



**SUIVI DES DENSITES DE FLUX VERTICAUX DES
PARTICULES DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH, LA
BAIE KWE ET LA RADE NORD DE PRONY:
MISSION JANVIER-MARS 2015**



1er août 2015

Photos de couverture AEL : Observation au microscope optique des échantillons de MES récoltés dans la Baie Kwé (à gauche) et dans le Canal de la Havannah (à droite).

CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL - LEA

Convention n° 3052-2013

Suivi des densités de flux verticaux des particules dans le Canal de la
Havannah, la Baie Kwé et la Rade Nord de Prony

Mission janvier-mars 2015

Achard R., Kumar-Roiné S., Kaplan H., Pluchino S., Haddad L., Laurent A., Fernandez JM.

	N/Ref	V/Ref	
Identification	121205-VI-18	Contrat C3052 / PO E55912/0001	
Titre complet	Suivi des densités de flux verticaux des particules dans le Canal de la Havannah, la Baie Kwé et la Rade Nord de Prony: mission janvier-mars 2015		
Auteurs	Achard R., Kumar-Roiné S., Kaplan H., Pluchino S., Haddad L., Laurent A. et Fernandez JM.,		
Résumé	<p>Le programme de travail présenté fait suite à la définition de « l'Etat de référence » des densités de flux verticaux de particules déterminées pour le Canal de la Havannah, la Rade Nord et la Baie Kwé en 2007 (Convention IRD/Goro-Ni n° 1230) et aux suivis de ces flux pour la période 2011-2013. Ce programme constitue la quatrième campagne de suivi semestriel de 2013-2015. L'étude consiste au suivi temporel des densités de flux verticaux afin d'estimer les apports métalliques véhiculés par les particules fines au niveau de la Kwé, du diffuseur marin et de la Rade Nord. A cet effet, trois mouillages de lignes équipées de pièges à sédiments séquentiels ont été réalisés.</p> <p>Les différentes campagnes réalisées permettent d'établir une relation entre les conditions météorologiques et la distribution des MES dans les eaux, en Baie Kwé, en Rade Nord et dans le Canal de la Havannah, notamment les régimes de vents qui peuvent conditionner les panaches d'apport terrigène en Rade Nord et l'action mécanique de la houle en Baie Kwé ainsi que dans le Canal Havannah.</p> <p>L'étude des paramètres physico-chimiques et géochimiques permet de décrire les évolutions de l'influence des apports d'origines marines et terrigènes aux stations St06-KW1 (baie Kwé), St60-NE (Canal de la Havannah) et St15 (Rade Nord de Prony).</p> <p>Pour la Baie Kwé, la densité de flux particulaire a été la plus forte jamais enregistrée pour une campagne de saison chaude depuis la définition des états de référence et les densités de flux métalliques ont aussi progressé, se situant juste en-dessous des niveaux observés en janvier-février 2013.</p> <p>Pour le Canal de la Havannah, une augmentation de la densité de flux de particules a été observée, associée à une progression des densités de flux métallique. Les densités de flux particulaires et métalliques, calculées pour cette campagne de janvier-mars 2015, sont les plus élevées depuis la définition de l'état de référence de février 2007.</p> <p>En Rade Nord de Prony, la densité de flux particulaire a chuté et se situe au niveau défini lors de l'état de référence. De plus, les densités métalliques ont diminué par rapport à la campagne de janvier-mars 2014.</p>		
APPROBATION			
FONCTION	NOMS	VISA	DATE
Rédacteur	Achard R.		09/07/2015
Vérificateur 1	Kumar-Roiné S.		20/07/2015
Approbateur(s)	Fernandez J-M.		23/07/2015
EVOLUTION			
VERSION	DESCRIPTION DES MISES A JOUR		DATE
V1.0	Rapport initial		
COPIE - DIFFUSION			
NOM	ORGANISME		
Casalis C.	Département environnement Vale-NC		

Ce rapport est cité comme suit :

Achard R., Kumar-Roiné S., Kaplan H., Pluchino S., Haddad L., Laurent A., et Fernandez JM., 2015. Suivi des densités de flux verticaux de particules dans le Canal de la Havannah, la Baie Kwé et la Rade Nord de Prony : mission janvier-mars 2015. Contrat Vale-NC/AEL n° 3052-2013, 68p.

TABLE DES MATIERES

I.	INTRODUCTION	7
II.	OBJECTIFS	8
III.	METHODOLOGIE	9
A.	SITE D'ETUDE ET CONDITIONS DE MOUILLAGES	9
B.	ECHANTILLONNAGE	11
C.	PARAMETRES PHYSIQUES, GEOCHIMIQUES ET ANALYSES	11
IV.	RESULTATS	12
A.	PARAMETRES METEOROLOGIQUES	12
1.	Précipitations atmosphériques (station Usine-pilote Vale-NC)	12
2.	Direction du vent (station Usine-pilote Vale-NC).....	12
3.	Vitesse du vent (station Usine-pilote Vale-NC).....	13
B.	CARACTERISATION DES MATIERES EN SUSPENSION.....	14
1.	Baie Kwé (station St06-KW1)	14
2.	Canal de la Havannah (station St60-NE)	17
3.	Rade Nord de Prony (station St15)	20
C.	COMPOSITION GEOCHIMIQUE DES MATIERES EN SUSPENSION.....	25
1.	Baie Kwé (station St06-KW1)	25
2.	Canal de la Havannah (station St60-NE)	27
3.	Rade Nord (station St15)	30
V.	INTERPRETATION	33
A.	INFLUENCE DES FACTEURS METEOROLOGIQUES.....	33
1.	Baie Kwé (St06-KW1)	33
2.	Canal de la Havannah (St60-NE)	34
3.	Rade Nord (St15)	35
B.	CALCUL DES FLUX DE MATIERES	39
1.	Flux de matière en suspension	39
2.	Flux en éléments métalliques	40
VI.	CONCLUSION	44
VII.	REFERENCES	46
VIII.	LISTE DES FIGURES	47
IX.	LISTE DES TABLEAUX	49
	LISTE DES ANNEXES	51

I. INTRODUCTION

Le travail, présenté ici, a été défini en accord avec la Convention pour la Conservation de la Biodiversité (CCB, 2009) passée entre Vale-NC et la Province Sud.

Cette étude fait suite, d'une part à la définition de « l'Etat de référence » des densités de flux verticaux de particules, déterminées pour le Canal de la Havannah, la Rade Nord et la Baie Kwé en 2007 (Convention IRD/Goro-Ni n° 1230), et d'autre part, elle assure la continuité du suivi en matière de flux de particules de la période 2013-2015.

Si les effets de l'hyper-sédimentation sont mesurables à moyen et long termes par le calcul des taux d'accumulation (géochronologie à l'échelle pluriannuelle), pour des laps de temps plus courts, les apports sédimentaires sont quantifiables grâce à la mesure de la densité de flux vertical des particules à des échelles qui peuvent être journalière, hebdomadaire ou encore mensuelle. Cette mesure constitue un indicateur précoce de la sédimentation.

Les conséquences de l'augmentation des flux particuliers sont la réduction de la lumière, de l'oxygène dissous et notamment l'augmentation de la pollution par les éléments métalliques associés aux particules. En effet, les particules (appelées aussi Matière en suspension, MES) sont reconnues comme étant le principal vecteur des polluants dans la contamination des organismes pélagiques, dont les poissons qui sont, en bout de chaîne, consommés par l'homme.

Dans le contexte de la mise en exploitation de l'usine de Vale-NC, l'étude consiste à estimer les apports en particules fines :

- D'une part, générées consécutivement aux différents travaux d'excavation et de mise en exploitation progressive de la mine (en Baie Kwé et Rade Nord de Prony) ;
- D'autre part, persistantes dans les effluents industriels traités et rejetés dans le Canal de la Havannah via le diffuseur.

II. OBJECTIFS

Selon les zones d'étude, que sont la Baie Kwé, la Rade Nord de Prony et le Canal de la Havannah, ont été effectués:

- Le suivi temporel des apports terrigènes issus des bassins versants de la Baie Kwé, dans un secteur de profondeur supérieure à 15m. Pour effectuer ce suivi, il est nécessaire de s'affranchir des phénomènes mécaniques comme le charriage des grosses particules sur le fond, il n'est donc pris en compte dans les pièges que les fractions fines en suspension potentiellement transportables sur de longues distances par les courants, comme le suggère la modélisation (Convention IRD/Goro-Ni n°1124, Volet « Simulation hydrodynamique »);
- Le suivi temporel des apports terrigènes et anthropiques, consécutifs à l'implantation de l'usine de valorisation du minerai, dans la Rade Nord de Prony ;
- Le suivi temporel des apports industriels issus du procédé chimique au voisinage immédiat du diffuseur dans le Canal Havannah. Ce suivi a pour objet de répondre aux questions de la double rémanence supposée :
 - D'une part, du gypse (CaSO₄) formé après l'étape de neutralisation par du calcaire et de la chaux des solutions d'extraction acides du Ni;
 - D'autre part, de minéraux qui pourraient être générés lors de l'entrée en contact de l'effluent avec l'eau de mer, phénomène qui pourrait entraîner (par précipitation, co-précipitation et adsorption) une fraction non négligeable des métaux à la surface des sédiments. Les expériences de laboratoire et la modélisation associée montraient que seule une formation négligeable de précipités de calcite devrait se produire (Convention IRD/Goro-Ni, n° 1124 ; Volet « Réactivité chimique de l'effluent »). La mesure *in-situ* permet de discuter de cette hypothèse, dans l'état actuel du niveau des rejets (phase de montée en puissance de l'usine entrecoupée d'arrêt).

Ce rapport présente les résultats relatifs aux flux verticaux de particules dans la zone d'influence de l'usine VALE-NC, obtenus pour la **quatrième** des 5 campagnes de mouillage semestrielle que compte le programme de suivi environnemental passé entre Vale-NC et AEL pour la période 2013-2015 (Contrat Vale/AEL n° 3052).

III. METHODOLOGIE

A. SITE D'ETUDE ET CONDITIONS DE MOUILLAGES

Les sites instrumentés sont les suivants (Figure 1 et Tableau 1) :

- **Zone d'influence du rejet d'effluent** : Il s'agit de la station St60-NE (localisée perpendiculairement à 60 m du diffuseur qui fait aussi l'objet d'une surveillance de la qualité physico-chimique de la colonne d'eau (St09 ; Contrat AEL/Vale-NC n°E22584) ;
- **Zone d'influence de la mine** : Il s'agit d'une station dans l'embouchure de la rivière Kwé (St06-KW1) et qui a permis la définition de l'état de référence des flux particuliers en 2007 (Convention IRD/Goro-Ni n°1230) afin d'assurer le suivi des apports induits par le bassin d'exploitation minière.
- **Zone d'influence de l'usine de valorisation du minerai** : il s'agit de la station St15 située en face du creek qui jouxte le site de l'usine. Cette station qui a fait l'objet d'un état de référence en 2007 (Convention IRD/Goro-Ni n°1230) permet d'assurer un suivi des apports induits par l'activité de l'usine.

Tableau 1 : Localisation des trois stations de mouillage des pièges à particules séquentiels : Canal de la Havannah (St60-NE), en Baie Kwé (St06-KW1) et en Rade Nord (St15). Ces coordonnées sont conformes au référentiel WGS-84.

Station	St60-NE	St06-KW1	St15
Longitude Est	166°59,678'	166°59,140'	166°52.590'
Latitude Sud	22° 22,109'	22°20,747'	22°20.037'
Profondeur (m)	39	18	37

Note : L'orifice du dispositif de collecte (piège) a été placé à 3 mètres au-dessus du fond. Cette cote est particulièrement importante à respecter, notamment à proximité du diffuseur pour échantillonner les particules véhiculées par l'effluent, même lorsque les conditions hydrodynamiques des marées de vive-eau s'exercent. Ce prérequis s'appuie sur les résultats du traçage réalisé à la rhodamine-WT (Contrat AEL/Vale-NC n° 20233) ; la couche affectée par l'effluent n'étant que d'environ 5 m d'épaisseur lors des marées de vive-eau alors qu'elle dépasse amplement les 10 m par courants faibles (marées de morte-eau ; Figure 2).

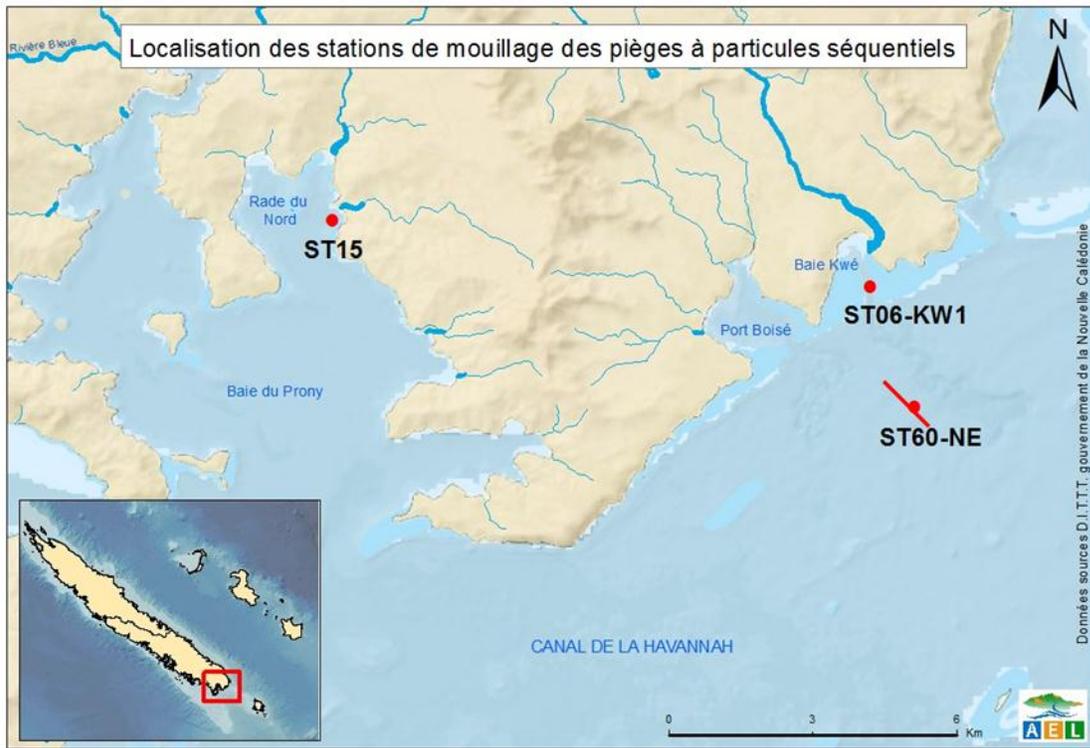


Figure 1: Aire d'étude pour le suivi des flux verticaux de particules issues du process de transformation du minerai de l'usine de production et des activités d'excavation de mine de Vale-NC. Le trait rouge représente le diffuseur et les points rouges représentent la localisation des stations de surveillance.

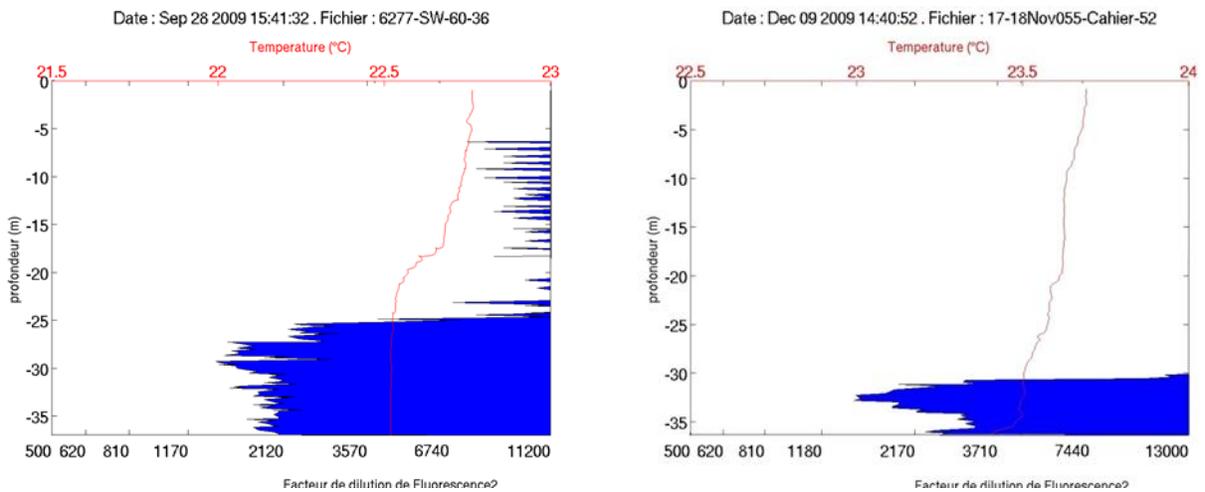


Figure 2 : Puissance type de l'épaisseur de marquage par l'effluent (rhodamine-WT) pour des conditions courantologiques de mi-marées de morte-eau (gauche) et de vive-eau (droite) au niveau de la station St60-SW.

Cette campagne d'étude des flux verticaux de particules a été conduite du 23 janvier au 11 mars 2015 (soit 48 jours de suivi).

Les mouillages, constitués de trois lignes équipées chacune d'un piège à particules séquentiel, d'un lest associé à un largueur acoustique et d'un flotteur de sub-surface, ont été immergées le 22 janvier 2015 et elles ont été récupérées le 17 mars 2015. Les missions de mouillage et de récupération des lignes instrumentées ont été réalisées à bord de l'embarcation « Slavko ».

B. ECHANTILLONNAGE

Les pièges à particules de type séquentiel (Technicap, type PPS4/3) sont dotés d'une section efficace de 0,050 m², équipés de carrousels de 12 godets pour permettre la collecte d'une série temporelle de particules sédimentées.

La collecte des particules a été programmée pour débuter le 23 janvier 2015 à 00h00 avec un pas de temps par godet de 96 heures (4 jours) ; elle s'est terminée le 12 mars 2015 à 00h00. Au total, 12 échantillons de matériel particulaire ont été prélevés pour chacun des trois sites d'immersion (Tableau 2).

Dès le retour au laboratoire, les échantillons de MES (matière en suspension) collectés dans les godets des pièges séquentiels, ont été conservés au frais (4°C) jusqu'à la phase de traitement.

Tableau 2 : Liste des échantillons collectés aux stations de mouillage des pièges à particules (St06-KW1, St15 et St60-NE) et périodes de collecte entre janvier et mars 2015.

Echantillon	Période de collecte	Echantillon	Période de collecte	Echantillon	Période de collecte
St06-KW1-1	23-26 janvier 2015	St15-1	23-26 janvier 2015	St60-NE-1	23-26 janvier 2015
St06-KW1-2	27-30 janvier 2015	St15-2	27-30 janvier 2015	St60-NE -2	27-30 janvier 2015
St06-KW1-3	31 janvier-3 février 2015	St15-3	31 janvier-3 février 2015	St60-NE -3	31 janvier-3 février 2015
St06-KW1-4	4-7 février 2015	St15-4	4-7 février 2015	St60-NE -4	4-7 février 2015
St06-KW1-5	8-11 février 2015	St15-5	8-11 février 2015	St60-NE -5	8-11 février 2015
St06-KW1-6	12-15 février 2015	St15-6	12-15 février 2015	St60-NE -6	12-15 février 2015
St06-KW1-7	16-19 février 2015	St15-7	16-19 février 2015	St60-NE -7	16-19 février 2015
St06-KW1-8	20-23 février 2015	St15-8	20-23 février 2015	St60-NE -8	20-23 février 2015
St06-KW1-9	24-27 février 2015	St15-9	24-27 février 2015	St60-NE -9	24-27 février 2015
St06-KW1-10	28 février- 3 mars 2015	St15-10	28 février- 3 mars 2015	St60-NE -10	28 février- 3 mars 2015
St06-KW1-11	4-7 mars 2015	St15-11	4-7 mars 2015	St60-NE -11	4-7 mars 2015
St06-KW1-12	8-11 mars 2015	St15-12	8-11 mars 2015	St60-NE -12	8-11 mars 2015

C. PARAMETRES PHYSIQUES, GEOCHIMIQUES ET ANALYSES

Les méthodes de traitements et d'analyses sont décrites en Annexe 1.

IV. RESULTATS

A. PARAMETRES METEOROLOGIQUES

Les valeurs des paramètres météorologiques sont regroupées en Annexe 2. Les paramètres météorologiques (pluie journalière, direction et vitesse moyenne du vent) ont été donnés par la station de l'usine-pilote Vale-NC car la station loro était en maintenance.

1. Précipitations atmosphériques (station Usine-pilote Vale-NC)

La période du 23 janvier au 11 mars 2015 a été marquée par deux épisodes pluvieux de relative importance qui se sont déroulés du 30 janvier au 03 février et du 06 février au 02 mars, accompagnés respectivement de 62,5 et 165,3 mm de précipitations cumulées (Figure 3).

Un troisième épisode, enregistré juste avant la période d'étude du 19 au 20 janvier, est également à signaler car il a cumulé 70,4 mm de précipitations, ce qui pourrait avoir une incidence sur le transport de particules terrigènes et leur collecte au niveau du premier prélèvement.

Au total, en prenant en compte les deux épisodes et les pluies plus sporadiques entre le 23 janvier et le 11 mars, 242,6 mm de précipitations cumulées ont été enregistrés pour cette campagne.

En comparaison à la campagne précédente de janvier-mars 2014 (où 928,9mm), il est tombé 3,8 fois moins de précipitations pour cette campagne. Par contre, ces précipitations sont proches des niveaux enregistrés en janvier-février 2012 et 2013 avec 246,3 et 181,6 mm, respectivement.

2. Direction du vent (station Usine-pilote Vale-NC)

La période de mouillage des pièges à particules a été marquée par des régimes de vents soufflant majoritairement d'un large secteur SE à E-NE (Figure 3). Plus en détail, la période d'étude peut être découpée en quatre épisodes suivants:

- Du 23 janvier au 04 février, en premier de secteur W-NW (23 janvier), les vents ont ensuite soufflé sur un large secteur E-SE à N-NE avec une brève rotation en S-SW (27 janvier);
- Du 05 février au 16 février, les vents étaient orientés principalement d'un secteur SE à S-SE avec de brèves incursions secteurs S (6 février) et E (9 février) ;
- Du 17 février au 02 mars ; d'abord de secteur E à E-NE (17 au 25 février) avec une rotation en secteur SE (21 février), les régimes de vents ont ensuite soufflé d'un large secteur S-SW à E-SE (27 et 28 février) puis E-NE à N-NW;
- Du 03 mars au 11 mars, la direction des vents étaient d'un secteur E à E-SE avec une brève incursion en secteur S-SE (4 mars).

3. Vitesse du vent (station Usine-pilote Vale-NC)

Durant la période d'étude, l'intensité des vents moyens journaliers a été variable (Figure 3). Les valeurs extrêmes ont été enregistrées, le 24 janvier pour la minimale (2,2 m/s de secteur E-SE) et le 02 février pour la maximale (18,2 m/s de secteur N-NE).

Pour toute la durée de la campagne, la vitesse moyenne des vents a été de $12,0 \pm 3,7$ m/s, valeur caractéristique des normales saisonnières (en effet, en janvier-février 2012 et 2013, la vitesse moyenne des vents était respectivement de $12,0 \pm 2,4$ m/s et $12,0 \pm 2,2$ m/s). Toutefois, cette valeur est presque deux fois supérieure à celle relevées en janvier-mars 2014 qui enregistrée une vitesse moyenne de seulement $6,8 \pm 2,8$ m/s.

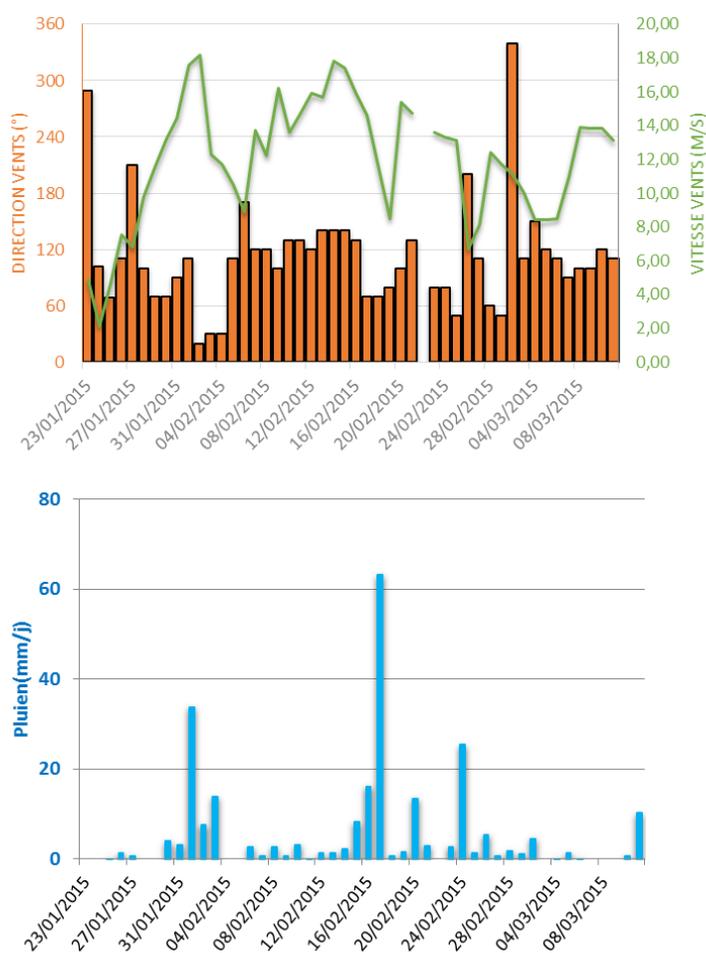


Figure 3 : Enregistrement journalier des taux de précipitations, la direction des vents moyens et la vitesse des vents moyens pour la période du 23 janvier au 11 mars 2015.

Ce qu'il faut retenir

La période de mouillage des pièges à particules, qui s'est déroulée du 23 janvier au 11 mars 2015, a été marquée par 2 épisodes pluvieux de relative importance. Au total, il a été enregistré 242,2 mm de précipitations cumulées, ce qui reste proche des niveaux de précipitations enregistrés en janvier-février 2012 et 2013.

Les vents ont soufflé majoritairement d'un large secteur SE à E-NE avec quelques incursions secteurs N-NW, S-SW et W-NW. La période de mouillage est caractérisée par une vitesse moyenne des vents de $12,0 \pm 3,7$ m/s, caractéristique des normales saisonnières.

B. CARACTERISATION DES MATIERES EN SUSPENSION

Les résultats d'analyses et des mesures concernant les masses de MES collectées, la granulométrie des populations de grains, la composition minéralogique, les teneurs en carbonates et les observations de MES au microscope optique sont regroupés en Annexe 3.

1. Baie Kwé (station St06-KW1)

a) Masses collectées

Les masses collectées varient dans le temps, elles se distribuent entre 3,53 g (St06-KW1-2 ; 27-30 janvier) et 31,10 g (St06-KW1-11 ; 4-7 mars) (Figure 4). La masse moyenne de MES collectée de $13,25 \pm 7,21$ g est en augmentation par rapport aux valeurs moyennes de $9,29 \pm 5,70$ g et de $12,14 \pm 6,82$ g obtenues pour les campagnes de janvier-février 2013 et janvier-mars 2014, respectivement.

La plus faible quantité de MES collectée entre le 27 et 30 janvier a été associée à une période présentant de faibles précipitations cumulées (4,6 mm) accompagnées d'un régime de vents majoritairement de E à E-NE soutenus ($10,3 \pm 2,7$ m/s).

La plus forte quantité de MES, collectée entre le 4 et 7 mars, correspond à une période où les précipitations cumulées étaient faibles (3,6 mm) et les vents de secteur S-SE à E soufflaient à $9,1 \pm 1,3$ m/s.

Il est à noter que la seconde plus forte quantité de MES enregistrée (17,95 g) correspond à la période du 16 au 19 février où 81,6 mm de précipitations cumulées étaient tombées accompagnées de vents soutenus ($12,6 \pm 3,3$ m/s) de secteur SE à E-NE.

Globalement, le pourcentage de fraction fine ($\phi < 41 \mu\text{m}$) est de $79,3 \pm 3,6$ % (Figure 5). Cette observation est en accord avec les résultats des précédentes campagnes.

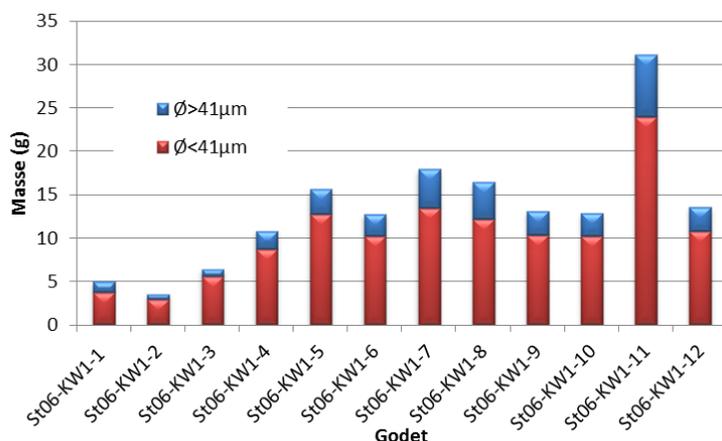


Figure 4 : Masses collectées dans les 12 godets du piège à particules séquentiel mouillé du 23 janvier au 11 mars en Baie Kwé (St06-KW1).

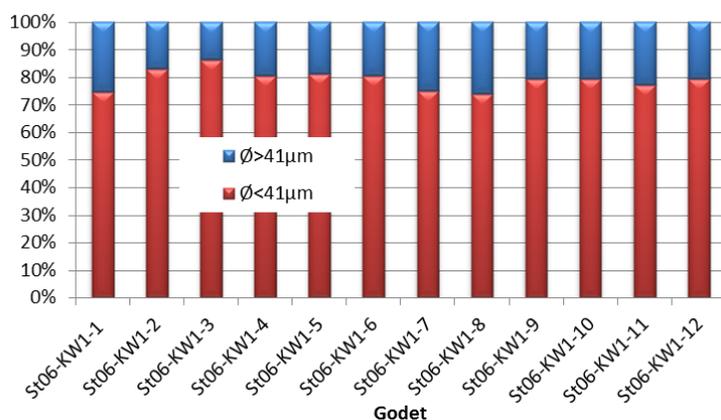


Figure 5 : Pourcentage des fractions fines et des fractions grossières dans les 12 godets du piège à particules séquentiel mouillé du 23 janvier au 11 mars en Baie Kwé (St06-KW1).

b) Compositions granulométriques

Les analyses granulométriques ont été effectuées sur quatre godets St06-KW1-3, St06-KW1-5, St06-KW1-7 et St06-KW1-11 (Figure 6).

La fraction péltique ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des MES, collectées en Baie Kwé, est composée majoritairement de particules dont le mode se situe dans la classe 2-20 μm (silts fins ; Figure 6) avec des proportions comprises entre 47,6 et 53,7 %. Des observations proches avaient été faites pour les campagnes de janvier-février 2013 et janvier-mars 2014.

La seconde population granulométrique correspond aux particules comprises entre 20-40 μm (silts grossiers) alors qu'en janvier-mars 2014, le second mode était représenté par les argiles ($\varnothing < 2 \mu\text{m}$).

Remarque : le fait que des particules supérieures à 41 μm soient analysées dans la fraction péltique pourrait être causé par des artefacts de mesure lors de l'analyse en granulométrie laser dû au principe même de calcul de la technique ou encore par le fait que des particules de formes allongées soient passées à travers la maille au moment du tamisage.

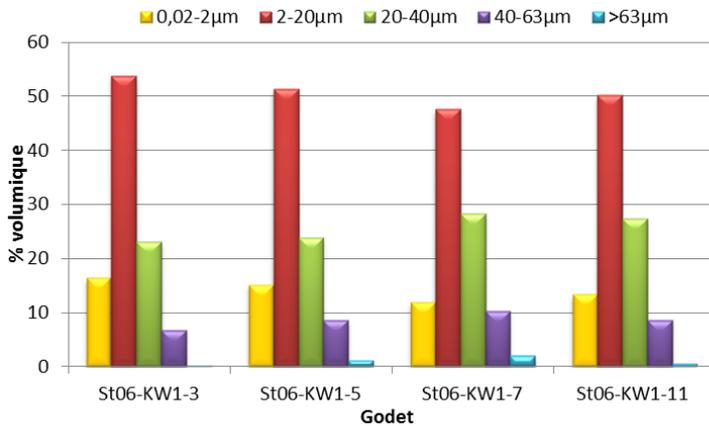


Figure 6 : Distribution granulométrique des populations de grains collectés en Baie Kwé (St06-KW1) par le piège à particules séquentiel, entre le 23 janvier et le 11 mars 2015.

c) Compositions minéralogiques

La composition minéralogique (Tableau 3) a été analysée par diffractométrie des rayons X sur les MES des godets St06-KW1-3, St06-KW1-5, St06-KW1-7 et St06-KW1-11.

Les MES prélevées en Baie Kwé sont majoritairement composées de calcite et d’aragonite, qui sont des signatures de l’influence marine. De la goethite est également retrouvées dans les MES en moindre proportion, elle souligne l’influence rythmée des apports terrigènes.

Tableau 3 : Composition minéralogique des MES collectées en Baie Kwé (station St06-KW1) par le piège à particules séquentiel du 23 janvier au 11 mars 2015.

Echantillon	% Calcite	% Aragonite	% Goethite
St06-KW1-3	67	19	14
St06-KW1-5	69	24	7
St06-KW1-7	64	28	9
St06-KW1-11	77	15	7

d) Teneurs en carbonates

Pour l’ensemble des godets (Figure 7), les MES collectées sont constituées d’une fraction carbonatée majoritaire qui représente entre 69,5 % (St06-KW1-2 ; 27-30 janvier) et 77,2% (St06-KW1-1 ; 23-26 janvier) de la fraction pélitique ($\phi < 41 \mu\text{m}$).

La plus forte teneur en carbonates a été enregistrée dans le godet St06-KW1-1 (23-26 janvier) pour des vents d’environ $4,8 \pm 2,2$ m/s d’un large secteur E-NE à E-SE, accompagnés de faibles précipitations cumulées (1,6 mm). La plus faible teneur en carbonates observée (St06-KW1-2 ; 27-30 janvier) fait suite à une période présentant de faibles précipitations cumulées (4,6 mm) accompagnées d’un régime de vents soutenus ($10,3 \pm 2,7$ m/s) majoritairement de secteur E-NE.

Remarque : la période du 16 au 19 janvier, antérieure au mouillage du piège a été accompagnée de 81,6 mm de précipitations cumulées et des vents soutenus ($12,6 \pm 3,3$ m/s) de secteur E-SE à E-NE ; ces conditions n’ont pas induit de baisse sensible du taux de carbonates dans le premier prélèvement de la séquence.

La teneur moyenne en carbonates, contenue dans les MES, est de $73,3 \pm 2,7$ %, ce qui corrobore les résultats d'analyses minéralogiques qui soulignaient que globalement les apports étaient majoritairement d'origine marine. La teneur moyenne en carbonates pour cette campagne est inférieure à celle enregistrée en janvier-mars 2014 ($84,1 \pm 3,4$ %) mais reste nettement supérieure à celle de janvier-février 2013 ($66,9 \pm 8,3$ %).

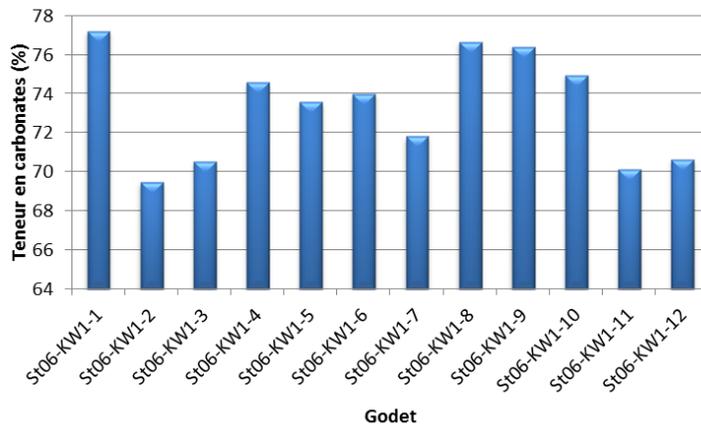


Figure 7 : Teneurs en carbonates dans les particules collectées par les 12 godets du piège séquentiel mouillé du 23 janvier au 11 mars de 2015 en Baie Kwé (St06-KW1).

2. Canal de la Havannah (station St60-NE)

a) Masses collectées

Pour cette campagne de janvier-mars 2015, la masse moyenne de MES collectées ($3,19 \pm 3,1$ g) est deux fois plus élevée que lors de la campagne d'avril-juin 2014 qui enregistrait une masse moyenne de MES de $1,49 \pm 1,01$ g. Les masses de MES collectées sont variables, elles sont comprises entre 0,22 g (St60-NE-2 ; 27-30 janvier) et 10,02 g (St60-NE-11 ; 4-7 mars ; Figure 8).

Comme observé pour la Baie Kwé, la plus forte quantité de MES collectée, correspond à une période où les précipitations cumulées étaient faibles (1,8 mm) et les vents modérés ($9,1 \pm 1,3$ m/s) de secteur S-SE à E.

Il faut souligner que des masses conséquentes de 6,99 et 7,06 g, ont été successivement collectées du 24 au 27 février et du 28 février au 3 mars, respectivement. La période du 24 au 27 février a été marquée par des vents soutenus ($10,3 \pm 3,4$ m/s) de secteur NE à S-SW et 33 mm de précipitations cumulées. La période du 28 février au 3 mars a été caractérisée par un régime de vents soutenus ($11,3 \pm 1,0$ m/s) de secteur E-NE à E-SE avec une incursion de N-NW et de faibles précipitations cumulées (7,6 mm).

Comme constaté en Baie Kwé, la plus faible quantité de MES collectée a été associée à une période présentant de faibles précipitations cumulées (4,6 mm) accompagnées d'un régime de vents majoritairement de E-NE soutenus ($10,3 \pm 2,7$ m/s).

La fraction fine des MES est quantitativement supérieure à la fraction grossière (Figure 9), elle varie entre 51,4 %

(St60-NE-9 ; 24-27 février) et 75,0 % (St60-NE-3 ; 31 janvier-3 février). La campagne d’avril-juin 2014¹ avait aussi permis de constater que la fraction fine était majoritaire dans les MES collectées au niveau du Canal de la Havannah.

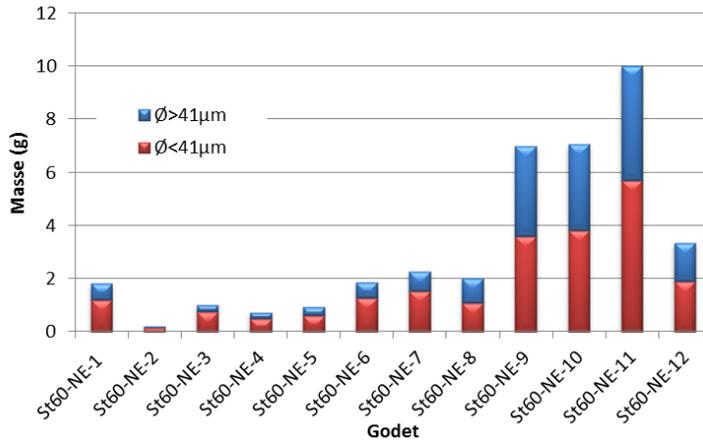


Figure 8 : Masses collectées dans les 12 godets du piège à particules séquentiel mouillé du 23 janvier au 11 mars 2015 dans le Canal de la Havannah, au nord-est du diffuseur (St60-NE).

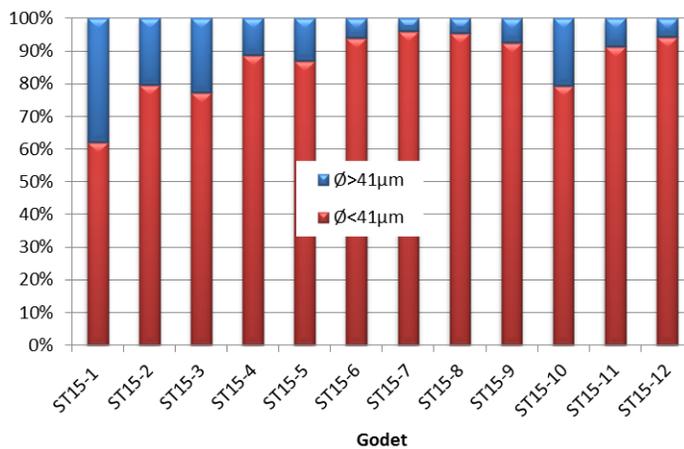


Figure 9 : Pourcentage des fractions fines et des fractions grossières dans les 12 godets du piège à particules séquentiel mouillé du 23 janvier au 11 mars 2015 dans le Canal de la Havannah, au nord-est du diffuseur (St60-NE).

b) Compositions granulométriques

Les analyses granulométriques ont été réalisées sur les MES provenant des godets St60-NE-1, St60-NE-8, St60-NE-9 et St60-NE-11. La distribution des populations de grains est proche pour les quatre godets étudiés. La fraction péltique ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des MES collectées au niveau de la station St-60-NE, est composée majoritairement de particules dont le mode se situe dans la classe 2-20 μm (silts fins ; avec des proportions comprises entre 37,1 à 50,5 % du volume). Les particules grossières ($\varnothing 20-40 \mu\text{m}$) représentent la seconde population granulométrique (Figure 10). Des observations similaires ont été effectuées lors de la campagne d’avril-juin 2014.

¹ Suite à la perte d’un piège à particules lors de la mission de janvier-mars 2014, une nouvelle mission avait été effectuée en avril-juin 2014

Remarque : comme pour la Baie Kwé, le fait que des particules supérieures à 41 μm soient analysées dans la fraction pélitique pourrait être causé par des artefacts de mesure lors de l'analyse en granulométrie laser dû au principe même de calcul de la technique ou encore par le fait que des particules de formes allongées soient passées à travers la maille au moment du tamisage.

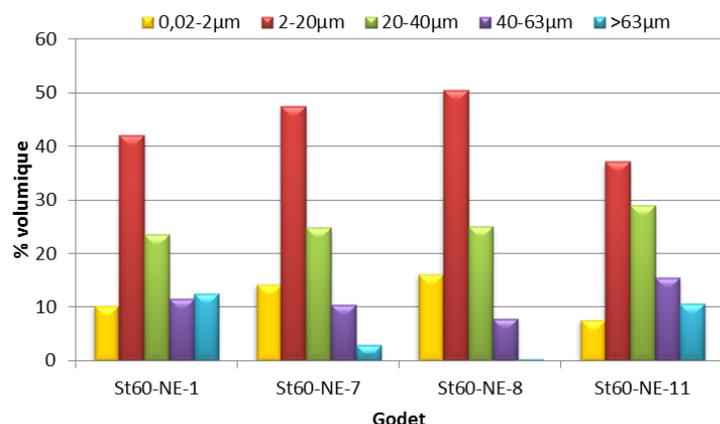


Figure 10 : Distribution granulométrique des populations de grains collectés dans le Canal de la Havannah (St60-NE) par le piège séquentiel du 23 janvier au 11 mars 2015.

c) Compositions minéralogiques

Les analyses minéralogiques ont été réalisées sur les MES provenant des godets St60-NE-1, St60-NE-7, St60-NE-9 et St60-NE-11. Les résultats montrent, comme pour les campagnes précédentes, que les principaux minéraux sont la calcite et l'aragonite, indiquant que l'influence marine est quasi-exclusive (Tableau 4).

Tableau 4 : Composition minéralogique des MES collectées dans le Canal de la Havannah (station St60-NE) par le piège à particules séquentiel, du 23 janvier au 11 mars 2015.

Echantillon	% Calcite	% Aragonite
St60-NE-1	68	32
St60-NE-7	73	26
St60-NE-9	82	18
St60-NE-11	77	23

d) Teneurs en carbonates

Les teneurs en carbonates des échantillons de MES (Figure 11) sont comprises entre 80,6 % (St60-NE-2 ; 27-30 janvier) et 89,7 % (St60-NE-5 ; 8-11 février) et la valeur moyenne est de $85,6 \pm 2,9\%$, soulignant des apports en carbonates très conséquent et relativement constants. Il faut noter que la teneur moyenne en carbonates des fractions pélitiques ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) est du même ordre que celles observées pour les campagnes précédentes de janvier-mars 2012 ($84,3 \pm 4,9 \%$) et avril-juin 2014 ($83,2 \pm 1,4 \%$).

Il a été observé que le plus faible pourcentage de carbonates (godet St60-NE-2) a fait suite à de faibles précipitations cumulées (4,6 mm) accompagnées d'un régime de vents soutenus ($10,3 \pm 2,7$ m/s) de secteur E-NE majoritaire. Il est à noter également que les godets St60-NE-10 à 12 ont présenté des teneurs en carbonates proches (comprises entre 82,0 et 83,0 %) qui sont les secondes concentrations en carbonates les plus faibles enregistrées pour cette campagne. Pour ces trois godets, les précipitations journalières étaient faibles avec respectivement, 7,6, 1,8 et 10,8 mm et les régimes de vents étaient de secteur Ne à E-SE pour le godet St60-NE-10 et de secteur E-SE à E pour les godets St60-NE-11 et 12.

Par contre, il a aussi été constaté que la plus forte teneur de carbonates dans les MES, enregistrée pour le godet St60-NE-5, correspond à une période (8-11 février) marquée par de faibles précipitations cumulées (7 mm) et un régime de vents forts ($14,2 \pm 1,7$ m/s) de secteur SE à E.

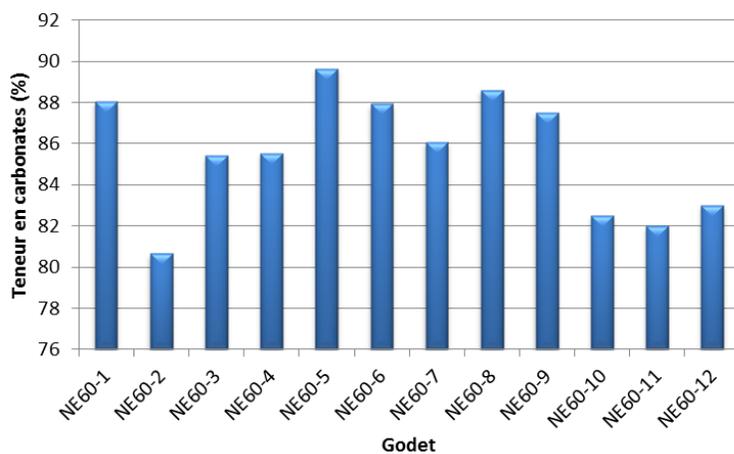


Figure 11 : Teneurs en carbonates dans les particules collectées par les 12 godets du piège séquentiel mouillé du 23 janvier au 11 mars 2015 dans le Canal de la Havannah (St60-NE).

3. Rade Nord de Prony (station St15)

a) Masses collectées

A la station St15, les masses de MES collectées sont très faibles, comprises entre 0,03 g (St15-3 ; 31 janvier- 3 février) et 1,58 g (St15-12 ; 8-11 mars). La masse moyenne des MES est de $0,56 \pm 0,59$ g, ce qui reste 7,9 fois plus faible que la masse moyenne de $4,43 \pm 8,89$ g enregistrée en janvier-mars 2014.

Il est à noter que les plus faibles masses de MES (comprises entre 0,03 et 0,05 g) ont été échantillonnées entre le 23 janvier et le 3 février (St15-1, St15-2 et St15-3) où de faibles précipitations journalières (1,6 et 4,6 mm pour respectivement St15-1 et St-2), ont été enregistrées. Paradoxalement, pour le godet St15-3, les 62,5 mm de précipitations cumulées n'ont pas induit de collecte plus importante en MES en raison probablement des régimes de vents forts ($15,6 \pm 2,8$ m/s) de secteur E à e-NE qui auraient confiné le panache probablement vers le rivage sud de l'anse.

La plus forte quantité de MES collectée (St15-12 ; 8-11 mars) a coïncidé avec une période marquée par 10,8 mm de précipitations cumulées et accompagné de vents forts ($13,7 \pm 0,4$ m/s) de secteur E à E-SE qui auraient été favorables à la collecte en déclenchant un possible mécanisme de remise en suspension en fond de baie.

Enfin, il est aussi observé la collecte de masses importantes dans les godets St15-7 à St15-9 (16-27 février) coïncidant avec des précipitations importantes (133,9 mm) et plusieurs rotation de la direction des vents entre le secteur S-SW et NE.

En janvier-mars 2014, la plus forte masse de MES (30,0 g) avait été collectée suite à de violentes précipitations cumulées (413,4 mm) pour un régime de vents modérés ($5,7 \pm 1,4$ m/s) de secteur SE puis NE. En septembre-octobre 2014, la plus forte masse de MES piégée (0,63 g) correspondait à une période accompagnée de vents de secteur E puis S et de précipitations cumulées modérées (72,9 mm). La variabilité des masses collectées à cette station semble dépendre de l'intensité des précipitations ainsi que de l'orientation et de la force des vents qui conditionnent la dispersion ou le confinement des panaches turbides le long de la ligne de côte.

Dans l'ensemble des godets, la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des MES a été amplement majoritaire, elle représente entre 62,2 à 95,9 % des masses collectées (Figure 13). Des observations similaires avaient été faites lors de la campagne précédente de janvier-mars 2014.

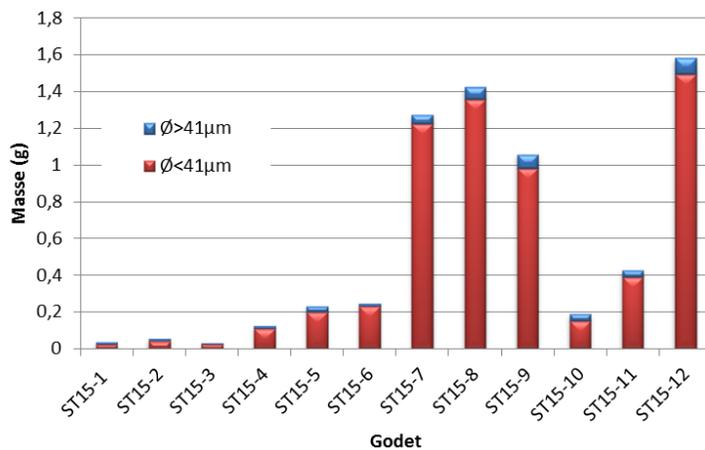


Figure 12 : Masses collectées dans les 12 godets du piège à particules séquentiel mouillé du 23 janvier au 11 mars 2015 dans la Rade Nord de la baie de Prony.

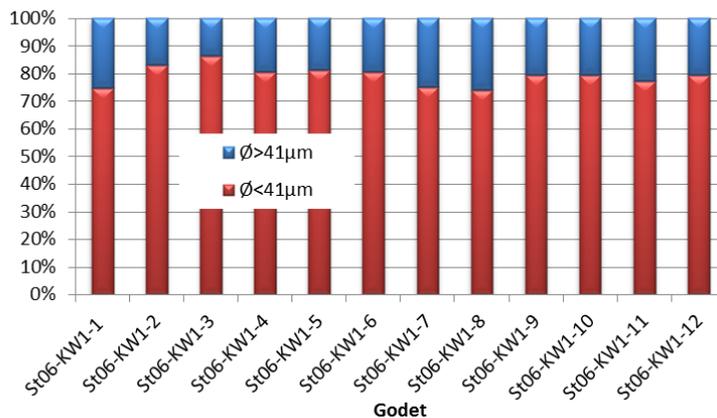


Figure 13 : Pourcentage des fractions fines et des fractions grossières dans les 12 godets du piège à particules séquentiel mouillé du 23 janvier au 11 mars 2015 dans la Rade Nord de la baie de Prony (St15).

b) Compositions granulométriques

Les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des MES collectées au niveau de la station St15 sont composées majoritairement de particules dont le mode se situe dans la classe 2-20 μm (silts fins) avec des proportions comprises entre 46,7 et 60,4 % du volume. Des observations similaires avaient été effectuées en janvier-mars 2014. Les argiles représentent la

seconde population granulométrique bien qu'en fin de collecte (godet St15-12), le pourcentage de silts grossiers (\emptyset 20-40 μm) ait progressé au détriment des argiles (Figure 14).

Remarque : comme pour la Baie Kwé et le Canal de la Havannah, le fait que des particules supérieures à 41 μm soient analysées dans la fraction péltique pourrait être causé par des artefacts de mesure lors de l'analyse en granulométrie laser dû au principe même de calcul de la technique ou encore par le fait que des particules de formes allongées soient passées à travers la maille au moment du tamisage.

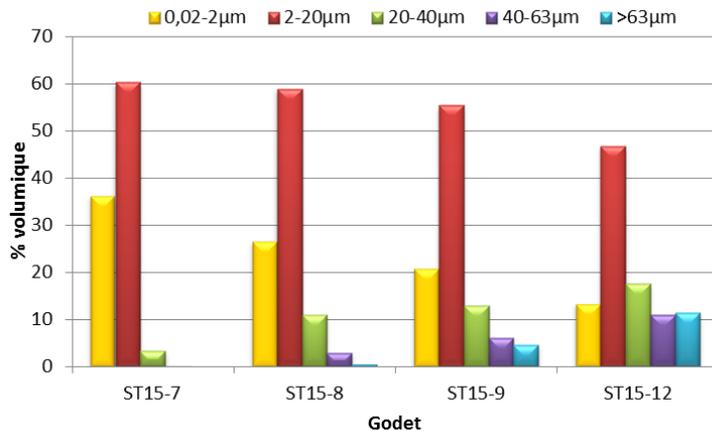


Figure 14 : Distribution granulométrique des populations de grains collectés dans la Rade Nord (St15) par le piège à particules séquentiel du 23 janvier au 11 mars 2015.

c) Compositions minéralogiques

Les analyses DRX ont été réalisées sur la fraction fine des MES provenant des godets St15-7, St15-8, St15-9 et St15-12. Les diffractogrammes (Annexe 3) ont montré que les MES étaient composées de minéraux d'origine terrigène, comme la goethite et de minéraux d'origine marine comme la calcite et l'aragonite.

D'après les résultats de DRX, pour cette campagne de janvier-mars 2015, l'influence marine serait majoritaire contrairement à la campagne de janvier-mars 2014 où l'influence terrigène était quasi-exclusive avec au minimum 92,9 % de goethite dans les godets analysés (données non représentées).

Tableau 5 : Composition minéralogique des MES collectées dans la Rade Nord de Prony (station St15) par le piège séquentiel, du 23 janvier au 11 mars 2015.

Echantillon	% Calcite	% Aragonite	% Goethite
St15-7	33	27	39
St15-8	43	25	32
St15-9	27	27	46
St15-12	20	33	47

d) Teneurs en carbonates

Les résultats relatifs à la teneur en carbonates sont présentés dans la Figure 15. Les masses collectées entre le 23 janvier et le 3 février (St15-1, St15-2 et St15-3) étaient trop faibles pour la réalisation de la totalité des analyses prévues.

Pour cette campagne, la teneur moyenne en carbonates est de $25,4 \pm 7,3$ %, soulignant une variabilité. En effet, les teneurs en carbonates ont oscillé entre 9,8 % (St15-5 ; 8-11 février) et 33,1 % (St15-7 ; 16-19 février) de la fraction pélitique ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$).

La plus faible teneur en carbonates dans les MES a coïncidé avec une période de faibles précipitations cumulées (7 mm) en lien avec des vents forts ($14,2 \pm 1,7$ m/s) de secteur SE à E. La plus forte teneur en carbonates contenue dans les MES correspond à une période de précipitations cumulées conséquentes (81,6 mm) associée à des vents soutenus ($12,6 \pm 3,3$ m/s) d'un large secteur SE à E-NE.

Les faibles teneurs de carbonates mesurées à cette station s'expliquent par l'influence terrigène forte, directement liée à l'écoulement du Creek de la Rade Nord.

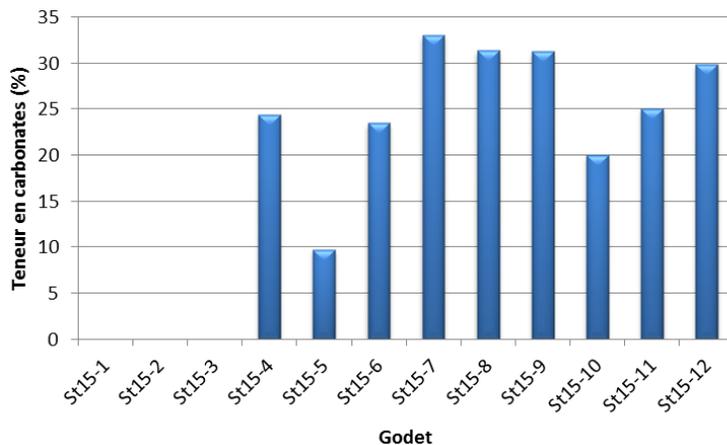


Figure 15 : Teneurs en carbonates dans les particules collectées par les godets du piège séquentiel mouillé du 23 janvier au 11 mars 2015 dans la rade Nord (St15).

Remarque : d'après les calculs de la teneur en carbonates (effectués à partir de la concentration en Ca et Mg), l'influence terrigène est majoritaire. Ces analyses et les résultats de la minéralogie semi-quantitative (DRX) sont donc en opposition. Afin de valider les résultats, la teneur en carbonates a été vérifiée par des analyses de calcimétrie. Cette méthode a confirmé une influence terrigène majoritaire puisque les teneurs en carbonates étaient comprises entre 15 % (St15-12 ; 8-11 mars) et 18,2 % (St15-7 ; 16-19 février).

Ce qu'il faut retenir

Station St06-KW1

La masse moyenne de MES collectée de $13,25 \pm 7,21$ g est en augmentation par rapport à la valeur moyenne de janvier-mars 2014 ($12,14 \pm 6,82$ g).

Les quantités de MES collectées en Baie Kwé dépendent de l'intensité des précipitations et/ou des régimes de vents (les vents supérieurs à 10 m/s et notamment de secteur S à E-SE favorisent le transport et la collecte des MES), par exemple :

- La plus forte quantité de MES collectée (entre le 4 et 7 mars) est associée à des vents modérés ($9,1 \pm 1,3$ m/s) de secteur S-SE à E et peu de précipitations (2,8 mm).
- La seconde plus forte masse de MES fait suite des pluies conséquentes (81,6 mm de précipitations entre le 16 et 19 février) et des vents soutenus ($12,6 \pm 3,3$ m/s du secteur SE à E-NE).

Globalement, le pourcentage de fraction fine ($\phi < 41 \mu\text{m}$) reste amplement majoritaire et relativement constant ($79,3 \pm 3,6 \%$). La fraction fine est composée majoritairement de particules dont le mode se situe dans la classe des silts fins. Ces observations sont en accord avec les résultats des précédentes campagnes.

Les MES collectées sont majoritairement composées de carbonates (moyenne de $73,3 \pm 2,7 \%$), ces résultats sont corroborés par les résultats de minéralogie qui ont montré que les MES étaient constitués principalement de calcite et d'aragonite et dans une moindre mesure de goéthite. Les apports à cette station sont donc principalement d'origine marine rythmés par des apports terrigènes.

Station St60-NE

La masse moyenne de MES collectée ($3,19 \pm 3,11 \text{ g}$) est deux fois plus forte qu'avril-juin 2014 ($1,49 \pm 1,01 \text{ g}$). Ainsi, comme pour la Baie Kwé, la plus forte quantité de MES collectée ($10,02 \text{ g}$) a été prélevée entre le 4 et le 7 mars à la faveur de vents de secteur S-SE à E.

Par contre, les fortes précipitations ($81,6 \text{ mm}$), tombées entre le 16 et 19 février ne semblent pas avoir impacté les apports en MES au niveau du Canal.

La fraction fine ($\phi < 41 \mu\text{m}$) est restée majoritaire ($63,2 \pm 8,1 \%$) bien qu'en nette baisse par rapport à la Baie Kwé.

L'analyse minéralogique semi-quantitative révèle que la fraction fine des MES est principalement composée de calcite et d'aragonite, ce qui souligne la très forte dominance de l'influence marine. Ces résultats sont corroborés par la teneur moyenne en carbonates dans les MES qui est de $85,6 \pm 2,9 \%$.

Station St15

La masse moyenne de MES collectées est très faibles ($0,56 \pm 0,59 \text{ g}$), elle reste 7,9 fois plus faible que la masse moyenne enregistrée en janvier-mars 2014 ($4,43 \pm 8,89 \text{ g}$).

La variabilité des masses collectées semble dépendre de l'intensité des précipitations ainsi que de l'orientation et de la force des vents qui conditionnent les panaches turbides, par exemple :

- La plus forte quantité de MES ($1,58 \text{ g}$; 8-11 mars) a été collectée suite à de faibles précipitations ($10,8 \text{ mm}$) et à des vents forts ($13,7 \pm 0,4 \text{ m/s}$) de secteur E-SE à E. Par contre, les $62,5 \text{ mm}$ de précipitations (31 janvier-3 février) n'ont permis de collecter que $0,03 \text{ g}$ de MES probablement à cause de vents forts ($15,6 \pm 2,8 \text{ m/s}$) de secteur E-SE à E-NE qui ont pu confiner le panache près de la ligne de côte.
- Les fortes précipitations ($133,9 \text{ mm}$) et les changements de régimes de vents (plusieurs rotations entre les secteurs S-SW et NE), pour la période du 16 au 27 février, ont permis de collecter des masses importantes dans les godets St15-7 à St15-9.

Globalement, dans l'ensemble des godets, la fraction fine ($\phi < 41 \mu\text{m}$) est majoritaire mais variable ($62,2$ à $95,9 \%$). Des observations similaires avaient été faites lors de la campagne précédente de janvier-mars 2014.

Les teneurs en carbonates mesurées dans les MES ont montré que les particules sont majoritairement sous influence terrigène (ce qui est en accord avec les observations faites lors des précédentes campagnes de 2014).

C. COMPOSITION GEOCHIMIQUE DES MATIERES EN SUSPENSION

Les valeurs des concentrations en métaux totaux (Co, Cr, Fe, Mn et Ni), calcium (Ca) et soufre (S) dans les MES collectées par les pièges à particules séquentiels sont regroupées en Annexe 4.

1. Baie Kwé (station St06-KW1)

Les éléments analysés dans les MES de la Baie Kwé permettent de mettre en évidence les influences respectives des apports terrigènes (Co, Cr, Fe, Mn, et Ni) et marins (Ca) (Tableau 6).

Les concentrations en métaux (Co, Cr, Fe, Mn et Ni) ont toutes présenté des valeurs maximales pour la période du 27 au 30 janvier (godet St06-KW1-2) associée à de très faibles précipitations cumulées (4,6 mm) et accompagnés de vents soutenus ($10,3 \pm 2,7$ m/s) d'un large secteur S-SW à E-NE. De plus, cette même période du 27 au 30 janvier, coïncide avec la plus faible concentration de Ca (voir Annexe 4).

Les plus faibles concentrations métalliques ont été observées pour le godet St06-KW1-9 (Annexes 4) entre le 24 et 27 février, correspondant à une période de faibles précipitations cumulées (33 mm) associée à des vents soutenus ($13,2 \pm 0,1$ m/s ; 24-25 février) de secteur E à NE faiblissant ($7,4 \pm 1,0$ m/s) secteur S-SW à E-SE.

De plus les concentrations métalliques moyennes sont supérieures aux moyennes enregistrées en 2007 pour l'état de référence. Il faut noter que les concentrations pour cette campagne de janvier-mars 2015 sont également supérieures à celles enregistrées en janvier-mars 2014 mais inférieures à celles de janvier-février 2013 (Tableau 7).

Note : Pour la campagne de janvier-février 2013, 181 mm de précipitations cumulées avaient été enregistrés entraînant le relargage de particules fortement enrichies en métaux tandis qu'en 2014, les 928,8 mm de précipitations cumulées ont montré moins d'impact sur la teneur en métaux des MES. Il faut noter que la vitesse des vents était deux fois plus faible en janvier-mars 2014 par rapport à 2015.

Tableau 6 : Concentrations moyennes, écart-types et valeurs extrêmes des concentrations en métaux et calcium dans les MES collectées en Baie Kwé entre le 23 janvier et le 11 mars 2015 (Station St06-KW1 ; n=12).

	Élément analysé (mg/kg)					
	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Min	255 750	63	2 440	67 327	603	1 209
Max	286 407	108	3 704	110 238	943	2 061
Moyenne	271 510	83	3 007	85 407	735	1 562
Ecart-type	10 830	12	354	11 481	94	233

La matrice de corrélation (Tableau 8) confirme la similarité de l'évolution des concentrations massiques pour Co, Cr, Fe, Ni et Mn au cours de la période prélèvements puisque les coefficients de corrélation sont compris entre $0,818 \geq R \geq 0,999$. Ces éléments métalliques proviennent donc des formations latéritiques ultramafiques exploitées. Il est également confirmé l'anti-corrélation existante entre le Ca (signature de l'influence marine) et les 5 métaux d'origine latéritique.

Tableau 7 : Concentrations moyennes en métaux et calcium dans les MES collectées en Baie Kwé (St06-KW1) lors de la définition de l'état de référence en 2007, et pour les campagnes de janvier-février 2013, janvier-mars 2014 et 2015.

Valeurs moyennes	Elément analysé (mg/kg)					
	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Etat de référence 2007	290 310	58	2 667	68 940	577	1 142
Campagne janvier-février 2012	239 104	101	3 414	103 323	822	1 885
Campagne janvier-février 2013	236 752	126	4 634	123 394	1 123	2 258
Campagne janvier-mars 2014	308 430	46	1 259	31 190	471	588
Campagne de janvier-mars 2015	271 510	83	3 007	85 407	735	1 562

Tableau 8 : Matrice de corrélation inter-éléments des concentrations de métaux et du calcium dans les MES collectées en Baie Kwé entre le 23 janvier et le 11 mars 2015 (Station St06-KW1 ; n=12).

Variables	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ca	1					
Co	-0,850	1				
Cr	-0,844	0,846	1			
Fe	-0,842	0,993	0,859	1		
Mn	-0,819	0,989	0,818	0,995	1	
Ni	-0,835	0,992	0,835	0,999	0,998	1

La normalisation des concentrations du Ca par le Fe (Ca/Fe) souligne de manière notable les évolutions relatives de ces deux éléments qui représentent l'influence des pôles marins (Ca) et terrigènes (Fe), respectivement (Figure 16). Les valeurs minimale et maximale du rapport Ca/Fe sont respectivement de 2,3 (St06-Kwé-2; 27-30 janvier) et 4,2 (St06-KW1-9 ; 24-27 février).

Le ratio Ca/Fe le plus faible de 2,3 souligne une plus forte influence des apports latéritiques à cette période bien que de très faibles précipitations soient tombées entre le 27 et le 30 janvier (St06-KW1-2).

Remarque : Généralement, lors d'épisodes pluvieux significatifs, il est observé une chute ratio Ca/Fe dû à l'augmentation des proportions en apports terrigènes consécutifs à la lixiviation des sols latéritiques, cependant pour certains épisodes pluvieux, aucune modification du ratio n'a pu être observée. En effet, lors des campagnes 2014, les pluies du 14 au 17 septembre et du 06 au 11 octobre, qui avaient cumulé respectivement 78,4 et 72,9 mm de précipitations, n'avaient pas occasionné de baisse du ratio Ca/Fe).

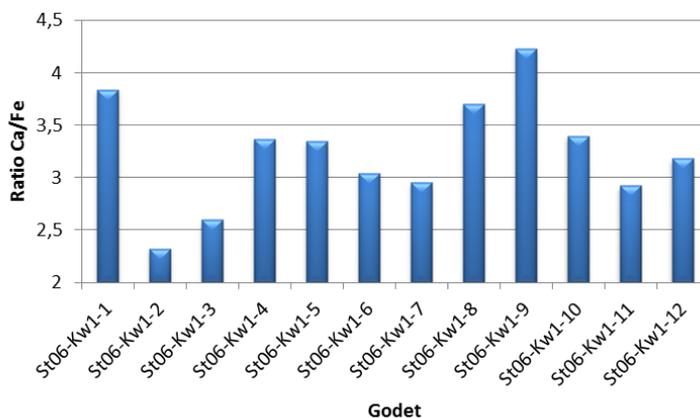


Figure 16 : Normalisation des concentrations en calcium par le fer pour les MES collectées en Baie Kwé (St06-KW1) entre le 23 janvier et le 11 mars 2015.

Pour cette campagne 2015, le ratio Ca/Fe moyen est supérieur à ceux enregistrés pour les précédentes campagnes de janvier-février 2012 et janvier-mars 2013, ce qui souligne une influence marine plus marquée. Par contre le ratio est 3,3 fois plus faible qu'en janvier-mars 2014, ce qui permet de constater que l'influence terrigène à la station St06-KW1 a sensiblement augmenté en 2015 (Tableau 9).

Tableau 9 : Evolution temporelle entre 2011 et 2015 du ratio moyen Ca/Fe dans les MES collectées par le piège séquentiel au niveau de la station St06-KW1 aux cours de différentes campagnes. Comparaison avec les valeurs depuis 2007/2008.

Ca/Fe	2007-2008*	Janv-févr 2012	Janv-févr 2013	Janv-mars 2014	Janv-mars 2015
Moyenne	3,85	2,32	1,95	10,65	3,18
Ecart-type	0,51	0,18	0,33	3,12	0,94

(*) Valeurs obtenues lors de la définition de l'Etat de Référence.

2. Canal de la Havannah (station St60-NE)

a) Concentrations en métaux et calcium

Les éléments analysés dans les MES collectées à l'est du diffuseur (St60-NE) mettent en évidence une influence marine très marquée (Tableau 10).

). Toutefois, les apports terrigènes (Co, Cr, Fe, Mn, et Ni) sont décelables, mais à des niveaux de concentrations bien plus faibles que dans les MES de la Baie Kwé.

Pour cette campagne, les plus fortes concentrations métalliques (Co, Cr, Fe, Mn et Ni) ont été observées dans les trois derniers godets (St60-NE-10 à St60-NE-12, du 28 février au 11 mars) et dans le second godet (St60-NE-2, du 27 au 30 janvier). Pour ce second godet, il a aussi été observé les plus faibles concentrations en Ca (voir Annexe 4).

Les plus fortes concentrations métalliques pourraient être la conséquence d'apports terrigènes émis par le diffuseur ou qui auraient été transportés par des néphéloïdes générés par les vents forts (remise en suspension), les pluies semblant trop faibles pour leur attribuer une origine directement terrigènes (lessivage du bassin versant de la Kwé).

Les concentrations moyennes observées en janvier-mars 2015 sont les plus fortes jamais enregistrées pour une campagne de saison chaude depuis que l'état de référence a été établi. Les résultats relatifs aux concentrations moyennes de Ca pour chaque campagne et celles de l'état de référence, montrent que les niveaux de concentration sont proches (Tableau 11).

Tableau 10 : Concentrations moyennes, écart-types et valeurs extrêmes des concentrations en métaux et calcium dans les MES collectées dans le Canal de la Havannah entre le 23 janvier et 11 mars 2015 (Station St60-NE ; n=12).

	Elément analysé (mg/kg)					
	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Min	301 001	22	651	21 314	244	373
Max	335 565	43	1 167	38 447	443	671
Moyenne	325 637	32	848	28 754	329	506
Ecart-type	9 166	6	174	5 415	61	95

Tableau 11 : Concentrations moyennes en métaux et calcium dans les MES collectées dans le Canal Havannah (St60-NE) lors de la définition de l'état de référence en 2007, et pour les campagnes de janvier-février 2012 et 2013, janvier-mars 2014 et 2015.

Valeurs moyennes	Élément analysé (mg/kg)					
	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Etat de référence 2007	337 350	12	393	11 760	125	162
Campagne de janvier-février 2012	293 760	25	661	20 959	254	423
Campagne de janvier-février 2013	306 914	21	834	26 131	262	478
Campagne d'avril-juin 2014	302 211	20	569	17 740	195	322
Campagne de janvier-mars 2015	325 637	32	848	28 754	329	506

La matrice de corrélation (Tableau 12) met en avant plusieurs similarités de distribution entre l'ensemble des métaux (Co, Cr, Fe, Mn et Ni) avec des coefficients de Pearson compris entre $0,976 > R > 0,999$. Ces coefficients sont en augmentation par rapport à janvier-mars 2014, ce qui suggère une influence terrigène plus marquée pour cette campagne de 2015.

Tableau 12 : Matrice de corrélation inter-éléments des concentrations de métaux et du calcium dans les MES collectées dans le Canal de la Havannah entre le 23 janvier au 11 mars 2015 (Station St60-NE ; n=12).

	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ca	1					
Co	-0,203	1				
Cr	-0,093	0,976	1			
Fe	-0,152	0,992	0,992	1		
Mn	-0,089	0,977	0,991	0,988	1	
Ni	-0,185	0,995	0,988	0,999	0,987	1

Dans le Canal de la Havannah, les valeurs de normalisation des concentrations du Ca par le Fe oscillent entre 8,3 (St60-NE-11 ; du 4 au 7 mars) et 15,4 (St60-NE-9 ; du 24 au 27 février) (Figure 17). Ces ratios sont élevés et soulignent l'influence marine prépondérante, confirmant ainsi les analyses minéralogiques et les résultats de teneur en carbonates.

La valeur la plus faible du ratio Ca/Fe (8,3) est observée suite à une période accompagnée de faibles précipitations cumulées (1,8 mm) et des vents modérés ($9,1 \pm 1,3$ m/s) de secteur SE à S-SE. De même, le faible ratio (8,7) observé entre le 27 et le 30 janvier était associé à de faibles précipitations cumulées (4,6 mm) et un régime de vents soutenus ($10,3 \pm 2,7$ m/s) de secteur SE tournant rapidement E-NE.

Le plus haut ratio (15,3) enregistré entre le 24 et le 27 février correspond à une période accompagnée de 33,0 mm de précipitations cumulées et un régime de vents soutenus ($13,2 \pm 0,1$ m/s ; 24-25 février) de secteur E à E-NE faiblissant ($7,4 \pm 1,0$ m/s) en passant au secteur E-SE.

D'un point de vue temporel et d'une manière générale, le ratio Ca/Fe a tendance à décroître par rapport à l'état de référence, traduisant un impact terrigène globalement croissant, bien que le ratio obtenu lors de la précédente mission d'avril-juin 2014 était plus fort (en raison de l'arrêt des rejets au travers de l'émissaire marin et des activités minières entre le 14 mai et 5 août 2014). Il est important de souligner que le ratio de cette campagne de janvier-mars 2015 est similaire à celui enregistré en janvier-février 2013 (Tableau 13).

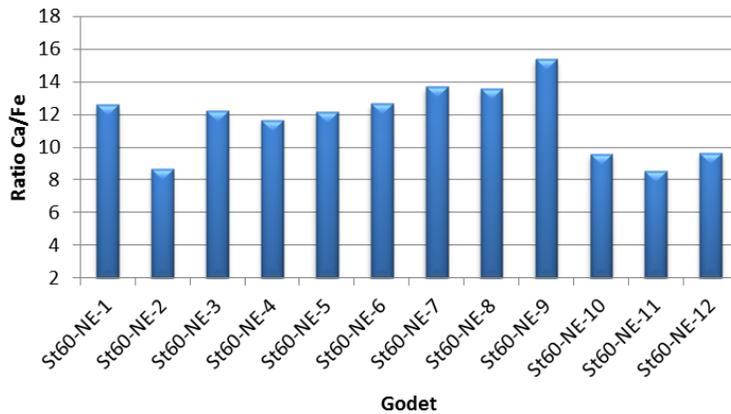


Figure 17 : Normalisation des concentrations en calcium par le fer pour les MES collectées dans le Canal Havannah (St60-NE) entre le 23 janvier et le 11 mars 2015.

Tableau 13 : Evolution temporelle entre 2011 et 2015 du ratio moyen Ca/Fe dans les MES collectées par le piège séquentiel au niveau de la station St60-NE. Comparaison avec les valeurs depuis 2007/2008.

Ca/Fe	2007-2008*	Janv-févr 2012	Janv-févr 2013	Avr-juin 2014	Janv-mars 2015
Moyenne	26,8	14,3	11,8	17,2	11,7
Ecart-type	6,7	2,4	1,0	1,8	2,2

(*) Valeurs obtenues lors de la définition de l'Etat de Référence.

b) Teneurs en soufre

L'analyse de la teneur en soufre a été seulement réalisée pour cette station afin d'observer l'impact potentiel des effluents (présence de sulfates de Ca) par leur rejet au travers du diffuseur.

La concentration de S la plus forte est de 2974 mg/kg et la plus basse est de 2749 mg/kg (Figure 1). La concentration moyenne de S est de 2887 ± 74 mg/kg (coefficient de variation = 2,6%).

D'une part, ces résultats montrent que les apports en S au niveau du Canal de la Havananh ont été constants au cours de la période de mouillage du piège. D'autre part, la concentration moyenne en S est plus faible que celle enregistrée en avril-juin 2014 (3900 ± 821 mg/kg) mais elle est du même ordre que celle observée en janvier – février 2013 (3112 ± 284 mg/kg).

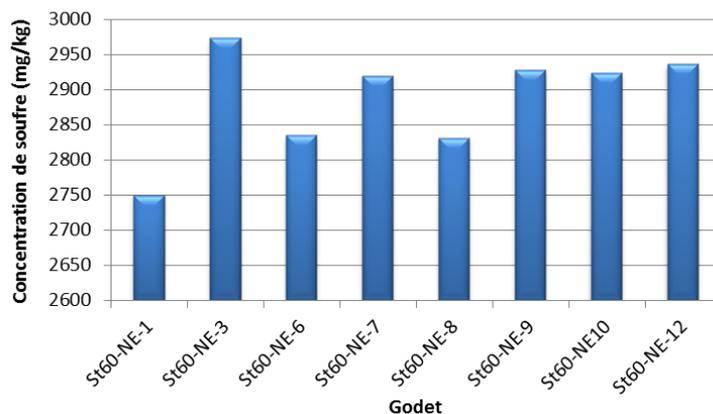


Figure 18 : Concentration du soufre dans les particules collectées par les godets du piège séquentiel mouillé du 23 janvier au 11 mars 2015 dans le Canal de la Havannah (St60-NE).

3. Rade Nord (station St15)

Les concentrations élémentaires analysées dans les MES collectées à la station St15, mettent en évidence une influence terrigène dominante (marquée par une forte concentration en Co, Cr, Fe, Mn et Ni) (Tableau 14). Par rapport à l'état de référence de mars 2007, les concentrations métalliques obtenues pour cette campagne sont supérieures d'un facteur 1,4 (Fe) à 2,1 (Co) (Tableau 15).

Tableau 14 : Concentrations moyennes, écart-types et valeurs extrêmes des concentrations en métaux et calcium dans les MES collectées dans la Rade Nord entre le 23 janvier au 11 mars 2015 (Station St15 ; n=9).

	Élément analysé (mg/kg)					
	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Min	15 409	422	13 308	274 320	2 743	4 639
Max	108 000	464	15 428	308 165	4 363	5 463
Moyenne	78 349	440	14 203	290 374	3 788	5 012
Ecart-type	29 017	13	757	11 196	569	266

Tableau 15 : Concentrations moyennes en métaux et calcium dans les MES collectées dans la Rade Nord (St15) lors de l'état de référence de mars 2007, et pour les campagnes de janvier-mars 2014 et janvier-mars 2015.

Valeurs moyennes	Élément analysé (mg/kg)					
	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Etat de référence mars 2007	61 870	208	8 500	205 660	1 949	2 742
Campagne janvier-mars 2014	11 118	295	13 796	245 119	2 368	3 927
Campagne janvier-mars 2015	78 349	440	14 203	290 374	3 788	5 012

Une analyse en composante principale (ACP) a été réalisée bien que le nombre d'échantillon requis soit trop faible (n=9) pour ce type de test qui demande généralement un minimum de 11 échantillons (Tableau 16). Toutefois, à titre informatif, la matrice de corrélation indique que les métaux Co, Cr, Fe et Ni sont fortement corrélés entre eux avec des coefficients de Pearson compris entre 0,734 et 0,988 et des anti-corrélations observables avec Ca ; ces valeurs soulignent une influence terrigène marquée prenant le pas sur les apports marins. Seul le Mn ne présente aucune corrélation significative avec les autres éléments.

L'observation des ratios Ca/Fe confirme que l'influence terrigène est majoritaire vu que les ratios sont faibles (Figure 19). Le ratio Ca/Fe moyen est similaire à celui calculé lors de l'état de référence de mars 2007 (Tableau 17).

Tableau 16 : Matrice de corrélation inter-éléments des concentrations de métaux et du calcium dans les MES collectées dans la Rade Nord entre le 23 janvier au 11 mars 2015 (Station St15 ; n=9).

	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ca	1					
Co	-0,722	1				
Cr	-0,877	0,834	1			
Fe	-0,852	0,808	0,988	1		
Mn	-0,305	-0,006	0,397	0,389	1	
Ni	-0,893	0,734	0,967	0,978	0,459	1

Tableau 17 : Comparaison temporelle du ratio moyen Ca/Fe dans les MES collectées par le piège séquentiel au niveau de la station St15 entre les campagnes de mars 2007 et janvier 2015.

Ca/Fe	Mars 2007*	Janv-mars 2014	Janv-mars 2015
Moyenne	0,3	0,08	0,27
Ecart-type	-	0,14	0,11

(*) Valeurs obtenues lors de la définition de l'Etat de Référence

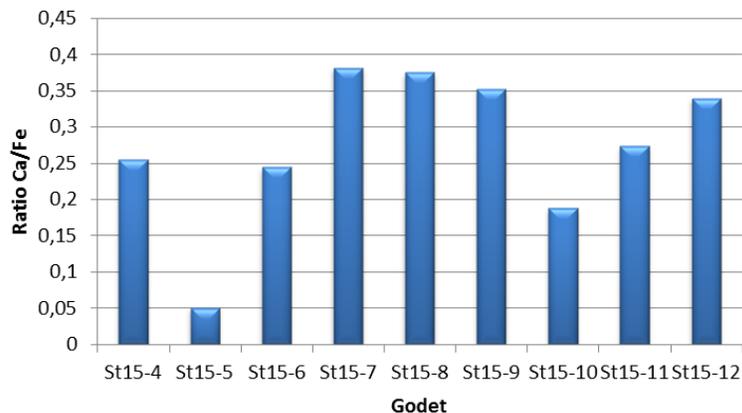


Figure 19 : Normalisation des concentrations en calcium par le fer pour les MES collectées dans la Rade Nord (St15) entre le 23 janvier au 11 mars 2015.

Ce qu'il faut retenir

Station St06-KW1

Les concentrations métalliques (Co, Cr, Fe, Mn et Ni) les plus élevées ont été enregistrées dans les MES collectées entre le 27 et 30 janvier associée à 4,6 mm de précipitations cumulées et accompagnées de vents soutenus ($10,3 \pm 2,7$ m/s) de secteur S-SW à E forçant secteur E-NE.

De plus, les concentrations métalliques moyennes contenues dans les MES, en janvier-mars 2015, sont toutes supérieures à celles enregistrées en 2007 pour l'état de référence.

Il faut aussi noter que les concentrations métalliques pour cette campagne de janvier-mars 2015 sont supérieures à celles de janvier-mars 2014 mais inférieures à celles de janvier-février 2013.

La matrice de corrélation confirme la similarité d'évolution des concentrations massiques pour Co, Cr, Fe, Ni et Mn (appartenant au cortège des formations latéritiques ultramafiques exploitées), soulignant la provenance terrigène de ces apports.

Pour cette campagne, le ratio Ca/Fe moyen est supérieur à ceux enregistrés pour les précédentes campagnes de janvier-février 2012 et janvier-février 2013, ce qui souligne une influence marine plus marquée pour cette campagne. Par contre le ratio reste 3,3 fois plus faible qu'en janvier-mars 2014, permettant de constater que l'influence terrigène à la station St06-KW1 recommence à augmenter et se rapproche des observations de 2013.

Station St60-NE

Les éléments analysés dans les MES collectées à l'est du diffuseur (St60-NE) mettent en évidence une influence marine très marquée, toutefois, les apports terrigènes (Co, Cr, Fe, Mn, et Ni) restent décelables.

Les plus fortes concentrations métalliques (Co, Cr, Fe, Mn et Ni) ont été observées dans les MES collectées entre 27 et 30 janvier et entre 28 février et 11 mars. Ces apports métalliques seraient les conséquences de néphéloïdes côtiers (formés par des vents favorables). En effet, pour les échantillons collectée entre 4 et 7 mars et entre 8 et 11 mars, il est peu probable que les précipitations cumulées de 1,8 et 10,8 mm soient à l'origine des masses collectées, respectivement de 10,02 et 3,36 g de MES.

Les concentrations moyennes observées dans les MES en janvier-mars 2015, sont les plus fortes enregistrées pour l'ensemble des campagnes de saison chaude depuis l'état de référence de 2007.

Toutefois, les ratios Ca/Fe sont élevés et soulignent l'influence marine prépondérante, confirmant ainsi les analyses minéralogiques et les résultats de teneur en carbonates. Globalement, le ratio Ca/Fe a tendance à décroître, traduisant probablement un impact terrigène progressif, bien que le ratio obtenu lors de la précédente mission d'avril-juin 2014 ait été plus fort (en raison de l'arrêt des rejets au travers de l'émissaire marin entre le 14 mai 2014 et le 5 août 2014).

La concentration moyenne de S est de 2887 ± 74 mg/kg, soulignant la constance des apports pour cet élément au niveau du Canal de la Havananh. Pour cette campagne, la concentration moyenne en S dans les MES est plus faible que celle enregistrée en avril-juin 2014 (3900 ± 821 mg/kg) mais elle est du même ordre que celle observée en janvier-février 2013 (3112 ± 284 mg/kg).

Station St15

Les éléments métalliques analysés dans les MES mettent en évidence une influence terrigène largement dominante.

Les concentrations métalliques obtenues pour cette campagne (janvier-mars 2015) sont toutes supérieures à l'état de référence de 2007.

La matrice de corrélation a indiqué que les métaux Co, Cr, Fe et Ni sont corrélés entre eux, soulignant une même origine terrigène. Seul le Mn ne présente aucune corrélation significative avec les autres éléments.

L'influence terrigène est largement majoritaire puisque les ratios Ca/Fe sont faibles. Le ratio Ca/Fe moyen est similaire à celui calculé lors de l'état de référence de mars 2007.

V. INTERPRETATION

A. INFLUENCE DES FACTEURS METEOROLOGIQUES

Les **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** (St06-KW1), Figure 21 (St60-NE) et Figure 22 (St15) apportent une vue globale qui permet d'établir les principaux épisodes marquants selon les stations suivies.

Lors des précédentes campagnes, réalisées entre 2011 et 2014, un parallèle a été effectué entre la quantité de MES collectée, la distribution des populations granulométriques et l'action mécanique induite par certaines conditions météorologiques (directions des vents, force des vents et précipitations).

Pour cette campagne semestrielle qui s'est déroulée entre le 23 janvier et le 11 mars 2015, un total de 242,6 mm de précipitations cumulées ont été enregistrées, ce qui reste proches des niveaux de précipitations des campagnes de janvier-février 2012 et 2013.

La période de mouillage des pièges à particules a été marquée par des régimes de vents soufflant majoritairement de secteur SE. La vitesse moyenne des vents a été de $12,0 \pm 3,7$ m/s, valeur caractéristique des normales saisonnières. Cette valeur est presque deux fois supérieure à celle de janvier-mars 2014 qui enregistrée une vitesse moyenne de $6,8 \pm 2,8$ m/s.

1. Baie Kwé (St06-KW1)

Pour la campagne de janvier-mars 2015, la masse moyenne de MES collectée ($13,25 \pm 7,21$ g) est en augmentation par rapport à la campagne de janvier-mars 2014 ($12,14 \pm 6,82$ g). Les principaux événements à considérer sont décrits ci-dessous :

- D'une part, la plus faible masse de MES collectée (27-30 janvier, godet St06-KW1-2) est associée à la plus forte concentration de Ni (2061 mg/kg), soulignant la plus forte influence terrigène pour ces apports. La distribution granulométrique peut en partie expliquer cette plus forte concentration en Ni puisque le godet St06-KW1-2 est associé au second plus fort pourcentage de fraction péltique (83,01 %). De même, la deuxième plus forte concentration de Ni (1878 mg/kg) analysée pour le godet St06-KW1-3 (31 janvier-3 février) est associée au plus fort pourcentage de fraction fine observé (86,48 %). De plus, ces deux godets St06-KW1-2 et 3 sont associés aux plus faibles ratios Ca/Fe, indiquant que l'influence marine a été proportionnellement plus faible pour ces deux godets. Les régimes de vent forts (> 10 m/s) majoritairement de secteur E-NE et N-NE, godets St06-KW1-2 et 3, respectivement, auraient favorisés l'origine terrigène des particules et donc l'enrichissement métallique des MES.
- D'autre part, il a aussi été constaté que la plus basse concentration de Ni, analysée dans le godet St06-KW1-9 (1209 mg/kg), est associée au plus fort ratio Ca/Fe. Cette variation de concentration de Ni par apport aux godets St06-KW1-2 et 3, pourraient en partie s'expliquer par le plus faible pourcentage de fraction péltique est de 79,41 % pour ce godet St06-KW1-9. De plus, les régimes de vents peuvent aussi

contribuer à cette différence, puisque pour le godet St06-KW1-9, les vents étaient majoritairement d'un large secteur S-SW à E-SE faiblissant à $7,4 \pm 1,0$ m/s qui auraient facilités l'entrée d'apports marins en Baie Kwé, voire une certaine remise en suspension de débris carbonatés arrachés au platier de celle-ci ;

- Ensuite, les fortes précipitations qui se sont déroulées entre le 16 et le 19 février (81,6 mm cumulés) ont permis de collecter la seconde plus forte masse (17,95 g) de MES par entrainement des particules arrachées au bassin versant mais aussi par l'action des vents forts ($> 12,6 \pm 3,3$ m/s) de secteur SE à E-NE qui a probablement remis en suspension des particules pour constituer un néphéloïde. Les mécanismes qui sont à l'origine de la plus forte quantité de MES (31,10 g), collectée entre le 4 et 7 mars à la faveur de vents modérés² ($9,1 \pm 1,3$ m/s) de secteur S-SE à E et de faibles précipitations (1,8 mm), sont complexes à décrire. Afin de mieux définir les mécanismes responsables du piégeage des particules en Baie Kwé, il serait intéressant de pouvoir disposer des données de charge solide dans le creek. . Ces deux périodes sont caractérisées par des concentrations de Ni et des ratios Ca/Fe très proches.

2. Canal de la Havannah (St60-NE)

Pour cette campagne de janvier-mars 2015, la masse moyenne de MES collectée ($3,19 \pm 3,11$ g) est deux fois plus forte que lors de la campagne d'avril-juin 2014 qui enregistrait une masse moyenne de MES de $1,49 \pm 1,01$ g. Les principaux évènements à prendre en considération sont repris ci-dessous:

- Le dépôt maximal de MES (10,02 g) correspond à une influence marine minimale. En effet, le ratio, Ca/Fe devient minimal lorsque la concentration en Ni coïncide avec une valeur maximale. Les MES collectées, entre le 4 et le 7 mars (godet St60-NE-11), seraient la conséquence du transport, par les courants marins, de particules remises en suspension (néphéloïdes côtiers) sous l'action des vents de secteur S-SE à E-SE, notamment. Par contre, il est important de souligner qu'une masse importante de MES a été collecté entre le 24 et 27 février (godet St60-NE-9) qui coïncide avec une plus forte influence marine puisque la concentration en Ni était minimale et le ratio Ca/Fe maximal. La différence observée entre ces deux godets, aurait pour origine les régimes de vents. En effet, les vents de secteur S-SE à E-SE (>10 m/s) soufflants plusieurs jours, favorisent la formation de néphéloïdes côtiers d'origine marine qui peuvent ensuite être transportés par les courants jusqu'au Canal de la Havannah et qui contribuent donc à augmenter l'influence terrigène dans le Canal de la Havannah.
- Il a aussi été observé que la plus faible masse de MES, collectée entre le 27 et le 30 janvier (comme en Baie Kwé), correspond à une concentration en Ni importante et à un faible ratio Ca/Fe, soulignant une origine terrigène plus marquée des apports. En l'absence de précipitations conséquentes, les eaux ne transportent que peu de matières en suspension ce qui peut expliquer la faible masse collectée pour ce godet.

² Il faut noter que la vitesse instantanée des vents n'a pas pu être exploitée car la station météorologique « loro » était en maintenance mais il est probable que la vitesse instantanée des vents ait pu dépasser les 12 m/s. En général, les régimes de vents d'un large secteur SE sont favorables à la formation de néphéloïdes côtiers lorsqu'ils dépassent les 10 m/s et ils favorisent donc la collecte des MES.

3. Rade Nord (St15)

Pour cette campagne, dans l'ensemble des godets, la fraction fine ($\phi < 41 \mu\text{m}$) est majoritaire et les masses de MES collectées sont faibles comme à l'accoutumée (la masse maximale récupérée étant de 1,58 g). Plus en détails :

- Les plus fortes masses de MES collectées du 16 au 27 février et du 4 au 11 mars correspondent aux plus forts ratios Ca/Fe et aux plus basses concentrations de Ni, soulignant une influence marine plus soutenue que pour les autres godets. La quantité maximale de MES collectée (8-11 mars) coïncide avec une période marquée par 10,8 mm de précipitations cumulées accompagnés de vents soutenus ($13,7 \pm 0,4 \text{ m/s}$) de secteur S-SE ;
- Il faut aussi noter que des masses supérieures à 1 g ont été collectées (entre le 16 et le 27 février) à la suite d'épisodes pluvieux consécutifs (notamment entre le 16 et 19 février où 81,6 mm de précipitations cumulées étaient tombées) accompagnés de vents forts ($>10 \text{ m/s}$). Suite à ces fortes précipitations, les ratios Ca/Fe n'ont pas diminué, ce qui reste inattendu, ils sont même les plus forts de la période de mouillage. Cependant l'ensemble des ratios sont extrêmement faibles comparés à la Baie Kwé et au Canal de la Havannah, soulignant que les apports sont majoritairement d'origine terrigène ;
- Les plus faibles masses de MES ont été échantillonnées entre le 23 janvier et le 3 février (godet St15-1 ; St15-2 et St15-3) en raison de faibles précipitations pour les deux premiers godets, par contre, il est important de noter que les 62,5 mm de précipitations cumulées n'ont pas conduit à collecter plus de MES dans le troisième godet, probablement à cause des régimes de vents forts ($15,6 \pm 2,8 \text{ m/s}$) de secteur E-SE à E-NE qui ont confiné le panache modifiant ainsi les conditions de piègeage des particules.

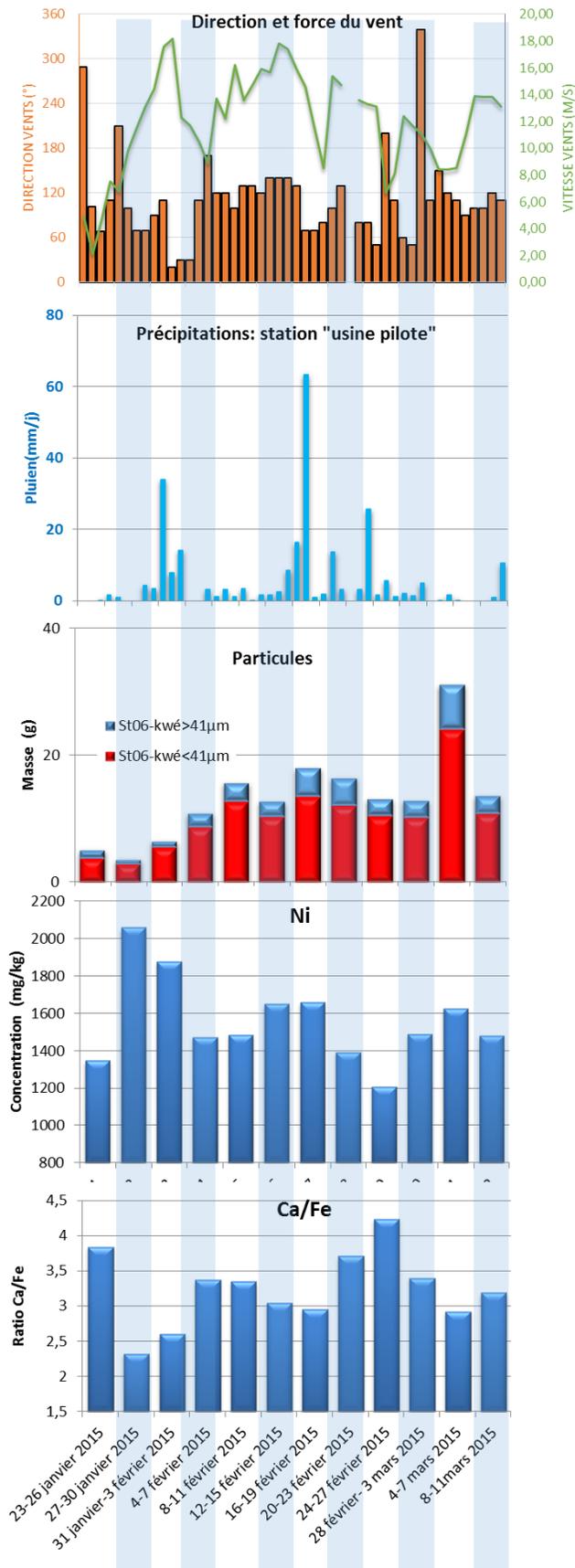


Figure 20 : Diagramme combiné pour la station St06-KW1 : direction et vitesse moyenne des vents, taux de précipitation, fractions inférieures et supérieures à 41 μm, concentration en nickel dans les MES et ratio Ca/Fe pour la période du 23 janvier au 11 mars 2015.

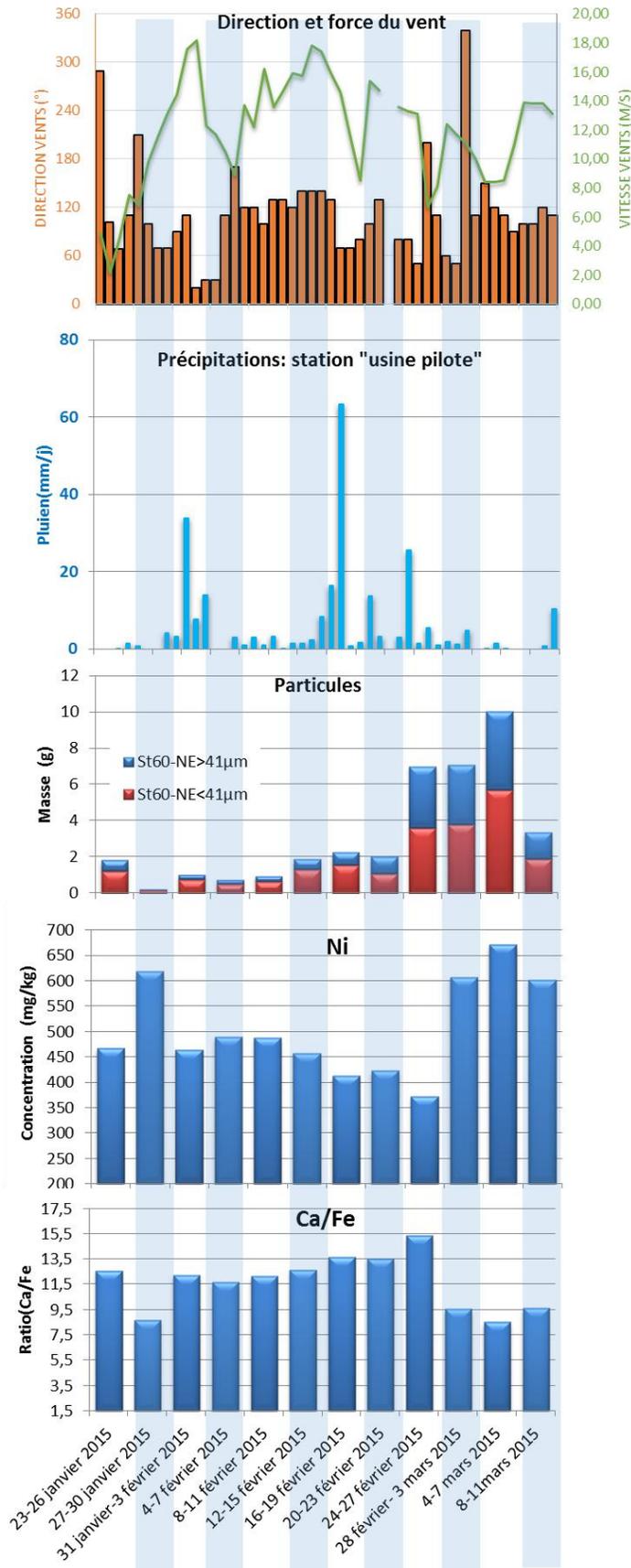


Figure 21 : Diagramme combiné pour la station St60-NE : direction et vitesse moyenne des vents, taux de précipitation, fractions inférieures et supérieures à 41 µm, concentration en nickel dans les MES et ratio Ca/Fe pour la période du 23 janvier au 11 mars 2015.

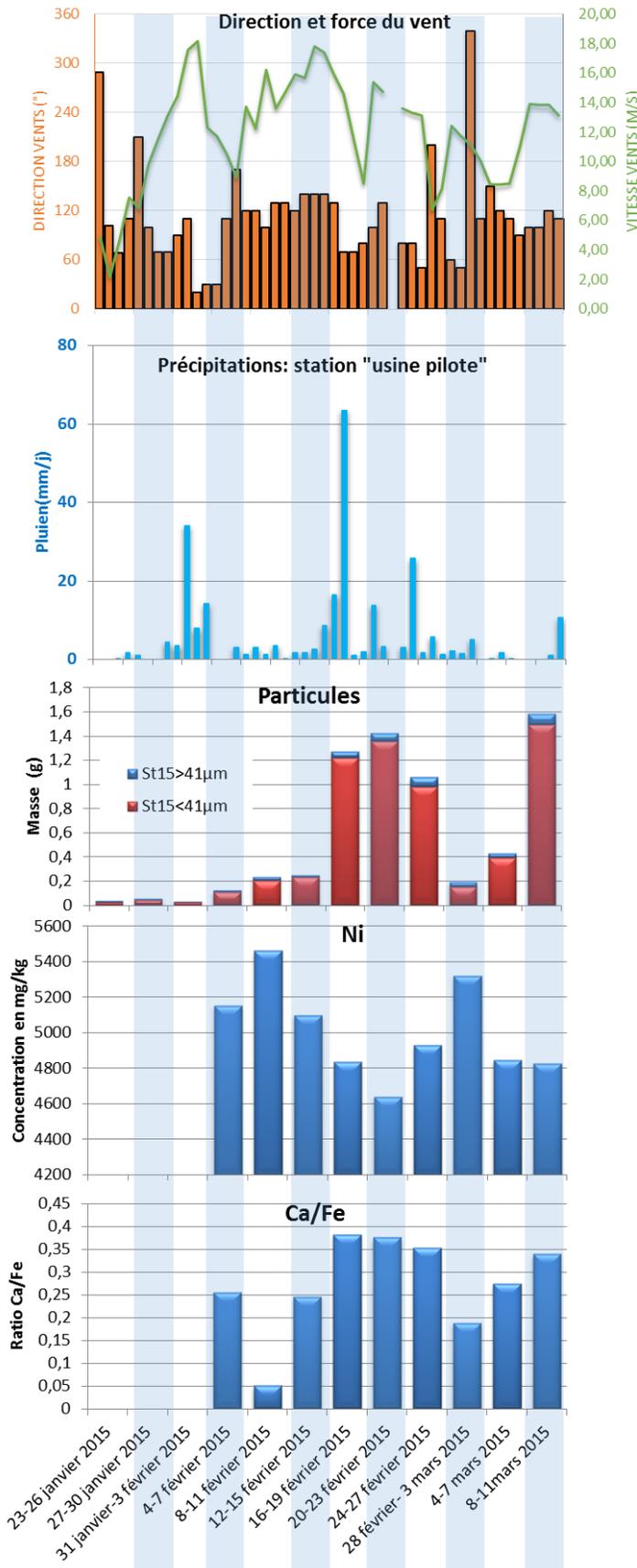


Figure 22 : Diagramme combiné pour la station St15 : direction et vitesse moyenne des vents, taux de précipitation, fractions inférieures et supérieures à 41 μm, concentration en nickel dans les MES et ratio Ca/Fe pour la période du 23 janvier au 11 mars 2015.

B. CALCUL DES FLUX DE MATIERES

Les valeurs de densité de flux verticaux des MES et des flux métalliques sont regroupées en Annexe 5.

1. Flux de matière en suspension

Les valeurs moyennes et écart-types des flux de particules ont été calculés sur l'ensemble des campagnes réalisées entre juillet 2011 et janvier 2015 pour la Baie Kwé, la rade Nord et le Canal de la Havannah et les résultats ont été comparés aux états de référence de 2006-2007 (Tableau 20).

a) Baie Kwé (St06-KW1)

Il est généralement observé des densités de flux plus élevés en saison chaude qu'en saison fraîche. Entre juillet 2011 et février 2015, ces densités sont comprises entre $11,8 \pm 8,4$ et $66,3 \pm 36,1$ g/m²/j (Tableau 18) : depuis la définition des états de référence, les densités de flux ont tendance à progresser et cette campagne présente la plus forte densité de flux particulaire enregistrée.

Tableau 18 : Valeurs moyennes et écart-types des densités de flux en matière particulaire au niveau de la station St06-KW1 (Baie Kwé et masse totale sédimentée au cours de la période. Valeurs calculées pour l'ensemble des campagnes de juillet 2011 à janvier 2015 ; comparaison avec les valeurs mesurées en 2006 et 2007 (Etats de Référence).

Baie Kwé (St06-KW1)

Campagne	Campagne									
	nov-06	mars-07	juil-11	janv-12	sept-12	janv-13	juil-13	janv-14	Sept-14	Janv-15
Moyenne (g/m ² /j)	14,6	28,3	27,1	39,5	26,4	46,5	58,1	60,7	11,8	66,3
Ecart-type	7,4	9,2	30,0	33,2	13,1	29,5	87,8	34,1	8,4	36,1
Masse sédimentée (g/m ²)	700	1132	1299	1894	1267	2231	2786	2914	569	3181

b) Canal de la Havannah (St60-NE)

Entre juillet 2011 et janvier 2015, les densités de flux étaient comprises entre $3,5 \pm 3,0$ et $16,0 \pm 15,6$ g/m²/j (Tableau 19), avec la valeur maximale établie pour cette campagne. Comme pour la Baie Kwé, une périodicité apparaît montrant que les apports sont plus importants en saison chaude par rapport à la saison fraîche. Cette campagne confirme la tendance à l'augmentation des densités de flux au niveau du Canal de la Havannah.

Tableau 19 : Valeurs moyennes et écart-types des densités de flux en matière particulaire au niveau de la station St60-NE (Canal de la Havannah) et masse totale sédimentée au cours de la période. Valeurs calculées pour l'ensemble des campagnes de juillet 2011 à janvier 2015 ; comparaison avec les valeurs mesurées en 2006 et 2007 (Etats de Référence).

Canal de la Havannah (St60-NE)

Campagne	Campagne									
	mars-07	nov-07	juil-11	janv-12	sept-12	janv-13	juil-13	avril-14	Sept-14	Janv-15
Moyenne (g/m ² /j)	26,4	7,8	3,5	10,1	4,9	12,7	6,3	7,4	8,1	16,0
Ecart-type	33,2	7,7	3,0	9,6	6,5	15,4	7,3	5,1	9,1	15,6
Masse sédimentée (g/m ²)	527	366	167	483	233	611	300	356	390	766

c) Rade du Nord

Le flux moyen mesuré en janvier est de $2,8 \pm 3,0$ g/m²/j (Tableau 20), cette valeur est supérieure à celles observées lors des états de référence mais reste presque 8 fois inférieur à celle de janvier 214.

Remarque : La plus forte densité de flux calculée pour janvier 2014 est la conséquence des 928,8 mm de précipitations cumulées qui s'étaient abattues violemment et des régimes de vents faibles ($6,8 \pm 2,8$ m/s) qui sont favorables à la dispersion du panache et donc à la collecte de MES.

Tableau 20 : Valeurs moyennes et écart-types des densités de flux en matière particulaire au niveau de la station St15 (Rade Nord) et masse totale sédimentée au cours de la période. Valeurs calculées pour l'ensemble des campagnes de juillet 2011 à janvier 2015 ; comparaison avec les valeurs mesurées en 2006 et 2007 (Etats de Référence).

Rade Nord (St15)					
Campagne	Campagne				
	nov-06	mars-07	janv-14	Sept-14	Janv-15
Moyenne (g/m ² /j)	1,1	1,7	22,2	0,9	2,8
Ecart-type	0,7	1,5	44,5	1,2	3,0
Masse sédimentée (g/m ²)	26	41	1063	44	134

2. Flux en éléments métalliques

Les flux métalliques moyens ont été calculés pour chaque campagne (Annexe 5) et leur évolution temporelle est illustrée par le cas du nickel (Figure 23).

a) Baie Kwé (St06-KW1)

Les précédentes campagnes avaient mis en évidence une augmentation des valeurs moyennes des densités de flux en métaux, dont le Ni (Figure 23), pour la période 2011-2013 et une baisse en 2014. En 2015, les flux métalliques moyens ont progressé et se situent actuellement juste en dessous des valeurs enregistrées en janvier-mars 2013 (Tableau 21).

b) Canal de la Havannah

Les précédents rapports avaient montré qu'entre 2011 et 2013, les valeurs moyennes des densités de flux en métaux, dont le Ni (Figure 23) ont eu tendance à augmenter puis à se stabiliser entre juillet 2013 et septembre 2014. Cependant, pour cette campagne, les densités de flux métalliques moyens ont augmenté (Figure 23) mettant en évidence la progression de l'influence des apports terrigènes. La densité de flux de Ni pour cette campagne est la plus haute depuis la définition de l'état de référence de février 2007.

c) Rade Nord

Le flux métallique moyen de Ni pour cette campagne de saison chaude est en forte baisse par rapport à la campagne de janvier-mars 2014, en raison des plus faibles masses de MES collectées. Par contre le flux de Ni enregistré reste plus fort que lors de la définition de l'état de référence.

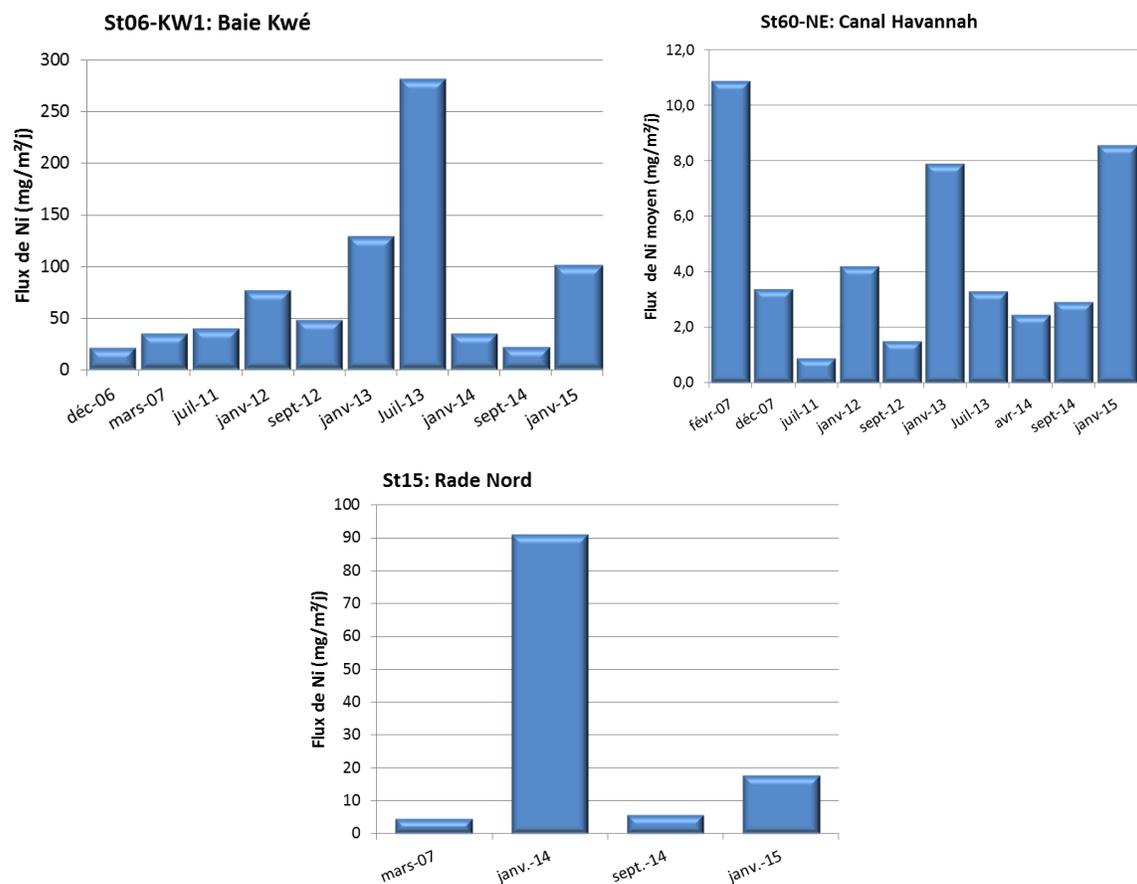


Figure 23 : Evolution temporelle des flux de nickel moyens (mg/m²/j) mesurés au niveau des stations St60-NE, St06-KW1 et St15 depuis 2007 (définition de l'Etat de Référence).

Tableau 21 : Valeurs minimales et maximales des densités de flux en éléments métalliques et calcium (mg/m²/j) au niveau des stations St06-KW1 (Baie Kwé), St60-NE (Canal de la Havannah) et St15 (rade nord).

St06-KW1		DENSITE DE FLUX EN ELEMENTS (mg/m ² /j)					
		Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Saison fraîche juillet-août 2011	Min	1 283	0,4	14,6	409	3,5	7,4
	Max	24 519	11,4	392,8	10 460	94,5	185,8
Saison chaude janvier-février 2012	Min	2 501	1,0	31,8	999	7,5	18,0
	Max	29 794	14,6	492,5	14 378	118,8	267,1
Saison fraîche sept-octobre 2012	Min	4 125	1,6	57,1	1 648	12,4	25,9
	Max	15 490	6,1	219,0	6 531	50,9	110,6
Saison chaude janvier-février 2013	Min	3 145	1,9	68,9	1 805	15,2	33,1
	Max	25 147	12,8	478,5	12 630	116,4	228,6
Saison fraîche Juillet-août 2013	Min	810	0,8	25,2	746	5,7	13,8
	Max	12 577	124,4	4 541	105 584	1 098	2 255
Saison chaude janvier-mars 2014	Min	9 269	0,9	37	735	11	13
	Max	44 440	6,2	192	4 090	68	73
Saison fraîche septembre-octobre 2014	Min	158	0,1	4,5	150	1,1	2,2
	Max	7 108	2,9	101	3 397	22,93	50,6
Saison chaude janvier-mars 2015	Min	4 518	1,8	65	1 859	16	34
	Max	40 2824	13	491	13 777	118	253

St60-NE		DENSITE DE FLUX EN ELEMENTS (mg/m ² /j)					
		Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Saison fraîche juillet-août 2011	Min	122	0,01	0,17	5,4	0,08	0,14
	Max	3 732	0,16	5,03	156,9	1,59	2,74
Saison chaude janvier-février 2012	Min	314	0,03	0,7	22	0,20	0,46
	Max	9 543	0,93	21,4	736	9,16	13,38
Saison fraîche sept-octobre 2012	Min	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Max	6 110	0,60	9,8	333	3,22	6,49
Saison chaude janvier-février 2013	Min	152	0,14	0,6	16	0,1	0,3
	Max	16 479	1,05	43,8	1 364	14,3	24,6
Saison fraîche Juillet-août 2013	Min	219	0,1	1,0	34	0,5	0,5
	Max	7 093	0,7	19,1	664	6,5	11,9
Saison chaude avril-juin 2014	Min	272	0,01	0,5	14	0,2	0,2
	Max	5 007	0,3	9,3	304	3,1	5,3
Saison fraîche septembre-octobre 2014	Min	258	0,0	0,9	34,5	0,3	0,5
	Max	9 513	0,7	20,9	707	6,4	10,7
Saison chaude janvier-mars 2015	Min	333	0,04	1,1	38	0,4	0,7
	Max	16 448	2,2	58	1 926	22	34

St15		DENSITE DE FLUX EN ELEMENTS (mg/m ² /j)					
		Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Saison chaude Janvier-mars 2014	Min	4	1	30	616	7	9
	Max	1 335	48	2 430	41 519	429	598
Saison fraîche septembre-octobre 2014	Min	54	0,2	5,9	156	1,2	2,0
	Max	287	1,0	28,0	750	6,9	9,7
Saison chaude janvier-mars 2015	Min	18	0,3	8,9	183	2,4	3,2
	Max	757	3,5	109	2 233	28	38

Tableau 22 : Valeurs minimales, maximales et moyenne des densités de flux en éléments métalliques et calcium (mg/m²/j) au niveau des stations St06-KW1 (Baie Kwé), T4B et T4C (Canal de la Havannah) obtenues lors de la phase de définition de l'Etat de Référence (2007-2008).

		DENSITE DE FLUX EN ELEMENTS (mg/m ² /j)					
		Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
ST06-KW1							
Saison fraiche	Min	1 781	0,3	11,8	515	0,9	8,6
nov-déc 2006	Max	8 957	1,5	63,4	2 739	6,3	45,8
Saison chaude	Min	4 953	0,6	25,2	1 105	1,1	18,7
mars-avril 2007	Max	1 1267	1,5	67,1	2 927	7,1	49,5
T4C ET T4B							
Saison chaude	Min	2 057	1,30	0,17	106	13,1	1,6
février/mars 2007	Max	42 564	1,39	0,97	1700	13,8	26,7
Saison fraiche	Min	611	0,25	0,05	26	-	0,4
nov-déc 2007	Max	8 418	0,51	9,14	540	-	11,0
ST15							
Saison chaude	Moyenne	494	0,4	0,4	350	3	5
mars-avril 2007							

CE QU'IL FAUT RETENIR

Dans la baie Kwé, comme dans le canal Havannah et la rade Nord, la distribution et la composition des flux de MES dans les eaux, sont régies principalement par les précipitations (vecteurs de particules terrigènes arrachées aux bassins versants) et les régimes de vents qui agissent sur la dispersion des panaches et sont susceptibles de remettre en suspension des particules sous l'action de la houle ainsi formée.

Baie Kwé (St06-KW1)

Une périodicité apparaît montrant que les flux de MES sont plus importants en saison chaude comparés aux campagnes de saison fraiche.

Lors de la campagne de janvier-mars 2015, les densités de flux de MES sont en augmentation par rapport à janvier-mars 2014, si bien que c'est la plus forte densité de flux de MES enregistrés depuis la définition des états de référence.

De même, il a été constaté que les flux métalliques moyens ont augmenté par rapport à janvier-mars 2014, cependant il reste plus bas que ceux enregistrés pour janvier-février 2013.

Canal de la Havannah (St60-NE)

Il est observé une périodicité des densités de flux qui sont plus élevées en saison chaude.

Cette campagne révèle aussi une augmentation des densités de flux massiques au niveau du Canal de la Havannah, associée aux plus fortes densités de flux métallique enregistrées depuis la définition l'état de référence de février 2007.

Rade Nord (St15)

La densité moyenne des flux de MES et de flux métalliques sont en forte baisse par rapport à la campagne de janvier-mars 2014. Il faut toute même noter que la densité de flux de Ni reste supérieure à celle définie lors de l'état de référence.

VI. CONCLUSION

La campagne semestrielle de janvier-mars 2015 a présenté des conditions météorologiques proches de celles observées pour les campagnes de janvier-février 2012 et 2013. En effet, les régimes de forts vents (12m/s en moyenne) ont soufflé majoritairement du secteur SE (alizées) à E-NE. Par ailleurs, la période de mouillage a été marquée par des niveaux de précipitations (242,6 mm) proches de ceux observés pour les campagnes de janvier-février 2012 et 2013.

Baie Kwé (St06)

Pour cette campagne de janvier-mars 2015, le contexte météorologique, ci-dessus décrit a conduit aux observations suivantes :

- Généralement, en Baie Kwé, la quantité de MES en suspension dépend des apports terrigènes liés à la pluviométrie (érosion du bassin versant), mais également, des phénomènes de remobilisation des particules qui sont favorisés par des régimes de vents forts principalement de secteurs S à SE. En effet, les vents de secteur S-SE à E-SE ont contribué à collecter la plus forte masse de MES pour la période du 4 au 7 mars (godet St06-KW1-11) et il a été observé que les fortes précipitations avaient permis de collecter la seconde plus forte masse de MES (godet St06-KW1-7 ; 16-19 février).
- Il faut noter la masse moyenne de MES ($13,2 \pm 7,2$ g) est en augmentation par rapport à celle de $12,1 \pm 6,8$ g obtenues pour la campagne janvier-mars 2014. Comme pour les précédentes campagnes, les MES collectées sont majoritairement composées de fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) dont le mode principal est occupé par les silts fins ;
- Les analyses minéralogiques ont montré que les MES sont majoritairement composées de calcite et d'aragonite, soulignant la dominance de l'influence marine. Ces résultats ont été corroborés par les calculs de la teneur en carbonates dans les MES. Les concentrations métalliques (Co, Cr, Fe, Mn et Ni) retrouvées dans les MES ont la même origine terrigène, mise en évidence par les fortes corrélations observées ($0,818 \geq R \geq 0,998$) par ACP;
- La densité de flux particulaire établie pour cette campagne est la plus forte enregistrée depuis la définition des états de référence, cependant les valeurs sont restées inférieures à celles de janvier-février 2013 (les plus fortes pour les saisons chaudes). Par contre les densités de flux métalliques sont restées juste sous les niveaux de la campagne de janvier-mars 2014.

Note : *il serait intéressant de bénéficier de données de charge solide et de débit relatives au bassin versant de la Kwé, ce qui permettrait une interprétation plus fine des fluctuations enregistrées. Cette étude, non demandée dans le cadre de ce suivi, sera abordée dans le contexte de la thèse de modélisation hydro-sédimentaire initiée par AEL et l'IRD (Marion Drouzy).*

Canal de la Havannah (NE-60)

Le contexte hydro-climatique décrit ci-dessus a conduit aux observations suivantes :

- La masse moyenne de MES collectée ($3,2 \pm 3,1$ g) est en augmentation par rapport aux campagnes de janvier-février 2013 et avril-juin 2014. Comme pour la baie Kwé, la plus forte quantité de MES

collectée (10,02 g, godet NE60-11) a été prélevée entre le 4 et le 7 mars. Ces MES proviendraient probablement de néphéloïdes côtiers générés sous l'action combinée des vents et des courants ;

- Comme pour les campagnes précédentes, les MES ont présenté une fraction fine dominante dont le mode principal est représenté par les silts fins majoritairement composés de calcite et d'aragonite (influence marine) ; ces observations ont été corroborées par la teneur moyenne en carbonates ($85,6 \pm 2,9 \%$) et par les ratios Ca/Fe élevés ;
- Les métaux analysés dans les MES du Canal de la Havannah, ont tous une origine terrigène mise en évidence par les fortes corrélations observées entre tous les métaux ($0,976 > R > 0,999$).
- La densité de flux particulaire observée, pour cette campagne de janvier-mars 2015, est la plus forte depuis la définition de l'état de référence de mars 2007. Cette campagne confirme la tendance globale à l'augmentation des densités de flux.
- Les densités de flux métalliques moyens ont progressé si bien que ce sont les plus fortes valeurs mesurées depuis l'état de référence de février 2007 ; entre 2011 et 2013, les valeurs moyennes ont eu tendance à augmenter puis se sont stabilisées de juillet-août 2013 à septembre-octobre 2014.

Rade Nord (St15)

Le contexte hydro-climatique décrit ci-dessus a conduit aux observations suivantes :

- La masse moyenne ($0,56 \pm 0,59$ g) de MES collectées est 7,9 fois plus faible que celle collectée en janvier-mars 2014.
- Généralement, la quantité de MES en suspension dépend des apports terrigènes liés à la pluviométrie, mais également aux régimes de vents qui vont conditionner la dispersion des panaches dans la Rade Nord à la morphologie particulière en raison de l'orographie. D'une part, il a été constaté d'importantes masses de MES collectées suite aux fortes précipitations (81,6 mm) du 16 au 19 février accompagnés de vents soutenus, principalement de secteurs S à SE. D'autre part, il a été observé que les pluies moyennes (62,5 mm) tombées entre 31 janvier et le 3 février (godet St15-3) n'avaient permis de collecter que seulement 0,03 g de MES en raison probable des vents forts ($15,6 \pm 2,8$ m/s) de secteur E à E-NE qui auraient confiné le panache ;
- La fraction fine dans les MES est majoritaire, elle se compose principalement de silts fins dont l'analyse géochimique montre l'origine terrigène. Cette observation est appuyée par les fortes corrélations démontrées entre les concentrations en Co, Cr, Fe et Ni, ainsi que par les ratios Ca/Fe extrêmement faibles ;
- La densité moyenne des flux de MES et la densité des flux de Ni sont en forte baisse par rapport à la campagne de janvier-mars 2014. Cette baisse est probablement la conséquence des faibles précipitations pour cette campagne par rapport à janvier-mars 2014, le bassin versant montrant un temps de réponse très rapide mais aussi la conséquence des régimes de vents forts qui peuvent confiner les panaches turbides et éviter ainsi les pièges.

VII. REFERENCES

CCB, 2009 : Convention pour la conservation de la biodiversité (CCB, 2009).

Convention IRD/Goro-Ni n°1124 : Etude sur le comportement, a dispersion et les effets biologiques des effluents industriels dans le lagon sud de la Nouvelle-Calédonie.

Convention IRD/Goro-Ni, n° 1124 : Bilan de la réactivité géochimique de l'effluent. Modélisation chimie-transport en champ proche du diffuseur

Contrat AEL/Vale-NC n°E22584 : Dispersion des effluents dans le Canal de la Havannah : Suivi des premiers rejets d'effluents réel via le diffuseur

Convention IRD/Goro-Ni n°1230 : Etat de référence : Distribution superficielle des sédiments, flux sédimentaires et taux d'accumulation dans la Baie du Prony (Rades Nord et Nord-Est) et dans la Baie Kwé.

VIII. LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : AIRE D'ÉTUDE POUR LE SUIVI DES FLUX VERTICAUX DE PARTICULES ISSUES DU PROCESS DE TRANSFORMATION DU MINÉRAI DE L'USINE DE PRODUCTION ET DES ACTIVITÉS D'EXCAVATION DE MINE DE VALE-NC. LE TRAIT ROUGE REPRÉSENTE LE DIFFUSEUR ET LES POINTS ROUGES REPRÉSENTENT LA LOCALISATION DES STATIONS DE SURVEILLANCE.....	10
FIGURE 2 : PUISSANCE TYPE DE L'ÉPAISSEUR DE MARQUAGE PAR L'EFFLUENT (RHODAMINE-WT) POUR DES CONDITIONS COURANTOLOGIQUES DE MI-MAREES DE	10
FIGURE 3 : ENREGISTREMENT JOURNALIER DES TAUX DE PRÉCIPITATIONS, LA DIRECTION DES VENTS MOYENS ET LA VITESSE DES VENTS MOYENS POUR LA PÉRIODE DU 23 JANVIER AU 11 MARS 2015.....	13
FIGURE 4 : MASSES COLLECTÉES DANS LES 12 GODETS DU PIÈGE À PARTICULES SÉQUENTIEL MOUILLÉ DU 23 JANVIER AU 11 MARS EN BAIE KWE (St06-KW1).	15
FIGURE 5 : POURCENTAGE DES FRACTIONS FINES ET DES FRACTIONS GROSSIÈRES DANS LES 12 GODETS DU PIÈGE À PARTICULES SÉQUENTIEL MOUILLÉ DU 23 JANVIER AU 11 MARS EN BAIE KWE (St06-KW1).	15
FIGURE 6 : DISTRIBUTION GRANULOMÉTRIQUE DES POPULATIONS DE GRAINS COLLECTÉS EN BAIE KWE (St06-KW1) PAR LE PIÈGE À PARTICULES SÉQUENTIEL, ENTRE LE 23 JANVIER ET LE 11 MARS 2015.	16
FIGURE 7 : TENEURS EN CARBONATES DANS LES PARTICULES COLLECTÉES PAR LES 12 GODETS DU PIÈGE SÉQUENTIEL MOUILLÉ DU 23 JANVIER AU 11 MARS DE 2015 EN BAIE KWE (St06-KW1).	17
FIGURE 8 : MASSES COLLECTÉES DANS LES 12 GODETS DU PIÈGE À PARTICULES SÉQUENTIEL MOUILLÉ DU 23 JANVIER AU 11 MARS 2015 DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH, AU NORD-EST DU DIFFUSEUR (St60-NE).	18
FIGURE 9 : POURCENTAGE DES FRACTIONS FINES ET DES FRACTIONS GROSSIÈRES DANS LES 12 GODETS DU PIÈGE À PARTICULES SÉQUENTIEL MOUILLÉ DU 23 JANVIER AU 11 MARS 2015 DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH, AU NORD-EST DU DIFFUSEUR (St60-NE).	18
FIGURE 10 : DISTRIBUTION GRANULOMÉTRIQUE DES POPULATIONS DE GRAINS COLLECTÉS DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH (St60-NE) PAR LE PIÈGE SÉQUENTIEL DU 23 JANVIER AU 11 MARS 2015.	19
FIGURE 11 : TENEURS EN CARBONATES DANS LES PARTICULES COLLECTÉES PAR LES 12 GODETS DU PIÈGE SÉQUENTIEL MOUILLÉ DU 23 JANVIER AU 11 MARS 2015 DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH (St60-NE).	20
FIGURE 12 : MASSES COLLECTÉES DANS LES 12 GODETS DU PIÈGE À PARTICULES SÉQUENTIEL MOUILLÉ DU 23 JANVIER AU 11 MARS 2015 DANS LA RADE NORD DE LA BAIE DE PRONY.	21
FIGURE 13 : POURCENTAGE DES FRACTIONS FINES ET DES FRACTIONS GROSSIÈRES DANS LES 12 GODETS DU PIÈGE À PARTICULES SÉQUENTIEL MOUILLÉ DU 23 JANVIER AU 11 MARS 2015 DANS LA RADE NORD DE LA BAIE DE PRONY (St15).	21
FIGURE 14 : DISTRIBUTION GRANULOMÉTRIQUE DES POPULATIONS DE GRAINS COLLECTÉS DANS LA RADE NORD (St15) PAR LE PIÈGE À PARTICULES SÉQUENTIEL DU 23 JANVIER AU 11 MARS 2015.	22
FIGURE 15 : TENEURS EN CARBONATES DANS LES PARTICULES COLLECTÉES PAR LES GODETS DU PIÈGE SÉQUENTIEL MOUILLÉ DU 23 JANVIER AU 11 MARS 2015 DANS LA RADE NORD (St15).	23
FIGURE 16 : NORMALISATION DES CONCENTRATIONS EN CALCIUM PAR LE FER POUR LES MES COLLECTÉES EN BAIE KWE (St06-KW1) ENTRE LE 23 JANVIER ET LE 11 MARS 2015.	26
FIGURE 17 : NORMALISATION DES CONCENTRATIONS EN CALCIUM PAR LE FER POUR LES MES COLLECTÉES DANS LE CANAL HAVANNAH (St60-NE) ENTRE LE 23 JANVIER ET LE 11 MARS 2015.	29
FIGURE 18 : CONCENTRATION DU SOUFRE DANS LES PARTICULES COLLECTÉES PAR LES GODETS DU PIÈGE SÉQUENTIEL MOUILLÉ DU 23 JANVIER AU 11 MARS 2015 DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH (St60-NE).	29
FIGURE 19 : NORMALISATION DES CONCENTRATIONS EN CALCIUM PAR LE FER POUR LES MES COLLECTÉES DANS LA RADE NORD (St15) ENTRE LE 23 JANVIER AU 11 MARS 2015.	31
FIGURE 20 : DIAGRAMME COMBINÉ POUR LA STATION St06-KW1 : DIRECTION ET VITESSE MOYENNE DES VENTS, TAUX DE PRÉCIPITATION, FRACTIONS INFÉRIEURES ET SUPÉRIEURES À 41 µM, CONCENTRATION EN NICKEL DANS LES MES ET RATIO Ca/Fe POUR LA PÉRIODE DU 23 JANVIER AU 11 MARS 2015.	ERREUR ! SIGNET NON DÉFINI.
FIGURE 21 : DIAGRAMME COMBINÉ POUR LA STATION St60-NE : DIRECTION ET VITESSE MOYENNE DES VENTS, TAUX DE PRÉCIPITATION, FRACTIONS INFÉRIEURES ET SUPÉRIEURES À 41 µM, CONCENTRATION EN NICKEL DANS LES MES ET RATIO Ca/Fe POUR LA PÉRIODE DU 23 JANVIER AU 11 MARS 2015.	37

FIGURE 22 : DIAGRAMME COMBINE POUR LA STATION St15 : DIRECTION ET VITESSE MOYENNE DES VENTS, TAUX DE PRECIPITATION, FRACTIONS INFERIEURES ET SUPERIEURES A 41 μm , CONCENTRATION EN NICKEL DANS LES MES ET RATIO Ca/Fe POUR LA PERIODE DU 23 JANVIER AU 11 MARS 2015..... **ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.**

FIGURE 23 : EVOLUTION TEMPORELLE DES FLUX DE NICKEL MOYENS ($\text{MG}/\text{M}^2/\text{J}$) MESURES AU NIVEAU DES STATIONS St60-NE, St06-KW1 ET St15 DEPUIS 2007 (DEFINITION DE L'ETAT DE REFERENCE).41

IX. LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : LOCALISATION DES TROIS STATIONS DE MOUILLAGE DES PIEGES A PARTICULES SEQUENTIELS : CANAL DE LA HAVANNAH (St60-NE), EN BAIE KWE (St06-KW1) ETEN RADE NORD (St15). CES COORDONNEES SONT CONFORMES AU REFERENTIEL WGS-84.	9
TABLEAU 2 : LISTE DES ECHANTILLONS COLLECTES AUX STATIONS DE MOUILLAGE DES PIEGES A PARTICULES (St06-KW1, St15 ET StSt60-NE) ET PERIODES DE COLLECTE ENTRE JANVIER ET MARS 2015.	11
TABLEAU 3 : COMPOSITION MINERALOGIQUE DES MES COLLECTEES EN BAIE KWE (STATION St06-KW1) PAR LE PIEGE A PARTICULES SEQUENTIEL DU 23 JANVIER AU 11 MARS 2015.	16
TABLEAU 4 : COMPOSITION MINERALOGIQUE DES MES COLLECTEES DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH (STATION St60-NE) PAR LE PIEGE A PARTICULES SEQUENTIEL, DU 23 JANVIER AU 11 MARS 2015.	19
TABLEAU 5 : COMPOSITION MINERALOGIQUE DES MES COLLECTEES DANS LA RADE NORD DE PRONY (STATION St15) PAR LE PIEGE SEQUENTIEL, DU 23 JANVIER AU 11 MARS 2015.	22
TABLEAU 6 : CONCENTRATIONS MOYENNES, ECART-TYPES ET VALEURS EXTREMES DES CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM DANS LES MES COLLECTEES EN BAIE KWE ENTRE LE 23 JANVIER ET LE 11 MARS 2015 (STATION St06-KW1 ; N=12).	25
TABLEAU 7 : CONCENTRATIONS MOYENNES EN METAUX ET CALCIUM DANS LES MES COLLECTEES EN BAIE KWE (St06-KW1) LORS DE LA DEFINITION DE L'ETAT DE REFERENCE EN 2007, ET POUR LES CAMPAGNES DE JANVIER-FEVRIER 2013, JANVIER-MARS 2014 ET 2015.	26
TABLEAU 8 : MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS DES CONCENTRATIONS DE METAUX ET DU CALCIUM DANS LES MES COLLECTEES EN BAIE KWE ENTRE LE 23 JANVIER ET LE 11 MARS 2015 (STATION St06-KW1 ; N=12).	26
TABLEAU 9 : EVOLUTION TEMPORELLE ENTRE 2011 ET 2015 DU RATIO MOYEN Ca/Fe DANS LES MES COLLECTEES PAR LE PIEGE SEQUENTIEL AU NIVEAU DE LA STATION St06-KW1 AUX COURS DE DIFFERENTES CAMPAGNES. COMPARAISON AVEC LES VALEURS DEPUIS 2007/2008.	27
TABLEAU 10 : CONCENTRATIONS MOYENNES, ECART-TYPES ET VALEURS EXTREMES DES CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM DANS LES MES COLLECTEES DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH ENTRE LE 23 JANVIER ET 11 MARS 2015 (STATION St60-NE ; N=12).	27
TABLEAU 11 : CONCENTRATIONS MOYENNES EN METAUX ET CALCIUM DANS LES MES COLLECTEES DANS LE CANAL HAVANNAH (St60-NE) LORS DE LA DEFINITION DE L'ETAT DE REFERENCE EN 2007, ET POUR LES CAMPAGNES DE JANVIER-FEVRIER 2012 ET 2013, JANVIER-MARS 2014 ET 2015.	28
TABLEAU 12 : MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS DES CONCENTRATIONS DE METAUX ET DU CALCIUM DANS LES MES COLLECTEES DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH ENTRE LE 23 JANVIER AU 11 MARS 2015 (STATION St60-NE ; N=12).	28
TABLEAU 13 : EVOLUTION TEMPORELLE ENTRE 2011 ET 2015 DU RATIO MOYEN Ca/Fe DANS LES MES COLLECTEES PAR LE PIEGE SEQUENTIEL AU NIVEAU DE LA STATION St60-NE. COMPARAISON AVEC LES VALEURS DEPUIS 2007/2008.	29
TABLEAU 14 : CONCENTRATIONS MOYENNES, ECART-TYPES ET VALEURS EXTREMES DES CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM DANS LES MES COLLECTEES DANS LA RADE NORD ENTRE LE 23 JANVIER AU 11 MARS 2015 (STATION St15 ; N=9).	30
TABLEAU 15 : CONCENTRATIONS MOYENNES EN METAUX ET CALCIUM DANS LES MES COLLECTEES DANS LA RADE NORD (St15) LORS DE L'ETAT DE REFERENCE DE MARS 2007, ET POUR LES CAMPAGNES DE JANVIER-MARS 2014 ET JANVIER-MARS 2015.	30
TABLEAU 16 : MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS DES CONCENTRATIONS DE METAUX ET DU CALCIUM DANS LES MES COLLECTEES DANS LA RADE NORD ENTRE LE 23 JANVIER AU 11 MARS 2015 (STATION St15 ; N=9).	30
TABLEAU 17 : COMPARAISON TEMPORELLE DU RATIO MOYEN Ca/Fe DANS LES MES COLLECTEES PAR LE PIEGE SEQUENTIEL AU NIVEAU DE LA STATION St15 ENTRE LES CAMPAGNES DE MARS 2007 ET JANVIER 2015.	30
TABLEAU 18 : VALEURS MOYENNES ET ECART-TYPES DES DENSITES DE FLUX EN MATIERE PARTICULAIRE AU NIVEAU DE LA STATION St06-KW1 (BAIE KWE ET MASSE TOTALE SEDIMENTEE AU COURS DE LA PERIODE. VALEURS CALCULEES POUR L'ENSEMBLE DES CAMPAGNES DE JUILLET 2011 A JANVIER 2015 ; COMPARAISON AVEC LES VALEURS MESUREES EN 2006 ET 2007 (ETATS DE REFERENCE).	39
TABLEAU 19 : VALEURS MOYENNES ET ECART-TYPES DES DENSITES DE FLUX EN MATIERE PARTICULAIRE AU NIVEAU DE LA STATION St60-NE (CANAL DE LA HAVANNAH) ET MASSE TOTALE SEDIMENTEE AU COURS DE LA PERIODE. VALEURS CALCULEES POUR L'ENSEMBLE DES CAMPAGNES DE JUILLET 2011 A JANVIER 2015 ; COMPARAISON AVEC LES VALEURS MESUREES EN 2006 ET 2007 (ETATS DE REFERENCE).	39
TABLEAU 20 : VALEURS MOYENNES ET ECART-TYPES DES DENSITES DE FLUX EN MATIERE PARTICULAIRE AU NIVEAU DE LA STATION St15 (RADE NORD) ET MASSE TOTALE SEDIMENTEE AU COURS DE LA PERIODE. VALEURS CALCULEES POUR L'ENSEMBLE DES CAMPAGNES DE JUILLET 2011 A JANVIER 2015 ; COMPARAISON AVEC LES VALEURS MESUREES EN 2006 ET 2007 (ETATS DE REFERENCE).	40

TABLEAU 21 : VALEURS MINIMALES ET MAXIMALES DES DENSITES DE FLUX EN ELEMENTS METALLIQUES ET CALCIUM (MG/M ² /J) AU NIVEAU DES STATIONS St06-KW1 (BAIE KWE), St60-NE (CANAL DE LA HAVANNAH) ET St15 (RADE NORD).....	42
TABLEAU 22 : VALEURS MINIMALES, MAXIMALES ET MOYENNE DES DENSITES DE FLUX EN ELEMENTS METALLIQUES ET CALCIUM (MG/M ² /J) AU NIVEAU DES STATIONS St06-KW1 (BAIE KWE), T4B ET T4C (CANAL DE LA HAVANNAH) OBTENUES LORS DE LA PHASE DE DEFINITION DE L'ETAT DE REFERENCE (2007-2008).....	43

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : DESCRIPTION DES METHODES DE TRAITEMENT ET D'ANALYSES DES ECHANTILLONS.

ANNEXE 2 : VALEURS JOURNALIERES DES PARAMETRES METEOROLOGIQUES (DONNEES VALE-NC ET STATION IORO) : PRECIPITATIONS, DIRECTION ET VITESSE DU VENT.

ANNEXE 3 : RESULTATS D'ANALYSES ET MESURES DES MES DU CANAL DE LA HAVANNAH , DE LA BAIE KWE ET DE LA RADE NORD DE PRONY: MASSES COLLECTEES, GRANULOMETRIES DES POPULATIONS DE GRAINS, COMPOSITIONS MINERALOGIQUES, TENEURS EN CARBONATES ET OBSERVATIONS MICROSCOPIQUES.

ANNEXE 4 : CONCENTRATIONS EN METAUX TOTAUX, CALCIUM ET SOUFRE DANS LES MES DU CANAL DE LA HAVANNAH , DE LA BAIE KWE ET DE LA RADE NORD DE PRONY.

ANNEXE 5 : RESULTATS DE CALCULS DES VALEURS DE DENSITE DE FLUX EN MES ET EN METAUX.

Annexe 1

Description des méthodes de traitement et d'analyses des échantillons

Evaluation des flux de MES

Les flux verticaux de particules apportées par le réseau hydrologique sont estimés par collecte de séries temporelles d'échantillons de MES. Cette opération est assurée par le déploiement de pièges à sédiment de type séquentiel de 0,05 m² de section efficace (Technicap, type PPS4/3) qui sont grésés sur une ligne de mouillage équipée avec un largueur acoustique. La durée d'immersion a été de 1,5 mois (du 23 janvier au 11 mars 2015) pour les stations ST15, NE60 et ST06-KW1.

La collecte séquentielle est réalisée avec un pas de temps programmé de 96 heures (4 jours), soit un total de 12 échantillons pour 48 jours.

Les matières en suspension collectées sont traitées au laboratoire, conditionnées puis conservées dans des sachets à usage unique. Les MES sont ensuite caractérisées de manière à évaluer les fractions terrigènes et marines (carbonates). Les flux sont estimés (g/m²/j) et confrontés aux différents régimes météorologiques.

Techniques et analyses

Teneur en carbonate

La teneur en carbonates est calculée par relation stœchiométrique à partir des concentrations de Ca et Mg établies en mg/kg après attaque totale (fusion alcaline) des fractions pélitiques (fraction < 41µm) des MES.

Granulométrie

L'étude de la distribution des populations de particules fines (silts et argiles) est conduite sur la fraction < 41 µm. La détermination de la distribution de ces populations est réalisée sur quatre échantillons par granulométrie laser (Malvern master Sizer 2000) sur la fraction inférieure à 41 µm. La granulométrie laser est réalisée à l'Université de Nouvelle-Calédonie.

Minéralogie

Les sources et l'évolution temporelle des matériaux sont estimées en fonction des espèces minérales décelées. Les déterminations de ces espèces sont effectuées par diffraction de rayons X (DRX) sur quatre échantillons. Cette analyse a été confiée à l'Université d'Auckland (School of Environment), Nouvelle-Zélande.

Dosage des métaux (Co, Cr, Fe, Mn et Ni), du Ca et Mg dans les MES

Le dosage des métaux, du Ca et Mg, nécessaire pour le suivi des flux de polluants, est conduit par attaque totale des fractions pélitiques ($\emptyset < 41 \mu\text{m}$) MES par fusion alcaline. Seuls, Ca, Mg et 5 métaux (Co, Cr, Fe, Mn et Ni) sont analysés par ICP-OES. Des échantillons de référence (MESS-3 et PACS-2) ont été attaqués selon le même protocole pour la validation des résultats de mesures.

Dosage du soufre

Le dosage du soufre est conduit par minéralisation des fractions pélitiques ($\emptyset < 41 \mu\text{m}$) des MES, il s'agit d'une attaque acide à haute température en conditions hyperbares. L'analyse du soufre est effectuée par ICP-OES. Ce dosage est effectué seulement à la station St60-NE pour déterminer les éventuelles formations de gypse lors du rejet de l'effluent.

Dosage des HCT

L'analyse des hydrocarbures totaux est effectuée sur le sédiment brut par la norme NF EN ISO 9377-2. Ce dosage n'a pas pu être conduit en raison du manque de masse récoltée dans les godets des pièges à sédiments.

Annexe 2

Valeurs journalières des paramètres météorologiques (données Vale-NC et station météo IORO) : précipitations, direction et vitesse du vent.

Date	Pluie (mm)	Vitesse du vent (m/s)	Direction du vent (°)
23/01/2015	0	4,87	289
24/01/2015	0	2,16	102
25/01/2015	0,2	4,58	69
26/01/2015	1,4	7,50	110
27/01/2015	0,6	6,8	210
28/01/2015	0	9,8	100
29/01/2015	0	11,5	70
30/01/2015	4	13,1	70
31/01/2015	3,2	14,4	90
01/02/2015	33,8	17,6	110
02/02/2015	7,6	18,2	20
03/02/2015	13,9	12,3	30
04/02/2015	0	11,7	30
05/02/2015	0	10,5	110
06/02/2015	2,8	8,9	170
07/02/2015	0,8	13,7	120
08/02/2015	2,8	12,2	120
09/02/2015	0,8	16,2	100
10/02/2015	3,2	13,6	130
11/02/2015	0,2	14,7	130
12/02/2015	1,4	15,9	120
13/02/2015	1,4	15,7	140
14/02/2015	2,2	17,8	140
15/02/2015	8,2	17,4	140
16/02/2015	16,2	15,9	130
17/02/2015	63,2	14,6	70
18/02/2015	0,6	11,4	70
19/02/2015	1,6	8,5	80
20/02/2015	13,5	15,4	100
21/02/2015	3	14,7	130
22/02/2015	ND	ND	ND
23/02/2015	2,8	13,6	80
24/02/2015	25,4	13,3	80
25/02/2015	1,4	13,1	50
26/02/2015	5,4	6,7	200
27/02/2015	0,8	8,1	110
28/02/2015	1,8	12,4	60

Date	Pluie (mm)	Vitesse du vent (m/s)	Direction du vent (°)
01/03/2015	1,2	11,7	50
02/03/2015	4,6	11,1	340
03/03/2015	0	10	110
04/03/2015	0,2	8,4	150
05/03/2015	1,4	8,4	120
06/03/2015	0,2	8,5	110
07/03/2015	0	11	90
08/03/2015	0	13,9	100
09/03/2015	0	13,8	100
10/03/2015	0,6	13,8	120
11/03/2015	10,2	13,1	110

ND : Non Disponible

Annexe 3

Résultats d'analyses et mesures des MES du Canal de la Havannah, de la Baie Kwé et de la Rade Nord de Prony: masses collectées, granulométries des populations de grains, diffractogrammes, teneurs en carbonates et observations microscopiques.

MES SEDIMENTEE

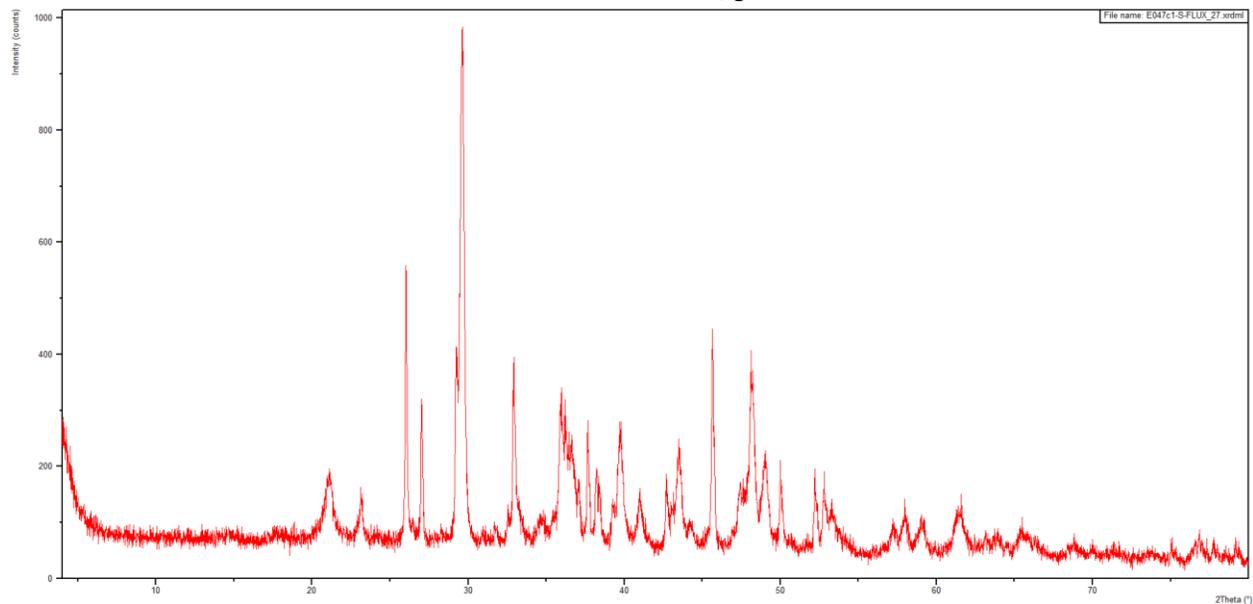
PERIODE DE COLLECTE	ECHANTILLON	MASSE COLLECTEE (g)	ECHANTILLON	MASSE COLLECTEE (g)	ECHANTILLON	MASSE COLLECTEE (g)
23-26 janvier 2015	St06-KW1-1	4,98	St15-1	0,04	St60-NE-1	1,83
27-30 janvier 2015	St06-KW1-2	3,53	St15-2	0,05	St60-NE-2	0,22
31 janvier-3 février 2015	St06-KW1-3	6,42	St15-3	0,03	St60-NE-3	1,01
4-7 février 2015	St06-KW1-4	10,80	St15-4	0,12	St60-NE-4	0,73
8-11 février 2015	St06-KW1-5	15,63	St15-5	0,23	St60-NE-5	0,94
12-15 février 2015	St06-KW1-6	12,71	St15-6	0,25	St60-NE-6	1,88
16-19 février 2015	St06-KW1-7	17,95	St15-7	1,27	St60-NE-7	2,28
20-23 février 2015	St06-KW1-8	16,41	St15-8	1,42	St60-NE-8	2,01
24-27 février 2015	St06-KW1-9	13,08	St15-9	1,06	St60-NE-9	6,99
28 février- 3 mars 2015	St06-KW1-10	12,84	St15-10	0,19	St60-NE-10	7,06
4-7 mars 2015	St06-KW1-11	31,10	St15-11	0,43	St60-NE-11	10,02
8-11mars 2015	St06-KW1-12	13,59	St15-12	1,58	St60-NE-12	3,36

COMPOSITION GRANULOMETRIQUE

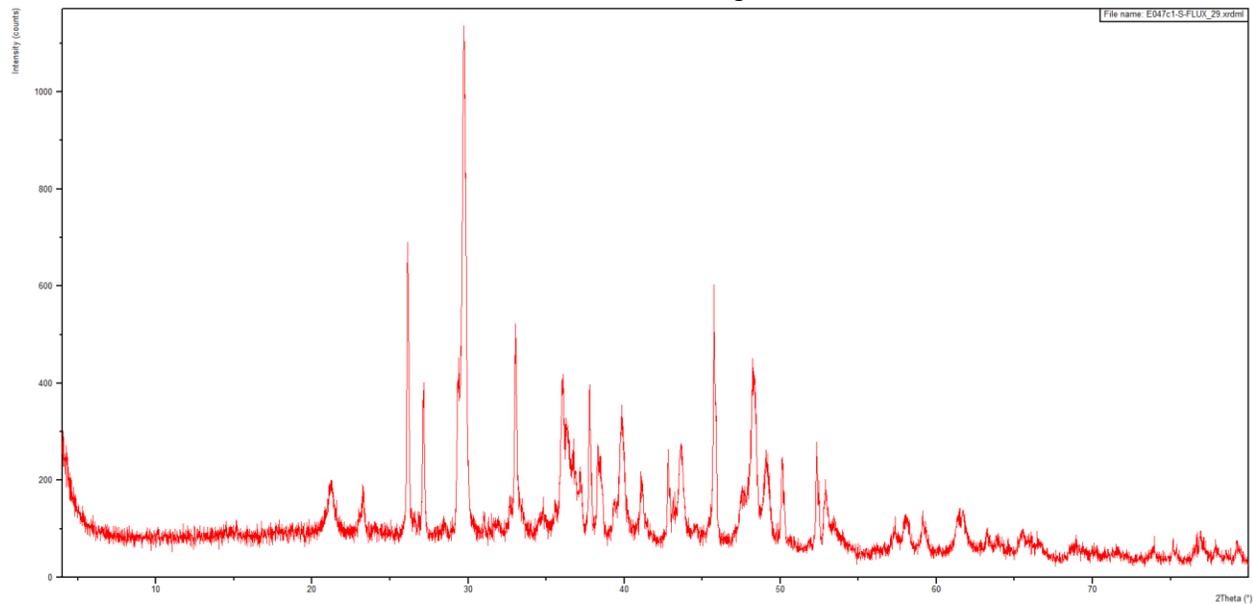
ECHANTILLON	POURCENTAGE VOLUMETRIQUE ENTRE LES CLASSES GRANULOMETRIQUES						
	0,02-2 µm	2-20 µm	20-40 µm	40-50 µm	50-63 µm	63-200 µm	> 200 µm
St60-NE							
St60-NE -1	10,3	42,1	23,6	6,4	5,1	10,4	2,1
St60-NE -7	14,3	47,5	24,9	6,2	4,2	2,9	0,0
St60-NE -8	16,2	50,5	25,0	5,2	2,7	0,3	0,0
St60-NE -11	7,7	37,1	28,9	8,6	7,0	10,2	0,5
St15							
St15-7	36,2	60,4	3,4	0,1	0,0	0,0	0,0
St15-8	26,6	59,0	10,9	1,9	1,1	0,5	0,0
St15-9	20,9	55,4	13,0	3,3	2,8	4,5	0,1
St15-12	13,3	46,7	17,5	5,6	5,3	11,5	0,0
St06-KW1							
St06-KW1-3	16,3	53,7	23,0	4,5	2,3	0,3	0,0
St06-KW1-5	15,1	51,4	23,8	5,3	3,3	1,2	0,0
St06-KW1-7	11,9	47,6	28,2	6,4	4,0	2,0	0,0
St06-KW1-11	13,3	50,2	27,4	5,5	3,1	0,6	0,0

DIFFRACTOGRAMME DES MES DE LA BAIE KWE (ST06)

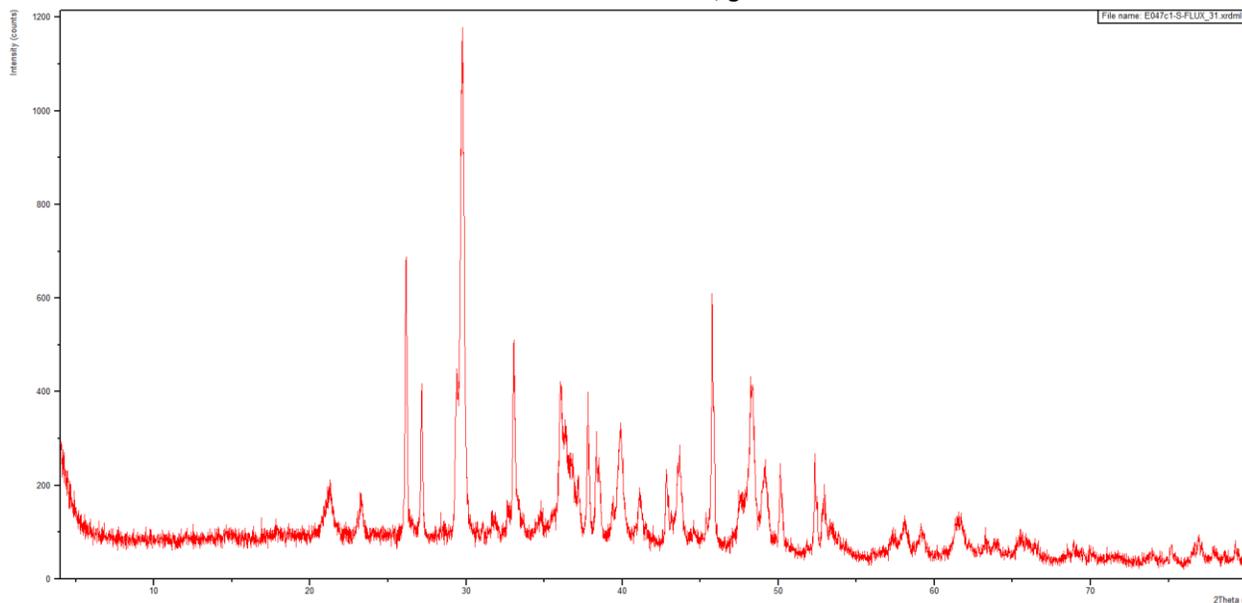
Station St06-KW1 ; godet 3



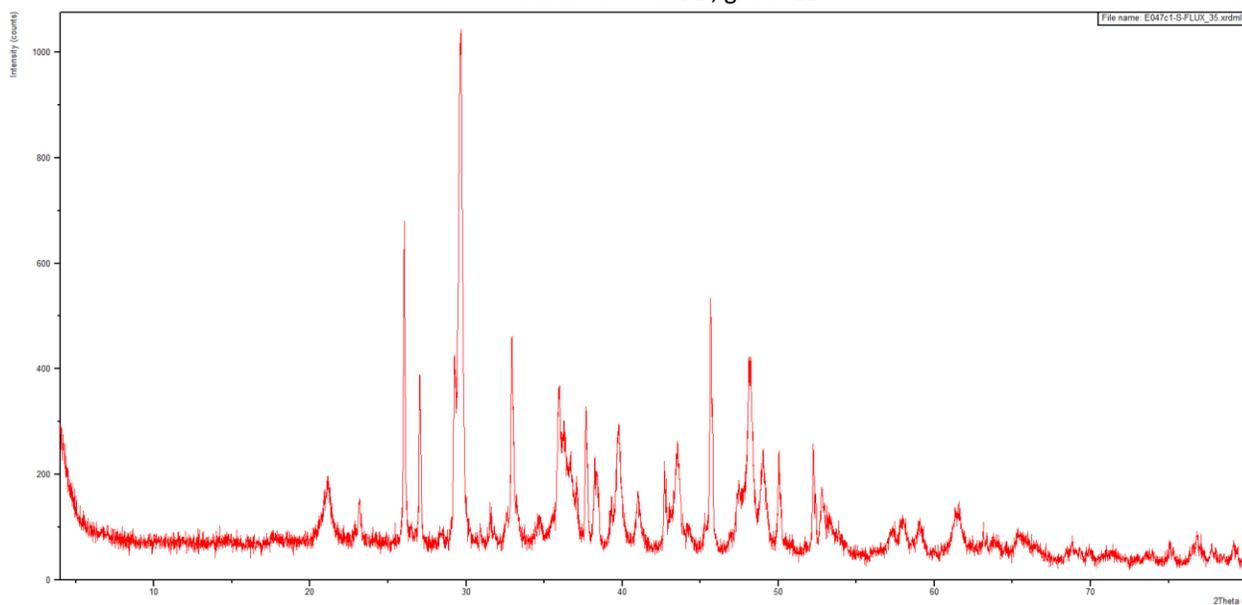
Station St06-KW1 ; godet 5



Station St06-KW1; godet 7

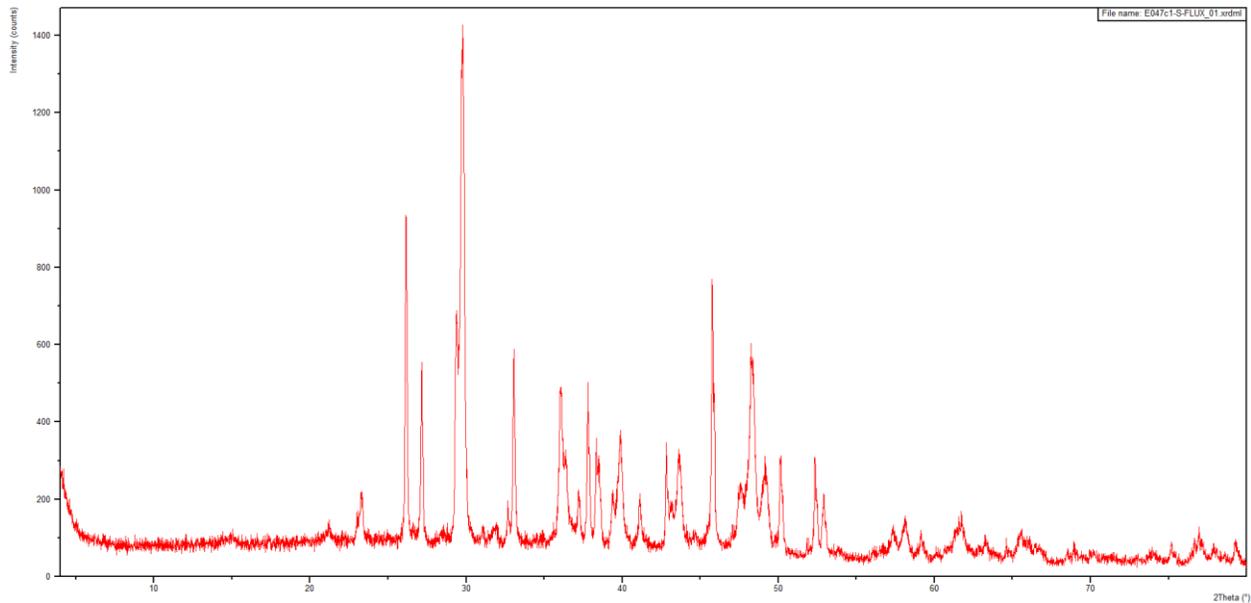


Station St06-KW1 ; godet 11

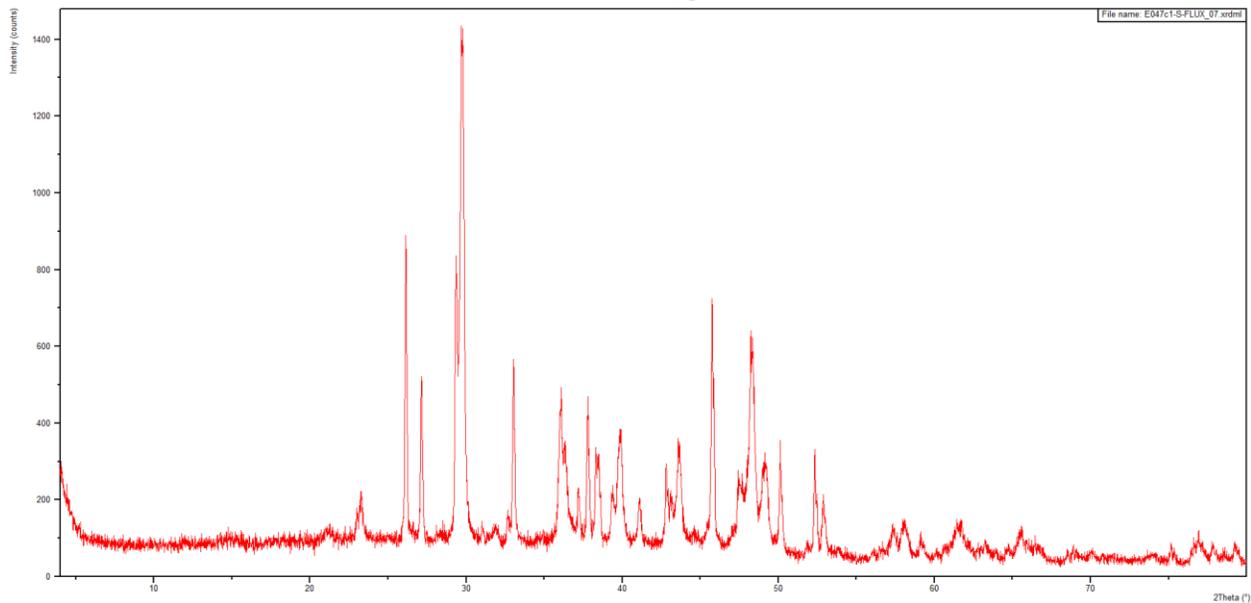


DIFFRACTOGRAMMES DES MES DU CANNAL HAVANNAH (NE60)

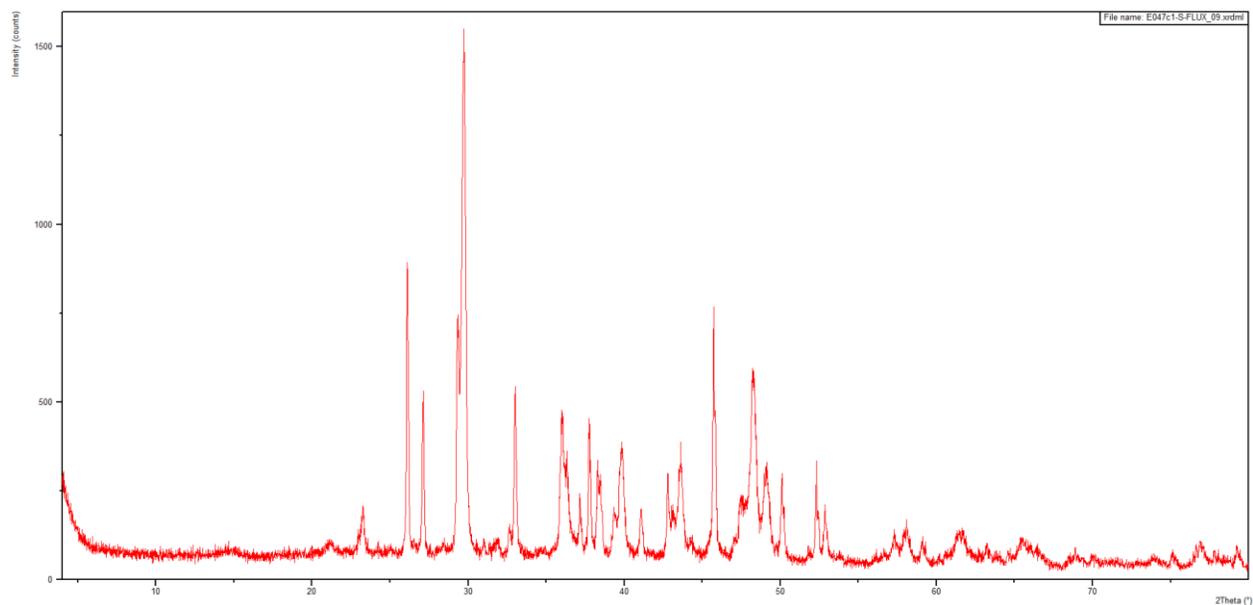
Station St60-NE ; godet 1



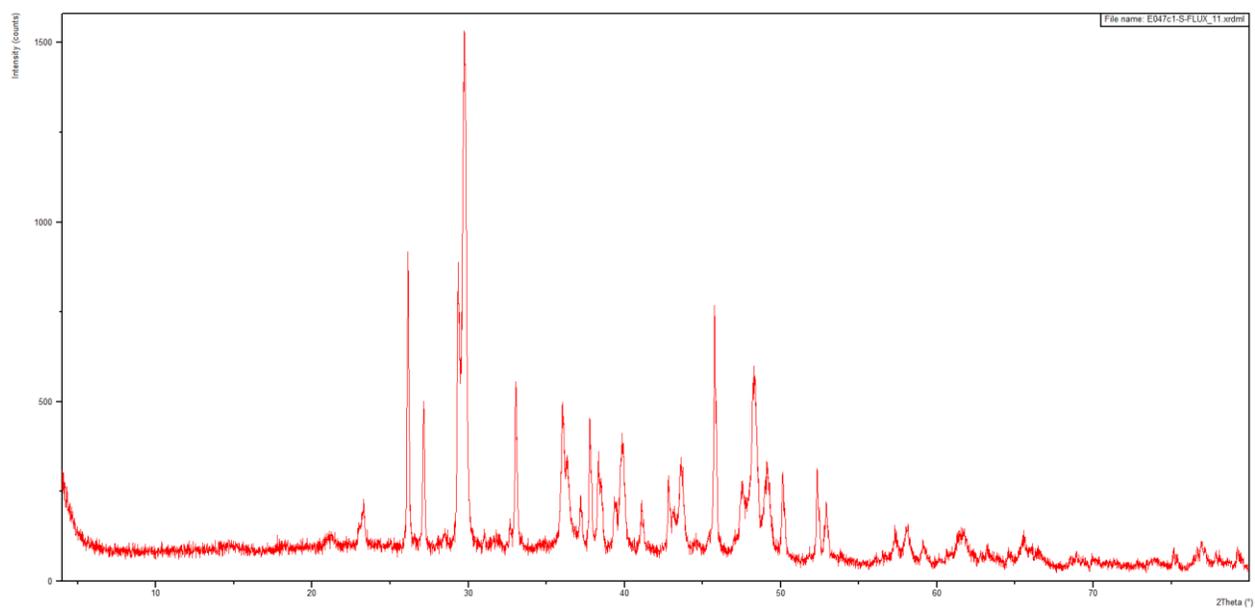
Station St60-NE ; godet 7



Station St60-NE ; godet 9

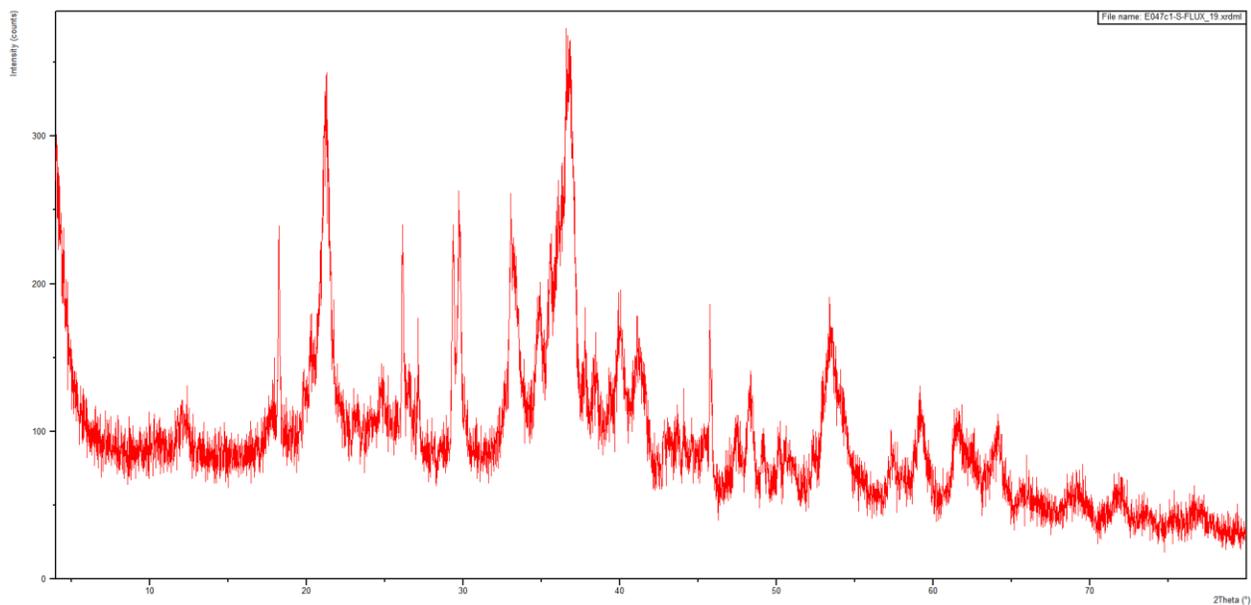


Station St60-NE ; godet 11

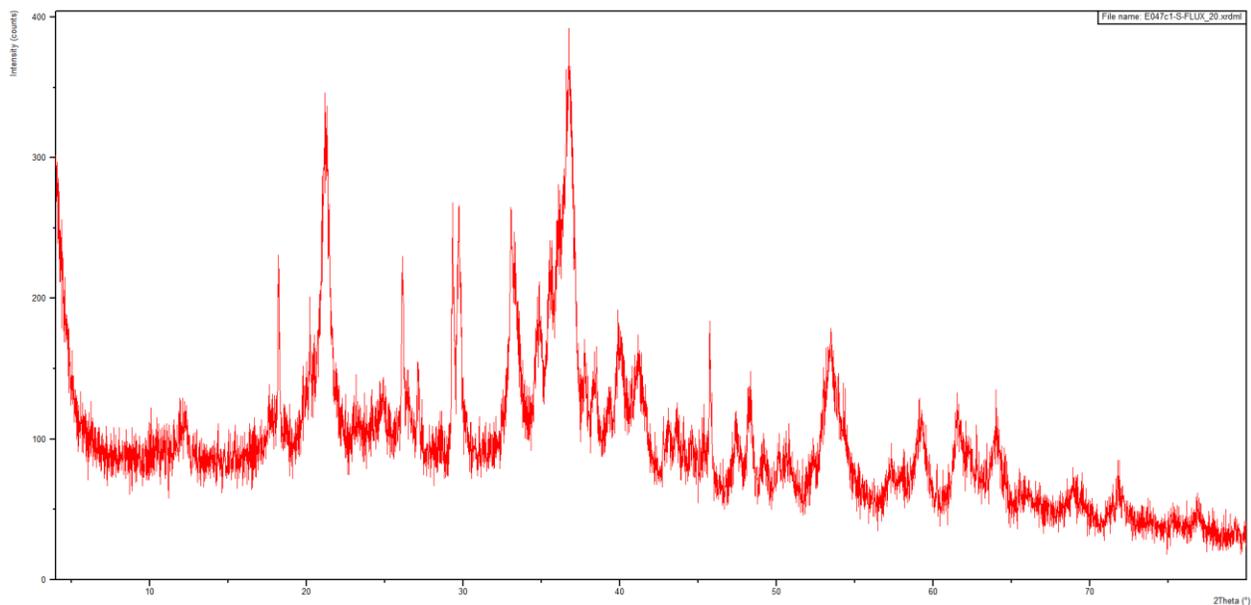


DIFFRACTOGRAMME DES MES DE LA RADE NORD (ST15)

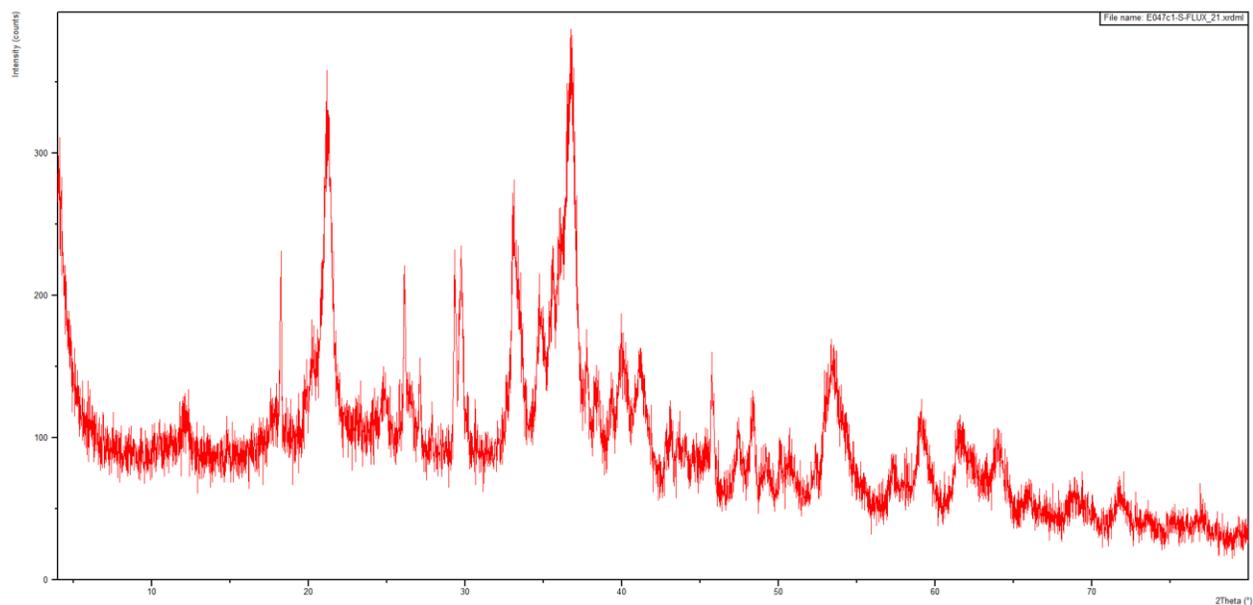
Station St15; godet 7



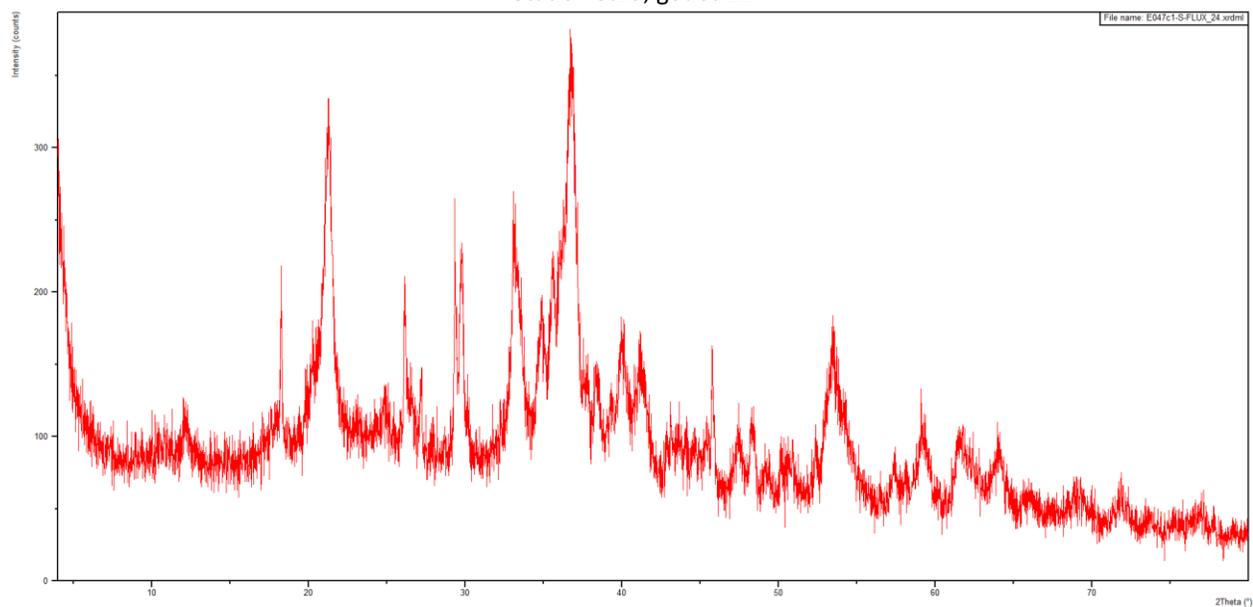
Station St15; godet 8



Station St15; godet 9



Station St15; godet 12



TENEURS EN CARBONATES

PERIODE DE COLLECTE	St06-KW1		St15		St60-NE	
	ECHANTILLON	CaCO ₃ (%)	ECHANTILLON	CaCO ₃ (%)	ECHANTILLON	CaCO ₃ (%)
23-26 janvier 2015	St06-KW1-1	77,2	St15-1	ND	St60-NE-1	88,1
27-30 janvier 2015	St06-KW1-2	69,5	St15-2	ND	St60-NE-2	80,6
31 janvier-3 février 2015	St06-KW1-3	70,5	St15-3	ND	St60-NE-3	85,4
4-7 février 2015	St06-KW1-4	74,6	St15-4	24,4	St60-NE-4	85,5
8-11 février 2015	St06-KW1-5	73,6	St15-5	9,8	St60-NE-5	89,7
12-15 février 2015	St06-KW1-6	74,0	St15-6	23,5	St60-NE-6	87,9
16-19 février 2015	St06-KW1-7	71,8	St15-7	33,1	St60-NE-7	86,1
20-23 février 2015	St06-KW1-8	76,7	St15-8	31,4	St60-NE-8	88,6
24-27 février 2015	St06-KW1-9	76,4	St15-9	31,3	St60-NE-9	87,5
28 février- 3 mars 2015	St06-KW1-10	74,9	St15-10	20,0	St60-NE-10	82,5
4-7 mars 2015	St06-KW1-11	70,1	St15-11	25,1	St60-NE-11	82,0
8-11 mars 2015	St06-KW1-12	70,7	St15-12	29,9	St60-NE-12	83,0

ND = non déterminé car pas assez de matière pour la réalisation des analyses

OBSERVATION AU MICROSCOPE OPTIQUE (GROSSISSEMENT X 11,5)

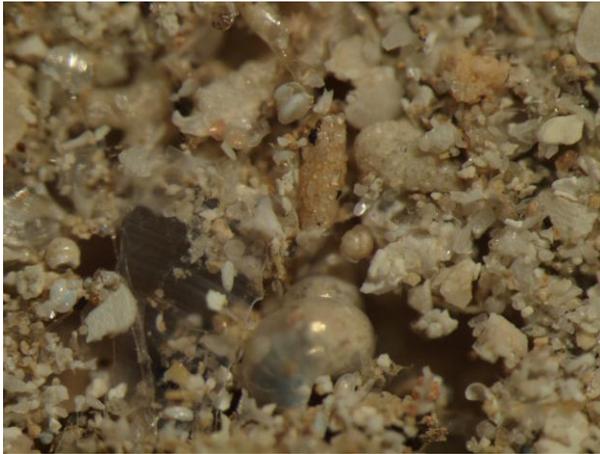


St06-KW1-2



St06-KW1-11

Matières en suspension collectée dans les godets St06-KW1-2 et St06-KW1-11 : Présence de nombreuses particules carbonatées (tests d'organismes invertébrés marins plus ou moins fortement altérés) et dans une moindre mesure de particules latéritiques de couleur brune. La quantité de particules carbonatées est importante malgré la proximité de l'embouchure de la Kwé.



St60-NE-5



St60-NE-10

Matières en suspension collectée dans les godets St60-NE-5 et St60-NE-10 : Présence de nombreux débris de tests de microorganismes marins ou de micro-coquillages dans un état d'altération faible.



St15-8



St15-9

Matières en suspension collectées au niveau de l'embouchure du creek de la rade nord du godet St15-8 et St15-9. Présence de nombreuses particules latéritiques de couleur rouge-brun avec la présence de quelques tests d'organismes marins (couleur blanche)

Annexe 4

Concentrations en métaux totaux, calcium et soufre dans les MES de la Baie Kwé (St06-KW1), du Canal de la Havannah station (St60-NE) et de la rade nord (St15)

PERIODE DE COLLECTE	St06-KW1						
	ECHANTILLON	Ca (mg/kg)	Co (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)
23-26 janvier	St06-KW1-1	286 407	73	2 635	74 648	650	1 347
27-30 janvier	St06-KW1-2	255 750	108	3 704	110 238	943	2 061
31 janvier-3 février	St06-KW1-3	259 621	98	3 158	99 953	857	1 878
4-7 février	St06-KW1-4	276 077	79	3 145	81 886	697	1 474
8-11 février	St06-KW1-5	272 679	78	2 907	81 533	705	1 486
12-15 février	St06-KW1-6	273 712	88	3 147	89 993	770	1 650
16-19 février	St06-KW1-7	265 308	90	3 035	89 880	780	1 660
20-23 février	St06-KW1-8	283 602	73	2 440	76 495	669	1 391
24-27 février	St06-KW1-9	285 065	63	2 480	67 327	603	1 209
28 février- 3 mars	St06-KW1-10	278 347	77	3 027	81 938	700	1 488
4-7 mars	St06-KW1-11	259 072	86	3 155	88 601	759	1 626
8-11mars	St06-KW1-12	262 476	81	3 253	82 396	691	1 481

PERIODE DE COLLECTE	St60-NE						
	ECHANTILLON	Ca (mg/kg)	Co (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)
23-26 janvier	St60-NE-1	329 670	29	778	26 189	321	467
27-30 janvier	St60-NE-2	301 001	39	1 004	34 733	379	619
31 janvier-3 février	St60-NE -3	319 610	29	756	26 089	307	464
4-7 février	St60-NE -4	320 380	31	795	27 487	312	489
8-11 février	St60-NE -5	335 565	31	792	27 651	311	488
12-15 février	St60-NE -6	329 320	29	748	26 007	292	458
16-19 février	St60-NE -7	322 091	25	681	23 542	270	413
20-23 février	St60-NE -8	331 389	25	693	24 442	272	423
24-27 février	St60-NE -9	327 489	22	651	21 314	244	373
28 février- 3 mars	St60-NE -10	330 437	38	1 056	34 615	397	607
4-7 mars	St60-NE -11	328 297	43	1 167	38 447	443	671
8-11mars	St60-NE -12	332 396	38	1 056	34 528	397	601

PERIODE DE COLLECTE	St15						
	ECHANTILLON	Ca (mg/kg)	Co (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)
23-26 janvier	St15-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
27-30 janvier	St15-2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
31 janvier-3 février	St15-3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4-7 février	St15-4	75 092	429	14 389	294 640	3 890	5 152
8-11 février	St15-5	15 409	457	15 427	306 394	4 363	5 463
12-15 février	St15-6	71 277	438	14 149	291 924	4 118	5 098
16-19 février	St15-7	108 000	429	13 662	283 340	3 990	4 835
20-23 février	St15-8	102 759	422	13 308	274 320	3 985	4 639
24-27 février	St15-9	101 135	437	13 942	286 852	4 166	4 932
28 février- 3 mars	St15-10	57 867	464	15 428	308 165	3 941	5 318
4-7 mars	St15-11	77 935	441	13 799	285 413	2 892	4 843
8-11 mars	St15-12	95 667	445	13 728	282 318	2 743	4 826

ND: non déterminé par manque de matière dans les godets

PERIODE DE COLLECTE	St60-NE	
	Echantillon	Soufre (mg/kg)
23-26 janvier	St60-NE -1	2 749
31 janvier-3 février	St60-NE -3	2 974
12-15 février	St60-NE -6	2 834
16-19 février	St60-NE -7	2 920
20-23 février	St60-NE -8	2 831
24-27 février	St60-NE -9	2 927
28 février- 3 mars	St60-NE -10	2 924
8-11mars	St60-NE -12	2 936

Annexe 5

Résultats de calculs de densités de flux de matière particulaire (MES) et métaux pour la Baie Kwé (St06-KW1), pour la rade Nord (St15) et le Canal de la Havannah (St60-NE).

MES

PERIODE DE COLLECTE	St06-KW1		St15		St60-NE	
	Echantillon	Flux MES (g/m ² /j)	Echantillon	Flux MES (g/m ² /j)	Echantillon	Flux MES (g/m ² /j)
23-26 janvier	St06-KW1-1	24,9	St15-1	0,2	St60-NE-1	9,1
27-30 janvier	St06-KW1-2	17,7	St15-2	0,3	St60-NE-2	1,1
31 janvier-3 février	St06-KW1-3	32,1	St15-3	0,2	St60-NE-3	5,0
4-7 février	St06-KW1-4	54,0	St15-4	0,6	St60-NE-4	3,6
8-11 février	St06-KW1-5	78,2	St15-5	1,2	St60-NE-5	4,7
12-15 février	St06-KW1-6	63,5	St15-6	1,2	St60-NE-6	9,4
16-19 février	St06-KW1-7	89,8	St15-7	6,4	St60-NE-7	11,4
20-23 février	St06-KW1-8	82,0	St15-8	7,1	St60-NE-8	10,1
24-27 février	St06-KW1-9	65,4	St15-9	5,3	St60-NE-9	35,0
28 février- 3 mars	St06-KW1-10	64,2	St15-10	0,9	St60-NE-10	35,3
4-7 mars	St06-KW1-11	155,5	St15-11	2,1	St60-NE-11	50,1
8-11mars	St06-KW1-12	68,0	St15-12	7,9	St60-NE-12	16,8

Flux de métaux particuliers

St06-KW1							
PERIODE DE COLLECTE	Echantillon	Ca (mg/m ² /j)	Co (mg/m ² /j)	Cr (mg/m ² /j)	Fe (mg/m ² /j)	Mn (mg/m ² /j)	Ni (mg/m ² /j)
23-26 janvier	St06-KW1-1	7 134	2	66	1 859	16	34
27-30 janvier	St06-KW1-2	4 518	2	65	1 947	17	36
31 janvier-3 février	St06-KW1-3	8 327	3	101	3 206	27	60
4-7 février	St06-KW1-4	14 910	4	170	4 422	38	80
8-11 février	St06-KW1-5	21 313	6	227	6 373	55	116
12-15 février	St06-KW1-6	17 388	6	200	5 717	49	105
16-19 février	St06-KW1-7	23 813	8	272	8 067	70	149
20-23 février	St06-KW1-8	23 262	6	200	6 275	55	114
24-27 février	St06-KW1-9	18 636	4	162	4 402	39	79
28 février- 3 mars	St06-KW1-10	17 868	5	194	5 260	45	96
4-7 mars	St06-KW1-11	40 284	13	491	13 777	118	253
8-11mars	St06-KW1-12	17 840	6	221	5 600	47	101

St60-NE							
PERIODE DE COLLECTE	Echantillon	Ca (mg/m ² /j)	Co (mg/m ² /j)	Cr (mg/m ² /j)	Fe (mg/m ² /j)	Mn (mg/m ² /j)	Ni (mg/m ² /j)
23-26 janvier	St60-NE-1	3 010	0,3	7,1	239	2,9	4,3
27-30 janvier	St60-NE-2	333	0,0	1,1	38	0,4	0,7
31 janvier-3 février	St60-NE-3	1 608	0,1	3,8	131	1,5	2,3
4-7 février	St60-NE-4	1 165	0,1	2,9	100	1,1	1,8
8-11 février	St60-NE-5	1 582	0,1	3,7	130	1,5	2,3
12-15 février	St60-NE-6	3 092	0,3	7,0	244	2,7	4,3
16-19 février	St60-NE-7	3 669	0,3	7,8	268	3,1	4,7
20-23 février	St60-NE-8	3 332	0,3	7,0	246	2,7	4,3
24-27 février	St60-NE-9	11 451	0,8	23	745	8,5	13
28 février- 3 mars	St60-NE-10	11 664	1,3	37	1 222	14	21
4-7 mars	St60-NE-11	16 448	2,2	58	1 926	22	34
8-11mars	St60-NE-12	5 584	0,6	18	580	6,7	10

St15							
PERIODE DE COLLECTE	Echantillon	Ca (mg/m ² /j)	Co (mg/m ² /j)	Cr (mg/m ² /j)	Fe (mg/m ² /j)	Mn (mg/m ² /j)	Ni (mg/m ² /j)
23-26 janvier	St15-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
27-30 janvier	St15-2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
31 janvier-3 février	St15-3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4-7 février	St15-4	47	0,27	8,92	183	2,4	3,2
8-11 février	St15-5	18	0,53	17,8	354	5,0	6,3
12-15 février	St15-6	88	0,54	17,5	362	5,1	6,3
16-19 février	St15-7	687	2,73	87,0	1 803	25,4	30,8
20-23 février	St15-8	731	3,00	94,6	1 950	28,3	33,0
24-27 février	St15-9	534	2,31	73,7	1 516	22,0	26,1
28 février- 3 mars	St15-10	55	0,44	14,7	293	3,7	5,1
4-7 mars	St15-11	167	0,94	29,5	611	6,2	10,4
8-11mars	St15-12	757	3,52	109	2 233	21,7	38,2

ND : non déterminé en raison des trop faibles masses collectées