



*Ce projet est cofinancé par l'Union Européenne et la Région Réunion. L'Europe s'engage à la réunion avec le Fonds Social Européen.*

## **RAPPORT D'ETUDE : Modélisation des rejets en mer**



# Modélisation des rejets en mer **SWAC du GHSR de Saint-Pierre**



## Rapport final

### Siège social

36, quai de la Douane – 29200 Brest – France  
Tel : +33 298 44 24 51  
Email : [info@actimar.fr](mailto:info@actimar.fr) – Web : [www.actimar.fr](http://www.actimar.fr)

**ACTIMAR**  
Au service de la mer

## Suivi des modifications

| Version | Modifications  | Rédacteurs                   | Validation       | Date       |
|---------|--|------------------------------|------------------|------------|
| V.1.0   | Création   | Solène Le Gac<br>Hida Philip | Marc Pavéc       | 04/09/2019 |
| V.2.0   | Ajout de l'analyse du champ proche, de l'évaluation du système de modélisation et des propositions de simulations                                  | Solène Le Gac<br>Marc Pavéc  | Jean-Pierre Mazé | 20/09/2019 |
| V.3.0   | Résultats des premières simulations de champ lointain<br>Complément sur le champ proche avec le rejet à 60m  | Marc Pavéc                   | Solène Le Gac    | 14/11/2019 |
| V3.1    | Prise en compte des remarques d'ACOA   | Solène Le Gac                |                  | 18/11/2019 |
| V3.2    | Résultats des 3 dernières simulations<br>Modification de l'échelle de couleur des figures<br>Ajout des figures de concentration moyenne en nitrate | Solène Le Gac<br>Marc Pavéc  | Jean-Pierre Mazé | 20/12/2019 |

## Liste de diffusion

| Destinataire      | Organisme    |
|-------------------|--------------|
| Maëva ALETAS      | BARDOT OCEAN |
| Anne-Laure CARDOT | ACOA Conseil |
| Gildas DELENCRE   | ACOA Conseil |

## Sommaire

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CONVENTIONS .....</b>                                 | <b>14</b> |
| <b>GLOSSAIRE .....</b>                                   | <b>15</b> |
| <b>1. CONTEXTE ET METHODOLOGIE DE L'ETUDE .....</b>      | <b>16</b> |
| <b>2. ANALYSE DES DONNEES D'ENTREE .....</b>             | <b>17</b> |
| 2.1 BATHYMETRIE .....                                    | 17        |
| 2.2 VENT .....   | 19        |
| 2.2.1 Analyse du vent CFSR .....                         | 19        |
| 2.2.2 Analyse du vent Hydron .....                       | 25        |
| 2.2.3 Synthèse sur les conditions de vent .....          | 25        |
| 2.3 PROFILS VERTICAUX DE TEMPERATURE ET SALINITE .....   | 26        |
| 2.4 MAREE .....  | 28        |
| 2.5 COURANT .....  | 28        |
| 2.5.1 Mesures ADCP .....                                 | 28        |
| 2.5.2 Analyse des mesures de courant .....               | 31        |
| 2.5.3 Synthèse des conditions de courants .....          | 34        |
| 2.6 REJET DU PROJET SWAC .....                           | 35        |
| <b>3. ANALYSE DU CHAMP PROCHE .....</b>                  | <b>37</b> |
| 3.1 HYPOTHESES DE CALCUL .....                           | 37        |
| 3.1.1 Caractéristiques du rejet.....                     | 37        |
| 3.1.2 Schématisation du milieu ambiant dans CORMIX ..... | 37        |
| 3.2 RESULTATS.....                                       | 39        |
| 3.3 SYNTHESE .....                                       | 43        |

## 4. MISE EN PLACE DU SYSTEME DE MODELISATION..... 44

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4.1   | MODELE SEAMER .....                              | 44 |
| 4.2   | CONFIGURATION MISE EN PLACE .....                | 44 |
| 4.3   | EVALUATION DES PERFORMANCES DU MODELE .....      | 47 |
| 4.3.1 | Principes .....                                  | 47 |
| 4.3.2 | Périodes de simulation .....                     | 48 |
| 4.3.3 | Hauteur d'eau.....                               | 49 |
| 4.3.4 | Courants .....                                   | 50 |
| 4.3.5 | Interprétation des comparaisons en courant.....  | 60 |
| 4.3.6 | Conclusions sur les performances du modèle ..... | 61 |

## 5. MODELISATION CHAMP LOINTAIN..... 62

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 5.1   | SCENARIOS DE MODELISATION .....  | 62 |
| 5.2   | PRESENTATION DES RESULTATS .....   | 64 |
| 5.3   | DIFFERENCES DE TEMPERATURE.....  | 65 |
| 5.3.1 | Simulation 1 : rejet à 25 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en été austral avec un vent moyen.....   | 65 |
| 5.3.2 | Simulation 2 : rejet à 50 m avec un débit de 481 m <sup>3</sup> /h en été austral avec un vent moyen.....    | 66 |
| 5.3.3 | Simulation 3 : rejet à 50 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en été austral avec un vent moyen.....   | 67 |
| 5.3.4 | Simulation 4 : rejet à 60 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en été austral avec un vent moyen.....   | 68 |
| 5.3.5 | Simulation 5 : rejet à 50 m avec un débit de 481 m <sup>3</sup> /h en hiver austral avec un vent moyen.....  | 69 |
| 5.3.6 | Simulation 6 : rejet à 50 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en hiver austral avec un vent moyen..... | 70 |
| 5.3.7 | Simulation 7 : rejet à 25 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en hiver austral avec un vent fort ..... | 71 |
| 5.3.8 | Simulation 8 : rejet à 50 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en hiver austral avec un vent fort ..... | 72 |
| 5.3.9 | Simulation 9 : rejet à 60 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en hiver austral avec un vent fort ..... | 73 |

---

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 5.3.10    | Simulation 10 : rejet à 50 m avec un débit de 875 m <sup>3</sup> /h en été austral sans vent .....           | 74         |
| 5.3.11    | Simulation 11 : rejet à 50 m avec un débit de 685 m <sup>3</sup> /h en hiver austral avec un vent moyen..... | 75         |
| 5.3.12    | Simulation 12 : rejet à 50 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en été austral sans vent .....          | 76         |
| 5.4       | CONCENTRATIONS .....   | 77         |
| 5.4.1     | Azote total .....  | 77         |
| 5.4.2     | Nitrate .....  | 89         |
| 5.4.3     | Nitrate – Concentration moyenne .....  | 101        |
| 5.4.4     | Phosphate.....   | 108        |
| 5.4.5     | Phosphore total .....  | 120        |
| 5.5       | CONCLUSIONS SUR LES SCENARIOS .....  | 132        |
| <b>6.</b> | <b>SYNTHESE .....</b>  | <b>133</b> |
| <b>7.</b> | <b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>   | <b>134</b> |

## Liste des illustrations

|   |    |
|---|----|
| Figure 1-1: Localisation du projet.....   | 16 |
| Figure 2-1: Semis de points du MNT bathymétrique de façade de La Réunion du SHOM sur la zone d'étude (Référence verticale : NM) .....   | 17 |
| Figure 2-2: Semis de points du produit LITTO3D sur la zone d'étude (Référence verticale : NM).....  | 18 |
| Figure 2-3: Localisation des points CFSR et CFSV2 sélectionnés .....  | 19 |
| Figure 2-4: Statistiques annuelles du vent (source : CFSR).....   | 21 |
| Figure 2-5: Statistiques mensuelles du vent (source : CFSR) .....   | 22 |
| Figure 2-6: Roses des vents mensuelles de Janvier à Juin (source : CFSR).....   | 23 |
| Figure 2-7: Roses des vents mensuelles de Juillet à Décembre (source : CFSR).....   | 24 |
| Figure 2-8: Statistiques annuelles du vent proche de la zone d'étude (source : Hydrorun) .....  | 25 |
| Figure 2-9: Localisation du point GDEM utilisé (les points noirs correspondent à la grille de la base GDEM et le point sélectionné est en rouge).....                           | 26 |
| Figure 2-10: Profils mensuels de température et de salinité au point de coordonnées 55.5°E 21.5°S (dans les 100 premiers mètres en haut et jusqu'à 1400 m en bas).....          | 27 |
| Figure 2-11: Localisation de l'ADCP .....   | 28 |
| Figure 2-12: Séries temporelles en subsurface : intensité du courant (courbe bleue), température au fond (courbe rouge) et hauteur d'eau (courbe noire) (source : ADCP).....    | 29 |
| Figure 2-13: Comparaison des roses de courants à la surface et en subsurface (source : ADCP).....   | 30 |
| Figure 2-14: Profils de courant (source : ADCP).....  | 30 |
| Figure 2-15 : Statistiques annuelles du courant à 9 m sous la surface (source : ADCP).....  | 31 |
| Figure 2-16: Statistiques annuelles du courant près du fond à 41 m sous la surface (source : ADCP)....  | 32 |
| Figure 2-17: Intensité des courants mesurés (bleus) et des courants résiduels (rouge) en subsurface (figure de gauche) et au fond (figure de droite) .....                      | 33 |
| Figure 2-18: Roses des courants résiduels en subsurface (figure de gauche) et au fond (figure de droite).....   | 33 |
| Figure 2-19: Localisation des rejets à 25, 50 et 60 m de profondeur .....   | 35 |
| Figure 3-1: Visualisation de la profondeur le long d'une ligne passant par les rejet positionnés (rejet à ~25 m, ~50 m et ~60 m).....   | 38 |
| Figure 3-2: Schématisation du courant pour l'étude du champ proche .....  | 38 |
| Figure 3-3: Schématisation des différentes phases du champ proche pour le cas d'un rejet orienté verticalement et d'un effluent à densité plus forte que le milieu ambiant..... | 41 |

---

|   |    |
|---|----|
| Figure 4-1: Emprise des 5 rangs de calcul de la configuration Seamer et taille des mailles de chaque rang .....                                     | 45 |
| Figure 4-2: Bathymétrie du modèle d'étude .....   | 46 |
| Figure 4-3 - Vitesse et direction du vent pendant la période 1 (source : CFSR) .....  | 48 |
| Figure 4-4 - Vitesse et direction du vent pendant la période 2 (source : CFSR) .....  | 49 |
| Figure 4-5 - Validation du modèle en hauteur d'eau (période 1) .....  | 49 |
| Figure 4-6 - Validation du modèle en hauteur d'eau (période 2) .....  | 50 |
| Figure 4-7 – Ellipse de variabilité du courant barotrope (période 1) – les positions des rejets envisagés à 25 et 50 m sont signalées en bleu ..... | 51 |
| Figure 4-8 – Ellipse de variabilité du courant barotrope (période 2) – les positions des rejets envisagés à 25 et 50 m sont signalées en bleu ..... | 51 |
| Figure 4-9 - Répartition statistique des vitesses de courant à 5m entre modèle et mesure (période 1) .....  | 52 |
| Figure 4-10 - Répartition statistique des directions de courant à 5m entre modèle et mesure (période 1) .....                                       | 52 |
| Figure 4-11 – Comparaison des roses de courant à 5m (période 1) .....   | 52 |
| Figure 4-12 - Répartition statistique des vitesses de courant à 5m entre modèle et mesure (période 2) .....   | 53 |
| Figure 4-13 - Répartition statistique des directions de courant à 5m entre modèle et mesure (période 2) .....                                       | 53 |
| Figure 4-14 – Comparaison des roses de courant à 5m (période 2) .....   | 53 |
| Figure 4-15 - Répartition statistique des vitesses de courant à 9m entre modèle et mesure (période 1) .....   | 54 |
| Figure 4-16 - Répartition statistique des directions de courant à 9m entre modèle et mesure (période 1) .....                                       | 54 |
| Figure 4-17 - Comparaison des roses de courant à 9m (période 1) .....   | 54 |
| Figure 4-18 - Répartition statistique des vitesses de courant à 9m entre modèle et mesure (période 2) .....   | 55 |
| Figure 4-19 - Répartition statistique des directions de courant à 9m entre modèle et mesure (période 2) .....                                       | 55 |
| Figure 4-20 - Comparaison des roses de courant à 9m (période 2) .....   | 55 |
| Figure 4-21 - Répartition statistique des vitesses de courant à 25m entre modèle et mesure (période 1) .....  | 56 |
| Figure 4-22 - Répartition statistique des directions de courant à 25m entre modèle et mesure (période 1) .....                                      | 56 |

---

---

|   |    |
|---|----|
| Figure 4-23 – Comparaison des roses de courant à 25m (période 1).....   | 56 |
| Figure 4-24 - Répartition statistique des vitesses de courant à 25m entre modèle et mesure (période 2).....   | 57 |
| Figure 4-25 - Répartition statistique des directions de courant à 25m entre modèle et mesure (période 2).....   | 57 |
| Figure 4-26 – Comparaison des roses de courant à 25m (période 2).....   | 57 |
| Figure 4-27 - Répartition statistique des vitesses de courant à 41m entre modèle et mesure (période 1).....   | 58 |
| Figure 4-28 - Répartition statistique des directions de courant à 41m entre modèle et mesure (période 1).....   | 58 |
| Figure 4-29 – Comparaison des roses de courant à 41m (période 1).....   | 58 |
| Figure 4-30 - Répartition statistique des vitesses de courant à 41m entre modèle et mesure (période 2).....   | 59 |
| Figure 4-31 - Répartition statistique des directions de courant à 41m entre modèle et mesure (période 2).....   | 59 |
| Figure 4-32 – Comparaison des roses de courant à 41m (période 2).....   | 59 |
| Figure 4-33 - Comparaison modèle-mesure sur les vitesses et directions de courant en surface pendant la période 2. ....                                 | 60 |
| Figure 5-1 - Condition de marée pendant la période retenue pour les scénarios.....  | 62 |
| Figure 5-2 - Différence de température pour le scénario de rejet à 25 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en été austral.....                     | 65 |
| Figure 5-3 - Différence de température pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 481 m <sup>3</sup> /h en été austral.....                      | 66 |
| Figure 5-4 - Différence de température pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en été austral.....                     | 67 |
| Figure 5-5 - Différence de température pour le scénario de rejet à 60 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en été austral.....                     | 68 |
| Figure 5-6 - Différence de température pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 481 m <sup>3</sup> /h en hiver austral.....                    | 69 |
| Figure 5-7 - Différence de température pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en hiver austral.....                   | 70 |
| Figure 5-8 - Différence de température pour le scénario de rejet à 25 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en hiver austral avec un vent fort..... | 71 |
| Figure 5-9 - Différence de température pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en hiver austral avec un vent fort..... | 72 |

---

---

|   |    |
|---|----|
| Figure 5-10 - Différence de température pour le scénario de rejet à 60 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en hiver austral avec un vent fort .....   | 73 |
| Figure 5-11 - Différence de température pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 875 m <sup>3</sup> /h en été austral sans vent.....   | 74 |
| Figure 5-12 - Différence de température pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 685 m <sup>3</sup> /h en hiver austral .....  | 75 |
| Figure 5-13 - Différence de température pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en été sans vent .....   | 76 |
| Figure 5-14 – Maximum de concentration en Azote Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 25 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en été austral .....                    | 77 |
| Figure 5-15 – Maximum de concentration en Azote Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 481 m <sup>3</sup> /h en été austral.....                      | 78 |
| Figure 5-16 – Maximum de concentration en Azote Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en été austral .....                    | 79 |
| Figure 5-17 – Maximum de concentration en Azote Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 60 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en été austral .....                    | 80 |
| Figure 5-18 – Maximum de concentration en Azote Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 481 m <sup>3</sup> /h en hiver austral .....                   | 81 |
| Figure 5-19 – Maximum de concentration en Azote Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en hiver austral .....                  | 82 |
| Figure 5-20 – Maximum de concentration en Azote Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 25 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en hiver austral avec un vent fort..... | 83 |
| Figure 5-21 – Maximum de concentration en Azote Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en hiver austral avec un vent fort..... | 84 |
| Figure 5-22 – Maximum de concentration en Azote Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 60 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en hiver austral avec un vent fort..... | 85 |
| Figure 5-23 – Maximum de concentration en Azote Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 875 m <sup>3</sup> /h en été austral sans vent .....           | 86 |
| Figure 5-24 – Maximum de concentration en Azote Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 685 m <sup>3</sup> /h en hiver austral .....                   | 87 |
| Figure 5-25 – Maximum de concentration en Azote Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en été sans vent .....                  | 88 |
| Figure 5-26 – Maximum de concentration en Nitrate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 25 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en été austral.....                         | 89 |

---

---

|   |     |
|---|-----|
| Figure 5-27 – Maximum de concentration en Nitrate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 481 m <sup>3</sup> /h en été austral .....                     | 90  |
| Figure 5-28 – Maximum de concentration en Nitrate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en été austral.....                     | 91  |
| Figure 5-29 – Maximum de concentration en Nitrate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 60 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en été austral.....                     | 92  |
| Figure 5-30 – Maximum de concentration en Nitrate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 481 m <sup>3</sup> /h en hiver austral.....                    | 93  |
| Figure 5-31 – Maximum de concentration en Nitrate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en hiver austral.....                   | 94  |
| Figure 5-32 – Maximum de concentration en Nitrate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 25 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en hiver austral avec un vent fort..... | 95  |
| Figure 5-33 – Maximum de concentration en Nitrate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en hiver austral avec un vent fort..... | 96  |
| Figure 5-34 – Maximum de concentration en Nitrate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 60 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en hiver austral avec un vent fort..... | 97  |
| Figure 5-35 – Maximum de concentration en Nitrate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 875 m <sup>3</sup> /h en été austral sans vent .....           | 98  |
| Figure 5-36 – Maximum de concentration en Nitrate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 685 m <sup>3</sup> /h en hiver austral.....                    | 99  |
| Figure 5-37 – Maximum de concentration en Nitrate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en été austral sans vent ...            | 100 |
| Figure 5-38 – Concentration moyenne en Nitrate dans les 30 premiers mètres pour le scénario de rejet à 25 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en été austral .....  | 101 |
| Figure 5-39 - Concentration moyenne en Nitrate dans les 30 premiers mètres pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 481 m <sup>3</sup> /h en été austral .....   | 102 |
| Figure 5-40 - Concentration moyenne en Nitrate dans les 30 premiers mètres pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en été austral.....   | 102 |
| Figure 5-41 - Concentration moyenne en Nitrate dans les 30 premiers mètres pour le scénario de rejet à 60 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en été austral.....   | 103 |
| Figure 5-42 - Concentration moyenne en Nitrate dans les 30 premiers mètres pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 481 m <sup>3</sup> /h en hiver austral.....  | 103 |
| Figure 5-43 - Concentration moyenne en Nitrate dans les 30 premiers mètres pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en hiver austral.....   | 104 |

---

---

|   |     |
|---|-----|
| Figure 5-44 - Concentration moyenne en Nitrate dans les 30 premiers mètres pour le scénario de rejet à 25 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en hiver austral avec un vent fort .....                            | 104 |
| Figure 5-45 - Concentration moyenne en Nitrate dans les 30 premiers mètres pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en hiver austral avec un vent fort .....                            | 105 |
| Figure 5-46 - Concentration moyenne en Nitrate dans les 30 premiers mètres pour le scénario de rejet à 60 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en hiver austral avec un vent fort .....                            | 105 |
| Figure 5-47 - Concentration moyenne en Nitrate dans les 30 premiers mètres pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 875 m <sup>3</sup> /h en été austral sans vent .....                                       | 106 |
| Figure 5-48 - Concentration moyenne en Nitrate dans les 30 premiers mètres pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 685 m <sup>3</sup> /h en hiver austral.....  | 106 |
| Figure 5-49 - Concentration moyenne en Nitrate dans les 30 premiers mètres pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en été austral sans vent .....                                      | 107 |
| Figure 5-50 – Maximum de concentration en Phosphate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 25 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en été austral.....                   | 108 |
| Figure 5-51 – Maximum de concentration en Phosphate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 481 m <sup>3</sup> /h en été austral .....                   | 109 |
| Figure 5-52 – Maximum de concentration en Phosphate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en été austral.....                   | 110 |
| Figure 5-53 – Maximum de concentration en Phosphate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 60 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en été austral.....                   | 111 |
| Figure 5-54 – Maximum de concentration en Phosphate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 481 m <sup>3</sup> /h en hiver austral.....                  | 112 |
| Figure 5-55 – Maximum de concentration en Phosphate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en hiver austral.....                 | 113 |
| Figure 5-56 – Maximum de concentration en Phosphate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 25 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en hiver austral avec vent fort ..... | 114 |
| Figure 5-57 – Maximum de concentration en Phosphate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en hiver austral avec vent fort ..... | 115 |
| Figure 5-58 – Maximum de concentration en Phosphate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 60 m avec un débit de 1155 m <sup>3</sup> /h en hiver austral avec vent fort ..... | 116 |
| Figure 5-59 – Maximum de concentration en Phosphate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 875 m <sup>3</sup> /h en été austral sans vent .....         | 117 |
| Figure 5-60 – Maximum de concentration en Phosphate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 685 m <sup>3</sup> /h en hiver austral.....                  | 118 |

---

**Figure 5-61 – Maximum de concentration en Phosphate dans les 30 premiers mètres et le long d’une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral sans vent ... 119**

**Figure 5-62 – Maximum de concentration en Phosphore Total dans les 30 premiers mètres et le long d’une section pour le scénario de rejet à 25 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral ..... 120**

**Figure 5-63 – Maximum de concentration en Phosphore Total dans les 30 premiers mètres et le long d’une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 481 m<sup>3</sup>/h en été austral ..... 121**

**Figure 5-64 – Maximum de concentration en Phosphore Total dans les 30 premiers mètres et le long d’une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral ..... 122**

**Figure 5-65 – Maximum de concentration en Phosphore Total dans les 30 premiers mètres et le long d’une section pour le scénario de rejet à 60 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral ..... 123**

**Figure 5-66 – Maximum de concentration en Phosphore Total dans les 30 premiers mètres et le long d’une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 481 m<sup>3</sup>/h en été austral ..... 124**

**Figure 5-67 – Maximum de concentration en Phosphore Total dans les 30 premiers mètres et le long d’une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral ..... 125**

**Figure 5-68 – Maximum de concentration en Phosphore Total dans les 30 premiers mètres et le long d’une section pour le scénario de rejet à 25 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec vent fort..... 126**

**Figure 5-69 – Maximum de concentration en Phosphore Total dans les 30 premiers mètres et le long d’une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec vent fort..... 127**

**Figure 5-70 – Maximum de concentration en Phosphore Total dans les 30 premiers mètres et le long d’une section pour le scénario de rejet à 60 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec vent fort..... 128**

**Figure 5-71 – Maximum de concentration en Phosphore Total dans les 30 premiers mètres et le long d’une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 875 m<sup>3</sup>/h en été austral sans vent ..... 129**

**Figure 5-72 – Maximum de concentration en Phosphore Total dans les 30 premiers mètres et le long d’une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 685 m<sup>3</sup>/h en hiver austral ..... 130**

**Figure 5-73 – Maximum de concentration en Phosphore Total dans les 30 premiers mètres et le long d’une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 685 m<sup>3</sup>/h en hiver austral ..... 131**

## Liste des tableaux

|   |    |
|---|----|
| Tableau 2-1: Statistiques principales du courant dans la colonne d'eau .....  | 34 |
| Tableau 3-1: Synthèse sur les caractéristiques du champ proche pour un rejet horizontal et le cas débit 481 m <sup>3</sup> /h, diamètre 767.6 mm .....  | 39 |
| Tableau 3-2: Synthèse sur les caractéristiques du champ proche pour un rejet horizontal et le cas débit 1155 m <sup>3</sup> /h, diamètre 605.6 mm ..... | 40 |
| Tableau 3-3: Synthèse sur les caractéristiques du champ proche pour un rejet vertical et le cas débit 481 m <sup>3</sup> /h, diamètre 767.6 mm .....    | 42 |
| Tableau 3-4: Synthèse sur les caractéristiques du champ proche pour un rejet vertical et le cas débit 1155 m <sup>3</sup> /h, diamètre 605.6 mm .....   | 43 |
| Tableau 5-1 - Définition des scénarios météo-océaniques.....  | 62 |
| Tableau 5-2 - Liste des scénarios de calcul.....  | 63 |
| Tableau 5-3 – Concentrations dans le milieu ambiant en surface et concentration du rejet .....  | 64 |

## CONVENTIONS

La liste suivante décrit les conventions utilisées dans ce rapport.

Tous les temps sont présentés en TU (Temps Universel)

| Paramètres  |           | Unités           | Définitions et conventions   |
|-------------|-----------|------------------|--|
| Vent        | Vm        | m/s              | Vitesse du vent horaire à 10m  |
|             | Direction | Degré            | Direction du vent horaire à 10m en degrés par rapport au Nord<br>Il s'agit de la direction de provenance du vent |
| Courant     | Uc        | m/s              | Vitesse du courant   |
|             | Direction | Degré            | Direction du courant.<br>Il s'agit de la direction vers laquelle va le courant                                   |
| Température | T         | Degré<br>Celsius | Température de l'eau   |
| Salinité    | S         | PSU              | Salinité de l'eau  |

## GLOSSAIRE

| Terme   | Définition   |
|---------|--|
| ADCP    | Acoustic Doppler Current Profiler                            |
| CFSR    | Climate Forecast System reanalysis                           |
| FES2014 | Finite Element Solution, modèle de marée développé en 2014   |
| GDEM    | Generalized Digital Environmental Model (global climatology) |
| MES     | Matières En Suspension                                       |
| MNT     | Modèle Numérique de Terrain                                  |
| NCEP    | National Center for Environmental Prediction                 |
| NM      | Niveau Moyen   |
| PBMA    | Plus Basse Mer Astronomique                                  |
| PHMA    | Plus Haute Mer Astronomique                                  |
| SHOM    | Service Hydrographique et Océanographique de la Marine       |
| ZH      | Zéro Hydrographique  |

# 1. CONTEXTE ET METHODOLOGIE DE L'ETUDE

ACTIMAR réalise pour BARDOT OCEAN une étude de modélisation des rejets en mer du projet SWAC GHSR de l'hôpital de Saint-Pierre sur l'île de La Réunion.

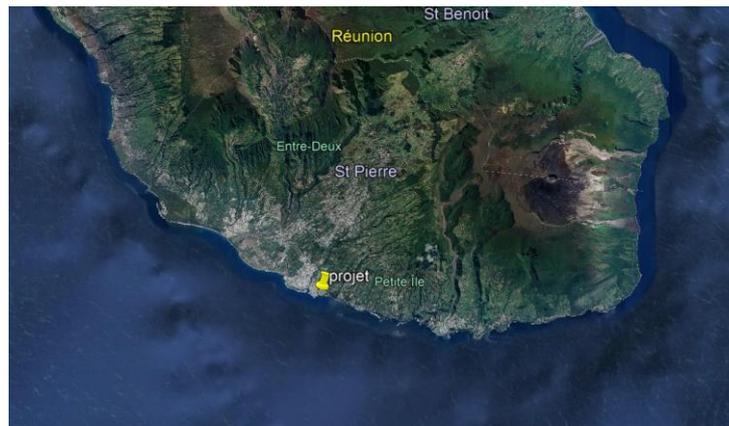


Figure 1-1: Localisation du projet

Le projet SWAC GHSR consiste à mettre en place un système de climatisation à partir d'eau de mer en pompage profond. L'eau est pompée à une température de 5°C à environ 1000 m de profondeur, puis rejetée à une température de 11.5°C après passage dans le système de production de froid. Ce rejet thermique aura, entre autres, pour conséquence de provoquer un transfert des eaux profondes vers les eaux de surface. Les eaux profondes n'ayant pas les mêmes caractéristiques physico-chimiques que les eaux superficielles, cette remontée s'accompagnera d'une modification directe par simple mélange des caractéristiques physico-chimiques des eaux en subsurface. Les impacts sur le milieu ambiant peuvent être analysés à l'aide de la modélisation numérique.

L'objectif de l'étude de modélisation est d'analyser la dispersion du rejet issu des installations du projet SWAC pendant la phase d'exploitation en étudiant plusieurs possibilités de rejet à des profondeurs différentes.

La stratégie de modélisation adoptée consiste en la mise en place d'un modèle 3D de circulation côtière permettant de simuler la dispersion des rejets en mer.

Ce type de modèle ne permet pas de représenter l'écoulement de champ proche du rejet où le comportement du fluide est dominé par la turbulence du jet et les caractéristiques de densité de l'effluent et du milieu ambiant. La méthode employée par Actimar consiste à étudier le champ proche avec un logiciel dédié (CORMIX) et à en déduire la structure verticale du terme-source (débits et concentrations) qui sera injectée dans le modèle 3D de circulation côtière.

Ce rapport présente les données d'entrée de l'étude, l'analyse du champ proche, la mise en place du modèle 3D et les résultats des simulations.

## 2. ANALYSE DES DONNEES D'ENTREE

Ce chapitre présente l'ensemble des données qui sont utilisées pour mettre en place le modèle et l'exploiter.

### 2.1 BATHYMETRIE

La bathymétrie sur la grille du modèle est réalisée à partir de l'interpolation des données disponibles. Sur la zone d'étude, les sources suivantes sont utilisées :

- MNT bathymétrique de façade de La Réunion (Projet Homonim, Shom). [http://dx.doi.org/10.17183/MNT\\_REU100m\\_HOMONIM\\_WGS84](http://dx.doi.org/10.17183/MNT_REU100m_HOMONIM_WGS84). Il s'agit d'un MNT de résolution 100 m qui couvre l'ensemble de l'île de la Réunion
- Litto3D® Réunion : Le programme national Litto3D® vise à produire un modèle numérique altimétrique de référence, continu terre-mer et précis, sur la frange du littoral métropolitain et ultramarin. Il met en œuvre des moyens de levés par lasers aéroportés (LIDAR), permettant de mesurer les profondeurs dans les zones d'estran difficilement accessibles, en complément des sondeurs multifaisceaux embarqués à bord des navires. Litto3D® décrit la bande littorale : en mer, jusqu'à l'isobathe 10 m et au plus jusqu'à 6 milles marins des côtes ; sur terre, jusqu'à l'altitude +10 m et à au moins 2 km à l'intérieur des terres. Ce référentiel Litto3D® a été réalisé par l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) et le Shom en partenariat avec la Préfecture de La Réunion.

Les figures suivantes montrent les semis de points sur la zone d'étude pour ces deux sources de données.

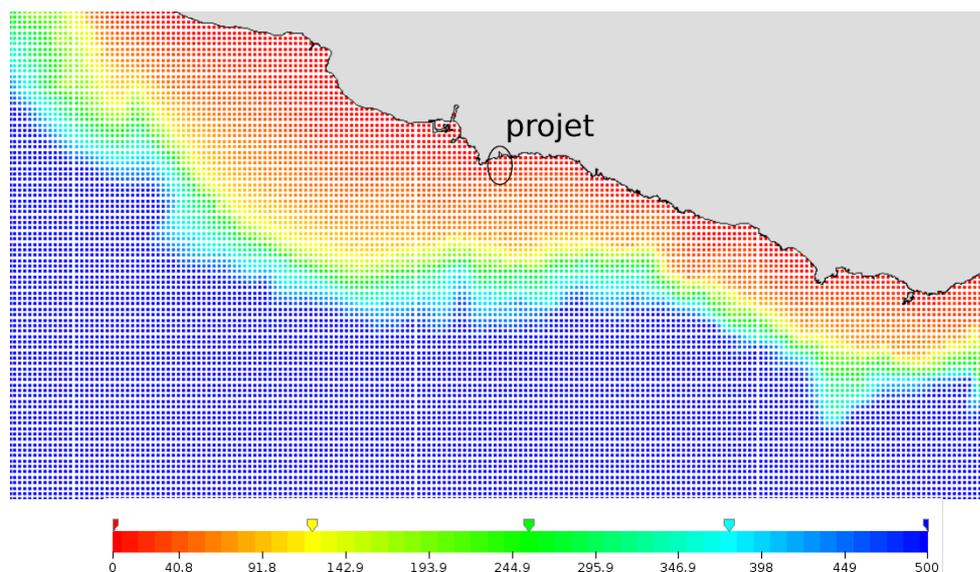


Figure 2-1: Semis de points du MNT bathymétrique de façade de La Réunion du SHOM sur la zone d'étude (Référence verticale : NM)

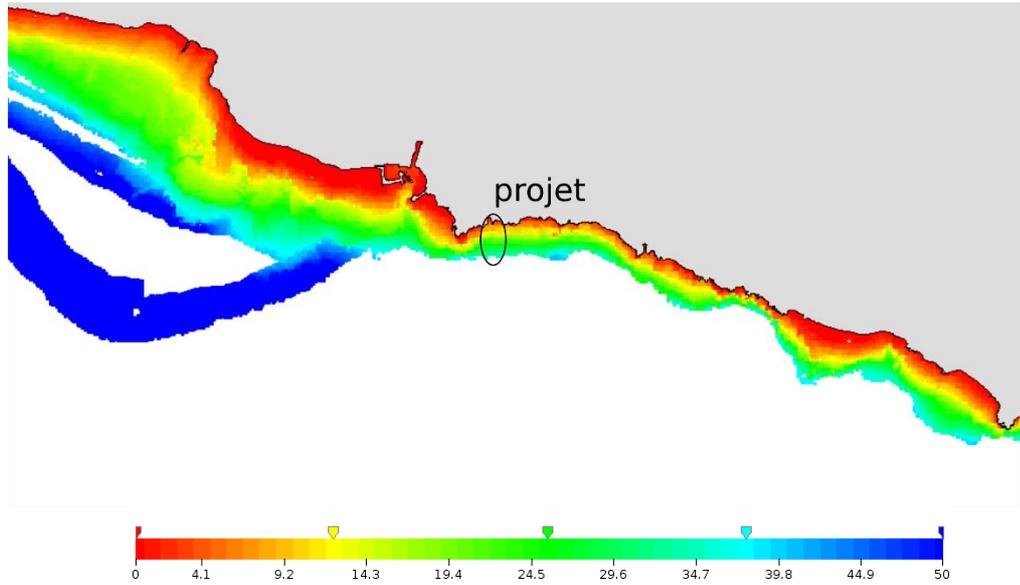


Figure 2-2: Semis de points du produit LITTO3D sur la zone d'étude (Référence verticale : NM)

### 2.2 VENT

Deux bases de données sont utilisées pour caractériser le régime de vent de la zone : les données du NCEP (CFSR-CFSV2) et les données HYDRORUN.

#### 2.2.1 ANALYSE DU VENT CFSR

##### 2.2.1.1 Description de la base de données et sélection des points d'extraction

Les données CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) gérées par le NCEP (National Centers for Environmental Prediction) sont issues de la réanalyse d'un modèle global de haute résolution couplant atmosphère, terre, océan et glace. Les données assimilées lors de la réanalyse du modèle sont aussi bien issues de données d'archives que d'ensembles d'observations provenant de centres de recherche partout dans le monde. Plus d'informations sur ce sujet sont données dans le document [ 1 ].

La base de données CFSR donne accès à de nombreux paramètres météorologiques sur une vaste période temporelle, incluant notamment les caractéristiques du vent horaire à 10 m (composantes u et v en m/s).

Les données sont disponibles sur un pas de temps horaire de 1979 à 2010 et sur une grille de résolution spatiale régulière de 0.3°. En mars 2011, la résolution de la grille du modèle CFSR a été améliorée en une version 2.0 (CFSV2) dont la résolution est désormais de 0.2° pour les données de 2011 à nos jours.

Les séries temporelles des vents CFSR et CFSV2 sélectionnées sont extraites aux points les plus proches de la zone d'étude, voir Figure 2-3. Les données sont ensuite fusionnées pour réaliser une analyse sur l'ensemble de la période 1979-2018.

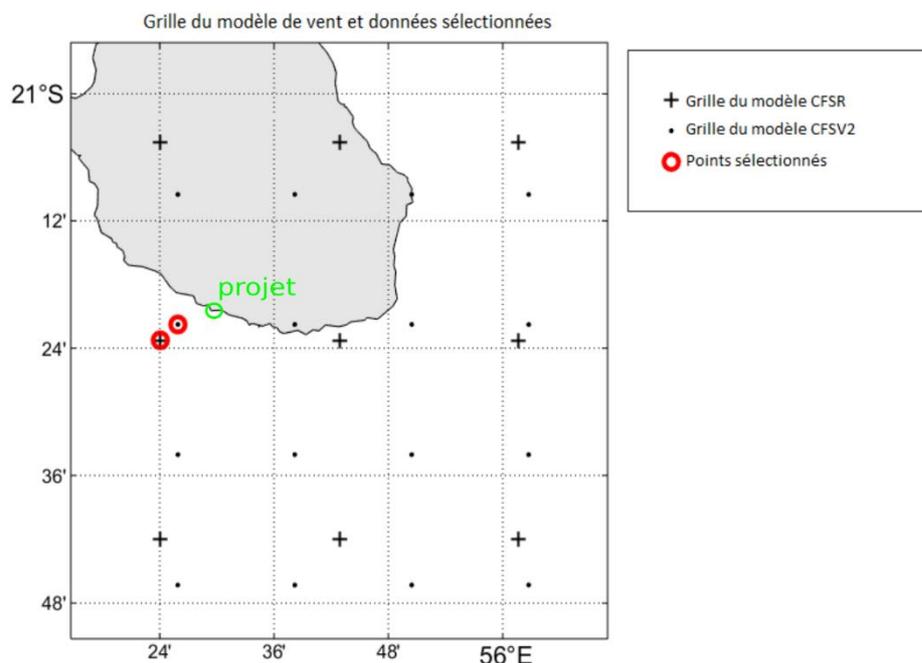


Figure 2-3: Localisation des points CFSR et CFSV2 sélectionnés

#### 2.2.1.2 Conditions générales du vent CFSSR

Les Figure 2-4 et Figure 2-5 présentent les caractéristiques générales du vent CFSSR proche de la zone d'étude entre 1979 et 2018. Les roses des vents mensuelles sont présentées dans les Figure 2-6 et Figure 2-7.

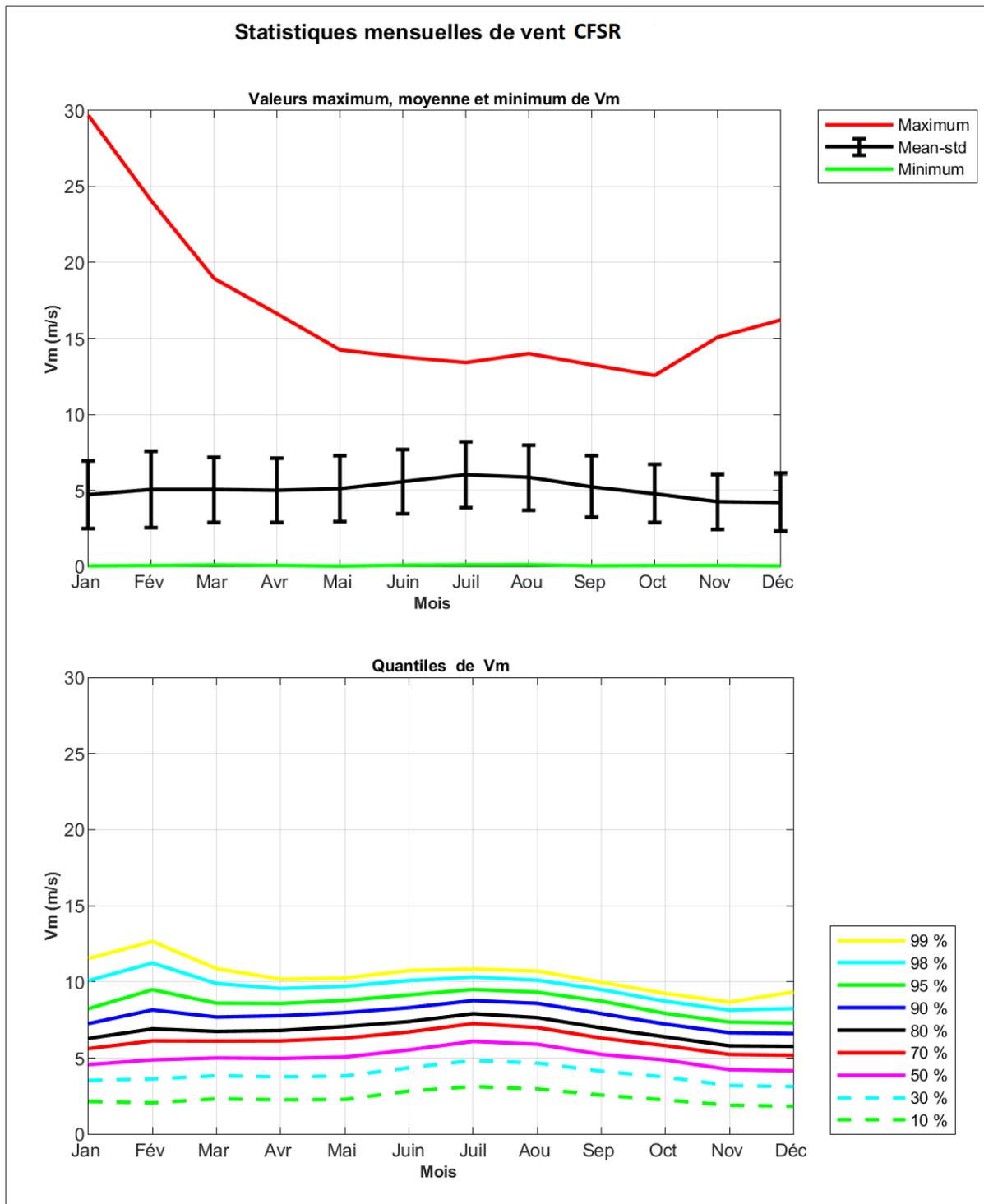
D'après ces données, la direction du vent se concentre presque entièrement entre les secteurs Nord-Est et Sud-Est avec la majorité des valeurs (>50%) entre les secteurs Est et Est-Sud-Est.

Cependant, les vitesses de vent les plus élevées sont situées entre les secteurs Ouest et Nord-Ouest (30 m/s maximum atteint début janvier 2014). Ces valeurs peuvent être expliquées par des épisodes cycloniques.

L'intensité moyenne du vent est de l'ordre de 5 m/s avec un écart type de l'ordre de 2 m/s.

On observe une faible variabilité saisonnière avec des directions très légèrement plus concentrées sur l'Est-Sud-Est de mai à août tandis que le vent souffle principalement de l'Est le reste de l'année. Les intensités moyennes augmentent légèrement à cette période également. En dehors de la valeur extrême atteinte en janvier 2014, les valeurs maximales sont autour de 15 m/s.





| Source de données: CFSR |                               |
|-------------------------|-------------------------------|
| <b>Position</b>         | <b>Couverture temporelle:</b> |
| Latitude: 21°23'S       | Date de début: 01/01/1979     |
| Longitude: 55°21'E      | Date de fin: 01/01/2019       |
|                         | Pas de temps: 1 heure         |



Figure 2-5: Statistiques mensuelles du vent (source : CFSR)

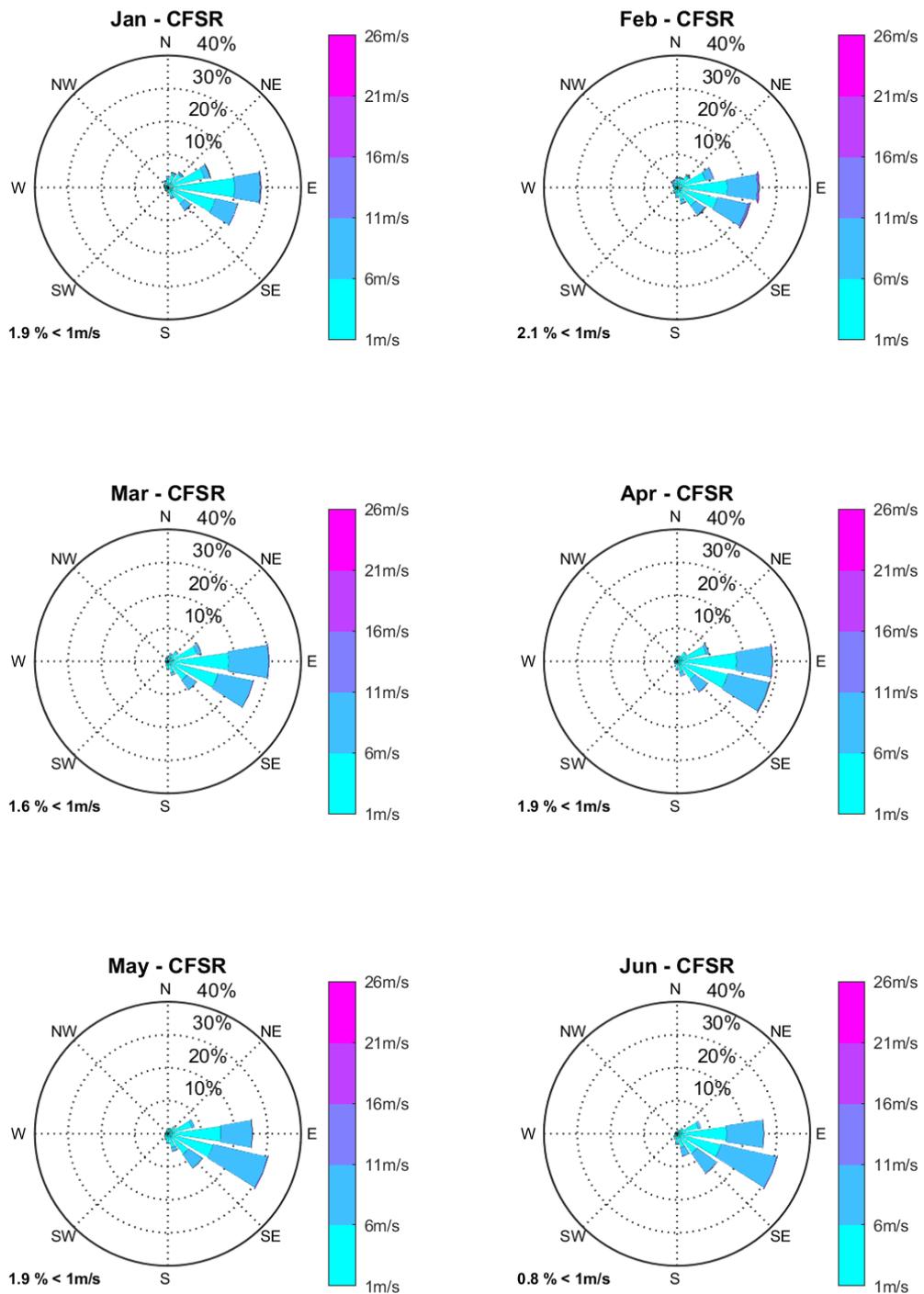


Figure 2-6: Roses des vents mensuelles de Janvier à Juin (source : CFSR)

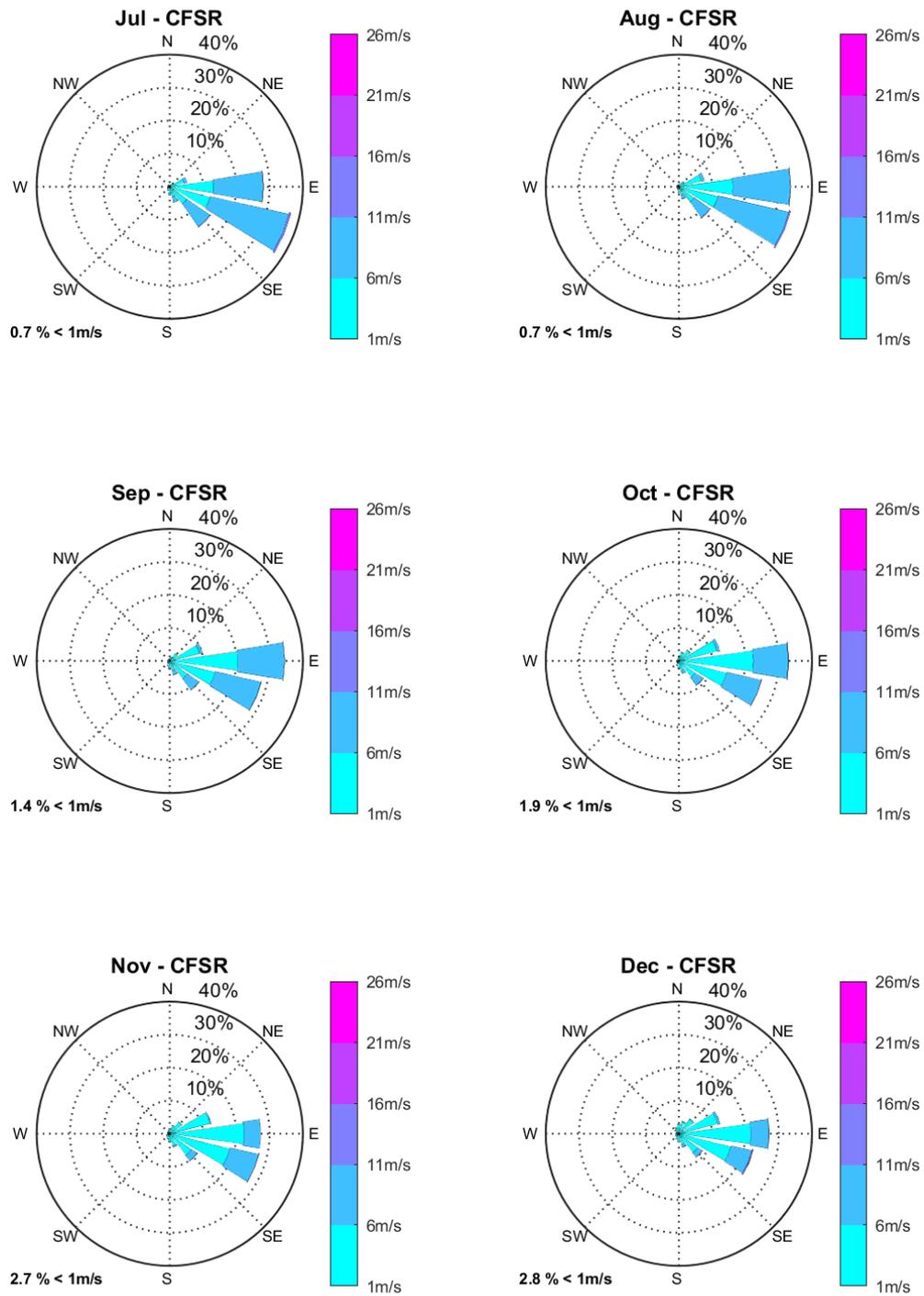


Figure 2-7: Roses des vents mensuelles de Juillet à Décembre (source : CFSR)

### 2.2.2 ANALYSE DU VENT HYDRORUN

#### 2.2.2.1 Présentation de la base de données HYDRORUN

Dans le cadre du projet Hydrorun piloté par l'Ifremer, Actimar a été chargée de la conception et de la validation d'une chaîne de modélisation hydrodynamique complète, capable de représenter les phénomènes à l'échelle de l'île de La Réunion, comme à l'échelle littorale sur tout son pourtour.

Actimar a notamment mis en place et validé un modèle atmosphérique haute résolution avec le code WRF sur une durée de 10 ans (2000-2009) et une grille régulière de 5 km. Le point (55.48°E / 21.35°S) a été extrait pour l'analyse des conditions de vent.

#### 2.2.2.2 Conditions générales du vent Hydrorun

La Figure 2-8 présente les statistiques générales du vent extrait de la base de données Hydrorun entre 2000 et 2009, au point sélectionné. Sur cette période temporelle, les conditions retrouvées sont cohérentes avec celles issues des données CFSR : une direction dominante Est-Sud-Est, une moyenne de l'ordre 6 m/s. Les valeurs les plus élevées sont également de l'ordre de 15 m/s, ce qui correspond aux valeurs de CFSR hors extrême de Janvier 2014.

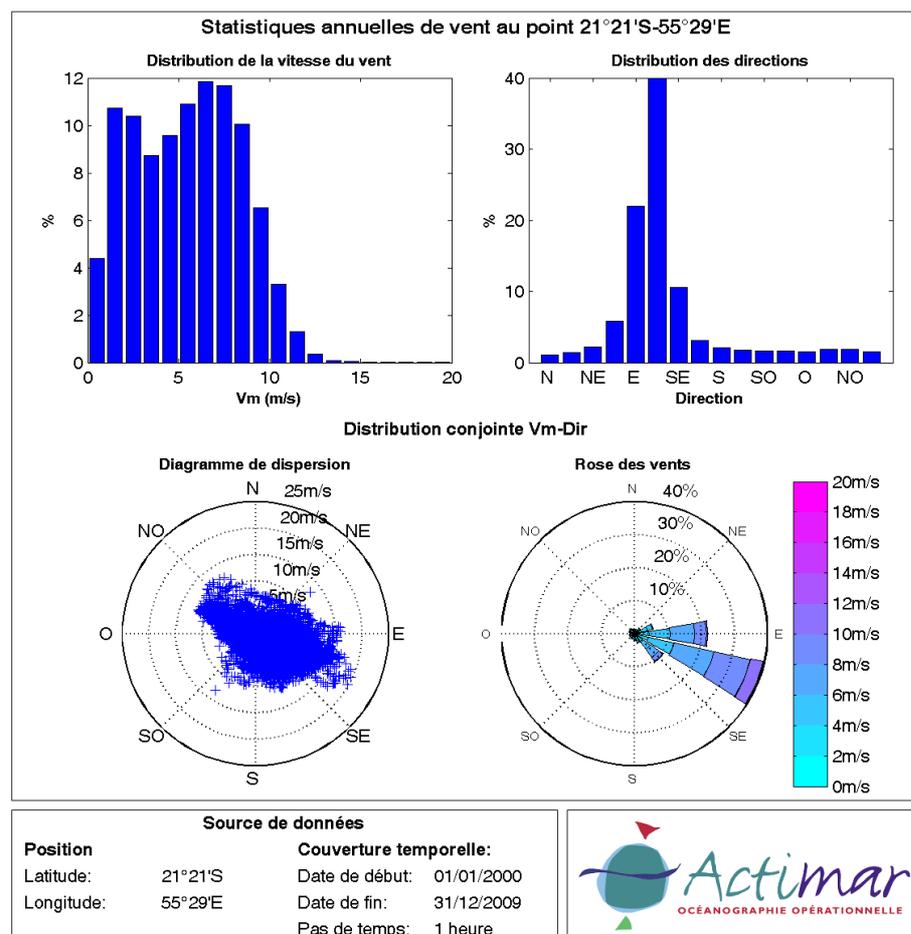


Figure 2-8: Statistiques annuelles du vent proche de la zone d'étude (source : Hydrorun)

### 2.2.3 SYNTHÈSE SUR LES CONDITIONS DE VENT

De manière générale, le vent dans la zone d'étude vient principalement **des secteurs Est et Est-Sud-Est** avec des **vitesse moyennes de 5 à 6 m/s** et un écart type de l'ordre de 2 m/s.

### 2.3 PROFILS VERTICAUX DE TEMPERATURE ET SALINITE

Pour caractériser la stratification thermohaline sur la zone d'étude, la climatologie GDEM est utilisée. Cette climatologie est mensuelle et disponible sur une grille mondiale de 0.25°.

La base GDEM a été élaborée à partir d'un ensemble de près de 8 millions de profils. Ces profils se répartissent sur l'ensemble du 20ème siècle, en nombre plus important à partir de 1940 (Ref [ 2 ]).

Le point le plus proche de la zone d'étude est 55.5°E 21.5°S (localisé sur la Figure 2-9), les profils sont présentés sur la Figure 2-10.

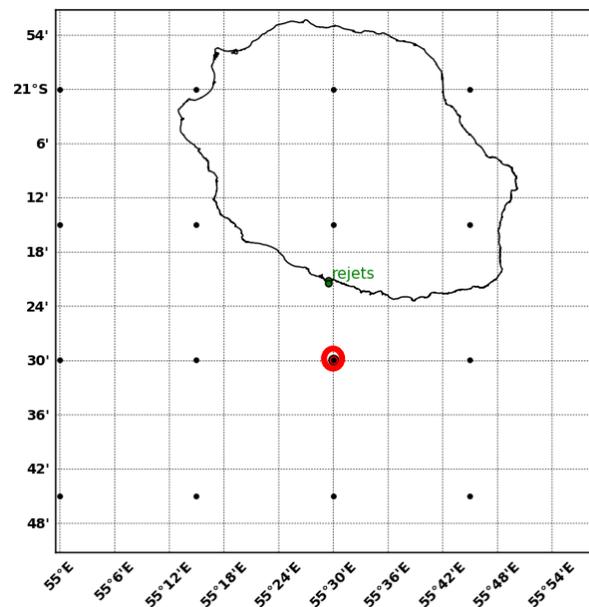


Figure 2-9: Localisation du point GDEM utilisé (les points noirs correspondent à la grille de la base GDEM et le point sélectionné est en rouge)

L'évolution des profils mensuels montre l'alternance saisonnière sur les profils de température entre l'été austral et l'hiver austral. Le réchauffement lié à l'été austral se fait sentir de décembre à juin, où la couche de surface est plus chaude (27°C) et où une stratification apparaît dans les 50 premiers mètres. De juillet à novembre, les couches de surface sont plus froides (<25°), avec une limite de stratification plus profonde.

On distingue ainsi :

- L'hiver austral : la colonne d'eau dans les 50 premiers mètres est homogène en température à ~23°C et la salinité est homogène autour de 35.2 PSU.
- L'été austral : la colonne d'eau est stratifiée en température à partir de 30 m de profondeur (~27°C au-dessus de 30 m), ~25°C à 50 m. La salinité montre une légère variation dans les 100 premiers mètres : ~35 PSU en surface et 35.2 PSU à 100 m.

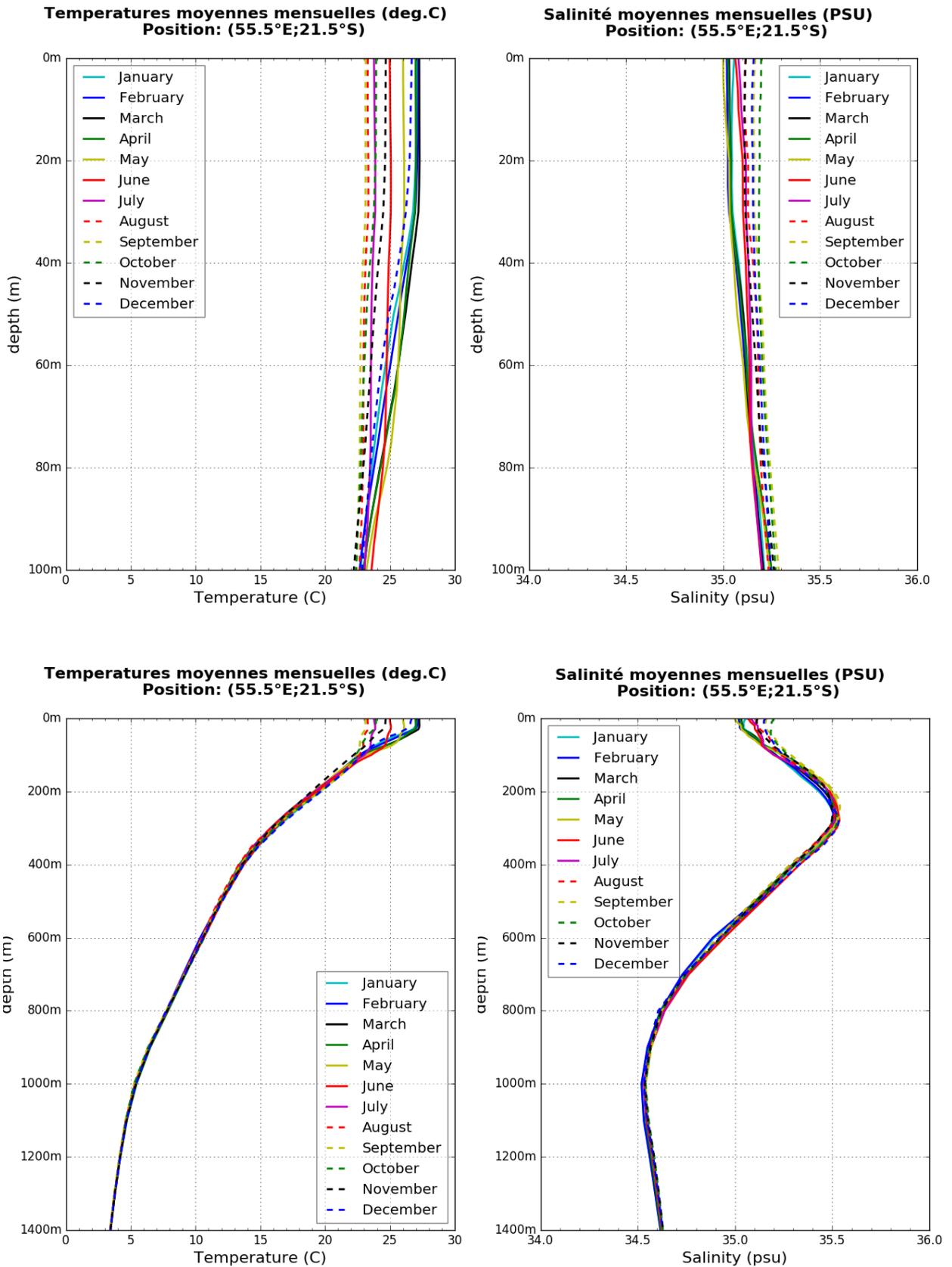


Figure 2-10: Profils mensuels de température et de salinité au point de coordonnées 55.5°E 21.5°S (dans les 100 premiers mètres en haut et jusqu'à 1400 m en bas)

## 2.4 MAREE

La marée à La Réunion est de type semi-diurne à inégalité diurne.

L'amplitude des marées y est relativement faible. A titre indicatif, les références altimétriques maritimes du SHOM (Ref. [ 3 ]) donnent les niveaux de référence (par rapport au Zéro Hydrographique) sur le site de Saint-Pierre : le niveau de marée astronomique y oscille entre 0.92 m/ZH (PHMA) et 0.02 m/ZH (PBMA), soit un marnage maximal de 90 cm. Le niveau moyen est de 0.51 m/ZH.

## 2.5 COURANT

La circulation océanique autour de l'île de La Réunion est complexe et influencée par de multiples facteurs dont la circulation générale, le vent et la stratification thermohaline.

A partir des études antérieures réalisées par ACTIMAR, et notamment l'étude HYDRORUN réalisée pour l'IFREMER (Ref [ 5 ][ 6 ]), les conditions sur la zone d'étude peuvent être synthétisées en :

- Un courant barotrope (moyenne sur la verticale) faible (variabilité de l'ordre de 10 à 20 cm/s) orienté parallèlement à la côte ;
- Un courant de surface parallèle à la côte orienté vers le Nord sous l'effet du vent de Sud-Est de l'ordre de quelques dizaines de cm/s avec une intensification de juin à août correspondant à l'augmentation moyenne des vents (voir les statistiques de vent au chapitre 2.2).

### 2.5.1 MESURES ADCP

Une seconde caractérisation des courants dans la zone d'étude est possible grâce à des mesures ADCP effectuées sur l'année 2014 au point 21.35667°S, 55.489833°E par environ 50 m de profondeur. Une première série de mesures couvre la période du 20/01 au 26/04 et une seconde du 07/08 au 15/09.

Les paramètres mesurés sont :

- Les composantes u et v de la vitesse du courant à 5, 9, 13, 14, 21, 25, 29, 33, 37 et 41m de profondeur (m/s)
- La hauteur d'eau (m)
- La température au fond (°C)

Une vue d'ensemble des mesures est donnée Figure 2-12.



Figure 2-11: Localisation de l'ADCP

Une différence de comportement de la température au fond est observée entre la première et la seconde période de mesures. En effet, sur la période de janvier à avril, la température au fond varie entre 25 et 29°C avec de fortes oscillations (jusqu'à 2°C) sur des périodes de temps très courtes, alors qu'entre août et septembre ces oscillations ne sont plus présentes. Des compléments de mesures et d'analyse seraient nécessaires pour comprendre le phénomène observé.

Par ailleurs, sur la mesure de la hauteur d'eau, des dérives apparaissent au cours du temps et peuvent provenir d'un déplacement de l'appareil de mesure au cours de la période de mesure (par exemple enfoncement du système dans le sol).

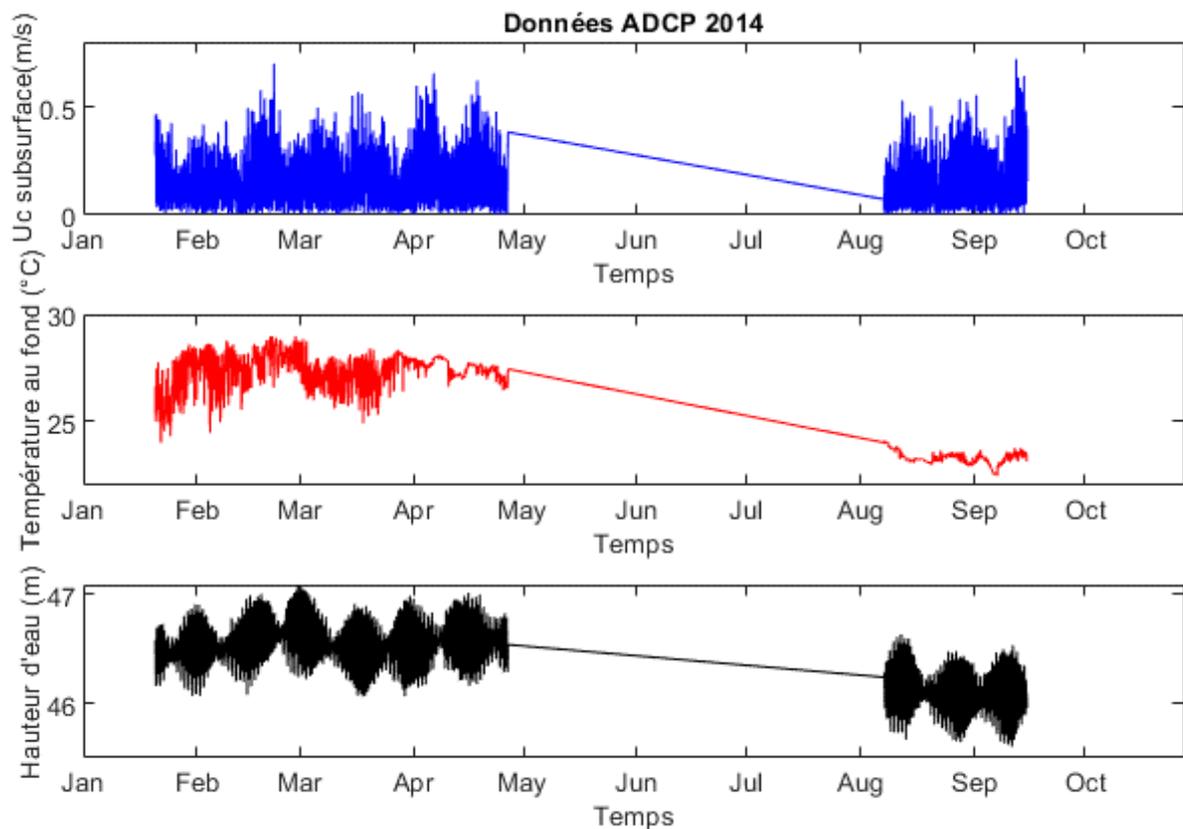


Figure 2-12: Séries temporelles en subsurface : intensité du courant (courbe bleue), température au fond (courbe rouge) et hauteur d'eau (courbe noire) (source : ADCP)

D'autre part, les mesures de vitesse de courant à la surface (5 m) se détachent également du reste des couches. En surface, les directions sont plus étalées entre les secteurs Nord-Ouest et Sud-Ouest (voir Figure 2-13) et certaines valeurs instantanées du courant de surface sont plus faibles qu'en subsurface (9 m). Ce comportement est visible sur le profil courant (Figure 2-14).

Les mesures de surface (5 m) sont également plus bruitées que les mesures de subsurface (9 m), c'est pourquoi, les analyses sont davantage détaillées pour la couche de subsurface dans le paragraphe suivant.

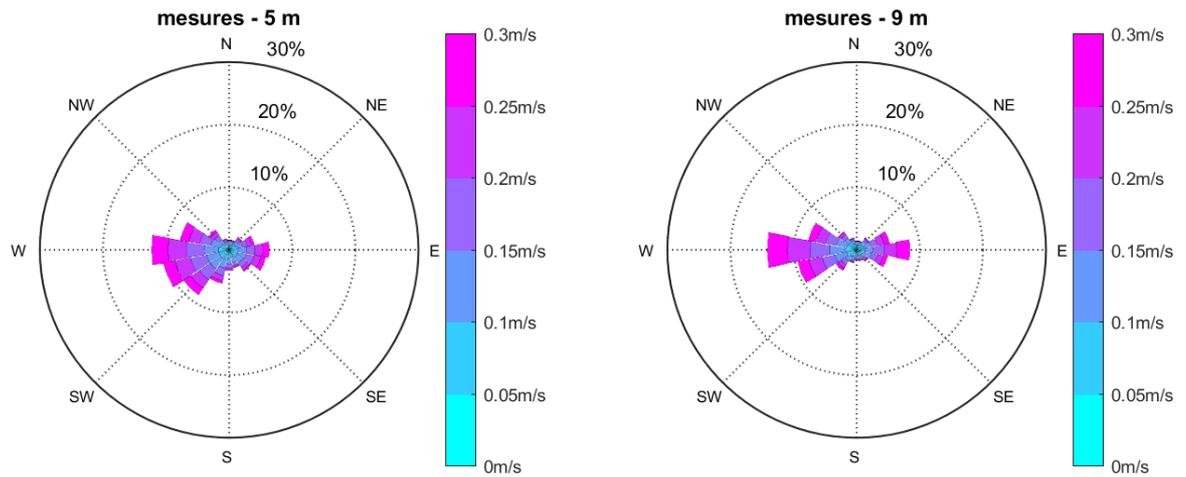


Figure 2-13: Comparaison des roses de courants à la surface et en subsurface (source : ADCP)

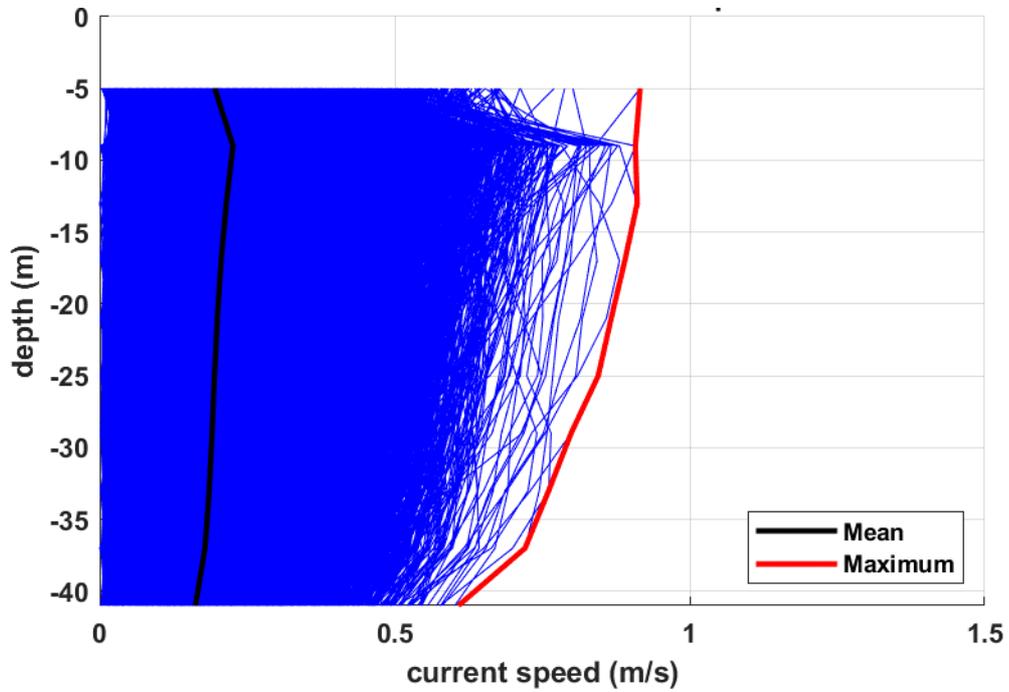


Figure 2-14: Profils de courant (source : ADCP)

2.5.2 ANALYSE DES MESURES DE COURANT

2.5.2.1 Conditions générales du courant

Les Figure 2-15 et Figure 2-16 présentent les conditions générales de courant en subsurface et au fond. Dans les deux cas, les directions dominantes sont vers l'Ouest et vers l'Est. Les vitesses varient en moyenne entre 0.2 et 0.16 m/s avec des maximums allant de 0.9 à 0.6 m/s entre la surface et le fond.

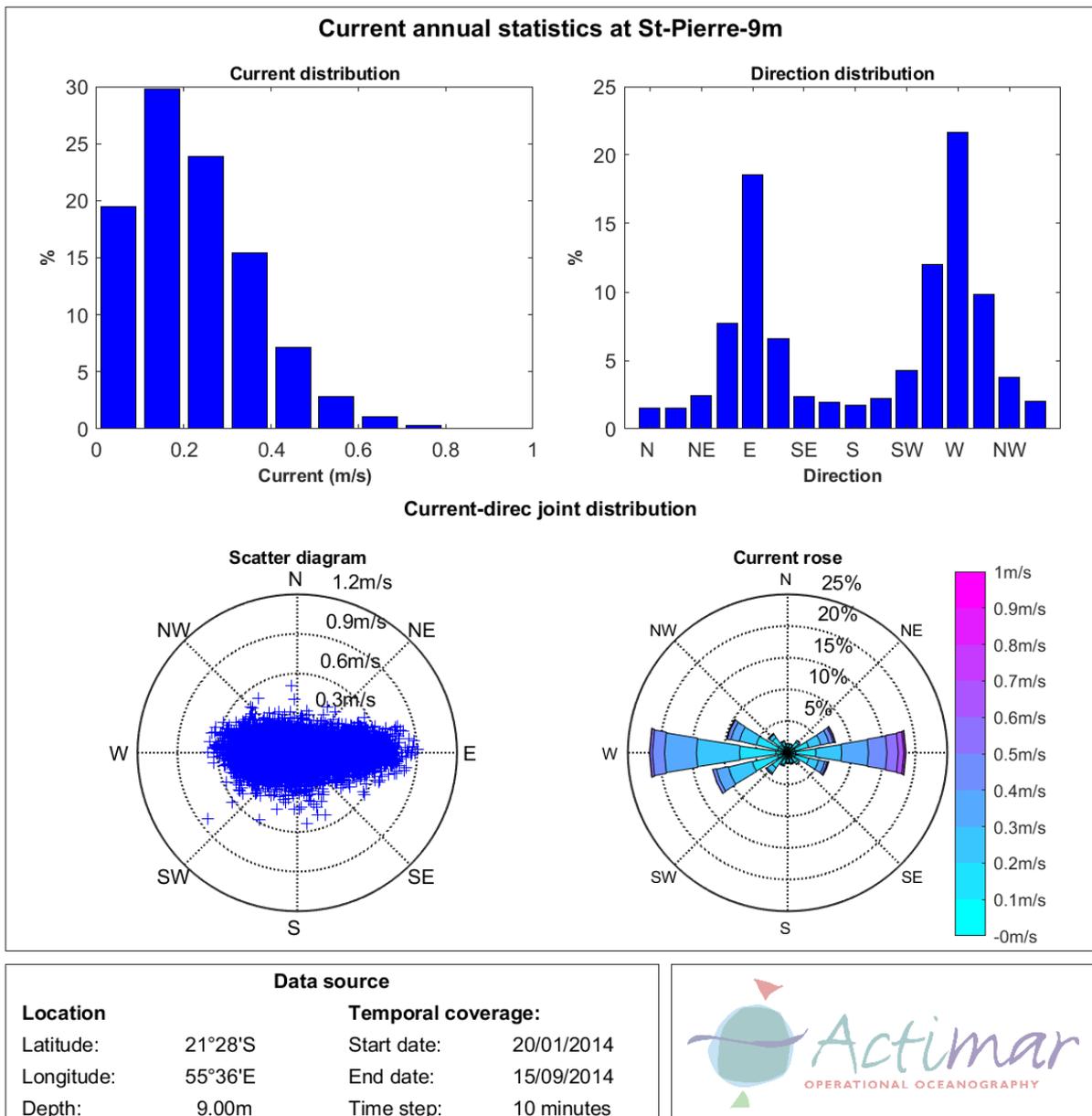


Figure 2-15 : Statistiques annuelles du courant à 9 m sous la surface (source : ADCP)

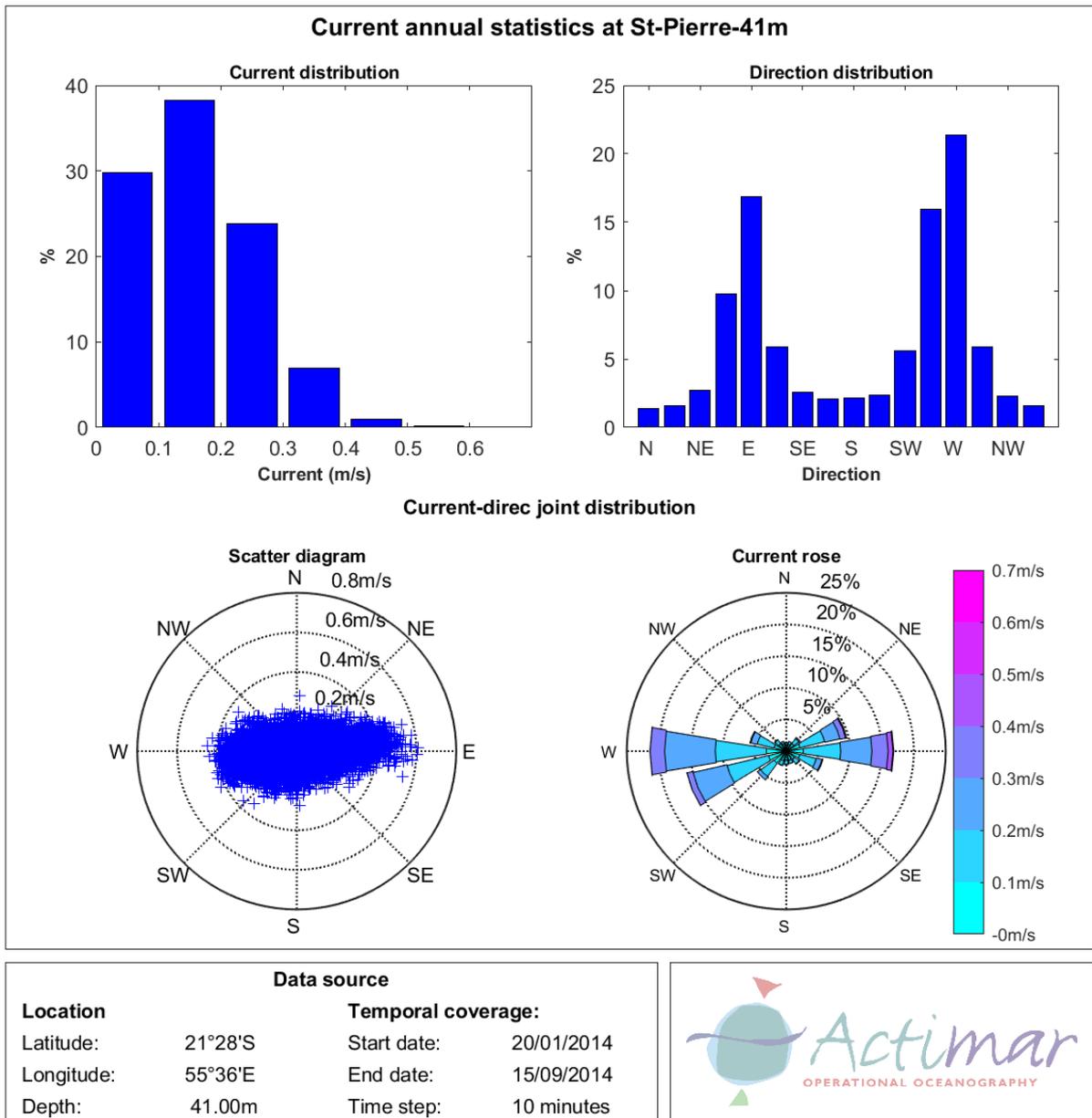


Figure 2-16: Statistiques annuelles du courant près du fond à 41 m sous la surface (source : ADCP)

2.5.2.2 Analyse du signal basse fréquence

Les courants mesurés ont été filtrés à l'aide du filtre Démerliac [ 4 ] qui élimine les hautes fréquences, en particulier les ondes de marée dont la période est inférieure à ou proche de 25 h.

Les Figure 2-17 et Figure 2-18 montrent l'intensité et la direction des courants obtenus en subsurface et au fond.

En surface, les courants résiduels sont dirigés principalement vers l'Ouest et de l'ordre de 5 cm/s en moyenne, pouvant aller jusqu'à 20 cm/s. Au fond, les courants résiduels sont plus faibles qu'en surface (3 cm/s en moyenne) et la direction dominante est l'Ouest-Sud-Ouest.

Les courants résiduels sont relativement faibles. On peut en déduire que la zone d'intérêt est peu impactée par la circulation régionale.

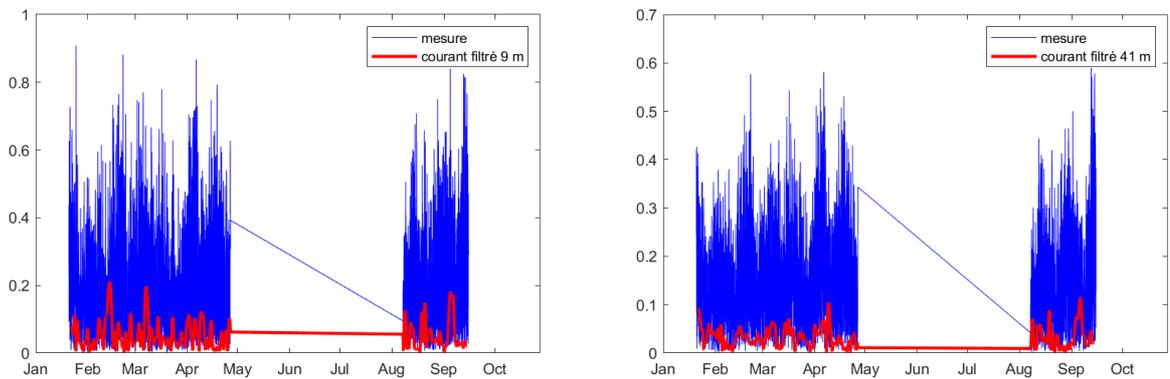


Figure 2-17: Intensité des courants mesurés (bleus) et des courants résiduels (rouge) en subsurface (figure de gauche) et au fond (figure de droite)

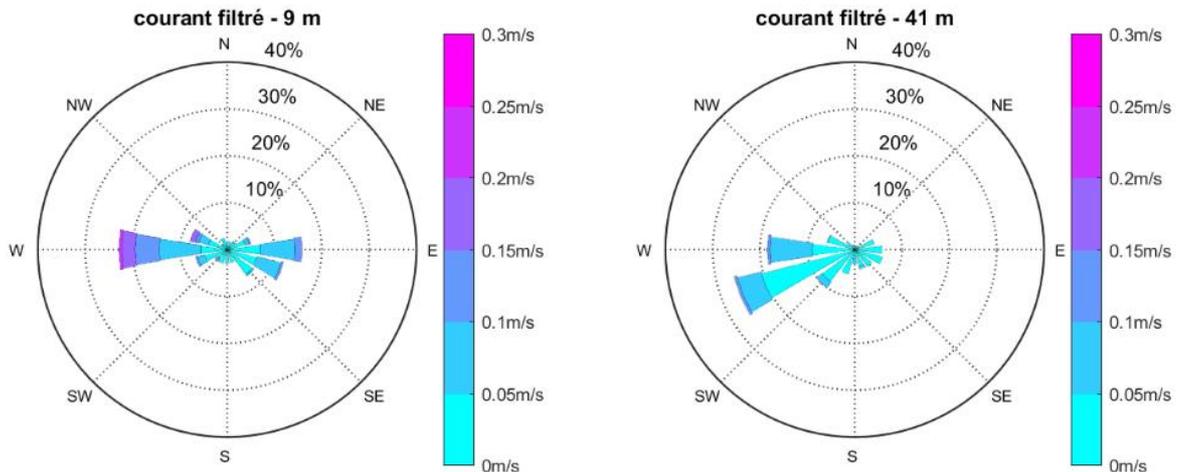


Figure 2-18: Roses des courants résiduels en subsurface (figure de gauche) et au fond (figure de droite)

#### 2.5.3 SYNTHÈSE DES CONDITIONS DE COURANTS

Les courants sont dominés par la marée avec une direction parallèle à la côte et une variabilité de quelques dizaines de cm/s.

Le courant résiduel est faible (5 cm/s en moyenne en surface) ce qui traduit une faible influence de la circulation régionale.

Le Tableau 2-1 résume les caractéristiques générales du courant à chaque profondeur. Les directions dominantes sont l'Ouest et l'Est avec des courants autour de 0.2 m/s en moyenne et pouvant aller au maximum jusqu'à 0.9 m/s en surface.

Tableau 2-1: Statistiques principales du courant dans la colonne d'eau

|          | Profondeur (m) | Moy  | Min | Max  | Std  | Direction principale |
|----------|----------------|------|-----|------|------|----------------------|
| Uc (m/s) | 5              | 0.20 | 0   | 0.92 | 0.11 | vers l'Ouest         |
|          | 9              | 0.23 | 0   | 0.91 | 0.14 | vers l'Ouest         |
|          | 13             | 0.22 | 0   | 0.91 | 0.13 | vers l'Ouest         |
|          | 17             | 0.21 | 0   | 0.89 | 0.13 | vers l'Ouest         |
|          | 21             | 0.20 | 0   | 0.87 | 0.13 | vers l'Ouest         |
|          | 25             | 0.20 | 0   | 0.85 | 0.12 | vers l'Ouest         |
|          | 29             | 0.19 | 0   | 0.80 | 0.12 | vers l'Ouest         |
|          | 33             | 0.19 | 0   | 0.76 | 0.11 | vers l'Ouest         |
|          | 37             | 0.18 | 0   | 0.72 | 0.11 | vers l'Ouest         |
|          | 41             | 0.16 | 0   | 0.61 | 0.09 | vers l'Ouest         |

## 2.6 REJET DU PROJET SWAC

Plusieurs possibilités de rejets sont à étudier pour déterminer la meilleure option vis-à-vis des impacts engendrés.

Trois profondeurs de rejet sont envisagées : un rejet immédiatement après la sortie du micro tunnel à 25 m de profondeur, un rejet plus profond à 50 m de profondeur et un rejet à 60 m de profondeur.

La figure suivante montre la position du rejet à 25 m donnée par BARDOT OCEAN et les positions des rejets à 50 et 60 m déduites de cette position en prenant les points à 50 et 60 m de profondeur sur une radiale Nord-Sud.



Figure 2-19: Localisation des rejets à 25, 50 et 60 m de profondeur

Les caractéristiques de rejet à étudier sont entre les situations suivantes :

- Situation de débit faible : débit 481 m<sup>3</sup>/h, diamètre intérieur de l'émissaire : 767.6 mm
- Situation de débit fort : débit 1155 m<sup>3</sup>/h, diamètre intérieur de l'émissaire : 605.6 mm

Il n'y a pas de diffuseur à l'extrémité de l'émissaire et le rejet est effectué dans l'axe du tuyau, sans angle avec le fond.

La température de l'eau en sortie du système est considérée égale à 11.5 °C d'après les informations transmises par BARDOT OCEAN.

On considère que le système SWAC ne modifie pas la salinité de l'eau, celle-ci est donc considérée égale à la salinité à ~1000 m de profondeur, soit 34.6 PSU d'après les données GDEM et les données disponibles (Ref.[ 8 ]).

Les autres caractéristiques des eaux rejetées concernent les éléments nutritifs, la présence potentielle de substances rares, et les matières en suspensions (MES). Les données disponibles sur l'eau profonde (Ref.[ 8 ]) indiquent :

- Eléments nutritifs :
  - Phosphore total : maximum des prélèvements 0.13 mg/L
  - Azote total : maximum des prélèvements 1.27 mg/L
  - Nitrate : maximum des prélèvements 32.4µM
  - Phosphate : maximum des prélèvements 2.42 µM

- Présence potentielle de substances rares : aucune contamination relevée dans les prélèvements
- MES : les valeurs sont inférieures à 0.22 mg/L et les valeurs de turbidité sont proches ou égales à la limite de détection.

Etant donné qu'il n'y a pas de présence de substances rares détectée et que le niveau de MES est très faible, ces paramètres ne seront pas considérés dans l'analyse du rejet.

## **3. ANALYSE DU CHAMP PROCHE**

Le champ proche au sens hydrodynamique du terme correspond à un écoulement dominé par la dynamique propre du panache. C'est-à-dire que les vitesses et la turbulence induites en sortie d'émissaire sont supérieures au courant ambiant. En sortie de champ proche, l'effluent est soumis au courant ambiant et devient « passif ». CORMIX est le logiciel de référence pour l'étude du champ proche.

Sous réserve d'une schématisation de l'environnement (laquelle requiert une analyse de l'environnement et des conditions de rejet), Cormix donne les caractéristiques principales de l'écoulement de champ proche, notamment le taux de dilution en fonction de la distance au rejet.

### **3.1 HYPOTHESES DE CALCUL**

Les hypothèses de calcul concernent les conditions du rejet et les conditions ambiantes.

#### **3.1.1 CARACTERISTIQUES DU REJET**

Les caractéristiques nécessaires à la modélisation concernent : le débit, la géométrie du rejet et sa densité. Les rejets sont étudiés avec les caractéristiques suivantes en utilisant le débit le plus faible (481 m<sup>3</sup>/h) et le plus fort (1155 m<sup>3</sup>/h) pour analyser la gamme de valeurs possibles :

| Conditions de rejet n° | Profondeur | Débit (m <sup>3</sup> /h) | Diamètre (mm) | Géométrie                             | Température (°C) | Salinité (PSU) |
|------------------------|------------|---------------------------|---------------|---------------------------------------|------------------|----------------|
| 1                      | 25         | 481                       | 767.6         | Port-simple, pas d'angle avec le fond | 11.5             | 34.6           |
| 2                      |            | 1155                      | 605.6         |                                       |                  |                |
| 3                      | 50         | 481                       | 767.6         |                                       |                  |                |
| 4                      |            | 1155                      | 605.6         |                                       |                  |                |
| 5                      | 60         | 481                       | 767.6         |                                       |                  |                |
| 6                      |            | 1155                      | 605.6         |                                       |                  |                |

#### **3.1.2 SCHEMATISATION DU MILIEU AMBIANT DANS CORMIX**

L'objectif de la schématisation est de définir des conditions typiques représentatives pour étudier la dispersion du rejet.

Les caractéristiques nécessaires à la modélisation concernent : la géométrie du milieu récepteur (profondeur moyenne, distance à la côte), le courant et la stratification thermohaline.

Le milieu récepteur est considéré comme un milieu ouvert sans frontière latérale. Le fond est représenté par la profondeur au point de rejet et la pente locale (à partir des données bathymétriques disponibles, voir figure suivante). Trois conditions sont envisagées :

- Rejet à 25 m de profondeur, pente locale ~7.5%
- Rejet à 50 m de profondeur, pente locale ~2.1%
- Rejet à 60 m de profondeur, pente locale ~2.2%

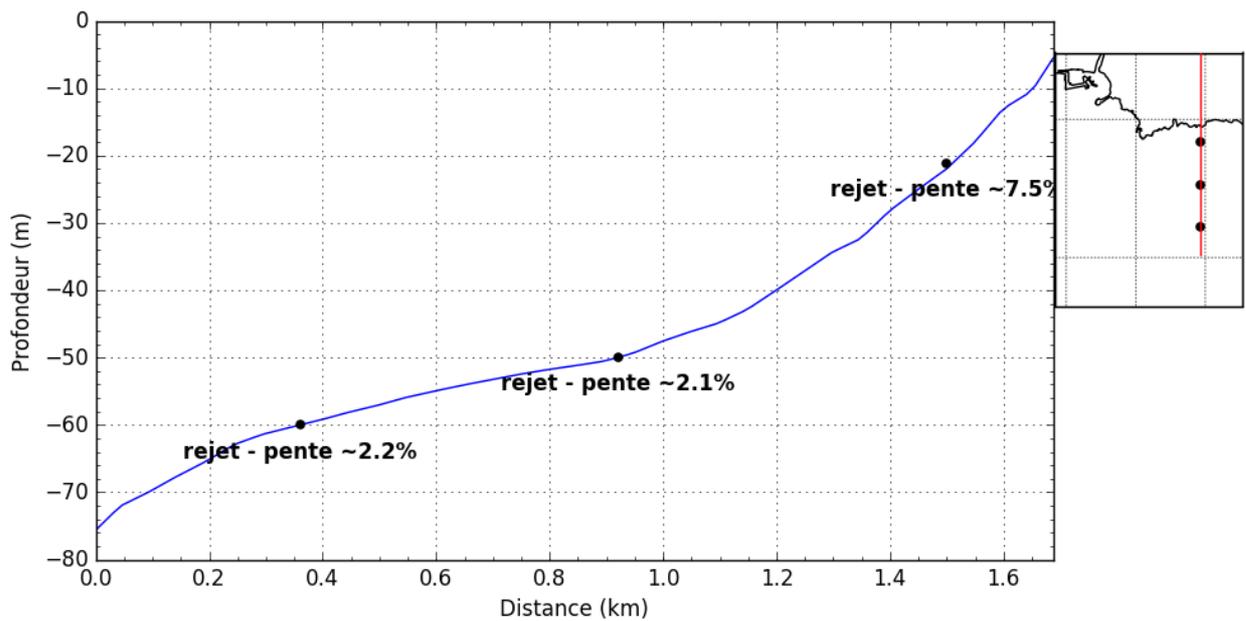


Figure 3-1: Visualisation de la profondeur le long d'une ligne passant par les rejet positionnés (rejet à ~25 m, ~50 m et ~60 m)

Cormix nécessite d'évaluer les conditions de courant (homogènes sur la verticale) représentatives de la zone de rejet.

A partir des données disponibles, le courant est schématisé par un courant parallèle à la côte, orienté globalement perpendiculairement à l'émissaire comme sur le schéma suivant, avec une intensité de 10 à 30 cm/s pour balayer l'ensemble des conditions représentatives de la zone pour le courant proche du fond.

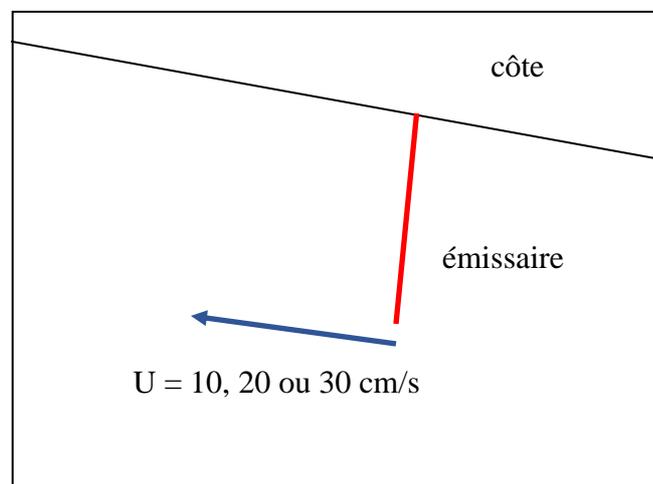


Figure 3-2: Schématisation du courant pour l'étude du champ proche

Concernant la stratification thermohaline, à partir des profils GDEM présentés précédemment, deux conditions sont retenues :

- Hiver austral : conditions de température et salinité homogènes dans les 50 premiers mètres
- Été austral : stratification du milieu à partir de 30 m de profondeur

### 3.2 RESULTATS

La densité du rejet est supérieure à celle du milieu ambiant, la flottabilité de l'effluent est donc négative.

Le jet est horizontal, l'effluent reste alors bloqué sur le fond et se mélange au milieu ambiant sous l'action de la vitesse de l'écoulement en sortie de l'émissaire.

Etant donné les débits et diamètres envisagés, les vitesses d'écoulement en sortie d'émissaire sont de :

- 0.29 m/s pour le cas du débit de 481 m<sup>3</sup>/h et du diamètre intérieur de l'émissaire de 767.6 mm
- 1.11 m/s pour le cas du débit de 1155 m<sup>3</sup>/h et du diamètre intérieur de l'émissaire de 605.6 mm

La vitesse de 0.29 m/s est relativement faible et du même ordre de grandeur que le courant ambiant, c'est pourquoi le champ proche est très limité voire inexistant dans ce cas de figure.

Les résultats sont présentés pour chaque hypothèse de débit à l'aide des Tableau 3-1 et Tableau 3-2.

Tableau 3-1: Synthèse sur les caractéristiques du champ proche pour un rejet horizontal et le cas débit 481 m<sup>3</sup>/h, diamètre 767.6 mm

| Profondeur du rejet (m) | Profil de densité ambiant | Courant ambiant (m/s) | Limite du champ proche (distance au point de rejet) (m) dans l'axe du courant ambiant | Limite du champ proche (distance au point de rejet) (m) dans l'axe de l'émissaire | Dilution à l'issue du champ proche | Position verticale du panache à l'issue du champ proche (m/fond) | Epaisseur du panache à l'issue du champ proche (m) | Largeur du panache à l'issue du champ proche (m) |
|-------------------------|---------------------------|-----------------------|---|---|------------------------------------|--|--|--|
| 25                      | Homogène                  | 0.1                   | 1   | 3   | 2                                  | fond   | 1.1  | 1.1  |
|                         |                           | 0.2                   |   |   |                                    |  |  |  |
|                         |                           | 0.3                   |   |   |                                    |  |  |  |
|                         | Stratifié à 30 m          | 0.1                   | 1   | 3   | 2                                  | fond   | 1.1  | 1.1  |
|                         |                           | 0.2                   |   |   |                                    |  |  |  |
|                         |                           | 0.3                   |   |   |                                    |  |  |  |
| 50                      | Homogène                  | 0.1                   | 1   | 2   | 2                                  | fond   | 1.1  | 1.1  |
|                         |                           | 0.2                   |   |   |                                    |  |  |  |
|                         |                           | 0.3                   |   |   |                                    |  |  |  |
|                         | Stratifié à 30 m          | 0.1                   | 1   | 2   | 2                                  | fond   | 1.1  | 1.1  |
|                         |                           | 0.2                   |   |   |                                    |  |  |  |
|                         |                           | 0.3                   |   |   |                                    |  |  |  |
| 60                      | Homogène                  | 0.1                   | 1   | 2   | 2                                  | fond   | 1.1  | 1.1  |
|                         |                           | 0.2                   |   |   |                                    |  |  |  |
|                         |                           | 0.3                   |   |   |                                    |  |  |  |
|                         | Stratifié à 30 m          | 0.1                   | 1   | 2   | 2                                  | fond   | 1.1  | 1.1  |
|                         |                           | 0.2                   |   |   |                                    |  |  |  |
|                         |                           | 0.3                   |   |   |                                    |  |  |  |

En gris, les cas où CORMIX indique qu'il n'y a pas de champ proche en raison de la vitesse faible de l'écoulement en sortie d'émissaire. Dans ce cas, la dilution est de 1 (pas de mélange).

Pour ce débit, le champ proche est très limité voire inexistant en raison de la faible vitesse d'écoulement en sortie d'émissaire.

Tableau 3-2: Synthèse sur les caractéristiques du champ proche pour un rejet horizontal et le cas débit 1155 m<sup>3</sup>/h, diamètre 605.6 mm

| Profondeur du rejet (m) | Profil de densité ambiant | Courant ambiant (m/s) | Limite du champ proche (distance au point de rejet) (m) dans l'axe du courant ambiant | Limite du champ proche (distance au point de rejet) (m) dans l'axe de l'émissaire | Dilution à l'issue du champ proche | Position verticale du panache à l'issue du champ proche (m/fond) | Epaisseur du panache à l'issue du champ proche (m) | Largeur du panache à l'issue du champ proche (m) |
|-------------------------|---------------------------|-----------------------|---|---|------------------------------------|--|--|--|
| 25                      | Homogène                  | 0.1                   | 15  | 16  | 14                                 | fond   | 4.8  | 4.8  |
|                         |                           | 0.2                   | 8   | 8   | 8                                  | fond   | 2.6  | 2.6  |
|                         |                           | 0.3                   | 6   | 5   | 6                                  | fond   | 1.8  | 1.8  |
|                         | Stratifié à 30 m          | 0.1                   | 15  | 16  | 14                                 | fond   | 4.8  | 4.8  |
|                         |                           | 0.2                   | 8   | 8   | 8                                  | fond   | 2.6  | 2.6  |
|                         |                           | 0.3                   | 6   | 5   | 6                                  | fond   | 1.8  | 1.8  |
| 50                      | Homogène                  | 0.1                   | 14  | 16  | 14                                 | fond   | 4.8  | 4.8  |
|                         |                           | 0.2                   | 8   | 8   | 8                                  | fond   | 2.6  | 2.6  |
|                         |                           | 0.3                   | 6   | 5   | 6                                  | fond   | 1.8  | 1.8  |
|                         | Stratifié à 30 m          | 0.1                   | 14  | 16  | 14                                 | fond   | 4.8  | 4.8  |
|                         |                           | 0.2                   | 8   | 8   | 8                                  | fond   | 2.6  | 2.6  |
|                         |                           | 0.3                   | 6   | 5   | 6                                  | fond   | 1.8  | 1.8  |
| 60                      | Homogène                  | 0.1                   | 14  | 16  | 14                                 | fond   | 4.8  | 4.8  |
|                         |                           | 0.2                   | 8   | 8   | 8                                  | fond   | 2.6  | 2.6  |
|                         |                           | 0.3                   | 6   | 5   | 6                                  | fond   | 1.8  | 1.8  |
|                         | Stratifié à 30 m          | 0.1                   | 15  | 16  | 14                                 | fond   | 4.8  | 4.8  |
|                         |                           | 0.2                   | 8   | 8   | 8                                  | fond   | 2.6  | 2.6  |
|                         |                           | 0.3                   | 6   | 5   | 6                                  | fond   | 1.8  | 1.8  |

Pour ce débit, le champ proche reste limité à quelques mètres et les dilutions atteintes en frontière du champ proche restent donc inférieures à 20. Le panache reste collé au fond et se développe sur 2 à 5 m d'épaisseur en fonction du courant ambiant. Plus le courant ambiant est fort, plus le champ proche est restreint car le mélange se fait plus rapidement.

Les dimensions du champ proche sont trop faibles pour que la stratification ambiante ait un effet significatif à ce niveau.

Comme l'effluent reste collé au fond en raison de sa flottabilité négative vis-à-vis du milieu ambiant, il peut être intéressant d'orienter différemment l'extrémité de l'émissaire. C'est pourquoi le cas d'un rejet orienté verticalement a été simulé pour évaluer la sensibilité à ce paramètre.

Dans cette configuration, le champ proche se décompose en 3 phases :

- Le jet va tout d'abord s'élever dans la colonne d'eau sous l'action de la vitesse d'écoulement en sortie d'émissaire.
- Il atteint une hauteur maximale où l'effet de sa densité devient dominant par rapport à la vitesse du jet. Il retombe alors sous l'effet de sa densité plus forte que le milieu ambiant jusqu'à atteindre le fond.
- Il impacte le fond et s'étale sous l'effet du courant de densité

La figure suivante schématise ces 3 phases :

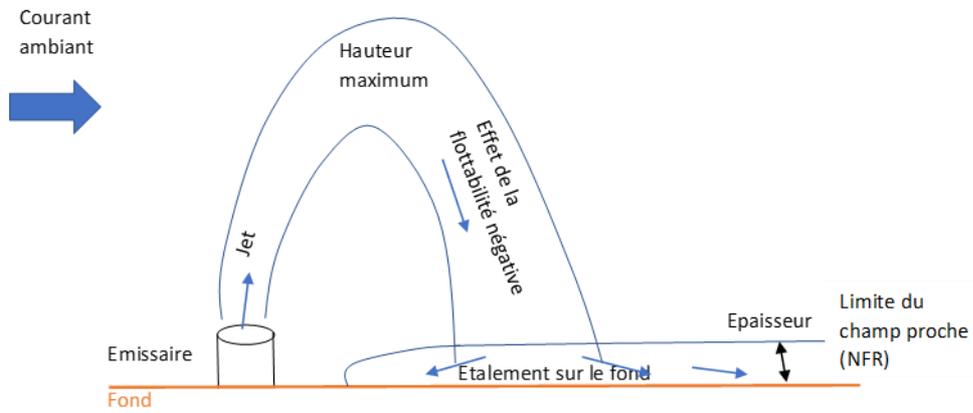


Figure 3-3: Schématisation des différentes phases du champ proche pour le cas d'un rejet orienté verticalement et d'un effluent à densité plus forte que le milieu ambiant

Les résultats sont présentés pour chaque hypothèse de débit à l'aide des Tableau 3-3 et

Tableau 3-4.

Tableau 3-3: Synthèse sur les caractéristiques du champ proche pour un rejet vertical et le cas débit 481 m<sup>3</sup>/h, diamètre 767.6 mm

| Profondeur du rejet (m) | Profil de densité ambiant | Courant ambiant (m/s) | Hauteur maximale atteinte (m au-dessus du fond) | Limite du champ proche (distance au point de rejet) (m) dans l'axe du courant ambiant | Limite du champ proche (distance au point de rejet) (m) dans l'axe de l'émissaire | Dilution à l'issue du champ proche | Position verticale du panache à l'issue du champ proche (m/fond) | Épaisseur du panache à l'issue du champ proche (m) | Largeur du panache à l'issue du champ proche (m) |
|-------------------------|---------------------------|-----------------------|---|---|---|------------------------------------|--|--|--|
| 25                      | Homogène                  | 0.1                   | 1.3   | 5   | 0   | 4                                  | fond   | 0.4  | 5.9  |
|                         |                           | 0.2                   | 1.0   | 4   | 0   | 5                                  | fond   | 1.0  | 1.7  |
|                         |                           | 0.3                   |   |   |   |                                    |  |  |  |
|                         | Stratifié à 30 m          | 0.1                   | 1.0   | 4   | 0   | 3                                  | fond   | 0.3  | 7.1  |
|                         |                           | 0.2                   | 0.9   | 3   | 0   | 4                                  | fond   | 0.7  | 1.9  |
|                         |                           | 0.3                   |   |   |   |                                    |  |  |  |
| 50                      | Homogène                  | 0.1                   | 1.3   | 5   | 0   | 4                                  | fond   | 0.3  | 7.2  |
|                         |                           | 0.2                   | 1.0   | 4   | 0   | 5                                  | fond   | 0.9  | 1.9  |
|                         |                           | 0.3                   |   |   |   |                                    |  |  |  |
|                         | Stratifié à 30 m          | 0.1                   | 0.9   | 5   | 0   | 3                                  | fond   | 0.2  | 8.5  |
|                         |                           | 0.2                   | 0.9   | 3   | 0   | 4                                  | fond   | 0.6  | 2.3  |
|                         |                           | 0.3                   |   |   |   |                                    |  |  |  |
| 60                      | Homogène                  | 0.1                   | 1.3   | 5   | 0   | 4                                  | fond   | 0.3  | 7.7  |
|                         |                           | 0.2                   | 1.0   | 4   | 0   | 5                                  | fond   | 0.9  | 2.0  |
|                         |                           | 0.3                   |   |   |   |                                    |  |  |  |
|                         | Stratifié à 30 m          | 0.1                   | 1.1   | 5   | 0   | 3                                  | fond   | 0.2  | 8.7  |
|                         |                           | 0.2                   | 0.9   | 3   | 0   | 4                                  | fond   | 0.6  | 2.3  |
|                         |                           | 0.3                   |   |   |   |                                    |  |  |  |

Tableau 3-4: Synthèse sur les caractéristiques du champ proche pour un rejet vertical et le cas débit 1155 m<sup>3</sup>/h, diamètre 605.6 mm

| Profondeur du rejet (m) | Profil de densité ambiant | Courant ambiant (m/s) | Hauteur maximale atteinte (m au-dessus du fond) | Limite du champ proche (distance au point de rejet) (m) dans l'axe du courant ambiant | Limite du champ proche (distance au point de rejet) (m) dans l'axe de l'émissaire | Dilution à l'issue du champ proche | Position verticale du panache à l'issue du champ proche (m/fond) | Épaisseur du panache à l'issue du champ proche (m) | Largeur du panache à l'issue du champ proche (m) |
|-------------------------|---------------------------|-----------------------|---|---|---|------------------------------------|--|--|--|
| 25                      | Homogène                  | 0.1                   | 9.0   | 24  | 0   | 25                                 | fond   | 2.2  | 18.5   |
|                         |                           | 0.2                   | 6.3   | 30  | 0   | 31                                 | fond   | 5.0  | 5.0  |
|                         |                           | 0.3                   | 4.3   | 32  | 0   | 26                                 | fond   | 3.7  | 3.7  |
|                         | Stratifié à 30 m          | 0.1                   | 7.6   | 20  | 0   | 17                                 | fond   | 1.2  | 22.2   |
|                         |                           | 0.2                   | 5.5   | 20  | 0   | 23                                 | fond   | 2.4  | 7.6  |
|                         |                           | 0.3                   | 3.8   | 22  | 0   | 20                                 | fond   | 3.3  | 3.3  |
| 50                      | Homogène                  | 0.1                   | 9.1   | 26  | 0   | 25                                 | fond   | 1.8  | 22.8   |
|                         |                           | 0.2                   | 6.3   | 30  | 0   | 31                                 | fond   | 5.0  | 5.0  |
|                         |                           | 0.3                   | 4.3   | 32  | 0   | 26                                 | fond   | 3.7  | 3.7  |
|                         | Stratifié à 30 m          | 0.1                   | 7.7   | 22  | 0   | 17                                 | fond   | 1.1  | 25.6   |
|                         |                           | 0.2                   | 5.6   | 20  | 0   | 23                                 | fond   | 2.5  | 7.5  |
|                         |                           | 0.3                   | 3.8   | 22  | 0   | 20                                 | fond   | 3.3  | 3.3  |
| 60                      | Homogène                  | 0.1                   | 9.0   | 27  | 0   | 25                                 | fond   | 1.7  | 24.2   |
|                         |                           | 0.2                   | 6.3   | 30  | 0   | 31                                 | fond   | 5.0  | 5.0  |
|                         |                           | 0.3                   | 4.3   | 32  | 0   | 26                                 | fond   | 3.7  | 3.7  |
|                         | Stratifié à 30 m          | 0.1                   | 7.7   | 23  | 0   | 17                                 | fond   | 1.1  | 26.1   |
|                         |                           | 0.2                   | 5.6   | 21  | 0   | 24                                 | fond   | 2.6  | 7.4  |
|                         |                           | 0.3                   | 3.9   | 23  | 0   | 21                                 | fond   | 3.3  | 3.3  |

### 3.3 SYNTHÈSE

L'étude de champ proche menée à l'aide du logiciel CORMIX montre que :

- **Pour un débit de 481 m<sup>3</sup>/h** et un diamètre intérieur de l'émissaire de 767.6 mm, la vitesse d'écoulement en sortie d'émissaire est faible et le champ proche est donc quasi inexistant. La stratification ambiante et la profondeur du rejet n'ont pas d'influence à ce stade de l'écoulement. L'utilisation d'une orientation verticale du rejet permet d'obtenir une légère dilution dans le champ proche pour les courants ambiants les plus faibles.
- **Pour un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h** et un diamètre intérieur de l'émissaire de 605.6 mm :
  - **Pour un rejet horizontal**, le champ proche reste dans un rayon de **20 m autour du rejet** avec une **épaisseur et une largeur entre 2 et 5 m** suivant le courant ambiant. Le panache reste collé au fond. La profondeur du rejet et la stratification ambiante n'ont pas d'influence à ce stade de l'écoulement.
  - **Pour un rejet vertical**, le champ proche s'étale dans un rayon de **20 à 35 m autour du rejet** avec une **épaisseur entre 1 et 5 m et une largeur entre 3 et 25 m** suivant le courant ambiant. Après une phase de remontée pouvant atteindre une dizaine de mètres au-dessus du fond, le panache reste collé au fond. La profondeur du rejet et la stratification ambiante ont peu d'influence à ce stade de l'écoulement.

Les résultats obtenus vont permettre de placer les apports du rejet dans le modèle de champ lointain décrit dans le paragraphe suivant en tenant compte de la taille des mailles (horizontale et verticale).

## 4. MISE EN PLACE DU SYSTEME DE MODELISATION

---

### 4.1 MODELE SEAMER

Le champ lointain est étudié à l'aide du modèle Seamer 3D.

SEAMER (© SUEZ/ACTIMAR) est un modèle numérique de l'océan côtier, basé sur les équations primitives d'un milieu incompressible, hydrostatique suivant l'hypothèse de Boussinesq.

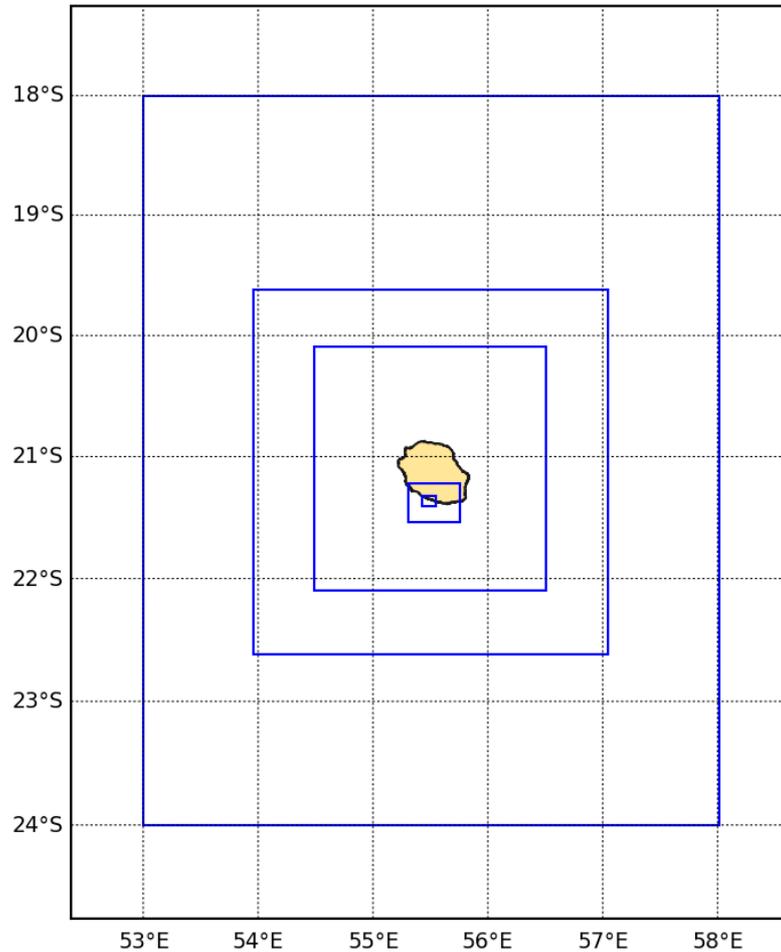
Le code s'appuie sur des schémas classiques en différences finies. La coordonnée "sigma" est utilisée sur la verticale. Une originalité de SEAMER est le traitement du mode barotrope, évalué de façon semi-implicite, qui permet de s'affranchir du time-splitting et autorise ainsi un couplage plus direct entre les modes barotrope et barocline (un seul pas de temps). Une autre particularité concerne les conditions aux limites ouvertes qui sont exprimées au centre de la maille (forçage en niveau) car SEAMER était initialement dédié à la modélisation d'écoulements forcés par la marée.

SEAMER peut être vu comme la branche "orientée bureau d'étude" du code MARS développé par l'Ifremer. Les deux codes ont évolué indépendamment depuis la fin des années 90.

### 4.2 CONFIGURATION MISE EN PLACE

Le modèle Seamer fonctionne sur le principe des modèles emboîtés : un modèle de grande emprise transmet l'information par zooms successifs jusqu'à un modèle d'étude local. La configuration du modèle mise en place est constituée de 4 rangs d'approche 2D, et d'un modèle d'étude 3D.

Les emprises de ces 5 rangs sont illustrées sur la Figure 4-1..



| Rang | Taille de maille (m) | Type | Forçage aux limites         |
|------|----------------------|------|-----------------------------|
| 0    | 6700                 | 2D   | Atlas FES                   |
| 1    | 1700                 | 2D   | Rang 0                      |
| 2    | 450                  | 2D   | Rang 1                      |
| 3    | 140                  | 2D   | Rang 2                      |
| 4    | 50                   | 3D   | Rang 3 + profil thermohalin |

Figure 4-1: Emprise des 5 rangs de calcul de la configuration Seamer et taille des mailles de chaque rang

La bathymétrie des modèles a été construite à l'aide de 3 sources suivantes :

- GEBCO pour la bathymétrie grande échelle des rangs d'approche
- Le MNT de résolution 100 m fourni par le SHOM pour la bathymétrie régionale
- Les données d'altimétrie Litto 3D pour la bande côtière

La bathymétrie du modèle d'étude, d'une résolution de 50 m, est présentée sur la figure suivante.

Bathymetrie (m NM) - modèle de résolution 50 m

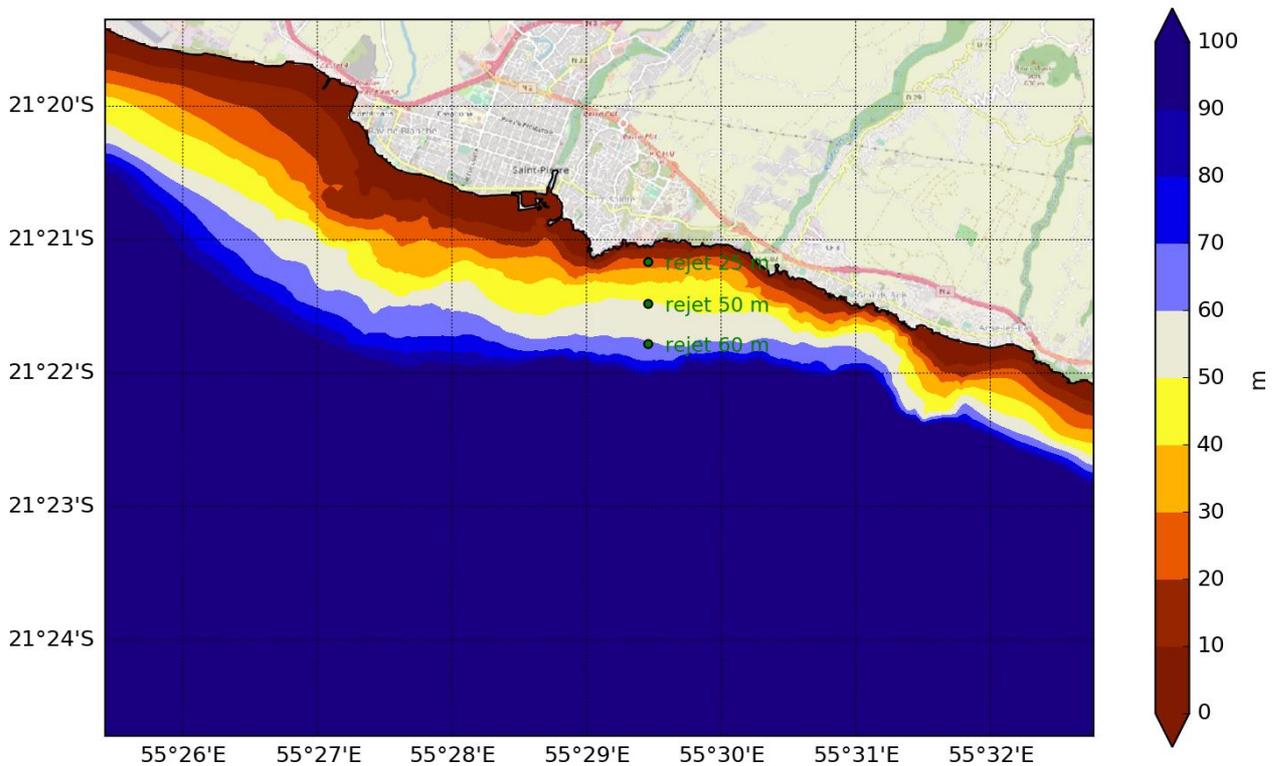


Figure 4-2: Bathymétrie du modèle d'étude

Le modèle de grande échelle est forcé en marée par les composantes harmoniques issues de l'atlas FES2014.

Les conditions de vent et de pression atmosphérique sont appliquées sur l'ensemble des modèles.

La stratification en salinité et température issue de l'analyse des profils GDEM est introduite aux frontières du modèle d'étude 3D.

Le système de modélisation ne tient pas compte de la circulation régionale qui est considérée comme faible sur la zone d'étude (voir §2.5.2.2).

## 4.3 EVALUATION DES PERFORMANCES DU MODELE

### 4.3.1 PRINCIPES

Des mesures de courants par ADCP sont disponibles pendant plusieurs mois sur l'année 2014 (cf §2.5.1). Ces données constituent la principale source d'information pour l'évaluation du modèle. En complément, les hauteurs d'eau issues des calculs harmoniques du SHOM seront également utilisées.

Le modèle utilise une schématisation des données d'entrée et ne permet pas de tenir compte de tous les processus intervenant dans la zone d'étude. Une comparaison temporelle vis-à-vis d'évènements ponctuels précis n'est donc pas possible. Nous nous attacherons donc à présenter les comparaisons sous forme intégrale (roses, histogrammes) plutôt que par comparaisons directes. En préambule à la présentation des validations, les deux sections suivantes détaillent les limitations du système de modélisation tel qu'il est utilisé pour cette étude.

#### 4.3.1.1 Limitations liées aux données d'entrée

Les données d'entrée injectées dans le système de modélisation sont :

- Les composantes de marée aux frontières du modèle de rang 0 (issues de l'atlas FES2014)
- Des champs météorologiques (vent et pression) dans tous les modèles (issus des champs analysés CFSR – voir §2.2)
- Des conditions de stratification moyenne en température et salinité dans le modèle 3D (issues de l'analyse GDEM – voir §2.3)

Les conditions de marée sont issues de calculs harmoniques et sont donc relativement précises.

Les conditions météorologiques sont issues d'un système de modélisation à grande échelle (sur une grille de résolution 1/3°). Ce système permet de représenter les grands systèmes météorologiques mais peut manquer de précision pour des phénomènes locaux sur une zone restreinte. Il peut donc en résulter une sous-estimation de certains effets météorologiques.

Enfin, le forçage schématique en température et salinité n'est qu'une donnée statistique, qui ne peut donc pas représenter précisément la réalité à la date où sont réalisées les mesures. Certains effets de la stratification sur le courant peuvent donc ne pas être représentés.

#### 4.3.1.2 Limitations liées aux processus représentés

Autour de l'île de La Réunion, les conditions océanographiques sont influencées essentiellement par quatre facteurs :

- La marée barotrope
- Les conditions météorologiques (vent, pression et flux de chaleur)
- La circulation régionale
- La stratification

La conjonction de la marée barotrope et de la stratification au-dessus du plateau continental peut générer des ondes internes dont l'impact sur la circulation peut être important.

La contribution de chacun de ces éléments à la circulation totale est difficile à quantifier, et peut varier fortement d'une période à une autre. La contribution des ondes internes est notamment la plus délicate à estimer. Les ondes internes se caractérisent par des oscillations verticales de la

stratification aux mêmes périodes que la marée barotrope. Ces oscillations se traduisent par des variations rapides de la vitesse aussi bien en surface que dans la colonne d'eau.

Pour la présente étude, les seuls processus représentés explicitement par notre système de modélisation sont la marée barotrope, les processus météorologiques liés au vent et à la pression atmosphérique, et les processus liés à la stratification hors ondes internes.

### 4.3.2 PERIODES DE SIMULATION

Les données ADCP sont disponibles du 20 janvier au 26 avril, puis du 7 août au 15 septembre 2014. Il n'est pas possible de mettre en œuvre le modèle sur la totalité de cette période, essentiellement pour une question de maintien des conditions de stratification dans le modèle. Selon le fonctionnement du modèle énoncé dans les sections précédentes, la stratification en température et salinité est imposée en début de simulation par des conditions moyennes, et évolue ensuite librement sans être influencée en surface par les conditions météorologiques. Le réalisme d'une telle simulation n'est donc pas assuré au-delà de quelques jours, puisque les effets de flux à l'interface océan-atmosphère peuvent significativement modifier les conditions en surface à des échelles de temps plus longues. Le temps de calcul nécessaire aux simulations est également un frein à la quantité de simulations prises en compte pour l'évaluation. Ainsi, deux périodes de quelques jours sont présentées ici :

- La période du 01 au 07 février 2014 (période 1)
- La période du 10 au 20 août 2014 (période 2)

Les résultats présentés sont ceux obtenus après optimisation de l'ensemble des paramètres de la modélisation. Différents schémas de turbulence verticale ont par exemple été testés, ainsi que différentes valeurs de frottement sur le fond ou différentes valeurs du coefficient de frottement du vent à la surface de l'océan.

#### 4.3.2.1 Conditions météorologiques

Les Figure 4-3 et Figure 4-4 indiquent les conditions de vent rencontrées pendant les deux périodes retenues. Le vent est relativement modéré pendant le début de la période 1, avant un pic d'intensité de vent de sud. La période 2 est caractérisée par un vent plus régulier et plus soutenu, avec une provenance très classique des secteurs Est à Sud-Est.

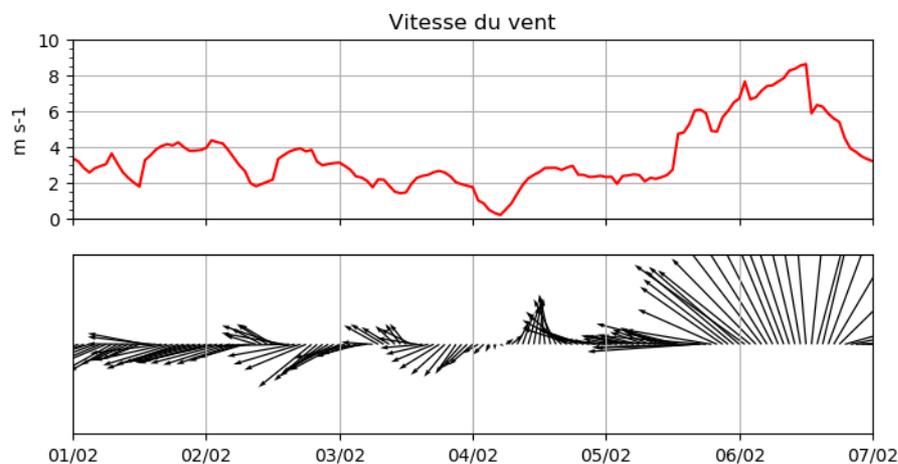


Figure 4-3 - Vitesse et direction du vent pendant la période 1 (source : CFSR)

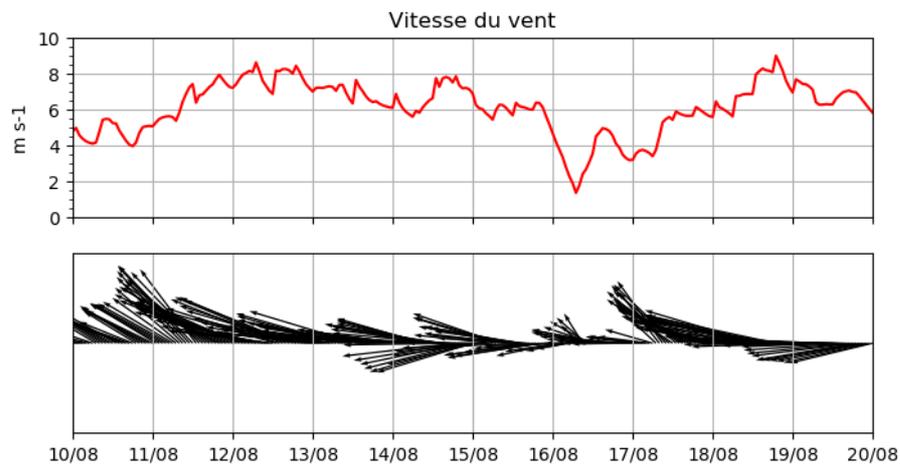


Figure 4-4 - Vitesse et direction du vent pendant la période 2 (source : CFSR)

#### 4.3.2.2 Conditions de stratification

Les simulations sont initiées avec des conditions de stratification moyennes représentatives des mois de février (pour la période1) et août (pour la période 2) issues de la climatologie GDEM (voir §2.3).

#### 4.3.3 HAUTEUR D'EAU

Comme illustré en section 2.5.1, les mesures de hauteur d'eau réalisées sur la position de l'ADCP sont très bruitées et présentent une dérive inexplicée au fil de la campagne de mesure. Nous avons donc choisi de comparer les résultats de hauteur d'eau du modèle aux prédictions de marée du SHOM plutôt qu'à ces mesures in-situ. Les prédictions de hauteur d'eau sont fournies par le SHOM dans le port de Saint-Pierre. Les données de comparaison sont extraites du modèle au point le plus proche de la grille de calcul.

Les comparaisons sont présentées sur les Figure 4-5 et Figure 4-6.

Sur les deux périodes, le signal prédit par le modèle est correctement phasé avec les prédictions du SHOM. L'alternance entre haute et basse mer est correctement représentée, ainsi que l'alternance vive-eau / morte-eau. Les amplitudes de marée sont également correctement représentées.

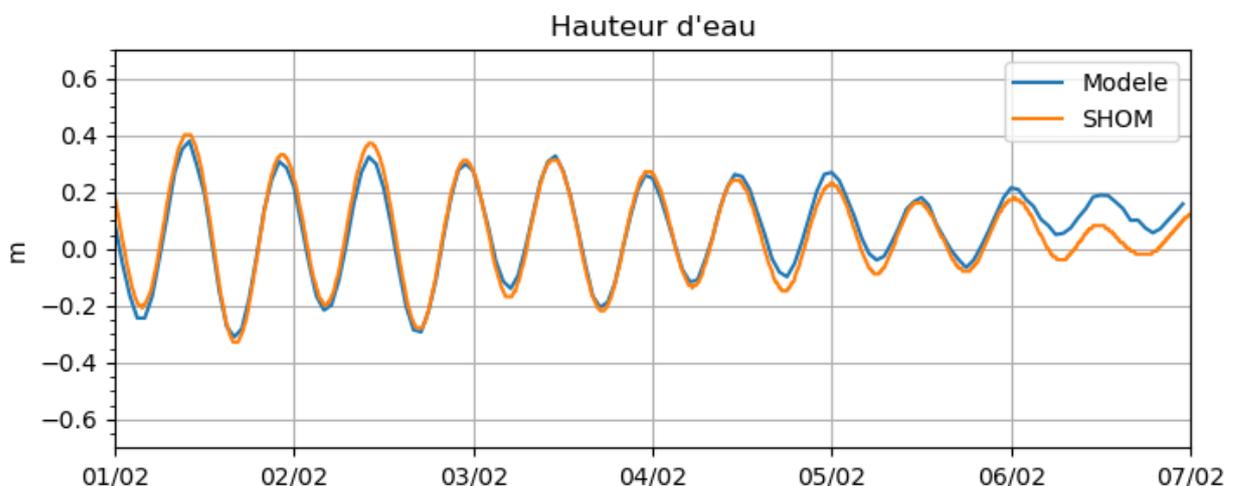


Figure 4-5 - Validation du modèle en hauteur d'eau (période 1)

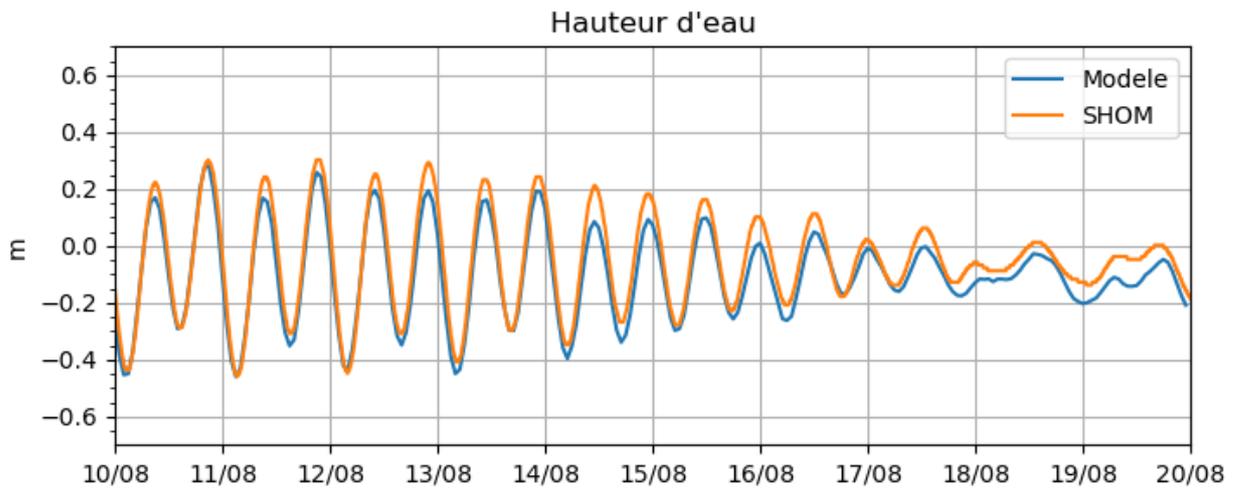


Figure 4-6 - Validation du modèle en hauteur d'eau (période 2)

#### 4.3.4 COURANTS

Les courants barotropes (moyennés sur la verticale) sont tout d'abord analysés à l'aide d'« ellipses de variabilité ». Une ellipse de variabilité (définition de William S. Kessler, NOAA/PMEL) est un indicateur graphique de l'intensité et de la direction des fluctuations de courant pendant la période considérée. Le grand axe de l'ellipse correspond à la direction principale des variations de courant, le petit axe à la direction dans laquelle le courant fluctue le moins. Dans le cas d'un courant de marée pur, l'ellipse de variabilité converge vers l'ellipse de marée. Cet outil graphique synthétique est appliqué de façon identique aux mesures et aux sorties du modèle. Les couleurs utilisées correspondent à :

- en vert, le courant moyen et l'ellipse de variabilité des courants des mesures (moyennés sur la verticale)
- en noir et rouge, le courant moyen et l'ellipse de variabilité des courants du modèle (moyennés sur la verticale).

Ensuite, les courants dans la colonne d'eau sont évalués en surface (mesure à 5 m sous la surface), en subsurface (9 m sous la surface), à 25 m de fond, et proche du fond (41 m). Pour chacune de ces profondeurs, les répartitions statistiques des vitesses et des directions sont présentées pour chacune des deux périodes de validation.

Dans les histogrammes, chaque bloc représente le pourcentage d'observations (ou de sorties de modèle) dans une direction ou une classe d'intensité donnée. Les directions sont toujours les directions dans lesquelles s'écoule le courant.

4.3.4.1 Courant barotrope

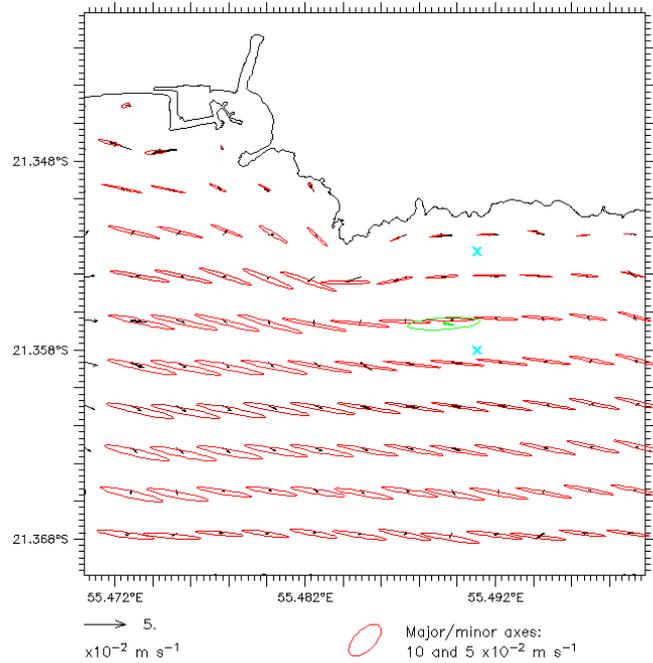


Figure 4-7 – Ellipse de variabilité du courant barotrope (période 1) – les positions des rejets envisagés à 25 et 50 m sont signalées en bleu

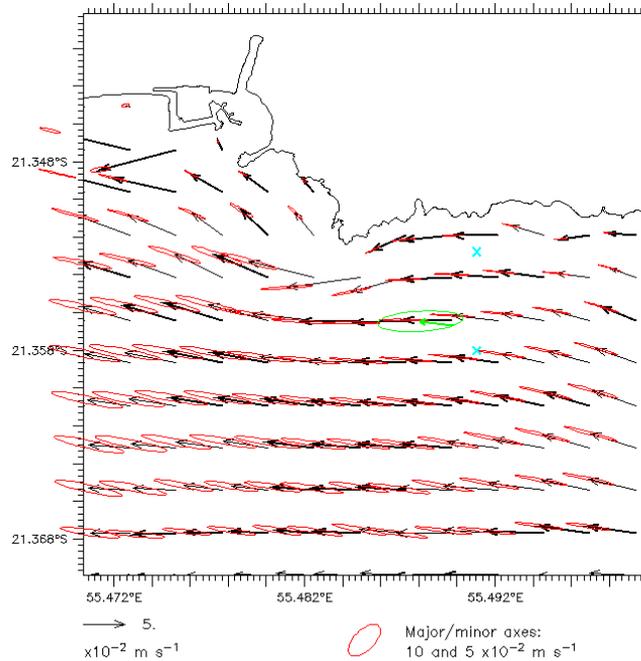


Figure 4-8 – Ellipse de variabilité du courant barotrope (période 2) – les positions des rejets envisagés à 25 et 50 m sont signalées en bleu

4.3.4.2 Courant en surface – période 1

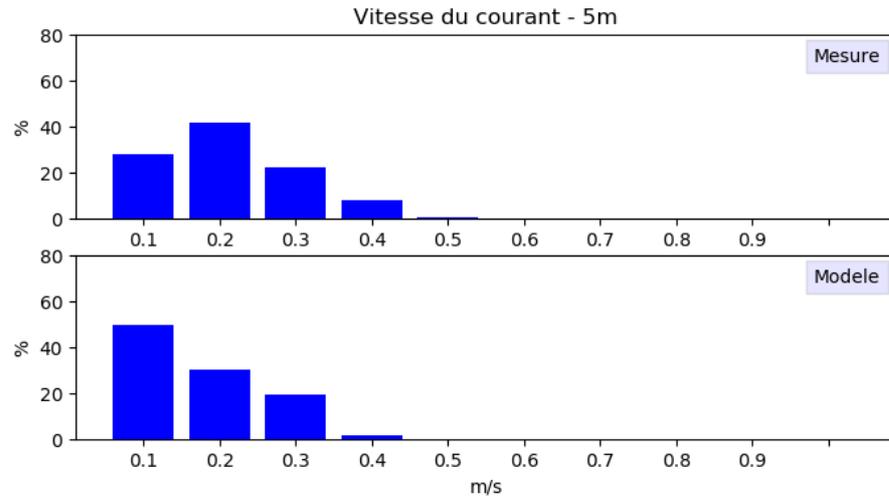


Figure 4-9 - Répartition statistique des vitesses de courant à 5m entre modèle et mesure (période 1)

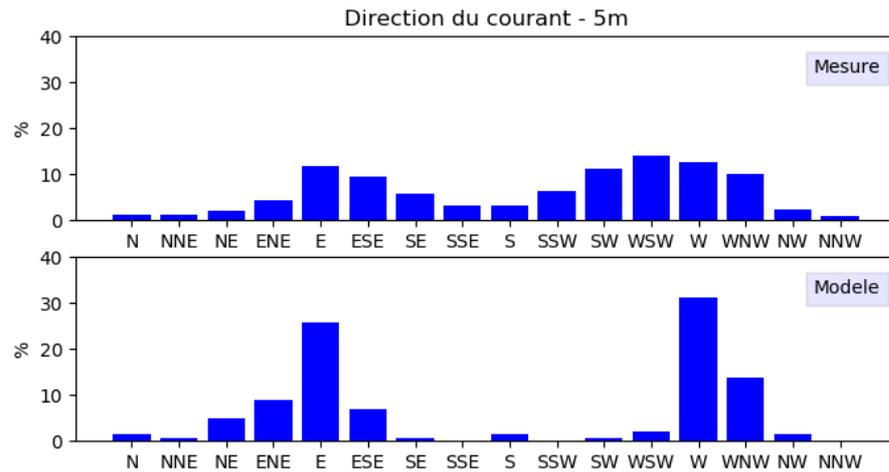


Figure 4-10 - Répartition statistique des directions de courant à 5m entre modèle et mesure (période 1)

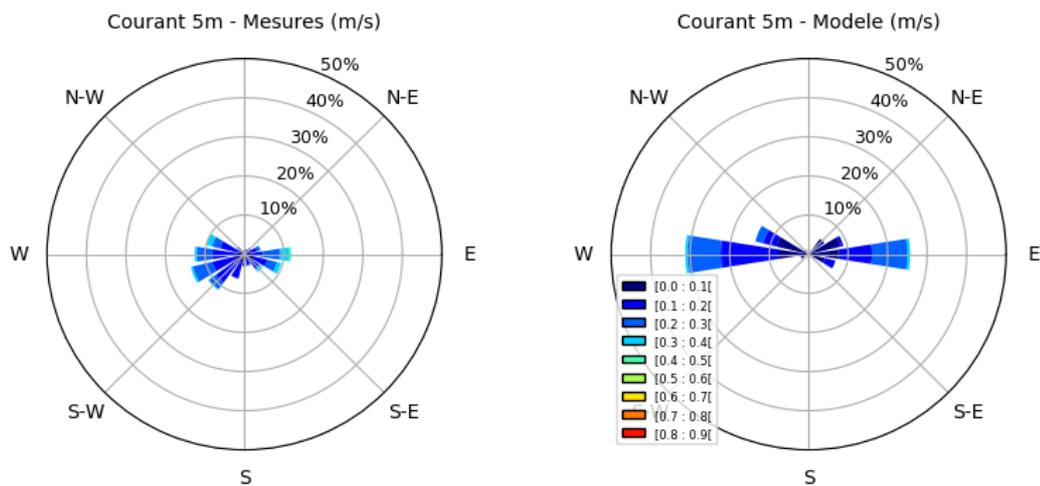


Figure 4-11 – Comparaison des roses de courant à 5m (période 1)

**4.3.4.3 Courant en surface – période 2**

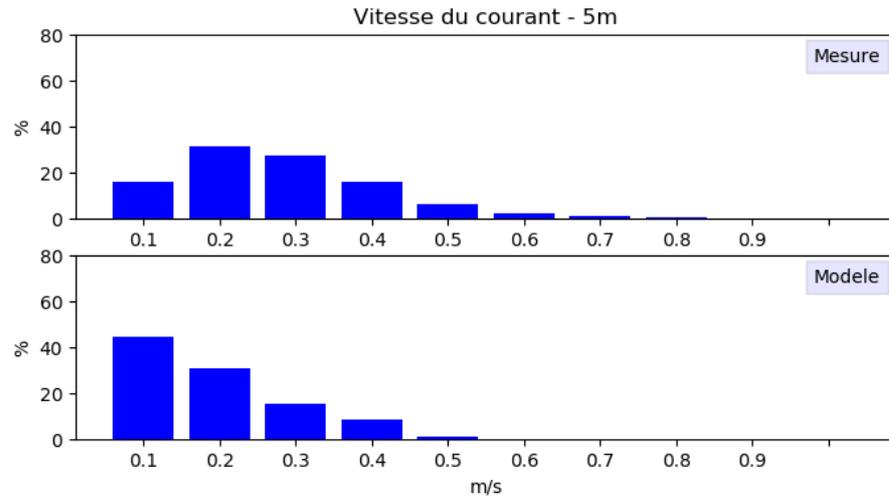


Figure 4-12 - Répartition statistique des vitesses de courant à 5m entre modèle et mesure (période 2)

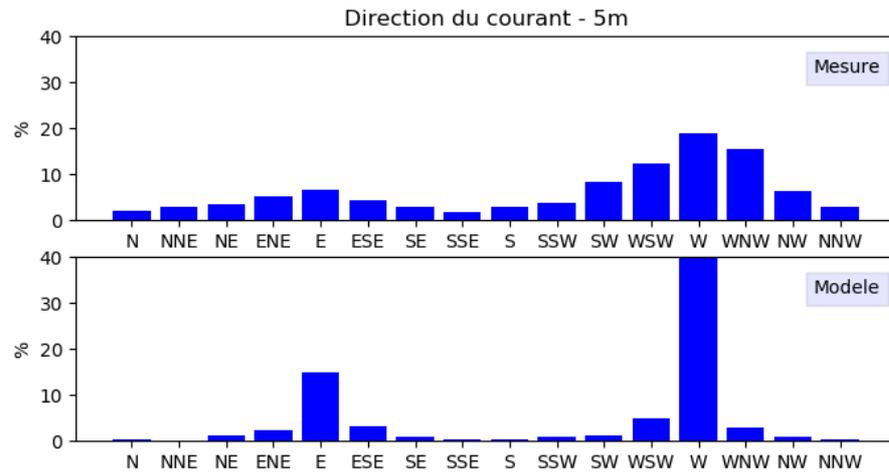


Figure 4-13 - Répartition statistique des directions de courant à 5m entre modèle et mesure (période 2)

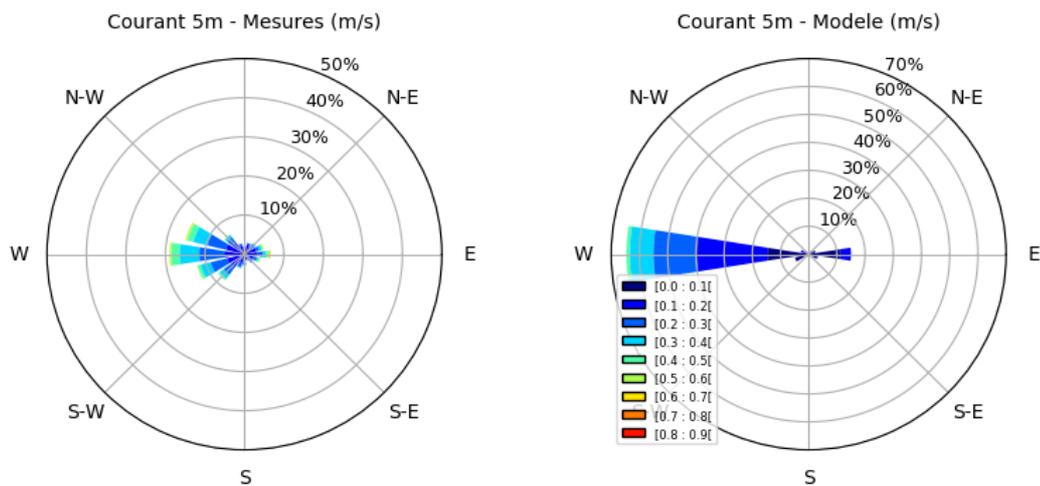


Figure 4-14 – Comparaison des roses de courant à 5m (période 2)

### 4.3.4.4 Courant à 9m – période 1

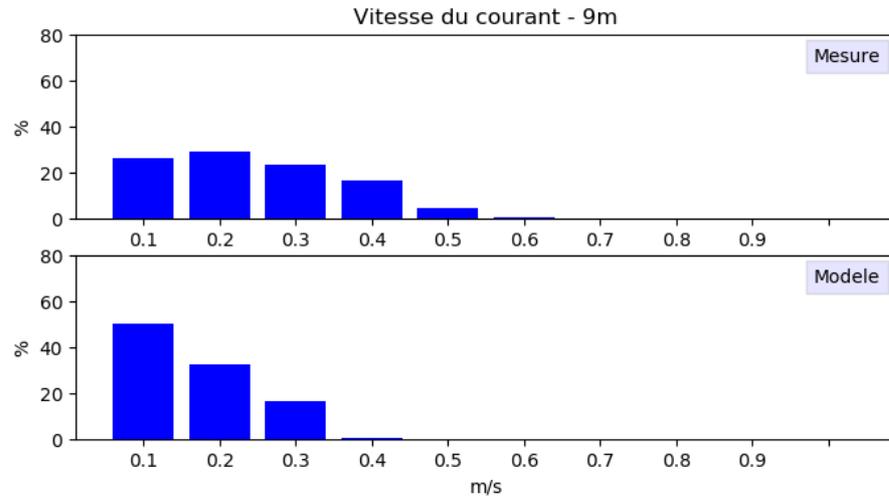


Figure 4-15 - Répartition statistique des vitesses de courant à 9m entre modèle et mesure (période 1)

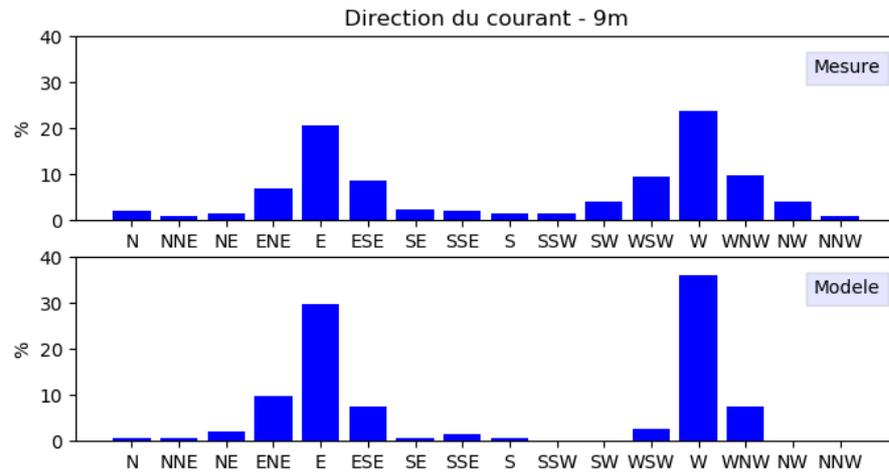


Figure 4-16 - Répartition statistique des directions de courant à 9m entre modèle et mesure (période 1)

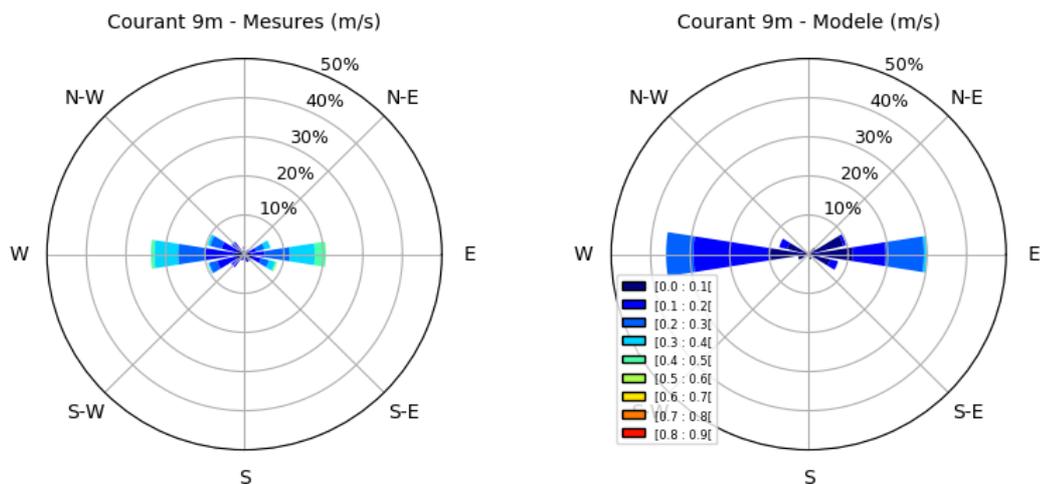


Figure 4-17 - Comparaison des roses de courant à 9m (période 1)

**4.3.4.5 Courant à 9m – période 2**

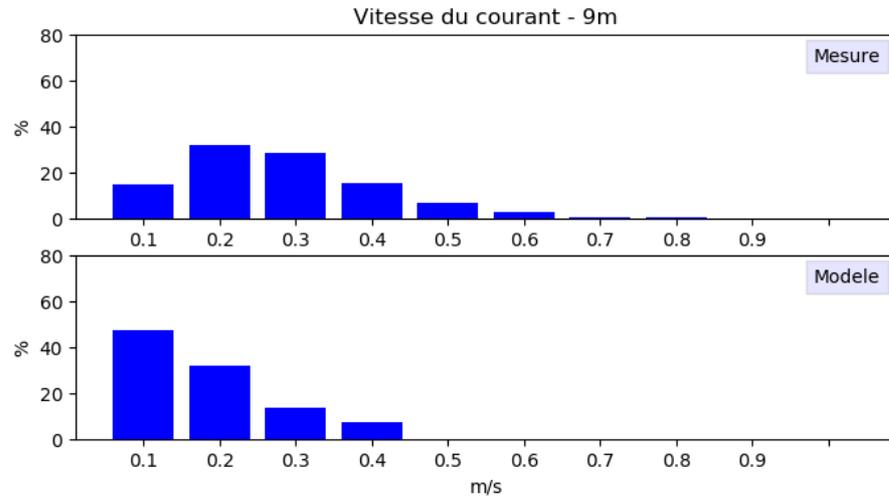


Figure 4-18 - Répartition statistique des vitesses de courant à 9m entre modèle et mesure (période 2)

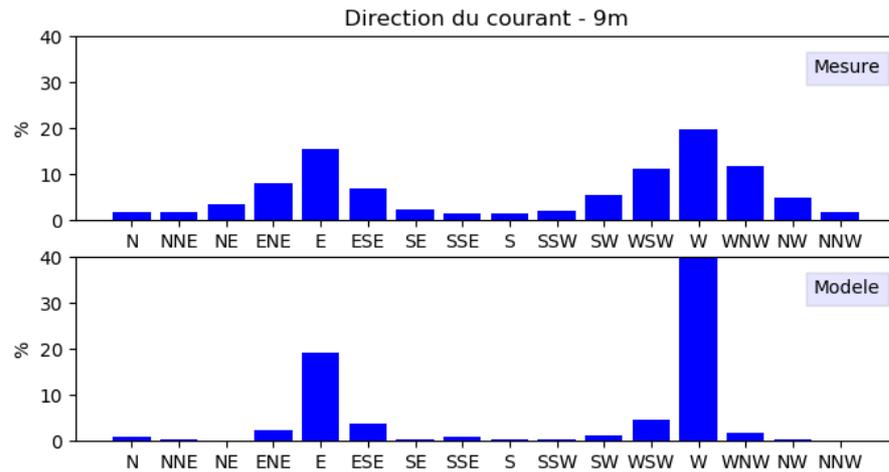


Figure 4-19 - Répartition statistique des directions de courant à 9m entre modèle et mesure (période 2)

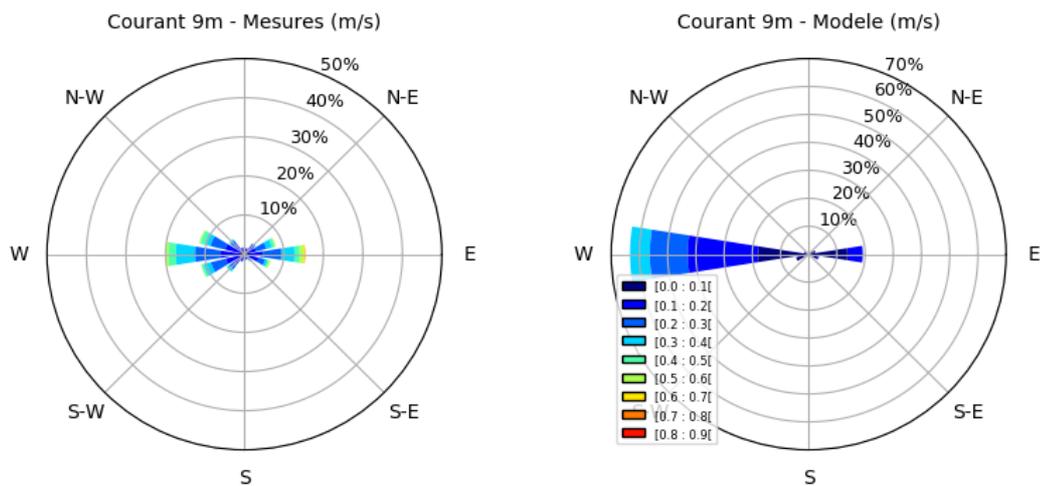


Figure 4-20 - Comparaison des roses de courant à 9m (période 2)

4.3.4.6 Courant à 25m – période 1

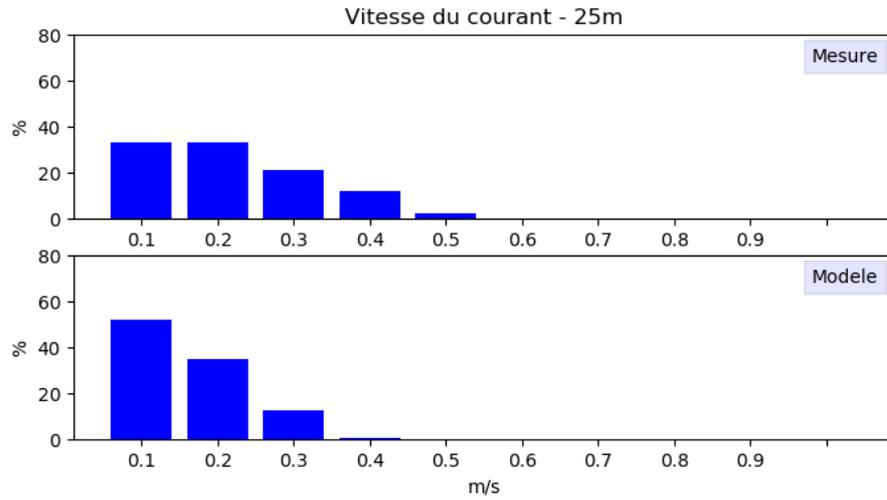


Figure 4-21 - Répartition statistique des vitesses de courant à 25m entre modèle et mesure (période 1)

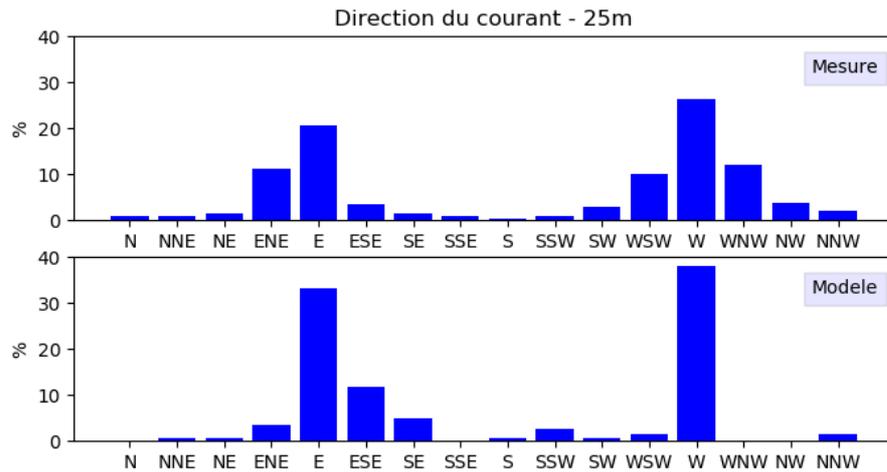


Figure 4-22 - Répartition statistique des directions de courant à 25m entre modèle et mesure (période 1)

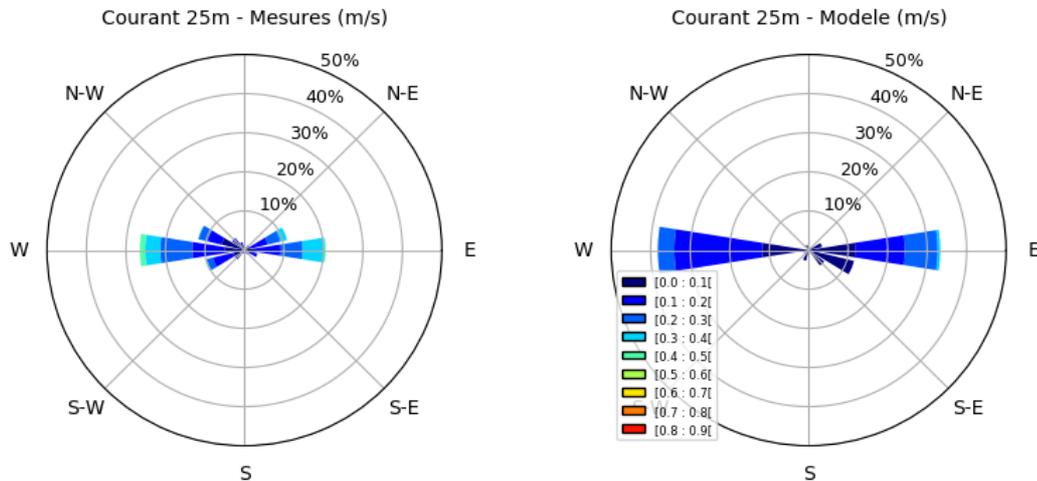


Figure 4-23 – Comparaison des roses de courant à 25m (période 1)

### 4.3.4.7 Courant à 25m – période 2

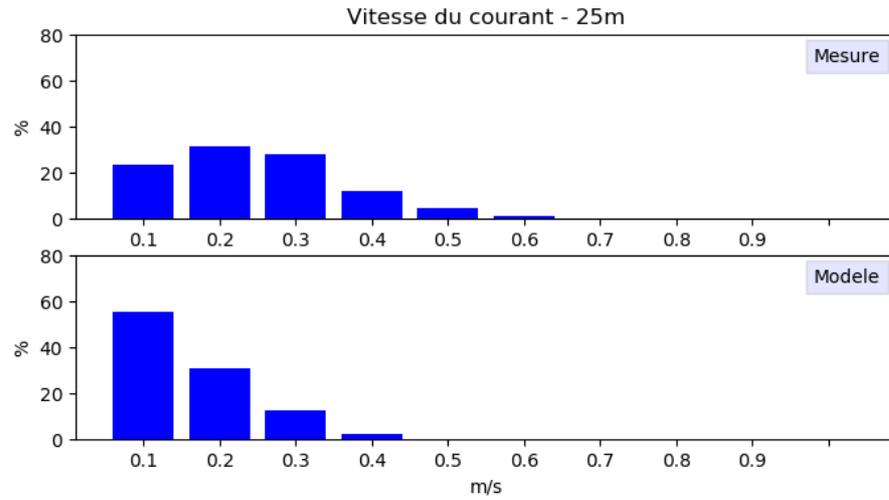


Figure 4-24 - Répartition statistique des vitesses de courant à 25m entre modèle et mesure (période 2)

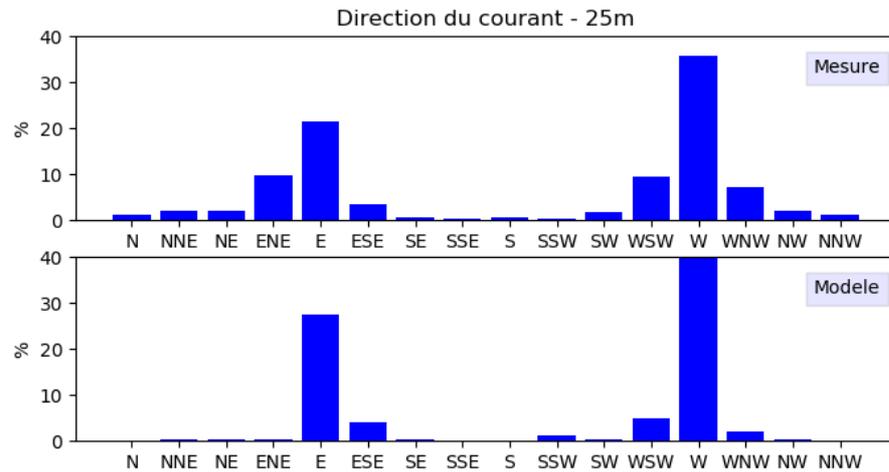


Figure 4-25 - Répartition statistique des directions de courant à 25m entre modèle et mesure (période 2)

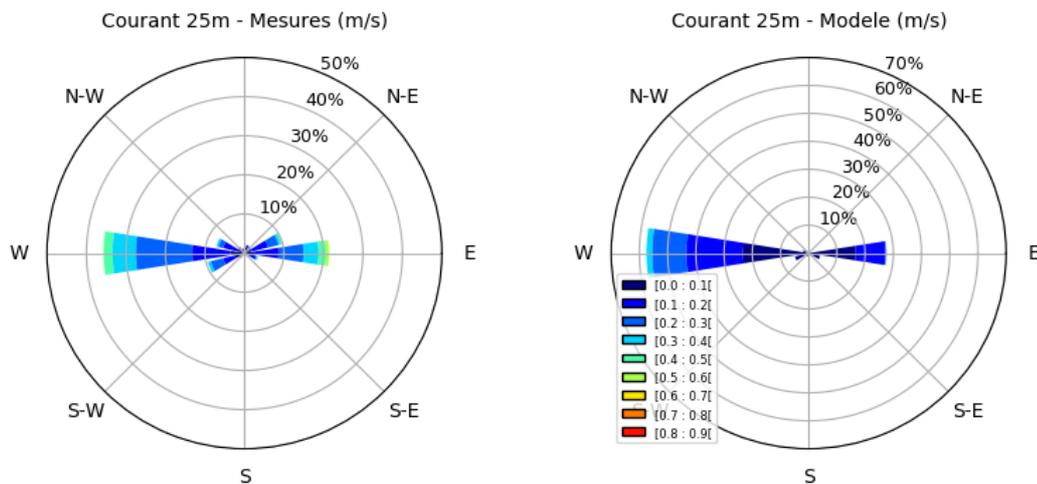


Figure 4-26 – Comparaison des roses de courant à 25m (période 2)

4.3.4.8 Courant à 41m – période 1

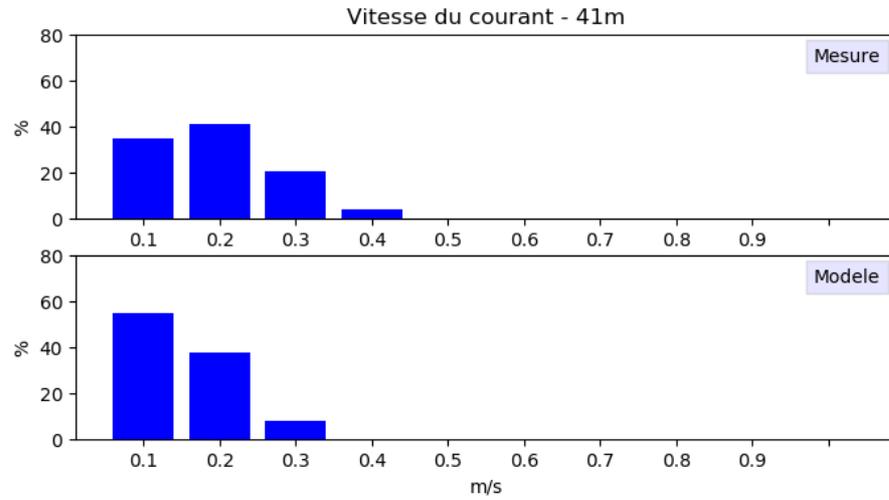


Figure 4-27 - Répartition statistique des vitesses de courant à 41m entre modèle et mesure (période 1)

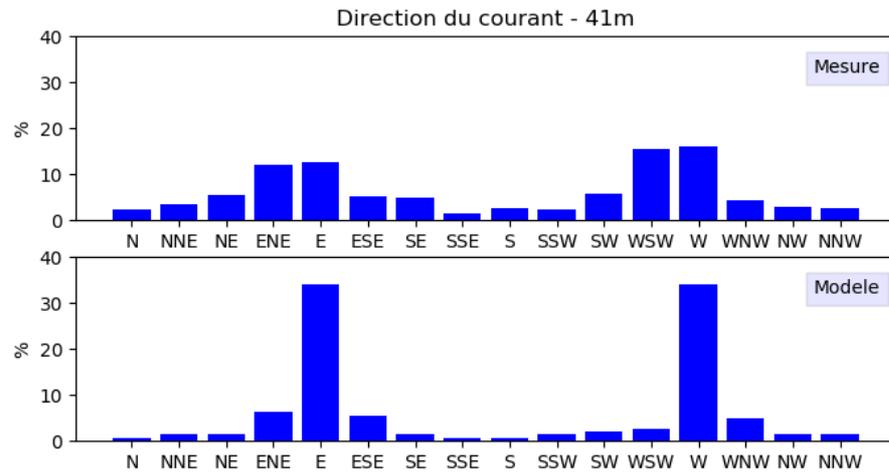


Figure 4-28 - Répartition statistique des directions de courant à 41m entre modèle et mesure (période 1)

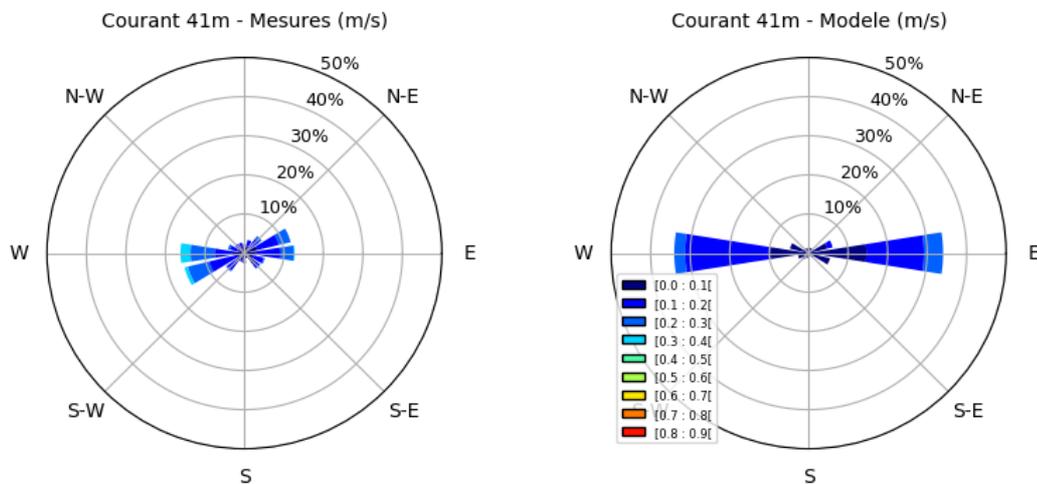


Figure 4-29 – Comparaison des roses de courant à 41m (période 1)

4.3.4.9 Courant à 41m – période 2

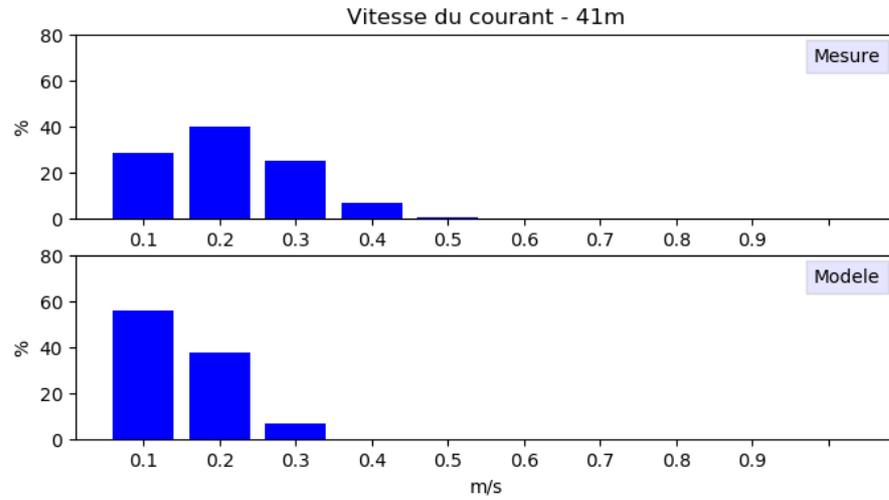


Figure 4-30 - Répartition statistique des vitesses de courant à 41m entre modèle et mesure (période 2)

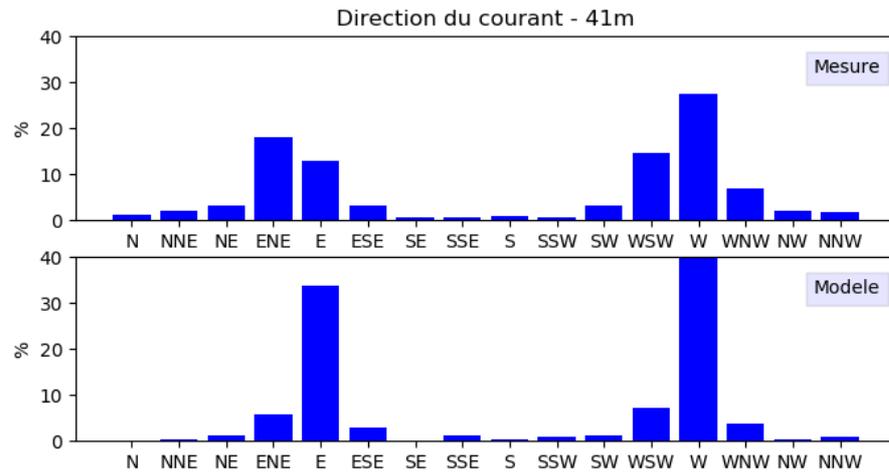


Figure 4-31 - Répartition statistique des directions de courant à 41m entre modèle et mesure (période 2)

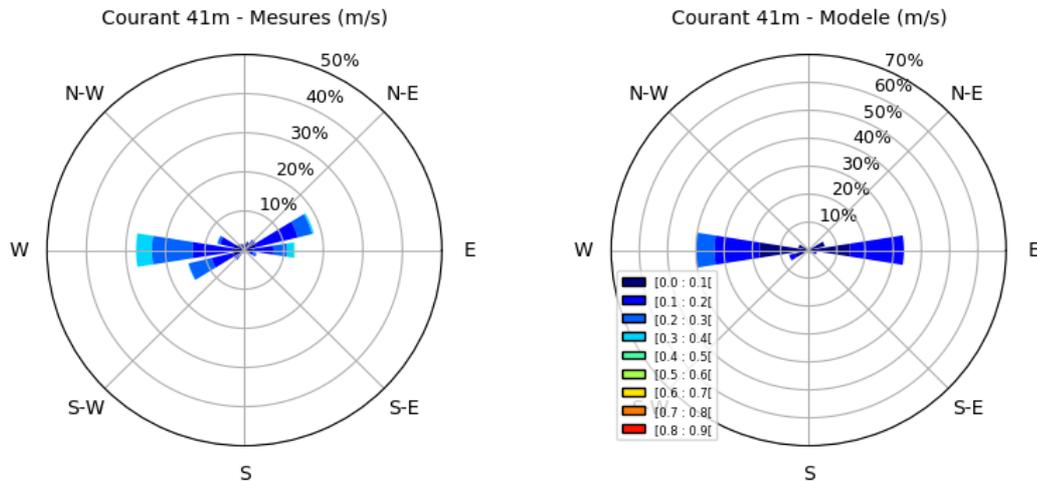


Figure 4-32 – Comparaison des roses de courant à 41m (période 2)

### 4.3.5 INTERPRÉTATION DES COMPARAISONS EN COURANT

Le courant résiduel barotrope est bien représenté en direction et en amplitude pour les deux périodes. En revanche, sa variabilité est sous-estimée par le modèle.

Cette tendance est confirmée par l'analyse en plusieurs profondeurs qui montre une sous-estimation des vitesses de courant. Dans les mesures, la classe de vitesse la plus représentée est systématiquement la classe « 0.2 m/s », alors que dans le modèle, c'est toujours la classe « 0.1 m/s » qui domine. Cette sous-estimation se retrouve également au niveau des valeurs maximales, puisque le modèle représente au plus des vitesses de l'ordre de 0.4 m/s, alors que des valeurs au-delà de 0.6 m/s apparaissent dans les mesures.

L'examen des séries temporelles donne quelques indications supplémentaires. La Figure 4-33 présente une comparaison des séries temporelles sur la période 2 (Août 2014). Le modèle représente bien des pics de vitesses (jusqu'à 0.4 m/s) avec une périodicité également observée dans les mesures. Cependant, des pics isolés dans les mesures au-delà de 0.5 m/s sont complètement manqués par le modèle. Ces comparaisons tendent à indiquer que le processus physique à l'origine de ces pics est absent du modèle.

Les résultats sont globalement similaires à toutes les profondeurs.

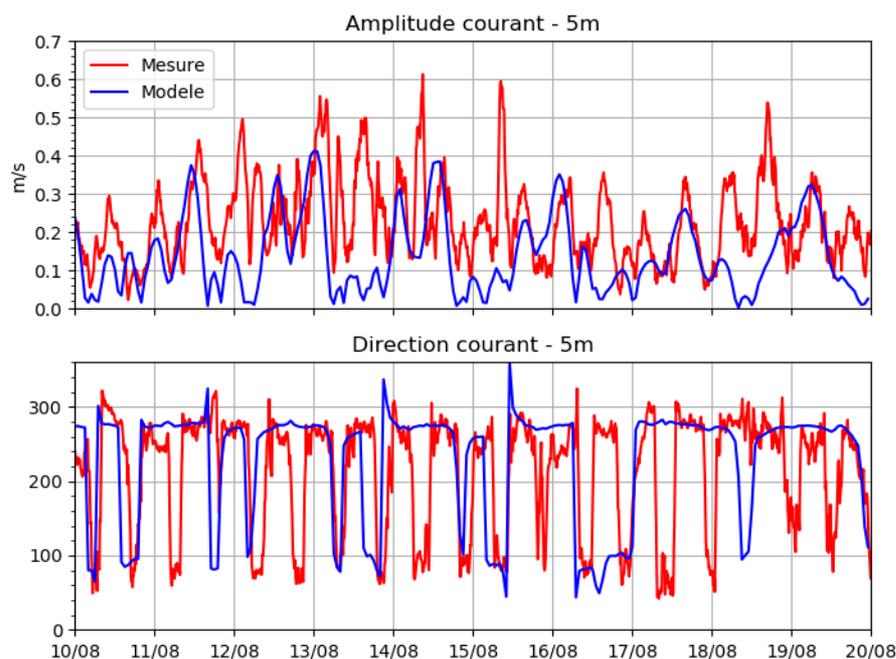


Figure 4-33 - Comparaison modèle-mesure sur les vitesses et directions de courant en surface pendant la période 2.

Concernant les directions, l'alternance entre courants d'Est et d'Ouest est clairement marquée à toutes les profondeurs dans le modèle et correspond bien aux directions de la marée. Les directions modélisées sont moins dispersées que les directions mesurées, mais la répartition statistique entre secteurs Est et Ouest est globalement respectée. La prédominance du secteur Ouest en surface au mois d'août est la signature du vent d'Est, dont l'effet ne se fait sentir que sur les premiers mètres.

Le modèle réagit donc correctement aux forçages qui lui sont imposés (marée et vent) pour reproduire les processus qui y sont associés.

Il apparaît donc que les écarts observés entre modèle et mesure sont à imputer à des processus non représentés ou représentés de manière incomplète dans le modèle, plutôt qu'à des imprécisions de forçage ou de paramétrisation du modèle.

#### 4.3.6 CONCLUSIONS SUR LES PERFORMANCES DU MODELE

Le modèle reproduit correctement les variations de niveaux dues à la marée.

Le courant résiduel barotrope modélisé est correct en direction et en amplitude.

L'alternance de direction Est-Ouest du courant est bien reproduite par le modèle.

En revanche, le modèle ne retranscrit pas la variabilité du courant et notamment les oscillations de vitesses supérieures à 0.5 m/s qui concernent l'ensemble de la colonne d'eau. Le courant modélisé est ainsi sous-estimé par rapport aux mesures sur l'ensemble de la colonne d'eau.

Ces écarts peuvent être imputés : à la schématisation de la stratification, à la présence de phénomènes météorologiques locaux non représentés par la base de données de vent utilisée et aux limitations du système de modélisation qui ne permet pas de représenter la génération et la propagation d'ondes internes autour de l'île.

L'analyse des résultats des simulations de dispersion du rejet devra donc tenir compte des limitations du système de modélisation et des conclusions de cette évaluation pour correctement interpréter les panaches obtenus. L'extension des panaches est conditionnée par l'entraînement par les courants (advection) et par la diffusion. Une erreur de représentation des courants va donc partiellement influencer le positionnement des panaches sur le plan horizontal. Le principal biais du modèle mis en évidence est une sous-estimation ponctuelle des maxima de courants (0.4m/s dans le modèle contre 0.6 m/s dans les mesures). L'alternance des courants de marée et l'amplitude des courants barotropes sont correctement représentées. Le panache représenté sur les figures est une forme géométrique façonnée par l'ensemble des courants qui se sont produits pendant un scénario de simulation, et la représentativité des maxima de courants dans cet ensemble est faible. La sous-estimation de ces maxima a donc un impact limité, qui se traduit par une légère sous-estimation de l'extension maximale du panache dans ses deux directions principales (ONO et ESE).

# 5. MODELISATION CHAMP LOINTAIN

## 5.1 SCENARIOS DE MODELISATION

L'analyse des conditions météo-océaniques a montré que :

- Les conditions de vent sont relativement stables sur une année typique avec un vent moyen de l'ordre de 5 m/s en provenance des secteurs Est et Est-Sud-Est
- Les conditions de stratification varient significativement en surface entre l'été austral et l'hiver austral
- La marée a une amplitude modérée avec une alternance vive-eau / morte-eau sur une période de 14 jours.

Deux premiers scénarios ont été construits, correspondant aux stratifications estivales et hivernales, avec un vent moyen. Ces scénarios ont une durée de 7 jours, pour couvrir des conditions de marée évoluant entre vive-eau et morte-eau.

La troisième condition météo-océanique consiste en une condition de vent fort appliquée à une condition hivernale pour maximiser l'extension du panache.

La quatrième condition météo-océanique consiste en une condition sans vent appliquée à une condition estivale pour évaluer le panache dans des conditions de dilution minimale de différence de température avec le milieu ambiant maximale.

Ces conditions météo-océaniques sont résumées dans le Tableau 5-1. Les dates ont été choisies pour couvrir des conditions de marée représentatives. La hauteur d'eau au cours de la période choisie est représentée sur la Figure 5-1.

Tableau 5-1 - Définition des scénarios météo-océaniques

| Scénario | Dates                   | Vent     | Stratification |
|----------|-------------------------|----------|----------------|
| 1        | 10/03/2014 – 18/03/2014 | ESE 5m/s | Été austral    |
| 2        | 10/03/2014 – 18/03/2014 | ESE 5m/s | Hiver austral  |
| 3        | 10/03/2014 – 18/03/2014 | ESE 9m/s | Hiver austral  |
| 4        | 10/03/2014 – 18/03/2014 | nul      | Été austral    |

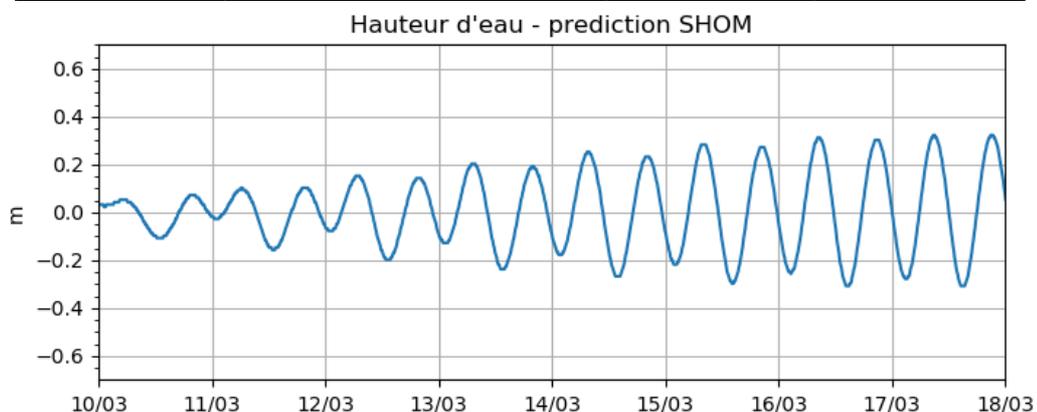


Figure 5-1 - Condition de marée pendant la période retenue pour les scénarios

La combinaison de ces quatre conditions météo-océaniques avec différentes conditions de rejet définies en section 3.1 a conduit à la définition de 12 scénarios de calculs, qui sont résumés dans le Tableau 5-2.

Par ailleurs, les résultats de l'analyse du champ proche montrent que :

- Pour le débit le plus faible, la zone de champ proche est très limitée voire inexistante. Le rejet sera donc injecté dans une maille horizontale du modèle (50 m de côté) et dans la couche la plus proche du fond.
- Pour le débit le plus fort, en considérant un rejet horizontal ou vertical, la zone de champ proche se situe dans un rayon inférieur à 35 m de l'extrémité de l'émissaire avec une épaisseur comprise entre 1 et 5 m et une largeur inférieure à 25 m. L'injection du rejet dans une maille horizontale du modèle de 50 m de côté est donc une hypothèse réaliste. Pour tenir compte de l'épaisseur de quelques mètres, l'injection est réalisée dans la couche la plus proche du fond pour les rejets à 50 et 60 m, et dans les 2 couches les plus proches du fond pour le rejet à 25 m.
- Pour les débits intermédiaires (875 m<sup>3</sup>/h et 685 m<sup>3</sup>/h), à partir des résultats de champ proche qui montrent pour les deux débits extrêmes un panache restant au fond sur une épaisseur de quelques mètres, il est choisi d'injecter le rejet dans une maille horizontale du modèle de 50 m de côté et dans la couche la plus proche du fond.

Tableau 5-2 - Liste des scénarios de calcul

| N° | Stratification | Vent         | Profondeur rejet (m) | Débit (m <sup>3</sup> /h) | Temp. (°C) | Sal. (PSU) |
|----|----------------|--------------|----------------------|---------------------------|------------|------------|
| 1  | Eté austral    | ESE<br>5 m/s | 25                   | 1155                      | 11.5       | 34.6       |
| 2  |                |              | 50                   | 481                       |            |            |
| 3  |                |              |                      | 1155                      |            |            |
| 4  |                |              | 60                   | 1155                      |            |            |
| 5  | Hiver austral  | ESE<br>5 m/s | 50                   | 481                       | 11.5       | 34.6       |
| 6  |                |              |                      | 1155                      |            |            |
| 7  | Hiver austral  | ESE<br>9 m/s | 25                   | 1155                      | 11.5       | 34.6       |
| 8  |                |              | 50                   |                           |            |            |
| 9  |                |              | 60                   |                           |            |            |
| 10 | Eté austral    | Nul          | 50                   | 875                       | 11.5       | 34.6       |
| 11 | Hiver austral  | ESE 5m/s     |                      | 685                       |            |            |
| 12 | Eté austral    | Nul          |                      | 1155                      |            |            |

## 5.2 PRESENTATION DES RESULTATS

Pour chacun des scénarios, les résultats sont illustrés sous la forme de cartes de maximum au cours de la simulation. Deux types de représentations sont fournies :

- Des cartes représentant le maximum de la quantité concernée sur une tranche d'eau (toute la colonne d'eau pour la température, les 30 premiers mètres sous la surface pour les substances dissoutes). Le seuil de 30 mètres est choisi car les zones sensibles sont situées au-dessus de cette limite.
- Des sections représentant les quantités le long d'un axe perpendiculaire à la côte et passant par le point de rejet.

Les cartes et sections sont produites pour la différence de température induite par le rejet, ainsi que pour les substances suivantes : Azote total, Nitrate, Phosphore total et Phosphate.

Pour les substances dissoutes, la concentration représentée est **la concentration par rapport à la concentration ambiante, exprimée en pourcentage** (il s'agit de la somme de la concentration induite par le rejet et de la concentration ambiante divisée par la concentration ambiante). Ainsi, 150% correspond à 1.5 fois la concentration ambiante, la contribution du rejet étant alors de 50% de la concentration ambiante ; 200% correspond à 2 fois la concentration ambiante, la contribution du rejet étant de 100% de la concentration ambiante.

Les concentrations ambiantes retenues pour tracer les cartes sont issues du rapport Artelia (ref [ 8 ]), et sont résumées dans le Tableau 5-3.

Tableau 5-3 – Concentrations dans le milieu ambiant en surface et concentration du rejet

| Substance       | Concentration ambiante | Concentration du rejet |
|-----------------|------------------------|------------------------|
| Azote Total     | 0.3 mg/L               | 1.27 mg/L              |
| Nitrates        | 0.1 µMol               | 32.4 µMol              |
| Phosphates      | 0.05 µMol              | 2.42 µMol              |
| Phosphore Total | 0.01 mg/L              | 0.13 mg/L              |

Sur les cartes suivantes, le trait vert représente les zones de récifs coralliens.

### 5.3 DIFFERENCES DE TEMPERATURE

#### 5.3.1 SIMULATION 1 : REJET A 25 M AVEC UN DEBIT DE 1155 m<sup>3</sup>/h EN ETE AUSTRAL AVEC UN VENT MOYEN

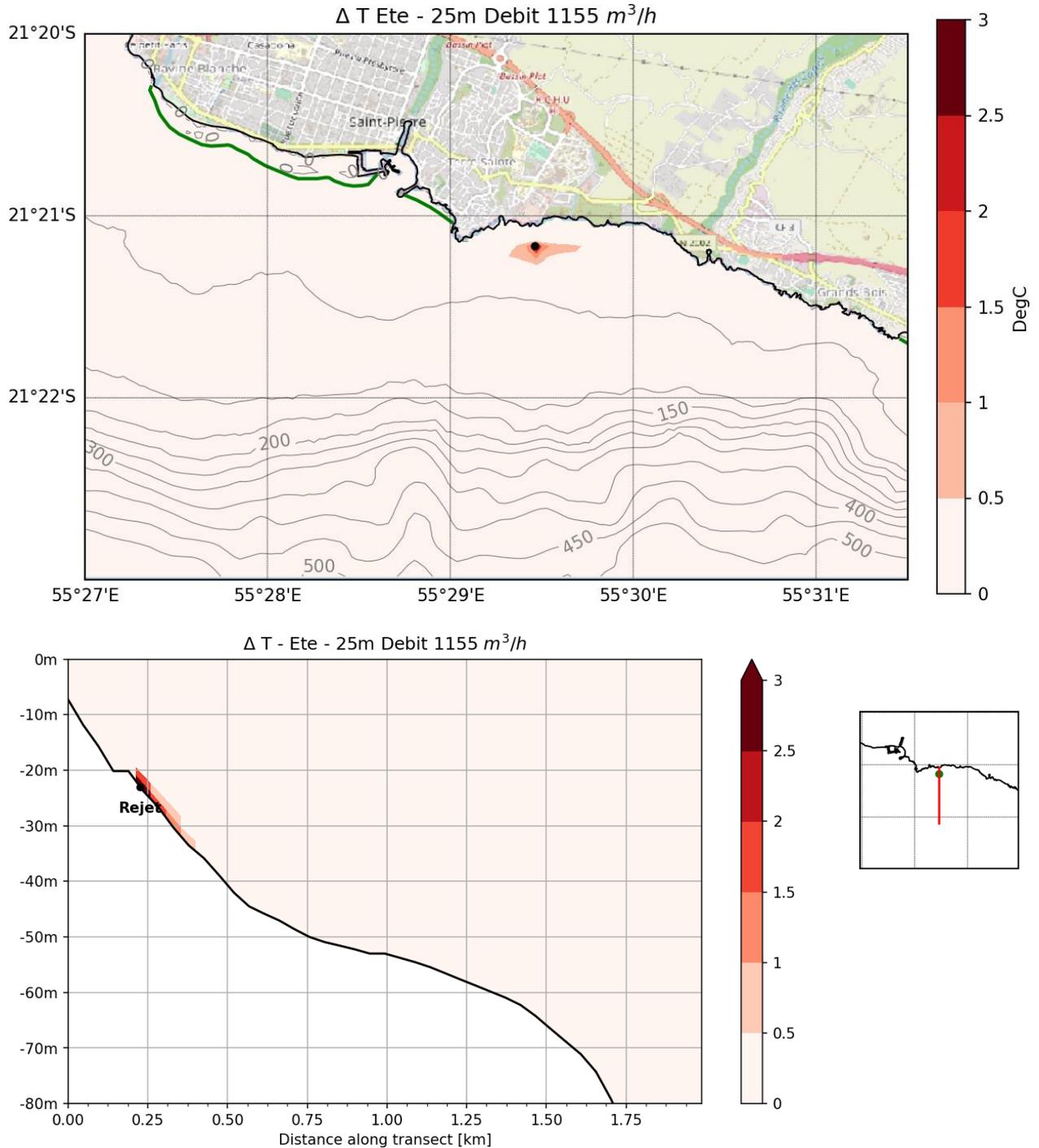


Figure 5-2 - Différence de température pour le scénario de rejet à 25 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral

En haut : carte du maximum d'écart de température sur l'ensemble de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.  
 En bas : section du maximum d'écart de température sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).  
 La position du rejet est indiquée par un rond.  
 La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

### 5.3.2 SIMULATION 2 : REJET A 50 M AVEC UN DEBIT DE 481 m<sup>3</sup>/h EN ETE AUSTRAL AVEC UN VENT MOYEN

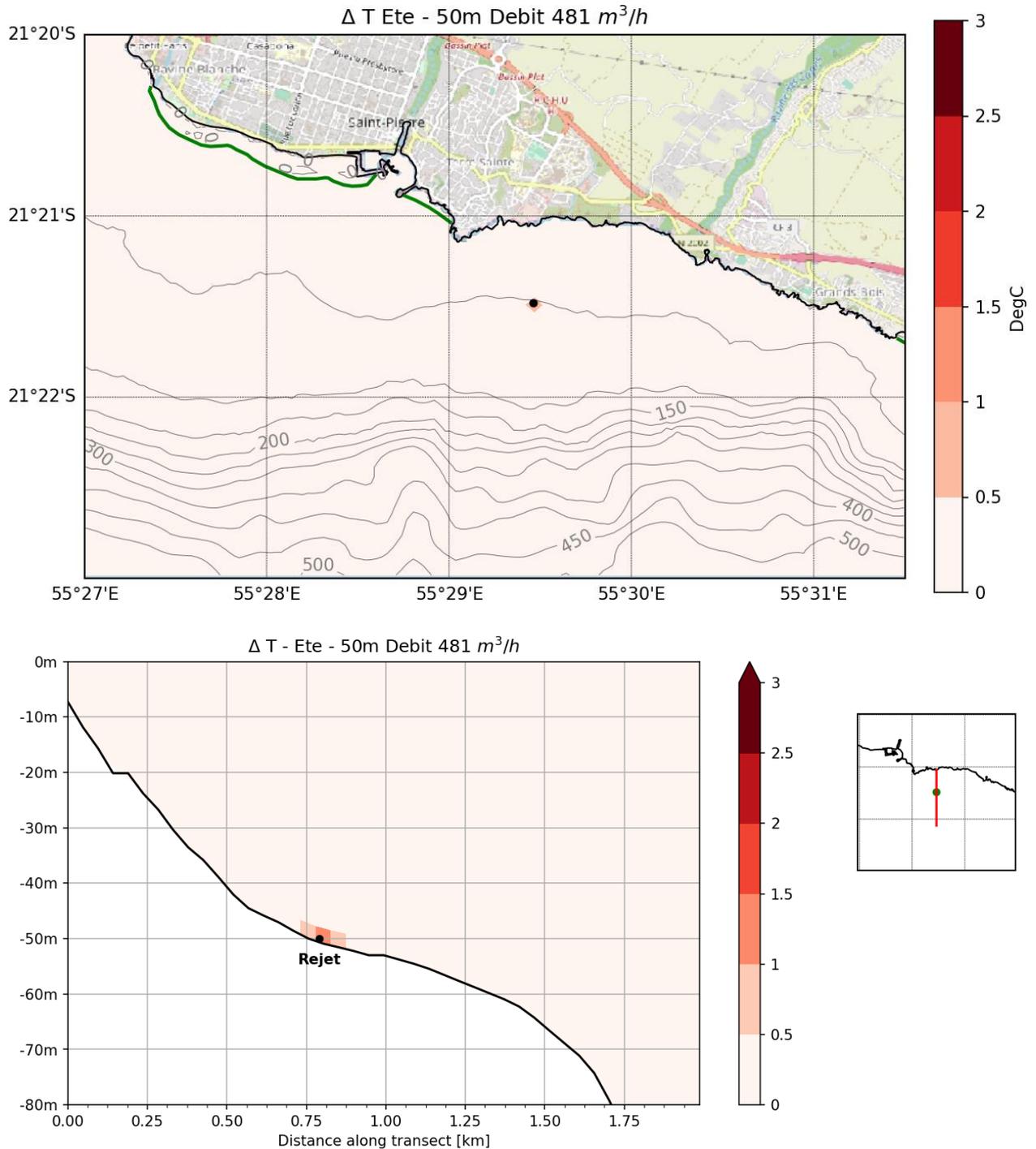


Figure 5-3 - Différence de température pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 481 m<sup>3</sup>/h en été austral

En haut : carte du maximum d'écart de température sur l'ensemble de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.  
 En bas : section du maximum d'écart de température sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).  
 La position du rejet est indiquée par un rond.  
 La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

### 5.3.3 SIMULATION 3 : REJET A 50 M AVEC UN DEBIT DE 1155 m<sup>3</sup>/h EN ETE AUSTRAL AVEC UN VENT MOYEN

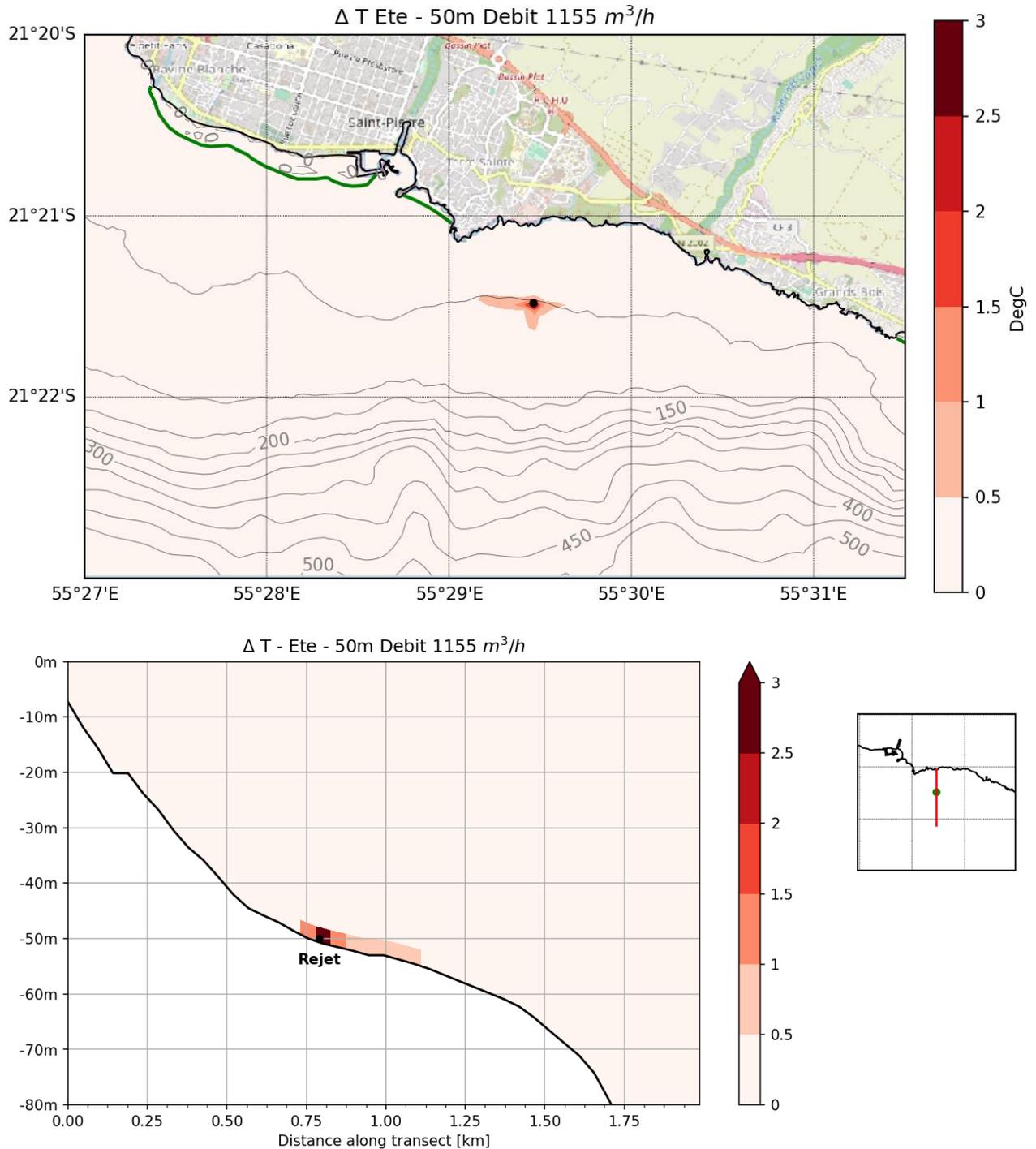


Figure 5-4 - Différence de température pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral

En haut : carte du maximum d'écart de température sur l'ensemble de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.  
 En bas : section du maximum d'écart de température sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).  
 La position du rejet est indiquée par un rond.  
 La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

5.3.4 SIMULATION 4 : REJET A 60 M AVEC UN DEBIT DE 1155 m<sup>3</sup>/h EN ETE AUSTRAL AVEC UN VENT MOYEN

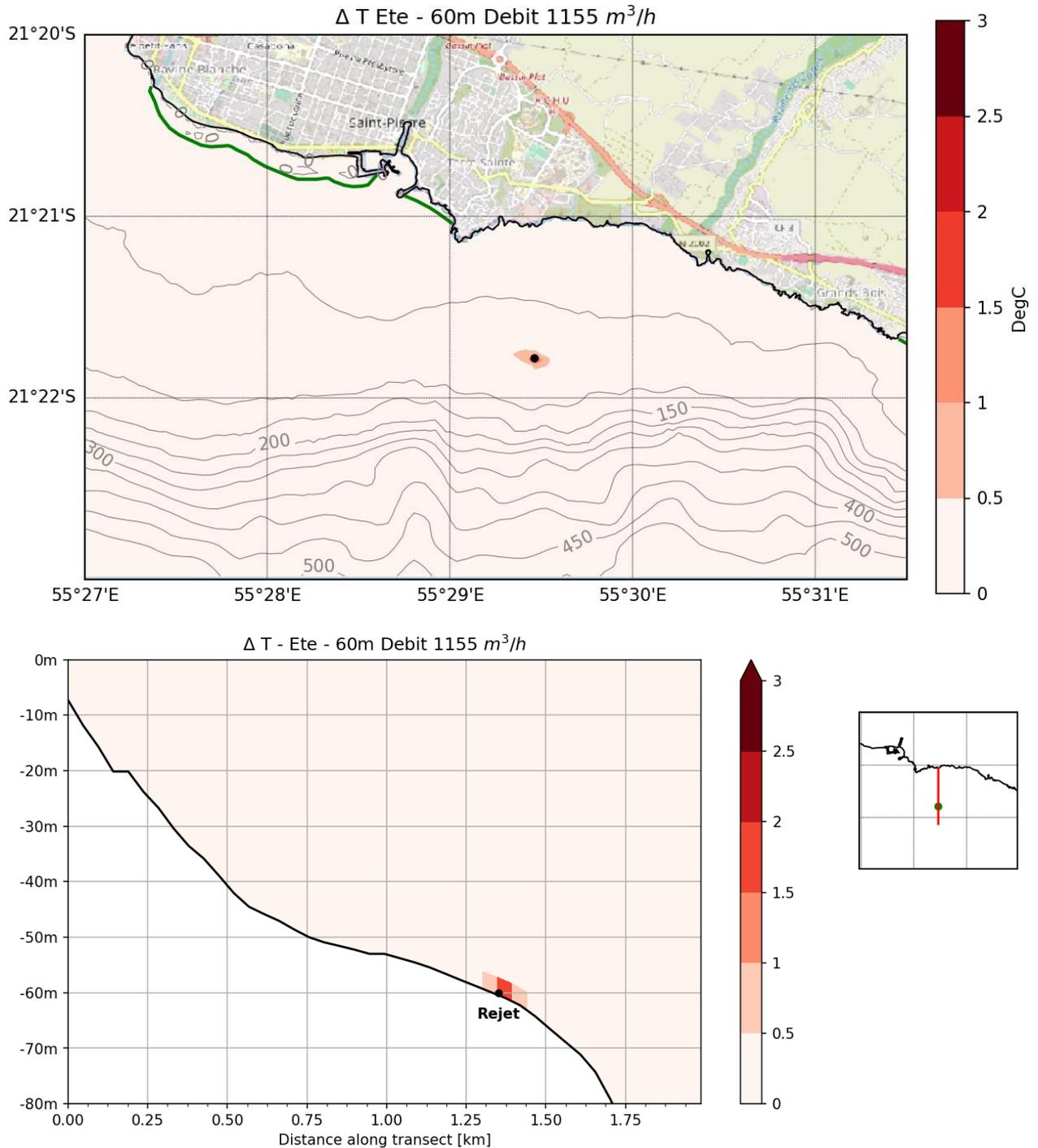


Figure 5-5 - Différence de température pour le scénario de rejet à 60 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral

En haut : carte du maximum d'écart de température sur l'ensemble de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.  
 En bas : section du maximum d'écart de température sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).  
 La position du rejet est indiquée par un rond.  
 La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

### 5.3.5 SIMULATION 5 : REJET A 50 M AVEC UN DEBIT DE 481 m<sup>3</sup>/h EN HIVER AUSTRAL AVEC UN VENT MOYEN

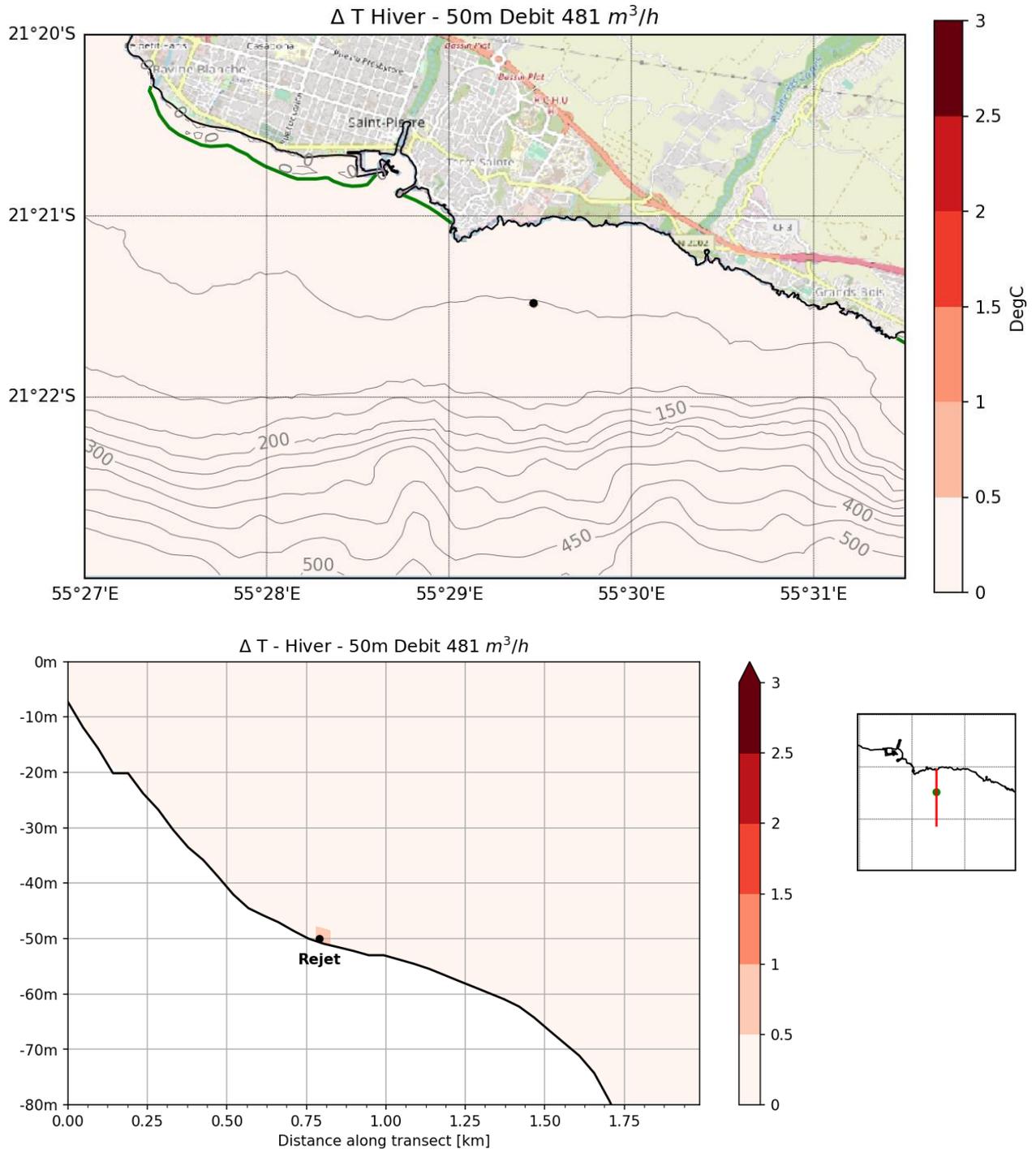


Figure 5-6 - Différence de température pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 481 m<sup>3</sup>/h en hiver austral

En haut : carte du maximum d'écart de température sur l'ensemble de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.  
 En bas : section du maximum d'écart de température sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).  
 La position du rejet est indiquée par un rond.  
 La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

5.3.6 SIMULATION 6 : REJET A 50 M AVEC UN DEBIT DE 1155 m<sup>3</sup>/h EN HIVER AUSTRAL AVEC UN VENT MOYEN

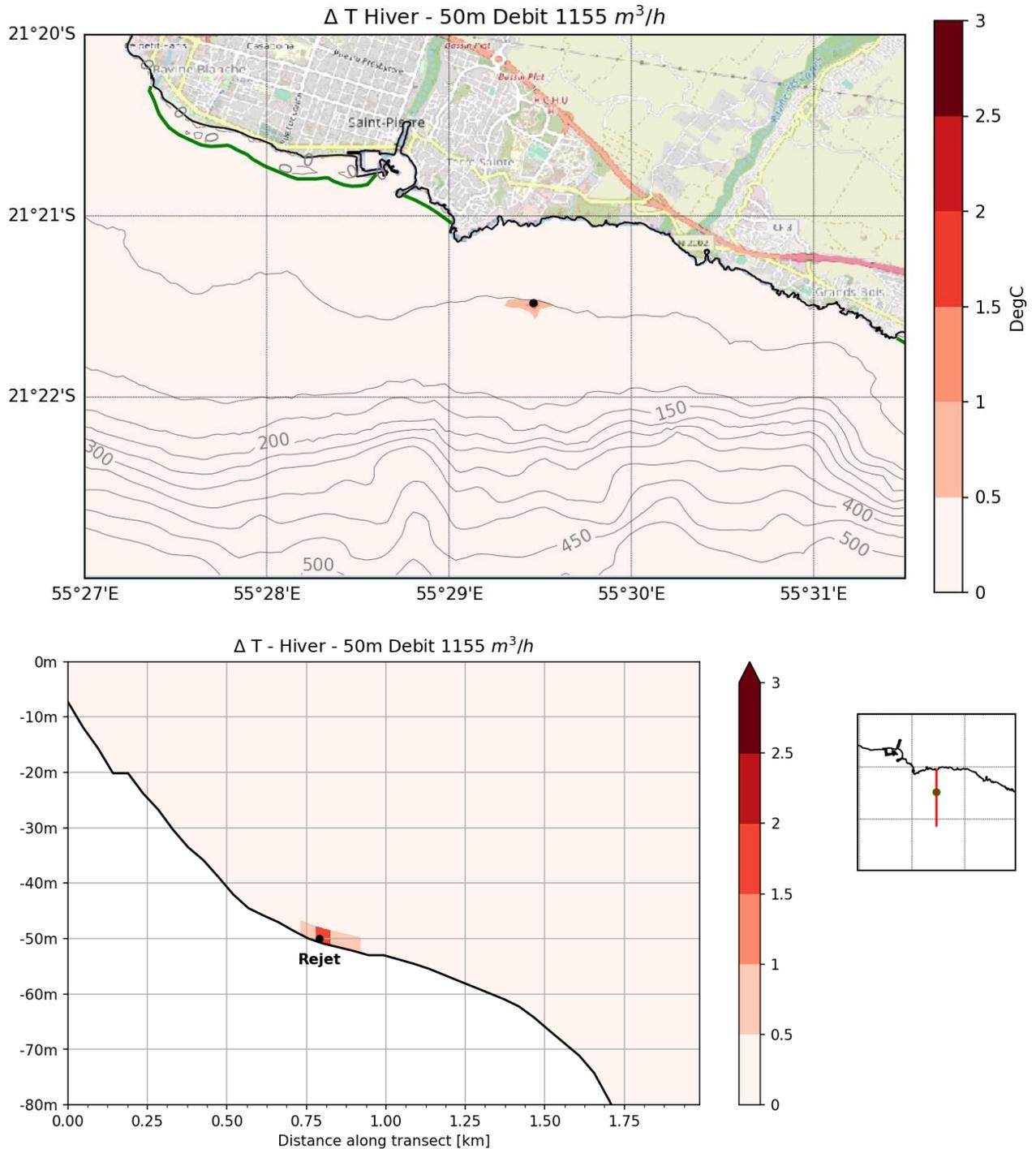


Figure 5-7 - Différence de température pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral

En haut : carte du maximum d'écart de température sur l'ensemble de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.  
 En bas : section du maximum d'écart de température sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).  
 La position du rejet est indiquée par un rond.  
 La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

5.3.7 SIMULATION 7 : REJET A 25 M AVEC UN DEBIT DE 1155 m<sup>3</sup>/h EN HIVER AUSTRAL AVEC UN VENT FORT

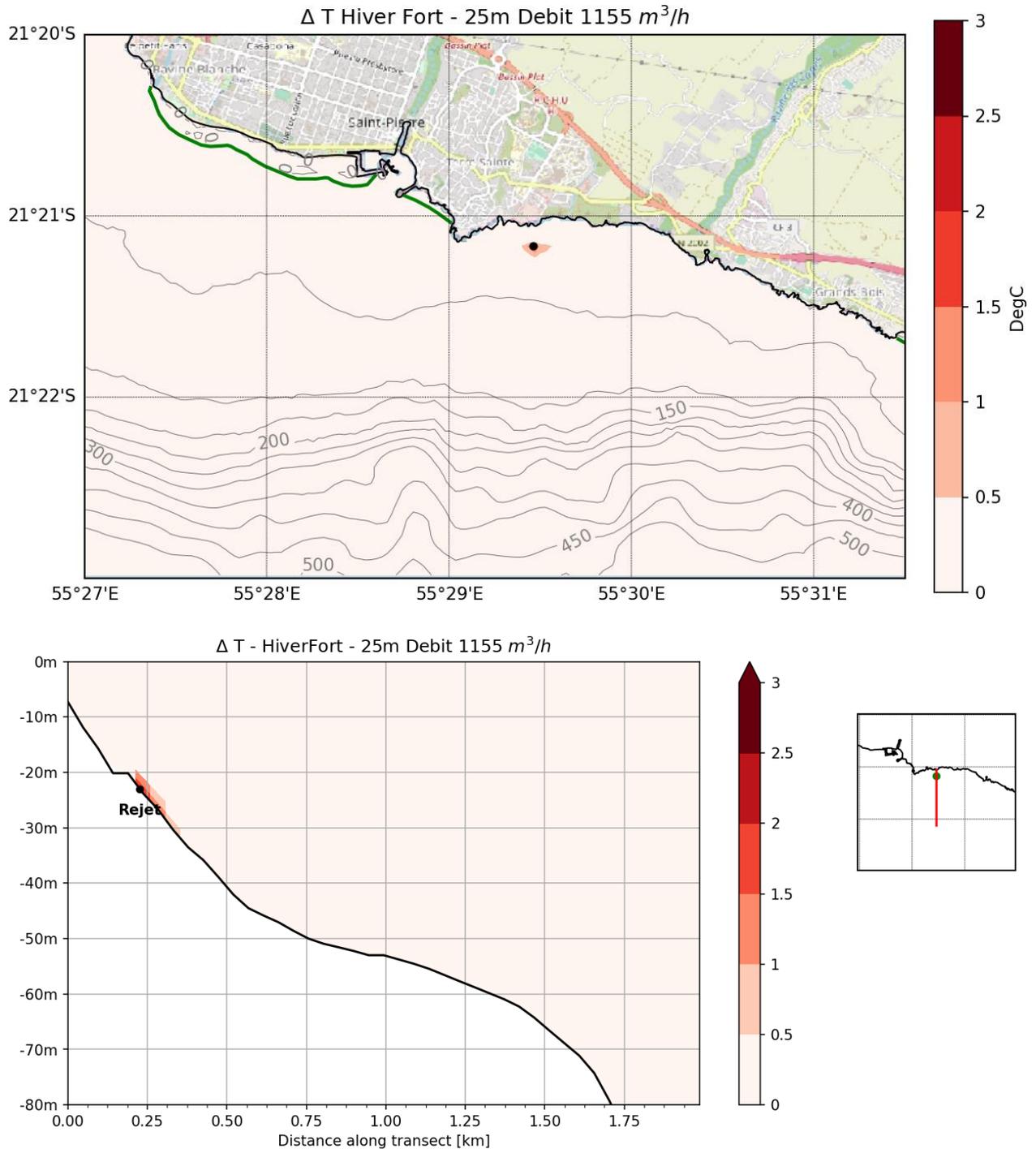


Figure 5-8 - Différence de température pour le scénario de rejet à 25 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent fort

En haut : carte du maximum d'écart de température sur l'ensemble de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.  
 En bas : section du maximum d'écart de température sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).  
 La position du rejet est indiquée par un rond.  
 La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

### 5.3.8 SIMULATION 8 : REJET A 50 M AVEC UN DEBIT DE 1155 m<sup>3</sup>/h EN HIVER AUSTRAL AVEC UN VENT FORT

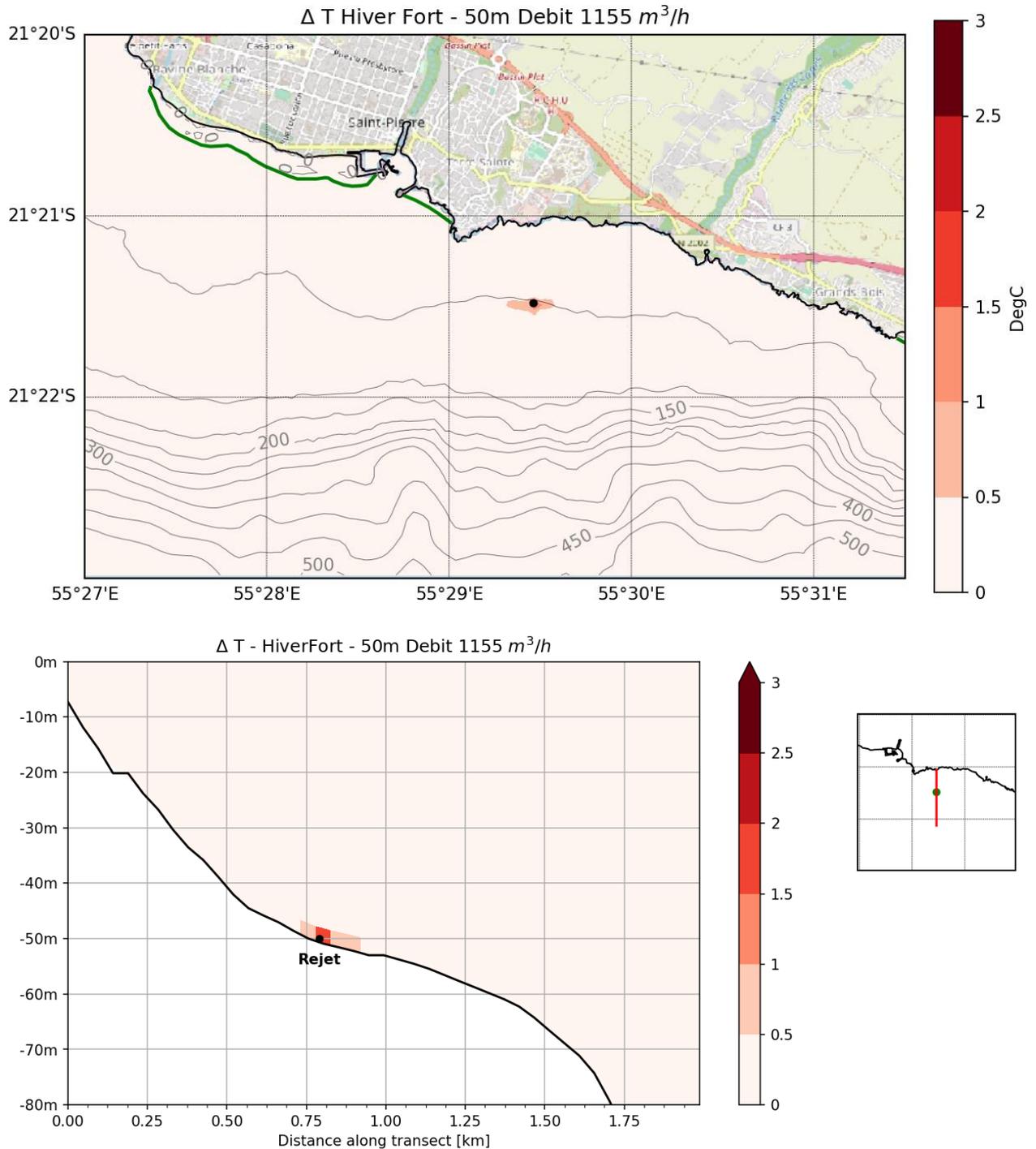


Figure 5-9 - Différence de température pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent fort

En haut : carte du maximum d'écart de température sur l'ensemble de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.  
 En bas : section du maximum d'écart de température sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).  
 La position du rejet est indiquée par un rond.  
 La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

5.3.9 SIMULATION 9 : REJET A 60 M AVEC UN DEBIT DE 1155 m<sup>3</sup>/h EN HIVER AUSTRAL AVEC UN VENT FORT

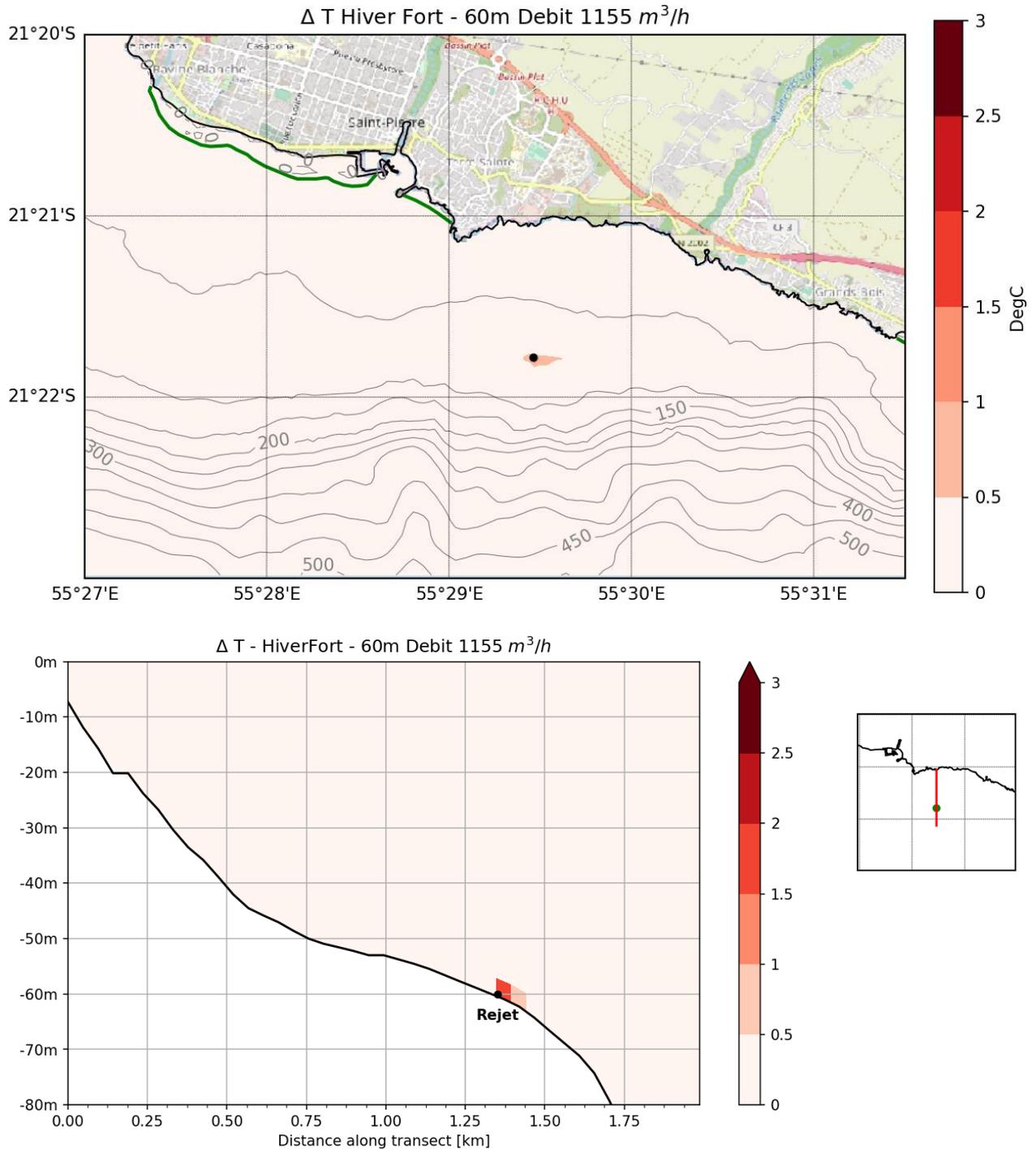


Figure 5-10 - Différence de température pour le scénario de rejet à 60 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent fort

En haut : carte du maximum d'écart de température sur l'ensemble de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.  
 En bas : section du maximum d'écart de température sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).  
 La position du rejet est indiquée par un rond.  
 La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

### 5.3.10 SIMULATION 10 : REJET A 50 M AVEC UN DEBIT DE 875 m<sup>3</sup>/h EN ETE AUSTRAL SANS VENT

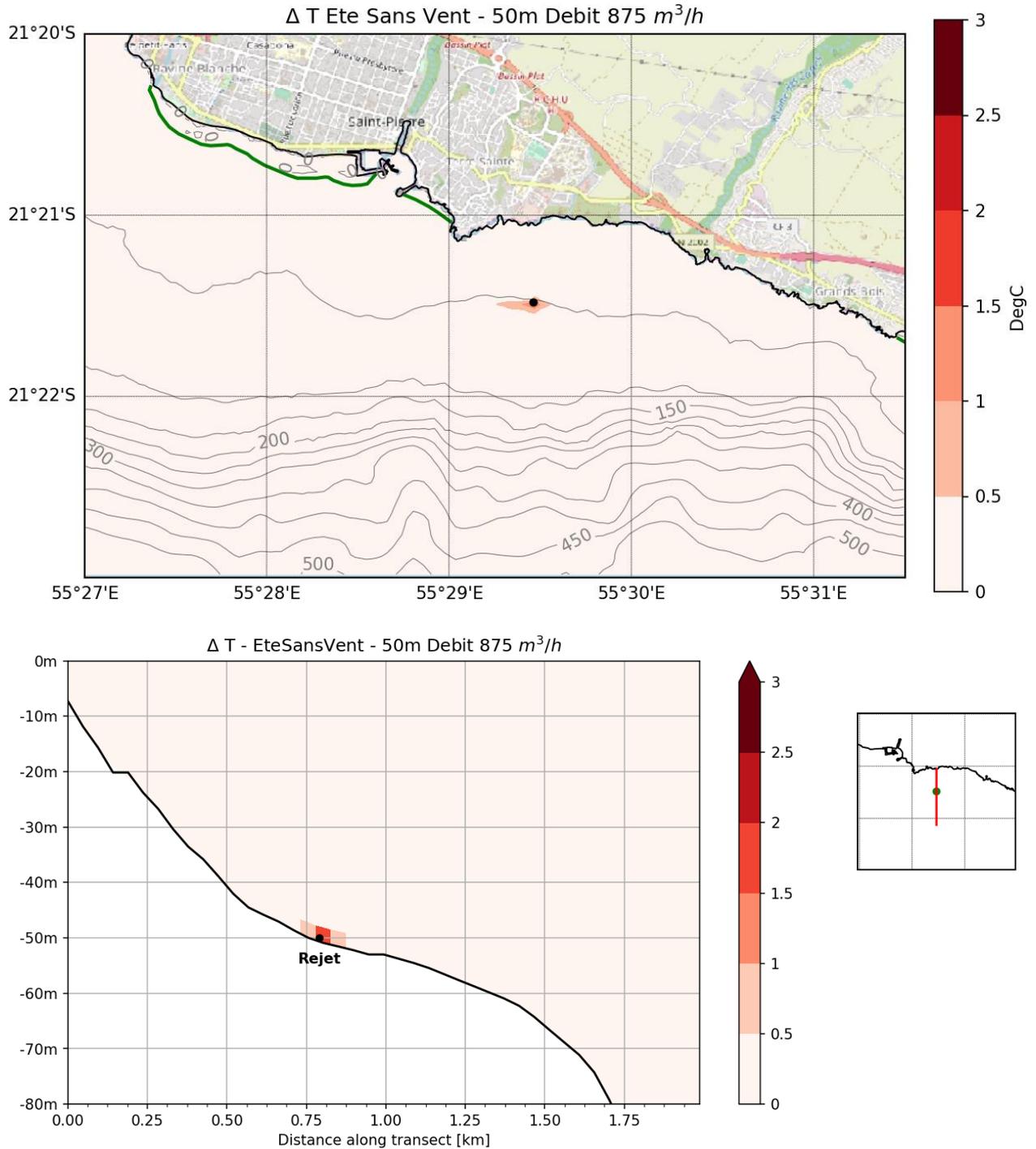


Figure 5-11 - Différence de température pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 875 m<sup>3</sup>/h en été austral sans vent

En haut : carte du maximum d'écart de température sur l'ensemble de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.  
 En bas : section du maximum d'écart de température sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).  
 La position du rejet est indiquée par un rond.  
 La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

### 5.3.11 SIMULATION 11 : REJET A 50 M AVEC UN DEBIT DE 685 m<sup>3</sup>/h EN HIVER AUSTRAL AVEC UN VENT MOYEN

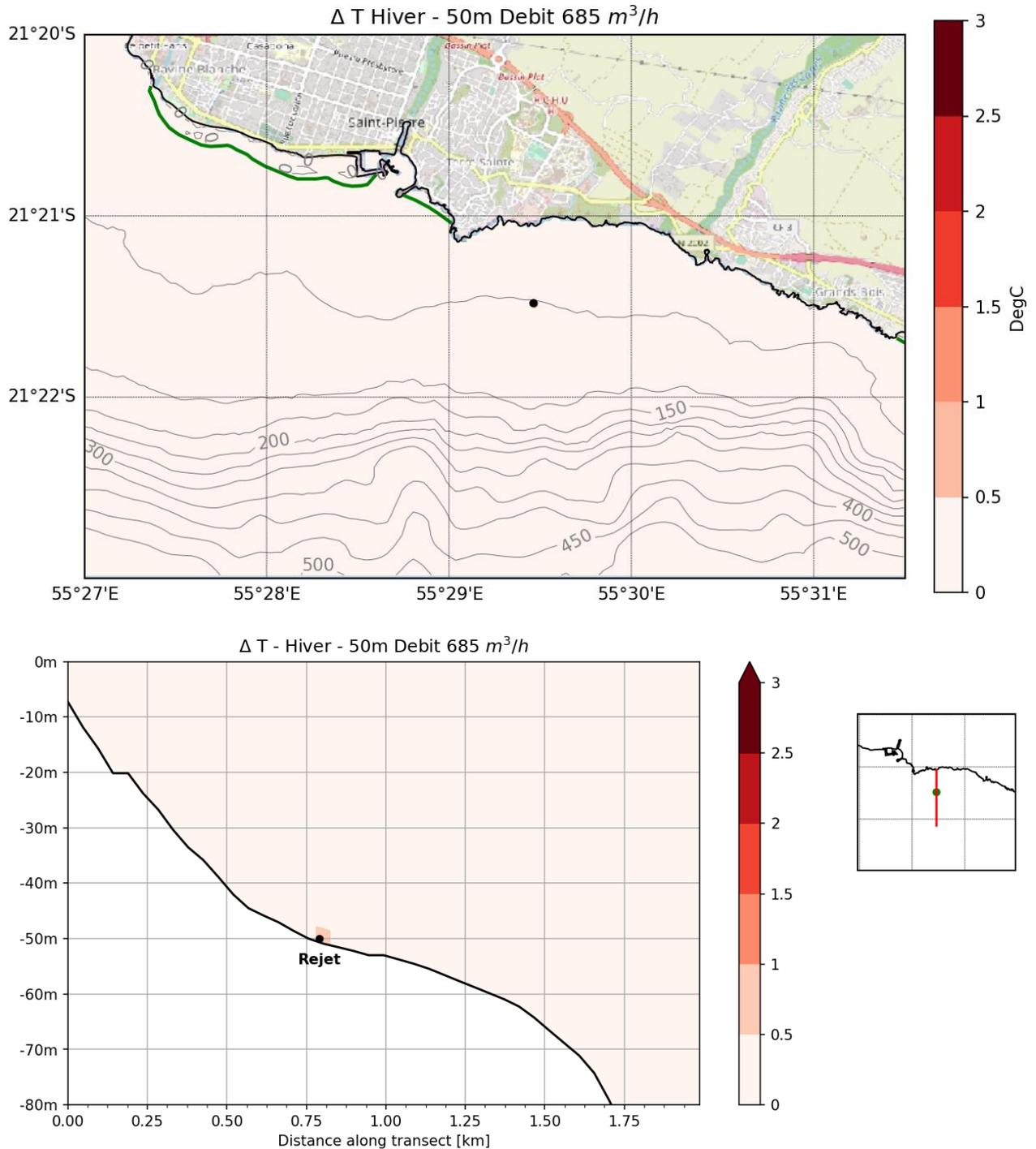


Figure 5-12 - Différence de température pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 685 m<sup>3</sup>/h en hiver austral

En haut : carte du maximum d'écart de température sur l'ensemble de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.  
 En bas : section du maximum d'écart de température sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).  
 La position du rejet est indiquée par un rond.  
 La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

5.3.12 SIMULATION 12 : REJET A 50 M AVEC UN DEBIT DE 1155 m<sup>3</sup>/h EN ETE AUSTRAL SANS VENT

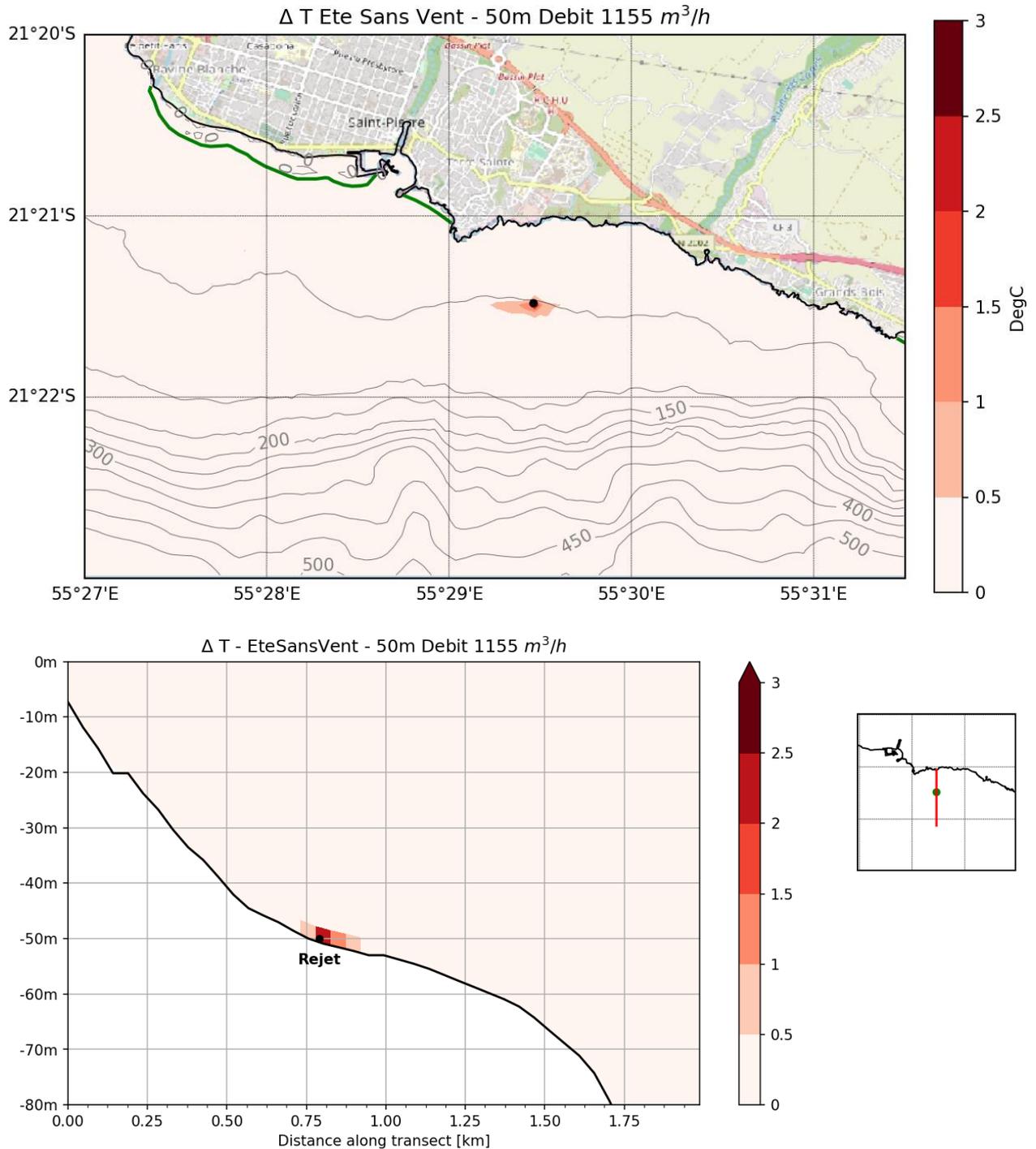


Figure 5-13 - Différence de température pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été sans vent

En haut : carte du maximum d'écart de température sur l'ensemble de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.  
 En bas : section du maximum d'écart de température sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).  
 La position du rejet est indiquée par un rond.  
 La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

## 5.4 CONCENTRATIONS

### 5.4.1 AZOTE TOTAL

#### 5.4.1.1 Simulation 1 : rejet à 25 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral avec un vent moyen

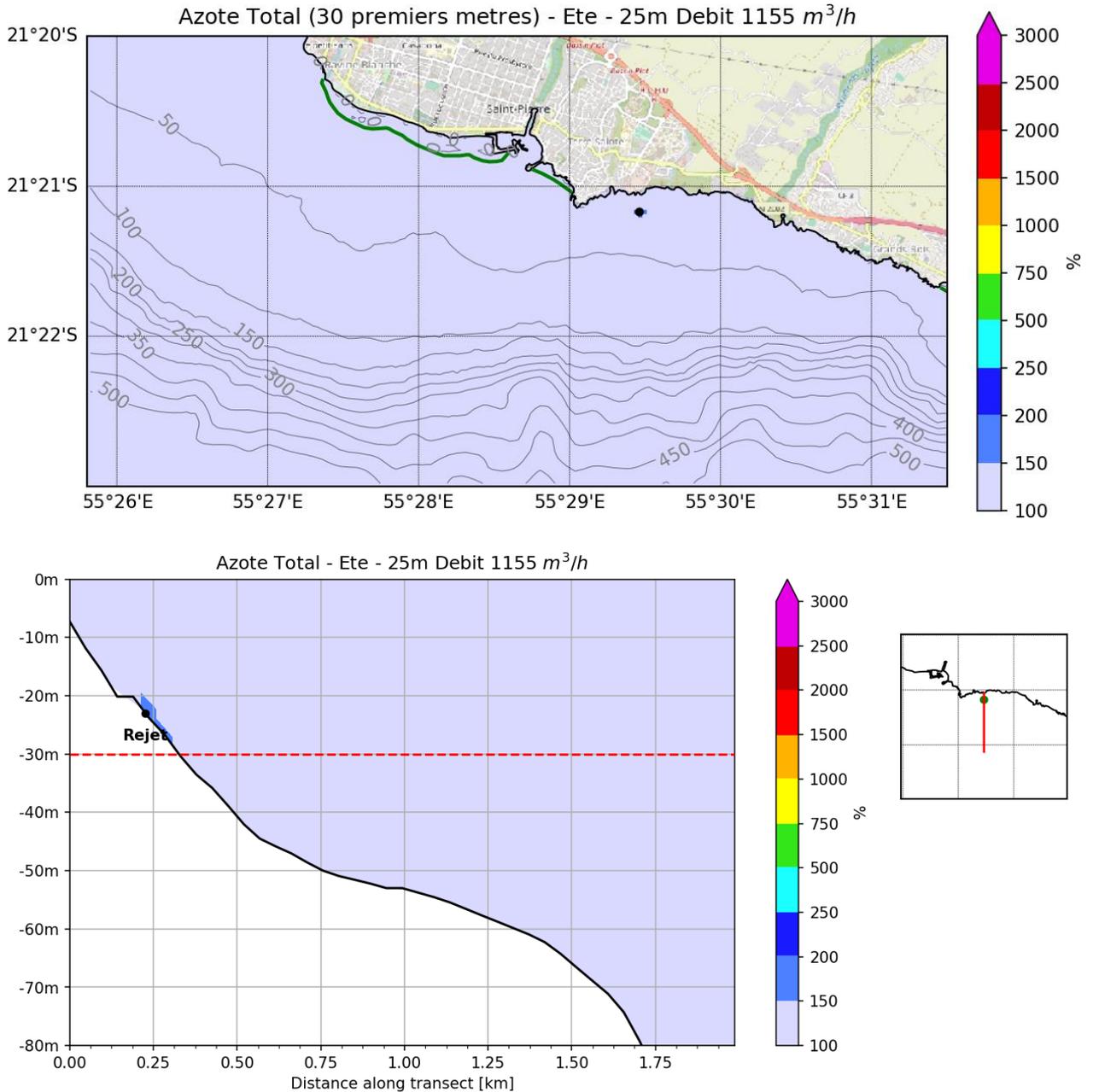


Figure 5-14 – Maximum de concentration en Azote Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 25 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral

En haut : carte du maximum de concentration en Azote Total sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Azote Total sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour l'Azote Total = 0.3 mg/L) : 150% = 0.45 mg/L, 200% = 0.6 mg/L

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.1.2 Simulation 2 : rejet à 50 m avec un débit de 481 m<sup>3</sup>/h en été austral avec un vent moyen

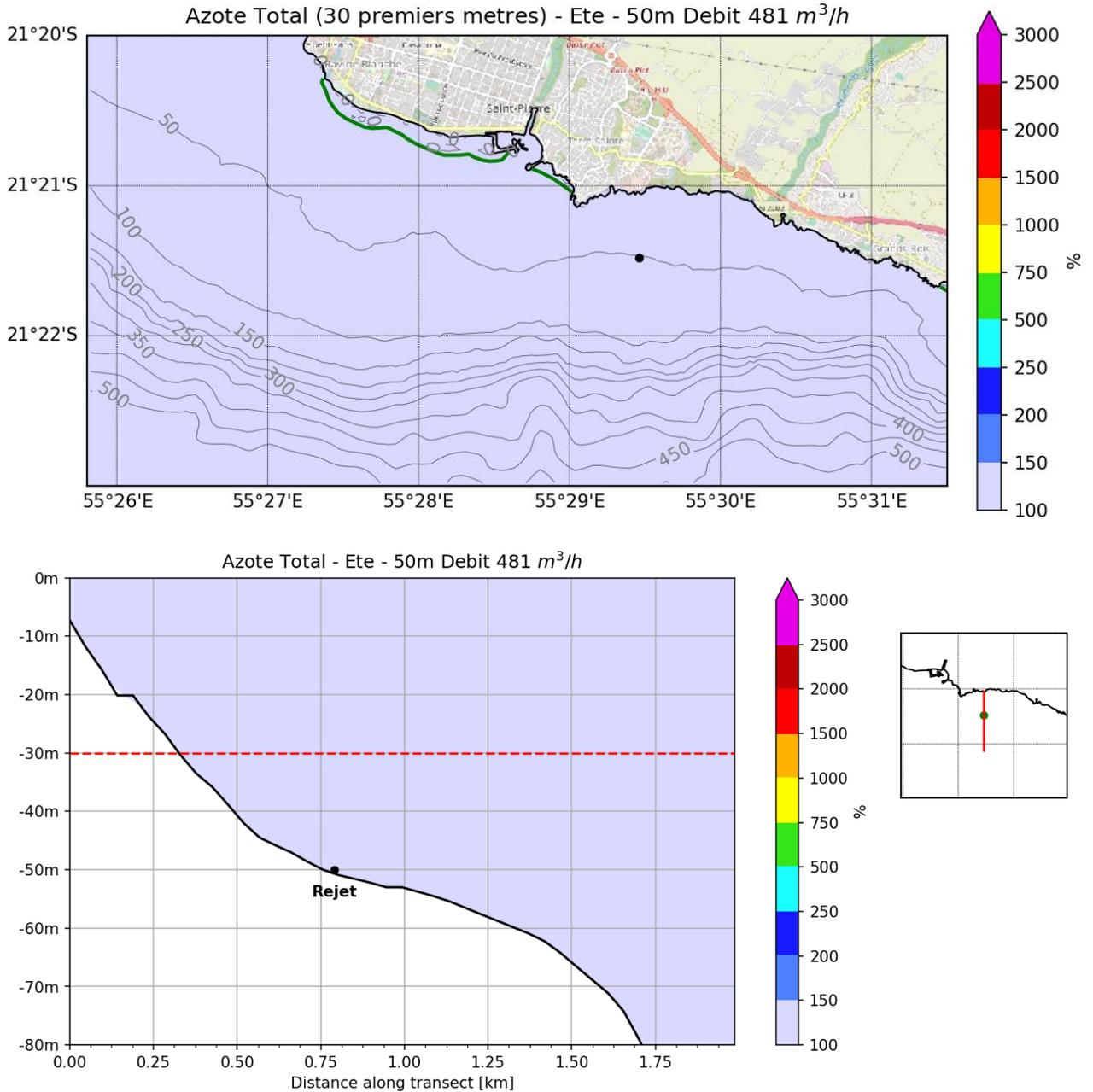


Figure 5-15 – Maximum de concentration en Azote Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 481 m<sup>3</sup>/h en été austral

En haut : carte du maximum de concentration en Azote Total sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Azote Total sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour l'Azote Total = 0.3 mg/L) : 150% = 0.45 mg/L, 200% = 0.6 mg/L

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.1.3 Simulation 3 : rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral avec un vent moyen

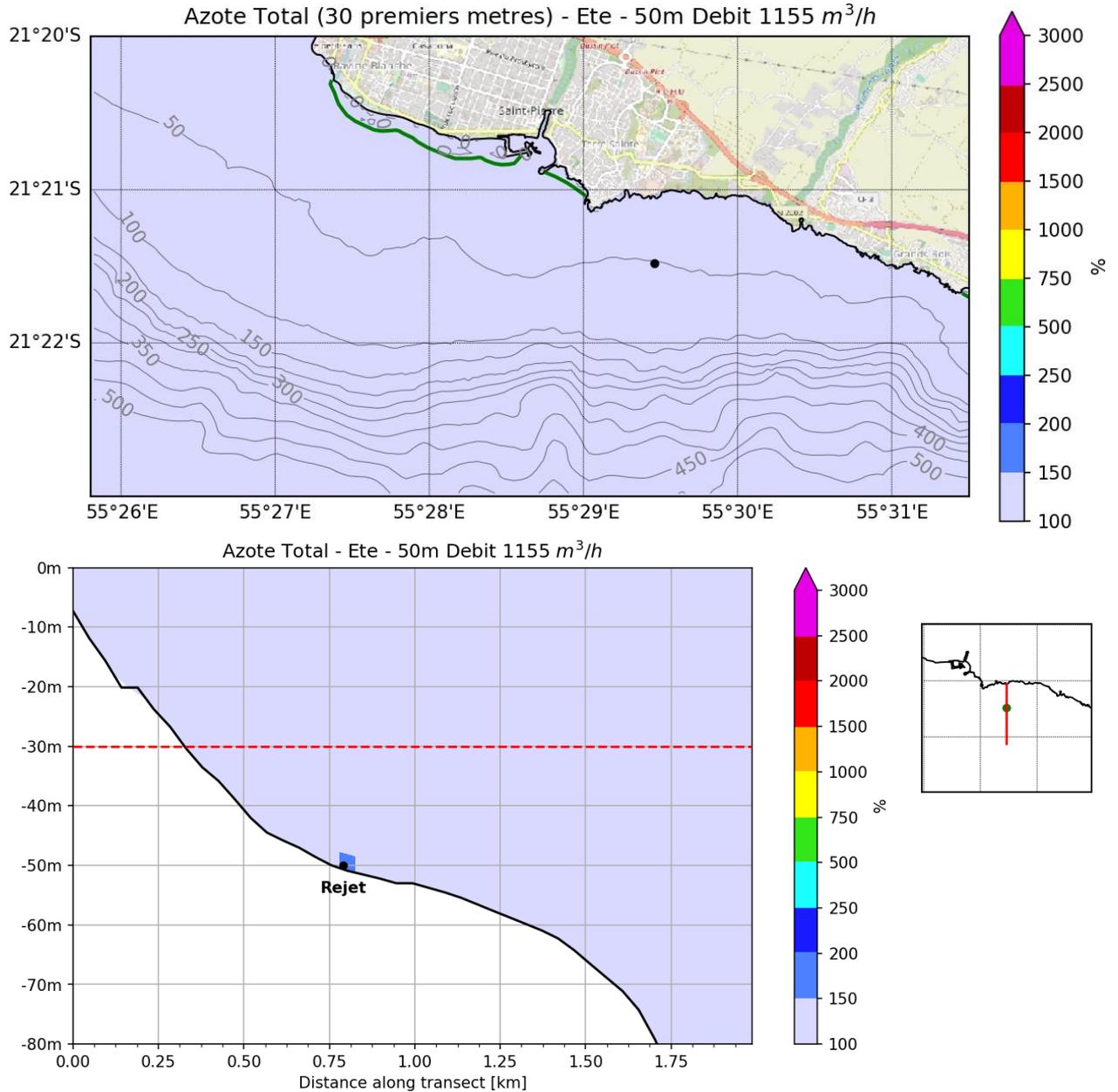


Figure 5-16 – Maximum de concentration en Azote Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral

En haut : carte du maximum de concentration en Azote Total sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Azote Total sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour l'Azote Total = 0.3 mg/L) : 150% = 0.45 mg/L, 200% = 0.6 mg/L

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.1.4 Simulation 4 : rejet à 60 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral avec un vent moyen

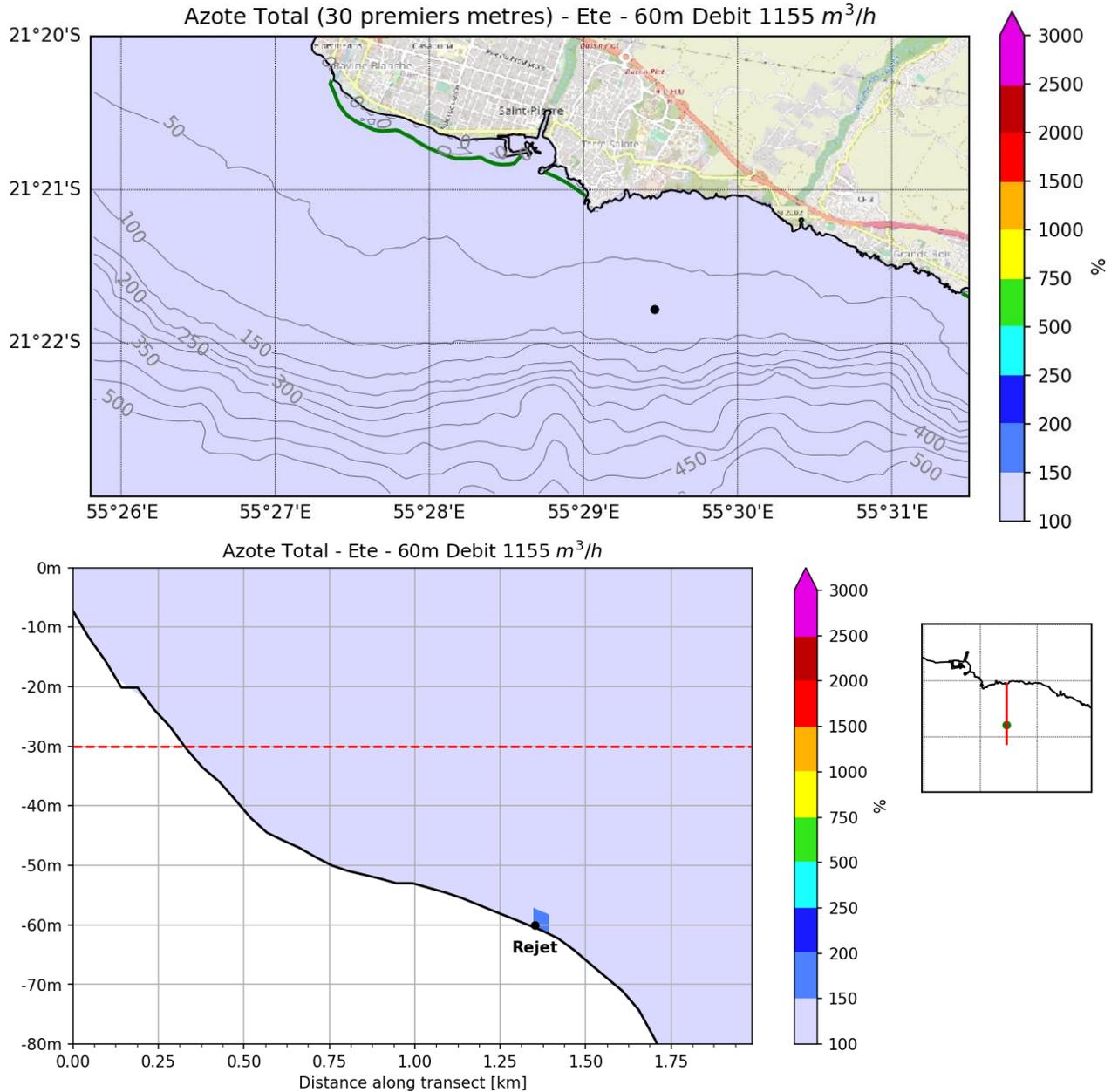


Figure 5-17 – Maximum de concentration en Azote Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 60 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral

En haut : carte du maximum de concentration en Azote Total sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Azote Total sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour l'Azote Total = 0.3 mg/L) : 150% = 0.45 mg/L, 200% = 0.6 mg/L

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.1.5 Simulation 5 : rejet à 50 m avec un débit de 481 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent moyen

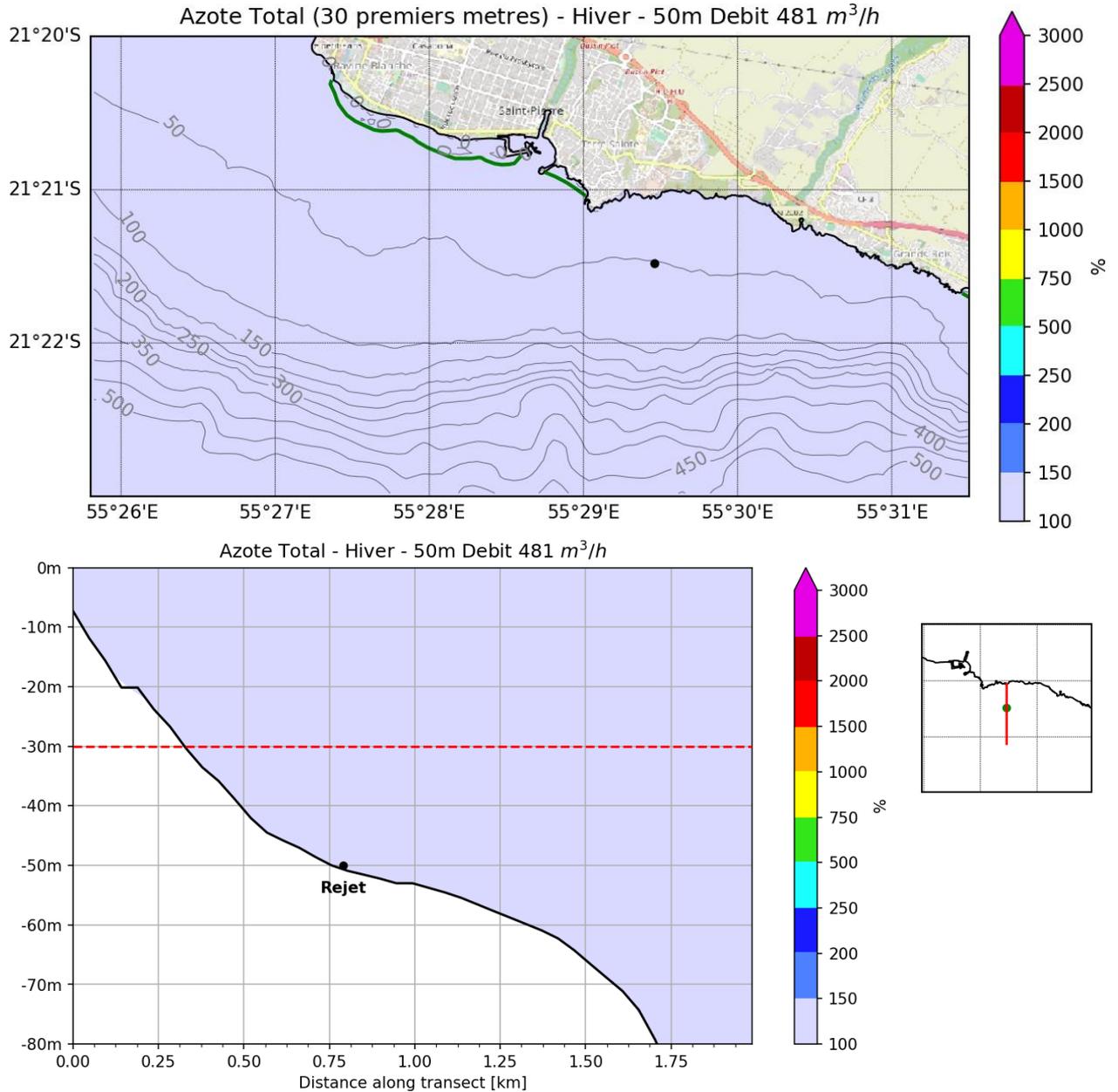


Figure 5-18 – Maximum de concentration en Azote Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 481 m<sup>3</sup>/h en hiver austral

En haut : carte du maximum de concentration en Azote Total sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Azote Total sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour l'Azote Total = 0.3 mg/L) : 150% = 0.45 mg/L, 200% = 0.6 mg/L

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.1.6 Simulation 6 : rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent moyen

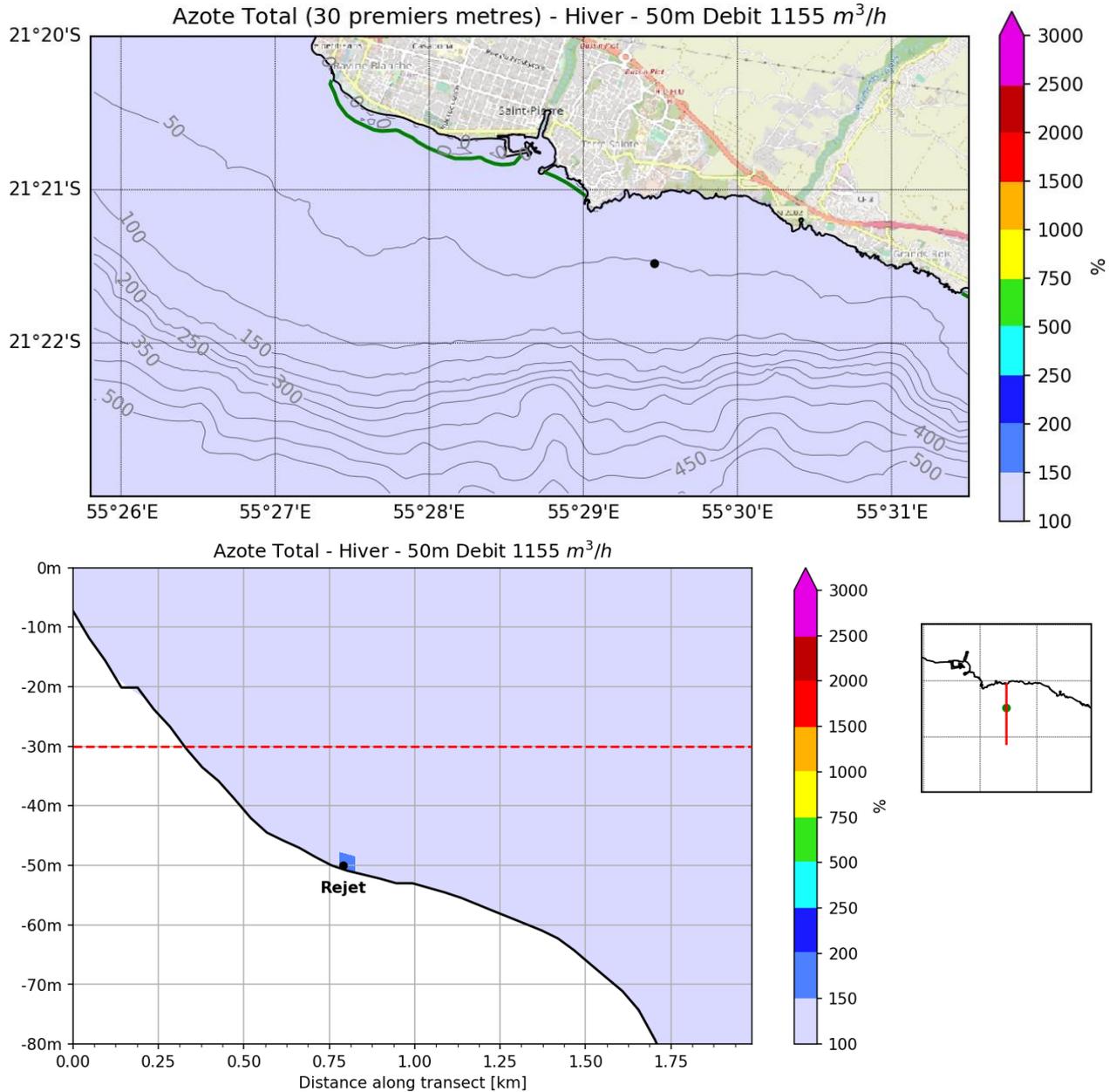


Figure 5-19 – Maximum de concentration en Azote Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral

En haut : carte du maximum de concentration en Azote Total sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Azote Total sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour l'Azote Total = 0.3 mg/L) : 150% = 0.45 mg/L, 200% = 0.6 mg/L

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.1.7 Simulation 7 : rejet à 25 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent fort

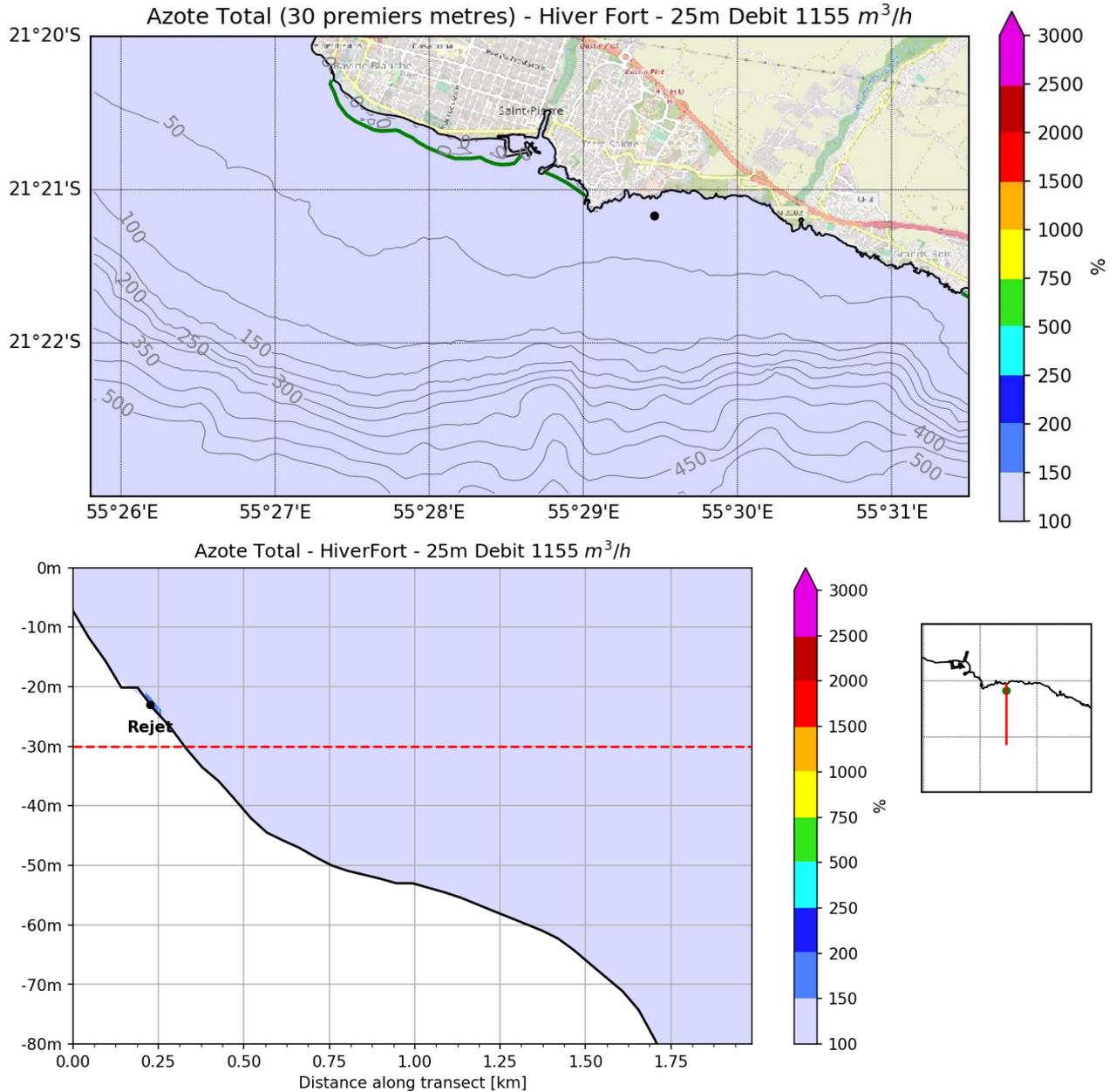


Figure 5-20 – Maximum de concentration en Azote Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 25 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent fort

En haut : carte du maximum de concentration en Azote Total sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Azote Total sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour l'Azote Total = 0.3 mg/L) : 150% = 0.45 mg/L, 200% = 0.6 mg/L

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.1.8 Simulation 8 : rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent fort

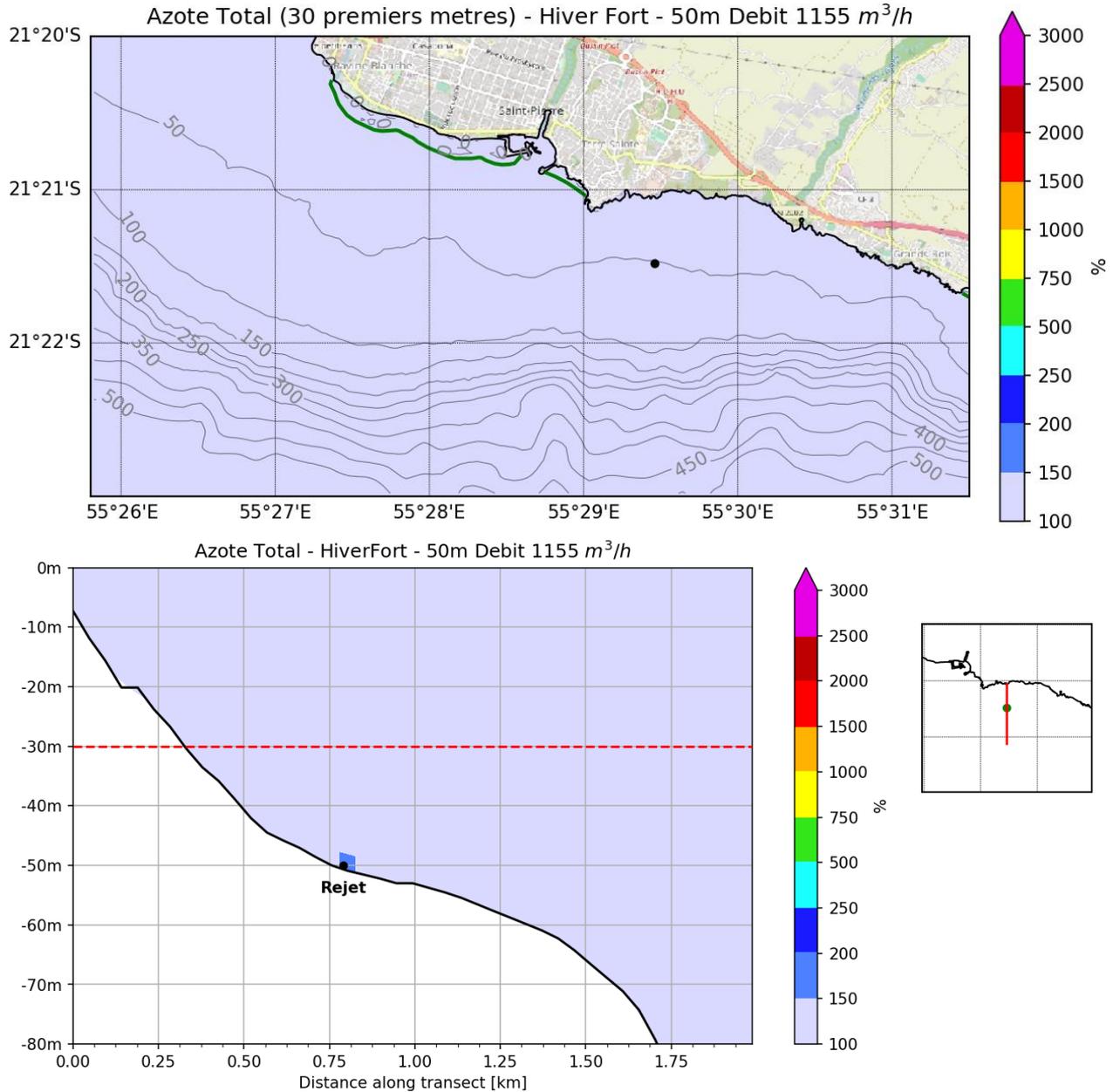


Figure 5-21 – Maximum de concentration en Azote Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent fort

En haut : carte du maximum de concentration en Azote Total sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Azote Total sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour l'Azote Total = 0.3 mg/L) : 150% = 0.45 mg/L, 200% = 0.6 mg/L

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.1.9 Simulation 9 : rejet à 60 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent fort

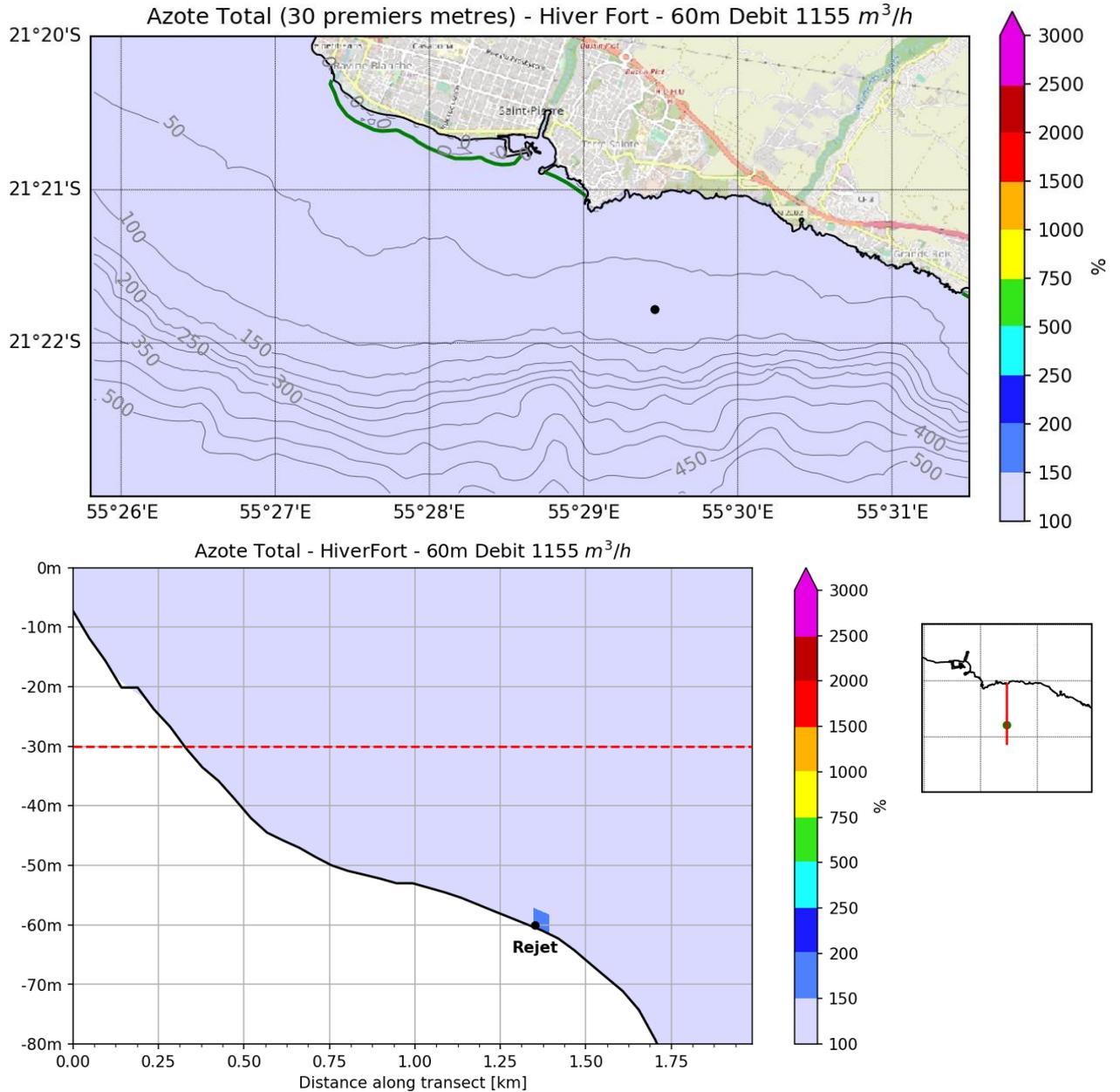


Figure 5-22 – Maximum de concentration en Azote Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 60 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent fort

En haut : carte du maximum de concentration en Azote Total sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Azote Total sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour l'Azote Total = 0.3 mg/L) : 150% = 0.45 mg/L, 200% = 0.6 mg/L

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.1.10 Simulation 10 : rejet à 50 m avec un débit de 875 m<sup>3</sup>/h en été austral sans vent

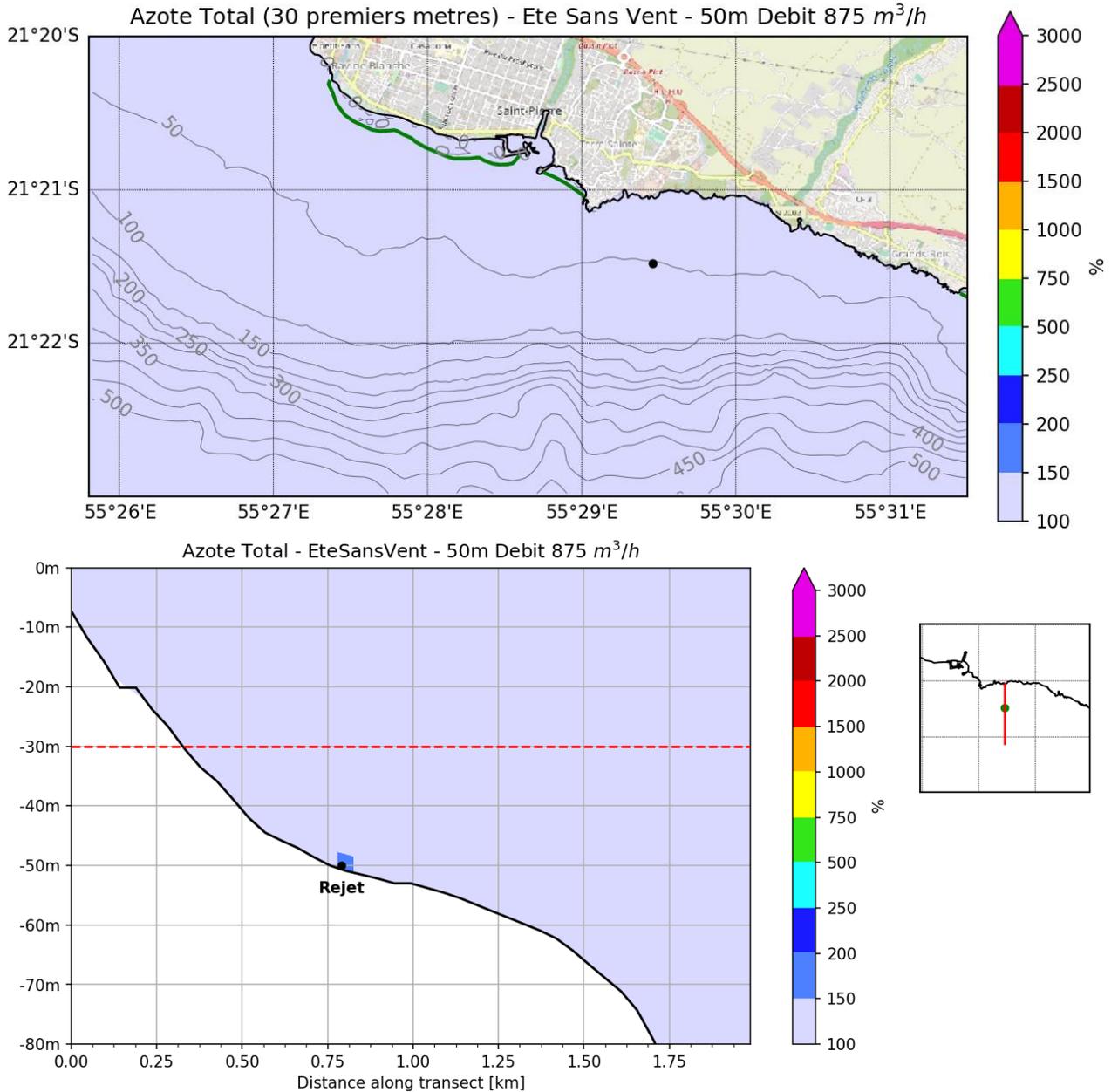


Figure 5-23 – Maximum de concentration en Azote Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 875 m<sup>3</sup>/h en été austral sans vent

En haut : carte du maximum de concentration en Azote Total sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Azote Total sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour l'Azote Total = 0.3 mg/L) : 150% = 0.45 mg/L, 200% = 0.6 mg/L

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.1.11 Simulation 11 : rejet à 50 m avec un débit de 685 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent moyen

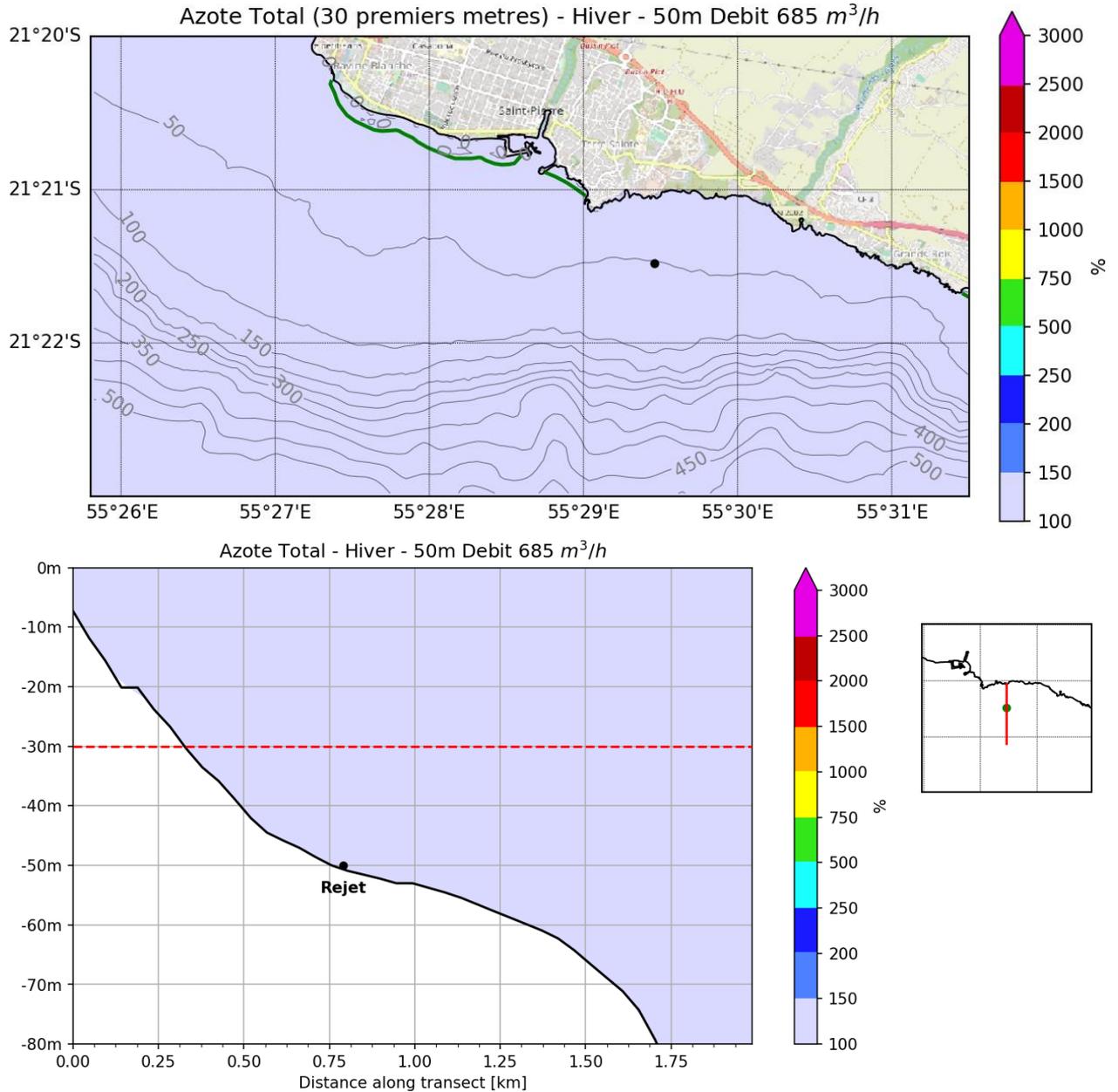


Figure 5-24 – Maximum de concentration en Azote Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 685 m<sup>3</sup>/h en hiver austral

En haut : carte du maximum de concentration en Azote Total sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Azote Total sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour l'Azote Total = 0.3 mg/L) : 150% = 0.45 mg/L, 200% = 0.6 mg/L

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.1.12 Simulation 12 : rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral sans vent

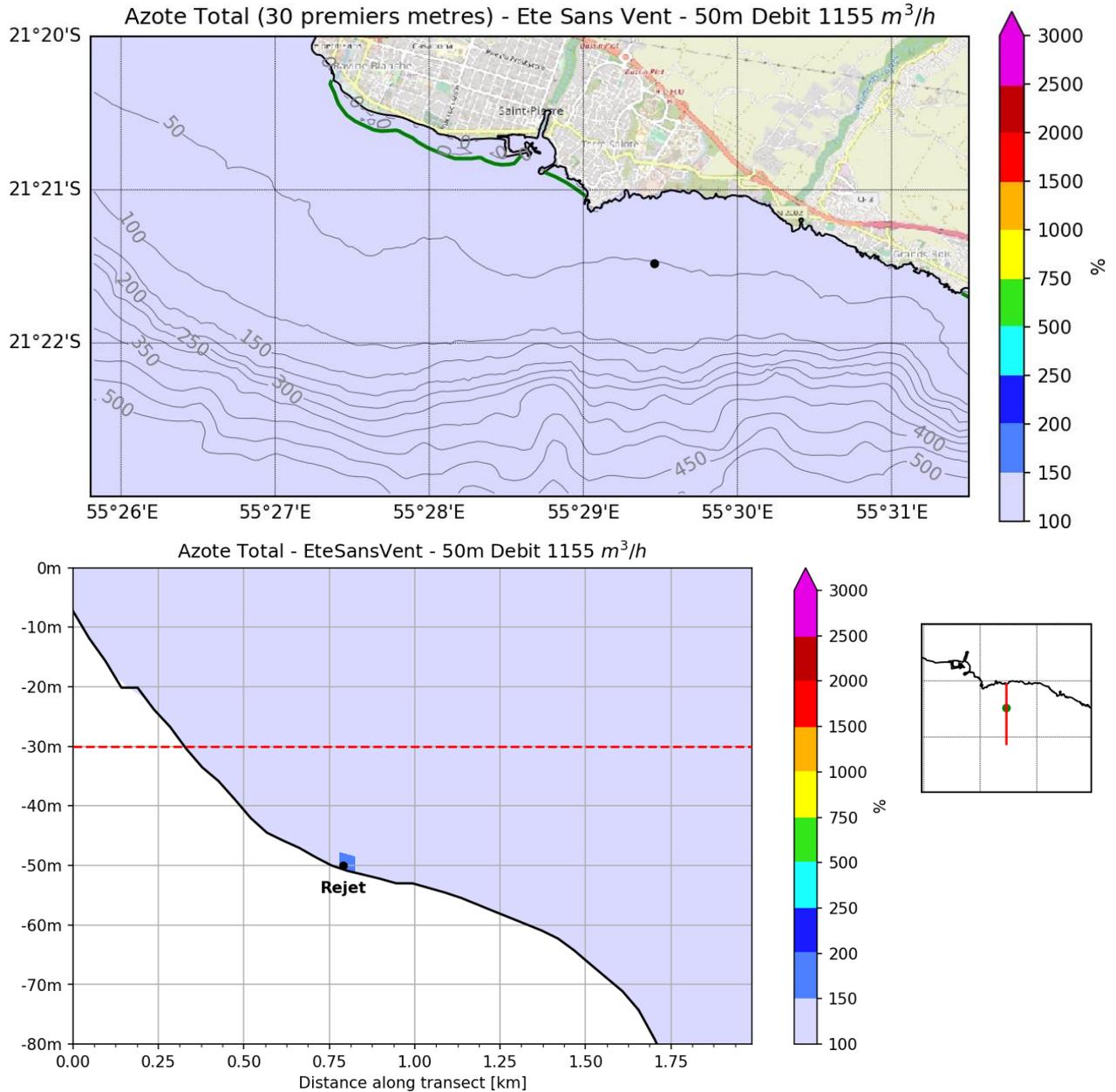


Figure 5-25 – Maximum de concentration en Azote Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été sans vent

En haut : carte du maximum de concentration en Azote Total sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Azote Total sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour l'Azote Total = 0.3 mg/L) : 150% = 0.45 mg/L, 200% = 0.6 mg/L

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

### 5.4.2 NITRATE

#### 5.4.2.1 Simulation 1 : rejet à 25 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral avec un vent moyen

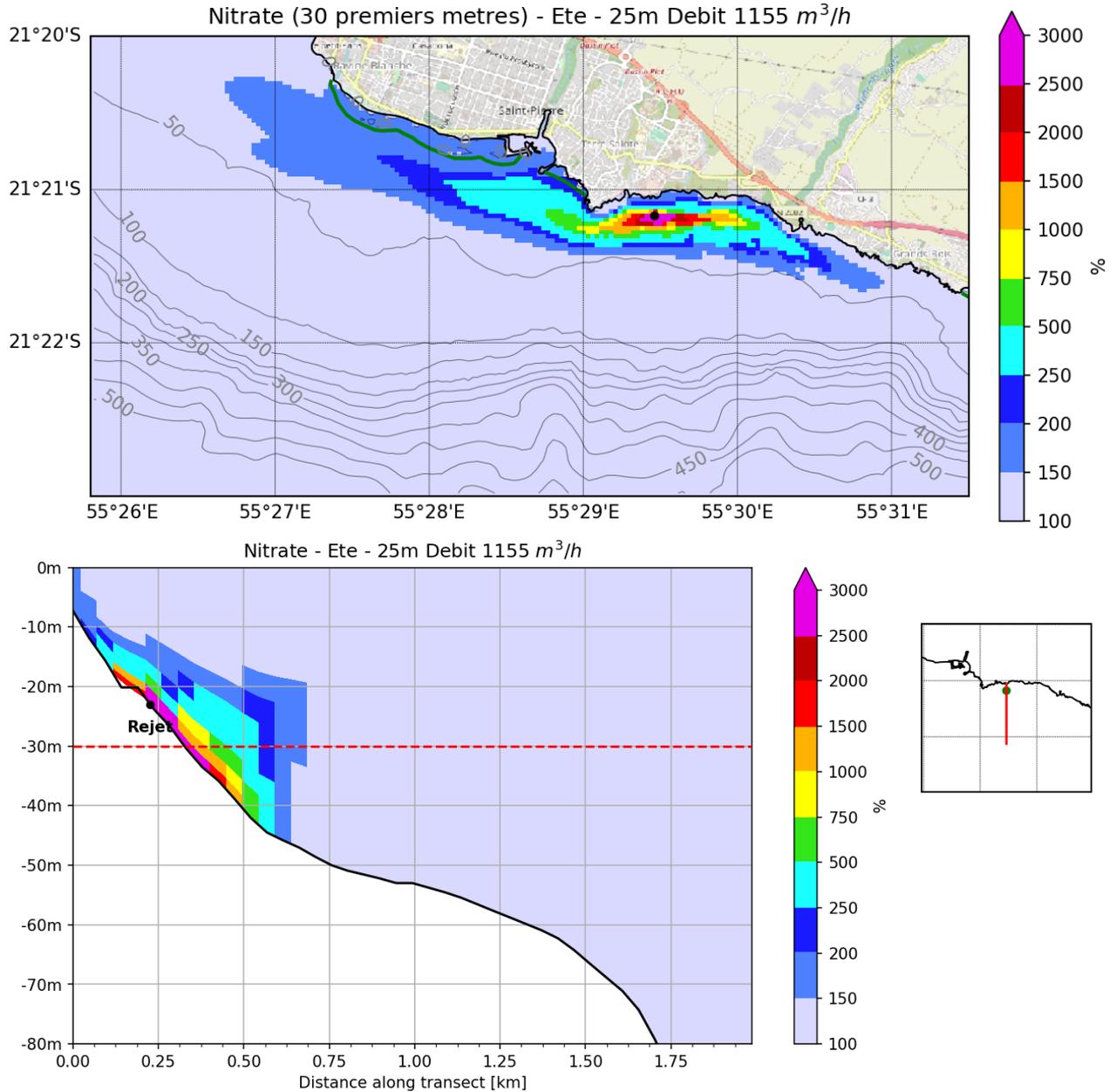


Figure 5-26 – Maximum de concentration en Nitrate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 25 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral

En haut : carte du maximum de concentration en Nitrate sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Nitrate sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Nitrate = 0.1 µMol) : 150% = 0.15 µMol, 200% = 0.2 µMol

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.2.2 Simulation 2 : rejet à 50 m avec un débit de 481 m<sup>3</sup>/h en été austral avec un vent moyen

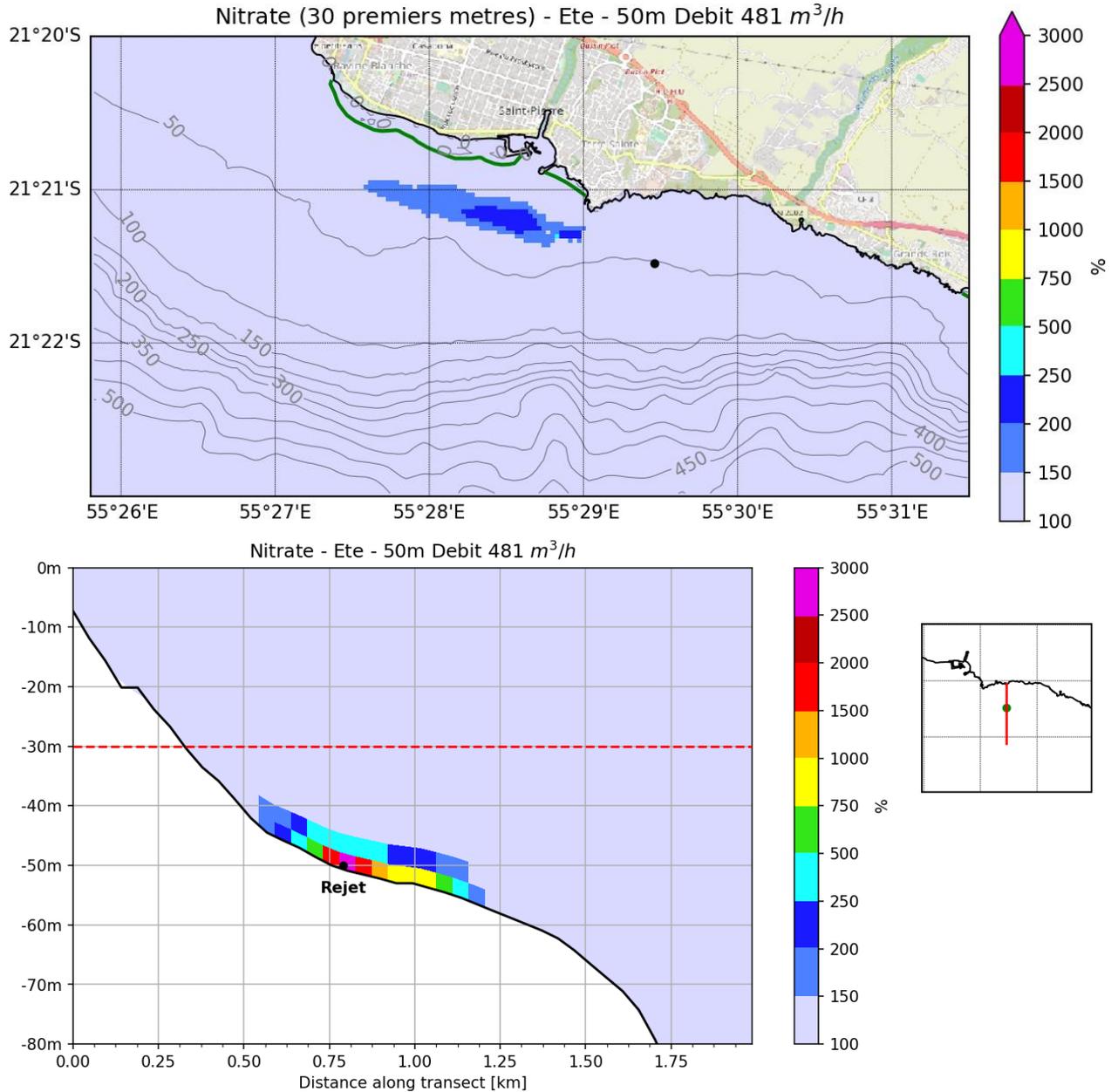


Figure 5-27 – Maximum de concentration en Nitrate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 481 m<sup>3</sup>/h en été austral

En haut : carte du maximum de concentration en Nitrate sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Nitrate sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Nitrate = 0.1 µMol) : 150% = 0.15 µMol, 200% = 0.2 µMol

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.2.3 Simulation 3 : rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral avec un vent moyen

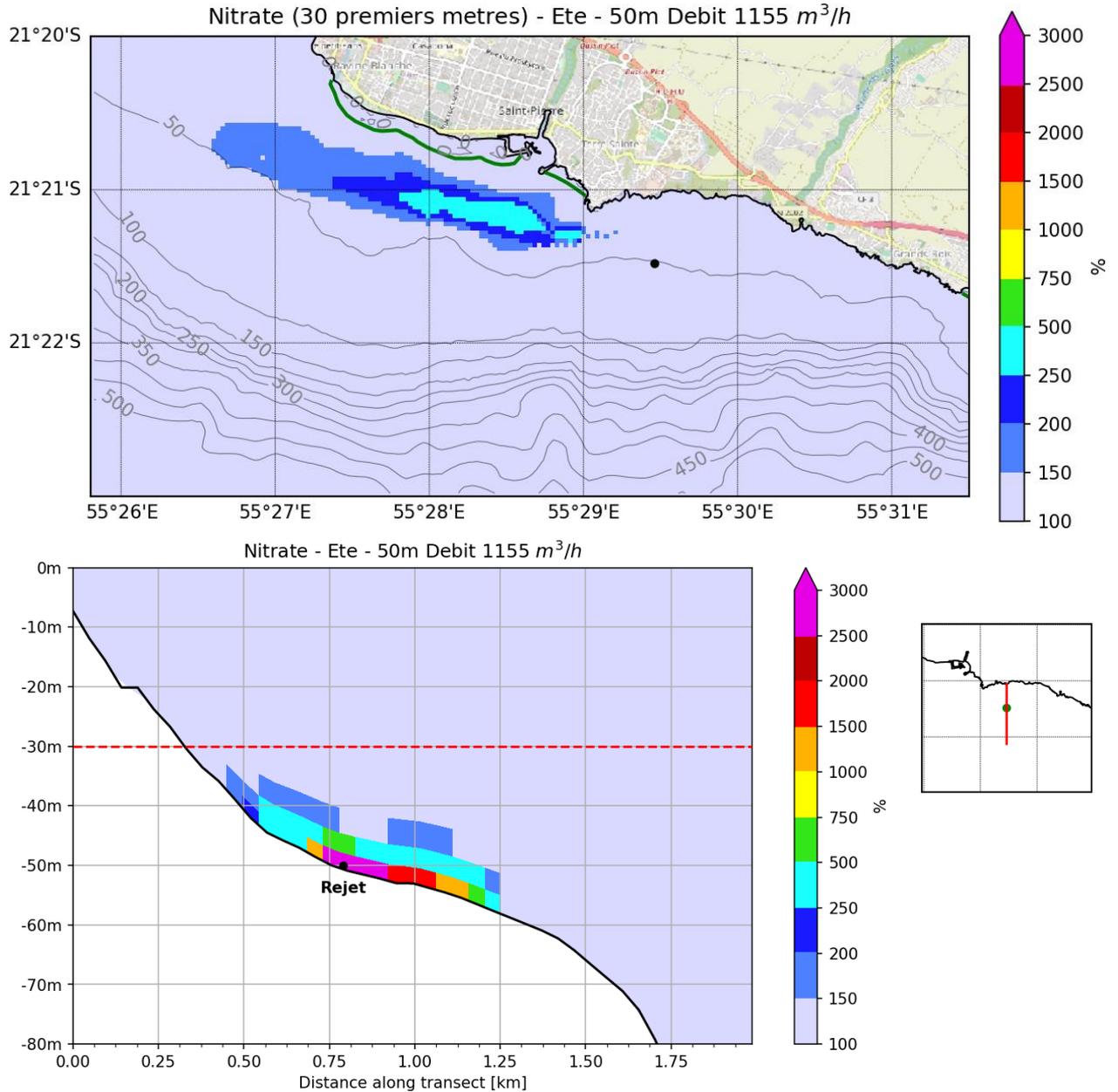


Figure 5-28 – Maximum de concentration en Nitrate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral

En haut : carte du maximum de concentration en Nitrate sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Nitrate sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Nitrate = 0.1 µMol) : 150% = 0.15 µMol, 200% = 0.2 µMol

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.2.4 Simulation 4 : rejet à 60 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral avec un vent moyen

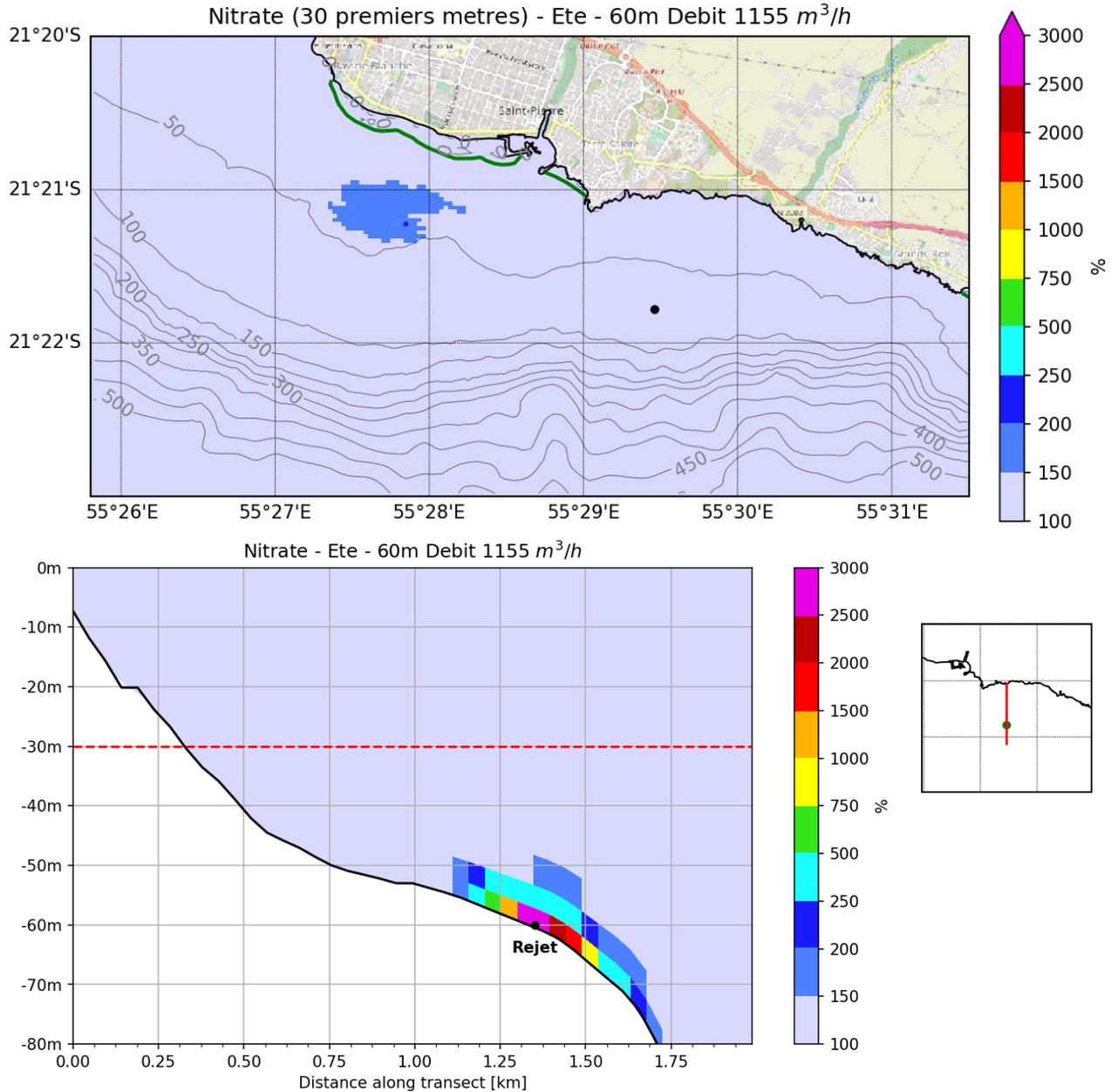


Figure 5-29 – Maximum de concentration en Nitrate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 60 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral

En haut : carte du maximum de concentration en Nitrate sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Nitrate sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Nitrate = 0.1 µMol) : 150% = 0.15 µMol, 200% = 0.2 µMol

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.2.5 Simulation 5 : rejet à 50 m avec un débit de 481 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent moyen

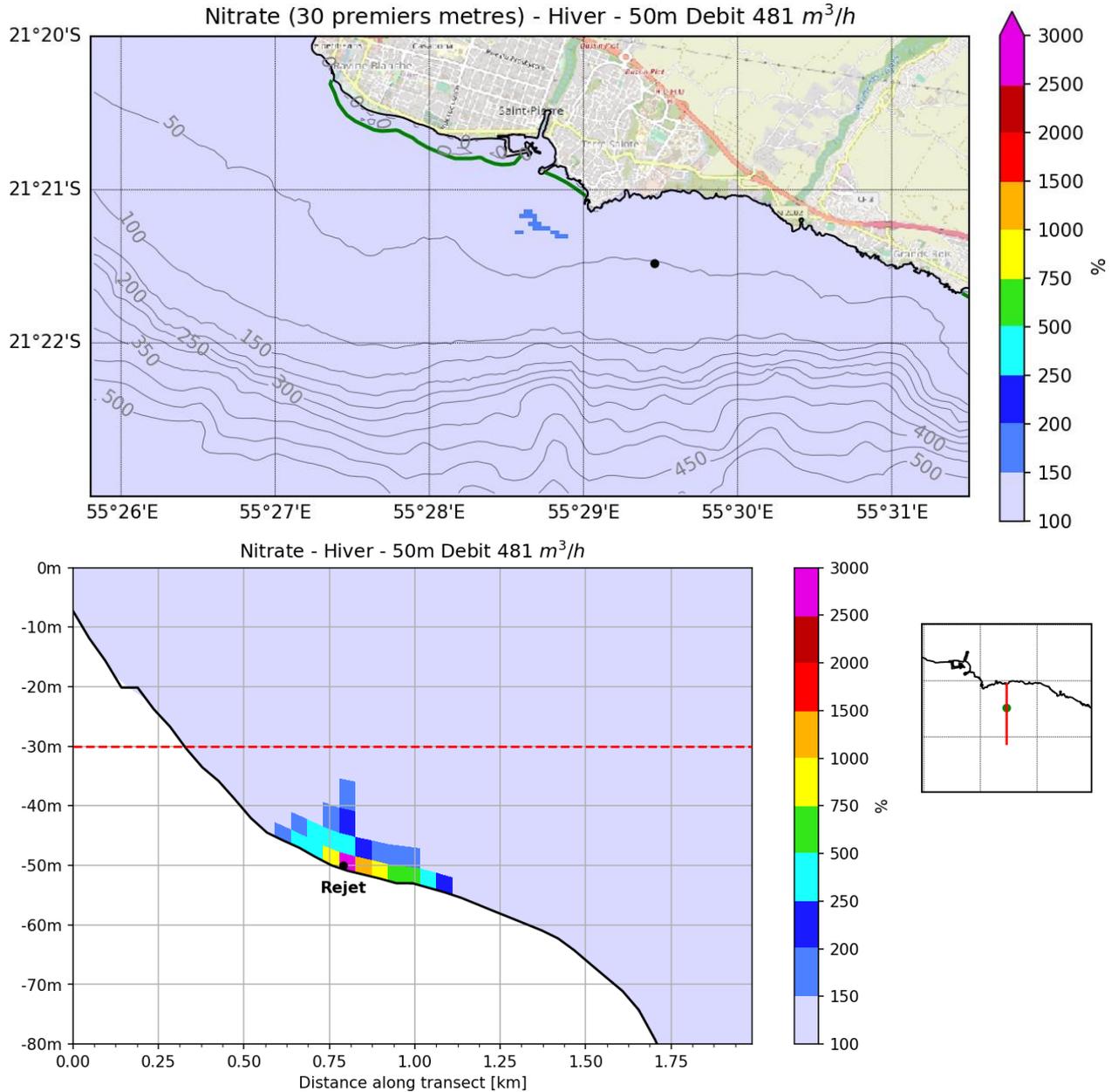


Figure 5-30 – Maximum de concentration en Nitrate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 481 m<sup>3</sup>/h en hiver austral

En haut : carte du maximum de concentration en Nitrate sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Nitrate sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Nitrate = 0.1 µMol) : 150% = 0.15 µMol, 200% = 0.2 µMol

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.2.6 Simulation 6 : rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent moyen

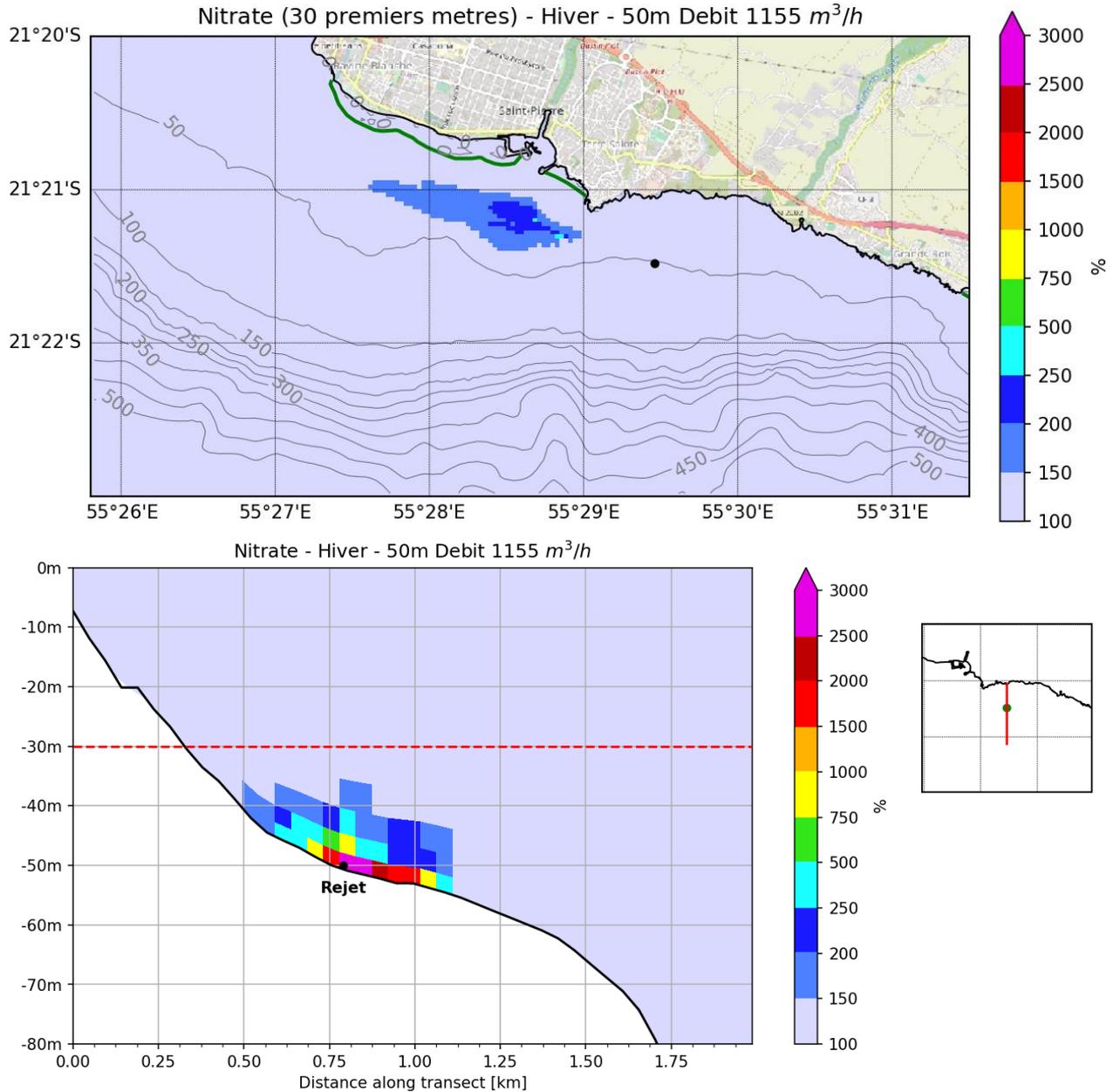


Figure 5-31 – Maximum de concentration en Nitrate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral

En haut : carte du maximum de concentration en Nitrate sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Nitrate sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Nitrate = 0.1 µMol) : 150% = 0.15 µMol, 200% = 0.2 µMol

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.2.7 Simulation 7 : rejet à 25 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent fort

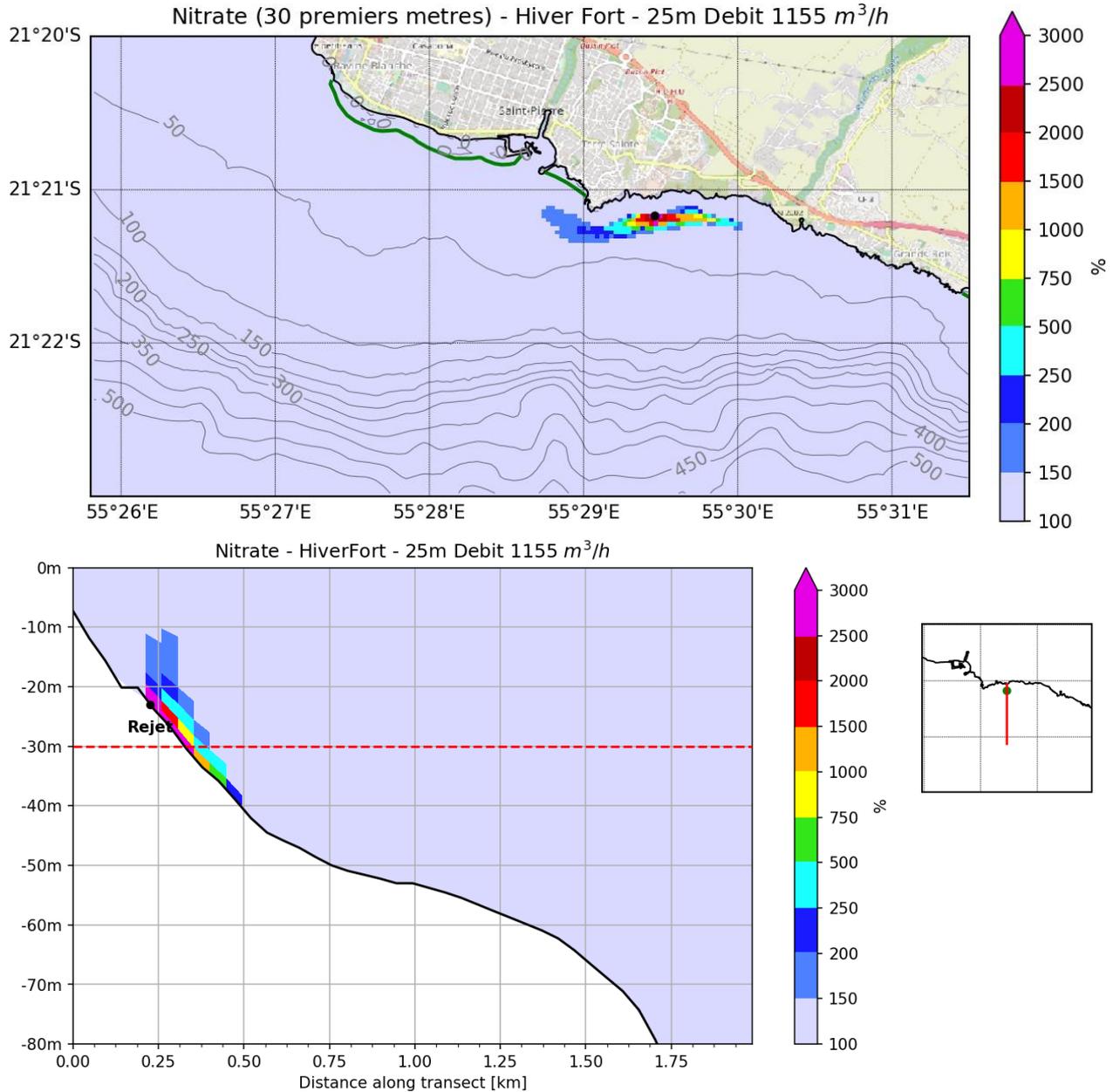


Figure 5-32 – Maximum de concentration en Nitrate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 25 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent fort

En haut : carte du maximum de concentration en Nitrate sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Nitrate sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Nitrate = 0.1 µMol) : 150% = 0.15 µMol, 200% = 0.2 µMol

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.2.8 Simulation 8 : rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent fort

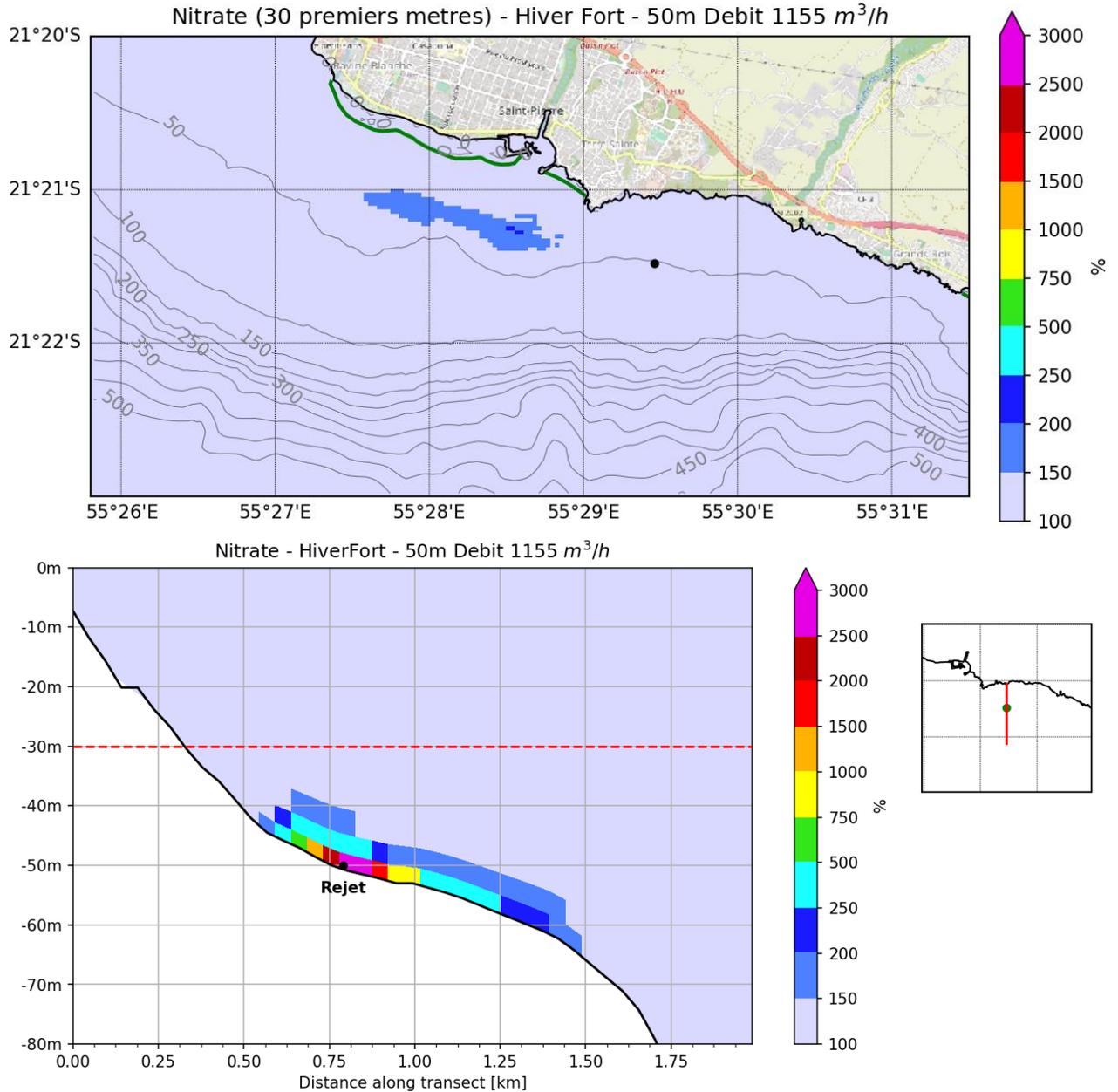


Figure 5-33 – Maximum de concentration en Nitrate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent fort

En haut : carte du maximum de concentration en Nitrate sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Nitrate sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Nitrate = 0.1 µMol) : 150% = 0.15 µMol, 200% = 0.2 µMol

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.2.9 Simulation 9 : rejet à 60 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent fort

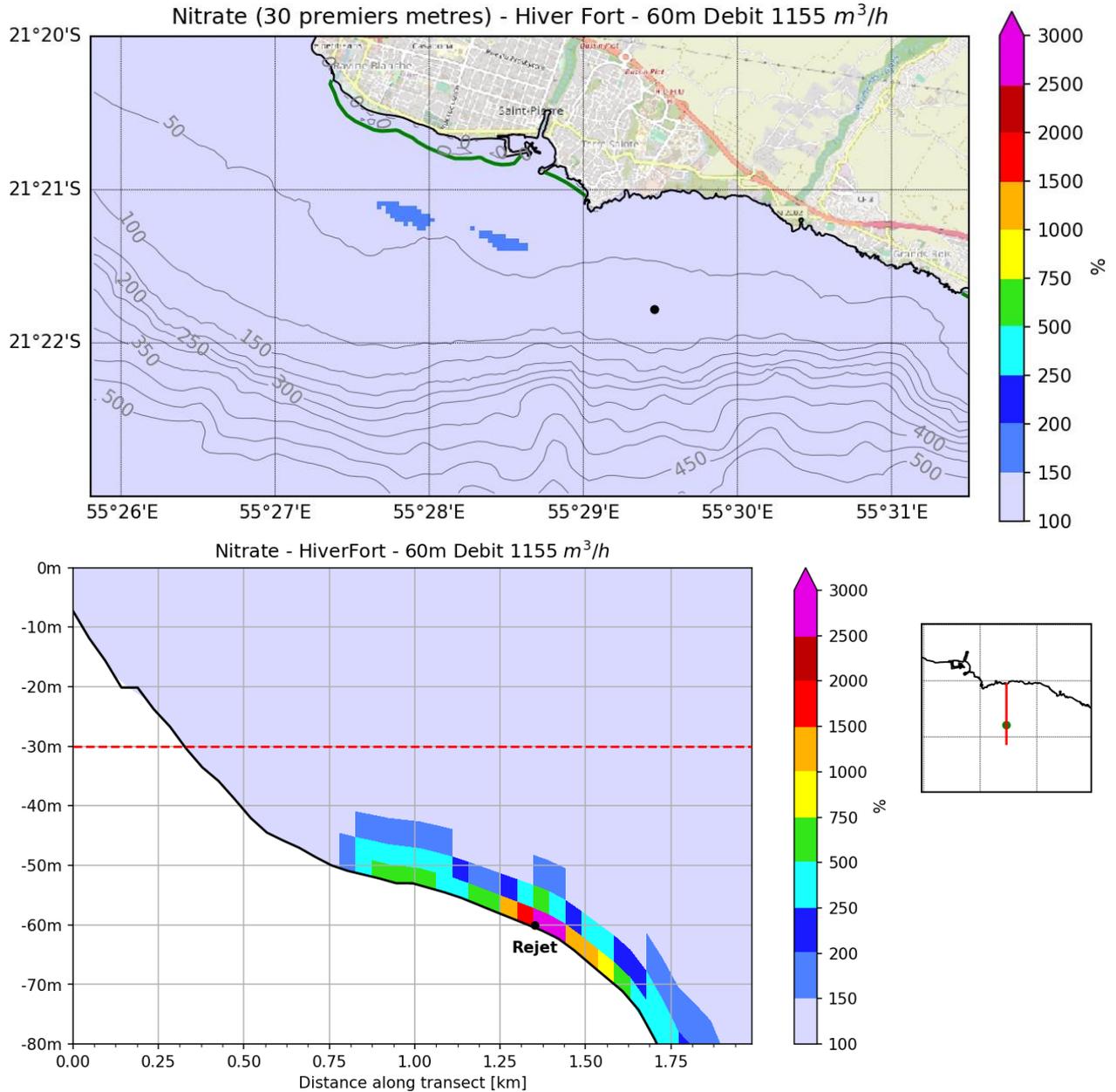


Figure 5-34 – Maximum de concentration en Nitrate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 60 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent fort

En haut : carte du maximum de concentration en Nitrate sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Nitrate sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Nitrate = 0.1 µMol) : 150% = 0.15 µMol, 200% = 0.2 µMol

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

### 5.4.2.10 Simulation 10 : rejet à 50 m avec un débit de 875 m<sup>3</sup>/h en été austral sans vent

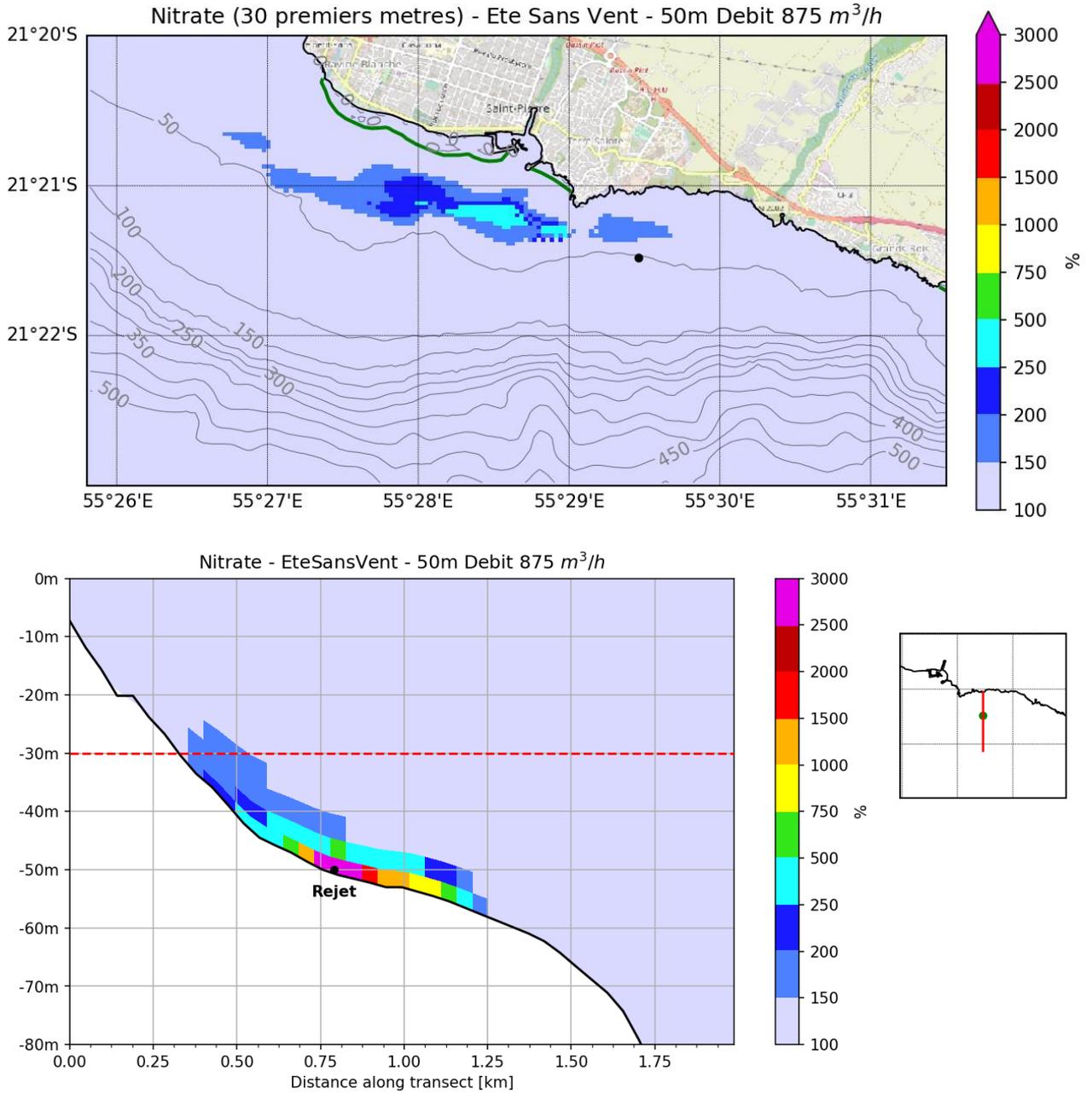


Figure 5-35 – Maximum de concentration en Nitrate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 875 m<sup>3</sup>/h en été austral sans vent

En haut : carte du maximum de concentration en Nitrate sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Nitrate sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Nitrate = 0.1 µMol) : 150% = 0.15 µMol, 200% = 0.2 µMol

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.2.11 Simulation 11 : rejet à 50 m avec un débit de 685 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent moyen

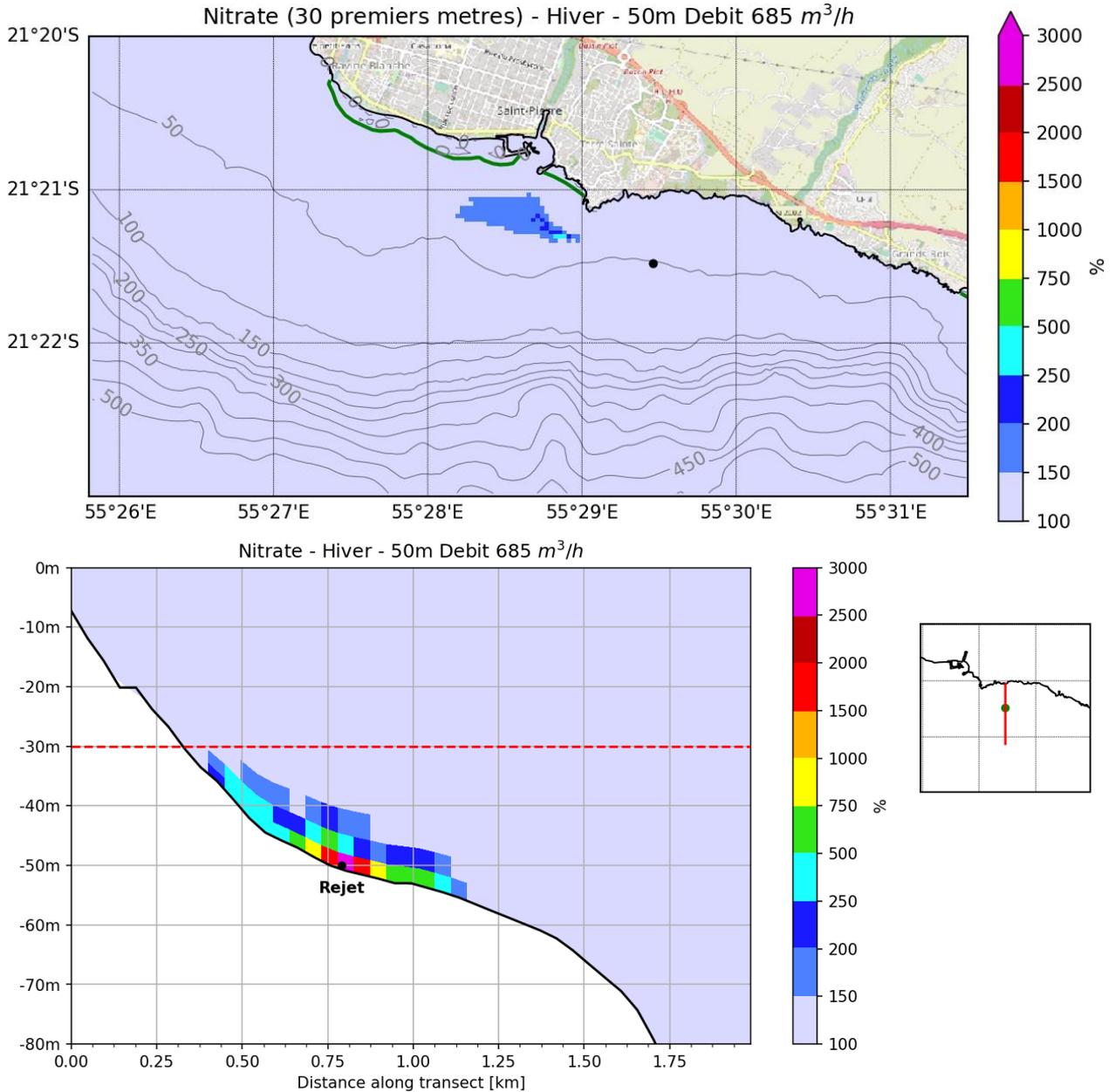


Figure 5-36 – Maximum de concentration en Nitrate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 685 m<sup>3</sup>/h en hiver austral

En haut : carte du maximum de concentration en Nitrate sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Nitrate sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Nitrate = 0.1 µMol) : 150% = 0.15 µMol, 200% = 0.2 µMol

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.2.12 Simulation 12 : rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral sans vent

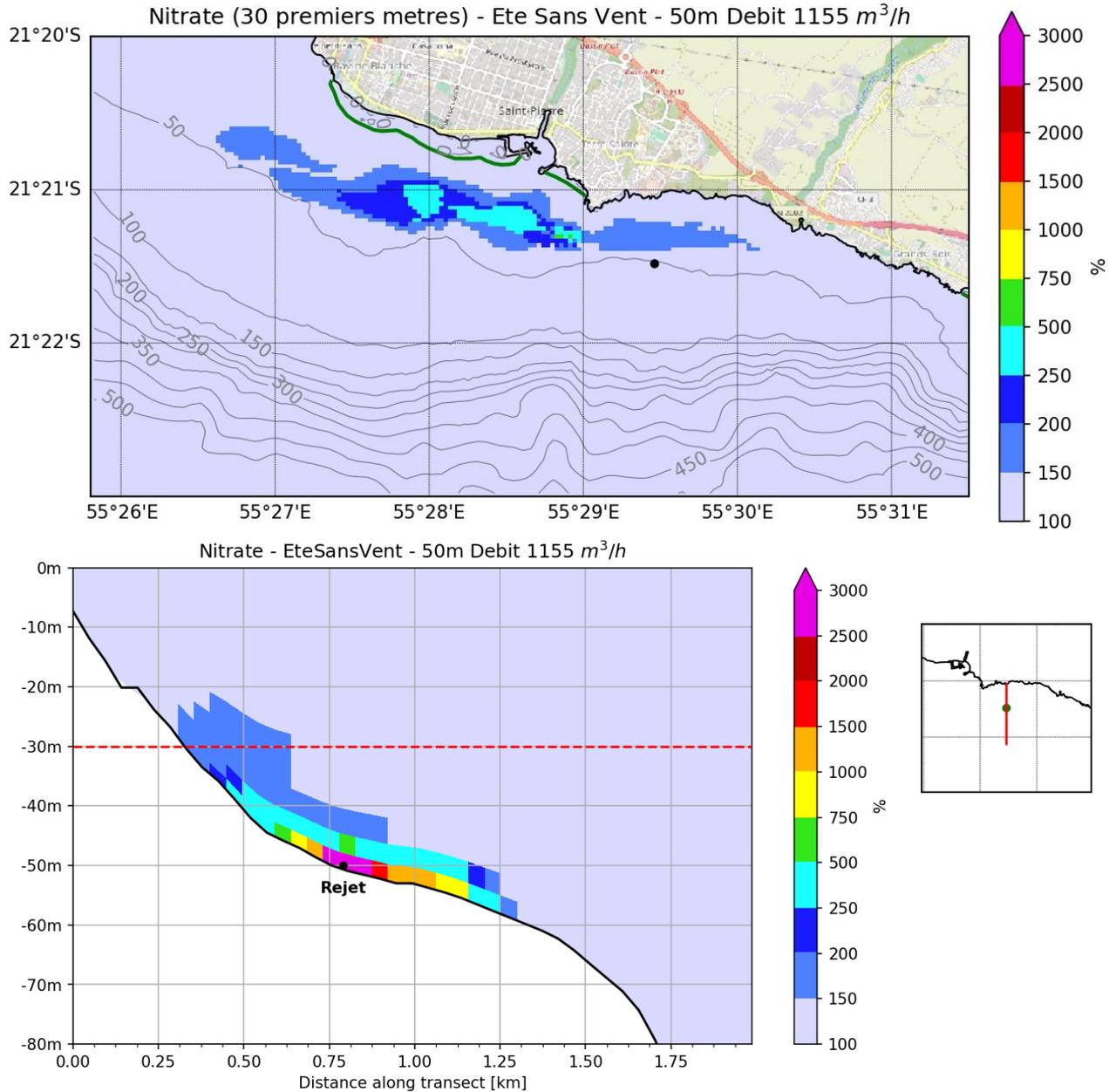


Figure 5-37 – Maximum de concentration en Nitrate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral sans vent

En haut : carte du maximum de concentration en Nitrate sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Nitrate sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Nitrate = 0.1 µMol) : 150% = 0.15 µMol, 200% = 0.2 µMol

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.3 NITRATE – CONCENTRATION MOYENNE

Pour compléter l'information sur le nitrate, dont les concentrations sont les plus élevées parmi les 4 substances testées, nous présentons dans cette section la concentration moyenne en nitrates dans les 30 premiers mètres sous la surface, au cours de la simulation. Le calcul est fait de la manière suivante :

- Moyenne temporelle dans chaque couche du modèle sur la durée de la simulation
- Calcul en chaque point de la valeur maximale de cette moyenne dans les 30 premiers mètres.

5.4.3.1 Simulation 1 : rejet à 25 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral avec un vent moyen

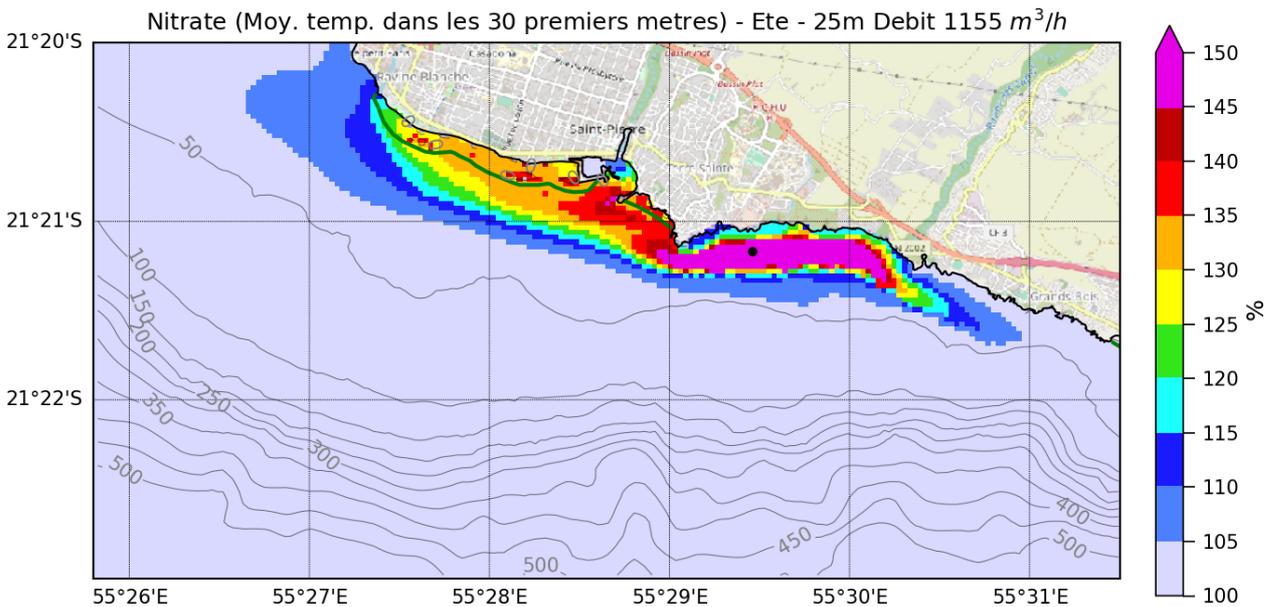


Figure 5-38 – Concentration moyenne en Nitrate dans les 30 premiers mètres pour le scénario de rejet à 25 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral

La figure est en % de la concentration ambiante (pour le Nitrate = 0.1 µMol) : 150% = 0.15 µMol, 200% = 0.2 µMol  
 La position du rejet est indiquée par un rond.  
 La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

**5.4.3.2 Simulation 2 : rejet à 50 m avec un débit de 481 m<sup>3</sup>/h en été austral avec un vent moyen**

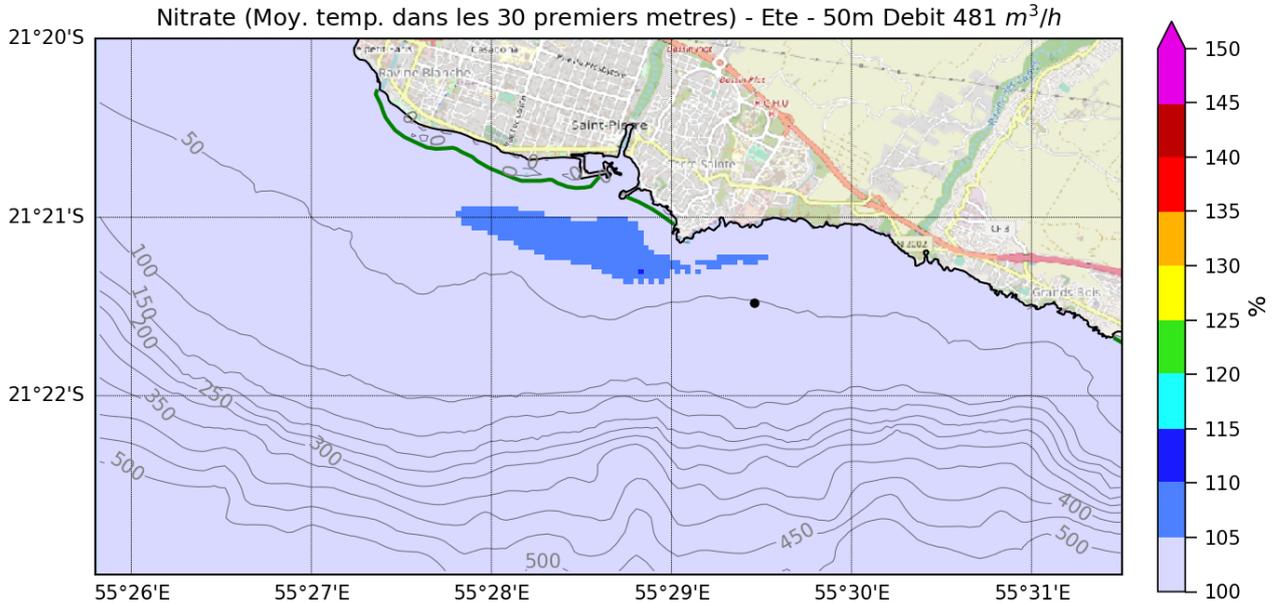


Figure 5-39 - Concentration moyenne en Nitrate dans les 30 premiers mètres pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 481 m<sup>3</sup>/h en été austral

La figure est en % de la concentration ambiante (pour le Nitrate = 0.1 µMol) : 150% = 0.15 µMol, 200% = 0.2 µMol  
 La position du rejet est indiquée par un rond.  
 La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

**5.4.3.3 Simulation 3 : rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral avec un vent moyen**

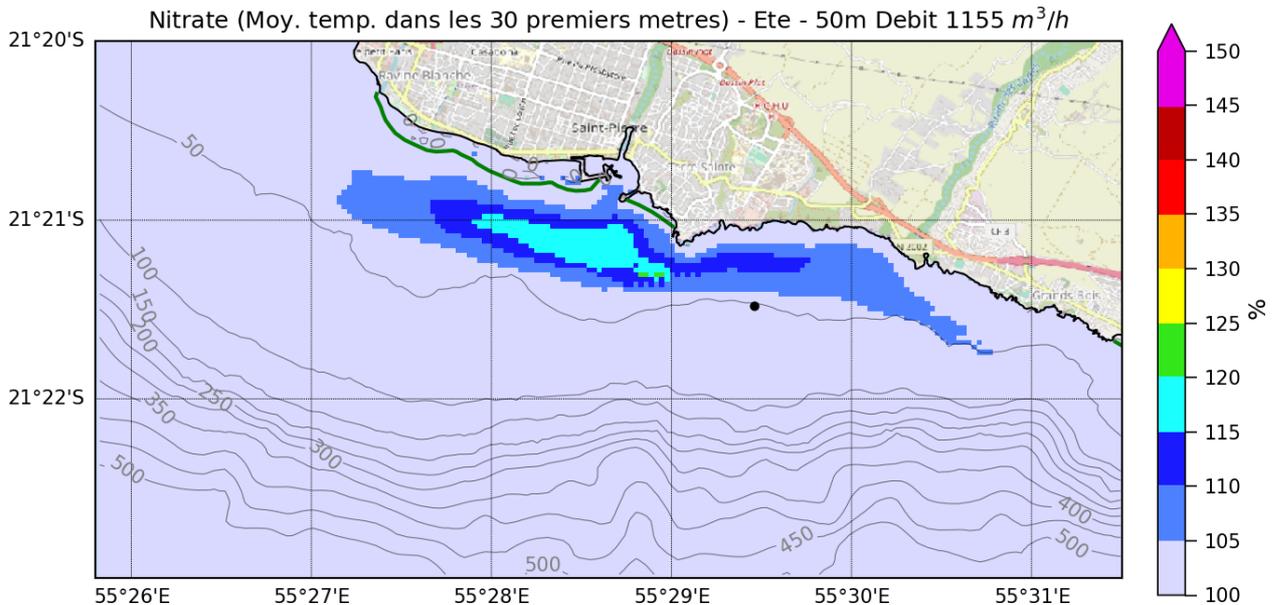


Figure 5-40 - Concentration moyenne en Nitrate dans les 30 premiers mètres pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral

La figure est en % de la concentration ambiante (pour le Nitrate = 0.1 µMol) : 150% = 0.15 µMol, 200% = 0.2 µMol  
 La position du rejet est indiquée par un rond.  
 La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

**5.4.3.4 Simulation 4 : rejet à 60 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral avec un vent moyen**

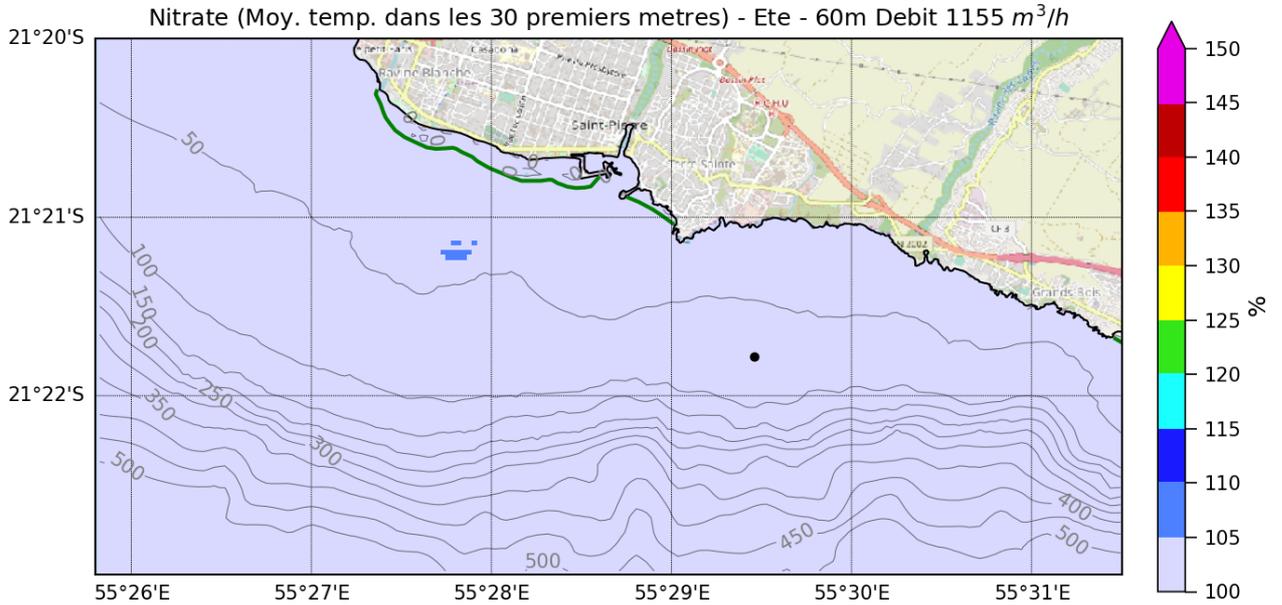


Figure 5-41 - Concentration moyenne en Nitrate dans les 30 premiers mètres pour le scénario de rejet à 60 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral

La figure est en % de la concentration ambiante (pour le Nitrate = 0.1 µMol) : 150% = 0.15 µMol, 200% = 0.2 µMol  
 La position du rejet est indiquée par un rond.  
 La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

**5.4.3.5 Simulation 5 : rejet à 50 m avec un débit de 481 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent moyen**

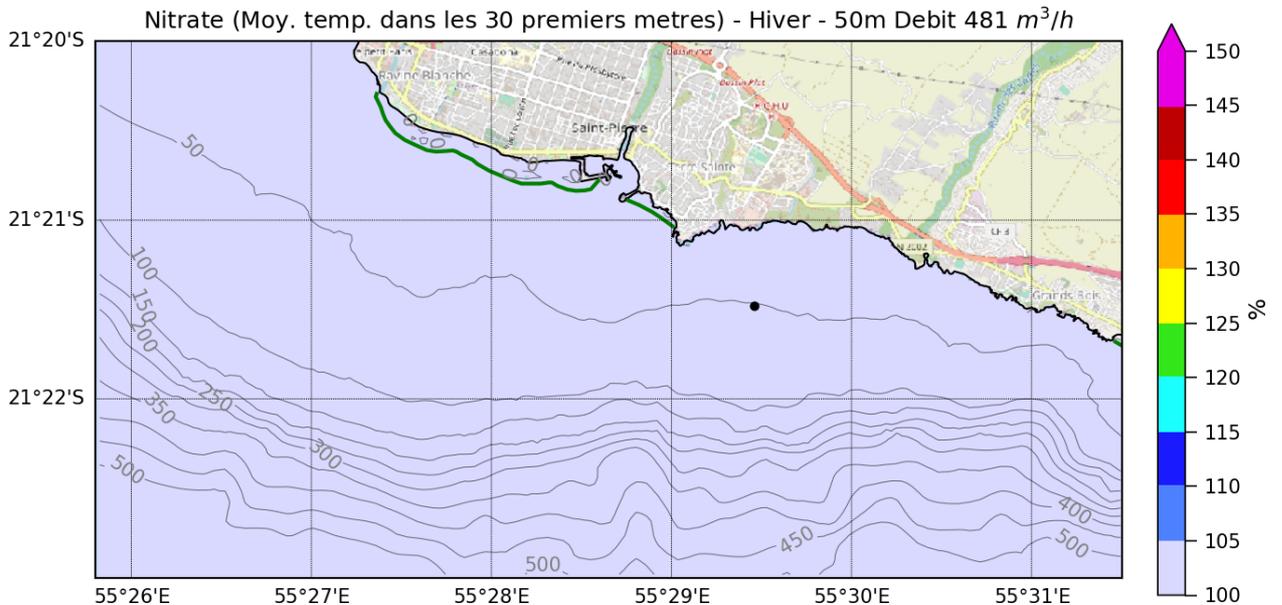


Figure 5-42 - Concentration moyenne en Nitrate dans les 30 premiers mètres pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 481 m<sup>3</sup>/h en hiver austral

La figure est en % de la concentration ambiante (pour le Nitrate = 0.1 µMol) : 150% = 0.15 µMol, 200% = 0.2 µMol  
 La position du rejet est indiquée par un rond.  
 La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

**5.4.3.6 Simulation 6 : rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent moyen**

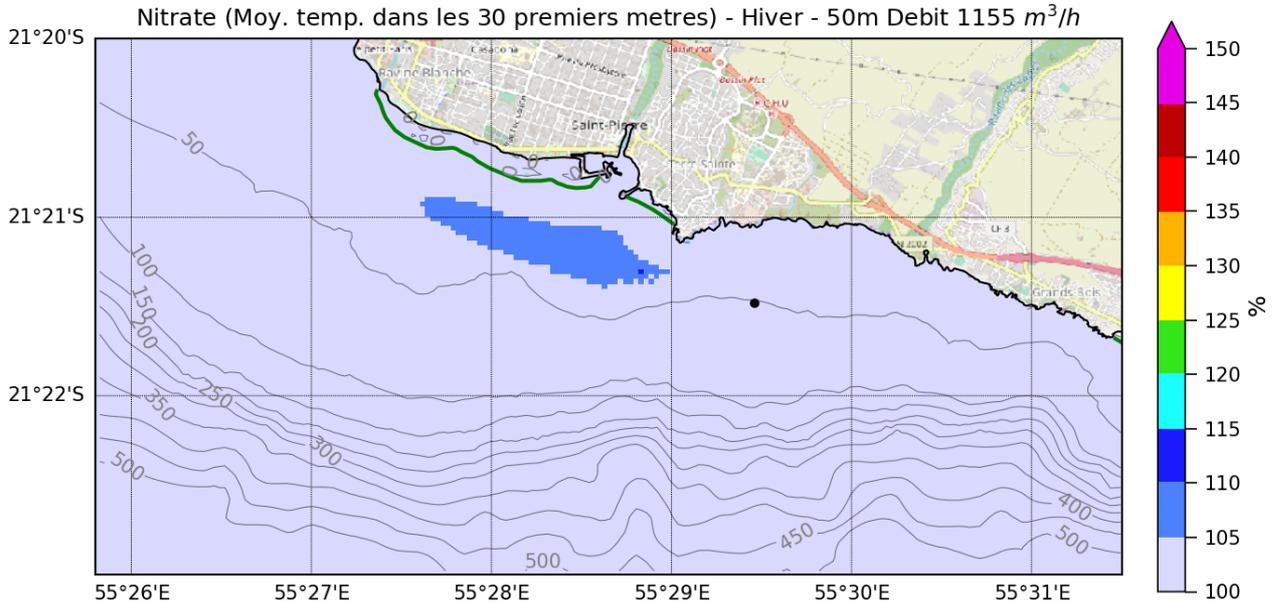


Figure 5-43 - Concentration moyenne en Nitrate dans les 30 premiers mètres pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral

La figure est en % de la concentration ambiante (pour le Nitrate = 0.1 µMol) : 150% = 0.15 µMol, 200% = 0.2 µMol  
 La position du rejet est indiquée par un rond.  
 La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

**5.4.3.7 Simulation 7 : rejet à 25 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent fort**

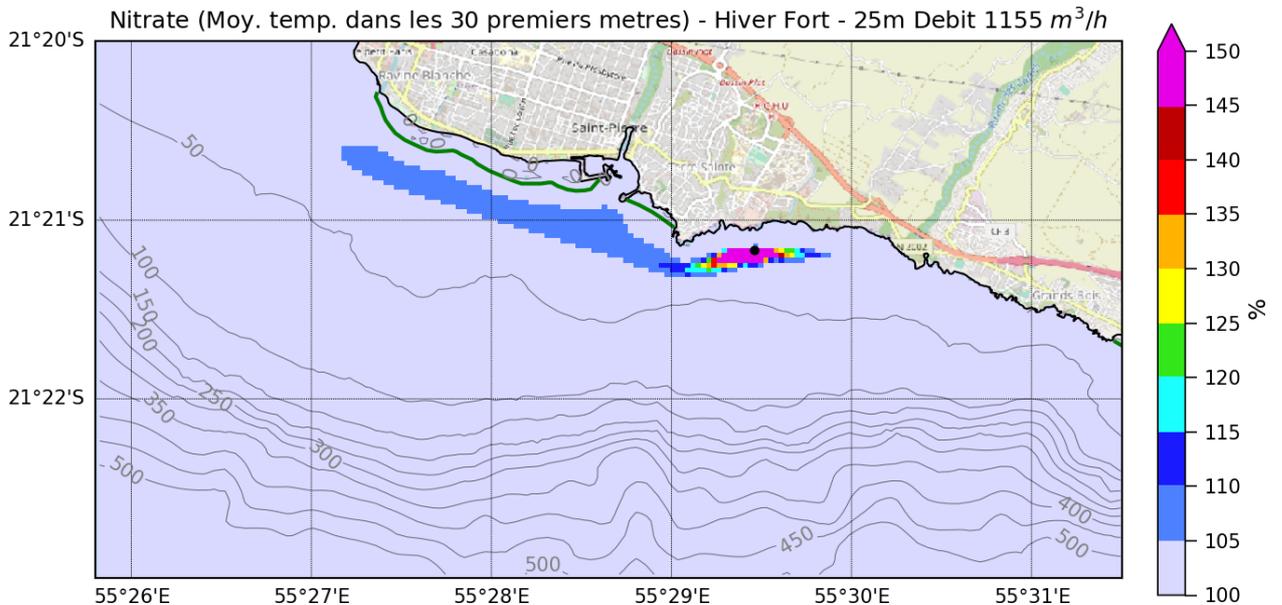


Figure 5-44 - Concentration moyenne en Nitrate dans les 30 premiers mètres pour le scénario de rejet à 25 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent fort

La figure est en % de la concentration ambiante (pour le Nitrate = 0.1 µMol) : 150% = 0.15 µMol, 200% = 0.2 µMol  
 La position du rejet est indiquée par un rond.  
 La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

**5.4.3.8 Simulation 8 : rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent fort**

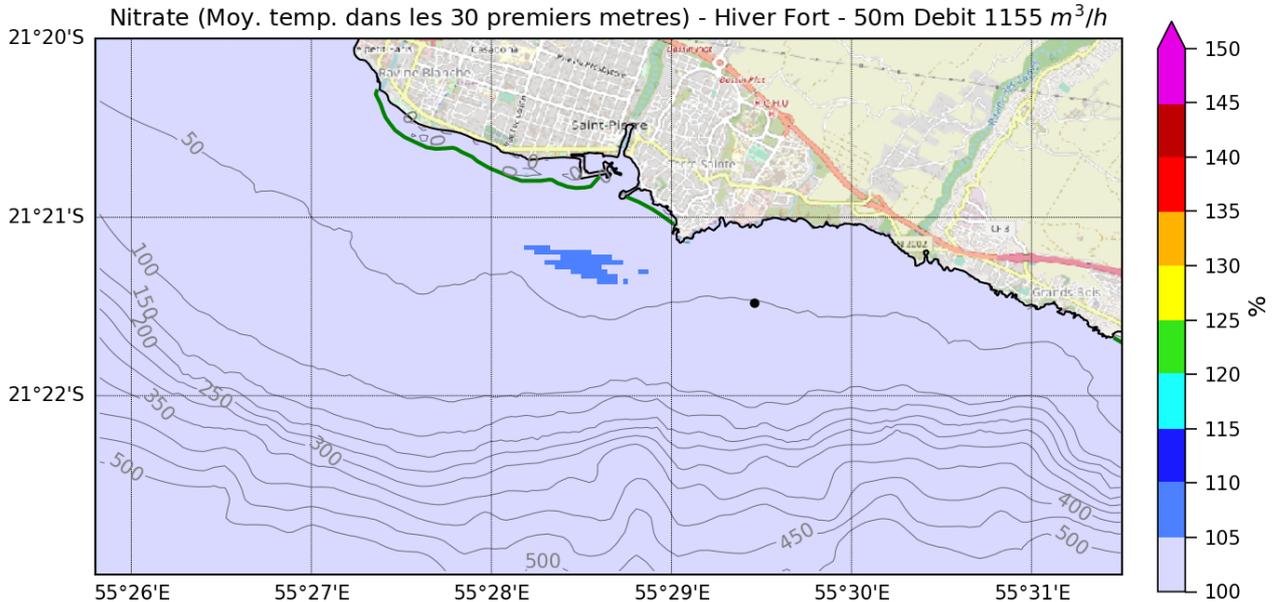


Figure 5-45 - Concentration moyenne en Nitrate dans les 30 premiers mètres pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent fort

La figure est en % de la concentration ambiante (pour le Nitrate = 0.1 µMol) : 150% = 0.15 µMol, 200% = 0.2 µMol  
 La position du rejet est indiquée par un rond.  
 La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

**5.4.3.9 Simulation 9 : rejet à 60 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent fort**

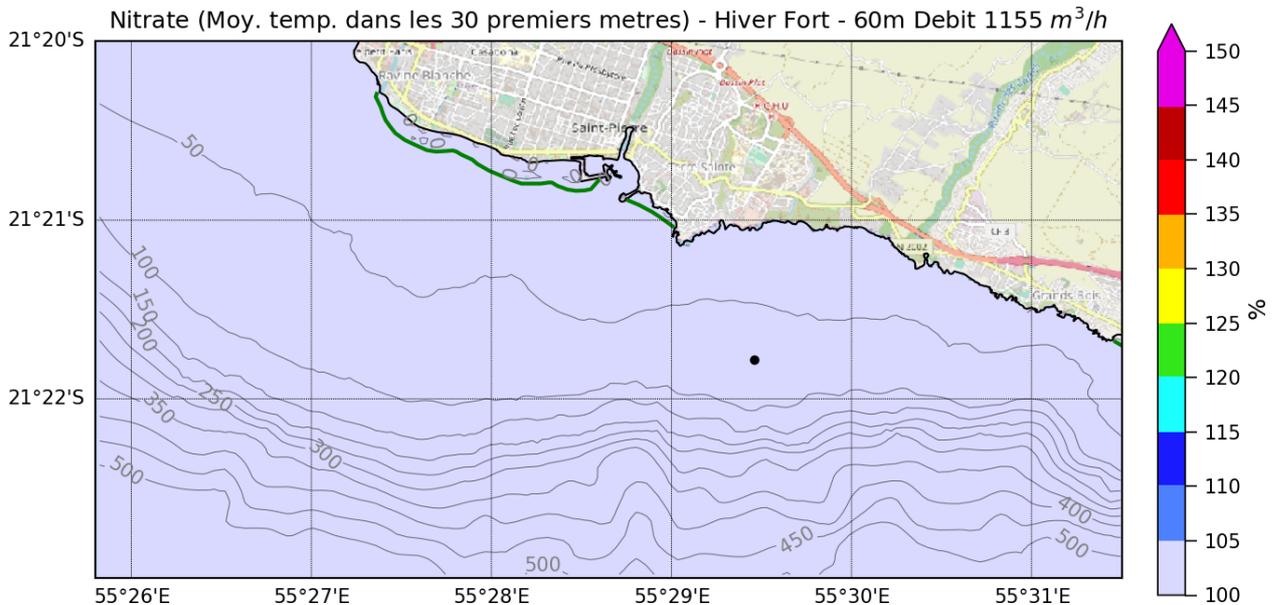


Figure 5-46 - Concentration moyenne en Nitrate dans les 30 premiers mètres pour le scénario de rejet à 60 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent fort

La figure est en % de la concentration ambiante (pour le Nitrate = 0.1 µMol) : 150% = 0.15 µMol, 200% = 0.2 µMol  
 La position du rejet est indiquée par un rond.  
 La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

**5.4.3.10 Simulation 10 : rejet à 50 m avec un débit de 875 m<sup>3</sup>/h en été austral sans vent**

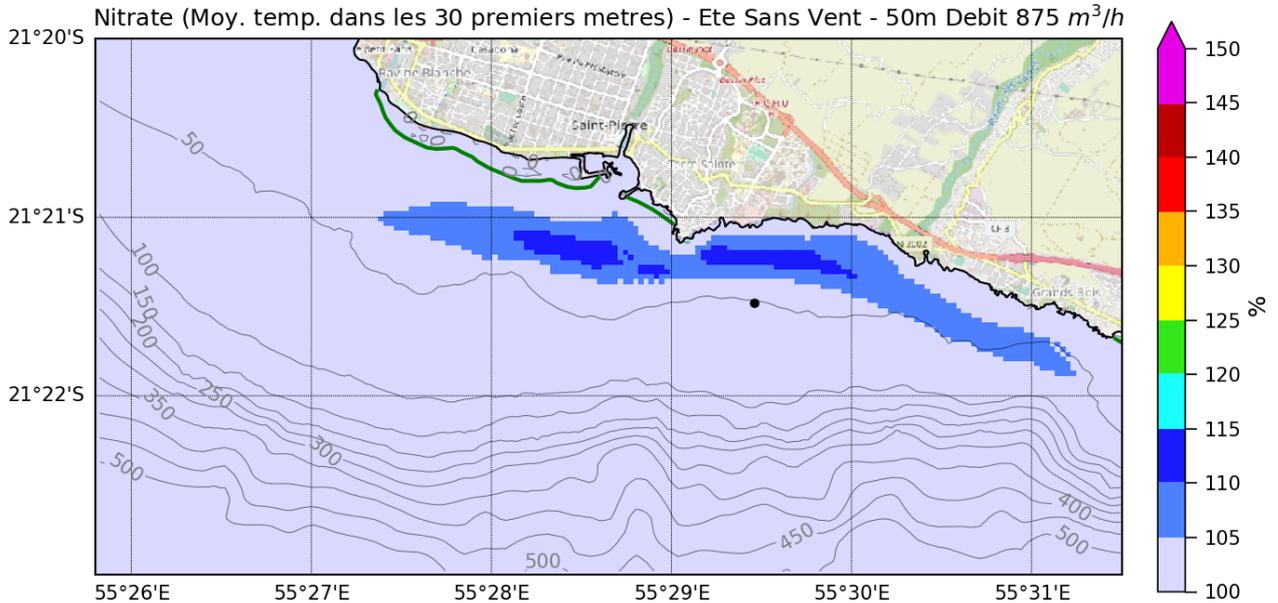


Figure 5-47 - Concentration moyenne en Nitrate dans les 30 premiers mètres pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 875 m<sup>3</sup>/h en été austral sans vent

La figure est en % de la concentration ambiante (pour le Nitrate = 0.1 µMol) : 150% = 0.15 µMol, 200% = 0.2 µMol  
 La position du rejet est indiquée par un rond.  
 La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

**5.4.3.11 Simulation 11 : rejet à 50 m avec un débit de 685 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent moyen**

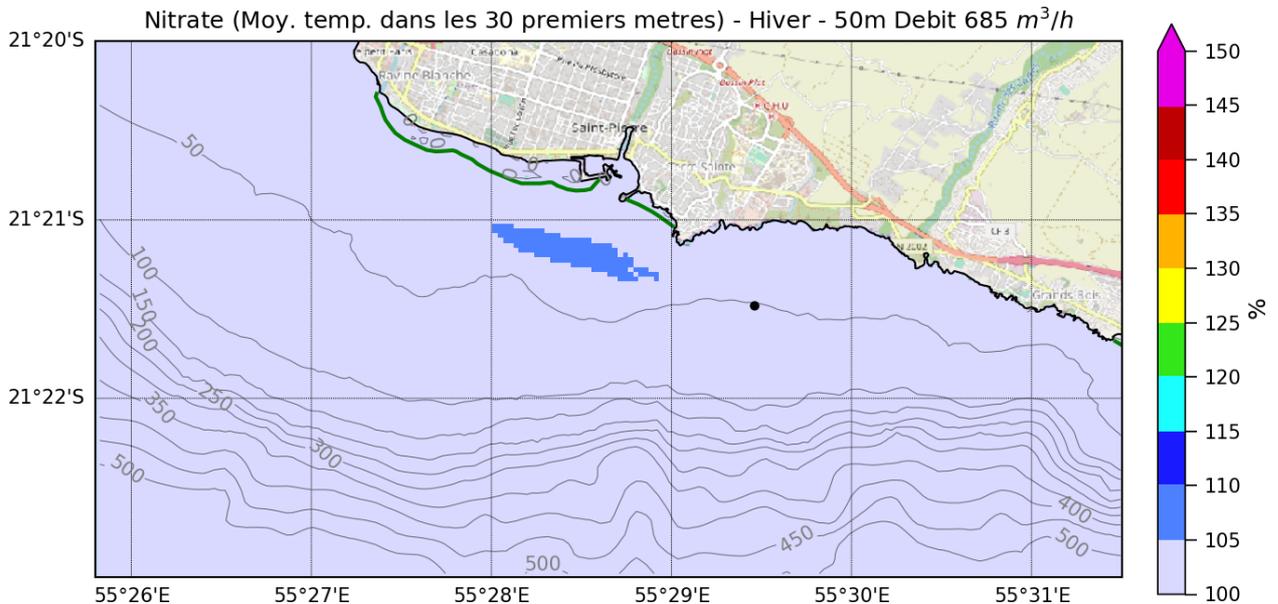


Figure 5-48 - Concentration moyenne en Nitrate dans les 30 premiers mètres pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 685 m<sup>3</sup>/h en hiver austral

La figure est en % de la concentration ambiante (pour le Nitrate = 0.1 µMol) : 150% = 0.15 µMol, 200% = 0.2 µMol  
 La position du rejet est indiquée par un rond.  
 La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

5.4.3.12 Simulation 12 : rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral sans vent

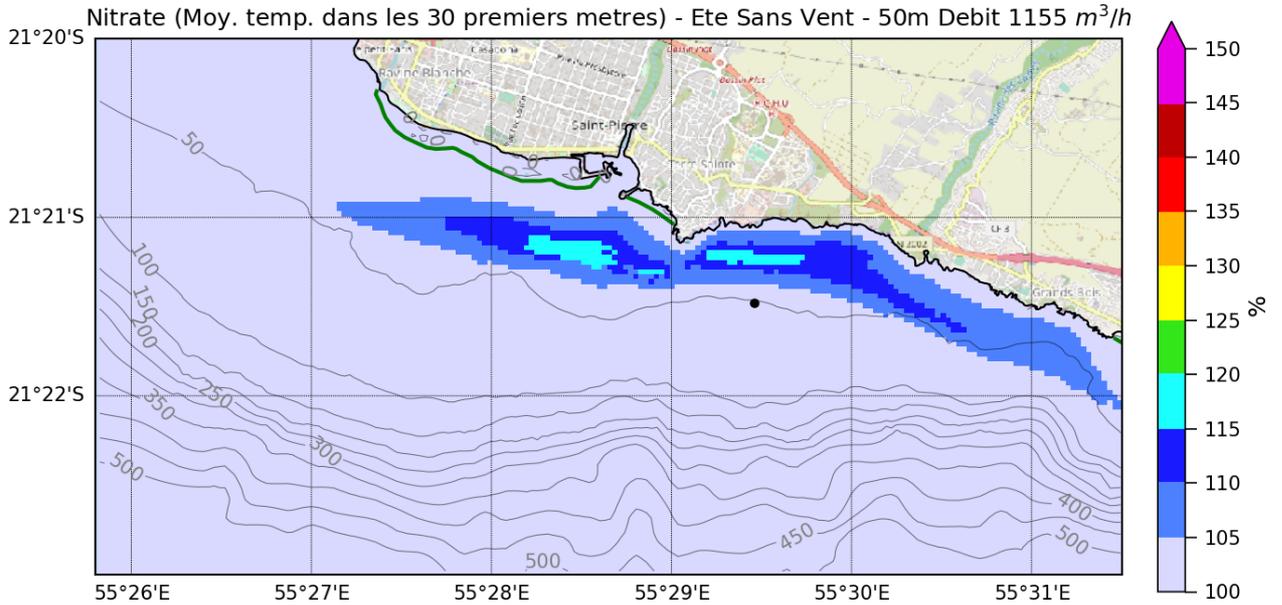


Figure 5-49 - Concentration moyenne en Nitrate dans les 30 premiers mètres pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral sans vent

La figure est en % de la concentration ambiante (pour le Nitrate = 0.1 µMol) : 150% = 0.15 µMol, 200% = 0.2 µMol  
 La position du rejet est indiquée par un rond.  
 La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

5.4.4 PHOSPHATE

5.4.4.1 Simulation 1 : rejet à 25 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral avec un vent moyen

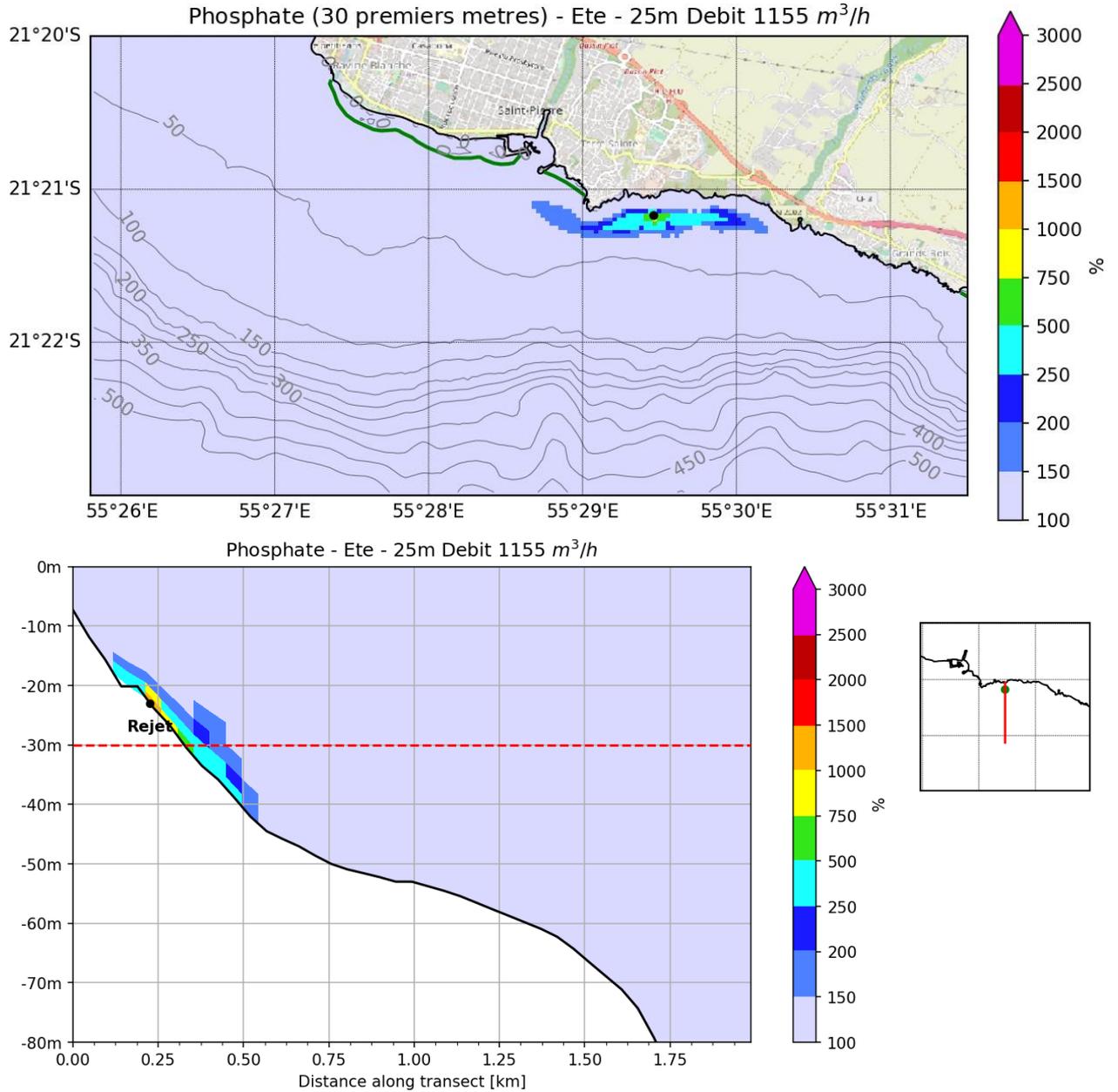


Figure 5-50 – Maximum de concentration en Phosphate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 25 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral

En haut : carte du maximum de concentration en Phosphate sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Phosphate sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Phosphate = 0.05 µMol) : 150% = 0.075 µMol, 200% = 0.1 µMol

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.4.2 Simulation 2 : rejet à 50 m avec un débit de 481 m<sup>3</sup>/h en été austral avec un vent moyen

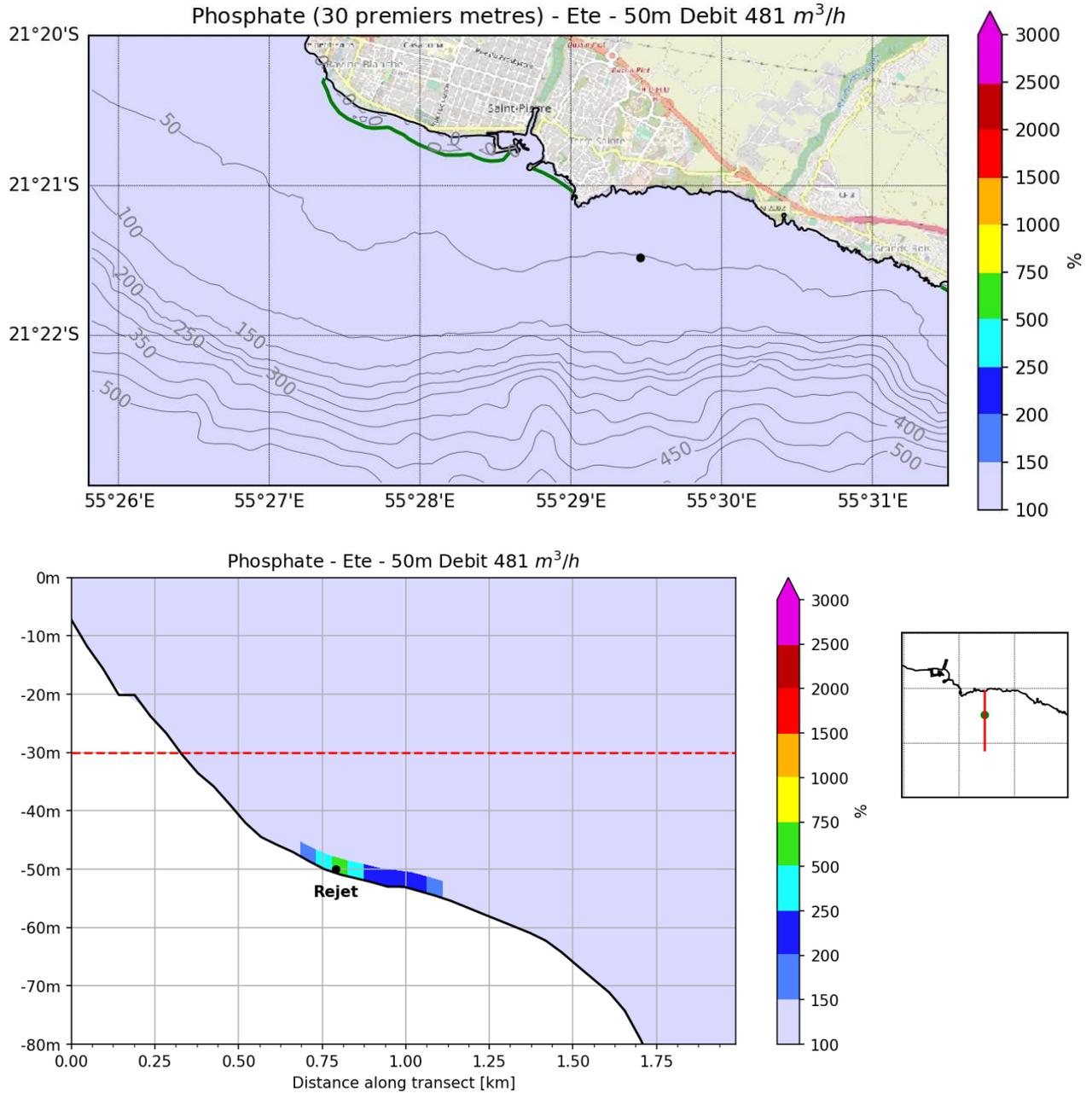


Figure 5-51 – Maximum de concentration en Phosphate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 481 m<sup>3</sup>/h en été austral

En haut : carte du maximum de concentration en Phosphate sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Phosphate sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Phosphate = 0.05 µMol) : 150% = 0.075 µMol, 200% = 0.1 µMol

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.4.3 Simulation 3 : rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral avec un vent moyen

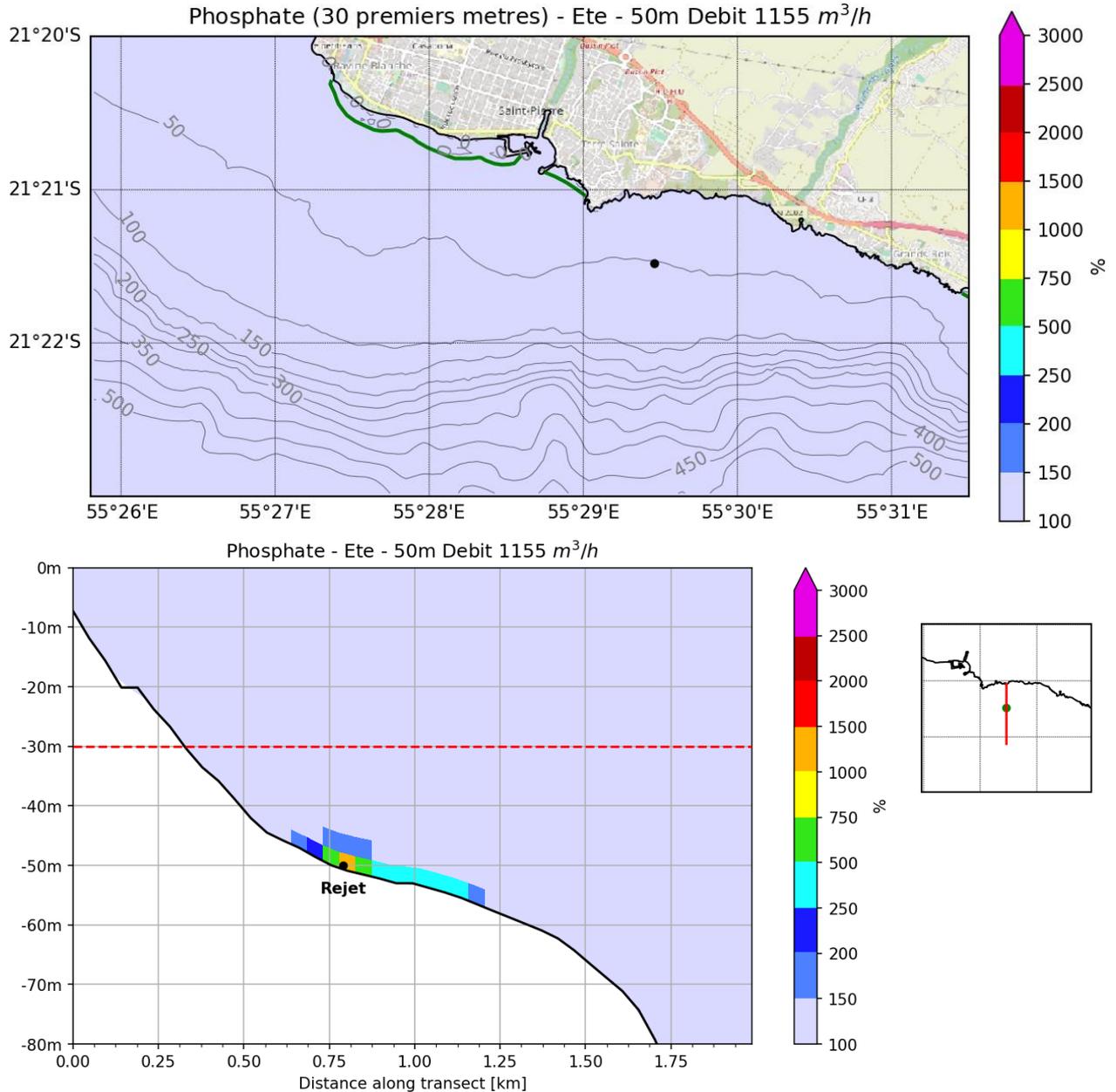


Figure 5-52 – Maximum de concentration en Phosphate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral

En haut : carte du maximum de concentration en Phosphate sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Phosphate sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Phosphate = 0.05 µMol) : 150% = 0.075 µMol, 200% = 0.1 µMol

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.4.4 Simulation 4 : rejet à 60 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral avec un vent moyen

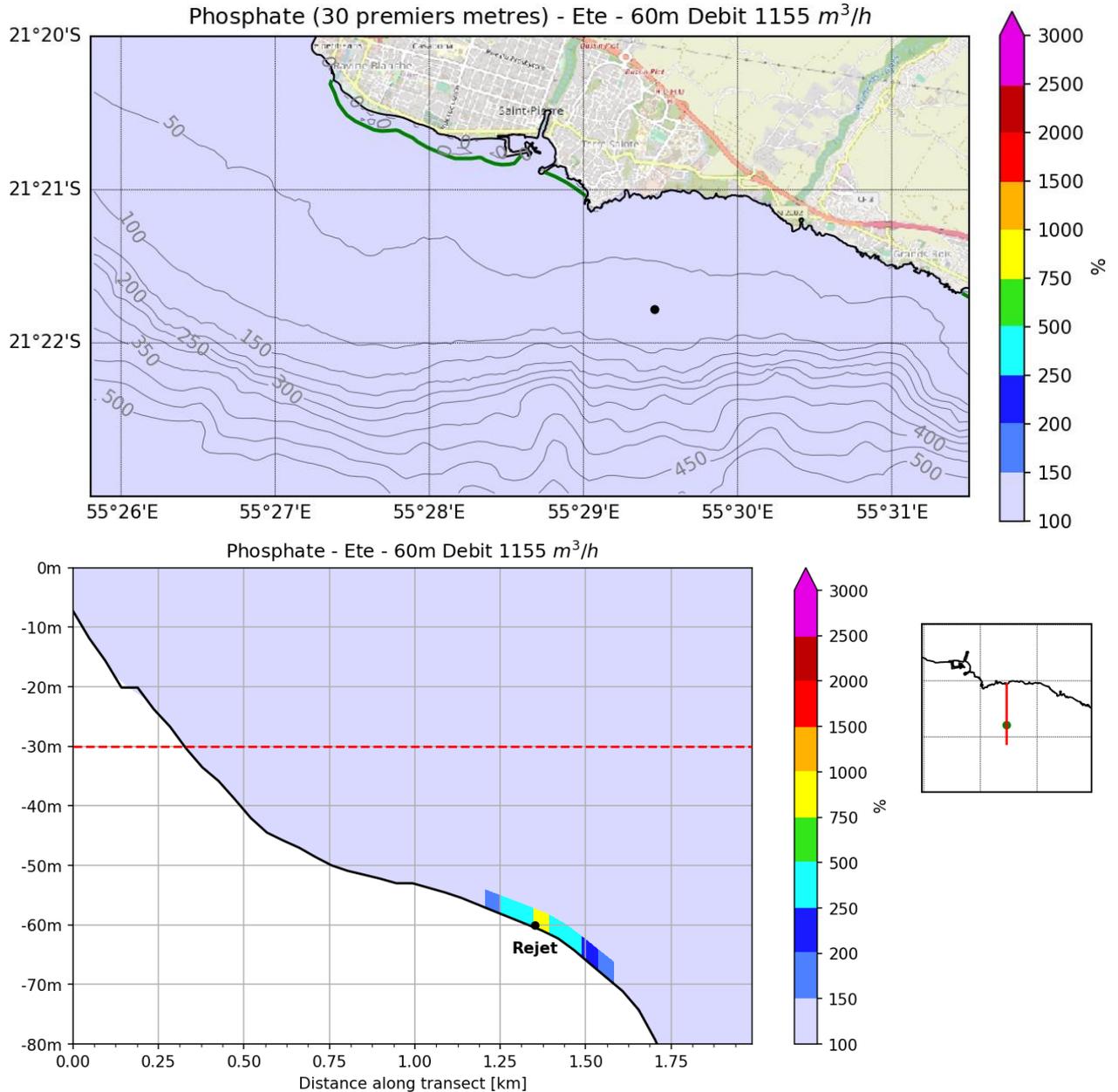


Figure 5-53 – Maximum de concentration en Phosphate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 60 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral

En haut : carte du maximum de concentration en Phosphate sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Phosphate sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Phosphate = 0.05 µMol) : 150% = 0.075 µMol, 200% = 0.1 µMol

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.4.5 Simulation 5 : rejet à 50 m avec un débit de 481 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent moyen

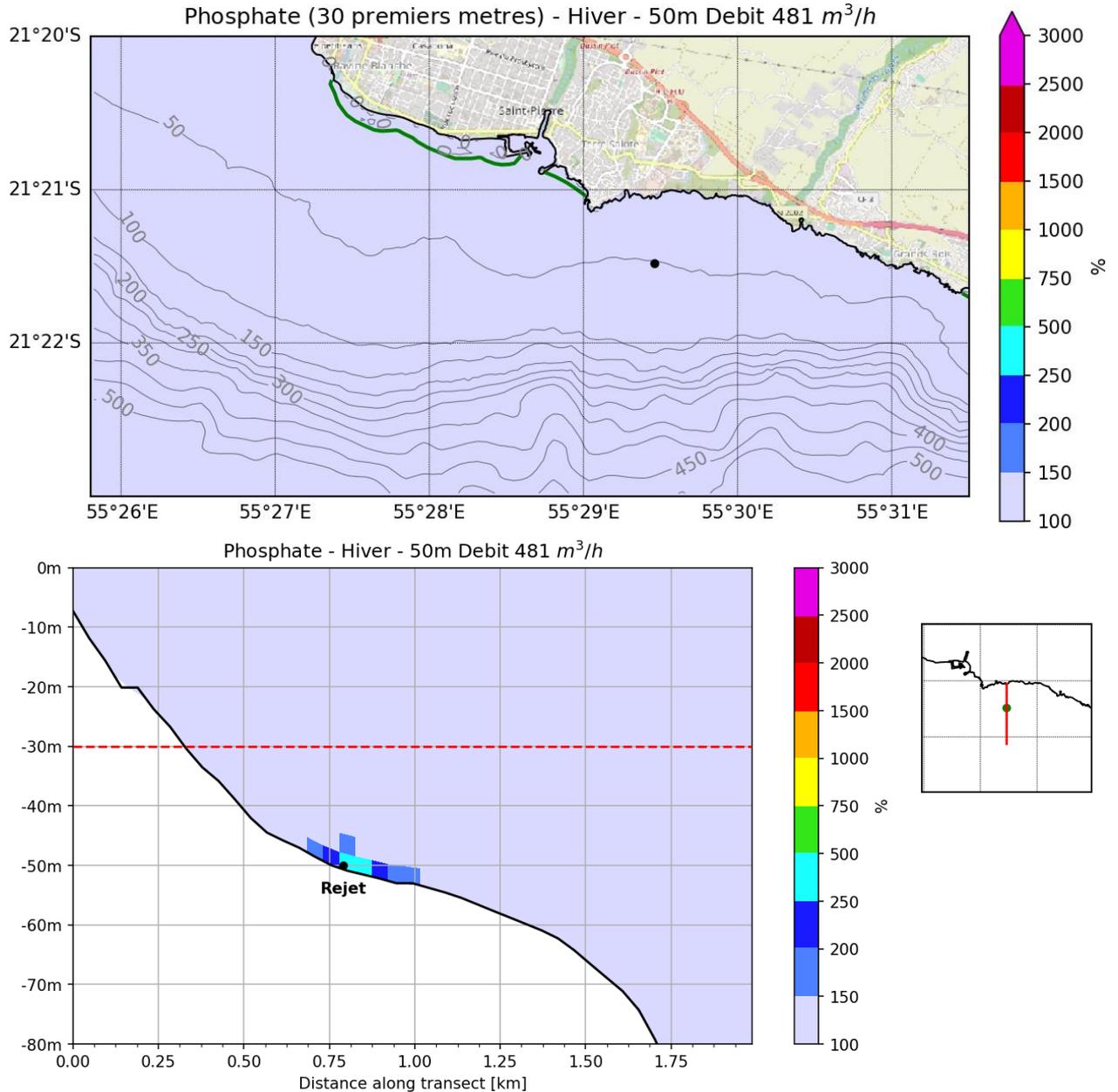


Figure 5-54 – Maximum de concentration en Phosphate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 481 m<sup>3</sup>/h en hiver austral

En haut : carte du maximum de concentration en Phosphate sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Phosphate sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Phosphate = 0.05 µMol) : 150% = 0.075 µMol, 200% = 0.1 µMol

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.4.6 Simulation 6 : rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent moyen

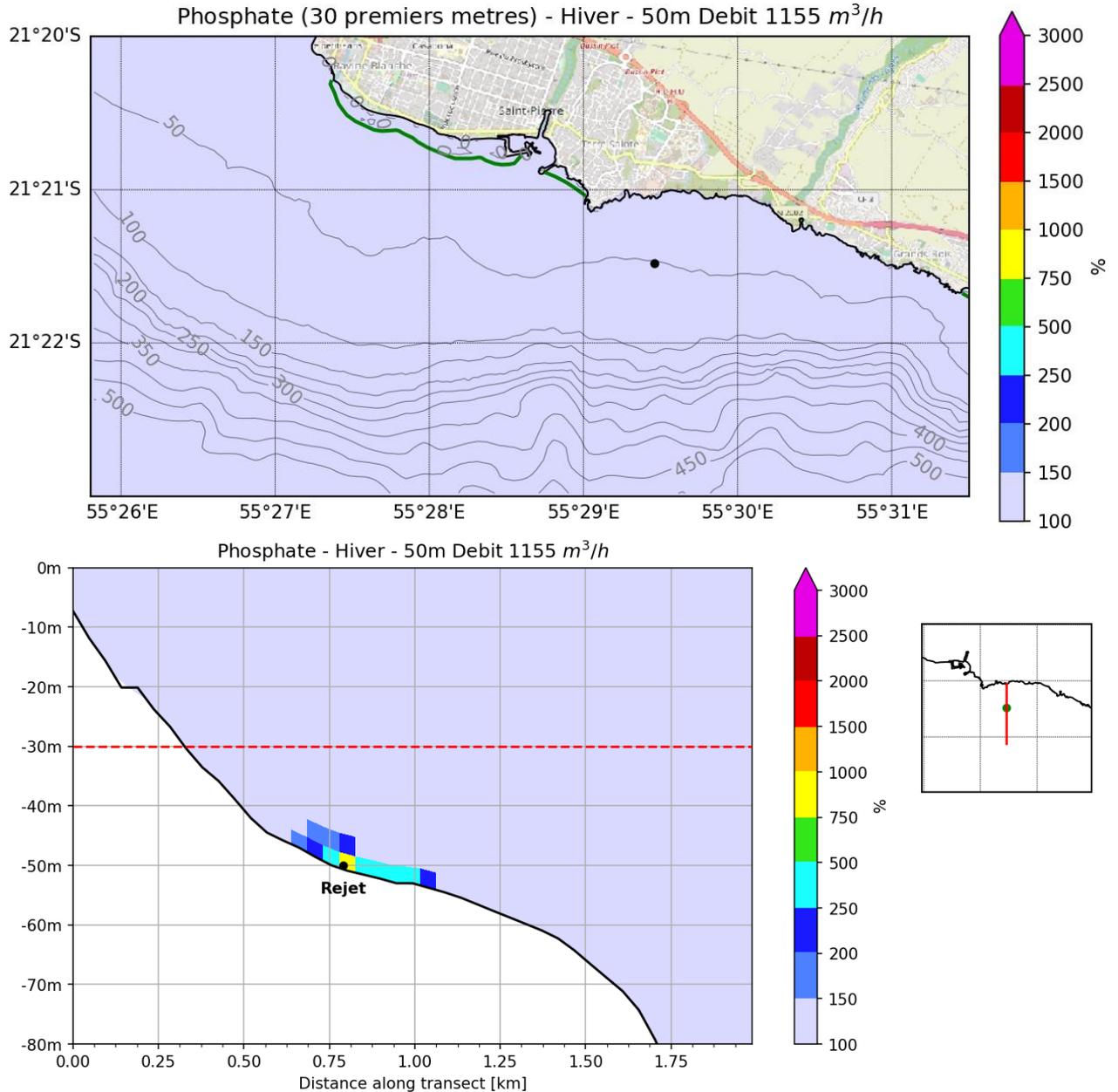


Figure 5-55 – Maximum de concentration en Phosphate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral

En haut : carte du maximum de concentration en Phosphate sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Phosphate sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Phosphate = 0.05 µMol) : 150% = 0.075 µMol, 200% = 0.1 µMol

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.4.7 Simulation 7 : rejet à 25 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec vent fort

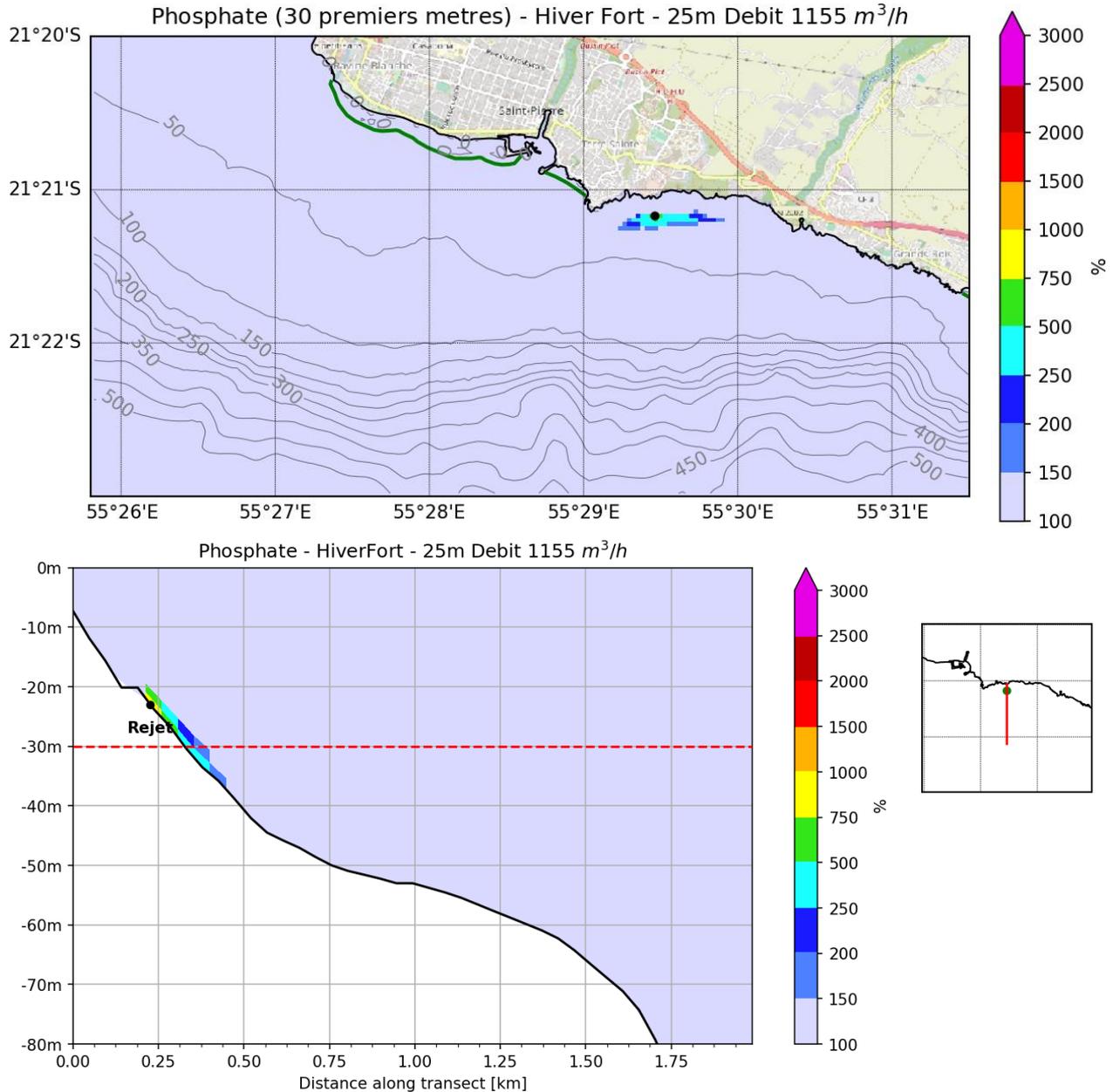


Figure 5-56 – Maximum de concentration en Phosphate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 25 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec vent fort

En haut : carte du maximum de concentration en Phosphate sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Phosphate sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Phosphate = 0.05 µMol) : 150% = 0.075 µMol, 200% = 0.1 µMol

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.4.8 Simulation 8 : rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec vent fort

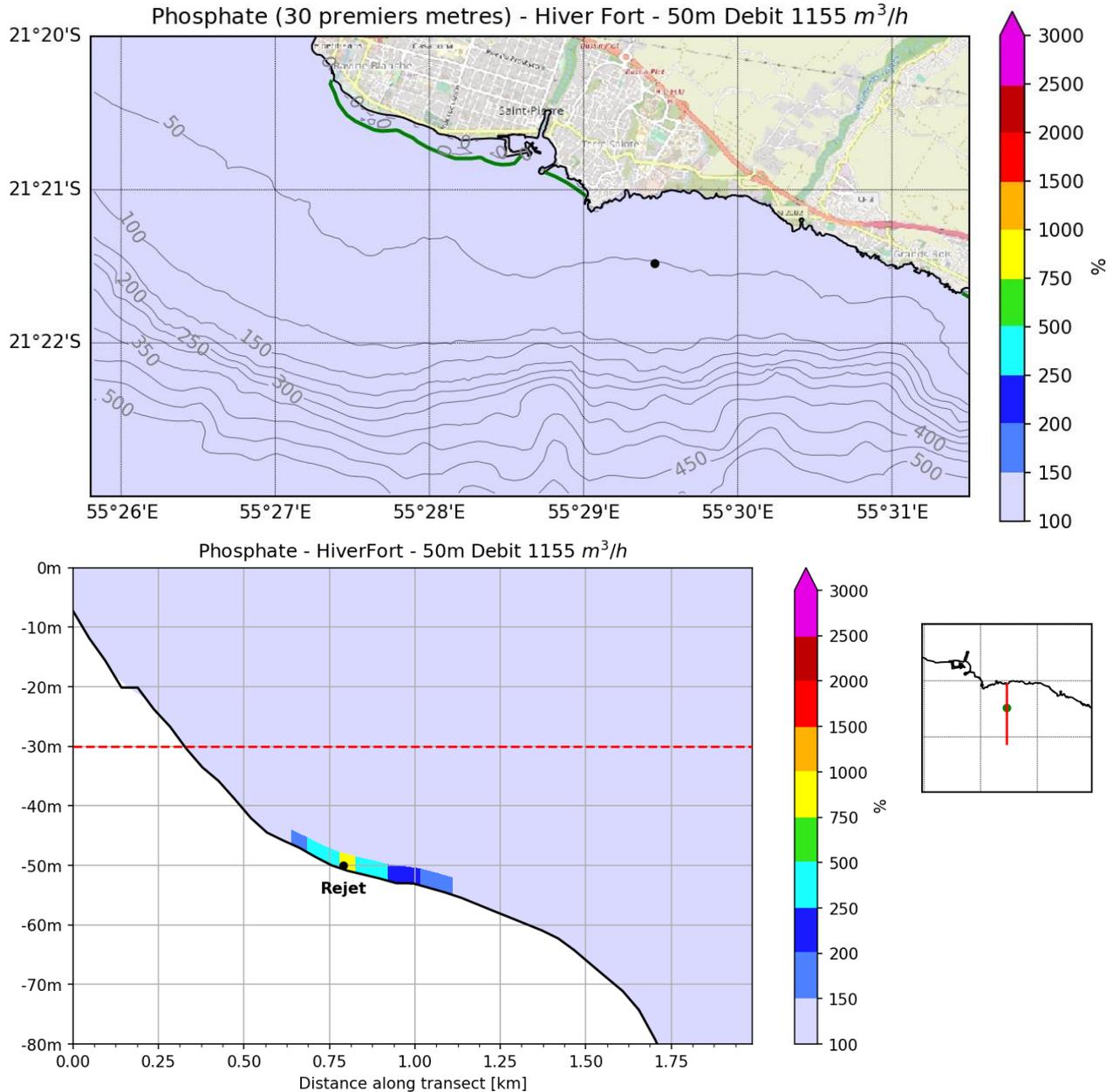


Figure 5-57 – Maximum de concentration en Phosphate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec vent fort

En haut : carte du maximum de concentration en Phosphate sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Phosphate sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Phosphate = 0.05 µMol) : 150% = 0.075 µMol, 200% = 0.1 µMol

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

### 5.4.4.9 Simulation 9 : rejet à 60 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec vent fort

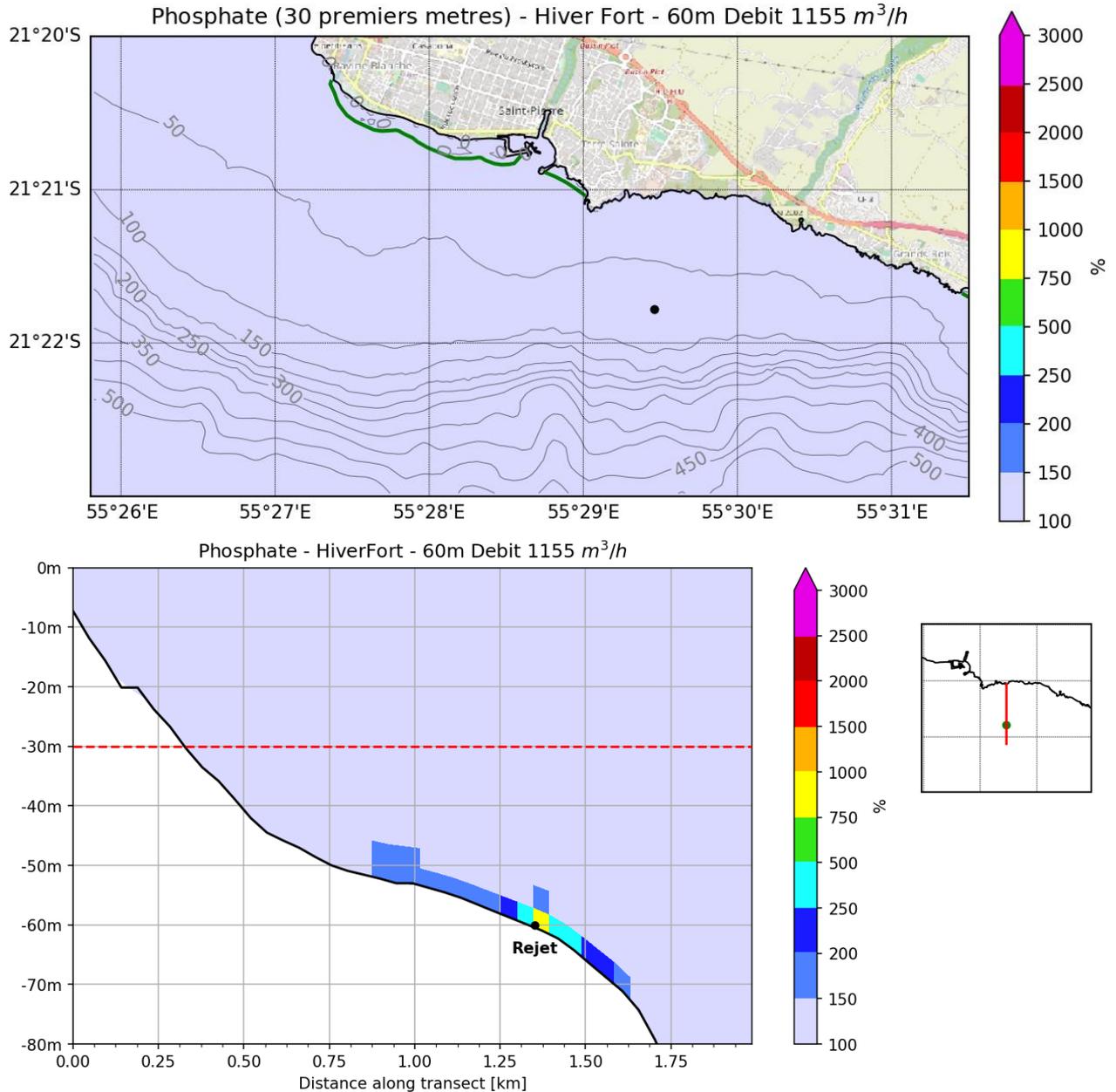


Figure 5-58 – Maximum de concentration en Phosphate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 60 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec vent fort

En haut : carte du maximum de concentration en Phosphate sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Phosphate sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Phosphate = 0.05 µMol) : 150% = 0.075 µMol, 200% = 0.1 µMol

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.4.10 Simulation 10 : rejet à 50 m avec un débit de 875 m<sup>3</sup>/h en été austral sans vent

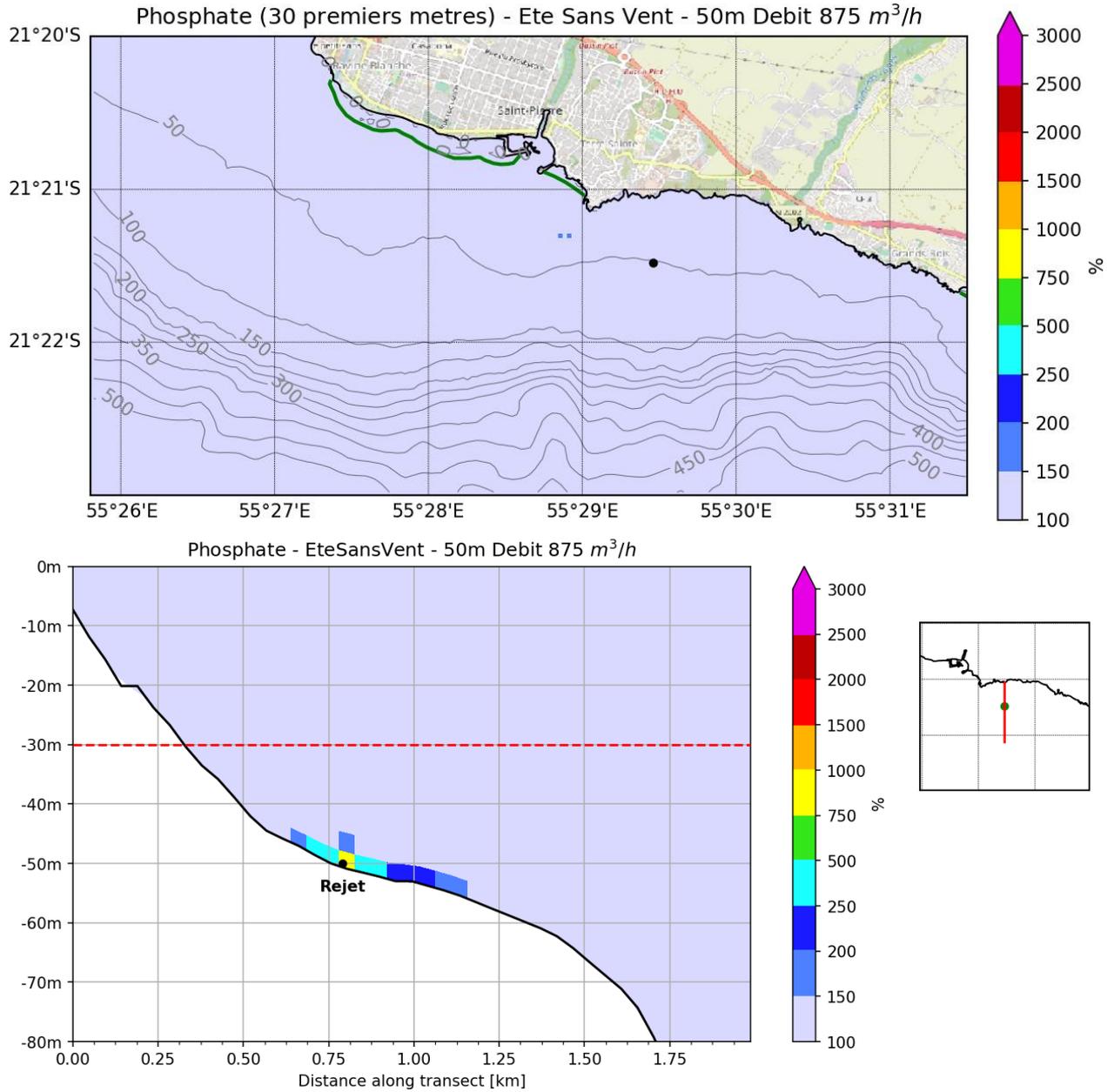


Figure 5-59 – Maximum de concentration en Phosphate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 875 m<sup>3</sup>/h en été austral sans vent

En haut : carte du maximum de concentration en Phosphate sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Phosphate sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Phosphate = 0.05 µMol) : 150% = 0.075 µMol, 200% = 0.1 µMol

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

### 5.4.4.11 Simulation 11 : rejet à 50 m avec un débit de 685 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent moyen

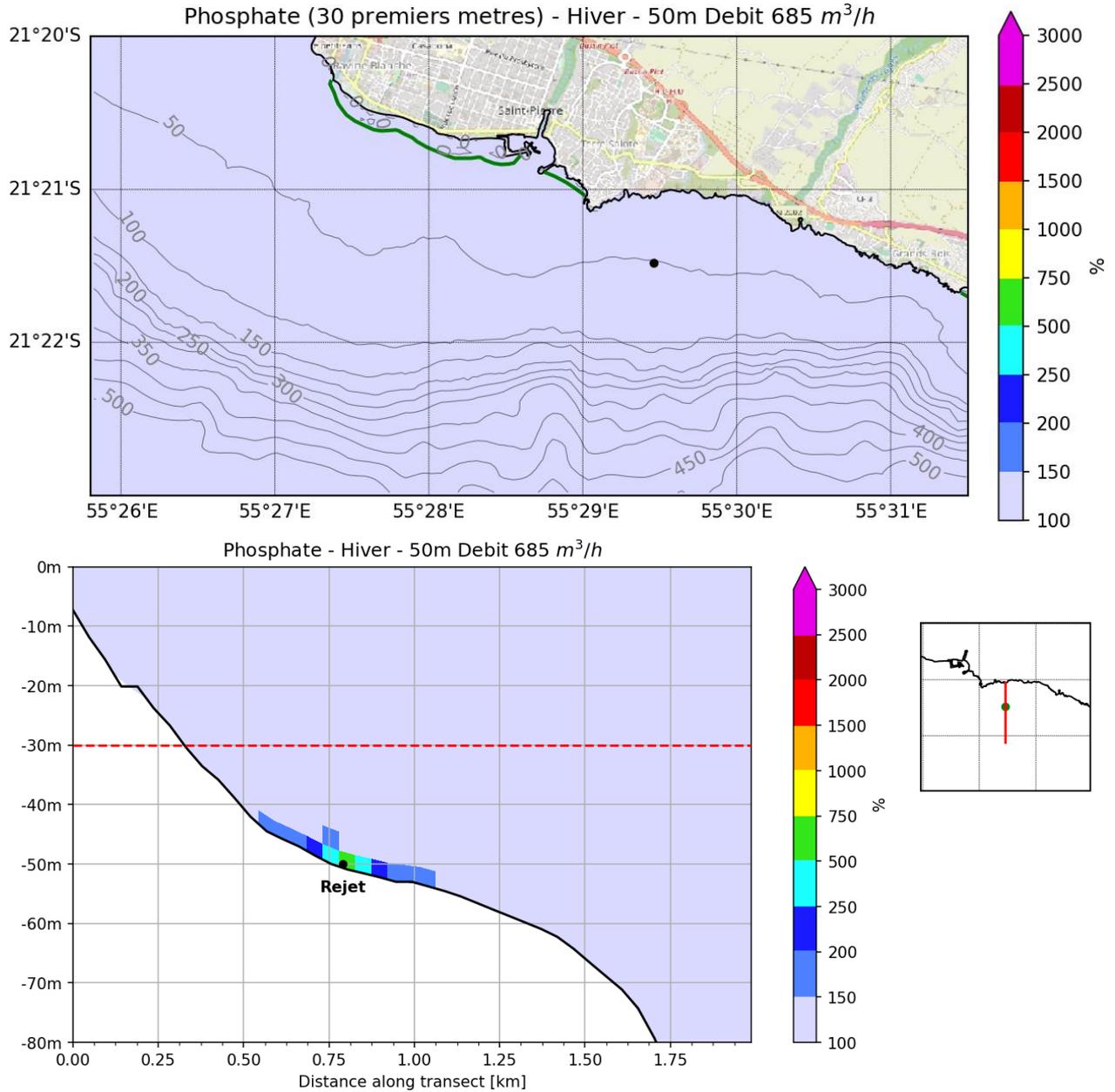


Figure 5-60 – Maximum de concentration en Phosphate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 685 m<sup>3</sup>/h en hiver austral

En haut : carte du maximum de concentration en Phosphate sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Phosphate sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Phosphate = 0.05 µMol) : 150% = 0.075 µMol, 200% = 0.1 µMol

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.4.12 Simulation 12 : rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral sans vent

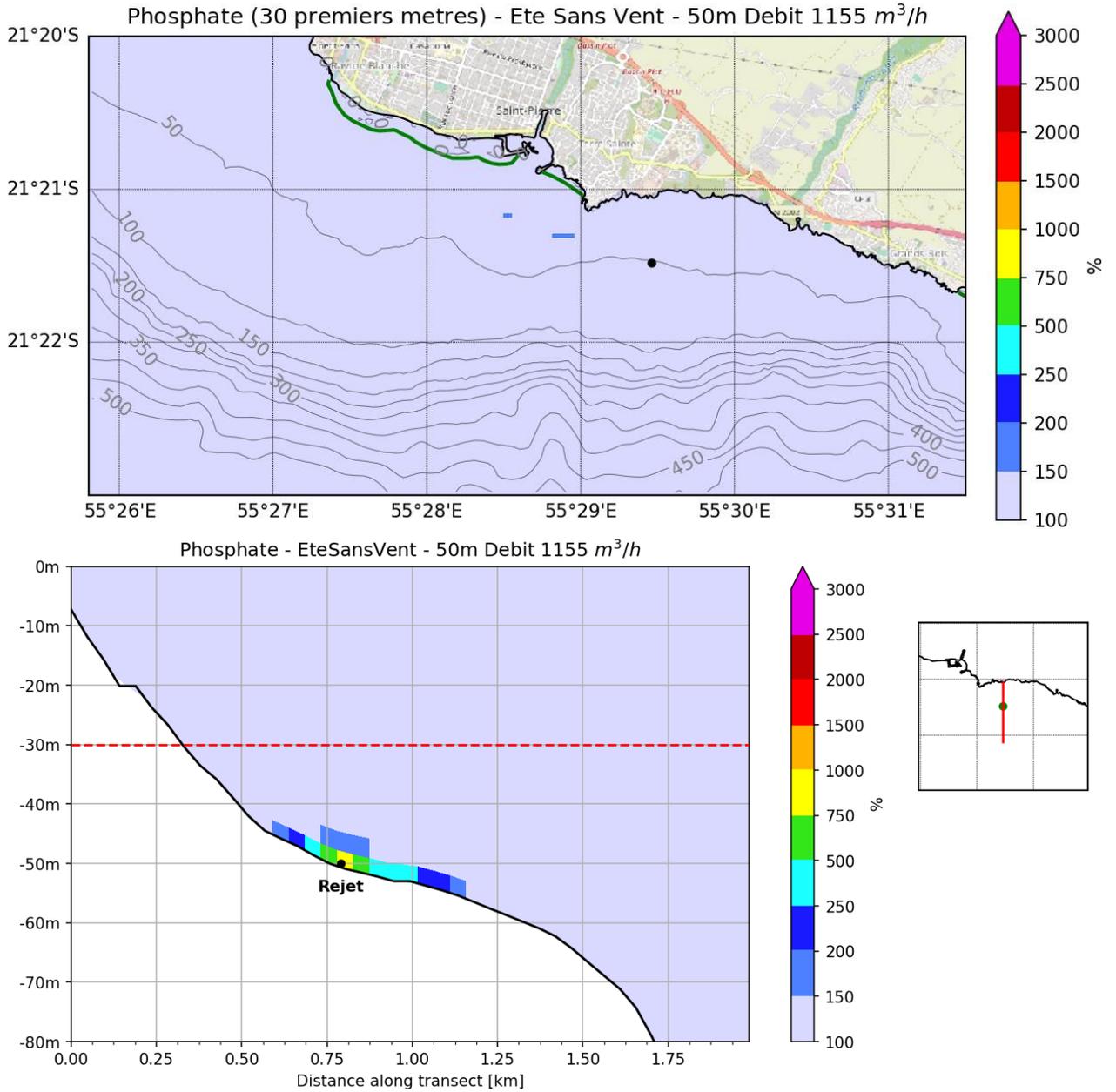


Figure 5-61 – Maximum de concentration en Phosphate dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral sans vent

En haut : carte du maximum de concentration en Phosphate sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Phosphate sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite).

Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Phosphate = 0.05 µMol) : 150% = 0.075 µMol, 200% = 0.1 µMol

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.5 PHOSPHORE TOTAL

5.4.5.1 Simulation 1 : rejet à 25 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral avec un vent moyen

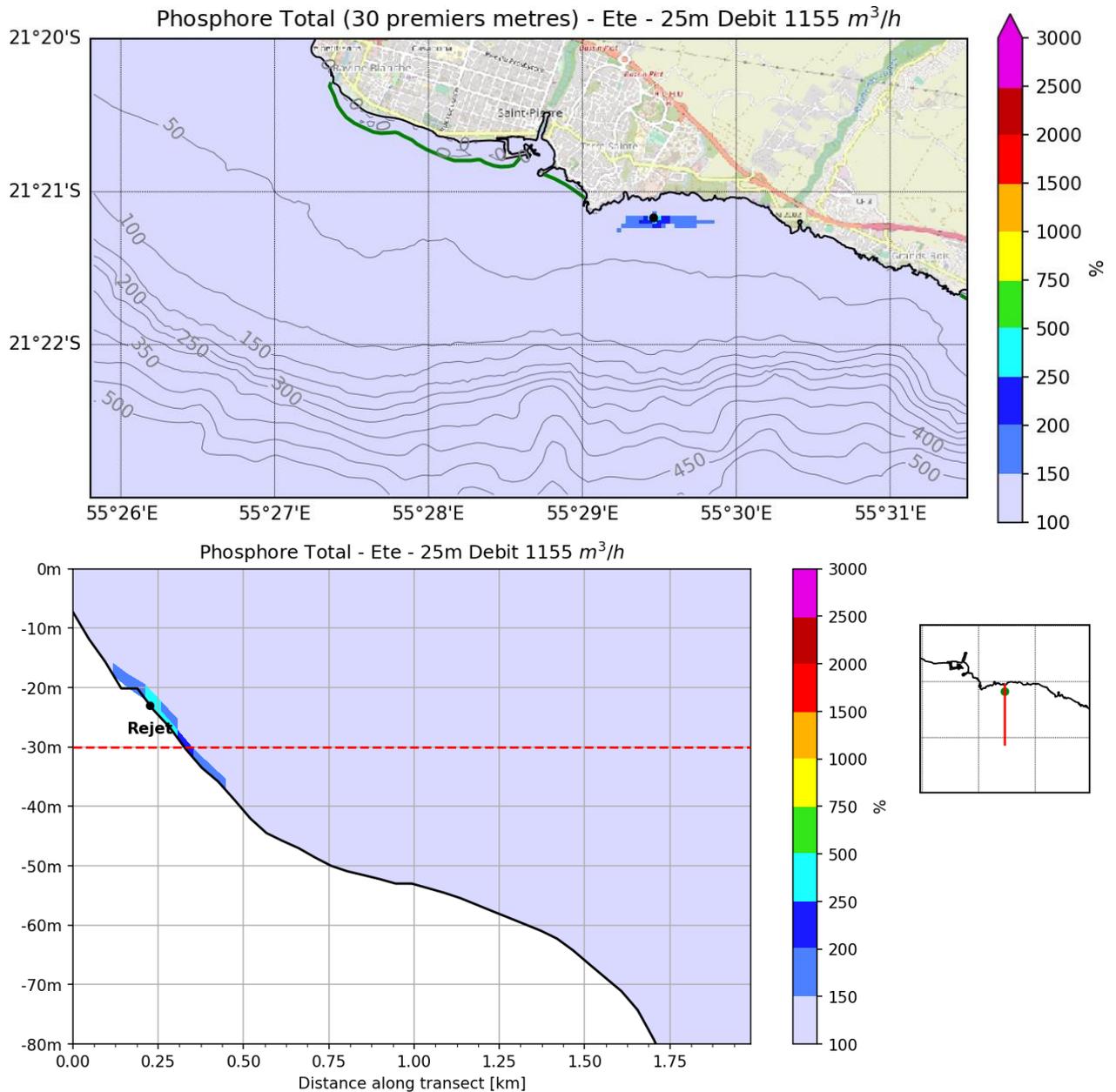


Figure 5-62 – Maximum de concentration en Phosphore Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 25 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral

En haut : carte du maximum de concentration en Phosphore Total sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Phosphore Total sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite). Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Phosphore Total = 0.01 mg/L) : 150% = 0.015 mg/L μMol, 200% = 0.02 mg/L

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.5.2 Simulation 2 : rejet à 50 m avec un débit de 481 m<sup>3</sup>/h en été austral avec un vent moyen

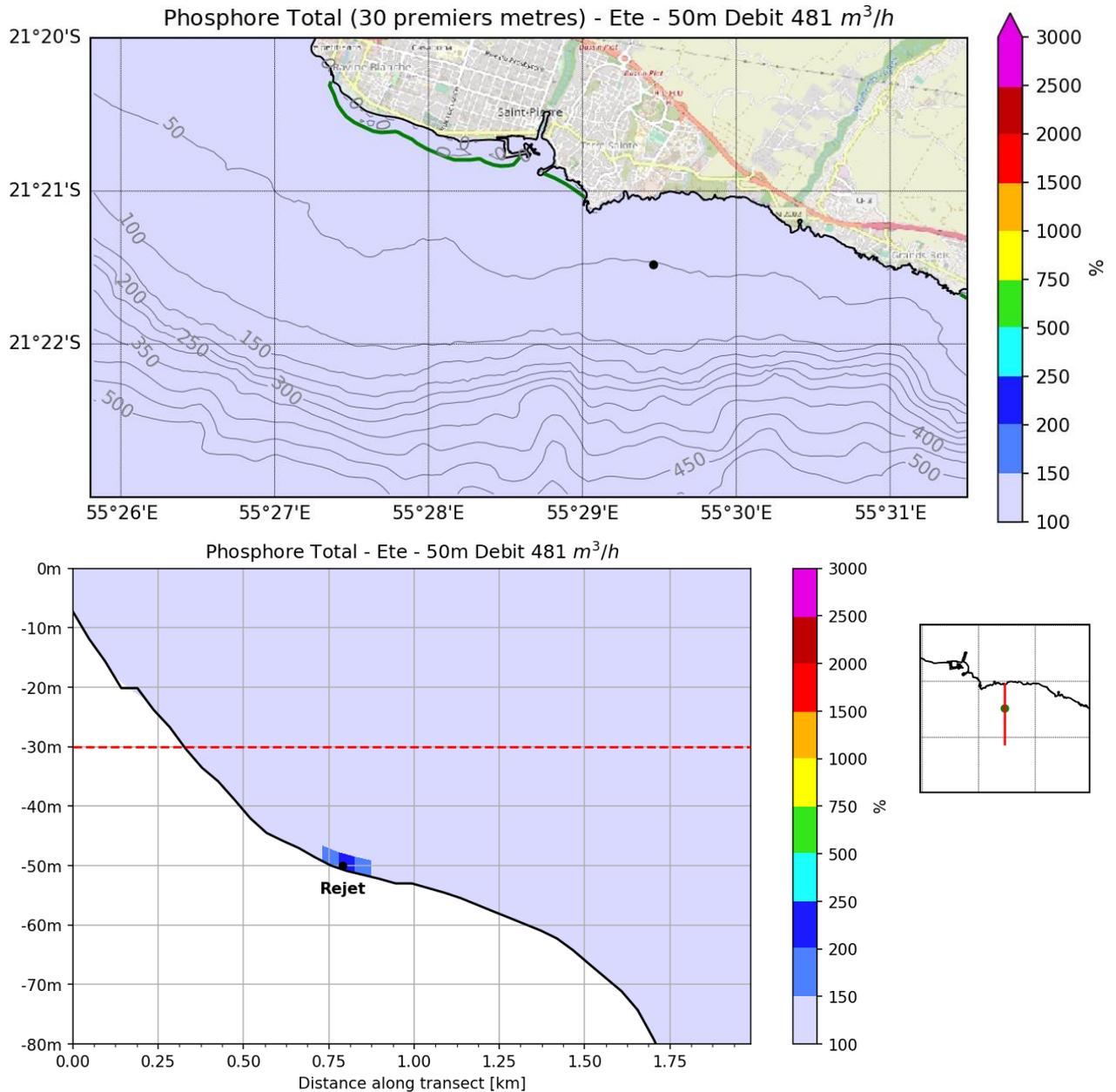


Figure 5-63 – Maximum de concentration en Phosphore Total dans les 30 premiers mètres et le long d’une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 481 m<sup>3</sup>/h en été austral

En haut : carte du maximum de concentration en Phosphore Total sur les 30 premiers mètres de la colonne d’eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Phosphore Total sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite). Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Phosphore Total = 0.01 mg/L) : 150% = 0.015 mg/L μMol, 200% = 0.02 mg/L

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.5.3 Simulation 3 : rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral avec un vent moyen

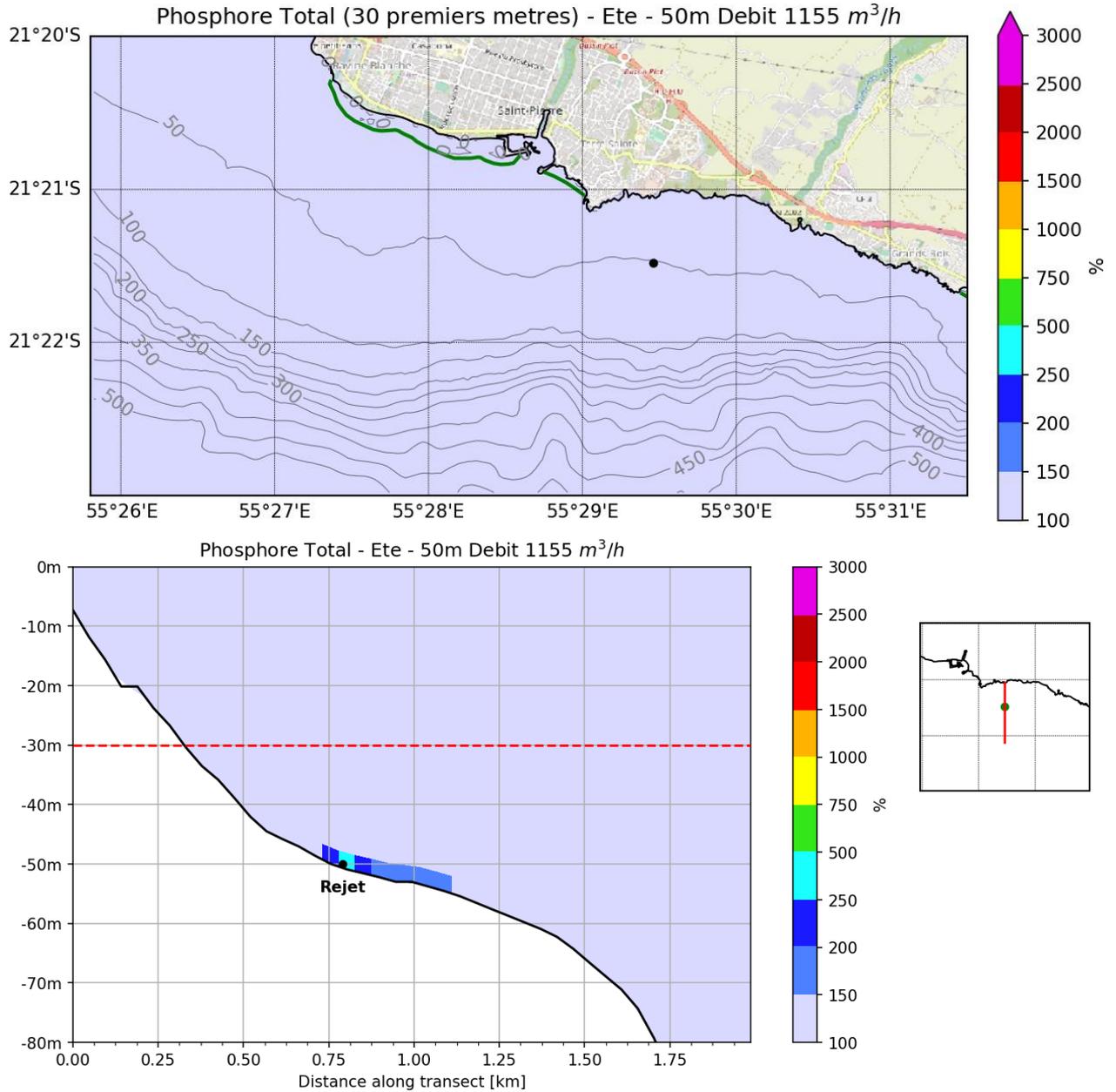


Figure 5-64 – Maximum de concentration en Phosphore Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral

En haut : carte du maximum de concentration en Phosphore Total sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Phosphore Total sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite). Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Phosphore Total = 0.01 mg/L) : 150% = 0.015 mg/L μMol, 200% = 0.02 mg/L

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.5.4 Simulation 4 : rejet à 60 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral avec un vent moyen

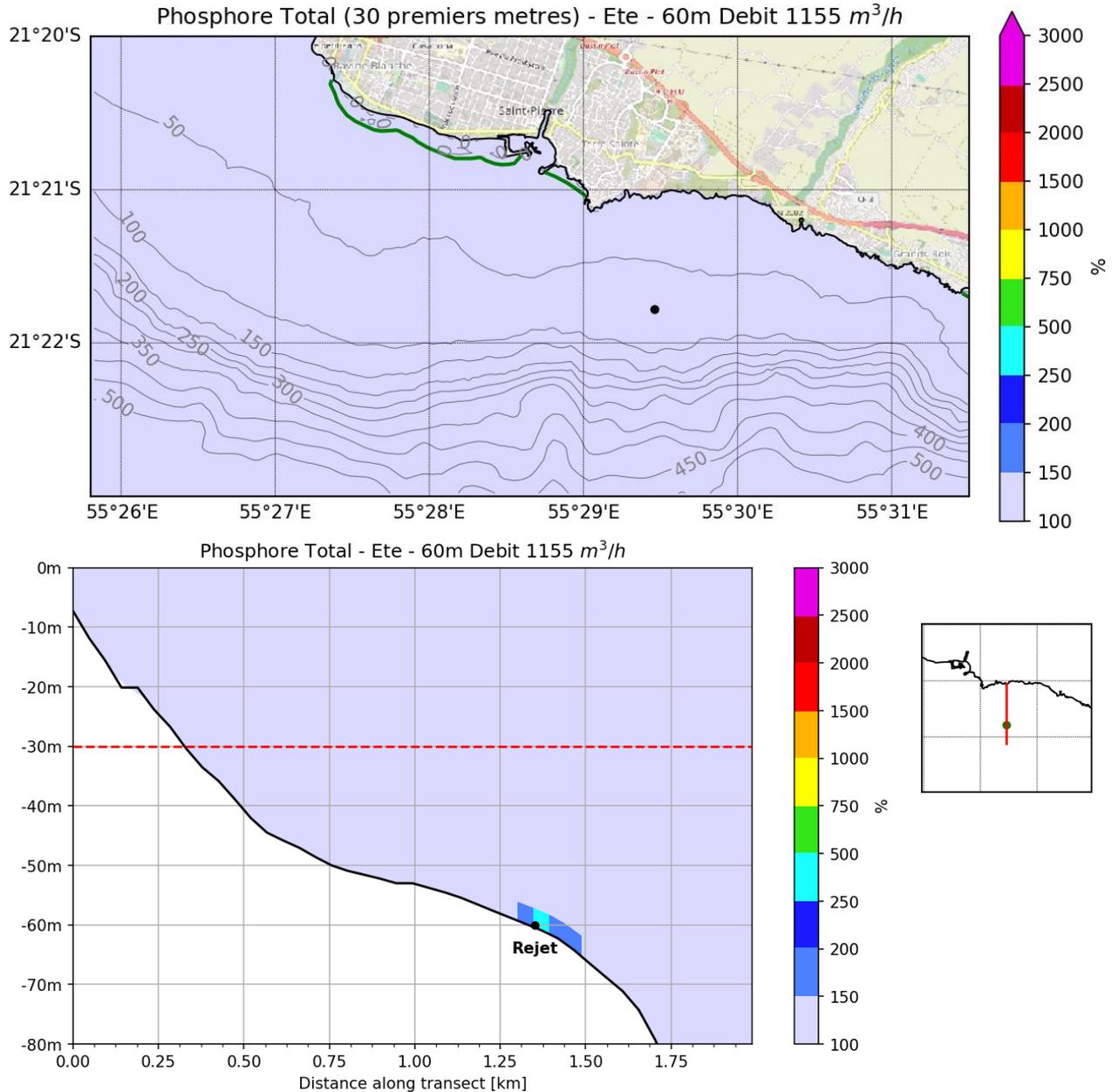


Figure 5-65 – Maximum de concentration en Phosphore Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 60 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral

En haut : carte du maximum de concentration en Phosphore Total sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Phosphore Total sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite). Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Phosphore Total = 0.01 mg/L) : 150% = 0.015 mg/L μMol, 200% = 0.02 mg/L

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.5.5 Simulation 5 : rejet à 50 m avec un débit de 481 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent moyen

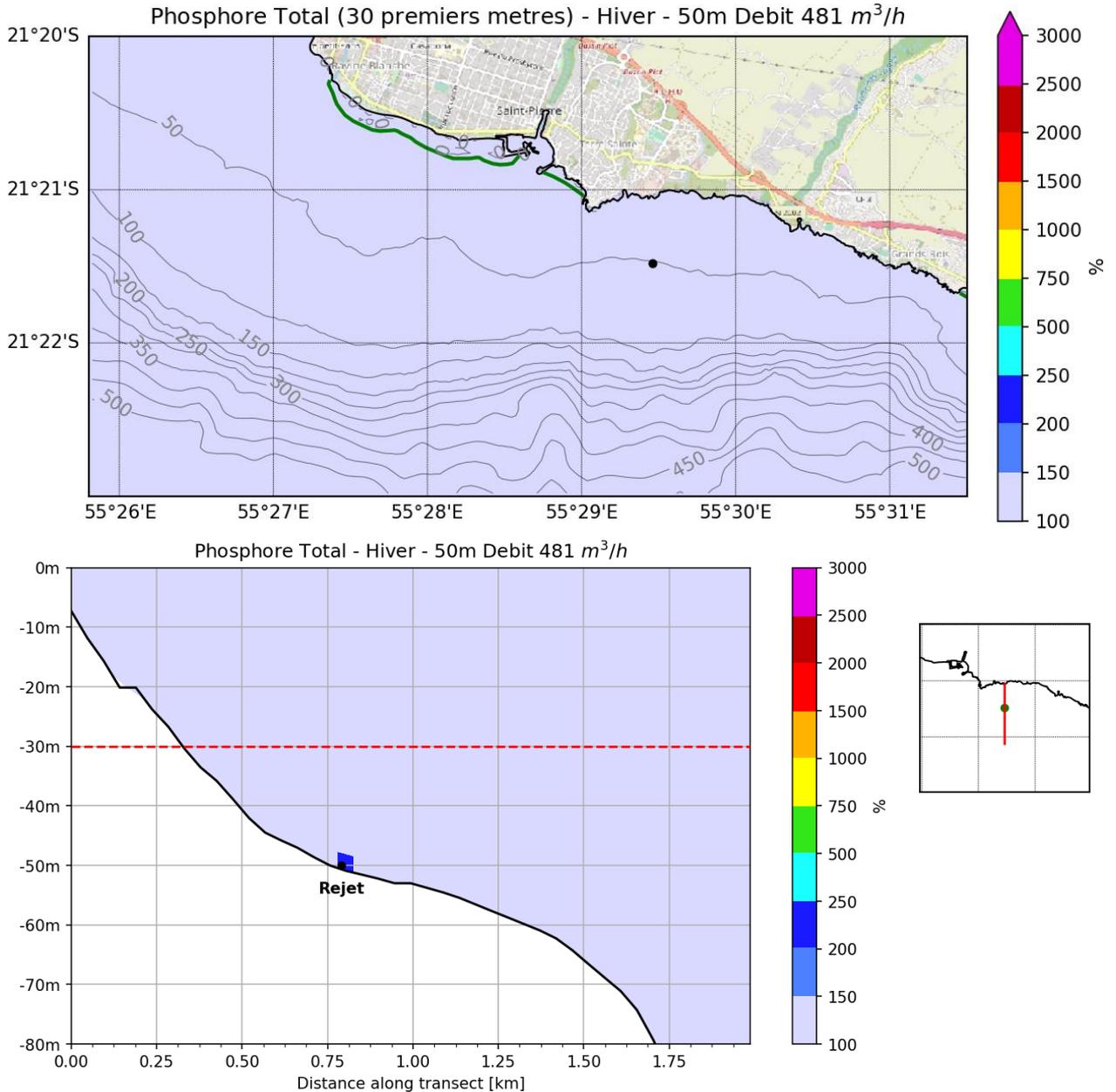


Figure 5-66 – Maximum de concentration en Phosphore Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 481 m<sup>3</sup>/h en été austral

En haut : carte du maximum de concentration en Phosphore Total sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Phosphore Total sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite). Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Phosphore Total = 0.01 mg/L) : 150% = 0.015 mg/L μMol, 200% = 0.02 mg/L

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.5.6 Simulation 6 : rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent moyen

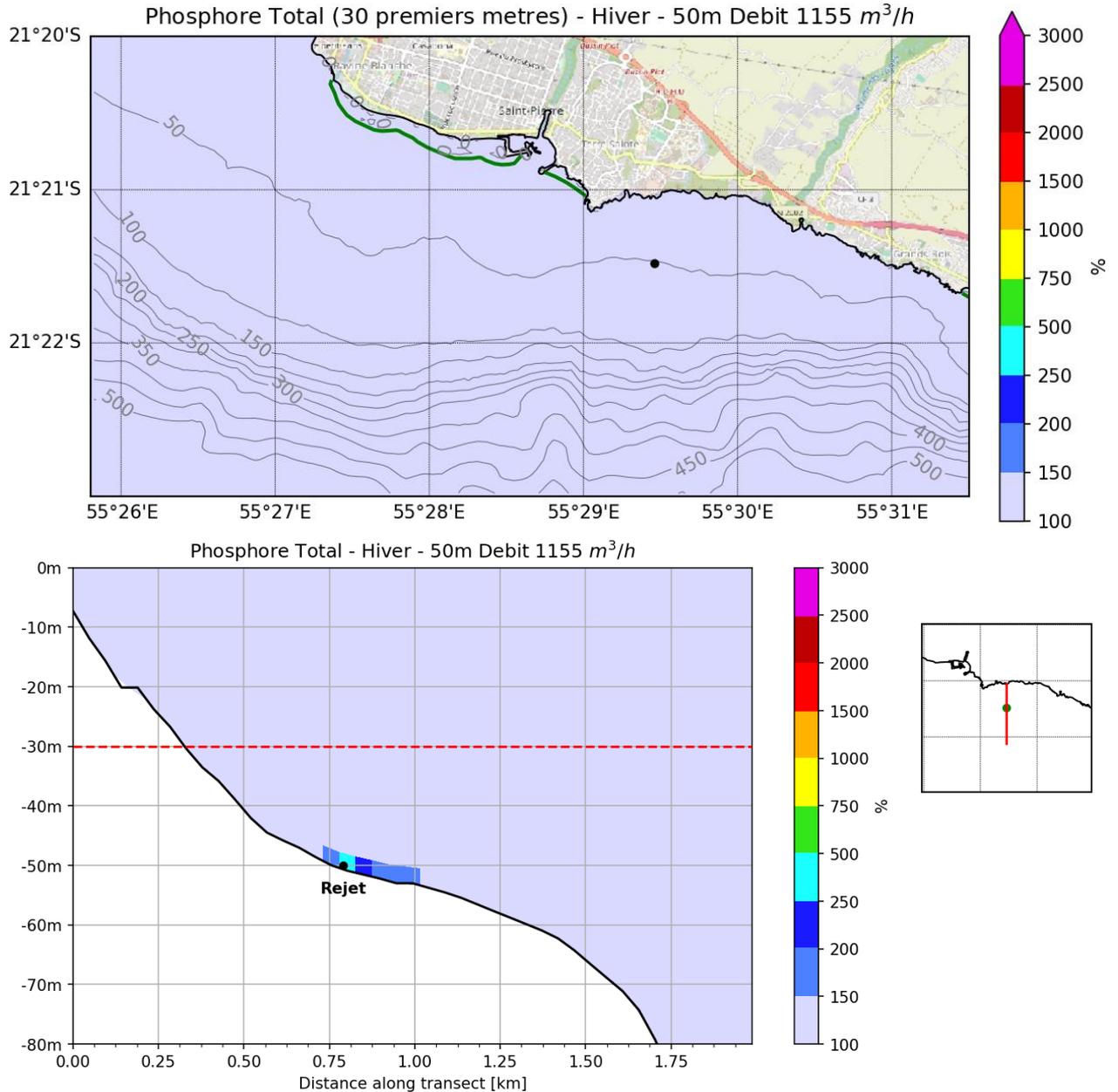


Figure 5-67 – Maximum de concentration en Phosphore Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral

En haut : carte du maximum de concentration en Phosphore Total sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Phosphore Total sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite). Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Phosphore Total = 0.01 mg/L) : 150% = 0.015 mg/L μMol, 200% = 0.02 mg/L

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.5.7 Simulation 7 : rejet à 25 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec vent fort

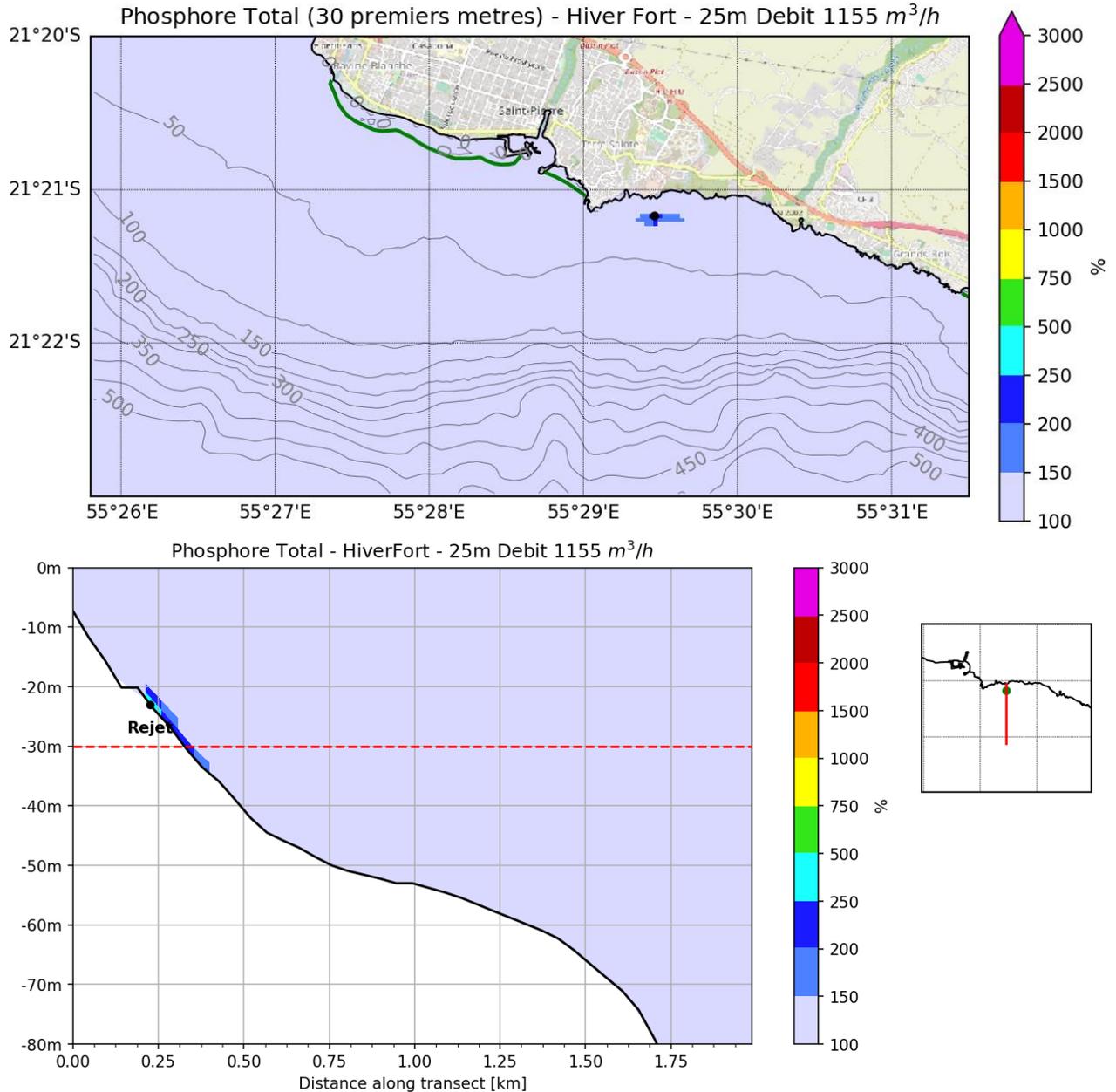


Figure 5-68 – Maximum de concentration en Phosphore Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 25 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec vent fort

En haut : carte du maximum de concentration en Phosphore Total sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Phosphore Total sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite). Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Phosphore Total = 0.01 mg/L) : 150% = 0.015 mg/L μMol, 200% = 0.02 mg/L

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.5.8 Simulation 8 : rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec vent fort

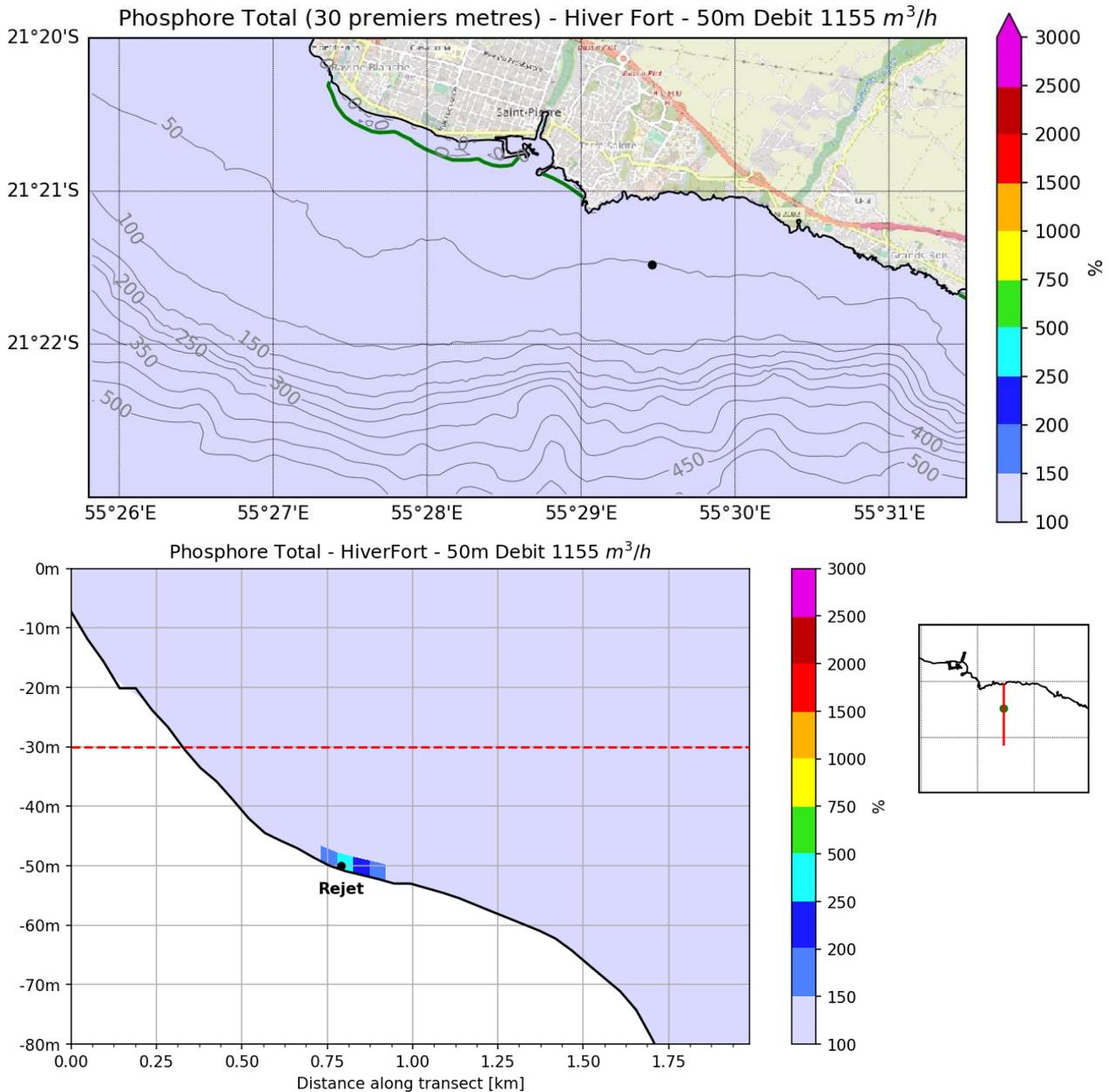


Figure 5-69 – Maximum de concentration en Phosphore Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec vent fort

En haut : carte du maximum de concentration en Phosphore Total sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Phosphore Total sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite). Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Phosphore Total = 0.01 mg/L) : 150% = 0.015 mg/L μMol, 200% = 0.02 mg/L

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.5.9 Simulation 9 : rejet à 60 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec vent fort

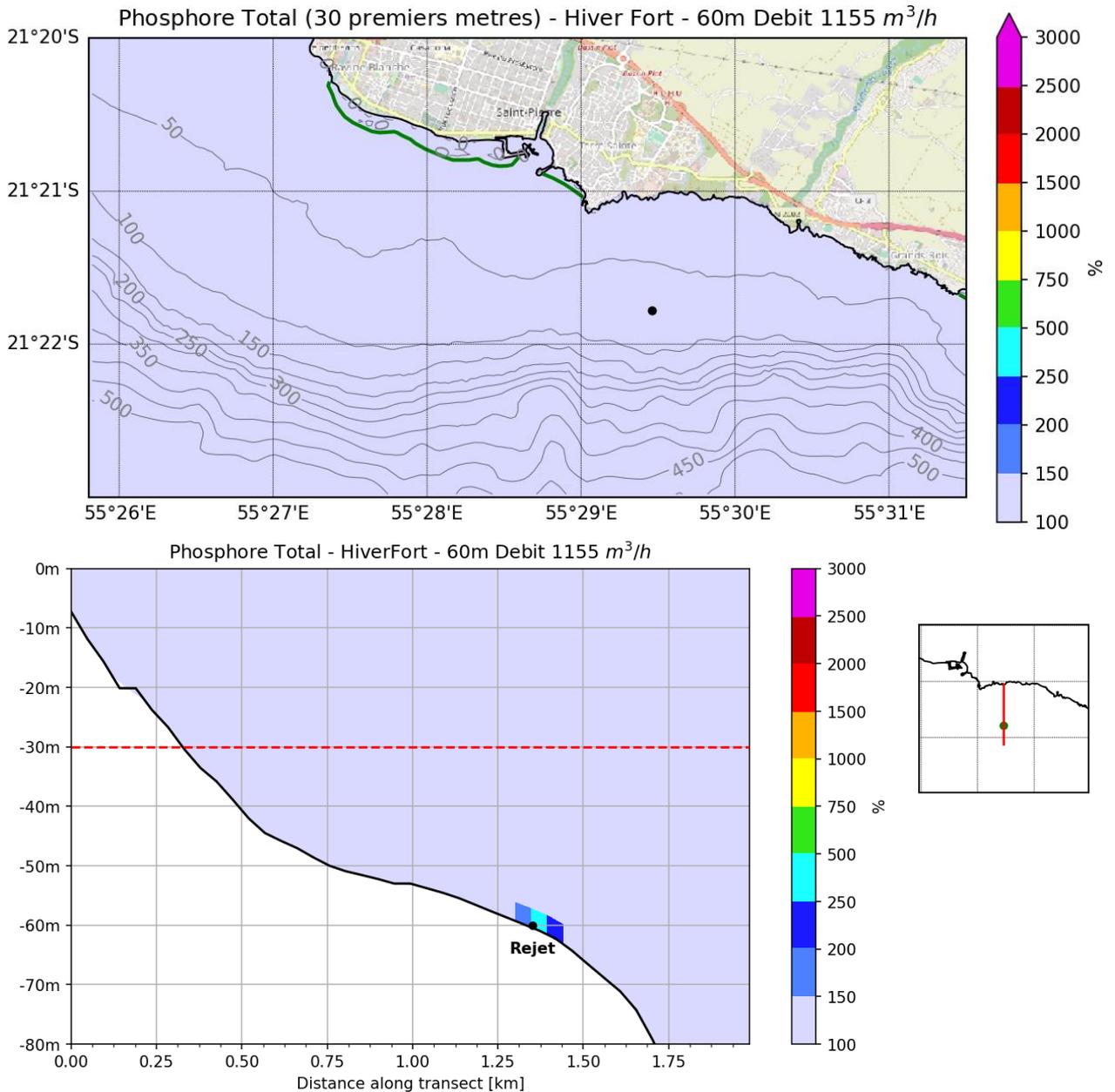


Figure 5-70 – Maximum de concentration en Phosphore Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 60 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec vent fort

En haut : carte du maximum de concentration en Phosphore Total sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Phosphore Total sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite). Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Phosphore Total = 0.01 mg/L) : 150% = 0.015 mg/L μMol, 200% = 0.02 mg/L

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.5.10 Simulation 10 : rejet à 50 m avec un débit de 875 m<sup>3</sup>/h en été austral sans vent

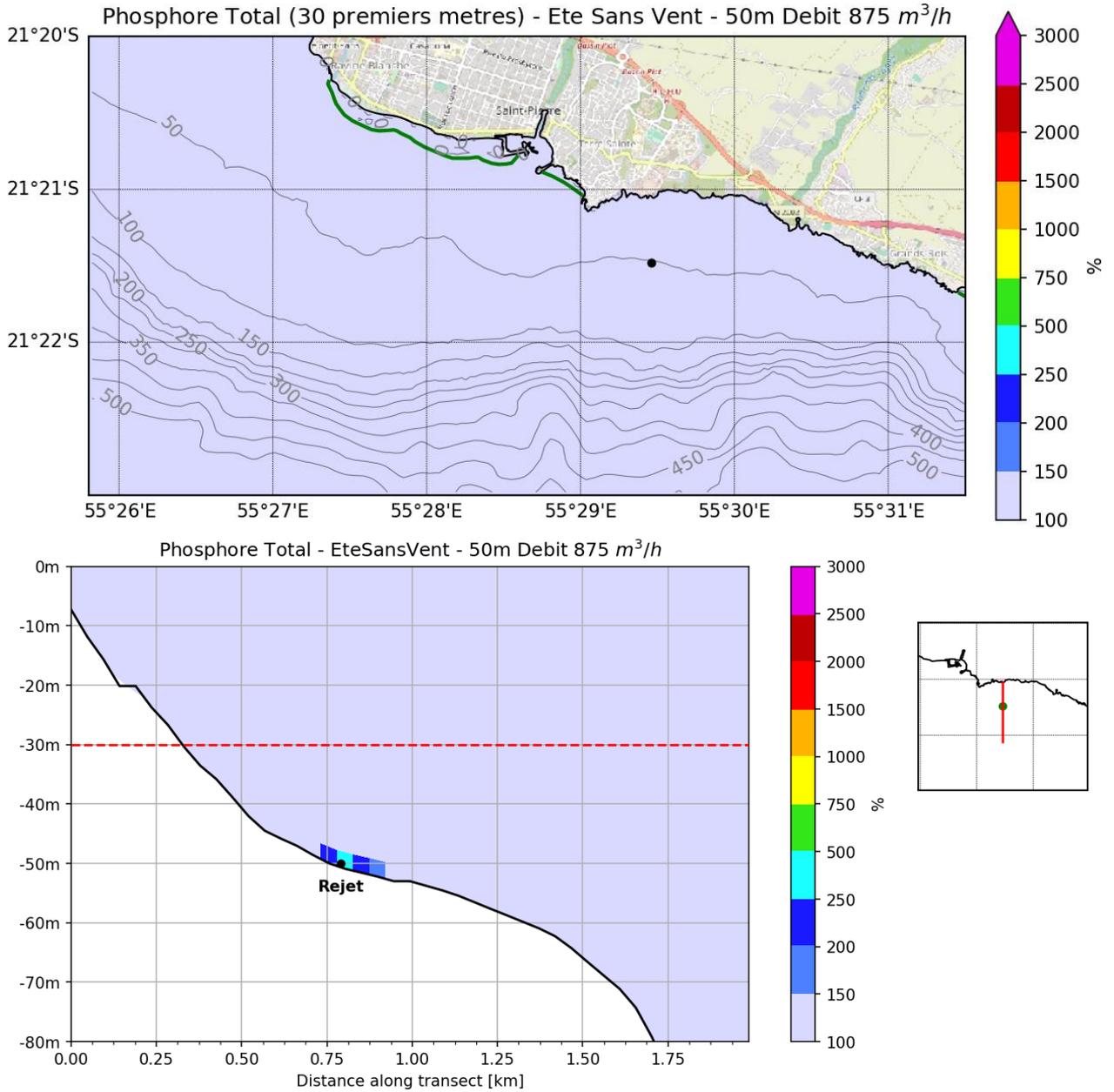


Figure 5-71 – Maximum de concentration en Phosphore Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 875 m<sup>3</sup>/h en été austral sans vent

En haut : carte du maximum de concentration en Phosphore Total sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Phosphore Total sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite). Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Phosphore Total = 0.01 mg/L) : 150% = 0.015 mg/L  $\mu$ Mol, 200% = 0.02 mg/L

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.5.11 Simulation 11 : rejet à 50 m avec un débit de 685 m<sup>3</sup>/h en hiver austral avec un vent moyen

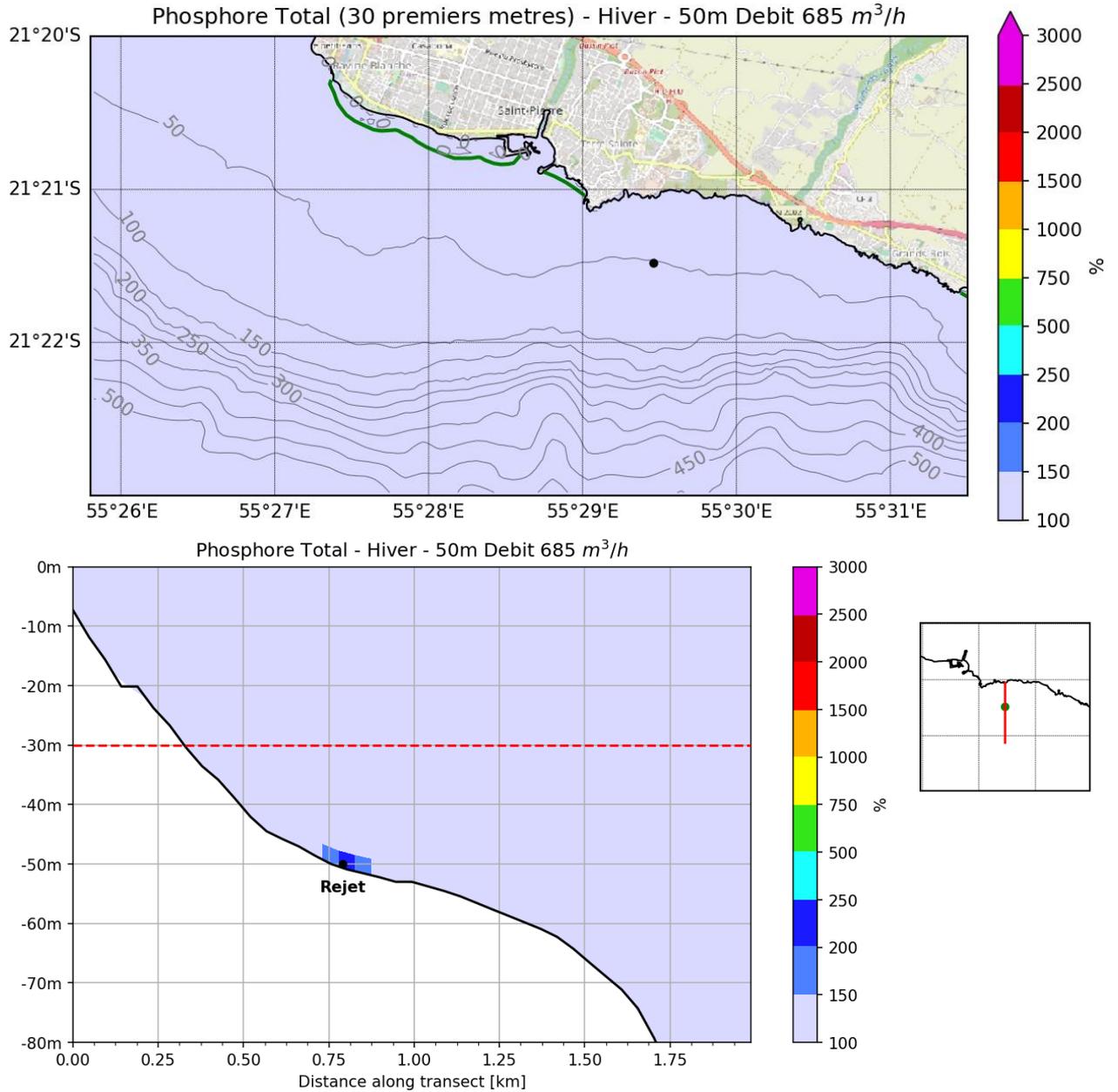


Figure 5-72 – Maximum de concentration en Phosphore Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 685 m<sup>3</sup>/h en hiver austral

En haut : carte du maximum de concentration en Phosphore Total sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Phosphore Total sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite). Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Phosphore Total = 0.01 mg/L) : 150% = 0.015 mg/L μMol, 200% = 0.02 mg/L

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

5.4.5.12 Simulation 12 : rejet à 50 m avec un débit de 1155 m<sup>3</sup>/h en été austral sans vent

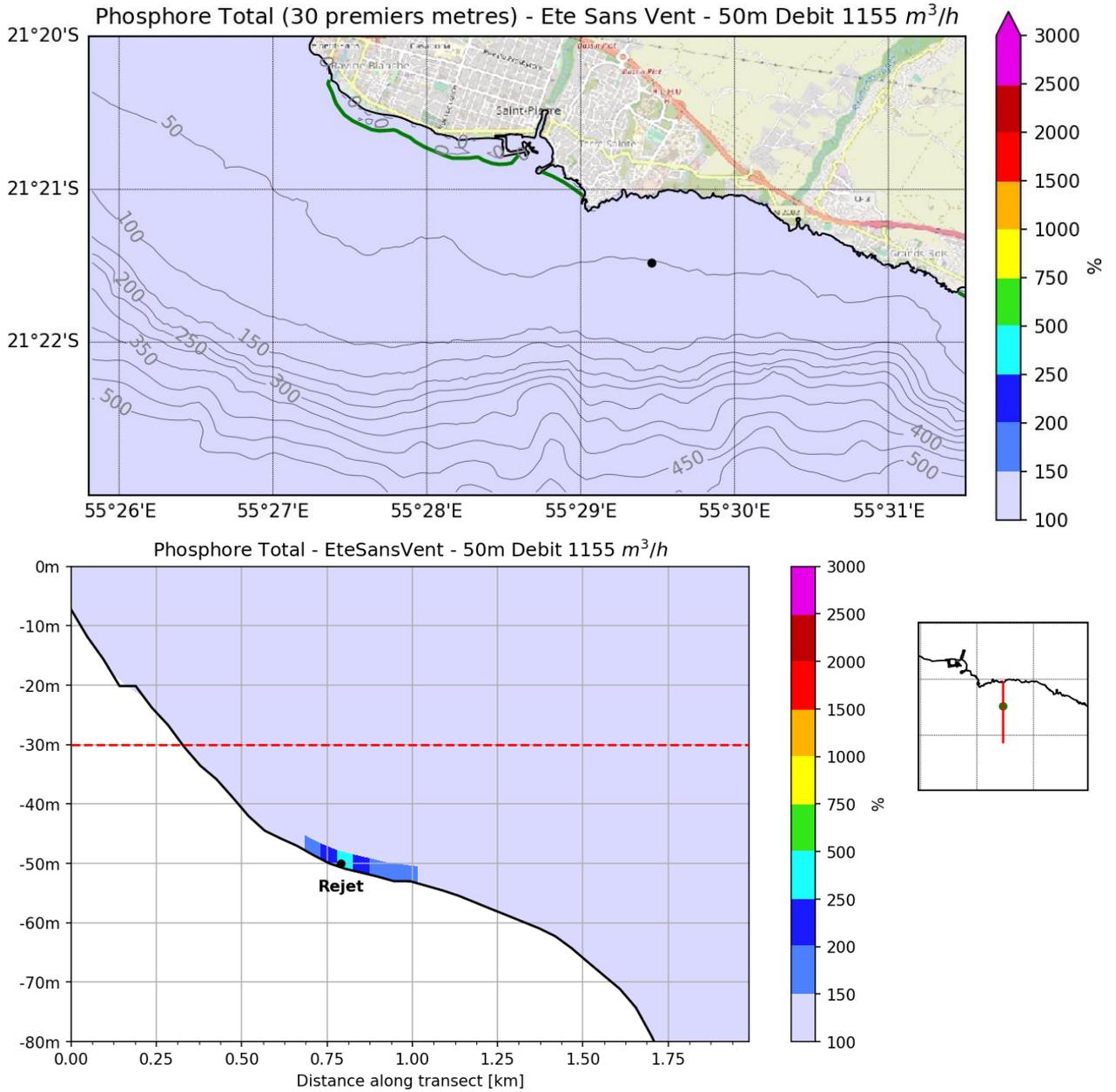


Figure 5-73 – Maximum de concentration en Phosphore Total dans les 30 premiers mètres et le long d'une section pour le scénario de rejet à 50 m avec un débit de 685 m<sup>3</sup>/h en hiver austral

En haut : carte du maximum de concentration en Phosphore Total sur les 30 premiers mètres de la colonne d'eau et sur toute la durée de la simulation.

En bas : section du maximum de concentration en Phosphore Total sur toute la durée de la simulation (position de la section à droite). Les figures sont en % de la concentration ambiante (pour le Phosphore Total = 0.01 mg/L) : 150% = 0.015 mg/L μMol, 200% = 0.02 mg/L

La position du rejet est indiquée par un rond.

La position des récifs coralliens est indiquée par une ligne verte.

La position de la limite à 30 m est indiquée par une ligne pointillée rouge.

#### 5.5 CONCLUSIONS SUR LES SCENARIOS

Sur l'ensemble des scénarios, la différence de température induite par le rejet n'excède jamais 3°C. Le maximum de différence est atteint près du fond à proximité immédiate du rejet, la différence de température s'estompe rapidement et retombe sous les 0.5°C en quelques centaines de mètres.

Concernant les substances dissoutes, l'impact le plus visible est systématiquement sur le nitrate car la concentration ambiante en surface est extrêmement faible comparée aux concentrations des eaux profondes. Ainsi, la concentration du rejet est de l'ordre de 30 000% de la concentration ambiante en surface. Ce fort taux entraîne, pour un rejet à 25 m, des concentrations excédant 3000% de la concentration ambiante dans la tranche des 30 premiers mètres. Les zones récifales sont alors concernées par des concentrations dépassant 200% de la concentration ambiante. Les rejets à 50 m et 60 m assurent une dilution suffisante en toutes saisons pour limiter la concentration en nitrates dans les 30 premiers mètres sous les 500% pour le rejet à 50 m et sous les 200% pour le rejet à 60 m. Ces taux sont atteints à distance du rejet car ils résultent de la diffusion verticale du fond vers la surface. Les zones récifales ne sont pas atteintes par des concentrations supérieures à 150% de la concentration ambiante pour ces deux profondeurs de rejet.

Cette analyse issue des concentrations maximales peut être nuancée par les visualisations des concentrations moyennes au cours de la simulation. En effet, le panache oscille sous l'effet de la marée et ne reste donc pas toujours au même endroit. Ainsi, en moyenne, les concentrations de nitrate restent sous les 120-125% de la concentration ambiante en été et 110-115% en hiver. De plus, ces concentrations ne touchent pas les zones de récif pour lesquelles la concentration reste sous 105% de la concentration ambiante.

Des tendances similaires sont observées sur le phosphate, même si, pour cette substance, les panaches n'atteignent pas les zones sensibles.

Pour l'azote et le phosphore, les panaches sont très localisés car la différence entre la concentration du rejet et la concentration ambiante est faible.

## 6. SYNTHÈSE

---

Dans le cadre du projet SWAC GHSR de l'hôpital de Saint-Pierre sur l'île de La Réunion, ACTIMAR a réalisé une étude de modélisation des rejets en mer dans le but d'analyser la dispersion du rejet issu des installations du projet pendant la phase d'exploitation en étudiant plusieurs possibilités de rejet à des profondeurs différentes et à des débits différents.

Le système de modélisation mis en place consiste en un modèle 3D de circulation côtière permettant de simuler la dispersion des rejets en mer complétée par un modèle de champ proche.

L'analyse du champ proche réalisée avec le logiciel CORMIX a mis en évidence que le panache reste au fond sur une épaisseur de quelques mètres quel que soit la stratification ambiante. En effet, la différence de température entre le rejet et le milieu ambiant est suffisante pour maintenir le panache au fond.

Le modèle 3D a été mis en place à partir des données bathymétriques disponibles et des données de forçages issues de FES2014 pour la marée, de CFSR-CFSV2 pour le vent et de GDEM pour les profils de stratification thermohaline.

Le modèle 3D a été comparé aux données disponibles en niveaux et en courant. Les résultats des comparaisons montrent la bonne capacité du modèle à modéliser les niveaux d'eau et le courant moyen. En revanche, le modèle sous-estime les maxima de courants. Les écarts constatés peuvent être imputés à la schématisation de la stratification, à la présence de phénomènes météorologiques locaux non représentés par la base de données de vent utilisée et aux limitations du système de modélisation qui ne permet pas de représenter la génération et la propagation d'ondes internes autour de l'île. Le système de modélisation mis en place reflète toutefois l'état de l'art des études de dispersion de rejet.

Le modèle 3D a ensuite été appliqué à 12 scénarios combinant 4 conditions météo-océaniques et plusieurs conditions de rejet allant du débit le plus extrême au débit le plus faible.

Les résultats montrent que les profondeurs de rejet à 50 et 60 m permettent de préserver la tranche des 30 premiers mètres d'eau par rapport au rejet à 25 m.

Les résultats mettent en évidence que le panache de Nitrate est le plus important en raison de sa forte concentration dans le rejet par rapport à la concentration ambiante. Pour ce paramètre, dans le cas d'un rejet à 50 m, les concentrations dans les 30 premiers mètres peuvent atteindre localement 500% de la concentration ambiante mais ne dépassent pas 125% en moyenne.

Pour les autres paramètres, l'incidence dans les 30 premiers mètres d'eau est en moyenne inférieure à 105% de la concentration ambiante et toujours inférieure à 150%.

Les situations météo-océaniques les plus impactantes vis-à-vis des 30 premiers mètres de profondeur sont les situations d'été austral.

Ces résultats feront également l'objet d'une analyse environnementale par un autre bureau d'étude pour évaluer l'impact en matière d'enrichissement du milieu.

## 7. BIBLIOGRAPHIE

---

- [ 1 ] The NCEP climate Forecast System Reanalysis, *Bull Amer. Meteor. Soc*, **91**, p.2015-1057, Saha, Suranjana, et co-authors, 2010. - <http://cfs.ncep.noaa.gov/>
- [ 2 ] Description and Evaluation of GDEM-V 3.0 MICHAEL R. CARNES Ocean Sciences Branch Oceanography DivisionNRL/MR/7330--09-9165 - Naval Research Laboratory - February 6, 2009 - [http://gcoos.tamu.edu/products/data/ts\\_profile/GDEMV-3.pdf](http://gcoos.tamu.edu/products/data/ts_profile/GDEMV-3.pdf)
- [ 3 ] Références Altimétriques Maritimes - Ports de France métropolitaine et d'outre-mer - Cotes du zéro hydrographique et niveaux caractéristiques de la marée- 2017 – SHOM
- [ 4 ] M.A. Démerliac, Le niveau moyen de la mer, calcul du niveau moyen journalier.
- [ 5 ] HYDRODUN – Vérification des modèles hydrodynamiques 3D implantés sur le littoral de la Réunion – SAFEGE – Octobre 2011
- [ 6 ] HYDRODUN – Calculs d'indicateurs pour les masses d'eau DCE – SAFEGE – Avril 2012
- [ 7 ] Lyard F., Lefevre F., Letellier T., Francis O., 2006. Modelling the global ocean tides: modern insights from FES2004 *Ocean Dynamics*, **56**, 394-415. - <http://www.legos.obs-mip.fr/equipes/ecola/projets/fes2014>
- [ 8 ] SWAC du Groupe Hospitalier Sud Réunion Saint-Pierre – Mission d'études environnementales et de pré-cadrage réglementaire - PHASE 2 : Dossier de pré-cadrage complété des résultats des mesures marines in-situ– ARTELIA, ACOA Conseil, PARETO, Emmanuel Cordier – juillet 2014