



SUIVI DES CONCENTRATIONS EN MANGANESE ET NICKEL DANS LE CHAMP PROCHE DU DIFFUSEUR

RAPPORT DE SYNTHÈSE 2019



« Chimie de l'environnement et
Modélisation hydrodynamique »

Rapport de synthèse

**Mars 2019 à
Octobre 2019**

Photos de couverture AEL (G. Lasne) : Passeur d'échantillonneurs passifs THOË.

CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL-LEA

Contrat VNC n° L15609-L17754-L22475/0001

**Suivi des concentrations en manganèse et nickel dans le
champ proche du diffuseur**

Rapport de synthèse 2019

Campagne de mars 2019 à octobre 2019

Laurent A., Fernandez JM., Moreton B.

Nombre de pages : 26

| | Réf AEL | Réf Client | |
|-----------------------|---|------------------|------------|
| Identification | L15609-L17754-L22475/0001 | 125-VI-16-P-v1.0 | |
| Titre complet | SUIVI DES CONCENTRATIONS EN MANGANESE ET NICKEL DANS LE CHAMP PROCHE DU DIFFUSEUR. Rapport de synthèse 2019. Période de mars 2019 à octobre 2019. | | |
| Auteurs | Laurent A., Fernandez JM., Moreton B. | | |
| Résumé | <p>Ce rapport synthétise les résultats du programme de suivi des concentrations en manganèse et nickel dans le champ proche du diffuseur dans le canal de la Havannah pour l'année 2019. A la demande du client et suite aux recommandations formulées lors de la précédente synthèse, la stratégie d'échantillonnage a été optimisée pour le suivi 2019.</p> <p>Ce suivi comprend ainsi deux campagnes de surveillance sur 4 stations « B » dans la nouvelle zone d'influence du panache de l'effluent.</p> <p>L'immersion de « THOË », dispositif novateur développé par AEL permettant d'exposer séquentiellement des échantillonneurs passifs de type DGT™, a permis de suivre sur une période de 6 semaines pour la première campagne (2019-S1) et de 3 mois pour la deuxième campagne (2019-S2), les concentrations en Mn et Ni de l'eau de mer à proximité de l'émissaire marin.</p> <p>Cette synthèse met en évidence le caractère « quasi-conservatif » de l'élément Ni et la grande variabilité des concentrations moyennes du Mn. Cette variabilité peut s'expliquer par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la présence de micro-paillettes issues du rejet dans l'environnement proche du diffuseur - une augmentation ponctuelle des niveaux la concentration dans les rejets. - un rejet des effluents plus proche de la côte. <p>La nouvelle stratégie d'échantillonnage mise en place en 2019 à montrer toute sa pertinence en permettant d'appréhender plus efficacement le comportement de dispersion du panache de l'effluent dans le champ proche et éloigné du diffuseur.</p> | | |
| APPROBATION | | | |
| FONCTION | NOMS | VISA | DATE |
| Rédacteur | Audrey Laurent | AL | 27/12/2019 |
| Vérificateur 1 | Jean-Michel Fernandez | JMFA | 29/12/2019 |
| Vérificateur 2 | Céline Pousse | CP | 30/12/2019 |
| Approbateur | Jean-Michel Fernandez | JMFA | 30/12/2019 |
| EVOLUTION | | | |
| VERSION | DESCRIPTION DES MISES A JOUR | | DATE |
| V1.0 | Rapport | | 30/12/2019 |
| COPIE - DIFFUSION | | | |
| NOM | ORGANISME | | |
| Yann Vessiller | Vale-NC, Département environnement | | |

Ce rapport est cité comme suit : Laurent A., Fernandez JM., Moreton B., 2019. Suivi des concentrations en manganèse et nickel dans le champ proche du diffuseur. Rapport de synthèse 2019. Période de mars 2019 à octobre 2019. Contrat AEL/Vale-NC n°125-VI-16-P-v1.0

TABLE DES MATIERES

| | | |
|-------------|---|-----------|
| I. | INTRODUCTION | 8 |
| A. | CONTEXTE | 8 |
| B. | OBJECTIFS..... | 8 |
| II. | METHODOLOGIE | 10 |
| A. | SITE D'ETUDE | 10 |
| B. | TECHNIQUE D'ECHANTILLONNAGE (RAPPELS)..... | 11 |
| C. | CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES | 14 |
| III. | RESULTATS ET DISCUSSION | 15 |
| A. | CONCENTRATIONS EN MANGANESE ET NICKEL 2019 | 15 |
| B. | BILAN GLOBAL DES SUIVIS 2018-2019 PAR ECHANTILLONNAGE PASSIF (DGT)..... | 19 |
| IV. | CONCLUSION | 22 |

I. INTRODUCTION

A. CONTEXTE

Le présent document synthétise les résultats des campagnes de surveillance des concentrations en manganèse et nickel durant l'année 2019 en champ proche de l'émissaire marin. Ce programme donne suite aux précédents travaux d'étude dans la zone afin de comprendre le comportement des rejets et les mécanismes de transport et de dilution (géochimie de l'effluent, modélisation hydrodynamique et traçage colorimétrique)^{1&2}.

À la suite du dysfonctionnement hydraulique de la partie distale du diffuseur et des recommandations formulées dans le rapport de synthèse 2018³, une optimisation de la stratégie d'échantillonnage et de sélection des métaux suivis a été mise en place pour les deux campagnes 2019. Ainsi, au vu des nouvelles conditions de rejet (environ 48/200 orifices opérationnels en tête de diffuseur), le mouillage des THOËs a été aligné perpendiculairement au niveau du 25^{ème} orifice environ ; cette zone reçoit environ 4 fois plus d'effluent qu'initialement puisque la totalité du flux est proportionnellement répartie sur le nombre d'orifices opérationnels, le cône d'éjection des effluents étant, par ailleurs, probablement modifié.

Le suivi renforcé est réalisé grâce au déploiement de passeurs automatiques de type « THOË » (développés par AEL) et d'échantillonneurs passifs de marque DGT™. Les THOËs permettent un échantillonnage séquentiel préprogrammé du milieu durant une période pouvant couvrir plusieurs mois.

B. OBJECTIFS

L'objectif de ce suivi 2019 est de contrôler le niveau de concentration du manganèse (Mn) et du nickel (Ni), présents dans le champ proche du diffuseur au vu des nouvelles conditions de rejet et dans le respect de l'arrêté N°2767-2016 du 21 novembre 2016. Ce dernier permet une certaine flexibilité des concentrations émises.

L'optimisation de la stratégie d'échantillonnage déployée en 2019, considère les nouvelles contraintes de rejet de l'effluent au niveau des 48 premiers orifices fonctionnels du diffuseur. Elle consiste en l'abandon des stations NE30B et SW30B, au profit d'un renforcement du suivi dans la colonne d'eau des stations NE60B et SW60B. Ainsi, deux THOËs sont immergés de manière à couvrir non seulement la couche K2/K3 (3m du fond) du modèle hydrodynamique mais aussi la couche K6, localisée à 6 mètres du fond. De plus, une nouvelle station « SW180B » située sur la même radiale perpendiculaire, à 180 mètres du diffuseur, est intégrée au réseau de surveillance.

Le suivi des concentrations en métaux dissous 2019 concernera quant à lui, plus particulièrement le manganèse (Mn) et le nickel (Ni). En effet, le suivi de l'élément cobalt (Co) ne s'est pas montré particulièrement pertinent au vu des très faibles concentrations mesurées lors des précédentes campagnes ; il a donc été abandonné à la demande de Vale-NC.

¹ Conventions IRD/Vale-Inco, Convention N° 9135AO, 2005 et Convention N° 2131, 2009

² Contrats Vale-NC/AEL, 2010 (N/Ref : 110222-VI-10), 2011 (N/Ref : 110222-VI-10), 2012 (N/Ref : 120315-VI-14), 2013 (N/Ref : 120315-VI-14), 2014 (N/Ref : 140128-VI-24), 2015 (N/Ref : 068-VI-15-P), 2017 (N/Ref : 125-VI-17-P)

³ Laurent A., Fernandez JM., Moreton Benjamin, 2019. Suivi des concentrations en manganèse et autres métaux dans le champ proche du diffuseur. Rapport de synthèse 2018. Période d'avril 2018 à décembre 2018. Contrat AEL/Vale-NC n°125-VI-18-P, 32p.

Ainsi pour chacune des campagnes de 2019, c'est un total de six appareils qui a été immergé sur les 4 stations (NE60B, SW60B, SW180B et SW1000B) géographiquement distinctes des positions initiales du réseau de surveillance du champ proche du diffuseur. Ce dispositif a permis de couvrir une période de surveillance du milieu marin de 42 jours, soit 6 semaines, pour la première campagne (2019-S1) et de 120 jours, soit 3 mois consécutifs pour la deuxième campagne (2019-S2).

Ce rapport rend compte de la synthèse des résultats obtenus pour les deux campagnes de suivi 2019.

II. METHODOLOGIE

A. SITE D'ETUDE

Le site d'étude initial a évolué en raison du dysfonctionnement hydraulique de la portion distale du diffuseur, constaté en 2018 par Vale-NC. De ce fait, les stations prédéfinies dans la proposition technique initiale ont été, à la demande du client, translatées vers le Nord au cours de la première campagne de suivi 2018. Cette translation de la radiale a eu pour but de contrôler la dispersion de l'effluent marin rejeté au niveau des 48 premiers orifices fonctionnels du diffuseur (Figure 1) et est effective depuis lors.

Ainsi, le suivi des concentrations en Mn et Ni dans le champ du diffuseur est réalisé sur les stations « B » définies dans le Tableau 1.

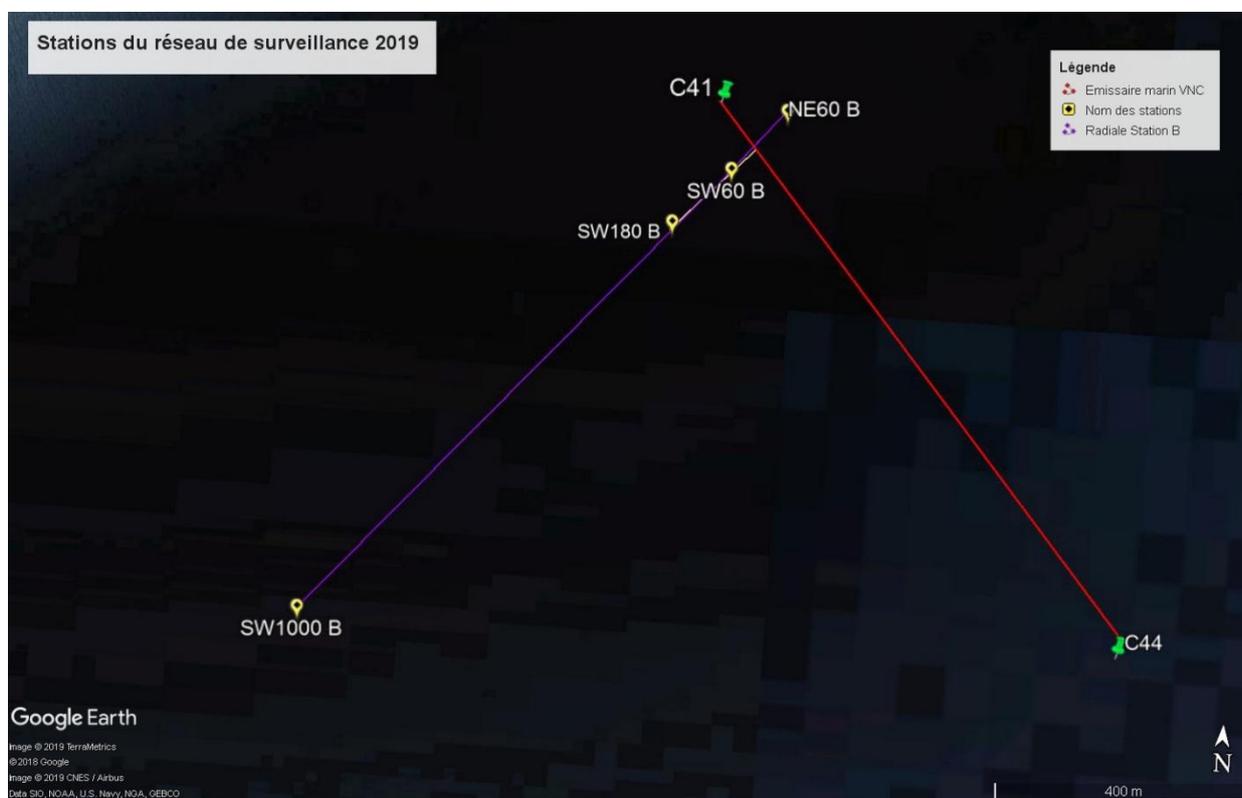


Figure 1 : Zoom du positionnement des 4 stations composant le nouveau réseau de surveillance des concentrations en Mn et Ni dans le canal de la Havannah pour 2019. Un THOË équipe les stations SW180B et SW1000B à 3m du fond, les stations NE60B et SW60B étant équipées avec deux THOËs chacune, l'un à 3m du fond et l'autre à 6m. Le trait rouge représente l'emplacement du diffuseur.

Tableau 1 : Coordonnées (référentiel WGS-84) des 4 stations "B" du suivi des concentrations en Mn et Ni pour 2019.

| Station | St NE60B | St SW60B | St SW180B | St SW1000B |
|----------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Longitude | 166°59'31.2" | 166°59'28.4" | 166°59'25.4 " | 166°59'06.7" |
| Latitude | 22°21'56.2 " | 22°21'59.3" | 22°22'2.2" | 22°22'22.7" |
| Profondeur (m) | 45 | 40 | 40 | 45 |

B. TECHNIQUE D'ÉCHANTILLONNAGE (RAPPELS)

1. Les échantillonneurs passifs (DGT™)

L'utilisation des DGT™ bénéficie de plus de 20 ans d'expérience, ils sont largement utilisés par l'industrie, les organismes de recherche et de réglementation, etc. De plus, des centaines d'articles scientifiques rendent compte de son efficacité et de sa validité pour une large gamme de substances dissoutes dans les eaux. En Nouvelle-Calédonie, les travaux menés par plusieurs équipes (programme ADIIP, 2013-2014⁴) prouvent que ce dispositif est adapté au lagon calédonien. Il est non seulement déployé dans le canal de la Havannah et le lagon de la côte ouest mais aussi dans des milieux plus impactés tel que la Grande Rade.

Chaque échantillonneur passif correspond à un dispositif de type DGT™ (Diffusive Gel in Thin layer⁵) de 4 cm de diamètre environ. Le DGT™ (Figure 2) est composé, d'une part, d'un support en plastique inerte en deux parties (couronne de maintien et piston) et, d'autre part, de l'empilement d'une membrane filtrante, d'un gel de diffusion et d'une résine adsorbante spécifique de type Chelex-100 permettant de piéger les métaux pour lesquels il existe un agent de liaison sélectif (éléments divalents).

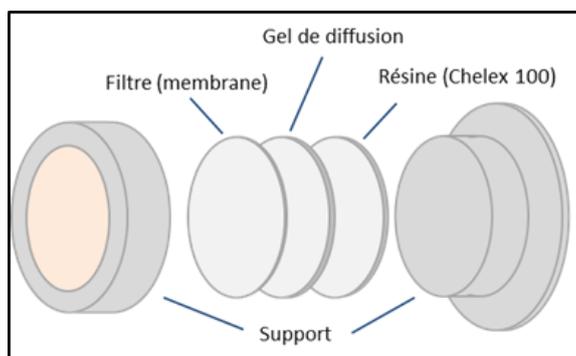


Figure 2 : Schéma de la composition d'un dispositif DGT™.

Le DGT™ permet ainsi de mesurer les espèces dissoutes labiles des métaux (assimilables à celles disponibles pour le biote), que celles-ci soient de nature inorganique ou issues de complexes organiques, dans un large éventail de concentrations. Lorsque cette technique est associée à l'analyse par ICP-MS en particulier, les Limites de Quantification (LQ) figurent alors parmi les plus basses atteignables.

2. Le passeur d'échantillonneurs passifs : THOË

L'exposition des DGT™ au milieu à surveiller (échantillonnage) est assurée par un passeur automatisé appelé « THOË » (Figure 3). Cet appareil novateur, développé par AEL, permet d'effectuer *in situ* une série d'échantillonnages étalés dans le temps en fonction d'une programmation prédéfinie. Cet échantillonnage séquentiel du milieu naturel est réalisé par l'intermédiaire d'un plateau rotatif, pouvant accueillir 12 DGT™, équipé d'une fenêtre d'exposition.

⁴ Moreton B, Gonzalez J-L, Fernandez JM, Pluchino S, Kaplan H, 2013. Utilisation d'échantillonneurs passifs en tant qu'indicateur de la pression chimique liée à l'activité minière en Nouvelle Calédonie. Programme ADIIP, CNRT « Le nickel et son environnement (2009) », 75p. Fernandez JM, 2013. Synthèse du programme ADIIP. Programme ADIIP, CNRT « Le nickel et son environnement (2009) », 40p.

Fernandez JM, 2015. Synthèse du programme ADIIP. Programme ADIIP, CNRT « Le nickel et son environnement (2009/2013) », 45p.

⁵ Davison, W., Zhang, H., Nature, vol. 367, No. 6463, 02, 1994.



Figure 3 : Photographie d'un THOË (version commerciale), face supérieure et face inférieure avec la fenêtre d'exposition séquentielle des DGTs.

Les THOËs sont gréés sur une ligne instrumentée permettant leur mouillage à 3m et/ou 6m au-dessus du fond selon la station (Figure 4). Un schéma des modalités du suivi déployé en 2019 est présenté en Annexe1.

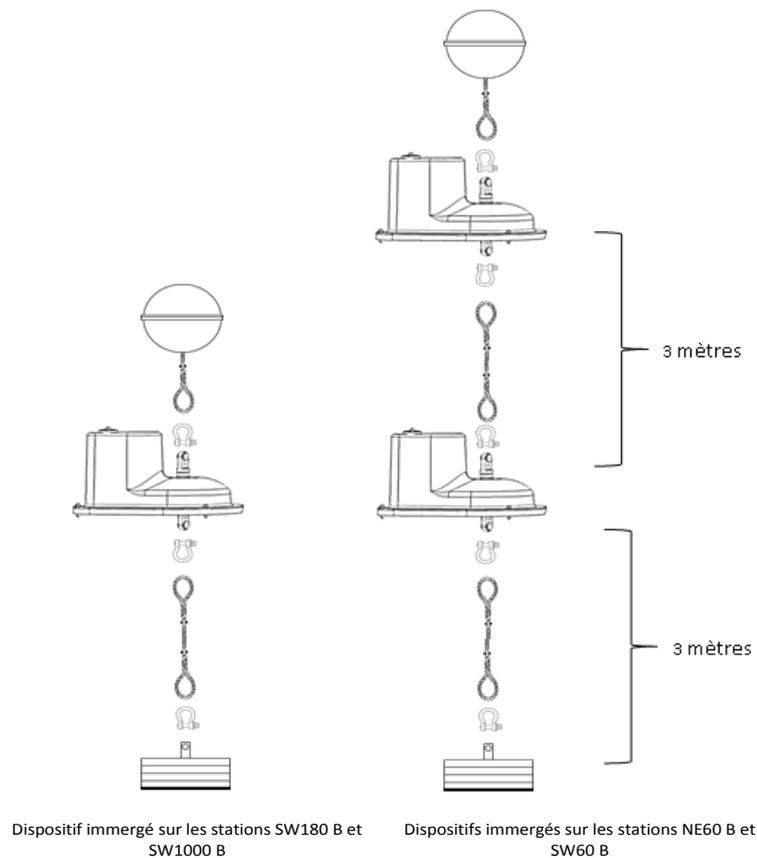


Figure 4 : Schéma des 2 types de ligne de mouillage du suivi 2019.

Après la fin de chaque campagne, les THOËs sont démontés et l'ensemble des DGT™ de chaque appareil est récupéré. Cette opération est réalisée en conditions ultra-propres au laboratoire. Les DGTs sont identifiés et observés visuellement afin de constater la présence ou l'absence de biofilm à leur surface. Les résines sont ensuite extraites de leurs supports en plastique respectifs et éluées dans une solution d'acide nitrique. Enfin, les éluats sont analysés par ICP-MS pour le dosage des concentrations en Mn et Ni.

3. Les campagnes d'échantillonnage

Le programme de suivi de l'année 2019 s'est déroulé selon les deux campagnes S1 et S2.

La première campagne 2019-S1 a été initiée le 16 mars 2019 sur les 4 stations du réseau et selon les modalités précédemment détaillées. La programmation des séquences d'exposition du THOË a été réalisée avec un pas de temps de 7 jours comme mentionné dans le Tableau 2.

La récupération des THOËs s'est déroulée le 16 et le 23 mai 2019, après neuf semaines d'immersion.

Tableau 2 : Programmation des séquences d'exposition (ouverture et fermeture) des DGTs de chaque THOË pour la première campagne S1 de suivi 2019.

| DGT | Date de l'ouverture (jj/mm/aaaa) | Heure de l'ouverture (00:00) | Date de la fermeture (jj/mm/aaaa) | Heure de la fermeture (00:00) | Période d'immersion (j) | Température moyenne mesurée (°C) |
|-----|----------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| N°1 | 16/03/2019 | 00:00 | 23/03/2019 | 00:00 | 7 | 24,8 |
| N°2 | 23/03/2019 | 00:00 | 30/03/2019 | 00:00 | 7 | – |
| N°3 | 30/03/2019 | 00:00 | 06/04/2019 | 00:00 | 7 | – |
| N°4 | 06/04/2019 | 00:00 | 13/04/2019 | 00:00 | 7 | – |
| N°5 | 13/04/2019 | 00:00 | 20/04/2019 | 00:00 | 7 | 25,2 |
| N°6 | 20/04/2019 | 00:00 | 27/04/2019 | 00:00 | 7 | 24,2 |
| N°7 | 27/04/2019 | 00:00 | 04/05/2019 | 00:00 | 7 | 24,1 |
| N°8 | 04/05/2019 | 00:00 | 11/05/2019 | 00:00 | 7 | 23,9 |
| N°9 | 11/05/2019 | 00:00 | 16/05/2019 | 09:00 | 5 | 24,0 |

Remarque : À la suite d'un dysfonctionnement du logiciel de gestion du moteur constaté lors de la récupération des appareils, 3 des 9 DGTs, de chaque THOË, n'ont pas été exposés au milieu environnant. Ces 3 DGTs correspondent aux semaines n°2 (23/03 au 30/03), n°3 (30/03 au 06/04) et n°4 (06/04 au 13/04).

Pour cette première campagne, 6 semaines de suivi ont été exploitées.

La deuxième campagne 2019-S2 a été initialisée le 10 juillet à 00:00 (Tableau 3). Les THOËs ont été programmés pour exposer successivement 12 DGTs (au lieu de 8) durant 7 jours chacun. Cette campagne a donc été conduite sur 3 mois consécutifs (au lieu de 2) ; les 4 DGTs supplémentaires servant à compléter les informations perdues lors de la première campagne. L'immersion des THOËs a été réalisée le 9 juillet et la récupération le 10 octobre 2019.

Tableau 3 : Programmation des séquences d'exposition (ouverture et fermeture) des DGTs de chaque THOË pour la deuxième campagne S2 de suivi 2019.

| DGT | Date de l'ouverture (jj/mm/aaaa) | Heure de l'ouverture (00:00) | Date de la fermeture (jj/mm/aaaa) | Heure de la fermeture (00:00) | Période d'immersion (j) | Température moyenne mesurée (°C) |
|------|----------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| N°1 | 10/07/2019 | 00:00 | 17/07/2019 | 00:00 | 7 | 22,7 |
| N°2 | 17/07/2019 | 00:00 | 24/07/2019 | 00:00 | 7 | 22,2 |
| N°3 | 24/07/2019 | 00:00 | 31/07/2019 | 00:00 | 7 | 22,0 |
| N°4 | 31/07/2019 | 00:00 | 07/08/2019 | 00:00 | 7 | 22,1 |
| N°5 | 07/08/2019 | 00:00 | 14/08/2019 | 00:00 | 7 | 21,8 |
| N°6 | 14/08/2019 | 00:00 | 21/08/2019 | 00:00 | 7 | 21,8 |
| N°7 | 21/08/2019 | 00:00 | 28/08/2019 | 00:00 | 7 | 21,9 |
| N°8 | 28/08/2019 | 00:00 | 04/09/2019 | 00:00 | 7 | 23,9 |
| N°9 | 04/09/2019 | 00:00 | 11/09/2019 | 09:00 | 7 | 22,3 |
| N°10 | 11/09/2019 | 00:00 | 18/09/2019 | 00:00 | 7 | 22,3 |
| N°11 | 18/09/2019 | 00:00 | 25/09/2019 | 00:00 | 7 | 22,8 |
| N°12 | 25/09/2019 | 00:00 | 02/10/2019 | 00:00 | 7 | 22,3 |

Remarque : Le THOË déployé sur la station SW180 B n'a pas effectué ses séquences en raison de l'obstruction du plateau rotatif. Le premier DGT a été exposé 12 semaines consécutivement, soit la durée totale du suivi.

Malgré la présence d'un amorçage de biofilm à la surface du filtre de ce DGT, conséquence de cette exposition d'une durée exceptionnelle, les concentrations moyennes en Mn et Ni mesurées par ICP-MS montrent des valeurs tout à fait cohérentes.

C. CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES

Aucun évènement météorologique majeur n'est à déclarer durant ces deux campagnes 2019.

Toutefois, il faut rappeler qu'à contrario des conditions hydrodynamiques, les conditions météorologiques régnant dans la zone de surveillance sont peu susceptibles d'influencer l'échantillonnage réalisé par les THOËs à ces profondeurs (35-40m approximativement).

En effet, les cycles de marées (morte-eau/vive-eau), quant à eux, impactent notablement le transport des effluents et surtout l'intensité des mécanismes de dilution du panache ; la modification de ces modalités d'échantillonnage du DGT™ détermine alors les concentrations mesurées.

Note : Pour une interprétation plus fine des résultats, des simulations complémentaires de la dispersion de l'effluent rejeté par les orifices fonctionnels du diffuseur peuvent être envisagées. En effet, le modèle développé permet de tenir compte des conditions hydrodynamiques réelles régnant dans le canal de la Havannah pour chacune des deux campagnes S1 et S2 de surveillance.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

A. CONCENTRATIONS EN MANGANESE ET NICKEL 2019

1. Manganèse

Rappel : Les recommandations des différents experts, basées sur le principe de précaution, ont conduit à accepter des concentrations en manganèse dissous dans l'environnement inférieures du seuil de 10 µg/L. Ce seuil garantit l'innocuité sur les biotes les plus sensibles.

Au cours des campagnes de suivi 2019, les concentrations en manganèse obtenues montrent une nouvelle fois une certaine hétérogénéité. Cependant, certaines tendances se dégagent et se vérifient avec le temps.

La première campagne de suivi 2019 (2019-S1), qui s'est déroulée du 15 mars au 10 mai, montre des concentrations en manganèse comparables à celles des deux premières campagnes menées en 2018. En effet, les concentrations moyennes se situent autour de 1µg/L selon les stations et les profondeurs considérées (moyenne globale à 0,79 µg/L), avec une concentration maximale mesurée de 3 µg/L.

De manière similaire avec l'année précédente, aucun dépassement du seuil autorisé des 10 µg/L n'est constaté (Figure 5 et Figure 6).

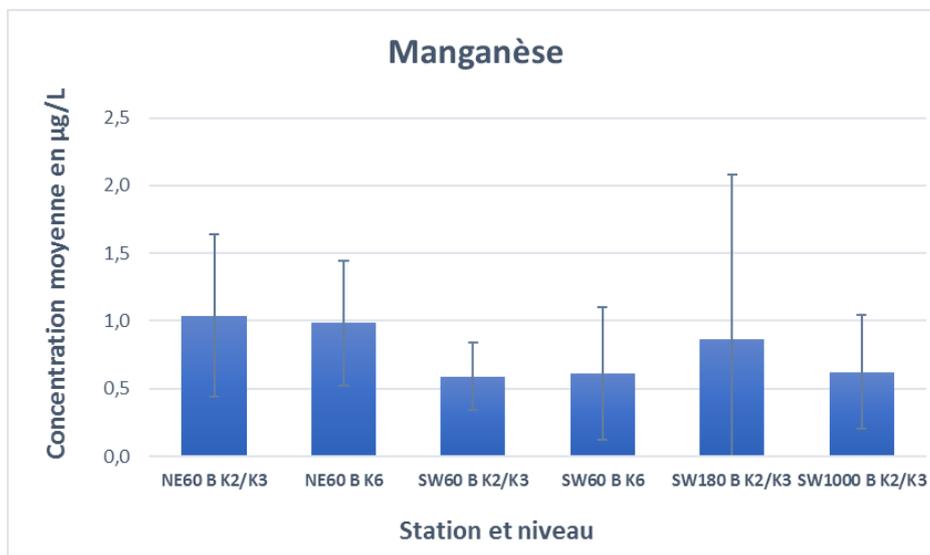


Figure 5 : Evolution des concentrations moyennes (+ écart-type) en manganèse dissous (Mn en µg/L) au cours du premier suivi 2019 selon la station et la couche considérée.

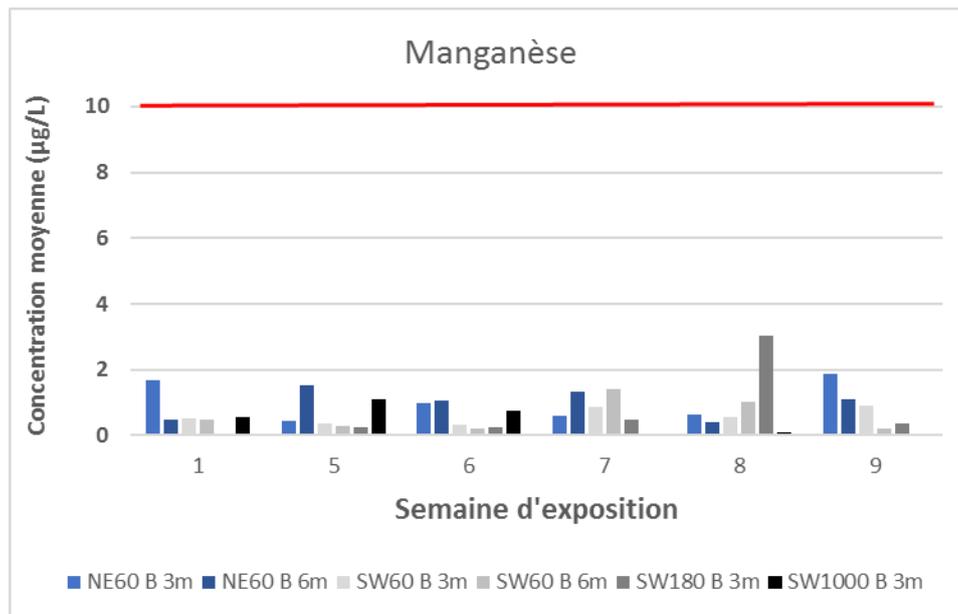


Figure 6 : Histogramme des concentrations moyennes en Mn ($\mu\text{g/L}$) pour chaque station et semaine d'exposition, au cours du premier S1 suivi 2019-S1. Aucun dépassement du seuil des $10\mu\text{g/L}$ n'est observé.

La deuxième campagne de suivi 2019 (2019-S2), correspondant à la période de suivi du 10 juillet au 2 octobre, met en évidence des concentrations moyennes en manganèse dissous sensiblement supérieures, comparativement à celles de la première campagne. En effet, elles sont trois fois supérieures au regard de la moyenne globale du suivi qui est de $2,36\mu\text{g/L}$.

Bien que la station située au nord-est du diffuseur (NE60B) ainsi que les stations SW180B et SW1000B présentent des concentrations moyennes similaires à celles de la première campagne (autour de $1\mu\text{g/L}$; Figure 7-A), la station SW60B qui se situe dans le champ très proche du diffuseur se caractérise par de nombreux pics de fortes concentrations en manganèse. Certains de ces pics se distinguent particulièrement car ils dépassent la concentration limite de $10\mu\text{g/L}$ autorisée pour garantir l'innocuité sur l'environnement.

En effet, durant la période du 7 au 28 août 2019, **3 dépassements du seuil des $10\mu\text{g/L}$** ont été observés (Figure 7), la concentration maximale mesurée étant de $37,1\mu\text{g/L}$ en semaine 6, soit du 14 au 21 août. Cette maximale est douze fois supérieure à celle observée au cours de la première campagne 2019 et qui avait pour valeur $3\mu\text{g/L}$. Ces valeurs importantes sont observées, pour plus de la moitié, dans la couche K6 c'est-à-dire à 6 m au-dessus du fond.

Adhérent à la surface du filtre des DGTs et retrouvées sous la forme d'un dépôt particulaire sur la coque des THOËs, des micro-palettes ont fait l'objet d'une étude particulière (rapport d'analyses D074) afin de préciser leur origine. Les concentrations en éléments, notamment en Mn, ont permis de mettre en évidence un fort gradient décroissant en direction du Sud-Ouest à partir du diffuseur et donc associé aux rejets.

Les concentrations exceptionnelles des DGTs s'expliquent donc grâce à la présence de ces micro-palettes. En effet, elles traduisent le passage d'effluents concentrés issus du diffuseur au niveau de la station SW60B. Par ailleurs, ces particules, elles-mêmes riches en métaux, peuvent contribuer dans les apports de manganèse enregistrés. Ces résultats sont en cohérence avec le contexte de rejet actuel, c'est-à-dire celui du fonctionnement partiel du diffuseur avec une modification des cônes d'éjection.

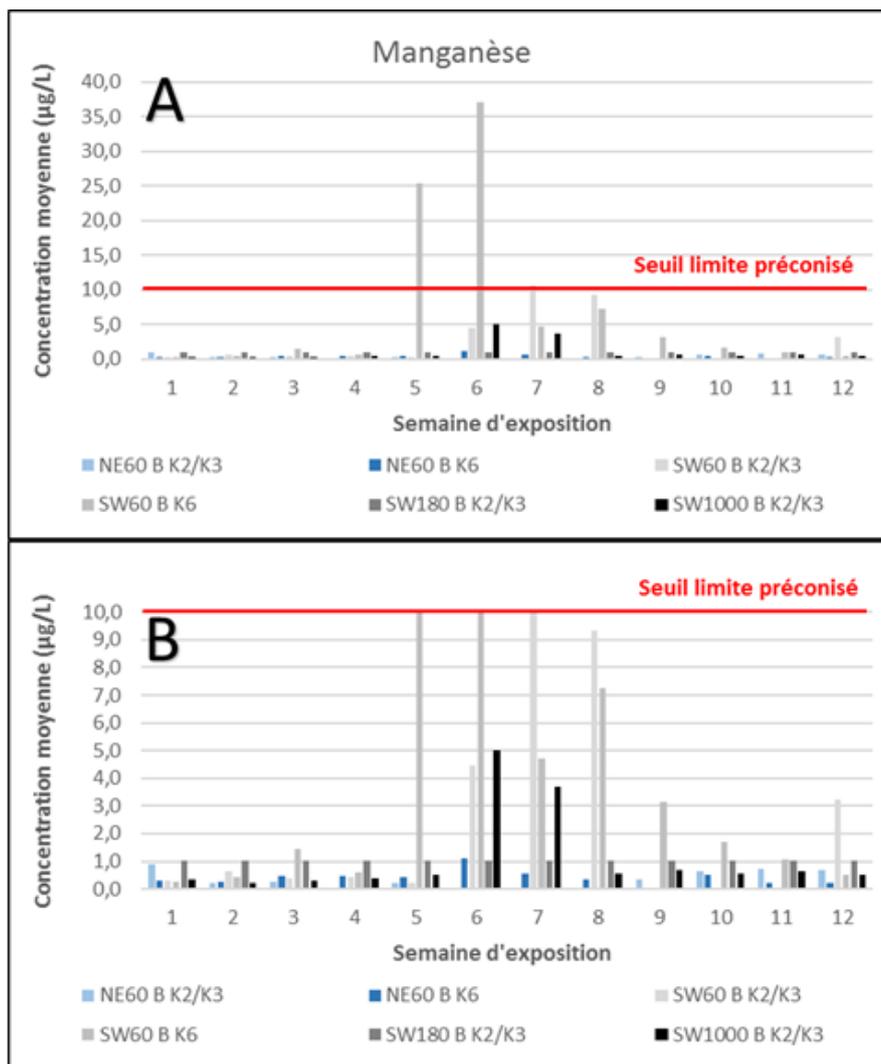


Figure 7 : Histogrammes A et B des concentrations moyennes (µg/L) en Mn pour chaque station et semaine d'exposition au cours du deuxième S2 suivi 2019. Trois dépassements du seuil des 10 µg/L sont observés sur SW60B.

A l'exception de ces épisodes localisés temporellement et géographiquement, les concentrations en Mn observées présentent le même profil que celui des campagnes précédentes : les maxima étant majoritairement observés au niveau de la station SW60B, les minima étant mesurés au niveau de la station NE60B, située au Nord-Est du diffuseur et malgré sa proximité, peu soumise au panache de l'effluent.

Ces résultats confortent, d'une part, la notion d'épisode « exceptionnel » des concentrations mesurées pendant cette campagne (Figure 8), et d'autre part confirme la bonne dispersion et dilution des effluents en direction du Sud-Ouest.

Ce gradient de concentration mesuré est en accord avec les résultats fournis par le modèle hydrodynamique prédictif décrivant les phénomènes de dispersion de l'effluent par les 48 premiers orifices du diffuseur réalisé en 2018⁶.

⁶ Drouzy M, Fernandez JM, 2018. Modélisation des phénomènes de dispersion des effluents rejetés par les 48 premiers orifices du diffuseur de Vale-NC en conditions réelles, un débit de 2900m³/h et une concentration en manganèse initiale de 10mg/L. Contrat Vale-NC/AEL n°209-VI-18_P (L09595/0001), 39p

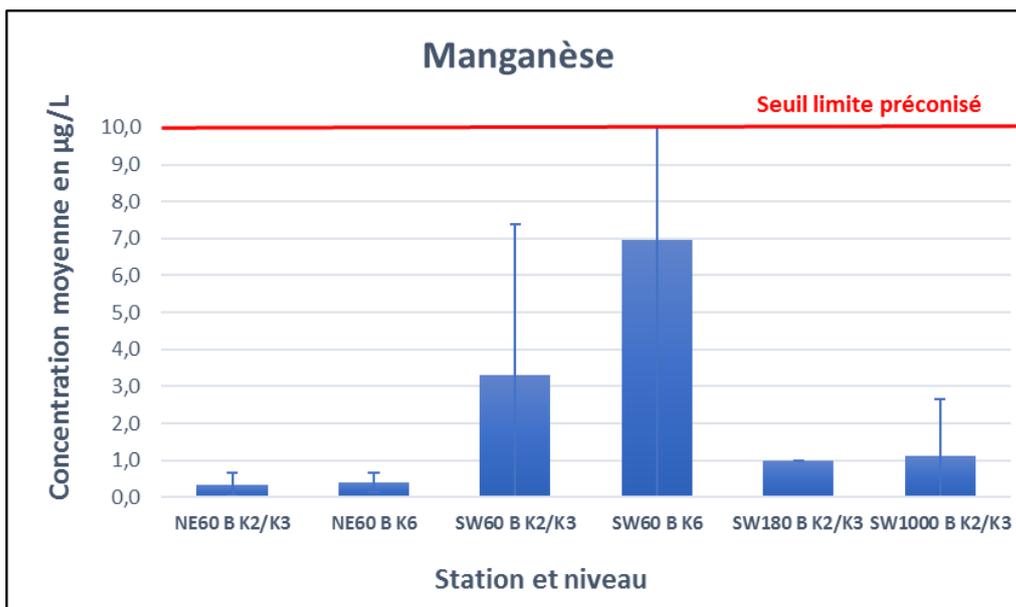


Figure 8 : Moyennes globales (+écart-type) des concentrations en Mn (µg/L) par stations, mesurées au cours du deuxième suivi 2019.

2. Nickel

Contrairement à l'élément manganèse, le nickel (Ni) présente des concentrations homogènes au cours des deux campagnes de suivi de l'année 2019, tel que l'illustrent la Figure 9 et le Tableau 4 récapitulatif.

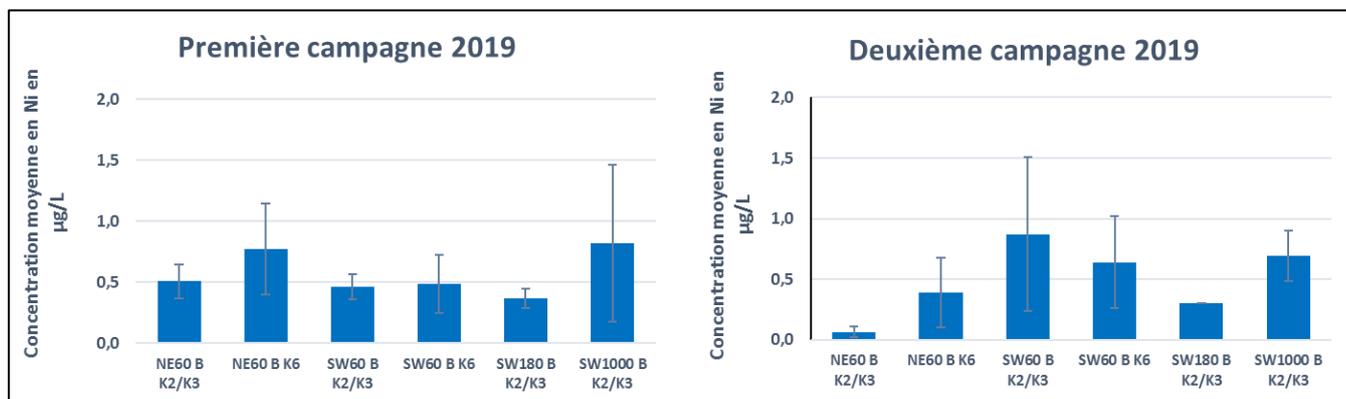


Figure 9 : Histogrammes représentant les concentrations moyennes en Ni (µg/L) par station et couche, au cours du premier S1 et deuxième S2 suivis 2019.

Globalement, le nickel présente un comportement assimilable à celui d'un traceur « conservatif » montrant un gradient de concentration décroissant avec la distance au diffuseur, exception faite de la station SW1000B où des mécanismes hydrodynamiques interviennent. Sa moyenne globale au cours des deux suivis 2019 est similaire d'une campagne à l'autre et se situe autour de 0,5 µg/L (Tableau 4). Cette valeur, inférieure à 1 µg/L, est du même ordre de grandeur que les concentrations en Ni mesurées au cours des suivis physico-chimiques semestriels de la colonne d'eau dans le canal de la Havannah.

Les maxima de concentration observés notamment durant la deuxième campagne, sont en étroite relation avec la présence des micro-paillottes à la surface du filtre des DGTs concernés. Ils sont principalement observés sur les stations situées au Sud-Ouest du diffuseur, dans le sens majoritaire de dispersion du panache de l'effluent.

Tableau 4 : Tableau récapitulatif des concentrations globales du Ni ($\mu\text{g/L}$) au cours des deux suivis S1 et S2 de 2019.

| Nickel | Campagne 2019-S1 | Campagne 2019-S2 |
|--|------------------|------------------|
| Concentration maximale ($\mu\text{g/L}$) | 1,55 | 2,37 |
| Concentration minimale ($\mu\text{g/L}$) | 0,092 | 0,030 |
| Concentration moyenne du suivi ($\mu\text{g/L}$) | 0,559 +/- 0,317 | 0,525 +/- 0,431 |

La grande homogénéité des concentrations en nickel résulte, en partie, du fait que ses réactivités chimiques (précipitation/complexation) dans l'eau de mer sont bien moins importantes que celles du manganèse dont la propension à la co-précipitation avec les carbonates est très élevée.

B. BILAN GLOBAL DES SUIVIS 2018-2019 PAR ECHANTILLONNAGE PASSIF (DGT)

1. Généralités

Remarque : Seul le suivi des concentrations en Mn et Ni déployé sur les nouvelles stations « B » est pris en compte dans ce bilan, ainsi la première campagne 2018, avortée à la demande de Vale-NC, en est exclue.

Entre 2018 et 2019, 4 campagnes de suivi renforcé ont été programmées pour mesurer les concentrations en manganèse et en nickel dissous dans le canal de la Havannah. Onze points de surveillance (stations et couches) ont été suivis et 30 semaines de mesures ont été acquises au cours de ces deux années. Ainsi, un total de 168 échantillonneurs de type DGT™ ont été exposés dans le champ proche du diffuseur durant cette période (Tableau 5).

Tableau 5 : Statistiques des échantillonnages et analyses réalisés durant les 4 campagnes de suivi des années 2018 et 2019.

| Variable | Observations | Obs. avec données manquantes | Obs. sans données manquantes | Minimum | Maximum | Moyenne | Ecart-type |
|------------------------|--------------|------------------------------|------------------------------|---------|---------|---------|------------|
| Mn ($\mu\text{g/L}$) | 168 | 14 | 154 | 0,011 | 38,2 | 2,04 | 5,07 |
| Ni ($\mu\text{g/L}$) | 168 | 14 | 154 | 0,028 | 2,38 | 0,432 | 0,349 |

Ces résultats témoignent de la grande variabilité des concentrations en Mn mesurées dans l'eau de mer au cours des suivis 2018-2019. En effet, la gamme de valeur du Mn s'étend très largement, de 0,011 $\mu\text{g/L}$ pour le minima à 38,2 $\mu\text{g/L}$ pour le maxima. Ceci alors que la valeur de la moyenne calculée sur l'ensemble des observations est de 2,04 $\mu\text{g/L}$.

Comparativement, l'élément nickel présente une gamme de concentrations 15 fois moins étendue.

Le Tableau 6 décrit plus en détail les statistiques de la distribution des concentrations en manganèse et nickel en fonction de la position géographique (stations et couche d'eau K2/K3, K6 confondues) durant ces deux dernières années de suivi.

Le bilan de ces deux années de suivi met en évidence une concentration moyenne en manganèse de 0,831 (+/- 1,10) $\mu\text{g/L}$ et de nickel de 0,512 (+/- 0,373) $\mu\text{g/L}$ au niveau de la station éloignée, SW1000B. Ces résultats de mesure ont en totale cohérence avec les concentrations moyennes calculées pour un traceur fictif conservatif dans la couche K2/K3 à 1000 m du diffuseur par le modèle (conditions de rejet théorique à 10 mg/L de Mn dans l'effluent et avec un débit de 2900 m³/h) de 0,750 $\mu\text{g/L}$, tel qu'illustré dans le Tableau 7.

Tableau 6 : Statistiques des concentrations moyennes obtenues pour chaque station (couche K2/K3 et K6 confondues) des suivis 2018-2019. L'astérisque « * » correspond à la nouvelle station intégrée au suivi 2019, le double astérisque « ** » correspond aux stations abandonnées à partir de 2019.

| Mn (µg/L) | SW1000B | SW180B* | SW60B | SW30B** | NE60B | NE30B** |
|-------------------|---------|---------|-------------|---------|-------|-------------|
| Moyenne | 0,831 | 0,962 | 3,47 | 2,64 | 0,552 | 5,22 |
| Ecart-type | 1,10 | 0,610 | 6,85 | 3,07 | 0,468 | 11,0 |
| Min | 0,065 | 0,232 | 0,148 | 0,105 | 0,011 | 0,134 |
| Max | 4,99 | 3,03 | 37,1 | 9,46 | 1,86 | 38,2 |

| Ni (µg/L) | SW1000B | SW180B* | SW60B | SW30B** | NE60B | NE30B** |
|-------------------|---------|---------|-------------|---------|-------|---------|
| Moyenne | 0,512 | 0,319 | 0,529 | 0,331 | 0,373 | 0,325 |
| Ecart-type | 0,373 | 0,050 | 0,418 | 0,327 | 0,321 | 0,256 |
| Min | 0,028 | 0,299 | 0,067 | 0,105 | 0,030 | 0,060 |
| Max | 1,55 | 0,485 | 2,37 | 1,29 | 1,29 | 0,845 |

Tableau 7 : Récapitulatif des concentrations moyennes (µg/L) calculées ou mesurées au niveau de la station éloignée SW1000B.

| | | |
|-------------------------------------|----------------|-----------------|
| Station SW1000B | Traceur fictif | 0,750 |
| Concentration moyenne +/- ET (µg/L) | Mn mesuré | 0,831 +/- 1,10 |
| | Ni mesuré | 0,512 +/- 0,373 |

2. Distribution spatio-temporelle des concentrations

Le suivi effectif 2018 a été réalisé sur un ensemble de 5 stations passant à 125 m environ de C37, c'est-à-dire au niveau de l'orifice 25, à mi-distance des points de jonction C41 et C42 actuels.

En 2019, une optimisation du suivi a été mise en place en réponse aux recommandations formulées par AEL dans le Rapport de synthèse 2018⁷. Ainsi, le déploiement de THOËs aux stations NE30B et SW30B a été abandonné, leur positionnement géographique ayant été jugé trop soumis aux fluctuations des courants de marées. Il a été préféré, un renforcement de l'échantillonnage au sein de la colonne d'eau sur les stations NE60B et SW60B. Ce renforcement a consisté à placer deux THOËs sur une même ligne de mouillage, à 3 et 6 m du fond, correspondant respectivement aux couche K2/K3 et couche K6 du modèle hydrodynamique.

Cette nouvelle stratégie d'échantillonnage a été déployée au cours des deux campagnes 2019, soit six appareils immergés (au lieu de 5 en 2018) par campagne. Le Tableau 8 regroupe les statistiques descriptives détaillées des concentrations en manganèse et nickel mesurés sur chacun des points de surveillance au cours des différentes campagnes effectives des suivis 2018 et 2019.

Les mesures des concentrations de ces 4 campagnes, correspondent au fonctionnement altéré du diffuseur. Elles montrent des valeurs très contrastées en fonction de l'élément considéré, mais restent, cependant, dans les mêmes ordres de grandeur au cours de ces deux années de campagnes.

⁷ Laurent A., Fernandez JM., Moreton B., 2019. Suivi des concentrations en manganèse et autres métaux dans le champ proche du diffuseur. Rapport de synthèse 2018. Période d'avril 2018 à décembre 2018. Contrat AEL/Vale-NC n°125-VI-18-P, 32p.

En résumé, ces données (Tableau 6, Tableau 8 et Figure 10) montrent que :

- Pour ces deux traceurs (Mn et Ni), les stations au voisinage proche du diffuseur (SW60B et NE30B) ont été les plus impactées et enregistrent les maximas ;
- Comme en 2018, un épisode de fortes concentrations de Mn (observés sur la station NE30B avec 38,2 µg/L), a également été identifié en 2019 dans le champ proche du diffuseur, coté Sud-Ouest, sur SW60B (37,1 µg/L) ;
- L'abandon des stations NE30B et SW30B en 2018 au profit d'un renforcement vertical du suivi au niveau des stations NE60B et SW60B (suivi des couches K2/K3 et K6 du modèle hydrodynamique) a permis une meilleure description des phénomènes de dispersion dans le milieu, notamment en confirmant la modification du cône d'éjection au vu des nouvelles conditions hydrauliques de rejets (48/200 opérationnels), les concentrations moyennes observées dans la couche d'eau K6 étant nettement plus élevées que celles mesurées dans les couches plus profondes K2/K3 ;
- Les maximas observés sur SW60B en 2019 sont corrélés avec la présence de micro-paillottes riches en métaux issues du rejet, reflétant le caractère exceptionnel du fonctionnement actuel de cette portion de l'émissaire marin dont les flux d'effluent sont plus importants ;
- La station SW180B, ajoutée en 2019, témoigne bien du gradient décroissant pour Mn et Ni vers le sud-ouest en fonction de l'éloignement à l'émissaire ;
- A la station la plus éloignée SW1000B, les concentrations sont conformes aux calculs prédictifs issus de la modélisation hydrodynamique des phénomènes de dispersion de l'effluent. Ces niveaux de concentrations pouvant grandement varier en fonction des caractéristiques de la marée⁸.

Tableau 8 : Statistiques descriptives des concentrations globales (µg/L) en Mn et Ni pour les différentes stations (et couches) des campagnes 2018-2019.

| Mn (µg/L) | NE60B | NE30B | SW30B | SW60B | | SW1000B |
|-------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|--|--------------|
| 2018-S1 | 0,242 | 0,253 | 0,171 | 0,169 | | 0,084 |
| 2018-S2 | - | 7,70 | 3,87 | 4,37 | | 0,886 |
| Moyenne | 0,242 | 3,98 | 2,02 | 2,27 | | 0,485 |
| Ecart-type | - | 5,27 | 2,62 | 2,97 | | 0,567 |

| Mn (µg/L) | NE60B K2/K3 | NE60 K6 | SW60B K2/K3 | SW60B K6 | SW180B | SW1000B |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 2019-S1 | 1,038 | 0,984 | 0,591 | 0,611 | 0,867 | 0,622 |
| 2019-S2 | 0,345 | 0,403 | 3,295 | 6,969 | 1,002 | 1,117 |
| Moyenne | 0,692 | 0,693 | 1,943 | 3,790 | 0,935 | 0,869 |
| Ecart-type | 0,490 | 0,411 | 1,912 | 4,496 | 0,095 | 0,350 |

| Ni (µg/L) | NE60B | NE30B | SW30B | SW60B | | SW1000B |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--|--------------|
| 2018-S1 | 0,304 | 0,216 | 0,125 | 0,099 | | 0,035 |
| 2018-S2 | - | 0,380 | 0,435 | 0,283 | | 0,324 |
| Moyenne | 0,304 | 0,298 | 0,280 | 0,191 | | 0,180 |
| Ecart-type | - | 0,116 | 0,219 | 0,130 | | 0,204 |

| Ni (µg/L) | NE60B K2/K3 | NE60 K6 | SW60B K2/K3 | SW60B K6 | SW180B | SW1000B |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 2019-S1 | 0,507 | 0,773 | 0,461 | 0,482 | 0,366 | 0,817 |
| 2019-S2 | 0,063 | 0,386 | 0,871 | 0,638 | 0,299 | 0,694 |
| Moyenne | 0,285 | 0,580 | 0,666 | 0,560 | 0,332 | 0,755 |
| Ecart-type | 0,314 | 0,274 | 0,290 | 0,110 | 0,047 | 0,087 |

⁸ Drouzy M, Fernandez JM, 2018. Modélisation des phénomènes de dispersion des effluents rejetés par les 48 premiers orifices du diffuseur de Vale-NC en conditions réelles, un débit de 2900m³/h et une concentration en manganèse initiale de 10mg/L. Contrat Vale-NC/AEL n°209-VI-18_P (L09595/0001), 39p

IV. CONCLUSION

Le présent document synthétise les résultats obtenus au cours des différentes campagnes de suivis des concentrations en manganèse et nickel dans le champ proche du diffuseur de l'année 2019. Ces campagnes ont été déployées en deux phases, entre les mois de mars et d'octobre 2019 dans la nouvelle zone d'influence du panache, par suite du dysfonctionnement du diffuseur (stations « B »). Ce suivi 2019 traduit ainsi les nouvelles caractéristiques du diffuseur, dont le fonctionnement est confiné aux 48 premiers orifices de la première section.

Pour ce faire, des dispositifs novateurs « THOËs », permettant d'exposer séquentiellement des échantillonneurs passifs de type DGT™ à l'environnement à contrôler, ont été immergés sur les différents points de surveillance de la radiale orientée Nord-Est Sud-Ouest. Cet échantillonnage intégré possède de nombreux avantages pour ce type de suivi environnemental. Outre le fait qu'il est bien moins onéreux que les méthodologies classiques et pour une quantité d'information plus élevée, il est également plus aisé à mettre en place. De plus, il permet, par le lissage des événements marginaux dans la zone d'étudiée, d'obtenir une concentration moyenne en métaux dissous représentative de la période de mesures prédéfinie.

Cette synthèse met, une nouvelle fois, en évidence le caractère « quasi-conservatif » de l'élément nickel par la constance des concentrations moyennes mesurées aux cours des campagnes 2019 et les faibles concentrations rejetées. A l'inverse, la grande variabilité des concentrations moyennes de l'élément manganèse est liée aux niveaux de concentration mais également en raison de la réactivité chimique de celui-ci notamment avec les carbonates. Ce constat traduit, d'une part, l'évolution indépendante de ces deux éléments dans le milieu marin.

La nouvelle stratégie d'échantillonnage définie pour 2019 a permis d'appréhender plus efficacement le mode de dispersion du panache d'effluent dans les champs proche et éloigné du diffuseur. Ainsi, la pertinence des stations jumelles n'est plus à être démontrée puisque le suivi 2019 a conforté l'hypothèse de modification du cône d'éjection des effluents vers des couches plus élevées de la colonne d'eau (couches K2/K3 et K6).

En ce qui concerne l'importante variabilité des niveaux de concentration du Mn, deux mécanismes peuvent être à l'origine (Figure 10) :

- **Une augmentation ponctuelle des niveaux la concentration dans les rejets.** Tel que modélisé et revalidé par les travaux de traçage à la Rhodamine-WT en 2009 et 2015⁹, le fonctionnement nominal du diffuseur induit un comportement de dispersion du panache d'effluent qui est majoritairement une fonction logarithmique de la distance. Dans la configuration actuelle (48/200 orifices), les débits d'exhaure sont notablement augmentés et spatialement confinés, ce qui a pour conséquence de concentrer le flux et donc de réduire les capacités de dispersion ;
- **Un rejet des effluents plus proche de la côte.** La modification des conditions de rejet des effluents par les premiers 48 orifices du diffuseur, a pour conséquence de diriger les effluents vers des lignes de courant dont le cheminement est variable. En effet, par marée de vive-eau, la modélisation hydrodynamique montre que des tourbillons cycloniques se forment à marée montante, entraînant alors les panaches peu dilués vers la côte avant de revenir s'ajouter aux effluents au niveau du diffuseur. A contrario, par marée de morte-eau, le panache montre une propension à s'étendre vers le Sud-Est régulièrement le long d'une ligne parallèle à la côte.

⁹ Moreton B, Drouzy M, Fernandez JM et Douillet P, 2015. Vérification des conditions de dispersion par traçage à la rhodamine-wt avant remise en fonctionnement de l'émissaire marin de Vale-NC, Contrat VALE/ALE n° 046-VI-15-P (E78796/0001), 40p

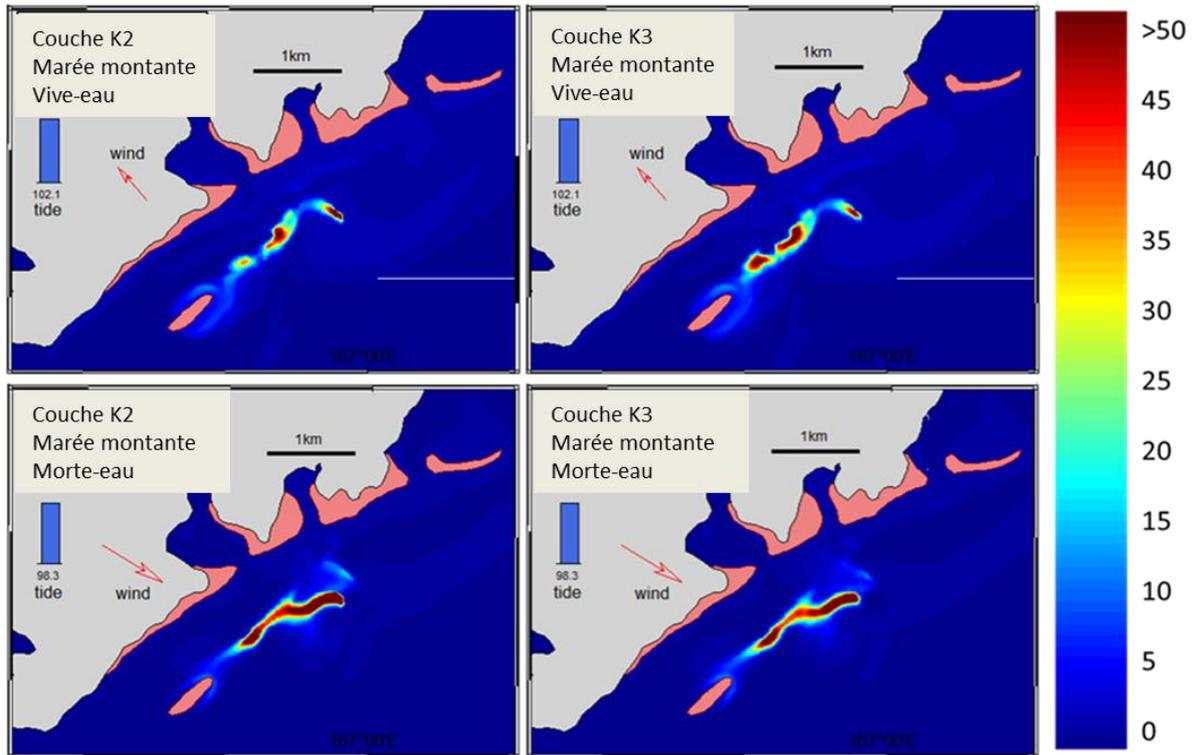


Figure 10 : Concentrations en Mn ($\mu\text{g/L}$) dans la zone d'influence du diffuseur, par marée montante pour les périodes de vive-eau (haut) et de morte-eau (bas) pour les couches K2 et K3. Conditions de simulation : 2900m³/h, 48 orifices seulement, décharge en traceur de 10mg/L (Drouzy et Fernandez, 2018).

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| FIGURE 1 : ZOOM DU POSITIONNEMENT DES 4 STATIONS COMPOSANT LE NOUVEAU RESEAU DE SURVEILLANCE DES CONCENTRATIONS EN MN ET NI DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH POUR 2019. UN THOË EQUIPE LES STATIONS SW180B ET SW1000B A 3M DU FOND, LES STATIONS NE60B ET SW60B ETANT EQUIPEES AVEC DEUX THOËS CHACUNE, L'UN A 3M DU FOND ET L'AUTRE A 6M. LE TRAIT ROUGE REPRESENTA L'EMPLACEMENT DU DIFFUSEUR..... | 10 |
| FIGURE 2 : SCHEMA DE LA COMPOSITION D'UN DISPOSITIF DGT™..... | 11 |
| FIGURE 3 : PHOTOGRAPHIE D'UN THOË (VERSION COMMERCIALE), FACE SUPERIEURE ET FACE INFERIEURE AVEC LA FENETRE D'EXPOSITION SEQUENTIELLE DES DGTs. | 12 |
| FIGURE 4 : SCHEMA DES 2 TYPES DE LIGNE DE MOUILLAGE DU SUIVI 2019. | 12 |
| FIGURE 5 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS MOYENNES (+ ECART-TYPE) EN MANGANESE DISSOUS (MN EN µG/L) AU COURS DU PREMIER SUIVI 2019 SELON LA STATION ET LA COUCHE CONSIDEREE. | 15 |
| FIGURE 6 : HISTOGRAMME DES CONCENTRATIONS MOYENNES EN MN (µG/L) POUR CHAQUE STATION ET SEMAINE D'EXPOSITION, AU COURS DU PREMIER S1 SUIVI 2019-S1. AUCUN DEPASSEMENT DU SEUIL DES 10µG/L N'EST OBSERVE..... | 16 |
| FIGURE 7 : HISTOGRAMMES A ET B DES CONCENTRATIONS MOYENNES (µG/L) EN MN POUR CHAQUE STATION ET SEMAINE D'EXPOSITION AU COURS DU DEUXIEME S2 SUIVI 2019. TROIS DEPASSEMENTS DU SEUIL DES 10 µG/L SONT OBSERVES SUR SW60B. | 17 |
| FIGURE 8 : MOYENNES GLOBALES (+ECART-TYPE) DES CONCENTRATIONS EN MN (µG/L) PAR STATIONS, MEASUREES AU COURS DU DEUXIEME SUIVI 2019. | 18 |
| FIGURE 9 : HISTOGRAMMES REPRESENTANT LES CONCENTRATIONS MOYENNES EN NI (µG/L) PAR STATION ET COUCHE, AU COURS DU PREMIER S1 ET DEUXIEME S2 SUIVIS 2019. | 18 |
| FIGURE 10 : CONCENTRATIONS EN MN (µG/L) DANS LA ZONE D'INFLUENCE DU DIFFUSEUR, PAR MAREE MONTANTE POUR LES PERIODES DE VIVE-EAU (HAUT) ET DE MORTE-EAU (BAS) POUR LES COUCHES K2 ET K3. CONDITIONS DE SIMULATION : 2900M3/H, 48 ORIFICES SEULEMENT, DECHARGE EN TRACEUR DE 10MG/L (DROUZY ET FERNANDEZ, 2018)..... | 23 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| TABLEAU 1 : COORDONNEES (REFERENTIEL WGS-84) DES 4 STATIONS "B" DU SUIVI DES CONCENTRATIONS EN MN ET NI POUR 2019. | 10 |
| TABLEAU 2 : PROGRAMMATION DES SEQUENCES D'EXPOSITION (OUVERTURE ET FERMETURE) DES DGTs DE CHAQUE THOË POUR LA PREMIERE CAMPAGNE S1 DE SUIVI 2019. | 13 |
| TABLEAU 3 : PROGRAMMATION DES SEQUENCES D'EXPOSITION (OUVERTURE ET FERMETURE) DES DGTs DE CHAQUE THOË POUR LA DEUXIEME CAMPAGNE S2 DE SUIVI 2019. | 13 |
| TABLEAU 4 : TABLEAU RECAPITULATIF DES CONCENTRATIONS GLOBALES DU NI ($\mu\text{G/L}$) AU COURS DES DEUX SUIVIS S1 ET S2 DE 2019. | 19 |
| TABLEAU 5 : STATISTIQUES DES ECHANTILLONNAGES ET ANALYSES REALISEES DURANT LES 4 CAMPAGNES DE SUIVI DES ANNEES 2018 ET 2019. | 19 |
| TABLEAU 6 : STATISTIQUES DES CONCENTRATIONS MOYENNES OBTENUES POUR CHAQUE STATION (COUCHE K2/K3 ET K6 CONFONDUES) DES SUIVIS 2018-2019. L'ASTERISQUE « * » CORRESPOND A LA NOUVELLE STATION INTEGREE AU SUIVI 2019, LE DOUBLE ASTERISQUE « ** » CORRESPOND AUX STATIONS ABANDONNEES A PARTIR DE 2019. | 20 |
| TABLEAU 7 : RECAPITULATIF DES CONCENTRATIONS MOYENNES ($\mu\text{G/L}$) CALCULEES OU MESUREES AU NIVEAU DE LA STATION ELOIGNEE SW1000B. | 20 |
| TABLEAU 8 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES DES CONCENTRATIONS GLOBALES ($\mu\text{G/L}$) EN MN ET NI POUR LES DIFFERENTES STATIONS (ET COUCHES) DES CAMPAGNES 2018-2019. | 21 |

Annexe 1

Modalités du suivi des concentrations en métaux dissous dans le champ proche de l'émissaire marin VNC dans le canal de la Havannah

Station SW1000 B

Station SW180 B

Station SW60 B

Station NE60 B

