



DEPARTEMENT
ENVIRONNEMENT

Dossier n°A000.D.0031



Société Le Nickel

Etude bathymétrique dans l'Anse Uaré

Rapport final

Le système qualité de GINGER SOPRONER est certifié ISO 9001-2008 par



ISO9001 : FDT1_V2/01-14

ÉVOLUTION DU DOCUMENT

Ind.	Date	Chef de projet	Ingénieur d'études	Description des mises à jour
1		GILBERT Antoine	HEINTZ Tom	Création du document

SOMMAIRE

INTRODUCTION	5
LEVE BATHYMETRIQUE ET ESTIMATION DE L'ENVASEMENT	7
I. MATERIEL ET METHODES.....	8
<i>I.1. Campagne bathymétrique</i>	<i>8</i>
<i>I.3. Evaluation du bilan sédimentaire</i>	<i>8</i>
II. RESULTATS.....	10
<i>II.1. Levé bathymétrique</i>	<i>10</i>
<i>II.2. Estimation de l'envasement.....</i>	<i>10</i>
III. DISCUSSION.....	12
<i>III.1. Levé bathymétrique</i>	<i>12</i>
<i>III.2. Evolution de l'envasement.....</i>	<i>12</i>
EUTROPHISATION.....	13
I. MATERIEL ET METHODES.....	14
<i>I.1. Prélèvement et analyse d'eaux.....</i>	<i>14</i>
II. RESULTATS.....	18
<i>II.1. Etat des lieux en Avril 2014.....</i>	<i>18</i>
<i>II.2. Rappel sur les données de chlorophylle a entre 2005 et 2013.....</i>	<i>19</i>
III. DISCUSSION.....	21
<i>III.1. Valeur de référence en Chl a</i>	<i>21</i>
<i>III.2. Etat de la qualité des eaux en Aout 2014</i>	<i>21</i>
<i>III.3. Evolution de l'état de la qualité des eaux depuis 2005.....</i>	<i>22</i>
COURANTOLOGIE	24
IV. MATERIEL ET METHODES	25
<i>IV.1. Objectifs de la modélisation.....</i>	<i>25</i>
<i>IV.2. Objectifs des études de terrain</i>	<i>25</i>
<i>IV.3. Rappels des résultats antérieurs sur le fonctionnement hydrodynamique de l'Anse.....</i>	<i>25</i>
<i>IV.4. Description et calage du modèle.....</i>	<i>26</i>
<i>IV.5. Conditions forçantes</i>	<i>27</i>
V. RESULTATS	28
<i>V.1. Influence de l'évolution des fonds sur le fonctionnement hydrodynamique.....</i>	<i>28</i>
<i>V.2. Interprétation des temps de résidence</i>	<i>31</i>
VI. SYNTHESE ET CONCLUSION	32
BIBLIOGRAPHIE.....	33
ANNEXES	35

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Localisation des sous secteurs de l'Anse Uaré (Zone 1+ Zone 2 + Zone 3) : Anse Uaré restreint (Zone 2 + Zone 3), Anse Uaré restreint à l'Anse (Zone 2) et Anse Uaré restreint au chenal (Zone 3).	10
Figure 2 : Localisation des points de prélèvements d'eau autour du site de la SLN	15
Figure 3 : Localisation du point de prélèvement d'eau en référence	16
Figure 4: Concentration en Chlorophylle a sur les stations en Aout 2014.....	18
Figure 5 : Marée basse	20
Figure 6 : Marée haute.....	20
Figure 7 : Boîtes à moustache sur la concentration de Chl a par station et par marée entre 2005 et 2014 (valeur médiane, centiles à 25% et 75%, rang sans valeurs extrêmes et valeurs extrêmes).....	23
Figure 8 : Détail du sous-domaine centré sur l'Anse-Uaré utilisé dans la présente étude. Les étoiles rouges symbolisent l'emplacement des flotteurs largués à différents moments de la marée le 8-Juin-2011	26
Figure 9 : Comparaison du marégramme de Numbo (noir) avec le marégramme reproduit depuis le modèle (rouge), première quinzaine de mai 2008. Elévation exprimée en mètres par rapport au Zéro Hydrographique.....	27
Figure 10 : Limites du domaine et illustration des temps de résidence (en heures) de quelques particules : situation au bout de 80 heures (vent nul et débit amont de $6 \text{ m}^3/\text{s}$).....	28
Figure 11 : Cartes de temps de résidences (en jours). A : Situation Bathymétrie 2008 ; B : Situation Bathymétrie 2011 ; C : Situation Bathymétrie 2013 ; D : Situation Bathymétrie 2014 (Marée, vent nul et débit constant de $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$) ..	29
Figure 12 : C : Différence des temps de résidence: A : 2011 – 2008 ; B : 2013-2008 ; C : 2014-2008 (Marée, vent nul et débit constant de $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$).....	30

INTRODUCTION

Conformément à l'arrêté ICPE N°11387-2009/ARR/DIMEN autorisant la Société Le Nickel à exploiter son usine de traitement de minerai de nickel de Doniambo, la SLN réalise un suivi environnemental.

Dans le cadre de cet arrêté, la SLN réalise depuis 2005 un suivi de l'Anse Uaré avec notamment un suivi de la bathymétrie et un suivi de l'état d'eutrophisation de la baie à travers des mesures ponctuelles de la concentration en chlorophylle a.

En 2014, la SLN a mandaté GINGER-SOPRONER pour réaliser ce suivi. Plusieurs objectifs sont alloués à cette nouvelle campagne :

- estimer l'état d'eutrophisation de l'Anse et le comparer dans l'espace et dans le temps ;
- réaliser le levé bathymétrique de l'Anse pour l'année 2014 ;
- évaluer l'envasement de la baie et mettre en évidence les zones de dépôt (conformément à l'article 4 de l'arrêté N°20110-4929/GNC)
- réévaluer par simulation la courantologie de la zone et la comparer aux précédentes campagnes réalisées par GINGER-SOPRONER (conformément au chapitre 9.5.2.1 des prescriptions techniques annexes à l'arrêté N°11387-2009/ARR/DIMEN)

Le présent rapport est composé de trois volets indépendants et complémentaires :

- Un volet relatif au suivi de l'état d'eutrophisation ;
- Un volet relatif à la campagne de levé bathymétrique et à l'estimation de l'envasement de la baie ;
- Un volet relatif aux simulations courantologiques.

**LEVE BATHYMETRIQUE ET ESTIMATION DE
L'ENVASEMENT**

I. MATERIEL ET METHODES

I.1. CAMPAGNE BATHYMETRIQUE

I.1.1. Méthode d'exécution.

La zone d'étude pour la campagne bathymétrique présente une surface de l'ordre de 120 hectares, équivalente aux campagnes précédentes.

Le levé a été mené dans le système géodésique WGS84 et rédigé dans ce système en projection UTM sud fuseau 58. Les sondes seront réduites de la marée observée à Nouméa et rapportées au Zéro Hydro de la zone.

Le levé a été effectué au 1/1000ème et les profils ont été espacés de 10 mètres.

I.2. Matériel et technique

Un récepteur GPS type Trimble R4 a été utilisé. Le GPS fonctionne en différentiel mode RTK. Les mesures ont été faites à l'aide d'un sondeur hydrographique HY1500 et la marée a été observée à l'aide d'une sonde Troll 100 In-Situ INC. Cette sonde est immergée dans la zone du levé.

Une échelle de marée provisoire a été installée. L'échelle est donc calée par rapport au zéro hydrographique.

Les sondes ont été acquises via HYPACK max®. Le traitement des sondes a été effectué suivant les procédures habituelles sur le même logiciel HYPACK max®.

Le rapport particulier du levé hydrographique réalisé par la SARL AHT est présenté en Annexe 1.

I.3. EVALUATION DU BILAN SEDIMENTAIRE

I.3.1. Précision altimétrique et choix surfaciques

La précision des sondes sur l'ensemble du levé est inférieure à 10 cm +/- 1% pour la profondeur.

Les levés bathymétriques ont été réalisés au 1/1000 ce qui signifie que les mesures de profondeur sont faites sur des radiales espacées de 10m. La distance entre deux sondes successives sur une même radiale dépend de la profondeur puisque le fonctionnement du sondeur est tel qu'il envoie le signal suivant dès que l'écho du signal précédent a été réceptionné. Sur les données bathymétriques brutes (avant traitement) la « densité linéique » de points le long des radiales est donc relativement importante puisque l'on obtient plusieurs points par mètre linéaire.

Les outils de traitement de données bathymétriques permettent de limiter la densité de points en effectuant des « filtrages » sur les données brutes. Les données bathymétriques (pour les années 2005, 2011 et 2013) ont été livrées selon deux choix surfaciques : 1 m et 10 m.

Il est important de noter que nous avons conduit cette analyse en utilisant les données bathymétriques selon le choix surfacique 1 m pour la raison suivante : L'outil utilisé par AHT pour le traitement des données bathymétriques étant fortement orienté pour les besoins et usages du

domaine de la navigation, les algorithmes de traitement permettant de réaliser ces choix surfaciques sont programmés de manière à retenir la valeur maximale du niveau de fond sur un échantillon de sondes (c'est à dire les valeurs minimales de profondeur qui sont les plus contraignantes pour la navigation) et non pas la valeur moyenne. Cette opération de filtrage introduit donc une erreur sur les niveaux de fonds, ceci d'autant plus que la densité retenue pour le choix surfacique est importante.

De ce fait, compte tenu des objectifs de l'étude, nous avons retenu le choix surfacique de 1 m de manière à minimiser cette « distorsion ».

La densité des points de sondes retenue pour l'analyse n'est donc pas homogène dans les deux directions de l'espace : la distance entre deux sondes est ainsi de 1 m le long des radiales (cheminement du sondeur) et de 10 m dans la direction perpendiculaire aux radiales (environ 10 m de distance entre deux radiales consécutives).

I.3.2. Comparaison de bathymétrie : modèles de surface 3D

L'étude de l'évolution de la bathymétrie a été abordée par comparaison de modèles numériques de surface 3D.

Des modèles numériques de surface 3D (format raster) ont été générés à partir des données de bathymétrie relevé par la société Action Hydro Topo (AHT) à l'aide des outils du logiciel Arcgis (ESRI).

Cette première opération permet ainsi d'obtenir par interpolation une modèle numérique de surface 3D continue, à partir d'une série de points discrets pour chacune des années étudiées.

Ce modèle numérique de surface est généré au format « raster » ou « grid », c'est-à-dire qu'il est constitué d'un assemblage de cellules de forme carrée (taille 1 m x 1 m) affectée d'une valeur qui correspond à l'altitude du fond (calculée par interpolation à partir des altitudes des points du relevés bathymétriques les plus proches).

Plusieurs analyses ont ensuite été réalisées sur ces modèles numériques de surface :

- La première analyse qui a été réalisée est une opération de classification des cellules selon leur altimétrie de manière à pouvoir effectuer une comparaison visuelle des évolutions entre les différentes années considérées ;
- La seconde analyse consiste à réaliser des calculs de volumes par rapport à un plan de comparaison fixe, l'objectif étant de fournir une évaluation du bilan sédimentaire global de de la baie.

Ces analyse ont été conduites en considérant le secteur de l'Anse Uaré dans son ensemble mais ont également été appliquées sur des sous-secteurs restreints où les évolutions de fonds sont les plus notables afin de préciser la répartition spatiale du bilan sédimentaire.

Notons que les calculs de volumes ont été réalisés en considérants des volumes « globaux » entre le modèle numérique de surface du fond de la baie pour chaque année considérée. La comparaison de ces volumes globaux entre deux années permet d'évaluer le bilan sédimentaire global. Cette méthode globale est plus fiable et plus robuste qu'une comparaison directe entre les modèles numériques de surface de fond de la baie.

II. RESULTATS

II.1. LEVE BATHYMETRIQUE

La zone a été complètement explorée au sondeur vertical conformément au devis. Le rapport particulier du levé bathymétrique réalisé par AHT est présenté en Annexe 1. L'ensemble des données associées sont jointes en fichiers numériques annexées sur CD au présent rapport.

II.2. ESTIMATION DE L'ENVASEMENT

L'estimation de l'envasement de l'Anse Uaré a été réalisée dans son ensemble (Anse Uaré complet) mais également suivant 3 sous-secteurs (Anse Uaré restreint ; Anse Uaré restreint à l'Anse ; Anse Uaré restreint au chenal) où les évolutions de fonds sont les plus notables (Figure 1).



Figure 1 : Localisation des sous secteurs de l'Anse Uaré (Zone 1+ Zone 2 + Zone 3) : Anse Uaré restreint (Zone 2 + Zone 3), Anse Uaré restreint à l'Anse (Zone 2) et Anse Uaré restreint au chenal (Zone 3).

Aussi pour chaque sous-secteur, une planche cartographique a été réalisée. Elles sont présentées en Annexe 2.

Chaque cartographie présente pour 2005, 2011, 2013 et 2014 le modèle numérique de surface avec les classes altimétriques exprimées par rapport au zéro hydro. Une cartographie présentant la différence de bathymétrie entre 2005 et 2014 dans le secteur de l'anse Uaré est également présentée en Annexe 2.

Le bilan sédimentaire en m³ entre les années et par secteur géographique est présenté au Tableau 1.

Tableau 1 : Bilan sédimentaire en m³ et par secteur géographique réalisé par rapport au zéro hydrographique

	Anse Uaré	Anse Uaré restreint	Anse Uaré restreint "Anse"	Anse Uaré restreint "Chenal"
Carte	n°1	n°2	n°3	n°4
2005-2011	41759	31934	33229	-954
2011-2013	42979	27572	26929	641
2013-2014	-88	13725	14017	-239
2005-2014	84649	73232	74176	-551

III. DISCUSSION

III.1. LEVE BATHYMETRIQUE

Les données bathymétriques de 2014 montrent que l'anse Uaré est une zone de petits fonds avec quelques petites cuvettes qui atteignent un maximum de -7 mètres par rapport au zéro hydrographique. La navigation y est donc peu pratique et limitée à des embarcations à faible tirant d'eau.

Le volume total du plan d'eau modélisée par rapport au zéro hydrographique est de 862 519 m³ en 2014.

III.2. EVOLUTION DE L'ENVASEMENT

Ainsi sur l'ensemble de la zone cartographiée (carte N°1 en Annexe 2), le bilan sédimentaire positif (dépôts) mesuré est de 84 646 m³ entre 2005 et 2014 (Tableau 1), soit environ 10% du volume d'eau de la zone.

Géographiquement ce dépôt se situe principalement (73 232 m³) dans la zone restreinte de l'Anse Uaré (Carte N°2 en Annexe 2) notamment au niveau de l'Anse (74 176 m³) de cette zone (Carte N°3 en Annexe 2) dans l'axe du chenal (Carte N°4 en Annexe 2). Cette dernière zone ne présente d'ailleurs pas d'évolution significative.

Sur la durée d'étude (2005-2014), on observe une évolution particulière entre 2013 et 2014 comparée aux années précédentes, avec un bilan sur l'ensemble de l'Anse Uaré quasi-nul entre ces deux années alors qu'il était positif entre 2005 et 2011, puis 2011 et 2013 (environ 42 000 m³ entre ces années).

Si cette évolution peut être liée à un artefact de la méthode de levée ou d'interpolation entre 2013 et 2014, les résultats montrent qu'une tendance à l'accrétion est enregistrée dans la zone sur les 9 dernières années avec un bilan sédimentaire largement positif entre 2005 et 2014 sur l'anse Uaré.

EUTROPHISATION

I. MATERIEL ET METHODES

I.1. PRELEVEMENT ET ANALYSE D'EAUX

L'échantillonnage, pour analyse de la chlorophylle a, s'est porté sur une série de prélèvements à marée haute et à marée basse, suivant la méthodologie suivante.

I.1.1. Points de prélèvement

Les 10 points de prélèvement sont identiques aux années précédentes. Ils ont été choisis en accord avec la SLN :

- DO 0, situé à l'entrée de l'anse Uaré et N'Du ;
- DO 1 et DO 2, situés au milieu des restrictions de passage entre le site de Doniambo et le relief de Ducos,
- DO 3, situé sur le canal Est,
- DO 4 et DO 5, situés au milieu des « baies »
- EMB, situé au droit de la zone de pompage du quai de l'Anse du Tir,
- D 12, situé au milieu de la Grande Rade,
- M 03, situé à mi-chemin entre la grande rade et l'Ilot Maître
- DECO, situé avant la SLN au niveau magasin Décorama.

Les coordonnées précises de chaque point de prélèvement sont présentées dans le Tableau 2 et les points sont présentés en Figure 2 et Figure 3.

Tableau 2 : Coordonnées des points de prélèvement (Lambert NC)

Station	E	N
DECO	446416	217040
DO 0	444012	217186
DO 1	444854	217411
DO 12	443257	216765
DO 2	445591	217168
DO 3	446017	216957
DO 4	445208	217422
DO 5	444171	217638
EMB	445485	215636
MO 3	436709	216793



Figure 2 : Localisation des points de prélèvements d'eau autour du site de la SLN

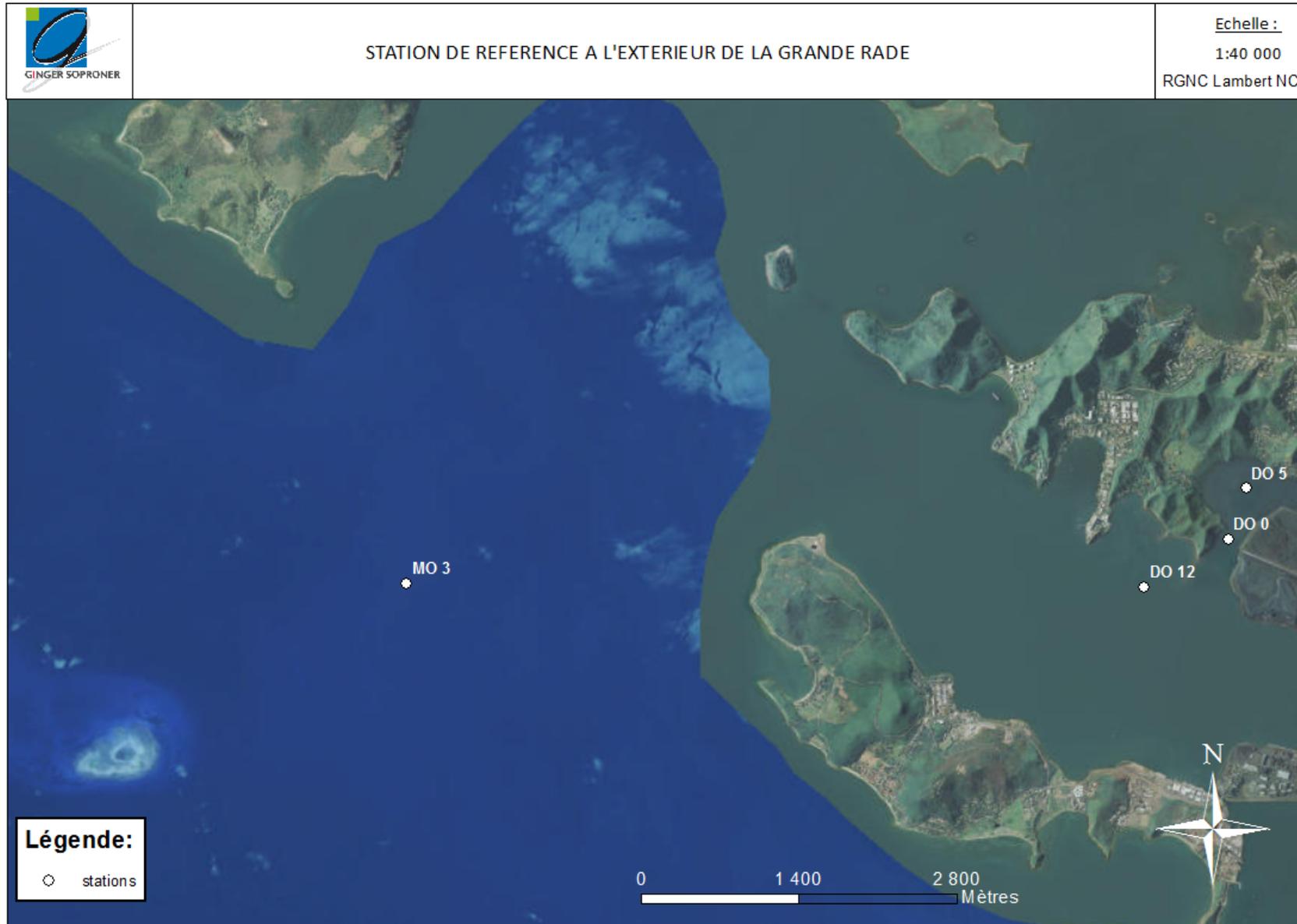


Figure 3 : Localisation du point de prélèvement d'eau en référence

I.1.2. Déroulement de la mission

La campagne d'échantillonnage a été effectuée le mercredi 13 Aout 2014. Le temps était beau avec un vent faible (5 à 10 nœuds) et sans pluie. Les mouvements de marées du 13 Aout 2014 sont rappelés ci-après :

- marée haute à 09h34 (1,47)
- marée basse à 15h40 (0,20)

Les prélèvements ont été réalisés aux horaires suivants :

- marée haute : 8h50 à 10h01
- marée basse : 14h18 à 15h40

Deux séries de prélèvements (comprenant chacun 10 échantillons) espacées d'environ 4 heures ont été réalisées et conditionnées dans des flacons en plastique protégés de la lumière, puis stockés en glacières avant remise des échantillons au laboratoire AEL le jour même. La première série de prélèvements (à marée haute) a été transmise au laboratoire à la mi journée et la seconde série (marée basse) a été fournie en fin de journée.

Tous les prélèvements ont été réalisés en surface à partir d'une embarcation. Seul le point DECO, situé au droit du magasin Décorama, avant la SLN, a été prélevé au bord de la berge.

II. RESULTATS

II.1. ETAT DES LIEUX EN AVRIL 2014

Les résultats d'analyse de la campagne 2014 sont présentés en Tableau 3 et en Figure 4.

Tableau 3 : Concentration en Chlorophylle a ($\mu\text{g/l}$) en Aout 2014 sur les stations

Station	Basse	Haute
D 12	0,28	0,32
DO 0	0,01	0,19
DO 1	0,72	1,41
DO 2	0,06	0,09
DO 3	0,05	0,16
DO 4	0,24	0,09
MO 3	0,18	0,25
DO 5	0,09	0,29
EMB	0,43	1,85
DECO	11,03	36,4
<i>Moyenne</i>	<i>1,3</i>	<i>4,1</i>
<i>Ecart-type</i>	<i>3,4</i>	<i>11,4</i>

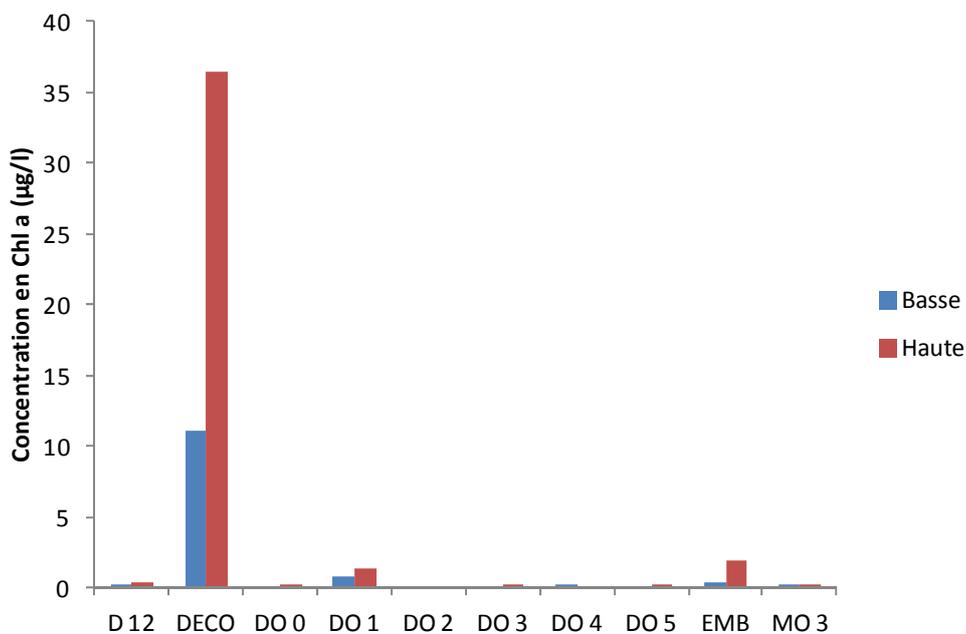


Figure 4: Concentration en Chlorophylle a sur les stations en Aout 2014

La station DECO se démarque des autres stations avec une concentration en Chl a nettement supérieure, variant de 11,03 µg/l (marée basse) à 36,4 µg/l (marée haute). Les différences observées avec les autres stations proviennent de la localisation de la station DECO située dans des petits fonds en sortie d'un arroyo apportant des eaux résiduares urbaines.

Les stations EMB et D01 présentent des concentrations intermédiaires avec une concentration de Chl a supérieure à marée haute qu'à marée basse et variant de 0,43 µg/l à 1,85 µg/l. EMB est situé au fond de la grande rade, à proximité de divers exutoires de la ville qui peuvent influencer la concentration de Chl a dans les eaux.

Les autres stations, références incluses, présentent toutes des concentrations inférieures à 0,4 µg/l quelque soit la marée et aucun gradient de concentration en fonction de la distance de la côte n'est observé.

Les résultats complets fournis par le laboratoire AEL figurent en Annexe 3.

II.2. RAPPEL SUR LES DONNEES DE CHLOROPHYLLE A ENTRE 2005 ET 2013

Afin d'apprécier l'évolution du niveau d'eutrophisation dans la zone depuis 2005, on rappelle les valeurs obtenues lors des campagnes précédentes à marée basse (Figure 5) et marée haute (Figure 6).

Ces campagnes avaient fait apparaître les tendances suivantes :

- En 2005, la station DECO n'a pas été échantillonnée. Les 9 points ont montré une teneur en Chl a inférieure à 0,5 µg/l à marée haute et marée basse avec le maximum observé sur DO3 à 0,4 µg/l.
- En 2006, aucune tendance particulière n'est observée. Seule la station DECO se détache des 9 autres stations avec une teneur qui dépasse 5 µg/l à marée haute et une teneur deux fois moins importante à marée basse mais toujours au dessus des valeurs obtenues sur les autres stations.
- En 2008, les valeurs obtenues sur les 10 stations sont inférieures à 3 µg/l et les stations DECO et EMB ne montrent pas de différence importante avec les autres stations contrairement aux autres années.
- En 2011, les stations EMB et DECO présentent des valeurs nettement supérieures (souvent proches ou supérieures à 2 µg/l) aux autres stations. Ces dernières obtiennent des valeurs inférieures à 1 µg/l et fréquemment inférieures à 0,5 µg/l.
- En 2013, les stations EMB et DECO présentent les concentrations les plus élevées à chaque marée (souvent proches de 2 µg/l). Les stations DO0 et D12 (concentration proche de 1 µg/l) se démarquent également des autres stations dont la concentration est généralement inférieure à 0,5 µg/l.

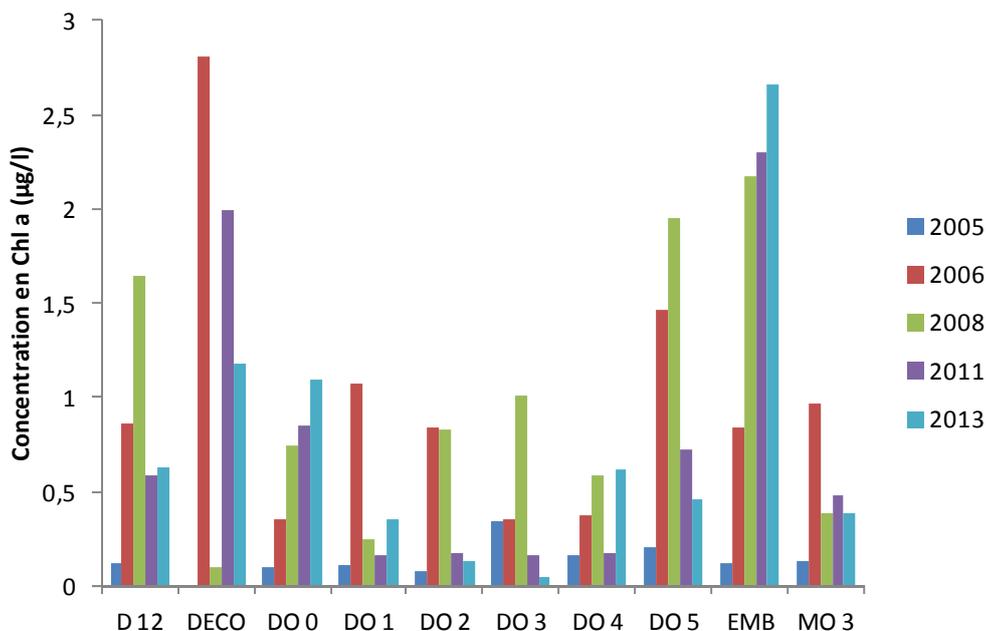


Figure 5 : Marée basse

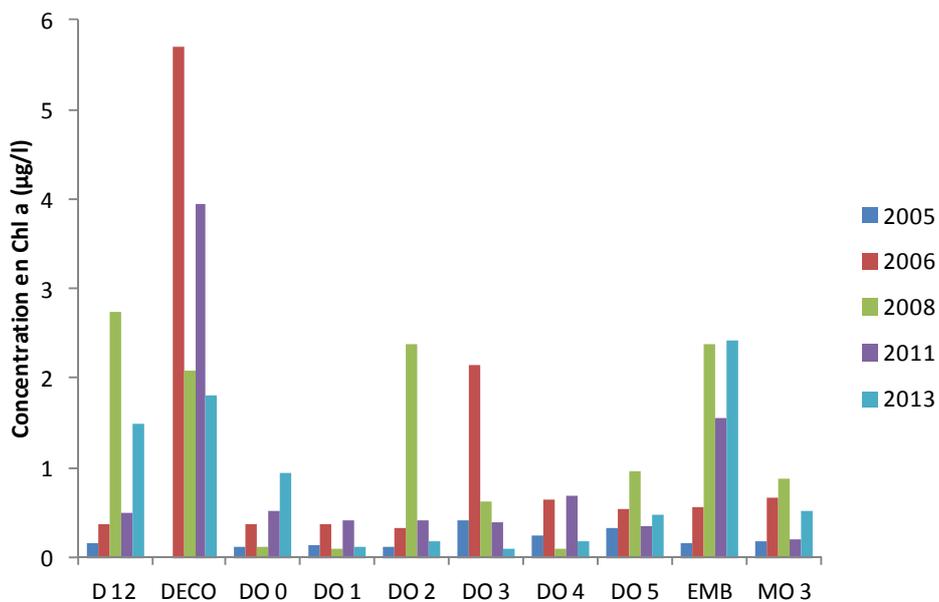


Figure 6 : Marée haute

III. DISCUSSION

III.1. VALEUR DE REFERENCE EN CHL A

Le guide du CNRT pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle Calédonie (Beliaeff et al. 2011) préconise plusieurs échelles de valeurs et qualités de l'eau en fonction de la distance à la côte (Tableau 4).

Tableau 4 : Valeur de référence en Chl a (Guide CNRT, Beliaeff et al. 2011)

CHLOROPHYLLE A (µg/L)	Bon	Moyen	mauvais
Fond de baie, littoral	[0.2 – 1.5[[1.5 – 5.0[≥ 5.0
Lagon en milieu côtier	[0.1 – 1.0[[1.0 – 2.0[≥ 2.0
Proche récif barrière	< 0.3	Upwelling, bloom [0.3 – 0.5[≥ 0.5

L'utilisation de cette échelle est préconisée sur une série de données avec le calcul du 90^{ème} percentile¹. A ce jour, notre série de données est composée de 6 valeurs par station et par marée (sauf DECO qui n'a pas été échantillonné en 2005) et par conséquent, le 90^{ème} percentile est utilisé en III.3 pour qualifier la qualité des eaux entre 2005 et 2014.

La comparaison de résultats ponctuels à ces grilles de lectures peut également fournir une indication sur la qualité de l'eau à un instant t. Aussi les résultats en Aout 2014 sont comparés à cette grille en III.2.

III.2. ETAT DE LA QUALITE DES EAUX EN AOUT 2014

Concernant les stations de fond de baie, seule la station DECO présente une eau de mauvaise qualité selon le guide CNRT ($c > 5,0 \mu\text{g/l}$) à marée haute et marée basse. Les autres stations, situées dans l'Anse Ndu et l'anse Uaré, présentent une eau de bonne qualité à marée haute et marée basse et seule la station EMB, située au fond de la grande rade présente une eau de moyenne qualité à marée haute ($1,5 < c < 5,0 \mu\text{g/l}$).

Les stations D12 et MO3, qualifiables en lagon et milieu côtier et qui constituent des points de référence, présentent une eau de bonne qualité à chaque marée ($c < 1,0 \mu\text{g/l}$).

Globalement, les résultats de 2014 témoignent d'une faible eutrophisation des eaux de la grande rade, de l'anse Ndu et de l'anse Uaré, à l'exception de la station DECO qui est caractérisée par une eau de mauvaise qualité.

¹ 90^{ème} percentile : valeur sous laquelle 90% des données sont situées

III.3. EVOLUTION DE L'ETAT DE LA QUALITE DES EAUX DEPUIS 2005

Le 90^{ème} percentile et les boites à moustache sur chaque station à chaque marée sont présentés respectivement dans le Tableau 5 sur la Figure 7.

On remarque que la station DECO est la seule station dont la série de données traduit une eau de mauvaise qualité à marée haute et marée basse. Le 90^{ème} percentile sur cette station est fortement influencé par les valeurs obtenues en 2014 qui constituent des valeurs extrêmes.

La station EMB, située au fond de la grande rade est caractérisée par une eau de mauvaise (marée haute) à moyenne qualité (marée basse).

Les autres stations de l'anse Uaré et de l'anse Ndu sont globalement caractérisées par une eau de bonne qualité à l'exception de DO 3 (à marée basse) et DO 5 (à marée haute) qui sont de moyenne qualité.

Si MO 3 est caractérisée par une eau de bonne qualité à chaque marée depuis 2005, D12 ne constitue par une référence adéquate puisqu'elle obtient une eau de mauvaise qualité à marée basse et de moyenne qualité à marée haute.

On rappelle que plus la série de données est longue, plus la méthode des centiles est appropriée et que par conséquent, la robustesse du classement augmentera au fil des campagnes.

Tableau 5 : 90^{ème} percentile des concentrations de Chl a ($\mu\text{g/l}$) sur chaque station, à chaque marée, entre 2005 et 2014

	D 12	DECO	DO 0	DO 1	DO 2	DO 3	DO 4	DO 5	EMB	MO 3
Marée basse	2,22	10,17	1,37	0,68	1,41	1,77	0,73	1,02	3,40	0,90
Marée haute	1,64	28,16	1,37	1,36	0,87	0,85	0,73	1,93	5,31	0,86

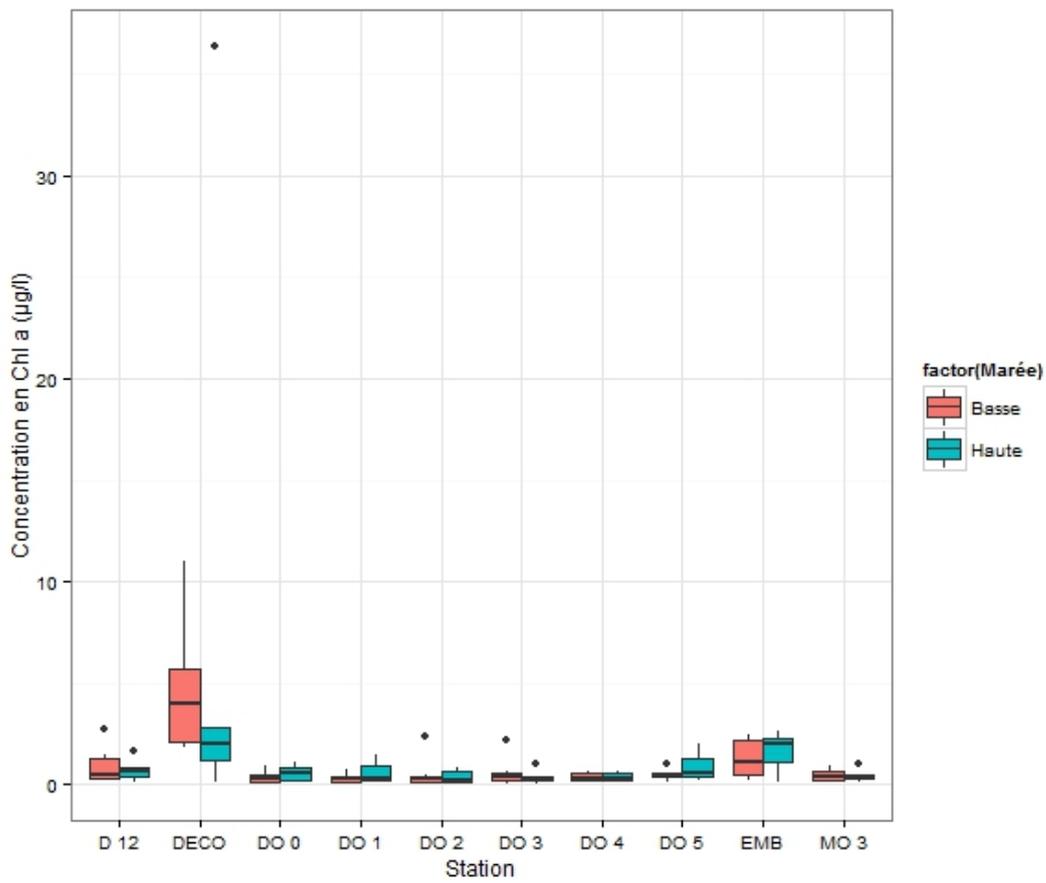


Figure 7 : Boîtes à moustache sur la concentration de Chl a par station et par marée entre 2005 et 2014 (valeur médiane, centiles à 25% et 75%, rang sans valeurs extrêmes et valeurs extrêmes)

COURANTOLOGIE

IV. MATERIEL ET METHODES

La plateforme industrielle SLN du site Doniambo est située en fond de la Grande-Rade de Nouméa, bordée sur sa façade Ouest par les eaux de la Grande-Rade et sur sa façade Nord par les eaux de l'Anse Uaré. L'Anse Uaré, dont la profondeur moyenne est l'ordre de 1m est le milieu récepteur des eaux de refroidissement et de process de l'usine métallurgique.

L'Anse Uaré communique avec la Grande Rade par un étroit chenal et avec l'arroyo 'Creek Salé', au moyen d'un passage busé. A plein régime, les eaux de refroidissement rejetées dans l'Anse Uaré peuvent atteindre un débit de $9\text{m}^3/\text{s}$.

Le dépotage des stériles sur la plateforme bordant l'Anse et l'érosion de sa rive gauche composés de matériaux friables entraînent une évolution de la morphologie des petits fonds de l'Anse Uaré, susceptible de modifier son fonctionnement hydrodynamique.

IV.1. OBJECTIFS DE LA MODELISATION

La présente étude hydrodynamique réalise une comparaison des temps de résidence des masses d'eau pour des conditions de forçage identiques sur les années 2008, 2011, 2013 et 2014 mais en utilisant une bathymétrie actualisée des petits fonds de l'Anse Uaré pour chacune de ces dates. La modélisation hydrodynamique permet de vérifier l'impact de la modification de la bathymétrie sur la circulation de l'Anse Uaré. Cet impact hydrodynamique est étudié à travers des cartes des temps de résidence pour chacune des 3 périodes et en calculant le temps de résidence moyen de la masse d'eau formant l'Anse Uaré. L'approche méthodologique et l'outil de modélisation ont été détaillés dans les études hydrodynamique réalisées en 2008 (Soproner, 2010), en 2011 (Soproner, 2011) puis en 2013 (Soproner, 2013)

IV.2. OBJECTIFS DES ETUDES DE TERRAIN

Deux études de terrain ont été réalisées (Soproner 2010 ; Soproner 2011) de manière à valider le présent modèle hydrodynamique. Le lecteur intéressé pourra s'y référer.

IV.3. RAPPELS DES RESULTATS ANTERIEURS SUR LE FONCTIONNEMENT HYDRODYNAMIQUE DE L'ANSE

Les tests de sensibilité détaillés dans l'étude de 2010 (Soproner, 2010) ont montré le rôle déterminant du rejet des eaux de refroidissement en amont sur le fonctionnement hydrodynamique. En absence de débit et de vent, la masse d'eau de l'Anse Uaré est renouvelée au bout d'un mois sous l'action de la marée seule. En imposant un débit en amont, l'Anse Uaré est renouvelée entre 3 et 4 jours pour les deux débits testés, 6 et $9\text{m}^3/\text{s}$. En appliquant en plus un vent soutenu de 8 m/s, le système est renouvelé au bout de 2 jours seulement.

IV.4. DESCRIPTION ET CALAGE DU MODELE

Comme dans les précédentes études, le modèle communautaire ADCIRC est de nouveau employé avec le même maillage. Ce modèle est employé avec succès sur le lagon de la Nouvelle-Calédonie dans le but de déterminer les composantes de la marée. Le modèle hydrodynamique résout par une méthode d'éléments finis sur des maillages non structurés constitués d'éléments triangulaires, les équations de Barré de Saint-Venant à deux dimensions horizontales d'espace. Ces équations expriment en tout point du domaine de calcul la conservation de la masse (équation de continuité) et la conservation de la quantité de mouvement dans les deux directions d'espace horizontales (équations dynamiques).

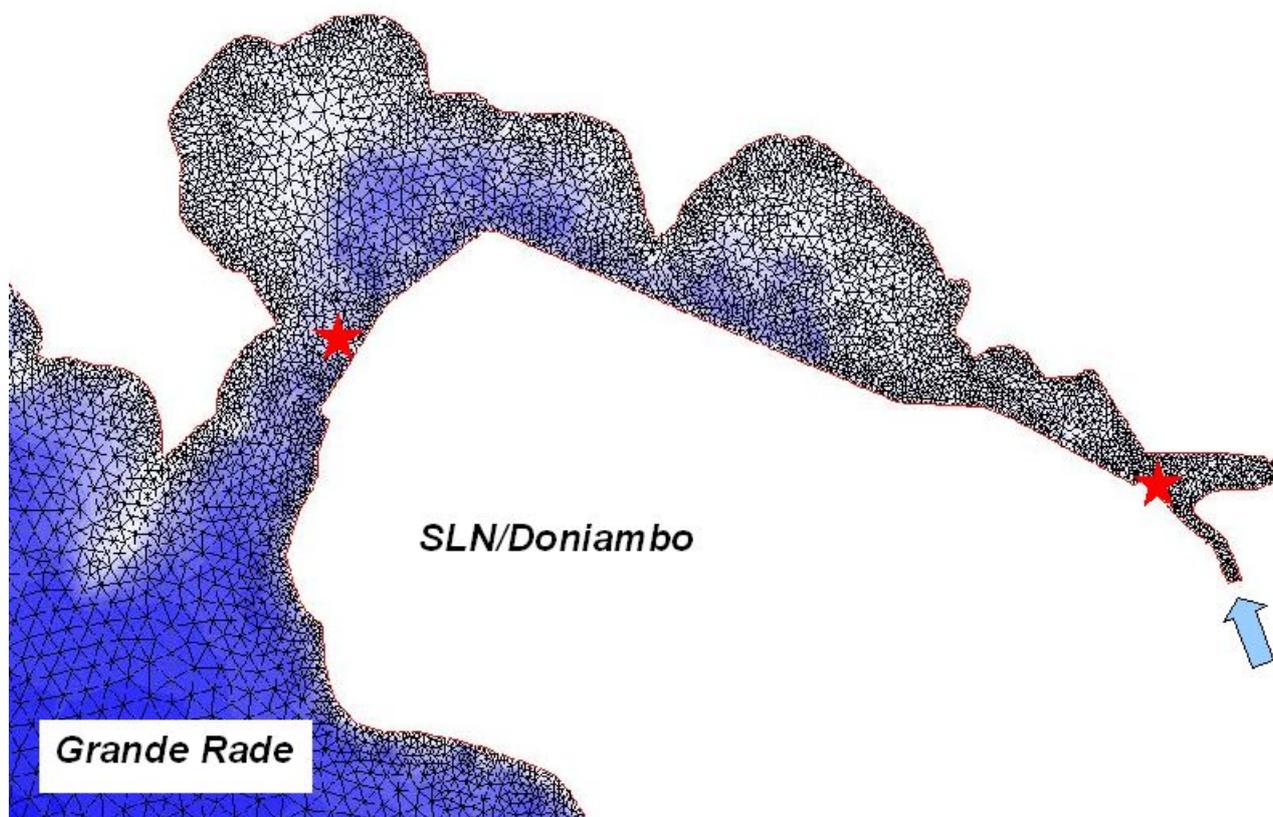


Figure 8 : Détail du sous-domaine centré sur l'Anse-Uaré utilisé dans la présente étude. Les étoiles rouges symbolisent l'emplacement des flotteurs largués à différents moments de la marée le 8-Juin-2011

Le modèle est initialement employé dans sa configuration barotrope 2D (vitesse intégrée sur la verticale) en supposant le milieu non stratifié, ce qui est une hypothèse acceptable eu égard les profondeurs de l'Anse Uaré (de l'ordre de 1 mètre) et qui a été vérifiée lors de l'étude précédente. Le découvrément des hauts fonds, est également représenté dans le modèle, ce qui permet une très bonne représentation des sections mouillées, variables selon la hauteur de la marée. Le modèle de l'Anse Uaré emploie une grille non-structurée totalisant 5700 points de calculs (Figure 8). Dans l'Anse, la résolution horizontale peut aller jusqu'à 5 m. Cette recherche de résolution est imposée par la configuration de l'Anse Uaré, de manière à représenter correctement les sections mouillées au droit des chenaux, zones de rétrécissement et bancs découvrants.

IV.5. CONDITIONS FORÇANTES

Sur la façade Ouest, l'élévation du plan d'eau sous l'effet de la marée est imposée. L'élévation est reproduite en employant les 5 ondes principales M2, S2, N2, K1 et O1. Les constantes harmoniques (amplitude et phase) proviennent d'une solution régionale recouvrant le lagon et calée en confrontant avec plusieurs marégraphes. On reproduit ici la comparaison du modèle avec le marégramme de l'EPSHOM, le plus proche, situé à Numbo, quai des Phares et Balises, pour la première quinzaine de mai 2008 (*Figure 9*). Cette condition de marée de mai 2008, qui a été utilisée dans le cadre des tests de sensibilité pratiqués dans la précédente étude hydrodynamique, est de nouveau utilisée ici pour tester l'influence de l'évolution des petits fonds de l'Anse Uaré.

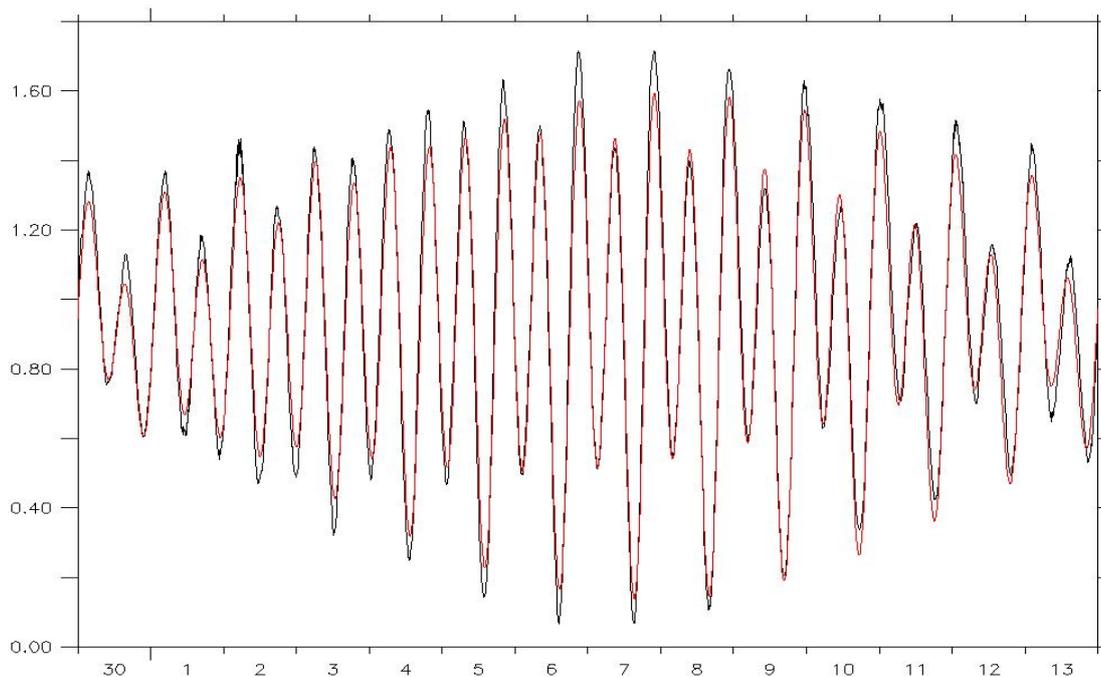


Figure 9 : Comparaison du marégramme de Numbo (noir) avec le marégramme reproduit depuis le modèle (rouge), première quinzaine de mai 2008. Elévation exprimée en mètres par rapport au Zéro Hydrographique.

V. RESULTATS

V.1. INFLUENCE DE L'EVOLUTION DES FONDS SUR LE FONCTIONNEMENT HYDRODYNAMIQUE

L'influence de la nouvelle bathymétrie de 2014 par rapport à celles de 2013, 2011 et de 2008 est vérifiée en calculant les temps de résidence, pour deux situations particulières, et en changeant la bathymétrie (Figure 11 et Tableau 6) :

- Marée, vent nul et débit constant de $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (2 tranches de l'usine en fonctionnement)
- Marée, vent nul et débit constant de $9 \text{ m}^3/\text{s}$ (4 tranches de l'usine en fonctionnement)

Pour le calcul du temps de résidence, le modèle est intégré pendant un mois (Mai 2008) et les cartes de temps de résidence sont produites.

Le temps de résidence est obtenu en traquant les trajectoires décrites par les parcelles d'eau qui la composent jusqu'à leur évacuation hors du domaine (ici les frontières Ouest et Sud, Figure 10).

Une limitation de la méthode est l'échouage des particules, lesquelles sont considérées comme perdues, alors qu'elles peuvent être reprises par des processus (agitation) non reproduits dans le modèle.

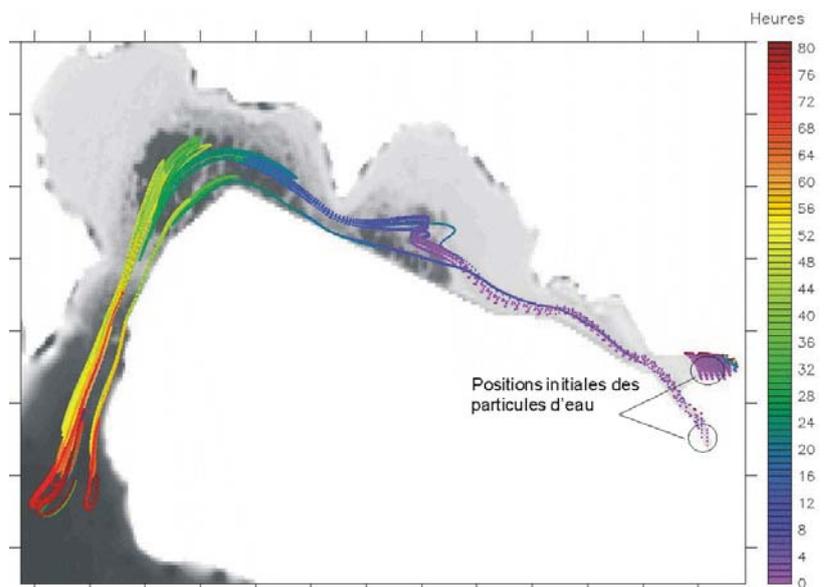
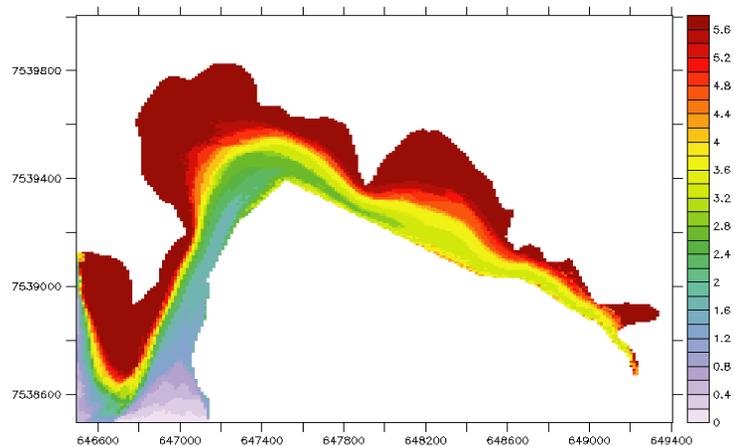
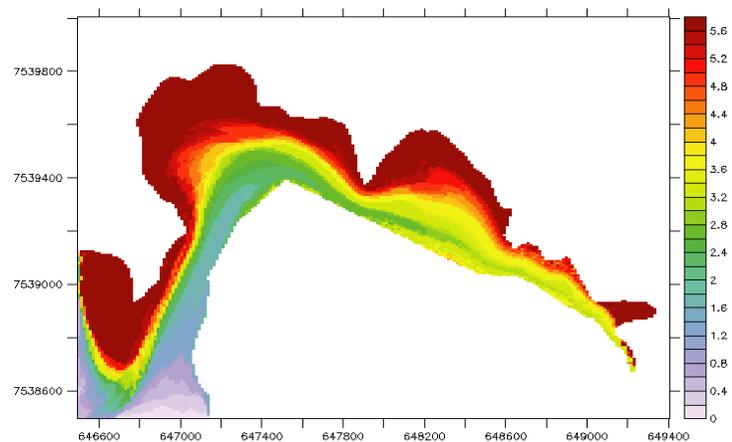


Figure 10 : Limites du domaine et illustration des temps de résidence (en heures) de quelques particules : situation au bout de 80 heures (vent nul et débit amont de $6 \text{ m}^3/\text{s}$)

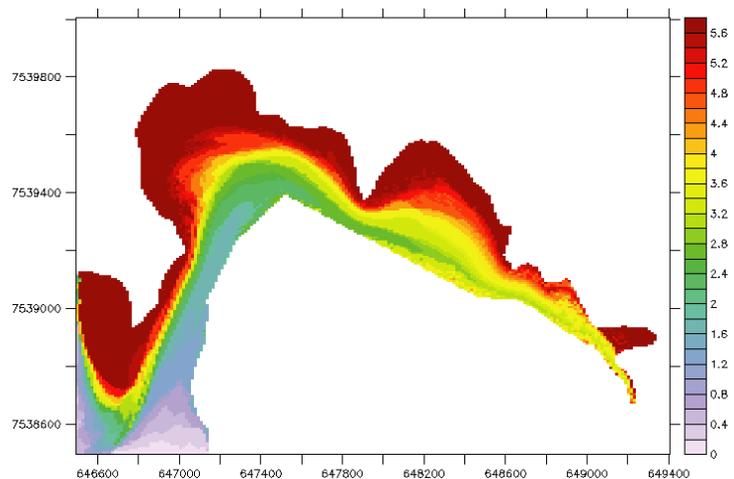
A. 2008



B. 2011



C. 2013



D. 2014

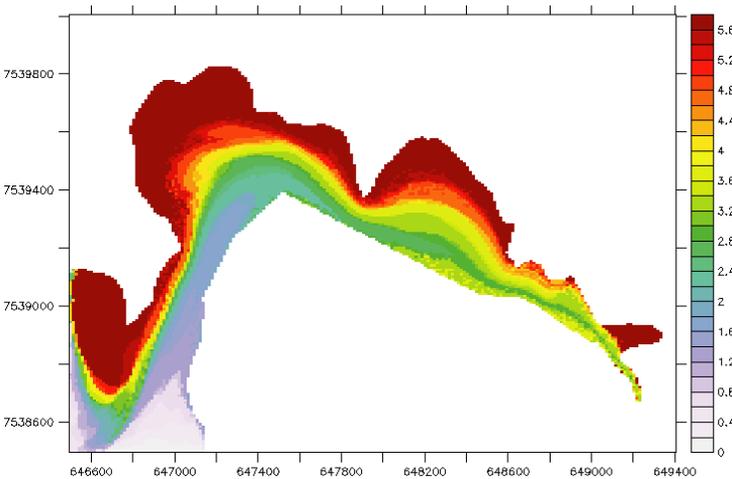
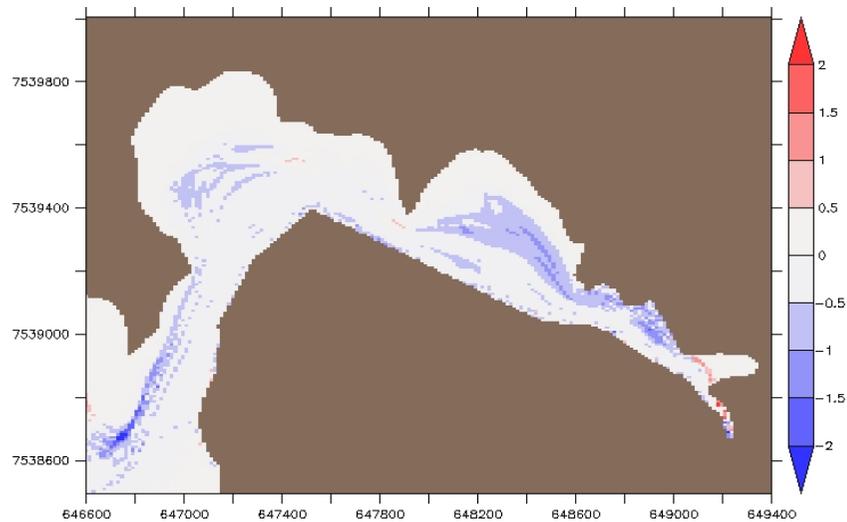
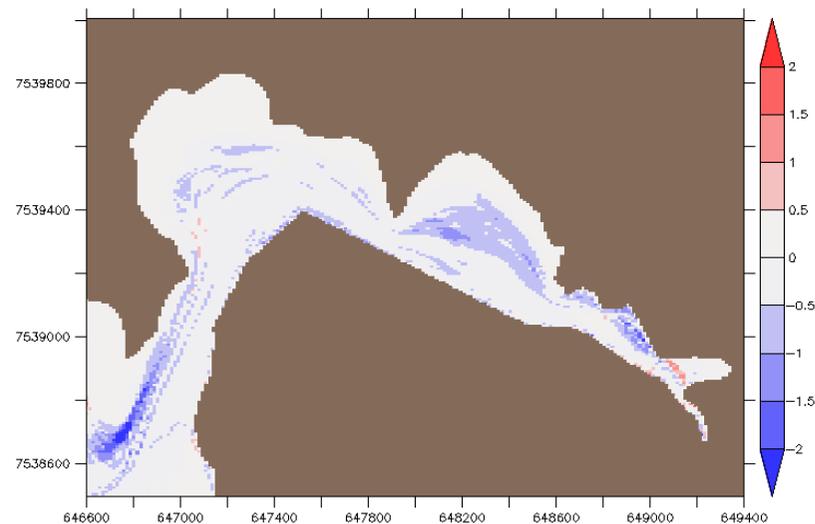


Figure 11 : Cartes de temps de résidences (en jours). A : Situation Bathymétrie 2008 ; B : Situation Bathymétrie 2011 ; C : Situation Bathymétrie 2013 ; D : Situation Bathymétrie 2014 (Marée, vent nul et débit constant de $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$)

A. 2011 - 2008



B. 2013-2008



C. 2014 - 2008

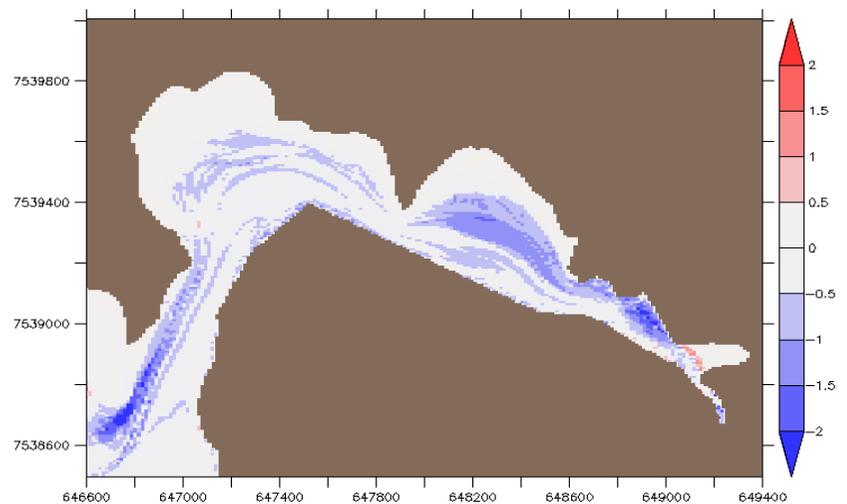


Figure 12 : C : Différence des temps de résidence: A : 2011 – 2008 ; B : 2013-2008 ; C : 2014-2008 (Marée, vent nul et débit constant de 4.5 m³/s)

V.2. INTERPRETATION DES TEMPS DE RESIDENCE

L'évolution de la bathymétrie est engendrée par les mouvements de stériles sur la plate-forme, l'action des engins de curage et l'érosion naturelle. L'évolution de la bathymétrie est introduite en interpolant sur le maillage du modèle la bathymétrie levée en 2008 puis les levés successifs de 2011, 2013 et 2014. Les 4 panneaux de la Figure 11 (A., B., C. et D.) montrent l'évolution des temps de résidence pour la situation en 2008, 2011, 2013 et 2014 respectivement. Les différences des temps de résidence entre 2011 et 2008, 2013 et 2008, puis 2014 et 2008 sont montrées en Figure 12. En imposant des conditions de forçage identiques (marée et débit amont), l'accrétion des petits fonds entre 2014 et 2008 a entraîné une diminution du temps de résidence de la masse d'eau dans l'Anse Uaré. L'impact de l'évolution de la bathymétrie sur le fonctionnement hydrodynamique peut être apprécié en calculant le temps de résidence moyen sur le domaine de la Figure 12. Le Tableau 6 adresse une synthèse des temps de résidence moyens, calculés pour chacune des quatre périodes et en séparant pour chacune des deux hypothèses de forçage.

Tableau 6 : Temps de résidence moyen pour les deux scénarios de rejet testés, en fonction de la bathymétrie

<i>Conditions de débit Amont 4,5 m3/s (2 tranches) – Marée – Vent Nul</i>		<i>Evolution des temps de résidence</i>
2008	4.18 jours	-
2011	4.02 jours	-3.8% (2011 versus 2008)
2013	4.0 jours	-4.3% (2013 versus 2008)
2014	3.90 jours	-6.7 % (2014 versus 2008)
<i>Conditions de débit Amont 9 m3/s (4 tranches) – Marée – Vent Nul</i>		<i>Evolution des temps de résidence</i>
2008	3.35 jours	-
2011	3.13 jours	-6.5% (2011 versus 2008)
2013	3.12 jours	-6.8% (2013 versus 2008)
2014	3.11 jours	-7,2% (2014 versus 2008)

L'évolution des petits fonds entre 2008 et 2014 a entraîné une diminution modeste du temps de résidence de l'ordre de 7%, qui s'inscrit dans la tendance observée depuis 2008.

VI. SYNTHÈSE ET CONCLUSION

Dans cette étude, l'influence de l'évolution des petits fonds de l'Anse Uaré sur son fonctionnement hydrodynamique est caractérisée en établissant les cartes de temps de résidence pour deux conditions de débit du système de refroidissement de la SLN, 4,5 et 9 m³/s respectivement. Entre 2008 et 2014, l'impact hydrodynamique de l'évolution des petits fonds a été testé au moyen d'un modèle hydrodynamique résolvant les équations de Saint-Venant sur un maillage non-structuré, capable de restituer assez fidèlement la courantologie de l'Anse Uaré. L'accrétion des petits fonds impacte les temps de résidence des masses d'eau dans l'Anse, mais de façon modeste, en engendrant une diminution du temps de résidence de l'ordre de 7% entre 2008 et 2014. L'accrétion des petits fonds est une tendance qui se confirme avec les levés successifs depuis 2008.

BIBLIOGRAPHIE

SOPORNER, 2010. Etude du fonctionnement hydrodynamique de l'Anse Uaré. Rapport d'expertise pour la SLN.21p

SOPRONER, 2011. Etude bathymétrique et analyse d'eaux dans les Anses Ndu et Uaré. Rapport d'expertise pour la SLN.33p

SOPRONER, 2013. Etude bathymétrique et analyse d'eaux dans les Anses Ndu et Uaré. Rapport d'expertise pour la SLN.33p

Beliaeff B, Bouvet G, Fernandez JM, David C, Laugier T (2011) Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT/ZONECO le nickel. 169p.

ANNEXES

<p><u>S.A.R.L. ACTION HYDRO TOPO</u></p>	<p>BP 18620 - 98857 Nouméa Cedex Nouvelle Calédonie</p>
	<p>Email : actionhydrotopo@gmail.com</p> <p>Tel : (+687) 78 90 00 Votre correspondant : M. BRIENT Goulven</p>

RAPPORT PARTICULIER

N° 07-2014 AHT du 15 Septembre 2014

Objet : Levé bathymétrique de l'Anse Uaré

Référence : N/Ref : Devis 14-07-152 du 10/07/2014, Mail SOPRONER 09/07/2014 10h11

Destinataire : SOPRONER.

Copie extérieure : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, Base Hydrographique de Nouvelle Calédonie

Copie intérieure : Archives

1. GENERALITES

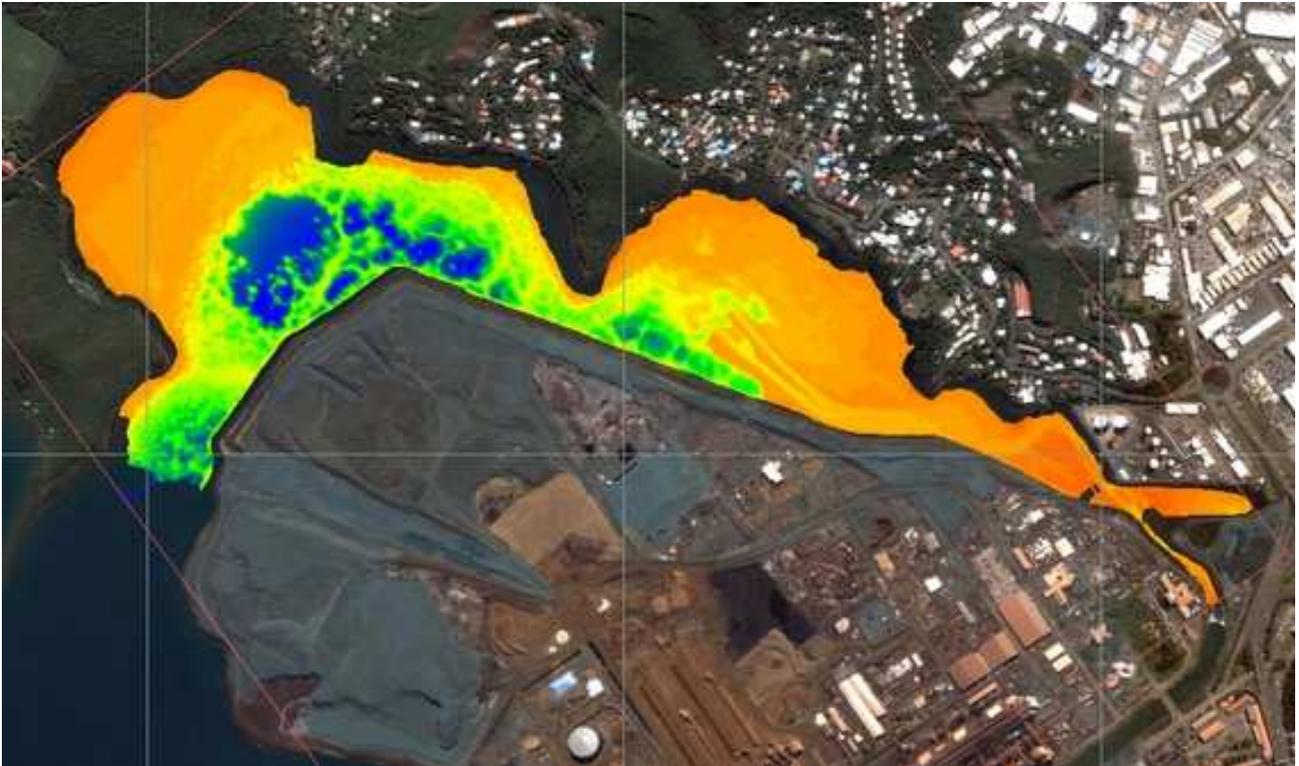
1.1. Préambule

Conformément au devis 14-07-152 du 10/07/2014, la société AHT a réalisé un levé bathymétrique dans l'Anse Uaré. Le levé est effectué dans le cadre d'une étude de suivi de cette même anse.

Ce levé a été effectué avec l'aide de la vedette Thomas de la S.A.R.L AHT, et une annexe motorisée pour les zones à très faible tirant d'eau

1.2. Travaux réalisés

Un levé hydrographique de la zone navigable a été effectué. Les travaux ont été menés en plusieurs séances. Le levé a été rédigé à l'échelle 1/1000.



1.3. Déroulement du levé et moyens mis en œuvre

Les travaux ont été exécutés en sept séances. La zone a été explorée sur deux périodes. Il est dit dans le devis que la zone est navigable à partir de 1.50m La période du 19 au 22 Août, n'a pas offert de marées supérieures à la côte 1.30m hydro. Il n'a pas été possible de couvrir la zone de laisse de haute mer, ni de passer au-delà du talus sur l'Est de la zone. Une deuxième période s'est déroulée du 10 au 12 Septembre. Les marées ayant atteint 1.55m, le reste de la zone a été explorée.

1.4. Résultat

La zone a été complètement explorée au sondeur vertical conformément au devis.

2. GEODESIE – LOCALISATION

2.1. Système géodésique, projection

Le levé a été mené dans le système géodésique WGS84, et rédigé dans ce système en projection UTM sud fuseau 58.

2.2. Localisation base

Les corrections différentielles étaient transmises par les stations « Banian » suivantes :

BANIAN
Station de la DITTT : NMEA
INFORMATIONS GENERALES

Commune	Nouméa
Situation	Vallée du Tir, sur le toit de la D.I.T.T.T. (voir extrait BDTopo)
Organisme hébergeant	Direction des infrastructures, de la topographie et des transports terrestres (DITTT)
Matricule RGNC	Repère 33-70d du site RBNC "Station GPS de la D.I.T.T.T."

INFORMATIONS TECHNIQUES

Récepteur GPS	TRIMBLE NetR5
Antenne GPS	TRIMBLE Zephyr Geodetic avec radôme (TRM41249.00 / TZGD)
Hauteur antenne	Ha = 0.000m (distance verticale entre le repère et l'ARP de l'antenne)

COORDONNEES DE LA STATION

[RGNC91-93](#)

Cartésiennes	Géographiques	Planes (LambertNC)
X : -5 740 948.781 m	Long : 166° 26'33.02045"	E : 445 607.953 m
Y : 1 384 374.214 m	Lat : -22°15' 53.26577"	N : 215 256.986 m
Z : -2 401 600.803 m	He : 71.381 m	Alti : 10.717 m



BANIAN

Station de Normandie : NRMD

INFORMATIONS GENERALES

Commune	Nouméa
Situation	Sommet de la colline du Normandie (voir extrait BDTopo)
Organisme hébergeant	Forces Armées de Nouvelle-Calédonie - Gendarmerie Nationale
Matricule RGNC	Repère 33-75a du site RBNC "Station GPS de Normandie"

INFORMATIONS TECHNIQUES

Récepteur GPS	TRIMBLE NetR5
Antenne GPS	TRIMBLE Zephyr Geodetic model 2 avec radôme (TRM57971.00 TZGD)
Hauteur antenne	Ha = 0.000m (distance verticale entre le repère et l'ARP de l'antenne)

COORDONNEES DE LA STATION

RGNC91-93		
Cartésiennes	Géographiques	Planes (LambertNC)
X : -5743537.467 m	Long : 166°29'05.55058"	E : 449987.379 m
Y : 1380505.007 m	Lat : -22°13'41.99923"	N : 219281.601 m
Z : -2397897.353 m	He : 160.497 m	Alti : 99.466 m



La zone Ouest étant masquée, la base différentielle de la SARL a été installée sur les hauteurs de la rue de Papeete, ou à l'angle Nord du dépôt de scorie. La station de base Trimble 4000 SSI diffusait ses corrections de phases sur la fréquence 444.1125 MHz.

2.3. Localisation embarcation

L'embarcation était positionnée par le GPS Trimble R4 en mode RTK. Celui ci a fonctionné en mode RTK radio ou GPRS en fonction des qualités de réception des corrections différentielles. La hauteur du tas de dépôt de scories ayant augmenté, un masque de réception HF est généré de fait à sa proximité.

La position était acquise par le logiciel HYPACK2014® sur PC portable. Les données ont été

traitées à l'issue avec, ce même logiciel.

La fréquence d'archivage des données de positionnement GPS ont été fixées à une cadence de 1Hz. Le point de référence de la localisation, est la base sondeur. La localisation est validée directement sur le PC d'acquisition temps réel. Le contrôle qualité a été effectué selon les paramètres suivants :

Tableau n° 1
« Paramètre de contrôle de la localisation »

HDOP MAX	> 2 .0
Nombre de Satellites	> 4

Si ces critères n'étaient pas valides, l'acquisition de données était automatiquement suspendue. La précision de la localisation est estimée meilleure que 0.2 mètre pour l'ensemble du levé.

Les sondes et la localisation ont été fusionnées avec le logiciel HYPACK2014® en utilisant les paramètres récapitulés au tableau n° 2.

Tableau n° 2
« Paramètres de rattachement base-antenne »

Vedette Thomas ou Annexe		
Equipement	Tribord	En avant
GPS Trimble R4	+0.00m	+0.00 m
Sondeur hydrographique Valeport VA500	0 m	0 m

3. REDUCTION DES SONDAGES

3.1. Bathycélérimétrie - Tirant d'eau - Etalonnage

Avant chaque séance, un étalonnage sondeur à la barre (voir annexe 2), a été effectué sur zone. La célérité a été contrôlée, et fixée à 1530 m/s sur zone. L'immersion de la base, était calée à 0.57 m. Les données enregistrées en sortie de sondeur étaient directement corrigées de la célérité et rapportées au niveau de la surface.

3.2. Marée

La marée a été observée à l'aide d'une sonde type Troll 100 In-Situ INC immergée dans la zone de travaux. La marée a été comparée à une extraction du Marégraphe Côtier Numérique de Numbo. La cadence d'archivage de la marée était de 10 minutes.

La marée a été calibrée à l'aide de l'échelle de marée de l'observatoire de Numbo. Des mesures à l'échelle ont été effectuées régulièrement en début, et fin de séance.

3.3. Réduction des sondages

Les sondes sont réduites de la marée observée à Nouméa. Le Zéro de réduction des sondes est situé à 4.377 sous le repère G, repère de type médaillon scellé dans la falaise face au portail d'entrée des Phares et Balises.

(Baptême DITTT : Ba.m3n3-16) - Repère fondamental.

4. BATHYMETRIE

4.1. Conditions d'exécution du levé

Le levé a été réalisé au 1/1000 avec mise en œuvre du sondeur Valeport VA500.

4.2. Traitement des données

Les sondes ont été acquises via HYPACK2014®. Le traitement des sondes a été effectué suivant les procédures habituelles sur le même logiciel HYPACK2014®.

4.3. Résultats

La zone définie par le Devis 14-07-152 du 10/07/2014, a été explorée.

La précision des sondes sur l'ensemble du levé est meilleure que 10 cm +/- 1% de la profondeur.

Le levé est d'ordre 2, selon la norme de la PS 44 (5ème édition février 2008) de l'O.H.I.

4.4. Comparaison avec les levés anciens et la carte marine

La zone explorée à été comparée avec les levés antérieurs. Un envasement significatif est observé en aval de la zone. Un dôme de sédiment, s'est également formé au niveau du Pipe d'alimentation en carburant de la centrale de la SLN. Il n'a pas été possible de naviguer sur cette zone. Une pelleteuse était en action au niveau de la cascade au moment du levé bathymétrique.

5. DOCUMENTS REDIGES – DONNEES NUMERIQUES FOURNIES

5.1. Rapports

Le présent rapport particulier n°7-2014 AHT du 15 Septembre 2014.

5.2. Minutes, cartes

Une minute de bathymétrie écrite au 1/1000.

5.3. Données numériques

Un rapport particulier au format PDF.

Un fichier au format DWG de la minute de bathymétrie.

Un fichier de bathymétrie complet au format XYZ UTM58S WGS84. (283249 sondes)

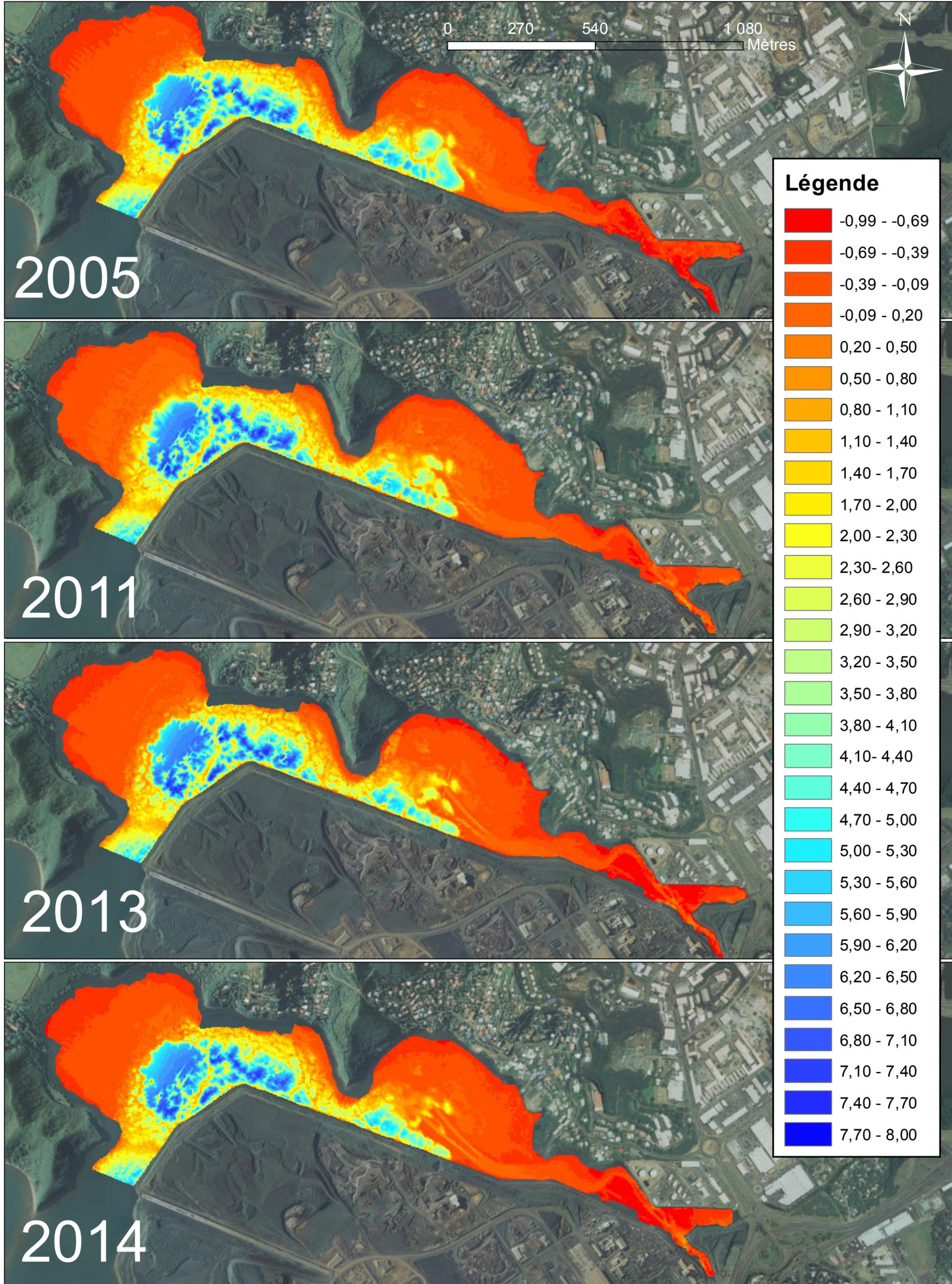
Un fichier de bathymétrie choisie à 1 mètre au format XYZ UTM58S WGS84. (74201 sondes)

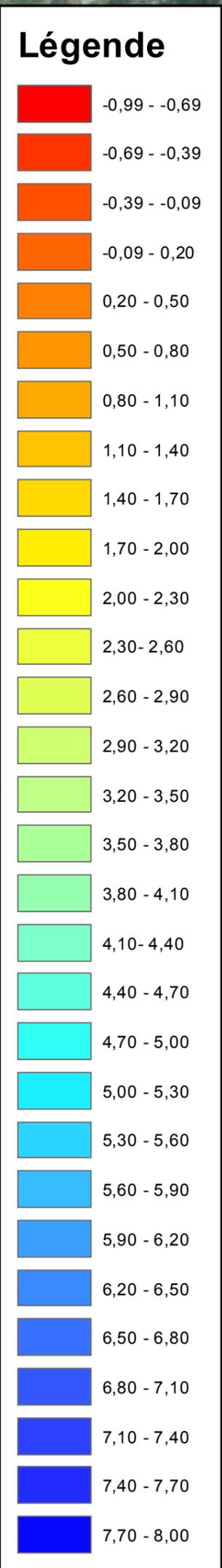
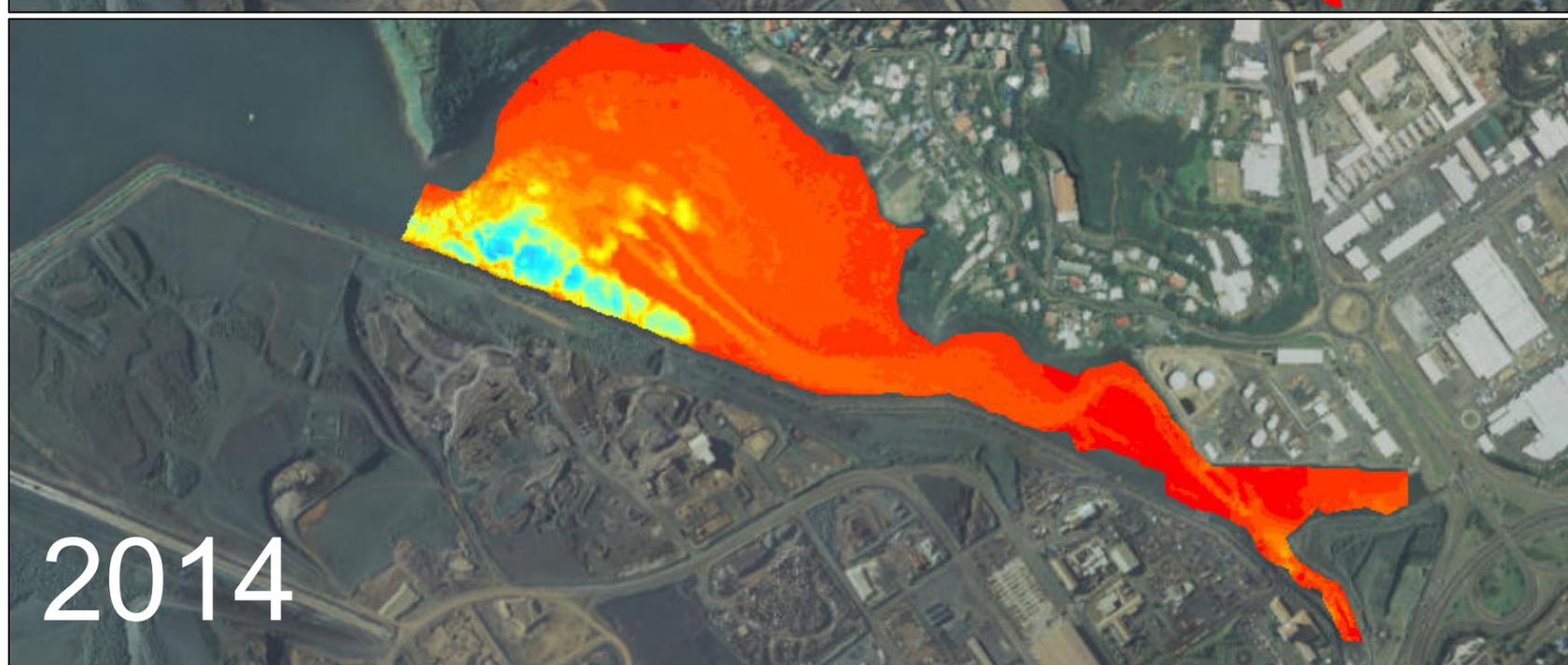
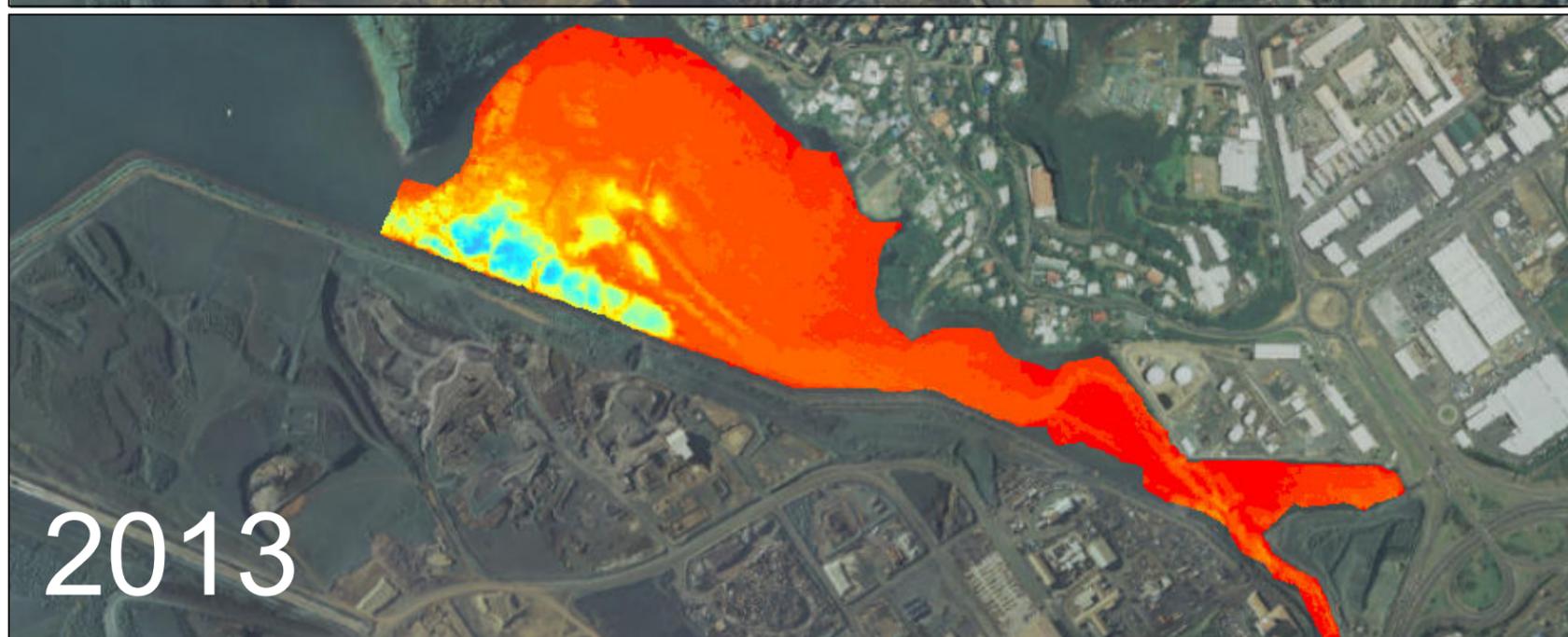
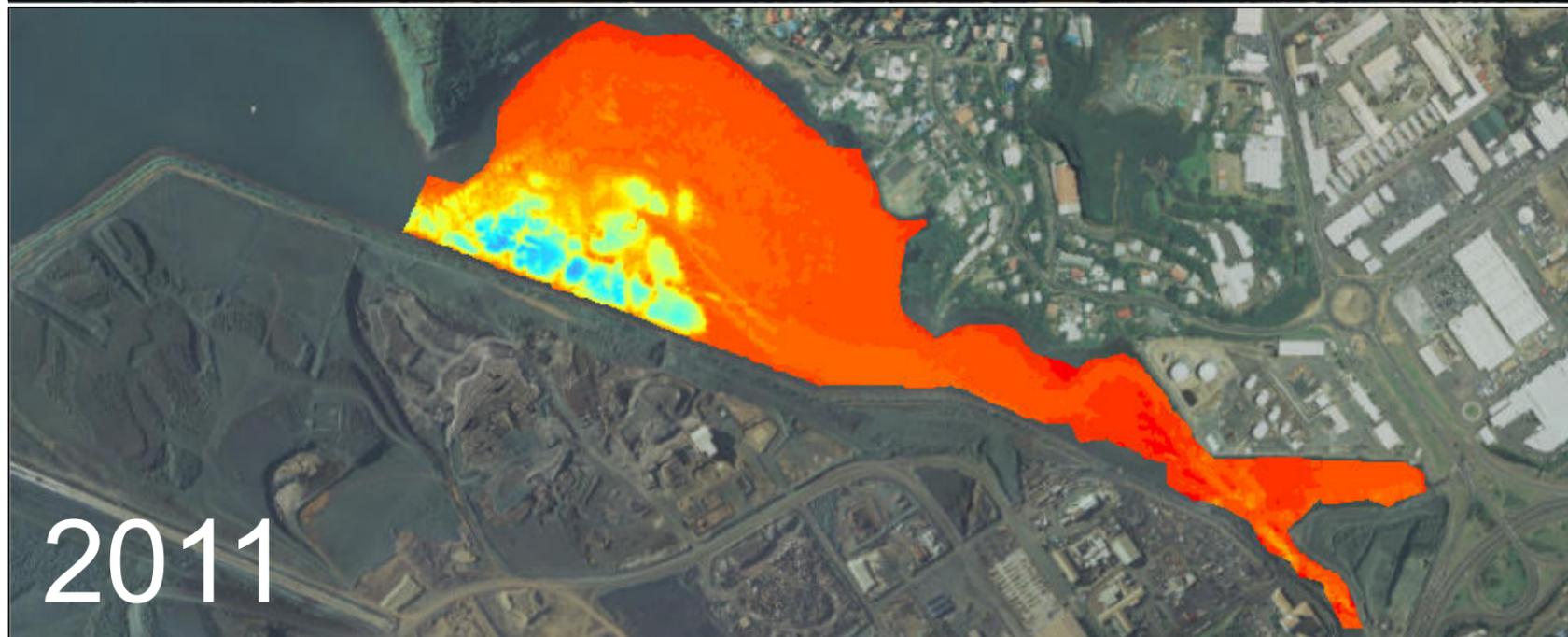
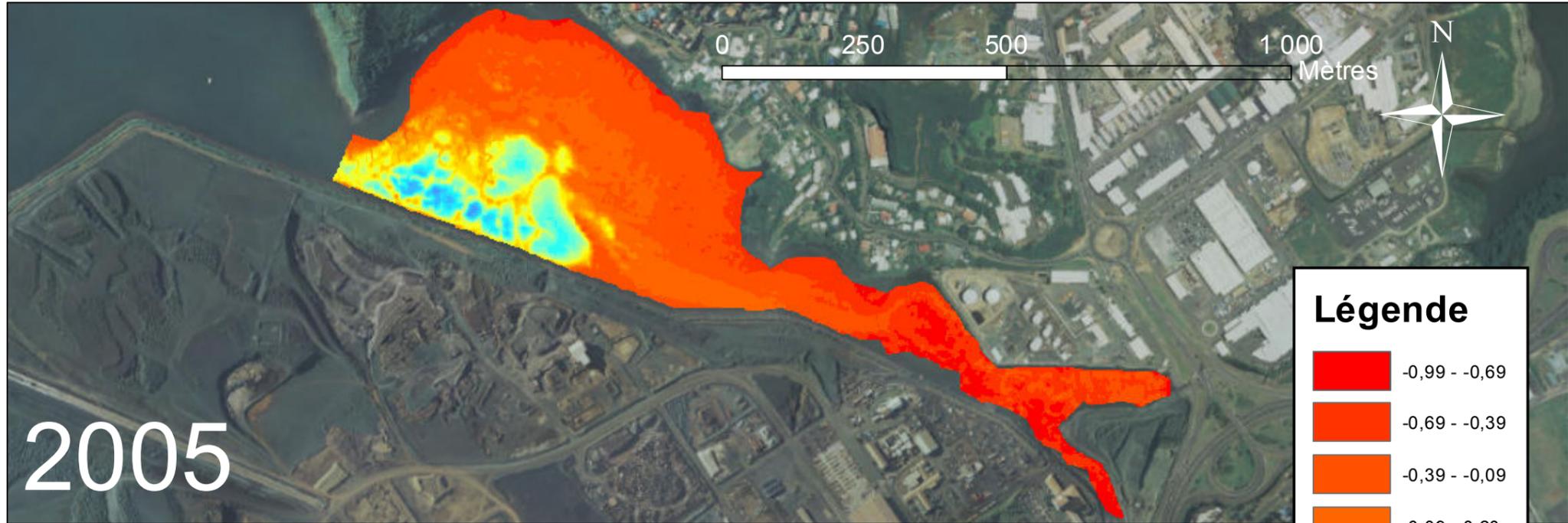
Un fichier de bathymétrie choisie à 10 mètres au format XYZ UTM58S WGS84. (4858 sondes)

Monsieur Goulven Brient
Directeur de la SARL AHT



SARL AHT
BP18620 - 98857 Nouméa cédex
Tel : 789.000
RIDET 002872.001

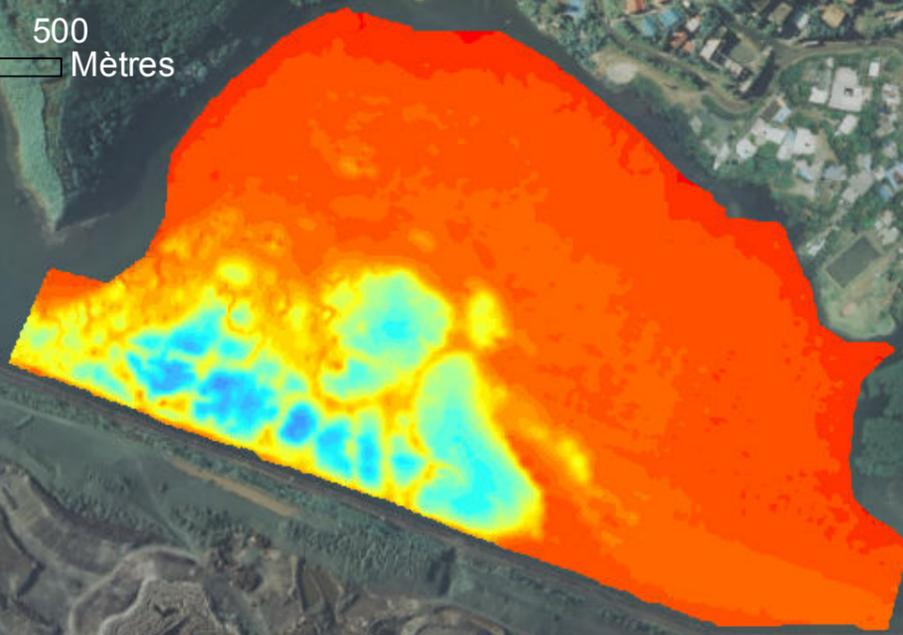




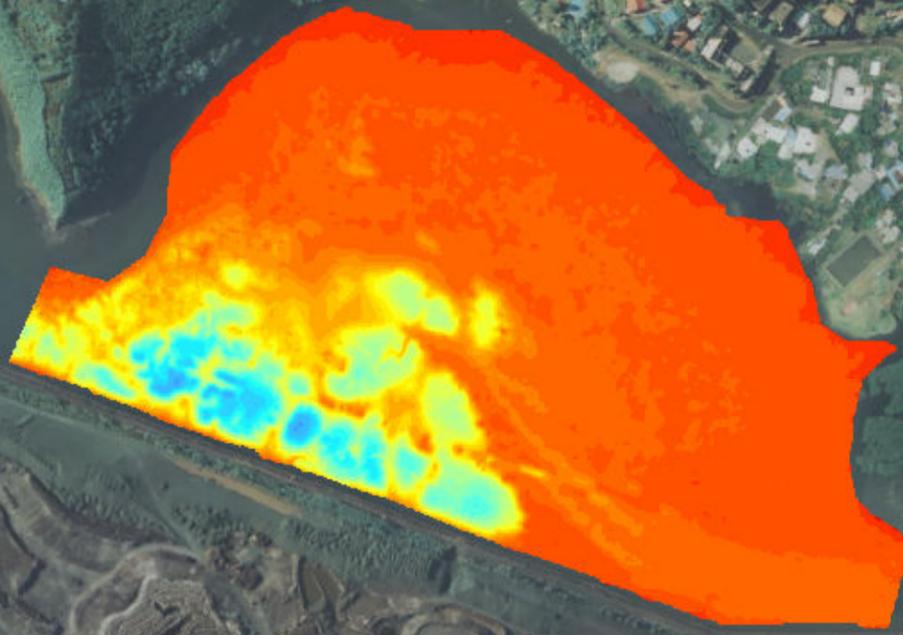
0 125 250 500 Mètres



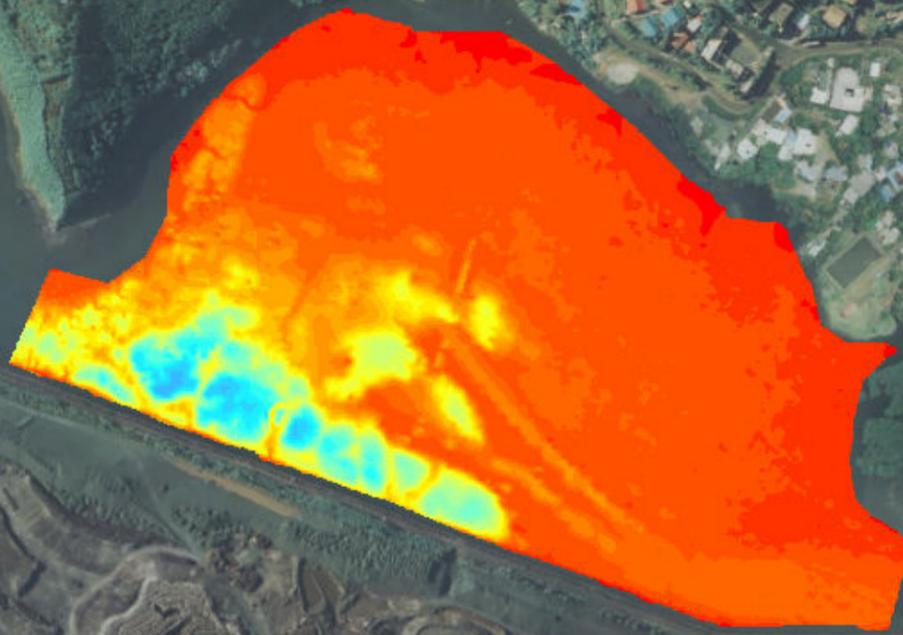
2005



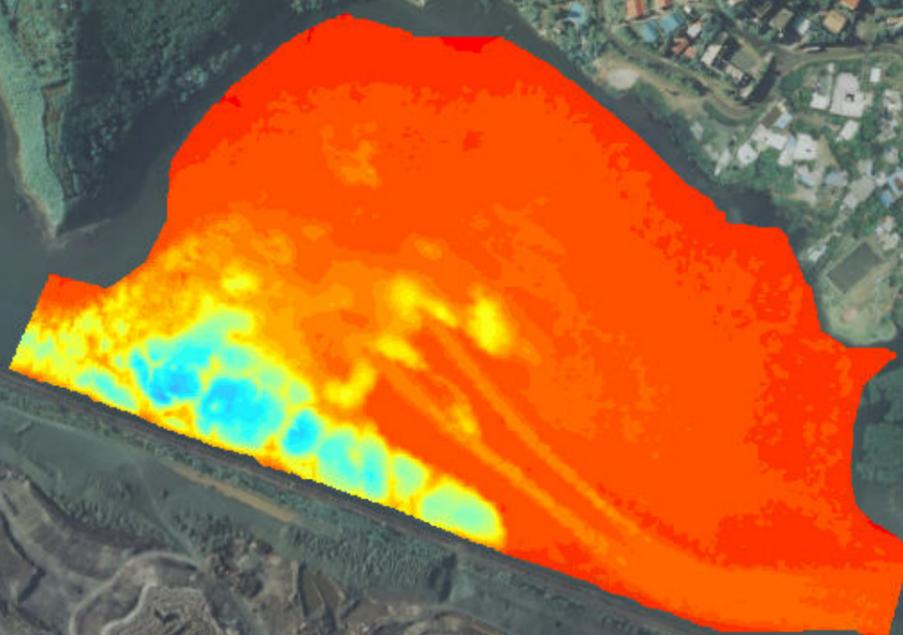
2011



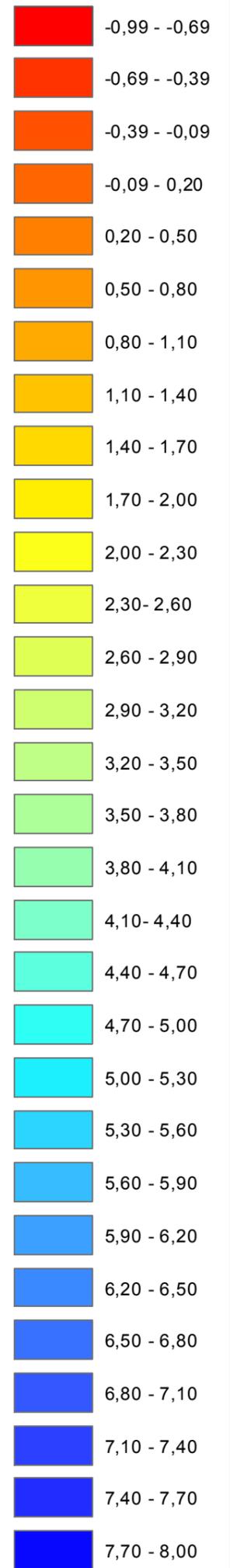
2013

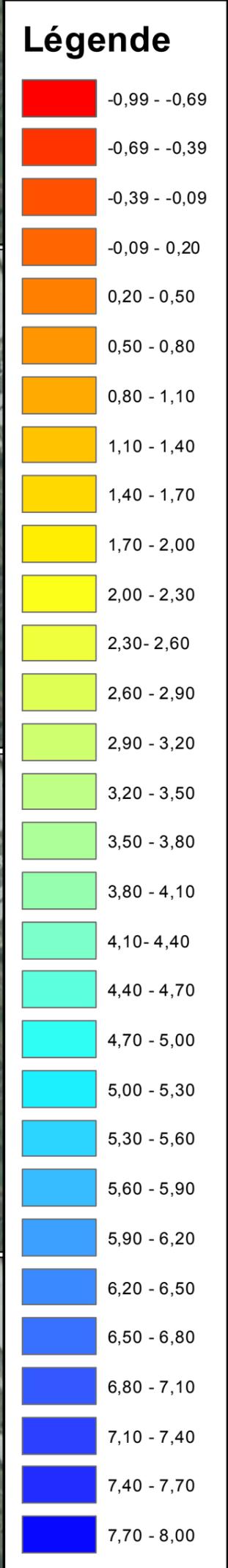
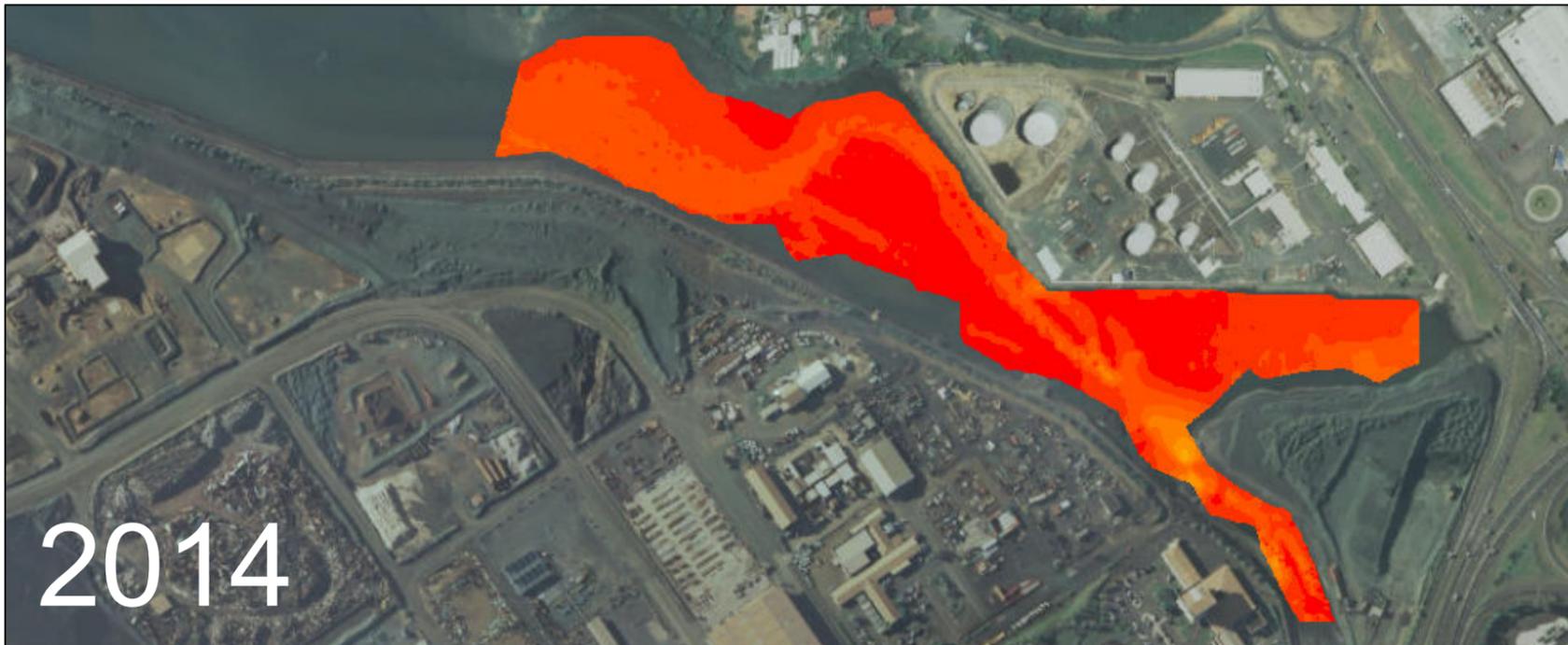
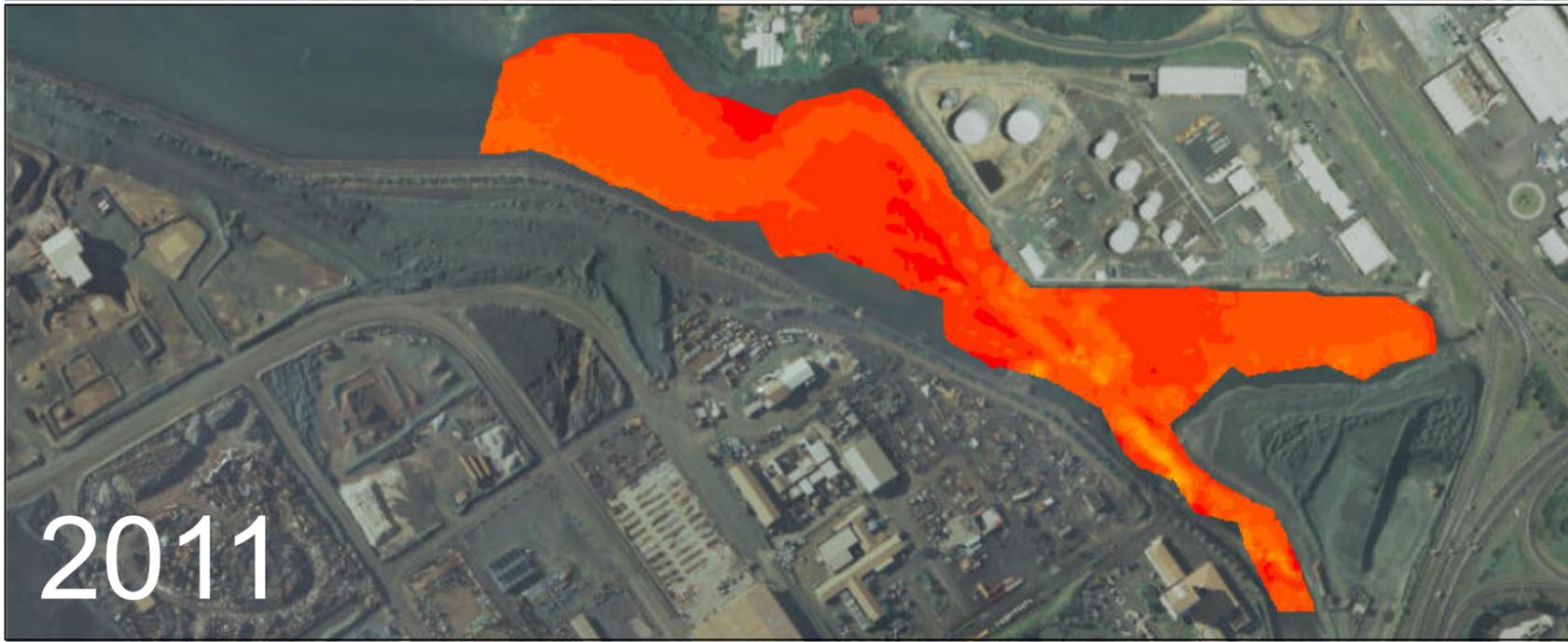
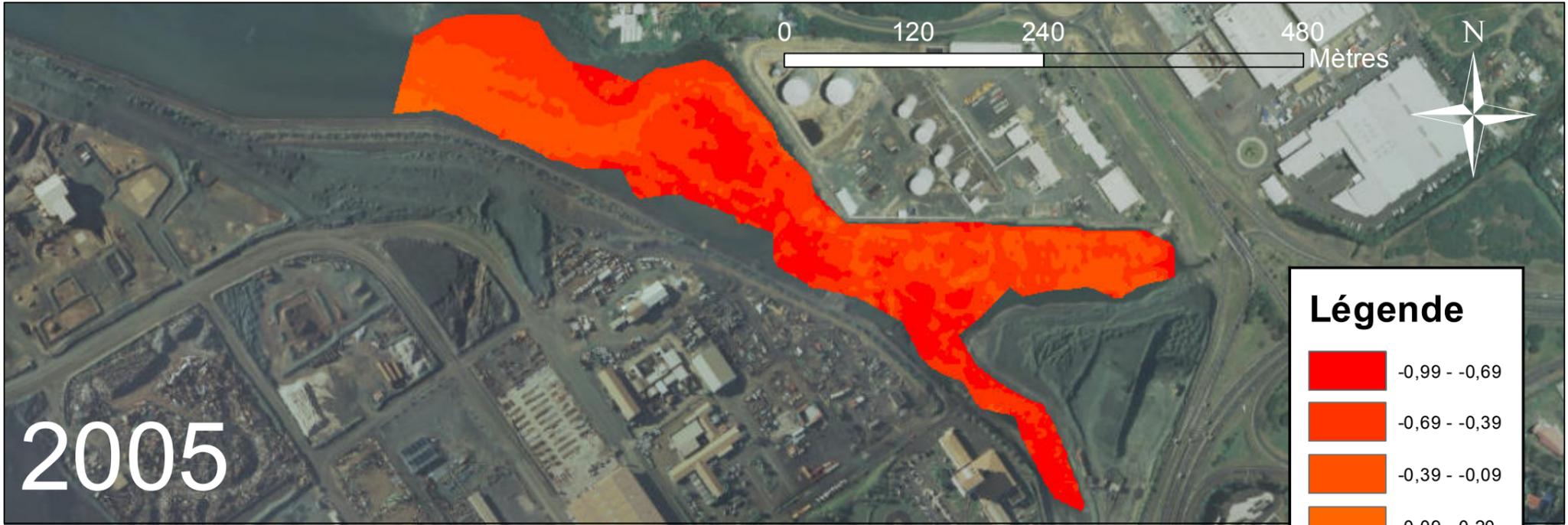


2014



Légende







RAPPORT D'ANALYSE

AEL / LEA
BP A5
Nouméa 98848
Nouvelle Calédonie

Téléphone: (+687) 26.08.19
Fax: (+687) 28.33.98
Mob: (+687) 76.84.30
Email: info@ael-environnement.nc
Web: www.ael-environnement.nc

Numéro de devis :	013-SO-14-A	Nombre de pages :	1
Client	GINGER SOPRONER	Date :	15/10/2014
Contact principal :	Antoine GILBERT		

Réf. AEL : A001

Type échantillon/s	Eau de mer
Nombre d'échantillons	20
Méthode :	Détermination de la chlorophylle a : méthode par fluorométrie
Remarque :	

Résultats

Ref. AEL / Client	Chl a (µg/L)
1	36,40
2	0,16
3	0,09
4	0,09
5	1,41
6	0,29
7	0,19
8	0,32
9	0,25
10	1,85
11	11,03
12	0,05
13	0,06
14	0,24
15	0,72
16	0,09
17	0,01
18	0,28
19	0,18
20	0,43

Concentrations sont exprimées en µg/L

Validé par : B.Moreton
Date : 15/10/14