14 NOV. 2023

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
DIMENC
GOUVERNEMENT DE LA NOUVELLE-CALEDONIE

2023-DIMENC-87638

PRONY Resources
New Caledonia

Rapport en réponse relatif au PAC d'optimisation du rejet de l'émissaire marin

Rapport de novembre 2023

TABLE DES MATIERES

PARTIE A. Rapport technique et caractérisation de l'effluent industriel 12
Chapitre A.I. Contexte 12
Chapitre A.II. Objectifs 12
Chapitre A.III. Rapport technique Optimisation du débit de l'émissaire marin 13
Chapitre A.IV. Etude statistiques de la chimie de l'effluent industriel et intégration des effluents de LUCY 13
PARTIE B. Evaluation environnementale 14
Chapitre B.I. Sources principales de l'étude d'évaluation environnementale 16
Chapitre B.II. Présentation de l'état initial de la zone maritime du projet 18
B.II.1. Etat initial de la colonne d'eau 18
B.II.1.1. Zone d'étude et échantillonnage 18
B.II.1.2. Résultats 19
B.II.1.2.1. Structure des masses d'eau 19
B.II.1.2.2. MES, pH et éléments majeurs 20
B.II.1.2.3. Sels nutritifs et matières organiques 21
B.II.1.2.4. Métaux dissous 21
B.II.1.3. Conclusion 23
B.II.2. Etat initial des sédiments de surface 24
B.II.2.1. Méthodologie 24
B.II.2.1.1. Site d'étude et d'échantillonnage 24
B.II.2.1.2. Echantillonnage 24
B.II.2.2. Résultats 25
B.II.2.2.1. Pourcentages en fraction pélitique et granulométrique des particules 25
B.II.2.2.2. Minéralogie des sédiments 25
B.II.2.2.3. Composition géochimique des sédiments 25
B.II.2.3. Mise en contexte et interprétation 27
B.II.2.4. Conclusion 30
B.II.3. Etat initial de la sédimentation 31
B.II.3.1. Contexte et objectifs 31
B.II.3.2. Méthodologie 31
B.II.3.2.1. Site d'étude et échantillonnage 31
B.II.3.2.2. Echantillonnage 32

B.II.3.3. Résultats 32
B.II.3.3.1. Pourcentage en fraction pélitique et granulométrie des particules 32
B.II.3.3.2. Minéralogie des sédiments 34
B.II.3.3.3. Composition géochimique des sédiments 34
B.II.3.4. Mise en contexte et interprétation 35
B.II.3.4.1. Comparaison sédimentologique 35
B.II.3.4.2. Comparaison géochimique des sédiments 35
B.II.3.5. Conclusion 36
B.II.4. Etat initial biologique marin 37
B.II.4.1. Zone d'étude et méthodologie 37
B.II.4.2. Résultats 38
B.II.4.2.1. Typologie du récif 38
B.II.4.2.2. Cartographie bionomique 38
B.II.4.2.3. Description des peuplements 39
B.II.4.2.4. Indicateurs de santé 41
B.II.4.2.5. Contexte réglementaire 41
B.II.4.2.6. Sensibilité de la zone 42
B.II.4.3. Conclusion 43
Chapitre B.III. Présentation des résumés des synthèses historiques pour chaque domaine de compétence – Retour d'expérience 44
B.III.1. Qualité Physico-chimique des eaux 44
B.III.1.1. Objectifs 44
B.III.1.2. Résultats et Conclusions 45
B.III.1.2.1. Éléments majeurs 45
B.III.1.2.2. Métaux dissous 46
B.III.1.2.3. Sels Nutritifs 47
B.III.1.2.4. Composés organiques 48
B.III.1.3. Comparaison avec les seuils de toxicité 49
B.III.2. Flux en matière en suspension 50
B.III.2.1. Objectifs 51
B.III.2.2. Résultats et Conclusions 51
B.III.2.2.1. Station St06-KW1 52
B.III.2.2.2. Station St15 52
B.III.2.2.3. Station St60-NE 52

B.III.3. Qualité physico-chimique et sédimentologique des sédiments de surface 54
B.III.3.1. Objectifs 54
B.III.3.2. Résultats et Conclusions 55
B.III.4. Suivi des Effluents 56
B.III.4.1. Objectifs 56
B.III.4.2. Résultats et Conclusions 57
B.III.4.2.1. Distribution spatiale des concentrations 57
B.III.4.2.2. Suivi de seuils de manganèse préconisés 57
B.III.5. Taux de sédimentation & évolution géochimique 59
B.III.5.1. Objectifs 59
B.III.5.2. Résultats et Conclusions 60
B.III.5.2.1. Conclusion pour la station ST16 60
B.III.5.2.2. Conclusion pour la station ST15 61
B.III.5.2.3. Conclusion pour la station ST13 62
B.III.5.2.4. Conclusion pour la station ST06 62
B.III.6. Synthèse biote 64
B.III.6.1. Préambule 64
B.III.6.2. Méthodologie 64
B.III.6.2.1. Stations d'étude 64
B.III.6.2.2. Protocoles 65
B.III.6.3. Synthèse de l'évolution des paramètres du suivi biologique 65
B.III.6.4. Comparaison à la station de référence 65
B.III.6.4.1. Substrat 65
B.III.6.4.2. Benthos 66
B.III.6.4.3. Ichtyofaune 67
B.III.6.5. Corrélation avec des données physico-chimiques 68
B.III.6.6. Corrélation avec les événements météorologiques 68
B.III.6.7. Conclusion 71
Chapitre B.IV. Présentation des valeurs de référence retenues et études en écotoxicologie 72
B.IV.1. Evaluation du risque éco-toxicologique 72
B.IV.2. Discussion autour du cas spécifique du Mn : 74
B.IV.3. Discussion autour du cas spécifique du Cr : 75
B.IV.4. Résultats 75
Chapitre B.V. Présentation des résultats de la modélisation 81

B.V.1. Contexte et méthode 81
B.V.2. Courantologie 81
B.V.3. Evolution de la température de l'effluent avec la distance à l'exhaure 82
B.V.4. Dispersion des effluents 84
B.V.5. Taux de dilution 84
B.V.6. Pourcentage d'occurrence des taux de dilution (1000, 2000, 5000 et 10000) 85
B.V.7. Conclusion 86
Chapitre B.VI. Evaluation des effets sur le milieu 87
B.VI.1. Simulation du projet en situation 87
B.VI.1.1. Panache et concentration 87
B.VI.1.2. Occurrence 88
B.VI.2. Observation d'une situation comparable 89
B.VI.3. Conclusion 90
Chapitre B.VII. Proposition de plan de suivi 91
B.VII.1. Choix des stations 91
B.VII.2. Fréquence du suivi 93
B.VII.3. Méthodologie 94
B.VII.3.1. Suivi Biologique 94
B.VII.3.2. Plan de suivi des paramètres physicochimiques 94
PARTIE C. Analyse des risques 96
PARTIE D. Annexes 100

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de localisation du projet d'optimisation du débit de rejet de l'émissaire et de la zone d'étude pour l'évaluation environnementale 15

Figure 2 : Localisation géographique des stations de prélèvements A et pour la définition de l'état initial. Tracé schématique du pipe-line marin en jaune. 18

Figure 3 : Profils de Température (gauche) et de Fluorescence (droite) des stations A et B en fonction des marées et des coefficients haut et bas de marée le 27 juin 20

Figure 4 : Profils de Salinité (gauche) et de Turbidité (droite) des stations A et B en fonction des marées et des coefficients hauts et bas de marée le 27 juin 20

Figure 5 : Concentrations en manganèse (Mn) dissous aux stations A et B selon les différentes conditions. ND = Non déterminé. 23

Figure 6 : Localisation géographique de la station de prélèvements pour l'état initial 24

Figure 7 : Pourcentage massique en fractions fines (Ø < 41 µm) et fractions grossières (Ø > 41 µm) des sédiments de surface..... 25

Figure 8 : Distribution granulométrique de la fraction pélitique (Ø < 41 µm) des sédiments de surface. 25

Figure 9 : Carte de la location des gradients du système de la Baie du Prony (St16-St19-STC) et celui du Canal de la Havannah (St03-STB-ST07). 29

Figure 10: Evolution comparative des concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni totales (FT) et biodisponibles (FD) ainsi que celles associées aux différentes fractions géochimiques (P1, P2, P3 et P4) mesurées dans les pélitiques de la station STC (2023), avec celles des stations sentinelles St16 et St19 (2021) ; (P1 : Phase oxydable ; P2 : Phase acido-soluble ; P3 : Phase réductible ; P4 : Résiduelle ; FT : Fraction totale ; FD : Fraction biodisponible). 29

Figure 11: Evolution comparative des concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni totales (FT) et biodisponibles (FD) ainsi que celles associées aux différentes fractions géochimiques (P1, P2, P3 et P4) mesurées dans les pélitiques de la station STC (2023), avec celles des stations sentinelles St03 et St07 (2021) ; (P1 : Phase oxydable ; P2 : Phase acido-soluble ; P3 : Phase réductible ; P4 : Résiduelle ; FT : Fraction totale ; FD : Fraction biodisponible). 29

Figure 12 : Localisation géographique de la station du carottage pour l'état initial 31

Figure 13 : Carotte extraite dans son tube en Plexiglas et vision de l'état de conservation de l'interface sédimentaire..... 32

Figure 14 : Évolution du pourcentage en fractions pélitiques (Ø<40 µm) et fraction grossière (Ø>40 µm) le long des 14 centimètres de la carotte. 33

Figure 15 : Distribution granulométrique en pourcentage volumique pour les horizons 0-1 cm, 4-5 cm, 8-9 cm et 13-14 cm de la carotte..... 33

Figure 16 : Observations au microscope optique des fractions grossières (Ø > 40 µm) des 4 horizons de la carotte (Grossissement X16)..... 34

Figure 17. Carte de location de la station ST-D par rapport aux stations ST16 et ST13-3, où des carottes sédimentaires sont prélevées tous les trois ans (gauche). Pourcentage moyen des fractions de Ø<40 µm pour la carotte ST D (2023) et les carottes ST13-3 et ST16 (moyenne de 2010, 2013, 2017 et 2020), (droite)..... 35

Figure 18. Les concentrations moyennes de Co et de Calcite dans les sédiments en fonction de la distance à la côte**.** 36

Figure 19 : Zone d'étude pour l'état initial biologique 37

Figure 20 : Géomorphologie type du récif de Prony 38

Figure 21 : Recouvrement moyen du substrat 40

Figure 22 : Distribution des espèces par famille (ichtyofaune) 40

Figure 23 : Distribution des espèces par régime alimentaire (ichtyofaune) 41

Figure 24 : Localisation géographique des stations pour le suivi de la qualité de l'eau de mer. Réseau de surveillance maintenu depuis 2012 dans la zone d'influence du complexe industriel. 44

Figure 25 : Exemple de l'évolution des concentrations en Nickel (µg/L) pour la station ST06 (Baie Kwé), aux trois profondeurs considérées. 45

Figure 26 : Aire d'étude pour le suivi des flux verticaux de particules issues du process de transformation du minerai de l'usine de production et des activités d'excavation : station St60-NE localisée à 60m du rejet de l'effluent minier, station St06-KW1 située en Baie Kwé, station St15 positionnée à l'embouchure du Creek de la Rade du Nord. 50

Figure 27 : Localisation géographique des stations de prélèvement de sédiments de surface constituant le réseau de suivi depuis 2012 dans la zone d'influence de l'usine. 54

Figure 28 : Secteur d'étude pour le suivi des rejets d'effluents industriels de l'usine. La ligne rouge représente l'emplacement du diffuseur avec ses extrémités C37 et C39. La station St09 est une station appartenant au suivi semestriel ayant lieu 2 fois par an en saison chaud (mars) et saison fraiche (août). 56

Figure 29 : Histogrammes présentant les concentrations moyennes (µg/L) en Manganèse et Nickel pour chaque station, obtenues lors des suivis effectués pendant les périodes de fonctionnement nominal du diffuseur (n= 5) 57

Figure 30 : Localisation géographique des stations de prélèvement du suivi des taux d'accumulation et évolution géochimique des sédiments dans la zone d'influence de l'usine (St06-1, St15 et St16) et au large de l'Ile Ouen (St13-3). 59

Figure 31 : Carte marine aux abords du port de commerce du complexe industriel. Localisation actuelle de la station ST16. 61

Figure 32 : Accident sédimentaire de 2006, visualiser la couche déposée (5-17 cm). Perte de solution acide de 2009, diminution en surface du ratio Ca/Fe traduisant l'effet de lessivage des sols. 62

Figure 33 : Localisation des stations de l'étude 64

Figure 34 : Taux de recouvrement par les scléractiniaires pour les 4 stations depuis le début du suivi66

Figure 36 : Biodiversité taxonomique moyenne des invertébrés pour les 4 stations depuis le début du suivi 66

Figure 37 : Biodiversité spécifique des poissons pour les 4 stations depuis le début du suivi..... 67

Figure 38 : IAS des poissons pour les 4 stations depuis le début du suivi 67

Figure 39 : Evolution des taux de manganèse et de recouvrement en coraux scléractiniaires..... 68

Figure 40 : Paramètres biologiques aux 4 stations depuis le début du suivi et événements climatiques 70

Figure 41 : Cartes des courants moyens de flot (droite) et de jusant (gauche) dans le Canal de la Havannah. Tracé du pipe-line schématisé par la ligne jaune 81

Figure 42 : Moyennes des températures (°C) enregistrées par stations. Calculs intégrés sur les 10 années de suivi et sur la verticale, en saison fraiche (en bleu) et en saison chaude (en rouge) ; n=20/station. 83

Figure 43 : Diminution de la température de l'effluent avec la distance verticale du panache de dilution. Calculs pour des courants de 0,02 nts, 0,6 nts et 0,1,6 nts correspondant à des conditions d'étals de marée, de courants moyens et de courant fort de mi-marée. 83

Figure 44 : Taux de dilution moyen type dans la couche de fond à marée montante, hors régime d'Alizés (gauche) et par Alizés établis (droite). 84

Figure 45 : Profils de dilution temporelle type des secteurs Ouest (trous 1, 2, 3, 4, 5 et 6 – haut-) et Est (trous 7, 8, 9 et 10 – bas) du pipe-line par régime d'Alizés établi combiné à des marées de morte eau. 85

Figure 46 : Pourcentage d'occurrence du taux de dilution >5000 (gauche) et >10000 (droite) des effluents pour un débit total de 1.167 m^3/h. Valeurs moyennes pour toute la période modélisée (1 mois). Calcul réalisé pour les eaux de fond en contact direct avec l'effluent. 86

Figure 47 : Iso-concentrations en Mn dissous du panache de l'effluent sur la zone d'étude (cas le plus défavorable)..... 88

Figure 48 : Fréquence d'exposition du milieu à une concentration de 0,2 µg Mn/l 89

Figure 49 : Fréquence d'exposition du milieu à une concentration de 0,2 µg Mn/l - Diffuseur..... 90

Figure 50 : Localisation des stations de la proposition du programme de suivi..... 92

Figure 51 : Carte du réseau de suivi et stations complémentaires pour le suivi du projet d'optimisation du rejet 93

Figure 52 : Valeur de débit et de température de l'effluent industriel (2020 à 2023) 97

Figure 53 : Courbes de débit et de température de l'effluent industriel lors d'une phase de démarrage du pompage vers l'océan (10/01/2023 au 13/01/2023) 97

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Nom, coordonnées et profondeur des stations de prélèvement..... 18

Tableau 2 : Date, marée et coefficient de marée lors des prélèvements des stations A et B 19

Tableau 3 : Statistiques des valeurs du pH et des concentrations en éléments majeurs mesurées en fonction du coefficient de marée. 21

Tableau 4 : Statistique des concentrations en métaux dissous (As, Cd, Co, Cr (VI), Cr-total et Cu) mesurées dans la zone d'études..... 22

Tableau 5 : Statistique des concentrations en métaux dissous (Fe, Mn, Ni, Pb et Zn) mesurées dans la zone d'études 23

Tableau 6 : Coordonnées des stations de prélèvement. 24

Tableau 7 : Composition minéralogique de la fraction fine (Ø < 41 µm) des sédiments de surface..... 26

Tableau 8 : Concentrations totales en Ca, Co, Cr, Fe, Mn et Ni dans la fraction fine (Ø < 41 µm) des sédiments de surface..... 26

Tableau 9 : Niveaux de concentrations absolues et relatives en Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn obtenues dans les fractions fines des sédiments de surface selon les phases géochimiques (oxydable, acido-souble, réductible et résiduelle) et la phase biodisponible. 28

Tableau 10 : Coordonnées de la station de prélèvement par carottage. 31

Tableau 11 : Composition minéralogique des 4 horizons de la carotte. Pourcentages en phases marines biogènes (Aragonite et Calcite) et terrigènes (Goethite). 34

Tableau 12 : Matrice de similarité/dissimilarité (corrélation de Pearson) pour les concentrations en métaux et calcium dans les sédiments de la carotte..... 35

Tableau 13 : Récapitulatif des concentrations maximales obtenues dans le cadre de ce suivi comparativement au seuil de toxicité (CE10) pour une espèce de bénitier et deux espèces de pétoncle (Breau et al., 2009). 49

Tableau 14. Récapitulatif des concentrations maximales obtenues dans le cadre de ce suivi comparativement au seuil de toxicité (CE_{10}) pour une espèce de bénitier et deux espèces de pétoncle (Breau et al., 2009). 58

Tableau 15 : Calcul d'indice de risque tel qu'il a été réalisé en 2006 par les experts (Massabuau et al., 2006) avec les concentrations anticipées d'effluent (A) selon les critères de qualité pour le taux de dilution (B) et les seuils à ne pas dépasser dans les eaux réceptrice (C). 76

Tableau 16 **:** Le calcul d'indice de risque réalisé en 2023 avec les concentrations moyennes des effluents émis (D) selon les critères de qualité pour le taux de dilution (E) et les seuils à ne pas dépasser dans les eaux réceptrice (F). 77

Tableau 17 **:** Comparaison des concentrations moyennes des effluents émis par l'exploitant enter 01/11/2022 et 30/06/2023 et les valeurs seuils (CE10 ; sans effets avérés) obtenues avec 6 espèces néo-calédoniennes selon les travaux de Senia et Galgani (2013). 80

Tableau 18 : Localisation des stations biologiques du programme de suivi 91

Tableau 19 : Localisation des stations de suivi de la colonne d'eau, des sédiments de surface et de la sédimentation dans le cadre de la proposition de suivi 91

Tableau 20 : Etat des recommandations 99

LISTE DES CARTES

Carte 1 : Bionomie benthique de la zone d'étude 39

Carte 2 : Sensibilité de la zone d'étude 42

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Rapport technique Optimisation du débit de l'émissaire marin

ANNEXE 2 : Etude statistique de l'évolution de la composition de l'effluent industriel entre 2019 et 2023

ANNEXE 3 : Etat initial de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la pointe Méhoué au Cap N'Dua

ANNEXE 4 : Etat initial de la qualité sédimentologique et géochimique des sédiments marins de surface entre la pointe Méhoué et le Cap N'Doua

ANNEXE 5 : Etat initial de la qualité géochimique des sédiments entre la pointe Méhoué et le Cap N'Dua

ANNEXE 6 : Etat initial biologique récif de Prony et littoral du Cap N'Dua

ANNEXE 7 : Synthèse historique suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés. Stations proches diffuseur.

ANNEXE 8 : Modélisation de la dispersion des effluents dans le canal de la Havannah ; perçage de 10 trous supplémentaires entre C12 et C21 (scénario-4) : Simulations longue durée (1 mois) à un débit total de 1.167 m3/h

ANNEXE 9 : Evaluation Environnementale au niveau du récif de Prony et du littoral du Cap N'Dua pour l'optimisation du rejet de l'émissaire.

PARTIE A. RAPPORT TECHNIQUE ET CARACTERISATION DE L'EFFLUENT INDUSTRIEL

CHAPITRE A.I. CONTEXTE

Le procédé hydro-métallurgique de PRNC utilise des volumes d'eau brute conséquents. Une partie des effluents industriels résultants transite par le parc de stockage des résidus nommé KO2 qui reçoit par ailleurs des eaux de pluie significatives liées aux conditions météorologiques du Grand Sud.

Ces effluents nécessitent un traitement avant rejet vers le milieu naturel, assuré par l'unité de traitement des effluents de l'usine. Une conduite, de plus de 5.3km de long en partie terrestre et de 19.3km de long en partie marine, terminée par un émissaire, de 1.03km de long percé de 200 trous d'un diamètre de 40mm, assure un transfert et une diffusion de l'effluent traité dans le canal de la Havannah.

Réglementairement, la conduite de rejet doit pouvoir évacuer jusqu'à 3050 m3/h d'effluent traité. Aujourd'hui, des contraintes techniques limitent le débit de rejet à 2500 m3/h.

Actuellement le niveau d'eau libre accumulée dans le parc KO2 et le volume d'effluent quotidien à traiter oblige PRNC à augmenter la capacité de vidange de l'émissaire marin. Plusieurs solutions ont été étudiées pour optimiser le débit de rejet à l'émissaire et PRNC propose l'ajout de 10 orifices supplémentaires localisés sur une section en amont du diffuseur. Cette option permettra d'augmenter le débit de rejet tout en respectant le volume de 3050 m3/h autorisé par l'arrêté d'autorisation d'exploiter n°1467-2008/PS.

La solution technique consiste à intégrer 10 trous de 48mm de diamètre entre les brides C12 et C21. Elle a été modélisée sous logiciel FATHOM puis vérifiée sous PipeFlow. Le modèle hydraulique a été calibré par rapport aux performances actuelles de l'émissaire marin pour un débit de rejet de 3050 m^3/h à une température de 40°C[1].

CHAPITRE A.II.OBJECTIFS

Un Porté à Connaissance relatif à l'optimisation du débit de l'émissaire marin a été déposé le 24 janvier 2023. Après examen, l'inspection des installations classées a rendu son avis en date du 29 mars 2023 et demande des compléments d'informations. Les éléments constitutifs de ce document nommé « Rapport en réponse relatif au PAC sur l'optimisation du débit de l'émissaire marin » répond à cet avis.

La PARTIE A présente les éléments techniques de la solution d'optimisation des débits ainsi que la caractérisation des effluents avec et sans le projet LUCY.

[1] A2EP, Juin 2023. RAPPORT TECHNIQUE - Révision : A4 - Optimisation débit émissaire marin - Urgent Request. V/Réf. : EXT-285-8230-RP-0013. 21p + Annexes

La PARTIE B est une présentation sous forme de résumé des études constituantes de l'évaluation environnementale. Cette étude environnementale a pour objectif d'évaluer les effets prévisionnels du projet d'optimisation du rejet de l'effluent industriel sur le milieu marin. Les prérequis à cette évaluation environnementale sont inclus dans ce rapport. Ainsi sont présentés un état initial de la physico-chimie de la colonne d'eau à différentes catégories de marée, un état initial des flux de particules dans le milieu, un état initial des sédiments déposés, un état initial et de sensibilité du milieu biotique, une évaluation éco-toxicologique, la modélisation de dispersion de l'effluent au niveau des orifices et de la zone de diffusion du projet d'optimisation.

En PARTIE C est présentée l'analyse des risques techniques liés au projet d'optimisation du débit de rejet de l'émissaire marin.

Tous les rapports ayant été réalisés dans le cadre de l'évaluation environnementale du projet sont en annexe de ce document en PARTIE D.

CHAPITRE A.III. RAPPORT TECHNIQUE OPTIMISATION DU DEBIT DE L'EMISSAIRE MARIN

L'intégralité du rapport technique est disponible en ANNEXE 1 : Rapport technique Optimisation du débit de l'émissaire marin.

CHAPITRE A.IV. ETUDE STATISTIQUES DE LA CHIMIE DE L'EFFLUENT INDUSTRIEL ET INTEGRATION DES EFFLUENTS DE LUCY

L'intégralité du rapport de l'étude statistique portant sur la chimie de l'effluent industriel et la caractérisation des effluents avec le projet LUCY est disponible en ANNEXE 2 : Etude statistique de l'évolution de la composition de l'effluent industriel .

PARTIE B. EVALUATION ENVIRONNEMENTALE

Cette partie présente toutes les études et leurs résultats réalisées pour l'évaluation environnementale du projet d'optimisation du débit de rejet de l'émissaire. Elles y sont présentées sous forme de résumé pour les chapitres relevant des états initiaux, de la modélisation de dispersion ainsi que l'évaluation environnementale. L'évaluation écotoxicologique et les valeurs de référence sont présentées en intégralité dans le texte. La présentation des valeurs de référence répond à la recommandation 1 de l'expertise 4 sur la caractérisation du risque de pollution des eaux par rejet des effluents de l'usine du Sud dans le canal de la Havannah, dont voici l'extrait :

« Recommandation 1 : Etablir une liste de valeurs de référence environnementales et sanitaires à utiliser pour les différentes expertises

Il conviendrait d'établir une liste des valeurs de référence (environnementales et sanitaires) à utiliser pour les composés présents dans l'effluent afin d'harmoniser les données d'entrée des différentes études, notamment dans le cadre des évaluations des risques. L'établissement de cette liste devra s'accompagner d'un suivi régulier des sources de données (portail substances chimiques de l'Ineris (22https://substances.ineris.fr/fr/), eChemPortal de l'OCDE...) afin de suivre les éventuels ajustements de ces valeurs de référence. Il conviendra alors de vérifier si ces ajustements sont susceptibles d'entraîner une révision des évaluations des risques réalisées.

Par exemple, dans le cadre de la révision de la Directive Cadre sur l'Eau, la norme de qualité environnementale du nickel est proposée à la révision.

Pour le manganèse considéré dans ce dossier comme un traceur du rejet de l'usine, l'ensemble des simulations relatives à la dispersion du rejet et à son acceptabilité par le milieu naturel dépendent des hypothèses d'entrée sur l'écotoxicité de ce composé et son comportement géochimique. En l'absence de valeurs seuil environnementales réglementaires dans le milieu marin, le choix d'une valeur argumentée et partagée par la communauté scientifique est important. »

La zone d'étude, pour l'évaluation environnementale, est située au sud de la Grande-Terre, entre la baie de Prony et le canal de la Havannah, plus précisément à proximité de la pointe Méhoué, du récif de Prony et du Cap N'Dua. Elle se situe au sud-est de la zone actuelle de dispersion du rejet industriel. La Figure 1 localise la zone d'étude.

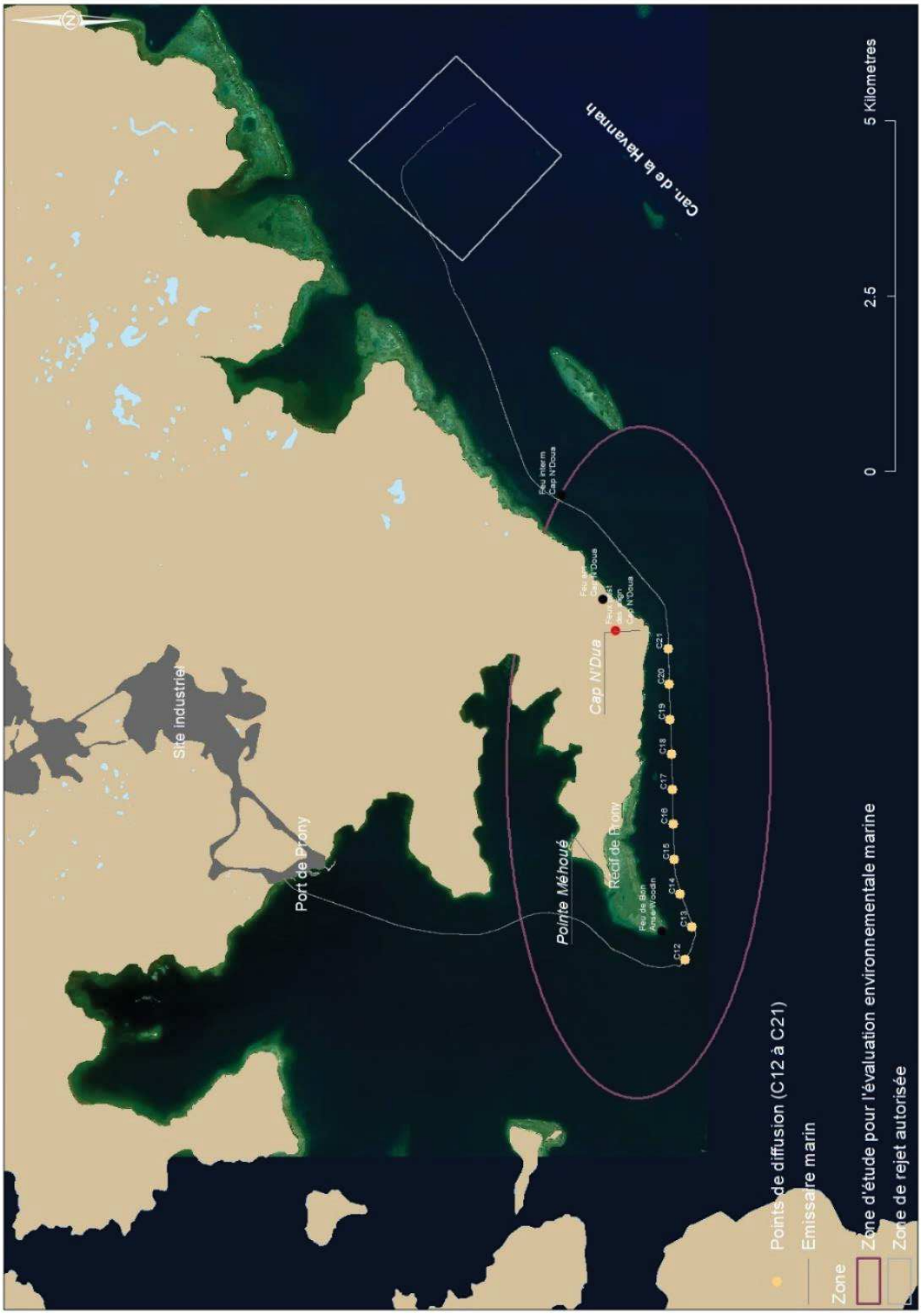


Figure 1 : Carte de localisation du projet d'optimisation du débit de rejet de l'émissaire et de la zone d'étude pour l'évaluation environnementale

CHAPITRE B.I. SOURCES PRINCIPALES DE L'ETUDE D'EVALUATION ENVIRONNEMENTALE

L'effluent industriel a fait l'objet de nombreuses expertises avant l'obtention de son autorisation de rejet dans la zone de dispersion actuellement localisée dans le canal de la Havannah. Ces expertises constituent le socle principal pour la réalisation de l'évaluation des effets sur le milieu en lien avec le projet d'optimisation du rejet.

Ces études d'une importance capitale et dont les conclusions sont validées par des experts et les autorités sont présentées dans les paragraphes suivants. Elles ne sont pas incluses en annexe, le volume de cette étude serait pharaonique, elles sont simplement décrites. Elles peuvent faire partie de la bibliographie de certaines parties constitutives de ce dossier.

Binet, M.T. and Adams, M.S. (2014). Toxicity assessment of effluent from a nickel processing plant. CSIRO Oceans and Atmosphere Flagship, Technical Report, 11 pp.

Etude faisant suite aux évaluations de toxicité de l'effluent industriel synthétique réalisées par le CSIRO sur la période 2000-2003 et en 2009. Cette étude présente les résultats de toxicité avec effluent réel pour deux organisme marins tropical les micro-algues *Isochrysis galbana* et les bivalves *Saccrostrea echinata.*

CSIRO, Mai 2003. Toxicité chronique sur lixiviat de résidus de nickel sur le biote marin et dulcicole. J.L. Stauber, M.T. Binet et M.S. Adams. 62p

Etude de la toxicité chronique du lixiviat de résidus pour une diversité d'espèces marines et dulcicoles sensibles. Les données de concentration sans effet observé (NOEC) des essais de toxicité ont été combinées aux données de toxicité aiguë d'essais précédents sur la toxicité du lixiviat pour les coraux, pour calculer des dilutions « sûres » de lixiviat dans les eaux côtières ainsi que dans les eaux douces susceptibles de subir l'impact des eaux souterraines contaminées.

DEREX Patricia, DOUILLET Pascal et LE GENDRE Romain, octobre 2008. ETUDE SUR LE COMPORTEMENT, LA DISPERSION ET LES EFFETS BIOLOGIQUES DES EFFLUENTS INDUSTRIELS DANS LE LAGON SUD DE LA NOUVELLE-CALEDONIE. Modélisation et simulation du transport des formes dissoutes et particulaires. Synthèse. 10p.

Ce document est une synthèse de la simulation du transport des formes dissoutes et particulaires en fonction des éléments forçants et des outils de modélisation retenus, inscrits au programme « Etude sur le comportement, la dispersion et les effets biologiques des effluents industriels de GoroNickel dans le lagon sud de la Nouvelle-Calédonie ».

H. BAROUDI, J. BUREAU, J.P. PINEAU, Aout 2002. Analyse critique du dossier de demande d'autorisation du Projet Goro Nickel. Synthèse. 29p.

Cette synthèse fournit un avis d'ensemble sur l'étude d'impact et l'étude de dangers pour les installations retenues en vue d'aider à la prise de décision sur le dossier d'autorisation ICPE présenté par GORO NICKEL, l'INERIS n'étant pas partie prenante dans le processus de décision.

J. SENIA, septembre 2015. EVALUATION DE L'ECOTOXICITE DE L'EFFLUENT TRAITE DE VALE-NC PAR DES BIOESSAIS. Gamme d'espèces bio-indicatrices du lagon de Nouvelle-Calédonie. Utilisation de tests de toxicité basés sur les anomalies de développement embryo-larvaire d'huîtres, de bénitiers, d'oursins, ainsi que sur la viabilité des larves de corail. 70p

L'objectif de cette étude est d'évaluer le potentiel toxique de l'effluent réel traité de l'usine de nickel de VALE-NC à Goro, sur les embryons de l'huître de roche *Saccostrea echinata*, du bénitier *Tridacna maxima*, de l'oursin *Echinometra mathaei* et sur les planulas (larves) du corail *Stylophora pistillata.*

J-C. Massabuau, P.Campbell, C. Monnin et B.Roux, Décembre 2006. Etude de l'impact potentiel du rejet de l'effluent Goro Nickel dans le lagon du sud de Nouvelle-Calédonie. 98p.

Etude dite « MASSABUAU » présentant les travaux du groupe d'experts qui apportent des éléments de réponse face aux inquiétudes subsistantes concernant l'impact environnemental lié à l'effluent industriel et à son rejet dans le canal de la Havannah.

L. BREAU, J. SENIA, A. PANGRANI, K. GARCIA, J.P. DEBENAY* juin 2009. ETUDE SUR LE COMPORTEMENT, LA DISPERSION ET LES EFFETS BIOLOGIQUES DES EFFLUENTS INDUSTRIELS DANS LE LAGON SUD DE LA NOUVELLE-CALEDONIE VOLET 2 « ECOTOXICOLOGIE ». DEVELOPPEMENT DE METHODES D'EVALUATION DE LA TOXICITE ET ANALYSE DU RISQUE CHIMIQUE DE L'EFFLUENT POUR L'ENVIRONNEMENT MARIN. Rapport final. 158p.

Cette étude s'inscrit dans le volet « Ecotoxicologie » du programme de recherche de l'IRD portant sur l'effluent industriel PRNC (nommé Vale Inco Nouvelle-Calédonie en 2009). Les objectifs sont :

- mettre au point des méthodes biologiques de surveillance quantitatives et qualitatives en utilisant des espèces marines locales et
- réaliser une évaluation prédictive de la toxicité (sub)chronique du futur effluent,
- et ainsi recalculer le risque chimique pour l'environnement avec une concentration de Mn ≤1mg/L

World Health Organization, 2004. Manganese and its compounds: environmental aspects. Concise international chemical assessment document (CICAD). 70p.

Les CICAD sont des documents concis qui fournissent des résumés des informations scientifiques pertinentes concernant les effets potentiels des produits chimiques sur la santé humaine et/ou l'environnement. Ce document de 2004 est un recueil d'informations sur les aspects environnementaux liés au manganèse et ses composés. Il présente le profil toxicologique du manganèse établi par l'ATSDR, les données collectées par recherche bibliographique et le CICAD n°12.

CHAPITRE B.II. PRESENTATION DE L'ETAT INITIAL DE LA ZONE MARITIME DU PROJET

B.II.1. Etat initial de la colonne d'eau

Dans le cadre du projet d'optimisation il a été défini une zone d'étude comprise entre la pointe Méhoué et le Cap N'Dua où est localisée la section du tuyau entre la bride C12 à C21. Un état initial a été réalisé qui comprend une caractérisation physico-chimique de la colonne d'eau de mer.

Les parties suivantes sont un résumé du rapport d'état initial de la colonne d'eau, l'intégralité du rapport est disponible en ANNEXE 3 : Etat initial de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la pointe Méhoué au Cap N'Dua.

B.II.1.1. Zone d'étude et échantillonnage

L'échantillonnage a été réalisé sur 2 stations (A et B) placées dans la zone potentielle de diffusion de l'effluent (Tableau 1 et Figure 2).

Tableau 1 : Nom, coordonnées et profondeur des stations de prélèvement

Localisation	Station	Station au référentiel WGS-84		Profondeur (m)
		Longitude E	Latitude S	
Pointe Méhoué	STA	166° 53,901	22° 23,772	35
Cap N'Doua	STB	166° 54,942	22° 23,828	34

Figure 2 : Localisation géographique des stations de prélèvements A et pour la définition de l'état initial. Tracé schématique du pipe-line marin en jaune.

Les prélèvements ont été réalisées les 15 et 27 juin 2023, en fonction des phases de la marée et pour des coefficients de forte et faible amplitudes (Tableau 2).

Tableau 2 : Date, marée et coefficient de marée lors des prélèvements des stations A et B

Date de mission	Stations	Marée	Coefficient
15/06/2023	STA et STB	Descendante	Haut : 72
15/06/2023	STA et STB	Montante	Haut : 72
27/06/2023	STA et STB	Montante	Bas : 49
27/06/2023	STA et STB	Descendante	Bas : 49

A chaque station, les prélèvements sont réalisés à trois profondeurs différentes :

- Sub-surface (- 3m de la surface) ;
- Mi profondeur ;
- Proximité du fond (+3m du fond)

L'échantillonnage est composé de différentes phases :

- Enregistrements de profils multiparamétriques avec une sonde CTD afin de déterminer la salinité, la température, la turbidité et la fluorescence de la colonne d'eau ;
- Prélèvements d'eau pour la détermination du pH, des concentrations en matière de suspension (MES) et en ions chlorures (Cl^-), sulfates (SO_4^{2-}), calcium (Ca^{2+}), sodium (Na^+), potassium (K^+) et magnésium (Mg^{2+}) ;
- Prélèvements d'eau pour l'analyse des concentrations en nitrates et nitrites, ammonium, phosphates, silicates, mais aussi en azote et phosphore organiques dissous et enfin azote, phosphore et carbone organiques particulaires. Les pigments chlorophylliens ont aussi été mesurés ;
- Prélèvements d'eau pour l'analyse des métaux dissous suivants : arsenic (As), cadmium (Cd), chrome hexavalent (Cr-VI), chrome total (Cr-total), cobalt (Co), cuivre (Cu), fer (Fe), manganèse (Mn), nickel (Ni), plomb (Pb) et zinc (Zn).

Les principales données météorologiques ont été relevées à la station de l'usine de Prony Resources avant et pendant les jours de mission afin de connaître le contexte climatique de l'échantillonnage (pluies, direction et vitesse du vent).

B.II.1.2. Résultats

B.II.1.2.1. Structure des masses d'eau

Dans la zone étudiée, les profils physico-chimiques permettent de mettre en évidence l'influence océanique ainsi que des apports terrigènes. En effet, cette aire se caractérise par des masses d'eau montrant des stratifications particulières de température et fluorescence suggérant la présence de veines d'eau d'origine lagonaire et océanique selon les moments de la marée et sa force (Figure 3). A l'inverse, les profils de salinité et turbidité laissent entrevoir l'influence terrigène liée aux conditions hydro-climatiques ayant régné avant les échantillonnages (Figure 4). Les résultats ci-après présentés pour les deux stations A et B correspondent aux mesures et analyses réalisées dans des conditions pénalisantes de morte-eau (coefficient bas) pour les phases de marée montante et descendante. En effet, pour ces marées de faible énergie dont la stratification a été maximale, la dispersion de l'effluent peut être pénalisée.

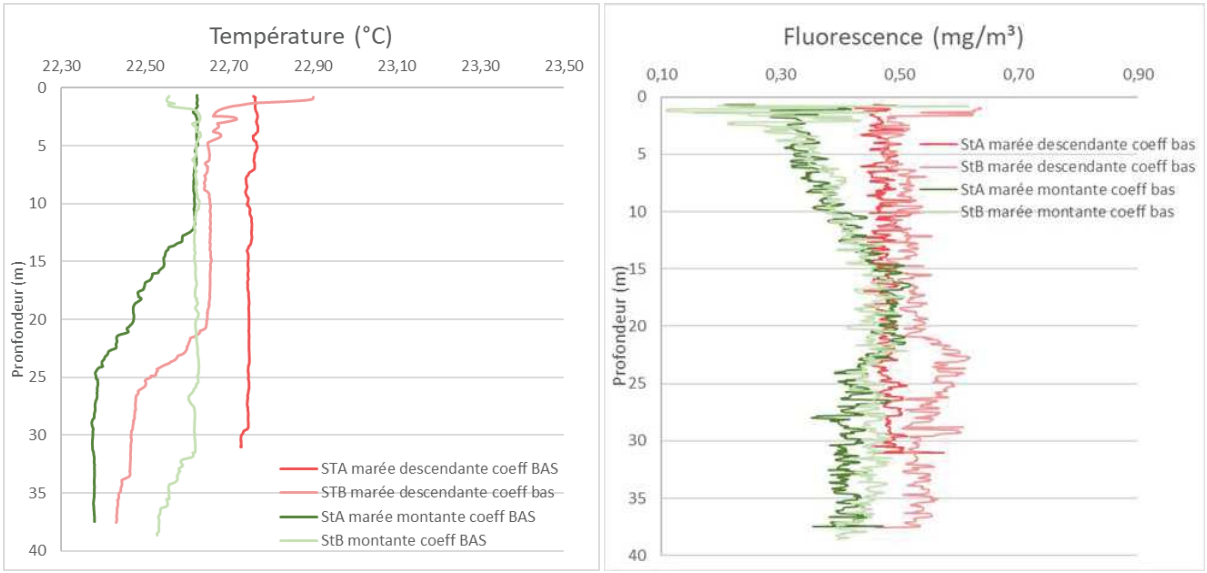


Figure 3 : Profils de Température (gauche) et de Fluorescence (droite) des stations A et B en fonction des marées et des coefficients haut et bas de marée le 27 juin

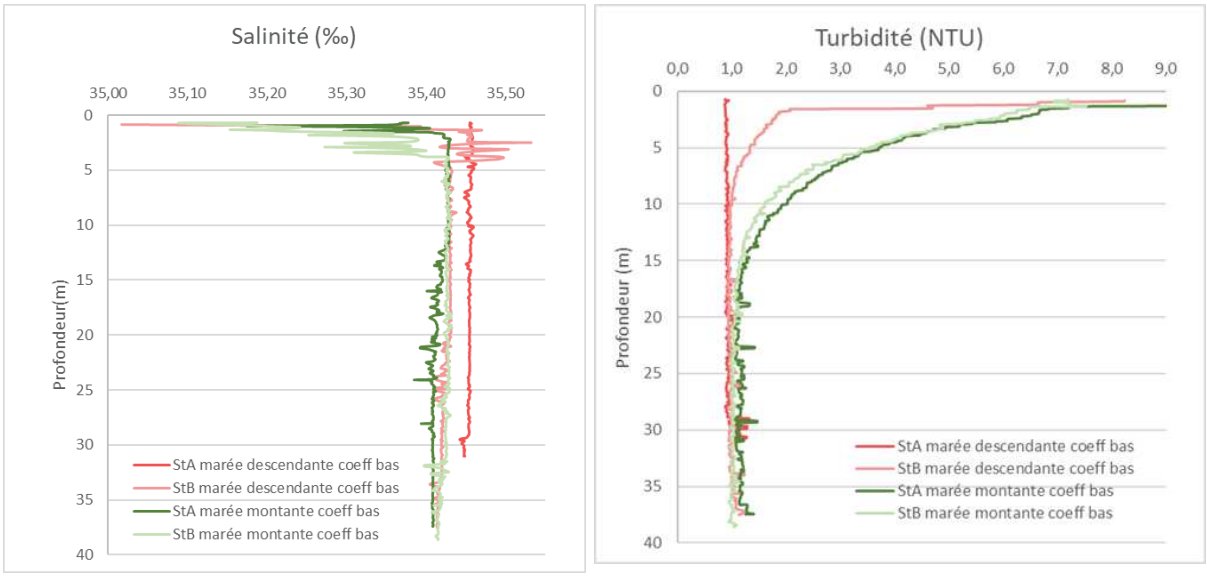


Figure 4 : Profils de Salinité (gauche) et de Turbidité (droite) des stations A et B en fonction des marées et des coefficients hauts et bas de marée le 27 juin

B.II.1.2.2. MES, pH et éléments majeurs

Pour les MES peu de variations sont observées dans la colonne d'eau et la moyenne globale se situe à 0,490 ± 0,176 mg/L ; la moyenne reste légèrement supérieure pour les prélèvements réalisés par coefficient haut (0,580 ±0,202 mg/L) par rapport au faible (0,398 ±0,073 mg/L).

Les valeurs de pH (Tableau 3) sont globalement homogènes sur les deux stations (8,01 ± 0,01). Toutefois, on peut tout de même noter que le pH est plus faible (7,88 ± 0,07) lorsque le coefficient de marée est bas et de 8,01 ± 0,01 en conditions de coefficient fort. Par ailleurs, ces valeurs semblent faibles comparativement aux attendues qui se situent aux alentours de 8,1 à 8,3.

Aucune différence significative pour les concentrations en éléments majeurs n'est notée, ni entre les deux coefficients de marée, ni les couches d'eau (Tableau 3).

Tableau 3 : Statistiques des valeurs du pH et des concentrations en éléments majeurs mesurées en fonction du coefficient de marée.

Conditions	Statistique	pH	Éléments majeurs (mg/L)					
			Ca	K	Mg	Na	Cl	SO_4
Valeur globale	Moyenne	**7,94 ± 0,08**	**369 ± 6**	**514 ± 11**	**1080 ± 73**	**8461 ± 347**	**21084 ± 428**	**2629 ± 95**
Coefficient haut	Minimum	8,00	356	487	1040	8277	20597	2400
	Maximum	8,03	381	537	1310	9466	21627	2750
	Moyenne	**8,01**	**370**	**516**	**1120**	**8665**	**20912**	**2596**
	Ecart-type	0,01	7	12	87	358	334	105
Coefficient bas	Minimum	7,80	358	497	1019	7818	20598	2550
	Maximum	8,07	378	531	1063	8603	22314	2750
	Moyenne	**7,88**	**368**	**511**	**1041**	**8257**	**21256**	**2663**
	Ecart-type	0,07	6	10	15	182	456	74

B.II.1.2.3. Sels nutritifs et matières organiques

Tant pour l'ammonium que pour les phosphates, aucune tendance ne se dessine. Toutefois aux deux stations, les valeurs les plus fortes sont mesurées pour les forts coefficients de marée. Cette distribution se maintient pour les concentrations en carbone organique et la chlorophylle a dont les valeurs maximales, sont également mesurées à la station StB.

Pour les silicates, marqueur terrigène, une différenciation entre les valeurs des marées de coefficient haut et bas est observable, particulièrement à la station StB à marée montante.

B.II.1.2.4. Métaux dissous

Les concentrations en métaux dissous relevées sont en très bon accord avec les concentrations mesurées dans le canal de la Havannah lors des suivis semestriels de la qualité de l'eau (Tableau 4 et

Tableau 5). Globalement, la distribution des éléments ne montre pas de gradient au sein de la colonne d'eau, ni de différences évidentes entre les deux stations A et B. Cependant à la station StB, pour des conditions de prélèvement liées à la marée montante et coefficient fort, un gradient est observé pour bon nombre de métaux dissous dont le manganèse (Figure 5) et le silicate (indicateur de lixiviation de la péridotite).

Tableau 4 : Statistique des concentrations en métaux dissous (As, Cd, Co, Cr (VI), Cr-total et Cu) mesurées dans la zone d'études.

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)					
		As	Cd	Co	Cr(VI)	Cr-total	Cu
Valeur globale	Moyenne	1,85 ± 0,08	-	0,028 ± 0,002	0,151 ± 0,024	0,301 ± 0,120	0,038 ± 0,032
Coefficient haut	Minimum	1,78	<0,025	<0,027	0,137	0,226	<0,025
	Maximum	2,06	<0,025	0,034	0,187	0,763	0,154
	Moyenne	1,88		0,028	0,164	0,339	0,042
	Ecart-type	0,08		0,002	0,013	0,155	0,025
Coefficient bas	Minimum	1,68	<0,025	<0,027	0,071	0,183	<0,025
	Maximum	1,92	<0,025	0,030	0,178	0,337	0,105
	Moyenne	1,83		0,027	0,138	0,263	0,034
	Ecart-type	0,07		0,001	0,026	0,055	0,024

Tableau 5 : Statistique des concentrations en métaux dissous (Fe, Mn, Ni, Pb et Zn) mesurées dans la zone d'études

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)				
		Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Valeur globale	Moyenne	0,213 ± 0,140	0,111 ± 0,051	0,231 ± 0,066	-	1,11 ± 0,14
Coefficient haut	Minimum	<0,059	0,031	0,115	<0,100	<1,07
	Maximum	0,801	0,255	0,376	<0,100	1,59
	Moyenne	0,223	0,116	0,240		1,16
	Ecart-type	0,205	0,034	0,079		0,21
Coefficient bas	Minimum	0,159	0,049	0,111	<0,100	<1,07
	Maximum	0,237	0,164	0,297	<0,100	<1,07
	Moyenne	0,204	0,106	0,223		
	Ecart-type	0,030	0,034	0,052		

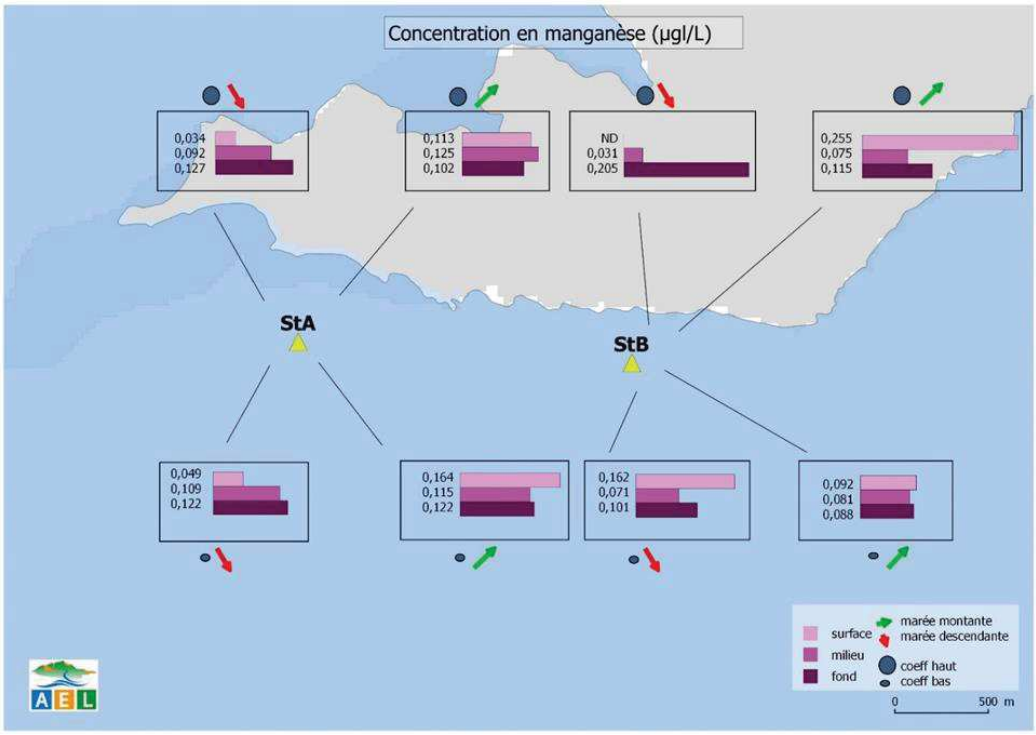


Figure 5 : Concentrations en manganèse (Mn) dissous aux stations A et B selon les différentes conditions. ND = Non déterminé.

B.II.1.3. Conclusion

La zone étudiée, circonscrite entre le Cap N'Doua et la Pointe Méhoué, permet de mettre en évidence alternativement l'influence océanique ainsi que les apports terrigènes. En effet, cette aire se caractérise par des masses d'eau montrant des stratifications particulières de température et fluorescence suggérant la présence de veines d'eau d'origine lagonaire et océanique selon les moments de la marée et sa force. A l'inverse, les profils de salinité et turbidité laissent entrevoir l'influence terrigène liée aux conditions hydro-climatiques ayant régné avant les campagnes d'échantillonnages.

Globalement, la distribution des éléments ne montre pas de gradient au sein de la colonne d'eau, ni de différences évidentes entre les deux stations StA et StB. Cependant à la station StB, pour des conditions de prélèvement liées à la marée montante et coefficient fort, un gradient est observé pour bon nombre de métaux dissous et les silicates (indicateur de lixiviation de la péridotite).

La zone du cap N'Doua reste un secteur où l'influence océanique est prédominante, cette étude ayant montré que seule une influence terrigène ponctuelle à la station StB est observable. Elle est évidente lors d'épisodes météorologiques (coups de vent et précipitations).

B.II.2. Etat initial des sédiments de surface

Dans le cadre d'un projet d'optimisation du débit de l'émissaire marin de Prony Resources New Caledonia, la définition de l'état initial du milieu marin est demandée pour examiner les conséquences environnementales de la solution technique envisagée avec le perçage de 10 orifices. Dans le cadre de l'évaluation de l'état initial, cette synthèse présente les principaux résultats de l'étude géochimique et sédimentologique des sédiments de surface qui ont été prélevés dans la nouvelle zone de rejet proposée. L'intégralité du rapport est disponible en ANNEXE 4 : Etat initial de la qualité sédimentologique et géochimique des sédiments marins de surface entre la pointe Méhoué et le Cap N'Doua.

B.II.2.1. Méthodologie

B.II.2.1.1. Site d'étude et d'échantillonnage

Les opérations de terrain ont été réalisées sur les 4 stations le 29 juin 2023 à bord du Mia, 3 pour les sédiments de surface (STA, STB et STC), décrit dans cette partie B.II.2, et 1 pour le carottage (St-D), décrit dans la partie B.II.3.

Tableau 6 : Coordonnées des stations de prélèvement.

Station	Station au référentiel WGS-84	
	Longitude E	Latitude S
ST A	166° 53,901	22° 23,772
ST B	166° 54,942	22° 23,828
ST C	166° 52,522	-22° 23,708

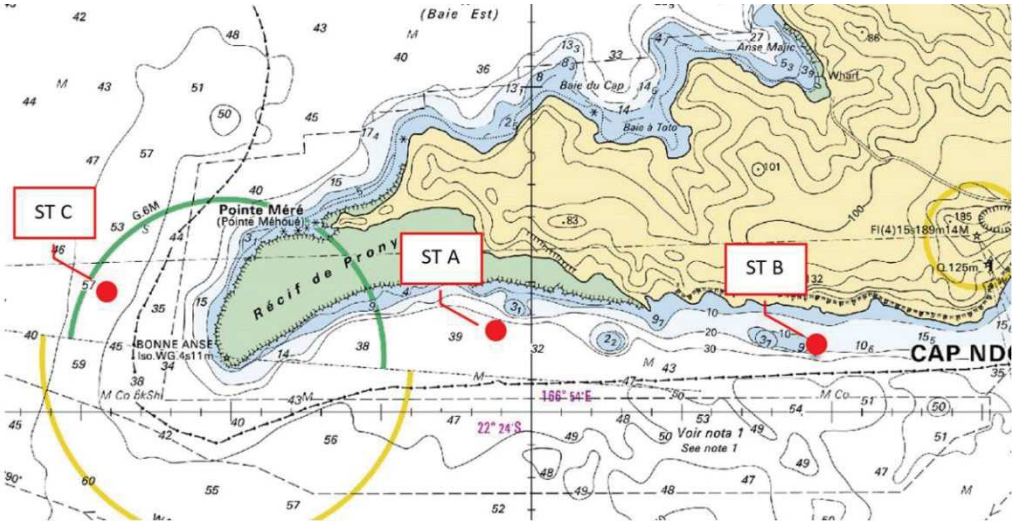


Figure 6 : Localisation géographique de la station de prélèvements pour l'état initial

B.II.2.1.2. Echantillonnage

Les prélèvements ont été réalisés avec une benne de type Van-Veen en acier inoxydable (nuance 316 L) ; seule la couche centimétrique de surface a été échantillonnée et conditionnés dans des sachets en vinyle à usage unique (Whirl-Pack), référencés et conservés à 4°C jusqu'à la phase de traitement.

B.II.2.2. Résultats

B.II.2.2.1. Pourcentages en fraction pélitique et granulométrique des particules

Aux 3 stations échantillonnées, la composant grossière (particules Ø > 41 µm) caractérise largement les sédiments de surface prélevés, notamment à la station STB. Inversement, le pourcentage des fractions pélitiques est une peu plus haut à la station STA (Figure 7).

Dans la fraction pélitique, la granulométrie des particules fines montre que les silt-vaseux (Ø < 20 µm) sont majoritaires à la station STC (68 % de la composition total). Inversement, aucune répartition claire ne se démarque pour les sédiments provenant des stations STA et STB ; les grains fins et grossiers (mode de Ø > 20 µm) se trouvant en propositions quasi-équivalentes à ces deux stations (Figure 8).

B.II.2.2.2. Minéralogie des sédiments

Les sédiments se caractérisent par des spectres de diffraction homogènes pour l'Aragonite, Calcite, Calcite magnésienne, des minéraux d'origine marine quasi-omniprésents. Seules les proportions moindres en minéraux terrigènes, dont notamment la Serpentine, minéral caractéristique de l'altération des roches ultrabasiques, distingue la station STB de deux autres. En effet, STA et STC, présentent des quantités plus importants des minéraux terrigènes (Goethite) plus enclin aux phases de transport hydrodynamique. Le gradient terrigène est : STC > STA > STB (Tableau 7).

B.II.2.2.3. Composition géochimique des sédiments

Les concentrations totales les plus fortes en Co, Cr, Fe, Mn et Ni et la plus faible en Ca ont été mesurées à STC. Inversement, les teneurs relevées à STA et STB sont plus faibles en métaux et plus forte en Ca (Tableau 8)

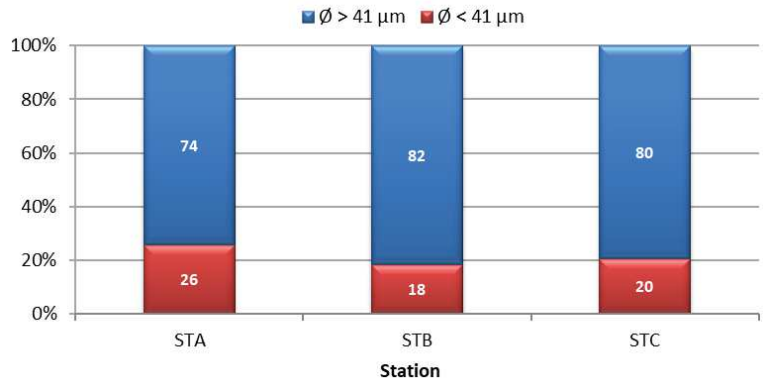


Figure 7 : Pourcentage massique en fractions fines (Ø < 41 µm) et fractions grossières (Ø > 41 µm) des sédiments de surface.

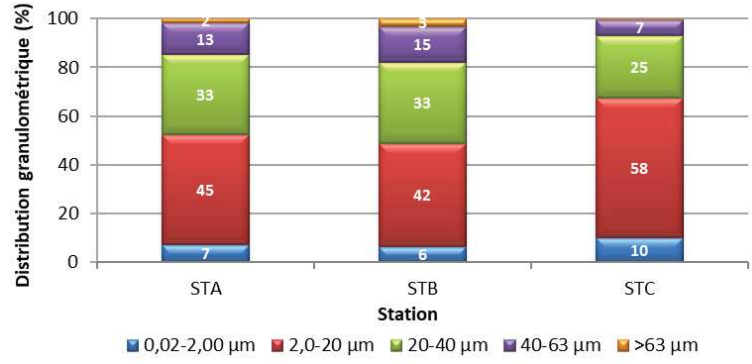


Figure 8 : Distribution granulométrique de la fraction pélitique (Ø < 41 µm) des sédiments de surface.

Tableau 7 : Composition minéralogique de la fraction fine (Ø < 41 µm) des sédiments de surface.

Station	Composition minéralogique (%)					
	Aragonite	Calcite-Ca	Calcite-Mg	Goethite	Serpentine	Autres*
STA	30,0	11,0	38,0	7,5	3,5	10,0
STB	33,0	13,0	42,0	9,5	1,0	1,5
STC	26,5	13,0	37,5	7,5	14,0	1,5
Moyenne	***19***	***8***	***24***	***28***	***28***	***22***
Ecartype	***13***	***5***	***17***	***31***	***31***	***6***
CV (%)	***68***	***65***	***73***	***112***	***112***	***29***

*les minéraux terrigènes Quartz, Halite ou Gibbsite ont pu être décelés à la hauteur de 8 % à <1 % de la composition total des sédiments

Tableau 8 : Concentrations totales en Ca, Co, Cr, Fe, Mn et Ni dans la fraction fine (Ø < 41 µm) des sédiments de surface.

Station	Concentrations en éléments totaux (mg/kg ps)							
	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
STA	286 279	36,9	1 414	10,8	38 534	335	515	28,4
STB	284 860	34,6	1 423	10,8	38 332	319	512	26,8
STC	278 566	42,1	1 524	10,8	44 631	377	634	30,4
Moyenne	***283 235***	***37,9***	***1 454***	***10,8***	***40 499***	***343***	***554***	***28,6***
Ecartype	***4 105***	***3,8***	***61***	***0,1***	***3 580***	***30***	***70***	***1,8***
CV (%)	***1***	***10***	***4***	***<1***	***9***	***9***	***13***	***6***

** pour faciliter la lecture des tendances, les concentrations non quantifiables (surlignées en rouge) sont majorées à la limite de la quantification.*

Concernant les **concentrations mesurées dans les 4 phases d'extraction** (Tableau 9), le ***Cr, Fe et Ni*** sont présents quasi-exclusivement dans la phase résiduelle (97 et 99 % de la composition total). Le ***Co***, bien que contenu principalement dans la phase résiduelle (83 %), s'associe également à la phase réductible (11 %). Quant au ***Ca***, il est très majoritairement associé à la phase acido-soluble (61%) mais des concentrations non négligeables sont mesurées dans la phase réductible (33 %). Enfin, le ***Mn***, bien qu'il se concentre majoritairement dans la phase résiduelle (57 %), il s'associe également aux phases réductible (17 %) et acido-soluble (24 %).

Du point de vue de la distribution des concentrations dans les 4 phases, peu de tendances se dégagent entre les trois stations ; l'ensemble des teneurs demeurant comparables à la STA et STB. En revanche, un gradient « baie-large » significatif se dessine pour Co, Cr, Fe, et Ni associés à la phase réductible ; une décroissance des concentrations de STC vers STA/STB ayant été observée. Dans la phase oxydable (matière organique), seul le Mn se répartit de manière inégale d'une station à l'autre ; le gradient s'inversant, les concentrations en Mn organique décroissent de STA/STB vers STC (Tableau 9).

Enfin, les faibles teneurs dans les formes oxydables (matière organique) et acido-solubles (carbonates) renseignent sur les quantités potentiellement biodisponibles pour ces métaux. En effet, toutes stations confondues, la fraction de métal la plus labile/disponible (oxydable + acido-soluble) ne représente, par rapport aux concentrations totales, qu'environ 6 % du Co total, 3 % du Cr total et 1 % du Ni total en moyenne ; pour Fe le pourcentage étant inférieur à l'unité. A l'inverse, les proportions sont significativement élevées pour Mn (environ 27 % du total), cet élément serait potentiellement ainsi le plus disponible pour les organismes vivants (Tableau 9).

B.II.2.3. Mise en contexte et interprétation

Les concentrations des principaux traceurs terrigènes, Mn et Ni, analysés dans les sédiments de surface en 2021 sont comparées à celles obtenues pour cette campagne 2023. D'une part, il s'agit du couple St16 et St19, et d'autre part, St03 et St07 qui avec, respectivement, la STC et STB, montrent deux gradients de concentrations. Un premier gradient « côte-large » dans la Baie du Prony et un deuxième gradient transversal dans le Canal de la Havannah (Figure 9 et Figure 17). Globalement, dans les deux référentiels, l'ensemble des concentrations forme un gradient décroissant. Cette répartition spatiale est, toutefois, mieux illustrée pour la phase résiduelle ; les éléments associés à cette fraction sont distribués en fonction de la distance aux termes sources terrigènes (embouchures des creeks) et par les phénomènes de dispersion/dilution (Figure 10 et Figure 11). Il est toutefois à noter que, dans le Canal, le gradient est moins continu ; les concentrations mesurées à la station STB étant comparables à celles acquises à la station côtière St03 (Figure 11). Ces résultats semblent indiquer l'existence d'un apport en matériel minéral à STB, véhiculé à partir d'un terme source terrigène et/ou *via* les phénomènes de resuspension des particules. Enfin, pour les fractions considérées comme potentiellement biodisponibles, les concentrations obtenues à STB et STC restent comparables voire inférieures à celles obtenues aux stations triennales quel que soit les métaux considérés (Figure 10 et Figure 11).

Tableau 9 : Niveaux de concentrations absolues et relatives en Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn obtenues dans les fractions fines des sédiments de surface selon les phases géochimiques (oxydable, acido-souble, réductible et résiduelle) et la phase biodisponible.

Station	Phase oxydable : concentrations en mg/kg ps*							
	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
STA	17 947	1,08	35,7	0,250	2,50	12,9	1,47	1,25
STB	16 526	0,884	36,9	0,250	2,50	8,58	1,57	1,25
STC	14 155	0,940	42,7	0,250	2,50	7,89	1,29	1,25
Moyenne	***16 209***	***0,969***	***38,4***	***0,250***	***2,50***	***9,8***	***1,44***	***1,25***
Ecartype	***1 916***	***0,102***	***3,7***	***0,001***	***0,01***	***2,7***	***0,14***	***0,01***
Distribution (%)	***6***	***3***	***3***	***2***	***0***	***3***	***0***	***4***
Station	**Phase acido-soluble : concentrations en mg/kg ps***							
	Ca	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**Ni**	**Zn**
STA	169 714	0,990	2,86	0,250	2,50	77,6	3,05	1,25
STB	168 103	1,05	2,99	0,250	2,50	74,8	3,35	1,25
STC	177 601	1,37	2,95	0,250	2,50	92,5	3,92	1,25
Moyenne	***171 806***	***1,137***	***2,93***	***0,250***	***2,50***	***81,6***	***3,44***	***1,25***
Ecartype	***5 083***	***0,205***	***0,06***	***0,001***	***0,01***	***9,5***	***0,44***	***0,01***
Distribution (%)	***61***	***3***	***0***	***2***	***0***	***24***	***1***	***4***
Station	**Phase réductible : concentrations en mg/kg ps***							
	Ca	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**Ni**	**Zn**
STA	97 841	3,67	6,03	0,250	328	53,8	6,29	1,96
STB	99 411	3,68	6,73	0,250	424	52,6	7,06	1,76
STC	86 037	5,53	8,47	0,250	553	64,5	9,72	1,96
Moyenne	***94 430***	***4,30***	***7,1***	***0,250***	***435***	***56,98***	***7,69***	***1,89***
Ecartype	***7 310***	***1,07***	***1,3***	***0,01***	***113***	***6,58***	***1,80***	***0,12***
Distribution (%)	***33***	***11***	***0***	***2***	***1***	***17***	***1***	***7***
Station	**Phase résiduelle : concentrations en mg/kg ps***							
	Ca	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**Ni**	**Zn**
STA	776	31,2	1 370	10,0	38 201	191	505	23,9
STB	820	29,0	1 376	10,0	37 903	183	500	22,6
STC	773	34,2	1 470	10,0	44 073	212	619	26,0
Moyenne	***796***	***31,610***	***1 423,3***	***10,0***	***40 987,98***	***197,3***	***559,60***	***24,28***
Ecartype	***33***	***3,706***	***66,3***	***0,1***	***4 363,21***	***20,7***	***84,46***	***2,41***
CV (%)	***0***	***83***	***97***	***93***	***99***	***57***	***98***	***85***
Station	**Fraction disponsible : concentrations en mg/kg ps****							
	Ca	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**Ni**	**Zn**
STA	187 661	2,07	38,6	0,500	5,00	90,5	4,51	2,50
STB	184 629	1,93	39,9	0,500	5,00	83,4	4,93	2,50
STC	191 755	2,31	45,6	0,500	5,00	100	5,21	2,50
Moyenne	***188 015***	***2,11***	***41,4***	***0,500***	***5,00***	***91,4***	***4,88***	***2,50***
Ecartype	***3 576***	***0,19***	***3,7***	***0,001***	***0,01***	***8,6***	***0,35***	***0,01***
Distribution (%)	***66***	***6***	***3***	***5***	***0***	***27***	***1***	***9***

** les concentrations non quantifiables (surlignées en rouge) sont majorées à la limite de la quantification.*

*** la phase biodisponible est la somme des concentrations mesurées dans la phase oxydable et la phase acido-soluble.*

Figure 9 : Carte de la location des gradients du système de la Baie du Prony (St16-St19-STC) et celui du Canal de la Havannah (St03-STB-ST07).

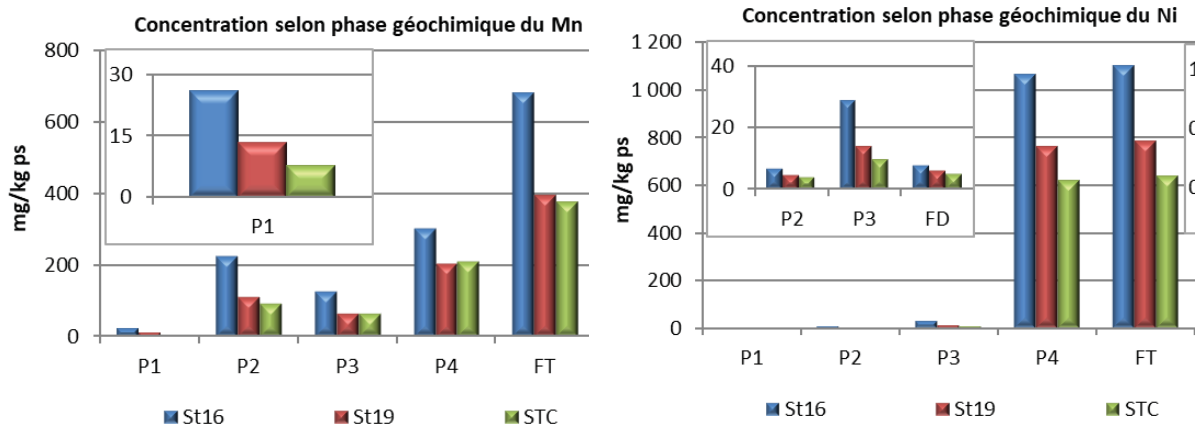


Figure 10: Evolution comparative des concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni totales (FT) et biodisponibles (FD) ainsi que celles associées aux différentes fractions géochimiques (P1, P2, P3 et P4) mesurées dans les pélitiques de la station STC (2023), avec celles des stations sentinelles St16 et St19 (2021) ; (P1 : Phase oxydable ; P2 : Phase acido-soluble ; P3 : Phase réductible ; P4 : Résiduelle ; FT : Fraction totale ; FD : Fraction biodisponible).

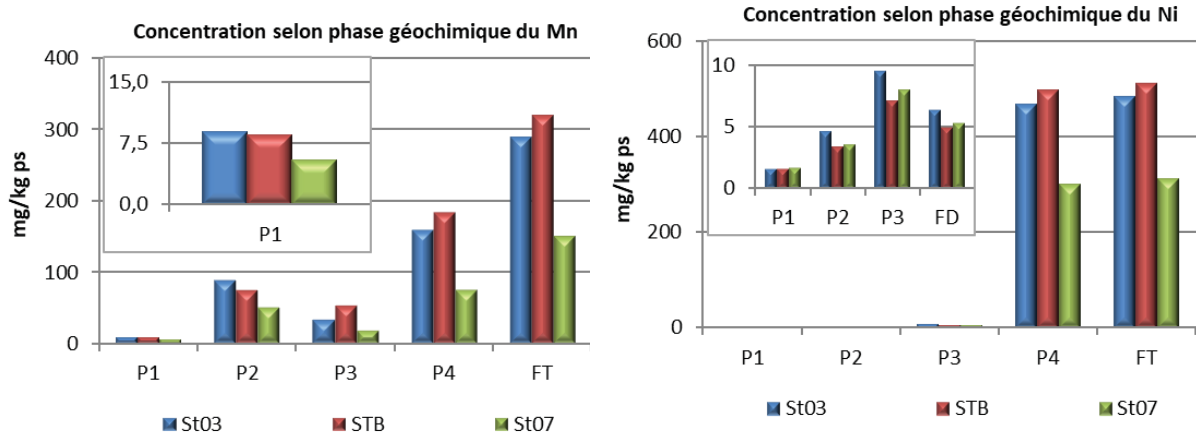


Figure 11: Evolution comparative des concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni totales (FT) et biodisponibles (FD) ainsi que celles associées aux différentes fractions géochimiques (P1, P2, P3 et P4) mesurées dans les pélitiques de la station STC (2023), avec celles des stations sentinelles St03 et St07 (2021) ; (P1 : Phase oxydable ; P2 : Phase acido-soluble ; P3 : Phase réductible ; P4 : Résiduelle ; FT : Fraction totale ; FD : Fraction biodisponible).

B.II.2.4. Conclusion

A l'issue de cette campagne d'état de référence de la qualité des sédiments de surface, les principales observations à retenir sont :

- La prépondérance de la fraction pélitique et des minéraux carbonatés (Calcite et Aragonite) est manifeste dans la composition les sédiments prélevés aux stations STA, STB et STC. Cependant, la composante terrigène (Goethite et Serpentine) devient décelable aux stations STA et STC, ces stations, étant proches de la côte ou plus abritées des conditions de fort hydrodynamisme, par rapport à la station STB, sont relativement plus enclines à la sédimentation des particules fines terrigènes.
- Les concentrations totales en Co, Cr, Fe, Mn et Ni (éléments représentatifs du cortège latéritique) sont bien plus importantes que celles de Cu et Zn qui comparativement se retrouvent à l'état de traces. Pour ces métaux latéritiques, une distribution décroissante des concentrations de STC vers STA/STB est observée. Cette distribution peut être mise en relation avec la localisation de la station STC en sortie de la baie du Prony et l'expression des différentes influences (termes sources) conjuguées aux faibles conditions hydrodynamiques et aux phénomènes de dispersion des apports moindres par rapport aux stations STA et STB situées dans le canal de la Havannah.
- De la même manière, les éléments associés à la matrice latéritique suivent également un gradient décroissant « baie-large. Dans la phase oxydable (matière organique), seul le Mn se répartit de manière inégale d'une station à l'autre ; le gradient s'inverse, les concentrations en Mn organique décroissant alors de STA/STB vers STC.
- La distribution des éléments dans les différentes fractions géochimiques a montré que Co, Cr, Fe, Mn et Ni sont majoritairement liés aux phases résiduelles (matrice latéritique), voire réductibles (oxy-hydroxydes) et de fait, ne sont pas disponibles pour les organismes vivants. En occurrence, le Mn, par son association à la phase acido-soluble (carbonates), serait potentiellement plus labile.
- La comparaison de ces teneurs avec celles acquises lors de la campagne triennale en 2021 pour les stations situées dans la baie du Prony (St16 et St19) montre un gradient décroissant du fond (St16) à la sortie (STC) de cette baie, notamment pour la phase résiduelle (signature des latérites), ainsi mettant en lumière que l'apport en métaux est régi par la distance aux termes sources terrigènes (embouchure du Creek de la Rade Nord) et les phénomènes de dispersion/dilution. En revanche, pour le deuxième gradient, les concentrations résiduelles comparables, voire plus hautes, de la station STB à celles obtenues à la St03 semble indiquer un apport potentiel en matériel minéral véhiculé, soit directement à partir d'un terme source (embouchure), soit indirectement *via* le phénomène de sédimentation et de remise en suspension lié aux conditions hydro-climatiques et/ou l'hydrodynamisme.

B.II.3. Etat initial de la sédimentation

B.II.3.1. Contexte et objectifs

Dans le cadre d'un projet d'optimisation du débit de l'émissaire marin de Prony Resources New Caledonia, la définition de l'état initial du milieu marin est demandée pour examiner les conséquences environnementales de la solution technique envisagée avec le perçage de 10 orifices. Dans le cadre de l'évaluation de l'état initial, cette synthèse présente les principaux résultats de l'étude géochimique et sédimentologique des sédiments qui a été réalisée dans la nouvelle zone de rejet proposée.

Les parties suivantes sont un résumé du rapport d'état initial de la sédimentation, l'intégralité du rapport est disponible en ANNEXE 5 :Etat initial de la qualité géochimique des sédiments entre la pointe Méhoué et le Cap N'Dua.

B.II.3.2. Méthodologie

B.II.3.2.1. Site d'étude et échantillonnage

Les opérations de terrain ont été réalisées sur les 4 stations le 29 juin 2023 à bord du Mia, 3 pour les sédiments de surface (St-A, St-B et St-C) et 1 pour le carottage (STD).

Un site favorable au carottage de sédiments fins meubles a enfin pu être localisé (STD) sur cette mince couverture sédimentaire dans la nouvelle zone de dispersion de l'effluent (Tableau 10 ; Figure 12)

Tableau 10 : Coordonnées de la station de prélèvement par carottage.

Station	Station au référentiel WGS-84	
	Longitude E	Latitude S
ST D	166° 52,682	-22° 23,483

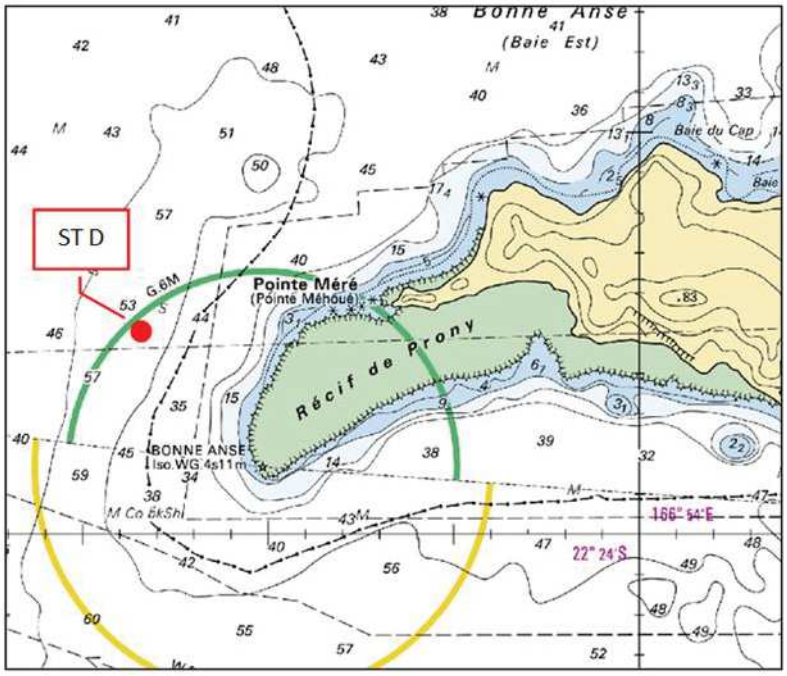


Figure 12 : Localisation géographique de la station du carottage pour l'état initial

B.II.3.2.2. Echantillonnage

L'extraction de la carotte sédimentaire a été assurée avec un « carottier–tube » qui permet de sous-échantillonner des horizons (couches) d'épaisseur centimétrique nécessaires aux déterminations géochimiques et sédimentologiques de l'étude.

Dès le retour au laboratoire, la carotte (Figure 13) a été découpée intégralement en 14 différents horizons d'épaisseur centimétrique pour être, conditionnés, traités et analysés.

Note : *la quantité de sédiment récupérée par horizon a été faible et donc insuffisante pour réaliser l'ensemble des analyses prévues initialement. Ainsi, il a été impossible de réaliser la datation utilisée pour déterminer le taux d'accumulation par manque de matière.*

Figure 13 : Carotte extraite dans son tube en Plexiglas et vision de l'état de conservation de l'interface sédimentaire.

B.II.3.3. Résultats

B.II.3.3.1. Pourcentage en fraction pélitique et granulométrie des particules

Les pourcentages en fraction pélitique (Ø<40 µm) varient de manière significative sur les 14 cm de profondeur du carottage sédimentaire (Figure 14) ; le plus élevé a été observé dans le niveau de surface (66 %), le plus faible dans l'horizon 6-7 cm (23 %) avec une diminution constante. En dessous, le pourcentage reste relativement stable (24 % à 29 %) puis augmente à nouveau progressivement vers le fond. Le dernier centimètre (13-14 cm) est composé de presque 40 % de particules fines.

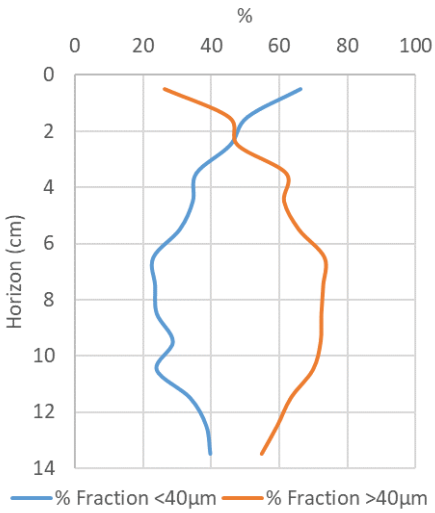


Figure 14 : Évolution du pourcentage en fractions pélitiques (Ø<40 µm) et fraction grossière (Ø>40 µm) le long des 14 centimètres de la carotte.

Concernant la granulométrie des pélites (Ø < 40 µm ; Figure 15), les plus fortes proportions de particules silto-argileuses (Ø<20 µm) sont observées dans les horizons 1-2 cm (66 %) et 13-14 cm (69 %) ; dans les horizons intermédiaires (4-5 cm et 8-9 cm) n'en contiennent que 49 % et 46 %. Ces résultats indiquent une variation importante des mécanismes d'apports liés à l'hydrodynamisme. L'observation des fractions grossières (Ø>40 µm) au microscope optique conforte l'hypothèse. En effet, la taille des débris carbonatés variant en atteste (Figure 16).

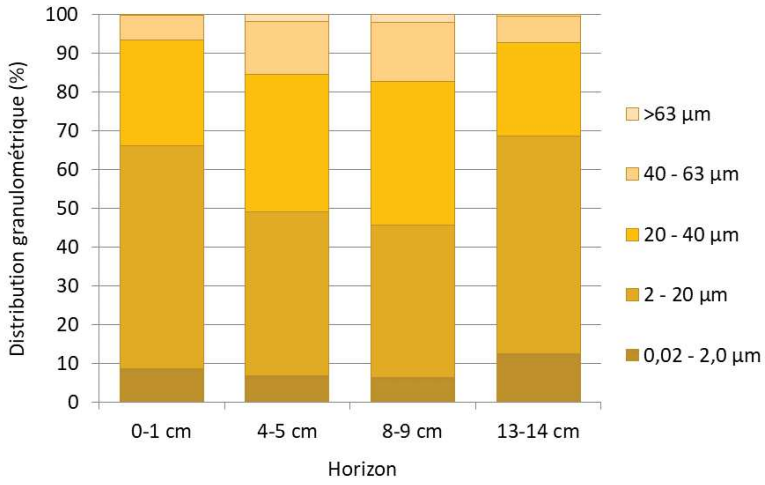


Figure 15 : Distribution granulométrique en pourcentage volumique pour les horizons 0-1 cm, 4-5 cm, 8-9 cm et 13-14 cm de la carotte.

0-1 cm 4-5 cm 8-9 cm 13-14 cm

Figure 16 : Observations au microscope optique des fractions grossières (Ø > 40 µm) des 4 horizons de la carotte (Grossissement X16).

B.II.3.3.2. Minéralogie des sédiments

Les teneurs en carbonates ($CaCO_3$ et $MgCO_3$) dans la fraction fine (Ø < 41 µm) sont restées relativement stables sur toute la longueur de la carotte, variant entre un minimum de 68 % (horizon 9-10 cm) et un maximum de 76 %, valeurs enregistrées aux horizons 4-5 cm, 7-8 cm et 11-12 cm (Tableau 11). Les concentrations moyennes globales en carbonates s'élevaient à 74 ± 3 %, confirmant que l'origine marine demeure dominante ; cette composition est le résultat, à la fois de l'activité biologique marine et de l'altération mécanique des récifs coralliens.

Les minéraux terrigènes tels que la Goethite sont moins abondants mais comptent entre 8 % (0-1 cm) et 4 % (13-14 cm) de la fraction <40 µm, indiquant que des changements relativement récents dans le nature et l'origine des apports se sont produits.

Tableau 11 : Composition minéralogique des 4 horizons de la carotte. Pourcentages en phases marines biogènes (Aragonite et Calcite) et terrigènes (Goethite).

Horizon	Composition minéralogique (%)					
	Calcite-Ca	Calcite-Mg	Aragonite	Goethite	Quartz	Autres
0-1 cm	11	38	26	8	6	10
4-5 cm	10	35	27	7	16	6
8-9 cm	11	37	28	6	9	8
13-14 cm	10	35	25	4	16	10

B.II.3.3.3. Composition géochimique des sédiments

De façon générale, les sédiments de cette station ne montrent pas de dispersion importante des concentrations le long de la carotte pour les éléments Ca, Co, Cr, Fe et Ni ; les coefficients de variation allant de 4 à 9% pour Ca et Co, respectivement et un peu plus élevé pour Mn (19 %).

En l'absence de datation des horizons, il est impossible de déterminer si ceux-ci proviennent d'une sédimentation continue ou s'ils sont le produit de perturbations mécaniques et/ou biologiques conduisant à une homogénéisation. Cependant, les coefficients inter-éléments élevés de la matrice de similarités/dissimilarités (Tableau 12) entre le Fe et Ni (source terrigène) suggèrent que la carotte est très certainement constituée d'une fraction sédimentaire provenant d'une même source terrigène, diluée avec une source marine, sans alternance entre les influences marines et terrigènes.

Tableau 12 : Matrice de similarité/dissimilarité (corrélation de Pearson) pour les concentrations en métaux et calcium dans les sédiments de la carotte.

	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ca	1	0,36	0,57	0,79	-0,03	0,83
Co		1	0,63	0,79	0,75	0,66
Cr			1	0,67	0,42	0,54
Fe				1	0,38	0,94
Mn					1	0,28
Ni						1

B.II.3.4. Mise en contexte et interprétation

Une mise en contexte local des résultats de cette carotte avec les deux stations ST16 et ST13-3, échantillonnées en 2020 (Figure 17) a été réalisée.

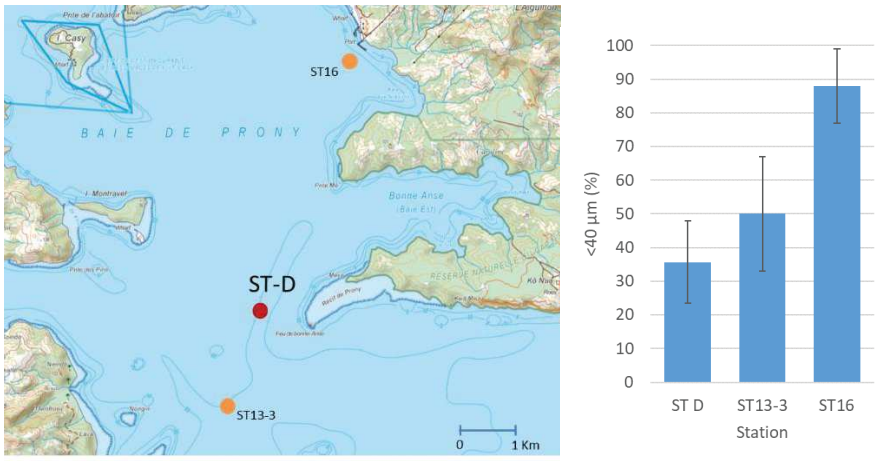


Figure 17. Carte de location de la station ST-D par rapport aux stations ST16 et ST13-3, où des carottes sédimentaires sont prélevées tous les trois ans (gauche). Pourcentage moyen des fractions de Ø<40 µm pour la carotte ST D (2023) et les carottes ST13-3 et ST16 (moyenne de 2010, 2013, 2017 et 2020), (droite)

B.II.3.4.1. Comparaison sédimentologique

Le pourcentage de pélites dans la carotte STD présente une variabilité s'étendant de 23 à 66 %, ce qui est notablement inférieur à ce qui a été observé historiquement aux stations ST16 (88 ±11 %) et ST13- 3 (50 ± 17 %), entre 2010 et 2020 (Figure 17). Cette différence avec les deux autres stations pourrait s'expliquer par la courantologie forte (qui prévaut à l'entrée de la baie de Prony, comme montré par la modélisation hydrodynamique) et limite, de fait, le dépôt des particules fines.

B.II.3.4.2. Comparaison géochimique des sédiments

Les concentrations moyennes de Ca, Co, Cr, Fe, Mn et Ni déterminées dans les sédiments des carottes STD et St13-3 et ST16 montrent un gradient décroissant avec une corrélation significative (Figure 18), suggérant des influences terrigènes diminuant proportionnellement avec l'augmentation de la distance à la côte. En d'autres termes, les particules seraient transportées vers l'extérieur de la baie de Prony et se dilueraient progressivement avec le matériel d'origine marine.

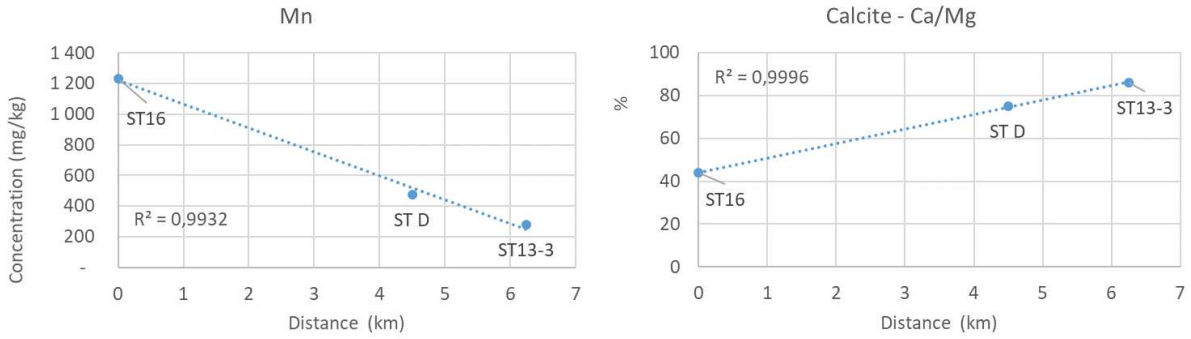


Figure 18. Les concentrations moyennes de Co et de Calcite dans les sédiments en fonction de la distance à la côte.

B.II.3.5. Conclusion

D'une manière générale, les sédiments le long de la carotte présentent une relative homogénéité en termes de composition géochimique.

Ces résultats laissent supposer que les origines des particules sédimentaires demeurent relativement inchangées au fil du temps, malgré de perceptibles fluctuations en lien probable avec l'hydrodynamique régionale et la météorologie du moment, comme le suggèrent les distributions granulométriques des particules. Ces apports entrant par les creeks sont, par la suite, exportés vers le canal de la Havannah, notamment au gré des marées.

Cette hypothèse semble être confortée par le fait que les concentrations en métaux (Co, Cr, Fe, Mn et Ni) diminuent de manière linéaire avec l'augmentation de la distance entre le fond de la baie de Prony (ST16) et le canal de La Havannah (ST13-3) ; les apports terrigènes seraient dilués progressivement avec un terme source marin carbonaté remarquablement constant.

B.II.4. Etat initial biologique marin

Cet état initial avait pour but de caractériser la zone (non encore décrite dans la littérature) en reconnaissant les différentes biocénoses présentes et en évaluant leur sensibilité.

Il a été effectué en juin 2023 par le bureau d'études AQUA TERRA avec la société CLS en partenariat pour la partie télédétection. Le rapport complet est disponible en ANNEXE 6 : Etat initial biologique récif de Prony et littoral du Cap N'Dua.

Seules les principales conclusions sont présentées ici.

B.II.4.1. Zone d'étude et méthodologie

Afin de couvrir toute la zone de potentiel effet du projet, l'étude a été menée sur tout le littoral qui part de la pointe Méré (Méhoué), longe la côte vers l'est en direction du Cap N'Dua puis remonte vers le nord-ouest jusqu'à la perpendiculaire du récif Ioro. Elle représente un linéaire de plus de 8 km et une superficie de plus de 280 ha (Figure 19).

Cette zone présente deux grands faciès :

- Un récif émergeant (récif de Prony) dans la partie ouest
- Des falaises verticales prolongées par des tombants sous-marins abrupts dans la partie est.

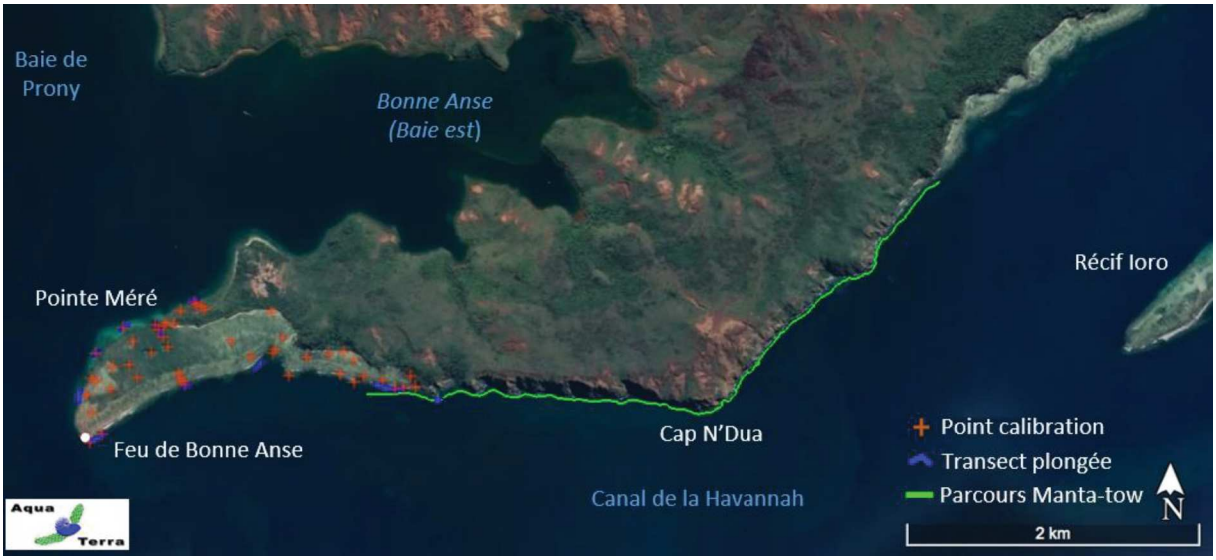


Figure 19 : Zone d'étude pour l'état initial biologique

Au vu de la superficie à reconnaître, la méthodologie retenue a associé un travail de télédétection et de PIAO avec des campagnes de reconnaissance terrain par des biologistes experts.

L'image satellite source a été une image WorlView-3 du 17.12.2022, multispectrale (8 bandes), à très haute résolution (0,3 m).

Les campagnes terrain ont constitué en :

- Vérification de 59 points pour la calibration du modèle de télédétection permettant par ailleurs la caractérisation du récif de Prony
- Plongées en scaphandre autonome sur les tombants du récif de Prony

- Parcours en Manta-tow sur le linéaire de falaises.

Outre la prise de photographies et vidéos et des coordonnées des observations, elles ont permis de :

- Noter les éléments de géomorphologie des récifs
- Décrire le substrat et les biocénoses présentes : nature des fonds, benthos, recouvrement (méthode de "rapide-assesment" utilisant une appréciation dichotomique successive sur point fixe, selon les composantes issues de English et al. 1997), indicateurs de l'état de santé
- Déterminer l'ichtyofaune au niveau spécifique avec estimation globale d'abondance.

B.II.4.2. Résultats

B.II.4.2.1. Typologie du récif

Les unités géomorphologiques du récif de Prony sont décrites dans le schéma type (Figure 20) d'une coupe nord-sud de la terre vers le lagon.

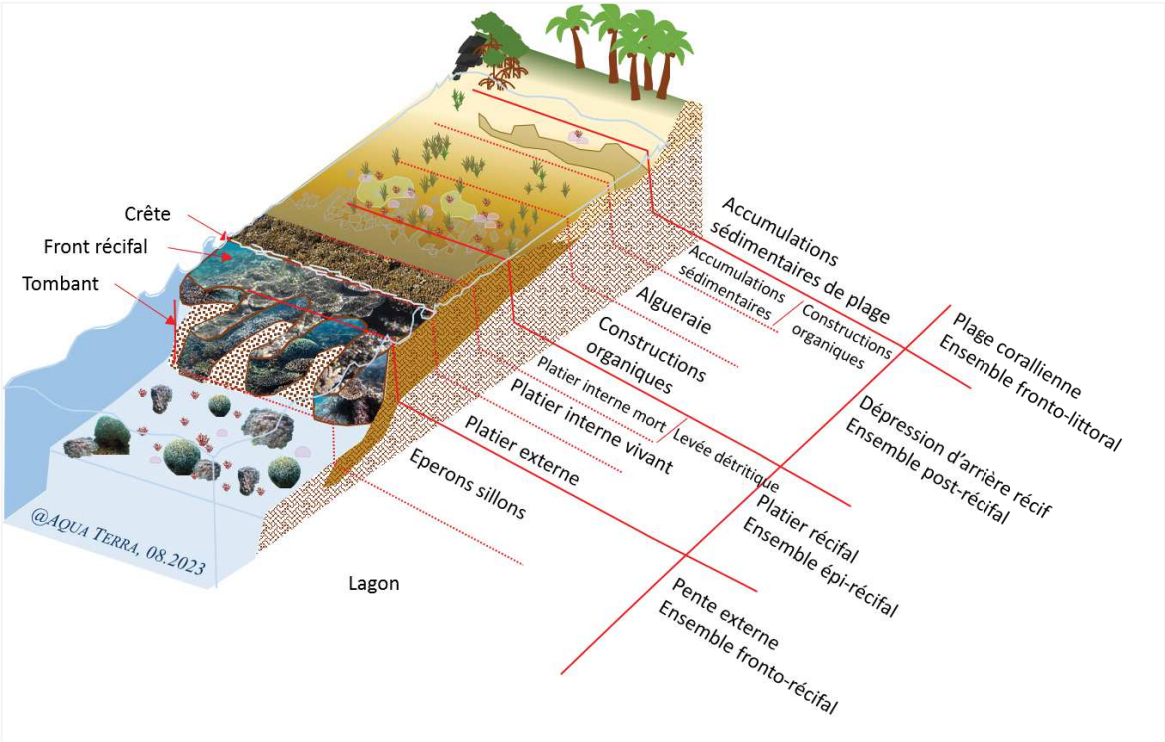
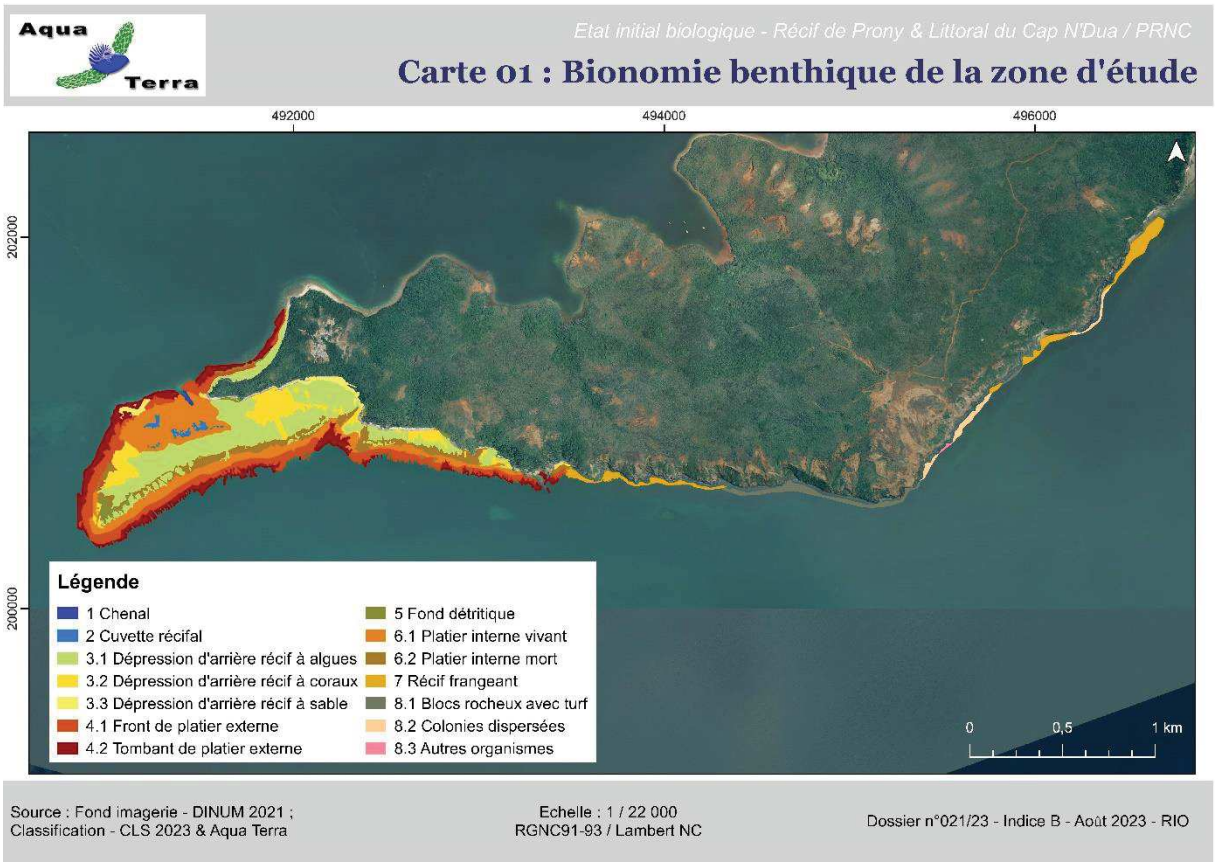


Figure 20 : Géomorphologie type du récif de Prony

B.II.4.2.2. Cartographie bionomique

Sur toute la zone, 14 unités bionomiques[2] ont été différenciées. Elles sont localisées sur la Carte 1.

[2] Zone présentant une certaine unité de fonctionnement, de biotope (habitat) et de biocénose (peuplement)



Carte 1 : Bionomie benthique de la zone d'étude

Les unités présentant un fort recouvrement corallien constituent 49% de la zone et la très grande majorité (90%) est localisée sur le récif de Prony.

B.II.4.2.3. Description des peuplements

Cette évaluation globale des peuplements benthiques et ichtyologique concerne la façade du récif de Prony, entre 6 et 9 m de profondeur. Etant une première étape, elle est de nature qualitative et non exhaustive.

B.II.4.2.3.1. Substrat et benthos

Le recouvrement moyen du substrat est représenté Figure 21.

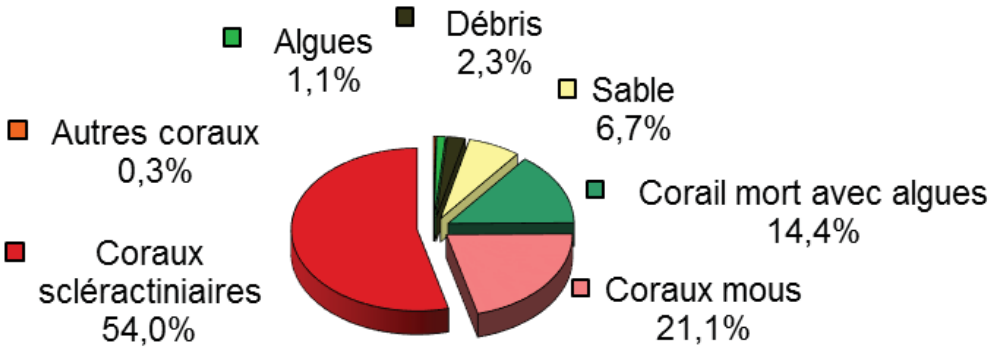


Figure 21 : Recouvrement moyen du substrat

La couverture biotique totalise 91% en moyenne sur la zone et les coraux scléractiniaires sont très bien représentés avec 54% de recouvrement. Leur présence dépasse même 90% dans certaines zones.

Ce sont majoritairement des *Acropora* branchus, clairsemés de massifs de *Porites*, Favidae … dont les tailles peuvent être pluridécimétriques à métriques.

Les alcyonnaires (*Sinularia* sp. principalement) forment de grands tapis dans certaines zones.

B.II.4.2.3.2. Ichtyofaune

Pour cette évaluation, 169 espèces réparties en 30 familles ont été observées, ce qui traduit une bonne biodiversité.

Les familles les plus riches en nombre d'espèces sont : Labridae (38 espèces), Pomacentridae (36 espèces) et Chaetodonidae (16 espèces), soit 51% de la biodiversité totale (Figure 22).

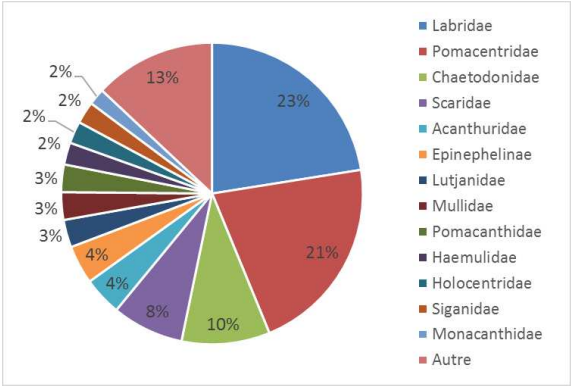


Figure 22 : Distribution des espèces par famille (ichtyofaune)

Au regard du régime alimentaire, les carnivores sont dominants (45% des espèces). Les corallivores représentent 9% des espèces (Figure 23). La bonne représentation des microcarnivores, planctonophages et corallivores (52%) atteste d'une très bonne qualité des eaux et des substrats.

Par ailleurs, une importante fraction des espèces était présente à l'état adulte et juvénile.

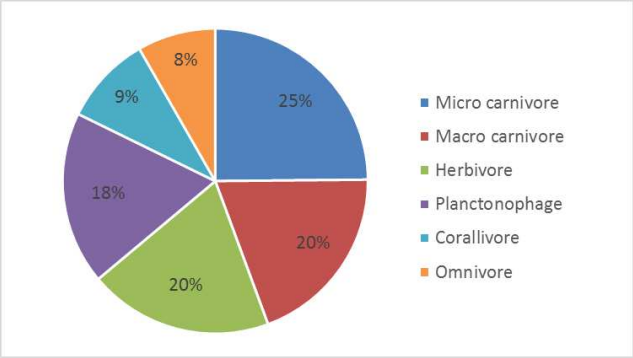


Figure 23 : Distribution des espèces par régime alimentaire (ichtyofaune)

B.II.4.2.4. Indicateurs de santé

L'état de santé des récifs coralliens a été étudié à travers différents indicateurs :

- Le blanchissement corallien : quasiment absent
- Les maladies et les lésions coralliennes : de rares occurrences
- Les principales espèces concurrentes : présences faibles, normales.

Globalement les récifs de la zone étaient donc en très bonne santé.

B.II.4.2.5. Contexte réglementaire

B.II.4.2.5.1. Aires réglementaires

La zone d'étude est située dans **la zone tampon marine** du Parc Provincial du Grand Lagon Sud inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO. La zone tampon de l'UNESCO ne fait pas partie du bien inscrit et n'impose aucune exigence particulière.

Par ailleurs le **Parc Provincial du Grand Lagon Sud**, inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO, fait partie des aires marines protégées selon le code de l'environnement de la province Sud. Une partie des activités industrielles de PRNC y sont localisées.

B.II.4.2.5.2. Ecosystème d'Intérêt Patrimonial

Le code de l'environnement de la province Sud liste à ce jour 5 EIP.

Parmi ceux-ci, les récifs coralliens, qui sont présents dans la zone d'étude selon la définition donnée.

B.II.4.2.5.3. Espèces menacées

Plusieurs espèces présentes dans la zone (coraux, autres invertébrés, poissons) sont inscrites sur la liste rouge de l'UICN, dont certaines avec un statut "menacé".

B.II.4.2.5.4. Espèces Endémiques, Rares ou Menacées

Selon les espèces inscrites comme ERM dans le code de l'environnement de la province Sud plusieurs ont déjà été observées historiquement à proximité et une a été inventoriée lors de cette étude.

B.II.4.2.5.5. Espèces Exotiques Envahissantes

Il n'y a qu'une seule EEE en milieu marin listée dans le code de l'environnement de la province Sud, qui n'a pas été observée lors de cette étude, ni historiquement.

B.II.4.2.6. Sensibilité de la zone

La sensibilité de chaque unité bionomique a été établie selon plusieurs critères :

- Les contraintes réglementaires : toute la zone est dans une aire protégée, il peut y avoir présence EIP (récifs coralliens) et la probabilité de présences d'espèces protégées (UICN, ERM) est plus ou moins forte
- La biodiversité générale
- Le recouvrement corallien
- L'état de santé.

Sur les 3 niveaux retenus, les zones présentant une sensibilité élevée représentent 49% de la surface totale (Carte 2).

Carte 2 : Sensibilité de la zone d'étude

B.II.4.3. Conclusion

La zone comprend une importante superficie de récifs coralliens qui présentent plusieurs typologies (donc différents biotopes).

Par ailleurs, ces récifs sont très développés, avec une densité et une biodiversité élevée. Ils sont, de plus, en très bonne santé.

La faune ichtyologique est variée et abondante avec la présence de juvéniles.

La zone est située dans un site protégé (parc provincial et zone tampon marine UNESCO).

Elle comprend des espèces protégées selon le code de l'environnement de la province Sud et certaines ont le statut "menacé" selon l'UICN.

Par ailleurs, les récifs coralliens sont des Ecosystème d'Intérêt Patrimonial et protégés à ce titre par la réglementation provinciale.

=> **Différentes biocénoses avec une sensibilité élevée sont présentes.**

CHAPITRE B.III. PRESENTATION DES RESUMES DES SYNTHESES HISTORIQUES POUR CHAQUE DOMAINE DE COMPETENCE – RETOUR D'EXPERIENCE

B.III.1. Qualité Physico-chimique des eaux

Cette fiche constitue une synthèse des études concernant « **l'évolution géochimique des eaux lagonaires dans les 14 stations du suivi semestriel »**, dans l'aire d'impact potentiel de son activité industrielle et minière (Figure 24).

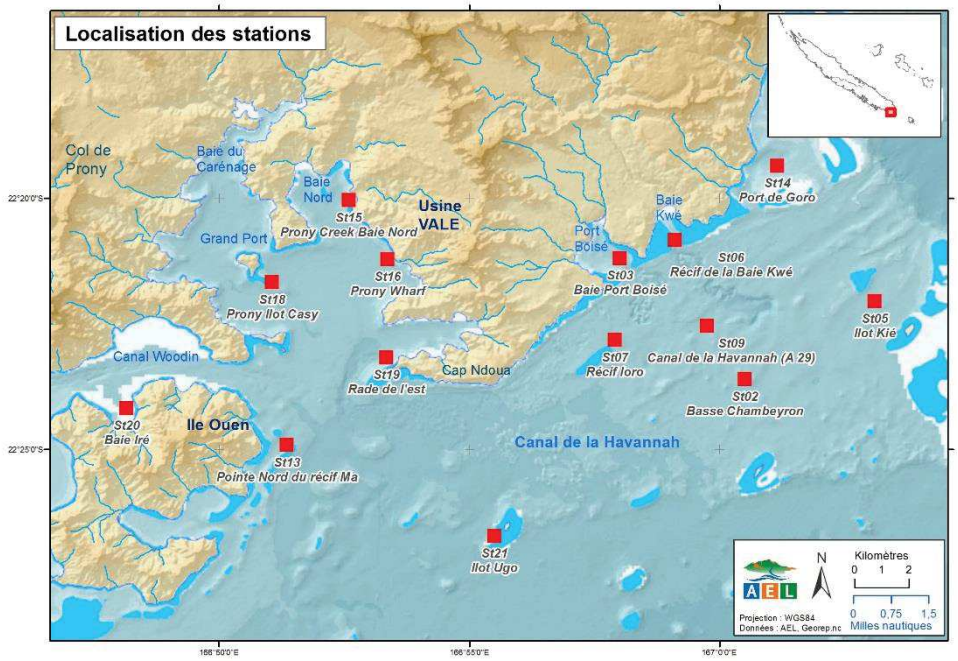


Figure 24 : Localisation géographique des stations pour le suivi de la qualité de l'eau de mer. Réseau de surveillance maintenu depuis 2012 dans la zone d'influence du complexe industriel.

Ce document regroupe les résultats de l'ensemble des **22 campagnes semestrielles (2010 - 2020)** et se réfère parfois aux campagnes 2006 et 2009 de définition de l'État de Référence.

B.III.1.1. Objectifs

La qualité globale des eaux lagonaires a été appréhendée en fonction de 29 critères de qualité géochimique. Parmi eux, on dénombre des contaminants métalliques considérés comme prioritaires, comme : As, Cd, Co, Cr/Cr(VI), Cu, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn.

Dans le contexte minier, il parait nécessaire d'évaluer statistiquement les variations, spatiales et temporelles, des concentrations mesurées dans les eaux marines (matières dissoutes et particulaires). Les différents termes sources que sont les creeks sont considérés dans les interprétations, dans la mesure du possible, en tenant compte, notamment, des conditions hydro-climatiques.

B.III.1.2. Résultats et Conclusions

La compilation des résultats d'analyse obtenus au cours de ces 10 ans de suivi environnemental montre, quel que soit le paramètre parmi les 29 suivis, que seules les eaux en surface subissent une réelle influence des apport terrigènes. Par ailleurs dans la plupart des cas, cette influence ne peut pas être mise en lien direct avec la pluviométrie ou bien elle n'est pas proportionnelle à l'intensité des précipitations.

D'un point de vue de l'évolution temporelle des concentrations (Figure 25), aucune tendance temporelle n'est extrapolable, quel que soit le paramètre analysé depuis 10 ans, comme le montre l'exemple du nickel, principal élément métallique usité comme traceur des apports terrigène/industriel.

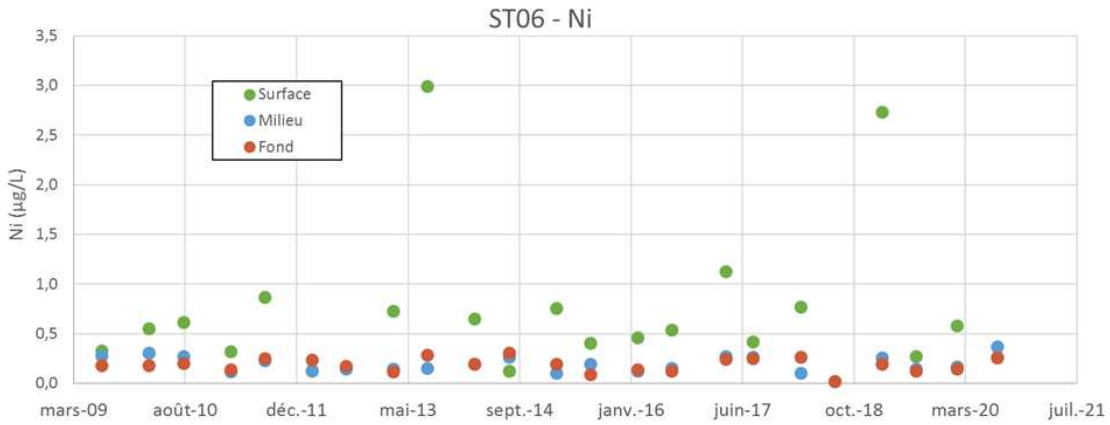


Figure 25 : Exemple de l'évolution des concentrations en Nickel (µg/L) pour la station ST06 (Baie Kwé), aux trois profondeurs considérées.

B.III.1.2.1. Éléments majeurs

Les concentrations en éléments majeurs montrent des domaines de variations faibles compris entre 5 et 8%, écarts qui entrent la plupart du temps dans le domaine d'incertitude de la mesure. Toutefois, certaines tendances peuvent être avancées, ainsi :

- Les concentrations moyennes en **chlorures** oscillent entre 19,6 et 20,6 g/L, en fonction de la station et de la profondeur considérée, ces valeurs étant légèrement supérieures aux concentrations théoriques. Si les variations observées sont très difficilement interprétables pour les eaux de fond, les diminutions observées en surface sont clairement attribuées aux effets de dilution momentanée de l'eau de mer par les apports des creeks, phénomène particulièrement visible aux stations peu profondes et/ou situées à proximité d'embouchures de rivières (ST03, ST06 …). Les concentrations moyennes en chlorures sont maximales en ST02, ST21, ST16 et ST19 en surface, et en ST07, ST15 et ST16 au fond, les minimales correspondant avec les stations ST05 et ST06, voire ST03 ;
- Les concentrations en **sodium** se situent entre 11,8 et 12,5 g/L et sont, elles aussi, supérieures aux concentrations théoriques. Comme pour les chlorures, les plus faibles valeurs coïncident avec les eaux de surface et de fond des stations situées à proximité des creeks (ST03 et ST06), et les plus élevées aux stations les plus au large (ST21) et/ou dans la baie du Prony (ST18, ST19) et le canal Woodin (ST20) ;
- Les concentrations en **calcium** sont mesurées entre 0,43 et 0,47 g/L et leur évolution spatio-temporelle est remarquablement liée à celles du potassium (0,46 - 0,50 g/L) et du magnésium

(1,38 - 1,45 g/L). On peut observer que les concentrations en Ca, Mg et K dissous sont influencées par la proximité des zones récifales carbonatées (calcite et aragonite), la maximale étant observée en ST21 (Ilot Ugo), voire à ST14 (Port Goro), pour les eaux de surface, et à ST18 (Prony) pour les eaux de fond ;

- Les concentrations en **sulfate** sont comprises entre 2,50 et 2,73 g/L. Sa distribution spatio-temporelle semble en totale déconnection avec les influences hydro-climatiques. Toutefois, la station ST07, située dans la zone d'influence des rejets du diffuseur, enregistre les concentrations en sulfates les plus élevées tant dans les eaux de surface comme de fond.

B.III.1.2.2. Métaux dissous

Parmi les métaux dissous analysés, les éléments Fe et Co font figures d'exception par rapport aux autres métaux latéritiques, avec plus des trois quarts des valeurs de concentrations situées en dessous des limites de quantification (0,059 µg/L et 0,027 µg/L, respectivement).

- Le **Fer** : il est réparti de manière relativement homogène dans la colonne d'eau, avec des valeurs maximales observées en profondeur aux stations de Port Goro (ST14 ; 0,489 µg/L en août 2017) et de l'île Ouen (ST13 ; 0,443 µg/L en mars 2015). La faible occurrence des concentrations quantifiables et l'absence de gradient « côte-large » semblent en contradiction avec la nature latéritique des apports terrigènes vers le lagon. Cependant, dans l'eau de mer la forme mesurable est le fer ferreux (Fe2+), espèce minoritaire mais soluble contrairement à Fe3+, espèce largement majoritaire mais présente sous forme particulaire. Par ailleurs et de surcroît, l'espèce Fe2+ entre dans le cycle biogéochimique de croissance du phytoplancton. Ce cycle explique, en partie, les faibles niveaux de concentration mesurés et surtout leur variabilité saisonnière, exception faite des eaux lagonaires à proximité immédiate de sources d'apports terrigènes sous contraintes hydro-climatiques (ST06, ST14, etc.). Ce sont les stations ST06 et ST07 qui présentent des concentrations moyennes maximales en Fe dans les eaux de surface, et les stations ST05, ST13, ST14 et ST16 en profondeur.
- Le Cobalt : Ce métal montre temporairement un gradient de concentrations « côte-large » ainsi qu'une diminution avec la profondeur. La valeur maximale est obtenue en ST15 (0,271 µg/L en surface), les concentrations les plus faibles sont mesurées en ST02 et ST09. Les occurrences d'acquisition des concentrations quantifiables montrent une claire opposition entre les stations influencées par les apports terrigènes et anthropiques (ST03, ST15, ST06, ST16, ST18, ST19 et ST20) et les stations d'influence océanique (ST02, ST05, ST07, St09, st13, ST14 et st21).
- Le Chrome, le Manganèse et le Nickel : Toutes les analyses réalisées montrent des concentrations au-dessus des LQ respectives. Ainsi, les eaux de surface des stations ST06, ST03, ST15, ST16 et ST18 sont clairement sous l'influence des apports terrigènes, en lien avec leur proximité à la côte et en particulier aux embouchures de creeks. Inversement, les stations les moins soumises à cette influence terrigène sont logiquement ST02, ST05, ST07, ST09 et ST21. Les eaux de fond sont nettement moins sensibles, les concentrations maximales en métaux latéritiques étant mesurées pour ST15.
- Pour les eaux de surface, les valeurs de concentration sont très majoritairement situées au-dessus des limites de quantification respectives, ce qui permet d'observer des gradients de concentration « côte-large » relativement permanents. Les concentrations moyennes de Cr(VI) sont maximales et très variables en surface, en lien avec les apports d'eaux douces. En effet, les stations des baies de Port Boisé (ST03) et de la Kwé (ST06) possèdent les moyennes les plus élevées, suivies des stations de la baie du Prony (ST15, ST16, ST18 et ST19) ; les concentrations moyennes calculées qualifient ces eaux de « modérément perturbées » (Beliaeff, et al., 2011). Ce niveau de concentration n'est pas perceptible ni pour les eaux de mi-profondeur, ni de fond, dont les moyennes se situent bien souvent sous la LQ (0,25 µg/L), tout secteur confondu ;

- De la même manière, les concentrations moyennes en Manganèse dans les couches de mi-profondeur et de fond sont souvent mesurées à des niveaux inférieurs à la LQ (0,35 µg/L), à l'exception de la station ST15 dans la couche de fond (0,356 µg/L). En surface, les concentrations moyennes aux stations ST06 et ST15 sont qualifiées de « modérément perturbées » (Beliaeff, et al., 2011) ;
- Pour le Nickel, les concentrations moyennes dans les eaux de surface sont relativement élevées aux stations ST03 et ST06 (0,69 µg/L), ST15 (0,54 µg/L), voire ST18 (0,49µg/L). Ces niveaux sont considérés comme indicateurs d'un milieu « modérément perturbé » lorsqu'ils excèdent 0,40 µg/L (Beliaeff, et al., 2011). A mi-profondeur et au fond, l'ensemble des stations n'atteint pas ce seuil.

Les métaux dissous sont majoritairement mesurés dans des gammes de concentrations inférieures à la limite de quantification. Pour ces métaux, l'interprétation des données est donc limitée à l'observation des seules valeurs quantifiables et à leur fréquence d'acquisition :

- Le Cadmium : aucune valeur supérieure à la limite de quantification (0,025 µg/L) n'a été obtenue durant ces 10 ans de suivi environnemental ;
- Le Cuivre : les concentrations sont fréquemment mesurées sous la limite de quantification de 0,027 µg/L (270 sur 1164 analyses réalisées, dont 138 en surface). Les stations ST03, ST13 et ST20 présentent les concentrations de cuivre les plus élevées dans les eaux de surface, tandis qu'en profondeur, ce sont les stations ST05, ST15, ST18 (et St20), la valeur maximale ayant été obtenue dans la couche de surface à la station ST20 lors de la campagne de saison fraîche 2011. Toutefois c'est à la station ST16 (Wharf de Prony) que les concentrations en cuivre supérieures à la limite de quantification sont le plus fréquemment enregistrées ;
- Le Plomb : il existe seulement 81 analyses quantifiables (LQ=0,1 µg/L) , dont 51 en surface, sur les 1164 réalisées. Bien que la valeur maximale (1,36 µg/L) soit mesurée en ST16 durant la campagne de saison chaude 2019, c'est en station ST20 que le seuil de quantification est dépassé le plus fréquemment. Globalement, les concentrations sont très faibles en surface, en revanche en profondeur à la station ST07 les niveaux moyens sont notables (Annexe 2) ;
- Le Zinc : il comptabilise seulement 39 valeurs supérieures à la limite de quantification (LQ=1 µg/L), dont 20 en surface sur les 966 acquises. Zn est décelé en très faible concentration dans les eaux de surface, alors qu'en profondeur, aux stations ST07 et ST21, les valeurs moyennes sont notables (Annexe 2). Toutefois, c'est à la station ST14 (6,01 µg/L) que la valeur maximale est atteinte et c'est également à cette station que l'on observe le plus grand nombre de valeurs supérieures à la LQ.

B.III.1.2.3. Sels Nutritifs

Dans le milieu marin, une des formes prépondérantes de l'azote est l'ammonium (NH4+). Il est produit en fin de cycle des composés de l'azote (dégradation) et dans les régions tropicales, les concentrations sont généralement très faibles, (quelques dizaines de nmol/L). De fait, les concentrations moyennes calculées pour chaque station de l'aire d'étude depuis 2009 s'échelonnent entre 50 nmol/L et 250 nmol/L, quelle que soit la profondeur considérée. Malgré cette amplitude, aucune distribution spatio-temporelle structurée n'est perceptible, sauf occasionnellement à l'issue d'événements hydroclimatiques ponctuels. La station ST06, en surface et à mi-profondeur, montre les valeurs moyennes les plus fortes : 0,23 µmol/L et 0,15 µm/L, respectivement ; pour les eaux de fond, c'est en ST03 et ST06 que l'on mesure aussi environ 0,23 µmol/L. Les concentrations minimales (0,1 µmol/L) sont observées pour les eaux d'influence marine (ST07, ST19 et ST20), quelle que soit la profondeur.

En ce qui concerne les concentrations moyennes en NOx (Nitrates + nitrites), elles montrent une distribution encore plus homogène (0,10 à 0,30 µg/L quelle que soit la couche) et sont donc difficilement interprétables. Seule la concentration moyenne de la station ST06, pour les eaux de surface, est notablement plus élevée (0,52 µg/L), indiquant un potentiel apport en matière organique dégradée avec les eaux douces de la Kwé. Toutefois, il s'agit peut-être d'une particularité de ce système naturel car ni la station ST03, ni ST15, situées toutes les deux à proximité de creeks, ne présentent de concentration moyenne particulièrement élevée.

Dans l'eau de mer, le phosphore est essentiellement présent sous forme d'ions orthophosphates (PO4). En milieu côtier, une augmentation des concentrations est un signe d'influence terrigène et/ou anthropique. Ainsi, PO4 semble impacter les eaux de surface, de mi-profondeur et de fond des stations côtières ST13, ST15 et ST07, respectivement avec 0,70 µmol/L environ. Les valeurs minimales approchant 0,55 µmol/L, sont calculées pour diverses stations du réseau.

Les concentrations en silicates (SiO4), marqueurs en Nouvelle-Calédonie de la lixiviation des sols latéritiques, est un indice pertinent de l'influence terrigène sur le lagon. De fait, en surface, ce sont les stations ST03, ST06, ST15 et ST18, à proximité de creeks qui présentent les concentrations maximales. En profondeur, ce sont les stations ST15 et ST16 de la baie de Prony. Dans les eaux intermédiaires et de fond, cette distinction est moins accentuée mais bien notable cependant.

B.III.1.2.4. Composés organiques

La contribution naturelle de l'azote et du phosphore organiques provient de la dégradation de matière organique. Leurs concentrations (dissous et particulaires cumulées) ne permettent de mettre en évidence que de faibles variations inter-stations. Les valeurs moyennes oscillent entre 0,45 et 0,65 µmol/L pour l'azote (NOD + NOP) et entre environ 0,20 et 0,30 µmol/L pour le phosphore (POD+POP) ; aucun gradient de concentration, ni évolution temporelle ne sont observés. Toutefois, les secteurs de la Baie du Prony et l'Est de la zone d'études montrent des niveaux de concentration les plus élevés. Aucune relation, entre la proximité de la rivière et les concentrations en azote ou phosphore organique, n'est avérée.

Les concentrations moyennes en carbone organique particulaire (COP) permettent de distinguer certaines stations pour leur concentrations moyennes dans les eaux de fond. Ainsi, les stations ST03 et ST19 se démarquent par des concentrations nettement plus élevées (18-20 µmol/L) par rapport à l'ensemble du domaine d'étude où les valeurs supérieures à 12 µmol/L sont peu fréquentes. Toutefois, aucune relation entre la distance à la côte ou relative aux apports d'eau douce ne peut être démontrée.

La chlorophylle A est un bon indicateur de l'activité photosynthétique et donc du bon fonctionnement de l'ensemble de la chaine trophique. Sa répartition est hétérogène puisqu'en surface, ce sont les stations ST07, St05, ST09 et ST14, qui présentent les concentrations les plus élevées (environ 0,45 µg/L ; Annexe 2) ; ces stations, situées dans le Canal de la Havannah, sont alimentées en nutriments par les masses d'eau océaniques. A l'inverse, c'est dans les eaux intermédiaires et profondes des stations côtières ST15, ST16 et ST18 que l'on mesure les concentrations les plus élevées (0,55 à 0,6 µg/L) en relation probablement avec les apports de débris végétaux par les rivières. Aucun gradient structuré ne se dessine, ni dans le temps ni l'espace, mais ce paramètre renseigne sur la vitalité de la production primaire du milieu.

B.III.1.3. Comparaison avec les seuils de toxicité

Rappel *: CE_{10} (Concentration d'effet médiane générant une réponse chez 10% de la population testée). Les CE_{10} peuvent être considérées comme des concentrations ne provoquant aucun effet toxique significatif (NOEC).*

Dans le cadre du « Programme Prédictif » conduit pour Goro-Nickel (2006-2009) et à la suite de la rupture du tuyau dans le canal de la Havannah (Achard et al, 2015), les tests écotoxicologiques visant à évaluer l'impact des rejets industriels de l'usine ont permis d'établir un certain nombre de « concentrations seuils » pour les métaux individuels. Un résumé des CE_{10} établies pour trois espèces (le bénitier *T.maxima*, le pétoncle *M.gloriosa* et le pétoncle *B.vexillum*) est présenté dans le

Tableau 13 et comparé aux concentrations maximales en métaux dissous mesurées au cours des 10 années de suivi de la qualité géochimique des eaux lagonaires.

En conclusion, aucune des concentrations en métaux dissous ne dépassait la CE_{10} les plus basses établies pour les trois espèces étudiées.

Tableau 13 : Récapitulatif des concentrations maximales obtenues dans le cadre de ce suivi comparativement au seuil de toxicité (CE10) pour une espèce de bénitier et deux espèces de pétoncle (Breau et al., 2009).

Métal (µg/L)	CE_{10} Bénitier *T. maxima*	CE_{10} Pétoncle *M. gloriosa*	CE_{10} Pétoncle *B. vexillum*	Baie Kwe (µg/L)	Baie Port Boisé (µg/L)
Cu	12,5 - 25	12,1	4,3	0,42	1,77
Co	187	633	86	0,671	0,41
Cr^{VI}	1555	2376	1015	0,17	0,23
Mn	1084	7749	812	0,41	4,46
Ni	-	12	<25	1,74	0,79
Zn	174	34	27	<5	<5

B.III.2. Flux en matière en suspension

Cette fiche constitue une synthèse des études concernant le « **Suivi semestriel des flux en matière en suspension (3 stations)** » dans l'aire d'impact potentiel de son activité industrielle et minière (Figure 26).

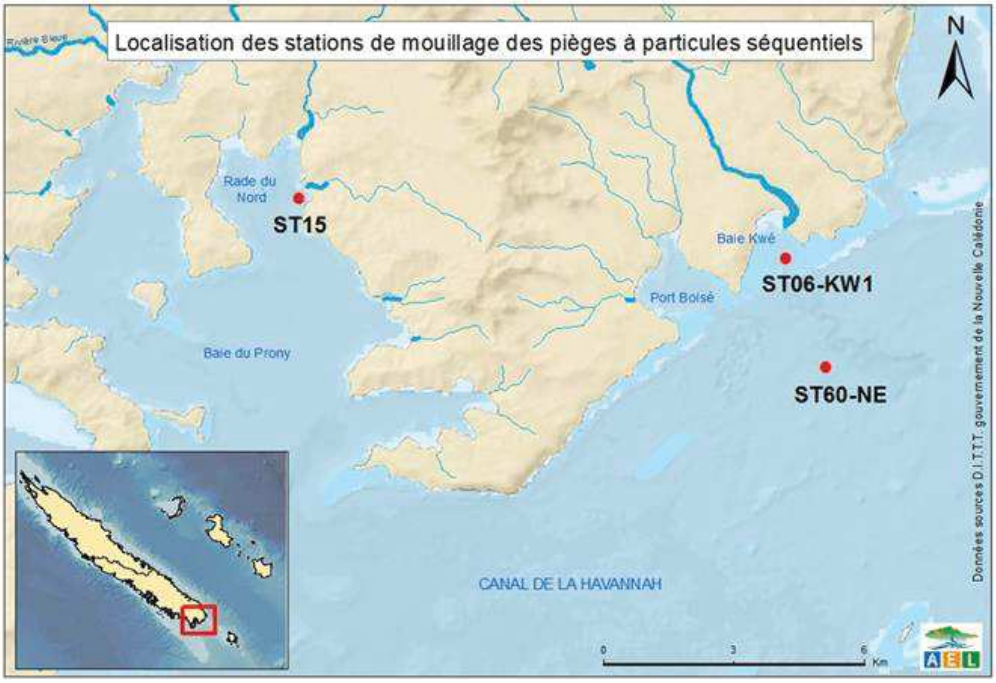


Figure 26 : Aire d'étude pour le suivi des flux verticaux de particules issues du process de transformation du minerai de l'usine de production et des activités d'excavation : station St60-NE localisée à 60m du rejet de l'effluent minier, station St06-KW1 située en Baie Kwé, station St15 positionnée à l'embouchure du Creek de la Rade du Nord.

Le suivi est réalisé sur 3 stations représentatives des 3 zones suivantes :

- Zone d'influence du rejet d'effluents : le suivi est assuré par la station St60-NE localisée dans l'axe médian du diffuseur et à une distance de 60 m de celui-ci, à une profondeur de 39 m. Depuis 2011, elle permet de collecter les apports induits par le diffuseur dans le Canal de la Havannah.
- Zone d'influence de la mine et de ses installations : elle est contrôlée par la station implantée dans l'axe de l'embouchure de la rivière Kwé (St06-KW1, anciennement P/KW-1) par 28 m de profondeur. Celle-ci permet depuis 2011 d'assurer le suivi des apports inhérents à l'exploitation du bassin minier et de ses installations de stockage des résidus.
- Zone d'influence de l'usine de valorisation du minerai : le suivi est réalisé par la station St15 située au droit du Creek de la Rade du Nord dont le bassin versant accueille le site de l'usine. Cette station qui est à 25 m de profondeur, a également fait l'objet d'une étude de définition d'État de Référence en 2006 et 2007 ; elle permet de contrôler les apports attribuables aux installations industrielles depuis 2014.

Ce document est le résumé des résultats obtenus pour l'ensemble des **19 campagnes (2010 - 2020) semestrielles de suivi** et se réfère parfois aux autres campagnes initiales de 2006/2007 et 2009 de définition de l'État de Référence.

B.III.2.1. Objectifs

Si les effets cumulés de l'hyper-sédimentation sont mesurables à moyen et long terme par le calcul des taux d'accumulation (géochronologie à l'échelle pluriannuelle), **pour des laps de temps plus courts à titre prédictif**, les apports sédimentaires sont quantifiables grâce à la mesure de la densité de flux vertical des particules à des échelles de temps qui peuvent être journalière, hebdomadaire ou encore mensuelle. Cette mesure constitue un **indicateur précoce** de la sédimentation des particules dont les conséquences sont notamment, la réduction de la lumière, de l'oxygène dissous et en particulier l'augmentation de la charge polluante, comme celle induite par les éléments métalliques associés aux particules.

En effet, les particules (« Matière En Suspension » ou MES) sont reconnues depuis cinquante ans comme étant le principal vecteur des polluants dans la contamination des organismes vivants ; certains d'entre eux étant consommés par l'homme.

L'objectif donc a été de réaliser un suivi semestriel des impacts potentiels par l'estimation quantitative des apports en particules fines au niveau de 3 stations clefs :

- St06-K1 (Baie Kwé), où l'impact des différents travaux d'excavation, d'aménagements et d'ouverture progressive du front de mine peut être ressenti ;
- St15 (Rade Nord) dans la baie de Prony que le bassin versant du Creek de la Rade Nord anthropisé par les installations industrielles alimente ;
- St60-NE (Canal de la Havannah) où, *via* le diffuseur, le rejet d'effluents industriels traités contenant une charge faible en MES, est réalisé.

Dans le cas du Canal de la Havannah, l'objectif a été de répondre aux questions sur les apports :

- en gypse ($CaSO_4$) formé après l'étape de neutralisation par du calcaire et de la chaux, des solutions acides d'extraction du Ni ;
- en minéraux qui pourraient précipiter/co-précipiter lors de la mise en contact de l'effluent avec l'eau de mer. Ce phénomène pourrait entraîner une fraction non négligeable des métaux sur le plancher sédimentaire.

L'objectif est de discuter des tendances, lorsqu'elles sont observées, et de proposer des recommandations à des fins d'optimisation et d'amélioration du suivi.

B.III.2.2. Résultats et Conclusions

Pour les deux stations de fonds de baies (St15 et St06), les panaches turbides sortant des embouchures respectives après un épisode pluvieux, ne sont pas systématiquement captés par les pièges à sédiment. En effet, ceux-ci peuvent être confinés le long des lignes de côte respectives, la sédimentation des MES s'effectuant alors en bordure des baies et seulement en partie à la verticale des pièges ; les masses collectées sont alors liées aux précipitations de manière plus ou moins robuste. Si un facteur météorologique supplémentaire intervient (le vent), une fraction indéterminée des particules collectées dans les pièges provient des phénomènes de remise en suspension, dont l'importance peut parfois devenir prépondérante.

Dans les deux configurations météorologiques, les densités de flux calculées sont des grandeurs relatives, mais représentatives de l'état d'envasement des baies et leur évolution. En effet la mesure résulte, soit des flux de MES entrant pour la première fois dans le système, soit de la redistribution des particules étant déjà entrées et non consolidées ; cette dernière fraction reflète alors la capacité du système à évacuer les charges en MES qui diffèrent selon les sites.

B.III.2.2.1. Station St06-KW1

En l'absence de pluies, seule la force du vent (FXI) est reliée à la masse de particules collectées. En d'autres termes dans ces conditions météorologiques, le phénomène de remise en suspension des particules à partir de la couverture sédimentaire en place et/ou des formations récifales, devient le mécanisme prépondérant qui génère les MES présentes dans la colonne d'eau. À contrario lors des épisodes pluvieux, la collecte en MES est fonction de l'intensité des précipitations atmosphériques, mais le flux est augmenté souvent par les particules remises en suspension sous l'action mécanique du vent qui génère de la houle/clapot.

Sur cette station, les mesures permettent de suivre correctement l'évolution temporelle de la baie en termes d'apports particulaires terrigènes qui semblent actuellement progresser légèrement.

B.III.2.2.2. Station St15

La masse moyenne en MES collectée à cette station s'avère relativement fluctuante ; elle est comprise dans un ratio de 1 à 20 et compte même une valeur extrême (x80) enregistrée pendant la campagne de janvier-mars 2020. Toutes saisons confondues, les flux interceptés montrent une absence totale de corrélation avec le taux de précipitations (R = 0,170). En effet, les quantités moyennes les plus importantes, si elles correspondent avec la saison chaude, elles ne sont cependant pas proportionnelles à l'intensité des épisodes pluvieux.

Si cette station montre dans son fonctionnement des similarités avec St06 (baie Kwé), la configuration géomorphologique de la Rade du Nord perturbe la dispersion des panaches turbides et donc biaise le suivi des densités de flux. En effet, cette rade présente la singularité d'être relativement exposée aux vents dominants de SE qui confinent le panache le long de la côte Nord de celle-ci, quelle que soit sa force. Seuls des vents d'Est, voire de NE, favorisent l'expansion du panache et permettent la collecte des MES à la station St15 pour le suivi des densités de flux.

B.III.2.2.3. Station St60-NE

Les particules transportées par les masses d'eau qui circulent dans le Canal de la Havannah avec les courants semblent indirectement et faiblement impactées par les phénomènes de remise en suspension ou d'érosion des bassins versants ; la forte dynamique imposée par les masses d'eau régit la distribution des MES et disperse efficacement les panaches turbides (Douillet et Fernandez, 2009). La masse moyenne en MES collectée s'avère remarquablement constante, toutes saisons confondues, et montre clairement une absence de corrélation avec le taux de précipitations, seule l'action des vents permet l'enrichissement en tests d'organismes et/ou particules carbonatées arrachés aux récifs barrière Nord-Est (passe de la Havannah) ou bien du Sud.

Cette station permet le suivi des MES transitant de manière naturelle par le Canal de la Havannah. En outre, elle permet de surveiller les flux de particules véhiculées par les effluents industriels rejetés en mer et contrôler leur bonne dispersion ; la dernière mission semestrielle de juillet-août ayant probablement permis de déceler une anomalie en raison des teneurs fortes en Mn qui ont été mesurées dans les MES.

B.III.3. Qualité physico-chimique et sédimentologique des sédiments de surface

Cette fiche constitue une synthèse des études concernant « **l'évolution physico-chimique des sédiments marins de surface** » dans l'aire d'impact potentiel de son activité industrielle et minière (Figure 27).

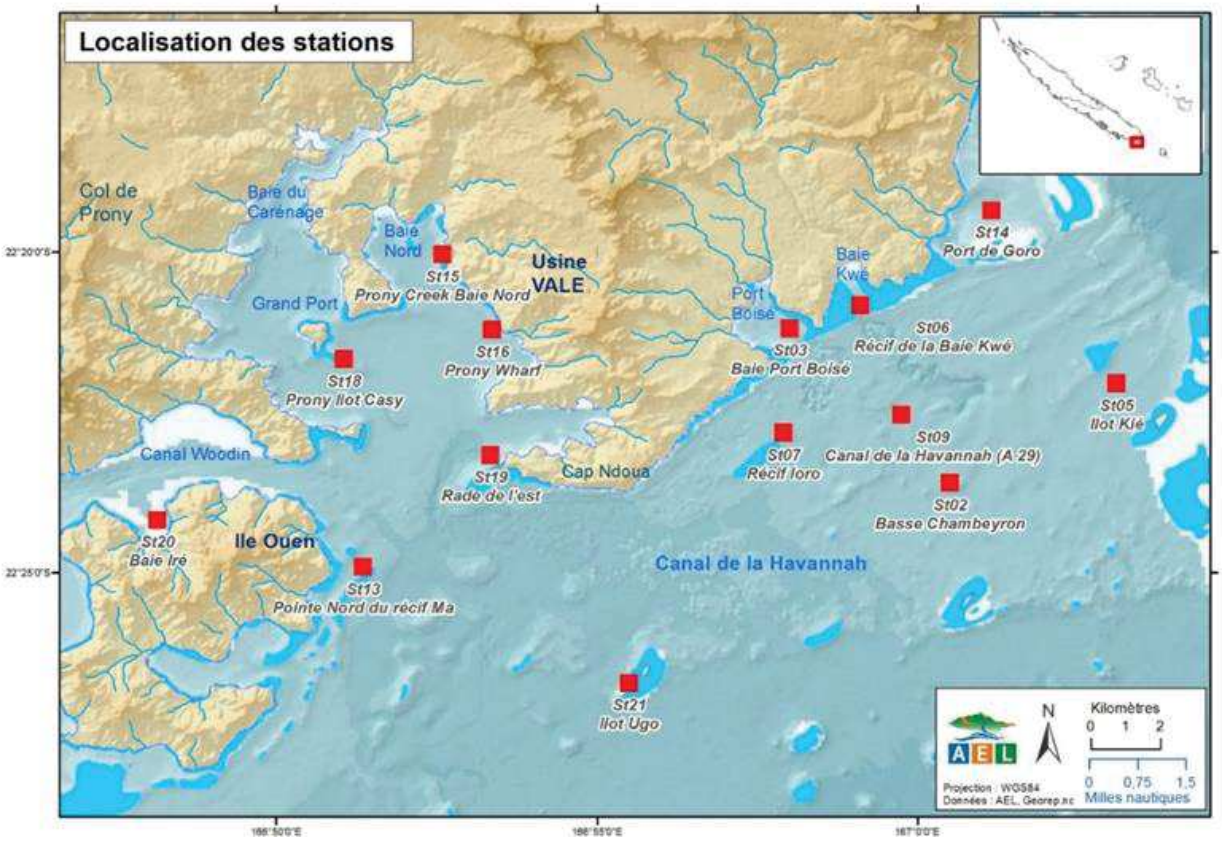


Figure 27 : Localisation géographique des stations de prélèvement de sédiments de surface constituant le réseau de suivi depuis 2012 dans la zone d'influence de l'usine.

Les paragraphes suivants regroupent les résultats de l'ensemble des 3 **campagnes triennales de suivi (2012, 2015 et 2018)** et se réfèrent parfois aux campagnes 2006 et 2009 de définition de l'État de Référence.

B.III.3.1. Objectifs

Si les effets mécaniques de l'hyper-sédimentation sont des phénomènes mesurables à l'échelle du court terme (recouvrement, …), les modifications liées à la composition géochimique des particules, peuvent entraîner des conséquences à moyen, voire long terme, sur la pollution/contamination des écosystèmes. Au-delà des déséquilibres écologiques que les apports en éléments métalliques peuvent induire, leur bioaccumulation dans les organismes marins est à prendre en considération, certains d'entre eux sont consommés par l'homme : le suivi de la qualité géochimique des sédiments est donc un outil de surveillance précoce des contaminations et des risques sanitaires potentiels.

Dans le contexte, l'étude consiste à caractériser les compositions minéralogique, granulométrique et géochimique du premier centimètre des sédiments de surface. L'analyse des métaux fait particulièrement l'objet d'analyses fines pour étudier leur répartition dans différentes phases géochimiques constitutives des sédiments et d'**estimer leur degré de disponibilité pour les organismes marins benthiques**, premier maillon de la chaine de transmission.

B.III.3.2. Résultats et Conclusions

Quelle que soit la station et l'année, exception faite de St15, les concentrations en Ca demeurent peu variables par rapport à celles des métaux latéritiques (Co, Cr, Fe, Mn et Ni) qui présentent des écarts significatifs dans le temps.

Dans la **Baie du Prony**, cette variation est de moindre ampleur, ce qui dénote une influence relativement constante des différents termes sources depuis 2006 ; la station St18 se singularise par des concentrations en métaux exceptionnellement fortes mesurées en 2015. Pour cette station non soumise à la pression directe des activités du port et de l'usine VNC, ces écarts sont probablement à relier avec une forte hétérogénéité spatiale des sédiments générée par les courants de marée et la forte action des vents dominants de E-SE (Alizés).

Dans les baies du **Canal de la Havannah** (St03 et St06), les concentrations mesurées entre les différentes campagnes sont plus variables, notamment à Port Boisé. En dépit de ces variations, aucune des deux ne montre d'enrichissement remarquable ; les concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni demeurent comparables depuis le début du suivi environnemental.

Les analyses sédimentologiques et géochimiques montrent clairement que ces paramètres de base sont indispensables pour le suivi de l'évolution des influences terrigènes globales dans le lagon de Nouvelle Calédonie ; en effet, tant la minéralogie, que la granulométrie ou le dosage des métaux totaux permettent d'exprimer de manière lisible les variations temporelle et spatiale des apports liés aux phénomènes d'érosion/lixiviation des sols.

Les concentrations en métaux totaux sont toutes conformes aux valeurs proposées par le Guide CNRT-2021 du suivi environnemental du milieu marin pour la Nouvelle Calédonie.

En ce qui concerne les concentrations en fraction disponible des métaux pour les organismes, elles demeurent faibles pour tous les éléments du cortège latéritique étudié. Leurs niveaux de concentration individuelle restent quasiment tous inférieurs aux seuils de toxicité (CE_{10}) exprimés par les tests conduits dans le cadre du Programme Prédictif 2006-2009, malgré les augmentations observées en 2015. Par ailleurs, ces augmentations affectent en particulier Cu et Co, ces éléments sont des métaux organophiles. Inversement, Ni et Mn montrent respectivement, plutôt une propension à s'adsorber à la surface des oxydes et co-précipiter avec les carbonates.

Les concentrations en Cu et Ni sont à surveiller car elles semblent dépasser légèrement ou se rapprocher des CE_{10} respectives. Toutefois, la méthodologie actuellement employée (Tessier et al, 1979) tend probablement à maximiser l'importance des fractions en métaux réellement disponibles.

La concentration en fraction disponible reflète bien la variation des conditions météorologiques, et en particulier, les effets de la pluviométrie, moteur de la lixiviation des sols latéritiques.

B.III.4. Suivi des Effluents

Cette fiche constitue une synthèse des études concernant « **Qualité géochimique et de la dispersion des effluents industriels issus de diffuseur** » dans l'aire d'impact potentiel de l'activité industrielle et minière du canal de la Havannah (Figure 28)

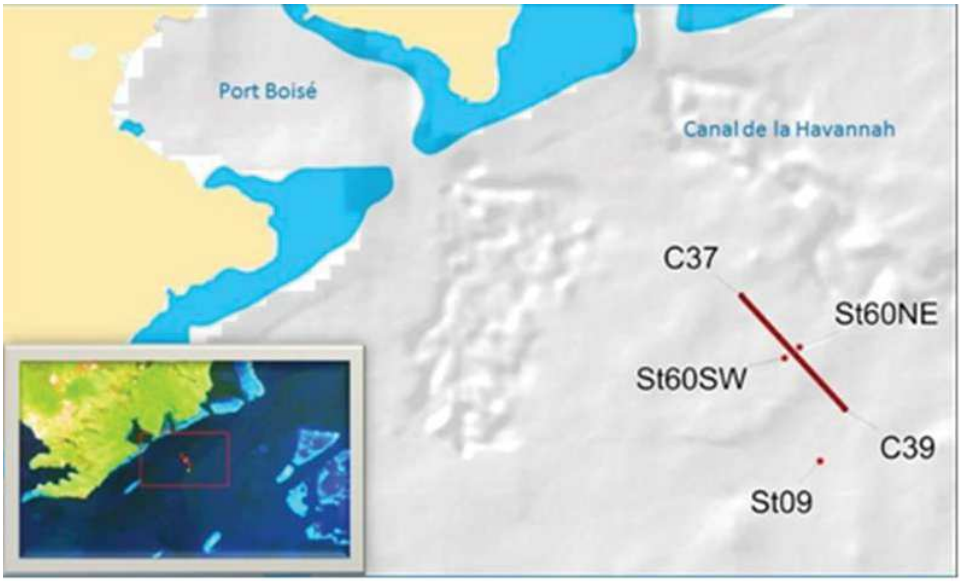


Figure 28 : Secteur d'étude pour le suivi des rejets d'effluents industriels de l'usine. La ligne rouge représente l'emplacement du diffuseur avec ses extrémités C37 et C39. La station St09 est une station appartenant au suivi semestriel ayant lieu 2 fois par an en saison chaud (mars) et saison fraiche (août).

Les paragraphes suivants regroupent les résultats de l'ensemble des **18 campagnes (2010 - 2020)** semestrielles de suivi environnemental. Le suivi de l'effluent a été discuté en deux parties correspondant aux périodes suivantes : 2010 et 2015 (Suivi initial) et 2016 à 2020 (Suivi renforcé).

B.III.4.1. Objectifs

En 2010, à l'issue des premiers essais d'extraction du nickel/cobalt, c'est-à-dire de lixiviation des latérites nickélifères, l'usine a commencé à produire ses premiers effluents industriels ; les analyses issues de ces suivis devant permettre de vérifier que le comportement du panache réel est bien conforme aux résultats, à caractère prédictif, fournis par les modèles hydrodynamiques et de dispersion

Au cours de la période (2010 et 2015), un contrôle complémentaire au suivi réglementaire (l'arrêté ICPE de 2008) a été demandé avec pour objectif d'évaluer le niveau d'impact potentiel des rejets d'effluents réels sur le milieu environnant.

Au cours de la période (2016-2020), les modifications des conditions de rejets des effluents (N°2767-2016/ARR/DIMENC du 21/11/2016) obligent l'industriel à renforcer la surveillance autour du diffuseur.

B.III.4.2. Résultats et Conclusions

La nouvelle configuration du réseau (renforcé) mis en place depuis 2016, avait pour objectif de prendre en compte les modifications des conditions de rejet des effluents et notamment de suivre les dépassements de concentration en Mn autorisée dans le Canal de la Havannah.

B.III.4.2.1. Distribution spatiale des concentrations

Le passeur THOË™ a permis l'exposition séquentielle d'échantillonneurs passifs de type DGT ™ pour assurer une surveillance continue du champ proche du diffuseur. Ce suivi a été mené par périodes semestrielles de 2 mois en continu, les échantillonneurs passifs permettant de lisser les évènements marginaux dans la zone étudiée pour délivrer une concentration moyenne en métaux dissous représentative de la période de mesure prédéfinie (Figure 29). Ces concentrations moyennes fournissent une évaluation plus réaliste de l'exposition globale à laquelle les organismes sont soumis.

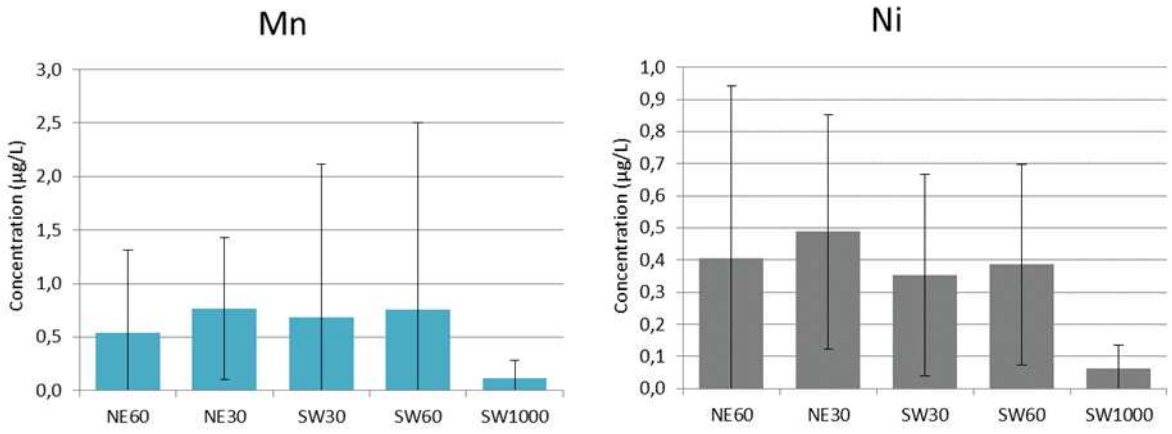


Figure 29 : Histogrammes présentant les concentrations moyennes (µg/L) en Manganèse et Nickel pour chaque station, obtenues lors des suivis effectués pendant les périodes de fonctionnement nominal du diffuseur (n= 5)

B.III.4.2.2. Suivi de seuils de manganèse préconisés

Tout comme pour le suivi initial, les concentrations en Mn et Ni obtenues lors du suivi renforcé, ont été comparées aux seuils de toxicité (CE10) déterminés pour des organismes du lagon de Nouvelle Calédonie.

Ainsi, toutes les concentrations observées sont inférieures à la plus faible CE10 établie pour les trois espèces étudiées (Tableau 14). Les concentrations moyennes de Mn et Ni déterminées pour l'ensemble des 9 campagnes ont été de 680 et 30 fois inférieures aux seuils de toxicité, respectivement. En ne considérant que les seules valeurs maximales pour ces éléments, les concentrations demeurent toujours inférieures au seuil des 10 µg/L d'un facteur 4 et 21 fois, respectivement.

Tableau 14. Récapitulatif des concentrations maximales obtenues dans le cadre de ce suivi comparativement au seuil de toxicité (CE_{10}) pour une espèce de bénitier et deux espèces de pétoncle (Breau et al., 2009).

Métal (µg/L)	CE_{10} Bénitier *T. maxima*	CE_{10} Pétoncle *M. gloriosa*	CE_{10} Pétoncle *B. vexillum*	Suivi 2016-2020 Concentration maximal (µg/L) et campagne associée	Suivi 2016-2020 Concentration moyenne (µg/L)
Mn	1084	7749	812	38,3 (2018-2)	1,2 ± 3,7
Ni	-	12	<25	2,9 (2017-1)	0,4 ± 0,4

Les 9 campagnes du suivi renforcé, ont conduit à constater que :

- Les mesures réalisées en fonctionnement nominal du diffuseur ont montré que, dans le champ proche, les concentrations moyennes en Mn et Ni sont très similaires avec des variabilités modérées. Pour chacun des deux éléments, la concentration moyenne dans le champ lointain (SW1000) est globalement 10 fois plus faible que dans le champ proche. Les concentrations moyennes en Mn n'ont pas dépassé le seuil préconisé des 10 µg/L, les niveaux naturels ont toujours été mesurés avec une très faible variabilité pour Mn et Ni ;
- A l'inverse, pendant la période de dysfonctionnement, les concentrations mesurées dans le réseau modifié ont montré une très forte variabilité pour les stations du champ proche, voire dans le champ lointain pour Ni. Toutes les concentrations moyennes en Mn ont été supérieures à celles mesurées pendant la période de fonctionnement nominal du diffuseur. Cette différence peut atteindre un facteur 7 environ (NE30-B). Pour Ni, les niveaux de concentration ont été relativement équivalents, sauf dans le champ lointain (SW1000) où la moyenne a été environ 10 fois plus forte. Aucune tendance dans les concentrations de Mn ne peut être observée au fil du temps, ce qui indique que la variabilité dépendait surtout d'événements ponctuels (débit, concentration, courantologie) ;
- La réduction du nombre d'évents opérationnels a modifié l'hydrodynamique de rejets (augmentation de la vitesse d'éjection) dans les eaux du Canal de la Havannah. Ces nouvelles conditions ont eu pour résultat de faire monter les effluents plus haut dans la colonne d'eau et de modifier le transport de l'effluent et sa dilution ;
- Au total, 7 cas de dépassement du seuil 10 µg/L de Mn dissous ont été enregistrés, dont 6 ont été observés pendant la période de dysfonctionnement du diffuseur. Malgré ces dépassements, les concentrations les plus élevées n'ont pas atteint le seuil de toxicité établi pour les espèces locales.

B.III.5. Taux de sédimentation & évolution géochimique

Cette fiche constitue une synthèse des études concernant le « **Suivi triennal de la sédimentation : calcul des taux d'accumulation (4 stations)** » dans l'aire d'impact potentiel de l'activité industrielle et minière (Figure 30).

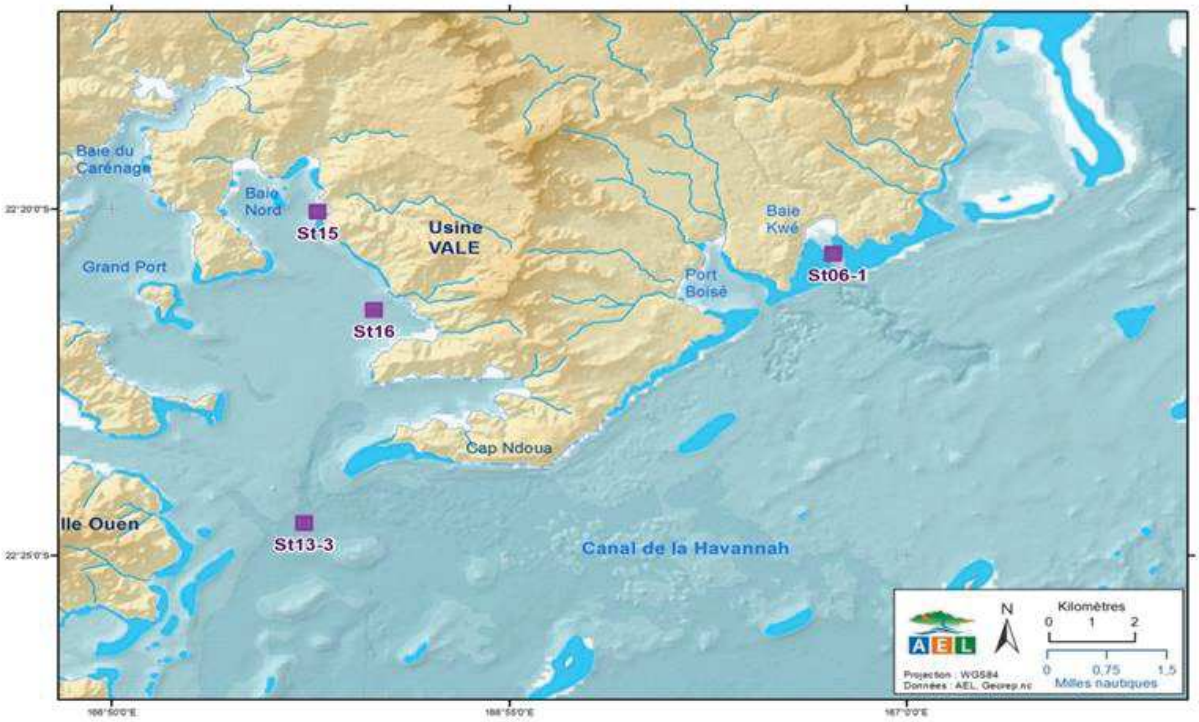


Figure 30 : Localisation géographique des stations de prélèvement du suivi des taux d'accumulation et évolution géochimique des sédiments dans la zone d'influence de l'usine (St06-1, St15 et St16) et au large de l'Ile Ouen (St13-3).

Les paragraphes suivants regroupent les résultats de l'ensemble des 4 **campagnes triennales (2010/2011, 2013, 2017 et 2020)** de suivi environnemental des taux de sédimentation et se réfèrent parfois à la campagne 2007 de définition de l'État de Référence.

B.III.5.1. Objectifs

Les principaux objectifs du programme de suivi ont été de déterminer l'évolution des taux d'accumulation des sédiments récents dans les aires d'impact potentiel du complexe minier. De fait, les études ont consisté à estimer leur évolution pour les baies du Prony, Kwé et à proximité de l'Ile Ouen. Ces analyses ont permis de réaliser une chronologie des événements sédimentaires et, dans la mesure du possible, de les restituer dans le contexte de la mise en exploitation de l'usine.

Les taux d'accumulation ont été obtenus par la datation des horizons sédimentaires grâce au Plomb-210 (^{210}Pb), un radio-isotope naturellement présent dans les sédiments, étayés par les concentrations pour certains traceurs géochimiques stables (métaux de transition du cortège latéritique).

Note : *Tracer la géochronologie avec une relative précision nécessite de travailler avec plusieurs marqueurs radioactifs en même temps. Le Césium-137 (137Cs), un isotope artificiel dont l'utilité n'est plus à démontrer, est généralement utilisé pour vérifier et compléter la chronologie calculée avec le 210Pb. Toutefois, la radioactivité du 137Cs, étant trop faible dans les sédiments de l'hémisphère sud pour être exploitable. Des traceurs stables comme Co, Cr, Fe, Mn et Ni, voire Ca (traceur de l'influence marine), peuvent contribuer à préciser les taux d'accumulation.*

B.III.5.2. Résultats et Conclusions

B.III.5.2.1. Conclusion pour la station ST16

En 2020, les sédiments de la station ST16 montrent un changement relatif assez sensible des caractéristiques par rapport aux campagnes antérieures. En effet, on note l'apparition d'une couche plus fluide en surface accompagnée d'une modification de la composition en fraction fine (pélites) qui décroit de 20%. En ce qui concerne les phases carbonatées, elles deviennent minoritaires particulièrement dans les couches de surface où, par voie de conséquence, les phases minéralogiques terrigènes (Goethite et Gibbsite) viennent à dominer

Ces changements physiques sont accompagnés de changements géochimiques qui renforcent l'idée d'une diminution très récente de l'influence marine. L'émergence d'une nouvelle influence terrigène plus marquée est donc plausible, notamment au vu du taux d'accumulation qui a atteint 1,17 g/cm²/an en 2020 (5 fois plus fort que la normale).

Toutefois, en l'absence de termes sources importants à proximité immédiate de la station, cette importante altération du rythme sédimentaire est difficilement imputable à cette seule explication. Si une telle hypothèse peut être retenue, conditionnée à l'action de cyclones ou dépressions tropicales fortes humides (fortes pluies), comme en juillet 2013 ou février-mars 2019 ; une hypothèse tierce serait celle d'un apport induit par l'activité portuaire ?

En effet, au cours du temps, la station ST16 de référence s'est trouvée inclue dans la zone de mouillage des navires en attente d'accostage pour les opérations portuaires de charge/déchargement (Figure 31). Il n'est donc pas exclu que lors du relevage des ancres de minéraliers, que des blocs de sédiments plus anciens aient été déplacés vers la station de prélèvements. Cette hypothèse conduit à recommander une courte relocalisation de la station ST16 vers le Nord-Ouest de la zone.

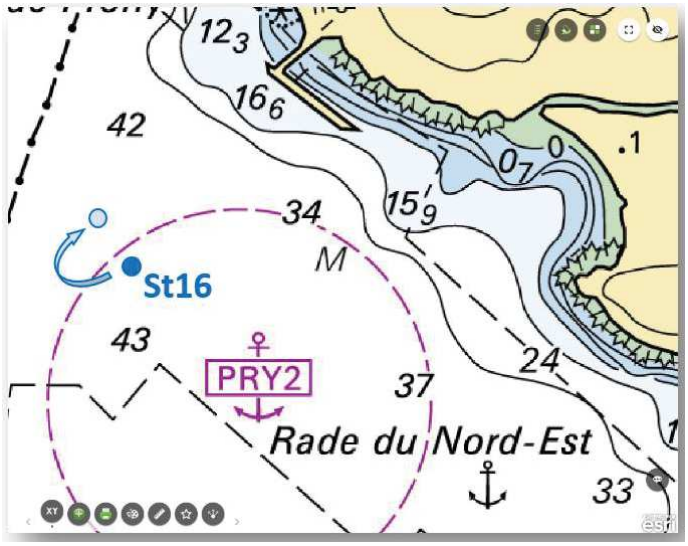


Figure 31 : Carte marine aux abords du port de commerce du complexe industriel. Localisation actuelle de la station ST16.

Globalement, la mise en place de la série sédimentaire récente peut être datée à une quarantaine d'année, âge qui conduirait à 1983 ± 3 ans.

B.III.5.2.2. Conclusion pour la station ST15

Les paramètres physiques (densité, %W, …) prouvent que les sédiments du site résultent de l'empilement de couches sédimentaires dont la nature terrigène est dominante mais qui peut très fortement varier temporairement en quantité et qualité.

Ces différences dans les caractéristiques sédimentaires sont liées à des changements sporadiques dans le mode d'alimentation en particules sous l'influence probable de l'intensité des précipitations atmosphériques ; la drastique diminution des concentrations des phases carbonatées de la carotte 2020 et, à l'inverse, la présence accentuée des minéraux terrigènes, confortent cette interprétation.

Ces observations conduisent à associer ces changements :

- soit, au passage de cyclones ou dépressions tropicales fortes humides, comme en février-mars 2019 (480 mm/24) ou bien en juillet 2013 (470mm/48h) qui ont notablement lessivé le bassin versant du Creek de la Rade Nord ;
- soit, à des épisodes de forte sédimentation accidentelle, comme à la suite de l'effondrement d'un remblai de rétention des bassins d'eau pluviale (2006) et les conséquences du déversement d'une solution acide dans le Creek (2009) qui a lixivié les sols (Figure 32).

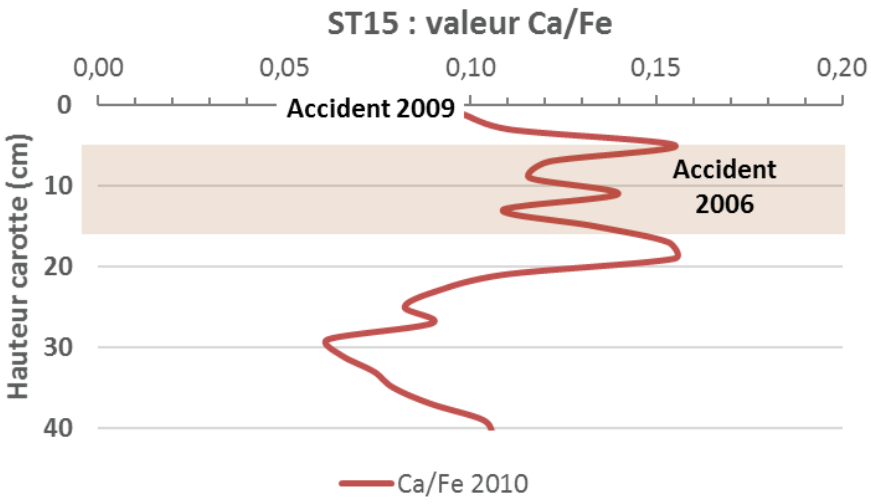


Figure 32 : Accident sédimentaire de 2006, visualiser la couche déposée (5-17 cm). Perte de solution acide de 2009, diminution en surface du ratio Ca/Fe traduisant l'effet de lessivage des sols.

Pour ce site, le taux d'accumulation moyen pour ces 10 dernières années est cependant resté faible (0,46 g/cm²/an) d'où une mise en place de la série sédimentaire récente datée à 1991 ± 5 ans.

Cette station est implantée sur le site qui a subi les changements majeurs en termes de régimes sédimentaires.

B.III.5.2.3. Conclusion pour la station ST13

Les paramètres physiques (densité humide et sèche, porosité, %W …) traduisent la mise en place d'une stratification sédimentaire résultant d'apports rythmés dont les caractéristiques et la nature diffèrent très notablement, mais restent à dominante marine. Ces sédiments ont une granulométrie plus grossière (64 ± 3% de fraction 20-63 µm), avec parfois des évolutions dans les populations de pélites (Ø<41 µm) significatives le long de chaque carotte. Ces sédiments sont composés des particules constituées à environ 90 % de carbonates biogéniques, observation répétée depuis 2010.

La variabilité des niveaux de radioactivité (*^{210}Pb en excès)* constatée prouve qu'une forte dynamique sédimentaire locale règne et qu'un transport latéral des sédiments est probable. La disparité dans les mesures gamma traduit également la mise en place d'une sédimentation varvée, et ne permet pas systématiquement d'estimer le taux d'accumulation moyen, le profil en « *^{210}Pb en excès »* est parfois trop perturbé.

B.III.5.2.4. Conclusion pour la station ST06

Les valeurs des densités humide et sèche mesurées le long de la carotte suggèrent une variation notable de la nature des apports sédimentaires qui forment des couches successives. Cette variabilité trace ainsi différents régimes de dépôt rythmés par la charge transportée par le creek Kwé ; les teneurs en eau et la porosité dessinent une stratification identique clairement perceptible.

Toutefois, les sédiments sont composés de populations de particules relativement fines avec un mode principal correspondant à des silts moyens à fins (2,0-20 µm). Une évolution temporelle de la granulométrie est perceptible par rapport à 2010 et parfois aussi le long des carottes, traduisant la structure larvée des dépôts. Depuis 2010, les particules les plus fines (argiles) sont en nette diminution, alors que les populations de silts moyens progressent.

En termes de minéralogie, les teneurs en carbonates diminuent d'environ 80% (2013) à 45% en 2020. C'est également ce que traduit la forte présence de phases minérales terrigènes, comme la Goethite (36 à 40 % en 2020 contre 14 à 19% en 2017) ; une évolution est observable depuis 2010/2013.

L'alternance dans l'alimentation particulaire se reflète également dans les profils de concentration en métaux dont les fluctuations sont relativement asynchrones. Dans la carotte, elles ne permettent pas de mettre clairement en évidence une quelconque tendance temporelle des concentrations, mais des épisodes sédimentaires sporadiques d'amplitudes relatives.

Ainsi, la couverture sédimentaire résulte de la sédimentation de particules provenant de différents termes sources qui sont inhérentes aux conditions hydro-climatiques.

En ce qui concerne le flux de « ^{210}Pb *en excès* », le taux d'accumulation moyen est calculable (1,39 g/cm²/an) et traduit l'érosion notable du bassin versant liée aux conditions météorologiques de fortes intensités de ces dernières années.

Le changement de régime sédimentaire peut être daté à une vingtaine d'année, âge qui conduirait à 2003 ± 4 ans.

B.III.6. Synthèse biote

L'intégralité de la synthèse historique du biote est consultable en ANNEXE 7 : Synthèse historique suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés. Stations proches diffuseur.

B.III.6.1. Préambule

Dans le cadre de ce projet, seule une nouvelle zone de rejet est créée, mais la composition de l'effluent ne sera pas modifiée.

L'objectif de cette partie est donc d'évaluer l'impact de l'effluent actuel sur les communautés biologiques proches afin de prévoir celui sur la nouvelle zone.

Le biote est suivi depuis 2007 : annuellement les 3 premières années puis semestriellement. Cette synthèse présente donc la compilation et l'analyse de 29 campagnes. Nous rappelons aussi que l'émissaire a été mis en service en juillet 2009, soit juste après la 3ème mission (juin 2009) et 8 mois avant la suivante de mars 2010.

B.III.6.2. Méthodologie

B.III.6.2.1. Stations d'étude

L'étude s'est focalisée sur 4 stations (sur les 12 que compte le réseau) : les 3 stations les plus proches du diffuseur (sous influence) et la station servant de référence qui est située dans la réserve intégrale Y.Merlet (Figure 33). La méthodologie BACI[3] est ainsi respectée : des suivis avant l'impact puis après, sur des stations de contrôle et sous influence.

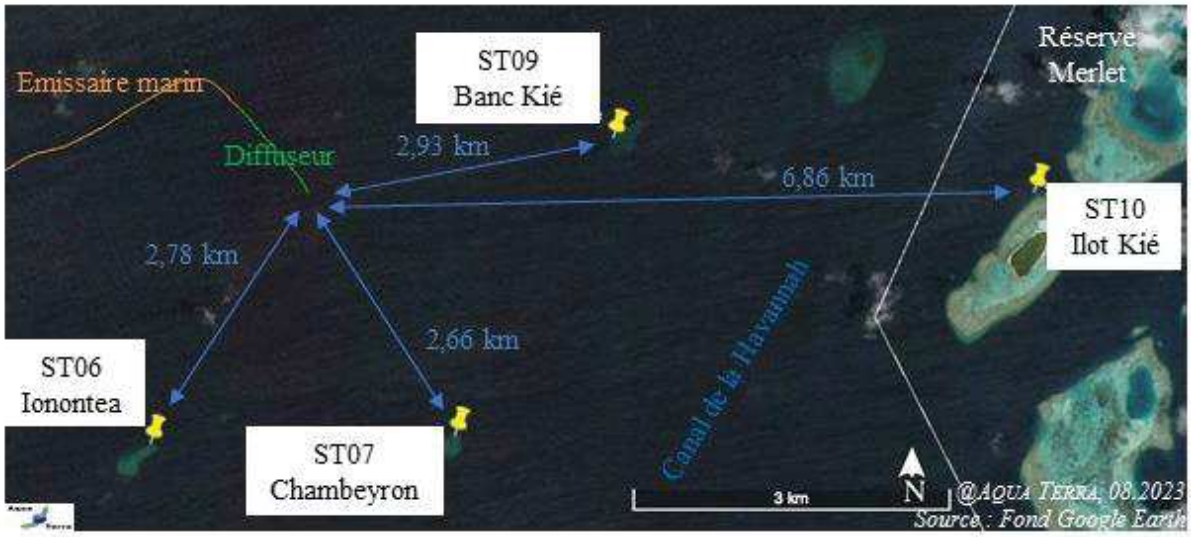


Figure 33 : Localisation des stations de l'étude

[3] Before-After / Control-Impact : Underwood A.J. 1991

B.III.6.2.2. Protocoles

Le suivi de l'état de santé des communautés coralliennes se fait à travers l'échantillonnage de 3 thèmes :

- Le substrat par la méthode du LIT (English et al. 1997), qui permet notamment d'enregistrer le pourcentage de recouvrement des fonds pour la partie abiotique / biotique, cette dernière étant divisée en 2 : le recouvrement des coraux scléractiniaires et celui par les algues et les autres invertébrés
- Le benthos est observé dans un couloir de 2,5 m de part et d'autre du transect, soit 300 m2 par station. L'inventaire porte sur une liste de taxons cibles, répartis ici en 3 groupes : les coraux scléractiniaires (données jusqu'en 2016), les autres invertébrés et les macrophytes
- L'ichtyofaune est inventorié selon la méthode du TLV. Les paramètres calculés sont : la biodiversité spécifique, la densité et la biomasse. Par ailleurs un indice synoptique a été créé depuis 2012 : cet Indice Annuel de Station (IAS) permet une appréciation globale de la qualité du peuplement sur 4 niveaux.

B.III.6.3. Synthèse de l'évolution des paramètres du suivi biologique

L'étude du substrat depuis le début du suivi a montré que leur recouvrement est très varié d'une station à l'autre (ce qui est normal par rapport à la géomorphologie du récif qui diffère selon les localisations géographiques) mais aussi au sein même d'une station, avec notamment une influence certaine de la profondeur (diminution du recouvrement par les scléractiniaires et les groupes biotiques en général). S'il y a des variations saisonnières, il n'apparaît pas de dégradations nettes au cours du temps.

De même, les biodiversités du benthos varient au cours du temps.

Pour les 4 stations, les données ont été analysées pour les richesses taxonomiques des coraux, des autres invertébrés et des macrophytes par ANOVA pour établir une comparaison temporelle : or, l'analyse des variances ne montre pas de similarité, accréditant l'hypothèse que les variations sont aléatoires. Pour l'ichtyofaune, l'analyse des variances montrent aussi une hétérogénéité des missions pour les 3 paramètres tester : richesse spécifique, densité et biomasse, pour les 4 stations.

B.III.6.4. Comparaison à la station de référence

Dans les paragraphes suivants, il a été choisi de présenter pour chaque compartiment (substrat, benthos, ichtyofaune), uniquement le paramètre le plus significatif et traduisant le mieux l'état de santé du récif. L'étude en Annexe 7 présente les résultats et les comparaisons pour tous les paramètres suivis.

B.III.6.4.1. Substrat

Le taux de recouvrement par les scléractiniaires pour les 4 stations est illustré sur la Figure 34, pour les différentes campagnes depuis le début du suivi.

Il n'apparaît pas de baisse significative pour les stations sous influence qui ne serait pas enregistrée en même temps à la station de référence.

Au contraire, la courbe de tendance linéaire en ce qui concerne les coraux scléractiniaires est plutôt à la hausse pour les stations ST06, ST07 et ST09 avec un coefficient variant de 0,85 à 0,64, ce qui reste significatif, alors qu'il y a une forte baisse à la ST10 sur les dernières missions.

Ainsi, le recouvrement corallien qui était historiquement plus important dans la réserve intégrale a fortement chuté lors de la mission de mai 2021 pour être moins important qu'à la station de Ionontea maintenant.

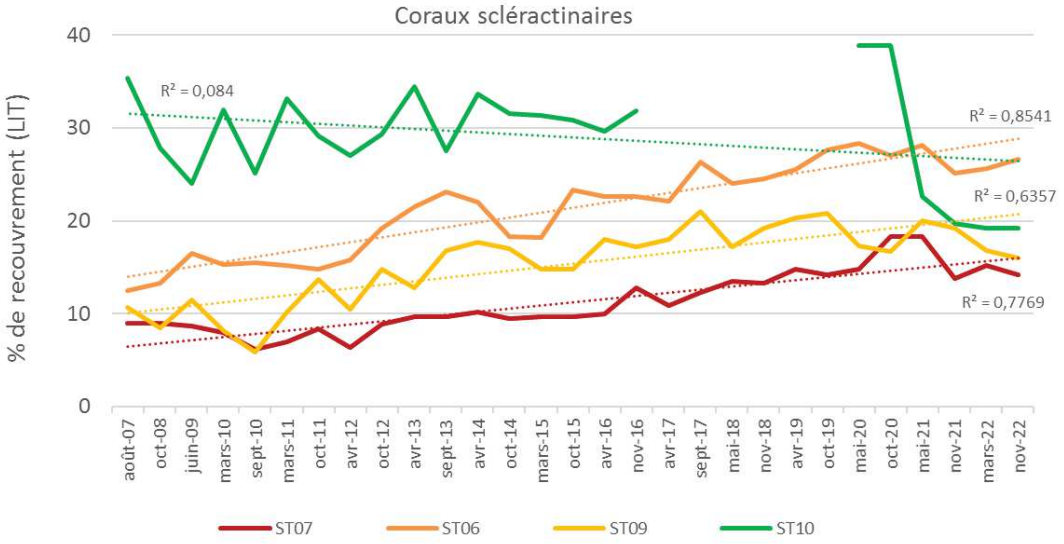


Figure 34 : Taux de recouvrement par les scléractiniaires pour les 4 stations depuis le début du suivi

B.III.6.4.2. Benthos

Les variations des biodiversités taxonomiques moyennes des invertébrés (hors coraux) enregistrées sur les 3 stations proches de l'émissaire le sont aussi à la station de référence, ce qui exclut une causalité de l'effluent (Figure 35).

Par ailleurs, depuis le début du suivi, la richesse taxonomique en invertébrés est plus importante sur le Banc Kié (ST09), qu'à l'îlot Kié (ST10).

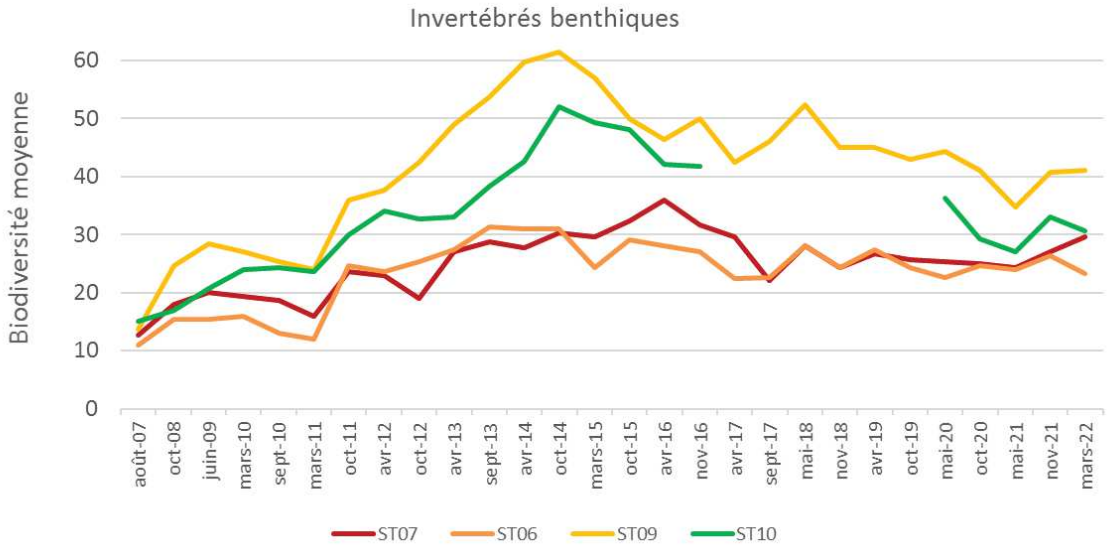


Figure 35 : Biodiversité taxonomique moyenne des invertébrés pour les 4 stations depuis le début du suivi

B.III.6.4.3. Ichtyofaune

Pour la biodiversité spécifique aussi, il n'y a pas de schéma type de variations pour les stations dans la zone d'influence du diffuseur et pour celle de référence (Figure 36).

La station ST07 (Chambeyron), la plus proche du diffuseur présente même une biodiversité ichtyologique plus élevée qu'à la station en réserve (ST10) depuis la mission d'octobre 2014. Et c'est aussi le cas sporadiquement pour la ST06 (Ionontea).

Les conclusions sont les mêmes selon l'analyse de l'évolution de l'IAS (Figure 37).

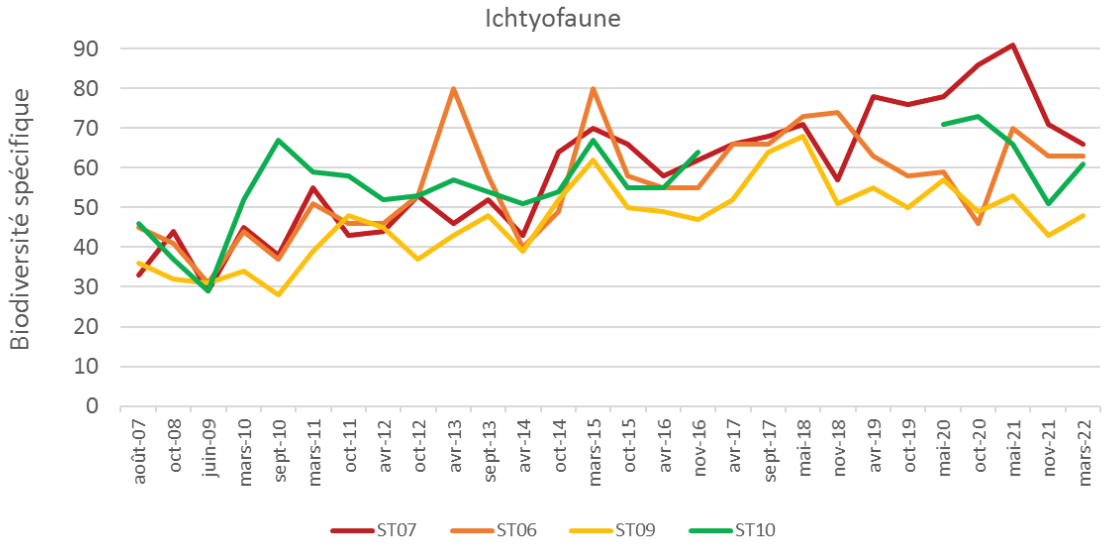


Figure 36 : Biodiversité spécifique des poissons pour les 4 stations depuis le début du suivi

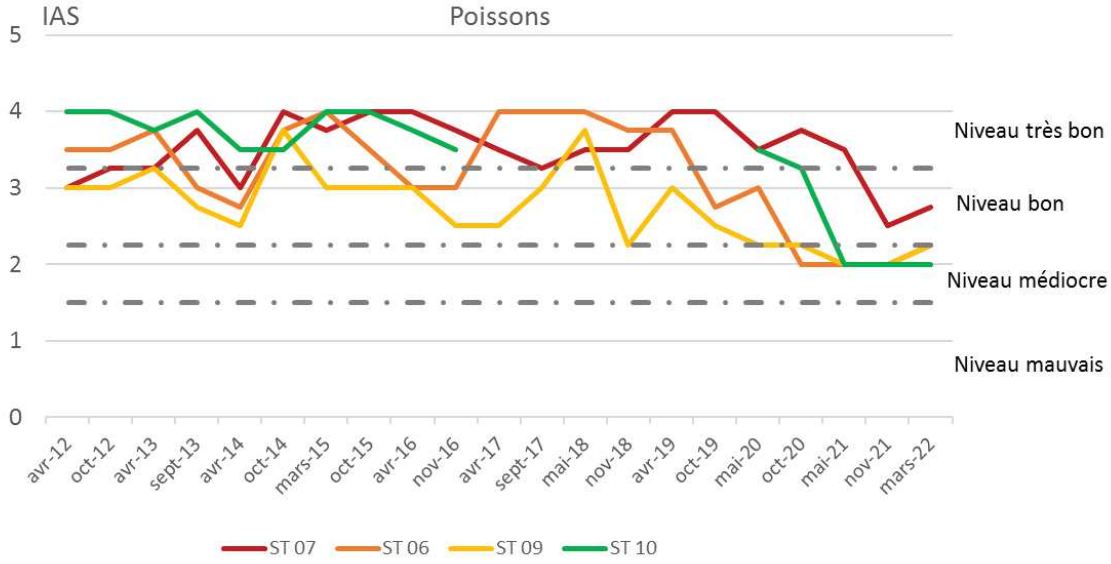


Figure 37 : IAS des poissons pour les 4 stations depuis le début du suivi

B.III.6.5. Corrélation avec des données physico-chimiques

Les analyses précédentes montrent que 1/ les missions sont hétérogènes et qu'il n'y a pas de schéma de variations dues à un même facteur constant (comme l'effluent par exemple) et 2/ que la station de référence ne présente pas un historique dans ses fluctuations différent et meilleur que celui des stations proches du diffuseur.

L'exercice a cependant été poussé plus loin en essayant de voir si une corrélation pouvait exister entre les variations des paramètres biologiques et les données physico-chimiques enregistrées in situ (le taux de manganèse4)

Le réseau de suivi physico-chimique comprend 14 stations dont 2 sont proches de celles étudiées ici : deux couples ont donc été retenus : $ST02_{PC}$-$ST07_{Bio}$ (sous influence du diffuseur) ainsi que $ST05_{PC}$-$ST10_{Bio}$.

Les données de concentrations retenues sont celles de la couche de fond (la plus pénalisante car au niveau du diffuseur) et issues du rapport AEL 2023 et ont été comparées aux données sur le taux de recouvrement du substrat par les scléractiniaires (paragraphes précédents).

Les évolutions de chaque paramètre sont illustrées sur la Figure 38 pour chaque couple. Ces représentations ne traduisent pas de lien pouvant expliquer les variations (dont les baisses) dans le recouvrement corallien.

Ce qui est confirmé par le coefficient de corrélation calculé (sur les valeurs communes) pour chaque série :

- pour le couple ST02PC et ST07Bio, R^2 = - 0,095
- pour le couple ST05PC et ST10Bio, R^2 = - 0,002.

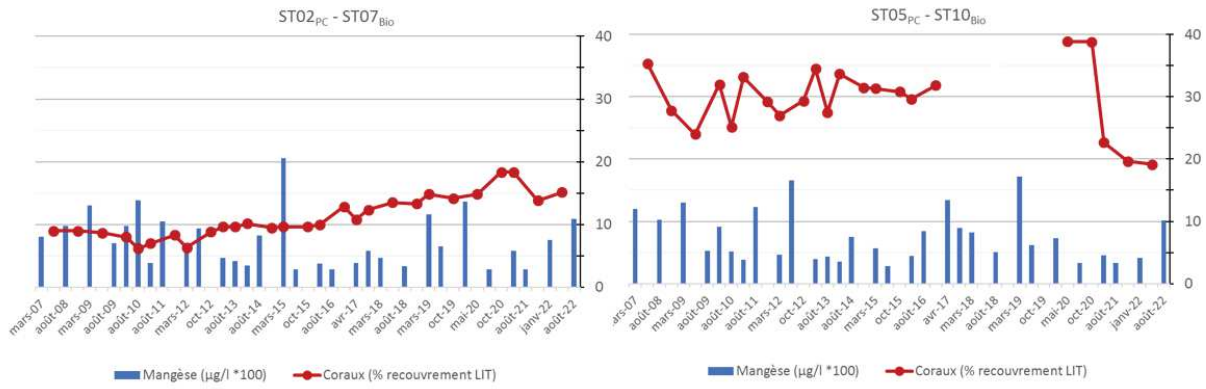


Figure 38 : Evolution des taux de manganèse et de recouvrement en coraux scléractiniaires

B.III.6.6. Corrélation avec les événements météorologiques

Le climat impacte fortement le milieu marin à travers différents phénomènes, dont :

- Les dépressions tropicales ;
- Le phénomène ENSO ;

[4] Le Mn dissous est considéré comme conservatif dans le milieu et est donc utilisé dans les différentes simulations comme traceur (Ineris, 2022)

- Des épisodes ponctuels particuliers comme en début 2016 où de fortes chaleurs ont été enregistrées sur la Nouvelle-Calédonie, accompagnées par des anomalies de température positives en mer (> à 2°C) ainsi que par un indice UV très élevé par rapport à la normale. Les conséquences sur l'environnement marin ont été très importantes avec un phénomène de blanchissement massif des récifs autour de la Nouvelle-Calédonie. De nombreuses perturbations en chaîne dans le milieu marin en ont découlé (mortalité des coraux scléractiniaires, des alcyonaires, développement d'algues, cyanobactéries et de turf sur les colonies coralliennes…).

Suivre ces divers éléments est donc primordial pour évaluer et discriminer leurs impacts sur les milieux d'autres facteurs.

Comme précédemment, les événements climatiques majeurs ayant précédé la mission ont été ajoutés sur l'axe temporels des suivis des paramètres biologiques (Figure 39).

Les variations saisonnières s'expliquent alors par l'alternance entre les missions du premier semestre (mars-avril) qui suivent la saison des cyclones et entre les missions du second semestre (octobre) qui en sont plus éloignées.

Les dépressions entraînent une dessalure et surtout un hydrodynamisme fort qui casse les colonies coralliennes du transect supérieur qui vont ensuite dévaler la pente et provoquer des dégâts dans les niveaux bathymétriques plus profonds.

Les baisses de recouvrement en scléractiniaires sont donc très bien corrélées avec le passage de cyclones générateurs de fortes houles. Cela est marquant lors de la mission de mai 2021 pour la ST10 (îlot Kié, dans la réserve) dont le front récifal a été « détruit » en début d'année par les cyclones Lucas et Niran.

Les corrélations existent aussi avec la biodiversité des invertébrés (hors coraux) mais elle peut être négative ou positive, selon le délai entre la mission et la perturbation. En effet, lors des évènements dépressionnaires, les invertébrés sont balayés, arrachés du substrat et/ou ils se déplacent vers des zones moins perturbées (plus en profondeur). Mais ces perturbations subies par les récifs génèrent aussi une remobilisation du matériel corallien et sédimentaire (colonies, débris, sédiments). Ces éléments remobilisés et mis à disposition sont une source de nourriture non négligeable pour les invertébrés, qui sont mobiles et peuvent alors se déplacer sur les zones concernées.

Ce phénomène est encore plus vrai pour les poissons, jusqu'à un certain point. Les « dégâts » engendrés par l'hydrodynamisme sont sources de nourriture et peuvent ainsi occasionner des hausses de densité et biodiversité (avec des changements dans la composition des communautés, notamment par rapport aux régimes alimentaires). Par contre, quand le récif est trop perturbé, avec un certain décalage temporel, les peuplements ichtyologiques s'appauvrissent.

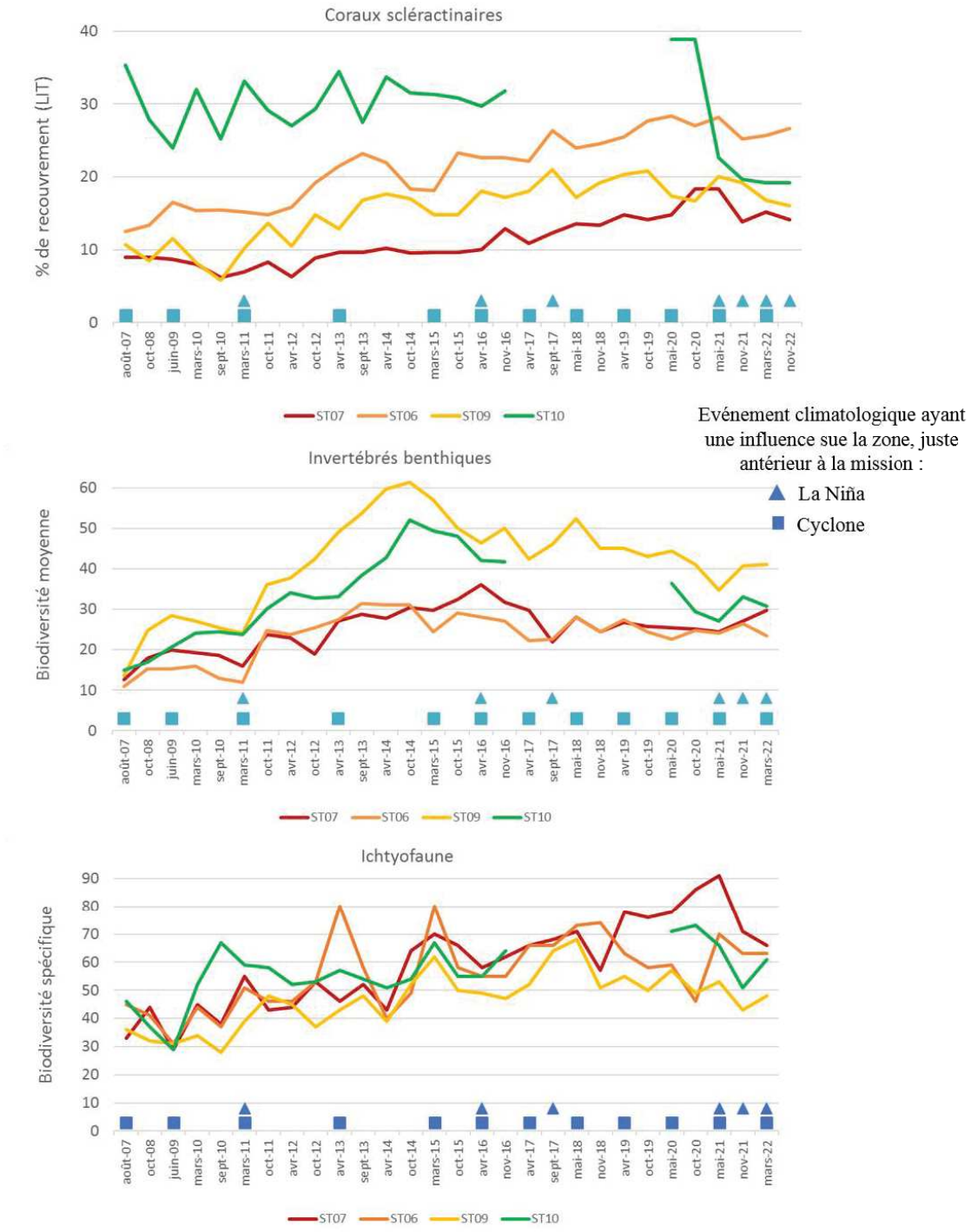


Figure 39 : Paramètres biologiques aux 4 stations depuis le début du suivi et événements climatiques

B.III.6.7. Conclusion

L'état de santé des peuplements récifaux et organismes associés est suivi, selon un même protocole, via un réseau de 12 stations, dans la baie de Prony, le canal Woodin et le canal de la Havannah depuis 2007, semestriellement (depuis 2010), ce qui représente 29 campagnes en 2022.

Si des variations des paramètres biologiques sont relevées, les différents rapports n'ont pas établi de corrélation avec le rejet de l'effluent mais concluent à des impacts principalement dus aux événements climatologiques extrêmes.

Cette étude s'est focalisée sur les 3 stations les plus proches du diffuseur et sur celle servant de référence car localisée dans la réserve Merlet, qui est une réserve intégrale, donc interdite d'accès ce qui lui permet de n'être soumise à aucun facteur anthropique direct.

Que ce soit pour le recouvrement du substrat, la biodiversité du benthos et de l'ichtyofaune, les variations enregistrées au cours du temps ne suivent pas un schéma différent entre les stations sous influence du diffuseur et la station de référence.

Par contre, la corrélation avec les conditions météorologiques (dépressions et phénomène La Niña) est forte.

=> Jusqu'à ce jour, il n'a pas été mis en évidence d'impact de l'effluent sur les communautés coralliennes suivies.

CHAPITRE B.IV. PRESENTATION DES VALEURS DE REFERENCE RETENUES ET ETUDES EN ECOTOXICOLOGIE

Ce chapitre présente l'étude d'évaluation du risque écotoxicologique de l'effluent industriel de PRNC, ainsi que les valeurs de référence retenues. Ce chapitre a été réalisé entièrement par le bureau d'étude AEL.

B.IV.1. Evaluation du risque éco-toxicologique

Pour déterminer les effets éco-toxicologiques potentiels de l'effluent, dont notamment celui du Mn, le groupe d'expert tiers (Massabuau et al., 2006) commandité par la province Sud, a calculé les **indices de risque**[5] pour 7 éléments mineurs et 6 éléments à l'état de trace[6] sur la base des compositions modélisées par l'opérateur. L'approche repose sur une démarche très conservatrice afin de minimiser les biais possibles pour la protection de l'environnement. Ainsi pour nos calculs, les conditions retenues sont :

- La fraction dissoute des métaux : les experts ont considéré que l'ensemble des éléments présents dans les effluents réels sont exclusivement sous une forme dissoute ; cette fraction facilement transférable aux organismes vivante, est également celle dont le potentiel toxique est le plus fort. Cette hypothèse est jugée comme « *majorante* » par les experts puisque, dans une solution, *« seule une fraction du métal est sous cette forme et le reste étant présent sous la forme de complexes qui sont normalement beaucoup moins biodisponibles ».*
- Zone d'exclusion de 20 m : afin de circonscrire l'impact potentiel des rejets en mer et protéger 99 % des espèces du canal de la Havannah, les experts ont choisi de laisser un périmètre d'exclusion de seulement 20 m de part et d'autre du diffuseur ; cette distance, est très restrictive pour l'industriel car en réalité, les zones, écologiquement vulnérables les plus proches, sont situées à des kilomètres de l'émissaire (champ lointain).
- Le taux de dilution de 575x : les experts ont retenu qu'à 20 m du diffuseur, le taux de dilution devait être de 575x, une valeur de dilution qu'ils ont, eux-mêmes, considéré comme «… *un cas de figure le plus pénalisant pour l'exploitant* … ».
- Les valeurs référencées ANZECC/ARMCANZ 2000 : pour comparer avec les concentrations de métaux à 20 m du diffuseur, les experts se sont appuyés sur les lignes directrices australiennes et néo-zélandaise pour les milieux marins ; parmi les quatre niveaux de protection différents[7], ils ont retenu le niveau le plus strict, pour la protection maximale conçue pour protéger 99 %

[5] L'indice de risque a été calculé selon le ratio : « *concentration diluée* » / « *valeur référence* » (Massabuau et al., 2006).

[6] Les 13 métaux retenus pour le calcul d'indice de risque sont : Al, Co, Cr-total/Cr-V, Fe, Mn, Ni et Zn pour les éléments mineurs ; As, Cd, Cu, Hg, Pb et Sn pour les éléments en trace.

[7] Les critères applicables à la qualité de l'eau de boisson, à celle de l'eau douce et de l'eau de mer sont fondés les uns et les autres sur des principes scientifiques et techniques rigoureux, mais ces principes sont plus simples et mieux établis pour l'eau de boisson. Pour la protection de la santé humaine, l'évaluation est plus simple, les seuils de déclenchement d'alertes peuvent s'exprimer sous la forme d'une concentration unique fondée sur un ensemble de données scientifiques. Quant aux eaux douces ou de mer, les seuils de déclenchement applicables, procèdent d'une démarche plus complexe. Ils sont fondés le plus souvent sur des données obtenues par des tests de toxicité sur plus d'une seule espèce et sont classés selon trois niveaux correspondant à une fiabilité haute, modérée ou faible, en fonction de la quantité de données disponibles et de la qualité de ces données. Les seuils de déclenchement sont calculés pour quatre niveaux de protection différents, 99 %, 95 %, 90 % et 80 %, chaque niveau désignant le pourcentage d'espèces que l'on considère pouvoir être protégées. La décision d'appliquer un niveau de protection donné à un écosystème particulier est du ressort des responsables locaux, mais dans la plupart des cas, c'est le niveau de protection à 95 % qui devrait être appliqué pour des écosystèmes légèrement à modérément perturbés. Cependant, des niveaux de protection plus élevés ou moins élevés peuvent être appliqués pour tenir compte du contexte local. Il faut noter que les seuils de déclenchement ANZECC/ARMCANZ sont destinés à être appliqués aux eaux réceptrices ; ils sont donc modifiés selon les paramètres de qualité de l'eau (pH, dureté, notamment) propres aux sites considérés (ANZG, 2018).

des espèces indigènes d'un écosystème non perturbé. Selon leurs recherches, les experts ont considéré qu'il s'agit « *de la compilation la plus récente de tels critères de qualité de l'eau, et ces critères représentent les valeurs les plus contraignantes* ».

Ainsi, en appliquant les conditions les plus protectrices pour l'environnement, ces critères ont été les plus sévères pour l'exploitant ; les indices de risque obtenus par Massabuau et al (2006) sont récapitulés dans le Tableau 15.

Dans notre contexte, la récente étude statistique sur la composition chimique des effluents émis entre 2019 et 2023 (Fernandez, 2023[8]) montre que depuis 4 ans (2020 et 2023), les concentrations des éléments d'intérêt ont sensiblement peu évolué. En effet, on observe que les valeurs de Ca sont relativement variables (617 mg/L ±18%) alors que les concentrations en Mg (3.408 mg/L ±9%) et SO_4 (13.808 mg/L ±8%) demeurent quasi-constantes sur toute la période. Quant aux concentrations en éléments mineurs quantifiables (Mn, Ni et Zn), elles présentent la particularité d'être extrêmement variables, mais elles sont toutes en diminution entre 2019 et 2023, respectivement de 16%, 84% et 28%. A l'inverse, dans le même laps de temps, le pH, augmente de 17%, passant de 7,4 à 8,6 ; cette dernière valeur étant relativement proche de celle de l'eau de mer.

Pour le calcul d'**indice de risque** dans le contexte de ce projet d'optimisation (Tableau 16), il a été pris en compte : la composition actuelle, le principe de la zone d'exclusion de 20 m le long du pipe-line, et le taux de dilution minimal de 575x. Par ailleurs, on conserve la plupart des valeurs guides de l'ANZECC/ARMCANZ 2000 qui avaient été utilisées en 2006 par le groupe d'expert, ainsi que le degré de protection maximale à 99 % d'espèce. Malgré les récentes modifications de protocoles dans l'élaboration des critères de qualité (Warne et al., 2018[9]), ces seuils conçus en 2000 pour protéger le milieu marin, restent applicables. Seule une nouvelle valeur référence du Zn a été récemment republié à la baisse ; elle passe de 7 µg/L à 3,3 µg/L (à consulter le fichier Excel sur le web-site ANZG pour l'ensemble des référentiels).

***Note pour Cu** : au moment de la rédaction de ce rapport, un nouveau référentiel à 0,120 µg/L a été publié sur le web site d'ANZG. En phase de consultation publique, ce seuil reste à être validé officiellement, l'ancien seuil établi en 2000 (0,300 µg/L) sera retenu pour notre étude (Tableau 15 et Tableau 16)*

[8] Fernandez J.M., 2023. Etude statistique de l'évolution de la composition de l'effluent industriel entre 2009 et 2023. Contrat AEL689-PR-23-P L58597/0001, 26p.

[9] Warne M. StJ., Batley G.E., van Dam R.A., Chapman J.C., Fox D.R., Hickey C.W., Stauber J.L. 2018. Revised Method for Deriving Australian and New Zealand Water Quality Guideline Values for Toxicants – update of 2015 version. Prepared for the revision of the Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality. Australian and New Zealand Governments and Australian state and territory governments, Canberra, 48 pp.

Note pour Mn : *pour ces deux éléments, des propositions de référentiels ont été soumises à ANZG ; ces propositions sont en cours d'examen par les pairs. A ce stade, les seules informations disponibles sont celles provenant de deux articles scientifiques publiés par des équipes australiennes travaillant avec le CSIRO. Les valeurs référentielles proposées sont 190 µg/L pour le Mn (Golding et al., 2023[10]) et 5 µg/L pour le Ni (Gissi et al., 2020[11]), ces seuils pourraient assurer une protection de 99 % des espèces dans le milieu marin tropical. Toutefois non-validées officiellement, pour cette étude les anciennes valeurs références utilisées par les experts, à savoir 20,0 et 7,0 µg/L, respectivement seront conservées (Tableau 15 et Tableau 16).*

B.IV.2. Discussion autour du cas spécifique du Mn :

En 2006, faute de données éco-toxicologiques suffisantes, l'ANZECC/ARMCANZ-2000 n'a émis aucune valeur référence pour le Mn. Pour cet élément, sujet à débat au vu des teneurs annoncées initialement par l'industriel (Goro-Ni) dans l'effluents (100 mg/L), les experts avaient donc pris en compte la valeur de référence établie par l'OMS en 2004 de 300 µg/L pour une protection à 95 % d'espèces pour les eaux d'un lagon de type équatorial, avec un intervalle de confiance de 50 %.

Complété par des données ultérieures fournies par les tests réalisés au CSIRO, et après concertation avec les experts, le seuil a été évalué à 20 µg/L pour une protection maximale (99 % d'espèces). C'est ce seuil que Massabuau et al (2006) ont adopté dans le calcul de l'indice de risque Tableau 15.

Toutefois, à la suite de la conclusion de leur rapport, fondée sur les résultats qu'ils ont obtenu de leurs propres expériences réalisées (Massabuau et al., 2007), les experts ont préconisé, par mesure de précaution, que les eaux réceptrices du Canal ne contiennent pas plus de 10 µg/L en Mn ; ce seuil garantissant une protection à 99 % des espèces vivant dans un écosystème non perturbé tel que celui du lagon Sud de la Nouvelle-Calédonie.

Dans notre démarche, dans l'attente d'une validation possible par l'ANZG du nouveau seuil (190 µg/L ; *Golding et al., 2023*), les évaluations seront conduites avec le seuil de 10 µg/L, au lieu de 20 µg/L (Tableau 16).

Note : Les concentrations mesurées semestriellement depuis 2007 dans le canal de la Havannah (stations St02, St07, St09, St09 et St21), n'ont jamais dépassé le niveau de 1,0 µg/L pour le Mn (n=439), quelle que soit la profondeur échantillonnée (subsurface, mi-profondeur ou fond) ou bien la saison de prélèvement (chaude ou fraiche). Pour les stations des baies côtières du Canal (St03 et St06), les teneurs en Mn n'ont jamais excédé la barre de 3,0 µg/L (n=180) : les concentrations sont toujours demeurées inférieures au seuil préconisé par la contre-expertise de Massabuau et al (2006) pour les eaux réceptrices à savoir à 10 µg/L.

Note : s'il est adopté par l'ANZG, ce nouveau seuil de 190 µg/L (Golding et al., 2023) sera 19 fois plus haut que celui actuellement utilisé.

[10] Golding L.A., Binet M.T., Adams M.S., Hochen J., Humphrey C.A., Price G.A.V., Reichelt-Brushett A.J., Salmon M., Stauber J.L., 2023. Acute and chronic toxicity of manganese to tropical adult coral (*Acropora millepora*) to support the derivation of marine manganese water quality guideline values. *Marine Pollution Bulletin*, 194, 115242.

[11] Gissi F., Wang Z., Batley G.E., Leung K.M.Y Schlekat C.E., Garman E.R., Stauber J.L., 2020. Deriving a chronic guideline value for nickel in tropical and temperature marine waters. *Environmental Toxicology and Chemistry,* 39 (12), 2540-2551.

B.IV.3. Discussion autour du cas spécifique du Cr :

Le chrome dissous peut exister sous deux états d'oxydation, le Cr-III et le Cr-VI. En milieu naturel bien qu'en proportion prépondérante, l'ion Cr-III est considéré comme peu toxique du fait de sa très faible solubilité dans l'eau et son degré d'oxydation moindre, contrairement à son homologue Cr-VI, comme attestent les valeurs de références établies par l'ANZERCC/ARMCANZ 2000 : 7,7 µg/L versus 0,140 µg/L, respectivement (Tableau 15). En 2006, le devenir réel du chrome une fois rejeté dans le Canal de la Havannah était considéré comme méconnu, les experts avaient préféré supposer que tout le Cr dans l'effluent devait être pris en compte comme Cr-VI.

Dans cette étude, cette hypothèse conservatrice peut aussi être adoptée car les mesures en Cr-VI et Cr-total réalisées depuis 2008 dans le Canal de la Havannah, ont montré que la proportion de Cr-VI, toutes stations confondues, a oscillé entre 66 % et 72 % du chrome total (n=175). Toutefois, pour l'évaluation des indices de risque, la différence entre ces deux formes du chrome sera faite (Tableau 16).

B.IV.4. Résultats

Les **indices de risque** relatifs aux différents éléments présents dans les effluents émis sont compilés dans le Tableau 16.

L'examen préliminaire de ces ratios[12] montre que cet indice est sensiblement inférieur à l'unité pour deux éléments (Cr-VI (<0,2) et Mn (0,2)) et supérieur à l'unité pour Co (3,4). Sur ces trois mêmes métaux, Massabuau et al (2006) avaient calculés des indices de risque notables. Cependant, dans notre étude, les indices calculés pour les effluents actuels sont largement inférieurs aux ratios théoriques de l'effluent modélisé 2006 (Tableau 15 et Tableau 16) ; les écarts entre ces deux séries d'indices s'élevant à 3x (Cr-VI), 5x (Co) et 13x (Mn), respectivement.

Pour calculer les concentrations moyennes des 13 éléments présents dans les effluents actuels, la base de données montre que la plupart des résultats d'analyses sont en dessous de la limite de quantification (LQ) des méthodes analytiques déployées ; les LQ étant malheureusement plus élevés que les valeurs de référence, il n'est pas possible de calculer avec précision les indices de risque pour le cas de Co et de Cr-VI. En effet, sur les 221 mesures quotidiennes effectuées, aucune n'est supérieure à la LQ pour le Co tandis que pour le Cr-VI, seulement 31 % de la base de données est exploitable (Tableau 16). Toutefois, pour rester dans la démarche conservatrice de Massabuau et al (2006), nous avons donc choisi de majorer les valeurs au seuil des LQ ce qui, a pour conséquence de hausser, arithmétiquement, les teneurs moyennes et donc les indices de risque. Pour les éléments Co et Cr-VI les ratios sont donc assez fortement surestimés, avec respectivement des valeurs inférieures à 3,4 et 0,2.

La seule exception reste le Mn dont 100 % des teneurs ont été quantifiées dans l'effluent à des niveaux supérieure à la LQ (10 µg/L), l'indice de risque est évalué à 0,2.

[12] Si dans Massabuau et al (2006) aucune échelle de dangerosité liée à l'indice de risque n'est clairement présentée, il parait pertinent que les valeurs supérieures à 1 constituent un seuil d'alerte. Toutefois, dans notre étude, et pour être conservatif et cohérent avec leur étude, nous prendrons en compte le cas du Chrome considéré comme non préoccupant s'il est inférieur ou égal à 0,6, environ.

Tableau 15 : Calcul d'indice de risque tel qu'il a été réalisé en 2006 par les experts (Massabuau et al., 2006) avec les concentrations anticipées d'effluent (A) selon les critères de qualité pour le taux de dilution (B) et les seuils à ne pas dépasser dans les eaux réceptrice (C).

Métal	Source : Massabuau et al., 2006 (Tableau 3-2)			
	A- Concentration anticipée (2006) sans dilution de l'effluent (µg/L)	B- Concentration anticipée de l'effluent (2006) après dilution à 20 m du diffuseur (« A » / 575x) (µg/L)	C- Valeur de référence de l'ANZECC/AMRCANZ 2000 pour une protection maximale à 99 % d'espèces (µg/L)	Indice de risque « B » / « C »
Métaux provenant principalement du minerais (µg/L)				
Co	50,0	0,090	0,005	18,0
Cr-total = Cr-VI	50,0	0,090	0,140 (Cr-VI)(a)	0,6
Fe	600	1,00	-	-
Mn	30 000	52,0	20,0 (Stauber, CSIRO) (b)	2,6
Ni	100	0,170	7,00	<0,1
Autres éléments métallique (µg/L)				
Al	200	0,350	-	-
As	1,00	0,002	-	-
Cd	0,300	0,001	0,700	<0,1
Cu	1,00	0,002	0,300	<0,1
Hg	<0,100	<0,0002	0,100	<0,1
Pb	<1,00	<0,002	2,20	<0,1
Sn	<1,00	<0,002	-	-
Zn	50,0	0,090	7,00	<0,1

- : aucune valeur référence donnée dans la compilation ANZECC/ARMCANZ 2000 ; [(a)] : voir note d'explication sur le cas spécifique au chrome ; [(b)] : voir note d'explication sur le cas spécifique au manganèse

Tableau 16 : Le calcul d'indice de risque réalisé en 2023 avec les concentrations moyennes des effluents émis (D) selon les critères de qualité pour le taux de dilution (E) et les seuils à ne pas dépasser dans les eaux réceptrice (F).

Métal (LQ en µg/L ; Nombre de données >LQ)	D- Concentrations moyennes sans dilution des effluents réellement produit (01/11/2022 au 30/06/2023 ; source : PRNC) (a) (µg/L)	E- Concentration de l'effluent réel après dilution à 20 m du diffuseur (« D » / 575x) (µg/L)	F- Valeur référence de l'ANZECC/AMRCANZ 2000 et ANZG 2018 pour une protection maximale à 99 % d'espèces (fiabilité des seuils selon ANZG) (µg/L)	Indice de risque « E » / « F »
Métaux provenant principalement du minerais (µg/L)				
Co (10 ; n=0/211)	<10,0	<0,017	0,005 (?)	<3,4
Cr-III(b)	<1,13 ±4,38	<0,002	7,70 (basse)	<0,1
Cr-VI (10 ; n=68/221)	<13,5 ±9,3	<0,023	0,140 (très haute)	<0,2
Fe (100 ; n=0/221)	<100	<0,174	-	-
Mn (10 ; n=221/221)	891 ±772	1,55	10,0 (seuil préconisé par Massabuau et al., 2006) (c)	0,2
Ni (10 ; n=158/221)	<12,9 ±8,5	<0,022	7,00 (très haute)	<0,1
Autres éléments métallique (µg/L)				
Al (100 ; n=0/221)	<100	<0,174	-	-
As (20 ; n=0/221)	<20,0	<0,035	-	-
Cd (10 ; n=0/221)	<10,0	<0,17	0,700 (très haute)	<0,1
Cu (10 ; n=1/221)	<10,4 ±5,4	<0,018	0,300 (très haute)	<0,1
Hg (1 : n=0/19)	<1,00	<0,002	0,100 (très haute)	<0,1
Pb (10 ; n=6/221)	<10,0 ±0,0	<0,017	2,20 (basse)	<0,1
Sn (10 ; n=0/221)	<10,0	<0,017	-	-
Zn (100 ; n=0/221)	<100	<0,174	3,30 (très haute)	<0,1

LQ : limite de quantification de la méthode analytique ; - : aucune valeur référence donnée ni dans la compilation ANZECC/ARMCANZ 2000 ni dans la compilation ANZG ; [(a)] pour les concentrations mesurées en dessous de la limite de quantification (LQ), les valeurs sont majorées à l'unité afin calculer la moyenne ; [(b)] : teneurs calculées (CrIII = Crtotal – CrVI) ; [(c)] : voir note d'explication sur le cas spécifique au manganèse.

Le cas du Co : le plus fort indice est calculé pour cet élément (3,4), comme en 2006 (18,0). Ainsi, les teneurs réelles en Co émises (<10,0 µg/L) sont beaucoup plus basses que celles utilisée dans les études précédents (composition synthétique : 50 µg/L). Toutefois, les interprétations demeurent les mêmes que celles émises par les experts en 2006, à savoir :

« … Dans la compilation ANZECC/ARMCANZ, la valeur « seuil » pour le cobalt est extrêmement faible (0,005 µg/L, soit 5 ng/L) … ».

*E*n effet, selon le document provisoire émis par ATSDR[13] (2023) relatif au profil toxicologique du Co, la limite la plus basse de quantification du Co dans les eaux douces, comme en eau de mer, est de 0,020 µg/L, soit 4x supérieure à la valeur de référence émise par ANZECC/ARMCANZ-2000. De surcroit, la limite de quantification (LQ) de la méthode analytique déployée pour mesurer le Co dans les effluents se situant à 10,0 µg/L, soit 2.000x plus élevée que la valeur seuil, pas une seule concentration n'a pu être de quantifiée. D'autre part, les suivis semestriels de la colonne d'eau conduits depuis 2007 ont montré que la concentration la plus basse quantifiée a été de 0,028 µg/L (LQ=0,027) ; la valeur référence de 0,005 µg/L apparait comme démesurément faible.

[13] ASTSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry (USA)

« … En conclusion, la valeur-seuil citée dans la compilation ANZECC/ARMCANZ pour le cobalt nous semble douteuses, non pas à cause de la méthodologie employée mais plutôt comme conséquence de la base de données inadéquate… ».

Depuis ces travaux, la banque de donnée ayant servi au calcul de la valeur référence pour le milieu marin (jugée « *plutôt limitée* » par les experts en 2006) n'a pas évolué. En effet, à ce jour la valeur référence est encore basée sur les mêmes tests toxicologiques réalisés sur 8 espèces (2 poissons, 3 crustacés, 1 nématode et 2 algues).

Compte tenu du peu de données toxicologiques disponibles, les experts avaient conclu en recommandant de réaliser « d'autres tests de toxicité avec le cobalt et avec des organismes marine représentatifs, afin de mieux cerner la concentration sans effets observables (NOEC) ». A cette fin, une comparaison des concentrations moyennes dans les effluents avec les valeurs seuils CE10 (concentrations sans effets avérées) obtenues par Senia et Galgani (2013) sur 6 espèces locales, a été conduite. Il en ressorte que la concentration en Co dans les effluents, sans dilution, est largement inférieures aux valeurs CE10, quelle que soit l'espèce considérée (Tableau 17).

Le cas du Cr-VI : parmi les trois éléments identifiés comme potentiellement impactant, le Cr-VI présente l'indice de risque le plus faible (0,2). Pour rappel, en appliquant un facteur correctif de 60 % (ratio Cr-VI / Cr-total dans l'effluent), les experts avez réévalué l'indice à 0,36 en 2006 ; les deux concentrations, anticipée et réelle, de Cr-VI sont donc, *à priori*, très proches (20,0 versus 13,5 ±9,3 µg/L, respectivement).

Toutefois, la méthode analytique déployée pour mesurer le Cr-VI dans les effluents (10,0 µg/L) n'a permis de quantifier que 68 mesures sur 221 échantillons collectés ; bien que faible, l'indice de 0,2 peut être considéré comme amplement majoré pour cet élément.

Par rapport aux 6 espèces locales, dans les effluents émis durant les derniers 8 mois la concentration moyenne en Cr-VI est 43 à 176x inférieures aux concentrations sans effet (CE10) établies (Tableau 17). Il est également à noter que les mesures relevées dans les eaux des stations situées dans le Canal de la Havannah en 2008 et 2009, c'est-à-dire, avant le démarrage des rejets, montrent déjà la présence de cet élément en concentrations équivalentes à la valeur référencé d'ANZECC/ARMCANZ -2000 ; les teneurs oscillent, sans l'apport des effluents, de 0,073 à 0,147 µg/L pour les stations St02, St05, St07 et St09 et, de 0,092 à 0,277 µg/L pour les stations St03 et St06.

Bien que considéré comme un composé fortement toxique, dans les tests de toxicité avec les organismes locaux, le Cr-VI présente en moyenne, une dangerosité 2x et 22x plus faible que celle induite par Co et Ni, respectivement. Ainsi, dans le contexte néo-calédonien, parmi les 6 éléments testés, le Cr-VI se trouve au sixième rang en termes de nocivité, bien derrière le Hg (148x), Cu (124x), et Zn (29x) et juste avant le Mn (6 fois moins forte) : **Cu > Ni > Zn > Co >> Cr-VI ≥ Mn**.

La recommandation de Massabuau et al (2006) de « … *surveiller de très près le contenu de l'effluent final en Cr …* » est donc toujours d'actualité. Il serait toutefois souhaitable de recourir à des méthodes d'analyses plus précises sur l'effluent, même de manière ponctuelle, permettant de quantifier les concentrations (suggestion également valide pour le cas du Co).

Note : en ce qui concerne des travaux postérieurs à 2018, la recherche bibliographique a été infructueuses ; le Cr-VI étant classé cancérogène avéré pour l'Homme, les travaux sur les valeurs seuils émises ces dernières années concernent davantage les évaluations des risques sanitaires (INERIS 2020[14]) que l'aspect éco-toxicologique.

Le cas du Mn : cet élément présente aujourd'hui également un indice de risque faible (0,2) et son évaluation est fiable en raison de la qualité de la base de données de PR-NC entièrement exploitable pour déterminer la concentration moyenne. Pour rappel, les experts avaient évalué l'indice de risque à 2,6 en 2006, soit un écart de 13x avec le ratio calculé aujourd'hui ; l'explication tient, notamment, à la concentration en Mn considérée en 2006, 33x plus élevée que celle présentement utilisée (30.000 µg/L versus 891 ±772 µg/L). Il est également à noter que la valeur de référence prise en compte dans la présente étude est 2x plus basse (20 µg/L versus 10 µg/L) que celle qu'avait initialement envisagé Massabuau et al (2006).

Comme évoqué plus haut, la valeur seuil de 10 µg/L proposée finalement par les experts en 2006[1], en absence d'un seuil officiel de ANZECC/ARMCANZ, est relativement bas. Les indices proposés (190 µg/L) basés sur l'article publié par une équipe des chercheurs australiens (Golding et al., 2023), tendent à supposer que la valeur de référence à venir du Mn serait, à priori, au minimum, 10x plus élevée, voire plus, soit supérieur à 100 µg/L pour un niveau de protection de 99 % des espèces évoluant dans un milieu marin non-perturbé.

Cette hypothèse conforte les valeurs CE10 obtenues sur les espèces néo-calédoniennes. En effet, parmi les 6 espèces testées, les embryo-larves de pétoncle *B. vexillum*, l'organisme le plus sensible au Mn, ne montre pas d'effet avéré à cet élément pour des teneurs inférieures à 812 µg/L (CE10), soit une concentration 81x supérieure au seuil donné par les experts (Massabuau et al., 2006 ; Tableau 17).

Note : Le portail INERIS consulté, ne propose pas de données-seuils adaptées à notre questionnement en milieu tropical.

[14] Institut national de l'environnement industriel et des risques, Expositions au Chrome hexavalent : synthèse des données disponibles, Verneuil-en-Halatte : Ineris-18-173822-0468B-v1.0 10/01/2020.

Tableau 17 : Comparaison des concentrations moyennes des effluents émis par l'exploitant enter 01/11/2022 et 30/06/2023 et les valeurs seuils (CE10 ; sans effets avérés) obtenues avec 6 espèces néo-calédoniennes selon les travaux de Senia et Galgani (2013).

Métal	D- Concentrations moyennes, sans dilution, des effluents réellement produit (01/11/2022 au 30/06/2023 ; source : PRNC) (a)	E- Concentration de l'effluent réel après dilution à 20 m du diffuseur (« D » / 575x)	Senia et Galgani, 2013 CE10 moyenne						
			Bénitier Tridacna maxima (n=3)	Pétoncle Mimachlamys gloriosa (n=2)	Pétoncle Bractechlamys vexillum (n=1)	Oursin Diadema setosum (n=2)	Oursin Echniometra mathaei (n=2)	Huitre de palétuvier Saccostrea cucullata rhizophora (=2)	Moyenne de 6 espèces
Métaux provenant principalement du minerais (µg/L)									
Co	<10,0	<0,017	170	677	86,0	232	723	1 190	513
CrVI	13,5 ±9,3	0,023	1360	2376	1015	398	583	1 800	1255
Fe	<100	<0,174	-	-	-	-	-	-	-
Mn	891 ±772	1,55	3 600	7 749	812	10 700	8 600	10 700	7027
Ni	12,9 ±8,5	0,022	99,5	11,8	11,8	49,9	39,5	123	55,9
Autres éléments métallique (µg/L)									
Cu	10,4 ±5,4	0,018	16,0	12,1	4,30	3,10	13,2	11,6	10,1
Hg	<1,0	<0,002	5,1	1,6	-	14,0	10,0	12,0	8,5
Zn	<100	<0,174	154	33,6	24,2	17,6	21,3	10,6	43,6

CE10 : Concentration effective à 10 % soit la concentration en ion métallique nécessaire pour obtenir 10 % d'anomalies de développement embryo-larvaire par rapport à l'effet observé dans les témoins.

CHAPITRE B.V. PRESENTATION DES RESULTATS DE LA MODELISATION

L'intégralité de l'étude de modélisation hydrodynamique est consultable en ANNEXE 8 : Modélisation de la dispersion des effluents dans le canal de la Havannah ; perçage de 10 trous supplémentaires entre C12 et C21 (scénario-4) : Simulations longue durée (1 mois) à un débit total de 1.167 m3/h.

B.V.1. Contexte et méthode

Le projet d'optimisation des débits de rejets dans le canal de la Havannah a conduit PRNC à devoir lancer une étude préalable de modélisation de la dispersion des panaches sortant par chacun des 10 nouveaux trous envisagés le long du pipe-line. Le débit supplémentaire rejeté serait de 1.167m^3/h d'effluent (T=40°C), ce qui conduirait à rejeter au total les 3050 m^3/h autorisés.

Les simulations ont été conduites avec le code de calcul MARS-3D de l'IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER) développé depuis plus de 30 ans, dans sa dernière version v11.0. Les calculs ont permis de visualiser le comportement physique des panaches d'effluents en fonctions des conditions hydro-climatiques et marégraphiques, en fournissant :

- Un suivi spatio-temporel des concentrations, traduites en facteurs de dilution ;
- Une représentation de l'évolution des facteurs de dilution moyens ;
- Des calculs de pourcentages d'occurrence de concentrations dans l'aire d'études par rapport à des limites de dilution fixées.

Pour parvenir à ces objectifs, la modélisation a été conduite pour des conditions réelles de marées et de météorologie caractéristiques de la Nouvelle-Calédonie : d'une part, avec des régimes de vents variables faibles à moyens, voire instables ; d'autre part, avec un régime habituel d'Alizés de SE.

B.V.2. Courantologie

Tant à marée montante que descendante, le modèle montre que dans la partie Est (Cap Ndoua), les courants moyens sont constants, d'intensité moyenne (0,25 m/s) et toujours orientés selon un axe SW-NE parallèle à la ligne de côte (Figure 40).

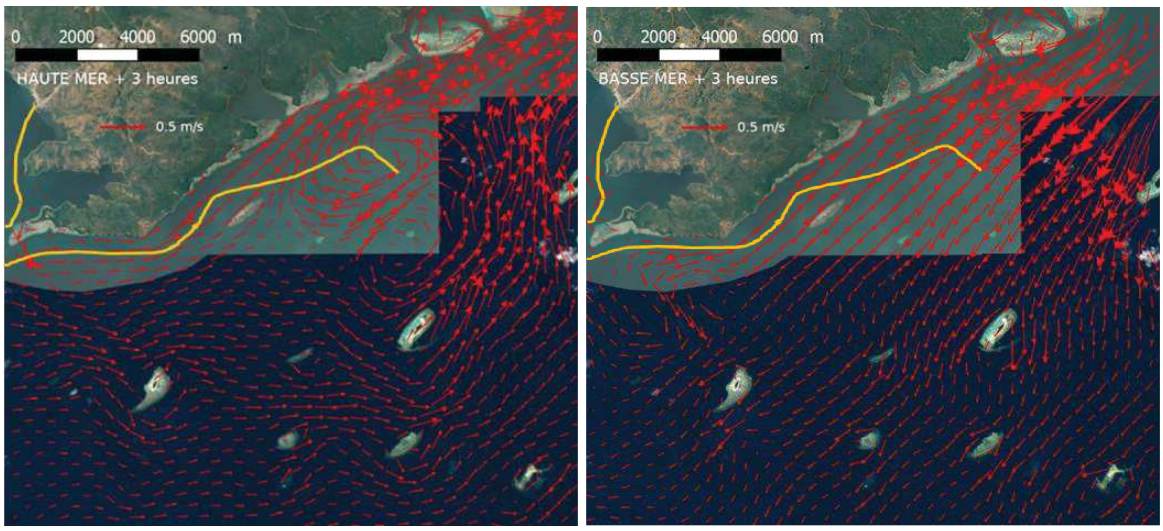


Figure 40 : Cartes des courants moyens de flot (droite) et de jusant (gauche) dans le Canal de la Havannah. Tracé du pipe-line schématisé par la ligne jaune

Entre la Pointe Méhoué et le Cap Ndoua, les courants longent le platier : à l'extrémité Ouest de celui-ci, des veines d'eau orientées selon un axe N-S contournent la pointe au gré des marées. Dans leur ensemble, ces courants prennent une direction S-E, au-dessus du pipe-line, pouvant ainsi éloigner vers le large les effluents sortant par les premiers trous, notamment à mi-marée descendante (Figure 40).

A marée montante, sont mises en évidence des veines d'eau, occasionnellement entrantes dans la baie du Prony, ainsi que la naissance de tourbillons anticycloniques pouvant favoriser le brassage des masses d'eau.

B.V.3. Evolution de la température de l'effluent avec la distance à l'exhaure

Une modélisation pour appréhender au mieux le comportement des panaches de dilution en lien avec la température de rejet a été réalisée pour le champ proche (Drouzy et Fernandez, 2018). Cette modélisation a reproduit les phénomènes de dispersion du panache rejeté par les 200 orifices du diffuseur avec plusieurs scénarios de vitesses de courant d'entraînement, de débits totaux et de températures d'effluents.

Pour les scénarios considérés, les calculs ont permis de déterminer les distances horizontales et verticales de dilution totale du panache dans le milieu récepteur pour obtenir l'homogénéisation de la température et de la salinité des deux fluides (effluent et eau de mer). L'étude était centrée sur l'évolution des variables thermo-physiques (salinité et température, densité) de l'effluent dans l'eau de mer, entre 0 et 50 m de profondeur en fonction du débit de l'effluent industriel traité émis par les 200 évents du diffuseur dans le Canal de la Havannah.

Le modèle utilisé pour les calculs a été la nouvelle version de VISJET software - VISJET2017 – beta. VISJET est un système de modélisation qui prédit l'impact d'un rejet d'effluent dans l'environnement aquatique. Avec une grille de calcul de haute précision (décimétrique), le code de calcul est en mesure de fournir des résultats en 3D pour le trajet et les valeurs de la dispersion d'un panache emporté dans une eau réceptrice en mouvement unidirectionnel et stratifiée en densité.

Les calculs ont été conduits pour des vitesses d'entrainement du panache représentatives :

- Des courants très faibles 0.01 m/s, correspondant à l'étale de marée ;
- Des courants moyens 0.3 m/s ;
- Des courants forts 0.8 m/s ;
- De débits de 1800 à 3050 m^3/h ;
- Et différentes températures de l'effluent.

Dans le cas d'un effluent à 40°C entrant dans une masse d'eau à 24,5°C ±2,8°C (n=480, Figure 41), les résultats de décroissance de la température sont illustrés par les courbes de la Figure 42.

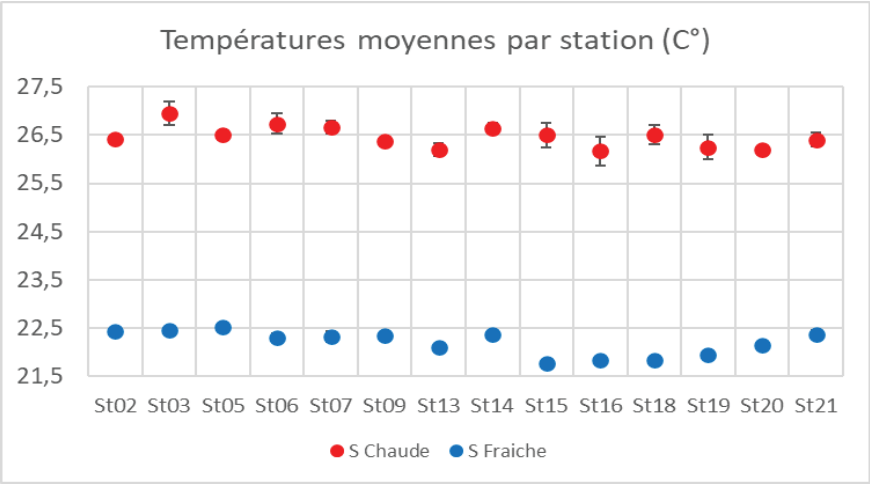


Figure 41 : Moyennes des températures (°C) enregistrées par stations. Calculs intégrés sur les 10 années de suivi et sur la verticale, en saison fraiche (en bleu) et en saison chaude (en rouge) ; n=20/station.

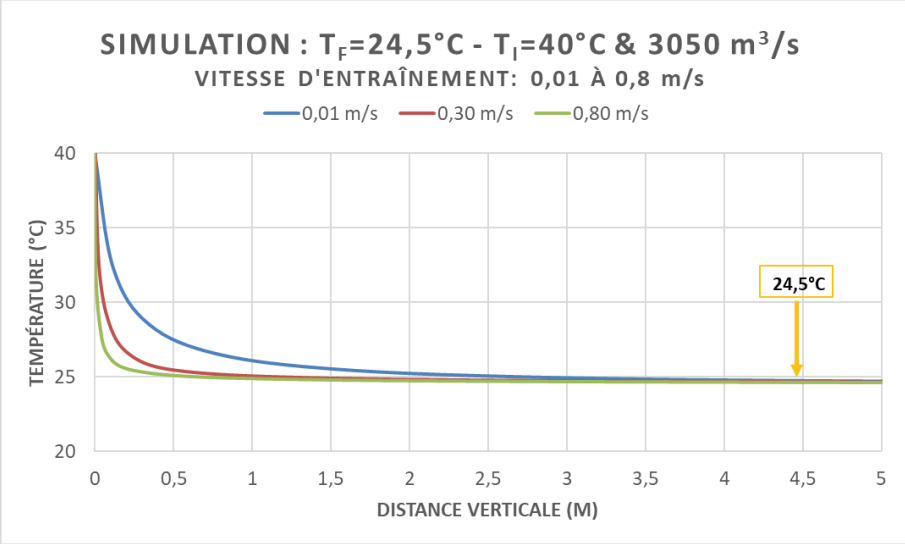


Figure 42 : Diminution de la température de l'effluent avec la distance verticale du panache de dilution. Calculs pour des courants de 0,02 nts, 0,6 nts et 0,1,6 nts correspondant à des conditions d'étals de marée, de courants moyens et de courant fort de mi-marée.

Lors de l'éjection de l'effluent, la décroissance de la température avec la distance verticale est une conséquence de la dilution quasi immédiate des rejets, ceux-ci représentant un volume infinitésimal comparativement au volume occupé par le milieu récepteur (conditions aux limites du modèle). Ainsi, les calculs montrent que dès les tous premiers mètres à l'aplomb de chaque orifice, la température diminue drastiquement, selon une équation de type « exponentielle négative ». La température du rejet atteint celle du milieu naturel (24,6°C) à environ 4,40 m de distance verticale de l'exhaure, quelle que soit la « vitesse d'entrainement ». Toutefois dans ce contexte, les différences de températures de l'effluent et de l'eau de mer ne sont déjà plus significatives à 3 m de distance de l'orifice (moins de 0,5 °C de ΔT°C).

Enfin, ce gradient de température doit être considéré constant dans le temps et l'espace en raison :

- D'une part, de la dimension infinie du système modélisé et ;
- D'autre part, du renouvellement quotidien des masses d'eau dans le canal de la Havannah lié aux courants de marées qui génèrent des flux océaniques conséquents deux fois par jour.

B.V.4. Dispersion des effluents

Concernant la dispersion des effluents sortant des 10 trous, les profils verticaux temporels de dilution et les cartes de dispersion spatiales montrent que lorsque les conditions hydro-climatiques sont :

- Variables, les panaches restent bien individualisés et localisés à la verticale des orifices. En effet, ils ne se superposent pas et sont pratiquement confinés dans les eaux profondes, quelle que soit la force de la marée (Figure 43) ;
- Constantes en régime d'Alizé et, en particulier, combinées avec des marées de mortes-eaux, les panaches se superposent et s'étalent du Cap Ndoua jusqu'à la Pointe Méhoué (Figure 43) ; leur extension y est alors maximale tant en surface qu'en profondeur.

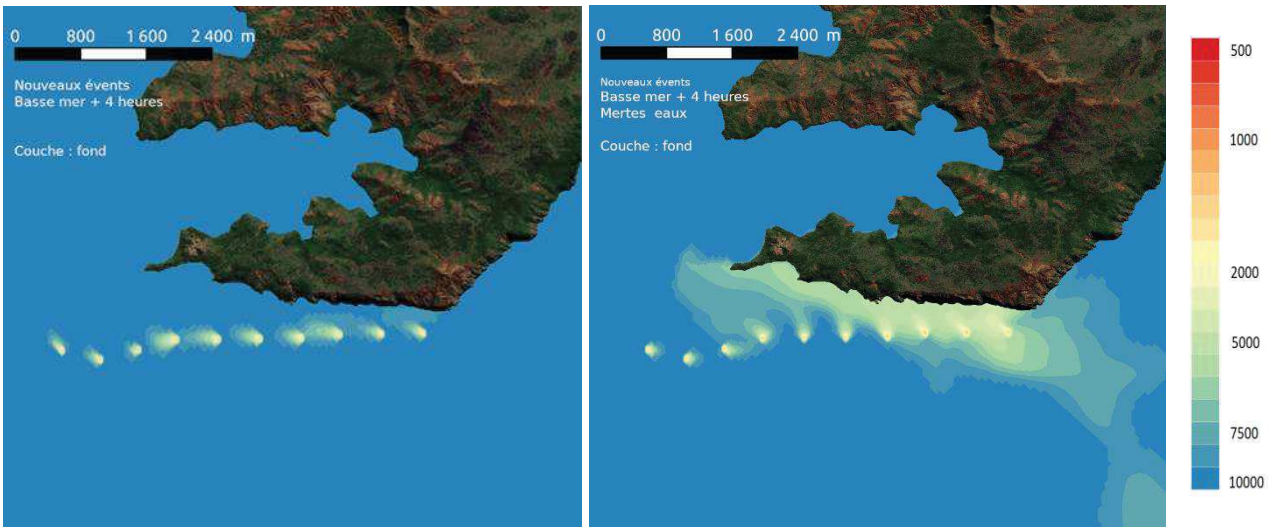


Figure 43 : Taux de dilution moyen type dans la couche de fond à marée montante, hors régime d'Alizés (gauche) et par Alizés établis (droite).

B.V.5. Taux de dilution

En termes de taux de dilution, les valeurs les plus faibles (1000≤Tx≤2000), donc potentiellement les plus pénalisantes, sont calculées dans les eaux profondes et pour les périodes combinant les marées de mortes-eaux et le régime d'Alizé. En effet, ces conditions réduisent la dispersion turbulente entrainant une diminution conséquente des taux de dilution qui occupe alors toute la colonne d'eau ; une remontée en surface des effluents est donc constatée. Toutefois, celles-ci ne se produisent qu'épisodiquement et ne coïncident qu'avec les renverses de courant d'étales de marées basses et hautes de mortes-eaux. Par ailleurs, ces mécanismes se mettent en place, en particulier, dans le secteur Est de la zone d'études lorsque les Alizés sont établis (Figure 44).

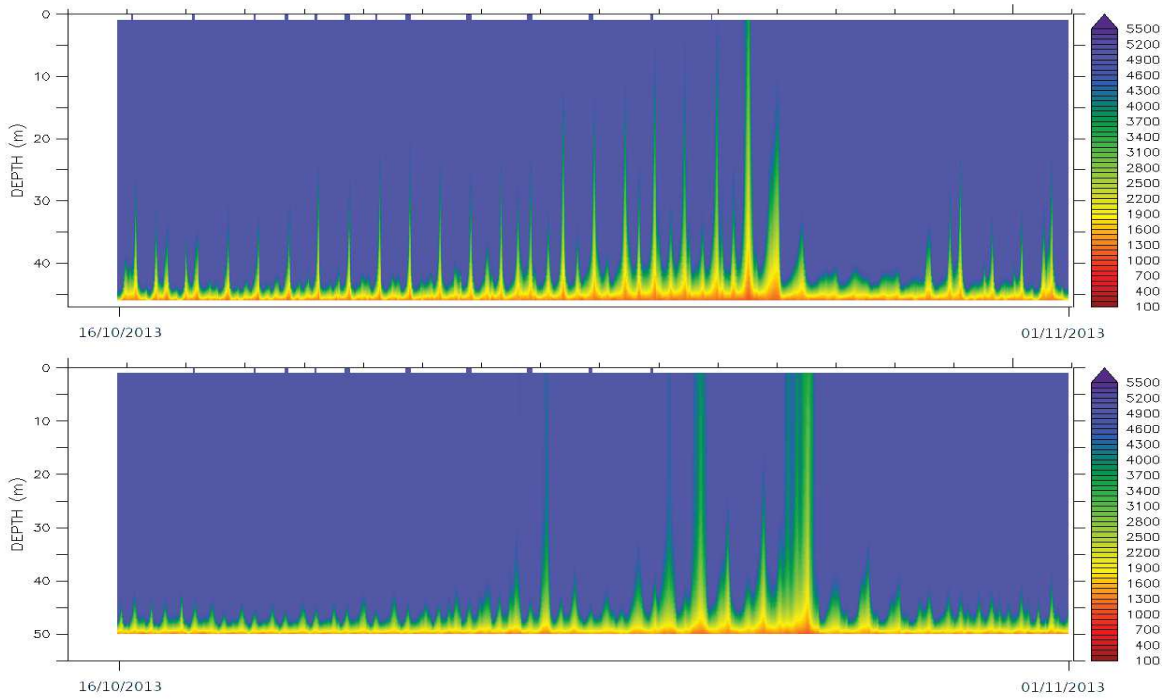


Figure 44 : Profils de dilution temporelle type des secteurs Ouest (trous 1, 2, 3, 4, 5 et 6 – haut-) et Est (trous 7, 8, 9 et 10 – bas) du pipe-line par régime d'Alizés établi combiné à des marées de morte eau.

B.V.6. Pourcentage d'occurrence des taux de dilution (1000, 2000, 5000 et 10000)

Le calcul des « *pourcentages d'occurrence* » pour un taux de dilution de l'effluent permet de rendre compte du temps d'exposition du milieu à un taux de dilution donné. En effet, cette valeur étant variable significativement en raison de l'hydrodynamique locale, le milieu n'est pas en permanence soumis à des effluents dont le degré de dilution est constant.

La situation la plus sensible combine « régime d'Alizés et marée de morte-eau ». Toutefois, les moments les plus critiques de cette configuration ne se présentent que pendant 1 à 2 heures à mi-marées descendante ou montante et dépendent aussi de l'intensité du phénomène ; ils sont inversement liés à l'amplitude de la marée (Figure 45).

=

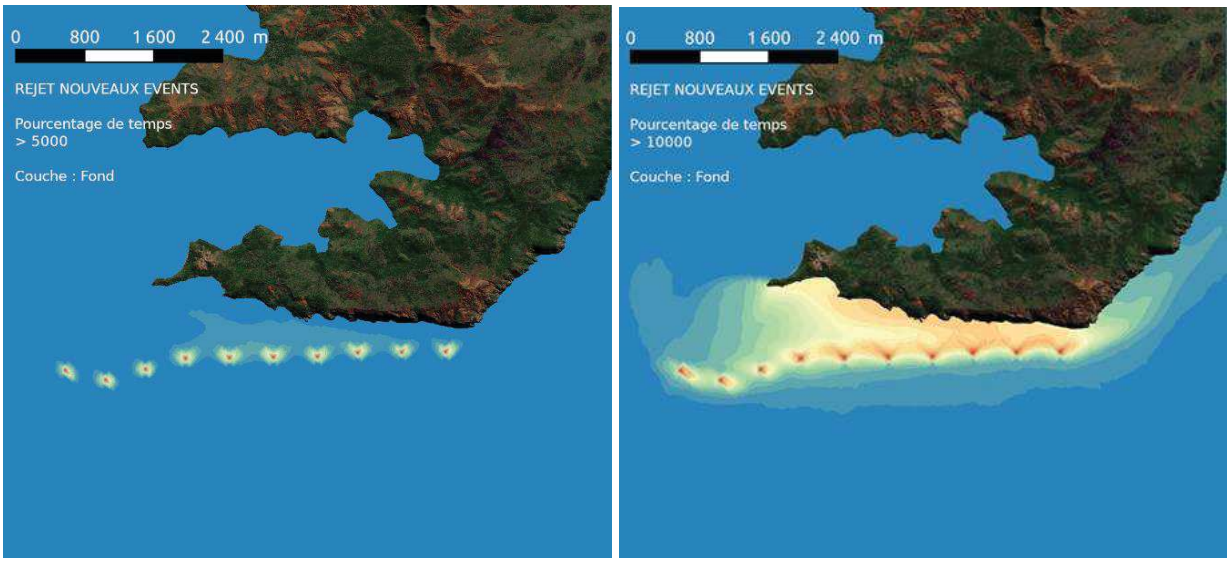


Figure 45 : Pourcentage d'occurrence du taux de dilution >5000 (gauche) et >10000 (droite) des effluents pour un débit total de 1.167 m^3/h. Valeurs moyennes pour toute la période modélisée (1 mois). Calcul réalisé pour les eaux de fond en contact direct avec l'effluent.

La simulation de la dispersion pour un mois complet montre que la fréquence d'exposition moyenne du milieu à des concentrations minimales de 0,2 µg/L (dilution 5000) occupe quasiment 100% du temps, la ligne de côte n'étant pas exposée à des concentrations supérieures à 0,2 µg/L ; elle est exposée à des concentrations d'environ 0,1 µg/L, à raison de 25% du temps (Figure 45).

B.V.7. Conclusion

En conclusion, l'optimisation du débit d'effluent semble bien absorbée par les masses d'eau océaniques qui circulent dans le Canal de la Havannah, quelles que soient la force de la marée et la météorologie car seule la couche de fond est influencée sensiblement par les rejets ; les seuls spots possédant des taux de dilution minimale de 1000 (surconcentration de 1µg/L) sont circonscrits à une aire restreinte autour de chacun des 10 trous (Figure 45). A 60 m des orifices les taux de dilution atteignent déjà un facteur 2000 (surconcentration de 0,5µg/L).

La surconcentration ajoutée dans l'eau de mer, à ce niveau de profondeur seulement, serait donc au maximum de 0,5 µg/L, pour un terme source fixé de 1 mg/L. A titre de comparaison, la concentration naturelle en Mn dans le Canal de la Havannah est d'environ 0,08 ± 0,03 µg/L ; en sortie de la baie de Prony (station St19 du suivi réglementaire), on enregistre des maximas ponctuels compris entre 0,16 et 0,24 µg/L en fonction de la saison.

CHAPITRE B.VI. EVALUATION DES EFFETS SUR LE MILIEU

L'intégralité du rapport est disponible en ANNEXE 9 : Evaluation Environnementale au niveau du récif de Prony et du littoral du Cap N'Dua pour l'optimisation du rejet de l'émissaire.

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact de l'effluent sur le biote dans la nouvelle zone concernée. Cette évaluation repose majoritairement sur les conclusions de deux des chapitres précédents :

- La modélisation de la dispersion des effluents
- L'état initial biologique.

Selon les différentes conclusions de la composition de l'effluent, des masses d'eau sur site et des seuils écotoxicologiques, la valeur de 0,1 à 0,2 µg/l est retenue ici, comme valeur conservatrice, comme fourchette naturelle du milieu (et donc sans risque pour le biote ou la santé humaine) et elle sert de référence de base pour l'analyse des impacts de l'effluent par la suite.

B.VI.1. Simulation du projet en situation

Afin d'évaluer l'impact de cette nouvelle zone de diffusion, les données de modélisation du panache ont été couplées à celles de caractérisation des biocénoses présentes.

La question posée ici est : le panache touchera-t-il les biocénoses, si oui avec quelle concentration en manganèse et à quelle fréquence, pendant combien de temps ?

En cohérence avec les conclusions de l'étude de modélisation, les conditions reprises ici sont celles qui sont les plus pénalisantes :

- pendant le flot (basse mer + 4 heures) : les courants « rentrent » vers le récif
- en période de mortes-eaux : les coefficients sont plus bas, avec des courants plus faibles entraînant une « stagnation » possible plus longue
- en période d'Alizés : les vents confinent les courants à la côte et réduisent ainsi la dispersion
- pour la couche k2, qui est la couche profonde, celle en contact direct avec le « diffuseur », donc où l'effluent est le plus concentré.

B.VI.1.1. Panache et concentration

Selon le cas le plus défavorable (cf. § B.VI.1), la Figure 46 présente les courbes d'iso-concentrations au niveau de la zone d'étude.

S'il apparait que la couche de fond de l'effluent peut atteindre le littoral, les concentrations en manganèse sont faibles :

- pour une majeure partie du récif elles ne seront qu'entre 0,1 et 0,2 µg/l (soit dans la fourchette « naturelle »)
- et seule une petite partie du récif (extrême est et début des falaises) sera exposée à des concentrations supérieures à 0,2 µg/l, mais qui seront inférieures à 0,3 µg/l.

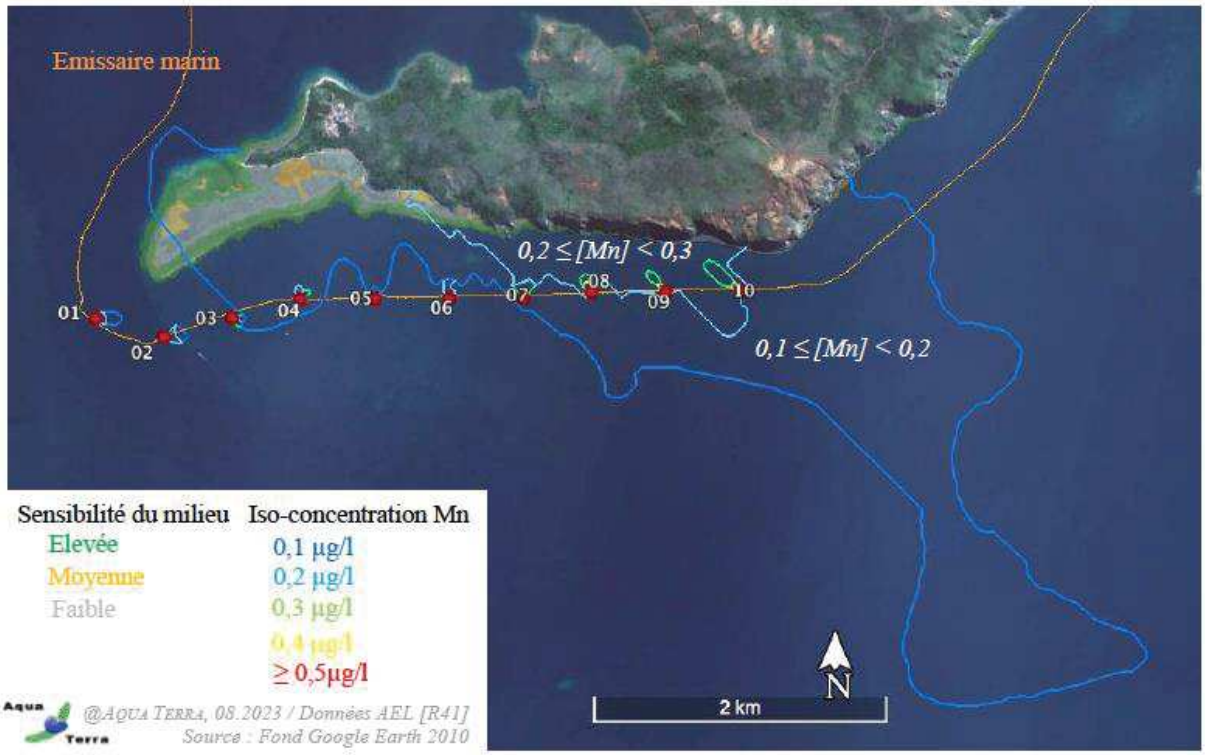


Figure 46 : Iso-concentrations en Mn dissous du panache de l'effluent sur la zone d'étude (cas le plus défavorable)

B.VI.1.2. Occurrence

En termes de taux de concentration, les valeurs les plus élevées sont calculées pour les périodes combinant les marées de mortes-eaux et le régime d'Alizés. En effet, ces conditions réduisent la dispersion et les taux de dilution diminuent fortement dans toute la colonne d'eau, laissant ainsi remonter un panache dont le niveau de concentration est alors de 0,2 µg/l. Toutefois, ces remontées ne se produisent qu'épisodiquement et ne coïncident qu'avec les renverses de courant des étales de marées basses et hautes.

A l'inverse, les courants de vives-eaux, assurent le transport latéralement, limitant ainsi la remontée du panache.

La Figure 47 donne la fréquence d'exposition du milieu à une concentration de 0,2 µg Mn/l.

L'occurrence de 5 à 10% n'atteint pas le littoral et vient légèrement effleurer le récif de Prony, qui ne pourra être exposé à ces concentrations que moins de 5% du temps.

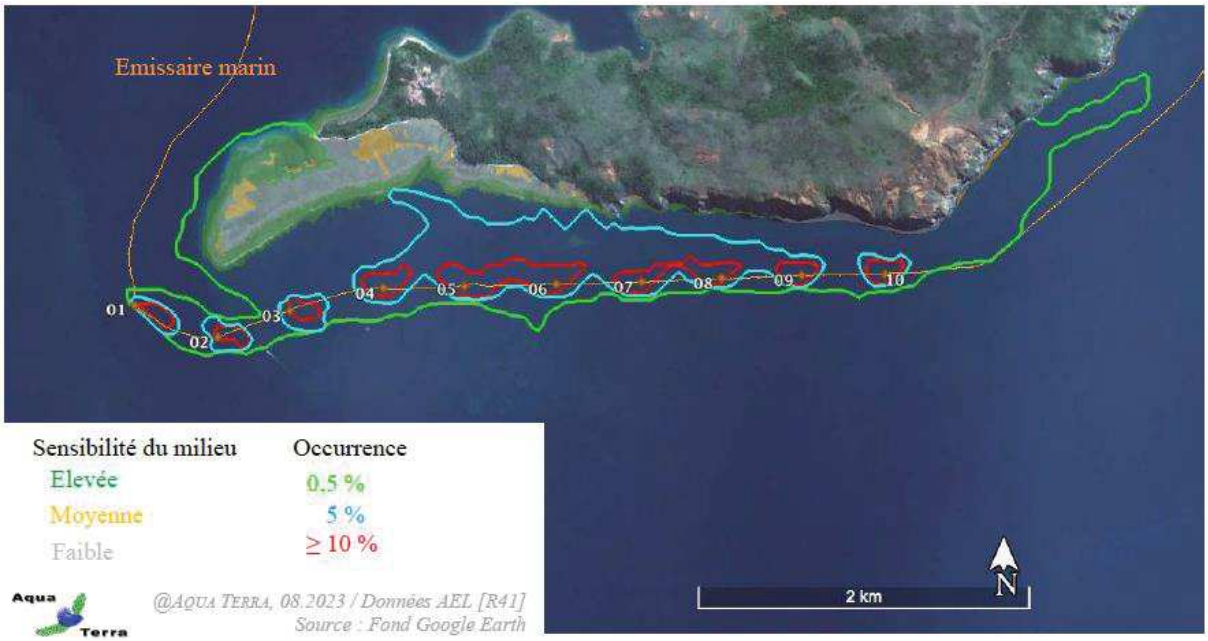


Figure 47 : Fréquence d'exposition du milieu à une concentration de 0,2 µg Mn/l

B.VI.2. Observation d'une situation comparable

Pour rappel, le paragraphe B.III.6 présente la synthèse des données historiques réalisée sur 4 stations qui ont été choisies par la DENV (ex DDDT) lors de l'élaboration du programme de suivi, en 2006, pour justement être marqueurs de l'impact potentiel de l'effluent (ST06, ST07, ST09) et comme station de référence (hors impact potentiel : ST10). Les résultats présentés dans le B.III.6 avec un focus sur la ST06 sont :

- La courbe de tendance linéaire du taux de recouvrement corallien présente un coefficient de 0.85 à la ST06 et il est depuis 2021 supérieur à celui de la ST10 (référence)
- La biodiversité taxonomique moyenne des invertébrés est fluctuante selon les missions mais aussi avec une tendance à la hausse (coefficient de 0.27)
- La biodiversité spécifique ichtyologique est fluctuante selon les missions mais avec aussi une tendance linéaire positive (coefficient de 0.35) et elle est sporadiquement supérieure à celle de la ST10.

D'après ces résultats, aucun impact lié au rejet de l'effluent industriel n'a été mis en évidence.

Pour les évaluations des impacts d'un projet, la zone d'étude doit être définie en prenant en compte les notions de champ proche et de champ éloigné.

La notion de « proche » et « éloigné » n'est pas définie par la simple distance à l'objet source d'impact mais par le fait d'être soumis à un niveau d'impact. Niveau qui peut être localisé dans des superficies et/ou distances différentes selon les conditions du milieu.

Une simulation du panache de l'effluent au diffuseur actuel été réalisée selon le niveau d'impact retenu pour le projet, soit une concentration de 0.2 µg Mn/l. La Figure 48 permet de visualiser que la ST06 (Ionontea) est exposée à ces concentrations entre 0.5% et 5% du temps, comme le récif de Prony (cf. Figure 47).

Comme depuis 2007 il n'a pas été mis en évidence d'impact de l'effluent sur les communautés coralliennes suivies, que la composition de l'effluent projeté dans la zone d'étude est la même et que le milieu naturel peut être considéré comme comparable, il est raisonnable de penser qu'il n'y aura pas d'impact attendu sur cette nouvelle zone de diffusion.

Cela permet de conclure que la station ST06 et le récif de Prony sont dans une situation comparable (même champ).

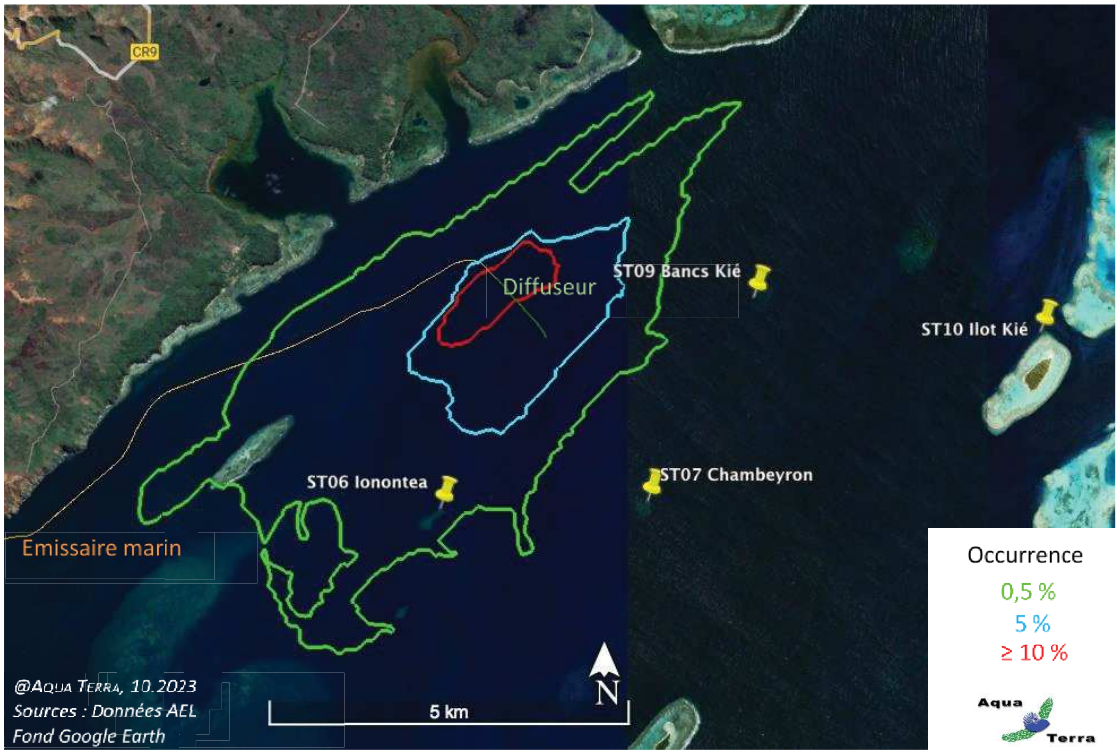


Figure 48 : Fréquence d'exposition du milieu à une concentration de 0,2 µg Mn/l - Diffuseur

B.VI.3. Conclusion

Par rapport aux concentrations apportées au niveau de la zone d'étude, il apparaît que les taux seront inférieurs à 0,3 µg Mn/l sur une zone réduite et inférieurs à 0,2 µg/l pour la majeure partie du récif de Prony, voire inférieurs à 0,1 µg/l ailleurs.

De plus, la fréquence d'exposition du récif à une concentration de 0,2 µg Mn/l est < 5% du temps.

Ces taux se situent dans les normales des conditions naturelles des eaux marines.

Par ailleurs, ils sont largement sous la valeur limite recommandée de 10 µg/l pour la protection du milieu.

Pour comparaison, dans la zone du diffuseur actuel, où la ST06 est dans le champ d'impacts éloigné, depuis 2007 année de démarrage des suivis, il n'a pas été mis en évidence d'impact de l'effluent sur les communautés récifales suivies.

Il est donc raisonnable de conclure que, sous respect des données basées sur les résultats de la modélisation hydrodynamique, l'effluent n'aura pas d'impact sur les communautés récifales de la zone d'étude.

CHAPITRE B.VII. PROPOSITION DE PLAN DE SUIVI

Le plan de suivi proposé fait suite à la réflexion concertée des experts ayant travaillés aux différentes études.

Il prend en compte les zones sous influence de l'effluent (Figure 49) croisées avec la sensibilité du milieu (Carte 2).

Il est aussi réfléchi selon une logique BACI (Underwood 1991): Before-After / Control-Impact.

B.VII.1. Choix des stations

Pour le **suivi biologique**, 4 stations sont proposées comme détaillé dans le Tableau 18. Ces stations sont localisées sur la Figure 49.

Tableau 18 : Localisation des stations biologiques du programme de suivi

Station	Raison
STD	Récif de Prony, côté baie de Prony Sous influence possible de l'effluent, < 0,2 µg Mn/l Station I (BACI)
STA	Récif de Prony, côté canal de la Havannah Sous influence possible de l'effluent, < 0,2 µg Mn/l Station I (BACI)
STB	Récif de Prony, côté canal de la Havannah Sous influence possible de l'effluent, < 0,3 µg Mn/l Station I (BACI)
STE	Littoral Cap N'Dua, côté canal de la Havannah Hors influence possible de l'effluent Station C (BACI)

Note : Pour les stations "biologiques" la localisation est approximative : le positionnement exact sera déterminé *in situ* lors de la 1ère mission.

Pour le **suivi physico-chimique**, les stations sont au nombre de 3, elles sont présentées au Tableau 19. Ces stations sont localisées sur la Figure 49.

Tableau 19 : Localisation des stations de suivi de la colonne d'eau, des sédiments de surface et de la sédimentation dans le cadre de la proposition de suivi

Station	Raison
StA	Proximité du récif de Prony et dans le panache de dispersion modélisé.
StB	Proximité du Cap N'Dua et au plus proche du panache de dispersion modélisé
StE	Station pour le suivi de l'effluent par THOË/DGT située au plus proche du panache de dispersion modélisé
StC	Station en **option** pour le suivi de l'effluent par THOË/DGT ou uniquement suivi de la colonne d'eau en entrée de la Baie de Prony.

Dans la mesure du possible (contraintes d'échantillonnage différentes, telles que profondeurs, nature du substrat, etc.), ces 2 séries ont été rapprochées au maximum afin de pouvoir par la suite analyser de pair résultats physico-chimiques et biologiques.

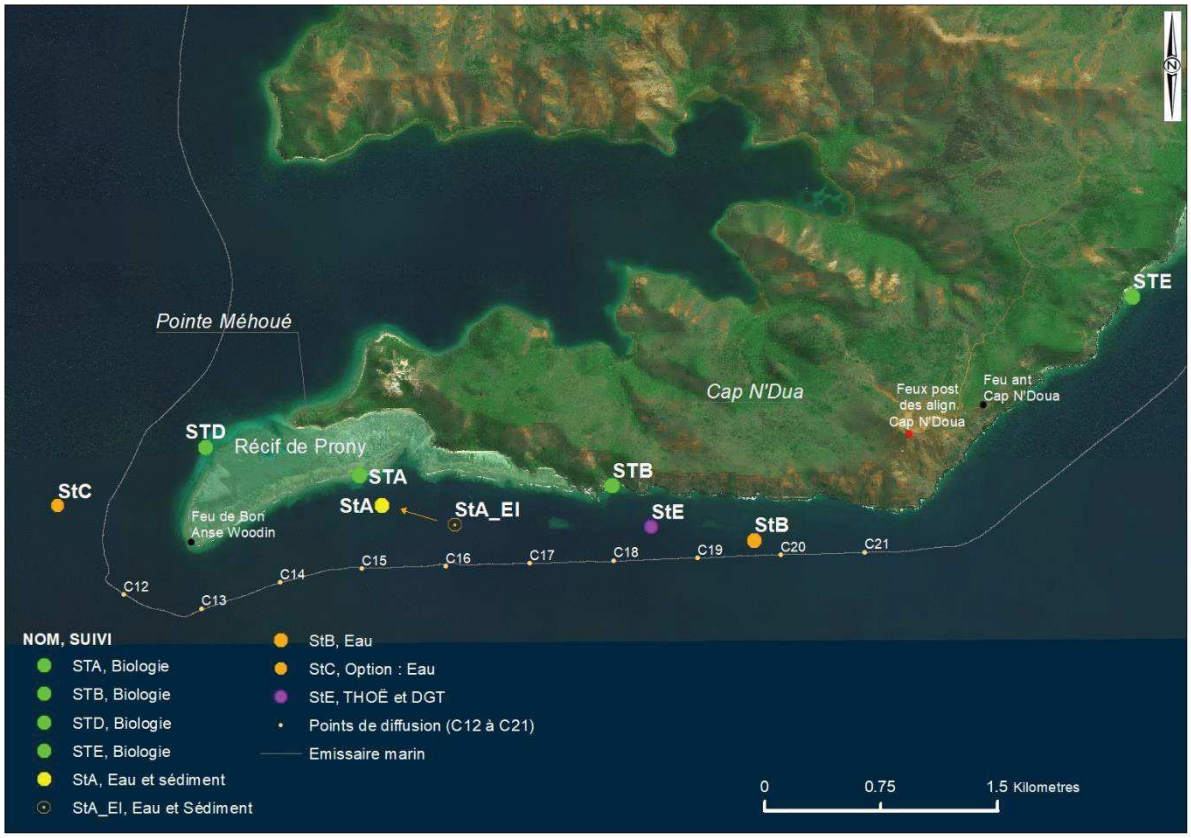


Figure 49 : Localisation des stations de la proposition du programme de suivi

Sur la Figure 49, la StA_EI correspond au positionnement de la station pour l'état initial, EI pour Etat Initial. Pour être au plus proche de la station biologique STA et pour le suivi de l'état du milieu, il a été décidé de localiser la station StA_EI à 500m au Nord Est de sa position initiale, elle est nommée StA. Il est tout à fait envisageable de conserver la station StA_EI pour la suite du suivi, si l'objectif retenu est uniquement le suivi à plus proche de la diffusion. Toutefois, pour tenir compte de l'expertise n°6 de l'INERIS, un rapprochement des stations biologiques et physico-chimiques est recommandé.

La station StC est une station proposée en option, le modèle prévoit un flux dans cette direction sous certaines conditions de vent et de marée. Elle permettrait de vérifier le modèle et la dispersion. Dans un premier temps une installation THOË/DGT peut être réalisée et en fonction des résultats, un suivi de la colonne d'eau pourra être envisagé par la suite.

Concernant le suivi biologique, il n'est pas prévu de suivi le long du littoral à falaises du Cap N'Dua, la zone ne présente pas d'intérêt biologique.

Pour information et avoir une vue globale du déploiement de ce suivi dans le réseau de suivi actuel, la carte en Figure 50 présente le réseau de suivi actuel et envisagé.

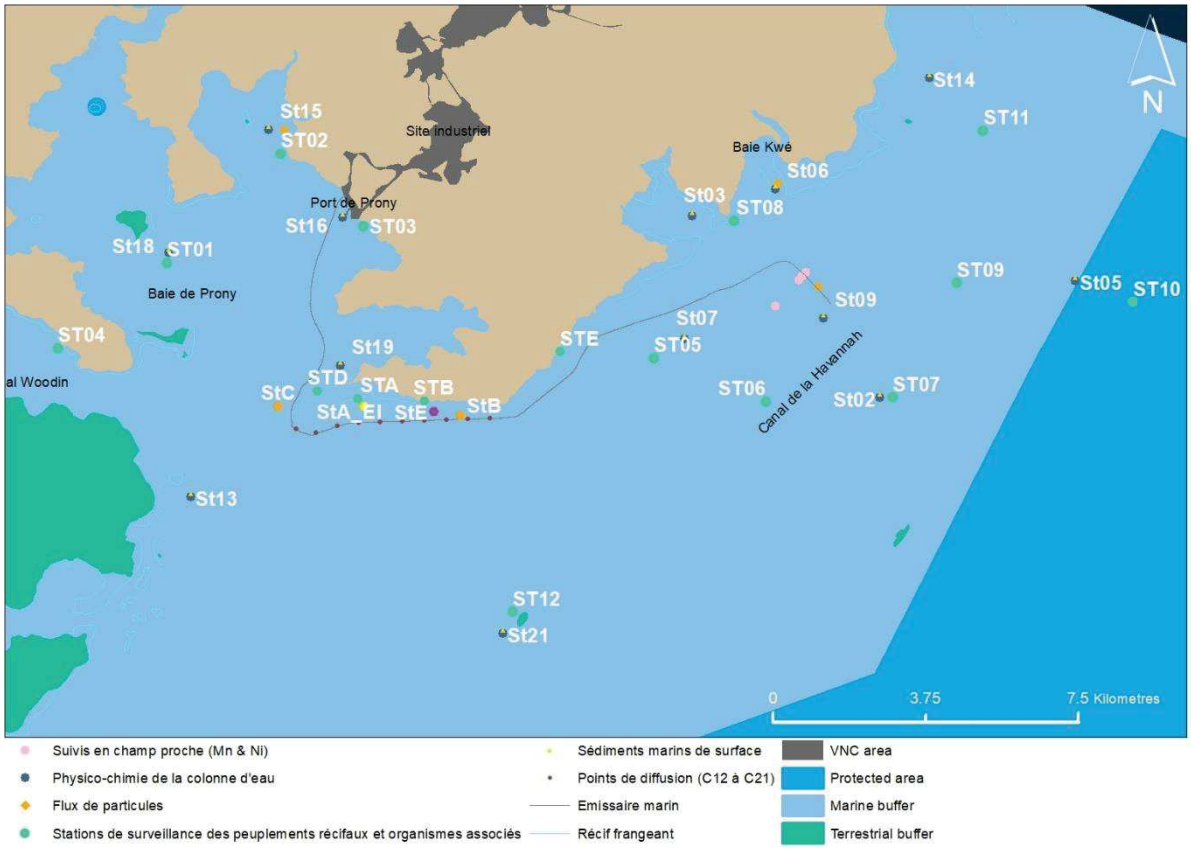


Figure 50 : Carte du réseau de suivi et stations complémentaires pour le suivi du projet d'optimisation du rejet

B.VII.2. Fréquence du suivi

Pour les stations du plan de **suivi biologique**, une 1ère mission est prévue au second semestre 2023 avant la mise en route du projet. Elle servira d'état de référence : B du BACI. Par la suite, le suivi sera semestriel. A partir de la mise en route du projet, les résultats seront alors les A du BACI.

Pour les stations du plan de suivi **physico-chimique,** la fréquence de suivi sera dépendante de la méthodologie déployée ainsi elle est décrite en partie B.VII.3.2. Plan de suivi des paramètres physicochimiques.

B.VII.3. Méthodologie

B.VII.3.1. Suivi Biologique

Pour le suivi biologique, la méthodologie appliquée suivra celle du cahier des charges (imposé par la DDDT, depuis 2006), du suivi actuel dans le cadre de l'autorisation d'occuper le DPM, à savoir, succinctement :

- 3 transects de 20 m sur 3 niveaux bathymétriques différents (+/- 10[15], 15 et 20 m)
- Suivi du recouvrement du substrat selon la méthode du LIT et les classes issues de English et al, 1997
- Suivi des macro-invertébrés benthiques selon la méthode du couloir pour les taxons cibles
- Suivi de l'ichtyofaune par TLV sur liste restreinte.

L'INERIS a réalisé plusieurs missions d'expertise émettant des avis et recommandations sur la pertinence du réseau de suivi en place (dont : Ineris 148566-2016, Ineris 206121-2022, Ineris 26644-2022). PRNC, dans un souci d'efficience, souhaite revoir les différents programmes de suivi afin de répondre à ces évolutions.

Aussi pour anticiper les changements du cahier des charges, et acquérir des données dès la 1ère mission (cruciale, car servant d'état de référence, B du BACI), en plus de l'inventaire des compartiments tels que cités au-dessus, sera réalisé :

- Un inventaire des coraux scléractiniaires ;
- Un inventaire exhaustif de l'ichtyofaune (sans liste restreinte et sur toute la station).

B.VII.3.2. Plan de suivi des paramètres physicochimiques

Ce suivi sera homogène avec la stratégie actuelle de surveillance de la dispersion des effluents et des suivis semestriels réglementaires conduits depuis 2010 et renforcés. Il comprendra donc :

- Un déploiement synchronisé avec le suivi des rejets par le diffuseur, d'au-moins 1 **THOË** qui s'ajoutera aux 5 déjà utilisés actuellement. La station **StE** sera localisée au large du platier récifal.

  La périodicité d'exposition de chaque DGT et la série temporelle de collecte seront évidemment similaires à celles adoptées pour la surveillance des effluents sortant du diffuseur, c'est-à-dire 7 jours pour chacun des 8 DGTs, semestriellement, la durée totale annuelle étant de 2*2 mois ;

- Un suivi trimestriel de la **colonne d'eau** sur les 3 stations **StA**, **StB et StC**. Ce suivi sera en conformité avec l'échantillonnage et les analyses menées sur chacune des 14 stations actuelles. Selon les résultats obtenus, la fréquence de suivi pourra être réduite les années suivantes. Sur la base des suivis réalisés jusqu'à présent, il comprendra donc :
  a. Une détermination des paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau par sonde multiparamétrique (CTD) ;
  b. Un échantillonnage dans les couches de surface, de mi-profondeur et de fond ;

[15] Le « +/-10% » est présenté ainsi pour englober toutes les caractéristiques bathymétriques des transects des stations du plan de suivi. En effet, selon la localisation et le type de station, le 1er transect est à 5 m, 10 m voir 12 m. Le 1er niveau bathymétrique du suivi biologique sera adapté à la bathymétrie du récif de Prony et à la biodiversité du récif.

Sur chaque échantillon il sera réalisé :

c. Une analyse des sels nutritifs (NO_2-NO_3, PO_4NT, PT) ;
d. Une analyse des ions majeurs (Ca, Mg, …) ;
e. Une analyse des métaux dissous (Cr(VI), Mn, Ni,…).

- Un suivi réglementaire des **sédiments meubles** sur 1 station : **StA**. Ce suivi sera en conformité avec l'échantillonnage et les analyses menées sur chacune des 14 stations actuelles. Sur la base des suivis réalisés jusqu'à présent, il comprendra donc :
  a. Des déterminations granulométriques et minéralogiques ;
  b. Des extractions séquentielles et attaques totales ;

PARTIE C. ANALYSE DES RISQUES

Résumé de l'analyse des risques liée au projet d'optimisation de débit de l'émissaire

L'analyse de risque a consisté à évaluer les modifications apportées par le projet de réalisation de perçages supplémentaires sur l'émissaire marin par rapport à la situation existante.

Les conclusions de l'analyse réalisée par le groupe de travail ont identifié notamment :

a) Une modification du risque de sédimentation : l'ajout de perçage occasionne une perte potentielle de vitesse de l'effluent et peut favoriser la sédimentation aux débouchés (phénomène d'encrassement déjà constaté sur le diffuseur)

b) Le risque d'accumulation des contraintes mécaniques sur les parties percées du tuyau pouvant conduire à sa fissuration, notamment causées par les mouvements de l'émissaire et l'accumulation d'air.

Outre les barrières existantes dont le lestage de l'émissaire, les contrôles des paramètres de rejet de l'effluent et la procédure de démarrage de l'unité permettant de limiter les phénomènes transitoires, des barrières complémentaires ont été identifiées afin de pallier ces déviations :

- Adapter les fréquences de plongées d'inspections de l'émissaire (Programme de contrôle ci-après, révisé en août 2023 sur la base des inspections 2022 et du premier semestre 2023) :
    - Contrôles trimestriels du diffuseurs et tronçons non sur-lestées
    - Contrôles semestriels des évents et des piges
    - Contrôle annuel de l'émissaire complet (par ROV et par scaphandriers)

- Etudier une solution complémentaire d'apport d'eau de mer ou de désaturation pour limiter le risque de sédimentation lors de phases à faible débit d'effluents

Paramètres opératoires de suivi

La révision A4 du rapport technique de modélisation datée de 06/2023 a permis de considérer une température de 40°C au lieu des 35°C mentionnés dans la première ADR qui accompagnait le PAC. Les plages de fonctionnement seront adaptées conformément aux résultats de cette modélisation et à la pression maxime admissible de l'émissaire.

En complément, les relevés nous permettent d'établir que, depuis l'arrêt de la raffinerie (mai 2020), la plage de fonctionnement en régime établi (débit maximal en bleu) est inférieure à 35°C (température max en orange), voir Figure 51.

D'une façon générale, la température s'abaisse au fur et à mesure que le débit augmente.

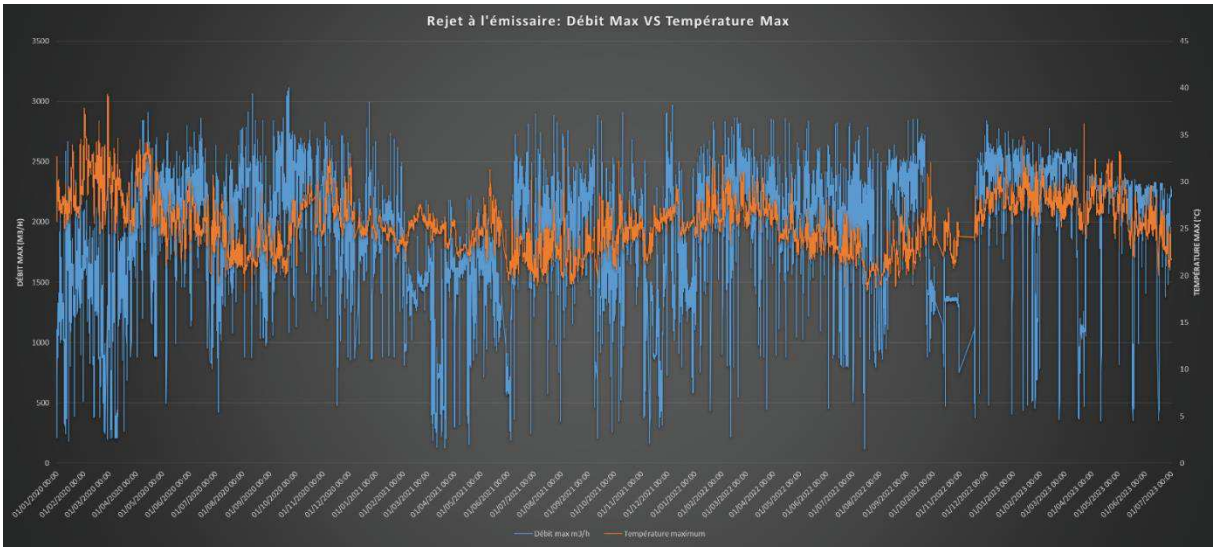


Figure 51 : Valeur de débit et de température de l'effluent industriel (2020 à 2023)

Plus précisément, les courbes issues de la supervision montrent 2 pics de températures en 2023, ils correspondent à des phases transitoires lors de redémarrages du pompage à l'océan. Ces pics de température mesurées au 285-TI-00851 (courbes bleues, Figure 52) s'effacent avec l'augmentation du débit de rejet mesuré au 285-FIC-00835, respectant la contrainte imposée par la pression maximale admissible du PN.

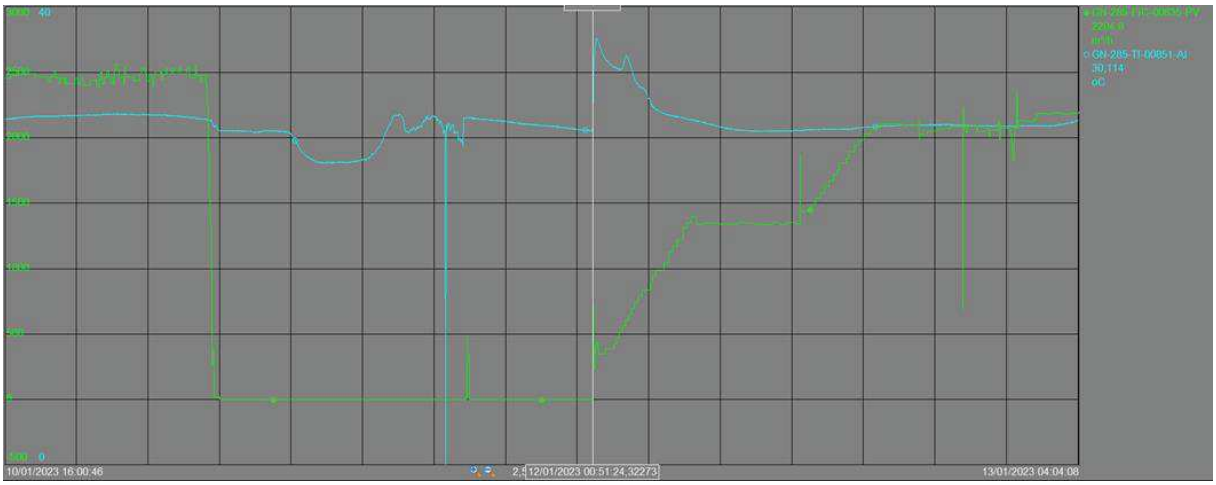


Figure 52 : Courbes de débit et de température de l'effluent industriel lors d'une phase de démarrage du pompage vers l'océan (10/01/2023 au 13/01/2023)

La température de l'effluent est prise en compte pour définir le seuil de pression très haut admissible dans l'émissaire, conformément aux contraintes liées au matériau. En cas de dépassement du seuil de pression très haut sur un temps donné, le pompage sera arrêté par interlock.

Méthode et détail de la cotation de l'ADR

L'analyse de risques a été réalisée conformément à la procédure interne PRO-0305-HSR_V01 relative aux analyses risques industriels. Elle diffère de la méthodologie des Etudes de Dangers dans la mesure où, notamment :

- Les matrices de cotations ne sont pas sur les mêmes échelles de probabilité (nous nous limitons au <10-2 en termes de probabilité) ou de gravité que la grille ministérielle appliquée dans l'élaboration des Etudes de Dangers (cf. document EPS-0201-QHSE_Matrice de risques ci-joint),
- Elle permet d'évaluer les risques par thématique dans le cadre de la gestion des changements.

Dans le cadre du PAC, l'aspect risque financier prévu dans la matrice n'est pas présenté aux autorités.

En lien avec les échanges issus de l'inspection DIMENC du 06 Juillet 2023 relative au système de gestion de la sécurité, il est prévu de réviser la matrice des scénarios environnementaux. Par conséquent, le scénario relatif à l'émissaire de l'étude de danger de l'unité « 285 Traitement des effluents » pourra être révisé tenant compte de cette nouvelle méthode et de cette modification de procédé.

L'absence d'évaluation d'un scénario relatif à un dépassement de la pression maximale de l'émissaire avec pour conséquence la perte d'intégrité de celui-ci est à justifier.

Les perçages complémentaires ne modifieraient pas le risque en amont d'un bouchage, déjà identifié sur le design initial. Dans le cas d'un bouchage en aval, nous aurions une augmentation graduelle de la pression et la déviation serait alors enregistrée par nos alarmes et nous ferait réduire le débit ou arrêter l'envoi à l'océan.

Recommandations

L'état des recommandations est présenté au Tableau 20.

Tableau 20 : Etat des recommandations

Référence	Recommandation	Etat / Deadline
Recommandations 1A & 2A:	Augmenter les fréquences d'inspection	Le programme de contrôle v07 a été validé fin juillet : ajout d'une inspection toutes les 3 semaines de C2. Il prévoit également une action de contrôle sur les 10 trous.
Recommandations 1B & 2B:	Désaturation ou ajout d'eau de mer à mettre en place : flush périodique - débit et périodicité à définir	A ce jour la solution privilégiée pour éviter la saturation de l'effluent en calcium est d'ajouter de l'eau brute depuis le 285 (entre 10% et 20% du débit total).
Recommandation 1D & 2D:	Identification du mode dégradé le plus à risque: temps de fonctionnement avec un débit trop bas générant une vitesse insuffisante et augmentant le phénomène de sédimentation.	Après mise en service - Sur la base des premiers résultats d'inspections après perçage et des débits de rejets mesurés (une période de 6 mois de retour d'expérience pourrait être visée) Une procédure de flush périodique va être élaborée en vue de prévenir le phénomène de sédimentation dans l'émissaire, les paramètres liés à cette procédure tiendront compte des précédents retours d'expérience, des rapports d'inspections ainsi que des évolutions des paramètres opératoires mesurés.
Recommandation 1E & 2E:	Suivi environnemental renforcé de la colonne d'eau autour des 10 trous	Un plan de suivi physico-chimique et biologique est proposé spécifiquement sur la zone maritime concernée par le projet d'optimisation du rejet de l'émissaire (CF. Rapport en réponse à l'IIC)
Recommandation 3A :	Adopter des mesures adaptées selon les résultats de l'étude de la courantologie et retours d'expériences (mars 2023) Les mesures pouvant être: - Surlestage - Renforcement des périodicités de contrôles	La modélisation des courants dans les fonds marins montre que ceux-ci sont globalement orientés le long de l'émissaire dans la zone que l'on souhaite percer. Quelques configurations météorologiques montrent des courants latéraux mais non représentatifs ; de plus l'émissaire est lesté dans cette zone. Par ailleurs, jusqu'à présent, les anciens relevés n'ont pas montré de mouvements significatifs de l'émissaire dans la zone. Un relevé est en cours pour établir le tracé actuel de l'émissaire versus l'ancien tracé.
Recommandation 3B :	Adopter des mesures adaptées selon l'efficacité de la modification Onshore (août 2023) Les mesures pouvant être: - Surlestage - Renforcement des périodicités de contrôles	La modification Onshore est toujours en cours d'implémentation. Fin du projet attendue pour mi-septembre.
Recommandation 3C :	Adopter des mesures adaptées selon les résultats du traçage de l'émissaire. (septembre 2023 - inspection annuelle) Les mesures pouvant être: - Surlestage - Renforcement des périodicités de contrôles	L'analyse des résultats est en cours pour comparer le tracé de l'émissaire de 2022 et 2023.

PARTIE D. ANNEXES

ANNEXE 1 : Rapport technique Optimisation du débit de l'émissaire marin

PRNC NOUVELLE CALEDONIE		
Bon de commande N° / *PO Number* DTI2022410		
N° doc fournisseur/*Supplier doc number* **N/A**		Fou. / Sup. REV.
N° de document PRNC / *PRNC Doc number* **EXT-285-8230-RP-0013**		PRNC REV : **A5**
Code :	Par / By : Dept : **Projet**	Date : 14/11/2023

Code commentaire/*Comment status code :*
1-Rejeté/*Rejected*
2-Accepté avec réserves /*Accepted Subject to comments as noted*
4-Accepté sans commentaire / *Accepted as is*
5-Pour information seulement / *For information only*

RAPPORT TECHNIQUE

Prony Resources

Optimisation débit émissaire marin

Urgent Request

V/Réf. : EXT-285-8230-RP-0013

Révision : A5

13-11-2023

SOMMAIRE

SOMMAIRE 2

Liste des figures 3

Liste des annexes 4

1 RESUME / INTRODUCTION 5

2 LOGICIELS 6

3 DONNEES D'ENTREES 6

3.1 Critères définis par l'ICPE 6

3.2 Marée 6

3.3 Configuration chambre des vannes 7

3.4 HDPE 7

3.4.1 Dimension des conduites HDPE 7

3.4.2 Coefficient de dé-timbrage de l'HDPE 7

3.5 Fluides 8

3.5.1 Eau de mer 8

3.5.2 Effluent 8

4 COMPOSITION DE LA CONDUITE 10

5 MODELISATION HYDRAULIQUE 12

5.1 Modèle numérique FATHOM 12

5.2 Modélisation de la tuyauterie actuelle et calibration du modèle 12

5.3 Intégration d'orifices de décharge en amont du diffuseur 15

5.3.1 Principe : Impact de l'intégration d'orifice sur la pression dans la conduite 15

5.3.2 Localisation des orifices et dimensionnement 15

6 VARIATIONS DES CONDITIONS OPERATIONNELLES 18

7 CONCLUSION 21

8 ANNEXES 22

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Logiciels d'étude 6
Tableau 2 Scénarios d'analyse pour différentes conditions de fonctionnement 21

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Dimensions des conduites HDPE PE100 7
Figure 2 Evolution de la pression maximale admissible en mètre d'eau en fonction de la température et du rating de la conduite (données issues du fournisseur Kingston Bridge) 8
Figure 3 Tracé ON-SHORE 10
Figure 4 Profil de la partie ON-SHORE 11
Figure 5 Profil complet de la conduite depuis le bassin (ON-SHORE + OFF-SHORE) 11
Figure 6 Données télémétriques et résultats du modèle calibré 12
Figure 7 Résultat du modèle hydraulique pour le débit maximal sur le circuit actuel à 2400m^3/h à 40°C 13
Figure 8 Débit dans le diffuseur propre à 3050m^3/h 14
Figure 9 Pompage vers l'émissaire durant l'année 14
Figure 10 Débit moyen dans le diffuseur propre au débit moyen de l'usine 15
Figure 11 Intégration de 10 tous de 48mm de diamètre à chaque chainage depuis C12 jusqu'à C21 avec une rugosité équivalente de 0.475mm 17
Figure 12 Courbes réseaux pour l'émissaire actuel et pour l'émissaire intégrant 10 trous de 48mm permettant d'atteindre 3050m^3/h (rugosité équivalente de 0.475mm) 18
Figure 13 Variation des conditions opérationnelles 19
Figure 14 Plages opérationnelles de fonctionnement de l'émissaire équipé des 10 trous de 48mm 19
Figure 15 Résultats du modèle hydraulique à 3050m^3/h pour une rugosité équivalente de 0.8mm avec 10 trous de 48mm 20

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1.1 : P&ID de l'émissaire marin

ANNEXE 4.1 : Composition de l'émissaire depuis le bassin de désaération

ANNEXE 4.2 : Disposition générale de la partie OFF-SHORE de l'émissaire marin

ANNEXE 4.3 : Plan du diffuseur

ANNEXE 5.1 : Vérification indépendante de Norda Stelo

Révision	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur	Date	Émission
A5	CCs			13-11-2023	Pour utilisation
A4	CCs			22-06-2023	Pour utilisation
A3	CCs			08-05-2023	Pour utilisation
A2	CCs			16-01-2023	Pour utilisation
A1	CCs			10-01-2023	Pour utilisation
O1	CCs			30-12-2022	Pour CM

1 RESUME / INTRODUCTION

Le rejet de l'effluent traité par l'émissaire est un paramètre essentiel pour contrôler le niveau de surnageant dans le bassin des résidus de la Kwé Ouest (bassin KO2).

L'arrêté n° 4301-2022/ARR/DIMENC fixe à la société Prony Resources New Caledonia des mesures complémentaires relatives à l'exploitation de son aire de stockage de résidus localisée dans le bassin de la Kwé Ouest.

L'arrêté impose un delta Kwé en fonction de seuils de remplissage de KO2. Il est défini comme suit :

Delta Kwé = Q_{VL} (Usine → Kwé) + Q_V (Pump-pit) – Q_{VL} (Piégé) – Q_V (Kwé → Usine)

où Q_{VL} (Usine → Kwé) est le débit de liquide alimentant la Kwé depuis l'usine

où Q_V (Pump-pit) est le débit total alimentant la Kwé depuis le pump it

où Q_{VL} (Piégé) est le débit de liquide piégé dans la boue de KO2

où Q_V (Kwé → Usine) est le débit de surnageant pomper entre KO2 et l'usine

Sur des périodes de 24h glissantes, le Delta Kwé doit être de :

- -300m^3/h pour un volume d'effluent liquide supérieur à 1.3Mm^3 (seuil 1)
- -600m^3/h + limitation du 220 à 2 HPAL pour un volume d'effluent liquide supérieur à 2.6Mm^3 (seuil 2)
- -1000m^3/h + limitation du 220 à 1 HPAL pour un volume d'effluent liquide supérieur à 3.2Mm^3 (seuil 3)

La capacité de rejet de l'émissaire marin conditionne donc le delta Kwé et permet de contrôler le volume de surnageant du bassin KO2. Pour abaisser le volume de surnageant et retrouver une situation normale, c'est à dire sous les 1.3Mm^3, il faut augmenter les débits de pompage de l'émissaire marin car ce dernier limite directement Q_v (Kwé → Usine). Le PID relatif à l'émissaire marin est en annexe 1.1.

Dans l'immédiat, l'augmentation du débit de l'émissaire marin passe par l'intégration d'orifices en dehors de la zone de rejet réglementaire. Cette solution diminuera la pression sur la conduite qui ne peut dépasser une valeur seuil. A terme, il faudra remplacer une partie conséquente d'émissaire marin avec une pression maximale d'opération plus importante.

La présente note de calcul hydraulique a pour objectif d'évaluer l'augmentation de la capacité de rejet de l'émissaire avec l'ajout d'orifices. Cette étude est basée sur un modèle numérique sous FATHOM éprouvé dans le domaine industriel et vérifié sous PipeFlow par Norda Stelo. Le modèle hydraulique a été calibré par rapport aux performances actuelles de l'émissaire marin pour un débit de rejet de 40°C.

La solution technique consiste à intégrer 10 trous de 48mm de diamètre entre C12 et C21.

Une dernière section présente les variations de conditions opérationnelles observées sur l'émissaire et précise leurs impacts sur l'intégration des trous de 48mm.

2 LOGICIELS

Les logiciels employés pour l'étude sont définis dans le Tableau 1. Le simulateur filaire FATHOM est un logiciel métier spécialisé dans le domaine de l'hydraulique.

Tableau 1 Logiciels d'étude

Domaine	Logiciel
Simulation hydraulique filaire	*FATHOM Version 12*
Extraction des données télémétrique PRNC	*PI-ProcessBook / PI Excel*

3 DONNEES D'ENTREES

3.1 Critères définis par l'ICPE

L'arrêté d'exploitation de l'usine impose les deux contraintes suivantes (liste non exhaustive) :

- Débit maximum d'envoi de 3050m^3/h
- Température maximale de rejet de 40°C

Nota : Actuellement, les pressions trop élevées dans la conduite limitent l'envoi aux alentours de 2500m^3/h.

3.2 Marée

Le modèle ne tient pas compte des marées et le niveau de la mer est fixée à RL 0m.

Avec les effets des marées, le niveau réel de la mer est toujours supérieur au RL 0m. Les modélisations sont conservatives puisque les pressions dans la conduite sont très légèrement surestimées.

3.3 Configuration chambre des vannes

Les vannes de la chambre des vannes ont été supprimée et la chambre des vannes se résume actuellement à un tronçon de conduite en Duplex DN600 Schedule 10s.

3.4 HDPE

3.4.1 Dimension des conduites HDPE

Les conduites sont en HDPE PE100. Les dimensions sont présentées en Figure 1.

SDR	41				26				21				17				13.6				11			
PN for PE100	4				6.3				8				10				12.5				16			
DN	Min Wall	Mean ID	Ovality Max	Weight Ave kg/m	Min Wall	Mean ID	Ovality Max	Weight Ave kg/m	Min Wall	Mean ID	Ovality Max	Weight Ave kg/m	Min Wall	Mean ID	Ovality Max	Weight Ave kg/m	Min Wall	Mean ID	Ovality Max	Weight Ave kg/m	Min Wall	Mean ID	Ovality Max	Weight Ave kg/m
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6	12.7	1.2	0.08
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6	16.7	1.2	0.10	1.9	16.0	1.2	0.11
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6	21.7	1.2	0.12	1.9	21.0	1.2	0.14	2.3	20.2	1.2	0.17
32	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6	28.7	1.3	0.16	1.9	28.0	1.3	0.19	2.4	27.0	1.3	0.23	2.9	26.0	1.3	0.27
40	-	-	-	-	-	-	-	-	1.9	36.1	1.4	0.24	2.4	35.0	1.4	0.30	3.0	33.8	1.4	0.36	3.7	32.3	1.4	0.43
50	-	-	-	-	-	-	-	-	2.4	45.0	1.4	0.38	3.0	43.9	1.4	0.46	3.7	42.4	1.4	0.55	4.6	40.4	1.4	0.67
63	-	-	-	-	2.4	58.1	1.5	0.48	3.0	56.9	1.5	0.58	3.8	55.2	1.5	0.73	4.7	53.3	1.5	0.88	5.8	51.0	1.5	1.07
75	-	-	-	-	2.9	69.2	1.6	0.68	3.6	67.7	1.6	0.83	4.5	65.8	1.6	1.03	5.5	63.7	1.6	1.23	6.8	61.0	1.6	1.49
90	-	-	-	-	3.5	83.0	1.8	0.99	4.3	81.3	1.8	1.20	5.4	79.0	1.8	1.48	6.6	76.5	1.8	1.77	8.2	73.0	1.8	2.16
110	2.7	104.7	2.2	0.95	4.3	101.3	2.2	1.48	5.3	99.2	2.2	1.80	6.6	96.5	2.2	2.20	8.1	93.3	2.2	2.66	10.0	89.4	2.2	3.20
125	3.1	118.9	2.5	1.24	4.8	115.4	2.5	1.86	6.0	112.9	2.5	2.30	7.4	109.9	2.5	2.80	9.2	106.1	2.5	3.42	11.4	101.5	2.5	4.15
140	3.5	133.2	2.8	1.56	5.4	129.2	2.8	2.35	6.7	126.5	2.8	2.87	8.3	123.0	2.8	3.52	10.3	118.9	2.8	4.29	12.7	113.9	2.8	5.17
160	4.0	152.3	3.2	2.02	6.2	147.6	3.2	3.08	7.7	144.5	3.2	3.77	9.5	140.7	3.2	4.59	11.8	135.9	3.2	5.60	14.6	130.0	3.2	6.78
180	4.4	171.5	3.6	2.51	6.9	166.3	3.6	3.84	8.6	163.1	3.6	4.74	10.7	158.3	3.6	5.81	13.3	152.8	3.6	7.10	16.4	146.3	3.6	8.58
200	4.9	190.5	4.0	3.08	7.7	184.6	4.0	4.76	9.6	180.6	4.0	5.87	11.9	175.8	4.0	7.16	14.7	170.0	4.0	8.71	18.2	162.5	4.0	10.57
225	5.5	214.4	4.5	3.90	8.6	207.9	4.5	5.98	10.8	203.3	4.5	7.42	13.4	197.8	4.5	9.09	16.6	191.0	4.5	11.06	20.5	182.9	4.5	13.39
250	6.2	238.0	5.0	4.89	9.6	230.9	5.0	7.41	11.9	226.0	5.0	9.08	14.8	220.0	5.0	11.14	18.4	212.4	5.0	13.63	22.7	203.4	5.0	16.46
280	6.9	266.7	9.8	6.06	10.7	258.7	9.8	9.25	13.4	253.0	9.8	11.46	16.6	246.3	9.8	13.99	20.6	237.9	9.8	17.08	25.4	227.8	9.8	20.64
315	7.7	300.2	11.1	7.62	12.1	290.9	11.1	11.78	15.0	284.9	11.1	14.40	18.7	276.6	11.1	17.72	23.2	267.6	11.1	21.64	28.6	256.3	11.1	26.13
355	8.7	338.2	12.5	9.69	13.6	327.9	12.5	14.89	16.9	321.0	12.5	18.28	21.1	312.1	12.5	22.55	26.1	301.6	12.5	27.43	32.2	288.8	12.5	33.16
400	9.8	380.0	14.0	12.28	15.3	369.5	14.0	18.88	19.1	361.5	14.0	23.31	23.7	351.9	14.0	28.50	29.4	339.9	14.0	34.79	36.3	325.4	14.0	42.10
450	11.0	428.9	15.6	15.49	17.2	415.8	15.6	23.87	21.5	406.8	15.6	29.48	26.7	395.9	5.6	36.11	33.1	382.4	15.6	44.07	40.9	366.1	15.6	53.31
500	12.3	476.3	17.5	19.28	19.1	462.0	17.5	29.45	23.9	452.0	17.5	36.37	29.6	439.9	17.5	44.48	36.8	424.9	17.5	54.36	45.4	406.8	17.5	65.78
560	13.7	533.6	19.6	24.00	21.4	517.4	19.6	36.91	26.7	506.4	19.6	45.52	33.2	492.7	19.6	55.89	41.2	475.8	19.6	68.22	50.8	455.8	19.6	82.40
630	15.4	600.4	22.1	30.37	24.1	582.1	22.1	46.77	30.0	569.8	22.1	57.50	37.3	554.4	22.1	70.62	46.3	535.5	22.1	86.23	57.2	512.6	22.1	104.42
710	17.4	676.5	24.9	38.65	27.2	655.9	24.9	59.45	33.9	641.9	24.9	73.22	42.1	624.6	24.9	89.82	52.2	603.4	24.9	109.55	64.5	577.6	24.9	132.64
800	19.6	762.3	28.0	49.01	30.6	739.2	28.0	75.29	38.1	723.4	28.0	92.80	47.4	703.9	28.0	113.89	58.8	680.0	28.0	138.96	72.5	651.0	28.0	168.11
900	22.0	857.8	31.5	61.81	34.4	831.7	31.5	95.23	42.9	813.9	31.5	117.42	53.5	791.7	31.5	144.55	66.2	764.9	31.5	176.04	81.7	732.4	31.5	212.91
1000	24.5	952.9	35.0	76.54	38.2	924.1	35.0	117.50	47.7	904.2	35.0	145.07	59.3	879.8	35.0	178.06	72.5	852.1	35.0	214.41	90.3	814.9	35.0	261.40
1200	29.4	1143.1	42.0	110.14	45.9	1108.5	42.0	169.18	57.2	1084.7	42.0	208.73	67.9	1062.7	42.0	245.17	88.2	1020.0	42.0	312.54	-	-	-	-
1400	34.4	1332.6	49.0	150.19	53.2	1293.1	49.0	239.54	66.7	1266.1	49.0	283.64	82.4	1233.1	49.0	346.07	-	-	-	-	-	-	-	-
1600	39.3	1522.3	56.0	195.75	61.3	1476.1	56.0	300.95	76.2	1447.0	56.0	370.23	94.1	1409.4	56.0	451.49	-	-	-	-	-	-	-	-

Figure 1 Dimensions des conduites HDPE PE100

3.4.2 Coefficient de dé-timbrage de l'HDPE

La hauteur maximale d'opération admissible de l'HDPE est dépendante de la température du fluide comme le montre la Figure 2. La pression maximale d'opération admissible se calcule en

multipliant la hauteur par *g* (accélération de la pesanteur 9.81m/s²) ainsi que par la masse volumique d'eau à la température donnée.

Temp. °C	PN 4	PN 6.3	PN 8	PN 10	PN 12.5	PN 16	PN 20	PN25
20	40	63	80	100	125	160	200	250
25	40	63	80	100	125	160	200	250
30	38	59	75	94	118	150	188	235
35	36	56	71	89	112	143	179	224
40	34	53	68	84	106	135	169	221
45	32	50	64	80	100	127	159	199
50 (36y)	30	48	60	76	95	121	151	189
55 (24y)	29	45	57	72	89	115	143	179
60 (12y)	27	43	54	68	85	109	136	170
80 (1y)	21	34	43	53	67	86	107	134

Figure 2 Evolution de la pression maximale admissible en mètre d'eau en fonction de la température et du rating de la conduite (données issues du fournisseur Kingston Bridge)

3.5 Fluides

3.5.1 Eau de mer

La viscosité de l'eau de mer n'est pas prise en compte dans les calculs hydrauliques.

Masse volumique

Saison	Salinité	Température	Masse volumique
Février	35.0 à 35.5 g/kg	26 à 27 °C	1023.0 à 1023.5 kg/m^3
Mai	35.0 à 35.5 g/kg	24 à 25 °C	1023.0 à 1023.5 kg/m^3
Août	35.0 à 35.5 g/kg	21 à 22 °C	1024.0 à 1024.5 kg/m^3
Novembre	35.0 à 35.5 g/kg	23 à 24 °C	1023.5 à 1024.0 kg/m^3

Pour les calculs, la masse volumique de l'eau de mer choisie vaut 1025kg/m^3. Cette valeur sert dans le modèle à calculer la contrepression en décharge de tuyauterie (en tenant compte de la profondeur au point de rejet).

3.5.2 Effluent

3.5.2.1 Masse volumique

Evolution de la masse volumique et de la viscosité de l'effluent selon la température.

T (°C)	ρ (kg/m^3)	μ (cP)
35	1007	0,72
37,5	1006	0,68
40	1005	0,65
42,5	1004	0,62
45	1003	0,60

Pour les calculs, la masse volumique choisie pour l'effluent sera 1010kg/m^3.

3.5.2.2 Température de pompage

La température de l'effluent a un impact direct sur les performances de l'installation puisque la pression maximale d'opération de la conduite dépend de la température de l'effluent (Figure 2).

Dans le cadre de cette modification, le Design des trous est fondé sur une température de l'effluent de 40°C.

Les pressions maximales admissibles sont :

- **1050kPa Gage pour les sections DN710 PN12.5 & DN800 PN12.5**
- **1324kPa Gage pour la section DN800 PN16**

4 COMPOSITION DE LA CONDUITE

Ci-après la partie ON-SHORE entre le bassin de désaération et la partie OFF-SHORE en passant par la chambre des vannes (Figure 3). Cette section de tuyauterie mesure près de 1700m et est composé des tuyauteries suivantes :

- PE100 DN710 PN12.5 (ID 603.4mm)
- PE100 DN800 PN16 (ID 651mm)
- Duplex DN600 Schedule 10 (ID 596.9mm)
- PE100 DN800 PN12.5 (ID 680mm)

Le tableau en annexe 4.1 donne le détail de l'ensemble de la conduite à partir du bassin jusqu'au diffuseur en mer.

Figure 3 Tracé ON-SHORE

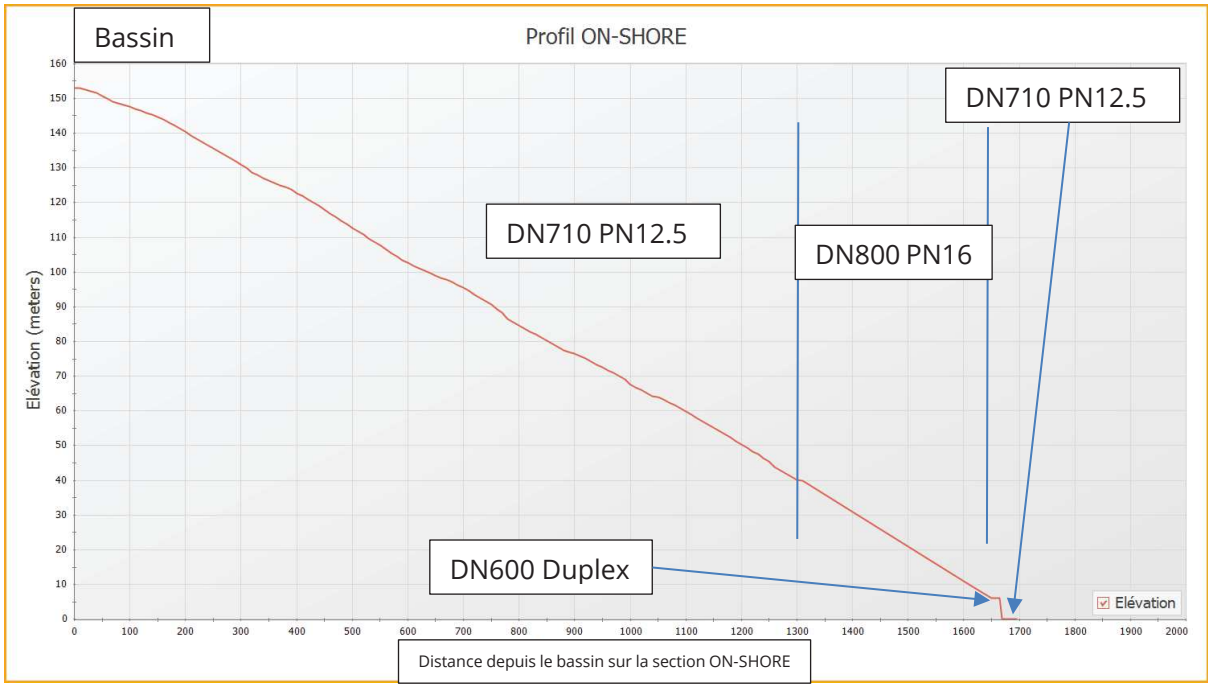


Figure 4 Profil de la partie ON-SHORE

Le profil altimétrique/bathymétrique complet est présenté ci-après (Figure 5).

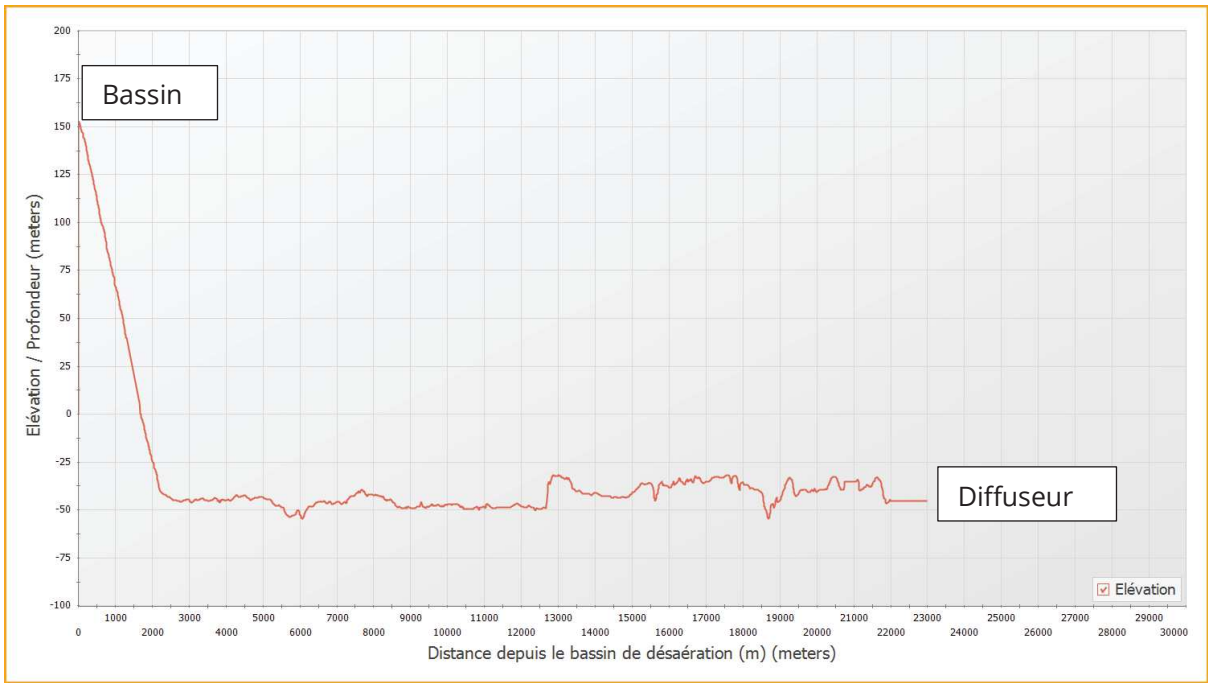


Figure 5 Profil complet de la conduite depuis le bassin (ON-SHORE + OFF-SHORE)

Le tracé de la partie OFF-SHORE complet est en annexe 4.2.

La conduite se termine par un diffuseur constitué de 200 trous de 40 mm de diamètre disposés sur 1 km de longueur à 45m de profondeur. Les détails sont en annexe 4.3.

5 MODELISATION HYDRAULIQUE

5.1 Modèle numérique FATHOM

L'écoulement hydraulique est gravitaire depuis le haut du col de Prony jusqu'au diffuseur.

Les travaux de vérification indépendant de Norda Stelo sont intégrés dans l'annexe 5.1.

5.2 Modélisation de la tuyauterie actuelle et calibration du modèle

Le modèle est calibré à partir des pressostats situés au pied du col de Prony avant la plongée (285-PI-06504 et 285-PI-00030) et du débitmètre en décharge de la cuve 285-TNK-016 (285-FI-00835). Après plusieurs itérations, les résultats convergent pour une rugosité moyenne de 0.475mm. La Figure 6 présente les données terrains récoltées entre janvier 2022 et avril 2023.

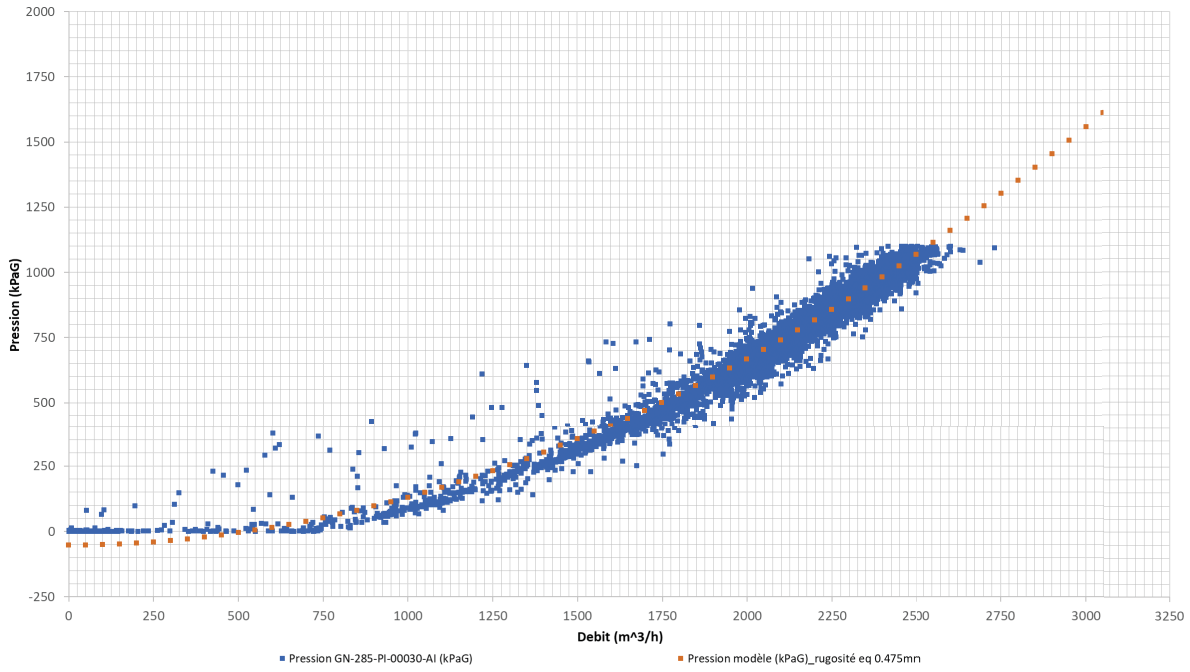


Figure 6 Données télémétriques et résultats du modèle calibré

Pour la section OFF-SHORE, la pression de la mer s'oppose à la pression interne du fluide dans la conduite.

En mer, la pression effective se calcule comme suit :

$P_{effective} = P_{Fluide} - P_{Mer}$

Le profil de pression au débit maximal est présenté en Figure 7 pour une température de 40°C.

La pression maximale en tous points de la conduite a été calculée en tenant compte de la contrepression de la mer. Par itération, le débit d'effluent a été modifié jusqu'à atteindre la limite fixée par la pression maximale admissible de la conduite DN800 PN12.5, soit 1100kPag.

A 2500m^3/h, la pression maximale d'opération au niveau du DN800 PN12.5 est de 1100kPaG juste avant la plongée de la conduite. A noter que la pression interne dans la conduite est maximale 1700m plus loin et que la pression atteint 1500kPaG.

Les entrées et sorties du modèle sont en annexe 5.2.

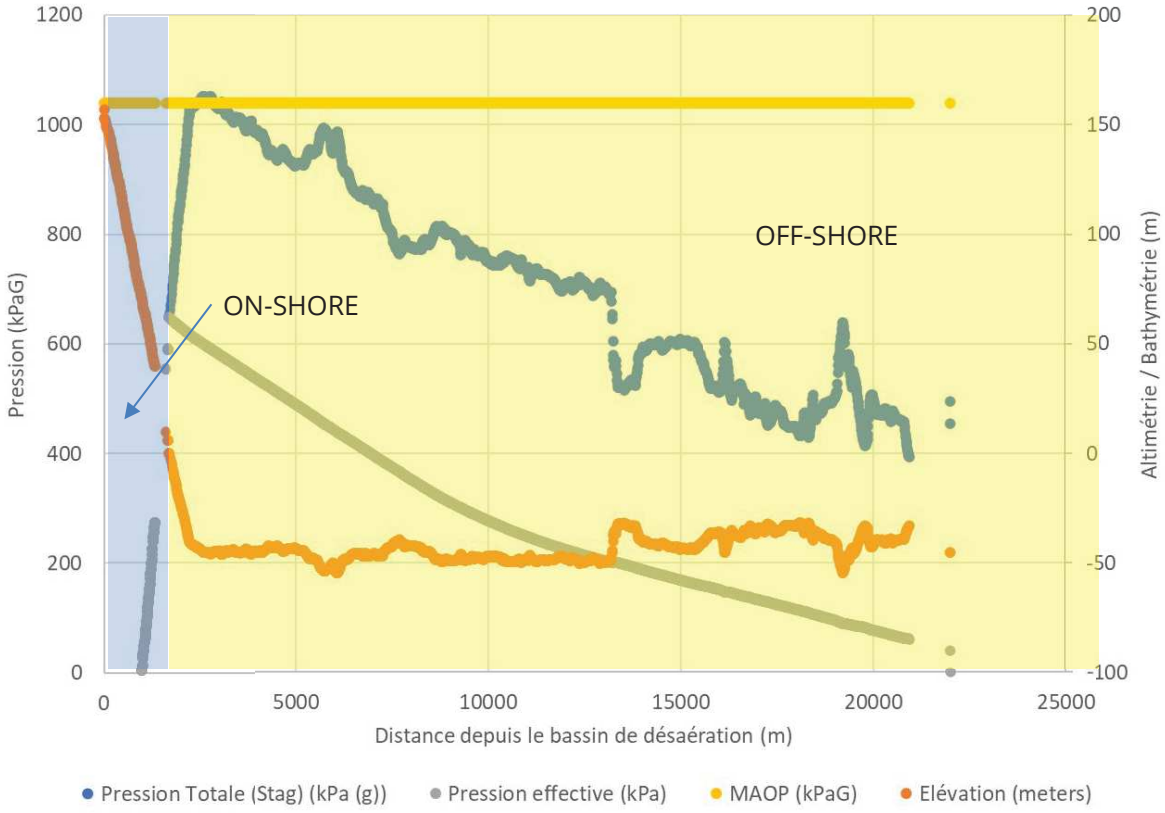


Figure 7 Résultat du modèle hydraulique pour le débit maximal sur le circuit actuel à 2400m^3/h à 40°C

Au design, le débit au travers du diffuseur diminue comme le montre la Figure 8. Cependant, les opérations ont rapporté que le diffuseur était bouché après 300m, seul 1/3 de ce dernier est actif. Le modèle montre que les pertes de charge additionnelles engendrées par ce bouchage sont assez faibles mais pas négligeables à hauts débits.

La Figure 9 montre le débit de pompage de l'usine à l'émissaire sur la dernière année et il est en moyenne de 1682m^3/h.

A ce débit moyen, un diffuseur propre aurait un profil de débit comme défini sur la Figure 10. En première approximation, les solides sont retenus lorsque le débit moyen est inférieur à 1000m^3/h.

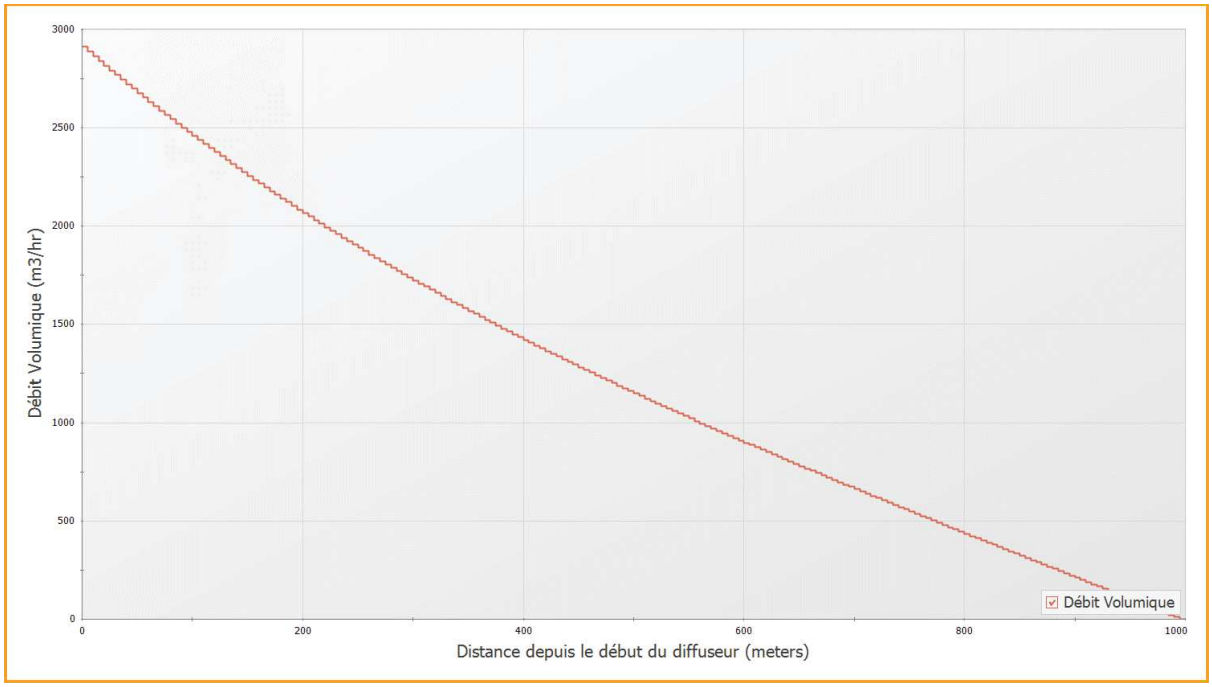


Figure 8 Débit dans le diffuseur propre à 3050m^3/h

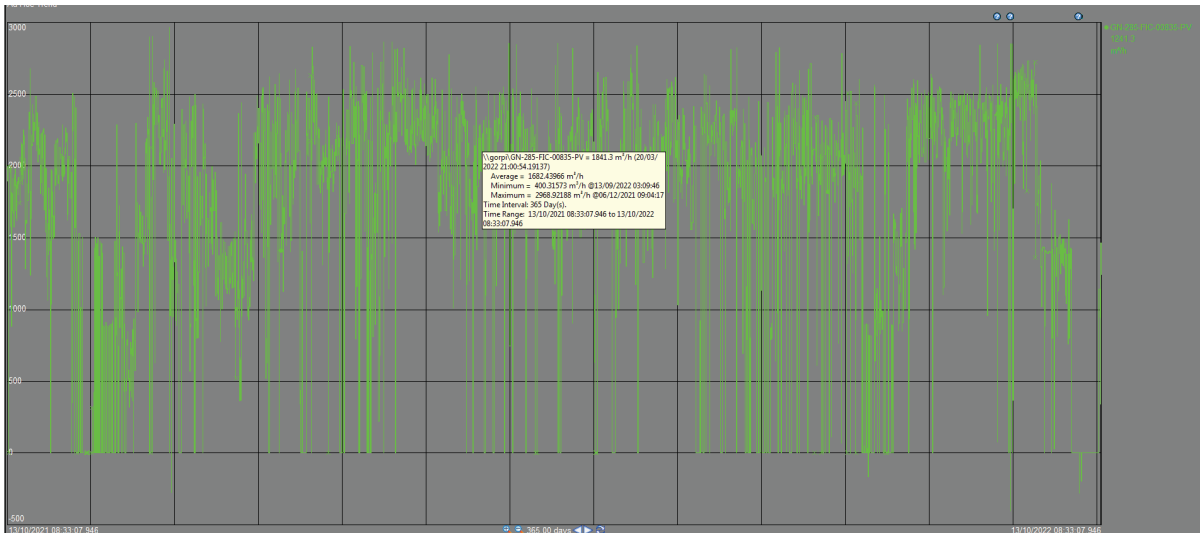


Figure 9 Pompage vers l'émissaire durant l'année

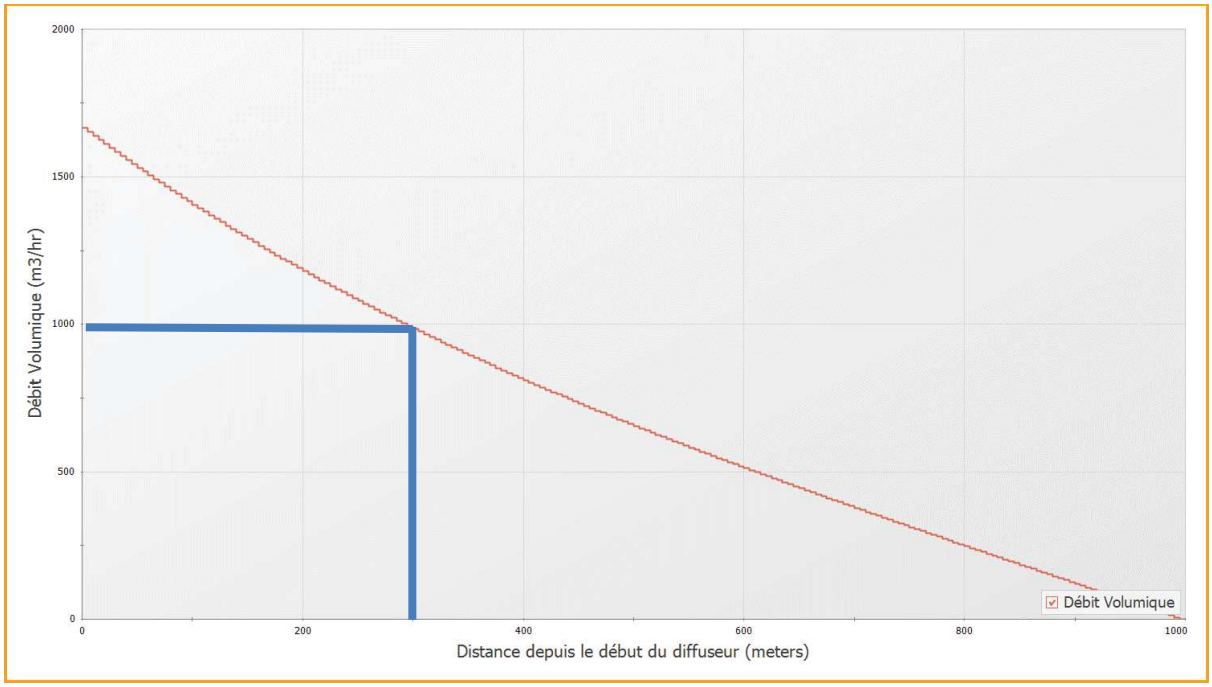


Figure 10 Débit moyen dans le diffuseur propre au débit moyen de l'usine

5.3 Intégration d'orifices de décharge en amont du diffuseur

5.3.1 Principe : Impact de l'intégration d'orifice sur la pression dans la conduite

L'ajout d'un ou de plusieurs orifice(s) de décharge sur la partie OFF-SHORE en amont du diffuseur permet de diminuer le débit en aval du ou des trou(s) et par conséquent de décroitre la pression globale dans la conduite.

Les gains sont dépendants :

- De la position du ou des trou(s) → plus le trou est proche de la berge, plus le gain est important
- Du diamètre du ou des trou(s) → plus le diamètre est important, plus le gain est important
- Dun nombre de trou→ plus il y a de trou, plus le gain est important

5.3.2 Localisation des orifices et dimensionnement

Le positionnement, le nombre des trous ont été définis selon :

- un critère « environnemental » → la courantologie dans la baie au point de rejet afin de s'assurer une bonne diffusion
- les performances hydrauliques / **gain de débit** du système → par itération du modèle numérique intégrant des trous à différents chainages / avec différents diamètres

Pour atteindre 3050m^3/h avec l'état actuel de l'émissaire (rugosité apparente de 0.475mm au lieu des 15µm pour du PE100 neuf), il est nécessaire de créer 10 trous de 48mm de diamètre entre C12 et C21. La Figure 11 présente le modèle et les résultats hydrauliques à 3050m^3/h. A 3050m^3/h, le premier trou situé à C12 voit une pression interne de 994kPaG et une pression externe de 423kPaG. Les débits de fuite entre C12 et C21 varient entre 129m^3/h et 99m^3/h lorsque l'émissaire traite 3050m^3/h d'effluent.

La courbe réseau du circuit est présentée en Figure 12. La pression maximale à 3050m^3/h correspond à la pression maximale d'opération du PEHD PN12.5. La conduite actuelle subirait une pression maximale de 1671kPaG pour un débit de 3050m^3/h, soit 6,3 bars au-delà de la pression maximale d'opération.

Les chainages sont renseignés sur le plan en annexe 4.3.

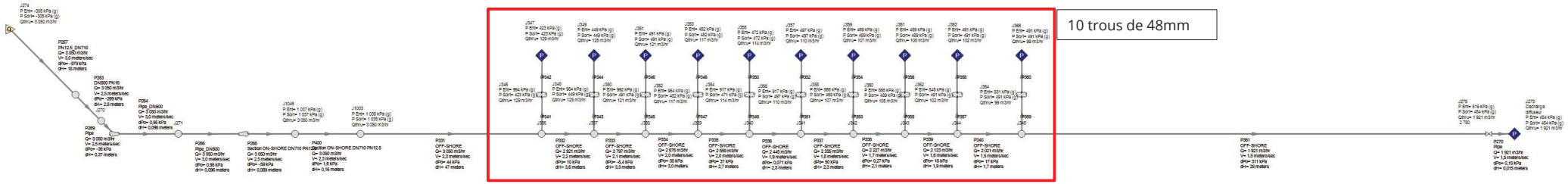


Figure 11 Intégration de 10 tous de 48mm de diamètre à chaque chainage depuis C12 jusqu'à C21 avec une rugosité équivalente de 0.475mm

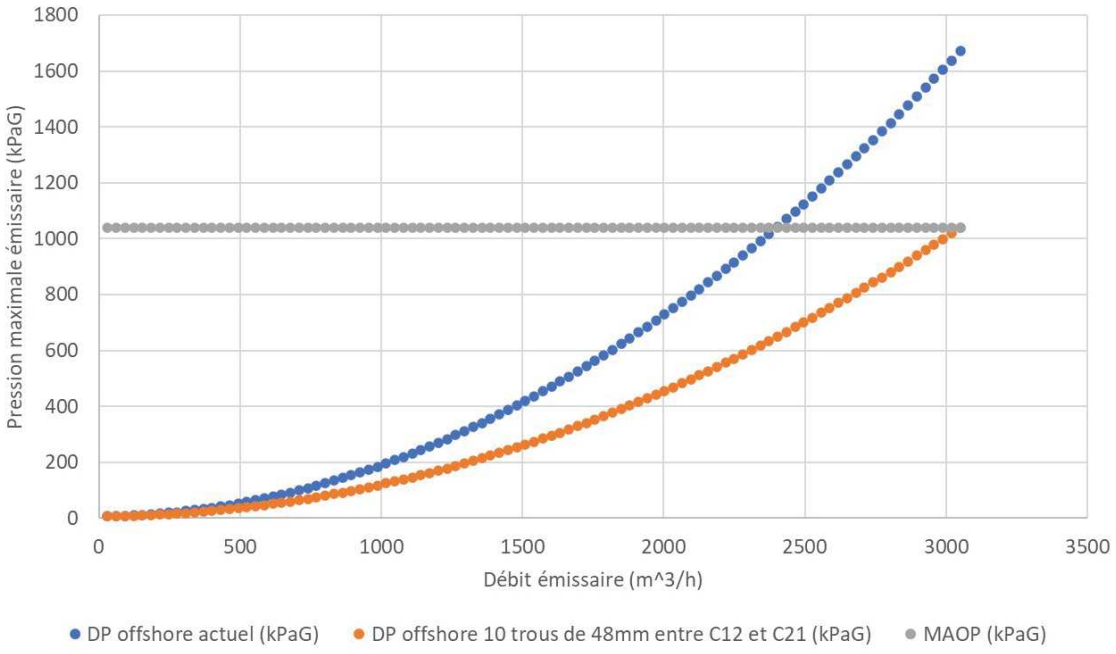


Figure 12 Courbes réseaux pour l'émissaire actuel et pour l'émissaire intégrant 10 trous de 48mm permettant d'atteindre 3050m³/h (rugosité équivalente de 0.475mm)

6 VARIATIONS DES CONDITIONS OPERATIONNELLES

En fonctionnement normal, la pression dans la conduite fluctue autour du modèle de rugosité moyen tel que représenté sur la Figure 13. La rugosité équivalente peut varier entre 0,25mm et 0,8mm. Le cas dimensionnant, le plus défavorable, est défini par la rugosité la plus élevé, soit 0,8mm.

La Figure 14 présente la plage opérationnelle prévue pour l'émissaire équipé des 10 trous. Dans ces conditions, le débit maximal atteignable varie en fonction de la température de rejet.

La Figure 15 présente le modèle hydraulique pour un débit de 3050m³/h avec 10 trous de 48mm de diamètre et une rugosité équivalente de 0.8mm. Les débits de chaque trou sont indiqués ainsi que les pressions à chaque point de rejet.

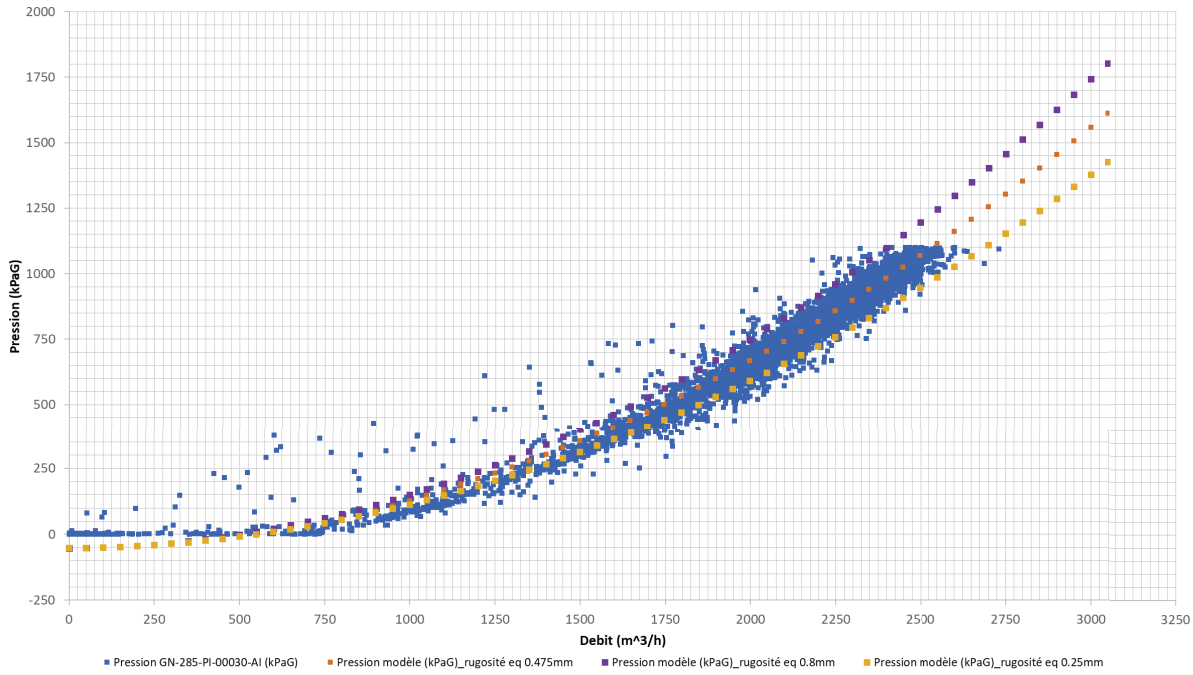


Figure 13 Variation des conditions opérationnelles

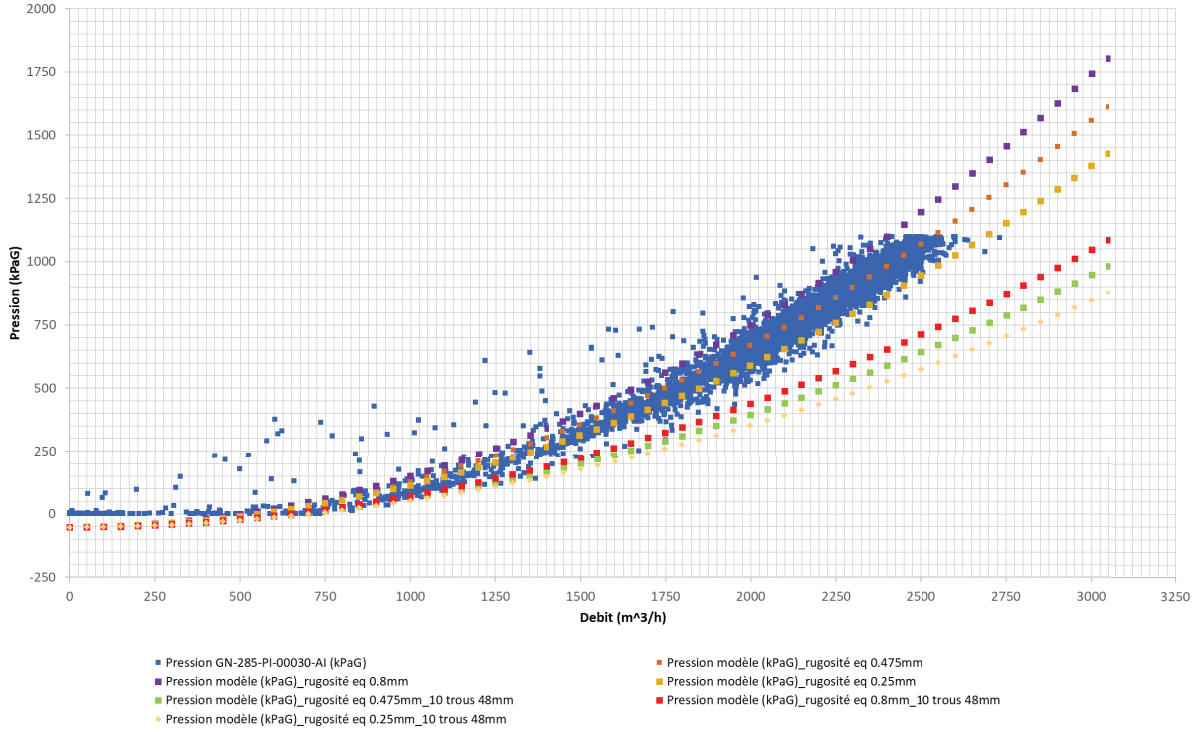


Figure 14 Plages opérationnelles de fonctionnement de l'émissaire équipé des 10 trous de 48mm

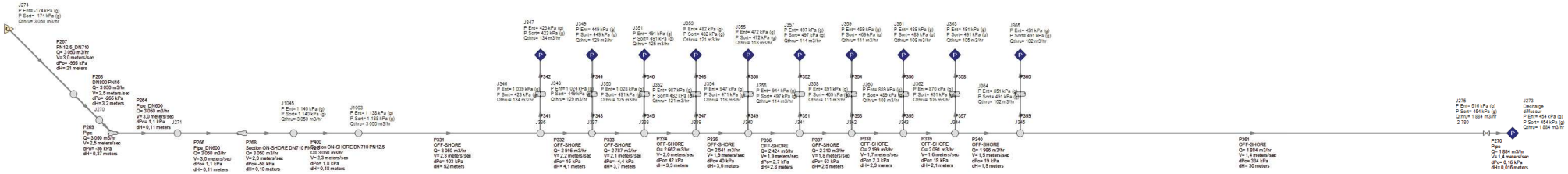


Figure 15 Résultats du modèle hydraulique à 3050m³/h pour une rugosité équivalente de 0.8mm avec 10 trous de 48mm

Le Tableau 2 ci-après présente différents scénarios d'étude. Comme le montre le paragraphe précédent, les points de fonctionnement de l'émissaire sont dispersés autour de la valeur moyenne de rugosité de 0.475mm. Cependant pour encadrer le fonctionnement de la ligne, les bonnes pratiques d'ingénierie nécessitent de considérer la borne supérieure de rugosité de 0.8mm pour définir le fonctionnement du circuit dans les conditions les moins favorables. A ce titre, le cas le plus défavorable est le premier présenté avec une rugosité équivalente de 0.8mm et une température de rejet de 40°C (valeur maximale selon l'ICPE de PRNC). Dans ces conditions, la capacité de pompage maximale est limitée à 2907m^3/h. Ensuite deux scénarios plus réalistes compte tenu des plages opérationnelles de température sont présentées. A 35°C et pour une rugosité équivalente de 0.8mm, le débit maximal de l'émissaire est de 2989m^3/h. Avec cette rugosité équivalente extrême, les 3050m^3/h sont atteignables pour une température de 30°C.

Le dernier scénario porte sur le fonctionnement moyen de l'installation avec une rugosité équivalente de 0.475mm et une température de rejet maximale de 40°C. Selon ces conditions, le débit de rejet peut atteindre 3050m^3/h.

Tableau 2 Scénarios d'analyse pour différentes conditions de fonctionnement

Débit max (m^3/h)	Rugosité équivalente (mm)	Température de rejet (°C)	Débit de fuite en C12 (m^3/h)	Débit de fuite en C21 (m^3/h)	Débit déchage émissaire (m^3/h)
2907	0,8	40	127	96	1797
2989	0,8	35	131	100	1846
3050	0,8	30	134	102	1884
3050	0,475	40	129	99	1921

7 CONCLUSION

La période actuelle est critique avec un niveau dans la Kwé très important. Pour corriger la situation il faut être capable d'augmenter rapidement les capacités de pompage de l'émissaire afin d'atteindre si nécessaire les 3050m^3/h.

La solution technique proposée par PRNC et étayée par cette note technique consiste intégrer des trous de 48mm entre les chainages C12 et C21, soit 10 trous.

8 ANNEXES

ANNEXE 1.1 : P&ID de l'émissaire marin

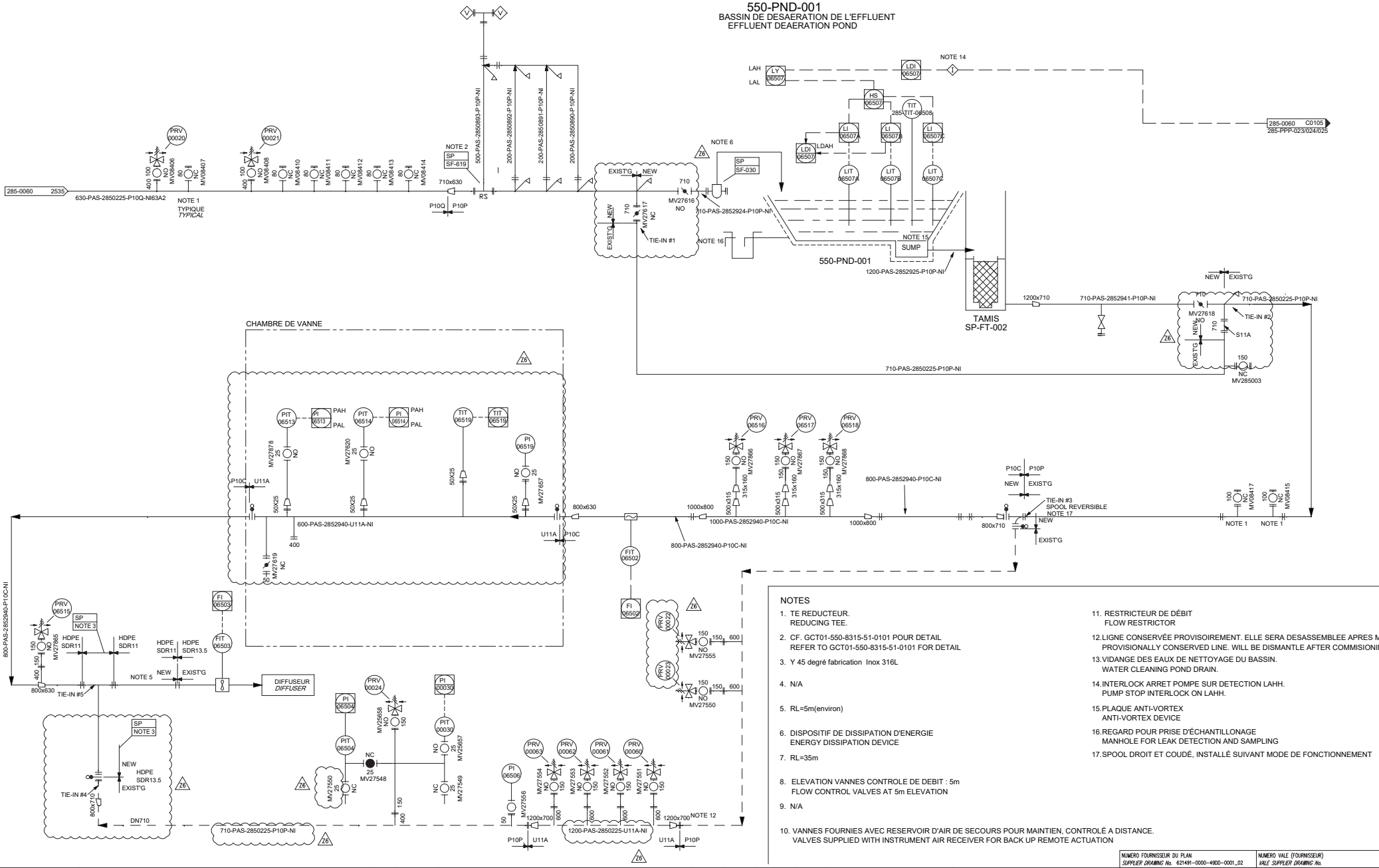
ANNEXE 4.1 : Composition de l'émissaire depuis le bassin de désaération

ANNEXE 4.2 : Disposition générale de la partie OFF-SHORE de l'émissaire marin

ANNEXE 4.3 : Plan du diffuseur

ANNEXE 5.1 : Vérification indépendante de Norda Stelo

ANNEXE 1.1 : P&ID de l’émissaire marin



NOTES

1. TE REDUCTEUR.
   REDUCING TEE.
2. CF. GCT01-550-8315-51-0101 POUR DETAIL
   REFER TO GCT01-550-8315-51-0101 FOR DETAIL
3. Y 45 degré fabrication Inox 316L
4. N/A
5. RL=5m(environ)
6. DISPOSITIF DE DISSIPATION D'ENERGIE
   ENERGY DISSIPATION DEVICE
7. RL=35m
8. ELEVATION VANNES CONTROLE DE DEBIT : 5m
   FLOW CONTROL VALVES AT 5m ELEVATION
9. N/A
10. VANNES FOURNIES AVEC RESERVOIR D'AIR DE SECOURS POUR MAINTIEN, CONTROLÉ A DISTANCE.
    VALVES SUPPLIED WITH INSTRUMENT AIR RECEIVER FOR BACK UP REMOTE ACTUATION
11. RESTRICTEUR DE DÉBIT
    FLOW RESTRICTOR
12. LIGNE CONSERVÉE PROVISOIREMENT. ELLE SERA DESASSEMBLEE APRES MISE E
    PROVISIONALLY CONSERVED LINE. WILL BE DISMANTLE AFTER COMMISIONING.
13. VIDANGE DES EAUX DE NETTOYAGE DU BASSIN.
    WATER CLEANING POND DRAIN.
14. INTERLOCK ARRET POMPE SUR DETECTION LAHH.
    PUMP STOP INTERLOCK ON LAHH.
15. PLAQUE ANTI-VORTEX
    ANTI-VORTEX DEVICE
16. REGARD POUR PRISE D'ÉCHANTILLONAGE
    MANHOLE FOR LEAK DETECTION AND SAMPLING
17. SPOOL DROIT ET COUDÉ, INSTALLÉ SUIVANT MODE DE FONCTIONNEMENT

NUMERO FOURNISSEUR DU PLAN
SUPPLIER DRAWING No. 621491-0000-49DD-0001_02

NUMERO VALE (FOURNISSEUR)
VALE SUPPLIER DRAWING No.

		Z5	24/07/17	AS BUILT MOC-2016-0066	F.G	C.M	B.C.G	
		Z4	28/07/16	AS BUILT MOC 2016-0050	FL	VL	LB	
		Z3	31-12-15	AS BUILT 2673	M.C	D.TU	Y.DU	
		Z2	21-03-14	AS BUILT - PN2660	DPH	YDU	K.LL	
		01/S2	04-12-14	ISSUED FOR CONSTRUCTION - WITHOUT HOLDS	F.O.	A.A.	E.P.	
GCT01-520-C100-25-3116	PORT FACILITIES INSTRUMENT AIR P&ID	00/S1	24-11-14	ISSUED FOR CONSTRUCTION - WITHOUT HOLDS	FO	AA	EP	
GTC01-000-8820-25-0009	ACTUATED VALVE DETAILS	Z6	11/02/19	MIS A JOUR TERRAIN	E.HN	D.TU	G.TA	
GTC01-000-8820-25-0001 to 0008	SYMBOLOGY SHEETS	Z1	24-11-10	AS BUILT BY OPERATION	RF	AEL	M.BO	
DESSIN DE REF. */ REF. DRAWING*	DESCRIPTION DES DESSINS DE REF. */ REFERENCE DRAWING DESCRIPTION*	REV.	DATE	DESCRIPTION DES REVISIONS */ REVISION DESCRIPTION*	DESS./ DRN.	VER./CKD.	APP. /APP.	SIGNATURES

VALE NOUVELLE-CALEDONIE SAS DISPOSE DE DROITS DE PROPRIETE ATTACHES AU PRESENT PLAN. CE DOCUMENT EST PRETE SANS AUTRE CONTREPARTIE DE LA PART DE L'EMPRUNTEUR QUE L'ASSURANCE QU'IL NE SERA PAS REPRODUIT, COPIE, PRETE OU ELIMINE DIRECTEMENT OU INDIRECTEMENT NI UTILISE POUR D'AUTRES RAISONS QUE CELLES POUR LEQUEL IL EST FOURNI, SAUF LE CAS ECHEANT, A BENEFICIER DE L'AUTORISATION EXPRESSE DE VALE NOUVELLE-CALEDONIE SAS. LA MISE A DISPOSITION DU PRESENT PLAN NE CONFERE AUCUNE CESSION DE DROITS DE PROPRIETE. TOTALE OU PARTIELLE. CERTAINS ELEMENTS FIGURANT SUR LE PLAN SONT SUSCEPTIBLES D'ETRE BREVETES OU DE MARQUE DEPOSEE.

*VALE NOUVELLE-CALEDONIE SAS HAS INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS ATTACHED TO THIS DRAWING. THE DOCUMENT IS LENT ON THE UNDERSTAND THAT THE BORROWER SHALL AGREE NOT TO REPRODUCE, COPY, LEND OR DISPOSE OF, DIRECTLY OR INDIRECTLY, THE DOCUMENT OR USE FOR ANY OTHER PURPOSE OTHER THAN THAT FOR WHICH IT IS SPECIFICALLY INTENDED, SUBJECT TO VALE NOUVELLE-CALEDONIE SASs PRIOR AGREEMENT. NO INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS ATTACHED TO THE DOCUMENT MAY BE TRANSFERRED, EITHER IN WHOLE OR IN PART. CERTAIN ELEMENTS SHOWN ON THE ASSIGNMENT MAY BE PATENTED OR REGISTERED. TRADE MARKS

VALE NOUVELLE CALEDONIE
VALE NEW CALEDONIA

NUM. PROJET
PROJECT No. -

TITRE */TITLE*
TRAITEMENT DES EFFLUENTS - ZONE 285
TUYAUTERIE DE REJET EN MER DES EFFLUENTS
P&ID
EFFLUENT TREATEMENT AREA 285
OCEAN OUTFALL LINE
P&ID

NUMERO DE DESSIN */DRAWING NUMBER*
VNC-285-8820-25-0065

REV.
Z6

PATH & FILENAME: Y:\209-PROJET_INGE\209-01_INGENIERIE\209-01-06_GESTION DES DESSINS\209-01-06-33_FICHIER NATIF\2017-NATIF FILES\17-30-285_MOC2016-0066_EXÉCUTÉ\VNC-285-8820-25-0065.DWG

ANNEXE 4.1 : Composition de l’émissaire depuis le bassin de désaération

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
0	0	DN710 PN12.5
10	152.9871063	
20	152.5594025	
30.00000191	152.0496979	
40	151.6580048	
50	150.6833954	
60	149.8896942	
70	149.0099945	
80	148.6069031	
90.00000763	148.136795	
100.0000076	147.5731964	
110.0000153	147.0466003	
120.0000153	146.4682007	
130.0000153	145.8742981	
140.0000305	145.3076935	
150.0000305	144.605896	
160.0000153	143.9499969	
170.0000305	143.1183014	
180.0000305	142.3220062	
190.0000305	141.3704071	
200.0000305	140.4864044	
210.0000458	139.3701935	
220.0000458	138.4629974	
230.0000458	137.5390015	
240.0000458	136.6374054	
250.000061	135.5200043	
260.000061	134.6235962	
270.000061	133.7420044	
280.000061	132.7756042	
290.000061	131.9474945	
300.000061	131.0350037	
310.0000916	130.0581055	
320.0000916	128.7626038	
330.000061	127.9634018	
340.000061	127.1380997	
350.0000305	126.3824997	
360.0000305	125.546402	
370	124.8950043	
380	124.4844055	
389.9999695	123.7027969	
399.9999695	122.7318039	
409.999939	121.8713989	
419.999939	120.9829025	
429.9999084	119.9935074	
439.9999084	119.0671082	
449.9998779	118.0229111	
459.9998779	116.9449997	
469.9998474	115.9417038	
479.9998474	114.8240967	
489.9998169	113.8421021	
499.9998169	112.7521973	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
509.9997864	111.7906113	DN710 PN12.5
519.9997559	110.70401	
529.9997559	109.7423096	
539.9997559	108.8399963	
549.9997559	107.7417068	
559.9996948	106.5859985	
569.9996948	105.4934006	
579.9996948	104.5329971	
589.9996948	103.4887009	
599.9996338	102.6314011	
609.9996338	101.7580032	
619.9996338	101.0390091	
629.9996338	100.2969971	
639.9996338	99.68180847	
649.9996338	98.93280029	
659.9996338	98.32620239	
669.9995728	97.7233963	
679.9995728	97.10420227	
689.9995728	96.21500397	
699.9995728	95.42299652	
709.9995117	94.56700134	
719.9995117	93.45140076	
729.9995117	92.53299713	
739.9995117	91.57659912	
749.9994507	90.5759964	
759.9994507	89.27799988	
769.9994507	88.23000336	
779.9994507	86.57080078	
789.9993896	85.60222626	
799.9993896	84.65630341	
809.9993896	83.79885101	
819.9993896	82.84207916	
829.9993286	82.10006714	
839.9993286	81.12422943	
849.9993286	80.17559052	
859.9993286	79.26046753	
869.9992676	78.37779999	
879.9992676	77.53636169	
889.9992676	77.07565308	
899.9992676	76.52539825	
909.9992676	75.78299713	
919.9992065	75.04940033	
929.9992065	74.26967621	
939.9992065	73.38921356	
949.9992065	72.62210083	
959.9991455	71.76303864	
969.9991455	70.98500061	
979.9991455	70.07308197	
989.9991455	69.04795837	
999.9990845	67.68182373	
1009.999084	66.87993622	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
1019.999084	66.04933929	DN710 PN12.5
1029.999023	65.20085907	
1039.999023	64.35099792	
1049.999023	64.09980011	
1059.999023	63.35955048	
1069.999023	62.48191071	
1079.999023	61.70700073	
1089.999023	60.78070831	
1099.998901	59.92702103	
1109.998901	58.95100403	
1119.998901	58.07001877	
1129.998901	57.05055237	
1139.998901	56.18819046	
1149.998901	55.23857498	
1159.998901	54.31697464	
1169.998901	53.26800156	
1179.998779	52.34980011	
1189.998779	51.26454163	
1199.998779	50.29351044	
1209.998779	49.35786819	
1219.998779	48.36800003	
1229.998779	47.47745132	
1239.998779	46.41690063	
1249.998779	45.37319946	
1259.998901	43.83383942	
1269.998901	42.90309525	
1279.999023	41.93596268	
1289.999023	41.04650116	
1299.999146	40.05522919	
1310	40	
1310	40	DN800 PN16
1610	10	
1610	10	
1650	6	
1650	6	DN600 Sch40 Duplex (chambre des vannes)
1656.5	6	
1656.5	6	
1663	6	
1663	6	DN800PN12.5 (Transition ON-SHORE / OFF-SHORE
1665	6	
1669	0	
1697	0	
1697	0	
1707	-0.805791676	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
1717	-1.609964132	
1727	-2.417817116	
1737	-3.168363094	
1747	-3.966058016	
1757	-4.762761116	
1767	-5.603940964	
1777	-6.353159904	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
1787	-7.193199635	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
1797	-7.995543003	
1807	-8.728305817	
1817	-9.521954536	
1827	-10.39037037	
1837	-11.13358021	
1847	-11.93470097	
1857	-12.78757095	
1867	-13.46562958	
1877	-14.42000008	
1887	-15.3242197	
1897	-16.27407074	
1907	-17.27185059	
1917	-18.31999969	
1927	-18.79524994	
1937	-19.53144073	
1947	-20.04224968	
1957	-20.83960915	
1967.000122	-21.38826942	
1977.000122	-21.96385002	
1987.000122	-22.55360031	
1997.000122	-23.47426033	
2007.000122	-24.10771942	
2017.000122	-24.77238083	
2027.000122	-25.10471916	
2037	-25.80191231	
2047	-26.51590919	
2057	-27.24670029	
2067	-27.99616051	
2077	-28.37088013	
2087	-29.12059021	
2097	-29.87029076	
2107	-30.24514961	
2117	-31.08889198	
2127	-32.02666855	
2137	-32.96443939	
2147	-33.90222168	
2156.999756	-34.84000015	
2166.999756	-35.77777863	
2176.999756	-36.71556091	
2186.999756	-37.65333176	
2196.999756	-38.12221909	
2206.999756	-39.06000137	
2216.999756	-39.5933342	
2226.999756	-40.12667084	
2236.999756	-40.66000366	
2246.999756	-40.8266716	
2256.999756	-40.99333191	
2266.999756	-41.15999985	
2276.999756	-41.3266716	
2286.999756	-41.40999985	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
2296.999756	-41.5766716	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
2306.999756	-41.70417023	
2316.999512	-41.74833298	
2326.999756	-41.83666992	
2336.999756	-41.92499924	
2346.999512	-42.01332855	
2356.999512	-42.05749893	
2366.999512	-42.14582825	
2376.999512	-42.29000092	
2386.999512	-42.38999939	
2396.999512	-42.59000015	
2406.999512	-42.68999863	
2416.999512	-42.88999939	
2426.999512	-43.09000397	
2436.999512	-43.11444473	
2446.999512	-43.13888931	
2456.999512	-43.16333008	
2466.999512	-43.18777847	
2476.999512	-43.30332947	
2486.999512	-43.40667343	
2496.999512	-43.61333466	
2506.999268	-43.81999969	
2516.999268	-43.9233284	
2526.999268	-44.13000107	
2536.999268	-44.30110931	
2546.999268	-44.47222137	
2556.999268	-44.64332962	
2566.999268	-44.72888947	
2576.999268	-44.90000534	
2586.999268	-44.92285919	
2596.999268	-44.94570923	
2606.999268	-44.95714569	
2616.999268	-44.97999954	
2626.999268	-45.00286484	
2636.999268	-45.02571106	
2646.999268	-45.03713989	
2656.999268	-45.06000519	
2666.999268	-45.08285904	
2676.999023	-45.10570908	
2686.999023	-45.11714554	
2696.999023	-45.13999939	
2706.999023	-45.2346611	
2716.999023	-45.32933044	
2726.999023	-45.37667084	
2736.999023	-45.47132874	
2746.999023	-45.56600189	
2756.999023	-45.66067505	
2766.999023	-45.70800018	
2776.999023	-45.80266953	
2786.999023	-45.77799988	
2796.999023	-45.63400269	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
2806.999023	-45.49000168	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
2816.999023	-45.34600067	
2826.999023	-45.27399826	
2836.998779	-45.13000488	
2846.998779	-44.98600006	
2856.998779	-44.84199905	
2866.998779	-44.7595787	
2876.998779	-44.73875427	
2886.998779	-44.72833252	
2896.998779	-44.70750046	
2906.998779	-44.6866684	
2916.998779	-44.6658287	
2926.998779	-44.64500046	
2936.998779	-44.6345787	
2946.998779	-44.61375046	
2956.998779	-44.59292221	
2966.999023	-44.5720787	
2976.999023	-44.56167221	
2986.999023	-44.54083252	
2996.999023	-44.52000046	
3006.999268	-44.82889175	
3016.999268	-45.13777924	
3026.999268	-45.44667435	
3036.999268	-45.75555038	
3046.999512	-45.91000366	
3056.999512	-45.99000168	
3066.999512	-46.07000351	
3076.999512	-46.15000153	
3086.999756	-46.01333237	
3096.999756	-45.87667084	
3106.999756	-45.74000549	
3116.999756	-45.47999954	
3126.999756	-45.22000504	
3137	-44.95999908	
3147	-44.83000183	
3157	-44.56999969	
3167	-44.31000137	
3177.000244	-44.27111053	
3187.000244	-44.36222458	
3197.000244	-44.54444885	
3207.000244	-44.72666931	
3217.000488	-44.81777954	
3227.000488	-45.00000381	
3237.000488	-44.89599991	
3247.000488	-44.84400177	
3257.000732	-44.74000549	
3267.000732	-44.63600159	
3277.000732	-44.58399963	
3287.000732	-44.48000336	
3297.000977	-44.37599945	
3307.000977	-44.32400131	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
3317.000977	-44.22000504	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
3327.000977	-44.15333176	
3337.001221	-44.08667374	
3347.001221	-44.02000046	
3357.001221	-43.95333099	
3367.001221	-43.88666916	
3377.001465	-43.81999969	
3387.001465	-44.02833176	
3397.001465	-44.23667145	
3407.001465	-44.44499969	
3417.001709	-44.65333176	
3427.001709	-44.86167145	
3437.001709	-45.06999969	
3447.001709	-45.06777954	
3457.001953	-45.06666946	
3467.001953	-45.06444931	
3477.001953	-45.06333542	
3487.001953	-45.06111145	
3497.002197	-45.09667206	
3507.002197	-45.13333893	
3517.002197	-45.20666885	
3527.002197	-45.27999878	
3537.002197	-45.3533287	
3547.002441	-45.3900032	
3557.002441	-45.29666901	
3567.002441	-45.20333099	
3577.002441	-45.11000061	
3587.002686	-45.06333542	
3597.002686	-44.97000122	
3607.002686	-44.87667084	
3617.002686	-44.83000183	
3627.00293	-44.73667526	
3637.00293	-44.64332962	
3647.00293	-44.55000305	
3657.00293	-44.33222198	
3667.003174	-44.11444092	
3677.003174	-43.8966713	
3687.003174	-43.67889404	
3697.003174	-43.63334274	
3707.003418	-43.69667435	
3717.003418	-43.82332993	
3727.003418	-43.95000076	
3737.003418	-44.02333069	
3747.003662	-44.13333893	
3757.003662	-44.42832947	
3767.003662	-45.20333099	
3777.003662	-45.72000122	
3787.003906	-45.49666977	
3797.003906	-45.04999924	
3807.003906	-45.49000168	
3817.003906	-45.7100029	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
3827.00415	-46.15000153	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
3837.00415	-46.08000183	
3847.00415	-45.5	
3857.00415	-44.63000107	
3867.004395	-44.65999985	
3877.004395	-44.72000122	
3887.004395	-44.77999878	
3897.004395	-44.77777863	
3907.004639	-44.71333313	
3917.004639	-44.64889526	
3927.004639	-44.58444977	
3937.004639	-44.52000046	
3947.004639	-44.71333313	
3957.004883	-44.84222031	
3967.004883	-44.9711113	
3977.004883	-45.10000229	
3987.004883	-45.08444977	
3997.005127	-45.06888962	
4007.005127	-45.05332947	
4017.005127	-45.03778076	
4027.005127	-44.9411087	
4037.005371	-44.67444992	
4047.005371	-44.49666977	
4057.005371	-44.31888962	
4067.005371	-44.34000015	
4077.005615	-44.56000137	
4087.005615	-44.77999878	
4097.005859	-45.00000381	
4107.005859	-45.11000061	
4117.005859	-45.15222168	
4127.005859	-44.94889069	
4137.005859	-44.8133316	
4147.005859	-44.67778015	
4157.005859	-44.53110886	
4167.005859	-44.45222092	
4177.006348	-44.29444885	
4187.006348	-44.13666916	
4197.006348	-43.97888947	
4207.006348	-43.7733345	
4217.006348	-43.52000046	
4227.006348	-43.39332962	
4237.006348	-43.13999939	
4247.006348	-42.88667297	
4257.006836	-42.63333893	
4267.006836	-42.38000107	
4277.006836	-42.12667084	
4287.006836	-42	
4297.006836	-42.26667023	
4307.006836	-42.40000153	
4317.006836	-42.66667175	
4327.006836	-42.93333435	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
4337.006836	-43.06666946	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
4347.007324	-43.18267059	
4357.007324	-43.14799881	
4367.007324	-43.13066101	
4377.007324	-43.09600067	
4387.007324	-43.06132889	
4397.007324	-43.04400253	
4407.007324	-43.00933456	
4417.007324	-42.97467041	
4427.007813	-42.95733261	
4437.007813	-42.88334274	
4447.007813	-42.77000046	
4457.007813	-42.65666962	
4467.007813	-42.54333496	
4477.007813	-42.43000031	
4487.007813	-42.31666946	
4497.007813	-42.20333099	
4507.008301	-42.09000015	
4517.008301	-42.19295883	
4527.008301	-42.39889145	
4537.008301	-42.60482407	
4547.008301	-42.81074142	
4557.008301	-43.01667404	
4567.008301	-43.11962891	
4577.008301	-43.32555008	
4587.008789	-43.53147888	
4597.008789	-43.73741531	
4607.008789	-43.84037018	
4617.008789	-44.04629898	
4627.008789	-44.25222015	
4637.008789	-44.45815277	
4647.008789	-44.66407013	
4657.008789	-44.76704025	
4667.009277	-44.81444931	
4677.009277	-44.70333099	
4687.009277	-44.59222412	
4697.009277	-44.48110962	
4707.009277	-44.42556	
4717.009277	-44.30500412	
4727.009277	-44.17500305	
4737.009277	-44.04500198	
4747.009277	-43.91500473	
4757.009766	-43.78500366	
4767.009766	-43.59000015	
4777.009766	-43.58095551	
4787.009766	-43.56285858	
4797.009766	-43.54476166	
4807.009766	-43.53570938	
4817.009766	-43.51762009	
4827.009766	-43.49952316	
4837.010254	-43.48143005	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
4847.010254	-43.47238541	
4857.010254	-43.45428467	
4867.010254	-43.43619156	
4877.010254	-43.41809082	
4887.010254	-43.40904999	
4897.010254	-43.38333893	
4907.010254	-43.35000229	
4917.010742	-43.31666946	
4927.010742	-43.28332901	
4937.010742	-43.26667023	
4947.010742	-43.23332977	
4957.010742	-43.20000076	
4967.010742	-43.16667175	
4977.010742	-43.21133041	
4987.010742	-43.33400345	
4997.01123	-43.39532852	
5007.01123	-43.51800537	
5017.01123	-43.64067078	
5027.01123	-43.76332855	
5037.01123	-43.88600159	
5047.01123	-44.00867081	
5057.01123	-44.09999847	
5067.01123	-44.13000107	
5077.011719	-44.19000244	
5087.011719	-44.25	
5097.011719	-44.27999878	
5107.011719	-44.34000015	
5117.011719	-44.34333038	
5127.011719	-44.34667206	
5137.011719	-44.35000229	
5147.011719	-44.3533287	
5157.011719	-44.35499954	
5167.012207	-44.35832977	
5177.012207	-44.36167526	
5187.012207	-44.36500549	
5197.012207	-44.36832809	
5207.012207	-44.36999893	
5217.012207	-44.67250061	
5227.012207	-44.97499847	
5237.012207	-45.27750015	
5247.012695	-45.42874908	
5257.012695	-45.73125076	
5267.012695	-46.03374863	
5277.012695	-46.18500137	
5287.012695	-46.48749924	
5297.012695	-46.79000092	
5307.012695	-46.94124985	
5317.012695	-47.24375534	
5327.013184	-47.5462532	
5337.013184	-47.69749832	
5347.013184	-48	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
5357.013184	-47.96889114	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
5367.013184	-47.93778229	
5377.013184	-47.90667343	
5387.013184	-47.87556076	
5397.013184	-47.81777954	
5407.013672	-47.73332977	
5417.013672	-47.64889145	
5427.013672	-47.60667038	
5437.013672	-47.52222061	
5447.013672	-47.59777832	
5457.013672	-47.83332825	
5467.013672	-47.95111084	
5477.013672	-48.1866684	
5487.01416	-48.42221832	
5497.01416	-48.5408287	
5507.01416	-48.54250336	
5517.01416	-48.54417419	
5527.01416	-48.54583359	
5537.01416	-48.54750061	
5547.01416	-48.54917145	
5557.01416	-48.82083893	
5567.01416	-49.36249924	
5577.014648	-49.63333893	
5587.014648	-50.17499924	
5597.014648	-50.71667099	
5607.014648	-51.25834274	
5617.014648	-51.52917099	
5627.014648	-51.92889023	
5637.014648	-52.18667221	
5647.014648	-52.31555939	
5657.015137	-52.57332993	
5667.015137	-52.70222092	
5677.015137	-52.95999908	
5687.015137	-53.19667053	
5697.015137	-53.31499863	
5707.015137	-53.55167007	
5717.015137	-53.64500046	
5727.015137	-53.59500504	
5737.015625	-53.56999969	
5747.015625	-53.52000427	
5757.015625	-53.47000122	
5767.015625	-53.42000198	
5777.015625	-53.39500046	
5787.015625	-53.26333237	
5797.015625	-53.04999924	
5807.015625	-52.83667374	
5817.016113	-52.71583557	
5827.016113	-52.7016716	
5837.016113	-52.6733284	
5847.016113	-52.64500046	
5857.016113	-52.61666489	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
5867.016113	-52.58832932	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
5877.016113	-52.56000137	
5887.016113	-52.29000473	
5897.016113	-51.75	
5907.016602	-51.20999908	
5917.016602	-50.75	
5927.016602	-50.56000137	
5937.016602	-50.18000412	
5947.016602	-49.99000168	
5957.016602	-50.07778168	
5967.016602	-50.3555603	
5977.016602	-50.91110992	
5987.01709	-51.4666748	
5997.01709	-51.74444962	
6007.01709	-52.29999924	
6017.01709	-52.63167191	
6027.01709	-53.29499817	
6037.01709	-53.95833206	
6047.01709	-54.29000473	
6057.01709	-54.38667297	
6067.017578	-54.48332977	
6077.017578	-54.53167343	
6087.017578	-54.39556503	
6097.017578	-53.84222031	
6107.017578	-53.47333145	
6117.017578	-53.10443878	
6127.017578	-52.66999817	
6137.017578	-52.16999817	
6147.018066	-51.67000198	
6157.018066	-51.16999817	
6167.018066	-50.46500015	
6177.018066	-50.05500031	
6187.018066	-49.64500427	
6197.018066	-49.44000244	
6207.018066	-48.87332916	
6217.018066	-48.55667496	
6227.018555	-48.49000549	
6237.018555	-48.4233284	
6247.018555	-48.3433342	
6257.018555	-48.25	
6267.018555	-48.15666962	
6277.018555	-48.0633316	
6287.018555	-47.97000122	
6297.018555	-48.04499817	
6307.018555	-48.19499969	
6317.019043	-48.34500504	
6327.019043	-48.36333084	
6337.019043	-48.25	
6347.019043	-48.13667297	
6357.019043	-48.08000183	
6367.019043	-47.96667099	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
6377.019043	-47.75834274	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
6387.019043	-47.45500183	
6397.019531	-47.15167236	
6407.019531	-46.8983345	
6417.019531	-46.69499969	
6427.019531	-46.49166107	
6437.019531	-46.34000015	
6447.019531	-46.18999863	
6457.019531	-46.09000015	
6467.019531	-45.99000168	
6477.02002	-45.91381073	
6487.02002	-45.86141968	
6497.02002	-45.80904007	
6507.02002	-45.78284454	
6517.02002	-45.73046112	
6527.02002	-45.67807388	
6537.02002	-45.62569046	
6547.02002	-45.57330322	
6557.020508	-45.52140427	
6567.020508	-45.49570084	
6577.020508	-45.50468445	
6587.020508	-45.60723114	
6597.020508	-45.67359924	
6607.020508	-45.73711014	
6617.020508	-45.79924393	
6627.020508	-45.86000061	
6637.020996	-45.66867447	
6647.020996	-45.54652405	
6657.020996	-45.36848068	
6667.020996	-45.40401077	
6677.020996	-45.68135071	
6687.020996	-45.86000061	
6697.020996	-46.17371368	
6707.020996	-46.47351456	
6717.020996	-46.75999832	
6727.020996	-46.69329834	
6737.020996	-46.66067505	
6747.020996	-46.75133896	
6757.020996	-46.5950737	
6767.020996	-46.09643936	
6777.021484	-45.76977539	
6787.021484	-46.34000015	
6797.021484	-45.71976471	
6807.021484	-45.42797089	
6817.021484	-45.52000427	
6827.021484	-45.82316971	
6837.021484	-46.06387329	
6847.021484	-46.36777878	
6857.021973	-46.78889465	
6867.021973	-47.05640411	
6877.021973	-46.98450089	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
6887.021973	-46.90919876	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
6897.021973	-46.83029938	
6907.021973	-46.74766159	
6917.021973	-46.6908493	
6927.021973	-46.60158539	
6937.022461	-46.53923035	
6947.022461	-46.47541046	
6957.022461	-46.37590027	
6967.022461	-46.3074913	
6977.022461	-46.2358284	
6987.022461	-46.1289444	
6997.022461	-45.91775894	
7007.022461	-45.77966309	
7017.022949	-45.58000565	
7027.022949	-45.63759995	
7037.022949	-45.69373322	
7047.022949	-45.74837875	
7057.022949	-45.80025101	
7067.022949	-45.87539291	
7077.022949	-45.98822021	
7087.022949	-46.24892044	
7097.023438	-46.49795151	
7107.023438	-46.73583984	
7117.023438	-47.0365448	
7127.023438	-47.03548431	
7137.023438	-46.92710876	
7147.023438	-46.78978348	
7157.023438	-46.66178131	
7167.023438	-46.48537827	
7177.023438	-46.30561066	
7187.023926	-46.08806992	
7197.023926	-45.68999863	
7207.023926	-45.74142075	
7217.023926	-45.79547119	
7227.023926	-45.7364006	
7237.023926	-46.08922958	
7247.023926	-46.43883896	
7257.023926	-46.64881897	
7267.024414	-45.99101257	
7277.024414	-45.1042099	
7287.024414	-44.75905991	
7297.024414	-44.68846512	
7307.024414	-44.38504028	
7317.024414	-44.15675354	
7327.024414	-43.94124985	
7337.024414	-43.81999969	
7347.024902	-43.56068039	
7357.024902	-43.37863159	
7367.024902	-43.09587097	
7377.024902	-42.99258041	
7387.024902	-42.96995926	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
7397.024902	-42.94628143	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
7407.024902	-42.93000412	
7417.024902	-42.8985405	
7427.025391	-42.86631012	
7437.025391	-42.81602859	
7447.025391	-42.78144073	
7457.025391	-42.74517441	
7467.025391	-42.72703934	
7477.025391	-42.68901443	
7487.025391	-42.53554916	
7497.025391	-42.39888382	
7507.025879	-42.25999832	
7517.025879	-41.61286926	
7527.025879	-40.97000122	
7537.025879	-41.06481934	
7547.025879	-41.20408249	
7557.025879	-41.09333038	
7567.025879	-40.9366684	
7577.025879	-40.54545212	
7587.025879	-40.31545258	
7597.026367	-40.16704941	
7607.026367	-40.32114029	
7617.026367	-40.5429306	
7627.026367	-40.75576019	
7637.026367	-40.95999908	
7647.026367	-40.3490715	
7657.026367	-39.71955109	
7667.026367	-39.59980011	
7677.026855	-39.44734955	
7687.026855	-39.62083817	
7697.026855	-40.02999878	
7707.026855	-40.01170349	
7717.026855	-39.99000168	
7727.026855	-40.5966301	
7737.026855	-40.38333893	
7747.026855	-40.34575272	
7757.027344	-40.63000107	
7767.027344	-41.41083908	
7777.027344	-41.75506973	
7787.027344	-41.75	
7797.027344	-41.7432518	
7807.027344	-42.12000275	
7817.027344	-42.65999985	
7827.027344	-42.65999985	
7837.027832	-42.48410034	
7847.027832	-42.21184158	
7857.027832	-42.02312469	
7867.027832	-41.84626007	
7877.027832	-41.87879181	
7887.027832	-41.9300499	
7897.027832	-41.96596909	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
7907.027832	-42.00278854	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
7917.02832	-42.04052353	
7927.02832	-42.09999847	
7937.02832	-42.06742477	
7947.02832	-42.03408051	
7957.02832	-42	
7967.02832	-42.09056091	
7977.02832	-42.13582993	
7987.02832	-42.2292099	
7997.02832	-42.3205986	
8007.028809	-42.36529922	
8017.028809	-42.28380966	
8027.028809	-42.16048431	
8037.028809	-42.04000092	
8047.028809	-42.10250092	
8057.028809	-42.19371414	
8067.028809	-42.28123474	
8077.028809	-42.22521973	
8087.029297	-42.1009407	
8097.029297	-42.19728088	
8107.029297	-42.3503418	
8117.029297	-42.43033981	
8127.029297	-42.52531052	
8137.029297	-42.59864044	
8147.029297	-42.67891312	
8157.029297	-42.69187927	
8167.029785	-42.70834351	
8177.029785	-42.81000137	
8187.029785	-42.90279007	
8197.029297	-42.72261047	
8207.030273	-42.68714523	
8217.030273	-43.01427078	
8227.030273	-43.25801086	
8237.030273	-43.33134079	
8247.030273	-42.96686935	
8257.030273	-42.94562912	
8267.030273	-43.59230423	
8277.030273	-43.89012146	
8287.030273	-44.09340286	
8297.030273	-44.55686188	
8307.030273	-44.65999985	
8317.030273	-44.86000061	
8327.030273	-44.77000427	
8337.030273	-44.66956329	
8347.030273	-45.13999939	
8357.030273	-45.11080933	
8367.030273	-44.99000168	
8377.03125	-44.54000092	
8387.03125	-44.74427032	
8397.03125	-44.8221283	
8407.03125	-44.77893066	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
8417.03125	-44.71825409	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
8427.03125	-44.6699028	
8437.03125	-44.6191597	
8447.03125	-44.5658989	
8457.03125	-44.52863312	
8467.03125	-44.66077042	
8477.03125	-44.8938942	
8487.03125	-45.0552597	
8497.03125	-45.30657959	
8507.03125	-45.47920227	
8517.03125	-45.75006485	
8527.03125	-45.93898392	
8537.032227	-46.13225937	
8547.032227	-46.32989502	
8557.032227	-46.53662872	
8567.032227	-46.77071381	
8577.032227	-47.03213501	
8587.032227	-47.44039917	
8597.032227	-47.72013092	
8607.032227	-47.96778488	
8617.032227	-48.07555008	
8627.032227	-48.29111481	
8637.032227	-48.50667191	
8647.032227	-48.72222137	
8657.032227	-48.7298317	
8667.032227	-48.62966919	
8677.032227	-48.42932892	
8687.032227	-48.22899246	
8697.033203	-48.02965927	
8707.033203	-48.05197525	
8717.033203	-48.29589844	
8727.033203	-48.52907944	
8737.033203	-48.75711441	
8747.033203	-48.98000336	
8757.033203	-49.03107834	
8767.033203	-49.10554123	
8777.033203	-49.18333435	
8787.033203	-49.29000092	
8797.033203	-49.29000092	
8807.033203	-49.29000092	
8817.033203	-49.23041916	
8827.033203	-49.17037201	
8837.033203	-49.10987091	
8847.033203	-49.05195999	
8857.033203	-48.96767044	
8867.03418	-48.72000504	
8877.03418	-48.27999878	
8887.03418	-48.95333481	
8897.03418	-48.90999985	
8907.03418	-48.15000153	
8917.03418	-48.22212982	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
8927.03418	-48.29595947	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
8937.03418	-48.37149048	
8947.03418	-48.45061874	
8957.03418	-48.53162003	
8967.03418	-48.61449432	
8977.03418	-48.65729141	
8987.03418	-48.74288177	
8997.03418	-48.82859039	
9007.03418	-48.91429901	
9017.03418	-49	
9027.035156	-48.99375534	
9037.035156	-48.98123932	
9047.035156	-48.96876144	
9057.035156	-48.96252441	
9067.035156	-48.95042038	
9077.035156	-48.93861008	
9087.035156	-48.92708969	
9097.035156	-48.91611099	
9107.035156	-48.90540314	
9117.035156	-48.89494324	
9127.035156	-48.88497925	
9137.035156	-48.82044983	
9147.035156	-48.6443634	
9157.035156	-48.47579956	
9167.035156	-48.36667252	
9177.035156	-48.20999146	
9187.035156	-48.06000137	
9197.036133	-48.11365509	
9207.036133	-48.1649704	
9217.036133	-48.22971344	
9227.036133	-48.27598953	
9237.036133	-48.33457947	
9247.036133	-48.38999939	
9257.036133	-47.4600029	
9267.036133	-46.60647964	
9277.036133	-45.79999924	
9287.036133	-46.15574265	
9297.036133	-46.01573944	
9307.036133	-46.67056274	
9317.036133	-47.86260986	
9327.036133	-47.65000534	
9337.036133	-48.05286407	
9347.036133	-48.40000534	
9357.037109	-48.59954071	
9367.037109	-48.28621292	
9377.037109	-48.17667007	
9387.037109	-48.61442947	
9397.037109	-49.04290009	
9407.037109	-48.89914322	
9417.037109	-48.70484924	
9427.037109	-48.50999832	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
9437.037109	-48.34479904	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
9447.037109	-48.1715889	
9457.037109	-48.05053329	
9467.037109	-48.17236328	
9477.037109	-48.35902023	
9487.037109	-48.47945023	
9497.037109	-48.33834457	
9507.037109	-48.19052887	
9517.038086	-47.96176147	
9527.038086	-47.80321121	
9537.038086	-47.64097977	
9547.038086	-47.47100067	
9557.038086	-47.29698181	
9567.038086	-47.20794296	
9577.038086	-47.02593994	
9587.038086	-46.84000015	
9597.038086	-47.39500046	
9607.038086	-47.95000458	
9617.038086	-47.95999908	
9627.038086	-47.97000122	
9637.038086	-47.98000336	
9647.038086	-47.77000046	
9657.038086	-47.63000107	
9667.038086	-47.5847435	
9677.038086	-47.65888977	
9687.039063	-47.70822525	
9697.039063	-47.756073	
9707.039063	-47.66543961	
9717.039063	-47.43632889	
9727.039063	-47.21878433	
9737.039063	-47.18307495	
9747.039063	-47.32921982	
9757.039063	-47.54000092	
9767.039063	-47.59556961	
9777.039063	-47.67665482	
9787.039063	-47.75442886	
9797.039063	-47.82656097	
9807.039063	-47.96409225	
9817.039063	-48.09527969	
9827.039063	-48.18000031	
9837.039063	-48.08764267	
9847.040039	-48	
9857.040039	-47.71733093	
9867.040039	-47.81164932	
9877.040039	-48.26062393	
9887.040039	-48.37921143	
9897.040039	-47.99000168	
9907.040039	-47.20598984	
9917.040039	-47.34225845	
9927.040039	-47.4222908	
9937.040039	-47.30894852	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
9947.040039	-47.01564407	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
9957.040039	-46.97092819	
9967.040039	-47.24853134	
9977.040039	-47.39966965	
9987.040039	-47.27674866	
9997.040039	-47.19221878	
10007.04004	-47.05931091	
10017.04102	-46.96643066	
10027.04102	-46.89957047	
10037.04102	-46.86809158	
10047.04102	-46.84639359	
10057.04102	-46.81283951	
10067.04102	-46.79000092	
10077.04102	-46.79508972	
10087.04102	-46.79999924	
10097.04102	-47.06667328	
10107.04102	-47.37333298	
10117.04102	-47.40999985	
10127.04102	-46.79000092	
10137.04102	-46.81069183	
10147.04102	-46.84272385	
10157.04102	-46.86492157	
10167.04102	-46.88764191	
10177.04199	-46.91146088	
10187.04199	-46.94832993	
10197.04199	-46.97389221	
10207.04199	-47.00006104	
10217.04199	-47.01377106	
10227.04199	-47.04117966	
10237.04199	-47.06988144	
10247.04199	-47.09886932	
10257.04199	-47.12817001	
10267.04199	-47.14281082	
10277.04199	-47.17211151	
10287.04199	-47.20140457	
10297.04199	-47.23070526	
10307.04199	-47.24534988	
10317.04199	-47.45705414	
10327.04199	-47.85115051	
10337.04199	-48.23866272	
10347.04297	-48.6182785	
10357.04297	-48.76074982	
10367.04297	-48.30226135	
10377.04297	-47.86074829	
10387.04297	-48.07332993	
10397.04297	-48.86201477	
10407.04297	-48.63069153	
10417.04297	-48.47999954	
10427.04297	-48.30000305	
10437.04297	-48.69253922	
10447.04297	-49.29627228	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
10457.04297	-49.49731064	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
10467.04297	-49.49192047	
10477.04297	-49.48627472	
10487.04297	-49.48048401	
10497.04297	-49.47454834	
10507.04395	-49.46833038	
10517.04395	-49.46522141	
10527.04395	-49.45886993	
10537.04395	-49.45252991	
10547.04395	-49.44934845	
10557.04395	-49.44300079	
10567.04395	-49.43666077	
10577.04395	-49.4303093	
10587.04395	-49.4271431	
10597.04395	-49.42078018	
10607.04395	-49.41444016	
10617.04395	-49.4080925	
10627.04395	-49.40491104	
10637.04395	-49.39857101	
10647.04395	-49.39221954	
10657.04395	-49.38904953	
10667.04492	-49.38270187	
10677.04492	-49.3763504	
10687.04492	-49.37000275	
10697.04492	-49.30324173	
10707.04492	-49.16971207	
10717.04492	-49.03617859	
10727.04492	-48.90330505	
10737.04492	-48.83718109	
10747.04492	-48.70776367	
10757.04492	-48.58115005	
10767.04492	-48.46038055	
10777.04492	-48.36302185	
10787.04492	-48.25352097	
10797.04492	-48.18244934	
10807.04492	-48.08000183	
10817.04492	-48.46276474	
10827.04492	-49.02058029	
10837.0459	-49.37919998	
10847.0459	-49.78427505	
10857.0459	-49.86380005	
10867.0459	-49.06999969	
10877.0459	-48.64216995	
10887.0459	-48.60651398	
10897.0459	-48.54999924	
10907.0459	-48.56516266	
10917.0459	-48.58000183	
10927.0459	-48.61999893	
10937.0459	-48.5959053	
10947.0459	-48.53128052	
10957.0459	-48.41453934	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
10967.0459	-48.22999954	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
10977.0459	-48.29729843	
10987.0459	-48.45474243	
10997.04688	-48.6970253	
11007.04688	-48.68413162	
11017.04688	-47.9574585	
11027.04688	-48.99000168	
11037.04688	-48.4796524	
11047.04688	-46.88999939	
11057.04688	-47.5291214	
11067.04688	-46.85969543	
11077.04688	-46.62614822	
11087.04688	-46.87292099	
11097.04688	-47.06150055	
11107.04688	-47.24888992	
11117.04688	-47.44515228	
11127.04688	-47.65071106	
11137.04688	-47.86598969	
11147.04688	-48.01398087	
11157.04688	-48.24649429	
11167.04785	-48.40883255	
11177.04785	-48.54273987	
11187.04785	-48.6482048	
11197.04785	-48.75875092	
11207.04785	-48.92988968	
11217.04785	-48.98783493	
11227.04785	-49.10928345	
11237.04785	-49.1786232	
11247.04785	-49.19585419	
11257.04785	-49.21380997	
11267.04785	-49.23186111	
11277.04785	-49.25	
11287.04785	-49.14733887	
11297.04785	-49.04467392	
11307.04785	-48.94200516	
11317.04785	-48.83933258	
11327.04883	-48.7879982	
11337.04883	-48.68532944	
11347.04883	-48.5826683	
11357.04883	-48.47999954	
11367.04883	-48.51250076	
11377.04883	-48.52875137	
11387.04883	-48.56124878	
11397.04883	-48.59375	
11407.04883	-48.61000061	
11417.04883	-48.64250183	
11427.04883	-48.65875244	
11437.04883	-48.69125366	
11447.04883	-48.72375107	
11457.04883	-48.74000168	
11467.04883	-48.77249908	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
11477.04883	-48.80500412	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
11487.0498	-48.82125473	
11497.0498	-48.85374832	
11507.0498	-48.85805893	
11517.0498	-48.8461113	
11527.0498	-48.82221985	
11537.0498	-48.7983284	
11547.0498	-48.7863884	
11557.0498	-48.76250458	
11567.0498	-48.73861313	
11577.0498	-48.71472549	
11587.0498	-48.70278168	
11597.0498	-48.67889023	
11607.0498	-48.65499878	
11617.0498	-48.64305115	
11627.0498	-48.61917114	
11637.0498	-48.59527969	
11647.0498	-48.58332825	
11657.05078	-48.55944061	
11667.05078	-48.53556442	
11677.05078	-48.51167297	
11687.0498	-48.49972534	
11697.0498	-48.47583389	
11707.0498	-48.45195007	
11717.0498	-48.38000107	
11727.0498	-48.31999969	
11737.0498	-48.20000458	
11747.0498	-48.08000183	
11757.05078	-47.95999908	
11767.05078	-47.84000015	
11777.05078	-47.72000504	
11787.05078	-47.63832855	
11797.05078	-47.47500229	
11807.05078	-47.39332962	
11817.05078	-47.22999954	
11827.05078	-47.14833069	
11837.05078	-46.98500061	
11847.05078	-46.82167435	
11857.05078	-46.74000168	
11867.05078	-46.73332977	
11877.05078	-46.72666931	
11887.05078	-46.72000122	
11897.05078	-46.71332932	
11907.05078	-46.70666885	
11917.05176	-46.70333099	
11927.05176	-46.82749939	
11937.05176	-47.08250427	
11947.05176	-47.20999908	
11957.05176	-47.46500015	
11967.05176	-47.59249878	
11977.05176	-47.84749985	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
11987.05176	-48.10250092	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
11997.05176	-48.22999954	
12007.05176	-48.2322197	
12017.05176	-48.23444366	
12027.05176	-48.23554993	
12037.05176	-48.23778152	
12047.05176	-48.24000549	
12057.05176	-48.2906723	
12067.05176	-48.39200211	
12077.05176	-48.49332809	
12087.05273	-48.54399872	
12097.05273	-48.64532852	
12107.05273	-48.69599915	
12117.05273	-48.79732895	
12127.05273	-48.8986702	
12137.05273	-48.94932938	
12147.05273	-48.82889557	
12157.05273	-48.48667526	
12167.05273	-48.31555939	
12177.05273	-47.97333145	
12187.05273	-47.80222321	
12197.05273	-47.4600029	
12207.05273	-47.65666962	
12217.05273	-47.75500107	
12227.05273	-47.95167542	
12237.05273	-48.14833069	
12247.05371	-48.24666977	
12257.05371	-48.44333267	
12267.05371	-48.63999939	
12277.05371	-48.6355629	
12287.05371	-48.63333893	
12297.05371	-48.62889099	
12307.05371	-48.62444305	
12317.05371	-48.61999893	
12327.05371	-48.8088913	
12337.05371	-49.1866684	
12347.05371	-49.56444931	
12357.05371	-49.75333023	
12367.05371	-50.13111115	
12377.05371	-50.17111206	
12387.05371	-49.87332916	
12397.05371	-49.57555008	
12407.05371	-49.27777863	
12417.05469	-48.98000336	
12427.05469	-49.0826683	
12437.05469	-49.18532944	
12447.05469	-49.28800201	
12457.05469	-49.39067078	
12467.05469	-49.49332809	
12477.05469	-49.59600067	
12487.05469	-49.69866943	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
12497.05469	-49.7025032	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
12507.05469	-49.65499878	
12517.05469	-49.56000519	
12527.05469	-49.46500015	
12537.05469	-49.41749954	
12547.05469	-49.32249832	
12557.05469	-49.22750092	
12567.05469	-49.10889053	
12577.05566	-49.03778076	
12587.05566	-48.89556122	
12597.05566	-48.75333023	
12607.05566	-48.68222046	
12617.05566	-48.54000092	
12627.05566	-48.64222336	
12637.05566	-48.69332886	
12647.05566	-48.79556274	
12657.05566	-48.89778519	
12667.05566	-49	
12677.05566	-47.41667557	
12687.05566	-45.04167557	
12697.05566	-44.25	
12707.05566	-40.12332916	
12717.05566	-37.58499908	
12727.05566	-36.63499832	
12737.05664	-35.68500137	
12747.05664	-35.39556122	
12757.05664	-35.76667023	
12767.05664	-36.13777924	
12777.05664	-36.50888824	
12787.05664	-36.69443893	
12797.05664	-35.62332916	
12807.05664	-34.36666107	
12817.05664	-33.11000061	
12827.05664	-32.68452835	
12837.05664	-32.26786041	
12847.05664	-31.86000252	
12857.05664	-31.91135979	
12867.05664	-31.96149063	
12877.05664	-32.01039124	
12887.05664	-32.05694962	
12897.05664	-32.10237885	
12907.05762	-32.1678009	
12917.05762	-32.20999908	
12927.05762	-32.22241974	
12937.05762	-32.24048996	
12947.05762	-32.25772858	
12957.05762	-32.26877975	
12967.05762	-32.28470993	
12977.05762	-32.30482864	
12987.05762	-32.31911087	
12997.05762	-32.33274078	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
13007.05762	-32.34999847	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
13017.05762	-31.63239098	
13027.05762	-32.45999908	
13037.05762	-31.96999931	
13047.05762	-32.17018127	
13057.05762	-32.32740021	
13067.05859	-32.49145126	
13077.05859	-32.66262054	
13087.05859	-32.84011078	
13097.05859	-32.96033859	
13107.05859	-33.15000153	
13117.05859	-33.10942078	
13127.05859	-33.04692078	
13137.05859	-32.98194122	
13147.05859	-33.11277008	
13157.05859	-33.41830826	
13167.05859	-33.73944092	
13177.05859	-33.79669189	
13187.05859	-33.59006882	
13197.05859	-33.3737793	
13207.05859	-33.26564026	
13217.05859	-33.04188156	
13227.05859	-33.1033287	
13237.05957	-33.45000076	
13247.05957	-33.79666901	
13257.05957	-33.81000137	
13267.05957	-33.49000168	
13277.05957	-33.33000183	
13287.05957	-33.00999832	
13297.05957	-33.38000107	
13307.05957	-34.11999893	
13317.05957	-34.59333038	
13327.05957	-35.06666946	
13337.05957	-35.54000092	
13347.05957	-36.21667099	
13357.05957	-36.89332962	
13367.05957	-37.82332993	
13377.05957	-38.33000183	
13387.05957	-38.83666992	
13397.06055	-39.06222153	
13407.06055	-39.00667191	
13417.06055	-38.95111084	
13427.06055	-38.89556122	
13437.06055	-38.9822197	
13447.06055	-39.26667023	
13457.06055	-39.55111313	
13467.06055	-39.83555984	
13477.06055	-40.11999893	
13487.06055	-40.32500076	
13497.06055	-40.53000259	
13507.06055	-40.45222092	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
13517.06055	-40.29667282	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
13527.06055	-40.14110947	
13537.06055	-39.98554993	
13547.06055	-39.83000183	
13557.06152	-39.90333176	
13567.06152	-39.97667313	
13577.06152	-40.04999924	
13587.06152	-40.12332916	
13597.06152	-40.25999832	
13607.06152	-40.45999908	
13617.06152	-40.56000519	
13627.06152	-40.76000214	
13637.06152	-40.86000061	
13647.06152	-41.06000137	
13657.06152	-41.15999985	
13667.06152	-41.36000061	
13677.06152	-41.36370468	
13687.06152	-41.36740875	
13697.06152	-41.3692627	
13707.06152	-41.37295914	
13717.06152	-41.37667084	
13727.0625	-41.38037109	
13737.0625	-41.38407898	
13747.0625	-41.38592911	
13757.0625	-41.38963318	
13767.0625	-41.39332962	
13777.0625	-41.39704132	
13787.0625	-41.39889145	
13797.0625	-41.40259552	
13807.0625	-41.40629959	
13817.0625	-41.40999985	
13827.0625	-41.52867126	
13837.0625	-41.64733887	
13847.0625	-41.76599884	
13857.0625	-41.82533264	
13867.0625	-41.94400406	
13877.0625	-42.06267166	
13887.06348	-42.18133163	
13897.06348	-42.29999924	
13907.06348	-42.16333008	
13917.06348	-41.8900032	
13927.06348	-41.61666107	
13937.06348	-41.47666931	
13947.06348	-41.47000504	
13957.06348	-41.45999908	
13967.06348	-41.22999954	
13977.06348	-41	
13987.06348	-40.77000046	
13997.06348	-40.87166977	
14007.06348	-40.92250443	
14017.06348	-41.02416992	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
14027.06348	-41.07500076	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
14037.06348	-41.17667389	
14047.06348	-41.27833176	
14057.06445	-41.32917023	
14067.06445	-41.44832993	
14077.06445	-41.51667023	
14087.06445	-41.65333176	
14097.06445	-41.79000473	
14107.06445	-41.85832977	
14117.06445	-41.99499893	
14127.06445	-42.13167191	
14137.06445	-42.20000076	
14147.06445	-42.33332825	
14157.06445	-42.4666748	
14167.06445	-42.53332901	
14177.06445	-42.66667175	
14187.06445	-42.73332977	
14197.06445	-42.80184937	
14207.06445	-42.80556107	
14217.06543	-42.80926132	
14227.06543	-42.81111145	
14237.06543	-42.81481934	
14247.06543	-42.81852341	
14257.06543	-42.82221985	
14267.06543	-42.82593155	
14277.06543	-42.82963181	
14287.06543	-42.83147812	
14297.06543	-42.83518982	
14307.06543	-42.83889389	
14317.06543	-42.84259033	
14327.06543	-42.84629059	
14337.06543	-42.84814835	
14347.06543	-42.81888962	
14357.06543	-42.75667572	
14367.06543	-42.69444275	
14377.06641	-42.66333008	
14387.06641	-42.60110855	
14397.06641	-42.69667435	
14407.06641	-42.82332993	
14417.06641	-43.0766716	
14427.06641	-43.20333099	
14437.06641	-43.45666885	
14447.06641	-43.70999908	
14457.06641	-43.68167496	
14467.06641	-43.62500381	
14477.06641	-43.56833267	
14487.06641	-43.51166916	
14497.06641	-43.48333359	
14507.06641	-43.42667007	
14517.06641	-43.36999893	
14527.06641	-43.3133316	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
14537.06641	-43.28499985	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
14547.06738	-43.2283287	
14557.06738	-43.23500443	
14567.06738	-43.30500031	
14577.06738	-43.34000015	
14587.06738	-43.41000366	
14597.06738	-43.48000336	
14607.06738	-43.54999924	
14617.06738	-43.61999893	
14627.06738	-43.65500259	
14637.06738	-43.72500229	
14647.06738	-43.79499817	
14657.06738	-43.76082993	
14667.06738	-43.62250137	
14677.06738	-43.55332947	
14687.06738	-43.41500092	
14697.06738	-43.27667236	
14707.06836	-43.13832855	
14717.06836	-43.06917191	
14727.06836	-43.02169037	
14737.06836	-43.06505966	
14747.06836	-43.10633087	
14757.06836	-43.12698364	
14767.06836	-43.18231964	
14777.06836	-43.3034935	
14787.06836	-43.58031845	
14797.06836	-43.75999832	
14807.06836	-43.30960464	
14817.06836	-43.09000397	
14827.06836	-43.77000427	
14837.06836	-43.6840744	
14847.06836	-43.59613037	
14857.06836	-43.50616837	
14867.06836	-43.36489487	
14877.06934	-43.26628113	
14887.06934	-43.1653595	
14897.06934	-43.06212234	
14907.06934	-43.00808334	
14917.06934	-42.90000153	
14927.06934	-42.15999985	
14937.06934	-41.79000473	
14947.06934	-41.89333344	
14957.06934	-41.99666977	
14967.06934	-42.0483284	
14977.06934	-41.87667084	
14987.06934	-41.54167557	
14997.06934	-41.32833481	
15007.06934	-41.0233345	
15017.06934	-40.82000351	
15027.06934	-40.63000107	
15037.07031	-40.50333405	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
15047.07031	-40.43999863	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
15057.07031	-40.48667526	
15067.07031	-40.31766891	
15077.07031	-39.93299103	
15087.07031	-39.56433105	
15097.07031	-39.32667542	
15107.07031	-39.22000122	
15117.07031	-39.12221146	
15127.07031	-39.02222824	
15137.07031	-38.92007065	
15147.07031	-38.81335831	
15157.07031	-38.60131073	
15167.07031	-38.28392029	
15177.07031	-37.96595001	
15187.07031	-37.64796829	
15197.07031	-37.33000183	
15207.07129	-37	
15217.07129	-36.83499908	
15227.07129	-36.50500107	
15237.07129	-36.34000015	
15247.07129	-36.23686981	
15257.07129	-36.13373947	
15267.07129	-36.08218002	
15277.07129	-36.07723999	
15287.07129	-36.17049026	
15297.07129	-36.21712112	
15307.07129	-36.3103714	
15317.07129	-36.40362167	
15327.07129	-36.49686813	
15337.07129	-36.59011841	
15347.07129	-36.63674927	
15357.07129	-36.72999954	
15367.07227	-36.63293076	
15377.07227	-36.5358696	
15387.07227	-36.48733139	
15397.07227	-36.39038086	
15407.07227	-36.29352951	
15417.07227	-36.19998932	
15427.07227	-36.10860062	
15437.07227	-36.01937103	
15447.07227	-35.93429184	
15457.07227	-35.85115814	
15467.07227	-35.77000046	
15477.07227	-35.85927963	
15487.07227	-35.94646835	
15497.07227	-36.03158951	
15507.07227	-36.15330887	
15517.07227	-36.23067856	
15527.07324	-36.34312057	
15537.07324	-36.60213089	
15547.07324	-37.25759125	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
15557.07324	-37.99052811	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
15567.07324	-39.2090683	
15577.07324	-40.37000275	
15587.07324	-41.60496902	
15597.07324	-43.54000473	
15607.07324	-43.6400032	
15617.07324	-45.27185059	
15627.07324	-44.93000412	
15637.07324	-45.00930023	
15647.07324	-43.69723892	
15657.07324	-42.31000519	
15667.07324	-41.99399185	
15677.07324	-41.74596024	
15687.07324	-41.39865112	
15697.07422	-40.92378235	
15707.07422	-40.13000107	
15717.07422	-39.375	
15727.07422	-38.59000015	
15737.07422	-37.0638504	
15747.07422	-36.3046608	
15757.07422	-36.25933075	
15767.07422	-36.06182861	
15777.07422	-35.81650925	
15787.07422	-35.50400925	
15797.07422	-35.21063995	
15807.07422	-34.92950821	
15817.07422	-35.70413971	
15827.07422	-36.59011841	
15837.07422	-37.52000046	
15847.07422	-36.74098969	
15857.0752	-36.4449501	
15867.0752	-36.76478958	
15877.0752	-37.09975052	
15887.0752	-37.34103012	
15897.0752	-37.36307907	
15907.0752	-37.39772034	
15917.0752	-37.42190933	
15927.0752	-37.45933151	
15937.0752	-37.4846611	
15947.0752	-37.50999832	
15957.0752	-37.65338135	
15967.0752	-37.74460983	
15977.0752	-37.87731171	
15987.0752	-37.96240997	
15997.0752	-38.08518982	
16007.0752	-38.20238113	
16017.0752	-38.31425095	
16027.07617	-38.42102051	
16037.07617	-38.30651093	
16047.07617	-38.04011154	
16057.07617	-37.7034111	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
16067.07617	-37.46604919	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
16077.07617	-37.16841888	
16087.07617	-36.82033157	
16097.07617	-36.56364822	
16107.07617	-36.22000122	
16117.07617	-34.8365097	
16127.07617	-35.75460052	
16137.07617	-36.90999985	
16147.07617	-36.81069183	
16157.07617	-36.66973114	
16167.07617	-36.5581398	
16177.07617	-36.40044022	
16187.07715	-36.27510071	
16197.07715	-36.18798828	
16207.07715	-36.05178833	
16217.07715	-35.90863037	
16227.07715	-35.81000137	
16237.07715	-35.15917969	
16247.07715	-34.7030983	
16257.07715	-34.23535156	
16267.07715	-33.75593185	
16277.07715	-33	
16287.07715	-33.42652893	
16297.07715	-33.86190033	
16307.07715	-34.53741074	
16317.07715	-35	
16327.07715	-35.07064056	
16337.07715	-35.14002991	
16347.07813	-35.20814896	
16357.07813	-35.30609894	
16367.07813	-35.36869812	
16377.07813	-35.66032028	
16387.07813	-35.91540146	
16397.07813	-36.28509903	
16407.07813	-36.63990021	
16417.07813	-36.72618103	
16427.07813	-36.43854904	
16437.07813	-36.16617966	
16447.07813	-35.53121948	
16457.07813	-34.95822144	
16467.07813	-34.59822083	
16477.07813	-34.31127167	
16487.07813	-34.06552124	
16497.07813	-33.79999924	
16507.07813	-34.85264969	
16517.07813	-35.22019958	
16527.07813	-35.09000015	
16537.07813	-35.00577927	
16547.07813	-34.25	
16557.07813	-34.84259033	
16567.07813	-34.88439178	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
16577.07813	-34.51190948	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
16587.07813	-34.16928101	
16597.08008	-33.89276886	
16607.08008	-34.02610016	
16617.08008	-34.67060089	
16627.08008	-35.61862946	
16637.08008	-35.83150864	
16647.08008	-35.61000061	
16657.08008	-36.04999924	
16667.08008	-35.15000153	
16677.08008	-34.31999969	
16687.08008	-33.64062119	
16697.08008	-33.07395172	
16707.08008	-32.60374069	
16717.08008	-32.270401	
16727.08008	-32.08390045	
16737.08008	-32.55113983	
16747.08008	-32.97454071	
16757.08008	-33.1836319	
16767.08008	-33.40121078	
16777.08008	-33.36505127	
16787.08008	-33.07514954	
16797.08008	-32.77172089	
16807.08008	-32.73411179	
16817.08008	-32.96234131	
16827.08008	-33.1912384	
16837.08008	-33.42013931	
16847.08008	-33.64904022	
16857.08008	-34.11370087	
16867.08008	-34.57835007	
16877.08008	-35.04301071	
16887.08008	-35.27534103	
16897.08008	-35.74000168	
16907.08008	-35.81777954	
16917.08008	-35.93444061	
16927.08203	-36.01221848	
16937.08203	-36.09000015	
16947.08203	-36	
16957.08203	-35.81999969	
16967.08203	-35.72999954	
16977.08203	-35.54999924	
16987.08203	-35.43000031	
16997.08203	-35.31000137	
17007.08203	-35.18999863	
17017.08203	-35.06999969	
17027.08203	-35.05332947	
17037.08203	-35.13999939	
17047.08203	-35.22666931	
17057.08203	-35.3133316	
17067.08203	-35.40000153	
17077.08203	-35.21332932	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
17087.08203	-35.02666855	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
17097.08203	-34.84000015	
17107.08203	-34.65333176	
17117.08203	-34.56000137	
17127.08203	-34.21110916	
17137.08203	-33.86222076	
17147.08203	-33.51332855	
17157.08203	-33.16444016	
17167.08203	-32.99555969	
17177.08203	-33.00667191	
17187.08203	-33.01221848	
17197.08203	-33.02333069	
17207.08203	-33.03443909	
17217.08203	-33.01332855	
17227.08203	-32.95999908	
17237.08203	-32.90666962	
17247.08203	-32.88000107	
17257.08398	-32.8266716	
17267.08398	-32.77333069	
17277.08398	-32.72000122	
17287.08398	-32.74787903	
17297.08398	-32.77576065	
17307.08398	-32.78969955	
17317.08398	-32.81758118	
17327.08398	-32.84545898	
17337.08398	-32.87332916	
17347.08398	-32.88727188	
17357.08398	-32.91514969	
17367.08398	-32.94303131	
17377.08398	-32.95697021	
17387.08398	-32.98485184	
17397.08398	-33.01272964	
17407.08398	-33.04061127	
17417.08398	-33.05455017	
17427.08398	-33.08242035	
17437.08398	-33.11029816	
17447.08398	-33.13817978	
17457.08398	-33.15211868	
17467.08398	-33.18000031	
17477.08398	-33.0111084	
17487.08398	-32.84222031	
17497.08398	-32.75777817	
17507.08398	-32.58889008	
17517.08398	-32.41999817	
17527.08398	-32.25111008	
17537.08398	-32.08221817	
17547.08398	-31.91333199	
17557.08398	-31.82888985	
17567.08398	-31.65999985	
17577.08398	-31.71220207	
17587.08594	-31.76395035	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
17597.08594	-31.81523132	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
17607.08594	-31.86446953	
17617.08594	-31.93637276	
17627.08594	-32.22468185	
17637.08594	-32.75403976	
17647.08594	-33.51620865	
17657.08594	-34.00391006	
17667.08594	-34.71591949	
17677.08594	-35.23426056	
17687.08594	-36.07518005	
17697.08594	-36.16667175	
17707.08594	-35.25999832	
17717.08594	-34.03017044	
17727.08594	-33.25006104	
17737.08594	-32.6208992	
17747.08594	-32.27378082	
17757.08594	-32.21884918	
17767.08594	-32.31182861	
17777.08594	-32.1083107	
17787.08594	-31.75835991	
17797.08594	-31.94078064	
17807.08594	-32.07749939	
17817.08594	-32.21358871	
17827.08594	-32.695961	
17837.08594	-33.3266716	
17847.08594	-33.88233948	
17857.08594	-34.71725082	
17867.08594	-35.73019028	
17877.08594	-36.78934097	
17887.08594	-37.81235886	
17897.08594	-38.90145874	
17907.08789	-39.77092361	
17917.08789	-38.75772858	
17927.08789	-37.96072006	
17937.08789	-36.84196854	
17947.08789	-35.95870972	
17957.08789	-35.67956924	
17967.08789	-35.70978165	
17977.08789	-35.54666901	
17987.08789	-35.33398819	
17997.08789	-35.74132156	
18007.08789	-36.02000046	
18017.08789	-36.25432968	
18027.08789	-36.6171608	
18037.08789	-36.73836899	
18047.08789	-36.73339081	
18057.08789	-36.72999954	
18067.08789	-36.84999847	
18077.08789	-36.87554932	
18087.08789	-36.80662918	
18097.08789	-36.70000076	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
18107.08789	-36.76332855	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
18117.08789	-36.85832977	
18127.08789	-36.98500061	
18137.08789	-37.17499924	
18147.08789	-37.27000046	
18157.08789	-37.45999908	
18167.08789	-37.76889038	
18177.08789	-38.2322197	
18187.08789	-38.54111099	
18197.08789	-38.84999847	
18207.08789	-38.76556015	
18217.08789	-38.68111038	
18227.08789	-38.59667206	
18237.08984	-38.51221848	
18247.08984	-38.53889084	
18257.08984	-38.67667007	
18267.08984	-38.74555969	
18277.08984	-38.88333893	
18287.08984	-39.02111053	
18297.08984	-39.09000015	
18307.08984	-39.19443893	
18317.08984	-39.24666977	
18327.08984	-39.35110855	
18337.08984	-39.45555115	
18347.08984	-39.50777817	
18357.08984	-39.52667236	
18367.08984	-39.4600029	
18377.08984	-39.39332962	
18387.08984	-39.32667542	
18397.08984	-39.25999832	
18407.08984	-39.4407196	
18417.08984	-39.62142944	
18427.08984	-39.80215073	
18437.08984	-39.878582	
18447.08984	-40.03143311	
18457.08984	-40.10786057	
18467.08984	-40.2607193	
18477.08984	-40.4135704	
18487.08984	-40.49000168	
18497.08984	-40.77000046	
18507.08984	-41.05000305	
18517.08984	-41.33000183	
18527.08984	-41.47000504	
18537.08984	-41.75	
18547.08984	-43.09889221	
18557.08984	-45.12221909	
18567.0918	-46.4711113	
18577.0918	-47.82000351	
18587.0918	-48.13000107	
18597.0918	-48.43999863	
18607.0918	-49.09948349	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
18617.0918	-49.7984314	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
18627.0918	-50.4973793	
18637.0918	-51.19633102	
18647.0918	-51.89529419	
18657.0918	-52.5942421	
18667.0918	-53.29219055	
18677.0918	-53.989151	
18687.0918	-54.66305542	
18697.0918	-54.64564133	
18707.0918	-53.93693161	
18717.0918	-53.25819016	
18727.0918	-52.59383392	
18737.0918	-51.94382095	
18747.0918	-51.00999832	
18757.0918	-48.26332855	
18767.0918	-46.9276123	
18777.0918	-47.00283813	
18787.0918	-47.08000183	
18797.0918	-47.19285965	
18807.0918	-46.99666977	
18817.0918	-46.52999878	
18827.0918	-48.68333054	
18837.0918	-49.10499954	
18847.0918	-48.43484879	
18857.0918	-47.74958038	
18867.0918	-47.03261185	
18877.0918	-45.9240036	
18887.0918	-45.1565094	
18897.09375	-44.3716507	
18907.09375	-43.96110153	
18917.09375	-43.13999939	
18927.09375	-44.13386917	
18937.09375	-45.13140488	
18947.09375	-46.13259888	
18957.09375	-45.87217331	
18967.09375	-45.61172867	
18977.09375	-45.3513031	
18987.09375	-45.22108078	
18997.09375	-44.9606514	
19007.09375	-44.70022202	
19017.09375	-44.2440033	
19027.09375	-43.91799927	
19037.09375	-43.26600266	
19047.09375	-42.61399841	
19057.09375	-42.28800201	
19067.09375	-41.63600159	
19077.09375	-40.98400116	
19087.09375	-40.65800095	
19097.09375	-40.00600052	
19107.09375	-39.68000031	
19117.09375	-39.02799988	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
19127.09375	-38.37599945	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
19137.09375	-38.04999924	
19147.09375	-37.39799881	
19157.09375	-36.74599838	
19167.09375	-36.41999817	
19177.09375	-35.76800156	
19187.09375	-35.11600113	
19197.09375	-34.65333176	
19207.09375	-34.51667023	
19217.09375	-34.24332809	
19227.0957	-33.97000122	
19237.0957	-33.69667053	
19247.0957	-33.45000076	
19257.0957	-33.22999954	
19267.0957	-33.11999893	
19277.0957	-32.90000153	
19287.0957	-33.16387177	
19297.0957	-33.42383957	
19307.0957	-33.80327988	
19317.0957	-34.04999924	
19327.0957	-34.20999908	
19337.0957	-35.08272934	
19347.0957	-36.66819	
19357.0957	-38.32273102	
19367.0957	-39.52215958	
19377.0957	-39.89432526	
19387.0957	-40.6387291	
19397.0957	-41.38324356	
19407.0957	-42.1277504	
19417.0957	-42.52146149	
19427.0957	-42.56438065	
19437.0957	-42.60731125	
19447.0957	-42.65023041	
19457.0957	-42.69315338	
19467.0957	-42.33502197	
19477.0957	-41.97689056	
19487.0957	-41.79783249	
19497.0957	-41.4397049	
19507.0957	-41.08157349	
19517.0957	-40.9025116	
19527.0957	-40.54438019	
19537.0957	-40.18626022	
19547.09766	-39.82812881	
19557.09766	-39.6490593	
19567.09766	-39.4233284	
19577.09766	-39.37667084	
19587.09766	-39.38167191	
19597.09766	-39.48500061	
19607.09766	-39.63999939	
19617.09766	-39.61500168	
19627.09766	-39.59000397	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
19637.09766	-39.56499863	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
19647.09766	-39.54000092	
19657.09766	-39.5150032	
19667.09766	-39.49000549	
19677.09766	-39.47000122	
19687.09766	-39.45000076	
19697.09766	-39.43000412	
19707.09766	-39.62667084	
19717.09766	-39.82333374	
19727.09766	-40.02000046	
19737.09766	-40.17778015	
19747.09766	-40.33555984	
19757.09766	-40.49332809	
19767.09766	-40.65111542	
19777.09766	-40.75333023	
19787.09766	-40.79999924	
19797.09766	-40.84666824	
19807.09766	-40.86999893	
19817.09766	-40.52555084	
19827.09766	-40.18111038	
19837.09766	-40.00888824	
19847.09766	-39.66444016	
19857.09766	-39.49222183	
19867.09766	-39.42499924	
19877.09961	-39.63499832	
19887.09961	-39.74000168	
19897.09961	-39.95000458	
19907.09961	-40.05667114	
19917.09961	-40.16333008	
19927.09961	-40.27000427	
19937.09961	-39.48500061	
19947.09961	-38.70000076	
19957.09961	-39.06116104	
19967.09961	-39.78347015	
19977.09961	-40.14463043	
19987.09961	-40.86693954	
19997.09961	-40.66094971	
20007.09961	-40.55796051	
20017.09961	-40.35197067	
20027.09961	-40.14598846	
20037.09961	-39.93999863	
20047.09961	-39.79074478	
20057.09961	-39.64147568	
20067.09961	-39.4922142	
20077.09961	-39.48925018	
20087.09961	-39.48332214	
20097.09961	-39.47740555	
20107.09961	-39.4744339	
20117.09961	-39.46851349	
20127.09961	-39.46259308	
20137.09961	-39.45666122	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
20147.09961	-39.45370483	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
20157.09961	-39.44776917	
20167.09961	-39.44184875	
20177.09961	-39.43889236	
20187.09961	-39.43296051	
20197.09961	-39.39556503	
20207.10156	-39.32667542	
20217.10156	-39.25778198	
20227.10156	-39.18888855	
20237.10156	-39.11999893	
20247.10156	-39.16667175	
20257.10156	-39.21332932	
20267.10156	-39.25999832	
20277.10156	-39.30667114	
20287.10156	-39.0366745	
20297.10156	-38.45000076	
20307.10156	-37.86333084	
20317.10156	-36.98332977	
20327.10156	-36.3966713	
20337.10156	-35.81000137	
20347.10156	-35.52666855	
20357.10156	-34.95999908	
20367.10156	-34.39332962	
20377.10156	-34.11000061	
20387.10156	-33.74332809	
20397.10156	-33.56000137	
20407.10156	-33.19332886	
20417.10156	-33.00999832	
20427.10156	-32.93429947	
20437.10156	-32.8586998	
20447.10156	-32.82093048	
20457.10156	-32.74681091	
20467.10156	-32.67409897	
20477.10156	-32.63954926	
20487.10156	-32.57044983	
20497.10156	-32.50481033	
20507.10156	-32.58560181	
20517.10156	-32.81282043	
20527.10156	-33.13861084	
20537.10352	-33.34619904	
20547.10352	-33.7209816	
20557.10352	-34.52043915	
20567.10352	-35.03543854	
20577.10352	-35.76953125	
20587.10352	-36.23458099	
20597.10352	-36.90903854	
20607.10352	-37.40132904	
20617.10352	-37.79494095	
20627.10352	-38.16915131	
20637.10352	-38.52489853	
20647.10352	-38.97393036	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
20657.10352	-39.29304504	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
20667.10352	-39.30490494	
20677.10352	-39.31871033	
20687.10352	-39.33150101	
20697.10352	-39.34552002	
20707.10352	-39.35828018	
20717.10352	-39.36987305	
20727.10352	-39.38368988	
20737.10352	-37.38121033	
20747.10352	-35.03593826	
20757.10352	-35.03593826	
20767.10352	-35.03593826	
20777.10352	-35.03593826	
20787.10352	-35.03593826	
20797.10352	-35.03593826	
20807.10352	-35.03593826	
20817.10352	-35.03593826	
20827.10352	-35.03593826	
20837.10352	-35.03593826	
20847.10352	-35.03593826	
20857.10352	-35.03593826	
20867.10547	-35.03593826	
20877.10547	-35.03593826	
20887.10547	-35.03593826	
20897.10547	-35.03593826	
20907.10547	-35.03593826	
20917.10547	-35.03593826	
20927.10547	-35.03593826	
20937.10547	-35.03593826	
20947.10547	-35.05728912	
20957.10547	-35.03593826	
20967.10547	-35.03593826	
20977.10547	-35.03593826	
20987.10547	-35.03593826	
20997.10547	-35.03593826	
21007.10547	-35.03593826	
21017.10547	-35.03593826	
21027.10547	-35.03593826	
21037.10547	-35.03593826	
21047.10547	-35.03593826	
21057.10547	-35.03593826	
21067.10547	-34.91415024	
21077.10547	-34.71414948	
21087.10547	-34.21747971	
21097.10547	-34.91415024	
21107.10547	-34.08712006	
21117.10547	-34.58081055	
21127.10547	-34.89965057	
21137.10547	-35.7274704	
21147.10547	-37.68952942	
21157.10547	-39.41519928	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
21167.10547	-39.69889832	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
21177.10547	-39.94348907	
21187.10547	-39.77373886	
21197.10742	-39.15999985	
21207.10742	-39.233181	
21217.10742	-39.31000137	
21227.10742	-39.22415924	
21237.10742	-39.13422012	
21247.10742	-39.04000473	
21257.10742	-38.84033966	
21267.10742	-38.60646057	
21277.10742	-38.33937073	
21287.10742	-37.95999908	
21297.10742	-38.31000137	
21307.10742	-38.23072052	
21317.10742	-37.86869049	
21327.10742	-38.2264595	
21337.10742	-37.31742096	
21347.10742	-36.65243149	
21357.10742	-37.17667007	
21367.10742	-37.13666916	
21377.10742	-36.74185944	
21387.10742	-37.01644897	
21397.10742	-37.24000168	
21407.10742	-37.73431015	
21417.10742	-37.63787842	
21427.10742	-37.56612015	
21437.10742	-37.76605988	
21447.10742	-38.03961945	
21457.10742	-38.25183868	
21467.10742	-37.34000015	
21477.10742	-37.57014847	
21487.10742	-37.89334106	
21497.10742	-37.66339874	
21507.10742	-36.84999847	
21517.10938	-36.61225128	
21527.10938	-36.21335983	
21537.10938	-35.37337875	
21547.10938	-34.89332962	
21557.10938	-35.08000183	
21567.10938	-34.29169083	
21577.10938	-33.52999878	
21587.10938	-33.27447891	
21597.10938	-33.15341187	
21607.10938	-33.1634903	
21617.10938	-33.14279175	
21627.10938	-33.09000015	
21637.10938	-32.56412888	
21647.10938	-32.54518127	
21657.10938	-33	
21667.10938	-33.16733932	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
21677.10938	-33.81357956	DN800 PN12.5 OFF-SHORE
21687.10742	-34.16999817	
21697.10742	-34.3884201	
21707.10547	-34.62236023	
21717.10547	-34.83324051	
21727.10352	-35.07704926	
21737.10352	-35.34000015	
21747.10156	-36.36592102	
21757.09961	-37.64619827	
21767.09961	-38.48727036	
21777.09766	-39.14720917	
21787.09766	-40.34027863	
21797.0957	-41.34999847	
21807.09375	-42.1957283	
21817.09375	-43.07529068	
21827.0918	-43.99000549	
21837.0918	-44.2269249	
21847.08984	-44.46025085	
21857.08984	-44.68999863	
21867.08789	-45.34962845	
21877.08594	-45.97917938	
21887.08594	-46.37973404	
21897.08398	-46.4478302	
21907.08398	-46.28209305	
21917.08203	-46.17005157	
21927.08203	-46.02848816	
21937.08008	-45.92789078	
21947.07813	-45.80030823	
21957.07813	-45.62566376	
21967.07617	-45.29634857	
21977.07617	-44.91375351	
21987.07422	-44.56000137	
21997	-45.24682999	
21997	-45.24682999	DN710 PN12.5 Diffuseur
22002	-45.24682999	
22002	-45.24682999	
22007	-45.24682999	
22007	-45.24682999	
22012	-45.24682999	
22012	-45.24682999	
22017	-45.24682999	
22017	-45.24682999	
22022	-45.24682999	
22022	-45.24682999	
22027	-45.24682999	
22027	-45.24682999	
22032	-45.24682999	
22032	-45.24682999	
22037	-45.24682999	
22037	-45.24682999	
22042	-45.24682999	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
22042	-45.24682999	DN710 PN12.5 Diffuseur
22047	-45.24682999	
22047	-45.24682999	
22052	-45.24682999	
22052	-45.24682999	
22057	-45.24682999	
22057	-45.24682999	
22062	-45.24682999	
22062	-45.24682999	
22067	-45.24682999	
22067	-45.24682999	
22072	-45.24682999	
22072	-45.24682999	
22077	-45.24682999	
22077	-45.24682999	
22082	-45.24682999	
22082	-45.24682999	
22087	-45.24682999	
22087	-45.24682999	
22092	-45.24682999	
22092	-45.24682999	
22097	-45.24682999	
22097	-45.24682999	
22102	-45.24682999	
22102	-45.24682999	
22107	-45.24682999	
22107	-45.24682999	
22112	-45.24682999	
22112	-45.24682999	
22117	-45.24682999	
22117	-45.24682999	
22122	-45.24682999	
22122	-45.24682999	
22127	-45.24682999	
22127	-45.24682999	
22132	-45.24682999	
22132	-45.24682999	
22137	-45.24682999	
22137	-45.24682999	
22142	-45.24682999	
22142	-45.24682999	
22147	-45.24682999	
22147	-45.24682999	
22152	-45.24682999	
22152	-45.24682999	
22157	-45.24682999	
22157	-45.24682999	
22162	-45.24682999	
22162	-45.24682999	
22167	-45.24682999	
22167	-45.24682999	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
22172	-45.24682999	DN710 PN12.5 Diffuseur
22172	-45.24682999	
22177	-45.24682999	
22177	-45.24682999	
22182	-45.24682999	
22182	-45.24682999	
22187	-45.24682999	
22187	-45.24682999	
22192	-45.24682999	
22192	-45.24682999	
22197	-45.24682999	
22197	-45.24682999	
22202	-45.24682999	
22202	-45.24682999	
22207	-45.24682999	
22207	-45.24682999	
22212	-45.24682999	
22212	-45.24682999	
22217	-45.24682999	
22217	-45.24682999	
22222	-45.24682999	
22222	-45.24682999	
22227	-45.24682999	
22227	-45.24682999	
22232	-45.24682999	
22232	-45.24682999	
22237	-45.24682999	
22237	-45.24682999	
22242	-45.24682999	
22242	-45.24682999	
22247	-45.24682999	
22247	-45.24682999	
22252	-45.24682999	
22252	-45.24682999	
22257	-45.24682999	
22257	-45.24682999	
22262	-45.24682999	
22262	-45.24682999	
22267	-45.24682999	
22267	-45.24682999	
22272	-45.24682999	
22272	-45.24682999	
22277	-45.24682999	
22277	-45.24682999	
22282	-45.24682999	
22282	-45.24682999	
22287	-45.24682999	
22287	-45.24682999	
22292	-45.24682999	
22292	-45.24682999	
22297	-45.24682999	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
22297	-45.24682999	DN710 PN12.5 Diffuseur
22302	-45.24682999	
22302	-45.24682999	
22307	-45.24682999	
22307	-45.24682999	
22312	-45.24682999	
22312	-45.24682999	
22317	-45.24682999	
22317	-45.24682999	
22322	-45.24682999	
22322	-45.24682999	
22327	-45.24682999	
22327	-45.24682999	
22332	-45.24682999	
22332	-45.24682999	
22337	-45.24682999	
22337	-45.24682999	
22342	-45.24682999	
22342	-45.24682999	
22347	-45.24682999	
22347	-45.24682999	
22352	-45.24682999	
22352	-45.24682999	
22357	-45.24682999	
22357	-45.24682999	
22362	-45.24682999	
22362	-45.24682999	
22367	-45.24682999	
22367	-45.24682999	
22372	-45.24682999	
22372	-45.24682999	
22377	-45.24682999	
22377	-45.24682999	
22382	-45.24682999	
22382	-45.24682999	
22387	-45.24682999	
22387	-45.24682999	
22392	-45.24682999	
22392	-45.24682999	
22397	-45.24682999	
22397	-45.24682999	
22402	-45.24682999	
22402	-45.24682999	
22407	-45.24682999	
22407	-45.24682999	
22412	-45.24682999	
22412	-45.24682999	
22417	-45.24682999	
22417	-45.24682999	
22422	-45.24682999	
22422	-45.24682999	

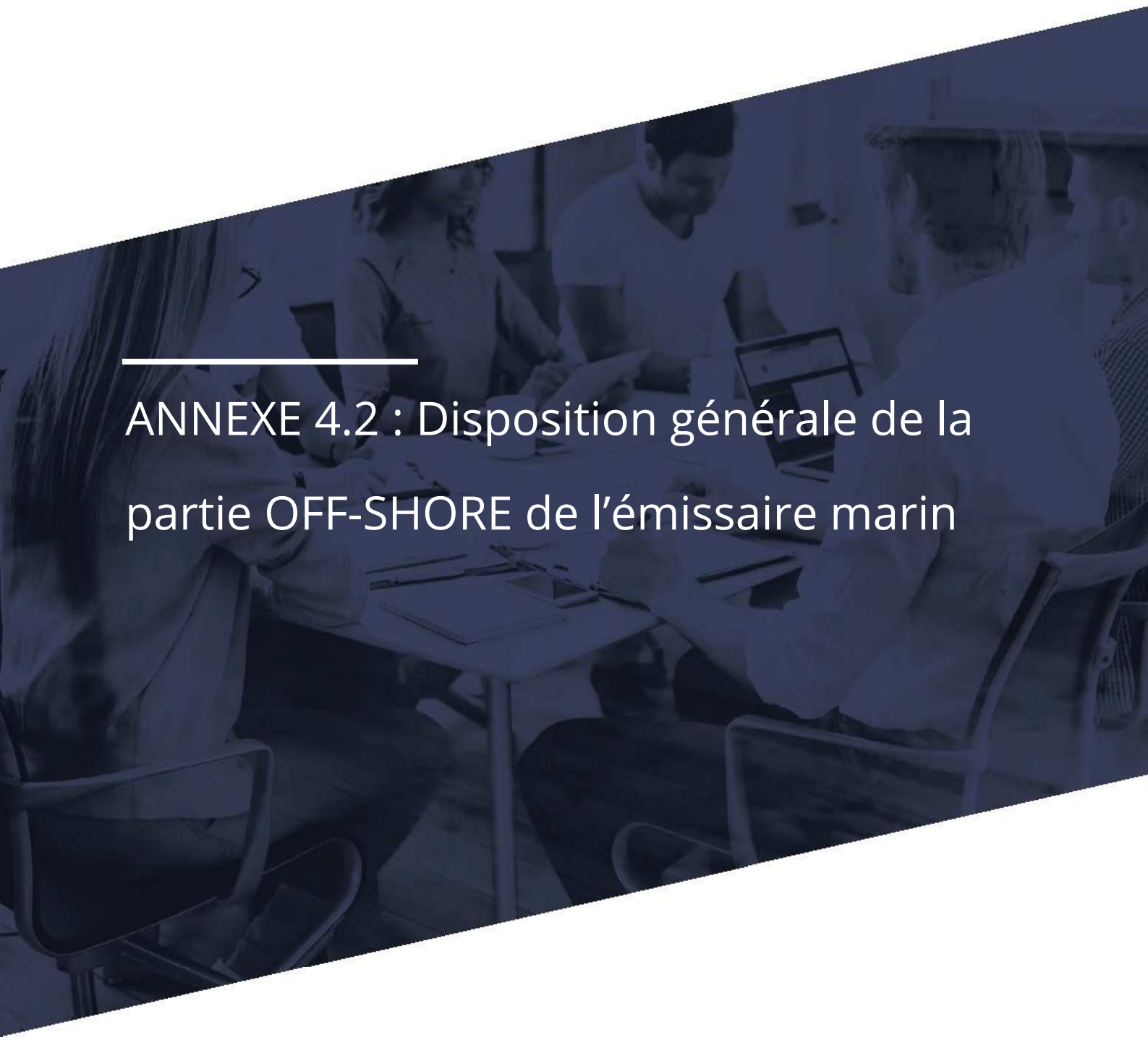
Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
22427	-45.24682999	DN710 PN12.5 Diffuseur
22427	-45.24682999	
22432	-45.24682999	
22432	-45.24682999	
22437	-45.24682999	
22437	-45.24682999	
22442	-45.24682999	
22442	-45.24682999	
22447	-45.24682999	
22447	-45.24682999	
22452	-45.24682999	
22452	-45.24682999	
22457	-45.24682999	
22457	-45.24682999	
22462	-45.24682999	
22462	-45.24682999	
22467	-45.24682999	
22467	-45.24682999	
22472	-45.24682999	
22472	-45.24682999	
22477	-45.24682999	
22477	-45.24682999	
22482	-45.24682999	
22482	-45.24682999	
22487	-45.24682999	
22487	-45.24682999	
22492	-45.24682999	
22492	-45.24682999	
22497	-45.24682999	
22497	-45.24682999	
22502	-45.24682999	
22502	-45.24682999	
22507	-45.24682999	
22507	-45.24682999	
22512	-45.24682999	
22512	-45.24682999	
22517	-45.24682999	
22517	-45.24682999	
22522	-45.24682999	
22522	-45.24682999	
22527	-45.24682999	
22527	-45.24682999	
22532	-45.24682999	
22532	-45.24682999	
22537	-45.24682999	
22537	-45.24682999	
22542	-45.24682999	
22542	-45.24682999	
22547	-45.24682999	
22547	-45.24682999	
22552	-45.24682999	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
22552	-45.24682999	DN710 PN12.5 Diffuseur
22557	-45.24682999	
22557	-45.24682999	
22562	-45.24682999	
22562	-45.24682999	
22567	-45.24682999	
22567	-45.24682999	
22572	-45.24682999	
22572	-45.24682999	
22577	-45.24682999	
22577	-45.24682999	
22582	-45.24682999	
22582	-45.24682999	
22587	-45.24682999	
22587	-45.24682999	
22592	-45.24682999	
22592	-45.24682999	
22597	-45.24682999	
22597	-45.24682999	
22602	-45.24682999	
22602	-45.24682999	
22607	-45.24682999	
22607	-45.24682999	
22612	-45.24682999	
22612	-45.24682999	
22617	-45.24682999	
22617	-45.24682999	
22622	-45.24682999	
22622	-45.24682999	
22627	-45.24682999	
22627	-45.24682999	
22632	-45.24682999	
22632	-45.24682999	
22637	-45.24682999	
22637	-45.24682999	
22642	-45.24682999	
22642	-45.24682999	
22647	-45.24682999	
22647	-45.24682999	
22652	-45.24682999	
22652	-45.24682999	
22657	-45.24682999	
22657	-45.24682999	
22662	-45.24682999	
22662	-45.24682999	
22667	-45.24682999	
22667	-45.24682999	
22672	-45.24682999	
22672	-45.24682999	
22677	-45.24682999	
22677	-45.24682999	

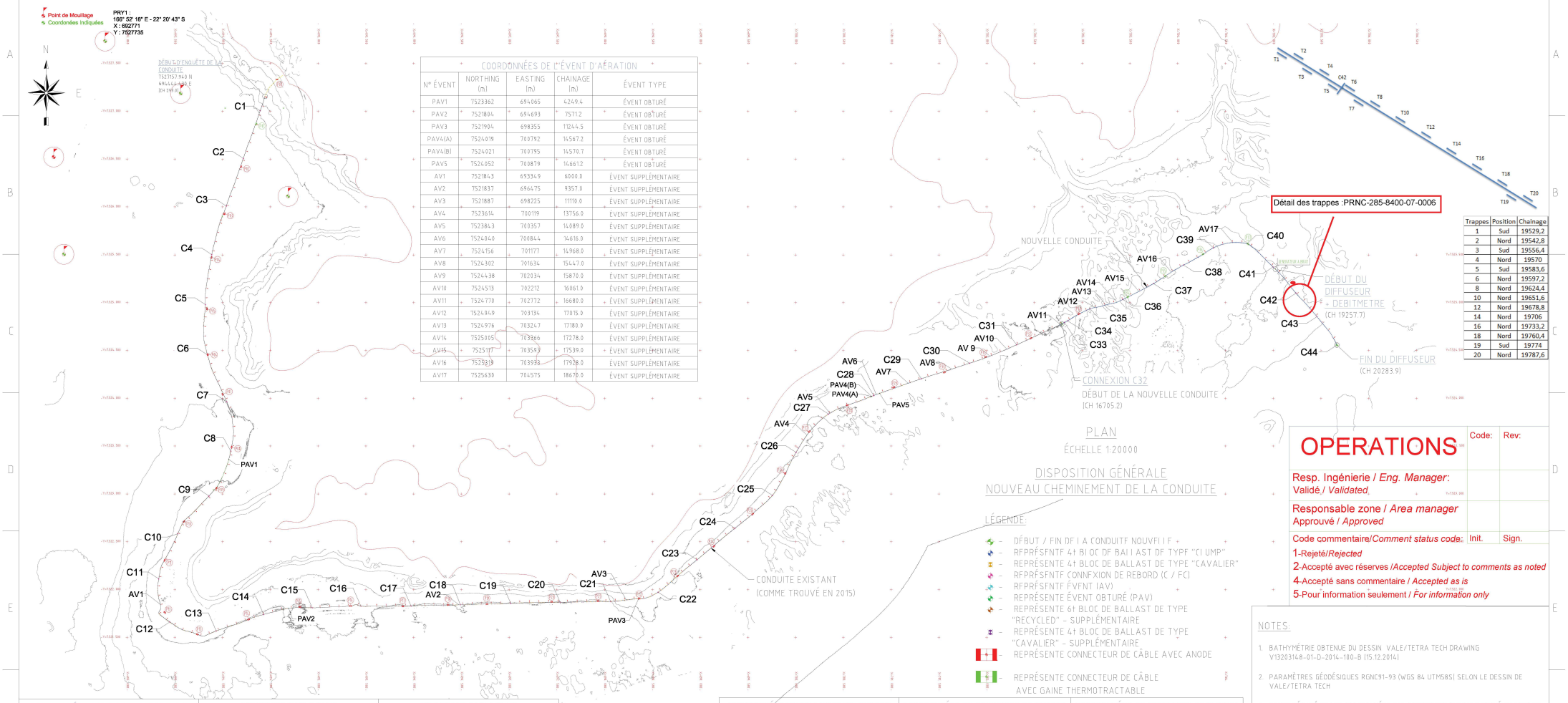
Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
22682	-45.24682999	DN710 PN12.5 Diffuseur
22682	-45.24682999	
22687	-45.24682999	
22687	-45.24682999	
22692	-45.24682999	
22692	-45.24682999	
22697	-45.24682999	
22697	-45.24682999	
22702	-45.24682999	
22702	-45.24682999	
22707	-45.24682999	
22707	-45.24682999	
22712	-45.24682999	
22712	-45.24682999	
22717	-45.24682999	
22717	-45.24682999	
22722	-45.24682999	
22722	-45.24682999	
22727	-45.24682999	
22727	-45.24682999	
22732	-45.24682999	
22732	-45.24682999	
22737	-45.24682999	
22737	-45.24682999	
22742	-45.24682999	
22742	-45.24682999	
22747	-45.24682999	
22747	-45.24682999	
22752	-45.24682999	
22752	-45.24682999	
22757	-45.24682999	
22757	-45.24682999	
22762	-45.24682999	
22762	-45.24682999	
22767	-45.24682999	
22767	-45.24682999	
22772	-45.24682999	
22772	-45.24682999	
22777	-45.24682999	
22777	-45.24682999	
22782	-45.24682999	
22782	-45.24682999	
22787	-45.24682999	
22787	-45.24682999	
22792	-45.24682999	
22792	-45.24682999	
22797	-45.24682999	
22797	-45.24682999	
22802	-45.24682999	
22802	-45.24682999	
22807	-45.24682999	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
22807	-45.24682999	DN710 PN12.5 Diffuseur
22812	-45.24682999	
22812	-45.24682999	
22817	-45.24682999	
22817	-45.24682999	
22822	-45.24682999	
22822	-45.24682999	
22827	-45.24682999	
22827	-45.24682999	
22832	-45.24682999	
22832	-45.24682999	
22837	-45.24682999	
22837	-45.24682999	
22842	-45.24682999	
22842	-45.24682999	
22847	-45.24682999	
22847	-45.24682999	
22852	-45.24682999	
22852	-45.24682999	
22857	-45.24682999	
22857	-45.24682999	
22862	-45.24682999	
22862	-45.24682999	
22867	-45.24682999	
22867	-45.24682999	
22872	-45.24682999	
22872	-45.24682999	
22877	-45.24682999	
22877	-45.24682999	
22882	-45.24682999	
22882	-45.24682999	
22887	-45.24682999	
22887	-45.24682999	
22892	-45.24682999	
22892	-45.24682999	
22897	-45.24682999	
22897	-45.24682999	
22902	-45.24682999	
22902	-45.24682999	
22907	-45.24682999	
22907	-45.24682999	
22912	-45.24682999	
22912	-45.24682999	
22917	-45.24682999	
22917	-45.24682999	
22922	-45.24682999	
22922	-45.24682999	
22927	-45.24682999	
22927	-45.24682999	
22932	-45.24682999	
22932	-45.24682999	

Longueur depuis le bassin (m)	Altimétrie / Bathymétrique (m)	Conduite
22937	-45.24682999	DN710 PN12.5 Diffuseur
22937	-45.24682999	
22942	-45.24682999	
22942	-45.24682999	
22947	-45.24682999	
22947	-45.24682999	
22952	-45.24682999	
22952	-45.24682999	
22957	-45.24682999	
22957	-45.24682999	
22962	-45.24682999	
22962	-45.24682999	
22967	-45.24682999	
22967	-45.24682999	
22972	-45.24682999	
22972	-45.24682999	
22977	-45.24682999	
22977	-45.24682999	
22982	-45.24682999	
22982	-45.24682999	
22987	-45.24682999	
22987	-45.24682999	
22992	-45.24682999	
22992	-45.24682999	
22997	-45.24682999	



ANNEXE 4.2 : Disposition générale de la partie OFF-SHORE de l’émissaire marin



PLAN

ÉCHELLE 1:20000

DISPOSITION GÉNÉRALE
NOUVEAU CHEMINEMENT DE LA CONDUITE

LÉGENDE

- DÉBUT / FIN DE LA CONDUITE NOUVELLE
- REPRÉSENTE 41 BLOC DE BALLAST DE TYPE "CLUMP"
- REPRÉSENTE 41 BLOC DE BALLAST DE TYPE "CAVALIER"
- REPRÉSENTE CONNEXION DE REBORD (C / FC)
- REPRÉSENTE ÉVENT (AV)
- REPRÉSENTE ÉVENT OBTURÉ (PAV)
- REPRÉSENTE 61 BLOC DE BALLAST DE TYPE "RECYCLED" - SUPPLÉMENTAIRE
- REPRÉSENTE 41 BLOC DE BALLAST DE TYPE "CAVALIER" - SUPPLÉMENTAIRE
- REPRÉSENTE CONNECTEUR DE CÂBLE AVEC ANODE
- REPRÉSENTE CONNECTEUR DE CÂBLE AVEC GAINE THERMOTRACTABLE

CONDUITE EXISTANT
(COMME TROUVÉ EN 2015)

COORDONNÉES DE L'ÉVENT D'AÉRATION

N° ÉVENT	NORTHING (m)	EASTING (m)	CHAINAGE (m)	ÉVENT TYPE
PAV1	7523362	694065	4249.4	ÉVENT OBTURÉ
PAV2	7521804	694693	7571.2	ÉVENT OBTURÉ
PAV3	7521904	698355	11244.5	ÉVENT OBTURÉ
PAV4(A)	7524019	700792	14567.2	ÉVENT OBTURÉ
PAV4(B)	7524021	700795	14570.7	ÉVENT OBTURÉ
PAV5	7524052	700879	14661.2	ÉVENT OBTURÉ
AV1	7521843	693349	6000.0	ÉVENT SUPPLÉMENTAIRE
AV2	7521837	696475	9357.0	ÉVENT SUPPLÉMENTAIRE
AV3	7521887	698225	11110.0	ÉVENT SUPPLÉMENTAIRE
AV4	7523614	700119	13756.0	ÉVENT SUPPLÉMENTAIRE
AV5	7523843	700357	14089.0	ÉVENT SUPPLÉMENTAIRE
AV6	7524040	700844	14616.0	ÉVENT SUPPLÉMENTAIRE
AV7	7524156	701177	14968.0	ÉVENT SUPPLÉMENTAIRE
AV8	7524302	701634	15447.0	ÉVENT SUPPLÉMENTAIRE
AV9	7524438	702034	15870.0	ÉVENT SUPPLÉMENTAIRE
AV10	7524513	702212	16061.0	ÉVENT SUPPLÉMENTAIRE
AV11	7524770	702772	16680.0	ÉVENT SUPPLÉMENTAIRE
AV12	7524949	703134	17015.0	ÉVENT SUPPLÉMENTAIRE
AV13	7524976	703247	17180.0	ÉVENT SUPPLÉMENTAIRE
AV14	7525005	703366	17278.0	ÉVENT SUPPLÉMENTAIRE
AV15	7525117	703593	17539.0	ÉVENT SUPPLÉMENTAIRE
AV16	7525319	703933	17928.0	ÉVENT SUPPLÉMENTAIRE
AV17	7525630	704575	18670.0	ÉVENT SUPPLÉMENTAIRE

Trappes	Position	Chainage
1	Sud	19529,2
2	Nord	19542,8
3	Sud	19556,4
4	Nord	19570
5	Sud	19583,6
6	Nord	19597,2
8	Nord	19624,4
10	Nord	19651,6
12	Nord	19678,8
14	Nord	19706
16	Nord	19733,2
18	Nord	19760,4
19	Sud	19774
20	Nord	19787,6

COORDONNÉES CONNECTED CABLE PLUG

N° CONNEXION	NORTHING (m)	EASTING (m)	CHAINAGE (m)
P01	7526868	694352	598
P02	7526420	694193	1077
P03	7525929	694021	1590
P04	7525472	693884	2126
P05	7524934	693837	2616.47
P06	7524455	693843	3101
P07	7524042	693999	3544
P08	7523488	694094	4120
P09	7523060	693936	4579
P10	7522712	693596	5066
P11	7522306	693393	5520.68
P12	7521760	693395	6093.62
P13	7521530	693736	6563
P14	7521687	694212	7134
P15	7521816	694808	7688
P16	7521828	695341	8221

CONNECTED CABLE PLUG

N° CONNEXION	NORTHING (m)	EASTING (m)	CHAINAGE (m)
P17	7521824	695887	8773.38
P18	7521839	696362	9248.99
P19	7521847	696768	9655.1
P20	7521870	697446	10333.47
P21	7521879	697933	10820.7
P22	7521904	698361	11250.785
P23	7522142	698764	11730.989
P24	7522453	699146	12513.108
P25	7522790	699550	12758.286
P26	7523215	699893	13303.754
P27	7523652	700144	13809.406
P28	7523928	700542	14301.204
P29	7524115	701026	14820.82
P30	7524272	701558	15374.645
P31	7524432	701989	15836.116
P32	7524627	702463	16318.392

CONNECTED CABLE PLUG

N° CONNEXION	NORTHING (m)	EASTING (m)	CHAINAGE (m)
P33	7524882	702968	16914.959
P34	7525059	703479	17459.323
P35	7525278	703871	17908.838
P36	7525507	704265	18365.088
P37	7525615	697933	18863.663
generateur bruit	7525352	705020	19254.7
debitmetre	7525350	705023	19257.7

COORDONNÉES DE CONNEXION DE REBORD

N° CONNEXION	NORTHING (m)	EASTING (m)	CHAINAGE (m)
C1	7527007	694394	452.2
C2	7526508	694216	982.4
C3	7526009	694039	1512.5
C4	7525502	693887	2043.2
C5	7524979	693820	2572.0
C6	7524453	693843	3103.5
C7	7523965	694044	3632.3
C8	7523447	694086	4161.9
C9	7522978	693858	4691.6
C10	7522585	693532	5209.0
C11	7522113	693331	5726.7
C12	7521661	693447	6242.5
C13	7521567	693933	6773.1
C14	7521739	694430	7299.9
C15	7521809	694938	7817.1
C16	7521827	695448	8334.6

COORDONNÉES DE CONNEXION DE REBORD

N° CONNEXION	NORTHING (m)	EASTING (m)	CHAINAGE (m)
C17	7521829	695973	8859.0
C18	7521841	696489	9376.1
C19	7521855	697017	9904.3
C20	7521867	697534	10422.0
C21	7521875	698062	10950.2
C22	7521973	698560	11465.7
C23	7522312	698967	11995.8
C24	7522642	699365	12513.0
C25	7522984	699756	13033.3
C26	7523434	700004	13549.3
C27	7523835	700342	14079.6
C28	7524029	700817	14594.3
C29	7524205	701316	15123.4
C30	7524367	701820	15654.2
C31	7524559	702314	16184.1

COORDONNÉES DE CONNEXION DE REBORD

N° CONNEXION	NORTHING (m)	EASTING (m)	CHAINAGE (m)
C32	7524778	702786	16705.2
C33	7524794	702815	16738.4
C34	7524810	702846	16773.3
C35	7524936	703083	17041.8
C36	7525033	703426	17400.6
C37	7525200	703748	17763.3
C38	7525394	704062	18132.1
C39	7525574	704374	18493.0
C40	7525616	704729	18858.5
C41	7525374	704999	19223.3
C42	7525100	705238	19587.2
C43	7524854	705458	19917.6
C44	7524555	705666	20283.9

COPYRIGHT All rights reserved

These drawings, plans and specifications and the copyright therein are the properties of Madsen Giersing Pty. Ltd. and must not be used, reproduced or copied wholly or in part without written permission of Madsen Giersing Pty. Ltd.

AS BUILT

DOCUMENT CONTROL STATUS

UNLESS STAMPED OTHERWISE IN RED THIS DRAWING IS UNCONTROLLED AND MUST BE VERIFIED AGAINST A CONTROLLED COPY OF THE DRAWING PRIOR TO USE TO ENSURE IT IS THE CURRENT ISSUE.

OPERATIONS

Code: Rev:

Resp. Ingénierie / *Eng. Manager*:
Validé / *Validated*

Responsable zone / *Area manager*
Approuvé / *Approved*

Code commentaire/*Comment status code*: Init. Sign.

1-Rejeté/*Rejected*
2-Accepté avec réserves /*Accepted Subject to comments as noted*
4-Accepté sans commentaire / *Accepted as is*
5-Pour information seulement / *For information only*

NOTES:

1. BATHYMÉTRIE OBTENUE DU DESSIN VALE/TETRA TECH DRAWING V1320314-01-D-2014-100-B (15.12.2014)
2. PARAMÈTRES GÉODÉSIQUES RGNC91-93 (WGS 84 UTM58S) SELON LE DESSIN DE VALE/TETRA TECH
3. ROUTE RÉPARÉ ET LES COORDONNÉES DES CONNEXIONS (COMME TROUVÉ EN 2014) ET BATHYMÉTRIE SUPPLÉMENTAIRE DANS LE COULOIR OBTENU DU DESSIN GEOCEAN DRAWING 464-DRAW-100-B (14.01.2014) TO WGS 84 UTM58S
4. LIMITES DU COULOIR OBTENUES DE LA LETTRE DATÉE 10/09/2010 DESCRIPTION DES LIMITENT NO 429/STF/MD PAR PROVINCE SUD NOUVELLE CALÉDONIE
5. DES EMPLACEMENTS DES ÉVENTS D'AÉRATION BASÉS SUR LA FIGURE3.7 OF TETRA TECH REPORT, V1320314B ADDENDUM TO GORO OUTFALL REPAIRS APRIL 2014, ISSUE FOR USE (DECEMBER 2014)
6. CHAINAGES SONT APPROXIMATIF ET NE DOIVENT PAS ÊTRE CONSIDÉRÉS COMME TELS.

Madsen Giersing
CONSULTING ENGINEERS
Excellence in marine structural design
Postal address
Suite 4.1 Modular
4 Kyshra Street
Newstead Qld Australia 4006
www.madsengiersing.com.au
mgce@madsengiersing.com.au
ABN 76 010 769 909
Phone (617) 3606 6200
Fax (617) 3606 6280

Canstruct. Construction Solutions.

NUMERO FOURNISSEUR DU PLAN / *SUPPLIER DRAWING No*

NUMERO VALE (FOURNISSEUR) / *VALE SUPPLIER DRAWING No* F50-xxxxxxxx

REV.	DATE	DESCRIPTION DES REVISIONS / *REVISION DESCRIPTION*	DESS. / *DRN.*	VER. / *CKD.*	APP. / *APP.*
Z7	01/03/17	PLUG PANNEL COORDINATES	F.G	DT	YD
Z6	19/10/2016	AS BUILT - EVENTS	FL	DT	YD
Z5	08.06.16	AS BUILT - FLOWMETER PLUGS ADDED	DJG	DAW	LPM
Z4	10.02.16	AS BUILT BALLAST BLOCKS ADDED TO NEW PIPELINE	MJB	DAW	LPM
Z3	19.01.16	BLOCKS REVISED TO ASBUILT POSITION, ADDITTIONAL CLUMP BLOCKS ADDED, TABLE REVISED	DJG	DAW	LPM
Z2	30.11.15	ADDITIONAL BALLAST BLOCKS ADDED	MJB	DAW	LPM
Z1	04.11.15	AS BUILT	DJG	DAW	LPM

DESSIN DE REF. / *REF. DRAWING* — DESCRIPTION DES DESSINS DE REF. / *REFERENCE DRAWING DESCRIPTION* — SIGNATURES

VALE

VALE NOUVELLE CALEDONIE
VALE NEW CALEDONIA

VALE NOUVELLE-CALEDONIE SAS DISPOSE DE DROITS DE PROPRIETE ATTACHES AU PRESENT PLAN. CE DOCUMENT EST PRETE SANS AUTRE ENGAGEMENT DE LA PART DE LA COMMUNICATION AUX CESSIONNAIRES QUIS NE SERA NI REPRODUIT, COPIE, PRETE OU D'UNE MANIERE DIRECTEMENT OU INDIRECTEMENT NI UTILISE POUR D'AUTRES RAISONS QUE CELLES POUR LEQUEL IL EST FOURNI, SAUF LE CAS ECHEANT, A BENEFICIER DE L'AUTORISATION EXPRESSE DE VALE NOUVELLE-CALEDONIE SAS. LA MISE A DISPOSITION DU PRESENT PLAN NE COMPORTE AUCUNE CESSION DE DROITS DE PROPRIETE, TOTALE OU PARTIELLE, CERTAINS ELEMENTS FIGURANT SUR LE PLAN SONT SUSCEPTIBLES D'ETRE BREVETES OU DE MARQUE DEPOSEE.

VALE NOUVELLE-CALEDONIE SAS HAS INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS ATTACHED TO THIS DRAWING. THE DOCUMENT IS LENT ON THE UNDERSTANDING THAT THE BORROWER SHALL NOT TO REPRODUCE, COPY, LEND OR DISPOSE OF, DIRECTLY OR INDIRECTLY, THE DOCUMENT OR USE FOR ANY OTHER PURPOSE OTHER THAN THAT FOR WHICH IT IS SPECIFICALLY INTENDED, SUBJECT TO VALE NOUVELLE-CALEDONIE SAS'S PRIOR AGREEMENT. NO INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS IS TRANSFERRED BY THE DOCUMENT MAY BE TRANSFERRABLE, EITHER IN WHOLE OR IN PART, CERTAIN ELEMENTS SHOWN ON THE DOCUMENT MAY BE PATENTED OR REGISTERED TRADE MARKS.

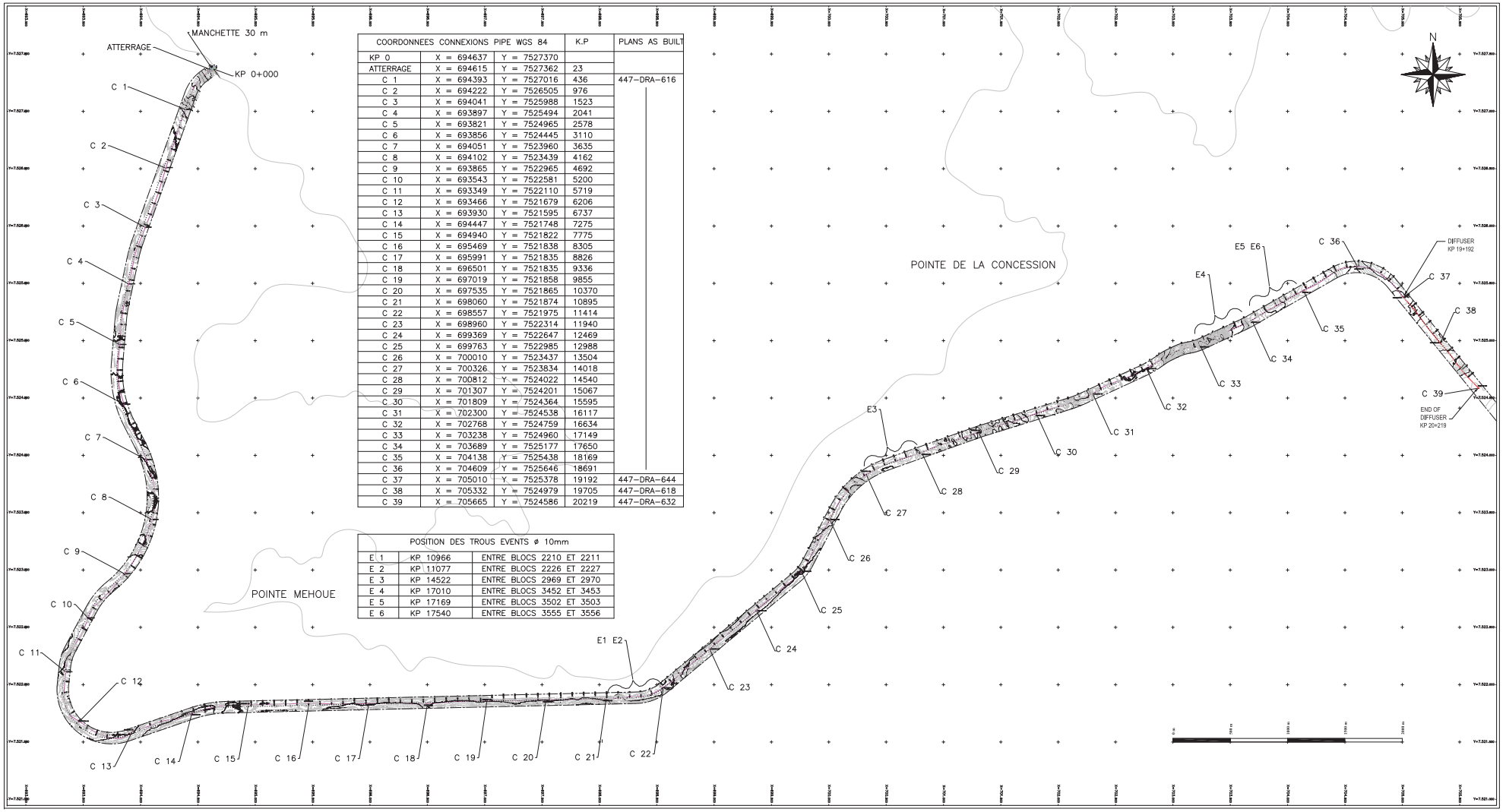
NUM. PROJET / *PROJECT No.* 2673

TITRE / *TITLE*
REPARATION ET AMELIORATION DE L'EMISSAIRE SU MARIN DE GORO
EMISSAIRE SOUS MARIN
DISPOSITION GENERALE
GORO OCEAN OUTFALL UPGRADE & REPAIR PROJECT
OCEAN OUTFALL PIPELINE
GENERAL ARRANGEMENT

NUMERO DE DESSIN / *DRAWING NUMBER* EXT-285-8231-51-0011

REV. Z7

PATH & FILENAME: F:\FG-EXT-285-8231-51-0011-Z7-PLUG.DWG



COORDONNEES CONNEXIONS PIPE WGS 84			K.P	PLANS AS BUILT
KP 0	X = 694637	Y = 7527370		
ATTERRAGE	X = 694615	Y = 7527362	23	
C 1	X = 694393	Y = 7527016	436	447-DRA-616
C 2	X = 694222	Y = 7526505	976	
C 3	X = 694041	Y = 7525988	1523	
C 4	X = 693897	Y = 7525494	2041	
C 5	X = 693821	Y = 7524965	2578	
C 6	X = 693856	Y = 7524445	3110	
C 7	X = 694051	Y = 7523960	3635	
C 8	X = 694102	Y = 7523439	4162	
C 9	X = 693865	Y = 7522965	4692	
C 10	X = 693543	Y = 7522581	5200	
C 11	X = 693349	Y = 7522110	5719	
C 12	X = 693466	Y = 7521679	6206	
C 13	X = 693930	Y = 7521595	6737	
C 14	X = 694447	Y = 7521748	7275	
C 15	X = 694940	Y = 7521822	7775	
C 16	X = 695469	Y = 7521838	8305	
C 17	X = 695991	Y = 7521835	8826	
C 18	X = 696501	Y = 7521835	9336	
C 19	X = 697019	Y = 7521858	9855	
C 20	X = 697535	Y = 7521865	10370	
C 21	X = 698060	Y = 7521874	10895	
C 22	X = 698557	Y = 7521975	11414	
C 23	X = 698960	Y = 7522314	11940	
C 24	X = 699369	Y = 7522647	12469	
C 25	X = 699763	Y = 7522985	12988	
C 26	X = 700010	Y = 7523437	13504	
C 27	X = 700326	Y = 7523834	14018	
C 28	X = 700812	Y = 7524022	14540	
C 29	X = 701307	Y = 7524201	15067	
C 30	X = 701809	Y = 7524364	15595	
C 31	X = 702300	Y = 7524538	16117	
C 32	X = 702768	Y = 7524759	16634	
C 33	X = 703238	Y = 7524960	17149	
C 34	X = 703689	Y = 7525177	17650	
C 35	X = 704138	Y = 7525438	18169	
C 36	X = 704609	Y = 7525646	18691	
C 37	X = 705010	Y = 7525378	19192	447-DRA-644
C 38	X = 705332	Y = 7524979	19705	447-DRA-618
C 39	X = 705665	Y = 7524586	20219	447-DRA-632

POSITION DES TROUS EVENTS Ø 10mm		
E 1	KP 10966	ENTRE BLOCS 2210 ET 2211
E 2	KP 11077	ENTRE BLOCS 2226 ET 2227
E 3	KP 14522	ENTRE BLOCS 2969 ET 2970
E 4	KP 17010	ENTRE BLOCS 3452 ET 3453
E 5	KP 17169	ENTRE BLOCS 3502 ET 3503
E 6	KP 17540	ENTRE BLOCS 3555 ET 3556

PARAMETRES GEODESIQUES :

Désignation :	**RGNC91-93**
Système géodésique de référence :	**ITRF90**
Ellipsoïde associée :	**IAG GRS80**
Demi-grand axe :	*a = 6 378 137,00 m*
Applatissement :	*1 / f = 298,25722210088*
Méridien origine :	**Greenwich**
Points de références :	**Station DORIS Nouméa (Nouville) et 5 points SWP NC**
Projection associée :	**Transverse Mercator UTM, fuseau 58**

NOMBRE DE BLOCS	
PIPE Ø 800	2739
PIPE Ø 710	168
TOTAL	2907

PIPE DN800
MANCHETTE DN800
TRACE THEORIQUE
DIFFUSEUR DN710

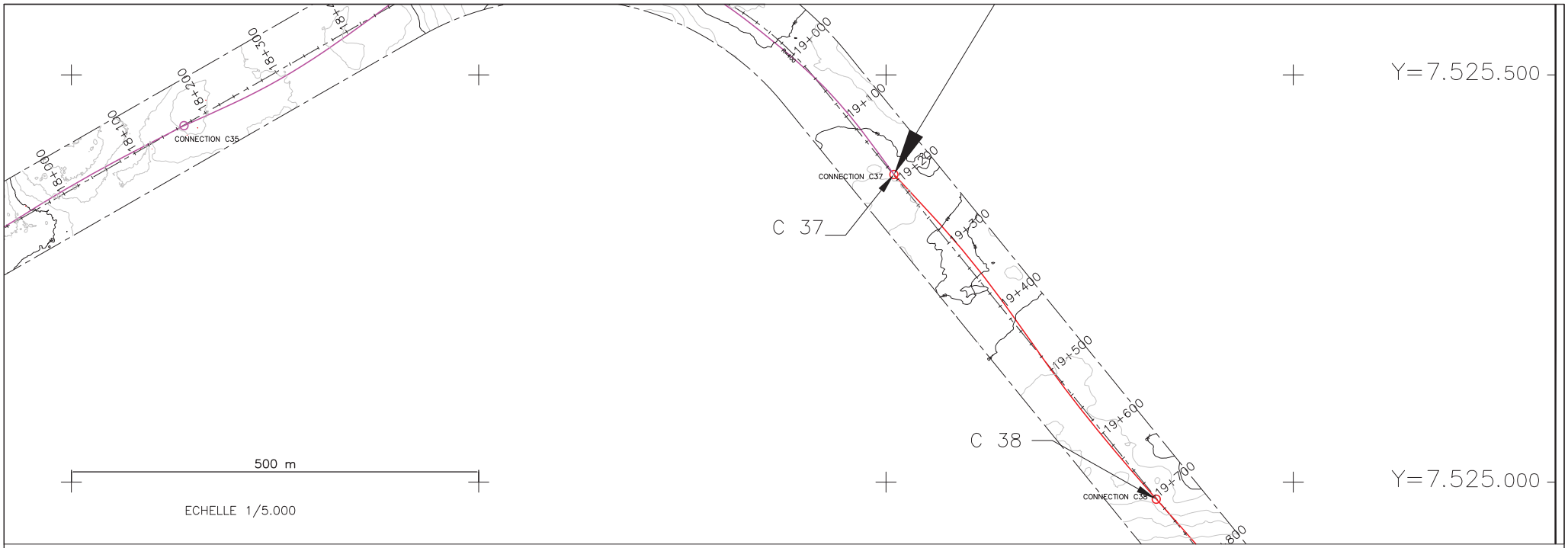
REV	DATE	DESCRIPTION	BY	CHECK
A	12/12/08	PLAN AS BUILT	D.B	JT/CP

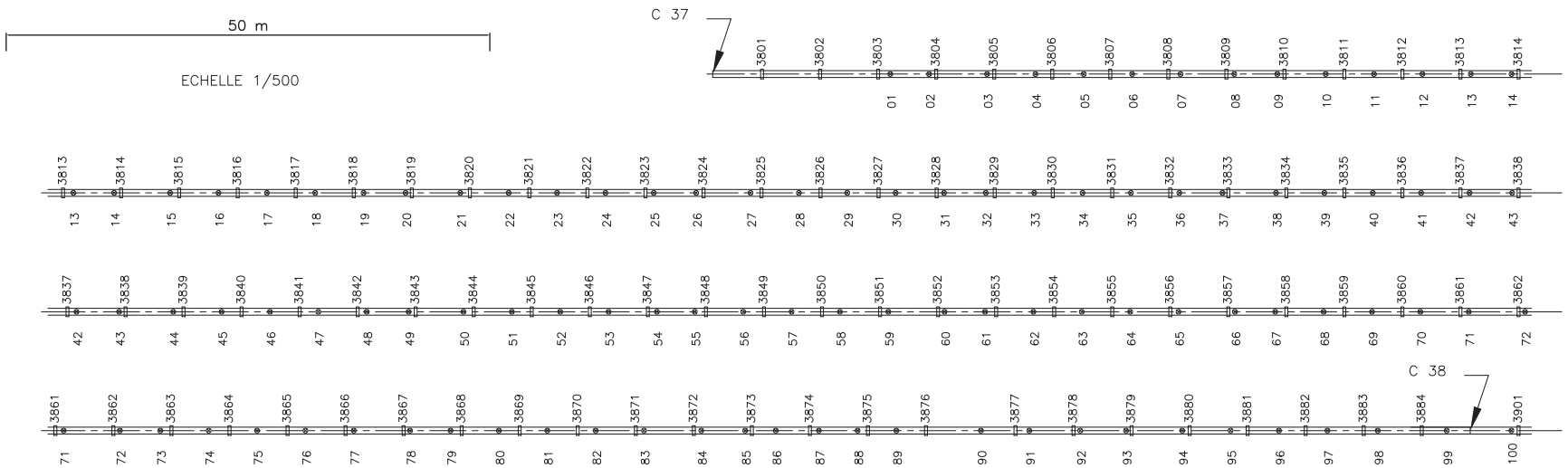
This document is a GEOCEAN property. It is confidential and shall not be used, delivered or duplicated in any case without GEOCEAN authorization.

GEOCEAN
Quartier du Brégadan
ZA Technoparc - CS 60001
13711 CASSIS Cedex FRANCE
Tel: +33.4.42.18.02.18
Fax: +33.4.42.18.02.20
E-mail: info@geocean.fr

TITLE	GORO NICKEL PROJECT MARINE OUTFALL
DETAILS	SURVEY FINAL AS-BUILT POSITION
DRAWN: 12/12/08 BY: D.B	VERIFIED : 12/12/08 BY: JT/CP
SCALE 1/12500	COMPUTER FILE 447-DRA-001.DWG
DRAWING NUMBER	447-DRA-001
FOLIO	A0 1/6
REV	A

ANNEXE 4.3 : Plan du diffuseur





DIFFUSEUR DN710

TRACE THEORIQUE

REV	DATE	DESCRIPTION	BY	CHECK
A	12/12/08	PLAN AS BUILT	D.B	JT/CP

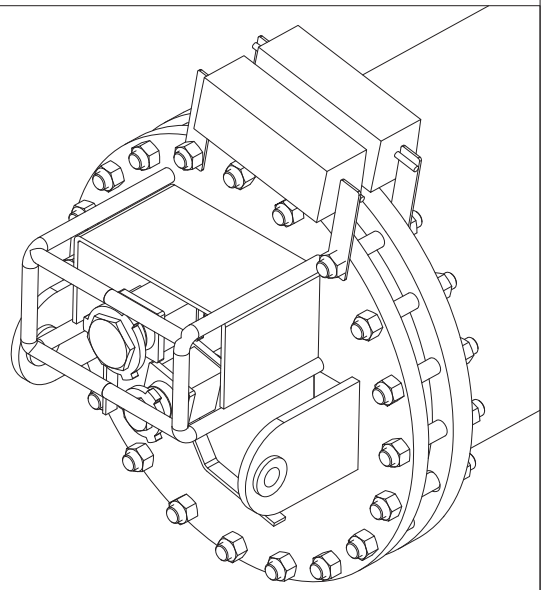
This document is a GEOCEAN property. It is confidential and shall not be used, delivered or duplicated in any case without GEOCEAN authorization.

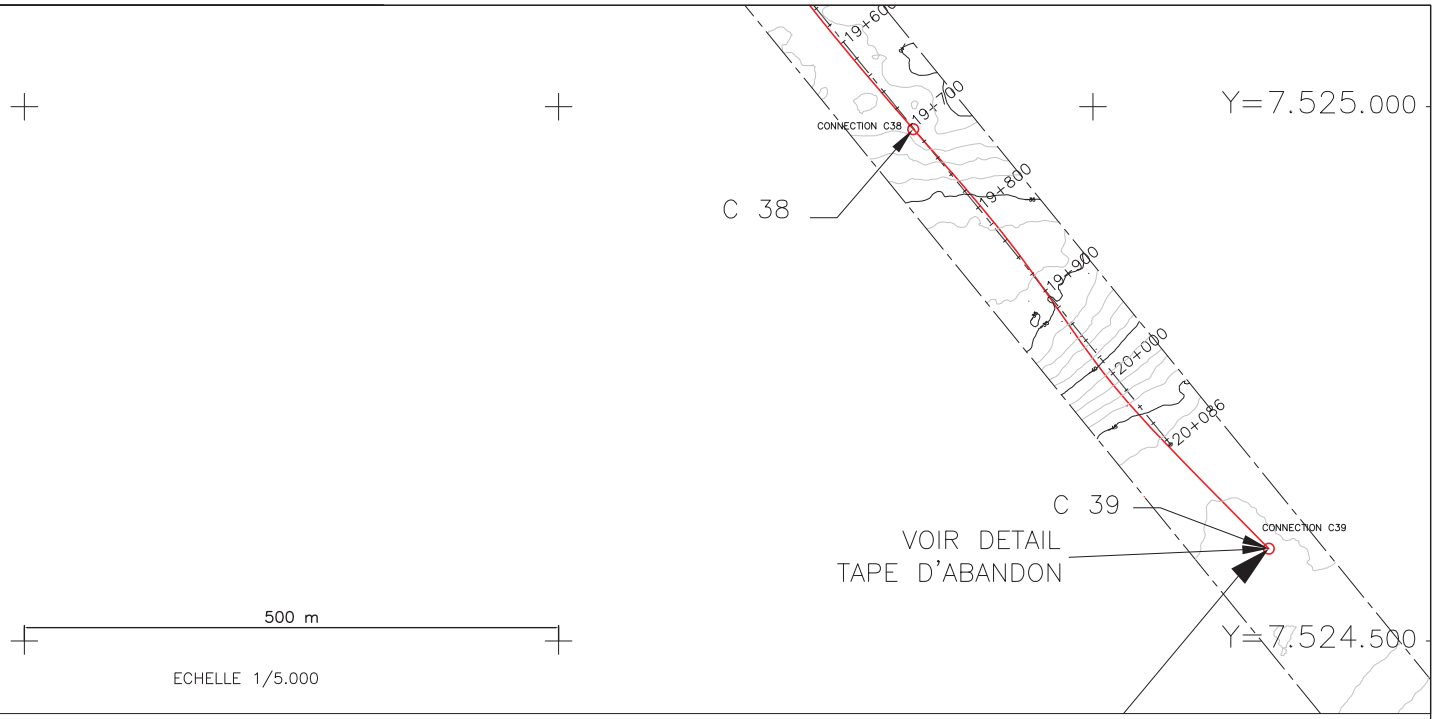
GEOCEAN
Quartier du Brégadan
ZA Technoparc – CS 60001
13711 CASSIS Cedex FRANCE
Tel: +33.4.42.18.02.18
Fax: +33.4.42.18.02.20
E-mail: info@geocean.fr

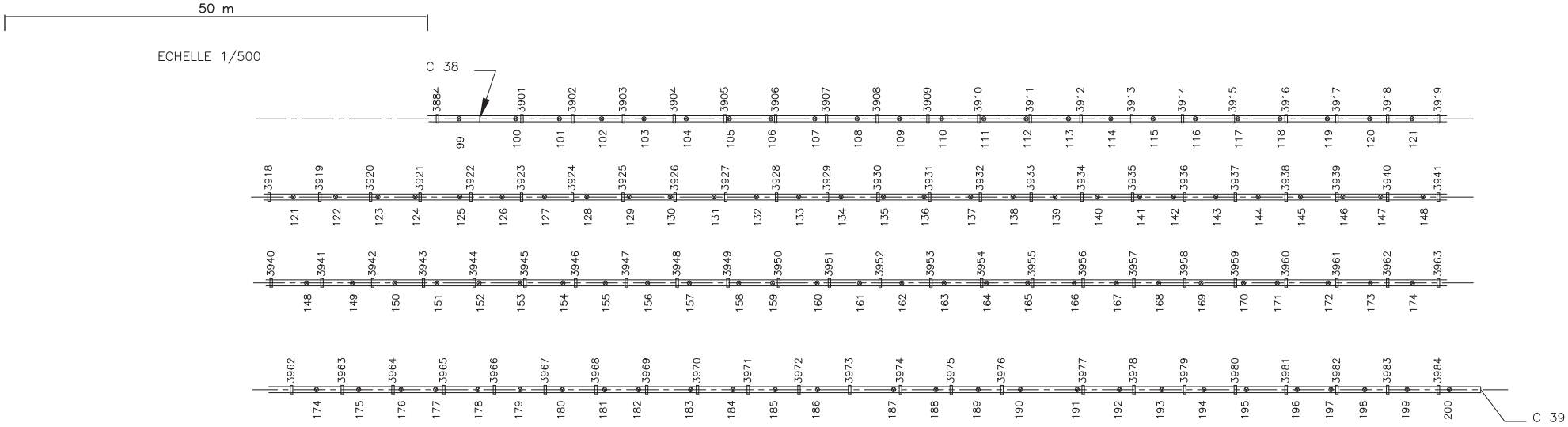
TITLE	GORO NICKEL PROJECT MARINE OUTFALL
DETAILS	SURVEY FINAL AS-BUILT DIFFUSER SECTION
DRAWN: 12/12/08 BY: D.B	VERIFIED : 12/12/08 BY: JT/CP

SCALE	COMPUTER FILE	DRAWING NUMBER	FOLIO	REV
1/5.000 1/500	447-DRA-001.DWG	447-DRA-001	A3 2/6	A

TAPE D'ABANDON VOIR PLAN 447-DRA-632







DIFFUSEUR DN710

TRACE THEORIQUE

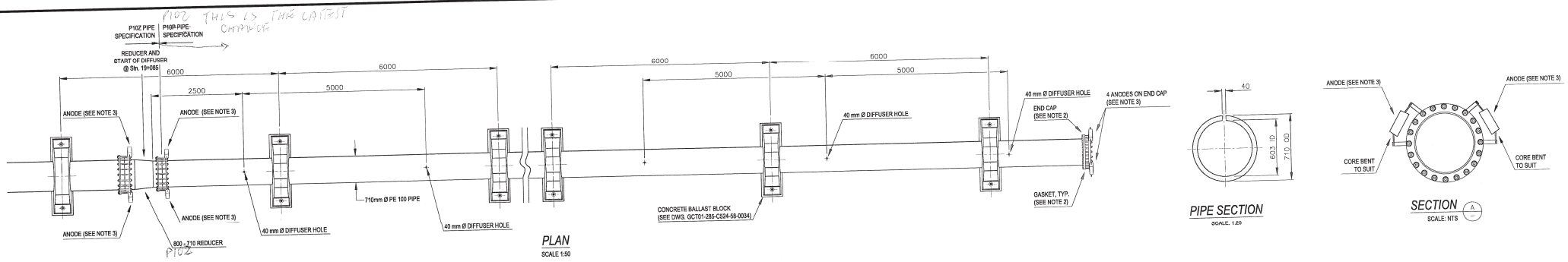
REV	DATE	DESCRIPTION	BY	CHECK
A	12/12/08	PLAN AS BUILT	D.B	JT/CP

This document is a GEOCEAN property. It is confidential and shall not be used, delivered or duplicated in any case without GEOCEAN authorization.

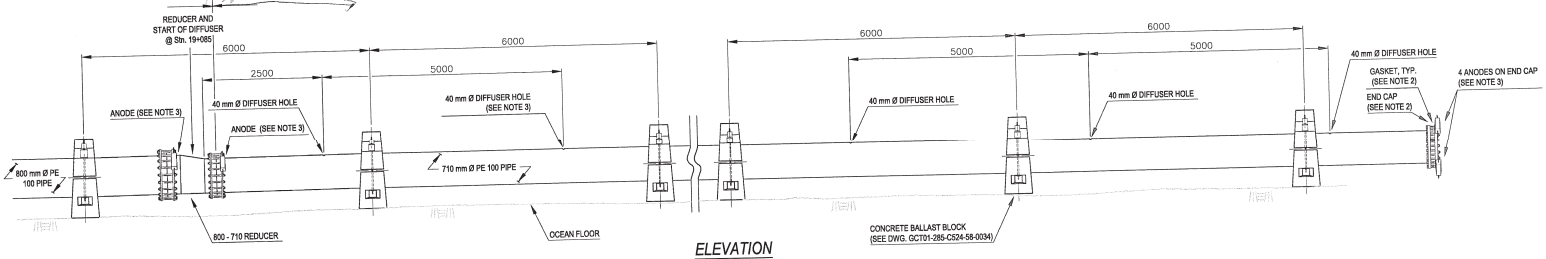
GEOCEAN
Quartier du Brégadan
ZA Technoparc – CS 60001
13711 CASSIS Cedex FRANCE
Tel: +33.4.42.18.02.18
Fax: +33.4.42.18.02.20
E-mail: info@geocean.fr

TITLE	GORO NICKEL PROJECT MARINE OUTFALL
DETAILS	SURVEY FINAL AS-BUILT DIFFUSER SECTION
DRAWN: 12/12/08 BY: D.B	VERIFIED : 12/12/08 BY: JT/CP

SCALE	COMPUTER FILE	DRAWING NUMBER	FOLIO	REV
1/5.000 1/500	447-DRA-001.DWG	447-DRA-001	A3 3/6	A

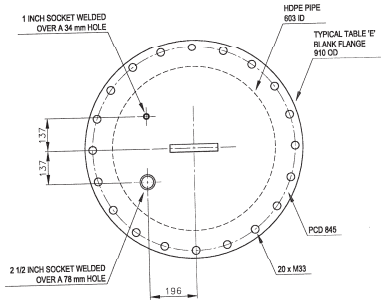


PLAN
SCALE 1:50

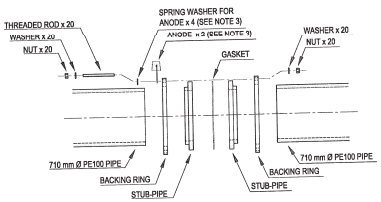


ELEVATION
SCALE 1:50

ISOMETRIC SKETCH OF BLIND FLANGE
SCALE: NTS



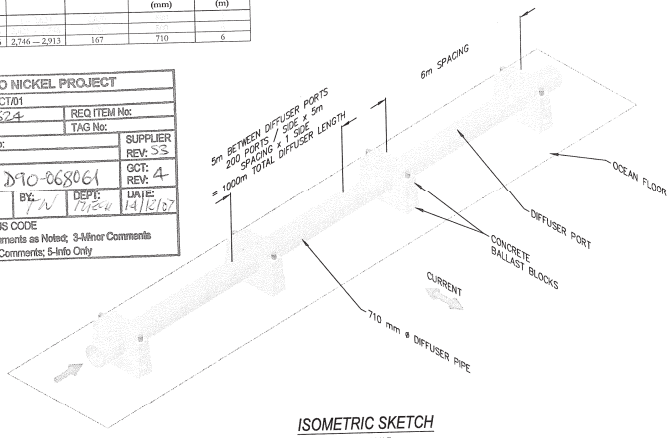
PLAN
SCALE 1:10



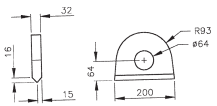
EXPLODED VIEW OF PIPE FLANGE ASSEMBLY
SCALE: NTS

Ballast Block Spacing				
Distance Along Pipe (m)	Ballast Block Numbering	Total Number of Blocks	Pipe Size (mm)	Ballast Block Spacing (m)
19,086 to 20,086	2,746 – 2,913	167	710	6

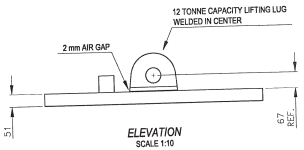
GORO NICKEL PROJECT			
CONTRACT No: GCT/01			
P.O. No: 10524	REQ ITEM No:		
REQ No:	TAG No:		
SUPPLIER DOC No:		SUPPLIER REV: 55	
GCT DOC No:			
DOC TYPE CODE: & SEQUENCE No: D90-868061		GCT: REV: 4	
STATUS CODE: 3	BY: JA	DEPT: ENG	DATE: 14/12/07
COMMENT STATUS CODE 1-Rejected; 2-Comments as Noted; 3-Minor Comments Acceptable; 4-No Comments; 5-Info Only			



ISOMETRIC SKETCH
NOT TO SCALE

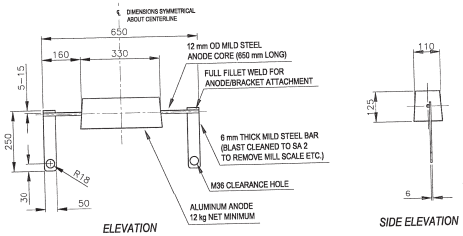


LIFTING LUG DETAILS
SCALE 1:10



ELEVATION
SCALE 1:10

END CAP / BLIND FLANGE DETAIL
SCALE: AS SHOWN



ELEVATION

SIDE ELEVATION

ANODE DETAIL
SCALE 1:10

Notes /Notes
1. P&ID No. GCT01-285-8820-25-0065
2. GASKET AND END CAP SPECIFICATIONS TO BE PROVIDED BY INSTALLER.
3. ANODE DETAILS TO BE PROVIDED BY CORROSION CONSULTANT, TO PROVIDE 20 YEARS PROTECTION.
4. DIFFUSER HOLES SHOULD BE SHIFTED IF LESS THAN 1000 mm FROM CENTRE OF NEAREST BALLAST BLOCK.

Rev.	Date	Par /By	App.	Description
01	2006-06-30	JAB	JS	ISSUED FOR DISCUSSION
02	2006-11-10	JAB	JS	CHANGED TO SINGLE-SIDE 5m SPACING ON TOP OF PIPE, ADDED NOTES FOR UNDERPAD, GASKET AND BALLAST BLOCK ASSEMBLY.
03	2007-07-31	SM	JS	ADDED REDUCER AND ANODES
S1	2007-09-21	JAB	JS	CHANGED ANODE SPECIFICATION
S2	2007-10-20	JAB	JS	CHANGED REDUCER, ADDED BALLAST BLOCK SPACING TABLE, FLANGE ANODE DETAILS, AND MISC. NOTATION
S3	2007-12-07	JAB	JS	ADDED END CAP ANODES, BLIND FLANGE DETAIL, PIPE SPEC. AREA CHANGE, MISSING REFERENCE DRAWING AND MODIFIED TITLE

Conception /Design JAS, 2006, 06, 23
Vérifié /Checked RN
Approuvé /Approved JAS
Dessiné /Drawn JAB, 2007, 07, 30
Echelle /Scale AS SHOWN

HAY & COMPANY CONSULTANTS
A DIVISION OF SBA
Suite 900 – 1066 West Hastings Street
Vancouver, B. C. Canada V6E 3X2
E-mail: hayco@haycо.com

Client /Client: INCO AUSTRALIA MANAGEMENT PTY. LTD.
Projet /Project: DÉCHARGE MARINE DE GORO
GORO MARINE OUTFALL

Dessin /Drawing: CONSTRUCTION AREA 63A1 MARINE INSTALLATION: DIFFUSER DETAILS
Numéro De Dessin /Drawing No.: GCT01-285-C524-54-0021
REV: S3

Reference Drawings / Drawing Dependancies
GCT01-285-C524-57-0057
GCT01-285-C524-54-0036
GCT01-285-C524-58-0034
GCT01-285-C524-58-0058

ANNEXE 5.1 : Vérification indépendante de Norda Stelo

NORDA STELO	NOTES DE CALCULS		Rev	Date	Préparé par
	Client	A2EP	0	19-oct-22	Marianne Guay
	Projet	121572.022-007			**Vérifié par**
	No document	NC-P-0001			Jacques Talbot
	Vérification du modèle hydraulique				**Approuvé par**
					Jacques Talbot

Objectifs Rev

O1. Valider le modèle hydraulique présenté dans le rapport EXT-285-8230-RP-0010_O1

Méthodologie

M1. Déterminer la pression maximum dans la tuyauterie.
M2. Déterminer l'élévation à partir de laquelle la conduite est en charge.

Hypothèses de base

H1. Le débit maximum de rejet vers l'émissaire est de 3050 m3/h (R1).
H2. La température maximum des rejets est de 40°C, une température de 30°C est considérée pour les calculs (R1).
H3. La masse volumique de l'eau de mer est de 1025 kg/m3 (R1).
H4. La masse volumique de l'effluent est de 1010 kg/m3 et la viscosité de 1 cP (R1).
H5. La rugosité du HDPE est de 0.39 mm (0.0153 po) (R1).
H6. La section en PE100 DN710 PN 12.5 a une longeur de 1310 m (R1). L'élévation à l'entrée de la conduite est de 153 m et de 40 m à la sortie (R1).
H7. La section en PE100 DN800 PN 16 a une longeur de 340 m (R1). L'élévation à l'entrée de la conduite est de 40 m et de 6 m à la sortie (R1).
H8. La section en Duplex SCH 10S de DN600 a une longeur de 13 m (R1). L'élévation à l'entrée de la conduite est de 6 m et de 6 m à la sortie. (R1).
H9. La section en PE100 DN800 PN 12.5 (on-shore) a une longeur de 34 m (R1). L'élévation à l'entrée de la conduite est de 6 m et de 0 m à la sortie (R1).
H10. La section en PE100 DN800 PN 12.5 (off-shore) a une longeur de 20290 m (R1). L'élévation à l'entrée de la conduite est de -0.8 m et de -45 m à la sortie (R1).
H11. Le diffuseur est constitué de 200 trous de 40 mm sur 1 km à une élévation de 45 m (R1).
H12. Un coefficient de décharge de 0.6 est considéré pour valider le débit passant par un orifice.

Références

R1. EXT-285-8230-RP-0010_O1
R2. Simulation Pipe-Flo: 121572.002-007-I-P-PIPEFLO-0001_0
R3. TLV Calculator: Water Flow Rate through an Orifice

Calculs

1. Détermination de la pression exercé par l'eau de mer

Hauteur de liquide	45 m	
Densité	1.025	(H3)
Pression	65.5 psig	
Pression	451.6 kPag	

2. Détermination de la presion maximum dans la conduite actuelle

La pression requise pour contrer les pertes de charge au débit de 2690 m3/h est de 1125 kPag en considérant aucune perte de charge dans le diffuseur (R2).

La pression requise pour contrer les pertes de charge au débit de 2690 m3/h est de 1144 kPag en considérant une vanne de CV de 7207 pour représenter le diffuseur (R2).
La section de conduite qui est en charge commence à une élévation de 128 m (R2).

3. Détermination de la presion maximum dans la conduite en changeant 300 m

La pression requise pour contrer les pertes de charge au débit de 2909 m3/h est de 1340 kPag en considérant une vanne de CV de 7207 pour représenter le diffuseur (R2).

4. Détermination de la presion maximum dans la conduite en changeant 6500 m

La pression requise pour contrer les pertes de charge au débit de 3050 m3/h est de 1319 kPag en considérant une vanne de CV de 7207 pour représenter le diffuseur (R2).

5. Validation des débits pour l'ajout de trou dans la conduite pour le premier orifice du cas 1

Pression dans la conduite au niveau du 1er orifice selon le rapport	649	kPag	(R1)
Pression de liquide sur la conduite	451.6	kPag	
Diamètre de l'orifice	42	mm	(R1)
Débit passant par l'orifice	59.4	m3/h	(R3)

Le débit calculé dans le rapport est plus élevé que 59.4 m3/h.

Conclusions

C1. La pression maximum dans la conduite actuelle au débit de 2690 m3/h est de 1144 kPag en considérant une perte de charge dans le diffuseur. Le résultat est similaire à celui du rapport.
La conduite devient en charge à partir d'une élévation de 128 m.

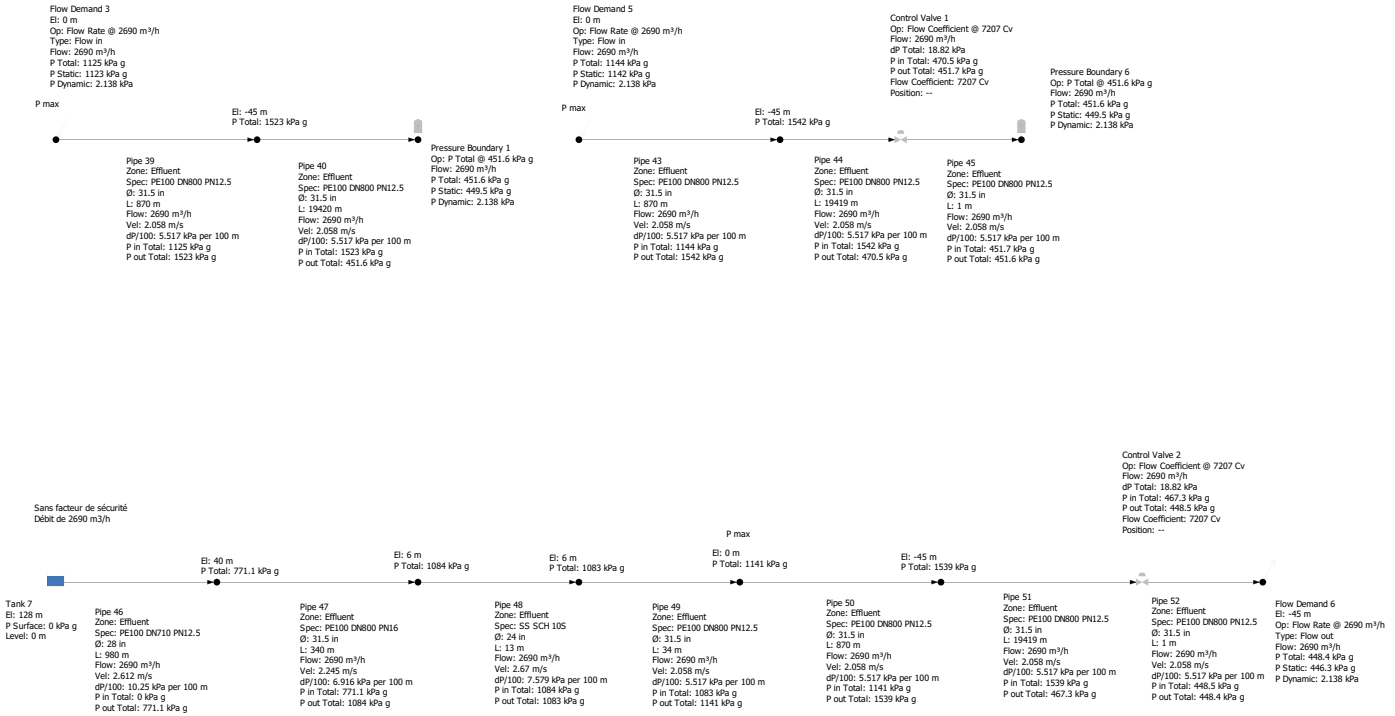
C2. La pression maximum dans la conduite actuelle au débit de 2909 m3/h est de 1340 kPag en considérant une perte de charge dans le diffuseur. Le résultat est similaire à celui du rapport.

C3. La pression maximum dans la conduite actuelle au débit de 3050 m3/h est de 1319 kPag en considérant une perte de charge dans le diffuseur. Cette valeur est inférieure à la pression maximum admissible de 1324 kPag.

C4. Les données du modèle hydraulique présentés dans le rapport permettent de déterminer les pressions à différents endroits de la conduite et ont été validés à l'aide d'une simulation Pipe-Flo. La validation de la simulation à l'aide de Pipe-Flo montre que le modèle présenté dans le rapport est adéquat.

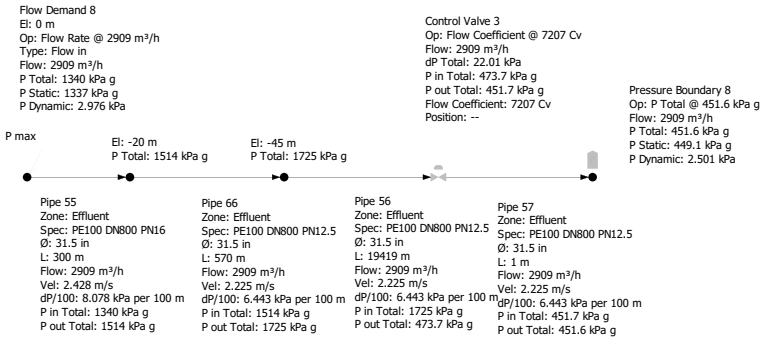
C5. Selon les données de la simulation, le débit calculé à travers le premier orifice pour le cas 1 devrait être de 59 m3/h au lieu de 97 m3/h pour un trou de 42 mm.

Suivi

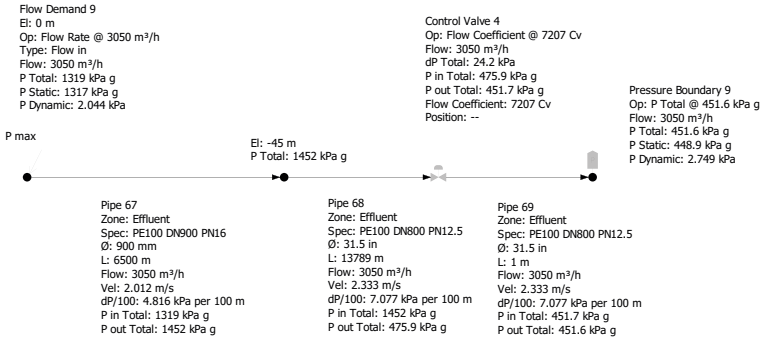


PIPE-FLO Professional		Units				Project Information	
Program Version:	17.6	**Area:**	ft²	**Flow rate:**	m³/h	**Heat Transfer Rate:**	BTU/h	**Company:**	
Calculation Method:	Darcy-Weisbach	**Length:**	m	**Pressure:**	kPa	**Heat Transfer Coefficient:**	BTU/h*ft²°F	**Project:**	
Maximum Iterations:	1000	**Elevation:**	m	**Power:**	hp	**Specific Heat Capacity:**	BTU/lb°F	**Drawn by:**	
Percent Tolerance:	0.01 %	**Diameter:**	mm	**Temperature:**	°F	**Thermal Capacitance:**	BTU/h°F	**File Name:**	121572.022-007-I-P-PIPEFLO-0001_rev0.pipe
Laminar Cutoff Re:	2100	**Velocity:**	m/s	**Density:**	kg/m³	**Thermal Insulance:**	h*ft²°F/BTU	**Lineup:**	<Design Case>
Allowable Deviation:	1 %	**Volume:**	gal	**Viscosity:**	cP	**Atmospheric Pressure:**	101.3 kPa a	**Print Date:**	mardi, octobre 18, 2022 03:16

Modification de 300 m de tuyauterie off-shore



Modification de 6500 m de tuyauterie off-shore



PIPE-FLO Professional		Units					Project Information	
Program Version:	17.6	**Area:**	ft²	**Flow rate:**	m³/h	**Heat Transfer Rate:**	BTU/h	**Company:**
Calculation Method:	Darcy-Weisbach	**Length:**	m	**Pressure:**	kPa	**Heat Transfer Coefficient:**	BTU/h*ft²°F	**Project:**
Maximum Iterations:	1000	**Elevation:**	m	**Power:**	hp	**Specific Heat Capacity:**	BTU/lb°F	**Drawn by:**
Percent Tolerance:	0.01 %	**Diameter:**	mm	**Temperature:**	°F	**Thermal Capacitance:**	BTU/h°F	**File Name:** 121572.022-007-I-P-PIPEFLO-0001_rev0.pipe
Laminar Cutoff Re:	2100	**Velocity:**	m/s	**Density:**	kg/m³	**Thermal Insulance:**	h*ft²°F/BTU	**Lineup:** <Design Case>
Allowable Deviation:	1 %	**Volume:**	gal	**Viscosity:**	cP	**Atmospheric Pressure:**	101.3 kPa a	**Print Date:** mercredi, octobre 19, 2022 10:55

Calculator: Water Flow Rate through an Orifice

TLV ToolBox - For iOS and Android

Input Data

Units SI

Primary Pressure	649	kPaG
Secondary Pressure	451.6	kPaG
Diameter of Orifice	42	mm
Discharge Coefficient [?]	0.6	
Water Temperature [?]	30	°C

Hide Advanced Options

Calculate Clear

Result

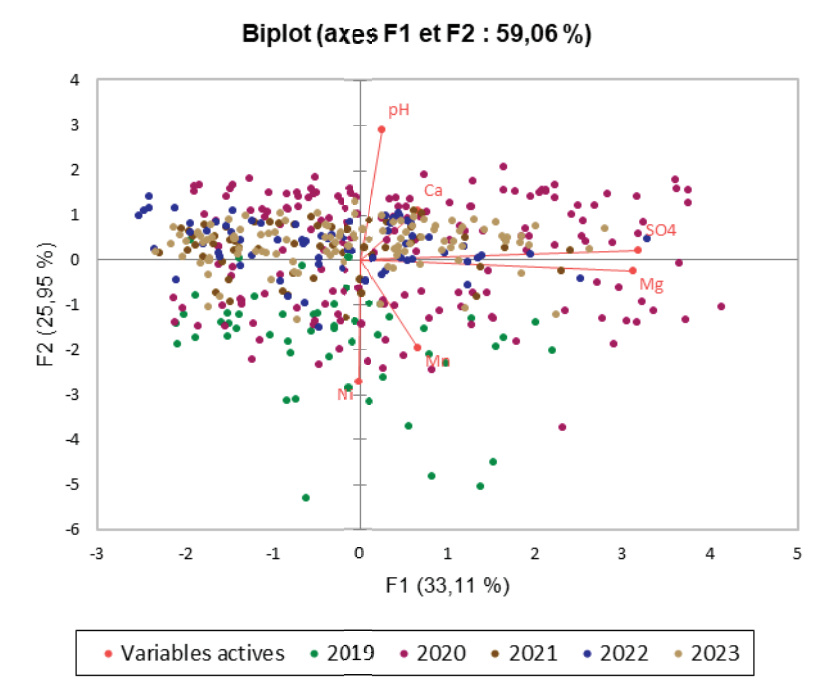
Water Flow Rate	59.3864	m³/h

A2EP INDUSTRIES
NORDA STELO

14 rue Edouard Glasser
Motor Pool - BP 8176
98 808 Nouméa Cedex
Téléphone : +687 27 55 00
Télécopieur : +687 27 71 33

ANNEXE 2 : Etude statistique de l'évolution de la composition de l'effluent industriel entre 2019 et 2023

ETUDE STATISTIQUE DE L'EVOLUTION DE LA COMPOSITION DE L'EFFLUENT INDUSTRIEL ENTRE 2019 ET 2023



« Chimie de l'environnement et Modélisation hydrodynamique »

Rapport août **2023**

Photos de couverture AEL : Traitement ACP des populations de mesures de concentration.

CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL-LEA

Proposition technique et commerciale AEL n°689-PR-23-P

ETUDE STATISTIQUE DE L'EVOLUTION DE LA COMPOSITION DE L'EFFLUENT INDUSTRIEL ENTRE 2019 ET 2023

Nombre de pages : 24

	Ref AEL	Ref Client
Identification	689-PR-23-P	PO L58597 /0001
Titre complet	ETUDE STATISTIQUE DE L'EVOLUTION DE LA COMPOSITION DE L'EFFLUENT INDUSTRIEL ENTRE 2019 ET 2023	
Auteurs		
Résumé	Les 413 déterminations pour chacun des 7 paramètres retenus permettent de distinguer une évolution des compositions entre 2019 et 2023. Pour les composés majeurs, les valeurs de Ca sont relativement variables (621 ±18% mg/L) alors que les concentrations en Mg (3.408 ±9% mg/L) et SO_4 (13.808 ±8%) demeurent quasi-constantes sur toute la période. Pour les éléments mineurs quantifiables, les concentrations en Mn, Ni et Zn sont extrêmement variables, mais elles sont toutes en diminutions globales entre 2019 et 2023. Respectivement ces baisses sont de 16%, 84% et 28%. A l'inverse, dans le même laps de temps, le pH, augmente de 17%, passant de 7,4 à 8,6 ; cette dernière valeur étant relativement proche de celle de l'eau de mer. D'autres éléments ont été mesurés, mais les concentrations sont toutes inférieures aux limites de quantification des méthodes analytiques respectives.	

APPROBATION			
FONCTION	**NOMS**	**VISA**	**DATE**
Rédacteurs			18/08/2023
Vérificateur 1			
Vérificateur 2			
Approbateur			

EVOLUTION		
VERSION	**DESCRIPTION DES MISES A JOUR**	**DATE**
V1.0	Rapport	18/08/2023
V2.0	Rapport corrigé	24/08/2023
V2.1	Rapport corrigé	26/08/2023
V2.1.1	Rapport corrigé	31/08/2023
V2.2	Rapport amendé	01/09/2023

COPIE - DIFFUSION	
NOM	**ORGANISME**
	Prony Resources, Département Environnement

Ce rapport est cité comme suit : Fernandez JM, 2023. Etude statistique de l'évolution de la composition de l'effluent industriel entre 2019 et 2023. Contrat AEL689-PR-23-P L58597/0001, 24p.

TABLE DES MATIERES

I. INTRODUCTION 7
A. CONTEXTE 7
B. DETAILS DE LA MISSION 7
II. METHODOLOGIE 9
A. OBJECTIF DU TRAITEMENT 9
B. METHODES STATISTIQUES MISES EN ŒUVRE 9
C. JEUX DE DONNEES DISPONIBLES 10
III. RESULTATS 12
A. ANALYSES INTER-ANNUELLES 12
B. ANALYSES FACTORIELLES MULTIPARAMETRIQUES 16
IV. CONCLUSION 18
ANNEXE 1 20

I. INTRODUCTION

A. CONTEXTE

Les effluents industriels sont traités via l'unité de traitement industrielle avant leur rejet en mer dans le canal de la Havannah, au large de la Baie Kwé, via un émissaire équipé d'un diffuseur. Un projet d'optimisation du débit de rejet à l'émissaire est proposé par l'ajout de 10 orifices supplémentaires localisés sur une section en amont du diffuseur (Figure 1).

Dans le cadre d'une évaluation environnementale, une étude statistique des compositions chimiques des effluents émis depuis 2019 a été réalisée. Cette étude a pour but de caractériser l'effluent traité avec la mise en œuvre du projet LUCY.

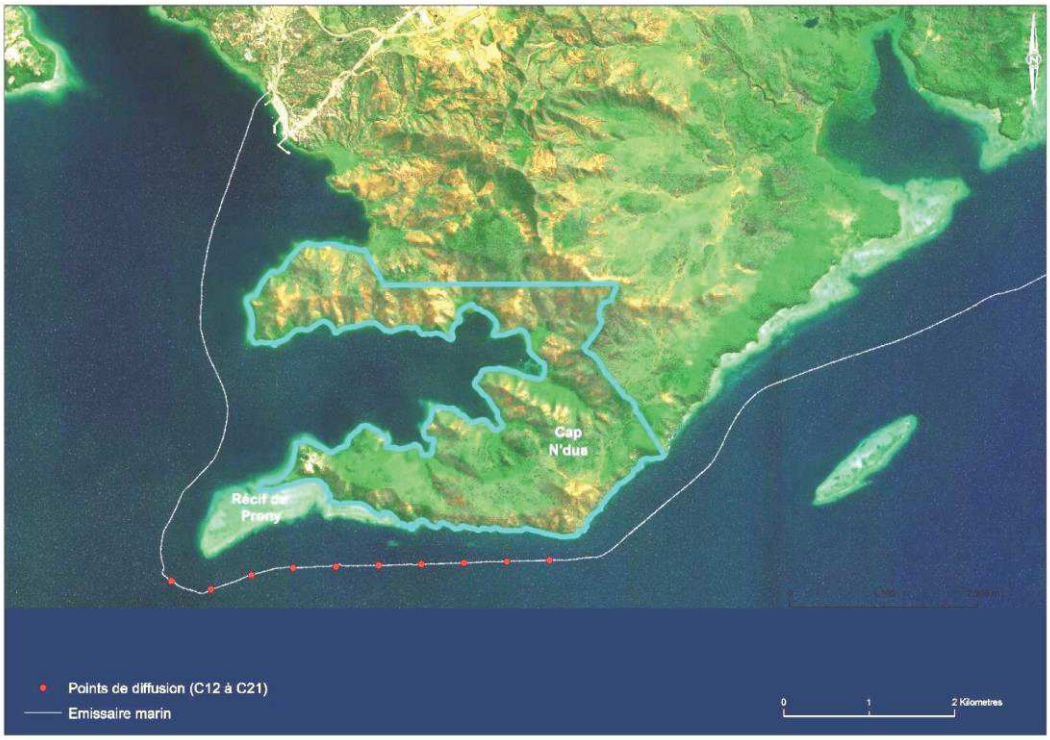


Figure 1 : Localisation de la zone de la demande d'étude d'état initial et de localisation des points de diffusion sur la conduite de rejet en partie marine.

1. Statistique descriptive des effluents

L'étude statistique consiste à :

1. Identifier des populations de mesures pour les effluents émis entre 2019 et 2023 dans l'objectif de caractériser les compositions chimiques durant cette période ; notamment, il

s'agit d'estimer si les paramètres analysés montrent une variabilité significative ou pas à l'intérieur de la période de rejet identifiée ;

2. Qualifier la population et le cas échéant définir si la variabilité concerne l'ensemble des paramètres (concentrations en hausse ou l'inverse) ou seulement quelques-uns d'entre eux et dans ce cas les préciser et donner les tendances ;
3. Prendre en considération les projections de la qualité de l'effluent avec le futur projet Lucy, grâce aux modélisations et caractérisations géochimiques réalisées par PR-NC (Annexe 1).

Pour ces deux volets analytiques, des séries de tests statistiques (paramétriques ou non, et dont la nature sera déterminée selon les caractéristiques fines des jeux de données) et de tests *post hoc* ont été mis en œuvre, et ont été appuyés en fin de traitement, par des analyses factorielles sur les matrices de paramètres disponibles.

Cette stratégie a permis d'aborder aussi bien d'éventuelles variations dans les profils physico-chimiques des effluents que d'examiner les variations propres à chaque paramètre isolément au sein de la période de suivi.

II. METHODOLOGIE

La méthodologie employée a eu pour finalité de réaliser une étude en statistiques descriptive visant à fournir les variations des caractéristiques physico-chimiques des effluents industriels liquides rejetés dans le canal de la Havannah, à l'intérieure de la période 2019-2023

A. OBJECTIF DU TRAITEMENT

La finalité des analyses statistiques réalisées a été de fournir des éléments pragmatiques et objectifs issus de ce jeu de données historique des rejets, en appui aux interprétations écotoxicologiques et physico-chimiques. La stratégie a consisté à réaliser des comparaisons interannuelles, pour chaque paramètre, et au sein de chacune des périodes sélectionnées, sur la base des valeurs moyennes annuelles et de leurs dispersions statistiques.

B. METHODES STATISTIQUES MISES EN ŒUVRE

La préparation et le traitement des données, la réalisation et la validation de l'ensemble des traitements statistiques, ainsi que toutes les interprétations afférentes ont été réalisées de façon combinatoire avec les logiciels MS Excel©, R Software© et XLStat©.

Les analyses réalisées ont permis de déterminer, pour chaque paramètre, si des différences statistiquement significatives existent entre les années au sein de chaque période d'une part, et entre périodes d'autre part. Afin de procéder à ces comparaisons, des tests univariés (un facteur « année » ou « période » selon les cas) ont dans un premier temps été réalisés pour chaque paramètre.

Afin de choisir le type d'analyse le plus adapté, il a tout d'abord été déterminé si les données propres à chaque paramètre répondaient aux exigences de mise en œuvre de tests paramétriques (i.e. distribution gaussienne et homoscédasticité ; Scherrer 1984, Zar 1999).

Lorsque les conditions nécessaires étaient remplies, des analyses de variance (ANOVA) ont été utilisées. Dans le cas contraire, des tests non-paramétriques ont été utilisés (tests de Kruskal-Wallis pour les comparaisons entre années au sein de chaque période ; Zar 1999, Rosner 2000).

Dans le cas des comparaisons entre années, lorsqu'une variation significative a été identifiée sur un paramètre, des tests complémentaires *post hoc* ont été réalisés afin de déterminer quelles années étaient à l'origine de la significativité générale de l'analyse (Scherrer 1984).

Les résultats de ces tests *post hoc*, associés aux représentations graphiques des paramètres par année, permettent de préciser l'amplitude et le profil des différences significatives pour leur interprétation.

Enfin, en appui aux tests statistiques décrits précédemment et afin de visualiser la structure générale

du nuage de mesures, le jeu de données complet a été exploré *via* des analyses en composantes principales (ACP ; Escoffier & Pagès 1998). Ces analyses permettent de synthétiser l'information contenu dans des jeux de données volumineux, en croisant observations et variables et en mettant en évidence des bilans de liaisons entre elles. Elles ont notamment pour intérêt d'étudier les schémas de corrélation existants entre les différents paramètres et d'identifier une éventuelle discrimination entre plusieurs profils fondés, en l'occurrence, sur la composition de l'effluent pour les 7 paramètres considérés.

De manière générale, pour les analyses factorielles incluant des paramètres d'ordre de grandeur différents, les données sont centrées et réduites de manière à éviter que l'échelle des variables n'influe sur les résultats du traitement.

Le risque de première espèce « α » pour les tests statistiques a été fixé à 0,05.

L'ensemble des analyses statistiques a été accompagné d'une série de représentations graphiques permettant de visualiser : la structure des données, leur moyenne, leur médiane, et la significativité (*p-value*) des comparaisons une à une, entre années ou périodes, pour chaque paramètre

C. JEUX DE DONNEES DISPONIBLES

Les données traitées statistiquement proviennent des analyses réalisées par PR-NC sur 34 paramètres dont 23 de manière quotidienne durant la période 2019-2023, Toutefois, la population sélectionnée pour l'étude concerne les 4 dernières années.

Les événements principaux influençant la composition de l'effluent sont notamment, l'arrêt du dernier train de pyrohydrolyse en mai 2020 et avec lui l'ensemble des unités constituant la Raffinerie. Comme conséquence de l'arrêt de cette partie du procédé, le circuit « chlorure » de l'unité de traitement des effluents industriels a été stoppé. A partir de cette période, seul du NHC a continué d'être produit.

Depuis cette modification de procédé, le site industriel a connu de longues périodes d'arrêt. Pendant ces périodes, l'effluent industriel était constitué majoritairement par des solutions provenant du parc à résidus KO2, additionnés d'eaux de pluie.

Entre autres, ces périodes correspondent aux baisses successives des concentrations en Mg/SO_4 observées, en rasons d'événements comme :

- L'arrêt (blocages) de l'usine d'acide sulfurique ;
- L'arrêt pour maintenance de l'usine d'acide sulfurique ;
- L'arrêt pour réparation de l'usine d'acide sulfurique.

Il résulte donc un jeu final de données comptabilisant plus de 12.000 caractérisations physico-chimiques de l'effluent, ce qui correspond à plus de 500 dates de mesures.

Toutefois, parmi ces 34 paramètres analysés, la grande majorité de ceux-ci a été non quantifiable. Ce constat a conduit à ne conserver pour le traitement statistique de caractérisation, qu'une matrice réduite présentant 7 paramètres seulement : Ca, Mg, Mn, Ni, pH, SO_4 et Zn. Parmi ces paramètres, 3 d'entre eux sont des « composés majeurs » (Ca, Mg et SO_4) présents avec des concentrations de l'ordre

du gramme par litre d'effluent. Ce niveau de concentration est 1.000 fois plus élevés que celui des éléments qualifiés des « mineurs » (Mn, Ni et Zn).

Les principales caractéristiques de l'effluent semblent donc largement tributaires des concentrations en composés majeurs et en particulier, celles des sulfates. En effet, ces derniers sont le reflet exact de l'évolution historique de la teneur en Mg du minerai latéritique ($R^2_{(Mg/SO4)}$ = 0,940) entrant dans les autoclaves (communication personnelle de PR-NC).

L'évolution temporelle des concentrations en SO_4 (ou en Mg) peut alors être considérée comme un modèle qui traduit les variations relatives de composition de l'effluent depuis environ 4 ans (Figure 2). Toutefois, la variation des concentrations est telle qu'il n'est pas envisageable statistiquement de traiter la population analytique globale. En effet dans leur ensemble, si les concentrations en SO_4 ont été stables, des diminutions drastiques sont observées principalement à deux ou trois reprises : entre les mois de février et mai 2020, à la mi-février 2022 et vers la mi-août 2022 (Figure 2).

A l'intérieur de cette population analytique, un tri de deuxième niveau a dont dû être réalisé pour éliminer les valeurs extrêmes basses et ne garder que des concentrations en SO_4 (12.000 à 16.000 mg/L) significatives en fonctionnement nominal de l'usine (Figure 2).

Ces deux filtrages successifs ont donc permis de disposer d'une population analytique statistiquement exploitable qui, de surcroit, correspond à la plage des valeurs cibles de l'industriel pour les concentrations en SO_4 dans les effluents futurs. Cette plage est globalement observée dans les rejets réalisés entre 2019 et 2023, mais ne représentent qu'environ 30% des analyses réalisées et retenues pour l'étude (Figure 2).

Associés à cette double sélection conduite sur la base des concentrations en SO_4, les résultats d'analyses des 6 autres paramètres statistiquement exploitables de chaque échantillonnage retenu ont été pris en compte pour les traitements.

Ainsi, il a été obtenu **413 échantillons** (**2.891 résultats d'analyses exploitables) pour la période (01/06/2019 au 25/06/2023)**.

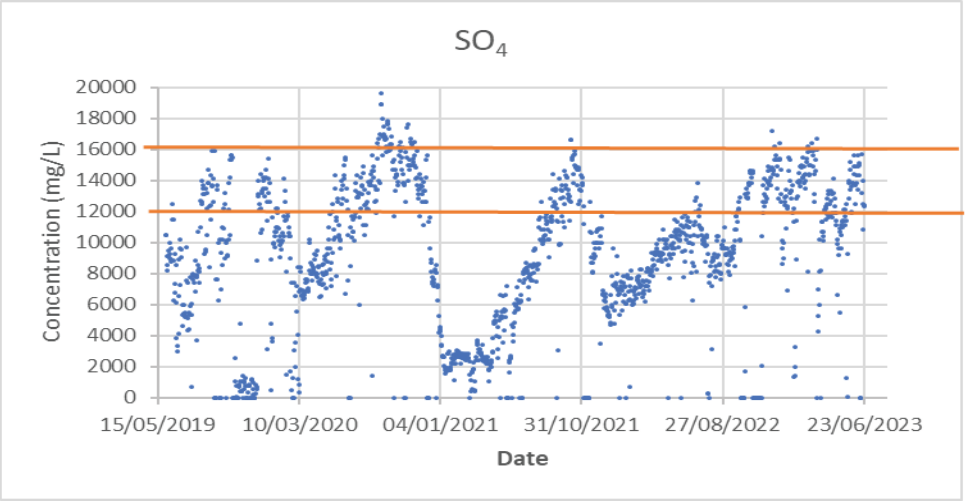


Figure 2 : Filtrage de la population de données caractériser statistiquement la composition des effluents correspondant à la période du 01/06/2019 au 25/06/2023.

III.RESULTATS

1. Généralités

Le traitement statistique des descriptives a permis :

- d'une part, d'examiner les variations interannuelles de concentrations pour chaque paramètre et de déterminer si celles-ci étaient significatives à l'intérieur de la période (Figure 2 et Tableau 1) ;
- d'autre part, d'examiner les liens de corrélation des variations entre les différents paramètres, à l'intérieur de la période et de représenter les distributions temporelles annuelles (Figure 4 et Figure 5).

2. Variation statistique des paramètres

Au cours de la période, la variation de concentrations la plus importante calculée concerne l'élément mineur Mn (Tableau 1). Pour les composés majeurs (SO_4, Mg), les variations ne sont pas significatives (p-value <0,0001) et inversement, pour Ca, il est calculé une variation significative.

Durant cette période, les variations de pH sont calculées significatives en raison de l'année 2019 où la valeur n'était que de 7,4 ±0,5, alors que la moyenne pour les 4 années suivantes a été portée à 8,5 ±0,4 (Figure 3). En termes de dispersion, les plus fortes ont été observées en 2019 (6,7-8,6) et 2020 (6,8-9,3). Entre 2021 et 2023 l'écart a considérablement été réduit à 8,6 ±0,3.

Tableau 1 : Statistiques descriptives de l'ensemble des variations de concentrations de chacun des 7 des paramètres pour la période.

Variable	Signif.	Nb. obs.	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Ca	< 0,0001	413	388	966	621	111
Mg	0,001	413	2640	4160	3408	311
Mn	< 0,0001	413	0,01	7,38	0,88	0,94
Ni	< 0,0001	413	0,01	0,62	0,02	0,04
pH	< 0,0001	413	6,7	9,3	8,33	0,62
SO4	0,295	413	12000	16000	13808	1070
Zn	0,004	413	0,1	1,2	0,11	0,06

Remarque : *pour les composés majeurs Mg et SO_4, les concentrations sont remarquablement constantes, les moyennes étant respectivement de 3.397 ±305 mg/L et 13.765 ±1054 mg/L, c'est à dire présentant des écart-types de moins de 10% dans les deux cas. Toutefois, le résultat statistique reflète le filtrage réalisé dans la population analytique*.

En ce qui concerne Ca, la variabilité des concentrations moyennes pour la période est significative. En effet, une année sur deux la concentration moyenne est soit doublée, soit réduite de moitié ; les concentrations les plus hautes correspondent avec des distributions de populations mesures dispersées (Figure 4).

Pour les éléments mineurs (Figure 5), les variations interannuelles de Mn sont significatives ; en effet, entre 2019 et 2020, la concentration moyenne en Mn a été divisée par 1,7. A l'inverse, entre 2020 et 2023, on note également une variation, mais à la hausse et celle-ci a été plus progressive puisque l'augmentation n'a été que de 1,1 annuellement (augmentation de 0,61 mg/L (2020) à 1,0 mg/L (2023).

Malgré tout, on observe pour chaque année de la période que la dispersion des concentrations est importante, un certain nombre de valeurs ponctuelles pouvant dépasser un facteur 7 fois la moyenne calculée. Pour l'élément Ni, la concentration moyenne a été divisée environ par 3,5 entre 2019 et 2020 et par 6,5 par rapport à 2023.

Pour le Zn, aucune évolution remarquable n'est observée, hormis des concentrations plus élevées en 2019 et une distribution relativement dispersée ; cet élément demeure dans les effluents à des niveaux de concentrations moyens qui diffèrent très peu d'une année à l'autre.

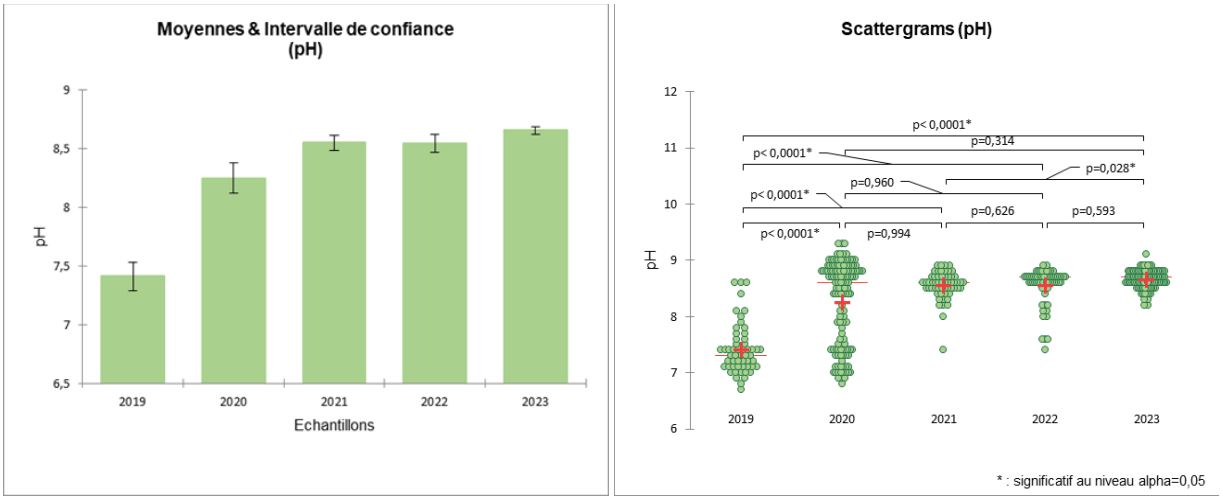


Figure 3 : Valeurs moyennes et écart-types des pH pour chacune des années composant la période retenue. Représentations graphiques des distributions de populations de mesures annuelles du pH. La croix rouge et la ligne rouge sont les moyennes et la médiane, respectivement Niveau de significativité (p-value) des variations du pH inter-années.

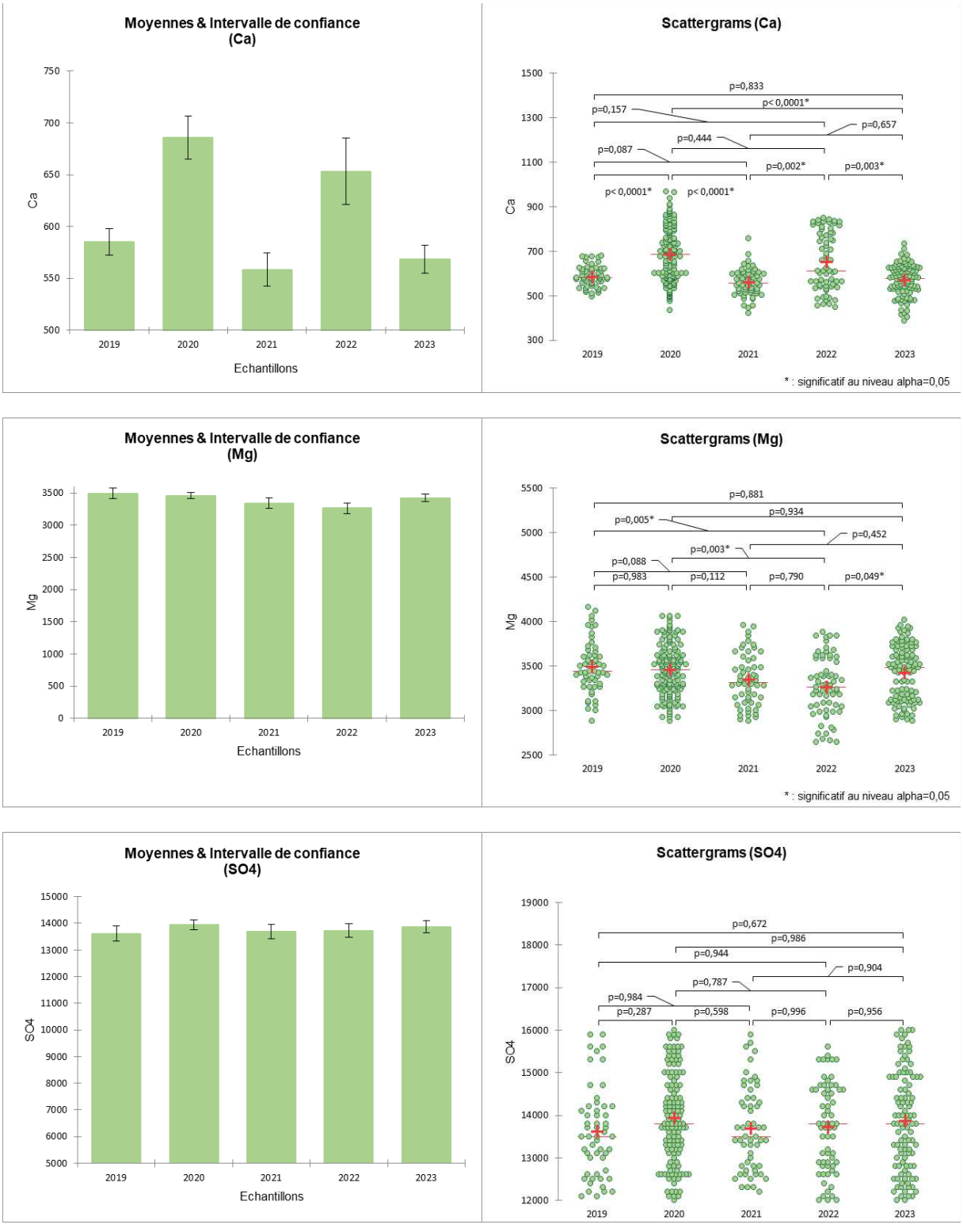


Figure 4 : Concentrations moyennes et écart-types de SO_4, Mg et Ca pour chacune des années de période 2019-2023. Représentations graphiques des distributions de populations de mesures annuelles de SO_4, Mg et Ca. La croix rouge et la ligne rouge sont les moyennes et la médiane, respectivement. Niveau de significativité (p-value) des variations du SO_4, Mg et Ca inter-années.

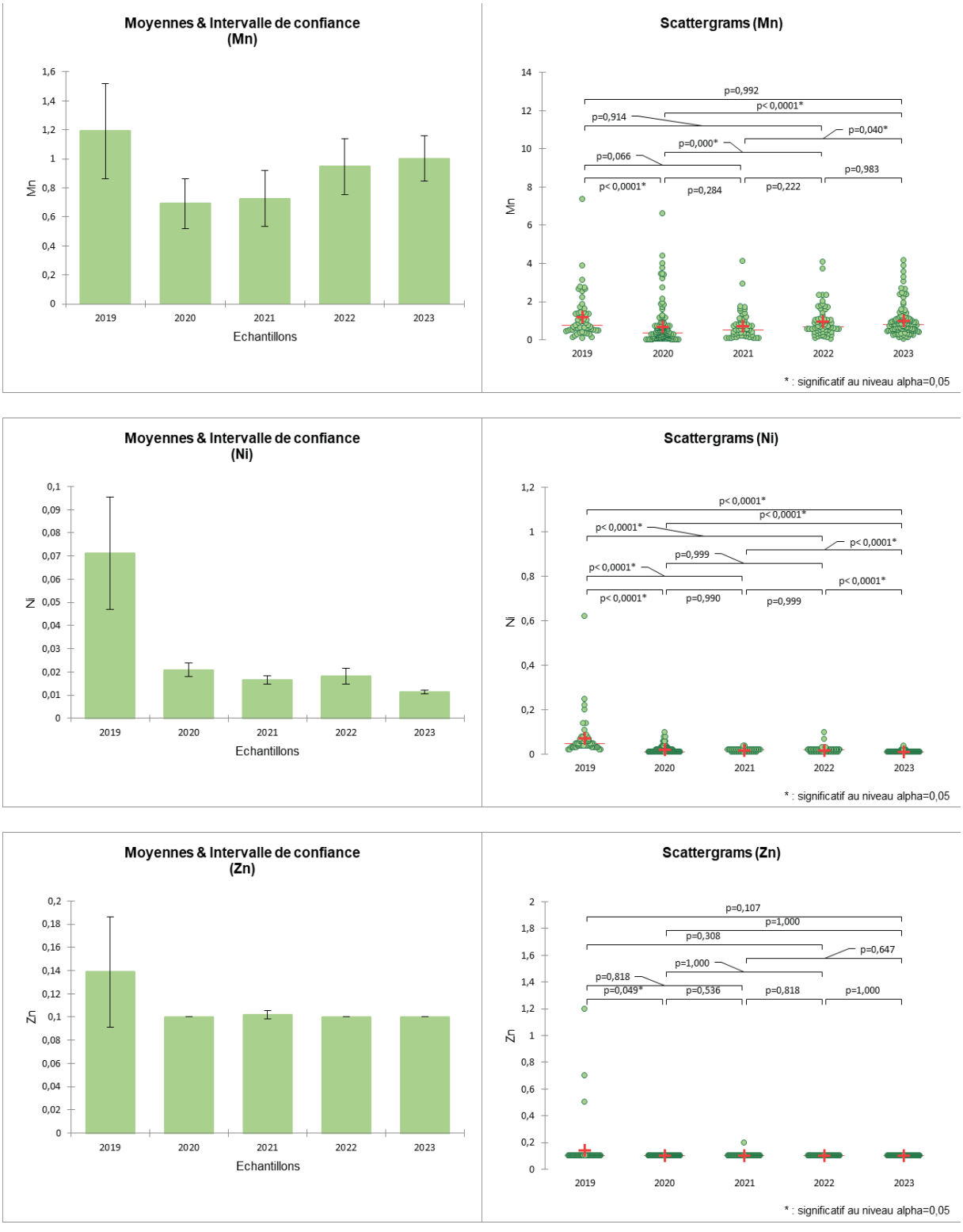


Figure 5 : Concentrations moyennes et écart-types de Mn, Ni et Zn pour chacune des années de la périodes retenue 2019-2023. Représentations graphiques des distributions de populations de mesures annuelles de Mn, Ni et Zn. La croix rouge et la ligne rouge sont les moyennes et la médiane, respectivement. Niveau de significativité (p-value) des variations du Mn, Ni, et Zn inter-années.

Hormis l'exception de la très forte corrélation de SO_4 et Mg (R^2=0,940 ; Tableau 2) montrant que leurs populations de concentrations respectives suivent des évolutions parallèles, pour les raisons techniques évoquées plus haut, la matrice de corrélations ne fait ressortir aucune similarité de comportement à l'intérieur de la période (Figure 6).

B. ANALYSES FACTORIELLES MULTIPARAMETRIQUES

L représentation graphique issue l'analyse factorielle des populations de mesures permet aussi de conforter visuellement la dépendance de la caractérisation avec les concentrations en SO_4 et Mg (26% de la variance ; Figure 6). De surcroit, elle d'apprécier le degré d'organisation temporel des variables. Ainsi, la population la plus dispersée correspond à 2019 et plus ordonnée, à 2023 ; un gradient constant d'organisation (homogénéisation) des populations entre ces deux dates est ainsi mis en évidence. à partir de 2021.

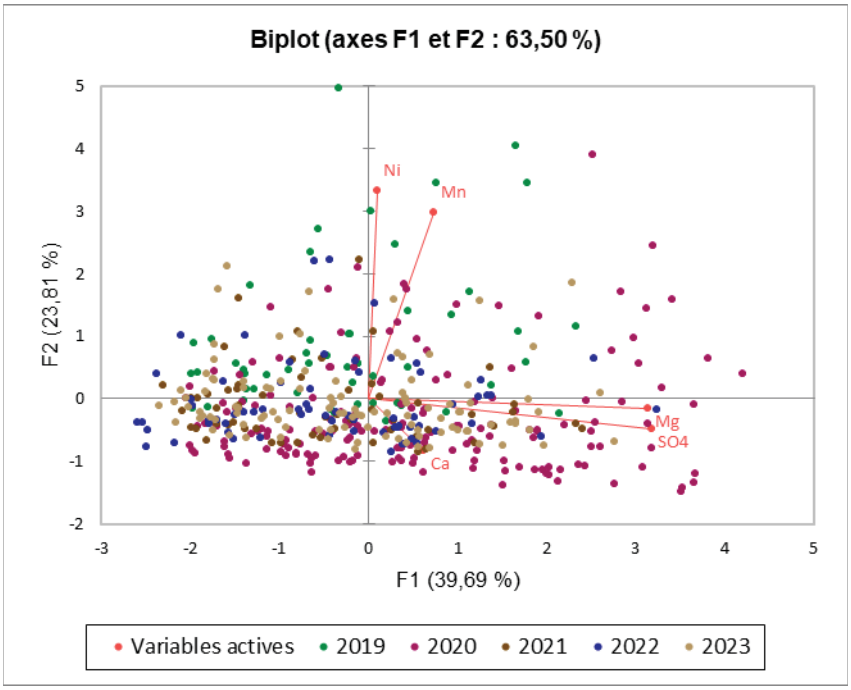


Figure 6 : Représentation de l'analyse factorielle multiparamétrique des populations analytiques pour le période.

Variables	Ca	Mg	Mn	Ni	SO_4
Ca	**1**	0,030	0,018	-0,040	0,159
Mg		**1**	0,112	0,033	**0,940**
Mn			**1**	0,197	0,108
Ni				**1**	-0,039
SO4					**1**

Tableau 2 : Matrice de similarité des mesures pour les paramètres de la période. Coefficient de corrélation R^2.

De surcroit, et de manière surprenante, la quantité de Ca ne suit pas l'évolution du pH, comme on pourrait s'y attendre (Figure 7). La divergence entre ces deux paramètres est probablement à mettre en lien avec les modifications au niveau du procédé de production, voire de neutralisation des solutions acides au cours de cette période.

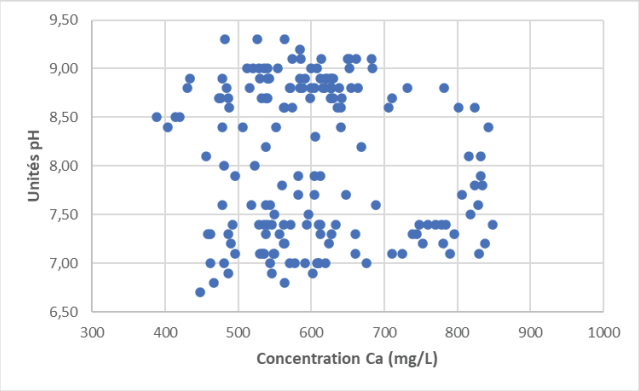


Figure 7 : Evolution de la valeur du pH en fonction de la concentration en Ca.

Note : *la population analytique du Zn a été écartée du traitement ACP en raison du très faible nombre de résultats de mesures exploitables.*

IV.CONCLUSION

Les 413 déterminations pour chacun des 7 paramètres retenus permettent de distinguer de distinguer une évolution des compositions entre 2019 et 2023.

Pour les composés majeurs, les valeurs de Ca sont relativement variables (Figure 4) alors que les concentrations en Mg et SO_4 demeurent quasi-constantes pendant des 4 années.

Pour les éléments mineurs, les concentrations en Mn, Ni et Zn sont toutes en diminutions globales entre 2019 et 2023. Respectivement, ces baisses représentent 16%, 84% et 28%.

A l'inverse, dans le même laps de temps, le pH, augmente de17%, passant de 7,4 à 8.6, cette dernière valeur étant relativement proche de celle de l'eau de mer.

Une rapide comparaison peut être réalisée entre les concentrations en composés majeurs (Ca, Mg et SO_4) et Mn de l'effluent modélisées par PR-NC (Annexe 1), d'une part, et d'autre part, les moyennes calculées pour ces mêmes paramètres entre 2020 et 2023, c'est-à-dire les années de stabilité maximale de la composition (Tableau 3) : cette comparaison montre qu'une sensible augmentation des niveaux de concentrations semble probable pour tous les paramètres, exception faite de Mn qui reste dans le même ordre de grandeur.

Tableau 3 : Comparatif entre les données modélisée du futur rejet tenant compte des différents scénarii et les données statistiques des concentrations mesurées entre 2020 et 2023.

Simulation	22	23	24	25	26	27	Analyses
Régime	Prod. 45 kt(Ni)/an – Equilibre Entrant/sortant KO2	Prod. 45 kt(Ni)/an - Equilibre Entrant/sortant KO2	Prod. 45 kt(Ni)/an - Vidange KO2	Prod. 45 kt(Ni)/an - Vidange KO2	Prod. 45 kt(Ni)/an - Vidange KO2	Prod. 45 kt(Ni)/an - Vidange KO2	Moyennes 2020-2023 (mg/L)
Commentaires	Sans LUCY – Volumes entrants et sortant de KO2 sont identiques.	Avec LUCY - Volumes entrants et sortant de KO2 sont identiques.	Sans LUCY – Volume sortant de KO2 supérieur au volume entrant = vidange KO2	Avec LUCY - Volume sortant de KO2 supérieur au volume entrant = vidange KO2	Sans LUCY – Volume sortant de KO2 supérieur au volume entrant = vidange KO2	Avec LUCY - Volume sortant de KO2 supérieur au volume entrant = vidange KO2	
Débit Océan – Moyenne horaire	1345 m3/h	2188 m3/h	2500 m3/h	2500 m3/h	3050 m3/h	3050 m3/h	
Température – Moyenne horaire	35	36	34	35	34	35	
Ca (mg/L)	561	561	561	561	561	562	617 ±95
Mg (mg/L)	4490	3650	3520	3480	3300	3260	3373 ±306
Mn (mg/L)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	0.841 ±0.832
SO4 (mg/L)	19143	15818	15308	15129	14440	14260	13802 ±1058

REFERENCES

Escofier B., Pagès J. (1998) Analyses factorielles simples et multiples. Ed. Dunod.

Scherrer B (1984) Biostatistique. Ed. Gaëtan Morin, Paris.

Zar JH (1999). Biostatistical Analysis, 4th Edition. Ed. Prentice Hall International, London.

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : LOCALISATION DE LA ZONE DE LA DEMANDE D'ETUDE D'ETAT INITIAL ET DE LOCALISATION DES POINTS DE DIFFUSION SUR LA CONDUITE DE REJET EN PARTIE MARINE. 7

FIGURE 2 : FILTRAGE DE LA POPULATION DE DONNEES AFIN DE PROCEDER A LA CARACTERISATION STATISTIQUE DE LA COMPOSITION DES EFFLUENTS CORRESPONDANT A LA PERIODE DU 15/06/2019 AU 20/06/2023. ..... **ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.**

FIGURE 3 : VALEURS MOYENNES ET ECART-TYPES DES PH POUR CHACUNE DES ANNEES COMPOSANT LA PERIODE RETENUE. REPRESENTATIONS GRAPHIQUES DES DISTRIBUTIONS DE POPULATIONS DE MESURES ANNUELLES DU PH. LA CROIX ROUGE ET LA LIGNE ROUGE SONT LES MOYENNES ET LA MEDIANE, RESPECTIVEMENT NIVEAU DE SIGNIFICATIVITE (P-VALUE) DES VARIATIONS DU PH INTER-ANNEES. 13

FIGURE 4 : CONCENTRATIONS MOYENNES ET ECART-TYPES DE SO_4, MG ET CA POUR CHACUNE DES ANNEES DE PERIODE 2019-2023. REPRESENTATIONS GRAPHIQUES DES DISTRIBUTIONS DE POPULATIONS DE MESURES ANNUELLES DE SO_4, MG ET CA. LA CROIX ROUGE ET LA LIGNE ROUGE SONT LES MOYENNES ET LA MEDIANE, RESPECTIVEMENT. NIVEAU DE SIGNIFICATIVITE (P-VALUE) DES VARIATIONS DU SO_4, MG ET CA INTER-ANNEES..... 14

FIGURE 5 : CONCENTRATIONS MOYENNES ET ECART-TYPES DE MN, NI ET ZN POUR CHACUNE DES ANNEES DE LA PERIODES RETENUE 2019-2023. REPRESENTATIONS GRAPHIQUES DES DISTRIBUTIONS DE POPULATIONS DE MESURES ANNUELLES DE MN, NI ET ZN. LA CROIX ROUGE ET LA LIGNE ROUGE SONT LES MOYENNES ET LA MEDIANE, RESPECTIVEMENT. NIVEAU DE SIGNIFICATIVITE (P-VALUE) DES VARIATIONS DU MN, NI, ET ZN INTER-ANNEES..... 15

FIGURE 6 : REPRESENTATION DE L'ANALYSE FACTORIELLE MULTIPARAMETRIQUE DES POPULATIONS ANALYTIQUES POUR LE PERIODE. 16

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES DE L'ENSEMBLE DES VARIATIONS DE CONCENTRATIONS DE CHACUN DES 7 DES PARAMETRES POUR LA PERIODE. 12

TABLEAU 2 : MATRICE DE SIMILARITE DES MESURES POUR LES PARAMETRES DE LA PERIODE. COEFFICIENT DE CORRELATION R^2..... 16

TABLEAU 3 : COMPARATIF ENTRE LES DONNEES MODELISEE DU FUTUR REJET TENANT COMPTE DES DIFFERENTS SCENARII ET LES DONNEES STATISTIQUES DES CONCENTRATIONS MESUREE ENTRE 2020 ET 2023. 18

ANNEXE 1

Caractérisation des effluents en sortie de l'unité de traitement des effluents industriels et intégration des flux liés à LUCY (Document PR-NC).

ANNEXE 3 : Etat initial de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la pointe Méhoué au Cap N'Dua

ETAT INITIAL DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU DE MER DE LA POINTE MEHOUE AU CAP N'DOUA

PROJET "OPTIMISATION DES DEBITS DE REJET"

« Chimie de l'environnement et Modélisation hydrodynamique »

Août 2023

Photos de couverture AEL : Campagne d'échantillonnage

CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL-LEA

Contrat n° 682-PR-23-P

Etat initial de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la pointe Méhoué - Cap N'Doua

---

Projet « Optimisation des débits de rejet »

Août 2023

Nombre de pages : 41

	Ref AEL	Ref Client
Identification	682-PR-23-P	PO L57438/0001
Titre complet	Etat initial de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la Pointe Méhoué- Cap N'Doua. **Juin 2023.**	
Auteurs		
Résumé	Les effluents liquides du site industriel de Prony Resources sont rejetés en mer dans le canal de la Havannah, au large de la Baie de Kwé, via un émissaire équipé d'un diffuseur. Aujourd'hui, le débit doit être augmenté. Pour cela, une des solutions est d'ajouter des orifices sur la canalisation en amont du point de rejet du diffuseur afin de diminuer la pression actuelle sur la conduite. Ainsi, un état initial de cette zone de la pointe Méhoué – Cap N'Doua est nécessaire. Pour ce faire, deux stations témoins ont été déterminées afin de caractériser la qualité physico-chimique de la potentielle zone de diffusion. Cet état initial permet de mettre en évidence l'influence océanique ainsi que des apports terrigènes. En effet, cette aire se caractérise par des masses d'eau montrant des stratifications particulières de température et fluorescence suggérant la présence de veines d'eau d'origine lagonaire et océanique selon les moments de la marée et sa force. A l'inverse, les profils de salinité et turbidité laissent entrevoir l'influence terrigène liée aux conditions hydro-climatiques ayant régné avant les échantillonnages. Globalement, les concentrations en éléments majeurs et en sels nutritifs concordent avec celles du suivi semestriel en place sur le domaine qui s'étend de la Passe de la Havannah à la Baie de Prony. De la même manière, les concentrations en métaux dissous relevées sont en très bon accord avec les concentrations mesurées dans le canal de la Havannah lors des suivis semestriels de la qualité de l'eau. De manière générale, la distribution des éléments ne montre pas de gradient au sein de la colonne d'eau, ni de différences évidentes entre les deux stations A et B. Cependant à la station StB, pour des conditions de prélèvement liées à la marée montante et coefficient fort, un gradient est observé pour bon nombre de métaux dissous et le silicates (indicateur de lixiviation de la péridotite). La zone du cap N'Doua reste un secteur où l'influence océanique est prédominante, cette étude ayant montré seulement une influence terrigène ponctuelle à la station StB.	

APPROBATION			
FONCTION	**NOMS**	**VISA**	**DATE**
Rédacteur			17/08/2023
Vérificateur 1			18/08/2023
Approbateur			20/08/2023

EVOLUTION		
VERSION	**DESCRIPTION DES MISES A JOUR**	
V1.0	Rapport final	28/08/2023
V1.1	Rapport final corrigé	30/08/2023
V1.2	Rapport final corrigé	18/10/2023

COPIE - DIFFUSION	
NOM	**ORGANISME**
	Prony Ressources, Département Environnement

Ce rapport est cité comme suit : Ighiouer S., Fernandez JM. 2023. Etat initial de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la pointe Méhoué – Cap N'Doua. Projet « Optimisation des débits de rejets ». Août 2023. Contrat AEL/nom Client n°682-PR-23-P, 41p

TABLE DES MATIERES

I. CONTEXTE ET OBJECTIFS 8
II. METHODOLOGIE 9
III. RESULTATS 13
A. STRUCTURE DES MASSES D'EAU 13
B. MES, PH ET ELEMENTS MAJEURS 16
C. SELS NUTRITIFS 18
D. MATIERES ORGANIQUES 20
E. METAUX DISSOUS 22
IV. CONCLUSION 30

Les effluents liquides du site industriel de Prony Resources sont rejetés en mer dans le canal de la Havannah, au large de la Baie de Kwé, via un émissaire équipé d'un diffuseur. Aujourd'hui, le débit des effluents doit être augmenté.

Pour cela, une solution à court terme est d'ajouter des orifices sur la canalisation en amont du point de rejet. Ainsi, pour répondre aux autorités et dans l'objectif de déterminer les impacts potentiels au niveau de la sphère maritime, il est nécessaire de réaliser un état initial de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la côte à proximité de la nouvelle zone de diffusion.

La caractérisation physico-chimique de l'état initial de la colonne d'eau vise à décrire l'état du milieu avant la modification de l'activité qui peut être susceptible d'impacter la qualité. Cette étude du milieu marin permet de constituer une base de référence.

II. METHODOLOGIE

1. Site d'étude

L'échantillonnage a été réalisé sur 2 stations (A et B) placées dans la zone potentielle de diffusion de l'effluent (Tableau 1 et Figure 1)

Tableau 1 : Nom, coordonnées et profondeur des stations de prélèvement.

Localisation	Station	Station au référentiel WGS-84		Profondeur (m)
		Longitude E	Latitude S	
Pointe Méhoué	StA	167° 53,901	22° 23,772	35
Cap N'Doua	StB	166° 54,942	22° 23,828	34

Figure 1 : Localisation géographique des stations de prélèvements A et B pour la définition de l'état initial. Tracé schématique du pipe-line marin en jaune.

2. Echantillonnage

Les sorties terrain ont été réalisées les 15 et 27 juin 2023, à bord du bateau Mia (Casy Express).

Afin d'établir des concentrations de référence propres au site, l'état initial de la qualité de l'eau de mer de la zone a été étudié selon les différentes conditions marégraphiques proposées. En effet, l'échantillonnage a été réalisé en fonction des marées de vive-eau (coefficient 72) et de morte-eau (coefficient 49). D'autre part, les prélèvements ont été réalisés au cours phases de marées montantes et des marées descendantes.

Les différentes conditions des prélèvements sont présentées dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Date, marée et coefficient de marée lors des prélèvements des stations A et B

Date de mission	Stations	Marée	Coefficient
15/06/2023	STA et STB	Descendante	Haut : 72
15/06/2023	STA et STB	Montante	Haut : 72
27/06/2023	STA et STB	Montante	Bas : 49
27/06/2023	STA et STB	Descendante	Bas : 49

A chaque station, les prélèvements d'eau ont été effectués par bouteille « Niskin® » pour le dosage des ions majeurs, des sels nutritifs et des matières organiques dissoute et particulaire. Pour le dosage des métaux, ce sont les bouteilles « Go-Flo®, Metal-Free » qui ont été utilisées.

A chaque station, les prélèvements sont réalisés à trois profondeurs différentes :

- Sub-surface (- 3m de la surface) ;
- Mi profondeur ;
- Proximité du fond (+3m du fond)

L'échantillonnage est composé de différentes phases :

- Enregistrement de profils multiparamétriques avec la sonde CTD (Seabird, SBE19) afin de déterminer la salinité, la température, la turbidité et la fluorescence de la colonne d'eau ;
- Prélèvement d'eau pour la détermination du pH, des concentrations en matière de suspension (MES) et en ions chlorures (Cl^-), sulfates (SO_4^{2-}), calcium (Ca^{2+}), sodium (Na^+), potassium (K^+) et magnésium (Mg^{2+}) ;
- Prélèvement d'eau pour l'analyse des sels nutritifs dissous (nitrates et nitrites, ammonium, phosphates, silicates), de la charge organique dissoute et particulaire (azote et phosphore organiques dissous et azote, phosphore et carbone organiques particulaires) et des pigments chlorophylliens (chlorophylle *a*) ;
- Prélèvement d'eau pour l'analyse des métaux dissous suivants : arsenic (As), cadmium (Cd), chrome hexavalent (Cr-VI), chrome total (Cr-total), cobalt (Co), cuivre (Cu), fer (Fe), manganèse (Mn), nickel (Ni), plomb (Pb) et zinc (Zn).

La méthodologie détaillée des différentes analyses est décrite dans l'annexe 1.

3. Conditions météorologiques et hydrodynamiques

Les principales données météorologiques ont été relevées à la station de l'usine de Prony Resources avant et pendant les jours de mission afin de connaître le contexte climatique de l'échantillonnage. De plus, les heures d'arrivées aux stations ont été reportées sur un marégramme pour les deux jours de mission (Figure 2).

Les précipitations ont été faibles, voir nulles, les jours précédant et pendant les deux campagnes de prélèvements à l'exception du 16/06/2023 où le cumul des précipitations relève 19,4 mm (Figure 2).

L'intensité du vent précédant la première campagne d'échantillonnage varie entre 1 et 7m/s. Lors de la mission (15/07), l'intensité était maximale vers 14 heures (5m/s), puis a diminué au cours de l'après-midi. Le vent était de secteur Est/Sud-Est avant les prélèvements du 15/06. Le jour même, la direction a changé et le vent a soufflé d'Ouest/ Nord-Ouest (Figure 3).

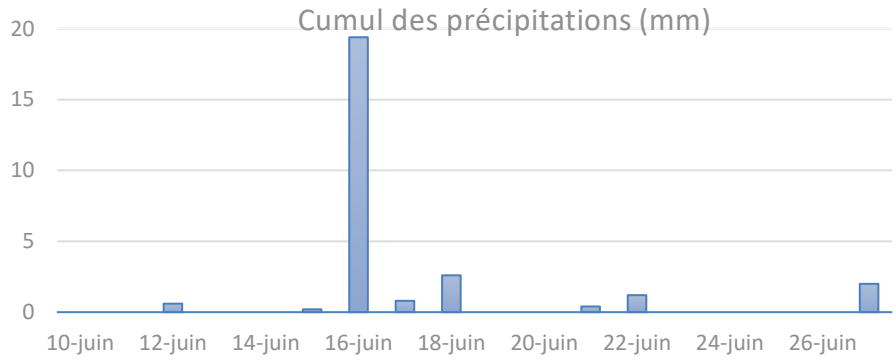


Figure 2 : Cumul des précipitations journalières avant et pendant les deux les campagnes de prélèvements. Données météorologiques météo France station « Usine Goro ».

Les jours précédant la deuxième campagne de prélèvement, l'intensité du vent fluctue continuellement entre 0 et 8 m/s. Ces fluctuations s'observent aussi lors de la journée de prélèvement (le 27/06). Ce changement d'intensité se retrouve aussi sur la direction du vent. En effet, le vent souffle de secteur Sud/Sud-Est comme de Ouest/Nord-Ouest du 22 au 27 juin. Le jour de l'échantillonnage (27/06), le vent est principalement d'Ouest.

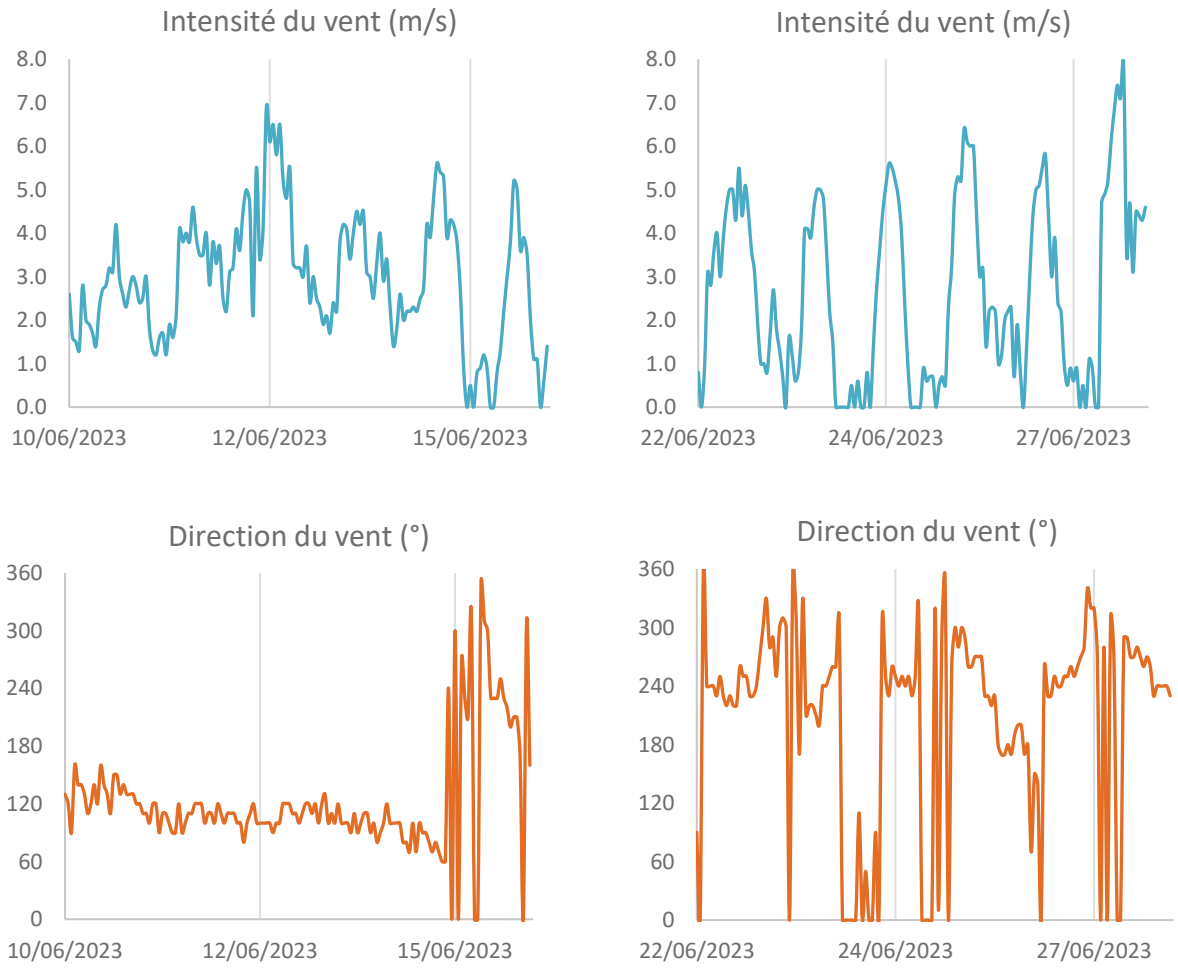


Figure 3 : Intensité et direction du vent avant et pendant les campagnes de prélèvement (15 et 27 juin 2023).

Les prélèvements du 15/06 ont été réalisés à marée descendante puis à marée montante (Figure 4). Le coefficient de marée était de 72. Lors de la seconde mission du 27/06, les prélèvements aux stations A et B se sont déroulés au cours de la marée montante, et l'après-midi, pendant la marée descendante (Figure 4). Les prélèvements de la journée du 27/06 ont été réalisés par marée de morte-eau (coefficient de 49), soit d'une amplitude de marée plus faible que le 15 juin.

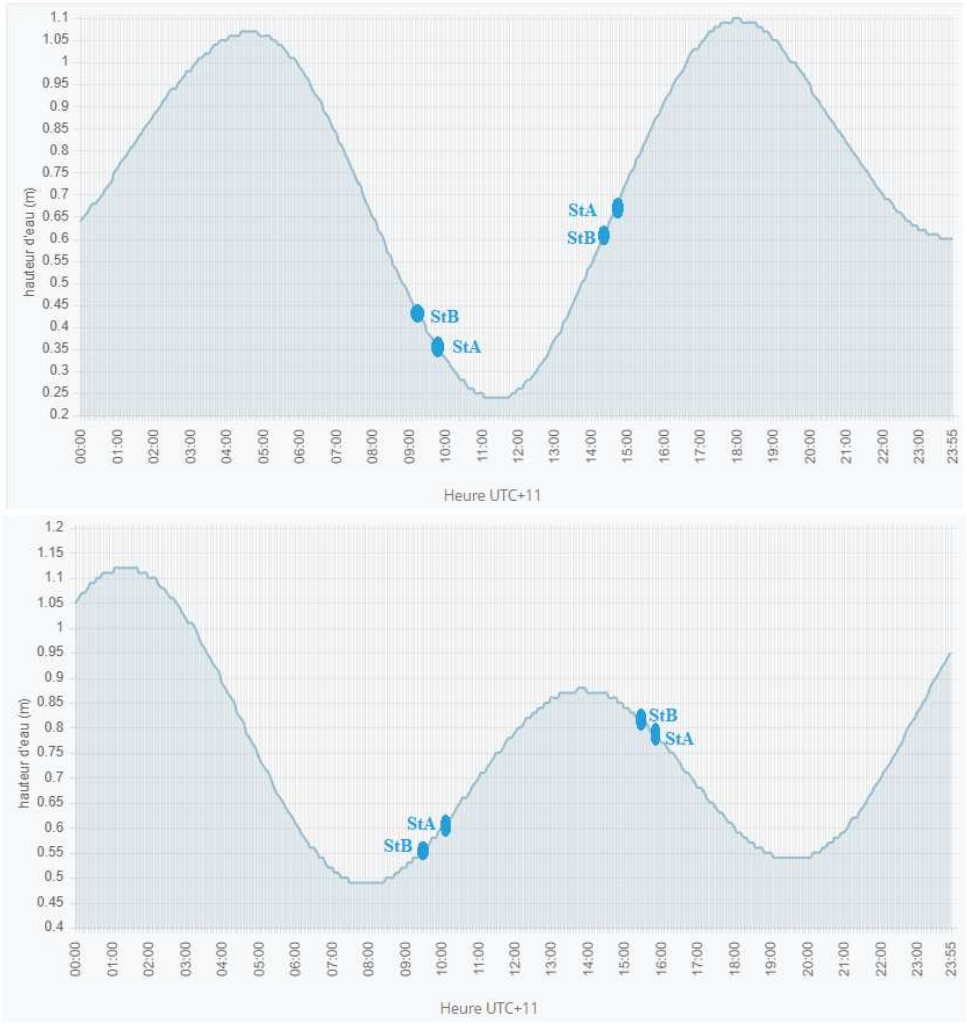


Figure 4 : Chronologie de l'échantillonnage de l'état initial de juin 2023 reportée sur les marégrammes du 15 (haut) et 27 (bas) juin 2023.

Note : *Les données liées aux marées sont obtenues sur le site du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM).*

III. RESULTATS

Le *Tableau 3* présente les données de température, salinité, fluorescence et turbidité mesurées aux deux stations définies en distinguant le coefficient haut (marée de vive-eau) du coefficient bas (marée de morte-eau). Les mesures faites sont illustrées par des profils (*Figure 5*, *Figure 6*, *Figure 7* et *Figure 8*).

A. STRUCTURE DES MASSES D'EAU

Tableau 3 : Statistiques des valeurs de température, fluorescence, turbidité et salinité enregistrées au niveau des stations A et B selon les coefficients de marée.

Conditions	Statistique	Température (°C)	Fluorescence (mg/m3)	Turbidité (NTU)	Salinité (‰)
Valeur globale	Moyenne	22,91 ± 0,34	0,54 ± 0,12	1,33 ± 1,08	35,35 ± 0,09
Coefficient haut	Minimum	23,13	0,32	0,91	35,23
	Maximum	23,36	0,83	1,68	35,42
	Moyenne	23,25	0,64	1,07	35,26
	Ecart-type	0,06	0,09	0,12	0,01
Coefficient bas	Minimum	22,37	0,11	0,87	35,02
	Maximum	22,90	0,64	16,04	35,53
	Moyenne	22,60	0,46	1,54	35,42
	Ecart-type	0,12	0,06	1,45	0,03

1. Température

Les profils de température diffèrent selon les conditions de prélèvement et les stations (Figure 5). En effet, pour la

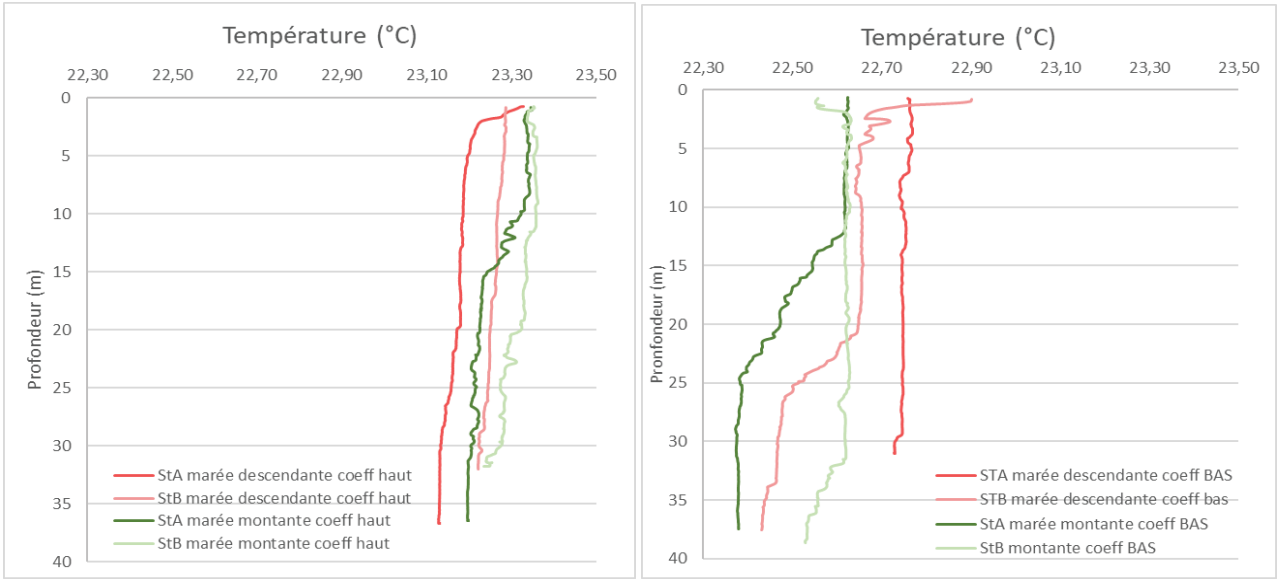


Figure 5 : Profils de température des stations A et B en fonction des marées et des coefficients hauts de marée le 15 juin (gauche) et bas le 27 juin (droite).

marée descendante du 15 juin, les eaux sortantes du lagon sont globalement un peu plus froides que celles de la marée montante dont l'origine est océanique. Cette tendance s'inverse 12 jours plus tard (27 juin). Il semble alors que les eaux du lagon se soient sensiblement refroidies moins plus vite, comparativement à celles de l'océan qui perdent quasiment 1°C ; cette évolution étant particulièrement bien marquée dans les eaux de la station StA et encore plus singulièrement dans les couches profondes.

Une stratification des masses d'eau est visible sur quasiment tous les profils, mais de manière plus ou moins prononcée. Celle-ci traduit les cisaillements qui se produisent dans la colonne d'eau créant des veines, comme conséquence d'un hydrodynamisme complexe dans le Canal de la Havannah ; ces phénomènes concernent en particulier la station StA à marée montante.

2. Salinité

Les moyennes de salinité sont analogues selon les différentes conditions (Figure 6). En effet, lorsque le coefficient de marée est haut, la moyenne est de 35,26 ± 0,01 ‰ ; quand il est bas, la moyenne de salinité est de 35,42 ± 0,03 ‰. Nous pouvons cependant remarquer que la salinité est légèrement plus élevée dans les 5 premiers mètres de la station StA pour le coefficient haut (15 juin) traduisant la sortie d'eau plus salée du lagon, avant l'épisode pluvieux.

Pour les profils réalisés le 27 juin, (excepté pour StA à marée descendante), une notable dessalure est décelée, probablement en lien avec les précipitations de la semaine antérieure.

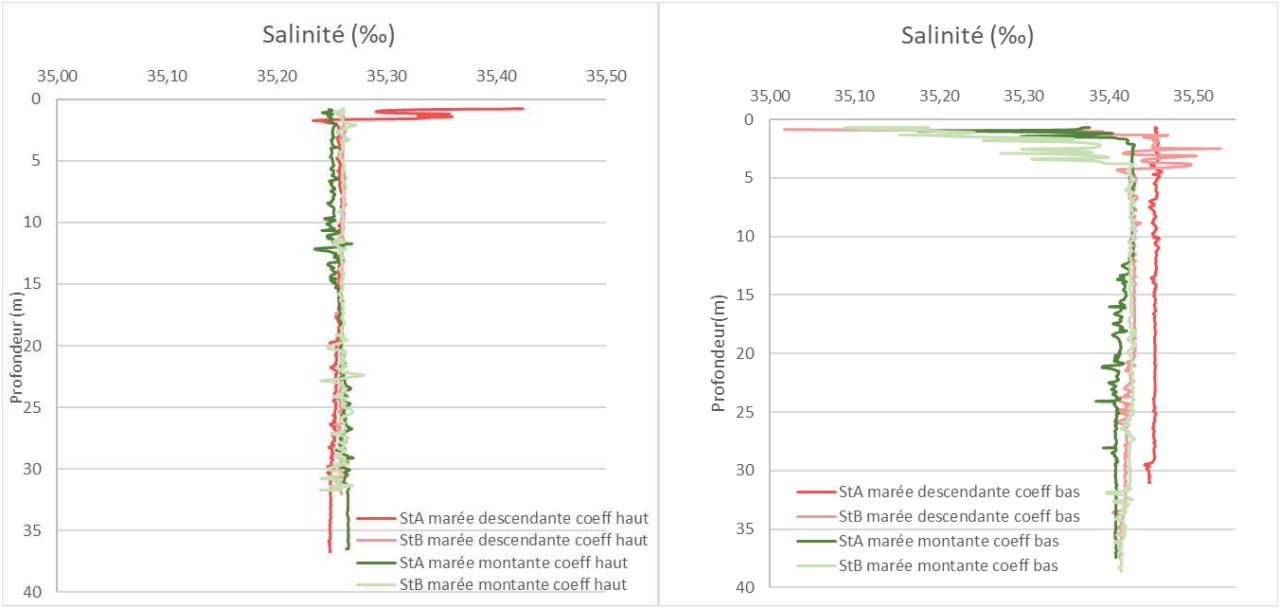


Figure 6 : Profils de salinité des stations A et B en fonction des phases de marées et des coefficients hauts de marée le 15 juin (gauche) et bas le 27 juin (droite).

3. Fluorescence

Avec une certaine similitude avec les profils de température, par coefficient haut (marée de vive-eau du 15 juin, les eaux sortantes sont moins riches en *chlorophylle a* que les eaux entrantes d'origine océanique ; pour la marée de morte-eau, le phénomène s'inverse et dans les deux cas ne concerne que les 10 à 15 premiers mètres de la colonne d'eau des deux stations (Figure 7). Pour cette marée de vive-eau les valeurs les plus faibles sont mesurées en surface (0,3-0,5 mg/m^3) et augmentent avec la profondeur ; sous les 10 m, les taux de fluorescence deviennent relativement

constants jusqu'au fond, avec des valeurs de 0,6 à 0,7 mg/m^3. On note qu'à marée montante, la colonne d'eau est relativement homogène avec des valeurs de l'ordre de 0,8 mg/m^3 en surface et 0,7 mg/m^3 entre 10 et 40 m de profondeur.

Par coefficient bas (marée de morte-eau), la variation de la fluorescence est beaucoup moins forte et les maximas sont globalement bien plus faibles. On observe à marée montante des eaux qui s'enrichissent sensiblement jusqu'à 15 m de profondeur, alors qu'à marée descendante, outre une petite augmentation en station StB, les eaux sont homogènes (0,5 mg/m^3).

La *chlorophylle a*, à travers de la fluorescence, est un marqueur indirect de l'hydrodynamique puisqu'une stratification est mise en évidence à des profondeurs comparables.

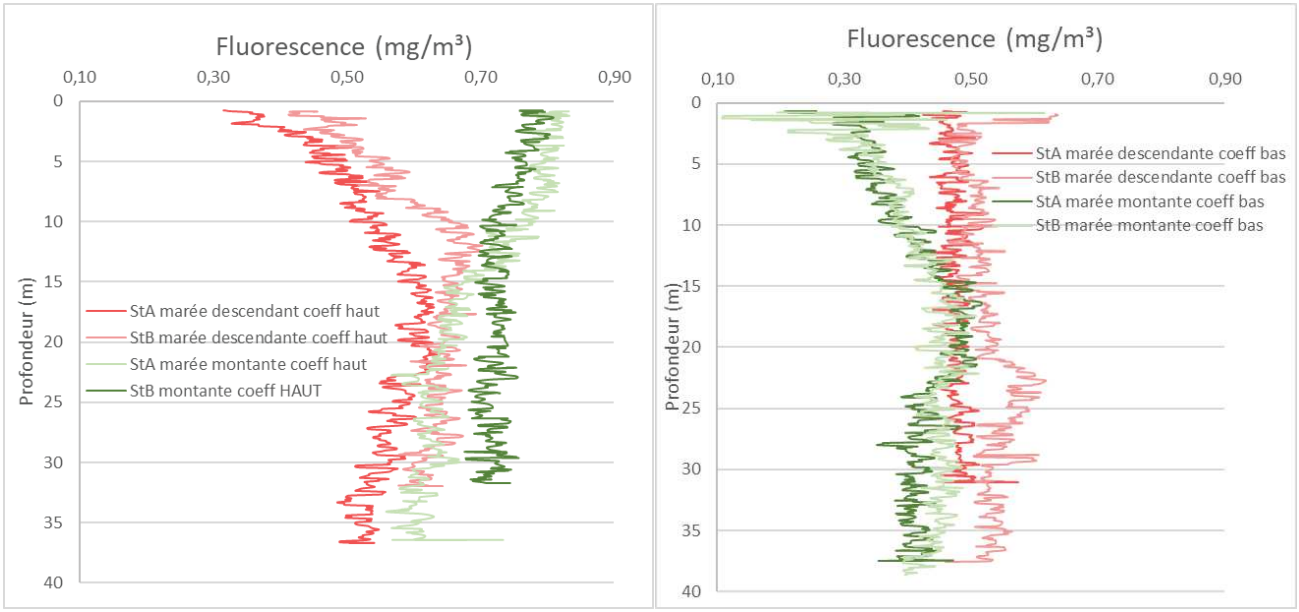


Figure 7 : Profils de fluorescence des stations A et B en fonction des marées et des coefficients hauts de marée le 15 juin (gauche) et bas le 27 juin (droite).

4. Turbidité

Aux deux stations, à marée montante de morte-eau (coefficient bas du 27 juin), on observe une turbidité importante en surface (Figure 8). Elle atteint plus de 16 NTU en StA puis décroit progressivement jusqu'à 1 NTU à 15 mètres de profondeur ; à marée descendant aucune variation n'est observée. Pour la station StB, la valeur maximale est supérieure à 7 NTU, celle-ci diminuant aussi progressivement entre la surface et 15 m de profondeur. A marée descendante la turbidité atteint 8 NTU en surface, mais ne concerne qu'une très mince couche d'eau de 2 m environ.

Les prélèvements de la campagne du 27 juin, (marée de morte-eau) ont été réalisés lors d'un « coup d'Ouest » avec une mer agitée depuis la veille. Pour la campagne réalisée le 15 juin (marée de vive-eau, coefficient haut), les conditions météorologiques ayant été plus calmes (Figure 3), les profils sont donc homogènes avec des valeurs de l'ordre de 1 NTU sur toute la colonne, tant à marée montante que descendante (Figure 8).

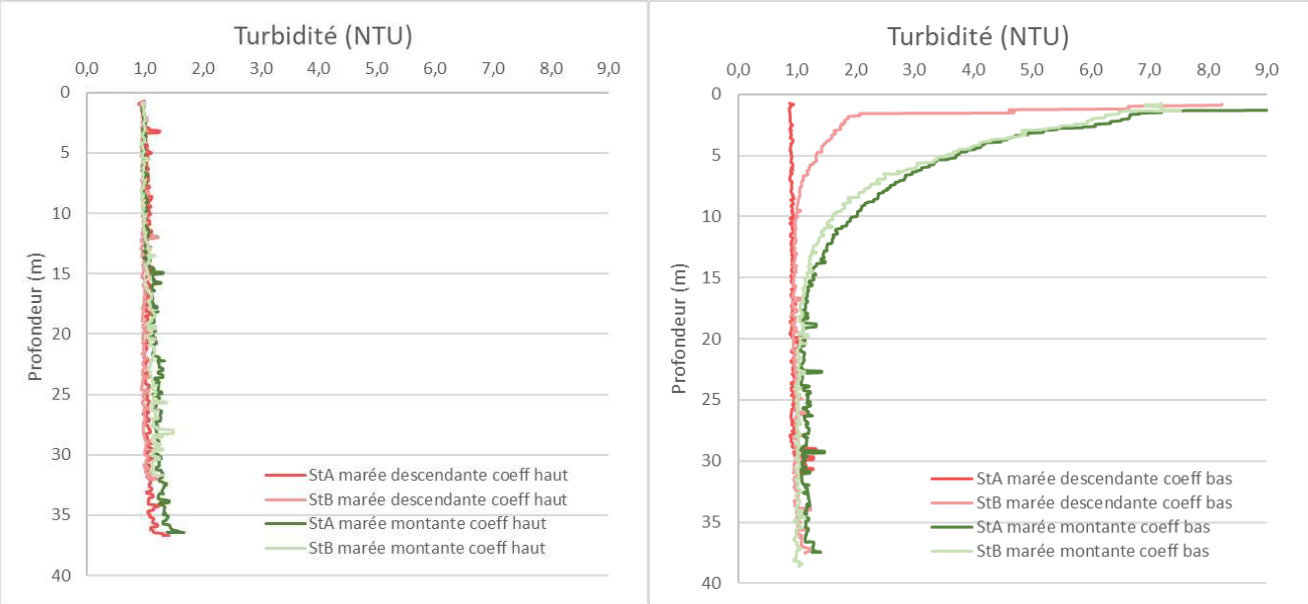


Figure 8 : Profils de turbidité des stations A et B en fonction des marées et des coefficients hauts de marée le 15 juin (gauche) et bas le 27 juin (droite).

B. MES, pH et éléments majeurs

1. Valeurs de pH

Les valeurs des concentrations des éléments majeurs et des pH sont regroupées dans le Tableau 4 et Annexe 2.

Les valeurs de pH sont globalement homogènes sur les deux stations. On peut tout de même noter que le pH est plus faible (7,88 ± 0,07) lorsque le coefficient de marée est bas ; la moyenne est de 8,01 ± 0,01 en conditions de coefficient haut de marée. Cependant, ces valeurs semblent faibles comparativement aux attendues qui se situent aux alentours de 8,1 à 8,3.

Aucune différence significative pour les concentrations en éléments majeurs n'est notée, ni entre les deux coefficients de marée, ni les couches d'eau.

Tableau 4 : Statistiques des valeurs du pH et des concentrations en éléments majeurs mesurées en fonction du coefficient de marée.

Conditions	Statistique	pH	Éléments majeurs (mg/L)					
			Ca	K	Mg	Na	Cl	SO_4
Valeur globale	Moyenne	7,94 ± 0,08	369 ± 6	514 ± 11	1080 ± 73	8461 ± 347	21084 ± 428	2629 ± 95
Coefficient haut	Minimum	8,00	356	487	1040	8277	20597	2400
	Maximum	8,03	381	537	1310	9466	21627	2750
	Moyenne	**8,01**	**370**	**516**	**1120**	**8665**	**20912**	**2596**
	Ecart-type	0,01	7	12	87	358	334	105
Coefficient bas	Minimum	7,80	358	497	1019	7818	20598	2550
	Maximum	8,07	378	531	1063	8603	22314	2750
	Moyenne	**7,88**	**368**	**511**	**1041**	**8257**	**21256**	**2663**
	Ecart-type	0,07	6	10	15	182	456	74

2. Matières en suspension

Les concentrations de matière en suspension mesurées figurent dans la Figure 9, le Tableau 5 ainsi qu'en annexe 2.

La moyenne globale en MES de l'état initial est de 0,490 ± 0,176 mg/L. La valeur maximale (1,164 mg/L) a été prélevée en profondeur de la station A à marée montante (coefficient haut). La valeur la plus faible se situe également en profondeur, mais à la station B et a été mesurée lors de la marée montante avec un coefficient bas. Nous pouvons noter que la moyenne en MES reste légèrement supérieure lors des prélèvements par marée de vive-eau (0,580 ± 0,202 mg/L).

Tableau 5 : Statistiques des concentrations de MES mesurées aux stations A et B selon le coefficient de marée.

Conditions	Statistique	MES (mg/L)
Valeur globale	Moyenne	**0,490 ± 0,176**
Coefficient haut	Minimum	0,332
	Maximum	1,164
	Moyenne	0,582
	Ecart-type	0,202
Coefficient bas	Minimum	0,310
	Maximum	0,586
	Moyenne	0,398
	Ecart-type	0,073

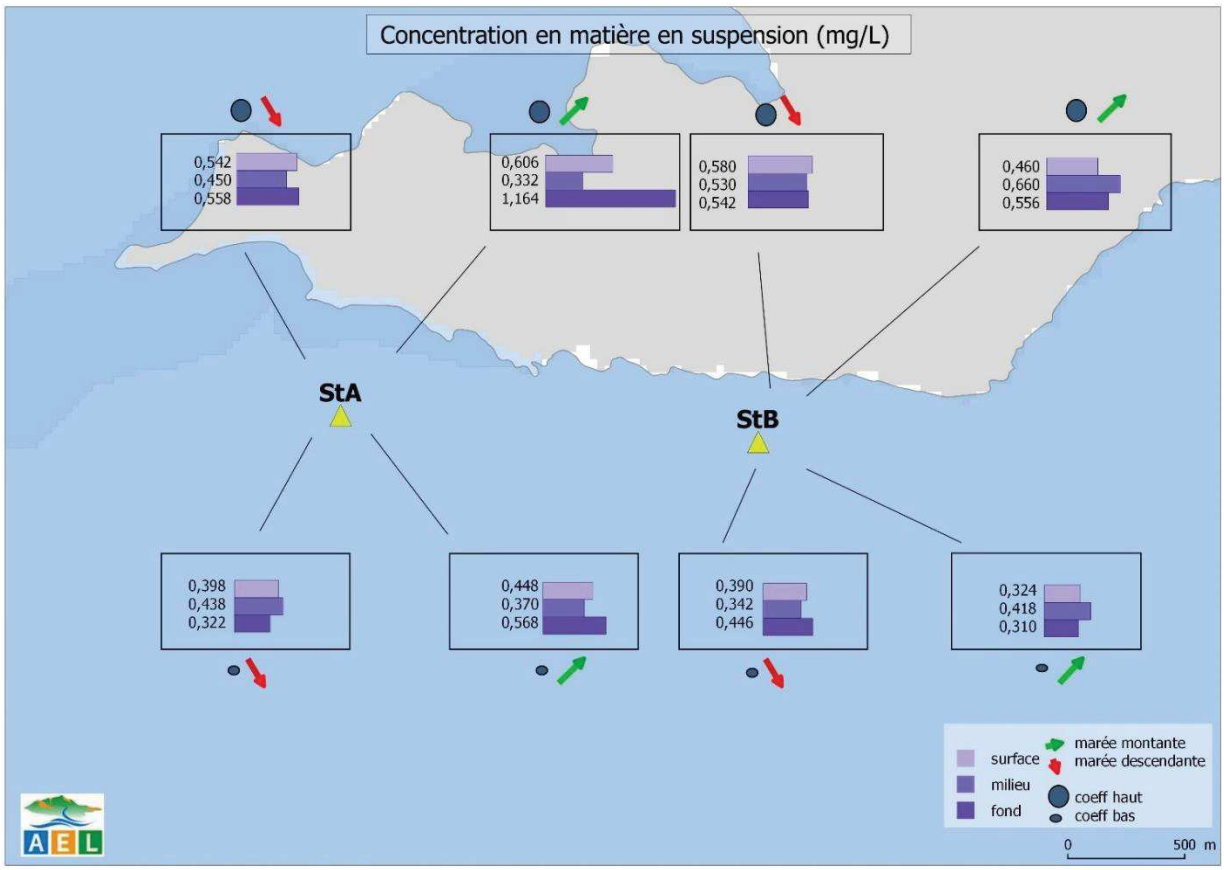


Figure 9 : Concentrations de matières en suspension (MES) aux stations A et B selon les coefficients et les phases de la marée.

Les concentrations en sels nutritifs sont regroupées dans les Figure 10 et Figure 11, le Tableau 6 ainsi qu'en annexe 3.

C. SELS NUTRITIFS

1. Nitrates et nitrites

Pour des raisons techniques, les analyses des paramètres NO_2 et NO_3 restent encore à réaliser.

2. Ammonium

Les concentrations en NH_4 sont plus importantes lorsque le coefficient de marée est haut. En effet, la moyenne est de 0,771 ± 1,030 µmol/L par marée ce vive-eau, contre 0,090 ± 0,080 µmol/L par marée de morte-eau. Cet écart est aussi la conséquence mathématique de deux valeurs particulièrement élevées : 3,270 µmol/L mesuré en profondeur de StA (marée descendante, coefficient haut) et 2,467 µmol/L (StB milieu marée descendante, coefficient haut). Les valeurs restent tout de même plus faibles par marée de morte-eau, avec la plus faible valeur prélevée en milieu de StA : 0,019 µmol/L (marée descendante, coefficient bas). On ne note aucun gradient au sein de la colonne d'eau.

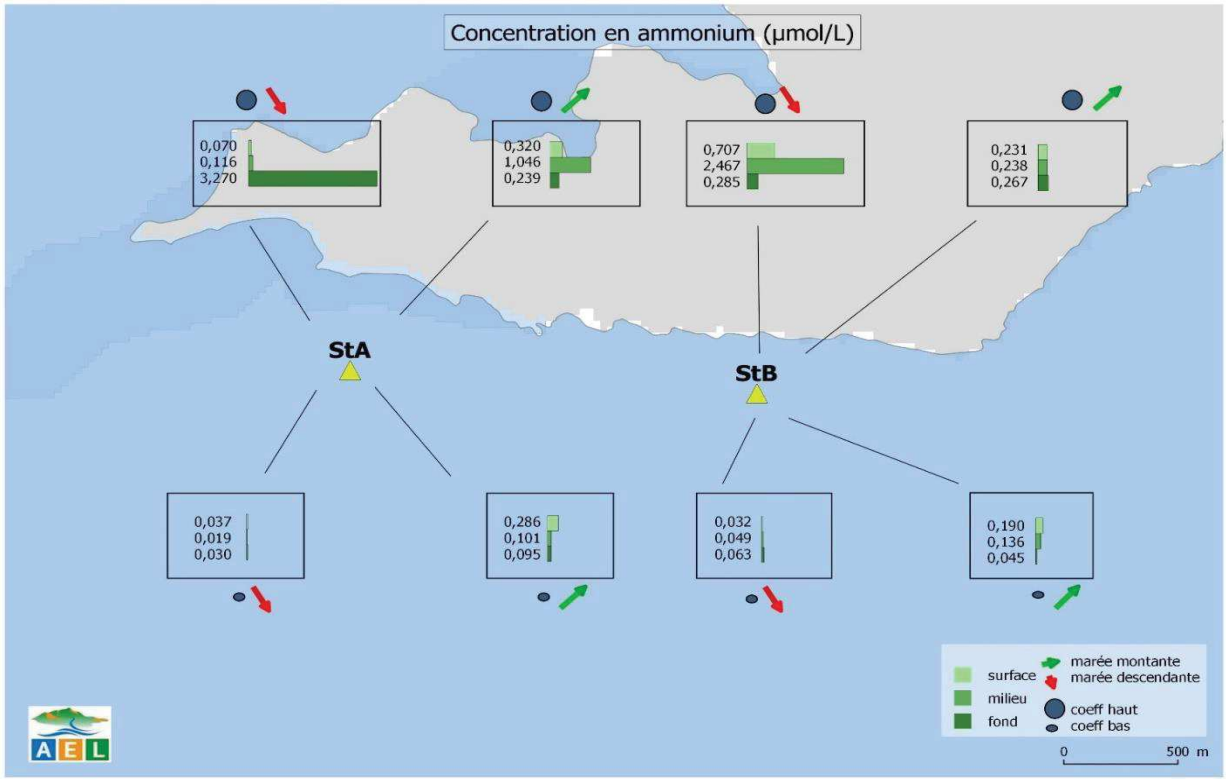


Figure 10 : Concentrations en ammonium (NH_4) aux stations A et B selon les coefficients et les phases de la marée.

3. Phosphates

Les teneurs en phosphates des différents prélèvements demeurent tous compris entre la limite de quantification (< 0,05mg/L) et 0,06 mg/L (Tableau 6 et Annexe 3). Celle-ci correspond aux eaux de surface de la station StB, échantillonnées à marée montante et coefficient bas.

4. Silicates

Les concentrations en silicates sont peu variables sur l'ensemble des prélèvements réalisés, la moyenne globale étant de 0,21 ± 0,09 µg/L (Figure 11 et Tableau 6). La valeur maximale est de 0,42 µg/L, la plus faible est de 0,10 µg/L. La Figure 11 nous montre qu'il n'y a pas de différence marquée sur les concentrations en silicates entre les marées montante et descendante, mais une sensible augmentation est observable pendant la marée de vive-eau. Enfin, les concentrations en silicates ne permettent pas d'identifier de tendance claire au sein même de la colonne d'eau.

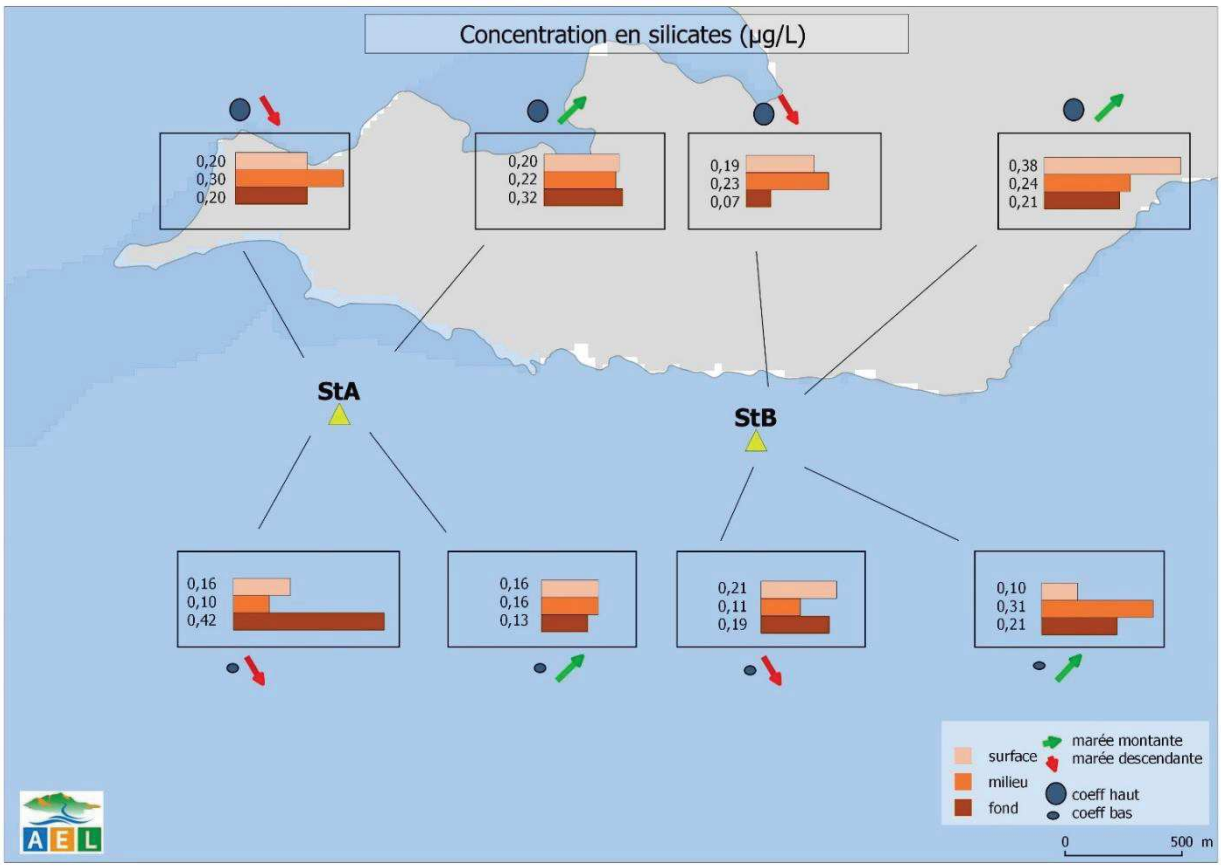


Figure 11: Concentrations en silicates (SiO_4) aux stations A et B selon les coefficients et les phases de la marée.

Tableau 6 : Statistiques des concentrations en sels nutritifs mesurées aux stations A et B selon le coefficient de marée.

Conditions	Statistique	Sels nutritifs (µmol/L)			
		NO_3+NO_2	NH_4	PO_4	SiO_4
Valeur globale	Moyenne	*à analyser*	0,431 ± 0,795	0,05 ± 0,00	0,21 ± 0,09
Coefficient haut	Minimum	*à analyser*	0,070	< 0,05	0,07
	Maximum	*à analyser*	3,270	0,05	0,38
	Moyenne	*à analyser*	0,771	0,05	0,23
	Ecart-type	*à analyser*	1,030	0,00	0,08
Coefficient bas	Minimum	*à analyser*	0,019	< 0,05	0,10
	Maximum	*à analyser*	0,286	0,06	0,42
	Moyenne	*à analyser*	0,090	0,05	0,19
	Ecart-type	*à analyser*	0,080	0,00	0,10

Les concentrations en matières organiques sont regroupées dans les Figure 12 et Figure 13, les Tableau 7 et Tableau 8 ainsi qu'en annexe 3.

D. MATIERES ORGANIQUES

1. Azote et phosphore organiques dissous

Rappel : *La contribution naturelle de l'azote et du phosphore organique provient de la dégradation de matière biogénique, qu'elle soit d'origine océanique ou terrestre, voire éolienne. D'une manière générale, la concentration en composés organiques dissous est très faible, particulièrement dans l'océan ouvert. La concentration en azote et phosphore dissous est obtenue par soustraction des autres formes à l'azote et au phosphore total, respectivement.*

Pour des raisons techniques, les analyses des paramètres d'azote et phosphore organiques dissous restent encore à réaliser.

2. Azote (NOP), carbone (COP) et phosphore (POP) organique particulaire

Note *: La distinction entre la matière dissoute et particulaire est arbitraire. Cependant, les études environnementales fixent généralement la limite de taille à 0,45 µm. Grâce à des filtres la charge organique particulaire est récupérée et analysée.*

Pour des raisons techniques, les analyses des paramètres d'azote et phosphore organiques particulaires restent encore à réaliser.

Les concentrations en carbone organique particulaire sont significativement plus élevées lorsque le coefficient de marée est haut (Figure *12* et Tableau 7). En effet, la moyenne des concentrations est de 6,09 ± 1,46 µmol/L contre 3,22 ±1,54 µmol/L (coefficient bas). On ne note pas de différence significative quant aux différences de concentrations au sein de la colonne d'eau. La moyenne générale en carbone organique particulaire est de 4,65 ± 2,07 µmol/L.

Tableau 7 : Statistique des concentrations de matières organiques dissoutes et particulaires mesurées aux stations A et B.

Zone d'étude	Statistique	Matière organique (µmol/L)				
		NOD	NOP	POD	POP	COP
Valeur globale	Moyenne	*à analyser*	*à analyser*	*à analyser*	*à analyser*	**4,65 ± 2,07**
Coefficient haut	Minimum	*à analyser*	*à analyser*	*à analyser*	*à analyser*	4,52
	Maximum	*à analyser*	*à analyser*	*à analyser*	*à analyser*	9,64
	Moyenne	*à analyser*	*à analyser*	*à analyser*	*à analyser*	6,09
	Ecart-type	*à analyser*	*à analyser*	*à analyser*	*à analyser*	1,46
Coefficient bas	Minimum	*à analyser*	*à analyser*	*à analyser*	*à analyser*	0,56
	Maximum	*à analyser*	*à analyser*	*à analyser*	*à analyser*	4,83
	Moyenne	*à analyser*	*à analyser*	*à analyser*	*à analyser*	3,22
	Ecart-type	*à analyser*	*à analyser*	*à analyser*	*à analyser*	1,54

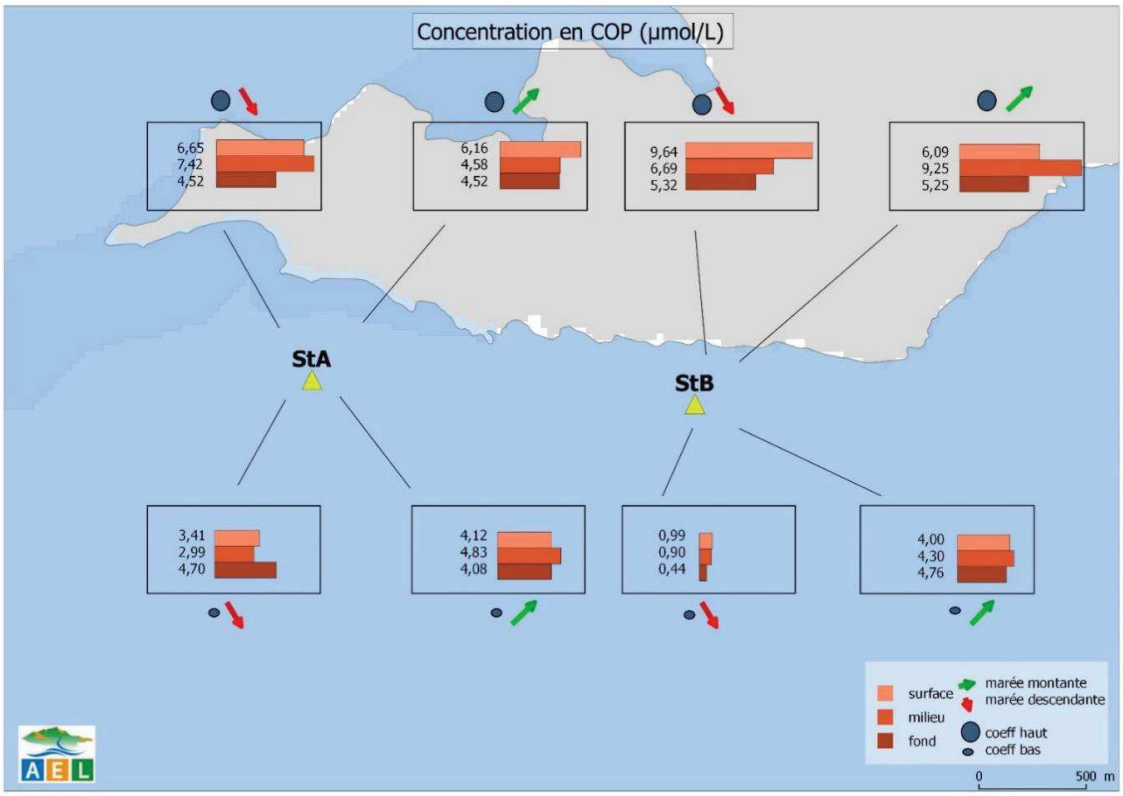


Figure 12 : Concentrations en Carbone organique particulaire (COP) dissous aux stations A et B selon les différentes conditions.

3. Chlorophylle *a*

Les concentrations en chlorophylle *a* déterminées sont compilées à la Figure 13, Tableau 8 ainsi qu'en annexe 4.

La concentration moyenne en *chlorophylle a* est de 0,396 ± 0,208 µg/L. Les concentrations sont plus élevées lors du coefficient de marée haute (Tableau 8). La valeur la plus faible est de 0,057 µg/L en profondeur de la station StB à marée montante et coefficient bas. C'est aussi en StB, par fort coefficient de marée montante, que la concentration est maximale en chlorophylle *a* 0,699 µg/L.

Tableau 8 : Statistique des concentrations de chlorophylle *a* mesurées aux stations A et B.

Conditions	Statistique	Chlorophylle *a* (µg/L)
Valeur globale	Moyenne	**0,396 ± 0,208**
Coefficient haut	Minimum	0,246
	Maximum	0,719
	Moyenne	0,543
	Ecart-type	0,143
Coefficient bas	Minimum	0,057
	Maximum	0,479
	Moyenne	0,248
	Ecart-type	0,152

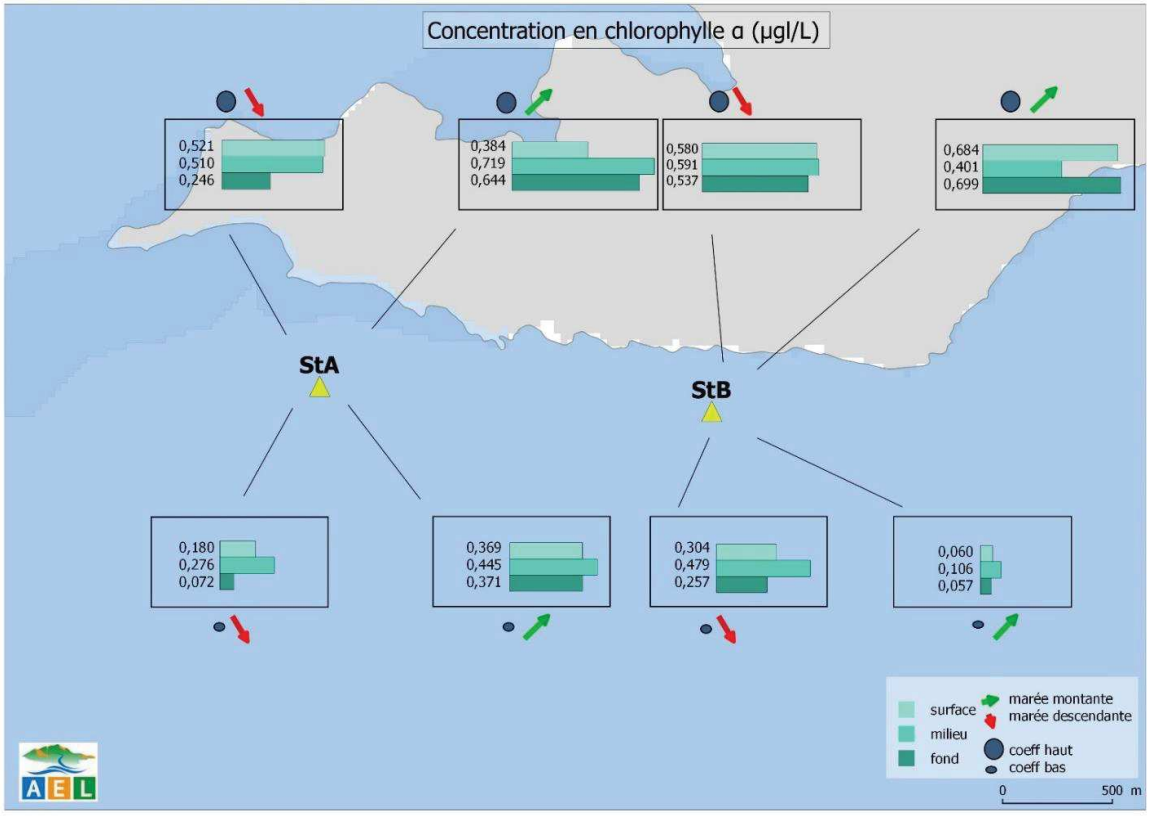


Figure 13 : Concentrations en Chlorophylle *a* (ChlA) aux stations A et B selon les différentes conditions.

E. METAUX DISSOUS

Les concentrations en métaux dissous obtenues lors des deux campagnes sont regroupées dans le Tableau 9 et le Tableau 10 ainsi qu'illustrées dans les Figure 14 à Figure 20. L'ensemble des données est regroupé dans l'annexe 5.

1. Arsenic :

Comme attendu, les concentrations sont homogènes au niveau des deux stations et quelles que soient les conditions de prélèvement. Les concentrations sont comprises entre 1,68 µg/L et 2,06 µg/L (Figure 14).

2. Cadmium

La totalité des concentrations en cadmium sont sous la limite de quantification (0,025 µg/L).

3. Cobalt

Les concentrations en cobalt sont majoritairement sous la limite de quantification (0,027 µg/L). Seulement 4 valeurs autour de 0,030 µg/L ont été quantifiées : deux en StA à marée montante de vive-eau et de morte-eau, une autre en StA, mais à marée descendante de vive eau, et enfin une en StB à marée montante de vive-eau.

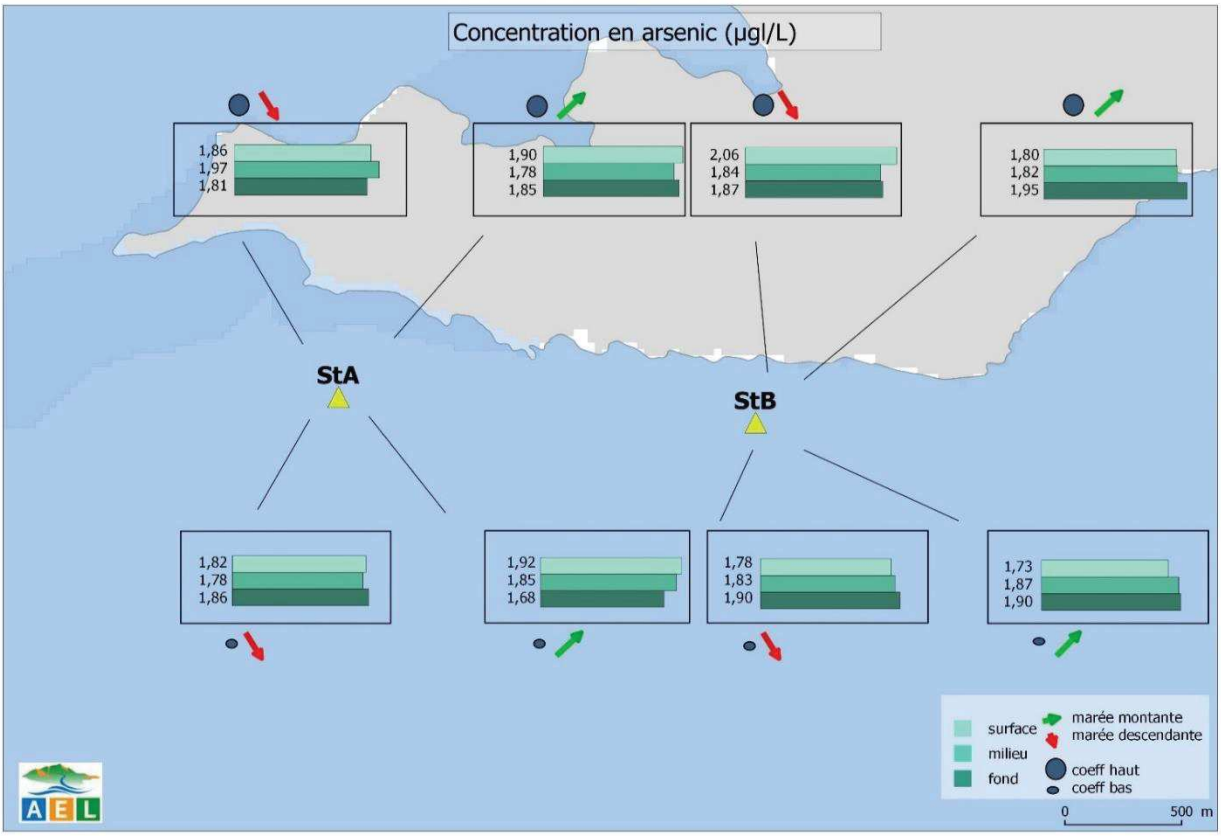


Figure 14 : Concentrations en arsenic (As) dissous aux stations A et B selon les différentes conditions.

4. Chrome hexavalent et chrome total dissous

Les concentrations en chrome hexavalent (Cr-VI) sont légèrement plus élevées par marée de vive-eau (Figure 15). En effet, la moyenne est de 0,164 ± 0,013 µg/L contre 0,138 ± 0,026 µg/L en coefficient bas. On ne remarque aucune différence notable dans la colonne d'eau. La valeur la plus faible est de 0,071 µg/L à mi-profondeur de la station StA lors de la marée descendante et coefficient bas. La concentration en chrome-VI la plus haute est de 0,178 µg/L en profondeur de la station StA lors de la marée montante et coefficient bas.

Les concentrations en chrome-total sont comprises entre 0,183 et 0,763 µg/L (Figure 16). Les concentrations ne montrent pas non-plus de gradient bien individualisé au niveau de la colonne d'eau, bien que les concentrations supérieures soient décelées en surface de certains prélèvements, comme à la station StB à marée montante et coefficient fort.

En effet, les valeurs semblent légèrement plus hautes lorsque la marée est montante (0,359 ± 0,146 µg/L) que lorsqu'elle est descendante (0,244 ± 0,040 µg/L). De plus, la concentration moyenne en chrome-total est aussi plus élevée lorsque le coefficient est haut (0,339 ± 0,155 µg/L) que lorsqu'il est bas (0,263 ± 0,055µg/L). Ce constat conduit à associer à cette augmentation les termes sources que sont les émissaires naturels de la côte sud, C.

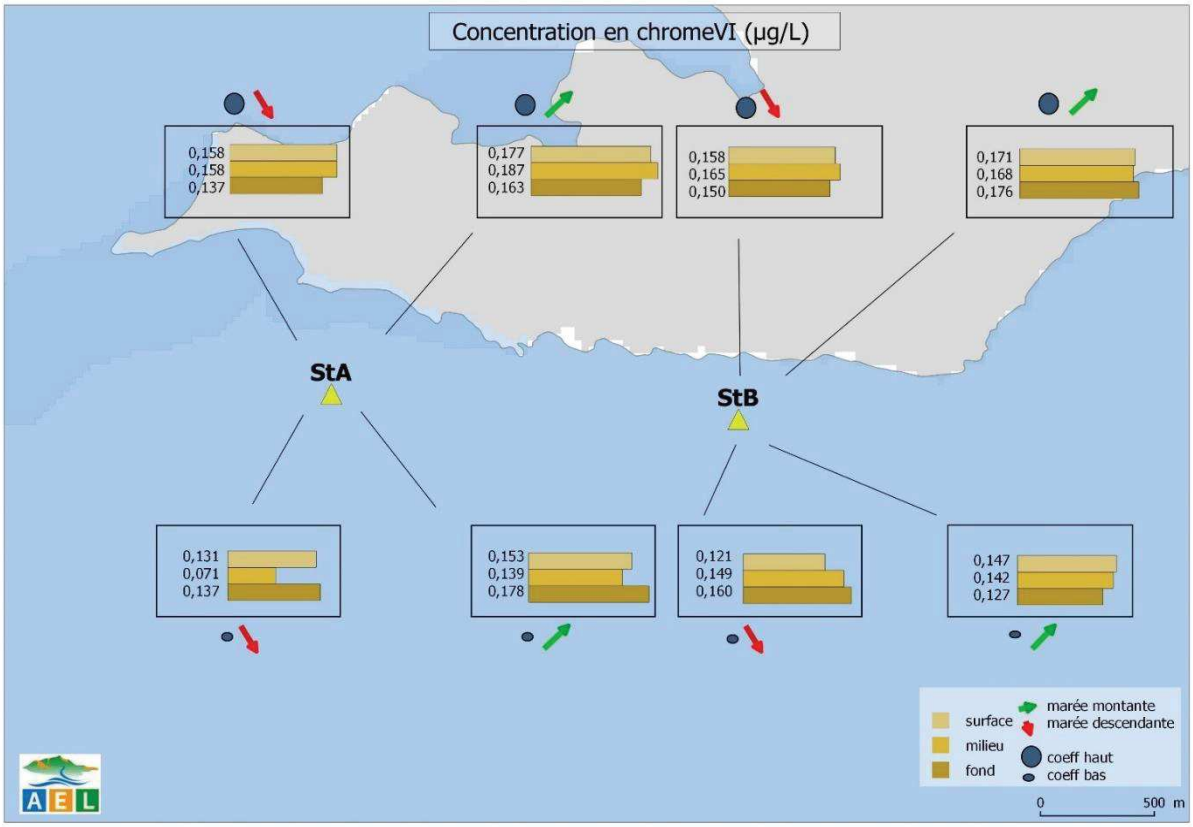


Figure 15 : Concentrations en chrome hexavalent (CrVI) aux stations A et B selon les différentes conditions.

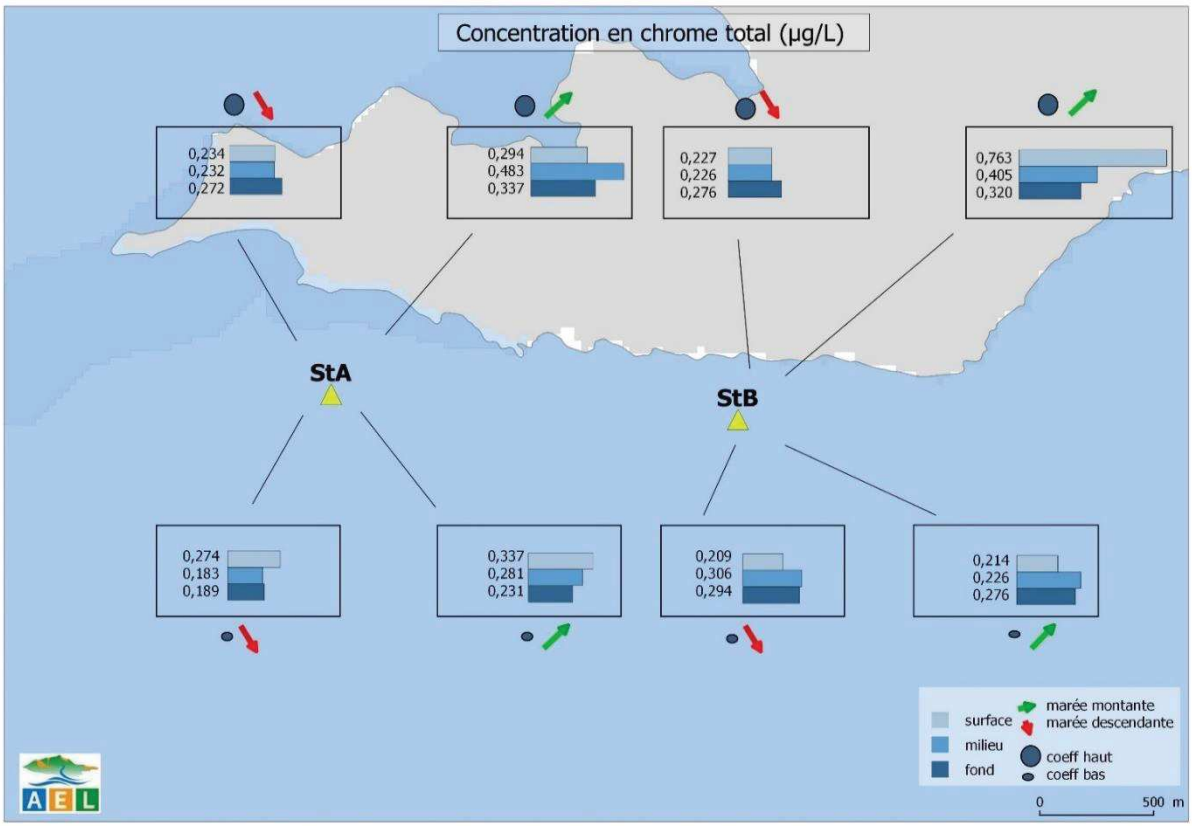


Figure 16 : Concentrations en chrome total dissous aux stations A et B selon les différentes conditions.

5. Cuivre

Les valeurs en cuivre sont majoritairement sous la limite de quantification (<0,025 µg/L) (Figure 17).

A l'exception d'une valeur dans les eaux profondes à la station StB à marée descendante et coefficient haut, toutes les concentrations quantifiées l'ont été au niveau des eaux de surface des deux stations StA et StB. On ne note aucune différence entre le coefficient haut et bas. Cependant la valeur la plus élevée, 0,154 µg/L, a été mesurée en surface de la station StB lors de la marée montante et coefficient haut ; cette station montre un comportement singulier, comme déjà mentionné.

Note : *deux échantillons (eaux de surface de la StB à marée descendant et fort coefficient et eaux de surface de la station StA à marée montante et coefficient bas), n'ont pas pu être analysés par suite d'une contamination des flacons de prélèvement.*

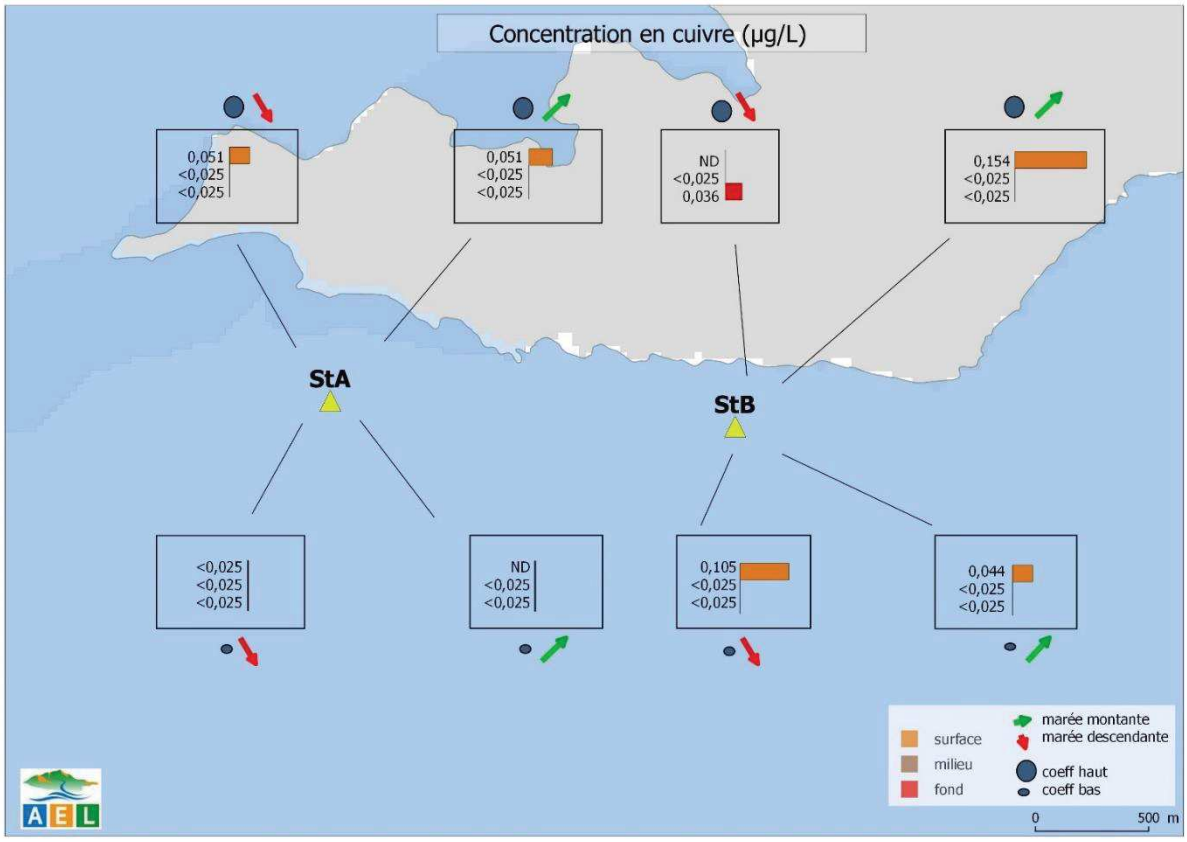


Figure 17 : Concentration en cuivre (Cu) dissous aux stations A et B selon les différentes conditions. L'absence de barre d'histogramme est dû à la valeur de la mesure en dessous de la limite de quantification. ND = non déterminé.

6. Fer

Le fer est quantifié sur la majorité des prélèvements effectués (Figure 18). La moyenne de l'état initial est de 0,213 ± 0,140 µg/L. Une valeur est particulièrement élevée (0,801 µg/L) en profondeur de la station B (marée descendante, coefficient haut). Aucun gradient au sein de la colonne d'eau n'est observable.

Note : *l'échantillons des eaux de surface de la station StB collecté à marée descendant et coefficient bas, n'a pas pu être analysé par suite d'une contamination du flacon de prélèvement.*

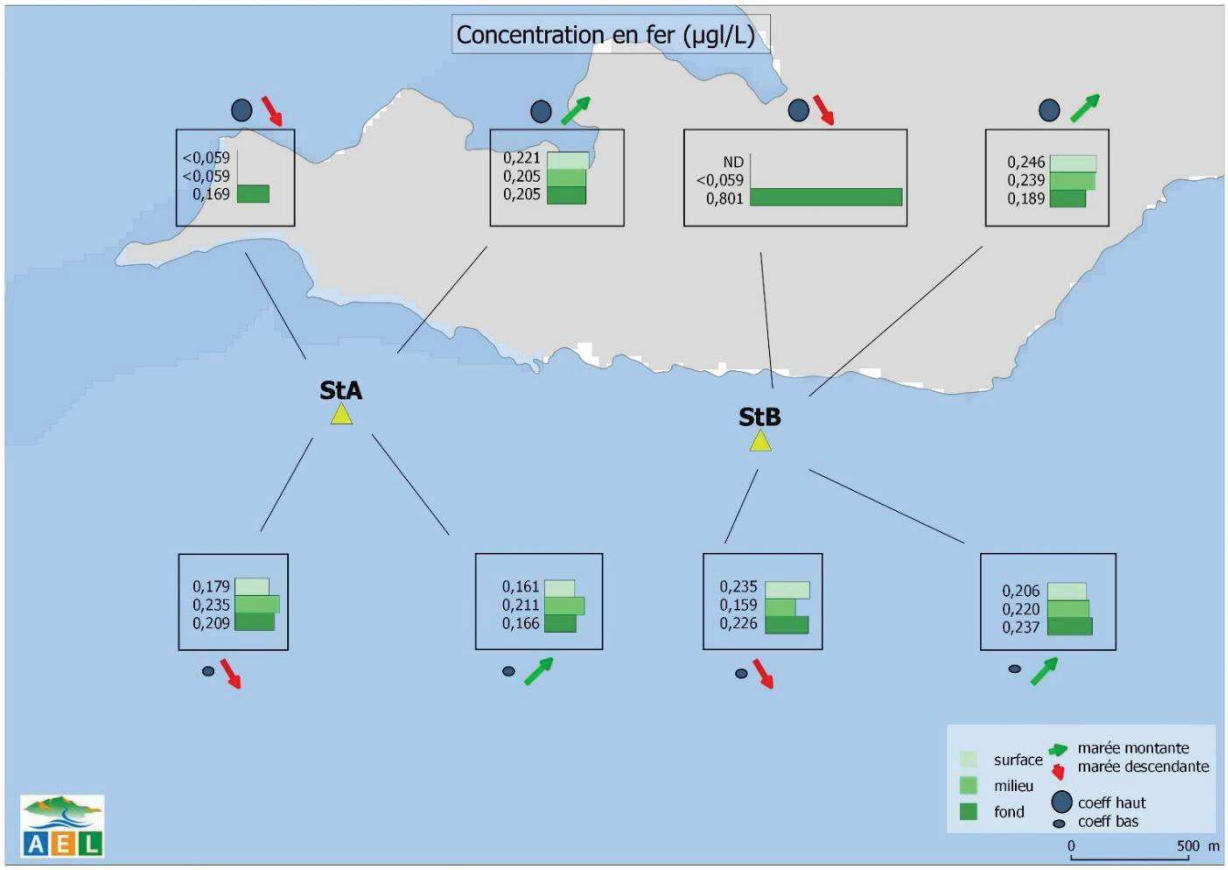


Figure 18 : Concentration en fer (Fe) dissous aux stations A et B selon les différentes conditions. L'absence de barre d'histogramme est dû à la valeur de la mesure en dessous de la limite de quantification. ND = non déterminé.

7. Manganèse

La moyenne générale en manganèse est de 0,111 ± 0,051 µg/L (Figure 19). La concentration la plus élevée (0,255 µg/L) est mesurée lors de la marée montante dans les eaux de surface de la station StB, par coefficient haut. D'un point de vue global, il ne semble pas possible de distinguer clairement des moyennes singulières selon la force de la marée, contrairement au Chrome-VI, par exemple.

Les valeurs obtenues le long de la colonne d'eau ne permettent pas de mettre en évidence une stratification systématique des concentrations qui soit bien définie, ni en fonction de la phase de la marée, ni de la force de celle-ci. Toutefois et bien que de manière non régulière à marée montante essentiellement, les valeurs supérieures sont souvent mesurées dans les eaux de surface, probablement en lien avec les apports des émissaires naturels comme la Trou Bleu et la Kwé.

Note : *l'échantillons des eaux de surface de la station StB collecté à marée descendant et coefficient bas, n'a pas pu être analysé par suite d'une contamination du flacon de prélèvement.*

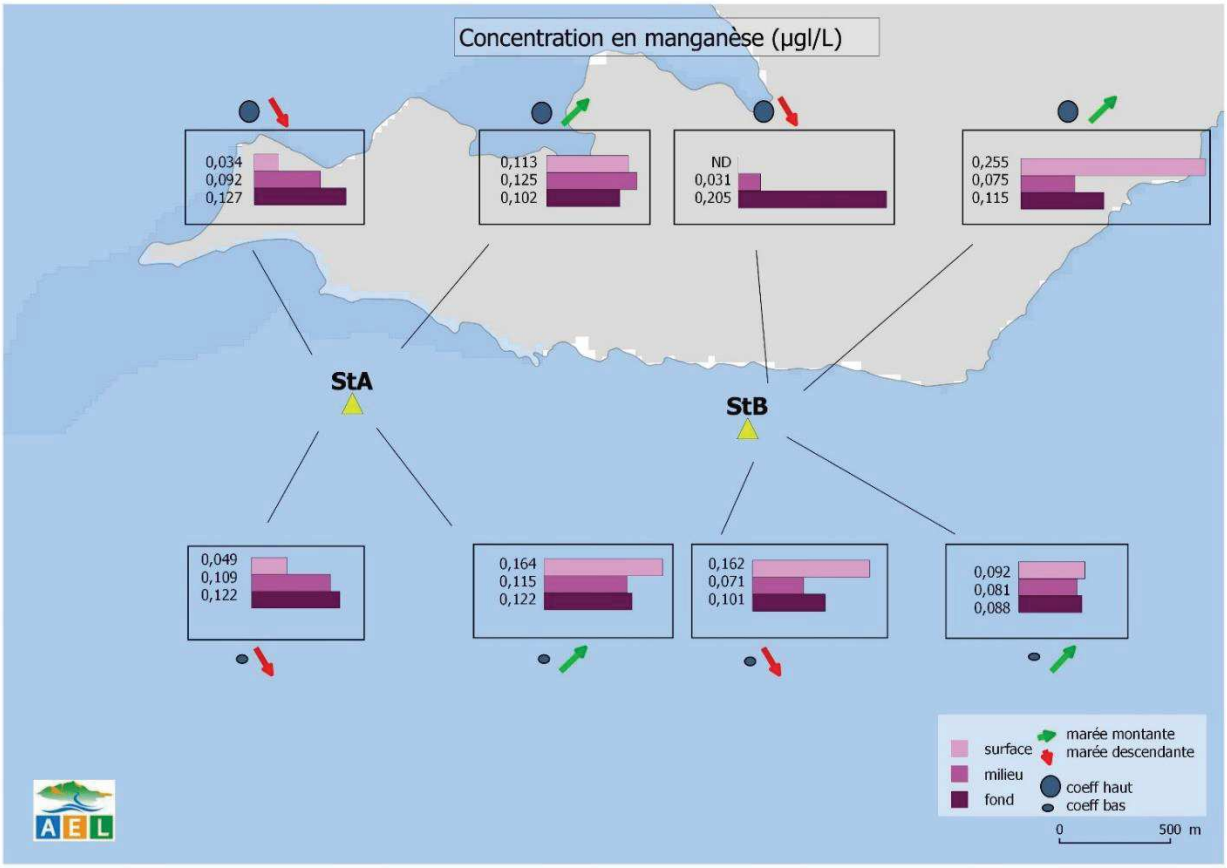


Figure 19 : Concentrations en manganèse (Mn) dissous aux stations A et B selon les différentes conditions. ND = Non déterminé.

8. Nickel

La moyenne globale des concentrations en nickel est de 0,231 ± 0,066 µg/L (Figure 20). La valeur la plus faible est de 0,111 µg/L (en surface de StA – marée descendante et coefficient bas), et la plus haute est de 0,376 µg/L (en surface de StB – marée montante et coefficient haut). On ne note pas de différence significative entre les coefficients fort et faible, ni au sein de la colonne d'eau. Toutefois, à la station StB, par marée montante et fort coefficient, une fois de plus les eaux de surface possèdent la concentration la plus élevée ; cette distribution est similaire à celles du Manganèse et du Chrome-total dissous.

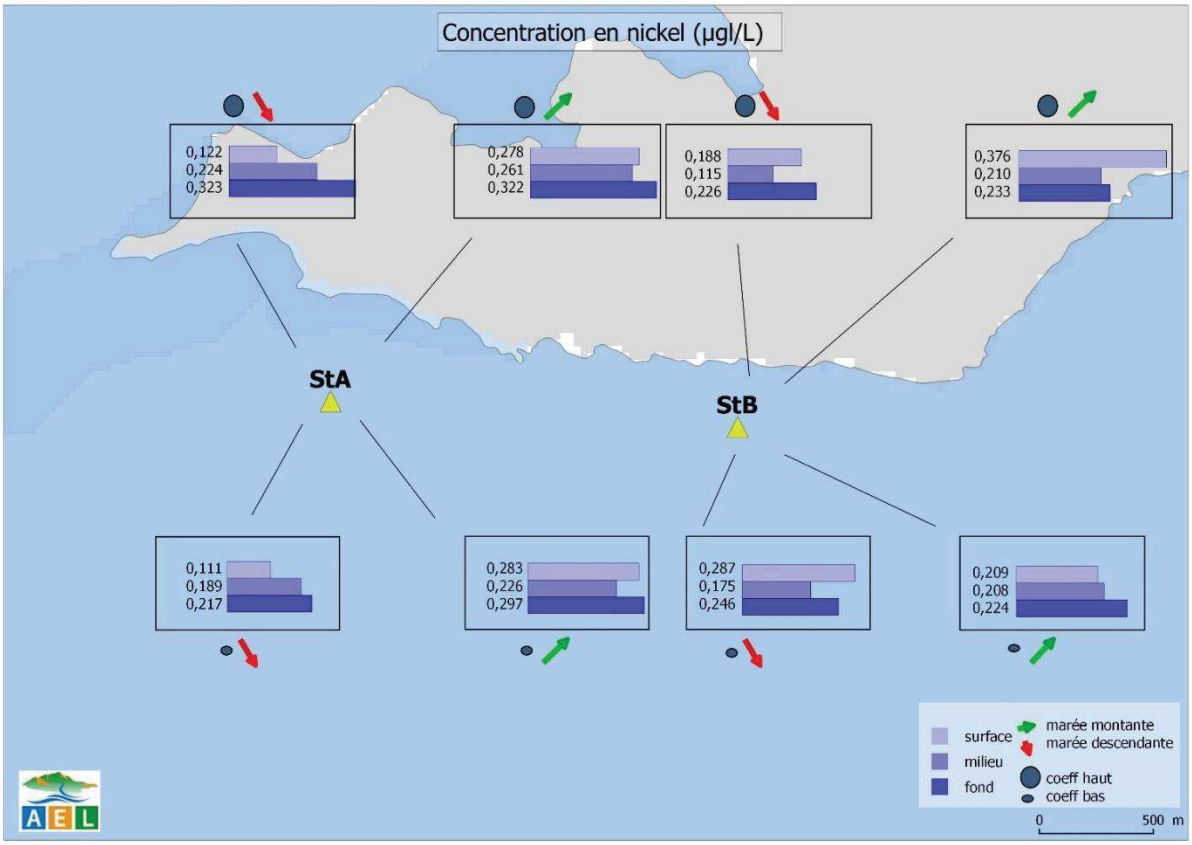


Figure 20 : Concentration en nickel (Ni) dissous aux stations A et B selon les différentes conditions.

1. Plomb

La totalité des concentrations en plomb sont sous la limite de quantification (0,100 µg/L).

2. Zinc

Deux valeurs de zinc ont été quantifiées lors de ces campagnes. En effet, c'est en profondeur de la station StA (marée descendante et coefficient haut) que le zinc a été mesuré à la concentration de 1,57 µg/L. En surface de la station StB (marée montante et coefficient haut), une concentration de 1,59 µg/L a également été détectée.

Tableau 9 : Statistique des concentrations en métaux dissous (As, Cd, Co, Cr (VI), Cr-total et Cu) mesurées dans la zone d'études.

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)					
		As	Cd	Co	Cr(VI)	Cr-total	Cu
Valeur globale	Moyenne	1,85 ± 0,08	-	0,028 ± 0,002	0,151 ± 0,024	0,301 ± 0,120	0,038 ± 0,032
Coefficient haut	Minimum	1,78	<0,025	<0,027	0,137	0,226	<0,025
	Maximum	2,06	<0,025	0,034	0,187	0,763	0,154
	Moyenne	1,88		0,028	0,164	0,339	0,042
	Ecart-type	0,08		0,002	0,013	0,155	0,025
Coefficient bas	Minimum	1,68	<0,025	<0,027	0,071	0,183	<0,025
	Maximum	1,92	<0,025	0,030	0,178	0,337	0,105
	Moyenne	1,83		0,027	0,138	0,263	0,034
	Ecart-type	0,07		0,001	0,026	0,055	0,024

Tableau 10 : Statistique des concentrations en métaux dissous (Fe, Mn, Ni, Pb et Zn) mesurées dans la zone d'études.

Zone d'étude	Statistique	Métaux dissous (µg/L)				
		Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Valeur globale	Moyenne	0,213 ± 0,140	0,111 ± 0,051	0,231 ± 0,066	-	1,11 ± 0,14
Coefficient haut	Minimum	<0,059	0,031	0,115	<0,100	<1,07
	Maximum	0,801	0,255	0,376	<0,100	1,59
	Moyenne	0,223	0,116	0,240		1,16
	Ecart-type	0,205	0,034	0,079		0,21
Coefficient bas	Minimum	0,159	0,049	0,111	<0,100	<1,07
	Maximum	0,237	0,164	0,297	<0,100	<1,07
	Moyenne	0,204	0,106	0,223		
	Ecart-type	0,030	0,034	0,052		

IV. CONCLUSION

La zone étudiée, circonscrite entre le Cap N'Doua et la Pointe Méhoué, permet de mettre en évidence alternativement l'influence océanique ainsi que les apports terrigènes. En effet, cette aire se caractérise par des masses d'eau montrant des stratifications particulières de température et fluorescence suggérant la présence de veines d'eau d'origine lagonaire et océanique selon les moments de la marée et sa force. A l'inverse, les profils de salinité et turbidité laissent entrevoir l'influence terrigène liée aux conditions hydro-climatiques ayant régné avant les campagnes d'échantillonnages.

Globalement, les concentrations en éléments majeurs et en sels nutritifs concordent avec celles du suivi semestriel en place sur le domaine qui s'étend de la Passe de la Havannah à la Baie de Prony.

De la même manière, les concentrations en métaux dissous relevées sont en très bon accord avec les concentrations mesurées dans le canal de la Havannah lors des suivis semestriels de la qualité géochimique de l'eau. Globalement, la distribution des éléments ne montre pas de gradient au sein de la colonne d'eau, ni de différences évidentes entre les deux stations StA et StB. Cependant à la station StB, pour des conditions de prélèvement liées à la marée montante et coefficient fort, un gradient est observé pour bon nombre de métaux dissous et le silicates (indicateur de lixiviation de la péridotite).

La zone du cap N'Doua reste un secteur où l'influence océanique est prédominante, cette étude ayant montré que seule une influence terrigène ponctuelle à la station StB semble observable. Elle est évidente lors d'épisodes météorologiques particuliers comme les coups de vent et probablement les précipitations atmosphériques ou bien la combinaison des deux.

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES STATIONS DE PRELEVEMENTS A ET B POUR LA DEFINITION DE L'ETAT INITIAL. TRACE SCHEMATIQUE DU PIPE-LINE MARIN EN JAUNE. 9
FIGURE 2 : CUMUL DES PRECIPITATIONS JOURNALIERES AVANT ET PENDANT LES DEUX LES CAMPAGNES DE PRELEVEMENTS. DONNEES METEOROLOGIQUES METEO FRANCE STATION « USINE GORO ». 11
FIGURE 3 : INTENSITE ET DIRECTION DU VENT AVANT ET PENDANT LES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT (15 ET 27 JUIN 2023). 11
FIGURE 4 : CHRONOLOGIE DE L'ECHANTILLONNAGE DE L'ETAT INITIAL DE JUIN 2023 REPORTEE SUR LES MAREGRAMMES DU 15 (HAUT) ET 27 (BAS) JUIN 2023. 12
FIGURE 5 : PROFILS DE TEMPERATURE DES STATIONS A ET B EN FONCTION DES MAREES ET DES COEFFICIENTS HAUTS DE MAREE LE 15 JUIN (GAUCHE) ET BAS LE 27 JUIN (DROITE). 13
FIGURE 6 : PROFILS DE SALINITE DES STATIONS A ET B EN FONCTION DES PHASES DE MAREES ET DES COEFFICIENTS HAUTS DE MAREE LE 15 JUIN (GAUCHE) ET BAS LE 27 JUIN (DROITE). 14
FIGURE 7 : PROFILS DE FLUORESCENCE DES STATIONS A ET B EN FONCTION DES MAREES ET DES COEFFICIENTS HAUTS DE MAREE LE 15 JUIN (GAUCHE) ET BAS LE 27 JUIN (DROITE). 15
FIGURE 8 : PROFILS DE TURBIDITE DES STATIONS A ET B EN FONCTION DES MAREES ET DES COEFFICIENTS HAUTS DE MAREE LE 15 JUIN (GAUCHE) ET BAS LE 27 JUIN (DROITE). 16
FIGURE 9 : CONCENTRATIONS DE MATIERES EN SUSPENSION (MES) AUX STATIONS A ET B SELON LES COEFFICIENTS ET LES PHASES DE LA MAREE. 17
FIGURE 10 : CONCENTRATIONS EN AMMONIUM (NH_4) AUX STATIONS A ET B SELON LES COEFFICIENTS ET LES PHASES DE LA MAREE. 18
FIGURE 11: CONCENTRATIONS EN SILICATES (SIO4) AUX STATIONS A ET B SELON LES COEFFICIENTS ET LES PHASES DE LA MAREE. 19
FIGURE 12 : CONCENTRATIONS EN CARBONE ORGANIQUE PARTICULAIRE (COP) DISSOUS AUX STATIONS A ET B SELON LES DIFFERENTES CONDITIONS. 21
FIGURE 13 : CONCENTRATIONS EN CHLOROPHYLLE *A* (CHLA) AUX STATIONS A ET B SELON LES DIFFERENTES CONDITIONS. 22
FIGURE 14 : CONCENTRATIONS EN ARSENIC (AS) DISSOUS AUX STATIONS A ET B SELON LES DIFFERENTES CONDITIONS..... 23
FIGURE 15 : CONCENTRATIONS EN CHROME HEXAVALENT (CRVI) AUX STATIONS A ET B SELON LES DIFFERENTES CONDITIONS..... 24
FIGURE 16 : CONCENTRATIONS EN CHROME TOTAL DISSOUS AUX STATIONS A ET B SELON LES DIFFERENTES CONDITIONS..... 24
FIGURE 17 : CONCENTRATION EN CUIVRE (CU) DISSOUS AUX STATIONS A ET B SELON LES DIFFERENTES CONDITIONS. L'ABSENCE DE BARRE D'HISTOGRAMME EST DU A LA VALEUR DE LA MESURE EN DESSOUS DE LA LIMITE DE QUANTIFICATION. ND = NON DETERMINE. 25
FIGURE 18 : CONCENTRATION EN FER (FE) DISSOUS AUX STATIONS A ET B SELON LES DIFFERENTES CONDITIONS. L'ABSENCE DE BARRE D'HISTOGRAMME EST DU A LA VALEUR DE LA MESURE EN DESSOUS DE LA LIMITE DE QUANTIFICATION. ND = NON DETERMINE. 26
FIGURE 19 : CONCENTRATIONS EN MANGANESE (MN) DISSOUS AUX STATIONS A ET B SELON LES DIFFERENTES CONDITIONS. ND = NON DETERMINE..... 27
FIGURE 20 : CONCENTRATION EN NICKEL (NI) DISSOUS AUX STATIONS A ET B SELON LES DIFFERENTES CONDITIONS. 28

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : NOM, COORDONNEES ET PROFONDEUR DES STATIONS DE PRELEVEMENT. 9
TABLEAU 2 : DATE, MAREE ET COEFFICIENT DE MAREE LORS DES PRELEVEMENTS DES STATIONS A ET B..... 10
TABLEAU 3 : STATISTIQUES DES VALEURS DE TEMPERATURE, FLUORESCENCE, TURBIDITE ET SALINITE ENREGISTREES AU NIVEAU DES STATIONS A ET B SELON LES COEFFICIENTS DE MAREE..... 13
TABLEAU 4 : STATISTIQUES DES VALEURS DU PH ET DES CONCENTRATIONS EN ELEMENTS MAJEURS MESUREES EN FONCTION DU COEFFICIENT DE MAREE. 16
TABLEAU 5 : STATISTIQUES DES CONCENTRATIONS DE MES MESUREES AUX STATIONS A ET B SELON LE COEFFICIENT DE MAREE..... 17
TABLEAU 6 : STATISTIQUES DES CONCENTRATIONS EN SELS NUTRITIFS MESUREES AUX STATIONS A ET B SELON LE COEFFICIENT DE MAREE. 19
TABLEAU 7 : STATISTIQUE DES CONCENTRATIONS DE MATIERES ORGANIQUES DISSOUTES ET PARTICULAIRES MESUREES AUX STATIONS A ET B..... 20
TABLEAU 8 : STATISTIQUE DES CONCENTRATIONS DE CHLOROPHYLLE *a* MESUREES AUX STATIONS A ET B. 21
TABLEAU 9 : STATISTIQUE DES CONCENTRATIONS EN METAUX DISSOUS (AS, CD, CO, CR (VI), CR-TOTAL ET CU) MESUREES DANS LA ZONE D'ETUDES..... 28
TABLEAU 10 : STATISTIQUE DES CONCENTRATIONS EN METAUX DISSOUS (FE, MN, NI, PB ET ZN) MESUREES DANS LA ZONE D'ETUDES. 29

ANNEXES

ANNEXE 1..... 34
ANNEXE 2..... 38

Annexe 1

METHODOLOGIE

STRUCTURE DES MASSES D'EAU

La structuration verticale des masses d'eau sur chacune des stations échantillonnées a été obtenue grâce aux profils verticaux réalisés avec une sonde CTD SBE19 équipée de capteurs additionnels. La fréquence d'acquisition des données étant de 0,5 secondes et la vitesse de descente d'environ 0,5 m/s, une série d'acquisition est générée tous les 25 cm environ.

Les paramètres de la sonde CTD et leurs spécifications sont les suivants (Tableau 1) :

- La pression, qui permet de calculer la profondeur ;
- La salinité (‰), déduite de la mesure de la conductivité ;
- La température (°C) ;
- La turbidité par mesure de la néphélométrie, exprimée en NTU (Nephelometric Turbidity Unit) ;
- La fluorescence *in-vivo*, exprimée en mg/m^3, qui permet d'estimer la concentration en pigments chlorophylliens (capteurs Wet labs).

Tableau 1: Spécifications des paramètres de la sonde.

Paramètres	Gamme	Précision initiale	Résolution
Conductivité (S.m^{-1})	0 - 9	<0,0505	<0,0507
Température (°C)	-5 à +35	0,005	<0,0501
Pression (db)	0 - 350	0,35	0,007
Turbidité (NTU)	0 - 25	NA*	0,01
Fluorescence (mg/m^3)	0 - 50	NA*	0,025

ANALYSE DES ELEMENTS MAJEURS, PH ET MATIERE EN SUSPENSION

Un sous-échantillonnage à partir des prélèvements en bouteilles Niskin® a été effectué pour :

- Le dosage des ions calcium (Ca^{2+}), sodium (Na^{+}), potassium (K^{+}) et magnésium (Mg^{2+}) qui ont été déterminés par analyse directe à l'ICP-OES (Spectrométrie d'Emission Optique couplée à une torche plasma, marque Varian, modèle 730 ES) ;
- Le dosage des ions chlorures (Cl^{-}) a été réalisé par titration au nitrate d'argent par la méthode de Mohr ;
- Le dosage des ions sulfates (SO_4^{2-}) a été réalisé par spectrophotométrie en présence de réactifs de chlorure de baryum et d'acide citrique (Modèle HACH DR1900) ;
- La mesure du pH (pHmètre WTW) ;
- La détermination de la concentration en Matière En Suspension (MES) obtenue après filtration d'un volume connu d'échantillon puis pesée du filtre (Nucleopore® de 0,45 µm de porosité).

Le flaconnage utilisé pour le stockage des prélèvements d'eau est en polyéthylène haute densité et les échantillons sont conservés à 4 °C jusqu'à leur analyse de retour au laboratoire.

ANALYSE DES SELS NUTRITIFS ET DE LA MATIERE ORGANIQUE

Les échantillons d'eau nécessaires aux différentes déterminations analytiques ont été conditionnés dans du flaconnage soit en :

- Verre borosilicaté avec addition de réactif pour le dosage quotidien (dans les 6 heures qui suivent le prélèvement) de l'ammonium (NH_4) ;
- PEHD et stockés en vue de leur traitement ultérieur au Laboratoire des Moyens Analytiques (LAMA) de l'IRD de Nouméa. Les échantillons destinés aux dosages de nitrates + nitrites (NO_3 + NO_2) et de phosphates (PO_4) sont traités au chlorure de mercure dès retour à la terre et conservés à la température ambiante jusqu'à l'analyse. Les échantillons destinés aux dosages de l'azote organique dissous (NOD) et du phosphore organique dissous (POD) sont congelés à -20°C ;
- PEHD ambrés et filtrés sur des filtres Whatman® GF/F (porosité 0,7 µm) le jour même du prélèvement. La conservation de ces filtres a été assurée par congélation à -20 °C jusqu'à dosage ultérieur au Laboratoire des Moyens Analytiques (LAMA) de l'IRD de Nouméa. Ces dosages concernent la matière organique particulaire (azote (NOP), phosphore (POD) et carbone (COP)).

a) Nitrates + Nitrites

L'ion nitrate (NO_3) est la forme oxydée stable de l'azote en solution aqueuse. Compte tenu des faibles concentrations océaniques et des interférences possibles, la méthode retenue pour le dosage des NO_3 est celle fondée sur le dosage des ions nitrites (NO_2) obtenus par réduction des ions NO_3. Cette méthode conduit à une mesure de la somme des concentrations NO_3 + NO_2 par photométrie (Oudot et Montel, 1988). Cependant, les concentrations en NO_2 dans les eaux de surfaces restent très faibles. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbbe, modèle Autoanalyseur III.

b) Ammonium

En solution, l'azote ammoniacal est présent sous forme d'ammoniac (NH_3) et d'ion ammonium (NH_4^+), ce dernier étant prépondérant dans le milieu marin. Dans les régions tropicales, les teneurs sont généralement très faibles de l'ordre de quelques dizaines de nanomoles et la méthode décrite par Holmes *et al*., (1999) est la plus adaptée. Il s'agit d'une méthode manuelle basée sur le principe d'une mesure fluorométrique qui permet de doser des quantités infimes de NH_4.

c) Phosphates

Le dosage des PO_4 a été effectué selon la méthode de Murphy et Riley (1962) basée sur la formation en milieu acide (pH<1) de phosphomolybdate d'ammonium dont le réducteur donne un complexe de couleur bleue dosable par photométrie. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbbe, modèle Autoanalyseur III.

e) Silicates

La méthode qui sert de référence est celle de Mullin et Riley, 1955, modifiée par Fanning et Pilson (1973). Le dosage colorimétrique est fondé sur la formation d'un complexe silicomolybdique qui, après réduction donne une coloration bleue intense.

f) Azote et phosphore organiques dissous

Le dosage de la matière organique dissous ne peut s'effectuer directement. Celle-ci est d'abord dégradée (minéralisée) par oxydation (Raimbault *et al*., 1990) et les composés inorganiques produits sont alors dosés selon les méthodes précédemment décrites pour les NO_3 + NO_2 et les PO_4. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbbe, modèle Autoanalyseur III.

Les valeurs brutes obtenues correspondent à la concentration de matière organique totale. Les valeurs de la matière organique dissoute sont alors calculées par la différence entre les valeurs de matière organique totale et celles de forme minérale et particulaire.

g) Azote et phosphore organiques particulaires

Le dosage de la matière organique particulaire ne peut s'effectuer directement. Celle-ci est d'abord dégradée (minéralisée) par oxydation (Raimbault *et al*., 1990) et les composés inorganiques qui sont produits peuvent alors être dosés selon les méthodes précédemment décrites pour les NO_2+NO_3 et les PO_4. La méthode d'oxydation par voie humide utilisée est simple et rapide à mettre en œuvre. Les mesures ont été effectuées avec un auto-analyseur en flux continu Bran & Luegbbe, modèle Autoanalyseur III.

h) Carbone organique particulaire

L'analyse du carbone organique particulaire a été conduite sur un spectromètre de masse IRMS Sercon Integra 2.

Les limites de quantification des concentrations de sels nutritifs et de matière organique sont regroupées dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Limites de quantification des concentrations de sels nutritifs et de la matière organique.

Paramètres	Limite de quantification (µmol/L)
NO_2+NO_3	0,050
PO_4	0,050
NH_4	0,002
SiO_4	0,600
NOD - NOP	0,130
POD - POP	0,600

ANALYSE DES PIGMENTS CHLOROPHYLLIENS

La concentration de pigments chlorophylliens est déterminée sur des échantillons d'eau filtrée au laboratoire sur des filtres Whatman GF/F. Leur conservation est effectuée par congélation à -20°C jusqu'à l'analyse.

Les dosages ont été effectués par la méthode fluorométrique de Lorenzen (1966) qui présente une très grande sensibilité. Les pigments chlorophylliens sont extraits du filtre par un solvant organique, leur détection s'effectue, après excitation dans un faisceau lumineux à 450 nm, par mesure de la fluorescence émise à 670 nm (ce principe est identique à celui utilisé par le capteur de fluorescence in-situ équipant la sonde multiparamètrique SBE 19). Sur chaque extrait, la mesure de fluorescence est effectuée deux fois, avant et après acidification.

L'écart de fluorescence observé entre ces deux lectures est en relation avec le pourcentage relatif de chlorophylle a par rapport à la somme chlorophylle-*a* + Phéophytine-a. Etant données les interférences dues aux chlorophylles b et c, la précision des mesures dépend de la nature même des communautés de producteurs primaires. La limite de quantification pour le matériel utilisé (Turner design 700) est de 0,01 µg/L.

ANALYSE DES METAUX DISSOUS DANS LA COLONNE D'EAU

Pour chacune des 14 stations de la campagne semestrielle, les trois profondeurs (surface, mi-profondeur et fond) sont prélevées en trois lots destinés à différents types d'analyse :

- Les échantillons du premier lot sont filtrés en ligne à 0,45 µm (pré-lavés) le jour même des prélèvements. Ces échantillons sont destinés aux analyses des éléments dissous **Cr^{VI}/Cr-total** effectuées par électrochimie (Voltampérométrie) au laboratoire AEL.
- Les échantillons du deuxième lot sont filtrés en ligne à 0,45 µm (filtres Millipore®, qualité HA, pré-lavés) le jour même des prélèvements. Ces échantillons sont envoyés, après acidification, au laboratoire de micropolluant pour l'analyse de l'**As** dissous par spectrométrie de masse par torche plasma (ICP-MS) (NF EN ISO 17294-2).
- Les échantillons du troisième lot sont directement filtrés à 0,45 µm en ligne (filtres Millipore®, qualité HA, pré-lavés) puis passés sur les résines cationiques OnGuard II M afin de concentrer les métaux dissous le jour même du prélèvement.

L'analyse des éléments dissous **Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn** est ensuite effectuée par spectrométrie d'émission optique par torche à plasma (ICP-OES ; Marque Varian, modèle Vista). Cette méthode a été développée par Moreton et al. (2009).

Les limites de quantification des concentrations de métaux dissous sont regroupées dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Limites de quantification des concentrations de métaux dissous.

Paramètres	Limite de quantification (µg/L)
As	1,000
Cd	0,025
Co	0,027
Cr_{VI}	0,050
Cu	0,025
Fe	0,059
Mn	0,028
Ni	0,022
Pb	0,100
Zn	1,070

TRAITEMENT STATISTIQUE

L'usage des LQ permet de s'assurer du niveau de sensibilité des analyses mais a pour conséquence d'éliminer des données lors des traitements statistiques lorsque les paramètres analysés sont en très faibles concentrations. Avec des jeux de données peu denses, les concentrations moyennes sont alors artificiellement majorées. Dans cette étude, afin de se rapprocher de la réalité, les valeurs en dessous de la LQ sont majorées au seuil des limites respectives pour chaque élément.

Annexe 2

Concentrations des éléments majeurs, valeurs du pH et concentrations des matières en suspension (MES)

Concentrations des éléments majeurs, valeurs du pH et concentrations de MES de la pointe Mdhéou – Cap N'Doua aux stations A et B selon les conditions.

Station	Conditions	Niveau	Eléments majeurs (mg/L)						MES (mg/L)	pH
			Ca	K	Mg	Na	Cl	SO_4		
STB	Marée descendante-coefficient haut	S	373	515	1072	8426	21284	2750	0,580	8,00
		M	368	524	1090	8703	20598	2550	0,530	8,00
		F	372	528	1071	8659	20769	2600	0,542	8,00
STA	Marée descendante-coefficient haut	S	373	523	1113	8826	20598	2750	0,542	8,00
		M	369	512	1094	8374	20769	2700	0,450	8,00
		F	375	522	1041	8405	20769	2600	0,558	8,00
STB	Marée montante coefficient haut	S	372	510	1066	8444	21284	2650	0,460	8,01
		M	356	487	1069	8406	21628	2550	0,660	8,01
		F	357	510	1063	8278	21113	2600	0,556	8,02
STA	Marée montante coefficient haut	S	365	520	1269	9151	20598	2500	0,606	8,03
		M	376	517	1190	8854	20769	2400	0,332	8,03
		F	381	537	1310	9466	20769	2500	1,164	8,01
STB	Marée montante coefficient bas	S	378	512	1055	8361	21628	2700	0,324	8,07
		M	363	504	1052	8191	21628	2650	0,418	7,88
		F	358	500	1023	8356	20941	2650	0,310	7,82
STA	Marée montante coefficient bas	S	367	516	1037	8248	21284	2750	0,448	7,84
		M	374	513	1050	8309	20941	2750	0,370	7,86
		F	364	505	1021	8131	21284	2750	0,568	7,80
STB	Marée descendante coefficient bas	S	371	510	1040	8269	21113	2550	0,390	7,84
		M	370	510	1019	7819	20598	2700	0,342	7,89
		F	358	497	1032	8298	22314	2700	0,446	7,89
STA	Marée descendante coefficient bas	S	372	532	1056	8320	20769	2600	0,398	7,88
		M	371	519	1048	8188	21284	2600	0,438	7,89
		F	369	523	1063	8604	21284	2550	0,322	7,90

ANNEXE 3

Concentrations des sels nutritifs

Concentrations des sels nutritifs du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de janvier 2023 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Conditions	Niveau	Sels nutritifs (µmol/L)			
			NO_3+NO_2	NH_4	PO_4	SiO_4
STB	Marée descendante-coefficient haut	S	*à analyser*	0,707	0,05	0,19
		M	*à analyser*	2,467	<0,05	0,23
		F	*à analyser*	0,285	<0,05	0,07
STA	Marée descendante-coefficient haut	S	*à analyser*	0,070	<0,05	0,20
		M	*à analyser*	0,116	0,05	0,30
		F	*à analyser*	3,270	0,05	0,20
STB	Marée montante coefficient haut	S	*à analyser*	0,231	<0,05	0,38
		M	*à analyser*	0,238	<0,05	0,24
		F	*à analyser*	0,267	0,05	0,21
STA	Marée montante coefficient haut	S	*à analyser*	0,320	<0,05	0,20
		M	*à analyser*	1,046	0,05	0,22
		F	*à analyser*	0,239	<0,05	0,32
STB	Marée montante coefficient bas	S	*à analyser*	0,190	0,06	0,10
		M	*à analyser*	0,136	0,05	0,31
		F	*à analyser*	0,045	0,05	0,21
STA	Marée montante coefficient bas	S	*à analyser*	0,286	0,05	0,16
		M	*à analyser*	0,101	0,05	0,16
		F	*à analyser*	0,095	0,05	0,13
STB	Marée descendante coefficient bas	S	*à analyser*	0,032	<0,05	0,21
		M	*à analyser*	0,049	0,05	0,11
		F	*à analyser*	0,063	0,05	0,19
STA	Marée descendante coefficient bas	S	*à analyser*	0,037	<0,05	0,16
		M	*à analyser*	0,019	<0,05	0,10
		F	*à analyser*	0,030	<0,05	0,42

ND= Non Déterminé.

ANNEXE 4

Concentrations de la matière organique et de la chlorophylle *a*

Concentrations de la matière organique dissoute, particulaire et totale ainsi que de la chlorophylle *a* du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de janvier 2022 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Conditions	Niveau	Matière organique (µmoL/L)							Chlorophylle *a* (µg/L)
			NOP	POP	NOD	POD	COP	PT	NT	
STB	Marée descendante-coefficient haut	S			*à analyser*		9,643	0,288	*à analyser*	0,580
		M					6,596	0,371	*à analyser*	0,591
		F					5,329	0,347	*à analyser*	0,537
STA	Marée descendante-coefficient haut	S			*à analyser*		6,665	0,300	*à analyser*	0,521
		M					7,422	0,264	*à analyser*	0,510
		F					4,520	0,288	*à analyser*	0,246
STB	Marée montante coefficient haut	S			*à analyser*		6,090	0,324	*à analyser*	0,684
		M					6,258	0,383	*à analyser*	0,401
		F					5,255	0,253	*à analyser*	0,699
STA	Marée montante coefficient haut	S			*à analyser*		6,167	0,253	*à analyser*	0,384
		M					4,584	0,375	*à analyser*	0,719
		F					4,524	0,300	*à analyser*	0,644
STB	Marée montante coefficient bas	S			*à analyser*		4,003	0,300	*à analyser*	0,062
		M					4,303	0,339	*à analyser*	0,106
		F					3,761	0,339	*à analyser*	0,057
STA	Marée montante coefficient bas	S			*à analyser*		4,120	0,339	*à analyser*	0,396
		M					4,835	0,422	*à analyser*	0,445
		F					4,085	0,257	*à analyser*	0,371
STB	Marée descendante coefficient bas	S			*à analyser*		0,998	0,339	*à analyser*	0,304
		M					0,903	0,292	*à analyser*	0,479
		F					0,556	0,316	*à analyser*	0,257
STA	Marée descendante coefficient bas	S			*à analyser*		3,410	0,280	*à analyser*	0,180
		M					2,996	0,280	*à analyser*	0,276
		F					4,702	0,280	*à analyser*	0,072

ND= Non Déterminé.

ANNEXE 5

Concentrations des métaux dissous

Concentrations des métaux dissous du lagon sud de Nouvelle-Calédonie lors de la campagne semestrielle de janvier 2023 en surface (S), mi-profondeur (M) et fond (F).

Station	Conditions	Niveau	Métaux dissous (µg/L)										
			As	Cd	Co	Cr^{VI}	Cr_{-total}	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
STB	Marée descendante-coefficient haut	S	2,06	<0,025	<0,027	0,158	0,227	ND	ND	ND	0,188	<0,100	<1,07
		M	1,84	<0,025	<0,027	0,165	0,226	<0,025	<0,059	0,031	0,115	<0,100	<1,07
		F	1,87	<0,025	<0,027	0,150	0,276	0,036	0,801	0,205	0,226	<0,100	<1,07
STA	Marée descendante-coefficient haut	S	1,86	<0,025	<0,027	0,158	0,234	0,044	<0,059	0,034	0,122	<0,100	<1,07
		M	1,97	<0,025	<0,027	0,158	0,232	<0,025	<0,059	0,092	0,224	<0,100	<1,07
		F	1,81	<0,025	0,030	0,137	0,272	<0,025	0,169	0,127	0,323	0,101	<1,07
STB	Marée montante coefficient haut	S	1,80	<0,025	0,034	0,171	0,763	0,154	0,246	0,255	0,376	<0,100	<1,07
		M	1,82	<0,025	<0,027	0,168	0,405	<0,025	0,239	0,075	0,210	<0,100	<1,07
		F	1,95	<0,025	<0,027	0,176	0,320	<0,025	0,189	0,115	0,233	<0,100	<1,07
STA	Marée montante coefficient haut	S	1,90	<0,025	0,029	0,177	0,194	0,051	0,221	0,113	0,278	<0,100	<1,07
		M	1,78	<0,025	<0,027	0,187	0,483	<0,025	0,205	0,125	0,261	<0,100	<1,07
		F	1,85	<0,025	<0,027	0,163	0,337	<0,025	0,205	0,102	0,322	<0,100	<1,07
STB	Marée montante coefficient bas	S	1,73	<0,025	<0,027	0,147	0,214	0,044	0,206	0,092	0,209	<0,100	<1,07
		M	1,87	<0,025	<0,027	0,142	0,332	<0,025	0,220	0,081	0,208	<0,100	<1,07
		F	1,90	<0,025	<0,027	0,127	0,305	<0,025	0,237	0,088	0,224	<0,100	<1,07
STA	Marée montante coefficient bas	S	1,92	<0,025	<0,027	0,153	0,337	ND	0,161	0,164	0,283	<0,100	<1,07
		M	1,85	<0,025	<0,027	0,139	0,281	<0,025	0,211	0,115	0,226	<0,100	<1,07
		F	1,68	<0,025	0,030	0,178	0,231	<0,025	0,166	0,122	0,297	<0,100	<1,07
STB	Marée descendante coefficient bas	S	1,78	<0,025	<0,027	0,121	0,209	0,105	0,235	0,162	0,287	<0,100	<1,07
		M	1,83	<0,025	<0,027	0,149	0,306	<0,025	0,159	0,071	0,175	<0,100	<1,07
		F	1,90	<0,025	<0,027	0,160	0,294	<0,025	0,226	0,101	0,246	<0,100	<1,07
STA	Marée descendante coefficient bas	S	1,82	<0,025	<0,027	0,131	0,274	<0,025	0,179	0,049	0,111	<0,100	<1,07
		M	1,78	<0,025	<0,027	0,071	0,183	<0,025	0,235	0,109	0,189	<0,100	<1,07
		F	1,86	<0,025	<0,027	0,137	0,189	<0,025	0,209	0,122	0,217	<0,100	<1,07

ND= Non Déterminé.

ANNEXE 4 : Etat initial de la qualité sédimentologique et géochimique des sédiments marins de surface entre la pointe Méhoué et le Cap N'Doua

ETAT INITIAL DE LA QUALITE SEDIMENTOLOGIQUE ET GEOCHIMIQUE DES SEDIMENTS DE SURFACE ENTRE LA POINTE MEHOUE ET LE CAP N'DOUA

Juin 2023

« Chimie de l'environnement et Modélisation hydrodynamique »

Rapport d'état initial

Campagne de

2023

Photos de couverture AEL : Benne Van-Veen utilisée pour le prélèvement des sédiments de surface.

CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL-LEA

Contrat 682-PR-23_P

Etat initial de la qualité sédimentologique et géochimique des sédiments marins de surface entre la Pointe Méhoué et le du Cap N'Doua

2023

Nombre de pages : 25

	Ref AEL	Ref Client
Identification	682-PR-22-A	L57438/0001
Titre complet	Etat initial de la qualité sédimentologique et géochimique des sédiments marins de surface entre la pointe Méhoué et le Cap N'Doua. **2021.**	
Auteurs		
Résumé	A l'issue de cette campagne de définition de l'état initial de la qualité des sédiments de surface, les principales observations à retenir sont : • la prépondérance de la fraction pélitique et des minéraux carbonatés (Calcite et Aragonite) est manifeste dans la composition les sédiments prélevés aux stations STA, STB et STC. Cependant, la composante terrigène (Goethite et Serpentine) devient décelable aux stations STA et STC, ces stations, étant proches de la côte ou plus abritées des conditions de fort hydrodynamisme, par rapport à la station STB, sont relativement plus enclin à la sédimentation des particules fines terrigènes. • les concentrations totales en Co, Cr, Fe, Mn et Ni (éléments représentatifs du cortège latéritique) sont bien plus importantes que celles de Cu et Zn qui comparativement se retrouvent à l'état de traces. Pour ces métaux latéritiques, une distribution décroissante des concentrations de STC vers STA/STB est observée. Cette distribution peut être mise en relation avec la localisation de la station STC en sortie de la Baie du Prony et l'expression des différentes influences (termes sources) conjuguées aux faibles conditions hydrodynamiques et aux phénomènes de dispersion des apports moindres par rapport aux stations STA et STB situées dans le Canal de la Havannah. • la distribution des éléments dans les différentes fractions géochimiques a montré que Co, Cr, Fe, Mn et Ni sont majoritairement liés aux phases résiduelles (matrice latéritique), voire réductibles (oxy-hydroxydes) et de fait, ne sont pas disponibles pour les organismes vivants ; Mn, par son association à la phase acido-soluble (carbonates), serait potentiellement labile. Seuls, les éléments associés aux fractions résiduelles suivent un gradient « baie-large » ; une décroissance des concentrations de STC vers STA/STB ayant été observée. Dans la phase oxydable (matière organique), seul, le Mn se répartit de manière inégale d'une station à l'autre ; le gradient s'inverse, les concentrations en Mn organique décroissent alors de STA/STB vers STC. • La comparaison de ces teneurs avec celles acquises lors de la campagne triennale en 2021 pour les stations situées dans la Baie du Prony (St16 et St19) montre un gradient décroissant du fond (St16) à la sortie (STC) de cette baie, notamment pour la phase résiduelle (signature des latérites), ainsi mettant en lumière que l'apport en métaux est régi par la distance aux termes sources terrigènes (embouchure du Creek de la Rade Nord) et les phénomènes de dispersion/dilution. En revanche, pour le deuxième gradient, les concentrations résiduelles comparables, voire plus hautes, de la station STB à celles obtenues à la St03 semble indiquer un apport potentiel en matériel minéral véhiculé, soit directement à partir d'un terme source (embouchure), soit indirectement *via* le phénomène de sédimentation et de remise en suspension lié aux conditions hydro-climatiques et/ou l'hydrodynamisme.	

APPROBATION			
FONCTION	**NOMS**	**VISA**	**DATE**
Rédacteurs			30/08/2023
Vérificateur 1			30/08/2023
Approbateur			31/08/2023

EVOLUTION		
VERSION	**DESCRIPTION DES MISES A JOUR**	**DATE**
V1.0	Rapport Final	31/08/2023

COPIE - DIFFUSION	
NOM	**ORGANISME**
	Prony Resources, Département Environnement

Ce rapport est cité comme suit : Kumar-Roiné S., Moreton B., Fernandez JM. 2023. Etat initial de la qualité sédimentologique et géochimique des sédiments marins de surface entre la pointe Méhoué et le Cap N'Doua. 2023. Contrat AEL/PRNC 682-PR-22-P/L57438/000, 25p.

TABLE DES MATIERES

I. INTRODUCTION 7
A. CONTEXTE ET OBJECTIFS 7
II. METHODOLOGIE 8
A. SITE D'ETUDE 8
B. ECHANTILLONNAGE 9
C. PARAMETRES PHYSIQUES, GEOCHIMIQUES ET ANALYSES 9
D. TRAITEMENTS STATISTIQUES 9
III. RESULTATS 10
A. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES SEDIMENTS DE SURFACE 10
B. COMPOSITION GEOCHIMIQUE DES SEDIMENTS DE SURFACE 12
IV. CONCLUSION 19

I. INTRODUCTION

A. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Dans le cadre d'un projet d'optimisation du débit de l'émissaire marin de Prony Resources New Caledonia, la définition de l'état initial du milieu marin est demandée pour examiner les conséquences environnementales de la solution technique envisagée. En effet, cette dernière consisterait à percer 10 orifices supplémentaires localisés sur une section en amont du diffuseur.

Pour rappel, les effluents liquides du site industriel de Prony Resources sont traités puis rejetés en mer dans le canal de la Havannah, au large de la Baie Kwé, via un diffuseur d'un kilomètre de long percé de 200 trous.

Dans le cadre de l'évaluation de l'état initial engagée, le rapport présente les résultats de l'étude géochimique des sédiments qui a été réalisée dans la nouvelle zone de rejet proposée (Figure 1).

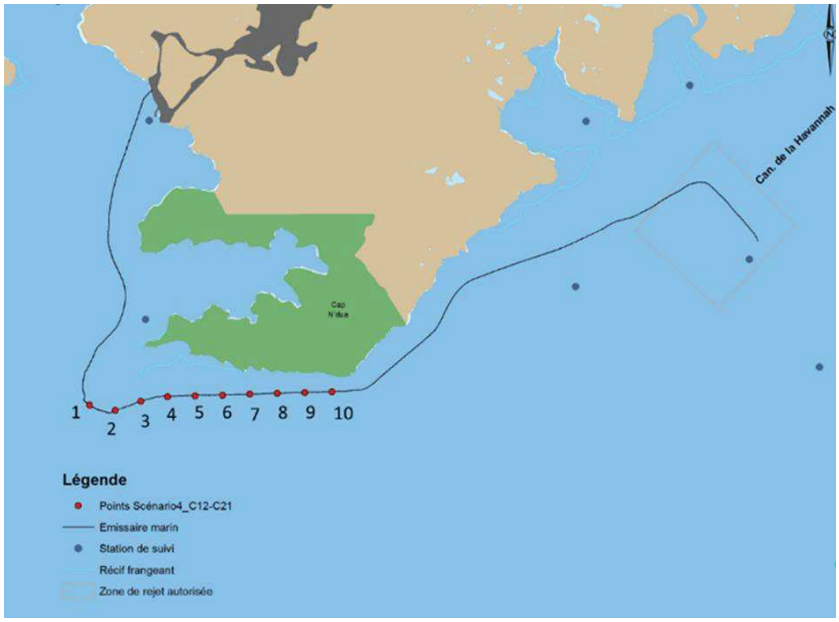


Figure 1 : Carte du tracé du pipe-line et du positionnement des 10 évents supplémentaires simulés (scénario-4) pour l'évacuation des effluents industriels dans le Canal de la Havannah

II. METHODOLOGIE

La méthodologie détaillée des différentes étapes du prélèvement, traitement à l'analyse est décrite dans l'Annexe 1.

A. SITE D'ETUDE

L'échantillonnage a été réalisé sur 3 stations (A, B et C) à bord du Mia (Tableau 1; Figure 2).

Tableau 1 : Coordonnées des stations de prélèvement.

Station	Station au référentiel WGS-84	
	Longitude E	Latitude S
ST A	166° 53,901	22° 23,772
ST B	166° 54,942	22° 23,828
ST C	166° 52,522	-22° 23,708

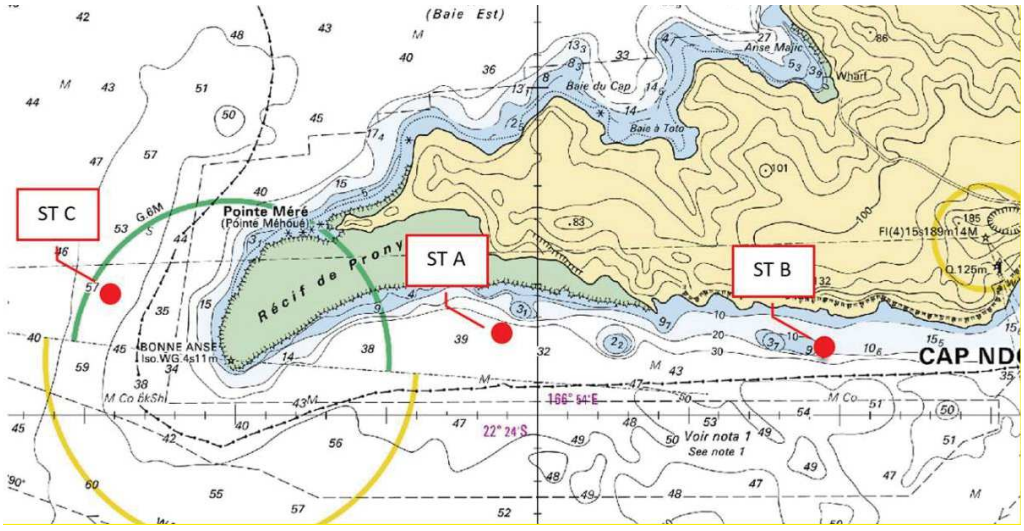


Figure 2 : Localisation géographique de la station de prélèvements pour l'état initial.

***Note** : l'échantillonnage des sédiments de surface a initialement été prévu sur les 2 points de prélèvement des stations « ST A » et « ST B » d'études de la colonne d'eau. Toutefois, la recherche d'une station propice au prélèvement d'une carotte sédimentaire a permis de retenir un troisième point de prélèvement des sédiments de surface dans une zone de moindre énergie hydrodynamique qui favorise la sédimentation des particules fines. Il a donc été décidé de rajouter cette station de prélèvement, nommée « ST C » dans cette étude de caractérisation des sédiments de surface.*

B. ECHANTILLONNAGE

Les opérations de terrain ont été réalisées à bord du Mia au cours de 2 sorties ; 15 juin 2023 et 29 juin 2023. Les prélèvements ont été réalisés avec une benne de type Van-Veen en acier inoxydable (nuance 316 L) ; seule la couche centimétrique de surface a été échantillonnée. Les sédiments ainsi prélevés ont été conditionnés dans des sachets en vinyle à usage unique (Whirl-Pack), référencés et conservés à 4°C jusqu'à la phase de traitement.

Figure 3 : Image de l'échantillon de sédiments de surface collecté à la station ST C par benne Van Veen.

C. PARAMETRES PHYSIQUES, GEOCHIMIQUES ET ANALYSES

Tous les échantillons de sédiment ont été tamisés par voie humide afin de récupérer les fractions pélitiques (particules de Ø < 41 µm). La fraction pélitique est considérée de longue date comme la fraction la plus réactive en matière d'échanges géochimiques avec les métaux (Mayer et Fink, 1979 ; Ackermann, 1980 ; Deely et Fergusson, 1994).

Après tamisage, les fractions pélitiques ont été traitées pour les analyses suivantes :

- Les populations de grains et la minéralogie des particules ;
- Les concentrations en métaux associés aux différentes phases géochimiques du sédiments ;
- Les concentrations totales en métaux latéritiques.

D. TRAITEMENTS STATISTIQUES

L'utilisation des LQ permet de s'assurer du niveau idoine de sensibilité des analyses mais a pour conséquence d'éliminer des données lors des traitements statistiques lorsque les métaux sont en très faibles concentrations. Avec des jeux de données peu denses, les concentrations moyennes sont usuellement alors majorées à la valeur de la LQ. Cette pratique a été adoptée dans cette étude afin de se rapprocher de la réalité, les valeurs en dessous de la LQ sont donc majorées au seuil de limites respectives pour chaque élément.

III.RESULTATS

A.CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES SEDIMENTS DE SURFACE

1. Détermination du pourcentage de fraction pélitique

La composant grossière (Ø > 41 µm) caractérise largement les sédiments de surface prélevés au niveau du Cap N'Doua, quelle que soit la station échantillonnée, (Figure 4). Bien relativement homogène d'une station à l'autre, cette distribution est un peu plus forte la station STB située dans une zone, à la fois fortement exposée aux régimes des Alizés, et aux courants du Canal de la Havannah. Inversement et de manière toute relative, le pourcentage des fractions pélitiques plus faible relevé à la station STA s'explique par sa localisation dans une zone hydro-dynamiquement plus calme où la sédimentation des particules fines y est un peu plus propice.

Ainsi, comparativement aux stations triennales localisées dans le **Canal de la Havannah**, la station STB, bien que située plus près de la ligne de côte (falaise), peut être regroupée avec les stations St02, St05, St09 et St21 soumises aux courants marins forts en raison de leur emplacement le long de l'axe du Canal ; pour ces dernières les pourcentages en pélites étant toujours demeuré à inférieure à 20 %.

.

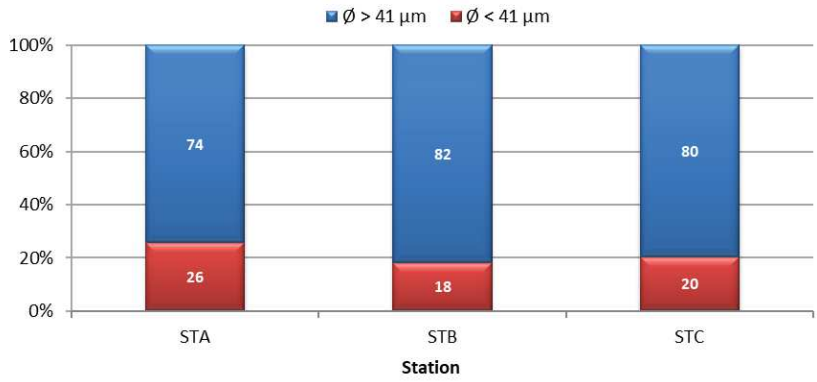


Figure 4 : Pourcentage massique en fractions fines (Ø < 41 µm) et fractions grossières (Ø > 41 µm) des sédiments de surface

2. Granulométrie des particules

Concernant la granulométrie des particules de la fraction pélitique, le mode de Ø < 20 µm) est dominant à la STC (68 % de la composition total). Inversement, aucune répartition claire ne se démarque pour les sédiments provenant des stations STA et STB ; les grains fins et grossiers (mode de Ø > 20 µm) se trouvant en propositions quasi-équivalentes à ces deux stations (Figure 5).

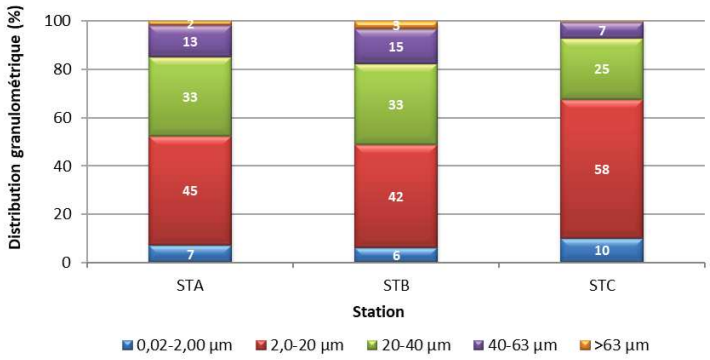


Figure 5 : Distribution granulométrique de la fraction pélitique des sédiments de surface

3. Minéralogie des particules

Présentant de relatives variations attribuées à la localisation des stations, l'Aragonite, la Calcite, la Calcite magnésienne, la Goethite et la Serpentine ont néanmoins toujours été détectées sur l'ensemble des stations (Tableau 2).

Plus en détail, les sédiments prélevés aux trois stations se caractérisent par des spectres de diffraction homogènes pour l'Aragonite, Calcite, Calcite magnésienne, des minéraux d'origine marine omniprésents. Seules des proportions moindres en minéraux terrigènes, dont notamment la Serpentine, minéral caractéristique de l'altération des roches ultrabasiques, distingue la station STB de deux autres. Toutefois, du fait de leur localisation dans des sites de moindre énergie hydrodynamique favorisant l'accumulation des particules fines (Figure 5), on observe aux stations STA et STC, des quantités plus importants en minéraux terrigènes tels que la Serpentine et surtout la Goethite (Tableau 2).

Ces observations confirment d'une part, la dominance des apports marins dans les sédiments à la station STB liés au fort hydrodynamisme du Canal de la Havannah et d'autre part, mettent en évidence, pour minéraux terrigènes, un gradient « baie / large » décroissant (STC > STA > STB).

Tableau 2 : Composition minéralogique de la fraction fine (Ø < 41 µm) des sédiments de surface.

Station	Composition minéralogique (%)					
	Aragonite	Calcite-Ca	Calcite-Mg	Goethite	Serpentine	Autres*
STA	30,0	11,0	38,0	7,5	3,5	10,0
STB	33,0	13,0	42,0	9,5	1,0	1,5
STC	26,5	13,0	37,5	7,5	14,0	1,5
	19,3	***8,0***	***23,5***	***27,5***		***21,7***
	13,2	***5,2***	***17,2***	***30,9***		***6,3***
	68	***65***	***73***	***112***		***29***

*les minéraux terrigènes Quartz, Halite ou Gibbsite ont pu être décelés à la hauteur de 8 % à <1 % de la composition total des sédiments

B. COMPOSITION GEOCHIMIQUE DES SEDIMENTS DE SURFACE

***Note** : pour Cu et Zn, les concentrations obtenues sont très faibles et sont même parfois sous les limites de quantification respectives. Les concentrations pour ces éléments ne seront pas interprétés.*

METAUX TOTAUX

***Rappel** : La concentration en éléments totaux, contenue dans les sédiments prélevés aux différentes stations, résulte de la somme des concentrations des 4 phases géochimiques analysées par extractions séquentielles sélectives menées sur la fraction pélitique des sédiments.*

Les résultats relatifs aux concentrations totales en métaux et en Ca entrant dans la composition de la fraction pélitique des sédiments de surface sont regroupés dans le Tableau 3.

Comme pour l'analyse minéralogique, une quasi-homogénéité spatiale des concentrations est observée. Toutefois, la concentration des métaux entrant dans le cortège latéritique montre quelques variations sensibles. En effet, comparativement aux stations STA et STB, situées dans le Canal de la Havannah, les concentrations les plus fortes en Co, Cr, Fe, Mn et Ni et la plus faible en Ca ont été mesurées à STC. Cette observation conforte les analyses précédentes et, de ce fait, est à mettre en lien, d'une part, avec la localisation de cette station en sortie de la Baie de Prony et, d'autre part, avec l'expression de l'influence terrigène de différents termes sources, conjuguée aux conditions hydrodynamiques et aux phénomènes de dilution des apports aux stations STA et STB, situées dans le Canal de la Havannah.

Tableau 3 : Concentrations totales en Ca, Co, Cr, Fe, Mn et Ni (moyennes, écart-types et valeurs extrêmes) obtenues dans les fractions fines des sédiments de surface.

Station	Concentrations en éléments totaux (mg/kg ps)							
	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
STA	286 279	36,9	1 414	10,8	38 534	335	515	28,4
STB	284 860	34,6	1 423	10,8	38 332	319	512	26,8
STC	278 566	42,1	1 524	10,8	44 631	377	634	30,4
Min	278 566	34,6	1 414	10,8	38 332	319	512	26,8
Max	286 279	42,1	1 524	10,8	44 631	377	634	30,4
Moyenne	283 235	37,9	1 454	10,8	40 499	343	554	28,6
Ecartype	4 105	3,8	61	0,0	3 580	30	70	1,8
CV (%)	1	10	4	0	9	9	13	6

EXTRACTIONS SEQUENTIELLES SELECTIVES ET METAUX BIODISPONIBLES

***Rappel** : compte tenu de la précision demandée en termes d'impact des activités minières dans le milieu marin, l'analyse de la concentration totale des métaux contenus dans les sédiments ne semble pas suffisante puisqu'elle ne fournit qu'une information globale. En effet, cette dernière ne reflète pas une évaluation potentielle des niveaux de biodisponibilité de ces éléments chimiques attribuables aux apports terrigènes. Afin de suivre et/ou de différencier les impacts des sources naturelles et/ou anthropiques, l'analyse des différentes phases géochimiques qui composent le sédiment est amplement préférable. En effet, les métaux associés aux deux*

premières phases géochimiques (oxydable[1] et acido-soluble[2]) fournissent une évaluation des fractions les plus facilement disponibles pour les organismes vivants. Les deux dernières phases (réductible et résiduelle) représentent des fractions dans lesquelles les métaux sont de moins en moins disponibles et peuvent être assimilés à des signatures géochimiques d'apports terrigènes.

Les résultats relatifs aux concentrations en métaux et en Ca selon les phases géochimiques sont regroupés dans le Tableau 4.

La répartition des teneurs en éléments dans les 4 différentes phases géochimiques s'effectue de manière inégale ; les fortes concentrations sont observables principalement dans la phase résiduelle (matrice latéritique) tandis qu'elles sont peu présentes dans la phase acido-soluble (associée aux carbonates) et dans la phase réductible (associée aux oxy-hydroxydes). En revanche, il difficile de mesurer quantitativement de manière précise (concentrations proches, voire inférieures aux LQ respectives) les éléments dans la phase oxydable (associée aux matières organiques) (Tableau 4).

Du point de vue de la distribution relative des niveaux des concentrations des différents éléments mesurés dans les 4 phases, des tendances nettes se dessinent (Tableau 4 et Figure 6). Elles sont les suivantes :

- **Cr, Fe et Ni** sont présents quasi-exclusivement dans la phase résiduelle (cortège des minéraux latéritiques), quelle que soit la station (entre 96 et 99 % de la composition total).
- **Co,** bien que contenu principalement dans la phase résiduelle (81 à 84 % du total), s'associe également à la phase réductible (oxy-hydroxydes ; 10 à 13 % du total) dont la proportion semble évoluer vers une légère hausse à la STC, station la plus influencée par les apports terrigènes. Dans les deux phases reliquats (oxydable et carbonatée), on observe la présence de Co mais en teneurs très faibles (2 à 3 % du total) ;
- **Ca** est très logiquement majoritairement associé à la phase acido-soluble (carbonates ; 59 à 64 % du total) mais des concentrations non négligeables sont mesurées dans la phase réductible (31 à 35 % du total) ; les taux maximaux ayant été relevés aux stations sous une plus forte influence marine, STA et STB ;
- **Mn,** bien qu'il se concentre majoritairement dans la phase résiduelle (56 à 57 % du total), il s'associe également aux phases réductible (16 à 17 % du total) et acido-soluble (23 à 25 % du total) ; la proportion maximale ayant été observé à la STC.

Du point de vue de la distribution absolue des niveaux des concentrations de différents éléments mesurés dans les 4 phases, peu de tendance se dégage entre les trois stations (Tableau 4). En effet, quelle que soit la phase géochimique, les teneurs de Ca et de Co, Cr, Mn et Ni demeurent à des niveaux quantifiables, contrairement au Cu qui demeure toujours en dessous de sa LQ et de Fe et Zn associés à deux premières phases (organique et acido-soluble), seules les teneurs en phase réductible et résiduelle ayant été mesurées.

Par ailleurs, aucun gradient clair ne se dessine entre les teneurs mesurées à STA et STB ; les concentrations restent comparables quelle que soit la phase géochimique. En revanche, un gradient de STC à STA/STB (baie-large) significatif se dégage pour les métaux latéritiques Co, Cr, Fe, et Ni associés à la phase réductible. Dans la phase oxydable (matière organique), seul, le Mn se répartit de manière inégales d'une station à l'autre ; le gradient s'inversant de STA/STB vers STC.

[1] **La phase oxydable** : elle représente la matière organique et les sulfures des sédiments. L'extraction des métaux de cette phase permet de quantifier les éléments les plus labiles, donc disponibles pour les organismes.
[2] **La phase acido-soluble** : elle est composée de la matrice carbonatée du sédiment. Elle contient également des éléments très faiblement liés aux minéraux, mais de disponibilité modérée.

Tableau 4 : Concentrations en Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn (moyennes et écart-types) obtenues dans les fractions fines des sédiments de surface et la distribution des concentrations selon les phases géochimiques (oxydable, acido-souble, réductible et résiduelle) et la phase biodisponible.

Station	Phase oxydable : concentrations en mg/kg ps*							
	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
STA	17 947	1,08	35,7	0,250	2,50	12,9	1,47	1,25
STB	16 526	0,88	36,9	0,250	2,50	8,58	1,57	1,25
STC	14 155	0,94	42,7	0,250	2,50	7,89	1,29	1,25
Moyenne	***16 209***	***0,97***	***38,4***	***0,250***	***2,50***	***9,8***	***1,44***	***1,25***
Ecartype	***1 916***	***0,10***	***3,7***	***0,001***	***0,01***	***2,7***	***0,14***	***0,01***
Distribution (%)	***6***	***3***	***3***	***2***	***0***	***3***	***0***	***4***

Station	Phase acido-soluble : concentrations en mg/kg ps*							
	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
STA	169 714	0,99	2,86	0,250	2,50	77,6	3,05	1,25
STB	168 103	1,05	2,99	0,250	2,50	74,8	3,35	1,25
STC	177 601	1,37	2,95	0,250	2,50	92,5	3,92	1,25
Moyenne	***171 806***	***1,14***	***2,93***	***0,250***	***2,50***	***81,6***	***3,44***	***1,25***
Ecartype	***5 083***	***0,20***	***0,06***	***0,001***	***0,01***	***9,5***	***0,44***	***0,01***
Distribution (%)	***61***	***3***	***0***	***2***	***0***	***24***	***1***	***4***

Station	Phase réductible : concentrations en mg/kg ps*							
	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
STA	97 841	3,67	6,03	0,250	328	53,8	6,29	1,96
STB	99 411	3,68	6,73	0,250	424	52,6	7,06	1,76
STC	86 037	5,53	8,47	0,250	553	64,5	9,72	1,96
Moyenne	***94 430***	***4,30***	***7,1***	***0,250***	***435***	***57,0***	***7,69***	***1,89***
Ecartype	***7 310***	***1,07***	***1,3***	***0,01***	***113***	***6,6***	***1,80***	***0,12***
Distribution (%)	***33***	***11***	***0***	***2***	***1***	***17***	***1***	***7***

Station	Phase résiduelle : concentrations en mg/kg ps*							
	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
STA	776	31,2	1 370	10,0	38 201	191	505	23,9
STB	820	29,0	1 376	10,0	37 903	183	500	22,6
STC	773	34,2	1 470	10,0	44 073	212	619	26,0
Moyenne	***796***	***31,6***	***1 423,3***	***10,0***	***40 987,98***	***197***	***559,60***	***24,28***
Ecartype	***33***	***3,7***	***66,3***	***0,1***	***4 363,21***	***21***	***84,46***	***2,41***
CV (%)	***0***	***83***	***97***	***93***	***99***	***57***	***98***	***85***

Station	Fraction disponsible : concentrations en mg/kg ps**							
	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
STA	187 661	2,07	38,6	0,500	5,00	90,5	4,51	2,50
STB	184 629	1,93	39,9	0,500	5,00	83,4	4,93	2,50
STC	191 755	2,31	45,6	0,500	5,00	100	5,21	2,50
Moyenne	***188 015***	***2,11***	***41,4***	***0,500***	***5,00***	***91,4***	***4,88***	***2,50***
Ecartype	***3 576***	***0,19***	***3,7***	***0,001***	***0,01***	***8,6***	***0,35***	***0,01***
Distribution (%)	***66***	***6***	***3***	***5***	***0***	***27***	***1***	***9***

* pour faciliter la lecture des tendances, les concentrations non quantifiables (**en** rouge) sont majorées à la limite de la quantification

** la phase biodisponible est la somme des concentrations mesurées dans la phase oxydable et la phase acido-soluble

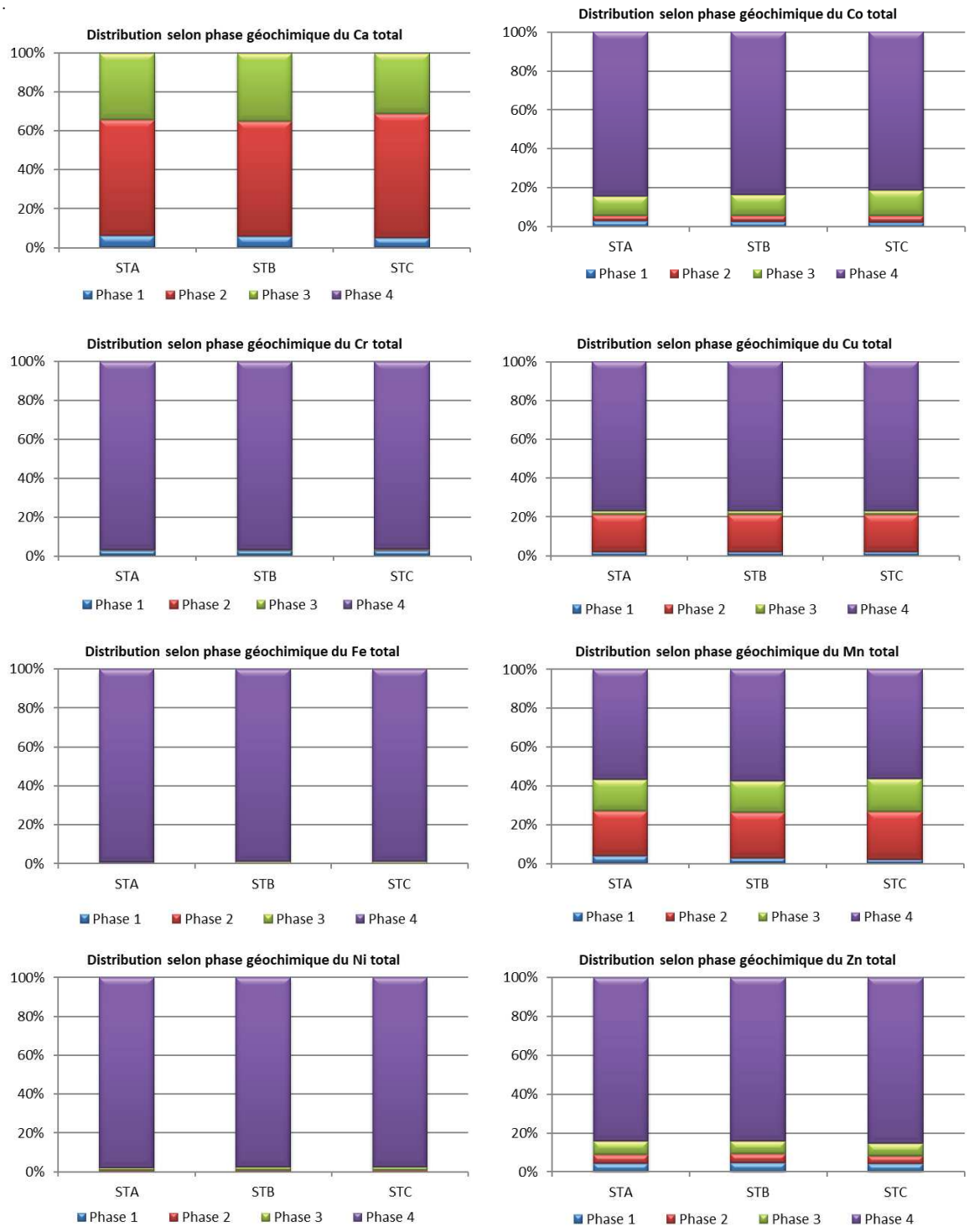


Figure 6 : Distribution des concentrations en Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn dans les fractions pélitiques des sédiments de surface selon les 4 phases géochimiques (oxydable, acido-souble, réductible et résiduelle).

Enfin, les faibles teneurs dans les formes oxydables (matière organique) et acido-solubles (carbonates) renseignent sur les quantités potentiellement biodisponibles pour ces métaux. En effet, toutes stations confondues, la fraction de métal la plus labile/disponible (oxydable + acido-soluble) ne représente, par rapport aux concentrations totales, qu'environ 6 % du Co total, 3 % du Cr total et 1 % du Ni total ; pour Fe le pourcentage est inférieur à l'unité. A l'inverse, les proportions augmentent significativement pour Mn (environ 27 % du total), cet élément serait potentiellement ainsi le plus disponible pour les organismes vivants (Tableau 4).

COMPARAISON DES CONCENTRATIONS EN METAUX AVEC LES VALEURS DES SUIVIS TRIENNAUX

Formant un gradient en partant du fond du baie du Prony à la sortie de celle-ci, les concentrations des principaux traceurs terrigènes (Co, Cr, Fe, Mn et Ni), analysés aux stations St16 et St19 lors de la dernière campagne triennale en 2021, sont comparées à celles acquises pour la présente campagne à la station STC ; (Figure 7).

De la même manière, un deuxième gradient « cote-large » dans l'axe du Canal de la Havannah montre les valeurs obtenues aux stations triennales St07 et St21 comparées à celles requises lors de la présente campagne à la station STB (Figure 8).

Il en ressort de cette étude pour :

- **Baie du Prony** (Figure 7) **:** excepté de la phase oxydable, les concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni mesurées associées aux autres phases géochimiques montrent un gradient décroissant du fond (St16) à la sortie (STC) de cette baie. Bien tracé pour la phase résiduelle, les éléments associés à cette fraction suivent décroissent avec la distance aux termes sources terrigènes (Creek de la Rade Nord…) sous l'effet de la dispersion hydrodynamique et/ de la sédimentation des particules. En comparaison, la répartition des concentrations pour les métaux associés aux phases oxydables (matière organique) et acido-solubles (carbonates) est moins homogène, suggérant ainsi que les apports en Co, Cr, Fe, Mn et Ni ne seraient pas générés par un seul et même terme source direct ou bien qu'ils font l'objet d'une redistribution avec le temps.
- **Canal de la Havannah** (Figure 8) **:** comme dans la Baie du Prony, on observe une répartition spatiale pour les concentrations des métaux latéritiques associées à la fraction résiduelle. Toutefois, ce gradient est moins continu ; les concentrations mesurées à la station STB étant comparables voire, dans le cas du Cr, plus élevées qu'à celles acquises à St03. *A priori*, ces résultats semblent montrer l'existence d'un apport en matériel minéral dans cette zone, véhiculé soit directement à partir d'une source (embouchures), soit indirectement *via* le phénomène de sédimentation et de remise en suspension liés aux conditions hydro-climatiques et à l'hydrodynamisme.

Enfin, pour les fractions considérées comme potentiellement biodisponibles (phases oxydables + acido-solubles), les concentrations obtenues à STB et STC restent comparables voire inférieures à celles obtenues aux stations du suivi triennales quels que soit les métaux considérés (Figure 7 et Figure 8).

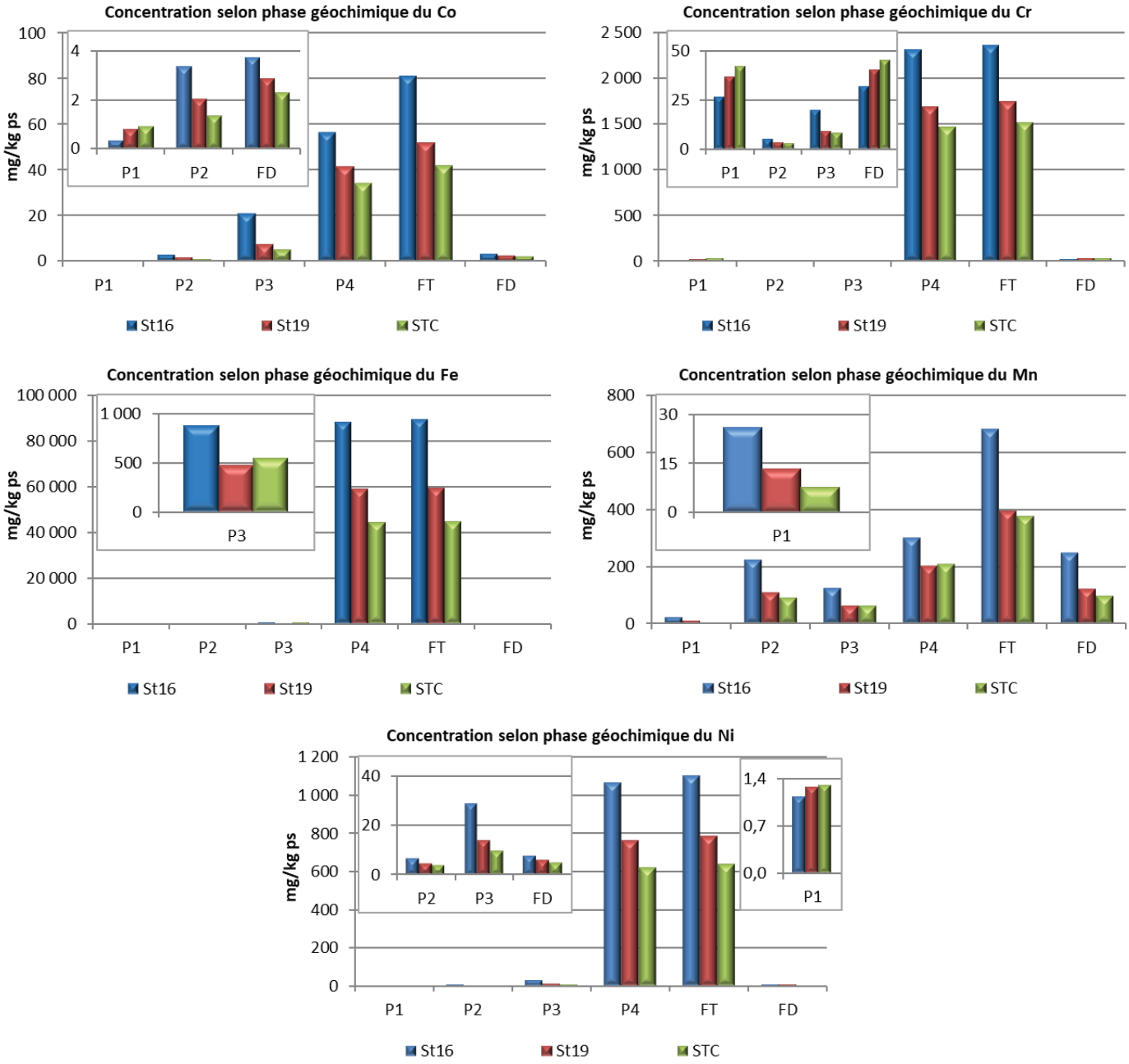


Figure 7: Evolution comparative des concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni totales (FT) et biodisponibles (FD) ainsi que celles associées aux différentes fractions géochimiques (P1, P2, P3 et P4) mesurées dans les pélitiques de la station STC (2023), avec celles des stations sentinelles St16 et St19 (2021) ; (P1 : Phase oxydable ; P2 : Phase acido-soluble ; P3 : Phase réductible ; P4 : Résiduelle ; FT : Fraction totale ; FD : Fraction biodisponible).

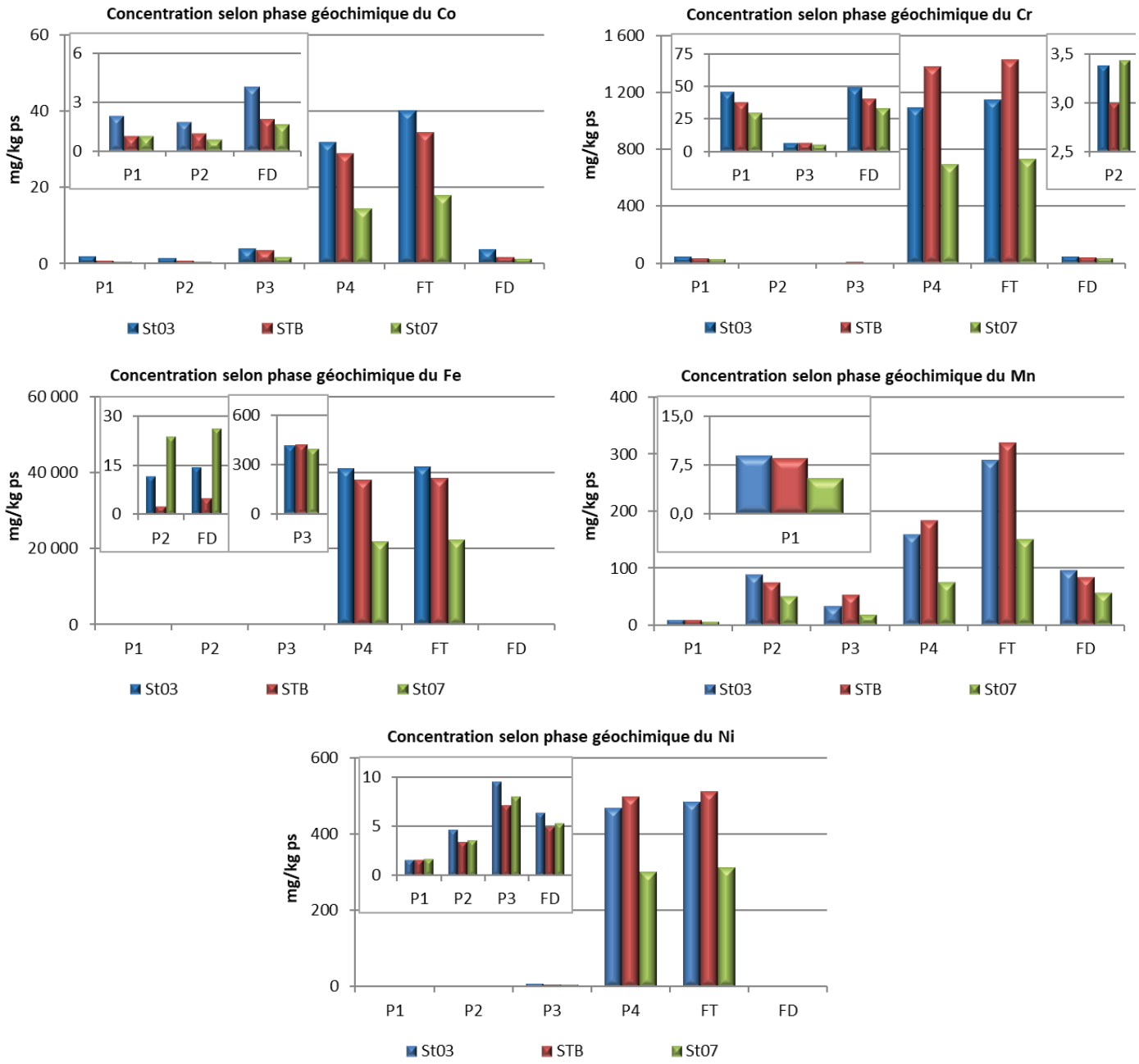


Figure 8: Evolution comparative des concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni totales (FT) et biodisponibles (FD) ainsi que celles associées aux différentes fractions géochimiques (P1, P2, P3 et P4) mesurées dans les pélitiques de la station STC (2023), avec celles des stations sentinelles St03 et St07 (2021) ; (P1 : Phase oxydable ; P2 : Phase acido-soluble ; P3 : Phase réductible ; P4 : Résiduelle ; FT : Fraction totale ; FD : Fraction biodisponible).

IV.CONCLUSION

A l'issue de cette campagne de définition de l'état initial de la qualité des sédiments de surface, les principales observations à retenir sont :

- la prépondérance de la fraction pélitique et des minéraux carbonatés (Calcite et Aragonite) est manifeste dans la composition les sédiments prélevés aux stations STA, STB et STC. Cependant, la composante terrigène (Goethite et Serpentine) devient décelable aux stations STA et STC, ces stations, étant proches de la côte ou plus abritées des conditions de fort hydrodynamisme, par rapport à la station STB, sont relativement plus enclin à la sédimentation des particules fines terrigènes.
- les concentrations totales en Co, Cr, Fe, Mn et Ni (éléments représentatifs du cortège latéritique) sont bien plus importantes que celles de Cu et Zn qui comparativement se retrouvent à l'état de traces. Pour ces métaux latéritiques, une distribution décroissante des concentrations de STC vers STA/STB est observée. Cette distribution peut être mise en relation avec la localisation de la station STC en sortie de la Baie du Prony et l'expression des différentes influences (termes sources) conjuguées aux faibles conditions hydrodynamiques et aux phénomènes de dispersion des apports moindres par rapport aux stations STA et STB situées dans le Canal de la Havannah.
- la distribution des éléments dans les différentes fractions géochimiques a montré que Co, Cr, Fe, Mn et Ni sont majoritairement liés aux phases résiduelles (matrice latéritique), voire réductibles (oxy-hydroxydes) et de fait, ne sont pas disponibles pour les organismes vivants ; Mn, par son association à la phase acido-soluble (carbonates), serait potentiellement labile. Seuls, les éléments associés aux fractions résiduelles suivent un gradient « baie-large » ; une décroissance des concentrations de STC vers STA/STB ayant été observée. Dans la phase oxydable (matière organique), seul, le Mn se répartit de manière inégale d'une station à l'autre ; le gradient s'inverse, les concentrations en Mn organique décroissent alors de STA/STB vers STC.
- La comparaison de ces teneurs avec celles acquises lors de la campagne triennale en 2021 pour les stations situées dans la Baie du Prony (St16 et St19) montre un gradient décroissant du fond (St16) à la sortie (STC) de cette baie, notamment pour la phase résiduelle (signature des latérites), ainsi mettant en lumière que l'apport en métaux est régi par la distance aux termes sources terrigènes (embouchure du Creek de la Rade Nord) et les phénomènes de dispersion/dilution. En revanche, pour le deuxième gradient, les concentrations résiduelles comparables, voire plus hautes, de la station STB à celles obtenues à la St03 semble indiquer un apport potentiel en matériel minéral véhiculé, soit directement à partir d'un terme source (embouchure), soit indirectement *via* le phénomène de sédimentation et de remise en suspension lié aux conditions hydro-climatiques et/ou l'hydrodynamisme.

REFERENCES

Ackermann F, 1980. A procedure for correcting the grain size effect in heavy metal analyses of estuarine and coastal sediments. Environment Technology Letters 1, pp 518–527.

Beliaeff B, Bouvet G, Fernandez JM, David C, Laugier T, 2011. Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT « Le nickel et son environnement », 169p.

Deely, JM, Fergusson, JE, 1994. Heavy metal and organic matter concentrations and distribution in dated sediments of a small estuary adjacent to a small urban area. Science of the Total Environment, 153, pp 97–111.

Derex P, Douillet P, Le Gendre R, 2008. Modélisation et simulation du transport des formes dissoutes et particulaires. Modèle de transport. Simulation annuelle du rejet. Convention IRD/Goro-Nickel n°1124, 196p.

Douillet P. et Fernandez JM, 2009. Modélisation et simulation du transport des formes dissoutes et particulaires. Simulation annuelle de la sédimentation des particules naturelles en contact avec l'effluent. Convention IRD/Goro-Nickel n°1124, 55p.

Fernandez JM, et Drouzy M, 2020. Evolution sédimentologique et géochimique des sédiments marins de surface. Rapport de synthèse 2010-2018. Contrat AEL/Vale-NC 386-VI-20-P/PO L35746, 32p.

Fernandez JM, Moreton B, Gerard P, Belhandouz A, Fichez R, 2006. Etat de référence : qualité physico-chimique des eaux et niveaux de concentration des métaux dans les sédiments. Convention IRD/Goro-Nicket n°9135 A0, 79p.

Fernandez JM, Moreton B, Dolbecq M, 2010. Suivi sédimentologique triennal 2009 : distribution des métaux dans les sédiments de surface et taux d'accumulation en St133 (Ile Ouen). Convention IRD/Vale-INCO n°2285, 44p.

Fernandez JM, Moreton B, Le Grand H, 2013. Quanlité physico-chimique des sédiments marines : suivi réglémentaire triennal 2012. Contrat Vale-NC/AEL n° E45538, 56p.

Mayer LM, Fink LK, 1979. Granulometric control of chromium accumulation in estuarine sediments in Maine. Estuarine and Coastal Marine Science, 11, pp 491–503.

Tessier A, Campbell PGC, Bisson M, 1979. Sequential procedure for the speciation of particulate trace metals. Analytical Chemistry, 51, pp. 844-851.

Quevauvillier P., Rauretb G., Jtipez-Sanchez F., Rubiob R., Ure A., Muntaud H. 1997. Certification of trace metal extractable contents in a sediment reference material (CRM 601) following a three-step sequential extraction procedure. *Science of the Total Environment*, 205 : 223- 234.

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : CARTE DU TRACE DU PIPE-LINE ET DU POSITIONNEMENT DES 10 EVENTS SUPPLEMENTAIRES SIMULES (SCENARIO-4) POUR L'EVACUATION DES EFFLUENTS INDUSTRIELS DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH 7

FIGURE 2 : LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DE LA STATION DE PRELEVEMENTS POUR L'ETAT INITIAL. 8

FIGURE 3 : IMAGE DE L'ECHANTILLON DE SEDIMENTS DE SURFACE COLLECTE A LA STATION ST C PAR BENNE VAN VEEN. 9

FIGURE 4 : POURCENTAGE MASSIQUE EN FRACTIONS FINES (Ø < 41 MM) ET FRACTIONS GROSSIERES (Ø > 41 MM) DES SEDIMENTS DE SURFACE 10

FIGURE 5 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DE LA FRACTION PELITIQUE DES SEDIMENTS DE SURFACE 11

FIGURE 6 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CA, CO, CR, CU, FE, MN, NI ET ZN DANS LES FRACTIONS PELITIQUES DES SEDIMENTS DE SURFACE SELON LES 4 PHASES GEOCHIMIQUES (OXYDABLE, ACIDO-SOUBLE, REDUCTIBLE ET RESIDUELLE). 15

FIGURE 7: EVOLUTION COMPARATIVE DES CONCENTRATIONS EN CO, CR, FE, MN ET NI TOTALES (FT) ET BIODISPONIBLES (FD) AINSI QUE CELLES ASSOCIEES AUX DIFFERENTES FRACTIONS GEOCHIMIQUES (P1, P2, P3 ET P4) MESUREES DANS LES PELITIQUES DE LA STATION STC (2023), AVEC CELLES DES STATIONS SENTINELLES ST16 ET ST19 (2021) ; (P1 : PHASE OXYDABLE ; P2 : PHASE ACIDO-SOLUBLE ; P3 : PHASE REDUCTIBLE ; P4 : RESIDUELLE ; FT : FRACTION TOTALE ; FD : FRACTION BIODISPONIBLE). 17

FIGURE 8: EVOLUTION COMPARATIVE DES CONCENTRATIONS EN CO, CR, FE, MN ET NI TOTALES (FT) ET BIODISPONIBLES (FD) AINSI QUE CELLES ASSOCIEES AUX DIFFERENTES FRACTIONS GEOCHIMIQUES (P1, P2, P3 ET P4) MESUREES DANS LES PELITIQUES DE LA STATION STC (2023), AVEC CELLES DES STATIONS SENTINELLES ST03 ET ST07 (2021) ; (P1 : PHASE OXYDABLE ; P2 : PHASE ACIDO-SOLUBLE ; P3 : PHASE REDUCTIBLE ; P4 : RESIDUELLE ; FT : FRACTION TOTALE ; FD : FRACTION BIODISPONIBLE). 18

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : COORDONNEES DES STATIONS DE PRELEVEMENT. 8
TABLEAU 2 : COMPOSITION MINERALOGIQUE DE LA FRACTION FINE (Ø < 41 µM) DES SEDIMENTS DE SURFACE. 11
TABLEAU 3 : CONCENTRATIONS TOTALES EN CA, CO, CR, FE, MN ET NI (MOYENNES, ECART-TYPES ET VALEURS EXTREMES) OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES DES SEDIMENTS DE SURFACE. 12
TABLEAU 4 : CONCENTRATIONS EN CA, CO, CR, CU, FE, MN, NI ET ZN (MOYENNES ET ECART-TYPES) OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES DES SEDIMENTS DE SURFACE ET LA DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS SELON LES PHASES GEOCHIMIQUES (OXYDABLE, ACIDO-SOUBLE, REDUCTIBLE ET RESIDUELLE) ET LA PHASE BIODISPONIBLE. 14

ANNEXE 1

METHODOLOGIE

GRANULOMETRIE

L'étude de la distribution des populations de particules fines (silts et argiles) est réalisée sur les échantillons de fraction fine (Ø < 41 µm) par granulométrie laser (Malvern master Sizer 2000). La granulométrie laser est réalisée à l'Université de Nouvelle-Calédonie.

MINERALOGIE (DRX)

Les déterminations minéralogiques sont effectuées par diffraction de rayons X (DRX) sur les échantillons de fraction fine (Ø < 41 µm). Cette analyse a été confiée à l'Université de Nouvelle-Calédonie.

DOSAGE DE LA CONCENTRATION TOTALE DES METAUX

La concentration totale des éléments, contenue dans les échantillons, a été déterminée par l'addition des concentrations analysées lors des extractions séquentielles sélectives menées sur la fraction pélitique des sédiments (voir protocole « *dosage des métaux dans les phases géochimiques* »).

DOSAGE DES METAUX DANS LES PHASES GEOCHIMIQUES

Les étapes d'extractions séquentielles ont été conduites avec un protocole modifié de type Tessier *et al.,* 1979 et Quevauvillier et al., 1997 comprenant 4 phases géochimiques. Cette méthode d'extraction est adaptée aux milieux carbonatés.

Pour chaque échantillon, 2 g de pélites ont été nécessaires pour extraire les métaux des 4 phases géochimiques qui sont :

- ***La phase oxydable (Phase 1)*** **:** Cette fraction représente les éléments liés à la matière organique et aux sulfures des sédiments. Leur extraction est conduite par un oxydant fort (H_2O_2) en milieu acide ;
- ***La phase acido-soluble (Phase 2)*** **:** C'est une fraction facilement solubilisable par l'utilisation d'un acide faible tamponné (CH_3COOH/CH_3COONH_4) qui attaque en particulier la matrice carbonatée du sédiment. Elle contient également des éléments très faiblement liés aux autres phases géochimiques ;
- ***Formes réductibles (Phase 3) :*** Elles sont associées aux oxy-hydroxydes de fer et de manganèse principalement. Leur extraction s'opère avec un agent réducteur puissant (NH_2OH, HCl) en milieu faiblement acide ;
- ***La phase résiduelle (Phase 4)*** **:** Elle représente les éléments fortement liés aux constituants de la matière minérale tels que les silicates et aluminosilicates. L'analyse des métaux réfractaires a été conduite après attaque de la matrice géochimique par fusion alcaline, selon le protocole en vigueur à l'IRD. Brièvement, il s'agit de faire réagir du tétraborate de lithium et du sédiment à haute température (1100°C) puis, après refroidissement partiel, de dissoudre les billes d'amalgame formées dans une solution acide (HCl).

Tous les réactifs utilisés sont de marque Merck, qualité ProAnalysis. Les béchers et ustensiles sont soit en verre, PEHD ou en Teflon®.

Après une mise en solution, les huit éléments suivants ont été analysés par ICP-OES : Ca, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni et Zn.

Après conversion des données en concentrations relatives, les limites de quantification (LQ en mg/kg MS) des métaux sont les suivantes :

Elément	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Phase 1, 2 et 3 (mg/kg ps)	10	0,250	0,500	0,250	2,50	0,250	0,500	1,25
Phase 4 (mg/kg ps)	20	10	20	10	-	10	10	200

TRAITEMENTS STATISTIQUES

L'usage des LQ permet de s'assurer du niveau de sensibilité des analyses mais a pour conséquence d'éliminer des données lors des traitements statistiques lorsque les métaux sont en très faibles concentrations. Avec des jeux de données peu denses, les concentrations moyennes sont alors artificiellement majorées. Dans cette étude, afin de se rapprocher de la réalité, les valeurs en dessous de la LQ sont majorées au seuil de limites respectives pour chaque élément.

ANNEXE 5 : Etat initial de la qualité géochimique des sédiments entre la pointe Méhoué et le Cap N'Dua

ETAT INITIAL DE LA QUALITE GEOCHIMIQUE DES SEDIMENTS ENTRE LA POINTE MEHOUE ET LE CAP N'DOUA

CAROTTAGE A LA STATION ST-D

« Chimie de l'environnement et Modélisation hydrodynamique »

Photos de couverture AEL : Observations au microscope optique des fractions Ø > 40 µm

CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL-LEA

Contrat n° 682-PR-23-P

Etat initial de la qualité des sédiments entre la pointe Méhoué et le Cap N'Doua

---

Carottage à la station St-D

Août 2023

Nombre de pages : 24

	Ref AEL	Ref Client
Identification	682-PR-23-P	PO L57438/0001
Titre complet	Etat initial de la qualité des sédiments entre la pointe Méhoué et le Cap N'Doua. Carottage à la station St-D	
Auteurs		
Résumé	Le présent travail vise à définir un état initial des sédiments déposés dans la zone côtière délimitant l'entrée de la Baie de Prony. Une carotte sédimentaire a été étudiée en utilisant les différentes approches géochimiques usuelles : mesures de la granulométrie, détermination de carbonates, analyses élémentaires et étude de minéralogie. Les analyses géochimiques et minéralogiques conduites sur la fraction fine ont permis de distinguer les différentes sources d'éléments, terrigènes et marines Les profils de composition élémentaire ont montré peu de variations. Ces résultats laissent supposer que l'origine des sédiments demeurent relativement constante au fil du temps. Toutefois, des fluctuations sont perceptibles dans la distribution de la taille des particules qui varie sensiblement le long du profil. Probablement, cette modification de la composition est à relier avec l'hydrodynamique régionale et aux conditions hydro-climatiques, en général, qui ont prévalu et qui sont les moteurs de l'alimentation en matériau sédimentaire terrigène. La comparaison des résultats avec d'autres carottes sédimentaires prélevées dans la région, indique que les caractéristiques géochimiques (composition élémentaire) semblent être régies par la distance relative aux sources terrigènes.	

APPROBATION			
FONCTION	**NOMS**	**VISA**	**DATE**
Rédacteur			18/08/2023
Vérificateur 1			20/08/2023
Approbateur			24/08/2023

EVOLUTION		
VERSION	**DESCRIPTION DES MISES A JOUR**	**DATE**
V1.0	Rapport initial	24/08/2023
V1.1	Rapport corrigé	26/08/2023
V1.2	Rapport corrigé	28/08/2023

COPIE - DIFFUSION	
NOM	**ORGANISME**
	Prony Ressources, Département Environnement

Ce rapport est cité comme suit : Fernandez JM. 2023. Etat initial de la qualité des sédiments entre la pointe Méhoué et le Cap N'Doua. Carottage à la station St-D. Aout 2023. Contrat AEL/nom Client n°682-PR-23-P. 24p.

TABLE DES MATIERES

I. CONTEXTE ET OBJECTIFS 5
II. METHODOLOGIE 6
A. SITE D'ETUDE ET ECHANTILLONNAGE 6
B. ECHANTILLONNAGE 7
III. RESULTATS 8
A. GRANULOMETRIE DES PARTICULES 8
B. MINERALOGIE DES SEDIMENTS 9
C. COMPOSITION GEOCHIMIQUE DES SEDIMENTS 10
IV. MISE EN CONTEXTE/INTERPRETATION 12
A. COMPARAISON SEDIMENTOLOGIQUE 13
B. COMPARAISON GEOCHIMIQUE DES SEDIMENTS 13
V. CONCLUSION 15

I. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Dans le cadre d'un projet d'optimisation du débit de l'émissaire marin de Prony Resources New Caledonia, la définition de l'état initial du milieu marin est demandée pour examiner les conséquences environnementales de la solution technique envisagée. En effet, cette dernière consisterait à percer 10 orifices supplémentaires localisés sur une section en amont du diffuseur.

Pour rappel, les effluents liquides du site industriel de Prony Resources sont traités puis rejetés en mer dans le canal de la Havannah, au large de la Baie Kwé, via un diffuseur d'un kilomètre de long percé de 200 trous.

Dans le cadre de l'évaluation de l'état initial engagée, le rapport présente les résultats de l'étude géochimique des sédiments qui a été réalisée dans la nouvelle zone de rejet proposée.

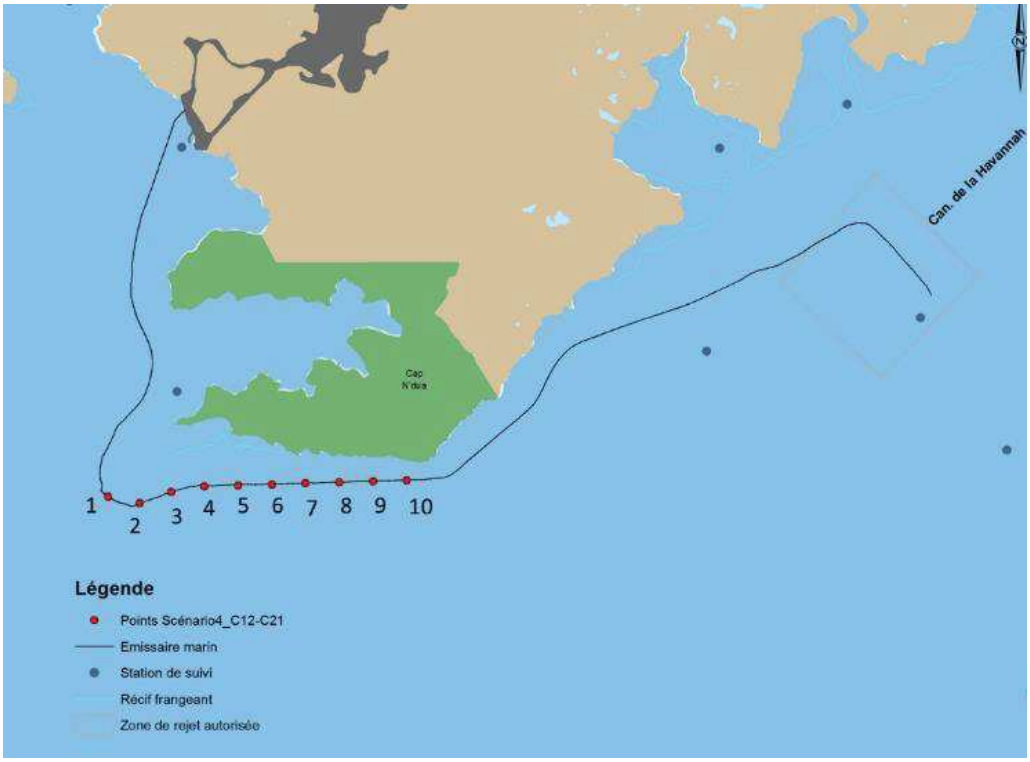


Figure 1 : Carte du tracé du pipe-line et du positionnement des 10 évents supplémentaires simulés (scénario-4) pour l'évacuation des effluents industriels dans le Canal de la Havannah.

II. METHODOLOGIE

A. SITE D'ETUDE ET ECHANTILLONNAGE

Les opérations de terrain ont été réalisées sur les 4 stations le 29 juin 2023 à bord du Mia, 3 pour les sédiments de surface (St-A, St-B et St-C) et 1 pour le carottage (St-D).

Lors de cette mission, il a dû être recherché un site favorable au carottage composés de sédiments fins meubles. Cette stratégie a conduit à réaliser, dans une zone profonde à l'entrée de la baie de Prony, un quadrillage exploratoire de prélèvements de sédiments de surface à l'aide d'une benne de type Van-Veen, facilement manipulable. Les premiers échantillons se sont révélés être majoritairement de nature sableuse, ce n'est qu'au terme de plusieurs tentatives qu'une mince couche sablo-vaseuse été décelée.

Le carottage a enfin pu être réalisé (St-D) sur cette mince couverture sédimentaire localisée dans la zone potentielle de dispersion de l'effluent (Tableau 1 ; Figure 2). Cette carotte est cependant de longueur modeste (14 cm).

Tableau 1 : Coordonnées de la station de prélèvement par carottage.

Station	Station au référentiel WGS-84	
	Longitude E	Latitude S
ST D	166° 52,682	-22° 23,483

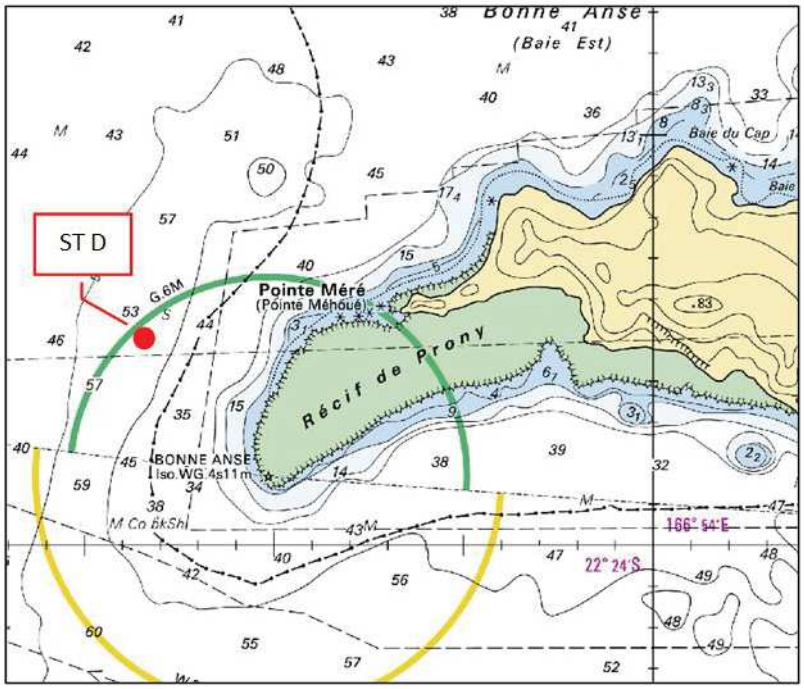


Figure 2 : Localisation géographique de la station du carottage pour l'état initial

B. ECHANTILLONNAGE

L'extraction de la carotte sédimentaire a été assurée avec un « carottier–tube » qui permet de sous-échantillonner des horizons (couches) d'épaisseur centimétrique nécessaires aux déterminations géochimiques et sédimentologiques de l'étude. En raison de la fluidité des couches meubles, la collecte de la carotte sédimentaire s'est avérée difficile, nécessitant l'utilisation d'un tube de diamètre réduit (60 mm) pour l'opération de carottage

Dès le retour au laboratoire, la carotte d'une longueur 14 cm a pu être traitée (Figure 3). Maintenue en position verticale dès son extraction du plancher marin, la carotte a été découpée intégralement en 14 différents horizons d'épaisseur centimétrique. Les échantillons ont ensuite été conditionnés dans des sachets en vinyle à usage unique et conservés au frais (4°C) jusqu'à la phase de traitement pour les différentes analyses.

La quantité de sédiment récupérée par horizon a été faible et donc insuffisante pour réaliser l'ensemble des analyses prévues initialement. Ainsi, il a été impossible de réaliser la datation utilisée pour déterminer le taux d'accumulation par manque de matière.

Figure 3 : Carotte extraite dans son tube en Plexiglas et vision de l'état de conservation de l'interface sédimentaire.

III. RESULTATS

A. POURCENTAGE EN FRACTION PELITIQUE ET GRANULOMETRIE DES PARTICULES

Les valeurs des paramètres granulométriques (composition en pélites, distribution des populations de particules) sont regroupées dans l'Annexe 2.

Concernant la fraction fine (<40 µm), les pourcentages varient de manière significative sur les 14 cm de profondeur du carottage sédimentaire (Figure 4). Le pourcentage de fraction fine le plus élevé a été observé dans le premier centimètre de la carotte (66 %), tandis que la plus faible fraction de matériau fin se trouve dans l'horizon 6-7 cm (23,1 %).

Le pourcentage de matériau fin (pélites) diminue régulièrement depuis l'interface jusqu'à une profondeur de 6 à 7 cm, pour ensuite se maintenir relativement stable, oscillant entre 23,6 % et 28,8 % sur une plage de 5 cm, avant d'augmenter progressivement sur les trois derniers centimètres. Dans l'échantillon le plus profond (13-14 cm), 39,8 % de la fraction de la population granulométrique était de diamètre inférieur à 40 µm.

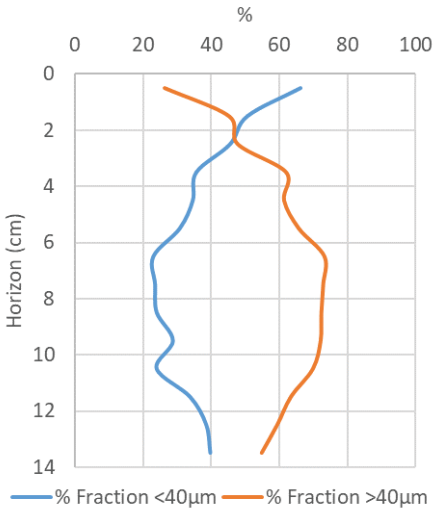


Figure 4 : Évolution du pourcentage en fractions pélitiques (Ø<40 µm) et fraction grossière (Ø>40 µm) le long des 14 centimètres de la carotte.

Concernant la fraction fine (Ø < 40 µm) des quatre horizons sédimentaires analysés, on observe des différences significatives en termes de distributions granulométriques des particules (Figure 5). Les horizons situés à 1-2 cm et 13-14 cm de profondeur présentent des quantités plus élevées de particules inférieures à 20 µm, avec respectivement 66,3 % et 68,6 %.

En revanche, les horizons intermédiaires de la carotte (4-5 cm et 8-9 cm) ne contiennent que 49,1 % et 45,8 % de particules dans la fraction inférieure à 20 µm. Ces résultats indiquent une variation importante de la fraction fine à différentes profondeurs du sédiment analysé et donc des mécanismes d'apports liés à l'hydrodynamisme.

L'observation des 4 fractions grossières (Ø>40 µm) au microscope optique conforte la tendance décrite par les compositions en fractions fines étudiées (Figure 6). En effet, les débris carbonatés présents dans les horizons intermédiaires (4-5 cm et 8-9 cm) semblent être de taille plus importante que dans les autres horizons. Dans les horizons de surface (0-1 cm) et fond (13-14 cm), les débris sont résultat d'un tri hydrodynamique de moindre intensité. Il faut cependant noter que la nature des sédiments de surface et de fond est visuellement très différente l'une de l'autres.

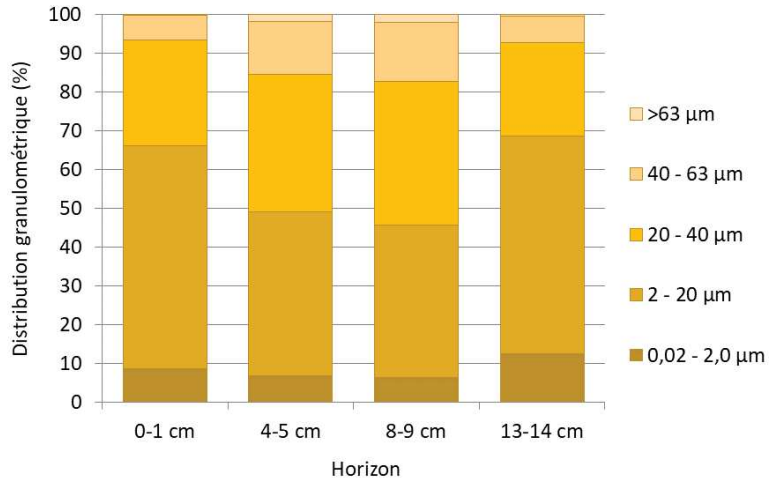


Figure 5 : Distribution granulométrique en pourcentage volumique pour les horizons 0-1 cm, 4-5 cm, 8-9 cm et 13-14 cm de la carotte.

Figure 6 : Observations au microscope optique des fractions grossières (Ø > 40 µm) des 4 horizons de la carotte (Grossissement X16).

B. MINERALOGIE DES SEDIMENTS

Les teneurs en carbonates ($CaCO_3$ et $MgCO_3$) dans la fraction fine (Ø < 41 µm) sont restées relativement stables sur toute la longueur de la carotte, variant entre un minimum de 68 % (horizon 9-10 cm) et un maximum de 76 %, valeurs enregistrées aux horizons 4-5 cm, 7-8 cm et 11-12 cm (Figure 7). Les concentrations moyennes globales en carbonates s'élevaient à 74 ± 3 %, confirmant que l'origine marine demeure dominante.

Les sédiments de cette carotte sont donc principalement composés de phases débris résultant à la fois de l'activité biologique marine et de l'altération mécanique des récifs coralliens. L'Aragonite et la Calcite représentent ensemble entre 70 % et 75 % des minéraux observés dans la fraction fine (Tableau 2). En revanche, les minéraux terrigènes tels que la Goethite (traceur des apports terrigènes) sont moins abondants, mais comptent entre 8 % (horizon 0-1 cm) et 4 % (horizon 13-14 cm) de la fraction

<40 µm, indiquant que des changements relativement récents dans le nature et l'origine des apports se sont produits.

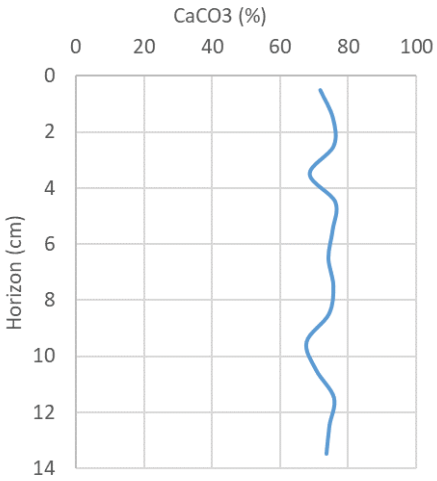


Figure 7 : Teneurs en carbonates de calcium ($CaCO_3$) dans les sédiments de la carotte.

Tableau 2 : Composition minéralogique des 4 horizons de la carotte. Pourcentages en phases marines biogènes (Aragonite et Calcite) et terrigènes (Goethite).

Horizon	Composition minéralogique (%)					
	Calcite-Ca	Calcite-Mg	Aragonite	Goethite	Quartz	Autres
0-1 cm	11	38	26	8	6	10
4-5 cm	10	35	27	7	16	6
8-9 cm	11	37	28	6	9	8
13-14 cm	10	35	25	4	16	10

C. COMPOSITION GEOCHIMIQUE DES SEDIMENTS

Les valeurs des paramètres géochimiques (Ca, Co, Cr, Fe, Mn et Ni) sont regroupées dans l'Annexe 2.

De façon générale, les sédiments de cette station ne montrent pas de dispersions importantes des concentrations le long de la carotte (Figure 8) pour les éléments Ca, Co, Cr, Fe et Ni ; les coefficients de variation allant de 4 à 9% pour Ca et Co, respectivement, alors que pour le Mn il était légèrement plus élevé (19 %) en raison d'une concentration plus faible observée dans l'horizon de 2 à 3 cm.

En l'absence de datation (radioactivité du Pb-210), il est impossible de déterminer si les horizons qui composent la carotte sont issus d'une sédimentation continue ou si leur formation est le produit de perturbations mécaniques et/ou biologiques conduisant à une homogénéisation des populations de particules. Cependant, les coefficients inter-éléments élevés de la matrice de similarités/dissimilarités (Tableau 3) entre le Fe et Ni (source terrigène) suggèrent que la carotte est très certainement constituée d'une fraction sédimentaire provenant d'une même source terrigène, diluée avec une source marine, dont la variabilité de composition géochimique est faible. Toutefois, les coefficients de corrélation particulièrement forts entre Ca/Fe et Ca/Ni soulignent qu'aucune alternance entres les influences marines et terrigènes n'arrive à se mettre en place systématiquement.

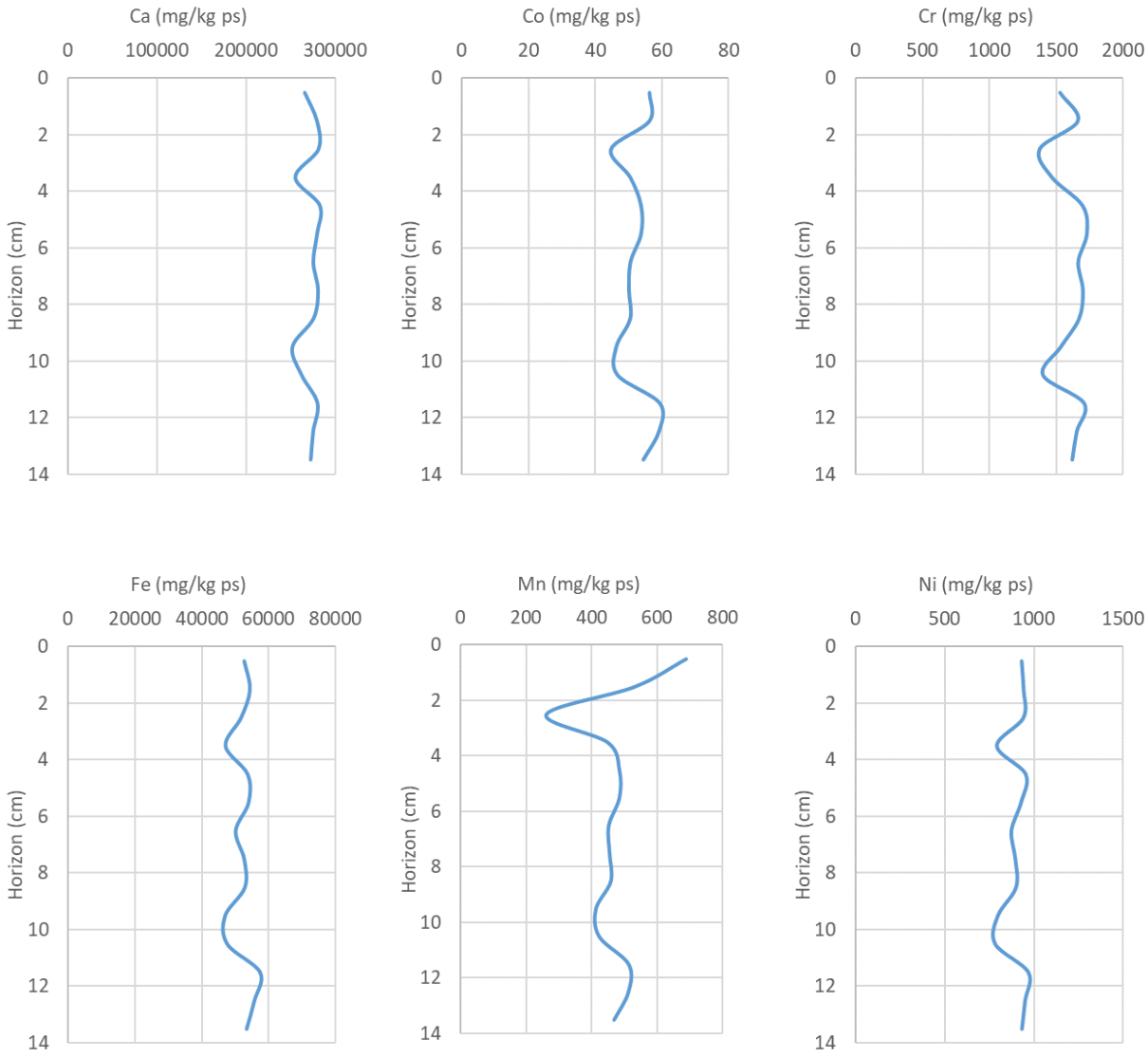


Figure 8 : Profils de concentrations de Ca, Co, Cr, Fe, Mn et Ni dans les sédiments de la carotte.

	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ca	1	0,36	0,57	0,79	-0,03	0,83
Co		1	0,63	**0,79**	**0,75**	0,66
Cr			1	0,67	0,42	0,54
Fe				1	0,38	**0,94**
Mn					1	0,28
Ni						1

Tableau 3 : Matrice de similarité/dissimilarité (corrélation de Pearson) pour les concentrations en métaux et calcium dans les sédiments de la carotte.

IV. MISE EN CONTEXTE/INTERPRETATION

Bien qu'une comparaison temporelle de cette carotte sédimentaire ne soit pas possible, les résultats seront exploités dans le contexte local avec les carottes sédimentaires des deux stations ST16 et ST13-3 prélevées en 2020 (Figure 9).

Station ST16 (Zone d'influence de l'usine de valorisation du minerai) : Cette station est située devant le port de commerce de Prony Resources. Elle permet de suivre les taux de sédimentation qui seraient induits par le site industriel.

Station ST13-3 (Zone hors périmètre de l'influence directe du complexe minier) : Il s'agit d'une station éloignée, localisée au large de l'Île Ouen. Les influences sont principalement océaniques avec de très fortes modifications temporaires dans les régimes sédimentaires. Cette station a été intégrée dans le réseau de suivi en 2009 (Fernandez et al., 2009).

Les carottes sédimentaires sont prélevées à ces deux stations tous les trois ans, conformément aux dispositions définies dans les arrêtés ICPE 2007 et 2008 concernant l'autorisation d'exploitation des installations industrielles et portuaires de la Province Sud.

Les stations ST16 et ST13-3 sont situées approximativement à 4,5 km au nord-nord-est et à 1,75 km au sud-sud-ouest de la carotte ST-D prélevée lors de cette campagne de définition de l'Etat Initial.

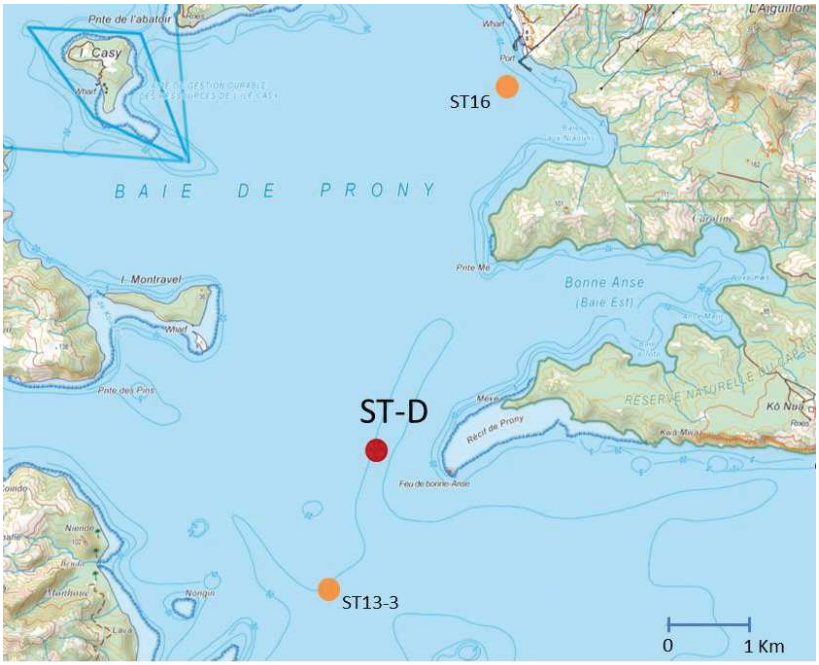


Figure 9. Carte de location de la station ST-D par rapport aux stations ST16 et ST13-3, où des carottes sédimentaires sont prélevées tous les trois ans.

A. COMPARAISON SEDIMENTOLOGIQUE

Comme mentionné précédemment, le long de la carotte ST-D, le pourcentage de particules ayant un diamètre inférieur à 40 µm présente une variabilité importante, s'étendant de 23 à 66 % ; en moyenne, cette station affiche un pourcentage de particules de taille inférieure à 40 µm égal à 36 ± 12 %, ce qui est notablement inférieur à ce qui a été observé historiquement aux stations ST16 et ST13-3 (Figure 10). En effet, leurs pourcentages moyens de particules de taille inférieur à 40 µm, entre 2010 et 2020, était respectivement de 88 ±11 % et 50 ± 17 %. Cette différence pourrait s'expliquer par les conditions hydrodynamiques qui prévalent dans le voisinage immédiat de chacune des stations. En effet, dans la zone d'entrée de la baie, les courants sont plus intenses que ceux observés à l'intérieur de celle-ci, ce qui pourrait restreindre le dépôt des particules plus fines.

Par ailleurs, les observations historiques des prélèvements effectués pour la carotte sédimentaire ST13-3 présentent peu de variations dans la fraction Ø<40µm le long des carottes, mais des différences significatives sont observées entre les campagnes. En effet, une grande variabilité en pélites est notée, par exemple, avec une moyenne en pélites de 64 % ±3 % en 2020 et 25 % ±5 % en 2013. Cette hétérogénéité indiquerait que ces variations d'ordre spatio-temporelles se produisent dans un rayon limité. Bien que dans une moindre mesure, des mécanismes semblables pourraient expliquer les résultats obtenus pour la zone de carottage à la station St D.

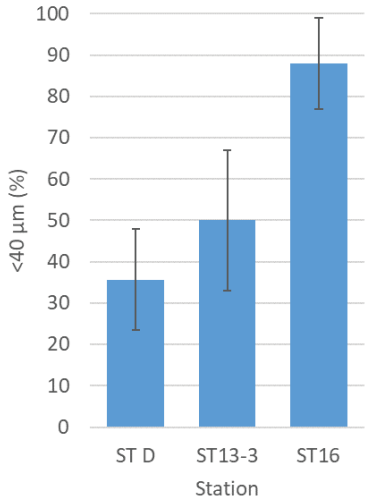


Figure 10. Pourcentage moyen des fractions de Ø<40 µm pour la carotte ST D (2023) et les carottes ST13-3 et ST16 (moyenne de 2010, 2013, 2017 et 2020).

B. COMPARAISON GEOCHIMIQUE DES SEDIMENTS

Une comparaison entre les concentrations moyennes de Ca, Co, Cr, Fe, Mn et Ni déterminées dans les sédiments des carottes St-D et St13-3, en fonction de la distance à la station ST16 a révélé une corrélation significative (Figure 11). En effet, pour les concentrations de Co, Cr, Fe, Mn et Ni, un gradient décroissant a été mis en évidence, suggérant que les influences terrigènes diminuent avec l'augmentation de la distance à la côte. En d'autres termes, les particules seraient transportées vers l'extérieur de la baie de Prony et se dilueraient progressivement avec le matériel d'origine marine.

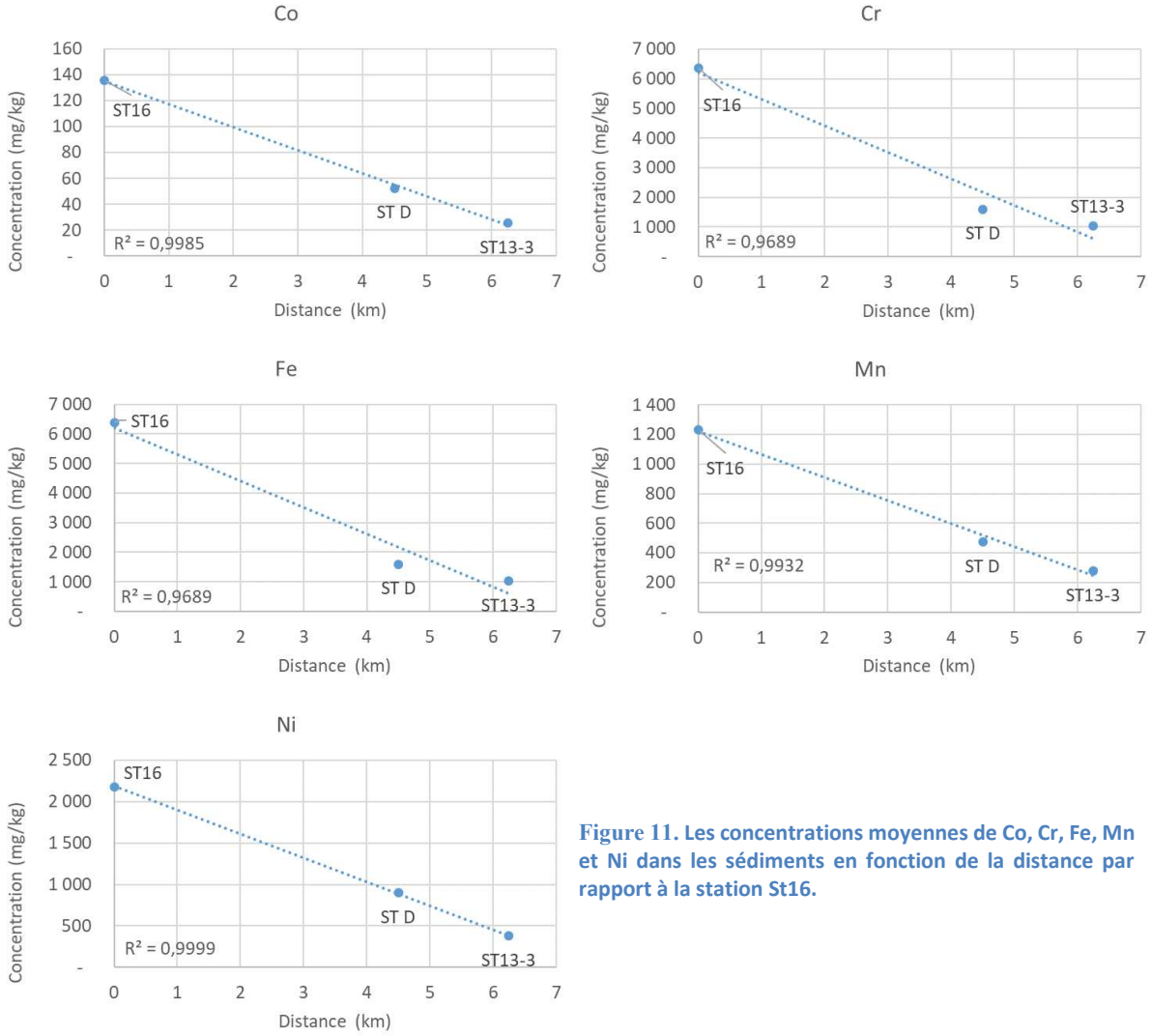


Figure 11. Les concentrations moyennes de Co, Cr, Fe, Mn et Ni dans les sédiments en fonction de la distance par rapport à la station St16.

Les concentrations de Ca, quant à elles, augmentent proportionnellement avec la distance à la station ST16 (Figure 12. Cette tendance est renforcée par l'examen de la minéralogie de la fraction fine, révélant une augmentation de la proportion de minéraux de calcite avec la distance, avec 44%, 75% et 86, pour les ST16, ST C et ST13-3, respectivement.

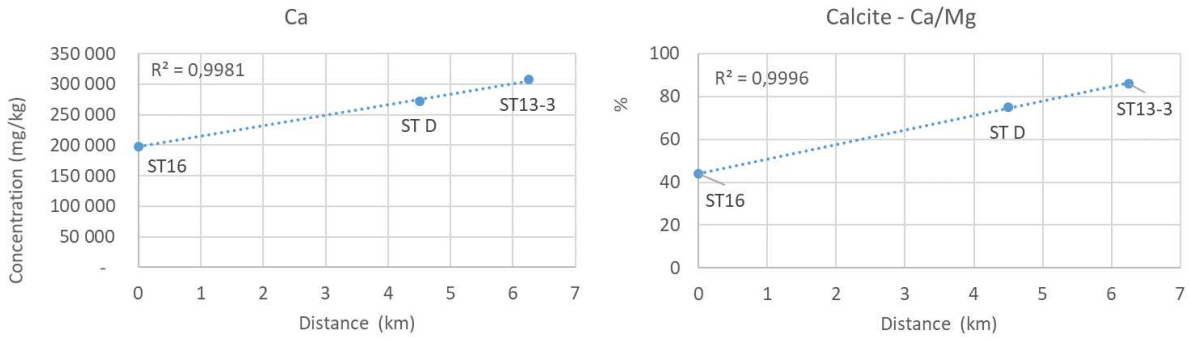


Figure 12. Les concentrations moyennes de Ca et pourcentage de Calcite-Ca/Mg dans les sédiments en fonction de la distance à la station St16.

V. CONCLUSION

D'une manière générale, les sédiments le long de la carotte présentent une relative homogénéité en termes de composition géochimique et sédimentologique.

Ces résultats laissent supposer que les origines des particules sédimentaires demeurent relativement inchangées au fil du temps. Cependant, des fluctuations sont perceptibles en lien probable avec l'hydrodynamique régionale combinée aux régimes météorologiques, puisque la distribution de la taille des particules montre des variations sensibles le long de la carotte.

les variations dans la distribution granulométrique suggèrent, notamment, que les précipitations atmosphériques influent amplement sur les quantités de particules terrigènes drainées dans la baie du Prony. Ces apports entrant par les creeks sont, par la suite, exportés vers le canal de la Havannah, notamment au grés marées.

Cette hypothèse semble être étayée par le fait que les concentrations en métaux (Co, Cr, Fe, Mn et Ni) diminuent de manière linéaire avec l'augmentation de la distance depuis la baie de Prony (Station ST16) jusqu'au Canal de La Havannah (ST13-3) ; les apports terrigènes seraient dilués progressivement avec un terme source marin carbonaté remarquablement constant.

.

REFERENCES

Fernandez JM, 2023. Modélisation de la dispersion des effluents dans le Canal de la Havannah ; perçage de 10 trous supplémentaires entre C12 et C21 (scénario-4) : Simulations longue durée (1 mois) à un débit total de 1.167 m3/h. Contrat AEL/PR-NC 682-PR-23-P / L57438-0001, 50p.

Fernandez JM, Kumar-Roiné S et Moreton B, 2020. Suivi des taux d'accumulation et évolution géochimique des sédiments en Baie du Prony, Baie Kwé et Ile Ouen. Campagne 2020. Contrat AEL/Vale-NC L26862/0001, 58p.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte du trace du pipe-line et du positionnement des 10 events supplementaires simules (scenario-4) pour l'evacuation des effluents industriels dans le Canal de la Havannah. 5
Figure 2 : Localisation geographique de la station du carottage pour l'etat initial. ..... **Erreur ! Signet non defini.**
Figure 3 : Carotte extraite dans son tube en Plexiglas et vision de l'etat de conservation de l'interface sedimentaire. 7
Figure 4 : Évolution du pourcentage en fractions pelitiques (Ø<40 µM) et fraction grossiere (Ø>40 µM) le long des 14 centimetres de la carotte. 8
Figure 5 : Distribution granulometrique en pourcentage volumique pour les horizons 0-1 cm, 4-5 cm, 8-9 cm et 13-14 cm de la carotte. 9
Figure 6 : Observations au microscope optique des fractions grossieres (Ø > 40 µM) des 4 horizons de la carotte (Grossissement X16). 9
Figure 7 : Teneurs en carbonates de calcium ($CaCO_3$) dans les sediments de la carotte. 10
Figure 8 : Profils de concentrations de Ca, Co, Cr, Fe, Mn et Ni dans les sediments de la carotte. 11
Figure 9. Carte de location de la station ST-D par rapport aux stations ST16 et ST13-3, ou des carottes sedimentaires sont prelevees tous les trois ans. 12
Figure 10. Pourcentage moyen des fractions de Ø<40 µM pour la carotte ST D (2023) et les carottes ST13-3 et ST16 (moyenne de 2010, 2013, 2017 et 2020). 13
Figure 11. Les concentrations moyennes de Co, Cr, Fe, Mn et Ni dans les sediments en fonction de la distance par rapport a la station St16. 14
Figure 12. Les concentrations moyennes de Ca et pourcentage de Calcite-Ca/Mg dans les sediments en fonction de la distance a la station St16. 14

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Coordonnees de la station de prelevement par carottage. 6
Tableau 2 : Composition mineralogique des 4 horizons de la carotte. Pourcentages en phases marines biogenes (Aragonite et Calcite) et terrigenes (Goethite). 10
Tableau 3 : Matrice de similarite/dissimilarite (correlation de Pearson) pour les concentrations en metaux et calcium dans les sediments de la carotte. 11

ANNEXES

ANNEXE 1..... 19
ANNEXE 2..... 21

Annexe 1

METHODOLOGIE

Extraction des carottes

Les prélèvements des carottes ont été effectués avec un carottier conçu pour les faibles profondeurs (< 50 m) afin que la mise en œuvre puisse s'effectuer à partir d'une embarcation à faible tirant d'eau. Le carottier est composé de tubes amovibles de 0,60 m ou 1,20 m de longueur pour un diamètre externe de 6 cm. Des tubes en plexiglass ont été utilisés afin de conserver l'intégrité géochimique des sédiments. Par ailleurs, ce type de carottier présente l'avantage d'assurer une très bonne conservation de l'interface « *eau-sédiments* ».

Après extraction, chaque carotte a été maintenue verticalement jusqu'à son découpage intégral en différents horizons d'une épaisseur égale à 1 cm.

Les horizons de carotte échantillonnés ont été conditionnés dans des sachets en vinyle à usage unique (Whirl-pack), congelés puis lyophilisés.

Les opérations réalisées sur les différents horizons dans les colonnes sédimentaires sont la détermination de la concentration totale des métaux après attaque des sédiments par fusion alcaline et l'analyse par ICP-OES ;

Sur seulement 4 horizons sélectionnés après un examen visuel de la carotte, une analyse des populations de grains par granulométrie laser et une détermination de la composition minéralogique par diffraction de rayons X (DRX) ont été conduites.

Tous les échantillons de sédiments destinés au dosage des métaux ont été tamisés par voie humide afin de récupérer les fractions pélitiques (particules de diamètre inférieur à 40 µm) ; la fraction pélitique étant considérée de longue date, comme la fraction la plus réactive en matière d'échanges géochimiques avec les métaux (Mayer and Fink, 1979; Ackerman, 1980; Deely and Fergusson, 1994; He and Walling, 1996).

Dosage des carbonates

Le pourcentage de carbonate a été évalué en mesurant les concentrations de Ca2+ et Mg2+ à l'aide d'une spectrométrie d'émission atomique à plasma couplé par induction (ICP-AES). Le pourcentage de carbonates a été calculé en supposant que tous les carbonates sont associés au Ca et au Mg présents dans l'échantillon.

Granulométrie

L'étude de la distribution des populations de particules fines (silts et argiles) est conduite sur la fraction < 2000 µm. La distribution de ces populations est réalisée par granulométrie laser (Malvern), après remise en suspension des sédiments et agitation aux ultrasons.

Minéralogie (DRX)

La minéralogie sera déterminée par diffraction de rayons X (DRX) avec un appareillage INEL équipé d'une anticathode Cu. Une fois les différents minéraux identifiés (carbonates, sulfures, oxydes….), leurs proportions relatives seront évaluées en utilisant une procédure de type affinement Rietveld.

Les diffractions semi-quantitatives seront effectuées par AEL à l'UNC (Nouméa).

Dosage de la concentration totale des métaux

L'analyse de la concentration totale des métaux, contenus dans les horizons des différentes carottes, a été conduite par attaque totale des sédiments par fusion alcaline (voir protocole « *dosage des métaux dans les phases géochimiques* »). Après mise en solution, les métaux Co, Cr, Fe, Mn, Ni et Ca ont été dosés par ICP-OES.

Annexe 2

COMPOSITION GEOCHIMIQUE

Concentrations en métaux totaux et en calcium dans les fractions fines.

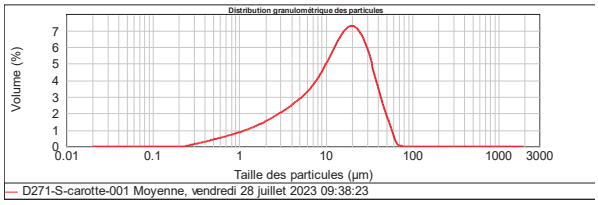
Niveau	Ca (mg/kg)	Co (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)
0-1 cm	265 637	56	1 529	52 706	690	932
1-2 cm	279 370	56	1 661	54 437	532	943
2-3 cm	281 098	45	1 377	51 768	262	942
3-4 cm	255 094	51	1 469	47 019	449	794
4-5 cm	282 700	54	1 696	53 770	486	955
5-6 cm	279 558	54	1 728	54 042	486	929
6-7 cm	275 258	51	1 664	50 106	453	875
7-8 cm	280 610	50	1 699	52 719	455	897
8-9 cm	275 498	51	1 671	52 890	459	901
9-10 cm	251 772	46	1 535	46 861	414	798
10-11 cm	262 083	47	1 402	47 562	424	784
11-12 cm	280 000	59	1 707	57 585	514	971
12-13 cm	275 112	59	1 653	55 823	513	952
13-14 cm	272 368	54	1 620	53 437	469	934

Pourcentage en fractions pélitiques (Ø<40 µm) et fraction >40 µm le long des 14 centimètres de la carotte.

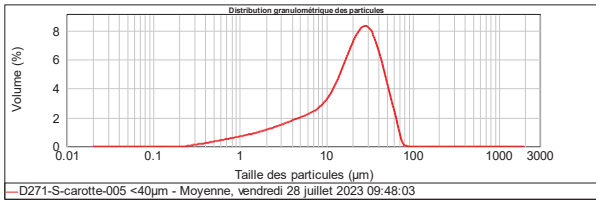
Horizon	% Fraction <40µm	% Fraction >40µm
0-1 cm	66,2	26,3
1-2 cm	50,7	45,2
2-3 cm	45,6	47,8
3-4 cm	35,7	62,1
4-5 cm	34,6	61,5
5-6 cm	30,8	65,8
6-7 cm	23,1	73,4
7-8 cm	23,6	73,0
8-9 cm	24,1	72,5
9-10 cm	28,8	72,3
10-11 cm	24,0	70,0
11-12 cm	33,8	63,5
12-13 cm	38,6	59,5
13-14 cm	39,8	54,9

Composition granulométrique de particules.

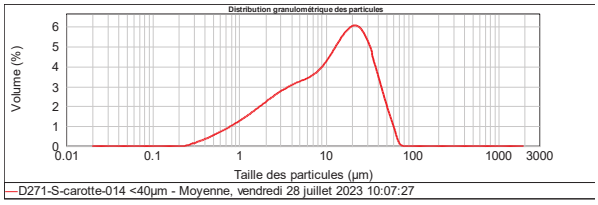
Horizon	% Classe de taille				
	0,02 à 2,00 µm	2,0 à 20 µm	20 à 40 µm	40 à 63 µm	>63 µm
0-1 cm	8,7	57,6	27,3	6,2	0,2
4-5 cm	6,8	42,2	35,5	13,8	1,7
8-9 cm	6,3	39,5	37,0	15,2	2,0
13-14 cm	12,5	56,1	24,3	6,7	0,4



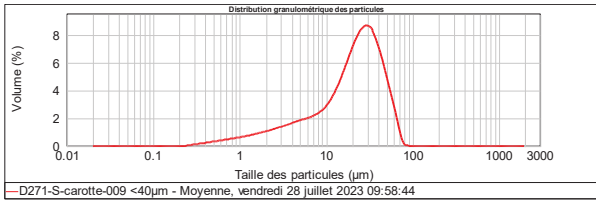
0-1 cm



4-5 cm

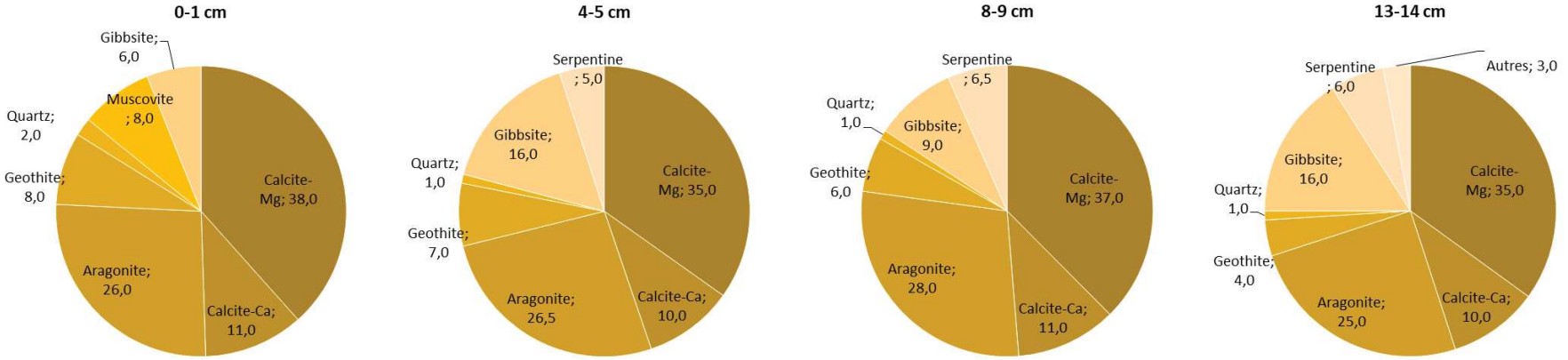


8-9 cm



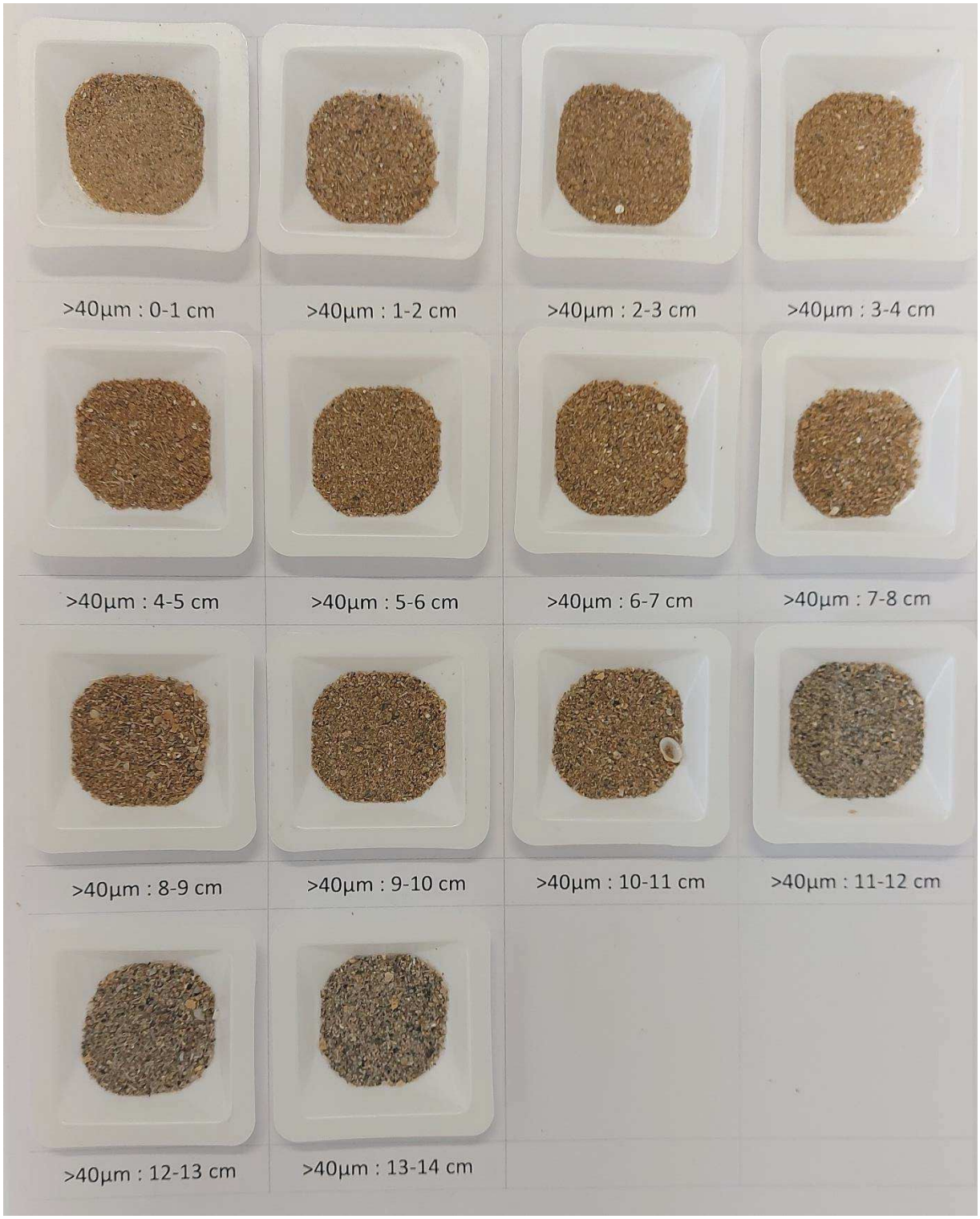
13-14 cm

Composition minéralogique (%) des fractions fines.



Horizon	Composition minéralogique (%)										
	Calcite-Mg	Calcite-Ca	Aragonite	Geothite	Quartz	Muscovite	Anorthite	Gibbsite	Hématite	Serpentine	Autres
0-1 cm	38,0	11,0	26,0	8,0	2,0	8,0		6,0			
4-5 cm	35,0	10,0	26,5	7,0	1,0			16,0		5,0	
8-9 cm	37,0	11,0	28,0	6,0	1,0			9,0		6,5	
13-14 cm	35,0	10,0	25,0	4,0	1,0			16,0		6,0	3,0

Observations des fractions Ø > 40 µm de tous les horizons de la carotte St C



ANNEXE 6 : Etat initial biologique récif de Prony et littoral du Cap N'Dua

Aqua Terra

Bureau d'études en environnement

CLS
COLLECTE LOCALISATION SATELLITES

PRONY Resources
New Caledonia

Ingénierie de l'Environnement et de la Réhabilitation

ETAT INITIAL BIOLOGIQUE
RECIF DE PRONY ET LITTORAL DU CAP N'DUA

SARL AQUA TERRA - Capital : 1 000 000 XPF
Adresse postale : BP 15559 - 98804 Nouméa - Adresse bureau : Immeuble Auer, 22 rue Auer à Ducos
Tél : (687) 23 33 22 - Tél. / Fax : (687) 43 05 32
RIDET : 813725.001 RIB : BCI 17499 00010 20200002012 39
Courriel : aquaterra@aquaterra-nc.com

Caractéristiques du dossier :

Référence du document		Rap 021-23_Ver04
Référence du contrat		PO n°L57277 / 0001 du 06/06/23
Numéro de l'affaire		021-23
Client		Prony Resources NC
Commune		Mont Dore
Coordonnées (RGNC91-93 Lambert)	**X**	491 550
	Y	200 800
Mots clés		Projet Goro Nickel, communautés récifales, biocénoses marines, ichtyologie, télédétection, suivis environnementaux, émissaire

Suivi des modifications :

N° de version	Transmis à	Action / Etat	Date
00	AQUA TERRA - CLS	En interne : pour relecture pour contrôle qualité	Juillet 2023
01	Prony Resources NC	Rapport remis au Client (format électronique)	15/08/2023
02	Prony Resources NC	Modifications de forme Rapport remis au Client (format électronique)	17/08/2023
03	Prony Resources NC	Rapport remis au Client (format électronique) Version validée	23/08/2023
04	Prony Resources NC	Rapport remis au Client (format électronique) Compléments suite demandes DIMENC	10/11/2023

Les responsables du suivi des modifications sont :

Maître d'Ouvrage	(Prony Resources NC)
Entreprise	(AQUA TERRA)

N° Document	Émis le	Par	Approuvé par	Le
Rap 021-23_V01	15/08/2023	AQUA TERRA	PRNC	15/08/2023
Rap 021-23_V02	17/08/2023	AQUA TERRA	PRNC	22/08/2023
Rap 021-23_V03	23/08/2023	AQUA TERRA		
Rap 021-23_V04	10/11/2023	AQUA TERRA		

Dans un souci constant de préserver l'environnement, nos rapports sont imprimés sur du papier certifié en recto-verso et nos toners sont éliminés via une filière agréée.

Table des Matières

TABLE DES MATIERES *3*
LISTE DES CARTES *4*
LISTE DES FIGURES *4*
LISTE DES TABLEAUX *4*
ACRONYMES *5*
1 PREAMBULE *6*
2 METHODOLOGIE *7*
2.1 ZONE D'ETUDE 7
2.1.1 Contexte général *7*
2.1.2 Zonage pour la méthodologie *8*
2.2 PROTOCOLES 9
2.2.1 Zone 01 ..... *9*
2.2.1.1 Image satellite 10
2.2.1.2 Données exogènes 10
2.2.1.3 Campagne terrain 10
2.2.1.4 Nomenclature 11
2.2.1.5 Principales étapes de la télédétection 12
2.2.1.5.1 Points terrain et analyse 12
2.2.1.5.2 Acquisition, prétraitement et analyse des données 12
2.2.1.5.3 Sélection de modèle, entraînement et réglage des hyperparamètres 14
2.2.1.5.4 Interprétation des résultats de performance des classifieurs 14
2.2.1.5.5 Production et résultat de la classification 16
2.2.1.6 Principales étapes de la photo-interprétation (PIAO) 19
2.2.2 Zone 02 ..... *22*
2.2.2.1 Campagne terrain 22
2.2.2.2 Nomenclature 23
2.3 EQUIPE DE TRAVAIL 24
3 RESULTATS *25*
3.1 TYPOLOGIE DU RECIF DE PRONY 25
3.2 CARACTERISATION DES CLASSES 25
3.3 CARTOGRAPHIE 31
4 ANALYSE *33*
4.1 DESCRIPTION DES PEUPLEMENTS 33
4.1.1 Le substrat et le benthos *33*
4.1.2 L'ichtyofaune *33*
4.1.2.1 Abondance 34
4.1.2.2 Biodiversité 34
4.1.2.3 Régime alimentaire 34
4.1.2.4 Juvéniles 35
4.2 INDICATEURS DE SANTE 35
4.3 CONTEXTE REGLEMENTAIRE 37
4.3.1 Aires protégées *37*
4.3.1.1 Code de l'Environnement de la Province Sud [R06] 37
4.3.1.2 UNESCO 38
4.3.2 Espèces protégées *39*
4.3.2.1 Liste rouge UICN 39
4.3.2.2 Code de l'Environnement de la Province Sud [R06] 40
4.3.2.2.1 Ecosystème d'Intérêt Patrimoniaux (EIP) 40
4.3.2.2.2 Espèces Endémiques, Rares ou Menacées (ERM) 41
4.3.2.2.3 Espèces exotiques envahissantes 42
4.4 SENSIBILITE DU RECIF 43
5 CONCLUSION *45*
6 SOURCES *46*
ANNEXES *54*
ANNEXE N°01 ..... *55*
RAPPORTS DE CLASSIFICATION *55*
ANNEXE N°02 ..... *57*
CARACTERISATION DU SUBSTRAT *57*
ANNEXE N°03 ..... *58*
LISTING ICHTYOLOGIQUE *58*

ANNEXE N°04 ..... *60*
NOMENCLATURE UICN *60*

Liste des Cartes

Carte 01 : Bionomie benthique de la zone d'étude *32*
Carte 02 : Sensibilité de la zone d'étude *44*

Liste des Figures

Figure 01 : Localisation de la zone d'étude *7*
Figure 02 : Extrait SHOM sur la zone d'étude *8*
Figure 03 : Zonage pour la méthodologie *8*
Figure 04 : Logigramme pour la méthodologie en zone 01 ..... *9*
Figure 05 : Points et transects d'étude terrain (zone 01) *11*
Figure 06 : Exemple de comparaison de points de la nomenclature dans la bande bleue *14*
Figure 07 : Matrices de confusion obtenues pour les différentes configurations de SVM *15*
Figure 08 : Image WorldView-3 en couleur naturelle du récif de Prony *16*
Figure 09 : Travail de PIAO effectué sur la zone du récif *17*
Figure 10 : Classification de l'image WV3 avec des « SVM" » *17*
Figure 11 : Généralisation de la classification à l'aide de l'étude PIAO *18*
Figure 12 : Cuvette récifal dans le récif de Prony *18*
Figure 13 : Classification des cuvettes récifal du récif de Prony *19*
Figure 14 : Découpes PIAO primaires *20*
Figure 15 : Différenciation par analyse terrain et données exogènes (classe 6.1 vs 3.1) *21*
Figure 16 : Image Google Earth Historique 2011 ..... *21*
Figure 17 : Cartographie par Photo-interprétation *22*
Figure 18 : Linéaire reconnu en Manta-tow *23*
Figure 19 : Géomorphologie type du récif de Prony *25*
Figure 20 : Photographies des unités géomorphologiques de la zone d'étude *30*
Figure 21 : Représentativité des biocénoses coralliennes dans la zone d'étude *31*
Figure 22 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat *33*
Figure 23 : Photographie de juvéniles (ichtyofaune) *35*
Figure 24 : Aires marines protégées *37*
Figure 25 : Zonage Unesco *39*
Figure 26 : Classification de la liste rouge UICN *60*

Liste des Tableaux

Tableau 01 : Caractéristiques de l'image satellite *10*
Tableau 02 : Limites de la nomenclature *11*
Tableau 03 : Postes de la nomenclature (Zone 01) *12*
Tableau 04 : Bandes spectrales de l'image satellite *13*
Tableau 05 : Classes pressenties *19*
Tableau 06 : Postes de la nomenclature *23*
Tableau 07 : Caractérisation des unités géomorphologiques *26*
Tableau 08 : Superficie des unités bionomiques de la zone d'étude *31*
Tableau 09 : Recouvrement du substrat *33*
Tableau 10 : Espèces les plus abondantes (ichtyofaune) *34*
Tableau 11 : Distribution des espèces par famille (ichtyofaune) *34*
Tableau 12 : Distribution des espèces par régime alimentaire (ichtyofaune) *35*

Tableau 13 : Maladies ou lésions coralliennes *36*
Tableau 14 : Espèces concurrentes (corail) *36*
Tableau 15 : Objectifs concernant PRNC du plan de gestion 2013-2017du PPGLS *37*
Tableau 16 : Invertébrés inscrits sur la liste UICN et échantillonnés dans la zone élargie *40*
Tableau 17 : Phanérogames constituant les herbiers *41*
Tableau 18 : Liste des espèces ERM, potentiellement présentes sur la zone d'étude *42*
Tableau 19 : Sensibilité de la zone d'étude *43*
Tableau 20 : Catégories et composantes de substrat retenues *57*
Tableau 21 : Liste Définitions des catégories UICN *60*

A c r o n y m e s

EIP	: Ecosystème d'Intérêt Patrimonial
ERM	: (espèce) Endémique, Rare ou Menacée
ESA	: European Sapce Agency = Agence Spatiale Européenne
FSC	: Forest Stewardship Council (Conseil de Soutien de la forêt) - Label socio-environnemental
IGN	: Institut Géographique National
LMI	: Largeur Minimale d'Interprétation
MNT	: Modèle Numérique de Terrain
PEFC	: Programme for the Endorsement of Forest Certification (Programme de reconnaissance des certifications forestières)
PIAO	: Photo-Interprétation Assitée par Ordinateur
PMT	: Palmes Masque Tuba
PPGLS	: Parc Provincial du Grand Lagon Sud
PRNC	: Prony Resources Nouvelle-Calédonie
SHOM	: Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
SVM	: Support Vector Machine (Machine à Vecteurs de Support)
UICN	: Union Internationale pour la Conservation de la Nature
UNESCO	: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization = Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture
UMI	: Unité Minimale d'Interprétation

Crédit photographique : Valérie Vaillet 2023, pour AQUA TERRA
NB : toutes les photographies sous-marines (sauf mention contraire) datent de cette mission
Photographies aériennes : Google Earth

1 Préambule

Dans le cadre d'un projet d'optimisation du débit de l'émissaire marin de Prony Resources New Caledonia (PRNC), la zone de rejet de l'effluent sera en partie modifiée, ce qui nécessitera une étude environnementale pour la mise en conformité réglementaire.

La première étape a été de réaliser l'état initial, d'un point de vue biologique de la zone concernée.

Ce rapport présente les résultats de cet état initial.

Le Mandataire est ici la SARL AQUA TERRA, aidé par un partenaire majeur pour la partie télédétection : CLS.

2 Méthodologie

2.1 Zone d'étude

2.1.1 Contexte général

La prestation se situe dans le Sud de la Grande Terre à l'interface entre la baie de Prony et le canal de la Havannah.
Le contexte géographique général est présenté sur la figure 01.
La zone d'étude, telle que définie dans le cahier des charges, est délimitée par le trait rouge sur la figure 01 : elle part de la pointe Méré (ou Méhoué) en englobant le récif de Prony, longe la côte vers l'est en direction du Cap N'Dua puis remonte vers le nord-ouest. Elle représente un linéaire de plus de 8 km pour une superficie de plus de 280 ha.

@AQUA TERRA, 08.2023
Source : Fond IGN

Figure 01 : Localisation de la zone d'étude

2.1.2 Zonage pour la méthodologie

Comme cela est clairement visible sur la carte SHOM (cf. figure 02), la bathymétrie sur toute la zone d'étude est très différente, entraînant une typologie des récifs coralliens aussi différente. Deux grandes zones peuvent ainsi être distinguées :

- Un récif émergeant (récif de Prony) dans la partie ouest
- Des falaises verticales prolongées par des tombants sous-marins abrupts dans la partie est.

Selon la typologie utilisée dans l'atlas des récifs coralliens [R01, R02], les complexes récifaux de ces zones correspondent :

- Zone 01 = Récif frageant de lagon
- Zone 02 = Récif frangeant de mers intérieures.

De ce fait, la méthodologie employée a été différente sur ces 2 zones (cf. figure 03).

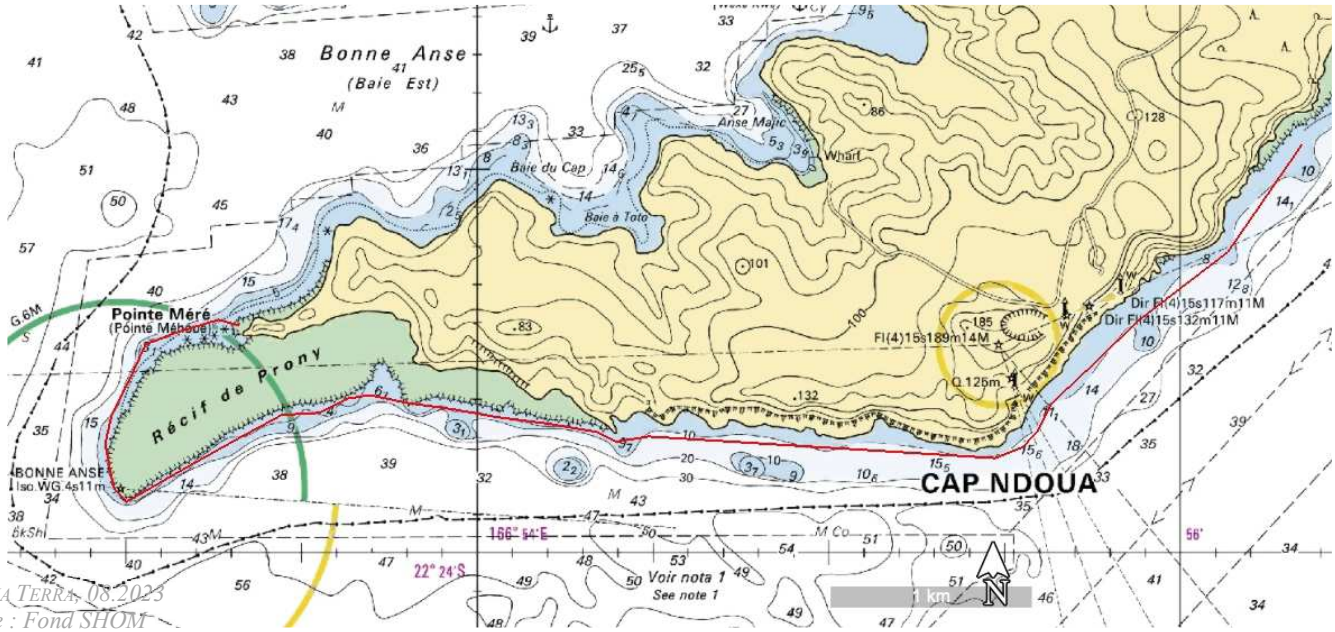


Figure 02 : Extrait SHOM sur la zone d'étude

Figure 03 : Zonage pour la méthodologie

2.2 Protocoles

2.2.1 Zone 01

Sur la zone d'étude la surface des bathymétries inférieures à 10 m représentent environ 107 ha, dont près de 98 ha sont situées dans la zone 01.
Du fait de la superficie du récif de Prony, une campagne d'inventaire terrain n'aurait pas permis une caractérisation exhaustive de toute la zone. De ce fait, c'est une méthode basée sur la télédétection associée à de la PIAO et une campagne de vérité terrain qui a été retenue (cf. figure 04).

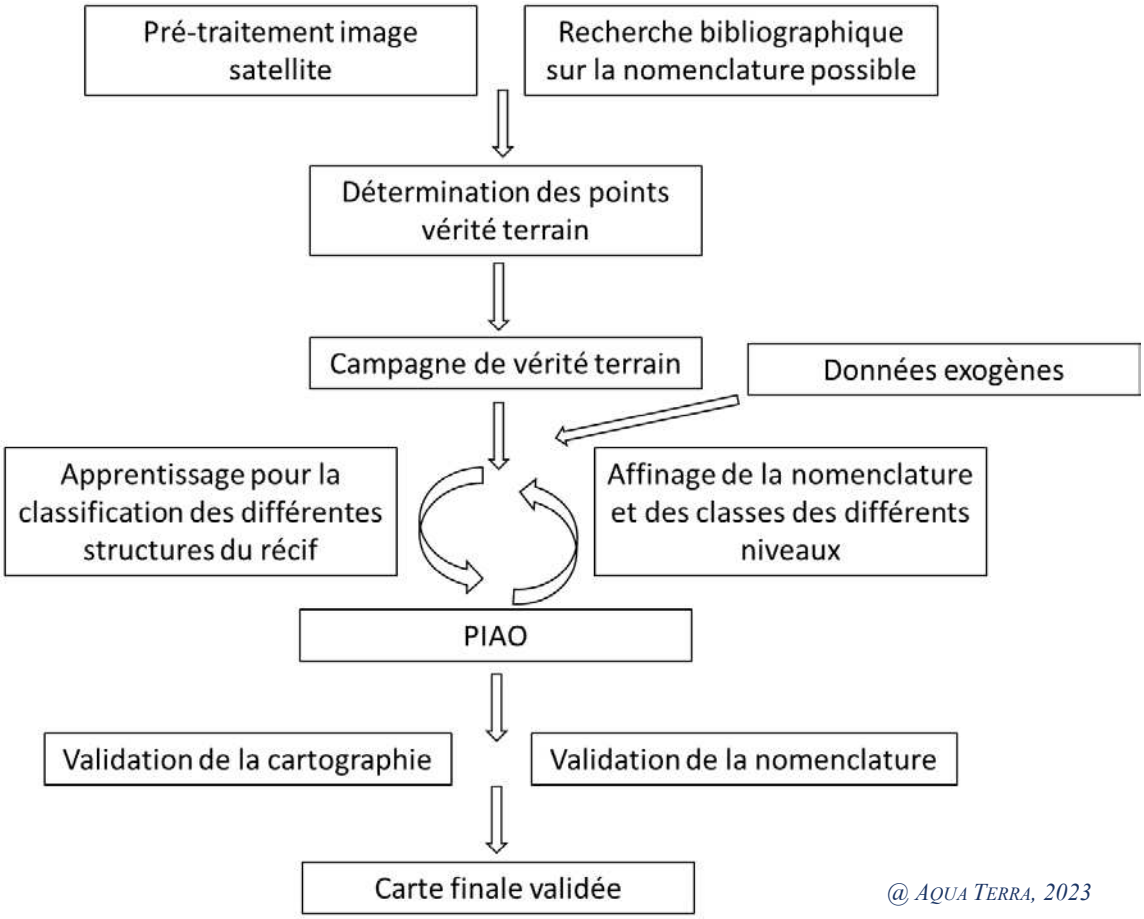


Figure 04 : Logigramme pour la méthodologie en zone 01

2.2.1.1 Image satellite

L'image satellite a été fournie par PRNC. Ses caractéristiques sont données dans le tableau 01.

Tableau 01 : Caractéristiques de l'image satellite

Image	orthosat_300_pronyresources_20221217_rgnc orthosat_300_capndoua_20221217_rgnc.tif
Type	WorldView-3
Prise de vue	17 décembre 2022
Résolution	0,3 m
Composition colorée	MS (MultiSpectral Bands) : 8 bandes spectrales (cf. tableau 04) Nadir: 1.24 m 20º off-nadir: 1.38 m
Taux de couverture	100%
Fournisseur	ESA

2.2.1.2 Données exogènes

- Bathymétrie :

PRNC a aussi fourni la bathymétrie par satellite (SANDSTIR-SDB) au pas de 1 m dérivé des données satellitaires Worldview-3 du 17/12/2022.
Fichier livré : *courbe_Bathy_2014.shp*

- MNT :

Disponible sous GéoRep.

- Images satellitaires autres :

De diverses sources (base de données AQUA TERRA, images gratuites types Landsat, Sentinel, … ainsi que les images d'archive de Google Earth) afin de mieux discriminer certaines zones précises selon l'éclairage et les hauteurs de marée.

2.2.1.3 Campagne terrain

Elle a été réalisée en juin 2023. Au niveau de cette zone, l'objectif de la mission était double :

- Réaliser des observations sur différents points pré sélectionnés pour servir de « vérité terrain » dans le processus de caractérisation du récif par télédétection
- Caractériser le récif de Prony d'un point de vue structurel, composition, …

Points vérité pour la télédétection

Ce sont 50 points terrain qui ont été définis par rapport à l'image selon des critères de différenciation. 9 points supplémentaires ont été ajoutés *in situ* (cf. figure 05).

Chacun a fait l'objet de photographies (sous-marines et aériennes) et de prise de caractéristiques :

- Coordonnées, horaire
- Eléments de géomorphologie du récif
- Hauteur d'eau *in situ*, « exondabilité »
- Substrat
- Biocénose présente
- Taux de recouvrement
- …

Le but était ici de préciser la nomenclature qui sera utilisée et de faire tourner le modèle pour la télédétection, mais aussi d'appréhender le biotope et les biocénoses présentes et donc la sensibilité de chaque zone récifale. La « récolte » des données a été réalisée selon les zones et les horaires par : marche, déplacement à la nage ou en canoé et apnée en PMT, voire en zodiac et plongées en scaphandre.

Figure 05 : Points et transects d'étude terrain (zone 01)

- Caractérisation du récif de Prony

Plusieurs plongées de reconnaissance ont été effectuées le long du récif de Prony afin de caractériser les biocénoses présentes et évaluer l'ichtyofaune.

La couverture du substratum a été décrite quantitativement par une méthode de « rapid-assessment » utilisant une appréciation dichotomique successive sur point fixe.
Les composantes utilisées sont issues de English et al. [R04] (cf. annexe n°02).
L'ichtyofaune a été déterminée au niveau spécifique, sans dénombrement des individus, mais avec une estimation d'abondance.

Ces transects, parallèles à la côte, mesurent entre quelques dizaines de mètres à 100 m. Ils sont localisés sur la figure 05.

2.2.1.4 Nomenclature

Les caractéristique de la nomenclature sont données dans le tableau 02 et le tableau 03.

Tableau 02 : Limites de la nomenclature

Unité Minimale d'Interprétation	50 m² - Concerne tous les postes
Largeur Minimale d'Interprétation	2 m - Couloir entre les polygones
Echelle de saisie	1/2000 - PIAO et contrôle qualité
Résolution	0,3 m
Niveau 1	Déterminable par télédétection et PIAO
Niveau 2	Déterminable par PIAO

Les différentes classes ont été affinées dans un processus itératif entre réalité terrain (structure de ce récif, recouvrement benthique, composition des biocénoses) et capacité de discrimination par l'intelligence artifielle dans le processus de télédectétion, avec l'appui de la PIAO.
Pour cette zone, ce sont finalement 8 classes qui ont été rétenues, dont 4 avec des divisions.
Il y a donc 2 niveaux : le niveau 1 est complètement déterminable en télédétection - et PIAO -, alors qu'il faut le renforcement de la PIAO pour le niveau 2.

Tableau 03 : Postes de la nomenclature (Zone 01)

CLASSE N1	UNITE GEOMORPHOLOGIQUE	CLASSE N2	SOUS-CLASSE	PRECISION
0	Lagon	0		Profondeur 10 à 40 m
1	Chenal	1		Profondeur ≤ 5 m
2	Cuvette récifale	2		Profondeur 1 à 4 m
3	Dépression d'arrière récif	3.1	Algues dominantes	Fond sableux avec constructions organiques (coraux - algues)
		3.2	Coraux dominants	Fond sableux avec constructions organiques (coraux - algues)
		3.3	Sable dominant	Fond sableux avec constructions organiques (coraux - algues)
4	Platier externe	4.1	Front	Front récifal vivant
		4.2	Tombant	Tombant récifal vivant. Profondeur ≥ 3 m
5	Fond détritique	5		Fond sablo vaseux avec débris. Rares constructions organiques
6	Platier interne	6.1	Vivant	Formations coralliennes denses
		6.2	Mort	Débris coralliens
9	Littoral	9.1	Plage de sable ou débris coralliens	Exondé
		9.2	Blocs rocheux	Exondé

2.2.1.5 Principales étapes de la télédétection

Cette partie s'articule autour de la mise en œuvre de diverses méthodologies d'apprentissage automatique pour la classification des différentes structures de récifs coralliens en utilisant des données de télédétection.
Les données disponibles sont constituées d'images satellite haute résolution et de données spatiales sous forme de fichiers shapefile représentant les emplacements géographiques de différentes structures ou habitats sous-marins au sein d'un écosystème de récifs coralliens.

Ces dernières années, le domaine de la télédétection est devenu un outil puissant pour les études écologiques et la surveillance environnementale, fournissant un moyen efficace d'acquisition de données à grande échelle. Plus précisément, au sein des écosystèmes marins et côtiers, la télédétection joue un rôle crucial dans la compréhension et la gestion de ces environnements fragiles. Cependant, l'extraction efficace d'informations exploitables à partir d'images satellite brutes nécessite des approches analytiques robustes.

Une des demandes essentielles était que la méthode mise en place pour effectuer cet état initial soit reproductible sur des territoires similaires, notamment afin de pouvoir être employée dans le cadre d'une mise à jour ultérieure de ce site.
La méthodologie décrite dans ce rapport utilise donc des protocoles normés et pourra être ultérieurement réemployée.

2.2.1.5.1 Points terrain et analyse

Cinquante points ont été définis par rapport à l'image selon des critères de différenciation (cf. § 2.2.1.3).
Ils doivent permettre une corrélation entre l'image et l'analyse terrain qui en a été faite et mener à classer chaque couvert dans le poste de nomenclature adéquat.

2.2.1.5.2 Acquisition, prétraitement et analyse des données

Le processus d'acquisition de données comprend la réception de l'image satellite haute résolution et des données de fichiers shapefile. Le fichier shapefile contient des informations sur diverses structures ou habitats

sous-marins étiquetés avec des classes distinctes. En plus des étiquettes de classe, le shapefile comprenait des attributs « géométrie » correspondant aux coordonnées spatiales de ces habitats.
L'imagerie très haute résolution à disposition était une image WorldView à 30 cm de résolution (cf. tableau 01) et composée de 8 bandes spectrales, du bleu costal au proche infra-rouge 2 (cf. tableau 04).

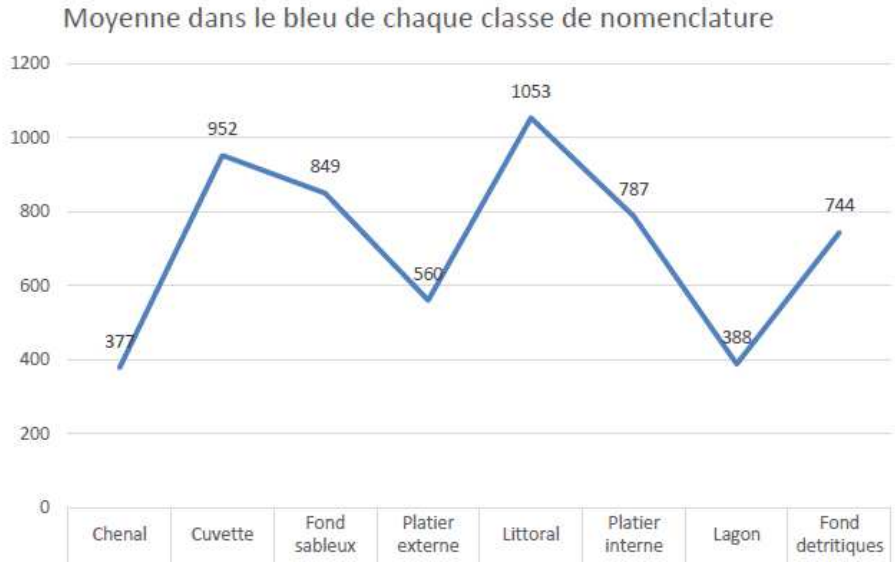
Tableau 04 : Bandes spectrales de l'image satellite

Bleu costal	400 - 450 nm
Bleu	450 - 510 nm
Vert	510 - 580 nm
Jaune	585 - 625 nm
Rouge	630 - 690 nm
Red edge	705 - 745 nm
Proche infra-rouge1	770 - 895 nm
Proche infra-rouge2	860 - 1040 nm

L'analyse de la nomenclature et des points du shapefile a été effectuée dans la partie PIAO (cf. § 2.2.1.6) et a fourni après plusieurs itérations un vecteur comprenant les différentes classes de nomenclature en accord avec les propriétés biologiques de la zone. Huit classes de niveau 1 ont été retenues (cf. § 2.2.1.4).

L'étape de prétraitement et d'analyse des données a impliqué l'extraction d'informations spectrales à partir de l'image satellite correspondant aux emplacements spatiaux définis dans le shapefile.
Les valeurs spectrales représentent les intensités de lumière réfléchie à travers différentes bandes de longueur d'onde capturées par le capteur satellite. Elles fournissent des informations sur les propriétés de la surface sous-jacente et permettent de distinguer les différents types de structures sous-marines dans un écosystème de récifs coralliens.
Au départ, l'extraction a été réalisée en calculant les valeurs moyennes des pixels dans chaque région des points de la nomenclature fournie comme caractéristiques. La logique derrière cette approche était de fournir une représentation spectrale moyenne de chaque zone autour des points d'intérêt. Cependant, comme certaines des « régions » étaient très petites et très proches en termes de réponses spectrales, il a été décidé d'extraire les valeurs spectrales de chaque point fourni dans le fichier de vecteurs.
Les informations spectrales extraites des images ont ensuite été combinées avec les étiquettes de classe du shapefile, formant un ensemble de données complet pour nos applications ultérieures d'apprentissage automatique.
L'analyse des points et des réponses spectrales a permis de diversifier les points d'entrainements en essayant de prendre des points ayant des réponses différentes pour chaque classe de la nomenclature. Ainsi les statistiques pour chaque point ont été calculées et comparées afin d'obtenir une hétérogénéité entre les points la plus grande possible afin de faciliter en aval le travail du classifieur automatique.

L'exemple de la figure 06 illustre la difficulté de séparer les classes de la nomenclature ayant des réponses spectrales proches. Ici, la séparation entre le fond sablo vaseux et le platier interne s'avère difficile, il en va de même concernant les distinctions entre le chenal, le platier externe et les eaux du lagon proches du récif (limite de la zone d'intérêt). Les autres bandes spectrales montrent les mêmes difficultés entre les mêmes classes. Le choix du classifieur et de ses hyperparamètres est alors déterminant dans la réalisation d'une classification précise.



Source : CLS

Figure 06 : Exemple de comparaison de points de la nomenclature dans la bande bleue

2.2.1.5.3 Sélection de modèle, entraînement et réglage des hyperparamètres

Plusieurs classificateurs ont été évalués pour assurer une évaluation complète des différentes méthodologies possibles. La gamme des classificateurs d'apprentissage supervisés a été sélectionnée en raison de leur capacité à cartographier efficacement l'espace d'entrée à haute dimension (information spectrale) vers l'espace de sortie (étiquettes de classe). Ces classificateurs sont :

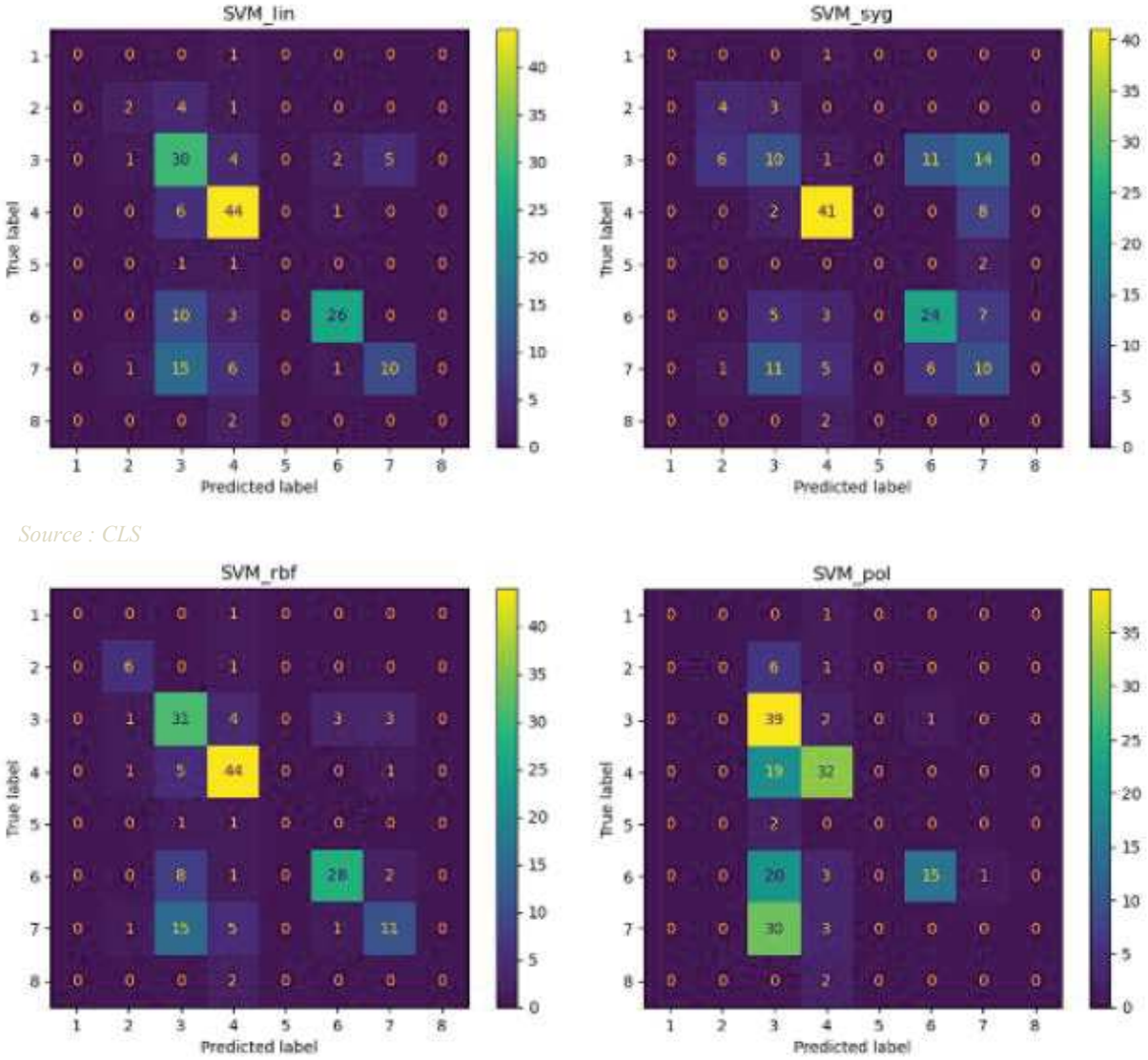
- « AdaBoost » et « Gradient Boosting » : des méthodes d'ensemble populaires qui construisent un classificateur fort en combinant plusieurs classificateurs faibles
- Les « SVM » (Support Vector Machine) : des outils permettant de séparer par un hyperplan des données dans une représentation multi-dimensionnelle
- Les « Random Forest » : des outils qui tirent parti de la puissance de multiples arbres de décision et réduisent le risque de surapprentissage
- Un « multi-layer perceptron » : des réseaux de neurones très usités dans la littérature de l'apprentissage automatique.

A ces méthodologies, les bibliothèques TensorFlow et Keras ont été ajoutées afin d'intégrer une approche par apprentissage profond. Ces bibliothèques permettent de construire un simple réseau de neurones feed-forward. Ce modèle a été construit comme un modèle Séquentiel, composé de couches Denses.
Ces types de modèles sont simples à mettre en œuvre mais s'adaptent aux instances d'entrée unique à haute dimension fournis.
Les premiers résultats ont montré que les SVM ont été particulièrement efficaces en termes de précision de classification ce qui est également en accord avec les inspections visuelles faites ultérieurement.
La Machine à Vecteurs de Support (SVM) en raison de sa capacité à gérer efficacement les données à haute dimension et à créer des frontières de décision complexes grâce à l'utilisation de fonctions de noyau a donc été choisie pour la suite des tests de classification.
Pour optimiser la performance du classificateur SVM, nous avons utilisé la recherche sur grille pour le réglage des hyperparamètres. La grille de paramètres pour SVM a été configurée avec différentes valeurs de 'C' (contrôlant le compromis entre obtenir une faible erreur d'entraînement et une faible erreur de test), différentes valeurs de 'gamma' (définissant la portée de l'influence d'un seul exemple d'entraînement), différentes valeurs de 'tol' (la tolérance pour le critère d'arrêt) et enfin le test de différents noyaux.

2.2.1.5.4 Interprétation des résultats de performance des classifieurs

Pour évaluer objectivement les performances de chaque modèle, les matrices de confusion et des rapports de métriques ont été utilisées comme indicateurs de performance.
Les matrices de confusion font partie intégrante des workflows de projets d'apprentissage automatique, fournissant un résumé facilement interprétable des performances d'un classificateur. Chaque ligne de la matrice

représente les instances dans une classe prédite, tandis que chaque colonne représente les instances dans une classe réelle. Cette visualisation permet une compréhension claire des erreurs de mauvaise classification de chaque classificateur (cf. figure 07).



Source : CLS

Figure 07 : Matrices de confusion obtenues pour les différentes configurations de SVM

De plus, des rapports de classification ont été générés pour obtenir des informations plus détaillées sur les performances de chaque modèle. Ces rapports fournissent des métriques comme la « précision » qui décrit le pourcentage de pixels manquants, le « rappel » qui décrit le nombre de pixel « commis » ou mal classé, le score F1 pour chaque classe qui représente une moyenne harmonique calculé avec la précision et le rappel, et la précision de classification globale. Une telle analyse approfondie a été particulièrement utile pour évaluer la capacité du modèle à identifier correctement chaque classe et identifier les classes avec lesquelles les modèles ont peu performé.

Sur la base des évaluations, le classifieur SVM avec le noyau 'rbf' a fourni les meilleures performances en termes de précision globale et de score F1 par classe. La performance supérieure du SVM signifie que les frontières de décision entre nos classes pourraient être définies efficacement par des hyperplans dans un espace à haute dimension comportant des données non linéairement séparables, rendant le SVM un choix approprié pour ce projet.

AdaBoost et Gradient Boosting, bien que théoriquement puissants, n'ont pas performé comme prévu. Ce résultat suggère que l'approche d'apprentissage séquentielle de ces méthodes, ou peut-être leurs paramètres par défaut, n'étaient pas optimaux pour l'ensemble particulier de données à traiter. Un réglage plus fin de ces

modèles pourrait potentiellement conduire à des améliorations de leurs performances.
En termes d'apprentissage profond, le simple réseau de neurones feed-forward n'a pas performé à la hauteur des modèles d'apprentissage automatique traditionnels. Ce résultat est probablement dû à un manque de données suffisantes, un prérequis pour que les modèles d'apprentissage profond atteignent des performances élevées. Alternativement, il pourrait également être attribué à la nécessité d'une architecture plus complexe ou d'un réglage fin des hyperparamètres, tous deux étant des aspects courants des implémentations d'apprentissage profond.
Les rapports de classification de chaque classifieur sont fournis en annexe n°01 :

- La précision globale est la précision basée sur les « vrai positif et négatif » et les « faux positifs et négatifs »
- La précision « macro » est la moyenne des F1-score de chaque classe
- La précision pondérée est la moyenne des F1 score de chaque classe mais pondéré par le nombre d'échantillon de chacune des classes.

L'analyse de ces rapports de classifications montrent une meilleure performance du SVM. C'est ce classifieur qui sera utilisé et paramétré finement par la suite.
Pour rappel la méthode décrite pour choisir les meilleurs paramètres est l'utilisation d'un « GridSearch » qui permet de faire varier les hyperparamètres choisis et de sélectionner la meilleure combinaison.
La meilleure combinaison pour le SVM qui est retenu est la suivante :

- C = 100
- Gamma = auto
- Noyau = RBF
- Tol = 0.001.

2.2.1.5.5 Production et résultat de la classification

Cette combinaison fournit une classification de 73% de précision sur la zone du récif.
Les figure 08 à figure 13 fournissent quelques illustrations de la sortie du classifieur.

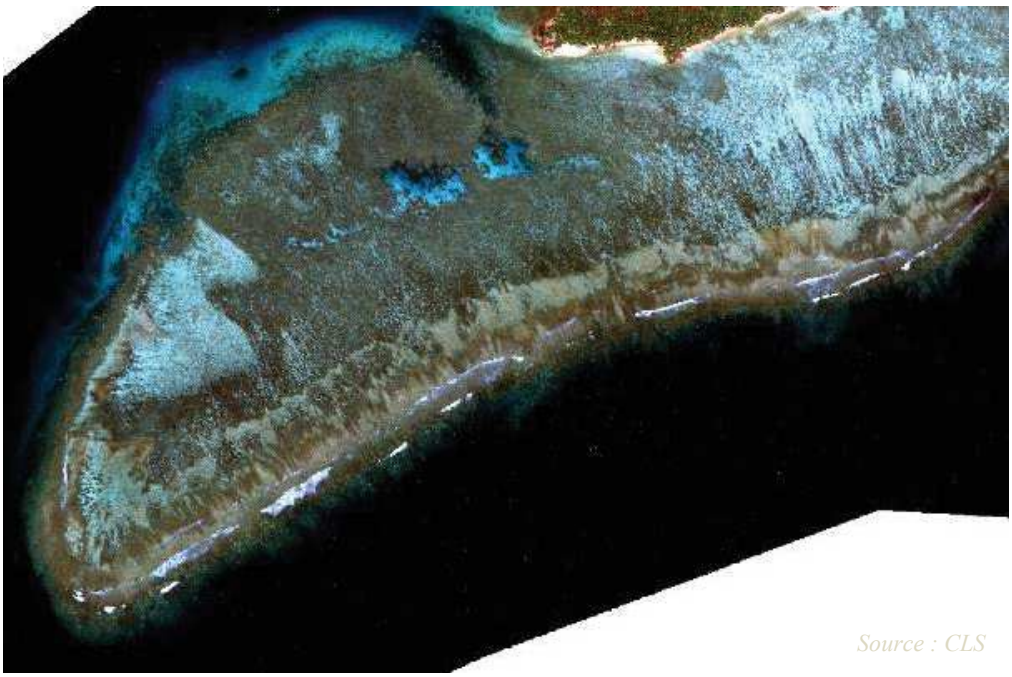


Figure 08 : Image WorldView-3 en couleur naturelle du récif de Prony

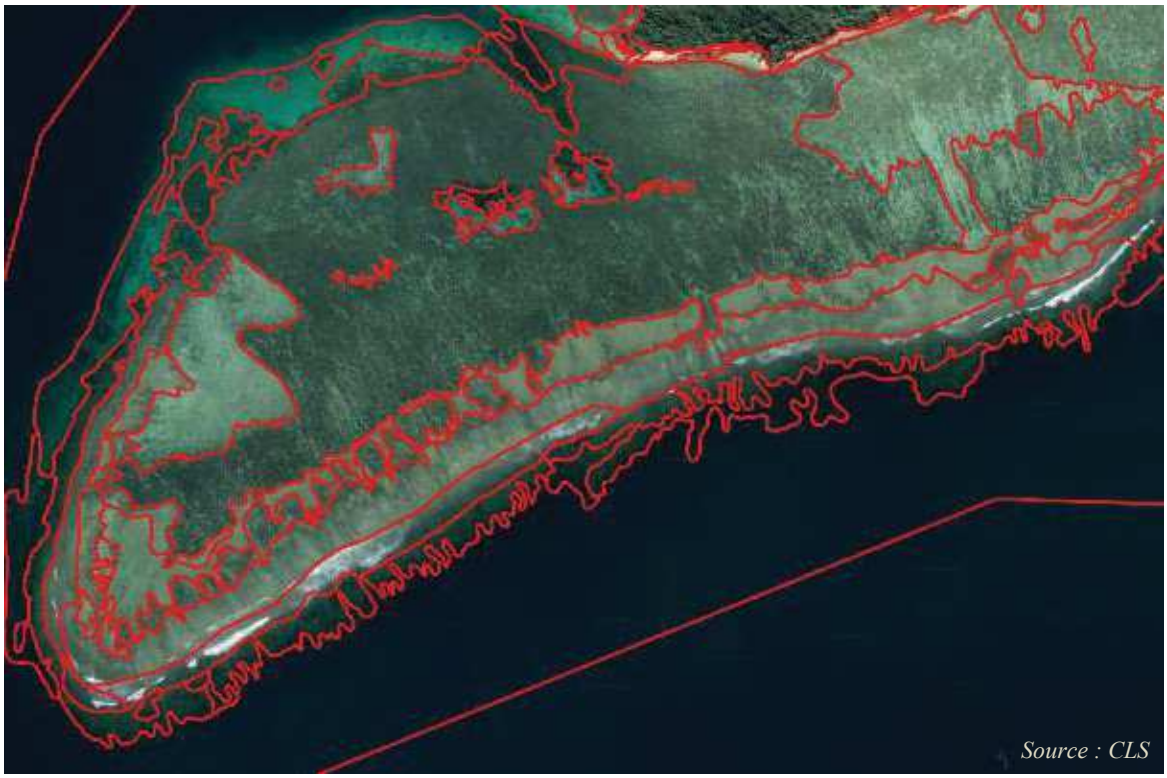


Figure 09 : Travail de PIAO effectué sur la zone du récif

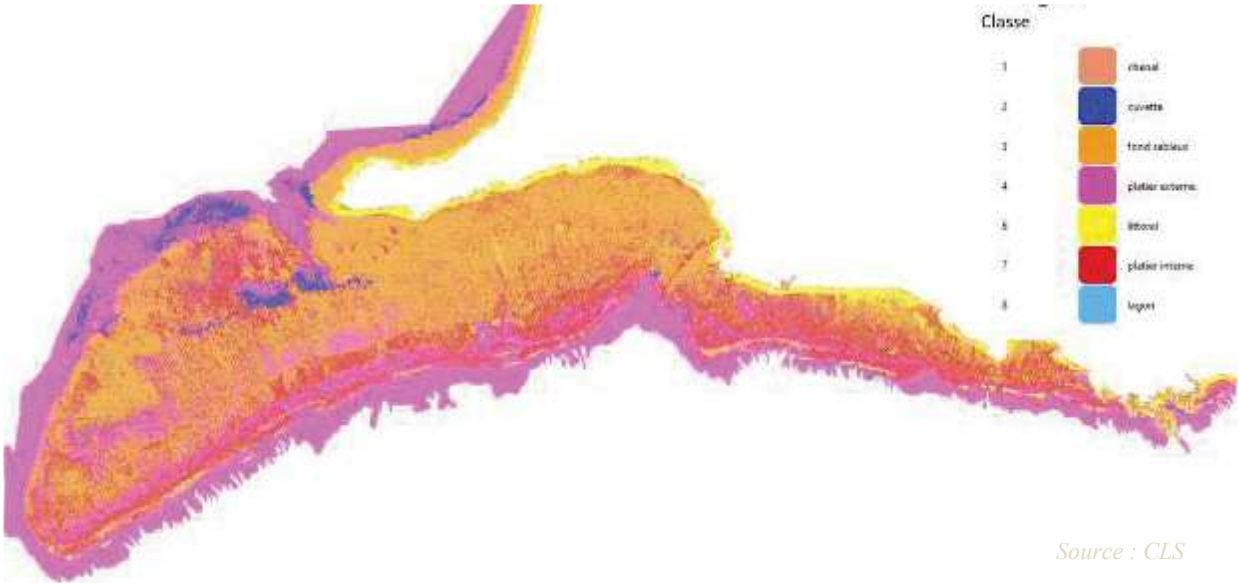


Figure 10 : Classification de l'image WV3 avec des « SVM" »

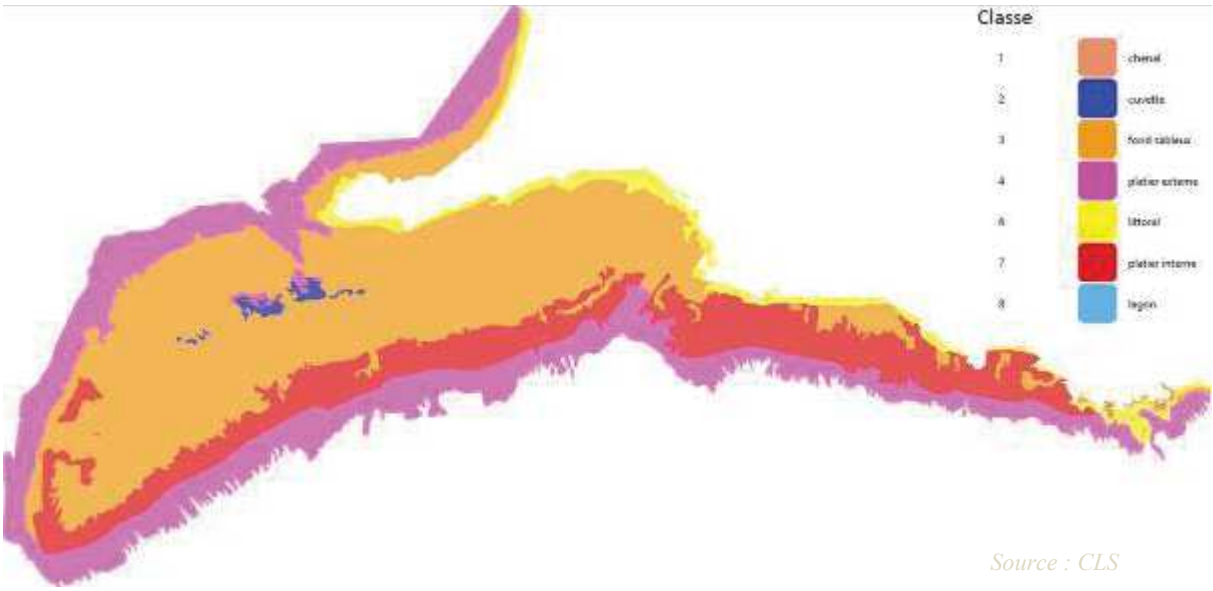


Figure 11 : Généralisation de la classification à l'aide de l'étude PIAO
Les pixels sont regroupés par région grâce à un majority voting

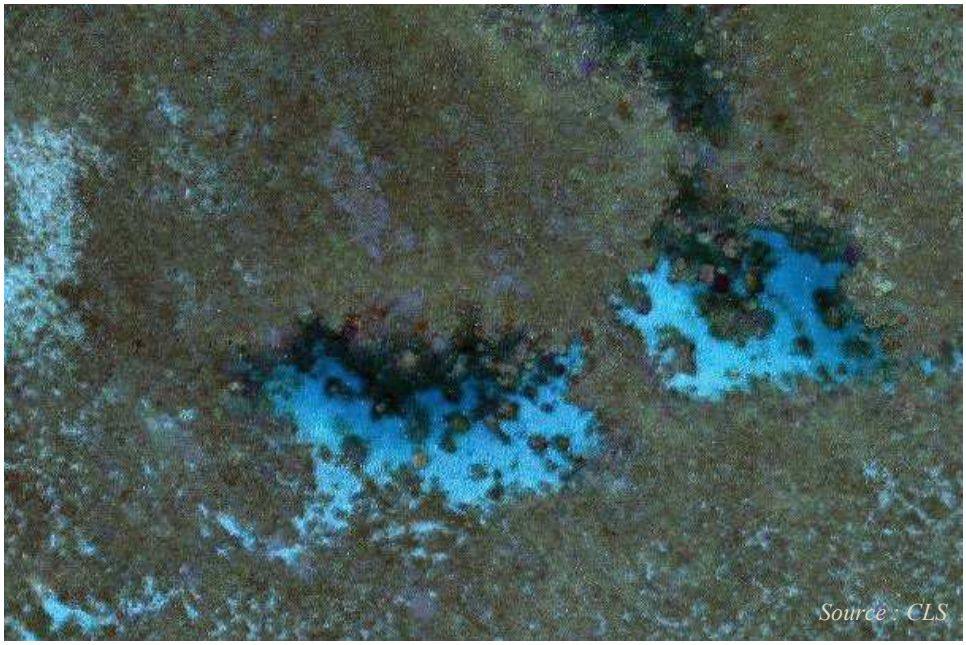


Figure 12 : Cuvette récifal dans le récif de Prony

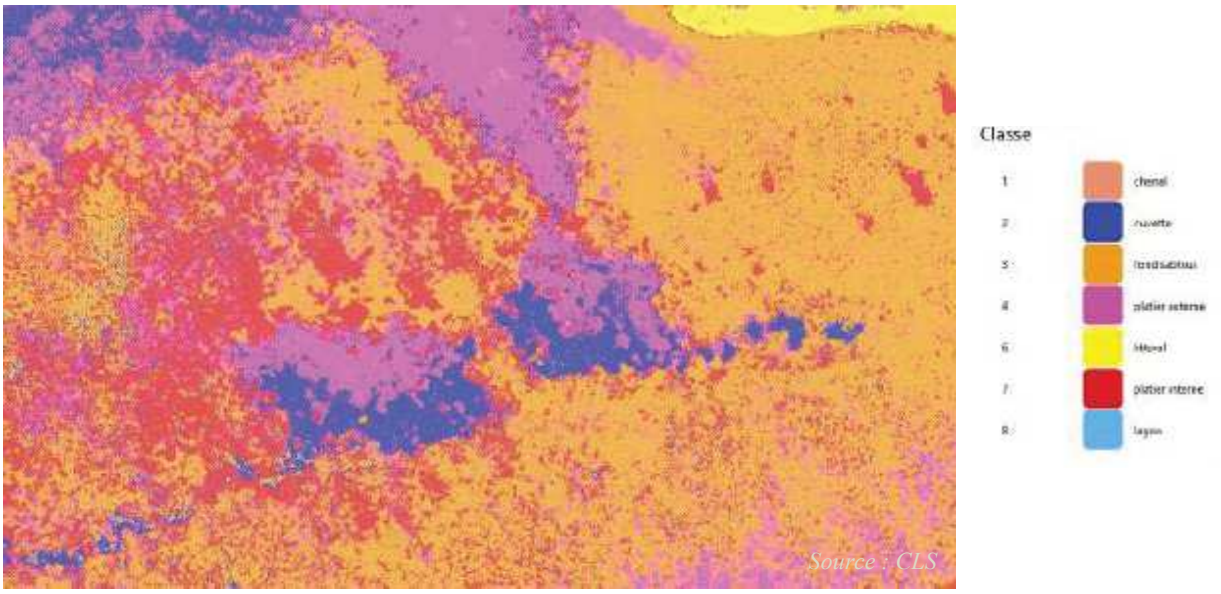


Figure 13 : Classification des cuvettes récifal du récif de Prony

2.2.1.6 Principales étapes de la photo-interprétation (PIAO)

La Photo-Interprétation, de son côté, s'est voulue objective, conforme et cohérente à l'analyse biologique menée sur le terrain.
Dans un tout premier temps, 50 points à visée terrain ont été identifiés sur l'image selon les classes de nomenclature pressenties et leur pertinence à l'image (cf. tableau 05).

Tableau 05 : Classes pressenties

CLASSE D'OBJETS A DETECTER	NIVEAU DE DIFFICULTE
Chenal (profondeur inférieure à 15 m)	Moyen
Chenal (profondeur supérieure à 15 m)	Moyen
Cuvette récifale	Complexe
Fond sablo-vaseux (profondeur inférieure à 1 m)	Moyen
Fond sablo-vaseux (profondeur inférieure à 1 m)	Moyen
Fond sablo-vaseux à algueraie (profondeur de 1 à 3 m)	Complexe
Fond récifal	Moyen
Herbier	Moyen
Langue de sable émergeante	Faible
Pente récifale	Complexe
Platier récifal (formations coralliennes denses)	Moyen
Platier récifal (formations coralliennes denses sur roche, mortalité importante)	Moyen
Terrasse sableuse à herbier et formations coralliennes éparses	Moyen

Ainsi, dans un 1er temps, les découpes des polygones se sont faites strictement par rapport aux différenciations des rendus spectraux (cf. figure 14).

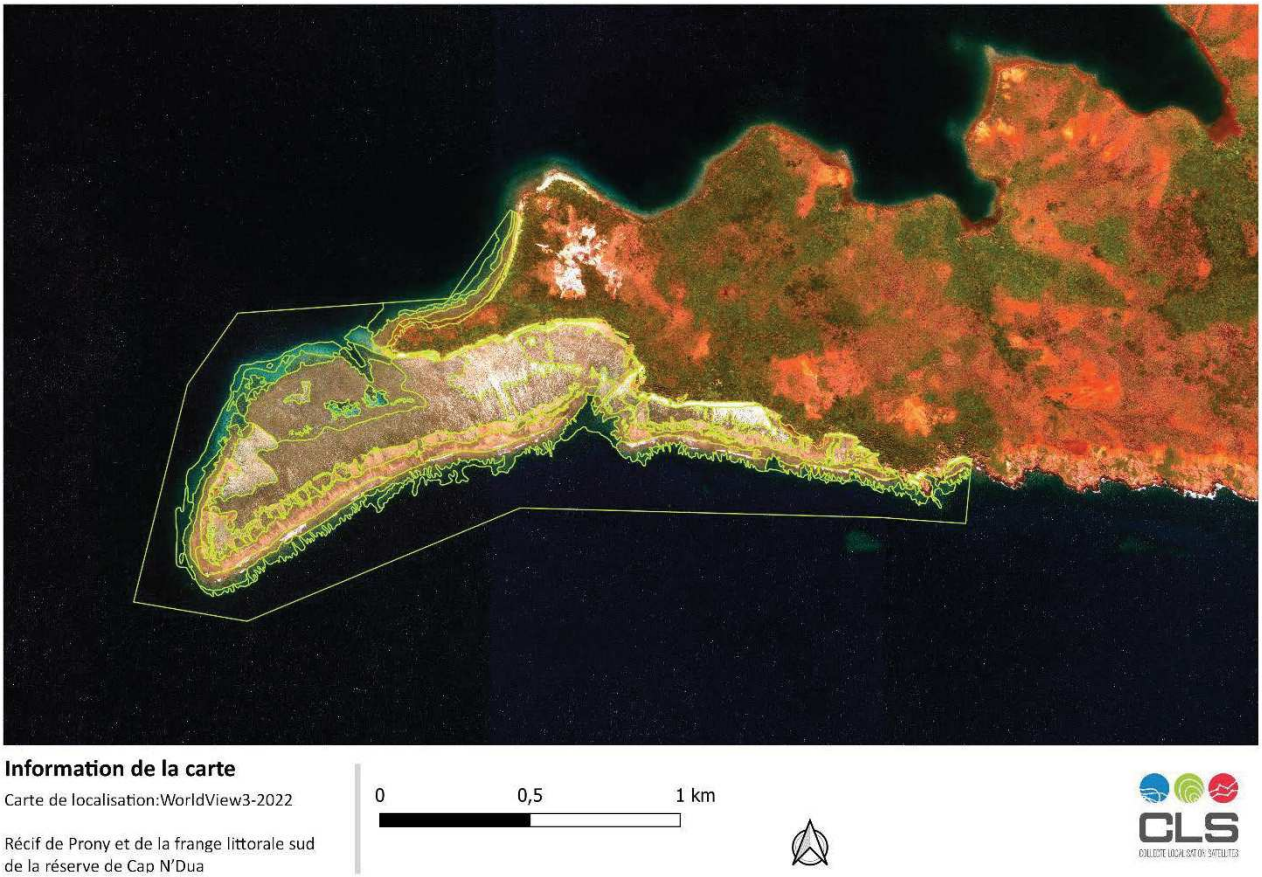


Figure 14 : Découpes PIAO primaires

L'identification nominative des couverts a ensuite été effectuée au regard de chacun des points retours d'analyses terrain (cf. § 2.2.1.5.1).
Cette première version d'interprétation, proposée en support à la classification, visait à ajuster avec l'expertise biologique les différents postes de nomenclature définis en amont tout en les localisant de façon justifiée sur l'image.
Les échanges techniques ont permis de redéfinir chacun des postes à la fois sur la forme, selon le libellé et sa définition, et sur l'image, avec la localisation et la délimitation, pour une meilleure compréhension commune.
Deux niveaux d'interprétation ont ainsi pu être proposés :

- Le niveau 1 correspond à une classe générique, détectable et identifiable par classification automatique
- Le niveau 2, ressort d'une approche nomenclature plus fine par photo-interprétation.

Seule, l'analyse humaine localisée permet une cohérence d'interprétation exhaustive du récif en tenant compte des connaissances biologiques et structurelles précises du milieu. Le schéma de la géomorphologie du récif (cf. figure 19) a permis de consolider les approches.
L'interprétation du récif est soumise à des contraintes liées à la richesse et à la spécificité des couverts coralliens. De même, la dimension d'immersion marine de profondeur plus ou moins importante, affecte fortement les rendus images. Certaines classes de niveau 2 exigent ainsi un support terrain.
De fait, les classes 3.1, 3.2, 3.3 (hétérogénéité des fonds sablo-vaseux) demandent une double lecture technique et biologique afin de s'assurer de la bonne localisation des zones.
De la même manière, les classes 6.1 et 6.2 (platier interne de corail vivant mort *vs* corail mort) doivent tenir compte du schéma récifal, du rendu image et de la connaissance biologique de terrain. Ces niveaux font appel à un regard expert de photo-interprétation. La consultation de données exogènes open source Google Earth historique a pu mettre en évidence par exemple la zone 6.1 (Platier récifal interne vivant) en contraste avec la zone 3.1 (Fond sablo-vaseux - Mélange Coraux et Algues dominantes) annexe (cf. figure 15).

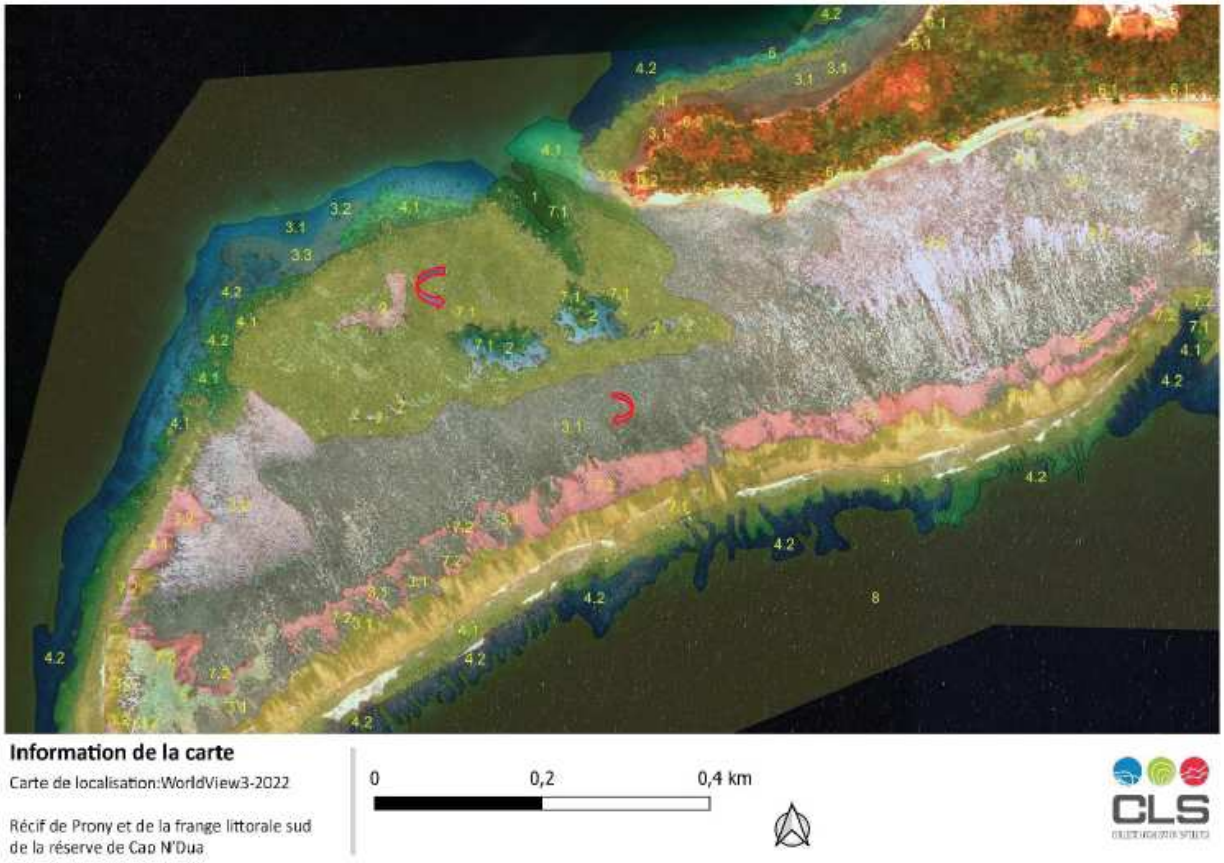


Figure 15 : Différenciation par analyse terrain et données exogènes (classe 6.1 vs 3.1)

Figure 16 : Image Google Earth Historique 2011

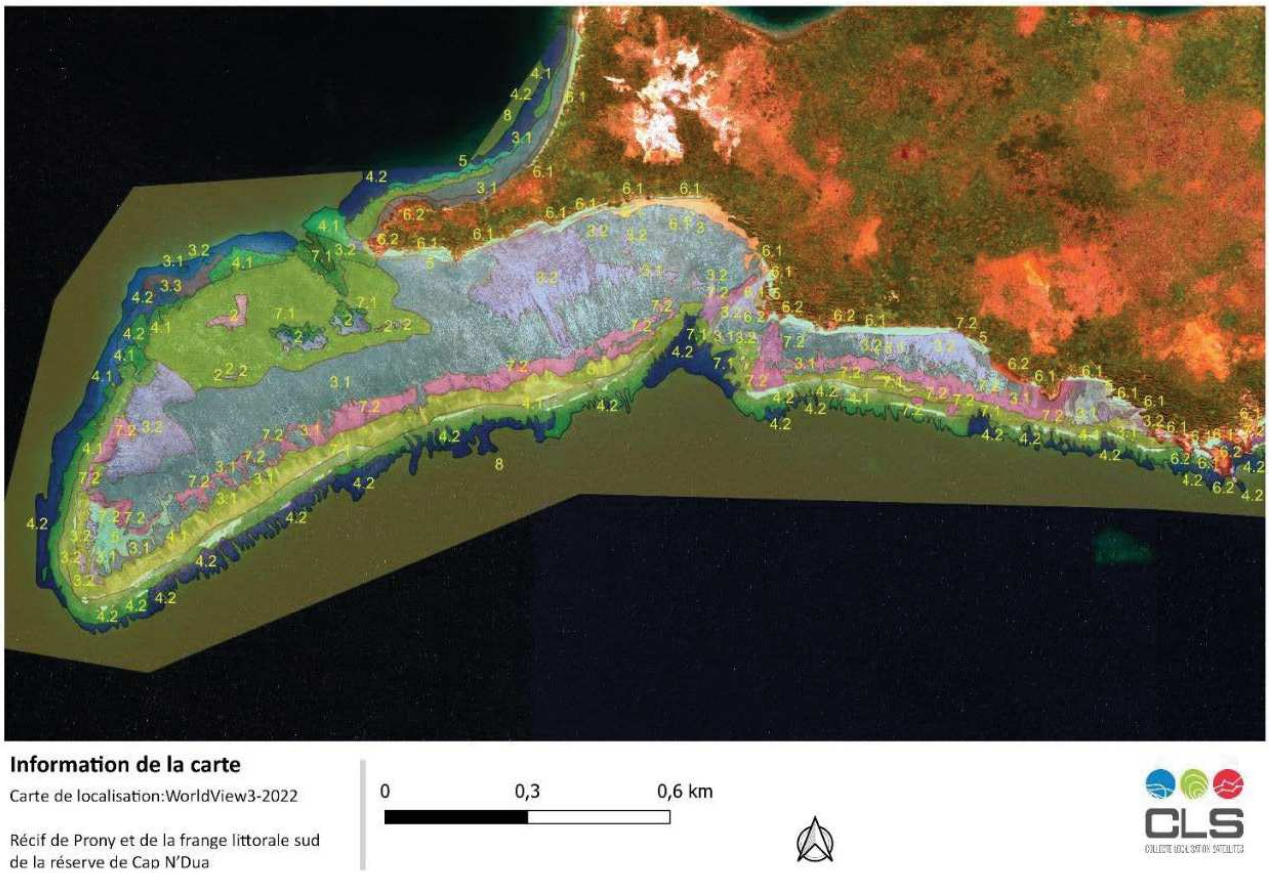


Figure 17 : Cartographie par Photo-interprétation

⇨

Les méthodes croisées de photo-interprétation et de classification automatique, avec la base d'expertise biologique terrain, ont permis de produire des résultats fiables sur l'ensemble de la zone étudiée. La mise en place et l'utilisation d'un algorithme spécifiquement dédié permet de générer une grande quantité d'informations, sur un premier niveau de lecture. Plusieurs hypothèses, initiées autour de nos échanges techniques, ont été réalisées pour aboutir au choix du modèle le plus performant au regard du milieu étudié. Les résultats sont ensuite affinés par photo-interprétation afin de garantir une fiabilité sur un deuxième niveau de lecture plus précis.
Cette méthode innovante et adaptée au milieu a été conçue de manière à être reproductible. Elle pourra être réutilisée dans le cadre d'un suivi de l'évolution du récif de Prony du fil des années.

2.2.2 Zone 02

2.2.2.1 Campagne terrain

Elle a été réalisée en juin 2023.
Pour le littoral du Cap N'Dua, c'est la méthode du Manta-tow qui a été utilisée.
La planche, spécialement conçue, a permis :

- de guider avec des gestes pré-établis le zodiac tractant pour la direction, la vitesse et les arrêts
- d'observer les fonds
- de prendre des notes
- de prendre des photos et des vidéos
- de prendre des points GPS (et la trace).

Le linéaire parcouru ainsi que les différents points GPS relevés sont localisés figure 18.

Figure 18 : Linéaire reconnu en Manta-tow

2.2.2.2 Nomenclature

La précision de cette méthode est forcément moindre, donc la structure des récifs présents n'est ici pas détaillée (seulement une typologie de niveau 1).
Dans cette zone, 2 classes supplémentaires ont été créées, dont 1 avec 3 divisions. Une division a aussi été ajoutée pour le littoral (cf. tableau 06).

Tableau 06 : Postes de la nomenclature

CLASSE N1	UNITE GEOMORPHOLOGIQUE	CLASSE N2	SOUS-CLASSE	PRECISION
7	Récif frangeant	7		Formations coralliennes denses
8	Pied de falaise	8.1	Turf dominant	Blocs rocheux avec turf
		8.2	Colonies dispersées	Fond sablo-vaseux & blocs avec colonies coralliennes éparses
		8.3	Autres organismes	Fond sablo vaseux & blocs avec alcyonnaires et corallines
9	Littoral	9.3	Falaise	Falaise de roche péridotitite

2.3 Equipe de travail

Le Mandataire pour cette étude était la SARL AQUA TERRA, avec l'appui de partenaires :

- CLS pour la partie télédétection : https://www.cls.fr/
- ACREM pour l'ichtyologie et une partie de la logistique terrain.

Les principaux intervenants étaient donc :

gérante de la société, ingénieur biologiste (Maîtrise de SVT - DEA Océanographie biologique, Paris VI ; Maîtrise Géographie La Rochelle). 25 ans d'expérience en gestion de l'environnement en milieux aquatiques et notamment à travers des campagnes d'échantillonnage sous-marin. A réalisé de très nombreuses missions dans le cadre du suivi des communautés coralliennes sur tout le Territoire et notamment dans le Grand Sud, depuis 2000. Plongeuse professionnelle.

Pour cette étude : responsable logistique et technique ; échantillonnage et traitement/analyses des résultats liés, photographie sous-marine et vidéos ; synthèse des données, rédaction du rapport.

titulaire d'un Master Géographie, Aménagement, Environnement et Développement en Gestion des Littoraux et des Mers qui fait suite à une formation technique solide (BTS Topographe-géomètre et Licence pro Aménagement du Territoire et Urbanisme). Jeune diplômé avec 3 ans d'expérience professionnelle, il possède cependant des compétences certaines en matière de SIG et sur les questions liées aux problématiques d'aménagements et de gestion d'un territoire e notamment sous l'angle du développement durable. Maîtrise les logiciels de DAO/graphisme.

Pour cette étude : géomatique, télédétection, cartographie.

professeur émérite des Universités à l'Université de Nouvelle Calédonie, biologiste marin. A participé à de nombreuses campagnes d'échantillonnage du milieu marin et notamment dans cette zone. Plongeur niveau III.

Pour cette étude : participation aux missions terrain : inventaire des communautés ichtyologiques et traitements/analyses des résultats liés.

28 ans d'expérience professionnelle comme photo-interprète (PIAO). Responsable production.

Pour cette étude : interprétation technique des milieux récifaux & classification automatique/PIAO ; échanges avec Valérie pour l'interface technique / biologie.

diplôme d'ingénieur en aéronautique et aérospatial, IPSA ; Master recherche sciences de la terre, des planètes et de l'environnement, spécialisation télédétection, Paris VII). 7 ans d'expérience professionnelle comme ingénieur en télédétection.

Pour cette étude : traitement de l'image satellite, développement de la chaîne d'automatisation, production de la carte d'occupation des sols, en lien avec la PIAO et la biologie terrain.

Pour les missions terrain, l'équipe était complétée par des personnes physiques : pilote, plongeur sécurité surface.

3 Résultats

3.1 Typologie du récif de Prony

La campagne terrain a permis de définir la typologie du récif de Prony et de déterminer les unités géomorphologiques présentes.
Le schéma type d'une coupe nord-sud de la terre vers le lagon est présenté figure 19.

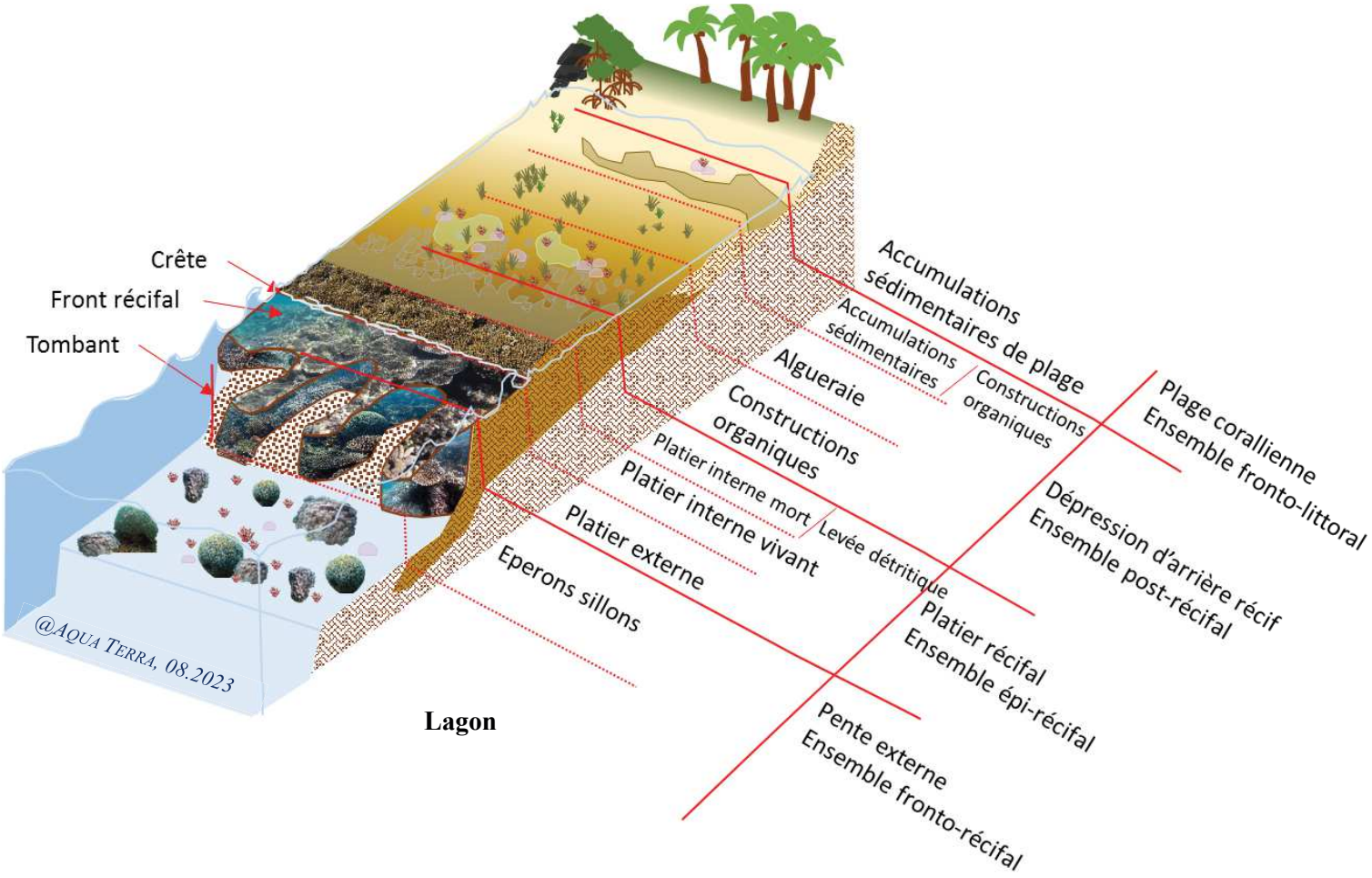


Figure 19 : Géomorphologie type du récif de Prony

3.2 Caractérisation des classes

Les 10 unités géomorphologiques (classes) présentes ainsi que leurs sous-classes (soit 18 entrées) sont décrites dans le tableau 07 et illustrées sur la figure 20.

Il faut signaler que pour le récif de Prony, « à cheval » entre la baie de Prony et le canal de la Havannah, les 2 façades (nord-est et sud) présentent des compositions légèrement différentes dans leurs classes.

Tableau 07 : Caractérisation des unités géomorphologiques

UNITE	CLASSE N2	ZONE	CARACTERISATION
Lagon	0	01 & 02	Cette classe représente les eaux de profondeur > à 10 m. La télédétection ne permet pas de décrire les fonds de cette classe, mais les différentes plongées confirment la présence de coraux sur le début de la plaine, avec un premier plateau sablo-vaseux dans la zone des 10 m. Cela pour le récif de Prony, sur la façade nord-est où des colonies, plus ou moins dispersées, ont été observées et encore plus sur la façade sud où les éperons se prolongent profondément
Chenal	1	01	"Passe" à travers le platier externe qui rentre dans le platier interne. Environ 4-5 m de profondeur. Le fond est biotique à 100% avec un très fort recouvrement corallien qui comprend des *Acropora* tabulaires
Cuvette récifale	2	01	Profondeur 1 à 4 m. Fond de sable blanc, quelques débris coraliens et des colonies espacées de taille pluridécimétriques de différentes formes (massives, foliacées, digitées, branchues) / espèces
Dépression d'arrière récif à algues	3.1	01	Fond sableux avec quelques débris coralliens et des patchs de constructions organiques mêlant des algues et des coraux. Quelques rares pieds fins d'*Halodule*, *Cymodecea, Halophila.* Toujours une dizaine de cm d'eau. Zone où les algues dominent : sargasses, *Padina*, *Turbinaria ornata*).
Dépression d'arrière récif à coraux	3.2	01	Zone où les coraux dominent : formes trapues : branchus ou massifs *(Porites* "en lagon") et les colonies sont peu hautes, contraintes par la faible profondeur d'eau à marée basse
Dépression d'arrière récif à sable	3.3	01	Zone où les constructions organiques sont beaucoup plus rares, le sable domine. Beaucoup d'holothuries
Front de platier externe	4.1	01	Façade sud : la zone sous-marine frontale est formée d'éperons-sillons de petites tailles qui attestent d'un mode hydrodynamique légèrement battu, c'est-à-dire régulièrement soumis à un régime de vagues d'incidence oblique et de tailles comprises entre 1 à 2,5 m. Dans la zone infralittorale (i.e. en dessous des basses mers de vives-eaux) le dos des éperons se prolonge en sub-surface vers le sud sur 20 à 30 m et jusqu'à une profondeur d'un mètre environ, puis tombe rapidement à 3 ou 4 m pour rejoindre le niveau des débouchés de sillons Façade nord-est : le front est moins découpé, un peu plus large et donne directement sur le tombant Dans les 2 cas la zone est proche du 100% en recouvrement biotique et les coraux y sont très présents (jusqu'à 95%). Formes branchues, massives et encroûtantes de petites tailles sur la crête qui augmente avec l'éloignement jusqu' à pluridécimétrique
Tombant de platier externe	4.2	01	Façade sud : la zone des éperons-sillons se transforme en un talus escarpé qui descend jusqu'à 10 m de profondeur environ sur le premier plateau de la plaine, sablo-vaseux. Même type de couverture biotique et corallienne avec des tailles qui s'agrandissent et de nombreux *Acropora* tabulaires Façade nord-est : talus sub-vertical directement après le front avec de grandes colonies (taille plurimétriques) massives plus ou moins dispersées sur un premier rebord avant de "tomber" vers la plaine. Patchs d'alcyonnaires (*Sinularia*) de taille parfois métrique

Fond détritique	5	01	Fond sablo-vaseux avec de nombreux débris coralliens. Très rares constructions organiques (algues *Turbinaria ornata)*, sargasses ou *Acropora* branchus)
Platier interne vivant	6.1	01	Formation corallienne très dense. Façade sud : quasi mono spécifique en Acropora branchus qui émergent quelques heures pendant les fortes marée basse Façade nord-est : plus d'eau. Mélange de coraux branchus (*Acropora* dominant) et d'alcyonnaires (Sinularia, Sarcophyton). Quelques patchs de sable. Quelques algues parfois (*Padina, Halimeda, Turbinaria ornata*) et des bénitiers
Platier interne mort	6.2	01	Débris coralliens et levée détritique. Proche du 100% abiotique. Localisé sur la façade sud
Récif frangeant	7	02	Le recouvrement biotique est très élevé, avec des formations coralliennes denses. Abondance des *Acropora* tabulaires
Blocs rocheux avec turf	8.1	02	Situé en pied de falaise, zone d'accumulation de blocs rocheux sur fonds sablo-vaseux, recouverts de turf
Colonies dispersées	8.2	02	Fond sablo-vaseux avec des blocs couverts de corallines encroûtantes. Colonies coralliennes éparses, formes variées, de taille décimétrique. Petits *Acropora* tabulaires
Autres organismes	8.3	02	Assez similaires au 8.2, mais moins de coraux et présence de patchs d'alcyonnaires (Sarcophyton)
Plage de sable	9.1	01 & 02	Zone exondée. Etage médio et supra littoral. Substrat d'origine corallienne avec une granulométrie plus ou moins fine (débris à sable)
Côte rocheuse	9.2	01	Zone exondée. Etage médio et supra littoral. Blocs rocheux
Falaise	9.3	02	Falaise de roche péridotitite

0 Lagon

1 Chenal

2 Cuvette récifale

3.1 Dépression d'arrière récif à algues

3.2 Dépression d'arrière récif à coraux

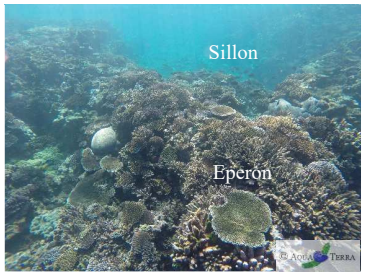
3.3 Dépression d'arrière récif à sable

5 Fond détritique

4.1 Platier externe Front

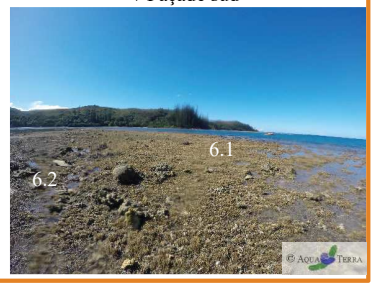
4.1 Platier externe Tombant / Façade nord-est

/ Façade sud



6.1 Platier interne vivant / Façade nord-est

/ Façade sud



7 Récif frangeant

6.2 Platier interne mort

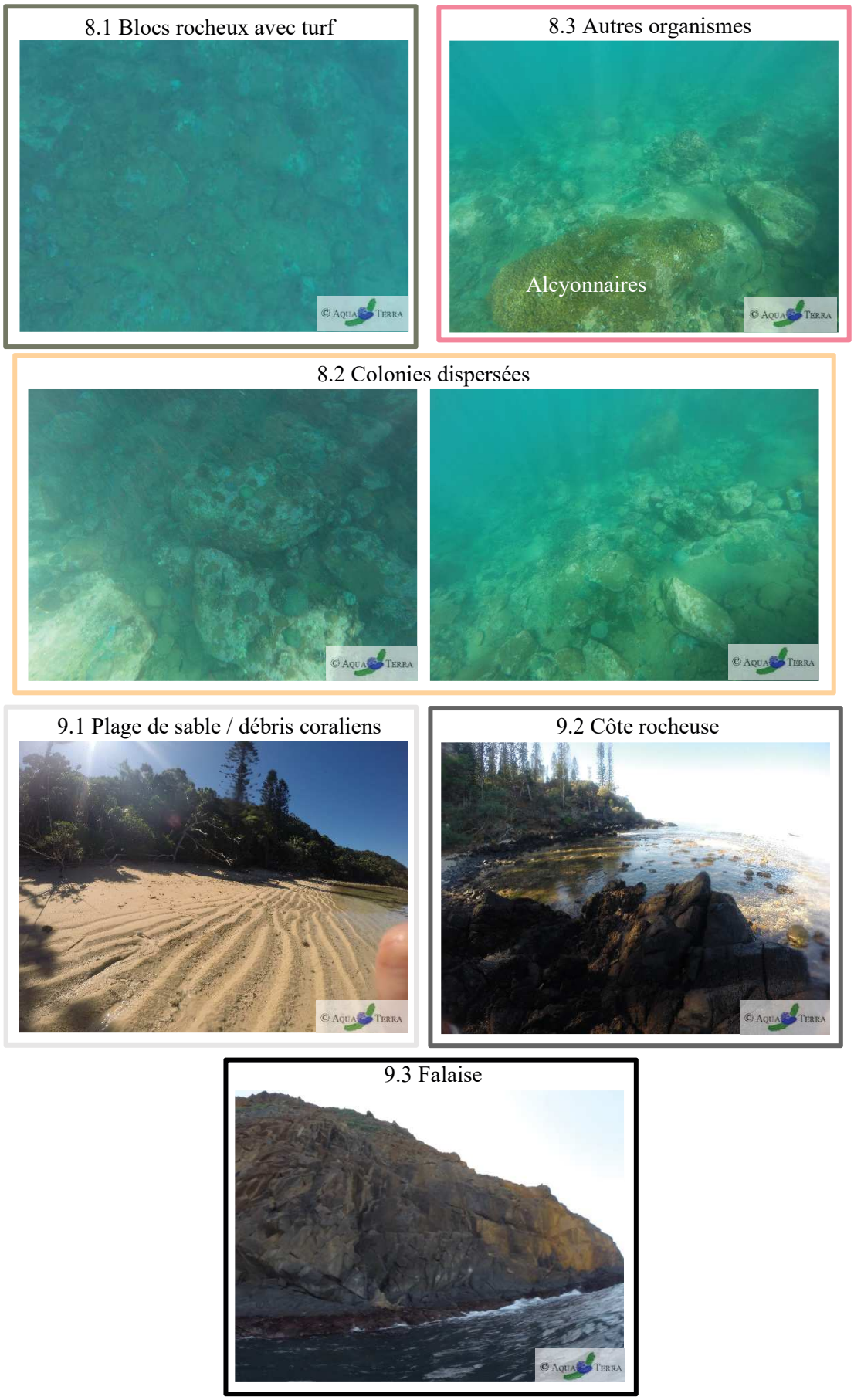


Figure 20 : Photographies des unités géomorphologiques de la zone d'étude

3.3 Cartographie

La carte 01 présente les différentes classes caractérisant la zone au niveau du benthos marin.
Le littoral (classe 9) étant exondé, il n'est pas pris en considération et n'y est donc pas représenté.
De même, afin de ne pas surcharger les cartes, la classe lagon (classe 0) n'est pas représentée ni prise en compte dans le reste du rapport pour les calculs de superficie.

La carte 01 localise donc 14 entités qui représentent, une superficie totale de plus de 104 ha.
Le tableau 08 présente les superficies pour chacune unité.

Tableau 08 : Superficie des unités bionomiques de la zone d'étude

CLASSE N2	UNITE BIONOMIQUE[1]	SURFACE (ha)		
		ZONE 01	ZONE 02	TOTAL
1	*Chenal*	*0,21*	*0*	*0,21*
2	Cuvette récifale	0,86	0	0,86
3.1	Dépression d'arrière récif à algues	28,30	0	28,30
3.2	Dépression d'arrière récif à coraux	9,44	0	9,44
3.3	Dépression d'arrière récif à sable	1,52	0	1,52
4.1	*Front de platier externe*	13,95	0	*13,95*
4.2	*Tombant de platier externe*	*11,68*	0	*11,68*
5	Fond détritique	1,65	0	1,65
6.1	*Platier interne vivant*	*19.81*	0	*19,81*
6.2	Platier interne mort	7,32	0	7,33
7	*Récif frangeant*	*0*	*4,96*	*4,96*
8.1	Blocs rocheux avec turf	0	2,72	2,72
8.2	Colonies dispersées	0	1,49	1,49
8.3	Autres organismes	0	0,10	0,10
	Total	*94,74*	*9,27*	*104,01*

Si les unités présentant un fort recouvrement corallien (cf. tableau 07) sont regroupées (elles sont en italique dans le tableau 08), elles représentent près de 51 ha.
Ainsi, près de la moitié de la zone d'étude est constituée de biocénoses coralliennes.
Et la très grande majorité (90%) est localisée dans la zone 01, soit le récif de Prony (cf. figure 21).

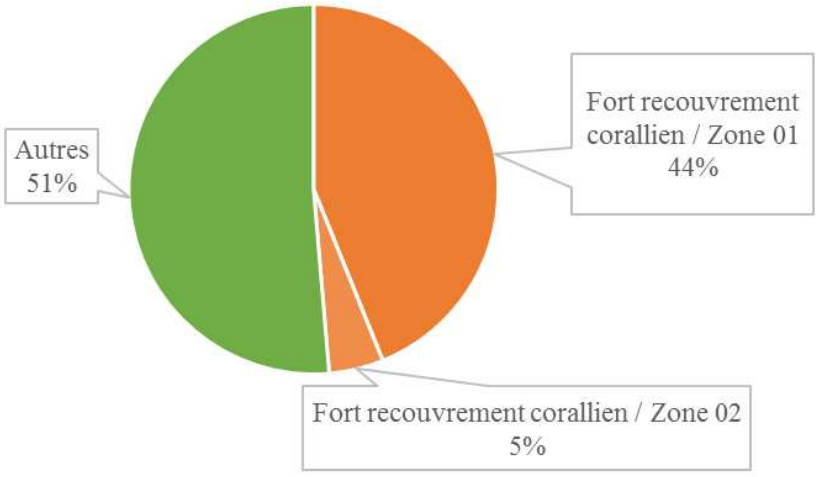
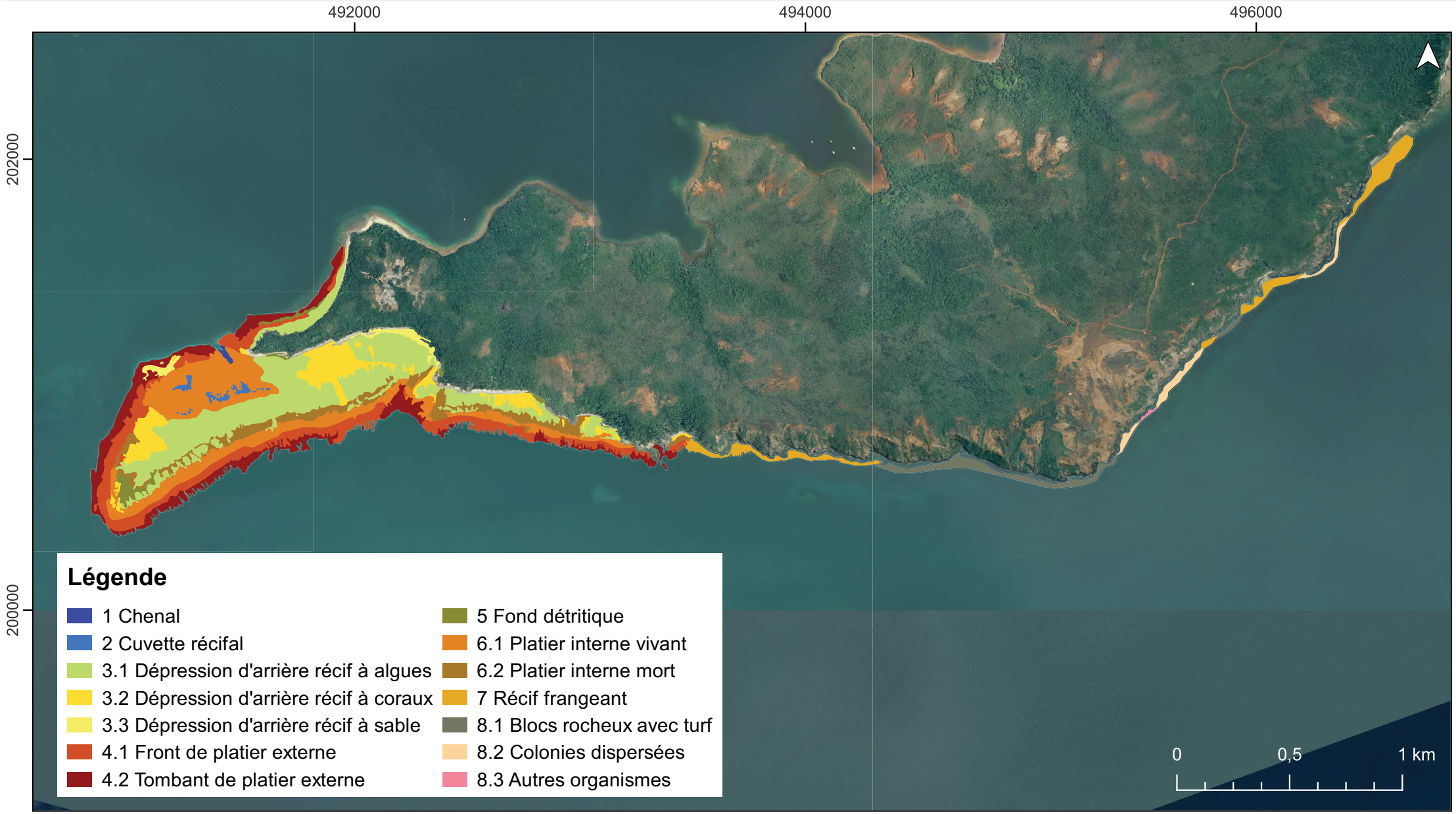


Figure 21 : Représentativité des biocénoses coralliennes dans la zone d'étude

[1] Zone présentant une certaine unité de fonctionnement, de biotope (habitat) et de biocénose (peuplement)

Carte 01 : Bionomie benthique de la zone d'étude



Source : Fond imagerie - DINUM 2021 ;
Classification - CLS 2023 & Aqua Terra

Echelle : 1 / 22 000
RGNC91-93 / Lambert NC

4 Analyse

4.1 Description des peuplements

Cette partie présente une évaluation globale des peuplements benthiques et ichtyologiques de la façade (entre 6 et 9 m) du récif de Prony.
Ces résultats sont de nature qualitative et non exhaustifs (cf. le § sur la méthodologie en 2.2.1.3) mais décrivent les biocénoses présentes à minima.

4.1.1 Le substrat et le benthos

Le pourcentage de couverture du substrat par chaque composante pour les différents points inventoriés est présenté dans le tableau 09 et illustré en figure 22.

Tableau 09 : Recouvrement du substrat

COMPOSANTE	PRECISION	TRANSECT (cf. figure 05)							MOYENNE (%)	ECART-TYPE
		1	2	3	4	5	6	7		
Coraux scléractiniaires		90	52	94	10	17	40	75	54,0	33,8
Autres coraux	*Millepora*						1	1	0,3	0,0
Coraux mous	Alcyonnaires	1	10	1	80	52	3	1	21,1	31,9
Algues	Macro-algues		2	1			5		1,1	2,1
Corail mort avec algues	Turf	2	33	4	10	28	18	6	14,4	12,2
Sable			2				30	15	6,7	14,0
Débris	Débris nus	7	1			3	3	2	2,3	2,3

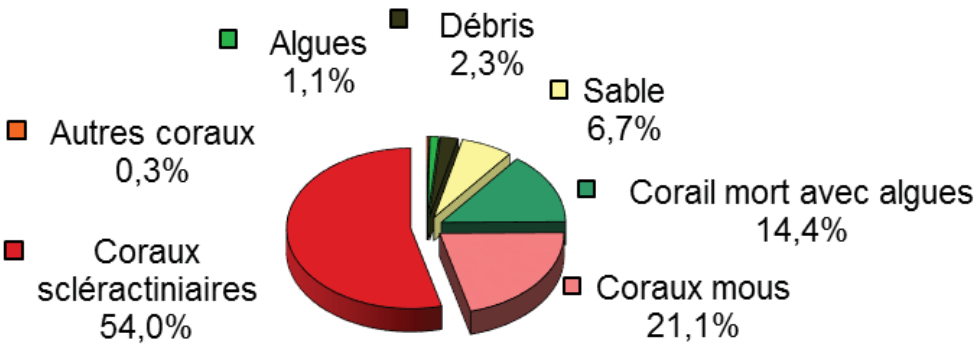


Figure 22 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat

Les tombants sont donc très vivants avec une couverture biotique de 91% en moyenne sur la zone et les coraux scléractiniaires y sont très bien représentés avec 54% de recouvrement en moyenne. Leur présence dépasse même 90% du benthos dans certaines zones.
Ce sont majoritairement des *Acropora* branchus, clairsemés de massifs de *Porites*, Favidae... dont les tailles peuvent être pluridécimétriques à métriques.
Les alcyonaires eux (*Sinularia* sp. principalement) forment de grands tapis dans certaines zones.

4.1.2 L'ichtyofaune

Le listing de l'inventaire ichtyofaune est disponible en annexe n°02.

4.1.2.1 Abondance

Lors de cette mission, les poissons n'ont pas été dénombrés individuellement, mais l'abondance relative de chaque espèce a été renseignée.
Globalement ces peuplements sont quantitativement comparables à la station de la réserve Merlet (en réserve intégrale).
Les espèces les plus abondantes sont listées dans le tableau 10. Parmi celle-ci, se retrouvent notamment le Wiwa *Kyphosus sydneyanus* et le Perroquet *Scarus dimidiatus* classiquement présents dans les zones de mode calme et sans doute descendus en nombre sur le front récifal à la faveur de l'absence de vent ces jours-là.

Tableau 10 : Espèces les plus abondantes (ichtyofaune)

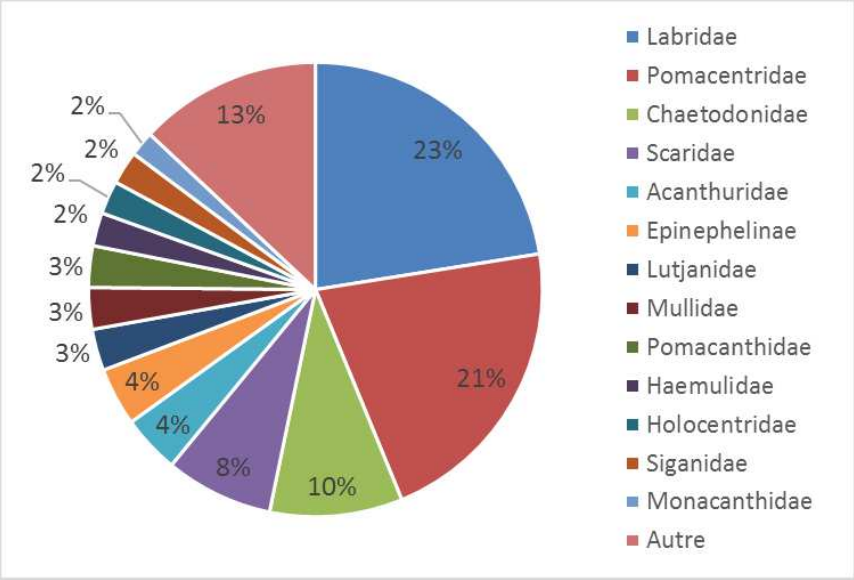
FAMILLES	GENRES - ESPECES
Caesionidae	*Pterocaesio pisang*
Chaetodonidae	*Chaetodon ephippium*
	Chaetodon lunulatus
Epinephelinae	*Plectropomus leopardus*
Kyphosidae	*Kyphosus sydneyanus*
Pomacentridae	*Abudefduf sexfasciatus*
	Abudefduf whitleyi
	Chromis viridis
	Neoglyphidodon nigroris
Scaridae	*Scarus dimidiatus*

4.1.2.2 Biodiversité

La biodiversité s'élève à 169 espèces réparties en 30 familles.
Parmi-celles-ci, 13 comptent plus de 86% des espèces (cf. tableau 10). Les labridés, pomacentridés et chaetonidés représentent à elles 3 plus de 50% de la biodiversité.

Tableau 11 : Distribution des espèces par famille (ichtyofaune)

FAMILLE	NOMBRE D'ESPECES
Labridae	38
Pomacentridae	36
Chaetodonidae	16
Scaridae	13
Acanthuridae	7
Epinephelinae	7
Lutjanidae	5
Mullidae	5
Pomacanthidae	5
Haemulidae	4
Holocentridae	4
Siganidae	4
Monacanthidae	3
Total	*147*
Autre	22



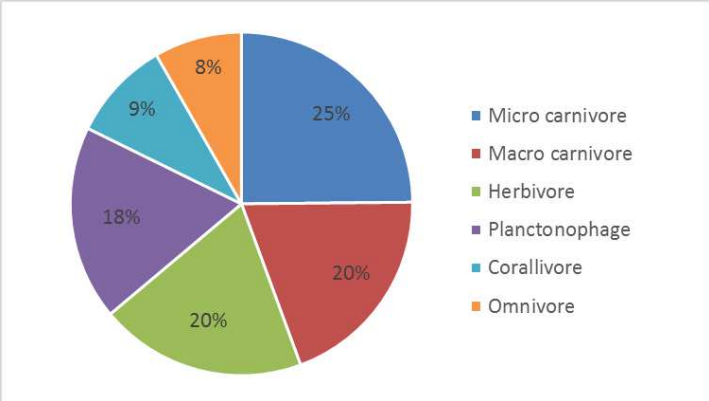
4.1.2.3 Régime alimentaire

Par rapport aux régimes alimentaires, ce sont les carnivores qui sont les diversifiés (cf. tableau 12).

Mais plus de la moitié des taxons sont des microcarnivores, des planctonophages et des corallivores, ce qui atteste d'une très bonne qualité des eaux et des substrats.

Tableau 12 : Distribution des espèces par régime alimentaire (ichtyofaune)

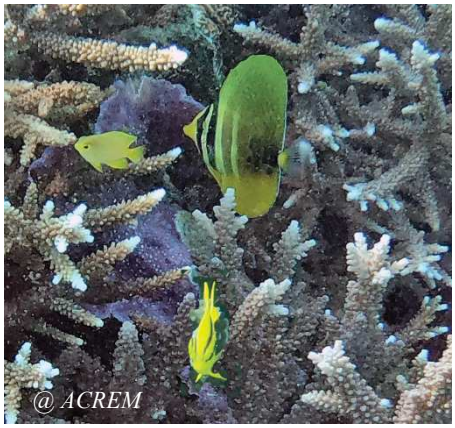
REGIME ALIMENTAIRE	NOMBRE D'ESPECES
Micro carnivore	42
Macro carnivore	33
Herbivore	33
Planctonophage	31
Corallivore	16
Omnivore	14



4.1.2.4 Juvéniles

Une importante fraction des espèces présentes à l'état d'adulte le sont aussi à l'état de juvéniles (cf. figure 23).

Pomacentrus moluccensis



Zebrasoma veliferum

Neoglyphidodon nigroris

Figure 23 : Photographie de juvéniles (ichtyofaune)

4.2 Indicateurs de santé

En complément de l'étude des paramètres d'abondance ou de richesse spécifique, il est intéressant d'étudier plus précisément le fonctionnement de stabilisation et de régénération des récifs, à travers différents indicateurs de l'état de santé des récifs :

- le blanchissement corallien
- les maladies et lésions coralliennes
- les principales espèces concurrentes.

Le blanchissement corallien

Le blanchissement corallien donne des indications de l'état de santé et de l'affaiblissement des récifs sur le court terme car cet état est transitoire et ne peut pas durer plus de deux ou trois mois sur la même colonie. Soit la colonie réintègre ces zooxanthelles (polypes encore présents bien sûr) soit elle meurt puis est recouverte par du sédiment, du gazon algal (turf) ou des cyanobactéries puis par les algues calcaires.

Le blanchissement corallien doit être abordé à travers 2 types de mesure :

- le recouvrement par des colonies coralliennes blanchies
- le nombre d'espèces coralliennes blanchies.

Lors de cette mission, très peu de blanchissement a été observé : 2 tâches de 0,02 m² chacune, touchant 2 espèces différentes. Il peut donc être considéré que cet indicateur est nul.

- Les maladies et lésions coralliennes

Les principaux types de lésions ou maladies pouvant être rencontrés dans la zone sont listés dans le tableau 13, avec les occurrences d'observations pour cette mission.

Tableau 13 : Maladies ou lésions coralliennes

MALADIE – LESION CORALLIENNE	OCCURRENCE LORS DE CETTE MISSION
Prédation des corallivores	Aucune astéries *Acanthaster planci* et *Culcita novaeguineae* Quelques gastéropode *Drupella cornus*
Lésions liées à la sédimentation	Rares occurrences
Lésions liées à l'hydrodynamisme	Rares occurrences
Anomalie de croissance (growth anomaly)	Quelques occurrences (une dizaine) sur des colonies importantes de coraux massifs
Maladie de la bande blanche (white band disease)	Rares occurrences (une dizaine sur toute la zone) sur *Acropora* tabulaires notamment
Tâche noire (dark spot ou hypermycose endolithique)	Non observée

Globalement les récifs étaient en très bonne santé avec de rares lésions.

- Les principales espèces concurrentes

Les principales espèces concurrentes pouvant être rencontrées dans la zone sont listées dans le tableau 14, avec les occurrences d'observations pour cette mission.

Tableau 14 : Espèces concurrentes (corail)

ESPECE	OCCURRENCE LORS DE CETTE MISSION
Cyanobactéries	Très rares tâches de peu de surface (0,01 à 0,02 m²)
Algues sujettes à prolifération	*Asparagopsis taxiformis* et *Lobophora variegata* : très rare présence avec un recouvrement très faible
Eponges encroûtantes (*Cliona orientalis* et *Cliona jullieni*)	Présentes en quantité faible et « normale »
Astéries corallivores (*Acanthaster planci* et *Culcita novaeguineae*)	Aucune occurrence
Mollusques corallivores	Présence de *Drupella cornus* en quantité faible et « normale »

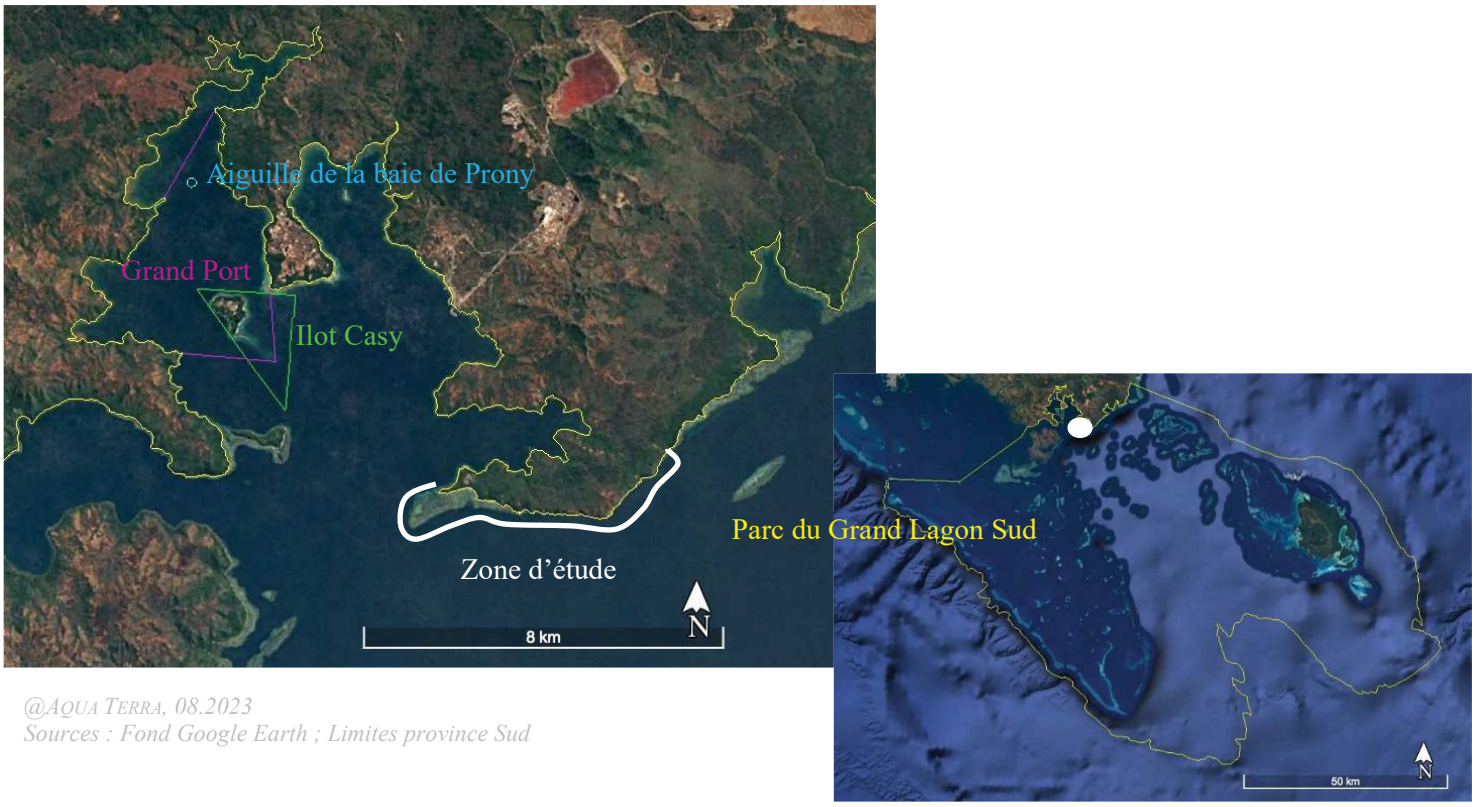
⇨ *Globalement les récifs étaient en très bonne santé.*

4.3 Contexte réglementaire

4.3.1 Aires protégées

4.3.1.1 Code de l'Environnement de la Province Sud [R06]

Les aires marines du Grand Sud, proches de la zone d'étude, sont localisées sur la figure 24.
La zone d'étude est située dans le « Parc du Grand Lagon Sud », qui est un parc provincial.



@Aqua Terra, 08.2023
Sources : Fond Google Earth ; Limites province Sud

Figure 24 : Aires marines protégées

Selon l'art.2011-17 les parcs provinciaux doivent être dotés d'un plan de gestion. Le plan de gestion comporte, le cas échéant, un document graphique indiquant les différentes zones et leur vocation.
Or, le PPGLS n'a actuellement aucun plan de gestion (un seul a été mis en place pour la période 2013-2017, [R05]).
Les activités autorisées et interdites ne sont donc pas définies.
Le respect des exigences réglementaires du PPGLS de ce projet ne peut donc pas être statué en l'état.
Il faut cependant noter que l'usine du Sud dans son ensemble et le diffuseur actuel en particulier, fait partie intégrante des activités listées présentes lors de la création de cette aire et est, de fait, autorisée.

De plus, pour information, les objectifs du plan de gestion 2013-2017 concernant PRNC sont rappelés dans le tableau 15 : aucune disposition réglementaire n'y était présente.

Tableau 15 : Objectifs concernant PRNC du plan de gestion 2013-2017du PPGLS

OBJECTIF	SOUS-OBJECTIF	ACTIONS	PILOTE	AUTRE ACTEUR OU INTERVENANT
Maîtrise des pollutions et de l'hypersédimentation				
Prévenir l'hypersédimentation dans le lagon en	Prévenir les incendies et minimiser leur impact	Solliciter la constitution d'une brigade de pompiers volontaires formés par PRNC en appui de leur brigade (habitants de l'île Ouen +	Communes	PRNC + volontaires

limitant les sources d'érosion		habitants du village de Prony +...) pour réaliser interventions et sensibilisations		
	Restauration des ripisylves	Reconquérir le couvert végétal Rivière Kwé, cascade de Garo, Trùu, Kübüni et autres creeks et restaurer les corridors écologiques	Pacte DO + PRNC + Fonds nickel	P.Sud (DENV + DDR) + DAVAR
Diminution des risques de pollutions	Éviter et limiter l'impact des pollutions maritimes	Contrôler l'apparition d'espèces marines exogènes et potentiellement envahissantes	P.Sud (DENV)	PRNC + Œil
Préservation des espèces emblématiques et des écosystèmes marins				
Préservation des espèces emblématiques	Limitation des impacts sur les espèces emblématiques	Lutter contre les pollutions lumineuses (PRNC, information sur les îlots)	P.Sud (DENV)	PRNC + OEil
Mise en œuvre d'une réglementation adaptée				
Création de nouvelles réglementations pour une protection efficace	Protection des espèces emblématiques, rares ou menacées	Proposer de programmer le trafic du port de PRNC préférentiellement en période chaude	DIMENC + PRNC	/

4.3.1.2 UNESCO

En 2008, une partie du lagon de Nouvelle-Calédonie a été inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO, pour sa diversité récifale et ses écosystèmes associés.
Ce bien en série est composée de 6 zones marines (« zones de bien ») qui représentent l'ensemble de la diversité des récifs et écosystèmes associés.
Chaque zone de bien est protégée par des zones tampons marines (isobathes -100 m à -500 m) et terrestres (bassins versants débouchant dans les zones inscrites) ne faisant pas partie du bien inscrit.

La zone d'étude est située dans la zone tampon marine de la zone de bien n°1 « Grand Lagon Sud » (cf. figure 25).
D'un point de vue « obligation », la zone tampon de l'UNESCO ne fait pas partie du bien inscrit et n'impose aucune exigence particulière.

La zone d'étude est située dans le Parc provincial du Grand Lagon Sud et la zone tampon de la zone de bien UNESCO n°1, sans exigence réglementaire à ce jour.

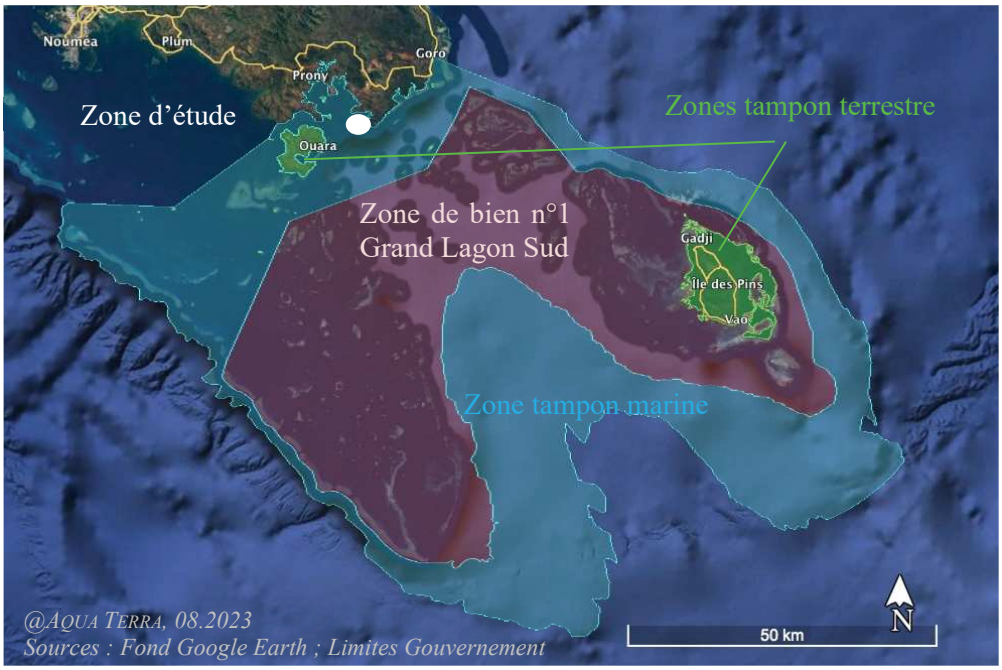


Figure 25 : Zonage Unesco

4.3.2 Espèces protégées

4.3.2.1 Liste rouge UICN

La liste rouge de l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) est un système simple et compréhensible par tous pour classer les espèces selon leur risque d'extinction à l'échelle mondiale (les principes et les catégories sont présentés en annexe n°04).

Précautions d'application :

- *Cette liste est en constante réactualisation ;*
- *Elle est établie à un niveau mondial : cela ne reflète pas la situation de la Nouvelle-Calédonie, ni même au niveau mondial : en milieu marin, le recensement des espèces d'invertébrés enregistre de nombreuses lacunes à travers le monde. Les coraux scléractiniaires et les bénitiers sont les mieux référencés mais le reste des invertébrés est le plus souvent enregistré comme « données insuffisantes » (data deficient).*

Les coraux scléractiniaires

Plusieurs espèces de coraux durs sont inscrites sur cette liste rouge [R07].

Au vu de la surface de récifs coralliens présente, la présence d'espèces classées par l'UICN est plausible.

Les autres invertébrés

Concernant les autres invertébrés (hors coraux durs), les données recueillies par l'UICN ne sont pas assez détaillées et représentatives pour juger le risque d'extinction des espèces à l'échelle mondiale.
Dans la zone (baie de Prony et canal de la Havannah), selon nos données historiques [R03] plusieurs espèces ont déjà été observées, comme détaillé dans le tableau 16.
Ce sont 20 espèces réparties dans 2 groupes : les holothuries et les mollusques : 2 espèces « en danger » (EN), 4 espèces « vulnérable » (VU), 2 espèces « dépendant de la conservation » (CD) et 12 espèces en « préoccupation mineure » (LC).

Pour cette mission, holothuries, bénitiers et cônes ont pu être observés, notamment dans les dépressions d'arrière récif.

Des invertébrés benthiques classés par l'UICN sont présents sur la zone d'étude.

Tableau 16 : Invertébrés inscrits sur la liste UICN et échantillonnés dans la zone élargie

EMBRANCHEMENT	DIVISION	FAMILLE	GENRE	ESPECE	STATUT
Echinoderme	Holothuride	Holothuriidae	*Actinopyga*	*flammea*	LC
			Actinopyga	*miliaris*	VU
			Actinopyga	*palauensis*	LC
			Holothuria	*argus*	LC
			Holothuria	*atra*	LC
			Holothuria	*edulis*	LC
			Holothuria	*flavomaculata*	LC
			Holothuria	*fuscogilva*	VU
			Holothuria	*fuscopunctata*	LC
			Holothuria	*whitmaei*	EN
		Stichopodidae	*Stichopus*	*chloronotus*	LC
			Stichopus	*herrmanni*	VU
			Thelenota	*ananas*	EN
Mollusque	Bivalve	Tridacnidae	*Tridacna*	*crocea*	LC
			Tridacna	*derasa*	VU
			Tridacna	*maxima*	CD
			Tridacna	*squamosa*	CD
	Gastéropodes	Conidae	*Conus*	*capitaneus*	LC
			Conus	*litteratus*	LC
			Conus	*miles*	LC

- Les macrophytes

Dans la zone (baie de Prony et canal de la Havannah), selon nos données historiques [R03] pour les espèces actuellement observées, elles sont enregistrées comme « données insuffisantes » (DD).

- Les poissons

Pour cette mission l'inventaire non exhaustif a permis d'observer 169 espèces différentes de poissons. Parmi elles :

- 45 ne sont pas évaluées / 104 sont évaluées :
- 2 sont listées comme « données insuffisantes »
- 120 sont classées « préoccupation mineure »
- 1 est classée « quasi menacée » (*Triaenodon obesus*)
- 1 est classée « vulnérable » (*Oxymonacanthus longirostris*).

Des poissons classés par l'UICN sont présents sur la zone d'étude.

4.3.2.2 Code de l'Environnement de la Province Sud [R06]

4.3.2.2.1 Ecosystème d'Intérêt Patrimoniaux (EIP)

Actuellement, 5 EIP sont listés dont 2 en milieu marin : les récifs coralliens et les herbiers.

- Les herbiers

L'herbier est défini comme une formation végétale située dans une zone marine de profondeur inférieure à 60 mètres et composé de phanérogames marines appartenant à l'une des espèces listées dans le tableau 17 (article 232-5).
Sont considérés comme EIP les herbiers dont la surface est supérieure à cent mètres carrés.

Tableau 17 : Phanérogames constituant les herbiers

FAMILLE	GENRE	ESPECE
Cymodoceaceae	*Cymodocea*	*serrulata*
	Cymodocea	*rotundata*
	Halodule	*uninervis*
	Halodule	*pinifolia*
	Syringodium	*isoetifolium*
Hydrocharitaceae	*Enhalus*	*acoroides*
	Halophila	*ovalis*
	Halophila	*minor*
	Halophila	*decipiens*
	Halophila	*capricorni*
	Thalassia	*hemprichii*

Quelques rares phanérogames (*Cymodocea*, *Halodule Halophila*) ont été observées dans les dépressions d'arrière récif. Cependant, la faible densité des pieds ne **permet pas de considérer qu'elles forment un herbier au sens réglementaire, ni même écosystémique.**

- Les récifs coralliens

Le récif corallien est défini comme étant une structure marine bioconstruite. Il est constitué de coraux Scléractiniaires Hermatypiques et d'algues rouges calcaires encroûtantes (famille *des Corallinaceae*) (article 232-6).
Sont considérés comme EIP les récifs coralliens dont la surface est supérieure à cent mètres carrés.

Selon les observations de cette étude, la zone comprend bien des récifs coralliens devant être considérés comme des EIP.

4.3.2.2.2 Espèces Endémiques, Rares ou Menacées (ERM)

Les espèces inscrites à la liste des espèces ERM selon l'article 240-1 du Code de l'Environnement de la Province Sud et potentiellement présentes dans la zone d'étude sont présentées tableau 18.
Plusieurs ont déjà été observées historiquement dans la zone élargie [R03].
Pour cette mission, le requin *Triaenodon obesus* a pu être inventorié.

Tableau 18 : Liste des espèces ERM, potentiellement présentes sur la zone d'étude

Règne animal / milieu marin				
Groupe	**Taxon**	**Genre**	**Espèce**	**Nom commun**
Mammifères marins	Cétacés	Tous genres	toutes espèces	Baleine, Orque, Cachalot, Globicéphale, Dauphin …
	Siréniens	*Dugong*	*dugon*	Dugong
Reptiles marins	Cheloniidae	*Caretta*	*caretta*	Tortue caouanne ou grosse-tête
		Chelonia	*mydas*	Tortue verte
		Eretmochelys	*imbricata*	Tortue imbriquée
		Lepidochelys	*olivacea*	Tortue olivâtre
		Natator	*depressus*	Tortue à dos plat
	Dermochelydae	*Dermochelys*	*coriacea*	Tortue luth
	Elapidae	*Laticauda*	*laticauda*	Tricot rayé bleu
		Laticauda	*saintgironsi*	Tricot rayé jaune
Poissons marins	Labridae	*Cheilinus*	*undulatus*	Napoléon
	Scaridae	*Bolbometopon*	*muricatum*	Perroquet à bosse
	Selachimorpha	Tous genres	toutes espèces	Requins (*à l'exception des requins-tigre (Galeocerdo cuvier) et des requins-bouledogue ou requins du Zambèze (Carcharhinus leucas))*
Mollusques marins	Cassidae	*Cassis*	*cornuta*	Casque
	Céphalopodes	*Nautilus*	*macromphalus*	Nautile
	Ranellidae	*Charonia*	*tritonis*	Toutoute ou conque
	Volutidae	*Cymbolia*	toutes espèces	Volutes

Des espèces ERM sont présentes dans la zone d'étude.

4.3.2.2.3 Espèces exotiques envahissantes

Il n'y a qu'une seule espèce exotique envahissante en milieu marin selon le § IV de l'article 250-2 du Code de l'Environnement de la Province Sud : l'étoile de mer japonaise, *Asterias amurensis*.

→ Aucune espèce listée comme « exotique envahissante » au § IV de l'article 250-2 du Code de l'Environnement de la Province Sud n'a été observée lors de cette étude, ni historiquement [R03].

4.4 Sensibilité du récif

Afin d'établir la sensibilité de la zone d'étude, plusieurs critères ont été retenus pour « noter » chaque type de biocénoses (classes) présentes :

- Contraintes réglementaires : toute la zone est dans une aire protégée ; il peut y avoir présence d'EIP ; la probabilité de présence d'espèces protégées (UICN, ERM) est plus ou moins forte
- Biodiversité générale
- Recouvrement corallien
- Indicateurs de santé : cet indicateur étant bon et le même pour toute la zone (cf. § 4.2), il n'a pas été compté.

Chaque critère a été évalué entre 0 et 5 et la sensibilité est sur 3 niveaux : faible, moyenne, élevée.

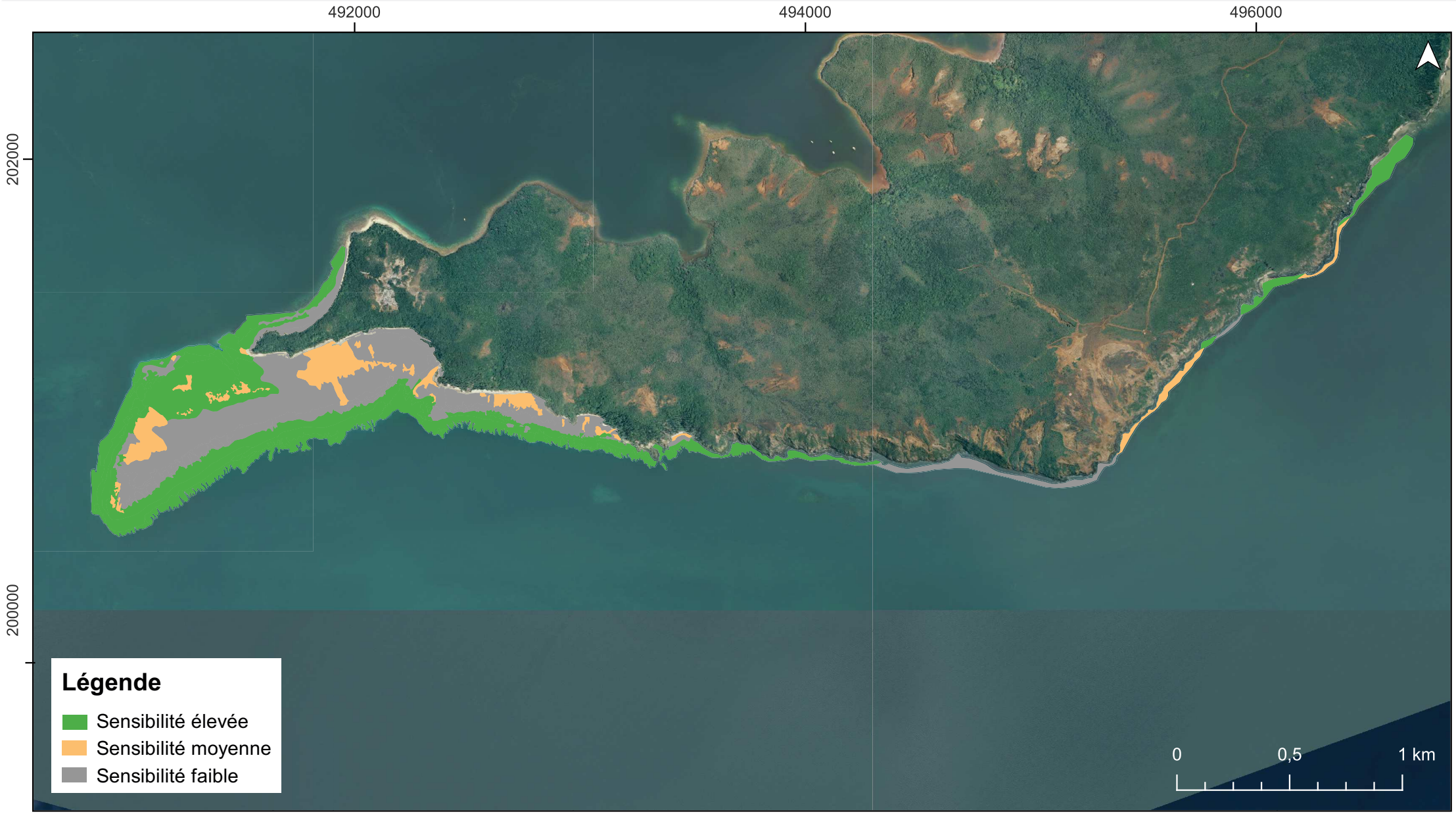
Le résultat de cette cotation est synthétisé dans le tableau 19 et illustré sur la carte 02.
Le lagon est jugé de sensibilité élevée, mais n'est pas représenté sur cette carte afin de ne pas la surcharger.

La superficie des zones avec une sensibilité élevée (hors lagon) couvre près de 51 ha, soit près de 49% de la surface représentée.

Tableau 19 : Sensibilité de la zone d'étude

CLASSE N2	LEGENDE	CONTRAINTES REGLEMENTAIRES	BIODIVERSITE GENERALE	RECOUVREMENT CORALLIEN	TOTAL	SENSIBILITE
0	Lagon	4	3-4	3-4	10-12	Elevée
1	Chenal	4	4	5	13	Elevée
2	Cuvette récifale	3	3	2	8	Moyenne
3.1	Dépression d'arrière récif à algues	1	2	1	4	Faible
3.2	Dépression d'arrière récif à coraux	2	3	2	7	Moyenne
3.3	Dépression d'arrière récif à sable	1	1	1	3	Faible
4.1	Front de platier externe	5	5	5	15	Elevée
4.2	Tombant de platier externe	5	5	5	15	Elevée
5	Fond détritique	1	1	0	2	Faible
6.1	Platier interne vivant	5	5	5	15	Elevée
6.2	Platier interne mort	1	1	0	2	Faible
7	Récif frangeant	5	4	4	13	Elevée
8.1	Blocs rocheux avec turf	1	1	0	2	Faible
8.2	Colonies dispersées	3	3	3	9	Moyenne
8.3	Autres organismes	3	3	2	8	Moyenne

Carte 02 : Sensibilité de la zone d'étude



Source : Fond imagerie - DINUM 2021 ;
Classification - Aqua Terra

Echelle : 1 / 22 000
RGNC91-93 / Lambert NC

Dossier n°021/23 - Indice B - Août 2023 - RIO

5 Conclusion

La zone comprend une importante superficie de récifs coralliens qui présentent plusieurs typologies (donc différents biotopes).
Par ailleurs, ces récifs sont très développés, avec une densité et une biodiversité élevées. Ils sont, de plus, en très bonne santé.
La faune ichtyologique quant à elle est variée et abondante, avec la présence de juvéniles.

La zone d'étude est située dans un site protégé (parc provincial et zone tampon marine UNESCO).
Elle comprend des espèces protégées selon le code de l'environnement de la province Sud et certaines ont le statut « menacé » selon l'UICN.
Par ailleurs, les récifs coralliens sont des Ecosystème d'Intérêt Patrimonial et protégé à ce titre par la réglementation provinciale.

⇨ *Différentes biocénoses de la zone d'étude présentent une sensibilité élevée.*

6 Sources

Les différentes sources ayant servi à la rédaction du rapport sont présentées ci-dessous, avec, le cas échéant, les numéros qui rappellent les références citées dans le texte de cette étude.

Aeby G.S., Tribollet A., Lasne G., Work T.M., 2015. Assessing threats from coral and CCA disease on the reefs of New Caledonia. Journal of Marine and Freshwater Research. http://dx.doi.org/10.1071/MF14151

Adjeroud M. et Lasne G., 2011. Fiche n° 19 : Abondance des colonies coralliennes. In Beliaeff B., Bouvet G., Fernandez J.-M., David C., Laugier T. Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT Nikel et son environnement, pages 152-153

Adjeroud M. et Lasne G., 2011. Fiche 20 : Recouvrement corallien. In Beliaeff B., Bouvet G., Fernandez J.-M., David C., Laugier T. Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT Nikel et son environnement, pages 154-155

AEL / LEA, 2013. Rapport d'analyses du 16/07/13, 2p

R01 Andréfouët S., Torres-Pulliza D., 2004. Atlas des récifs coralliens de Nouvelle-Calédonie, IFRECOR Nouvelle-Calédonie, IRD, Nouméa, Avril 2004, 26p + 22 planches

R02 Andréfouët S., Chagnaud N., Chauvin C., Kranenburg CJ., 2008. Atlas des récifs coralliens de France Outre-Mer, Centre IRD de Nouméa. 153 p

Aqua Terra, 2007. Suivi de l'état biologique du milieu marin, avant à la pose de l'émissaire de l'effluent liquide, Projet Goro Nickel. Septembre 2007 Affaire 012-07 C1499-StationPlatier-Ver E (23 p) & Doc C1499-Stations00à05-Ver D (53 p)

AQUA TERRA, 2008. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission Octobre 2008. Contrat 1996. Document : AQUA TERRA_Rap_047-08_V02. 222p

Aqua Terra, 2008. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission Octobre 2008. Contrat 1996. Document : AquaTerra_AtlasPho_047-08_V01. 96p

Aqua Terra, 2009. Suivi de l'état biologique du milieu marin, suite à la pose de l'émissaire de l'effluent liquide, Projet Goro Nickel. Mars 2009 Affaire 005-09C1499-Ppt présentation ver 03 Ile Ouen 25 mars 27 diapos

Aqua Terra, 2009. Rapport final pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission 1, avril 2009. PO E13690. Document : AquaTerra_Rap_009-09_V02. 176p

Aqua Terra, 2009. Atlas photographique pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission avril 2009. PO E13690. Document : AquaTerra_AtlasPho_009-09_V01. 104p

Aqua Terra, 2009. Rapport final pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission 2, juin 2009. PO E15217. Document : AquaTerra_Rap_018-09_V03. 182p

Aqua Terra, 2009. Atlas photographique pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission juin 2009. PO E15217. Document : AquaTerra_ AtlasPho _018-09_V01. 96p

Aqua Terra, 2009. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission juin 2009. Contrat 1996 av1. Document : AquaTerra_Rap_006-09_V01. 256p

Aqua Terra, 2009. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission juin 2009. Contrat 1996 av1. Document : AquaTerra_AtlasPho_006-09_V01. 190p

Aqua Terra, 2010. Rapport final pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission 3, décembre 2009. PO E18597. Document : AquaTerra_Rap_048-09_V02. 205p

Aqua Terra, 2010. Atlas photographique pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission décembre 2009. PO E18597. Document : AquaTerra_AtlasPho_048-09_V01. 98p

Aqua Terra, 2010. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en

baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission mars-avril 2010. Contrat C2415. Document : AquaTerra_Rap_064-09_V01. 271p
Aqua Terra, 2010. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission mars-avril 2010. Contrat C2415. Document : AquaTerra_AtlasPho_064-09_V01. 180p
Aqua Terra, 2010. Rapport final pour « Suivi de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission 4, avril 2010. PO E29830. Document : AquaTerra_Rap_019-10_V01. 205p
Aqua Terra, 2010. Atlas photographique pour « Suivi de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission avril 2010. PO E29830. Document : AquaTerra_ AtlasPho _019-10_V01. 96p
Aqua Terra, 2010. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission septembre 2010. Contrat C2415. Document : AquaTerra_Rap_058-10_V01. 276p
Aqua Terra, 2010. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission septembre 2010. Contrat C2415. Document : AquaTerra_AtlasPho_058-10_V01. 200p
Aqua Terra, 2011. Etude d'impact environnementale sur la zone P1 pour le dossier de demande de régularisation. Massif minier de Cap Bocage, SMCB : Rapport 046-10 A Ver04 : 286p
Aqua Terra, 2011. Etude d'impact environnementale sur les zones P2-P3 pour le dossier de demande de régularisation. Massif minier de Cap Bocage, SMCB : Rapport 046-10 B Ver02 : 298p
Aqua Terra, 2011. Suivi du milieu marin, Demande de Régularisation de travaux miniers, Compléments de l'état initial. Centre minier de Tiebaghi, mine Alpha et projet Dôme (SLN). Mission décembre 2010. Rap 060-10 Ver02 Partie A. 153 p
Aqua Terra, 2011. Suivi du milieu marin, Demande de Régularisation de travaux miniers, Recommandations. Centre minier de Tiebaghi, mine Alpha et projet Dôme (SLN). Rap 060-10 Ver02 Partie B (Recommandations). 47 p
Aqua Terra, 2011. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2011. Contrat C2415. Document : AquaTerra_Rap_001-11_V01. 320p
Aqua Terra, 2011. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2011. Contrat C2415. Document : AquaTerra_AtlasPho_001-11_V01. 210p
Aqua Terra, 2011. Suivi de l'état biologique du milieu marin, autour de l'émissaire de l'effluent liquide, Projet Goro Nickel. Juin 2011 CR 011-11 Ver 01 (16 p)
Aqua Terra, 2011. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2011. Contrat C2415. Document : AquaTerra_Rap_040-11_V01. 342p
Aqua Terra, 2011. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2011. Contrat C2415. Document : AquaTerra_AtlasPho_040-11_V01. 211p
Aqua Terra, 2012. Programme de suivi biologique des eaux douces et du milieu marin. Massif minier de Cap Bocage, SMCB : Campagne décembre 2011. Rapport 072-11 Ver01 : 129p
Aqua Terra, 2012. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2012. Contrat C2415. Document : AquaTerra_Rap_006-12_V01. 436p
Aqua Terra, 2012. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2012. Contrat C2415. Document : AquaTerra_AtlasPho_006-12_V01. 234p
Aqua Terra, 2012. Rapport final pour « Suivi de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission 5, avril 2012. PO E45335. Document : AquaTerra_Rap_016-12_V01. 210p
Aqua Terra, 2012. Atlas photographique pour « Suivi de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission avril 2012. PO E453350. Document : AquaTerra_Rap_016-12_V01. 205p
Aqua Terra, 2012. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2012. Contrat C2415 E20545. Document : AquaTerra_Rap_041-12_V01. 496p
Aqua Terra, 2012. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes

associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2012. Contrat C2415 E20545. Document : AquaTerra_AtlasPho_041-12_V01. 234p
Aqua Terra, 2013. Programme de suivi biologique des eaux douces et du milieu marin. Massif minier de Cap Bocage, SMCB : Campagne avril 2013. Rapport 053-12 Ver01 : 134p
Aqua Terra, 2013. Rapport final pour « Synthèse des données algues, Baie de Prony et canal Woodin et de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Missions de 2007 à mars 2012. PO E40362 et E40363. Document : AquaTerra_Rap_070-13_V02. 76p
Aqua Terra, 2013. Compte rendu succinct pour « Suivi de l'état de santé du milieu marin, zone du Creek baie nord. Conséquences potentielles du cyclone tropical Freda sur l'étage infralittoral supérieur » Projet Goro Nickel, Vale NC. Janvier 2013. Ppt24p
Aqua Terra, 2013. Rapport final pour « Suivi de l'état de santé du milieu marin, zone du Creek baie nord » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission 6, janvier 2013. PO E54932. Document : AquaTerra_Rap_004-13_V00. 183p
Aqua Terra, 2013. Atlas photographique pour « Suivi de l'état de santé du milieu marin, zone du Creek baie nord » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission janvier 2013. PO E549320. Document : AquaTerra_AtlasPho_004-13_V01. 180p
Aqua Terra, 2013. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2013. Contrat C2415 PO E53799. Document : AquaTerra_Rap_003-13_V01. 441p
Aqua Terra, 2013. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission septembre 2013. Contrat C2415 PO E53799. Document : AquaTerra_Rap_061-13_V01. 431p
Aqua Terra, 2013. Compte-rendu de mission, novembre 2013 : Etat initial du milieu marin sous le quai vraquier. Document : AquaTerra_CR084-13_V00. 16p
Aqua Terra, 2013. Volet C (Etude d'impact) de la Demande d'Autorisation d'Exploiter le site minier de Kadjitra. Document : AquaTerra_Rap_027-10_V04. 380p
Aqua Terra, 2014. Rapport final pour « Diagnostic de l'état de santé des peuplements récifaux et organismes associés sur et à proximité de l'émissaire » Projet Goro Nickel, Vale NC. Suivi de l'émissaire, novembre 2013. Contrat PO E64212. Document : AquaTerra_Rap_083-13_V01. 134p
Aqua Terra, 2014. Rapport final pour « Suivi de l'état de santé du milieu marin, Suivi spécifique Puka » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission décembre 2013. PO E62786 et E64977, Document : AquaTerra_Rap_068-13_V02. 246p
Aqua Terra, 2014. Rapport final pour « Herbier de la Baie Kwé : Première approche : Descriptif général, Cartographie, Etat des lieux initial » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission avril 2014. PO E66764, Document : AquaTerra_Rap_008-14_V00. 53p
Aqua Terra, 2014. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission avril 2014. Contrat C2415 PO E53801. Document : AquaTerra_Rap_027-14_V01. 392p
Aqua Terra, 2014. Etat de référence pour "Etat des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Nakéty » NMC, SMN et SMT. Mission avril 2014. Document : AquaTerra_Rap_066-13_V02. 211p
Aqua Terra, 2014. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2014. Contrat C2415 PO E53801. Document : AquaTerra_Rap_058-14_V00. 329p
Aqua Terra, 2014. Suivi quantitatif pour "Etat des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Poya" NMC. Mission octobre 2014. Document : AquaTerra_Rap_012-14_V01. 105p
Aqua Terra, 2014. Programme de suivi biologique des eaux douces, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2014. Document : AquaTerra_Rap_078-13_V01. 105p
Aqua Terra, 2014. Programme de suivi biologique du milieu marin : Suivi quantitatif de l'état des peuplements récifaux et organismes associés, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2014. Document : AquaTerra_Rap_078-13_V01. 164p
Aqua Terra, 2015. Programme de suivi du milieu marin concerné par les activités minières du Centre de Ouaco NMC / Étude bibliographique - Proposition d'un programme de suivi. Document : AquaTerra_Rap_072-14_V03. 33p
Aqua Terra, 2015. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2015. Contrat C2415 PO E53801. Document : AquaTerra_Rap_028-15_V00. 348p
Aqua Terra, 2015. Programme de suivi biologique des eaux douces, site minier de Cap Bocage, SMCB:

Résultats de la campagne 2015. Rapport 099-15 Ver02 : 108p
Aqua Terra, 2015. Programme de suivi biologique du milieu marin : Suivi qualitatif de l'état des peuplements récifaux et organismes associés, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2015. Document : AquaTerra_Rap_070-14_V01. 112p
Aqua Terra, 2015. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2015. Contrat C2415 E53801. Document : AquaTerra_Rap_071-15_V00. 367p
Aqua Terra, 2016. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Nakéty. Suivi biologique qualitatif. NMC, SMN et SMT. Mission décembre 2015. Document : AquaTerra_Rap_026-15_V01. 106p
Aqua Terra, 2016 : Rapport pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés au port de Prony. Avant / après travaux de dragage » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission novembre 2014 / août 2015. Contrat E73528. Document : AquaTerra_Rap_065-14_V00. 85p
Aqua Terra, 2016. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Poya Suivi biologique qualitatif. NMC. Mission décembre 2015. Document : AquaTerra_Rap_096-15_V01. 63p
Aqua Terra, 2016. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission avril 2016. Contrat C2415 E53801. Document : AquaTerra_Rap_028-16_V00. 374p
Aqua Terra, 2016. Programme de suivi biologique des eaux douces, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2016. Document : AquaTerra_Rap_085-16_V02. 108p
Aqua Terra, 2016. Programme de suivi biologique du milieu marin : Suivi qualitatif de l'état des peuplements récifaux et organismes associés, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2016. Document : AquaTerra_Rap_063-16_V01. 91p
Aqua Terra, 2016. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission novembre 2016. Contrat C2415 E53801. Document : AquaTerra_Rap_090-16_V00. 371p
Aqua Terra, 2017. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Nakéty. Suivi biologique qualitatif. NMC, SMN et SMT. Mission décembre 2016. Document : AquaTerra_Rap_094-16_V01. 93p
Aqua Terra, 2017. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Poya Suivi biologique qualitatif. NMC. Mission janvier 2017 (Suivi 2016). Document : AquaTerra_Rap_092-17_V01. 58p
Aqua Terra, 2017. Etat des lieux du milieu marin, baie de Kûrö, centre minier de Kouaoua, Recherche de stations. NMC. Mission mai 2017. Document : AquaTerra_Rap_011-17_V01. 52p
Aqua Terra, 2017. Etat des lieux du milieu marin, Anse Pörö, centre minier de Bogota. NMC. Mission août 2017. Document : AquaTerra_Rap_028-17_V01. 100p
Aqua Terra, 2017. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission avril-mai 2017. Contrat E98083. Document : AquaTerra_Rap_003-17_V00. 284p
Aqua Terra, 2018. Programme de suivi du milieu marin, centre minier de Kouaoua. NMC. Document : AquaTerra_Rap_082-17_V00. 28p
Aqua Terra, 2018. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission septembre 2017. Contrat E98083. Document : AquaTerra_Rap_047-17_V00. 294p
Aqua Terra, 2018. Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés : biologique qualitatif et physico-chimique, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2017. Document : AquaTerra_Rap_045-17_V01. 100p
Aqua Terra, 2018. Suivi de la qualité des eaux douces, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2017. Document : AquaTerra_Rap_070-16_V01. 105p
Aqua Terra, 2018. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Nakéty. Suivi biologique qualitatif et physico-chimique. NMC, SMN et SMT. Mission novembre 2017. Document : AquaTerra_Rap_068-17_V01. 99p
Aqua Terra, 2018. Etat des lieux du milieu marin & Validation des stations de suivi du programme, baie de Gomen, Centre minier de Ouaco NMC. Document : AquaTerra_Rap_029-17_V01. 31p
Aqua Terra, 2018. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Poya Suivi biologique qualitatif + Physico-chimique. NMC. Mission décembre 2017. Document : AquaTerra_Rap_069-17_V01. 61p

Aqua Terra, 2018. DAODPM - Notice d'Impact : Travaux de curage, bord de mer de Porwi, centre de Poya. NMC. Document : AquaTerra_Rap_026-18_V00. 43p
Aqua Terra, 2018. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mai 2018. PO n°L06374. Document : AquaTerra_Rap_014-18_V00. 297p
Aqua Terra, 2019. Etat des peuplements récifaux et organismes associés. Suivi biologique qualitatif. Site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2018. Document : AquaTerra_Rap_073-18_V01. 96p
Aqua Terra, 2019. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission novembre 2018. PO n°L06374. Document : AquaTerra_Rap_071-18_V00. 308p
Aqua Terra, 2019. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Nakéty. Suivi biologique qualitatif. NMC, SMN et SMT. Mission novembre 2018. Document : AquaTerra_Rap_074-18_V00. 91p
Aqua Terra, 2019. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Poya : Suivi biologique qualitatif. NMC. Mission octobre 2018. Document : AquaTerra_Rap_67-18_V01. 58p
Aqua Terra, 2019. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés. Centre minier de Kouaoua : Suivi biologique quantitatif et physico-chimique. NMC. Mission décembre 2018. Document : AquaTerra_Rap_069-18_V02. 126p
Aqua Terra, 2019. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission avril 2019. PO n°L06374. Document : AquaTerra_Rap_001-19_V00. 311p
Aqua Terra, 2019. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2019. PO n°L06374. Document : AquaTerra_Rap_041-19_V01. 326p
Aqua Terra, 2020. Rapport final pour « Caractérisation de l'herbier de la baie Kwé » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission juin 2020. PO n° L26698. Document : AquaTerra_Rap004-20 V01. 37p
Aqua Terra, 2020. Compte-rendu de mission « Inspection du diffuseur » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission juin 2020. PO n° L31128. Document PowerPoint : AquaTerra_CRMission_InspectionEmissaire_Juin2020. 15p
Aqua Terra, 2020. Film commenté « Inspection du diffuseur » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission juin 2020. PO n° L31128. Film du 30/06/20 : AquaTerra_017-20_Film_ InspectionEmissaire_Juin2020. 5'52 mn
Aqua Terra, 2020. Film : Extrait non commenté de la station E11 « Inspection du diffuseur » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission juin 2020. PO n° L31128. Film du 06/07/20 : AquaTerra_017-20_Film_ InspectionEmissaire_Juin2020. 1'15 mn
Aqua Terra, 2020. Rapport final pour « Inspection du diffuseur » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission juin 2020. PO n° L31128. Document : AquaTerra_Rap017-20 V01. 30p
Aqua Terra, 2020. Présentation PPT : Etat du milieu marin à proximité du quai général, Port de Prony. Document : AquaTerra_Rap038-20 V02. 18p
Aqua Terra, 2020. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mai 2020. PO n°L26698. Document : AquaTerra_Rap003-20_V01. 347p
Aqua Terra, 2020. Porter A Connaissance au titre de l'arrêté minier n°2698-2016/ARR/DIMENC du 29 septembre 2016 et de l'arrêté d'occupation de dépendances du domaine public maritime concernant le port de Prony n°763-2003/PS du 5 juin 2003. Cessions de minerai saprolitique à la SLN, Aménagements et opérations logistiques pour les premières cargaisons – test opérationnel. Projet Goro Nickel, Vale NC. Document : AquaTerra_Rap008-20_V01. 169p
Aqua Terra, 2021. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2020. PO n°L26698. Document : AquaTerra_Rap040-20_V01. 355p
Aqua Terra, 2021. Etat des peuplements récifaux et organismes associés. Suivi biologique qualitatif et physico-chimique. Site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2020. Document : AquaTerra_Rap_050-20_V01. 137p
Aqua Terra, 2021. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Prony Resources NC. Mission mai 2021. PO n°L36942. Document : AquaTerra_Rap008-21_V01. 362p
Aqua Terra, 2022. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en

baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Prony Resources NC. Mission novembre 2021. PO n°L36942. Document : AquaTerra_Rap034-21_V01. 357p

Aqua Terra, 2022. Etat des peuplements récifaux et organismes associés. Suivi biologique qualitatif. Site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2021. Document : AquaTerra_Rap_031-21_V02. 131p

R03 Aqua Terra, 2022. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Prony Resources NC. Mission mars 2022. PO n°L26698. Document : AquaTerra_Rap004-22_V01. 360p

Aqua Terra, 2023. Etat des peuplements récifaux et organismes associés. Suivi biologique qualitatif. Site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2022. Document : AquaTerra_Rap_018-22_V02. 131p

Aqua Terra, 2023. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Prony Resources NC. Mission novembre 2022. PO n°L26698. Document : AquaTerra_Rap054-22_V01. 360p

Aqua Terra, 2023. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Prony Resources NC. Mission mars 2023. PO n°L54808. Document : AquaTerra_Rap006-23_V01. 360p

Aqua Terra, 2023. CR de mission « Etat initial biologique – Récif de Prony et Littoral sud de la réserve du Cap N'Dua », Prony Resources NC. Mission juin 2023. PO n°L57277. Document : AquaTerra_CR021-23_V01. 8p

Avias J., 1959. Les récifs coralliens de la Nouvelle-Calédonie et quelques-uns de leurs problèmes. Extrait du Bul. Soc. Géo. Fr, 7è série, t.I, p 424-430

Barnabé G., 1976. Utilisation des techniques de la pêche sous-marine pour l'étude des populations de poissons littoraux. Rapp. Comm. int. Mer Medit., 23 (6) : 63-64

Beliaff B., Bouvet G., Fernandez J-M., David C., Laugier T., 2011. Guide pour la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT Le Nickel. 169p

Biocenose marine, 2014. CR de mission du 08 mai 2014 (Partenariat Biocenose marine, AQUA TERRA et ACREM). Evaluation de l'état de santé du milieu marin de la zone du creek baie nord (7ème mission / 08 mai 2014). PO E68 779. Document : BIOCENOSE MARINE CR_135_15052014 (23 diapos)

Biocenose marine, AQUA TERRA et ACREM, 2014. Evaluation de l'état de santé du milieu marin de la zone du creek baie nord (7ème mission / 08 mai 2014). Rapport d'étude n°135_2014_V03. 146 p

Biocenose marine, 2014. CR de mission du 21 mai 2014 (Partenariat Biocenose marine, AQUA TERRA et ACREM). Evaluation de l'état de santé du milieu marin de la zone du creek baie nord (8ème mission / 21 mai 2014). PO E68 779. CR_136_109062014 (29 diapos)

Biocenose marine, AQUA TERRA et ACREM, 2014. Evaluation de l'état de santé du milieu marin de la zone du creek baie nord (8ème mission / 21 mai 2014). PO E68 779. Rapport d'étude n°135_2014_V03.

Chevalier J.P., 1973. Coral reefs of New Caledonia. in : JONES O.A, ENDEAN R. (ed.) : Biology and geology of coral reefs. New York : Acad. Press. Vol 1, Geol. 1 : 143-166

Chevalier J.P., 1975. Les Scléractiniaires de la Mélanésie française. 2ème partie. in : Expéd. fr. sur les récifs coralliens de la Nouvelle-Calédonie. Paris : Singer-Polignac. Vol. 7 : 407 p

Chevalier J.P., 1980. Les coraux du lagon de la Nouvelle-Calédonie. in : DUGAS F., DEBENAY J.P. Carte sédimentologique et carte annexe du lagon de Nouvelle-Calédonie à 1/50 000. Feuille la Tontouta. Paris : ORSTOM. Not. Explic., 86 : 17-22

Clua E., Legendre P., Vigliola L., Magron F., Kulbicki M., Sarramegna S., Galzin R., 2006. Medium scale approach (MSA) for improved assessment of coral reef fish habitat. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 333(2), 219–230

R04 English S. and *al*., 1997. Survey manual for tropical marine resources (2nd Edition). Australian Institute of Marine Science. 390p

Fisk D., 2009. Best practice for LIT survey. Coral list Vol4 Issue 28

Gabrié C., Cros A., Chevillon C., Downer A. 2005. Analyse Eco-régionale marine de Nouvelle-Calédonie. Atelier d'identification des aires de conservation prioritaire. 112p

Gabrié C., Garrigue C., Kulbicki M., Laboute P., Lebigre J.M., Lasne G., Payri C., Pichon M., Richer de Forges B., Spaggiari J., Renoux R., Dec 2008. Analyse Ecorégionale Marine de la Nouvelle-Calédonie

Garrigue C. & Tsuda R.T., 1988. Catalog of marine benthic algae from New Caledonia. Micronesico, 21, 53-70

Garrigue C. & Di Matteo A., 1991. La biomasse végétale benthique du lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie. Résultats bruts : liste taxonomique, biomasses, pigments chlorophylliens. Arch. Sci. Mer, Biol. iiiur., ORSTOM, Nouniea, 1, 143 pp

Glynn P.W., 1993. Coral reef bleaching: ecological perspectives. Coral Reefs, 12, 1-17

Guille A., Menou J. L., Laboute P., 1986. Guide des étoiles de mer, oursins et autres échinodermes du lagon de Nouvelle-Calédonie. Edition de l'ORSTOM. 238p

Harmelin-Vivien M. L., J.G. Harmelin, C. Chauvet, C. Duval, Galzin, P. Lejeune, G. Barnabé, F. Blanc, Chevalier, J. Duclerc, G. Lasserre, 1985 – Evaluation visuelle des peuplements et populations de poissons : méthodes et problèmes. Revue d'Ecologie (Terre et Vie), vol. 40 : 80p

Hily C., Duchêne J., Bouchon C., Bouchon-Navaro Y., Gigou A., Payri C., Védie F., 2010. Les herbiers de phanérogames marines de l'outre-mer français. Hily C., Gabrié C., Duncombe M. coord. IFRECOR, Conservatoire du littoral. 140 p

Kinne O., 1980. Introduction to the treatise and to Volume 1, in : Kinne, O. (1980). Diseases of marine animals : 1. General aspects, Protozoa to Gastropoda. pp. 1-11

Kinne O., 1980. Diseases of marine animals : general aspects, in : Kinne, O. (1980). Diseases of marine animals : 1. General aspects, Protozoa to Gastropoda. pp. 13-73

Laboute P., Grandperrin R., 2000. Poissons de Nouvelle-Calédonie, Nouméa : Catherine Ledru, 519p

Labrosse P., Kulbicki M., Ferraris J., 2001. Comptage de poissons en plongée. Conditions d'utilisation et de mise en œuvre. Ed. SPC Nouméa, Nouvelle-Calédonie. 54p

Lasne G., 2006. Synthèse bibliographique des coraux de Nouvelle-Calédonie. C. de coord. CRISP / IRD 93p

Lasne G., 2007. Les coraux de Nouvelle-Calédonie : Synthèse bibliographique. Cellule de coordination CRISP, IRD, WWF, MNHN, EPHE. 93p

Lasne G., 2009. Inventaire des coraux scléractiniaires du Grand Lagon Nord – Mission CoRalCal 3-IRD. (CRISP). 119p

Lasne G., 2010. Inventaire des coraux scléractiniaires du Grand Lagon Nord de la Nouvelle-Calédonie – Campagne CORALCAL III, 10-30 mars 2009. 122p / Cellule de coordination CRISP, IRD. 120p

Lasne G., 2014. Estimation temporelle de la colonisation biotique sur la partie rompue de l'émissaire marin et évaluation de l'état de santé des communautés récifales aux abords de cette rupture. Rap 135-2014_V02. 19p

Lasne G. in Clua E., McKenna S., Vieux C., 2011. Contribution à l'inventaire biologique et à l'évaluation des ressources des récifs des Chesterfield – Apia, Samoa : SPREP

Levi C., Bargibant G., Menou J.L., Laboute P., 1998. Sponges of the New Caledonian Lagoon. Edition de l'ORSTOM. 214p

Œil, 2012. Communautés récifales dans le périmètre d'influence de Vale Nouvelle Calédonie : Etat de référence en 2011. 4 Parties

Ormond R.F.G., Roberts C., 1997. The biodiversity of coral reef fishes. In: Ormond, R.F.G., Gage, J.D., Angel, M.V. (Eds.), Marine Biodiversity: Patterns and Processes. Cambridge University Press, pp. 216–257

Parrish J. D., 1989. Fish communities of interacting shallow-water habitats in tropical oceanic regions. Mar. Ecol. Prog. Ser. 58 : 143-160

Payri C. et Richer de Forges B., 2006. Compendium of marine species from New Caledonia. Doc. Sci. Tech. II7 volume spécial, IRD

Payri C., Petek S., Menou J.L., Lasne G., Butscher J., 2007. Biodiversité et substances marines des îles Fidji (Algues, Eponges, Ascidies, Echinodermes)

Pichon M., 2006. Scleractinia of New-Caledonia. in Payri C. et Richer de Forges B., (eds). Compendium of marine species from New Caledonia. Doc. Sci. Tech. II7 volume spécial, IRD : 148-155

R05 Province Sud, 2013. Délibération n°386-2013/BAPS/DENV portant approbation du plan de gestion du parc provincial du Grand Lagon Sud. 04/07/2013. 14p

R06 Province Sud, 2022. Code de l'Environnement de la province Sud : Délibération n°25-2009/APS (du 20/03/2009), modifiée par […] et délibération n°26-2022/APS (du 25/05/2022). Version mise à jour du 25/05/2022 sur Juridoc

Randall J.E., Allen G.R. and R.C. Steene, 1990. Fishes of the Great Barrier Reef and Coral Sea. University of Hawaii Press, Honolulu, Hawaii. 506p

Randall J.E., 2005. Reef and shore fishes of the South Pacific. University of Hawaii, Press book. 707 p

Richer de Forges B., 1998. Thèse : La diversité du Benthos marin de Nouvelle-Calédonie : de l'espèce à la notion de patrimoine. Muséum national d'histoire naturelle. 326p

Richer de Forges B., 1991. Les fonds meubles des lagons de Nouvelle-Calédonie : généralités et échantillonnages par dragages. Dragages dans les lagons, ORSTOM. 148 p

Richer de Forges B., Laboute P., 2004. Lagons et récifs de Nouvelle-Calédonie, 1600 espèces. Edition Catherine Ledru-IRD

Soubeyran Y., Meyer J.Y. et le Groupe de travail « Espèces Exogènes », 2011. Expertise du « Plan opérationnel pour la maîtrise des espèces exogènes » de la société Vale Nouvelle-Calédonie. Rapport final. 34p

Thollot P., 1992. Les poissons de mangrove du lagon Sud-Ouest de Nouvelle-Calédonie. Ecologie des peuplements. Relations avec les communautés ichtyologiques côtières. Thèse Doct. : Univ. Aix-Marseille II (France) : 406p

Thollot P. et Wantiez L., 1996. Evaluation des impacts du projet Goro Nickel sur les communautés biologiques marines de la Baie Kwé et de la zone portuaire de Prony. 38p

UICN, 2001. Catégories et Critères de l'UICN pour la Liste Rouge : Version 3.1. Commission de la sauvegarde des espèces de l'UICN. UICN, Gland, Suisse et Cambridge, Royaume-Uni. ii + 32pp

Veron J.E.N., 1995. Corals in space and time, the biogeography and evolution of the Scleractinia. UNSW Press, Sydney. 321p

Veron J.E.N., 2000. Corals of the world. Australian Institute of Marine Science, Townsville, 1410pp

Vimal, J., 2007. Physiopathologie des coraux. Thèse de Doctorat, Université Claude-Bernard, Lyon, Paris, 122p

Wallace C., 1999. Staghorn Corals of the World. A revision of the Genus Acropora. (ed) CSIRO Publishing pp. 422p

Wells J.W., 1961. Notes on Indo-Pacific Scleractinian corals, Part 3. A new reef coral from New Caledonia. Pac. Sci., 15 : 189-191

Wijsman-Best M., 1972. Systematics and ecology of New Caledonia Faviidae (Coelenterata, Scleractinia). Bijdr. Dierk., 42 (1) : 1-90

Wijsman-Best M., 1973. A new species of the Pacific coral genus Blastomussa from New Caledonia. Pac. Sci., 27 (2) : 154-155

Work T.M., Aeby G.S., Lasne G., Tribollet A., 2014. Gross and microscopic pathology of hard and soft corals in New Caledonia. Journal of Invertebrate Pathology 120: 50-8

com.univ-mrs.fr/IRD
coraux.univ-reunion.fr
crisponline.net/Portals/1/PDF/CRISP_Synthese_bibliographique_coraux.pdf
fishbase.org/search.php?lang=french
ird.fr
sealifebase.org
sgnis.org
R07 uicnredlist.org
wikipedia.org

A n n e x e s

A n n e x e n ° 0 1

Rapports de classification

NB :

- La précision globale est la précision basée sur les « vrai positif et négatif » et les « faux positifs et négatifs »
- La précision « macro » est la moyenne des F1-score de chaque classe
- La précision pondérée est la moyenne des F1 score de chaque classe mais pondéré par le nombre d'échantillon de chacune des classes.

❖ ADABOOST

Classe	Précision	Rappel	F1-score	Support
1	0	0	0	0
2	0	0	0	1
3	0.21	0.28	0.24	7
4	0.31	0.30	0.31	42
5	0.45	0.51	0.48	51
6	0	0	0	2
7	0.32	0.22	0.26	23
8	0.21	0.24	0.22	33
Précision globale	0.32	0.32	0.32	159
Précision macro	0.19	0.19	0.19	159
Précision pondérée	0.31	0.32	0.32	159

❖ GRADIENT BOOSTING

Classe	Precision	Rappel	F1-score	Support
1	0	0	0	0
2	0	0	0	1
3	0.25	0.29	0.27	7
4	0.33	0.31	0.32	42
5	0.47	0.49	0.48	51
6	0	0	0	2
7	0.33	0.26	0.29	23
8	0.23	0.27	0.25	33
Précision globale	0.34	0.34	0.34	159
Précision macro	0.2	0.19	0.20	159
Précision pondérée	0.34	0.34	0.34	159

❖ MLP

Classe	Precision	Rappel	F1-score	Support
1	0	0	0	0
2	0	0	0	1
3	0.54	0.57	0.56	7
4	0.47	0.48	0.48	42
5	0.66	0.73	0.69	51
6	0	0	0	2
7	0.68	0.61	0.64	23
8	0.44	0.42	0.43	33
Précision globale	0.34	0.34	0.34	159
Précision macro	0.2	0.19	0.20	159
Précision pondérée	0.34	0.34	0.34	159

❖ SVM

Classe	Precision	Rappel	F1-score	Support
1	0	0	0	0
2	1	1	1	1
3	0.71	0.71	0.71	7
4	0.71	0.76	0.73	42
5	0.78	0.84	0.81	51
6	0.5	0.5	0.5	2
7	0.82	0.74	0.78	23
8	0.69	0.64	0.67	33
Précision globale	0.73	0.73	0.73	159
Précision macro	0.65	0.65	0.65	159
Précision pondérée	0.73	0.73	0.73	159

❖ RANDOM FOREST

Classe	Precision	Rappel	F1-score	Support
1	0	0	0	0
2	0	0	0	1
3	0.6	0.75	0.67	7
4	0.8	0.81	0.8	42
5	0.78	0.74	0.76	51
6	0.5	0.5	0.5	2
7	0.75	0.76	0.76	23
8	0.71	0.71	0.71	33
Précision globale	0.73	0.73	0.73	159
Précision macro	0.56	0.57	0.56	159
Précision pondérée	0.75	0.75	0.75	159

A n n e x e n ° 0 2

Caractérisation du substrat

Les classes retenues pour la détermination du substrat sont celles préconisées par English et al. 1994 [R04] pour le « Line Intersept Transect » (« life forms ») et présentées dans le tableau 20.

Tableau 20 : Catégories et composantes de substrat retenues

	COMPOSANTES (12)	CATEGORIES (28)	CODE	DESCRIPTION
Biotique	Coraux scléractiniaires	*Acropora* Branchu	ACB	Au moins 2 niveaux de branches
		Acropora Encroûtant	ACE	
		Acropora Submassif	ACS	
		Acropora Digité	ACD	Branches en forme de doigts
		Acropora Tabulaire	ACT	Branches aplaties horizontalement
		Non-*Acropora* Branchu	CB	Au moins 2 niveaux de branches *NB : les non Acropora digité sont placés ici*
		Non-*Acropora* Encroûtant	CE	
		Non-*Acropora* Foliaire	CF	Corail en forme de feuille
		Non-*Acropora* Massif	CM	
		Non-*Acropora* Submassif	CS	
		Fungia	CMR	Corail solitaire
	Autres coraux	*Millepora*	CME	Corail de feu
	Coraux mous	Corail mou	SC	
	Autres organismes vivants	Éponges	SP	
		Zoanthaires	ZO	
		Autres	OT	Ascidies, Anémones, Gorgones, Bénitiers
	Algues	Assemblages	AA	
		Calcaire	CA	
		Halimeda	HA	
		Macroalgue	MA	
		Filamenteuse	F	*NB : les cyanobactéries sont placées ici*
	Corail mort avec algues	Corail mort avec algues	DCA	Corail mort recouvert d'algues
Abiotique	Corail mort	Corail mort	DC	Couleur blanche
	Sable	Sable	S	Particules < 2 cm
	Débris	Débris	R	Particules > 2 cm
	Vase	Vase	SI	
	Eau	Eau	W	Crevasse de plus de 50 cm
	Dalle - Roche	Dalle - Roche	RC	

A n n e x e n ° 0 3

Listing ichtyologique

FAMILLE	GENRE - ESPECE	RA
Acanthuridae	*Acanthurus achilles*	Her
Acanthuridae	*Acanthurus blochii*	Her
Acanthuridae	*Acanthurus dussumieri*	Her
Acanthuridae	*Acanthurus nigricans*	Her
Acanthuridae	*Naso unicornis*	Her
Acanthuridae	*Zebrasoma scopas*	Her
Acanthuridae	*Zebrasoma veliferum*	Her
Anthiinae	*Pseudanthias pascalus*	Pla
Aulostomidae	*Aulostomus chinensis*	Pcr
Balistidae	*Sufflamen bursa*	Pcr
Balistidae	*Sufflamen fraenatus*	Pcr
Bleniidée	*Ecsenius bicolor*	Her
Caesionidae	*Pterocaesio pisang*	Pla
Carangidae	*Trachinotus baillonii*	Gcr
Carcharhinidae	*Triaenodon obesus*	Gcr
Chaetodonidae	*Chaetodon auriga*	Cor
Chaetodonidae	*Chaetodon baronessa*	Cor
Chaetodonidae	*Chaetodon bennetti*	Cor
Chaetodonidae	*Chaetodon citrinellus*	Cor
Chaetodonidae	*Chaetodon ephippium*	Cor
Chaetodonidae	*Chaetodon flavirostris*	Cor
Chaetodonidae	*Chaetodon lineolatus*	Cor
Chaetodonidae	*Chaetodon lunulatus*	Cor
Chaetodonidae	*Chaetodon melannotus*	Cor
Chaetodonidae	*Chaetodon pelewensis*	Cor
Chaetodonidae	*Chaetodon plebeius*	Cor
Chaetodonidae	*Chaetodon speculum*	Cor
Chaetodonidae	*Chaetodon ulietensis*	Pcr
Chaetodonidae	*Chaetodon unimaculatus*	Cor
Chaetodonidae	*Chaetodon vagabundus*	Cor
Chaetodonidae	*Heniochus acuminatus*	Pla
Epinephelinae	*Cephalopholis sonnerati*	Gcr
Epinephelinae	*Cephalopholis urodeta*	Gcr
Epinephelinae	*Cromileptes altivelis*	Gcr
Epinephelinae	*Epinephelus fasciatus*	Gcr
Epinephelinae	*Epinephelus howlandi*	Gcr
Epinephelinae	*Epinephelus maculatus*	Gcr
Epinephelinae	*Plectropomus leopardus*	Gcr
Grammistidae	*Diploprion bifasciatum*	Pcr
Haemulidae	*Plectorhinchus chaetodonoides*	Gcr
Haemulidae	*Plectorhinchus lineatus*	Gcr
Haemulidae	*Plectorhinchus picus*	Gcr
Haemulidae	*Plectorhinchus vittatus*	Gcr
Holocentridae	*Myripristis kuntee*	Pla
Holocentridae	*Myripristis murdjan*	Pla
Holocentridae	*Sargocentron ensifer*	Pcr
Holocentridae	*Sargocentron spiniferum*	Gcr
Kyphosidae	*Kyphosus cinerascens*	Omn
Kyphosidae	*Kyphosus sydneyanus*	Omn
Labridae	*Anampses femininus*	Pcr
Labridae	*Anampses geographicus*	Pcr

FAMILLE	GENRE - ESPECE	RA
Labridae	*Thalassoma lutescens*	Pcr
Labridae	*Thalassoma nigrofasciatum*	Pcr
Lethrinidae	*Lethrinus atkinsoni*	Gcr
Lethrinidae	*Monotaxis grandoculis*	Gcr
Lutjanidae	*Aphareus furca*	Gcr
Lutjanidae	*Lutjanus bohar*	Gcr
Lutjanidae	*Lutjanus ehrenbergii*	Gcr
Lutjanidae	*Lutjanus fulvus*	Gcr
Lutjanidae	*Macolor niger*	Pla
Monacanthidae	*Aluterus scriptus*	Omn
Monacanthidae	*Oxymonacanthus longirostris*	Cor
Monacanthidae	*Pervagor alternans*	Cor
Mullidae	*Parupeneus barberinoides*	Pcr
Mullidae	*Parupeneus barberinus*	Pcr
Mullidae	*Parupeneus cyclostomus*	Pcr
Mullidae	*Parupeneus indicus*	Pcr
Mullidae	*Parupeneus spilurus*	Pcr
Nemipteridae	*Pentapodus aureofasciatus*	Pla
Nemipteridae	*Scolopsis bilineatus*	Pcr
Ostracionidae	*Ostracion cubicus*	Omn
Pinguipedidae	*Parapercis hexophtalma*	Gcr
Pomacanthidae	*Centropyge bicolor*	Omn
Pomacanthidae	*Centropyge bispinosa*	Her
Pomacanthidae	*Centropyge tibicen*	Her
Pomacanthidae	*Pomacanthus semicirculatus*	Gcr
Pomacanthidae	*Pygoplites diacanthus*	Pcr
Pomacentridae	*Abudefduf sexfasciatus*	Pla
Pomacentridae	*Abudefduf vaigiensis*	Pla
Pomacentridae	*Abudefduf whitleyi*	Pla
Pomacentridae	*Amblyglyphidodon curacao*	Pla
Pomacentridae	*Amblyglyphidodon leucogaster*	Pla
Pomacentridae	*Amblyglyphidodon orbicularis*	Pla
Pomacentridae	*Amphiprion melanopus*	Pla
Pomacentridae	*Amphiprion perideraion*	Pla
Pomacentridae	*Chromis amboinensis*	Pla
Pomacentridae	*Chromis atripes*	Pla
Pomacentridae	*Chromis chrysura*	Pla
Pomacentridae	*Chromis leucura*	Pla
Pomacentridae	*Chromis margaritifer*	Pla
Pomacentridae	*Chromis nitida*	Pla
Pomacentridae	*Chromis viridis*	Pla
Pomacentridae	*Chrysiptera notialis*	Omn
Pomacentridae	*Chrysiptera rollandi*	Omn
Pomacentridae	*Chrysiptera starcki*	Pla
Pomacentridae	*Dascyllus aruanus*	Pla
Pomacentridae	*Dascyllus reticulatus*	Pla
Pomacentridae	*Neoglyphidodon nigroris*	Pla
Pomacentridae	*Neopomacentrus azysron*	Pla
Pomacentridae	*Neopomacentrus nemurus*	Pla
Pomacentridae	*Plectroglyphidodon dickii*	Her
Pomacentridae	*Plectroglyphidodon lacrymatus*	Her

Labridae	*Anampses neoguinaicus*	Pcr
Labridae	*Bodianus axillaris*	Gcr
Labridae	*Bodianus diana*	Gcr
Labridae	*Bodianus loxozonus*	Gcr
Labridae	*Bodianus perditio*	Gcr
Labridae	*Cheilinus chlorourus*	Gcr
Labridae	*Cheilinus trilobatus*	Gcr
Labridae	*Choerodon fasciatus*	Gcr
Labridae	*Choerodon graphicus*	Gcr
Labridae	*Cirrhilabrus punctatus*	Pcr
Labridae	*Coris aygula*	Gcr
Labridae	*Coris batuensis*	Pcr
Labridae	*Coris gaimard*	Pcr
Labridae	*Epibulus insidiator*	Gcr
Labridae	*Gomphosus varius*	Pcr
Labridae	*Halichoeres argus*	Pcr
Labridae	*Halichoeres hortulanus*	Pcr
Labridae	*Halichoeres marginatus*	Pcr
Labridae	*Halichoeres melanurus*	Pcr
Labridae	*Halichoeres ornatissimus*	Pcr
Labridae	*Halichoeres prosopeion*	Pcr
Labridae	*Hemigymnus fasciatus*	Pcr
Labridae	*Hemigymnus melapterus*	Pcr
Labridae	*Hologymnosus longipes*	Pcr
Labridae	*Labroides dimidiatus*	Pcr
Labridae	*Labropsis australis*	Pcr
Labridae	*Macropharyngodon meleagris*	Pcr
Labridae	*Novaculichthys taeniourus*	Pcr
Labridae	*Oxycheilinus celebicus*	Pcr
Labridae	*Oxycheilinus digrammus*	Gcr
Labridae	*Stethojulis bandanensis*	Pcr
Labridae	*Stethojulis notialis*	Pcr
Labridae	*Thalassoma hardwicke*	Pcr
Labridae	*Thalassoma lunare*	Pcr

Pomacentridae	*Pomacentrus amboinesis*	Omn
Pomacentridae	*Pomacentrus chrysurus*	Her
Pomacentridae	*Pomacentrus coelestis*	Omn
Pomacentridae	*Pomacentrus lepidogenys*	Omn
Pomacentridae	*Pomacentrus moluccensis*	Pla
Pomacentridae	*Pomacentrus nagasakiensis*	Pla
Pomacentridae	*Pomacentrus simsiang*	Her
Pomacentridae	*Pomacentrus spilotoceps*	Omn
Pomacentridae	*Stegastes aureus*	Her
Pomacentridae	*Stegastes gascoynei*	Her
Pomacentridae	*Stegastes nigricans*	Her
Priacanthidae	*Priacanthus hamrur*	Pla
Scaridae	*Cetoscarus ocellatus*	Her
Scaridae	*Chlorurus bleekeri*	Her
Scaridae	*Chlorurus sordidus*	Her
Scaridae	*Scarus chameleon*	Her
Scaridae	*Scarus dimidiatus*	Her
Scaridae	*Scarus frontalis*	Her
Scaridae	*Scarus frenatus*	Her
Scaridae	*Scarus ghobban*	Her
Scaridae	*Scarus globiceps*	Her
Scaridae	*Scarus niger*	Her
Scaridae	*Scarus oviceps*	Her
Scaridae	*Scarus rubroviolaceus*	Her
Scaridae	*Scarus schlegeli*	Omn
Siganidae	*Siganus doliatus*	Her
Siganidae	*Siganus fuscescens*	Her
Siganidae	*Siganus puellus*	Her
Siganidae	*Siganus vulpinus*	Her
Synodontidae	*Saurida gracilis*	Pcr
Tetraodontidae	*Canthigaster bennetti*	Omn
Tetraodontidae	*Canthigaster valentini*	Omn
Zanclidae	*Zanclus cornutus*	Pcr

RA : Régime alimentaire
Pcr : Micro carnivore
Gcr : Macro carnivore
Her : Herbivore
Pla : Planctonophage
Cor : Corallivore
Omn : Omnivore

A n n e x e n ° 0 4

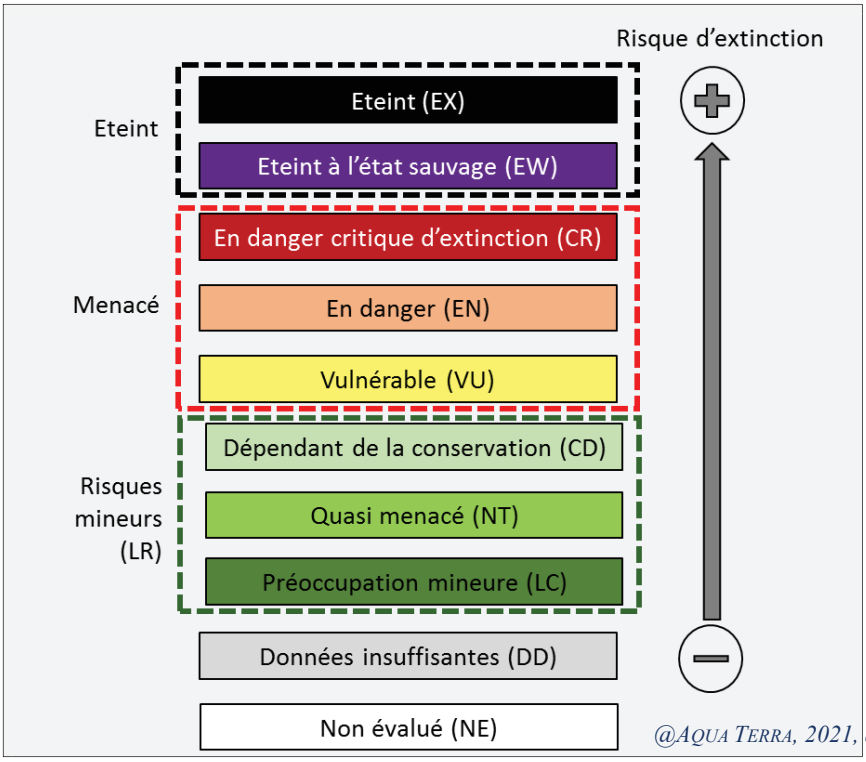
Nomenclature UICN

La liste rouge de l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) est un système simple et compréhensible par tous pour classer les espèces selon le risque d'extinction à l'échelle mondiale.

Fondée sur une solide base scientifique, la Liste rouge de l'UICN est reconnue comme l'outil de référence de l'état de la diversité biologique spécifique à l'échelle mondiale. Sur la base d'une information précise sur les espèces menacées, son but essentiel est d'identifier les priorités d'action, de mobiliser l'attention du public et des responsables politiques sur l'urgence et l'étendue des problèmes de conservation, et d'inciter tous les acteurs à agir en vue de limiter le taux d'extinction des espèces.

Cependant en milieu marin, le recensement des espèces d'invertébrés enregistre de nombreuses lacunes à travers le monde. Les coraux scléractiniaires et les bénitiers sont les mieux référencés mais le reste des invertébrés est le plus souvent enregistré comme données insuffisantes (data deficient).

La figure 26 illustre le classement des catégories employées selon le risque d'extinction qui pèse sur les espèces. Les définitions de chaque catégorie sont données tableau 21.



@AQUA TERRA, 2021, d'après [R06]

Figure 26 : Classification de la liste rouge UICN

Tableau 21 : Liste Définitions des catégories UICN

CATEGORIE	SIGLE	DEFINITION
Éteint (Extinct)	EX	Un taxon est dit *Éteint* lorsqu'il ne fait aucun doute que le dernier individu est mort. Un taxon est présumé *Éteint* lorsque des études exhaustives menées dans son habitat connu et/ou présumé, à des périodes appropriées (rythme diurne, saisonnier, annuel), et dans l'ensemble de son aire de répartition historique n'ont pas permis de noter la présence d'un seul individu. Les études doivent être faites

		sur une durée adaptée au cycle et aux formes biologiques du taxon.
Éteint à l'état sauvage (Extinct in the wild)	EW	Un taxon est dit *Éteint à l'état sauvage* lorsqu'il ne survit qu'en culture, en captivité ou dans le cadre d'une population (ou de populations) naturalisée(s), nettement en dehors de son ancienne aire de répartition. Un taxon est présumé *Éteint à l'état sauvage* lorsque des études détaillées menées dans ses habitats connus et/ou probables, à des périodes appropriées (rythme diurne, saisonnier, annuel), et dans l'ensemble de son aire de répartition historique n'ont pas permis de noter la présence d'un seul individu. Les études doivent être faites sur une durée adaptée au cycle et aux formes biologiques du taxon.
En danger critique d'extinction (Critically endangered)	CR	Un taxon est dit *En danger critique d'extinction* lorsque les meilleures données disponibles indiquent qu'il remplit l'un des critères A à E correspondant à la catégorie *En danger critique d'extinction* et, en conséquence, qu'il est confronté à un risque extrêmement élevé d'extinction à l'état sauvage.
En danger (Endanged)	EN	Un taxon est dit *En danger* lorsque les meilleures données disponibles indiquent qu'il remplit l'un des critères A à E correspondant à la catégorie *En danger* et, en conséquence, qu'il est confronté à un risque très élevé d'extinction à l'état sauvage.
Vulnérable (Vulnerable)	VU	Un taxon est dit *Vulnérable* lorsque les meilleures données disponibles indiquent qu'il remplit l'un des critères A à E correspondant à la catégorie *Vulnérable*, en conséquence, qu'il est confronté à un risque élevé d'extinction à l'état sauvage.
Risques mineurs (Lower Risk)	LR	Un taxon est dit *Risques mineurs* lorsqu'il a été évalué et ne satisfait pas aux critères de l'une des catégories *En danger critique d'extinction*, *En danger* et *Vulnérable.* Les taxons inscrits dans cette catégorie peuvent être séparés en trois sous-catégories.
→ Dépendant de la conservation (Conservation Dependant)	CD	Un taxon est dit *Dépendant de la conservation* lorsqu'il fait l'objet d'un programme de conservation spécifique du taxon ou spécifique de l'habitat typique du taxon, et dont la cessation entraînerait la qualification du taxon dans l'une des catégories ci-dessus dans un délai de cinq ans.
→ Quasi menacé (Near Threatened)	NT	Un taxon est dit *Quasi menacé* lorsqu'il a été évalué d'après les critères et ne remplit pas, pour l'instant, les critères des catégories *En danger critique d'extinction*, *En danger* ou *Vulnérable* mais qu'il est près de remplir les critères correspondant aux catégories du groupe *Menacé* ou qu'il les remplira probablement dans un proche avenir.
→ Préoccupation mineure (Least Concern)	LC	Un taxon est dit de *Préoccupation mineure* lorsqu'il a été évalué d'après les critères et ne remplit pas les critères des catégories *En danger critique d'extinction*, *En danger*, *Vulnérable* ou *Quasi menacé*. Dans cette catégorie sont inclus les taxons largement répandus et abondants.
Données insuffisantes (Data Deficient)	DD	Un taxon entre dans la catégorie *Données insuffisantes* lorsqu'on ne dispose pas d'assez de données pour évaluer directement ou indirectement le risque d'extinction en fonction de sa distribution et/ou de l'état de sa population. Un taxon inscrit dans cette catégorie peut avoir fait l'objet d'études approfondies et sa biologie peut être bien connue, sans que l'on dispose pour autant de données pertinentes sur l'abondance et/ou la distribution. Il ne s'agit donc pas d'une catégorie *Menacé*. L'inscription d'un taxon dans cette catégorie indique qu'il est nécessaire de rassembler davantage de données et n'exclut pas la possibilité de démontrer, grâce à de futures recherches, que le taxon aurait pu être classé dans une catégorie *Menacé*. Il est impératif d'utiliser pleinement toutes les données disponibles. Dans de nombreux cas, le choix entre *Données insuffisantes* et une catégorie *Menacé* doit faire l'objet d'un examen très attentif. Si l'on soupçonne que l'aire de répartition d'un taxon est relativement circonscrite, s'il s'est écoulé un laps de temps considérable depuis la dernière observation du taxon, le choix d'une catégorie *Menacé* peut parfaitement se justifier.
Non évalué (Not Evaluated)	NE	Un taxon est dit *Non évalué* lorsqu'il n'a pas encore été confronté aux critères.

Aqua Terra

Ingénierie de l'Environnement et de la Réhabilitation

ANNEXE 7 : Synthèse historique suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés. Stations proches diffuseur.

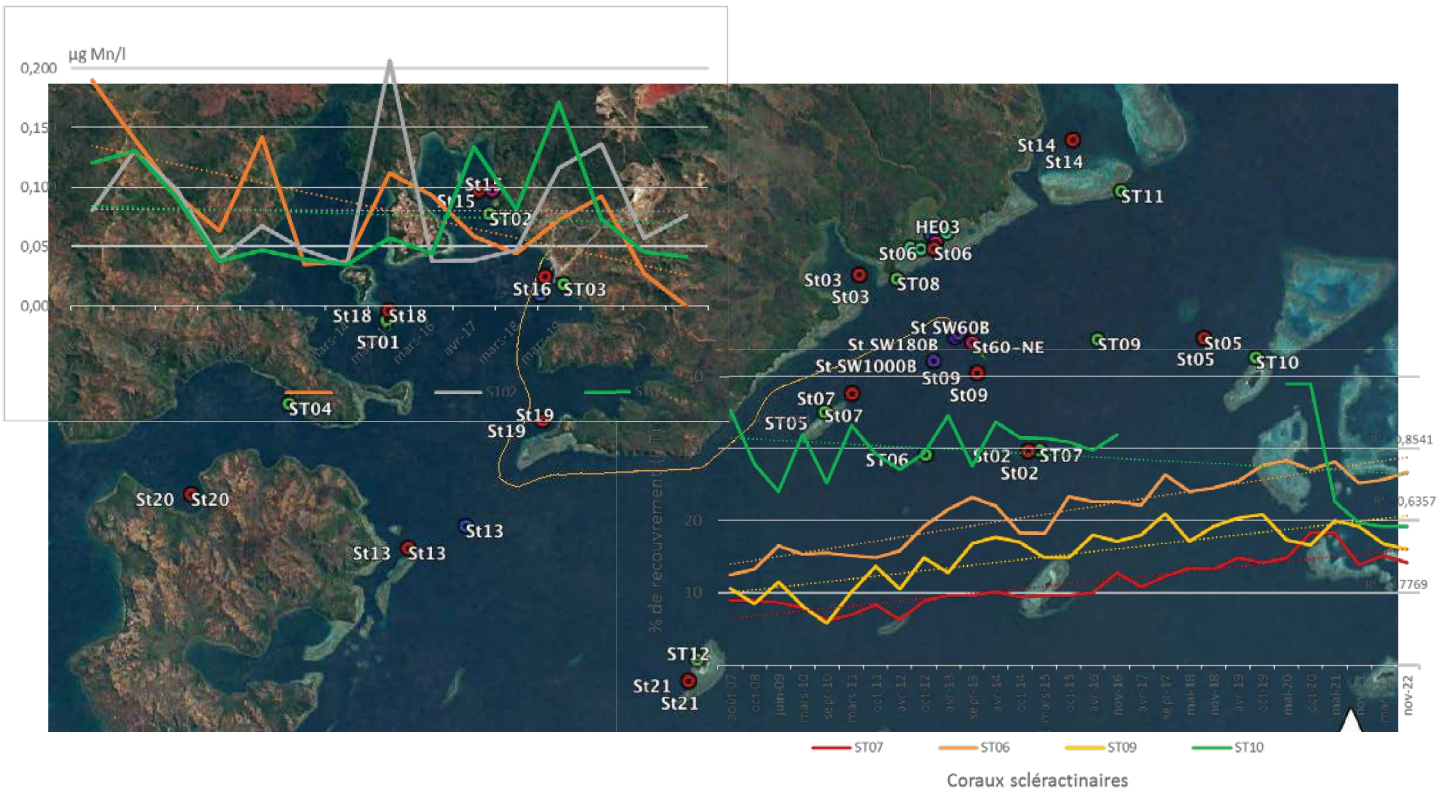
Aqua Terra

Bureau d'études en environnement

PRONY Resources
New Caledonia

Ingénierie de l'Environnement et de la Réhabilitation

SYNTHESE HISTORIQUE
Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés
Stations proches diffuseur



SARL AQUA TERRA - Capital : 1 000 000 XPF
Adre□□e □o□tale □BP 1□□□□ □□□□04 Noum□a □ Adre□□e □ureau □Immeu□le Auer□22 rue Auer □Duco□
T□l □□6□□□23 33 22 □T□l. □Fa□ □□6□□□43 0□ 32
RIDET □□13□2□.001 RIB □BCI 1□4□□ 00010 20200002012 3□
Courriel □a□uaterra□ a□uaterra□nc.com

Caractéristiques du dossier :

Référence du document		Ra□ 032□23 A□Ver03
Référence du contrat		PO n□L□□□32 □0001 du 21□0□23
Numéro de l'affaire		032□23
Client		Pron□ Re□ource□ NC
Commune		Mont Dore
Coordonnées (RGNC91-93 Lambert)	**X**	□02 □00
	Y	203 000
Mots clés		Pro□et Goro Nic□el□communaut□□ r□ci□ale□□□ioc□no□e□ marines, ichtyologie, suivis environnementaux, émissaire, manganèse

Suivi des modifications :

N° de version	Transmis à	Action / Etat	Date
00	AQUA TERRA	En interne : pour relecture pour contrôle qualité	Août 2023
01	Prony Resources NC	Rapport remis au Client (format électronique) Validation de la forme	28/08/2023
02	Prony Resources NC	Rapport remis au Client (format électronique) Version validée	29/08/2023
03	Prony Resources NC	Rapport remis au Client (format électronique) Compléments suite demandes DIMENC	10/11/2023

Les responsables du suivi des modifications sont :

Maître d'Ouvrage	(Prony Resources NC)
Entreprise	(AQUA TERRA)

N° Document	Émis le	Par	Approuvé par	Le
Rap 032-23 A_V01	28/08/2023	AQUA TERRA	PRNC	28/08/2023
Rap 032-23 A_V02	29/08/2023	AQUA TERRA		
Rap 032-23 A_V03	10/11/2023	AQUA TERRA		

Dans un souci constant de préserver l'environnement, nos rapports sont imprimés sur du papier certifié en recto-verso et nos toners sont éliminés via une filière agréée.

Table des Matières

TABLE DES MATIERES *3*
LISTE DES FIGURES *4*
LISTE DES TABLEAUX *4*
ACRONYMES *4*
1 PREAMBULE *5*
2 METHODOLOGIE *6*
2□1 STATI□NS D'ÉTUDE 6
2.1.1 Localisation *6*
2.1.2 Structuration *7*
2□2 PR□T□C□LES 7
2.2.1 Le substrat *7*
2.2.2 Le benthos *8*
2.2.3 L'ichtyofaune *8*
3 SYNTHESE DE L'EVOLUTION DES PARAMETRES DU SUIVI BIOLOGIQUE *9*
3□1 SU□STRAT 9
3□2 □ENT□□S 9
3□3 IC□T□□□AUNE 9
4 COMPARAISON A LA STATION DE REFERENCE *13*
□□1 SU□STRAT 13
□□2 □ENT□□S 13
□□3 IC□T□□□AUNE 14
5 CORRELATION AVEC DES DONNEES EXTERNES *16*
□□1 MESURES P□□SIC□-C□IMIQUES 16
5.1.1 Données d'entrée *16*
5.1.2 Résultats *17*
5.1.3 Limites *17*
□□2 EVENEMENTS METE□R□L□GIQUES 17
5.2.1 Synthèse climatologique *17*
5.2.1.1 Les événements météorologiques marquants 18
5.2.1.2 Le phénomène ENSO 19
5.2.2 Résultats *20*
6 CONCLUSION *22*
7 SOURCES *23*

Liste des Figures

Figure 01 : Localisation des stations de l'étude..... 6
Figure 02 : Schéma théorique d'une station 7
Figure 03 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST07..... 10
Figure 04 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST06..... 10
Figure 05 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST09..... 10
Figure 06 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST10..... 10
Figure 07 : Biodiversité taxonomique moyenne du benthos pour ST07..... 11
Figure 08 : Biodiversité taxonomique moyenne du benthos pour ST06..... 11
Figure 09 : Biodiversité taxonomique moyenne du benthos pour ST09..... 11
Figure 10 : Biodiversité taxonomique moyenne du benthos pour ST10..... 11
Figure 11 : Paramètres ichtyologiques pour ST07..... 12
Figure 12 : Paramètres ichtyologiques moyenne pour ST06 12
Figure 13 : Paramètres ichtyologiques moyenne pour ST09 12
Figure 14 : Paramètres ichtyologiques moyenne pour ST10 12
Figure 15 : Taux de recouvrement par les scléractiniaires pour les 4 stations, depuis le début du suivi..... 13
Figure 16 : Biodiversité taxonomique moyenne des invertébrés pour les 4 stations, depuis le début du suivi.... 14
Figure 17 : Biodiversité spécifique des poissons pour les 4 stations, depuis le début du suivi..... 14
Figure 18 : IAS des poissons pour les 4 stations, depuis le début du suivi 15
Figure 19 : Localisation des stations du suivi physico-chimiques 16
Figure 20 : Evolution des taux de manganèse et de recouvrement en coraux scléractiniaires..... 17
Figure 21 : Paramètres biologiques aux 4 stations depuis le début du suivi et événements climatiques..... 21

Liste des Tableaux

Tableau 01 : Coordonnées des stations et caractéristiques des transects..... 7
Tableau 02 : Principaux phénomènes dépressionnaires touchant la zone d'étude..... 18
Tableau 03 : Phases ENSO..... 19

Acronymes

ANOVA	: ANalysis Of VAriance = analyse de la variance
BACI	: Before-After / Control-Impact
FSC	: Forest Stewardship Council (Conseil de Soutien de la forêt) - Label socio-environnemental
IAS	: Indice Annuel de Station
LIT	: Line Intercept Transect
PEFC	: Programme for the Endorsement of Forest Certification (Programme de reconnaissance des certifications forestières)
PRNC	: Prony Resources Nouvelle-Calédonie
TLV	: Transect à Largeur Variable (méthode de comptage des poissons, milieu marin)

1 Préambule

Dans le cadre d'un projet d'optimisation du débit de l'émissaire marin de Prony Resources New Caledonia (PRNC), la zone de rejet de l'effluent sera en partie modifiée, ce qui nécessitera une étude environnementale pour la mise en conformité réglementaire.

La composition de l'effluent actuel ne sera pas modifiée, c'est juste la zone de rejet qui est nouvelle.
Il est donc intéressant d'évaluer l'impact du rejet de l'effluent actuel sur les communautés biologiques proches afin de prévoir celui sur la nouvelle zone.

L'état de santé des récifs étant suivi depuis 2007, l'objectif est ici de réaliser une synthèse des données existantes dans le but de voir si des variations significatives existent et le cas échéant si elles peuvent être attribuées à un impact de l'effluent rejeté.

Ce rapport présente les résultats de la synthèse historique réalisée.

NB : Sources principales :
Ce rapport présente la compilation et l'analyse des données issues de 29 campagnes de 2007 à 2022 : document [R02] à document [R28].

2 Méthodologie

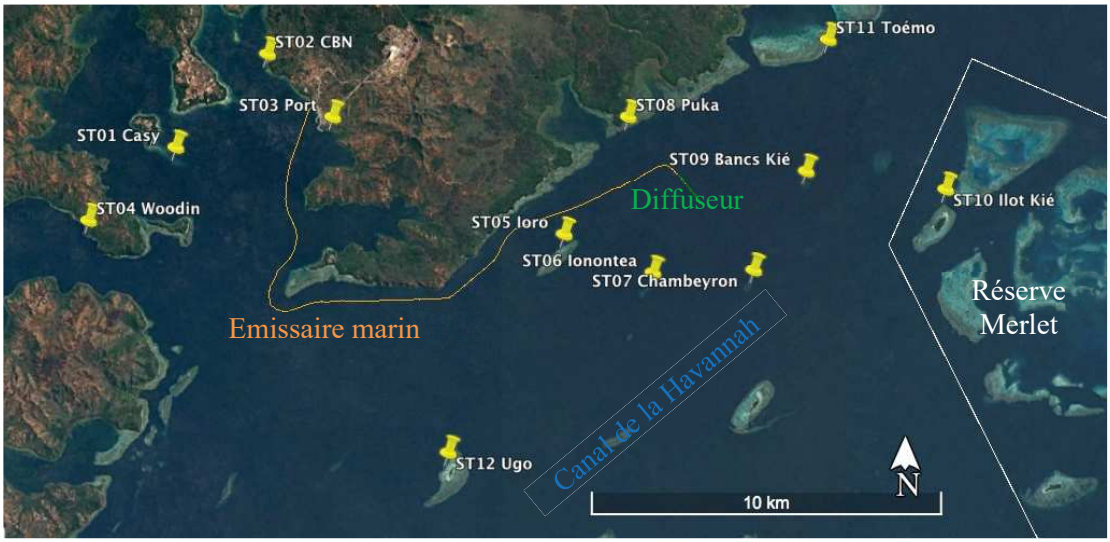
2.1 Stations d'étude

2.1.1 Localisation

Le réseau de suivi des peuplements récifaux et organismes associés mis en place depuis 2007 compte à ce jour 12 stations (figure 01).
L'objectif étant d'évaluer l'impact potentiel de l'effluent, cette étude s'intéresse particulièrement à 4 stations qui ont été sélectionnées dans une logique de BACI [R31].
Pour rappel, l'émissaire a été mis en service en juillet 2009 soit juste après la 3ème mission de juin 2009 (et donc 8 mois avant la suivante réalisée en mars 2010).

Elles sont situées dans le canal de la Havannah (cf. tableau 01) et ce sont :

- les 3 stations les plus proches de l'émissaire (entre 2, 7 et 2,9 km) (ST06, ST07, ST09)
- la station située dans la réserve intégrale Y. Merlet[1] (à 6,8 km) servant comme site de référence hors impact (ST10).



@Aqua Terra, 08.2023
Source : Fond Google Earth

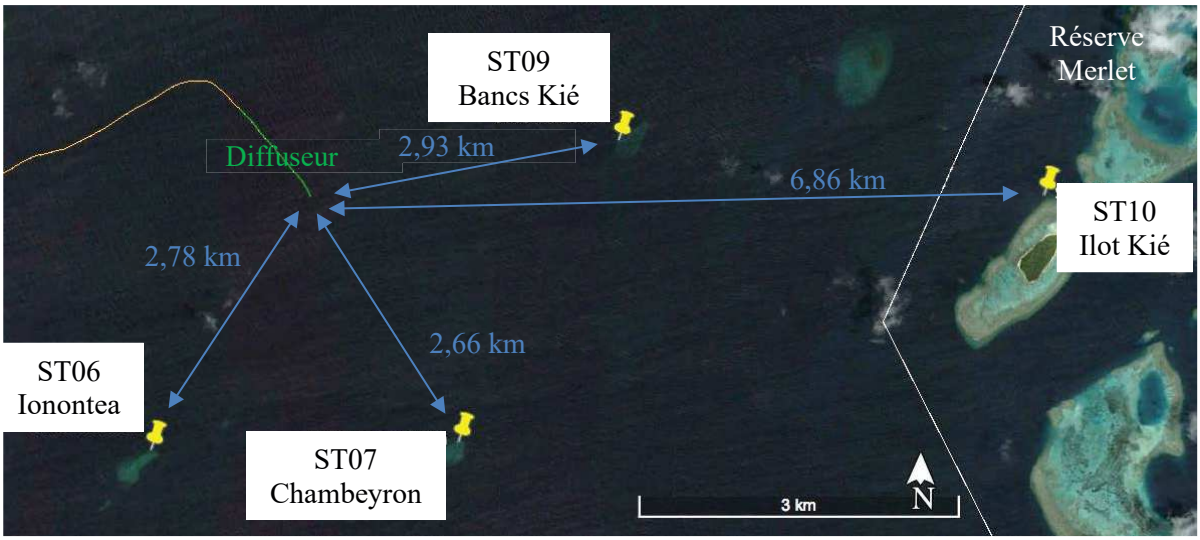


Figure 01 : Localisation des stations de l'étude

[1] Nous demandons une autorisation d'y pénétrer pour réaliser les observations, à chaque mission auprès du service de la DDDT
La station n'a pas été échantillonnée pendant 6 missions, de 2017 à 2019

2.1.2 Structuration

Chaque station est constituée de 3 transects de 20 m, matérialisés par des piquets permanents (cf. figure 02) et localisés chacun à un niveau bathymétrique particulier (cf. tableau 01).

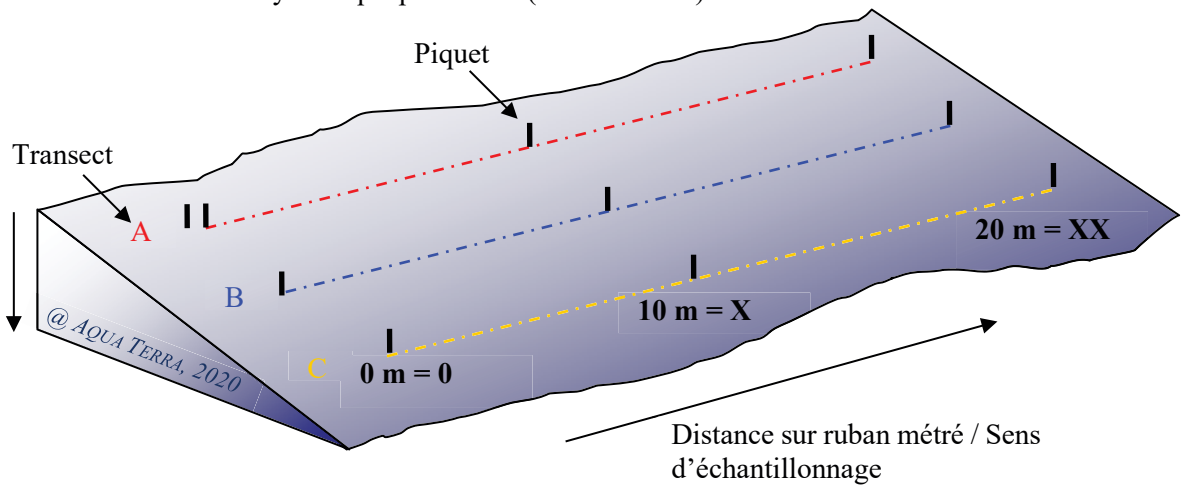


Figure 02 : Schéma théorique d'une station

Tableau 01 : Coordonnées des stations et caractéristiques des transects

STATION	LOCALISATION	Coordonnées (RGNC 91-93 Lambert)		PROFONDEUR (m) DES TRANSECTS		
		LONGITUDE	LATITUDE	A	B	C
06	Banc Ionontea	166°58.995	22°23.650	8,5	15,5	21,5
07	Basse Chambeyron	167°00.671	22°23.591	8	18	22
09	Bancs de Kié	167°01.529	22°22.070	8	17	20,5
10	Ilot Kié	167°03.862	22°22.324	9,5	16,5	20,5

2.2 Protocoles

Le suivi de l'état des communautés coralliennes se fait à travers l'échantillonnage de 3 thèmes : l'habitat (le substrat), les macro-invertébrés épibenthiques (simplifié par la suite en « benthos ») et les poissons.
Les protocoles sont détaillés dans chaque rapport de campagne ([R02] à [R28]). Ils suivent un cahier des charges imposé par la DDDT depuis 2006. Seules les grandes lignes sont rappelées ici.
Les campagnes ont été annuelles les 3 premières années, puis semestrielles.

2.2.1 Le substrat

C'est la méthode du Line Intercept Transect (LIT) de English & al (1997) [R29] qui a été appliquée, sur la base de 28 classes de substrat.

Les données brutes (longueurs sur 20 m) de recouvrement de chaque classe sont dans un premier temps traitées pour obtenir le pourcentage de recouvrement de chaque classe.
Puis, les classes sont regroupées en 12 composantes principales afin de pouvoir simplifier les interprétations.
Ces composantes reprennent les groupes faunistiques (coraux scléractiniaires, autres coraux, alcyonaires, autres organismes, algues, algues sur corail mort) ainsi que le matériel composant le substrat (corail mort, débris, sable, dalle, vase, eau).

Les comparaisons retenues dans le cadre de cette étude insistent sur les rapports entre :
- abiotique
- biotique, partie divisée en « Coraux scléractiniaires » et « Algues + autres invertébrés ».

2.2.2 Le benthos

C'est la méthode d'observation sur couloirs qui a été appliquée.
Le couloir fait une largeur de 5 mètres (2.5 mètres de part et d'autre de chaque transect), soit 100 m² pour chaque transect et donc 300 m² par station.

L'inventaire des communautés benthiques porte sur une liste de taxons cibles :
- les algues et phanérogames (présence / absence), à déterminer au niveau du genre
- les étoiles de mer, les oursins et les holothuries (abondance), à déterminer au niveau de l'espèce
- les crinoïdes (présence / absence)
- les cliones (abondance)
- les bénitiers et les trocas (abondance).

Jusqu'en 2016 (comprise), les coraux scléractiniaires ont aussi été déterminés (au niveau le plus bas possible *in situ* : genre ou espèce selon le taxon) et comptés.

Les comparaisons retenues dans le cadre de cette étude insistent sur les rapports entre :
- coraux scléractiniaires quand la donnée existe
- invertébrés, qui en fait regroupe tous les invertébrés hors coraux
- macrophytes.

2.2.3 L'ichtyofaune

Les poissons ont été échantillonnés par comptage visuel sous-marin selon la méthode dite des Transects à Largeur Variable « TLV ».
Il faut signaler que l'inventaire est réalisé selon une liste restreinte en nombre d'espèces / familles (contrainte imposée par le cahier des charges défini par l'administration juge).

Les paramètres observés sont :
- la biodiversité (richesse spécifique)
- l'abondance (traduite en densité)
- la biomasse (estimée d'après la taille en utilisant une relation d'allométrie avec les coefficients existants [R30]).

Par ailleurs, un indice synoptique a été créé depuis 2012. Cet Indice Annuel de Station permet une appréciation globale de la qualité du peuplement au niveau de chacune des stations. Il calculé à partir des paramètres de densité, de biomasse et de biodiversité :

$$IAS = (Densité+Biomasse+2*Biodiversité) / 4$$

La cotation est sur 4 niveaux :

1 à 1,50	1,75 à 2,25	2,50 à 3,25	> 3,25
Mauvais	Médiocre	Bon	Très bon

3 Synthèse de l'évolution des paramètres du suivi biologique

3.1 Substrat

Les pourcentages de recouvrement du substrat selon les 3 groupes retenus sont présentés pour chaque station sur la figure 03 à la figure 06.

L'étude des substrats par le LIT a montré que leur recouvrement est très varié d'une station à l'autre (ce qui est normal par rapport à la géomorphologie du récif qui diffère selon les localisations géographiques) mais aussi au sein même d'une station, avec notamment une influence certaine de la profondeur (diminution du recouvrement par les scléractiniaires et les groupes biotiques en général) [R28].

S'il y a des variations saisonnières, il n'apparaît pas de dégradations nettes au cours du temps.

3.2 Benthos

Les biodiversités taxonomiques moyennes du benthos selon les 3 groupes retenus sont présentées pour chaque station sur la figure 07 à la figure 10.

La biodiversité α est étudiée car c'est un paramètre biologique fort qui caractérise une station.
Les données ont été analysées par une ANOVA pour établir une comparaison temporelle.
L'hypothèse (H_0) du test est de s'assurer que les variations observées d'année en année au niveau de chacune des stations sont bien aléatoires et donc pour chacune, le fruit du hasard et non qu'il existerait au cours du temps, une tendance globale à la hausse ou à la baisse des valeurs des paramètres choisis pour caractériser ces stations.

L'analyse des variances de la richesse spécifique ne montre pas de similarité, même pour une valeur de F à 99% pour [R28] :

- les coraux pour les 17 campagnes
- les invertébrés pour les 29 campagnes
- les macrophytes pour les 29 campagnes.

Le rejet est total et l'ANOVA n'accrédite pas l'hypothèse d'identité Ho : toutes les séries ont des variances différentes : les variations sont donc aléatoires.

3.3 Ichtyofaune

La biodiversité spécifique, la densité et la biomasse de l'ichtyofaune sont présentées pour chaque station sur la figure 11 à la figure 14.

Ici aussi les données ont été analysées par ANOVA pour les variances temporelles.
Avec la même H_0 : tester l'homogénéité des missions, *ie*, pour un même paramètre, existe-t-il lors de chaque mission un schéma spatial (dispersion des valeurs du paramètre) similaire à celui de la période d'étude toute entière ?

L'analyse des variances pour chaque paramètre montre une hétérogénéité des missions ($F_{97,5}$) [R28].

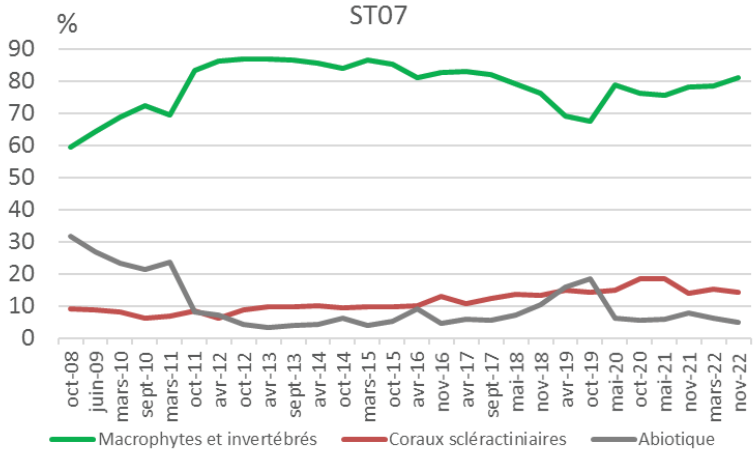


Figure 03 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST07

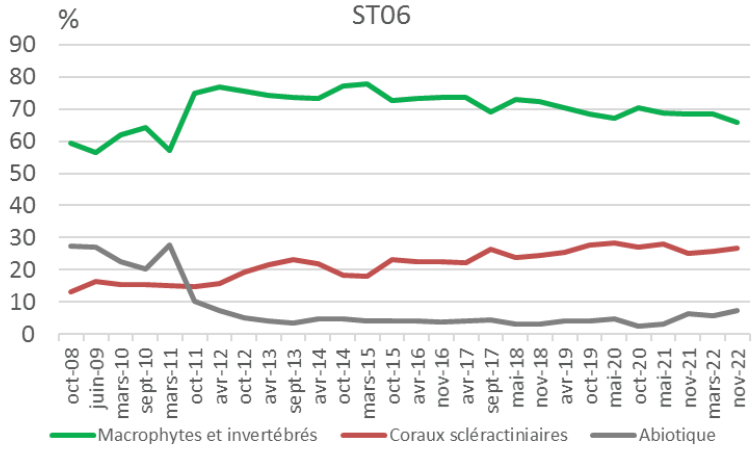


Figure 04 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST06

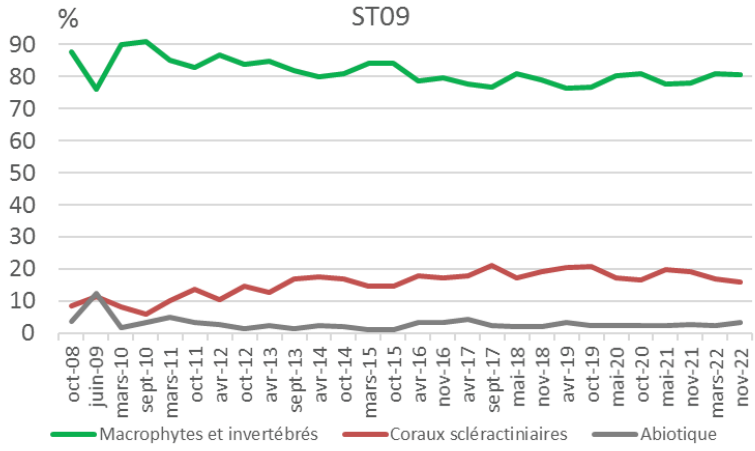


Figure 05 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST09

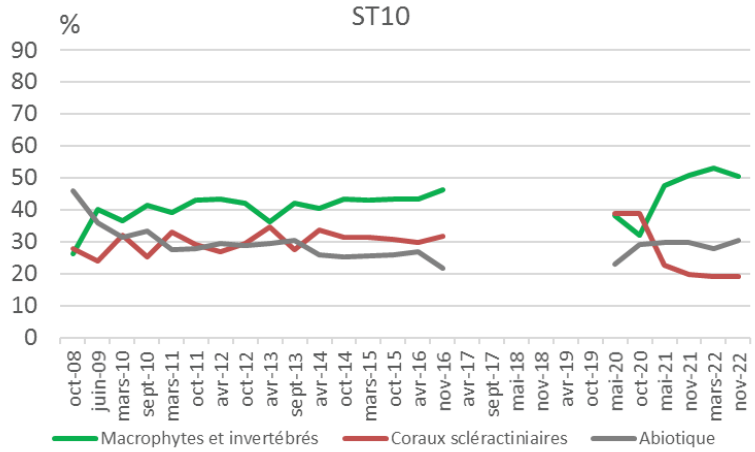


Figure 06 : Représentation du recouvrement (en %) du substrat pour ST10

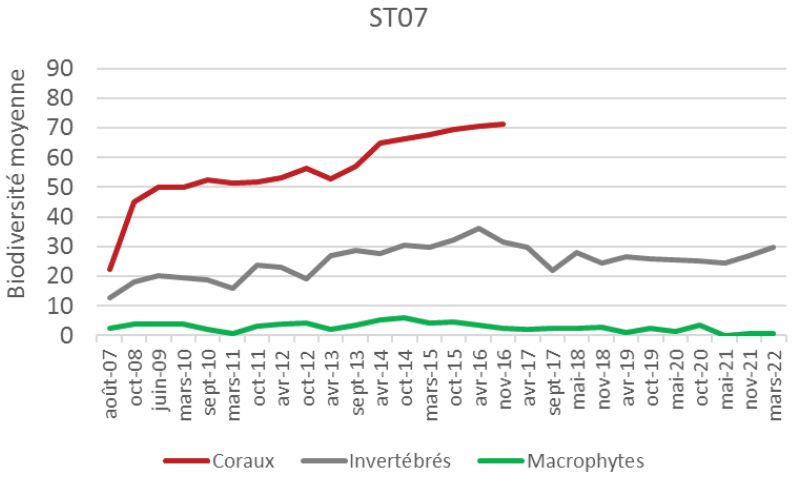


Figure 07 : Biodiversité taxonomique moyenne du benthos pour ST07

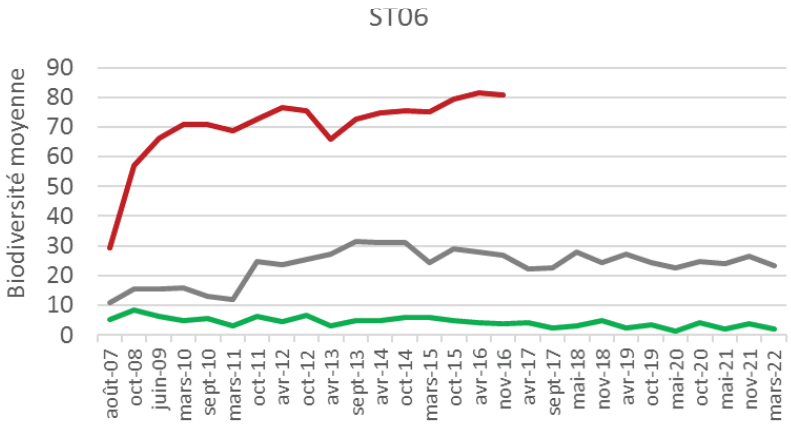


Figure 08 : Biodiversité taxonomique moyenne du benthos pour ST06

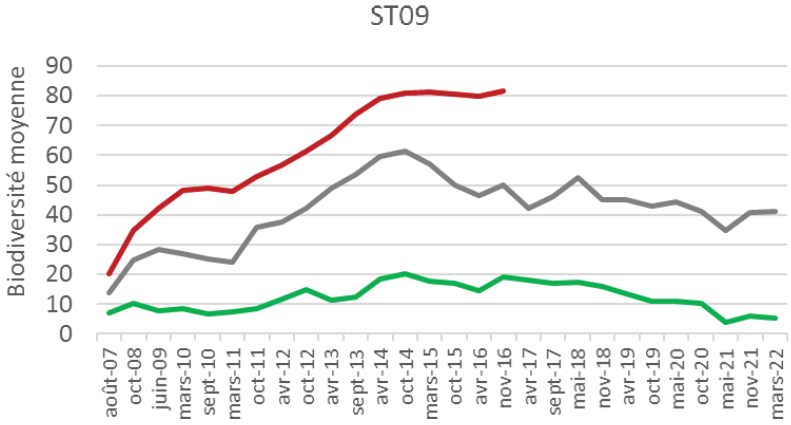


Figure 09 : Biodiversité taxonomique moyenne du benthos pour ST09

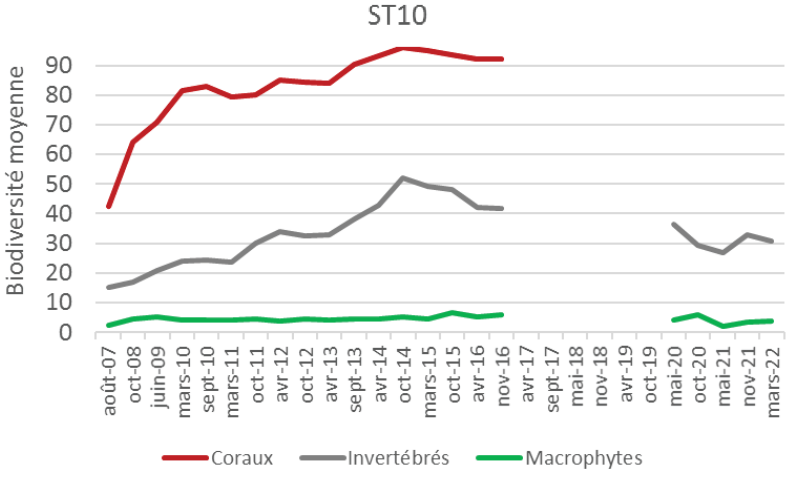


Figure 10 : Biodiversité taxonomique moyenne du benthos pour ST10

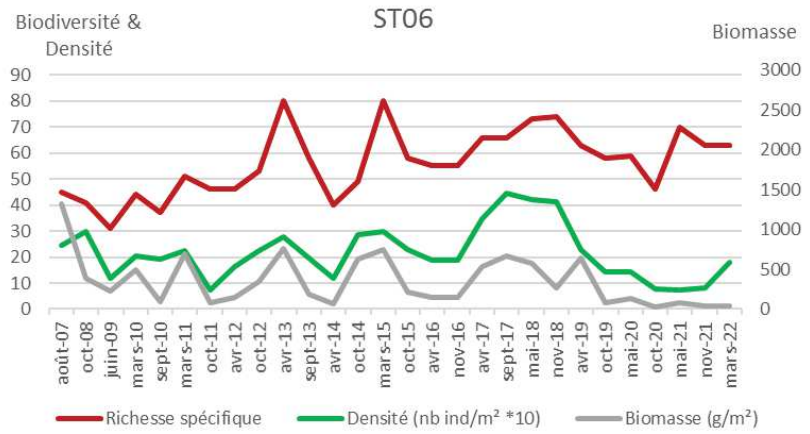


Figure 11 : Paramètres ichtyologiques pour ST07

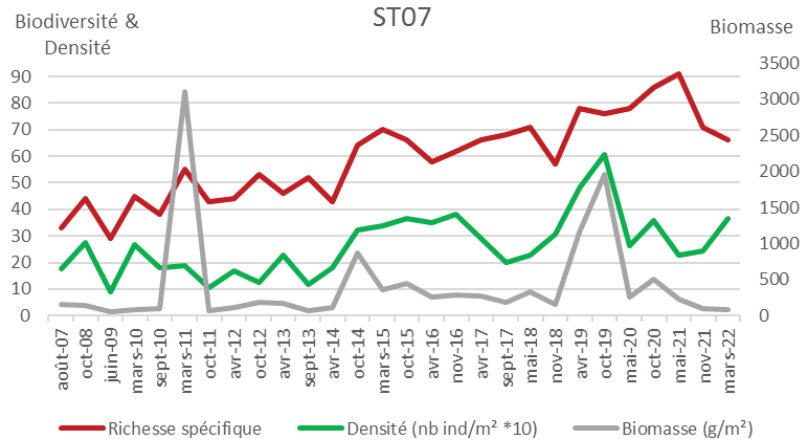


Figure 12 : Paramètres ichtyologiques moyenne pour ST06

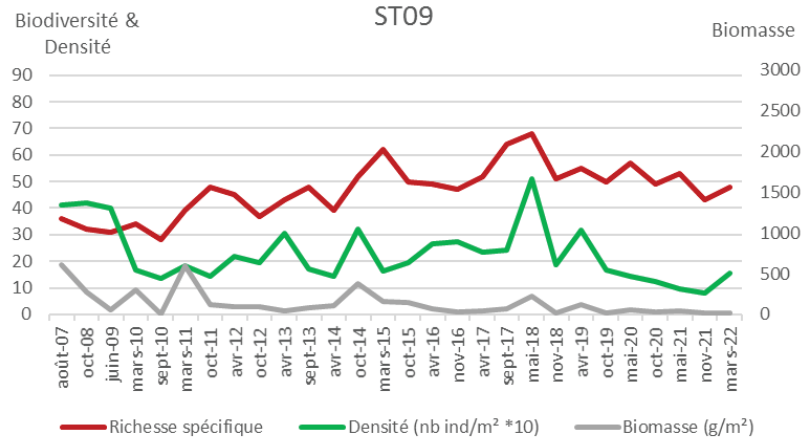


Figure 13 : Paramètres ichtyologiques moyenne pour ST09

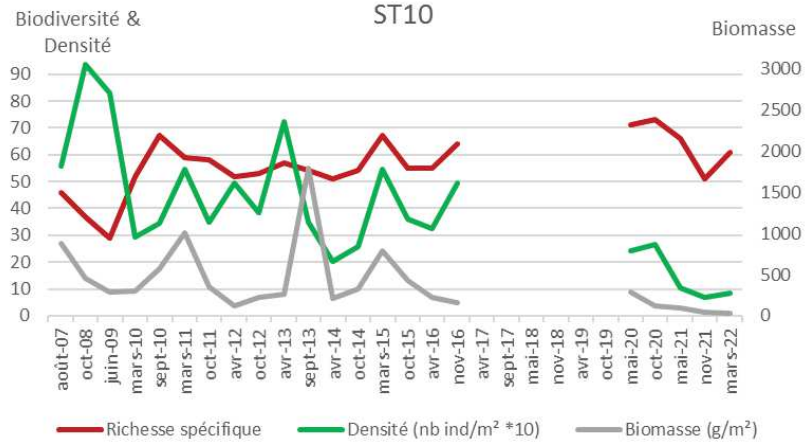


Figure 14 : Paramètres ichtyologiques moyenne pour ST10

4 Comparaison à la station de référence

Pour chaque compartiment, plusieurs paramètres sont suivis et leurs évolutions ont résumées dans le chapitre précédent pour chaque station étudiée (cf. § 3). Dans ce chapitre, pour permettre la comparaison des évolutions temporelles des stations, les tendances étant globalement les mêmes pour chaque paramètre (cf. § 3), l'étude c'est focalisée sur le paramètre le plus significatif (le plus représentatif de l'état de santé du récif) de chaque compartiment.

4.1 Substrat

Le taux de recouvrement par les scléractiniaires pour les 4 stations est illustré sur la figure 15, pour les différentes campagnes depuis le début du suivi.

Il n'apparaît pas de baisse significative pour les stations sous influence qui ne serait pas enregistrée en même temps à la station de référence.
Au contraire, la courbe de tendance linéaire en ce qui concerne les coraux scléractiniaires est plutôt à la hausse pour les stations ST06, ST07 et ST09 avec un coefficient variant de 0.85 à 0.64, ce qui reste significatif, alors qu'il y a une forte baisse à la ST10 sur les dernières missions.

Ainsi, le recouvrement corallien qui était historiquement plus important dans la réserve intégrale a fortement chuté lors de la mission de mai 2021 pour être moins important qu'à la station de Ionontea maintenant.

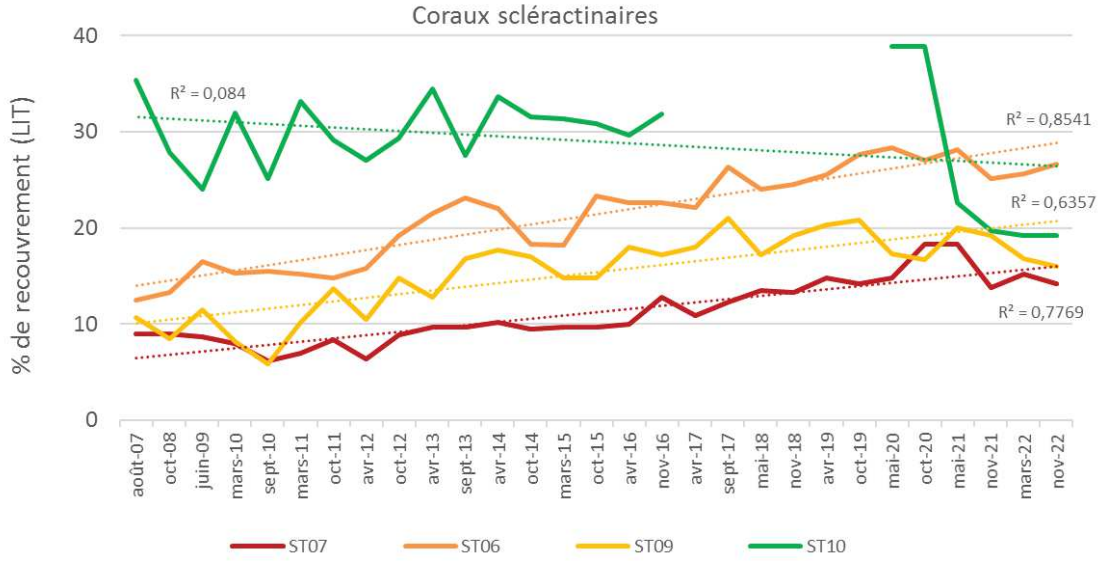


Figure 15 : Taux de recouvrement par les scléractiniaires pour les 4 stations, depuis le début du suivi

4.2 Benthos

La comparaison est ici réalisée sur la biodiversité taxonomique moyenne des invertébrés (hors coraux)[2] pour les 4 stations (cf. figure 16).

Ici aussi, les variations enregistrées sur les 3 stations proches de l'émissaire le sont aussi à la station de référence, ce qui exclut une causalité de l'effluent.

Par ailleurs, depuis le début du suivi, la richesse taxonomique en invertébrés est plus importante sur le Banc Kié (ST09), qu'à l'îlot Kié (ST10).

[2] La biodiversité des coraux est une donnée beaucoup plus informative sur la santé des récifs mais cet inventaire a été arrêté en 2016

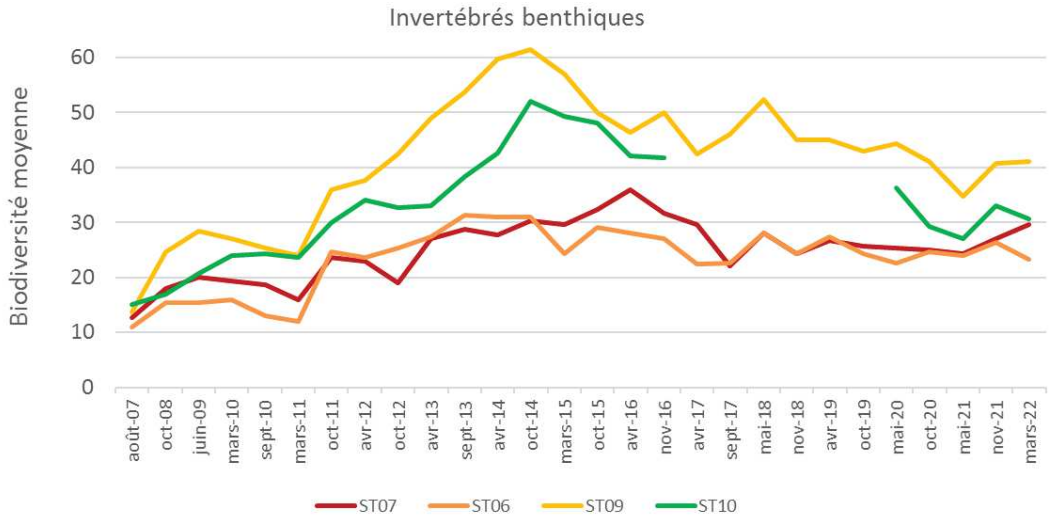


Figure 16 : Biodiversité taxonomique moyenne des invertébrés pour les 4 stations, depuis le début du suivi

4.3 Ichtyofaune

La biodiversité spécifique des poissons pour les 4 stations depuis le début du suivi est illustrée figure 17.

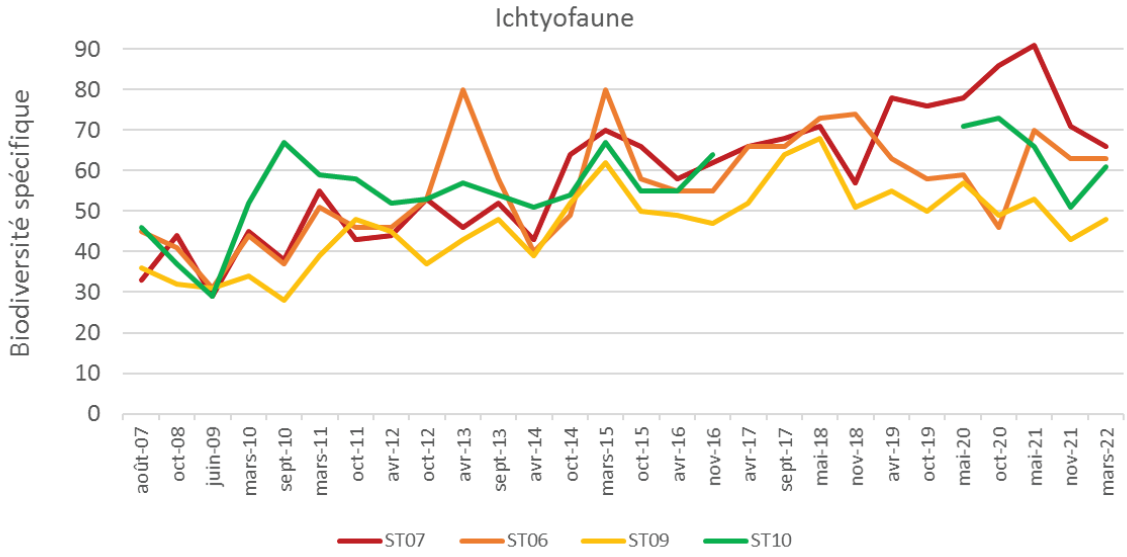


Figure 17 : Biodiversité spécifique des poissons pour les 4 stations, depuis le début du suivi

Ici aussi, il n'y a pas de schéma type de variations pour les stations dans la zone d'influence du diffuseur et pour celle de référence.

La station ST07 (Chambeyron), la plus proche du diffuseur présente même une biodiversité ichtyologique plus élevée qu'à la station en réserve (ST10) depuis la mission d'octobre 2014. Et c'est aussi le cas sporadiquement pour la ST06 (Ionontea).

Les conclusions sont les mêmes selon l'analyse de l'évolution de l'IAS (cf. figure 18).

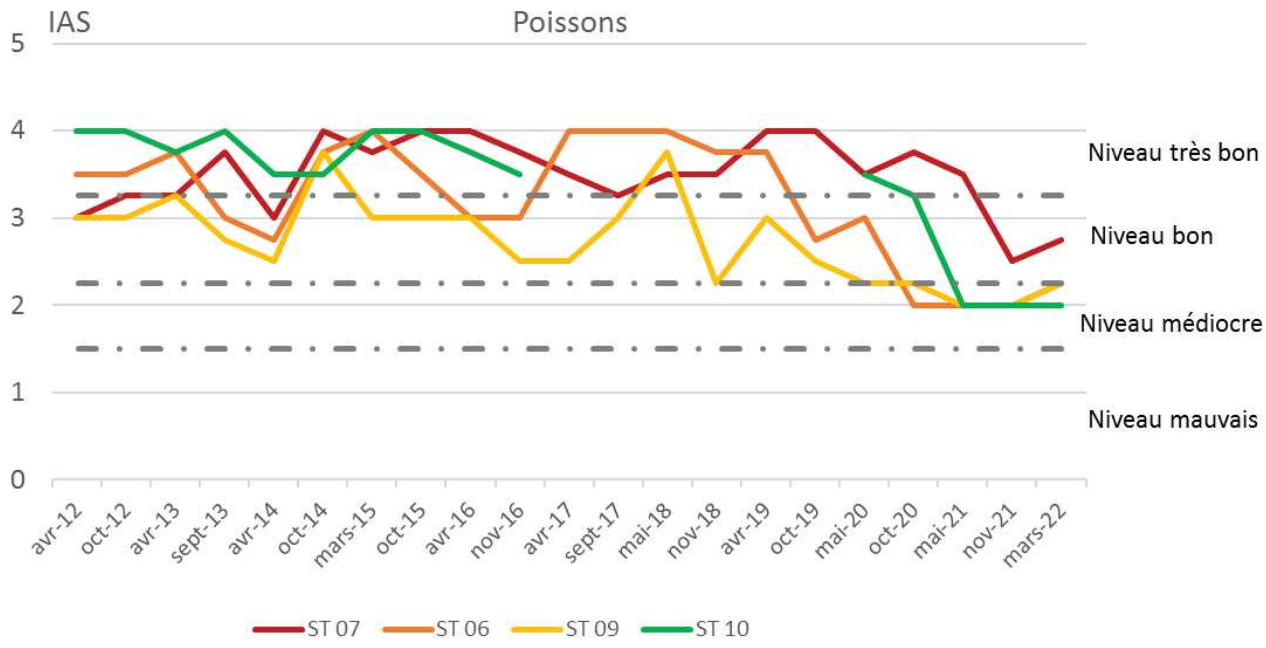


Figure 18 : IAS des poissons pour les 4 stations, depuis le début du suivi

5 Corrélation avec des données externes

5.1 Mesures physico-chimiques

Les analyses du § 3 montrent que les missions sont hétérogènes et qu'il n'y a pas de schéma de variations dues à un même facteur constant (comme l'effluent par exemple).
Les analyses du § 4 montrent que la station de référence ne présente pas un historique dans ses fluctuations différent et meilleur que celui des stations proches du diffuseur.

L'exercice a cependant été poussé plus loin en essayant de voir si une corrélation pouvait exister entre les données physico-chimiques enregistrées *in situ* et les variations des paramètres biologiques.

5.1.1 Données d'entrée

En parallèle au suivi biologique, PRNC réalise un suivi physico-chimique [R01].
Ce réseau comprend 14 stations (cf. figure 19), dont :

- une est localisée au niveau du diffuseur (ST09)
- une est située au niveau de la ST07 Chambeyron (ST02)
- une est en limite de la réserve Merlet (ST05).

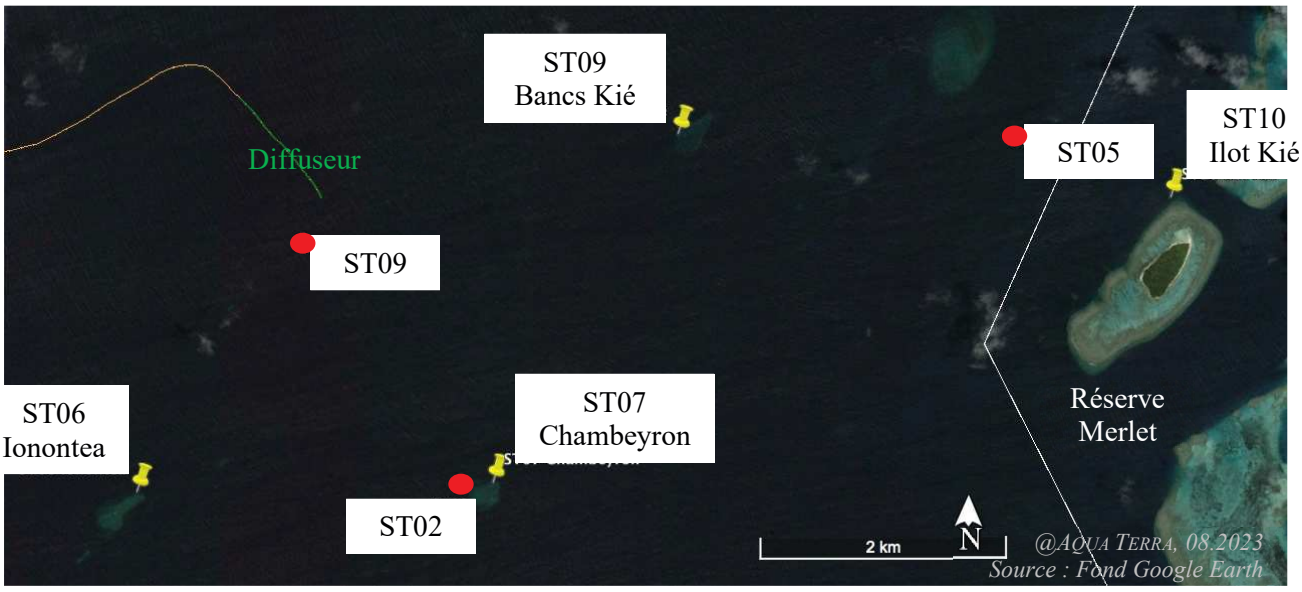


Figure 19 : Localisation des stations du suivi physico-chimiques

Nous avons donc retenu 2 « couples » :

- $ST02_{PC}$ et $ST07_{Bio}$
- $ST05_{PC}$ et $ST10_{Bio.}$

Cette surveillance concerne différents paramètres dont la concentration en manganèse dissous[3] dans l'eau de mer, à 3 niveaux dans la colonne d'eau :

- au fond
- à mi-profondeur
- en surface.

Pour cette étude, c'est la concentration au fond qui est retenue car la plus pénalisante (niveau diffuseur).
Pour les paramètres biologiques, le choix s'est porté sur le taux de recouvrement en scléractiniaires.

[3] Le Mn dissous est considéré comme conservatif dans le milieu et est donc utilisé dans les différentes simulations comme traceur

5.1.2 Résultats

Les évolutions de chaque paramètre retenu (concentration en manganèse *vs* taux de recouvrement en coraux scléractiniaires) sont illustrées sur la figure 20 pour le couple $ST02_{PC}$ et $ST07_{Bio}$ et pour le couple $ST05_{PC}$ et $ST10_{Bio}$.

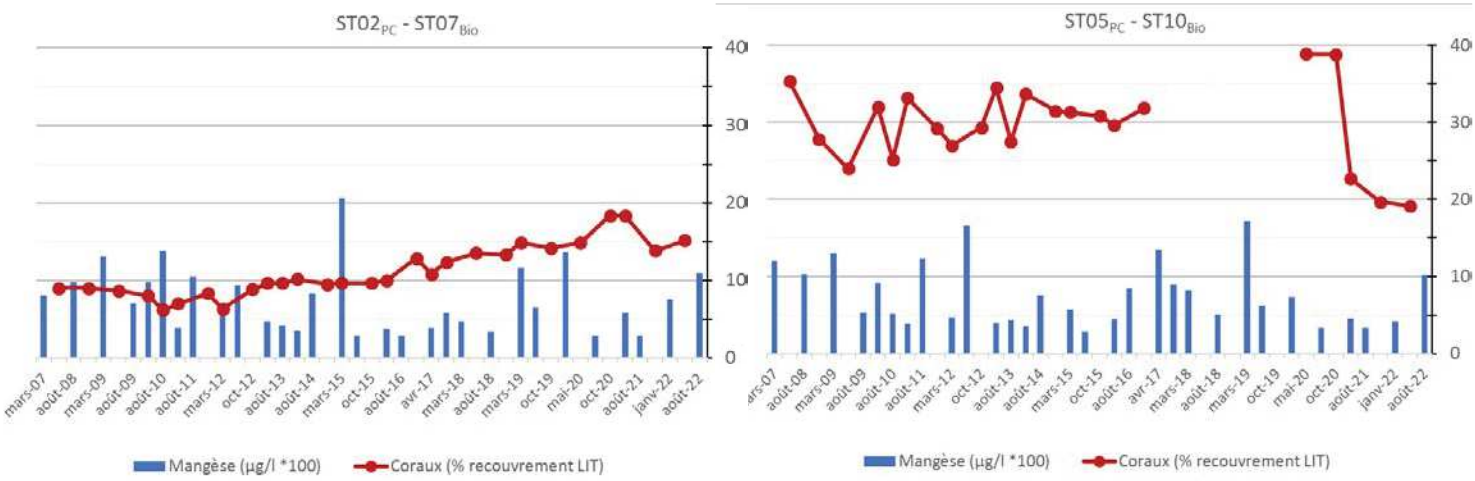


Figure 20 : Evolution des taux de manganèse et de recouvrement en coraux scléractiniaires

Ces représentations ne traduisent pas de lien pouvant expliquer les variations (dont les baisses) dans le recouvrement corallien.
Ce qui est confirmé par le coefficient de corrélation calculé (sur les valeurs communes) pour chaque série :

- pour le couple $ST02_{PC}$ et $ST07_{Bio}$, R^2 = - 0,095
- pour le couple $ST05_{PC}$ et $ST10_{Bio}$, R^2 = - 0,002.

5.1.3 Limites

Il y a plusieurs limites à cette analyse, dont :

- A part pour le couple $ST02_{PC}$ et $ST07_{Bio}$, les stations de suivi physico-chimique et biologique sont espacées
- Les dates d'échantillonnage de chaque suivi ne correspondent pas exactement
- Ce suivi physico-chimique enregistre une valeur du paramètre à un instant t alors que le suivi biologique rend compte de paramètres ayant intégré les conditions du milieu sur du moyen terme.

5.2 Evénements météorologiques

5.2.1 Synthèse climatologique

Le climat impacte fortement le milieu marin à travers différents phénomènes, dont :

- les dépressions tropicales
- le phénomène ENSO
- des épisodes ponctuels particuliers comme en début 2016 où de fortes chaleurs ont été enregistrées sur la Nouvelle-Calédonie. Cette « canicule » était accompagnée par des anomalies de température positives en mer (> à 2°C) ainsi que par un indice UV très élevé par rapport à la normale. Il y a eu aussi des phases de dessalure ponctuelles relatives aux précipitations. Ce phénomène encore inexpliqué (relatif à la conjugaison de multiples paramètres de l'environnement) n'a pas été lié directement au phénomène ENSO.
  Les conséquences sur l'environnement marin ont été très importantes : la hausse de la température des eaux et des UV associée à une baisse de la salinité a entrainé un phénomène de blanchissement massif des récifs autour de la Nouvelle-Calédonie.
  De nombreuses perturbations en chaîne dans le milieu marin en ont découlé (mortalité des coraux

scléractiniaires, des alcyonaires, développement d'algues, cyanobactéries et de turf sur les colonies coralliennes…).

Suivre ces divers éléments est donc primordial pour évaluer et discriminer leurs impacts sur les milieux d'autres facteurs.

Une présentation complète est commentée dans chaque rapport et une synthèse est présentée ici afin de permettre de situer certaines variations observées par la suite.

5.2.1.1 Les événements météorologiques marquants

La Nouvelle-Calédonie est soumise très régulièrement aux assauts de perturbations tropicales. Ces phénomènes ont des impacts parfois très importants sur les récifs coralliens par différents biais, dont :

- baisse de la salinité des couches d'eau supérieures en cas de fortes pluies
- destructions des récifs par l'hydrodynamisme créé par les fortes houles.

Le tableau 02 indique les principaux phénomènes dépressionnaires qui ont eu une influence sur les paramètres environnementaux dans la zone d'étude (ils ne sont donc pas tous listés).

Tableau 02 : Principaux phénomènes dépressionnaires touchant la zone d'étude

ANNEE	PERIODE	NOM	CATEGORIE	DEGATS [R32]
2007	25 au 29 mars	Becky	Dépression tropicale forte	Grosse mer et fortes pluies
2009	22 au 26 mars	Jasper	Dépression tropicale forte	
2011	11 au 16 janvier	Vania	Dépression tropicale forte	Fortes précipitations et inondations / Dommages agricoles importants
	14 au 17 janvier	Zelia	Cyclone tropical	
2013	27 décembre 2012 au 4 janvier 2013	Freda	Cyclone tropical	Dégâts essentiellement dus aux pluies diluviennes qui ont provoqué un grand nombre de débordements de rivière avec des coupures de routes et des dégâts aux ouvrages d'art, des glissements de terrains et de nombreuses habitations inondées (par exemple 400 personnes sans abri à Thio)
2015	7 au 16 mars	Pam	Cyclone tropical	Certainement le plus puissant depuis le début des suivis (1970) : vents moyens maximaux estimés à 135 kt (250 km/h) et une pression minimale au centre estimée à 896 hPa au plus bas
2016	9 au 25 février	Winston	Cyclone tropical très intense puis dépression tropicale forte (en NC)	
2017	7 au 14 avril	Cook	Cyclone tropical	1 personne décédée (Kouaoua) / 4 blessés / 23 communes touchées / 1 milliard de XPF de dégâts estimés
	2 au 10 mai	Donna	Cyclone tropical intense puis cyclone tropical (en NC)	Aucune victime à déplorer / 325 habitations détruites (5 à Maré, 50 à Ouvéa et 270 à Lifou)
2018	25 au 30 janvier	Fehi	Dépression tropicale modérée	
	07 au 18 février	Gita	Cyclone tropical très intense	
	03 au 11 mars	Hola	Cyclone tropical intense	
	10 au 15 mars	Linda	Dépression tropicale modérée	
	21 au 30 mars	Iris	Dépression tropicale forte	
	26 au 30 septembre	Liua	Dépression tropicale modérée	*A fait annuler la mission … recalée en novembre (coefficients de marée adéquats)*
2019	11 au 23 février	Oma	Cyclone tropical	
2020	12 au 16 mars	Gretel	Dépression tropicale forte	

2021	01 au 05 février	Lucas	Dépression tropicale forte	
	1 au 7 mars	Niran	Cyclone tropical très intense	
	4 – 5 mai	/	Episode pluvio-orageux	Précipitations de durée de retour centennale. A PRNC : 294 mm de pluie en 6 h *Mission décalée à suivre*
	13 au 14 décembre	Ruby	Dépression tropicale forte	A PRNC : 234 mm de pluie en 24 h et 122 km/h en rafale de sud-ouest
2022	9 au 11 février	Dovi	Cyclone tropical	A PRNC : 235 mm de pluie en 35 h et 130 km/h en rafale d'ouest

5.2.1.2 Le phénomène ENSO

Le terme ENSO (El Niño Southern Oscillation) désigne les modifications de la circulation atmosphérique dans le Pacifique équatorial ainsi que les anomalies de température de l'océan qui y sont associées.
Trois phases peuvent être distinguées :

- neutre : les alizés soufflent d'est en ouest sur l'océan Pacifique tropical
- El Niño **:** au niveau de l'équateur, les alizés s'affaiblissent si bien que la langue d'eau froide équatoriale laisse place à des eaux de surface plus chaudes que la normale. En Calédonie, El Niño se caractérise par un risque accru de sécheresse et les températures minimales ont tendance à être anormalement basses. Il augmente aussi le nombre de tempêtes tropicales
- La Niña : le long de l'équateur, les alizés s'intensifient. La remontée d'eau froide sur le bord est de l'océan Pacifique est alors accrue, tandis que des eaux plus chaudes que la normale sont observées à l'ouest du Pacifique. La Niña se caractérise à l'inverse : risque accru de fortes pluies, températures minimales plus hautes et diminution du nombre de perturbations dans le Pacifique sud.

Un résumé des différentes phases qui sont intervenues dernièrement sur la Nouvelle-Calédonie est présenté tableau 03.

Tableau 03 : Phases ENSO

PERIODE	PHASE
2010	Neutre
Début 2011	La Niña, entraînant une anomalie de salinité, d'autant plus importante aux embouchures des creeks et des rivières. Les colonies coralliennes les plus sensibles s'édifiant aux sommets des récifs ont ainsi expulsé leurs zooxanthelles (phénomène de blanchissement très important)
Mi 2011-2015	Neutre
Fin 2014- mi 2016	El Niño (parmi les 3 les plus puissants de ces 50 dernières années)
Saison cyclonique 2016 - 2017	Neutre
Octobre 2017 – mars 2018	La Niña
Saison chaude 2018 - 2019	El Niño
Saison chaude 2019- 2020	El Niño
Septembre 2020 - mai 2021	La Niña, avec un bilan des pluies sur la période d'octobre à mai excédentaire de +57%
Septembre 2021 - mars 2023	La Niña, épisode exceptionnel en termes de cumuls de pluies tombées à l'échelle du Pacifique sud-ouest et de la Nouvelle-Calédonie

5.2.2 Résultats

La figure 21 reprend les figure 15, figure 16 et figure 17 mais en faisant apparaître les événements climatiques majeurs ayant précédé la mission.

Les variations saisonnières s'expliquent alors par l'alternance entre les missions du premier semestre (mars-avril) qui suivent la saison des cyclones et entre les missions du second semestre (octobre) qui en sont plus éloignées.
Les dépressions entraînent une dessalure et surtout un hydrodynamisme fort qui casse les colonies coralliennes du transect supérieur qui vont ensuite dévaler la pente et provoquer des dégâts dans les niveaux bathymétriques plus profonds.
Les baisses de recouvrement en scléractiniaires sont donc très bien corrélées avec le passage de cyclones générateurs de fortes houles. Cela est marquant lors de la mission de mai 2021 pour la ST10 (îlot Kié, dans la réserve) dont le front récifal a été « détruit » en début d'année par les cyclones Lucas et Niran.
Les corrélations existent aussi avec la biodiversité des invertébrés (hors coraux) mais elle peut être négative ou positive, selon le délai entre la mission et la perturbation. En effet, lors des évènements dépressionnaires, les invertébrés sont balayés, arrachés du substrat et/ou ils se déplacent vers des zones moins perturbées (plus en profondeur). Mais ces perturbations subies par les récifs génèrent aussi une remobilisation du matériel corallien et sédimentaire (colonies, débris, sédiments). Ces éléments remobilisés et mis à disposition sont une source de nourriture non négligeable pour les invertébrés, qui sont mobiles et peuvent alors se déplacer sur les zones concernées.
Ce phénomène est encore plus vrai pour les poissons, jusqu'à un certain point. Les « dégâts » engendrés par l'hydrodynamisme sont sources de nourriture et peuvent ainsi occasionner des hausses de densité et biodiversité (avec des changements dans la composition des communautés, notamment par rapport aux régimes alimentaires). Par contre, quand le récif est trop perturbé, avec un certain décalage temporel, les peuplements ichtyologiques s'appauvrissent.

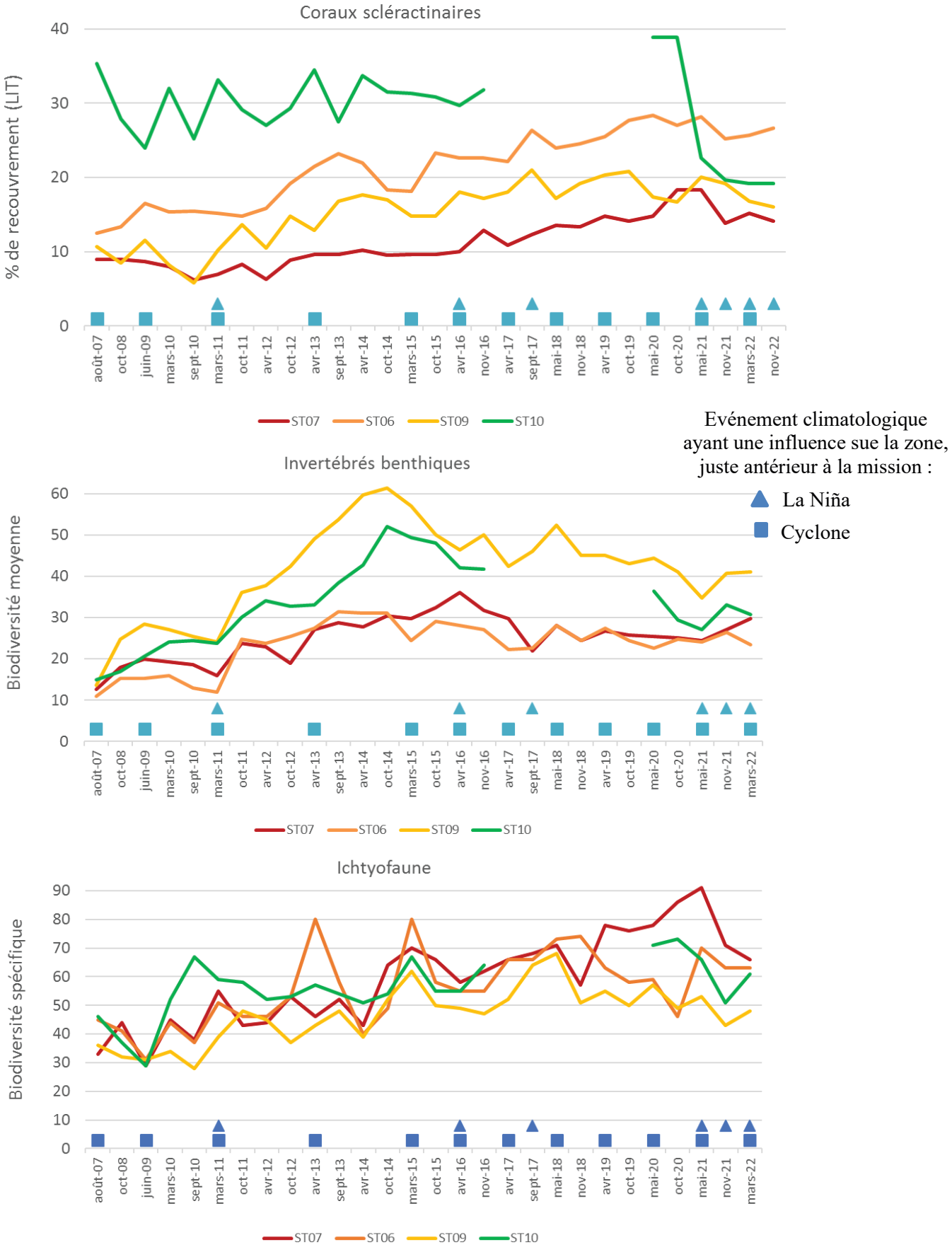


Figure 21 : Paramètres biologiques aux 4 stations depuis le début du suivi et événements climatiques

6 Conclusion

L'état de santé des peuplements récifaux et organismes associés est suivi, selon un même protocole, via un réseau de 12 stations, dans la baie de Prony, le canal Woodin et le canal de la Havannah depuis 2007, semestriellement (depuis 2010), ce qui représente 29 campagnes en 2022.
Si des variations des paramètres biologiques sont relevées, les différents rapports n'ont pas établi de corrélation avec l'effluent mais concluent à des impacts principalement dus aux événements climatologiques extrêmes.

Cette étude s'est focalisée sur les 3 stations les plus proches du diffuseur et sur celle servant de référence car localisée dans la réserve Merlet, qui est une réserve intégrale, donc interdite d'accès ce qui lui permet de n'être soumise à aucun facteur anthropique direct.
Que ce soit pour le recouvrement du substrat, la biodiversité du benthos et de l'ichtyofaune, les variations enregistrées au cours du temps ne suivent pas un schéma différent entre les stations sous influence du diffuseur et la station de référence.
Par contre, la corrélation avec les conditions météorologiques (dépressions et phénomène La Niña) est forte.

⇨ Jusqu'à ce jour, il n'a pas été mis en évidence d'impact de l'effluent sur les communautés coralliennes suivies.

7 Sources

Les différentes sources ayant servi à la rédaction du rapport sont présentées ci-dessous, avec, le cas échéant, les numéros qui rappellent les références citées dans le texte de cette étude.

R01 AEL / LEA, 2023. Synthèse des concentrations en manganèse enregistrées, ST09, ST02, ST05, mars 2007 à août 2022, 3 couches. Tableur excel

Aqua Terra, 2007. Suivi de l'état biologique du milieu marin, avant à la pose de l'émissaire de l'effluent liquide, Projet Goro Nickel. Septembre 2007 Affaire 012-07 C1499-StationPlatier-Ver E (23 p) & Doc C1499-Stations00à05-Ver D (53 p)

R02 AQUA TERRA, 2008. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission Octobre 2008. Contrat 1996. Document : AQUA TERRA_Rap_047-08_V02. 222p

Aqua Terra, 2008. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission Octobre 2008. Contrat 1996. Document : AquaTerra_AtlasPho_047-08_V01. 96p

Aqua Terra, 2009. Suivi de l'état biologique du milieu marin, suite à la pose de l'émissaire de l'effluent liquide, Projet Goro Nickel. Mars 2009 Affaire 005-09C1499-Ppt présentation ver 03 Ile Ouen 25 mars 27 diapos

Aqua Terra, 2009. Rapport final pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission 1, avril 2009. PO E13690. Document : AquaTerra_Rap_009-09_V02. 176p

Aqua Terra, 2009. Atlas photographique pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission avril 2009. PO E13690. Document : AquaTerra_AtlasPho_009-09_V01. 104p

Aqua Terra, 2009. Rapport final pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission 2, juin 2009. PO E15217. Document : AquaTerra_Rap_018-09_V03. 182p

Aqua Terra, 2009. Atlas photographique pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission juin 2009. PO E15217. Document : AquaTerra_ AtlasPho _018-09_V01. 96p

R03 Aqua Terra, 2009. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission juin 2009. Contrat 1996 av1. Document : AquaTerra_Rap_006-09_V01. 256p

Aqua Terra, 2009. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission juin 2009. Contrat 1996 av1. Document : AquaTerra_AtlasPho_006-09_V01. 190p

Aqua Terra, 2010. Rapport final pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission 3, décembre 2009. PO E18597. Document : AquaTerra_Rap_048-09_V02. 205p

Aqua Terra, 2010. Atlas photographique pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission décembre 2009. PO E18597. Document : AquaTerra_AtlasPho_048-09_V01. 98p

R04 Aqua Terra, 2010. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission mars-avril 2010. Contrat C2415. Document : AquaTerra_Rap_064-09_V01. 271p

Aqua Terra, 2010. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission mars-avril 2010. Contrat C2415. Document : AquaTerra_AtlasPho_064-09_V01. 180p

Aqua Terra, 2010. Rapport final pour « Suivi de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission 4, avril 2010. PO E29830. Document : AquaTerra_Rap_019-10_V01. 205p

Aqua Terra, 2010. Atlas photographique pour « Suivi de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission avril 2010. PO E29830. Document : AquaTerra_ AtlasPho _019-10_V01. 96p

R05 Aqua Terra, 2010. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission septembre 2010. Contrat

C2415. Document : AquaTerra_Rap_058-10_V01. 276p
Aqua Terra, 2010. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission septembre 2010. Contrat C2415. Document : AquaTerra_AtlasPho_058-10_V01. 200p
Aqua Terra, 2011. Etude d'impact environnementale sur la zone P1 pour le dossier de demande de régularisation. Massif minier de Cap Bocage, SMCB : Rapport 046-10 A Ver04 : 286p
Aqua Terra, 2011. Etude d'impact environnementale sur les zones P2-P3 pour le dossier de demande de régularisation. Massif minier de Cap Bocage, SMCB : Rapport 046-10 B Ver02 : 298p
Aqua Terra, 2011. Suivi du milieu marin, Demande de Régularisation de travaux miniers, Compléments de l'état initial. Centre minier de Tiebaghi, mine Alpha et projet Dôme (SLN). Mission décembre 2010. Rap 060-10 Ver02 Partie A. 153 p
Aqua Terra, 2011. Suivi du milieu marin, Demande de Régularisation de travaux miniers, Recommandations. Centre minier de Tiebaghi, mine Alpha et projet Dôme (SLN). Rap 060-10 Ver02 Partie B (Recommandations). 47 p
R06 Aqua Terra, 2011. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2011. Contrat C2415. Document : AquaTerra_Rap_001-11_V01. 320p
Aqua Terra, 2011. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2011. Contrat C2415. Document : AquaTerra_AtlasPho_001-11_V01. 210p
Aqua Terra, 2011. Suivi de l'état biologique du milieu marin, autour de l'émissaire de l'effluent liquide, Projet Goro Nickel. Juin 2011 CR 011-11 Ver 01 (16 p)
R07 Aqua Terra, 2011. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2011. Contrat C2415. Document : AquaTerra_Rap_040-11_V01. 342p
Aqua Terra, 2011. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2011. Contrat C2415. Document : AquaTerra_AtlasPho_040-11_V01. 211p
Aqua Terra, 2012. Programme de suivi biologique des eaux douces et du milieu marin. Massif minier de Cap Bocage, SMCB : Campagne décembre 2011. Rapport 072-11 Ver01 : 129p
R08 Aqua Terra, 2012. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2012. Contrat C2415. Document : AquaTerra_Rap_006-12_V01. 436p
Aqua Terra, 2012. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2012. Contrat C2415. Document : AquaTerra_AtlasPho_006-12_V01. 234p
Aqua Terra, 2012. Rapport final pour « Suivi de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission 5, avril 2012. PO E45335. Document : AquaTerra_Rap_016-12_V01. 210p
Aqua Terra, 2012. Atlas photographique pour « Suivi de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission avril 2012. PO E453350. Document : AquaTerra_Rap_016-12_V01. 205p
R09 Aqua Terra, 2012. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2012. Contrat C2415 E20545. Document : AquaTerra_Rap_041-12_V01. 496p
Aqua Terra, 2012. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2012. Contrat C2415 E20545. Document : AquaTerra_AtlasPho_041-12_V01. 234p
Aqua Terra, 2013. Programme de suivi biologique des eaux douces et du milieu marin. Massif minier de Cap Bocage, SMCB : Campagne avril 2013. Rapport 053-12 Ver01 : 134p
Aqua Terra, 2013. Rapport final pour « Synthèse des données algues, Baie de Prony et canal Woodin et de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Missions de 2007 à mars 2012. PO E40362 et E40363. Document : AquaTerra_Rap_070-13_V02. 76p
Aqua Terra, 2013. Compte rendu succinct pour « Suivi de l'état de santé du milieu marin, zone du Creek baie nord. Conséquences potentielles du cyclone tropical Freda sur l'étage infralittoral supérieur » Projet Goro Nickel, Vale NC. Janvier 2013. Ppt24p
Aqua Terra, 2013. Rapport final pour « Suivi de l'état de santé du milieu marin, zone du Creek baie nord »

Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission 6, janvier 2013. PO E54932. Document : AquaTerra_Rap_004-13_V00. 183p

Aqua Terra, 2013. Atlas photographique pour « Suivi de l'état de santé du milieu marin, zone du Creek baie nord » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission janvier 2013. PO E549320. Document : AquaTerra_AtlasPho_004-13_V01. 180p

R10 Aqua Terra, 2013. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2013. Contrat C2415 PO E53799. Document : AquaTerra_Rap_003-13_V01. 441p

R11 Aqua Terra, 2013. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission septembre 2013. Contrat C2415 PO E53799. Document : AquaTerra_Rap_061-13_V01. 431p

Aqua Terra, 2013. Compte-rendu de mission, novembre 2013 : Etat initial du milieu marin sous le quai vraquier. Document : AquaTerra_CR084-13_V00. 16p

Aqua Terra, 2013. Volet C (Etude d'impact) de la Demande d'Autorisation d'Exploiter le site minier de Kadjitra. Document : AquaTerra_Rap_027-10_V04. 380p

Aqua Terra, 2014. Rapport final pour « Diagnostic de l'état de santé des peuplements récifaux et organismes associés sur et à proximité de l'émissaire » Projet Goro Nickel, Vale NC. Suivi de l'émissaire, novembre 2013. Contrat PO E64212. Document : AquaTerra_Rap_083-13_V01. 134p

Aqua Terra, 2014. Rapport final pour « Suivi de l'état de santé du milieu marin, Suivi spécifique Puka » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission décembre 2013. PO E62786 et E64977, Document : AquaTerra_Rap_068-13_V02. 246p

Aqua Terra, 2014. Rapport final pour « Herbier de la Baie Kwé : Première approche : Descriptif général, Cartographie, Etat des lieux initial » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission avril 2014. PO E66764, Document : AquaTerra_Rap_008-14_V00. 53p

R12 Aqua Terra, 2014. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission avril 2014. Contrat C2415 PO E53801. Document : AquaTerra_Rap_027-14_V01. 392p

Aqua Terra, 2014. Etat de référence pour "Etat des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Nakéty » NMC, SMN et SMT. Mission avril 2014. Document : AquaTerra_Rap_066-13_V02. 211p

R13 Aqua Terra, 2014. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2014. Contrat C2415 PO E53801. Document : AquaTerra_Rap_058-14_V00. 329p

Aqua Terra, 2014. Suivi quantitatif pour "Etat des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Poya" NMC. Mission octobre 2014. Document : AquaTerra_Rap_012-14_V01. 105p

Aqua Terra, 2014. Programme de suivi biologique des eaux douces, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2014. Document : AquaTerra_Rap_078-13_V01. 105p

Aqua Terra, 2014. Programme de suivi biologique du milieu marin : Suivi quantitatif de l'état des peuplements récifaux et organismes associés, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2014. Document : AquaTerra_Rap_078-13_V01. 164p

Aqua Terra, 2015. Programme de suivi du milieu marin concerné par les activités minières du Centre de Ouaco NMC / Étude bibliographique - Proposition d'un programme de suivi. Document : AquaTerra_Rap_072-14_V03. 33p

R14 Aqua Terra, 2015. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2015. Contrat C2415 PO E53801. Document : AquaTerra_Rap_028-15_V00. 348p

Aqua Terra, 2015. Programme de suivi biologique des eaux douces, site minier de Cap Bocage, SMCB: Résultats de la campagne 2015. Rapport 099-15 Ver02 : 108p

Aqua Terra, 2015. Programme de suivi biologique du milieu marin : Suivi qualitatif de l'état des peuplements récifaux et organismes associés, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2015. Document : AquaTerra_Rap_070-14_V01. 112p

R15 Aqua Terra, 2015. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2015. Contrat C2415 E53801. Document : AquaTerra_Rap_071-15_V00. 367p

Aqua Terra, 2016. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Nakéty. Suivi biologique qualitatif. NMC, SMN et SMT. Mission décembre 2015. Document : AquaTerra_Rap_026-

15_V01. 106p
Aqua Terra, 2016 : Rapport pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés au port de Prony. Avant / après travaux de dragage » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission novembre 2014 / août 2015. Contrat E73528. Document : AquaTerra_Rap_065-14_V00. 85p
Aqua Terra, 2016. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Poya Suivi biologique qualitatif. NMC. Mission décembre 2015. Document : AquaTerra_Rap_096-15_V01. 63p
R16 Aqua Terra, 2016. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission avril 2016. Contrat C2415 E53801. Document : AquaTerra_Rap_028-16_V00. 374p
Aqua Terra, 2016. Programme de suivi biologique des eaux douces, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2016. Document : AquaTerra_Rap_085-16_V02. 108p
Aqua Terra, 2016. Programme de suivi biologique du milieu marin : Suivi qualitatif de l'état des peuplements récifaux et organismes associés, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2016. Document : AquaTerra_Rap_063-16_V01. 91p
R17 Aqua Terra, 2016. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission novembre 2016. Contrat C2415 E53801. Document : AquaTerra_Rap_090-16_V00. 371p
Aqua Terra, 2017. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Nakéty. Suivi biologique qualitatif. NMC, SMN et SMT. Mission décembre 2016. Document : AquaTerra_Rap_094-16_V01. 93p
Aqua Terra, 2017. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Poya Suivi biologique qualitatif. NMC. Mission janvier 2017 (Suivi 2016). Document : AquaTerra_Rap_092-17_V01. 58p
Aqua Terra, 2017. Etat des lieux du milieu marin, baie de Kûrö, centre minier de Kouaoua, Recherche de stations. NMC. Mission mai 2017. Document : AquaTerra_Rap_011-17_V01. 52p
Aqua Terra, 2017. Etat des lieux du milieu marin, Anse Pörö, centre minier de Bogota. NMC. Mission août 2017. Document : AquaTerra_Rap_028-17_V01. 100p
R18 Aqua Terra, 2017. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission avril-mai 2017. Contrat E98083. Document : AquaTerra_Rap_003-17_V00. 284p
Aqua Terra, 2018. Programme de suivi du milieu marin, centre minier de Kouaoua. NMC. Document : AquaTerra_Rap_082-17_V00. 28p
R19 Aqua Terra, 2018. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission septembre 2017. Contrat E98083. Document : AquaTerra_Rap_047-17_V00. 294p
Aqua Terra, 2018. Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés : biologique qualitatif et physico-chimique, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2017. Document : AquaTerra_Rap_045-17_V01. 100p
Aqua Terra, 2018. Suivi de la qualité des eaux douces, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2017. Document : AquaTerra_Rap_070-16_V01. 105p
Aqua Terra, 2018. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Nakéty. Suivi biologique qualitatif et physico-chimique. NMC, SMN et SMT. Mission novembre 2017. Document : AquaTerra_Rap_068-17_V01. 99p
Aqua Terra, 2018. Etat des lieux du milieu marin & Validation des stations de suivi du programme, baie de Gomen, Centre minier de Ouaco NMC. Document : AquaTerra_Rap_029-17_V01. 31p
Aqua Terra, 2018. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Poya Suivi biologique qualitatif + Physico-chimique. NMC. Mission décembre 2017. Document : AquaTerra_Rap_069-17_V01. 61p
Aqua Terra, 2018. DAODPM - Notice d'Impact : Travaux de curage, bord de mer de Porwi, centre de Poya. NMC. Document : AquaTerra_Rap_026-18_V00. 43p
R20 Aqua Terra, 2018. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mai 2018. PO n°L06374. Document : AquaTerra_Rap_014-18_V00. 297p
Aqua Terra, 2019. Etat des peuplements récifaux et organismes associés. Suivi biologique qualitatif. Site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2018. Document : AquaTerra_Rap_073-18_V01. 96p

R21 Aqua Terra, 2019. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission novembre 2018. PO n°L06374. Document : AquaTerra_Rap_071-18_V00. 308p
Aqua Terra, 2019. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Nakéty. Suivi biologique qualitatif. NMC, SMN et SMT. Mission novembre 2018. Document : AquaTerra_Rap_074-18_V00. 91p
Aqua Terra, 2019. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Poya : Suivi biologique qualitatif. NMC. Mission octobre 2018. Document : AquaTerra_Rap_67-18_V01. 58p
Aqua Terra, 2019. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés. Centre minier de Kouaoua : Suivi biologique quantitatif et physico-chimique. NMC. Mission décembre 2018. Document : AquaTerra_Rap_069-18_V02. 126p
R22 Aqua Terra, 2019. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission avril 2019. PO n°L06374. Document : AquaTerra_Rap_001-19_V00. 311p
R23 Aqua Terra, 2019. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2019. PO n°L06374. Document : AquaTerra_Rap_041-19_V01. 326p
Aqua Terra, 2020. Rapport final pour « Caractérisation de l'herbier de la baie Kwé » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission juin 2020. PO n° L26698. Document : AquaTerra_Rap004-20 V01. 37p
Aqua Terra, 2020. Compte-rendu de mission « Inspection du diffuseur » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission juin 2020. PO n° L31128. Document PowerPoint : AquaTerra_CRMission_InspectionEmissaire_Juin2020. 15p
Aqua Terra, 2020. Film commenté « Inspection du diffuseur » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission juin 2020. PO n° L31128. Film du 30/06/20 : AquaTerra_017-20_Film_ InspectionEmissaire_Juin2020. 5'52 mn
Aqua Terra, 2020. Film : Extrait non commenté de la station E11 « Inspection du diffuseur » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission juin 2020. PO n° L31128. Film du 06/07/20 : AquaTerra_017-20_Film_ InspectionEmissaire_Juin2020. 1'15 mn
Aqua Terra, 2020. Rapport final pour « Inspection du diffuseur » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission juin 2020. PO n° L31128. Document : AquaTerra_Rap017-20 V01. 30p
Aqua Terra, 2020. Présentation PPT : Etat du milieu marin à proximité du quai général, Port de Prony. Document : AquaTerra_Rap038-20 V02. 18p
R24 Aqua Terra, 2020. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mai 2020. PO n°L26698. Document : AquaTerra_Rap003-20_V01. 347p
Aqua Terra, 2020. Porter A Connaissance au titre de l'arrêté minier n°2698-2016/ARR/DIMENC du 29 septembre 2016 et de l'arrêté d'occupation de dépendances du domaine public maritime concernant le port de Prony n°763-2003/PS du 5 juin 2003. Cessions de minerai saprolitique à la SLN, Aménagements et opérations logistiques pour les premières cargaisons – test opérationnel. Projet Goro Nickel, Vale NC. Document : AquaTerra_Rap008-20_V01. 169p
R25 Aqua Terra, 2021. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2020. PO n°L26698. Document : AquaTerra_Rap040-20_V01. 355p
Aqua Terra, 2021. Etat des peuplements récifaux et organismes associés. Suivi biologique qualitatif et physico-chimique. Site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2020. Document : AquaTerra_Rap_050-20_V01. 137p
R26 Aqua Terra, 2021. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Prony Resources NC. Mission mai 2021. PO n°L36942. Document : AquaTerra_Rap008-21_V01. 362p
R27 Aqua Terra, 2022. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Prony Resources NC. Mission novembre 2021. PO n°L36942. Document : AquaTerra_Rap034-21_V01. 357p
Aqua Terra, 2022. Etat des peuplements récifaux et organismes associés. Suivi biologique qualitatif. Site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2021. Document : AquaTerra_Rap_031-21_V02. 131p
R28 Aqua Terra, 2022. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Prony Resources NC. Mission mars 2022. PO

n°L26698. Document : AquaTerra_Rap004-22_V01. 360p
Aqua Terra, 2023. Etat des peuplements récifaux et organismes associés. Suivi biologique qualitatif. Site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2022. Document : AquaTerra_Rap_018-22_V02. 131p
Aqua Terra, 2023. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Prony Resources NC. Mission novembre 2022. PO n°L26698. Document : AquaTerra_Rap054-22_V01. 360p
Aqua Terra, 2023. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Prony Resources NC. Mission mars 2023. PO n°L54808. Document : AquaTerra_Rap006-23_V01. 360p
Aqua Terra, 2023. CR de mission « Etat initial biologique – Récif de Prony et Littoral sud de la réserve du Cap N'Dua », Prony Resources NC. Mission juin 2023. PO n°L57277. Document : AquaTerra_CR021-23_V01. 8p
Aqua Terra, 2023. Rapport « Etat initial biologique – Récif de Prony et Littoral sud de la réserve du Cap N'Dua », Prony Resources NC. PO n°L57277. Document : AquaTerra_Rap021-23_V03, Août 2023. 61p

R29 English S. and *al*., 1997. Survey manual for tropical marine resources (2nd Edition). Australian Institute of Marine Science. 390p
Fisk D., 2009. Best practice for LIT survey. Coral list Vol4 Issue 28
Harmelin-Vivien M. L., J.G. Harmelin, C. Chauvet, C. Duval, Galzin, P. Lejeune, G. Barnabé, F. Blanc, Chevalier, J. Duclerc, G. Lasserre, 1985 – Evaluation visuelle des peuplements et populations de poissons : méthodes et problèmes. Revue d'Ecologie (Terre et Vie), vol. 40 : 80p

R30 Kulbicki M., Guillemot N., Amand M., 2005. A general approach to length-weight relationships for New Caledonian lagoon fishes. Cybium 2005, 29 (3) : 235-252
Labrosse P., Kulbicki M., Ferraris J., 2001. Comptage de poissons en plongée. Conditions d'utilisation et de mise en œuvre. Ed. SPC Nouméa, Nouvelle-Calédonie. 54p
Lasne G., 2007. Les coraux de Nouvelle-Calédonie : Synthèse bibliographique. Cellule de coordination CRISP, IRD, WWF, MNHN, EPHE. 93p
Lasne G., 2014. Estimation temporelle de la colonisation biotique sur la partie rompue de l'émissaire marin et évaluation de l'état de santé des communautés récifales aux abords de cette rupture. Rap 135-2014_V02. 19p
Œil, 2012. Communautés récifales dans le périmètre d'influence de Vale Nouvelle Calédonie : Etat de référence en 2011. 4 Parties

R31 Underwood A.J., 1991. Beyond BACI: Experimental designs for detecting human environmental impacts on temporal variations in natural populations. Australian Journal of Marine and Freshwater Research, 42(5), 569-587

R32 www.meteo.nc

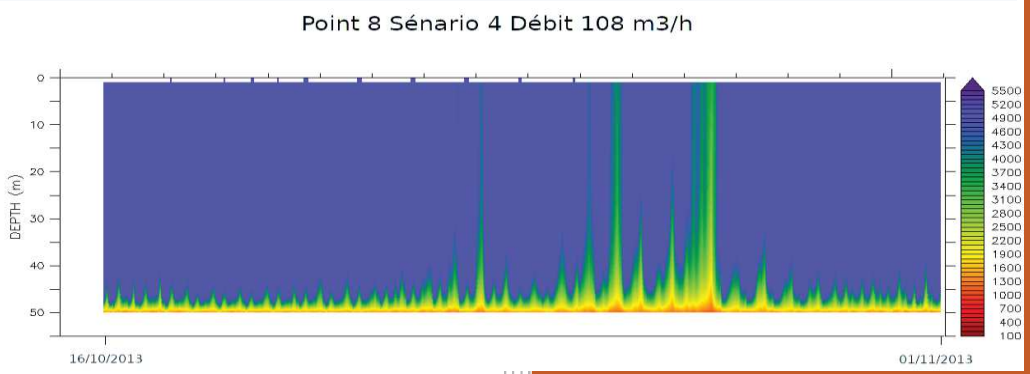
Aqua Terra

Ingénierie de l'Environnement et de la Réhabilitation

ANNEXE 8 : Modélisation de la dispersion des effluents dans le canal de la Havannah ; perçage de 10 trous supplémentaires entre C12 et C21 (scénario-4) : Simulations longue durée (1 mois) à un débit total de 1.167 m3/h

Modélisation de la dispersion des effluents dans le Canal de la Havannah ; perçage de 10 trous supplémentaires entre C12 et C21 (scénario-4) :

Simulations longue durée (1 mois) à un débit total de 1.167 m^3/h



Rapport Final

16/08/2023

« Chimie de l'environnement et Modélisation hydrodynamique »

Contrat PRNC : L57438-0001

<u>Illustration première page</u> : Profils de dilution temporelle en sortie des trous 8 pour les périodes du 16-31 octobre.

CONTRAT DE CONSULTANCE

Modélisation de la dispersion des effluents dans le Canal de la Havannah ; perçage de 10 trous supplémentaires entre C12 et C21 (scénario-4) :

Simulations longue durée (1 mois) à un débit total de 1.167 m^3/h

Ref AEL/LEA : 682-PR-23-P

Ref Prony-Resources : L57438/0001

Nombre de pages : 50

	Ref AEL	Ref Client
Identification	682-PR-23-P	L57438-0001
Titre complet	Modélisation de la dispersion des effluents dans le Canal de la Havannah ; perçage de 10 trous supplémentaires entre C12 et C21 (scénario-4) : Simulations longue durée (1 mois) à un débit total de 1.167 m^3/h.	
Auteur		
Résumé	Un certain nombre de questions ont conduit PR-NC à devoir envisager une nouvelle stratégie de rejet des effluents traités en augmentant les volumes évacués dans le Canal de la Havannah. Une des solutions consisterait à percer 10 nouveaux trous le long du pipe-line pour rejeter au total 1.167m^3/h d'effluent, à une température de 40°C. Une simulation a permis de visualiser le comportement physique des effluents dans le temps et fournir : • Un suivi temporel des concentrations en facteurs de dilution ; • Une représentation de l'évolution des facteurs de dilution moyens ; • Des calculs de pourcentages d'occurrence par rapport à des limites de dilution fixées. En termes de courantologie, le modèle a montré que dans la partie Est du pipe-line, les courants moyens, tant à marée montante que descendante, sont constants, orientés SW-NE et d'intensité moyenne (0,25 m/s). Entre la pointe Méhoué et le cap Ndoua qui constituent une barrière naturelle, les courants sont plus variables et faibles ; des veines d'eau dirigées vers la baie du Prony sont calculées ponctuellement à marée montante. Concernant la dispersion des effluents sortant des 10 trous, les profils verticaux temporels et les cartes de dilution spatiales ont montré que : • durant la première quinzaine, les panaches sont individualisés, ne se cumulent pas et sont pratiquement confinés dans les eaux profondes ; • durant la deuxième quinzaine, sous l'effet combiné du régime d'Alizé et des marées de morte-eau, les panaches se superposent et s'étalent du Cap Ndoua à la Pointe Méhoué ; tant en surface qu'en profondeur, son extension la plus importante est calculée pour les conditions de Morte-Eau. En termes de taux de dilution, les valeurs les plus faibles (≥1.000), donc potentiellement les plus pénalisantes sont calculées pour les périodes combinant les marées de morte-eau et le régime d'Alizé. En effet, ces conditions réduisent la dispersion turbulente et les taux de dilution diminuent fortement dans toute la colonne d'eau, laissant ainsi remonter des effluents ; la température de 40°C favorisant l'élévation de celui-ci dans la colonne d'eau. Toutefois, ces remontées ne se produisent qu'épisodiquement et ne coïncident qu'avec les renverses de courant des étales de marées basses et hautes de morte-eau. En conclusion, pour chacun des 10 trous additionnels projetés, les débits d'effluent individuels semblent bien absorbés par les masses d'eau océaniques qui circulent dans le Canal de la Havannah, quelles que soient la force de la marée et la météorologie car seule la couche de fond (k2) est influencée sensiblement par les rejets ; les seuls spots dans la couche d'eau de fond (k2) possédant des taux de dilution minimale de 1.000 (surconcentration de 1µg/L) sont circonscrits à une aire restreinte autour de chacun des 10 trous.	

APPROBATION			
FONCTION	**NOMS**	**VISA**	**DATE**
Rédacteur			24/07/2023
Vérificateur 1			
Vérificateur 2			25/07/2023

EVOLUTION		
VERSION	**DESCRIPTION DES MISES A JOUR**	**DATE**
V1.0	Rapport final	25/07/2023
V1.1	Rapport final corrigé	08/08/2023
V1.2	Rapport final corrigé	11/08/2023
V1.2.1	Rapport final corrigé	17/08/2023
V1.3	Rapport final corrigé	19/10/2023

COPIE - DIFFUSION	
NOM	**ORGANISME**
	Prony Resources NC

Ce rapport est cité comme suit : .Fernandez JM, 2023. Modélisation de la dispersion des effluents dans le Canal de la Havannah ; perçage de 10 trous supplémentaires entre C12 et C21 (scénario-4) : Simulations longue durée (1 mois) à un débit total de 1.167 m^3/h. Contrat AEL/PR-NC 682-PR-23-P / L57438-0001, 50p.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES 6
I. CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ETUDE 7
II. METHODOLOGIE 8
A. MODELE MISE EN ŒUVRE : MARS3D 8
B. RAFFINEMENT DU MAILLAGE ET CONDITIONS INITIALES 10
C. EQUATIONS DU MODELE 12
D. VALIDATION DU MODELE HYDRODYNAMIQUE PAR COMPARAISON AUX MESURES 13
E. CONDITIONS INITIALES ET CONDITIONS AUX LIMITES 14
F. DETAILS DE LA MISSION ET PARAMETRAGE 15
G. EVOLUTION DE LA TEMPERATURE DE L'EFFLUENT AVEC LA DISTANCE A L'EXHAURE 16
III. RESULTATS ET INTERPRETATIONS 19
A. RAPPELS DE LA COURANTOLOGIE DE LA ZONE 19
B. PROFILS TEMPORELS DE DILUTION 24
C. EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DES TAUX DE DILUTION 33
D. POURCENTAGES D'OCCURRENCE DES TAUX DE DILUTION (1.000, 2.000, 5.000 & 10.000) 38
E. COUPES TRANSVERSALES « COTE-LARGE » 44
IV. CONCLUSIONS 47
REFERENCES 52

I. CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ETUDE

Le procédé hydrométallurgique de PRNC utilise des volumes d'eau brute conséquents. Une partie des effluents industriels résultants transite par le parc de stockage des résidus nommé KO2 qui reçoit par ailleurs des eaux de pluie significatives liées aux conditions météorologiques du Grand Sud.

Ces effluents nécessitent un traitement avant rejet vers le milieu naturel, assuré par l'unité de traitement des effluents de l'usine. Une conduite, de plus de 5,3 km de long en partie terrestre et de 19.3km de long en partie marine, terminée par un émissaire, de 1,03 km de long percé de 200 trous d'un diamètre de 48 mm, assure un transfert et une diffusion de l'effluent traité dans le canal de la Havannah.

Réglementairement, la conduite de rejet doit pouvoir évacuer jusqu'à 3050m^3/h d'effluent traité. Aujourd'hui, des contraintes techniques limitent le débit de rejet à 2500 m^3/h.

Actuellement le niveau d'eau libre accumulée dans le parc KO2 et le volume d'effluent quotidien à traiter oblige PRNC à augmenter la capacité de vidange de l'émissaire marin. Plusieurs solutions ont été étudiées pour optimiser le débit de rejet à l'émissaire et PRNC propose l'ajout de 10 orifices supplémentaires localisés sur une section en amont du diffuseur. Cette option permettra d'augmenter le débit de rejet tout en respectant le volume de 3050 m^3/h autorisé par l'arrêté d'autorisation d'exploiter n°1467-2008/PS.

.

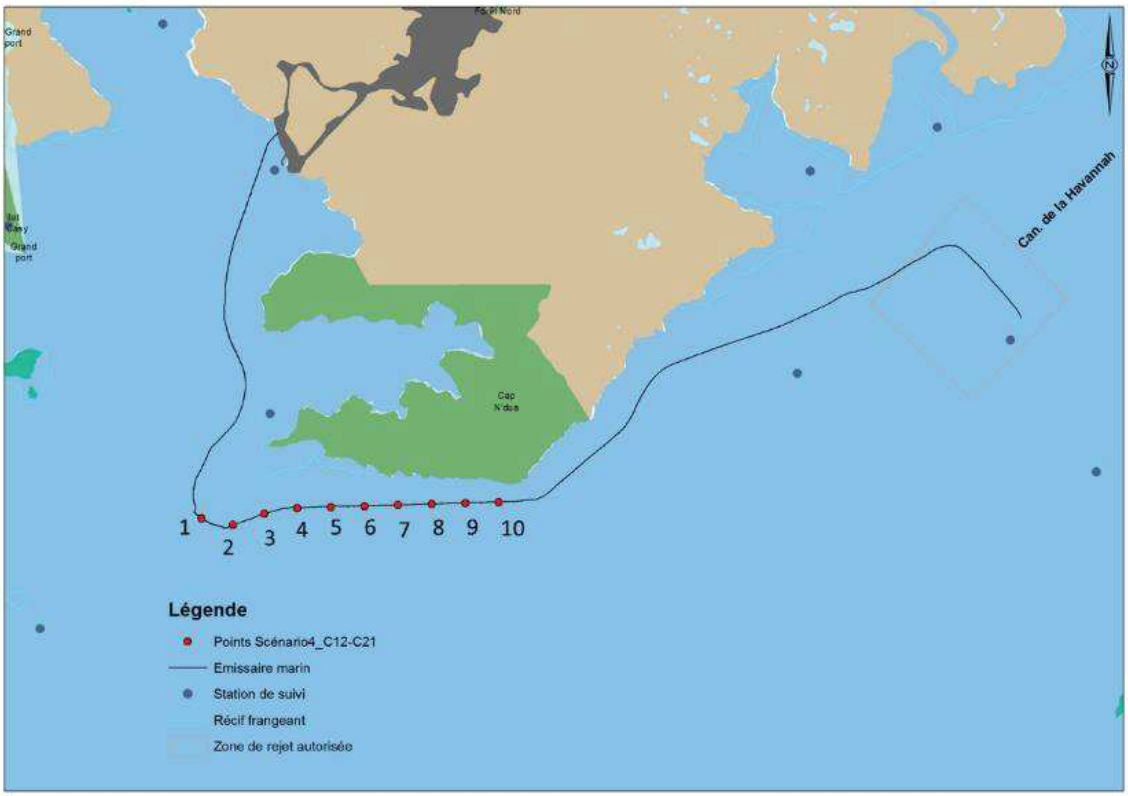


Figure 1 : Carte du tracé du pipe-line et du positionnement des 10 évents supplémentaires simulés (scénario-4) pour l'évacuation des effluents industriels dans le Canal de la Havannah.

II. METHODOLOGIE

A. MODELE MISE EN ŒUVRE : MARS3D

1. Principe de fonctionnement

Le modèle de circulation proposé, MARS-3D (Model for Applications at Regional Scales), est un modèle développé par l'IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER) depuis plus de 30 ans. Sa première version, créée en 1991 (Lazure et Salomon, 1991), a subi de nombreuses modifications et améliorations afin d'optimiser ses performances, notamment en 2008 (Lazure et Dumas, 2008), le code restant en constante évolution.

MARS3D est un modèle côtier en trois dimensions, dédié à la modélisation océanographique des échelles régionales jusqu'aux échelles littorales. Le modèle est composé d'une grille de mailles horizontales carrées (dimensions égales selon x et y ; Figure 2) dont la longueur « a » peut descendre jusqu'à quelques dizaines de mètres, mais dont la hauteur (h) varie suivant l'axe z et peut descendre jusqu'à quelques centimètres.

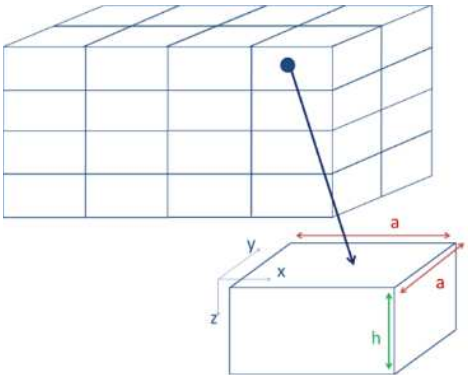


Figure 2 : Représentation schématique d'une grille de modélisation constituée de mailles et détail des dimensions d'une maille de la grille de modélisation

Le code MARS résout en chacune de ces mailles les équations primitives d'un milieu incompressible et hydrostatique, le calcul se faisant de maille en maille pour décrire le mouvement des masses d'eau ; les résultats en une maille sont homogènes sur tout le volume de celle-ci. Ce principe rend ce code de calcul particulièrement puissant et fiable dans le cas d'études courantologiques et de transport de matière dissoute et/ou particulaire sur des distances de plusieurs centaines de mètres ou kilomètres.

2. Limites en champ proche

La seule limite au principe de calcul en « *différences finies* » est la représentation en champ proche d'un terme source (de matière ou d'eau). Le « champ proche », au sens hydrodynamique correspond à un écoulement dominé par la dynamique propre du panache, c'est-à-dire que le comportement du fluide est dicté par la turbulence du jet, les densités de l'effluent et du milieu ambiant (Figure 3). Dans le champ

proche, les vitesses du rejet sont supérieures à celles du fluide ambiant[1] qui est entrainé, créant la turbulence de l'écoulement. En sortie de champ proche, l'effluent est soumis au courant ambiant et devient « passif ».

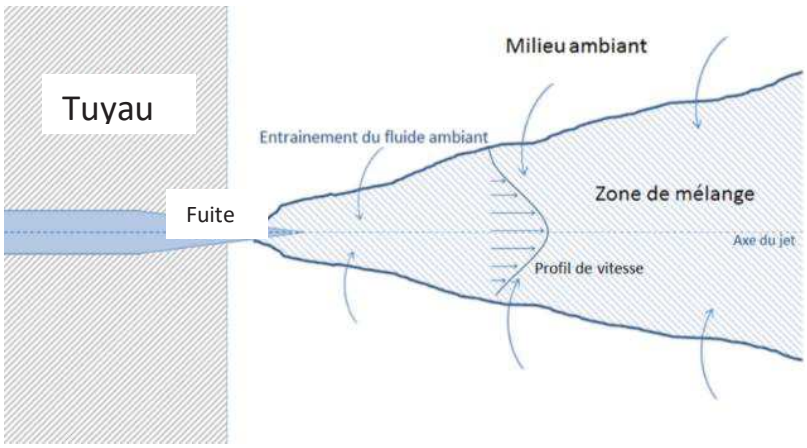


Figure 3 : Représentation schématique du champ proche du rejet et de l'effet de son écoulement sur le fluide ambiant

Dans le cas d'un modèle côtier tel que MARS3D, outil qui n'a pas vocation à simuler les phénomènes de champ proche, les apports sont pris en compte dans le volume total de la première maille. Sa dimension ne permet pas de représenter le diamètre du jet, ni son écoulement de « champ proche » tels que ci-dessus décrit. De ce fait sur l'axe horizontal, dans chaque maille du modèle en s'éloignant du terme source, la dilution est considérée homogène, ce qui a pour conséquence un effet de « dilution numérique » qui moyenne les flux sur le volume des mailles aux limites (Figure 4). Sur la verticale, la diffusion est affinée grâce à la hauteur réduite des mailles.

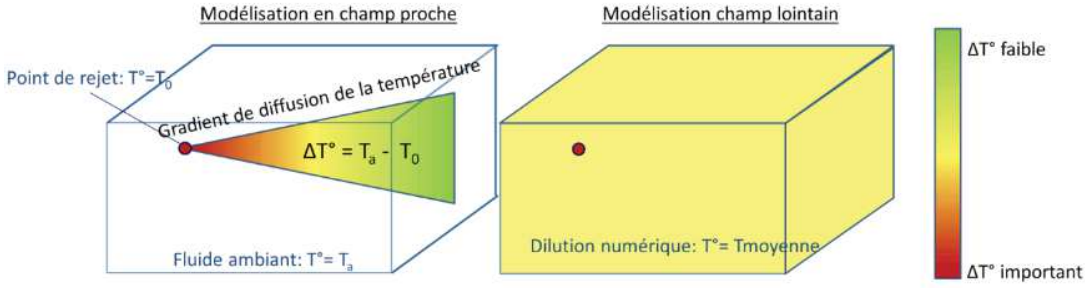


Figure 4 : Représentation schématique de la diffusion de la température dans la maille contenant le rejet d'eau, par exemple, à température T_0 différente de celle du fluide ambiant T_a, dans le cas de modélisations spécifiques au champ proche et aux champs moyen et lointain.

Cette approximation au niveau du champ proche n'entraîne aucune distorsion sur la simulation du comportement du rejet pour les champs moyen et lointain sur le milieu récepteur car le modèle est conservatif en termes de flux.

L'objectif de la modélisation étant d'estimer les taux de dispersion de l'effluent rejeté à des profondeurs d'immersion variant de 40 à 50 mètres par chacun des 10 orifices envisagés le long du pipe-line. Pour cette étude, le modèle MARS3D est donc parfaitement adapté dans sa version V11.0.

[1] Ce « champ proche » peut être étudié avec des logiciels dédiés (type CORMIX ou VISJET) sous réserve d'une schématisation de l'environnement requérant 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. Fiabilité du modèle

MARS-3D a été le support de nombreuses études sur le lagon calédonien (Douillet et al., 2001; Ouillon et al., 2004 ; Jouon et al., 2006 ; Ouillon et al., 2010 ; Fuchs et al. 2013 ; Fraysse 2014, Drouzy et al., 2019,) qui ont toutes contribué à son perfectionnement ; spécifiquement dans les lagons sud-ouest et sud de Nouvelle-Calédonie, ce modèle a été implémenté et validé par Douillet et Le Gendre (2008). Ces travaux ont permis de dresser des Atlas de Courants pour l'ensemble de la côte sud du Territoire.

B. RAFFINEMENT DU MAILLAGE ET CONDITIONS INITIALES

Le modèle MARS3D permet, via le système AGRIF (Grid Refinement, Debreu et al., 2008), la gestion d'emboîtements des calculs entre une grille-mère et les grilles-filles, de plus fines résolutions. Cette technique permet d'augmenter le niveau de raffinement des calculs sur une zone souhaitée, sans avoir à imposer celui-ci sur la totalité de l'emprise de la grille de modélisation (gain en temps de calcul et en espace de stockage).

Le raffinement AGRIF opère automatiquement la subdivision de la taille de la grille-mère par un facteur choisi pour construire la grille-fille.

Par défaut, le pas de temps de calcul est également divisé, mais peut éventuellement être conservé identique à celui de la grille-mère. Les calculs effectués en parcourant les mailles de la grille-mère fournissent les conditions limites à la grille-fille, à chaque pas de temps. Les variables calculées par la grille-mère servent de forçages lorsque la grille-fille amorce ses calculs. En retour, certains calculs issus de la grille-fille, peuvent être utilisés pour exercer une rétroaction vers la grille-mère.

Pour obtenir une résolution qui soit la plus fine possible sur la zone de la pointe Méhoué au cap N'Doua (secteur nord-ouest du Canal de la Havannah), une première phase de raffinement incluant le Canal de la Havannah a été menée pour imbriquer les mailles du modèle et la bathymétrie.

Ainsi, une première grille-fille dont la résolution est de 180 m, a été extraite de la grille-mère à 540 m (Figure 5). Un second zoom à 60 m a ensuite été créé sur le secteur Nord du Canal, zone d'influence directe des rejets par les 10 évents théoriques. La configuration finale du modèle utilisé comporte donc deux grilles-filles de tailles et d'emprises différentes, imbriquées les unes dans les autres et interagissant.

Les données bathymétriques proviennent des données de sondages du SHOM, parfois complétées par des relevés occasionnels.

La résolution verticale du modèle mathématique repose sur 30 niveaux faisant l'objet d'un type de raffinement supplémentaire par le resserrement des couches de calcul en surface et au fond (Figure 6), afin d'affiner les échanges aux interfaces air/eau et eau/sédiment.

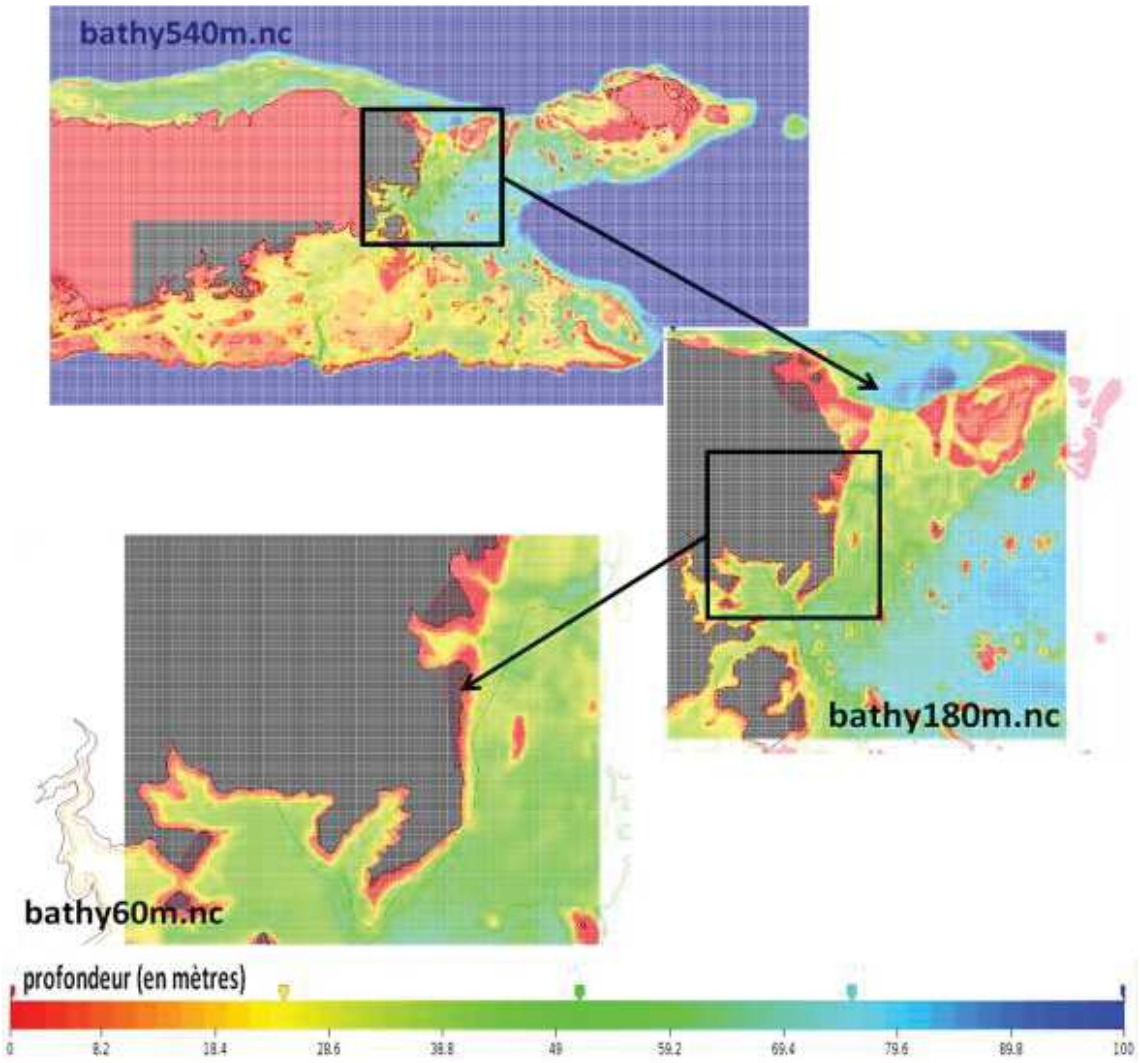


Figure 5 : Emprises et résolutions des différentes grilles imbriquées, profondeur en mètres

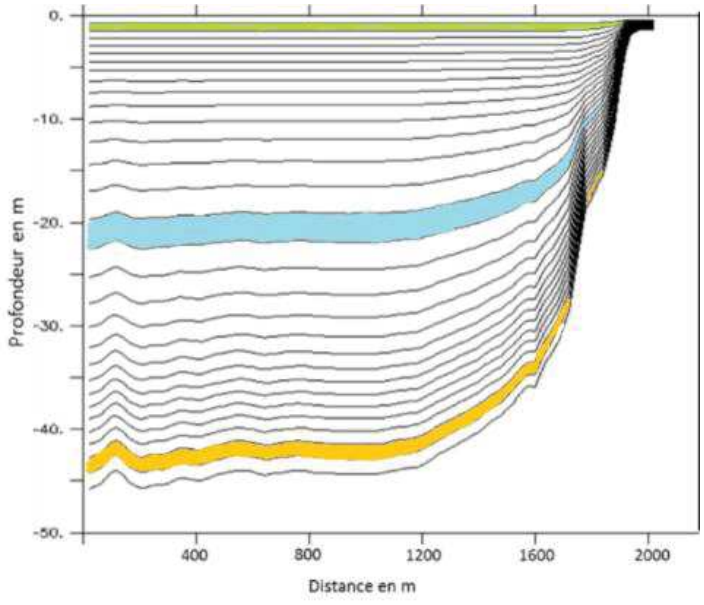


Figure 6 : Représentation du raffinement (resserrement) en surface et au fond des coordonnées sigma dans la zone d'étude ; Position des couches d'intérêt k2 (orange), k15 (bleu) et k30 (verte) d'extraction des données issues de la modélisation hydrodynamique

C. EQUATIONS DU MODELE

Comme de nombreux modèles numériques hydrodynamiques, MARS3D résout, en chacune des mailles des différentes grilles, les équations primitives du mouvement, obtenues à partir des équations de Navier-Stokes (1 et 2), dans un repère Cartésien :

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}-fv=-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z}\right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}-fu=-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p}{\partial y}+\frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z}\right) \quad (2)$$

Avec pour hypothèse celle d'un milieu incompressible (3) et de l'hydrostatique d'après l'approximation de Boussinesq (4), selon lesquelles :

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0 \quad (3) \qquad \frac{\partial p}{\partial z}=-\rho g \quad (4)$$

La résolution de toutes les équations repose sur un schéma en « *différences finies* » sur une grille Arakawa de type C (verticale et horizontale).

Afin de maintenir un nombre constant de mailles sur la verticale, les équations sont résolues dans le système des « *coordonnées sigma généralisées* » (Deleersnijder and Beckers 1992), s'adaptant mieux aux variations de la surface libre et à la bathymétrie complexe. Cette formulation confère l'avantage de gérer les forts gradients de bathymétrie car elle construit les niveaux en s'adaptant au relief sous-marin.

Contrairement aux niveaux *« sigma classiques »*, les « *sigma généralisées »* n'ont pas de rapport constant le long de la verticale. La formule générale est :

$$z=\zeta(1+s) + hcs + (h-hc)C(s), \qquad -1 \le s \le 0 \quad (5)$$

où « ζ » est l'élévation de surface, « h » est la hauteur d'eau moyenne, « hc » l'épaisseur de la couche de surface et « C(s) » est un ensemble de courbes défini par :

$$C(s)= (1-b)\frac{\sinh(\theta s)}{\sinh\theta}+b\frac{\tanh[\theta(s+0.5)]-\tanh(0.5\theta)}{2\tanh(0.5\theta)} \quad (6)$$

$0 \le \theta \le 20$ et $0 \le b \le 1$ sont les paramètres de contrôle de surface et de fond, modulables en fonction des raffinements souhaités en surface et au fond de la colonne d'eau.

La formulation de la fermeture de la turbulence adoptée ici est le modèle « K-epsilon » (Burchard et Petersen, 1999 ; Burchard et Bolding, 2001) dans lequel la viscosité turbulente verticale est exprimée grâce à deux équations, l'une résolvant l'énergie cinétique turbulente et la seconde son taux de dissipation. Cette formulation à deux équations permet de mieux reproduire le mélange dans un écoulement stratifié (Drouzy, 2019).

D. VALIDATION DU MODELE HYDRODYNAMIQUE PAR COMPARAISON AUX MESURES

L'étude du transport des masses d'eau nécessite un modèle de circulation qui soit fiabilisé, c'est-à-dire validé par des campagnes de mesures courantométriques et marégraphiques. Dans cet objectif, depuis son implémentation dans le sud du Territoire (Douillet, 1998), le modèle a fait l'objet de nombreuses campagnes de validation : mesures de courantométrie de type Doppler, mouillage de bouées dérivantes et largage de traceurs colorés comme la Rhodamine-WT (Douillet et Le Gendre, 2008 ; Fernandez et al, 2009, Drouzy, 2019). Depuis, le modèle a été mis en œuvre à de nombreuses reprises par AEL/LEA lors d'études hydrodynamiques et sédimentaires, sur cette zone potentiellement soumise aux influences minières (Drouzy et Fernandez, 2015 ; 2016 ; 2018).

Le Tableau 1 résume les résultats d'une des dernières campagnes de mesure. Le signal des courantomètres a été comparé aux résultats des simulations du modèle, à l'emplacement même des instruments. Les corrélations entre les résultats de calculs et les mesures, par grandeur et par couche de profondeur, sont très satisfaisantes puisque hautement significatives, elles valident de fait la capacité du modèle à reproduire les courants de marée.

Tableau 1 : Récapitulatif des coefficients de corrélation entre mesures et résultats du modèle, pour différentes périodes d'acquisition, profondeurs et composantes de courants.

Période d'acquisition	Grandeur	Profondeur	Coefficient de corrélation (r)
Avril-Mai 2016	Composante Est-Ouest	Surface	0,9375***
Avril-Mai 2016	Composante Nord-Sud	Surface	0,8729***
Avril-Mai 2016	Vitesse	Surface	0,9162***
Avril-Mai 2016	*Composante Est-Ouest*	*Fond*	*0,9381****
Avril-Mai 2016	Composante Nord-Sud	Fond	0,8718***
Avril-Mai 2016	Vitesse	Fond	0,9110***
Aout-Novembre 2016	Composante Est-Ouest	Mi-profondeur	0,9388***
Aout- Novembre 2016	Composante Nord-Sud	Mi-profondeur	0,9695***
Aout- Novembre 2016	Vitesse	Mi-profondeur	0,9165***

La Figure 7 illustre la comparaison entre les mesures de l'ADCP et les résultats du modèle, en termes d'intensité du courant, pour la période d'acquisition d'août à novembre 2016. L'alternance des marées de vives et de mortes eaux est clairement visible sur les variations cycliques d'intensité des deux signaux.

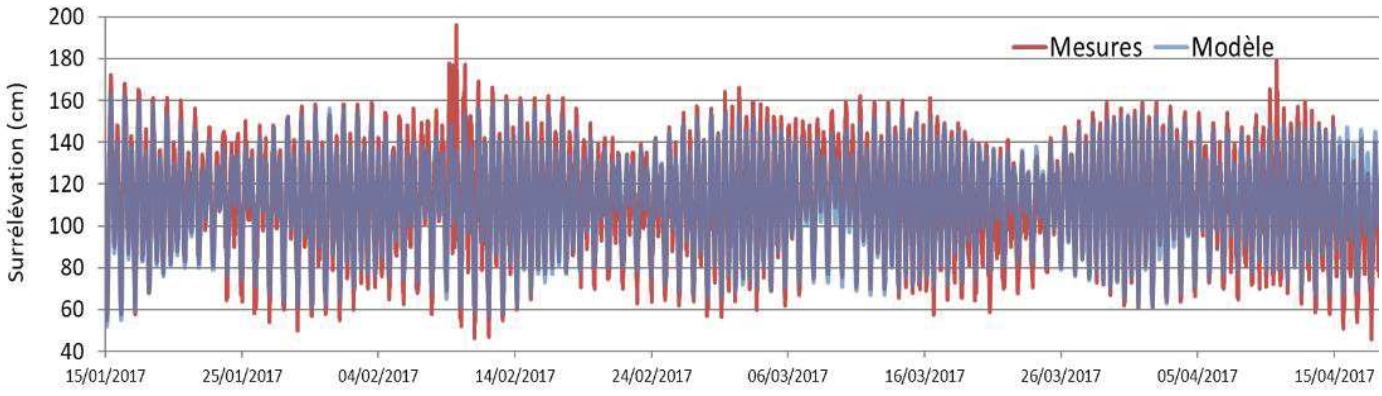


Figure 7 : Comparaison des signaux de courants de marée issus des mesures et du modèle en cm/s

E. CONDITIONS INITIALES ET CONDITIONS AUX LIMITES

Le paramétrage et lancement des simulations en conditions de forçage ont été réalisés pour répondre spécifiquement à la problématique évoquée plus haut.

Le modèle peut inclure un certain nombre de variables telles que la marée, les flux de chaleur à l'interface eau/atmosphère, les cumuls de précipitations, les débits d'eau douce des rivières sur la zone d'emprise, la direction et la force du vent, etc. Les valeurs de ces paramètres peuvent provenir de données réelles enregistrées ou encore être imposées par l'utilisateur.

Dans cette étude, les conditions initiales et aux frontières des grilles de modélisation sont les suivantes :

- Les conditions initiales de salinité, hauteur d'eau et vitesse des courants sont extraites du modèle global HYCOM (Consortium for Data Assimilative Ocean Modeling) ;
- La température initiale de l'eau du Canal de la Havannah sera imposée, homogène sur toute la colonne d'eau et égale à 21,0°C.
- La dispersion du panache d'effluents industriels traités a été modélisée sur la base du « ***mois météorologique modèle d'octobre 2013*** » qui sert de référence pour les calculs phénoménologiques dans le lagon sud de la Nouvelle Calédonie (Figure 8).

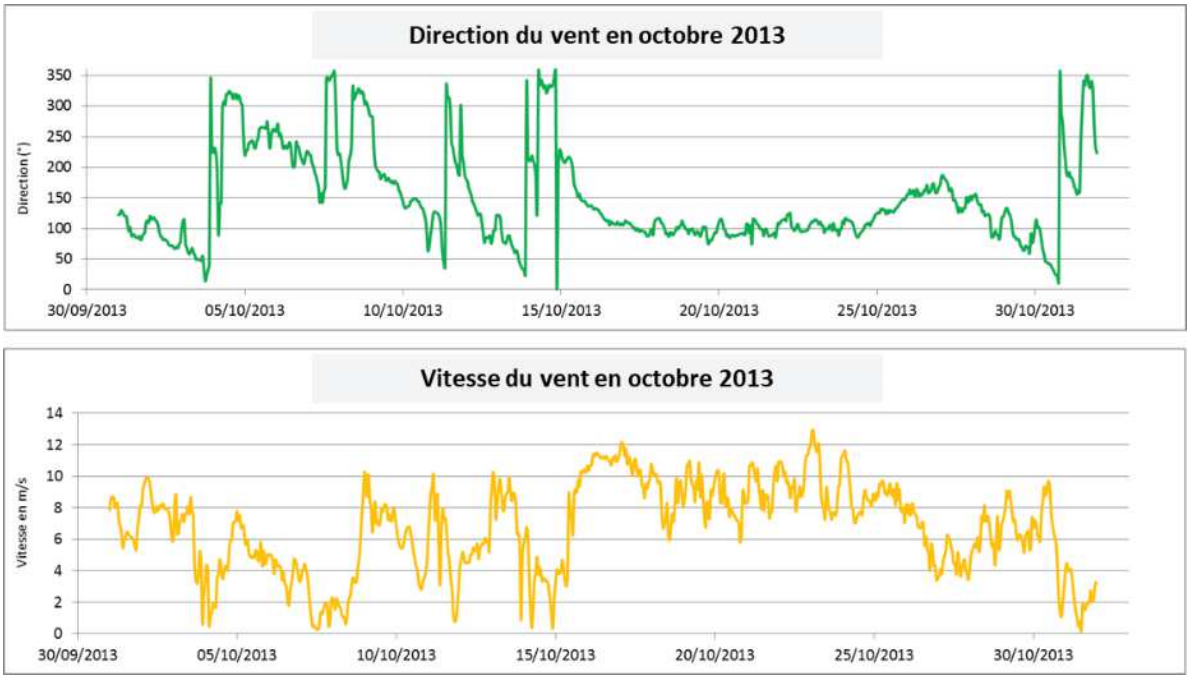


Figure 8 : Enregistrements des vitesse (FF) et direction (DD) du vent à la station de Ioro en octobre 2013.

En bref, ces données montrent que le mois d'octobre 2013 est typique des conditions pour la saison avec un épisode de régimes variables (01-15 octobre), puis l'installation progressive des Alizés continus quasiment jusqu'à la fin du mois. En effet en début de mois, les vents enregistrés à la station météorologique AEL (balise « Ioro ») présentent d'importantes fluctuations de vitesses et de directions. Ainsi, la courte période d'Alizés faibles (2 à 8 m/s) de début de mois, tournent au Nord puis au Nord-Ouest avec des intensités qui oscillent fortement dans la journée (pics jusqu'à 10 m/s). Pendant la deuxième quinzaine, le régime dominant s'oriente vers un Alizé constant pouvant être soutenu de 8 à 13 m/s et précède un courant de Sud, moins rapide (4 à 8 m/s) puis une rotation vers le Nord-Ouest en fin de mois ;

- Les conditions de marée (14 ondes : M2, S2, K1, K2, O1, P1, Q1, M4, MS4, MN4, MF, MM, MSF, N2) proviennent du modèle global de marée TPX07 (Figure 9) et soulignent l'alternance de deux cycles de marées de vive-eau et de morte-eau ;

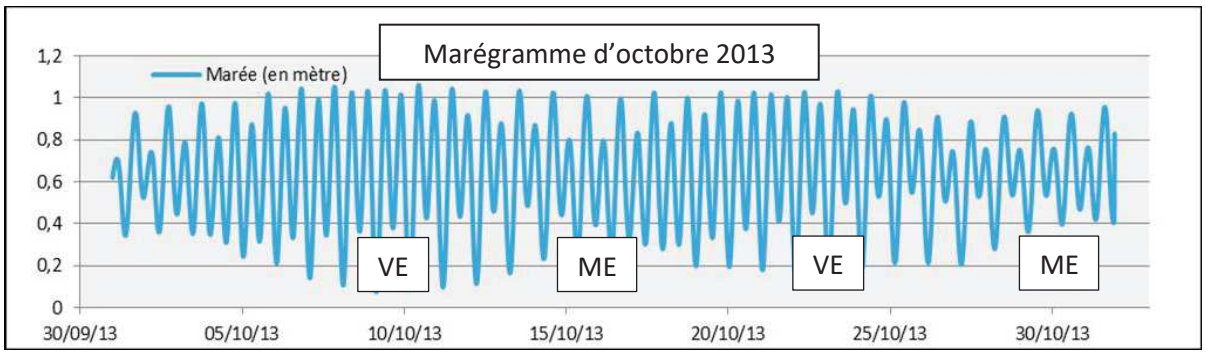


Figure 9 : Elévation relative de la surface de l'eau due à la marée lors de la période de simulation d'octobre 2013 (mètres). Alternance de deux cycles astronomiques successifs de Vives-Eaux (VE) et de Mortes-Eaux (ME).

F. DETAILS DE LA MISSION ET PARAMETRAGE

A. Répondre à la problématique des impacts potentiels le long de la côte bordant le Cap N'Doua, implique de considérer les apports supplémentaires dans le Canal de la Havannah via 10 nouveaux trous de 48 mm de diamètre, percés tous les 500 mètres le long du pipe-line (points de jonction C12 et C21).

Ainsi, aux 126 m^3/h sortant par les 16 évents existants, ces 10 nouveaux trous viendraient ajouter un débit de 1.167 m^3/h. Dans ces conditions, au niveau du diffuseur, le débit sortant par les 57 orifices encore fonctionnels, serait alors d'environ 1.884 m^3/h.

Note : *La perte de charge linéaire est prise en compte avec les 16 évents initialement présents et les 10 nouveaux trous. Celle-ci n'est pas intégrée pour les 57 orifices opérationnels du diffuseur*.

Durant la période de calculs, la concentration moyenne de manganèse a été maintenue constante à 1,0 mg/L (Tableau 2).

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des simulations et conditions de forcage envisagées.

	Conditions générales			Rejets effluent					Traceur dissous
	Vent (vitesse et direction)	Conditions de marée	Température eau de mer (°C)	ΔT°C rejets effluent/mer	Densite effluent	Débit 16 évents (m^3/h)	Débit 10 nouveaux trous (m^3/h)	Débit 57 orifices diffuseur (m^3/h)	Concentration initiale conservative
RUN du SCENARIO-4ter	Conditions réelles octobre 2013	Conditions réelles octobre 2013	21,0 (saison fraiche)	+19°C / mer	1,005(*)	123	1.167(**)	1.884	1 mg/L

(*) Densité fournie par PR-NC; densité estimée à 40°C : d=1, 000
(**) Débits tenant compte de la perte de charge linéaire entre C12 et C21 : 134-129-125-121-118-114-111-108-105-102 m3/h

Ces trois termes sources déversent leurs apports dans le Canal de la Havannah en différents secteurs dont le détail des positions géographiques est connu ou estimé (cas des futurs trous).

Dans le cadre de ce troisième « run », il a été procédé à :

- L'utilisation d'une bathymétrie avec 3 niveaux d'imbrication de mailles, la plus fine étant de 60 mètres (une résolution supérieure nécessiterait de réaliser un levé bathymétrique spécifique plus précis dans tout ce secteur du Canal) ;
- Un test de stabilité des grilles de calcul dans ce nouveau modèle ;
- La création des états initiaux ;
- Deux simulations successives du devenir des rejets, dans les conditions de forçage du *« mois météorologique modèle d'octobre 2013 »* : la première intègre les 15 premiers jours caractérisés par des régimes de vents relativement variables et la deuxième prend en compte les 15 derniers jours où l'on assite à l'installation d'un régime stable d'Alizés, conditions représentatives de la climatologie en Nouvelle-Calédonie ;
- L'extraction et la qualification des résultats ;
- La mise en forme des données et leur exploitation sur le logiciel QGIS.

Ces deux simulations ont permis de visualiser le comportement physique du panache dans le temps (dilution et déplacement) et de fournir pour les couches de fond (k2), mi-profondeur (k15) le cas échéant, et de surface (k30) :

- Un suivi temporel des concentrations sous la forme de facteurs de dilution ;
- Une représentation spatiale de l'évolution des facteurs de dilution moyens (cartes, profils verticaux et coupes verticales de concentration orientées « côte-large » ;
- Des calculs de pourcentages d'occurrence par rapport à des limites de dilution fixées (1.000, 2.000 ; 5.000 et 10.000).

G. EVOLUTION DE LA TEMPERATURE DE L'EFFLUENT AVEC LA DISTANCE A L'EXHAURE

Une modélisation pour appréhender au mieux le comportement des panaches de dilution en lien avec la température de rejet a été réalisée pour le champ proche (Drouzy et Fernandez, 2018). Cette modélisation a reproduit les phénomènes de dispersion du panache rejeté par les 200 orifices du diffuseur avec plusieurs scénarios de vitesses de courant d'entraînement, de débits totaux et de températures d'effluents.

Pour les scénarios considérés, les calculs ont permis de déterminer les distances horizontales et verticales de dilution totale du panache dans le milieu récepteur pour obtenir l'homogénéisation de la température et de la salinité des deux fluides (effluent et eau de mer). L'étude était centrée sur l'évolution des variables thermo-physiques (salinité et température, densité) de l'effluent dans l'eau de mer, entre 0 et 50 m de profondeur en fonction du débit de l'effluent industriel traité émis par les 200 évents du diffuseur dans le Canal de la Havannah.

Le modèle utilisé pour les calculs a été la nouvelle version de VISJET software - VISJET2017 – beta. VISJET est un système de modélisation qui prédit l'impact d'un rejet d'effluent dans l'environnement aquatique. Avec une grille de calcul de haute précision (décimétrique), le code de calcul est en mesure de fournir des résultats en 3D pour le trajet et les valeurs de la dispersion d'un panache emporté dans une eau réceptrice en mouvement unidirectionnel et stratifiée en densité.

Les calculs ont été conduits pour des vitesses d'entrainement du panache représentatives :

- Des courants très faibles 0.01 m/s, correspondant à l'étale de marée ;
- Des courants moyens 0.3 m/s ;
- Des courants forts 0.8 m/s ;
- De débits de 1800 à 3050 m^3/h ;
- Et différentes températures de l'effluent.

Dans le cas d'un effluent à 40°C entrant dans une masse d'eau à 24,5°C ±2,8°C (n=480, Figure 10), les résultats de décroissance de la température sont illustrés par les courbes de la Figure 11.

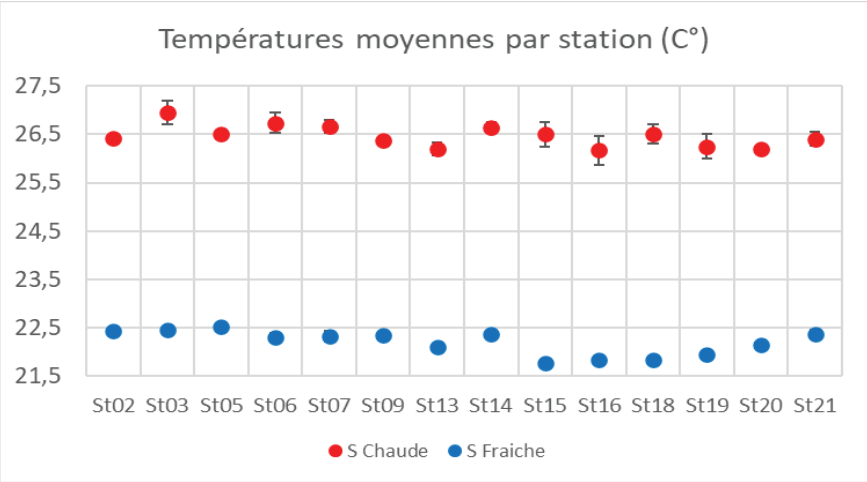


Figure 10 : Moyennes des températures (°C) enregistrées par stations. Calculs intégrés sur les 10 années de suivi et sur la verticale, en saison fraiche (en bleu) et en saison chaude (en rouge) ; n=20/station.

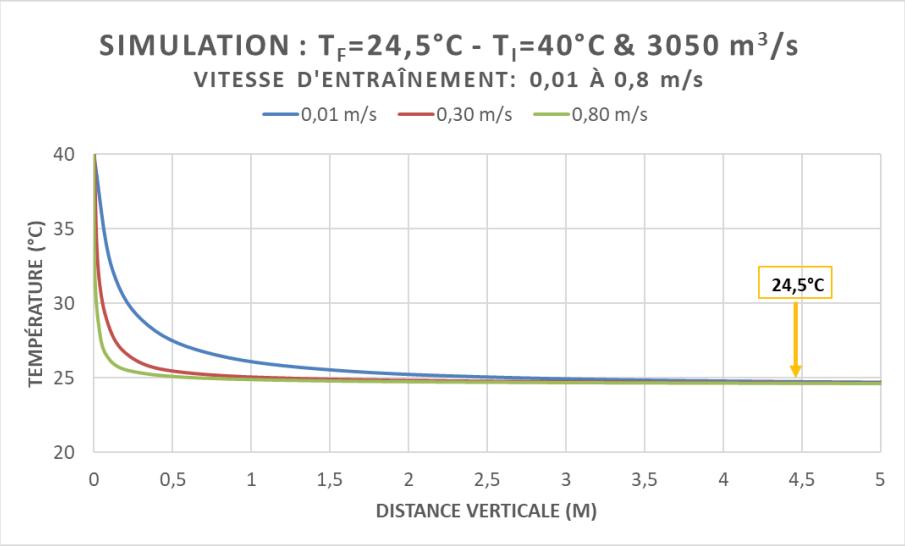


Figure 11 : Diminution de la température de l'effluent avec la distance verticale du panache de dilution. Calculs pour des courants de 0,02 nts, 0,6 nts et 0,1,6 nts correspondant à des conditions d'étals de marée, de courants moyens et de courant fort de mi-marée.

Lors de l'éjection de l'effluent, la décroissance de la température avec la distance verticale est une conséquence de la dilution quasi immédiate des rejets, ceux-ci représentant un volume infinitésimal comparativement au volume occupé par le milieu récepteur (conditions aux limites du modèle). Ainsi, les calculs montrent que dès les tous premiers mètres à l'aplomb de chaque orifice, la température diminue drastiquement, selon une équation de type « exponentielle négative ». La température du rejet

atteint celle du milieu naturel (24,6°C) à environ 4,40 m de distance verticale de l'exhaure, quelle que soit la « vitesse d'entrainement ». Toutefois dans ce contexte, les différences de températures de l'effluent et de l'eau de mer ne sont déjà plus significatives à 3 m de distance de l'orifice (moins de 0,5 °C de ΔT°C).

Enfin, ce gradient de température doit être considéré constant dans le temps et l'espace en raison :

- D'une part, de la dimension infinie du système modélisé et ;
- D'autre part, du renouvellement quotidien des masses d'eau dans le canal de la Havannah lié aux courants de marées qui génèrent des flux océaniques conséquents deux fois par jour.

III. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Note : *Dans ce rapport, les cartes fournies sont extraites d'un ensemble plus vaste de calculs et représentent l'information pertinente aux interprétations phénoménologiques. La totalité des cartes peut être remise sur simple demande à AEL/LEA*.

A. RAPPELS DE LA COURANTOLOGIE DE LA ZONE

La courantologie du Canal de la Havannah est complexe, comme cela a été démontré dès 2008 à la suite du « Programme prédictif » confié à l'IRD par Goro-Nickel (Derex et Douillet, 2008) ; cette complexité s'exprimant notamment par des mouvements de masses d'eaux déphasés par rapports aux marées qui traduisent l'inertie du système au vu des volumes importants impliqués dans les transferts (Figure 12).

Les Figure 13 et Figure 14 fournissent les vecteurs pour des courants moyens des couches de fond (k2), respectivement, de marées montante (flot) et descendante (jusant) d'intensités moyennes.

1. Marée montante (Figure 13)

A marée basse (BM) astronomique, les courants sont encore dirigés vers la Passe de la Havannah et demeurent donc sortants durant plus d'une heure approximativement. Leur intensité, faible à l'Ouest du Canal, augmente à mesure que l'on se dirige vers l'Est ; ils dépassent encore les 0,5 m/s au niveau de la Passe de la Havannah. A l'Ouest du cap Ndoua, le long du pipe-line, des courants de 0,25 m/s sont encore globalement sortants et faibles en intensité, exception faite de la Pointe Méhoué où ils atteignent et dépassent les 0,5 m/s en direction du SE. A BM+1h, les courants commencent à diminuer rapidement sur l'ensemble de la zone.

A BM+2h, la renverse est enfin observable. Les vitesses augmentent drastiquement à BM+3h, notamment au SW de la Passe où l'on calcule des vitesses de plus de 1 m/s quasiment jusqu'au niveau du diffuseur. Le long du pipe-line entre le diffuseur et le Cap N'Doua, les courants demeurent d'intensité moyenne (0,25 m/s) et de directions relativement constantes vers l'Ouest.

Toutefois, si les vecteurs ne montrent pas de signes de brassages des eaux le long du pipe-line, au large de la Pointe Méhoué une cellule anticyclonique de plusieurs kilomètres prend naissance ; cette structure hydrodynamique localisée à la sortie de la Baie de Prony, repousse globalement les eaux vers le sud, alors que des veines d'eau longeant la ligne de côte entrent dans la baie du Prony en contournant la pointe Méhoué.

Durant les deux heures suivantes, les phénomènes s'intensifient et les structures demeurent quasi-identiques, excepté au niveau de la Pointe Méhoué où un ralentissement des vitesses s'opère.

2. Marée descendante (Figure 14)

A marée haute (HM) astronomique, comme pour les phénomènes décrits pour la marée basse astronomique, les courants sont encore significatifs, notamment au niveau de la Passe de la Havannah. En effet, les veines d'eau entrantes proviennent toujours de la Passe de la Havannah avec des vitesses

conséquentes de plus 1 m/s et concernent un vaste espace compris entre la passe et, à minima, le Récif Ioro. A l'inverse, plus à l'Ouest le long du pipe-line, les courants sont très faiblement sortants (contre-courant), pris dans une petite boucle cyclonique où leur intensité est de l'ordre de seulement 0,10 m/s.

A HM+1h, alors que l'intensité des courants entrants semble faiblir, un puissant tourbillon cyclonique de plusieurs kilomètres de diamètre se met en place au niveau du diffuseur à la faveur du mouvement des masses d'eaux sortantes de début de jusant. A l'Ouest du cap Ndoua (le long du pipe-line) les vitesses du contre-courant sortant se maintiennent.

A HM+2h, la renverse s'est franchement opérée, les courants du jusant alimentent le puissant tourbillon qui s'installe durablement au-dessus du diffuseur pendant les deux heures suivantes. Les courants se dirigent alors vers la Pointe Puka séparant les baies de Port Boisé et la Kwé, puis longent la côte en direction de la Passe de la Havannah.

A l'Ouest du cap Ndoua (au-dessus du pipe-line), les courants augmentent et demeurent réguliers avec une vitesse moyenne (0,25 m/s), sauf à la hauteur de la Pointe Méhoué où ils sont de directions plus variables mais globalement dirigés vers l'Est, le long de la ligne de côte.

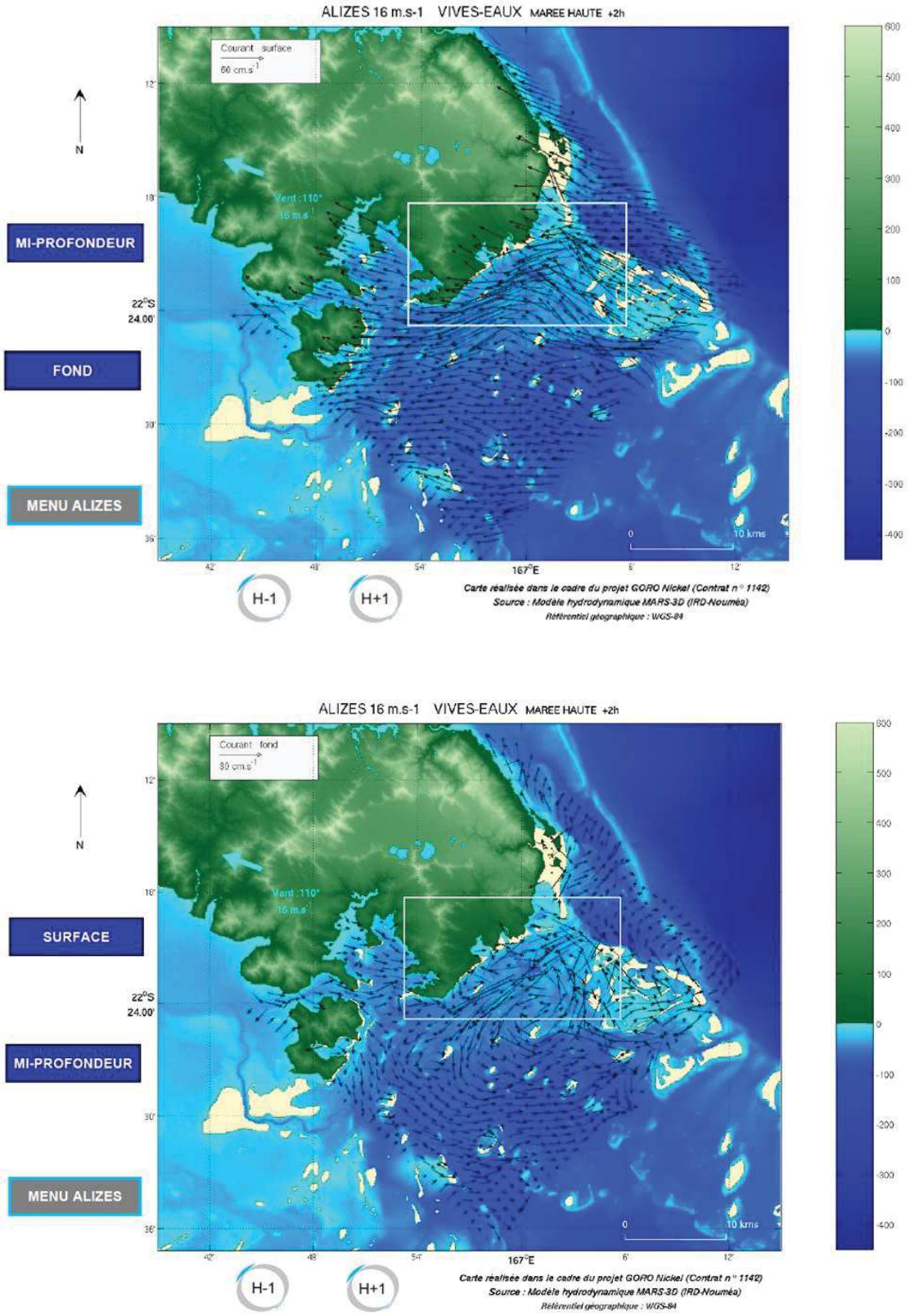


Figure 12 : Courantologie générale dans le canal de la Havannah pour les eaux de surface (k30) et de fond (k2) pour un même moment de marée (HM+2h) et des conditions hydro-climatiques identiques (Douillet P, 2001). Mise en évidence de la stratification des dynamiques (déphasage) entre les deux différentes couches d'eau.

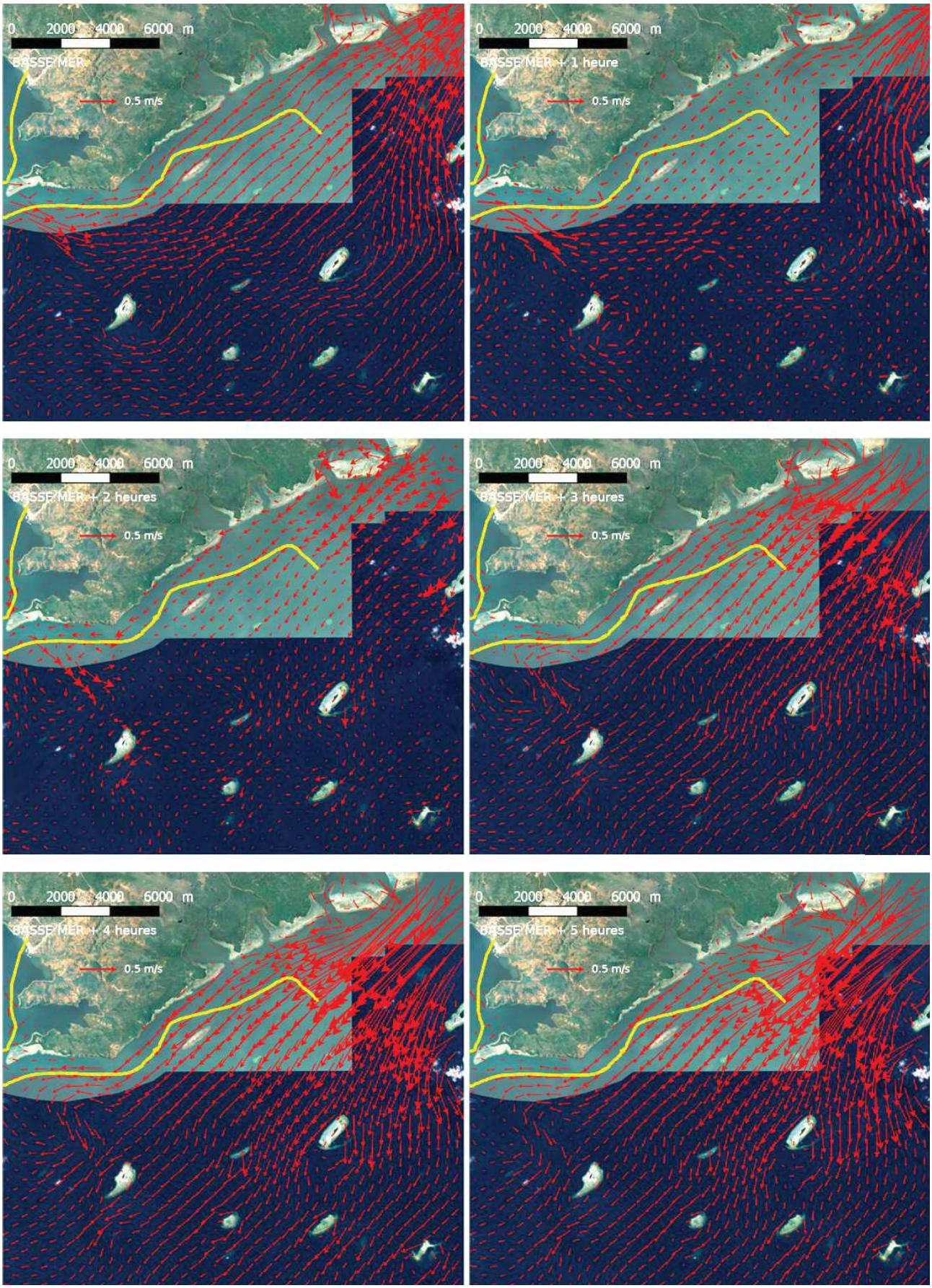


Figure 13 : Cartes des courants moyens de flot dans la couche de fond (k2) du Canal de la Havannah. Tracé du pipeline schématisé par la ligne jaune.

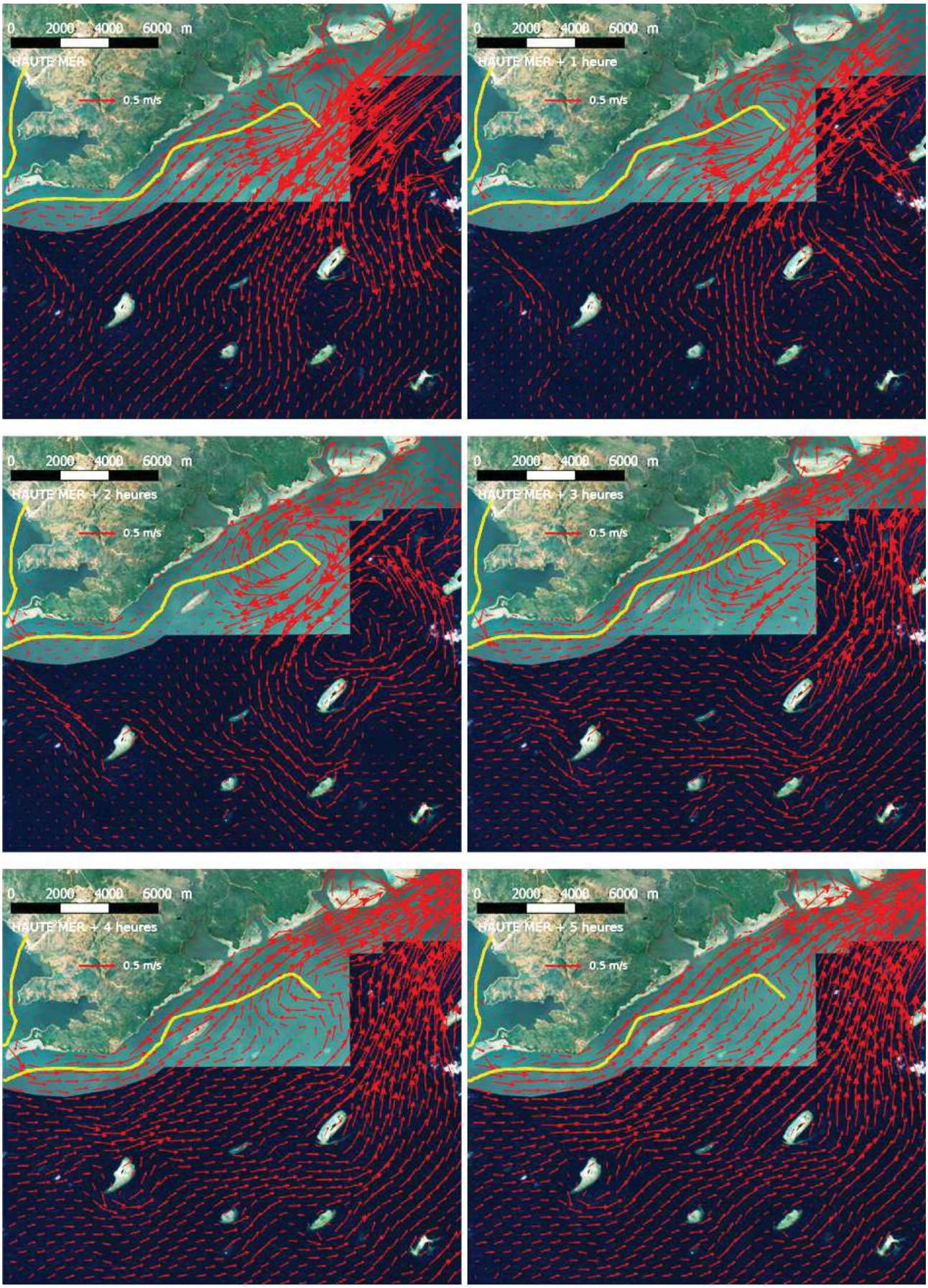


Figure 14 : Cartes des courants moyens de jusant dans la couche de fond (k2) du Canal de la Havannah. Tracé du pipeline schématisé par la ligne jaune.

B. PROFILS TEMPORELS DE DILUTION

Note : *Les calculs fournissent des valeurs de surconcentration attribuées à l'effluent par rapport aux concentrations moyennes réelles dans le milieu. Par ailleurs, les calculs sont conduits avec les hypothèses suivantes : le traceur est introduit dans le milieu uniquement sous une forme dissoute et il peut être considéré comme conservatif, c'est-à-dire que la quantité totale demeure constante dans le système. Dans la réalité, pour le Mn ce n'est pas le cas. Toutefois, les deux hypothèses de travail qui peuvent être considérées comme majorantes en termes de calculs de concentrations dans la colonne d'eau, sont adoptées*.

Les simulations de dilution des panaches ont été calculées pour tout le « *mois météorologique modèle d'octobre 2013* ». Toutefois, compte tenu de la différence des régimes météorologiques entre les deux quinzaines, les résultats distinguent les calculs réalisés durant :

- la première quinzaine où les vents sont très variables en direction et vitesse ;
- la deuxième quinzaine, pendant laquelle un régime stable d'Alizés s'installe progressivement.

A l'issue des calculs et pour la clarté des explications, il est apparu judicieux de ne retenir que les trous 2 et 8, comme modèles du « *Scénario-4* » ; le choix de ces deux trous s'explique par le comportement des panaches respectifs sortants. En effet, notablement différenciés en ces deux points de rejet, les panaches sont tributaires des effets de marées entre les bords Ouest et Est du secteur modélisé. Il est à noter que le comportement du panache sortant du trou 2 est similaire à ceux des trous 1, 3, 4, 5 et 6 ; pour le trou 8, les similarités concernant les trous 7, 9 et 10, ainsi :

- Pour le trou 2 : les minimas de dilutions (*10.000<Tx<50.000*) sont équivalents pour les eaux de surface (k30) et intermédiaires (k15) indépendamment de l'intensité de la marée. Dans la couche de fond (k2), les taux sont beaucoup plus faibles (*2.000<Tx<4.500),* les maximas de dilution étant calculés par marée de vive-eau ;
- Pour le trou 8 : les minimas de dilutions sont de l'ordre de *10.000<Tx<60.000* dans les eaux de surface (k30) et intermédiaires (k15), en période de morte-eau, et sont beaucoup plus forts (*60.000<Tx<100.000)* par marée de vive-eau. Dans la couche de fond (k2), les taux de dilution sont très homogènes (*2.000<Tx<2.900)*, les valeurs maximales sont calculées par marée de vive-eau.

Pour le diffuseur, les résultats concernent les mêmes 11 orifices, compris entre les numéros 25 à 35 sur les 57 premiers demeurant encore opérationnels au moment de cette troisième étude (Figure 15 et Figure 18).

Les conditions météorologiques et marégraphiques forçantes sont identiques pour toutes les modélisations réalisées. Seuls changent les débits du rejet et, dans cette troisième modélisation, la température de rejet de ce-dernier (40°C). Dans ces conditions de travail, il est aisé de distinguer les prédictions d'impact attribué aux seules caractéristiques du rejet.

1. Profils temporels de dilution moyens des trous 2 (129 m^3/h), 8 (108 m3/h) et diffuseur

Pour le trou 2

- Durant la première quinzaine d'octobre (Figure 15), seuls les 5 premiers mètres de la couche d'eau au-contact immédiat du pipe-line sont impactés par des effluents dilués à un taux minimal d'environ 1.000. Au-dessus, les taux augmentent rapidement pour atteindre 2.500 à 10 mètres de hauteur et dépassent 5.000 au-delà.

- Durant la deuxième quinzaine, entre le 16 et le 23 octobre environ, les hauteurs d'eau concernées par les effluents dilués et leurs taux de dilutions sont équivalents à ceux calculés pour toute la première quinzaine. Au-delà de cette date, la tranche d'eau avec de faibles taux de dilutions (1.000) s'épaissit pour atteindre un maximum de 5 mètres aux environs du 26-27 octobre. Par ailleurs à ces dates, des lentilles d'effluent dilué à 3.000/3.500 peuvent remonter sur plus de 30 mètres dans la colonne d'eau, voire arriver en surface (26 octobre). Au-delà et jusqu'à la fin de la deuxième quinzaine, l'impact du rejet dans la colonne d'eau retrouve les niveaux normaux de début du mois d'octobre.

Pour le trou 8

- Durant la première quinzaine d'octobre (Figure 15), la couche d'eau impactée est de moindre importance que pour le trou 2, la hauteur concernée par le taux de dilution 1.000 ne dépassant pas 1 m, voire 3 mètres occasionnellement. Au-dessus les taux augmentent drastiquement à plus de 3.500 dans les 5 à 10 mètres et dépassent 5.000 au-delà ;

- Durant la deuxième quinzaine, la colonne est également faiblement impactée, hormis les 23 et 24 octobre où la couche d'eau concernée par les rejets s'épaissit. Au-delà, entre le 25 et le 27 octobre, l'intégralité de la colonne d'eau est cette fois-ci concernée pour la durée de deux cycles de marée complets. Après cette date, les remontées d'effluent cessent jusqu'à la fin de la deuxième quinzaine, seuls les 5 premiers mètres sont alors concernés à nouveau.

Pour le diffuseur

- Durant la première quinzaine, la tranche d'eau des 5 à 10 premiers mètres au-dessus des orifices est constamment impactée par des effluents dilués à 500 ±100. De surcroit, des remontées du panache jusqu'en surface sont calculées régulièrement au moment des étales de basse ou de haute mer ; une augmentation du nombre de ces phénomènes et de leur intensité est observée entre le 10 et 14 octobre.

- Durant la deuxième quinzaine, une très forte intensification des remontées d'effluents faiblement dilués est calculée à partir du 24 octobre et leur fréquence s'amplifie du 26 au 30 octobre environ. Dans ce même laps de temps, l'épaisseur de la couche d'eau constamment diluée à environ 500 gagne en ampleur, puisqu'elle atteint jusqu'à 15 mètres au-dessus du diffuseur. La remontée d'effluents faiblement dilués est favorisée par le faible hydrodynamisme induit avec les marées de morte-eau (Drouzy et al, 2008).

Ce qu'il faut retenir : Pour les trous 2 et 8, les remontées du panache dilué correspondent à des conditions météorologiques et marégraphiques précises. Elles sont, en effet, favorisées par des régimes d'Alizés de SE, voire de S-SE faibles (4 à 6 nœuds) coïncidant avec des étales de marées de morte-eau.

Pour le diffuseur, le paramètre essentiel agissant sur les taux de dilution est conditionné essentiellement par la seule intensité de la marée, les étales de marées de morte-eau favorisant nettement la remontée du panache.

2. Taux de dilution pour les couches k2, k15 et k30 des trous 2 (129 m^3/h), 8 (108 m3/h) et diffuseur

Les résultats de calculs effectués pour les couches de fond (k2), intermédiaire (k15) et de surface (k30) sont illustrés par les Figure 16, Figure 17 et Figure 18.

- **Trou numéro 2** (Figure 16)
  - Couche de fond (k2) : Les taux de dilution montrent une toute relative variabilité liée aux phénomènes de marée ; ils sont tous compris entre 1.200 et seulement ponctuellement un taux de 2.000. Cette fourchette est calculée pour la première, comme pour la deuxième quinzaine d'octobre, bien que pour cette dernière la variabilité diminue remarquablement surtout entre le 24 et le 27 octobre où la moyenne oscille entre 1.000 et 1.200 ;
  - Couche intermédiaire (k15) : Peu de changements sont observables au cours de la première quinzaine et le début de la deuxième ; les taux minimums sont compris, en majorité, entre 5.000 et 10.000. A l'inverse, ils descendent jusqu'à 2.000 pendant la deuxième quinzaine (24-27 octobre) et les maximas n'atteignent pas 15.000, alors qu'ils étaient supérieurs à 50.000 antérieurement. Au-delà du 27 octobre et jusqu'au 30 octobre, environ, ils remontent progressivement au-dessus de 80.000 ;
  - Couche de surface (k30) : La distribution des valeurs est identique à celle obtenue pour la couche intermédiaire, la différence réside uniquement dans les niveaux d'intensités plus élevés de la dilution.
- **Trous numéro 8** (Figure 17)
  - Couche de fond (k2) : Les taux de dilution sont remarquablement constants et de grandeurs identiques, pendant la première quinzaine et la deuxième. En effet, ils se maintiennent en moyenne autour de 1.400 à 1.800, quel que soit le moment ou bien la force de la marée, les valeurs les plus faibles étant calculées pour le 26 octobre (≈1.100) ;
  - Couche intermédiaire (k15) : Pendant la première quinzaine, les taux de dilution ont oscillé entre des valeurs minimales de 10.000 et des maximales inférieures à 50.000, ces dernières correspondant aux moments des étales de marées. Durant la deuxième quinzaine, exception faite des 3 premiers jours, les taux sont descendus à des valeurs comprises entre 4.000 et 20.000 environ, les valeurs les plus basses correspondant à la période du 24 au 27 octobre (1.200, le 26 octobre) ;
  - Couche de surface (k30) : Comme pour le trou 2, en surface la distribution des taux de dilution montre une forte similarité avec la variabilité de la couche d'eau intermédiaire, les valeurs étant logiquement un peu plus élevées.

- **Diffuseur** (Figure 18)
    - Couche de fond (k2) : Les taux de dilution calculés pour les deux quinzaines sont identiques et se situent à 500 environ. Aucune variation notablement remarquable n'est mise en évidence ni en termes de valeurs, ni d'évolution temporelle ;
    - Couche intermédiaire (k15) : Les taux de dilution montrent de grandes amplitudes et diffèrent entre les deux quinzaines. En effet, pendant la première, les valeurs minimales oscillent entre 1.000 et 80.000, contrastant ainsi avec celles de la deuxième qui sont très souvent proches de 1.000, particulièrement entre le 26 et le 29 octobre ; pour les deux quinzaines, les maximales sont supérieures à 100.000 ;
    - Couche de surface (k30) : Une nouvelle fois, les distributions pour les eaux de surface sont similaires à celles des eaux intermédiaires, exception faite de la faible augmentation des valeurs de dilution.

Profils temporel de dilution par trou pour les trous 2, 8 et diffuseur

D = 1.167 m3/h et T= 40°C (01-16 oct 2013)

D = 1.167 m3/h et T = 40°C (16—31 oct 2013)

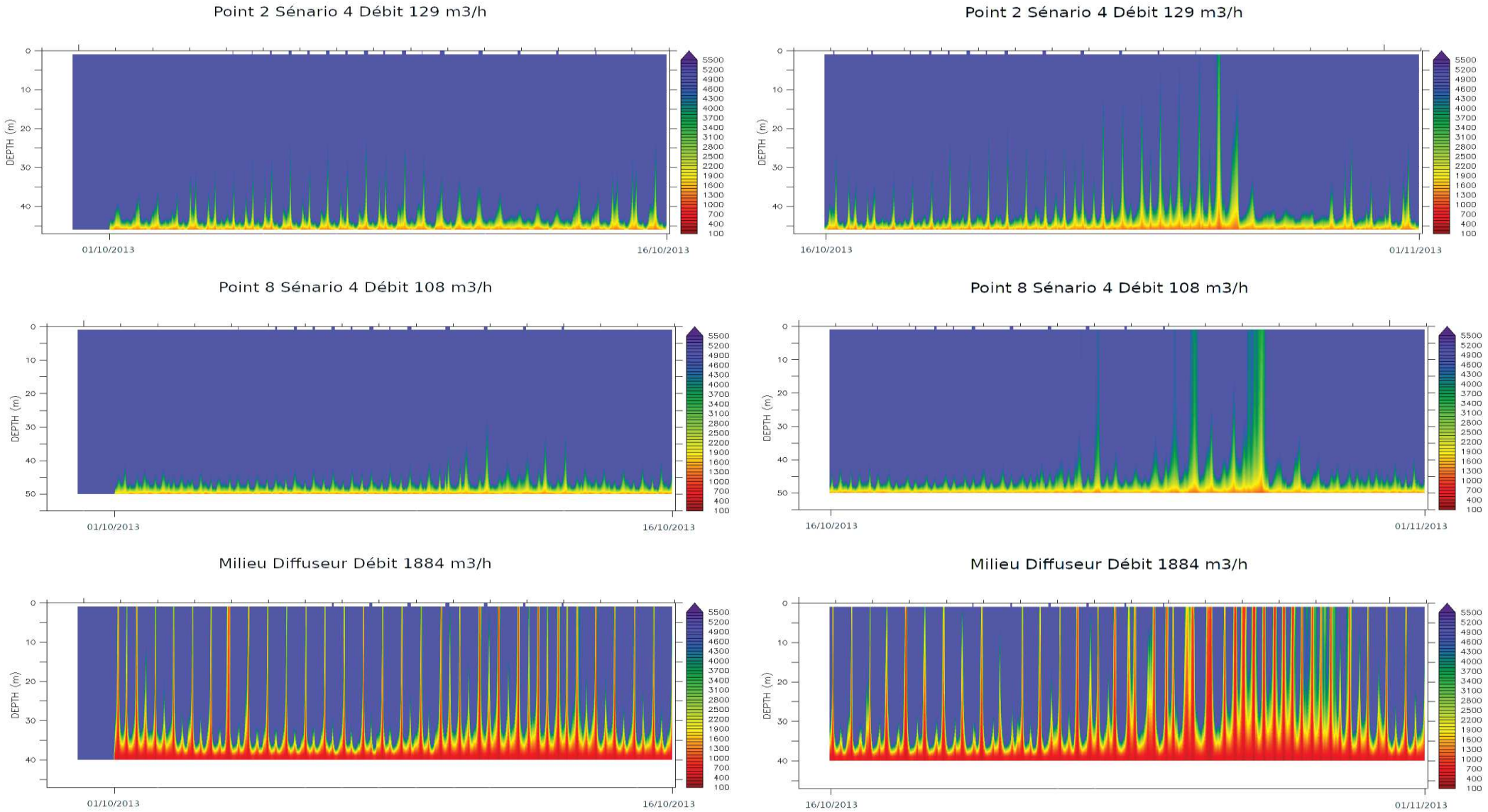


Figure 15 : Profils de dilution temporelle en sortie des trous 2, 8 (1.167 m³/h) et les orifices 25 à 35 sur les 57 encore opérationnels du diffuseur (1.884 m³/h) pour les périodes du 01-16 octobre (gauche) et du 16-31 octobre (droite).

Profils de dilution par couche pour le trou 2 du pipe-line

D = 1.167 m3/h et T= 40°C (01-16 oct 2013)

D = 1.167 m3/h et T = 40°C (16—31 oct 2013)

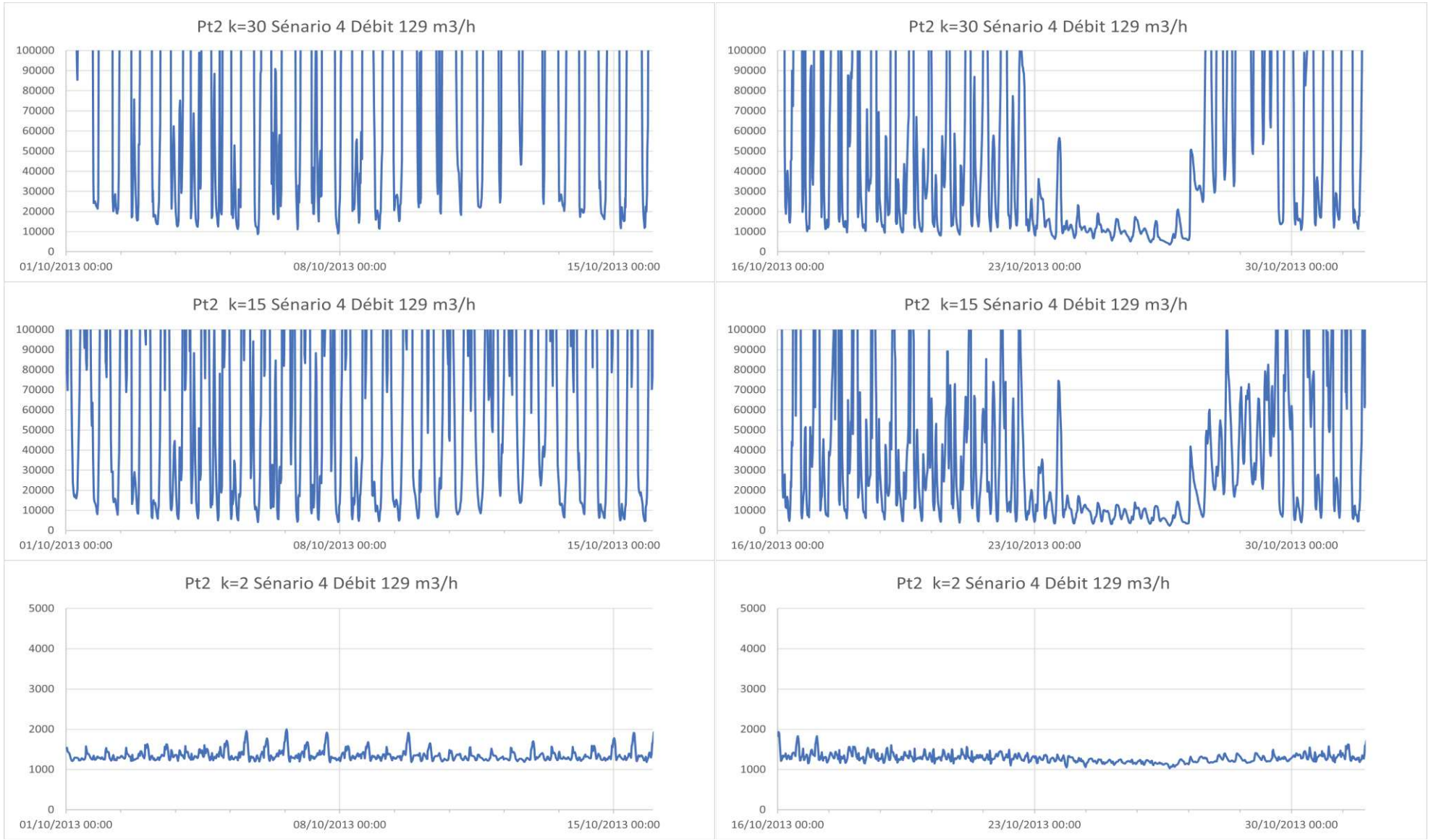


Figure 16 : Profils de dilution en sortie du trou numéro 2 pour les périodes du 01-16 octobre (gauche) et du 16-31 octobre (droite). Calculs effectués pour les couches de fond (k2), intermédiaire (k15) et de surface (k30) pour un débit total de 1.167 m3/h.

Profils de dilution par couche pour le trou 8 du pipe-line

D = 1.167 m3/h et T= 40°C (01-16 oct 2013)

D = 1.167 m3/h et T = 40°C (16—31 oct 2013)

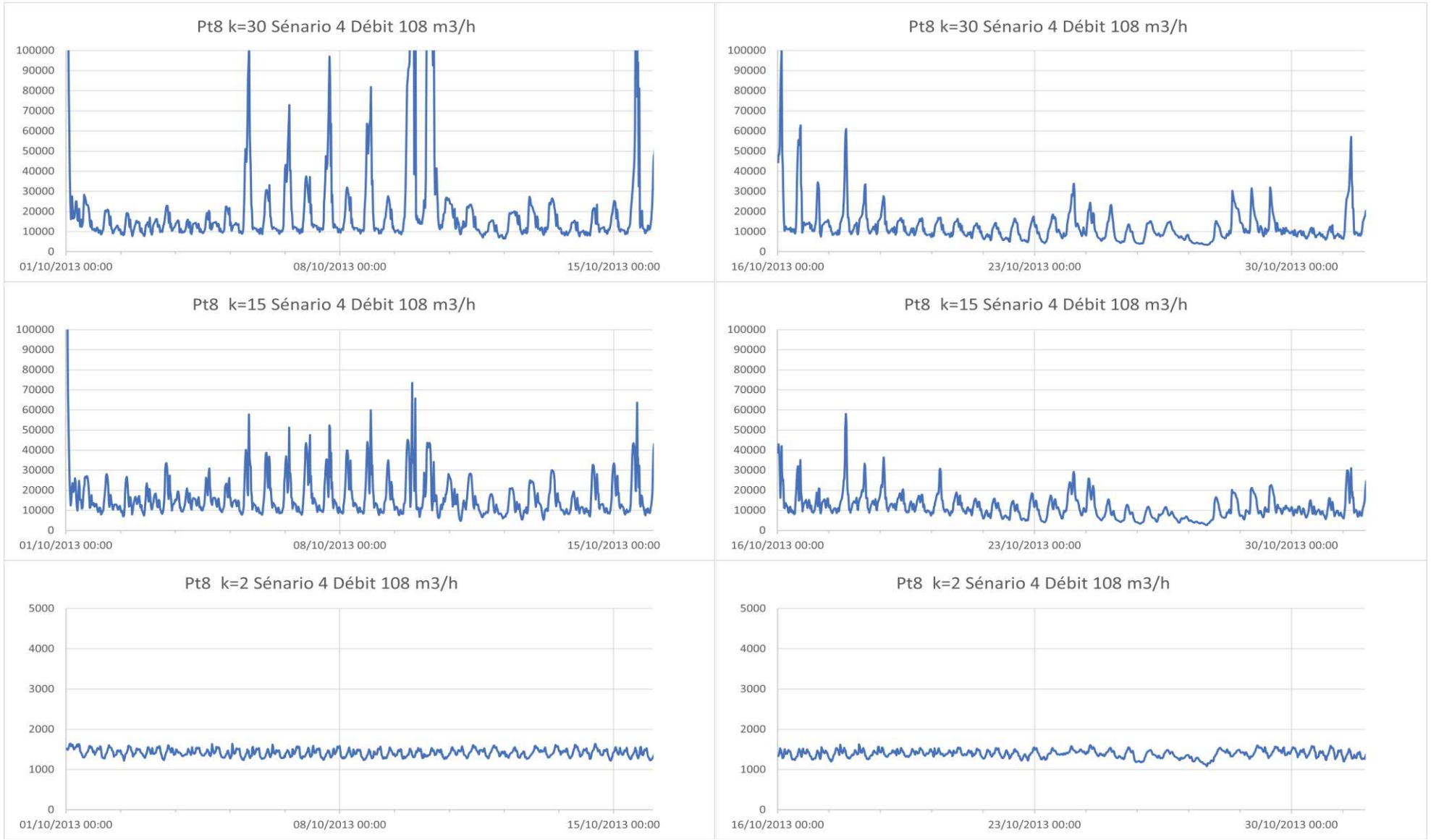


Figure 17 : Profils de dilution en sortie du trou numéro 8 pour la première quinzaine (gauche) et la deuxième quinzaine (droite) du mois d'octobre. Calculs effectués pour couches de fond (k2), intermédiaire (k15) et de surface (k30) pour un débit de 1.167 m³/h.

Profils de dilution par couche pour le diffuseur

D = 1.884 m3/h et T= 40°C (01-16 oct 2013)

D = 1.884 m3/h et T = 40°C (16—31 oct 2013)

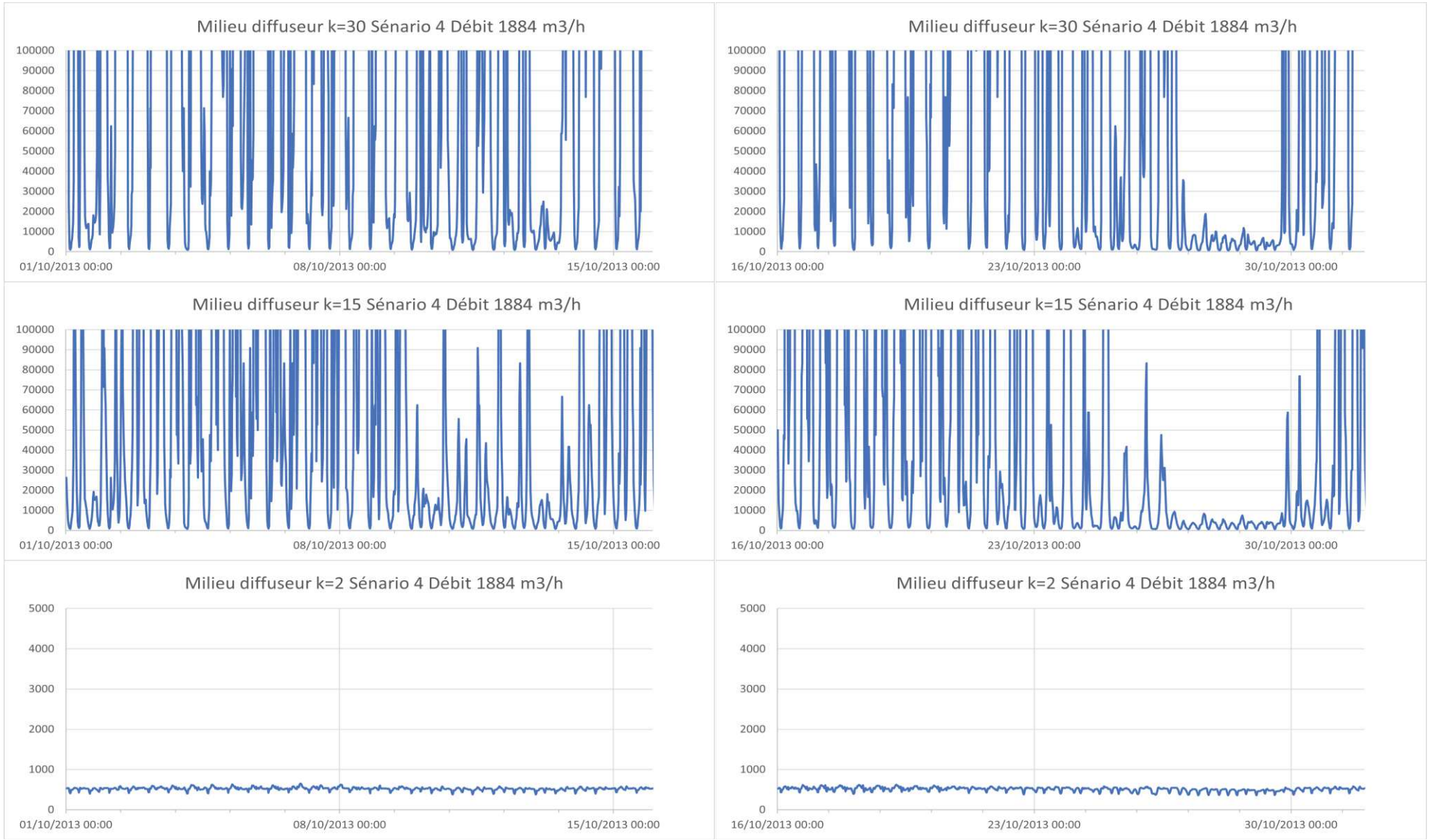


Figure 18 : Profils de dilution en sortie de l'orifice 30 du diffuseur (des 57 opérationnels au moment de l'étude) pour la première quinzaine (gauche) et la deuxième quinzaine (droite) du mois d'octobre. Calculs effectués pour couches de fond (k2), intermédiaire (k15) et de surface (k30) pour un débit de 1884 m3/h.

En termes de concentrations, un traitement en statistiques descriptives (Tableau 3) montre qu'à la verticale des trous 2 et 8 :

- Pour la première quinzaine :
    - La couche de surface (k30) montre une concentration moyenne de 0,015 ± 0,022 et 0,070 ± 0,030 µg/L dans les trous 2 et 8, respectivement. On observe que la concentration est quasiment 5 fois moins importante pour le trou 2, station proche de la pointe Méhoué, malgré un débit plus soutenu (129 m^3/L) ;
    - Pour la couche de mi-profondeur (k15), cette différence décroit de moitié d'Ouest (trou 2) en Est (trou 8). D'un trou à l'autre, on mesure 0,037 ± 0,045 et 0,075 ± 0,032 µg/L, respectivement ;
    - Pour la couche de fond (k2), les concentrations sont tout à fait comparables pour les trous 2 et 8 avec 0,744 ± 0,063 et 0,708 ± 0,046 µg/L, respectivement.
- Pour la deuxième quinzaine :
    - Les concentrations en surface (k30) sont deux fois moins élevées pour le trou 2 que pour le trou 8, avec 0,049 ± 0,049 et 0,104 ± 0,050 µg/L, respectivement ;
    - A mi-profondeur (k15), comme pour la première quinzaine cet écart se réduit quasiment de moitié, avec 0,071 ± 0,070 et 0,109 ± 0,056µg/L, respectivement ;
    - Dans la couche de fond (k2), les valeurs demeurent très similaires avec 0,782 ± 0,064 et 0,722 ± 0,050 µg/L, respectivement.

Tableau 3 : Valeurs statistiques des concentrations dans les couches k30, k15 et k2 en fonction de la quinzaine modélisée.

Concentrations en µg/L			Moyenne	Ecart-type	Min	Max	Médiane
TROU 2 (129 m^3/h)	Quinzaine 1	Surface (k30)	0,015	0,022	0,001	0,115	0,001
		Mi-prof (k15)	0,037	0,045	0,001	0,240	0,013
		Fond (k2)	0,744	0,063	0,501	0,848	0,760
	Quinzaine 2	Surface (k30)	0,049	0,049	0,001	0,280	0,033
		Mi-prof (k15)	0,071	0,070	0,002	0,423	0,045
		Fond (k2)	0,782	0,064	0,518	0,967	0,785

Concentrations en µg/L			Moyenne	Ecart-type	Min	Max	Médiane
TROU 8 (108 m^3/h)	Quinzaine 1	Surface (k30)	0,071	0,030	0,001	0,154	0,074
		Mi-prof (k15)	0,075	0,032	0,001	0,213	0,073
		Fond (k2)	0,708	0,046	0,606	0,822	0,710
	Quinzaine 2	Surface (k30)	0,104	0,050	0,010	0,290	0,098
		Mi-prof (k15)	0,109	0,056	0,017	0,377	0,097
		Fond (k2)	0,722	0,050	0,614	0,924	0,715

Ce qu'il faut retenir : Pour les trous 2 et 8, les concentrations moyennes dans les couches de surface (k30) augmentent d'un facteur 3 et 2, respectivement, lorsque le régime d'Alizés s'établit de manière durable, comme pendant la deuxième quinzaine. Pour les eaux de la couche intermédiaire (k15), les concentrations entre la première quinzaine et la deuxième, sont multipliées par 2 et 1,5 pour les trous 2 et 8, respectivement. Dans la couche de fond (k2), aucune évolution significative n'est perceptible, ni entre les deux quinzaines, ni entre les deux trous.

Au niveau de la couche de fond (k2), les taux de dilution calculés sont tous inférieurs à 2.000. Ce constat montre que la surconcentration ajoutée dans l'eau de mer à ce niveau de profondeur, serait au maximum de 0,5 µg/L, pour un terme source fixé de 1 mg/L. A titre de comparaison, la concentration naturelle en Mn dans le Canal de la Havannah est d'environ 0,08 ± 0,03 µg/L ; en sortie de la Baie du Prony (St19) on enregistre des maximas ponctuels compris entre 0,16 et 0,24 µg/L en fonction de la saison ; une dilution 50.000 correspondrait à une surconcentration égale à 0,05 µg/L.

C. EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DES TAUX DE DILUTION

Si dans la couche k2 au-dessus du pipe-line, quel que soit le trou, les taux de dilutions calculés sont toujours inférieurs à 2.000, au-delà, l'effluent se disperse dans les 3 dimensions au cours de son transport et le taux de dilution augmente rapidement à plus de 5.000. En effet, dans les deux couches de mi-profondeur (k15) et de surface (k30), les taux de dilution sont systématiquement supérieurs à 10.000 et souvent à 50.000. Toutefois, ces valeurs sont, en particulier, fonction de la valeur des paramètres marégraphiques.

1. Résultats de simulation pour les deux quinzaines

Les simulations ont été conduites séparément pour les deux quinzaines du mois modèle d'octobre 2013. Dans les illustrations, la carte de la première quinzaine (gauche) traduit la distribution moyenne de cette période, mais elle peut être considérée comme la représentation typique de la dilution en dehors des régimes d'Alizés, ce qui est le cas dans cette étude jusqu'aux environs du 20 octobre. La deuxième carte (droite) montre une distribution des taux de dilution caractéristique des forçages induits par un régime d'Alizés bien établi du 21 au 28 octobre ; quelle que soit l'intensité du régime de SE, les épisodes de morte-eau favorisent la remontée des panaches.

a) Taux de dilution en surface (k30) et au fond (k2) à marée montante (MB+4h)

Les résultats sont illustrés par les cartes de dilution temporelle à MH+4h (choisie pour correspondre avec le maximum de courant) pour les conditions de marée de morte-eau, cas de figure le plus défavorable à la dispersion (Figure 19).

Couche de surface (k30)

Les effets induits par les régimes d'Alizés apparaissent clairement. En effet, en dehors du régime de SE, même au plus fort du flot (BM+4h), les eaux de surface ne sont pas impactées par le panache qui ne remonte pas dans la colonne d'eau. Exceptionnellement, quelques aires de très faible ampleur proches du cap Ndoua traduisent la potentielle présence du rejet dont le niveau de dilution est supérieur à 7.500.

Durant la deuxième quinzaine sous l'influence des vents de SE, et plus particulièrement entre le 20 et le 28 octobre, à BM+4h, le panache dilué couvre toute une surface comprise entre la pointe Méhoué et le cap Ndoua (Figure 19), avec des taux de 2.500 à la verticale des trous 8, 9 et 10. En direction de la ligne de côte, les taux de dilution augmentent à 5.000, ainsi que vers le large où des volutes de panache très dilué sont calculées (7.500).

Couche de fond (k2)

En dehors des conditions relatives aux régimes de SE installés, les panaches sortant de chacun des 10 trous marquent les eaux de cette couche, les taux de dilution étant en moyenne de l'ordre de 2.500 ; les panaches sont peu étendus et suivent, sans se recouvrir les uns les autres, une direction NO.

Par régimes d'Alizés et de surcroit avec des conditions de faible hydrodynamisme (marée de vive-eau), les rejets ont plus de difficultés à se diluer puisque des taux inférieurs à 2.000 sont calculés à la verticale de la plupart des trous. Au-delà, le panache s'étale principalement en direction de la ligne de côte avec des dilutions de l'ordre de 5.000. Comme en surface, le panache est aussi tiré vers le large où une lentille d'effluent très fortement dilué se forme (7.500) ;

Hors régime de SE (01-20 oct 2013) Régime de SE (21-28 oct 2013)

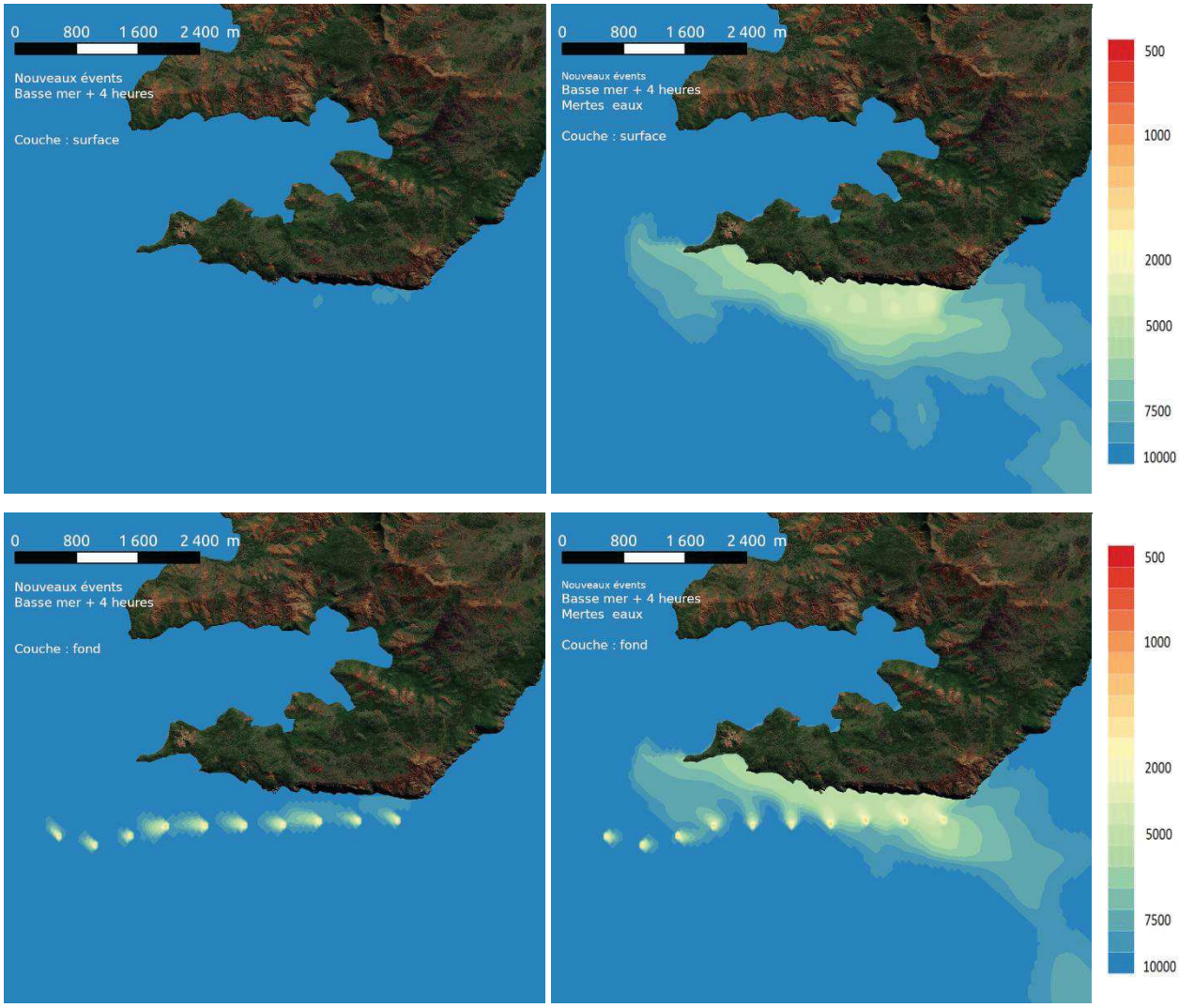


Figure 19 : Taux de dilution moyen type dans les couches de surface (k30) et de fond (k2) à marée montante, hors régime d'Alizés (gauche) et par Alizés (droite).

b) Taux de dilution en surface (k30) et au fond (k2) à marée descendante (MH+4h)

Les résultats sont illustrés par les cartes de dilutions temporelles à BH+4h (maximum de courant) pour les conditions de marée de morte-eau, cas de figure le plus défavorable à la dispersion (Figure 20).

Couche de surface (k30)

Combinés à la marée descendante, les effets du régime d'Alizés sont également bien visibles. En effet durant la première quinzaine, seule une lentille composée d'effluent très dilué (>7.000) est calculée à l'Est du cap Ndoua. Ce constat prouve que les effluents ne remontent pas dans la colonne d'eau lorsque les vents ne soufflent pas régulièrement du secteur SE ; le panache suivant par ailleurs, l'hydrodynamique globale de la marée descendante.

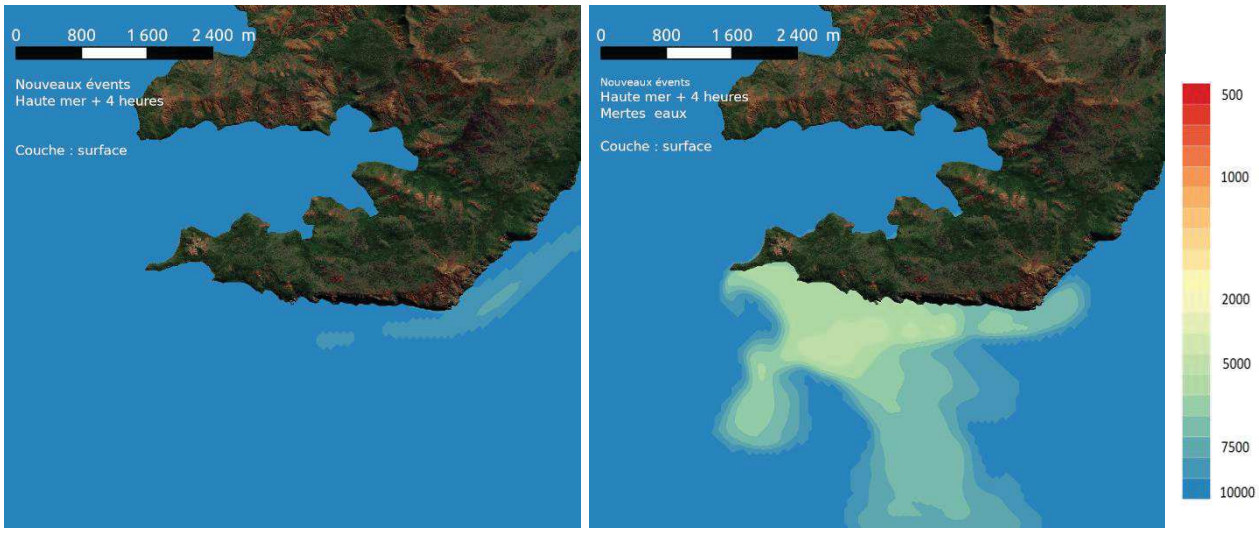
Inversement, les régimes d'Alizés favorisent la remontée du panache, particulièrement pendant les périodes de marées de morte-eau, et le maintienne au NO malgré la marée descendante. Les eaux de surface sont alors bloquées par la ligne de côte. Les taux de dilution sont calculés avec des valeurs comprises entre 2.000 et 3.000 et supérieures à 5.000, au large le long du pipe-line.

Couche de fond (k2)

Comme pendant la première quinzaine, la marée est le mécanisme prépondérant de dispersion et de transport des effluents lorsque les conditions météorologiques sont variables. En effet, un ensemble de 10 panaches bien individualisés pour chacun des 10 trous est dirigé vers l'Est, ceux-ci longeant la côte au-delà du cap Ndoua. Dans cette couche de fond au contact du pipe-line, les taux de dilution sont logiquement faibles (≈1.000) à la verticale de chacun des 10 trous, mais les mécanismes de dilution s'intensifient rapidement et les taux dépassent 7.500.

Par régime d'Alizés, les 10 panaches individualisés sont encore bien visibles avec des taux de dilution de l'ordre aussi de 1.000. Toutefois, comme pour les eaux de surface, l'action des Alizés pousse les effluents dilués vers la ligne de côte comprise entre le cap Ndoua et la pointe Méhoué, en les brassant. Le panache résultant est globalement dirigé vers le NO, mais à la faveur de la marée descendante, il se déplace également vers l'Est.

Hors régime de SE (01-20 oct 2013) Régime de SE (21-28 oct 2013)



Hors régime de SE (01-20 oct 2013) Régime de SE (21-28 oct 2013)

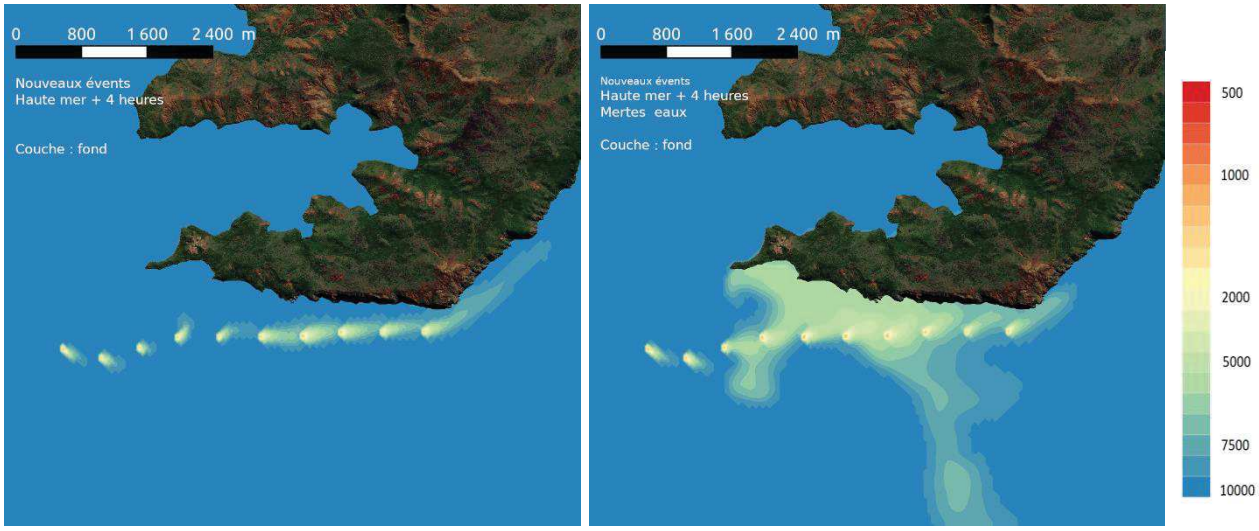


Figure 20 : Taux de dilution moyen type dans les couches de surface (k30) et de fond (k2) à marée descendante, hors régime d'Alizés (gauche) et par Alizés (droite).

2. Résultats de simulation pour les 57 orifices du diffuseur

Au niveau du diffuseur, les nouvelles conditions du rejet simulé, à savoir une diminution du débit théorique passant de 1.970 m^3/h à 1.884 m^3/h (-5%), et une température de 40°C, ne montrent pas d'effets notables sur la distribution du panache dans le canal de la Havannah. En effet, seul une légère remontée d'un panache moins dense, en raison de la température relativement élevée, est perceptible.

Le comportement général du panache est illustré par les cartes de dilutions temporelles pour des conditions de marée morte-eau, cas de figure le plus défavorable aux mécanismes de dispersion (Figure 22 et Figure 21).

Couche de surface (k30)

Les conditions hydrodynamiques générées par les marées de morte-eau combinées à un Alizé modéré (Figure 22) permettent de :

- Faire remonter le panache tout le long de la colonne d'eau, tant à marée montante que descendante ;
- Laisser se développer, à BM+4h, une lenticulaire de surconcentration de quasiment 1 kilomètre de diamètre donc l'effluent est très peu dilué (1.000 à 1.500). Au NE, un panache diffus de plusieurs kilomètres persiste malgré les courants résiduels entrants de la marée montante, probablement sous l'effet de la renverse de courant qui permet le cumul des panaches et l'action de l'Alizés de SE. Ce type de structure semble pouvoir perdurer durant tout le cycle de morte-eau ;
- Mettre en place des mécanismes de dilution et de transport semblables à ceux du flot, pour la phase de marée descendante où les lentilles de surconcentration atteignent un rayon de plus d'un kilomètre également à HM+4h.

Couche de fond (k2)

- Tant à marée montante que descendante, une poche d'effluents dilués s'étire tout le long de la portion du diffuseur modélisée, c'est-à-dire sur une distance de 200 mètres au maximum. A ce niveau, les taux de dilutions de l'effluent sont en permanence inférieurs à 1.000.
- A BM+4h, les courants entrants sont enfin installés et un panache d'effluent de plusieurs kilomètres et encore désorganisé, repart alors vers le SO (Figure 21). Les taux de dilution sont relativement inchangés et demeurent compris autour de 3.000 à 5.000 ;
- A HM+4, les courants sortants en direction de la passe de la Havannah, transportent un panache dont le taux de dilution minimal avoisine 6.000 ;

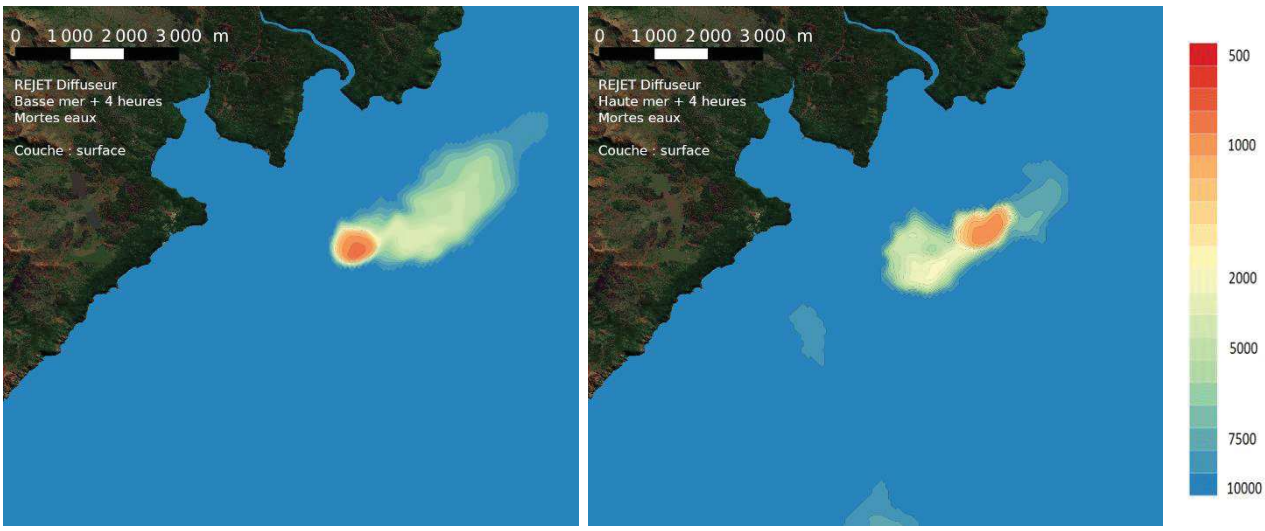


Figure 21 : Diffuseur - Taux de dilution moyen dans la couche de surface (k30) à marée montante et descendante de morte-eau.

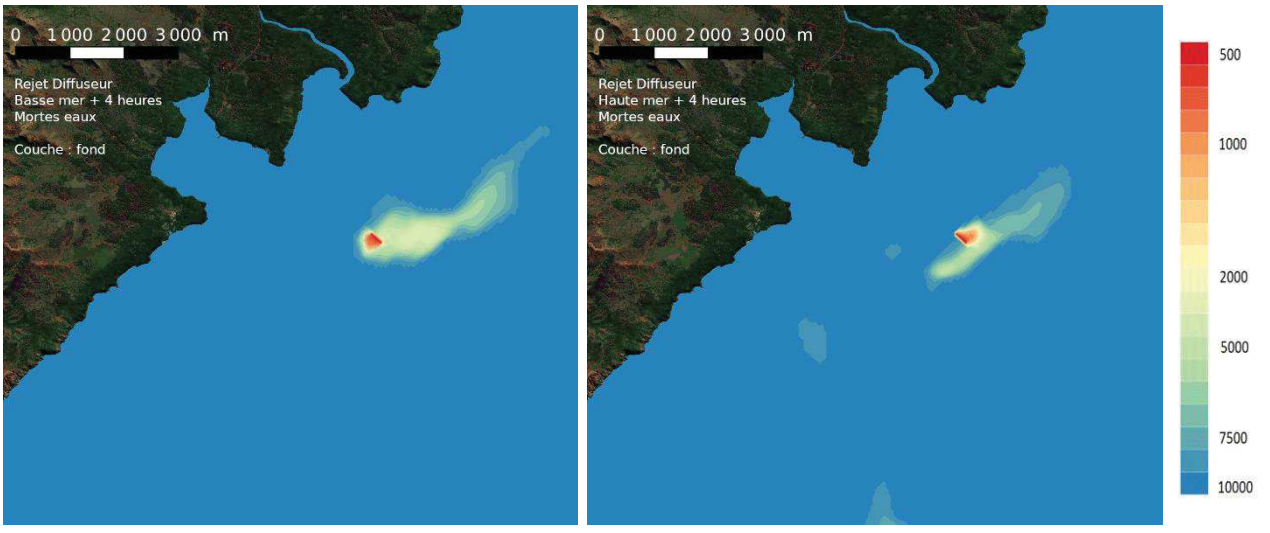


Figure 22 : Diffuseur - Taux de dilution moyen dans la couche de fond (k2) à marée montante et descendante de morte-eau.

D. POURCENTAGES D'OCCURRENCE DES TAUX DE DILUTION (1.000, 2.000, 5.000 & 10.000)

Le calcul des « *pourcentages d'occurrence* » pour un taux de dilution de l'effluent permet de rendre compte du niveau d'exposition du milieu à une concentration donnée, cette valeur étant variable significativement, dans le temps et l'espace. En effet, le milieu n'est pas en permanence soumis à des effluents dont le degré de dilution est constant, principalement en raison des mécanismes de dispersion mis en place par la marée et la météorologie du moment ; ces deux phénomènes montrant, par nature, une importante variabilité.

En résumé, avec un débit de 1.884 m^3/h, l'occurrence moyenne des taux de dilution 1.000, 2.000, 5.000 et 10.000 a été calculée pour chacune des deux quinzaines du mois d'octobre 2013, à des fins de comparaisons. Ces résultats ont été spatialisés et sont représentés dans les Figure 23, Figure 24, Figure 25 et Figure 26. Ainsi, pour les 3 couches (k30, k15 et k2), les principales conclusions pour les 4 taux de dilution sont les suivantes :

- **taux de dilution moyens >1.000** (Figure 23) : Leur occurrence est très proche de 100% du temps, ils sont donc quasiment toujours observés, quelle que soit la couche modélisée et la quinzaine du mois d'octobre, comme le montrent les profils de dilution étudiés. Ainsi, ce constat traduit que la colonne d'eau n'est jamais impactée par des effluents dont le taux de dilution est inférieur à 1.000, c'est à dire exposée à une surconcentration supérieure à 1 µg/L (avec un terme source de 1 mg/L dans l'effluent) ;
- **taux de dilution moyens >2.000** (Figure 24) : Ils sont quasiment toujours observés (occurrence ≈ 100%) dans les couches de surface (k30) et intermédiaire (k15). A l'inverse, dans les eaux de fond (k2), et pour les deux quinzaines du mois d'octobre simulées, l'occurrence semble comprise autour de 10%, au maxima. Il y a donc une surconcentration maximale calculée de 0,5 µg/L pendant 90% du temps. Ce pourcentage n'est toutefois calculé qu'à la verticale exacte de chacun des 10 trous et pour une aire très réduite de quelques mètres, exclusivement autour de chacun d'eux ;
- **taux de dilution moyens >5.000** (Figure 25) : A quelques exceptions près de la deuxième quinzaine d'octobre, ces taux sont quasiment toujours observés (occurrence ≈ 100%) dans les couches de surface (k30) et intermédiaire (k15), inversement à la première quinzaine durant laquelle les taux sont nettement supérieurs. Dans les eaux de fond (k2) et pour les deux quinzaines simulées, l'occurrence semble s'inscrire autour de 50%, à maxima. Ce pourcentage n'est toutefois calculé qu'à la verticale de chacun des 10 trous et pour une aire très réduite de quelques mètres de diamètre. Cependant, dans un rayon de 200 mètres environ autour du point d'exhaure, l'occurrence augmente jusqu'à 75% environ, le pourcentage étant encore plus haut (>85%) dans des lentilles d'effluent de plusieurs centaines de mètres occupant chacune des 3 couches (k30, k15 et k2). Ces poches correspondent probablement aux effets combinés des Alizés et de la période de marée de morte-eau de la deuxième quinzaine d'octobre ;
- **taux de dilution moyens >10.000** (Figure 26) : A minima durant la première quinzaine, une occurrence de 50% du temps, ce taux est toujours observable autour du cap Ndoua. De part et d'autre de ce dernier, l'occurrence augmente rapidement quelle que soit la couche (k30, k15 et k2). Toutefois avec la profondeur, l'occurrence diminue, ainsi à mi-profondeur au Sud du cap Ndoua, elle n'atteint plus qu'environ 25% du temps. Dans la couche de fond, l'occurrence est de seulement 10%, mais à la verticale de chacun des 10 trous et des cônes respectifs d'expansion horizontale des effluents, en lien avec les mouvements de marée.

Pour la deuxième quinzaine, l'occurrence est bien plus faible dans l'ensemble du domaine. Ainsi, dans la couche de fond, et plus précisément, à la verticale de chacun des 10 trous pour un secteur limité à une centaine de mètres pour chacun d'eux, l'occurrence est quasiment nulle (<5%). Au-delà, l'occurrence est de l'ordre de 30% à l'intérieur des cônes respectifs d'expansion horizontale des effluents, en lien avec les mouvements de marée. Entre le cap Ndoua et la pointe Méhoué, le long de la ligne de côte, une veine d'eau de largeur variable est également concernée à raison de 25% du temps, par ces effluents dilués à un taux supérieur à 10.000. Ce résultat traduit que les surconcentrations dans les masses d'eau de la zone d'études seront, à maxima, égales à 0,01 µg/L durant 75% du temps.

Ce qu'il faut retenir : Les niveaux de surconcentration amenés par les effluents sont de l'ordre de 1,0 µg/L et ils ne concernent que la couche de fond d'importance métrique (k2) en contact immédiat avec le rejet ; ils sont au maximum d'environ 0,5 µg/L pour le reste de la colonne d'eau (k15 et k30), pour des instants précis en relation avec la conjonction de conditions hydro-climatiques. Ces surconcentrations maximales seront d'autant plus fréquemment atteintes que la dynamique du système sera faible, c'est-à-dire, particulièrement pendant les étales de marées basses et hautes combinées à des périodes de morte-eau et installation de régimes d'Alizés.

A titre de comparaison, au niveau du diffuseur, dans la couche de fond (k2), le taux de dilution n'est que de 400, ce qui induit une surconcentration théorique de 2,5 µg/L en permanence ; au moment des renverses de courants, notamment de morte-eau, le panache remonte en surface avec un de taux de dilution qui se maintient à environ 1.000.

Tx >1.000 : Pourcentage d'occurrence

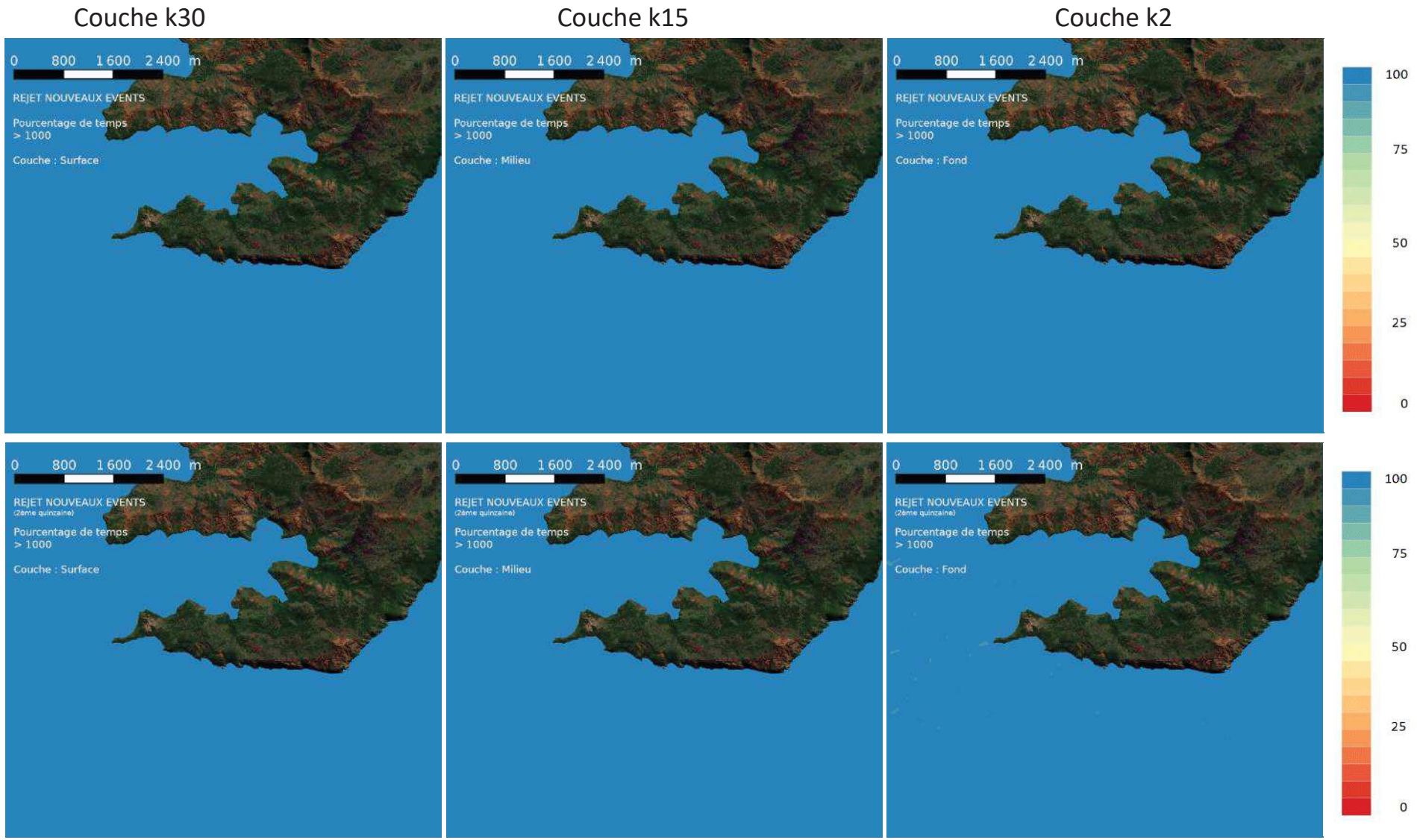


Figure 23 : Pourcentage d'occurrence du taux de dilution >1.000 des effluents pour un débit total de 1.167 m³/h. Valeurs moyennes pour les deux quinzaines d'octobre 2013 calculées individuellement pour chacune des 3 couches k30, k15 et k2.

Tx >2.000 : Pourcentage d'occurrence

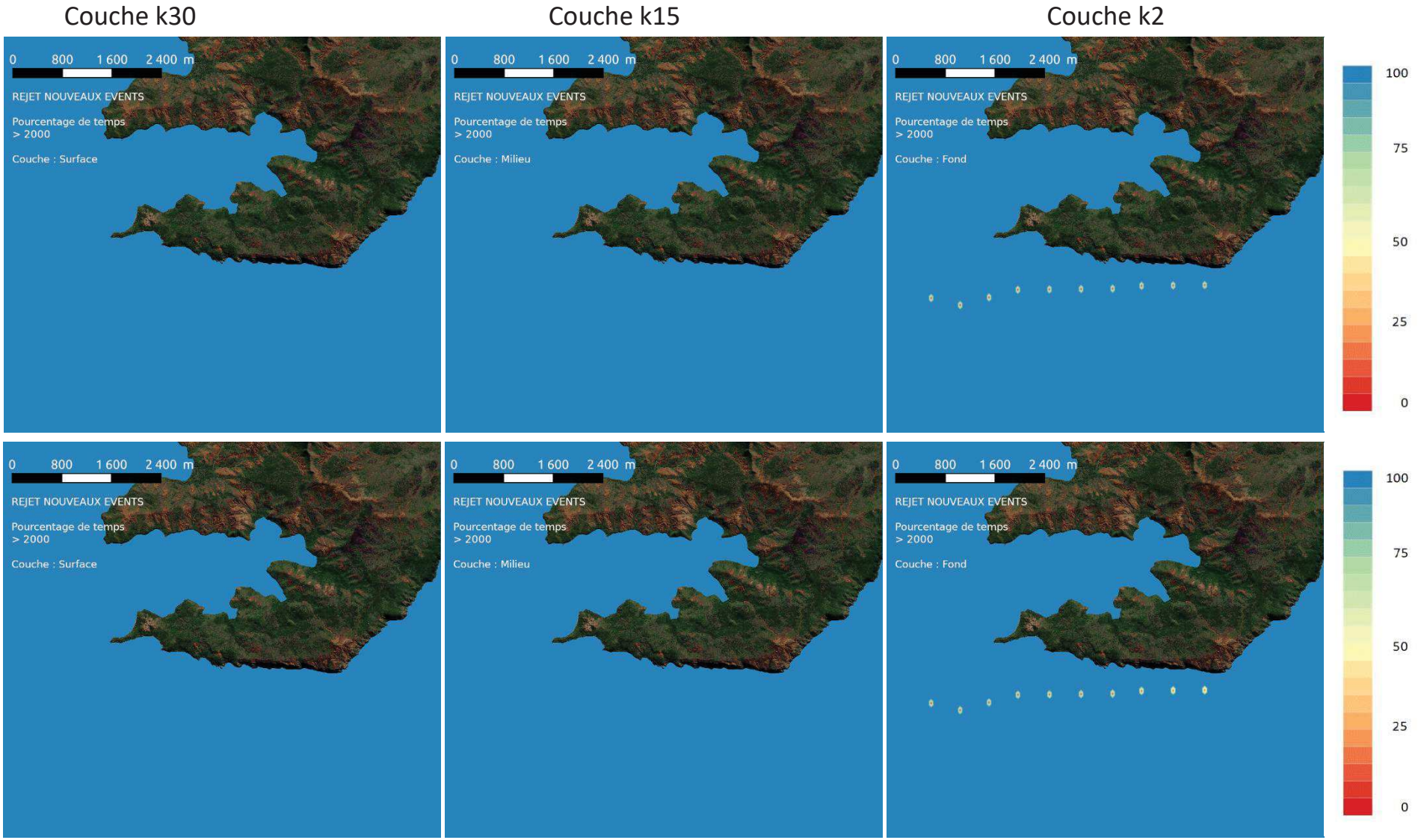


Figure 24 : Pourcentage d'occurrence du taux de dilution >2.000 des effluents pour un débit total de 1.167 m³/h. Valeurs moyennes pour les deux quinzaines d'octobre 2013 calculées individuellement pour chacune des 3 couches k30, k15 et k2.

Tx >5.000 : Pourcentage d'occurrence

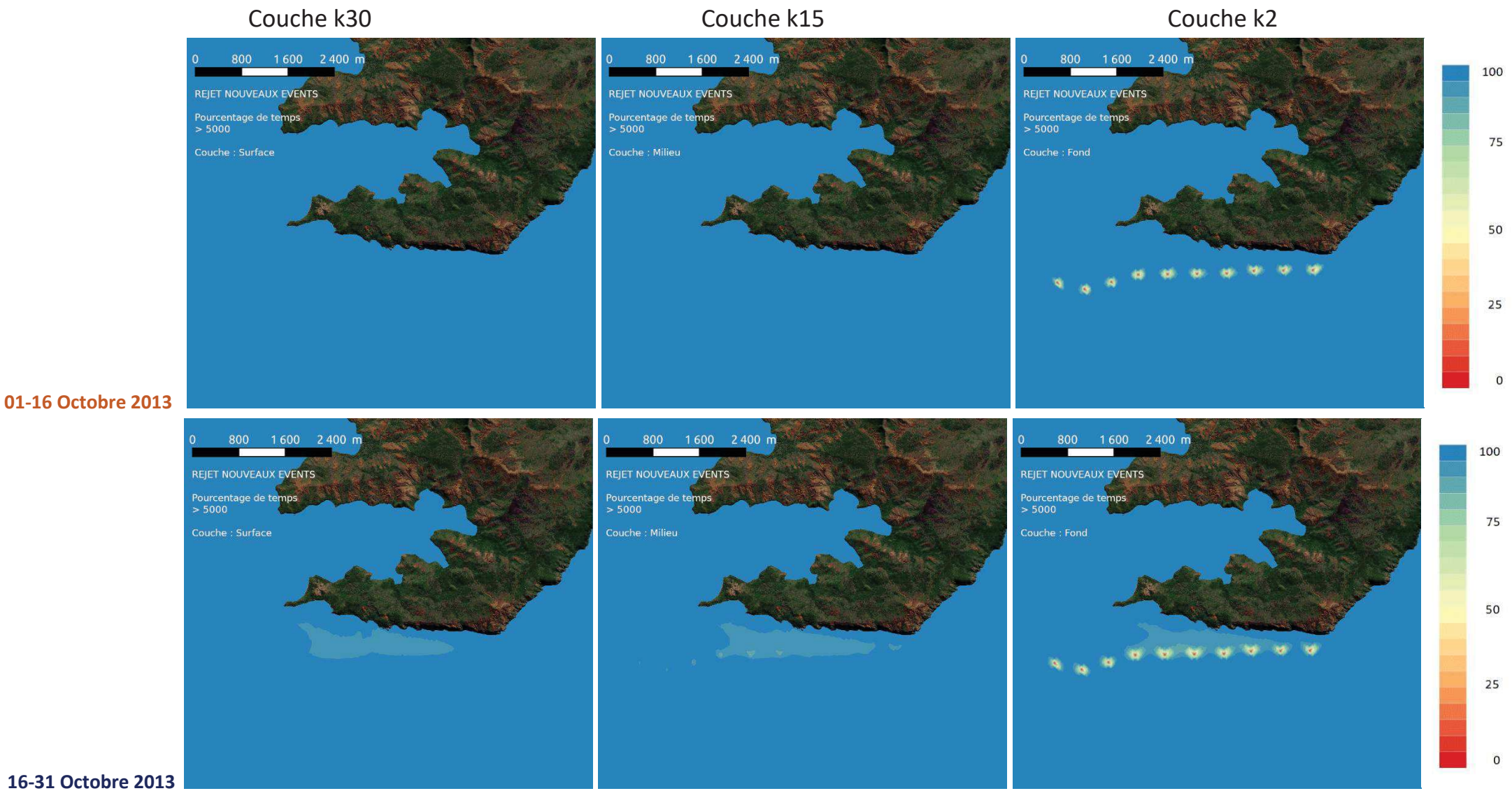


Figure 25 : Pourcentage d'occurrence du taux de dilution >5.000 des effluents pour un débit total de 1.167 m³/h. Valeurs moyennes pour les deux quinzaines d'octobre 2013 calculées individuellement pour chacune des 3 couches k30, k15 et k2.

Tx >10.000 : Pourcentage d'occurrence

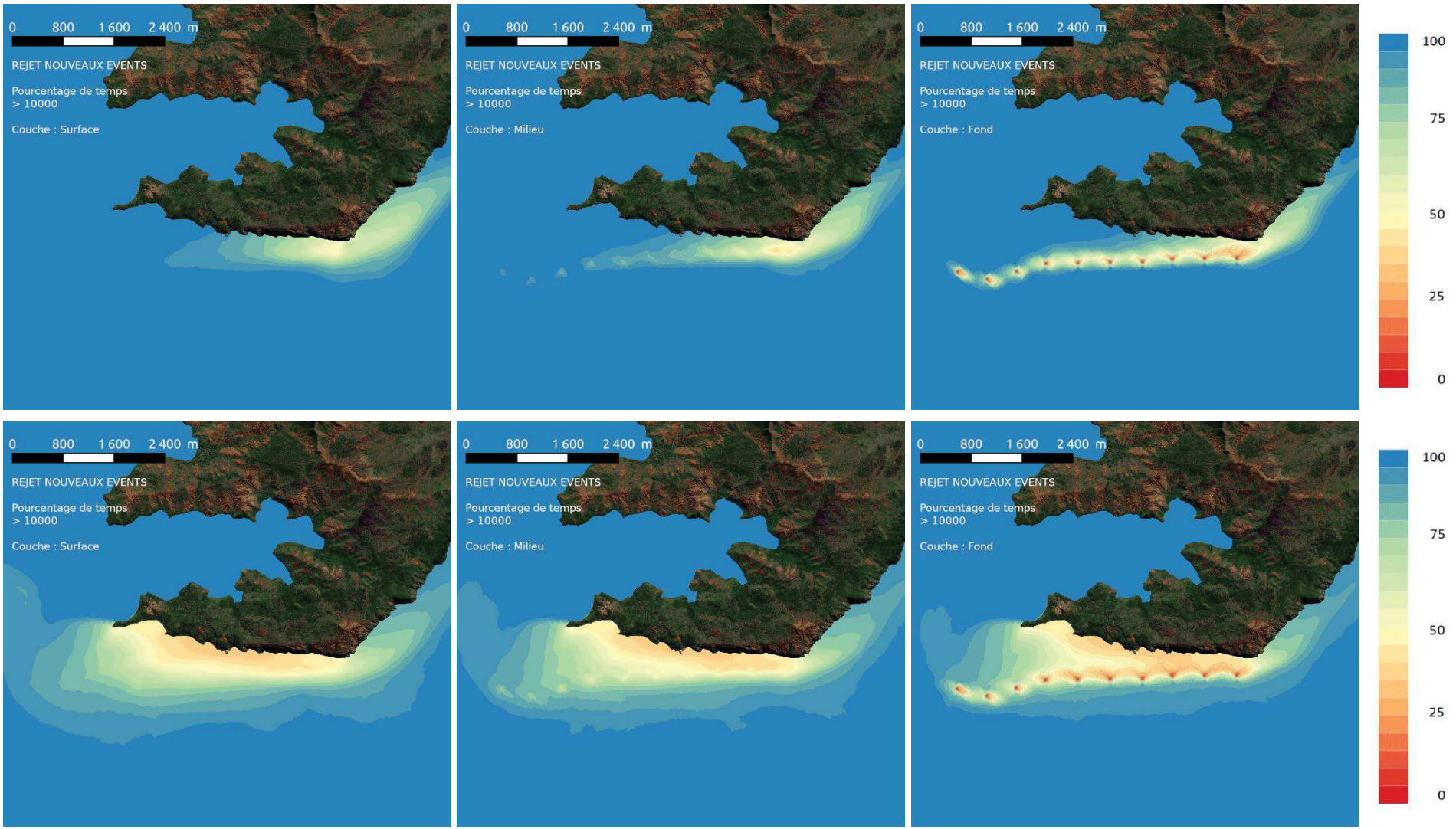


Figure 26 : Pourcentage d'occurrence du taux de dilution >10.000 des effluents pour un débit total de 1.167 m³/h. Valeurs moyennes pour les deux quinzaines d'octobre 2013 calculées individuellement pour chacune des 3 couches k30, k15 et k2.

E. COUPES TRANSVERSALES « COTE-LARGE »

Les coupes transversales « côte-large » ont été réalisées pour illustrer les pourcentages d'occurrence des taux de dilution >2.000, >5.000 et >10.000 dans la colonne d'eau pour les deux quinzaines du mois d'octobre 2013 au niveau des trous 2 et 8 du pipe-line (Figure 27 et Figure 28). Les conclusions sont les suivantes :

- **Trou numéro 2** : Les coupes relatives aux deux quinzaines du mois d'octobre montrent que des effluents dillués à moins de 2.000, c'est-à-dire introduisant une surconcentration supérieure à 0,5 µg/L ne sont pas observés entre le pipe-line et la ligne de côte, exception faite de l'envionnemennt immédiat de l'exhaure pendant au minimum 90% du temps . Pour les taux de dilution >5.000, la différence entre les deux quinzaines n'est quasiment pas perceptible, seul l'environnement immédiat du trou est concerné par des niveaux de surconcentrations maximums de 0,2 µg/L de manière quasi-permanente. A l'inverse, pour les taux >10.000, leur occurrence est notablement plus faible durant la deuxième quinzaine entre le pipe-line et la ligne de côte ; celle-ci diminuant à mesure que l'on s'en rapproche (40% du temps). En d'autres termes, les surconcentrations maximales de 0,1 µg/L seront plus fréquentes le long de la côte et paradoxalement dans les couches de surface en raison de la remontée du panache.

- **Trou numéro 8** : Comme pour le trou numéro 2, les coupes relatives aux deux quinzaines du mois d'octobre montrent que des effluents dilués à un taux >2.000, c'est-à-dire introduisant une surconcentration supérieure à 0,5 µg/L ne sont pas observés pour l'ensemble du milieu marin. Il en est de même pour les taux de dilution >5.000, la différence entre les deux quinzaines est cependant dicernable sur la partie inférieure du talus récifal. Ailleurs, seul l'environnement immédiat du trou est concerné par des niveaux de surconcentrations maximums de 0,2 µg/L. De même que pour le trou 2, l'occurrence des taux >10.000 est notablement plus faible durant la deuxième quinzaine dans la zone comprise entre le pipe-line et la ligne de côte ; celle-ci diminuant à moins de 40% du temps le long de la partie profonde adossée à la la pente recifale. Proche de la surface, l'occurrence augmente à environ 50% où les surconcentrations maximales de 0,1 µg/L sont calculées 1 jour sur 2 pour la deuxième quinzaine seulement.

Ce qu'il faut retenir : Il existe un lien évident entre le degré de développement des panaches d'effluent et l'intensité hydrodynamique combinée aux conditions hydro-climatiques. En effet, durant la deuxième quinzaine, les courants faibles (morte-eau) sont plus (trou 8) ou moins (trou 2) perturbés par les reliefs sous-marins de cette côte, diminuant ainsi le transport latéral au profit de la diffusion verticale. A l'inverse, les forts courants, transportent latéralement les panaches qui se dilulent avec la distance parcourue avec la veine d'eau.

Coupes transversales « côte-large »

D = 1.167 m3/h et T= 40°C (01-16 oct 2013)

D = 1.167 m3/h et T = 40°C (16—31 oct 2013)

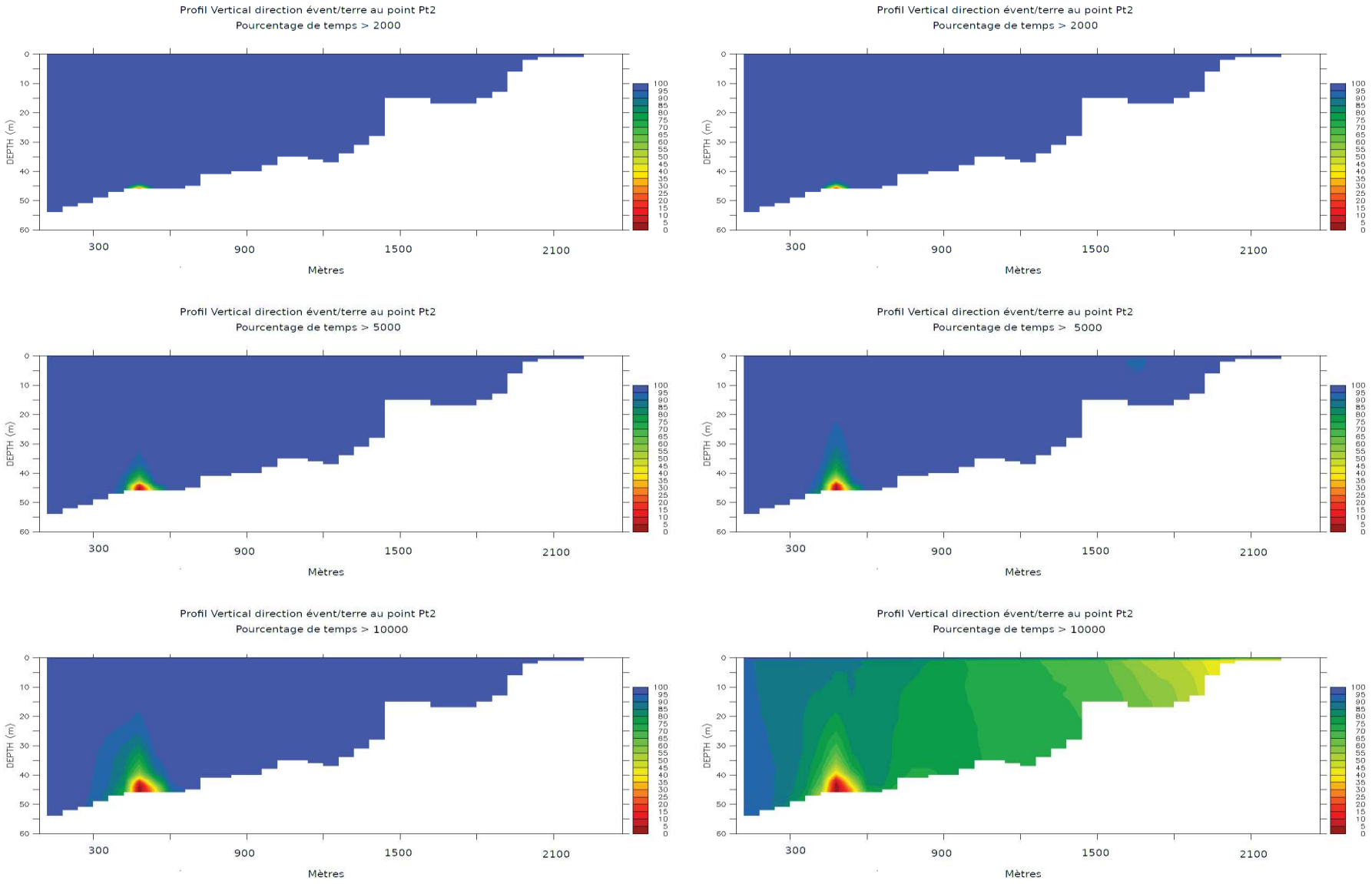
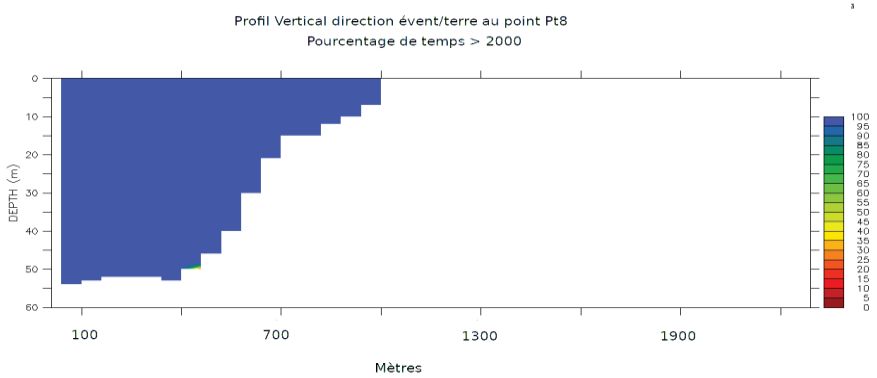
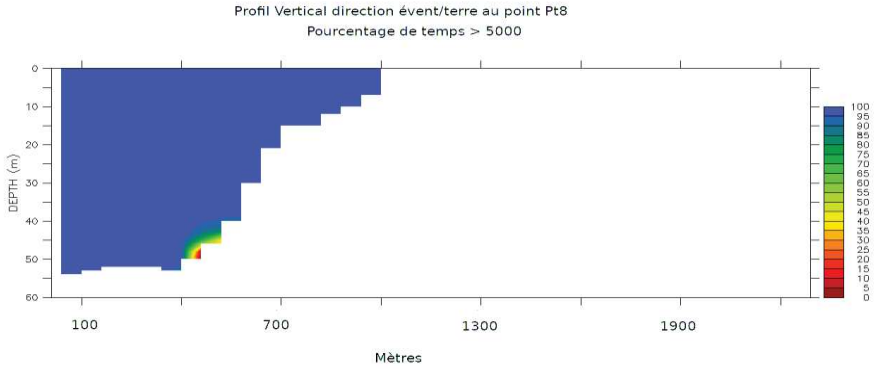


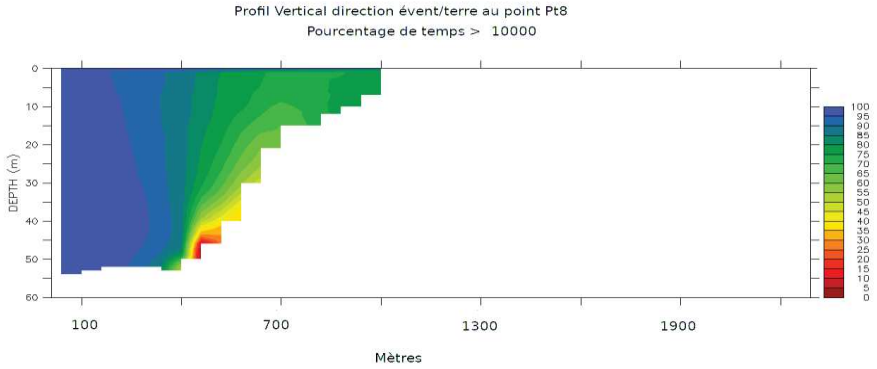
Figure 27 : Coupes transversales entre le pipe-line et la ligne de côte. Comparaison des pourcentages d'occurrence des taux de dilution >2.000, >5.000 et >10.000 pour un débit total de 1.167 m³/h. Calculs menés au niveau des trous 2 (129 m³/h) et 8 (108 m³/h) pour les deux quinzaines du mois d'octobre.

Coupes transversales « côte-large »

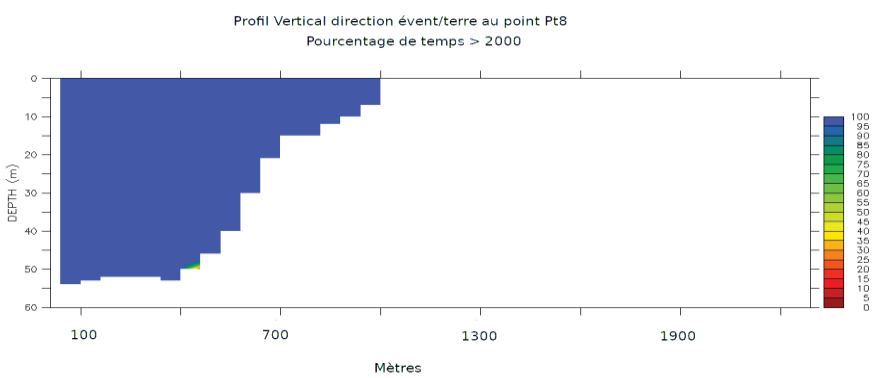
D = 1.167 m3/h et T= 40°C (01-16 oct 2013)

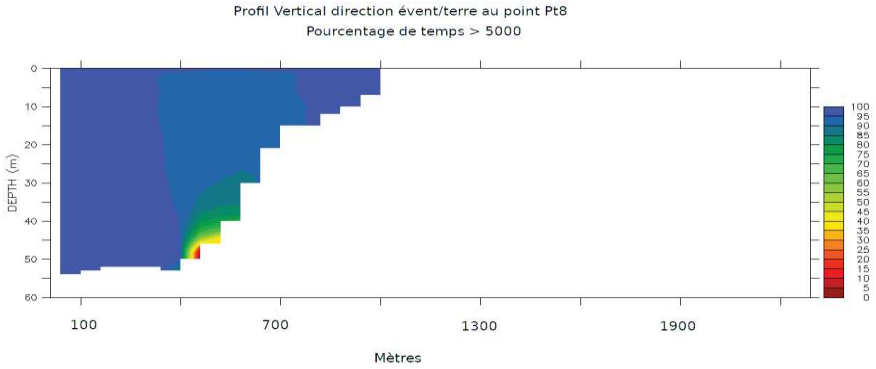






D = 1.167 m3/h et T = 40°C (16—31 oct 2013)





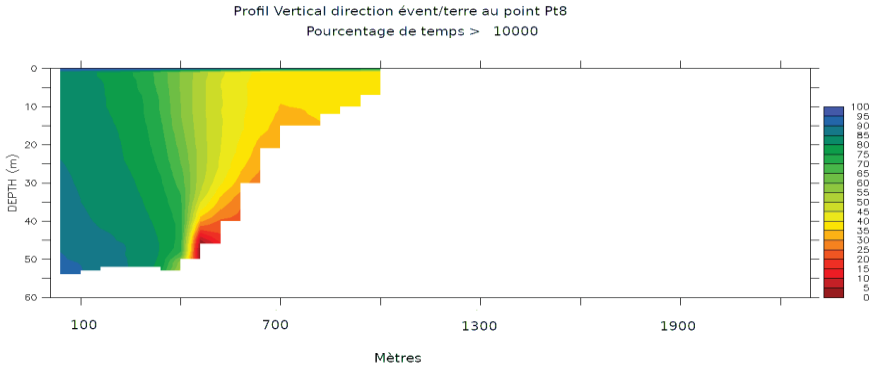


Figure 28 : Coupes transversales entre le pipe-line et la ligne de côte. Comparaison des pourcentages d'occurrence des taux de dilution >2.000, >5.000 et >10.000 pour un débit total de 1.167 m³/h. Calculs menés au niveau des trous 2 (129 m³/h) et 8 (108 m³/h) pour les deux quinzaines du mois d'octobre.

IV. CONCLUSIONS

Pour optimiser le contrôle du niveau d'eau dans le parc KO2, l'industriel a revu sa capacité de rejet des effluents traités, notamment en envisageant d'augmenter les volumes évacués dans le canal de la Havannah. Une des solutions consisterait à percer 10 nouveaux trous le long du pipe-line, entre la pointe Méhoué et le cap Ndoua. Le débit total envisagé serait de 1.167 m^3/h, portant ainsi le volume global déversé dans le canal de la Havannah à 3.000 m^3/h, limite autorisée. Des simulations ont été réalisées pour visualiser le comportement du panache de dilution des effluents sous l'influence de facteurs hydro-climatiques et marégraphiques.

Cette étude comporte donc un complément d'information qui a été demandé afin de préciser l'influence des paramètres hydro-climatiques et marégraphiques, conjointement à la nouvelle augmentation du débit d'effluent et de température (40°C), au niveau des couches de fond (k2) et de surface (k30).

Pour parvenir à ces résultats, la modélisation a été conduite en conditions réelles de marées (marégramme d'octobre 2013) et de météorologie (mois modèle météorologique d'octobre 2013) ; ce mois modèle offrant la particularité d'être composé de deux quinzaines bien distinctes composées des régimes météorologiques caractéristiques de la Nouvelle-Calédonie (Figure 29). En effet, la première quinzaine a été soumise à des vents variables faibles à moyens et des régimes instables tourbillonnants. La deuxième quinzaine a vu s'installer progressivement un régime habituel d'Alizés de SE. Pour ces deux jeux de conditions, Il a donc été réalisé :

- Un suivi temporel des concentrations en facteurs de dilution ;
- Une représentation de l'évolution des facteurs de dilution moyens ;
- Des calculs de pourcentages d'occurrence par rapport à des limites de dilution fixées.

En termes de courantologie, le modèle a montré que dans la partie Est du pipe-line, les courants moyens, tant à marée montante que descendante, sont constants, d'intensité moyenne (0,25 m/s) et toujours orientés selon un axe SW-NE. Dans leur ensemble, les courants prennent une direction Sud pouvant éloigner en direction du large les effluents sortant par les trous du pipe-line, notamment à mi-marée descendante. De part et d'autre du cap Ndoua, qui constitue une barrière naturelle, les courants sont plus variables et faibles ; A l'Est de la pointe Méhoué, des veines d'eau occasionnellement entrantes vers la baie du Prony, à marée montante, sont mises en évidence.

Concernant la dispersion des effluents sortant des 10 trous, les profils verticaux temporels et les cartes de dilution spatiales ont montré que :

- Durant la première quinzaine, les panaches sont individualisés, ne se chevauchent pas et sont pratiquement confinés et transportés dans les eaux profondes ;
- Durant la deuxième quinzaine, sous l'effet combiné du régime d'Alizé et des marées de morte-eau, les panaches se superposent pour souvent n'en former qu'un seul qui peut s'étaler du Cap N'Doua à la Pointe Méhoué ; tant en surface qu'en profondeur son extension la plus importante est calculée pour les conditions de mortes-eaux.

D'une manière globale, les taux de dilution sont de 1.363 ±108, ce qui correspond à une surconcentration maximale de 1 µg/l dans le milieu ; cette limite de dilution permet de garantir la préservation de l'environnement marin des impacts industriels, selon l'expertise du CNRS (Massabuau

et al., 2006[2]). Pour la première quinzaine, les calculs montrent que ce taux de dilution minimal est observable dans la couche de fond (k2) et uniquement sur une aire restreinte à la verticale de chacun des 10 trous ; pour la deuxième quinzaine, toute la colonne d'eau est concernée par les effluents, mais avec ce taux de dilution minimal (Figure 29) ; les mécanismes à l'origine étant liés aux conditions combinées d'Alizés et de morte-eau de la fin du mois modèle d'octobre 2013. A l'inverse, les courants de vive-eau, assurent le transport latéralement sur une grande distance, limitant ainsi drastiquement la remontée du panache.

D'un point de vue quantitatif, ces taux de dilution amènent à considérer que la surconcentration ajoutée dans l'eau de mer serait au maximum de 0,5 µg/L, pour un terme source fixé à 1 mg/L, et dans la couche de fond (k2) uniquement. A titre de comparaison, la concentration naturelle en Mn dans le canal de la Havannah est d'environ 0,08 ± 0,03 µg/L avec des maximas ponctuels à la station St19 (Bonne Anse) entre 0,16 et 0,24 µg/L en fonction de la saison ; une dilution 100.000 signifie que la surconcentration est égale à seulement 0,01 µg/L ; cette quantité correspond à la limite de quantification (LQ) des techniques d'analyse actuelles les plus performantes.

En conclusions :

- Pour chacun des 10 trous additionnels projetés, les débits d'effluent individuels semblent bien absorbés par les masses d'eau océaniques qui circulent dans le canal de la Havannah, quelles que soient la force de la marée et la météorologie ;
- Le long de la ligne de côte, la présence d'un effluent fortement dilué (Tx>10.000) est calculable seulement pour certaines conjonctions, comme des marées de morte-eau et des régimes d'Alizés modérés (Figure 27 et Figure 28) ;
- Ces résultats de simulation permettent d'envisager l'optimisation de rejet suggérée (1.167 m^3/h), y compris lorsque la configuration qui combine des conditions hydro-climatiques et marégraphiques (Alizés et régime de morte-eau) sont défavorables pour les mécanismes de dispersion des effluents.

[2] Massabuau JC, Campbell P, Monnin C et Roux B, 2006 : Etude de l'impact potentiel du rejet de l'effluent Goro Nickel dans le lagon sud de Nouvelle – Calédonie. 98p.

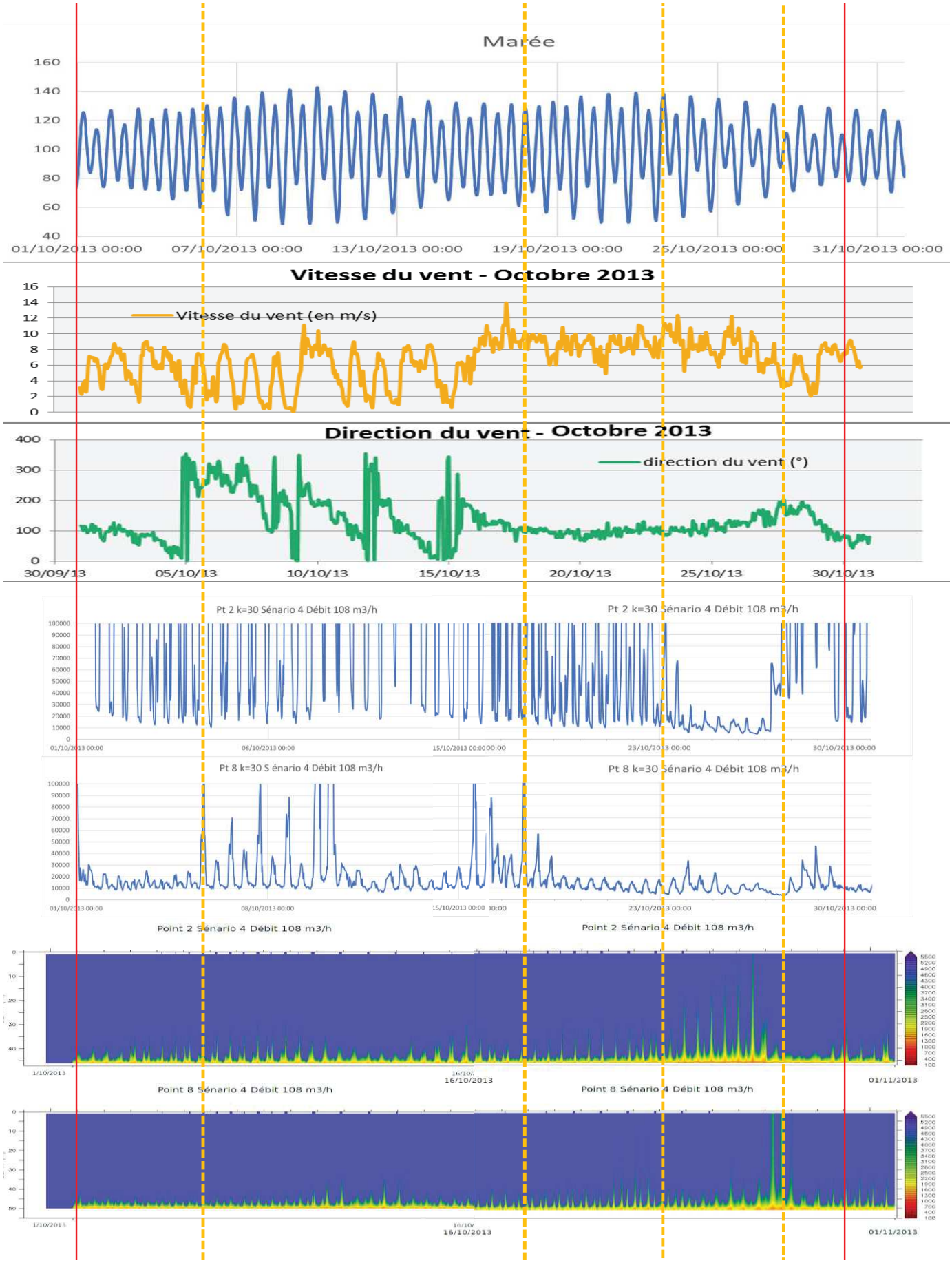


Figure 29 : Compilation des principaux résultats de simulation et juxtaposition des caractéristiques hydro-climatiques du « mois météorologique modèle » d'octobre 2013.

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : CARTE DU TRACE DU PIPE-LINE ET DU POSITIONNEMENT DES 10 EVENTS SUPPLEMENTAIRES SIMULES (SCENARIO-4) POUR L'EVACUATION DES EFFLUENTS INDUSTRIELS DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH. 7
FIGURE 2 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE D'UNE GRILLE DE MODELISATION CONSTITUEE DE MAILLES ET DETAIL DES DIMENSIONS D'UNE MAILLE DE LA GRILLE DE MODELISATION 8
FIGURE 3 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DU CHAMP PROCHE DU REJET ET DE L'EFFET DE SON ECOULEMENT SUR LE FLUIDE AMBIANT 9
FIGURE 4 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE LA DIFFUSION DE LA TEMPERATURE DANS LA MAILLE CONTENANT LE REJET D'EAU, PAR EXEMPLE, A TEMPERATURE T_0 DIFFERENTE DE CELLE DU FLUIDE AMBIANT T_A, DANS LE CAS DE MODELISATIONS SPECIFIQUES AU CHAMP PROCHE ET AUX CHAMPS MOYEN ET LOINTAIN. 9
FIGURE 5 : EMPRISES ET RESOLUTIONS DES DIFFERENTES GRILLES IMBRIQUEES, PROFONDEUR EN METRES 11
FIGURE 6 : REPRESENTATION DU RAFFINEMENT (RESSERREMENT) EN SURFACE ET AU FOND DES COORDONNEES SIGMA DANS LA ZONE D'ETUDE ; POSITION DES COUCHES D'INTERET K2 (ORANGE), K15 (BLEU) ET K30 (VERTE) D'EXTRACTION DES DONNEES ISSUES DE LA MODELISATION HYDRODYNAMIQUE 11
FIGURE 7 : COMPARAISON DES SIGNAUX DE COURANTS DE MAREE ISSUS DES MESURES ET DU MODELE EN CM/S 13
FIGURE 8 : ENREGISTREMENTS DES VITESSE (FF) ET DIRECTION (DD) DU VENT A LA STATION DE IORO EN OCTOBRE 2013. 14
FIGURE 9 : ELEVATION RELATIVE DE LA SURFACE DE L'EAU DUE A LA MAREE LORS DE LA PERIODE DE SIMULATION D'OCTOBRE 2013 (METRES). ALTERNANCE DE DEUX CYCLES ASTRONOMIQUES SUCCESSIFS DE VIVES-EAUX (VE) ET DE MORTES-EAUX (ME). 15
FIGURE 10 : MOYENNES DES TEMPERATURES (°C) ENREGISTREES PAR STATIONS. CALCULS INTEGRES SUR LES 10 ANNEES DE SUIVI ET SUR LA VERTICALE, EN SAISON FRAICHE (EN BLEU) ET EN SAISON CHAUDE (EN ROUGE) ; N=20/STATION. 17
FIGURE 11 : DIMINUTION DE LA TEMPERATURE DE L'EFFLUENT AVEC LA DISTANCE VERTICALE DU PANACHE DE DILUTION. CALCULS POUR DES COURANTS DE 0,02 NTS, 0,6 NTS ET 0,1,6 NTS CORRESPONDANT A DES CONDITIONS D'ETALS DE MAREE, DE COURANTS MOYENS ET DE COURANT FORT DE MI-MAREE. 17
FIGURE 12 : COURANTOLOGIE GENERALE DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH POUR LES EAUX DE SURFACE (K30) ET DE FOND (K2) POUR UN MEME MOMENT DE MAREE (HM+2H) ET DES CONDITIONS HYDRO-CLIMATIQUES IDENTIQUES (DOUILLET P, 2001). MISE EN EVIDENCE DE LA STRATIFICATION DES DYNAMIQUES (DEPHASAGE) ENTRE LES DEUX DIFFERENTES COUCHES D'EAU. 21
FIGURE 13 : CARTES DES COURANTS MOYENS DE FLOT DANS LA COUCHE DE FOND (K2) DU CANAL DE LA HAVANNAH. TRACE DU PIPE-LINE SCHEMATISE PAR LA LIGNE JAUNE. 22
FIGURE 14 : CARTES DES COURANTS MOYENS DE JUSANT DANS LA COUCHE DE FOND (K2) DU CANAL DE LA HAVANNAH. TRACE DU PIPE-LINE SCHEMATISE PAR LA LIGNE JAUNE. 23
FIGURE 15 : PROFILS DE DILUTION TEMPORELLE EN SORTIE DES TROUS 2, 8 (1.167 M^3/H) ET LES ORIFICES 25 A 35 SUR LES 57 ENCORE OPERATIONNELS DU DIFFUSEUR (1.884 M^3/H) POUR LES PERIODES DU 01-16 OCTOBRE (GAUCHE) ET DU 16-31 OCTOBRE (DROITE). 28
FIGURE 16 : PROFILS DE DILUTION EN SORTIE DU TROU NUMERO 2 POUR LES PERIODES DU 01-16 OCTOBRE (GAUCHE) ET DU 16-31 OCTOBRE (DROITE). CALCULS EFFECTUES POUR LES COUCHES DE FOND (K2), INTERMEDIAIRE (K15) ET DE SURFACE (K30) POUR UN DEBIT TOTAL DE 1.167 M3/H. 29

FIGURE 17 : PROFILS DE DILUTION EN SORTIE DU TROU NUMERO 8 POUR LA PREMIERE QUINZAINE (GAUCHE) ET LA DEUXIEME QUINZAINE (DROITE) DU MOIS D'OCTOBRE. CALCULS EFFECTUES POUR COUCHES DE FOND (K2), INTERMEDIAIRE (K15) ET DE SURFACE (K30) POUR UN DEBIT DE 1.167 M^3/H. 30
FIGURE 18 : PROFILS DE DILUTION EN SORTIE DE L'ORIFICE 30 DU DIFFUSEUR (DES 57 OPERATIONNELS AU MOMENT DE L'ETUDE) POUR LA PREMIERE QUINZAINE (GAUCHE) ET LA DEUXIEME QUINZAINE (DROITE) DU MOIS D'OCTOBRE. CALCULS EFFECTUES POUR COUCHES DE FOND (K2), INTERMEDIAIRE (K15) ET DE SURFACE (K30) POUR UN DEBIT DE 1884 M3/H. 31
FIGURE 19 : TAUX DE DILUTION MOYEN TYPE DANS LES COUCHES DE SURFACE (K30) ET DE FOND (K2) A MAREE MONTANTE, HORS REGIME D'ALIZES (GAUCHE) ET PAR ALIZES (DROITE). 34
FIGURE 20 : TAUX DE DILUTION MOYEN TYPE DANS LES COUCHES DE SURFACE (K30) ET DE FOND (K2) A MAREE DESCENDANTE, HORS REGIME D'ALIZES (GAUCHE) ET PAR ALIZES (DROITE). 36
FIGURE 21 : DIFFUSEUR - TAUX DE DILUTION MOYEN DANS LA COUCHE DE SURFACE (K30) A MAREE MONTANTE ET DESCENDANTE DE MORTE-EAU. 37
FIGURE 22 : DIFFUSEUR - TAUX DE DILUTION MOYEN DANS LA COUCHE DE FOND (K2) A MAREE MONTANTE ET DESCENDANTE DE MORTE-EAU. 37
FIGURE 23 : POURCENTAGE D'OCCURRENCE DU TAUX DE DILUTION >1.000 DES EFFLUENTS POUR UN DEBIT TOTAL DE 1.167 M^3/H. VALEURS MOYENNES POUR LES DEUX QUINZAINES D'OCTOBRE 2013 CALCULEES INDIVIDUELLEMENT POUR CHACUNE DES 3 COUCHES K30, K15 ET K2. 40
FIGURE 24 : POURCENTAGE D'OCCURRENCE DU TAUX DE DILUTION >2.000 DES EFFLUENTS POUR UN DEBIT TOTAL DE 1.167 M^3/H. VALEURS MOYENNES POUR LES DEUX QUINZAINES D'OCTOBRE 2013 CALCULEES INDIVIDUELLEMENT POUR CHACUNE DES 3 COUCHES K30, K15 ET K2. 41
FIGURE 25 : POURCENTAGE D'OCCURRENCE DU TAUX DE DILUTION >5.000 DES EFFLUENTS POUR UN DEBIT TOTAL DE 1.167 M^3/H. VALEURS MOYENNES POUR LES DEUX QUINZAINES D'OCTOBRE 2013 CALCULEES INDIVIDUELLEMENT POUR CHACUNE DES 3 COUCHES K30, K15 ET K2. 42
FIGURE 26 : POURCENTAGE D'OCCURRENCE DU TAUX DE DILUTION >10.000 DES EFFLUENTS POUR UN DEBIT TOTAL DE 1.167 M^3/H. VALEURS MOYENNES POUR LES DEUX QUINZAINES D'OCTOBRE 2013 CALCULEES INDIVIDUELLEMENT POUR CHACUNE DES 3 COUCHES K30, K15 ET K2. 43
FIGURE 27 : COUPES TRANSVERSALES ENTRE LE PIPE-LINE ET LA LIGNE DE COTE. COMPARAISON DES POURCENTAGES D'OCCURRENCE DES TAUX DE DILUTION >2.000, >5.000 ET >10.000 POUR UN DEBIT TOTAL DE 1.167 M^3/H. CALCULS MENES AU NIVEAU DES TROUS 2 (129 M^3/H) ET 8 (108 M^3/H) POUR LES DEUX QUINZAINES DU MOIS D'OCTOBRE. 45
FIGURE 28 : COUPES TRANSVERSALES ENTRE LE PIPE-LINE ET LA LIGNE DE COTE. COMPARAISON DES POURCENTAGES D'OCCURRENCE DES TAUX DE DILUTION >2.000, >5.000 ET >10.000 POUR UN DEBIT TOTAL DE 1.167 M^3/H. CALCULS MENES AU NIVEAU DES TROUS 2 (129 M^3/H) ET 8 (108 M^3/H) POUR LES DEUX QUINZAINES DU MOIS D'OCTOBRE. 46
FIGURE 29 : COMPILATION DES PRINCIPAUX RESULTATS DE SIMULATION ET JUXTAPOSITION DES CARACTERISTIQUES HYDRO-CLIMATIQUES DU « MOIS METEOROLOGIQUE MODELE » D'OCTOBRE 2013. 49

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : RECAPITULATIF DES COEFFICIENTS DE CORRELATION ENTRE MESURES ET RESULTATS DU MODELE, POUR DIFFERENTES PERIODES D'ACQUISITION, PROFONDEURS ET COMPOSANTES DE COURANTS. 13
TABLEAU 2 : TABLEAU RECAPITULATIF DES SIMULATIONS ET CONDITIONS DE FORCAGE ENVISAGEES. 15
TABLEAU 3 : VALEURS STATISTIQUES DES CONCENTRATIONS DANS LES COUCHES K30, K15 ET K2 EN FONCTION DE LA QUINZAINE MODELISEE. 32

REFERENCES

Burchard H et Petersen O, 1999. Models of turbulence in the marine environment—A comparative study of two-equation turbulence models. Journal of Marine Systems, vol. 21, no 1-4, p. 29-53

Burchard, H. and Bolding, K. (2001) Comparative analysis of four second-moment turbulence closure models for the oceanic mixed layer. Journal of Physical Oceanography, 31, 1943-1968. doi:10.1175/1520-0485(2001)031<1943:CAOFSM>2.0.CO;2

Deleersnijde E, Beckers JM, 1992. On the Use of the Sigma-coordinate System in Regions of Large Bathymetric Variations. In: Journal of Marine Systems, Vol. 3, no. 4-5, p. 381-390. doi:10.1016/0924-7963(92)90011-V.

Derex P et Douillet P, 2008. Etude sur le comportement, la dispersion et les effets biologiques des effluents industriels dans le lagon sud de la Nouvelle-Calédonie. Modélisation et simulation du transport des formes dissoutes et particulaires : Atlas des courants. Convention de Recherches IRD/Goro-Ni, Convention n° 1124, 83p.

Douillet P, Le Gendre R, 2008. Etude sur le comportement, la dispersion et les effets biologiques des effluents industriels dans le lagon sud de la Nouvelle-Calédonie. Modélisation et simulation du transport des formes dissoutes et particulaires : Modèle hydrodynamique (Notice technique – Validation). Convention IRD/Goro-Ni n°1124, 54 p.

Douillet P, 2001. Atlas hydrodynamique du lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie, Programme d'Evaluation des ressources Marines de la Zone Economique de Nouvelle Calédonie, Rapport IRD/ZoNéCo, 48p.

Drouzy M, Fernandez JM, 2018. Emissaire marin de Vale-NC : Modélisation du panache thermique émis par les 200 évents, en conditions variantes de températures et de débit d'effluent, et vitesse d'entraînement du panache à 0,01, 0,3 et 0,8 m/s. Contrat Vale-NC/AEL n°222-VI-18-P (L12414/0001), 30p.

Drouzy M, Douillet P, Fernandez JM, Pinazo C, 2019. Hydrodynamic time parameters response to meteorological and physical forcings: toward a stagnation risk assessment device in coastal areas. Ocean Dynamics, Springer Verlag, 69, pp.967-987.

Drouzy M, 2019. Etude de l'impact terrigène naturel et anthropique sur un système lagonaire tropical grâce à une approche de Modélisation 3D hydro-sédimentaire liée à un réseau de mesures, Thèse de doctorat. Aix-Marseille.

Fraysse M, 2014. Rôle du forçage physique sur l'écosystème à l'est du Golfe du Lion: modulation de l'impact des apports anthropiques en sels nutritifs et matière organique étudiée par modélisation 3D couplée physique et biogéochimique. 2014. Thèse de doctorat. Aix-Marseille.

Fuchs R, Pinazo C, Douillet P et al., 2013. Modelling ocean–lagoon interaction during upwelling processes in the South West of New Caledonia. Estuarine, Coastal and Shelf Science, vol. 135, p. 5-17.

Jouon A, Douillet P, Ouillon S, et al., 2006. Calculations of hydrodynamic time parameters in a semi-opened coastal zone using a 3D hydrodynamic model. Continental Shelf Research, vol. 26, no 12-13, p. 1395-1415.

Lazure, P. and F. Dumas (2008): An external-internal mode coupling for a 3D hydrodynamical model for applications at regional scale (MARS). Advances in Water Resources, 31, 233-250.

Lazure P, Salomon J-C (1991a) Coupled 2-Dand 3-Dmodeling of coastalhydrodynamics. Oceanol Acta 14(2):173–180.

Ouillon S, Douillet P, Lefebvre JP et al. 2010. Circulation and suspended sediment transport in a coral reef lagoon: The south-west lagoon of New Caledonia. Marine pollution bulletin, vol. 61, no 7-12, p. 269-296.

Ouillon S, Douillet P et Andréfouët, 2004. Coupling satellite data within situ measurements and numerical modeling to study fine suspended-sediment transport: a study for the lagoon of New Caledonia. Coral Reefs, vol. 23, no 1, p. 109-122.

ANNEXE 9 : Evaluation Environnementale au niveau du récif de Prony et du littoral du Cap N'Dua pour l'optimisation du rejet de l'émissaire.

Aqua Terra

Bureau d'études en environnement

PRONY Resources
New Caledonia

Ingénierie de l'Environnement et de la Réhabilitation

EVALUATION ENVIRONNEMENTALE
Au niveau du récif de Prony et du littoral du Cap N'Dua pour l'optimisation du rejet de l'émissaire

SARL AQUA TERRA - Capital : 1 000 000 XPF
[illegible]

Caractéristiques du dossier :

Référence du document		Rap 032-23B_Ver03
Référence du contrat		PO n°L58532/ 0001 du 21/07/23
Numéro de l'affaire		032-23
Client		Prony ResourcesNC
Commune		Mont Dore
Coordonnées (RGNC91-93 Lambert)	**X**	491 550
	Y	200 800
Mots clés		Pr □jet Goro Nickel, communautés récif □les, biocénoses marines, ichtyologie, suivis envi onnementaux, émissaire,manganèse

Suivi des modifications :

N° de version	Transmis à	Action / Etat	Date
00	□□□□ TER □□	En interne: pour relecture pour contrôle qualité	Août2023
01	Prony Resources NC	Rapport remis au □ □□□□(format électronique) Po □r validation de □□ forme	31/08/2023
02	Prony Resources NC	Rappor □remis au Clien □(ormat électronique) Version validée	31/08/2023
03	Prony Resources □□	Rapport remis au Client (format électronique) Compléments suite demandes DIMENC	10/11/2023

Les responsables du suivi des modifications sont :

Maître d'Ouvrage	(Prony Resources NC)
Entreprise	□AQ□A □□□□□)

N° Document	Émis le	Par	Approuvé par	Le
Rap 032-23B_V01	31/08/2023	□□□□ □□□□□	PRNC	31/08/2023
Rap 032-23 B_V02	31 □08/2023	□□□□ □□□□□		
R □p 032-23 B_V03	10 □11/2023	□□□□ □□□□□		

Dans un souci constant de préserver l'environnement, nos rapports sont imprimés sur du papier certifié en recto-verso et nos toners sont éliminés via une filière agréée.

Table des Matières

TABLE DES MATIERES *3*
LISTE DES FIGURES *3*
LISTE DES TABLEAUX *3*
ACRONYMES *3*
1 PREAMBULE *4*
2 ZONE D'ETUDE *5*
3 REVUE BIBLIOGRAPHIQUE / DONNEES DE BASE *6*
3.1 □□□□□□□ □□ P□□JET / □□□□□ □□□□□□ □□□□□□□□ 6
3.2 CO□C□□T□ATI□N □□ □ □□□□□□□□ □□□□ LE □ □□□□□ □ □□□□ 6
3.3 □□□□□□□□□□□□□□ 7
3.4 □□□□□□□□ 8
4 SIMULATION DU PROJET EN SITUATION *9*
4.1 □□□□□□□ □□ □□□□□□□□□□□□□ 9
4□□ □□□□□□□□□□ 10
5 OBSERVATION D'UNE SITUATION COMPARABLE *11*
5.1 □□ □□□□ □□ □□□□□□□□□ □□ □□□□□□□□ □□□□□□ 11
5.2 JUSTI□ICATI□□ □□ □□ □□□ □□□□□□□□□ 11
6 CONCLUSION *12*
7 SOURCES *13*

Liste des Figures

Figure 01 : Localisation de la zone l'étude *5*
Figure 02 : Concentrations en Mn dissous sur la zone d'étude *7*
Figure 03 : Iso-concentrations en Mn dissous du panache de l'effluent sur la zone d'étude (cas le plus défavorable) *9*
Figure 04 : Fréquence d'exposition du milieu à une concentration de 0,2 µg Mn/l - Projet *10*
Figure 05 : Fréquence d'exposition du milieu à une concentration de 0,2 µg Mn/l - Diffuseur *12*

Liste des Tableaux

Tableau 01 : Rapports de base pour cette étude *4*
Tableau 02 : Classement de l'état du milieu marin selon le taux de Mn *6*

Acronymes

ANZECC	: Australian and New Zealand Environment and Conservation Council
CSIRO	: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (organisme gouvernemental australien pour la recherche scientifique)
FSC	: Forest Stewardship Council (Conseil de Soutien de la forêt) - Label socio-environnemental
INERIS	: Institut National de l'Environnement industriel et des RISques
Mn	: Manganèse
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
PEC	: Predictive Environmental Concentration
PEFC	: Programme for the Endorsement of Forest Certification (Programme de reconnaissance des certifications forestières)
PRNC	: Prony Resources Nouvelle-Calédonie

1 Préambule

Dans le cadre d'un projet d'optimisation du débit de l'émissaire marin de Prony Resources New Caledonia (PRNC), la zone de rejet de l'effluent sera en partie modifiée, ce qui nécessitera une étude environnementale pour la mise en conformité réglementaire.

L'objectif de cette étude est de réaliser une évaluation de l'impact de ce nouvel effluent, dans sa zone d'influence, sur le biote.

Pour cela, ce document repose sur 2 rapports majeurs qui sont présentés dans le tableau 01.

Tableau 01 : Rapports de base pour cette étude

SOURCE	RAPPORT	DETAIL
R41	Fernandez JM, 2023. Modélisation de la dispersion des effluents dans le Canal de la Havannah ; perçage de 10 trous supplémentaires entre C12 et C21 (scénario-4) : Simulations longue durée (1 mois) à un débit total de 1 167 m^3/h. Contrat AEL/PR-NC 682-PR-23-P / L57438-000. 16/08/2023. 50p	Ce rapport présente une simulation du rejet avec 10 nouveaux trous le long du pipe-line pour rejeter au total 1 167 m^3/h. Il permet de visualiser le comportement physique des effluents dans le temps et de fournir : • Un suivi temporel des concentrations en facteurs de dilution • Une représentation de l'évolution des facteurs de dilution moyens • Des calculs de pourcentages d'occurrence par rapport à des limites de dilution fixées. La simulation a été réalisée pour un mois complet « modèle » qui sert de référence pour les calculs phénoménologiques dans le lagon sud car présentant 2 périodes de régimes de vents (variables / alizés installés) avec chacun 1 cycle complet de marées (mortes-eaux et vives-eaux). Terme source : 1 mg Mn/l dans l'effluent
R33	AQUA TERRA, 2023. Rapport « Etat initial biologique – Récif de Prony et Littoral sud de la réserve du Cap N'Dua », Prony Resources NC. PO n°L57277. Document : AquaTerra_Rap021-23_V03, Août 2023. 61p	Ce rapport présente l'état initial de la zone d'influence possible de ce nouvel effluent, dont : • Les communautés présentes • La typologie des récifs • La sensibilité du milieu

Ce rapport présente donc l'évaluation environnementale réalisée sur la zone concernée : récif de Prony et littoral du Cap N'Dua de l'impact de l'effluent.

2 Zone d'étude

La zone d'étude est située dans le Grand Sud à l'interface entre la baie de Prony et le canal de la Havannah : elle part de la pointe Méré (ou Méhoué) en englobant le récif de Prony, longe la côte vers l'est en direction du Cap N'Dua puis remonte vers le nord-ouest (cf. figure 01).
La figure 01 présente aussi la position de l'émissaire ainsi que le projet de localisation des 10 nouveaux orifices.

@AQUA TERRA, 08.2023
Source : Fond IGN, Google Earth

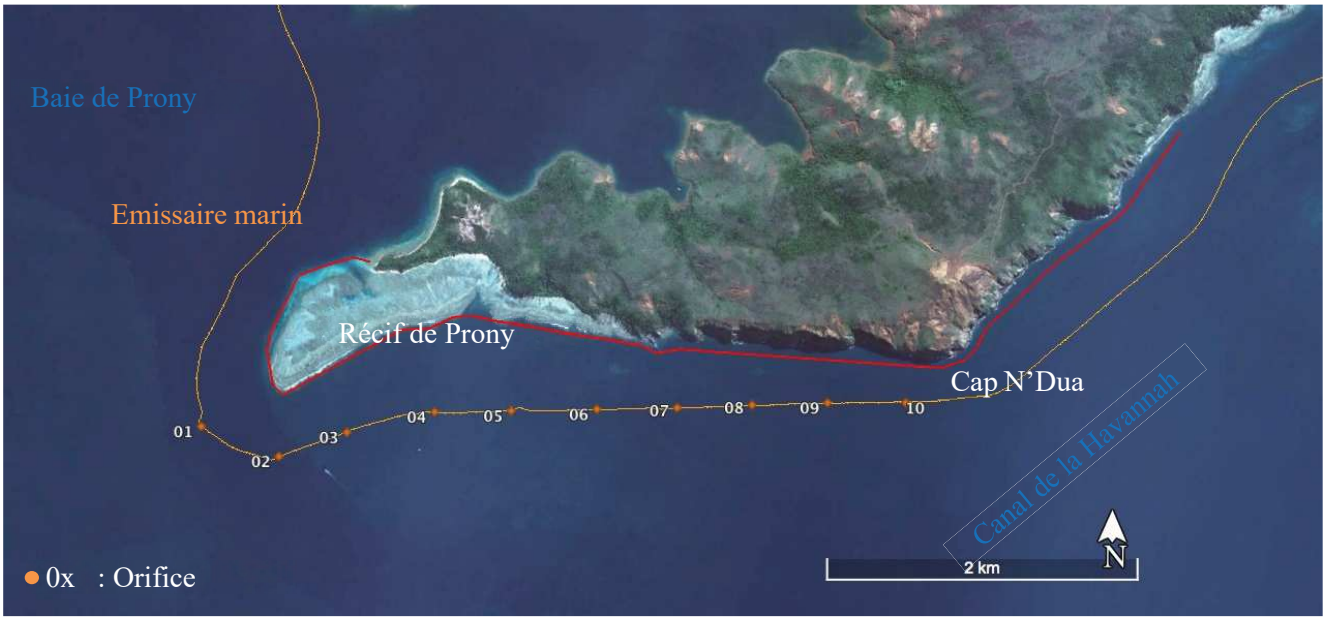


Figure 01 : Localisation de la zone l'étude

Le récif de Prony est un récif frangeant de lagon [R03, R04, R33].
La zone peut être considérée comme une frange littorale, avec une influence terrigène (baie de Prony) et lagonnaire (canal de la Havannah).

3 Revue bibliographique / Données de base

Afin de mener à bien cette évaluation une part importante du travail a porté sur la recherche, la lecture et l'analyse et compilation des données scientifiques disponibles à ce jour afin de recueillir un maximum d'informations pour disposer des dernières références.

3.1 Données du projet / Seuil réglementaire

L'évaluation est ici réalisée selon les données du projet arrêtées : 10 orifices tels que positionnés sur la figure 01 avec un débit total de 1 167 m^3/h [R01, R51].

Cette évaluation a été focalisée sur un des composant de l'effluent : le manganèse dissous. En effet, il est considéré comme conservatif dans le milieu et est donc utilisé dans les différentes simulations comme traceur [R45].

Les concentrations en manganèse mesurées dans l'effluent avant rejet présentent une moyenne de [R51] :
- 0,58 mg/l (médiane de 0,42) pour la période du 01/02/2012 au 07/05/2014 [R02]
- 0,52 mg/l (médiane de 0,34) pour l'année 2021 [R51]
- 0,52 mg/l (médiane de 0,39) pour l'année 2022 [R51].

Le seuil réglementaire impose des valeurs inférieures à 1 mg/l [R52], terme source pour les études de simulation [R41].

3.2 Concentration en manganèse dans le milieu marin

Les eaux sont plus riches près du littoral et dans les baies par rapport au lagon et la pleine mer du fait des apports terrigènes (gradient « côte-large ») [R46].

Pour la Nouvelle-Calédonie des valeurs moyennes sont supérieures à 1 µg/l.
Le guide du milieu main (2011) [R35] propose une compilation des valeurs communément observées sur le Territoire avec 3 classements du milieu comme détaillé dans le tableau 02.

Tableau 02 : Classement de l'état du milieu marin selon le taux de Mn

SITE (Mn µg/l)	MILIEU CONSIDERE COMME NON PERTURBE	MILIEU CONSIDERE COMME MODEREMENT PERTURBE	MILIEU CONSIDERE COMME FORTEMENT PERTURBE
Fond de baie, littoral	< 0,35	0,35 – 0,80	≥ 0,80
Lagon en milieu côtier	< 0,25	0,25 – 0,50	≥ 0,50

Pour l'hydro-écorégion du Grand Sud, le guide du milieu marin [R46] référence des moyennes (2008 – 2019) entre 0, 39 µg/l (littoral) et 0,20 µg/l (lagon). Il faut noter que des taux sont supérieurs sur la côte ouest (0,64 en littoral et 0,32 µg Mn/l dans le lagon), ce qui n'influence pas le développement des biocénoses coralliennes.
Par ailleurs, plusieurs auteurs signalent la pauvreté des eaux marines calédoniennes par rapport au reste du monde. En effet des valeurs de 0,03 à 4,0 µg/l avec des moyennes s'établissant à à,06 – 1,2 µg/l sont ainsi enregistrées en mer du Nord, nord-est Atlantique, Manche et océan Indien [R50].
De même, dans les eaux côtières des zones tropicales et subtropicales, les concentrations peuvent atteindre 10,8 µg/l [R37, R49].

Dans le canal de la Havannah AEL cite des moyennes de 0,08 ± 0,03 µg/l [R41].

Dans la zone d'étude, la station ST19 (Bonne Anse) enregistre des maximas de 0,16 à 0,24 µg/l [R41].

Les résultats de plusieurs campagnes de prélèvements réalisées pour établir l'état initial, sur 2 stations, sur la

hauteur de la colonne d'eau à 3 profondeurs (fond, milieu, surface) et selon les conditions de marée (mortes-eaux / vives-eaux, flot / jusant) [R43], sont présentés sur la figure 02.
La moyenne générale est de 0,111 ± 0,051 µg/l (dans une fourchette de 0,031 à 0,255 µg/l) [R43].

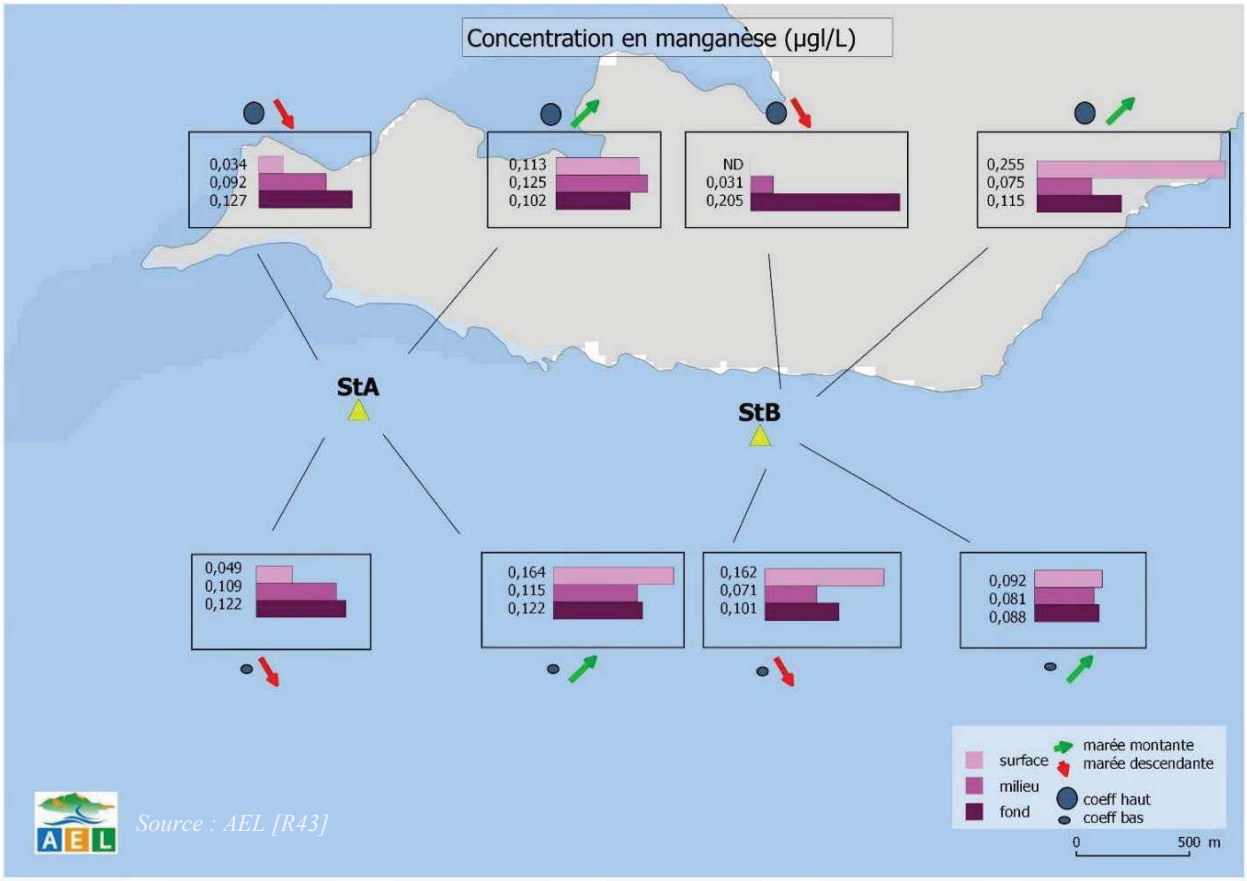


Figure 02 : Concentrations en Mn dissous sur la zone d'étude

3.3 Ecotoxicologie

Ce chapitre n'a pas valeur à être exhaustif : il présente juste quelques valeurs pour servir de comparaison par rapport aux concentrations présentées par la suite.

En France métropolitaine, la norme applicable pour le manganèse dans les eaux continentales est de 1 mg/l (norme européenne pour les eaux douces non potables) mais aucune valeur n'existe à l'heure actuelle pour les eaux marines [R48].

L'ANZECC 2000 [R05] ne présente pas de valeur de référence pour les eaux marines.
Cependant, l'OMS en 2004 [R38] a calculé une valeur selon leur protocole et à proposer alors 300 µg/l pour 95% d'espèces protégées.
Les analyses réalisées par Stauber [R54, R55] concluent que la valeur de 150µg/l permet de protéger 95% des espèces.
Cette limite a été abaissée par Massabuau en 2006 [R47] à 20µg/l pour protéger 99% des espèces.
Suite aux essais réalisés avec Cotignola [R40, R48] il fixe alors par précaution cette valeur à 10µg/l.
C'est cette valeur cible qui est recommandée [R47].

Il faut signaler qu'une proposition de référentiel a été soumise à l'ANZECC suite à la publication d'un article scientifique par une équipe australienne travaillant avec le CSIRO [R42]. La valeur seuil proposée pour le manganèse est de 190 µg/l pour 99% des espèces protégées. S'il est adopté par l'ANZECC, ce nouveau seuil sera 19 fois plus haut que celui actuellement utilisé [R47].

Récemment, différents tests ont été réalisés sur des coraux, en Nouvelle-Calédonie [R36, R39].
Selon le CNRT [R39], les résultats de l'étude réalisée dans le cadre du projet DYNAMINE révèlent qu'un apport modéré en Mn (concentrations équivalentes à celles mesurées le long des côtes de Nouvelle-Calédonie : ici 4,1 µg/l) joue un rôle clef dans le métabolisme des coraux. Il leurs donne en effet une meilleure résistance au blanchissement en leurs permettant de conserver leurs algues symbiotiques et leurs teneurs en chlorophylles.

Par ailleurs, il n'y a évidemment pas d'équivalent pour les eaux marines, mais selon les normes françaises [R53] pour les eaux destinées à la consommation humaine, le seuil le plus restrictif est de 50 µg/l, ce qui laisse supposer une totale innocuité pour l'humain à cette concentration.

3.4 Synthèse

Au vu de ces différentes données, c'est la valeur de 0,1 à 0,2 µg Mn/l qui est donc retenue ici, en valeur conservatrice, comme fourchette de concentration naturelle du milieu (et donc sans aucun risque pour le biote ou la santé humaine) et qui sert de base pour l'analyse des impacts de l'effluent par la suite.

4 Simulation du projet en situation

Afin d'évaluer l'impact de cette nouvelle zone de diffusion, les données de modélisation du panache [R41] ont été couplées à celles de caractérisation des biocénoses présentes [R33].

La question posée ici est : le panache touchera-t-il les biocénoses, si oui avec quelle concentration en manganèse et à quelle fréquence, pendant combien de temps ?

NB : Suite aux conclusions de l'étude de modélisation [R41], les conditions reprises ici sont celles qui sont les plus pénalisantes :

- pendant le flot (basse mer + 4 heures) : les courants « rentrent » vers le récif
- en période de mortes-eaux : les coefficients sont plus bas, avec des courants plus faibles entraînant une « stagnation » possible plus longue
- en période d'Alizés : les vents confinent les courants à la côte et réduisent ainsi la dispersion
- pour la couche k2, qui est la couche profonde, celle en contact direct avec le « diffuseur », donc où l'effluent est le plus concentré.

4.1 Panache et concentration

Selon le cas le plus défavorable (cf. § au-dessus), la figure 03 présente les courbes d'iso-concentrations au niveau de la zone d'étude.
S'il apparait que la couche de fond de l'effluent peut atteindre le littoral, les concentrations en manganèse sont faibles :

- pour une majeure partie du récif elles ne seront qu'entre 0,1 et 0,2 µg/l (soit dans la fourchette « naturelle »)
- et seule une petite partie du récif (extrême est et début des falaises) sera exposée à des concentrations supérieures à 0,2 µg/l, mais qui seront inférieures à 0,3 µg/l.

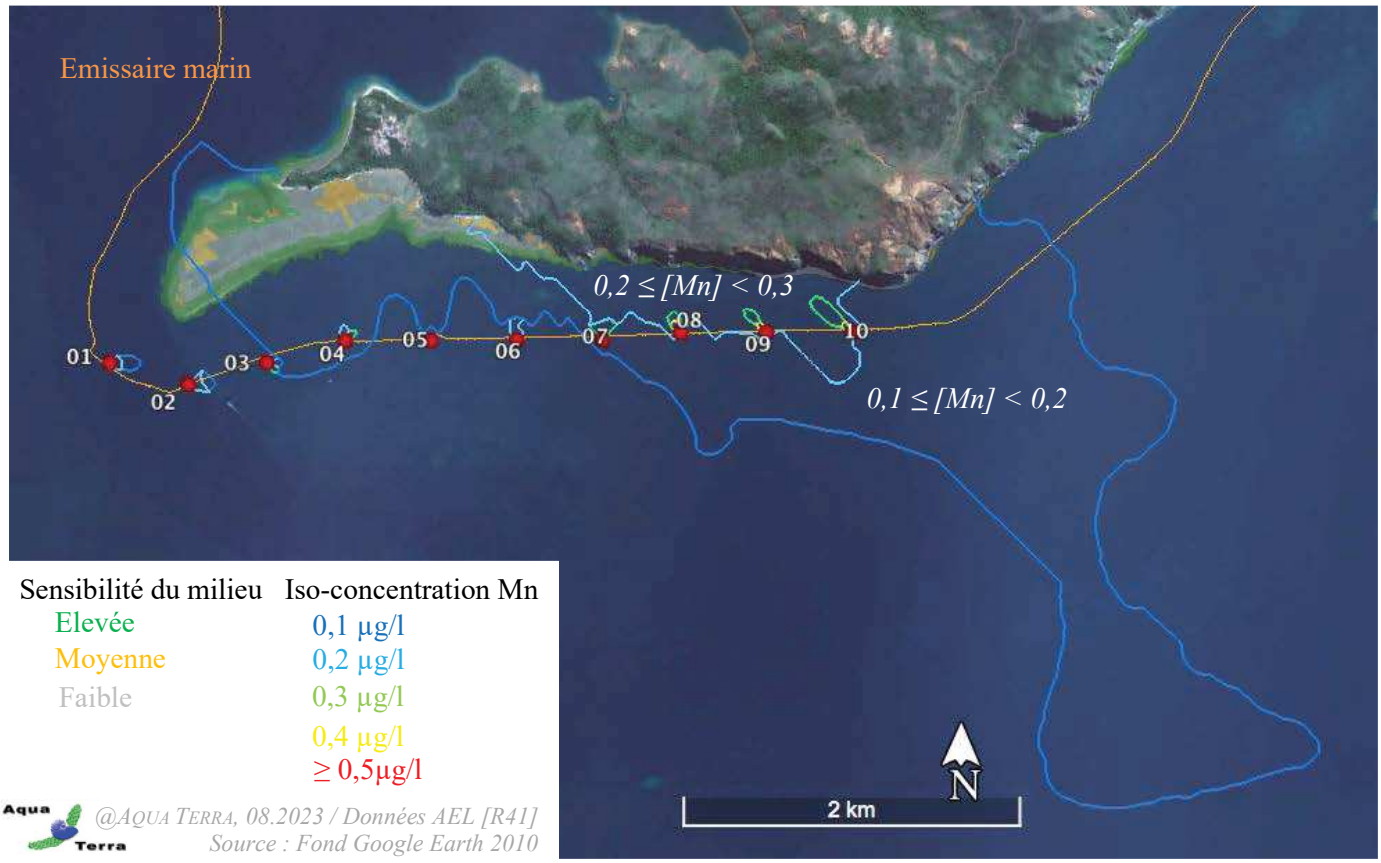


Figure 03 : Iso-concentrations en Mn dissous du panache de l'effluent sur la zone d'étude (cas le plus défavorable)

4.2 Occurrence

En termes de taux de concentration, les valeurs les plus élevées sont calculées pour les périodes combinant les marées de mortes-eaux et le régime d'Alizés. En effet, ces conditions réduisent la dispersion et les taux de dilution diminuent fortement dans toute la colonne d'eau, laissant ainsi remonter un panache dont le niveau de concentration est alors de 0,2 µg/l. Toutefois, ces remontées ne se produisent qu'épisodiquement et ne coïncident qu'avec les renverses de courant des étales de marées basses et hautes [R41].
A l'inverse, les courants de vives-eaux, assurent le transport latéralement, limitant ainsi la remontée du panache.

La figure 04 donne la fréquence d'exposition du milieu à une concentration de 0,2 µg Mn/l.
L'occurrence de 5 à 10% n'atteint pas le littoral et vient légèrement effleurer le récif de Prony, qui ne pourra être exposé à ces concentrations que moins de 5% du temps.

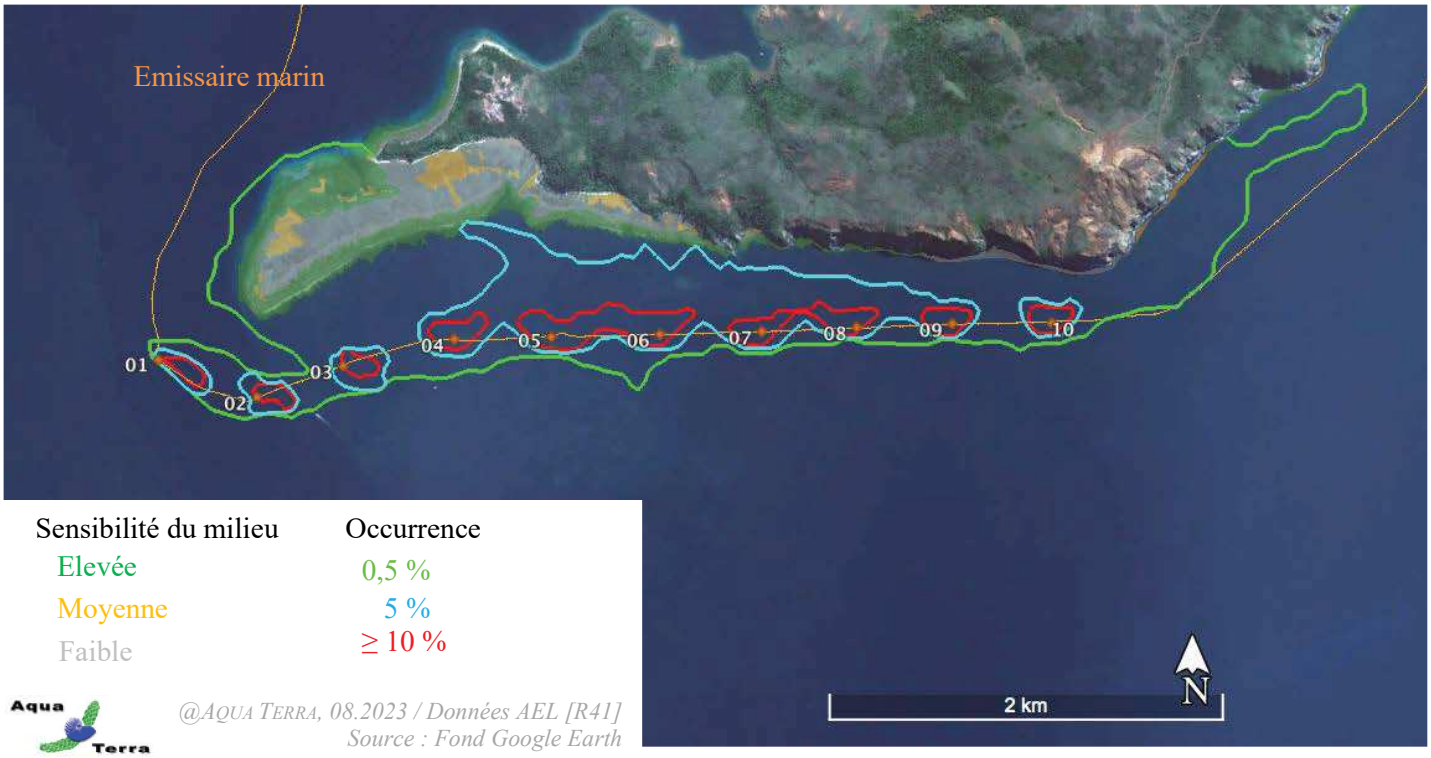


Figure 04 : Fréquence d'exposition du milieu à une concentration de 0,2 µg Mn/l - Projet

5 Observation d'une situation comparable

5.1 Impact de l'effluent du diffuseur actuel

L'état de santé des peuplements récifaux et organismes associés est suivi, selon un même protocole, via un réseau de 12 stations, dans la baie de Prony, le canal Woodin et le canal de la Havannah depuis 2007, semestriellement (depuis 2010), ce qui représente 29 campagnes en 2022.
Selon tous ces rapports ([R06] à [R32]), si des variations des paramètres biologiques sont relevées, les différents rapports n'ont pas établi de corrélation avec le rejet de l'effluent mais concluent à des impacts principalement dus aux événements climatologiques extrêmes.

Une synthèse de ces données historiques a été réalisée [R34] et s'est focalisée sur les 3 stations les plus proches du diffuseur actuel et sur celle servant de référence car localisée dans la réserve Merlet, qui est une réserve intégrale, donc interdite d'accès ce qui lui permet de n'être soumise à aucun facteur anthropique direct.
Que ce soit pour le recouvrement du substrat, la biodiversité du benthos et de l'ichtyofaune, les variations enregistrées au cours du temps suivent le même schéma entre les stations sous influence du diffuseur et la station de référence.
Par contre, la corrélation avec les conditions météorologiques (dépressions et phénomène La Niña) est forte.

Jusqu'à ce jour, il n'a pas été mis en évidence d'impact de l'effluent sur les communautés coralliennes suivies.

5.2 Justification de la comparaison

Les 4 stations étudiées ont été choisies par la DENV (ex DDDT) lors de l'élaboration du programme de suivi, en 2006, pour justement être marqueurs de l'impact potentiel de l'effluent (ST06, ST07, ST09) et comme station de référence (hors impact potentiel : ST10).

Pour les évaluations des impacts d'un projet, la zone d'étude doit être définie en prenant en compte les notions de champ proche et de champ éloigné.
La notion de « proche » et « éloigné » n'est pas définie par la simple distance à l'objet source d'impact mais par le fait d'être soumis à un niveau d'impact. Niveau qui peut être localisé dans des superficies et/ou distances différentes selon les conditions du milieu.

Le niveau d'impact retenu pour le projet est la concentration de 0.2 µg Mn/l (cf. § 3.4).

Une simulation du panache de l'effluent au diffuseur actuel a donc été réalisé et la figure 05, permet de visualiser que la ST06 (Ionontea) est exposée à ces concentrations entre 0.5% et 5% du temps, comme le récif de Prony (cf. figure 04).
Cela permet de conclure que ST06 et récif de Prony sont dans une situation comparable (même champ).

Pour rappel (extrait des résultats présentés dans le rapport [R34] avec un focus sur la ST06) :

- *La courbe de tendance linéaire du taux de recouvrement corallien présente un coefficient de 0.85 à la ST06 et il est depuis 2021 supérieur à celui de la ST10 (référence)*
- *La biodiversité taxonomique moyenne des invertébrés est fluctuante selon les missions mais aussi avec une tendance à la hausse (coefficient de 0.27)*
- *La biodiversité spécifique ichtyologique est fluctuante selon les missions mais avec aussi une tendance linéaire positive (coefficient de 0.35) et elle est sporadiquement supérieure à celle de la ST10.*

Dans la zone d'étude et dans la zone du diffuseur, la fréquence d'exposition et la composition de l'effluent étant les mêmes et le milieu naturel pouvant être considéré comme comparable, il est raisonnable de penser qu'il n'y aura pas non plus d'impact de l'effluent sur cette nouvelle zone de diffusion.

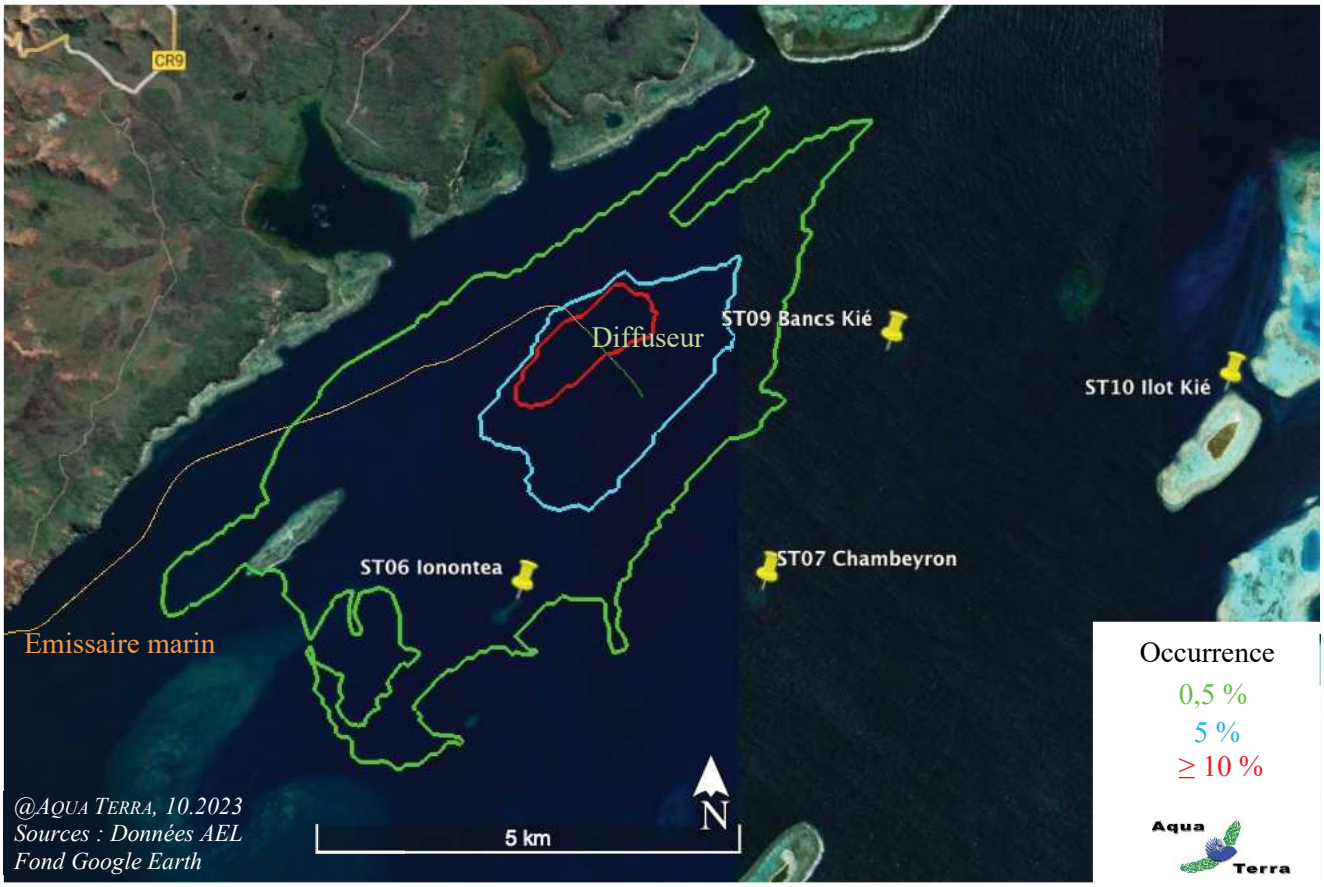


Figure 05 : Fréquence d'exposition du milieu à une concentration de 0,2 µg Mn/l - Diffuseur

6 Conclusion

Par rapport aux concentrations apportées au niveau de la zone d'étude, il apparaît que les taux seront inférieurs à 0,3µg Mn/l sur une zone réduite et inférieurs à 0,2 µg/l pour la majeure partie du récif de Prony, voire inférieurs à 0,1 µg/l ailleurs.
De plus, la fréquence d'exposition du récif à une concentration de 0,2 µg Mn/l est < 5% du temps.

Ces taux se situent dans les normales des conditions naturelles des eaux marines.
Par ailleurs, ils sont largement sous la valeur limite recommandée de 10 µg/l pour la protection du milieu [R47].

Pour comparaison, dans la zone du diffuseur actuel (où la ST06 est dans le même champ d'impacts), depuis le début du suivi (2007, avec mise en exploitation en 2009), il n'a pas été mis en évidence un impact de l'effluent sur les communautés récifales suivies.

⇨ Il est donc raisonnable de conclure que, sous respect des données basées sur les résultats de la modélisation hydrodynamique, l'effluent n'aura pas d'impact sur les communautés récifales de la zone d'étude.

7 Sources

Les différentes sources ayant servi à la rédaction du rapport sont présentées ci-dessous, avec, le cas échéant, les numéros qui rappellent les références citées dans le texte de cette étude.

R01 A2EP, 2022. Rapport technique, Optimisation débit émissaire marin. REV01

R02 Achard D., Kaplan H. et Fernandez JM., 2015. Etude statistique des données historiques de l'effluent de VALE-NC. Rapport provisoire AEL. 20/04/2015. 34p

Adjeroud M. et Lasne G., 2011. Fiche n° 19 : Abondance des colonies coralliennes. In Beliaeff B., Bouvet G., Fernandez J.-M., David C., Laugier T. Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT Nikel et son environnement, pages 152-153

Adjeroud M. et Lasne G., 2011. Fiche 20 : Recouvrement corallien. In Beliaeff B., Bouvet G., Fernandez J.-M., David C., Laugier T. Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT Nikel et son environnement, pages 154-155

Aeby G.S., Tribollet A., Lasne G., Work T.M., 2015. Assessing threats from coral and CCA disease on the reefs of New Caledonia. Journal of Marine and Freshwater Research. http://dx.doi.org/10.1071/MF14151

AEL / LEA, 2023. Synthèse des concentrations en manganèse enregistrées, ST09, ST02, ST05, mars 2007 à août 2022, 3 couches. Tableur excel

R03 Andréfouët S., Torres-Pulliza D., 2004. Atlas des récifs coralliens de Nouvelle-Calédonie, IFRECOR Nouvelle-Calédonie, IRD, Nouméa, Avril 2004, 26p + 22 planches

R04 Andréfouët S., Chagnaud N., Chauvin C., Kranenburg CJ., 2008. Atlas des récifs coralliens de France Outre-Mer, Centre IRD de Nouméa. 153 p

R05 ANZECC & ARMCANZ 2000. Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality. Volume 1 : The guidelines

Aqua Terra, 2007. Suivi de l'état biologique du milieu marin, avant à la pose de l'émissaire de l'effluent liquide, Projet Goro Nickel. Septembre 2007 Affaire 012-07 C1499-StationPlatier-Ver E (23 p) & Doc C1499-Stations00à05-Ver D (53 p)

R06 AQUA TERRA, 2008. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission Octobre 2008. Contrat 1996. Document : AQUA TERRA_Rap_047-08_V02. 222p

Aqua Terra, 2008. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission Octobre 2008. Contrat 1996. Document : AquaTerra_AtlasPho_047-08_V01. 96p

Aqua Terra, 2009. Suivi de l'état biologique du milieu marin, suite à la pose de l'émissaire de l'effluent liquide, Projet Goro Nickel. Mars 2009 Affaire 005-09C1499-Ppt présentation ver 03 Ile Ouen 25 mars 27 diapos

Aqua Terra, 2009. Rapport final pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission 1, avril 2009. PO E13690. Document : AquaTerra_Rap_009-09_V02. 176p

Aqua Terra, 2009. Atlas photographique pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission avril 2009. PO E13690. Document : AquaTerra_AtlasPho_009-09_V01. 104p

Aqua Terra, 2009. Rapport final pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission 2, juin 2009. PO E15217. Document : AquaTerra_Rap_018-09_V03. 182p

Aqua Terra, 2009. Atlas photographique pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission juin 2009. PO E15217. Document : AquaTerra_ AtlasPho _018-09_V01. 96p

R07 Aqua Terra, 2009. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission juin 2009. Contrat 1996 av1. Document : AquaTerra_Rap_006-09_V01. 256p

Aqua Terra, 2009. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission juin 2009. Contrat 1996 av1. Document : AquaTerra_AtlasPho_006-09_V01. 190p

Aqua Terra, 2010. Rapport final pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission 3, décembre 2009. PO E18597. Document : AquaTerra_Rap_048-

09_V02. 205p
Aqua Terra, 2010. Atlas photographique pour « Evaluation de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission décembre 2009. PO E18597. Document : AquaTerra_AtlasPho_048-09_V01. 98p

R08 Aqua Terra, 2010. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission mars-avril 2010. Contrat C2415. Document : AquaTerra_Rap_064-09_V01. 271p
Aqua Terra, 2010. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission mars-avril 2010. Contrat C2415. Document : AquaTerra_AtlasPho_064-09_V01. 180p
Aqua Terra, 2010. Rapport final pour « Suivi de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission 4, avril 2010. PO E29830. Document : AquaTerra_Rap_019-10_V01. 205p
Aqua Terra, 2010. Atlas photographique pour « Suivi de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission avril 2010. PO E29830. Document : AquaTerra_ AtlasPho _019-10_V01. 96p

R09 Aqua Terra, 2010. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission septembre 2010. Contrat C2415. Document : AquaTerra_Rap_058-10_V01. 276p
Aqua Terra, 2010. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale Inco NC. Mission septembre 2010. Contrat C2415. Document : AquaTerra_AtlasPho_058-10_V01. 200p
Aqua Terra, 2011. Etude d'impact environnementale sur la zone P1 pour le dossier de demande de régularisation. Massif minier de Cap Bocage, SMCB : Rapport 046-10 A Ver04 : 286p
Aqua Terra, 2011. Etude d'impact environnementale sur les zones P2-P3 pour le dossier de demande de régularisation. Massif minier de Cap Bocage, SMCB : Rapport 046-10 B Ver02 : 298p
Aqua Terra, 2011. Suivi du milieu marin, Demande de Régularisation de travaux miniers, Compléments de l'état initial. Centre minier de Tiebaghi, mine Alpha et projet Dôme (SLN). Mission décembre 2010. Rap 060-10 Ver02 Partie A. 153 p
Aqua Terra, 2011. Suivi du milieu marin, Demande de Régularisation de travaux miniers, Recommandations. Centre minier de Tiebaghi, mine Alpha et projet Dôme (SLN). Rap 060-10 Ver02 Partie B (Recommandations). 47 p

R010 Aqua Terra, 2011. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2011. Contrat C2415. Document : AquaTerra_Rap_001-11_V01. 320p
Aqua Terra, 2011. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2011. Contrat C2415. Document : AquaTerra_AtlasPho_001-11_V01. 210p
Aqua Terra, 2011. Suivi de l'état biologique du milieu marin, autour de l'émissaire de l'effluent liquide, Projet Goro Nickel. Juin 2011 CR 011-11 Ver 01 (16 p)

R011 Aqua Terra, 2011. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2011. Contrat C2415. Document : AquaTerra_Rap_040-11_V01. 342p
Aqua Terra, 2011. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2011. Contrat C2415. Document : AquaTerra_AtlasPho_040-11_V01. 211p
Aqua Terra, 2012. Programme de suivi biologique des eaux douces et du milieu marin. Massif minier de Cap Bocage, SMCB : Campagne décembre 2011. Rapport 072-11 Ver01 : 129p

R12 Aqua Terra, 2012. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2012. Contrat C2415. Document : AquaTerra_Rap_006-12_V01. 436p
Aqua Terra, 2012. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2012. Contrat C2415. Document : AquaTerra_AtlasPho_006-12_V01. 234p
Aqua Terra, 2012. Rapport final pour « Suivi de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission 5, avril 2012. PO E45335. Document : AquaTerra_Rap_016-12_V01. 210p

Aqua Terra, 2012. Atlas photographique pour « Suivi de l'impact d'une fuite acide sur le milieu marin » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission avril 2012. PO E453350. Document : AquaTerra_Rap_016-12_V01. 205p

R013 Aqua Terra, 2012. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2012. Contrat C2415 E20545. Document : AquaTerra_Rap_041-12_V01. 496p

Aqua Terra, 2012. Atlas photographique pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2012. Contrat C2415 E20545. Document : AquaTerra_AtlasPho_041-12_V01. 234p

Aqua Terra, 2013. Programme de suivi biologique des eaux douces et du milieu marin. Massif minier de Cap Bocage, SMCB : Campagne avril 2013. Rapport 053-12 Ver01 : 134p

Aqua Terra, 2013. Rapport final pour « Synthèse des données algues, Baie de Prony et canal Woodin et de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Missions de 2007 à mars 2012. PO E40362 et E40363. Document : AquaTerra_Rap_070-13_V02. 76p

Aqua Terra, 2013. Compte rendu succinct pour « Suivi de l'état de santé du milieu marin, zone du Creek baie nord. Conséquences potentielles du cyclone tropical Freda sur l'étage infralittoral supérieur » Projet Goro Nickel, Vale NC. Janvier 2013. Ppt24p

Aqua Terra, 2013. Rapport final pour « Suivi de l'état de santé du milieu marin, zone du Creek baie nord » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission 6, janvier 2013. PO E54932. Document : AquaTerra_Rap_004-13_V00. 183p

Aqua Terra, 2013. Atlas photographique pour « Suivi de l'état de santé du milieu marin, zone du Creek baie nord » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission janvier 2013. PO E549320. Document : AquaTerra_AtlasPho_004-13_V01. 180p

R14 Aqua Terra, 2013. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2013. Contrat C2415 PO E53799. Document : AquaTerra_Rap_003-13_V01. 441p

R15 Aqua Terra, 2013. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission septembre 2013. Contrat C2415 PO E53799. Document : AquaTerra_Rap_061-13_V01. 431p

Aqua Terra, 2013. Compte-rendu de mission, novembre 2013 : Etat initial du milieu marin sous le quai vraquier. Document : AquaTerra_CR084-13_V00. 16p

Aqua Terra, 2013. Volet C (Etude d'impact) de la Demande d'Autorisation d'Exploiter le site minier de Kadjitra. Document : AquaTerra_Rap_027-10_V04. 380p

Aqua Terra, 2014. Rapport final pour « Diagnostic de l'état de santé des peuplements récifaux et organismes associés sur et à proximité de l'émissaire » Projet Goro Nickel, Vale NC. Suivi de l'émissaire, novembre 2013. Contrat PO E64212. Document : AquaTerra_Rap_083-13_V01. 134p

Aqua Terra, 2014. Rapport final pour « Suivi de l'état de santé du milieu marin, Suivi spécifique Puka » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission décembre 2013. PO E62786 et E64977, Document : AquaTerra_Rap_068-13_V02. 246p

Aqua Terra, 2014. Rapport final pour « Herbier de la Baie Kwé : Première approche : Descriptif général, Cartographie, Etat des lieux initial » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission avril 2014. PO E66764, Document : AquaTerra_Rap_008-14_V00. 53p

R16 Aqua Terra, 2014. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission avril 2014. Contrat C2415 PO E53801. Document : AquaTerra_Rap_027-14_V01. 392p

Aqua Terra, 2014. Etat de référence pour "Etat des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Nakéty » NMC, SMN et SMT. Mission avril 2014. Document : AquaTerra_Rap_066-13_V02. 211p

R17 Aqua Terra, 2014. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2014. Contrat C2415 PO E53801. Document : AquaTerra_Rap_058-14_V00. 329p

Aqua Terra, 2014. Suivi quantitatif pour "Etat des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Poya" NMC. Mission octobre 2014. Document : AquaTerra_Rap_012-14_V01. 105p

Aqua Terra, 2014. Programme de suivi biologique des eaux douces, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2014. Document : AquaTerra_Rap_078-13_V01. 105p

Aqua Terra, 2014. Programme de suivi biologique du milieu marin : Suivi quantitatif de l'état des peuplements récifaux et organismes associés, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2014. Document :

AquaTerra_Rap_078-13_V01. 164p
Aqua Terra, 2015. Programme de suivi du milieu marin concerné par les activités minières du Centre de Ouaco NMC / Étude bibliographique - Proposition d'un programme de suivi. Document : AquaTerra_Rap_072-14_V03. 33p

R18 Aqua Terra, 2015. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mars 2015. Contrat C2415 PO E53801. Document : AquaTerra_Rap_028-15_V00. 348p
Aqua Terra, 2015. Programme de suivi biologique des eaux douces, site minier de Cap Bocage, SMCB: Résultats de la campagne 2015. Rapport 099-15 Ver02 : 108p
Aqua Terra, 2015. Programme de suivi biologique du milieu marin : Suivi qualitatif de l'état des peuplements récifaux et organismes associés, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2015. Document : AquaTerra_Rap_070-14_V01. 112p

R19 Aqua Terra, 2015. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2015. Contrat C2415 E53801. Document : AquaTerra_Rap_071-15_V00. 367p
Aqua Terra, 2016. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Nakéty. Suivi biologique qualitatif. NMC, SMN et SMT. Mission décembre 2015. Document : AquaTerra_Rap_026-15_V01. 106p
Aqua Terra, 2016 : Rapport pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés au port de Prony. Avant / après travaux de dragage » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission novembre 2014 / août 2015. Contrat E73528. Document : AquaTerra_Rap_065-14_V00. 85p
Aqua Terra, 2016. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Poya Suivi biologique qualitatif. NMC. Mission décembre 2015. Document : AquaTerra_Rap_096-15_V01. 63p

R20 Aqua Terra, 2016. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission avril 2016. Contrat C2415 E53801. Document : AquaTerra_Rap_028-16_V00. 374p
Aqua Terra, 2016. Programme de suivi biologique des eaux douces, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2016. Document : AquaTerra_Rap_085-16_V02. 108p
Aqua Terra, 2016. Programme de suivi biologique du milieu marin : Suivi qualitatif de l'état des peuplements récifaux et organismes associés, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2016. Document : AquaTerra_Rap_063-16_V01. 91p

R21 Aqua Terra, 2016. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission novembre 2016. Contrat C2415 E53801. Document : AquaTerra_Rap_090-16_V00. 371p
Aqua Terra, 2017. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Nakéty. Suivi biologique qualitatif. NMC, SMN et SMT. Mission décembre 2016. Document : AquaTerra_Rap_094-16_V01. 93p
Aqua Terra, 2017. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Poya Suivi biologique qualitatif. NMC. Mission janvier 2017 (Suivi 2016). Document : AquaTerra_Rap_092-17_V01. 58p
Aqua Terra, 2017. Etat des lieux du milieu marin, baie de Kûrö, centre minier de Kouaoua, Recherche de stations. NMC. Mission mai 2017. Document : AquaTerra_Rap_011-17_V01. 52p
Aqua Terra, 2017. Etat des lieux du milieu marin, Anse Pörö, centre minier de Bogota. NMC. Mission août 2017. Document : AquaTerra_Rap_028-17_V01. 100p

R22 Aqua Terra, 2017. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission avril-mai 2017. Contrat E98083. Document : AquaTerra_Rap_003-17_V00. 284p
Aqua Terra, 2018. Programme de suivi du milieu marin, centre minier de Kouaoua. NMC. Document : AquaTerra_Rap_082-17_V00. 28p

R23 Aqua Terra, 2018. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission septembre 2017. Contrat E98083. Document : AquaTerra_Rap_047-17_V00. 294p
Aqua Terra, 2018. Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés : biologique qualitatif et physico-chimique, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2017. Document : AquaTerra_Rap_045-17_V01. 100p

Aqua Terra, 2018. Suivi de la qualité des eaux douces, site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2017. Document : AquaTerra_Rap_070-16_V01. 105p
Aqua Terra, 2018. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Nakéty. Suivi biologique qualitatif et physico-chimique. NMC, SMN et SMT. Mission novembre 2017. Document : AquaTerra_Rap_068-17_V01. 99p
Aqua Terra, 2018. Etat des lieux du milieu marin & Validation des stations de suivi du programme, baie de Gomen, Centre minier de Ouaco NMC. Document : AquaTerra_Rap_029-17_V01. 31p
Aqua Terra, 2018. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Poya Suivi biologique qualitatif + Physico-chimique. NMC. Mission décembre 2017. Document : AquaTerra_Rap_069-17_V01. 61p
Aqua Terra, 2018. DAODPM - Notice d'Impact : Travaux de curage, bord de mer de Porwi, centre de Poya. NMC. Document : AquaTerra_Rap_026-18_V00. 43p
R24 Aqua Terra, 2018. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mai 2018. PO n°L06374. Document : AquaTerra_Rap_014-18_V00. 297p
Aqua Terra, 2019. Etat des peuplements récifaux et organismes associés. Suivi biologique qualitatif. Site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2018. Document : AquaTerra_Rap_073-18_V01. 96p
R25 Aqua Terra, 2019. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission novembre 2018. PO n°L06374. Document : AquaTerra_Rap_071-18_V00. 308p
Aqua Terra, 2019. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Nakéty. Suivi biologique qualitatif. NMC, SMN et SMT. Mission novembre 2018. Document : AquaTerra_Rap_074-18_V00. 91p
Aqua Terra, 2019. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Poya : Suivi biologique qualitatif. NMC. Mission octobre 2018. Document : AquaTerra_Rap_67-18_V01. 58p
Aqua Terra, 2019. Etat de santé des peuplements récifaux et organismes associés. Centre minier de Kouaoua : Suivi biologique quantitatif et physico-chimique. NMC. Mission décembre 2018. Document : AquaTerra_Rap_069-18_V02. 126p
R26 Aqua Terra, 2019. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission avril 2019. PO n°L06374. Document : AquaTerra_Rap_001-19_V00. 311p
R27 Aqua Terra, 2019. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2019. PO n°L06374. Document : AquaTerra_Rap_041-19_V01. 326p
Aqua Terra, 2020. Rapport final pour « Caractérisation de l'herbier de la baie Kwé » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission juin 2020. PO n° L26698. Document : AquaTerra_Rap004-20 V01. 37p
Aqua Terra, 2020. Compte-rendu de mission « Inspection du diffuseur » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission juin 2020. PO n° L31128. Document PowerPoint : AquaTerra_CRMission_InspectionEmissaire_Juin2020. 15p
Aqua Terra, 2020. Film commenté « Inspection du diffuseur » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission juin 2020. PO n° L31128. Film du 30/06/20 : AquaTerra_017-20_Film_ InspectionEmissaire_Juin2020. 5'52 mn
Aqua Terra, 2020. Film : Extrait non commenté de la station E11 « Inspection du diffuseur » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission juin 2020. PO n° L31128. Film du 06/07/20 : AquaTerra_017-20_Film_ InspectionEmissaire_Juin2020. 1'15 mn
Aqua Terra, 2020. Rapport final pour « Inspection du diffuseur » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission juin 2020. PO n° L31128. Document : AquaTerra_Rap017-20 V01. 30p
Aqua Terra, 2020. Présentation PPT : Etat du milieu marin à proximité du quai général, Port de Prony. Document : AquaTerra_Rap038-20 V02. 18p
R28 Aqua Terra, 2020. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission mai 2020. PO n°L26698. Document : AquaTerra_Rap003-20_V01. 347p
Aqua Terra, 2020. Porter A Connaissance au titre de l'arrêté minier n°2698-2016/ARR/DIMENC du 29 septembre 2016 et de l'arrêté d'occupation de dépendances du domaine public maritime concernant le port de Prony n°763-2003/PS du 5 juin 2003. Cessions de minerai saprolitique à la SLN, Aménagements et opérations logistiques pour les premières cargaisons – test opérationnel. Projet Goro Nickel, Vale NC. Document :

AquaTerra_Rap008-20_V01. 169p

R29 Aqua Terra, 2021. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Vale NC. Mission octobre 2020. PO n°L26698. Document : AquaTerra_Rap040-20_V01. 355p

Aqua Terra, 2021. Etat des peuplements récifaux et organismes associés. Suivi biologique qualitatif et physico-chimique. Site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2020. Document : AquaTerra_Rap_050-20_V01. 137p

R30 Aqua Terra, 2021. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Prony Resources NC. Mission mai 2021. PO n°L36942. Document : AquaTerra_Rap008-21_V01. 362p

R31 Aqua Terra, 2022. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Prony Resources NC. Mission novembre 2021. PO n°L36942. Document : AquaTerra_Rap034-21_V01. 357p

Aqua Terra, 2022. Etat des peuplements récifaux et organismes associés. Suivi biologique qualitatif. Site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2021. Document : AquaTerra_Rap_031-21_V02. 131p

R32 Aqua Terra, 2022. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Prony Resources NC. Mission mars 2022. PO n°L26698. Document : AquaTerra_Rap004-22_V01. 360p

Aqua Terra, 2023. Etat des peuplements récifaux et organismes associés. Suivi biologique qualitatif. Site minier de Cap Bocage. SMCB. Campagne 2022. Document : AquaTerra_Rap_018-22_V02. 131p

Aqua Terra, 2023. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Prony Resources NC. Mission novembre 2022. PO n°L26698. Document : AquaTerra_Rap054-22_V01. 360p

Aqua Terra, 2023. Rapport final pour « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah » Projet Goro Nickel, Prony Resources NC. Mission mars 2023. PO n°L54808. Document : AquaTerra_Rap006-23_V01. 360p

Aqua Terra, 2023. CR de mission « Etat initial biologique – Récif de Prony et Littoral sud de la réserve du Cap N'Dua », Prony Resources NC. Mission juin 2023. PO n°L57277. Document : AquaTerra CR021-23_V01. 8p

R33 Aqua Terra, 2023. Rapport « Etat initial biologique – Récif de Prony et Littoral sud de la réserve du Cap N'Dua », Prony Resources NC. PO n°L57277. Document : AquaTerra_Rap021-23_V03, Août 2023. 61p

R34 Aqua Terra, 2023. Synthèse historique « Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés. Stations proches diffuseur », Prony Resources NC. PO n°L58532. Document : AquaTerra Rap032-23 A_V02, Août 2023. 29p

Avias J., 1959. Les récifs coralliens de la Nouvelle-Calédonie et quelques-uns de leurs problèmes. Extrait du Bul. Soc. Géo. Fr, 7è série, t.I, p 424-430

Barnabé G., 1976. Utilisation des techniques de la pêche sous-marine pour l'étude des populations de poissons littoraux. Rapp. Comm. int. Mer Medit., 23 (6) : 63-64

Beliaff B., Bouvet G., Fernandez J-M., David C., Laugier T., 2011. Guide pour la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT Le Nickel. 169p

Avias J., 1959. Les récifs coralliens de la Nouvelle-Calédonie et quelques-uns de leurs problèmes. Extrait du Bul. Soc. Géo. Fr, 7è série, t.I, p 424-430

Barnabé G., 1976. Utilisation des techniques de la pêche sous-marine pour l'étude des populations de poissons littoraux. Rapp. Comm. int. Mer Medit., 23 (6) : 63-64

R35 Beliaff B., Bouvet G., Fernandez J-M., David C., Laugier T., 2011. Guide pour la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT Le Nickel. 169p

R36 Biscéré T. & al., 2018. Evidence for mitigation of coral bleaching by manganese. Scientific reports. 10p

R37 Chan I., Hung J., Peng S., Tseng L. & Ho T., 2014. Comparison of metal accumulation in the azooxanthellate scleractinian coral (*Tubastraea coccinea*) from different polluted environments. Marine Pollution Bulletin 85, 648–658

R38 CICAD. 2004. Manganese and its compounds: Environmental aspects. Organisation mondiale de la Santé. Concise International Chemical Assessment Document (CICAD) no. 63, Genève, Suisse (http://www.inchem.org/documents/cicads/cicads/cicad63.htm; consulté le 03-10-2006)

R39 CNRT Nickel, 2019. Dispersion et exposition humaine aux métaux en Nouvelle-Calédonie. Synthèse. Février 2019. 68p

R40 Cotignola M., 2006. Etude des effets du manganèse sur la réponse génétique, par voie directe et trophique, chez le poisson Tetraodontidae *Arothron nigropunctatus*. Diplôme d'études supérieures, Université de Bordeaux I, UFR Sciences Biologiques. 57 p

English S. and *al*., 1997. Survey manual for tropical marine resources (2nd Edition). Australian Institute of Marine Science. 390p

Fernandez J.M., 2022. Modélisation de la dispersion des effluents dans le Canal de la Havannah ; perçage de 10 trous supplémentaires entre C12 et C21 (scénario-4) : Simulations longue durée (1 mois) à un débit individuel augmenté à 108 m3/h. Contrat AEL/PR-NC 620-PR-22-P / L53202-0001. Décembre 2022. 51p

R41 Fernandez JM, 2023. Modélisation de la dispersion des effluents dans le Canal de la Havannah ; perçage de 10 trous supplémentaires entre C12 et C21 (scénario-4) : Simulations longue durée (1 mois) à un débit total de 1 167 m3/h. Contrat AEL/PR-NC 682-PR-23-P / L57438-000. 16/08/2023. 50p

Fisk D., 2009. Best practice for LIT survey. Coral list Vol4 Issue 28

Gabrié C., Cros A., Chevillon C., Downer A. 2005. Analyse Eco-régionale marine de Nouvelle-Calédonie. Atelier d'identification des aires de conservation prioritaire. 112p

Gabrié C., Garrigue C., Kulbicki M., Laboute P., Lebigre J.M., Lasne G., Payri C., Pichon M., Richer de Forges B., Spaggiari J., Renoux R., Dec 2008. Analyse Ecorégionale Marine de la Nouvelle-Calédonie

R42 Golding L.A., Binet M.T., Adams M.S., Hochen J., Humphrey C.A., Price G.A.V., Reichelt-Brushett A.J., Salmon M., Stauber J.L., 2023. Acute and chronic toxicity of manganese to tropical adult coral (Acropora millepora) to support the derivation of marine manganese water quality guideline values. Marine Pollution Bulletin, 194, 115242

Harmelin-Vivien M. L., J.G. Harmelin, C. Chauvet, C. Duval, Galzin, P. Lejeune, G. Barnabé, F. Blanc, Chevalier, J. Duclerc, G. Lasserre, 1985 – Evaluation visuelle des peuplements et populations de poissons : méthodes et problèmes. Revue d'Ecologie (Terre et Vie), vol. 40 : 80p

Hily C., Duchêne J., Bouchon C., Bouchon-Navaro Y., Gigou A., Payri C., Védie F., 2010. Les herbiers de phanérogames marines de l'outre-mer français. Hily C., Gabrié C., Duncombe M. coord. IFRECOR, Conservatoire du littoral. 140 p

R43 Ighiouer S., Fernandez JM., 2023. Etat initial de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la pointe Méhoué – Cap N'Doua. Projet « Optimisation des débits de rejets ». 28/08/2023. Contrat AEL/nom Client n°682-PR-23-P. 38p

R44 Ineris, 2002. Baroudi H., Bureau J., Pineau J.P. Analyse critique du dossier de demande d'autorisation du Projet Goro Nickel. Synthèse. INERIS-DRC-02-39575/DESP-R04a. Août 2002. 29p + annexe

Ineris, 2003. Baroudi H., Bureau J., Rollin C. Analyse critique de l'acceptabilité du niveau de rejet de manganèse dans le milieu marin. Projet Goro Nickel. Rapport final. INERIS-DRC-03-53097/DESP-R02. Décembre 2003. 37p + annexe

INERIS, 2014. Rapport d'étude N° - DSC-14-142823-00897A, 14/06/2014 : Conséquences environnementales potentielles liées à la rupture de l'émissaire en mer de l'Usine VALE NC. Restitution de la mission d'expertise réalisée du 25/11 au 5/12/2013 pour le compte de la province Sud par la Cellule ARC - IFREMER – INERIS. 46p

R45 Ineris, 2022. Etude n°4 sur la caractérisation du risque de pollution des eaux par rejet des effluents de l'usine du Sud dans le canal de la Havannah. Rapport d'étude N°206121 - 2737831 - v2.0. 09/09/2022. 64p

Kulbicki M., Guillemot N., Amand M., 2005. A general approach to length-weight relationships for New Caledonian lagoon fishes. Cybium 2005, 29 (3) : 235-252

Lasne G., 2006. Synthèse bibliographique des coraux de Nouvelle-Calédonie. C. de coord. CRISP / IRD 93p

Lasne G., 2007. Les coraux de Nouvelle-Calédonie : Synthèse bibliographique. Cellule de coordination CRISP, IRD, WWF, MNHN, EPHE. 93p

Lasne G., 2009. Inventaire des coraux scléractiniaires du Grand Lagon Nord – Mission CoRalCal 3-IRD. (CRISP). 119p

Lasne G., 2010. Inventaire des coraux scléractiniaires du Grand Lagon Nord de la Nouvelle-Calédonie – Campagne CORALCAL III, 10-30 mars 2009. 122p / Cellule de coordination CRISP, IRD. 120p

Lasne G., 2014. Estimation temporelle de la colonisation biotique sur la partie rompue de l'émissaire marin et évaluation de l'état de santé des communautés récifales aux abords de cette rupture. Rap 135-2014_V02. 19p

R46 Lasne G. (coord.), Fernandez J.-M., Laugier T., Letourneur Y., Payri C. É., Soulard B., Tessier E., Van Wynsberge S., 2022. Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Nouméa : CNRT Nickel et son environnement, 289 p

R47 Massabuau JC., Campbell P., Monnin C., Roux B., 2006. Etude de l'impact potentiel du rejet de l'effluent Goro

Nickel dans le lagon sud de Nouvelle-Calédonie. 21/12/2006. 98p

R48 Massabuau J.C., Cotignola M., Dominique Y., 2007. Etude de la toxicité du manganèse chez les poissons Tetraodontidae *Arothron nigropunctatus* et *Canthigaster valentini*. CNRS. 31/01/2007. 84p

R49 Moreton B. M., Fernandez J. M. & Dolbecq M. B. D., 2009. Development of a field preconcentration/elution unit for routine determination of dissolved metal concentrations by ICP-OES in marine waters: Application for monitoring of the New Caledonia Lagoon. Geostandards and Geoanalytical Research 33, 205–218

Œil, 2012. Communautés récifales dans le périmètre d'influence de Vale Nouvelle Calédonie : Etat de référence en 2011. 4 Parties

R50 OMS, 1981. Le manganèse. 121p

R51 PRNC, 2023. PAC ICPE Optimisation du débit de l'émissaire marin. Janvier 2023. 51p hors annexe

R52 Province Sud, 2008. Arrêté n° 1467-2008/PS du 9 octobre 2008 autorisant la société Goro Nickel SAS à l'exploitation d'une usine de traitement de minerai de nickel et de cobalt sise "Baie Nord" - commune du Mont-Dore, d'une usine de préparation du minerai et d'un centre de maintenance de la mine sis "Kwé Nord" - commune de Yaté. 178p

R53 République Française, 2007. Arrêté du 11 janvier 2007, modifié, relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique

Stauber, J.L., Tsai, J., Vaughan, G.T., Peterson, S.M. and Brockbank, C.I. (1994). Algae as indicators of toxicity of effluent from bleached eucalypt pulp mills. National Pulp Mills Research Program Technical Report 3, Canberra: CSIRO, 146 pp.

Stauber, J.L., Binet, M.T. and Adams, M.S. (2000). Toxicity of tailings liquor to tropical marine and freshwater biota. CSIRO Energy Technology Investigation Report No. ET/IR 327R, 33 pp.

R54 Stauber J.L., Jones R.J., Binet M.T. and King,C.K., 2002. The effect of nickel processing waste liquor on corals and their symbiotic dinoflagellates. CSIRO Energy Technology Investigation Report No. ET/IR474R. Février 2002. 34 pp.

R55 Stauber J.L., Binet M.T. and Adams M.S., 2003. Toxicité chronique du lixiviat de résidus de nickel sur le biote marin et dulcicole. Chronic toxicity of Nickel tailings liquor to marine and freshwater biota. CSIRO Energy Technology report ET/IR600R. Mai 2003. 62p.

Thollot P. et Wantiez L., 1996. Evaluation des impacts du projet Goro Nickel sur les communautés biologiques marines de la Baie Kwé et de la zone portuaire de Prony. 38p

Aqua Terra

Ingénierie de l'Environnement et de la Réhabilitation