



Rapport final

Expertise environnementale des conséquences des fortes précipitations observées les 02 et 03 juillet 2013 sur les communautés récifo-lagonaires des baies Kué et Port-Boisé

Auteurs : S. Sarramegna, EMR.

Editeur : OEIL.

Date : juillet 2013



Observatoire de l'environnement
en Nouvelle-Calédonie

11 rue Guynemer
98800 Nouméa
Tel.: (+ 687) 23 69 69
www.oeil.nc

Environnement de la Mine au Récif

Expertise environnementale des conséquences des fortes précipitations observées les 02 et 03 juillet 2013 sur les communautés récifo-lagonaires des baies Kué et Port-Boisé

Pièces écrites & graphiques

Commanditaire : Observatoire de l'environnement

Responsable du projet : Sébastien Sarramegna

Références	Version	Date	Rédacteur(s)	Relecteur(s)
Af-13-0605 Ra-13-0702	V2	24/07/2013	S. Sarramegna	S. Sarramegna M. Guillaume

E.M.R – Groupe MINE-R-EAUX

Nouméa : 58 rue de Papeete (Ducos) – BP 7949 – 98801 Nouméa Cedex

Tel. : (687) 27 77 93 / Fax : (687) 27 19 53

Koné : Voh : Lot n°1, Section Koniambo, RT1 - Voh – BP 680 – 98860 Pouembout C

Tel. / Fax : (687) 42 89 93



Sommaire

1	RÉSUMÉ EXECUTIF.....	11
1.1	Introduction.....	11
1.2	Méthodologie	11
1.3	Résultats.....	12
1.4	Conclusions.....	13
2	INTRODUCTION	16
3	MATERIEL ET METHODES	18
3.1	Moyens humains mis en œuvre	18
3.2	Zone d'étude et stratégie d'inventaire	18
3.2.1	Zone d'étude globale	18
3.2.2	La baie Kué	23
3.2.3	La baie de Port-Boisé.....	24
3.2.4	Stratégie d'inventaire.....	26
3.2.5	Qualité physico-chimique des eaux.....	26
3.2.6	Evaluation de l'étendue du panache turbide.....	27
3.2.7	Evaluations visuelles sous-marines	27
3.2.8	Cartographie.....	27
4	RÉSULTATS.....	28
4.1	Pluviométrie	28
4.2	Conditions climatiques	28
4.2.1	Le 09 juillet 2013	28
4.2.2	Le 10 juillet 2013	29
4.3	Etendue du panache turbide.....	29
4.3.1	Baie Kué.....	29
4.3.1.1	Observations du 09 juillet 2013	29
4.3.1.2	Observations du 10 juillet 2013	34

4.3.2	Baie de Port-Boisé	37
4.3.2.1	Observations du 09 juillet 2013	37
4.3.2.2	Observations du 10 juillet 2013	39
4.4	Qualité physico-chimique des eaux.....	40
4.4.1	Baie Kué.....	40
4.4.2	Baie de Port-Boisé	45
4.5	Communautés récifo-lagonaires.....	50
4.5.1	Baie Kué.....	50
4.5.1.1	Station St31	50
4.5.1.2	Station St34	59
4.5.2	Baie de Port-Boisé	66
4.5.2.1	Station St37	66
4.5.2.2	Station St39	74
5	DISCUSSION	78
5.1	Revue de littérature concernant les conséquences des fortes précipitations sur les communautés récifo-lagonaires.....	79
5.1.1	L'apport d'eau douce	79
5.1.2	L'apport de particules fines.....	81
5.1.3	Exemples d'évènements climatiques survenus dans le monde.....	83
5.2	Propositions d'hypothèses concernant les impacts liés aux fortes précipitations sur les baies Kué et de Port-Boisé.....	85
5.3	Propositions de suivi.....	88
6	BIBLIOGRAPHIE	92
7	ANNEXE	95

Liste des Figures

Figure 1 : photographie prise le 08 juillet 2013 par les gardes natures de la Direction de l'Environnement de la province Sud, montrant une partie des organismes marins morts récoltés dans la baie Kué. On note la présence d'une holothurie, d'un crabe et de nombreux poissons dont des espèces très mobiles (Scaridae et Acanthuridae).....	16
Figure 2 : Localisation du site d'étude (en bleu) (sans échelle).	19
Figure 3 : carte de localisation des principales infrastructures de Vale Nouvelle-Calédonie (CEIL).	20
Figure 4 : Carte de localisation de la zone d'étude.....	22
Figure 5 : Carte détaillée des baies de Port-Boisé et Kué.....	25
Figure 6 : Pluviométrie relevée au niveau de la station Goro Mine située sur le site minier pour la période 02/07/2013 – 03/07/2013. Source Vale Nouvelle-Calédonie.	28
Figure 7 : Pluviométrie sur 1 heure cumulée relevée au niveau de la station Goro Mine située sur le site minier pour la période 02/07/2013 – 03/07/2013. Source Vale Nouvelle-Calédonie.	28
Figure 8 : vue du panache turbide depuis le fond de la baie Kué. Station 8190 de la Figure 5 (Source : EMR).....	30
Figure 9 : vue vers le large de la limite extérieure du panache turbide au niveau du canal de la Havannah. Station 8194 de la Figure 5. La ligne rouge matérialise la limite entre le panache turbide et les eaux du canal de la Havannah (Source : EMR).	31
Figure 10 : représentation schématique de l'étendue du panache turbide observée le 09 juillet 2013 dans la baie Kué (Source : EMR).	32
Figure 11 : prise de vue orientée vers l'est de la baie, réalisée le 09/07/2013, montrant le panache turbide au niveau de la partie centrale de la baie Kué. Station 8195 de la Figure 5 (Source : EMR).....	33
Figure 12 : prise de vue orientée vers l'ouest de la baie, réalisée le 09/07/2013, montrant la limite d'extension du panache turbide au niveau du platier ouest de la baie Kué. Station 8197 de la Figure 5 (Source : EMR).	33
Figure 13 : prise de vue orientée vers l'est de la baie, réalisée le 09/07/2013, montrant la limite d'extension du panache turbide au niveau du platier est de la baie Kué. Station 8197 de la Figure 5 (Source : EMR).	34
Figure 14 : prise de vue orientée vers la sortie de la baie, réalisée le 10/07/2013, montrant la limite d'extension du panache turbide à l'intérieur de la baie Kué. Point 245 de la Figure 5 (Source : EMR).....	35
Figure 15 : prise de vue orientée vers le fond de la baie, réalisée le 10/07/2013, montrant le panache turbide qui semble comme « poussé » par les vents alizé au niveau du nord-ouest de la baie Kué. Point 245 de la Figure 5 (Source : EMR).....	35
Figure 16 : représentation schématique de l'étendue du panache turbide observée le 10 juillet 2013 dans la baie Kué (Source : EMR).	36

Figure 17 : prise de vue orientée vers la sortie de la baie, réalisée le 10/07/2013, montrant le panache turbide au niveau de la partie centrale de la baie Kué. Station 8195 de la Figure 5 (Source : EMR).....	36
Figure 18 : prise de vue orientée vers l'ouest de la baie, réalisée le 10/07/2013, montrant l'extension du panache turbide au niveau nord-ouest de la baie Kué. Station 8197 de la Figure 5 (Source : EMR).....	37
Figure 19 : prise de vue orientée vers l'est de la baie, réalisée le 10/07/2013, montrant la limite d'extension du panache turbide au niveau du platier est de la baie Kué. Station St31 de la Figure 5 (Source : EMR).	37
Figure 20 : représentation schématique de l'étendue du panache turbide observée le 09 juillet 2013 dans la baie de Port-Boisé (Source : EMR).	38
Figure 21 : prise de vue orientée vers l'ouest de la baie, réalisée le 09/07/2013, montrant la limite d'extension du panache turbide au niveau ouest de la baie de Port-Boisé. Station 8198 de la Figure 5 (Source : EMR).	38
Figure 22 : prise de vue orientée vers la sortie de la baie, réalisée le 09/07/2013, montrant les eaux relativement claires de la baie de Port-Boisé. Station 8199 de la Figure 5 (Source : EMR). .	39
Figure 23 : prise de vue orientée vers l'ouest de la baie, réalisée le 10/07/2013, montrant le panache turbide présent dans la baie de Port-Boisé. Station St-39 de la Figure 5 (Source : EMR)....	40
Figure 24 : Représentation des variations de température observées sur les différentes stations de mesure de la baie Kué en fonction de la profondeur. Ces mesures ont été réalisées avec une sonde multiparamétrique Ysi. Les stations de mesures sont présentées à la Figure 5.	43
Figure 25 : représentation des variations de salinité observées sur les différentes stations de mesure de la baie Kué en fonction de la profondeur. Ces mesures ont été réalisées avec une sonde multiparamétrique Ysi. Les stations de mesures sont présentées à la Figure 5.	44
Figure 26 : Représentation des variations de pH observées sur les différentes stations de mesure de la baie Kué en fonction de la profondeur. Ces mesures ont été réalisées avec une sonde multiparamétrique Ysi. Les stations de mesures sont présentées à la Figure 5.	44
Figure 27 : Représentation des variations de turbidité observées sur les différentes stations de mesure de la baie Kué en fonction de la profondeur. Ces mesures ont été réalisées avec une sonde multiparamétrique Ysi. Les stations de mesures sont présentées à la Figure 5.	45
Figure 28 : Représentation des variations de température observées sur les différentes stations de mesure de la baie de Port-Boisé en fonction de la profondeur. Ces mesures ont été réalisées avec une sonde multiparamétrique Ysi. Les stations de mesures sont présentées à la Figure 5.....	48
Figure 29 : Représentation des variations de salinité observées sur les différentes stations de mesure de la baie de Port-Boisé en fonction de la profondeur. Ces mesures ont été réalisées avec une sonde multiparamétrique Ysi. Les stations de mesures sont présentées à la Figure 5...	48

Figure 30 : Représentation des variations de pH observées sur les différentes stations de mesure de la baie de Port-Boisé en fonction de la profondeur. Ces mesures ont été réalisées avec une sonde multiparamétrique Ysi. Les stations de mesures sont présentées à la Figure 5.....	49
Figure 31 : Représentation des variations de turbidité observées sur les différentes stations de mesure de la baie de Port-Boisé en fonction de la profondeur. Ces mesures ont été réalisées avec une sonde multiparamétrique Ysi. Les stations de mesures sont présentées à la Figure 5...	49
Figure 32 : vue de l'herbier présent sur le platier de la station St31 – Baie Kué (Source : EMR).....	51
Figure 33 : vue de l'herbier présent sur le platier de la station St31 – Baie Kué (Source : EMR).....	51
Figure 34 : vue du substrat abiotique au niveau du platier de la station St31 – Baie Kué (Source : EMR).....	52
Figure 35 : colonies coralliennes blanchies, présentes au niveau du haut du tombant de la station St31 – Baie Kué (Source : EMR).....	53
Figure 36 : substrat abiotique et colonies coralliennes recouverts de sédiments d'origine terrigène, au niveau du haut de tombant de la station St31 – Baie Kué (Source : EMR).	54
Figure 37 : présence de bivalves (<i>Arca ventricosa</i>) vivants au niveau du haut de tombant de la station St31 – Baie Kué (Source : EMR).	54
Figure 38 : colonies coralliennes, alcyonaire et substrat recouvert de sédiments d'origine terrigène au niveau de bas du tombant de la station St31 – Baie Kué (Source : EMR).....	55
Figure 39 : photo montrant l'épaisseur de la couche de sédiments qui s'est déposée à la surface des colonies coralliennes (Source : EMR).....	56
Figure 40 : vue du tissu corallien blanchit lorsque la couche de sédiments est éliminée (Source : EMR).	56
Figure 41 : prises de vues sous-marine du platier de la stations St31 de la baie Kué. a : prise de vue de l'herbier réalisée en octobre 2011 ; b : prise de vue de l'herbier réalisée en juillet 2013 ; c : prise de vue du substrat abiotique réalisée en octobre 2011 ; d : prise de vue du substrat abiotique réalisée en juillet 2013 (Source : EMR).....	58
Figure 42 : prises de vues sous-marine du haut de tombant de la stations St31 de la baie Kué. a : prise de vue réalisée en octobre 2011 ; b : prise de vue réalisée en juillet 2013 (Source : EMR).....	58
Figure 43 : prises de vues sous-marine du bas de tombant de la stations St31 de la baie Kué. a : prise de vue réalisée en octobre 2011 ; b : prise de vue réalisée en juillet 2013 (Source : EMR).	59
Figure 44 : vue du platier de la station St34 – Baie Kué. L'aspect trouble des photos est du a une mise au point difficile liée à la forte agitation des eaux de la baie Kué (vents > 25 nds) et non pas à la présence d'eau douce.	60
Figure 45 : colonies coralliennes blanchies, présentes au niveau du haut du tombant de la station St34 – Baie Kué (Source : EMR).....	61
Figure 46 : colonies coralliennes, substrat abiotique et assemblage algal recouverts de sédiments d'origine terrigène, niveau du haut du tombant de la station St34 – Baie Kué (Source : EMR).	61

Figure 47 : présence de fragments de colonies coralliennes blanchies niveau du haut du tombant de la station St34 – Baie Kué (Source : EMR).....	62
Figure 48 : colonies coralliennes, éponge et substrat recouvert de sédiments d'origine terrigène au niveau de bas du tombant de la station St34 – Baie Kué. Photos OEIL/Matthieu Juncker....	63
Figure 49 : photo montrant l'épaisseur de la couche de sédiments qui s'est déposée à la surface des colonies coralliennes. Photos OEIL/Matthieu Juncker.....	63
Figure 50 : vue des tissus morts d'une éponge et du corail blanchit, lorsque la couche de sédiments est éliminée. Photos OEIL/Matthieu Juncker.....	64
Figure 51 : photographie d'un oursin et d'une huître morts au niveau du bas de tombant de la station St34 – Baie Kué. Photos OEIL/Matthieu Juncker.	64
Figure 52 : prises de vues sous-marine du platier de la station St34 de la baie Kué. a : prise de vue réalisée en octobre 2011 ; b : prise de vue réalisée en juillet 2013 (Source : EMR).....	65
Figure 53 : prises de vues sous-marine du haut du tombant de la station St34 de la baie Kué. a : prise de vue réalisée en octobre 2011 ; b : prise de vue réalisée en juillet 2013 (Source : EMR). 65	
Figure 54 : prises de vues sous-marine du haut du tombant de la stations St34 de la baie Kué. a : prise de vue réalisée en octobre 2011 ; b : prise de vue réalisée en juillet 2013 (Source : EMR).....	66
Figure 55 : prises de vues sous-marine du bas du tombant de la station St34 de la baie Kué. a : prise de vue réalisée en octobre 2011 ; b : prise de vue réalisée en juillet 2013. La turbidité observée en juillet 2013 n'a pas permis de réaliser des prises de vues générales comme cela a été le cas en 2011 (Source : EMR).	66
Figure 56 : vue du platier de la station St37 – Baie de Port-Boisé. Les dégradations se traduisent par le blanchissement de colonies coralliennes et le dépôt d'une couche très mince de sédiments (Source : EMR).....	67
Figure 57 : substrat abiotique recouverts de sédiments d'origine terrigène, niveau du platier de la station St37 – Baie de Port-Boisé (Source : EMR).	68
Figure 58 : colonies coralliennes blanchies au niveau du platier de la station St37 – Baie de Port-Boisé (Source : EMR).....	68
Figure 59 : colonies coralliennes blanchies et recouvertes de sédiments au niveau du pinacle coralliens de la station St37 – Baie de Port-Boisé (Source : EMR).	70
Figure 60 : vue du substrat recouvert pour partie d'un fine couche de sédiments au niveau du haut du tombant de la station St37 – Baie de Port-Boisé (Source : EMR).....	70
Figure 61 : présence de bivalves (<i>Pedum spondyloideum</i> , <i>Arca ventricosa</i> et <i>Tridacna crocea</i>) vivants au niveau du haut de tombant de la station St34 – Baie de Port-Boisé (Source : EMR).....	71
Figure 62 : présence de Pomacentridae (<i>Chrysiptera taupou</i> et <i>Chromis viridis</i>) au niveau du haut de tombant de la station St34 – Baie de Port-Boisé (Source : EMR).....	71
Figure 63 : vue du bas du tombant au niveau de la station St37 – Baie de Port-Boisé. Les observations faites ne montrent pas de dégradation de l'habitat (Source : EMR).....	72

Figure 64 : prises de vues sous-marine du platier de la station St37 de la baie de Port-Boisé. a : prise de vue réalisée en octobre 2011 ; b : prise de vue réalisée en juillet 2013 (Source : EMR).	73
Figure 65 : prises de vues sous-marine du haut du tombant de la station St37 de la baie de Port-Boisé. a : prise de vue réalisée en octobre 2011 ; b : prise de vue réalisée en juillet 2013 (Source : EMR).	73
Figure 66 : prises de vues sous-marine du bas du tombant de la station St37 de la baie de Port-Boisé. a : prise de vue réalisée en octobre 2011 ; b : prise de vue réalisée en juillet 2013 (Source : EMR).	74
Figure 67 : vue du platier de la station St39 – Baie de Port-Boisé (Source : EMR).	75
Figure 68 : vue d’une colonie corallienne en partie blanchie au niveau du platier de la station St39 – Baie de Port-Boisé (Source : EMR).	75
Figure 69 : vue du haut du tombant au niveau de la station St39 – Baie de Port-Boisé (Source : EMR).	76
Figure 70 : vue du bas du tombant au niveau de la station St39 – Baie de Port-Boisé. Les observations faites ne montrent pas de dégradation de l’habitat malgré la turbidité de l’eau (Source : EMR).	77
Figure 71 : prises de vues sous-marine du platier de la stations St39 de la baie de Port-Boisé. a : prise de vue réalisée en octobre 2011 ; b : prise de vue réalisée en juillet 2013 (Source : EMR).	77
Figure 72 : prises de vues sous-marine du haut du tombant de la stations St39 de la baie de Port-Boisé. a : prise de vue réalisée en octobre 2011 ; b : prise de vue réalisée en juillet 2013 (Source : EMR).	78
Figure 73 : prises de vues sous-marine du bas du tombant de la stations St39 de la baie de Port-Boisé. a : prise de vue réalisée en octobre 2011 ; b : prise de vue réalisée en juillet 2013 (Source : EMR).	78

Liste des Tableaux

Tableau 1. Liste des unités (zones) et groupes d’unités (sous influence ou éloignée de l’influence directe de VALE NC).	21
Tableau 2. Stations d’inventaire du substrat, du macrobenthos et de l’ichtyofaune (Octobre 2011, source EMR, 2012).	26
Tableau 3 : Résultats des mesures physico-chimiques réalisées le 09/07/2013 sur les eaux de la Baie Kué. Les valeurs en gras sont supérieures aux seuils de toxicité pour la vie marine. Prof. : profondeur en m ; surf. : sub-surface ; T°C : température en °C ; Cond. : Conductivité en µS/cm ; Sal. : Salinité en ‰ ; Turb. : Turbidité en NTU. Ces mesures ont été réalisées avec une sonde multiparamétrique Ysi. Les stations de mesures sont organisées selon un gradient côte-large et sont présentées à la Figure 5.	42

Tableau 4 : Résultats des mesures physico-chimiques réalisées le 09/07/2013 sur les eaux de la Baie de Port-Boisé. Les valeurs en gras sont supérieures aux seuils de toxicité pour la vie marine. Prof. : profondeur en m ; surf. : sub-surface ; T°C : température en °C ; Cond. : Conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$; Sal. : Salinité en ‰ ; Turb. : Turbidité en NTU. Ces mesures ont été réalisées avec une sonde multiparamétrique *Ysi*. Les stations de mesures sont organisées selon un gradient côte-large et sont présentées à la Figure 5..... 47

1 RÉSUMÉ EXECUTIF

1.1 Introduction

Suite aux fortes précipitations observées les 02 et 03 juillet 2013, un usager du lagon et les gardes nature de la Direction de l'Environnement de la province Sud ont alerté l'OEIL sur la présence de nombreux animaux marins morts (mollusques, crustacés et poissons) observés sur le littoral au niveau des baies Kué et de Port-Boisé, l'OEIL a donc décidé de commanditer une mission d'expertise pour estimer l'ampleur de la perturbation et évaluer les causes de ces mortalités.

Pour ce faire, le bureau d'études EMR s'est rendu les 09 et 10 juillet 2013 au niveau des 2 baies concernées et a réalisé plusieurs observations notamment sur les stations qui avaient été inventoriées en 2011 pour établir l'état de référence des communautés récifales dans le périmètre d'influence de Vale Nouvelle-Calédonie.

1.2 Méthodologie

La campagne d'expertise a été réalisée de manière globale sur l'ensemble des 2 baies concernées et plus particulièrement sur certaines stations ayant fait l'objet d'un inventaire détaillé en 2011 (EMR, 2012). Ces stations sont :

- celles déployées dans la baie Kué ;
- celles déployées dans la baie de Port-Boisé.

Les mesures de qualité physico-chimique des masses d'eau ont été réalisées *in situ* (depuis la surface jusqu'à une profondeur maximum de l'ordre de 13 m) à l'aide d'une sonde multiparamétrique de YSI 556 *Multiprobe System*. Les paramètres mesurés sur les différentes stations sont :

- la température (T°C),
- la conductivité (µS/cm),
- l'acidité (pH),
- la turbidité (NTU),
- la profondeur (m).

L'étendue du panache turbide a été déterminée par observation visuelle et les contours ont été délimités par l'utilisation d'un GPS Garmin GPSmap 60Cx.

L'évaluation des perturbations potentielles sur les communautés récifo-lagonaires a été réalisée en plongée sous-marine. L'évaluation visuelle a donc consisté à se déplacer sur certaines stations inventoriées en octobre 2011 (EMR, 2012) et à cheminer le long de parcours aléatoires, afin de noter tous les éléments permettant de préciser la cause des mortalités et des dégradations observées. Ainsi, tous les signes d'altération et de dégradation du milieu à savoir la dessalure, la forte sédimentation, la présence de débris coralliens etc. ainsi que la présence ou non d'organismes morts, non visibles depuis la surface (coraux blanchis, éponges, mollusques, crustacés, échinodermes, poissons etc.), ont pu être notés durant cette évaluation.

1.3 Résultats

La pluviométrie de la zone montre un cumul de presque 380 mm sur 1 journée (02/07/2013 à 12:00 au 03/07/2013 à 12:00). Ce cumul est particulièrement élevé et correspondrait à une récurrence de l'ordre de 25 ans.

Au niveau de la baie Kué, les investigations de terrain faites après les inondations montrent que le panache turbide (couche d'eau superficielle d'approximativement 2 m d'épaisseur) ne semble pas s'évacuer rapidement de cette dernière. En effet, ce panache est encore très présent dans la partie centrale de la baie et les actions conjointes des forts vents d'alizé et des marées le maintiennent à l'intérieur de la baie. Sept jours après les inondations il existe toujours une couche d'eau superficielle dont la salinité est toujours très faible (4‰ à 7‰), la température est de 1°C à 2°C inférieure à la température des eaux plus profondes et la turbidité y est également très élevée (> 20 NTU).

Au niveau de la baie de Port-Boisé, les investigations de terrain faites après les inondations montrent que l'étendue du panache turbide (couche d'eau superficielle d'approximativement 2 m d'épaisseur) est limitée à la partie ouest de la baie (anse Kwà Mwa). Ceci est probablement lié aux apports terrigènes provenant des 2 sous-bassins versants situés en amont et à l'action des forts vents d'alizé. En revanche, sur le reste de la baie, la couche d'eau superficielle s'estompe rapidement grâce à l'action conjointe des courants de marée et des vents qui entraînent un brassage vertical des eaux de la baie.

Les fortes précipitations qui sont tombées pendant les journées du 02 et du 03 juillet 2013, ont engendré, soit directement (eaux météoriques), soit par ruissellement, un apport d'eau douce massif dans les cours d'eau et par la suite dans chacune des baies concernées. Cet afflux très important a entraîné une très forte baisse de la salinité des eaux de surface ainsi qu'une baisse de la température. La diminution de salinité et de la température des eaux de surface a également été causée directement par l'apport des pluies (eaux météoriques) au niveau de chacune des baies. De plus, le lessivage (par les pluies) des sols nus des 2 bassins versants concernés a eu pour conséquence l'apport de quantités certainement importantes de sédiments terrigènes. Cet apport, couplé aux sédiments de taille plus ou moins importante déjà présents dans les lits des rivières, s'est traduit par l'arrivée d'une quantité probablement massive de particules en suspension dans les eaux des 2 baies. Il est également possible que le lessivage des sols ait entraîné plusieurs éléments polluants dans les eaux des rivières.

Ainsi, la présence de colonies coralliennes blanchies jusqu'à une profondeur limitée à 2 m approximativement, montre très probablement qu'une couche d'eau superficielle de l'ordre de 2 m d'épaisseur, s'est répandue sur la quasi-totalité de la surface de chaque baie. Les effets cumulés de la faible salinité, de la diminution de la température, de la forte concentration de particules en suspension, associées probablement à d'autres composés chimiques, a entraîné la mort de nombreux organismes marins présents dans cette gamme de profondeur. La présence parmi les organismes morts, de poissons récifaux particulièrement mobiles (Scaridae et Acanthuridae), laisse penser que ces arrivées massives d'eau douce ont été rapides et ont eu lieu la nuit. En effet, ces poissons sont connus pour se réfugier la nuit dans les anfractuosités des récifs pour dormir. Ainsi, la survenue soudaine et rapide de ces inondations, n'a pas permis aux poissons de fuir. Il est également possible que ces derniers aient été bloqués dans les dépressions peu profondes des récifs.

1.4 Conclusions

Il apparaît clairement que les causes des perturbations observées sont liées aux fortes précipitations. De plus, la baie Kué semble avoir été plus impactée que la baie de Port-Boisé. Ceci est très certainement dû à la conjonction entre d'une part la taille de la baie Kué (2 fois inférieure à celle de Port-Boisé) et la taille très importante du bassin versant (2 fois supérieure à celui de Port-Boisé). Ainsi, l'impact relatif des inondations a été beaucoup plus important au niveau de la baie Kué en comparaison à la baie de Port-Boisé. Toutefois,

malgré une durée, une intensité et une étendue de l'impact plus importantes dans la baie Kué que dans la baie de Port-Boisé, il n'est pas possible de lier directement ce dernier aux activités industrielles et minières du projet de Vale Nouvelle-Calédonie. En effet, la survenue de ces dégradations dans 2 baies différentes (la baie Kué, sous l'influence du projet de Vale Nouvelle-Calédonie et la baie de Port-Boisé, éloignée de l'influence du projet de Vale Nouvelle-Calédonie) semble confirmer l'origine naturelle des impacts.

Malgré les impacts importants que ces inondations ont eu sur les communautés récifo-lagonaires et les caractéristiques de la colonne d'eau de la baie de Port-Boisé, il semble que cette dernière puisse se rétablir rapidement. En revanche, au niveau de la baie Kué, la persistance d'un stress important qui pourrait durer relativement longtemps, laisse supposer que le rétablissement sera beaucoup plus long, à condition qu'elle ne soit pas soumise à des stress supplémentaires comme par exemple la pollution. Il est également possible au niveau des zones peu profondes de la baie Kué que la recolonisation des zones envasées par les coraux soit impossible. Il pourrait se produire alors une modification des communautés biologiques présentes.

Compte tenu des perturbations décrites dans le présent document, plusieurs préconisations concernant l'acquisition de connaissances sur les rivières concernées et sur leurs fonctionnements peuvent être avancées. Certaines de ces préconisations sont probablement déjà mises en place par Vale Nouvelle-Calédonie. Ces préconisations sont à plusieurs niveaux :

- un suivi du comportement actuel des cours d'eau, par la réalisation d'un suivi hydrologique complet ou d'un suivi des mouvements de sédiments dans les « creeks ». Ce type de suivi vise à définir l'impact actuel des activités anthropiques sur le cours d'eau et à adapter la réponse en conséquence ;
- un suivi des bassins versants actuels et de l'activité minière, par la réalisation d'audits de la gestion des eaux notamment sur le bassin de la Kué ;
- au niveau de la compréhension des origines de l'érosion des sols (anthropique et naturelle) et de leur évolution dans le temps.

Des préconisations concernant l'acquisition de connaissances sur les estuaires et sur les baies peuvent également être proposées. Concernant les estuaires, les principaux points sont proposés ci-après :

- un suivi de la sédimentation dans les baies ;

- un suivi du flux de sédimentation dans l'estuaire de la rivière ;
- des investigations de terrain après des évènements pluvieux qui permettraient d'apprécier l'extension et la dispersion de panaches turbides et de donner une idée de la localisation possible des zones d'accumulations sédimentaires après les épisodes pluvieux ;
- des campagnes courantologiques simples par lâchés de flotteurs permettraient de mieux comprendre la répartition des zones d'accumulation sédimentaires en fonction des caractéristiques hydrodynamiques de la baie ;
- une analyse diachronique des zones d'accumulation sédimentaires ;
- un suivi des communautés récifo-lagonaires aux niveaux des stations inventoriées par le passé.

2 INTRODUCTION

L'Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie, province Sud (OEIL) a pour mission de suivre l'évolution de l'environnement et d'en informer les populations. Suite aux fortes précipitations observées les 02 et 03 juillet 2013, de nombreux animaux marins morts (mollusques, crustacés et poissons) ont été observés sur le littoral au niveau des baies de Kué et de Port-Boisé. Suite aux alertes provenant d'un usager du lagon le 05 juillet et des gardes nature de la Direction de l'Environnement de la province sud le 8 juillet, l'OEIL a décidé de commanditer une mission d'expertise pour estimer l'ampleur de la perturbation et évaluer les causes de ces mortalités (Figure 1). Parmi ces organismes morts, il faut noter la présence de poissons mobiles (Scaridae et Acanthuridae), mais également d'une holothurie et d'un crabe.



Figure 1 : photographie prise le 08 juillet 2013 par les gardes natures de la Direction de l'Environnement de la province Sud, montrant une partie des organismes marins morts récoltés dans la baie Kué. On note la présence d'une holothurie, d'un crabe et de nombreux poissons dont des espèces très mobiles (Scaridae et Acanthuridae).

Ainsi, la société EMR a été mandatée par l'Observatoire de l'Environnement (OEIL) pour réaliser cette expertise. Cette dernière fait l'objet du présent rapport et a pour but :

- de vérifier la persistance de la perturbation 1 semaine après le phénomène climatique ;
- de préciser l'étendue géographique de la perturbation ;
- d'évaluer l'importance de l'impact éventuel ;

- d'essayer de déterminer la cause des perturbations observées.

Comme demandé par l'OEIL, la présente étude doit permettre de faire un premier bilan qualitatif et d'estimer l'étendue de la perturbation selon un gradient côte– large.

Pour ce faire, le bureau d'études EMR s'est rendu les 09 et 10 juillet 2013 au niveau des 2 baies concernées et a réalisé plusieurs observations notamment sur les stations qui avaient été inventoriées en 2011 pour établir l'état de référence des communautés récifales dans le périmètre d'influence de Vale Nouvelle-Calédonie (EMR, 2012 rapport : Communautés récifales dans le périmètre d'influence de Vale Nouvelle-Calédonie : État de référence en 2011 - Partie 1).

3 MATERIEL ET METHODES

3.1 Moyens humains mis en œuvre

L'étude a été coordonnée par le Dr. Sébastien Sarramegna, Docteur en biologie marine et gérant d'EMR.

Les investigations de terrain ont été menées par EMR :

- **Sébastien Sarramegna**, docteur en biologie marine avec plus de 15 ans d'expérience en biologie marine. Il a été responsable par intérim du service Environnement pour le projet Koniambo Nickel SAS et a notamment coordonné les opérations de suivi environnemental au sein de la société Falconbridge pendant 6 ans. Plus récemment, il a été responsable scientifique de l'Aquarium des Lagons. De 2008 à 2010, il a été notamment en charge du suivi de l'environnement marin du projet Koniambo Nickel SAS.

Et la société EGLE :

- **Christophe Clédor**, gérant de la société EGLE. Moniteur Fédéral 1^{er} degré, technicien en maintenance des équipements à pression à gaz et équipements de plongée, et titulaire du Permis de Conduire Lagonaire. Il a assuré pour la mission, l'organisation logistique et le pilotage de l'embarcation ;

Ainsi que l'OEIL pour la première journée de terrain :

- **Matthieu Juncker**, Directeur de l'OEIL. Docteur en biologie marine.

3.2 Zone d'étude et stratégie d'inventaire

3.2.1 Zone d'étude globale

Les infrastructures industrielles et minières de Vale Nouvelle-Calédonie sont situées au niveau de la pointe Sud de la Nouvelle-Calédonie, à environ 50 km à vol d'oiseau au sud-est de Nouméa (Figure 2). Le projet minier est localisé sur le Plateau de Goro et l'usine se situe sur le littoral de la Baie de Prony. En construction au cours de la période 2005-2007, pour une mise en production progressive depuis 2008, celle-ci utilise aujourd'hui la quatrième

génération du procédé hydrométallurgique destiné au nickel. A pleine capacité, l'usine devrait produire 60 000 tonnes de nickel et de 4 600 à 5 500 tonnes de cobalt par an.

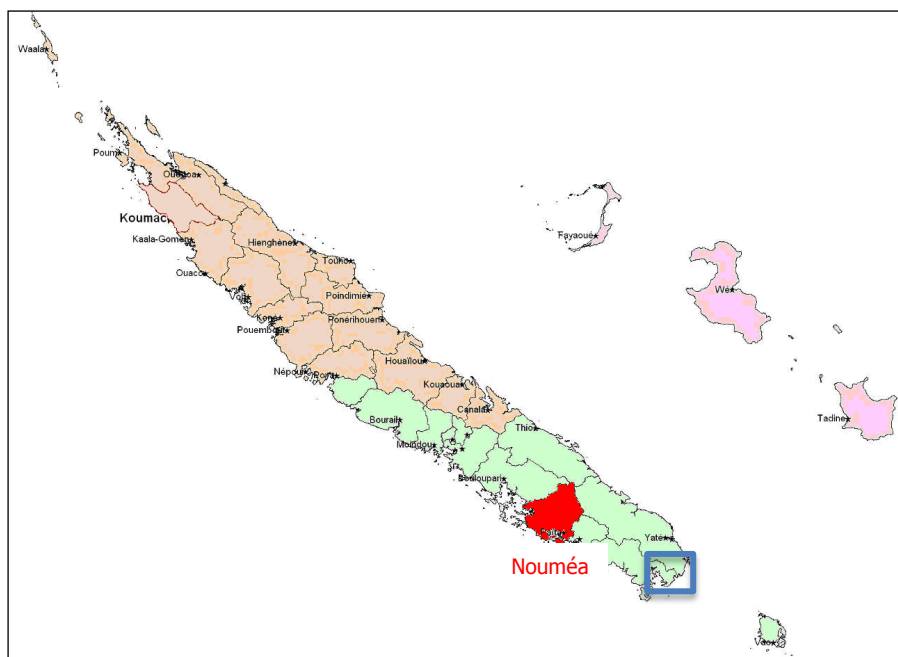


Figure 2 : Localisation du site d'étude (en bleu) (sans échelle).

Les principales infrastructures industrielles et minières de Vale Nouvelle-Calédonie susceptibles d'avoir des impacts sont (Figure 3) :

- la zone d'extraction,
- la verse à stérile,
- la carrière de péridotite,
- le parc à résidus,
- le diffuseur.

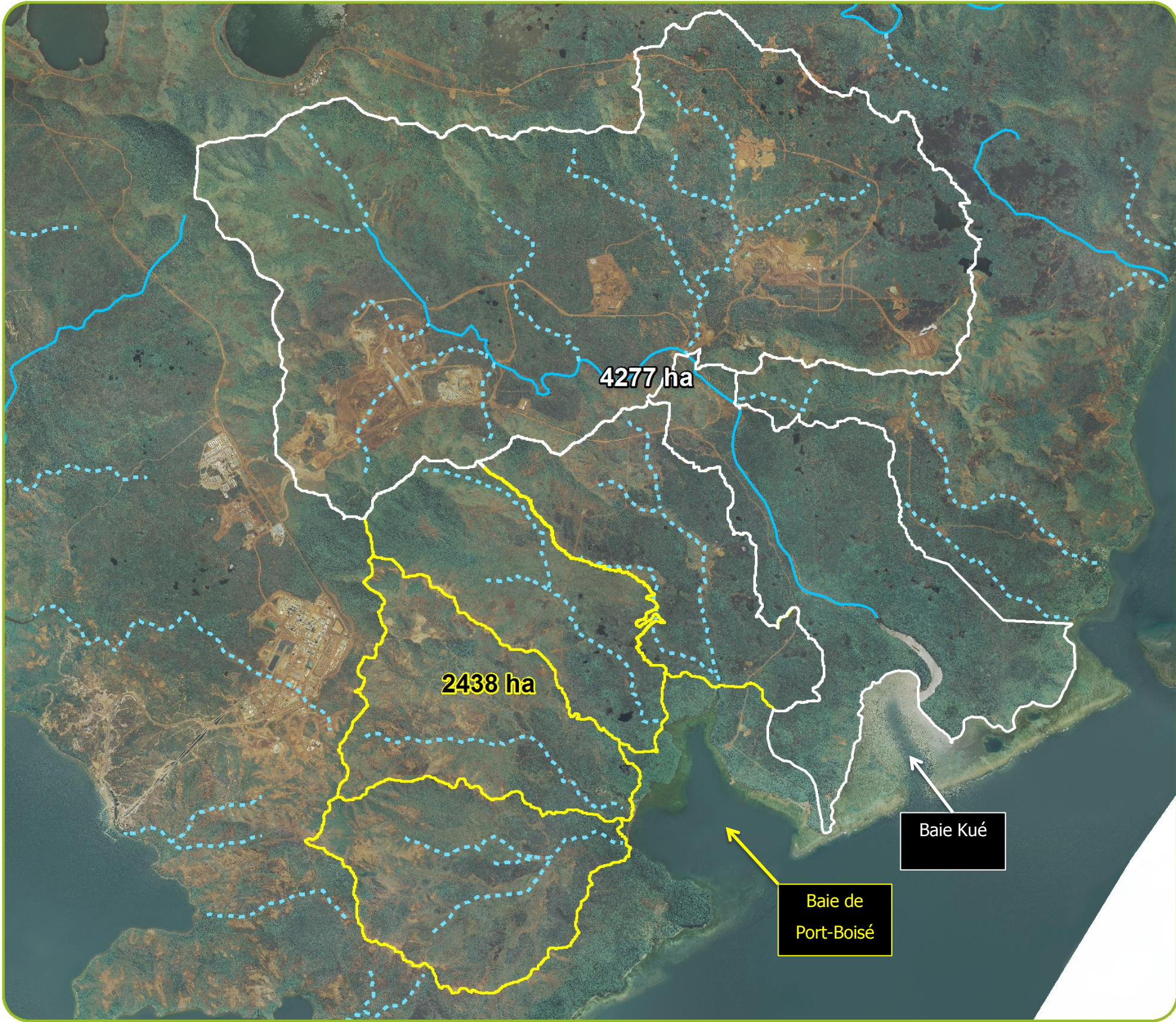


Figure 3 : carte de localisation des principales infrastructures de Vale Nouvelle-Calédonie (OEIL).

Les sites de la présente étude se situent au niveau des 2 baies où des mortalités d'organismes marins ont été observées. Ces 2 baies, à savoir la baie Kué et la baie de Port-Boisé (Figure 4), sont respectivement sous influence de l'activité du complexe industriel et minier de Vale Nouvelle-Calédonie et éloignée de l'influence directe de ce dernier. Les détails sont donnés dans le Tableau 1 ci-dessous.

**Tableau 1. Liste des unités (zones) et groupes
d'unités (sous influence ou éloignée de l'influence
directe de VALE NC).**

Lieu	Groupe d'unités
Baie Kué	Sous influence Eloignée de l'influence directe
Port-Boisé	Eloignée de l'influence directe

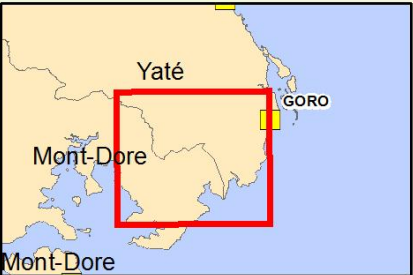




Localisation de la zone d'étude

Légende

- Points GPS
- Bassin versant**
 - Port Boisé
 - Kué
- Réseau hydrologique**
 - Rivière
 - Creek



Sources des données:
DITTT Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie

Af-13-0605_Expertise_Kue_PortBoisé	
Système de projection: WGS 84- 58 s	
1:62 000	Date: 17/07/2013
Auteur :C.La Validée par : S.Sa	Format: A3 Version: V1

© EMR 2010

Figure 4 : Carte de localisation de la zone d'étude.

3.2.2 La baie Kué

La baie Kué constitue un ensemble homogène par rapport aux autres ensembles géomorphologiques de la zone d'étude et plus particulièrement par rapport à la baie de Port-Boisé. Cette baie de petite taille (1,88 km²) est caractérisée par la présence d'un récif frangeant le long de ses faces est et ouest et par la présence d'une mangrove dans sa façade interne (Figure 5). L'estuaire se prolonge par un chenal central qui débouche sur une passe relativement étroite (290 m), marquant l'entrée de la baie. Ainsi, cette baie a pour particularité d'être en contact direct avec le milieu océanique (canal de la Havannah), ce qui permet de réaliser une transition rapide entre les domaines terrestre et marin. Ces caractéristiques soulignent l'intérêt écologique de cet écosystème. Les caractéristiques du substrat (EMR, 2012) montrent que les communautés sont organisées selon un gradient côte-large déterminé par l'importance relative des influences terrigènes et océaniques.

Une seule rivière se jette dans les eaux de la baie Kué (Figure 5). Il s'agit de la rivière Kué qui se jette dans le fond de la baie du même nom. Cette rivière est alimentée par un réseau hydrographique important qui draine un bassin versant (KOU_14, Géorépertoire de la Nouvelle-Calédonie) de très grande superficie (42,8 km²) (Figure 4). Le bassin versant de la rivière Kué peut être séparé en 2 sous-bassins versants secondaires. Le premier représente la partie sommitale et a pour particularité d'accueillir la grande majorité des infrastructures minières du projet de Vale Nouvelle-Calédonie, à savoir :

- la zone d'extraction,
- la verse à stérile,
- la carrière de péridotite,
- le parc à résidus.

La seconde partie du bassin versant, situé en aval, présente un couvert végétal relativement important et préservé.

La majeure partie de la rivière Kué et de ses affluents provient de la partie supérieure du bassin versant KOU_14, au niveau duquel est localisée la majorité des activités minières de Vale Nouvelle-Calédonie.

De plus, le diffuseur du tuyau de rejet de certains effluents liquides se trouve à proximité (3 - 4 Km) de la passe de la baie Kué au fond du canal de la Havannah.

3.2.3 La baie de Port-Boisé

La baie de Port-Boisé constitue un ensemble homogène par rapport aux autres ensembles géomorphologiques de la zone d'étude et plus particulièrement par rapport à la baie Kué. Elle se caractérise par la présence d'un récif frangeant le long de ses faces est et ouest. C'est une baie de taille moyenne ($2,8 \text{ km}^2$) assez profonde et relativement fermée (Figure 5). La baie de Port-Boisé s'ouvre sur le canal de la Havannah par une passe relativement étroite (340 m). Ainsi, cette baie a également pour particularité d'être en contact direct avec le milieu océanique (canal de la Havannah). Les communautés récifales de la baie de Port-Boisé s'organisent en fonction de 2 influences majeures, une influence estuarienne (rivière du Trou Bleu) et une influence océanique (canal de la Havannah). La baie de Port-Boisé présente des analogies avec la baie Kué. Ainsi, l'importance relative des influences terrigènes et océaniques conditionne l'organisation des peuplements.

Quatre cours d'eau se jettent au niveau de cette baie (Figure 5). Le plus important est la rivière du Trou Bleu qui se jette dans le fond de la baie de Port-Boisé. Un second cours d'eau se jette également dans le fond de la baie à proximité de l'estuaire de la rivière du Trou Bleu. Les 2 autres cours d'eau se jettent au niveau de la façade ouest de la baie, au niveau de la petite anse Kwâ Mwa. Ces 4 cours d'eau sont alimentés par un réseau hydrographique peu important qui draine un bassin versant principal de faible superficie ($24,4 \text{ km}^2$) (Figure 4). Le bassin versant principal peut être séparé en 4 sous-bassins versants secondaires :

- le sous-bassin versant de la rivière du Trou Bleu, qui présente un couvert végétal relativement important et préservé ;
- le sous-bassin versant du cours d'eau se jetant à proximité de la rivière du Trou Bleu, qui présente également un couvert végétal relativement important et préservé ;
- les 2 sous-bassins versants des cours d'eau se jetant au niveau de l'anse Kwâ Mwa, qui présentent un couvert végétal moins important et moins préservé que les 2 sous-bassins versants précédents.



Figure 5 : Carte détaillée des baies de Port-Boisé et Kué.

3.2.4 Stratégie d'inventaire

La campagne d'expertise a été réalisée de manière globale sur l'ensemble des 2 baies concernées et plus particulièrement sur certaines stations ayant fait l'objet d'un inventaire détaillé des communautés récifales en 2011 (Tableau 2) (EMR, 2012). Ces stations sont :

- celles déployées dans la baie Kué ;
- celles déployées dans la baie de Port-Boisé.

Tableau 2. Stations d'inventaire du substrat, du macrobenthos et de l'ichtyofaune (Octobre 2011, source EMR, 2012).

Lieu	Coordonnées GPS		Nom (EMR, Oct 2011)
	X_WGS84	Y_WGS84	
Baie Kué	704355,6	7528104,9	ZVI_St31
Baie Kué	704058,8	7528001,9	ZVI_St32
Baie Kué	704628,0	7527429,9	ZVI_St33
Baie Kué	704297,4	7527360,2	ZVI_St34
Port-Boisé	702356,4	7526115,8	ZVII_St36
Port-Boisé	702914,3	7526445,3	ZVII_St37
Port-Boisé	702205,6	7527275,8	ZVII_St38
Port-Boisé	701686,0	7527224,0	ZVII_St39

La mission de terrain s'est déroulée du 09 au 10 juillet 2013.

3.2.5 Qualité physico-chimique des eaux

Les mesures de qualité physico-chimique des masses d'eau présentes au niveau des 2 baies concernées ont été réalisées *in situ*, en plusieurs points des baies à l'aide d'une sonde multiparamétrique *YSI 556 Multiprobe System*. Les mesures ont été réalisées depuis la surface jusqu'à une profondeur maximum de l'ordre de 13 m.

Les paramètres mesurés sur les différents points de mesure sont :

- la température (T°C),
- la conductivité (µS/cm),
- l'acidité (pH),
- la turbidité (NTU),

- la profondeur (m).

3.2.6 Evaluation de l'étendue du panache turbide

L'étendue du panache turbide a été déterminée par observations visuelles et les contours ont été délimités par l'utilisation d'un GPS Garmin *GPSmap 60Cx*.

3.2.7 Evaluations visuelles sous-marines

L'évaluation des perturbations potentielles sur les communautés récifo-lagonaires a été réalisée en plongée sous-marine. Toutefois, la forte turbidité présente au moment de la mission n'a pas permis de réaliser des inventaires détaillés. L'évaluation visuelle a donc consisté à se déplacer sur certaines stations inventoriées en octobre 2011 (EMR, 2012) et à cheminer le long de parcours aléatoires, afin de noter tous les éléments permettant de préciser la cause des mortalités et des dégradations observées.

Ainsi, tous les signes d'altération et de dégradation du milieu à savoir la dessalure, la forte sédimentation, la présence de débris coralliens etc. ainsi que la présence ou non d'organismes morts, non visibles depuis la surface (coraux blanchis, éponges, mollusques, crustacés, échinodermes, poissons etc.), ont pu être notés durant cette évaluation.

Ces observations faites en plongée sous-marine ont été complétées par de nombreuses photographies, afin de pouvoir les comparer avec les prises de vue faites sur ces mêmes stations en octobre 2011 et ainsi évaluer l'ampleur des dégradations potentielles.

3.2.8 Cartographie

L'ensemble des cartes du présent rapport a été réalisé grâce au logiciel ArcGIS 10.

4 RÉSULTATS

4.1 Pluviométrie

La pluviométrie de la zone (Station A – La Pépinière), située à proximité du site industriel de Vale Nouvelle-Calédonie, montre un cumul de presque 380 mm sur 1 journée (02/07/2013 à 12:00 au 03/07/2013 à 12:00) (Figure 6). Ce cumul est particulièrement élevé et correspondrait à une récurrence de l'ordre de 25 ans.

Trois principaux pics de pluie sont à noter sur la période de suivi (Figure 7):

- 30 mm en 1 heure (le 02/07/2013 à 16:00),
- 50 mm en 1 heure (le 03/07/2013 à 05:00),
- 50 mm en 1 heure (le 03/07/2013 à 12:00).

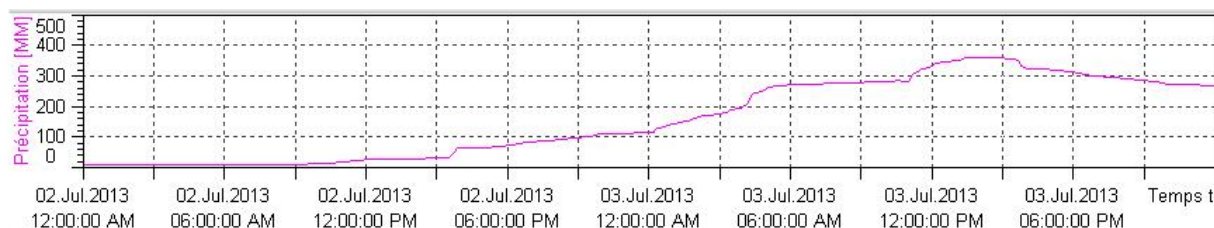


Figure 6 : Pluviométrie relevée au niveau de la station Goro Mine située sur le site minier pour la période 02/07/2013 – 03/07/2013. Source Vale Nouvelle-Calédonie.

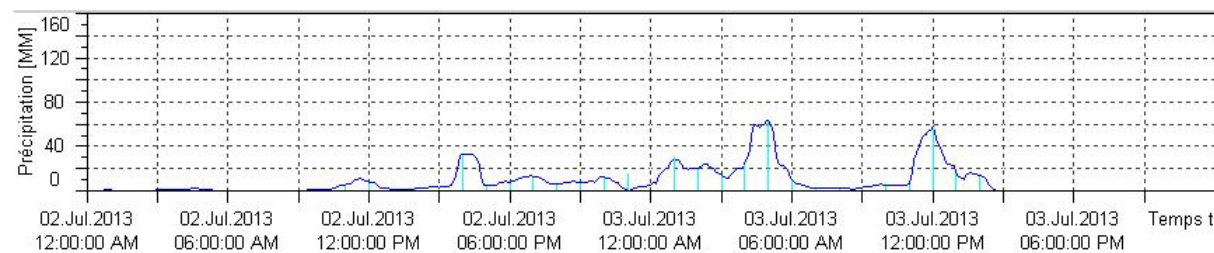


Figure 7 : Pluviométrie sur 1 heure cumulée relevée au niveau de la station Goro Mine située sur le site minier pour la période 02/07/2013 – 03/07/2013. Source Vale Nouvelle-Calédonie.

4.2 Conditions climatiques

4.2.1 Le 09 juillet 2013

Le 09 juillet 2013 les conditions climatiques observées étaient caractérisées par :

- un vent de secteur sud-est ;

- un vent moyen, sur la journée, soufflant à 19 nds (données Météo-France). Les vitesses minimales étaient en moyennes de 16 nds et les vitesses maximales de 21 nds (source Météo-France) ;
- une vitesse de vent qui a varié en matinée (06:00 à 12:00) entre 18 nds et 20 nds avec une valeur moyenne de 19 nds ;
- une vitesse de vent qui a varié l'après-midi (12:00 à 18:00) entre 16 nds et 21 nds, avec une valeur moyenne de 19 nds ;
- des précipitations nulles (0 mm enregistré à la station de La Coulée – données Météo-France).

4.2.2 Le 10 juillet 2013

Le 10 juillet 2013 les conditions climatiques observées étaient caractérisées par :

- un vent de secteur sud-est ;
- un vent moyen, sur la journée, soufflant à 20 nds (données Météo-France). Les vitesses minimales étaient en moyenne de 17 nds et les vitesses maximales de 23 nds (source Météo-France) ;
- une vitesse de vent qui a varié en matinée (06:00 à 12:00) entre 19 nds et 23 nds avec une valeur moyenne de 21 nds ;
- une vitesse de vent qui a varié l'après-midi (12:00 à 18:00) entre 18 nds et 20 nds, avec une valeur moyenne de 19 nds ;
- des précipitations très faibles (0,6 mm enregistré à la station de La Coulée – données Météo-France).

4.3 Etendue du panache turbide

4.3.1 Baie Kué

4.3.1.1 Observations du 09 juillet 2013

Les premières observations montrent que les eaux de la rivière ont une couleur « normale » et qu'elles ne transportent apparemment plus de quantités importantes de matières en suspension.

Les observations faites le 09 juillet 2013 montrent la présence d'un panache turbide s'étendant du fond de la baie Kué (Figure 8) (très marqué au niveau la zone de rencontre entre les eaux de la rivière et les eaux de baie, stations 8190 et 8191 de la Figure 5) jusqu'à l'extérieur de la passe au niveau du canal de la Havannah (Figure 9, station 8194 de la Figure 5). La Figure 10 présente l'étendue du panache turbide. Ce dernier est limité dans son extension latérale à la partie centrale de la baie, au niveau de la zone la plus profonde (Figure 11, station 8195 de la Figure 5). Le panache ne s'étend pas jusqu'au niveau des platiers ouest (Figure 12, station 8197 de la Figure 5) et est (Figure 13, station 8197 de la Figure 5) de la baie Kué. En revanche, les eaux turbides s'étendent au niveau du canal de la Havannah, bien au-delà de la baie, jusqu'à une distance de l'ordre de 1 km (Figure 5) de la passe et sur une largeur maximale de 700 m (Figure 5).

L'ensemble des prises de vue est présenté sur la carte donnée en annexe.



Figure 8 : vue du panache turbide depuis le fond de la baie Kué. Station 8190 de la Figure 5 (Source : EMR).

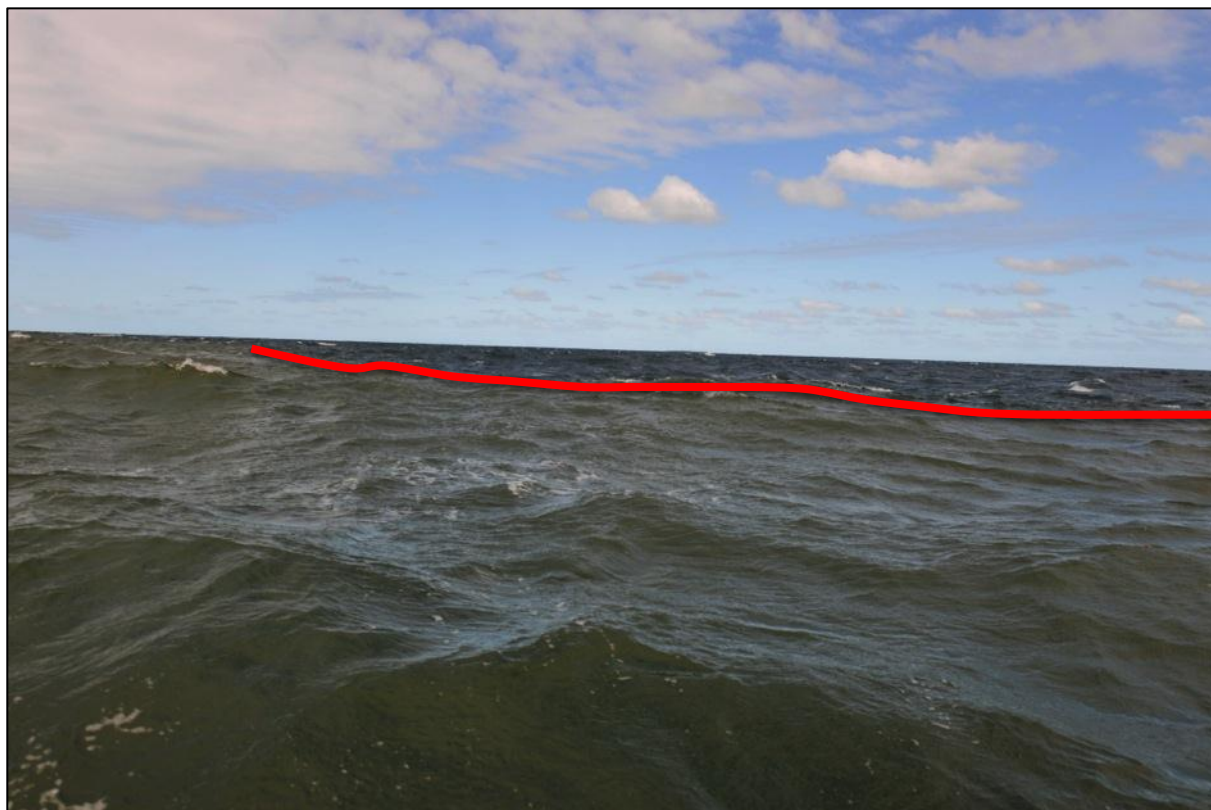


Figure 9 : vue vers le large de la limité extérieure du panache turbide au niveau du canal de la Havannah. Station 8194 de la Figure 5. La ligne rouge matérialise la limite entre le panache turbide et les eaux du canal de la Havannah (Source : EMR).



Figure 10 : représentation schématique de l'étendue du panache turbide observée le 09 juillet 2013 dans la baie Kué (Source : EMR).



Figure 11 : prise de vue orientée vers l'est de la baie, réalisée le 09/07/2013, montrant le panache turbide au niveau de la partie centrale de la baie Kué. Station 8195 de la Figure 5 (Source : EMR).



Figure 12 : prise de vue orientée vers l'ouest de la baie, réalisée le 09/07/2013, montrant la limite d'extension du panache turbide au niveau du platier ouest de la baie Kué. Station 8197 de la Figure 5 (Source : EMR).



Figure 13 : prise de vue orientée vers l'est de la baie, réalisée le 09/07/2013, montrant la limite d'extension du panache turbide au niveau du platier est de la baie Kué. Station 8197 de la Figure 5 (Source : EMR).

4.3.1.2 Observations du 10 juillet 2013

Les observations faites le 10 juillet 2013 montrent que l'extension du panache turbide est plus limitée en comparaison de ce qui a été observé au cours de la journée du 09 juillet 2013. En effet, contrairement à ce qui a été observé la veille, l'extension du panache turbide est limitée à l'intérieur de la baie (point 245 de la Figure 5 et Figure 14). Ceci s'explique par la présence d'un fort vent d'alizé (> 20 nds) durant cette journée de terrain qui semble pousser le panache turbide de surface vers le nord-ouest de la baie Kué (Figure 15). La Figure 16 présente l'étendue du panache turbide. Bien que ce dernier reste limité dans son extension latérale à la partie centrale de baie (Figure 17), il s'étend cependant jusqu'au niveau du platier nord-ouest de la baie (Figure 18). En revanche, le panache turbide ne s'étend toujours pas jusqu'au platier est (Figure 19) de la baie Kué.

L'ensemble des prises de vue est présenté sur la carte présentée en annexe.



Figure 14 : prise de vue orientée vers la sortie de la baie, réalisée le 10/07/2013, montrant la limite d'extension du panache turbide à l'intérieur de la baie Kué. Point 245 de la Figure 5 (Source : EMR).



Figure 15 : prise de vue orientée vers le fond de la baie, réalisée le 10/07/2013, montrant le panache turbide qui semble comme « poussé » par les vents alizé au niveau du nord-ouest de la baie Kué. Point 245 de la Figure 5 (Source : EMR).



Figure 16 : représentation schématique de l'étendue du panache turbide observée le 10 juillet 2013 dans la baie Kué (Source : EMR).



Figure 17 : prise de vue orientée vers la sortie de la baie, réalisée le 10/07/2013, montrant le panache turbide au niveau de la partie centrale de la baie Kué. Station 8195 de la Figure 5 (Source : EMR).



Figure 18 : prise de vue orientée vers l'ouest de la baie, réalisée le 10/07/2013, montrant l'extension du panache turbide au niveau nord-ouest de la baie Kué. Station 8197 de la Figure 5 (Source : EMR).



Figure 19 : prise de vue orientée vers l'est de la baie, réalisée le 10/07/2013, montrant la limite d'extension du panache turbide au niveau du platier est de la baie Kué. Station St31 de la Figure 5 (Source : EMR).

4.3.2 Baie de Port-Boisé

4.3.2.1 Observations du 09 juillet 2013

Comme dans le cas de la baie Kué, les premières observations montrent que les eaux de la rivière principale ont une couleur « normale » et qu'elles ne transportent apparemment plus de quantités importantes de matières en suspension.

Les observations faites le 09 juillet 2013 montrent la présence d'un panache turbide dont l'extension est relativement faible au regard de l'étendue de la baie et limitée dans la partie ouest de cette dernière (Figure 20). A ce niveau, seule une partie du platier situé au nord de l'anse Kwà Mwa est recouverte par le panache turbide. La Figure 21 montre l'étendue du

panache turbide. Le reste de la baie présente des eaux relativement peu turbides (Figure 22). L'ensemble des prises de vue est présenté à la carte n°1 présentée en annexe.



Figure 20 : représentation schématique de l'étendue du panache turbide observée le 09 juillet 2013 dans la baie de Port-Boisé (Source : EMR).



Figure 21 : prise de vue orientée vers l'ouest de la baie, réalisée le 09/07/2013, montrant la limite d'extension du panache turbide au niveau ouest de la baie de Port-Boisé. Station 8198 de la Figure 5 (Source : EMR).



Figure 22 : prise de vue orientée vers la sortie de la baie, réalisée le 09/07/2013, montrant les eaux relativement claires de la baie de Port-Boisé. Station 8199 de la Figure 5 (Source : EMR).

4.3.2.2 Observations du 10 juillet 2013

Les observations faites le 10 juillet 2013 ne montrent pas de modification dans l'étendue du panache turbide. En revanche, l'agitation des masses d'eaux liée aux forts vents d'alizé (>20 nds) a certainement accentué la remise en suspension des particules terrigènes augmentant ainsi la turbidité des eaux (Figure 23).

L'ensemble des prises de vue est présenté sur la carte présentée en annexe.



Figure 23 : prise de vue orientée vers l'ouest de la baie, réalisée le 10/07/2013, montrant le panache turbide présent dans la baie de Port-Boisé. Station St-39 de la Figure 5 (Source : EMR).

4.4 Qualité physico-chimique des eaux

4.4.1 Baie Kué

Les valeurs des différents paramètres mesurés sont présentées au Tableau 3. Les points de mesures sont localisés sur la Figure 5.

Les mesures physico-chimiques réalisées *in situ*, montrent clairement une stratification verticale de la colonne d'eau (Tableau 3). Cette stratification est bien marquée au niveau des stations de fond de baie (stations 8190, 8191 et 8197, Tableau 3), puis s'estompe vers le milieu de la baie (stations 8192 et 8195, Tableau 3) pour ne plus être visible au niveau de la passe et du canal de la Havannah (stations 8193 et 8194, Tableau 3).

Ainsi, au niveau du fond de la baie (stations 8190, 8191 et 8197, Tableau 3), il apparaît une première couche d'eau superficielle d'une épaisseur approximative de 0,5 m à 0,7 m. Cette couche d'eau de surface est relativement froide (entre 20,9 °C et 21,2°C, Figure 24) et présente une salinité très faible (entre 4‰ et 10‰, Figure 25). Ces valeurs de salinité sont très inférieures aux valeurs communément observées en Nouvelle-Calédonie et aux normes de qualité des eaux marines concernant la toxicité pour la vie marine (35‰ à 38‰ ; ANZECC, 2000). Les valeurs de pH mesurées sont également faibles (entre 7,4 et 7,7, Figure 26) par rapport à la gamme de valeurs communément observées (entre 8 et 8,3). En

revanche, les valeurs de turbidité mesurées au niveau de cette couche superficielle sont très élevées (entre 24,2 NTU et 80 NTU) (Tableau 3, Figure 27). Ces valeurs de turbidité sont beaucoup plus élevées que les valeurs définies comme norme de qualité des eaux marines concernant la toxicité pour la vie marine (entre 1 NTU et 20 NTU - ANZECC, 2000 et entre 0,5 et 1,5 NTU). Sous cette couche d'eau « douce » superficielle, une seconde couche d'eau se distingue. Cette dernière de 1,5 m à 2 m d'épaisseur présente une température (entre 21°C et 21,6°C) similaire à celle mesurée en surface (Tableau 3, Figure 24). Pour la station 8191, les valeurs de salinité (9,3‰) et de pH (7,4) sont similaires aux valeurs mesurées en surface (respectivement 10‰ et 7,7) (Tableau 3, Figure 25, Figure 26). En revanche, la turbidité mesurée à 2 m de profondeur, est plus faible que celle mesurée en surface (respectivement 19,2 NTU et 55 NTU) (Tableau 3, Figure 27). Cette valeur de turbidité reste élevée en comparaison de ce qui s'observe généralement en Nouvelle-Calédonie. Concernant la station 8197, les valeurs de salinité mesurées au niveau de cette seconde couche (24,2‰) se rapprochent des valeurs communément observées en Nouvelle-Calédonie et des normes de qualité des eaux marines concernant la toxicité pour la vie marine (35‰ à 38‰ ; ANZECC, 2000). La turbidité mesurée à ce niveau reste relativement élevée (16,2 NTU) (Tableau 3). Pour des profondeurs supérieures à 4-5 m les paramètres mesurés reprennent des valeurs semblables à celles communément observées pour les eaux de mer de Nouvelle-Calédonie.

Au niveau du milieu de la baie (stations 8192, Tableau 3), la stratification de la colonne d'eau est moins marquée que celle observée en fond de baie. Il apparaît toujours une première couche d'eau superficielle d'une épaisseur approximative de 0,5 m à 0,7 m. Cette couche d'eau de surface est légèrement plus chaude que celle mesurée en fond de baie (respectivement 21,7°C et 20,9 °C, Figure 24) et présente une salinité toujours faible (13‰, Figure 25). Ces valeurs de salinité restent très inférieures aux valeurs communément observées en Nouvelle-Calédonie et aux normes de qualité des eaux marines concernant la toxicité pour la vie marine (35‰ à 38‰ ; ANZECC, 2000). Les valeurs de pH mesurées sont également faibles (7,8, Figure 26) par rapport à la gamme de valeurs communément observées (entre 8 et 8,3). En revanche, les valeurs de turbidité mesurées au niveau cette couche superficielle restent relativement élevées (12,4 NTU) (Tableau 3, Figure 27). Ces valeurs de turbidité sont plus élevées que les valeurs communément rencontrées en Nouvelle-Calédonie mais restent dans la gamme des normes de qualité des eaux marines concernant la toxicité pour la vie marine (entre 1 NTU et 20 NTU ; ANZECC, 2000). Ces caractéristiques restent relativement stables jusqu'à une profondeur de 1 m à 2 m. A partir,

de cette profondeur et jusqu'à une profondeur de 10 m à 13 m, la colonne d'eau ne montre pas de stratification notable, mais les valeurs des différents paramètres mesurés évoluent régulièrement pour atteindre les valeurs de l'eau de mer communément observées (Tableau 3).

Ainsi, au niveau de la passe (station 8193, Tableau 3) et du canal de la Havannah (station 8194, Tableau 3), la colonne d'eau ne montre pas de stratification. Les valeurs des différents paramètres, mesurées en surface, montrent toujours l'influence des fortes précipitations mais restent conformes à ce qui s'observe communément (Tableau 3). En-dessous, de la couche d'eau superficielle, et jusqu'à une profondeur de 10 m à 13 m, les valeurs des différents paramètres mesurés évoluent régulièrement pour atteindre les valeurs de l'eau de mer communément observées (Tableau 3).

Tableau 3 : Résultats des mesures physico-chimiques réalisées le 09/07/2013 sur les eaux de la Baie Kué. Les valeurs en gras sont supérieures aux seuils de toxicité pour la vie marine. Prof. : profondeur en m ; surf. : sub-surface ; T°C : température en °C ; Cond. : Conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$; Sal. : Salinité en ‰ ; Turb. : Turbidité en NTU. Ces mesures ont été réalisées avec une sonde multiparamétrique Ysi. Les stations de mesures sont organisées selon un gradient côte-large et sont présentées à la Figure 5.

	Prof. -->	surf.	1 - 2	4 - 5	10 - 13
Paramètres	Stations				
Cond.	8190	6 819			
	8191	17 600	15 250		
	8197	10 750	16 300	52 406	52 886
	8195	52 931		52 941	52 973
	8192	19 543	50 260	50 916	50 916
	8193	40 560	50 597	52 325	52 825
	8194	51 650		52 480	52 480
pH	8190	7.4			
	8191	7.7	7.4		
	8197	8.4	8.5	8.1	8.1
	8195	8.04		8.06	8.05
	8192	7.8	7.9	7.8	7.8
	8193	8	7.9	7.9	7.9
	8194	8		7.9	8.01
Sal.	8190	4			
	8191	10	9.3		
	8197	6.6	24.2	34.5	34.9
	8195	34.9		34.9	35
	8192	13	30	33	33
	8193	26.7	33.3	34.4	34.8
	8194	34		34.6	34.9
T°C	8190	21			

Turb.	8191	20.9	21		
	8197	21.2	21.62	22.6	23.1
	8195	23.45		23.49	23.53
	8192	21.5	22.9	22.7	22.7
	8193	22.2	22.9	23.3	23.4
	8194	22.6		23.2	23.5
	8190	80			
	8191	55	19.2		
	8197	24.2	16.2	10.8	8.9
	8195	0		5.3	5.3
	8192	12.4	5.1	3.2	3.2
	8193	9.5	9	8	7
	8194	8		6	7

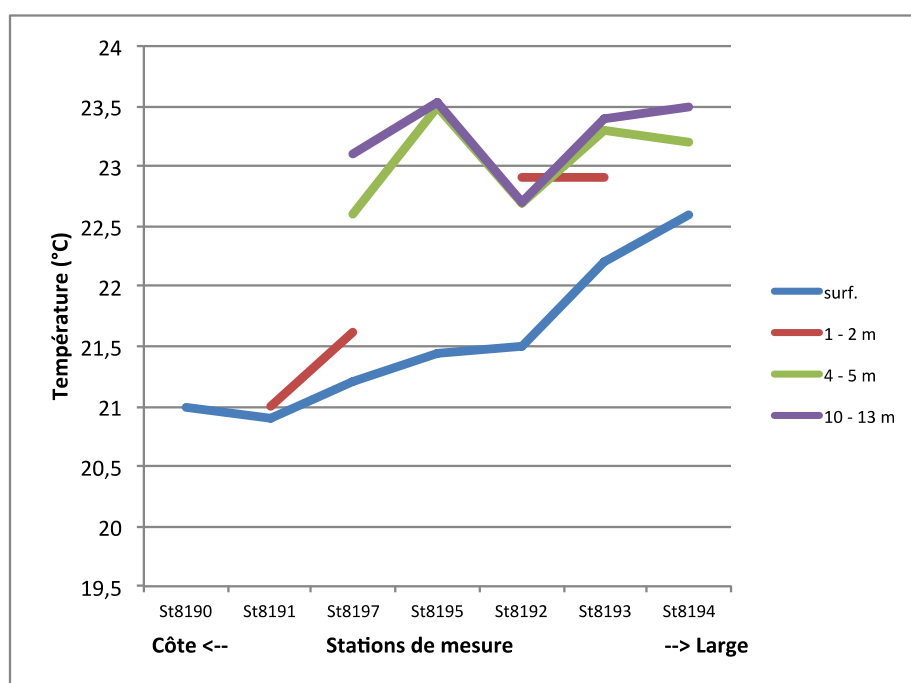


Figure 24 : Représentation des variations de température observées sur les différentes stations de mesure de la baie Kué en fonction de la profondeur. Ces mesures ont été réalisées avec une sonde multiparamétrique Ysi. Les stations de mesures sont présentées à la Figure 5.

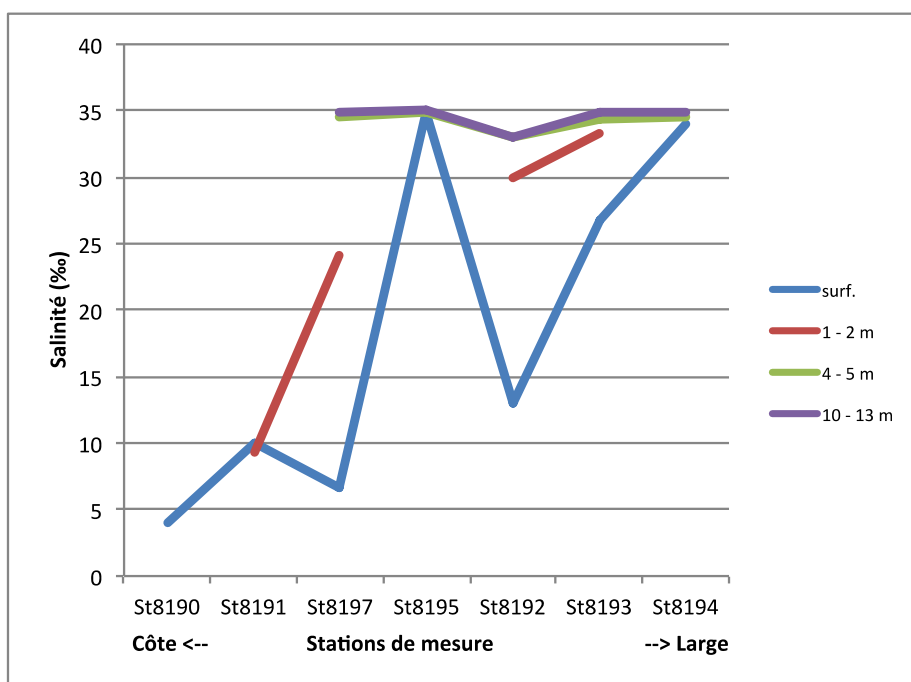


Figure 25 : représentation des variations de salinité observées sur les différentes stations de mesure de la baie Kué en fonction de la profondeur. Ces mesures ont été réalisées avec une sonde multiparamétrique Ysi. Les stations de mesures sont présentées à la Figure 5.

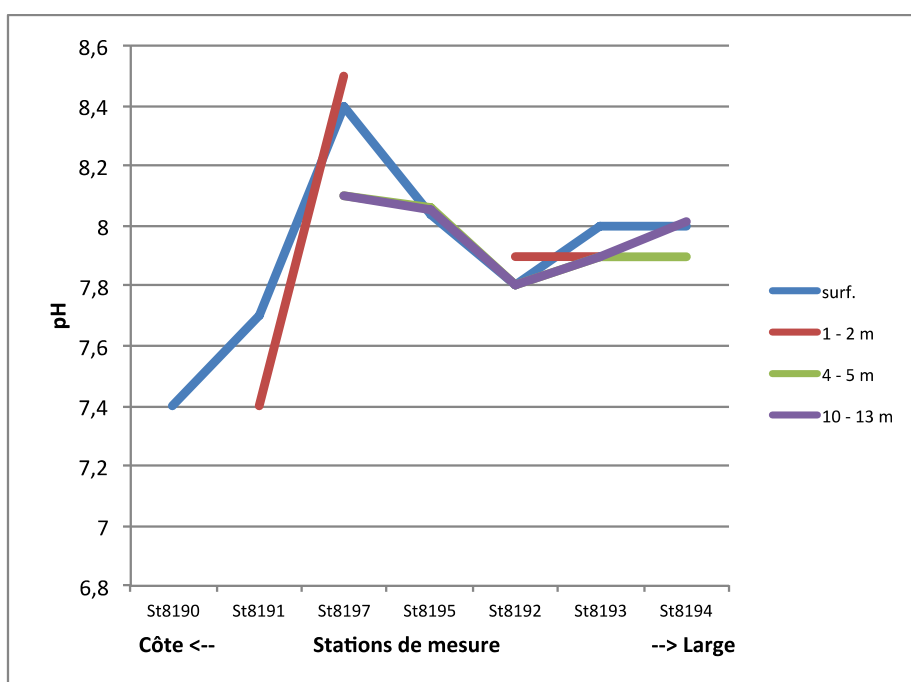


Figure 26 : Représentation des variations de pH observées sur les différentes stations de mesure de la baie Kué en fonction de la profondeur. Ces mesures ont été réalisées avec une sonde multiparamétrique Ysi. Les stations de mesures sont présentées à la Figure 5.

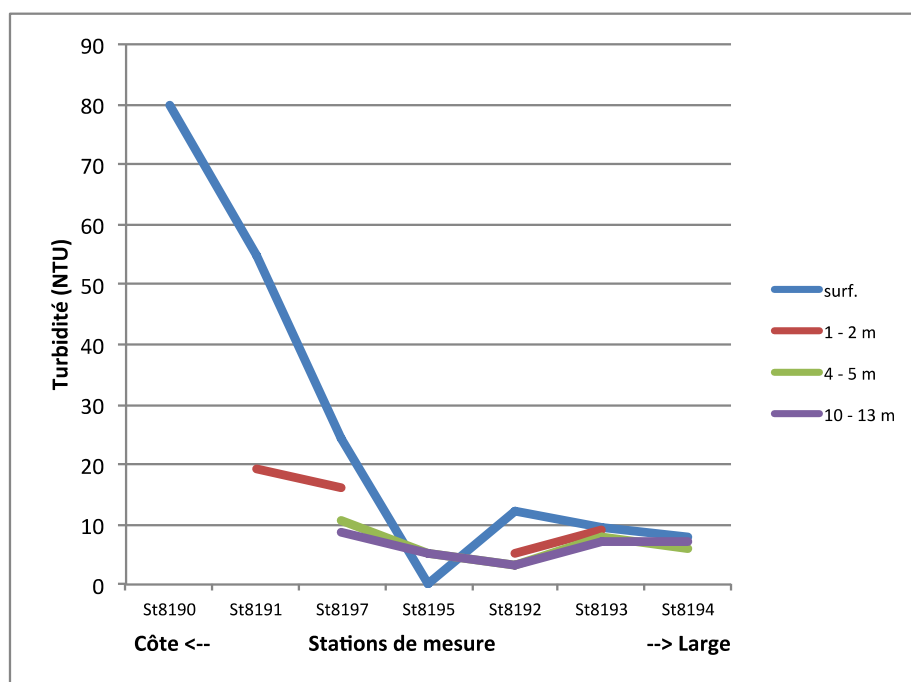


Figure 27 : Représentation des variations de turbidité observées sur les différentes stations de mesure de la baie Kué en fonction de la profondeur. Ces mesures ont été réalisées avec une sonde multiparamétrique Ysi. Les stations de mesures sont présentées à la Figure 5.

4.4.2 Baie de Port-Boisé

Les valeurs des différents paramètres mesurés sont présentées au Tableau 4. Les points de mesures sont localisés sur la Figure 5.

Les mesures physico-chimiques réalisées *in situ*, montrent clairement une stratification verticale de la colonne d'eau (Tableau 4). Cette stratification est bien marquée au niveau du fond de baie (station 8198, Tableau 4), puis s'estompe vers le milieu de la baie (station 8199, Tableau 4) pour ne plus être visible au niveau de la passe (station 8200, Tableau 4).

Ainsi, au niveau du fond de la baie (station 8198, Tableau 4, Figure 28), il apparaît une première couche d'eau superficielle d'une épaisseur approximative de 0,5 m à 0,7 m. Cette couche d'eau de surface est relativement froide (entre 20,6°C, Figure 28), présente une salinité très faible (7,4‰, Figure 29). Cette valeur de salinité est très inférieure aux valeurs communément observées en Nouvelle-Calédonie et aux normes de qualité des eaux marines concernant la toxicité pour la vie marine (35‰ à 38‰ ; ANZECC, 2000). En revanche, les valeurs de pH (8,4, Figure 30) mesurées sont conformes à ce qui est communément observé pour l'eau de mer (entre 8 et 8,3). Les valeurs de turbidité mesurées au niveau cette couche

superficielle sont relativement élevées (14,7 NTU) (Tableau 4, Figure 31). Celles-ci sont plus élevées en comparaison de ce qui s'observe généralement en Nouvelle-Calédonie mais restent conformes aux valeurs définies comme normes de qualité des eaux marines concernant la toxicité pour la vie marine (entre 1 NTU et 20 NTU ; ANZECC, 2000). Les caractéristiques de cette couche de surface restent stables jusqu'à une profondeur de l'ordre de 1 m à 2 m. A partir de cette profondeur, la température mesurée présente des valeurs conformes aux valeurs de saison pour l'eau de mer (22,6°C, Figure 28). De plus, les valeurs de salinité (24,4‰, Figure 29) se rapprochent des valeurs communément observées en Nouvelle-Calédonie et aux normes de qualité des eaux marines concernant la toxicité pour la vie marine (35‰ à 38‰ ; ANZECC, 2000). En revanche, la turbidité mesurée à 2 m de profondeur, est plus faible que celle mesurée en surface (respectivement 11,2 NTU et 14,7 NTU) (Tableau 4, Figure 31). Cette valeur de turbidité est relativement élevée en comparaison de ce qui s'observe généralement en Nouvelle-Calédonie.

Au niveau du milieu de la baie (stations 8199, Tableau 4), la stratification de la colonne d'eau est moins marquée que celle observée en fond de baie. Il apparaît toujours une première couche d'eau superficielle d'une épaisseur approximative de 0,5 m à 0,7 m. La température de cette couche d'eau de surface est similaire à celle mesurée en fond de baie (respectivement 20,8°C et 20,6°C, Figure 28) mais présente une salinité plus importante (21,4‰, Figure 29). Ces valeurs de salinité restent inférieures aux valeurs communément observées en Nouvelle-Calédonie et aux normes de qualité des eaux marines concernant la toxicité pour la vie marine (35‰ à 38‰ ; ANZECC, 2000). Les valeurs de pH mesurées sont conformes (8,1, Figure 30) aux valeurs communément observées (entre 8 et 8,3). En revanche, les valeurs de turbidité mesurées au niveau cette couche superficielle restent relativement élevées (10,5 NTU) (Tableau 4, Figure 31). Ces valeurs de turbidité sont plus élevées que les valeurs communément rencontrées en Nouvelle-Calédonie mais restent dans la gamme des normes de qualité des eaux marines concernant la toxicité pour la vie marine (entre 1 NTU et 20 NTU ; ANZECC, 2000). Ces caractéristiques restent relativement stables jusqu'à une profondeur de 1 m à 2 m. A partir, de cette profondeur et jusqu'à une profondeur de 10 m à 13 m, la colonne d'eau ne montre pas de stratification notable, mais les valeurs des différents paramètres mesurés évoluent régulièrement pour atteindre les valeurs de l'eau de mer communément observées (Tableau 4).

Au niveau de la passe (station 8200, Tableau 4), la colonne d'eau ne montre pas de stratification. Les valeurs des différents paramètres, mesurées en surface, ne traduisent pas

l'influence des fortes précipitations et sont conformes à ce qui s'observe communément (Tableau 4). En-dessous de la couche d'eau superficielle, et jusqu'à une profondeur de 10 m à 13 m, les valeurs des différents paramètres mesurés restent stables et les valeurs mesurées sont conformes à ce qui est communément observé pour l'eau de mer en Nouvelle-Calédonie (Tableau 4).

Tableau 4 : Résultats des mesures physico-chimiques réalisées le 09/07/2013 sur les eaux de la Baie de Port-Boisé. Les valeurs en gras sont supérieures aux seuils de toxicité pour la vie marine. Prof. : profondeur en m ; surf. : sub-surface ; T°C : température en °C ; Cond. : Conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$; Sal. : Salinité en ‰ ; Turb. : Turbidité en NTU. Ces mesures ont été réalisées avec une sonde multiparamétrique Ysi. Les stations de mesures sont organisées selon un gradient côte-large et sont présentées à la Figure 5.

	Prof.-->	surf.	1 - 2	4 - 5	10 - 13
Paramètres	Stations				
Cond.	8198	13 791	40 440		
	8199	34 013	45 596	52 302	52 766
	8200	47 789	51 946	50 691	53 006
pH	8198	8,4	8		
	8199	8,1	8	8,8	8
	8200	8,2	8,1	8,1	8,1
Sal.	8198	7,4	24,4		
	8199	21,4	29,1	34,47	34,8
	8200	31,1	34,2	34,7	35
T°C	8198	20,6	22,6		
	8199	20,8	21,6	22,9	23,3
	8200	22,1	23	23,2	23,4
Turb.	8198	14,7	11,2		
	8199	10,5	8,7	6,6	6,1
	8200	7	7	6	7

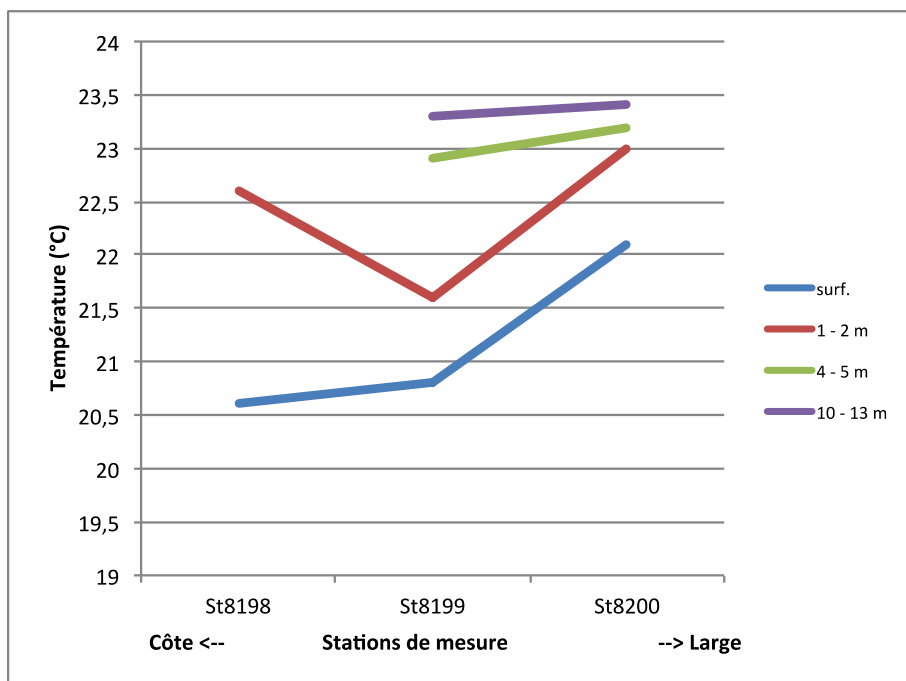


Figure 28 : Représentation des variations de température observées sur les différentes stations de mesure de la baie de Port-Boisé en fonction de la profondeur. Ces mesures ont été réalisées avec une sonde multiparamétrique Ysi. Les stations de mesures sont présentées à la Figure 5.

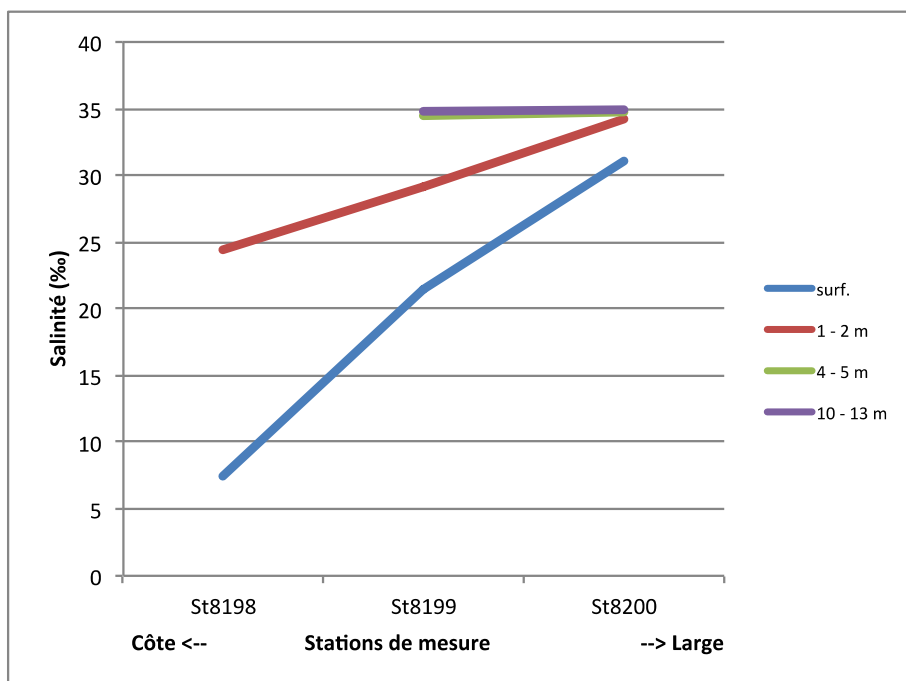


Figure 29 : Représentation des variations de salinité observées sur les différentes stations de mesure de la baie de Port-Boisé en fonction de la profondeur. Ces mesures ont été réalisées avec une sonde multiparamétrique Ysi. Les stations de mesures sont présentées à la Figure 5.

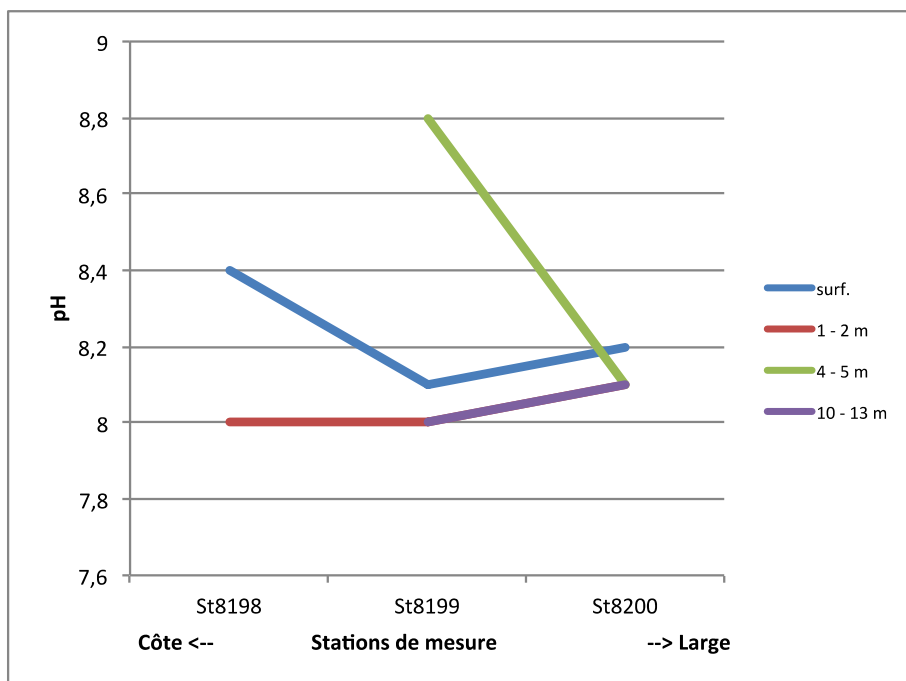


Figure 30 : Représentation des variations de pH observées sur les différentes stations de mesure de la baie de Port-Boisé en fonction de la profondeur. Ces mesures ont été réalisées avec une sonde multiparamétrique Ysi. Les stations de mesures sont présentées à la Figure 5.

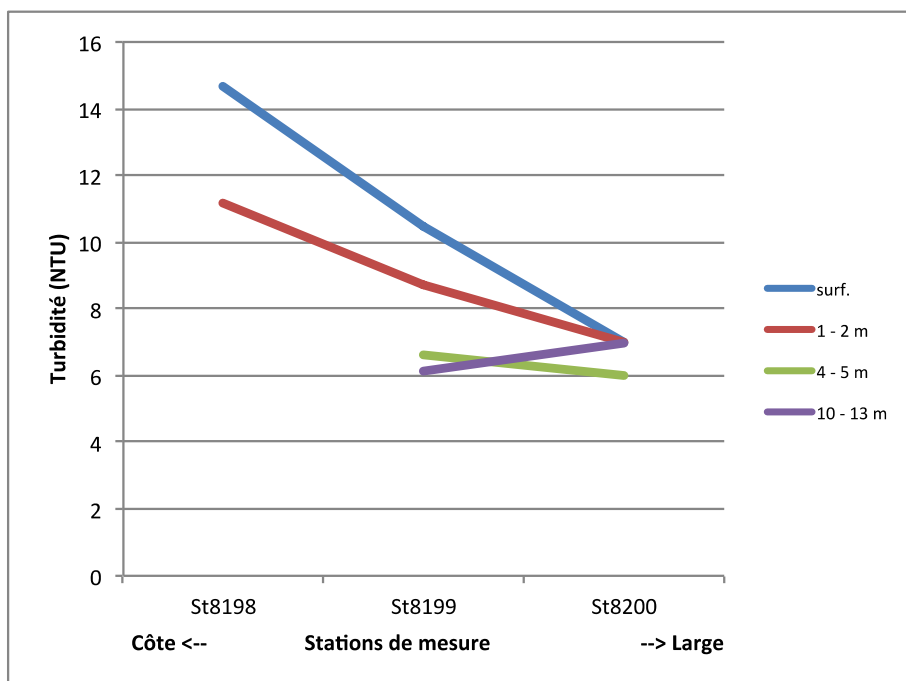


Figure 31 : Représentation des variations de turbidité observées sur les différentes stations de mesure de la baie de Port-Boisé en fonction de la profondeur. Ces mesures ont été réalisées avec une sonde multiparamétrique Ysi. Les stations de mesures sont présentées à la Figure 5.

4.5 Communautés récifo-lagonaires

4.5.1 Baie Kué

La turbidité des eaux de la baie Kué n'a pas permis de réaliser des inventaires quantitatifs des différentes composantes des communautés récifo-lagonaires. Les évaluations visuelles ont été réalisées sur 2 stations précédemment inventoriées en octobre 2011, la station St31 (fond de baie) et la station St34 (près de la passe). Les résultats de ces évaluations sont donnés ci-après.

4.5.1.1 Station St31

Le platier de la station St31 est recouvert pour majorité par un herbier (espèces des genres *Halodule*, *Cymodocée* et *Syringodium*) et par des macroalgues. Les observations faites ne montrent pas de dégradation notable du platier (Figure 32, Figure 33).

En effet, les végétaux présents sont relativement abondants et denses et aucune zone de mortalité récente n'a été observée. Il faut noter toutefois, que la portion terminale d'une partie des végétaux présents (des thalles des algues et des feuilles des phanérogames) est recouverte d'un mince couche de couleur brune très certainement liée à l'apport des sédiments fins d'origine terrigène transportés par les eaux de la rivière (Figure 33).

De même aucun organisme mort récemment n'a été observé au niveau du platier de cette station.

Le substrat abiotique est composé pour majorité de sable et de débris (Figure 34) et il n'a pas été noté à la surface de ce substrat, de sédiments de couleur brunâtre d'origine terrigène traduisant l'apport de matières en suspension à ce niveau.



Figure 32 : vue de l'herbier présent sur le platier de la station St31 – Baie Kué (Source : EMR).



Figure 33 : vue de l'herbier présent sur le platier de la station St31 – Baie Kué (Source : EMR).



Figure 34 : vue du substrat abiotique au niveau du platier de la station St31 – Baie Kué (Source : EMR).

Au niveau du haut et du bas du tombant corallien de la station St31, le recouvrement en substrat abiotique est dominant. Sur le haut du tombant, le substrat abiotique est majoritairement constitué de dalle corallienne et de blocs. Sur le bas du tombant, le substrat abiotique est majoritairement composé de vase. Il faut noter toutefois, la présence de colonies coralliennes à ce niveau.

Au niveau de ces 2 unités morphologiques, les observations montrent clairement des signes de dégradations de l'habitat. Au niveau du haut du tombant, les dégradations se traduisent par la présence de colonies coralliennes blanchies en place et par la présence de dépôts sédimentaires sur les coraux et sur le substrat abiotique. Le blanchissement s'observe sur les colonies coralliennes de tailles très variables et de forme diverses (massives, sub-massives, branchues, foliaires) (Figure 35). Les colonies coralliennes de même que le substrat abiotique sont également recouvertes d'une couche de sédiments de couleur brune/rougeâtre (Figure 36). Au niveau du haut du tombant, le nombre de colonies coralliennes blanchies observées est relativement important. A cela, il est important d'ajouter que la quasi totalité du substrat abiotique et des colonies coralliennes présente est recouverte de cette couche de sédiments.

En revanche, il n'a pas été observé d'autres organismes morts à ce niveau. Au contraire, les bivalves (*Arca ventricosa*) présents dans les colonies de *Porites*, sont toujours vivants (Figure 37).

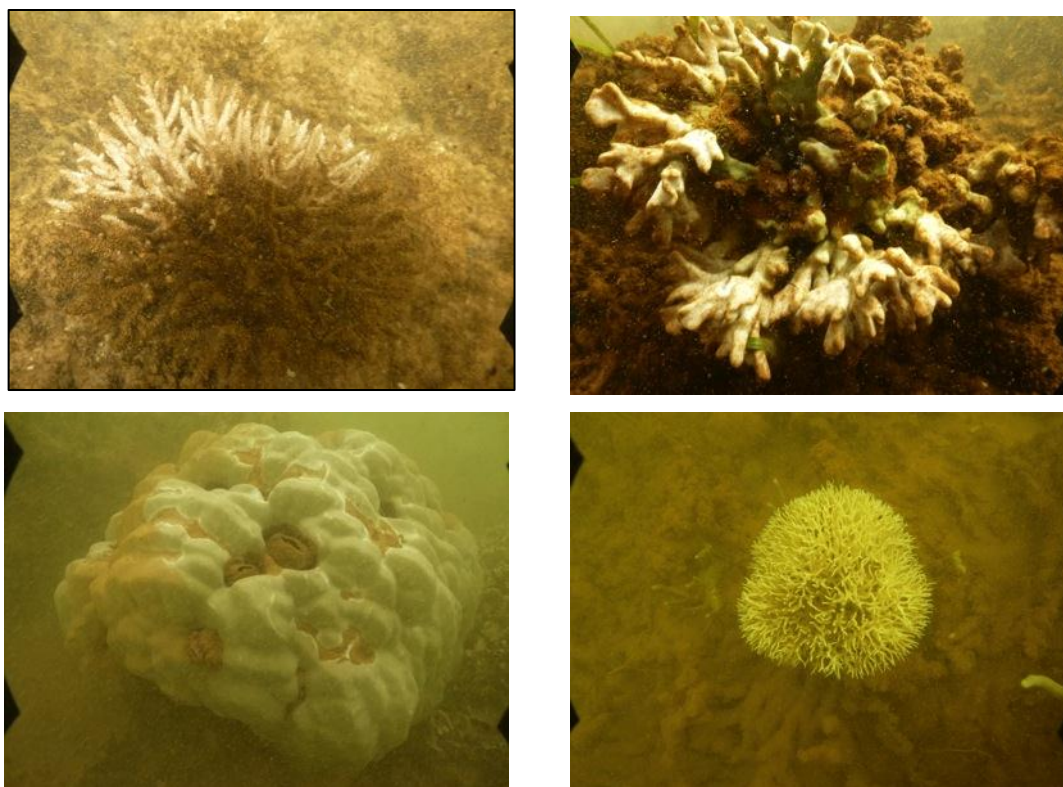


Figure 35 : colonies coralliennes blanchies, présentes au niveau du haut du tombant de la station St31 – Baie Kué (Source : EMR).

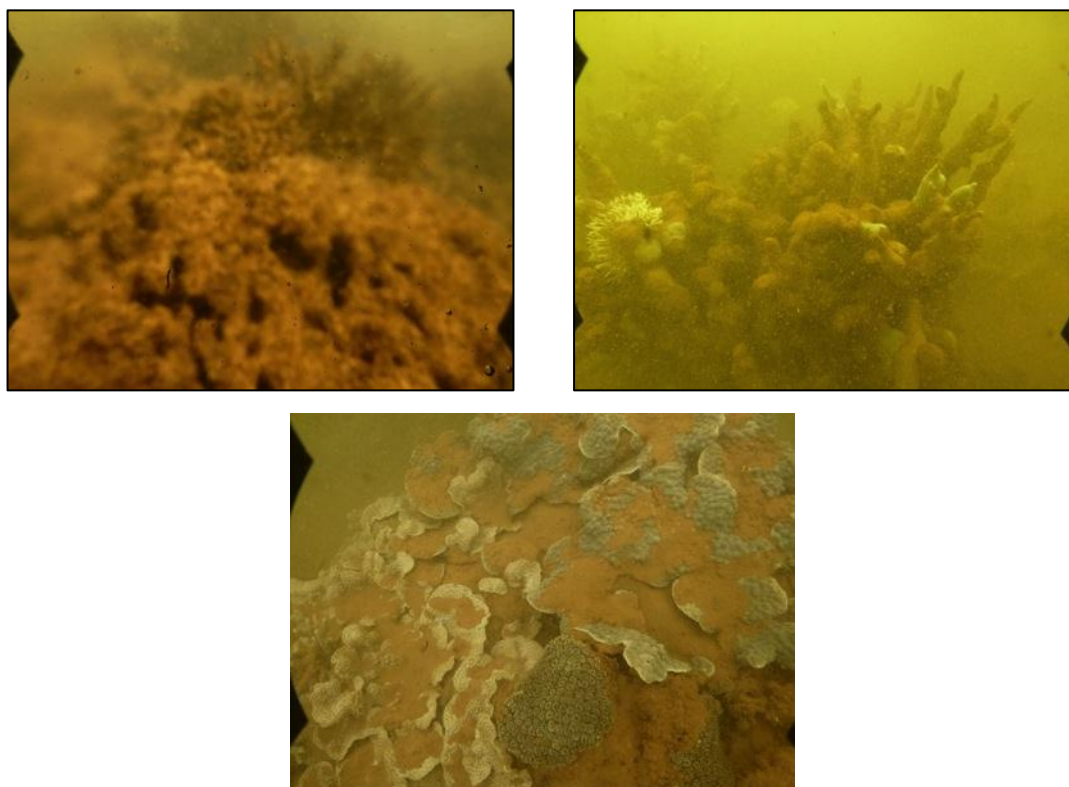


Figure 36 : substrat abiotique et colonies coralliennes recouverts de sédiments d'origine terrigène, au niveau du haut de tombant de la station St31 – Baie Kué (Source : EMR).



Figure 37 : présence de bivalves (*Arca ventricosa*) vivants au niveau du haut de tombant de la station St31 – Baie Kué (Source : EMR).

Au niveau du bas du tombant, les dégradations se traduisent essentiellement par la présence de dépôts sédimentaires sur les organismes vivants (coraux, alcyonaires etc.) et sur le substrat abiotique (Figure 38). Cette couche de sédiments fait plusieurs millimètres d'épaisseur (presque 1 cm) (Figure 39). Lorsque cette couche de sédiments se dépose sur les organismes vivants (coraux, alcyonaires etc.), elle les étouffe et entraîne le blanchissement de ces derniers (Figure 40). La quasi totalité des colonies coralliennes présentes est recouverte de cette couche relativement épaisse de sédiments. Il faut rappeler, qu'au niveau du bas du tombant, la majorité du substrat abiotique est constituée par de la vase. Les effets de nouveaux apports sédimentaires sont donc minimes sur ce substrat.

Aucun autre organisme mort n'a été observé au niveau du bas du tombant. Toutefois, étant donné l'épaisseur de la couche sédimentaire qui semble s'être déposée, il est tout à fait possible que les organismes morts aient été enfouis et qu'ils ne soient pas visibles en surface.

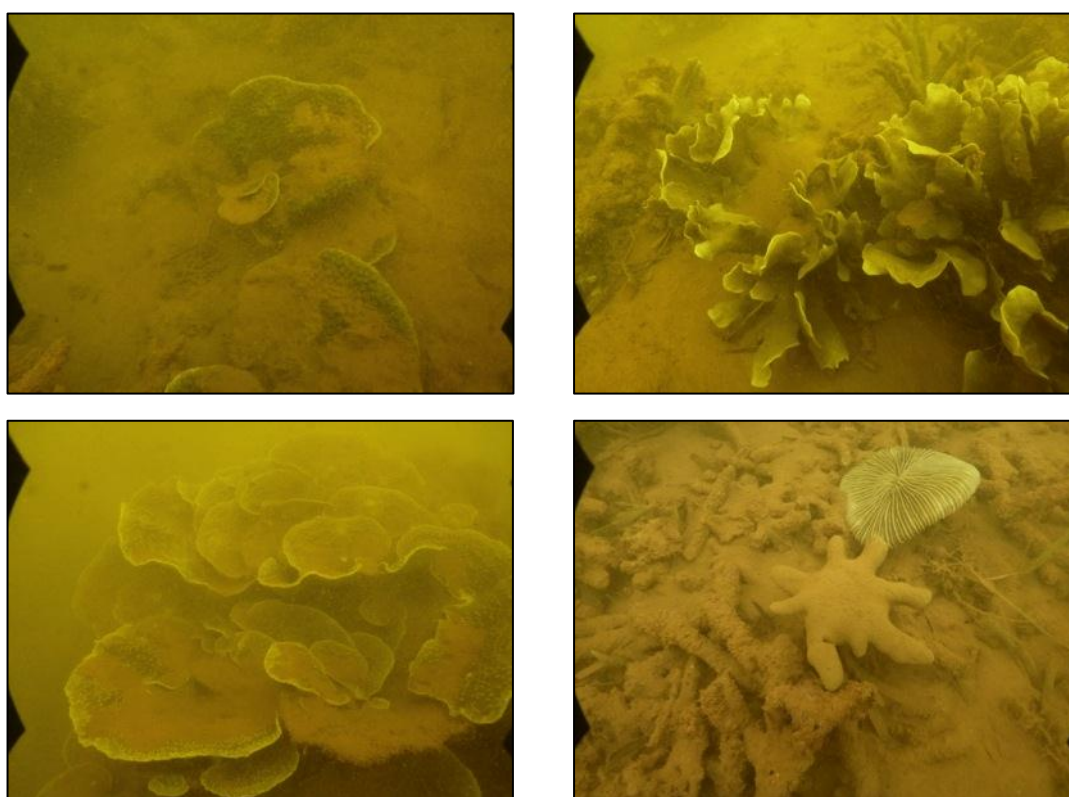


Figure 38 : colonies coralliennes, alcyonaire et substrat recouvert de sédiments d'origine terrigène au niveau de bas du tombant de la station St31 – Baie Kué (Source : EMR).

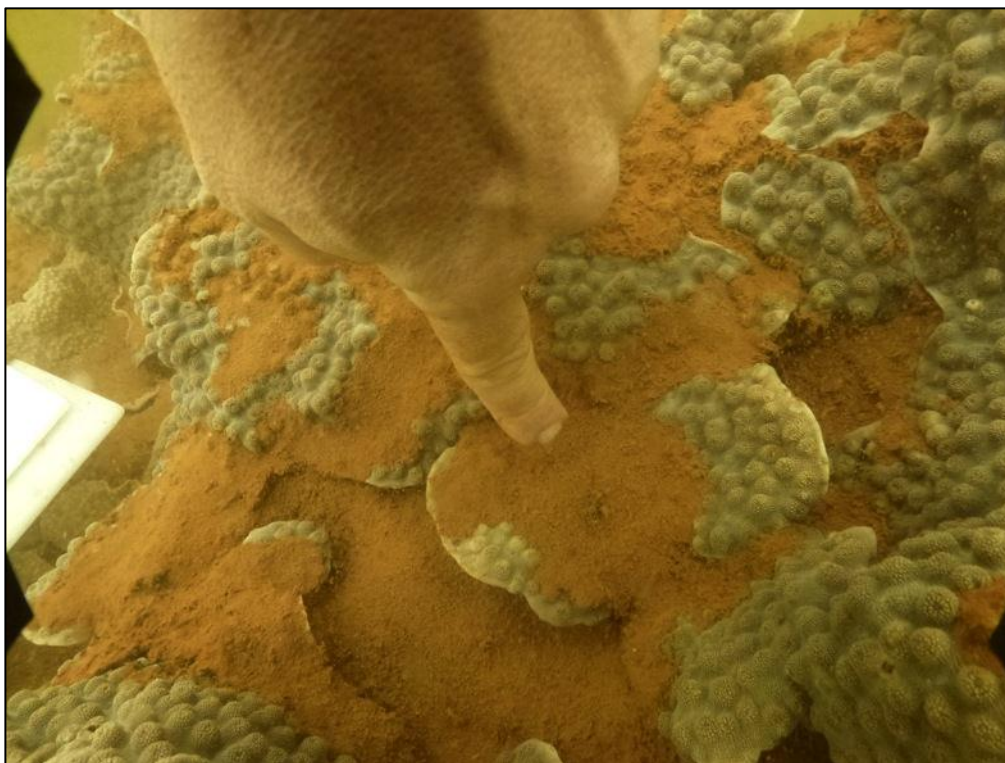


Figure 39 : photo montrant l'épaisseur de la couche de sédiments qui s'est déposée à la surface des colonies coralliennes (Source : EMR).

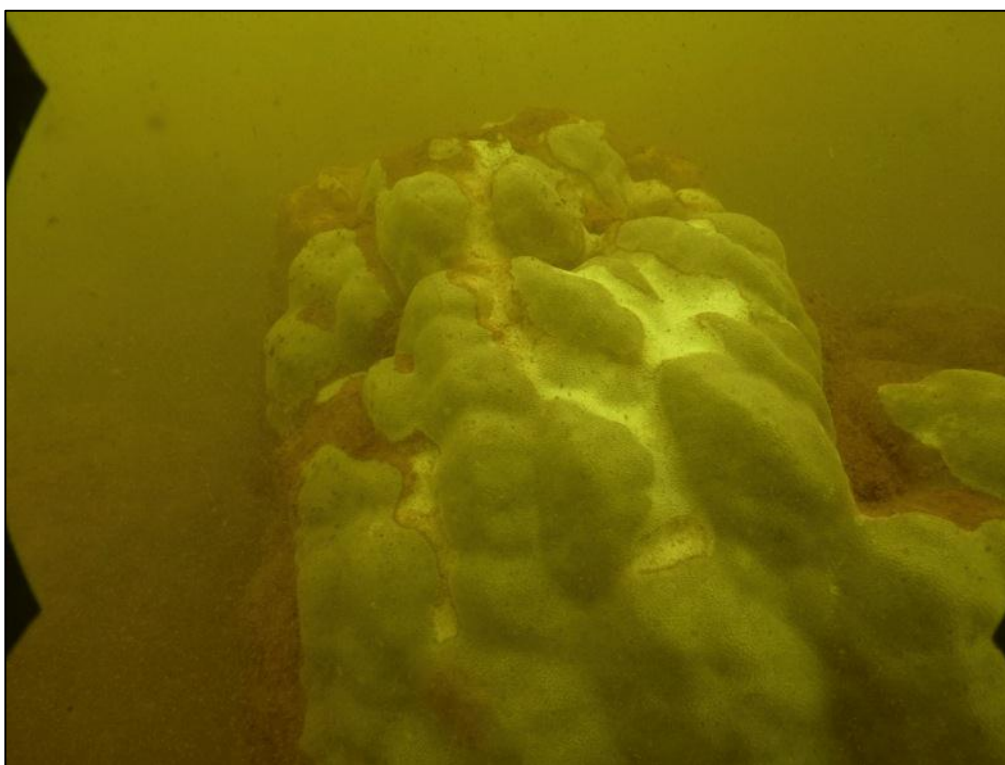


Figure 40 : vue du tissu corallien blanchi lorsque la couche de sédiments est éliminée (Source : EMR).

La station St31 a été inventoriée en octobre 2011. Les prises de vues sous-marines réalisées en 2011 ont ainsi pu être comparées avec les prises de vue réalisées au cours de la présente étude. Cette comparaison ne montre pas de signe notable de l'effet des fortes pluies et des apports terrigènes associés sur le platier de cette station. En effet, comme le montre la Figure 41, les caractéristiques de l'herbier observées en octobre 2011 (Figure 41a) sont tout à fait similaires à celles observées en juillet 2013 (Figure 41b). Les mêmes constatations peuvent être faites au niveau du substrat abiotique présent (Figure 41c et Figure 41d).

En revanche, au niveau du haut du tombant et du bas du tombant, la comparaison des prises de vues montre des signes notables de l'effet des fortes pluies et des apports terrigènes associés. En effet, comme le montre la Figure 42, il n'a pas été observé en octobre 2011 de blanchissement de colonies coralliennes comme cela est le cas en juillet 2013. De plus, les colonies coralliennes observées en 2011 ne montrent pas de signe de dégradation et ne sont pas recouvertes en superficie par une couche de sédiments. À l'inverse, en juillet 2013, la surface des colonies coralliennes est clairement recouverte d'une couche de sédiments d'origine terrigène relativement épaisse (Figure 42). Les mêmes constatations peuvent être faites au niveau du bas du tombant (Figure 43).

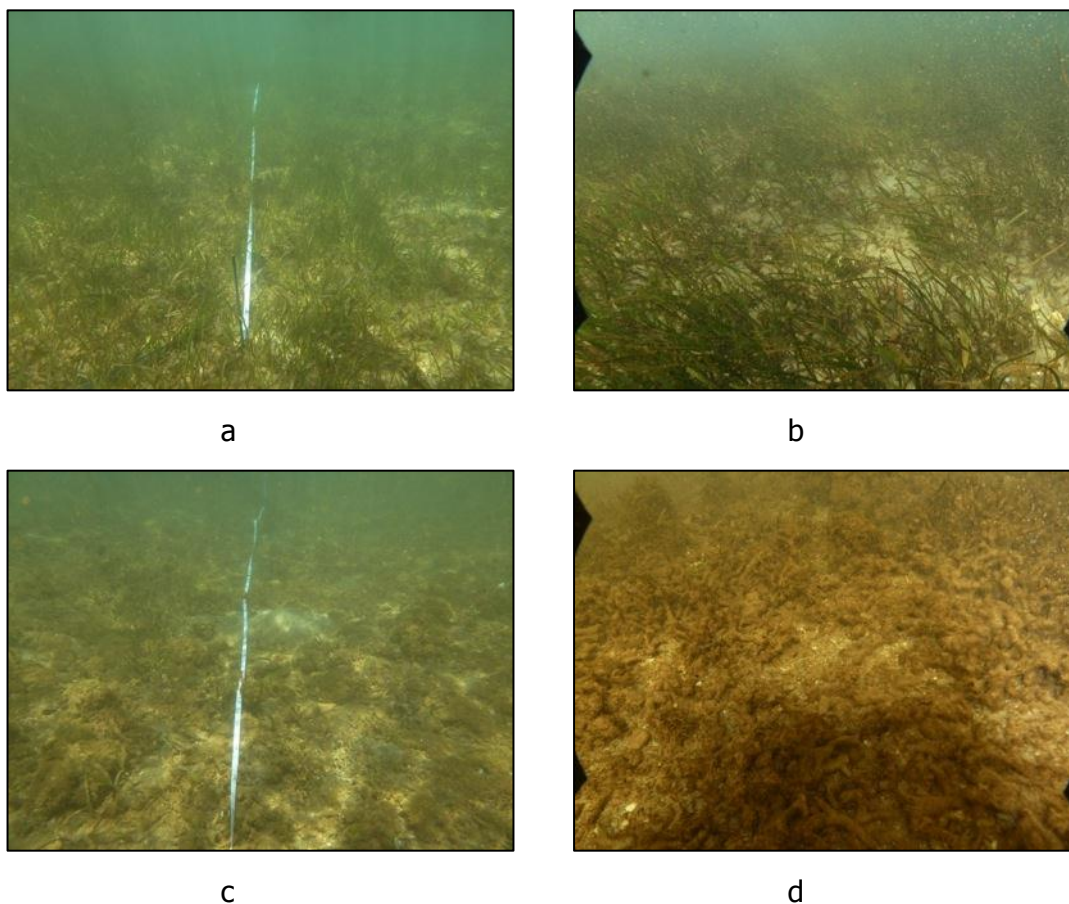


Figure 41 : prises de vues sous-marine du platier de la stations St31 de la baie Kué. a : prise de vue de l'herbier réalisée en octobre 2011 ; b : prise de vue de l'herbier réalisée en juillet 2013 ; c : prise de vue du substrat abiotique réalisée en octobre 2011 ; d : prise de vue du substrat abiotique réalisée en juillet 2013 (Source : EMR).

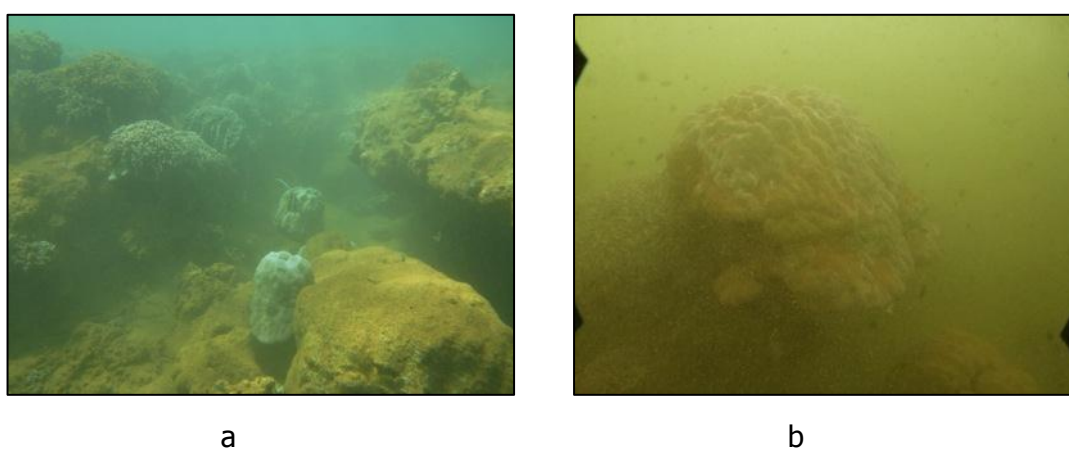


Figure 42 : prises de vues sous-marine du haut de tombant de la stations St31 de la baie Kué. a : prise de vue réalisée en octobre 2011 ; b : prise de vue réalisée en juillet 2013 (Source : EMR).

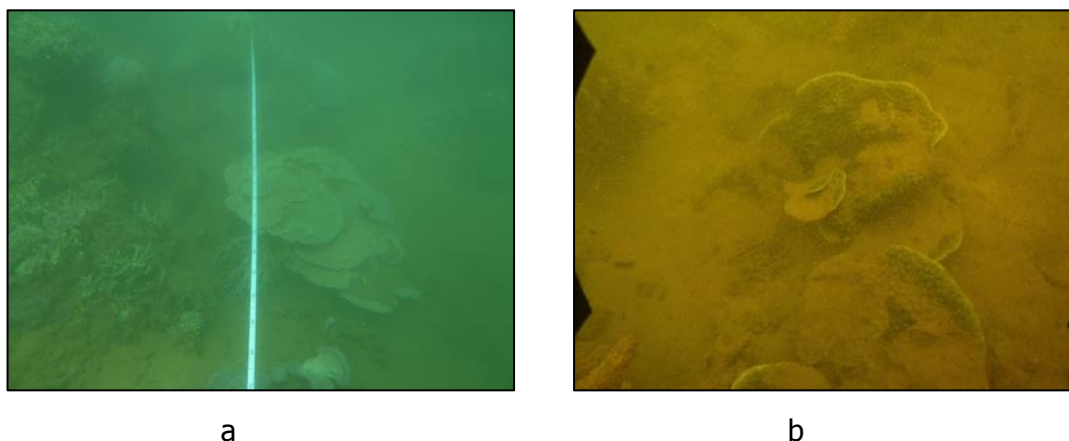


Figure 43 : prises de vues sous-marine du bas de tombant de la stations St31 de la baie Kué. a : prise de vue réalisée en octobre 2011 ; b : prise de vue réalisée en juillet 2013 (Source : EMR).

4.5.1.2 Station St34

Le platier de la station St34 est composé majoritairement de substrat abiotique (principalement des débris coralliens) et d'algues (principalement d'assemblage algal). Les observations faites ne montrent pas de dégradation importante du platier (Figure 44).

En effet, le substrat majoritairement présent au niveau de cette unité morphologique reste le substrat abiotique (débris coralliens et sable). Les observations de terrain ne montrent pas de recouvrement important de ces derniers par des sédiments fins d'origine terrigène (Figure 44). Il faut noter toutefois, que les débris sont recouverts d'une mince couche de couleur brune très certainement liée à l'apport des sédiments fins d'origine terrigène transportés par les eaux de la rivière (Figure 44). Cependant, ceci ne s'observe pas au niveau du sable.

Aucun organisme mort récemment n'a été observé au niveau du platier de cette station.

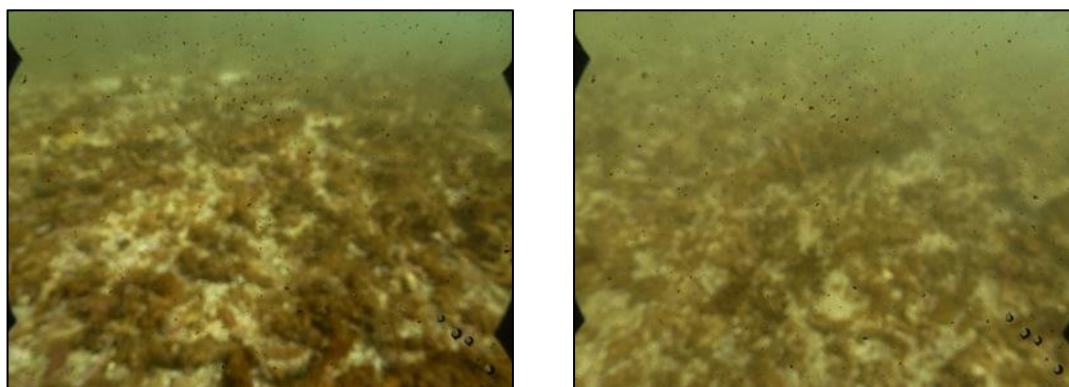


Figure 44 : vue du platier de la station St34 – Baie Kué. L’aspect trouble des photos est du a une mise au point difficile liée à la forte agitation des eaux de la baie Kué (vents > 25 nds) et non pas à la présence d’eau douce.

Au niveau du haut du tombant corallien de la station St34, le recouvrement en substrat abiotique et en assemblage algal est dominant avec la présence de quelques colonies coralliennes. Sur le bas du tombant, le substrat abiotique domine, mais il faut noter la présence de nombreux coraux. Au niveau de ces 2 unités morphologiques, les observations montrent clairement des signes de dégradations de l’habitat. Les dégradations observées sont similaires à celles observées au niveau de la station St31.

Au niveau du haut du tombant, les dégradations se traduisent par la présence de colonies coralliennes blanchies en place et par la présence de dépôts sédimentaires sur les coraux et sur le substrat abiotique. Le nombre de colonies coralliennes blanchies observé est relativement important. De plus, le blanchissement s’observe sur les colonies coralliennes de taille relativement petite (qui représentent la quasi majorité des colonies coralliennes observées) et de forme diverses (massives, sub-massives, branchues, encroûtante) (Figure 45). A ce niveau, il faut également noter la présence de fragments de colonies coralliennes blanchies en quantité relativement abondante (Figure 47). Les algues de même que la quasi totalité du substrat abiotique et des colonies coralliennes présentes sont recouvertes d’une couche de sédiments de couleur brune/rougeâtre (Figure 46).

En revanche, il n’a pas été observé d’autres organismes morts à ce niveau.

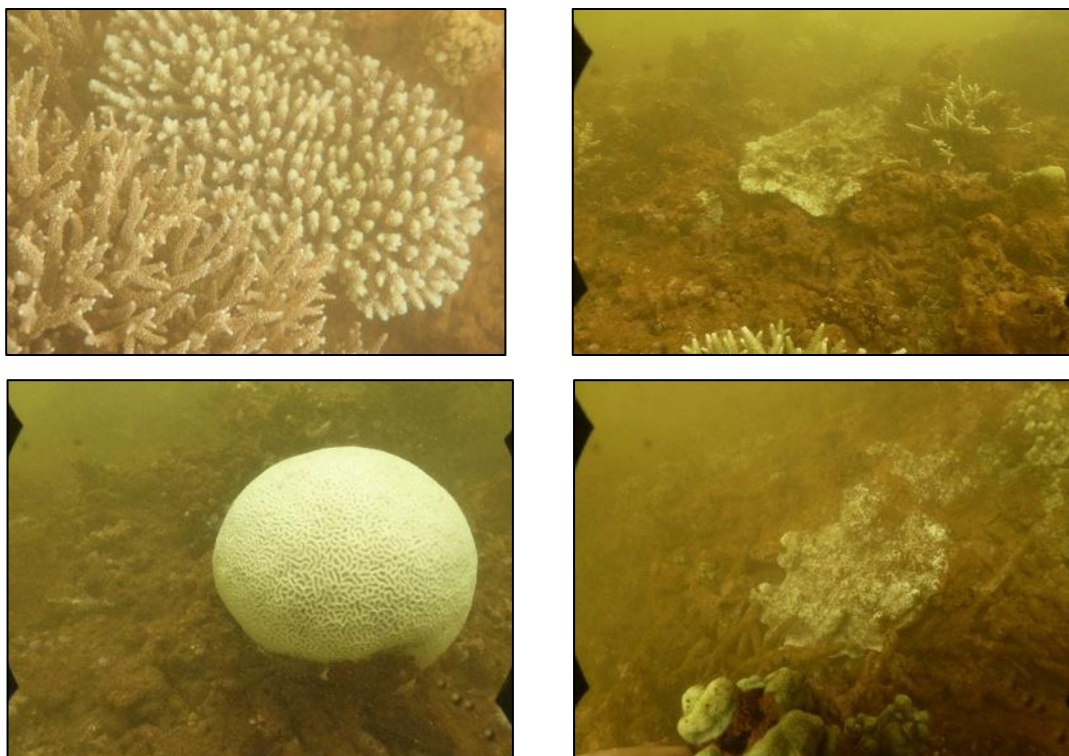


Figure 45 : colonies coralliennes blanchies, présentes au niveau du haut du tombant de la station St34 – Baie Kué (Source : EMR).

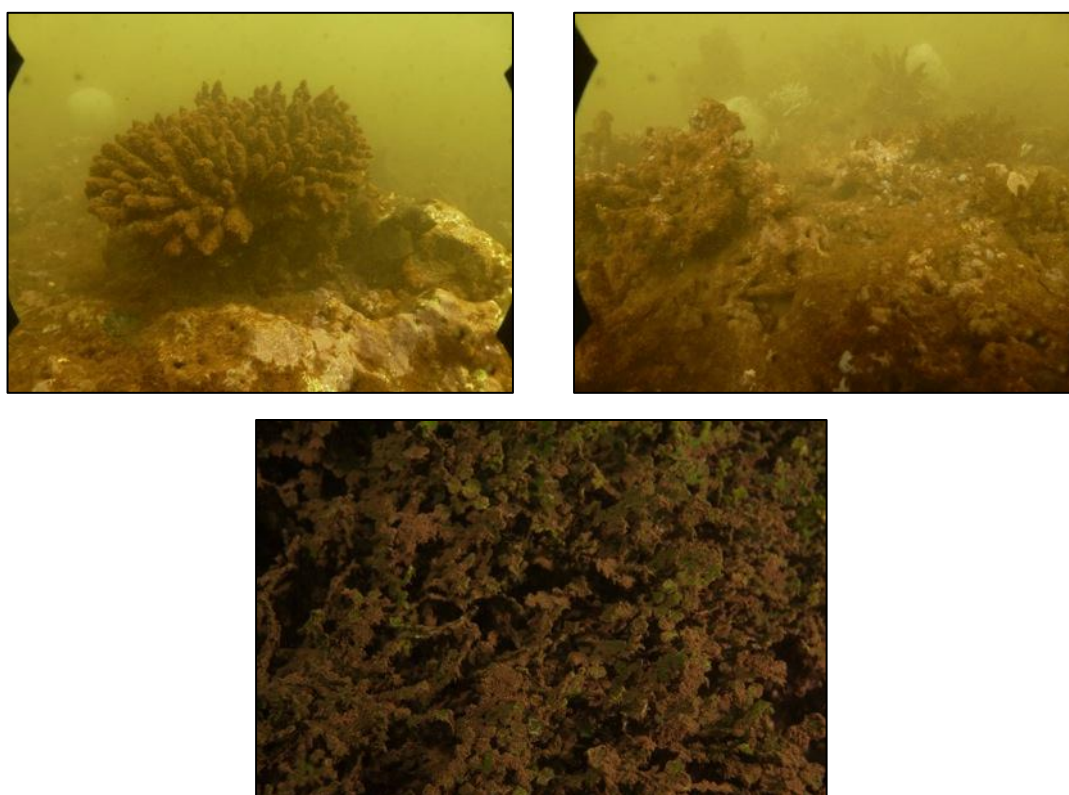


Figure 46 : colonies coralliennes, substrat abiotique et assemblage algal recouverts de sédiments d'origine terrigène, niveau du haut du tombant de la station St34 – Baie Kué (Source : EMR).

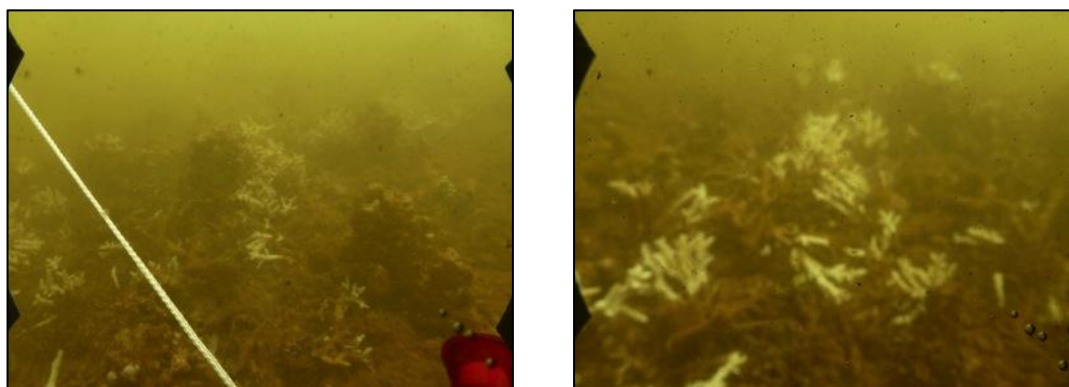


Figure 47 : présence de fragments de colonies coralliennes blanchies niveau du haut du tombant de la station St34 – Baie Kué (Source : EMR).

Comme pour la station St31, au niveau du bas du tombant, les dégradations se traduisent essentiellement par la présence de dépôts sédimentaires sur la plupart des organismes vivants (coraux, éponges etc.) et sur le substrat abiotique (Figure 48). Cette couche de sédiments fait plusieurs millimètres d'épaisseur (Figure 49). Lorsque cette couche de sédiments se dépose sur les organismes vivants (coraux, éponges etc.), elle les étouffe et entraîne le blanchissement de ces derniers (Figure 50). Au niveau du bas du tombant, la quasi totalité des colonies coralliennes présentes est recouverte de cette couche relativement épaisse de sédiments. Il faut rappeler, qu'au niveau du bas du tombant, la majorité du substrat abiotique est constituée par de la vase. Les effets des apports sédimentaires nouveaux sont donc minimes sur ce substrat.

Quelques organismes morts ont été observés au niveau du bas de tombant : un oursin dollar (*Laganum depressum*) et une huître (*Pinctada margaritifera*) (Figure 51). Comme pour la station St-31, il est tout à fait possible que d'autres organismes morts aient été enfouis sous la couche de sédiment, et qu'ils ne soient pas visibles en surface.

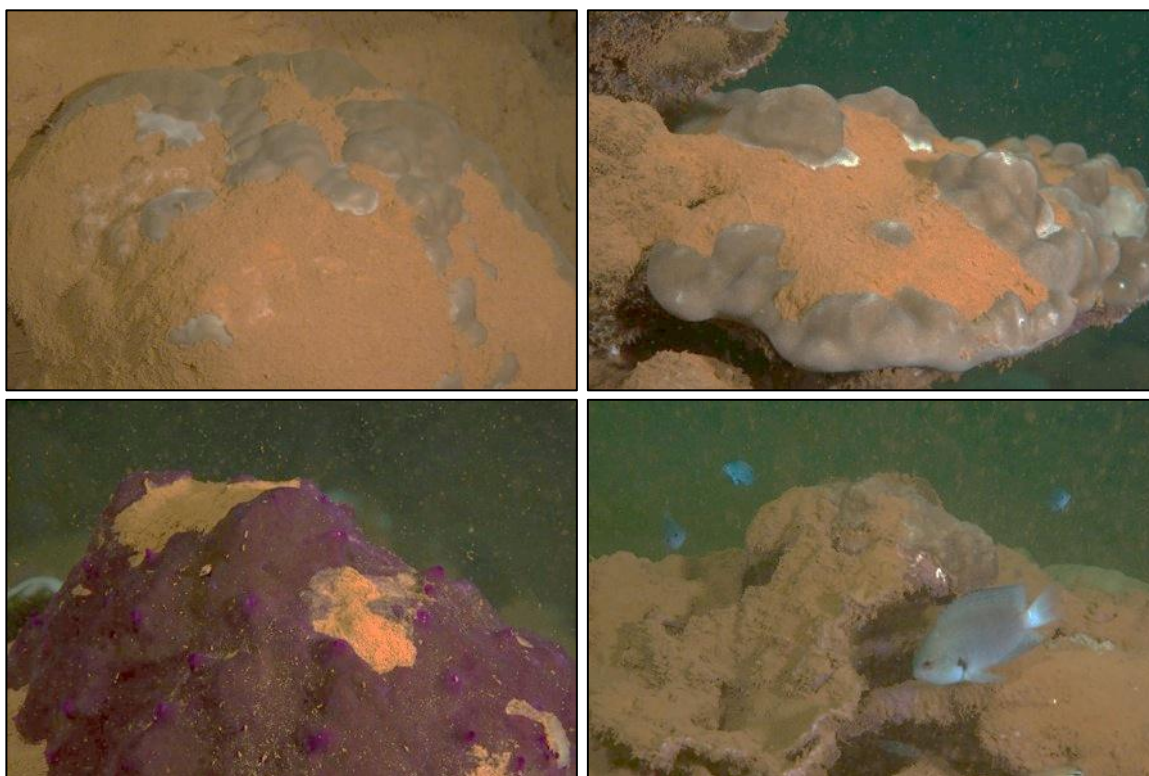


Figure 48 : colonies coralliennes, éponge et substrat recouvert de sédiments d'origine terrigène au niveau de bas du tombant de la station St34 – Baie Kué. Photos OEIL/Matthieu Juncker.

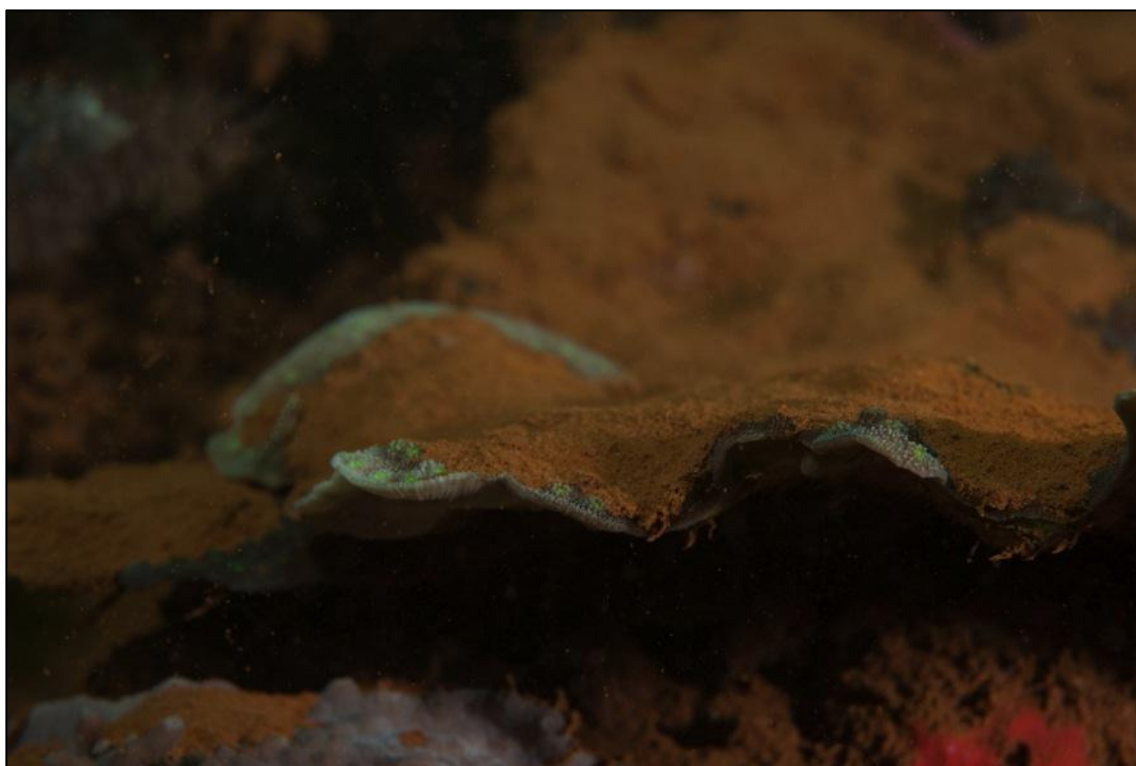


Figure 49 : photo montrant l'épaisseur de la couche de sédiments qui s'est déposée à la surface des colonies coralliennes. Photos OEIL/Matthieu Juncker.

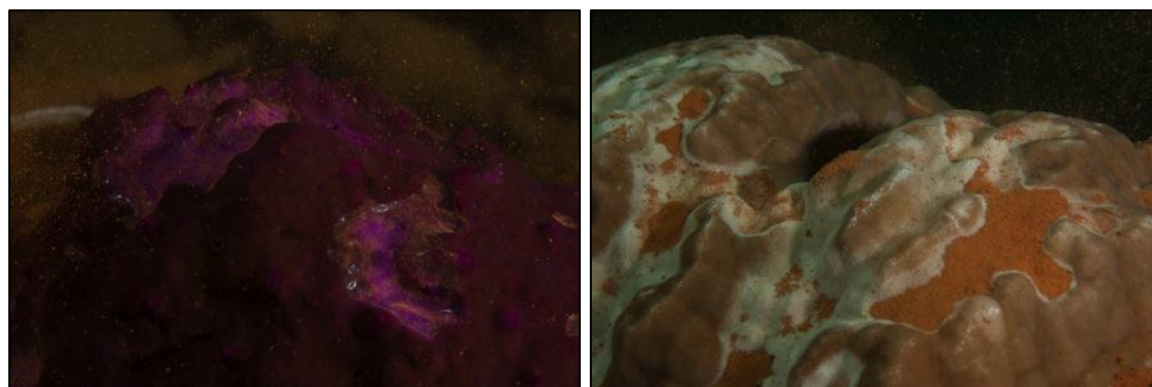


Figure 50 : vue des tissus morts d'une éponge et du corail blanchit, lorsque la couche de sédiments est éliminée. Photos OEIL/Matthieu Juncker.

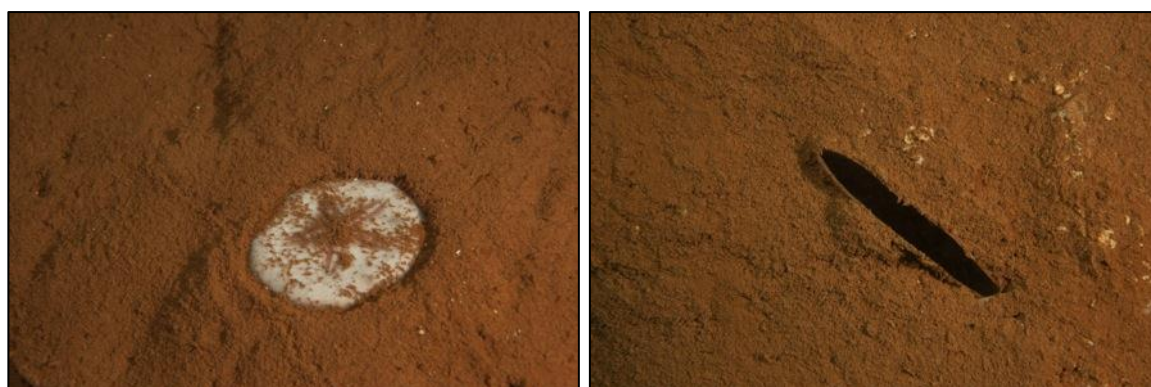


Figure 51 : photographie d'un oursin et d'une huître morts au niveau du bas de tombant de la station St34 – Baie Kué. Photos OEIL/Matthieu Juncker.

La station St34 a été inventoriée en octobre 2011. Les prises de vues sous-marines réalisées en 2011 ont ainsi pu être comparées avec les prises de vues réalisées au cours de la présente étude. Cette comparaison montre des signes de l'effet des fortes pluies et des apports terrigènes associés, sur les 3 unités morphologiques (platier, haut et bas du tombant) de la station St34. En effet, comme le montre la Figure 52, les caractéristiques du platier observées en octobre 2011 montrent un substrat essentiellement composé d'assemblage algal et de débris coralliens (Figure 52a). En revanche en juillet 2013, le substrat présent sur le platier est essentiellement composé de débris coralliens recouverts d'une fine couche de sédiments terrigènes (Figure 52b)

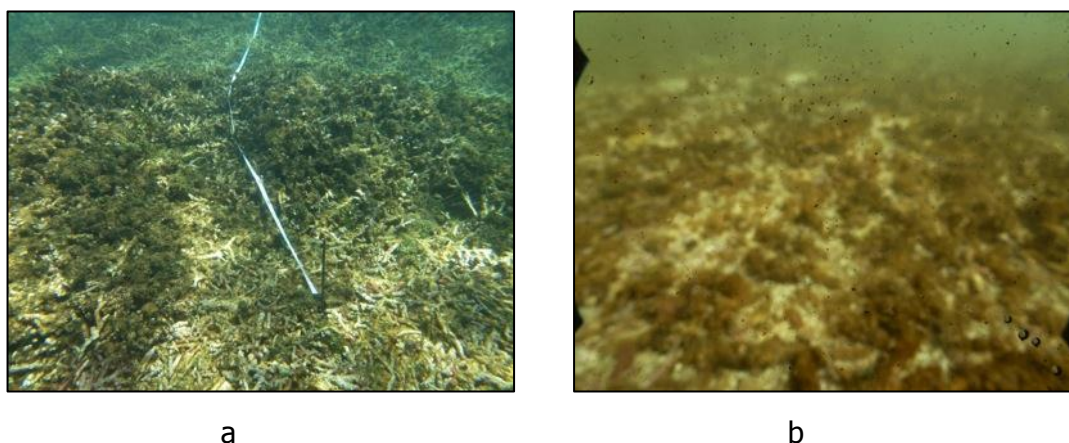


Figure 52 : prises de vues sous-marine du platier de la station St34 de la baie Kué. a : prise de vue réalisée en octobre 2011 ; b : prise de vue réalisée en juillet 2013 (Source : EMR).

De même, au niveau du haut du tombant et du bas du tombant, la comparaison des prises de vues montre des signes notables de l'effet des fortes pluies et des apports terrigènes associés. En effet, comme le montre la Figure 53, il n'a pas été observé en octobre 2011 de blanchissement de colonies coralliennes comme cela est le cas en juillet 2013. De plus, les colonies coralliennes et le substrat observés en 2011 ne montrent pas de signe de dégradation et ne sont pas recouverts en surface par une couche de sédiments. A l'inverse, en juillet 2013, la surface des colonies coralliennes est clairement recouverte d'une couche de sédiments d'origine terrigène relativement épaisse (Figure 54). Les mêmes constatations peuvent être faites au niveau du bas du tombant (Figure 55).

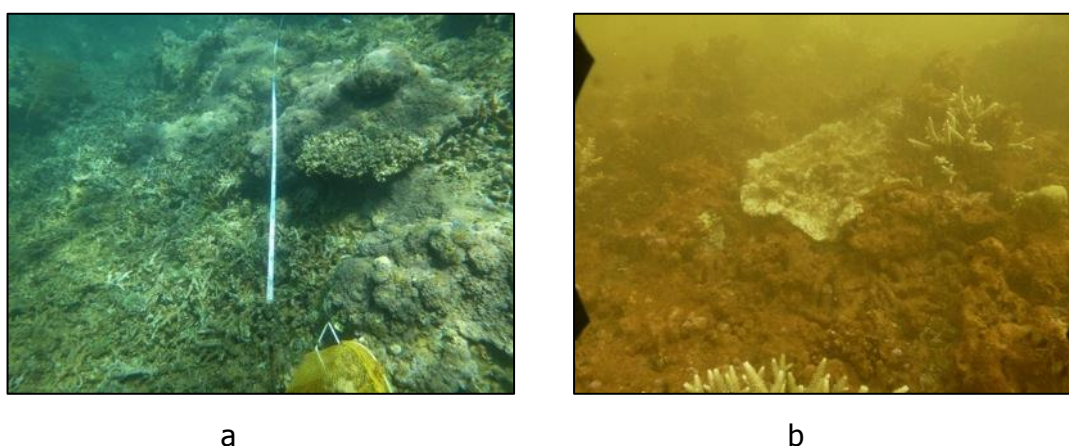
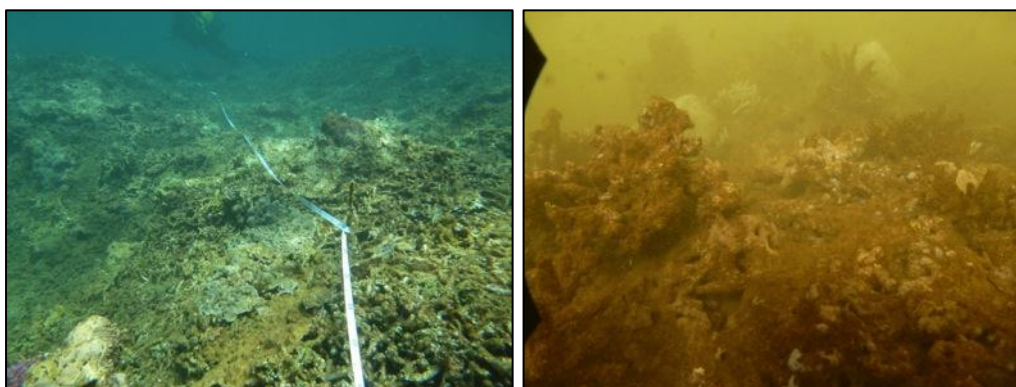


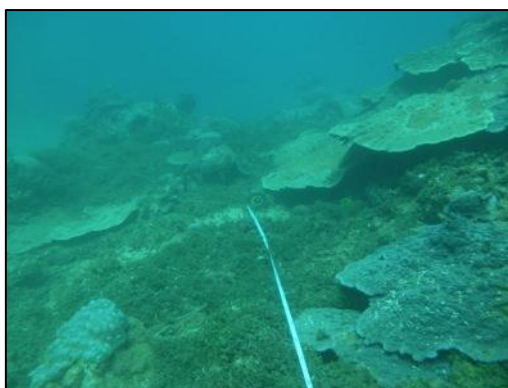
Figure 53 : prises de vues sous-marine du haut du tombant de la station St34 de la baie Kué. a : prise de vue réalisée en octobre 2011 ; b : prise de vue réalisée en juillet 2013 (Source : EMR).



a

b

Figure 54 : prises de vues sous-marine du haut du tombant de la stations St34 de la baie Kué. a : prise de vue réalisée en octobre 2011 ; b : prise de vue réalisée en juillet 2013 (Source : EMR).



a



b

Figure 55 : prises de vues sous-marine du bas du tombant de la station St34 de la baie Kué. a : prise de vue réalisée en octobre 2011 ; b : prise de vue réalisée en juillet 2013. La turbidité observée en juillet 2013 n'a pas permis de réaliser des prises de vues générales comme cela a été le cas en 2011 (Source : EMR).

4.5.2 Baie de Port-Boisé

Les évaluations visuelles ont été réalisées sur 2 stations précédemment inventoriées en octobre 2011, la station St39 (fond de baie) et la station St37 (près de la passe). Les résultats de ces évaluations sont donnés ci-après.

4.5.2.1 Station St37

Le platier de la station St37 est composé majoritairement de substrat abiotique (principalement des débris coralliens), le recouvrement algal (principalement d'assemblage

algal) est plus faible. Le recouvrement en coraux Scléactiniaires est très faible. Les observations faites montrent des signes de dégradation au niveau du platier (Figure 56).

En effet, les observations de terrain montrent que les débris coralliens sont recouverts d'une mince couche de couleur brune certainement liée à l'apport des sédiments fins d'origine terrigène et transportés par les eaux de la rivière (Figure 57). De plus, les dégradations se traduisent par la présence de colonies coralliennes blanchies en place et par la présence de dépôts sédimentaires sur ces dernières (Figure 56 et Figure 58). Le nombre de colonies coralliennes blanchies est relativement important au niveau du platier de la station St37.

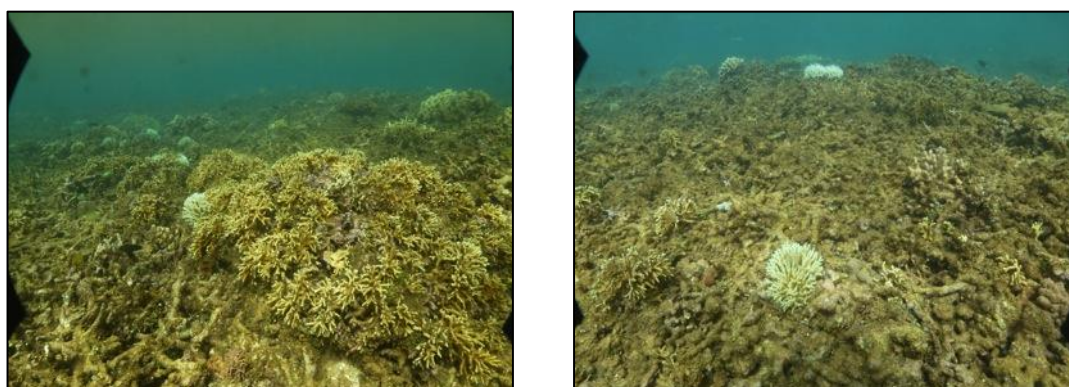


Figure 56 : vue du platier de la station St37 – Baie de Port-Boisé. Les dégradations se traduisent par le blanchissement de colonies coralliennes et le dépôt d'une couche très mince de sédiments (Source : EMR).



Figure 57 : substrat abiotique recouverts de sédiments d'origine terrigène, niveau du platier de la station St37 – Baie de Port-Boisé (Source : EMR).



Figure 58 : colonies coralliennes blanchies au niveau du platier de la station St37 – Baie de Port-Boisé (Source : EMR).

Au niveau du haut du tombant corallien de la station St37, le recouvrement en substrat abiotique est dominant. Il faut noter à ce niveau la présence d'un pinacle corallien de grande taille qui affleure à marée basse. Sur le bas du tombant, le recouvrement est dominé par les algues (composé quasiment exclusivement de macroalgues). Le reste du recouvrement est composé de substrat abiotique (exclusivement du sable). Au niveau de ces 2 unités morphologiques, les observations de terrain ne montrent pas les mêmes conséquences des fortes précipitations.

En effet, au niveau du haut du tombant, les dégradations se traduisent par la présence de colonies coralliennes blanchies en place et par la présence de dépôts sédimentaires sur les coraux et sur le substrat abiotique. Le blanchissement est observé essentiellement sur les coraux présents sur la partie supérieure (jusqu'à 2 m de profondeur) du pinacle corallien (Figure 59). Le reste du substrat (essentiellement abiotique) est recouvert d'une fine couche de sédiments de couleur brune/rougeâtre (Figure 60).

En revanche, il n'a pas été observé d'organisme mort à ce niveau. En effet, les bivalves (*Pedum spondyloideum*, *Arca ventricosa* et *Tridacna crocea*) présents dans les colonies coralliennes blanchies du pinacle sont toujours vivants (Figure 61). De plus, il est important de noter à ce niveau la présence de nombreux poissons herbivores (Acanthuridae) et des poissons à affinité corallienne (essentiellement *Pomacentridae*) (Figure 62).

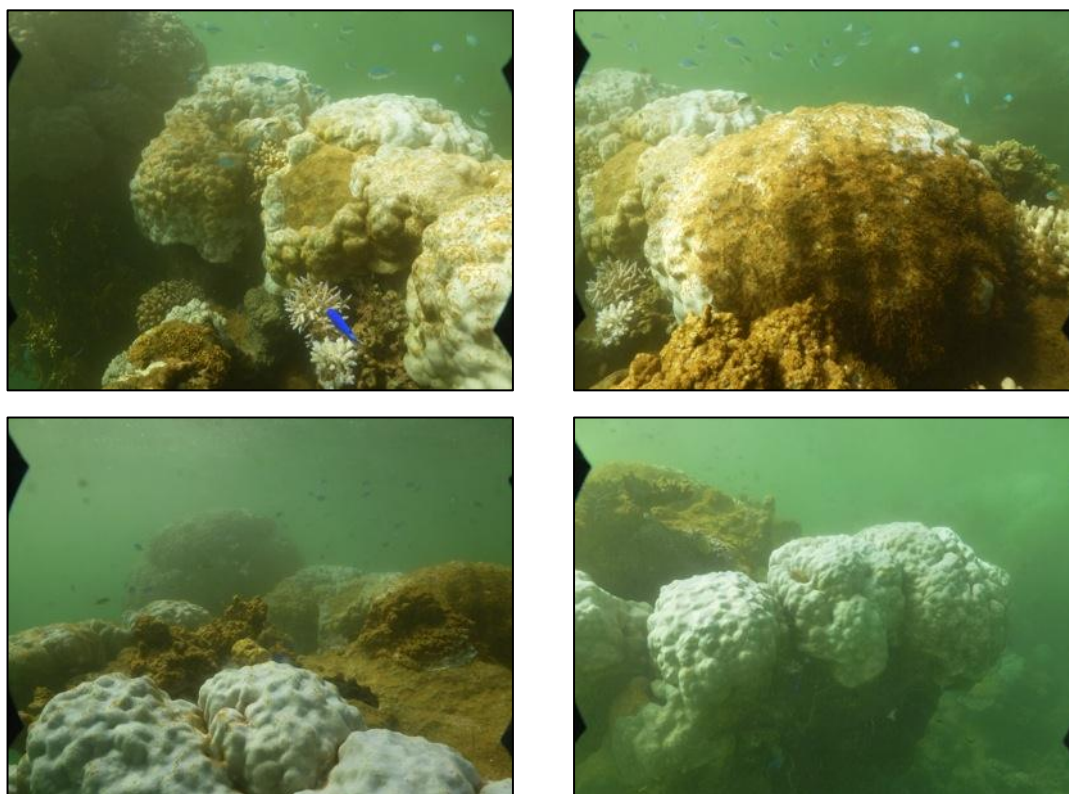


Figure 59 : colonies coralliennes blanchies et recouvertes de sédiments au niveau du pinacle coralliens de la station St37 – Baie de Port-Boisé (Source : EMR).



Figure 60 : vue du substrat recouvert pour partie d'une fine couche de sédiments au niveau du haut du tombant de la station St37 – Baie de Port-Boisé (Source : EMR).

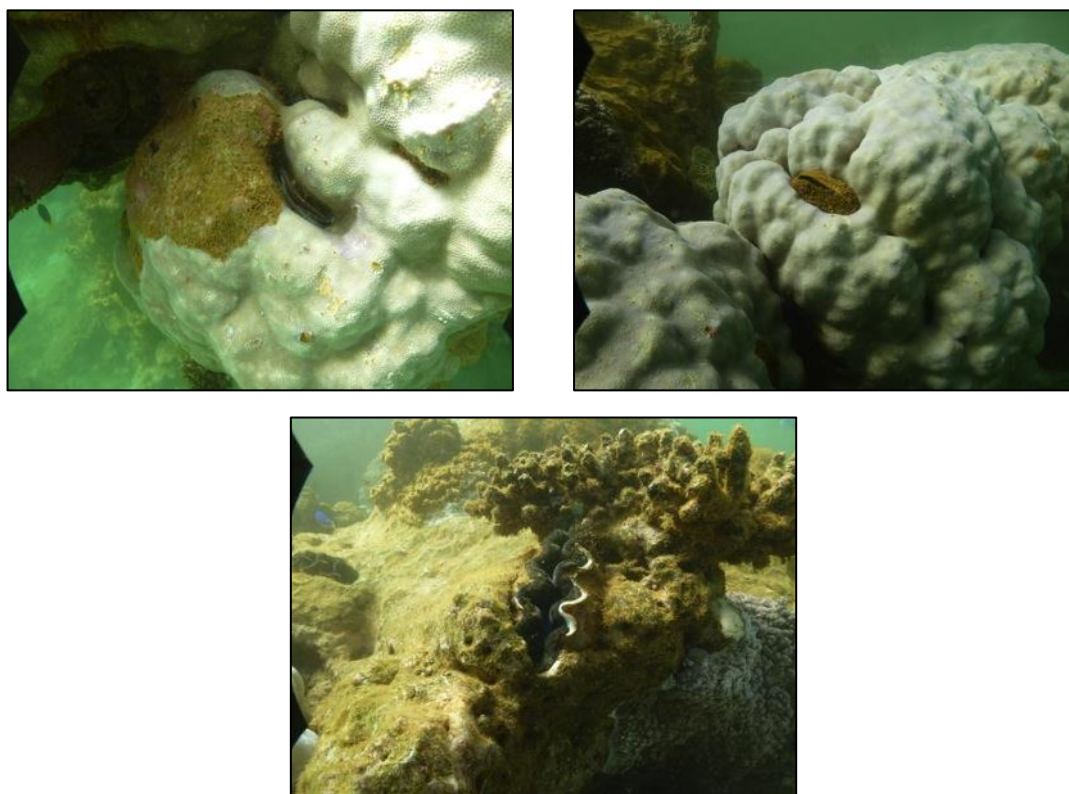


Figure 61 : présence de bivalves (*Pedum spondyloideum*, *Arca ventricosa* et *Tridacna crocea*) vivants au niveau du haut de tombant de la station St34 – Baie de Port-Boisé (Source : EMR).

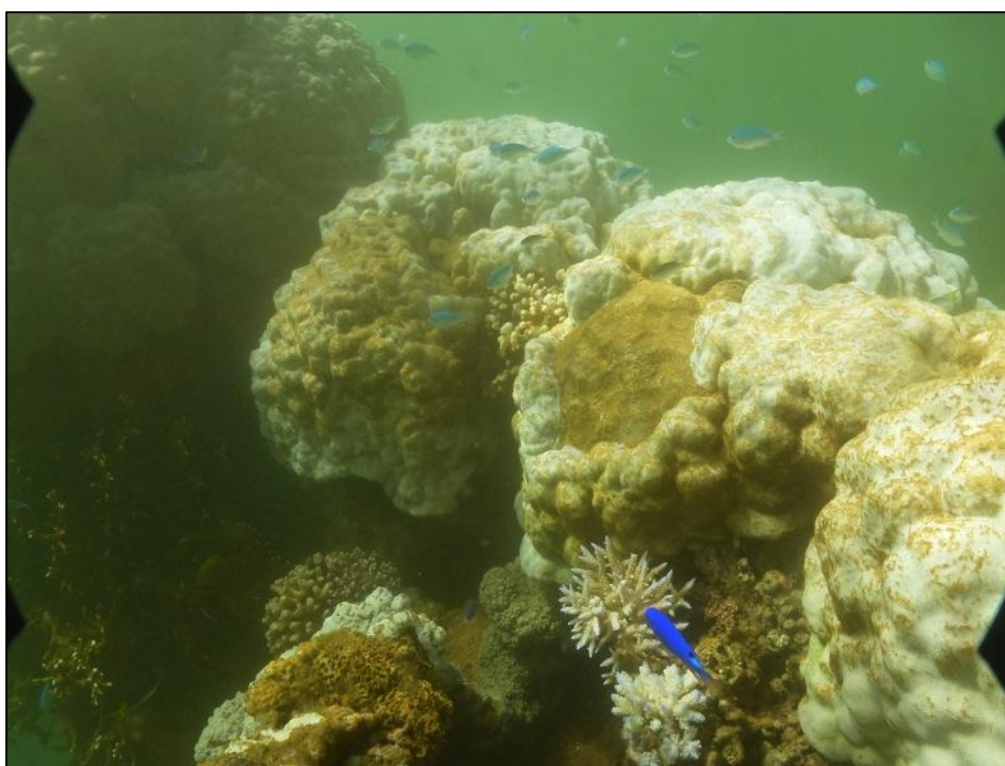


Figure 62 : présence de Pomacentridae (*Chrysiptera taupou* et *Chromis viridis*) au niveau du haut de tombant de la station St34 – Baie de Port-Boisé (Source : EMR).

Au niveau du bas du tombant, les observations faites ne montrent pas de dégradation de l'habitat (Figure 63).

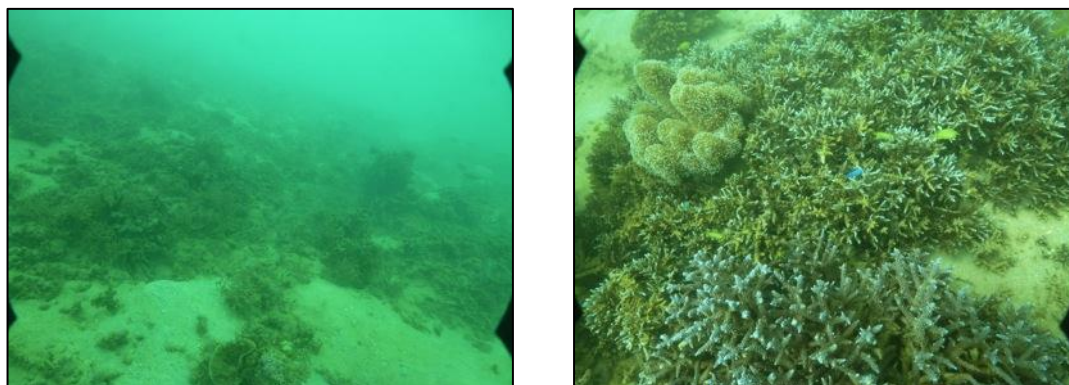


Figure 63 : vue du bas du tombant au niveau de la station St37 – Baie de Port-Boisé. Les observations faites ne montrent pas de dégradation de l'habitat (Source : EMR).

La station St37 a été inventoriée en octobre 2011. Les prises de vues sous-marines réalisées en 2011 ont ainsi pu être comparées avec les prises de vue réalisées au cours de la présente étude. Cette comparaison montre des signes de l'effet des fortes pluies et des apports terrigènes associés essentiellement sur 2 (platier et haut de tombant) des 3 unités morphologiques de la station St37. En effet, comme le montre la Figure 64, les caractéristiques du platier observées en octobre 2011 montrent un substrat essentiellement composé de débris coralliens, d'assemblage algal et de quelques colonies coralliennes, (Figure 64a). En revanche en juillet 2013, le substrat présent sur le platier est essentiellement composé de débris coralliens et d'assemblage algal recouverts d'une fine couche de sédiments terrigènes et de nombreuses colonies coralliennes sont blanchies (Figure 52b)

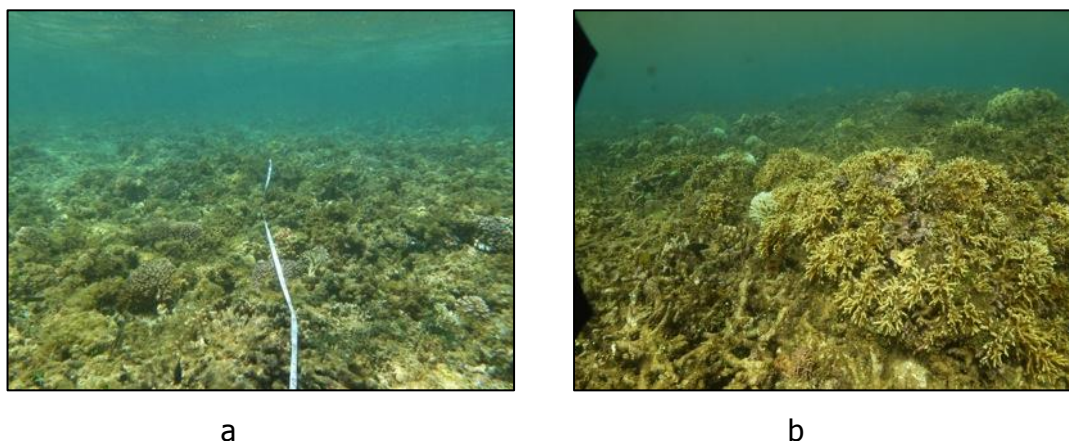


Figure 64 : prises de vues sous-marine du platier de la station St37 de la baie de Port-Boisé. a : prise de vue réalisée en octobre 2011 ; b : prise de vue réalisée en juillet 2013 (Source : EMR).

De même, au niveau du haut du tombant, la comparaison des prises de vue montre des signes de l'effet des fortes pluies et des apports terrigènes associés. En effet, comme le montre la Figure 65, en octobre 2011 le substrat n'est pas recouvert en superficie par une couche de sédiments (Figure 65a). A l'inverse, en juillet 2013, la surface du substrat et des colonies coralliennes est recouverte d'une fine couche de sédiments d'origine terrigène (Figure 65b). Concernant le blanchissement des colonies coralliennes, ces dernières sont relativement peu affectées au niveau du haut du tombant et se limite à celles présentes sur le pinacle corallien précédemment décrit.

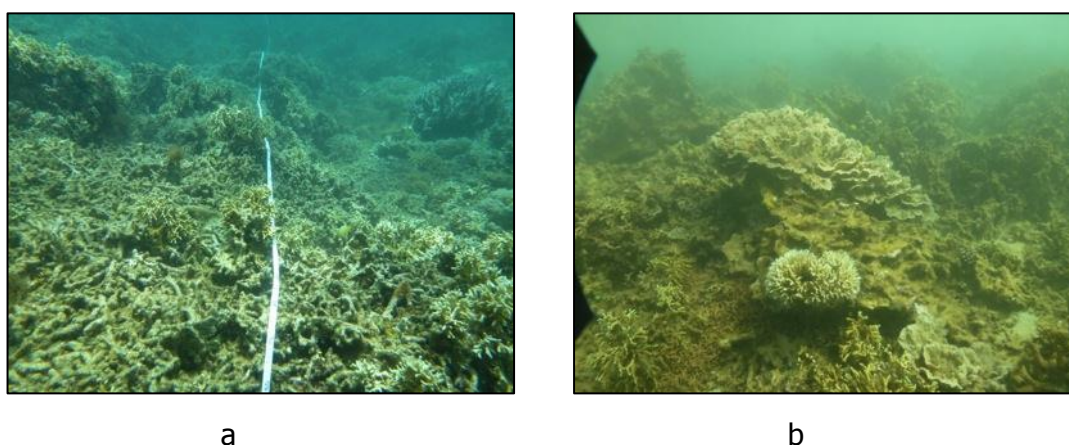


Figure 65 : prises de vues sous-marine du haut du tombant de la station St37 de la baie de Port-Boisé. a : prise de vue réalisée en octobre 2011 ; b : prise de vue réalisée en juillet 2013 (Source : EMR).

En revanche, au niveau du bas du tombant, la comparaison des prises de vue ne montre pas de signe notable de l'effet des fortes pluies et des apports terrigènes associés (Figure 66a & b).

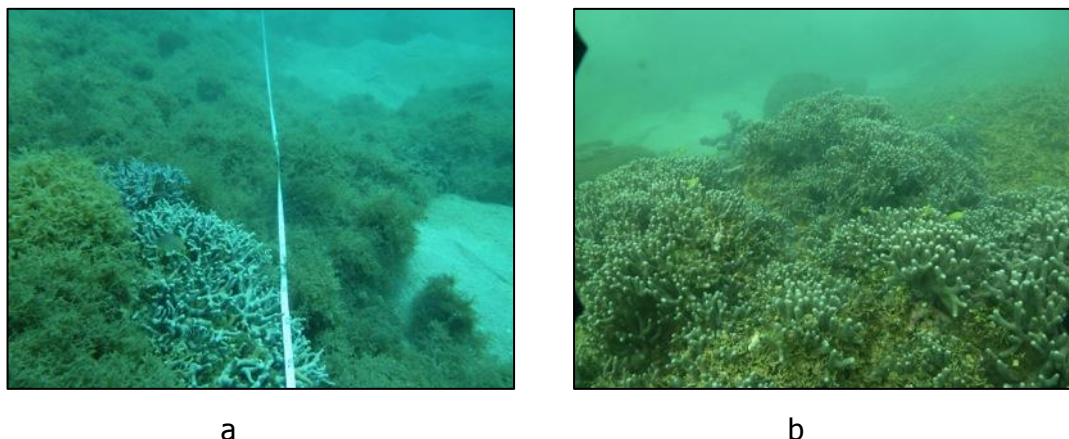


Figure 66 : prises de vues sous-marine du bas du tombant de la station St37 de la baie de Port-Boisé. a : prise de vue réalisée en octobre 2011 ; b : prise de vue réalisée en juillet 2013 (Source : EMR).

4.5.2.2 Station St39

Le platier de la station St39 est composé majoritairement de substrat abiotique (quasi exclusivement de débris coralliens). La forte turbidité (entre 7,5 NTU et 15 NTU) observée sur cette station n'a pas permis de réaliser des prises de vues assez larges pour donner un aperçu général de station.

Les observations de terrain ne montrent pas dépôt sédimentaire important à la surface du substrat au niveau du platier de cette station. Cependant, ces dernières montrent que les débris coralliens sont recouverts d'une mince couche de couleur brune liée à l'apport des sédiments fins d'origine terrigène transportés par les eaux de la rivière (Figure 67). De plus, les dégradations se traduisent par la présence de quelques colonies coralliennes blanchies en place (Figure 68).

En revanche, aucun autre organisme mort récemment n'a été observé au niveau du platier de cette station.



Figure 67 : vue du platier de la station St39 – Baie de Port-Boisé (Source : EMR).



Figure 68 : vue d'une colonie corallienne en partie blanchie au niveau du platier de la station St39 – Baie de Port-Boisé (Source : EMR).

Sur le haut du tombant, le recouvrement est dominé par le substrat abiotique (débris coralliens et blocs et dalle corallienne) et par des algues. Au niveau du haut du tombant, les dégradations se traduisent par la présence de dépôts sédimentaires sur le substrat abiotique et sur les algues (Figure 69). Il n'a pas été observé de blanchissement de colonies coralliennes au niveau de cette unité morphologique.

Aucun organisme mort récemment n'a été observé au niveau du haut de tombant de cette station.



Figure 69 : vue du haut du tombant au niveau de la station St39 – Baie de Port-Boisé (Source : EMR).

Sur le bas du tombant, le substrat est dominé par les coraux Scléactiniaires, le substrat abiotique (principalement des débris coralliens) et les algues. Au niveau du bas du tombant, les observations faites ne montrent pas de dégradation de l'habitat malgré la turbidité de l'eau (Figure 70).

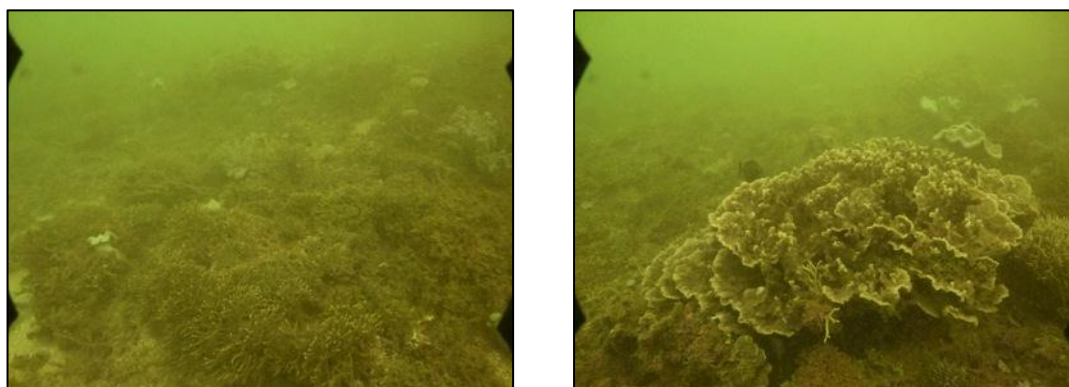


Figure 70 : vue du bas du tombant au niveau de la station St39 – Baie de Port-Boisé. Les observations faites ne montrent pas de dégradation de l'habitat malgré la turbidité de l'eau (Source : EMR).

La station St39 a été inventoriée en octobre 2011. Les prises de vues sous-marines réalisées en 2011 ont ainsi pu être comparées avec les prises de vue réalisées au cours de la présente étude. Cette comparaison ne montre de signe notable de l'effet des fortes pluies et des apports terrigènes associés sur les 3 unités morphologiques de la station St39. En effet, comme le montre la Figure 71, les caractéristiques du platier observées en octobre 2011 montrent un substrat essentiellement composé de débris coralliens, recouvert d'une fine couche de sédiments (Figure 71a). En juillet 2013, malgré la forte turbidité observée, le substrat présent sur le platier (Figure 71b) présente les mêmes caractéristiques que celles observées en octobre 2011. Il est également important de noter qu'en octobre 2011, du corail blanchi a été observé sur le platier (Figure 71a) en plus forte proportion qu'en juillet 2013 (Figure 71b). Les mêmes constatations peuvent être faites au niveau du haut et du bas du tombant de cette station (Figure 72a & b et Figure 73a & b).

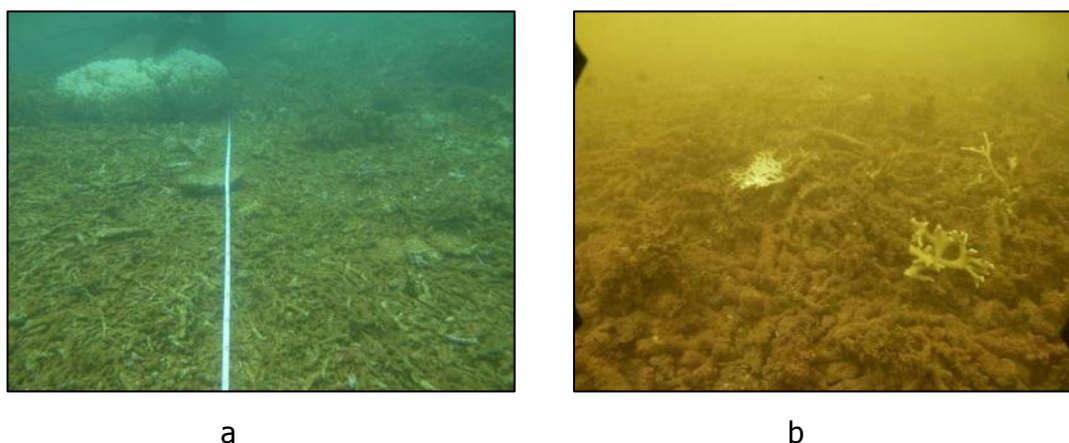


Figure 71 : prises de vues sous-marine du platier de la stations St39 de la baie de Port-Boisé. a : prise de vue réalisée en octobre 2011 ; b : prise de vue réalisée en juillet 2013 (Source : EMR).

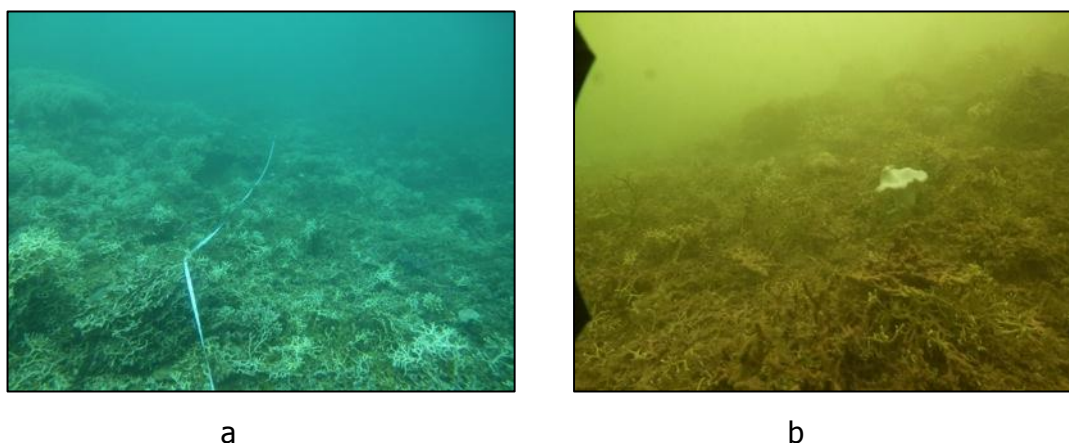


Figure 72 : prises de vues sous-marine du haut du tombant de la stations St39 de la baie de Port-Boisé. a : prise de vue réalisée en octobre 2011 ; b : prise de vue réalisée en juillet 2013 (Source : EMR).

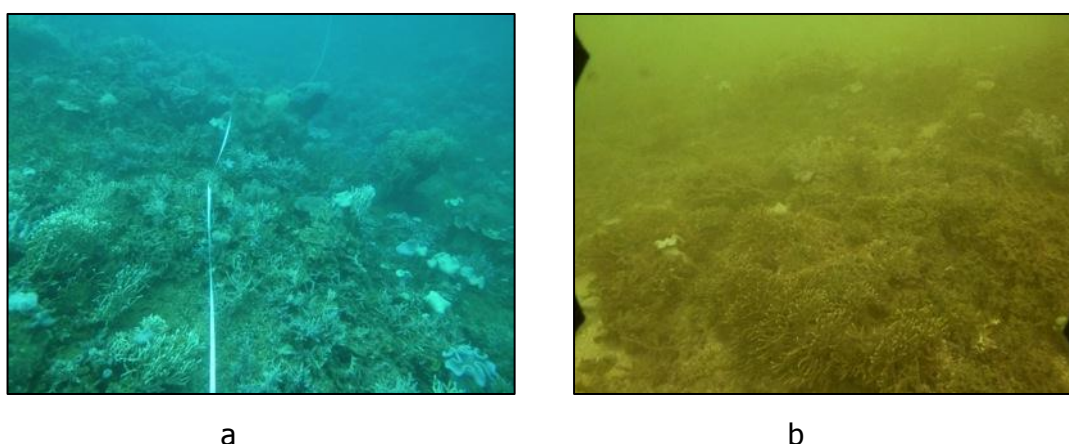


Figure 73 : prises de vues sous-marine du bas du tombant de la stations St39 de la baie de Port-Boisé. a : prise de vue réalisée en octobre 2011 ; b : prise de vue réalisée en juillet 2013 (Source : EMR).

5 DISCUSSION

Dans le cadre de l'évaluation environnementale menée au niveau des baies Kué et de Port-Boisé, réalisée les 09 et 10 juillet 2013, le présent document constitue le rapport d'expertise des conséquences des fortes précipitations observées notamment dans le sud de la Nouvelle-Calédonie les 02 et 03 juillet 2013. Cette étude permet d'identifier les caractéristiques majeures des masses d'eau, des communautés récifo-lagonaires et des modifications observées pendant les premiers jours après la survenue de cet épisode

climatique relativement intense. Elle ne prétend pas fournir une analyse détaillée de toutes les causalités des résultats observés, mais donne des premiers éléments de réponse concernant la portée spatiale et l'intensité des impacts et la cause naturelle ou anthropique de ces derniers.

La suite du document s'attachera :

- à décrire (à travers la littérature disponible) les principales conséquences que peuvent avoir de fortes précipitations sur les communautés récifo-lagonaires ;
- à évaluer l'importance de l'impact en comparant les 2 baies entre elles ;
- à faire des propositions pour suivre l'évolution des conditions environnementales dans la zone d'étude.

5.1 Revue de littérature concernant les conséquences des fortes précipitations sur les communautés récifo-lagonaires

Les conséquences des fortes précipitations sur l'environnement marin, sont liées à deux phénomènes principaux :

- un apport important en eau douce et froide, entraînant une baisse plus ou moins importante de la température et de la salinité des masses d'eau de mer ;
- un apport important en particules fines, entraînant une augmentation plus ou moins importante de la quantité de matières en suspension, du taux de sédimentation et une modification de l'intensité et des qualités spectrales de la lumière.

5.1.1 L'apport d'eau douce

L'apport important d'eau douce relativement froide entraîne une diminution de la salinité et une stratification de la colonne d'eau de mer. Les perturbations induites par ces modifications se manifestent différemment selon les organismes concernés :

- la modification de la température de l'eau peut provoquer des perturbations de grande ampleur sur les récifs coralliens. Les coraux se développent dans des eaux chaudes, avec un optimum moyen situé entre 26°C et 28°C. Les coraux scléractiniaires sont des organismes sténothermes qui vivent très proches de leur limite supérieure de tolérance thermique (Jokiel & Coles 1977; Jokiel & Coles 1990). Ainsi, une augmentation de quelques dixièmes de degrés des températures pendant

plusieurs semaines induit généralement le blanchissement¹ corallien. Toutefois, même si de nombreuses études ont montré que les coraux blanchissent en réponse à des augmentations de température, des températures anormalement faibles peuvent également conduire au blanchissement. Ces derniers phénomènes ont été observés lors d'évènements climatiques exceptionnels ou de marées d'amplitude particulièrement forte (Coles & Fadlallah 1991; Kobluck & Lysenko 1994), et validés par des expériences en milieu contrôlé (Coles & Jokiel 1977; Glynn & D'croz 1990; Muscatine *et al.* 1991; Gates *et al.* 1992). Toutefois, les résultats de ces observations montrent des effets pour des différences de températures pouvant aller de 2°C – 3°C à plus de 10°C ;

- les récifs coralliens se développent dans des eaux dont la salinité varie entre 25‰ et 42‰ (Coles & Jokiel 1992). Ainsi, la modification de la salinité peut être à l'origine de phénomène de blanchissement allant jusqu'à la mortalité des coraux, mais ce phénomène est en général limité à une échelle locale. Lors d'évènements cycloniques ou en période de mousson par exemple, la forte chute de la salinité engendrée par des précipitations exceptionnelles associées à ces phénomènes climatiques peut conduire au blanchissement de certaines espèces de coraux (Goreau 1964; Van Woesik *et al.* 1995). La baisse de salinité en tant que facteur inducteur de blanchissement a été validée par des expérimentations en milieu contrôlé (Fang *et al.* 1995). D'après les éléments de la littérature décrits dans l'article de Berkelmans *et al.* (2012), la limite inférieure de salinité tolérable par les espèces de coraux sensibles se situe entre 26‰ et 30 ‰. Cette limite inférieure s'entend pour des périodes d'exposition $\geq$ à 1 jour ;
- la baisse de la température et de la salinité de surface conduit généralement à une stratification plus ou moins marquée de la colonne d'eau, ce qui affecte la disponibilité en nutriments pour les producteurs primaires (Polovina *et al.*, 2008). De plus, cette stratification conduit également à une diminution de la disponibilité en O₂ des eaux plus profondes (Matear *et al.*, 2000; Diaz & Rosenberg 2008).

¹ Physiologiquement, le blanchissement des coraux correspond à la perte des zooxanthelles symbiotiques et/ou de leurs pigments photosynthétiques. Les coraux apparaissent alors blancs, leurs squelettes calcaires n'étant plus masqués par la pigmentation des symbiotes.

5.1.2 L'apport de particules fines

L'apport important de particules fines entraîne une augmentation de la turbidité, du taux de sédimentation, une modification de l'intensité lumineuse et des qualités spectrales de la lumière. Ainsi, les perturbations induites par l'apport de particules fines dans l'eau se manifestent différemment selon les organismes concernés :

- une modification de l'intensité lumineuse et de la qualité spectrale de la lumière peut provoquer une baisse de l'activité photosynthétique des végétaux : phytoplancton, algues et phanérogames benthiques. Elle peut entraîner des régressions spectaculaires d'herbiers (Thayer *et al.* 1975). La photosynthèse des zooxanthelles, algues unicellulaires endosymbiotes des coraux, peut également diminuer. Dans ce cas, les polypes ne disposent plus de l'énergie nécessaire à la fixation du carbonate de calcium (Chalker 1981). Cette réduction générale de la production primaire affecte alors les autres niveaux trophiques (consommateurs primaires, secondaires, etc.) et entraîne une baisse globale de la productivité de l'écosystème. L'augmentation de la turbidité sur les zones coralliennes, peut entraîner des changements de la composition spécifique des communautés ou une réduction de la diversité (Sheppard 1982, Rogers 1990) ;
- une augmentation de la teneur en matières en suspension peut altérer le recrutement (fixation et développement) des larves, notamment celles des coraux (Tomascik & Sander 1987). Les organismes adultes peuvent également être affectés. Des teneurs en matières en suspension supérieures à 10 mg/l provoquent sur les formations coralliennes un stress, une altération de la croissance, et la mortalité de certains organismes par étouffement des polypes (Pastorok & Bilyard 1985, Rogers 1990). L'augmentation du niveau de sédimentation peut entraîner également des dégâts très importants sur les récifs coralliens (Fisk 1983, Cortes & Risk 1985). De plus, la productivité du benthos et des poissons diminue en raison des dépenses énergétiques consacrées à lutter contre le colmatage des siphons et des branchies ;
- un phénomène d'hypersédimentation peut se produire dans les zones les plus calmes et provoquer une régression de l'herbier (Shepherd *et al.* 1989) et des récifs coralliens. La végétation et les organismes benthiques sessiles sont partiellement ou totalement étouffés et les échanges vitaux ne peuvent plus être assurés. Dans le cas des phanérogames, le recouvrement des feuilles entraîne une baisse de l'activité photosynthétique (Clarke & Kirkman 1989) et, dans les conditions les plus néfastes, une dessiccation mortelle de la plante (Shepherd *et al.* 1989). Une

hypersédimentation peut conduire à un blanchissement du corail (expulsion des zooxanthelles). Un taux de sédimentation supérieur à 10 mg/cm²/j provoque la mort de certains coraux et une limitation de la croissance des organismes récifaux les plus résistants (Pastorok & Bilyard 1985, Rogers 1990). La recolonisation des zones envasées par les coraux est impossible, les larves ayant besoin d'un substrat dur pour se fixer. Il se produit alors une modification des communautés biologiques, les espèces vasicoles devenant prépondérantes ;

- la remise en suspension des sédiments, par les phénomènes naturels qui se traduit par un apport en particules sédimentaires et en eau interstitielle peut entraîner le relargage de contaminants (totaux et/ou dissous) dans la colonne d'eau et en détériorer la qualité. La remise en suspension de sédiments provoque principalement l'oxygénation des sulfures, et le passage des métaux sous forme dissoute. Néanmoins certains auteurs ont montré que le rejet de sédiments fins entraîne une augmentation de la concentration totale en métaux (dissous et non dissous) dans la colonne d'eau; par contre, les concentrations en métaux dissous ne sont pas modifiées. Ces phénomènes résultent de l'action de 2 processus simultanés, la faible vitesse d'oxygénation des sulfures métalliques et la formation de nouveaux sites d'adsorption comme les hydroxydes de fer. Ces études qui n'ont concerné que quelques métaux (Fe et Mn) ne permettent pas de conclure de façon définitive sur les effets de la remise en suspension du sédiment sur la qualité biologique de la colonne d'eau. Ainsi, la remobilisation maximale du Cadmium (Cd) n'est observée qu'un mois après les apports en sédiments fins. De même, certaines études montrent une contamination de l'eau en Arsenic (As) après des rejets. Cependant, ces travaux concernent uniquement la remise en suspension de sédiments anoxiques. En ce qui concerne les sédiments toxiques, régulièrement remis en suspension lors des marées (milieux côtiers et estuariens), la remobilisation des métaux est différente. Ainsi, la remobilisation des contaminants organiques (HAP), par la remise en suspension (agitation des masses d'eau, marées, expulsion des sédiments estuariens etc.) des sédiments, est d'autant plus faible que leur caractère hydrophobe et leur affinité pour la matière organique est élevée. Le temps de contact entre le composé et le sédiment joue aussi un rôle important sur leur relargage. Les HAP résultant d'une contamination ancienne (temps de contact important avec les particules) sont plus fortement fixés, incrustés dans les particules et plus difficiles à désorber.

5.1.3 Exemples d'évènements climatiques survenus dans le monde

Malgré le peu d'articles scientifiques concernant les effets de fortes précipitations sur les communautés récifo-lagonaires, certains apportent des éléments importants qui rejoignent les observations faites dans le cadre de la présente étude. Dans leur article, Jokiel *et. al.* (1993) ont décrit un événement climatique particulièrement intéressant. Cet article est détaillé ci-après. Ces auteurs ont montré que des inondations importantes ayant eu lieu dans la nuit du 31 décembre 1987, à Hawaï, ont engendré une forte baisse de la salinité (15‰) des eaux de surface de la baie de Kaneohe. La température de l'eau de surface a également chuté de 1°C à 3°C en-dessous des valeurs ambiantes observées (24°C). Cette baisse de salinité, certainement associée à la baisse de la température, a entraîné une mortalité massive des organismes des récifs coralliens (éponges, coraux, mollusques, crustacés holothuries etc.) présents dans les eaux peu profondes. Les dommages diminuent avec l'augmentation de la profondeur et de la distance à l'estuaire. Les auteurs n'ont pas observé de mortalité directe de poissons. Les poissons ont simplement fuit la couche d'eau saumâtre superficielle pour se réfugier dans les eaux plus profondes. La salinité de la couche d'eau de surface était toujours en-dessous de 21‰ 4 jours après les inondations. Par la suite, la couche d'eau saumâtre de surface a commencé à s'estomper grâce aux courants de marée et aux brassages verticaux. Sept jours plus tard, la salinité des eaux de surface de la baie dépassait généralement les valeurs de 30‰. Les changements des caractéristiques de la colonne d'eau ont été nombreux :

- le niveau de la lumière incidente est tombé de 10% à 20% par rapport aux valeurs normales et ce, pendant plusieurs jours. La pénétration de la lumière dans la colonne d'eau a été réduite pendant plusieurs semaines, d'abord à cause de la charge en sédiments et par la suite à cause de la prolifération du phytoplancton. De plus, la réduction de la lumière liée à la décomposition des organismes morts a entraîné une baisse des niveaux d'oxygène dissous et une augmentation des niveaux d'azote particulaire et inorganique, du phosphore et du carbone. L'effet sur le plancton et sur le nécton fut de courte durée; ces communautés ont récupéré dans les semaines qui ont suivi ;
- un bloom spectaculaire de phytoplancton a eu lieu au cours des deux semaines qui ont suivi l'inondation. L'eau dans la baie a pris une couleur « café » en raison du bloom composé principalement de diatomées du genre *Chaetoceros* ;

- la concentration en Chlore (Cl) a est passée de 2 mg/m³ à plus de 40 mg/m³. Cette concentration est parmi la plus élevée jamais enregistrée pour le phytoplancton marin.

Malgré les impacts très importants de ces inondations sur les communautés récifo-lagonaires et les modifications importantes des caractéristiques de la colonne d'eau, Jokiel *et al.* (1993) montrent que le rétablissement du corail est relativement rapide, notamment au niveau des platiers récifaux particulièrement touchés. Ce rétablissement a été observé au niveau de *Porites compressa* et de *Fungia scutaria*, qui montrent qu'un grand nombre de nouvelles colonies se sont formées à partir de tissus coralliens qui étaient restés viables dans le squelette, permettant ainsi une régénérescence de la colonie. Ces observations amènent les auteurs à conclure que les communautés des récifs coralliens semblent montrer une récupération presque complète dans les 5 à 10 ans, à condition qu'elles ne soient pas soumises à des stress supplémentaires comme par exemple la pollution.

Cardoso *et al.* (2008), montrent au niveau de l'estuaire de Mondego, localisé sur la côte atlantique du Portugal, que les inondations des années 2000/2001 ont eu un impact majeur sur les macroinvertébrés, en particulier sur ceux qui se nourrissent en sub-surface et ceux qui se nourrissent par filtration (ex : *Scrobicularia plana* et *Cerastoderma edule*). Ces impacts ont été probablement causés par le colmatage des organes permettant l'alimentation lié à la forte turbidité. Ces auteurs montrent également que les différentes communautés et les habitats peuvent réagir différemment à ces inondations, selon l'écologie et les habitudes alimentaires des espèces présentes. Certaines communautés benthiques peuvent subir des effets délétères dus aux dépôts catastrophiques d'argiles d'origine terrigène, qui entraînent l'apparition de conditions anoxiques. En revanche, d'autres communautés dominées par des espèces opportunistes peuvent au contraire bénéficier de ces inondations.

D'autres auteurs (Wong *et al.*, 2010) montrent que les effets des inondations sur les peuplements d'invertébrés (crevettes et crabes) et de poissons sont liés à l'appauvrissement en oxygène des masses d'eau. Ces auteurs ont montré que les mortalités massives de poissons observées dans l'estuaire de la rivière Richmond en janvier 2008 étaient dues à l'appauvrissement en oxygène à la suite des inondations. Cette baisse de la concentration en oxygène des eaux de l'estuaire est liée à la décomposition de la matière organique. Lorsqu'elle est inondée, la végétation fournit une source de matière organique en

décomposition pour la faune bactérienne qui consomme l'oxygène dans les eaux sus-jacentes et produit une situation d'hypoxie.

5.2 Propositions d'hypothèses concernant les impacts liés aux fortes précipitations sur les baies Kué et de Port-Boisé

Il apparaît clairement que les causes des perturbations observées sont liées aux fortes précipitations. En effet, la survenue de ces dégradations dans 2 baies différentes (la baie Kué, sous l'influence du projet de Vale Nouvelle-Calédonie et la baie de Port-Boisé, éloignée de l'influence du projet de Vale Nouvelle-Calédonie) semble confirmer l'origine naturelle des impacts tout comme l'observation de poissons et de poulpes morts sur des sites éloignés du site de Vale comme à Borendi sur la côte Est (M. Juncker, comm. Pers). A la lumière des investigations de terrain et des éléments disponibles dans la littérature, les mécanismes par lesquels ces inondations ont agit sur les communautés récifo-lagonaires semblent identiques dans les 2 baies. Toutefois, la durée, l'intensité et l'étendue de l'impact de ces fortes pluies ne s'est vraisemblablement pas fait ressentir de la même manière au niveau de chacune des baies.

Ainsi, à la vue des éléments décrits dans la littérature et des observations faites sur le terrain, le scénario suivant peut être proposé pour expliquer les événements survenus dans les baies Kué et de Port-Boisé. Ce dernier peut être séparé en 2 phases :

1. une première phase dite « aigue » ;
2. une seconde phase dite « chronique ».

La première phase est survenue très rapidement dès les premiers jours qui ont suivis les fortes précipitations. Cette phase s'est très probablement déroulée selon les étapes ci-dessous :

1. de très fortes précipitations sont tombées pendant les journées du 02 et du 03 juillet 2013 ;
2. ces fortes précipitations ont engendré, soit directement (eaux météoriques), soit par ruissellement, un apport d'eau douce massif dans les cours d'eau et par la suite dans chacune des baies concernées. Cet afflux très important a entraîné une très forte baisse de la salinité des eaux de surface ainsi qu'une baisse de la température. La diminution de salinité et de la température des eaux de surface a également été

causée directement par l'apport des pluies (eaux météoriques) au niveau de chacune des baies ;

3. le lessivage (par les pluies) des sols nus des 2 bassins versants concernés a eu pour conséquence l'apport de quantités certainement importantes de sédiments terrigènes. Cet apport, couplé aux sédiments de taille plus ou moins importante déjà présents dans les lits des rivières, s'est traduit par l'arrivée d'une quantité probablement massive de particules en suspension dans les eaux des 2 baies. Il est également possible que le lessivage des sols ait entraîné plusieurs éléments polluants dans les eaux des rivières ;
3. comme décrit dans le paragraphe 5.1, ces perturbations sont connues pour causer d'une part le blanchissement voir la mort des colonies coralliennes et d'autre part la mort de divers organismes marins (invertébrés, poissons par exemple) ;
4. les observations de terrain ont montré la présence de colonies coralliennes blanchies jusqu'à une profondeur limitée à 2 m approximativement. Ceci témoigne très probablement de la présence dès les premiers jours, d'une couche superficielle d'eau douce « froide » de l'ordre de 2 m d'épaisseur et très chargée en particules. Cette dernière, s'est répandue sur la quasi-totalité de la surface de chaque baie, entraînant le blanchissement et/ou la mort des coraux ;
5. de plus, les effets cumulés de la faible salinité, de la diminution de la température, de la forte concentration de particules en suspension, associés probablement à d'autres composés chimiques, ont entraîné la mort de nombreux autres organismes marins présents dans cette gamme de profondeur ;
6. enfin, la présence parmi les organismes morts, de poissons récifaux particulièrement mobiles (Scaridae et Acanthuridae), laisse penser :
 - que ces arrivées massives d'eau douce ont été rapides et ont eu lieu la nuit. En effet, ces poissons sont connus pour se réfugier la nuit dans les anfractuosités des récifs pour dormir. Ainsi, la survenue soudaine de ces inondations, n'a peut-être pas permis aux poissons de fuir ;
 - que la dessalure qui a été très importante (beaucoup plus importante que ce qui est reporté dans la littérature, voir § 5.1) et très rapide a causé un choc osmotique trop brutal qui n'a pas permis aux poissons de fuir.

Il apparaît que la baie Kué semble avoir été plus impactée que la baie de Port-Boisé. Ceci est très certainement dû à la conjonction entre d'une part la taille de la baie Kué (2 fois inférieure à celle de Port-Boisé) et la taille très importante du bassin versant (2 fois

supérieure à celui de Port-Boisé). Ainsi, l'impact relatif des inondations a été beaucoup plus important au niveau de la baie Kué en comparaison de la baie de Port-Boisé. De plus, il est certain que les activités industrielles et minières de Vale Nouvelle-Calédonie, au niveau du bassin versant de la rivière Kué, ont augmenté la proportion des sols nus. L'action de la pluie sur ces derniers est susceptible de générer des quantités importantes de particules sédimentaires. Toutefois, nous ne disposons pas, au moment de la rédaction du présent rapport, d'élément permettant d'affirmer ou non que cette érosion des sols nus du site minier, c'est traduite par un apport important de particules sédimentaires dans la baie Kué, apport qui devrait être significativement plus important qu'au niveau de la Baie de Port Boisé.

La seconde phase dite « chronique » commence à se faire ressentir 7 jours après les fortes précipitations et elle diffère selon la baie en question. Au niveau de la baie Kué, les investigations de terrain montrent que le panache turbide ne semble pas s'évacuer rapidement de cette dernière. En effet, la panache est encore très présent dans la partie centrale de la baie et les actions conjointes des forts vents d'alizé et des marées le maintienne à l'intérieur de la baie. Sept jours après les inondations il existe toujours une couche d'eau superficielle dont la salinité est toujours très faible (4‰ à 7‰), la température est de 1°C à 2°C inférieure à la température des eaux plus profondes et la turbidité y est également très élevée (> 20 NTU). La persistance de ce stress va donc continuer à fragiliser les différents organismes qui le subissent, qui vont soit mourir soit être plus sensibles à d'autres perturbations et/ou devenir moins résistants vis-à-vis de certaines maladies ou de certains parasites. De plus, la persistance du panache turbide dans la partie centrale et sur le platier ouest de la baie, va entraîner très probablement de nombreuses perturbations : baisse l'intensité lumineuse et hypersédimentation (voir 5.1 pour les détails). Ces perturbations vont se faire ressentir principalement sur les coraux et autres invertébrés sessiles (mollusques filtreurs par exemple), mais également sur tous les autres organismes peu mobiles et vivants en étroite relation avec le fond. Ces perturbations seront d'autant plus importantes que les organismes seront fragilisés par la durée de persistance du panache turbide de surface. Les dommages diminuant avec l'augmentation de la profondeur et de la distance à l'estuaire.

Au niveau de la baie de Port-Boisé, les investigations de terrain montrent que l'étendue du panache turbide est limitée à la partie ouest de la baie (anse Kwà Mwa). Ceci est probablement lié aux apports terrigènes provenant des 2 sous-bassins versants qui

présentent un couvert végétal moins important et moins préservé que les autres sous-bassins versant de la baie de Port-Boisé et à l'action des forts vents d'alizé (voir 4.3.2 pour les détails). En revanche, sur le reste de la baie, la couche d'eau superficielle s'estompe rapidement grâce à l'action conjointe des courants de marée et des vents qui entraîne un brassage vertical des eaux de la baie.

Malgré les impacts importants que ces inondations ont eu sur les communautés récifo-lagonaires et les caractéristiques de la colonne d'eau de la baie de Port-Boisé, il semble que cette dernière puisse se rétablir rapidement. En revanche, au niveau de la baie Kué, la persistance d'un stress important lié aux apports sédimentaires qui recouvrent maintenant en grande partie le substrat et qui pourrait perdurer pose la question de la récupération du milieu à court, moyen et long terme, d'autant plus si le milieu est à nouveau perturbé par des stress supplémentaires d'origine naturel et/ou anthropique. Au niveau des zones peu profondes de la baie Kué, il est également possible que la recolonisation des zones envasées par les coraux soit impossible. Il pourrait se produire alors une modification des communautés biologiques actuellement en place.

5.3 Perspectives : Propositions de suivi

Malgré une durée, une intensité et une étendue de l'impact plus importante dans la baie Kué que dans la baie de Port-Boisé, il n'est pas possible de lier directement ce dernier aux activités industrielles et minières du projet de Vale Nouvelle-Calédonie sans des informations supplémentaires. En effet, il faudrait pour cela disposer des éléments suivants :

- à l'échelle des bassins versants, d'une analyse diachronique de l'évolution des surfaces défrichées par le projet Vale Nouvelle-Calédonie depuis au minimum l'origine du projet ;
- à l'échelle des bassins versants, d'une analyse diachronique de l'évolution des surfaces érodées directement liées au projet Vale Nouvelle-Calédonie depuis au minimum l'origine du projet et également une analyse de leurs vitesses d'évolution ;
- des résultats de suivi des transports sédimentaires dans les rivières se jetant dans les baies Kué et de Port-Boisé depuis au minimum l'origine du projet ;
- le nombre, le positionnement et le dimensionnement des ouvrages de gestion des eaux du projet de Vale Nouvelle-Calédonie ;
- des résultats des suivis des taux de sédimentation et des flux sédimentaires dans les baies Kué et de Port-Boisé ;

- des résultats des suivis biologiques des baies Kué et de Port-Boisé.

Parmi l'ensemble des éléments précédemment cités, Vale Nouvelle-Calédonie réalise déjà différents suivis environnementaux dont les résultats devraient apporter une partie des réponses. Il s'agit à notre connaissance :

- de l'évolution des surfaces défrichées par le projet Vale Nouvelle-Calédonie ;
- de l'évolution des surfaces érodées directement liées au projet Vale Nouvelle-Calédonie ;
- du suivi hydrologique (débits liquides et solides) de la rivière Kué ;
- du suivi (créations, entretiens, qualité des eaux etc.) des ouvrages de gestion des eaux du projet Vale Nouvelle-Calédonie ;
- du suivi de l'érosion de bassins versants tests dans le cadre du programme CNRT « Petits bassins versants miniers ».

Concernant les baies Kué et de Port-Boisé, des évaluations environnementales ponctuelles ont été réalisées. Il s'agit de Thollot & Wantiez (1994, 1996), Sarramegna (2000) et EMR (2012). Ces études ne s'inscrivent pas dans un programme de suivi environnemental. Toutefois, la comparaison des données entre elles, et notamment l'évolution de la couverture corallienne et du substrat abiotique, permettrait d'évaluer la modification éventuelle du milieu. Ainsi, si la proportion relative de substrat abiotique augmente, ceci pourrait être lié à un accroissement de la sédimentation. De plus, il existe à notre connaissance, 2 études qui se sont intéressées aux phénomènes de dynamique sédimentaires dans la baie Kué. Il s'agit d'une étude de l'IRD et d'une étude du bureau d'études EMR, toutes deux commanditées par Vale Nouvelle-Calédonie. Les résultats de ces études devraient apporter des éléments intéressants dans le cadre de la présente problématique. En dehors des études précédemment citées, il n'existe pas à notre connaissance de suivi environnemental régulier et relativement fréquent des baies Kué et de Port-Boisé qui permettrait de lier les modifications observées au niveau terrestre à d'éventuels impacts au niveau récifo-lagonaire.

Compte tenu des perturbations décrites dans le présent document et de l'ensemble des éléments décrits précédemment, plusieurs préconisations concernant l'acquisition de connaissances sur les rivières concernées et sur leurs fonctionnements peuvent être avancées. Certaines de ces préconisations sont probablement déjà mises en place par Vale Nouvelle-Calédonie. Ces préconisations sont à plusieurs niveaux :

- un suivi du comportement actuel des cours d'eau, par la réalisation d'un suivi hydrologique complet ou de suivi des mouvements de sédiments dans les rivières. Ce type de suivi vise à définir l'impact actuel des activités anthropiques sur le cours d'eau et à adapter la réponse en conséquence ;
- un suivi des bassins versants actuels et de l'activité minière, par la réalisation d'audits de la gestion des eaux notamment sur le bassin de la Kué ;
- au niveau de la compréhension des origines de l'érosion des sols (anthropique et naturelle) et de leur évolution dans le temps.

Le suivi hydrologique des cours d'eau pourrait passer par :

- la mise en place d'enregistreurs automatiques des hauteurs d'eau ;
- la réalisation de jaugeages réguliers ;
- la mise en place de seuil de jaugeage calibré. Ce type ouvrage a un intérêt double : il stabilise le site et il permet de réaliser un piège à sédiment dans le fond de l'ouvrage. Ainsi, une bonne connaissance de ce paramètre, en complément du préleveur automatique, permet d'obtenir une bonne évaluation des matériaux charriés par une rivière ;
- un suivi topographique 3D de l'évolution du lit de la rivière. Un levé périodique de la rivière permettrait d'illustrer les évolutions au sein du cours d'eau couplé aux informations collectées par le suivi hydrologique immédiatement en aval du site.

Concernant le diagnostic complet des zones d'érosion à l'échelle des bassins versants, Ce diagnostic comprendrait :

- un zonage des bassins versants ;
- la réalisation d'un historique des activités passées sur ce secteur (minière, autre...) ;
- le contexte géologique de la zone ;
- le contexte hydrologique des bassins versants ;
- l'inventaire actuel des zones érodées qui consiste à relever les différents types de dégradations existantes, les localiser, et évaluer leurs superficies ;
- l'évolution spatio-temporelle de tout le bassin versant sur la plus grande durée possible (comparaison à partir de photographies) ;
- la mise en œuvre d'une carte de sensibilité à l'érosion mettant en évidence les zones les plus fragiles auxquelles il faut prêter plus d'attention et éventuellement intervenir en réhabilitation.

Des préconisations concernant l'acquisition de connaissances sur les estuaires et sur les baies peuvent également être proposées. Concernant les estuaires et les baies, les principaux points sont proposés ci-après :

- un suivi de la sédimentation dans la colonne d'eau ;
- un suivi du flux de sédimentation dans l'estuaire de la rivière et dans la baie ;
- des investigations de terrain après des événements pluvieux qui permettraient d'apprécier l'extension et la dispersion de panaches turbides et donner une idée de la localisation possible des zones d'accumulations sédimentaires après les épisodes pluvieux ;
- des campagnes de courantologie. Des campagnes courantologiques simples par lâchés de flotteurs permettraient de mieux comprendre la répartition des zones d'accumulation sédimentaires en fonction des caractéristiques hydrodynamiques de la baie ;
- une analyse diachronique des zones d'accumulation sédimentaires ;
- un suivi des communautés récifo-lagonaires aux niveaux des stations inventoriées par le passé.

6 BIBLIOGRAPHIE

Beliaeff B., Bouvet B., Fernandez J.-M., 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. 169 pages.

Berkelmans R., Jones A.M. & Schaffelke B. (2012). Salinity thresholds of *Acropora* spp. on the Great Barrier Reef. *Coral Reefs*, 31, 1103–1110.

Cardoso P.G., Raffaelli D., Lillebø A.I., Verdelhos T. & Pardal M.A. (2008). The impact of extreme flooding events and anthropogenic stressors on the macrobenthic communities' dynamics. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76, 553-565.

Chalker B.E. (1981). Simulating Light-Saturation Curves for Photosynthesis and Calcification by Reef-Building Corals. *Marine Biology*, 63, 135-141.

Coles S.L. & Fadlallah Y.H. (1991). Reef coral survival and mortality at low temperatures in the Arabian Gulf : new species specific lower temperature limits. *Coral Reefs*, 9, 231- 237.

Coles SL, Jokiel PL (1992) Effects of salinity on coral reefs. In : Connell DW, Hawker, DW (eds) *Pollution in Tropical Aquatic Systems*. CRC Press, London. pp 147 166

Coles S.L. & Jokiel P.L. (1977). Effects of temperature on photosynthesis and respiration in hermatypic corals. *Marine Biology*, 43, 209-216.

Cortes J.N. & Risk M.J. (1985). A reef under siltation stress: Cahuita, Costa Rica. *Bull Mar Sci* 36:339–356.

Diaz R.J. & Rosenberg R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, 321, 926-929.

EMR (2012). Etat initial des communautés récifales dans le périmètre d'influence de Vale Nouvelle-Calédonie – Partie 1.

Fang L.S., Liao C.W. & Liu M.C. (1995). Pigment composition in different-colored scleractinian corals before and during the bleaching process. *Zoology Studies*, 34, 10- 17.

Gates R.D., Baghdasarian G. & Muscatine L. (1992). Temperature stress caused host cell detachment in symbiotic cnidarians: implications for coral bleaching. *Biology Bulletin*, 182, 324-332.

Glynn P.W. & D'croz L. (1990). Experimental evidence for high temperature stress as the cause of El Niño-coincident coral mortality. *Coral Reefs*, 8, 181-191.

Goreau T.J. & Hayes R.L. (1994). Coral bleaching and ocean "Hot Spot". *Royal Swedish Academy of Sciences*, 23, 176-194.

Jokiel P.J. & Coles S.L. (1990). Responses of hawaiian and other Indo-Pacific reef corals to elevated temperatures. *Coral Reefs*, 8, 155-162.

Jokiel P.L. & Coles S.L. (1977). Effects of temperature on the mortality and growth of hawaiian reef corals. *Marine Biology*, 43, 201-208.

Kobluck D.R. & Lysenko M.A. (1994). Ring bleaching in Southern Caribbean *Agaricia agaricites* during rapid water cooling. *Bulletin of Marine science*, 54, 142-150.

Matear R.J., Hirst A.C. & McNeil B.I. (2000). Changes in dissolved oxygen in the Southern Ocean with climate change. *Geochemistry Geophysics Geosystem*, 1.

Muscatine L., Grossman D. & Doino J. (1991). Release of symbiotic algae by tropical sea-anemones after cold shock. *Marine Ecology Progress Series*, 77, 233-243.

Pastorok R.A. & Bilyard G.R. (1985). Effects of sewage pollution on coral reef communities, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 21:175-189.

Rogers C.S. (1990). Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 62 : 185-202.

Sarramegna S. (2000). Caractérisation des communautés biologiques coralliennes dans le cadre du projet Goro Nickel – rapport préliminaire. Association calédonnienne de recherche en environnement marin

Thayer, G.W., Wolfe, D.A., & Williams, R.B., 1975. The impact of man on seagrass systems. *Am. Sci.*, 63: 288-296.

Tomascik T. & Sander F. (1987). Effects of eutrophication on reef-building corals. 3. Reproduction in the reef building coral *Porites porites*. *Marine Biology*, 94, 77-94.

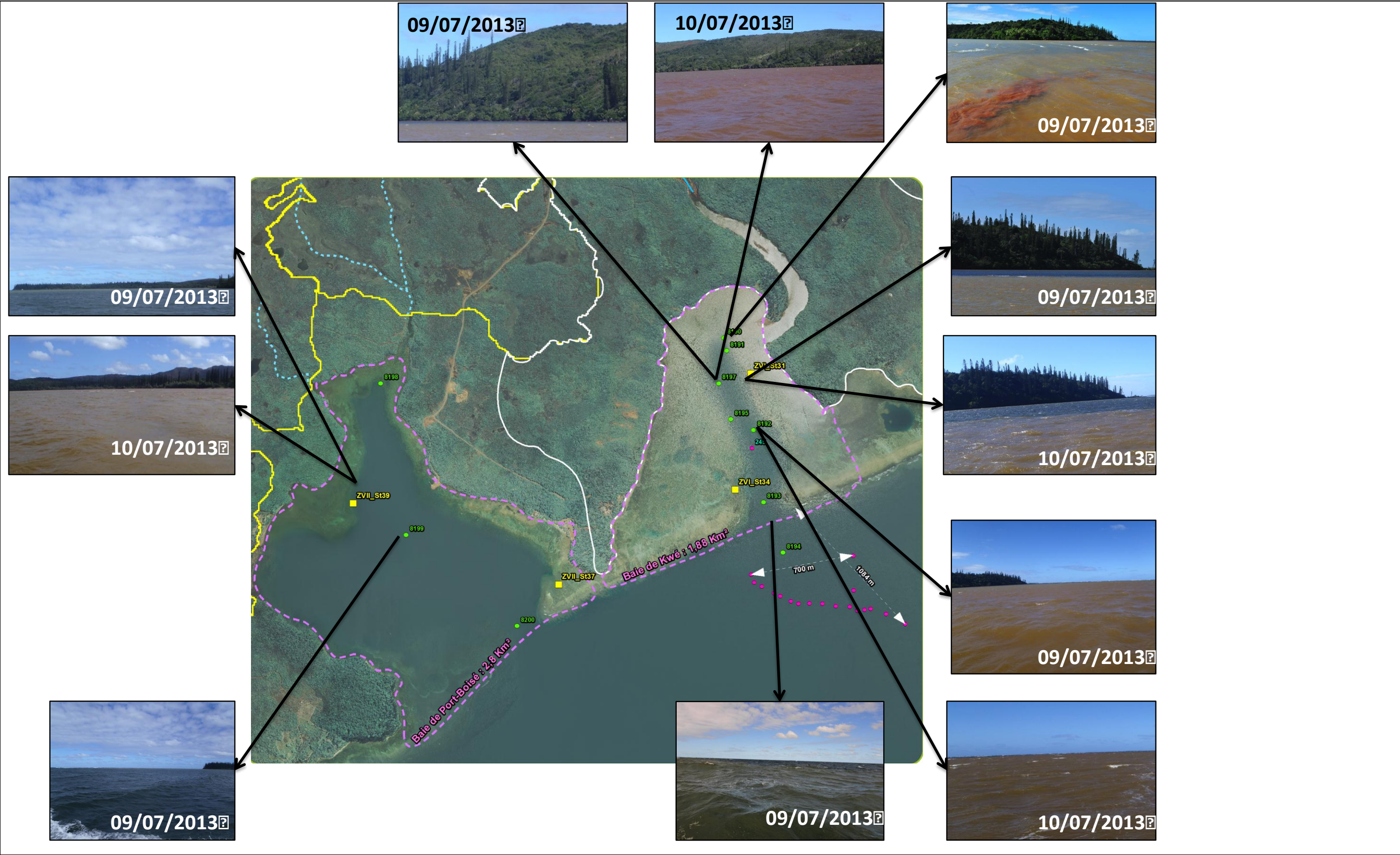
Thollot & Wantiez Consultants (1994). Evaluation des impacts du projet Goro Nickel sur les communautés biologiques marines de la baie Kw& et de la zone portuaire de Prony.

Thollot & Wantiez Consultants (1996). Evaluation des impacts du projet Goro Nickel sur les communautés biologiques marines de la baie Kw& et de la zone portuaire de Prony. A2EP.

Van Woesik R., De Vantier L. & Glazebrook J. (1995). Effects of cyclone 'Joy' on nearshore coral communities of the Great Barrier Reef. *Marine Ecology Progress Series*, 128, 261-270.

Wong V.N.L, Johnston S.G., Bush R.T, Sullivan L.A., Clay C., Burton E.D. & Slavich P.G. (2010). Spatial and temporal changes in estuarine water quality during a post-flood hypoxic event. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87, 73–82.

7 ANNEXE



Carte de localisation des prises de vue photographiques.