



# 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 2016



« Analyses des métaux dans  
l'environnement et expertises »

Rapport semestriel  
**Octobre à novembre**  
**2016**

*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

---

Convention n° 3052-Avenant n°1

**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 2016**

**Période d'octobre à novembre 2016**

Kumar-Roiné S., Haddad L., Laurent A., Pluchino S., Fernandez JM.



	Ref AEL	Ref Client	
<b>Identification</b>	121205-VI-18	E87583	
<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 2016. <b>Période d'octobre à novembre 2016.</b>		
<b>Auteurs</b>	Kumar-Roiné S., Haddad L., Laurent A., Pluchino S., Fernandez JM.		
<b>Résumé</b>	<p>Dans le but de se conformer à l'accord passé entre Vale-NC et la Province Sud et défini par la convention CCB 2009, Vale-NC a 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 2016</b> (octobre - novembre 2016) effectuées dans la zone d'effluence du complexe minier et industriel de Vale-NC. Le programme de surveillance semestriel du milieu marin est réalisé sur un total de 3 stations dont la répartition a été révisée en 2014. A ce jour, les stations sont réparties en Baie Kwé (St06-KW1), en Rade Nord de la Baie du Prony (St15) et dans le Canal de la Havannah (St60-NE).</p> <p>Cette campagne conforte les observations des campagnes précédentes établissant une relation entre les conditions météorologiques et les densités des flux verticaux, notamment les précipitations pour la St15 <i>via</i> l'érosion et le transport des sols par le Creek de la Rade Nord et les précipitations et/ou vents des régimes S pour la St06-KW1 <i>via</i> l'effet de houle et de re-suspension des particules fines sédimentées dans la baie Kwé qui s'en suit. Pour la St60-NE, aucune corrélation pertinente ne se dégage ; les panaches latéritiques, beaucoup plus dilués à cette station, seraient conditionnés par un ensemble de mécanismes qu'il n'est pas encore pertinent d'explicitier.</p> <p>Les évolutions des concentrations en métaux latéritiques, Fe et Ni en St60-NE ainsi que des ratios Ca/Fe en St60-NE et St06-KW1 pour cette campagne par rapport celle de 2007 mettent en évidence un enrichissement du Canal de la Havannah et de la Baie de Kwé en matières latéritiques. Pour la St15, les concentrations en métaux latéritiques et le ratio de Ca/Fe restent invariables.</p> <p>En ce qui concerne les concentrations de Ca et S, aucune trace d'enrichissement anormal n'est discernée à St60-NE permettant de déceler l'influence de l'effluent sur la formation de gypse.</p>		
APPROBATION			
FONCTION	NOMS	VISA	DATE
Rédacteur	Kumar-Roiné S.	SKR	07/02/2017
Vérificateur 1	Fernandez JM.	JMFA	08/02/2017
Vérificateur 2			
Approbateur	Fernandez JM.	JMFA	08/02/2017
EVOLUTION			
VERSION	DESCRIPTION DES MISES A JOUR		DATE
V1.0	Rapport final		08/02/2017
COPIE – DIFFUSION			
NOM	ORGANISME		
Céline Casalis	Vale-NC, Département Environnement		

**Ce rapport est cité comme suit :** Kumar-Roiné S., Haddad L., Laurent A., Fernandez JM. 2016. Suivi des densités de flux verticaux des particules dans la Canal de la Havannah, la baie Kwé et la Rade Nord de Prony. Campagne 2<sup>ème</sup> semestre 2016. Période d'octobre à novembre 2016. Contrat AEL/Vale-NC n°3052-Avenant n°1, 68p.

# 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 .....	11
C.	CONDITIONS METEOROLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES .....	12
<b>III.</b>	<b>RESULTATS.....</b>	<b>13</b>
A.	PARAMETRES METEOROLOGIQUES .....	13
B.	CARACTERISATION DES MATIERES EN SUSPENSION.....	17
C.	COMPOSITION GEOCHIMIQUE DES MATIERES EN SUSPENSION.....	27
<b>IV.</b>	<b>INTERPRETATION .....</b>	<b>35</b>
A.	INFLUENCE DES FACTEURS METEOROLOGIQUES.....	35
B.	CALCUL DES FLUX DES MATIERES.....	43
	<b>SYNTHESE.....</b>	<b>46</b>

# I. INTRODUCTION

## A. CONTEXTE

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

Cette étude fait suite, d'une part à la définition de « l'Etat de référence » des densités de flux verticaux de particules, déterminées pour le Canal de la Havannah, la Rade Nord et la baie Kwé en 2007 (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 2016 et les comparer aux campagnes précédentes de mouillage semestrielles entre 2011-2015 et celles de l'état de référence en 2006/2007 (Achard *et al.*, 2015 ; Fernandez *et al.*, 2007).

## II. METHODOLOGIE

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

### A. SITE D'ETUDE

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

- **Zone d'influence du rejet d'effluent** : Il s'agit de la station St60-NE localisée perpendiculairement à 60 m du diffuseur qui a permis la définition de l'état de référence des flux particulaires en 2007 (Fernandez *et al.*, 2007). Elle permet d'assurer le suivi des apports induits par le diffuseur.
- **Zone d'influence de la mine** : Il s'agit d'une station dans l'embouchure de la rivière Kwé (St06-KW1) qui a permis la définition de l'état de référence des flux particulaires en 2006 et 2007 (Fernandez *et al.*, 2007). Elle permet d'assurer le suivi des apports induits par le bassin d'exploitation minière.
- **Zone d'influence de l'usine de valorisation du minerai** : Il s'agit de la station St15 située en face du Creek de la Rade Nord qui jouxte le site de l'usine. Cette station qui a également fait l'objet d'un état de référence en 2006 et 2007 (Fernandez *et al.*, 2007) permet d'assurer un suivi des apports induits par les installations industrielles.

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

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

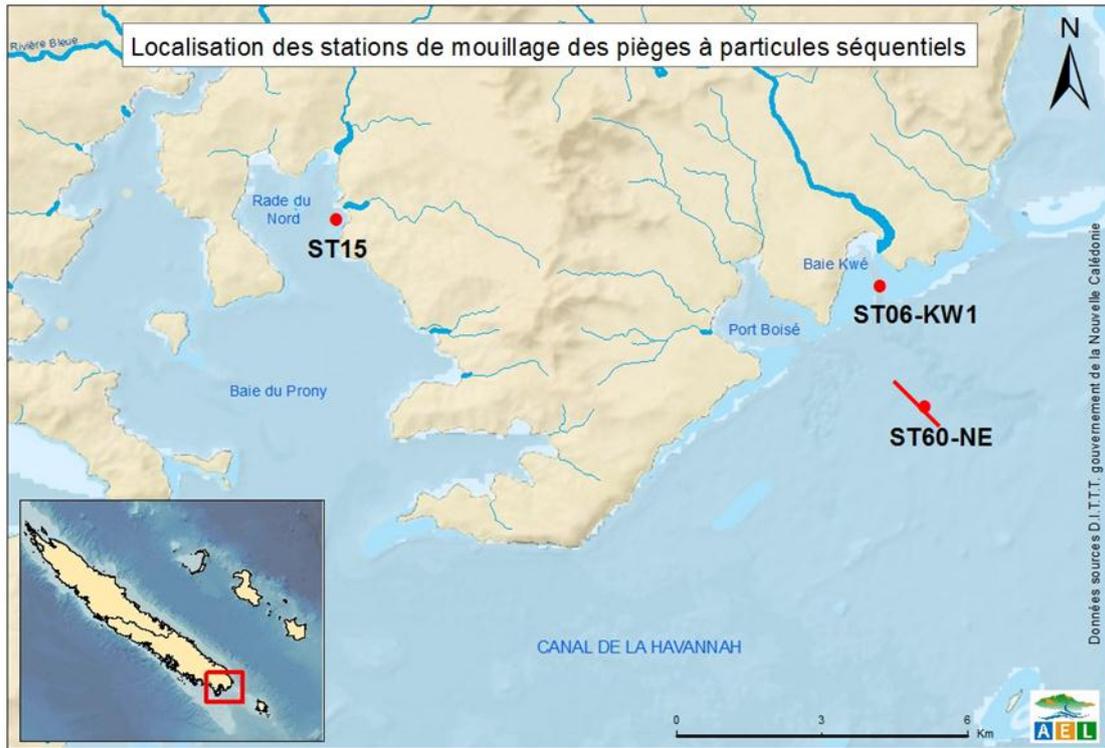


Figure 1 : Localisation géographique des stations de prélèvement du suivi des flux verticaux de particules dans la zone d'influence de l'usine de Vale-NC (le trait rouge représente le diffuseur).

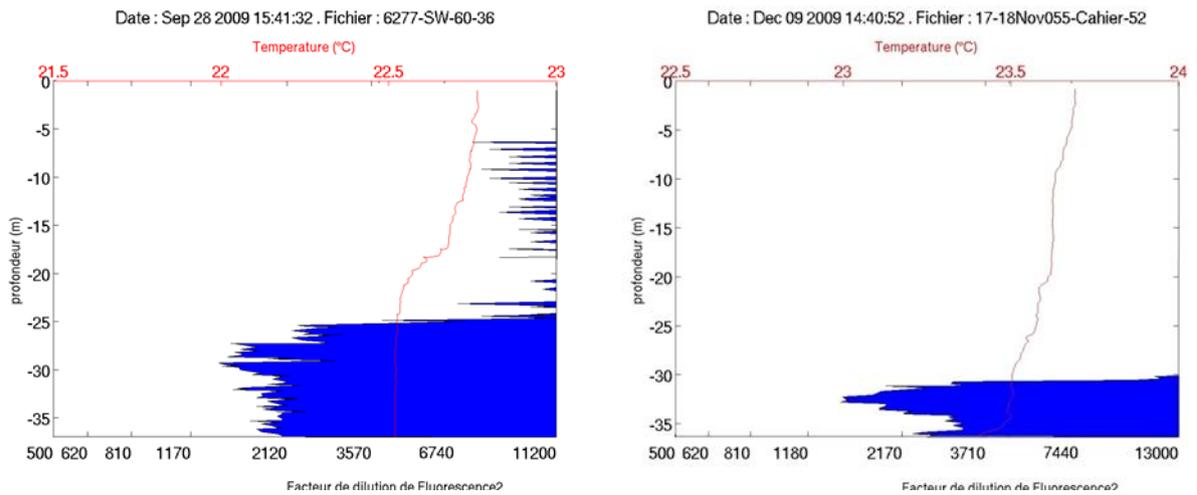


Figure 2 : Empreinte type de l'effluent par marquage à la rhodamine-WT pour des conditions courantologiques de mi-marées de morte-eau (gauche) et de vive-eau (droite) au niveau de la station St60-SW.

## B. ECHANTILLONNAGE

Les opérations de terrain ont été réalisées à bord du Slavko (Casy Express) au cours de 2 sorties. La pose et récupération des lignes de mouillage équipées chacune d'un piège à particules séquentiel été effectuées le 04 octobre 2016 et 24 novembre 2016 aux stations St60-KW1, St15 et St60-NE.

**Note :** Les pièges ont été immergés lors de cette campagne avec une ligne de mouillage simple lestée suite aux anomalies techniques des largueurs acoustiques qui se sont présentées lors des campagnes précédente.

**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).

Pour les trois stations St15 et St60-NE, la collecte des particules a été programmée pour débuter le 05 octobre 2016 à 00h00 avec un pas de temps par godet de 96 heures (4 jours) ; elle s'est terminée le 22 novembre 2016 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
05-08 octobre 2016	001	001	001
09-12 octobre 2016	002	002	002
13-16 octobre 2016	003	003	003
17-20 octobre 2016	004	004	004
21-24 octobre 2016	005	005	005
25-28 octobre 2016	006	006	006
29 octobre-01 novembre 2016	007	007	007
02-05 novembre 2016	008	008	008
06-09 novembre 2016	009	009	009
10-13 novembre 2016	010	010	010
14-17 novembre 2016	011	011	011
18-21 novembre 2016	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 04 octobre au 21 novembre 2016 ; l'interprétation des analyses reposera en partie sur ces observations.

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

## III. RESULTATS

### A. PARAMETRES METEOROLOGIQUES

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

#### 1. Précipitations atmosphériques

La période du 05 octobre au 21 novembre 2016 compte 20 jours de pluies cumulant à 266,8 mm mesurés par la station météorologique GORO. Cette période a été marquée par un épisode pluvieux significatif enregistré les 20 et 21 novembre (138,0 mm). D'autres épisodes d'intensité moindre ont été enregistrés le 10 octobre et 03 novembre (35,4 et 39,0 mm, respectivement) (Figure 3).

Du point de vue historique :

- Pour la St06-KW1, les précipitations cumulées lors de cette campagne sont environ 2 et 3 fois moins importantes que lors des campagnes de juillet-août 2013 (467,0 mm) et janvier-mars 2014 (920,2 mm) tandis qu'elles sont 3 et 5 fois plus élevées qu'en octobre-novembre 2015 (96,0 mm) et octobre-novembre 2006 (54,4 mm) (Tableau 3).
- Pour la St15, les précipitations cumulées pour l'ensemble de la période sont 3 fois moins importantes que lors de la campagne de janvier-mars 2014 (920,2 mm) tandis qu'elle est environ 2 et 5 fois plus élevées qu'en juillet-septembre 2015 (148,9 mm) et octobre-novembre 2006 (54,4 mm) (Tableau 4).
- Pour la St60-NE, les précipitations cumulées pour l'ensemble de la période sont approximativement 2 fois moins importantes que lors des campagnes de juillet-août 2013 (467,0 mm) et 2 fois plus importantes qu'en juillet-septembre 2015 (148,9 mm) (Tableau 5).

#### 2. Vitesse et direction du vent

Durant la période du 05 octobre au 21 novembre 2016, les directions de vents mesurés aux deux stations météorologiques sont principalement du secteur E à S mais montrent parfois des régimes variables notamment lors de la deuxième moitié de la période d'immersion qui présente quelques courtes rotations. L'intensité des vents moyens mesurés à la station météorologique GORO a été de  $11,3 \pm 2,5$  m/s et celle mesurée à la station IORO a été de  $5,9 \pm 2,1$  m/s (Figure 3).

Pour la période de mouillage, la vitesse moyenne des vents enregistrée par les deux stations météorologiques sont proches de celles des précédentes campagnes, exception faite pour la campagne de septembre-octobre 2014 dont la valeur mesurée par la station météorologique GORO est 1,5 fois inférieure ( $7,3 \pm 2,9$  m/s ; (Tableau 3, Tableau 4 et Tableau 5).

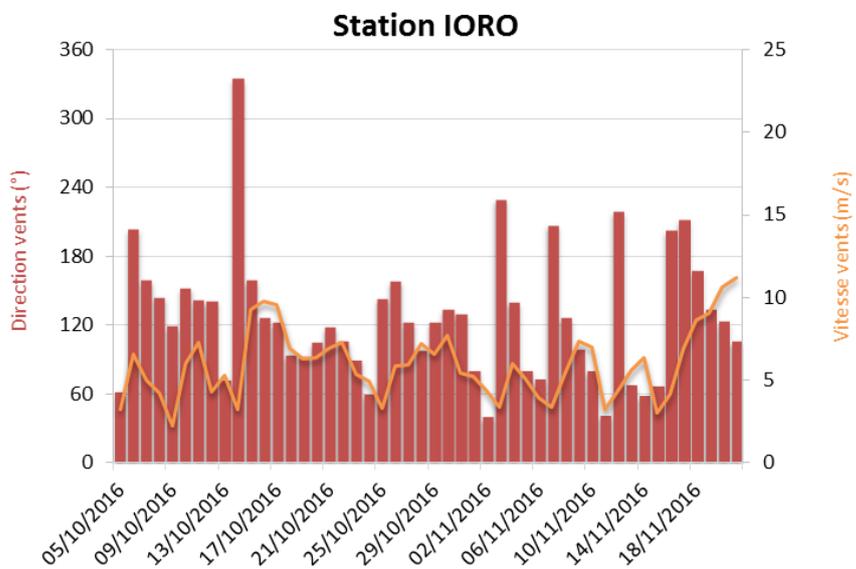
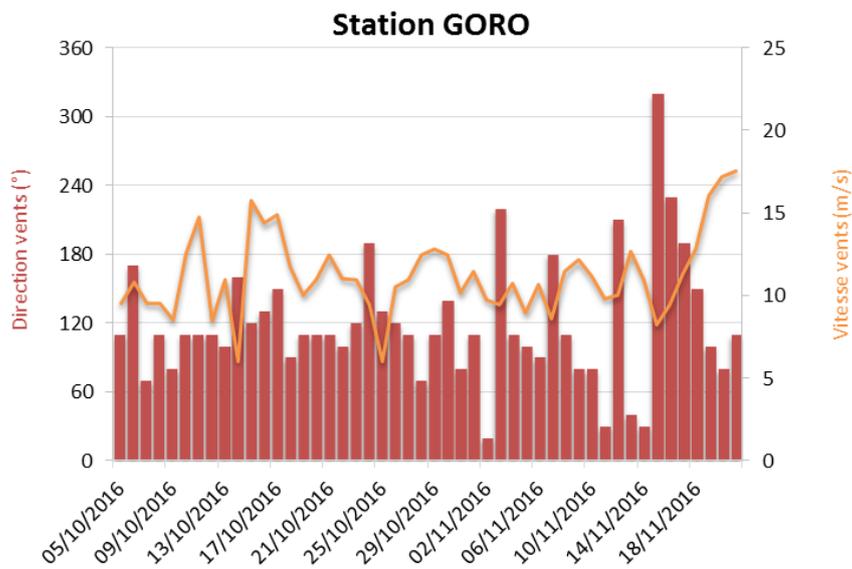
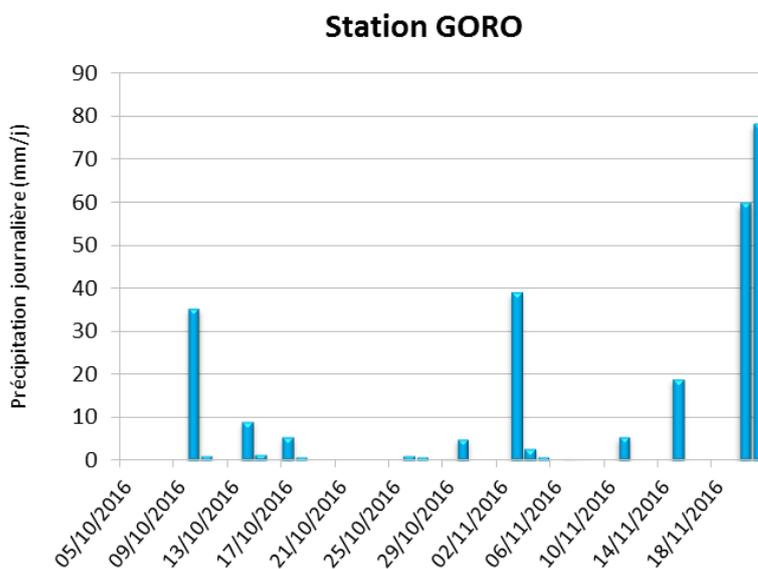


Figure 3 : Cumul journalier de précipitations et évolution de la vitesse et de la direction des vents (moyenne journalière) pour la période du 04 octobre au 21 novembre 2016.



**Tableau 3 : Compilation des données météorologiques lors des différentes campagnes d'immersion de piège séquentiel à la station St06-KW1.**

St06-KW*								
Année	Campagne	Station GORO		Station IORO	Campagne	Station GORO		Station IORO
		Précipitation total (mm)	Vitesse vents moyens (m/s)			Précipitation total (mm)	Vitesse vents moyens (m/s)	
2006	-	-	-	-	Oct. - Nov. 2006	54,4	ND	ND
2007	Mars - Avr. 2007	272,6	ND	ND	-	-	-	-
2011	-	-	-	-	Juil. - Août 2011	273,7	11,3 ± 3,2	ND
2012	Janv. - Mars 2012	370,1	12,3 ± 2,7	IC	Sept. - Oct. 2012	278,5	12,0 ± 2,4	P
2013	Janv. - Févr. 2013	181,2	12,0 ± 2,1	P	Juil. - Août 2013	467,0	11,3 ± 3,6	P
2014	Janv. - Mars 2014	920,2	9,3 ± 4,0	6,6 ± 2,9	Sept. - Oct. 2014	199,6	7,3 ± 2,9	5,9 ± 1,8
2015	Janv. - Mars 2015	242,6	12,0 ± 3,7	P	Oct. - Nov. 2015	96,0	12,4 ± 3,1	P
2016	Juil. - Sept. 2016	247,4	10,8 ± 2,4	6,2 ± 2,5	Oct. - Nov. 2016	266,8	11,3 ± 2,5	5,9 ± 2,1

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

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

**Tableau 4 : Compilation des données météorologiques lors des différentes campagnes d'immersion de piège séquentiel à la station St15.**

St15*								
Année	Campagne	Station GORO		Station IORO	Campagne	Station GORO		Station IORO
		Précipitation total (mm)	Vitesse vents moyens (m/s)			Précipitation total (mm)	Vitesse vents moyens (m/s)	
2006	-	-	-	-	Oct. - Nov. 2006	54,4	ND	ND
2007	Mars - Avr. 2007	272,6	ND	ND	-	-	-	-
2011	-	-	-	-	-	-	-	-
2012	-	-	-	-	-	-	-	-
2013	-	-	-	-	-	-	-	-
2014	Janv. - Mars 2014	920,2	9,3 ± 4,0	6,6 ± 2,9	Sept. - Oct. 2014	199,6	7,3 ± 2,9	5,9 ± 1,8
2015	Janv. - Mars 2015	242,6	12,0 ± 3,7	P	Juil. - Sept. 2015	148,9	11,6 ± 2,6	P
2016	Mai - Juil. 2016	241,4	10,9 ± 3,1	6,2 ± 2,5	Oct. - Nov. 2016	266,8	11,3 ± 2,5	5,9 ± 2,1

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

- : pas de campagne ou piège perdu ou campagne en cours ; ND : données non disponible ; P : panne d'appareil d'enregistreur.

Tableau 5 : Compilation des données météorologiques lors des différentes campagnes d'immersion de piège séquentiel à la station St60-NE.

Année	Campagne	St60-NE*						
		Station GORO		Station IORO	Campagne	Station GORO		Station IORO
		Précipitation total (mm)	Vitesse vents moyens (m/s)			Précipitation total (mm)	Vitesse vents moyens (m/s)	
2006	-	-	-	-	-	-	-	-
2007	Févr. - Mars 2007	300,6	ND	ND	-	-	-	-
2011	-	-	-	-	Juil. - Août 2011	-	-	-
2012	Janv. - Mar 2012	370,1	12,3 ± 2,7	IC	Sept. - Oct. 2012	278,5	12,0 ± 2,4	P
2013	Janv. - Mars 2013	181,2	12,0 ± 2,1	P	Juil. - Août 2013	467,0	11,3 ± 3,6	P
2014	Avr. - Juin 2014	260,9	8,3 ± 3,5	6,9 ± 2,5	Sept. - Oct. 2014	199,6	7,3 ± 2,9	5,9 ± 1,8
2015	Janv. - Mars 2015	242,6	12,0 ± 3,7	P	Juil. - Sept. 2015	148,9	11,6 ± 2,6	P
2016	Mai - Juil. 2016	241,4	10,9 ± 3,1	6,2 ± 2,5	Oct. - Nov. 2016	266,8	11,3 ± 2,5	5,9 ± 2,1

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

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

## B. CARACTERISATION DES MATIERES EN SUSPENSION

Les résultats concernant les masses de matière en suspension (MES) collectées par les pièges séquentiels à particules, la granulométrie des populations de grains, la composition minéralogique (diffractogrammes) 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 0,84 g et 10,32 g avec une moyenne de  $3,69 \pm 2,78$  g. La plus faible quantité a été collectée au début (05-08 octobre ; 001), et la plus forte à la fin (18-21 novembre ; 012). Les prélèvements montrent des valeurs de masses de MES parfois fortement évolutives dans le temps, notamment sur les 3 premiers et 3 derniers échantillons. Au-delà, elles demeurent relativement stables (Figure 4).

*A contrario*, les pourcentages de fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) qui compose les MES varient peu. Ils se répartissent entre 69 et 83 % avec une moyenne de  $79 \pm 4$  %. 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, la masse moyenne de MES collectée est plus variable (Tableau 6).

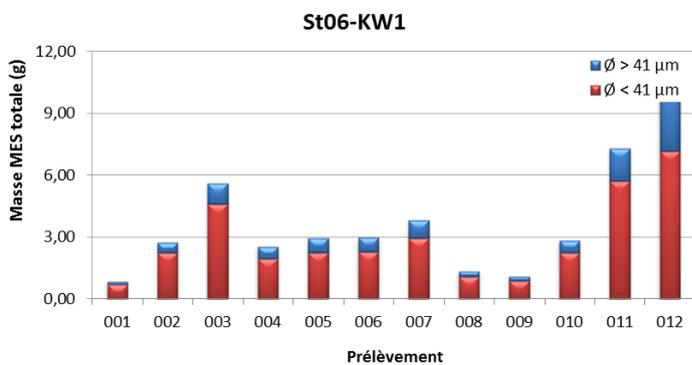


Figure 4 : Masse totale de MES piégées et composition en fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) et fraction grossière ( $\varnothing > 41 \mu\text{m}$ ) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

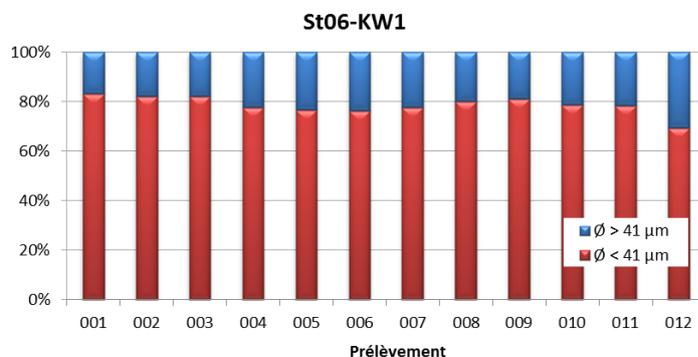


Figure 5 : Pourcentage des fractions fines ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) et des fractions grossières ( $\varnothing > 41 \mu\text{m}$ ) dans les 12 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

Tableau 6 : Compilation des données moyenne ± 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 ± 0,74	ND	74 ± 2	Janv. - Mars 2014	12,14 ± 6,82	82 ± 4	84 ± 3
Mars - Avr. 2007	4,61 ± 4,47	ND	76 ± 3	Sept - Oct. 2014	2,37 ± 1,68	84 ± 2	65 ± 4
Juil. - Août 2011	5,07 ± 4,86	ND	69 ± 4	Janv. - Mars 2015	13,25 ± 7,21	79 ± 4	73 ± 3
Janv. - Mars 2012	7,89 ± 6,64	75 ± 3	84 ± 5	Oct. - Nov. 2015	7,77 ± 6,10	68 ± 6	47 ± 3
Sept. - Oct. 2012	5,28 ± 2,62	70 ± 4	67 ± 3	Juil. - Sept. 2016	5,74 ± 4,58	80 ± 2	60 ± 6
Janv. - Févr. 2013	9,29 ± 5,71	77 ± 5	67 ± 8	Oct. - Nov. 2016	<b>3,69 ± 2,78</b>	<b>79 ± 4</b>	<b>70 ± 5</b>
Juil. - Août 2013	11,61 ± 17,56	74 ± 4	46 ± 13	-	-	-	-

ND : valeur non déterminée.

### Compositions granulométriques

La fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) de MES collectées en St06-KW1 est composée majoritairement de particules dont le mode se situe dans la classe 2,0-20  $\mu\text{m}$  à savoir les silts fins (moyenne de  $51 \pm 3 \%$  du volume total). Pour cette campagne, les silts moyens (20-40  $\mu\text{m}$ ) composent la seconde population granulométrique ( $30 \pm 3 \%$  du volume total, respectivement).

La distribution des populations granulométriques montre une variation dans le temps relative aux classes de grains. En effet, une légère augmentation des pourcentages des grains  $> 40 \mu\text{m}$  au détriment de la fraction  $< 20 \mu\text{m}$  entre le prélèvement 002 et 012 est constatée (Figure 6).

Pour l'ensemble des campagnes conduites à St06-KW1, parmi les 5 classes granulométriques étudiées, le mode principale demeure la classe 2,0-20  $\mu\text{m}$  (silts fins). L'on constate que, depuis la campagne de juillet-août 2011, bien que cela ne se produise pas de manière constante, le pourcentage en particules  $< 20 \mu\text{m}$  augmente, jusqu'à doubler lors de certaines campagnes, au détriment des particules de taille  $> 20 \mu\text{m}$ . Cette tendance semble s'inverser pour cette campagne (Tableau 7).

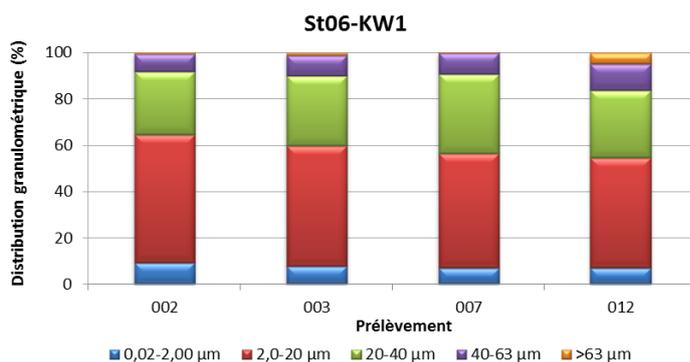


Figure 6 : Distribution granulométrique de la fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) des 4 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

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

**Tableau 7 : Compilation des données moyenne  $\pm$  écart-type de la distribution granulométrique dans la fraction fine ( $\emptyset < 41 \mu\text{m}$ ) des MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St06-KW1.**

St06-KW1					
Campagne	Distribution granulométrique (%)				
	0,02 à 2,00 $\mu\text{m}$	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
<b>Oct. - Nov. 2016</b>	<b>8 <math>\pm</math> 1</b>	<b>51 <math>\pm</math> 3</b>	<b>30 <math>\pm</math> 3</b>	<b>9 <math>\pm</math> 2</b>	<b>2 <math>\pm</math> 2</b>

### Compositions minéralogiques

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

La goethite a également été décelée dans tous les prélèvements notamment dans les MES des prélèvements 002 et 003 qui montrent des proportions importantes au détriment de la aragonite. La régularité des proportions de ce minéral souligne ainsi l'influence rythmée des apports terrigènes (Tableau 8).

L'augmentation en calcite, constatée entre les godets 002 et 012, parallèlement à celle des populations de grains le plus grossières, suggère que ces dernières sont constituées de débris organogènes (tests, particules récifales).

**Tableau 8 : Composition minéralogique de la fraction fine ( $\emptyset < 41 \mu\text{m}$ ) des 4 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.**

St06-KW1				
Prélèvement	% Calcite	% Aragonite	% Goethite	% Autres
002	40	26	34	-
003	39	26	35	-
007	45	32	23	-
012	45	28	27	-

### Teneurs en carbonates

Les teneurs en carbonates dans la fraction fine ( $\emptyset < 41 \mu\text{m}$ ) de MES collectées en St06-KW1 se distribuent entre 59 % et 75 % avec une moyenne de 70  $\pm$  5 %. Comme pour les masses collectées, la plus faible a été mesurée pour le 05-08 octobre (001). En revanche, les plus fortes teneurs en carbonates ont été mesurées sur plusieurs

prélèvements du 17 octobre-17 novembre (004-011). Aucune corrélation n'est constatée entre l'évolution des teneurs en carbonates à celle des masses de MES collectées (Figure 7).

Entre les différentes campagnes conduites à St06-KW1, les teneurs moyennes varient rarement sauf lors des campagnes de juillet-août 2013 ( $46 \pm 13$  %) et octobre-novembre 2015 ( $47 \pm 3$  %), dont les valeurs sont comparativement basses (Tableau 6).

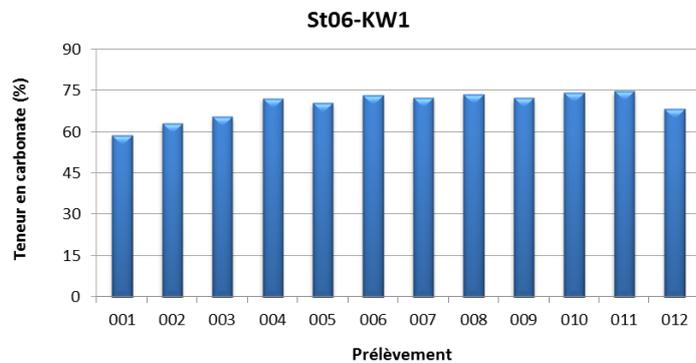


Figure 7: Teneurs en carbonates contenues dans les fractions fines ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

**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  $\text{CaCO}_3$  et  $\text{MgCO}_3$  dans le contexte du sud calédonien), s'expliquerait par le fait que la DRX semi-quantitative caractérise seulement les minéraux cristallisés (Chaurrand, 2007 ; Achard, 2013) dont les proportions somment 100% ; ce mode de calcul ne tient pas compte des phases amorphes de certains de ces minéraux, ni des minéraux du cortège latéritique contenant du Mg, ce qui peut majorer le pourcentage des carbonates.

## 2. Rade Nord de Prony (St15)

### Masses collectées

Les masses de MES collectées en St15 sont très faibles et se distribuent entre 0,03 g et 1,68 g avec une moyenne de  $0,44 \pm 0,50$  g. Les plus faibles quantités ont été collectées sur plusieurs jours, dès le début de la période d'immersion (05-20 octobre ; 001-004), tandis que les plus fortes ont été collectées le 02-05 novembre (008). Les masses piégées sont infinitésimales, sur la première moitié de la période d'immersion, puis évoluent rapidement entre le prélèvement 006 et 008 où est mesurée la valeur maximale, elles demeurent entre 0,31 et 0,84 g jusqu'à la fin (Figure 8).

La fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) est largement dominante dans les MES piégées en St15 avec une moyenne de  $87 \pm 7$  %. Les pourcentages de fraction fine varient très peu (entre 69 à 95 %) (Figure 9).

Entre les différentes campagnes conduites à St15, les masses moyennes collectées restent faibles. A l'exception de 2 campagnes (janvier-mars 2014 et mai-juillet 2016), elles ne dépassent pas le seuil de 1 g. On notera que les masses de MES collectées lors de cette dernière campagne 2016 sont 10 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 plus stables entre les campagnes ; les MES piégées sont principalement composées de fraction fine (Tableau 9).

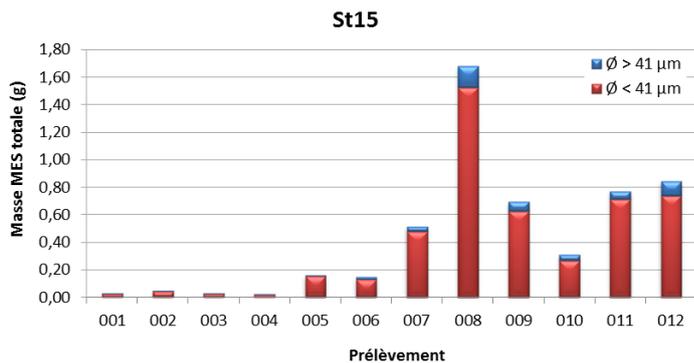


Figure 8 : Masse totale de MES piégées et composition en fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) et fraction grossière ( $\varnothing > 41 \mu\text{m}$ ) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St15.

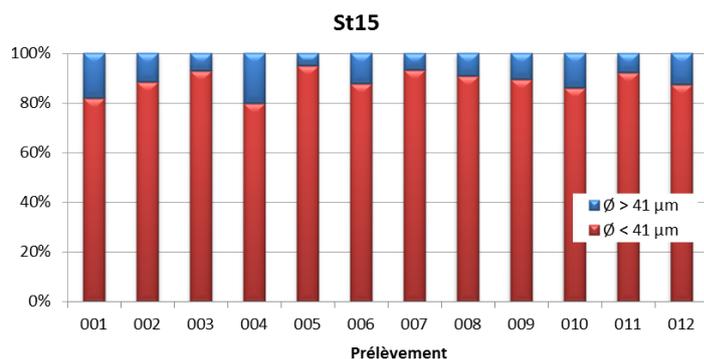


Figure 9 : Pourcentage des fractions fines ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) et des fractions grossières ( $\varnothing > 41 \mu\text{m}$ ) dans les 12 prélèvements du piège séquentiel à St15.

Tableau 9 : Compilation des données moyennes  $\pm$  écart-type de la MES totale, du pourcentage de fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) et de la teneur en carbonates dans la fraction fine lors des différentes campagnes d’immersion des pièges séquentiels à St15.

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

ND : valeur non déterminée.

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

### Compositions granulométriques

La fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) de MES collectées en St15 est composée de particules dont le mode se situe principalement dans la classe 2,0-20  $\mu\text{m}$ , à savoir les silts fins (moyenne de 60  $\pm$  5 % du volume total). Pour cette campagne, les silts moyens (20-40  $\mu\text{m}$ ) composent la seconde population granulométrique (21  $\pm$  3 % du volume total) suivis par les silts grossiers (0,02-20  $\mu\text{m}$  ; 13  $\pm$  2 %).

La distribution des populations granulométriques montre une variation dans le temps relative aux classes de grains. Des prélèvements 007 à 012, les pourcentages des grains de taille < 20 µm augmentent progressivement au détriment des populations de grains de taille > 20 µm (Figure 10).

Pour l'ensemble des campagnes conduites à St15, parmi les 5 classes granulométrique étudiées, le mode principale demeure la classe 2,0-20 µm avec des proportions relativement stables depuis la campagne de janvier-mars 2014. En revanche, globalement, une augmentation des grains de classes 20-40 est observée au détriment de celle de 0,02-2,00 µm (Tableau 10).

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

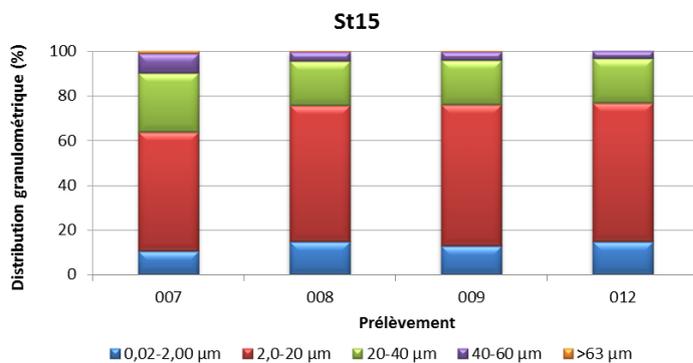


Figure 10 : Distribution granulométrique de la fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) des 4 prélèvements du piège séquentiel à St15.

Tableau 10 : Compilation des données moyenne  $\pm$  écart-type de la distribution granulométrique de la fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St15.

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

### Compositions minéralogiques

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

Bien qu'en moindre quantité, de l'aragonite et de la calcite, les minéraux d'origine marine, ont également été décelés (Tableau 11).

**Tableau 11 : Composition minéralogique de la fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) des 4 prélèvements du piège séquentiel à St15.**

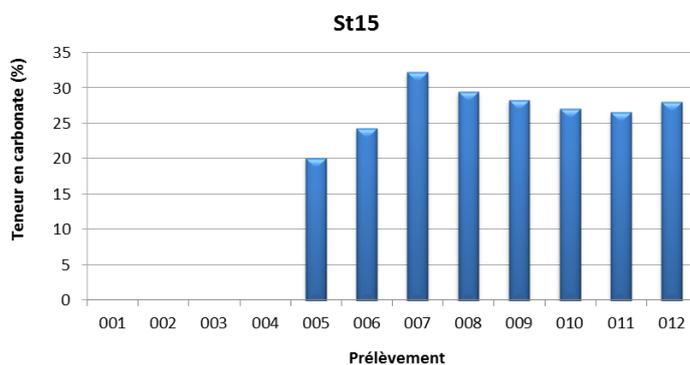
St15				
Prélèvement	% Calcite	% Aragonite	% Goethite	% Autres*
007	21	2	55	22
008	10	3	73	14
009	18	1	54	27
012	19	2	56	23

\* : antigorite

### Teneurs en carbonates

Le manque de matière n'a permis les analyses que sur 8 échantillons. Les teneurs en carbonates dans la fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) des MES collectées en St15 se distribuent entre 20 % et 32 % avec une moyenne de  $27 \pm 4 \%$  soulignant une influence prépondérante claire des apports terrigènes à cette station. La plus faible teneur en carbonates a été mesurée le 21-24 octobre (005) et la plus forte le 29 octobre-01 novembre (007). Entre ces deux extrêmes, les teneurs évoluent progressivement à la hausse dans un premier temps et puis sensiblement à la baisse (Figure 11).

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



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

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

#### Masses collectées

Les masses de MES collectées en St60-NE se distribuent entre 0,05 g et 12,3 g avec une moyenne de  $2,23 \pm 3,52$  g. Les plus faibles quantités ont été collectées au début de la période d'immersion (05-12 octobre ; 001-002), tandis que les plus fortes quantités ont été collectées le 17-20 octobre (004). Au-delà, les masses de MES montrent peu d'évolution jusqu'au dernier prélèvement. En effet, seuls les prélèvements 004 et 012 montrent, respectivement, dont les masses qui dépassent le seuil de 2,00 g. (Figure 12).

Avec un pourcentage moyen de fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) de  $28 \pm 13 \%$ , les MES piégées en St60-NE sont composées majoritairement, de la fraction grossière ( $\varnothing > 41 \mu\text{m}$ ). En effet, les pourcentages de fraction fine

varient entre 7 et 49 % (Figure 13). Toutefois, certains prélèvements présentent des pourcentages de fraction fine relativement élevées (002, 011 et 012).

Pour les différentes campagnes conduites à St60-NE, les masses totales moyennes collectées et les pourcentages moyens de fraction fine sont variables. Le pourcentage moyen obtenu lors de cette campagne est le plus faible (Tableau 12).

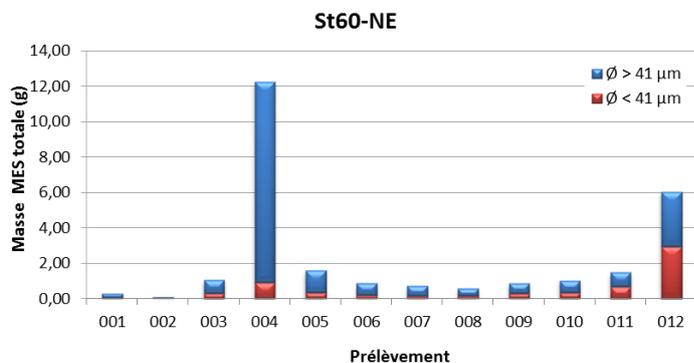


Figure 12 : Masse totale de MES piégées et composition en fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) et fraction grossière ( $\varnothing > 41 \mu\text{m}$ ) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

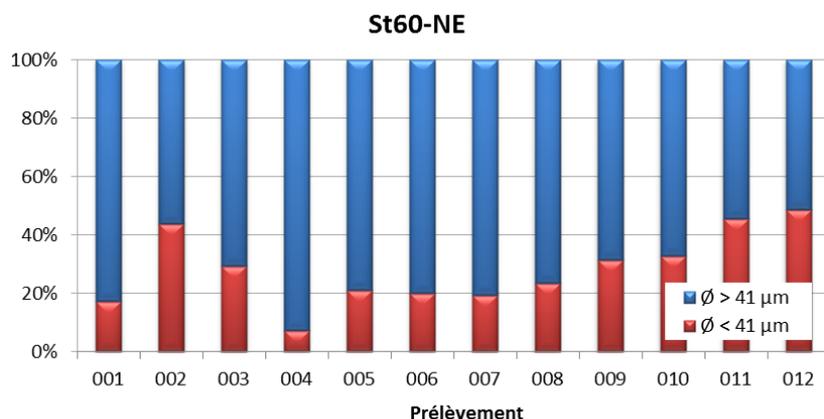


Figure 13 : Pourcentage des fractions fines ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) et des fractions grossières ( $\varnothing > 41 \mu\text{m}$ ) dans les 12 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

Tableau 12 : 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	Avr. - Juin 2014	1,49 $\pm$ 1,01	74 $\pm$ 8	83 $\pm$ 2
Juil. - Août 2011	ND	ND	ND	Sept. - Oct. 2014	1,63 $\pm$ 1,82	60 $\pm$ 4	83 $\pm$ 2
Janv. - Mar 2012	1,92 $\pm$ 1,77	60 $\pm$ 18	80 $\pm$ 3	Janv. - Mars 2015	3,19 $\pm$ 3,11	63 $\pm$ 8	88 $\pm$ 3
Sept. - Oct. 2012	0,82 $\pm$ 1,08	39 $\pm$ 9	85 $\pm$ 1	Juil. - Sept. 2015	1,98 $\pm$ 1,84	61 $\pm$ 6	91 $\pm$ 6
Janv. - Mars 2013	2,51 $\pm$ 2,71	49 $\pm$ 14	77 $\pm$ 1	Mai - Juil. 2016	3,42 $\pm$ 2,03	49 $\pm$ 6	76 $\pm$ 9
Juil. - Août 2013	1,17 $\pm$ 1,42	41 $\pm$ 7	75 $\pm$ 4	Oct. - Nov. 2016	2,23 $\pm$ 3,52	28 $\pm$ 13	91 $\pm$ 7

ND : valeur non déterminée.

### Compositions granulométriques

La fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) de MES collectées en St60-NE est composée de particules dont le mode se situe principalement dans les classes 2,0-20  $\mu\text{m}$  (silts fins) et 20 à 40  $\mu\text{m}$  (silts moyens) avec une moyenne, respectivement, de 42  $\pm$  12 % et de 32  $\pm$  4 % du volume total.

La distribution des populations granulométriques montre une variation dans le temps relative aux classes de grains. En effet, des prélèvements 003 à 012, une très forte diminution dans la proportion de population de graines de taille > 63 µm en faveur de celle de taille < 20 µm est observée (Figure 14).

Pour l'ensemble des campagnes conduites à St60-NE, il n'est pas possible de dégager, parmi les 5 classes granulométrique étudiées, une évolution temporelle singulière. Depuis la campagne de janvier-mars 2012, le mode principal des particules est partagé entre les classes 2,0-20 µm et 20-40 µm. L'exception est faite pour la campagne de septembre-octobre 2014 où une soudaine augmentation des grains de classe 2,0-20 µm au détriment de celles de 20-40 µm et 40 à 63 µm a été mesurée (Tableau 13).

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

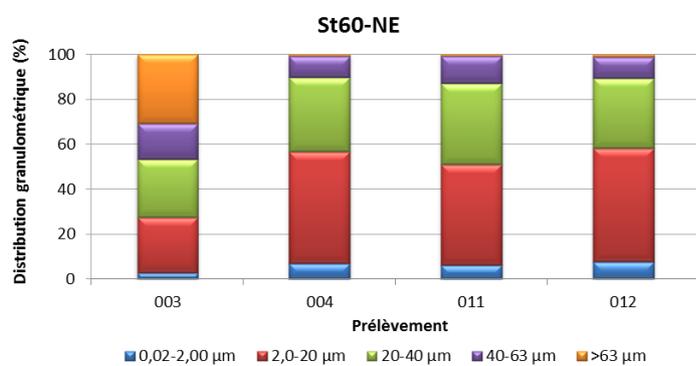


Figure 14 : Distribution granulométrique de la fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) des 4 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

Tableau 13 : Compilation des données moyenne  $\pm$  écart-type de la distribution granulométrique de la fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St60-NE.

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

### Compositions minéralogiques

La fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) de MES collectées en St60-NE est quasi-exclusivement composée de minéraux d'origine marine dont notamment l'aragonite ainsi que la calcite. L'aragonite est un des constituants des coquilles d'invertébrés ; sa présence dénote la très forte influence marine à cette station.

La présence goethite ou autre minéral terrigène n'est pas décelée lors de cette campagne. De surcroît, les proportions de ces minéraux ne fluctuent que très peu dans le temps ce qui souligne les influences marines constantes et quasi exclusives régnant à cette station (Tableau 14).

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

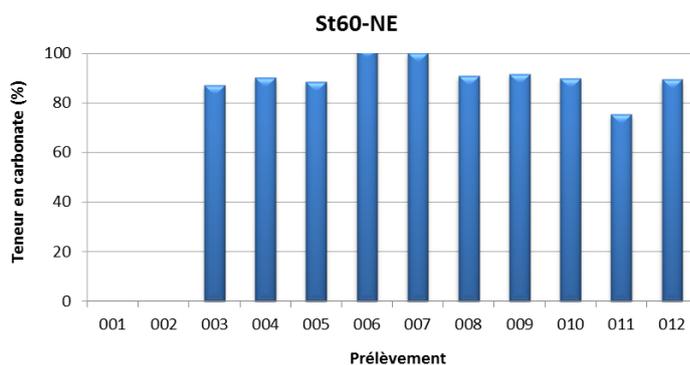
St60-NE				
Prélèvement	% Calcite	% Aragonite	% Goethite	% Autre
004	59	41	-	-
005	61	39	-	-
011	61	39	-	-
012	55	45	-	-

### Teneurs en carbonates

Le manque de matière n'a permis les analyses que sur 10 échantillons. Ainsi, les teneurs en carbonates dans la fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) des MES collectées en St60-NE se distribuent entre 75 % et 100 % avec une moyenne de  $91 \pm 7$  %. La plus faible teneur en carbonate a été mesurée le 14-17 novembre (011) et la plus forte le 25 octobre-01 novembre (006 et 007). Les teneurs évoluent peu avec les prélèvements (Figure 15).

**Note :** la valeur de 100 % de carbonate apparaît irréaliste puisque les concentrations notamment en Fe prouvent l'existence d'autres minéraux dans les MES. Par souci de simplification, il sera considéré, tout de même, que la concentration en carbonate est très proche des 100%, aux erreurs d'analyses près.

Entre les différentes campagnes conduites à St60-NE, les teneurs moyennes varient également peu. La moyenne la plus basse obtenue depuis le début du suivi est de  $75 \pm 4$  % (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 12).



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

## C. COMPOSITION GEOCHIMIQUE DES MATIERES EN SUSPENSION

Les valeurs des concentrations en métaux totaux (Co, Cr, Fe, Mn et Ni) et en éléments majeurs (Ca et S) analysées dans les fractions fines de MES 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 en St06-KW1 dans la fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) des MES piégées au début de la période d'immersion du 05-16 octobre (001-003), tandis que les plus faibles quantités ont été enregistrées dans celles piégées du 17 octobre-17 novembre (004-011). Inversement, pour le Ca, la plus forte teneur a été mesurée les 17 octobre-17 novembre (004-011) tandis que la plus faible quantité a été mesurée le 05-08 octobre (001).

En dépit de ces évolutions, les concentrations obtenues dans les 12 prélèvements ne montrent pas de grande variation, notamment pour le Ca (Tableau 15).

Bien que les concentrations évoluent peu entre les prélèvements, la matrice de corrélation montre qu'il existe bien une forte relation inverse entre le Ca et les 5 métaux ( $R^2 < -0,80$ ). Inversement, elle confirme la similarité d'évolution des concentrations massiques pour Co, Cr, Fe, Ni et Mn ( $R^2 > 0,80$ ) (Tableau 16). Par ailleurs, les évolutions des concentrations de ces métaux sont également négativement corrélées à celle des teneurs en carbonates.

**Tableau 15 : 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	216 424	68,0	2 501	95 230	571	1 397
Max	280 720	123	4 183	159 614	1 012	2 504
Moyenne	260 620	86,3	3 085	116 993	723	1 770
Ecart-type	20 111	18,3	557	22 213	149	370
CV (%)	8	21	18	19	21	21

**Tableau 16 : 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	-0,943	-0,961	-0,946	-0,945	-0,960
Co		1	0,995	0,996	0,993	0,996
Cr			1	0,996	0,992	1,000
Fe				1	0,994	0,997
Mn					1	0,992
Ni						1

**Tableau 17 : Compilation des données moyenne  $\pm$  écart-type des concentrations en métaux et calcium obtenues dans les fractions fines ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St06-KW1.**

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

Entre les différentes campagnes conduites à St06-KW1, les concentrations moyennes des éléments, sauf le Ca, sont très variables. Les comparaisons montrent également que les concentrations en Co, Cr Fe, Mn et Ni obtenues lors de cette dernière campagne 2016 sont légèrement supérieures voire du même ordre que les moyennes enregistrées en 2007 pour l'état de référence. Quant à la concentration moyenne en Ca, elle est légèrement inférieure qu'à celle mesurée en 2007. En revanche, les concentrations métalliques sont largement inférieures à celles obtenues en juillet-août 2013 ; cette campagne est, à ce jour, celle qui présente les concentrations métalliques les plus élevées à St06-KW1, tandis que celle de janvier-mars 2014 est celle qui regroupe les plus basses (Tableau 17).

#### Normalisation du calcium par le fer

Les valeurs du rapport Ca/Fe obtenues en St06-KW1 se distribuent entre 1,36 et 2,95 avec une moyenne de  $2,32 \pm 0,53$ . Les plus faibles ratios ont été obtenus lors des prélèvements du 05-16 octobre (001-003) et les plus forts ratios dans la période du 17 octobre-17 novembre (004-011). Représentant l'influence des pôles marins (Ca) et terrigènes (Fe), ces évolutions des ratios traduisent la mise en place des périodes de forte empreinte terrigène et marine alternées à cette station (Tableau 18).

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 relevé lors de la campagne de juillet-août 2013 (Tableau 19).

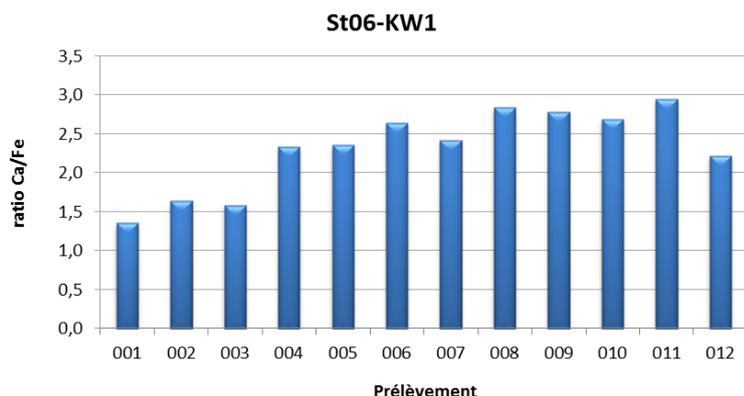


Tableau 18 : Normalisation des concentrations en calcium par le fer mesurées dans la fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St06-KW1.

Tableau 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 à St06-KW1.

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

## 2. Rade Nord de Prony (St15)

### Concentrations en métaux et calcium

Le manque de matière n'a permis les analyses que sur 8 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, quel que soit l'élément elles sont peu dispersées (Tableau 20).

Les plus fortes concentrations en Ca, Co, Cr, Fe, Mn et Ni dans la fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) des MES piégées en St15 ont été mesurées dans la période du 25 octobre-21 novembre (006-012), tandis que la plus faible quantité a été analysée le 21-24 octobre (004).

Bien que les concentrations évoluent peu entre les prélèvements, la matrice de corrélation montre qu'il existe bien une relation inverse entre le Ca et les 5 métaux ( $R^2 < -0,80$ ), bien que celle-ci soit moins forte que pour la stations St06-KW1. Inversement, elle confirme la très forte similarité d'évolution des concentrations massiques pour Co, Cr, Fe, Ni et Mn ( $R^2 > 0,80$ ), notamment entre le Ni et Co, Cr, et Fe (Tableau 21).

Entre les différentes campagnes conduites à St15, les concentrations moyennes des éléments sont peu homogènes notamment celles de Ca. Les comparaisons montrent également que les concentrations obtenues en Co, Cr, Fe, Mn et Ni lors de cette campagne sont du même ordre voire légèrement faibles qu'en 2007 pour l'état de référence. Quant à la concentration moyenne en Ca, elle est légèrement supérieure à celle de 2007 (1,5 fois). Les concentrations métalliques sont inférieures à celles obtenues en janvier-mars 2015, campagne qui est à ce jour celle qui présente les concentrations métalliques les plus hautes à St15 (Tableau 22).

**Tableau 20 : 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	57363	97,0	3590	112959	701	1410
Max	113752	196,0	6721	227074	2356	2601
Moyenne	91451	177,6	6057	198270	1861	2339
Ecart-type	16898	33,1	1016	35176	511	383
CV (%)	18	19	17	18	27	16

**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 8 prélèvements du piège séquentiel à St15.**

St15						
Eléments	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ca	1	0,809	0,767	0,806	0,892	0,773
Co		1	0,992	0,980	0,911	0,990
Cr			1	0,991	0,908	0,999
Fe				1	0,951	0,993
Mn					1	0,916
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 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

### Normalisation du calcium par le fer

Les valeurs du rapport Ca/Fe obtenues en St15 se distribuent entre 0,38 et 0,55 avec une moyenne de 0,46  $\pm$  0,05 et sont très homogènes. Ces ratios faibles confirment que l'influence terrigène est amplement dominante (Figure 16).

Entre les différentes campagnes conduites à St15, la stabilité des ratios Ca/Fe moyens permet de constater que la forte influence terrigène persiste à cette station ; le ratio minimal, c'est-à-dire l'influence terrigène maximale, ayant été relevé lors de la campagne de janvier-mars 2014 (Tableau 23)

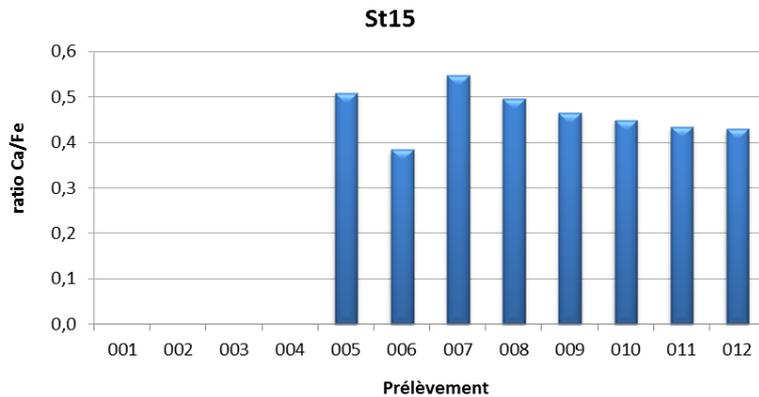


Figure 16 : Normalisation des concentrations en calcium par le fer mesurées dans la fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St15.

Tableau 23 : 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)	Juil. - Sept. 2015	0,48 $\pm$ 0,04
Janv. - Mars 2014	0,05 $\pm$ 0,08	Mai - Juil. 2016	0,46 $\pm$ 0,32
Sept. - Oct. 2014	0,40 $\pm$ 0,02	<b>Oct. - Nov. 2016</b>	<b>0,46 <math>\pm</math> 0,05</b>
Janv. - Mars 2015	0,27 $\pm$ 0,11	-	-

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

#### Concentrations en métaux et calcium

Le manque de matière n'a permis les analyses que sur 10 échantillons. Pour tous les éléments, y compris le Ca, les plus faibles concentrations ont été mesurées en St60-NE dans la fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) des MES piégées du 14-17 novembre (011). Les plus fortes quantités ont été enregistrées dans celles piégées du 25-28 octobre (006) pour Ca, Co, Cr et Ni, tandis que celles de Fe et Mn ont été mesurées du 18-21 novembre (012).

En dépit de ces évolutions, les concentrations obtenues dans les 10 prélèvements ne montrent pas de grande variation (Tableau 24).

La matrice de corrélation montre qu'une similarité certaine de l'évolution des concentrations massiques de Ni vis-à-vis de Co, Cr et Fe ( $R^2 > 0,80$ ) est réelle. Pour les autres éléments, les tendances sont à peine marquées, exception faite du couple Fe/Cr. Inversement, aucun type de corrélation n'est constaté pour les métaux et le Ca (Tableau 25).

Par ailleurs, il n'existe pas, non plus, de corrélation ni entre les métaux et les masses de MES collectées ni entre les métaux et les teneurs en carbonates.

Entre les différentes campagnes conduites à St60-NE, les concentrations moyennes des éléments varient peu, plus particulièrement pour le Ca. Les comparaisons montrent que les concentrations en Fe et Ni obtenue lors de cette dernière campagne 2016 sont environ 2 fois supérieures à la moyenne enregistrée en 2007 pour l'état de référence. Les concentrations moyennes de Ca, Co, Cr et Mn restent dans le même ordre de grandeur qu'en 2007. 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 26).

**Tableau 24 : 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	284822	15,0	397	14825	128	216
Max	384822	19,0	493	18965	182	275
Moyenne	342288	17,1	461	17288	143	252
Ecart-type	27452	1,52	33	1125	16,3	17,2
CV (%)	8	9	7	7	11	7

**Tableau 25 : 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	0,681	0,655	0,650	0,149	0,802
Co		1	0,715	0,742	0,541	0,833
Cr			1	0,891	0,255	0,939
Fe				1	0,552	0,839
Mn					1	0,315
Ni						1

**Tableau 26 : Compilation des données moyenne  $\pm$  écart-type des concentrations en métaux et calcium obtenues dans les fractions fines ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges à St60-NE.**

Campagne	St60-NE					
	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Févr. - Mars 2007	340 410 (n=1)	11,0 (n=1)	332 (n=1)	9 910 (n=1)	109 (n=1)	136 (n=1)
Juil. - Août 2011	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Janv. - Mar 2012	293 760 $\pm$ 16 723	25,6 $\pm$ 6,56	662 $\pm$ 72	20 959 $\pm$ 2 895	254 $\pm$ 123	423 $\pm$ 78
Sept. - Oct. 2012	345 918 $\pm$ 19 677	29,0 $\pm$ 4,97	566 $\pm$ 23	18 347 $\pm$ 1 641	189 $\pm$ 49	345 $\pm$ 68
Janv. - Mars 2013	306 914 $\pm$ 5 219	21,3 $\pm$ 2,55	834 $\pm$ 58	26 131 $\pm$ 2 022	262 $\pm$ 25	478 $\pm$ 39
<b>Juil. - Août 2013</b>	<b>280 315 <math>\pm</math> 16 630</b>	<b>35,5 <math>\pm</math> 10,5</b>	<b>921 <math>\pm</math> 179</b>	<b>32 693 <math>\pm</math> 6 925</b>	<b>358 <math>\pm</math> 93</b>	<b>558 <math>\pm</math> 106</b>
<b>Avr. - Juin 2014</b>	<b>302 211 <math>\pm</math> 9 477</b>	<b>19,6 <math>\pm</math> 2,3</b>	<b>569 <math>\pm</math> 41</b>	<b>17 740 <math>\pm</math> 1 958</b>	<b>195 <math>\pm</math> 32</b>	<b>322 <math>\pm</math> 36</b>
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
<b>Oct. - Nov. 2016</b>	<b>342 228 <math>\pm</math> 27 452</b>	<b>17,1 <math>\pm</math> 1,5</b>	<b>461 <math>\pm</math> 33</b>	<b>17 288 <math>\pm</math> 1 125</b>	<b>143 <math>\pm</math> 16,3</b>	252 $\pm$ 17,2

ND : valeur non déterminée.

### Normalisation du calcium par le fer

Les valeurs du rapport Ca/Fe obtenues en St60-NE se distribuent entre 17,8 et 21,5 avec une moyenne de 19,8 ± 1,2. En dépit de la faible évolution des ratios, la plus basse valeur a été obtenue lors des prélèvements du 18-21 novembre (012) et la forte pour ceux du 25 octobre au 01 novembre (006 et 007). Ces ratios élevés confirment que l'influence marine est très dominante corroborant ainsi les résultats de teneurs en carbonates (Figure 17).

Entre les différentes campagnes conduites à St60-NE, les évolutions du ratio Ca/Fe moyen permettent de constater que l'influence terrigène a augmenté à cette station depuis la campagne de l'état de référence en 2007 ; le ratio minimal ayant été relevé lors de la campagne de juillet-août 2013. Depuis, les valeurs sont stables avec une moyenne de 14,9 ± 3,2. (Tableau 27).

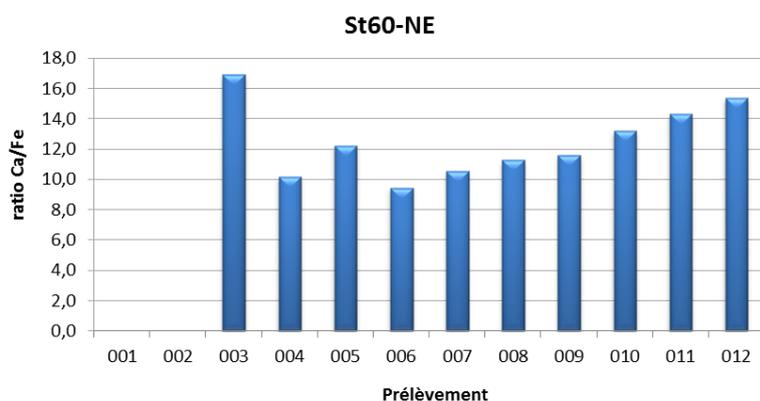


Figure 17 : Normalisation des concentrations en calcium par le fer mesurées dans la fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) des 12 prélèvements du piège séquentiel à St60-NE.

Tableau 27 : Compilation des données moyenne ± écart-type de normalisation du calcium par le fer obtenues dans les fractions fines ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) de MES collectées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à particules à St60-NE.

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

ND : valeur non déterminée.

### Concentrations en soufre

Les concentrations en S dans la fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) des MES collectées en St60-NE se distribuent entre 2092 mg/kg ps et 3713 mg/kg ps avec une moyenne de 2639 ± 503 mg/kg ps. La plus forte concentration en S mesurée le 13-16 octobre (003), puis les valeurs diminuent progressivement pour stabiliser ; les plus faibles concentrations en S ont été mesurées le 02-05 novembre (008) et le 14-17 novembre (011) (Figure 18).

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

présente les concentrations en S les plus hautes à St60-NE. Ainsi, la moyenne calculée pour cette campagne est du même ordre de grandeur que celle des premières valeurs en 2012 (Tableau 28).

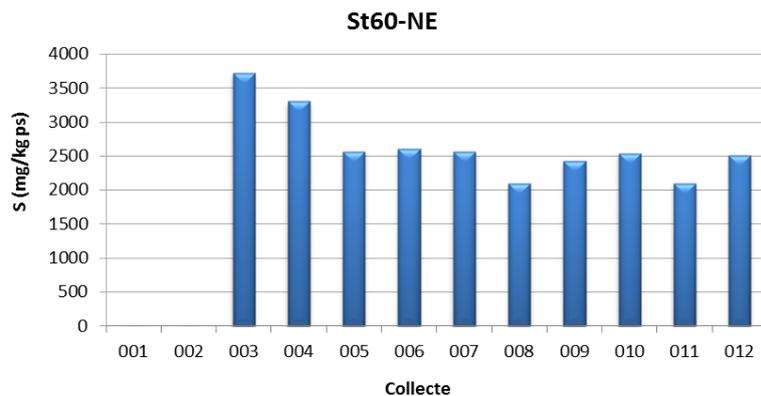


Figure 18 : Concentrations en soufre mesurées dans la fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) des 10 prélèvements de MES collectés par le piège séquentiel à particules à St60-NE.

Tableau 28 : 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	Avr. - Juin 2014	3 812 $\pm$ 834
Juil. - Août 2011	ND	Sept. - Oct. 2014	2 805 $\pm$ 161
Janv. - Mars 2012	2 903 $\pm$ 183	Janv. - Mars 2015	2 887 $\pm$ 74
Sept. - Oct. 2012	3 001 $\pm$ 131	Juil. - Sept. 2015	2 776 $\pm$ 168
Janv. - Mars 2013	3 113 $\pm$ 284	Mai - Juil. 2016	2 746 $\pm$ 83
Juil. - Août 2013	2 656 $\pm$ 556	Oct. - Nov. 2016	2 639 $\pm$ 503

ND : valeur non déterminée.

## IV. INTERPRETATION

### A. INFLUENCE DES FACTEURS METEOROLOGIQUES

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

L'immersion du piège séquentiel à particules à St06-KW1 du 05 octobre au 21 novembre avec un pas de temps de 96 h a permis de révéler les observations suivantes (Figure 19) :

- Du 05-09 octobre (001) au 13-16 octobre (003) - la quantité de MES piégées augmente progressivement. Les plus fortes concentrations de Ni sont mesurées tandis que les ratios Ca/Fe sont à leur valeurs les plus faibles. D'après ces valeurs, durant ces périodes, les apports terrigènes semblent prépondérants. Ces périodes sont accompagnées de vents d'intensités modérées ( $4,7 \pm 1,9$ ,  $5,0 \pm 2,6$  et  $6,9 \pm 3,2$  m/s, respectivement), principalement orientés entre le S et le S-SE (alizés) avec deux rotations très rapides entre les 04 et 17 octobre. Les précipitations quant à elles sont nulles à modérés (36,4 et 10,8 mm, respectivement pour les 09-2 octobre et 13-16 octobre) et ne sont probablement pas à l'origine des apports collectés à ces dates.
- Du 17-20 octobre (004) au 29 octobre-01 novembre (007) – en premier, la quantité de MES et la concentration de Ni diminuent soudainement et puis se stabilise. Inversement, le ratio Ca/Fe augmente et puis se stabilise à son tour à environ 2,5. Les ratios Ca/Fe plus élevés soulignent l'augmentation du régime marin sur le régime terrigène. Ces périodes correspondent à des précipitations nulles à faibles (6,2 mm pour les 29 octobre-01 novembre) et des vents d'intensité modérée (de  $5,5 \pm 1,9$  à  $7,3 \pm 1,7$  m/s), comme conséquence de régimes météorologiques relativement stables, de composantes SE débordant très temporairement au secteur E.
- Du 02-05 novembre (008) au 10-13 novembre (010) – une fois de plus la quantité de MES piégées diminue et ceci en dépit des précipitations modérés de 39,0 mm du 03 novembre. Ces pluies n'impactent pas non plus la concentration de Ni, ni le ratio de Ca/Fe ; ils demeurent invariables, preuves que ces précipitations n'ont pas eu d'effet sur l'apport en matière terrigène. A noter que ces trois prélèvements coïncident avec trois rotations météorologiques très rapides de SO à NE, qui n'entraînent pas dans la baie Kwé de phénomènes de remise en suspension, d'autant plus que les vitesses sont faibles.
- Du 14-17 novembre (011) au 18-21 novembre (012) – ces périodes correspondent à des précipitations faibles à fortes (19,0 et 138,0, respectivement) avec des vents dont les intensités sont passées progressivement de modérées à fortes ( $5,1 \pm 2,3$  et  $9,9 \pm 1,8$  m/s, entre le S-SO et le S-SE, respectivement). Durant cette période, la quantité de MES piégées augmente progressivement ainsi que la masse de fraction grossière mesurée dans les MES piégées pour atteindre leurs maximales le 18-21 novembre. En revanche, l'évolution de concentration de Ni est en légère augmentation alors le ratio Ca/Fe diminue. Ces observations montrent que malgré les précipitations, probablement

génératrices de matériel particulaire terrigène, l'action des régimes de vents a été prépondérante et a probablement remis en suspension du matériel d'origine marine.

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

- la contribution du flux de particules **d'origine terrigène** a été influencée par l'effet combiné de la direction de vents et sa vitesse et, dans la moindre mesure, la pluviométrie. Les vents de secteur SSO d'intensité modérés (> 6,0 m/s) ont pour effet de remobiliser des particules terrigènes sédimentées en fond de baie (par exemple, les prélèvements 001 et 012). *A contrario*, les vents des secteurs E, N et O ne favorisent pas la formation d'un clapot suffisant pour engendrer des remises en suspension des particules déposées en fond de baie. Cet apport semble également conditionné par le lessivage des bassins versants résultant des précipitations (par exemple, les prélèvements 002, 003, 011 et 012). Toutefois, ceci n'est pas le cas pour le prélèvement 008 en dépit des précipitations du 03 novembre. Il est probable que le panache terrigène transporté par le Creek de la Baie Kwé soit resté confiné en fond de baie par les vents de SO. De plus, l'on constate pour le prélèvement 012, une corrélation entre la quantité de MES collectés avec une proportion de fraction grossière supérieure et les fortes précipitations avec une légère augmentation des concentrations de Ni. L'effet de pluie semble être neutralisé par les forts vents de S (> 10 m/s) qui ont remobilisé des débris carbonatés du platier.
- le flux **d'origine marine** est ainsi favorisé par des vents de E, N et O et principalement par des vents modérés de secteur S, notamment de régime SSO. En effet, les vents de ces secteurs contribuent au déplacement des masses d'eau océanique enrichies en particules carbonatées et en tests micro-organismes marins, comme les foraminifères. Par ailleurs, les vents SSO sont également capables de mettre en suspension les particules grossières, conséquence de l'altération mécanique du platier corallien qui borde la Baie Kwe, comme constaté pour les prélèvements 011 et 012.

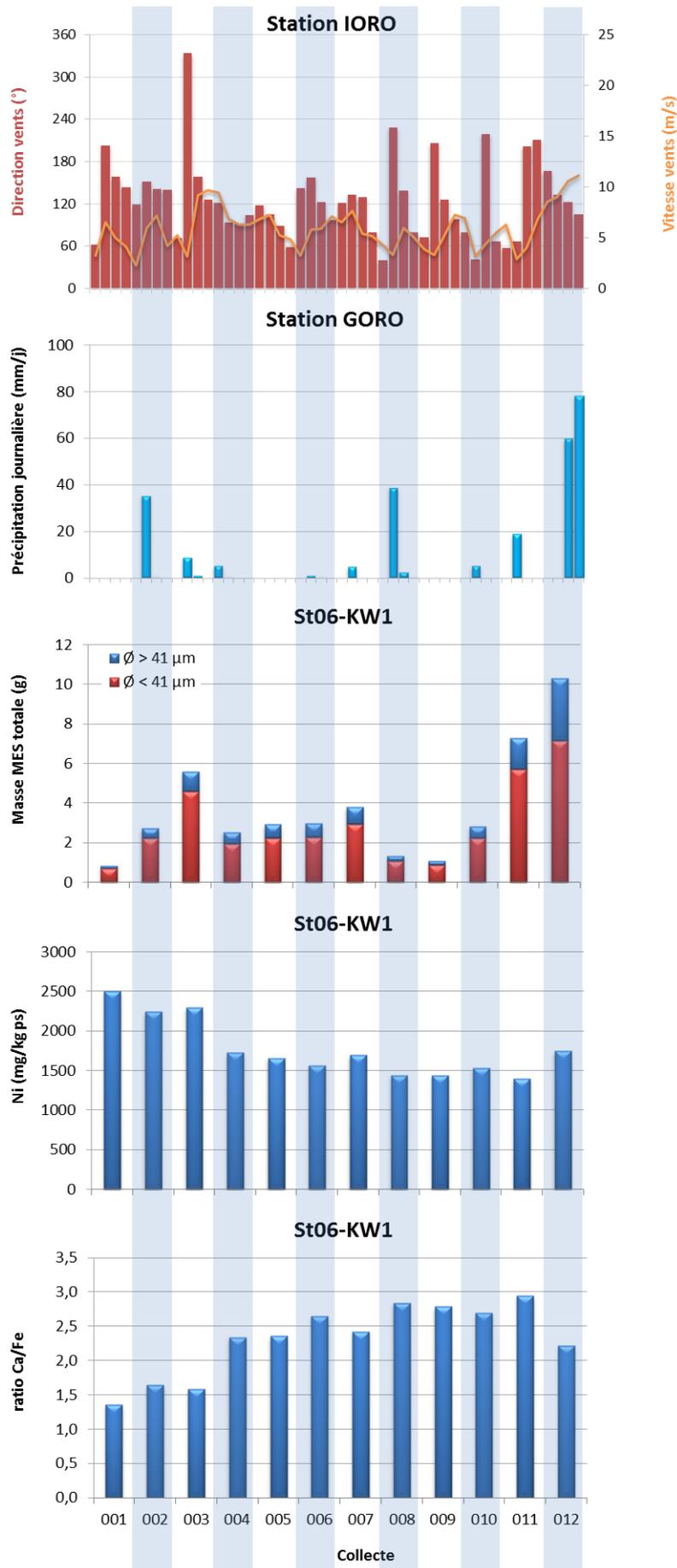


Figure 19 : Diagramme combiné de direction et vitesse moyennes journalières des vents, cumul journalier de précipitation, de masse totale de MES piégées et la composition en fraction fine ( $\phi < 41 \mu\text{m}$ ) et fraction grossière ( $\phi > 41 \mu\text{m}$ ) ainsi que de concentration en nickel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

#### 4. Rade Nord de Prony (St15)

---

L'immersion du piège séquentiel à particules à St15 du 05 octobre au 21 novembre avec un pas de temps de 96 h a permis de révéler les observations suivantes (Figure 20) :

- Du 05-08 octobre (001) au 17-20 octobre (004) – les quantités de MES collectées sont infinitésimales et contiennent trop peu de fraction fine pour pouvoir effectuer les analyses élémentaires. Ces périodes sont accompagnées de vents d'intensités modérés ( $4,7 \pm 1,9$  à  $7,3 \pm 1,7$  m/s) et principalement orientés progressivement du S au S-SE (alizés) avec deux rotations brèves entre les 04 et 17 octobre. Les précipitations quant à elles sont nulles à modérés (36,4 puis 10,8 et 6,2 mm). Ainsi, ni les précipitations du 10 octobre, ni les vents n'ont eu d'impact sur les quantités piégées, en raison du confinement de la rade.
- Du 21-24 octobre (005) au 02-05 novembre (008) – la quantité de MES collectées augmente progressivement pour atteindre sa valeur maximale durant la période du 02-05 novembre. Cette valeur maximale est en correspondance avec des précipitations modérées du 03 novembre (39,0 mm) et des vents faibles de SO (3,3 m/s). La plus faible concentration de Ni est mesurée le 21-24 octobre et puis la teneur double brusquement puis se stabilise remarquablement. Les valeurs de ratio Ca/Fe quant à elles montrent une légère variabilité. Du 21 octobre au 01 novembre, trois périodes sèches (pluviométrie de 0,0 à 5,6 mm) sont accompagnées de vents d'intensités modérées ( $6,0 \pm 1,6$ ,  $5,5 \pm 1,9$  et  $6,2 \pm 1,5$  m/s, respectivement) qui se maintiennent dans le secteur E-NE et SE.
- Du 06-09 novembre (009) au 18-21 novembre (012) – la quantité de MES collectée diminue quasiment d'un facteur 3 et montre des valeurs de masses relativement stables. Les concentrations de Ni demeurent très homogènes et les ratios Ca/Fe suivent une légère diminution. Les régimes des vents présentent 2 rotations du 06 au 14 novembre très rapides du SO au NE. Du 06-09 novembre au 14-17 novembre, les vents sont d'intensité modérée ( $5,0 \pm 2,3$ ,  $5,0 \pm 2,2$  et  $5,1 \pm 2,3$  m/s, respectivement) et les précipitations enregistrées sont faibles à modérées (de 0,8 à 19,0 mm). Du 18-21 novembre, les précipitations s'intensifient (138,0 mm) ainsi que les vents ( $9,9 \pm 1,8$  m/s) tout en demeurant dans le secteur restreint S-SO au S-SE. La dégradation des conditions météorologiques n'a pourtant pas eu d'impact sur la quantité de MES collectée, ni sur la concentration de Ni, seul le ratio de Ca/Fe diminue légèrement.

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

- la contribution du flux de particules **d'origine terrigène** est particulièrement influencée par l'effet combiné de la direction de vents, sa vitesse et la pluviométrie. En raison de sa dimension réduite, la baie du Creek de la Rade Nord reçoit les particules latéritiques entraînées par les précipitations *via* le Creek qui y débouche. C'est le cas lors des précipitations du 03 novembre accompagné des vents faibles de SO (prélèvement 008), tandis que les précipitations du 10 octobre et du 20-21 novembre accompagné des vents de S-SE et E-SE plus soutenus n'ont pas eu d'influence particulière (prélèvements 002 et 012). En effet, les vents du secteur E à S ont tendance à planquer le panache des particules sur la ligne de côté nord de la Baie, loin de l'emplacement du piège. Par ailleurs, les vents forts de S-SO, voire S-SE peuvent 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, remobiliseraient les particules plus denses et moins riches en Ni déposés dans la petite anse de la Rade Nord. Les concentrations en métaux latéritiques (exemple de Ni) restent particulièrement stables entre les pas de prélèvements. Cela pourrait-être expliqué par la latence de sédimentation des particules fines et/ou à la lente dynamique de renouvellement des masses d'eau dans la Rade Nord.

- le flux **d'origine marine** est peu présent pour cette campagne et en général à cette station. En effet, les valeurs de ratios Ca/Fe obtenues sont à la fois faibles et homogènes. D'après les campagnes précédentes, l'apport marin à cette station est principalement favorisé par les vents de secteur O à N modérés. Pour cette campagne, les vents soufflent quasi-exclusivement entre le secteur E à SE avec quelques incursions à SO et à NE ce qui explique l'absence des apports marins.

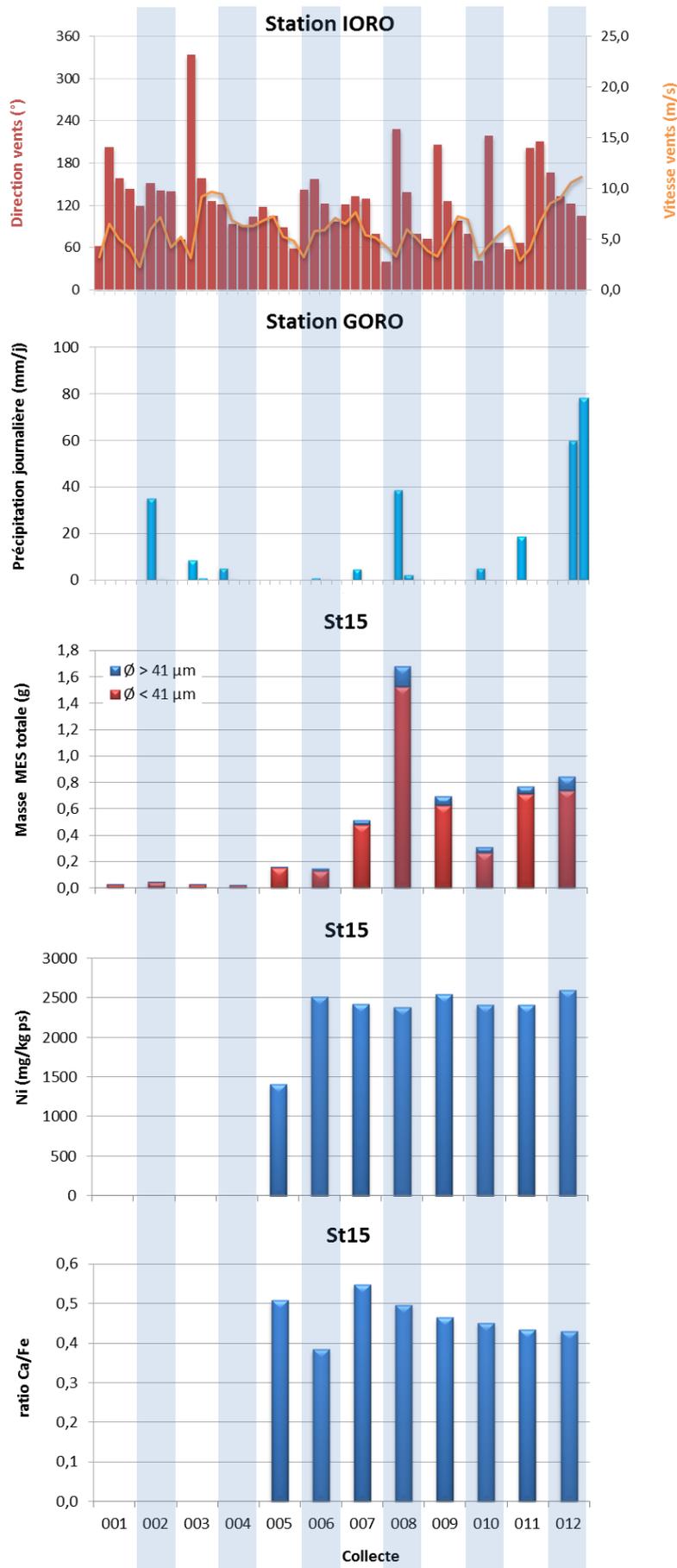


Figure 20 : Diagramme combiné de direction et vitesse moyennes journalières des vents, cumul journalier de précipitation, de masse totale de MES piégées et la composition en fraction fine ( $\phi < 41 \mu\text{m}$ ) et fraction grossière ( $\phi > 41 \mu\text{m}$ ) ainsi que de concentration en nickel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

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

---

L'immersion du piège séquentiel à particules à St60-NE du 27 mai au 13 juillet, avec un pas de temps de 96 h a permis de révéler les observations suivantes (Figure 21) :

- Du 05-08 octobre (001) au 13-16 octobre (003) – les quantités de MES collectées sont infinitésimales et contiennent peu de fraction fine. Ces périodes sont accompagnées de vents d'intensités modérées ( $4,7 \pm 1,9$ ,  $5,0 \pm 2,6$  m/s et  $6,9 \pm 3,2$  m/s, respectivement) et principalement orientés au S-SE (alizés). Les précipitations quant à elles sont nulles à modérés (0,0, 36,4 et 10,8 mm, respectivement) et ne montrent pas de conséquences sur les quantités de particules qui ont été piégées.
- Du 17-20 octobre (004) – les vents sont modérés ( $7,3 \pm 1,7$  m/s) et orientés de E-SE à E, les précipitations étant faibles (6,2 mm). Dans ce contexte, la quantité de MES collectée, qui est importante (12 g), est sans aucun doute d'origine marine.
- Du 21-24 octobre (005) au 13-17 novembre (011) – les régimes de vents sont principalement de type « alizés » avec 3 rotations rapides. Les précipitations mesurées oscillent de 0,0 mm à 42,6 mm. Ces conditions météorologiques n'ont pas eu d'incidence sur les concentrations de Ni et les ratios Ca/Fe, ni sur les masses de MES piégées, puisqu'elles, d'une part sont très faibles, et d'autre part, ne varient que très peu.
- Du 18-21 novembre (012) - cette période est accompagnée par les vitesses moyennes de vents les plus élevés ( $9,9 \pm 1,8$  m/s) soufflant principalement du S-SO au S-SE avec de précipitations intenses (138,0 mm). Ces conditions météorologiques n'ont pourtant pas eu de conséquences sur les concentrations en Ni, ni sur l'évolution du ratio Ca/Fe, seule la masse totale en MES et de sa fraction fine ont montré une légère augmentation.

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

- la contribution du flux de particules **d'origine terrigène** ne serait pas directement influencée par les précipitations. En effet, en raison de son éloignement à la côte et de l'intense hydrodynamisme régnant dans le Canal, il est peu probable que les particules latéritiques arrachées aux bassins versants par les précipitations puissent être transportées jusqu'à la station St60-NE. En ce qui concerne les régimes de vents, aucune corrélation claire n'a pu être établie entre ce dernier et les apports terrigènes. Toutefois, des vents d'un large secteur S génèrent une houle suffisante qui peut mettre/remettre en suspension des MES, tout le long de la ligne de côte. Ces particules peuvent probablement finir par atteindre des aires éloignées de la ligne de côte, au gré des phénomènes de marées, mais en faible quantité.
- le flux **d'origine marine** ne semble *à priori* pas, d'après les ratios Ca/Fe, particulièrement influencé par des régimes de vents, sinon du secteur E à SE. Ces vents balayent le complexe système récifale et favorisent la circulation des eaux enrichies en tests de micro-organismes. Par ailleurs, la teneur la plus faible de carbonate a été mesurée le 15-17 novembre où les vents ont soufflé sur plusieurs jours d'E-NE et puis de S-SO. Le vent d'E-SE supérieur à 9,0 m/s concorde avec l'augmentation conséquente de la proportion de fraction grossière piégé dans les MES collectées (prélèvements 004 et 012).

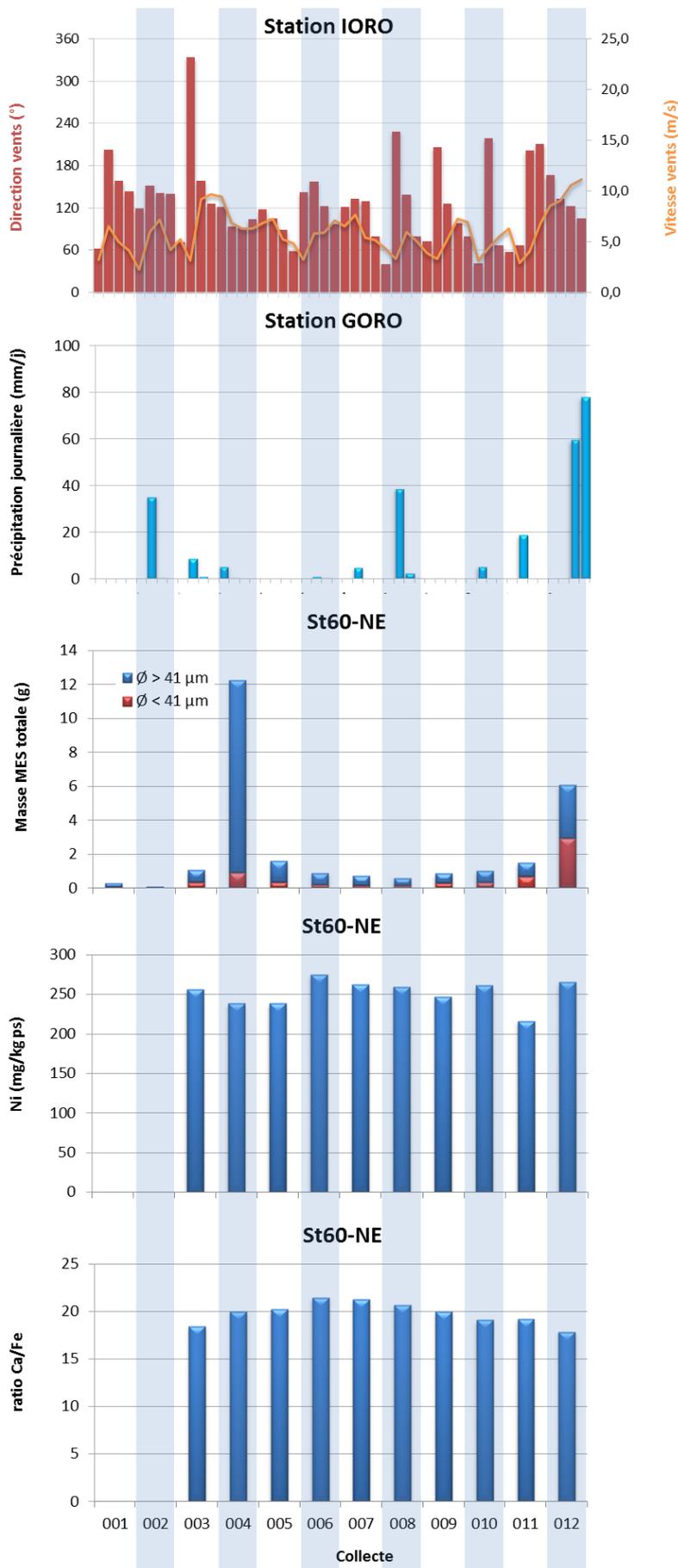


Figure 21 : Diagramme combiné de direction et vitesse moyennes journalières des vents, cumul journalier de précipitation, de masse totale de MES piégées et la composition en fraction fine ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) et fraction grossière ( $\varnothing > 41 \mu\text{m}$ ) ainsi que de concentration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

## B. CALCUL DES FLUX DES MATIERES

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

### 1. Baie Kwé (St06-KW1)

#### Flux de matière en suspension

La densité de flux moyen mesurée lors de cette campagne est de  $18,5 \pm 13,9 \text{ g/m}^2/\text{j}$ , valeur qui est comparable à celle enregistrée en 2006 pour l'état de référence. Entre les différentes campagnes, les densités moyennes de flux peuvent varier fortement. Globalement, depuis 2007, la tendance a été à l'augmentation et semble s'inverser, à partir de la campagne d'octobre-novembre 2015 (Tableau 29).

Tableau 29 : 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	Janv. - Mars 2014	60,7 $\pm$ 34,1	2 914
Mars - Avr. 2007	46,1 $\pm$ 44,7	1 106	Sept - Oct. 2014	11,8 $\pm$ 8,41	569
Juil. - Août 2011	27,1 $\pm$ 30,0	1 299	Janv. - Mars 2015	66,3 $\pm$ 36,1	3 181
Janv. - Mars 2012	39,5 $\pm$ 33,2	1 894	Oct. - Nov. 2015	38,8 $\pm$ 30,5	1 864
Sept. - Oct. 2012	26,4 $\pm$ 13,1	1 267	Juil. - Sept. 2016	28,7 $\pm$ 22,9	1 379
Janv. - Févr. 2013	46,5 $\pm$ 28,5	2 231	Oct. - Nov. 2016	18,5 $\pm$ 13,9	886
Juil. - Août 2013	58,1 $\pm$ 87,8	2 786			

#### Éléments métalliques

Illustré par le cas du Ni, les flux métalliques moyens lors de cette campagne sont de  $32,3 \pm 24,6 \text{ mg ps/m}^2/\text{j}$ . D'une campagne à l'autre, les valeurs moyennes varient fortement, le flux maximum a été calculé pour juillet-août 2013 ( $282 \pm 626 \text{ mg ps/m}^2/\text{j}$ ). Ensuite, les flux en Ni diminuent fortement et ne dépassent pas le seuil de  $102 \text{ mg ps/m}^2/\text{j}$ . Ils sont en baisse progressive depuis janvier-mars 2015 (Figure 22).

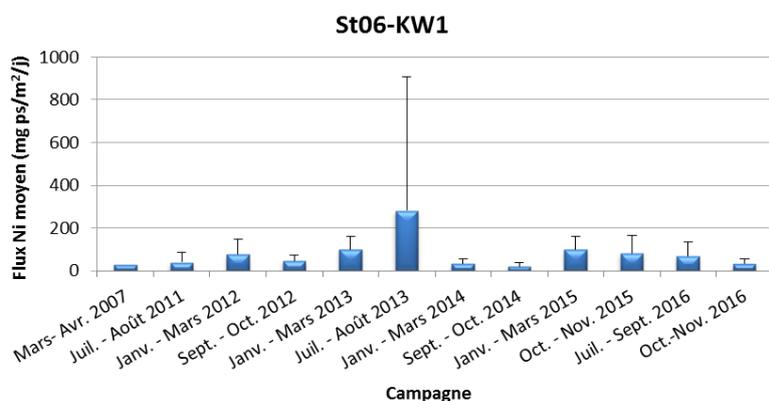


Figure 22 : Compilation des moyenne  $\pm$  écart-type des flux en nickel dans les fractions fines ( $\emptyset < 41 \mu\text{m}$ ) de MES piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St60-KW1.

## 1. Rade Nord de Prony (St15)

### Flux de matière en suspension

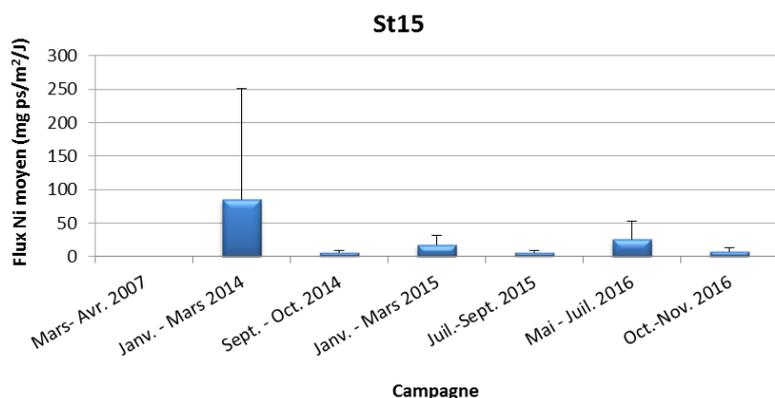
La densité de flux moyen mesurée lors de cette campagne est de  $2,19 \pm 2,48$  g/m<sup>2</sup>/j. Entre les différentes campagnes conduites à St15, les densités moyennes de flux sont variables. Pour cette campagne la moyenne est dans le même ordre de grandeur que celle enregistrée en 2006 pour l'état 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), de cette campagne (Tableau 4 ; Tableau 30).

**Tableau 30 : 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 (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> )
Oct. – Nov. 2006	1,05 $\pm$ 0,64	25,2	Janv. - Mars 2015	2,78 $\pm$ 2,98	134
Mars - Avr. 2007	1,55 $\pm$ 1,45	37,1	Juil. - Sept. 2015	1,31 $\pm$ 1,34	62,7
Janv. - Mars 2014	22,2 $\pm$ 44,5	1 063	Mai - Juil. 2016	8,67 $\pm$ 7,44	416
Sept. – Oct. 2014	0,91 $\pm$ 1,23	43,8	<b>Oct. – Nov. 2016</b>	<b>2,19 <math>\pm</math> 2,48</b>	<b>105</b>

### Eléments métalliques

Illustré par le cas du Ni, les flux métalliques moyens lors de cette campagne sont de  $7,76 \pm 6,11$  mg ps/m<sup>2</sup>/j. Entre les campagnes, les valeurs moyennes montrent une très forte variation. Ainsi, en janvier-mars 2014, la valeur moyenne est maximale ( $86 \pm 165$  mg ps/m<sup>2</sup>/j) puis, elle diminue et demeure en dessous du seuil de 27,0 mg ps/m<sup>2</sup>/j. La valeur extrême maximale est à relier avec la pluviométrie exceptionnelle de 920,2 mm mesurée lors de la campagne (Tableau 4 ; Figure 23).



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

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

### Flux de matière en suspension

La densité de flux moyen mesurée lors de cette campagne est de  $11,1 \pm 17,6$  g/m<sup>2</sup>/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 31).

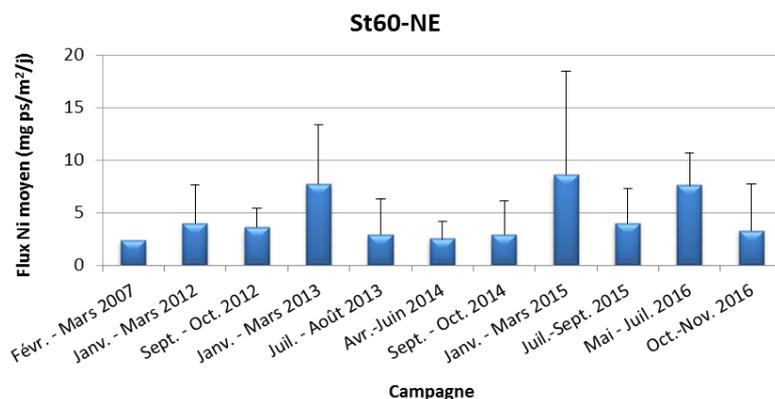
**Tableau 31 : Compilation des moyenne  $\pm$  écart-type des flux en matière particulaire totale et des cumuls de masses de MES totales piégées lors des différentes campagnes d'immersion des pièges séquentiels à St60-NE.**

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 $\pm$ 40,1	949	Avr. - Juin 2014	7,43 $\pm$ 5,05	356
Juil. - Août 2011	ND	ND	Sept. - Oct. 2014	8,13 $\pm$ 9,08	390
Janv. - Mar 2012	9,61 $\pm$ 8,87	461	Janv. - Mars 2015	16,0 $\pm$ 15,6	766
Sept. - Oct. 2012	4,10 $\pm$ 5,39	197	Juil. - Sept. 2015	9,88 $\pm$ 9,20	474
Janv. - Mars 2013	12,6 $\pm$ 13,6	603	Mai - Juil. 2016	17,1 $\pm$ 10,2	822
Juil. - Août 2013	5,85 $\pm$ 7,09	281	<b>Oct. - Nov. 2016</b>	<b>11,1 <math>\pm</math> 17,6</b>	<b>535</b>

ND : valeur non déterminée.

### Éléments métalliques

Les flux moyens de Ni lors de cette campagne sont seulement de 3,26  $\pm$  4,52 mg ps/m<sup>2</sup>/j, valeur qui est de l'ordre de grandeur des résultats historiques pour la station. Entre les différentes campagnes, la variation des moyennes est modérée et ne dépasse qu'exceptionnellement le seuil de 5,00 mg ps/m<sup>2</sup>/j. C'est le cas pour les campagnes de janvier-mars 2013 (7,72  $\pm$  5,70 mg ps/m<sup>2</sup>/j), janvier-mars 2015 (8,57  $\pm$  9,87 mg ps/m<sup>2</sup>/j) et mai-juillet 2016 (7,10  $\pm$  3,10 mg ps/m<sup>2</sup>/j) (Figure 24).



**Figure 24 : 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 St60-NE.**

## SYNTHESE

La campagne de suivi des densités de flux verticaux de particules du deuxième semestre de 2016 s'est déroulée du 05 octobre à 21 novembre aux stations St06-KW1, St15 et St60-NE avec une ligne de mouillage simple lestée.

Dans le contexte hydro-climatique déjà explicité, parmi les 3 stations suivies, les observations principales relevées lors de cette campagne sont les suivantes :

- Pour la St06-KW1 - les masses moyennes de MES ainsi que la densité moyenne de flux en MES et en Ni sont parmi les plus élevés des 3 stations. En revanche, les teneurs moyennes en carbonates et des concentrations en métaux et Ca, ainsi que le ratio Ca/Fe, sont à des niveaux intermédiaires. Les matrices de corrélation montrent une forte relation entre les évolutions massiques des 5 métaux latéritiques Co, Cr, Fe, Mn et Ni. Il existe également une forte anti-corrélation entre les évolutions massiques des métaux et le Ca. Ces observations soulignent que les particules piégées à St06-KW1 proviennent d'une même formation et que la station subit des influences terrigènes et marines alternées. La turbidité (quantité de MES) et l'enrichissement en Ni constatée résulte de l'effet combiné de la direction et la vitesse de vents principalement des secteurs S à S-SO et d'intensité modérés (> 6,0 m/s). En ce qui concerne les précipitations, elles influencent également le flux des particules terrigène, mais l'impact est très dépendant des régimes de vents. Ainsi, pour cette campagne, l'apport latéritique semble fortement favorisé par les vents de secteur S-SO, et peu par le lessivage de matières latéritiques résultant des précipitations combiné avec de vents de S. Les vents de S-SO et de S-SE alimentent la zone d'étude à la fois en particules latéritiques fines, en favorisant la re-suspension des matières sédimentées en fond de baie, et dans une mesure plus ou moins modeste, en particules grossières carbonatées résultant de l'altération mécanique du platier corallien qui borde la Baie Kwe, sous l'effet de la houle. Quant aux vents des secteurs E, N et O, ils favorisaient également l'influence marine en contribuant au déplacement des masses d'eau océanique enrichies en particules carbonatées et en tests micro-organismes marins comme les foraminifères. Pour mieux caractériser l'effet des précipitations sur les flux verticaux des particules, les apports du creek devraient également être étudiés.
- Pour la St15 – les concentrations moyennes en métaux, ainsi que celles de pourcentage de fraction fine piégée sont parmi les plus élevées. En revanche, les masses moyennes de MES piégées, les teneurs en carbonates et les concentrations en Ca, ainsi que les ratios moyens Ca/Fe et les densités de flux en MES sont parmi les plus faibles. En ce qui concerne les densités moyennes de flux en Ni, elles prennent une valeur intermédiaire. La turbidité (quantité de MES) et l'enrichissement en Ni constaté résulte de l'effet combiné des précipitations et de la direction de vents principalement de secteur SO. Les précipitations du 03 novembre accompagnées des vents de SO ont sans doute généré une couche turbide enrichies en Ni, contrairement à celles du 10 octobre et 20-21 novembre accompagnées des vents de S-SE et E-SE ; les vents d'un large secteur S ont tendance à planquer le panache de particule sur la côté nord de la Baie, loin du site de mouillage du piège. Par ailleurs, les particules latéritiques riches en métaux ainsi déposées en fond de Rade semblent être sujettes à la remise en suspension par les vents des secteurs O. De surcroît, l'action remobilisatrice des vents du S-SO et S-SE, voire O, peuvent remobiliser les particules légères déposées par faible profondeur sur le talus, mais aussi les particules plus denses et moins riches en Ni déposés en fond de la Rade Nord. Les concentrations en métaux latéritiques (exemple de Ni) restent particulièrement stables entre les pas de prélèvements.

Cela pourrai-être expliqué par la latence de sédimentation des particules fines et/ou à la lente dynamique de renouvellement des masses d'eau dans la Rade Nord. L'apport marin, très modeste à St15, semble être, d'après les précédentes campagnes, favorisé par les vents modérés de secteur N et O qui contribuent au déplacement des particules grossières carbonatées provenant des formations récifales et de tests de micro-organismes. Pour cette campagne, les vents soufflent quasi-exclusivement entre le secteur E à SE avec quelques incursions à SO et à NE ce qui explique l'absence des apports d'origine marine.

- Pour la St60-NE - les teneurs moyennes en carbonates et les concentrations en Ca, ainsi que les ratios Ca/Fe sont les plus élevés. En revanche, les pourcentages moyens de fraction fine, les concentrations en métaux et la densité de flux en Ni sont les plus faibles mesurés. En ce qui concerne les masse moyennes de MES piégées (et de la densité de flux en MES), elles sont à des valeurs intermédiaires. La matrice de corrélation confirme l'existence d'une relation entre les évolutions massiques des métaux Co, Cr, Fe, Mn et Ni, tandis qu'aucune corrélation n'est constatée pour les métaux et le Ca. Ces observations soulignent que les particules piégées à St60-NE proviennent d'un terme source dont l'influence n'alternait pas avec les apports marins et dont l'origine n'est pas en lien direct au lessivage des sols. En effet, les divers épisodes de précipitations n'ont pas généré de couche turbide notable susceptible d'apporter des particules terrigènes. Même si, aucune corrélation pertinente n'a pu être établie entre les paramètres météorologiques et les apports terrigènes ou les apports marins, les mécanismes d'érosion de la ligne de côte, accentués sous l'effet de vents soutenus, d'un large secteur S, peuvent notablement contribuer, à terme, à l'alimentation en MES dans un système dit « ouvert » où interagissent plusieurs facteurs simultanément. De même, les vents du secteur E à SE qui balayent le complexe système récifale, favoriseraient la circulation des eaux enrichies en tests de micro-organismes.

Cette campagne conforte les observations précédentes établissant une relation entre l'ensemble des conditions météorologiques et les densités des flux verticaux des particules latéritiques : les précipitations pour la St15 et les précipitations et/ou les vents des régimes S-SO et S pour la St06-KW1, respectivement, en Rade Nord *via* l'érosion des sols et en Baie Kwé, *via* l'effet de houle et de re-suspension des particules sédimentées qui s'en suit.

En ce qui concerne les évolutions temporelles, selon les 3 stations suivies, les observations principales relevées lors de cette campagne sont les suivantes :

- Pour St06-KW1 - Les concentrations moyennes en Co, Cr, Fe, Mn et Ni lors de cette campagne sont légèrement supérieures voire du même ordre aux moyennes enregistrées en 2007 pour l'état de référence. En ce qui concerne les moyennes de flux en MES et de flux en Ni, elles sont comparables aux campagnes de l'état de référence (2006 et 2007, respectivement) ; inversement, le ratio Ca/Fe est inférieur. Les évolutions importantes du ratio moyen Ca/Fe depuis 2007 permet également de constater une influence grandissante du terme source terrigène, jusqu'en juillet-août 2013, campagne qui à ce jour présente les concentrations métalliques les plus hautes à St06-KW1. Cette observation est étayée par la valeur moyenne élevée du flux en Ni en juillet-août 2013.
- St15 - Les concentrations moyennes en Co, Cr, Fe, Mn et Ni et le ratio Ca/Fe obtenues lors de cette campagne sont du même ordre de grandeur, voire légèrement inférieures qu'en 2007 pour l'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. Quant aux moyennes de flux en MES et Ni, elles sont comparables et restent bien inférieures à celles de mesurées lors de la campagne de janvier-mars 2014. Cette observation est à relier avec la plus forte masse moyenne de MES piégées lors de cette dernière campagne qui serait la conséquence des précipitations exceptionnelles (920,2 mm).

- Pour St60-NE - Les concentrations moyennes en Fe et Ni obtenues lors de cette campagne sont supérieures à celles de 2007, pour l'état de référence tandis celles de Ca, Co, Cr et Mn demeurent dans les mêmes niveaux. En ce qui concerne le flux en MES et les ratios Ca/Fe, ils sont en baisse tandis que le flux en Ni reste comparable. Les évolutions du ratio moyen Ca/Fe depuis 2007, bien que beaucoup moins importantes qu'en St06-KW1, permettent de constater que l'influence terrigène semble augmenter à cette station pour se stabiliser depuis 2012 ; exception faite pour la campagne de juillet-août 2013 qui, à ce jour, présente les concentrations métalliques les plus hautes à St60-NE. En ce qui concerne la concentration moyenne en S, elle est du même ordre qu'en 2012, mais reste inférieure à celle recueillie en avril- juin 2014. Cette dernière campagne présente à ce jour les concentrations en S les plus hautes à St60.-NE.

Globalement, il est donc observé, pour cette campagne, une augmentation des flux de matières métalliques (Fe et Ni) en St60-NE par rapport à celle de 2007 tandis qu'aux stations St06-KW1 et St15 ils restent du même ordre. L'augmentation de concentrations de Fe et Ni à St60-NE 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?). 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.

Il est également intéressant de noter qu'en St06-KW1 et St60-NE, la campagne de juillet-août 2013 fût celle qui a présenté les concentrations métalliques maximales tandis que celles de janvier-mars 2014 (St06-KW1) et avril-juin 2014 (St60-NE) furent celles des concentrations minimales. Ces observations sont, probablement, à mettre en relation avec la chronologie des événements de l'usine Vale-NC dont, respectivement, la rupture du tuyau de l'émissaire marin suivi de l'arrêt du rejet de l'effluent marin, à deux reprises.

## REFERENCES

Achard, R. 2013. Dynamique des contaminants inorganiques dans les sédiments de dragage : rôle spécifique de la matière organique.

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

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 products 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.

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.

## LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES STATIONS DE PRELEVEMENT DU SUIVI DES FLUX VERTICAUX DE PARTICULES DANS LA ZONE D'INFLUENCE DE L'USINE DE VALE-NC (LE TRAIT ROUGE REPRESENT LE DIFFUSEUR).....	10
FIGURE 2 : EMPREINTE TYPE DE L'EFFLUENT PAR MARQUAGE A LA RHODAMINE-WT POUR DES CONDITIONS COURANTOLOGIQUES DE MI-MAREES DE MORTE-EAU (GAUCHE) ET DE VIVE-EAU (DROITE) AU NIVEAU DE LA STATION ST60-SW. ....	10
FIGURE 3 : CUMUL JOURNALIER DE PRECIPITATIONS ET EVOLUTION DE LA VITESSE ET DE LA DIRECTION DES VENTS (MOYENNE JOURNALIERE) POUR LA PERIODE DU 04 OCTOBRE AU 21 NOVEMBRE 2016. ....	14
FIGURE 4 : MASSE TOTALE DE MES PIEGEES ET COMPOSITION EN FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) ET FRACTION GROSSIERE ( $\varnothing > 41 \mu\text{M}$ ) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST06-KW1. ....	17
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. ....	17
FIGURE 6 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DE LA FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DES 4 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST06-KW1. ....	18
FIGURE 7 : TENEURS EN CARBONATES CONTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST06-KW1. ....	20
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. ....	21
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.....	21
FIGURE 10 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DE LA FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DES 4 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST15. ....	22
FIGURE 11 : TENEURS EN CARBONATES CONTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST15.....	23
FIGURE 12 : MASSE TOTALE DE MES PIEGEES ET COMPOSITION EN FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) ET FRACTION GROSSIERE ( $\varnothing > 41 \mu\text{M}$ ) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST60-NE.....	24
FIGURE 13 : POURCENTAGE DES FRACTIONS FINES ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) ET DES FRACTIONS GROSSIERES ( $\varnothing > 41 \mu\text{M}$ ) DANS LES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST60-NE.....	24
FIGURE 14 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DE LA FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DES 4 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST60-NE. ....	25
FIGURE 15 : TENEURS EN CARBONATES CONTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DES 10 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST60-NE. ....	26
FIGURE 16 : NORMALISATION DES CONCENTRATIONS EN CALCIUM PAR LE FER MESUREES DANS LA FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST15.....	31
FIGURE 17 : NORMALISATION DES CONCENTRATIONS EN CALCIUM PAR LE FER MESUREES DANS LA FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST60-NE.....	33
FIGURE 18 : CONCENTRATIONS EN SOUFRE MESUREES DANS LA FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DES 10 PRELEVEMENTS DE MES COLLECTES PAR LE PIEGE SEQUENTIEL A PARTICULES A ST60-NE. ....	34
FIGURE 19 : DIAGRAMME COMBINE DE DIRECTION ET VITESSE MOYENNES JOURNALIERES DES VENTS, CUMUL JOURNALIER DE PRECIPITATION, DE MASSE TOTALE DE MES PIEGEES ET LA COMPOSITION EN FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) ET FRACTION GROSSIERE ( $\varnothing > 41 \mu\text{M}$ ) AINSI QUE DE CONCENTRATION EN NICKEL ET LE RATIO CA/Fe MESURES DANS LES FRACTIONS FINES PIEGEES A ST06-KW1. ....	37
FIGURE 20 : DIAGRAMME COMBINE DE DIRECTION ET VITESSE MOYENNES JOURNALIERES DES VENTS, CUMUL JOURNALIER DE PRECIPITATION, DE MASSE TOTALE DE MES PIEGEES ET LA COMPOSITION EN FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) ET FRACTION	

GROSSIERE ( $\varnothing > 41 \mu\text{M}$ ) AINSI QUE DE CONCENTRATION EN NICKEL ET LE RATIO CA/CR MESURES DANS LES FRACTIONS FINES PIEGEES A ST15. ....	40
FIGURE 21 : DIAGRAMME COMBINE DE DIRECTION ET VITESSE MOYENNES JOURNALIERES DES VENTS, CUMUL JOURNALIER DE PRECIPITATION, DE MASSE TOTALE DE MES PIEGEES ET LA COMPOSITION EN FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) ET FRACTION GROSSIERE ( $\varnothing > 41 \mu\text{M}$ ) AINSI QUE DE CONCENTRATION EN NICKEL ET LE RATIO CA/FE MESURES DANS LES FRACTIONS FINES PIEGEES A ST60-NE.....	42
FIGURE 22 : COMPILATION DES MOYENNE $\pm$ ECART-TYPE DES FLUX EN NICKEL DANS LES FRACTIONS FINES ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A ST60-KW1. ....	43
FIGURE 23 : COMPILATION DES MOYENNE $\pm$ ECART-TYPE DES FLUX EN NICKEL DANS LES FRACTIONS FINES ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A ST15.....	44
FIGURE 24 : COMPILATION DES MOYENNE $\pm$ ECART-TYPE DES FLUX EN NICKEL DANS LES FRACTIONS FINES ( $\varnothing < 41 \mu\text{M}$ ) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A ST60-NE. ....	45

## LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : LISTE ET POSITION DES STATIONS DE PRELEVEMENT DU SUIVI DES FLUX VERTICAUX DE PARTICULES DANS LA ZONE D'INFLUENCE DE L'USINE DE VALE-NC. ....	9
TABLEAU 2 : DETAIL DE COLLECTE DES ECHANTILLONS PAR LES PIEGES SEQUENTIELS MOUILLES A St06-KW1, St15 ET St60-NE. ...	11
TABLEAU 3 : COMPILATION DES DONNEES METEOROLOGIQUES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DE PIEGE SEQUENTIEL A LA STATION St06-KW1. ....	15
TABLEAU 4 : COMPILATION DES DONNEES METEOROLOGIQUES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DE PIEGE SEQUENTIEL A LA STATION St15. ....	15
TABLEAU 5 : COMPILATION DES DONNEES METEOROLOGIQUES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DE PIEGE SEQUENTIEL A LA STATION St60-NE. ....	16
TABLEAU 6 : 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. ....	18
TABLEAU 7 : 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. ...	19
TABLEAU 8 : COMPOSITION MINERALOGIQUE DE LA FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) DES 4 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St06-KW1. ....	19
TABLEAU 9 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNES ± ECART-TYPE DE LA MES TOTALE, DU POURCENTAGE DE FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) ET DE LA TENEUR EN CARBONATES DANS LA FRACTION FINE LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St15. ....	21
TABLEAU 10 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE ± ECART-TYPE DE LA DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DE LA FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St15. ....	22
TABLEAU 11 : COMPOSITION MINERALOGIQUE DE LA FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) DES 4 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St15. ....	23
TABLEAU 12 : 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. ....	24
TABLEAU 13 : 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. ....	25
TABLEAU 14 : COMPOSITION MINERALOGIQUE DE LA FRACTION FINE ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) DES 4 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A St60-NE. ....	26
TABLEAU 15 : 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. ....	27
TABLEAU 16 : 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. ....	27
TABLEAU 17 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE ± ECART-TYPE DES CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES ( $\varnothing < 41 \mu\text{m}$ ) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A St06-KW1. ....	28
TABLEAU 18 : 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. ....	29

TABLEAU 19 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE ± ECART-TYPE DE NORMALISATION DU CALCIUM PAR LE FER OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES (Ø < 41 µM) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES A ST06-KW1. .....	29
TABLEAU 20 : CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM OBTENUES (MOYENNES, ECART-TYPES ET VALEURS EXTREMES) DANS LES FRACTIONS FINES (Ø < 41 µM) DES 12 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST15. ....	30
TABLEAU 21 : MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS DES CONCENTRATIONS DE METAUX ET DU CALCIUM OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES (Ø < 41 µM) DES 8 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST15. ....	30
TABLEAU 22 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE ± ECART-TYPE DES CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES (Ø < 41 µM) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A ST15.....	30
TABLEAU 23 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE ± ECART-TYPE DE NORMALISATION DU CALCIUM PAR LE FER OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES (Ø < 41 µM) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A PARTICULES A ST15. ....	31
TABLEAU 24 : CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM OBTENUES (MOYENNES, ECART-TYPES ET VALEURS EXTREMES) DANS LES FRACTIONS FINES (Ø < 41 µM) DES 10 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST60-NE.....	32
TABLEAU 25 : MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS DES CONCENTRATIONS DE METAUX ET DU CALCIUM OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES (Ø < 41 µM) DES 10 PRELEVEMENTS DU PIEGE SEQUENTIEL A ST60-NE.....	32
TABLEAU 26 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE ± ECART-TYPE DES CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES (Ø < 41 µM) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES A ST60-NE. .....	32
TABLEAU 27 : COMPILATION DES DONNEES MOYENNE ± ECART-TYPE DE NORMALISATION DU CALCIUM PAR LE FER OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES (Ø < 41 µM) DE MES COLLECTEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A PARTICULES A ST60-NE. ....	33
TABLEAU 28 : COMPILATION DES MOYENNE ± ECART-TYPE DES CONCENTRATIONS EN SOUFRE OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES (Ø < 41 µM) DE MES PIEGEES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES D'IMMERSION DES PIEGES SEQUENTIELS A ST60-NE. ....	34
TABLEAU 29 : 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. ....	43
TABLEAU 30 : 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.....	44
TABLEAU 31 : 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. ....	45

## ANNEXES

ANNEXE 1.....	55
ANNEXE 2.....	57
ANNEXE 3.....	59
ANNEXE 4.....	65
ANNEXE 5.....	67

# 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 gréés sur une ligne de mouillage équipée avec un largueur acoustique.

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

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

### TAMISAGE

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

### TENEUR EN CARBONATE

La teneur en carbonates est calculée par relation stœchiométrique à partir des concentrations de Ca et Mg établies en mg/kg après attaque totale (fusion alcaline) des fractions fines ( $\varnothing < 41\mu\text{m}$ ) de MES.

### GRANULOMETRIE

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

### MINERALOGIE

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

### DOSAGE ELEMENTAIRE

Le dosage élémentaire, nécessaire pour le suivi des flux de polluants, est réalisé par la méthode dite « minéralisation eau régale ». Les échantillons de fraction fine ( $\varnothing > 41 \mu\text{m}$ ) sont attaqués avec de l'acide à haute température en conditions hyperbares. Le Ca, Mg, S et 5 métaux (Co, Cr, Fe, Mn et Ni) sont analysés par ICP-OES. Des échantillons de référence (MESS-3 et PACS-2) ont été attaqués selon le même protocole pour la validation des résultats de mesures.

### DOSAGE DES HCT

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

## EVALUATION DES FLUX DE MES

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

## ANNEXE 2

### VARIABLES METEOROLOGIQUES

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

Prélèvement	GORO					Prélèvement	GORO				
	Date	RR	FXI	DXI	Régime		Date	RR	FXI	DXI	Régime
1	05/10/2016	0,0	9,6	110	ESE	7	29/10/2016	0,6	12,9	110	ESE
	06/10/2016	0,0	10,9	170	S		30/10/2016	5,0	12,5	140	SE
	07/10/2016	0,0	9,6	70	ENE		31/10/2016	0,0	10,2	80	E
	08/10/2016	0,0	9,6	110	ESE		01/11/2016	0,0	11,5	110	ESE
2	09/10/2016	0,0	8,6	80	E	8	02/11/2016	0,0	9,8	20	NNE
	10/10/2016	35,4	12,6	110	ESE		03/11/2016	39,0	9,5	220	SO
	11/10/2016	1,0	14,8	110	ESE		04/11/2016	2,8	10,8	110	ESE
	12/10/2016	0,0	8,5	110	ESE		05/11/2016	0,8	9,0	100	E
3	13/10/2016	0,0	11,0	100	E	9	06/11/2016	0,0	10,7	90	E
	14/10/2016	9,0	6,2	160	SSE		07/11/2016	0,6	8,7	180	S
	15/10/2016	1,4	15,8	120	ESE		08/11/2016	0,2	11,5	110	ESE
	16/10/2016	0,4	14,4	130	SE		09/11/2016	0,0	12,2	80	E
4	17/10/2016	5,4	14,9	150	SSE	10	10/11/2016	0,0	11,2	80	E
	18/10/2016	0,8	11,8	90	E		11/11/2016	5,4	9,9	30	NNE
	19/10/2016	0,0	10,1	110	ESE		12/11/2016	0,0	10,1	210	SSO
	20/10/2016	0,0	11,0	110	ESE		13/11/2016	0,0	12,7	40	NE
5	21/10/2016	0,0	12,5	110	ESE	11	14/11/2016	0,0	11,0	30	NNE
	22/10/2016	0,0	11,1	100	E		15/11/2016	19,0	8,3	320	NO
	23/10/2016	0,0	11,0	120	ESE		16/11/2016	0,0	9,5	230	SO
	24/10/2016	0,0	9,5	190	S		17/11/2016	0,0	11,4	190	S
6	25/10/2016	0,0	6,1	130	SE	12	18/11/2016	0,0	12,9	150	SSE
	26/10/2016	1,2	10,6	120	ESE		19/11/2016	0,0	16,1	100	E
	27/10/2016	0,8	11,0	110	ESE		20/11/2016	59,8	17,2	80	E
	28/10/2016	0,0	12,5	70	ENE		21/11/2016	78,2	17,6	110	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	05/10/2016	3,2	62	ENE	7	29/10/2016	6,5	122	ESE
	06/10/2016	6,5	203	SSO		30/10/2016	7,7	134	SE
	07/10/2016	5,0	159	SSE		31/10/2016	5,4	130	SE
	08/10/2016	4,2	144	SE		01/11/2016	5,2	80	E
2	09/10/2016	2,3	119	ESE	8	02/11/2016	4,3	40	NE
	10/10/2016	6,0	152	SSE		03/11/2016	3,3	229	SO
	11/10/2016	7,3	142	SE		04/11/2016	6,0	139	SE
	12/10/2016	4,3	141	SE		05/11/2016	5,1	80	E
3	13/10/2016	5,3	72	ENE	9	06/11/2016	3,9	73	ENE
	14/10/2016	3,2	334	NNO		07/11/2016	3,3	207	SSO
	15/10/2016	9,3	159	SSE		08/11/2016	5,3	126	SE
	16/10/2016	9,7	126	SE		09/11/2016	7,3	98	E
4	17/10/2016	9,5	122	ESE	10	10/11/2016	6,9	80	E
	18/10/2016	6,9	94	E		11/11/2016	3,2	42	NE
	19/10/2016	6,3	93	E		12/11/2016	4,4	219	SO
	20/10/2016	6,3	105	ESE		13/11/2016	5,5	68	ENE
5	21/10/2016	6,9	118	ESE	11	14/11/2016	6,3	58	ENE
	22/10/2016	7,3	106	ESE		15/11/2016	3,0	67	ENE
	23/10/2016	5,3	89	E		16/11/2016	4,1	202	SSO
	24/10/2016	4,9	60	ENE		17/11/2016	6,8	212	SSO
6	25/10/2016	3,3	143	SE	12	18/11/2016	8,6	167	SSE
	26/10/2016	5,8	158	SSE		19/11/2016	9,1	133	SE
	27/10/2016	5,9	123	ESE		20/11/2016	10,6	123	ESE
	28/10/2016	7,2	98	E		21/11/2016	11,2	106	ESE

## ANNEXE 3

### CARACTERISATION DES MES

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

Période de collecte	Prélèvement	St06-KW1	St15	St60-NE
		Masse Ech. Total (g)	Masse Ech. Total (g)	Masse Ech. Total (g)
05-08 octobre 2016	001	0,84	0,03	0,29
09-12 octobre 2016	002	2,73	0,05	0,05
13-16 octobre 2016	003	5,59	0,03	1,05
17-20 octobre 2016	004	2,54	0,03	12,26
21-24 octobre 2016	005	2,93	0,16	1,59
25-28 octobre 2016	006	2,97	0,15	0,86
29 octobre-01 novembre 2016	007	3,82	0,51	0,71
02-05 novembre 2016	008	1,34	1,68	0,56
06-09 novembre 2016	009	1,10	0,70	0,84
10-13 novembre 2016	010	2,83	0,31	1,01
14-17 novembre 2016	011	7,29	0,77	1,48
18-21 novembre 2016	012	10,32	0,84	6,05

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
05-08 octobre 2016	001	59	ND	ND
09-12 octobre 2016	002	63	ND	ND
13-16 octobre 2016	003	65	ND	87
17-20 octobre 2016	004	72	ND	90
21-24 octobre 2016	005	71	20	89
25-28 octobre 2016	006	73	24	102
29 octobre-01 novembre 2016	007	72	32	100
02-05 novembre 2016	008	74	30	91
06-09 novembre 2016	009	72	28	92
10-13 novembre 2016	010	74	27	90
14-17 novembre 2016	011	75	27	75
18-21 novembre 2016	012	68	28	89

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

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

St06-KW1								
Période de collecte	Prélèvement	% Classe de taille (µm)						
		0,02 à 2,00	2,0 à 20	20 à 40	40 à 50	50 à 63	63,0 à 200	200,0 à 2000
09-12 octobre 2016	002	10	55	27	5	3	1	0
13-16 octobre 2016	003	8	52	30	6	3	1	0
29 octobre-01 novembre 2016	007	7	49	34	6	3	0	0
18-21 novembre 2016	012	7	47	29	7	5	4	1

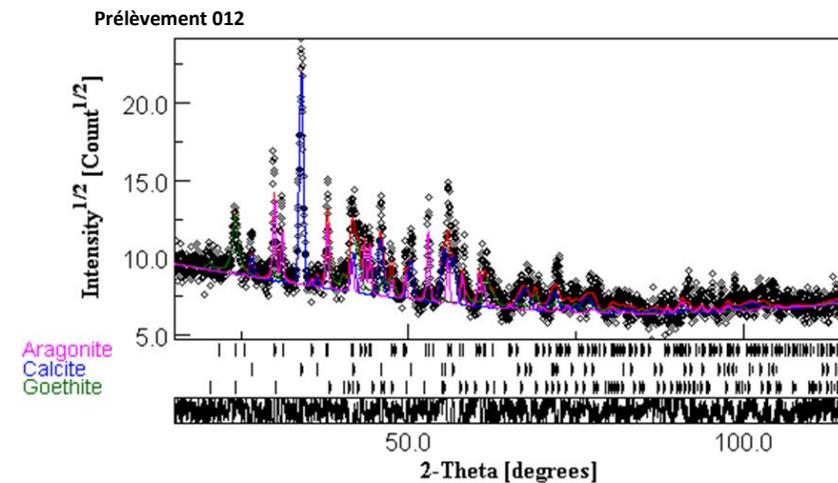
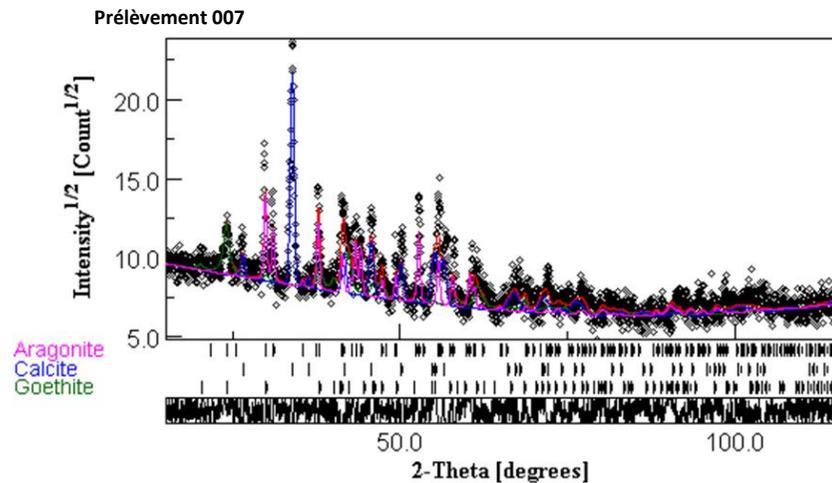
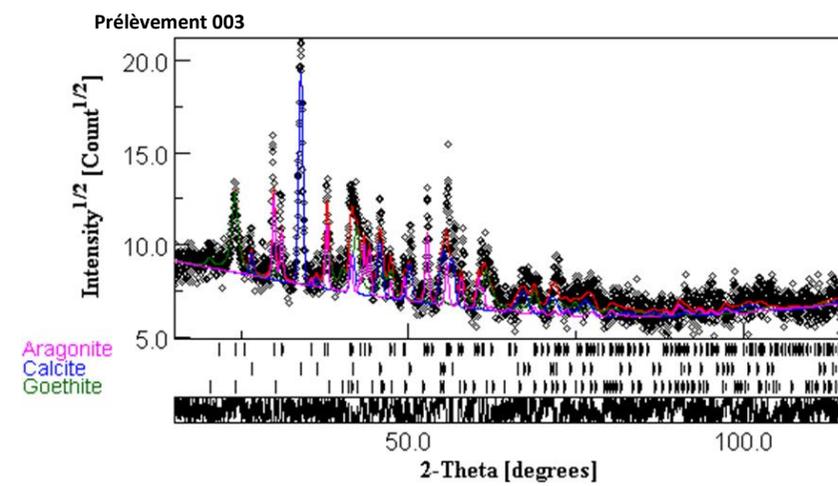
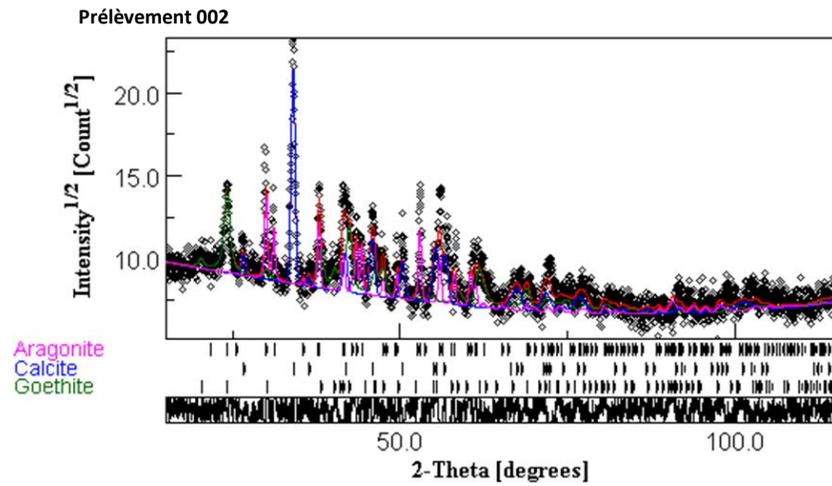
St15								
Période de collecte	Prélèvement	% Classe de taille (µm)						
		0,02 à 2,00	2,0 à 20	20 à 40	40 à 50	50 à 63	63,0 à 200	200,0 à 2000
29 octobre-01 novembre 2016	007	10	53	26	6	3	1	0
02-05 novembre 2016	008	15	61	20	3	1	0	0
06-09 novembre 2016	009	13	63	20	3	1	0	0
18-21 novembre 2016	012	15	62	20	3	1	0	0

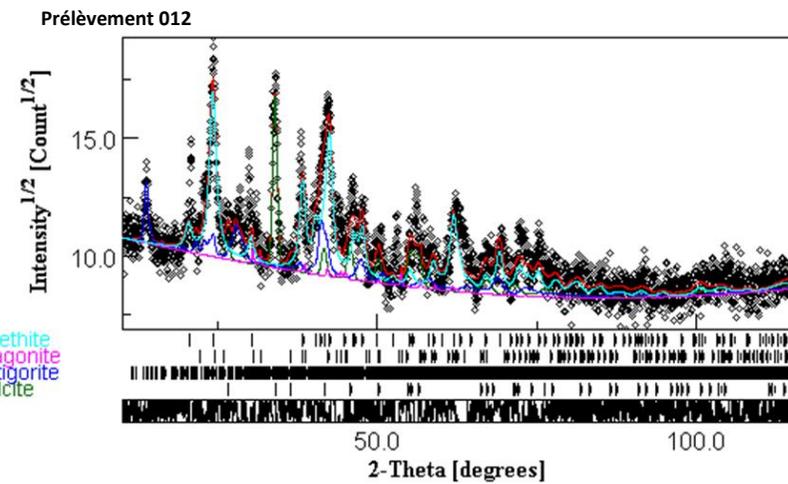
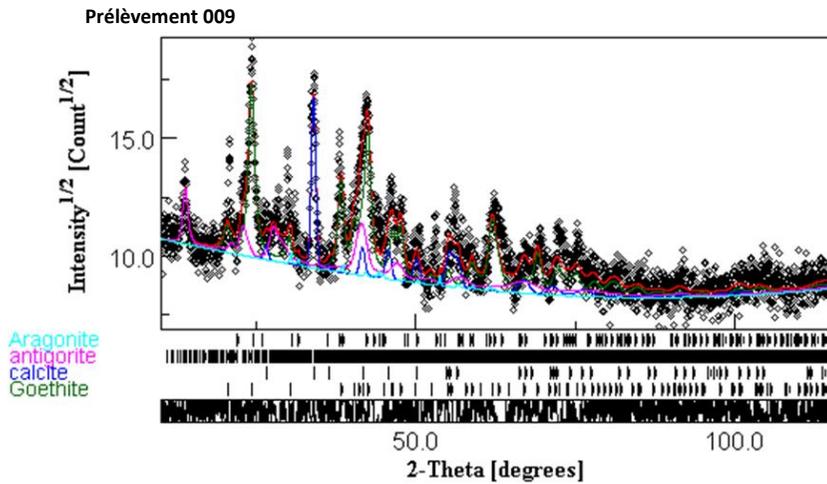
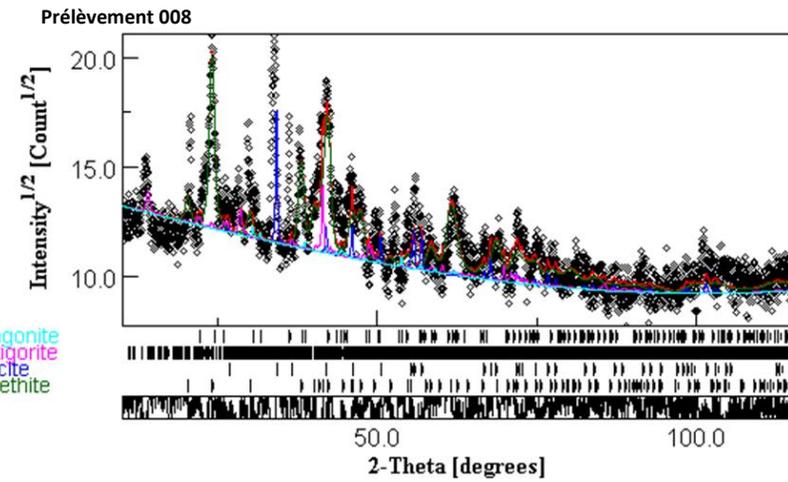
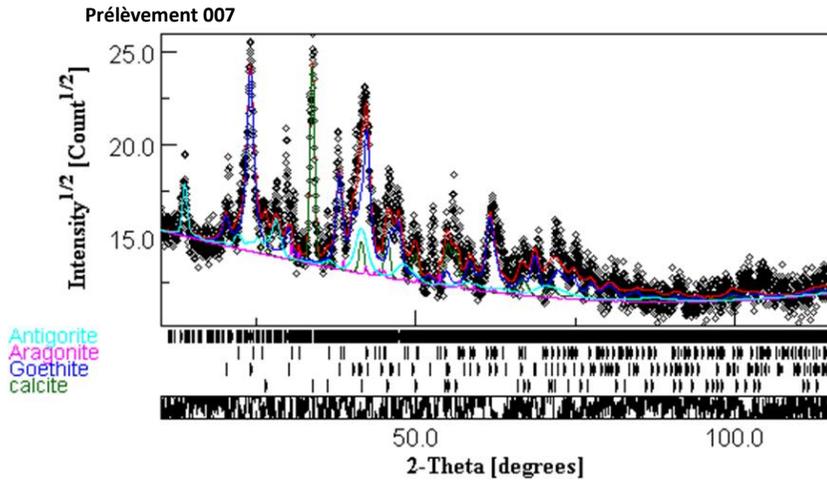
St60-NE								
Période de collecte	Prélèvement	% Classe de taille (µm)						
		0,02 à 2,00	2,0 à 20	20 à 40	40 à 50	50 à 63	63,0 à 200	200,0 à 2000
13-16 octobre 2016	003	3	25	26	8	8	26	5
17-20 octobre 2016	004	7	50	33	6	3	1	0
14-17 novembre 2016	011	6	45	36	8	4	1	0
18-21 novembre 2016	012	8	50	31	6	3	1	0

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

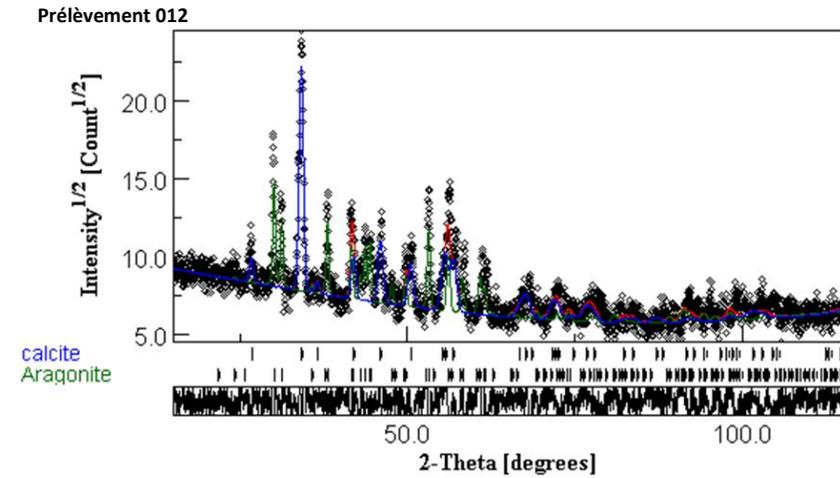
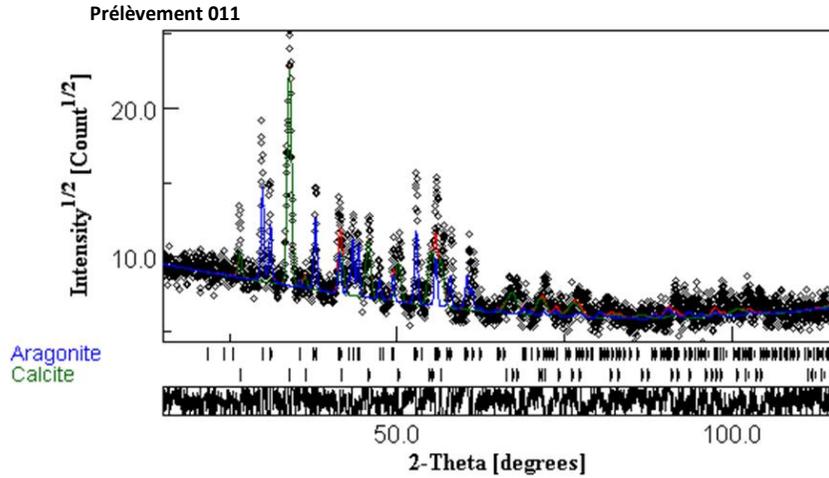
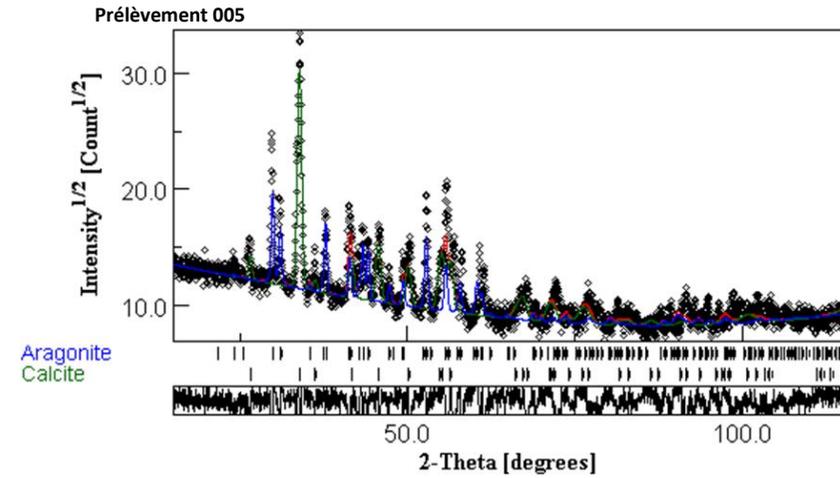
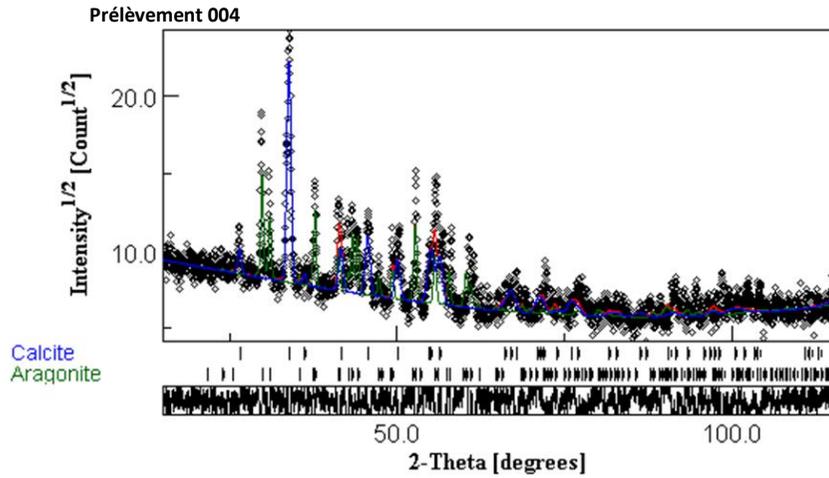
St06-KW1



St15



St60-NE



## ANNEXE 4

### COMPOSITION GEOCHIMIQUE DES MES

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

St06-KW1							
Période de collecte	Prélèvement	Elément (mg/kg ps)					
		Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
05-08 octobre 2016	001	216424	123,0	4183	159614	1012	2504
09-12 octobre 2016	002	233095	106,0	3794	142328	880	2240
13-16 octobre 2016	003	242153	113,0	3864	152512	956	2294
17-20 octobre 2016	004	269280	86,0	3026	115270	696	1726
21-24 octobre 2016	005	263837	82	2927	111993	685	1660
25-28 octobre 2016	006	273517	77	2769	103266	639	1566
29 octobre-01 novembre 2016	007	270548	85	2976	111823	703	1693
02-05 novembre 2016	008	275330	70	2602	96941	572	1443
06-09 novembre 2016	009	270809	68	2574	97198	571	1438
10-13 novembre 2016	010	277429	73	2734	103178	624	1535
14-17 novembre 2016	011	280720	68	2501	95230	591	1397
18-21 novembre 2016	012	254303	84	3068	114568	742	1744

St15							
Période de collecte	Prélèvement	Elément (mg/kg ps)					
		Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
05-08 octobre 2016	001	ND	ND	ND	ND	ND	ND
09-12 octobre 2016	002	ND	ND	ND	ND	ND	ND
13-16 octobre 2016	003	ND	ND	ND	ND	ND	ND
17-20 octobre 2016	004	ND	ND	ND	ND	ND	ND
21-24 octobre 2016	005	57363	97,0	3590	112959	701	1410
25-28 octobre 2016	006	79774	194,0	6608	207636	1670	2516
29 octobre-01 novembre 2016	007	113752	189,0	6304	207706	2094	2426
02-05 novembre 2016	008	102348	190,0	6210	205981	2144	2385
06-09 novembre 2016	009	98125	196,0	6554	211395	2023	2547
10-13 novembre 2016	010	92368	181,0	6221	205450	1839	2410
14-17 novembre 2016	011	90289	181,0	6244	207957	2057	2415
18-21 novembre 2016	012	97589	193,0	6721	227074	2356	2601

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

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

St60-NE								
Période de collecte	Prélèvement	Elément (mg/kg ps)						
		Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni	S
05-08 octobre 2016	001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
09-12 octobre 2016	002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
13-16 octobre 2016	003	329581	16	487	17888	131	256	3713
17-20 octobre 2016	004	340582	15	443	17026	141	238	3304
21-24 octobre 2016	005	334729	16	426	16565	147	238	2558
25-28 octobre 2016	006	384822	19	493	17923	149	275	2608
29 octobre-01 novembre 2016	007	379705	18	478	17849	128	262	2561
02-05 novembre 2016	008	342515	17	459	16568	136	259	2092
06-09 novembre 2016	009	347684	18	441	17439	154	247	2419
10-13 novembre 2016	010	340108	18	491	17830	136	261	2534
14-17 novembre 2016	011	284822	15	397	14825	128	216	2098
18-21 novembre 2016	012	338332	19	491	18965	182	265	2507

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

## ANNEXE 5

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

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

St06-KW1								
Période de collecte	Prélèvement	Flux MES (g/m <sup>2</sup> /j)	Flux élémentaire (mg ps/m <sup>2</sup> /j)					
			Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
05-08 octobre 2016	001	4,2	909	0,52	17,6	670	4,3	10,5
09-12 octobre 2016	002	13,7	3182	1,447	51,79	1943	12,01	30,58
13-16 octobre 2016	003	28,0	6768	3,158	108,0	4263	26,72	64,1
17-20 octobre 2016	004	12,7	3420	1,09	38,4	1464	8,8	21,9
21-24 octobre 2016	005	14,7	3865	1,20	42,9	1641	10,0	24
25-28 octobre 2016	006	14,9	4062	1,14	41,1	1534	9,5	23,3
29 octobre-01 novembre 2016	007	19,1	5167	1,6	57	2136	13	32
02-05 novembre 2016	008	6,7	1845	0,47	17	650	3,8	10
06-09 novembre 2016	009	5,5	1489	0,37	14,2	535	3,1	7,9
10-13 novembre 2016	010	14,2	3926	1,03	38,7	1460	8,8	21,7
14-17 novembre 2016	011	36,5	10232	2,48	91,2	3471	21,5	50,9
18-21 novembre 2016	012	51,6	13122	4,33	158,3	5912	38,3	90,0

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
05-08 octobre 2016	001	0,2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
09-12 octobre 2016	002	0,3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
13-16 octobre 2016	003	0,2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
17-20 octobre 2016	004	0,2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
21-24 octobre 2016	005	0,8	46	0,078	2,87	90	0,56	1,13
25-28 octobre 2016	006	0,8	60	0,146	4,96	156	1,25	1,89
29 octobre-01 novembre 2016	007	2,6	290	0,482	16,1	530	5,34	6,2
02-05 novembre 2016	008	8,4	860	1,596	52,16	1730	18,01	20,03
06-09 novembre 2016	009	3,5	343	0,686	22,94	740	7,08	8,91
10-13 novembre 2016	010	1,6	143	0,281	9,6	318	2,85	3,7
14-17 novembre 2016	011	3,9	348	0,697	24,0	801	7,92	9,3
18-21 novembre 2016	012	4,2	410	0,811	28,23	954	9,90	10,92

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
05-08 octobre 2016	001	1,5	ND	ND	ND	ND	ND	ND
09-12 octobre 2016	002	0,3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
13-16 octobre 2016	003	5,3	1730	0,08	3	94	0,7	1
17-20 octobre 2016	004	61,3	20878	0,92	27,2	1044	8,6	14,6
21-24 octobre 2016	005	8,0	2661	0,127	3,4	132	1,17	1,9
25-28 octobre 2016	006	4,3	1654,7	0,082	2,1	77	0,64	1,18
29 octobre-01 novembre 2016	007	3,6	1348	0,064	1,7	63	0,45	0,9
02-05 novembre 2016	008	2,8	959	0,048	1,3	46	0,38	0,7
06-09 novembre 2016	009	4,2	1460	0,076	1,9	73	0,65	1,0
10-13 novembre 2016	010	5,1	1718	0,09	2,5	90	0,7	1,3
14-17 novembre 2016	011	7,4	2108	0,11	2,9	110	0,9	1,6
18-21 novembre 2016	012	30,3	10235	0,57	14,9	574	5,5	8,0

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