



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

CAMPAGNE 2<sup>EME</sup> SEMESTRE 2017



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

Rapport semestriel  
**Septembre à novembre**  
**2017**

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

## CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL-LEA

---

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 2<sup>eme</sup> semestre 2017**

**Période de septembre à novembre 2017**

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



	<b>Ref AEL</b>	<b>Ref Client</b>	
<b>Identification</b>	138-VI-17-P	E98084/0003	
<b>Titre complet</b>	Suivi des densités de flux verticaux des particules dans le Canal de la Havannah, la Baie Kwé et la Rade Nord de Prony. Campagne 2 <sup>ème</sup> semestre 2017. <b>Période de septembre à novembre 2017.</b>		
<b>Auteurs</b>	Kumar-Roiné S., Moreton B., Laurent A., Fernandez JM.		
<b>Résumé</b>	<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 <b>2<sup>ème</sup> semestre 2017</b> (septembre-novembre) effectuées dans la zone d'effluence du complexe minier et industriel de Vale-NC. Le programme de surveillance semestriel du milieu marin est réalisé sur un total de 3 stations dont la répartition a été révisée en 2014. A ce jour, les stations sont réparties en Baie Kwé (St06-KW1), en Rade Nord de la Baie du Prony (St15) et dans le Canal de la Havannah (St60-NE).</p> <p>Cette campagne présentant peu de variations météorologiques n'a pas montré d'observation particulière entre les paramètres météorologiques et les densités des flux verticaux. Les campagnes précédentes où les conditions météorologiques ont été bien plus contrastées ont établi des relations entre ces deux facteurs dont notamment les précipitations pour la St15 <i>via</i> l'érosion et le transport des sols par le Creek de la Rade Nord et les précipitations et/ou vents des régimes S pour la St06-KW1 <i>via</i> l'effet de houle et de re-suspension des particules fines sédimentées dans la Baie Kwé qui s'en suit. Pour la St60-NE, aucune corrélation pertinente ne se dégage ; les panaches latéritiques, beaucoup plus dilués à cette station, seraient conditionnés par un ensemble de mécanismes qu'il n'est pas encore possible d'explicitier.</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>		
<b>FONCTION</b>	<b>NOMS</b>	<b>VISA</b>	<b>DATE</b>
<b>Rédacteur</b>	Kumar-Roiné S.	SKR	15/12/2017
<b>Vérificateur 1</b>	Fernandez JM.	JMFA	21/12/2017
<b>Vérificateur 2</b>	Pousse C.	CP	28/12/2017
<b>Approbateur</b>	Fernandez JM.	JMFA	29/12/2017
<b>EVOLUTION</b>			
<b>VERSION</b>	<b>DESCRIPTION DES MISES A JOUR</b>		<b>DATE</b>
V1.0	Rapport final		29/12/2017
<b>COPIE – DIFFUSION</b>			
<b>NOM</b>	<b>ORGANISME</b>		
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<sup>er</sup> semestre 2017. Période de septembre à novembre 2017. Contrat AEL/Vale-NC138-VI-17-P/E98084/0003, 64p.

# TABLE DES MATIERES

<b>I.</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>7</b>
A.	CONTEXTE .....	7
B.	OBJECTIFS.....	7
<b>II.</b>	<b>METHODOLOGIE .....</b>	<b>9</b>
A.	SITE D'ETUDE .....	9
B.	ECHANTILLONNAGE .....	10
C.	CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES .....	11
<b>III.</b>	<b>RESULTATS.....</b>	<b>12</b>
A.	PARAMETRES METEOROLOGIQUES .....	12
B.	CARACTERISATION DES MATIERES EN SUSPENSION.....	14
C.	COMPOSITION GEOCHIMIQUE DES MATIERES EN SUSPENSION.....	23
<b>IV.</b>	<b>INTERPRETATION .....</b>	<b>32</b>
A.	INFLUENCE DES FACTEURS METEOROLOGIQUES.....	32
B.	CALCUL DES FLUX DES MATIERES.....	40
<b>V.</b>	<b>SYNTHESE .....</b>	<b>43</b>

# 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 ( $\text{CaSO}_4$ ) 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 deuxième semestre de 2017 et les comparer 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.
- **Zone d'influence de la mine** : Il s'agit d'une station dans l'embouchure de la rivière Kwé (St06-KW1) qui a permis la définition de l'état de référence des flux particulaires en 2006 et 2007 (Fernandez *et al.*, 2007). Elle permet d'assurer le suivi des apports induits par le bassin d'exploitation minière.
- **Zone d'influence de l'usine de valorisation du minerai** : Il s'agit de la station St15 située en face du Creek de la Rade Nord qui jouxte le site de l'usine. Cette station qui a également fait l'objet d'un état de référence en 2006 et 2007 (Fernandez *et al.*, 2007) permet d'assurer un suivi des apports induits par les installations industrielles.



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

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

## 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 15 septembre 2017 et 06 novembre 2017 aux stations St06-KW1, St15 et St60-NE.

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

**Rappel :** Les pièges à particules de type séquentiel (Technicap, type PPS4/3) sont dotés d'une section efficace de 0,050 m<sup>2</sup>, équipés de carrousels de 12 godets pour permettre la collecte d'une série temporelle de particules sédimentées. L'orifice du dispositif de collecte (piège) a été placé à 3 mètres au-dessus du fond. Cette cote est particulièrement importante à respecter, notamment à proximité du diffuseur pour échantillonner les particules véhiculées par l'effluent, même lorsque les conditions hydrodynamiques des marées de vive-eau s'exercent. Ce prérequis s'appuie sur les résultats du traçage réalisé à la rhodamine-WT (Fernandez et al., 2009) ; la couche affectée par l'effluent n'étant que d'environ 5 m d'épaisseur lors des marées de vive-eau alors qu'elle dépasse amplement les 10 m par courants faibles (marées de morte-eau ; Figure 2). Les suivis sont réalisés par des fonds supérieurs à 15 m afin de s'affranchir des phénomènes mécaniques comme le charriage des grosses particules. Il n'est donc pris en compte dans les pièges que les fractions fines en suspension potentiellement transportables sur de longues distances par les courants, comme le suggère la modélisation (Derex et al., 2008).

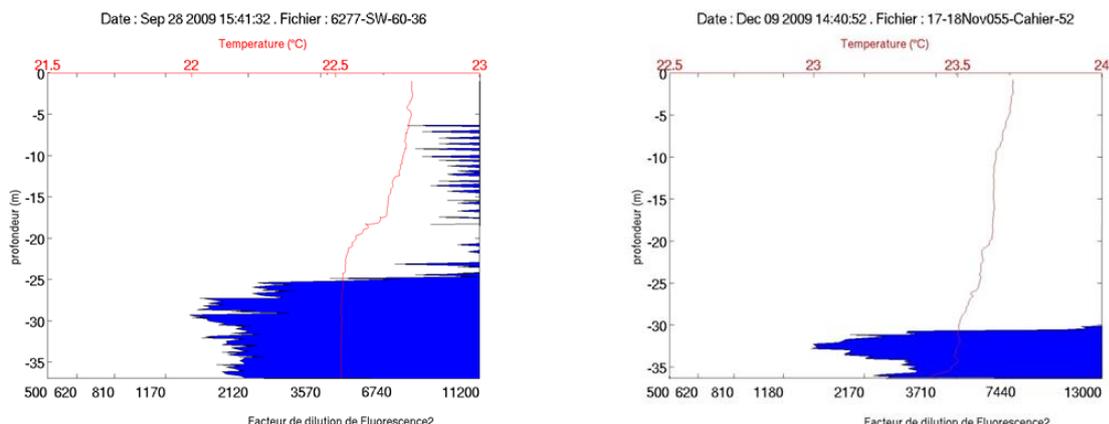


Figure 2 : Empreinte type de l'effluent par marquage à la rhodamine-WT pour des conditions courantologiques de marées de morte-eau (gauche) et de vive-eau (droite) au niveau de la station St60-SW.

Pour les trois stations St06-KW1, St15 et St60-NE, la collecte des particules a été programmée pour débuter le 16 septembre 2017 à 00h00 avec un pas de temps par godet de 96 heures (4 jours) ; elle s'est terminée le 02

novembre 2017 à 00h00. Au total, 12 échantillons de matériel particulaire ont été prélevés pour chacun des trois sites d'immersion soit 36 échantillons (Tableau 2).

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

**Tableau 2 : Détail de collecte des échantillons par les pièges séquentiels mouillés à St06-KW1, St15 et St60-NE.**

Période de collecte	St06-KW1	St15	St60-NE
	Prélèvement	Prélèvement	Prélèvement
16-19 septembre 2017	001	001	001
20-23 septembre 2017	002	002	002
24-27 septembre 2017	003	003	003
28 septembre-01 octobre 2017	004	004	004
02-05 octobre 2017	005	005	005
06-09 octobre 2017	006	006	006
10-13 octobre 2017	007	007	007
14-17 octobre 2017	008	008	008
18-21 octobre 2017	009	009	009
22-25 octobre 2017	010	010	010
26-29 octobre 2017	011	011	011
30 octobre -02 novembre 2017	012	012	012

## C. CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES

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

Ainsi, la pluviométrie journalière « RR » et les données quotidiennes de vent maximal instantané (vitesse « FXI » et direction « DXI ») ont été enregistrées par la station météorologique de l'usine pilote Vale-NC (référence n° 98817104 ; Goro Usine) pour la période de 16 septembre au 02 novembre 2017 ; l'interprétation des analyses reposera en partie sur ces observations.

Les mesures de vent pouvant présenter des écarts, notamment aux stations St60-NE et St06-KW1 en raison de la différence de situation géographique et l'absence de reliefs, ainsi que 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 également exploitées pour l'interprétation des résultats.

## III. RESULTATS

### A. PARAMETRES METEOROLOGIQUES

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

#### 1. Précipitations atmosphériques

La période du 16 septembre au 02 novembre 2017 compte 16 jours de pluies cumulant seulement 58,4 mm, mesurés par la station météorologique GORO. Cette période a donc été marquée par une sécheresse exceptionnelle ; aucun épisode pluvieux significatif n'ayant été enregistré (Figure 3).

Du point de vue historique, les précipitations cumulées lors de cette campagne sont environ 2 à 16 fois moins importantes que pour les campagnes précédentes sauf pour octobre-novembre 2006, campagne de l'état de référence, où les quantités sont comparables (54,4 mm ; St06-KW1 et St15) (Tableau 3).

#### 2. Vitesse et direction du vent

Durant la période du 16 septembre au 02 novembre 2017, les directions de vents mesurées aux deux stations météorologiques sont principalement de secteur E à S. Les régimes de vents sont stables, notamment durant la première quinzaine du mois d'octobre. Parmi les quelques régimes variables observés, celui du 24 septembre au 01 octobre, avec deux rotations complètes, et notamment celui du 16 au 24 octobre associé à des vents de très forte intensité, sont remarquables.

**Remarque :** de 16 à 24 octobre 2017, les vitesses journalières moyennes de vents calculées à partir des relevés de la station IORO présentent des valeurs invraisemblables avec des moyennes et des écarts types forts indiquant une anomalie à la station IORO ; cette station sera très prochainement calibrée. Malgré le caractère exceptionnel de ces données, elles ont été conservées pour pouvoir expliquer les évolutions de flux particulières. Il est à noter que les relevés de la station GORO manifestent également une augmentation dans l'intensité des vents pendant cette période.

L'intensité des vents moyens mesurés à la station météorologique IORO a été de  $9,7 \pm 13,1$  m/s et celle mesurée à la station GORO a été de  $11,0 \pm 2,1$  m/s (Figure 3). Deux remarques, d'une part, l'altitude et la physiographie des lieux pour cette dernière expliquent la différence mesurée et, d'autre part, l'importance de l'écart-type mesuré lors de cette campagne à la station IORO, est expliquée par des vents de plus 30 m/s enregistrés entre 18-19 octobre et 22-23 octobre 2017.

Pour la période de mouillage, la vitesse moyenne des vents enregistrée par la station GORO est proche de celles des précédentes campagnes, exception faite pour la campagne de septembre-octobre 2014 dont la valeur mesurée est 1,7 fois inférieure ( $7,3 \pm 2,9$  m/s). En ce qui concerne la station IORO, elle indique des valeurs légèrement supérieures par rapport aux campagnes précédentes (Tableau 3).

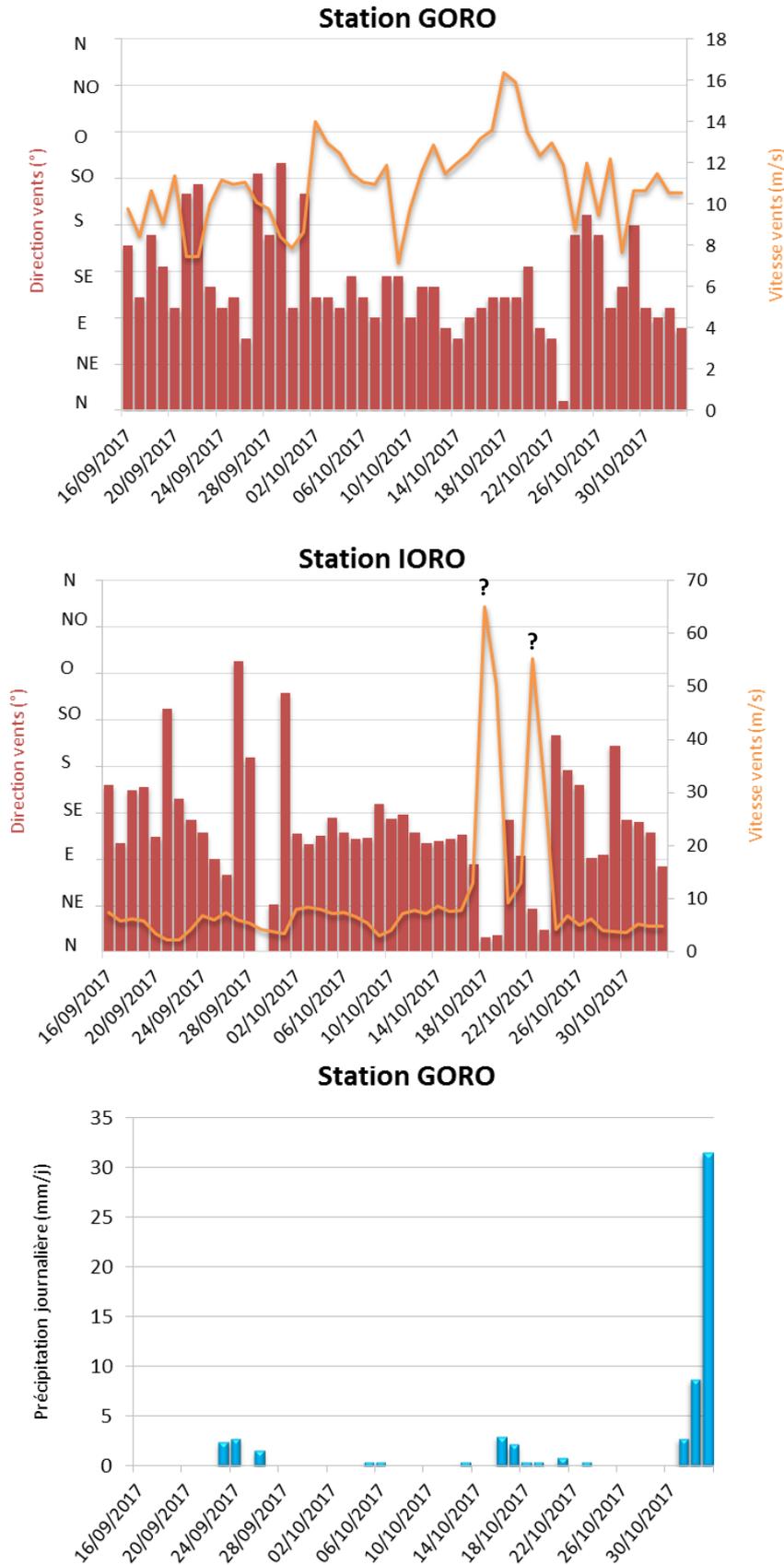


Figure 3 : Cumul journalier de précipitations et évolution de la vitesse et de la direction des vents (moyenne journalière) pour la période du 16 septembre au 02 novembre 2017.

**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
2017	1	Oct. - Nov. 2016	x	x	x	266,8	11,3 ± 2,5	5,9 ± 2,1
	2	Avr. - Mai 2017	x	x	x	443,2	12,5 ± 4,2	7,0 ± 3,6
		<b>Sept. - Nov. 2017</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>58,4</b>	<b>11,0 ± 2,1</b>	<b>9,7 ± 13,1 ( ? )</b>

\* 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 ; ND : données non disponible ; IC : base de donnée incomplète suite à une panne d'enregistreur ; AE : absence d'enregistreur.

## 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 des fractions fines de MES sont regroupés dans l'Annexe 3.

### 1. Baie Kwé (St06-KW1)

#### Masses collectées

Les masses de MES collectées en St06-KW1 se distribuent entre 0,56 g (24-27 septembre ; prélèvement 003) et 17,3 g (18-21 octobre, prélèvement 009) avec une moyenne de  $4,08 \pm 4,61$  g (Figure 4). D'emblée et sur une bonne partie des pas de collecte, les quantités demeurent faibles (16 septembre au 17 octobre ; prélèvement 001 au 008). Au-delà, les masses de MES augmentent considérablement (18-21 octobre ; prélèvement 009) puis diminuent en premier lieu fortement (22-25 octobre ; prélèvement 010) et ensuite plus progressivement (29 octobre – 02 novembre ; prélèvement 011 et 012).

A contrario, les pourcentages de fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) qui composent les MES varient peu. Ils se répartissent entre 80 et 86 % avec une moyenne de  $83 \pm 2 \%$ . Par conséquent, les MES piégées en St06-KW1 sont très majoritairement composées par la fraction fine (Figure 5).

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

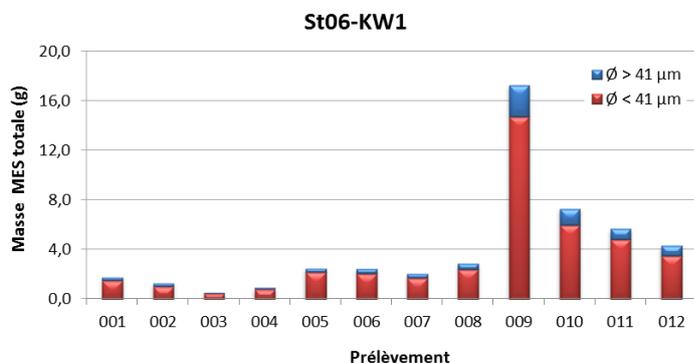


Figure 4 : Masse totale de MES piégée et composition en fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) et fraction grossière ( $\varnothing > 41 \mu\text{m}$ ) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

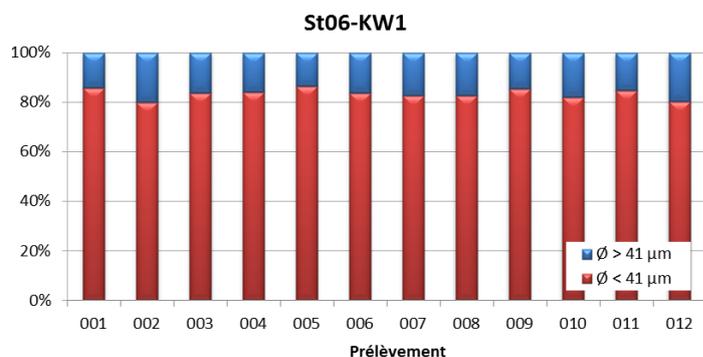


Figure 5 : Pourcentage des fractions fines ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) et des fractions grossières ( $\varnothing > 41 \mu\text{m}$ ) dans les 12 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

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

St06-KW1							
Campagne	MES totaux (g)	% $\varnothing < 41 \mu\text{m}$	Carbonate (%)	Campagne	MES totaux (g)	% $\varnothing < 41 \mu\text{m}$	Carbonate (%)
Oct. - Nov. 2006	1,46 $\pm$ 0,74	ND	74 $\pm$ 2	Sept - Oct. 2014	2,37 $\pm$ 1,68	84 $\pm$ 2	65 $\pm$ 4
Mars - Avr. 2007	4,61 $\pm$ 4,47	ND	76 $\pm$ 3	Janv. - Mars 2015	13,25 $\pm$ 7,21	79 $\pm$ 4	73 $\pm$ 3
Juil. - Août 2011	5,07 $\pm$ 4,86	ND	69 $\pm$ 4	Oct. - Nov. 2015	7,77 $\pm$ 6,10	68 $\pm$ 6	47 $\pm$ 3
Janv. - Mars 2012	7,89 $\pm$ 6,64	75 $\pm$ 3	84 $\pm$ 5	Juil. - Sept. 2016	5,74 $\pm$ 4,58	80 $\pm$ 2	60 $\pm$ 6
Sept. - Oct. 2012	5,28 $\pm$ 2,62	70 $\pm$ 4	67 $\pm$ 3	Oct. - Nov. 2016	3,69 $\pm$ 2,78	79 $\pm$ 4	70 $\pm$ 5
Janv. - Févr. 2013	9,29 $\pm$ 5,71	77 $\pm$ 5	67 $\pm$ 8	Avr. - Mai 2017	9,06 $\pm$ 8,06	75 $\pm$ 3	71 $\pm$ 4
Juil. - Août 2013	11,61 $\pm$ 17,56	74 $\pm$ 4	46 $\pm$ 13	<b>Sept. - Nov. 2017</b>	<b>4,08 <math>\pm</math> 4,61</b>	<b>83 <math>\pm</math> 2</b>	<b>71 <math>\pm</math> 6</b>
Janv. - Mars 2014	12,14 $\pm$ 6,82	82 $\pm$ 4	84 $\pm$ 3	-	-	-	-

ND : valeur non déterminée.

### 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 dans la classe 2,0-20  $\mu\text{m}$  à savoir les silts fins (moyenne de  $49 \pm 5 \%$  du volume total). Pour cette campagne, les silts moyens (20-40  $\mu\text{m}$ ) composent la seconde population granulométrique ( $31 \pm 2 \%$  du volume

total). La distribution des populations granulométriques montre quelques évolutions dans le temps, notamment pour le prélèvement du 02-05 octobre (005) dont le pourcentage en particules  $\varnothing < 20 \mu\text{m}$  est le plus élevé, et en particules  $\varnothing > 20 \mu\text{m}$  le plus bas, cette distribution s'inverse dans le prélèvement du 30 octobre-02 novembre (012) (Figure 6).

Pour l'ensemble des campagnes conduites à St06-KW1, parmi les 5 classes granulométriques étudiées, le mode principal demeure la classe 2,0-20  $\mu\text{m}$  (silts fins). Globalement, l'on constate que, depuis la campagne de juillet-août 2011, bien que cela ne se produise pas systématiquement, le pourcentage en particules  $\varnothing < 20 \mu\text{m}$  est en augmentation, jusqu'à doubler lors de certaines campagnes (par exemple, en 2014), au détriment des particules de taille  $\varnothing > 20 \mu\text{m}$  (Tableau 5).

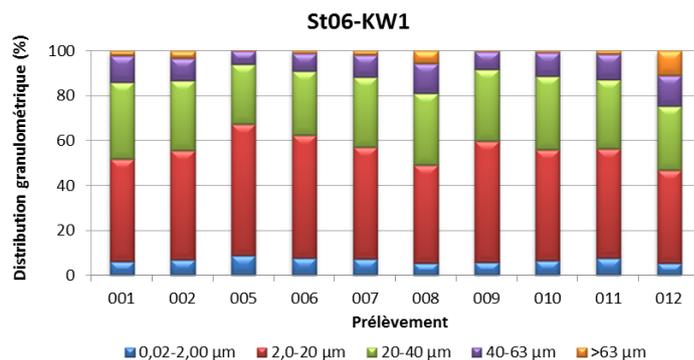


Figure 6 : Distribution granulométrique de la fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) des 10 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

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

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

Campagne	St06-KW1				
	Distribution granulométrique (%)				
	0,02 à 2,00 $\mu\text{m}$	2,0 à 20 $\mu\text{m}$	20 à 40 $\mu\text{m}$	40 à 63 $\mu\text{m}$	>63 $\mu\text{m}$
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

### Compositions minéralogiques

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

La goethite a également été décelée dans tous les prélèvements notamment dans les MES de prélèvement 002, tandis que la lizardite a été détectée uniquement dans les MES du prélèvement 001. Les proportions de ces minéraux d'origine latéritique varient inversement à la calcite et l'aragonite, ce qui souligne l'influence plus ou moins rythmée des apports terrigènes à cette station (Tableau 6).

**Tableau 6 : Composition minéralogique de la fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) des 10 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.**

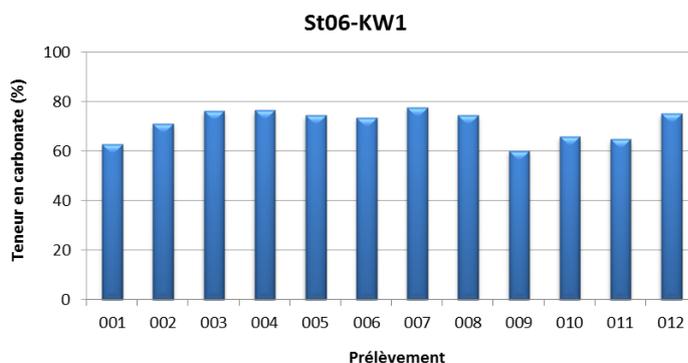
St06-KW1				
Prélèvement	% Calcite	% Aragonite	% Goethite	% Autres*
001	32,2	33,6	9,6	24,6
002	40,3	22,4	37,3	-
005	54,7	30,2	15,1	-
006	48,2	41,3	10,5	-
007	51,8	33,1	15,0	-
008	40,9	41,6	17,5	-
009	40,0	34,8	25,2	-
010	42,7	32,3	25,0	-
011	42,4	41,8	15,8	-
012	46,2	39,8	14,0	-

\* : lizardite.

### Teneurs en carbonates

Les teneurs en carbonates dans la fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) de MES collectée en St06-KW1 se distribuent entre 60 % et 78 % avec une moyenne de  $71 \pm 6 \%$ . Les teneurs mesurées varient peu entre les prélèvements. Aucune corrélation n'est constatée entre l'évolution des teneurs en carbonates (Figure 7) et celle des masses de MES collectée.

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



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

**Remarque :** La différence en fraction carbonatée observée entre les teneurs en calcite, d'une part, mesurée par DRX semi-quantitative, d'autre part, calculée par relation stœchiométrique à partir des concentrations en Ca et Mg (considérées comme étant exclusivement sous forme de CaCO<sub>3</sub> et MgCO<sub>3</sub> dans le contexte du sud calédonien), s'expliquerait par le fait que la DRX semi-quantitative caractérise seulement les minéraux cristallisés (Chaurrand, 2007 ; Achard, 2013) dont les proportions somment 100% ; ce mode de calcul ne tient pas compte des phases amorphes de certains de ces minéraux, ni des minéraux du cortège latéritique contenant du Mg, ce qui peut majorer le pourcentage calculé des carbonates.

## 2. Rade Nord de Prony (St15)

### Masses collectées

Les masses de MES collectée, se distribuent entre 0,02 g et 0,93 g avec une moyenne de  $0,30 \pm 0,30$  g. Lors de la première moitié de la période de collecte, les quantités sont infinitésimales (16 septembre-09 octobre ; 001-006). Puis, elles augmentent soudainement pour atteindre la maximale le 18-21 octobre (009) et diminuent aussitôt pour rester autour de 0,25 g (Figure 8).

La fraction fine ( $\phi < 41 \mu\text{m}$ ) est très largement dominante dans les MES piégées en St15 avec une moyenne de  $79 \pm 16$  %. Les pourcentages de fraction fine se distribuent entre 54 à 96 % ; le minimum est enregistré le 24-27 septembre (003) et le maximum le 30 octobre-02 novembre (012) (Figure 9).

Entre les différentes campagnes conduites à St15, les masses moyennes collectées restent faibles, ne dépassant que rarement le seuil de 1 g. On notera que les masses de MES collectées lors de cette campagne 2017 sont 15 fois moins importantes que celles collectées en janvier-mars 2014 ( $4,43 \pm 8,90$  g). En revanche, quelle que soit la campagne, les pourcentages moyens de fraction fine demeurent stables entre les campagnes ; les MES piégées sont principalement composées de fraction fine (Tableau 7).

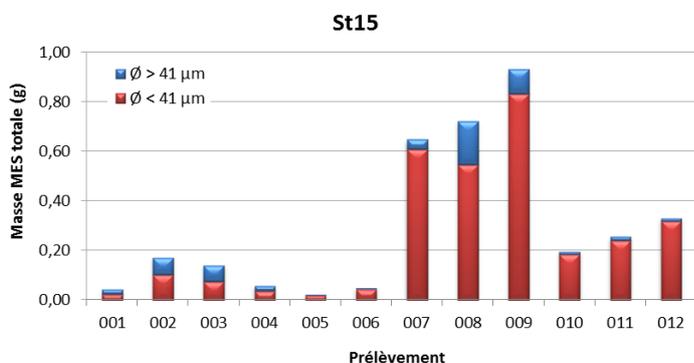


Figure 8 : Masse totale de MES piégées et composition en fraction fine ( $\phi < 41 \mu\text{m}$ ) et fraction grossière ( $\phi > 41 \mu\text{m}$ ) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St15.

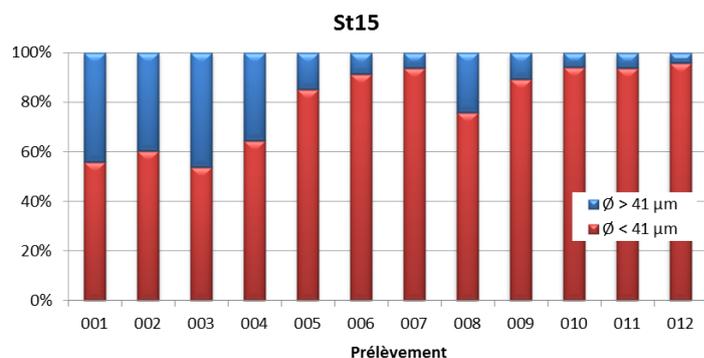


Figure 9 : Pourcentage des fractions fines ( $\phi < 41 \mu\text{m}$ ) et des fractions grossières ( $\phi > 41 \mu\text{m}$ ) dans les 12 prélèvements du piège séquentiel à St15.

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

St15							
Campagne	MES totaux (g)	% $\varnothing < 41 \mu\text{m}$	Carbonate (%)	Campagne	MES totaux (g)	% $\varnothing < 41 \mu\text{m}$	Carbonate (%)
Oct. - Nov. 2006	0,10 $\pm$ 0,06	ND	ND	Juil. – Sept. 2015	0,26 $\pm$ 0,27	86 $\pm$ 10	26 $\pm$ 2
Mars - Avr. 2007	0,15 $\pm$ 0,14	ND	ND	Mai -Juil. 2016	1,73 $\pm$ 1,49	76 $\pm$ 23	19 $\pm$ 9
Janv. - Mars 2014	4,43 $\pm$ 8,90	88 $\pm$ 6	9 $\pm$ 4	Oct. – Nov. 2016	0,44 $\pm$ 0,50	87 $\pm$ 7	27 $\pm$ 4
Sept. - Oct. 2014	0,18 $\pm$ 0,25	77 $\pm$ 31	25 $\pm$ 2	Avr. – Mai 2017	1,61 $\pm$ 1,16	92 $\pm$ 5	28 $\pm$ 4
Janv. - Mars 2015	0,56 $\pm$ 0,60	86 $\pm$ 10	25 $\pm$ 7	<b>Sept. – Nov. 2017</b>	<b>0,30 <math>\pm</math> 0,30</b>	<b>79 <math>\pm</math> 16</b>	<b>23 <math>\pm</math> 2</b>

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

**Note :** Les diverses observations effectuées lors de précédentes missions montrent que la variabilité des masses collectées à cette station, localisée au droit de l'embouchure du creek, est très dépendante, non seulement de l'intensité des précipitations mais aussi de l'orientation et de la force des vents qui conditionnent la dispersion et/ou le confinement des panaches turbides ; 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.

#### Compositions granulométriques

**Note :** En vue de très faible quantité collectée, aucune analyse par granulométrie laser n'a pu être effectuée pour cette campagne.

#### Compositions minéralogiques

**Note :** En vue de très faible quantité collectée, aucune analyse par DRX n'a pu être effectuée pour cette campagne.

#### Teneurs en carbonates

Le manque de matière n'a permis les analyses que sur 6 échantillons. Les teneurs en carbonates dans la fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) en St15 se distribuent entre 21 % et 25 % avec une moyenne de 23  $\pm$  2 % soulignant, de fait, une influence prépondérante claire des apports terrigènes à cette station. Les teneurs demeurent très stables et aucune corrélation n'est constatée avec les masses de MES collectées (Figure 10).

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 %) est la valeur la plus basse enregistrée (Tableau 7).

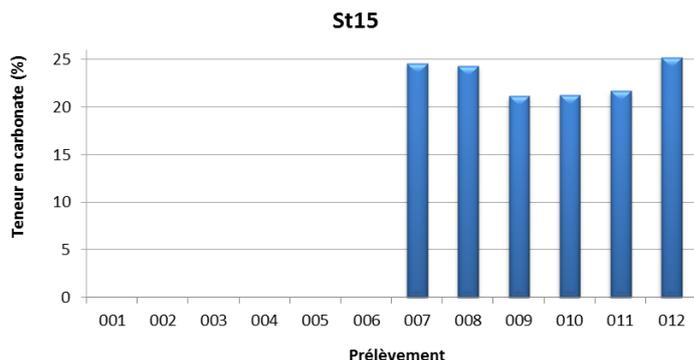


Figure 10 : Teneurs en carbonates contenues dans les fractions fines ( $\phi < 41 \mu\text{m}$ ) des 6 prélèvements du piège séquentiel à St15.

### 3. Canal de la Havannah (St60-NE)

#### Masses collectées

Les masses de MES collectée en St60-NE se distribuent entre 0,37 g et 4,69 g avec une moyenne de  $1,46 \pm 1,27$  g. Les plus faibles quantités ont été collectées le 28 septembre-01 octobre (004), tandis que la plus forte quantité a été collectée le 30 octobre-02 novembre (012). Les masses piégées sont faibles, sur une bonne partie de la période d’immersion, ne dépassant pas le seuil de 1,50 g (001-008), puis évoluent rapidement entre les prélèvements 009 et 012 ; la valeur maximale étant mesurée à la fin de la collecte (012) (Figure 11).

Les MES piégées en St60-NE sont composées majoritairement de fraction fine ( $\phi < 41 \mu\text{m}$ ) de  $59 \pm 4 \%$ . En effet, tous les prélèvements présentent une part de fraction fine élevée comprise entre 53 et 69% (Figure 12).

Pour les différentes campagnes conduites à St60-NE, les masses totales moyennes collectées et les pourcentages moyens de fraction fine sont variables. Les pourcentages moyens obtenus lors de cette campagne sont parmi les plus élevés (Tableau 8).

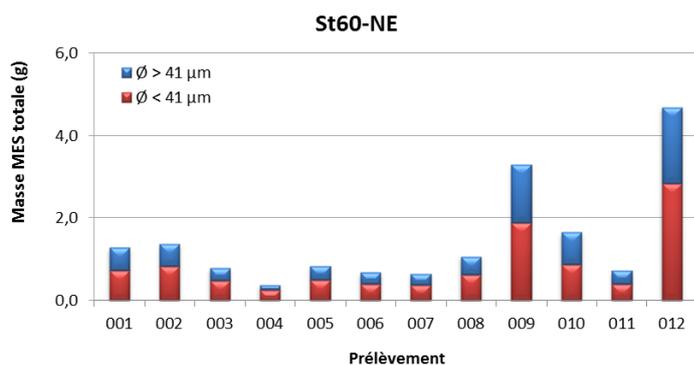


Figure 11 : Masse totale de MES piégées et composition en fraction fine ( $\phi < 41 \mu\text{m}$ ) et fraction grossière ( $\phi > 41 \mu\text{m}$ ) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

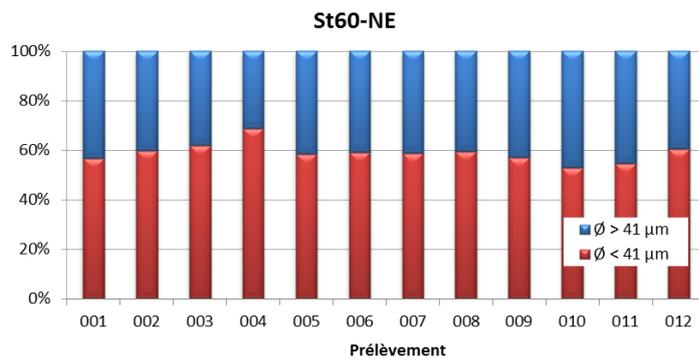


Figure 12 : Pourcentage des fractions fines ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) et des fractions grossières ( $\varnothing > 41 \mu\text{m}$ ) dans les 12 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

Tableau 8 : Compilation des données moyenne  $\pm$  écart-type de la MES totale, du pourcentage de fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) et de la teneur en carbonates dans la fraction fine lors des différentes campagnes d’immersion des pièges séquentiels à St60-NE.

St60-NE							
Campagne	MES totaux (g)	% $\varnothing < 41 \mu\text{m}$	Carbonate (%)	Campagne	MES totaux (g)	% $\varnothing < 41 \mu\text{m}$	Carbonate (%)
Févr. - Mars 2007	3,95 $\pm$ 5,02	ND	96 $\pm$ 1	Sept. - Oct. 2014	1,63 $\pm$ 1,82	60 $\pm$ 4	83 $\pm$ 2
Juil. - Août 2011	ND	ND	ND	Janv. - Mars 2015	3,19 $\pm$ 3,11	63 $\pm$ 8	88 $\pm$ 3
Janv. - Mar 2012	1,92 $\pm$ 1,77	60 $\pm$ 18	80 $\pm$ 3	Juil. - Sept. 2015	1,98 $\pm$ 1,84	61 $\pm$ 6	91 $\pm$ 6
Sept. - Oct. 2012	0,82 $\pm$ 1,08	39 $\pm$ 9	85 $\pm$ 1	Mai - Juil. 2016	3,42 $\pm$ 2,03	49 $\pm$ 6	76 $\pm$ 9
Janv. - Mars 2013	2,51 $\pm$ 2,71	49 $\pm$ 14	77 $\pm$ 1	Oct. - Nov. 2016	2,23 $\pm$ 3,52	28 $\pm$ 13	91 $\pm$ 7
Juil. - Août 2013	1,17 $\pm$ 1,42	41 $\pm$ 7	75 $\pm$ 4	Avr. - Mai 2017	3,11 $\pm$ 2,84	61 $\pm$ 5	91 $\pm$ 2
Avr. - Juin 2014	1,49 $\pm$ 1,01	74 $\pm$ 8	83 $\pm$ 2	<b>Sept. - Nov. 2017</b>	<b>1,46 <math>\pm</math> 1,27</b>	<b>59 <math>\pm</math> 4</b>	<b>86 <math>\pm</math> 2</b>

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

### Compositions granulométriques

Au vue des très faibles quantités collectées pour cette campagne, l’analyse par granulométrie laser n’a pu être effectuée que sur les deux prélèvements.

La fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) de MES collectée en St60-NE est composée de particules dont le mode se situe principalement dans les classes 2,0-20  $\mu\text{m}$  (silts fins) et ensuite dans les classes 20-40  $\mu\text{m}$  avec une moyenne de 52  $\pm$  2 % et 31  $\pm$  1 % du volume total, respectivement. La distribution des populations granulométriques, quant à elle, ne montre aucune variation dans le temps. (Figure 13).

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  $\mu\text{m}$  et 20-40  $\mu\text{m}$ . Pour la campagne de septembre-octobre 2014, une très notable augmentation des grains de la classe 2,0-20  $\mu\text{m}$  au détriment de celles de 20-40  $\mu\text{m}$  et 40-63  $\mu\text{m}$  a été mesurée. Cette tendance est observée à nouveau pour la présente campagne (Tableau 9).

**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.

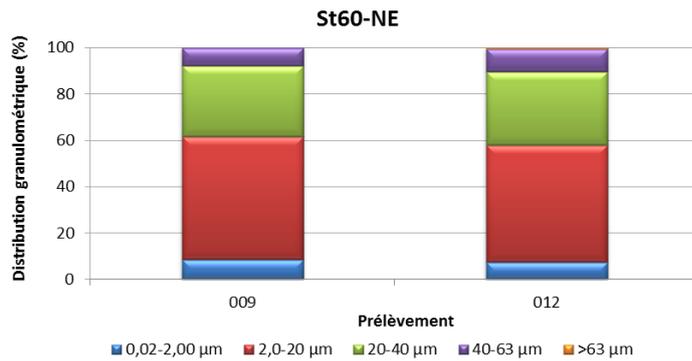


Figure 13 : Distribution granulométrique de la fraction fine ( $\phi < 41 \mu\text{m}$ ) des 2 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

Tableau 9 : Compilation des données moyenne  $\pm$  écart-type 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 St60-NE.

Campagne	St60-NE				
	Distribution granulométrique (%)				
	0,02 à 2,00 µm	2,0 à 20 µm	20 à 40 µm	40 à 63 µm	>63 µm
Janv. - Mars 2012	3 $\pm$ 1	46 $\pm$ 9	32 $\pm$ 6	14 $\pm$ 4	5 $\pm$ 1
Sept. – Oct. 2012	2 (n=1)	40 (n=1)	23 (n=1)	17 (n=1)	18 (n=1)
Janv. - Mars 2013	5 $\pm$ 0	36 $\pm$ 3	33 $\pm$ 2	16 $\pm$ 0	10 $\pm$ 4
Juil. – Août 2013	14 $\pm$ 5	49 $\pm$ 4	28 $\pm$ 3	8 $\pm$ 1	0 $\pm$ 0
Avr. - Juin 2014	17 $\pm$ 3	47 $\pm$ 4	25 $\pm$ 2	9 $\pm$ 2	2 $\pm$ 2
Sept. – Oct. 2014	5 $\pm$ 1	72 $\pm$ 3	17 $\pm$ 4	4 $\pm$ 0	1 $\pm$ 1
Janv. - Mars 2015	12 $\pm$ 4	44 $\pm$ 6	26 $\pm$ 2	11 $\pm$ 3	7 $\pm$ 6
Juil. - Sept. 2015	13 $\pm$ 5	44 $\pm$ 8	24 $\pm$ 3	9 $\pm$ 4	9 $\pm$ 7
Mai - Juil. 2016	5 $\pm$ 1	40 $\pm$ 1	36 $\pm$ 2	16 $\pm$ 1	3 $\pm$ 1
Oct. – Nov. 2016	6 $\pm$ 2	42 $\pm$ 12	32 $\pm$ 4	12 $\pm$ 3	8 $\pm$ 15
Avr. – Mai 2017	4 $\pm$ 1	36 $\pm$ 8	30 $\pm$ 3	11 $\pm$ 7	12 $\pm$ 12
<b>Sept. – Nov. 2017</b>	<b>8 <math>\pm</math> 1</b>	<b>52 <math>\pm</math> 2</b>	<b>31 <math>\pm</math> 1</b>	<b>9 <math>\pm</math> 1</b>	<b>0 <math>\pm</math> 0</b>

### Compositions minéralogiques

Au vue de très faibles quantités collectées pour cette campagne, l'analyse par DRX n'a pu être effectuée que sur les deux prélèvements.

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

La présence de goethite est faiblement décelée lors de cette campagne. De surcroît, les proportions d'aragonite et de calcite ne fluctuent que très peu dans le temps ce qui souligne les influences marines constantes et quasi exclusives régnant à cette station (Tableau 10).

Tableau 10 : Composition minéralogique de la fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) des 2 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

Prélèvement	St60-NE			
	% Calcite	% Aragonite	% Goethite	% Autre
009	55,2	38,2	6,6	-
012	55,8	40,0	4,2	-

### Teneurs en carbonates

Les teneurs en carbonates dans la fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) des MES collectées en St60-NE se distribuent entre 83 % et 92 % avec une moyenne de  $86 \pm 2$  %. Les teneurs évoluent peu avec les prélèvements ; la plus faible étant le 06-09 octobre (006) et la plus forte le 22-25 octobre (010). Aucune corrélation n'est constatée entre l'évolution des teneurs en carbonates et celle des masses de MES collectées (Figure 14).

Entre les différentes campagnes, les teneurs moyennes varient également peu. La moyenne la plus basse obtenue depuis le début du suivi est de  $75 \pm 4$  % (juillet-août 2013) ce qui souligne que, par rapport aux deux autres stations, les apports en carbonates à St60-NE sont à la fois importants et constants (Tableau 8).

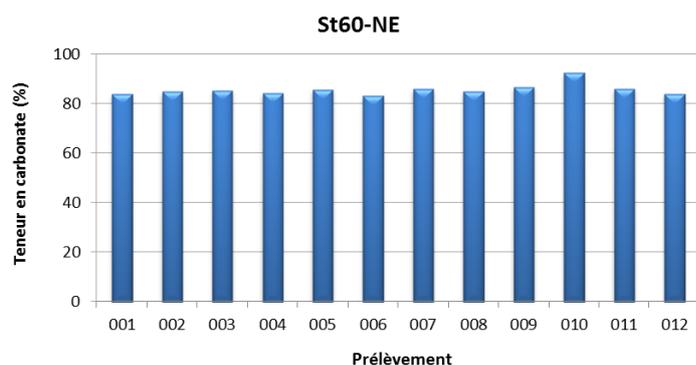


Figure 14 : Teneurs en carbonates contenues dans les fractions fines ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) des 10 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

## 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 fortes concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni ont été mesurées au début de la période d'immersion, à savoir du 16-19 septembre (001), tandis que les plus faibles ont été enregistrées du 10-17 octobre (007 et 008). Inversement, pour le Ca, la plus forte teneur a été mesurée le 10-13 octobre (007) tandis que la plus faible quantité a été mesurée le 18-21 octobre (009).

En dépit de ces évolutions, les concentrations obtenues dans les 12 prélèvements ne montrent pas de grandes variations, notamment pour le Ca (Tableau 11).

Bien que les concentrations évoluent peu entre les prélèvements, la matrice de corrélation confirme la similarité d'évolution des concentrations massiques pour Co, Cr, Fe, Ni et Mn ( $R^2 > 0,80$ ). Elle ne montre toutefois pas de corrélation suffisamment forte entre le Ca et les 5 métaux (Tableau 12), comme cela avait été observé lors des précédentes campagnes.

Entre les différentes campagnes conduites à St06-KW1, les concentrations moyennes des éléments, et dans une moindre mesure le Ca, sont variables. Les comparaisons montrent également que les concentrations en Co, Cr Fe, Mn et Ni obtenues lors de cette campagne 2017 sont supérieures aux moyennes enregistrées en 2007 pour l'état de référence. Quant à la concentration moyenne en Ca, elle reste comparable à celle mesurée en 2007. En revanche, les concentrations métalliques sont largement inférieures à celles obtenues en juillet-août 2013 ; cette campagne est, à ce jour, celle qui présente les concentrations métalliques les plus élevées à St06-KW1, tandis que celle de janvier-mars 2014 regroupe les plus basses. Par ailleurs, les concentrations des métaux restent comparables à celles enregistrées lors de la dernière campagne de 2017 (Tableau 13).

**Tableau 11 : Concentrations en métaux et calcium obtenues (moyennes, écart-types et valeurs extrêmes) dans les fractions fines ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.**

St06-KW1						
Eléments (mg/kg ps)	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Min	221 186	81	2 956	104 383	617	1 555
Max	291 080	132	4 567	153 611	1 004	2 447
Moyenne	264 210	95	3 422	120 591	742	1 791
Ecart-type	24 159	14	417	12 247	101	224
CV (%)	9	14	12	10	14	13

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

St06-KW1						
Eléments	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ca	1	-0,690	-0,618	-0,289	-0,657	-0,598
Co		1	0,986	0,869	0,991	0,965
Cr			1	0,884	0,975	0,965
Fe				1	0,889	0,856
Mn					1	0,935
Ni						1

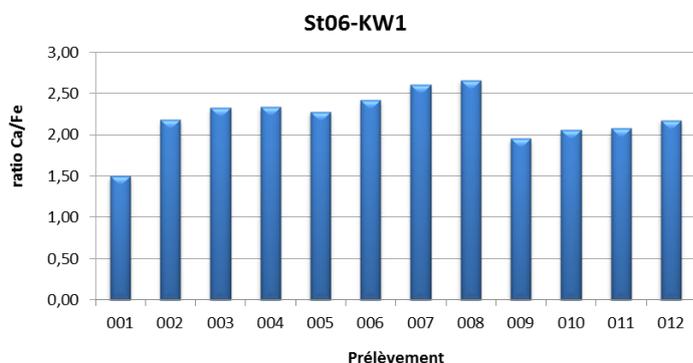
**Tableau 13 : Compilation des données moyenne ± écart-type des concentrations en métaux et calcium obtenues dans les fractions fines ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) de MES piégées lors des différentes campagnes d’immersion des pièges séquentiels à St06.**

Campagne	St06-KW1					
	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 ± 19 652	82,9 ± 10,2	2 945 ± 287	81 853 ± 6 980	703 ± 75	1 460 ± 132
Janv. - Mars 2012	239 104 ± 5 873	101 ± 10	3 414 ± 302	10 3323 ± 6 769	822 ± 77	1 885 ± 144
Sept. - Oct. 2012	264 386 ± 8 238	106 ± 15	3 874 ± 547	111 616 ± 11 753	840 ± 95	1 829 ± 201
Janv. - Mars 2013	236 752 ± 14 017	127 ± 19	4 634 ± 547	123 394 ± 15 208	1 123 ± 162	2 258 ± 321
Juil. - Août 2013	164 585 ± 51 369	215 ± 77	7 111 ± 2 797	189 733 ± 55 033	1 688 ± 656	3 540 ± 1 392
Janv. - Mars 2014	308 430 ± 13 137	46 ± 18	1 259 ± 257	31 190 ± 8 848	471 ± 210	588 ± 195
Sept. - Oct. 2014	242 858 ± 15 301	115 ± 19	3 829 ± 581	132 978 ± 17 334	885 ± 147	1 999 ± 258
Janv. - Mars 2015	271 510 ± 10 830	82,8 ± 12,1	3 007 ± 354	85 407 ± 11 481	735 ± 94	1 563 ± 233
Oct. - Nov. 2015	165 560 ± 11 919	108 ± 34	4 126 ± 1 307	101 619 ± 24 237	940 ± 267	1 882 ± 421
Juil. - Sept. 2016	219 412 ± 25 986	109 ± 23	3 083 ± 692	136 205 ± 22923	974 ± 208	2 148 ± 403
Oct. – Nov. 2016	260 620 ± 20 111	86,3 ± 18,3	3 085 ± 557	116 993 ± 22 213	723 ± 149	1 770 ± 370
Avr. – Mai 2017	270 681 ± 14 894	80,8 ± 12,9	2 928 ± 429	110 875 ± 19 017	690 ± 102	1 716 ± 296
<b>Sept. – Nov. 2017</b>	<b>264 210 ± 24 159</b>	<b>95,0 ± 13,6</b>	<b>3 422 ± 417</b>	<b>120 591 ± 12 247</b>	<b>742 ± 101</b>	<b>1 791 ± 224</b>

**Normalisation du calcium par le fer**

Les valeurs du rapport Ca/Fe obtenues en St06-KW1 se distribuent entre 1,50 et 2,66 avec une moyenne de 2,21 ± 0,31. Les plus faibles ratios ont été obtenus dès le premier prélèvement du 16-19 septembre (001) et le plus fort dans la période du 14-17 octobre (008). Représentant l’influence des pôles marins (Ca) et terrigènes (Fe), ces évolutions des ratios intermédiaires traduisent la mise en place des périodes d’empreintes terrigène et marine alternées à cette station (Tableau 14).

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. Depuis la campagne octobre-novembre 2015, toutefois, les ratios semblent s’être stabilisés (Tableau 15).



**Tableau 14 : 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 15 : Compilation des données moyenne  $\pm$  écart-type de normalisation du calcium par le fer obtenues dans les fractions fines ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges à St06-KW1.**

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

- : 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 6 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 les évolutions des concentrations dans le temps, exception faite pour le Fe, elles sont peu dispersées (Tableau 16).

Bien que les concentrations évoluent peu entre les prélèvements, les plus fortes concentrations en Co, Cr, et Ni ainsi que la plus faible teneur en Ca ont été mesurées dans la période du 22-25 octobre (010). Inversement, du 30 octobre-02 novembre (012), les concentrations mesurées pour ces métaux sont minimales tandis que celles en Ca sont les plus élevées. Quant au Fe et Mn, les distributions divergent ; les concentrations minimale et maximale de Fe sont enregistrées, respectivement, le 18-21 octobre (009) et 10-13 octobre (007). Vice versa, celles de Mn sont observées, respectivement, le 10-13 octobre (007) et 18-21 octobre (009).

Bien que moins robuste en raison de nombre d'échantillons réduit, la matrice confirme également une forte similarité d'évolution des concentrations massiques pour Co, Cr et Ni ( $R^2 > 0,80$ ). Elle montre également qu'il existe une relation inverse entre le Ca et le Co ( $R^2 < -0,80$ ). En revanche, pour le Fe et Mn, les évolutions sont moins marquées ce qui pourrait indiquer un terme source composite pour ces deux éléments (Tableau 17).

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, voire même plus faibles, qu'en 2007 (Etat de référence), mais sont bien inférieures à celles obtenues en janvier-mars 2015 ; cette campagne est à ce jour celle qui présente les concentrations métalliques les plus hautes (Tableau 18). Quant à la concentration moyenne en Ca, elle est également comparable à celle de 2007.

**Tableau 16 : Concentrations en métaux et calcium obtenues (moyennes, écart-types et valeurs extrêmes) dans les fractions fines ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St15.**

St15						
Eléments (mg/kg ps)	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Min	68 707	216	7 600	115 583	1 532	2 541
Max	84 215	227	8 006	238 632	1 762	2 724
Moyenne	76 373	221	7 797	192 953	1 687	2 614
Ecart-type	7 445	4	163	51 286	85	61
CV (%)	10	2	2	27	5	2

**Tableau 17 : Matrice de corrélation inter-éléments des concentrations de métaux et du calcium obtenues dans les fractions fines ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) des 8 prélèvements du piège séquentiel à St15.**

St15						
Eléments	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ca	1	-0,832	-0,193	0,745	-0,786	-0,522
Co		1	0,596	-0,536	0,750	0,807
Cr			1	0,166	-0,060	0,881
Fe				1	-0,725	-0,303
Mn					1	0,257
Ni						1

**Tableau 18 : Compilation des données moyenne  $\pm$  écart-type des concentrations en métaux et calcium obtenues dans les fractions fines ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St15.**

St15						
Campagne	Eléments (mg/kg ps)					
	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Mars – Avr. 2007	61 870 (n=1)	208 (n=1)	8 500 (n=1)	205 660 (n=1)	1 949 (n=1)	2 742 (n=1)
Janv. - Mars 2014	11 118 $\pm$ 153	295 $\pm$ 27	13 796 $\pm$ 1 654	245 119 $\pm$ 15 893	2 368 $\pm$ 547	3 927 $\pm$ 665
Sept. – Oct. 2014	87 180 $\pm$ 6 927	265 $\pm$ 23	8 111 $\pm$ 535	217 647 $\pm$ 12 561	1 881 $\pm$ 191	2 798 $\pm$ 177
Janv. - Mars 2015	78 349 $\pm$ 29 017	440 $\pm$ 14	14 204 $\pm$ 757	290 374 $\pm$ 11 196	3 788 $\pm$ 569	5 012 $\pm$ 266
Juil. - Sept. 2015	85 568 $\pm$ 10 844	228 $\pm$ 18	8 016 $\pm$ 728	177 466 $\pm$ 13 141	2 148 $\pm$ 207	2 751 $\pm$ 248
Mai - Juil. 2016	60 636 $\pm$ 34 192	195 $\pm$ 37	5 682 $\pm$ 1 080	170 877 $\pm$ 75 892	1 981 $\pm$ 303	3 101 $\pm$ 569
Oct. – Nov. 2016	91 451 $\pm$ 16 898	178 $\pm$ 33	6 057 $\pm$ 1 016	198 270 $\pm$ 35 176	1 861 $\pm$ 511	2 339 $\pm$ 383
Avr.- Mai 2017	101 352 $\pm$ 17 811	184 $\pm$ 21	8 150 $\pm$ 859	231 480 $\pm$ 23 743	1 246 $\pm$ 174	2 501 $\pm$ 281
<b>Sept. – Nov. 2017</b>	<b>76 373 <math>\pm</math> 7 445</b>	<b>221 <math>\pm</math> 4</b>	<b>7 797 <math>\pm</math> 163</b>	<b>192 953 <math>\pm</math> 51 953</b>	<b>1 687 <math>\pm</math> 85</b>	<b>2 614 <math>\pm</math> 61</b>

### Normalisation du calcium par le fer

Les valeurs du rapport Ca/Fe obtenues en St15 se distribuent entre 0,32 et 0,60 avec une moyenne de  $0,42 \pm 0,11$  et sont peu variables, les valeurs minimales et maximales correspondant aux prélèvements 011 (26-29 octobre) et 009 (18-21 octobre), respectivement. Ces ratios faibles confirment que l'influence terrigène est amplement dominante et constante (Figure 15).

Entre les différentes campagnes conduites à St15, la stabilité des ratios Ca/Fe moyens permet de constater que la forte influence terrigène persiste à cette station ; le ratio minimal, c'est-à-dire l'influence terrigène maximale, ayant été relevé lors de la campagne de janvier-mars 2014 (Tableau 19).

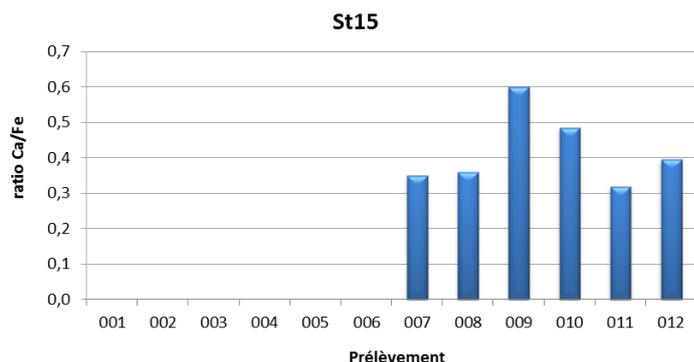


Figure 15 : Normalisation des concentrations en calcium par le fer mesurées dans la fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St15.

Tableau 19 : Compilation des données moyenne  $\pm$  écart-type de normalisation du calcium par le fer obtenues dans les fractions fines ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) de MES piégées lors des différentes campagnes d’immersion des pièges séquentiels à particules à St15.

St15			
Campagne	Ca/Fe	Campagne	Ca/Fe
Mars - Avr. 2007	0,30 (n=1)	Mai - Juil. 2016	0,46 $\pm$ 0,32
Janv. - Mars 2014	0,05 $\pm$ 0,08	Oct. – Nov. 2016	0,46 $\pm$ 0,05
Sept. – Oct. 2014	0,40 $\pm$ 0,02	Avr. – Mai 2017	0,45 $\pm$ 0,11
Janv. - Mars 2015	0,27 $\pm$ 0,11	<b>Sept. – Nov. 2017</b>	<b>0,42 <math>\pm</math> 0,11</b>
Juil. - Sept. 2015	0,48 $\pm$ 0,04	-	-

### 3. Canal de la Havannah (St60-NE)

#### Concentrations en métaux et calcium

Les plus fortes quantités en Co, Cr, Fe, Mn et Ni ont invariablement été enregistrées dans les particules piégées du 28 septembre-01 octobre (004), tandis que les faibles ont été mesurées sur plusieurs périodes, à savoir entre 18-29 octobre (009, 010 et 011) pour le Co, Cr et Ni, le 20-23 septembre (002) pour le Fe et 10-13 octobre (007) pour le Mn. Les teneurs maximale et minimale en Ca, quant à elles, ont été mesurées dans les MES piégées, respectivement, du 22-25 octobre (010) et du 06-09 octobre (006). Il est à noter que le Mn présente la plus grande variation des concentrations (Tableau 20).

La matrice de corrélation montre qu’une similarité certaine de l’évolution des concentrations massiques de Ni vis-à-vis de Co, Cr et Fe ( $R^2 > 0,80$ ) est réelle. Pour le Mn, les tendances sont à peine marquées, exception faite du couple Mn/Co. Inversement, aucun type de corrélation n’est constaté pour les métaux et le Ca (Tableau 21).

**Tableau 20 : 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	312 923	21,0	539	20 879	216	308
Max	349 502	32,0	676	25 465	1 183	403
Moyenne	322 239	23,8	589	22 557	361	335
Ecart-type	9 420	3,4	44	1 566	269	29
CV (%)	3	14	8	7	75	9

**Tableau 21 : 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	-0,269	-0,436	-0,110	-0,151	-0,314
Co		1	0,830	0,829	0,838	0,922
Cr			1	0,923	0,635	0,958
Fe				1	0,634	0,943
Mn					1	0,774
Ni						1

**Tableau 22 : Compilation des données moyenne  $\pm$  écart-type des concentrations en métaux et calcium obtenues dans les fractions fines ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges à St60-NE.**

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 $\pm$ 6,56	662 $\pm$ 72	20 959 $\pm$ 2 895	254 $\pm$ 123	423 $\pm$ 78
Sept. - Oct. 2012	345 918 $\pm$ 19 677	29,0 $\pm$ 4,97	566 $\pm$ 23	18 347 $\pm$ 1 641	189 $\pm$ 49	345 $\pm$ 68
Janv. - Mars 2013	306 914 $\pm$ 5 219	21,3 $\pm$ 2,55	834 $\pm$ 58	26 131 $\pm$ 2 022	262 $\pm$ 25	478 $\pm$ 39
Juil. - Août 2013	280 315 $\pm$ 16 630	35,5 $\pm$ 10,5	921 $\pm$ 179	32 693 $\pm$ 6 925	358 $\pm$ 93	558 $\pm$ 106
Avr. - Juin 2014	302 211 $\pm$ 9 477	19,6 $\pm$ 2,3	569 $\pm$ 41	17 740 $\pm$ 1 958	195 $\pm$ 32	322 $\pm$ 36
Sept. - Oct. 2014	313 173 $\pm$ 7 856	24,8 $\pm$ 3,8	725 $\pm$ 101	25 695 $\pm$ 4 668	204 $\pm$ 30	386 $\pm$ 64
Janv. - Mars 2015	325 637 $\pm$ 9 166	31,6 $\pm$ 6,5	848 $\pm$ 174	28 754 $\pm$ 5 415	329 $\pm$ 61	506 $\pm$ 95
Juil. - Sept. 2015	347 224 $\pm$ 3 5214	25,6 $\pm$ 3,8	702 $\pm$ 63	22 628 $\pm$ 2 287	298 $\pm$ 38	416 $\pm$ 41
Mai - Juil. 2016	279 965 $\pm$ 3 4471	25,9 $\pm$ 5,2	439 $\pm$ 51	22 735 $\pm$ 2 589	251 $\pm$ 35	365 $\pm$ 52
Oct. - Nov. 2016	342 228 $\pm$ 27 452	17,1 $\pm$ 1,5	461 $\pm$ 33	17 288 $\pm$ 1 125	143 $\pm$ 16,3	252 $\pm$ 17,2
Avr. - Mai 2017	349 128 $\pm$ 7 429	33,2 $\pm$ 5,87	643 $\pm$ 58,9	19 309 $\pm$ 2 487	302 $\pm$ 76,9	397 $\pm$ 32,1
<b>Sept. - Nov. 2017</b>	<b>322 239 <math>\pm</math> 9 420</b>	<b>23,8 <math>\pm</math> 3,4</b>	<b>589 <math>\pm</math> 44</b>	<b>22 557 <math>\pm</math> 1 566</b>	<b>361 <math>\pm</math> 269</b>	<b>335 <math>\pm</math> 29</b>

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 2017 sont environ 2 à 3 fois supérieures à celles enregistrées en

2007 pour l'état de référence. Pour le Cr et Fe, et dans un moindre mesure le Ni, les niveaux demeurent tout de même largement inférieurs à ceux mesurés en juillet-août 2013, campagne qui est à ce jour celle qui présente les concentrations métalliques les plus hautes à St60-NE (Tableau 22).

### Normalisation du calcium par le fer

Les valeurs du rapport Ca/Fe obtenues en St60-NE se distribuent entre 12,5 et 15,8 avec une moyenne de 14,4 ± 1,1 ; la plus basse valeur ayant été obtenue lors des prélèvements du 28 septembre-01 octobre (004) et la plus forte du 26-29 octobre (010). Ces ratios élevés confirment que l'influence marine est largement dominante corroborant ainsi les résultats de teneurs en carbonates (Figure 16).

Entre les différentes campagnes conduites à St60-NE, les évolutions du ratio Ca/Fe moyen permettent de constater que l'influence terrigène a augmenté à cette station depuis la campagne de l'état de référence en 2007 ; le ratio minimal ayant été relevé lors de la campagne de juillet-août 2013. Depuis, les valeurs sont stables avec une moyenne de 15,1 ± 2,8 (Tableau 24).

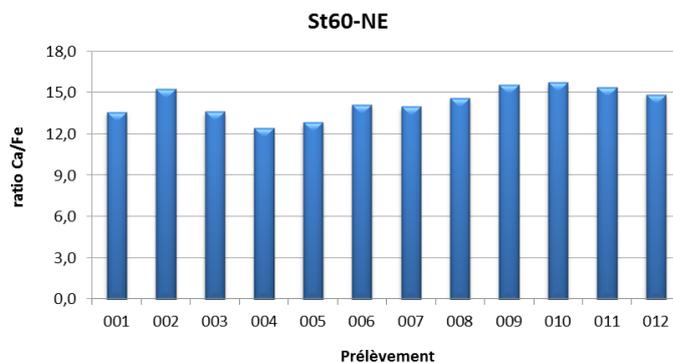


Figure 16 : Normalisation des concentrations en calcium par le fer mesurées dans la fraction fine ( $\phi < 41 \mu\text{m}$ ) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

Tableau 23 : Compilation des données moyenne ± écart-type 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)	Sept. - Oct. 2014	12,5 ± 1,8
Juil. - Août 2011	ND	Janv. - Mars 2015	11,7 ± 2,2
Janv. - Mar 2012	14,3 ± 2,4	Juil. - Sept. 2015	15,4 ± 1,5
Sept. - Oct. 2012	19,0 ± 2,7	Mai - Juil. 2016	12,5 ± 2,4
Janv. - Mars 2013	11,8 ± 1,0	Oct. - Nov. 2016	19,8 ± 1,2
Juil. - Août 2013	9,0 ± 2,3	Avr. - Mai 2017	18,4 ± 2,4
Avr. - Juin 2014	17,2 ± 1,8	<b>Sept. - Nov. 2017</b>	<b>14,4 ± 1,1</b>

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

### Concentrations en soufre

Les concentrations en S dans la fraction fine ( $\phi < 41 \mu\text{m}$ ) des MES collectées en St60-NE se distribuent entre 2527 mg/kg ps et 3240 mg/kg ps avec une moyenne de 2816 ± 238 mg/kg ps. Elles évoluent peu ; la plus forte et la plus faible concentration ayant été mesurées, respectivement, le 18-21 octobre (009) et 28 septembre-01 octobre (004) (Figure 17).

Entre les différentes campagnes conduites à St60-NE, les concentrations moyennes en S montrent peu de variations. Toutefois, les comparaisons démontrent que depuis les campagnes d'avril-juin 2014, les concentrations obtenues en S ont diminué. La campagne de 2014 est à ce jour celle qui présente les concentrations en S les plus hautes à St60-NE. Depuis, les concentrations moyennes calculées sont du même ordre de grandeur (Tableau 24).

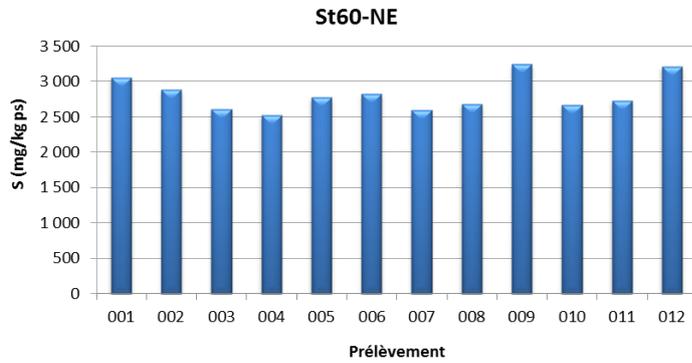


Figure 17 : Concentrations en soufre mesurées dans la fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) des 10 prélèvements de MES collectés par le piège séquentiel à particules à St60-NE.

Tableau 24 : Compilation des moyenne  $\pm$  écart-type 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	Sept. - Oct. 2014	2 805 $\pm$ 161
Juil. - Août 2011	ND	Janv. - Mars 2015	2 887 $\pm$ 74
Janv. - Mars 2012	2 903 $\pm$ 183	Juil. - Sept. 2015	2 776 $\pm$ 168
Sept. - Oct. 2012	3 001 $\pm$ 131	Mai - Juil. 2016	2 746 $\pm$ 83
Janv. - Mars 2013	3 113 $\pm$ 284	Oct. - Nov. 2016	2639 $\pm$ 503
Juil. - Août 2013	2 656 $\pm$ 556	Avr. - Mai 2017	2808 $\pm$ 118
Avr. - Juin 2014	3 812 $\pm$ 834	<b>Sept. - Nov. 2017</b>	<b>2 816 <math>\pm</math> 238</b>

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

## IV. INTERPRETATION

### A. INFLUENCE DES FACTEURS METEOROLOGIQUES

Les quantités de MES collectées et les concentrations en éléments sont influencées par les taux de précipitations (phénomène d'érosion des bassins versants) et/ou l'action mécanique induite par les conditions météorologiques telles que la direction et la force des vents (phénomène de remise en suspension). Selon les stations suivies, les Figure 18, Figure 19 et Figure 20 apportent une vue d'ensemble afin de tenter d'expliquer les différents épisodes et les observations marquantes en rapport avec les conditions hydro-climatiques.

#### 1. Baie Kwé (St06-KW1)

L'immersion du piège à particules séquentiel à St06-KW1 du 16 septembre au 02 novembre avec un pas de temps de 96 h a permis de révéler les observations suivantes (Figure 18) :

- Du 16-19 septembre (001) au 14-17 octobre (008) - les quantités de MES piégées sont faibles et n'évoluent guère entre les 8 premières périodes de collecte. *A contrario*, les concentrations de Ni et les ratios Ca/Fe évoluent de manière contrastée ; les plus fortes concentrations et les plus faibles ratios ayant été, respectivement, mesurés dès le première pas de collecte (16-19 septembre ; 001). Tandis que les concentrations de Ni se stabilisent dès le deuxième pas de prélèvement (20-23 septembre ; 002), les ratios Ca/Fe montrent une tendance à la hausse pour atteint la valeur maximale le 14-18 octobre (008). Ces périodes correspondent à de régimes météorologiques stables avec des précipitations nulles à faibles (< 3,0 mm) et des vents d'intensité faible à modérée (< 9 m/s). Ce n'est qu'à partir du 17 octobre que les vents se lèvent et la vitesse de 12,9 m/s est atteinte. Les régimes de vents sont quant à eux principalement du secteur E-SE (alizé), notamment entre 02-17 octobre (005-008). Seules les incursions au N et à l'O lors des deux rotations associées aux prélèvements 003 et 004 (24-27 septembre et 28 octobre-01 octobre, respectivement) perturbent cette période de stabilité météorologique.
- Du 18-21 octobre (009) au 30 octobre-02 novembre (012) – les 18-21 octobre (009), la quantité de MES piégées sextuple (6x) puis se réduit de moitié le 22-25 octobre (010). Lors de ces prélèvements, les conditions météorologiques se sont dégradées avec de forts vents de, respectivement, plus 50 et 30 m/s soufflant de N-NE ; une combinaison de conditions qui semble avoir réduit le transfert du Ca et, dans une moindre mesure, favorisé le transfert de matière terrigène à la station St06-KW1. En effet, tandis que les ratios de Ca/Fe ont diminué, les concentrations de Ni demeurent invariables. Par la suite, ces trois variables analytiques (MES, Ni et Ca/Fe) sont restées stables en dépit des vents de S-SO (< 4,0 m/s) enregistrés lors du prélèvement 010 et 011 et un épisode de précipitations (43,0 mm) contemporain du prélèvement 012. Ces précipitations, arrivées les derniers jours d'échantillonnage, sont associées aux vents de secteur E de faible intensité.

Pour cette campagne, marquée par des conditions hydro-climatiques exceptionnelles (sécheresse et épisodes venteux), peu de corrélation est mise en évidence entre le flux des particules et les facteurs météorologiques ; les vents forts du secteur N ne contribueraient pas au déplacement des masses d'eaux enrichies en particules carbonatées à la St06. A la lumière des observations recueillies lors des études antérieures où les conditions

météorologiques ont été bien plus contrastées et en raison de sa géomorphologie (située dans un étroit chenal formé entre des récifs enserrant la Baie Kwé et ouvert vers le sud), le flux de particules :

- **d'origine terrigène** est influencé par l'effet combiné de la direction du vent et sa vitesse. Les vents de secteur S-SO d'intensité modérée ont pour effet de remobiliser des particules terrigènes sédimentées ou défavoriser l'expansion du panache qui sera confiné en fond de baie. *A contrario*, les vents des secteurs E, N et O ne favorisent pas la formation d'un clapot suffisant pour engendrer des remises en suspension des particules déposées en fond de baie. Bien que cet apport puisse également être conditionné par les précipitations, son transfert jusqu'à la St06-KW1 dépend étroitement des régimes des vents. La récente étude de modélisation hydrodynamique a démontré que sous l'action d'un alizé modéré de 6 m/s, les panaches terrigènes provenant du Creek de la Baie Kwé peuvent rester confinés en fond de baie et sur le platier ouest, n'atteignant qu'épisodiquement le chenal où se situe la station St06 (Drouzy, 2016). Toutefois et de manière inattendue, l'épisode venteux du 18-19 octobre de secteur N semble indiquer que l'intensité du phénomène a eu des conséquences importantes aussi sur la remise en suspension des sédiments de la baie.
- **d'origine marine** est favorisé 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 micro-organismes marins, comme les foraminifères. Par ailleurs, les vents de secteur S sont également capables de mettre en suspension les particules grossières, conséquence de l'altération mécanique du platier corallien qui borde la Baie Kwe par la houle créée par effet mécanique.

**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).

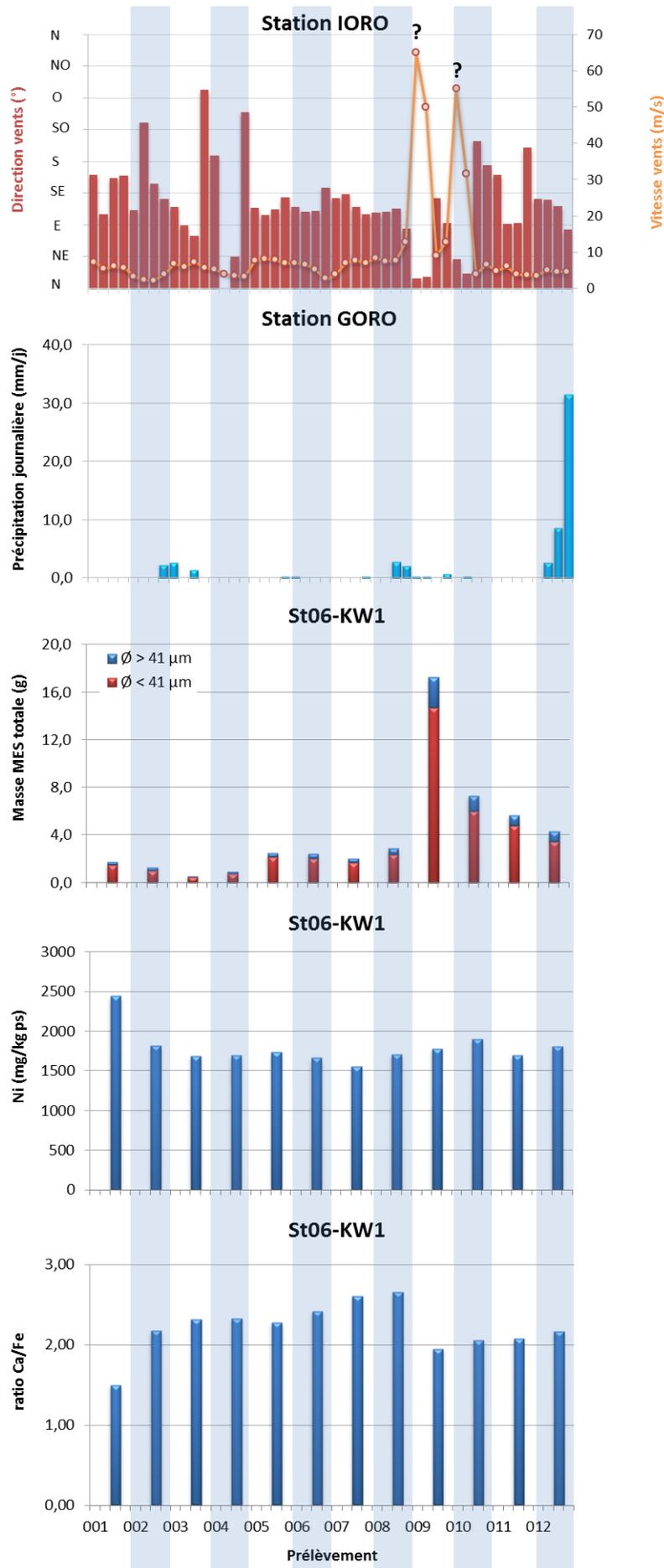


Figure 18 : Diagramme combiné de direction et vitesse moyenne journalière des vents, cumul journalier de précipitations, de masse totale de MES piégées, la composition en fraction fine ( $\phi < 41 \mu\text{m}$ ) et la fraction grossière ( $\phi > 41 \mu\text{m}$ ) ainsi que de concentration en nickel et le ratio Ca/Fe mesurés dans les fractions fines piégées à St06-KW1.

## 2. Rade Nord de Prony (St15)

---

L'immersion du piège à particules séquentiel à St15 du 16 septembre au 02 novembre avec un pas de temps de 96 h a permis de révéler les observations suivantes (Figure 19) :

- Du 16-19 septembre (001) au 06-09 octobre (006) - durant cette période, les quantités de MES piégées sont infinitésimales et les 6 pas de collecte correspondent à des précipitations nulles à faibles (< 3,0 mm) et des vents d'intensité faible à modérée (< 9 m/s), principalement des alizés. Pendant le prélèvement du 24-27 septembre (003), les vents amorcent une rotation par le secteur E à l'O. Le 28 octobre-01 octobre (004), ils reviennent brièvement au S et tournent au N, puis à SO. Ces rotations de vents n'ont pourtant pas eu de conséquences sur le flux des particules collectées. A partir du 02 octobre (005) les vents s'installent dans le secteur des alizés. Contenant peu de matière, les analyses élémentaires n'ont pas pu être effectuées.
- Du 10-13 octobre (007) au 18-21 octobre (009) – le temps est sec et les alizés stables perdurent jusqu'à la collecte du 14-17 octobre (008) et semblent mobiliser les fonds sédimentaires de manière importante. La collecte du 10-13 octobre (007) correspond ainsi à une soudaine hausse de la quantité de MES (facteur de 4). Cette hausse se poursuit avec les prélèvements 008 et 009 et s'accompagne de l'augmentation des ratios de Ca/Fe ce qui traduit une augmentation de l'influence marine ; la valeur maximale ayant été relevée dans le prélèvement du 18-21 octobre (009). Les concentrations de Ni quant à elles demeurent immuables entre ces 3 pas de collecte. Il est à noter que le 18 et 19 octobre (009) le temps se dégrade, les vents tournent au N-NE et soufflent à plus de 50 m/s pour revenir aux alizés modérés le 20 et 21 octobre (009).
- Du 22-25 octobre (010) au 30 octobre-02 novembre (012) – ces 3 périodes de collecte sont marquées par une diminution des quantités de MES piégées, accompagnées par une diminution graduelle des ratios de Ca/Fe tandis qu'aucune évolution n'est constatée pour les concentrations de Ni. Le 22 et 23 octobre (010), le temps se dégrade à nouveau avec des vents du secteur NE à N-NE à plus de 30 m/s. Puis les alizés faibles s'installent rapidement et durablement, excepté des courtes incursions de vents au secteur S-SO (< 4,0 m/s) enregistrées lors du prélèvement 010 et 011. En ce qui concerne le prélèvement du 30 octobre-02 novembre (012), il correspond à la seule période de précipitations enregistrées depuis le début de l'étude. Ces précipitations, arrivées les derniers jours d'échantillonnage, sont associées aux vents faibles d'intensité de secteur E.

Pour cette campagne, marquée par des données analytiques incomplètes (manque de matière) et par des conditions hydro-climatiques exceptionnelles (sécheresse et épisodes venteux), peu de corrélation entre le flux des particules et les facteurs météorologiques se dégage. Toutefois, l'apport marin à St15, bien que modique, est probablement favorisé par les vents de secteur N et/ou par la lente dynamique de renouvellement des masses d'eau dans la Rade Nord. A la lumière des observations recueillies lors des études antérieures où les conditions météorologiques ont été bien plus contrastées et en raison de sa géomorphologie (étant située au droit de l'embouchure du Creek de la Rade Nord au fond de la Baie du Prony et en contrebas d'un talus formé d'une couche de sédiment fluide non consolidée) le flux de particules :

- **d'origine terrigène** est particulièrement 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 lessivées à l'emplacement du piège est cependant dépendant de l'action des régimes de vents ; ceux du secteur SE plaqueraient le panache le long de la ligne de côte nord de la baie, contrairement aux vents de SO qui favoriseraient le transport de ces particules vers le piège. Les vents forts d'un large secteur S, de S-SO à S-SE, peuvent également remettre en suspension les particules

légères déposées par faible profondeur (3 m) sur le haut du talus. Les vents de composante O, quant à eux, peuvent remobiliser plus en profondeur les particules moins riches en Ni déposés sur le talus.

- **d'origine marine**, en général est peu présent à cette station. En effet, les valeurs de ratios Ca/Fe obtenues sont à la fois faibles et homogènes. L'apport marin à cette station, bien que peu significatif, est principalement engendré par les vents de secteur N mais également par les vents d'O faibles à modérés qui apportent des tests carbonatés du large.

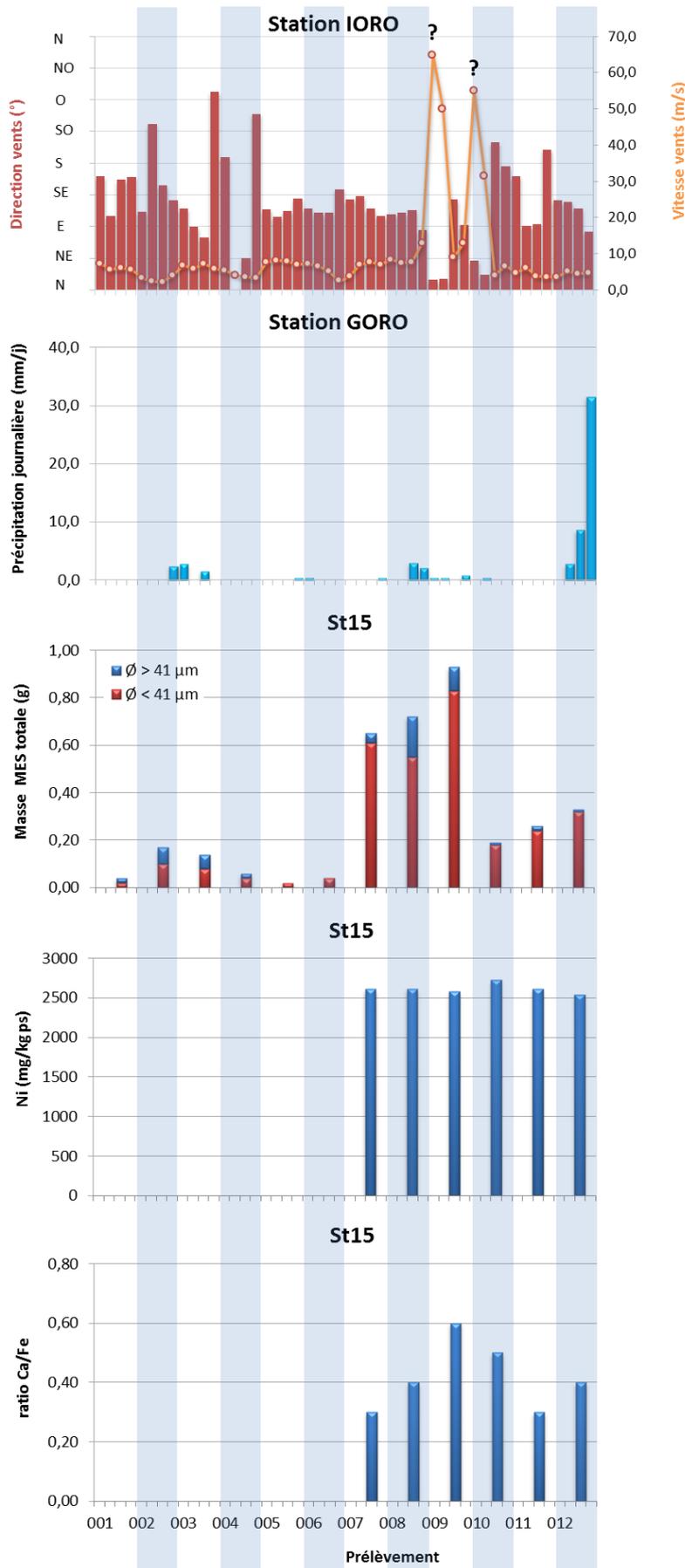


Figure 19 : Diagramme combiné de direction et vitesse moyenne journalière des vents, cumul journalier de précipitations, de masse totale de MES piégées, la composition en fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) et la fraction grossière ( $\varnothing > 41 \mu\text{m}$ ) ainsi que de concentration en nickel et le ratio Ca/Fe mesurés dans les fractions fines piégées à St15.

### 3. Canal de la Havannah (St60-NE)

L'immersion du piège séquentiel à particules à St60-NE du 16 septembre au 02 novembre, avec un pas de temps de 96 h a permis de révéler les observations suivantes (Figure 20) :

- Du 16-19 septembre (001) au 14-17 octobre (008) – les quantités de MES piégées sont faibles et montrent peu d'évolution entre les prélèvements ce qui est le reflet de conditions météorologiques relativement stables lors de ces 8 périodes de collecte : temps sec (< 3,0 mm de pluviométrie) et régimes de vents d'intensités faibles à modérés (< 9,0 m/s), principalement orientés au secteur E-SE (alizés) pour tourner au N le 28 septembre, après des incursions l'O (24-27 septembre ; 003) et puis aux secteurs S à O-SO (28 septembre-01 octobre ; 004). Pour l'ensemble de cette période de collecte, une évolution des concentrations en éléments (Ca, Fe et Ni) a été perceptible ; le Ni (tout comme Co et surtout Mn) atteint sa concentration maximale pour le prélèvement 004, la masse collectée et le ratio Ca/Fe sont à leur minimum, les vents de N étant probablement à l'origine du transport de particules à caractère terrigène.
- Du 18-21 (009) au 30 octobre-02 novembre (012) – pour ces 4 derniers pas de collecte, les concentrations de Ni sont stables tandis que les quantités de MES piégées ont fortement évolué et dans une moindre mesure, les ratios de Ca/Fe également. Les 18-21 octobre (009), la quantité de MES piégée triple puis diminue de moitié le 22-25 octobre (010) pour sextupler (6x) entre le 26-29 octobre (011) et le 30 octobre-02 novembre (012). Les ratios de Ca/Fe quant à eux, atteignent leurs maxima. Lors de ces prélèvements, les conditions météorologiques se sont dégradées donnant des vents forts de plus de 30 m/s soufflant de N-NE. Pour les deux dernières périodes de collecte, une faible rotation des vents survient le 26-29 octobre (011) et des précipitations notables sont observées (43,0 mm) le 30 octobre-02 novembre (012). Les importantes quantités de MES observées pour les prélèvements 009 et 012 devraient être la conséquence de phénomènes distincts, cependant, les analyses ne permettent pas de les distinguer clairement ; seuls les ratios Ca/Fe montrent une légère baisse, alors que la concentration de Ni demeure constante.

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 régi par d'autres mécanismes tels que les marées et les courants. En raison de sa géomorphologie (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. En ce qui concerne les régimes de vents, peu de corrélation claire n'a pu être établie entre ce dernier et les apports terrigènes. Toutefois, des vents d'un large secteur S-SO génèrent une houle suffisante qui peut mettre/remettre en suspension des MES, tout le long de la ligne de côte, en fonction de sa durée et intensité. Ces particules peuvent probablement finir par atteindre des aires éloignées de la ligne de côte, au gré des phénomènes de marées, mais en faible quantité.
- **d'origine marine** semble, *à priori* d'après les ratios Ca/Fe obtenus, pas ou peu influencé par des régimes de vents. D'après les campagnes précédentes, cette influence serait avantagée par les vents du secteur E à SE qui balayent le complexe système récifal et favorisent la circulation des eaux enrichies en tests de micro-organismes. D'après cette deuxième campagne 2017, les forts vents du N-NE sembleraient être également propices au transfert de matière carbonatée à la station St60-NE.

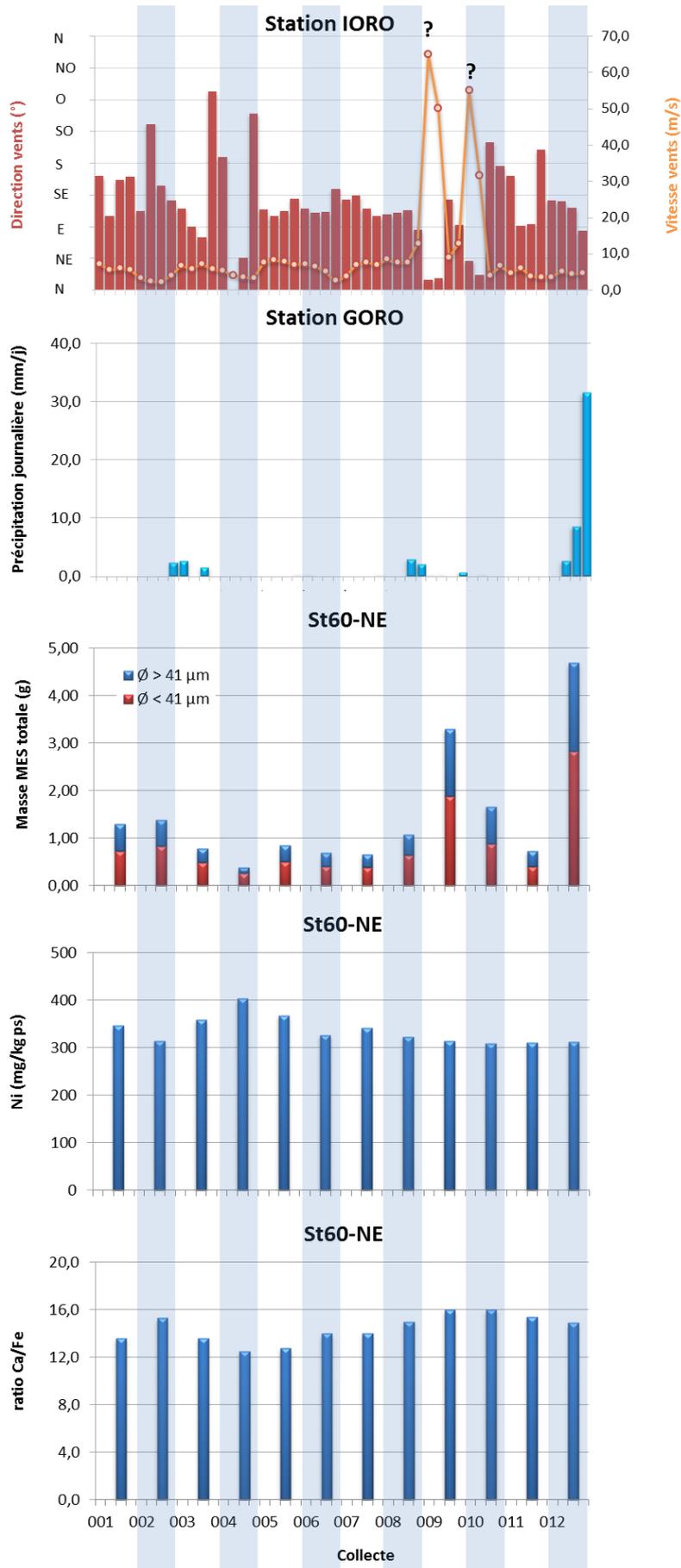


Figure 20 : Diagramme combiné de direction et vitesses moyenne journalière des vents, cumul journalier de précipitation, de masse totale de MES piégées, la composition en fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) et la fraction grossière ( $\varnothing > 41 \mu\text{m}$ ) ainsi que de concentration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

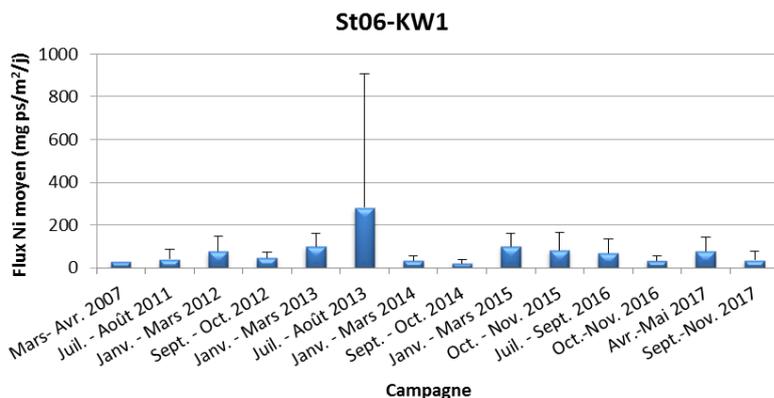
La densité de flux moyen mesurée lors de cette campagne est de  $20,4 \pm 23,0$  g/m<sup>2</sup>/j, valeur qui reste dans le même ordre de grandeur que celle enregistrée en 2006 pour l'état de référence. Entre les différentes campagnes, les densités moyennes de flux peuvent varier fortement sans montrer une tendance particulière (Tableau 25).

**Tableau 25 : Compilation des moyenne  $\pm$  écart-type des flux en matière particulaire totale et des cumuls de masses de MES total piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St60-KW1.**

St06-KW1					
Campagne	Densités de flux de MES (g/m <sup>2</sup> /j)	Cumul de masse de MES piégées (g/m <sup>2</sup> )	Campagne	Densités de flux de MES (g/m <sup>2</sup> /j)	Cumul de masse de MES piégées (g/m <sup>2</sup> )
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	<b>Sept. - Nov. 2017</b>	<b>20,4 <math>\pm</math> 23,0</b>	<b>979</b>
Janv. - Mars 2014	60,7 $\pm$ 34,1	2 914	-	-	-

#### Eléments métalliques

Illustré par le cas du Ni, les flux métalliques moyens lors de cette campagne sont de  $36,5 \pm 41,3$  mg ps/m<sup>2</sup>/j. D'une campagne à l'autre, les valeurs moyennes varient fortement, le flux maximum a été calculé pour juillet-août 2013 ( $282 \pm 626$  mg ps/m<sup>2</sup>/j). Ensuite, les flux en Ni diminuent fortement et ne dépassent pas le seuil de 102 mg ps/m<sup>2</sup>/j. Ils sont en baisse progressive depuis janvier-mars 2015 (Figure 21).



**Figure 21 : Compilation des moyenne  $\pm$  écart-type des flux en nickel dans les fractions fines ( $\phi < 41 \mu\text{m}$ ) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St60-KW1.**

## 2. Rade Nord de Prony (St15)

### Flux de matière en suspension

La densité de flux moyen mesurée lors de cette campagne est de  $5,95 \pm 6,08 \text{ g/m}^2/\text{j}$ . Entre les différentes campagnes conduites à St15, les densités moyennes de flux sont variables. Pour cette campagne 2017 la moyenne est environ 6 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 est à mettre en lien avec les précipitations, elles aussi exceptionnelles (920,2 mm) (Tableau 3 ; Tableau 26).

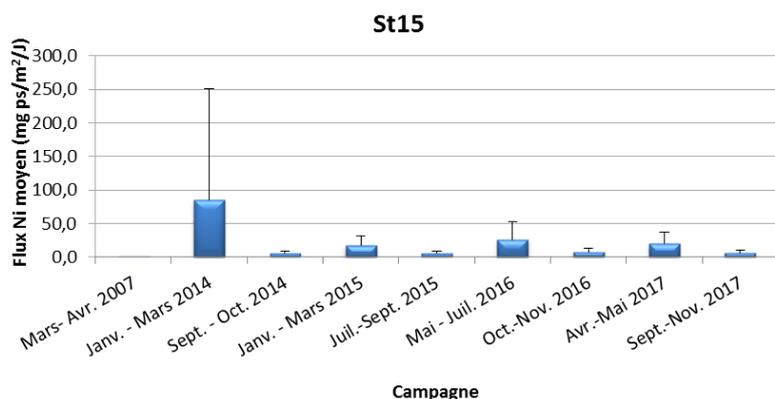
**Tableau 26 : Compilation des moyenne  $\pm$  écart-type des flux en matière particulaire total et des cumuls de masses de MES totales piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St15.**

St15					
Campagne	Densités de flux de MES ( $\text{g/m}^2/\text{j}$ )	Cumul de masse de MES piégés ( $\text{g/m}^2$ )	Campagne	Densités de flux de MES ( $\text{g/m}^2/\text{j}$ )	Cumul de masse de MES piégés ( $\text{g/m}^2$ )
Oct. – Nov. 2006	$1,05 \pm 0,64$	25,2	Juil. - Sept. 2015	$1,31 \pm 1,34$	62,7
Mars - Avr. 2007	$1,55 \pm 1,45$	37,1	Mai - Juil. 2016	$8,67 \pm 7,44$	416
Janv. - Mars 2014	$22,2 \pm 44,5$	1 063	Oct. – Nov. 2016	$2,19 \pm 2,48$	105
Sept. – Oct. 2014	$0,91 \pm 1,23$	43,8	Avr.- Mai 2017	$8,05 \pm 5,78$	386
Janv. - Mars 2015	$2,78 \pm 2,98$	134	<b>Sept. – Nov. 2017</b>	<b><math>5,95 \pm 6,08</math></b>	<b>71</b>

- : pas de campagne.

### Éléments métalliques

Illustré par le cas du Ni, les flux métalliques moyens lors de cette campagne sont de  $6,70 \pm 3,79 \text{ mg ps/m}^2/\text{j}$ . Entre les campagnes, les valeurs moyennes montrent une très forte variation. Ainsi, en janvier-mars 2014, la valeur moyenne est maximale ( $86 \pm 165 \text{ mg ps/m}^2/\text{j}$ ) puis, elle diminue et demeure en dessous du seuil de  $27,0 \text{ mg ps/m}^2/\text{j}$ . La valeur extrême maximale de 2014 est à relier avec la pluviométrie exceptionnelle de 920,2 mm mesurée lors de la campagne (Tableau 3 ; Figure 22).



**Figure 22 : Compilation des moyenne  $\pm$  écart-type des flux en nickel dans les fractions fines ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St15.**

## 3. Canal de la Havannah (St60-NE)

### Flux de matière en suspension

La densité de flux moyen mesurée lors de cette campagne est de  $7,28 \pm 6,36 \text{ g/m}^2/\text{j}$ . Entre les différentes

campagnes, les densités moyennes de flux sont également variables. Les comparaisons montrent également que les moyennes obtenues depuis 2012 demeurent inférieures à celle enregistrée en 2007 pour l'état de référence (Tableau 27).

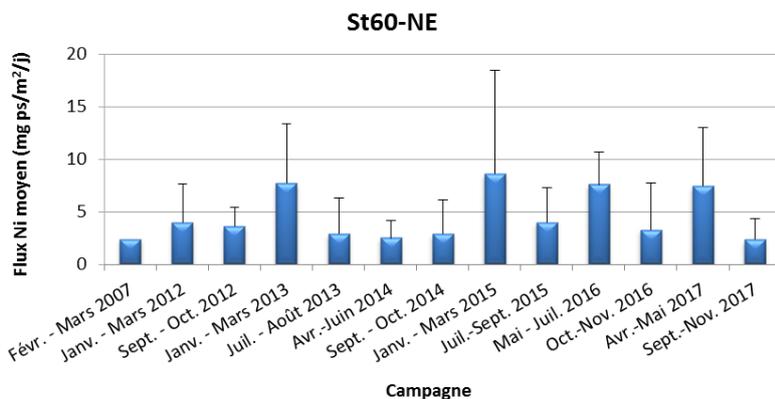
**Tableau 27 : Compilation des moyenne ± écart-type des flux en matière particulaire totale et des cumuls de masses de MES totales piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St60-NE.**

St60-NE					
Campagne	Densités de flux de MES (g/m <sup>2</sup> /j)	Cumul de masse de MES piégés (g/m <sup>2</sup> )	Campagne	Densités de flux de MES (g/m <sup>2</sup> /j)	Cumul de masse de MES piégés (g/m <sup>2</sup> )
Févr. - Mars 2007	31,6 ± 40,1	949	Sept. - Oct. 2014	8,13 ± 9,08	390
Juil. - Août 2011	ND	ND	Janv. - Mars 2015	16,0 ± 15,6	766
Janv. - Mar 2012	9,61 ± 8,87	461	Juil. - Sept. 2015	9,88 ± 9,20	474
Sept. - Oct. 2012	4,10 ± 5,39	197	Mai - Juil. 2016	17,1 ± 10,2	822
Janv. - Mars 2013	12,6 ± 13,6	603	Oct. - Nov. 2016	11,1 ± 17,6	535
Juil. - Août 2013	5,85 ± 7,09	281	Avr. - Mai 2017	15,5 ± 14,2	745
Avr. - Juin 2014	7,43 ± 5,05	356	<b>Sept. - Nov. 2017</b>	<b>7,28 ± 6,36</b>	<b>350</b>

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

### Eléments métalliques

Les flux moyens de Ni lors de cette campagne sont seulement de 2,36 ± 1,95 mg ps/m<sup>2</sup>/j, valeur comparable 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 le seuil de 5,00 mg ps/m<sup>2</sup>/j (Figure 23).



**Figure 23 : Compilation des moyenne ± écart-type des flux en nickel dans les fractions fines (Ø < 41 µm) 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 second semestre de 2017 s'est déroulée du 16 septembre au 02 novembre 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. D'après les précédentes campagnes où les conditions hydro-climatiques ont été bien plus variables, la quantité et la nature de matière piégée est majoritairement influencée par les variations de direction et vitesse du vent, entraînant courants et clapot et dans une moindre la mesure, par l'intensité des précipitations. Pour cette campagne, peu de tendance se dégage entre les paramètres météorologiques et les flux de particules. La station ne semble pas avoir subi des influences terrigènes et marines alternées, comme souvent observées. Globalement, depuis 2007 (état de référence), 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 les densités du flux en Ni les plus hautes à St06-KW1.
- Les particules terrigènes piégées à la station St15 proviennent probablement de différents termes sources différenciables par les compositions en Fe et Mn. Cette observation concorde avec celle relevée à la même station pour Fe et Mn lors des campagnes précédentes (Kumar-Roiné *et al.*, 2017). La St15 se trouve donc dans une zone de convergence de plusieurs petits bassins versants où alternent les termes sources des apports terrigènes. Pour cette campagne, peu de tendance se dégage entre les paramètres météorologiques et les flux de particules ; les analyses élémentaires en raison de matière insuffisante n'ont pu être effectuées sur tous les prélèvements. D'après les précédentes campagnes où les conditions hydro-climatiques ont été bien plus variables, l'effet combiné des précipitations et de la direction de vents a pour conséquence d'étendre ou de confiner la couche turbide issue du Creek, en direction ou à l'opposé de la station de mouillage du piège. Par ailleurs, en période sèche, l'action remobilisatrice des vents engendre la remise en suspension des particules latéritiques sédimentées en fond de Rade ou sur le talus. Les concentrations en métaux latéritiques (exemple de Ni) restent particulièrement stables entre les pas de prélèvements, ce qui pourrait être expliqué par la latence 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, d'après les précédentes campagnes, 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 n'a pu 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, contribuent, plus ou moins directement, à l'alimentation en apports terrigènes et marins. En dépit d'une empreinte forte océanique, depuis 2007 (état de référence), les ratios moyens Ca/Fe ont évolué vers une influence grandissante du terme source terrigène. Cette observation est étayée par les augmentations des valeurs moyennes des concentrations en métaux. Cette hausse semble liée à un ensemble de mécanismes qu'il n'est pas encore pertinent d'explicitier (érosion de la côte, contribution des rejets de l'émissaire marin?). A noter, la campagne de juillet-août 2013 présente à ce jour les concentrations métalliques les plus hautes à St60-NE. En ce qui concerne les concentrations de Ca et S à St60-NE, aucune trace d'enrichissement anormal n'est discernée permettant de déceler l'influence de l'effluent.

Cette campagne ne corrobore pas 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. Les conditions météorologiques régnantes pendant cette campagne qui ont été relativement stables et particulièrement sèches pourraient en être l'explication.

## 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 1<sup>er</sup> semestre 2017. Période d'avril à mai 2017. Contrat AEL/Vale-NC138-VI-17-P/E98084/0003, 69p.

## LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES STATIONS DE PRELEVEMENT DU SUIVI DES FLUX VERTICAUX DE PARTICULES DANS LA ZONE D'INFLUENCE DE L'USINE DE VALE-NC (LE TRAIT ROUGE REPRESENTA LE DIFFUSEUR), .....	9
FIGURE 2 : EMPREINTE TYPE DE L'EFFLUENT PAR MARQUAGE A LA RHODAMINE-WT POUR DES CONDITIONS COURANTOLOGIQUES DE MI-MAREES DE MORTE-EAU (GAUCHE) ET DE VIVE-EAU (DROITE) AU NIVEAU DE LA STATION ST60-SW. ....	10
FIGURE 3 : CUMUL JOURNALIER DE PRECIPITATIONS ET EVOLUTION DE LA VITESSE ET DE LA DIRECTION DES VENTS (MOYENNE JOURNALIERE) POUR LA PERIODE DU 16 SEPTEMBRE AU 02 NOVEMBRE 2017. ....	13
FIGURE 4 : 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. ....	15
FIGURE 5 : POURCENTAGE DES FRACTIONS FINES ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) ET DES FRACTIONS GROSSIERES ( $\varnothing > 41 \mu\text{M}$ ) DANS LES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST06-KW1. ....	15
FIGURE 6 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DE LA FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DES 10 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST06-KW1. ....	16
FIGURE 7 : TENEURS EN CARBONATES CONTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST06-KW1. ....	17
FIGURE 8 : MASSE TOTALE DE MES PIEGEES ET COMPOSITION EN FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) ET FRACTION GROSSIERE ( $\varnothing > 41 \mu\text{M}$ ) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST15. ....	18
FIGURE 9 : POURCENTAGE DES FRACTIONS FINES ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) ET DES FRACTIONS GROSSIERES ( $\varnothing > 41 \mu\text{M}$ ) DANS LES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST15. ....	18
FIGURE 10 : TENEURS EN CARBONATES CONTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DES 6 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST15. ....	20
FIGURE 11 : 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. ....	20
FIGURE 12 : 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. ....	21
FIGURE 13 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DE LA FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DES 2 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST60-NE. ....	22
FIGURE 14 : TENEURS EN CARBONATES CONTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DES 10 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST60-NE. ....	23
FIGURE 15 : NORMALISATION DES CONCENTRATIONS EN CALCIUM PAR LE FER MESUREES DANS LA FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST15. ....	28
FIGURE 16 : NORMALISATION DES CONCENTRATIONS EN CALCIUM PAR LE FER MESUREES DANS LA FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST60-NE. ....	30
FIGURE 17 : 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. ....	31
FIGURE 18 : 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. ....	34
FIGURE 19 : 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. ....	37

FIGURE 20 : DIAGRAMME COMBINE DE DIRECTION ET VITESSES 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..... 39

FIGURE 21 : COMPILATION DES MOYENNE  $\pm$  ECART-TYPE DES FLUX EN NICKEL DANS LES FRACTIONS FINES ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A ST60-KW1. .... 40

FIGURE 22 : COMPILATION DES MOYENNE  $\pm$  ECART-TYPE DES FLUX EN NICKEL DANS LES FRACTIONS FINES ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A ST15. .... 41

FIGURE 23 : COMPILATION DES MOYENNE  $\pm$  ECART-TYPE DES FLUX EN NICKEL DANS LES FRACTIONS FINES ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A ST60-NE. .... 42

## 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. ....	10
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.....	14
TABLEAU 4 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE ± ECART-TYPE DE LA MES TOTALE, DES POURCENTAGES DE FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) ET DE LA TENEUR EN CARBONATES DANS LA FRACTION FINE LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St06-KW1.....	15
TABLEAU 5 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE ± ECART-TYPE DE LA DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DANS LA FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DES MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St06-KW1... ..	16
TABLEAU 6 : COMPOSITION MINERALOGIQUE DE LA FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DES 10 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St06-KW1. ....	17
TABLEAU 7 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE ± ECART-TYPE DE LA MES TOTALE, DU POURCENTAGE DE FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) ET DE LA TENEUR EN CARBONATES DANS LA FRACTION FINE LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St15. ....	19
TABLEAU 8 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE ± ECART-TYPE DE LA MES TOTALE, DU POURCENTAGE DE FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) ET DE LA TENEUR EN CARBONATES DANS LA FRACTION FINE LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St60-NE.....	21
TABLEAU 9 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE ± ECART-TYPE DE LA DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DE LA FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St60-NE. ....	22
TABLEAU 10 : COMPOSITION MINERALOGIQUE DE LA FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DES 2 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St60-NE. ....	23
TABLEAU 11 : 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. ....	24
TABLEAU 12 : 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. ....	24
TABLEAU 13 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE ± ECART-TYPE DES CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St06.....	25
TABLEAU 14 : 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. ....	25
TABLEAU 15 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE ± ECART-TYPE DE NORMALISATION DU CALCIUM PAR LE FER OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES A St06-KW1. ....	26
TABLEAU 16 : CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM OBTENUES (MOYENNES, ECART-TYPES ET VALEURS EXTREMES) DANS LES FRACTIONS FINES ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St15. ....	27
TABLEAU 17 : MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS DES CONCENTRATIONS DE METAUX ET DU CALCIUM OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DES 8 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St15. ....	27
TABLEAU 18 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE ± ECART-TYPE DES CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St15.....	27

TABLEAU 19 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE ± ECART-TYPE DE NORMALISATION DU CALCIUM PAR LE FER OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A PARTICULES A ST15. .... 28

TABLEAU 20 : 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..... 29

TABLEAU 21 : 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..... 29

TABLEAU 22 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE ± ECART-TYPE DES CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES A St60-NE. .... 29

TABLEAU 23 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE ± ECART-TYPE DE NORMALISATION DU CALCIUM PAR LE FER OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DE MES COLLECTEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A PARTICULES A St60-NE. .... 30

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

TABLEAU 25 : COMPILATION DES MOYENNE ± ECART-TYPE DES FLUX EN MATIERE PARTICULAIRE TOTALE ET DES CUMULS DE MASSES DE MES TOTAL PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St60-KW1. .... 40

TABLEAU 26 : COMPILATION DES MOYENNE ± ECART-TYPE DES FLUX EN MATIERE PARTICULAIRE TOTAL ET DES CUMULS DE MASSES DE MES TOTALES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St15. .... 41

TABLEAU 27 : COMPILATION DES MOYENNE ± ECART-TYPE DES FLUX EN MATIERE PARTICULAIRE TOTALE ET DES CUMULS DE MASSES DE MES TOTALES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St60-NE. .... 42

## ANNEXES

ANNEXE 1.....	51
ANNEXE 2.....	53
ANNEXE 3.....	55
ANNEXE 4.....	61
ANNEXE 5.....	63

# 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 m<sup>2</sup> 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 de Nouvelle-Calédonie.

### DOSAGE ELEMENTAIRE

Le dosage élémentaire, nécessaire pour le suivi des flux de polluants, est réalisé par la méthode dite « minéralisation eau régale ». Les échantillons de fraction fine ( $\emptyset < 41 \mu\text{m}$ ) 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 ( $\text{g/m}^2/\text{j}$ ) et confrontés aux différents régimes météorologiques.

## ANNEXE 2

### VARIABLES METEOROLOGIQUES

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

Prélèvement	GORO					Prélèvement	GORO				
	Date	RR	FXI	DXI	Régime		Date	RR	FXI	DXI	Régime
1	16/09/2017	0,0	9,8	160	SSE	7	10/10/2017	0,0	9,8	90	E
	17/09/2017	0,0	8,5	110	ESE		11/10/2017	0,0	11,6	120	ESE
	18/09/2017	0,0	10,7	170	S		12/10/2017	0,0	12,9	120	ESE
	19/09/2017	0,0	9,1	140	SE		13/10/2017	0,4	11,5	80	E
2	20/09/2017	0,0	11,4	100	E	8	14/10/2017	0,0	12,0	70	ENE
	21/09/2017	0,0	7,5	210	SSO		15/10/2017	0,0	12,5	90	E
	22/09/2017	0,0	7,5	220	SO		16/10/2017	3,0	13,2	100	E
	23/09/2017	2,4	10,0	120	ESE		17/10/2017	2,2	13,6	110	ESE
3	24/09/2017	2,8	11,2	100	E	9	18/10/2017	0,4	16,4	110	ESE
	25/09/2017	0,0	11,0	110	ESE		19/10/2017	0,4	15,9	110	ESE
	26/09/2017	1,6	11,1	70	ENE		20/10/2017	0,2	13,5	140	SE
	27/09/2017	0,0	10,1	230	SO		21/10/2017	0,8	12,4	80	E
4	28/09/2017	0,0	9,8	170	S	10	22/10/2017	0,0	13,0	70	ENE
	29/09/2017	0,0	8,5	240	OSO		23/10/2017	0,4	11,9	10	N
	30/09/2017	0,0	7,9	100	E		24/10/2017	0,0	8,8	170	S
	01/10/2017	0,0	8,7	210	SSO		25/10/2017	0,0	12,0	190	S
5	02/10/2017	0,0	14,0	110	ESE	11	26/10/2017	0,0	9,5	170	S
	03/10/2017	0,0	13,0	110	ESE		27/10/2017	0,0	12,2	100	E
	04/10/2017	0,0	12,5	100	E		28/10/2017	0,0	7,7	120	ESE
	05/10/2017	0,4	11,5	130	SE		29/10/2017	0,0	10,7	180	S
6	06/10/2017	0,4	11,1	110	ESE	12	30/10/2017	0,0	10,7	100	E
	07/10/2017	0,0	11,0	90	E		31/10/2017	2,8	11,5	90	E
	08/10/2017	0,0	11,9	130	SE		01/11/2017	8,7	10,6	100	E
	09/10/2017	0,0	7,2	130	SE		02/11/2017	31,5	10,6	80	E

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

Prélèvement	IORO				Prélèvement	IORO			
	Date	FXI	DXI	Régime		Date	FXI	DXI	Régime
1	16/09/2017	7,3	161	SSE	7	10/10/2017	3,9	128	SE
	17/09/2017	5,6	105	ESE		11/10/2017	7,1	133	SE
	18/09/2017	6,1	156	SSE		12/10/2017	7,7	115	ESE
	19/09/2017	5,7	160	SSE		13/10/2017	7,1	105	ESE
2	20/09/2017	3,3	111	ESE	8	14/10/2017	8,5	107	ESE
	21/09/2017	2,5	235	SO		15/10/2017	7,6	109	ESE
	22/09/2017	2,3	148	SSE		16/10/2017	7,7	113	ESE
	23/09/2017	4,1	127	SE		17/10/2017	12,9	85	E
3	24/09/2017	6,8	115	ESE	9	18/10/2017	65,0	14	NNE
	25/09/2017	6,0	89	E		19/10/2017	50,1	16	NNE
	26/09/2017	7,3	74	ENE		20/10/2017	9,1	128	SE
	27/09/2017	5,8	281	O		21/10/2017	12,9	92	E
4	28/09/2017	5,4	188	S	10	22/10/2017	55,1	41	NE
	29/09/2017	4,1	2	N		23/10/2017	31,6	21	NNE
	30/09/2017	3,6	45	NE		24/10/2017	4,0	209	SSO
	01/10/2017	3,3	250	OSO		25/10/2017	6,7	175	S
5	02/10/2017	7,8	114	ESE	11	26/10/2017	4,8	161	SSE
	03/10/2017	8,3	104	ESE		27/10/2017	6,1	91	E
	04/10/2017	8,0	112	ESE		28/10/2017	3,9	93	E
	05/10/2017	7,0	129	SE		29/10/2017	3,7	199	SSO
6	06/10/2017	7,2	115	ESE	12	30/10/2017	3,6	127	SE
	07/10/2017	6,6	109	ESE		31/10/2017	5,2	125	SE
	08/10/2017	5,3	110	ESE		01/11/2017	4,6	116	ESE
	09/10/2017	2,8	143	SE		02/11/2017	4,7	83	E

## ANNEXE 3

### CARACTERISATION DES MES

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

Période de collecte	Prélèvement	St06-KW1	St15	St60-NE
		Masse Ech. Total (g)	Masse Ech. Total (g)	Masse Ech. Total (g)
16-19 septembre 2017	001	1,75	0,04	1,29
20-23 septembre 2017	002	1,29	0,17	1,38
24-27 septembre 2017	003	0,56	0,14	0,79
28 septembre-01 octobre 2017	004	0,92	0,06	0,37
02-05 octobre 2017	005	2,49	0,02	0,85
06-09 octobre 2017	006	2,45	0,05	0,69
10-13 octobre 2017	007	2,02	0,65	0,66
14-17 octobre 2017	008	2,88	0,72	1,07
18-21 octobre 2017	009	17,27	0,93	3,30
22-25 octobre 2017	010	7,30	0,20	1,66
26-29 octobre 2017	011	5,69	0,26	0,73
30 octobre -02 novembre 2017	012	4,32	0,33	4,69

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
16-19 septembre 2017	001	63	ND	84
20-23 septembre 2017	002	71	ND	85
24-27 septembre 2017	003	76	ND	85
28 septembre-01 octobre 2017	004	76	ND	84
02-05 octobre 2017	005	74	ND	86
06-09 octobre 2017	006	74	ND	83
10-13 octobre 2017	007	78	25	86
14-17 octobre 2017	008	74	24	85
18-21 octobre 2017	009	60	21	87
22-25 octobre 2017	010	66	21	92
26-29 octobre 2017	011	65	22	86
30 octobre -02 novembre 2017	012	75	25	84

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.

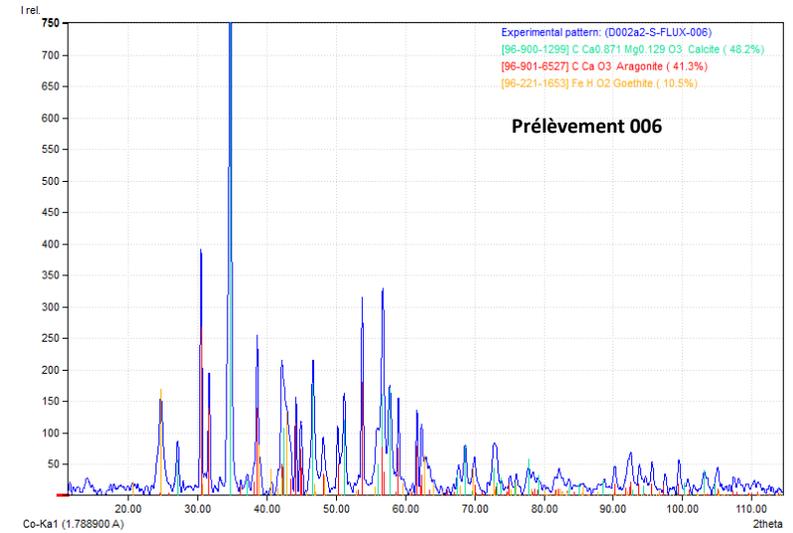
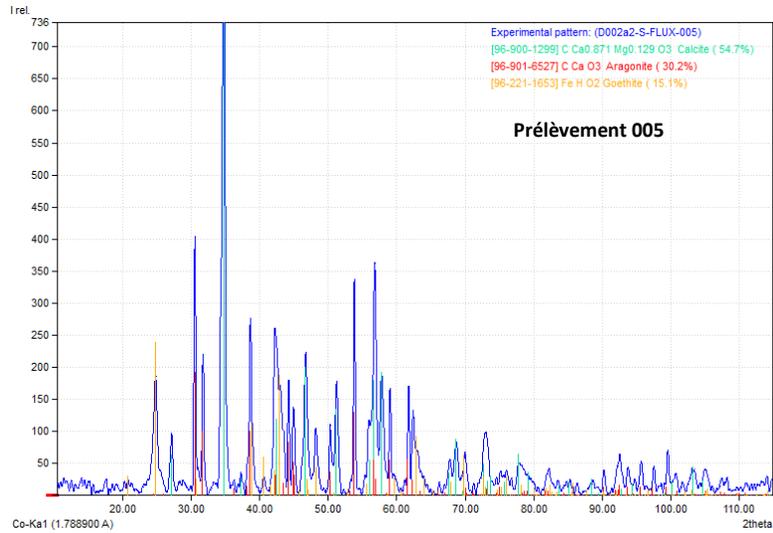
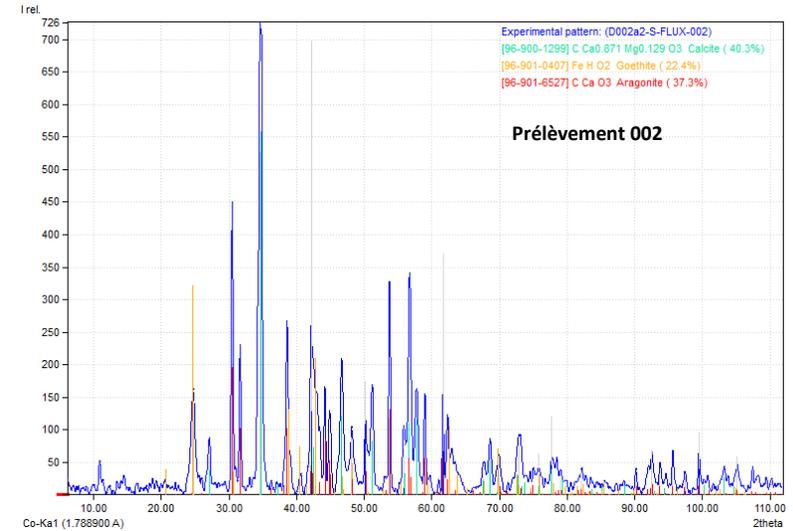
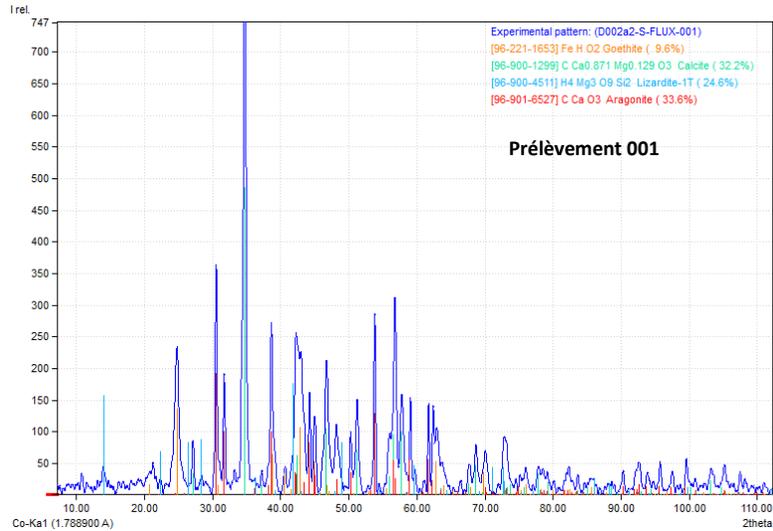
St06-KW1								
Période de collecte	Prélèvement	% Classe de taille (µm)						
		0,02 à 2,00	2,0 à 20	20 à 40	40 à 50	50 à 63	63,0 à 200	200,0 à 2000
16 - 20 Septembre	001	6	46	34	8	5	2	0
20 - 24 Septembre	002	7	49	31	6	4	3	1
02 - 06 Octobre	005	9	59	27	4	2	0	0
06 - 10 Octobre	006	8	55	29	5	3	1	0
10 - 14 Octobre	007	7	50	31	6	4	2	0
14 - 18 Octobre	008	6	44	32	8	6	5	1
18 - 22 Octobre	009	6	54	32	5	3	0	0
22 - 26 Octobre	010	7	49	33	7	4	1	0
26 - 30 Octobre	011	8	49	31	7	5	2	0
30 Octobre - 02 Novembre	012	6	41	28	8	6	10	1

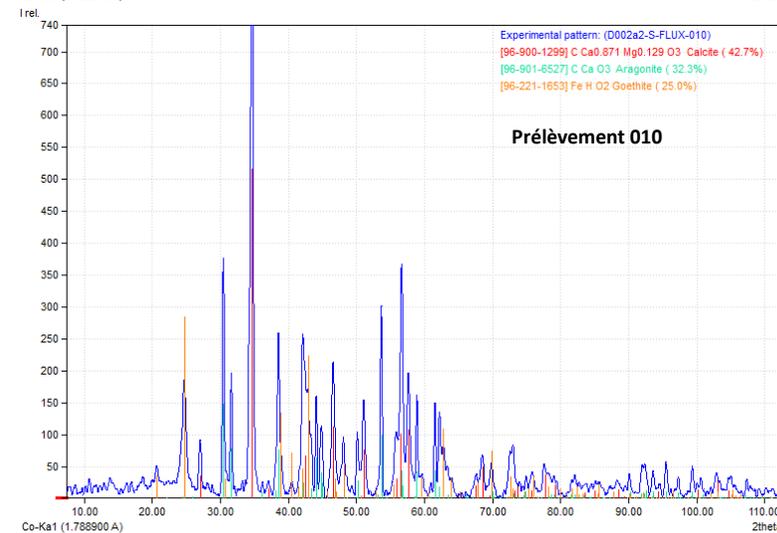
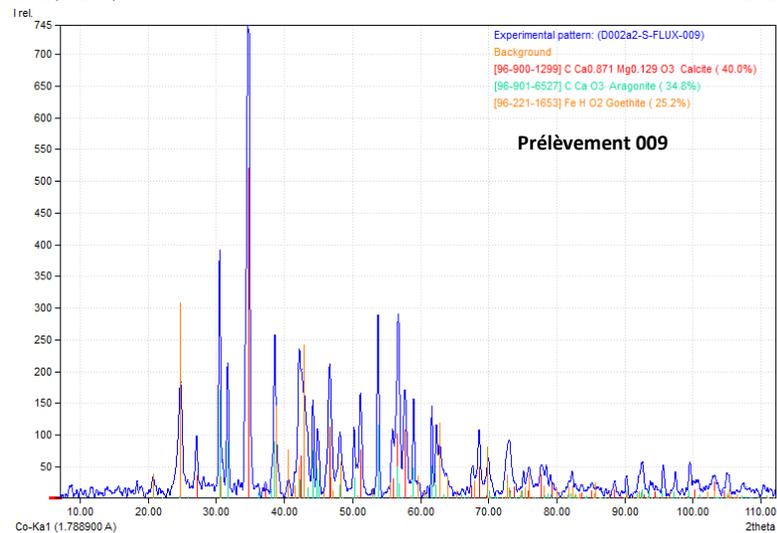
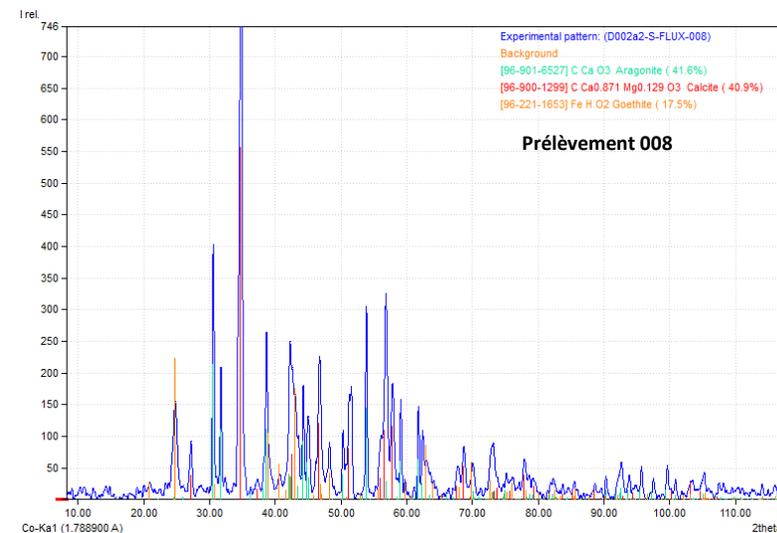
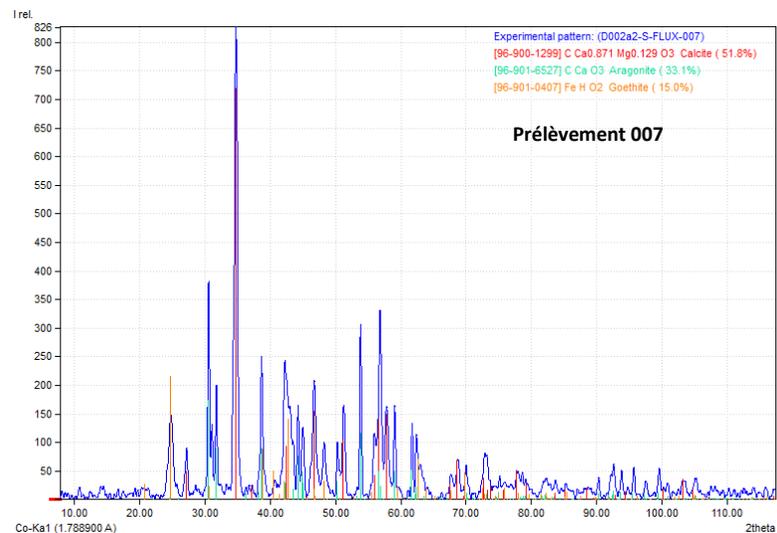
St60-NE								
Période de collecte	Prélèvement	% Classe de taille (µm)						
		0,02 à 2,00	2,0 à 20	20 à 40	40 à 50	50 à 63	63,0 à 200	200,0 à 2000
18 - 22 Octobre	009	9	53	31	6	2	0	0
30 Octobre - 02 Novembre	012	7	51	32	6	4	1	0

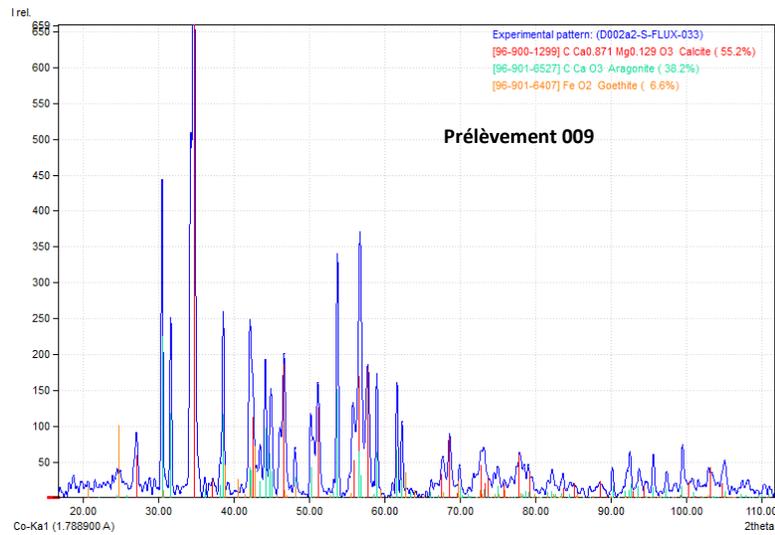
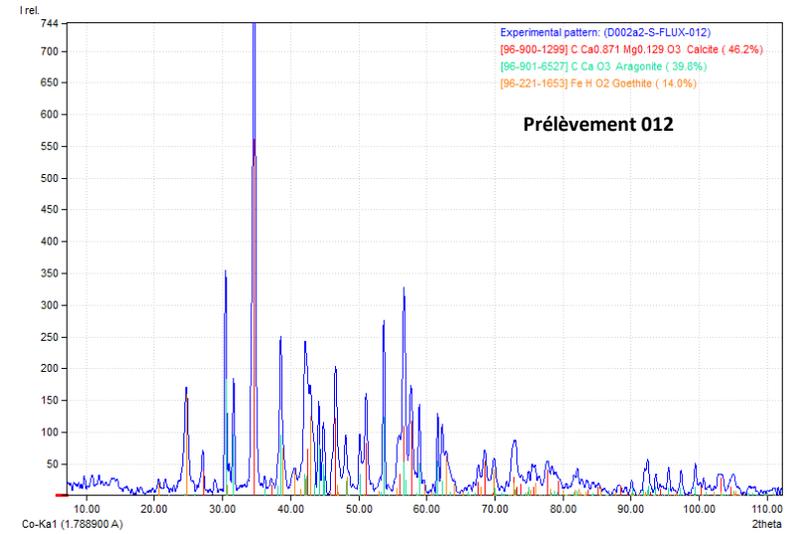
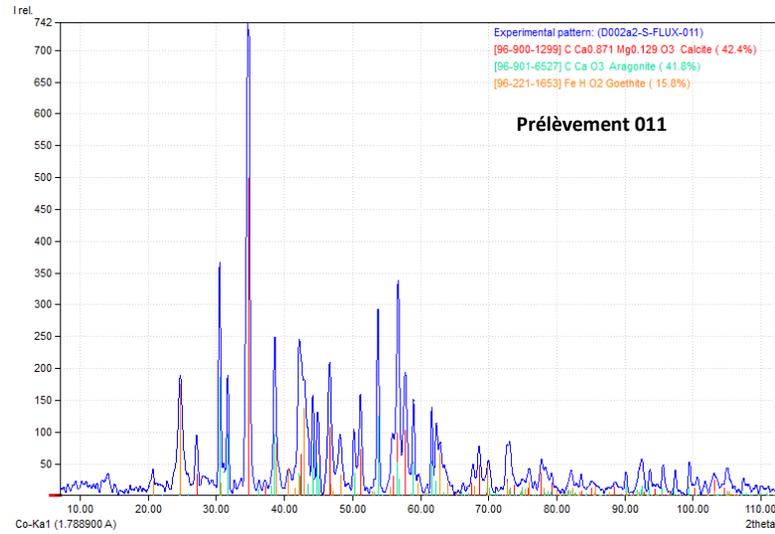
Composition minéralogique des fractions fines de MES collectées à St06-KW1 et St60-NE par le piège séquentiel à particules.

St06-KW1

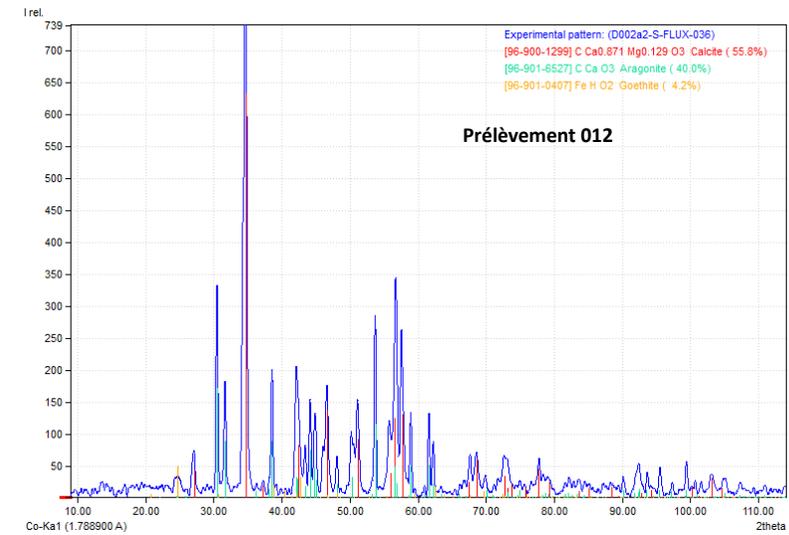


St06-KW1





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
16-19 septembre 2017	001	229 857	132	4 567	153 611	1004	2 447
20-23 septembre 2017	002	264 086	96,0	3 499	121 253	740	1 817
24-27 septembre 2017	003	285 371	90,0	3 259	122 787	725	1 688
28 septembre-01 octobre 2017	004	286 040	89,0	3 250	122 614	716	1 697
02-05 octobre 2017	005	277 445	91,0	3 367	121 814	716	1 736
06-09 octobre 2017	006	274 063	86,0	3 249	113 429	665	1 664
10-13 octobre 2017	007	291 080	81,0	3 038	111 570	631	1 555
14-17 octobre 2017	008	277 998	81,0	2 956	104 383	617	1 710
18-21 octobre 2017	009	221 186	99,0	3 498	113 181	778	1 783
22-25 octobre 2017	010	242 560	104	3 696	117 670	808	1 897
26-29 octobre 2017	011	240 633	93,0	3 191	115 933	724	1 694
30 octobre -02 novembre 2017	012	280 202	98,0	3 489	128 843	784	1 805

St15							
Période de collecte	Prélèvement	Elément (mg/kg ps)					
		Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
16-19 septembre 2017	001	ND	ND	ND	ND	ND	ND
20-23 septembre 2017	002	ND	ND	ND	ND	ND	ND
24-27 septembre 2017	003	ND	ND	ND	ND	ND	ND
28 septembre-01 octobre 2017	004	ND	ND	ND	ND	ND	ND
02-05 octobre 2017	005	ND	ND	ND	ND	ND	ND
06-09 octobre 2017	006	ND	ND	ND	ND	ND	ND
10-13 octobre 2017	007	83 216	216	7 849	238 632	1 532	2 610
14-17 octobre 2017	008	81 909	221	7 889	227 849	1 682	2 617
18-21 octobre 2017	009	69 555	221	7 603	115 583	1 762	2 581
22-25 octobre 2017	010	68 707	227	8 006	141 404	1 752	2 724
26-29 octobre 2017	011	70 636	223	7 834	221 322	1 725	2 611
30 octobre -02 novembre 2017	012	84 215	216	7 600	212 926	1 667	2 541

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.**

Période de collecte	Prélèvement	St60-NE						
		Elément (mg/kg ps)						
		Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni	S
16-19 septembre 2017	001	315 814	23,0	631	23 185	233	346	3 055
20-23 septembre 2017	002	319 281	24,0	561	20 879	230	314	2 879
24-27 septembre 2017	003	320 911	27,0	614	23 535	446	359	2 610
28 septembre-01 octobre 2017	004	317 115	32,0	676	25 465	1183	403	2 527
02-05 octobre 2017	005	322 948	28,0	638	25 136	357	368	2 772
06-09 octobre 2017	006	312 923	22,0	592	22 156	225	326	2 828
10-13 octobre 2017	007	323 102	22,0	601	23 058	216	341	2 593
14-17 octobre 2017	008	319 662	22,0	570	21 884	231	323	2 681
18-21 octobre 2017	009	326 033	22,0	539	20 945	338	314	3 240
22-25 octobre 2017	010	349 502	21,0	540	22 180	278	308	2 667
26-29 octobre 2017	011	323 898	21,0	545	21 024	228	311	2 732
30 octobre -02 novembre 2017	012	315 682	22,0	558	21 233	362	312	3 213

## 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 <sup>2</sup> /j)	Flux élémentaire (mg ps/m <sup>2</sup> /j)					
			Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
16-19 septembre 2017	001	8,75	2 011	1,16	40	1 344	8,79	21,4
20-23 septembre 2017	002	6,45	1 703	0,62	23	782	4,77	11,7
24-27 septembre 2017	003	2,80	799	0,25	9	344	2,03	4,73
28 septembre-01 octobre 2017	004	4,60	1 316	0,41	15	564	3,29	7,81
02-05 octobre 2017	005	12,5	3 454	1,13	42	1 517	8,91	21,6
06-09 octobre 2017	006	12,3	3 357	1,05	40	1 390	8,15	20,4
10-13 octobre 2017	007	10,1	2 940	0,82	31	1 127	6,37	15,7
14-17 octobre 2017	008	14,4	4 003	1,17	43	1 503	8,88	24,6
18-21 octobre 2017	009	86,4	19 099	8,55	302	9 773	67,2	154
22-25 octobre 2017	010	36,5	8 853	3,80	135	4 295	29,5	69,2
26-29 octobre 2017	011	28,5	6 846	2,65	91	3 298	20,6	48,2
30 octobre -02 novembre 2017	012	21,6	6052	2,12	75	2 783	16,9	39,0

St15								
Période de collecte	Prélèvement	Flux MES (g/m <sup>2</sup> /j)	Flux élémentaire (mg ps/m <sup>2</sup> /j)					
			Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
16-19 septembre 2017	001	0,20	ND	ND	ND	ND	ND	ND
20-23 septembre 2017	002	0,85	ND	ND	ND	ND	ND	ND
24-27 septembre 2017	003	0,70	ND	ND	ND	ND	ND	ND
28 septembre-01 octobre 2017	004	0,30	ND	ND	ND	ND	ND	ND
02-05 octobre 2017	005	0,10	ND	ND	ND	ND	ND	ND
06-09 octobre 2017	006	0,25	ND	ND	ND	ND	ND	ND
10-13 octobre 2017	007	3,25	270	0,70	25,5	776	4,98	8,48
14-17 octobre 2017	008	3,60	295	0,80	28,4	820	6,06	9,42
18-21 octobre 2017	009	4,65	323	1,03	35,4	537	8,19	12,0
22-25 octobre 2017	010	1,00	68,7	0,23	8,01	141	1,75	2,72
26-29 octobre 2017	011	1,30	91,8	0,29	10,2	288	2,24	3,39
30 octobre -02 novembre 2017	012	1,65	139	0,36	12,5	351	2,75	4,19

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

St60-NE								
Période de collecte	Prélèvement	Flux MES (g/m <sup>2</sup> /j)	Flux élémentaire (mg ps/m <sup>2</sup> /j)					
			Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
16-19 septembre 2017	001	6,45	2 037	0,15	4,07	150	1,50	2,23
20-23 septembre 2017	002	6,90	2 203	0,17	3,87	144	1,59	2,17
24-27 septembre 2017	003	3,95	1 268	0,11	2,43	93,0	1,76	1,42
28 septembre-01 octobre 2017	004	1,85	587	0,06	1,25	47,1	2,19	0,75
02-05 octobre 2017	005	4,25	1 373	0,12	2,71	107	1,52	1,56
06-09 octobre 2017	006	3,45	1 080	0,08	2,04	76,4	0,78	1,12
10-13 octobre 2017	007	3,30	1 066	0,07	1,98	76,1	0,71	1,13
14-17 octobre 2017	008	5,35	1 710	0,12	3,05	117	1,24	1,73
18-21 octobre 2017	009	16,5	5 380	0,36	8,89	346	5,58	5,18
22-25 octobre 2017	010	8,30	2 901	0,17	4,48	184	2,31	2,56
26-29 octobre 2017	011	3,65	1 182	0,08	1,99	76,7	0,83	1,14
30 octobre -02 novembre 2017	012	23,5	7 403	0,52	13,1	498	8,49	7,32