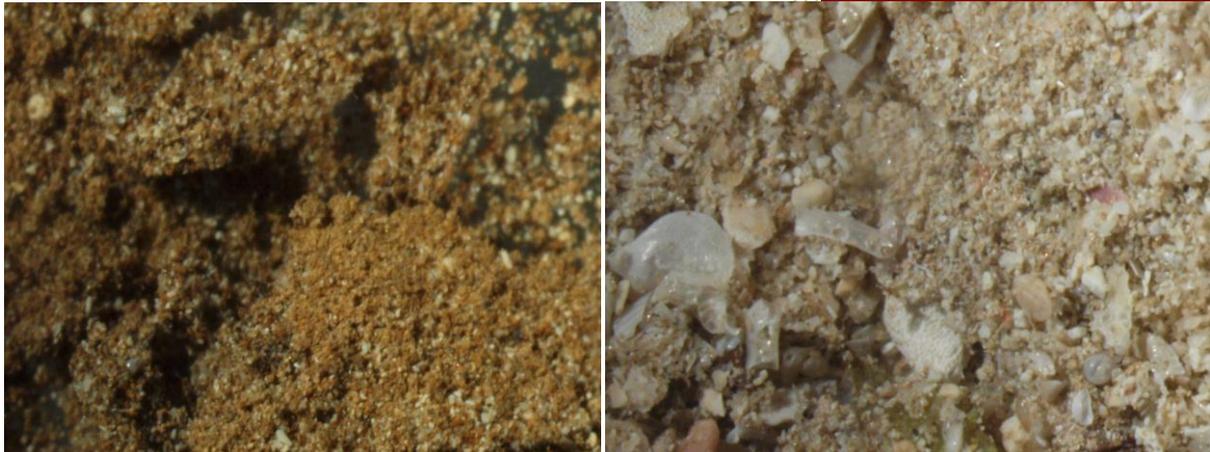




**SUIVI DES DENSITES DE FLUX VERTICAUX DES
PARTICULES DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH, LA
BAIE KWE ET LA RADE NORD DE PRONY: MISSION
JUILLET-SEPTEMBRE ET OCTOBRE-NOVEMBRE 2015**



18 janvier 2016

*Photos de couverture AEL : Observation au microscope d'échantillons de MES récoltés dans la baie Kwé (à gauche)
et dans le Canal de la Havannah (à droite).*

CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL - LEA

Contrat n° 3052-2013

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

Achard Romain,

Kaplan Hélène,

Pluchino Stéphanie,

Haddad Laurent,

Laurent Audrey,

Fernandez Jean-Michel.

Nombre de pages : 65

	N/Ref	V/Ref	
Identification	121205-VI-18	N°3052	
Titre complet	SUIVI DES DENSITES DE FLUX VERTICAUX DES PARTICULES DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH, LA BAIE KWE ET LA RADE NORD DE PRONY: MISSION JUILLET-SEPTEMBRE ET OCTOBRE-NOVEMBRE 2015		
Auteurs	Achard R., 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 cinquième 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.</p> <p>Les différentes campagnes réalisées ont permis d'établir une relation entre les conditions météorologiques et les quantités de MES collectées en Baie Kwé, en Rade Nord et dans le Canal de la Havannah, notamment les précipitations, les régimes de vents qui conditionnent les panaches terrigènes en Rade Nord et l'influence 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 progressé par rapport à septembre-octobre 2014 mais elle est restée inférieure à celle observée en juillet-août 2013 (plus forte valeur enregistrée depuis la définition des états de référence). De plus, il est généralement observé des densités de flux particulaire plus élevées en saison chaude qu'en saison fraîche. En 2015, les flux métalliques moyens ont progressé par rapport à 2014 mais restent inférieurs à ceux observés en 2013 (qui présentent les plus fortes densités).</p> <p>Pour le Canal de la Havannah, la densité de flux particulaire a eu tendance à augmenter entre 2011 et 2013 puis à se stabiliser entre juillet 2013 et septembre 2014. Par contre en 2015, une augmentation de la densité de flux de particules a été observée puisque juillet-septembre 2015 montre la plus forte valeur observée en saison fraîche associée à la plus forte densité de flux de Ni (pour la saison fraîche).</p> <p>En Rade Nord de Prony, la densité de flux particulaire mesurée en juillet-septembre 2015 reste proche de celle enregistrée lors de l'état de référence de novembre 2006. De même, le flux métallique moyen de Ni pour cette campagne de saison fraîche est proche de celui établi lors de la définition de l'état de référence de mars.</p>		
APPROBATION			
FONCTION	NOMS	VISA	DATE
Rédacteur	Achard R		13/01/2016
Vérificateur 1	Fernandez JM		14/01/2015
Vérificateur 2	Pousse C		15/01/2016
Approbateur(s)	Fernandez JM		18/01/2016
EVOLUTION			
VERSION	DESCRIPTION DES MISES A JOUR	DATE	
V1.0	Rapport initial	18/01/2016	
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 juillet-septembre et octobre-novembre 2015. Contrat Vale-NC/AEL n° 3052-2013, 65 p.

TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION	7
2	OBJECTIFS	8
3	METHODOLOGIE	9
3.1	SITE D'ETUDE ET CONDITIONS DE MOUILLAGES	9
3.2	ECHANTILLONNAGE	11
3.3	PARAMETRES PHYSIQUES, GEOCHIMIQUES ET ANALYSES	11
4	RESULTATS	12
4.1	PARAMETRES METEOROLOGIQUES	12
4.1.1	Précipitations atmosphériques (station « Usine-pilote Vale-NC »)	12
4.1.2	Direction du vent (station récif « Ioro »)	12
4.1.3	Vitesse du vent (station « Usine-pilote Vale-NC »)	13
4.2	CARACTERISATION DES MATIERES EN SUSPENSION	16
4.2.1	Baie Kwé	16
4.2.2	Canal de la Havannah	19
4.2.3	Rade Nord de Prony	21
4.3	COMPOSITION GEOCHIMIQUE DES MATIERES EN SUSPENSION	25
4.3.1	Baie Kwé (Station St06-KW1)	25
4.3.2	Canal de la Havannah (station St60-NE)	27
4.3.3	Rade Nord de Prony (Station St15)	29
5	INTERPRETATION	33
5.1	INFLUENCE DES FACTEURS METEOROLOGIQUES	33
5.1.1	Baie Kwé (St06-KW1)	33
5.1.2	Canal de la Havannah (St60-NE)	34
5.1.3	Rade Nord de Prony (St15)	34
5.2	CALCUL DES FLUX DE MATIERES	39
5.2.1	Flux de matière en suspension	39
5.2.2	Canal de la Havannah	39
5.2.3	Rade du Nord	40
5.2.4	Éléments métalliques et calcium	40
6	CONCLUSION	42
	REFERENCES	45
	LISTE DES FIGURES	46
	LISTE DES TABLEAUX	48
	LISTE DES ANNEXES	49

1 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 pour 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 particulaires 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 et de l'usine (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.

2 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 impactée par les activités d'excavation déployées sur le front de mine ;
- 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 de la Havannah. Ce suivi a pour objet de répondre aux questions de la double rémanence supposée :
 - D'une part, du gypse (CaSO_4) 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 la mise 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 ont montré 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).

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

3 METHODOLOGIE

3.1 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) qui a permis la définition de l'état de référence des flux particuliers en 2007 (Convention IRD/Goro-Ni n°1230). Elle permet 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 les installations industrielles.

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 de Porny (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 IRD/Vale-NC n° 2131) ; 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).

Les suivis sont réalisés par des fonds supérieurs à 15m afin de s'affranchir des phénomènes mécaniques comme le charriage des grosses particules. 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 »).

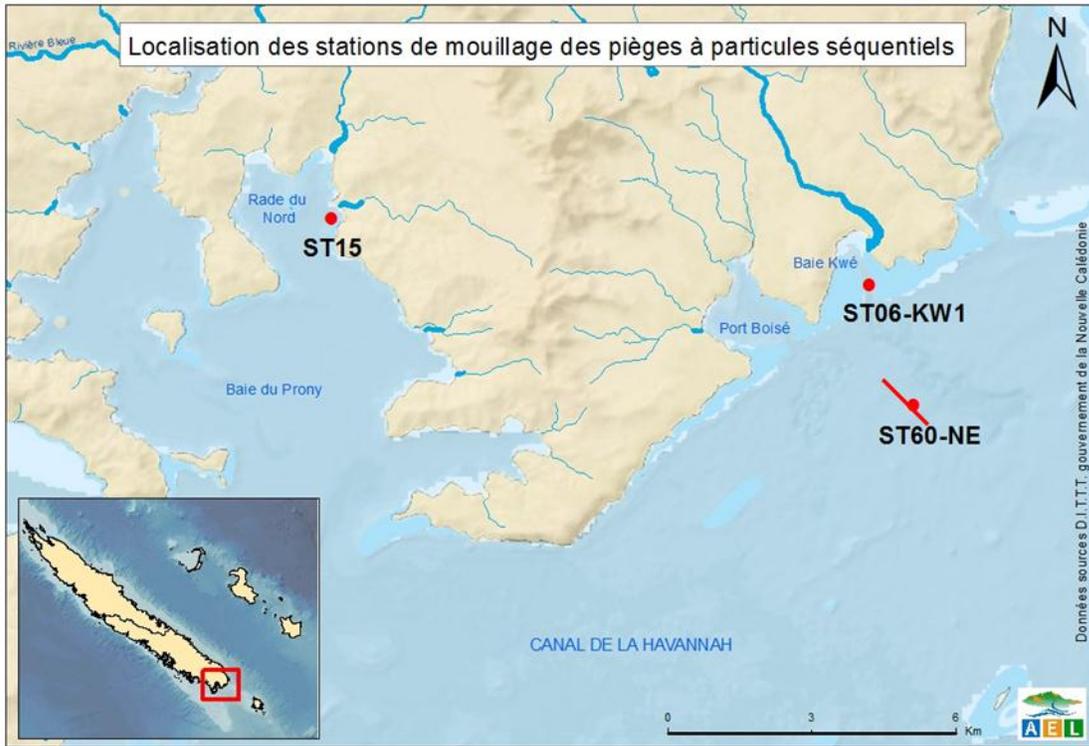


Figure 1: Aire d'étude pour le suivi des flux verticaux de particules issues du process de transformation du minerai de l'usine de production et des activités d'excavation de mine de Vale-NC. Le trait rouge représente le diffuseur et les points rouges représentent la localisation des stations de surveillance.

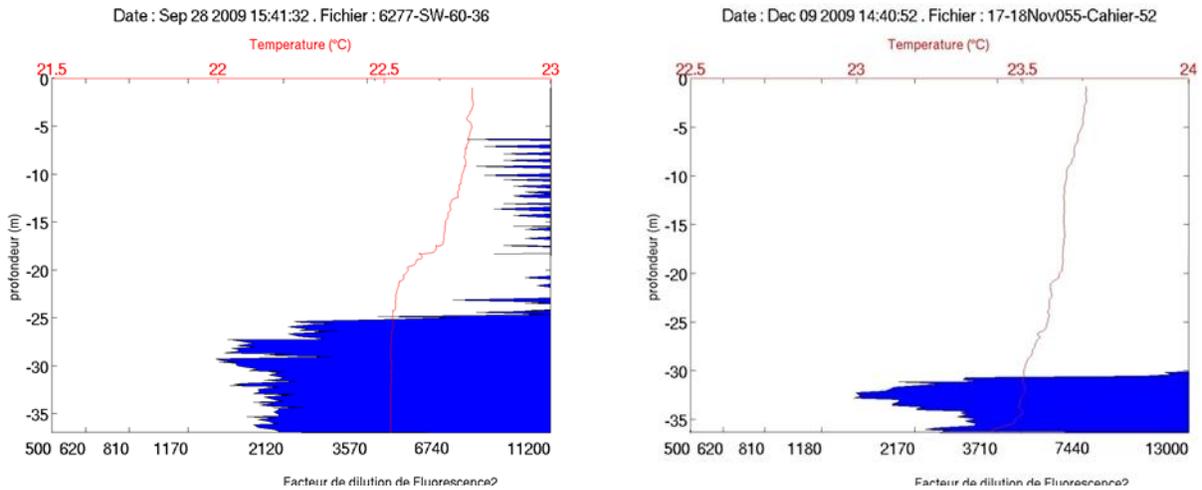


Figure 2 : Puissance type de l'épaisseur de marquage par l'effluent (rhodamine-WT) pour des conditions courantologiques de mi-marées de morte-eau (gauche) et de vive-eau (droite) au niveau de la station St60-SW.

Cette campagne d'étude des flux verticaux de particules a été conduite du 17 juillet au 3 septembre 2015 pour les stations St15 (Rade Nord) et NE60 (Canal de la Havannah) et du 3 octobre au 20 novembre 2015 pour la station St06 (baie Kwé).

3.2 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 17 juillet 2015 à 00h00 avec un pas de temps par godet de 96 heures (4 jours) ; elle s'est terminée le 3 septembre 2015 à 00h00 pour les pièges placés à la station St15 et NE60. Pour la station St06, la collecte des particules a été programmée pour débuter le 3 octobre 2015 à 00h00 avec un pas de temps par godet de 96 heures (4 jours) ; elle s'est terminée le 20 novembre 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 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 de juillet-septembre et octobre-novembre 2015.

Echantillon	Période de collecte	Echantillon	Période de collecte	Echantillon	Période de collecte
St06-KW1-1	3-6 octobre 2015	St15-1	17-20 juillet 2015	St60-NE-1	17-20 juillet 2015
St06-KW1-2	7-10 octobre 2015	St15-2	21-24 juillet 2015	St60-NE -2	21-24 juillet 2015
St06-KW1-3	11-14 octobre 2015	St15-3	25-28 juillet 2015	St60-NE -3	25-28 juillet 2015
St06-KW1-4	15-18 octobre 2015	St15-4	29 juillet- 1 août 2015	St60-NE -4	29 juillet- 1 août 2015
St06-KW1-5	19-22 octobre 2015	St15-5	2-5 août 2015	St60-NE -5	2-5 août 2015
St06-KW1-6	23-26 octobre 2015	St15-6	6-9 août 2015	St60-NE -6	6-9 août 2015
St06-KW1-7	27-30 octobre 2015	St15-7	10-13 août 2015	St60-NE -7	10-13 août 2015
St06-KW1-8	31-3 novembre 2015	St15-8	14-17 août 2015	St60-NE -8	14-17 août 2015
St06-KW1-9	4-7 novembre 2015	St15-9	18-21 août 2015	St60-NE -9	18-21 août 2015
St06-KW1-10	8-11 novembre 2015	St15-10	22-25 août 2015	St60-NE -10	22-25 août 2015
St06-KW1-11	12- 15 novembre 2015	St15-11	26-29 août 2015	St60-NE -11	26-29 août 2015
St06-KW1-12	16-19 novembre 2015	St15-12	30 août- 02 septembre 2015	St60-NE -12	30 août- 02 septembre 2015

3.3 PARAMETRES PHYSIQUES, GEOCHIMIQUES ET ANALYSES

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

4 RESULTATS

4.1 PARAMETRES METEOROLOGIQUES

Les valeurs des paramètres météorologiques sont regroupées en Annexe 2. Les paramètres météorologiques (pluie journalière « RR », direction « DXI » et vitesse du vent « FXI » maximale instantanée quotidienne) ont été donnés par la station de « l'usine-pilote Vale-NC ».

4.1.1 Précipitations atmosphériques (station « Usine-pilote Vale-NC »)

Période du 17 juillet au 02 septembre 2015 :

Cette période n'a pas été marquée par des pluies conséquentes, le principal événement pluvieux enregistré entre le 28 juillet et le 4 août 2015 n'a cumulé que 22,9 mm de précipitations. L'ensemble des précipitations cumulées pour la période ne représente que 96,0 mm, ce qui reste environ trois fois moins important que lors de la campagne de saison fraîche précédente (septembre-octobre 2014), qui avait enregistré 297 mm.

Période du 3 octobre au 19 novembre 2015 :

Cette période a présenté deux épisodes pluvieux significatifs. Le premier a enregistré 72,8 mm de précipitations cumulées cependant il a été étalé sur 8 jours entre le 15 et le 22 octobre. Le second a enregistré 41,1 mm de précipitations cumulées qui sont tombées entre le 18 et le 19 novembre. Pour l'ensemble de la période, il a été enregistré 148,9 mm de précipitations cumulées soit deux fois moins que lors de la précédente campagne de saison fraîche de septembre-octobre 2014 où 297 mm de précipitations cumulées avaient été observées.

4.1.2 Direction du vent (station récif « Ioro »)

Période du 17 juillet au 02 septembre 2015 :

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

- Du 17 juillet au 04 août, en premier de secteur N-NW (17 juillet), les vents ont basculé brièvement secteur S-SW (18 juillet) pour ensuite souffler principalement de secteur SE à E avec une brève incursion de secteur NE le 26 juillet;

- Du 05 au 13 août, les vents étaient orientés d'un large secteur W à S (du 05 au 11 août) ensuite, ils ont basculé au secteur E à NE (12 et 13 août) ;
- Du 14 au 23 août, les vents étaient de secteur S à E-SE avec une incursion de secteur E-NE (18 août) ;
- Du 24 août au 2 septembre, les vents ont soufflé secteur E (du 24 au 28 août) pour passer progressivement secteur E-NE puis NE (29 au 31 août) et finalement ont basculé secteur S à SW.

Période du 3 octobre au 19 novembre 2015 :

Les régimes de vents, pour cette période de mouillage étaient principalement de SE à E (Figure 5). Plus en détail, la période d'étude peut être découpée en trois épisodes suivants :

- Du 03 au 23 octobre, les régimes de vents étaient principalement orientés SE à E avec un léger décalage secteur S-SE en début de période (03 octobre) et une incursion de secteur E-NE (16 octobre) ;
- Du 24 octobre au 5 novembre, d'abord de secteur S, les vents sont passés progressivement secteur E pour basculer secteur S-SW (29 octobre), ensuite les vents ont soufflé secteur S à E-SE avec une incursion de secteur SW (05 novembre) ;
- Du 06 au 19 novembre, les régimes de vents étaient de secteur SE à E avec une brève incursion de secteur S-SW (12 novembre) et une incursion plus longue de secteur E-NE (15 et 16 novembre).

4.1.3 Vitesse du vent (station « Usine-pilote Vale-NC »)

Période du 17 juillet au 02 septembre 2015 :

Durant la période d'étude, l'intensité des vents moyens journaliers a été variable (Figure 3). Les valeurs extrêmes ont été enregistrées le 5 août pour la minimale (6,2 m/s de secteur W-SW), et le 20 août pour la maximale (18,1 m/s de secteur E-SE).

La vitesse moyenne des vents a été de $11,6 \pm 2,6$ m/s pour toute la durée de la campagne, valeur proche des précédentes campagnes de juillet-août 2011 ($11,3 \pm 3,2$ m/s), de septembre-octobre 2012 ($11,9 \pm 2,4$ m/s) et juillet-août 2013 ($11,3 \pm 3,6$ m/s). Il faut toutefois noter que cette valeur est presque deux fois supérieure à celle relevée en septembre-octobre 2014 qui présentait une vitesse moyenne de seulement $5,9 \pm 1,8$ m/s.

Période du 3 octobre au 19 novembre 2015 :

L'intensité des vents moyens journaliers a aussi été variable (Figure 4). La valeur minimale a été enregistrée le 25 octobre (7,3 m/s de secteur S) et la maximale le 18 octobre (21,7 m/s de secteur E-SE).

La vitesse moyenne des vents a été de $12,4 \pm 3,1$ m/s, cette valeur est proche de la campagne de septembre-octobre 2012 ($11,9 \pm 2,4$ m/s) mais elle reste deux fois plus forte que la vitesse moyenne enregistrée pour la campagne de septembre-octobre 2014 ($5,9 \pm 1,8$ m/s).

Note : une panne de l'anémomètre de la station AEL implantée sur la balise du récif Ioro a conduit à utiliser et interpréter les vitesses de vent mesurées à l'usine, bien qu'un écart soit en général observé entre les deux sites.

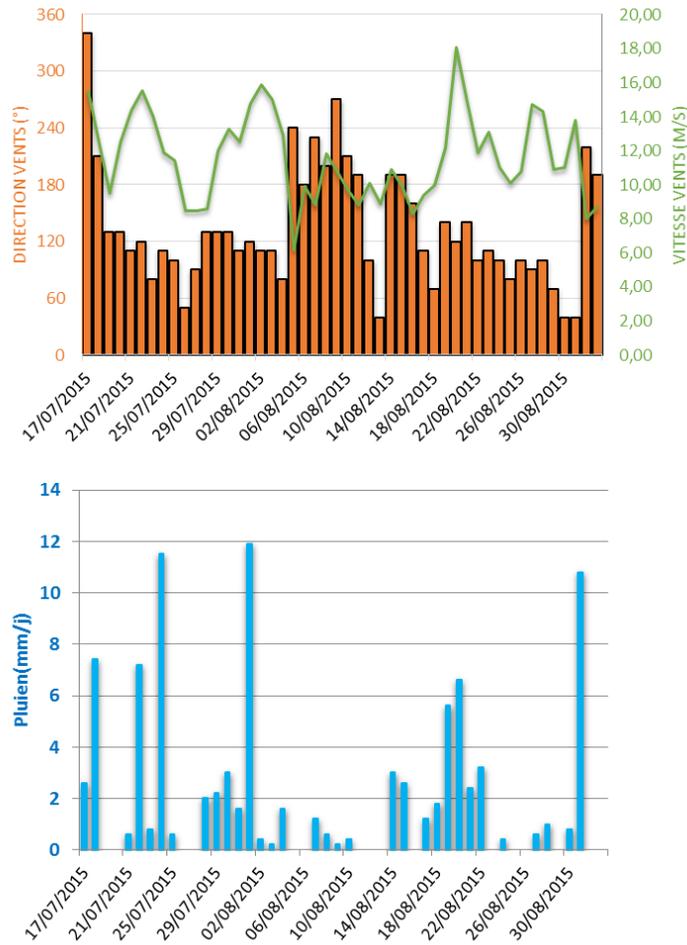


Figure 3 : Enregistrement journalier des taux de précipitations « RR », de la direction « DXI » et de la vitesse des vents maximale instantanée quotidienne « FXI » pour la période du 17 juillet au 02 septembre 2015.

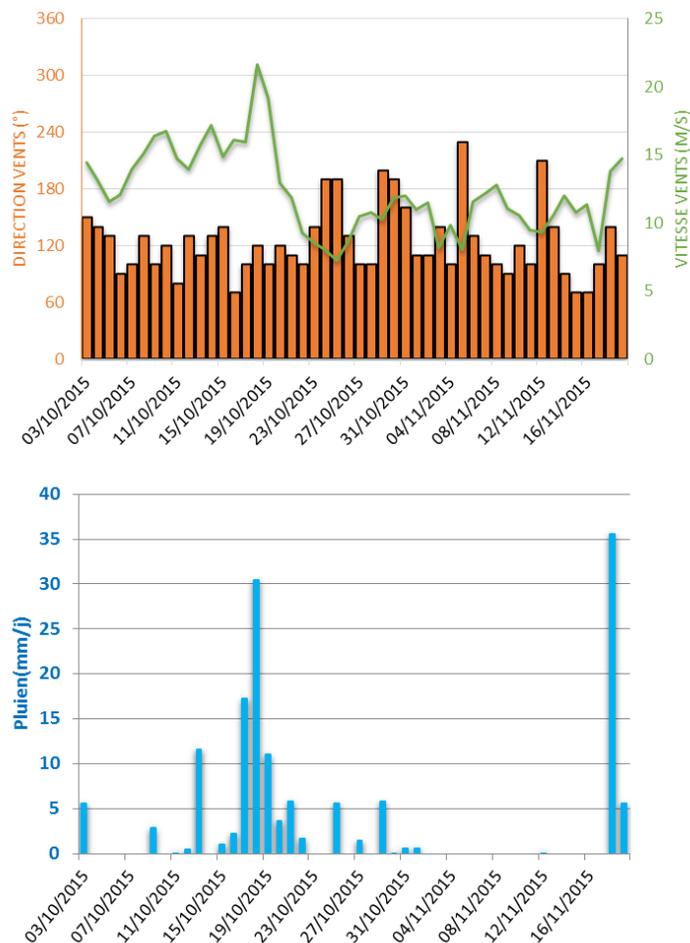


Figure 4 : Enregistrement journalier des taux de précipitations « RR », de la direction « DXI » et de la vitesse des vents maximale instantanée quotidienne « FXI » pour la période du 03 octobre au 19 novembre 2015.

CE QU'IL FAUT RETENIR

Période du 17 juillet au 2 septembre 2015 :

La première période de mouillage des pièges à particules, qui s'est déroulée du 17 juillet au 2 septembre 2015 a été marquée par l'absence d'événements pluvieux conséquents et seulement 96 mm de précipitations cumulées (soit trois fois moins qu'en septembre-octobre 2014). Les régimes de vents ont soufflé majoritairement secteur SE à E, caractérisés par une vitesse moyenne de $11,6 \pm 2,6$ m/s, valeur proche des normales saisonnières.

Période du 3 octobre au 19 novembre 2015 :

La seconde période de mouillage a présenté deux épisodes pluvieux conséquents (le premier de 72,8 mm et le second de 41,1 mm de précipitations cumulées). Il est tombé sur l'ensemble de la période 148,9 mm de précipitations (soit deux fois moins que pour septembre-octobre 2014). Les régimes de vents, principalement de secteur SE à E, ont soufflé en moyenne à $12,4 \pm 3,1$ m/s (valeur proche des normales saisonnières)

4.2 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.

4.2.1 Baie Kwé

4.2.1.1 Masses collectées

Les masses collectées ont varié dans le temps, elles se distribuent entre 2,76 (St06-KW1-8) et 23,26 g (St06-KW1-4 ; Figure 5). La masse moyenne collectée est de $7,77 \pm 6,10$ g, cette valeur est en augmentation par rapport à septembre-octobre 2014 ($2,37 \pm 1,70$ g) mais reste plus faible que celle de juillet-août 2013 ($11,6 \pm 17,6$ g).

La plus faible quantité de MES (2,76 g) collectée entre le 31 octobre et le 3 novembre, est associée à la concomitance de faibles précipitations (1,2 mm de précipitations cumulées) et des vents modérés ($10,7 \pm 1,7$ m/s) de secteur S-SE à E-SE. La seconde plus faible quantité de MES (2,88 g) a été collectée dans des conditions similaires, mais entre le 4 et le 7 novembre.

La plus forte quantité de MES (23,26 g), collectée entre le 15 et le 18 octobre, correspond à une période où 50,8 mm de précipitations cumulées sont tombées, accompagnées de vents forts ($17,2 \pm 3,1$ m/s) qui ont soufflé d’un large secteur SE à E-NE. La seconde plus forte quantité collectée (15,96 g) correspond à une période de faibles précipitations (5,6 mm) accompagnées de vents soutenus ($12,9 \pm 1,3$ m/s) de secteur S-SE à E.

Le pourcentage de fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) est de $68,4 \pm 6,3$ % (Figure 6), ce qui est plus faible qu’en septembre-octobre 2014 (dont la valeur était de $83,8 \pm 1,9$ %).

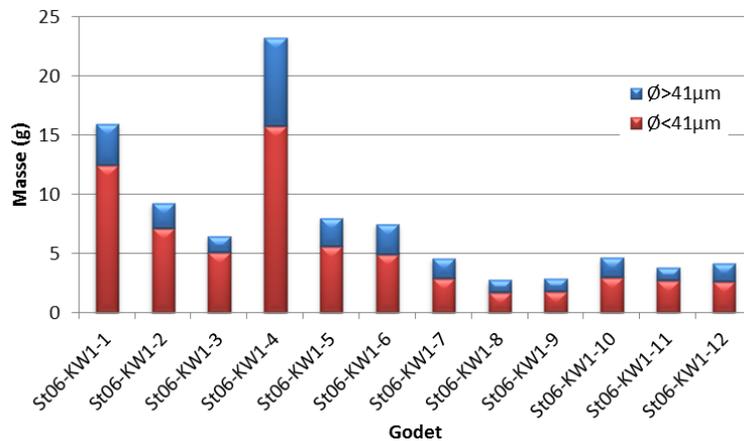


Figure 5 : Masses collectées dans les 12 godets du piège séquentiel à particules mouillé du 3 octobre au 19 novembre 2015 en Baie Kwé (St06-KW1).

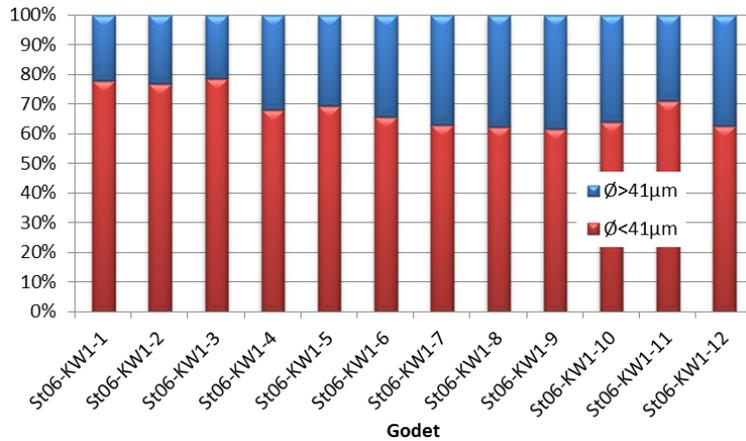


Figure 6 : Pourcentage des fractions fines et des fractions grossières dans les 12 godets du piège séquentiel à particules mouillé du 3 octobre au 19 novembre 2015 en Baie Kwé (St06-KW1).

4.2.1.2 Compositions granulométriques

Les analyses granulométriques ont été effectuées sur les fractions tamisées à $41 \mu\text{m}$ des quatre godets St06-KW1-1, St06-KW1-4, St06-KW1-9 et St06-KW1-11 (Figure 7).

La fraction péltique ($< 41 \mu\text{m}$) des matières en suspension est composée majoritairement de particules dont le mode principal se situe dans la classe $2-20 \mu\text{m}$ (silts fins) avec des proportions autour de 38,2 à 54,0 % du volume total (Figure 7). Pour cette campagne, les silts grossiers composent la seconde population granulométrique.

Globalement, les granulométries les plus fines correspondent aux masses collectées les plus faibles.

Remarque : la détection de particules supérieures à $41 \mu\text{m}$ dans la fraction tamisée peut être le fait du mode de calcul employé en granulométrie laser ou encore le passage de particules de formes allongées de faible diamètre, à travers la maille au moment du tamisage.

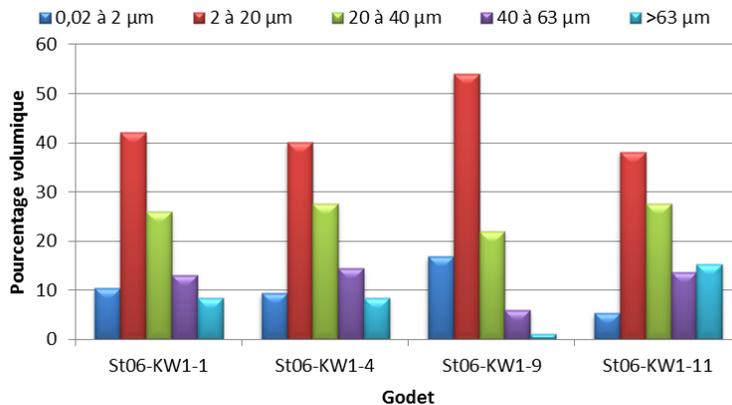


Figure 7 : Distribution granulométrique des populations de grains de la fraction péltiques des MES collectées par le piège séquentiel à particules, entre le 3 octobre et le 19 novembre 2015 en Baie Kwé.

4.2.1.1 Compositions minéralogiques

Les analyses minéralogiques semi-quantitatives ont été effectuées sur les fractions tamisées des quatre godets St06-KW1-1, St06-KW1-4, St06-KW1-9 et St06-KW1-11 (Tableau 3).

Les MES prélevées en baie Kwé sont majoritairement composées de minéraux d'origine marine à savoir la calcite et l'aragonite. De la goethite a également été décelée dans les MES mais en moindre quantité, soulignant l'influence d'apports terrigènes.

Tableau 3 : Composition minéralogique de la fraction pélitique des MES collectées en Baie Kwé (station St06-KW1) par le piège à particules, du 3 octobre au 19 novembre 2015.

ECHANTILLON	% Calcite	% Aragonite	% Goethite
St06-KW1-1	46	38	15
St06-KW1-4	59	26	15
St06-KW1-9	59	30	11
St06-KW1-11	64	26	11

4.2.1.1 Teneurs en carbonates

Pour l'ensemble des godets (Figure 8), les MES collectées sont constituées d'une fraction carbonatée qui représente entre 43,4 % (St06-KW1-5 ; 19-22 octobre) et 52,6 % (St06-KW1-7 ; 27-30 octobre) de la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$).

La plus forte teneur en carbonates a été enregistrée dans le godet St06-KW1-7 (27-30 octobre) pour des vents d'environ $10,9 \pm 0,7$ m/s de secteur E qui ont basculé au secteur S-SW à S, accompagnés de faibles précipitations cumulées (7,4 mm). La plus faible teneur en carbonates observée (St06-KW1-5 ; 19-22 octobre) fait suite à une période présentant 22,0 mm précipitations cumulées accompagnées d'un régime de vents soutenus ($13,4 \pm 4,2$ m/s) de secteur E à E-SE.

La teneur moyenne en carbonates, contenue dans les MES, est de $46,6 \pm 3,1$ %, ce qui reste plus bas que ce qui est suggéré par les analyses minéralogiques semi-quantitatives. La teneur moyenne en carbonates pour cette campagne est inférieure à celle enregistrée en septembre-octobre 2014 ($65,2 \pm 4,0$ %) mais reste du même ordre de grandeur que celle enregistrée en juillet-août 2013 ($46,0 \pm 12,3$ %).

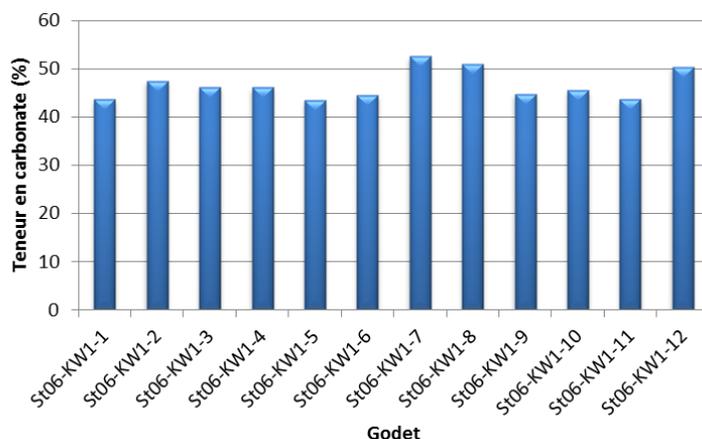


Figure 8 : Teneurs en carbonates dans la fraction pélitique des MES collectées en Baie Kwé par le piège séquentiel à particules, entre le 3 octobre et le 19 novembre 2015.

4.2.2 Canal de la Havannah

4.2.2.1 Masses collectées

A la station St60-NE, les masses collectées sont comprises entre 0,14 g (St60-NE-3 ; 25-28 juillet) et 6,86 g (godet St60-NE-12 ; 30 août-2 septembre). La plus faible quantité coïncide avec une période de très faibles précipitations cumulées (2,6 mm) et des vents modérés ($9,3 \pm 1,4$ m/s) de secteur E à NE qui ont basculé secteur SE. La plus forte quantité prélevée concorde avec une période de faibles précipitations cumulées (11,6 mm) et un régime de secteur NE qui a basculé au secteur SW à S ($10,4 \pm 2,6$ m/s).

Pour cette campagne, la masse moyenne collectée est de $1,94 \pm 1,84$ g, elle est légèrement supérieure à celle observée en septembre-octobre 2014 ($1,6 \pm 1,8$ g).

Comprise entre 52,1 et 68,9 %, la fraction fine est quantitativement supérieure à la fraction grossière (Figure 10), seul le godet St60-NE-12 présente une fraction fine minoritaire avec 49,1%.

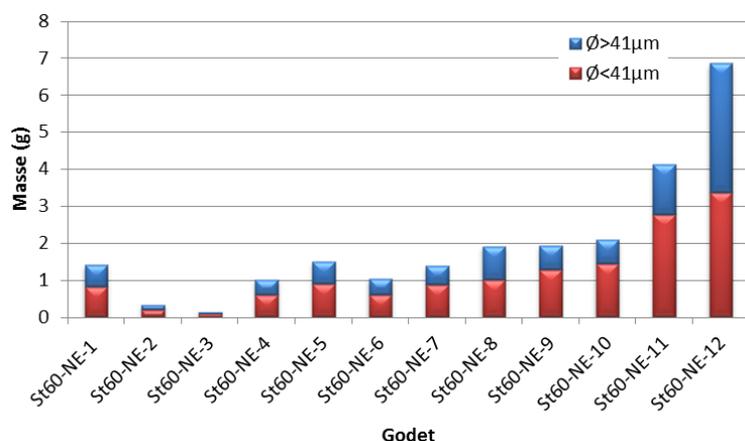


Figure 9 : Masses collectées dans les 12 godets du piège séquentiel à particules mouillé du 17 juillet au 2 septembre 2015 dans le Canal de la Havannah (St60-NE).

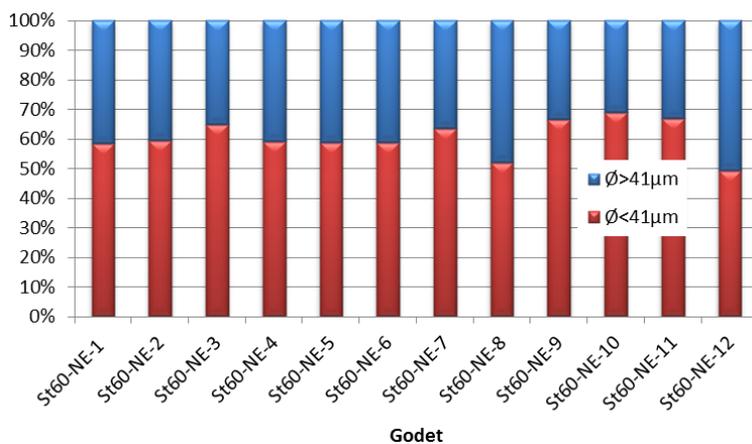


Figure 10 : Pourcentage des fractions fines et des fractions grossières dans les 12 godets du piège séquentiel à particules mouillé du 17 juillet au 2 septembre 2015 dans le Canal de la Havannah (St60-NE).

4.2.2.2 Compositions granulométriques

Les analyses granulométriques ont été réalisées sur les particules provenant des godets St60-NE-1, St60-NE-6, St60-NE-8 et St60-NE-11. La fraction pélitique ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) 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 34,6 à 53,5 % du volume). Les silts grossiers ($\varnothing 20\text{-}40 \mu\text{m}$) représentent la seconde population granulométrique (Figure 11).

Remarque : comme pour la Baie Kwé, la détection de particules supérieures à 41 μm dans la fraction tamisée peut être le fait du mode de calcul employé en granulométrie laser ou encore le passage de particules de formes allongées de faible diamètre, à travers la maille au moment du tamisage.

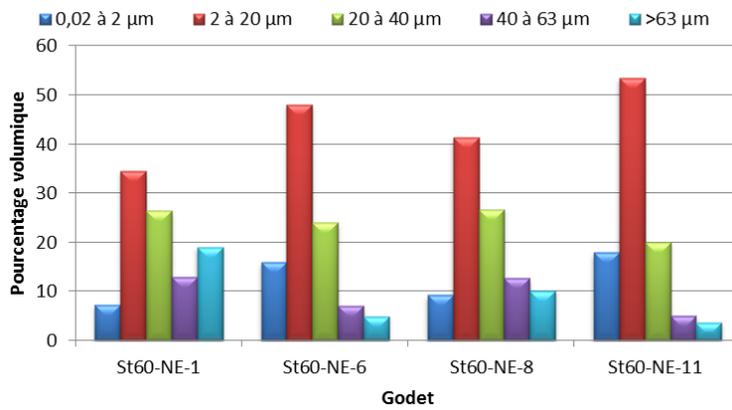


Figure 11: Distribution granulométrique des populations de grains de la fraction pélitique des MES collectées par le piège séquentiel à particules, entre le 17 juillet et le 2 septembre 2015 dans le Canal de la Havannah (St60-NE).

4.2.2.3 Compositions minéralogiques

Les analyses minéralogiques semi-quantitatives ont été demandées sur six godets St60-NE-1, St60-NE-4, St60-NE-7, St60-NE-8, St60-NE-10 et St60NE-12. Toutefois, les quantités expédiées ayant été relativement faibles, le laboratoire extérieur qui réalise les analyses ne peut fournir une réponse immédiate à notre demande. De nouveaux tests de diffractométrie sont en cours pour tenter d'obtenir une analyse semi-quantitative des minéraux. Le cas échéant, les résultats feront alors l'objet d'un addendum à ce rapport.

4.2.2.4 Teneurs en carbonates

Les fractions pélitiques des échantillons collectés dans le Canal de la Havannah ont présenté des teneurs élevées en carbonates, comprises entre 81,3 % (St60-NE-11 ; 26-29 août) et 98,4 % (St60-NE-4, 29 juillet-1 août).

La plus basse teneur (St60-NE-11) est associée à une période de faibles précipitations cumulées (1,6 mm) et des vents soutenus ($12,7 \pm 2,6 \text{ m/s}$) de secteur E à E-NE. La plus forte teneur (St60-NE-4) a été obtenue pour une période de faibles précipitations (18,7 mm cumulés) et des vents forts ($13,2 \pm 1,2 \text{ m/s}$) de secteur SE à E-SE.

La teneur moyenne en carbonates est de $91,2 \pm 5,9 \%$, soulignant des apports en carbonates très conséquents. Pour cette période de collecte, elle est supérieure à celles observées en septembre-octobre 2014 ($82,7 \pm 2,1 \%$) et en juillet-août 2013 ($74,3 \pm 4,1 \%$).

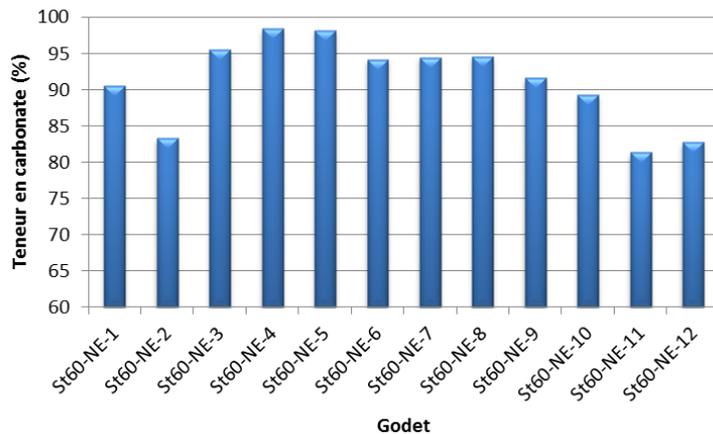


Figure 12 : Teneur en carbonates dans la fraction pélitique des MES collectées par le piège séquentiel à particules du 17 juillet au 2 septembre 2015 dans le Canal de la Havannah.

4.2.3 Rade Nord de Prony

4.2.3.1 Masses collectées

Les masses de MES collectées en St15 sont très faibles, comprises entre 0,04 g (St15-1 ; 17-20 juillet) et 0,98 g (St15-12 ; 30 août-02 septembre). La plus faible masse (St15-1) correspond à une période de faibles précipitations cumulées (10,0 mm) et des vents forts ($12,5 \pm 2,4$) de secteur N-NW qui ont basculé à un large secteur S-SW à SE. La plus forte masse collectée (St15-12) coïncide à une période de faibles précipitations cumulées (11,6 mm), accompagnée de vents modérés ($10,4 \pm 2,6$ m/s) de secteur NE qui ont basculé secteur SW à S.

La masse moyenne, pour cette campagne, est de $0,26 \pm 0,27$ g, elle est légèrement supérieure à la masse moyenne collectée en septembre-octobre 2014 ($0,18 \pm 0,25$ g).

Il faut noter que la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) est largement dominante dans les MES piégées en St15, elle est comprise entre 63,9 et 95,4 % (Figure 14).

Note : Les diverses observations effectuées lors de précédentes missions montrent que la variabilité des masses collectées à cette station, localisée au droit de l'embouchure du creek, est très dépendante, non seulement de l'intensité des précipitations mais aussi 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. L'orientation SE favorisant un confinement des panaches turbides le long de la côte nord de la petite anse. A l'inverse, l'absence de vents forts et/ou d'orientation autre que SE, permet l'expansion des panaches

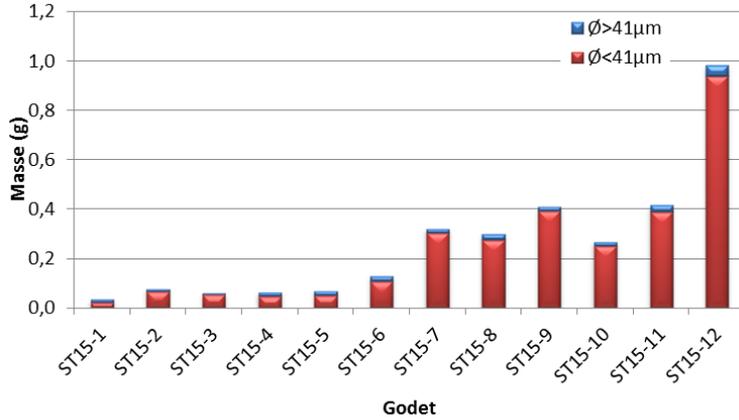


Figure 13 : Masses collectées dans les 12 godets du piège séquentiel à particules mouillé du 17 juillet au 2 septembre 2015 dans la Rade Nord de Prony (St15).

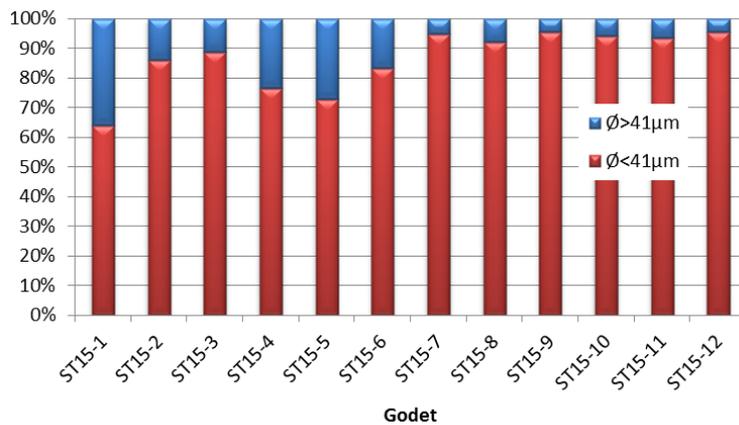


Figure 14 : Pourcentage des fractions fines et des fractions grossières dans les 12 godets du piège séquentiel à particules mouillé du 17 juillet au 2 septembre 2015 dans la Rade Nord de Prony (St15).

4.2.3.2 Compositions granulométriques

La fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des MES collectées en St15, est majoritairement composée de particules dont le mode principal se situe dans la classe des silts fins (2-20 μm) avec des proportions comprises entre 45,4 et 61 % du volume total, observations qui sont proches de celles effectuées lors de la campagne de septembre-octobre 2014. Les argiles occupent généralement le second mode (comme observé pour la campagne de janvier-mars 2015) bien que pour le godet St15-10, le pourcentage de silts grossiers ($\varnothing 20\text{-}40 \mu\text{m}$) ait progressé au détriment des argiles (Figure 15).

Remarque : comme pour la Baie Kwé, la détection de particules supérieures à 41 μm dans la fraction tamisée peut être le fait du mode de calcul employé en granulométrie laser ou encore le passage de particules de formes allongées de faible diamètre, à travers la maille au moment du tamisage.

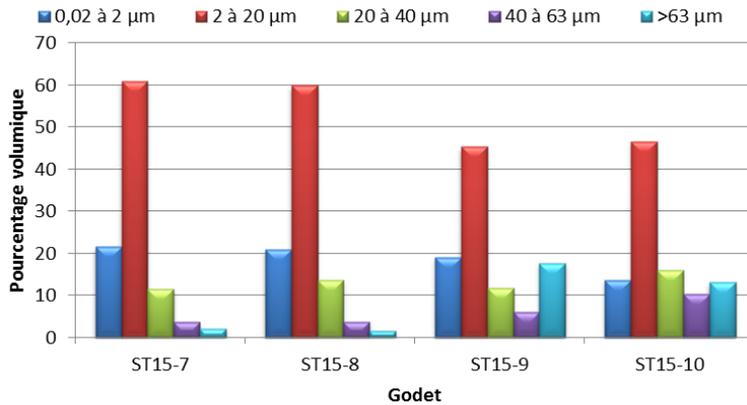


Figure 15 : Distribution granulométrique des populations de grains collectés par le piège séquentiel à particules, entre le 17 juillet et le 2 septembre 2015 dans la Rade Nord de Prony (St15)

4.2.3.3 Compositions minéralogiques

Les analyses minéralogiques ont été demandées sur les godets St15-07 et St15-09. Toutefois, les quantités expédiées ayant été relativement faibles, le laboratoire extérieur qui réalise les analyses ne peut fournir une réponse immédiate à notre demande. De nouveaux tests de diffractométrie sont en cours pour tenter d'obtenir une analyse semi-quantitative des minéraux. Le cas échéant, les résultats feront alors l'objet d'un addendum à ce rapport.

4.2.3.4 Teneurs en carbonates

En raison des faibles masses collectées, les analyses n'ont pas pu être réalisées sur les godets St15-1 à St15-5.

La teneur en carbonates dans les MES est comprise entre 20,5 % (St15-8 ; 14-17 août) et 29,4 % (St15-11 ; 26-29 août). La plus faible teneur correspond à une période de faibles précipitations cumulées (6,8 mm) accompagnées de vents modérés ($9,6 \pm 1,1$ m/s) de secteur S à E-SE. La plus forte teneur a été observée pour une période de faibles précipitations cumulées (1,6 mm) où les vents ont soufflé à $12,7 \pm 2,1$ m/s de secteur E à E-NE.

Pour cette campagne, la teneur moyenne en carbonates est de $26,3 \pm 3,2\%$, cette valeur est proche de celle observée en septembre-octobre 2014 ($25,9 \pm 0,9\%$).

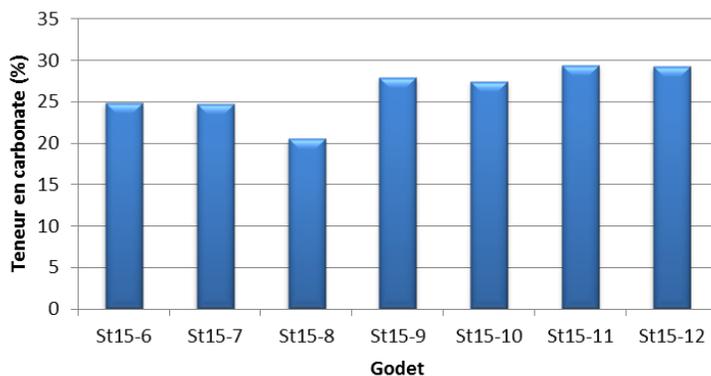


Figure 16 : Teneurs en carbonates dans la fraction péltique des MES collectées par le piège séquentiel à particules du 17 juillet au 2 septembre 2015 dans la Rade Nord de Prony (St15).

CE QU'IL FAUT RETENIR

Station St06-KW1 :

La masse moyenne des MES collectées est de $7,77 \pm 6,10$ g, cette valeur est en augmentation par rapport à septembre-octobre 2014 ($2,37 \pm 1,70$ g) mais reste plus faible que celle de juillet-août 2013 ($11,6 \pm 17,6$ g).

Les quantités de MES collectées en Baie Kwé dépendent de l'intensité des précipitations et/ou des régimes de vents (les vents forts de secteur S à E-SE favorisent la collecte des MES).

Le pourcentage de fraction fine ou pélique ($\phi < 41 \mu\text{m}$) est majoritaire ($68,4 \pm 6,3$ %). Les particules qui composent la fraction fine ont pour mode principal les silts fins (2-20 μm).

Les MES prélevées en baie Kwé sont majoritairement composées de calcite et d'aragonite (soulignant la dominance de l'influence marine), l'influence terrigène reste décelable (par la goethite). Toutefois, la teneur moyenne en carbonates, contenue dans les MES, est de $46,6 \pm 3,1$ %, ce qui reste plus bas que ce qui est suggéré par les analyses minéralogiques semi-quantitatives.

Station St60-NE :

La masse moyenne des MES est de $1,94 \pm 1,84$ g ce qui est légèrement supérieur à celle de septembre-octobre 2014 ($1,6 \pm 1,8$ g).

La fraction fine est majoritaire (52,1 à 68,9 %), seul le godet St60-NE-12 a montré une fraction grossière majoritaire (50,9%). Cette fraction fine est composée principalement de particules dont le mode se situe dans la classe 2-20 μm (silts fins).

Les MES du Canal de la Havannah sont composés en moyenne d'une teneur en carbonates élevée de $91,2 \pm 5,9$ %, (soulignant la dominance de l'influence marine), valeur qui est supérieure à celles observées en juillet-août 2013 ($74,3 \pm 4,1$ %) et septembre-octobre 2014 ($82,7 \pm 2,1$ %).

Station St15 :

Pour cette campagne, la masse moyenne de MES est très faible ($0,26 \pm 0,27$ g), bien que légèrement supérieure à celle de septembre-octobre 2014 ($0,18 \pm 0,25$ g).

La variabilité des masses collectées dépend très étroitement 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 ; l'orientation SE favorisant un confinement le long de la côte nord de la petite anse. A l'inverse, l'absence de vents forts et/ou d'orientation autre que SE, permet l'expansion des panaches. Les MES collectées sont composées très majoritairement de fraction fine (entre 63,9 et 95,4 %) dont le mode principal est la classe des silts fins (2-20 μm).

Pour cette campagne, la teneur moyenne en carbonates est de $26,3 \pm 3,2$ % (proche de celle observée en septembre-octobre 2014 ($25,9 \pm 0,9$ %)).

4.3 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 séquentiels à particules sont regroupées en Annexe 4.

4.3.1 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 4).

Les concentrations en métaux (Co, Fe, Mn et Ni) ont présenté des valeurs maximales pour la période du 3 au 6 octobre (godet St06-KW1-1) associées à de très faibles précipitations cumulées (5,6 mm) et accompagnées de vents forts ($12,9 \pm 1,3$ m/s) de secteur S-SE à E. Cette période du 3 au 6 octobre, coïncide aussi avec la plus faible concentration de Ca (Annexe 4).

Les plus faibles concentrations métalliques ont été observées pour le godet St06-KW1-11 (Annexes 4) entre le 12 et le 15 novembre, correspondant à une période de faibles précipitations cumulées (0,2 mm), mais associées à des vents soutenus ($10,7 \pm 1,1$ m/s) de secteur S-SW à SE qui ont tourné secteur E à E-NE.

De plus, les concentrations métalliques moyennes sont supérieures aux moyennes enregistrées en 2007 pour l'état de référence. Il faut noter que les concentrations en Cr et Mn pour cette campagne d'octobre-novembre 2015 sont légèrement plus fortes que celles enregistrées en septembre-octobre 2014 mais restent bien inférieures à celles de juillet-août 2013 qui avaient enregistré les plus fortes concentrations métalliques (Tableau 5). Les concentrations de Co, Fe et Ni sont restées inférieures à celles observées en septembre-octobre 2014 (Tableau 5).

Tableau 4 : Concentrations moyennes, écart-types et valeurs extrêmes des concentrations en métaux et calcium dans les MES collectées en Baie Kwé entre le 3 octobre et le 19 novembre 2015 (Station St06-KW1 ; n=12).

	Élément analysé (mg/kg)					
	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Min	151 000	67	2 682	72 256	613	1 352
Max	187 897	171	6 635	144 895	1 461	2 682
Moyenne	165 560	108	4 126	101 619	940	1 882
Ecart-type	11 919	34	1 307	24 237	267	421

Tableau 5 : 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 juillet -août 2013, de septembre-octobre 2014 et d'octobre-novembre 2015.

	Élément analysé (mg/kg)					
	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Etat de référence 2007	290 310	58	2 667	68 940	577	1 142
Campagne de juillet-août 2013	164 584	214	7 111	189 732	1 687	3 539
Campagne de septembre-octobre 2014	242 857	115	3 829	132 978	885	1 999
Campagne d'octobre-novembre 2015	165 560	108	4 126	101 619	940	1 882

La matrice de corrélation (Tableau 6) confirme la similarité d'évolution des concentrations massiques pour Co, Cr, Fe, Ni et Mn au cours de la période de prélèvements puisque les coefficients sont compris entre 0,947 et 0,998. Ces éléments métalliques proviennent donc des formations latéritiques ultramafiques exploitées.

Tableau 6 : Matrice de corrélation inter-éléments des concentrations de métaux et du calcium dans les MES collectées en Baie Kwé entre le 3 octobre et le 19 novembre 2015 (Station St06-KW1 ; n=12).

Variables	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ca	1					
Co	-0,487	1				
Cr	-0,451	0,963	1			
Fe	-0,474	0,997	0,961	1		
Mn	-0,460	0,997	0,946	0,996	1	
Ni	-0,481	0,995	0,947	0,998	0,995	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 17). Les valeurs minimale et maximale du rapport Ca/Fe sont respectivement de 1,0 (St06-KW1-1, 3-6 octobre) et 2,2 (St06-KW1-7, 27-30 octobre ; St06-KW1-8, 31 octobre-3 novembre et St06-KW1-11, 12-15 novembre).

Il est observé deux populations de ratio, la première représentée par les ratios les plus bas (1,0 à 1,6) pour la période du 3 au 26 octobre et la seconde par les plus forts (1,9 à 2,2) pour la période du 27 octobre au 19 novembre. Ces observations suggèrent qu'au début de la période de mouillage, l'influence terrigène a été un peu plus soutenue. Le ratio Ca/Fe le plus faible de 1,0 souligne une plus forte influence terrigène bien que de très faibles précipitations soient tombées (5,6 mm).

Compte tenu de la relative constance de la concentration en calcium dans le milieu marin, les ratios Ca/Fe permettent de conclure que l'influence terrigène à la station St06-KW1 augmente (Tableau 7), l'empreinte maximale ayant été relevée pour la campagne de juillet-août 2013.

Les mesures de cette campagne suggèrent que les particules piégées sont le résultat de l'exportation de matériel terrigène déposé en fond de baie, remis en suspension par l'action indirecte du vent.

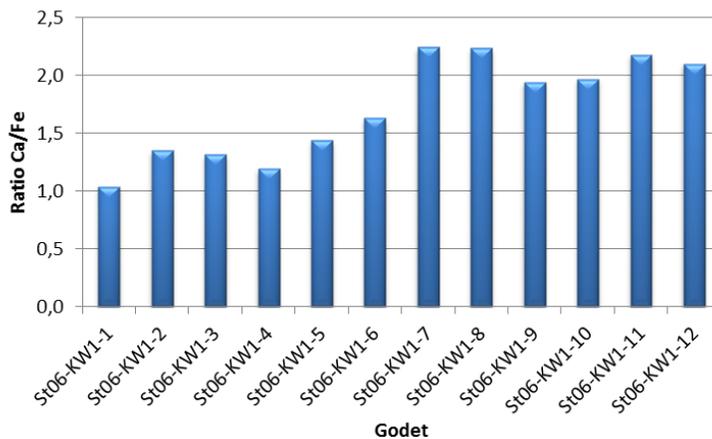


Figure 17 : Normalisation des concentrations en calcium par le fer pour les MES collectées en Baie Kwé (St06-KW1) entre le 3 octobre et le 19 novembre 2015.

Tableau 7 : Evolution temporelle entre 2011 et 2015 du ratio moyen Ca/Fe dans les MES collectées au niveau de la station St06-KW1 aux cours de différentes campagnes. Comparaison avec les valeurs de l'état de référence 2007/2008.

Ca/Fe	2007-2008*	Juil-août 2011	Sept-oct 2012	Juil-août 2013	Sept-oct 2014	Oct-nov 2015
Moyenne	3,85	3,17	2,40	0,98	1,85	1,7
Ecart-type	0,51	0,50	0,31	0,46	0,27	0,4

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

4.3.2 Canal de la Havannah (station St60-NE)

4.3.2.1 Concentration en métaux et calcium

Les éléments analysés dans les MES collectées à l'est du diffuseur (St60-NE) mettent en évidence les fortes concentrations en Ca, soulignant l'influence marine très marquée (Tableau 8). Toutefois, les apports terrigènes (Co, Cr, Fe, Mn, et Ni) restent décelables, mais à des niveaux de concentrations bien plus faibles qu'en Baie Kwé.

Pour cette campagne, les plus fortes concentrations métalliques ont été observées dans le godet St60-NE-3 (25-28 juillet) pour Cr, Fe et Ni ainsi que dans le godet St60-NE-10 (22-25 août) pour le Co et Mn (voir Annexe 4). Les plus fortes concentrations métalliques pourraient avoir pour origine les apports terrigènes émis par le diffuseur ou qui auraient été transportés par des néphéloïdes générés par les vents forts (remise en suspension), les pluies étant trop faibles pour leur attribuer directement ces apports terrigènes (lessivage du bassin versant de la Kwé).

Pour tous les éléments métalliques, les concentrations moyennes observées en juillet-septembre 2015 (Tableau 8 et Tableau 9) sont proches de celles observées en septembre-octobre 2014 et plus faibles que celles enregistrées pour la campagne juillet-août 2013. Globalement pour chaque élément, les concentrations respectives montrent peu de variation.

Les résultats relatifs aux concentrations moyennes de la campagne de juillet-septembre 2015 et celles de l'état de référence (Tableau 9), montrent que des niveaux de concentration de calcium sont quasi-similaires, par contre en juillet-septembre 2015, les concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni ont été, respectivement, plus élevées d'un facteur 2,2 ; 1,8 ; 1,9 ; 2,4 et 2,6.

La matrice de corrélation (Tableau 10) 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 $0,733 > R > 0,966$. Ces coefficients bien qu'en baisse par rapport à la campagne de septembre-octobre 2014 (qui présentait des coefficients de Pearson compris entre $0,891 > R > 0,999$), suggèrent l'origine terrigène de ces éléments. La légère baisse des coefficients de corrélation pourrait indiquer que les apports métalliques ont été un peu plus dilués que précédemment.

Tableau 8 : Concentrations moyennes, écart-types et valeurs extrêmes des concentrations en métaux et calcium dans les MES collectées dans le Canal de la Havannah du 17 juillet au 2 septembre 2015 (Station St60-NE ; n=12).

	Elément analysé (mg/kg)					
	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
MIN	302 818	20	601	18 115	239	340
MAX	369 812	31	855	27 354	361	496
MOYENNE	340 369	26	702	22 628	298	416
ECART-TYPE	22 844	4	63	2287	38	41

Tableau 9 : Concentrations moyennes en métaux et calcium dans les MES collectées dans le Canal Havannah lors de la définition de l'état de référence de 2007, et pour les campagnes de juillet-août 2013, septembre-octobre 2014 et juillet-septembre 2015.

	Elément analysé (mg/kg)					
	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Etat de référence 2007	337 350	12	393	11 760	125	162
Campagne juillet-août 2013	278794	37	960	34 045	379	565
Campagne septembre-octobre 2014	313 173	25	725	25 695	204	386
Campagne de juillet-septembre 2015	340 369	26	702	22 628	298	416

Tableau 10 : Matrice de corrélation inter-éléments des concentrations de métaux et du calcium dans les MES collectées dans le Canal de la Havannah entre le 17 juillet et le 2 septembre 2015 (Station St60-NE ; n=12).

Variables	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ca	1					
Co	-0,018	1				
Cr	0,173	0,733	1			
Fe	0,171	0,787	0,971	1		
Mn	-0,019	0,964	0,752	0,835	1	
Ni	0,211	0,825	0,946	0,966	0,861	1

Dans le Canal de la Havannah, les valeurs de normalisation des concentrations du Ca par le Fe oscillent entre 12,8 (St60-NE-3 ; 25-28 juillet) et 18,1 (St60-NE-5 ; 2-5 août) (Figure 18). Ces ratios élevés soulignent l'influence marine prépondérante, corroborant ainsi les résultats de teneurs en carbonates.

Le plus faible ratio Ca/Fe (12,8) est observé suite à une période accompagnée de faibles précipitations cumulées (2,6 mm) et des vents modérés (9,3 ± 1,4 m/s) d'un large secteur NE à SE. Le plus haut ratio (18,1) enregistré correspond à une période accompagnée de 2,2 mm de précipitations cumulées et un régime de vents soutenus (12,5 ± 4,4 m/s) de secteur E à E-SE qui a basculé W-SW.

D'un point de vue temporel et d'une manière générale, le ratio Ca/Fe est plus faible que celui de l'état de référence, traduisant un impact terrigène plus conséquent (Tableau 11). Cependant, il faut souligner que depuis la campagne de septembre-octobre 2014, le ratio Ca/Fe a commencé à augmenter par rapport à la campagne de juillet-août 2013, ce qui traduirait une baisse des apports terrigènes.

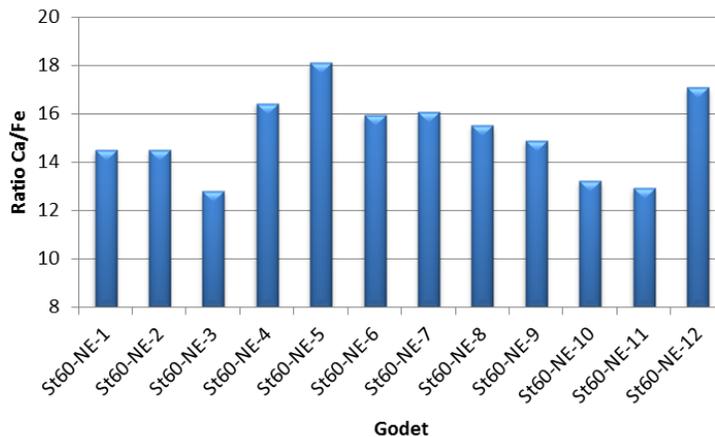


Figure 18 : Normalisation des concentrations en calcium par le fer pour les MES collectées dans le Canal de la Havannah (St60-NE) entre le 17 juillet et le 2 septembre 2015.

Tableau 11 : Evolution temporelle entre 2011 et 2015 du ratio moyen Ca/Fe dans les MES collectées au niveau de la station St60-NE. Comparaison avec les valeurs de l'état de référence 2007/2008.

Ca/Fe	2007-2008*	Juil-août 2011	Sept-oct 2012	Juil-août 2013	Sept-oct 2014	Juil-sept 2015
Moyenne	26,8	Perte	19,0	8,6	12,5	15,2
Ecart-type	6,7	piège	2,7	2,3	1,7	1,7

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

4.3.2.1 Concentrations en soufre

La concentration moyenne en soufre dans les MES du Canal de la Havannah est de 2776 ± 168 mg/kg, elle est du même ordre que celles analysées en juillet-août 2013 (2656 ± 56 mg/kg) et septembre-octobre 2014 (2805 ± 161 mg/kg). La plus forte concentration (3028 mg/kg) a été analysée avec le godet St60-NE-1 entre le 17 et le 20 juillet, période de faibles précipitations (10,0 mm) et de vents forts ($12,5 \pm 2,4$ m/s) de secteur N-NW qui ont basculé secteur S-SW à SE.

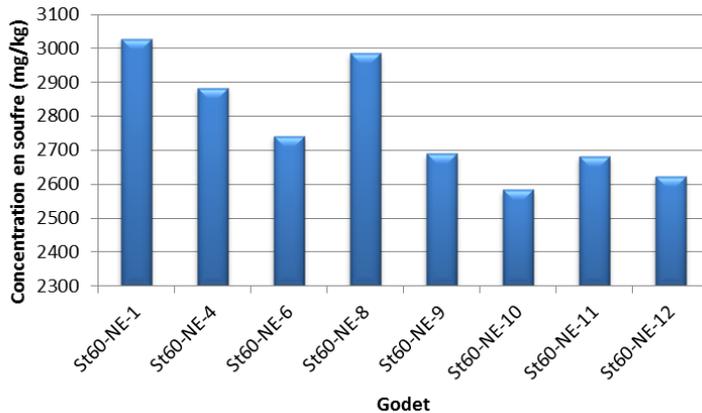


Figure 19 : Concentration du soufre dans les particules collectées par les godets du piège séquentiel mouillé entre le 17 juillet et le 2 septembre 2015 dans le Canal de la Havannah (St60-NE).

4.3.3 Rade Nord de Prony (Station St15)

Les concentrations élémentaires analysées dans les MES collectées à la station St15, mettent en évidence une influence terrigène dominante (marquée par de fortes concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni) (Tableau 12).

Les concentrations métalliques obtenues pour cette campagne sont du même ordre que celles enregistrées pour l'état de référence de mars 2007, bien que les concentrations en Cr et Fe soit légèrement plus basses et celles en Co et Mn légèrement plus hautes en 2015 (Tableau 13).

Tableau 12 : Concentrations moyennes, écart-types et valeurs extrêmes des concentrations en métaux et calcium dans les MES collectées dans la Rade Nord entre le 17 juillet et le 2 septembre 2015 (Station St15 ; n=7).

	Elément analysé (mg/kg)					
	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Min	67 343	189	6 444	147 812	1 743	2 252
Max	96 742	242	8 512	184 132	2 379	2 964
Moyenne	85 569	228	8 016	177 466	2 148	2 751
Ecart-type	10 844	18	728	13 141	208	248

Tableau 13 : Concentrations moyennes en métaux et calcium dans les MES collectées dans la Rade Nord lors de l'état de référence de mars 2007, et lors des campagnes de juillet-août 2014 et juillet-septembre 2015.

	ELEMENT ANALYSE (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 septembre-octobre 2014	87 180	265	8 110	217 647	1 881	2 798
Campagne de juillet-septembre 2015	85 569	228	8 016	177 466	2 148	2 751

L'analyse en composante principale (ACP) n'a pas été réalisée puisque le nombre d'échantillons (n=7) est trop faible pour mener ce type de test qui exige un minimum de 11 échantillons.

L'observation des faibles ratios Ca/Fe confirme que l'influence terrigène est majoritaire (Figure 20). Au niveau de l'évolution temporelle, le ratio Ca/Fe moyen est un peu plus élevé que celui calculé lors de l'état de référence de mars 2007 et en septembre-octobre 2014 (Tableau 14), suggérant que l'influence terrigène a légèrement faibli.

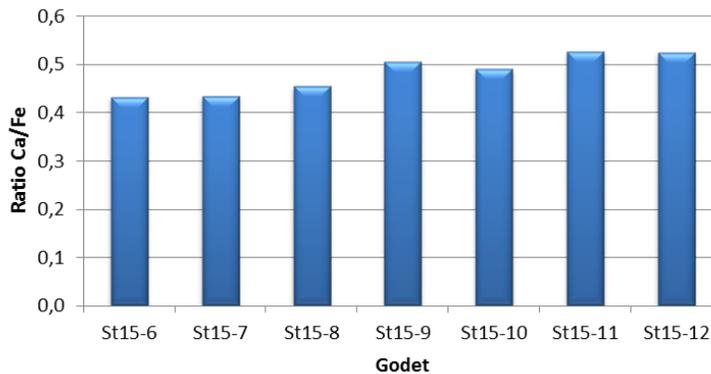


Figure 20 : Normalisation des concentrations en calcium par le fer pour les MES collectées dans la Rade Nord de Prony (St15) entre le 17 juillet et le 2 septembre 2015.

Tableau 14 : Evolution temporelle entre 2014 et 2015 du ratio moyen Ca/Fe dans les MES au niveau de la station St15. Comparaison avec les valeurs de l'état de référence de 2007.

Ca/Fe	Mars 2007*	Sept-oct 2014	Juil-Sept 2015
Moyenne	0,3	0,37	0,48
Ecart-type	-	0,02	0,04

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

CE QU'IL FAUT RETENIR**St06-KW1 :**

Les concentrations en métaux (Co, Fe, Mn et Ni) ont présenté des valeurs maximales pour la période du 3 au 6 octobre (St06-KW1-1) associées à de très faibles précipitations cumulées (5,6 mm) et accompagnées de vents forts ($12,9 \pm 1,3$ m/s) de secteur S-SE à E. Cette période a aussi montré la plus faible concentration de Ca.

Les concentrations métalliques moyennes contenues dans les MES sont supérieures aux moyennes enregistrées en 2007 pour l'état de référence. Pour Cr et Ni, les concentrations sont légèrement plus fortes que celles enregistrées en septembre-octobre 2014 mais restent bien inférieures à celles de juillet-août 2013 (qui a enregistré les plus fortes concentrations métalliques depuis l'état de référence).

La matrice de corrélation confirme la similarité de l'évolution des concentrations massiques pour Co, Cr, Fe, Ni et Mn confortant ainsi l'hypothèse de l'origine terrigène de ces éléments métalliques (formations latéritiques ultramafiques).

Le ratio Ca/Fe moyen pour cette campagne est légèrement plus bas que celui de la campagne de septembre-octobre 2014 (Tableau 7), indiquant que l'influence terrigène est un peu plus soutenue. De plus, l'évolution des ratios Ca/Fe permet de constater que l'influence terrigène à la station St06-KW1 est en progression, à l'exception de la campagne de juillet-août 2013.

St60-NE :

Les éléments analysés dans les MES collectées mettent en évidence de fortes concentrations en Ca traduisant l'influence marine très marquée, toutefois, les signatures terrigènes (Co, Cr, Fe, Mn, et Ni) restent décelables.

Les plus fortes concentrations métalliques, observées dans le godet St60-NE-3 (25-28 juillet) pour Cr, Fe et Ni et dans le godet St60-NE-10 (22-25 août) pour Co et Mn, pourraient être reliées aux apports émis par le diffuseur et/ou des particules transportées par des néphéloïdes générés par resuspension des dépôts sous l'action des vents forts.

La concentration moyenne de Ca pour cette campagne de juillet-septembre 2015 est quasi-similaire à celle de l'état de référence, toutefois, les concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni ont été, respectivement, plus élevées d'un facteur 2,2 ; 1,8 ; 1,9 ; 2,4 et 2,6 par rapport à l'état de référence.

Dans le Canal de la Havannah, les ratios Ca/Fe sont élevés (12,8 à 18,1). Ils soulignent l'influence marine prépondérante, confirmant ainsi les résultats des mesures en carbonates. Il faut souligner que depuis la campagne de septembre-octobre 2014, le ratio Ca/Fe a commencé à augmenter par rapport à la campagne de juillet-août 2013, ce qui traduirait une baisse des apports terrigènes.

La concentration en soufre dans les MES du Canal de la Havannah de 2776 ± 168 mg/kg est du même ordre que celles analysées en juillet-août 2013 (2656 ± 56 mg/kg) et septembre-octobre 2014 (2805 ± 161 mg/kg).

St15 :

Les concentrations élémentaires analysées dans les MES collectées à la station St15, mettent en évidence une influence terrigène dominante, marquée par de fortes concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni. Les concentrations métalliques restent du même ordre que celles enregistrées pour l'état de référence de mars 2007, bien que les concentrations en Cr et Fe soit légèrement plus basses et celles en Co et Mn légèrement plus hautes en 2015.

Les faibles ratios Ca/Fe confirment que l'influence terrigène est amplement majoritaire. Le ratio Ca/Fe moyen est un peu plus élevé que celui calculé lors de l'état de référence de mars 2007 et en septembre-octobre 2014 (Tableau 14), suggérant que l'influence terrigène a légèrement faibli.

5 INTERPRETATION

5.1 INFLUENCE DES FACTEURS METEOROLOGIQUES

Lors des précédentes campagnes, réalisées entre 2011 et 2015, un parallèle a été effectué entre la quantité de MES collectée, les concentrations en éléments et l'action mécanique induite par certaines conditions météorologiques (direction et force des vents, précipitations).

Les Figure 21 (St06-KW1), Figure 22 (St60-NE) et Figure 23 (St15) apportent une vue d'ensemble qui permet d'établir les principaux épisodes marquants selon les stations suivies.

Période du 17 juillet au 2 septembre 2015 :

La première période de mouillage des pièges à particules (St60-NE et St15), qui s'est déroulée du 17 juillet au 2 septembre 2015 a été marquée par l'absence d'évènements pluvieux conséquents et seulement 96 mm de précipitations cumulées soit trois fois moins qu'en septembre-octobre 2014.

Les régimes de vents ont soufflé majoritairement secteur SE à E, caractérisés par une vitesse moyenne de $11,6 \pm 2,6$ m/s, caractéristiques des normales saisonnières.

Période du 3 octobre au 19 novembre 2015 :

La seconde période de mouillage a présenté deux épisodes pluvieux conséquents, mais il n'est tombé sur l'ensemble de la période que 148,9 mm de précipitations soit deux fois moins qu'en septembre-octobre 2014.

Les régimes de vent étaient principalement de secteur SE à E et ils ont soufflé en moyenne à $12,4 \pm 3,1$ m/s (valeur proche des normales saisonnières).

5.1.1 Baie Kwé (St06-KW1)

La masse moyenne des MES collectées est de $7,77 \pm 6,10$ g, cette valeur est en augmentation par rapport à septembre-octobre 2014 ($2,37 \pm 1,70$ g) mais reste plus faible que celle de juillet-août 2013 ($11,6 \pm 17,6$ g). Les principaux évènements à considérer sont décrits ci-dessous :

- La plus forte quantité de MES collectées (de 23,26 g), a été récupérée du 15 au 18 octobre, période accompagnée de 50,8 mm de précipitations et de vents soufflant à $17,2 \pm 3,1$ m/s d'un large secteur SE à E-NE. La seconde plus forte quantité de MES piégées (15,96 g), entre le 3 et le 6 octobre (St06-KW1-1), est associée à 5,6 mm précipitations cumulées et accompagnée de vents forts ($12,9 \pm 1,3$ m/s) de secteur S-SE à E. Ces deux masses sont reliées aux deux plus fortes concentrations de Ni et aux ratios Ca/Fe les plus bas. Pour cette deuxième période, il apparaît que les vents forts de secteur SE ont très probablement favorisé la formation de néphéloïdes, le très faible taux de précipitations ne peut pas avoir transporté du matériel particulaire depuis les bassins versants.

- Deux populations de MES apparaissent pour la période de mouillage du 3 octobre au 19 novembre. La première inclut les MES, collectées entre le 3 et le 26 octobre, dont les masses respectives dépassent 5 g et présentent les plus fortes concentrations en Ni, les plus faibles ratios Ca/Fe et les plus fortes proportions de fractions pélitiques. La seconde regroupe les MES, collectées entre le 27 octobre et le 19 novembre, dont les masses sont inférieures à 5 g. Ces MES sont associées aux plus faibles concentrations en Ni, aux plus forts ratios Ca/Fe et aux plus faibles proportions de fractions pélitiques (à l'exception du godet St06-KW1-11). Les différences de masses collectées entre ces deux groupes pourraient avoir pour double explication l'action du vent, en particulier l'orientation et la force des régimes, ainsi que les différences de précipitations. Par exemple, pour la première période (3 au 26 octobre), les MES collectées peuvent résulter de la double action, d'une part, des vents de secteur S-SE qui ont soufflé à $13,6 \pm 3,6$ m/s de manière relativement constante favorisant les phénomènes de remise en suspension en fond de baie et la formation concomitante de néphéloïdes, et d'autre part, les précipitations (99,0 mm). Durant la deuxième période (27 octobre au 19 novembre), les vents ont soufflé à $11,0 \pm 1,7$ m/s provenant de différents secteurs et n'ont été associés qu'à seulement 49,9 mm de précipitations cumulées.

5.1.2 Canal de la Havannah (St60-NE)

La masse moyenne des MES de $1,94 \pm 1,84$ g collectées pour cette campagne est légèrement supérieure à celle de septembre-octobre 2014 ($1,6 \pm 1,8$ g). Les principaux événements à considérer sont décrits ci-dessous :

- Le dépôt de MES le plus important (6,86 g ; 30 août -2 septembre) est associé à la plus basse concentration en Ni, au second plus fort ratio Ca/Fe et à la plus faible proportion de fraction fine (49,1 %), ce qui suggère une influence marine plus forte pour ce godet. La collecte de cette masse est associée à une période de faibles précipitations (11,6 mm) et à des régimes de vents soutenus de secteur NE qui ont ensuite faibli en tournant au secteur S à SW.
- La seconde plus forte masse a été collectée par le godet NE60-11 (26-29 août), pour des vents forts ($12,7 \pm 2,1$ m/s) de secteur E à E-NE accompagnés de très faibles précipitations (1,6 mm). Cette masse est associée au second ratio Ca/Fe le plus faible et la troisième plus forte concentration de Ni, ce qui suggère une alimentation en matériel particulaire d'origine terrigène.
- La plus faible masse de MES collectées de 0,14 g (25-28 juillet) est associée au plus fort enrichissement en Ni et au ratio Ca/Fe le plus bas, ce qui traduirait une influence marine un peu moins soutenue. Cette plus forte concentration en Ni proviendrait d'apports émis par le diffuseur et/ou qui auraient été transportés par des néphéloïdes générés par les vents forts, compte tenu de la quasi-absence de précipitations.

Pour cette campagne de juillet-octobre 2015, au niveau du Canal de la Havannah, étant donné les faibles niveaux de précipitations, il apparaît une fois de plus l'importance du rôle des régimes de vents qui régissent la collecte des MES et qui peuvent aussi influencer sur la nature des apports (bien qu'ils restent très majoritairement d'origine marine).

5.1.3 Rade Nord de Prony (St15)

Cette campagne a été caractérisée par une très faible masse moyenne de MES collectées ($0,26 \pm 0,27$ g), ce qui est toutefois légèrement supérieur à celle de septembre-octobre 2014 ($0,18 \pm 0,25$ g). Les principaux événements à considérer sont décrits ci-dessous :

- Entre le 17 juillet et le 5 août, très peu de MES ont été collectées tandis qu'entre le 6 août et le 2 septembre, des masses de MES plus conséquentes ont été récupérées par le piège séquentiel. La variabilité des masses collectées entre ces deux périodes ne peut pas être seulement expliquée par des niveaux de précipitations différents pour cette campagne. Il apparaît que 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, ont dû jouer un rôle prépondérant sur les différentes masses piégées. Pour la période du 17 juillet au 5 août, les vents forts ($12,3 \pm 2,8$ m/s) majoritairement orientés SE à E-SE ont probablement favorisé le

confinement des particules le long de la côte nord de la petite anse. Par contre pour la période du 5 août au 2 septembre, les régimes de vents ont montré de nombreux changements de secteurs et ont soufflé à $11,1 \pm 2,4$ m/s, ce qui aurait favorisé la dispersion des particules vers le large de baie. Pour cette campagne, la plus faible masse (St15-1) peut être expliquée par la conjonction de faibles précipitations (10,0 mm) et de vents forts ($12,5 \pm 2,4$) de secteur N-NW puis S-SW à SE. La plus forte masse collectée a aussi coïncidé avec de faibles précipitations (11,6 mm) et des vents plus faibles ($10,4 \pm 2,6$ m/s) mais de secteur NE, puis de SW à S faiblissant, agissant peu dans cette anse dont la configuration abritée permet alors l'expansion des panaches.

- Une fois de plus, les MES collectées à cette station proviennent quasi-exclusivement d'apports terrigènes véhiculés par le Creek de la Rade Nord. Ces apports se caractérisent par des niveaux de concentrations élevés en métaux, notamment Ni ainsi que des ratios Ca/Fe très faibles.

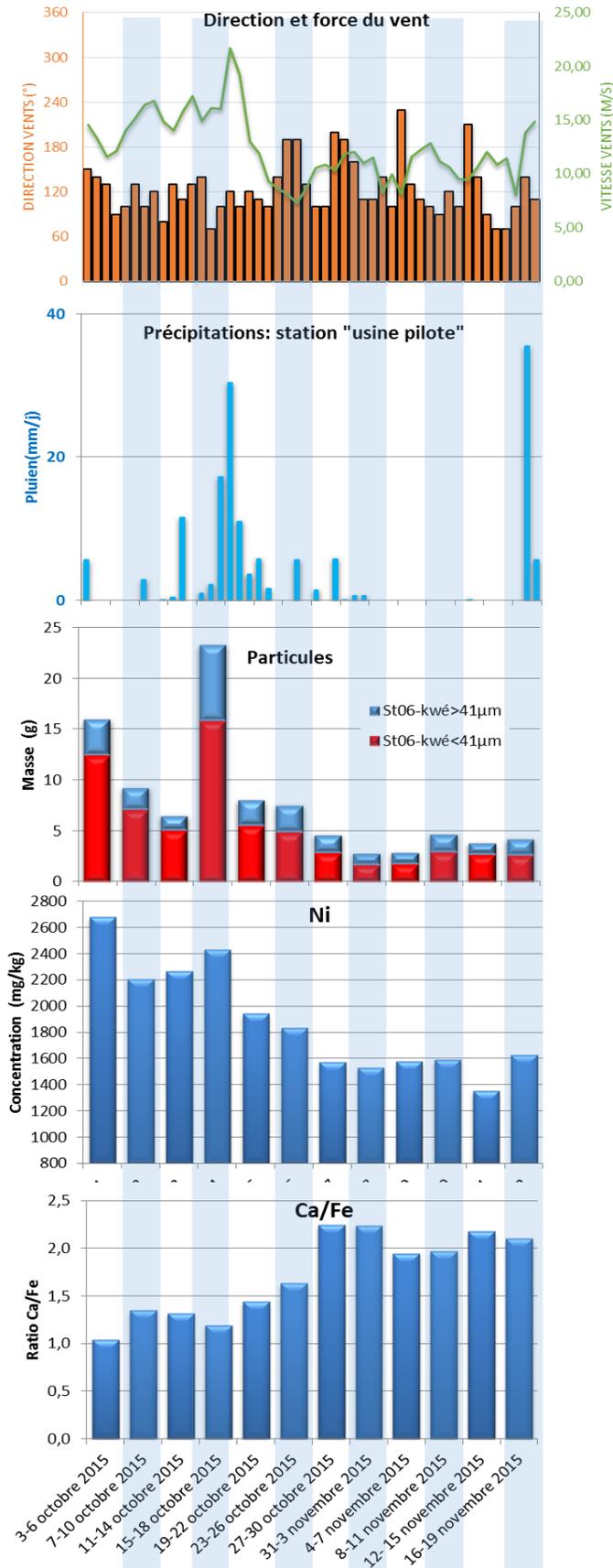


Figure 21 : Diagramme combiné pour la station St06-KW1 : direction et vitesse moyenne des vents, taux de précipitation, fractions inférieures et supérieures à 41 µm, concentration en nickel dans les MES et ratio Ca/Fe pour la période du 3 octobre au 19 novembre 2015.

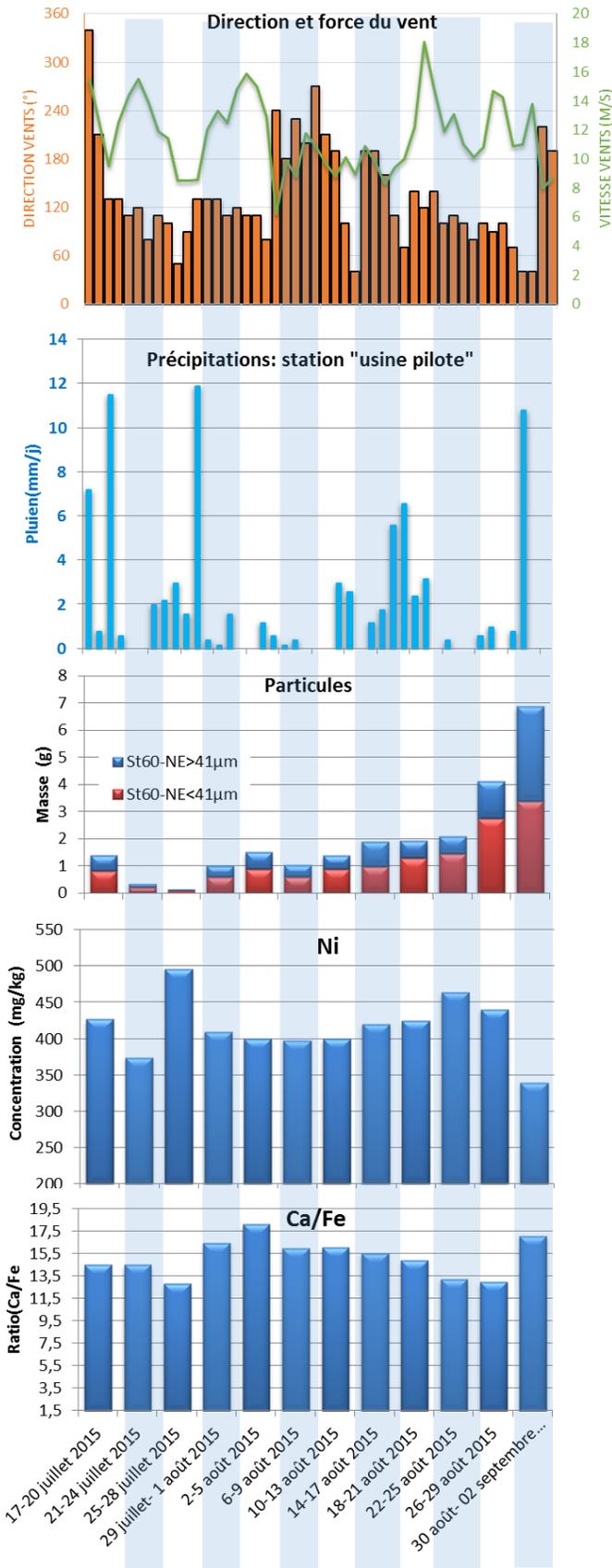


Figure 22 : Diagramme combiné pour la station St60-NE : direction et vitesse moyenne des vents, taux de précipitation, fractions inférieures et supérieures à 41 µm, concentration en nickel dans les MES et ratio Ca/Fe pour la période du 17 juillet au 2 septembre 2015.

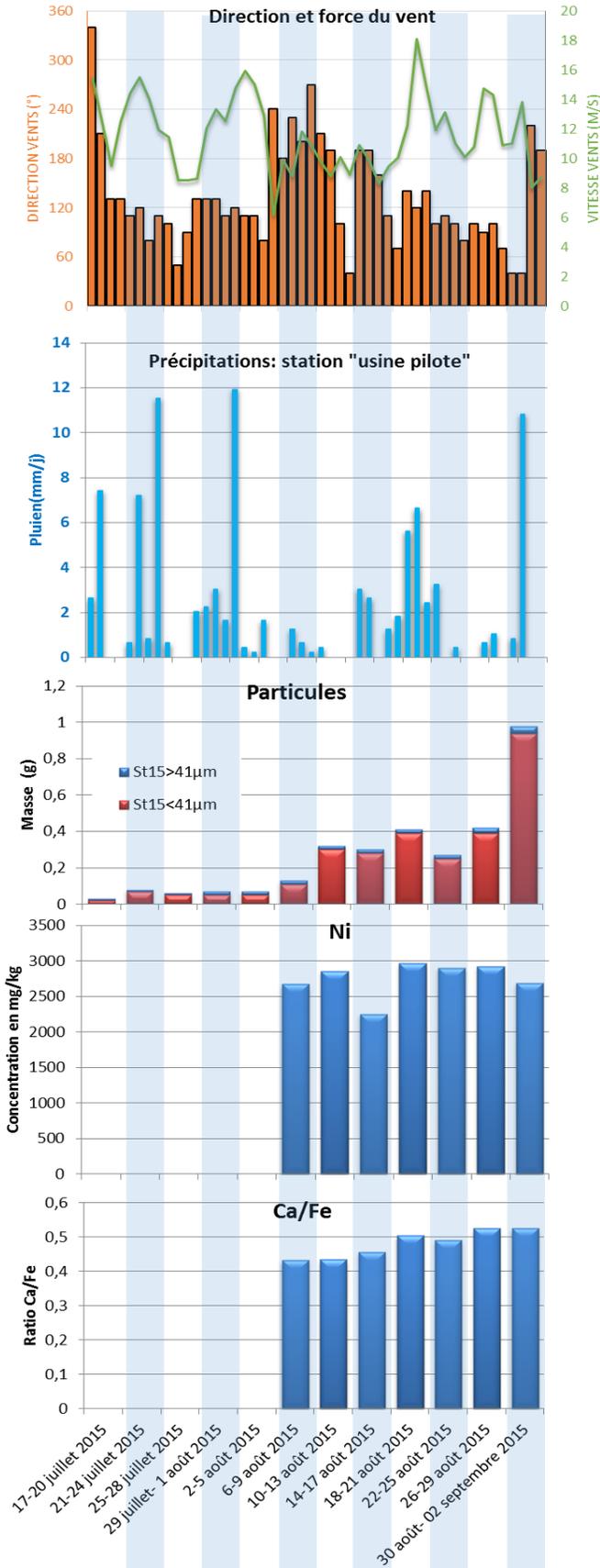


Figure 23 : Diagramme combiné pour la station St15: direction et vitesse moyenne des vents, taux de précipitation, fractions inférieures et supérieures à 41 μm, concentration en nickel dans les MES et ratio Ca/Fe pour la période du 17 juillet au 2 septembre 2015.

5.2 CALCUL DES FLUX DE MATIERES

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

5.2.1 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 octobre 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 15, Tableau 16 et Tableau 17).

5.2.1.1 Baie Kwé

Il est généralement observé des densités de flux plus élevées en saison chaude par rapport à la saison fraîche. Entre juillet 2011 et octobre 2015, ces densités sont comprises entre $11,8 \pm 8,4$ et $66,3 \pm 36,1$ g/m²/j (Tableau 15). Depuis la définition des états de référence, les densités de flux ont tendance à progresser (bien qu'en septembre-octobre 2014, les flux moyens étaient du même ordre que lors de la définition de l'état de référence de 2006).

Par rapport à septembre 2014, cette campagne d'octobre-novembre 2015 a montré que les flux moyens ont progressé, cependant ils sont restés inférieurs aux flux moyens observés en juillet-août 2013 (qui est la plus forte valeur enregistrée pour la saison fraîche)

Tableau 15 : 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 octobre 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	Oct-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	38,8
Ecart-type	7,4	9,2	30,0	33,2	13,1	29,5	87,8	34,1	8,4	36,1	30,5
Masse sédimentée (g/m ²)	700	1132	1299	1894	1267	2231	2786	2914	569	3181	1864

5.2.2 Canal de la Havannah

Entre juillet 2011 et juillet 2015, les densités de flux étaient comprises entre $3,5 \pm 3,0$ et $16,0 \pm 15,6$ g/m²/j (Tableau 16). Comme pour la Baie Kwé, une périodicité apparaît montrant que les apports sont plus importants en saison chaude par rapport à la saison fraîche. Pour cette campagne de saison fraîche, la tendance à l'augmentation des flux moyens est confirmée ; les flux moyens ayant progressé par rapport à la campagne de septembre 2014 et montrent la plus forte valeur observée en saison fraîche.

Tableau 16 : 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 juillet 2015 ; comparaison avec les valeurs mesurées en 2006 et 2007 (Etats de Référence).

Canal de la Havannah (St60-NE)

	Campagne										
	mars-07	nov-07	juil-11	janv-12	sept-12	janv-13	juil-13	avril-14	Sept-14	Janv-15	Juil-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	9,9
Ecart-type	33,2	7,7	3,0	9,6	6,5	15,4	7,3	5,1	9,1	15,6	9,2
Masse sédimentée (g/m ²)	527	366	167	483	233	611	300	356	390	766	474

5.2.3 Rade du Nord

La densité de flux moyen mesurée en juillet-septembre 2015 est de $1,3 \pm 1,3$ g/m²/j (Tableau 17), cette valeur est supérieure à celle observée en septembre-octobre 2014 cependant elle reste proche de celle enregistrée lors de l'état de référence de novembre 2006.

Tableau 17 : 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 janvier 2014 à juillet 2015 ; comparaison avec les valeurs mesurées en 2006 et 2007 (Etats de Référence).

Campagne	Rade Nord (St15)					
	Campagne					
	nov-06	mars-07	janv-14	Sept-14	Janv-15	Juil-15
Moyenne (g/m ² /j)	1,1	1,7	22,2	0,9	2,8	1,3
Ecart-type	0,7	1,5	44,5	1,2	3,0	1,3
Masse sédimentée (g/m ²)	26	41	1063	44	134	63

5.2.4 Eléments métalliques et calcium

Les flux métalliques moyens ont été calculés pour chaque campagne et leur évolution temporelle peut être illustrée par le cas du nickel (Figure 24).

5.2.4.1 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 24) pour la période 2011-2013 et une baisse en 2014. En 2015, les flux métalliques moyens ont progressé par rapport à 2014 mais restent inférieurs à ceux observés en 2013 (qui présentent les plus fortes densités pour les saisons chaudes et fraîches).

5.2.4.2 Canal de la Havannah (St60-NE)

Les précédents rapports avaient montré qu'entre 2011 et 2013, les valeurs moyennes des densités de flux en métaux, dont le Ni (Figure 24) ont eu tendance à augmenter puis à se stabiliser entre juillet 2013 et septembre 2014. Les campagnes de 2015 montrent que la densité de flux de Ni a tendance à de nouveau progresser. En effet, pour cette campagne de juillet-septembre 2015, la densité de flux de Ni moyen est supérieure à celle de juillet-août 2013 et septembre-octobre 2014.

5.2.4.3 Rade Nord (St15)

Le flux métallique moyen de Ni pour cette campagne de saison fraîche est proche de ceux obtenus en septembre-octobre 2014 et lors de la définition de l'état de référence de mars 2007.

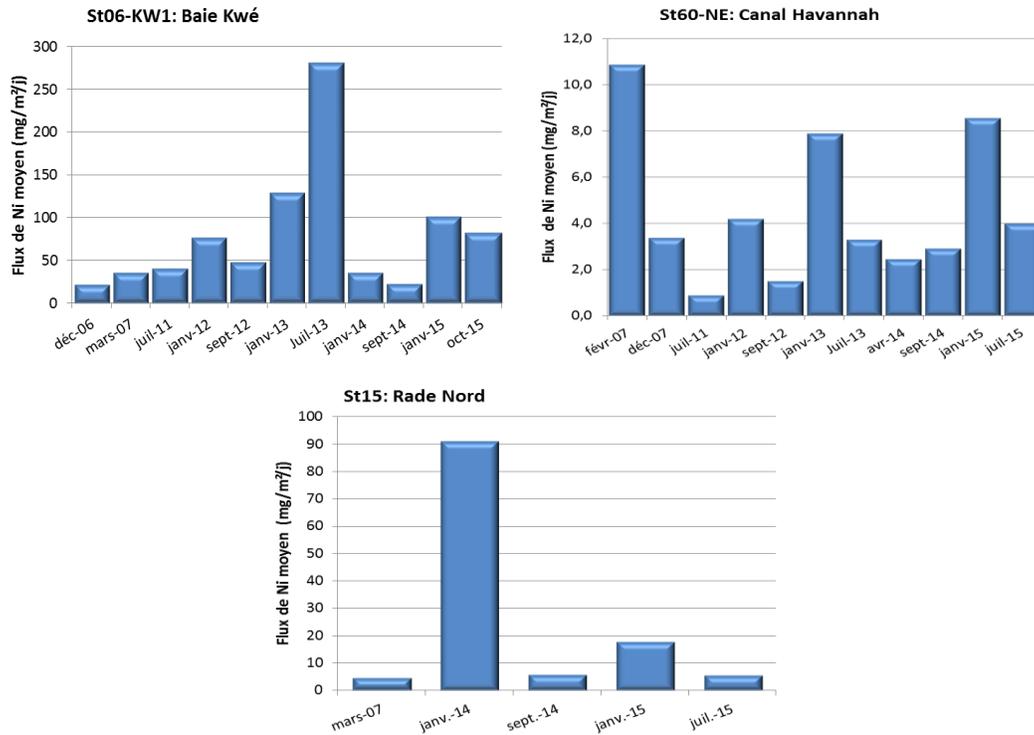


Figure 24 : Evolution temporelle des flux de nickel moyens ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{j}$) mesurés au niveau des stations St60-NE, St06-KW1 et St15 depuis 2006 et 2007 (définition de l'Etat de Référence).

6 CONCLUSION

Cette campagne semestrielle s'est déroulée en deux étapes de mouillage en raison d'un problème technique de récupération des lignes de mouillage.

La première, a été réalisée du 17 juillet au 2 septembre 2015 pour les stations de la Rade Nord de Prony (St15) et du Canal de la Havannah (St60-NE). Elle a été caractérisée par de très faibles niveaux de précipitations cumulées (96 mm, soit trois fois moins que pour la campagne de septembre-octobre 2014) et des régimes de vents majoritairement orientés secteur SE à E représentatifs des normales saisonnières ($11,6 \pm 2,6$ m/s).

La seconde s'est déroulée du 3 octobre au 19 novembre pour la station de la Baie Kwé (St06-KW1), période où 148,9 mm de précipitations cumulées ont été enregistrées (soit deux fois moins que pour la campagne de septembre-octobre 2014), avec des régimes de vents principalement de secteur SE à E de $12,4 \pm 3,1$ m/s (valeur proche des normales saisonnières).

1. BAIE KWE (ST06)

Pour la période d'octobre-novembre 2015, le contexte hydro-climatique a conduit aux observations suivantes :

- La masse moyenne des MES collectées est de $7,77 \pm 6,10$ g, cette valeur est en augmentation par rapport à septembre-octobre 2014 ($2,37 \pm 1,70$ g) mais reste plus faible que celle de juillet-août 2013 ($11,6 \pm 17,6$ g). Les MES sont majoritairement composées d'une fraction pélique ($\phi < 41 \mu\text{m}$) dont le mode principal est occupé par les silts fins.
- La minéralogie indique que la calcite et l'aragonite sont les principaux minéraux retrouvés dans les MES de la Baie Kwé, soulignant la dominance des apports marins, toutefois l'influence terrigène a été décelée au travers de la goethite (identifiée en moindre proportion).
- Généralement, en baie Kwé, la quantité de MES en suspension est tributaire des apports terrigènes liés à la pluviométrie, mais également, des phénomènes de remobilisation des particules qui sont favorisés par des régimes de vents forts principalement de secteurs S à SE. Effectivement, la plus forte quantité de MES collectée (23,26 g) du 15 au 18 octobre, période accompagnée de 50,8 mm de précipitations et de vents soufflant à $17,2 \pm 3,1$ m/s d'un large secteur SE à E-NE. La seconde plus forte quantité de MES (15,96 g), piégée entre le 3 et le 6 octobre, est associée à 5,6 mm précipitations cumulées et accompagnée de vents forts ($12,9 \pm 1,3$ m/s) de secteur S-SE à E. Ces deux périodes sont associées aux deux plus fortes concentrations de Ni analysées dans les MES et aux ratios Ca/Fe les plus bas, ces observations soulignent le fait que les apports marins ont été moins marqués.
- Par rapport à septembre 2014, cette campagne d'octobre-novembre 2015 a montré que les flux particulaires moyens ont progressé, cependant ils sont restés inférieurs à ceux observés en juillet-août 2013 (qui est la plus forte valeur enregistrée pour la saison fraîche). Depuis la définition des états de référence, les densités de flux particulaires ont tendance à progresser (bien qu'en septembre-octobre 2014, les flux moyens étaient du même ordre que lors de la définition de l'état de référence de 2006).
- En 2015, les flux métalliques moyens, notamment pour Ni, ont aussi progressé par rapport à 2014 mais restent inférieurs à ceux observés en 2013 (qui présentent les plus fortes densités).

2. CANAL DE LA HAVANNAH (St60-NE)

Pour la période de juillet-septembre 2015, le contexte hydro-climatique a conduit aux observations suivantes :

- La masse moyenne des MES collectées de $1,94 \pm 1,84$ g est légèrement supérieure à celle de septembre-octobre 2014 ($1,6 \pm 1,8$ g). Les MES sont composées majoritairement d'une fraction péltique (sauf pour le godet St60-NE-12) dont le mode principal est occupé par les silts fins ($2-20 \mu\text{m}$). Les MES du Canal de la Havannah sont caractérisées par une teneur moyenne en carbonates de $91,2 \pm 5,9$ %, soulignant l'origine bioclastique des apports marins. Ces observations sont corroborées par les forts ratios Ca/Fe (compris entre 12,8 et 18,1). Depuis la campagne de septembre-octobre 2014, le ratio Ca/Fe moyen a augmenté par rapport à la campagne de juillet-août 2013, ce qui traduirait une tendance à la baisse des apports terrigènes.
- La concentration moyenne de Ca dans les MES, pour cette campagne de juillet-septembre 2015, est quasi-similaire à celle de l'état de référence, par contre les concentrations moyennes en Co, Cr, Fe, Mn et Ni ont été, respectivement, plus élevées d'un facteur 2,2 ; 1,8 ; 1,9 ; 2,4 et 2,6;
- La concentration en soufre dans les MES du Canal de la Havannah de 2776 ± 168 mg/kg est du même ordre que celles analysées en juillet-août 2013 (2656 ± 56 mg/kg) et septembre-octobre 2014 (2805 ± 161 mg/kg). Cette observation montre que l'influence des apports par le diffuseur est probablement minoritaire ;
- Le dépôt de MES le plus important ($6,86$ g ; godet St60-NE-12 ; 30 août-2 septembre) est associé à la plus faible proportion de fraction fine (49,1 %), à la plus basse concentration en Ni et au second plus fort ratio Ca/Fe, ce qui confirme une influence marine amplement prépondérante.
- La plus faible masse de MES collectées de $0,14$ g (25-28 juillet), associée au plus fort enrichissement en Ni et au ratio Ca/Fe le plus bas, traduit une influence marine un peu moins soutenue. Cette plus forte concentration en Ni pourrait signifier une contribution en apports émis par le diffuseur et/ou transportés par des couches néphéloïdes générées par les vents forts, en l'absence de précipitations significatives.
- Pour cette campagne de saison fraîche, la tendance à l'augmentation des flux particuliers moyens est confirmée ; les valeurs de flux moyens ayant progressé par rapport à la campagne de septembre 2014 et montrent la plus forte valeur observée en saison fraîche.
- Il a été montré qu'entre 2011 et 2013, les valeurs moyennes des densités de flux de Ni ont eu tendance à augmenter puis à se stabiliser entre juillet 2013 et septembre 2014. Les campagnes de 2015 marquent une nouvelle tendance à l'augmentation de la densité de flux de Ni.

3. RADE NORD DE PRONY (St15)

Pour la période de juillet-septembre 2015, le contexte hydro-climatique a conduit aux observations suivantes :

- La masse moyenne de MES en St15 est très faible ($0,26 \pm 0,27$ g), bien que légèrement supérieure à celle de septembre-octobre 2014 ($0,18 \pm 0,25$ g).
- Les masses collectées à cette station dépendent de l'intensité des précipitations mais elles sont très influencées par l'orientation et la force des vents qui conditionnent la forme et la trajectoire des panaches, compte tenu de la configuration géomorphologique de cette anse. Il a été observé que peu de MES ont été collectées entre le 17 juillet et le 5 août tandis qu'entre le 6 août et le 2 septembre des masses de MES plus conséquentes ont été récupérées. La variabilité des masses collectées entre ces deux périodes ne peut pas être seulement expliquée par des niveaux de précipitations différents. Ainsi, pour la période du 17 juillet au 5 août, les vents forts ($12,3 \pm 2,8$ m/s) majoritairement orientés SE à E-SE ont probablement

favorisé le confinement des particules le long de la côte nord. Par contre pour la période du 5 août au 2 septembre, les régimes de vents ont montré de nombreux changements de secteurs et ont soufflé modérément à $11,1 \pm 2,4$ m/s, ce qui aurait permis l'expansion du panache vers le large ; la plus faible masse de MES collectée (St15-1) est associée à de faibles précipitations (10,0 mm) et des vents forts ($12,5 \pm 2,4$) de secteur N-NW, puis S-SW à SE et la plus forte a aussi coïncidé avec de faibles précipitations (11,6 mm), mais accompagnées de vents plus faibles ($10,4 \pm 2,6$ m/s) de secteur NE, puis SW à S.

- Les MES collectées sont principalement d'origine terrigène. Elles se caractérisent par une fraction péritique majoritaire dont la teneur moyenne en carbonates est faible ($26,3 \pm 3,2$ % ; proche de celle observée pour la campagne de septembre-octobre 2014) et par de fortes concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni et des ratios Ca/Fe faibles.
- La densité de flux particulaires mesurée en juillet-septembre 2015 reste proche de celle enregistrée lors de l'état de référence de novembre 2006. De même, le flux métallique moyen de Ni pour cette campagne de saison fraîche est proche de celui établi lors de la définition de l'état de référence de mars 2007.

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.

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.

Convention IRD/Goro-Ni, n°2131 : Validation du modèle de transport en phase dissoute par traçage à la rhodamine-WT.

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.

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : AIRE D'ETUDE POUR LE SUIVI DES FLUX VERTICAUX DE PARTICULES ISSUES DU PROCESS DE TRANSFORMATION DU MINERAI DE L'USINE DE PRODUCTION ET DES ACTIVITES D'EXCAVATION DE MINE DE VALE-NC. LE TRAIT ROUGE REPRESENT LE DIFFUSEUR ET LES POINTS ROUGES REPRESENT LA LOCALISATION DES STATIONS DE SURVEILLANCE.....	10
FIGURE 2 : PUISSANCE TYPE DE L'EPaisseur DE MARQUAGE PAR L'EFFLUENT (RHODAMINE-WT) POUR DES CONDITIONS COURANTOLOGIQUES DE MI-MAREES DE	10
FIGURE 3 : ENREGISTREMENT JOURNALIER DES TAUX DE PRECIPITATIONS « RR », DE LA DIRECTION « DXI » ET DE LA VITESSE DES VENTS MAXIMALE INSTANTANEE QUOTIDIENNE « FXI » POUR LA PERIODE DU 17 JUILLET AU 02 SEPTEMBRE 2015.	14
FIGURE 4 : ENREGISTREMENT JOURNALIER DES TAUX DE PRECIPITATIONS « RR », DE LA DIRECTION « DXI » ET DE LA VITESSE DES VENTS MAXIMALE INSTANTANEE QUOTIDIENNE « FXI » POUR LA PERIODE DU 03 OCTOBRE AU 19 SEPTEMBRE 2015.....	15
FIGURE 5 : MASSES COLLECTEES DANS LES 12 GODETS DU PIEGE SEQUENTIEL A PARTICULES MOUILLE DU 3 OCTOBRE AU 19 NOVEMBRE 2015 EN BAIE KWE (St06-KW1).	16
FIGURE 6 : POURCENTAGE DES FRACTIONS FINES ET DES FRACTIONS GROSSIERES DANS LES 12 GODETS DU PIEGE SEQUENTIEL A PARTICULES MOUILLE DU 3 OCTOBRE AU 19 NOVEMBRE 2015 EN BAIE KWE (St06-KW1).....	17
FIGURE 7 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DES POPULATIONS DE GRAINS DE LA FRACTION PELITIQUE DES MES COLLECTEES PAR LE PIEGE SEQUENTIEL A PARTICULES, ENTRE LE 3 OCTOBRE ET LE 19 NOVEMBRE 2015 EN BAIE KWE.	17
FIGURE 8 : TENEURS EN CARBONATES DANS LA FRACTION PELITIQUE DES MES COLLECTEES EN BAIE KWE PAR LE PIEGE SEQUENTIEL A PARTICULES, ENTRE LE 3 OCTOBRE ET LE 19 NOVEMBRE 2015.....	18
FIGURE 9 : MASSES COLLECTEES DANS LES 12 GODETS DU PIEGE SEQUENTIEL A PARTICULES MOUILLE DU 17 JUILLET AU 2 SEPTEMBRE 2015 DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH (St60-NE).	19
FIGURE 10 : POURCENTAGE DES FRACTIONS FINES ET DES FRACTIONS GROSSIERES DANS LES 12 GODETS DU PIEGE SEQUENTIEL A PARTICULES MOUILLE DU 17 JUILLET AU 2 SEPTEMBRE 2015 DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH (St60-NE).	19
FIGURE 11 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DES POPULATIONS DE GRAINS DE LA FRACTION PELITIQUE DES MES COLLECTEES PAR LE PIEGE SEQUENTIEL A PARTICULES, ENTRE LE 17 JUILLET ET LE 2 SEPTEMBRE 2015 DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH (St60-NE).....	20
FIGURE 12 : TENEUR EN CARBONATES DANS LA FRACTION PELITIQUE DES MES COLLECTEES PAR LE PIEGE SEQUENTIEL A PARTICULES DU 17 JUILLET AU 2 SEPTEMBRE 2015 DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH.	21
FIGURE 13 : MASSES COLLECTEES DANS LES 12 GODETS DU PIEGE SEQUENTIEL A PARTICULES MOUILLE DU 17 JUILLET AU 2 SEPTEMBRE 2015 DANS LA RADE NORD DE PRONY (St15).	22
FIGURE 14 : POURCENTAGE DES FRACTIONS FINES ET DES FRACTIONS GROSSIERES DANS LES 12 GODETS DU PIEGE SEQUENTIEL A PARTICULES MOUILLE DU 17 JUILLET AU 2 SEPTEMBRE 2015 DANS LA RADE NORD DE PRONY (St15).....	22
FIGURE 15 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DES POPULATIONS DE GRAINS COLLECTES PAR LE PIEGE SEQUENTIEL A PARTICULES, ENTRE LE 17 JUILLET ET LE 2 SEPTEMBRE 2015 DANS LA RADE NORD DE PRONY (St15)	23
FIGURE 16 : TENEURS EN CARBONATES DANS LA FRACTION PELITIQUE DES MES COLLECTEES PAR LE PIEGE SEQUENTIEL A PARTICULES DU 17 JUILLET AU 2 SEPTEMBRE 2015 DANS LA RADE NORD DE PRONY (St15).	23
FIGURE 17 : NORMALISATION DES CONCENTRATIONS EN CALCIUM PAR LE FER POUR LES MES COLLECTEES EN BAIE KWE (St06-KW1) ENTRE LE 3 OCTOBRE ET LE 19 NOVEMBRE 2015.	26
FIGURE 18 : NORMALISATION DES CONCENTRATIONS EN CALCIUM PAR LE FER POUR LES MES COLLECTEES DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH (St60-NE) ENTRE LE 17 JUILLET ET LE 2 SEPTEMBRE 2015.	28
FIGURE 19 : CONCENTRATION DU SOUFRE DANS LES PARTICULES COLLECTEES PAR LES GODETS DU PIEGE SEQUENTIEL MOUILLE ENTRE LE 17 JUILLET ET LE 2 SEPTEMBRE 2015 DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH (St60-NE).	29
FIGURE 20 : NORMALISATION DES CONCENTRATIONS EN CALCIUM PAR LE FER POUR LES MES COLLECTEES DANS LA RADE NORD DE PRONY (St15) ENTRE LE 17 JUILLET ET LE 2 SEPTEMBRE 2015.....	30

FIGURE 21 : DIAGRAMME COMBINE POUR LA STATION St06-KW1 : 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 3 OCTOBRE AU 19 NOVEMBRE 2015.	36
FIGURE 22 : DIAGRAMME COMBINE POUR LA STATION St60-NE : 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 17 JUILLET AU 2 SEPTEMBRE 2015.	37
FIGURE 23 : 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 17 JUILLET AU 2 SEPTEMBRE 2015.	38
FIGURE 24 : 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 2006 ET 2007 (DEFINITION DE L'ETAT DE REFERENCE).	41

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) ET EN RADE NORD DE PRONY (St15). CES COORONNEES 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 St60-NE) ET PERIODES DE COLLECTE DE JUILLET-SEPTEMBRE ET OCTOBRE-NOVEMBRE 2015.	11
TABLEAU 3 : COMPOSITION MINERALOGIQUE DE LA FRACTION PELITIQUE DES MES COLLECTEES EN BAIE KWE (STATION St06-KW1) PAR LE PIEGE A PARTICULES, DU 3 OCTOBRE AU 19 NOVEMBRE 2015.	18
TABLEAU 4 : CONCENTRATIONS MOYENNES, ECART-TYPES ET VALEURS EXTREMES DES CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM DANS LES MES COLLECTEES EN BAIE KWE ENTRE LE 3 OCTOBRE ET LE 19 NOVEMBRE 2015 (STATION St06-KW1 ; n=12).	25
TABLEAU 5 : 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 JUILLET -AOUT 2013, DE SEPTEMBRE-OCTOBRE 2014 ET D'OCTOBRE-NOVEMBRE 2015.	25
TABLEAU 6 : MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS DES CONCENTRATIONS DE METAUX ET DU CALCIUM DANS LES MES COLLECTEES EN BAIE KWE ENTRE LE 3 OCTOBRE ET LE 19 NOVEMBRE 2015 (STATION St06-KW1 ; n=12).	26
TABLEAU 7 : EVOLUTION TEMPORELLE ENTRE 2011 ET 2015 DU RATIO MOYEN Ca/Fe DANS LES MES COLLECTEES AU NIVEAU DE LA STATION St06-KW1 AUX COURS DE DIFFERENTES CAMPAGNES. COMPARAISON AVEC LES VALEURS DE L'ETAT DE REFERENCE 2007/2008.	27
TABLEAU 8 : CONCENTRATIONS MOYENNES, ECART-TYPES ET VALEURS EXTREMES DES CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM DANS LES MES COLLECTEES DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH DU 17 JUILLET AU 2 SEPTEMBRE 2015 (STATION St60-NE ; n=12).	27
TABLEAU 9 : CONCENTRATIONS MOYENNES EN METAUX ET CALCIUM DANS LES MES COLLECTEES DANS LE CANAL HAVANNAH LORS DE LA DEFINITION DE L'ETAT DE REFERENCE DE 2007, ET POUR LES CAMPAGNES DE JUILLET-AOUT 2013, SEPTEMBRE-OCTOBRE 2014 ET JUILLET-SEPTEMBRE 2015.	28
TABLEAU 10 : MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS DES CONCENTRATIONS DE METAUX ET DU CALCIUM DANS LES MES COLLECTEES DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH ENTRE LE 17JUILLET ET LE 2 SEPTEMBRE 2015 (STATION St60-NE ; n=12).	28
TABLEAU 11 : EVOLUTION TEMPORELLE ENTRE 2011 ET 2015 DU RATIO MOYEN Ca/Fe DANS LES MES COLLECTEES AU NIVEAU DE LA STATION St60-NE. COMPARAISON AVEC LES VALEURS DE L'ETAT DE REFERENCE 2007/2008.	29
TABLEAU 12 : CONCENTRATIONS MOYENNES, ECART-TYPES ET VALEURS EXTREMES DES CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM DANS LES MES COLLECTEES DANS LA RADE NORD ENTRE LE 17 JUILLET ET LE 2 SEPTEMBRE 2015 (STATION St15 ; n=7).	30
TABLEAU 13 : CONCENTRATIONS MOYENNES EN METAUX ET CALCIUM DANS LES MES COLLECTEES DANS LA RADE NORD LORS DE L'ETAT DE REFERENCE DE MARS 2007, ET LORS DES CAMPAGNES DE JUILLET-AOUT 2014 ET JUILLET-SEPTEMBRE 2015.	30
TABLEAU 14 : EVOLUTION TEMPORELLE ENTRE 2014 ET 2015 DU RATIO MOYEN Ca/Fe DANS LES MES AU NIVEAU DE LA STATION St15. COMPARAISON AVEC LES VALEURS DE L'ETAT DE REFERENCE DE 2007.	30
TABLEAU 15 : 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 OCTOBRE 2015 ; COMPARAISON AVEC LES VALEURS MESUREES EN 2006 ET 2007 (ETATS DE REFERENCE).	39
TABLEAU 16 : 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 JUILLET 2015 ; COMPARAISON AVEC LES VALEURS MESUREES EN 2006 ET 2007 (ETATS DE REFERENCE).	40
TABLEAU 17 : 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 JANVIER 2014 A JUILLET 2015 ; COMPARAISON AVEC LES VALEURS MESUREES EN 2006 ET 2007 (ETATS DE REFERENCE).	40

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 DES CALCULS DES VALEURS DE DENSITE DE FLUX EN MES ET EN METAUX.

VALEURS MINIMALES ET MAXIMALES DES DENSITES DE FLUX EN ELEMENTS METALLIQUES ET CALCIUM ($\text{MG}/\text{M}^2/\text{J}$) AU NIVEAU DES STATIONS St06-KW1 (BAIE KWE), St60-NE (CANAL DE LA HAVANNAH) ET St15 (RADE NORD).

VALEURS MINIMALES, MAXIMALES ET MOYENNE DES DENSITES DE FLUX EN ELEMENTS METALLIQUES ET CALCIUM ($\text{MG}/\text{M}^2/\text{J}$) 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 (2006-2007).

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 particules.

Annexe 2

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

Date	Pluie (mm)	Vitesse du vent (m/s)	Direction du vent (°)	Date	Pluie (mm)	Vitesse du vent (m/s)	Direction du vent (°)
17/07/2015	2,6	15,5	340	03/10/2015	5,6	14,5	150
18/07/2015	7,4	12,5	210	04/10/2015	0	13,2	140
19/07/2015	0,0	9,5	130	05/10/2015	0,0	11,6	130
20/07/2015	0	12,5	130	06/10/2015	0	12,1	90
21/07/2015	0,6	14,4	110	07/10/2015	0	14	100
22/07/2015	7,2	15,5	120	08/10/2015	0	15,1	130
23/07/2015	0,8	14	80	09/10/2015	2,8	16,4	100
24/07/2015	11,5	11,9	110	10/10/2015	0	16,8	120
25/07/2015	0,6	11,4	100	11/10/2015	0,2	14,8	80
26/07/2015	0	8,5	50	12/10/2015	0,4	14	130
27/07/2015	0,0	8,5	90	13/10/2015	11,6	15,8	110
28/07/2015	2	8,6	130	14/10/2015	0	17,2	130
29/07/2015	2,2	12	130	15/10/2015	1	14,9	140
30/07/2015	3	13,3	130	16/10/2015	2,2	16,1	70
31/07/2015	1,6	12,5	110	17/10/2015	17,2	16	100
01/08/2015	11,9	14,8	120	18/10/2015	30,4	21,7	120
02/08/2015	0,4	15,9	110	19/10/2015	11	19,2	100
03/08/2015	0,2	15	110	20/10/2015	3,6	13	120
04/08/2015	1,6	12,9	80	21/10/2015	5,8	11,9	110
05/08/2015	0	6,2	240	22/10/2015	1,6	9,3	100
06/08/2015	0	9,9	180	23/10/2015	0	8,6	140
07/08/2015	1,2	8,8	230	24/10/2015	0	8,1	190
08/08/2015	0,6	11,8	200	25/10/2015	5,6	7,3	190
09/08/2015	0,2	10,8	270	26/10/2015	0	8,7	130
10/08/2015	0,4	9,7	210	27/10/2015	1,4	10,5	100
11/08/2015	0	8,8	190	28/10/2015	0	10,8	100
12/08/2015	0,0	10,1	100	29/10/2015	5,8	10,3	200
13/08/2015	0	8,9	40	30/10/2015	0,2	11,9	190
14/08/2015	3	10,9	190	31/10/2015	0,6	12	160
15/08/2015	2,6	9,9	190	01/11/2015	0,6	11	110
16/08/2015	0	8,3	160	02/11/2015	0	11,5	110
17/08/2015	1,2	9,4	110	03/11/2015	0	8,2	140
18/08/2015	1,8	10	70	04/11/2015	0	9,9	100
19/08/2015	5,6	12,2	140	05/11/2015	0	8,1	230
20/08/2015	6,6	18,1	120	06/11/2015	0,0	11,6	130
21/08/2015	2,4	14,9	140	07/11/2015	0	12,2	110
22/08/2015	3,2	11,9	100	08/11/2015	0	12,8	100

Date	Pluie (mm)	Vitesse du vent (m/s)	Direction du vent (°)
23/08/2015	0	13,1	110
24/08/2015	0,4	11	100
25/08/2015	0	10,1	80
26/08/2015	0	10,8	100
27/08/2015	0,6	14,7	90
28/08/2015	1,0	14,3	100
29/08/2015	0	10,9	70
30/08/2015	0,8	11	40
31/08/2015	10,8	13,8	40
01/09/2015	0	8	220
02/09/2015	0	8,7	190

Date	Pluie (mm)	Vitesse du vent (m/s)	Direction du vent (°)
09/11/2015	0	11,1	90
10/11/2015	0	10,6	120
11/11/2015	0	9,5	100
12/11/2015	0,2	9,4	210
13/11/2015	0	10,6	140
14/11/2015	0,0	12	90
15/11/2015	0	10,8	70
16/11/2015	0	11,4	70
17/11/2015	0	8	100
18/11/2015	35,5	13,8	140
19/11/2015	5,6	14,8	110

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.

MASSE DE MES COLLECTEE

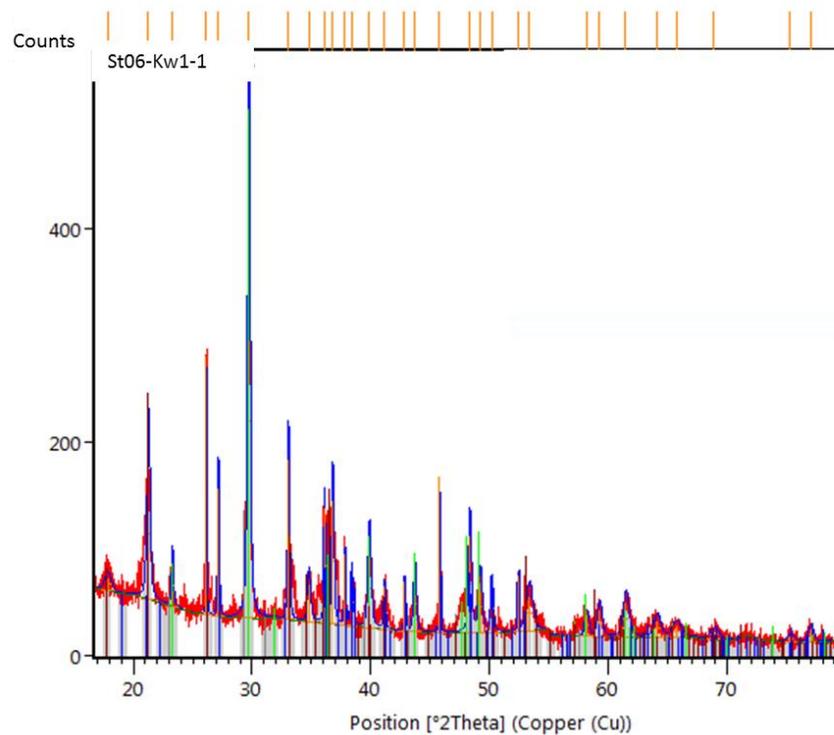
PERIODE DE COLLECTE	ECHANTILLON	MASSE COLLECTEE (g)	ECHANTILLON	MASSE COLLECTEE (g)
17-20 juillet 2015	St15-1	0,04	St60-NE-1	1,40
21-24 juillet 2015	St15-2	0,08	St60-NE -2	0,33
25-28 juillet 2015	St15-3	0,06	St60-NE -3	0,14
29 juillet- 1 août 2015	St15-4	0,06	St60-NE -4	1,02
2-5 août 2015	St15-5	0,07	St60-NE -5	1,50
6-9 août 2015	St15-6	0,13	St60-NE -6	1,04
10-13 août 2015	St15-7	0,32	St60-NE -7	1,38
14-17 août 2015	St15-8	0,30	St60-NE -8	1,91
18-21 août 2015	St15-9	0,41	St60-NE -9	1,93
22-25 août 2015	St15-10	0,27	St60-NE -10	2,09
26-29 août 2015	St15-11	0,42	St60-NE -11	4,11
30 août- 02 septembre 2015	St15-12	0,98	St60-NE -12	6,86

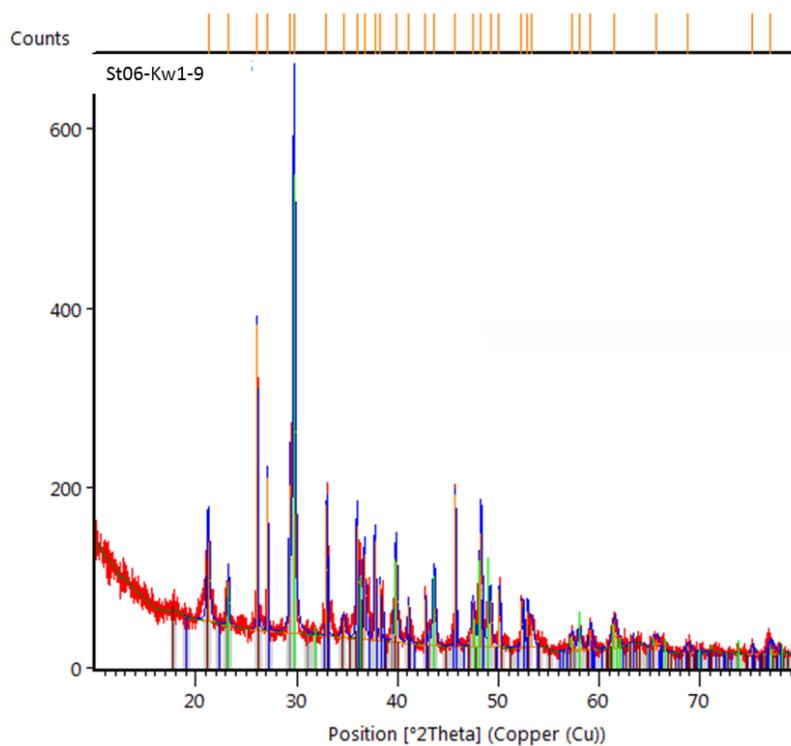
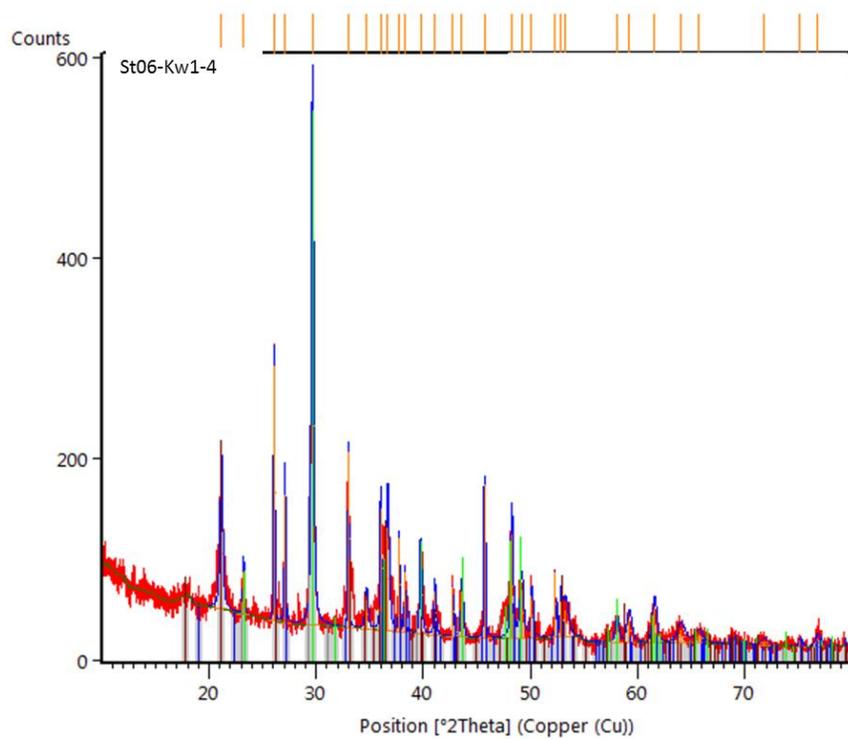
PERIODE DE COLLECTE	ECHANTILLON	MASSE COLLECTEE (g)
3-6 octobre 2015	St06-KW1-1	15,96
7-10 octobre 2015	St06-KW1-2	9,24
11-14 octobre 2015	St06-KW1-3	6,46
15-18 octobre 2015	St06-KW1-4	23,26
19-22 octobre 2015	St06-KW1-5	8,01
23-26 octobre 2015	St06-KW1-6	7,49
27-30 octobre 2015	St06-KW1-7	4,60
31-3 novembre 2015	St06-KW1-8	2,76
4-7 novembre 2015	St06-KW1-9	2,88
8-11 novembre 2015	St06-KW1-10	4,63
12- 15 novembre 2015	St06-KW1-11	3,77
16-19 novembre 2015	St06-KW1-12	4,17

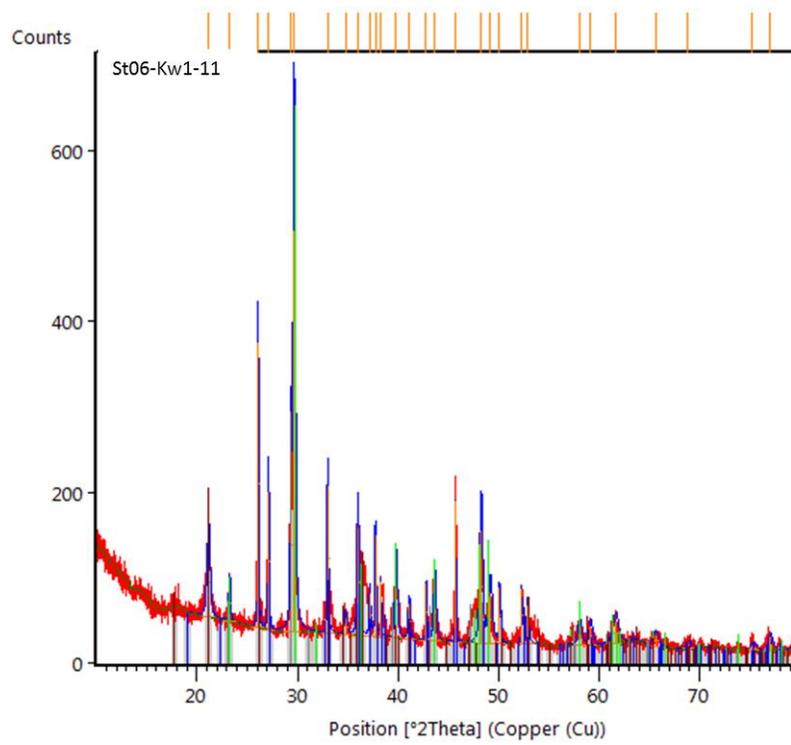
COMPOSITION GRANULOMETRIQUE

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 -1	7,2	34,6	26,4	7,2	5,7	11,6	7,3
St60-NE -6	16,0	48,1	24,0	4,6	2,4	0,9	4,0
St60-NE -8	9,2	41,3	26,7	7,1	5,5	8,6	1,5
St60-NE -11	17,9	53,5	19,9	3,4	1,5	0,2	3,5
St15-7	21,7	61,0	11,5	2,1	1,5	2,2	0,0
St15-8	20,9	60,0	13,7	2,4	1,4	1,4	0,1
St15-9	19,1	45,4	11,7	3,2	2,9	9,8	8,0
St15-10	13,7	46,7	16,1	5,2	5,2	13,1	0,1
St06-KW1-3	10,4	42,1	26,0	7,2	5,8	8,2	0,2
St06-KW1-5	9,5	40,1	27,6	8,0	6,4	8,5	0,0
St06-KW1-7	16,9	54,0	22,0	3,8	2,1	0,9	0,3
St06-KW1-11	5,4	38,2	27,6	7,6	6,0	10,1	5,2

DIFFRACTOGRAMME DES MES DE LA BAIE KWE (ST06)







TENEURS EN CARBONATES

PERIODE DE COLLECTE	St06-KW1	
	ECHANTILLON	CaCO ₃ (%)
3-6 octobre 2015	St06-KW1-1	43,6
7-10 octobre 2015	St06-KW1-2	47,5
11-14 octobre 2015	St06-KW1-3	46,2
15-18 octobre 2015	St06-KW1-4	46,1
19-22 octobre 2015	St06-KW1-5	43,4
23-26 octobre 2015	St06-KW1-6	44,6
27-30 octobre 2015	St06-KW1-7	52,6
31-3 novembre 2015	St06-KW1-8	51,0
4-7 novembre 2015	St06-KW1-9	44,8
8-11 novembre 2015	St06-KW1-10	45,5
12- 15 novembre 2015	St06-KW1-11	43,7
16-19 novembre 2015	St06-KW1-12	50,4

PERIODE DE COLLECTE	St60-NE		St15	
	ECHANTILLON	CaCO ₃ (%)	ECHANTILLON	CaCO ₃ (%)
17-20 juillet 2015	St60-NE-1	90,6	St15-1	ND
21-24 juillet 2015	St60-NE -2	83,3	St15-2	ND
25-28 juillet 2015	St60-NE -3	95,5	St15-3	ND
29 juillet- 1 août 2015	St60-NE -4	98,4	St15-4	ND
2-5 août 2015	St60-NE -5	98,2	St15-5	ND
6-9 août 2015	St60-NE -6	94,2	St15-6	24,9
10-13 août 2015	St60-NE -7	94,5	St15-7	24,7
14-17 août 2015	St60-NE -8	94,6	St15-8	20,5
18-21 août 2015	St60-NE -9	91,6	St15-9	27,9
22-25 août 2015	St60-NE -10	89,3	St15-10	27,4
26-29 août 2015	St60-NE -11	81,3	St15-11	29,4
30 août- 02 septembre 2015	St60-NE -12	82,7	St15-12	29,3

ND : Non disponible par manque de matière pour la réalisation des analyses

**OBSERVATIONS AU MICROSCOPE OPTIQUE DE FRACTION DE DIAMETRE SUPERIEUR A 41 μ M
(GROSSISSEMENT X 3,5)**



St06-KW1-4



St06-KW1-11

Matières en suspension collectées dans les godets St06-KW1-4 et St06-KW1-11 : Présence de nombreuses particules carbonatées (tests d'organismes invertébrés marins plus ou moins fortement altérés) et de particules latéritiques de couleur brune. La quantité de particules carbonatées est importante malgré la proximité de l'embouchure de la Kwé.

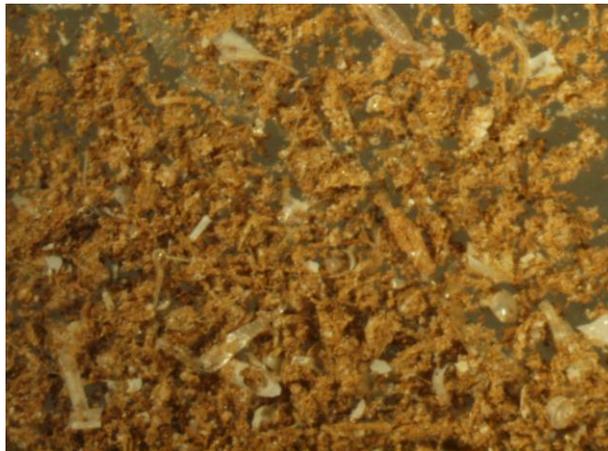


St60-NE-3



St60-NE-12

Matières en suspension collectées dans les godets St60-NE-3 et St60-NE-12 : Présence de nombreux débris de tests de microorganismes marins ou de micro-coquillages dans un état d'altération faible.



ST15-11

Matières en suspension collectées au niveau de l'embouchure du creek de la Rade Nord par le godet St15-11. 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 (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)	Mg (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)
3-6 octobre 2015	St06-KW1-1	151 000	171	5 839	144 895	16 972	1 461	2 682
7-10 octobre 2015	St06-KW1-2	166 560	135	5 227	123 402	16 902	1 174	2 203
11-14 octobre 2015	St06-KW1-3	162 113	134	4 775	123 041	16 487	1 159	2 267
15-18 octobre 2015	St06-KW1-4	160 722	153	6 635	134 563	17 160	1 265	2 429
19-22 octobre 2015	St06-KW1-5	153 424	119	4 746	106 676	14 664	995	1 940
23-26 octobre 2015	St06-KW1-6	158 872	104	4 125	97 397	14 268	897	1 830
27-30 octobre 2015	St06-KW1-7	187 897	85,8	3 333	83 687	16 353	778	1 571
31-3 novembre 2015	St06-KW1-8	182 524	79,9	2 964	81 482	15 709	746	1 527
4-7 novembre 2015	St06-KW1-9	160 794	79,4	2 950	82 682	13 449	739	1 575
8-11 novembre 2015	St06-KW1-10	163 824	79,5	2 948	83 154	13 313	714	1 587
12- 15 novembre 2015	St06-KW1-11	157 682	67,3	2 682	72 256	12 384	613	1 352
16-19 novembre 2015	St06-KW1-12	181 306	82,5	3 290	86 190	14 841	744	1 625

PERIODE DE COLLECTE	St60-NE							
	ECHANTILLON	Ca (mg/kg)	Co (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)
17-20 juillet 2015	St60-NE1	337 851	24,5	733	23 332	17 923	299	427
21-24 juillet 2015	St60-NE2	309 399	21,0	657	21 333	17 366	254	374
25-28 juillet 2015	St60-NE3	350 681	29,3	855	27 354	22 821	331	496
29 juillet- 1 août 2015	St60-NE4	369 812	23,0	677	22 512	17 457	291	410
2-5 août 2015	St60-NE5	369 554	21,4	649	20 414	17 137	253	400
6-9 août 2015	St60-NE6	352 791	23,9	679	22 121	17 535	279	398
10-13 août 2015	St60-NE7	353 861	25,9	688	22 026	17 562	300	401
14-17 août 2015	St60-NE8	353 757	29,3	704	22 799	17 896	317	420
18-21 août 2015	St60-NE9	342 011	28,0	716	22 969	17 903	311	425
22-25 août 2015	St60-NE10	332 500	31,1	755	25 154	17 982	361	465
26-29 août 2015	St60-NE11	302 818	29,9	705	23 406	16 446	345	441
30 août- 02 septembre 2015	St60-NE12	309 389	20,3	601	18 115	15 719	239	340

PERIODE DE COLLECTE	St15							
	ECHANTILLON	Ca (mg/kg)	Co (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)
17-20 juillet 2015	St60-NE1	ND						
21-24 juillet 2015	St60-NE2	ND						
25-28 juillet 2015	St60-NE3	ND						
29 juillet- 1 août 2015	St60-NE4	ND						
2-5 août 2015	St60-NE5	ND						
6-9 août 2015	St60-NE6	77 986	230	7 805	180 327	15 539	2 270	2 671
10-13 août 2015	St60-NE7	79 927	242	8 330	183 968	13 724	2 379	2 856
14-17 août 2015	St60-NE8	67 343	189	6 444	147 812	10 715	1 743	2 252
18-21 août 2015	St60-NE9	91 912	240	8 323	182 010	14 383	2 233	2 964
22-25 août 2015	St60-NE10	89 225	238	8 512	181 919	14 831	2 234	2 904
26-29 août 2015	St60-NE11	95 844	226	8 367	182 091	15 852	2 042	2 923
30 août- 02 septembre 2015	St60-NE12	96 742	233	8 333	184 132	14 854	2 135	2 686

ND : Non disponible car les analyses n'ont pas pu être réalisées suite à un manque de matière

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).

Flux de MES

PERIODE DE COLLECTE	St06-KW1	
	Echantillon	Flux MES (g/m ² /j)
3-6 octobre 2015	St06-KW1-1	79,8
7-10 octobre 2015	St06-KW1-2	46,2
11-14 octobre 2015	St06-KW1-3	32,3
15-18 octobre 2015	St06-KW1-4	116,3
19-22 octobre 2015	St06-KW1-5	40,0
23-26 octobre 2015	St06-KW1-6	37,5
27-30 octobre 2015	St06-KW1-7	23,0
31-3 novembre 2015	St06-KW1-8	13,8
4-7 novembre 2015	St06-KW1-9	14,4
8-11 novembre 2015	St06-KW1-10	23,1
12- 15 novembre 2015	St06-KW1-11	18,9
16-19 novembre 2015	St06-KW1-12	20,9

PERIODE DE COLLECTE	St15		St60-NE	
	Echantillon	Flux MES (g/m ² /j)	Echantillon	Flux MES (g/m ² /j)
17-20 juillet 2015	St15-1	0,2	St60-NE-1	7,0
21-24 juillet 2015	St15-2	0,4	St60-NE-2	1,7
25-28 juillet 2015	St15-3	0,3	St60-NE-3	0,7
29 juillet- 1 août 2015	St15-4	0,3	St60-NE-4	5,1
2-5 août 2015	St15-5	0,4	St60-NE-5	7,5
6-9 août 2015	St15-6	0,7	St60-NE-6	5,2
10-13 août 2015	St15-7	1,6	St60-NE-7	6,9
14-17 août 2015	St15-8	1,5	St60-NE-8	9,5
18-21 août 2015	St15-9	2,1	St60-NE-9	9,7
22-25 août 2015	St15-10	1,3	St60-NE-10	10,5
26-29 août 2015	St15-11	2,1	St60-NE-11	20,6
30 août- 02 septembre 2015	St15-12	4,9	St60-NE-12	34,3

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)
3-6 octobre 2015	St06-KW1-1	12 048	13,6	466	11 560	117	214
7-10 octobre 2015	St06-KW1-2	7 696	6,2	242	5 702	54	102
11-14 octobre 2015	St06-KW1-3	5 236	4,3	154	3 974	37	73
15-18 octobre 2015	St06-KW1-4	18 688	17,8	771	15 646	147	282
19-22 octobre 2015	St06-KW1-5	6 141	4,8	190	4 270	40	78
23-26 octobre 2015	St06-KW1-6	5 952	3,9	155	3 649	34	69
27-30 octobre 2015	St06-KW1-7	4 318	2,0	77	1 923	18	36
31-3 novembre 2015	St06-KW1-8	2 517	1,1	41	1 124	10	21
4-7 novembre 2015	St06-KW1-9	2 312	1,1	42	1 189	11	23
8-11 novembre 2015	St06-KW1-10	3 791	1,8	68	1 924	17	37
12- 15 novembre 2015	St06-KW1-11	2 972	1,3	51	1 362	12	25
16-19 novembre 2015	St06-KW1-12	3 783	1,7	69	1 798	16	34

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)
17-20 juillet 2015	St60-NE-1	2 368	0,2	5,1	164	2,1	3,0
21-24 juillet 2015	St60-NE-2	512	0,0	1,1	35	0,4	0,6
25-28 juillet 2015	St60-NE-3	245	0,0	0,6	19	0,2	0,3
29 juillet- 1 août 2015	St60-NE-4	1 877	0,1	3,4	114	1,5	2,1
2-5 août 2015	St60-NE-5	2 777	0,2	4,9	153	1,9	3,0
6-9 août 2015	St60-NE-6	1 838	0,1	3,5	115	1,5	2,1
10-13 août 2015	St60-NE-7	2 443	0,2	4,8	152	2,1	2,8
14-17 août 2015	St60-NE-8	3 370	0,3	6,7	217	3,0	4,0
18-21 août 2015	St60-NE-9	3 302	0,3	6,9	222	3,0	4,1
22-25 août 2015	St60-NE-10	3 475	0,3	7,9	263	3,8	4,9
26-29 août 2015	St60-NE-11	6 226	0,6	14,5	481	7,1	9,1
30 août- 02 septembre 2015	St60-NE-12	10 615	0,7	20,6	622	8,2	11,7

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)
17-20 juillet 2015	St15-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
21-24 juillet 2015	St15-2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
25-28 juillet 2015	St15-3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
29 juillet- 1 août 2015	St15-4	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2-5 août 2015	St15-5	ND	ND	ND	ND	ND	ND
6-9 août 2015	St15-6	51	0,1	5,1	117	1,5	1,7
10-13 août 2015	St15-7	128	0,4	13,4	295	3,8	4,6
14-17 août 2015	St15-8	101	0,3	9,7	222	2,6	3,4
18-21 août 2015	St15-9	189	0,5	17,1	374	4,6	6,1
22-25 août 2015	St15-10	120	0,3	11,4	244	3,0	3,9
26-29 août 2015	St15-11	199	0,5	17,4	379	4,2	6,1
30 août- 02 septembre 2015	St15-12	475	1,1	40,9	904	10,5	13,2

ND : non déterminé en raison des trop faibles masses collectées

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
Saison fraîche octobre-novembre 2015	Min	2312	1,10	40,9	1124	10,3	21,1
	Max	18 688	17,8	771	15 646	147	282

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
Saison fraîche Juillet-septembre 2015	Min	245	0,02	0,6	19,1	0,2	0,3
	Max	10615	0,7	20,6	622	8,2	11,7

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
Saison fraîche Juillet-septembre 2015	Min	51	0,15	5,1	117	1,5	1,7
	Max	475	1,1	40,9	904	10,5	13,2

Valeurs minimales, maximales et moyennes des densités de flux en éléments métalliques et calcium ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{j}$) 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 (2006-2007).

ST06-KW1		DENSITE DE FLUX EN ELEMENTS ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{j}$)					
		Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Saison fraiche nov-déc 2006	Min	1 781	0,3	11,8	515	0,9	8,6
	Max	8 957	1,5	63,4	2 739	6,3	45,8
Saison chaude mars-avril 2007	Min	4 953	0,6	25,2	1 105	1,1	18,7
	Max	1 1267	1,5	67,1	2 927	7,1	49,5

T4C ET T4B		DENSITE DE FLUX EN ELEMENTS ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{j}$)					
		Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Saison chaude février/mars 2007	Min	2 057	1,30	0,17	106	13,1	1,6
	Max	42 564	1,39	0,97	1700	13,8	26,7
Saison fraiche nov-dec 2007	Min	611	0,25	0,05	26	-	0,4
	Max	8 418	0,51	9,14	540	-	11,0

ST15		DENSITE DE FLUX EN ELEMENTS ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{j}$)					
		Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Saison chaude mars-avril 2007	Moyenne	494	0,4	0,4	350	3	5