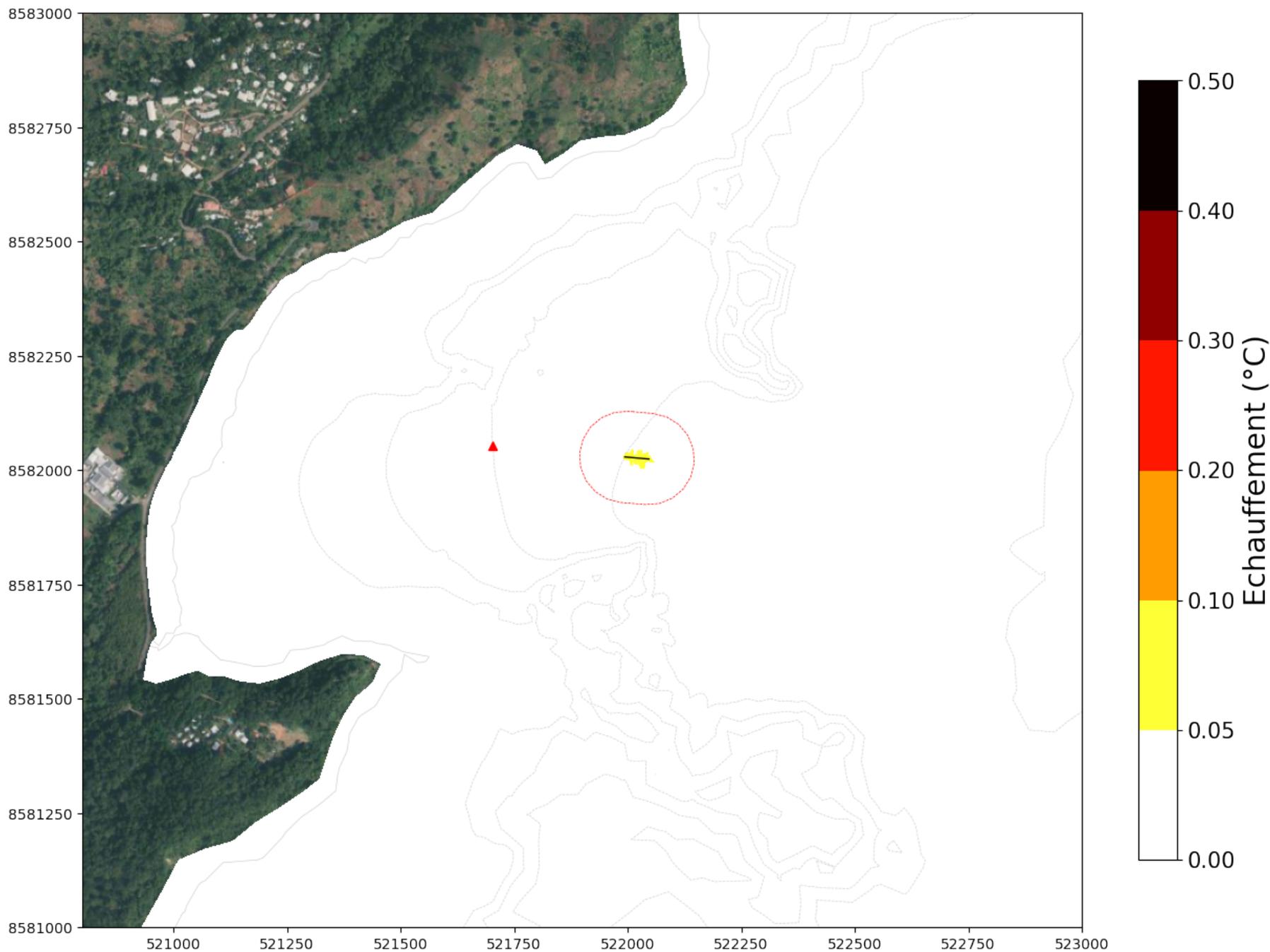
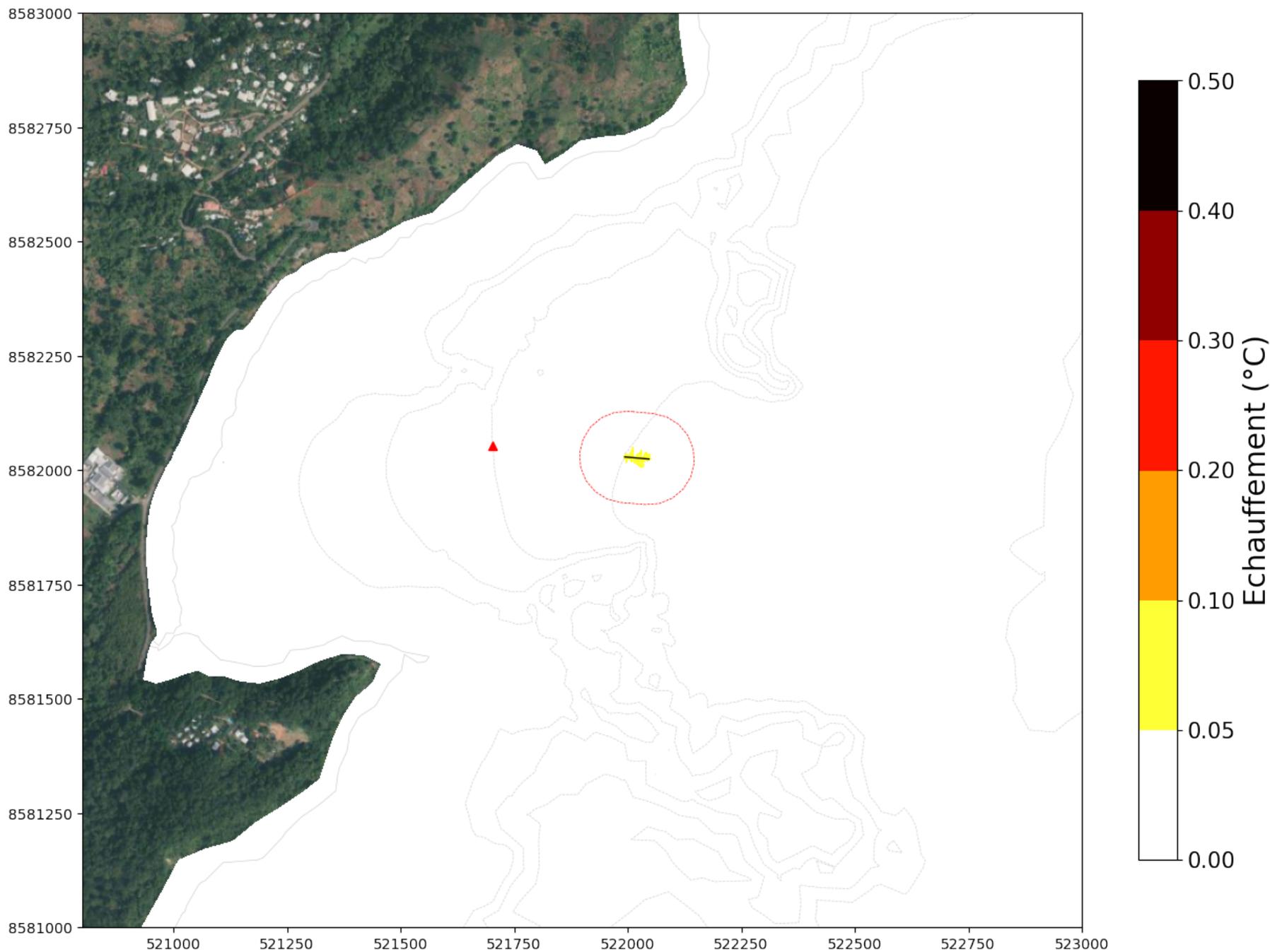
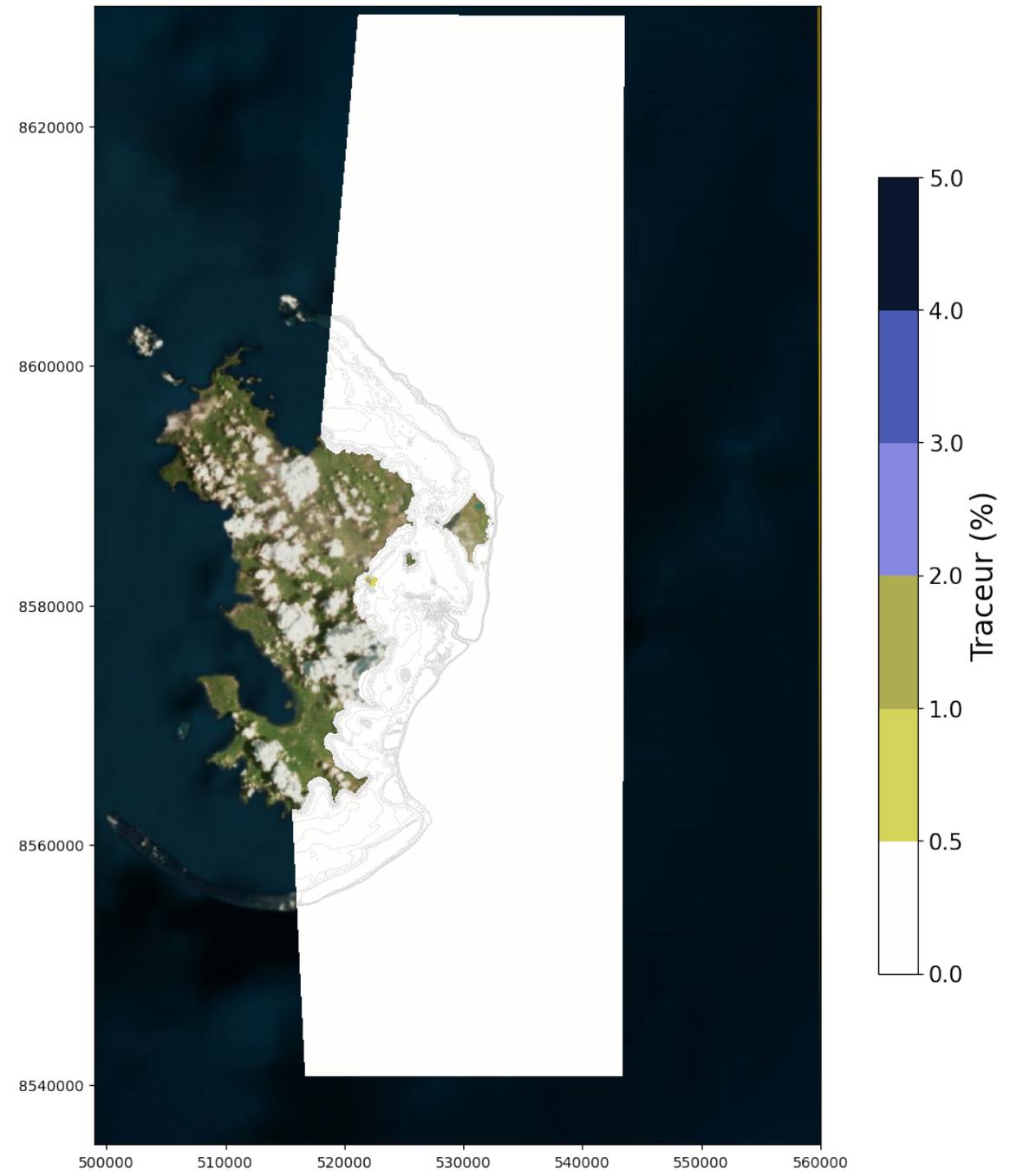


Figure B-36



CARTES DE TRACEUR PASSIF

Figure B-38



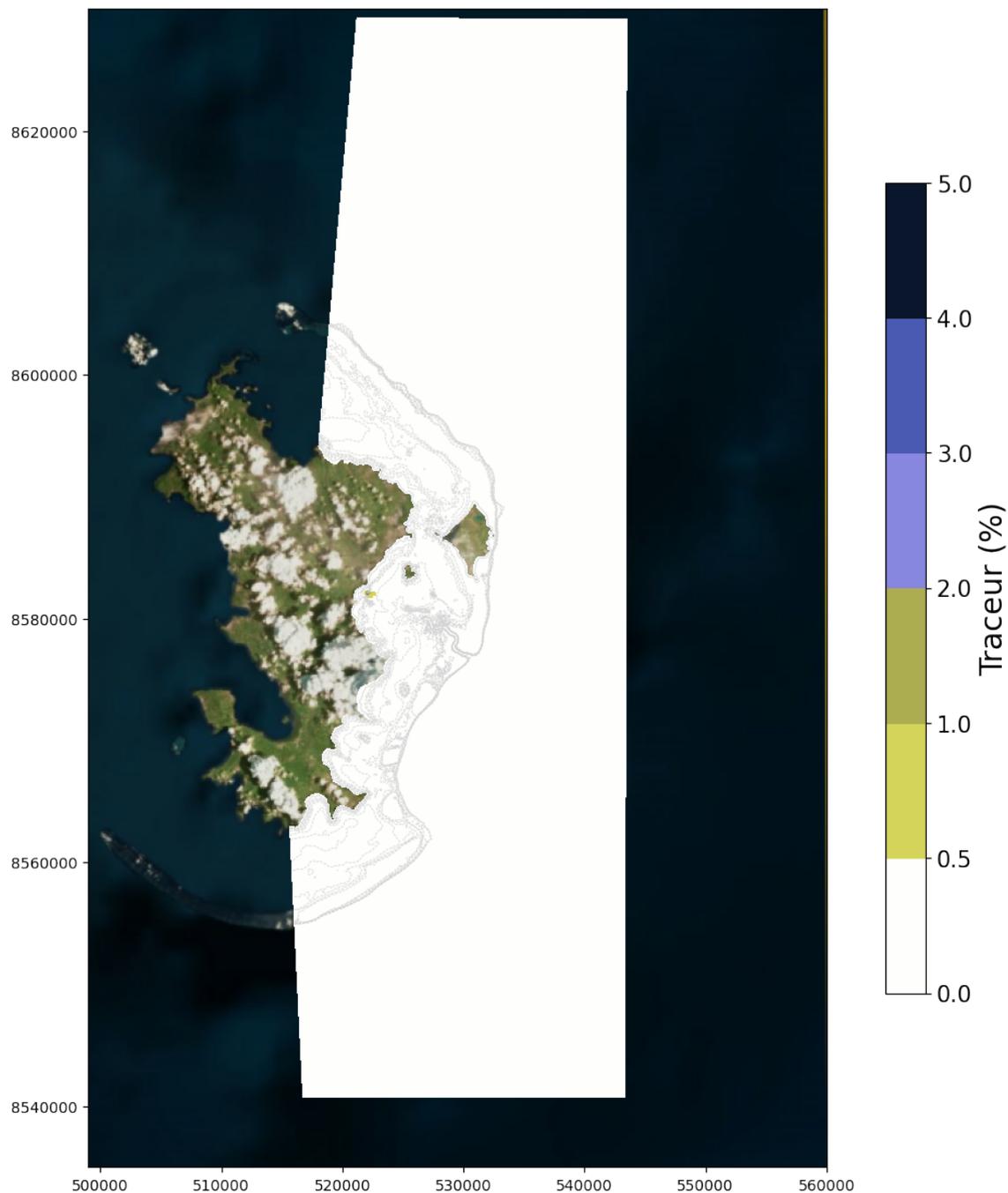


Figure B-40

Concentration maximale du traceur passif au fond au cours de la simulation de 15 j en conditions de **mousson** (12-27 janvier 2020)
Configuration de base

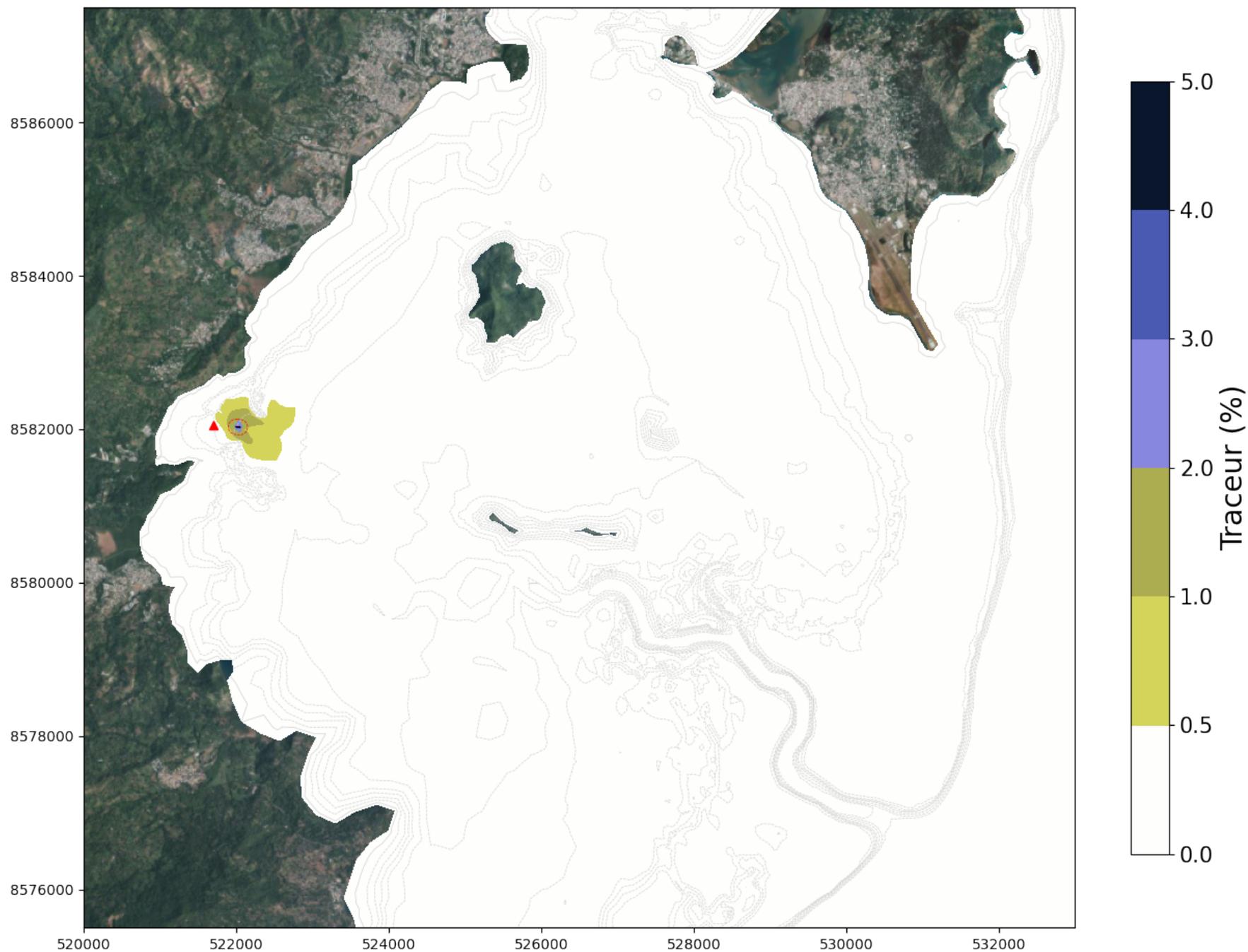


Figure B-41

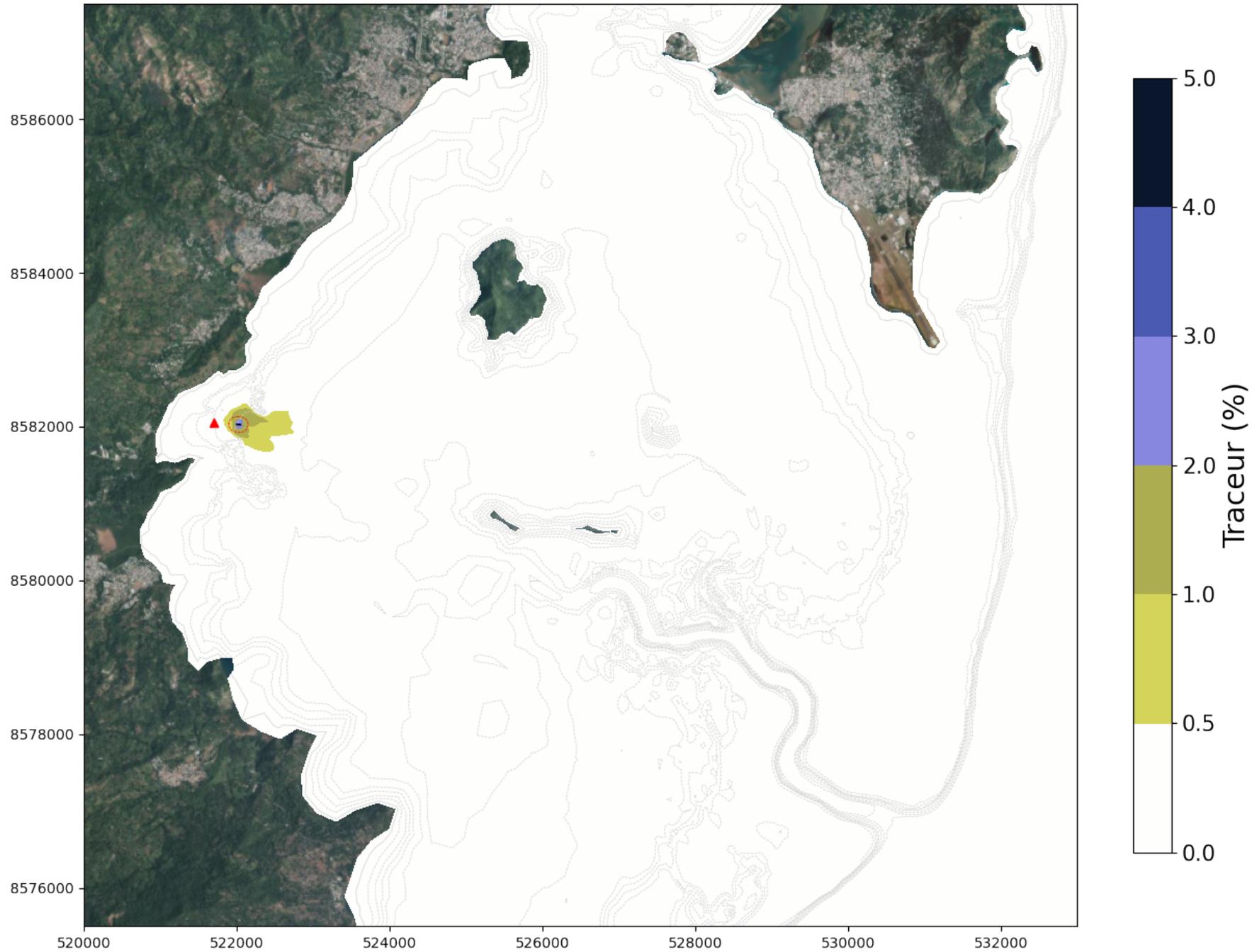
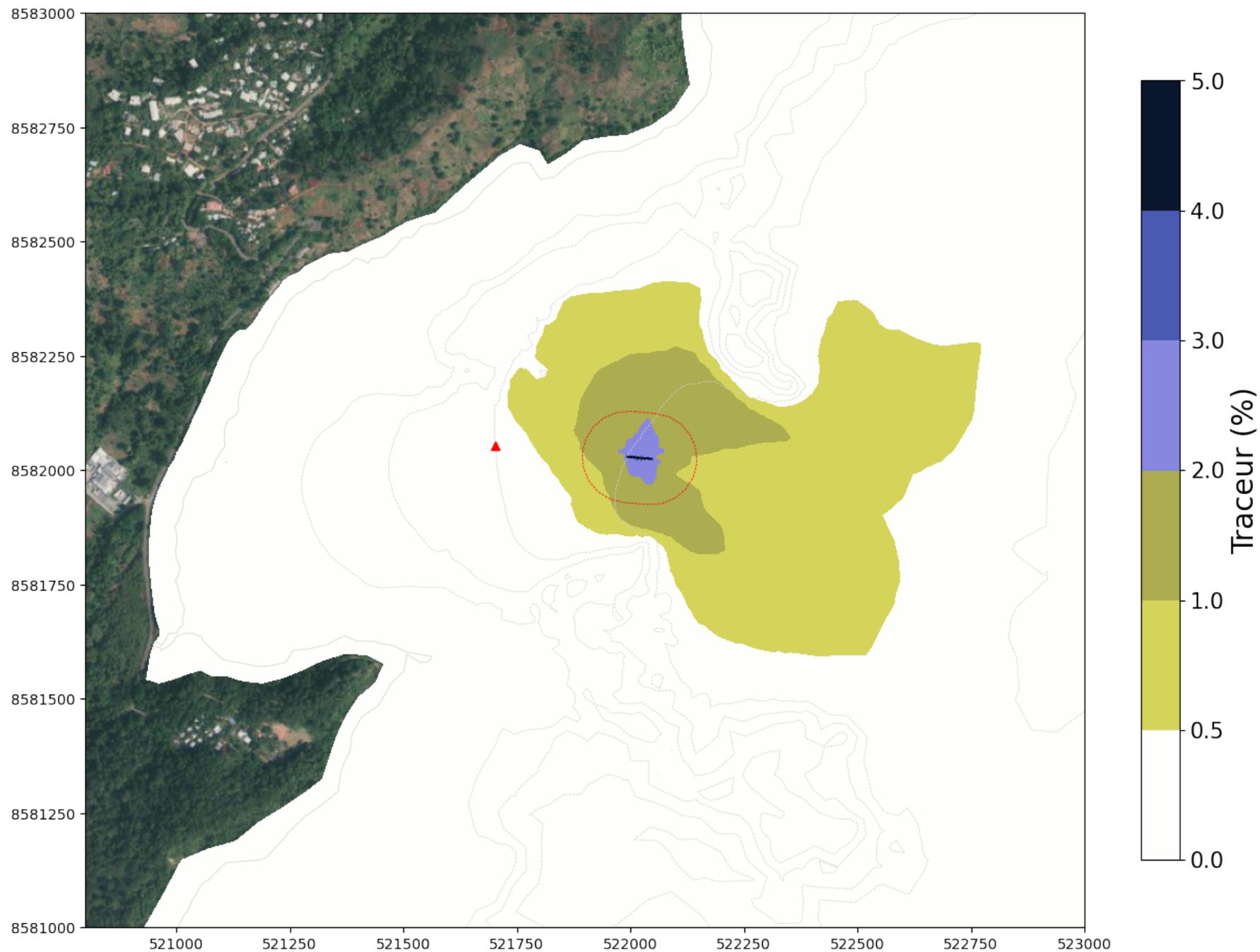
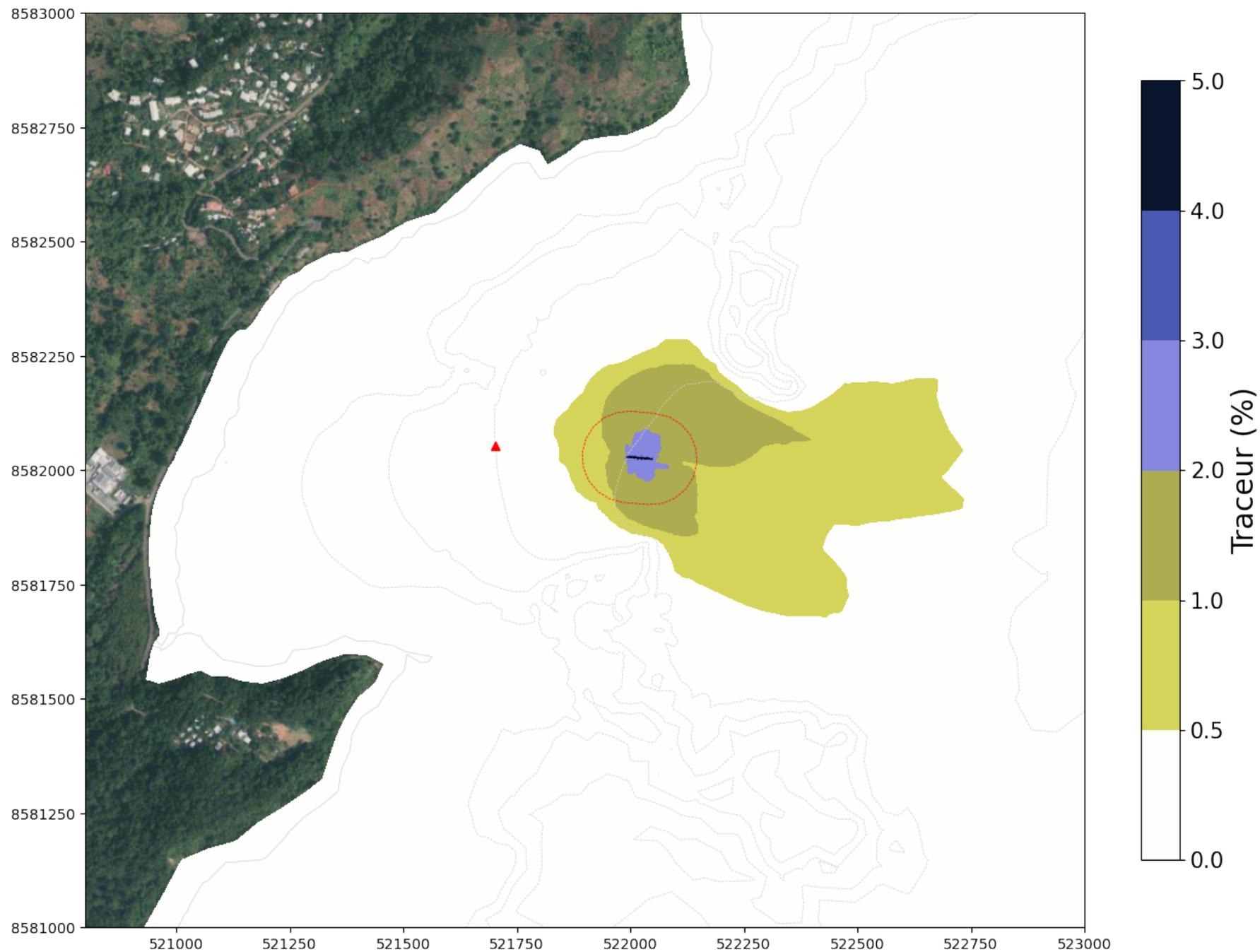


Figure B-42

Concentration maximale du traceur passif au fond au cours de la simulation de 15 j en conditions de **mousson** (12-27 janvier 2020)
Configuration de base







www.arteliagroup.com