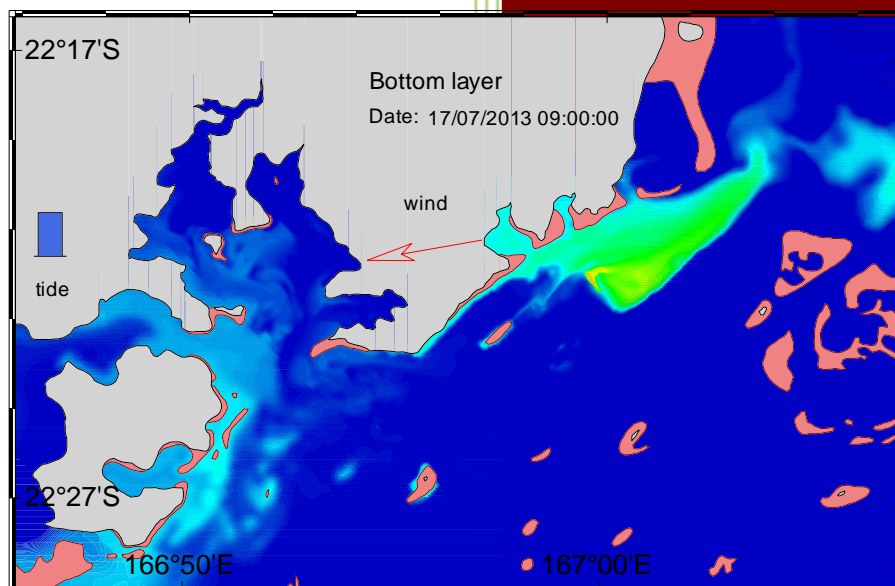


# MODELISATION DE LA DILUTION DES EFFLUENTS DE VALE-NC EN CONDITIONS REELLES ET UN DEBIT DE 2900 M<sup>3</sup>/H



14 mars 2015  
Rapport intermédiaire

*Photos de couverture AEL : carte de dispersion des effluents de Vale-NC dans le Canal de la Havannah. Calculs conduits avec le code MARS-3D.*

# CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL - LEA

---

Convention n° 040-VI-15-P

***Modélisation de la dilution des effluents de Vale-NC  
en conditions réelles et un Débit de 2900 m<sup>3</sup>/h***

Jean Michel FERNANDEZ

Marion DROUZY

Pascal DOUILLET

	<b>N/Ref</b>	<b>V/Ref</b>	
<b>Identification</b>	040-VI-15-P	E76974/0001	
<b>Titre complet</b>	Modélisation de la dilution des effluents de Vale-NC en conditions réelles et un Débit de 2900 m3/h		
<b>Auteurs</b>	Jean Michel Fernandez JM, Marion Drouzy et Pascal Douillet		
<b>Résumé</b>			
<b>APPROBATION</b>			
<b>FONCTION</b>	<b>NOMS</b>	<b>VISA</b>	<b>DATE</b>
Rédacteur	FERNANDEZ JM		14/03/2015
Vérificateur 1			
Vérificateur 2			
Approbateur(s)			
<b>EVOLUTION</b>			
<b>VERSION</b>	<b>DESCRIPTION DES MISES A JOUR</b>		<b>DATE</b>
V1.0	Rapport provisoire		14/03/2015
<b>COPIE - DIFFUSION</b>			
<b>NOM</b>	<b>ORGANISME</b>		
David TURK Nicolas TAN DELAGE	Vale-NC / Département Environnement		

Ce rapport est cité comme suit :

# TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION .....	7
2	OBJECTIFS.....	9
3	METHODOLOGIE .....	11
3.1	CONDITIONS AUX LIMITES .....	12
3.2	PARAMETRISATION DE LA SIMULATION DES REJETS.....	12
3.3	FORÇAGE ATMOPHERIQUE ET HYDRODYNAMIQUE .....	14
3.3.1	Caractéristiques hydro-climatiques de juillet 2013.....	14
3.3.2	Caractéristiques hydro-climatiques d’octobre 2013 .....	15
4	RESULTATS-DISCUSSION .....	17
4.1	SIMULATION POUR LE MOIS DE JUILLET 2013.....	17
4.1.1	Facteurs de dilution pour la couche K2 .....	17
4.1.2	Facteurs de dilution pour la couche K3 .....	19
4.1.3	Facteurs de dilution pour la couche K15 .....	20
4.2	SIMULATION POUR LE MOIS D’OCTOBRE 2013 .....	22
4.3	OCCURRENCE DES MINIMAS DE DILUTION .....	22
4.3.1	Taux de dilution inférieurs à 1000.....	22
4.3.2	Taux de dilution inférieurs à 5000.....	24
5	CONCLUSION.....	25
5.1	COUCHE K2.....	25
5.2	COUCHE K3.....	25
5.3	COUCHE K15.....	26
	REFERENCES .....	28
	LISTE DES FIGURES .....	29
	LISTE DES TABLEAUX .....	30
	LISTE DES ANNEXES .....	31



# 1 INTRODUCTION

La société minière VALE Nouvelle-Calédonie, implantée au sud de la Grande Terre, procède à l'extraction du Nickel par hydrométallurgie. Cette technique engendre d'importants volumes d'effluents dus au procédé industriel augmentés par les eaux pluviales de ruissellement captées sur de nombreuses aires du site. Ces résidus liquides contiennent des métaux sous formes dissoutes et des matières en suspension. Après traitement, ces résidus constituent la majeure partie de l'effluent liquide qui est véhiculé par un émissaire marin jusqu'au diffuseur où il est dispersé dans le Canal de la Havannah (Figure 1).

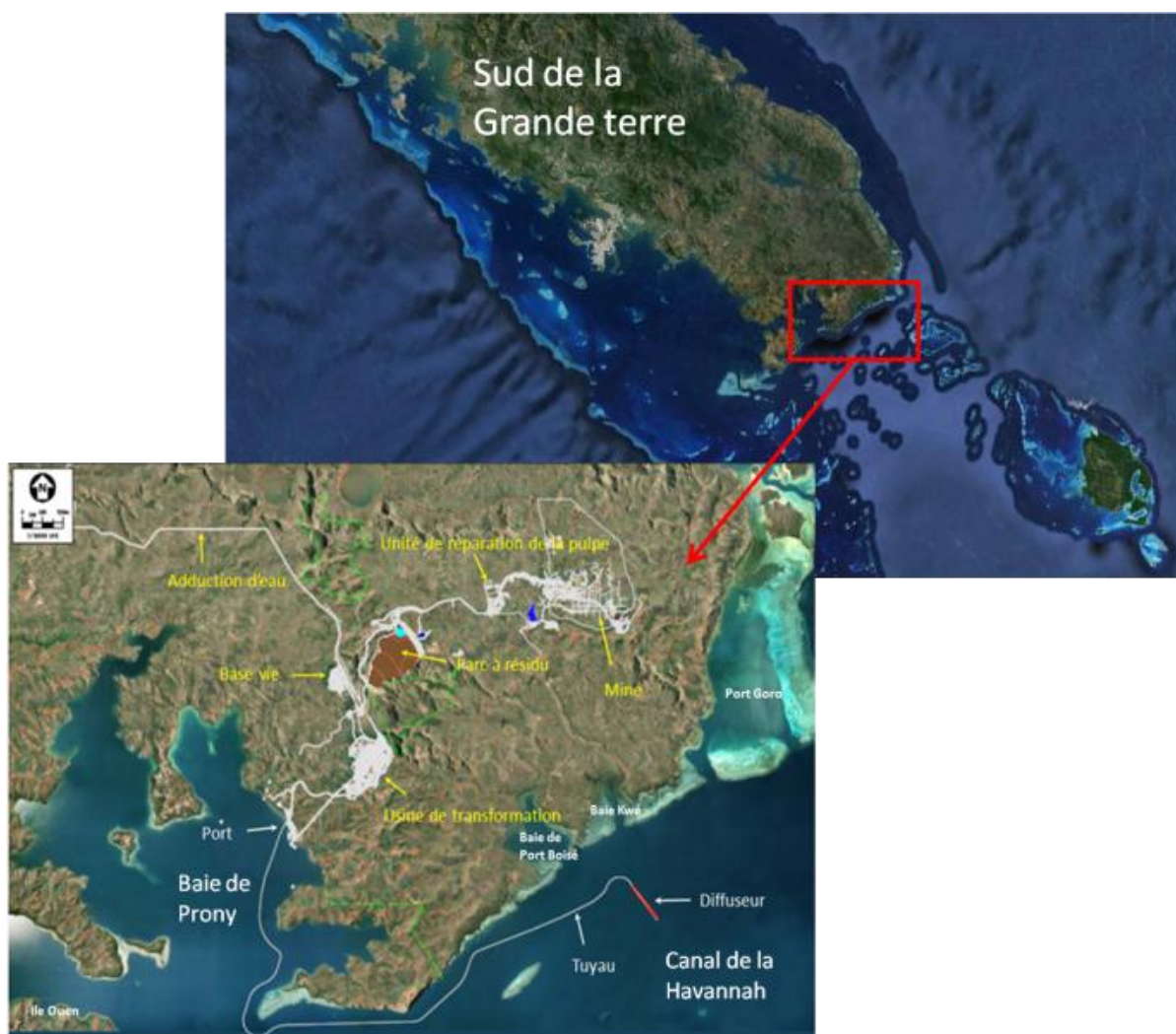


Figure 1: carte de la zone d'étude, incluant le site de l'usine VALE et le tracé de l'émissaire et l'emplacement du diffuseur.

Le lundi 11 novembre 2013, un tronçon du tuyau connecté au diffuseur a été aperçu en surface dans le Canal de la Havannah suite à une rupture dans la ligne en deux points. Consécutivement à cet accident, la décision d'un nouveau tracé pour le tuyau et l'amélioration du dispositif de dégazage de l'air emprisonné dans le tuyau ont été décidés.

Ces modifications conceptuelles ont conduit vers une nouvelle phase de modélisation incluant des conditions de rejet différant des initiales pour simuler le comportement des écoulements d'effluent sortant du diffuseur.

La question qui se pose alors est de savoir quelles seront les conséquences en termes d'évolutions spatiale et temporelle des facteurs de dilution compte tenu de la limite (5000) admise permettant de confondre la composition de l'effluent avec celle du milieu naturel (Fernandez et al., 2009).

Pour répondre le modèle MARS-3D de l'Ifremer est une nouvelle fois mis en œuvre. En effet, ce modèle a déjà été implémenté dans les lagons sud-ouest et sud de Nouvelle-Calédonie et a permis de dresser des atlas de courants prenant en compte l'ensemble des conditions hydro-climatiques régnautes (Douillet, 2001 ; Derex et al, 2008). Pour répondre à certaines problématiques, ces calculs ont ensuite été repris pour simuler le transport des matières dissoutes et particulaires dans l'objectif de déduire les aires de dilution ou les zones de premier dépôt dans le Canal de la Havannah et dans la Baie du Prony (Derex et Douillet, 2008 ; Douillet et Fernandez, 2009 ; Fernandez et al, 2009).

La version du modèle jusqu'à présent utilisée est la version 8.19, depuis janvier 2014, l'Ifremer propose une version améliorée de son modèle, la version 10.3. Le modèle hydrodynamique utilisé lors des précédentes études, a donc subi une mise à jour en novembre 2014 pour répondre à la nouvelle problématique. Cette réactualisation a été accompagnée par un raffinement de la maille de calcul passant à 60 et 180 m pour l'ensemble du secteur d'intérêt.



## 2 OBJECTIFS

L'étude a pour objectif une expertise en modélisation hydrodynamique afin de fournir :

- Une simulation réaliste des phénomènes de dilution des rejets en sortie du diffuseur dans le Canal de la Havannah. Cette phase prend en considération un jeu de conditions hydro-climatiques réelles dont le choix se porte sur les mois de juillet et octobre 2013 qui sont représentatives de la climatologie en Nouvelle-Calédonie. Les calculs prennent en compte :
  - Les 200 orifices constituant le diffuseur dont les positions (latitudes, longitudes) et les profondeurs sont fournies par Vale-NC ;
  - Les calculs de dispersion des rejets par ces 200 orifices.
- Une représentation de l'évolution temporelle du facteur de dilution en sortie des orifices du diffuseur au fond (couche k2), à proximité du fond (couche k3) et à mi-profondeur (couche k15) pour les deux périodes météorologiques considérées (juillet et octobre 2013) et les deux radiales passant les extrémités du diffuseur (points C37 et C39) plus le point médian (point C38) ( ) ;
- La construction d'un jeu de cartes 2D horizontales (couches du fond et à mi-profondeur) des facteurs de dilution, les sorties de calculs s'effectuant toutes les 20 minutes pour les 2 périodes considérées et tout le domaine du Canal de la Havannah. Les indications de marée et de vent viendront compléter le jeu de cartes.
- À partir de ces jeux de cartes, des animations sur le plan horizontal seront réalisées, ainsi que sur les plans verticaux à l'aplomb des stations les plus représentatives (180, 360 et 1000 m), le cas échéant.

La version du code de calcul utilisée (V-10.3) pour la présente étude comporte 3 grilles « nesting<sup>1</sup> » de 540 mètres, 180 mètres et 60 mètres. La troisième grille, à 60 mètres, englobe le port de commerce de l'usine, la Rade Nord et le Canal de la Havannah.

Les simulations du transport des matières dissoutes de l'effluent via le diffuseur sont donc réalisées à haute résolution.

**Note :** *Seuls les résultats d'intérêt sont traités et illustrés dans ce document. Il s'agit des données concernant les 18 stations de suivi temporel et les représentations cartographiques 2D de 3 couches d'eau (k2, k3 et k15) du modèle ; les résultats décrivent donc l'évolution des taux de dilution en 3 couches : au contact du diffuseur, immédiatement*

---

<sup>1</sup> Le modèle MARS 3D permet d'imbriquer automatiquement des modèles les uns dans les autres. Cette technique appelée en anglais « Nesting » permet de raffiner la modélisation dans une zone sans avoir à le faire sur toute la zone d'étude. La librairie utilisée pour cela est la librairie AGRIF (Adaptive Grid Refinement In Fortran) développée par l'Unité de recherche INRIA Rhône-Alpes à Grenoble. Elle permet de pratiquer du « Two ways », ce qui consiste à échanger des informations dans les 2 directions entre les modèles. Le principe général de cette méthode est que le modèle mère fournit les informations nécessaires au fonctionnement du modèle fils, en retour celui-ci fournit aussi des informations au modèle mère. Le modèle mère fournit par exemple les conditions limites au modèle d'emprise inférieure, en retour, par exemple, les concentrations calculées par le modèle de plus petite emprise sont re-projetées sur le modèle plus grand.

*au-dessus de celui-ci et à mi-profondeur. Toutefois, toutes les données issues des calculs concernant l'ensemble de la zone modélisée pour les deux périodes de temps (juillet et août) sont disponibles sur simple à AEL.*

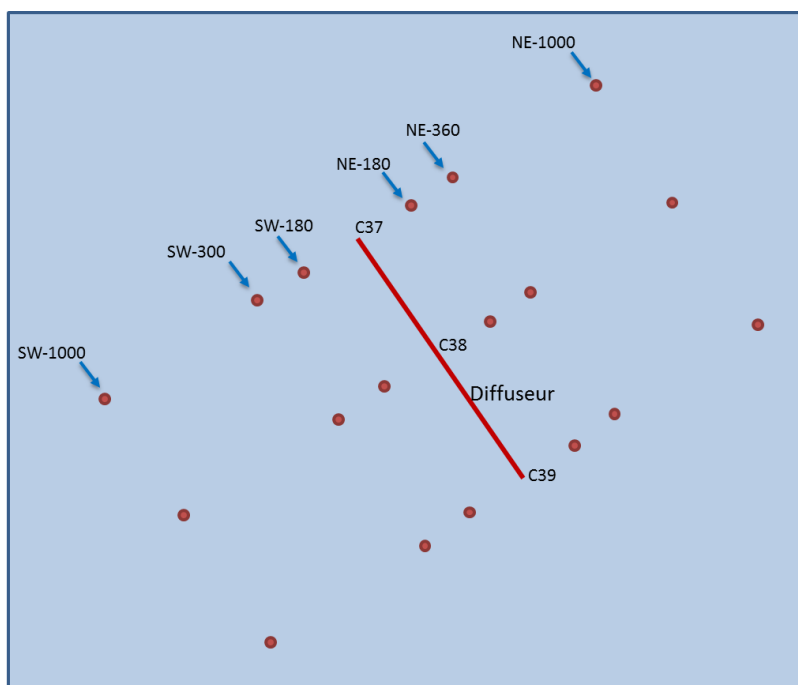


Figure 2 : Disposition des 18 stations d'évaluation temporelle des taux de dilution simulés selon 3 radiales parallèles passant par les 3 points de jonction C37, C38 et C39 du diffuseur. Calculs conduits pour les périodes de juillet et d'octobre 2013, les résultats concernent les couches k2, k3 et k15 du modèle (« coordonnées sigmas »).

## 3 METHODOLOGIE

Le modèle MARS-3D mis à jour en novembre 2014, permet de reproduire avec une meilleure précision les conditions courantométriques et les processus hydrosédimentaires dans la zone d'étude. Dans cet objectif, le module « AGRIF » a été mis en place dans la résolution du modèle, effectuant dans la grille usuelle de 540 mètre un premier zoom à 180 m suivi d'un second à 60 m, couvrant la zone d'intérêt.

La configuration du modèle utilisé comporte donc trois grilles de tailles différentes, imbriquées les unes dans les autres et interagissant (Figure 3). La troisième grille, à 60 mètres, englobera le port de commerce de l'usine, la Rade Nord, et l'ensemble de l'émissaire.

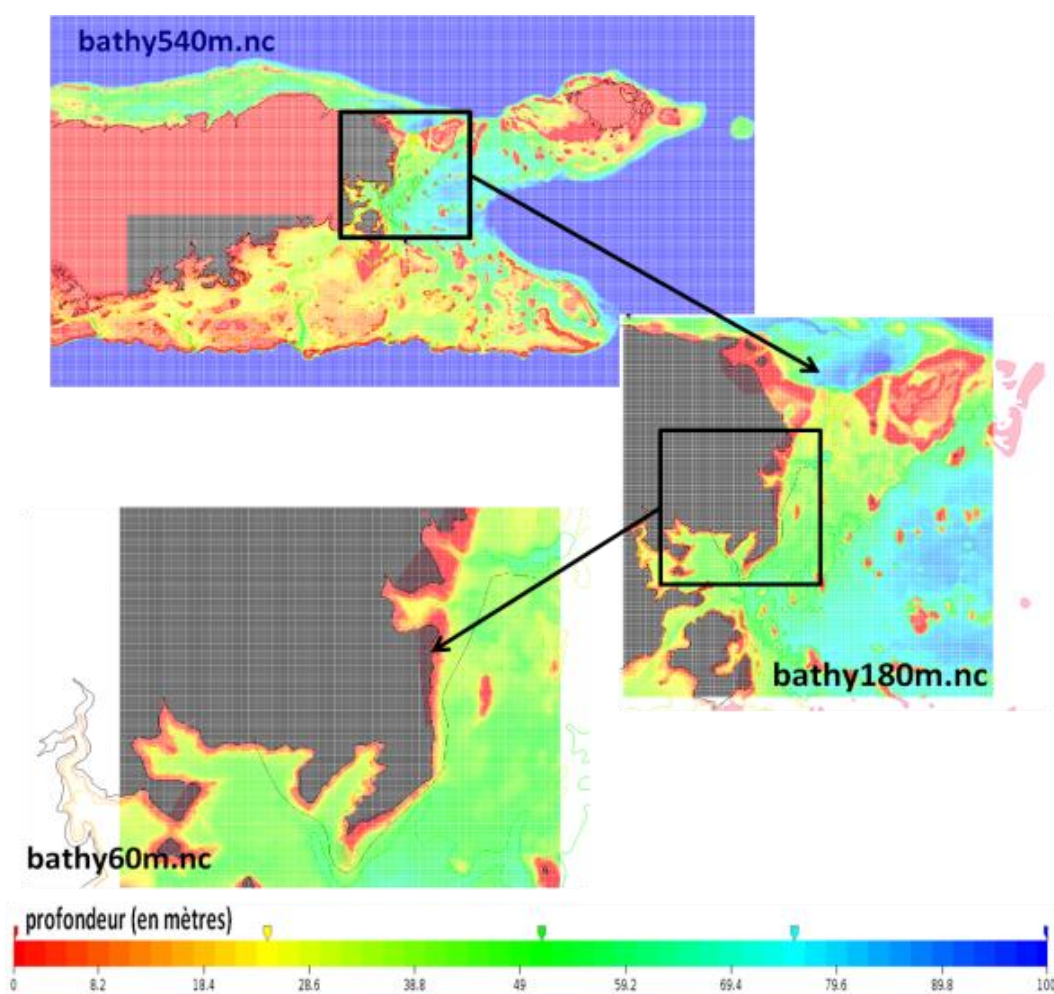


Figure 3: Imbrication des maillages à 540 m, à 180 m et à 60 m les unes dans les autres (« nesting »).

### 3.1 CONDITIONS AUX LIMITES

Avant de lancer les simulations sur les périodes désirées, il est nécessaire de renseigner le modèle sur un certain nombre de variables telles que la marée, les flux de chaleurs, les précipitations, les débits d'eau douce apportées par les rivières (le cas échéant), la direction et la force du vent. La valeur de ces paramètres peuvent résulter de données réelles enregistrées sur la période de temps (ex. : stations météorologiques) ou bien issues d'autres modèles opérationnels de plus grandes ampleurs (ex. : WRF). Dans cette étude le paramétrage est le suivant :

- Les conditions de marées étudiées sont les mêmes que celles utilisées dans les études précédentes (ondes M2, K2, O1, K1, N2). Les données proviennent du modèle global de marée TPX07 ;
- Les vents appliqués pendant les simulations sont ceux enregistrés à la station météorologique AEL installée sur la balise loro sur le laps de temps retenu (dans notre cas, juillet et octobre 2013 qui peuvent être considérés comme des périodes types d'un point de vue climatique) ;
- Les flux de chaleurs à l'interface air/mer sont calculés par le modèle WRF à partir des valeurs moyennes des années 2007 à 2012 pour le sud de la Nouvelle-Calédonie ;
- Les conditions initiales fournies au modèle ainsi que les conditions aux frontières ouvertes (température, salinité, hauteur d'eau et vitesses des courants) sont extraites du modèle global HYCOM (Consortium for Data Assimilative Ocean Modeling) ;
- Les apports d'eaux douces par les principales rivières à proximité de la zone d'étude et pouvant avoir une influence sur la stratification du milieu sont prises en compte s'il y a lieu. Dans notre cas de figure aucune source n'a été intégrée au vu de leur éloignement, la plus importante étant l'embouchure de la Kwé distante de 2,4 km du diffuseur et l'expansion de ses eaux douces n'affectant que la couche de surface pour des raisons de plus faible densité que l'eau de mer ;
- Le modèle de turbulence utilisé pour les calculs de simulation de la dispersion de l'effluent est le modèle amélioré K-epsilon. Les conditions aux limites sont issues du modèle global HYCOM ;
- Le modèle MARS-3D fonctionne avec un système de « coordonnées sigma » généralisées, divisant en 30 couches l'échelle verticale (K1 à K30). Ce système permet d'adapter les mailles du modèle en fonction du relief sous-marin, mais l'épaisseur d'une même couche change donc spatialement (Figure 4).

### 3.2 PARAMETRISATION DE LA SIMULATION DES REJETS

L'émissaire de VALE-NC (Figure 1) débouche dans le Canal de la Havannah par une quarantaine de mètres de profondeur où un diffuseur (Figure 5) permet à l'effluent de s'écouler. Le but de cette étude a été de reproduire, dans des conditions météorologiques réelles et pour des périodes types d'un point de vue hydro-climatique, le transport et la dilution des matières dissoutes sortant par les 200 orifices constituant le diffuseur.

L'emplacement en coordonnées géographiques (WGS84) de chaque orifice est converti en coordonnées  $(i,j)$  de maille, grâce à une routine créée spécifiquement à cet effet. Les coordonnées de chaque orifice sont identiques à celles employées pour les modélisations antérieures (Derex et al., 2008).

Tous les orifices sont modélisés dans la couche verticale K2 (couche « sigma de fond »). Les rejets liquides sont traduits par un apport d'eau douce dont les débits déversés par chacun des 200 orifices sont supposés équivalents<sup>2</sup> ( $2900/200/3600=0,004028 \text{ m}^3/\text{s}$ ) à des fins de simplification du système.

<sup>2</sup> La prise en compte de la diminution des débits le long du diffuseur en raison des pertes de charges linéaires a son importance car les débits les plus forts sont situés en tête du diffuseur, donc les plus proches de la côte (pointe Puka, Port Boisé). Pour une meilleure estimation des

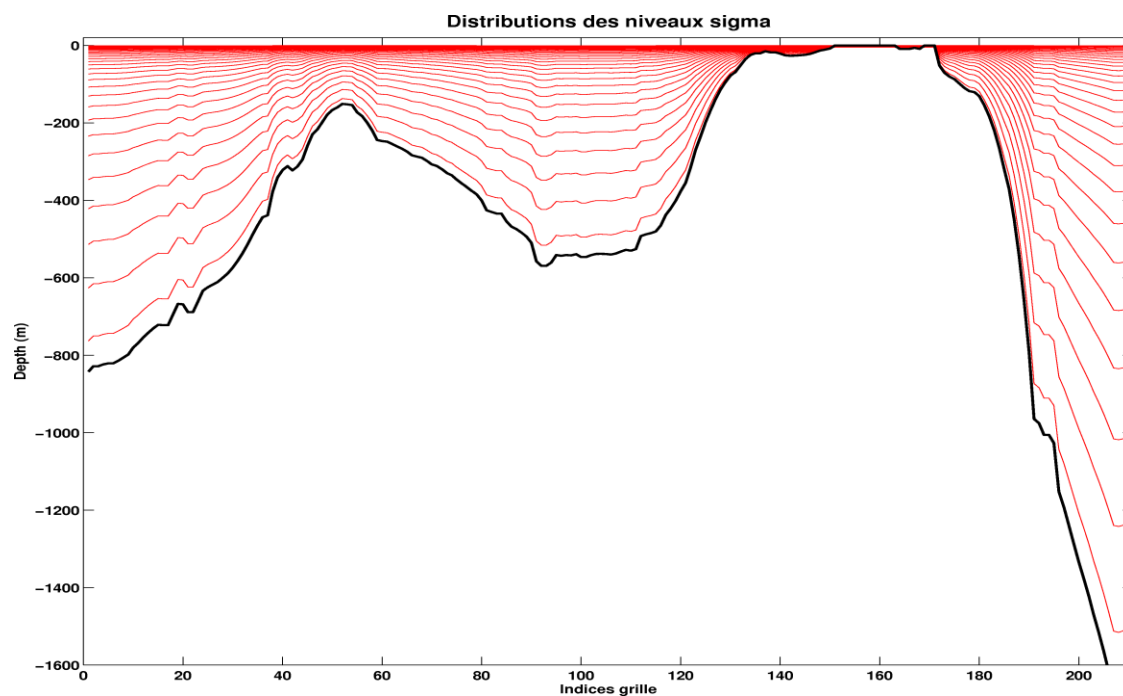


Figure 4 : Illustration des couches  $K_n$  en coordonnées sigmas, variant en fonction de la bathymétrie.

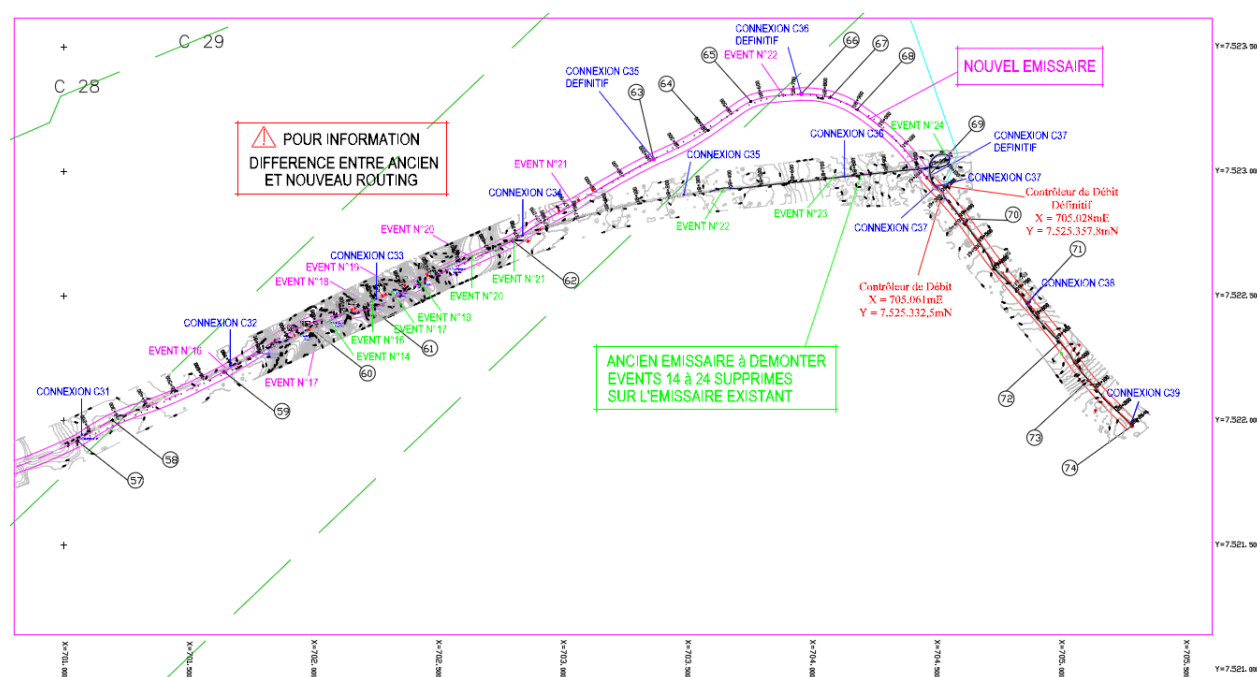


Figure 5 : Positionnement du diffuseur et tracé du nouvel émissaire.

phénomènes de dispersion globaux de nouveaux calculs devraient donc intégrer cette variable (débit moyen au premier orifice n°17 =  $0,005113 \text{ m}^3/\text{s}$  débit moyen au dernier orifice n°216 =  $0,003457 \text{ m}^3/\text{s}$ ) en associant également l'ensemble des pertes d'effluent par les 16 événements percés le long du tuyau.

En résumé, la paramétrisation des conditions du rejet simulé qui ont été prises en compte, sont les suivantes :

- Débit maximum nominal de l'effluent : 2900 m<sup>3</sup>/h ;
- Concentration en élément trace pour le calcul des taux de dilution : 1 mg/L ;
- Densité de l'effluent : 1001 (modélisation géochimique MetSim réalisée par Vale (Goro-Ni)) ;
- Nombre d'orifices de sortie dans le diffuseur : 200 distants de 5 m (numéro 17 à 216) ;
- Hypothèse simplificatrice de débit par orifice : équivalent et égal à 2900/200 = 14,5 m<sup>3</sup>/h.
- Périodes de rejets simulés : 01-31 juillet 2013 et 01-30 Octobre 2013 ;
- Mouvements de marées : 01-31 juillet 2013 et 01-30 octobre 2013 ;
- Enregistrements météorologiques réels (directions et vitesses horaires des vents) à la station météorologique AEL installée sur la balise loro : 01-31 juillet et 01-30 octobre 2013.

### 3.3 FORÇAGE ATMOPHERIQUE ET HYDRODYNAMIQUE

Les vents et la marée constituent les principaux forçages physiques sur l'hydrodynamique du lagon, conditionnant ainsi fortement les courants (Jouon et al., 2006). Les valeurs de vitesse et de direction de vent utilisées pour les simulations sont celles récoltées à la station météorologique d'Ioro pour les périodes considérées. Ces valeurs locales sont élargies à tout le domaine de modélisation.

#### 3.3.1 Caractéristiques hydro-climatiques de juillet 2013

Les mesures indiquent, début juillet (Figure 6), un fort épisode de vent de nord-est (70°) atteignant 14 m/s, tournant nNord autour du 04/07. C'est ensuite une prédominance du régime des alizés (115°~120°), de vitesse variant entre 4 et 12 m/s, entrecoupés d'épisode venteux du nord, bien moins intenses (2 à 4 m/s).

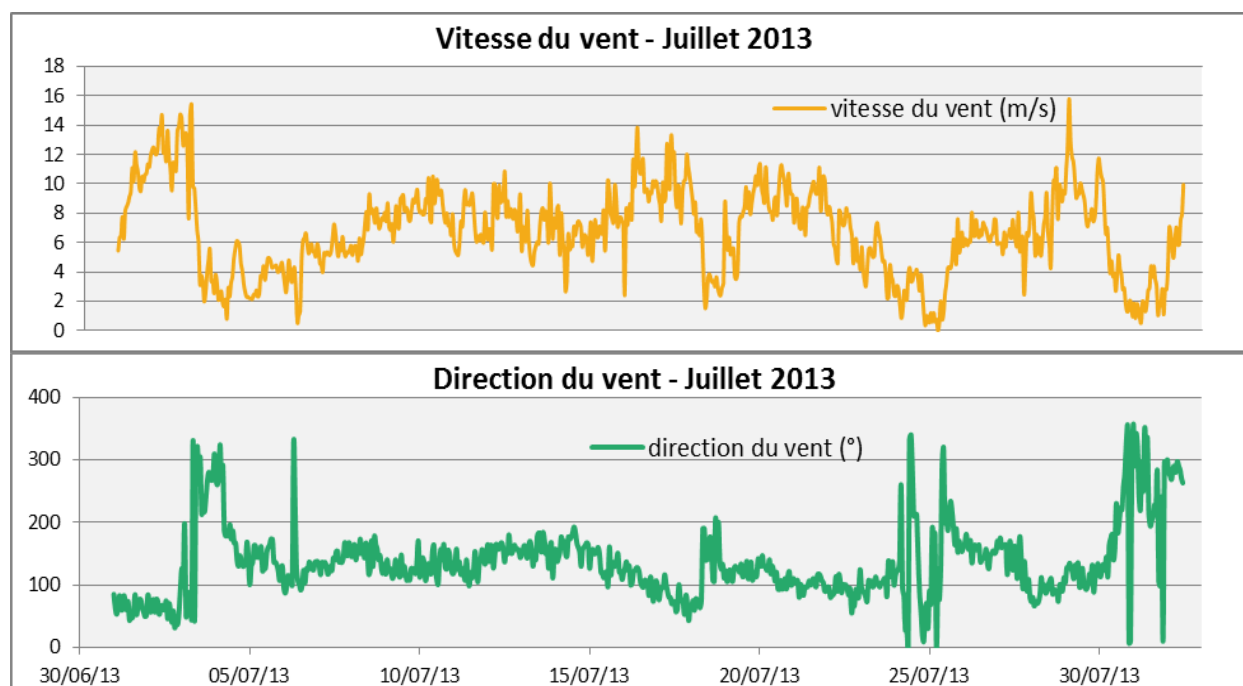


Figure 6 : Vitesse et direction du vent enregistré à la station AEL installée sur la balise loro en Juillet 2013.

La Figure 7 représente les hauteurs d'eau calculées par le modèle, au large de la pointe de la Concession. Elle permet d'isoler les périodes de vives eaux et de mortes eaux.

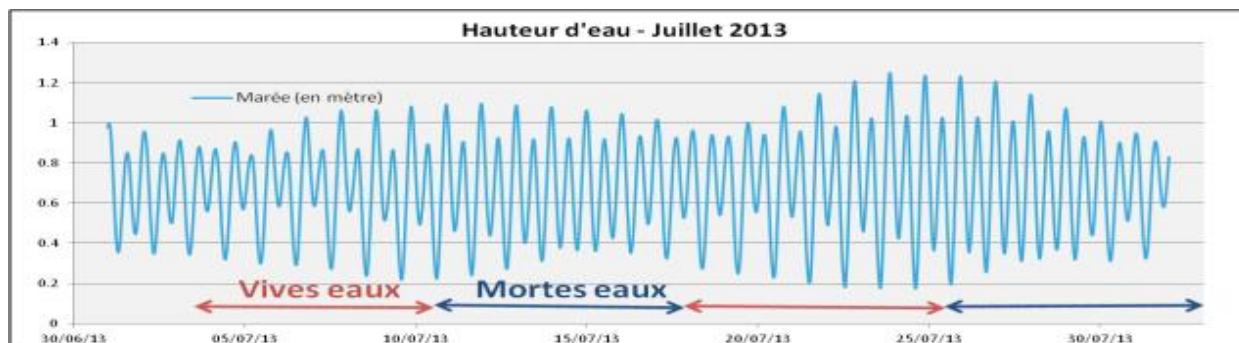


Figure 7: Cycle de marée (hauteur d'eau) calculée par le modèle sur la période de juillet 2013.

### 3.3.2 Caractéristiques hydro-climatiques d'octobre 2013

Durant le mois d'octobre 2013, les vents enregistrés à la station météorologique AEL de la balise Ioro présentent d'importantes variations de vitesses et de directions (Figure 8). Les alizés entre 2 et 8 m/s de début de mois tournent nord puis nord-ouest à partir du 05/10. L'intensité du vent oscille de manière journalière entre 0 et 10 m/s durant cette première quinzaine d'octobre. Après le 15/10, le régime dominant s'oriente vers un alizé constant pouvant être soutenu de 6 à 12 m/s. Un courant de sud moins rapide (entre 4 et 8 m/s) est enregistré entre le 26 et le 28/10.

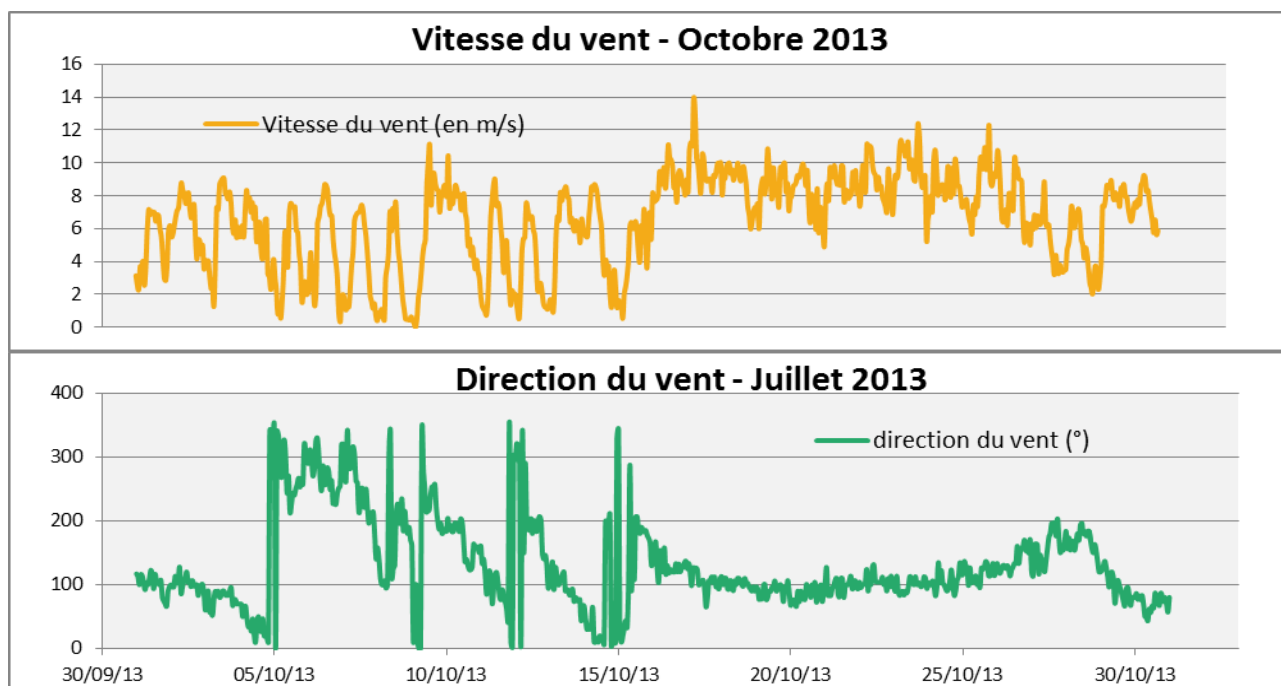


Figure 8: vitesses et directions de vent enregistrées à la station d'Ioro en octobre 2013

La Figure 9 illustre les variations diurnes de la hauteur d'eau dans le domaine de modélisation en octobre 2013, ainsi que les cycles de marées de « vive eau » et de « morte eau ».



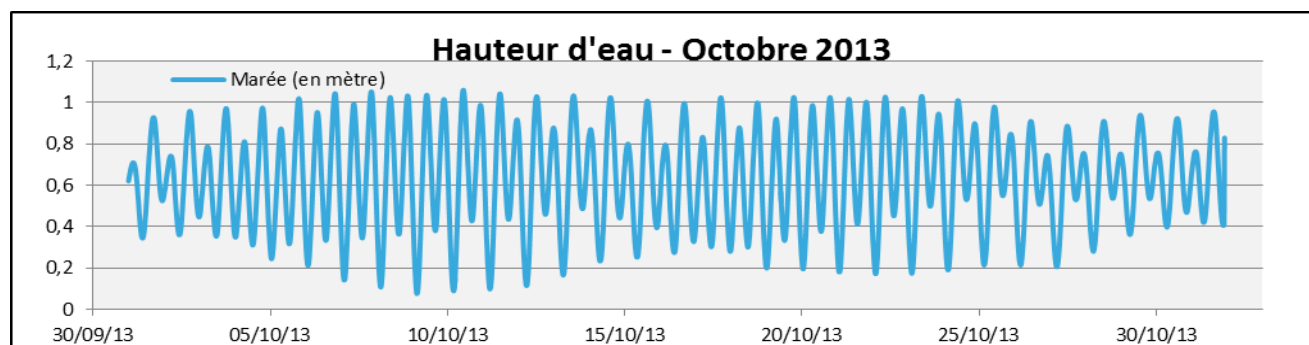


Figure 9: Hauteur d'eau calculée par le modèle au large de la Pointe de Concession.



## 4 RESULTATS-DISCUSSION

Tous les résultats de calculs, graphiques et cartes sont regroupés en Annexe.

### 4.1 SIMULATION POUR LE MOIS DE JUILLET 2013

#### 4.1.1 Facteurs de dilution pour la couche K2

Les 21 figures ci-dessous permettent le suivi temporel du taux de dilution des rejets simulés par le modèle dans la couche k2. Les données concernent la sortie directe de l'émissaire, puis des stations distantes de 180 m, 360 m et 1000 m de part et d'autre du diffuseur.

Les taux de dilution sont exprimés selon 3 axes perpendiculaires au diffuseur (et au courant) passant, d'une part, au niveau des 2 extrémités du diffuseur (points de jonction C37 et C39) et par le centre de celui-ci (point de jonction médian C38).

Le taux de dilution calculé dans la couche de fond (k2) du modèle correspond à la tranche d'eau approximativement comprise entre 1,3 et 3,0 m au-dessus du fond.

##### 4.1.1.1 Radiale C37 (extrémité nord du diffuseur)

Pour la couche k2, le Tableau 1 montre que les taux de dilution minimale rencontrés le long de cette radiale sont compris entre 99 et 508. La valeur la plus faible correspond à l'aplomb du diffuseur tandis que la plus forte se situe à 360 m au nord-est du diffuseur (station StNE360).

Les minimas les plus élevés sont localisés dans le secteur nord-est de la radiale.

Les calculs montrent à l'évidence que l'évolution des taux de dilution est influencée par l'alternance des marées de vives et de mortes eaux. En effet, les taux moyen augmentent cycliquement, d'abord jusqu'au 9 juillet, puis du 15 au 22 et enfin à partir 31 juillet. Cette périodicité est particulièrement visible au niveau du diffuseur et à la distance de 180 m au sud-ouest de celui-ci (station StSW180).

**Note :** le taux de dilution ne suit pas une fonction croissante continue avec la distance au terme source. En effet, le forçage hydro-climatique et la morphologie de la côte conduisent à la mise en place de dynamiques localisées et temporaires propres à chacune des 18 stations simulées.

Tableau 1 : Valeurs minimales calculées des taux de dilution au niveau de la couche k2 pour la radiale passant par le point de jonction C37.

Point de jonction	Couche sigma	Tranche d'eau moyenne (m)	Secteur sud-ouest			Diffuseur	Secteur nord-est		
			Taux à 1000m	Taux à 360m	Taux à 180m	Taux à la verticale diffuseur	Taux à 180m	Taux à 360m	Taux à 1000m
C37	k2	1,3-2,6	308	208	211	99	347	508	339

#### 4.1.1.2 Radiale C38 (centre du diffuseur)

Pour la couche k2, le Tableau 2 montre que les taux de dilution minimale rencontrés le long de cette deuxième radiale sont compris entre 74 et 335. La valeur la plus faible correspond à l'aplomb du diffuseur tandis que la plus forte se situe à 360 m mais aussi à 1000 m au sud-ouest du diffuseur (stations StSW360 et StSW1000).

Les minimas les plus élevés sont localisés dans le secteur sud-ouest de la radiale.

Bien que moins marqués de manière générale, les calculs montrent que l'évolution des taux de dilution est influencée par l'alternance des marées de vives et de mortes eaux. Comme précédemment, les taux moyens augmentent cycliquement, d'abord jusqu'au 9 juillet, puis du 15 au 22 et enfin à partir 31 juillet. Au niveau de cette radiale exposée aux courants du large, cette périodicité est particulièrement bien visible au niveau du diffuseur mais également à la distance de 180 m de part et d'autre de celui-ci et de manière un peu plus atténuée sur les autres stations modélisées.

Tableau 2 : Valeurs minimales calculées des taux de dilution au niveau de la couche k2 pour la radiale passant par le point de jonction C38.

Point de jonction	Couche sigma	Tranche d'eau moyenne (m)	Secteur sud-ouest			Diffuseur	Secteur nord-est		
			Taux à 1000m	Taux à 360m	Taux à 180m	Taux à la verticale diffuseur	Taux à 180m	Taux à 360m	Taux à 1000m
C38	K2	1,2-2,4	335	335	159	74	157	187	314

#### 4.1.1.3 Radiale C39 (extrémité sud du diffuseur)

Pour la couche k2, le Tableau 3 montre que les taux de dilution minimale rencontrés le long de cette troisième radiale sont compris entre 51 et 309. La valeur la plus faible correspond à l'aplomb du diffuseur tandis que la plus forte se situe à 1000 m au nord-est du diffuseur (station StNE1000).

Les minimas ne montrent pas distribution particulière entre les secteurs nord-est et sud-ouest de la radiale.

Globalement, les calculs ne montrent pas clairement d'influence des cycles de marées de vives et de mortes eaux. Au niveau de cette radiale la plus exposée aux courants du large, la périodicité est particulièrement bien mise en évidence au niveau du diffuseur ; comme précédemment, les taux moyens augmentent cycliquement, d'abord jusqu'au 9 juillet, puis du 15 au 22 et enfin à partir 31 juillet.

Tableau 3 : Valeurs minimales calculées des taux de dilution au niveau de la couche k2 pour la radiale passant par le point de jonction C39.

Point de jonction	Couche sigma	Tranche d'eau moyenne (m)	Secteur sud-ouest			Diffuseur	Secteur nord-est		
			Taux à 1000m	Taux à 360m	Taux à 180m	Taux à la verticale diffuseur	Taux à 180m	Taux à 360m	Taux à 1000m
C39	K2	1,5-3,0	223	177	169	51	95	136	309

#### 4.1.2 Facteurs de dilution pour la couche K3

Les 21 figures ci-dessous permettent le suivi temporel du taux de dilution des rejets simulés par le modèle dans la couche k3. Les données concernent la sortie directe de l'émissaire, puis des stations distantes de 180 m, 360 m et 1000 m de part et d'autre du diffuseur.

Les taux de dilution sont exprimés selon 3 axes perpendiculaires au diffuseur (et au courant) passant, d'une part, au niveau des 2 extrémités du diffuseur (points de jonction C37 et C39) et par le centre de celui-ci (point de jonction médian C38).

Le taux de dilution calculé dans la couche de fond (k3) du modèle correspond à la tranche d'eau approximativement comprise entre 2,6 et 4,5 m au-dessus du fond.

##### 4.1.2.1 Radiale C37 (extrémité nord du diffuseur)

Pour la couche k3, le Tableau 4 montre que les taux de dilution minimale rencontrés le long de cette radiale sont compris entre 247 et 753. La valeur la plus faible correspond à l'aplomb du diffuseur tandis que la plus forte se situe à 360 m au nord-est du diffuseur (station StNE360).

Les minimas les plus élevés sont localisés dans le secteur nord-est de la radiale.

Les calculs montrent, de manière moins évidente que dans la couche k2, que l'évolution des taux de dilution est influencée par l'alternance des marées de vives et de mortes eaux. En effet, les taux moyen augmentent cycliquement, d'abord jusqu'au 9 juillet, puis du 15 au 22 et enfin à partir 31 juillet. Cette périodicité est particulièrement visible dans le secteur sud-ouest de la radiale C37 au niveau des stations de simulation StSW180 et StSW360 distantes respectivement de 180 et 360 m du diffuseur.

Par rapport à la couche k2, les taux de dilution minimale sont tous plus élevés en k3, la plus forte progression concerne le voisinage immédiat du diffuseur dont le facteur est multiplié par 2,5.

**Note :** En accord avec les résultats observés pour la couche k2 pour cette radiale, le taux de dilution ne suit pas une fonction croissante et continue avec la distance au terme source. En effet, le forçage hydro-climatique et la morphologie de la côte conduisent à la mise en place de dynamiques localisées et temporaires propres à chacune des 18 stations simulées.

Tableau 4 : Valeurs minimales calculées des taux de dilution au niveau de la couche k3 pour la radiale passant par le point de jonction C37.

Point de jonction	Couche sigma	Tranche d'eau moyenne (m)	Secteur sud-ouest			Diffuseur	Secteur nord-est		
			Taux à 1000m	Taux à 360m	Taux à 180m	Taux à la verticale diffuseur	Taux à 180m	Taux à 360m	Taux à 1000m
C37	K3	2,6-3,9	348	220	350	247	575	753	381

##### 4.1.2.2 Radiale C38 (centre du diffuseur)

Pour la couche k3, le Tableau 5 montre que les taux de dilution minimale rencontrés le long de cette deuxième radiale sont compris entre 160 et 571. La valeur la plus faible correspond à l'aplomb du diffuseur tandis que la plus forte se situe seulement à 180 m nord-est du diffuseur (stations StNE180).

Les minimas ne montrent pas distribution particulière entre les secteurs nord-est et sud-ouest de la radiale.

Bien que beaucoup moins marqués de manière générale, les calculs montrent que l'évolution des taux de dilution est tout de même influencée par l'alternance cyclique des marées de vives et de mortes eaux. Toutefois, cette influence n'est visible qu'au niveau des stations les plus éloignée, à l'aplomb du diffuseur aucun signal net n'est observable. Cette variabilité dans la couche k3 traduit la mise en place de mécanismes turbulents de manière quasi constante au niveau du diffuseur en particulier, probablement par sa simple présence physique.

**Tableau 5 : Valeurs minimales calculées des taux de dilution au niveau de la couche k3 pour la radiale passant par le point de jonction C38.**

Point de jonction	Couche sigma	Tranche d'eau moyenne (m)	Secteur sud-ouest			Diffuseur	Secteur nord-est		
			Taux à 1000m	Taux à 360m	Taux à 180m	Taux à la verticale diffuseur	Taux à 180m	Taux à 360m	Taux à 1000m
C38	K3	2,4-3,6	502	275	199	160	571	240	338

Par rapport à la couche k2, les taux de dilution minimale sont tous plus élevés en k3, la plus forte progression concerne la station StNE180, au nord-est du diffuseur et l'aplomb de celui-ci avec, respectivement, des facteurs 3,6 et 2,2.

#### 4.1.2.3 Radiale C39 (extrémité sud du diffuseur)

Pour la couche k3, le Tableau 6 montre que les taux de dilution minimale rencontrés le long de cette troisième radiale sont compris entre 210 et 558. La valeur la plus faible correspond à l'aplomb du diffuseur tandis que la plus forte se situe à 360 m au nord-est du diffuseur (station StNE360).

Les minimas montrent des valeurs quel que peu plus élevées pour le secteur nord-est de la radiale.

Globalement, les calculs montrent que l'influence des cycles de marées de vives et de mortes eaux s'exprime sur les taux de dilution de manière plus évidente en C39 qu'en C37 et C38. Par ailleurs, cette évolution cyclique est également observable à l'aplomb du diffuseur, alors qu'elle n'est pas clairement mise en évidence sur les deux autres radiales.

Par rapport à la couche k2, les taux de dilution minimale sont beaucoup plus élevés en k3 pour la station StNE180, au nord-est du diffuseur et l'aplomb de celui-ci avec, respectivement, des facteurs 4,3 et 4,1. Ailleurs, les taux de dilution sont du même ordre de grandeur qu'en k2, en particulier pour les stations les plus éloignées.

**Tableau 6 : Valeurs minimales calculées des taux de dilution au niveau de la couche k3 pour la radiale passant par le point de jonction C39.**

Point de jonction	Couche sigma	Tranche d'eau moyenne (m)	Secteur sud-ouest			Diffuseur	Secteur nord-est		
			Taux à 1000m	Taux à 360m	Taux à 180m	Taux à la verticale diffuseur	Taux à 180m	Taux à 360m	Taux à 1000m
C39	K3	3,0-4,5	229	265	304	210	413	558	264

#### 4.1.3 Facteurs de dilution pour la couche K15

Les 21 figures ci-dessous permettent le suivi temporel du taux de dilution des rejets simulés par le modèle dans la couche k15. Les données concernent la sortie directe de l'émissaire, puis des stations distantes de 180 m, 360 m et 1000 m de part et d'autre du diffuseur.

Les taux de dilution sont exprimés selon 3 axes perpendiculaires au diffuseur (et au courant) passant, d'une part, au niveau des 2 extrémités du diffuseur (points de jonction C37 et C39) et par le centre de celui-ci (point de jonction médian C38).

Le taux de dilution calculé dans la couche intermédiaire (k15) du modèle correspond à la tranche d'eau approximativement comprise entre 18,2 et 22,5 m au-dessus du fond.

#### 4.1.3.1 Radiale C37 (extrémité nord du diffuseur)

Pour la couche k15, le Tableau 7 montre que les taux de dilution minimale rencontrés le long de cette radiale sont compris entre 1038 et 2768. La valeur la plus faible correspond à la station StSW1000 distante de 1000 m du diffuseur, la plus forte se situant également vers le sud-ouest mais à 180 m du terme source (StSW180). Au niveau du diffuseur, le taux de dilution minimale atteint 2656.

Les minimas ne montrent pas distribution particulière entre les secteurs nord-est et sud-ouest de la radiale.

Les calculs ne permettent pas de montrer l'influence des marées de vives et de mortes eaux sur les taux de dilution, ni à l'aplomb du diffuseur, ni au niveau des autres stations. Les valeurs les plus faibles semblent correspondre avec la fin de la période de simulation, c'est-à-dire vers le 25 juillet, date à laquelle les grandes marées (vives-eaux) sont à leur maximum.

Par rapport à la couche k2, les taux de dilution minimale sont tous plus élevés d'un ordre de grandeur en k15 et relativement équivalents entre eux.

**Tableau 7 : Valeurs minimales calculées des taux de dilution au niveau de la couche k15 pour la radiale passant par le point de jonction C37.**

Point de jonction	Couche sigma	Tranche d'eau moyenne (m)	Secteur sud-ouest			Diffuseur	Secteur nord-est		
			Taux à 1000m	Taux à 360m	Taux à 180m	Taux à la verticale diffuseur	Taux à 180m	Taux à 360m	Taux à 1000m
C37	K15	18,2-19,5	1038	2362	2768	2656	2469	2389	2098

#### 4.1.3.2 Radiale C38 (centre du diffuseur)

Pour la couche k15, le Tableau 8 montre que les taux de dilution minimale rencontrés le long de cette deuxième radiale sont compris entre 2452 et 3115. La valeur la plus faible correspond à la station StSW360 distante de 360 m du diffuseur, la plus forte se situant dans le secteur nord-est de la radiale à 180 m du terme source (StNE180). Au niveau du diffuseur, le taux de dilution minimale atteint 2452.

Les minimas montrent que la dilution est plus intense pour les stations du secteur nord-est de la radiale.

Comme pour la radiale C37, les calculs ne permettent pas de montrer l'influence des marées de vives et de mortes eaux sur les taux de dilution, ni à l'aplomb du diffuseur, ni au niveau des autres stations. Toutefois, les valeurs les plus faibles semblent correspondre avec la fin de la période de simulation, c'est-à-dire vers le 25 juillet, date à laquelle les grandes marées (vives-eaux) sont à leur maximum.

**Tableau 8 : Valeurs minimales calculées des taux de dilution au niveau de la couche k15 pour la radiale passant par le point de jonction C38.**

Point de jonction	Couche sigma	Tranche d'eau moyenne (m)	Secteur sud-ouest			Diffuseur	Secteur nord-est		
			Taux à 1000m	Taux à 360m	Taux à 180m	Taux à la verticale diffuseur	Taux à 180m	Taux à 360m	Taux à 1000m
C38	K15	16,8-18,0	2171	2115	2185	2452	3115	2892	2280

#### 4.1.3.3 Radiale C39 (extrémité sud du diffuseur)

Pour la couche k15, le Tableau 9 montre que les taux de dilution minimale rencontrés le long de cette troisième radiale sont compris entre 2453 et 3191. Bien toutes très proches, la valeur la plus faible correspond à la station StNE180 distante de 180 m du diffuseur, la plus forte se situant à 360 m au nord-est (StNE360) de celui-ci. Au niveau du diffuseur, le taux de dilution minimale atteint 2834.

Les minimas ne montrent pas distribution particulière entre les secteurs nord-est et sud-ouest de la radiale.

Comme pour les radiales C37 et C38, les calculs ne permettent pas de montrer l'influence des marées de vives et de mortes eaux sur les taux de dilution, ni à l'aplomb du diffuseur, ni au niveau des autres stations. Toutefois, les valeurs les plus faibles semblent correspondre avec la fin de la période de simulation, c'est-à-dire vers le 25 juillet, date à laquelle les grandes marées (vives-eaux) sont à leur maximum.

Tableau 9 : Valeurs minimales calculées des taux de dilution au niveau de la couche k15 pour la radiale passant par le point de jonction C39.

Point de jonction	Couche sigma	Tranche d'eau moyenne (m)	Secteur sud-ouest			Diffuseur	Secteur nord-est		
			Taux à 1000m	Taux à 360m	Taux à 180m	Taux à la verticale diffuseur	Taux à 180m	Taux à 360m	Taux à 1000m
C39	K15	21,0-22,5	2712	2734	2882	2834	2453	3191	2737

## 4.2 SIMULATION POUR LE MOIS D'OCTOBRE 2013

Calculs en cours

## 4.3 OCCURRENCE DES MINIMAS DE DILUTION

### 4.3.1 Taux de dilution inférieurs à 1000

Pour l'ensemble de la zone étudiée, la durée des apparitions des faibles taux de dilution a été calculée pour le mois de juillet 2013. L'occurrence des plus faibles valeurs est représentée sur les cartes ci-dessous sous la forme le pourcentage de temps où elles apparaissent, sur la totalité des simulations.

La Figure 10 représente le pourcentage de temps où des valeurs de dilution inférieures à 1.000 sont observées à la profondeur de l'émissaire (couche k2). Les Figure 11, et Figure 12 représentent respectivement les pourcentages d'occurrences des valeurs de dilution inférieures à 1 000 au niveau de la couche k=3 et à mi-profondeur (k15).

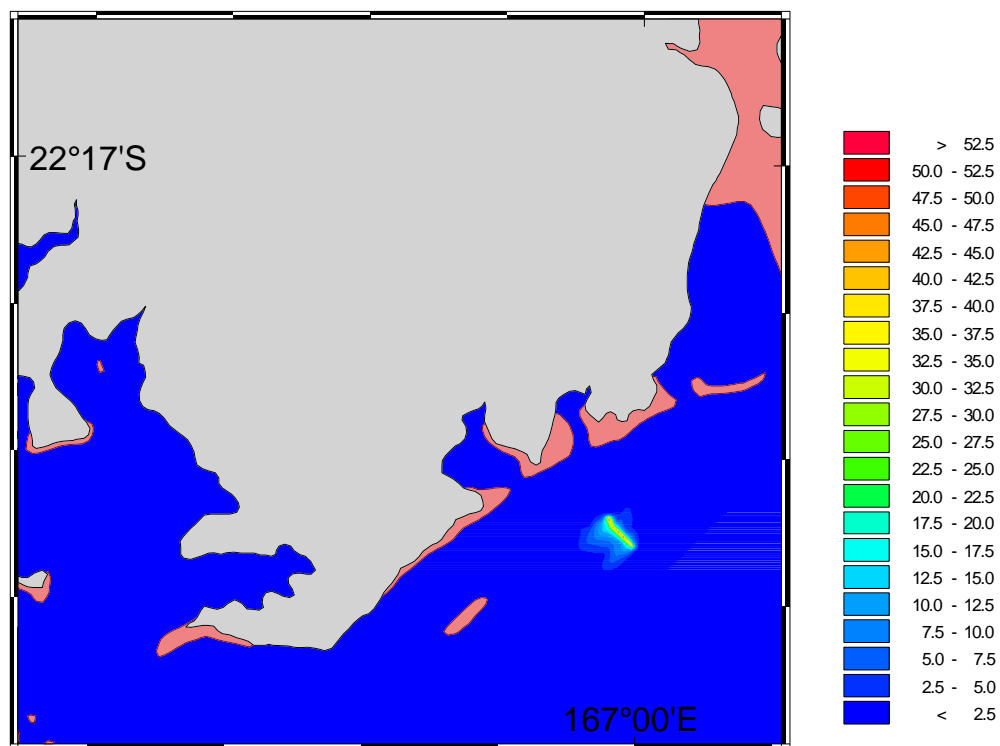


Figure 10 : Pourcentage de temps d'obtention de taux de dilution inférieurs à  $T_x=1.000$ , sur la simulation de Juillet 2013 dans la couche de fond (K2).

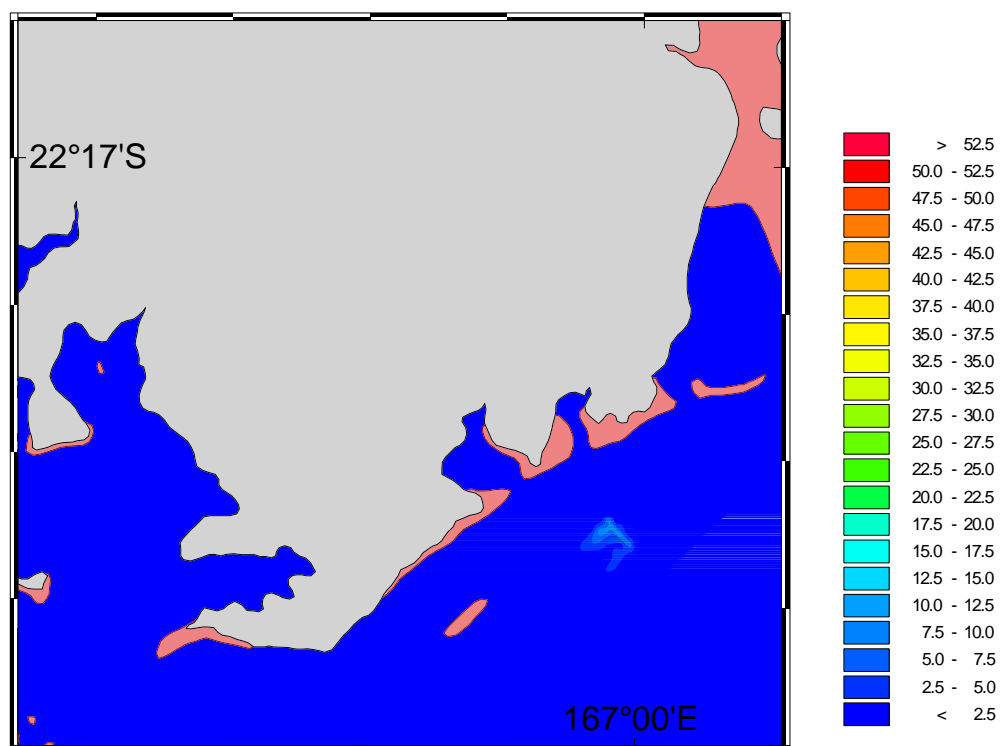
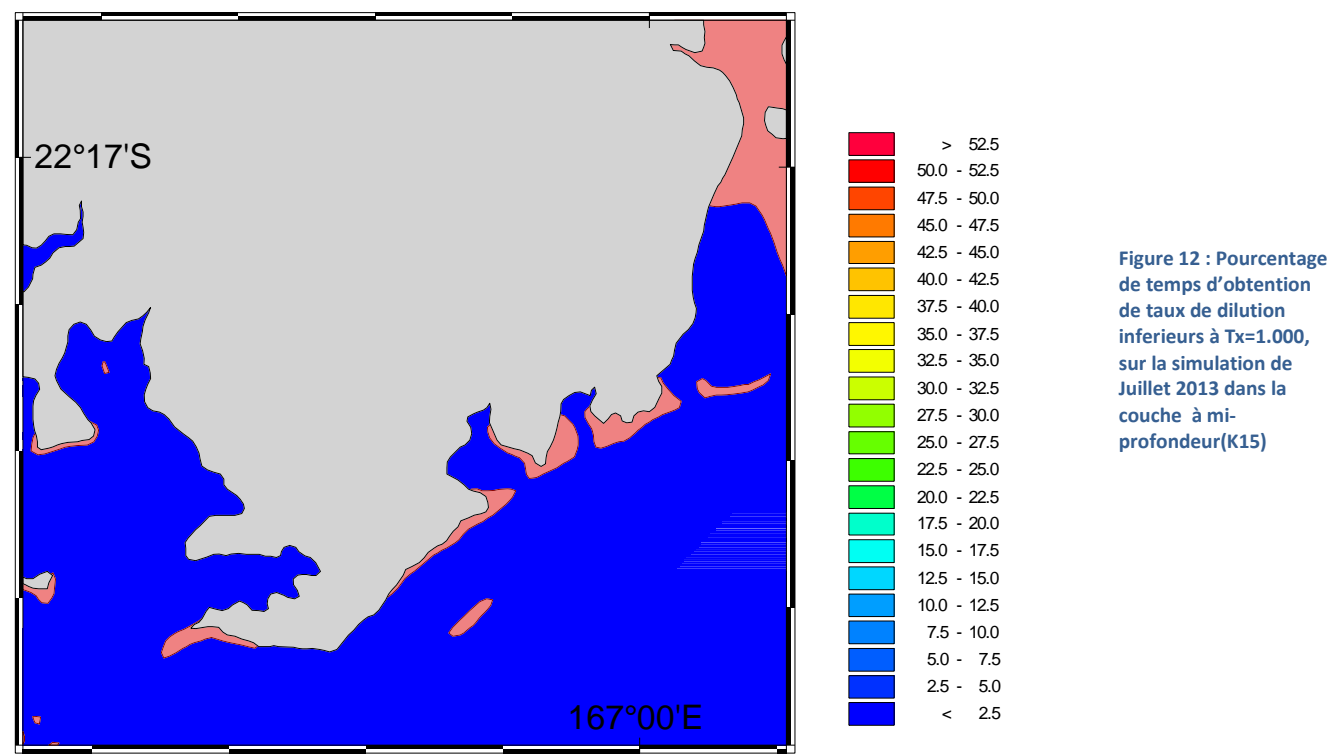


Figure 11 : Pourcentage de temps d'obtention de taux de dilution inférieurs à  $T_x=1.000$ , sur la simulation de Juillet 2013 dans la couche juste au dessus de l'émissaire(K3)



4.3.2 Taux de dilution inférieurs à 5000

Calculs en cours



## 5 CONCLUSION

### 5.1 COUCHE k2

Pour la couche k2 (1,3-3,0 m au-dessus du fond), les mécanismes de dispersion des effluents diminuent en intensité selon un gradient « côte-large ». Cette observation est vérifiée pour l'ensemble des 18 stations disposées selon les 3 radiales qui s'étirent de part et d'autre du diffuseur au niveau des points de jonction C37, C38 et C39.

Les pourcentages de temps pendant lesquels le taux de dilution des effluents est supérieur à 5000 augmentent considérablement avec la distance au terme source (Tableau 10). En effet, alors qu'au niveau du diffuseur ce taux de dilution n'est jamais atteint, en accord avec les résultats des travaux antérieurs (Luo et al., 2006 ; Fernandez et al., 2009), il est très majoritairement observé à une distance de 360 m du diffuseur et de manière quasi-permanente à 1000 m de celui-ci.

**Tableau 10 : Pourcentage de temps pendant le quel le taux de dilution est supérieur à 5000 (facteur de dilution nécessaire pour confondre la composition de l'effluent avec celle des eaux du lagon). Calculs réalisés pour la couche k2 des 3 radiales passant par les points de jonction C37, C38 et C39 du diffuseur.**

Couche sigma	Point de jonction	Tranche d'eau moyenne (m)	Secteur sud-ouest			Diffuseur	Secteur nord-est		
			% à 1000m	% à 360m	% à 180m	% à la verticale diffuseur	% à 180m	% à 360m	% à 1000m
K2	C37	1,3-2,6	80	67	52	0	44	65	91
	C38	1,2-2,4	83	83	59	0	43	49	78
	C39	1,5-3,0	90	82	74	1	64	70	80

Les minimas de dilution sont observés le long du diffuseur avec des valeurs qui sont faibles ( $51 < Tx < 99$ ). Toutefois, ces facteurs de dilution semblent être bien supérieurs aux limites suffisantes et nécessaires, obtenues expérimentalement, pour assurer la protection des espèces biologiques testées (Achard et al., 2014).

**Note :** les minimas exprimés dans ce document correspondent aux valeurs extrêmes calculées, les taux moyens minimaux par cycle de marée doivent encore l'objet d'un traitement statistique.

### 5.2 COUCHE k3

Pour la couche k3 (2,6-4,5 m au-dessus du fond), les mécanismes de dispersion des effluents diminuent en intensité selon un gradient « côte-large » sans pour autant montrer une claire variation. A quelques exceptions près, cette

observation est vérifiée pour l'ensemble des 18 stations disposées selon les 3 radiales qui s'étirent de part et d'autre du diffuseur au niveau des points de jonction C37, C38 et C39. Toutefois, l'évolution spatiale des taux de dilution pour la couche k3 montre que les mécanismes de dispersion sont probablement plus turbulents que dans la couche sous-jacente (k2), notamment dans le secteur nord-est des radiales.

Comme pour la couche k2, les pourcentages de temps pendant lesquels le taux de dilution des effluents est supérieur à 5000 augmentent en k3 avec la distance au terme source et deviennent globalement comparables dans les deux couches progressivement (Tableau 10 et Tableau 11). Toutefois, au niveau du diffuseur, ces pourcentages sont maintenant compris entre 38 et 47% à l'aplomb de celui-ci en direction du large, alors qu'ils étaient nuls dans la couche sous-jacente (K2).

Alors que ce taux de dilution n'est jamais atteint en k2, dans la couche d'eau k3, il est observé quasiment la moitié du temps. Ailleurs, il est toujours observé à une distance de seulement 180 m du diffuseur et de manière quasi-permanente à 1000 m de celui-ci.

**Tableau 11 : Pourcentage de temps pendant le quel le taux de dilution est supérieur à 5000 (facteur de dilution nécessaire pour confondre la composition de l'effluent avec celle des eaux du lagon). Calculs réalisés pour la couche k3 des 3 radiales passant par les points de jonction C37, C38 et C39 du diffuseur.**

Couche sigma	Point de jonction	Tranche d'eau moyenne (m)	Secteur sud-ouest			Diffuseur	Secteur nord-est		
			% à 1000m	% à 360m	% à 180m	% à la verticale diffuseur	% à 180m	% à 360m	% à 1000m
K3	C37	2,6-3,9	79	68	58	38	60	76	91
	C38	2,4-3,6	84	75	68	40	59	57	80
	C39	3,0-4,5	90	84	79	47	76	80	82

Les minimas de dilution sont observés le long du diffuseur avec des valeurs qui sont faibles ( $160 < T_x < 247$ ). Toutefois, ces facteurs de dilution sont en nette progression par rapport à ceux calculés pour la couche sous-jacente k2 et sont d'un ordre grandeur supérieure aux limites suffisantes et nécessaires, obtenues expérimentalement, pour assurer la protection des espèces biologiques testées (Achard et al., 2014).

**Note :** les minimas exprimés dans ce document correspondent aux valeurs extrêmes calculées, les taux moyens minimaux par cycle de marée doivent encore l'objet d'un traitement statistique.

### 5.3 COUCHE k15

A l'exception de la station StSW1000, pour la couche k15 (16,8-2,5 m au-dessus du fond), les mécanismes de dispersion des effluents ne montrent plus de variations claires en intensité, ni selon un gradient « côte-large » ni en fonction de la distance au diffuseur. En effet, pour les 17 stations les taux de dilution minimale sont de l'ordre de  $2575 \pm 325$ , alors que la valeur minimale en StSW1000 n'est que de 1038.

Les pourcentages de temps pendant lesquels le taux de dilution des effluents est supérieur à 5000 sont supérieurs à 98%, quelles que soient la radiale considérée ou la station de calcul (Tableau 12).

Tableau 12 : Pourcentage de temps pendant le quel le taux de dilution est supérieur à 5000 (facteur de dilution nécessaire pour confondre la composition de l'effluent avec celle des eaux du lagon). Calculs réalisés pour la couche k3 des 3 radiales passant par les points de jonction C37, C38 et C39 du diffuseur.

Couche sigma	Point de jonction	Tranche d'eau moyenne (m)	Secteur sud-ouest			Diffuseur	Secteur nord-est		
			% à 1000m	% à 360m	% à 180m	% à la verticale diffuseur	% à 180m	% à 360m	% à 1000m
K15	C37	18,2-19,5	99	99	99	98	99	99	98
	C38	16,8-18,0	99	99	99	98	99	98	98
	C39	21,0-22,5	99	99	99	99	99	99	99

## REFERENCES

Achard R, Kaplan H et Fernandez J-M, 2014. Programme d'évaluation de l'écotoxicité de l'effluent minier de VALE-NC: bioessais sur embryons d'invertébrés marins, planulas de corail du lagon de Nouvelle-Calédonie et sur phytoplancton tropical. Rapport provisoire AEL 01/12/2014, 50p.

Douillet P, 2001. Atlas hydrodynamique du lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie, Programme d'Evaluation des ressources Marines de la Zone Economique de Nouvelle Calédonie, Rapport IRD/ZoNéCo, 48p.

Derex P et Douillet P, 2008. Modélisation et simulation du transport des formes dissoutes et particulaires. Atlas des courants. Convention de recherches IRD/Goro-Ni N°1124, 83p.

Derex P, Douillet P et Le Gendre R, 2008. Modélisation et simulation du transport des formes dissoutes et particulaires. Simulation annuelle de rejet. Convention de recherches IRD/Goro-Ni N°1124, 183p.

Douillet P et Fernandez JM, 2009. Modélisation et simulation du transport des formes particulaires d'origine naturelle (Canal de Havannah et Kwé). Simulation annuelle de la sédimentation des particules naturelles en contact avec l'effluent. Convention de recherches IRD/Goro-Ni N°1124, 55p

Fernandez JM, Douillet P, Moreton B, Dolbecq M et LeGrand H, 2009. Validation du modèle de transport en phase dissoute par traçage à la rhodamine-WT. Contrat de consultance IRD/Goro-Ni N° 2131, 152p.

Luo S, Roux B et Kotarba R, 2006. Modélisation et Simulation Numérique de la Dilution de l'Effluent dans le Champ Proche du Diffuseur Marin Multi-Port de Goro-Nickel. Rapport final ; premières conclusions de l'étude complémentaire.

# LISTE DES FIGURES

FIGURE 1: CARTE DE LA ZONE D'ÉTUDE, INCLUANT LE SITE DE L'USINE VALE ET LE TRACE DE L'ÉMISSAIRE .....	7
FIGURE 2 : DISPOSITION DES 18 STATIONS D'ÉVALUATION TEMPORELLE DES TAUX DE DILUTION SIMULES SELON 3 RADIALES PARALLELES PASSANT PAR LES 3 POINTS DE JONCTION C37, C38 ET C39 DU DIFFUSEUR. CALCULS CONDUITS POUR LES PERIODES DE JUILLET ET D'OCTOBRE 2013, LES RESULTATS CONCERNENT LES COUCHES K2, K3 ET K15 DU MODELE (« COORDONNEES SIGMAS ») .....	10
FIGURE 3: IMBRICATION DES MAILLAGES A 540 M, A 180 M ET A 60 M LES UNES DANS LES AUTRES (« NESTING »).....	11
FIGURE 4 : ILLUSTRATION DES COUCHES $K_N$ EN COORDONNEES SIGMAS, VARIANT EN FONCTION DE LA BATHYMETRIE. ....	13
FIGURE 5 : POSITIONNEMENT DU DIFFUSEUR ET TRACE DU NOUVEL EMISSAIRE. ....	13
FIGURE 6 : <i>VITESSE ET DIRECTION DU VENT ENREGISTRE A LA STATION AEL INSTALLEE SUR LA BALISE IORO EN JUILLET 2013.</i> .....	14
FIGURE 7: CYCLE DE MAREE (HAUTEUR D'EAU) CALCULEE PAR LE MODELE SUR LA PERIODE DE JUILLET 2013. ....	15
FIGURE 8: VITESSES ET DIRECTIONS DE VENT ENREGISTREES A LA STATION D'IORO EN OCTOBRE 2013 .....	15
FIGURE 9: HAUTEUR D'EAU CALCULEE PAR LE MODELE AU LARGE DE LA POINTE DE CONCESSION. ....	16
FIGURE 10 : POURCENTAGE DE TEMPS D'OBTENTION DE TAUX DE DILUTION INFÉRIEURS A $T_x=1.000$ , SUR LA SIMULATION DE JUILLET 2013 DANS LA COUCHE DE FOND (K2). ....	23
FIGURE 11 : POURCENTAGE DE TEMPS D'OBTENTION DE TAUX DE DILUTION INFÉRIEURS A $T_x=1.000$ , SUR LA SIMULATION DE JUILLET 2013 DANS LA COUCHE JUSTE AU DESSUS DE L'ÉMISSAIRE(K3).....	23
FIGURE 12 : POURCENTAGE DE TEMPS D'OBTENTION DE TAUX DE DILUTION INFÉRIEURS A $T_x=1.000$ , SUR LA SIMULATION DE JUILLET 2013 DANS LA COUCHE A MI-PROFONDEUR(K15).....	24

# LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : VALEURS MINIMALES CALCULEES DES TAUX DE DILUTION AU NIVEAU DE LA COUCHE K2 POUR LA RADIALE PASSANT PAR LE POINT DE JONCTION C37. ....	17
TABLEAU 2 : VALEURS MINIMALES CALCULEES DES TAUX DE DILUTION AU NIVEAU DE LA COUCHE K2 POUR LA RADIALE PASSANT PAR LE POINT DE JONCTION C38. ....	18
TABLEAU 3 : VALEURS MINIMALES CALCULEES DES TAUX DE DILUTION AU NIVEAU DE LA COUCHE K2 POUR LA RADIALE PASSANT PAR LE POINT DE JONCTION C39. ....	18
TABLEAU 4 : VALEURS MINIMALES CALCULEES DES TAUX DE DILUTION AU NIVEAU DE LA COUCHE K3 POUR LA RADIALE PASSANT PAR LE POINT DE JONCTION C37. ....	19
TABLEAU 5 : VALEURS MINIMALES CALCULEES DES TAUX DE DILUTION AU NIVEAU DE LA COUCHE K3 POUR LA RADIALE PASSANT PAR LE POINT DE JONCTION C38. ....	20
TABLEAU 6 : VALEURS MINIMALES CALCULEES DES TAUX DE DILUTION AU NIVEAU DE LA COUCHE K3 POUR LA RADIALE PASSANT PAR LE POINT DE JONCTION C39. ....	20
TABLEAU 7 : VALEURS MINIMALES CALCULEES DES TAUX DE DILUTION AU NIVEAU DE LA COUCHE K15 POUR LA RADIALE PASSANT PAR LE POINT DE JONCTION C37. ....	21
TABLEAU 8 : VALEURS MINIMALES CALCULEES DES TAUX DE DILUTION AU NIVEAU DE LA COUCHE K15 POUR LA RADIALE PASSANT PAR LE POINT DE JONCTION C38. ....	21
TABLEAU 9 : VALEURS MINIMALES CALCULEES DES TAUX DE DILUTION AU NIVEAU DE LA COUCHE K15 POUR LA RADIALE PASSANT PAR LE POINT DE JONCTION C39. ....	22
TABLEAU 10 : POURCENTAGE DE TEMPS PENDANT LE QUEL LE TAUX DE DILUTION EST SUPERIEUR A 5000 (FACTEUR DE DILUTION NECESSAIRE POUR CONFONDRE LA COMPOSITION DE L'EFFLUENT AVEC CELLE DES EAUX DU LAGON). CALCULS REALISES POUR LA COUCHE K2 DES 3 RADIALES PASSANT PAR LES POINTS DE JONCTION C37, C38 ET C39 DU DIFFUSEUR. ....	25
TABLEAU 11 : POURCENTAGE DE TEMPS PENDANT LE QUEL LE TAUX DE DILUTION EST SUPERIEUR A 5000 (FACTEUR DE DILUTION NECESSAIRE POUR CONFONDRE LA COMPOSITION DE L'EFFLUENT AVEC CELLE DES EAUX DU LAGON). CALCULS REALISES POUR LA COUCHE K3 DES 3 RADIALES PASSANT PAR LES POINTS DE JONCTION C37, C38 ET C39 DU DIFFUSEUR. ....	26
TABLEAU 12 : POURCENTAGE DE TEMPS PENDANT LE QUEL LE TAUX DE DILUTION EST SUPERIEUR A 5000 (FACTEUR DE DILUTION NECESSAIRE POUR CONFONDRE LA COMPOSITION DE L'EFFLUENT AVEC CELLE DES EAUX DU LAGON). CALCULS REALISES POUR LA COUCHE K3 DES 3 RADIALES PASSANT PAR LES POINTS DE JONCTION C37, C38 ET C39 DU DIFFUSEUR. ....	27

# LISTE DES ANNEXES

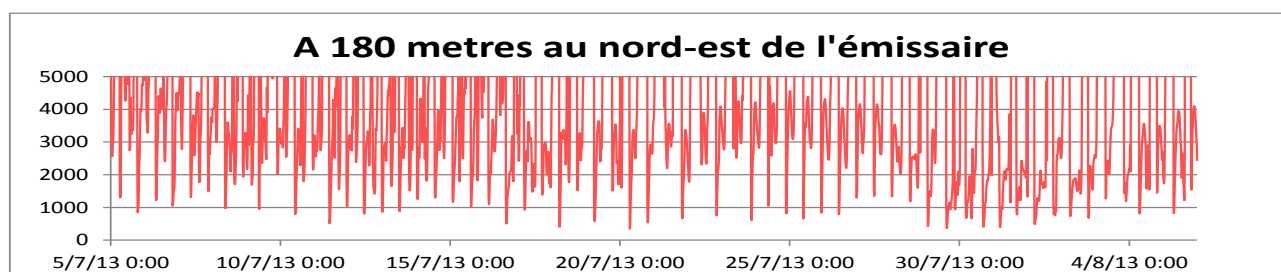
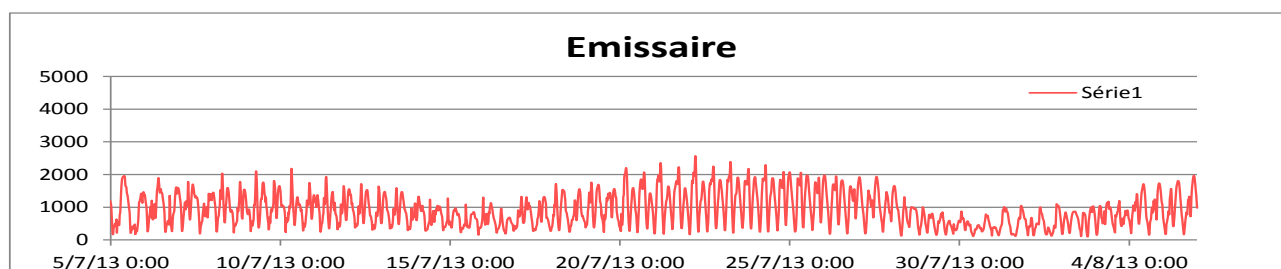
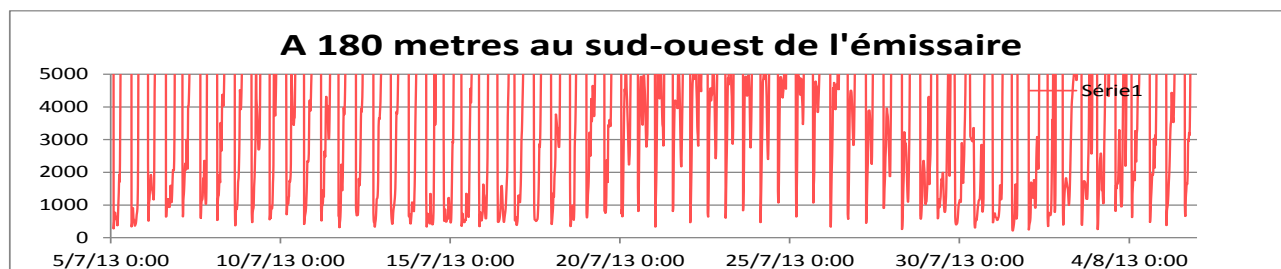
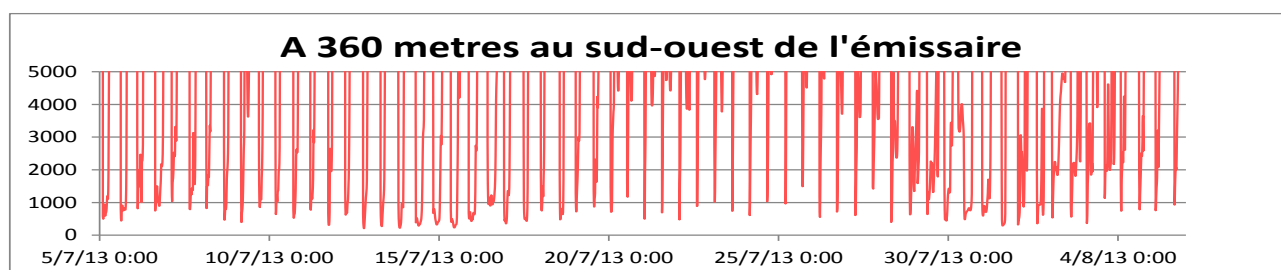
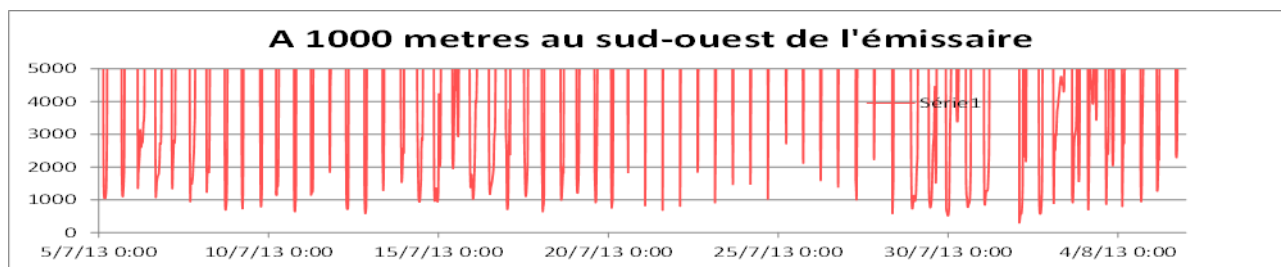
**ANNEXE 1 : SIMULATION DES TAUX DE DILUTION SELON 3 RADIALES PERPENDICULAIRES AU  
DIFFUSEUR PASSANT PAR LES POINTS DE JONCTION C37, C38 ET C39 ; SUIVI TEMPOREL  
POUR LES MOIS DE JUILLET ET D'OCTOBRE 2013 POUR LES COUCHES K2, K3 ET K15.**

**ANNEXE 2 : XXXX**

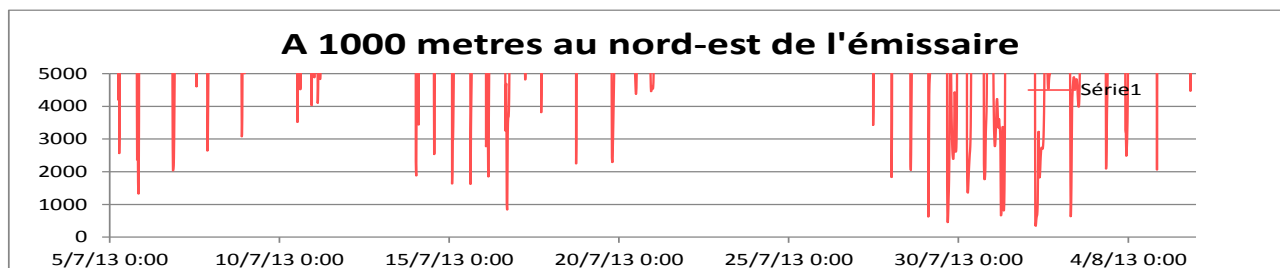
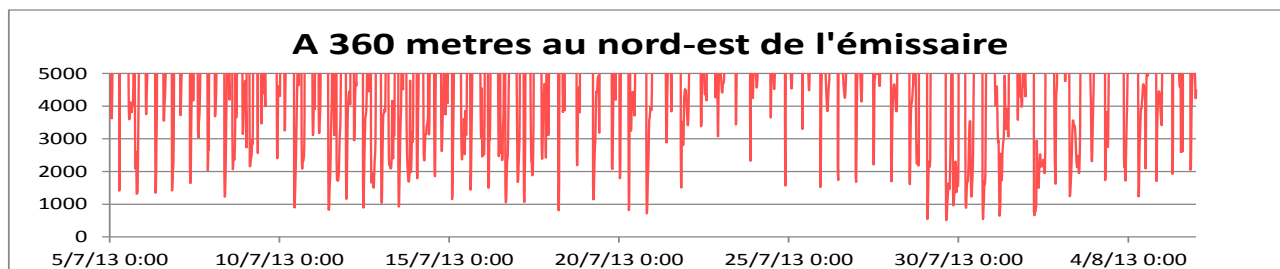
**ANNEXE 3 : XXXX.**

## ANNEXE – 1

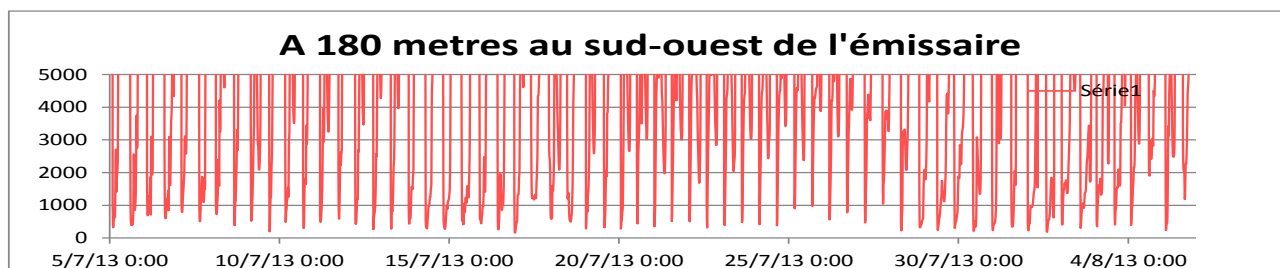
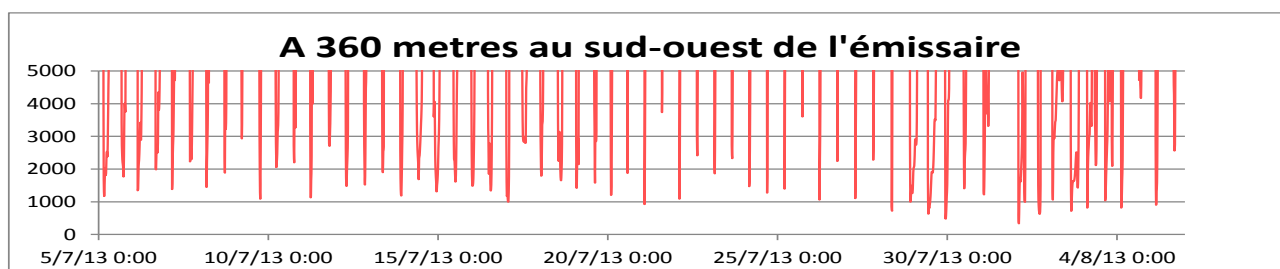
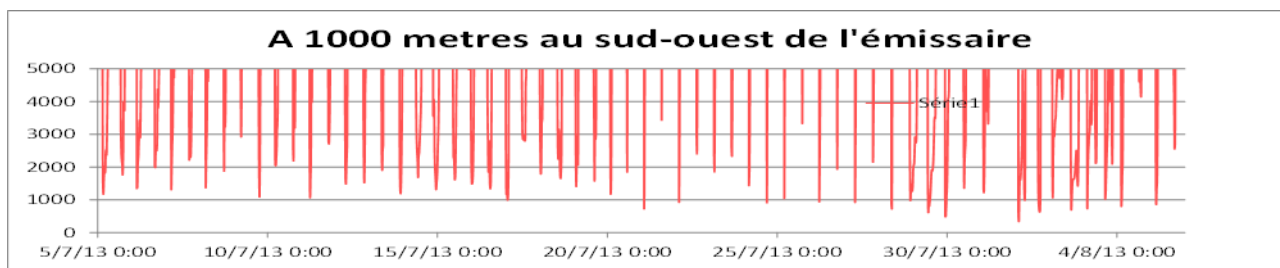
**Juillet 2013 : suivi temporel des taux de dilution selon la radiale C37, couche k2**

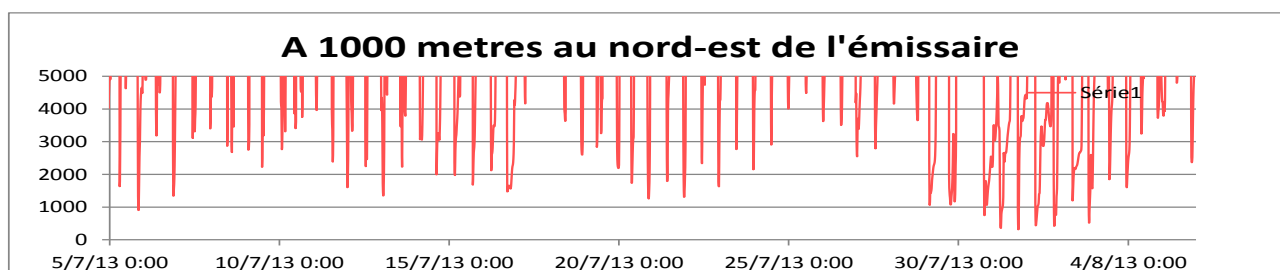
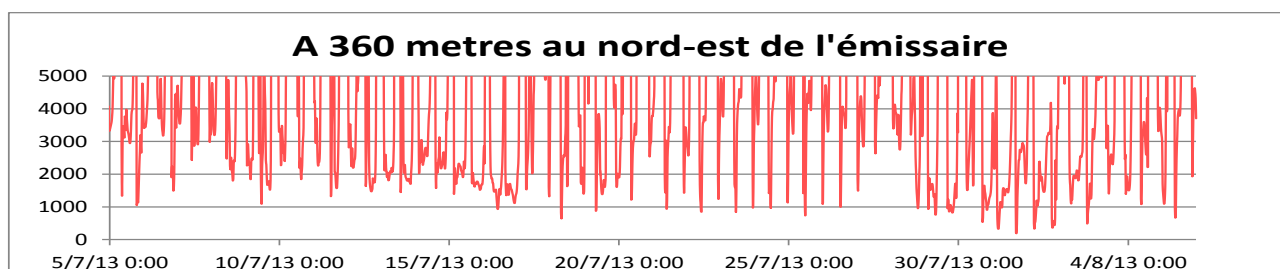
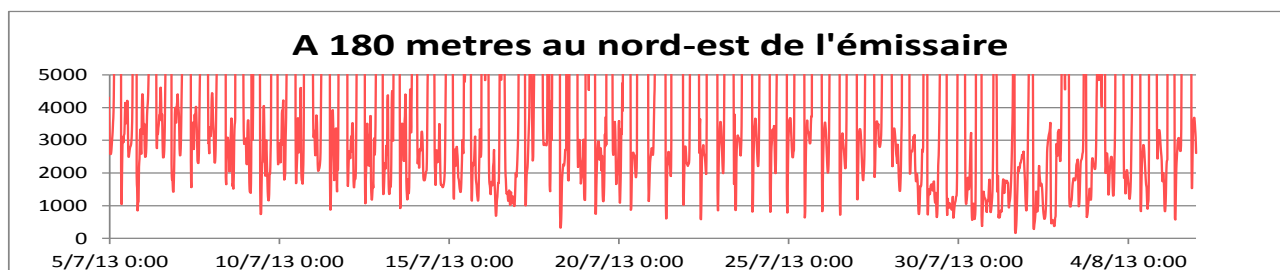
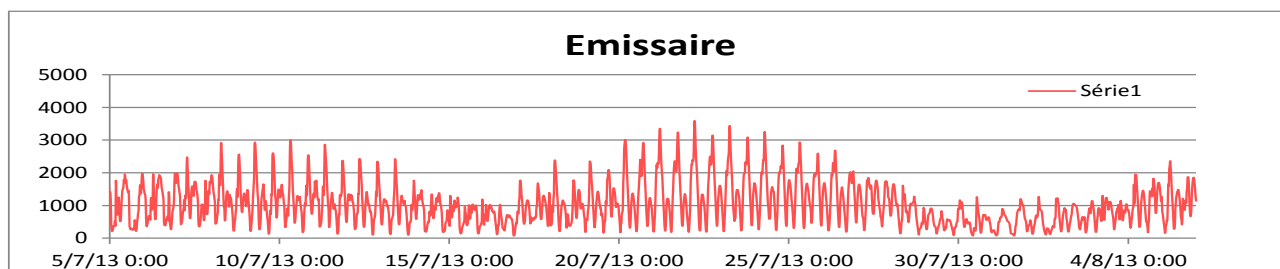




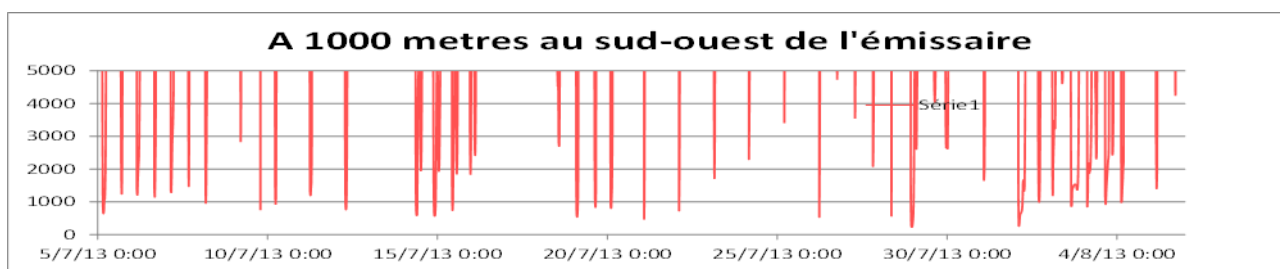


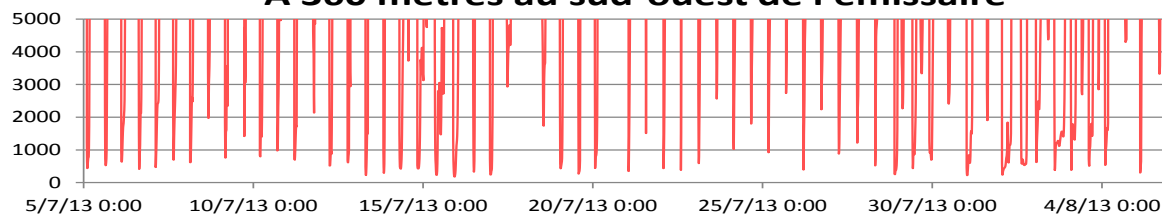
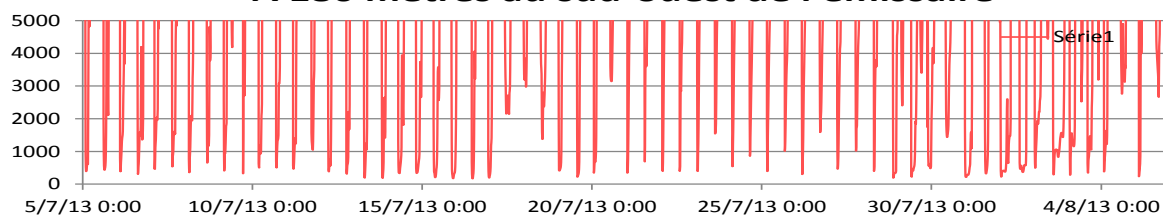
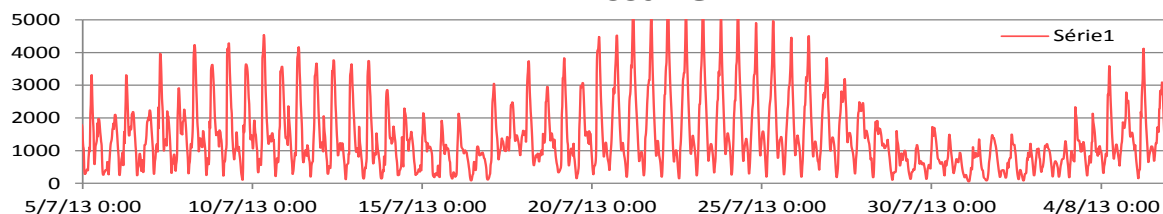
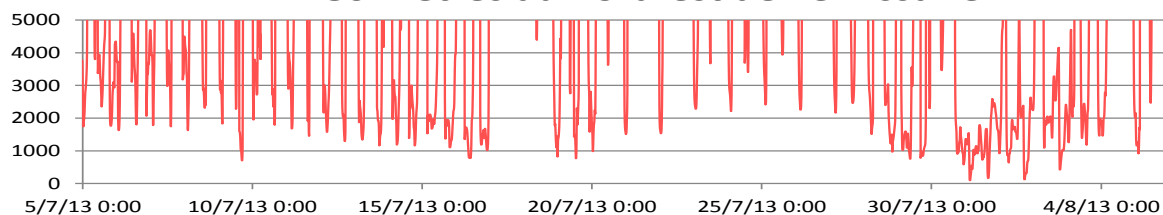
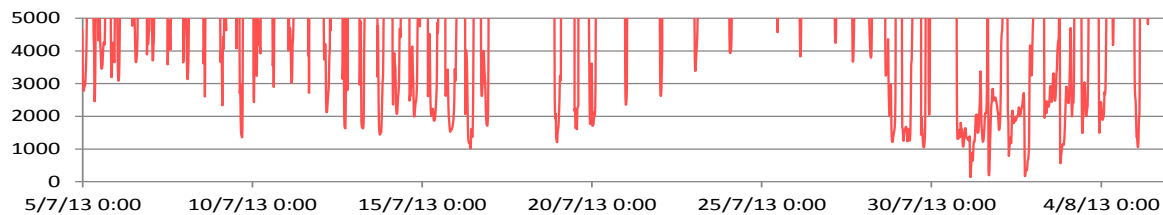
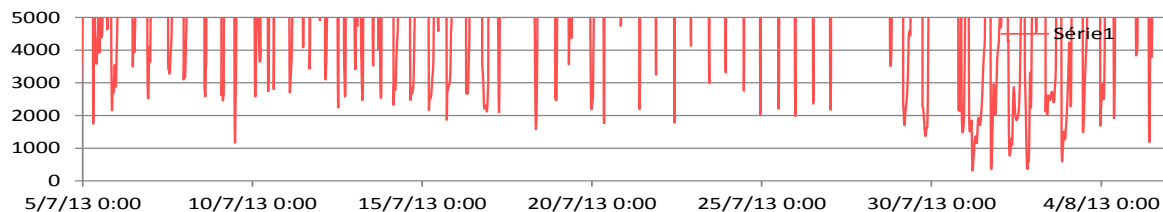
### Juillet 2013 : suivi temporel des taux de dilution selon la radiale C38, couche k2

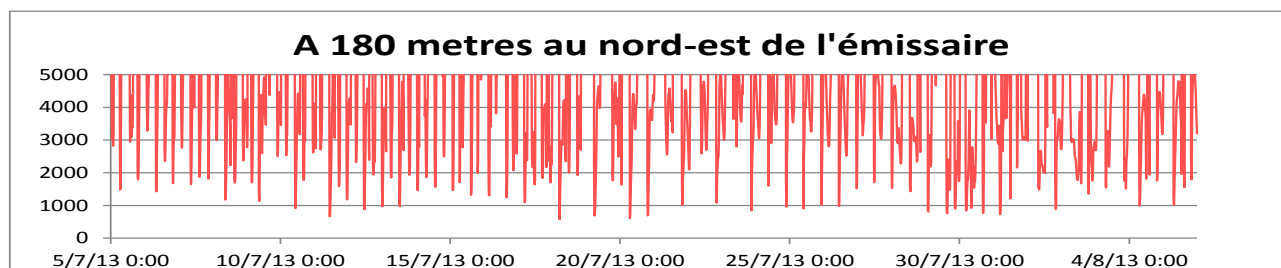
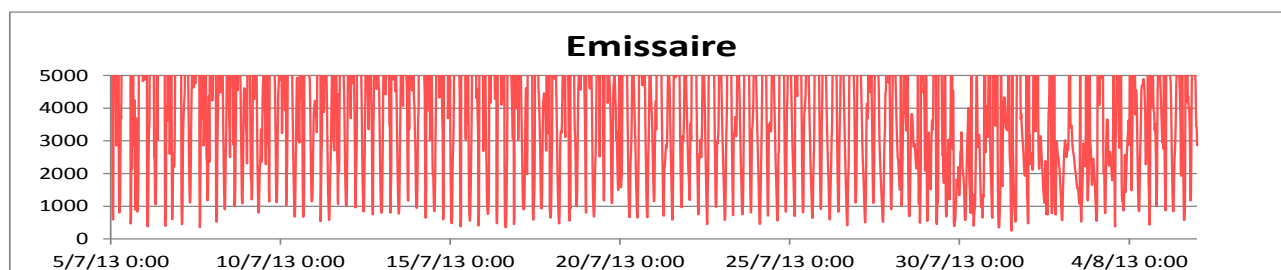
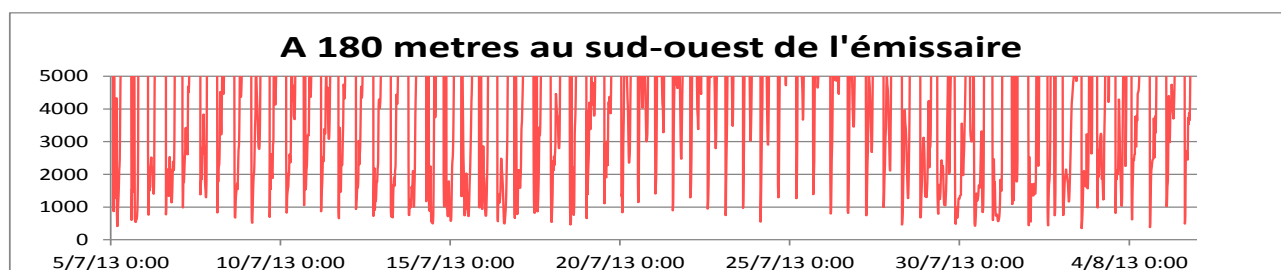
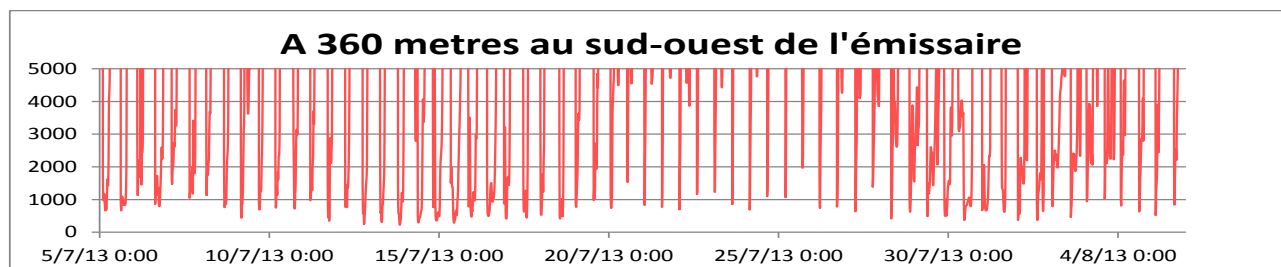
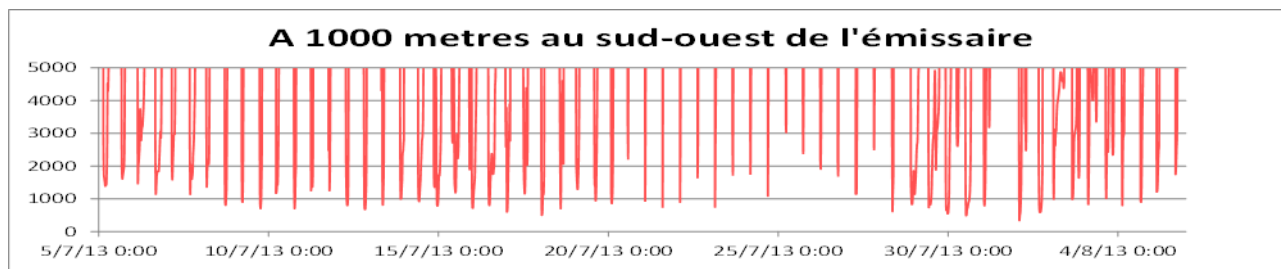


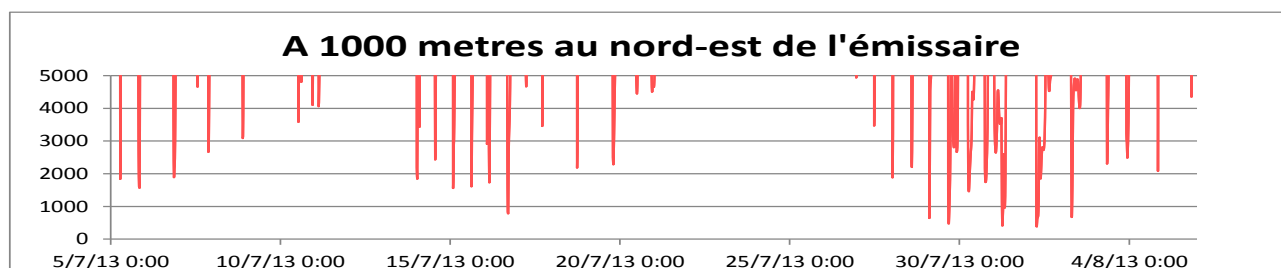
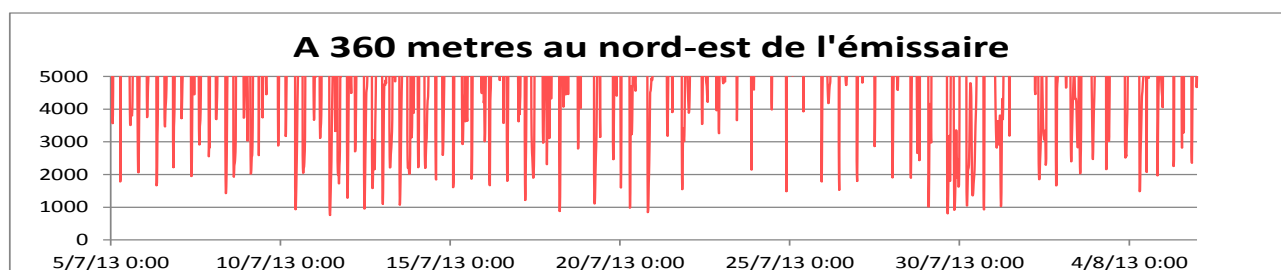


**Juillet 2013 : suivi temporel des taux de dilution selon la radiale C39, couche k2**

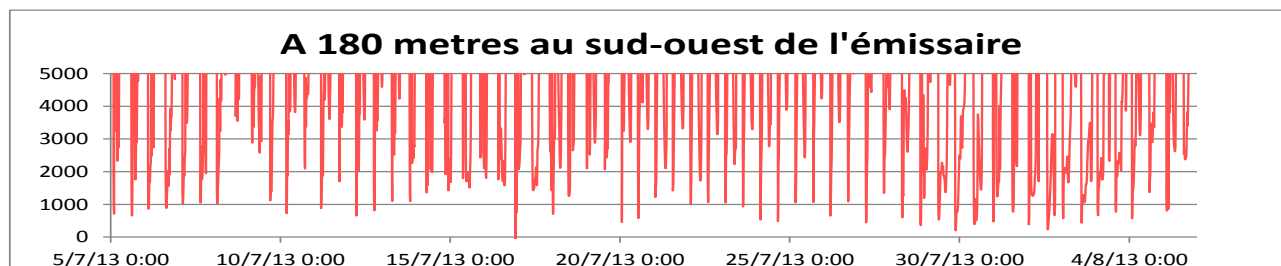
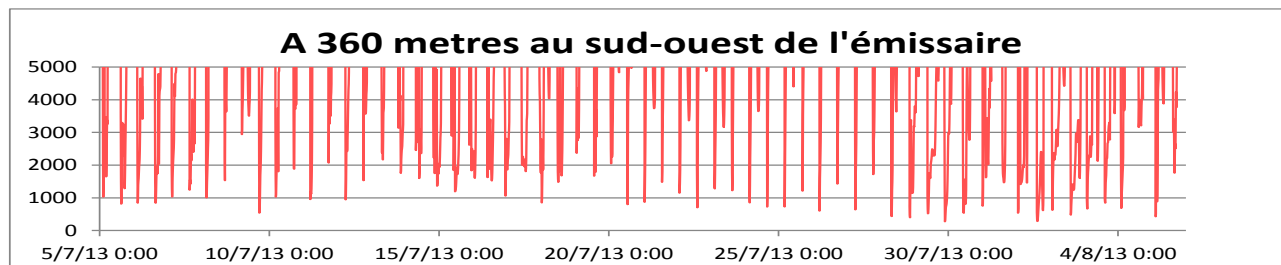
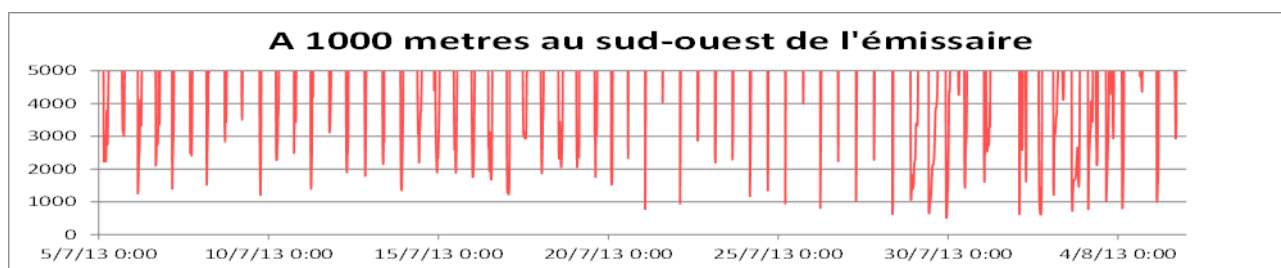


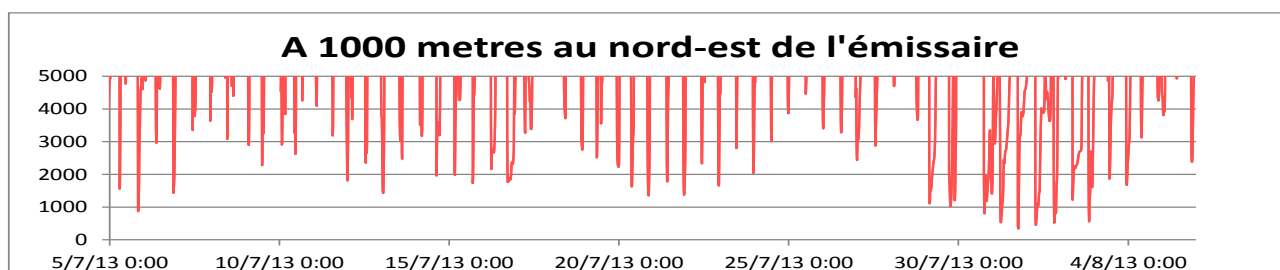
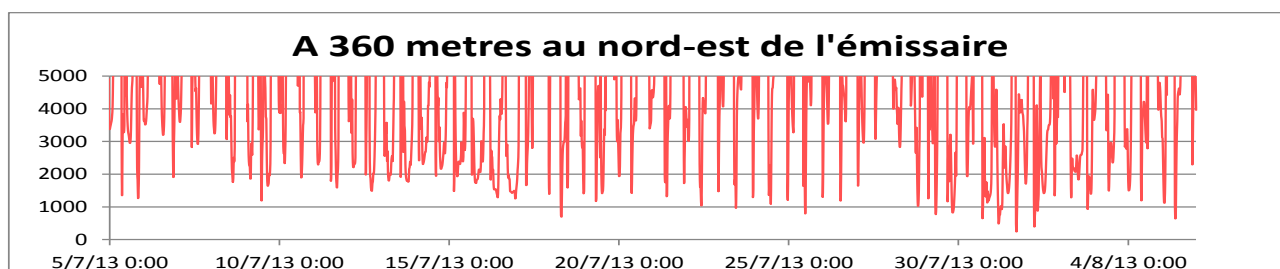
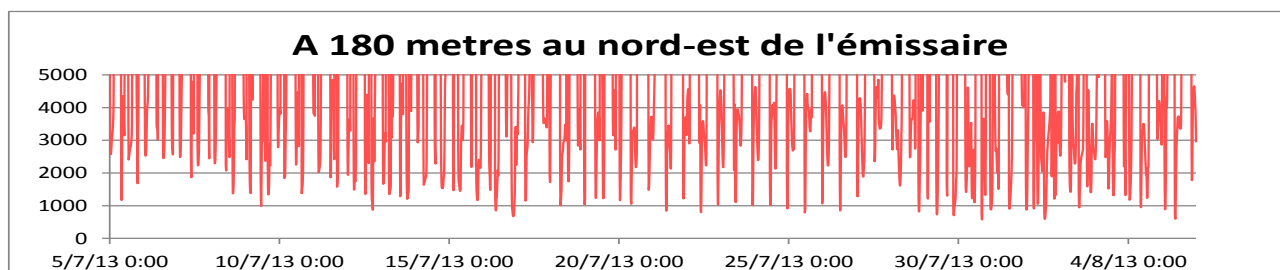
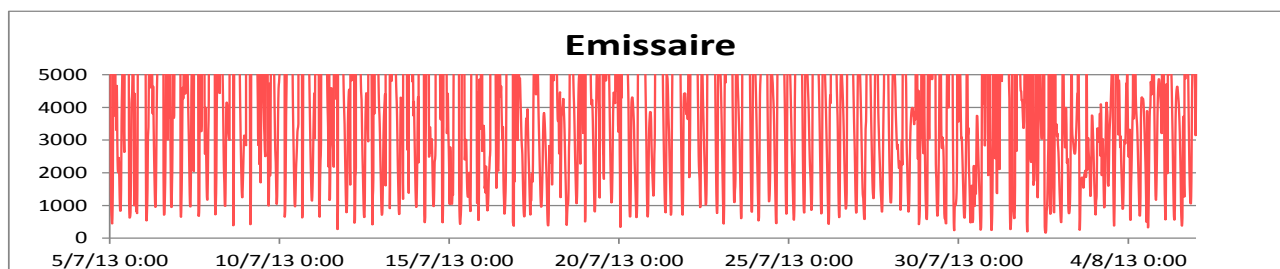
**A 360 metres au sud-ouest de l'émissaire****A 180 metres au sud-ouest de l'émissaire****Emissaire****A 180 metres au nord-est de l'émissaire****A 360 metres au nord-est de l'émissaire****A 1000 metres au nord-est de l'émissaire**

**Juillet 2013 : suivi temporel des taux de dilution selon la radiale C37, couche k3**

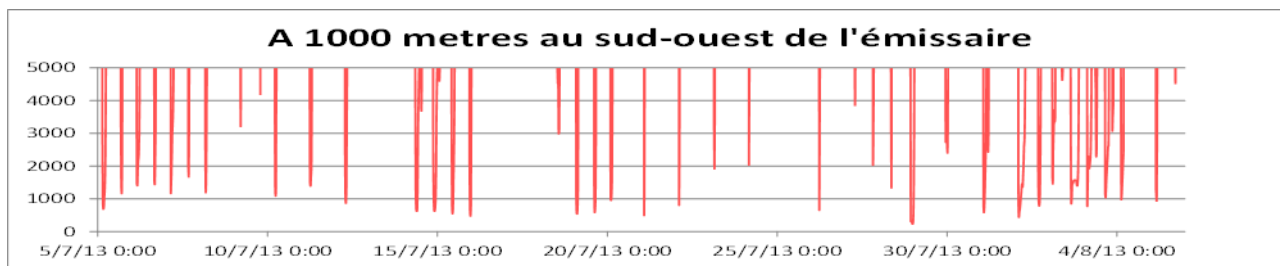


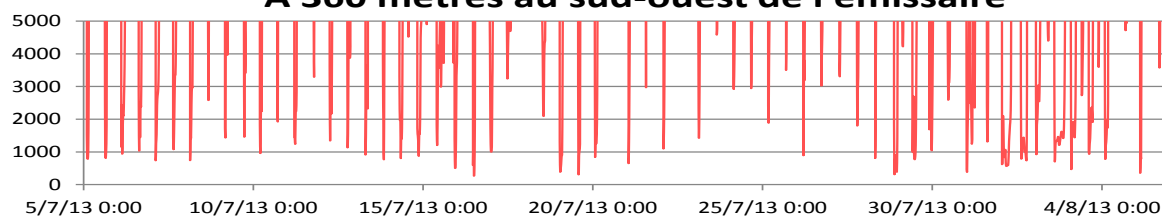
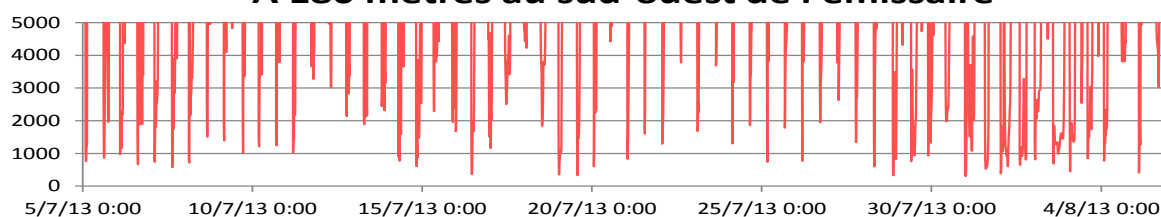
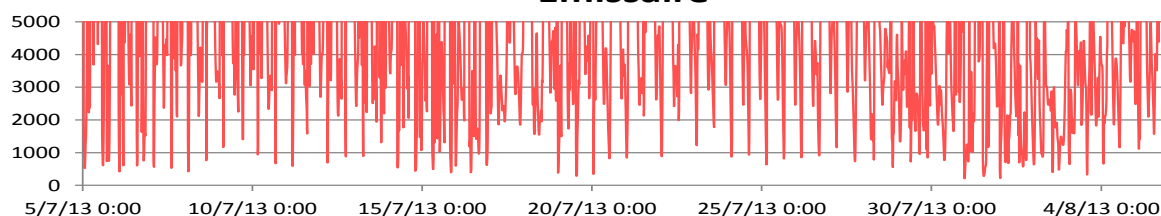
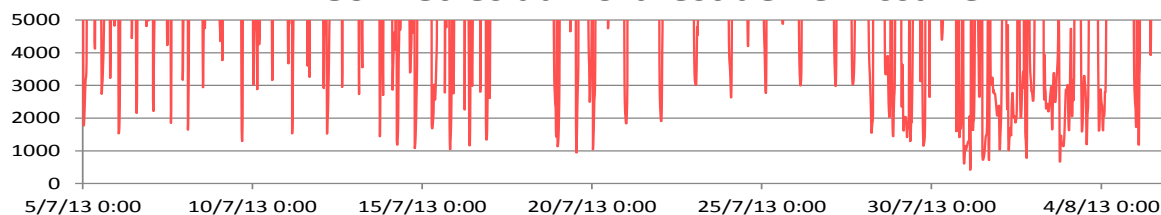
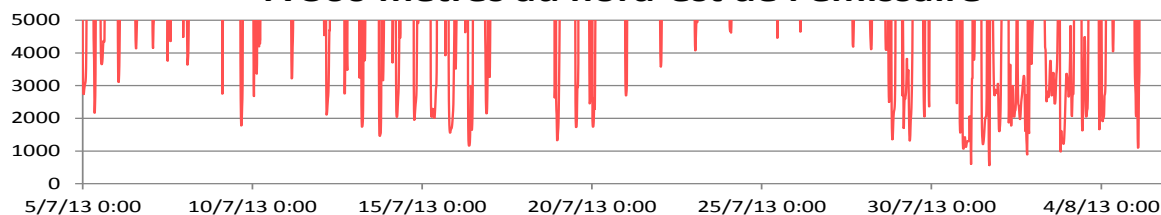
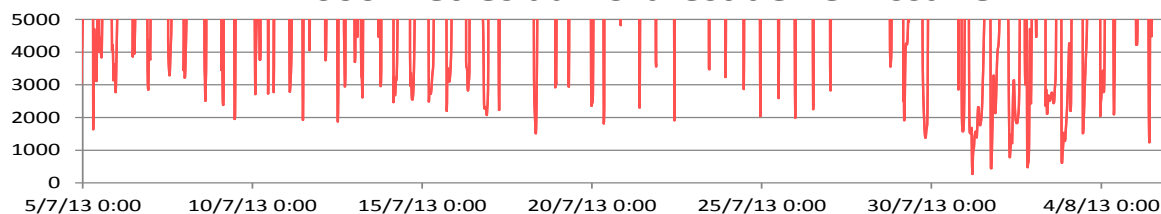
**Juillet 2013 : suivi temporel des taux de dilution selon la radiale C38, couche k3**

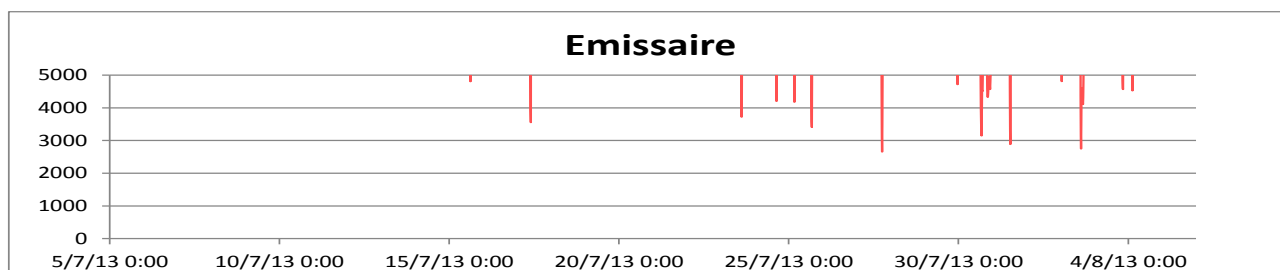
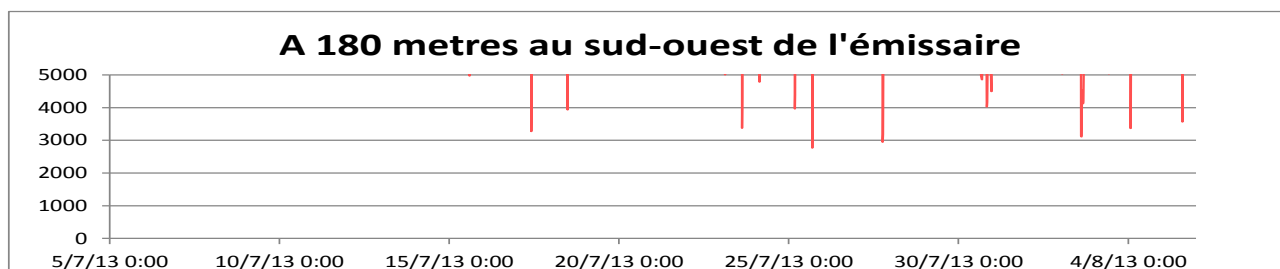
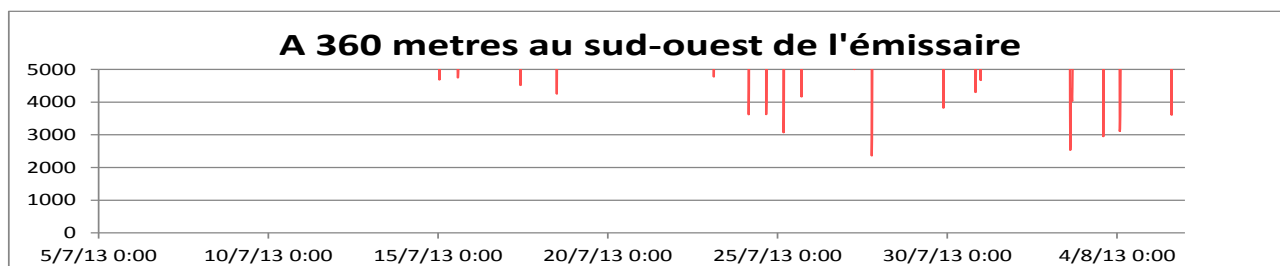
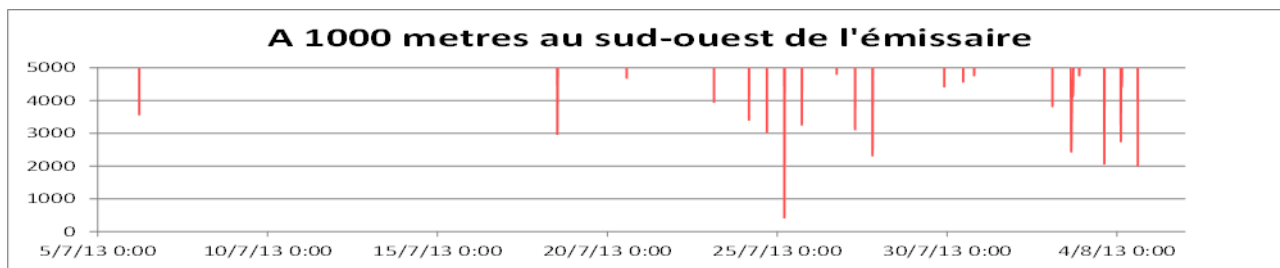




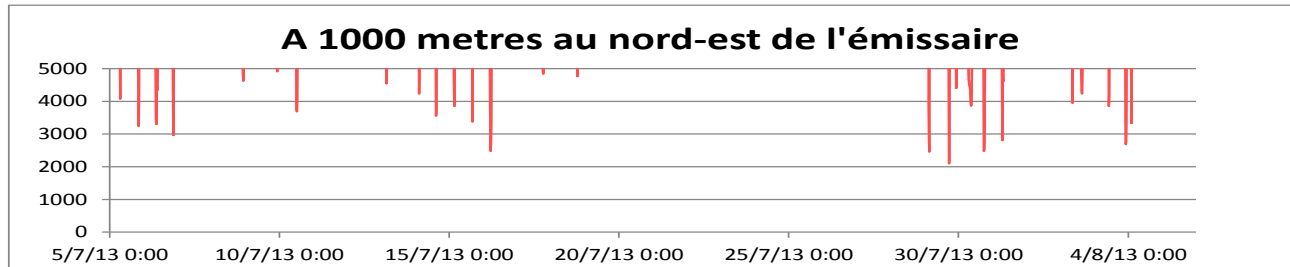
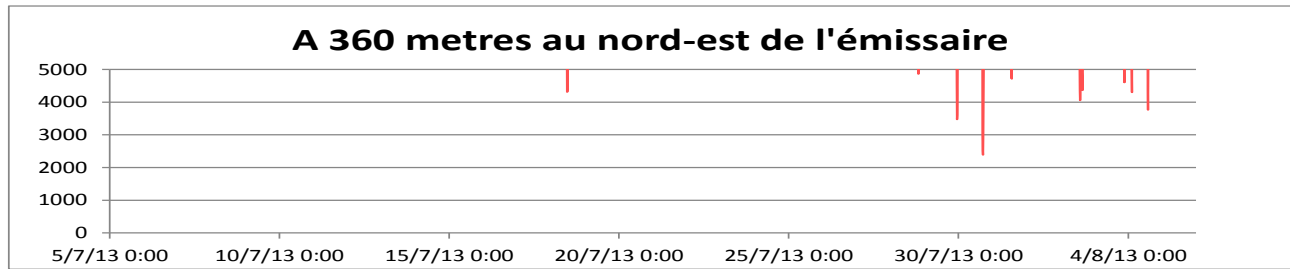
**Juillet 2013 : suivi temporel des taux de dilution selon la radiale C39, couche k3**



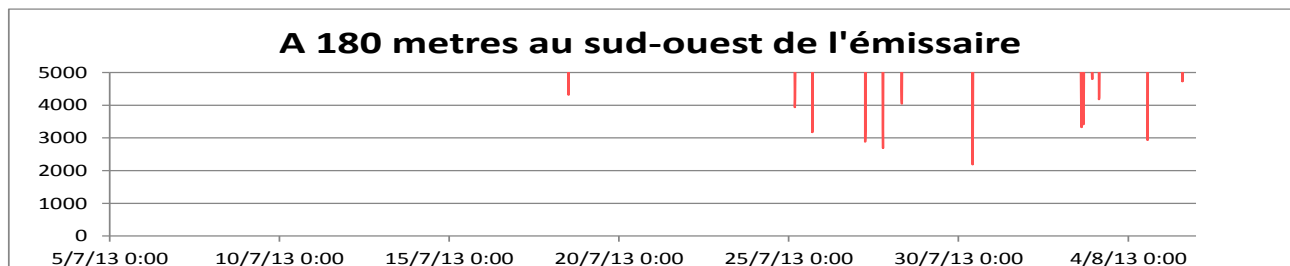
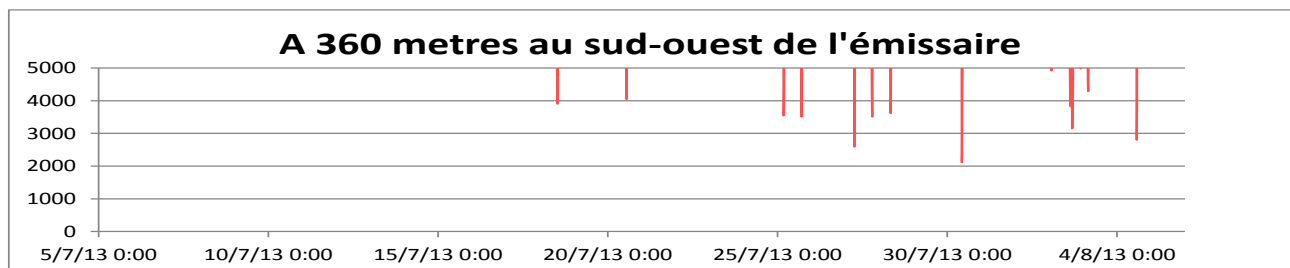
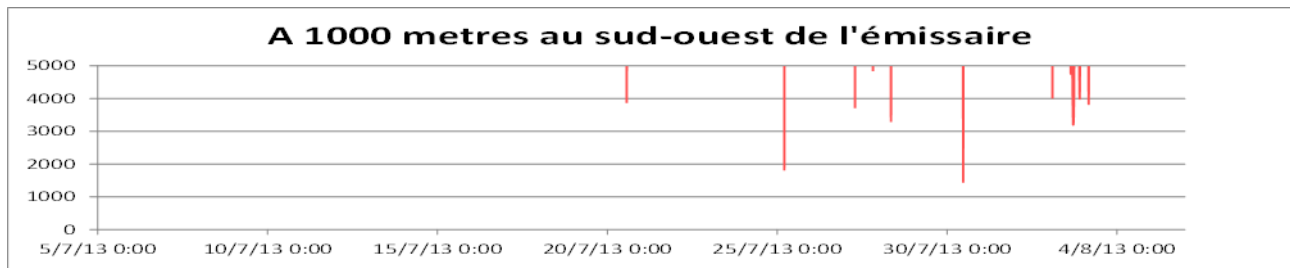
**A 360 metres au sud-ouest de l'émissaire****A 180 metres au sud-ouest de l'émissaire****Emissaire****A 180 metres au nord-est de l'émissaire****A 360 metres au nord-est de l'émissaire****A 1000 metres au nord-est de l'émissaire**

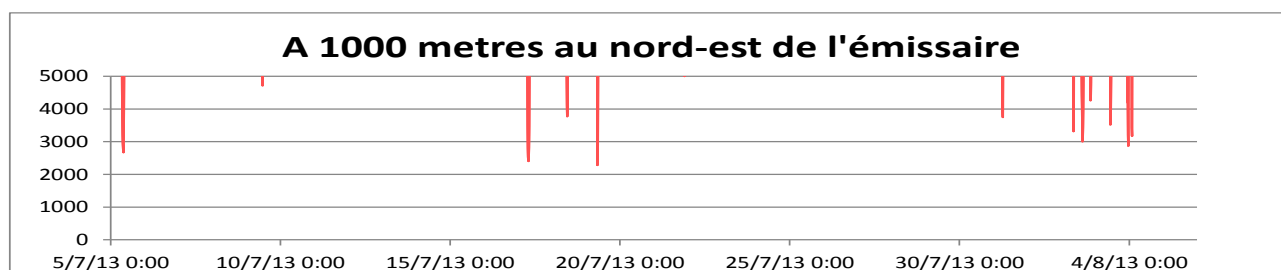
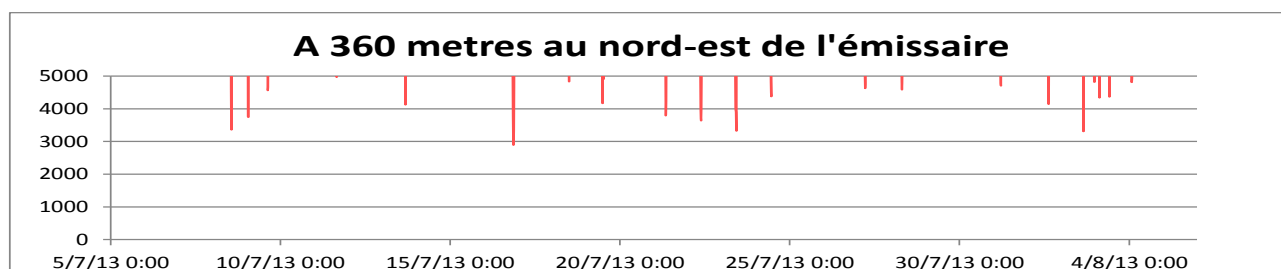
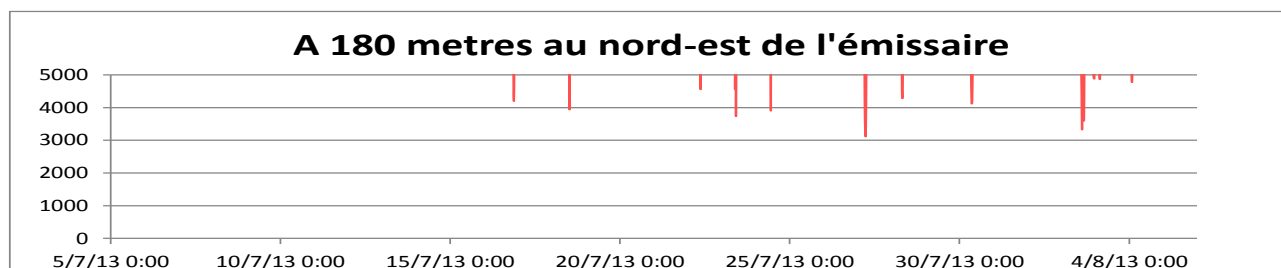
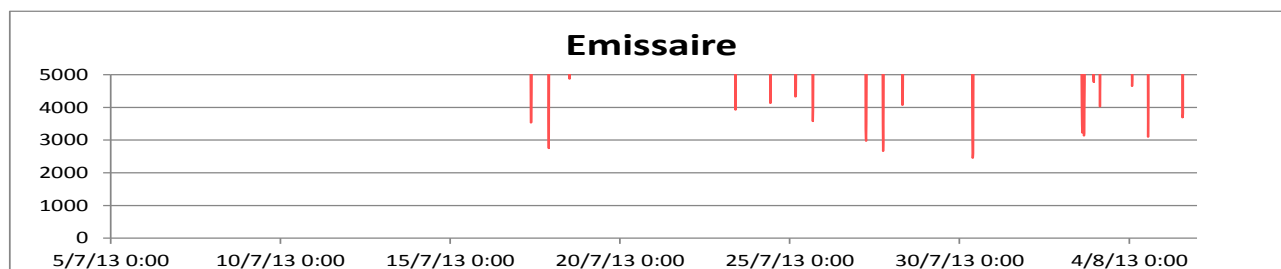
**Juillet 2013 : suivi temporel des taux de dilution selon la radiale C37, couche k15**





### Juillet 2013 : suivi temporel des taux de dilution selon la radiale C38, couche k15





**Juillet 2013 : suivi temporel des taux de dilution selon la radiale C39, couche k15**

