



ANNEXE 4

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 2018



« Analyse et Expertise en chimie
de l'environnement »

Rapport semestriel
Mars à avril 2018

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

Proposition technique et commerciale AEL 138-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 2018

Période de mars à avril 2018

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

	Ref AEL	Ref Client	
Identification	138-VI-17-P	L06375/0001	
Titre complet	Suivi des densités de flux verticaux des particules dans le Canal de la Havannah, la Baie Kwé et la Rade Nord de Prony. Campagne 1 ^{er} semestre 2018. Période de mars à avril 2018.		
Auteurs	Kumar-Roiné S., Moreton B., Laurent A., 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 2018 (mars-avril) 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>En raison du passage du cyclone HOLA et des 2 dépressions (LINDA et IRIS) qui se sont succédées, cette campagne conforte partiellement les observations consignées dans les rapports précédents établissant une relation entre les conditions météorologiques et les densités des flux verticaux. En effet, les paramètres influant les apports sont : 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. Pour la St60-NE, comme à l'accoutumé 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 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>		
EVOLUTION			
FONCTION	NOMS	VISA	DATE
Rédacteur	Kumar-Roiné S.	SKR	30/07/2018
Vérificateur 1	Fernandez JM.	JMFA	31/07/2018
Vérificateur 2	Pousse C.	CP	03/08/2018
Approbateur	Fernandez JM.	JMFA	03/08/2018
EVOLUTION			
VERSION	DESCRIPTION DES MISES A JOUR		DATE
V1.0	Rapport final		03/08/2018
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 2018. Période de mars à avril 2018. Contrat AEL/Vale-NC138-VI-17-P/PO-L06375/0001, 65p.

TABLE DES MATIERES

I.	INTRODUCTION	7
A.	CONTEXTE	7
B.	OBJECTIFS.....	7
II.	METHODOLOGIE	9
A.	SITE D'ETUDE	9
B.	ECHANTILLONNAGE	10
C.	CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES	11
III.	RESULTATS.....	13
A.	PARAMETRES METEOROLOGIQUES	13
B.	CARACTERISATION DES MATIERES EN SUSPENSION.....	15
C.	COMPOSITION GEOCHIMIQUE DES MATIERES EN SUSPENSION.....	25
IV.	INTERPRETATION	34
A.	INFLUENCE DES FACTEURS METEOROLOGIQUES.....	34
B.	CALCUL DES FLUX DES MATIERES.....	42
V.	SYNTHESE	46

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 2018** et comparés aux campagnes précédentes de mouillages semestriels entre 2011-2017 et celles de l'état de référence en 2006/2007 (Kumar-Roiné *et al.*, 2017 ; 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 (Tableau 1 et Figure 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 depuis 2012.
- 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 depuis 2011.
- 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 depuis 2014.

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

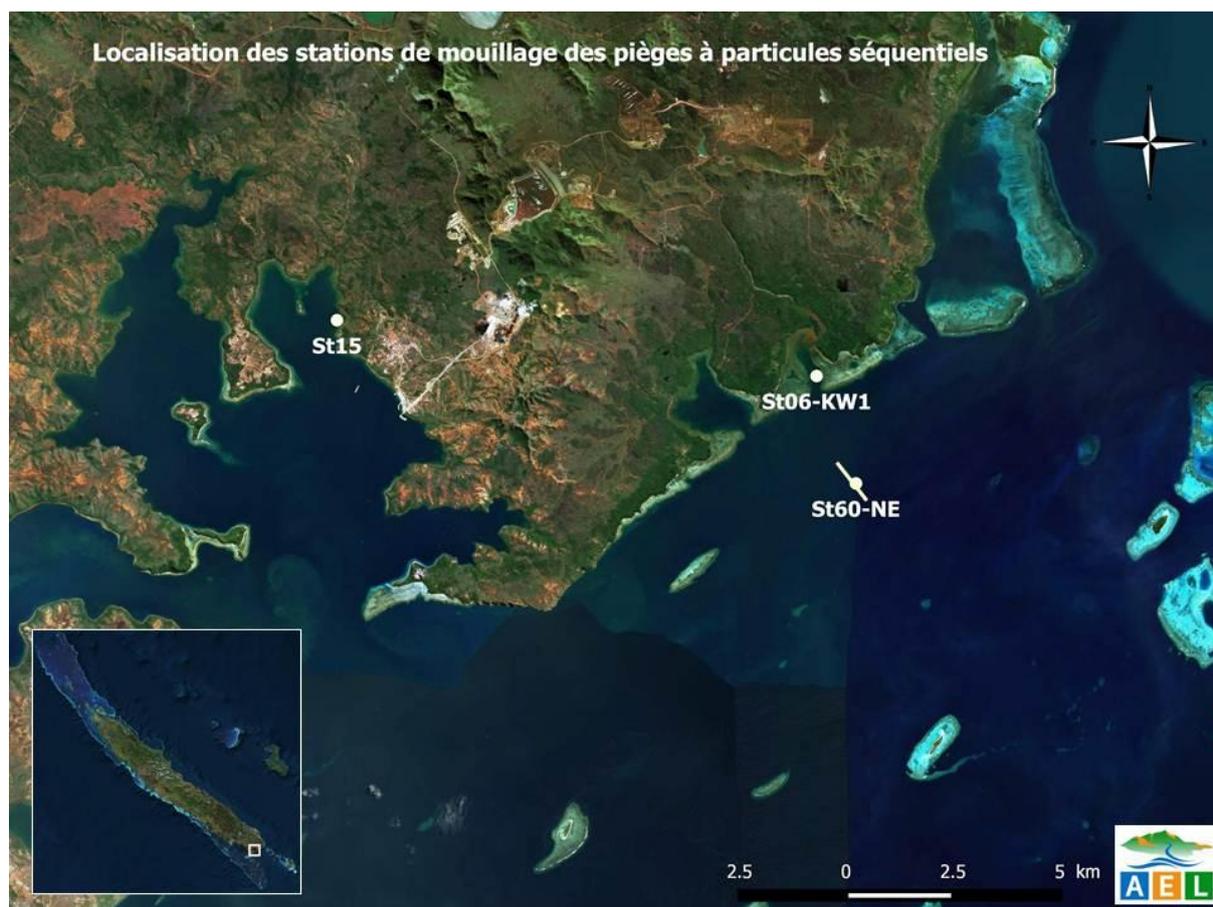


Figure 1 : Localisation géographique des stations de prélèvement du suivi des flux verticaux de particules dans la zone d'influence de l'usine de Vale-NC (le trait blanc représente le diffuseur).

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 ont été effectuées, respectivement, le 02 mars 2018 et 26 avril 2018 aux stations St06-KW1, St15 et St60-NE.

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

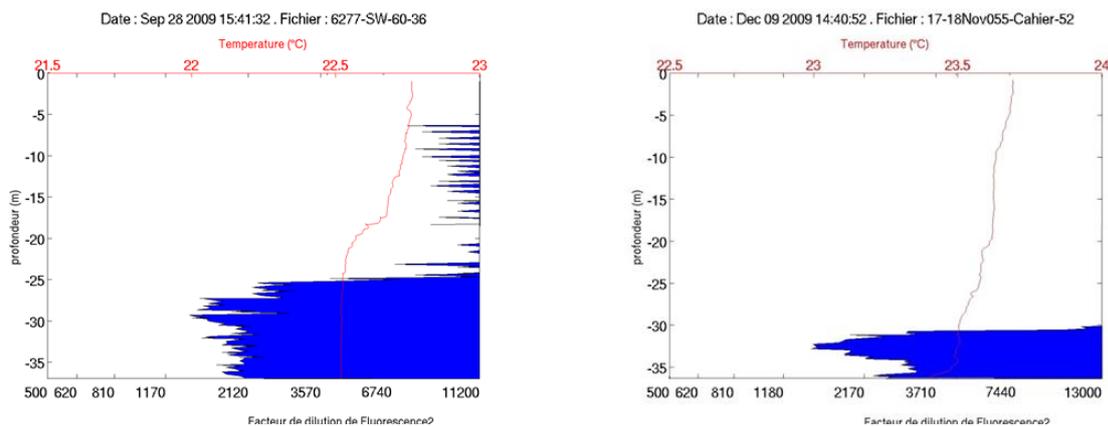


Figure 2 : Empreinte type de l'effluent par marquage à la rhodamine-WT pour des conditions courantologiques de marées de morte-eau (gauche) et de vive-eau (droite) au niveau de la station St60-SW.

Pour les trois stations St06-KW1, St15 et St60-NE, la collecte des particules a été programmée pour débuter le 03 mars 2018 à 00h00 avec un pas de temps par godet de 96 heures (4 jours) ; elle s'est terminée le 19 avril 2018 à 24h00 ; soit 48 jours après. Au total, 12 échantillons de matériel particulaire ont été prélevés pour chacun des trois sites d'immersion soit 36 échantillons (Tableau 2).

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
03 Mars - 06 Mars.	001	001	001
07 Mars - 10 Mars	002	002	002
11 Mars - 14 Mars	003	003	003
15 Mars - 18 Mars	004	004	004
19 Mars - 22 Mars	005	005	005
23 Mars - 26 Mars	006	006	006
27 Mars - 30 Mars	007	007	007
31 Mars -03 Avr.	008	008	008
04 Avr. - 07 Avr.	009	009	009
08 Avr. - 11 Avr.	010	010	010
12 Avr. - 15 Avr.	011	011	011
16 Avr. - 19 Avr.	012	012	012

De 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.

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 03 mars au 19 avril 2018 ; l'interprétation des analyses reposera sur ces observations.

Note : *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 loro dans la Canal de la Havannah (référence n° 658 ; loro) sont normalement exploitées pour l'interprétation des résultats. Toutefois, pour cette campagne, un problème technique, inhérent au fonctionnement d'instrument de mesure de force et direction de vents est survenu pendant la période d'immersion des pièges. Les données recueillies étant visiblement erronées, ne nous permettent pas de les utiliser pour les relations de cause à effet.*

III. RESULTATS

A. PARAMETRES METEOROLOGIQUES

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

Note : la Nouvelle-Calédonie ayant été balayée par plusieurs systèmes météorologiques, cette campagne de prélèvement a évolué dans un contexte très particulier lié au passage, d'une part, du cyclone tropical intense HOLA (du 03-11 mars) à proximité de la zone d'étude, et d'autre part, des deux dépressions tropicales ; une modérée (LINDA ; du 10-15 mars) et l'autre forte (IRIS ; du 22 mars au 07 avril).

1. Précipitations atmosphériques

Mesurés par la station météorologique GORO (usine), la période du 03 mars au 19 avril 2018 compte 38 jours de pluies cumulant à 631,2mm. Cette période a donc été marquée par une pluviométrie exceptionnelle dont deux événements très pluvieux du 06 au 10 mars (243,4 mm) et du 24 au 29 mars (229,0 mm). Il est à noter que ce premier épisode correspond au passage du cyclone HOLA pendant lequel, le 09 mars, 153,8 mm de pluies diluviennes se sont abattues dans l'espace de 24 h (Figure 3 et Figure 4). De la même manière, le développement lent dans le nord-ouest de la Nouvelle-Calédonie du système IRIS provoque 107,8 mm des pluies torrentielles mesurés le 24 mars. Le déplacement de la dépression LINDA dans l'ouest, quant à elle, n'induit pas de précipitation (Figure 3).

Du point de vue historique, les précipitations cumulées lors de cette campagne sont environ 2 à 12 fois plus importantes que pour les campagnes précédentes sauf pour juillet-août 2013, janvier-mars 2014 et septembre-novembre 2017 où les pluviométries enregistrées sont plus proches de celles de cette campagne (467,0, 920,0 et 443,2 mm, respectivement) (Tableau 3).

2. Vitesse et direction du vent

Durant la période du 03 mars au 19 avril 2018, les directions de vents mesurées à la station météorologique de GORO (usine) sont principalement de secteur E à S. Parmi les quelques régimes variables observés, celui du 10 au 11 mars, avec une légère incursion des vents de SE à SSO est notable. De plus, du 11 au 15 mars, l'on observe un régime avec une rotation lente de SSO à NE. Cette rotation des vents est mesurée dans le sillage du cyclone HOLA qui s'est éloigné par le Sud de la Grande Terre le 11 mars (Figure 3 et Figure 4). Lors de la formation des dépressions LINDA et IRIS dans l'ouest de la zone d'étude, les vents se sont renforcés à nouveau en basculant temporairement au secteur E à N (Figure 3).

Quant à l'intensité des vents mesurés à la station météorologique GORO, la moyenne a été de $13,6 \pm 3,3$ m/s. Il est à noter que les vents de plus de 20 m/s mesurés le 09 et 10 mars correspondent au cyclone HOLA qui se situait à l'est de la Nouvelle-Calédonie (Figure 3 et Figure 4).

Pour l'ensemble de la période de mouillage, la vitesse moyenne des vents enregistrée par la station GORO est plus élevée que celles des précédentes campagnes (Tableau 3).

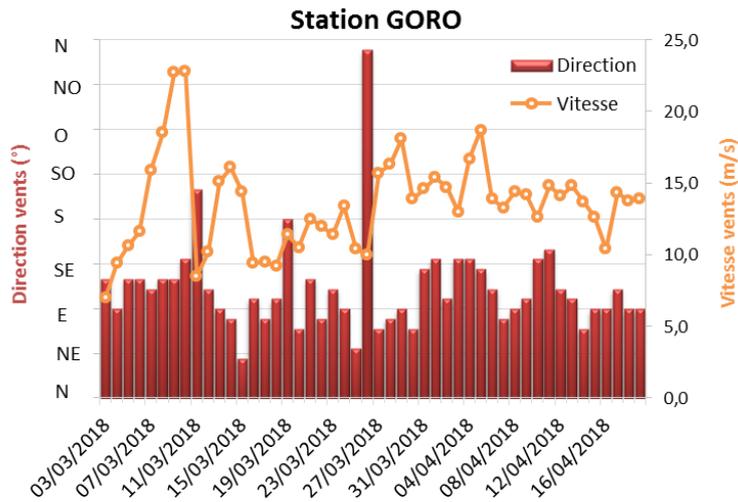
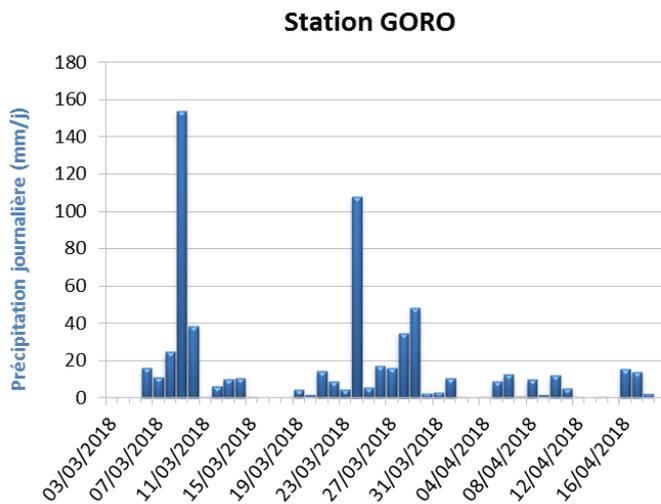


Figure 3 : Cumul journalier de précipitations et évolution de la vitesse et de la direction des vents (moyenne journalière) pour la période du 03 mars au 19 avril 2018.



Cyclone tropical intense HOLA:
Trajectoire observée du 03/03/2018 au 11/03/2018



Figure 4 : Présence du cyclone tropical intense HOLA dans les eaux de la Nouvelle-Calédonie du 08 mars au 10 mars (Source : Météo France)

Tableau 3 : Compilation des données météorologiques lors des différentes campagnes d'immersion de pièges séquentiels 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	AE
2013	1	Janv. - Févr. 2013	x	-	x	181,2	12,0 ± 2,1	AE
	2	Juil. - Août 2013	x	-	x	467,0	11,3 ± 3,6	AE
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	AE
2016	1	Juil. - Sept. 2015	PP	x	x	148,9	11,6 ± 2,6	AE
	2	Oct. - Nov. 2015	x	-	-	96,0	12,4 ± 3,1	AE
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
2018	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
2019	1	Sept. - Nov. 2017	x	x	x	58,4	11,0 ± 2,1	9,7 ± 13,1 (?)
	2	Mars - Avr. 2018	x	x	x	631,3	13,6 ± 3,3	ND
2020	1	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-

* données de précipitations 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 ou défaillant ; ND : données météorologiques non disponibles suite à une panne d'instrumentation ; IC : base de données incomplète suite à une panne d'enregistreur ; AE : absence d'enregistreur.

Note : lors des précédentes campagnes, des écartés notables entre les stations météorologiques de GORO et IORO ont été constatés notamment pour les intensités de vents ; l'altitude et la physiographie des lieux pour cette dernière expliquent la différence mesurée.

B. CARACTERISATION DES MATIERES EN SUSPENSION

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

1. Baie Kwé (St06-KW1)

Masses collectées

Avec une moyenne de $19,54 \pm 27,31$ g, les masses de MES collectées en St06-KW1 se distribuent entre environ 6,50 g (03-06 mars et 15-26 mars ; prélèvement 001 et 004 - 006) et 103 g (07-10 mars, prélèvement 002) (Figure 5). La deuxième plus forte quantité est recueillie le 11-14 mars, soit lors du pas de collecte 003 (31,65 g). Au-delà, les masses de MES n'évoluent que de manière moins significative jusqu'à la fin de la période de collecte.

Les pourcentages de fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) qui composent les MES varient en fonction des masses collectées. Ils se répartissent entre 57 et 77 % ; les plus basses étant piégées du 07-14 mars (prélèvements 002 et 003) ce qui correspond aux plus fortes quantités de MES collectées. Avec une moyenne de 68 ± 6 %, les MES piégées en St06-KW1 sont très majoritairement composées par de la fraction fine (Figure 6).

Entre les différentes campagnes conduites à St06-KW1, celle de mars-avril 2018 se singularise avec le pourcentage moyen de fraction fine parmi les plus faibles et la masse moyenne de MES collectée la plus importante (Tableau 4).

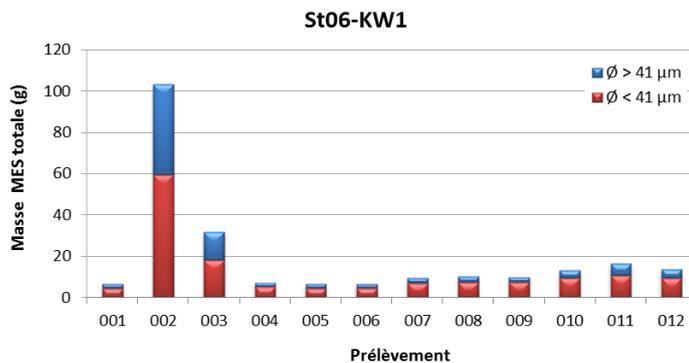


Figure 5 : Masse totale de MES piégée et composition en fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) et fraction grossière ($\varnothing > 41 \mu\text{m}$) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

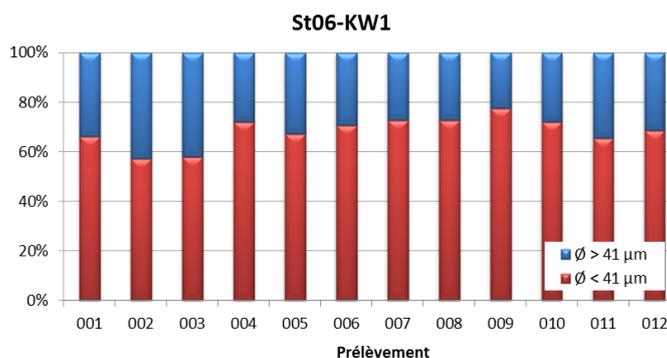


Figure 6 : Pourcentage des fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) et des fractions grossières ($\varnothing > 41 \mu\text{m}$) dans les 12 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

Compositions granulométriques

La fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES collectée en St06-KW1 est composée majoritairement de particules dont le mode se situe à la fois dans la classe 2,0-20 μm à savoir les silts fins (moyenne de 39 ± 1 % du volume total) et les silts moyens (20-40 μm) (35 ± 2 % du volume total). La distribution des populations granulométriques montre une évolution dans le temps pour les particules 20-40 μm qui augmentent du prélèvement 002 au 011 au détriment des particules $\varnothing > 63 \mu\text{m}$ (Figure 7). La quantité maximale en particules $\varnothing > 63 \mu\text{m}$ correspond aux apports conséquents liés avec le passage du cyclone HOLA.

Tableau 4 : Compilation des données moyennes ± écart-types de la MES totale, des pourcentages de fraction fine ($\phi < 41 \mu\text{m}$) 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 totale (g)	% $\phi < 41 \mu\text{m}$	Carbonate (%)	Campagne	MES totale (g)	% $\phi < 41 \mu\text{m}$	Carbonate (%)
Oct. - Nov. 2006	1,46 ± 0,74	ND	74 ± 2	Sept - Oct. 2014	2,37 ± 1,68	84 ± 2	65 ± 4
Mars - Avr. 2007	4,61 ± 4,47	ND	76 ± 3	Janv. - Mars 2015	13,6 ± 7,2	79 ± 4	73 ± 3
Juil. - Août 2011	5,07 ± 4,86	ND	69 ± 4	Oct. - Nov. 2015	7,77 ± 6,10	68 ± 6	47 ± 3
Janv. - Mars 2012	7,89 ± 6,64	75 ± 3	84 ± 5	Juil. - Sept. 2016	5,74 ± 4,58	80 ± 2	60 ± 6
Sept. - Oct. 2012	5,28 ± 2,62	70 ± 4	67 ± 3	Oct. - Nov. 2016	3,69 ± 2,78	79 ± 4	70 ± 5
Janv. - Févr. 2013	9,29 ± 5,71	77 ± 5	67 ± 8	Avr. - Mai 2017	9,06 ± 8,06	75 ± 3	71 ± 4
Juil. - Août 2013	11,6 ± 17,6	74 ± 4	46 ± 13	Sept. - Nov. 2017	4,08 ± 4,61	83 ± 2	71 ± 6
Janv. - Mars 2014	12,1 ± 6,8	82 ± 4	84 ± 3	Mars - Avr. 2018	19,5 ± 27,3	68 ± 6	62 ± 5

ND : valeur non déterminée.

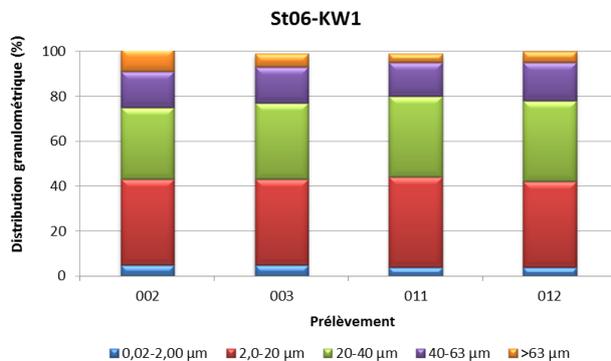


Figure 7 : Distribution granulométrique de la fraction fine ($\phi < 41 \mu\text{m}$) des 4 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

Pour l'ensemble des campagnes conduites à St06-KW1, parmi les 5 classes granulométriques étudiées, le mode principal demeure la classe 2,0-20 μm (silts fins). Globalement, l'on constate qu'entre les campagnes de juillet-août 2011 et octobre-novembre 2016, le pourcentage en particules $\phi < 20 \mu\text{m}$ a été en augmentation, jusqu'à doubler lors de certaines campagnes (par exemple, en 2014), au détriment des particules de taille $\phi > 20 \mu\text{m}$ (Tableau 5). Depuis, le pourcentage moyen est revenu proche des valeurs de l'Etat de Référence.

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

Compositions minéralogiques

La fraction fine ($\phi < 41 \mu\text{m}$) de MES collectée en St06-KW1 est majoritairement composée de minéraux d'origine terrigène dont notamment la présence prépondérante de goethite, gibbsite, serpentine, talc et quartz dans les prélèvements 002 (cyclone HOLA). Inversement, les carbonates (calcite et aragonite) sont dilués dans la masse sédimentaire et leur pourcentage s'en trouve diminué.

La calcite et aragonite ont été décelées dans tous les prélèvements, dont notamment dans les MES des prélèvements 011 et 012 où les proportions ont augmenté au détriment de minéraux d'origine terrigène. L'aragonite est un des constituants des coquilles d'invertébrés ; sa présence dénote du regain de l'influence marine à cette station après le passage du cyclone. Les proportions de ces minéraux d'origine latéritique

varient donc inversement à la calcite et l'aragonite, ce qui souligne l'alternance des influences terrigènes et marines à cette station (Tableau 6).

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

St06-KW1					
Campagne	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
Sept. - Nov. 2017	7 \pm 1	49 \pm 5	31 \pm 2	10 \pm 3	3 \pm 3
Mars - Avr. 2018	5 \pm 1	39 \pm 1	35 \pm 2	16 \pm 1	6 \pm 3

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

St06-KW1				
Prélèvement	% Calcite	% Aragonite	% Goethite	% Autres*
002	10,5	11,1	28,8	49,6
003	19,3	20,5	35,6	24,6
011	21,6	22,6	29,6	26,2
012	24,6	25,2	24,8	25,4

* : Gibbsite, Serpentine, Talc et Quartz

Teneurs en carbonates

Les teneurs en carbonates dans la fraction fine ($\emptyset < 41 \mu\text{m}$) de MES collectée en St06-KW1 se distribuent entre 49 % et 67 % avec une moyenne de 62 ± 5 %. Les seules variations dans les teneurs sont constatées lors des prélèvements 002 et 003, fortement corrélées avec les masses importantes de MES collectées ($R^2 = -0,9146$; Figure 8) suite aux apports massifs de matériel terrigène liés avec le passage du cyclone HOLA.

Entre les différentes campagnes conduites à St06-KW1, celle de mars-avril 2018 présente une teneur moyenne en carbonates légèrement plus basse que d'habitude ($67 - 84$ %). Elle reste toutefois plus élevée que celles des campagnes de juillet-août 2013 (46 ± 13 %) et octobre-novembre 2015 (47 ± 3 %) (Tableau 4).

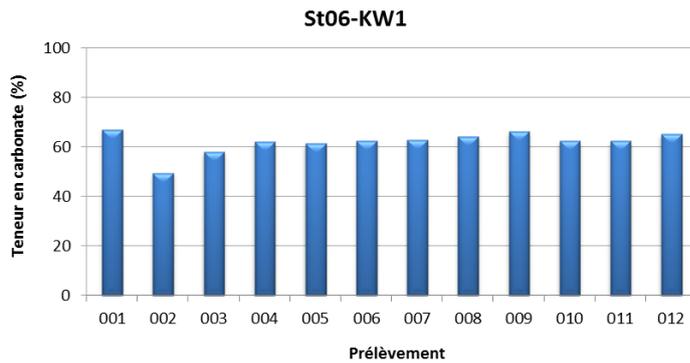


Figure 8 : Teneurs en carbonates contenues dans les fractions fines ($\phi < 41 \mu\text{m}$) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

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 (Chaurand, 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 calculé des carbonates.

2. Rade Nord de Prony (St15)

Masses collectées

Les masses de MES collectées se distribuent entre 0,020 g et 6,81 g avec une moyenne de $1,67 \pm 1,93$ g. Deux séquences significatives de collecte sont observées ; du 07-10 mars (001) au 23-26 mars (006) et du 23-26 mars (006) au 12-15 avril (011), où les quantités de MES piégées s'accroissent brusquement puis décroissent progressivement. Ensuite, la collecte termine avec une légère augmentation des MES (012 ; Figure 9).

La fraction fine ($\phi < 41 \mu\text{m}$) est très largement dominante dans les MES piégées en St15 avec une moyenne de 86 ± 6 %. Les pourcentages de fraction fine se distribuent entre 72 à 95 % ; le minimum est enregistré dès le premier pas de collecte le 03-06 mars (001) et le maximum le 27-30 mars (007) (Figure 10).

Entre les différentes campagnes conduites à St15, la masse moyenne collectée lors de cette campagne 2018 reste faible mais dépasse tout de même le seuil de 1 g. L'on notera que la masse de MES collectées est toutefois 3 fois moins importante que celles collectées en janvier-mars 2014 ($4,43 \pm 8,90$ g). En revanche, quelle que soit la campagne, les MES piégées sont majoritairement composées de fraction fine avec des moyennes peu variables (Tableau 7).

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 ; l'orientation SE favorisant un confinement 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.

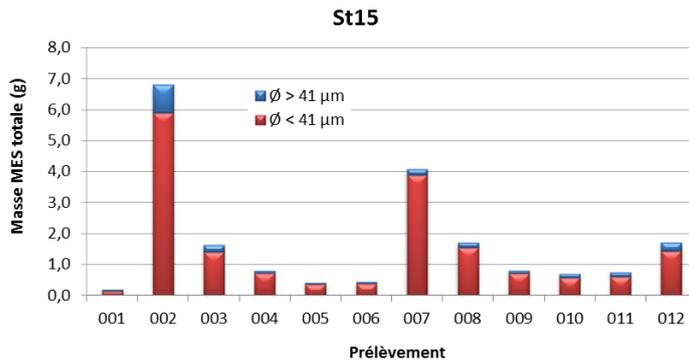


Figure 9 : Masse totale de MES piégées et composition en fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) et fraction grossière ($\varnothing > 41 \mu\text{m}$) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St15.

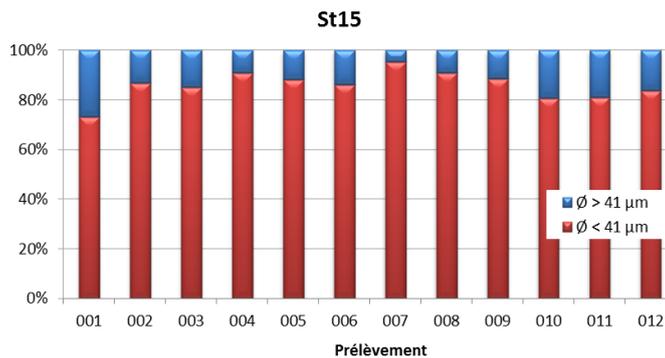


Figure 10 : Pourcentage des fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) et des fractions grossières ($\varnothing > 41 \mu\text{m}$) dans les 12 prélèvements du piège séquentiel à St15.

Tableau 7 : Compilation des données moyennes \pm écart-types 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	Mai -Juil. 2016	1,73 \pm 1,49	76 \pm 23	19 \pm 9
Mars - Avr. 2007	0,15 \pm 0,14	ND	ND	Oct. - Nov. 2016	0,44 \pm 0,50	87 \pm 7	27 \pm 4
Janv. - Mars 2014	4,43 \pm 8,90	88 \pm 6	9 \pm 4	Avr. - Mai 2017	1,61 \pm 1,16	92 \pm 5	28 \pm 4
Sept. - Oct. 2014	0,18 \pm 0,25	77 \pm 31	25 \pm 2	Sept. - Nov. 2017	0,30 \pm 0,30	79 \pm 16	23 \pm 2
Janv. - Mars 2015	0,56 \pm 0,60	86 \pm 10	25 \pm 7	Mars - Avr. 2018	1,67 \pm 1,93	86 \pm 6	19 \pm 3
Juil. - Sept. 2015	0,26 \pm 0,27	86 \pm 10	26 \pm 2	-	-	-	-

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

Compositions granulométriques

La fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES collectées en St15 est composée majoritairement de particules dont le mode se situe dans la classe 2,0-20 μm à savoir les silts fins (moyenne de 52 \pm 2 % du volume total) tandis que les silts moyens (20-40 μm) composent la seconde population granulométrique (28 \pm 1 % du volume total). La distribution des populations granulométriques, quant à elle, ne montre aucune variation significative dans le temps (Figure 7), outre une légère augmentation des particules de $\varnothing > 20 \mu\text{m}$ qui correspondrait avec les apports les plus importants (cyclone HOLA).

Pour l'ensemble des campagnes conduites à St15, parmi les 5 classes granulométrique étudiées, le mode principal 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 et 40-63 μm est observée au détriment de celle de 0,02-2,00 μm (Tableau 8).

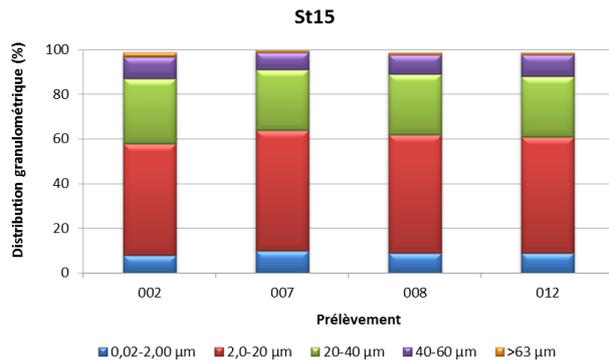


Figure 11 : Distribution granulométrique de la fraction fine ($\phi < 41 \mu\text{m}$) des 4 prélèvements du piège séquentiel à St15.

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

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

Campagne	St15				
	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
Sept. – Nov. 2017	ND	ND	ND	ND	ND
Mars – Avr. 2018	9 \pm 1	52 \pm 2	28 \pm 1	9 \pm 1	1 \pm 1

ND : valeur non déterminée

Compositions minéralogiques

Au vue des très faibles quantités collectées, seulement 3 analyses par DRX ont pu être effectuées pour cette campagne. La fraction fine ($\phi < 41 \mu\text{m}$) des MES collectées à St15 est majoritairement composée de minéraux d'origine latéritique dont notamment la goéthite ainsi que la gibbsite et serpentine. Bien qu'en bien moindre quantité, de l'aragonite et de la calcite, minéraux d'origine ont également été décelés. Les proportions demeurent très stables ; aucune évolution avec les pas de collecte n'est constatée (Tableau 9).

Tableau 9 : Composition minéralogique de la fraction fine ($\phi < 41 \mu\text{m}$) des 3 prélèvements du piège séquentiel à St15.

Prélèvement	St15			
	% Calcite	% Aragonite	% Goéthite	% Autres*
002	4,5	3,1	35,1	57,3
007	6,5	3,0	34,1	56,3
008	6,0	3,2	33,1	57,7

* : Gibbsite et Serpentine

Teneurs en carbonates

Le manque de matière pour la première période n'a permis les analyses que sur 11 échantillons. Les teneurs en carbonates dans la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) en St15 se distribuent entre 15 % et 25 % avec une moyenne de $19 \pm 3 \%$ soulignant, de ce fait, une influence prépondérante claire des apports terrigènes à cette station. Les teneurs montrent une tendance marquée en fonction du pas de prélèvement. Toutefois aucune corrélation n'a pu être observée, ni avec les masses de MES collectées, ni avec le pourcentage de fractions fines (Figure 12) ; une explication devra peut-être être recherchée avec l'orientation des vents qui poussent les masses d'eau de la côte vers le centre de la rade du Nord.

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 ($9 \pm 4 \%$) demeure la valeur la plus basse enregistrée (Tableau 7).

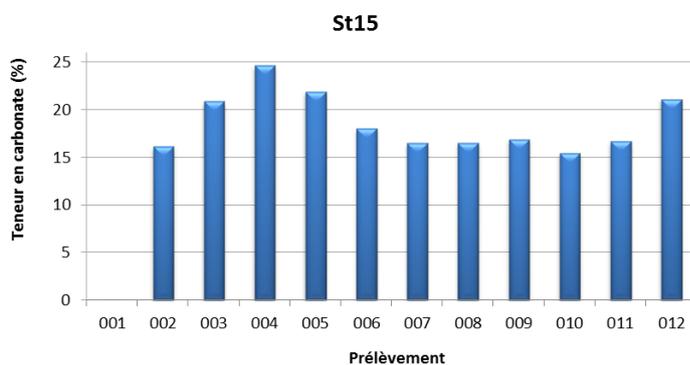


Figure 12 : Teneurs en carbonates contenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 11 prélèvements du piège séquentiel à St15.

3. Canal de la Havannah (St60-NE)

Masses collectées

Les masses de MES collectées en St60-NE se distribuent entre 0,090 g et 10,65 g avec une moyenne de $3,66 \pm 3,62 \text{ g}$. Les faibles quantités ont été collectées le 07-26 mars (002-006), tandis que les fortes quantités ont été collectées à la fin de la période d'immersion (011 et 012). Trois séquences d'évolution brusques des masses piégées sont observées : 1) du 03-06 mars (001) au 07-10 mars (002) avec une baisse de 3,19 à 0,350 g ; 2) du 23-26 mars (006) au 27-30 mars (007) avec une hausse de 0,790 à 3,65 g et 3) du 08-11 avril (010) au 12-15 avril (011) avec une nouvelle hausse du 5,84 à 10,65g (Figure 13).

Les MES piégées en St60-NE sont composées majoritairement ($62 \pm 6 \%$) de fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$). En effet, tous les prélèvements présentent une part de fraction fine élevée comprise entre 61 et 66 % sauf pour le prélèvement 002 (07-10 mars) dans lequel la fraction grossière domine la composition des particules (52 % ; Figure 14), mais la faible quantité de MES collectée rend le calcul peu précis.

Pour les différentes campagnes conduites à St60-NE, la masse totale moyenne collectée lors de cette campagne est parmi les plus fortes depuis la campagne de février-mars 2007, tandis que le pourcentage moyen de fraction fine obtenu reste dans les valeurs usuelles (Tableau 10).

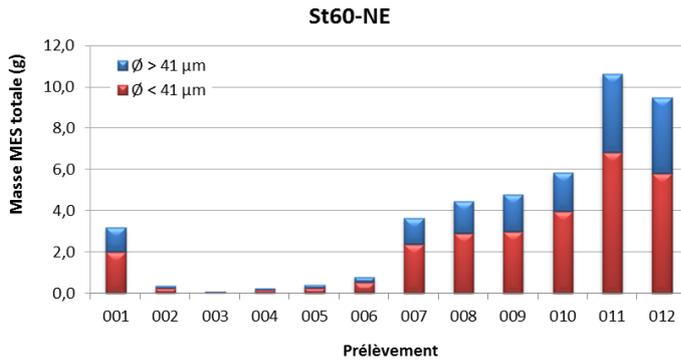


Figure 13 : Masse totale de MES piégées et composition en fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) et fraction grossière ($\varnothing > 41 \mu\text{m}$) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

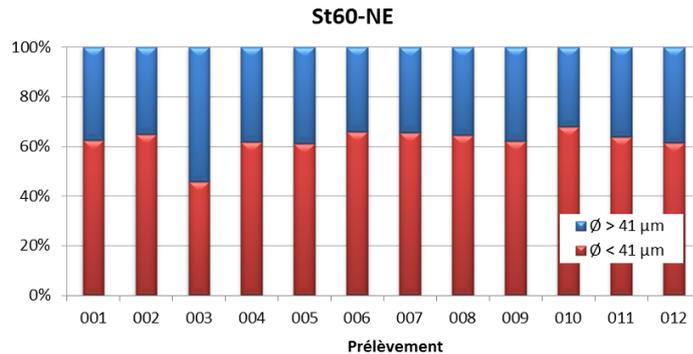


Figure 14 : Pourcentage des fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) et des fractions grossières ($\varnothing > 41 \mu\text{m}$) dans les 12 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

Tableau 10 : Compilation des données moyennes \pm écart-types 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	Janv. - Mars 2015	3,19 \pm 3,11	63 \pm 8	88 \pm 3
Juil. - Août 2011	ND	ND	ND	Juil. - Sept. 2015	1,98 \pm 1,84	61 \pm 6	91 \pm 6
Janv. - Mar 2012	1,92 \pm 1,77	60 \pm 18	80 \pm 3	Mai - Juil. 2016	3,42 \pm 2,03	49 \pm 6	76 \pm 9
Sept. - Oct. 2012	0,82 \pm 1,08	39 \pm 9	85 \pm 1	Oct. - Nov. 2016	2,23 \pm 3,52	28 \pm 13	91 \pm 7
Janv. - Mars 2013	2,51 \pm 2,71	49 \pm 14	77 \pm 1	Avr. - Mai 2017	3,11 \pm 2,84	61 \pm 5	91 \pm 2
Juil. - Août 2013	1,17 \pm 1,42	41 \pm 7	75 \pm 4	Sept. - Nov. 2017	1,46 \pm 1,27	59 \pm 4	86 \pm 2
Avr. - Juin 2014	1,49 \pm 1,01	74 \pm 8	83 \pm 2	Mars - Avr. 2018	3,66 \pm 3,62	62 \pm 6	77 \pm 1
Sept. - Oct. 2014	1,63 \pm 1,82	60 \pm 4	83 \pm 2	-	-	-	-

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

Compositions granulométriques

La fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES collectée en St60-NE est composée de particules dont le mode se situe à la fois dans les classes 2,0-20 μm (silts fins) et 20-40 μm (silts moyens), avec une moyenne de 40 \pm 3 % et 36 \pm 2 % du volume total, respectivement. La distribution des populations granulométriques montre une évolution dans le temps pour les particules de classe 2,0-20 μm qui augmentent du prélèvement 001 au 012 aux dépens de particules de classes 20-40 et 40-63 μm (Figure 15).

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 40-63 µm a été mesurée. Pour cette campagne, la distribution granulométrie ressemble de près à celle de la première campagne réalisée en janvier-mars 2012 (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.

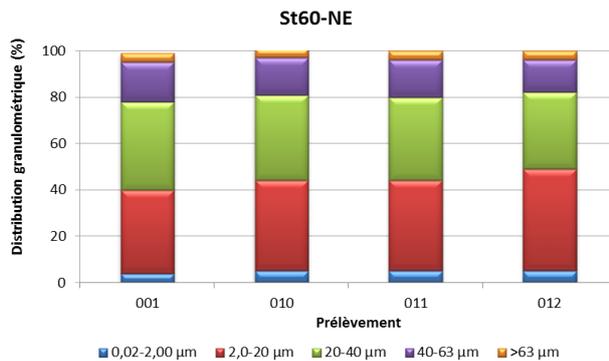


Figure 15 : Distribution granulométrique de la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 4 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

Tableau 11 : Compilation des données moyennes \pm écart-types 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 ± 1	46 ± 9	32 ± 6	14 ± 4	5 ± 1
Sept. – Oct. 2012	2 (n=1)	40 (n=1)	23 (n=1)	17 (n=1)	18 (n=1)
Janv. - Mars 2013	5 ± 0	36 ± 3	33 ± 2	16 ± 0	10 ± 4
Juil. – Août 2013	14 ± 5	49 ± 4	28 ± 3	8 ± 1	0 ± 0
Avr. - Juin 2014	17 ± 3	47 ± 4	25 ± 2	9 ± 2	2 ± 2
Sept. – Oct. 2014	5 ± 1	72 ± 3	17 ± 4	4 ± 0	1 ± 1
Janv. - Mars 2015	12 ± 4	44 ± 6	26 ± 2	11 ± 3	7 ± 6
Juil. - Sept. 2015	13 ± 5	44 ± 8	24 ± 3	9 ± 4	9 ± 7
Mai - Juil. 2016	5 ± 1	40 ± 1	36 ± 2	16 ± 1	3 ± 1
Oct. – Nov. 2016	6 ± 2	42 ± 12	32 ± 4	12 ± 3	8 ± 15
Avr. – Mai 2017	4 ± 1	36 ± 8	30 ± 3	11 ± 7	12 ± 12
Sept. – Nov. 2017	8 ± 1	52 ± 2	31 ± 1	9 ± 1	0 ± 0
Mars – Avr. 2018	5 ± 1	40 ± 3	36 ± 2	16 ± 1	4 ± 0

Compositions minéralogiques

La fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES collectée en St60-NE est quasi-exclusivement composée de minéraux d’origine marine, comme notamment l’aragonite et la calcite, ce qui souligne les influences marines constantes et quasi exclusives régnantes à cette station. L’aragonite est un des constituants des coquilles d’invertébrés.

La présence de goethite est faiblement décelée lors de cette campagne dont les proportions augmentent à la fin de la période de collecte (011 et 012) lorsque le temps se stabilise avec l'installation d'un large secteur Est (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
001	71,8	25,5	2,7	-
010	74,4	24,0	1,6	-
011	70,0	23,7	6,3	-
012	67,0	23,6	6,2	3,2

Teneurs en carbonates

Le manque de matière n'a permis les analyses que sur 10 échantillons. Les teneurs en carbonates dans la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des MES collectées en St60-NE se distribuent entre 75 % et 79 %. Avec une moyenne de $77 \pm 1 \%$, les teneurs n'évoluent guère avec les pas de prélèvements (Figure 16).

Entre les différentes campagnes, les teneurs moyennes varient peu également. La plus basse obtenue depuis le début du suivi est de $75 \pm 4 \%$ (juillet-août 2013), ce qui est comparable à celle de cette campagne. Ces observations soulignent que, par rapport aux deux autres stations, les apports en carbonates à St60-NE sont à la fois importants et constants (Tableau 10).

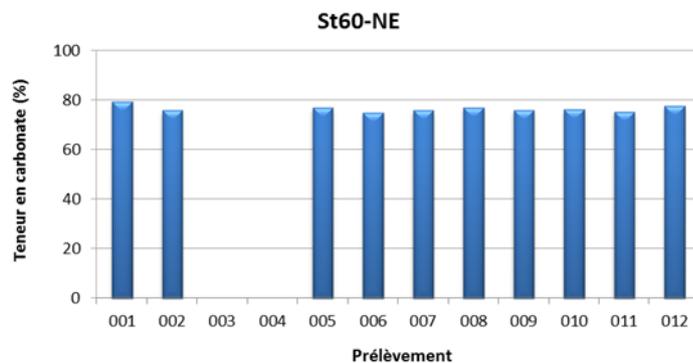


Figure 16 : Teneurs en carbonates contenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 10 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

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 début de la période d'immersion, à savoir le 03-06 mars (001), tandis que les plus fortes ont été enregistrées du 07-10 mars (002). Le prélèvement 003 constitue les valeurs les deuxièmes plus fortes pour tous les métaux. Inversement, pour le Ca, les teneurs minimales ont été mesurées le 07-10 mars (002) et 11-14 mars (003), tandis que la plus forte concentration a été mesurée le 03-06 mars (001).

Parmi les 3 stations étudiées, ces évolutions dans le temps sont plus marquées à la station St06-KW1, exception faite pour le Ca dont les variations sont moins importantes (Tableau 13).

Comme cela avait été observé lors des précédentes campagnes, la matrice de corrélation montre la similarité d'évolution des concentrations massiques pour Co, Cr, Fe, Ni et Mn avec des $R^2 > 0,9900$. Elle montre également une corrélation suffisamment forte mais négative entre le Ca et les 5 métaux (Tableau 14). Des corrélations similaires sont également observées entre les concentrations des éléments et les quantités de MES piégées ; les métaux accroissent leurs concentrations avec les masses de MES collectées tandis que le Ca décroît.

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

St06-KW1						
Eléments (mg/kg ps)	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Min	176 704	64,0	2 437	83 357	522	1 266
Max	248 595	146	5 310	177 612	1 339	2 995
Moyenne	228 717	86,7	3 279	113 470	783	1 766
Ecart-type	18 985	21,8	743	23 892	206	450
CV (%)	8	25	23	21	26	25

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

St06-KW1						
Eléments	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ca	1	-0,978	-0,984	-0,978	-0,976	-0,985
Co		1	0,997	0,994	0,993	0,997
Cr			1	0,998	0,995	1,000
Fe				1	0,994	0,997
Mn					1	0,993
Ni						1

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 2018 sont supérieures aux moyennes enregistrées en 2007 pour l'état de référence. Quant à la concentration moyenne en Ca, elle est plus faible que 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 regroupe les plus basses. Par ailleurs, les concentrations des métaux restent comparables à celles enregistrées lors des dernières campagnes de 2017 (Tableau 15).

Tableau 15 : Compilation des données moyennes \pm écart-types 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.

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	46,1 \pm 18,4	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	82,8 \pm 12,1	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 22 923	974 \pm 208	2 148 \pm 403
Oct. – Nov. 2016	260 620 \pm 20 111	86,3 \pm 18,3	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
Sept. – Nov. 2017	264 210 \pm 24 159	95,0 \pm 13,6	3 422 \pm 417	120 591 \pm 12 247	742 \pm 101	1 791 \pm 224
Mars – Avr. 2018	228 717 \pm 18 985	86,7 \pm 81,8	3 279 \pm 743	113 470 \pm 23 892	783 \pm 206	1 766 \pm 450

Normalisation du calcium par le fer

Les valeurs du rapport Ca/Fe obtenues en St06-KW1 se distribuent entre 0,995 et 2,98 avec une moyenne de $2,11 \pm 0,49$. Le plus fort ratio a été obtenu dès le premier prélèvement du 03-06 mars (001) et les plus faibles dans les périodes subséquentes, à savoir du 07-14 mars (002, passage du cyclone HOLA, et 003) après lesquelles les rapports restent plus ou moins stables jusqu'à la fin de la période de collecte. Représentant l'influence des pôles marin (Ca) et terrigène (Fe), l'évolution des ratios traduit la mise en place de 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. Toutefois, depuis la campagne d'octobre-novembre 2015, les ratios semblent s'être stabilisés (Tableau 17).

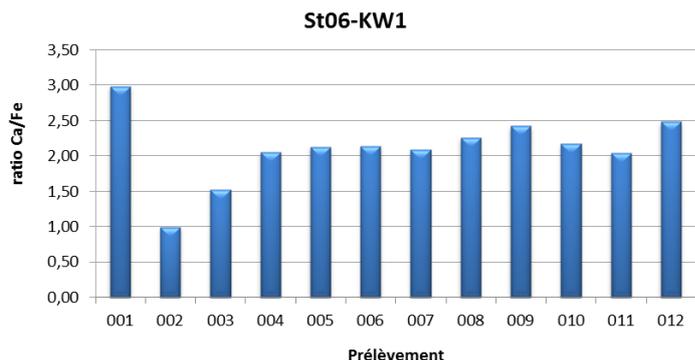


Tableau 16 : Normalisation des concentrations en calcium par le fer mesurées dans la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

Tableau 17 : Compilation des données moyennes \pm écart-types 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)	Janv. - Mars 2015	3,24 \pm 0,53
Juil. - Août 2011	3,17 \pm 0,50	Oct. - Nov. 2015	1,72 \pm 0,44
Janv. - Mars 2012	2,32 \pm 0,18	Juil. - Sept. 2016	1,68 \pm 0,48
Sept. - Oct. 2012	2,40 \pm 0,31	Oct. – Nov. 2016	2,32 \pm 0,53
Janv. - Mars 2013	1,95 \pm 0,33	Avr. – Mai 2017	2,52 \pm 0,53
Juil. - Août 2013	0,98 \pm 0,46	Sept. – Nov. 2017	2,21 \pm 0,31
Janv. - Mars 2014	10,7 \pm 3,13	Mars – Avr. 2018	2,11 \pm 0,49
Sept. - Oct. 2014	1,86 \pm 0,27	-	-

- : pas de campagne.

2. Rade Nord de Prony (St15)

Concentrations en métaux et calcium

Le manque de matière n'a permis les analyses que sur 11 échantillons.

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 l'évolution des concentrations dans le temps, exception faite pour le Ca, elles sont peu dispersées (Tableau 18).

Bien que les concentrations évoluent peu entre les prélèvements, la matrice de corrélation confirme également une similarité d'évolution des concentrations massiques pour Cr, Fe et Ni ($R^2 > 0,9100$). Elle montre également qu'il existe une relation inverse entre le Ca et le Cr ($R^2 = -0,8212$). En revanche, pour le Co et Mn, le coefficient de corrélation est moins marqué, ce qui pourrait indiquer un terme source composite pour ces deux éléments (Tableau 19).

Entre les différentes campagnes conduites à St15, les concentrations moyennes 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 qu'en 2007 (Etat de référence), mais sont bien inférieures à celles obtenues en janvier-mars 2014 et 2015 ; ces campagnes sont à ce jour celles qui présentent les concentrations métalliques les plus hautes (Tableau 20). Quant à la concentration moyenne en Ca, elle est également comparable à celle de 2007.

Tableau 18 : Concentrations en métaux et calcium obtenues (moyennes, écart-types et valeurs extrêmes) dans les fractions fines ($\phi < 41 \mu\text{m}$) des 11 prélèvements du piège séquentiel à St15.

St15						
Eléments (mg/kg ps)	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Min	51 145	176	7 046	206 299	1 659	2 400
Max	84 946	234	8 720	242 115	2 300	2 754
Moyenne	62 558	206	8 004	225 530	1 999	2 599
Ecart-type	11 186	14	556	12 942	186	130
CV (%)	18	7	7	6	9	5

Tableau 19 : Matrice de corrélation inter-éléments des concentrations de métaux et du calcium obtenues dans les fractions fines ($\phi < 41 \mu\text{m}$) des 11 prélèvements du piège séquentiel à St15.

St15						
Eléments	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ca	1	0,1391	-0,8212	-0,7004	-0,5637	-
Co		1	0,0319	0,2106	0,5237	0,2714
Cr			1	0,9262	0,6066	0,9157
Fe				1	0,7073	0,9273
Mn					1	0,6624
Ni						1

Tableau 20 : Compilation des données moyennes \pm écart-types des concentrations en métaux et calcium obtenues dans les fractions fines ($\phi < 41 \mu\text{m}$) 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 21	8 150 \pm 859	231 480 \pm 23 743	1 246 \pm 174	2 501 \pm 281
Sept. – Nov. 2017	76 373 \pm 7 445	221 \pm 4	7 797 \pm 163	192 953 \pm 51 953	1 687 \pm 85	2 614 \pm 61
Mars – Avr. 2018	62 558 \pm 11 186	206 \pm 14	8 004 \pm 556	225 530 \pm 12 942	1 999 \pm 186	2 599 \pm 130

Normalisation du calcium par le fer

Les valeurs du rapport Ca/Fe obtenues en St15, peu variables, se distribuent entre 0,212 et 0,412 avec une moyenne de $0,280 \pm 0,064$; les minimales et maximales correspondant aux prélèvements 010 (8-11 avril) et 004 (15-18 avril), respectivement (Figure 17).

Entre les différentes campagnes conduites à St06-KW1, les ratios faibles recueillis confirment que l'influence terrigène est amplement dominante et constante; le ratio minimal, c'est-à-dire l'influence terrigène maximale, ayant été relevé lors de la campagne de janvier-mars 2014 (Tableau 21).

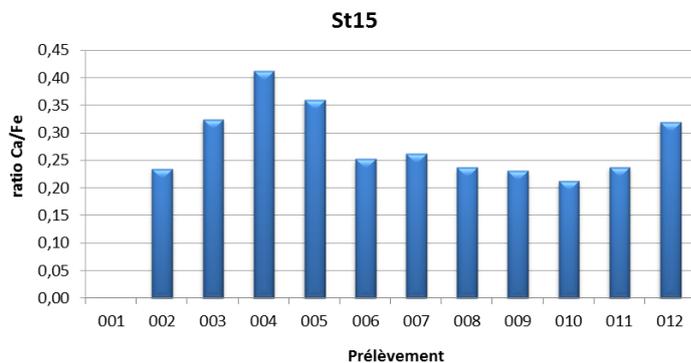


Figure 17 : Normalisation des concentrations en calcium par le fer mesurées dans la fraction fine (Ø < 41 µm) des 11 prélèvements du piège séquentiel à St15.

Tableau 21 : Compilation des données moyennes ± écart-types 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	0,301 (n=1)	Mai - Juil. 2016	0,459 ± 0,323
Janv. - Mars 2014	0,050 ± 0,081	Oct. - Nov. 2016	0,464 ± 0,052
Sept. - Oct. 2014	0,401 ± 0,023	Avr. - Mai 2017	0,448 ± 0,115
Janv. - Mars 2015	0,273 ± 0,106	Sept. - Nov. 2017	0,418 ± 0,107
Juil. - Sept. 2015	0,481 ± 0,041	Mars - Avr. 2018	0,280 ± 0,064

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.

Parmi les 3 stations étudiées, la St60-NE présente les concentrations en métaux les plus faibles et en Ca la plus forte. Exception faite du Mn, ces concentrations varient peu, notamment celle du Ca et Co. Les plus fortes et faibles quantités en Cr, Fe, et Ni ont été mesurées dans les particules piégées du 19-22 mars (005) et 16-19 avril (012), respectivement. En revanche, pour Mn, elles ont été mesurées le 07-10 mars (002) et le 23-26 mars (006), respectivement (Tableau 22).

Bien qu'un peu moins robuste en raison du nombre d'échantillons plus réduit, la matrice de corrélation montre, toutefois, une similarité certaine dans l'évolution des concentrations massiques de Ni vis-à-vis de Co, Cr et Fe ($R^2 > 0,8359$). Pour le Fe, les tendances sont à peine marquées, exception faite du couple Fe/Cr. Inversement, aucun type de corrélation n'est constaté pour le Ca, ni pour le Co et Mn (Tableau 23).

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	281 578	22,0	573	23 408	187	339
Max	298 150	25,0	702	28 004	333	419
Moyenne	287 342	23,3	621	24 993	219	365
Ecart-type	4 920	0,9	39	1 291	42	25
CV (%)	2	4	6	5	19	7

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	-0,3929	-0,1137	-0,0282	-0,2537	-0,1556
Co		1	0,7885	0,7751	0,2835	0,8359
Cr			1	0,9610	-0,0387	0,9840
Fe				1	0,1085	0,9748
Mn					1	0,0873
Ni						1

Tableau 24 : Compilation des données moyennes \pm écart-types 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.

St60-NE						
Campagne	Eléments (mg/kg ps)					
	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 6,6	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 5,0	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 2,6	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
Sept. - Nov. 2017	322 239 \pm 9 420	23,8 \pm 3,4	589 \pm 44	22 557 \pm 1 566	361 \pm 269	335 \pm 29
Mars - Avr. 2018	287 342 \pm 4 920	23,3 \pm 0,9	621 \pm 29	24 993 \pm 1 291	219 \pm 42	365 \pm 25

ND : valeur non déterminée.

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 moyennes en Co, Cr, Fe, Mn et Ni obtenues lors de cette campagne 2018 sont environ 2 à 3 fois supérieures à celles enregistrées en 2007 pour l'état de référence. Pour le Cr et Ni, et dans un moindre mesure pour le Fe et Mn, 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).

Normalisation du calcium par le fer

Les valeurs du rapport Ca/Fe obtenues en St60-NE se distribuent entre 10,3 et 12,5 avec une moyenne de 11,5 ± 0,6 ; la plus basse valeur ayant été obtenue lors des prélèvements du 19-22 mars (005) et la plus forte du 16-19 avril (012). Ces ratios élevés confirment que l'influence marine est largement dominante corroborant ainsi les résultats de teneurs en carbonates (Figure 18).

Entre les différentes campagnes conduites à St60-NE, les évolutions du ratio Ca/Fe moyen permettent de constater que l'influence de la signature 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 ratios moyens oscillent entre 10,0 et 20,0 (Tableau 26).

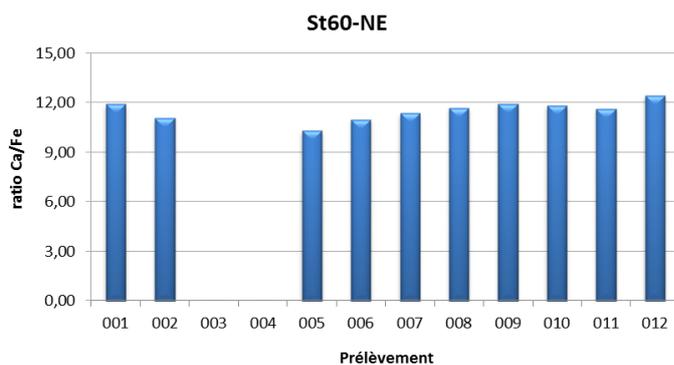


Figure 18 : Normalisation des concentrations en calcium par le fer mesurées dans la fraction fine ($\phi < 41 \mu\text{m}$) des 10 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

Tableau 25 : Compilation des données moyennes ± écart-types de normalisation du calcium par le fer obtenues dans les fractions fines ($\phi < 41 \mu\text{m}$) 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)	Janv. - Mars 2015	11,7 ± 2,2
Juil. - Août 2011	ND	Juil. - Sept. 2015	15,4 ± 1,5
Janv. - Mar 2012	14,3 ± 2,4	Mai - Juil. 2016	12,5 ± 2,4
Sept. - Oct. 2012	19,0 ± 2,7	Oct. - Nov. 2016	19,8 ± 1,2
Janv. - Mars 2013	11,8 ± 1,0	Avr. - Mai 2017	18,4 ± 2,4
Juil. - Août 2013	9,0 ± 2,3	Sept. - Nov. 2017	14,4 ± 1,1
Avr. - Juin 2014	17,2 ± 1,8	Mars - Avr. 2018	11,5 ± 0,6
Sept. - Oct. 2014	12,5 ± 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 2851 mg/kg ps et 3891 mg/kg ps avec une moyenne de 3325 ± 357 mg/kg ps. La plus forte et la plus faible concentration ont été mesurées, respectivement, le 03-06 mars (001) et 19-22 mars (005) (Figure 19).

Il est à noter qu'aucune relation significative n'est constatée entre le S et le Ca ($R^2 = 0,4906$) ; les apports en carbonates naturels du milieu semblent diluer ce rapport et ne permet pas de suivre l'évolution de concentrations du gypse (CaSO_4) évacué par le diffuseur dans les concentrations actuelles.

Entre les différentes campagnes conduites à St60-NE, les concentrations moyennes en S montrent peu de variations. Depuis la campagne d'état de référence en 2007, les concentrations moyennes calculées sont du même ordre de grandeur, exception faite pour la campagne de avril-juin 2014 qui à ce jour a présenté les concentrations en S les plus variables à St60-NE. (Tableau 26).

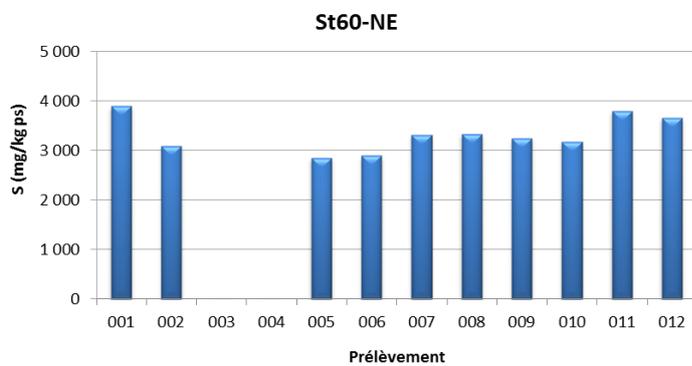


Figure 19 : Concentrations en soufre mesurées dans la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) des 10 prélèvements de MES collectés par le piège séquentiel à particules à St60-NE.

Tableau 26 : Compilation des moyennes \pm écart-types des concentrations en soufre obtenues dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) 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	Janv. - Mars 2015	$2\ 887 \pm 74$
Juil. - Août 2011	ND	Juil. - Sept. 2015	$2\ 776 \pm 168$
Janv. - Mars 2012	$2\ 903 \pm 183$	Mai - Juil. 2016	$2\ 746 \pm 83$
Sept. - Oct. 2012	$3\ 001 \pm 131$	Oct. - Nov. 2016	$2\ 639 \pm 503$
Janv. - Mars 2013	$3\ 113 \pm 284$	Avr. - Mai 2017	$2\ 808 \pm 118$
Juil. - Août 2013	$2\ 656 \pm 556$	Sept. - Nov. 2017	$2\ 816 \pm 238$
Avr. - Juin 2014	$3\ 812 \pm 834$	Mars - Avr. 2018	$3\ 325 \pm 357$
Sept. - Oct. 2014	$2\ 805 \pm 161$	-	-

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 indirectement 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 et dispersion ou confinement du panache). Selon les stations suivies, les Figure 20, Figure 21 et Figure 22 apportent une vue d'ensemble afin de tenter d'explicitier les différents épisodes et les observations marquantes en rapport avec les conditions hydro-climatiques.

Rappel : En temps normal, les données de mesure de force et direction de vents provenant de la station météorologique IORO, située au milieu du Channel de Hannah, sont exploitées pour l'interprétation des résultats. Toutefois, pour cette campagne, les données recueillies à cette station étant visiblement erronées ont été écartées et substituées par celles de la station météorologique de GORO. Cette dernière située à l'intérieur des terres de la Baie du Prony n'est toutefois pas la mieux placée pour indiquer avec précision les conditions hydro-climatiques agissant aux stations ST06-KW1 et ST60-NE ; les précédentes campagnes ont montré des écarts notables, mais constants, entre ces deux stations météorologiques dues aux effets de relief.

1. Baie Kwé (St06-KW1)

L'immersion du piège à particules séquentiel à St06-KW1 du 03 mars au 19 avril avec un pas de temps de 96 h a permis de révéler les observations suivantes (Figure 20) :

- Du 03-07 mars (001) au 11-14 mars (003) – le 03-07 mars (001) les quantités de MES piégées et les concentrations de Ni sont parmi les plus faibles et augmentent subitement le 07-10 mars (002) à des niveaux maximaux. Ensuite, elles diminuent aussitôt le 11-14 mars (003) ; ces valeurs restant tout de même les deuxième plus élevées. Quant aux ratios Ca/Fe, ils évoluent de manière opposée ; la valeur la plus forte mesurée dès le premier pas de collecte (001) baisse au niveau le plus faible dans le prélèvement 002 puis n'augmente que légèrement dans le prélèvement 003. Contrairement au prélèvement 001, le 002 correspond à une période de météorologie très instable avec une pluviométrie intense (cumul de 16,0 versus 227,4 mm) et des alizés forts ($9,7 \pm 2,0$ versus $20,0 \pm 3,4$ m/s), conditions exceptionnelles réunies par le passage du cyclone HOLA du 09 au 10 mars. Ensuite, les pluies s'estompent (cumul de 27,1 mm) et les vents s'affaiblissent ($12,5 \pm 3,7$ m/s). Un régime des vents variables s'installe toutefois ; il bascule du SE au SSO puis vers E atteignant la vitesse de 16,1 m/s à la fin du pas de collecte 003. Cette instabilité, associée à la rémanence des précipitations précédentes, semble avoir influencé les flux des particules dans le prélèvement 003 notamment sous l'influence des vents du secteur S-SO.
- Du 15-18 mars (004) au 16-19 avril (012) – les quantités de MES piégées, les concentrations de Ni et les ratios Ca/Fe n'évoluent que peu entre les 9 premières périodes de collecte restantes. Ces périodes correspondent toutefois à des régimes météorologiques relativement instables avec cumul de précipitations quasi nul à fort (0,6 à 107, 8 mm) et des vents d'intensité modérée à forte ($10,6 \pm 2,5$ à

16,0 ± 1,7 m/s) ainsi que quelques incursions d'alizés (E-S) vers le secteur N ce qui ne semble avoir guère perturbé les flux des particules.

Pour cette campagne, marquée par des conditions hydro-climatiques exceptionnelles (fortes précipitations, vents et cyclone tropical intense HOLA), plusieurs corrélations sont mises en évidence entre le flux des particules et les facteurs météorologiques. A la lumière des observations recueillies lors des études antérieures effectuées avec les données météorologiques de la station IORO et en raison de sa localisation (station située dans un étroit chenal formé entre des récifs enserrant la Baie Kwé et ouvert vers le sud), les différents flux de particules s'organisent comme suit :

- **Origine terrigène** : elle est souvent influencée par l'effet combiné de la direction du vent et sa vitesse. D'après les campagnes précédentes il a été montré que les vents de secteur S-SO d'intensité modérée ont pour effet de remobiliser des particules terrigènes sédimentées ou favoriser l'expansion d'un panache turbide sortant de la rivière Kwé qui est alors confiné en fond de baie (*à contrario*, les vents des secteurs E, N et O ne favorisent pas la formation d'un clapot pour engendrer des remises en suspension). Par ailleurs, le transport des particules jusqu'à la St06-KW1 directement liées aux précipitations dépend étroitement des régimes des vents. En effet, la récente étude de modélisation hydrodynamique (Drouzy, 2016) a démontré que sous l'action d'un alizé modéré (6 m/s) à fort (12 m/s), les panaches terrigènes découlant du Creek de la Baie Kwé, peuvent rester confinés en fond de baie et sur la bordure du platier ouest et n'atteignent qu'épisodiquement le chenal où se situe la station St06-KW1, quelle que soit la couche d'eau considérée. Dans le cas extrême de crues, l'apport intense d'eau douce provoque un « glissement » de la couche moins dense (dessalée) sur la couche plus dense (salée) ; le panache s'étend ainsi en surface très rapidement et atteint une grande partie de la baie épargnant les couches profondes en absence de vents. Le vent et le débit du terme source (rivière Kwé) s'avèrent donc être le forçage physique responsable de l'étalement (horizontal et vertical) du panache. D'après ces observations, l'on peut alors supposer que lors de l'épisode cyclonique du 09 au 10 mars, les intenses précipitations ont conditionné la dispersion horizontale des particules arrachées au bassin versant de Kwé tandis que les alizés supérieurs à 20 m/s ont influé sur le mélange vertical. Inversement, le transport du panache n'a pas été favorisé lors du deuxième épisode pluvieux du 24 mars, probablement en raison des vents E-N qui ne contribueraient pas au déplacement des masses chargées en particules terrigènes à l'emplacement du piège.
- **Origine marine** : elle est favorisée en temps sec par des vents principalement d'un large secteur S (et notamment de SO) qui contribuent au déplacement des masses d'eaux océaniques enrichies en particules carbonatées et en tests de micro-organismes marins, comme les foraminifères. Par ailleurs, les vents de secteur S sont également capables de mettre en suspension les particules grossières par la houle créée, conséquence de l'altération mécanique du platier corallien qui borde la Baie Kwe. Les vents du secteur N, quant à eux, même forts ne contribueraient pas au déplacement des masses d'eaux enrichies en particules carbonatées à la St06-KW1.

Note : 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 influents 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).

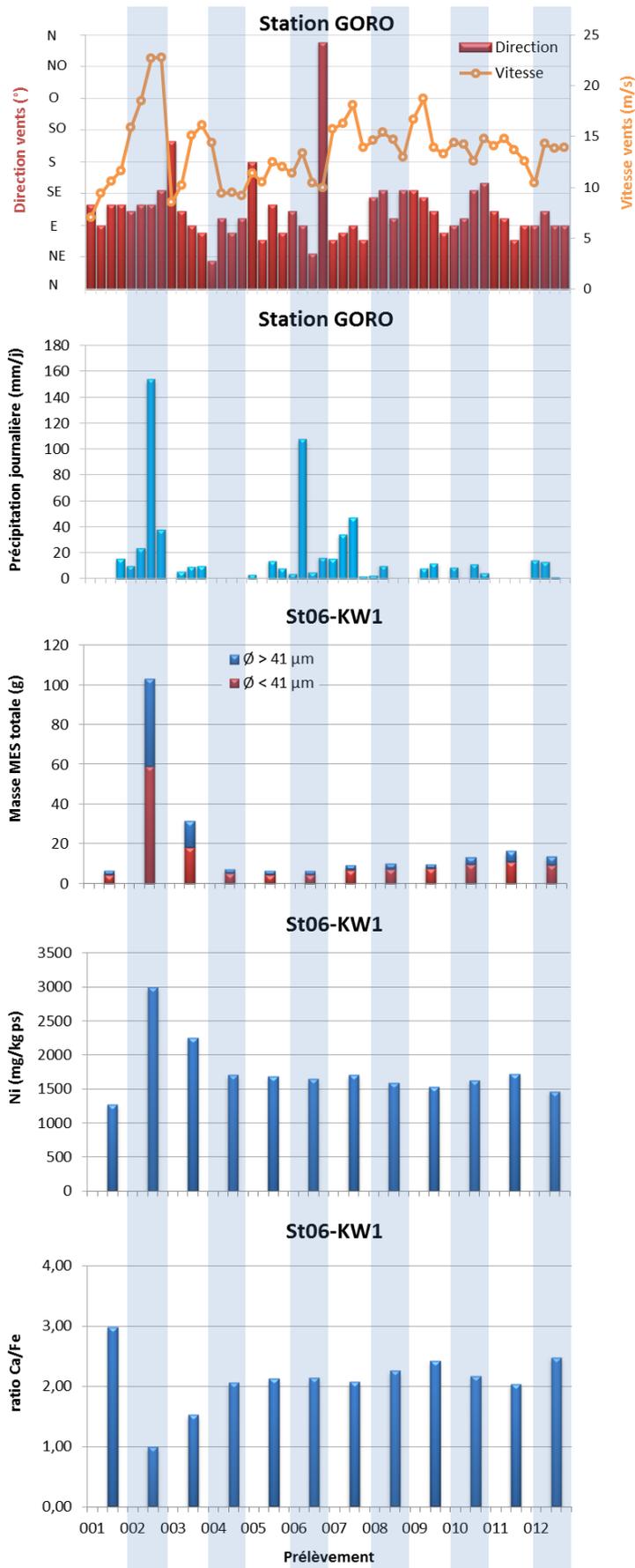


Figure 20 : Diagramme combiné de direction et vitesse moyenne journalière des vents, cumul journalier de précipitations, de masse totale de MES piégées, la composition en fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) et la fraction grossière ($\varnothing > 41 \mu\text{m}$) ainsi que de concentration en nickel et le ratio Ca/Fe mesurés dans les fractions fines piégées à St06-KW1.

2. Rade Nord de Prony (St15)

L'immersion du piège à particules séquentiel à St15 du 03 mars au 19 avril avec un pas de temps de 96 h a permis de révéler les observations suivantes (Figure 21) :

- Du 03-07 mars (001) au 19-22 mars (005) – le 03-07 mars (001) la quantité de MES piégées est infinitésimale ; contenant peu de matière, les analyses élémentaires n'ont pas pu être effectuées. Puis, les masses s'accroissent subitement le 07-10 mars (002) au niveau maximal. Ensuite, elles diminuent aussitôt pour continuer à décroître jusqu'au 19-22 mars (005) à des quantités infiniment petites. Tandis que les concentrations de Ni évoluent peu, les ratios Ca/Fe quant à eux, évoluent de manière bien contrastée ; la valeur faible du prélèvement 002 augmente progressivement vers les maximales mesurées le 15-17 mars (004) et 19-22 mars (005). Contrairement au prélèvement 002 qui correspond à une période d'intense pluviométrie (cumul de 227,4 mm) suite au passage du cyclone HOLA, les autres collectes correspondent à des précipitations relativement faibles (cumul entre 0,6 et 28,5 mm) associées aux alizés, sauf le 11-14 mars (003) lorsque les vents amorcent dans le sillage du cyclone une rotation au SSO puis à E et les quelques incursions dans le secteur N lors des prélèvements 004 et 005.
- Du 23-26 mars (006) au 16-19 avril (012) – le 23-26 mars (006), le temps agité (cumul de 135 mm) est de retour avec la dépression IRIS, qui perdure jusqu'au pas de collecte suivant 007 (cumul de 101,0 mm). Les vents basculent dans le secteur E à N et s'intensifient ($11,3 \pm 1,5$ et $16,0 \pm 1,7$ m/s, respectivement). La conséquence de cette instabilité est ressentie aussitôt avec une baisse du ratio de Ca/Fe. L'impact sur la quantité de MES piégées, quant à lui, il vient avec une latence lors du prélèvement 007 tandis qu'aucune évolution n'est constatée pour la concentration de Ni. Par la suite jusqu'à la fin de la période de collecte (du 008 au 012) la pluviométrie s'affaiblit (cumul de < 31,0 mm) et les vents s'installent dans le secteur des alizés mais restent assez forts ($> 13,1 \pm 1,8$ m/s). Durant ces périodes, les quantités de MES piégées baissent et restent infinitésimales tandis que les concentrations de Ni et les ratios de Ca/Fe demeurent homogènes sauf pour le 16-19 avril (012) où la campagne de prélèvement se termine avec un flux de particules et un ratio de C/Fe en légère hausse.

Pour cette campagne, marquée des conditions hydro-climatiques exceptionnelles (fortes précipitations, vents et cyclone tropical intense HOLA), peu de corrélations entre le flux des particules et les facteurs météorologiques se dégagent. A la lumière des observations recueillies lors des études antérieures et en raison de sa localisation (station située au droit de l'embouchure du Creek de la Rade Nord et en contrebas d'un talus formé d'une couche de sédiment fluide non consolidée) les différents flux de particules peuvent être décrits comme suit :

- **Origine terrigène** : Il est influencé par l'effet combiné de la pluviométrie et la direction du vent et sa vitesse. 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. Le transport de ces particules à l'emplacement du piège est cependant dépendant de l'action des régimes de vents ; d'après les résultats des précédentes campagnes, ceux du secteur SE plaqueraient le panache le long de la ligne de côte nord de la baie. Toutefois, une expansion exceptionnelle du panache, liée au cyclone HOLA et aux phénomènes de lessivage afférents conséquences dues à la pluviométrie abondante, a probablement conduit celui-ci à occuper l'ensemble de la rade, permettant ainsi la collecte d'une quantité importante de MES lors du prélèvement 002. En ce qui concerne les vents du N, ils ne semblent pas non plus propices à l'expansion des panaches turbides vers l'emplacement du piège, comme cela a été constaté pour le prélèvement 006, en dépit des fortes précipitations qui l'ont accompagné. *A contrario*, les vents de SO lors du prélèvement 003 ou E lors des prélèvements 007 et 012 semblent avoir favorisé le transport de ces particules vers le piège. Les forts vents d'un large secteur S (de SO à SE) qui ont souvent soufflé lors de cette campagne peuvent également remettre en suspension les particules légères déposées par faible profondeur (3 m) sur le haut du talus, bien que

l'on n'ait pas pu le distinguer en raison de la forte pluviométrie. Les vents de composante O, quant à eux, ils peuvent remobiliser plus en profondeur les particules moins riches en Ni déposées sur le talus. Caractérisé par la stabilité des concentrations de Ni sur l'ensemble des pas de collecte, le flux de matière terrigène demeure constant pour cette campagne ; la latence de sédimentation des particules fines et/ou la lente dynamique de renouvellement des masses d'eau dans la Rade Nord expliqueraient ce constat.

- **Origine marine** : en général, cette influence est peu marquée à cette station. En effet, les valeurs de ratios Ca/Fe obtenues sont faibles. La contribution marine, bien que peu évolutive, est principalement engendrée par les vents de secteur N (prélèvement 004-005 et 011-012 par exemple) mais également par les vents d'O faibles à modérés (prélèvement 003) qui apportent des tests carbonatés du large en présence de faible pluviométrie.

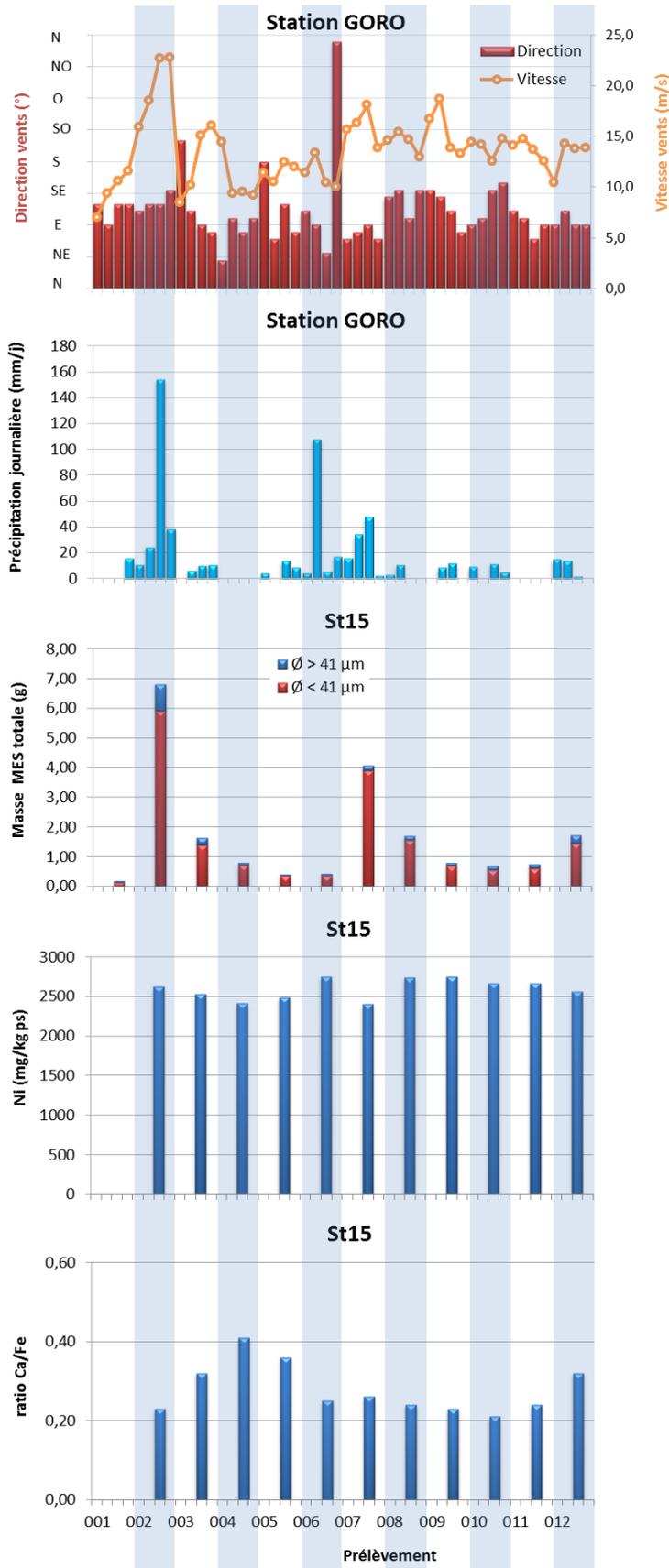


Figure 21 : Diagramme combiné de direction et vitesse moyenne journalière des vents, cumul journalier de précipitations, de masse totale de MES piégées, la composition en fraction fine ($\phi < 41 \mu\text{m}$) et la fraction grossière ($\phi > 41 \mu\text{m}$) ainsi que de concentration en nickel et 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 03 mars au 19 avril, avec un pas de temps de 96 h a permis de révéler les observations suivantes (Figure 22) :

- Du 03-07 mars (001) au 23-26 mars (006) – en dépit d'une dégradation des conditions météorologiques au passage du cyclone HOLA, la quantité de MES piégée le 08-10 mars (002) s'affaiblit par rapport à celle piégée le 03-07 mars (001). Elle reste négligeable jusqu'au 23-26 mars (006), malgré la dépression IRIS qui pousse les vents vers les secteurs N et provoque des précipitations intenses. Contenant peu de matière, les analyses élémentaires n'ont pas pu être effectuées sur les prélèvements 003 et 004. Pour l'ensemble de cette période de collecte, l'évolution des concentrations en éléments (Ca, Fe et Ni) est à peine perceptible. Le Ni (tout comme Cr et Fe) atteint sa concentration maximale pour les prélèvements 005 et 006 tandis que les masses collectées et les ratios Ca/Fe sont à leur minimum ; les vents du secteur N étant probablement à l'origine du transport de particules à caractère terrigène.
- Du 27-30 mars (007) au 16-19 avril (012) – pour ces 6 derniers pas de collecte, les quantités de MES piégées ont fortement évolué, notamment pour les prélèvements 011 et 012. Comparativement entre les collectes 007 et 008, les évolutions observées pour les concentrations de Ni et des ratios de Ca/Fe sont bien modiques. Lors de ces prélèvements, les conditions météorologiques ont été plus stables que celles de la première moitié. Toutefois, les vents ont gagné en intensité en soufflant à plus de 10 m/s. Après quelques incursions dans le secteur N, à partir du 31 mars-03 avril, (008) les vents alizés s'installent jusqu'à la fin de la période de prélèvement ; ces derniers 4 périodes sont caractérisés par des concentrations en Ni et des ratios Ca/Fe très homogènes. Les importantes quantités de MES observées pour les prélèvements 011 et 012 devraient donc être la conséquence de phénomènes distincts ; les valeurs de Ca/Fe et Ni demeurant constantes, les analyses ne permettent pas de les distinguer clairement.

Peu de corrélation entre le flux des particules et les facteurs météorologiques se dégage ; les flux et la sédimentation des particules à cette station pouvant être régis par d'autres mécanismes tels que les courants de marées. En raison de sa localisation (station située dans le Canal de la Havannah, à 60 m au nord-est de l'émissaire) il est probable que le flux de particules :

- **d'origine terrigène** ne serait pas directement influencé 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, sauf cas exceptionnel combinant la pluviométrie et le régime des vents. Dans les conditions cycloniques, malgré les très fortes précipitations, peu de corrélations claires ont pu être établies avec d'éventuels apports terrigènes en raison de la direction SE des vents. Toutefois, lors de cette campagne, les forts vents du N-NE sembleraient être également propices au transfert de matière terrigène à la station St60-NE.
- **d'origine marine** semble, d'après les ratios Ca/Fe obtenus, peu perturbé par des régimes de vents. Toutefois, d'après cette campagne et les précédentes, cette influence serait favorisée par les vents du secteur E à SE qui balayent le complexe système récifal et favorisent la circulation des eaux enrichies en tests de micro-organismes.

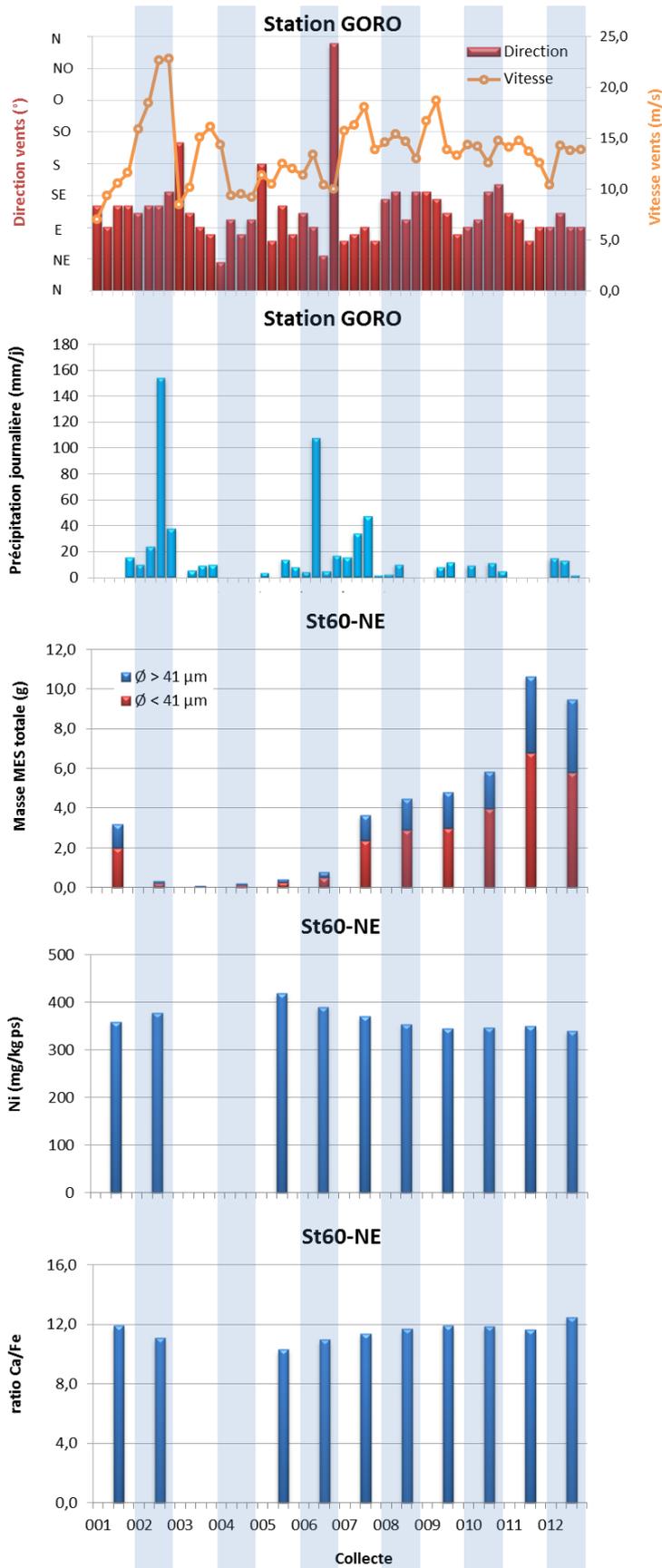


Figure 22 : Diagramme combiné de direction et vitesse moyenne journalière des vents, cumul journalier de précipitation, de masse totale de MES piégées, la composition en fraction fine ($\phi < 41 \mu m$) et la fraction grossière ($\phi > 41 \mu m$) ainsi que de concentration en nickel et le ratio Ca/Fe 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 $97,7 \pm 136,6$ g/m²/j, valeur qui est très supérieure à celle enregistrée en 2006 pour l'état de référence. Entre les différentes campagnes, les densités moyennes de flux peuvent varier fortement sans montrer une tendance particulière ; la maximale étant mesurée pour cette campagne (Tableau 27). Cette forte densité mesurée est plutôt à mettre en lien avec les vents de $13,6 \pm 3,3$ m/s, une intensité plus haute qu'habituellement, et les fortes précipitations (631,3 mm) de la campagne qui ont généré des panaches turbides. En effet, du fait de l'emplacement de la station St06-KW1, le flux des MES mesuré est directement dépendant de l'effet combiné de la direction du vent, sa vitesse et accessoirement des précipitations. Ceci est mis en évidence par la campagne de janvier-mars 2014 où les 920,2 mm de pluie n'ont pas permis de piéger une densité supérieure que celle de la présente campagne ; les vents pour la campagne en 2014 étant beaucoup plus faibles ($9,3 \pm 4,0$ m/s) n'auraient pas favorisé la formation d'un clapot suffisant pour engendrer des remises en suspension des particules déposées en fond de baie Kwé d'où la valeur inférieure.

Tableau 27 : Compilation des moyennes \pm écart-types 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-KW1.

St06-KW1					
Campagne	Densités de flux de MES (g/m ² /j)	Cumul de masse de MES piégées (g/m ²)	Campagne	Densités de flux de MES (g/m ² /j)	Cumul de masse de MES piégées (g/m ²)
Oct. - Nov. 2006	14,6 \pm 7,4	350	Sept - Oct. 2014	11,8 \pm 8,41	569
Mars - Avr. 2007	46,1 \pm 44,7	1 106	Janv. - Mars 2015	66,3 \pm 36,1	3 181
Juil. - Août 2011	27,1 \pm 30,0	1 299	Oct. - Nov. 2015	38,8 \pm 30,5	1 864
Janv. - Mars 2012	39,5 \pm 33,2	1 894	Juil. - Sept. 2016	28,7 \pm 22,9	1 379
Sept. - Oct. 2012	26,4 \pm 13,1	1 267	Oct. - Nov. 2016	18,5 \pm 13,9	886
Janv. - Févr. 2013	46,5 \pm 28,5	2 231	Avr. - Mai 2017	45,3 \pm 40,3	2173
Juil. - Août 2013	58,1 \pm 87,8	2 786	Sept. - Nov. 2017	20,4 \pm 23,0	979
Janv. - Mars 2014	60,7 \pm 34,1	2 914	Mars - Avr. 2018	97,7 \pm 136,6	4690

Éléments métalliques

Illustré par le cas du Ni, les flux métalliques moyens lors de cette campagne sont de 225 ± 425 mg ps/m²/j. D'une campagne à l'autre, les valeurs moyennes varient fortement, le flux maximum a été calculé pour juillet-août 2013 (282 ± 626 mg ps/m²/j). Ensuite, les flux en Ni diminuent fortement et ne dépassent pas le seuil de 102 mg ps/m²/j jusqu'à la présente campagne (Figure 23). Il est à noter que les précipitations relevées lors de la campagne de juillet-août 2013 ont été de 467,0 mm contre 631,3 mm pour cette campagne. En dépit d'une plus haute pluviométrie, le flux métallique moyen pour cette campagne demeure comparable à celui de juillet-août 2013.

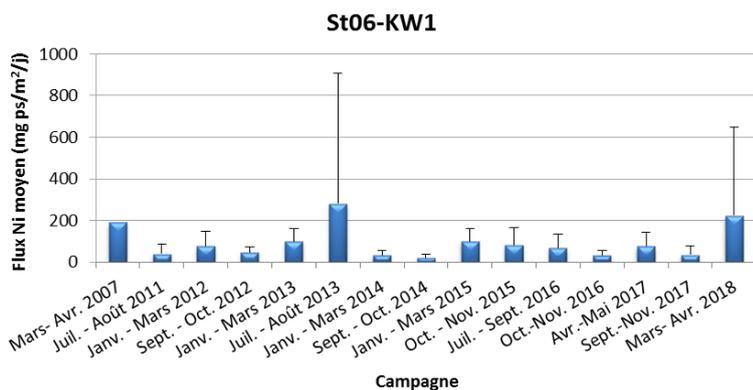


Figure 23 : Compilation des moyennes ± écart-types des flux en nickel dans les fractions fines ($\phi < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St60-KW1.

2. Rade Nord de Prony (St15)

Flux de matière en suspension

La densité de flux moyen mesurée lors de cette campagne est de $8,34 \pm 9,63 \text{ g/m}^2/\text{j}$. Entre les différentes campagnes conduites à St15, les densités moyennes de flux sont aussi variables. Pour cette campagne 2018, la moyenne est environ 8 fois plus élevée que celle enregistrée en 2006 pour l'état de référence. Il est à noter que la valeur moyenne exceptionnelle de janvier-mars 2014 ($22,2 \pm 44,5 \text{ g/m}^2/\text{j}$) est à mettre en lien avec les précipitations, elles aussi exceptionnelles (920,2 mm) combinées à la faible intensité de vents ($9,3 \pm 4,0 \text{ m/s}$). En comparaison, des densités comparables à celles de mars-avril 2018 ont été mesurées lors des campagnes de mai-juillet 2016 et avril-mai 2017 alors que les précipitations relevées y ont été significativement plus faibles (241,4 et 443,2 mm, respectivement contre 631,2 mm). Ceci dit, ces pluviométries ont été associées aux vents plus faibles ($10,9 \pm 3,1$ et $12,5 \pm 4,2 \text{ m/s}$, respectivement contre $13,6 \pm 3,3 \text{ m/s}$) qui peut expliquer les densités aussi fortes piégées lors de ces deux campagnes précédentes (Tableau 3 ; Tableau 28). En effet, le transport de ces particules lessivées à l'emplacement du piège de cette station est dépendant de l'action des régimes de vents alizés. Avec des vents SE de plus forte intensité le panache serait poussé vers le long de la ligne de côte nord de la baie loin du piège, en dépit de la charge terrigène entraînée par les plus fortes pluies de cette campagne.

Tableau 28 : Compilation des moyennes ± écart-types 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	Mai - Juil. 2016	$8,67 \pm 7,44$	416
Mars - Avr. 2007	$1,55 \pm 1,45$	37,1	Oct. – Nov. 2016	$2,19 \pm 2,48$	105
Janv. - Mars 2014	$22,2 \pm 44,5$	1 063	Avr.- Mai 2017	$8,05 \pm 5,78$	386
Sept. – Oct. 2014	$0,91 \pm 1,23$	43,8	Sept. – Nov. 2017	$5,95 \pm 6,08$	71
Janv. - Mars 2015	$2,78 \pm 2,98$	134	Mars – Avr. 2018	$8,34 \pm 9,63$	400
Juil. - Sept. 2015	$1,31 \pm 1,34$	62,7	-	-	-

- : pas de campagne.

Éléments métalliques

Illustré par le cas du Ni, les flux métalliques moyens lors de cette campagne sont de $23,2 \pm 25,2 \text{ mg ps/m}^2/\text{j}$. 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 de la valeur de

27,0 mg ps/m²/j. La valeur maximale de 2014 est à relier avec la pluviométrie exceptionnelle de 920,2 mm mesurée lors de la campagne. Comme observé pour les flux de MES, les densités métalliques moyennes obtenues pour les campagnes de mai-juillet 2016, avril-mai 2017 et mars-avril 2018 sont quasi-équivalentes (Figure 24).

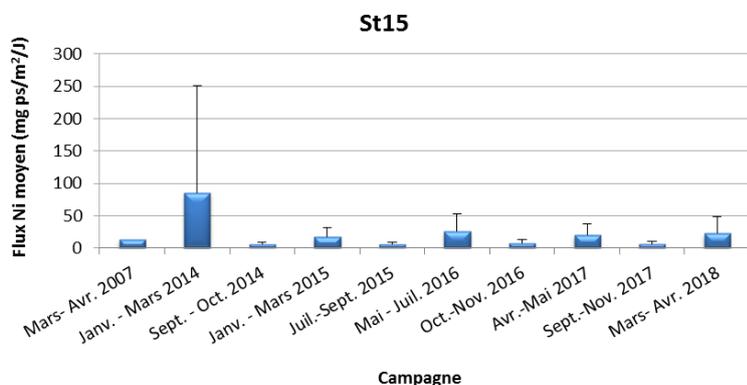


Figure 24 : Compilation des moyennes ± écart-types des flux en nickel dans les fractions fines ($\phi < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St15.

3. Canal de la Havannah (St60-NE)

Flux de matière en suspension

La densité de flux moyen mesurée lors de cette campagne est de $18,3 \pm 18,1 \text{ g/m}^2/\text{j}$. Entre les différentes campagnes, les densités moyennes de flux sont également variables. Les comparaisons montrent que les moyennes obtenues depuis 2012 demeurent inférieures à celle enregistrée en 2007 pour l'état de référence (Tableau 29).

Tableau 29 : Compilation des moyennes ± écart-types 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	Janv. - Mars 2015	16,0 ± 15,6	766
Juil. - Août 2011	ND	ND	Juil. - Sept. 2015	9,88 ± 9,20	474
Janv. - Mar 2012	9,61 ± 8,87	461	Mai - Juil. 2016	17,1 ± 10,2	822
Sept. - Oct. 2012	4,10 ± 5,39	197	Oct. - Nov. 2016	11,1 ± 17,6	535
Janv. - Mars 2013	12,6 ± 13,6	603	Avr. - Mai 2017	15,5 ± 14,2	745
Juil. - Août 2013	5,85 ± 7,09	281	Sept. - Nov. 2017	7,28 ± 6,36	350
Avr. - Juin 2014	7,43 ± 5,05	356	Mars - Avr. 2018	18,3 ± 18,1	897
Sept. - Oct. 2014	8,13 ± 9,08	390			

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

Éléments métalliques

Les flux moyens de Ni lors de cette campagne sont de $7,66 \pm 6,10 \text{ mg ps/m}^2/\text{j}$, valeur supérieure à celle obtenue en 2007 lors de l'état de référence. Entre les différentes campagnes, la variation des moyennes est modérée et ne dépasse qu'exceptionnellement la valeur de $5,00 \text{ mg ps/m}^2/\text{j}$ (Figure 25).

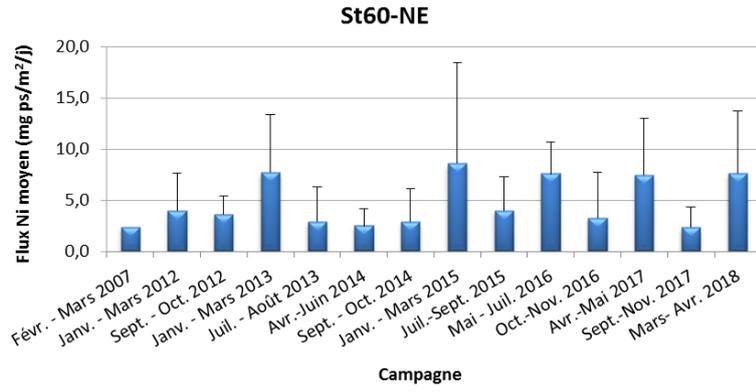


Figure 25 : Compilation des moyennes ± écart-types des flux en nickel dans les fractions fines ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St60-NE.

V. SYNTHÈSE

La campagne de suivi des densités de flux verticaux de particules du premier semestre de 2018 s'est déroulée du 03 mars au 19 avril 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. Comme souvent observées, la quantité et la nature de matière piégée est majoritairement influencée par les variations de direction et vitesse du vent, entraînant des courants et du clapot, et occasionnellement, par l'intensité des précipitations. Par ailleurs, la station subit des influences terrigènes et marines alternées. Globalement, entre 2007 (état de référence) et 2013, la diminution importante du ratio moyen Ca/Fe permet de constater une influence grandissante du terme source terrigène. Cette observation est étayée également par les valeurs moyennes des concentrations en métaux en augmentation. A noter, la campagne de juillet-août 2013 présente à ce jour les concentrations métalliques et la densité du flux en Ni les plus hautes à St06-KW1. Depuis, une stabilisation des apports terrigènes est manifeste. Toutefois, les conditions exceptionnelles de cette campagne 2018, avec une forte pluviométrie et de forts vents omniprésents ont eu des conséquences sur la densité du flux en Ni ; elle constitue la deuxième plus forte valeur mesurée depuis 2007, ce qui est à relier avec la plus forte masse moyenne de MES piégée.
- Les particules terrigènes piégées à la station St15 proviennent probablement de différents termes sources différenciables par les compositions en Mn. Cette observation concorde avec celle relevée à la même station (pour Fe et Mn) lors des campagnes précédentes (Kumar-Roiné *et al.*, 2018). La St15 se trouve donc dans une zone de convergence de plusieurs petits bassins versants où alternent les termes sources des apports terrigènes. Sous des conditions météorologiques exceptionnelles, l'effet combiné des précipitations et de la direction de vents sur la dispersion ou le confinement de la couche turbide issue du Creek, en direction ou à l'opposé de la station de mouillage du piège a partiellement été confirmé. Comme souvent observé, les concentrations en métaux latéritiques (exemple de Ni) restent particulièrement stables entre les pas de prélèvements, ce qui pourrait être expliqué par la latence des phénomènes de sédimentation des particules fines et/ou à la faible dynamique de renouvellement des masses d'eau dans la Rade Nord. Quant à l'apport marin, très modeste à St15, il semble être favorisé par les vents modérés d'un large secteur N à O 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 piégée qui serait la conséquence directe des précipitations exceptionnelles (920,2 mm).
- Les particules terrigènes piégées à St60-NE ne proviennent pas exclusivement, pour cette station, 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 ne peut être établie entre les paramètres météorologiques et les particules piégées. Il semblerait que l'origine de ces particules latéritiques ne soit pas en lien direct avec le lessivage des sols de la côte sud. Il est également probable que, sous l'effet de vents soutenus, les mécanismes d'érosion de la ligne de côte et du complexe récifal dans son ensemble, contribuent, plus ou moins

directement, à l'alimentation en apports terrigènes et marins. Cependant, en dépit d'une empreinte forte océanique, depuis 2007 (état de référence), les ratios moyens Ca/Fe ont évolué vers des valeurs tendant à prendre en compte une influence grandissante du terme « source terrigène ». Cette observation repose sur 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. Depuis les valeurs semblent se stabiliser. 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 corrobore les observations précédentes établissant une relation entre l'ensemble des conditions météorologiques et les densités de flux verticaux des particules latéritiques entre les pas de prélèvements. Toutefois, les conditions météorologiques particulières associées au cyclone tropical intense HOLA (du 03-11 mars) et aux dépressions tropicales LINDA (du 10-15 mars) et IRIS (du 22 mars au 07 avril) pendant cette campagne ont conduit à des observations à caractère exceptionnel.

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., 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 2^{eme} semestre 2017. Période de septembre à novembre 2017. Contrat AEL/Vale-NC138-VI-17-P/E98084/0003, 64p.

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 BLANC REPRESENTE 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.	11
FIGURE 3 : CUMUL JOURNALIER DE PRECIPITATIONS ET EVOLUTION DE LA VITESSE ET DE LA DIRECTION DES VENTS (MOYENNE JOURNALIERE) POUR LA PERIODE DU 03 MARS AU 19 AVRIL 2018.	14
FIGURE 4 : PRESENCE DU CYCLONE TROPICAL INTENSE HOLA DANS LES EAUX DE LA NOUVELLE-CALEDONIE DU 08 MARS AU 10 MARS (SOURCE : METEO FRANCE)	14
FIGURE 5 : MASSE TOTALE DE MES PIEGEE 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 6 : 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 7 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DE LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 4 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST06-KW1.	17
FIGURE 8 : TENEURS EN CARBONATES CONTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST06-KW1.	19
FIGURE 9 : 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.	20
FIGURE 10 : 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.....	20
FIGURE 11 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DE LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 4 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST15.	21
FIGURE 12 : TENEURS EN CARBONATES CONTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 11 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST15.....	22
FIGURE 13 : 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 14 : 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 15 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DE LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 4 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST60-NE.	24
FIGURE 16 : TENEURS EN CARBONATES CONTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 10 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST60-NE.	25
FIGURE 17 : NORMALISATION DES CONCENTRATIONS EN CALCIUM PAR LE FER MESUREES DANS LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 11 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST15.....	30
FIGURE 18 : NORMALISATION DES CONCENTRATIONS EN CALCIUM PAR LE FER MESUREES DANS LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES 10 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST60-NE.	32
FIGURE 19 : 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 20 : DIAGRAMME COMBINE DE DIRECTION ET VITESSE MOYENNE JOURNALIERE DES VENTS, CUMUL JOURNALIER DE PRECIPITATIONS, DE MASSE TOTALE DE MES PIEGEES, LA COMPOSITION EN FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) ET LA 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.	36

FIGURE 21 : DIAGRAMME COMBINE DE DIRECTION ET VITESSE MOYENNE JOURNALIERE DES VENTS, CUMUL JOURNALIER DE PRECIPITATIONS, DE MASSE TOTALE DE MES PIEGEES, LA COMPOSITION EN FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) ET LA 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.	39
FIGURE 22 : DIAGRAMME COMBINE DE DIRECTION ET VITESSE MOYENNE JOURNALIERE DES VENTS, CUMUL JOURNALIER DE PRECIPITATION, DE MASSE TOTALE DE MES PIEGEES, LA COMPOSITION EN FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) ET LA 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.....	41
FIGURE 23 : COMPILATION DES MOYENNES \pm ECART-TYPES 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.	43
FIGURE 24 : COMPILATION DES MOYENNES \pm ECART-TYPES 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.....	44
FIGURE 25 : COMPILATION DES MOYENNES \pm ECART-TYPES 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.	45

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 PIEGES SEQUENTIELS AUX STATIONS St06-KW1, St15 ET St60-NE.....	15
TABLEAU 4 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNES ± ECART-TYPES 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.....	17
TABLEAU 5 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNES ± ECART-TYPES 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... ..	18
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-TYPES 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 MOYENNES ± ECART-TYPES 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 3 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St15.	21
TABLEAU 10 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNES ± ECART-TYPES 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 MOYENNES ± ECART-TYPES 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 MOYENNES ± ECART-TYPES 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.	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 MOYENNES ± ECART-TYPES 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 11 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 11 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St15.	29

TABLEAU 20 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNES ± ECART-TYPES 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 MOYENNES ± ECART-TYPES 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 MOYENNES ± ECART-TYPES 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 MOYENNES ± ECART-TYPES 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 MOYENNES ± ECART-TYPES 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 MOYENNES ± ECART-TYPES 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-KW1.	42
TABLEAU 28 : COMPILATION DES MOYENNES ± ECART-TYPES 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.	43
TABLEAU 29 : COMPILATION DES MOYENNES ± ECART-TYPES 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.	44

ANNEXES

ANNEXE 1.....	54
ANNEXE 2.....	55
ANNEXE 3.....	56
ANNEXE 4.....	62
ANNEXE 5.....	64

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 grésés sur une ligne de mouillage. 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 ($\emptyset < 41 \mu\text{m}$) de la fraction grossière ($\emptyset > 41 \mu\text{m}$). 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 ($\emptyset < 41\mu\text{m}$) de MES.

GRANULOMETRIE

L'étude de la distribution des populations de particules fines (silts et argiles) est réalisée sur quatre échantillons de fraction fine ($\emptyset < 41 \mu\text{m}$) 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 ($\emptyset < 41 \mu\text{m}$). Cette analyse a été confiée à l'Université Pierre et Marie Curie en France.

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 ($\emptyset < 41 \mu\text{m}$) 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 (g/m²/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	03/03/2018	0,0	7,0	120	ESE	7	27/03/2018	16,0	15,7	70	ENE
	04/03/2018	0,0	9,4	90	E		28/03/2018	34,7	16,3	80	E
	05/03/2018	0,0	10,6	120	ESE		29/03/2018	47,9	18,1	90	E
	06/03/2018	16,0	11,6	120	ESE		30/03/2018	2,4	13,9	70	ENE
2	07/03/2018	10,7	15,9	110	ESE	8	31/03/2018	3,0	14,6	130	SE
	08/03/2018	24,4	18,5	120	ESE		01/04/2018	10,6	15,4	140	SE
	09/03/2018	153,8	22,7	120	ESE		02/04/2018	0,4	14,7	100	E
	10/03/2018	38,5	22,8	140	SE		03/04/2018	0,0	13,0	140	SE
3	11/03/2018	0,2	8,5	210	SSO	9	04/04/2018	0,2	16,7	140	SE
	12/03/2018	6,2	10,2	110	ESE		05/04/2018	8,7	18,7	130	SE
	13/03/2018	10,1	15,1	90	E		06/04/2018	12,4	13,9	110	ESE
	14/03/2018	10,6	16,1	80	E		07/04/2018	0,8	13,3	80	E
4	15/03/2018	0,6	14,4	40	NE	10	08/04/2018	9,7	14,4	90	E
	16/03/2018	0,0	9,4	100	ESE		09/04/2018	1,4	14,2	100	ESE
	17/03/2018	0,0	9,5	80	E		10/04/2018	11,8	12,6	140	SE
	18/03/2018	0,0	9,2	100	E		11/04/2018	5,2	14,8	150	SSE
5	19/03/2018	4,2	11,4	180	S	11	12/04/2018	0,2	14,1	110	ESE
	20/03/2018	1,4	10,5	70	ENE		13/04/2018	0,0	14,8	100	ESE
	21/03/2018	14,2	12,5	120	ESE		14/04/2018	0,2	13,7	70	ENE
	22/03/2018	8,7	12,0	80	E		15/04/2018	0,0	12,6	90	E
6	23/03/2018	4,6	11,4	110	ESE	12	16/04/2018	15,2	10,4	90	E
	24/03/2018	107,8	13,4	90	E		17/04/2018	13,8	14,3	110	ESE
	25/03/2018	5,5	10,4	50	NE		18/04/2018	2,0	13,8	90	E
	26/03/2018	17,1	10,0	350	N		19/04/2018	0,0	13,9	90	E

ANNEXE 3

CARACTERISATION DES MES

Masse 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
		Masse Ech. Total (g)	Masse Ech. Total (g)	Masse Ech. Total (g)
03 Mars - 06 Mars.	001	6,65	0,20	3,19
07 Mars - 10 Mars	002	103	6,81	0,35
11 Mars - 14 Mars	003	31,7	1,63	0,09
15 Mars - 18 Mars	004	7,17	0,80	0,24
19 Mars - 22 Mars	005	6,40	0,41	0,42
23 Mars - 26 Mars	006	6,43	0,43	0,79
27 Mars - 30 Mars	007	9,31	4,08	3,65
31 Mars -03 Avr.	008	10,2	1,70	4,47
04 Avr. - 07 Avr.	009	9,72	0,79	4,79
08 Avr. - 11 Avr.	010	13,4	0,70	5,84
12 Avr. - 15 Avr.	011	16,4	0,75	10,7
16 Avr. - 19 Avr.	012	13,8	1,72	9,48

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
03 Mars - 06 Mars.	001	67	ND	79
07 Mars - 10 Mars	002	49	16	76
11 Mars - 14 Mars	003	58	21	ND
15 Mars - 18 Mars	004	62	25	ND
19 Mars - 22 Mars	005	61	22	77
23 Mars - 26 Mars	006	63	18	75
27 Mars - 30 Mars	007	63	16	76
31 Mars -03 Avr.	008	64	17	77
04 Avr. - 07 Avr.	009	66	17	76
08 Avr. - 11 Avr.	010	62	15	76
12 Avr. - 15 Avr.	011	62	17	75
16 Avr. - 19 Avr.	012	65	21	78

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

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

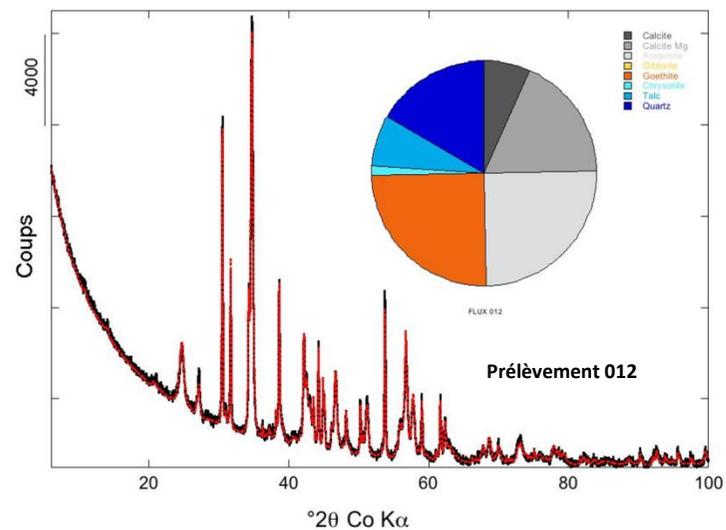
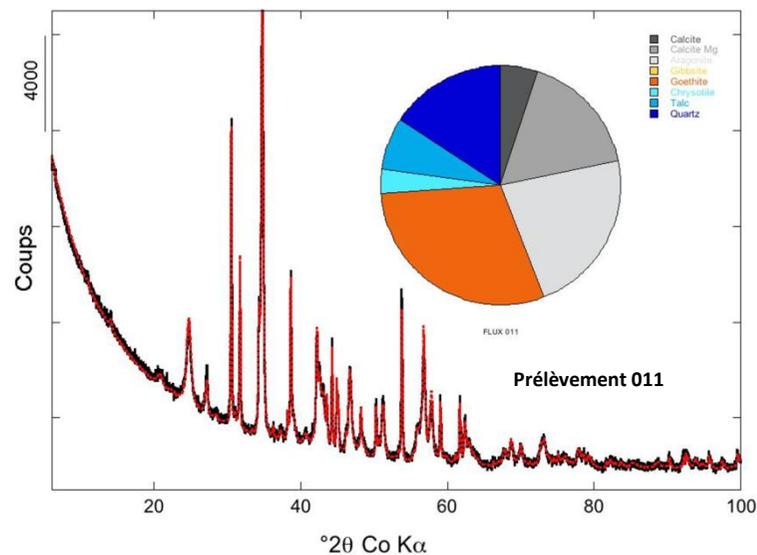
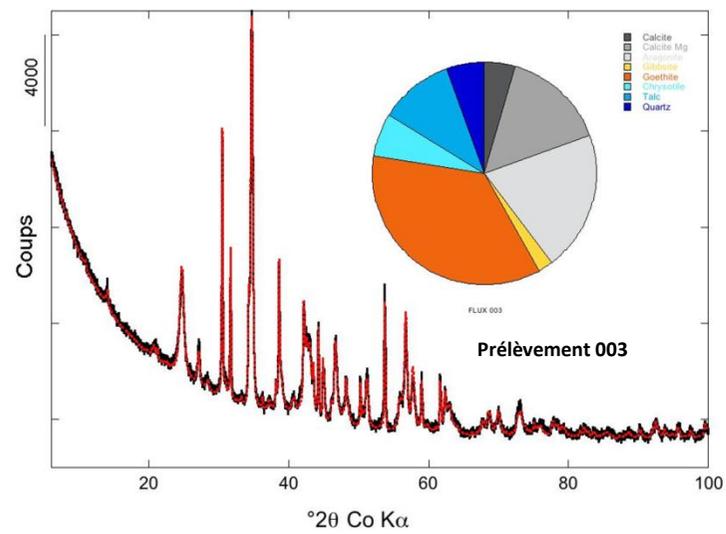
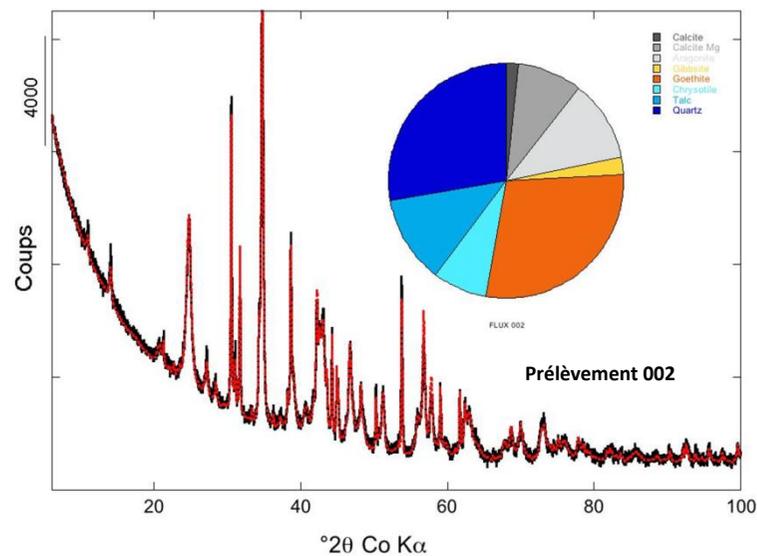
St06-KW1								
Période de collecte	Prélèvement	% Classe de taille (µm)						
		0,02 à 2,00	2,0 à 20	20 à 40	40 à 50	50 à 63	63,0 à 200	200,0 à 2000
07 Mars - 10 Mars	002	5	38	32	9	7	9	1
11 Mars - 14 Mars	003	5	38	34	9	7	6	0
12 Avr. - 15 Avr.	011	4	40	36	9	6	4	0
16 Avr. - 19 Avr.	012	4	38	36	10	7	5	0

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
07 Mars - 10 Mars	002	8	50	29	6	4	2	0
27 Mars - 30 Mars	007	10	54	27	5	3	1	0
31 Mars -03 Avr.	008	9	53	27	6	3	1	0
16 Avr. - 19 Avr.	012	9	52	27	6	4	1	0

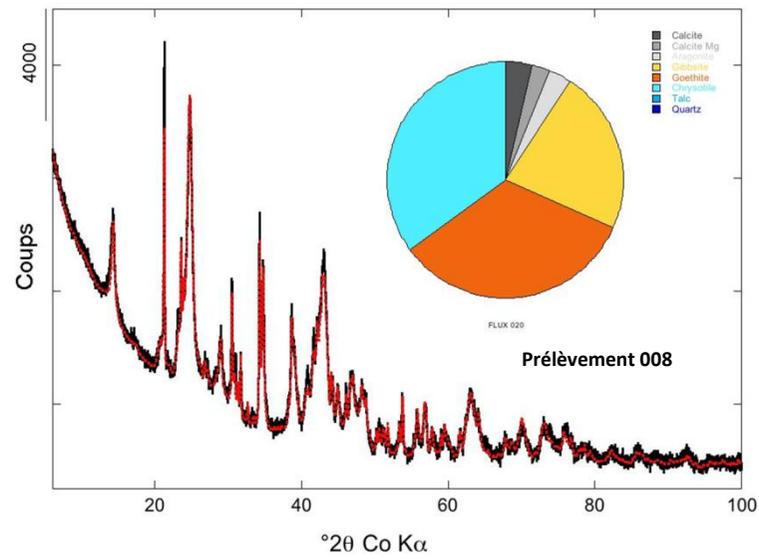
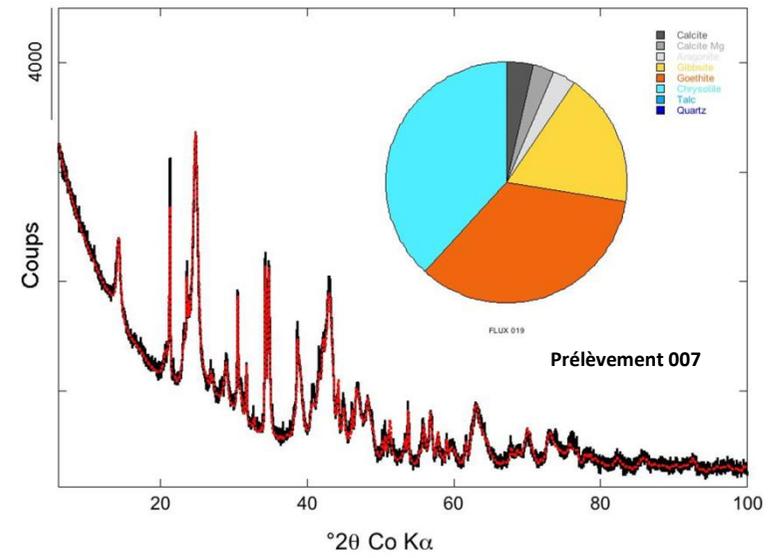
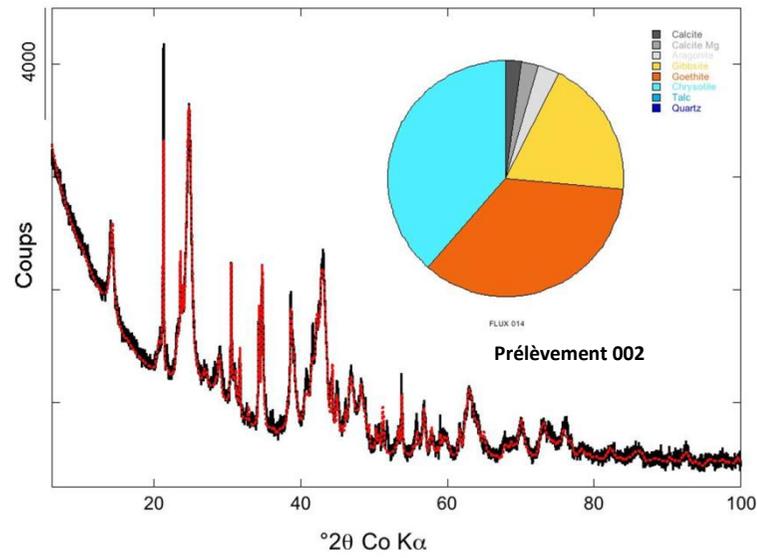
St60-NE								
Période de collecte	Prélèvement	% Classe de taille (µm)						
		0,02 à 2,00	2,0 à 20	20 à 40	40 à 50	50 à 63	63,0 à 200	200,0 à 2000
03 Mars - 06 Mars.	001	4	36	38	10	7	4	0
08 Avr. - 11 Avr.	010	5	39	37	10	6	4	0
12 Avr. - 15 Avr.	011	5	39	36	9	7	4	0
16 Avr. - 19 Avr.	012	5	44	33	8	6	4	0

Composition minéralogique des fractions fines de MES collectées à St06-KW1, ST15 et St60-NE par le piège séquentiel à particules.

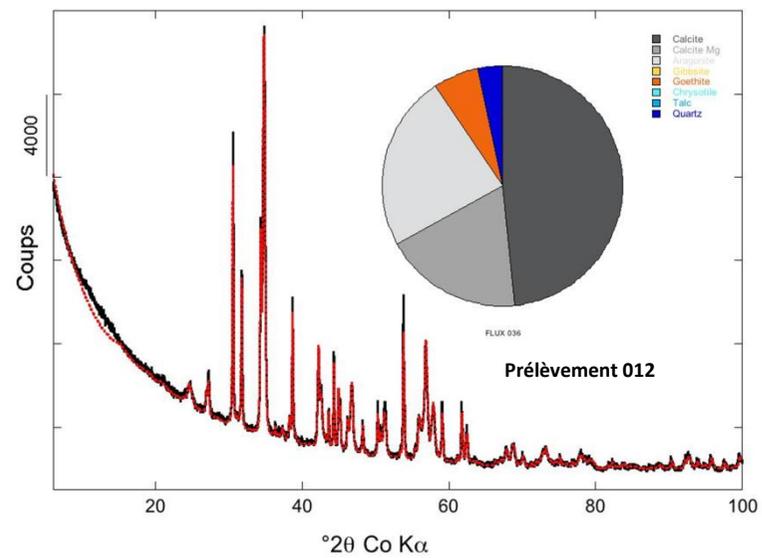
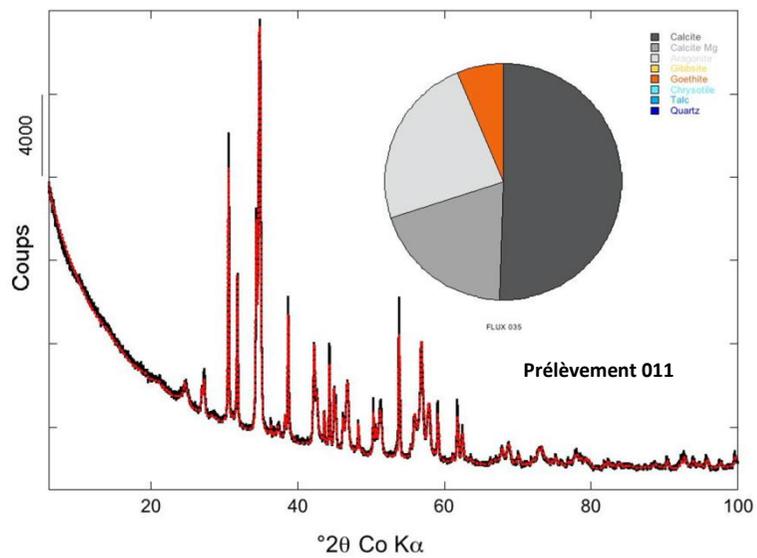
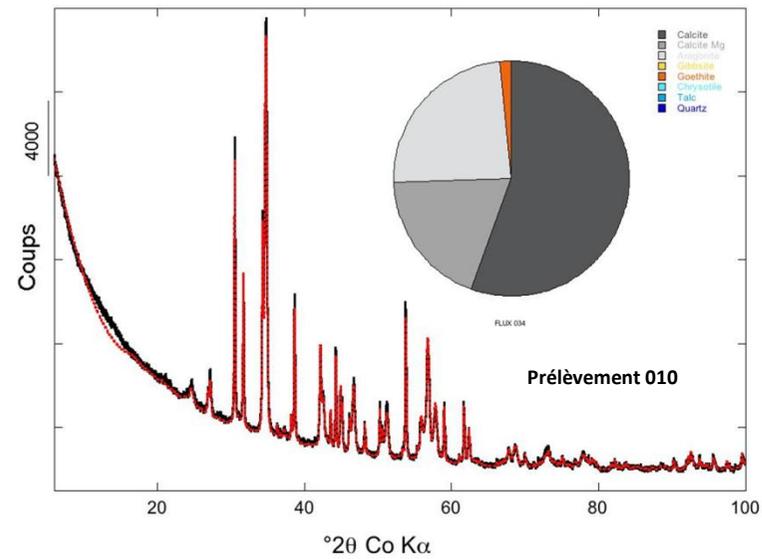
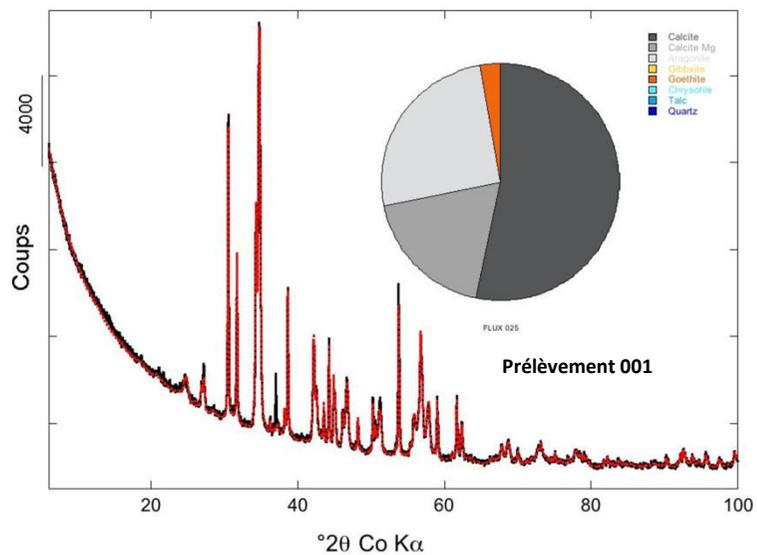
St06-KW1



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
03 Mars - 06 Mars.	001	248 595	64,0	2 437	83 357	522	1 266
07 Mars - 10 Mars	002	176 704	146	5 310	177 612	1 339	2 995
11 Mars - 14 Mars	003	211 945	112	4 067	139 103	992	2 253
15 Mars - 18 Mars	004	229 336	83,0	3 170	111 507	741	1 704
19 Mars - 22 Mars	005	226 861	82,0	3 137	106 736	736	1 689
23 Mars - 26 Mars	006	231 904	78,0	3 064	108 404	691	1 648
27 Mars - 30 Mars	007	232 333	81,0	3 186	111 532	765	1 703
31 Mars -03 Avr.	008	237 755	78,0	2 960	105 162	730	1 585
04 Avr. - 07 Avr.	009	245 928	76,0	2 899	101 534	675	1 528
08 Avr. - 11 Avr.	010	230 581	80,0	3 089	106 377	756	1 632
12 Avr. - 15 Avr.	011	230 926	87,0	3 240	112 984	797	1 724
16 Avr. - 19 Avr.	012	241 739	73,0	2 784	97 331	655	1 462

St15							
Période de collecte	Prélèvement	Elément (mg/kg ps)					
		Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
03 Mars - 06 Mars.	001	ND	ND	ND	ND	ND	ND
07 Mars - 10 Mars	002	52 939	218	7 980	226 018	2 300	2 623
11 Mars - 14 Mars	003	71 195	234	7 691	219 382	2 084	2 525
15 Mars - 18 Mars	004	84 946	201	7 046	206 299	1 659	2 413
19 Mars - 22 Mars	005	74 744	206	7 250	208 069	1 774	2 492
23 Mars - 26 Mars	006	59 926	210	8 483	237 556	2 158	2 751
27 Mars - 30 Mars	007	55 325	176	7 708	210 744	1 809	2 400
31 Mars -03 Avr.	008	54 771	197	8 720	231 567	1 961	2 742
04 Avr. - 07 Avr.	009	55 776	208	8 569	242 115	2 097	2 754
08 Avr. - 11 Avr.	010	51 145	204	8 441	240 753	2 055	2 665
12 Avr. - 15 Avr.	011	55 445	208	8 362	232 996	2 002	2 663
16 Avr. - 19 Avr.	012	71 923	199	7 797	225 331	2 088	2 562

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	Elément (mg/kg ps)						
		Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni	S
03 Mars - 06 Mars.	001	298 150	22,0	621	25 009	191	359	3 891
07 Mars - 10 Mars	002	284 927	24,0	629	25 721	333	378	3 091
11 Mars - 14 Mars	003	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15 Mars - 18 Mars	004	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
19 Mars - 22 Mars	005	288 938	25,0	702	28 004	208	419	2 851
23 Mars - 26 Mars	006	281 578	24,0	665	25 658	187	390	2 890
27 Mars - 30 Mars	007	284 730	24,0	634	25 060	215	370	3 318
31 Mars -03 Avr.	008	289 255	23,0	606	24 720	199	354	3 334
04 Avr. - 07 Avr.	009	285 443	22,0	586	23 915	200	345	3 248
08 Avr. - 11 Avr.	010	286 550	23,0	600	24 179	212	347	3 177
12 Avr. - 15 Avr.	011	282 210	23,0	595	24 251	232	350	3 793
16 Avr. - 19 Avr.	012	291 634	23,0	573	23 408	217	339	3 656

ANNEXE 5

VALEURS DE DENSITE DE FLUX DE MES ET DE FLUX DES ELEMENTS 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
03 Mars - 06 Mars.	001	33,3	8 266	2,13	81	2 772	17,4	42,1
07 Mars - 10 Mars	002	517	91 329	75,5	2 744	91 799	692	1 548
11 Mars - 14 Mars	003	158	33 540	17,7	644	22 013	157	357
15 Mars - 18 Mars	004	35,9	8 222	2,98	114	3 998	26,6	61,1
19 Mars - 22 Mars	005	32,0	7 260	2,62	100	3 416	23,6	54,0
23 Mars - 26 Mars	006	32,2	7 456	2,51	98,5	3 485	22,2	53,0
27 Mars - 30 Mars	007	46,6	10 815	3,77	148	5 192	35,6	79,3
31 Mars -03 Avr.	008	51,2	12 173	3,99	152	5 384	37,4	81,2
04 Avr. - 07 Avr.	009	48,6	11 952	3,69	141	4 935	32,8	74,3
08 Avr. - 11 Avr.	010	66,8	15 391	5,34	206	7 101	50,5	109
12 Avr. - 15 Avr.	011	82,1	18 959	7,14	266	9 276	65,4	142
16 Avr. - 19 Avr.	012	68,9	16 644	5,03	192	6 701	45,1	101

St15								
Période de collecte	Prélèvement	Flux MES (g/m ² /j)	Flux élémentaire (mg ps/m ² /j)					
			Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
03 Mars - 06 Mars.	001	1,00	ND	ND	ND	ND	ND	ND
07 Mars - 10 Mars	002	34,1	1 803	7,42	272	7 696	78,3	89,3
11 Mars - 14 Mars	003	8,15	580	1,91	62,7	1 788	17,0	20,6
15 Mars - 18 Mars	004	4,00	340	0,80	28,2	825	6,64	9,65
19 Mars - 22 Mars	005	2,05	153	0,42	14,9	427	3,64	5,11
23 Mars - 26 Mars	006	2,15	129	0,45	18,2	511	4,64	5,91
27 Mars - 30 Mars	007	20,4	1 129	3,59	157	4 299	36,9	49,0
31 Mars -03 Avr.	008	8,50	466	1,67	74,1	1 968	16,7	23,3
04 Avr. - 07 Avr.	009	3,95	220	0,82	33,8	956	8,28	10,9
08 Avr. - 11 Avr.	010	3,50	179	0,71	29,5	843	7,19	9,33
12 Avr. - 15 Avr.	011	3,75	208	0,78	31,4	874	7,51	9,99
16 Avr. - 19 Avr.	012	8,60	619	1,71	67,1	1 938	18,0	22,0

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

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
03 Mars - 06 Mars.	001	16,0	4 755	0,35	9,90	399	3,05	5,73
07 Mars - 10 Mars	002	1,75	499	0,04	1,10	45	0,58	0,66
11 Mars - 14 Mars	003	0,45	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15 Mars - 18 Mars	004	1,20	ND	ND	ND	ND	ND	ND
19 Mars - 22 Mars	005	2,10	607	0,05	1,47	59	0,44	0,88
23 Mars - 26 Mars	006	3,95	1 112	0,09	2,63	101,3	0,74	1,54
27 Mars - 30 Mars	007	18,3	5 196	0,44	11,57	457,3	3,92	6,75
31 Mars -03 Avr.	008	22,4	6 465	0,51	13,54	552	4,45	7,91
04 Avr. - 07 Avr.	009	24,0	6 836	0,53	14,03	573	4,79	8,26
08 Avr. - 11 Avr.	010	29,2	8 367	0,67	17,52	706	6,19	10,13
12 Avr. - 15 Avr.	011	53,3	15 028	1,22	31,68	1291,4	12,35	18,64
16 Avr. - 19 Avr.	012	47,4	13 823	1,09	27,2	1110	10,29	16,07

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