



SUIVI DES DENSITES DE FLUX VERTICAUX DES PARTICULES DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH, LA BAIE KWE ET LA RADE NORD DE PRONY

CAMPAGNE 1^{ER} SEMESTRE 2017



« *Analyses des métaux dans
l'environnement et expertises* »

Rapport semestriel
Avril à mai 2017

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

CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL-LEA

Contrat AEL 139-VI-17-P

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

Campagne 1^{er} semestre 2017

Période d'avril à mai 2017

Kumar-Roiné S., Moreton B., Laurent A., Pluchino S., Fernandez JM.

	Ref AEL	Ref Client	
Identification	139-VI-17-P	E98084/0003	
Titre complet	Suivi des densités de flux verticaux des particules dans le Canal de la Havannah, la Baie Kwé et la Rade Nord de Prony. Campagne 1 ^{er} semestre 2017. Période d'avril à mai 2017.		
Auteurs	Kumar-Roiné S., Moreton B., Laurent A., Pluchino S., Fernandez JM.		
Résumé	<p>Dans le but de se conformer au plan de suivi règlementaire du milieu marin, il a été mis en place un programme de suivi pour un certain nombre de paramètres qui caractérisent la qualité des sédiments dont les densités de flux verticaux de particules depuis 2006/2007. Ce rapport présente les résultats des campagnes de prélèvement du 1^{er} semestre 2017 (avril-mai) effectuées dans la zone d'effluence du complexe minier et industriel de Vale-NC. Le programme de surveillance semestriel du milieu marin est réalisé sur un total de 3 stations dont la répartition a été révisée en 2014. A ce jour, les stations sont réparties en Baie Kwé (St06-KW1), en Rade Nord de la Baie du Prony (St15) et dans le Canal de la Havannah (St60-NE).</p> <p>Cette campagne conforte les observations des campagnes précédentes établissant une relation entre les conditions météorologiques et les densités des flux verticaux, notamment les précipitations pour la St15 <i>via</i> l'érosion et le transport des sols par le Creek de la Rade Nord et les précipitations et/ou vents des régimes S pour la St06-KW1 <i>via</i> l'effet de houle et de re-suspension des particules fines sédimentées dans la Baie Kwé qui s'en suit. Pour la St60-NE, aucune corrélation pertinente ne se dégage ; les panaches latéritiques, beaucoup plus dilués à cette station, seraient conditionnés par un ensemble de mécanismes qu'il n'est pas encore possible d'expliquer.</p> <p>Les évolutions des concentrations en métaux latéritiques en St60-NE ainsi que des ratios Ca/Fe en St60-NE et St06-KW1 pour cette campagne par rapport celle de 2007 mettent en évidence un enrichissement du Canal de la Havannah et de la Baie de Kwé en matières latéritiques. Pour la St15, les concentrations en métaux latéritiques et le ratio de Ca/Fe restent invariables.</p> <p>En ce qui concerne les concentrations de Ca et S, aucune trace d'enrichissement anormal n'est discernée à St60-NE permettant de déceler l'influence de l'effluent sur la formation de gypse.</p>		
APPROBATION			
FONCTION	NOMS	VISA	DATE
Rédacteur	Kumar-Roiné S.	SKR	25/09/2017
Vérificateur 1	Fernandez JM.	JMFA	25/09/2017
Vérificateur 2	-	-	-
Approbateur	Fernandez JM.	JMFA	27/09/2017
EVOLUTION			
VERSION	DESCRIPTION DES MISES A JOUR		DATE
V1.1	Rapport final		12/10/2017
COPIE – DIFFUSION			
NOM	ORGANISME		
Céline Casalis	Vale-NC, Département Environnement		

Ce rapport est cité comme suit : Kumar-Roiné S., Moreton B., Laurent A., Fernandez JM. 2017. Suivi des densités de flux verticaux des particules dans la Canal de la Havannah, la Baie Kwé et la Rade Nord de Prony. Campagne 1^{er} semestre 2017. Période d'avril à mai 2017. Contrat AEL/Vale-NC139-VI-17-P/E98084/0003, 69p.

TABLE DES MATIERES

I.	INTRODUCTION	7
A.	CONTEXTE	7
B.	OBJECTIFS.....	7
II.	METHODOLOGIE	9
A.	SITE D'ETUDE	9
B.	ECHANTILLONNAGE	11
C.	CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES	12
III.	RESULTATS.....	13
A.	PARAMETRES METEOROLOGIQUES	13
B.	CARACTERISATION DES MATIERES EN SUSPENSION.....	15
C.	COMPOSITION GEOCHIMIQUE DES MATIERES EN SUSPENSION.....	26
IV.	INTERPRETATION	34
A.	INFLUENCE DES FACTEURS METEOROLOGIQUES.....	34
B.	CALCUL DES FLUX DES MATIERES.....	44
	SYNTHESE.....	47

I. INTRODUCTION

A. CONTEXTE

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 (Fernandez *et al.*, 2007), et d'autre part, elle assure la continuité du suivi depuis 2011 pour le Canal de la Havannah et la Baie Kwé et depuis 2014 pour la Rade Nord (Achard *et al.*, 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 en Baie Kwé et de l'usine dans la Rade Nord de Prony ; et
- D'autre part, persistantes dans les effluents industriels traités et rejetés dans le Canal de la Havannah *via* le diffuseur.

B. OBJECTIFS

Selon les zones d'étude, 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.

Le suivi de la zone du Canal de la Havannah 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. Ce phénomène pourrait entraîner (par précipitation, co-précipitation et adsorption) une fraction non négligeable des métaux à la surface des sédiments.

Remarque : Les expériences de laboratoire et la modélisation associée ont montré que seule une formation quantitativement négligeable de précipités de calcite devrait se produire (Bodeř et Pointeau, 2009). La mesure in-situ permet de discuter de cette hypothèse, dans l'état actuel du niveau des rejets.

Ce rapport présente les résultats relatifs aux flux verticaux de particules dans la zone d'influence de l'usine VALE-NC, obtenus lors de la campagne du premier semestre de 2017 et les comparer aux campagnes précédentes de mouillage semestrielles entre 2011-2016 et celles de l'état de référence en 2006/2007 (Kumar-Roiné et al., 2016 ; Fernandez et al., 2007).

II. METHODOLOGIE

La méthodologie détaillée des différentes étapes de prélèvement, traitement et d'analyses est décrite dans l'Annexe 1.

A. SITE D'ETUDE

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 a permis la définition de l'état de référence des flux particulaires en 2007 (Fernandez *et al.*, 2007). Elle permet d'assurer le suivi des apports induits par le diffuseur.
- 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 particulaires en 2006 et 2007 (Fernandez *et al.*, 2007). 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 de la Rade Nord qui jouxte le site de l'usine. Cette station qui a également fait l'objet d'un état de référence en 2006 et 2007 (Fernandez *et al.*, 2007) permet d'assurer un suivi des apports induits par les installations industrielles.

Tableau 1 : Liste et position des stations de prélèvement du suivi des flux verticaux de particules dans la zone d'influence de l'usine de Vale-NC.

Localisation	Station	Station au référentiel WGS-84		Profondeur (m)
		Longitude	Latitude	
Baie Kwé	St06-KW1	E166 59.140	S22 20.747	28
Rade Nord de Prony	St15	E166 52.590	S22 20.037	25
Canal de la Havannah	St60-NE	E166 59.677	S22 22.113	39

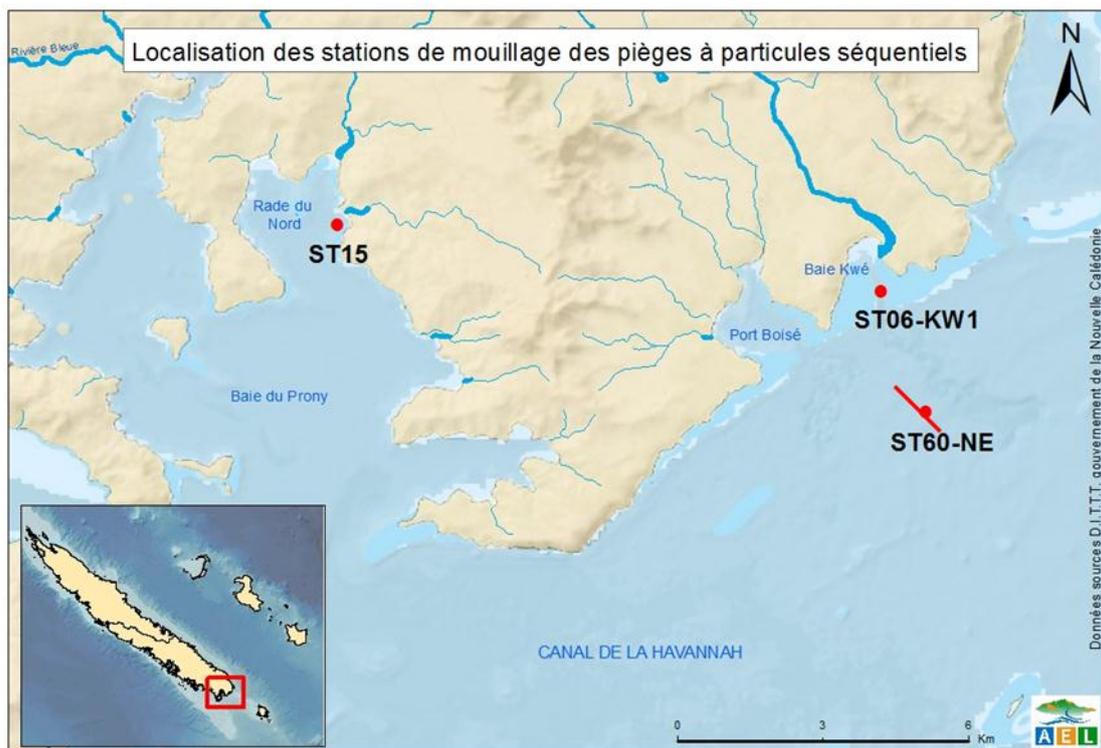


Figure 1 : Localisation géographique des stations de prélèvement du suivi des flux verticaux de particules dans la zone d'influence de l'usine de Vale-NC (le trait rouge représente le diffuseur).

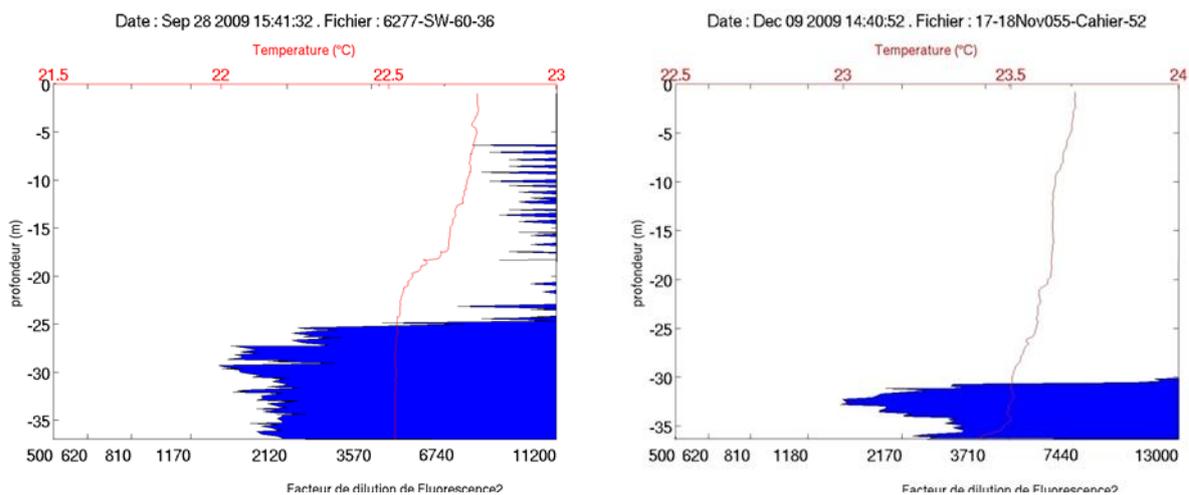


Figure 2 : Empreinte type de l'effluent par marquage à la rhodamine-WT pour des conditions courantologiques de mi-marées de morte-eau (gauche) et de vive-eau (droite) au niveau de la station St60-SW.

B. ECHANTILLONNAGE

Les opérations de terrain ont été réalisées à bord du Slavko (Casy Express) au cours de 2 sorties. La pose et récupération des lignes de mouillage équipées chacune d'un piège à particules séquentiel été effectuées, respectivement, le 13 avril 2017 et 06 juin 2017 aux stations St60-KW1, St15 et St60-NE.

Note : Suite aux anomalies techniques des largeurs acoustiques qui se sont présentées lors des campagnes précédentes, les pièges ont été immergés avec une ligne de mouillage simple lestée.

Rappel : 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. 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 (Fernandez et al., 2009) ; 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 15 m 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 (Derex et al., 2008).

Pour les trois stations St06-KW1, St15 et St60-NE, la collecte des particules a été programmée pour débuter le 14 avril 2017 à 00h00 avec un pas de temps par godet de 96 heures (4 jours) ; elle s'est terminée le 01 juin 2017 à 00h00. Au total, 12 échantillons de matériel particulaire ont été prélevés pour chacun des trois sites d'immersion soit 36 échantillons (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 : Détail de collecte des échantillons par les pièges séquentiels mouillés à St06-KW1, St15 et St60-NE.

Période de collecte	St06-KW1	St15	St60-NE
	Prélèvement	Prélèvement	Prélèvement
14-17 avril 2017	001	001	001
18-21 avril 2017	002	002	002
22-25 avril 2017	003	003	003
26-29 avril 2017	004	004	004
30 avril-03 mai 2017	005	005	005
04-07 mai 2017	006	006	006
08-11 mai 2017	007	007	007
12-15 mai 2017	008	008	008
16-19 mai 2017	009	009	009
20-23 mai 2017	010	010	010
24-27 mai 2017	011	011	011
28-31 mai 2017	012	012	012

C. CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES

Les conditions météorologiques régnant dans la zone lors de l'immersion des pièges sont fortement susceptibles d'influer la quantité et la nature de MES collectée.

Ainsi, la pluviométrie journalière « RR » et les données quotidiennes de vent maximal instantané (vitesse « FXI » et direction « DXI ») ont été enregistrées par la station météorologique de l'usine pilote Vale-NC (référence n° 98817104 ; Goro Usine) pour la période de 14 avril au 31 mai 2017 ; l'interprétation des analyses reposera en partie sur ces observations.

Les mesures de vent pouvant présenter des écarts, notamment aux stations St60-NE et St06-KW1 en raison de la différence de situation géographique et l'absence de reliefs, les données météorologiques provenant de la station météorologique IRD/AEL implantée sur la balise du récif Ioro dans la Canal de la Havannah (référence n° 658 ; Ioro) sont également exploitées pour l'interprétation des résultats.

III. RESULTATS

A. PARAMETRES METEOROLOGIQUES

Les valeurs des paramètres météorologiques données par les deux stations météorologiques (GORO et IORO) sont regroupées dans l'Annexe 2.

1. Précipitations atmosphériques

La période du 14 avril au 31 mai 2017 compte 30 jours de pluies cumulant à 443,2 mm mesurés par la station météorologique GORO. Cette période a été marquée par un épisode pluvieux significatif enregistré les 20 et 21 avril (182,2 mm). D'autres épisodes d'intensité moindre ont été enregistrés le 09 mai et 21 mai (66,3 et 70,0 mm, respectivement) (Figure 3).

Du point de vue historique, les précipitations cumulées lors de cette campagne sont environ 2 fois moins importantes que lors des campagnes de janvier-mars 2014 (920,2 mm ; St06-KW1 et St15) tandis qu'elles sont 3, 5 et 8 plus élevés, respectivement, qu'en juillet-septembre 2015 (148,9 mm ; St60-NE), octobre-novembre 2015 (96,0 mm ; St06-KW1) et octobre-novembre 2006 (54,4 mm ; St06-KW1 et St15). Elles sont comparables à celles enregistrées en juillet-août 2013 (467,0 mm ; St06-KW1 et St60-NE) (Tableau 3).

2. Vitesse et direction du vent

Durant la période du 14 avril au 31 mai 2017, les directions de vents mesurés aux deux stations météorologiques sont principalement du secteur E à S. Toutefois, à partir du 22 avril 2017, des régimes variables sont régulièrement observés, caractérisant 5 rotations des vents de 6 à 10 jours de période. L'intensité des vents moyens mesurés à la station météorologique IORO a été de $7,0 \pm 3,6$ m/s et celle mesurée à la station GORO a été de $12,5 \pm 4,2$ m/s (Figure 3) ; l'altitude et la physiographie des lieux pour cette dernière expliquent l'écart mesuré

Pour la période de mouillage, la vitesse moyenne des vents enregistrée par les deux stations météorologiques sont proches de celles des précédentes campagnes, exception faite pour la campagne de septembre-octobre 2014 dont la valeur mesurée par la station météorologique GORO est 1,7 fois inférieure ($7,3 \pm 2,9$ m/s ; (Tableau 3).

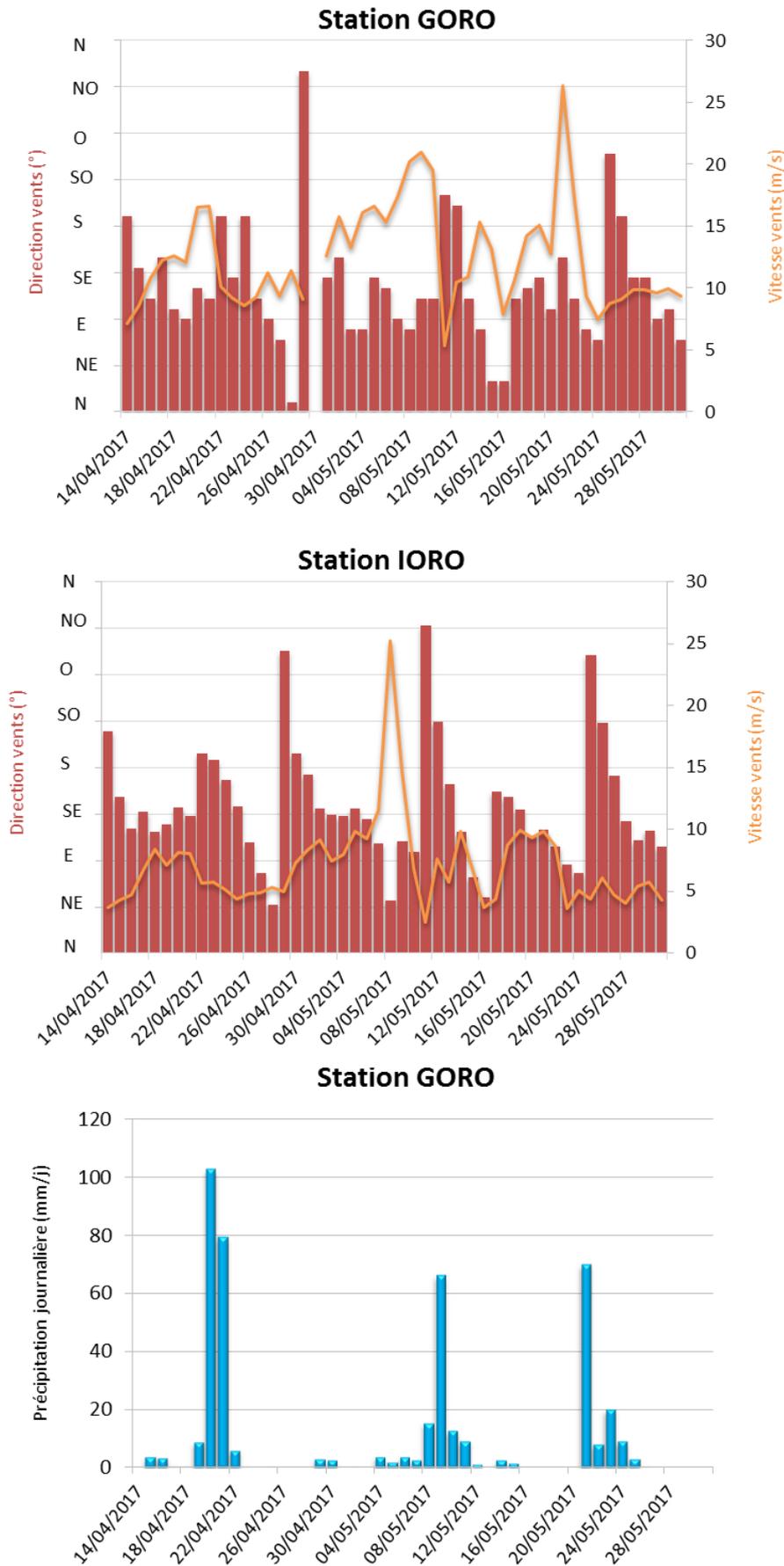


Figure 3 : Cumul journalier de précipitations et évolution de la vitesse et de la direction des vents (moyenne journalière) pour la période du 14 avril au 31 mai 2017.

Tableau 3 : Compilation des données météorologiques lors des différentes campagnes d'immersion de piège séquentiel aux stations St06-KW1, St15 et St60-NE.

Campagne	Semestre	Campagne	St06-KW1	St15	St60-NE	Station GORO		Station IORO
						Précipitation total (mm)*	Vitesse vents moyens (m/s)*	
2006	1	-	-	-	-	-	-	-
	2	Oct. - Nov. 2006	x	x	-	54,4	ND	ND
2007	1	Févr. - Mars 2007	-	-	x	300,6	ND	ND
	2	Mars - Avr. 2007	x	x	-	272,6	ND	ND
2011	1	-	-	-	-	-	-	-
	2	Juil. - Août 2011	x	-	-	273,7	11,3 ± 3,2	ND
2012	1	Janv. - Mars 2012	x	-	x	370,1	12,3 ± 2,7	IC
	2	Sept. - Oct. 2012	x	-	x	278,5	12,0 ± 2,4	PE
2013	1	Janv. - Févr. 2013	x	-	x	181,2	12,0 ± 2,1	PE
	2	Juil. - Août 2013	x	-	x	467,0	11,3 ± 3,6	PE
2014	1	Janv. - Mars 2014	x	x	PP	920,2	9,3 ± 4,0	6,6 ± 2,9
	2	Avr. - Juin 2014	-	-	x	260,9	8,3 ± 3,5	6,9 ± 2,5
2015	1	Sept - Oct. 2014	x	x	x	199,6	7,3 ± 2,9	5,9 ± 1,8
	2	Janv. - Mars 2015	x	x	x	242,6	12,0 ± 3,7	PE
2016	1	Juil. - Sept. 2015	PP	x	x	148,9	11,6 ± 2,6	PE
	2	Oct. - Nov. 2015	x	-	-	96,0	12,4 ± 3,1	PE
2017	1	Mai - Juil. 2016	PP	x	x	241,4	10,9 ± 3,1	6,2 ± 2,5
	2	Juil. - Sept. 2016	x	-	-	247,4	10,8 ± 2,4	6,2 ± 2,5
2017	1	Oct. - Nov. 2016	x	x	x	266,8	11,3 ± 2,5	5,9 ± 2,1
	2	Avr. - Mai 2017	x	x	x	443,2	12,5 ± 4,2	7,0 ± 3,6
2017	1	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-

* données de précipitation et vents couvrant uniquement les périodes de programmation des pièges (de la date d'ouverture à la date de fermeture des godets).

x : station prélevée.

- : pas de campagne ou campagne en cours ; PP : piège perdu ; ND : données non disponibles ; IC base de donnée incomplète suite une panne d'enregistreur ; PE : panne d'enregistreur.

B. CARACTERISATION DES MATIERES EN SUSPENSION

Les résultats concernant les masses de matière en suspension (MES) collectées par les pièges séquentiels à particules, la granulométrie des populations de grains, la composition minéralogique et les teneurs en carbonates des fractions fines de MES sont regroupés dans l'Annexe 3.

1. Baie Kwé (St06-KW1)

Masses collectées

Les masses de MES collectées en St06-KW1 se distribuent entre 2,78 g et 32,7 g avec une moyenne de 9,06 ± 8,06 g. La plus faible quantité a été collectée au début (18-21 avril ; 002), et la plus forte à la moitié de la période de collecte (08-11 mai ; 007).

Les prélèvements montrent des valeurs de masses de MES peu évolutives dans le temps au début de la période de collecte (001 au 004). Au-delà, elles évoluent fortement passant de 9,99 g (005) à 32,7 g (007), puis à 5,24 g (012) (Figure 4).

A contrario, les pourcentages de fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) qui compose les MES varient peu. Ils se répartissent entre 70 et 80 % avec une moyenne de $75 \pm 3 \%$. Par conséquent, les MES piégées en St06-KW1 sont très majoritairement composées par la fraction fine (Figure 5).

Entre les différentes campagnes conduites à St06-KW1, le pourcentage moyen de fraction fine demeure très stable. En revanche, la masse moyenne de MES collectée est plus variable (Tableau 4).

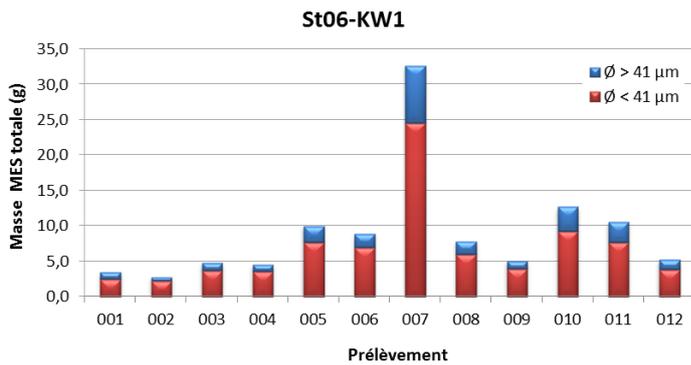


Figure 4 : Masse totale de MES piégées et composition en fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) et fraction grossière ($\varnothing > 41 \mu\text{m}$) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

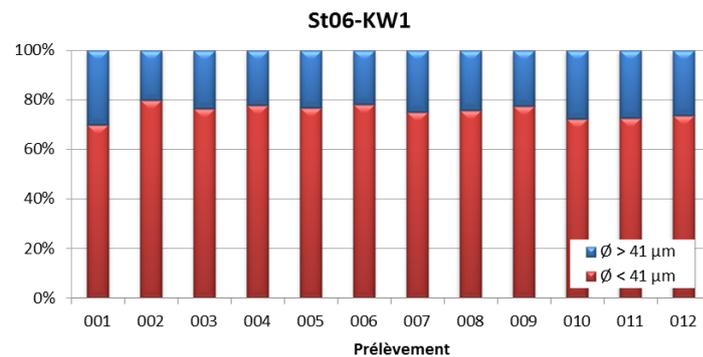


Figure 5 : Pourcentage des fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) et des fractions grossières ($\varnothing > 41 \mu\text{m}$) dans les 12 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

Tableau 4 : Compilation des données moyenne \pm écart-type de la MES totale, des pourcentages de fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) et de la teneur en carbonates dans la fraction fine lors des différentes campagnes d’immersion des pièges séquentiels à St06-KW1.

St06-KW1							
Campagne	MES totaux (g)	% $\varnothing < 41 \mu\text{m}$	Carbonate (%)	Campagne	MES totaux (g)	% $\varnothing < 41 \mu\text{m}$	Carbonate (%)
Oct. - Nov. 2006	1,46 \pm 0,74	ND	74 \pm 2	Janv. - Mars 2014	12,14 \pm 6,82	82 \pm 4	84 \pm 3
Mars - Avr. 2007	4,61 \pm 4,47	ND	76 \pm 3	Sept - Oct. 2014	2,37 \pm 1,68	84 \pm 2	65 \pm 4
Juil. - Août 2011	5,07 \pm 4,86	ND	69 \pm 4	Janv. - Mars 2015	13,25 \pm 7,21	79 \pm 4	73 \pm 3
Janv. - Mars 2012	7,89 \pm 6,64	75 \pm 3	84 \pm 5	Oct. - Nov. 2015	7,77 \pm 6,10	68 \pm 6	47 \pm 3
Sept. - Oct. 2012	5,28 \pm 2,62	70 \pm 4	67 \pm 3	Juil. - Sept. 2016	5,74 \pm 4,58	80 \pm 2	60 \pm 6
Janv. - Févr. 2013	9,29 \pm 5,71	77 \pm 5	67 \pm 8	Oct. - Nov. 2016	3,69 \pm 2,78	79 \pm 4	70 \pm 5
Juil. - Août 2013	11,61 \pm 17,56	74 \pm 4	46 \pm 13	Avr. - Mai 2017	9,06 \pm 8,06	75 \pm 3	71 \pm 4

ND : valeur non déterminée.

Compositions granulométriques

La fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES collectées en St06-KW1 est composée majoritairement de particules dont le mode se situe dans la classe 2,0-20 μm à savoir les silts fins (moyenne de $37 \pm 2 \%$ du volume total). Pour cette campagne, les silts moyens (20-40 μm) composent la seconde population granulométrique ($29 \pm 2 \%$ du volume total). La distribution des populations granulométriques demeure très stable dans le temps (Figure 6).

Pour l'ensemble des campagnes conduites à St06-KW1, parmi les 5 classes granulométriques étudiées, le mode principale demeure la classe 2,0-20 μm (silts fins). L'on constate que, depuis la campagne de juillet-août 2011, bien que cela ne se produise pas systématiquement, le pourcentage en particules $\varnothing < 20 \mu\text{m}$ augmente, jusqu'à doubler lors de certaines campagnes, au détriment des particules de taille $\varnothing > 20 \mu\text{m}$; pour cette dernière campagne, la tendance semble s'inverser. En effet, par rapport à la campagne de septembre-octobre 2014, tandis que les pourcentages en particules $\varnothing < 20 \mu\text{m}$ sont faibles, ceux des particules $\varnothing > 20 \mu\text{m}$ sont en forte augmentation, notamment pour les populations $\varnothing > 63 \mu\text{m}$ (Tableau 5).

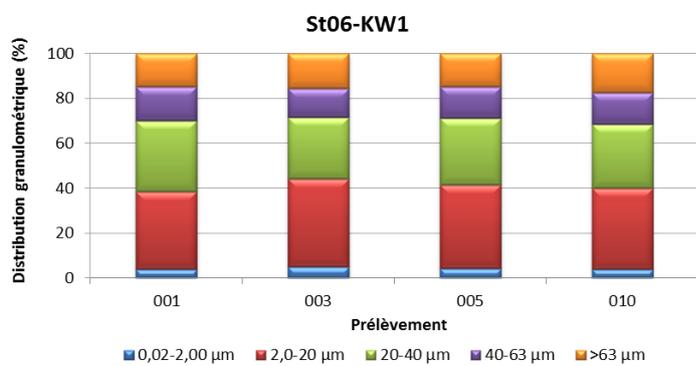


Figure 6 : Distribution granulométrique de la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 4 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

Remarque : la mesure de particules de $\varnothing > 41 \mu\text{m}$ dans les échantillons tamisés à $41 \mu\text{m}$ peut être le résultat d'un artéfact du mode de calcul employé en granulométrie laser par le passage de particules de formes allongées (paillettes) à travers la maille au moment du tamisage.

Tableau 5 : Compilation des données moyenne \pm écart-type de la distribution granulométrique dans la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St06-KW1.

Campagne	St06-KW1				
	Distribution granulométrique (%)				
	0,02 à 2,00 μm	2,0 à 20 μm	20 à 40 μm	40 à 63 μm	>63 μm
Juil. - Août 2011	8 \pm 4	32 \pm 3	24 \pm 3	15 \pm 2	21 \pm 3
Janv. - Mars 2012	8 \pm 5	50 \pm 5	27 \pm 6	11 \pm 3	4 \pm 0
Sept. - Oct. 2012	13 \pm 1	51 \pm 7	22 \pm 3	10 \pm 4	4 \pm 2
Janv. - Mars 2013	5 \pm 0	37 \pm 2	33 \pm 3	16 \pm 1	9 \pm 4
Juil. - Août 2013	13 \pm 3	53 \pm 12	22 \pm 2	8 \pm 6	3 \pm 6
Janv. - Mars 2014	26 \pm 3	56 \pm 2	15 \pm 2	3 \pm 1	0 \pm 0
Sept. - Oct. 2014	16 \pm 4	61 \pm 6	16 \pm 2	5 \pm 1	2 \pm 3
Janv. - Mars 2015	14 \pm 2	51 \pm 3	26 \pm 3	9 \pm 1	1 \pm 1
Oct. - Nov. 2015	11 \pm 5	44 \pm 7	26 \pm 3	12 \pm 4	8 \pm 6
Juil. - Sept. 2016	15 \pm 4	60 \pm 5	18 \pm 4	5 \pm 3	2 \pm 2
Oct. - Nov. 2016	8 \pm 1	51 \pm 3	30 \pm 3	9 \pm 2	2 \pm 2
Avr. - Mai 2017	4 \pm 1	37 \pm 2	29 \pm 2	14 \pm 1	16 \pm 1

Compositions minéralogiques

La fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES collectées en St06-KW1 est majoritairement composée de minéraux d'origine marine dont notamment la calcite ainsi que l'aragonite. L'aragonite est un des constituants des coquilles d'invertébrés ; sa présence dénote l'influence marine à cette station.

La goethite a également été décelée dans tous les prélèvements notamment dans les MES de prélèvement 003 et peu dans celles du prélèvement 007, tandis que l'antigorite et willemseite ont été détectées uniquement dans les MES du prélèvement 001. Les proportions de ces minéraux d'origine latéritique varient inversement à la calcite et l'aragonite ce qui souligne l'influence plus ou moins rythmée des apports terrigènes à cette station (Tableau 6).

Tableau 6 : Composition minéralogique de la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 4 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

St06-KW1				
Prélèvement	% Calcite	% Aragonite	% Goethite	% Autres*
001	32	33	15	19
003	37	35	28	-
005	44	36	21	-
007	44	52	5	-
010	42	39	19	-

* : antigorite et willemseite.

Teneurs en carbonates

Les teneurs en carbonates dans la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES collectées en St06-KW1 se distribuent entre 66 % et 75 % avec une moyenne de 71 ± 4 %. Les teneurs mesurées varient très peu entre les prélèvements. Aucune corrélation n'est constatée entre l'évolution des teneurs en carbonates et celle des masses de MES collectées (Figure 7).

Entre les différentes campagnes conduites à St06-KW1, les teneurs moyennes varient rarement sauf lors des campagnes de juillet-août 2013 (46 ± 13 %) et octobre-novembre 2015 (47 ± 3 %), pour lesquelles les valeurs sont comparativement basses (Tableau 4).

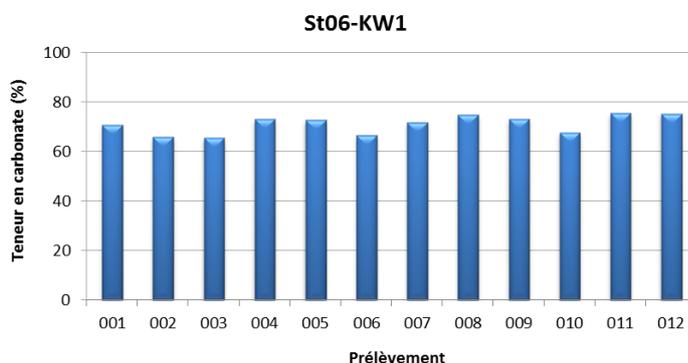


Figure 7 : Teneurs en carbonates contenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

Remarque : La différence en fraction carbonatée observée entre les teneurs en calcite, d'une part, mesurée par DRX semi-quantitative, d'autre part, calculée par relation stœchiométrique à partir des concentrations en Ca et Mg (considérées comme étant exclusivement sous forme de CaCO_3 et MgCO_3 dans le contexte du sud

calédonien), s'expliquerait par le fait que la DRX semi-quantitative caractérise seulement les minéraux cristallisés (Chaurrand, 2007 ; Achard, 2013) dont les proportions somment 100% ; ce mode de calcul ne tient pas compte des phases amorphes de certains de ces minéraux, ni des minéraux du cortège latéritique contenant du Mg, ce qui peut majorer le pourcentage des carbonates.

2. Rade Nord de Prony (St15)

Masses collectées

Les masses de MES collectées en St15 sont très faibles et se distribuent entre 0,38 g et 4,75 g avec une moyenne de $1,61 \pm 1,16$ g. Les plus faibles quantités ont été collectées sur plusieurs jours, dès le début de la période d'immersion (14-21 avril ; 001-002), tandis que la plus forte a été collectée à la fin de cette période (28-31 mai ; 012). Au-delà, les masses de MES montrent peu d'évolution, ne dépassant pas le seuil de 2,50 g (Figure 8).

La fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) est très largement dominante dans les MES piégées en St15 avec une moyenne de $92 \pm 5 \%$. Les pourcentages de fraction fine varient très peu (entre 80 à 96 %) (Figure 9).

Entre les différentes campagnes conduites à St15, les masses moyennes collectées restent faibles, ne dépassant que rarement le seuil de 1g. On notera que les masses de MES collectées lors de cette campagne 2017 sont 3 fois moins importantes que celles collectées en janvier-mars 2014 ($4,43 \pm 8,90$ g). En revanche, quelle que soit la campagne, les pourcentages moyens de fraction fine demeurent stables entre les campagnes ; les MES piégées sont principalement composées de fraction fine (Tableau 7).

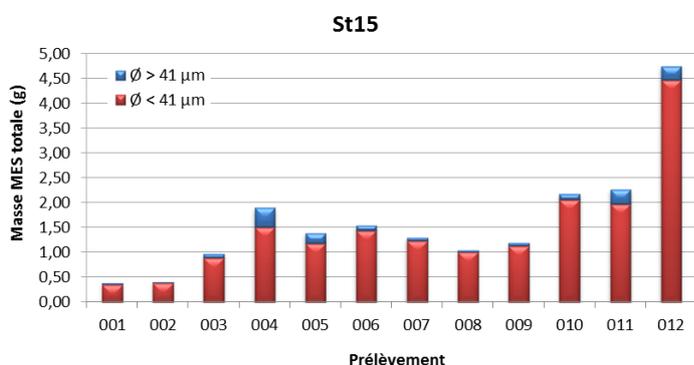


Figure 8 : Masse totale de MES piégées et composition en fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) et fraction grossière ($\varnothing > 41 \mu\text{m}$) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St15.

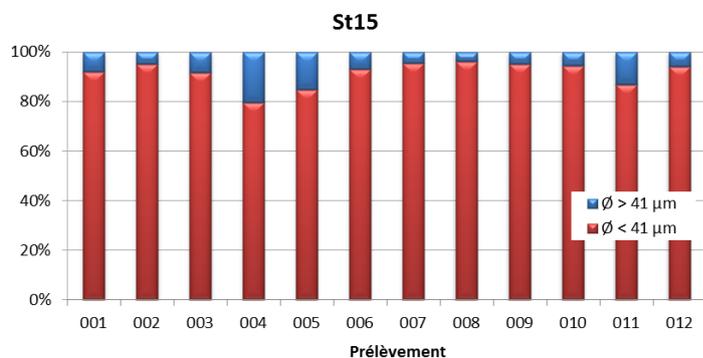


Figure 9 : Pourcentage des fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) et des fractions grossières ($\varnothing > 41 \mu\text{m}$) dans les 12 prélèvements du piège séquentiel à St15.

Tableau 7 : Compilation des données moyennes \pm écart-type de la MES totale, du pourcentage de fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) et de la teneur en carbonates dans la fraction fine lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St15.

St15							
Campagne	MES totaux (g)	% $\varnothing < 41 \mu\text{m}$	Carbonate (%)	Campagne	MES totaux (g)	% $\varnothing < 41 \mu\text{m}$	Carbonate (%)
Oct. - Nov. 2006	0,10 \pm 0,06	ND	ND	Juil. – Sept. 2015	0,26 \pm 0,27	86 \pm 10	26 \pm 2
Mars - Avr. 2007	0,15 \pm 0,14	ND	ND	Mai -Juil. 2016	1,73 \pm 1,49	76 \pm 23	19 \pm 9
Janv. - Mars 2014	4,43 \pm 8,90	88 \pm 6	9 \pm 4	Oct. – Nov. 2016	0,44 \pm 0,50	87 \pm 7	27 \pm 4
Sept. - Oct. 2014	0,18 \pm 0,25	77 \pm 31	25 \pm 2	Avr. – Mai 2017	1,61 \pm 1,16	92 \pm 5	28 \pm 4
Janv. - Mars 2015	0,56 \pm 0,60	86 \pm 10	25 \pm 7	-	-	-	-

ND : valeur non déterminée ; - : pas de campagne.

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 et/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 l'Anse de la Rade Nord. A l'inverse, l'absence de vents forts et/ou d'orientation autre que SE, permet l'expansion des panaches dans la rade.

Compositions granulométriques

La fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES collectées en St15 est composée de particules dont le mode se situe principalement dans la classe 2,0-20 μm , à savoir les silts fins (moyenne de 51 \pm 5 % du volume total). Pour cette campagne, les silts moyens (20-40 μm) composent la seconde population granulométrique (18 \pm 2 % du volume total).

La distribution des populations granulométriques montre une légère variation dans le temps. Dans un premier temps, des prélèvements 004 à 006, les pourcentages des grains de taille $\varnothing < 20 \mu\text{m}$ augmentent au détriment des populations de grains de taille $\varnothing > 40 \mu\text{m}$. Puis, des prélèvements 010 à 012, la tendance s'inverse, les pourcentages des particules $\varnothing < 20 \mu\text{m}$ baissent pour avantager ceux de taille $> 40 \mu\text{m}$ (Figure 10).

Pour l'ensemble des campagnes conduites à St15, parmi les 5 classes granulométrique étudiées, le mode principale demeure la classe 2,0-20 μm avec des proportions relativement stables depuis la campagne de janvier-mars 2014. Toutefois globalement, une augmentation des grains de classes 20-40 est observée au détriment de celle de 0,02-2,00 μm (Tableau 8).

Remarque : comme pour la station St06-KW1, la détection de particules de $\varnothing > 41 \mu\text{m}$ dans les échantillons des fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) peut être le fait du mode de calcul employé en granulométrie laser et/ou le passage de particules de formes allongées (paillettes) à travers la maille au moment du tamisage.

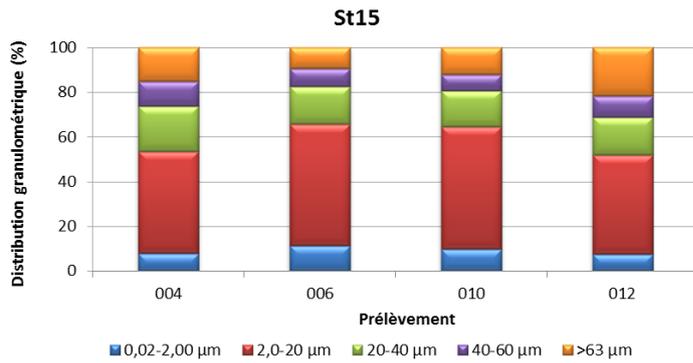


Figure 10 : Distribution granulométrique de la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 4 prélèvements du piège séquentiel à St15.

Tableau 8 : Compilation des données moyenne \pm écart-type de la distribution granulométrique de la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St15.

St15					
Campagne	Distribution granulométrique (%)				
	0,02 à 2,00 µm	2,0 à 20 µm	20 à 40 µm	40 à 63 µm	>63 µm
Janv. - Mars 2014	25 \pm 4	57 \pm 1	15 \pm 2	3 \pm 2	1 \pm 1
Sept. – Oct. 2014	14 \pm 3	56 \pm 10	18 \pm 6	8 \pm 4	4 \pm 3
Janv. - Mars 2015	24 \pm 10	55 \pm 6	11 \pm 6	5 \pm 5	4 \pm 5
Juil. - Sept. 2015	19 \pm 4	53 \pm 8	13 \pm 2	6 \pm 3	9 \pm 8
Mai - Juil. 2016	9 \pm 1	46 \pm 7	27 \pm 2	13 \pm 4	5 \pm 4
Oct. – Nov. 2016	13 \pm 2	60 \pm 5	21 \pm 3	5 \pm 3	0 \pm 1
Avr. – Mai 2017	10 \pm 2	51 \pm 5	18 \pm 2	9 \pm 2	12 \pm 3

Compositions minéralogiques

La fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des MES collectées à St15 est majoritairement composée de minéraux d'origine latéritique dont notamment la goethite.

Bien qu'en moindre quantité, de l'aragonite et de la calcite, minéraux d'origine marine, ainsi que de l'antigorite, minéral d'origine latéritique, ont également été décelés (Tableau 9).

Tableau 9 : Composition minéralogique de la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 4 prélèvements du piège séquentiel à St15.

St15				
Prélèvement	% Calcite	% Aragonite	% Goethite	% Autres*
004	22	21	43	14
006	27	21	40	11
010	31	24	37	8
012	23	24	43	10

* : antigorite.

Teneurs en carbonates

Les teneurs en carbonates dans la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des MES collectées en St15 se distribuent entre 19 % et 35 % avec une moyenne de 28 \pm 4 % soulignant, de fait, une influence prépondérante claire des apports

terrigènes à cette station. La plus faible teneur en carbonates a été mesurée le 22-25 avril (003) et la plus forte le 16-19 mai (009). Entre ces deux extrêmes, les teneurs demeurent très stables, puis baissent sensiblement. Aucune corrélation n'est constatée entre l'évolution des teneurs en carbonates et celle des masses de MES collectées (Figure 11).

Entre les différentes campagnes conduites à St15, les teneurs moyennes montrent une variation plus importante qu'en St06-KW1. Il est à noter que la teneur moyenne mesurée en janvier-mars 2014 (9 ± 4 %) est la valeur la plus basse enregistrée (Tableau 7).

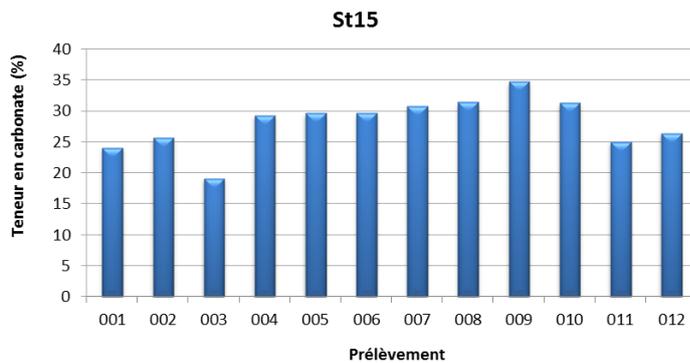


Figure 11 : Teneurs en carbonates contenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St15.

3. Canal de la Havannah (St60-NE)

Masses collectées

Les masses de MES collectées en St60-NE se distribuent entre 0,06 g et 9,60 g avec une moyenne de $3,11 \pm 2,84$ g. Les plus faibles quantités ont été collectées au début de la période d'immersion (14-29 avril ; 001-004), tandis que la plus forte quantité a été collectée le 24-27 mai (011). Les masses piégées sont infinitésimales, sur la première moitié de la période d'immersion, ne dépassant pas le seuil de 1,50 g, puis évoluent rapidement entre les prélèvements 007 et 011 où est mesurée la valeur maximale, pour diminuer à 5,88 g à la fin de la collecte (012). (Figure 12).

Avec un pourcentage moyen de fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de 61 ± 5 %, les MES piégées en St60-NE sont composées majoritairement, de cette fraction. En effet, mis à part le prélèvement 002 composés à la fois de fraction fine et grossière (50 %), tous les autres prélèvements présentent une part de fraction fine plus élevées (entre 56 et 68) (Figure 13).

Pour les différentes campagnes conduites à St60-NE, les masses totales moyennes collectées et les pourcentages moyens de fraction fine sont variables. Les pourcentages moyens obtenus lors de cette campagne sont parmi les plus élevés (Tableau 10).

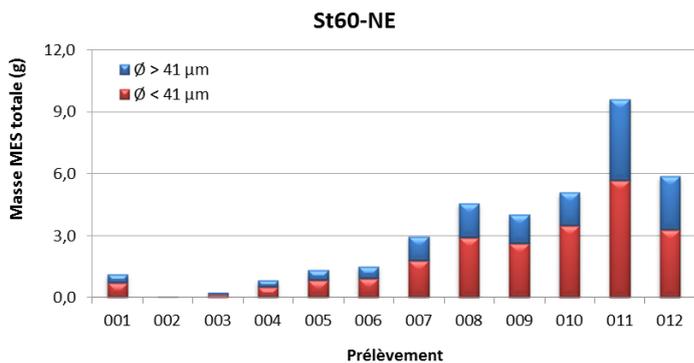


Figure 12 : Masse totale de MES piégées et composition en fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) et fraction grossière ($\varnothing > 41 \mu\text{m}$) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

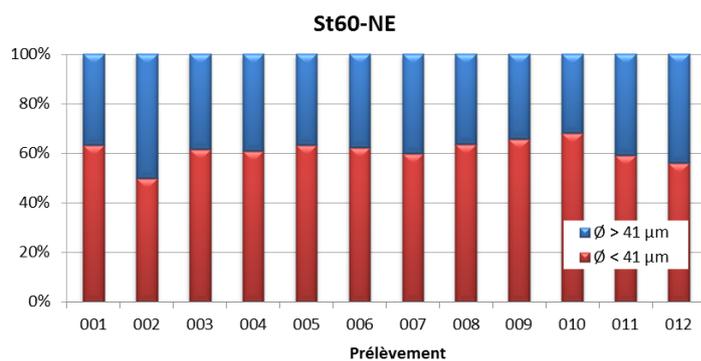


Figure 13 : Pourcentage des fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) et des fractions grossières ($\varnothing > 41 \mu\text{m}$) dans les 12 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

Tableau 10 : Compilation des données moyenne \pm écart-type de la MES totale, du pourcentage de fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) et de la teneur en carbonates dans la fraction fine lors des différentes campagnes d’immersion des pièges séquentiels à St60-NE.

St60-NE							
Campagne	MES totaux (g)	% $\varnothing < 41 \mu\text{m}$	Carbonate (%)	Campagne	MES totaux (g)	% $\varnothing < 41 \mu\text{m}$	Carbonate (%)
Févr. - Mars 2007	3,95 \pm 5,02	ND	96 \pm 1	Sept. - Oct. 2014	1,63 \pm 1,82	60 \pm 4	83 \pm 2
Juil. - Août 2011	ND	ND	ND	Janv. - Mars 2015	3,19 \pm 3,11	63 \pm 8	88 \pm 3
Janv. - Mar 2012	1,92 \pm 1,77	60 \pm 18	80 \pm 3	Juil. - Sept. 2015	1,98 \pm 1,84	61 \pm 6	91 \pm 6
Sept. - Oct. 2012	0,82 \pm 1,08	39 \pm 9	85 \pm 1	Mai - Juil. 2016	3,42 \pm 2,03	49 \pm 6	76 \pm 9
Janv. - Mars 2013	2,51 \pm 2,71	49 \pm 14	77 \pm 1	Oct. - Nov. 2016	2,23 \pm 3,52	28 \pm 13	91 \pm 7
Juil. - Août 2013	1,17 \pm 1,42	41 \pm 7	75 \pm 4	Avr. - Mai 2017	3,11 \pm 2,84	61 \pm 5	91 \pm 2
Avr. - Juin 2014	1,49 \pm 1,01	74 \pm 8	83 \pm 2	-	-	-	-

ND : valeur non déterminée ; - : pas de campagne.

Compositions granulométriques

La fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES collectées en St60-NE est composée de particules dont le mode se situe principalement dans les classes 2,0-20 μm (silts fins) et 20 à 40 μm (silts moyens) avec une moyenne, respectivement, de 36 \pm 8 % et de 30 \pm 3 % du volume total.

La distribution des populations granulométriques montre une claire variation dans le temps. En effet, il est observé entre les prélèvements 006 et 011, une très forte augmentation dans la proportion de population de graines de taille $\varnothing > 63 \mu\text{m}$ au dépens de celles de tailles 2,0-20 μm et 20-40 μm (Figure 14).

Pour l'ensemble des campagnes conduites à St60-NE, il n'est pas possible de dégager, parmi les 5 classes granulométriques étudiées, une évolution temporelle singulière. Depuis la campagne de janvier-mars 2012, le mode principal des particules est partagé entre les classes 2,0-20 µm et 20-40 µm. Pour la campagne de septembre-octobre 2014, une très notable augmentation des grains de la classe 2,0-20 µm au détriment de celles de 20-40 µm et 40 à 63 µm a été mesurée (Tableau 11).

Remarque : comme pour les stations St06-KW1 et St15, la détection de particules de $\varnothing > 41 \mu\text{m}$ dans les échantillons des fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) peut être le fait du mode de calcul employé en granulométrie laser et/ou encore le passage de particules de formes allongées (paillettes) à travers la maille au moment du tamisage.

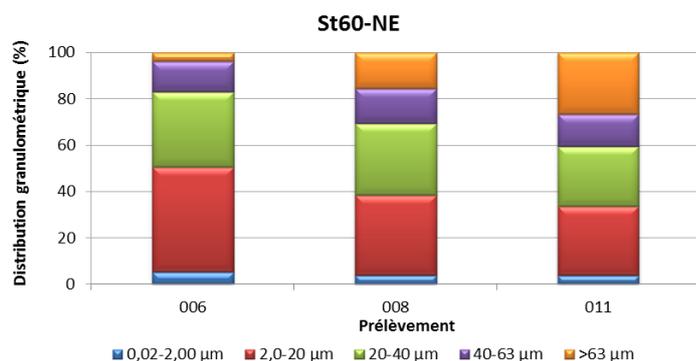


Figure 14 : Distribution granulométrique de la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 4 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

Tableau 11 : Compilation des données moyenne \pm écart-type de la distribution granulométrique de la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St60-NE.

Campagne	St60-NE				
	Distribution granulométrique (%)				
	0,02 à 2,00 µm	2,0 à 20 µm	20 à 40 µm	40 à 63 µm	>63 µm
Janv. - Mars 2012	3 \pm 1	46 \pm 9	32 \pm 6	14 \pm 4	5 \pm 1
Sept. – Oct. 2012	2 (n=1)	40 (n=1)	23 (n=1)	17 (n=1)	18 (n=1)
Janv. - Mars 2013	5 \pm 0	36 \pm 3	33 \pm 2	16 \pm 0	10 \pm 4
Juil. – Août 2013	14 \pm 5	49 \pm 4	28 \pm 3	8 \pm 1	0 \pm 0
Avr. - Juin 2014	17 \pm 3	47 \pm 4	25 \pm 2	9 \pm 2	2 \pm 2
Sept. – Oct. 2014	5 \pm 1	72 \pm 3	17 \pm 4	4 \pm 0	1 \pm 1
Janv. - Mars 2015	12 \pm 4	44 \pm 6	26 \pm 2	11 \pm 3	7 \pm 6
Juil. - Sept. 2015	13 \pm 5	44 \pm 8	24 \pm 3	9 \pm 4	9 \pm 7
Mai - Juil. 2016	5 \pm 1	40 \pm 1	36 \pm 2	16 \pm 1	3 \pm 1
Oct. – Nov. 2016	6 \pm 2	42 \pm 12	32 \pm 4	12 \pm 3	8 \pm 15
Avr. – Mai 2017	4 \pm 1	36 \pm 8	30 \pm 3	11 \pm 7	12 \pm 12

Compositions minéralogiques

La fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES collectées en St60-NE est quasi-exclusivement composée de minéraux d'origine marine, comme notamment l'aragonite et la calcite ; l'aragonite est un des constituants des coquilles d'invertébrés.

La présence de goethite est faiblement décelée lors de cette campagne. De surcroît, les proportions d'aragonite et de calcite ne fluctuent que très peu dans le temps ce qui souligne les influences marines constantes et quasi exclusives régnant à cette station (Tableau 12).

Tableau 12 : Composition minéralogique de la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 4 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

Prélèvement	St60-NE			
	% Calcite	% Aragonite	% Goethite	% Autre
006	43	52	5	-
008	45	45	10	-
011	48	39	12	-

Teneurs en carbonates

Le manque de matière n'a permis les analyses que sur 10 échantillons. Ainsi, les teneurs en carbonates dans la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des MES collectées en St60-NE se distribuent entre 87 % et 93 % avec une moyenne de 91 ± 2 %. La plus faible teneur en carbonate a été mesurée le 12-15 mai (008) et la plus forte le 26 avril-03 mai (003 et 004). Les teneurs évoluent peu avec les prélèvements. Aucune corrélation n'est constatée entre l'évolution des teneurs en carbonates et celle des masses de MES collectées (Figure 15).

Entre les différentes campagnes conduites à St60-NE, les teneurs moyennes varient également peu. La moyenne la plus basse obtenue depuis le début du suivi est de 75 ± 4 % (juillet-août 2013) ce qui souligne que, par rapport aux deux autres stations, les apports en carbonates à St60-NE sont à la fois importants et constants (Tableau 10).

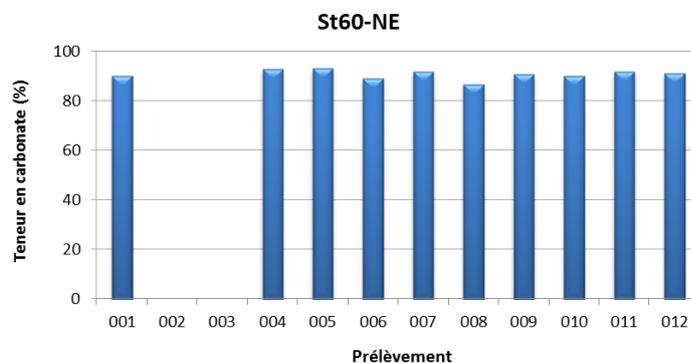


Figure 15 : Teneurs en carbonates contenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 10 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

C. COMPOSITION GEOCHIMIQUE DES MATIERES EN SUSPENSION

Les valeurs des concentrations en métaux totaux (Co, Cr, Fe, Mn et Ni) et en éléments majeurs (Ca et S) analysées dans les fractions fines de MES ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) collectées par les pièges séquentiels à particules sont regroupées dans l'Annexe 4.

1. Baie Kwé (St06-KW1)

Concentration en métaux et calcium

Les plus faibles concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni ont été mesurées au terme de la période d'immersion, à savoir du 28-31 mai (012), tandis que les plus fortes quantités ont été enregistrées du 22-25 avril (003). Inversement, pour le Ca, la plus forte teneur a été mesurée le 28-31 mai (012) tandis que la plus faible quantité a été mesurée le 22-25 avril (003).

En dépit de ces évolutions, les concentrations obtenues dans les 12 prélèvements ne montrent pas de grandes variations, notamment pour le Ca (Tableau 13).

Bien que les concentrations évoluent peu entre les prélèvements, la matrice de corrélation montre qu'il existe bien une forte relation inverse entre le Ca et les 5 métaux ($R^2 < -0,80$). De surcroît, elle confirme la similarité d'évolution des concentrations massiques pour Co, Cr, Fe, Ni et Mn ($R^2 > 0,80$) (Tableau 14). Par ailleurs, l'on note que les évolutions des concentrations de ces métaux sont également négativement corrélées à celle des teneurs en carbonates.

Tableau 13 : Concentrations en métaux et calcium obtenues (moyennes, écart-types et valeurs extrêmes) dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

St06-KW1						
Eléments (mg/kg ps)	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Min	247 513	66,0	2 327	84 860	571	1 320
Max	288 020	108	3 725	146 769	885	2 291
Moyenne	270 681	80,8	2 928	110 875	690	1 716
Ecart-type	14 894	12,9	429	19 017	102	296
CV (%)	6	16	15	17	15	17

Tableau 14 : Matrice de corrélation inter-éléments des concentrations de métaux et du calcium obtenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

St06-KW1						
Eléments	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ca	1	-0,953	-0,959	-0,945	-0,931	-0,969
Co		1	0,983	0,982	0,980	0,991
Cr			1	0,992	0,976	0,995
Fe				1	0,985	0,994
Mn					1	0,979
Ni						1

Tableau 15 : Compilation des données moyenne \pm écart-type des concentrations en métaux et calcium obtenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St06-KW1.

St06-KW1						
Campagne	Eléments (mg/kg ps)					
	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Mars – Avr. 2007	290 310 (n=1)	58,0 (n=1)	2 667 (n=1)	68 940 (n=1)	577 (n=1)	1 142 (n=1)
Juil. - Août 2011	256 455 \pm 19 652	82,9 \pm 10,2	2 945 \pm 287	81 853 \pm 6 980	703 \pm 75	1 460 \pm 132
Janv. - Mars 2012	239 104 \pm 5 873	101 \pm 10	3 414 \pm 302	10 3323 \pm 6 769	822 \pm 77	1 885 \pm 144
Sept. - Oct. 2012	264 386 \pm 8 238	106 \pm 15	3 874 \pm 547	111 616 \pm 11 753	840 \pm 95	1 829 \pm 201
Janv. - Mars 2013	236 752 \pm 14 017	127 \pm 19	4 634 \pm 547	123 394 \pm 15 208	1 123 \pm 162	2 258 \pm 321
Juil. - Août 2013	164 585 \pm 51 369	215 \pm 77	7 111 \pm 2 797	189 733 \pm 55 033	1 688 \pm 656	3 540 \pm 1 392
Janv. - Mars 2014	308 430 \pm 13 137	46 \pm 18	1 259 \pm 257	31 190 \pm 8 848	471 \pm 210	588 \pm 195
Sept. - Oct. 2014	242 858 \pm 15 301	115 \pm 19	3 829 \pm 581	132 978 \pm 17 334	885 \pm 147	1 999 \pm 258
Janv. - Mars 2015	271 510 \pm 10 830	838 \pm 12	3 007 \pm 354	85 407 \pm 11 481	735 \pm 94	1 563 \pm 233
Oct. - Nov. 2015	165 560 \pm 11 919	108 \pm 34	4 126 \pm 1 307	101 619 \pm 24 237	940 \pm 267	1 882 \pm 421
Juil. - Sept. 2016	219 412 \pm 25 986	109 \pm 23	3 083 \pm 692	136 205 \pm 22923	974 \pm 208	2 148 \pm 403
Oct. – Nov. 2016	260 620 \pm 20 111	873 \pm 18	3 085 \pm 557	116 993 \pm 22 213	723 \pm 149	1 770 \pm 370
Avr. – Mai 2017	270 681 \pm 14 894	80,8 \pm 12,9	2 928 \pm 429	110 875 \pm 19 017	690 \pm 102	1 716 \pm 296

Entre les différentes campagnes conduites à St06-KW1, les concentrations moyennes des éléments, et dans une moindre mesure, le Ca, sont variables. Les comparaisons montrent également que les concentrations en Co, Cr Fe, Mn et Ni obtenues lors de cette campagne 2017 sont légèrement supérieures, voire du même ordre, que les moyennes enregistrées en 2007 pour l'état de référence. Quant à la concentration moyenne en Ca, elle est légèrement inférieure qu'à celle mesurée en 2007. En revanche, les concentrations métalliques sont largement inférieures à celles obtenues en juillet-août 2013 ; cette campagne est, à ce jour, celle qui présente les concentrations métalliques les plus élevées à St06-KW1, tandis que celle de janvier-mars 2014 est celle qui regroupe les plus basses. Par ailleurs, les concentrations des métaux restent comparables à celles enregistrées lors de la dernière campagne de 2016, excepté de Co, dont le facteur d'écart est de 11 entre les deux campagnes (Tableau 15).

Normalisation du calcium par le fer

Les valeurs du rapport Ca/Fe obtenues en St06-KW1 se distribuent entre 1,69 et 3,39 avec une moyenne de $2,52 \pm 0,53$. Les plus faibles ratios ont été obtenus lors des prélèvements du 22-25 avril (003) et les plus forts dans la période du 28-31 mai (012). Représentant l'influence des pôles marins (Ca) et terrigènes (Fe), ces évolutions des ratios traduisent la mise en place des périodes d'empreintes terrigène et marine alternées à cette station (Tableau 16).

Entre les différentes campagnes conduites à St06-KW1, à l'exception de la campagne de janvier-mars 2014, l'évolution à la baisse des moyennes du ratio Ca/Fe permet de conclure à une influence terrigène grandissante depuis la campagne de l'état de référence en 2007 ; le ratio minimal ayant été cependant relevé lors de la campagne de juillet-août 2013 (Tableau 17).

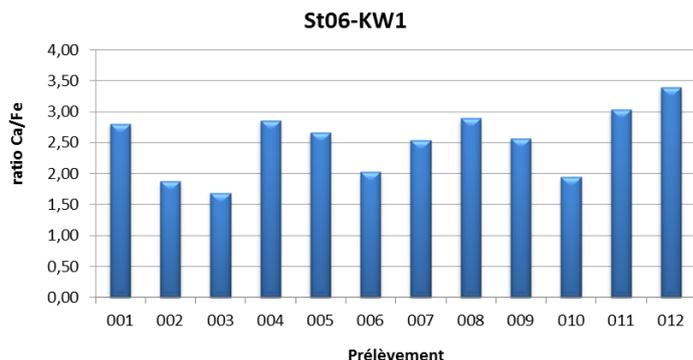


Tableau 16 : Normalisation des concentrations en calcium par le fer mesurées dans la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

Tableau 17 : Compilation des données moyenne \pm écart-type de normalisation du calcium par le fer obtenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges à St06-KW1.

St06-KW1			
Campagne	Ca/Fe	Campagne	Ca/Fe
Mars – Avr. 2007	4,21 (n=1)	Sept. - Oct. 2014	1,86 \pm 0,27
Juil. - Août 2011	3,17 \pm 0,50	Janv. - Mars 2015	3,24 \pm 0,53
Janv. - Mars 2012	2,32 \pm 0,18	Oct. - Nov. 2015	1,72 \pm 0,44
Sept. - Oct. 2012	2,40 \pm 0,31	Juil. - Sept. 2016	1,68 \pm 0,48
Janv. - Mars 2013	1,95 \pm 0,33	Oct. – Nov. 2016	2,32 \pm 0,53
Juil. - Août 2013	0,98 \pm 0,46	Avr. – Mai 2017	2,52 \pm 0,53
Janv. - Mars 2014	10,7 \pm 3,13	-	-

- : pas de campagne.

2. Rade Nord de Prony (St15)

Concentrations en métaux et calcium

Parmi les 3 stations étudiées, la St15 se distingue par les concentrations moyennes en Co, Cr, Fe, Mn et Ni les plus hautes, et la concentration moyenne en Ca la plus basse. En ce qui concerne les évolutions des concentrations dans le temps, exception faite pour le Ca, elles sont peu dispersées (Tableau 18).

Les plus fortes concentrations en Co, Cr, Fe, Mn, et Ni ainsi que la plus faible teneur en Ca ont été mesurées dans la période du 22-25 avril (003). A noter que ces tendances sont identiques, pour la même période, à la station St06-KW1. Inversement, pour la St15, du 16-19 mai (009), les concentrations mesurées en métaux, excepté le Mn, sont minimales tandis que celles en Ca est la plus élevée. La concentration minimale de Mn, quant à elle, est enregistrée le 18-21 avril (002).

Bien que les concentrations évoluent peu entre les prélèvements, la matrice de corrélation montre qu'il existe bien une relation inverse entre le Ca et les 4 métaux ($R^2 < -0,80$), bien que celle-ci soit moins forte que pour la station St06-KW1. Par ailleurs, les évolutions de concentrations de ces métaux sont également négativement corrélées à celle des teneurs en carbonates. La matrice confirme également la très forte similarité d'évolution des concentrations massiques pour Co, Cr, Fe et Ni ($R^2 > 0,80$). En revanche, aucune corrélation n'est observée pour le Mn ce qui pourrait indiquer un terme source composite pour cet élément (Tableau 19).

Entre les différentes campagnes conduites à St15, les concentrations moyennes des éléments sont peu homogènes notamment celles de Ca. Les comparaisons montrent également que les concentrations obtenues en Co, Cr, Fe, Mn et Ni lors de cette campagne sont du même ordre, voire légèrement faibles, qu'en 2007 pour

l'état de référence mais sont inférieures à celles obtenues en janvier-mars 2015 ; cette campagne est à ce jour celle qui présente les concentrations métalliques les plus hautes (Tableau 20). Quant à la concentration moyenne en Ca, elle est supérieure à celle de 2007 (1,6 fois).

Tableau 18 : Concentrations en métaux et calcium obtenues (moyennes, écart-types et valeurs extrêmes) dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St15.

St15						
Eléments (mg/kg ps)	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Min	63 259	161	7 023	200 596	918	2 169
Max	129 739	226	9 946	280 587	1 584	3 026
Moyenne	101 352	184	8 150	231 480	1 246	2 501
Ecart-type	17 811	20,5	859	23 743	174	281
CV (%)	18	11	11	10	14	11

Tableau 19 : Matrice de corrélation inter-éléments des concentrations de métaux et du calcium obtenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 8 prélèvements du piège séquentiel à St15.

St15						
Eléments	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ca	1	-0,845	-0,928	-0,922	-0,387	-0,884
Co		1	0,960	0,965	0,604	0,975
Cr			1	0,997	0,505	0,985
Fe				1	0,483	0,990
Mn					1	0,498
Ni						1

Tableau 20 : Compilation des données moyenne \pm écart-type des concentrations en métaux et calcium obtenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St15.

St15						
Campagne	Eléments (mg/kg ps)					
	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Mars – Avr. 2007	61 870 (n=1)	208 (n=1)	8 500 (n=1)	205 660 (n=1)	1 949 (n=1)	2 742 (n=1)
Janv. - Mars 2014	11 118 \pm 153	295 \pm 27	13 796 \pm 1 654	245 119 \pm 15 893	2 368 \pm 547	3 927 \pm 665
Sept. – Oct. 2014	87 180 \pm 6 927	265 \pm 23	8 111 \pm 535	217 647 \pm 12 561	1 881 \pm 191	2 798 \pm 177
Janv. - Mars 2015	78 349 \pm 29 017	440 \pm 14	14 204 \pm 757	290 374 \pm 11 196	3 788 \pm 569	5 012 \pm 266
Juil. - Sept. 2015	85 568 \pm 10 844	228 \pm 18	8 016 \pm 728	177 466 \pm 13 141	2 148 \pm 207	2 751 \pm 248
Mai - Juil. 2016	60 636 \pm 34 192	195 \pm 37	5 682 \pm 1 080	170 877 \pm 75 892	1 981 \pm 303	3 101 \pm 569
Oct. – Nov. 2016	91 451 \pm 16 898	178 \pm 33	6 057 \pm 1 016	198 270 \pm 35 176	1 861 \pm 511	2 339 \pm 383
Avr. - Mai 2017	101 352 \pm 17 811	184 \pm 20,5	8 150 \pm 859	231 480 \pm 23 743	1 246 \pm 174	2 501 \pm 281

Normalisation du calcium par le fer

Les valeurs du rapport Ca/Fe obtenues en St15 se distribuent entre 0,23 et 0,65 avec une moyenne de 0,45 \pm 0,11 et sont peu variables, les valeurs minimales et maximales correspondant aux prélèvements 003 et 009, respectivement. Ces ratios faibles confirment que l'influence terrigène est amplement dominante (Figure 16).

Entre les différentes campagnes conduites à St15, la stabilité des ratios Ca/Fe moyens permet de constater que la forte influence terrigène persiste à cette station ; le ratio minimal, c'est-à-dire l'influence terrigène maximale, ayant été relevé lors de la campagne de janvier-mars 2014 (Tableau 21).

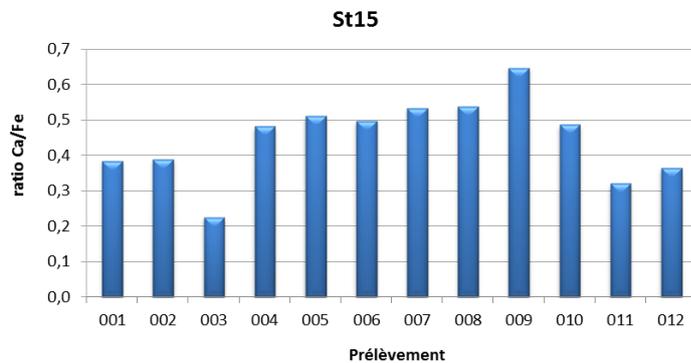


Figure 16 : Normalisation des concentrations en calcium par le fer mesurées dans la fraction fine (Ø < 41 µm) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St15.

Tableau 21 : Compilation des données moyenne ± écart-type de normalisation du calcium par le fer obtenues dans les fractions fines (Ø < 41 µm) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à particules à St15.

St15			
Campagne	Ca/Fe	Campagne	Ca/Fe
Mars - Avr. 2007	0,30 (n=1)	Juil. - Sept. 2015	0,48 ± 0,04
Janv. - Mars 2014	0,05 ± 0,08	Mai - Juil. 2016	0,46 ± 0,32
Sept. - Oct. 2014	0,40 ± 0,02	Oct. - Nov. 2016	0,46 ± 0,05
Janv. - Mars 2015	0,27 ± 0,11	Avr. - Mai 2017	0,45 ± 0,11

3. Canal de la Havannah (St60-NE)

Concentrations en métaux et calcium

Le manque de matière n'a permis les analyses que sur 10 échantillons. Les plus fortes quantités en Co, Cr, Fe, Mn et Ni ont invariablement été enregistrées dans les particules piégées du 20-23 mai (010), tandis que les faibles ont été mesurées sur plusieurs périodes, à savoir entre 26 avril-07 mai (004, 005 et 006). Inversement, les teneurs maximale et minimales en Ca ont été mesurées dans les MES piégées, respectivement, du 30 avril-03 mai (005) et du 12-15 mai (008).

En dépit de ces évolutions, les concentrations obtenues dans les 10 prélèvements ne montrent pas de grandes variations (Tableau 22).

La matrice de corrélation montre qu'une similarité certaine de l'évolution des concentrations massiques de Ni vis-à-vis de Co, Cr et Fe ($R^2 > 0,80$) est réelle. Pour les autres éléments, les tendances sont à peine marquées, exception faite du couple Fe/Cr. Inversement, aucun type de corrélation n'est constaté pour les métaux et le Ca (Tableau 23). Par ailleurs, il n'existe pas, non plus, de corrélation ni entre les métaux et les masses de MES collectées ni entre les métaux et les teneurs en carbonates.

Entre les différentes campagnes conduites à St60-NE, les concentrations moyennes des éléments varient peu, plus particulièrement pour le Ca. Les comparaisons montrent que les concentrations moyenne en Co, Cr, Fe, Mn et Ni obtenue lors de cette campagne 2017 sont environ 2 à 3 fois supérieures à celle enregistrée en 2007

pour l'état de référence. Elles sont également en augmentation par rapport à la dernière campagne de 2016. Pour le Cr et Fe, et dans un moindre mesure le Ni, les niveaux demeurent tout de même largement inférieurs à ceux mesurés en juillet-août 2013, campagne qui est à ce jour celle qui présente les concentrations métalliques les plus hautes à St60-NE (Tableau 24).

Tableau 22 : Concentrations en métaux et calcium obtenues (moyennes, écart-types et valeurs extrêmes) dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 10 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

St60-NE						
Eléments (mg/kg ps)	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Min	334 458	27,0	577	16 663	207	359
Max	359 729	46,0	750	23 546	448	467
Moyenne	349 128	33,2	643	19 309	302	397
Ecart-type	7 429	5,87	58,9	2 487	76,9	32,1
CV (%)	2	18	9	13	25	8

Tableau 23 : Matrice de corrélation inter-éléments des concentrations de métaux et du calcium obtenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 10 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

St60-NE						
Eléments	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ca	1	-0,376	-0,480	-0,375	-0,047	-0,391
Co		1	0,789	0,764	0,852	0,907
Cr			1	0,974	0,681	0,919
Fe				1	0,665	0,917
Mn					1	0,706
Ni						1

Tableau 24 : Compilation des données moyenne \pm écart-type des concentrations en métaux et calcium obtenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges à St60-NE.

Campagne	St60-NE					
	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Févr. - Mars 2007	340 410 (n=1)	11,0 (n=1)	332 (n=1)	9 910 (n=1)	109 (n=1)	136 (n=1)
Juil. - Août 2011	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Janv. - Mar 2012	293 760 \pm 16 723	25,6 \pm 6,56	662 \pm 72	20 959 \pm 2 895	254 \pm 123	423 \pm 78
Sept. - Oct. 2012	345 918 \pm 19 677	29,0 \pm 4,97	566 \pm 23	18 347 \pm 1 641	189 \pm 49	345 \pm 68
Janv. - Mars 2013	306 914 \pm 5 219	21,3 \pm 2,55	834 \pm 58	26 131 \pm 2 022	262 \pm 25	478 \pm 39
Juil. - Août 2013	280 315 \pm 16 630	35,5 \pm 10,5	921 \pm 179	32 693 \pm 6 925	358 \pm 93	558 \pm 106
Avr. - Juin 2014	302 211 \pm 9 477	19,6 \pm 2,3	569 \pm 41	17 740 \pm 1 958	195 \pm 32	322 \pm 36
Sept. - Oct. 2014	313 173 \pm 7 856	24,8 \pm 3,8	725 \pm 101	25 695 \pm 4 668	204 \pm 30	386 \pm 64
Janv. - Mars 2015	325 637 \pm 9 166	31,6 \pm 6,5	848 \pm 174	28 754 \pm 5 415	329 \pm 61	506 \pm 95
Juil. - Sept. 2015	347 224 \pm 3 5214	25,6 \pm 3,8	702 \pm 63	22 628 \pm 2 287	298 \pm 38	416 \pm 41
Mai - Juil. 2016	279 965 \pm 3 4471	25,9 \pm 5,2	439 \pm 51	22 735 \pm 2 589	251 \pm 35	365 \pm 52
Oct. - Nov. 2016	342 228 \pm 27 452	17,1 \pm 1,5	461 \pm 33	17 288 \pm 1 125	143 \pm 16,3	252 \pm 17,2
Avr. - Mai 2017	349 128 \pm 7 429	33,2 \pm 5,87	643 \pm 58,9	19 309 \pm 2 487	302 \pm 76,9	397 \pm 32,1

ND : valeur non déterminée.

Normalisation du calcium par le fer

Les valeurs du rapport Ca/Fe obtenues en St60-NE se distribuent entre 14,6 et 21,1 avec une moyenne de 18,4 ± 2,4 ; la plus basse valeur ayant été obtenue lors des prélèvements du 20-24 mai (010) et la plus forte du 26 avril au 004 mai (004 et 005). Ces ratios élevés confirment que l'influence marine est largement dominante corroborant ainsi les résultats de teneurs en carbonates (Figure 17).

Entre les différentes campagnes conduites à St60-NE, les évolutions du ratio Ca/Fe moyen permettent de constater que l'influence terrigène a augmenté à cette station depuis la campagne de l'état de référence en 2007 ; le ratio minimal ayant été relevé lors de la campagne de juillet-août 2013. Depuis, les valeurs sont stables avec une moyenne de 15,4 ± 3,2 (Tableau 26).

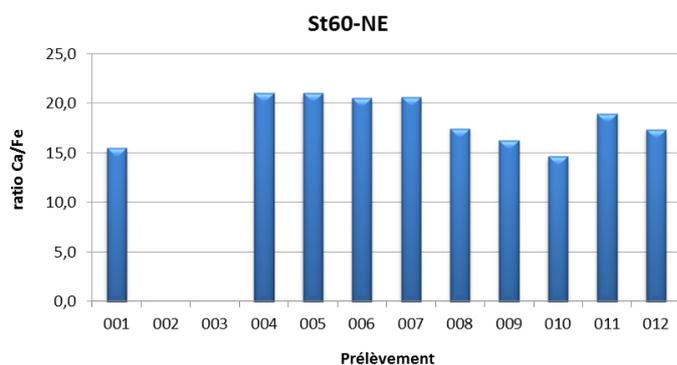


Figure 17 : Normalisation des concentrations en calcium par le fer mesurées dans la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

Tableau 25 : Compilation des données moyenne ± écart-type de normalisation du calcium par le fer obtenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES collectées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à particules à St60-NE.

St60-NE			
Campagne	Ca/Fe	Campagne	Ca/Fe
Févr. - Mars 2007	34,4 (n=1)	Sept. - Oct. 2014	12,5 ± 1,8
Juil. - Août 2011	ND	Janv. - Mars 2015	11,7 ± 2,2
Janv. - Mar 2012	14,3 ± 2,4	Juil. - Sept. 2015	15,4 ± 1,5
Sept. - Oct. 2012	19,0 ± 2,7	Mai - Juil. 2016	12,5 ± 2,4
Janv. - Mars 2013	11,8 ± 1,0	Oct. - Nov. 2016	19,8 ± 1,2
Juil. - Août 2013	9,0 ± 2,3	Avr. - Mai 2017	18,4 ± 2,4
Avr. - Juin 2014	17,2 ± 1,8	-	-

ND : valeur non déterminée ; - : pas de campagne.

Concentrations en soufre

Les concentrations en S dans la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des MES collectées en St60-NE se distribuent entre 2653 mg/kg ps et 3032 mg/kg ps avec une moyenne de 2808 ± 118 mg/kg ps. Elles évoluent peu ; la plus forte et la plus faible concentration ayant été mesurées, comme pour les métaux, le 20-23 mai (010) et 30 avril-03 mai (005) (Figure 18).

Entre les différentes campagnes conduites à St60-NE, les concentrations moyennes en S montrent peu de variations. Toutefois, les comparaisons démontrent que depuis les campagnes d'avril-juin 2014, les concentrations obtenues en S ont diminué. La campagne de 2014 est à ce jour celle qui présente les

concentrations en S les plus hautes à St60-NE. Depuis, les concentrations moyennes calculées sont du même ordre de grandeur (Tableau 26).

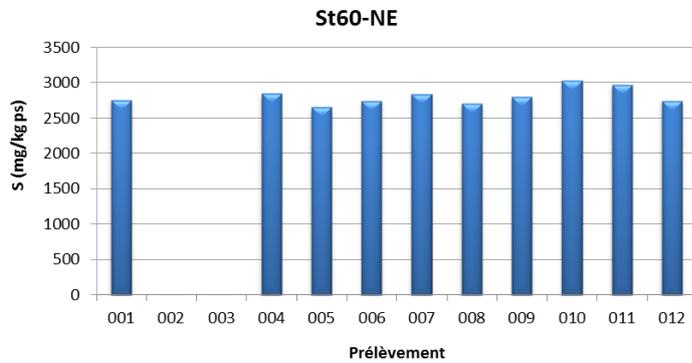


Figure 18 : Concentrations en soufre mesurées dans la fraction fine (Ø < 41 µm) des 10 prélèvements de MES collectés par le piège séquentiel à particules à St60-NE.

Tableau 26 : Compilation des moyenne ± écart-type des concentrations en soufre obtenues dans les fractions fines (Ø < 41 µm) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St60-NE.

St60-NE			
Campagne	S (mg/kg ps)	Campagne	S (mg/kg ps)
Févr. - Mars 2007	ND	Sept. - Oct. 2014	2 805 ± 161
Juil. - Août 2011	ND	Janv. - Mars 2015	2 887 ± 74
Janv. - Mars 2012	2 903 ± 183	Juil. - Sept. 2015	2 776 ± 168
Sept. - Oct. 2012	3 001 ± 131	Mai - Juil. 2016	2 746 ± 83
Janv. - Mars 2013	3 113 ± 284	Oct. - Nov. 2016	2639 ± 503
Juil. - Août 2013	2 656 ± 556	Avr. - Mai 2017	2808 ± 118
Avr. - Juin 2014	3 812 ± 834	-	-

ND : valeur non déterminée ; - : pas de campagne.

IV. INTERPRETATION

A. INFLUENCE DES FACTEURS METEOROLOGIQUES

Les quantités de MES collectées et les concentrations en éléments sont influencées par les taux de précipitations (phénomène d'érosion des bassins versants) et/ou l'action mécanique induite par les conditions météorologiques telles que la direction et la force des vents (phénomène de remise en suspension). Selon les stations suivies, les Figure 19, Figure 20 et Figure 21 apportent une vue d'ensemble afin de tenter d'expliquer entre les différents épisodes et les observations marquantes en rapport avec les conditions hydro-climatiques.

1. Baie Kwé (St06-KW1)

L'immersion du piège à particules séquentiel à St06-KW1 du 14 avril au 31 mai avec un pas de temps de 96 h a permis de révéler les observations suivantes (Figure 19) :

- Du 14-17 avril (001) au 26-29 avril (004) - les quantités de MES piégées sont faibles et évoluent peu entre les 4 périodes de collecte. *A contrario*, les concentrations de Ni et les ratios Ca/Fe évoluent de manière plus certaine ; les plus fortes concentrations et les plus faibles ratios ayant été, respectivement, mesurés les 18-21 avril (002) et 22-25 avril (003). Ces périodes sont accompagnées, respectivement, des fortes (191,6 mm) et faibles (6,6 mm) précipitations et de vents modérées d'intensités $7,9 \pm 2,0$ (ESE à SE) et $5,2 \pm 1,5$ m/s (SSO à SE). Les fortes précipitations du 20-21 avril n'ayant pas eu d'impact sur les quantités de MES piégées pendant ces 2 prélèvements, elles ne semblent pas être à l'origine des valeurs extrêmes mesurées. Ces observations souligneraient que les apports terrigènes sont supérieurs et qu'en dépit des fortes précipitations, l'action des régimes de vents du secteur SE (002 - confinement du panache aux bordures de la baie) puis de SSO-S (003 - transfert des particules sédimentées et/ou expansion du panache à l'emplacement du piège *via* le clapot de la mer) a été prépondérante. Le 26-29 avril (004), la concentration de Ni diminue et le ratio Ca/Fe augmente de sorte que les valeurs reviennent au même niveau que celui mesuré le 14-17 avril (001). Pendant ces deux périodes de collecte, les précipitations sont faibles (3,0 et 8,0 mm respectivement) tandis que les vents modérées soufflent, respectivement, de SO à SE ($4,8 \pm 2,1$ m/s) et ESE à ONO ($4,9 \pm 1,9$ m/s). Dans ces prélèvements, l'influence marine domine ainsi par l'action des vents de S, notamment SO (001 - déplacement des masses d'eau océanique). De même, les régimes d'E, N à O (004 - remobilisation des débris carbonatés du platier aux abords) n'apportent aucun forçage notable sur les écoulements, seuls les courants de marées chenalisent les masses d'eaux. Ainsi, l'absence de précipitations, donc de matière particulaire terrigène, conduit à un enrichissement relatif en particules carbonatées.
- Du 30 avril-03 mai (005) au 12-15 mai (008) - les 30 avril-07 mai (005 et 006), les quantités de MES piégées doublent avec peu d'évolution des concentrations de Ni et des ratios de Ca/Fe. Les vents d'intensité modérée, respectivement, de $7,9 \pm 1,4$ et $9,6 \pm 1,8$ m/s ont soufflé passagèrement du secteur SSO-S puis les alizés (SE) se sont installés. Les pluies, quant à elles, sont faibles (2,6 et 12,0 mm, respectivement). Le 08-11 mai (007), les MES piégées triplent en quantité et la masse piégée atteint soudainement la valeur maximale, puis diminue aussi subitement le 12-15 mai (008). Les deux périodes de collecte sont notables car elles coïncident avec une rotation de vents très rapides et d'intensité forte (NE-NO ; $12,3 \pm 15,3$ m/s) à modérée (SO-ENE ; $7,5 \pm 2,4$ m/s), respectivement. Par

ailleurs, ce phénomène est accompagné des taux de précipitations, respectivement, de fortes (103,7 mm) à faibles (5,2 mm) intensité. La dégradation des conditions météorologiques n'a pourtant pas eu d'incidence manifeste ni sur les concentrations de Ni, ni sur les ratios Ca/Fe. L'effet de pluie du 08-11 mai (007) semble être neutralisé par les forts vents de secteur N à E et puis d'O (remobilisation des débris carbonatés du platier avoisinant et/ou déplacement des masses d'eau océanique).

- Du 16-19 mai (009) au 28-31 mai (012) – le 16-19 mai (009) et le 28-31 mai (012), les quantités de MES piégées sont aussi faibles que les masses collectés au début de l'étude (001-004). Ces périodes correspondent à de régimes météorologiques stables avec des précipitations nulles et des vents d'intensité modérée ($7,5 \pm 2,4$ et $4,8 \pm 1,8$ m/s, respectivement). Les régimes des vents sont principalement du secteur SE (alizés) le 16-19 mai (009) et E le 28-31 mai (012). Cette dernière période coïncide avec la concentration de Ni minimale et le ratio Ca/Fe maximale dénotant la primauté d'apports marins par les régimes de secteur E (déplacement des masses d'eau océanique et/ou sédimentation naturelle des tests d'organismes). Par comparaison, du 20 au 27 mai (010 et 011), les quantités de MES piégées ont été plus élevées. Les concentrations de Ni, quant à elles, augmentent (010) puis diminuent (011). Inversement, les ratios Ca/Fe diminuent (010) puis augmentent (011) ce qui souligne l'augmentation du régime marin (011) sur le régime terrigène (010). Il est à noter que le 20-23 mai (010), les conditions météorologiques se sont dégradées avec 98,0 mm de pluviométrie accompagnées de vents modérés de $7,8 \pm 3,2$ m/s soufflant invariablement d'E ; une combinaison de conditions qui semble avoir favorisé le transfert de matière terrigène à la station St06-KW1. A l'inverse, le 24-27 mai (011), le temps a été plus clément (12,5 mm de pluie), toutefois, caractérisé par une très rapide rotation de vents ($5,0 \pm 1,7$ m/s ; du ENE au S en passant par l'O) ce qui a pour conséquence d'avantager les apports carbonatés (remobilisation des débris du platier aux abords et/ou déplacement des masses d'eau océanique).

La St06-KW1 étant située dans un étroit chenal formé entre des récifs enserrant la Baie Kwé et ouvert vers le sud, ces observations démontrent que :

- la contribution du flux de particules **d'origine terrigène** a été influencée par l'effet combiné de la direction de vents et sa vitesse et, dans la moindre mesure, la pluviométrie. Les vents de secteur SSO d'intensité modérés ($< 6,0$ m/s) ont pour effet de remobiliser des particules terrigènes sédimentées ou favoriser l'expansion du panache qui sera confiné en fond de baie (*ex*, prélèvement 003). *A contrario*, les vents des secteurs E, N et O ne favorisent pas la formation d'un clapot suffisant pour engendrer des remises en suspension des particules déposées en fond de baie. Cet apport est également conditionné par les précipitations, génératrices de matériel particulaire terrigène *via* le lessivage des bassins versants comme constaté pour le prélèvement 010 où ont été enregistrés 98,0 mm de pluviométrie avec des vents modérés (< 10 m/s) orientés E. Ceci n'est pas le cas pour le prélèvement 002 en dépit des plus fortes précipitations (191,6 mm). Les vents soufflant de SE (> 8 m/s), le panache terrigène transporté par le Creek de la Baie Kwé est resté confiné en fond de baie. Cette hypothèse est confortée par les résultats d'une récente étude de modélisation hydrodynamique de la Baie Kwé (Drouzy, 2016) que sous l'action de l'alizé modéré à 6 m/s, le panache provenant du creek s'étendrait à tout le fond de baie et au platier ouest et n'atteindrait que faiblement le chenal où se situe la station St06-KW1. Le troisième cas est celui du prélèvement 007 où l'on constate, une corrélation entre la quantité de MES collectés et les fortes précipitations (103,7 mm), mais avec peu d'impact sur la concentration de Ni et le ratio Ca/Fe. L'effet de pluie semble être neutralisé par les forts vents de N à E (> 10 m/s) puis O qui d'après la géomorphologie du site d'étude remobiliseraient des débris carbonatés du platier et/ou déplaceraient des masses d'eaux océaniques enrichies en carbonate et en tests de micro-organismes marins, comme les foraminifères.
- le flux de particules **d'origine marine** est ainsi favorisé par des vents de E, N et O et principalement par des vents modérés de secteur S, notamment de régime SO qui contribuent au déplacement des

masses d'eaux océaniques enrichies en particules carbonatées et en tests micro-organismes marins, comme les foraminifères (prélèvements 001, 004, 011 et 012). Par ailleurs, les vents O sont également capables de mettre en suspension les particules grossières, conséquence de l'altération mécanique du platier corallien qui borde la Baie Kwe.

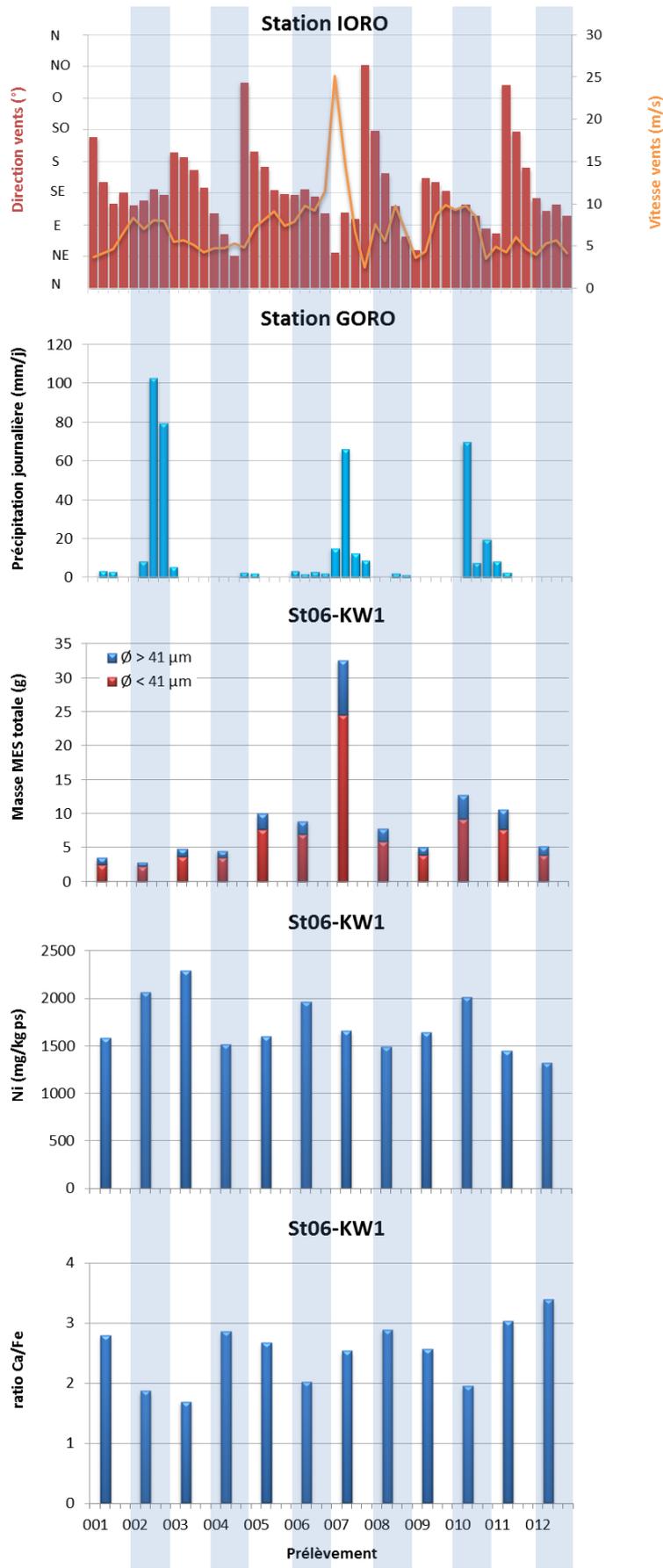


Figure 19 : Diagramme combiné de direction et vitesse moyennes journalières des vents, cumul journalier de précipitation, de masse totale de MES piégées et la composition en fraction fine ($\phi < 41 \mu\text{m}$) et fraction grossière ($\phi > 41 \mu\text{m}$) ainsi que de concentration en nickel et le ratio Ca/Fe mesurés dans les fractions fines piégées à St06-KW1.

2. Rade Nord de Prony (St15)

L'immersion du piège à particules séquentiel à St15 du 14 avril au 31 mai avec un pas de temps de 96 h a permis de révéler les observations suivantes (Figure 20) :

- Du 14-17 avril (001) au 22-25 avril (003) – les 14 au 21 avril (001 et 002), les quantités de MES collectées sont infinitésimales, puis augmentent le 22-25 avril (003). Ces périodes sont accompagnées de vents modérés ($4,8 \pm 2,1$, $7,9 \pm 2,0$ et $5,2 \pm 1,5$ m/s, respectivement) qui se maintiennent dans le secteur E au S-SE (alizés) à l'exception des écarts au SO le 14 avril et au SSO le 22 avril. Les précipitations quant à elles sont faibles à fortes (8,0 puis 191,6 et 6,6 mm). Les fortes précipitations de 20-21 avril n'ont pas eu d'impact sur le prélèvement 002. En effet, la quantité de MES collectée, la concentration de Ni et le ratio Ca/Fe obtenu, demeurant invariables, ce phénomène est à lier aux vents SE (confinement du panache sur la ligne de côté nord de la baie). En revanche, le 22-25 avril (003), la concentration de Ni atteint la valeur maximale et le ratio Ca/Fe le minimal. L'apport terrigène domine ainsi sur l'apport marin, favorisé par la rotation des vents au secteur SSO-S (expansion du panache sur l'emplacement du piège). Ces vents peuvent également remettre en suspension les particules légères constituant le haut du talus.
- Du 26-29 avril (004) au 16-19 mai (009) – ces périodes sont marquées par trois rotations de vents entre le 26-29 avril (004) et les 08-15 mai (007 et 008) ; les régimes ayant basculé à plusieurs reprises au secteur E, N et O. Les précipitations enregistrées sont nulles à fortes. Le temps se dégrade notamment le 08-11 mai (007) puisque des fortes précipitations (103,7 mm) et des rafales de vents ($12,3 \pm 15,3$ m/s) du secteur E-NE à NO ont été relevées. Ces intempéries ont toutefois été sans conséquences sur le flux des particules, une observation à mettre en lien avec les forts vents d'E ($25,2$ et $14,6$ m/s) mesurés (refoulement du panache des particules du creek loin de l'emplacement du piège). En effet, entre les 6 pas de prélèvement (004, 005, 006, 007, 008 et 009), les quantités de MES piégées demeurent quasi-immuables et les concentrations de Ni et le ratio Ca/Fe exceptionnellement homogènes. Cette stabilité des concentrations en métaux latéritiques entre les pas de prélèvements pourrait-être expliquée par la latence de sédimentation des particules fines et/ou à la lente dynamique de renouvellement des masses d'eau dans la Rade Nord. Par ailleurs, pendant ces 6 pas de collecte, les concentrations de Ni les plus basses et les ratios Ca/Fe les plus hauts sont mesurés, ce qui souligne la présence de l'influence marine bien que modique. Cet apport marin semble donc être favorisé par l'intrusion de vents observés à plusieurs reprises appartenant à un large secteur N.
- Du 20-23 mai (010) au 28-31 mai (012) – la collecte du 20-23 mai (010) correspond à des fortes précipitations (98,0 mm) et à une hausse d'un facteur 2 de la quantité de MES. La dégradation des conditions météorologiques n'a pourtant pas eu d'effets ni sur la concentration de Ni, ni sur le ratio Ca/Fe. Les vents, quant à eux, ont été modérés d'intensité $7,8 \pm 3,2$ m/s soufflant du secteur E. L'impact des précipitations n'est aperçu que lors du pas de collecte suivant, du 24-27 (011) ; la quantité de MES demeure invariable tandis que la concentration de Ni augmente et le ratio Ca/Fe diminue sensiblement. Cette période coïncide à une intensité de vents modérés ($5,0 \pm 1,7$ m/s) et de précipitations faible (12,5 mm) mais est caractérisée par une rotation des vents avec une intrusion brève aux secteurs E à S en passant par l'O. Enfin, pour le dernier pas de collecte (28-31 mai ; 012), les vents reviennent au secteur E et demeurent d'intensité modérés ($4,8 \pm 1,8$ m/s). Bien qu'aucune pluviométrie n'est mesurée, la quantité de MES piégées double à nouveau et atteint la valeur maximale. Cette augmentation n'a toutefois pas été accompagnée d'une évolution de la concentration de Ni, ni du ratio Ca/Fe ; ces valeurs restent stables. Ces observations soulignent que l'influence terrigène prédomine l'influence marine et, qu'en dépit des fortes précipitations, l'action des régimes de vents d'abord du secteur E (010 – refoulement des particules du creek loin de l'emplacement du

piège) puis O à S-SO (011 - remobilisation des particules légères déposées sur le haut du talus) été prépondérante.

La St15 étant située au droit de l'embouchure du Creek de la Rade Nord au fond de la Baie du Prony et en contrebas d'un talus formé d'une couche de sédiment fluide non consolidée, ces observations démontrent que:

- la contribution du flux de particules **d'origine terrigène** est particulièrement influencée par l'effet combiné de la direction du vent, sa vitesse et la pluviométrie. En raison de sa dimension réduite, la baie du Creek de la Rade Nord reçoit les particules latéritiques entraînées par les précipitations *via* le creek qui y débouche. C'est le cas lors des précipitations du 20-21 avril accompagnées des vents de S-SSO (prélèvement 003), tandis que ce même épisode de précipitation accompagné des vents de S-SE plus soutenus (prélèvements 002) n'a pas eu d'influence particulière. Par ailleurs, les précipitations du 09 et 21 mai, accompagnées de vents E, respectivement, forts à modérés (007 et 010) n'ont eu non plus d'effet particulier. En effet, les vents du secteur E à S ont tendance, respectivement, soit à n'avoir aucune incidence sur la remobilisation et le transport, soit à plaquer le panache des particules sur la ligne de côté nord de la baie. Par ailleurs, les vents forts de S-SSO, voire S-SE peuvent remettre en suspension les particules légères déposées par faible profondeur (3 m) sur le haut du talus (003 et 011). Les vents de composante O, quant à eux, peuvent remobiliser les particules plus denses et moins riches en Ni déposés dans la petite anse de la Rade Nord et/ou apporter des tests carbonatés du large. Les concentrations en métaux latéritiques (exemple de Ni) restent particulièrement stables entre les pas de prélèvements 004 à 009. Cela pourrait-être expliqué par la latence de sédimentation des particules fines et/ou à la lente dynamique de renouvellement des masses d'eau dans la Rade Nord.
- le flux **d'origine marine**, en général est peu présent à cette station. En effet, les valeurs de ratios Ca/Fe obtenues sont à la fois faibles et homogènes. D'après les campagnes précédentes, l'apport marin à cette station est principalement favorisé par les vents de secteur N modérés. Pour cette campagne, cette observation semble confirmée par les prélèvements 004 à 009 où les vents soufflent avec des incursions à plusieurs reprise aux secteurs NO à NE, ce qui explique la présence des apports marins, bien que peu significatifs.

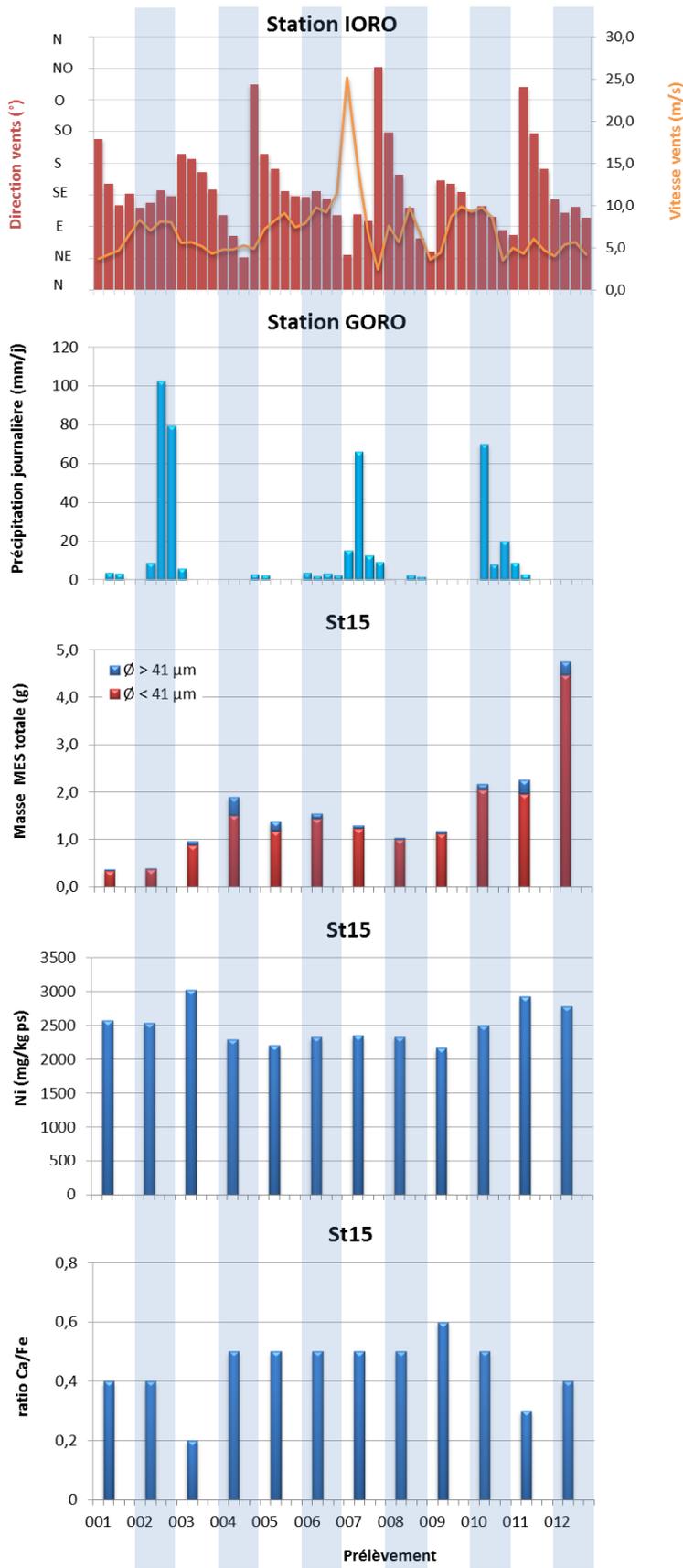


Figure 20 : Diagramme combiné de direction et vitesse moyennes journalières des vents, cumul journalier de précipitation, de masse totale de MES piégées et la composition en fraction fine ($\phi < 41 \mu\text{m}$) et fraction grossière ($\phi > 41 \mu\text{m}$) ainsi que de concentration en nickel et le ratio Ca/Fe mesurés dans les fractions fines piégées à St15.

3. Canal de la Havannah (St60-NE)

L'immersion du piège séquentiel à particules à St60-NE du 14 avril au 31 mai, avec un pas de temps de 96 h a permis de révéler les observations suivantes (Figure 21) :

- Du 14-17 avril (001) au 04-07 mai (006) – les quantités de MES collectées sont infinitésimales et contiennent peu de fraction fine pour effectuer les analyses élémentaires, notamment pour les prélèvements 002 et 003. Ces 6 périodes sont caractérisées par des régimes de vents d'intensité modérées (de $4,8 \pm 2,1$ à $9,6 \pm 1,8$ m/s) principalement orientés au S-ESE (alizés) exception de deux périodes de rotations de vents (001 et 004) où les vents ont soufflé de SO à SE ($4,8 \pm 2,1$ m/s) et ESE à ONO ($4,9 \pm 1,9$ m/s), respectivement. Les précipitations, quant à elles, sont faibles à fortes (de 2,6 à 191,6 mm) et ne montrent pas de conséquences particulières, ni sur les quantités de particules piégées, ni sur les concentrations de Ni mesurées. Seul le ratio Ca/Fe du premier prélèvement du 14-17 avril (001) montre un écart ; la valeur obtenue étant significativement plus faible que celles des autres prélèvements (004 à 006) qui sont, quant à elles, parmi les plus élevées mesurées. Il conviendrait de noter que 4 jours précédant le premier prélèvement, les vents amorcent progressivement une rotation complète d'E pour s'établir au SO le premier jour de l'ouverture du piège.
- Du 08-11 mai (007) – une période caractérisée par de fortes intempéries où sont enregistrées des vents forts ($12,3 \pm 15,3$ m/s), dont le régime s'oriente de E-NE à NO (rotation), et d'intenses précipitations (103 mm). Toutefois, cet épisode n'a pas ou peu influencé les concentrations en éléments (Ca, Fe et Ni) et la quantité de MES piégée.
- Du 12-15 mai (008) au 20-23 mai (010) – les quantités de MES piégées augmentent et se stabilisent. Les concentrations de Ni, quant à elles, augmentent tandis que les ratios Ca/Fe décroissent sensiblement pour atteindre les valeurs maximale (Ni) et minimale (Ca/Fe). Les précipitations mesurées oscillent de 0,0 mm à 98,0 mm ; les 98,0 mm ayant été enregistré le 20-23 mai (010). Le vent souffle avec une intensité modérée ($7,5 \pm 2,4$, $6,6 \pm 3,1$ et $7,8 \pm 3,2$ m/s, respectivement). Il est particulièrement instable les 12-15 mai (008) où il souffle du secteur SO à ENE, puis les 20-27 mai (009 et 010), il revient aux alizés (SSE à ESE voire E).
- Du 24-27 mai (011) au 28-31 mai (012) – une dernière rotation de vents survient le 24-27 mai (011). Les vents modérés ($5,0 \pm 1,7$ m/s) suivent une incursion au E, puis O puis S. Le 28-31 mai (012), la situation revient au normal et les alizés s'installent ($4,8 \pm 1,8$ m/s). Ces 2 périodes sèches (12,5 et 0,0 mm de pluviométrie, respectivement), voient les ratios Ca/Fe à la hausse et les concentrations de Ni à la baisse, bien que légères toutes les deux. Dans ce contexte, la quantité de MES collectée le 24-27 mai (011), qui est importante (9,6 g), est sans aucun doute d'origine marine.

La St60-NE étant située dans le Canal de la Havannah, à 60 m au nord-est de l'émissaire, ces observations démontrent que:

- la contribution du flux de particules **d'origine terrigène** ne serait pas directement influencée par les précipitations. En effet, en raison de son éloignement à la côte et de l'intense hydrodynamisme régnant dans le Canal, il est peu probable que les particules latéritiques arrachées aux bassins versants par les précipitations puissent être transportées jusqu'à la station St60-NE. Cette hypothèse est étayée par le contraste entre les fortes précipitations du 20-21 avril et les quantités infinitésimales de MES piégées (prélèvement 002 et 003). En ce qui concerne les régimes de vents, aucune corrélation claire n'a pu être établie entre ce dernier et les apports terrigènes. Toutefois, des vents d'un large secteur S-SO génèrent une houle suffisante qui peut mettre/remettre en suspension des MES, tout le long de la ligne de côte, en fonction de sa durée et intensité. Ces particules peuvent probablement finir par

atteindre des aires éloignées de la ligne de côte, au gré des phénomènes de marées, mais en faible quantité.

- le flux **d'origine marine** ne semble *à priori* non plus, d'après les ratios Ca/Fe, particulièrement influencé par des régimes de vents. D'après les campagnes précédentes, cette influence serait avantagée par les vents du secteur E à SE qui balayent le complexe système récifale et favorisent la circulation des eaux enrichies en tests de micro-organismes. Lors de cette campagne, aucune corrélation semblable ne se dégage ; les flux et la sédimentation des particules à cette station pouvant être régis par d'autres mécanismes tels que les marées et les courants.

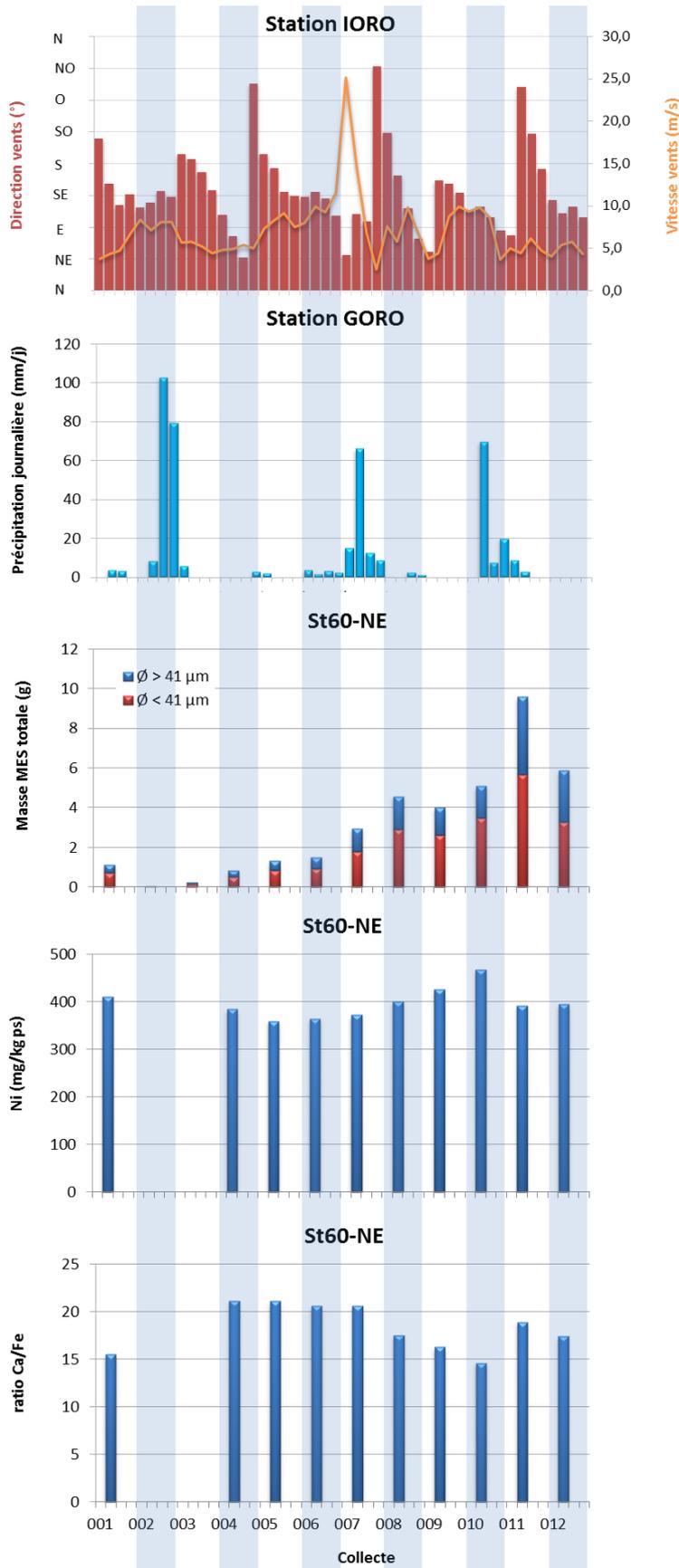


Figure 21 : Diagramme combiné de direction et vitesse moyennes journalières des vents, cumul journalier de précipitation, de masse totale de MES piégées et la composition en fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) et fraction grossière ($\varnothing > 41 \mu\text{m}$) ainsi que de concentration en nickel et le ratio Ca/Fe mesurés dans les fractions fines piégées à St60-NE.

B. CALCUL DES FLUX DES MATIERES

Les valeurs de densité de flux verticaux des MES et des flux métalliques sont regroupées dans l'Annexe 5.

1. Baie Kwé (St06-KW1)

Flux de matière en suspension

La densité de flux moyen mesurée lors de cette campagne est de $45,3 \pm 40,3 \text{ g/m}^2/\text{j}$, valeur qui est 3 plus élevée que celle enregistrée en 2006 pour l'état de référence. Entre les différentes campagnes, les densités moyennes de flux peuvent varier fortement. Globalement, depuis 2007, la tendance a été à l'augmentation et a semblé s'inverser, à partir de la campagne de janvier-mars 2015. Toutefois, la tendance est, cette fois-ci à l'augmentation (Tableau 27).

Tableau 27 : Compilation des moyenne \pm écart-type des flux en matière particulaire totale et des cumuls de masses de MES total piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St60-KW1.

St06-KW1					
Campagne	Densités de flux de MES ($\text{g/m}^2/\text{j}$)	Cumul de masse de MES piégées (g/m^2)	Campagne	Densités de flux de MES ($\text{g/m}^2/\text{j}$)	Cumul de masse de MES piégées (g/m^2)
Oct. - Nov. 2006	$14,6 \pm 7,4$	350	Janv. - Mars 2014	$60,7 \pm 34,1$	2 914
Mars - Avr. 2007	$46,1 \pm 44,7$	1 106	Sept - Oct. 2014	$11,8 \pm 8,41$	569
Juil. - Août 2011	$27,1 \pm 30,0$	1 299	Janv. - Mars 2015	$66,3 \pm 36,1$	3 181
Janv. - Mars 2012	$39,5 \pm 33,2$	1 894	Oct. - Nov. 2015	$38,8 \pm 30,5$	1 864
Sept. - Oct. 2012	$26,4 \pm 13,1$	1 267	Juil. - Sept. 2016	$28,7 \pm 22,9$	1 379
Janv. - Févr. 2013	$46,5 \pm 28,5$	2 231	Oct. - Nov. 2016	$18,5 \pm 13,9$	886
Juil. - Août 2013	$58,1 \pm 87,8$	2 786	Avr. - Mai 2017	$45,3 \pm 40,3$	2173

Éléments métalliques

Illustré par le cas du Ni, les flux métalliques moyens lors de cette campagne sont de $76,9 \pm 67,8 \text{ mg ps/m}^2/\text{j}$. D'une campagne à l'autre, les valeurs moyennes varient fortement, le flux maximum a été calculé pour juillet-août 2013 ($282 \pm 626 \text{ mg ps/m}^2/\text{j}$). Ensuite, les flux en Ni diminuent fortement et ne dépassent pas le seuil de $102 \text{ mg ps/m}^2/\text{j}$. Ils sont en baisse progressive depuis janvier-mars 2015 (Figure 22).

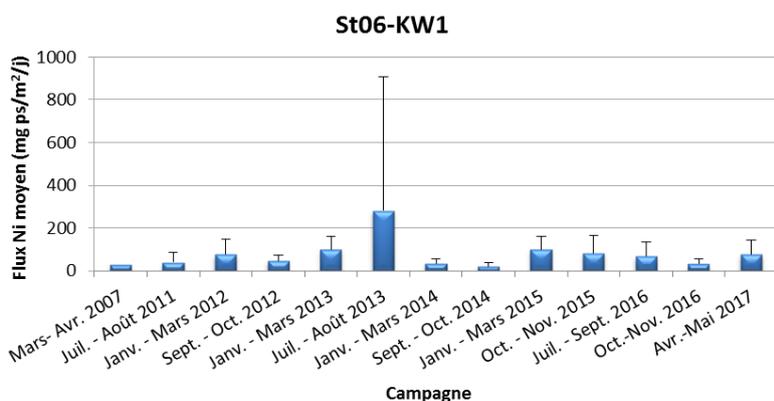


Figure 22 : Compilation des moyenne \pm écart-type des flux en nickel dans les fractions fines ($\phi < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St60-KW1.

2. Rade Nord de Prony (St15)

Flux de matière en suspension

La densité de flux moyen mesurée lors de cette campagne est de $8,05 \pm 5,78 \text{ g/m}^2/\text{j}$ et comparable à celle de mai-juillet 2016. Il est à noter que la valeur moyenne exceptionnelle de janvier-mars 2014 est à mettre en lien avec les précipitations, elles aussi exceptionnelles (920,2 mm), de cette campagne (Tableau 3 ; Tableau 28). Entre les différentes campagnes conduites à St15, les densités moyennes de flux sont variables. Pour cette campagne 2017 la moyenne est environ 8 plus élevée que celle enregistrée en 2006 pour l'état de référence.

Tableau 28 : Compilation des moyenne \pm écart-type des flux en matière particulaire total et des cumuls de masses de MES totales piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St15.

St15					
Campagne	Densités de flux de MES ($\text{g/m}^2/\text{j}$)	Cumul de masse de MES piégés (g/m^2)	Campagne	Densités de flux de MES ($\text{g/m}^2/\text{j}$)	Cumul de masse de MES piégés (g/m^2)
Oct. – Nov. 2006	$1,05 \pm 0,64$	25,2	Juil. - Sept. 2015	$1,31 \pm 1,34$	62,7
Mars - Avr. 2007	$1,55 \pm 1,45$	37,1	Mai - Juil. 2016	$8,67 \pm 7,44$	416
Janv. - Mars 2014	$22,2 \pm 44,5$	1 063	Oct. – Nov. 2016	$2,19 \pm 2,48$	105
Sept. – Oct. 2014	$0,91 \pm 1,23$	43,8	Avr.- Mai 2017	$8,05 \pm 5,78$	386
Janv. - Mars 2015	$2,78 \pm 2,98$	134	-	-	-

- : pas de campagne.

Éléments métalliques

Illustré par le cas du Ni, les flux métalliques moyens lors de cette campagne sont de $20,5 \pm 16,5 \text{ mg ps/m}^2/\text{j}$. Entre les campagnes, les valeurs moyennes montrent une très forte variation. Ainsi, en janvier-mars 2014, la valeur moyenne est maximale ($86 \pm 165 \text{ mg ps/m}^2/\text{j}$) puis, elle diminue et demeure en dessous du seuil de $27,0 \text{ mg ps/m}^2/\text{j}$. La valeur extrême maximale de 2014 est à relier avec la pluviométrie exceptionnelle de 920,2 mm mesurée lors de la campagne (Tableau 3 ; Figure 23).

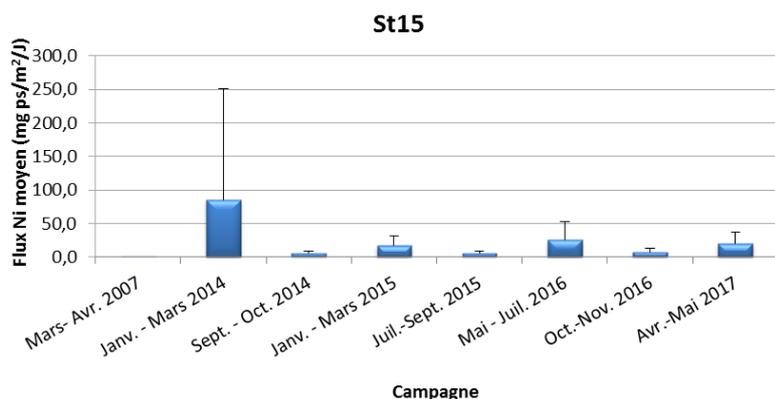


Figure 23 : Compilation des moyenne \pm écart-type des flux en nickel dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St15.

3. Canal de la Havannah (St60-NE)

Flux de matière en suspension

La densité de flux moyen mesurée lors de cette campagne est de $15,5 \pm 14,2 \text{ g/m}^2/\text{j}$. Entre les différentes

campagnes, les densités moyennes de flux sont également variables. Les comparaisons montrent également que les moyennes obtenues depuis 2012 demeurent inférieures à celle enregistrée en 2007 pour l'état de référence (Tableau 29).

Tableau 29 : Compilation des moyenne ± écart-type des flux en matière particulaire totale et des cumuls de masses de MES totales piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St60-NE.

St60-NE					
Campagne	Densités de flux de MES (g/m ² /j)	Cumul de masse de MES piégés (g/m ²)	Campagne	Densités de flux de MES (g/m ² /j)	Cumul de masse de MES piégés (g/m ²)
Févr. - Mars 2007	31,6 ± 40,1	949	Sept. - Oct. 2014	8,13 ± 9,08	390
Juil. - Août 2011	ND	ND	Janv. - Mars 2015	16,0 ± 15,6	766
Janv. - Mar 2012	9,61 ± 8,87	461	Juil. - Sept. 2015	9,88 ± 9,20	474
Sept. - Oct. 2012	4,10 ± 5,39	197	Mai - Juil. 2016	17,1 ± 10,2	822
Janv. - Mars 2013	12,6 ± 13,6	603	Oct. - Nov. 2016	11,1 ± 17,6	535
Juil. - Août 2013	5,85 ± 7,09	281	Avr. - Mai 2017	15,5 ± 14,2	745
Avr. - Juin 2014	7,43 ± 5,05	356	-	-	-

ND : valeur non déterminée ; - : pas de campagne.

Eléments métalliques

Les flux moyens de Ni lors de cette campagne sont seulement de 7,46 ± 5,60 mg ps/m²/j, valeur qui est de l'ordre de grandeur maximal des résultats historiques pour la station. Entre les différentes campagnes, la variation des moyennes est modérée et ne dépasse qu'exceptionnellement le seuil de 5,00 mg ps/m²/j. C'est le cas pour les campagnes de janvier-mars 2013 (7,72 ± 5,70 mg ps/m²/j), janvier-mars 2015 (8,57 ± 9,87 mg ps/m²/j) et mai-juillet 2016 (7,10 ± 3,10 mg ps/m²/j) ainsi que la présente campagne (Figure 24).

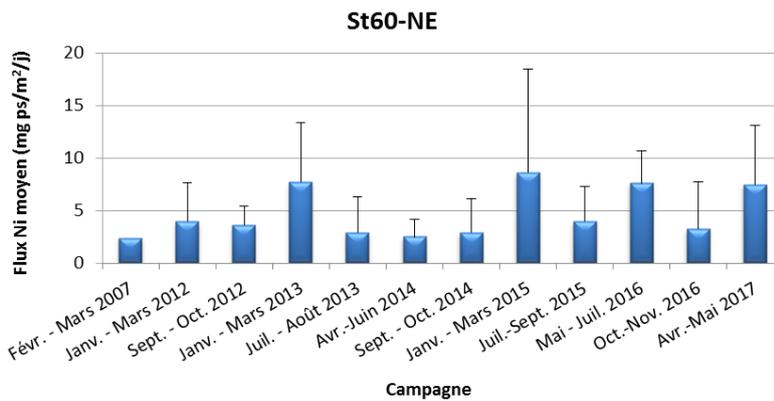


Figure 24 : Compilation des moyenne ± écart-type des flux en nickel dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St60-NE.

SYNTHESE

La campagne de suivi des densités de flux verticaux de particules du premier semestre de 2017 s'est déroulée du 14 avril à 31 mai aux stations St06-KW1, St15 et St60-NE avec une ligne de mouillage simple lestée.

Parmi les 3 stations suivies, les observations principales relevées sont les suivantes :

- Les particules terrigènes piégées à la station St06-KW1 proviennent d'une même formation géologique et la station subit des influences terrigènes et marines alternées, rythmées par le contexte hydro-climatique. Les précipitations, la direction et la vitesse de vents étant des forçages dominants, ils conditionnent le transport des particules terrigènes dans la baie. La quantité et la nature de matière piégée est majoritairement influencée par les variations de direction et vitesse du vent, entraînant courants et clapot ; et dans une moindre la mesure, par l'intensité des précipitations. Pour mieux caractériser l'effet des précipitations sur les flux verticaux des particules, les apports du creek devraient être inclus dans ces études. En effet, d'après [Drouzy, 2016](#), le débit d'eau douce dans la Baie Kwé est un des facteurs les plus influant sur le mélange vertical du panache. L'intensité du débit régit à la fois la distance et la rapidité de dispersion dans l'espace (par poussée mécanique de l'eau) et le mélange de deux masses d'eaux de densités différentes (l'eau salée étant plus dense que l'eau dessalée). Depuis 2007 (état de référence), l'évolution importante du ratio moyen Ca/Fe permet de constater une influence grandissante du terme source terrigène. Cette observation est étayée par les valeurs moyennes des concentrations en métaux et du flux en Ni. A noter, la campagne de juillet-août 2013 présente à ce jour les concentrations métalliques et les densités du flux en Ni les plus hautes à St06-KW1.
- Les particules terrigènes piégées à la station St15 proviennent probablement de différents termes source différenciable par les compositions en Mn. Cette observation concorde avec celle relevée à la même station pour Fe et Mn en 2016 ([Kumar-Roiné et al., 2016](#)). La St15 se trouve donc dans une zone de convergence de plusieurs petits bassins versants où alternent les termes sources des apports terrigènes. La direction, la vitesse de vents et les précipitations sont les forçages principaux de la circulation des particules. L'effet combiné des précipitations et de la direction de vents ont pour conséquence d'étendre ou de confiner la couche turbide du Creek, en direction ou à l'opposé du site de mouillage du piège. Par ailleurs, en période sèche, l'action remobilisatrice des vents engendre la remise en suspension des particules latéritiques sédimentées de diverses origines (fond de Rade, ou le talus). Les concentrations en métaux latéritiques (exemple de Ni) restent particulièrement stables entre les pas de prélèvements. Ceci pourrait être expliqué par la latence de sédimentation des particules fines et/ou à la lente dynamique de renouvellement des masses d'eau dans la Rade Nord. Quant à l'apport marin, très modeste à St15, il semble être, d'après les précédentes campagnes, favorisé par les vents modérés d'un large secteur N (NO à NE) qui contribuent au déplacement des particules grossières carbonatées provenant des formations récifales et de tests de micro-organismes en particulier. Depuis 2007 (état de référence), la stabilité des valeurs moyennes du ratio Ca/Fe permet de constater que la forte influence terrigène continue de s'exercer à St15. En effet, les valeurs moyennes des concentrations en métaux obtenues lors de cette campagne sont du même ordre de grandeur qu'en 2007. A noter que la campagne de janvier-mars 2014 présente à ce jour les densités du flux en Ni les plus hautes à St15 ; cette observation est à relier avec la plus forte masse moyenne de MES piégées qui serait la conséquence directe des précipitations exceptionnelles (920,2 mm).

- Les particules terrigènes piégées à St60-NE ne proviennent pas exclusivement d'un seul terme source et dont l'influence alternerait avec les apports marins. Dans ce système dit « ouvert » où interagissent plusieurs facteurs simultanément, peu voire aucune corrélation pertinente n'a pu être établie entre les paramètres météorologiques et les particules piégées. Il semblerait, toutefois, que l'origine de ces particules latéritiques ne soit pas en lien direct avec le lessivage des sols. Il est également probable que, sous l'effet de vents soutenus, les mécanismes d'érosion de la côte et du complexe récifal, contribuent, plus ou moins directement, à l'alimentation en apports terrigènes et marins. En dépit d'une empreinte forte océanique, depuis 2007 (état de référence), les ratios moyens Ca/Fe ont évolué vers une influence grandissante du terme source terrigène. Cette observation est étayée par les augmentations des valeurs moyennes des concentrations en métaux. Cette hausse semble liée à un ensemble de mécanismes qu'il n'est pas encore pertinent d'explicitier (érosion de la côte, contribution des rejets de l'émissaire marin?). A noter, la campagne de juillet-août 2013 présente à ce jour les concentrations métalliques les plus hautes à St60-NE. En ce qui concerne les concentrations de Ca et S à St60-NE, aucune trace d'enrichissement anormal n'est discernée permettant de déceler l'influence de l'effluent.

Cette campagne conforte les observations précédentes établissant une relation entre l'ensemble des conditions météorologiques et les densités de flux verticaux des particules latéritiques. Il est également intéressant de noter qu'en St06-KW1 et St60-NE, la campagne de juillet-août 2013 fût celle qui a présenté les concentrations métalliques maximales tandis que celles de janvier-mars 2014 (St06-KW1) furent celles des concentrations minimales.

REFERENCES

- Achard, R. 2013. Dynamique des contaminants inorganiques dans les sédiments de dragage : rôle spécifique de la matière organique.
- Bodeï S., Pointeau V. 2009. Bilan de la réactivité géochimique de l'effluent. Modélisation chimie-transport en champs proche du diffuseur. DEN/DTN/SMTM/LMTE/NT/2009/05 (Convention IRD/Goro-Ni n° 1124), 58p.
- CCB 2009 : Convention pour la conservation de la biodiversité (CCB, 2009).
- Chaurrand, P. 2007. Apport de la cristalochimie et de la spéciation du chrome et du vanadium à la modélisation de l'altération de granulats artificiels (sous produits d'aciérie)
- Derex P., Douillet P., Le Gendre R. 2008. Modélisation et simulation du transport des formes dissoutes et particulaires. Modèle de transport. Simulation annuelle du rejet. Convention IRD/Goro-Nickel n°1124, 196p.
- Drouzy M., 2016. Modélisation hydrodynamique de la Baie Kwé; Première partie : Simulation de dispersion du panache en conditions forcées. Contrat Vale-NC/AEL 100-VI-16-P, 57p.
- Fernandez JM., Chevillon C., Dolbecq M., Legendre R., Belhandouz A., Lamoureux J.P. 2007. 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. Contrat AEL/Vale-NC n°1230, 55p.
- Fernandez JM., Douillet P., Moreton B., Dolbecq M., Damien P., Le Grand H. 2009. Validation du modèle de transport en phase dissoute par traçage à la rhodamine-WT. Contrat IRD/Vale-NC n° 2131, 152p.
- Fernandez JM., Douillet P., Moreton B., Danès C. 2012. Modélisation hydrodynamique raffinée de la Baie du Prony : maille à 60 m. Rapport AEL, Contrat E29926 / 0001, 205p.
- Kumar-Roiné S., Haddad L., Laurent A., Hubert M., Pluchino S., Achard R., Fernandez JM. 2016. Suivi des densités de flux verticaux des particules dans la Canal de la Havannah, la Baie Kwé et la Rade Nord de Prony. Campagne 1^{er} semestre 2016. Période de mai – septembre 2016. Contrat AEL/Vale-NC n°3052-Avenant n°1, 74p.
- Kumar-Roiné S., Haddad L., Laurent A., Fernandez JM. 2016. Suivi des densités de flux verticaux des particules dans la Canal de la Havannah, la Baie Kwé et la Rade Nord de Prony. Campagne 2^{eme} semestre 2016. Période de octobre – novembre 2016. Contrat AEL/Vale-NC n°3052-Avenant n°1, 68p.

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES STATIONS DE PRELEVEMENT DU SUIVI DES FLUX VERTICAUX DE PARTICULES DANS LA ZONE D'INFLUENCE DE L'USINE DE VALE-NC (LE TRAIT ROUGE REPRESENT LE DIFFUSEUR),	10
FIGURE 2 : EMPREINTE TYPE DE L'EFFLUENT PAR MARQUAGE A LA RHODAMINE-WT POUR DES CONDITIONS COURANTOLOGIQUES DE MI-MAREES DE MORTE-EAU (GAUCHE) ET DE VIVE-EAU (DROITE) AU NIVEAU DE LA STATION ST60-SW.	10
FIGURE 3 : CUMUL JOURNALIER DE PRECIPITATIONS ET EVOLUTION DE LA VITESSE ET DE LA DIRECTION DES VENTS (MOYENNE JOURNALIERE) POUR LA PERIODE DU 14 AVRIL AU 31 MAI 2017.....	14
FIGURE 4 : MASSE TOTALE DE MES PIEGEES ET COMPOSITION EN FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) ET FRACTION GROSSIERE ($\varnothing > 41 \mu\text{M}$) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST06-KW1.	16
FIGURE 5 : POURCENTAGE DES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) ET DES FRACTIONS GROSSIERES ($\varnothing > 41 \mu\text{M}$) DANS LES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST06-KW1.....	16
FIGURE 6 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DE LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 4 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST06-KW1.	17
FIGURE 7 : TENEURS EN CARBONATES CONTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST06-KW1.	18
FIGURE 8 : MASSE TOTALE DE MES PIEGEES ET COMPOSITION EN FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) ET FRACTION GROSSIERE ($\varnothing > 41 \mu\text{M}$) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST15.	19
FIGURE 9 : POURCENTAGE DES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) ET DES FRACTIONS GROSSIERES ($\varnothing > 41 \mu\text{M}$) DANS LES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST15.....	19
FIGURE 10 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DE LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 4 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST15.	21
FIGURE 11 : TENEURS EN CARBONATES CONTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST15.....	22
FIGURE 12 : MASSE TOTALE DE MES PIEGEES ET COMPOSITION EN FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) ET FRACTION GROSSIERE ($\varnothing > 41 \mu\text{M}$) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST60-NE.....	23
FIGURE 13 : POURCENTAGE DES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) ET DES FRACTIONS GROSSIERES ($\varnothing > 41 \mu\text{M}$) DANS LES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST60-NE.....	23
FIGURE 14 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DE LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 4 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST60-NE.	24
FIGURE 15 : TENEURS EN CARBONATES CONTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 10 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST60-NE.	25
FIGURE 16 : NORMALISATION DES CONCENTRATIONS EN CALCIUM PAR LE FER MESUREES DANS LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST15.....	30
FIGURE 17 : NORMALISATION DES CONCENTRATIONS EN CALCIUM PAR LE FER MESUREES DANS LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST60-NE.....	32
FIGURE 18 : CONCENTRATIONS EN SOUFRE MESUREES DANS LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 10 PRELEVEMENTS DE MES COLLECTES PAR LE PIEGE SEQUENTIEL A PARTICULES A ST60-NE.	33
FIGURE 19 : DIAGRAMME COMBINE DE DIRECTION ET VITESSE MOYENNES JOURNALIERES DES VENTS, CUMUL JOURNALIER DE PRECIPITATION, DE MASSE TOTALE DE MES PIEGEES ET LA COMPOSITION EN FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) ET FRACTION GROSSIERE ($\varnothing > 41 \mu\text{M}$) AINSI QUE DE CONCENTRATION EN NICKEL ET LE RATIO CA/FE MESURES DANS LES FRACTIONS FINES PIEGEES A ST06-KW1.	37
FIGURE 20 : DIAGRAMME COMBINE DE DIRECTION ET VITESSE MOYENNES JOURNALIERES DES VENTS, CUMUL JOURNALIER DE PRECIPITATION, DE MASSE TOTALE DE MES PIEGEES ET LA COMPOSITION EN FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) ET FRACTION	

GROSSIERE ($\varnothing > 41 \mu\text{M}$) AINSI QUE DE CONCENTRATION EN NICKEL ET LE RATIO Ca/Fe MESURES DANS LES FRACTIONS FINES PIEGEES A ST15.	40
FIGURE 21 : DIAGRAMME COMBINE DE DIRECTION ET VITESSE MOYENNES JOURNALIERES DES VENTS, CUMUL JOURNALIER DE PRECIPITATION, DE MASSE TOTALE DE MES PIEGEES ET LA COMPOSITION EN FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) ET FRACTION GROSSIERE ($\varnothing > 41 \mu\text{M}$) AINSI QUE DE CONCENTRATION EN NICKEL ET LE RATIO Ca/Fe MESURES DANS LES FRACTIONS FINES PIEGEES A ST60-NE.....	43
FIGURE 22 : COMPILATION DES MOYENNE \pm ECART-TYPE DES FLUX EN NICKEL DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A ST60-KW1.	44
FIGURE 23 : COMPILATION DES MOYENNE \pm ECART-TYPE DES FLUX EN NICKEL DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A ST15.....	45
FIGURE 24 : COMPILATION DES MOYENNE \pm ECART-TYPE DES FLUX EN NICKEL DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A ST60-NE.	46

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : LISTE ET POSITION DES STATIONS DE PRELEVEMENT DU SUIVI DES FLUX VERTICAUX DE PARTICULES DANS LA ZONE D'INFLUENCE DE L'USINE DE VALE-NC.	9
TABLEAU 2 : DETAIL DE COLLECTE DES ECHANTILLONS PAR LES PIEGES SEQUENTIELS MOUILLES A St06-KW1, St15 ET St60-NE. ...	11
TABLEAU 3 : COMPILATION DES DONNEES METEOROLOGIQUES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DE PIEGE SEQUENTIEL AUX STATIONS St06-KW1, St15 ET St60-NE.	15
TABLEAU 4 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE ± ECART-TYPE DE LA MES TOTALE, DES POURCENTAGES DE FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) ET DE LA TENEUR EN CARBONATES DANS LA FRACTION FINE LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St06-KW1.....	16
TABLEAU 5 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE ± ECART-TYPE DE LA DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DANS LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) DES MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St06-KW1... ..	17
TABLEAU 6 : COMPOSITION MINERALOGIQUE DE LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) DES 4 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St06-KW1.....	18
TABLEAU 7 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNES ± ECART-TYPE DE LA MES TOTALE, DU POURCENTAGE DE FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) ET DE LA TENEUR EN CARBONATES DANS LA FRACTION FINE LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St15.	20
TABLEAU 8 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE ± ECART-TYPE DE LA DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DE LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St15.....	21
TABLEAU 9 : COMPOSITION MINERALOGIQUE DE LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) DES 4 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St15.	21
TABLEAU 10 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE ± ECART-TYPE DE LA MES TOTALE, DU POURCENTAGE DE FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) ET DE LA TENEUR EN CARBONATES DANS LA FRACTION FINE LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St60-NE.....	23
TABLEAU 11 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE ± ECART-TYPE DE LA DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DE LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St60-NE.	24
TABLEAU 12 : COMPOSITION MINERALOGIQUE DE LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) DES 4 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St60-NE.	25
TABLEAU 13 : CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM OBTENUES (MOYENNES, ECART-TYPES ET VALEURS EXTREMES) DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St06-KW1.	26
TABLEAU 14 : MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS DES CONCENTRATIONS DE METAUX ET DU CALCIUM OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St06-KW1.	26
TABLEAU 15 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE ± ECART-TYPE DES CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St06-KW1.....	27
TABLEAU 16 : NORMALISATION DES CONCENTRATIONS EN CALCIUM PAR LE FER MESUREES DANS LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St06-KW1.	28
TABLEAU 17 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE ± ECART-TYPE DE NORMALISATION DU CALCIUM PAR LE FER OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES A St06-KW1.	28
TABLEAU 18 : CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM OBTENUES (MOYENNES, ECART-TYPES ET VALEURS EXTREMES) DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St15.	29

TABLEAU 19 : MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS DES CONCENTRATIONS DE METAUX ET DU CALCIUM OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) DES 8 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St15. 29

TABLEAU 20 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE \pm ECART-TYPE DES CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St15..... 29

TABLEAU 21 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE \pm ECART-TYPE DE NORMALISATION DU CALCIUM PAR LE FER OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A PARTICULES A St15. 30

TABLEAU 22 : CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM OBTENUES (MOYENNES, ECART-TYPES ET VALEURS EXTREMES) DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) DES 10 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St60-NE..... 31

TABLEAU 23 : MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS DES CONCENTRATIONS DE METAUX ET DU CALCIUM OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) DES 10 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St60-NE..... 31

TABLEAU 24 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE \pm ECART-TYPE DES CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES A St60-NE. 31

TABLEAU 25 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE \pm ECART-TYPE DE NORMALISATION DU CALCIUM PAR LE FER OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) DE MES COLLECTEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A PARTICULES A St60-NE. 32

TABLEAU 26 : COMPILATION DES MOYENNE \pm ECART-TYPE DES CONCENTRATIONS EN SOUFRE OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St60-NE. 33

TABLEAU 27 : COMPILATION DES MOYENNE \pm ECART-TYPE DES FLUX EN MATIERE PARTICULAIRE TOTALE ET DES CUMULS DE MASSES DE MES TOTAL PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St60-KW1. 44

TABLEAU 28 : COMPILATION DES MOYENNE \pm ECART-TYPE DES FLUX EN MATIERE PARTICULAIRE TOTAL ET DES CUMULS DE MASSES DE MES TOTALES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St15..... 45

TABLEAU 29 : COMPILATION DES MOYENNE \pm ECART-TYPE DES FLUX EN MATIERE PARTICULAIRE TOTALE ET DES CUMULS DE MASSES DE MES TOTALES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St60-NE. 46

ANNEXES

ANNEXE 1.....	55
ANNEXE 2.....	57
ANNEXE 3.....	59
ANNEXE 4.....	66
ANNEXE 5.....	68

ANNEXE 1

METHODOLOGIE

IMMERSION DES PIEGES A SEDIMENT SEQUENTIELS

Les flux verticaux de particules apportées par le réseau hydrologique sont estimés par collecte de séries temporelles d'échantillons de matière en suspension (MES). Cette opération est assurée par le déploiement de pièges à particules de type séquentiel de 0,05 m² de section efficace (Technicap, type PPS4/3) qui sont grées sur une ligne de mouillage équipée avec un largueur acoustique.

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.

Une fois réceptionnés au laboratoire, les prélèvements de MES sont séchés, conditionnés puis conservés dans des sachets à usage unique.

TAMISAGE

Les MES piégées sont tamisées afin de séparer la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de la fraction grossière ($\varnothing > 41 \mu\text{m}$). Les analyses suivantes sont effectuées uniquement sur les fractions fines.

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 fines ($\varnothing < 41\mu\text{m}$) de MES.

GRANULOMETRIE

L'étude de la distribution des populations de particules fines (silts et argiles) est réalisée sur quatre échantillons de fraction fine ($\varnothing > 41 \mu\text{m}$) par granulométrie laser (Malvern master Sizer 2000). La granulométrie laser est réalisée à l'Université de Nouvelle-Calédonie.

MINERALOGIE

Les déterminations minéralogiques sont effectuées par diffraction de rayons X (DRX) sur quatre échantillons de fraction fine ($\varnothing > 41 \mu\text{m}$). Cette analyse a été confiée à l'Université de Nouvelle-Calédonie.

DOSAGE ELEMENTAIRE

Le dosage élémentaire, nécessaire pour le suivi des flux de polluants, est réalisé par la méthode dite « minéralisation eau régale ». Les échantillons de fraction fine ($\varnothing > 41 \mu\text{m}$) sont attaqués avec de l'acide à haute température en conditions hyperbares. Le Ca, Mg, S 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 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 séquentiels à particules.

EVALUATION DES FLUX DE MES

Une fois les MES caractérisées, les influences terrigène et marine (ratio de Ca/Fe) ainsi que les flux sont estimés ($\text{g}/\text{m}^2/\text{j}$) et confrontés aux différents régimes météorologiques.

ANNEXE 2

VARIABLES METEOROLOGIQUES

Valeurs journalières des paramètres météorologiques (cumul de précipitations et moyenne de vitesse et direction de vents maximales instantanées) collectées par la station météorologique « GORO ».

Prélèvement	GORO					Prélèvement	GORO				
	Date	RR	FXI	DXI	Régime		Date	RR	FXI	DXI	Régime
1	14/04/2017	0,0	7,1	190	S	7	08/05/2017	15,4	20,2	80	E
	15/04/2017	3,8	8,6	140	SE		09/05/2017	66,3	21,0	110	ESE
	16/04/2017	3,4	10,8	110	ESE		10/05/2017	12,8	19,5	110	ESE
	17/04/2017	0,8	12,3	150	SSE		11/05/2017	9,2	5,4	210	SSO
2	18/04/2017	0,6	12,6	100	E	8	12/05/2017	1,0	10,5	200	SSO
	19/04/2017	8,8	12,1	90	E		13/05/2017	0,0	10,9	110	ESE
	20/04/2017	102,7	16,5	120	ESE		14/05/2017	2,6	15,3	80	E
	21/04/2017	79,5	16,6	110	ESE		15/05/2017	1,6	13,2	30	NNE
3	22/04/2017	6,0	10,1	190	S	9	16/05/2017	0,0	7,9	30	NNE
	23/04/2017	0,4	9,2	130	SE		17/05/2017	0,0	10,7	110	ESE
	24/04/2017	0,0	8,6	190	S		18/05/2017	0,0	14,2	120	ESE
	25/04/2017	0,2	9,3	110	ESE		19/05/2017	-	15,1	130	SE
4	26/04/2017	0,0	11,2	90	E	10	20/05/2017	-	12,8	100	E
	27/04/2017	0,0	9,4	70	ENE		21/05/2017	70,0	26,4	150	SSE
	28/04/2017	0,0	11,4	10	N		22/05/2017	8,0	17,1	110	ESE
	29/04/2017	3,0	9,1	330	NNO		23/05/2017	20,0	9,4	80	E
5	30/04/2017	2,4	-	-	-	11	24/05/2017	9,0	7,5	70	ENE
	01/05/2017	0,0	12,6	130	SE		25/05/2017	3,0	8,8	250	OSO
	02/05/2017	0,2	15,8	150	SSE		26/05/2017	0,5	9,1	190	S
	03/05/2017	0,0	13,3	80	E		27/05/2017	0,0	9,9	130	SE
6	04/05/2017	3,8	16,1	80	E	12	28/05/2017	0,0	9,9	130	SE
	05/05/2017	2,0	16,6	130	SE		29/05/2017	0,0	9,6	90	E
	06/05/2017	3,6	15,3	120	ESE		30/05/2017	0,0	10,0	100	E
	07/05/2017	2,6	17,4	90	E		31/05/2017	0,0	9,4	70	ENE

Valeurs journalières des paramètres météorologiques (cumul de précipitations et moyenne de vitesse et direction de vents maximales instantanées) collectées par la station météorologique « IORO ».

Prélèvement	IORO				Prélèvement	IORO			
	Date	FXI	DXI	Régime		Date	FXI	DXI	Régime
1	14/04/2017	3,7	215	SO	7	08/05/2017	25,2	50	NE
	15/04/2017	4,2	151	SSE		09/05/2017	14,6	108	ESE
	16/04/2017	4,7	120	ESE		10/05/2017	6,8	98	E
	17/04/2017	6,7	136	SE		11/05/2017	2,5	316	NO
2	18/04/2017	8,4	117	ESE	8	12/05/2017	7,6	223	SO
	19/04/2017	7,1	124	SE		13/05/2017	5,7	163	SSE
	20/04/2017	8,1	141	SE		14/05/2017	9,8	117	ESE
	21/04/2017	8,0	133	SE		15/05/2017	6,8	73	ENE
3	22/04/2017	5,6	193	SSO	9	16/05/2017	3,7	54	NE
	23/04/2017	5,7	186	S		17/05/2017	4,4	156	SSE
	24/04/2017	5,1	168	SSE		18/05/2017	8,7	151	SSE
	25/04/2017	4,3	142	SE		19/05/2017	9,9	138	SE
4	26/04/2017	4,8	106	ESE	10	20/05/2017	9,3	113	ESE
	27/04/2017	4,8	77	ENE		21/05/2017	9,8	119	ESE
	28/04/2017	5,3	46	NE		22/05/2017	8,6	103	ESE
	29/04/2017	4,9	292	ONO		23/05/2017	3,5	85	E
5	30/04/2017	7,2	193	SSO	11	24/05/2017	5,0	77	ENE
	01/05/2017	8,2	172	S		25/05/2017	4,3	288	ONO
	02/05/2017	9,1	140	SE		26/05/2017	6,1	222	SO
	03/05/2017	7,4	133	SE		27/05/2017	4,7	171	S
6	04/05/2017	8,0	132	SE	12	28/05/2017	4,0	128	SE
	05/05/2017	9,8	140	SE		29/05/2017	5,4	109	ESE
	06/05/2017	9,2	130	SE		30/05/2017	5,7	118	ESE
	07/05/2017	11,5	106	ESE		31/05/2017	4,2	103	ESE

ANNEXE 3

CARACTERISATION DES MES

Masse de MES collectés à St06-KW1, St15 et St60-NE par le piège séquentiel à particules.

Période de collecte	Prélèvement	St06-KW1	St15	St60-NE
		Masse Ech. Total (g)	Masse Ech. Total (g)	Masse Ech. Total (g)
14-17 avril 2017	001	3,51	0,38	1,15
18-21 avril 2017	002	2,78	0,40	0,06
22-25 avril 2017	003	4,82	0,97	0,26
26-29 avril 2017	004	4,54	1,89	0,83
30 avril-03 mai 2017	005	9,99	1,39	1,32
04-07 mai 2017	006	8,87	1,54	1,50
08-11 mai 2017	007	32,66	1,30	2,97
12-15 mai 2017	008	7,85	1,05	4,59
16-19 mai 2017	009	5,08	1,19	4,02
20-23 mai 2017	010	12,73	2,18	5,09
24-27 mai 2017	011	10,59	2,27	9,60
28-31 mai 2017	012	5,24	4,75	5,88

Teneurs en carbonates des fractions fines de MES collectées à St06-KW1, St15 et St60-NE par le piège séquentiel à particules.

Période de collecte	Prélèvement	St06-KW1	St15	St60-NE
		% CO3 total	% CO3 total	% CO3 total
14-17 avril 2017	001	71	24	90
18-21 avril 2017	002	66	26	ND
22-25 avril 2017	003	66	19	ND
26-29 avril 2017	004	73	29	93
30 avril-03 mai 2017	005	73	30	93
04-07 mai 2017	006	66	30	89
08-11 mai 2017	007	72	31	92
12-15 mai 2017	008	75	31	87
16-19 mai 2017	009	73	35	91
20-23 mai 2017	010	67	31	90
24-27 mai 2017	011	75	25	92
28-31 mai 2017	012	75	26	91

ND : valeur non déterminée par manque de matière pour la réalisation des analyses.

Composition granulométrique des fractions fines de MES collectées à St06-KW1, St15 et St60-NE par le piège séquentiel à particules.

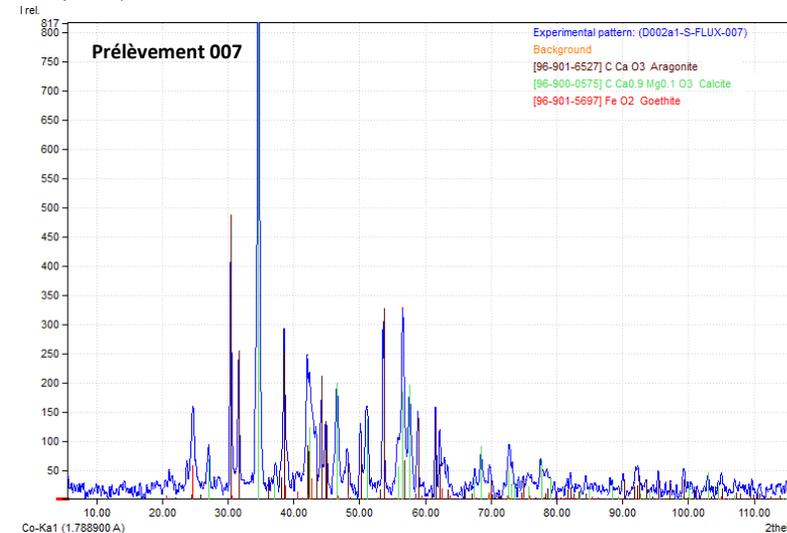
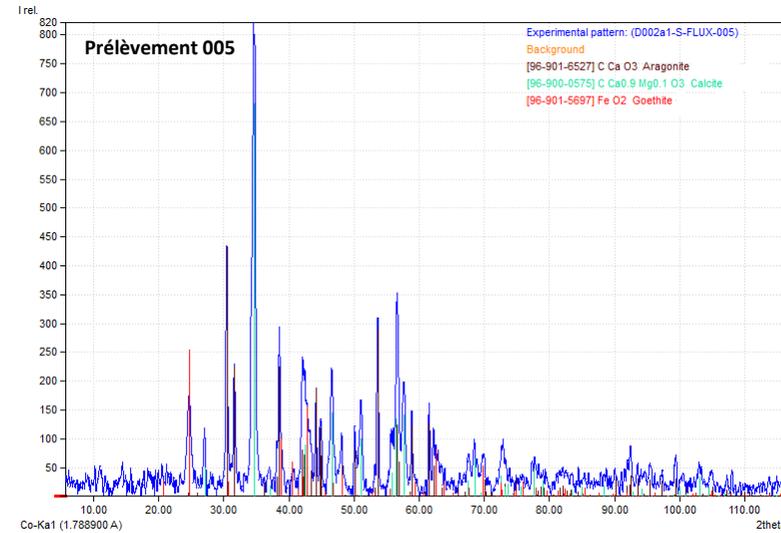
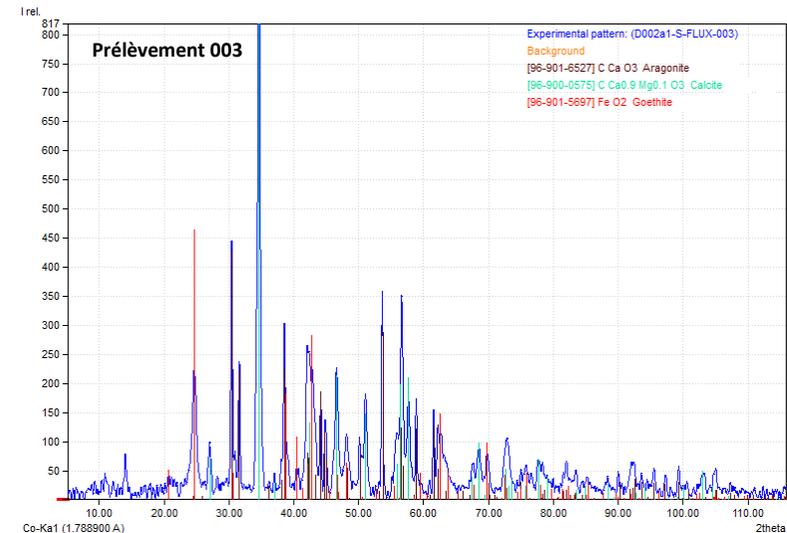
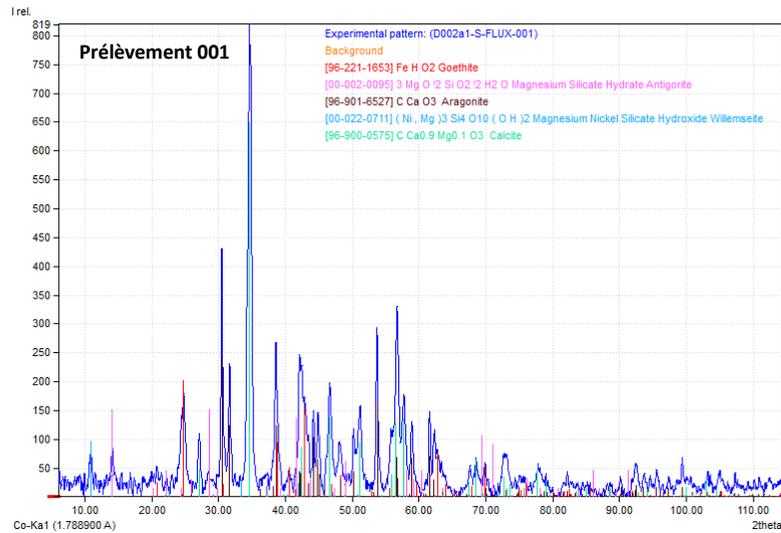
St06-KW1								
Période de collecte	Prélèvement	% Classe de taille (µm)						
		0,02 à 2,00	2,0 à 20	20 à 40	40 à 50	50 à 63	63,0 à 200	200,0 à 2000
14-17 avril 2017	001	4	35	31	9	7	12	3
22-25 avril 2017	003	5	39	27	7	6	11	5
30 avril-03 mai 2017	005	4	37	30	8	6	13	2
08-11 mai 2017	007	8	51	20	5	4	9	3
20-23 mai 2017	010	4	36	28	8	7	15	3

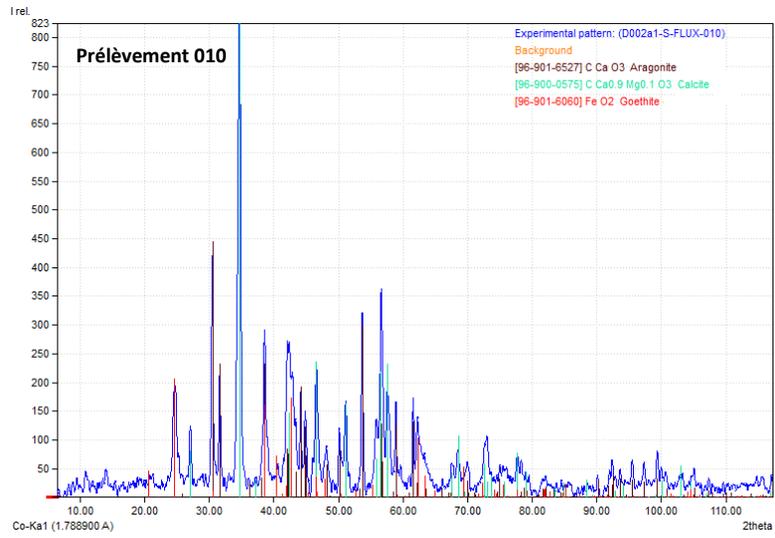
St15								
Période de collecte	Prélèvement	% Classe de taille (µm)						
		0,02 à 2,00	2,0 à 20	20 à 40	40 à 50	50 à 63	63,0 à 200	200,0 à 2000
26 avril-29 avril 2017	004	8	46	20	6	5	13	2
04-07 mai 2017	006	11	54	17	4	4	8	1
20-23 mai 2017	010	10	55	16	4	3	9	3
28-31 mai 2017	012	8	44	17	5	5	16	5

St60-NE								
Période de collecte	Prélèvement	% Classe de taille (µm)						
		0,02 à 2,00	2,0 à 20	20 à 40	40 à 50	50 à 63	63,0 à 200	200,0 à 2000
04-07 mai 2017	006	5	45	33	8	5	4	0
12-15 mai 2017	008	4	34	31	9	7	13	3
24-27 mai 2017	011	4	30	26	8	6	16	10

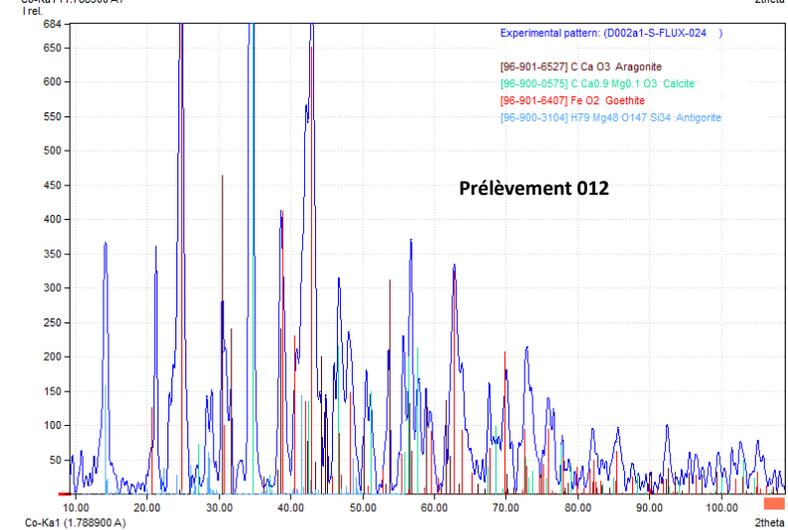
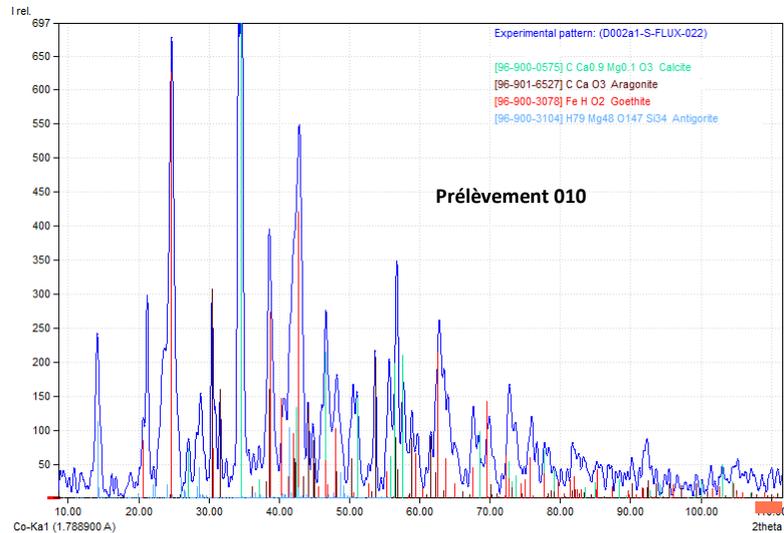
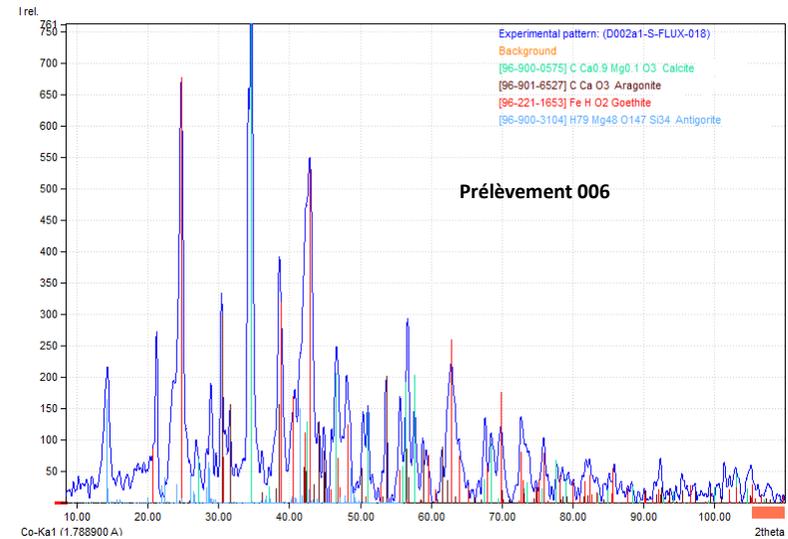
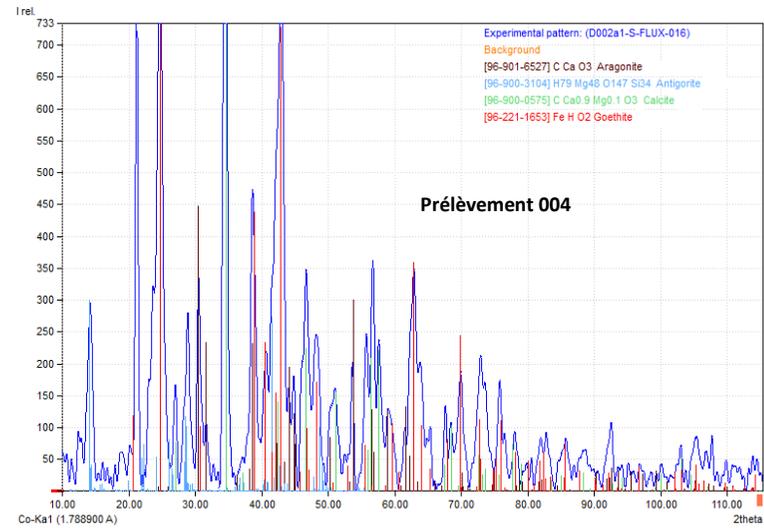
Composition minéralogique des fractions fines de MES collectées à St06-KW1, St15 et St60-NE par le piège séquentiel à particules.

St06-KW1

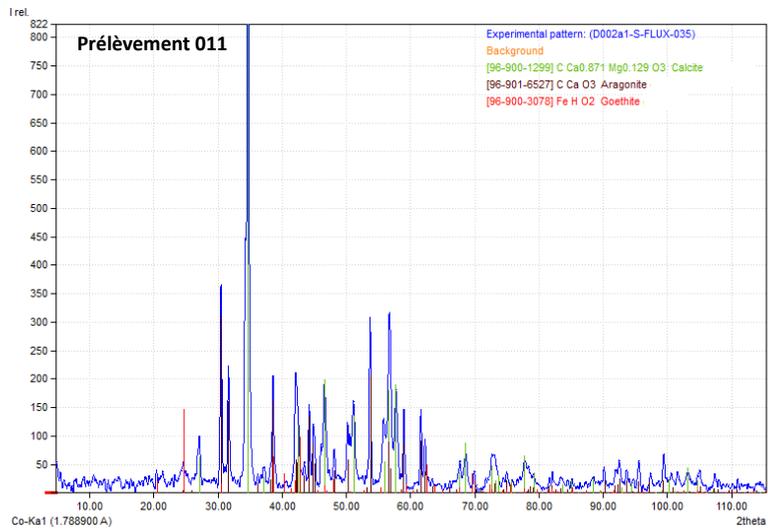
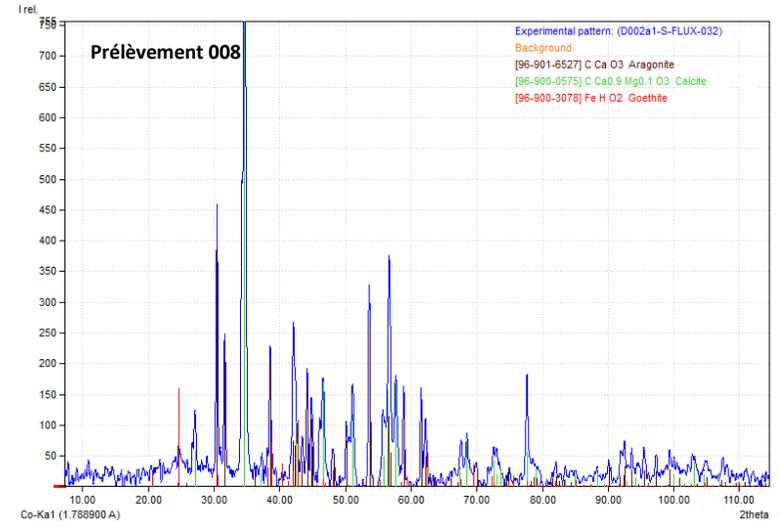
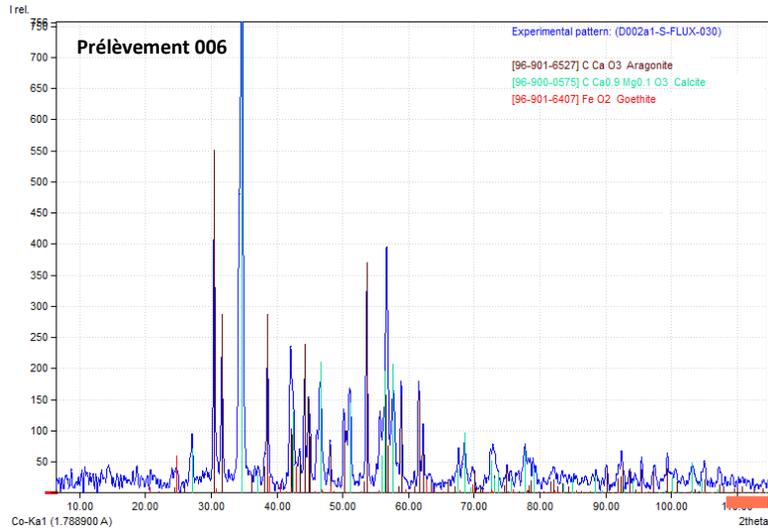




St15



St60-NE



ANNEXE 4

COMPOSITION GEOCHIMIQUE DES MES

Concentrations en métaux totaux et en calcium dans les fractions fines de MES collectées à St06-KW1 et St15 par le piège séquentiel à particules.

St06-KW1							
Période de collecte	Prélèvement	Elément (mg/kg ps)					
		Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
14-17 avril 2017	001	271726	76,0	2738	96999	604	1585
18-21 avril 2017	002	251363	95,0	3419	134371	786	2067
22-25 avril 2017	003	247513	108	3725	146769	885	2291
26-29 avril 2017	004	278682	72,0	2583	97497	610	1519
30 avril-03 mai 2017	005	277599	76,0	2751	104097	656	1601
04-07 mai 2017	006	252761	89,0	3266	124967	778	1965
08-11 mai 2017	007	273411	76,0	2917	107547	664	1656
12-15 mai 2017	008	285130	69,0	2576	98632	611	1490
16-19 mai 2017	009	278745	77,0	2902	108610	659	1646
20-23 mai 2017	010	255605	95,0	3389	131367	823	2010
24-27 mai 2017	011	287620	71,0	2540	94782	628	1447
28-31 mai 2017	012	288020	66,0	2327	84860	571	1320

St15							
Période de collecte	Prélèvement	Elément (mg/kg ps)					
		Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
14-17 avril 2017	001	90076	192	8221	234608	1184	2576
18-21 avril 2017	002	93043	182	8356	239389	918	2531
22-25 avril 2017	003	63259	226	9946	280587	1584	3026
26-29 avril 2017	004	103824	166	7723	215539	1156	2287
30 avril-03 mai 2017	005	106863	161	7386	209455	1225	2201
04-07 mai 2017	006	108564	170	7685	218316	1317	2324
08-11 mai 2017	007	115281	175	7507	216036	1207	2352
12-15 mai 2017	008	117704	176	7637	218576	1166	2332
16-19 mai 2017	009	129739	161	7023	200596	1235	2169
20-23 mai 2017	010	111795	190	8116	229481	1348	2504
24-27 mai 2017	011	84668	215	9331	263856	1491	2925
28-31 mai 2017	012	91402	193	8864	251324	1119	2779

ND : valeur non déterminée par manque de matière pour la réalisation des analyses.

Concentrations en métaux totaux, calcium et en soufre dans les fractions fines de MES collectées à St60-NE par le piège séquentiel à particules.

St60-NE								
Période de collecte	Prélèvement	Élément (mg/kg ps)						
		Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni	S
14-17 avril 2017	001	347957	30,0	714	22468	282	411	2754
18-21 avril 2017	002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
22-25 avril 2017	003	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
26-29 avril 2017	004	357931	29,0	577	16982	237	384	2846
30 avril-03 mai 2017	005	359729	27,0	580	17052	282	359	2653
04-07 mai 2017	006	343024	28,0	584	16663	207	364	2740
08-11 mai 2017	007	353445	29,0	601	17121	237	372	2839
12-15 mai 2017	008	334458	34,0	659	19143	267	400	2709
16-19 mai 2017	009	348053	38,0	673	21399	306	425	2794
20-23 mai 2017	010	344776	46,0	750	23546	448	467	3032
24-27 mai 2017	011	352910	36,0	642	18639	395	392	2972
28-31 mai 2017	012	349000	35,0	646	20072	363	394	2743

ND : valeur non déterminée par manque de matière pour la réalisation des analyses.

ANNEXE 5

VALEURS DE DENSITE DE FLUX DE MES ET DE FLUX DES ELEMENDS PARTICULAIRES

Flux de MES total et flux de métaux et de calcium particulaires dans les MES à St06-KW1, St15 et St60-NE.

St06-KW1								
Période de collecte	Prélèvement	Flux MES (g/m ² /j)	Flux élémentaire (mg ps/m ² /j)					
			Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
14-17 avril 2017	001	17,6	4769	1,33	48,1	1702	10,6	27,8
18-21 avril 2017	002	13,9	3494	1,32	47,5	1868	10,9	28,7
22-25 avril 2017	003	24,1	5965	2,60	89,8	3537	21,3	55,2
26-29 avril 2017	004	22,7	6326	1,63	58,6	2213	13,8	34,5
30 avril-03 mai 2017	005	50,0	13866	3,80	137	5200	32,8	80,0
04-07 mai 2017	006	44,4	11210	3,95	145	5542	34,5	87,2
08-11 mai 2017	007	163	44648	12,4	476	17562	108	270
12-15 mai 2017	008	39,3	11191	2,71	101	3871	24,0	58,5
16-19 mai 2017	009	25,4	7080	1,96	73,7	2759	16,7	41,8
20-23 mai 2017	010	63,7	16269	6,05	216	8362	52,4	128
24-27 mai 2017	011	53,0	15229	3,76	135	5019	33,3	76,6
28-31 mai 2017	012	26,2	7546	1,73	61,0	2223	15,0	34,6

St15								
Période de collecte	Prélèvement	Flux MES (g/m ² /j)	Flux élémentaire (mg ps/m ² /j)					
			Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
14-17 avril 2017	001	1,90	171	0,37	15,6	446	2,25	4,89
18-21 avril 2017	002	2,00	186	0,36	16,7	479	1,84	5,06
22-25 avril 2017	003	4,85	307	1,10	48,2	1361	7,68	14,7
26-29 avril 2017	004	9,45	981	1,57	73,0	2037	10,9	21,6
30 avril-03 mai 2017	005	6,95	743	1,12	51,3	1456	8,51	15,3
04-07 mai 2017	006	7,70	836	1,31	59,2	1681	10,1	17,9
08-11 mai 2017	007	6,50	749	1,14	48,8	1404	7,85	15,3
12-15 mai 2017	008	5,25	618	0,92	40,1	1148	6,12	12,2
16-19 mai 2017	009	5,95	772	0,96	41,8	1194	7,35	12,9
20-23 mai 2017	010	10,9	1219	2,07	88,5	2501	14,7	27,3
24-27 mai 2017	011	11,4	961	2,44	106	2995	16,9	33,2
28-31 mai 2017	012	23,8	2171	4,58	211	5969	26,6	66,0

St60-NE								
Période de collecte	Prélèvement	Flux MES (g/m ² /j)	Flux élémentaire (mg ps/m ² /j)					
			Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
14-17 avril 2017	001	5,75	2001	0,17	4,11	129	1,62	2,36
18-21 avril 2017	002	0,30	ND	ND	ND	ND	ND	ND
22-25 avril 2017	003	1,30	ND	ND	ND	ND	ND	ND
26-29 avril 2017	004	4,15	1485	0,12	2,39	70	0,98	1,59
30 avril-03 mai 2017	005	6,60	2374	0,18	3,83	113	1,86	2,37
04-07 mai 2017	006	7,50	2573	0,21	4,38	125	1,55	2,73
08-11 mai 2017	007	14,9	5249	0,4	8,92	254	3,52	5,52
12-15 mai 2017	008	23,0	7676	0,78	15,1	439	6,13	9,18
16-19 mai 2017	009	20,1	6996	0,76	13,5	430	6,15	8,54
20-23 mai 2017	010	25,5	8775	1,17	19,1	599	11,4	11,9
24-27 mai 2017	011	48,0	16940	1,73	30,8	895	19,0	18,8
28-31 mai 2017	012	29,4	10261	1,03	19,0	590	10,7	11,6

ND : valeur non déterminée par manque de matière pour la réalisation des analyses.