

INGENIERIE EUROPE



GINGER SOPRONER

DEPARTEMENT
ENVIRONNEMENT

Dossier n°A001.09025.0001



LE NICKEL - SLN

Fonctionnement hydrodynamique de l'Anse Uaré

Indice	Date	Chargé d'affaires	Contrôleur
3	08/03/2010	Antoine GILBERT	Nicolas GUIGUIN

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



SOMMAIRE

I.	<u>CONTEXTE ET METHODOLOGIE</u>	<u>3</u>
I.1.	Objectifs de la modélisation	3
I.2.	Objectifs des études de terrain.....	3
II.	<u>MODELISATION HYDRODYNAMIQUE.....</u>	<u>4</u>
II.1.	Description et calage du modèle	4
II.2.	Fonctionnement hydrodynamique : résultats	9
II.2.1.	Interprétation des temps de résidence	11
II.2.2.	Détail du courant résiduel au droit du passage busé	12
II.3.	Synthèse et conclusion	13
III.	<u>ETUDE DE LA COMMUNICATION ENTRE L'ANSE UARE ET L'ARROYO DU CREEK SALE</u>	<u>14</u>
III.1.	Méthodologie	14
III.2.	Résultats	16
III.2.1.	En condition de Jusant	16
III.2.2.	En condition de Flot	18
III.3.	Conclusion	20
IV.	<u>BILAN</u>	<u>21</u>
	<u>ANNEXES</u>	

FONCTIONNEMENT HYDRODYNAMIQUE DE L'ANSE UARE

I. CONTEXTE ET METHODOLOGIE

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 $9\text{m}^3/\text{s}$.

L'étude hydrodynamique a pour objet de broser les grandes caractéristiques de la circulation dans l'Anse Uaré, soumis à l'influence de la marée, du vent et des rejets des eaux de refroidissement de la SLN, en recourant à la modélisation et aux mesures de terrain.

I.1. OBJECTIFS DE LA MODELISATION

La modélisation permet une perception d'ensemble de la circulation et complète les interprétations issues des observations in situ. La présente étude de modélisation s'attache à définir les grands traits de la circulation à travers des cartes de temps de résidence, pour différentes combinaisons de forçage vent – marée et rejets industriels.

I.2. OBJECTIFS DES ETUDES DE TERRAIN

Les études de terrain ont été définies de manière à, d'une part, valider le modèle hydrodynamique et d'autre part, compléter l'étude hydrodynamique au droit du passage busé permettant la communication entre l'Anse Uaré et l'arroyo 'Creek Salé'. En effet, la condition au droit de ce passage en terme d'élévation du plan d'eau, les détails topographiques du passage busé et la topographie de l'arroyo étant inconnus, cette communication n'est pas considérée dans l'étude de modélisation. Toutefois, un test au colorant pour deux conditions de marée, flot et jusant, a permis de caractériser le régime de la communication.

II. MODELISATION HYDRODYNAMIQUE

II.1. DESCRIPTION ET CALAGE DU MODELE

Pour cette étude, le modèle communautaire ADCIRC est employé. Ce modèle est largement utilisé sur les façades maritimes des Etats-Unis pour les études de circulation en eaux peu profondes. Il a été également employé avec succès sur le lagon de la Nouvelle-Calédonie dans le but de déterminer les composantes de la marée (Annexe. A). 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).

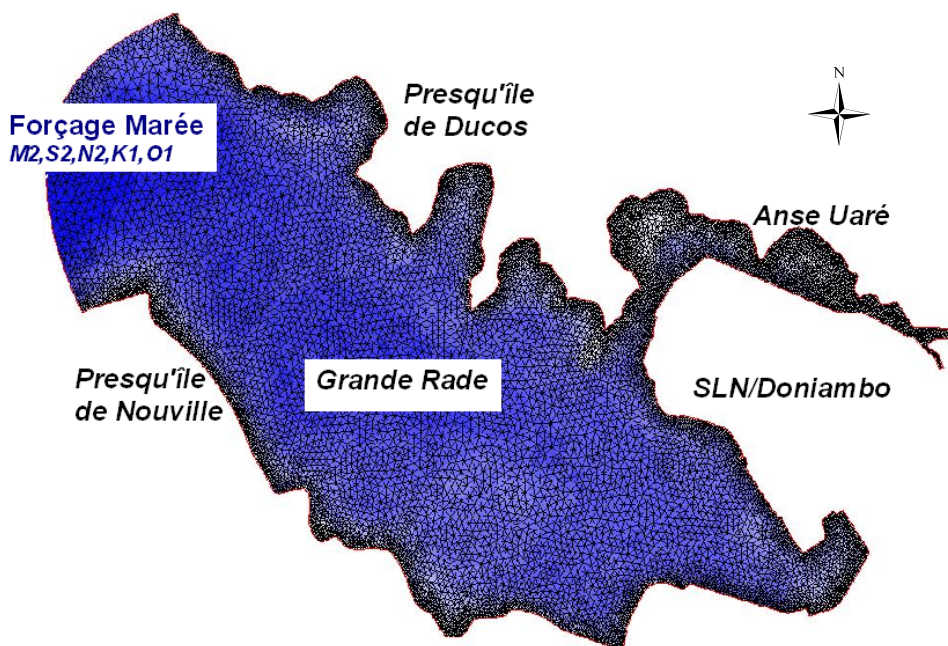


Fig. 1 : Emprise du modèle incluant la Grande rade et l'Anse Uaré

Le modèle est employé dans sa configuration barotrope 2D (vitesse intégrée sur la verticale) en supposant le milieu non stratifié, ce qui est une hypothèse a priori acceptable à l'égard des profondeurs de l'Anse Uaré (de l'ordre de 1 mètre). Le découvrément des hauts fonds est également représenté dans le modèle. Le modèle de la grande rade (Fig. 1) emploie une grille non-structurée totalisant 15000 points de calculs. Un second maillage imbriqué dans le premier, totalisant 5700 points de calculs (Fig. 2 et Fig.3), est également développé de manière à effectuer les tests de sensibilité avec un coût de calcul moindre. Ce second domaine bénéficie des mêmes conditions de forçage que le premier domaine et permet un raffinement sur l'Anse Uaré. Dans l'Anse, la résolution horizontale peut aller jusqu'à 5 m (Fig. 2). 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.

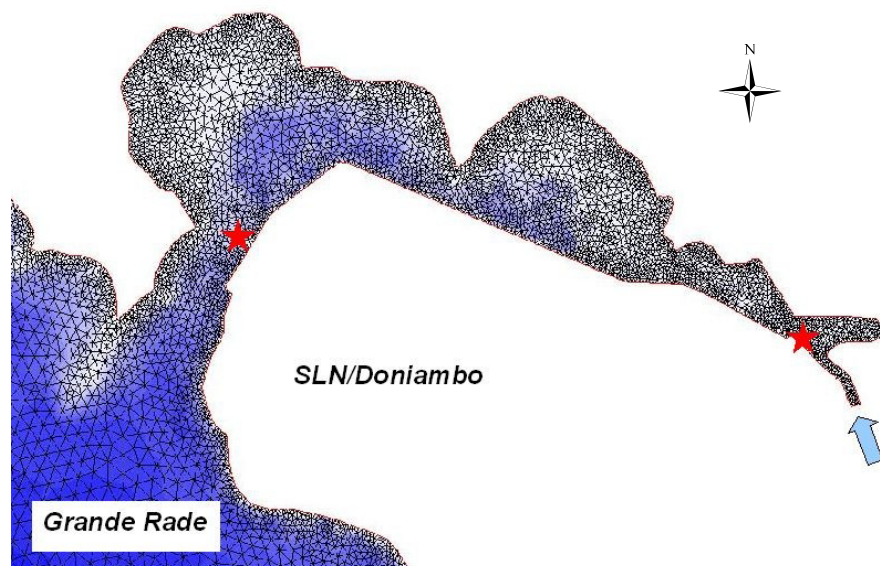


Fig.2 : Détail du sous-domaine centré sur l'Anse-Uaré utilisé dans la présente étude. Les étoiles rouges symbolisent l'emplacement des flotteurs largués à différents moments de la marée le 18-Nov-2009. La flèche symbolise le rejet de la SLN.

La topographie provient, pour la Grande Rade des cartes marines SHOM (planches 7643 - INT 6900 Edition 2009) et pour l'Anse Uaré des minutes bathymétriques de la SARL Géomer, obtenues dans le cadre du suivi de l'évolution bathymétrique de l'Anse Uaré par Soproner ("Géomer, Mai- 2008, Rapport particulier : Levé hydrographique de l'Anse Uaré", Annexe B). Les données sont calées au Zéro Hydrographique et représentées dans le système WGS84 et UTM58S.

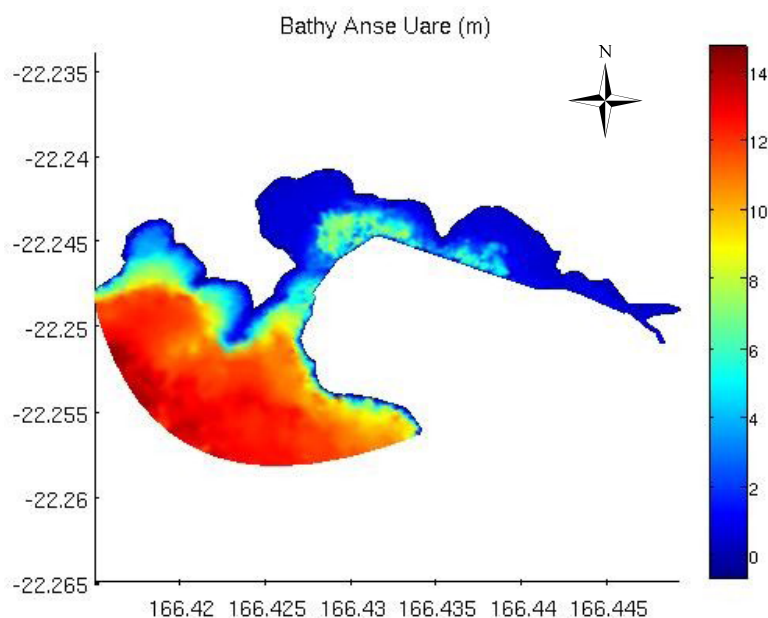


Fig.3 : Bathymétrie de l'Anse Uaré telle que résolue par le modèle à éléments finis. Le zéro correspond au Zéro Hydrographique (source des données SARL Géomer et planche SHOM 7643).

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 (Annexe A).

La Mission Océanographique du Pacifique (MOP) dispose d'un marégraphe situé à Numbo, quai des Phares et Balises (Annexe C, Fiche EPSHOM 1642). Dans le cadre du levé topographique de l'Anse Uaré effectué par Géomer (Annexe B), un marégramme couvrant la période Avril-Mai 2008 a été produit de manière à corriger les levés topographiques de la marée. Ce marégramme est comparé avec l'élévation déduite du modèle au point le plus proche (Fig. 4) pour la première quinzaine de mai 2008. Cette comparaison permet de s'assurer que la marée est correctement reproduite à l'intérieur du domaine.

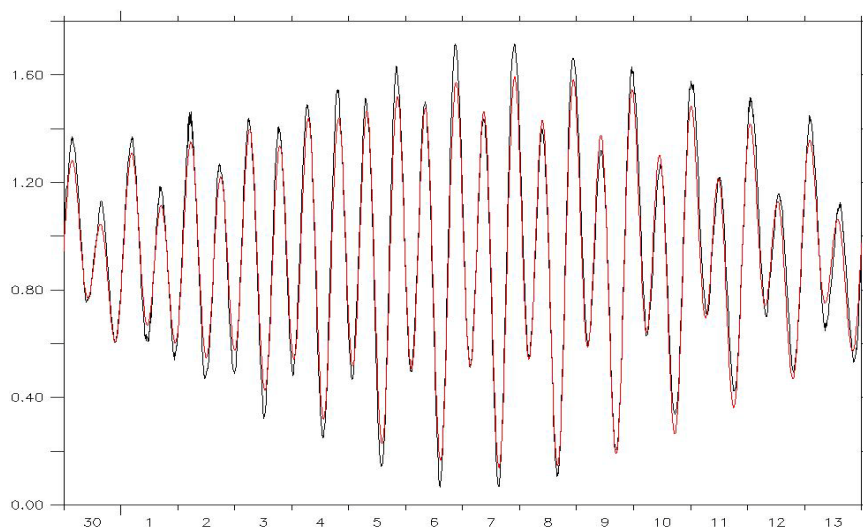


Fig. 4 : Comparaison du marégramme de Numbo (noir) avec le marégramme reproduit depuis le modèle (rouge), première quinzaine de mai 2008. Elévation exprimée en mètre par rapport au zéro hydrographique.

A l'échelle de l'Anse Uaré, le rejet dans le milieu des eaux de refroidissement de la SLN (Fig. 2) représente un forçage important, dont il convient de vérifier sa représentation dans le modèle. Plusieurs lâchers de flotteurs dérivants ont été réalisés au cours de la journée du 18-nov-2009 pour différentes conditions de marée (Tab.1). On retiendra que les flotteurs dérivants (flotteurs marqués, relâchés par grappes de 10) évoluent en sub-surface et leur déplacement est contrôlé par les courants de surface, la dérive liée au vent, mais également le chaos (turbulences), cette dernière contribution n'étant pas reproduite par le modèle. Néanmoins, au droit des principales veines de courant, le déplacement des flotteurs est confronté aux trajectoires de particules virtuelles déduites du modèle.

Tableau 1 : Conditions de marées du 18 novembre 2009.

Jour	Heure	Hauteur
18 Novembre 2009	2h16	0.25
	8h58	1.6
	15h05	0.65
	20h36	1.35

Pour permettre une confrontation entre le modèle et les flotteurs la plus proche possible des conditions expérimentales, le modèle est appliqué non pas en mode 2D mais en mode 3D, avec 11 niveaux verticaux. Un vent de secteur SE proche de 3 m/s correspondant aux conditions observées au cours de la journée des lâchers est également imposé en surface du modèle. Les courants modélisés de surface sont utilisés dans le programme de simulation de dérive des flotteurs virtuels (Fig. 5 et Fig. 6).

L'exercice de comparaison permet de vérifier que le modèle est capable de reproduire assez fidèlement la circulation de surface telle que matérialisée à travers les lâchers de flotteurs. Ce résultat est obtenu après avoir synchronisé la marée, introduit un vent de 3 m/s, représentatif des conditions expérimentales de la journée et appliqué un débit en amont de 9 m³/s

Dans le cas du lâcher effectué à 6h10 (Fig. 5), trajectoires observées et simulées sont synchronisées les 3 premières heures. On observe un écart plus important en fin de lâcher, alors que les oranges se trouvent sur de très petits fonds (lame d'eau < 0.5 m) et que le vent forçait.

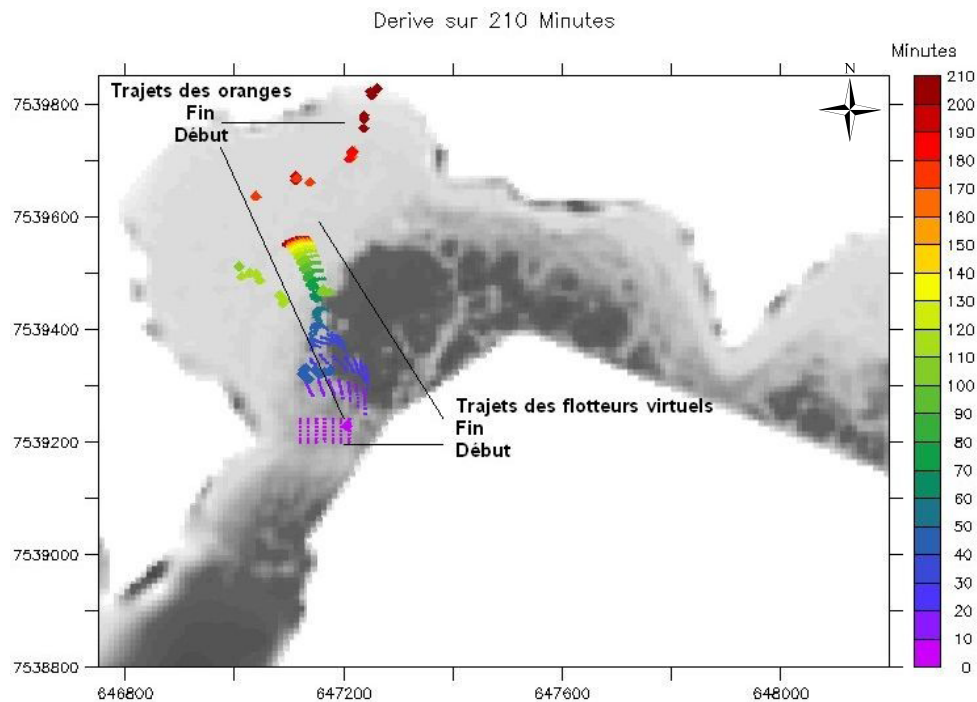


Fig.5 : Comparaison entre trajectoires simulées (représentées par les points) et observées (représentées par les losanges), situation du 18 Nov 2009. Lâcher à 06h10 en condition de flot. Le débit imposé en amont est de 9 m3/s.

Dans le cas du second lâcher (06h14) (Fig. 6), réalisé dans le prolongement du rejet et par petits fonds (<1m), le comportement des trajectoires simulées et observées est cohérent, avec une synchronisation correcte au cours des 4 heures de l'exercice.

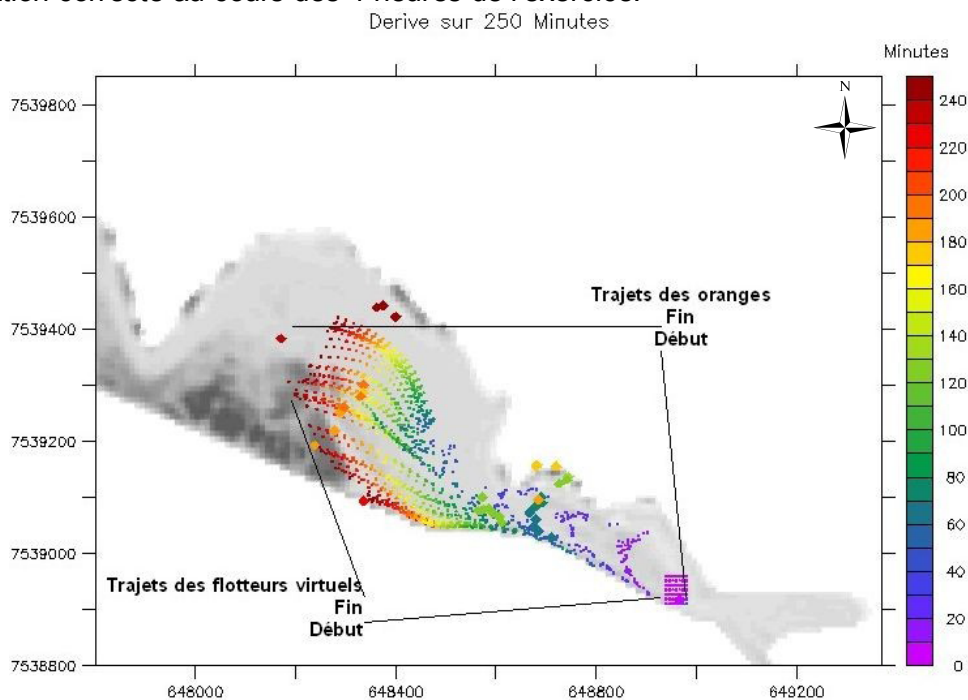


Fig. 6 : Comparaison entre trajectoires simulées (représentées par les points) et observées (représentées par les losanges), situation du 18 Nov 2009. Lâcher à 06h14 en condition de flot. Le débit imposé en amont est de 9 m3/s.

Ces résultats permettent d'accorder de la confiance dans la réponse hydrodynamique modélisée de l'Anse Uaré sous l'effet des trois principaux forçages : la marée, le vent et le débit du rejet d'eau de refroidissement. D'autre part, cet exercice permet de confirmer que la configuration barotopie du modèle est suffisante pour dégager les grands traits du fonctionnement hydrodynamique de l'Anse Uaré. Une configuration barocline, permettant de tenir compte en plus de la stratification thermique et haline, ne se justifie pas dans ces très petits fonds.

II.2. FONCTIONNEMENT HYDRODYNAMIQUE : RESULTATS

La circulation moyenne est documentée à travers 5 jeux de forçage, lesquels permettent d'illustrer la sensibilité de la circulation au vent de surface (vent nul, vent léger et vent soutenu) et des scénarios de rejet (6 et 9 m³/s: 3 et 4 tranches de l'usine en fonction respectivement) :

- Marée seule
- Marée, vent nul et débit constant de 6 m³/s
- Marée, vent constant 4 m/s et débit constant de 6 m³/s
- Marée, vent nul et débit constant de 9 m³/s
- Marée, vent soutenu constant 8 m/s et débit constant de 9 m³/s

Pour chacune de ces combinaisons, 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, Fig. 7).

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.

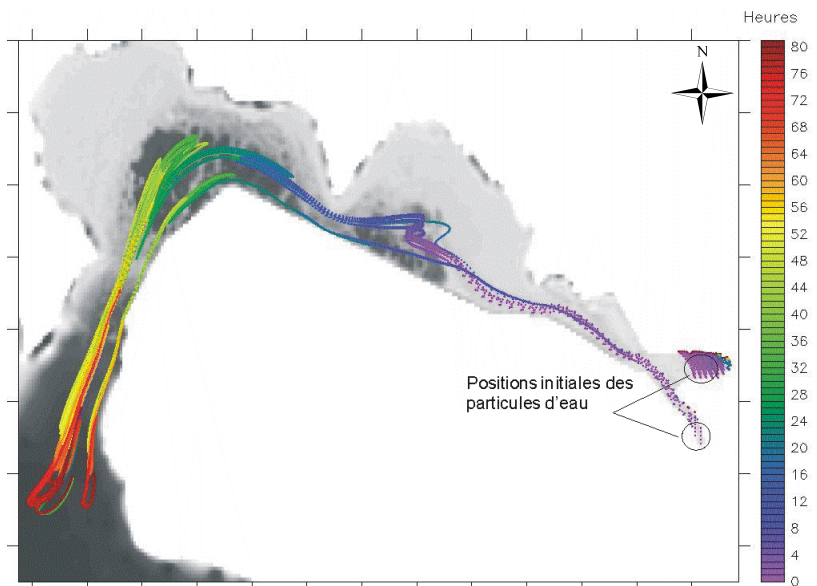


Fig. 7: Limites du domaine et illustration des temps de résidence de quelques particules : situation au bout de 80 heures (vent nul et débit amont de 6m³/s)

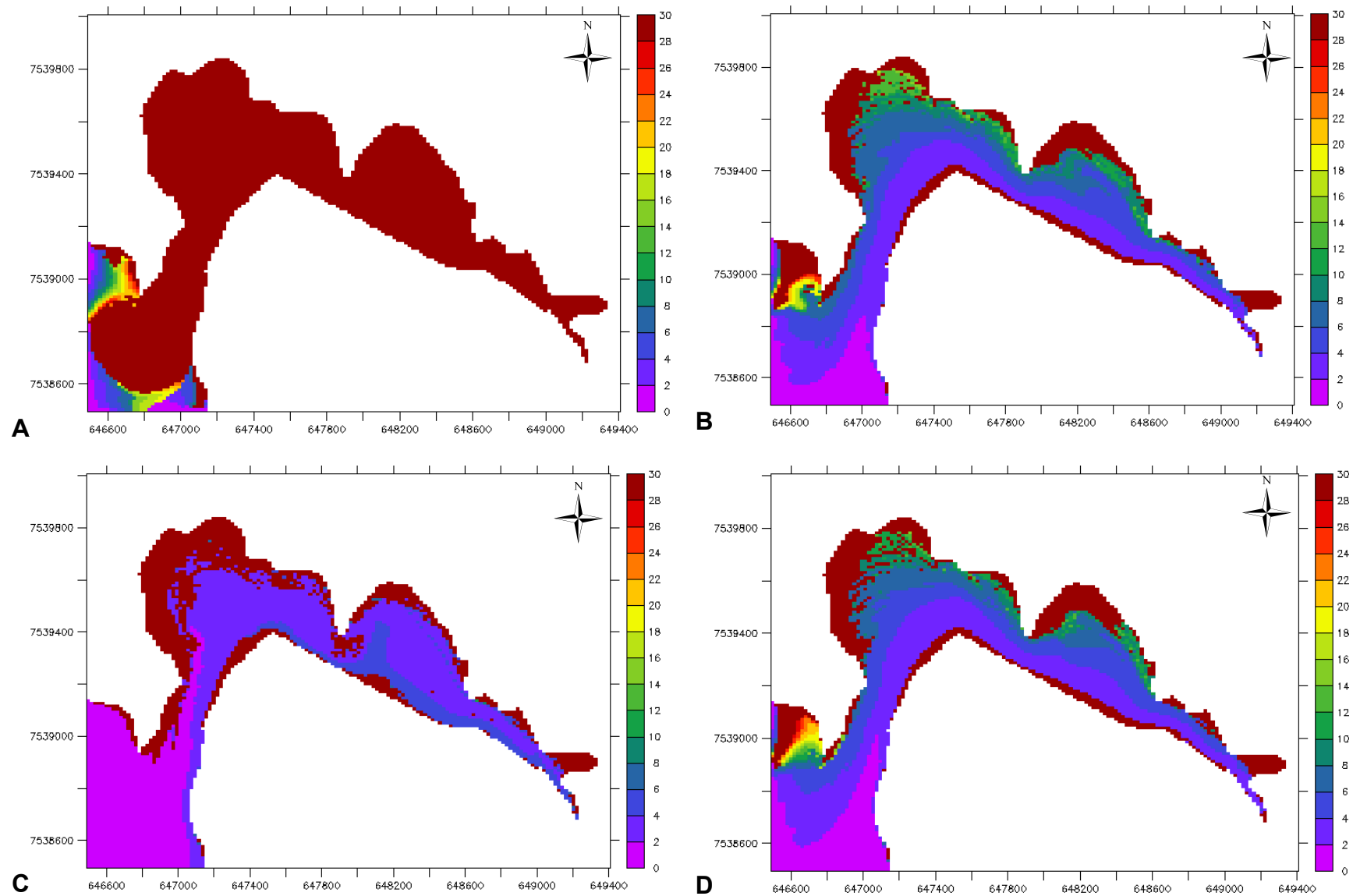


Fig. 8 : Cartes de temps de résidences (échelle colorée en jours). A : Marée seule ; B : Marée et débit constant de 6 m³/s ; C : Marée, vent constant 4m/s et débit constant de 6 m³/s ; D : Marée et débit constant de 9 m³/s

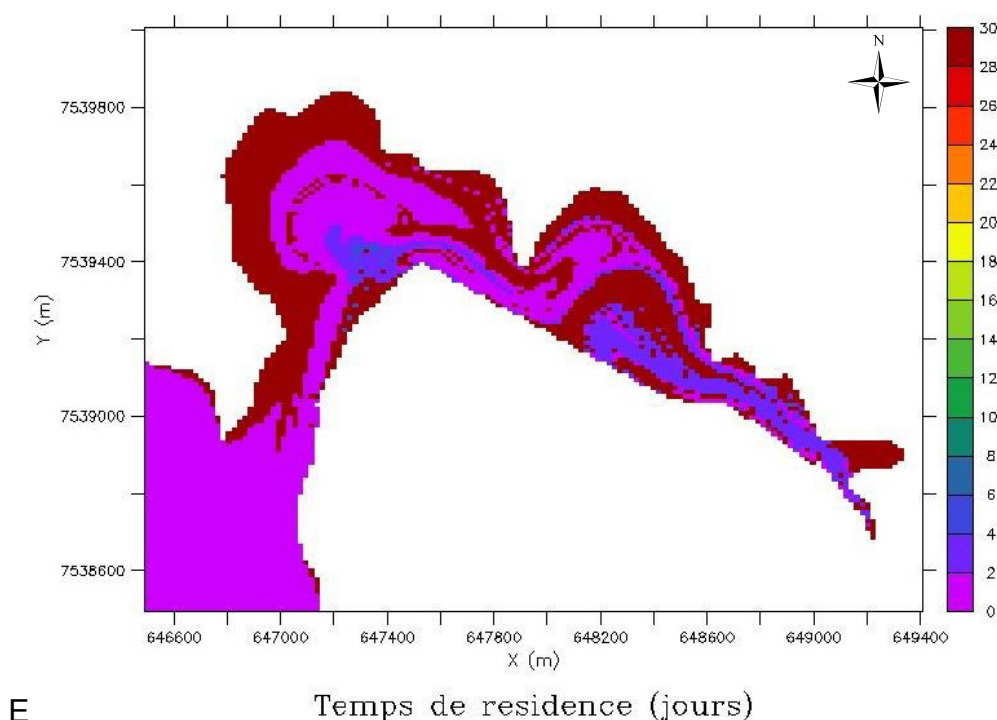


Fig. 8 (suite) : Cartes de temps de résidences (échelle colorée en jours). E : Marée, vent soutenu 8 m/s et débit constant de 9 m³/s. (Remarque : Les volutes identifiées par des temps de résidence > 30 jours à l'intérieur du modèle sont des artefacts provoqués par la limite de la méthode employée)

II.2.1. Interprétation des temps de résidence (Fig. 8)

En l'absence de forçage autre que la marée, l'Anse Uaré est un milieu très peu renouvelé (panel A). En configuration de vent nul, mais avec le rejet industriel de 6 m³/s, l'afflux d'eau et son écoulement en travers, l'usine Doniambo impose un renouvellement très appréciable des eaux de l'Anse (panel B). Il faut en moyenne entre 2 et 4 jours pour qu'une particule d'eau larguée en amont sorte du système. En imposant un vent constant de 4 m/s, la circulation est renforcée dans l'Anse et le temps de résidence diminue globalement (panel C). L'Anse est entièrement renouvelée au bout de 4 jours. En appliquant un vent soutenu constant (8 m/s, Panel E), le temps de vidange de l'anse diminue sensiblement, devenant inférieur à 2 jours. Enfin, en imposant, un débit de 9 m³/s (D) au lieu de 6 m³/s (B), l'impact de l'augmentation du débit sur le temps de renouvellement n'est pas significatif.

De cette étude hydrodynamique utilisant différentes conditions de forçage, il ressort que le rejet en amont impose un renouvellement appréciable des masses d'eau. Par exemple, une pollution du milieu provenant d'un rejet accidentel est susceptible de contaminer la Grande Rade au bout de 3 à 4 jours. En situation plus réaliste, avec une météo agitée, le contaminant est susceptible de se retrouver dans la Grande Rade en moins de 2 jours.

II.2.2. Détail du courant résiduel au droit du passage busé

Dans sa configuration actuelle, le modèle ne permet pas de résoudre la question de la communication entre l'Anse Uaré et l'arroyo du Creek Salé. Pour cela, un test au colorant a été réalisé au cours duquel une communication a été effectivement matérialisée (<Voir Volet Colorants>). La vitesse enregistrée (lors des investigations à la fluorescéine) au droit du passage est de l'ordre de 8 cm/s en situation de flot dans l'axe du passage busé. La figure suivante illustre le champ de courant résiduel au droit du rejet et dans le bras formant communication avec l'arroyo. Dans la veine de courant formée par le déversement des eaux industrielles, le flot atteint une vitesse de l'ordre de 30 cm/s et chute progressivement dans la direction du passage busé (Fig. 9).

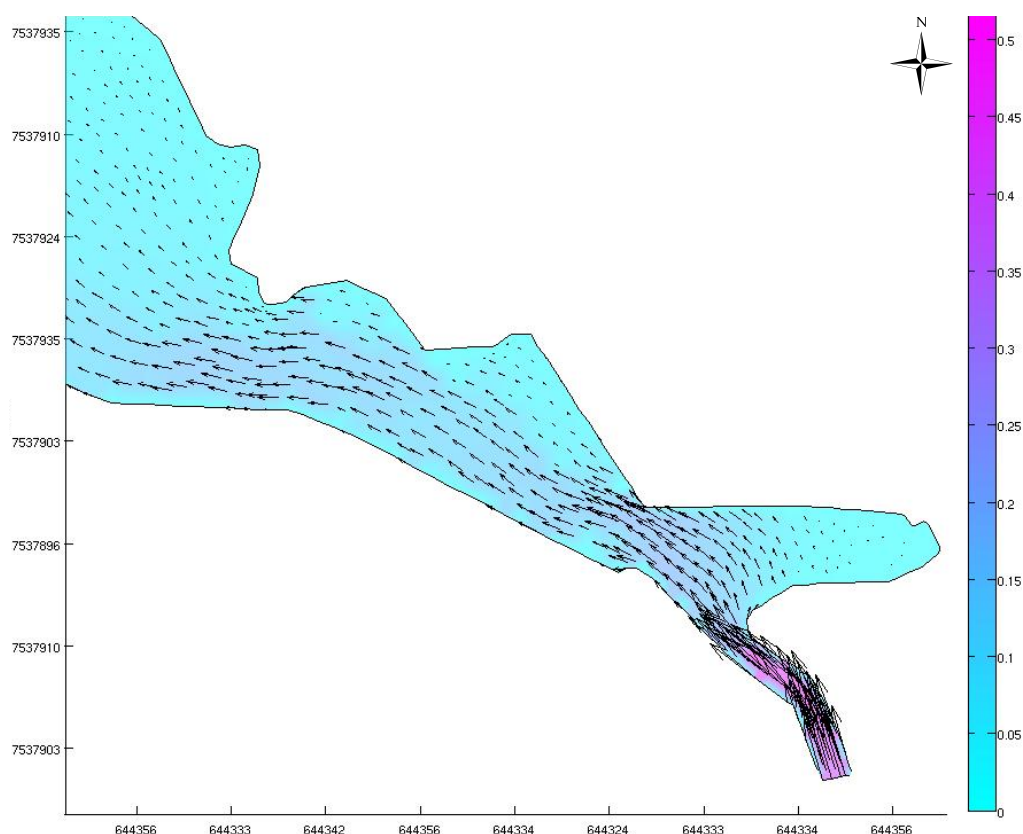


Fig. 9 : Courant résiduel simulé au droit du rejet et du passage busé. Situation moyenne au bout d'un mois, en condition de forçage marée + rejet 6 m³/s.

Dans cette configuration hydraulique particulière associée au déversement du rejet, il est raisonnable d'admettre qu'une grande partie de la masse d'eau déversée se retrouve dans l'Anse Uaré et qu'une partie relativement limitée est susceptible de s'écouler en direction de l'arroyo et vice-versa, en fonction de la marée.

Pour déterminer la proportion de la masse d'eau rejetée par la SLN susceptible de communiquer avec le Creek Salé et le contaminer à la suite d'un accident, un comptage des particules traversant un volume de contrôle placé en travers du bras (Fig. 10) est réalisé. On émet l'hypothèse que les particules traversant le volume de contrôle sont par la suite susceptibles d'être entraînées vers l'arroyo à plus ou moins longue échéance.

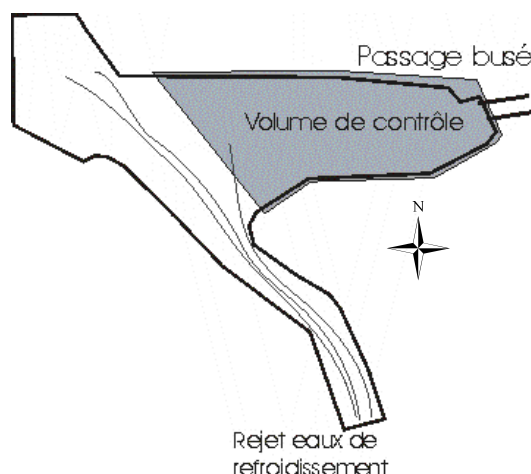


Fig. 10 : Volume de contrôle utilisé pour le comptage des particules

Tableau 2 : Résultats des 6 simulations de lâchés de flotteurs

<i>Nombre de flotteurs lâchés</i>	<i>Nombres de flotteurs traversant le volume de contrôle</i>	<i>Masse d'eau issue de la SLN susceptible de contaminer l'arroyo</i>
437	12	2.7 %
437	16	3.6 %
437	7	1.6 %
437	12	2.7 %
437	12	2.7 %
437	12	2.7 %
Moyenne		2.6%

En suivant cette méthode, on peut estimer que moins de 5% de la masse d'eau rejetée est susceptible de se retrouver dans l'arroyo du Creek Salé (Tab. 2), tandis que plus de 95 % est évacuée en empruntant l'Anse Uaré.

II.3. SYNTHÈSE ET CONCLUSION

Dans cette étude, le fonctionnement hydrodynamique de l'Anse Uaré est caractérisé en établissant les cartes de temps de résidence pour différentes conditions de forçage, vent et débit. Les eaux de l'Anse Uaré sont susceptibles d'être renouvelées en moins de 4 à 5 jours, variable selon les conditions météorologiques et de débit (dans une moindre mesure).

La circulation dans l'axe du rejet est fortement contrôlée par les caractéristiques de ce dernier, ce qui est corroboré par les mesures de terrain.

Enfin, on montre que la configuration du modèle employé, un modèle barotrope est particulièrement adaptée à la description du fonctionnement hydrodynamique de ce milieu chenalisé et caractérisé par des hauts fonds.

III. ETUDE DE LA COMMUNICATION ENTRE L'ANSE UARE ET L'ARROYO DU CREEK SALE

III.1. METHODOLOGIE

Dans sa configuration actuelle, le modèle numérique réalisé ne permet pas de résoudre la question de la communication entre l'Anse Uaré et l'arroyo du Creek Salé. Pour cela, un test au colorant a été réalisé au cours de la semaine 47 de l'année 2009.

Le colorant choisit est la Fluorescéine (N° CAS 518-47-8). C'est un colorant très couramment utilisé comme traceur des masses d'eau. Ce colorant ne présente par ailleurs aucune toxicité à la concentration utilisée (Smart et al. 1977*). Nous l'avons donc employé pour évaluer les échanges qui existent entre le bras mort de l'Anse et le creek pour :

- savoir si il y a une connexion;
- estimer les vitesses moyennes de transfert en conditions de marées contrastées;
- suivre l'évolution de la concentration du colorant.

Pour cela des investigations *in situ* au colorant ont été menées le 17/11/2009 en condition de jusant et le 20/11/2009 en conditions de flot (Fig.11).

L'injection du colorant est faite de façon instantanée. Un litre de fluorescéine à 100 g/l a été déversé pour chaque expérience au droit d'un tuyau du bras mort de l'Anse Uaré (Fig.12 et Fig.13). Des échantillons d'eau ont été prélevés pendant environs trois heures aux points matérialisés à la figure 11. Les analyses pour calculer la concentration en fluorescéine ont été réalisées par le laboratoire LAB'EAU.

* Smart P.L. and Laidlaw I.M.S, "An Evaluation of Some Fluorescent Dyes for Water Tracing" Water Resources Research, Vol.13, N°1, pp. 15-33, 1977

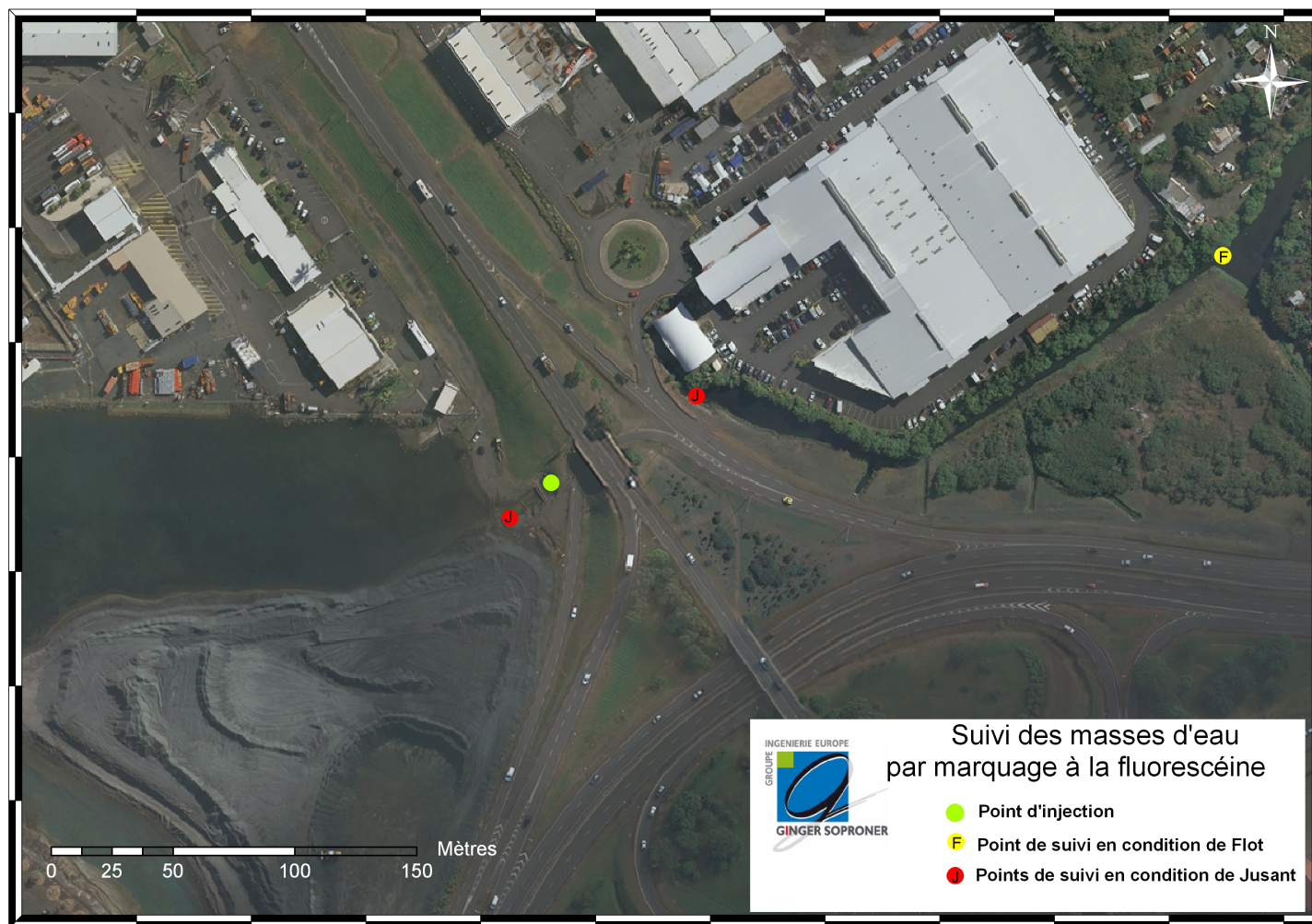


Fig. 11 : Localisation du point de lâcher et des points de prélèvements des deux campagnes de suivi des masses d'eau à la fluorescéine

III.2. RESULTATS

III.2.1. En condition de Jusant

Les conditions météorologiques de la campagne étaient bonnes avec un temps ensoleillé et un vent de secteur ESE peu soutenu compris entre 0.5 m/s et 2.5 m/s. Le forçage des masses d'eau de surface semble peu important.

Pour cette première campagne, deux points de prélèvements simultanés en amont et en aval du point de lâcher ont été échantillonnés (Fig.11). Les prélèvements sont réalisés toutes les heures avec un premier échantillon pris une heure après le lâcher.

Tableau 3 : Résultat des analyses effectuées par Lab'Eau

Point côté creek	Heure	Concentration
A1	10h02	< 1 ppb
A2	11h00	< 1 ppb
A3	12h00	< 1 ppb

Point côté Anse Uaré	Heure	Concentration
B1	10h02	318,3 ppb
B2	11h00	< 1 ppb
B3	12h00	< 1 ppb

NB : 1 ppb = 1 µg/l

Les résultats des analyses faites par le laboratoire Lab'Eau (Annexe. D) sont consignés au tableau 3. En condition de jusant, la marée descend et il n'y a aucune remontée d'eau vers le creek. Le suivi de la concentration à 20 mètres en aval du lâcher ne permet pas, avec le pas de temps retenu, de suivre l'évolution de la concentration. Seul un des trois prélèvements présente une concentration en fluorescéine décelable.

Le suivi du panache de colorant au cours de l'expérience (Fig. 12) permet en revanche d'estimer une vitesse moyenne de déplacement. Le front de fluorescéine se déplace à une vitesse moyenne de l'ordre du mètre par minute.



Ho=8h58



H1=8h59



H2=9h07



H3=9h28



H4=9h46



H5=10h07



H6=10h21



H7=11h51

Fig. 12 : Illustration du marquage des masses d'eau en condition de jusant du 17/11/09

III.2.2. En condition de Flot

Les conditions météorologiques de la campagne étaient bonnes avec un temps ensoleillé et un vent de secteur SE peu soutenu compris entre 0.2 m/s et 1.5 m/s. Le forçage des masses d'eau de surface semble également peu important.

Pour cette seconde campagne, un seul point de prélèvement en amont du point de lâcher a été échantillonné toutes les 10 minutes à partir de 8h18 (Fig.11). Un prélèvement ponctuel (1A) à la sortie des buses coté creek a été réalisé dès l'apparition du colorant à 7h36.

Tableau 4 : Résultat des analyses effectuées par Lab'Eau

Point côté sortie des buses coté creek	Heure	Concentration
1A	7h36	537,7 ppb
Point côté Anse Uaré	Heure	Concentration
2A	8h18	< 1 ppb
3A	8h28	< 1 ppb
4A	8h38	< 1 ppb
5A	8h48	< 1 ppb
6A	8h58	< 1 ppb
7A	9h08	< 1 ppb
1B	9h18	< 1 ppb
2B	9h28	< 1 ppb
3B	9h38	< 1 ppb
4B	10h08	< 1 ppb

NB : 1 ppb = 1 µg/l

Les résultats des analyses faites par Lab'Eau (Annexe D) sont consignés au tableau 4. En condition de flot, la marée monte et on observe une remontée d'eau marquée vers le creek. En revanche aucune fluorescence n'est visuellement observée en aval du lâcher. Le suivi de la concentration à 300 mètres en amont du lâcher ne permet pas de suivre l'évolution de la concentration. Bien que la coloration soit visuellement appréciée, elle reste sous le seuil de détection du laboratoire.

Le suivi du panache de colorant (Fig. 13) permet d'estimer une vitesse moyenne de déplacement. Le front de fluorescéine se déplace à une vitesse moyenne de l'ordre du 6 mètres par minute.



$H_0=7h26$



$H_1=7h27$



$H_2=7h40$



$H_3=7h42$



$H_4=8h23$



$H_5=8h35$



$H_6=8h49$



$H_7=9h15$

Fig.13 : Illustration du marquage des masses d'eau en condition de flot du 20/11/09

III.3. CONCLUSION

Le test au colorant réalisé en novembre 2009 complète l'approche de modélisation hydrodynamique de l'Anse Uaré. En effet la modélisation offre une vision détaillée du fonctionnement général de l'Anse et des temps de résidence de ses eaux, mais ne permet pas de résoudre la question de la connexion entre le bras mort et le creek salé situé en amont.

L'expérience de marquage des masses d'eau à la fluorescéine montre qu'il y a bien une connexion entre les eaux du bras mort de l'Anse et le creek salé. Suivant les conditions de marées et de vents, la vitesse de déplacement des eaux est comprise entre 1 et 6 mètres par minute.

Dans l'hypothèse où une pollution accidentelle surviendrait au niveau du rejet de la SLN un transfert vers le creek est donc possible avec un temps de transfert relativement rapide. La modélisation montre toutefois que moins de 5% (Cf. § II.2.2) de la masse d'eau rejetée par la SLN est susceptible de se retrouver dans le bras mort et que la grande partie de la pollution sera transportée via l'Anse Uaré au niveau de la Grande Rade.

IV. BILAN

La modélisation hydrodynamique réalisée montre que le rejet de la SLN impose un renouvellement appréciable des masses d'eau. Par exemple, une pollution du milieu provenant d'un rejet accidentel est susceptible de contaminer la Grande Rade au bout de 3 à 4 jours. En situation défavorable avec une météo agitée, le contaminant est susceptible de se retrouver dans la Grande Rade en moins de 2 jours.

Dans les conditions hydrauliques associées au flux du rejet, il est raisonnable d'admettre qu'une grande partie de la masse d'eau déversée se retrouve dans l'Anse Uaré et qu'une partie relativement limitée est susceptible de s'écouler en direction de l'arroyo et vice-versa, en fonction de la marée.

Pour déterminer la proportion de la masse d'eau rejetée par la SLN susceptible de communiquer avec le Creek Salé et le contaminer à la suite d'un accident, un comptage des particules traversant un volume de contrôle placé en travers du bras mort a été réalisé par modélisation. En émettant l'hypothèse que les particules qui traversent ce volume sont par la suite entraînées vers l'arroyo, il est montré que :

- moins de 5% de la masse d'eau rejetée est susceptible de se retrouver dans l'arroyo du Creek Salé ;
- plus de 95 % est évacuée en empruntant l'Anse Uaré.

L'expérience de marquage des masses d'eau à la fluorescéine confirme qu'il y a une connexion entre les eaux du bras mort de l'Anse et le creek salé. Suivant les conditions de marées et de vents, la vitesse de déplacement des eaux est comprise entre 1 et 6 mètres par minute. Dans l'hypothèse où une pollution accidentelle surviendrait au niveau du rejet de la SLN un transfert vers le creek est donc possible avec un temps de transfert relativement rapide.

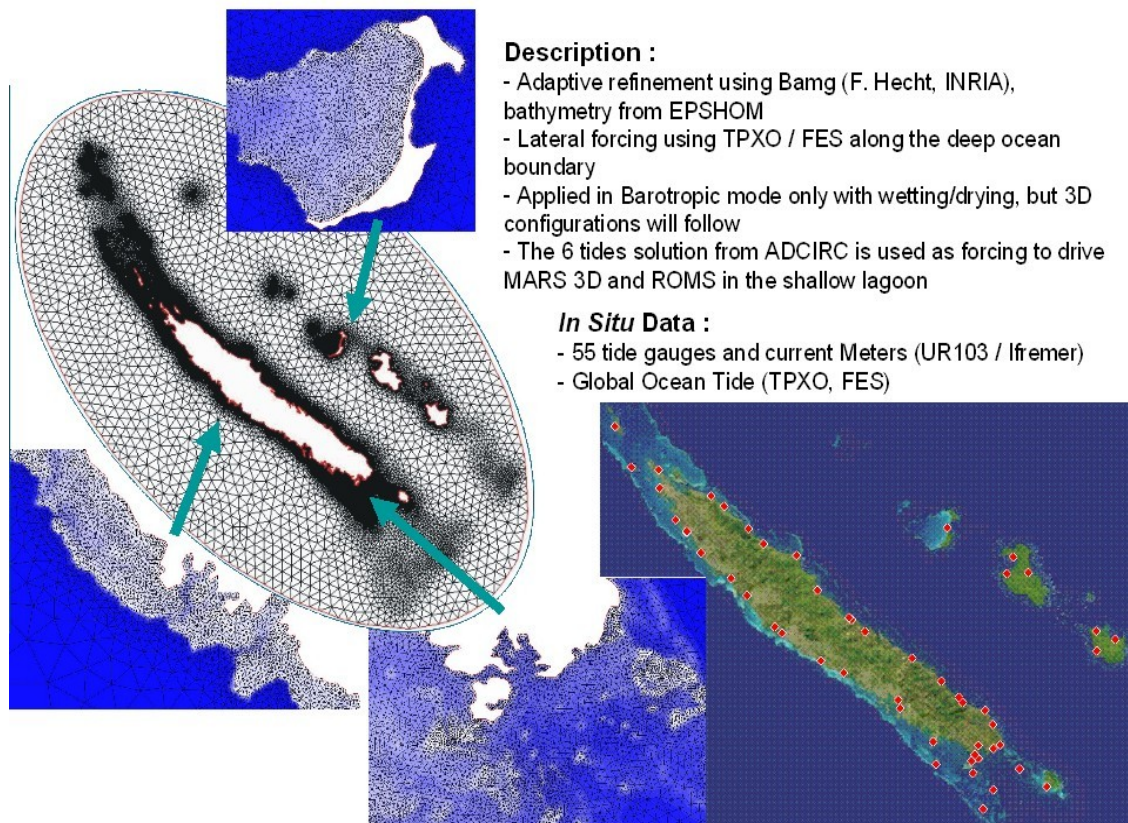
ANNEXE A

Description du modèle de marée de grande emprise

Outre le vent, le forçage en marée est une variable forçante importante contrôlant la circulation des masses d'eau dans le lagon. La Nouvelle-Calédonie dispose d'une vision fragmentaire de la marée, au travers les études hydrographiques menées par l'EPSHOM/MOP. A ce jour, 55 stations ont été équipées de marégraphes répartis le long des côtes Calédoniennes. Une vision plus globale de la marée est fournie par les modèles globaux de marée (TPXO, FES, Schwiderski ...), lesquels assimilent les données altimétriques, mais ces derniers offrent une représentation de la marée souvent dégradée à la côte, en raison de leur faible résolution spatiale (0.5°). Sur le Grand Sud, un modèle capable de reproduire la marée a été développé par P. Douillet (IRD), il y a une dizaine d'années, reposant sur le code hydrodynamique barotrope MARS2D à maille structurée (résolution horizontale 500 m), objet de nombreuses validations.

Plus récemment, J. Lefèvre a développé un modèle de marée de plus grande emprise forcée aux frontières par les solutions de marée issues des modèles globaux (modèle TPXO). Les frontières du modèle régional employé (Cf. Diapo 1) ont été placées par très grands fonds, de manière à permettre une descente d'échelle la plus propre possible. Le maillage, comportant 65 000 points de calcul, est à base d'éléments non-structurés, permettant le raffinement sur les zones de hauts-fonds, aux alentours du récif barrière, passes et grands ilots. Ces deux dernières années, les 5 ondes principales de marée (M2, S2, N2, O1, et K1) issues du modèle régional mis en place par J. Lefèvre ont été systématiquement utilisées dans le cadre des activités de modélisation lagonaire sur la Nouvelle-Calédonie (Voir Références Biblio).

New-Caledonia : High resolution 65k nodes mesh applied to compute tide in shallow lagoon using ADCIRC and FVCOM (with MPI on a 40 CPUs Cluster) (jlefevre@noumea.ird.nc)



Diapo N°1 : Illustration de l'emprise du modèle, résolution et du jeu utilisé pour la validation.

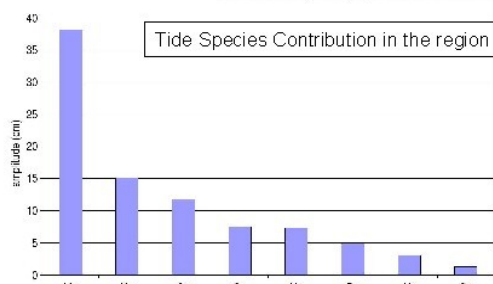
Validation du modèle régional de marée

La marée s'exprime sous la forme d'une somme d'ondes (harmoniques) de période bien déterminée. Au total, environ 280 ondes peuvent participer à l'élévation du plan d'eau par le truchement des forces d'attraction entre la Terre et les astres voisins, mais en général une dizaine d'ondes suffisent à reproduire l'élévation du plan d'eau en un point donné. Dans le lagon, les caractéristiques en amplitude et en phase des 8 principales harmoniques de marée (M2, S2, N2, K1, O1, P1, K2, Q1) sont disponibles sur 55 stations côtières ayant été équipées en marégraphe sur une période suffisamment longue. A partir de ces observations et en réalisant une analyse harmonique sur les variables modélisées (élévation et vitesses), il est possible de définir un score permettant de juger la qualité du modèle à reproduire la marée à la côte. C'est ce score qui est présenté dans le tableau diapo N°2. Ce dernier est le meilleur score disponible actuellement, après avoir testé différentes combinaisons de conditions de frottement et résolution.

Récemment, une validation a été réalisée au travers l'emploi du système de modélisation ADCIRC/MARS3D dans le cadre du chantier de modélisation du Grand Tuyau de Goro-Ni. A cette occasion, un test de trajectoire a été réalisé au moyen de bouées dérivantes confrontées aux trajectoires modélisées, comme illustré Diapo 2. Enfin, au cours du premier semestre 2010, le système de modélisation ADCIRC/ROMS3D est employé pour l'étude d'une solution alternative au rejet de l'usine du Sud dans le cadre d'une convention de Recherche IRD/Val-Inco.

RMS Scores :

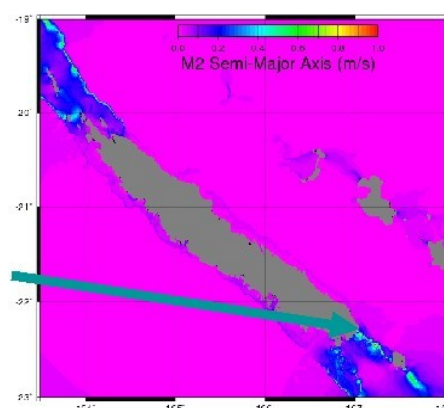
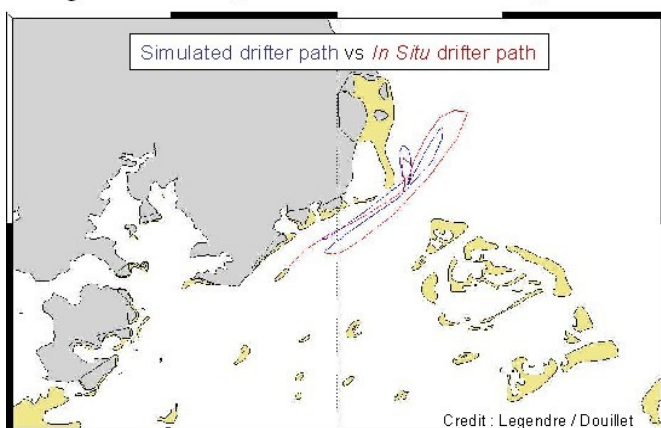
$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left\| [\alpha_i(\lambda, \varphi) e^{iG_i}]_{\text{Mesures}} - [\alpha_i(\lambda, \varphi) e^{iG_i}]_{\text{Modèle}} \right\|^2}$$



Our best solution with paddirc V48.15 vs 55 coastal gauges :

Species	RMS (cm)
M2	3.05
K1	1.47
S2	1.71
O1	0.87
N2	1.42
P1	3.85
K2	1.02
Q1	0.54

Drogues Scores (MARS with adcirc tidal forcing) :



Diapo n°2 : Exemples de scores obtenus en confrontant le modèle de marée à 55 marégraphes et confrontation des trajectoires modélisées à celles des bouées dérivantes, passe de la Havanna.

Références bibliographiques dans lesquelles le modèle régional de marée est employé


Marchesiello P, Lefèvre J, Penven P, Lemarié F, Debreu L, Douillet P, Vega A, Derex P, Echevin V, Dewitte B, 2008 : Keys to affordable regional marine forecast systems. Lettre Mercator, N°30 - Juillet 2008.

Modélisation et simulation du transport des formes dissoutes et particulaires, Notice technique-Validation Modèle hydrodynamique (Convention de Recherche IRD/Goro-Ni N°1124, Oct-2008). Auteurs : Douillet P. / Le Gendre R. / Contribution Lefèvre J. pour la condition de marée

Modélisation d'un scénario de rejet alternatif par grands fonds, (Convention de Recherche IRD/Val-Inco 2010). Auteurs : Marchesiello P., Véga A. , Lefèvre J. (Etude en cours)

ANNEXE B

Page de garde du rapport du levé hydrographique effectué par la SARL Géomer (Mai-2008)

S.A.R.L. GEOMER	Lotissement Deray - Saint Michel Mont Dore - BP 13283 - 98803 Nouméa Nouvelle Calédonie
	Email : geomer@offratel.nc Tel/Fax : (00687) 431186
	Votre correspondant : M. Brient Goulven Tel : (00687) 843412 Email : goulvenbrient@gmail.com

Nouméa, le 15 mai 2008

RAPPORT PARTICULIER

Objet : Levé hydrographique de l'anse Uaré

Destinataires : SOPRONER, SHOM

Copies intérieures : Archives (1)

Annexe : Fiches d'épaves et fiches d'obstructions

I. GENERALITES

1.1 Préambule

Conformément à la demande Dev n°36/2008 du 07/04/2008, la société GEOMER a réalisé le levé bathymétrique de l'anse Uaré à Nouméa

Ce levé a été effectué à l'aide de la vedette Rigado de la S.A.R.L. GEOMER.

1.2 Déroulement du levé

Les travaux bathymétriques ont été menés en plusieurs étapes (cf. tableau 1) : sondage au sondeur vertical lors du levé régulier de la zone de travail. Sondage au sondeur vertical lors de la reconnaissance des épaves observées dans la zone. Les travaux ont été exécutés en neuf séances.

1.3 Travaux réalisés

Le levé bathymétrique a été effectué conformément à la demande.

ANNEXE C

Détails et calage du Marégraphe de Numbo, page de garde de la Fiche EPSHOM N°1642
(http://www.shom.fr/fr_page/fr_act_oceano/maree/Numbo.pdf)

SERVICE HYDROGRAPHIQUE ET OCÉANOGRAPHIQUE DE LA MARINE

MOP1

N° EPSHOM 1642

FICHE D'OBSERVATOIRE DE MARÉE

PAYS - RÉGION - TERRITOIRE : Nouvelle-Calédonie
NOM DU LIEU (toponymie carte marine) : Nouméa
NOM DE L'OBSERVATOIRE (site) : Numbo – Phares et balises

POSITION : LATITUDE : 22°14,8' S (carte marine : 6633)
(précision: dixième de minute) LONGITUDE : 166° 24,7' E

Référence de la fiche antérieure et/ou de la dernière modification de la fiche :
MOP/BHNC du 12 juin 2003 (ICA Paillet)

(facultatif si l'observatoire est l'observatoire de référence)

NOM DU PORT DE RÉFÉRENCE :

POSITION : LATITUDE :
(précision: dixième de minute) LONGITUDE :
observatoire permanent : Oui - Non (rayer la mention inutile)

Référence de la fiche du port de référence (si rédigée) :

Établie ou modifiée par (orga- nisme observateur)	Date (JJ/MM/AAAA)	Cachet et signature de l'autorité technique
MOP/BHNC	19/06/2006	L'ingénieur en chef de l'Armement J. L. L. L. Directeur technique de la Mission Océanographique du Pacifique

ANNEXE D : Résultats d'analyses de la Fluorescéine

Rapport d'analyse 2009/11/R0145

Bon de commande n°
Affaire n°
Devis n°



SOPRONER
GUIGUIN Nicolas
98846 NOUMEA
Tel : 25 00 86
BP 3583

Echantillon : 2009/11/E0081

Date de prélèvement : 17/11/2009

Lieu du prélèvement: Nouméa

Date de réception : 17/11/2009

Date de début d'analyse : 17/11/2009

Date de fin d'analyse : 17/11/2009

Référence Client : A1

Température à réception : 3.6 °C

Nature de l'échantillon : Eau de mer

Préleveur : Le client

Analyse	Méthode	Résultat	Unité	Norme	Limite de quantification
<u>Traceur artificiel</u>					
Fluorescéine	Méthode interne	< 1	ppb		1

Remarques :

Nouméa le 17/11/2009
Isabelle GALY
Responsable développement

Myriam AUBRY
Responsable qualité

Rapport d'analyse 2009/11/R0146

Bon de commande n°

Affaire n°

Devis n°



SOPRONER
GUIGUIN Nicolas
98846 NOUMEA
Tel : 25 00 86
BP 3583

Echantillon : 2009/11/E0082

Lieu du prélèvement: Nouméa

Date de début d'analyse : 17/11/2009

Référence Client : A2

Nature de l'échantillon : Eau de mer

Date de prélèvement : 17/11/2009

Date de réception : 17/11/2009

Date de fin d'analyse : 17/11/2009

Température à réception : 3.6 °C

Préleveur : Le client

Analyse	Méthode	Résultat	Unité	Norme	Limite de quantification
<u>Traceur artificiel</u>					
Fluorescéine	Méthode interne	< 1	ppb		1

Remarques :

Nouméa le 17/11/2009
Isabelle GALY
Responsable développement

Myriam AUBRY
Responsable qualité

Rapport d'analyse 2009/11/R0147

Bon de commande n°

Affaire n°

Devis n°



SOPRONER
GUIGUIN Nicolas
98846 NOUMEA
Tel : 25 00 86
BP 3583

Echantillon : 2009/11/E0083

Lieu du prélèvement: Nouméa

Date de début d'analyse : 17/11/2009

Référence Client : A3

Nature de l'échantillon : Eau de mer

Date de prélèvement : 17/11/2009

Date de réception : 17/11/2009

Date de fin d'analyse : 17/11/2009

Température à réception : 3.6 °C

Préleveur : Le client

Analyse	Méthode	Résultat	Unité	Norme	Limite de quantification
<u>Traceur artificiel</u>					
Fluorescéine	Méthode interne	< 1	ppb		1

Remarques :

Nouméa le 17/11/2009
Isabelle GALY
Responsable développement

Myriam AUBRY
Responsable qualité

Rapport d'analyse 2009/11/R0148

Bon de commande n°
Affaire n°
Devis n°



SOPRONER
GUIGUIN Nicolas
98846 NOUMEA
Tel : 25 00 86
BP 3583

Echantillon : 2009/11/E0084

Date de prélèvement : 17/11/2009

Lieu du prélèvement: Nouméa

Date de réception : 17/11/2009

Date de début d'analyse : 17/11/2009

Date de fin d'analyse : 17/11/2009

Référence Client : B1

Température à réception : 3.6 °C

Nature de l'échantillon : Eau de mer

Préleveur : Le client

Analyse	Méthode	Résultat	Unité	Norme	Limite de quantification
<u>Traceur artificiel</u>					
Fluorescéine	Méthode interne	318.3	ppb		1

Remarques :

Nouméa le 17/11/2009
Isabelle GALY
Responsable développement

Myriam AUBRY
Responsable qualité

Rapport d'analyse 2009/11/R0149

Bon de commande n°
Affaire n°
Devis n°



SOPRONER
GUIGUIN Nicolas
98846 NOUMEA
Tel : 25 00 86
BP 3583

Echantillon : 2009/11/E0085

Date de prélèvement : 17/11/2009

Lieu du prélèvement: Nouméa

Date de réception : 17/11/2009

Date de début d'analyse : 17/11/2009

Date de fin d'analyse : 17/11/2009

Référence Client : B2

Température à réception : 3.6 °C

Nature de l'échantillon : Eau de mer

Préleveur : Le client

Analyse	Méthode	Résultat	Unité	Norme	Limite de quantification
<u>Traceur artificiel</u>					
Fluorescéine	Méthode interne	< 1	ppb		1

Remarques :

Nouméa le 17/11/2009
Isabelle GALY
Responsable développement

Myriam AUBRY
Responsable qualité

Rapport d'analyse 2009/11/R0150

Bon de commande n°
Affaire n°
Devis n°



SOPRONER
GUIGUIN Nicolas
98846 NOUMEA
Tel : 25 00 86
BP 3583

Echantillon : 2009/11/E0086

Date de prélèvement : 17/11/2009

Lieu du prélèvement: Nouméa

Date de réception : 17/11/2009

Date de début d'analyse : 17/11/2009

Date de fin d'analyse : 17/11/2009

Référence Client : B3

Température à réception : 3.6 °C

Nature de l'échantillon : Eau de mer

Préleveur : Le client

Analyse	Méthode	Résultat	Unité	Norme	Limite de quantification
<u>Traceur artificiel</u>					
Fluorescéine	Méthode interne	< 1	ppb		1

Remarques :

Nouméa le 17/11/2009
Isabelle GALY
Responsable développement

Myriam AUBRY
Responsable qualité

Rapport d'analyse 2009/11/R0153

Bon de commande n°

Affaire n°

Devis n°



SOPRONER
GUIGUIN Nicolas
98846 NOUMEA
Tel : 25 00 86
BP 3583

Echantillon : 2009/11/E0108

Lieu du prélèvement: Nouméa

Date de début d'analyse : 20/11/2009

Référence Client : 1B

Nature de l'échantillon : Eau de mer

Date de prélèvement : 20/11/2009

Date de réception : 20/11/2009

Date de fin d'analyse : 20/11/2009

Température à réception : 4 °C

Préleveur : Le client

Analyse	Méthode	Résultat	Unité	Norme	Limite de quantification
Traceur artificiel					
Fluorescéine	Méthode interne	< 1	ppb		1

Remarques :

Nouméa le 23/11/2009
Gaëla MARCHAL
Responsable de laboratoire

Myriam AUBRY
Responsable qualité

Rapport d'analyse 2009/11/R0154

Bon de commande n°

Affaire n°

Devis n°



SOPRONER
GUIGUIN Nicolas
98846 NOUMEA
Tel : 25 00 86
BP 3583

Echantillon : 2009/11/E0109

Lieu du prélèvement: Nouméa

Date de début d'analyse : 20/11/2009

Référence Client : 2 B

Nature de l'échantillon : Eau de mer

Date de prélèvement : 20/11/2009

Date de réception : 20/11/2009

Date de fin d'analyse : 20/11/2009

Température à réception : 4 °C

Préleveur : Le client

Analyse	Méthode	Résultat	Unité	Norme	Limite de quantification
Traceur artificiel					
Fluorescéine	Méthode interne	< 1	ppb		1

Remarques :

Nouméa le 23/11/2009
Gaëla MARCHAL
Responsable de laboratoire

Myriam AUBRY
Responsable qualité

Rapport d'analyse 2009/11/R0155

Bon de commande n°

Affaire n°

Devis n°



SOPRONER
GUIGUIN Nicolas
98846 NOUMEA
Tel : 25 00 86
BP 3583

Echantillon : 2009/11/E0110

Lieu du prélèvement: Nouméa

Date de début d'analyse : 20/11/2009

Référence Client : 3 B

Nature de l'échantillon : Eau de mer

Date de prélèvement : 20/11/2009

Date de réception : 20/11/2009

Date de fin d'analyse : 20/11/2009

Température à réception : 4 °C

Préleveur : Le client

Analyse	Méthode	Résultat	Unité	Norme	Limite de quantification
<u>Traceur artificiel</u>					
Fluorescéine	Méthode interne	< 1	ppb		1

Remarques :

Nouméa le 23/11/2009
Gaëla MARCHAL
Responsable de laboratoire

Myriam AUBRY
Responsable qualité

Rapport d'analyse 2009/11/R0156

Bon de commande n°
Affaire n°
Devis n°



SOPRONER
GUIGUIN Nicolas
98846 NOUMEA
Tel : 25 00 86
BP 3583

Echantillon : 2009/11/E0111

Date de prélèvement : 20/11/2009

Lieu du prélèvement: Nouméa

Date de réception : 20/11/2009

Date de début d'analyse : 20/11/2009

Date de fin d'analyse : 20/11/2009

Référence Client : 4 B

Température à réception : 4 °C

Nature de l'échantillon : Eau de mer

Préleveur : Le client

Analyse	Méthode	Résultat	Unité	Norme	Limite de quantification
<u>Traceur artificiel</u>					
Fluorescéine	Méthode interne	< 1	ppb		1

Remarques :

Nouméa le 23/11/2009
Gaëla MARCHAL
Responsable de laboratoire

Myriam AUBRY
Responsable qualité

Rapport d'analyse 2009/11/R0157

Bon de commande n°

Affaire n°

Devis n°



SOPRONER
GUIGUIN Nicolas
98846 NOUMEA
Tel : 25 00 86
BP 3583

Echantillon : 2009/11/E0112

Lieu du prélèvement: Nouméa

Date de début d'analyse : 20/11/2009

Référence Client : 1 A

Nature de l'échantillon : Eau de mer

Date de prélèvement : 20/11/2009

Date de réception : 20/11/2009

Date de fin d'analyse : 20/11/2009

Température à réception : 4 °C

Préleveur : Le client

Analyse	Méthode	Résultat	Unité	Norme	Limite de quantification
Traceur artificiel					
Fluorescéine	Méthode interne	537.7	ppb		1

Remarques :

Nouméa le 23/11/2009
Gaëla MARCHAL
Responsable de laboratoire

Myriam AUBRY
Responsable qualité

Rapport d'analyse 2009/11/R0158

Bon de commande n°

Affaire n°

Devis n°



SOPRONER
GUIGUIN Nicolas
98846 NOUMEA
Tel : 25 00 86
BP 3583

Echantillon : 2009/11/E0113

Lieu du prélèvement: Nouméa

Date de début d'analyse : 20/11/2009

Référence Client : 2 A

Nature de l'échantillon : Eau de mer

Date de prélèvement : 20/11/2009

Date de réception : 20/11/2009

Date de fin d'analyse : 20/11/2009

Température à réception : 4 °C

Préleveur : Le client

Analyse	Méthode	Résultat	Unité	Norme	Limite de quantification
Traceur artificiel					
Fluorescéine	Méthode interne	< 1	ppb		1

Remarques :

Nouméa le 23/11/2009
Gaëla MARCHAL
Responsable de laboratoire

Myriam AUBRY
Responsable qualité

Rapport d'analyse 2009/11/R0159

Bon de commande n°
Affaire n°
Devis n°



SOPRONER
GUIGUIN Nicolas
98846 NOUMEA
Tel : 25 00 86
BP 3583

Echantillon : 2009/11/E0114

Date de prélèvement : 20/11/2009

Lieu du prélèvement: Nouméa

Date de réception : 20/11/2009

Date de début d'analyse : 20/11/2009

Date de fin d'analyse : 20/11/2009

Référence Client : 3 A

Température à réception : 4 °C

Nature de l'échantillon : Eau de mer

Préleveur : Le client

Analyse	Méthode	Résultat	Unité	Norme	Limite de quantification
<u>Traceur artificiel</u>					
Fluorescéine	Méthode interne	< 1	ppb		1

Remarques :

Nouméa le 23/11/2009
Gaëla MARCHAL
Responsable de laboratoire

Myriam AUBRY
Responsable qualité

Rapport d'analyse 2009/11/R0160

Bon de commande n°

Affaire n°

Devis n°



SOPRONER
GUIGUIN Nicolas
98846 NOUMEA
Tel : 25 00 86
BP 3583

Echantillon : 2009/11/E0115

Lieu du prélèvement: Nouméa

Date de début d'analyse : 20/11/2009

Référence Client : 4 A

Nature de l'échantillon : Eau de mer

Date de prélèvement : 20/11/2009

Date de réception : 20/11/2009

Date de fin d'analyse : 20/11/2009

Température à réception : 4 °C

Préleveur : Le client

Analyse	Méthode	Résultat	Unité	Norme	Limite de quantification
<u>Traceur artificiel</u>					
Fluorescéine	Méthode interne	< 1	ppb		1

Remarques :

Nouméa le 23/11/2009
Gaëla MARCHAL
Responsable de laboratoire

Myriam AUBRY
Responsable qualité

Rapport d'analyse 2009/11/R0161

Bon de commande n°
Affaire n°
Devis n°



SOPRONER
GUIGUIN Nicolas
98846 NOUMEA
Tel : 25 00 86
BP 3583

Echantillon : 2009/11/E0116

Date de prélèvement : 20/11/2009

Lieu du prélèvement: Nouméa

Date de réception : 20/11/2009

Date de début d'analyse : 20/11/2009

Date de fin d'analyse : 20/11/2009

Référence Client : 5 A

Température à réception : 4 °C

Nature de l'échantillon : Eau de mer

Préleveur : Le client

Analyse	Méthode	Résultat	Unité	Norme	Limite de quantification
<u>Traceur artificiel</u>					
Fluorescéine	Méthode interne	< 1	ppb		1

Remarques :

Nouméa le 23/11/2009
Gaëla MARCHAL
Responsable de laboratoire

Myriam AUBRY
Responsable qualité

Rapport d'analyse 2009/11/R0162

Bon de commande n°
Affaire n°
Devis n°



SOPRONER
GUIGUIN Nicolas
98846 NOUMEA
Tel : 25 00 86
BP 3583

Echantillon : 2009/11/E0117

Date de prélèvement : 20/11/2009

Lieu du prélèvement: Nouméa

Date de réception : 20/11/2009

Date de début d'analyse : 20/11/2009

Date de fin d'analyse : 20/11/2009

Référence Client : 6 A

Température à réception : 4 °C

Nature de l'échantillon : Eau de mer

Préleveur : Le client

Analyse	Méthode	Résultat	Unité	Norme	Limite de quantification
<u>Traceur artificiel</u>					
Fluorescéine	Méthode interne	< 1	ppb		1

Remarques :

Nouméa le 23/11/2009
Gaëla MARCHAL
Responsable de laboratoire

Myriam AUBRY
Responsable qualité