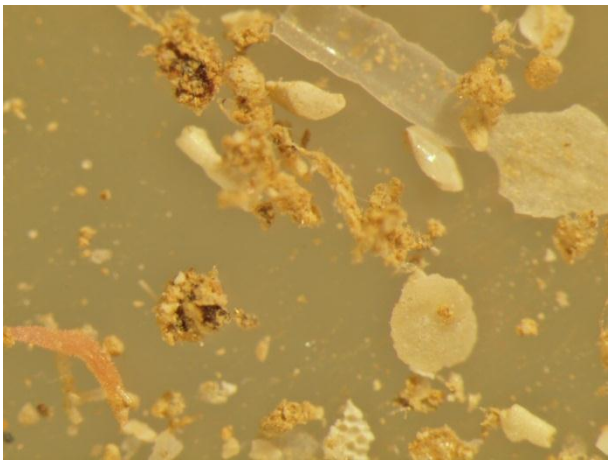
SUIVI DES DENSITES DE FLUX VERTICAUX DE PARTICULES DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH ET LA BAIE KWE : MISSION SEPTEMBRE-OCTOBRE 2012



07 juillet 2013

Photos de couverture AEL : Observation au microscope d'un échantillon de MES récoltée dans le Canal de la Havannah

© AEL / LEA Environnement

CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL - LEA

Convention n° 110308-VI-11

Suivi des densités de flux verticaux de particules dans le Canal de la Havannah et la Baie Kwé : mission Septembre-Octobre 2012

Fernandez Jean Michel

Moreton Benjamin

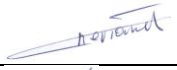
Le Grand Hélène

Pluchino Stéphanie

© AEL / LEA Environnement

Nombre de pages : 56

	N/Ref	V/Ref
Identification	110308-VI-11	Contrat 2684
Titre complet	Suivi des densités de flux verticaux de particules dans le Canal de la Havannah et la Baie Kwé : mission Septembre-Octobre 2012	
Auteurs	Fernandez JM, Moreton B, Le Grand H et Pluchino Stéphanie	
Résumé	Le programme de travail ici présenté fait suite à la définition de « l'Etat de référence » des densités de flux verticaux de particules déterminés pour le Canal de la Havannah et la Baie Kwé en 2007 (Convention IRD/Goro-Ni n° 1230) et constitue la **troisième campagne** de suivi semestriel. Dans le contexte de la mise en exploitation de l'usine de Vale-NC, l'étude a consisté en un suivi temporel des densités de flux verticaux afin d'estimer les apports en particules fines issues de la rivière Kwé et rejetées par le diffuseur entre le 12 septembre et le 29 octobre. A cet effet, trois mouillages de lignes équipées de pièges à sédiments séquentiels ont été réalisés. En fin de saison fraîche, la distribution des MES dans les eaux, tant en Baie Kwé que dans le Canal de la Havannah, est grandement régie par l'action mécanique de la houle, elle-même générée par les vents notamment d'un large secteur sud. Toutefois, en Baie Kwé la conjonction des facteurs hydro-climatique permet de générer des panaches turbides de plus grande intensité. Les paramètres physico-chimiques et géochimiques analysés montrent des évolutions temporelles tant au niveau de la Baie Kwé que dans le Canal de la Havannah. Les valeurs de flux de matière (MES et métaux) entrent toutes dans les gammes observées antérieurement mais sujettes à une augmentation globale intersaison.	

APPROBATION			
FONCTION	**NOMS**	**VISA**	**DATE**
Rédacteur	Fernandez JM		17/07/13
Vérificateur 1	Moreton B		19/07/13
Vérificateur 2	Kumar-Roiné S		23/07/13
Approbateur(s)	Fernandez JM		26/07/13

EVOLUTION		
VERSION	**DESCRIPTION DES MISES A JOUR**	**DATE**
V1.0	Rapport définitif	26/07/13

COPIE - DIFFUSION	
NOM	**ORGANISME**
Casalis C	Département environnement Vale-NC

Ce rapport est cité comme suit :

Fernandez JM, Moreton B, Le Grand H, et Pluchino Stéphanie, 2013. Suivi des densités de flux verticaux de particules dans le Canal de la Havannah et la baie Kwé : mission de septembre et octobre 2012. Contrat Vale-NC/AEL n° 2684, Rapport AEL 110308-VI-11, 56p.

© AEL / LEA Environnement

TABLE DES MATIERES

1 INTRODUCTION 7
2 OBJECTIFS 8
3 METHODOLOGIE 9
3.1 SITE D'ETUDE ET CONDITIONS DE MOUILLAGES 9
3.2 ECHANTILLONNAGE 11
3.3 PARAMETRES PHYSIQUES, GEOCHIMIQUES ET ANALYSES 11
4 RESULTATS 12
4.1 PARAMETRE METEOROLOGIQUES 12
4.1.1 Précipitations atmosphériques 12
4.1.2 Direction du vent 12
4.1.3 Vitesse du vent 13
4.2 CARACTERISATION DES MATIERES EN SUSPENSION 14
4.2.1 Baie Kwé (station St06-KW1) 14
4.2.2 Canal de la Havannah (station St60-NE) 16
4.2.3 Canal de la Havannah (station St60-SW) 18
4.3 COMPOSITION GEOCHIMIQUE DES MATIERES EN SUSPENSION 22
4.3.1 Baie Kwé (station St06-KW1) 22
4.3.2 Canal de la Havannah (station St60-NE) 23
4.3.3 Canal de la Havannah (station St60-SW) 25
5 INTERPRETATION 28
5.1 INFLUENCE DES FACTEURS METEOROLOGIQUES 28
5.1.1 Baie Kwé, ... 28
5.1.2 Canal de la Havannah 29
5.2 CALCUL DES FLUX DE MATIERES 32
6 CONCLUSION 34
7 REFERENCES 35
8 LISTE DES FIGURES 36
9 LISTE DES TABLEAUX 38
10 LISTE DES ANNEXES 39

1 INTRODUCTION

Le travail ici présenté 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 à la définition de « l'Etat de référence » des densités de flux verticaux de particules déterminée pour le Canal de la Havannah et la Baie Kwé en 2007 (Convention IRD/Goro-Ni n° 1230).

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 à pluri-mensuelle. Cette mesure constitue un indicateur précoce de la sédimentation.

Les conséquences de l'augmentation de ces flux sont la réduction de la lumière, de l'oxygène dissous et en particulier de la pollution par les éléments métalliques. En effet, les particules sont reconnues comme le principal vecteur des polluants dans la contamination des organismes pélagiques, dont les poissons qui sont, en bout de chaine, 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 ;
- D'autre part, persistantes dans les effluents industriels traités et rejetés dans le Canal de la Havannah via le diffuseur.

2 OBJECTIFS

Les objectifs poursuivis dans chacune des deux zones d'études, c'est-à-dire la Baie Kwé et le Canal de la Havannah, ont été d'effectuer, respectivement :

- le suivi temporel des apports terrigènes générés par l'activité minière en sortie de la Baie Kwé, dans un secteur de relative profondeur (h>15m). En effet, il est nécessaire de s'affranchir des phénomènes mécaniques comme le charriage des grosses particules sur le fond, il n'est donc pris en compte que les fractions fines en suspension potentiellement transportables par les courants sur de longues distances, comme le suggère la modélisation (Convention IRD/Goro-Ni n° n°1124, Volet « Simulation hydrodynamique »);
- le suivi temporel des apports industriels issus du procédé chimique au voisinage immédiat du diffuseur. Ce suivi avait pour objet de répondre aux questions de la double rémanence supposée :
    - d'une part, du gypse formé après l'étape de neutralisation des solutions acides d'extraction du Ni par le calcaire ;
    - d'autre part, des précipités de $CaCO_3$ et d'hydroxydes de Mn supposés être générés lors de l'entrée en contact de l'effluent avec l'eau de mer, phénomène qui pourrait entraîner une fraction non négligeable des métaux (dont Mn). Les expériences de laboratoire et la modélisation associée (Convention IRD/Goro-Ni, n° 1124 ; Volet « Réactivité chimique de l'effluent ») montrent que seule une formation négligeable de précipités de calcite devrait se produire. La mesure in-situ permet de discuter de cette hypothèse, dans l'état actuel du niveau des rejets (phase de démarrage de l'usine).

Ce rapport présente les résultats obtenus pour la **troisième campagne de mouillage semestrielle** des 4 que compte le programme de suivi environnemental relatif aux flux particulaires dans le Canal de la Havannah passé entre Vale-NC et AEL (Contrat Vale/AEL n° 2684).

3 METHODOLOGIE

3.1 SITE D'ETUDE ET CONDITIONS DE MOUILLAGES

Cette troisième campagne d'études des flux a été conduite de mi-septembre à mi-octobre 2012. Les missions de mouillage et de récupération des lignes instrumentées ont été réalisées à bord de l'embarcation « Slavko ».

De manière plus détaillée, les mouillages concernent trois lignes équipées chacune d'un piège à sédiments séquentiel, d'un lest associé à un largueur acoustique et d'un flotteur de sub-surface.

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

- Zone d'influence du rejet : il s'agit de deux stations (St60-SW et St60-NE) localisées perpendiculairement à 60 m de part et d'autre du diffuseur. Ces sites, définies pour l'étude de traçage colorimétrique (Contrat AEL/Vale-NC n° 20233), font l'objet d'une surveillance de la physico-chimie de la colonne d'eau à proximité (St09 ; Contrat AEL/Vale-NC n°E22584) ;
- Zone d'influence de la mine : Il s'agit d'une station dans la proche embouchure de la rivière Kwé (St06-KW1) et qui a permis la définition de l'état de référence des flux particulaires en 2006 (Convention IRD/Goro-Ni n°1230) afin d'assurer le suivi des apports induits par le bassin d'exploitation minière.

Tableau 1 : Localisation exacte des trois stations de mouillage des pièges à particules séquentiels : Canal de la Havannah (St60-SW et St60-NE) et en baie Kwé (StKW1). Ces coordonnées sont conformes au référentiel WGS-84.

STATION	St60-SW	St60-NE	St06-KW1
Longitude Est	166° 59,620	166°59.678	166°59,140
Latitude Sud	22° 22,158	22° 22,109	22°20,747
Profondeur (m)	37	39	18

Le dispositif de collecte a été placé à 3 mètres au-dessus du fond. Cette cote est particulièrement importante à respecter pour les pièges mouillés à proximité du diffuseur pour que les orifices de collecte demeurent en contact avec l'effluent même lorsque les conditions hydrodynamiques des marées de vive-eau s'exercent. Ce prérequis est conforme aux résultats du traçage réalisé à la rhodamine-WT (Contrat AEL/Vale-NC n° 20233 ; Figure 2) ; la couche affectée par l'effluent n'étant que d'environ 5 m d'épaisseur alors qu'elle dépasse amplement les 10 m par courants faibles (marées de morte-eau).

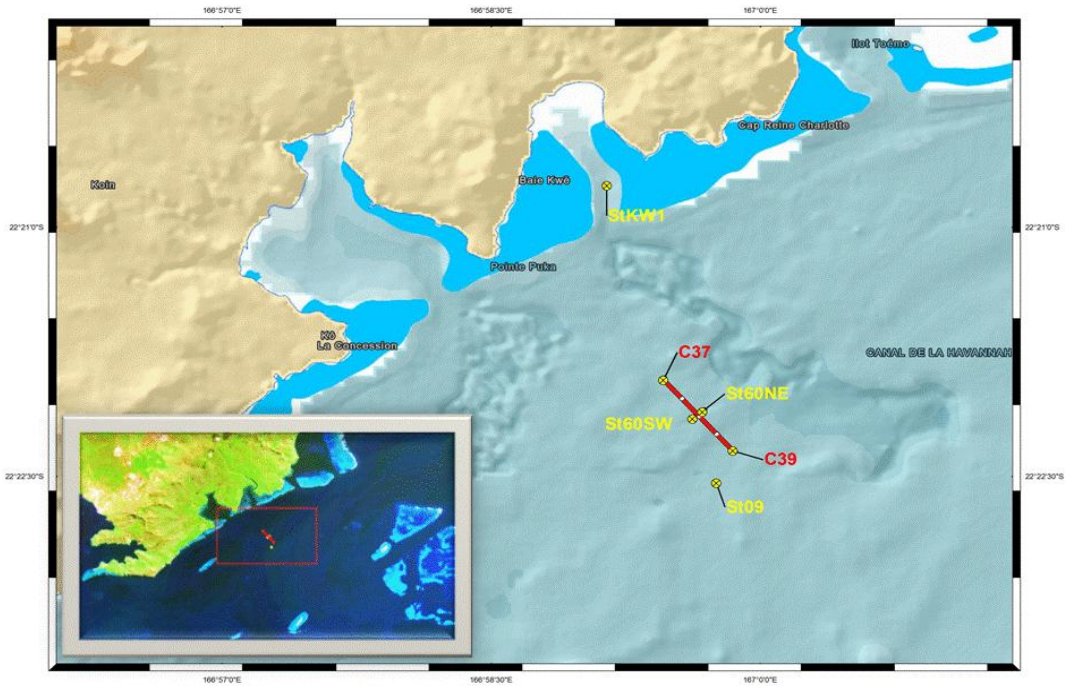


Figure 1: Aire d'étude pour le suivi des flux verticaux de particules issues du process de production de l'usine et des activités d'excavation de mine de Vale-NC. Le trait rouge représente le diffuseur, de part et d'autre figurent les deux stations St60-SW et St60-NE localisées à 60m du rejet. En Baie Kwé le piège à sédiments a été mouillé à la station St06-KW1. La station St09 appartient au réseau semestriel de surveillance physico-chimique de la colonne d'eau.

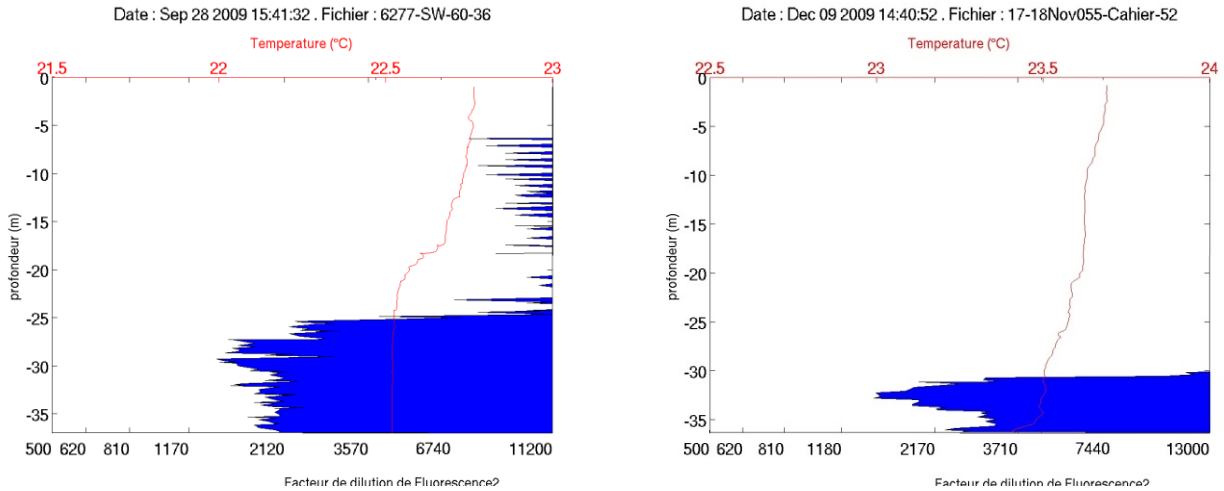


Figure 2 : Puissance type de l'épaisseur de marquage par l'effluent (rhodamine-WT) pour des conditions courantologiques de mi-marées de morte-eau (gauche) et de vive-eau (droite) au niveau de la station St60-SW.

3.2 ECHANTILLONNAGE

Les lignes de mouillage étaient dotées de pièges à sédiments de type séquentiel (Technicap, type PPS4/3) d'une section efficace de 0,050 m² et équipés de carrousels de 12 godets pour permettre la collecte d'une série temporelle des particules sédimentées. Les lignes ont été immergées le 07 septembre 2012, puis récupérées le 14 novembre 2012.

La collecte des particules a été programmée pour débuter le 12 septembre 2012 à 00h00 avec un pas de temps par godet de 96 heures (4 jours) ; elle s'est terminée le 30 octobre à 00h00. Au total 12 échantillons de matériel particulaire ont été prélevés pour chacun des trois sites d'immersion (Tableau 2).

Tableau 2 : Liste des échantillons collectés aux stations de mouillage des pièges à sédiments (St60-SW, StSt60-NE et St06-KW1) et périodes de collecte entre septembre et octobre 2012.

STATION	PERIODE DE COLLECTE	STATION	PERIODE DE COLLECTE	STATION	PERIODE DE COLLECTE
KW1-1	12-15 septembre	SW-1	12-15 septembre	NE-1	12-15 septembre
KW1-2	16-19 septembre	SW-2	16-19 septembre	NE-2	16-19 septembre
KW1-3	20-23 septembre	SW-3	20-23 septembre	NE-3	20-23 septembre
KW1-4	24-27 septembre	SW-4	24-27 septembre	NE-4	24-27 septembre
KW1-5	28 septembre-2 octobre	SW-5	28 septembre-2 octobre	NE-5	28 septembre-2 octobre
KW1-6	2-5 octobre	SW-6	2-5 octobre	NE-6	2-5 octobre
KW1-7	6-9 octobre	SW-7	6-9 octobre	NE-7	6-9 octobre
KW1-8	10-13 octobre	SW-8	10-13 octobre	NE-8	10-13 octobre
KW1-9	14-17 octobre	SW-9	14-17 octobre	NE-9	14-17 octobre
KW1-10	18-21 octobre	SW-10	18-21 octobre	NE-10	18-21 octobre
KW1-11	22-25 octobre	SW-11	22-25 octobre	NE-11	22-25 octobre
KW1-12	26-29 octobre	SW-12	26-29 octobre	NE-12	26-29 octobre

Dès le retour des pièges à bord de l'embarcation, les échantillons de MES (matière en suspension) conservés dans les godets des carrousels, ont été placés au frais (4°C) jusqu'à la phase de leur traitement au laboratoire.

3.3 PARAMETRES PHYSIQUES, GEOCHIMIQUES ET ANALYSES

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

4 RESULTATS

4.1 PARAMETRE METEOROLOGIQUES

Les valeurs des paramètres météorologiques sont regroupées en Annexe 2.

Les paramètres météorologiques (pluie journalière-RR-, vitesse –FXI- et direction –DXI- du vent maximum moyen) sont donnés par la station météorologique dite de l' « Usine Vale » qui fournit approximativement les conditions de pluie sur l'ensemble des bassins versants de la Kwé. Par ailleurs, cette station ne reflète pas exactement les régimes de vents le long de la côte sud de la Grande Terre en raison des effets de relief. D'ordinaire, ces deux derniers paramètres sont explicités par la station météorologique d'AEL installée sur la balise du récif Ioro. Toutefois, en raison d'une panne, la station AEL n'a pu enregistrer les paramètres météorologiques pour cette campagne de mouillage des pièges. Les interprétations sont donc basées sur la seule station de l'« Usine » de Vale-NC.

4.1.1 Précipitations atmosphériques (station « Usine Vale »)

La période du 12 septembre au 29 octobre a été marquée par deux épisodes pluvieux réellement significatifs (pluies>40 mm/j) qui ont été enregistrés le 18 septembre (105,2 mm) et le 15 octobre 2012 (45,0 mm ; Figure 3).

En dehors de ces deux épisodes, les précipitations ont été peu abondantes et éparses (pluies<15 mm) avec en particulier d'importantes périodes sèches entre le 21 septembre et le 13 octobre puis entre le 17 et le 22 octobre. Les précipitations totales ont été de 278,5 mm répartis sur 25 jours.

4.1.2 Direction du vent (station « Usine Vale »

Durant toute la période de mouillage des pièges à sédiments, aucune rotation majeure des vents ne s'est produite (Figure 3). En effet, les « *directions des vents moyens journaliers* » enregistrés (DD) ont soufflé majoritairement du secteur E-SE, avec quelques courtes oscillations vers les secteurs E, W, voire N. Dans le détail, il a été enregistré les 7 épisodes suivants :

- 12-23 septembre : les vents ont soufflé du secteur E-SE et une seule journée (15/09) a été marquée par des vents d'E revenant le lendemain au S-SE ;
- 24-29 septembre : le vent a soufflé principalement du secteur S, s'orientant les 26 et 28 septembre à l'W-SW ;
- 30 septembre-08 octobre : les vents se sont maintenus dans un large secteur SE ;
- 09-13 octobre : une courte instabilité atmosphérique a eu pour conséquence des oscillations successives faisant passer les vents du N au SW puis au S ;
- 14-22 octobre : un régime stable de S-SE s'est mis en place et a marqué cette période ;
- 23-26 octobre : apparition d'un nouvel épisode orienté S à SW ;
- 27-29 octobre : début d'un nouveau régime de SE.

4.1.3 Vitesse du vent (station « Usine Vale »

Pour la campagne, la « *vitesse des vents moyens journaliers* » (FF) a été de 11,9 ±2,4 m/s (Figure 3). Cette valeur qui est normale pour un début de « saison des alizés », est cependant comparable à celles mesurées pendant les deux premières campagnes de juillet-août 2011 (11,3 ±3,2 m/s) et de janvier-février 2012 (12,0 ±2,4 m/s). Les valeurs extrêmes ont été enregistrées le 23 octobre pour la minimale (7,7 m/s) et le 19 septembre pour la maximale (21,2 m/s).

Hormis ces valeurs, les vents se sont maintenus entre 8 et 12 m/s, seuls 5 épisodes de (19 septembre, 03, 13, 16 et 24 octobre) ont dépassé cette fourchette ; exception faite d'un courant du S-SW du 23-26 octobre, tous ces dépassements coïncident avec les 3 régimes d'alizés identifiés.

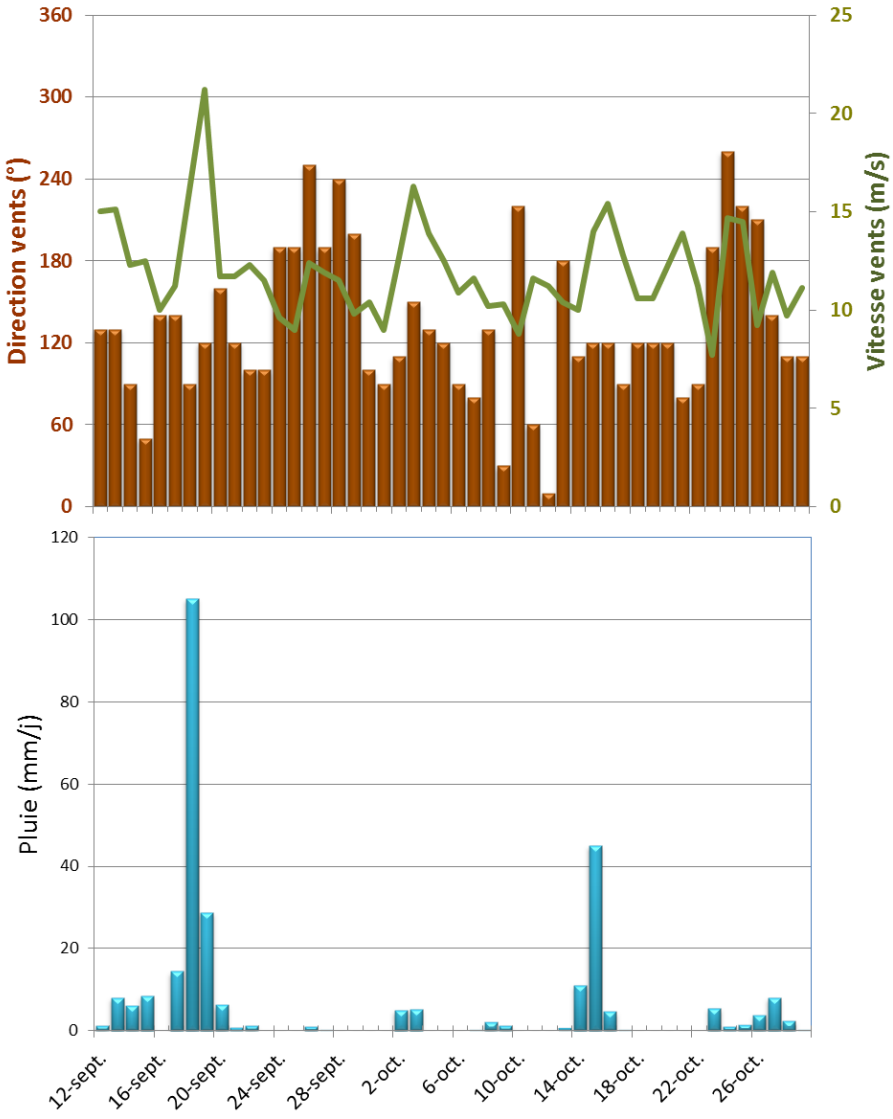


Figure 3 : Enregistrement des « *taux de précipitations journaliers (RR)* » en (mm/j), « *direction des vents moyens journaliers (DD)* » en (°) et « *vitesse des vents moyens journaliers (FF)* » en (m/s), à la station météorologique de l' « usine » de Vale-NC pour la période du 12 septembre au 29 octobre 2012.

CE QU'IL FAUT RETENIR

La période a été marquée par un épisode pluvieux important (105,2 mm) le 18 septembre, précédant le régime de secteurs SE du 19 septembre. Un deuxième épisode pluvieux, mais d'intensité moindre a affecté la zone le 15 octobre (45 mm).

Deux périodes de vents de secteur S ont été enregistrées du 24 au 29 septembre et du 23 au 26 octobre. Le reste du temps est caractérisé par des vents de dominante E-SE et l'installation d'alizés rapides temporairement.

4.2 CARACTERISATION DES MATIERES EN SUSPENSION

Les résultats d'analyses et mesures sont regroupés en Annexe 3.

Les résultats concernent les masses collectées, la granulométrie des populations de grains, la composition minéralogique, les teneurs en carbonates et les observations de MES au microscope optique.

4.2.1 Baie Kwé (station St06-KW1)

4.2.1.1 Masses collectées

Les masses collectées montrent des valeurs évolutives dans le temps (Figure 4) puisqu'elles se distribuent entre 3,00 g (24-27 septembre ; KW1-4) et 11,82 g (14-17 octobre ; KW1-9). La masse collectée dépasse les 8,00 g pour le godet KW1-6, pour les 9 autres les valeurs sont inférieures ou égales à environ 6,00 g (godet KW1-2).

Les fractions grossières (Ø> 40 µm) sont quantitativement plus importantes dans les godets KW1-6 (3,07 g ; 02-05 octobre) et KW1-09 (2,99 g ; 14-17 octobre), les minimales étant observées pour les godets KW1-1 et KW1-4 avec 0,95 et 0,97 g, respectivement. Proportionnellement, la masse de fraction grossière la plus importante a été collectée dans le godet KW1-3 (20-23 septembre) avec 56% et la plus faible (31%) dans le godet KW1-1 (12-15 septembre).

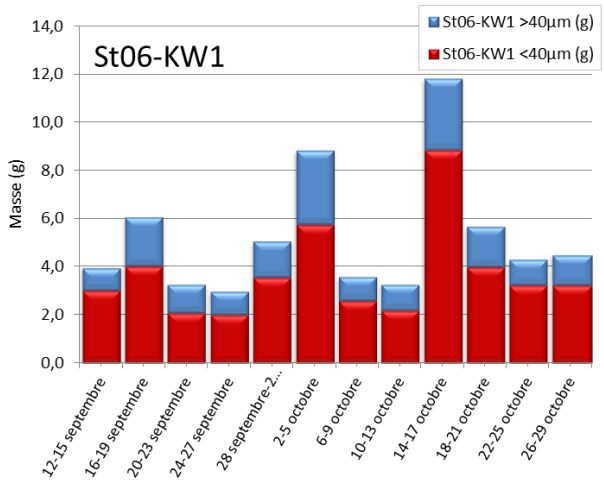


Figure 4 : Masses collectées dans les 12 godets du piège séquentiel mouillé du 12 septembre au 29 octobre 2012 en Baie Kwé (St06-KW1). Composition des matières en suspension (MES) : importance des fractions fines (< 40 µm) et fractions grossières (> 40 µm).

Pour cette troisième campagne, la masse minimale collectée (3,00 g) est du même ordre que celles des deux premières (juillet-août 2011 et janvier-février 2012) pour lesquelles les valeurs étaient de 1,00 g et 2,10 g,

respectivement. Pour les valeurs maximales, les deux campagnes antérieures ont montré des masses collectées équivalentes (23,70 g et 25,61 g, respectivement) alors que cette troisième série de prélèvements (septembre-octobre 2012) montre que seulement 11,82 g ont pu sédimenter.

4.2.1.2 Compositions granulométriques

Les matières en suspension collectées au niveau de la Baie Kwé sont très majoritairement composées de particules dont le mode se situe dans la classe 2-20 µm (argiles et silts fins) puisqu'elles représentent entre 41,8 et 58,5% du volume (Figure 5). Les silts moyens (20-40 µm) composent la deuxième population granulométrique, avec des valeurs comprises entre 19,2 et 26,7%. Les autres populations (silts grossiers et sables fins ; Ø>63 µm) ne représentent chacune que 5,9 à 13,8% environ des masses collectées, les particules de très petites tailles (argiles de la classe 0,02-2 µm) étant relativement constantes, leurs proportions demeurent de l'ordre de 10%.

Cette évolution est particulièrement visible entre les MES des godets KW1-2 (12-15 septembre) pauvres en particules fines (classes 0,02-2 µm et 2-20 µm) rapporté à la population générale plus grossière et KW1-11 (22-25 octobre) riche en matériel fins au détriment des fractions de forts diamètres (Ø>40 µm). Ces deux types de distributions correspondent respectivement, d'une part, à une période de vents faibles (6 m/s) à forts (18 m/s) de secteur SE accompagnés de fortes pluies (105,2 mm) et d'autre part, à une période de vents faibles (4 m/s) à moyens (14 m/s) de secteurs S passant au NW. Les deux autres prélèvements KW-6 (2-5 octobre) et KW-9 (14-17 octobre) sont composés de populations granulométriques intermédiaires correspondant à des conditions météorologiques de vents moyens (10 m/s) à faibles (< 6 m/s) de secteurs SE principalement.

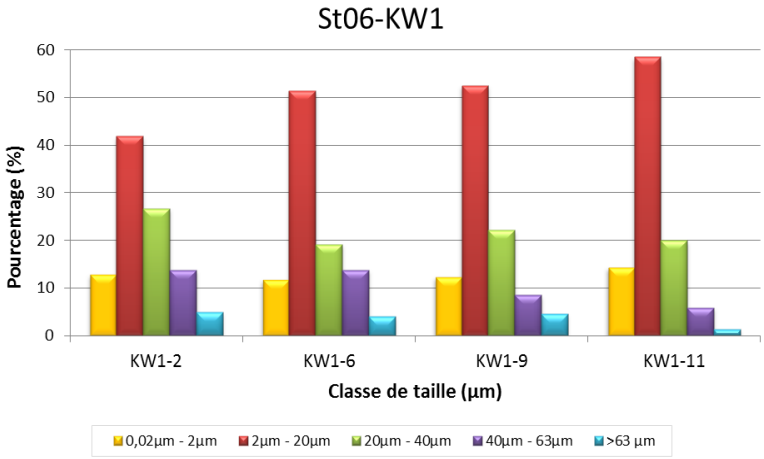


Figure 5 : Distribution granulométriques des populations de grains collectés en Baie Kwe (St06-KW1) par le piège à sédiments séquentiel, du 12 septembre au 29 octobre 2012.

4.2.1.3 Compositions minéralogiques

Les analyses réalisées par diffractométrie de rayons X (Tableau 3) montrent que les MES sont composées de minéraux comme la goethite qui est une signature minéralogique des formations latéritiques. La calcite, la calcite magnésienne (phase majoritaire) et l'aragonite mettent en évidence l'importante influence marine ; l'aragonite étant un des constituants des coquilles d'invertébrés.

La composition des particules demeure identique pour les trois campagnes réalisées : juillet-août 2011, janvier-février 2012 et septembre- octobre2012.

Comparativement aux deux premières campagnes (janvier-février 2011 et juillet-août 2012), la goethite est présente en très faibles proportions, quant à l'hématite, elle est indécelable pour les échantillons de cette troisième campagne.

Tableau 3 : Composition minéralogique des MES collectées en Baie Kwé (station (St06-KW1) par le piège à sédiments séquentiel, du 12 septembre au 29 octobre 2012.

ECHANTILLON	Calcite (Mg)	Calcite	Aragonite	Goethite	Autres
KW1- 2	M	m	m	m	-
KW1- 3	M	m	m	m	-
KW1- 9	M	m	m	m	-
KW1-12	M	m	m	m	-

M = composant majoritaire ; m = composant minoritaire ; t = composant trace

4.2.1.4 Teneurs en carbonates

En Baie Kwé, les MES collectées sont constituées d'une fraction carbonatée qui reste majoritaire puisque celle-ci oscille entre 61,4 et 71,9 % (Figure 6). La composition d'un godet à l'autre est très constantes (%CO3 = 67,7 ±3,2).

Cette teneur moyenne est très proche de celle mesurée pour la période de juillet-août 2011 (69,3 ±3,6 %) ; ces valeurs étant bien inférieures à celle obtenu pour la campagne de janvier-février 2012 (79,7 ±2,6).

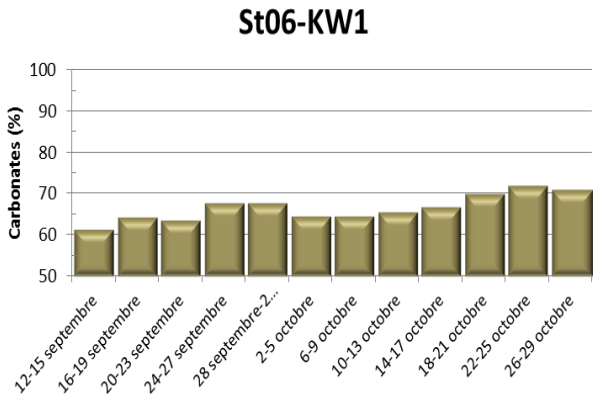


Figure 6 : Teneurs en carbonates dans les particules collectées par les 12 godets du piège séquentiel mouillé du 12 septembre au 29 octobre 2012 en Baie Kwé (St06-KW1).

4.2.2 Canal de la Havannah (station St60-NE)

Note : *La quantité de matière particulaire collectée dans les 10 godets notés NE60-1 à NE60-10 a été faible (m < 1,38 g). De plus, la fraction fine (Ø<40µm) ne représentant qu'au maximum 0,55 g (NE60-10), les déterminations des compositions minéralogiques et des teneurs en carbonates n'ont pu être réalisées. Seules, les analyses en métaux et les granulométries ont été conduites sur ces 10 échantillons.*

4.2.2.1 Masses collectées

A la station St60-NE (Figure 7), la masse des échantillons étudiés se répartit sur une très grande échelle. En effet, les quantités minimale et maximale sont respectivement de 0,02 g (NE60-4 ; 24-27 septembre) à 3,55 g (NE60-11 ; 22-25 octobre). Par ailleurs, exception faite des godets NE60-02 (1,31 g) et NE60-9 (0,68 g), les masses collectées entre le 12 septembre et le 17 octobre ne dépassent pas les 0,27 g (NE60-1 ; 12-15 septembre). Seules les trois dernières périodes de collecte (18 au 29 octobre) ont permis de piéger entre 1,38 g (NE60-10) et 3,55 g (NE60-11).

Les fractions grossières (Ø> 40 µm) sont quantitativement plus importantes dans le godet NE60-11 (1,90 g ; 22-25 octobre). Paradoxalement, le godet NE60-2 contient autant de fraction grossière (0,88 g) que les godets NE60-10 et NE60-12 malgré des masses sédimentées bien supérieures pour ces deux derniers. Pour les huit autres godets, la valeur maximale a été de 0,49 g (NE60-9 : 14-17 octobre), la minimale de 0,01 g (NE60-4 ; 24-27 septembre). La plus forte proportion de fraction grossière a été mesurée dans le godet NE60-3 (56%) ; d'une manière générale les

fortes proportions semblent correspondre avec les périodes de très faible piégeage du début d'étude. Toutefois, la faiblesse des quantités mesurées augmentent les incertitudes et ne permettent pas d'être totalement affirmatif.

La série temporelle de piégeage de la station St60-NE est tout à fait similaire à celle mesurée à la station St60-SW dont les valeurs minimale et maximale sont : 0,07 g (SW60-5) et 3,84 g (SW60-10).

En termes de variabilité interannuelle, la comparaison ne peut être faite avec la campagne de juillet-août 2011 en raison de la perte de la ligne de mouillage. En revanche, les valeurs peuvent être rapportées à celles de la saison chaude qui sont bien supérieures (0,26-5,39 g ; janvier-février 2012).

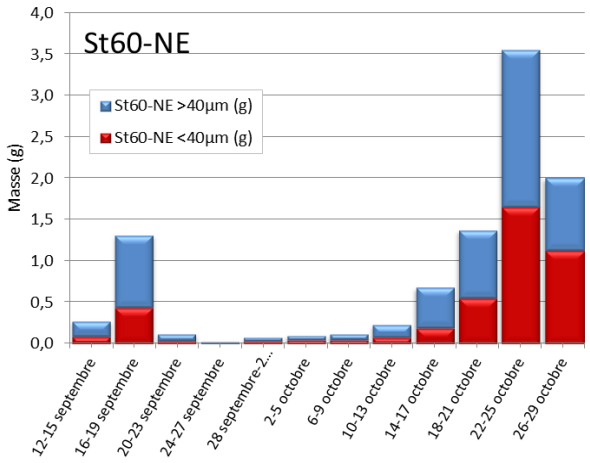


Figure 7 : Masses collectées dans les 12 godets du piège séquentiel mouillé du 12 septembre au 29 octobre 2012 dans le Canal de la Havannah, au nord-est du diffuseur (St60-NE). Composition des matières en suspension (MES) : importance des fractions fines (< 40 µm) et fractions grossières (> 40 µm)

4.2.2.2 Compositions granulométriques

L'ensemble des conditions hydro-climatiques de cette mission n'a permis de collecter des MES en quantités suffisantes que dans 3 godets ; un seul a été retenu pour étudier la composition granulométrique : NE60-11.

La distribution des populations granulométriques des MES (NE60-11) montre la présence d'importantes populations de particules d'un diamètre supérieur à 63 µm (Figure 8) ; la présence de ces populations coïncide avec des régimes météorologiques orientés SW à NW. En effet, dans ces conditions, les eaux, pauvres en particules terrigènes, sont chargées de tests de micro-organismes planctoniques qui sédimentent.

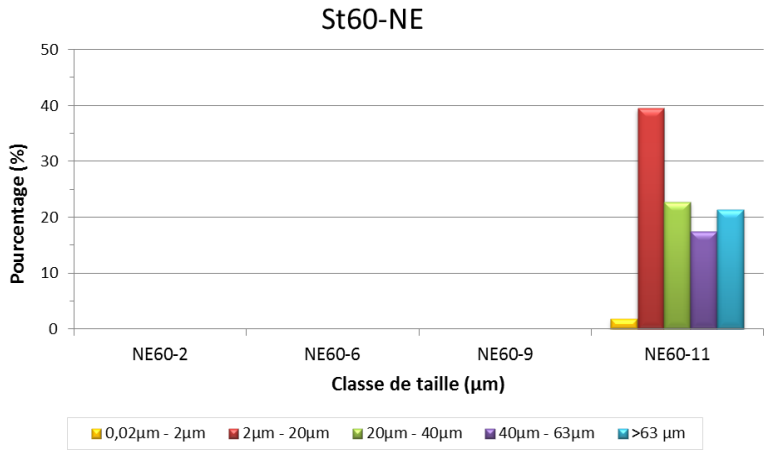


Figure 8 : Distribution granulométriques des populations de grains collectés dans le Canal de la Havannah (St60-NE) par le piège à sédiments séquentiel, du 12 septembre au 29 octobre 2012 ; l'analyse des MES des godets NE60-2, NE60-6 et NE60-9 n'a pu être réalisée par manque de matière.

4.2.2.3 Compositions minéralogiques

Comme pour la station jumelle St60-SW, les analyses réalisées (Tableau 4) montrent que les MES sont composés de minéraux comme la calcite, la calcite magnésienne et l'aragonite. Ici, aussi, ces minéraux mettent en évidence la dominance quasi-totale de l'influence marine, l'aragonite en particulier, étant un des constituants des coquilles d'invertébrés. La goethite, marqueur des apports terrigènes issus des formations latéritiques n'est présente qu'à l'état de traces dans les quatre godets sélectionnés.

Tableau 4 : Composition minéralogique des MES collectées dans le Canal de la Havannah (station St60-NE) par le piège à sédiments séquentiel, du 12 septembre au 29 octobre 2012.

ECHANTILLON	Calcite (Mg)	Calcite	Aragonite	Goethite	Autres
NE60-2	M	m	m	t	-
NE60-10	M	m	m	t	-
NE60-11	M	m	m	t	-
NE60-12	M	m	m	t	-

M = composant majoritaire ; m = composant minoritaire ; t = composant trace

4.2.2.4 Teneurs en carbonates

Les teneurs en carbonates de ces deux échantillons de MES (Figure 9) sont relativement élevées : la valeur moyenne est de 85,1 ±1,4 %. Toutefois, ces teneur sont de l'ordre de grandeur exact de celles déjà observées pour la campagne précédente (84,3 ±4,9 % ; juillet-août 2012).

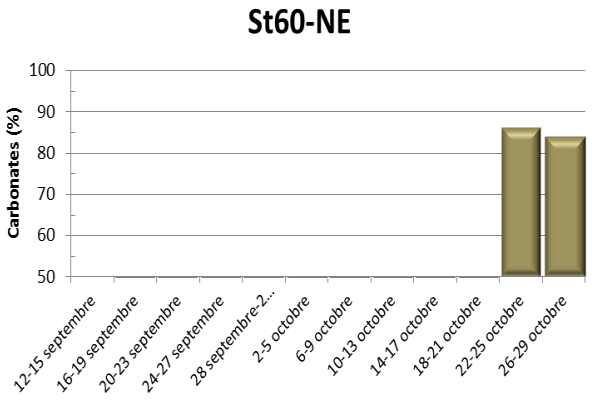


Figure 9 : Teneurs en carbonates dans les particules collectées par les 12 godets du piège séquentiel mouillé du 12 septembre au 29 octobre 2012 dans le Canal de la Havannah (St60-NE). Les échantillons NE60-1 à NE60-9 n'ont être analysés par manque de matière.

4.2.3 Canal de la Havannah (station St60-SW)

Note : *La quantité de matière particulaire collectée dans les 9 godets notés SW60-1 à SW60-9 a été faible (m < 0,95 g). De plus, la fraction fine (Ø<40µm) ne représentant qu'au maximum 0,39 g (SW60-2), les déterminations des compositions minéralogiques et des teneurs en carbonates n'ont pu être réalisées. Seules, les analyses en métaux et les granulométries ont été conduites sur ces 9 échantillons.*

4.2.3.1 Masses collectées

Comme sur la station jumelle St60-NE, en St60-SW (Figure 10), les échantillons étudiés montrent une très grande amplitude dans les masses sédimentées. En effet, les quantités minimale et maximale vont respectivement de

0,07 g (SW60-05 ; 28 septembre-01 octobre) à 3,84 g (SW60-10 ; 18-21 octobre). Par ailleurs, exception faite du godet SW60-02 (0,95 g ; 16-19 septembre), les masses collectées entre le 12 septembre et le 17 octobre ne dépassent pas les 0,37 g (SW60-9 ; 14-17 octobre). Seules les trois dernières périodes de collecte (18 au 29 octobre) ont permis de piéger entre 3,26 g (SW60-12) et 3,84g (SW60-10).

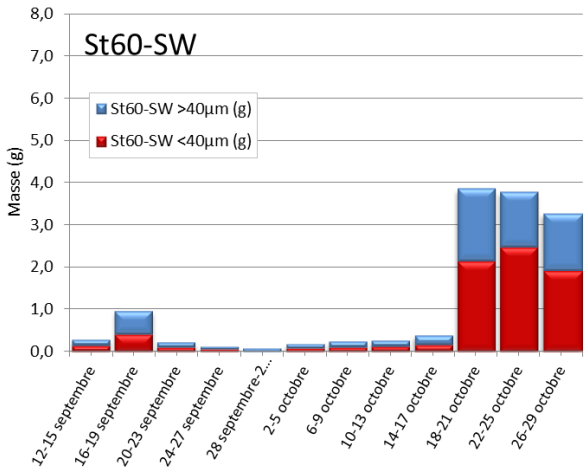


Figure 10 : Masses collectées dans les 12 godets du piège séquentiel mouillé du 12 septembre au 29 octobre 2012 dans le Canal de la Havannah, au sud-ouest du diffuseur (St60-SW). Composition des matières en suspension (MES) : importance des fractions fines (< 40 µm) et fractions grossières (> 40 µm).

Les fractions grossières (Ø> 40 µm) sont quantitativement plus importantes dans le godet SW60-10 (1,70 g ; 18-21 octobre) et environ du même ordre pour les deux derniers prélèvements de l'étude. Pour les neuf godets antérieurs, la valeur maximale a été de 0,56 g (SW60-2 : 16-19 septembre), la minimale de 0,06 g (SW60-4 ; 24-27 septembre). En termes de proportions, les masses de fraction grossière les plus importantes semblent correspondre avec les périodes de très faible piégeage du début d'étude. Toutefois, la faiblesse des quantités mesurées augmentent les incertitudes et ne permettent pas d'être totalement affirmatif.

La série temporelle de piégeage de la station St60-SW est remarquablement similaire à celle mesurée à la station St60-NE dont les valeurs minimale et maximale sont : 0,02 g (NE60-4) et 3,55 g (NE60-11).

En termes de variabilité interannuelle, les quantités collectées sont très proches de celles de la campagne de la saison fraiche antérieure (0,03-2,29 g ; juillet-août 2011), mais bien inférieures à celles obtenues pour la saison chaude (0,17-6,67 g ; janvier-février 2012).

4.2.3.2 Compositions granulométriques

Comme pour la station jumelle St60-NE, les conditions hydro-climatiques de cette mission n'ont pas été favorables pour collecter des MES en quantités suffisantes ; des 3 godets exploitables, un seul (SW60-11) a été retenu pour étudier la composition granulométrique.

La distribution des populations granulométriques des MES (SW60-11) montre la présence d'importantes populations de particules d'un diamètre supérieur à 63 µm, conformément aux observations déjà réalisées pour la campagne de juillet-août 2011 (Figure 11) ; la présence de ces populations coïncide avec des régimes météorologiques d'un large secteur SW à NW. En effet, dans ces conditions, les eaux, pauvres en particules terrigènes, sont chargées de tests de micro-organismes planctoniques qui sédimentent. La distribution des populations de grains est quasiment identique à celle observée à la station St60-NE (Figure 8 et Figure 11).

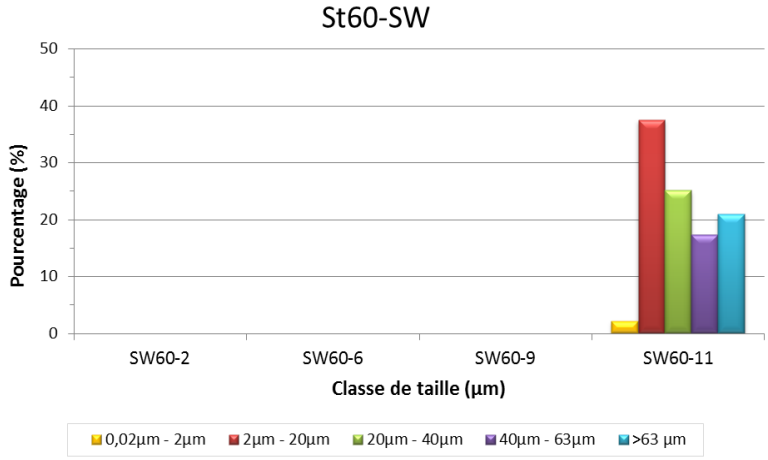


Figure 11 : Distribution granulométriques des populations de grains collectés dans le Canal de la Havannah (St60-SW) par le piège à sédiments séquentiel du 12 septembre au 29 octobre 2012 ; l'analyse des MES des godets SW60-2, SW60-6 et SW60-9 n'a pu être réalisée par manque de matière.

4.2.3.3 Compositions minéralogiques

Les analyses réalisées (Tableau 5) montrent que les MES sont composés de minéraux comme la calcite, la calcite magnésienne et l'aragonite. Ces minéraux mettent en évidence la dominance quasi-totale de l'influence marine, l'aragonite en particulier, étant un des constituants des coquilles des invertébrés. La goethite, marqueur des apports terrigènes issus des formations latéritiques est présente dans les trois godets SW-10, SW-11 et SW-12.

Tableau 5 : Composition minéralogique des MES collectées dans le Canal de la Havannah (station St60-SW) par le piège à sédiments séquentiel, du 12 septembre au 29 octobre 2012.

ECHANTILLON	Calcite (Mg)	Calcite	Aragonite	Goethite	Autres
SW60-10	M	m	m	t	-
SW60-11	M	m	m	t	-
SW60-12	M	m	m	t	-

M = composant majoritaire ; **m** = composant minoritaire ; **t** composant à l'état de traces

On notera que les minéraux terrigènes, comme la goethite, sont estimés être en plus grande quantité dans les particules collectées en « saison chaude » qu'en « saison fraiche » (juillet 2011). Les minéraux terrigènes, comme la goethite, sont en quantité équivalentes au niveau des deux stations du Canal.

4.2.3.4 Teneurs en carbonates

Les teneurs en carbonates des trois échantillons de MES (Figure 12) sont relativement élevées, mais la moyenne de 82,7 ±2,4 % est sensiblement plus faibles que celles des campagnes précédentes : 91,0 ±3,0% pour juillet-août 2011 et 89,7 ±7,5 % pour janvier-février 2012. Globalement, ces valeurs sont proches de celles observées en 2007 (93,5 % ; Convention IRD/Goro-Ni, n°1230).

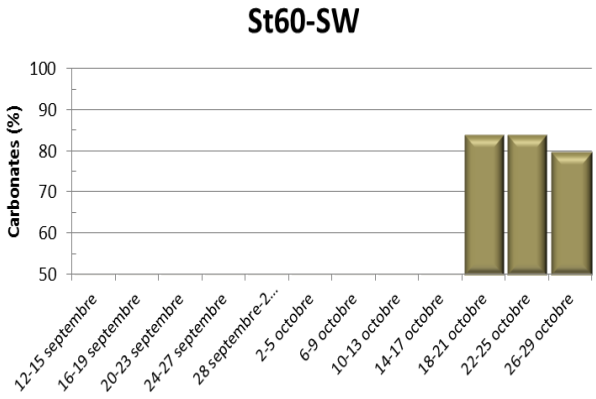


Figure 12 : Teneurs en carbonates dans les particules collectées par les 12 godets du piège séquentiel mouillé du 12 septembre au 29 octobre 2012 dans le Canal de la Havannah (St60-SW).

CE QU'IL FAUT RETENIR

Les fortes précipitations atmosphériques du 18 septembre (105,2 mm) n'ont que très légèrement modifié les flux verticaux des particules au niveau de la Baie Kwé. Dans le Canal de la Havannah, une augmentation du flux est perceptible avec cependant une proportion de fraction grossière (Ø>40µm) souvent attribuable à la décantation de tests de micro-organismes planctoniques.

Durant le deuxième épisode pluvieux du 15 octobre (45 mm), le flux de particules est resté très faible dans le Canal alors qu'une augmentation conséquente a été enregistrée pour la station de la baie (St06-KW1, godet KW1-9).

En termes de masse collectée, par rapport aux deux premières campagnes (juillet-août 2011 et janvier-février 2012), la masse minimale collectée en St06-KW1 a triplé (3,00 g) alors que la maximale a été divisée par deux (11,82 g). A la station St60-SW, les masses minimales et maximales sont similaires en variation interannuelle (2011 et 2012), respectivement : 0,03-2,29 g pour juillet-août et 0,02-3,55 g pour septembre-octobre 2012. Pour la station St60-NE, la comparaison ne peut être faite en raison de la perte de la ligne de mouillage en juillet-août 2011.

Les masses collectées à station St60-NE (0,02-3,55 g) sont similaires à celles mesurées à la station St60-SW (0,07-3,84 g, mais les valeurs restent bien inférieures à celles de la saison chaude (0,22 ±0,06 et 6,03 ±0,91).

Pour la Baie Kwé, la concentration moyenne en carbonates (67,7 ±3,2%) est très similaire à celles de la campagne précédente de juillet-août 2011 (69,3 ±3,6 %). Au niveau du Canal, les teneurs en carbonates sont bien plus élevées qu'en Baie Kwé (86 % en moyenne) et en nette diminution par rapport à l'année précédente.

D'une manière générale, les MES collectées dans la Baie Kwé ont une granulométrie plus fine que dans le Canal ; 20% des particules mesurent plus de 40 µm, contre 50 %, respectivement. Cette différence est particulièrement sensible pour les particules des classes argiles (0,02-2 µm) et silts fins (2-20 µm). La présence de particules de fort diamètre dans les MES du Canal traduit la sédimentation des tests de micro-organismes.

Les principaux minéraux sont : la calcite, la calcite magnésienne et l'aragonite pour le domaine marin et la goethite pour l'influence terrigène que l'on ne retrouve bien identifiée que dans la Baie Kwé.

4.3 COMPOSITION GEOCHIMIQUE DES MATIERES EN SUSPENSION

Les valeurs des concentrations en métaux totaux, calcium et soufre dans les MES collectées par les pièges à sédiment séquentiels sont regroupées en Annexe 4.

4.3.1 Baie Kwé (station St06-KW1)

Les éléments analysés dans les MES de la Baie Kwé ont permis de mettre évidence les influences respectives des apports terrigènes (Co, Cr, Fe, Mn, et Ni) et marins (Ca). Pour tous les éléments analysés, les concentrations obtenues peuvent montrer un écart maximum de l'ordre de 30-35 % (Tableau 6), sauf pour le calcium (10%).

Dun point de vu de la série temporelle, une tendance générale à la décroissance est observée entre le premier godet (12-15 septembre) et le dernier 26-29 octobre), pour tous les métaux excepté pour le calcium qui suit une évolution inverse ; cette distribution souligne la recrudescence des apports marins en fin de période d'étude.

Les niveaux de concentrations sont tous, relativement similaires à ceux de la campagne de la saison chaude précédente de janvier-février 2012, mais en augmentation sensible par rapport à la campagne de juillet-août 2011 (Contrat Vale-NC/AEL, n°2684).

Les résultats montrent également une augmentation notable par rapport à l'Etat de Référence défini en 2007 (Contrat ŒIL/AEL, n°110328-OE-03, 2012).

Tableau 6 : Concentrations moyennes, écart-types et valeurs extrêmes des concentrations en métaux et calcium dans les MES collectées en Baie Kwé entre le 12 septembre et le 29 octobre 2012 (Station St06-KW1 ; n=12).

	ELEMENT ANALYSE (mg/kg)					
	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
MIN	248 829	84	3 031	93 391	688	1 557
MAX	275 216	129	4 615	129 942	986	2 226
MOYENNE	264 386	106	3 874	111 616	840	1 829
ECART-TYPE	8 238	15	546	11 753	95	201
% RSD	3	14	14	11	11	11

Comme attendu, la matrice de corrélation met en évidence une grande similarité (seuil de 0,95) de l'évolution des concentrations massiques inter-éléments pour Co, Cr, Fe et Mn (Tableau 7) ; l'évolution des concentrations en Ni montrent un niveau de similarité moindre, comparativement aux résultats obtenus en janvier-février 2012. Toutefois, cette similarité globalement satisfaisante souligne que ces éléments métalliques appartiennent au cortège des formations latéritiques.

Les concentrations en calcium évoluent peu dans le temps et la matrice de corrélation montre qu'il n'existe aucun lien entre celui-ci et les 5 métaux latéritiques (Tableau 7).

Quant à la normalisation des concentrations du calcium par le fer (Ca/Fe), celle-ci souligne de manière notable les évolutions distinctes des deux éléments qui sont les signatures des pôles marins et terrigènes, respectivement (Figure 13). Ainsi, dans les godets KW-1 (12-15 septembre), KW-2 (16-19 septembre) et dans une moindre mesure les godets KW-6 (2-5 octobre), KW-7 (6-9 octobre) et KW-8 (10-13 octobre), les ratios sont proches de 2. Cette valeur montre que l'influence marine décroît et coïncident avec une augmentation des flux, eux-mêmes en relation avec les deux épisodes pluvieux : cette relation n'est cependant pas clairement démontrée pour cette dernière campagne.

Pour les godets KW-5 (28 septembre-8 octobre), KW-10 (18-21 octobre), KW-11 (22-25 octobre) et KW-12 (26-29 octobre), en revanche les ratios Ca/Fe sont nettement supérieurs à 2,5 montrant ainsi un accroissement de l'influence marine. Cette augmentation correspond avec les deux périodes météorologiques constituées par des régimes S à SW fraichissant de 10 à 15 m/s.

Tableau 7 : Matrice de corrélation inter-éléments des concentrations de métaux et du calcium dans les MES collectées en Baie Kwé entre le 12 septembre et le29 octobre 2012.

	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ca	**1**					
Co	-0,693	**1**				
Cr	-0,711	**0,958**	**1**			
Fe	-0,734	**0,994**	**0,967**	**1**		
Mn	-0,740	**0,969**	**0,967**	**0,982**	**1**	
Ni	-0,695	0,826	0,808	0,837	0,788	**1**

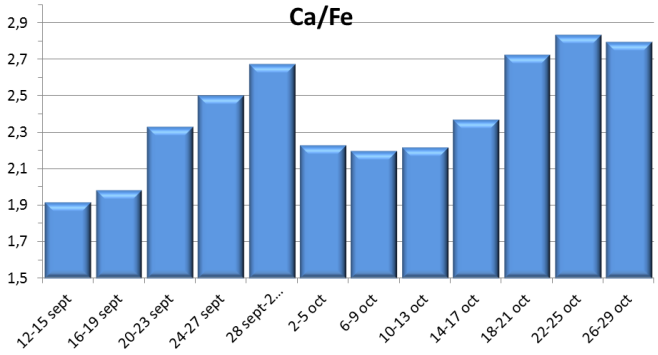


Figure 13 : Normalisation des concentrations en calcium par le fer pour les MES collectées en Baie Kwé (St06-KW1) entre le 12 septembre et le 29 octobre 2012.

Remarque : *globalement, compte tenu de la constance des concentrations en calcium dans le milieu marin (Tableau 6), les ratios Ca/Fe montrent que l'influence terrigène à la station St60-KW1 semble équivalente à celle de la campagne de janvier-février 2012 (saison chaude) avec respectivement des valeurs de 2,40 ±0,31 et 2,32 ±0,18. Toutefois, ces ratios sont tous en net recul par rapport à la première campagne (3,17 ±0,50 ; juillet-août 2011) et en particulier à l'estimation obtenue en 2007 (4,21) pour la définition de l'Etat de Référence de la Baie (Convention IRD/Goro-Ni, n°1230).*

4.3.2 Canal de la Havannah (station St60-NE)

Note : *La quantité de matière particulaire collectée a été très faible dans 8 godets sur 12. Les analyses géochimiques (métaux et calcium) n'ont donc pu être réalisées que sur les prélèvements NE-2, NE-10, NE-11 et NE-12 pour lesquels la proportion de fraction fine (Ø<40µm) disponible a été au minimum de 0,40g. Pour le soufre, seuls les échantillons NE-11 et NE-12 ont pu être traités.*

4.3.2.1 Concentration en métaux et calcium

Les éléments analysés dans les MES collectées à l'est du diffuseur (St60-NE) ont logiquement permis de mettre en évidence une influence marine très marquée (Ca). Toutefois comme à l'accoutumé, les apports terrigènes (Co, Cr,

Fe, Mn, et Ni) sont décelables, mais à niveaux de concentrations respectifs bien moindres que dans les MES de la Baie Kwé.

Contrairement aux résultats de la saison chaude (janvier-février 2012), les concentrations obtenues pour la station St60-NE montrent des variations temporelles plus importantes (4<RSD%<26 ; Tableau 8) qu'en Baie Kwé (Tableau 6 ; 3<RSD%<14).

Bien qu'en baisse sensible, les résultats moyens présentés sont du même ordre de grandeur que ceux de la campagne précédente réalisée en « saison chaude » (janvier-février 2012) et comparables à ceux définis pour l'Etat de Référence (Contrat ŒIL/AEL, n°110328-OE-03, 2012).

Aucune comparaison ne peut être établie avec la campagne de la saison fraiche précédente (juillet-août 2011) en raison de la perte du piège à sédiment pendant la période de mouillage.

Tableau 8 : Concentrations moyennes, écart-types et valeurs extrêmes des concentrations en métaux et calcium dans les MES collectées dans le Canal de la Havannah entre le 12 septembre et le 29 octobre 2012 (Station St60-NE ; n=4).

	ELEMENT ANALYSE (mg/kg)					
	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
MIN	331 397	22	535	16 280	142	255
MAX	373 441	33	591	19 679	257	410
MOYENNE	345 918	29	566	18 347	189	344
ECART-TYPE	19 677	5	23	1 641	49	68
% RSD	6	18	4	9	26	20

La matrice de corrélation (Tableau 9) ne permet de dégager que 3 similarités de comportement, mais le nombre d'observations étant trop restreint (n=4), aucune interprétation robuste ne peut raisonnablement être produite.

Cependant, il doit être rappelé qu'une seule corrélation significative au seuil de similarité de 0,95 avait mise en évidence pour la campagne de janvier-février 2012. Cette statistique démontre donc que l'influence des apports terrigènes n'est pas prépondérante dans ce secteur du Canal de la Havannah (station St60-NE).

Tableau 9 : Matrice de corrélation inter-éléments des concentrations de métaux et du calcium dans les MES collectées dans le Canal de la Havannah entre le 12 septembre et le 29 octobre 2012 (Station St60-NE; n= 4).

	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ca	**1**					
Co	-0,834	**1**				
Cr	0,056	0,358	**1**			
Fe	-0,690	**0,974**	0,523	**1**		
Mn	-0,699	0,804	0,656	0,799	**1**	
Ni	-0,693	**0,965**	0,364	**0,977**	0,667	**1**

La normalisation des concentrations du calcium par le fer pour les 4 prélèvements analysés oscille entre 16,9 et 22,9 et montre, contrairement à la campagne de la « saison chaude » (janvier-février ; 11,0 < Ca/Fe < 19,5) que les apports terrigènes ont été plus constants avec une composante marine très marquée pendant la saison fraiche.

4.3.2.2 Teneurs en soufre

La concentration moyenne en soufre pour les échantillons NE-11 et NE-12 est de 3000 ±131 mg/kg. Cette valeur montre que l'élément ne varie pas en fonction des conditions hydro-climatiques régnantes dans le Canal de la

Havannah (Figure 14). Elle est par ailleurs très similaire aux résultats obtenus antérieurement. Toutefois, le nombre très insuffisant de prélèvements traités (n=2) ne permet pas d'être vraiment affirmatif.

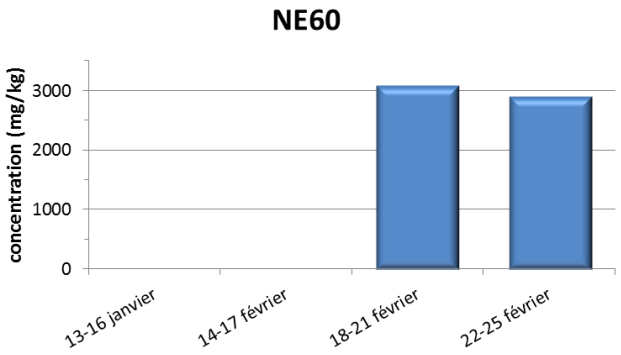


Figure 14 : Concentration du soufre dans les 4 godets correspondant aux événements météorologiques marquants enregistrés entre le 12 septembre et le 29 octobre 2012 dans le Canal de la Havannah (St60-NE).

4.3.3 Canal de la Havannah (station St60-SW)

Note : *La quantité de matière particulaire collectée a été très faible dans 8 godets sur 12. Les analyses géochimiques (métaux et calcium) n'ont donc pu être réalisées que sur les prélèvements SW-2, SW-10, SW-11 et SW-12 pour lesquels la proportion de fraction fine (Ø<40µm) disponible a été au minimum de 0,40g. Pour le soufre, seuls les échantillons SW-2, SW-10 et SW-12 ont pu être traités.*

4.3.3.1 Concentration en métaux et calcium

Comme pour la station St60-NE, les éléments analysés dans les MES collectées au sud-ouest du diffuseur (St60-SW) ont logiquement permis de mettre évidence principalement l'influence marine (Ca) et une composante terrigène affaiblie (Co, Cr, Fe, Mn, et Ni). Bien qu'incomplètes, les séries de résultats relatives aux stations St60-SW et St60-NE sont très proches.

En effet, les apports terrigènes sont encore décelables bien que beaucoup moins exprimés que dans la Baie Kwé. Globalement, la variabilité des résultats est comparable à celle observée à la station St60-NE (Tableau 8 et Tableau 10), toutes les deux étant plus faibles que celles mesurées en saison chaude (janvier-février).

Comme pour la station St60-NE, les variations à la station St60-SW sont plus importantes (1<RSD%<29 ; Tableau 10) qu'en Baie Kwé (Tableau 6 ; 3<RSD%<14) mais permettent de déceler toutefois une évolution temporelle des apports.

Globalement, les concentrations mesurées se situent dans l'ordre de grandeur des résultats de 2007 (Contrat ŒIL/AEL, n°110328-OE-03, 2012) avec une légère augmentation n'atteignant pas un facteur 1,5. Toutefois, pour cette même station St60-SW, en saison fraiche la valeur moyenne en Co relevée est 2,5 fois plus élevée.

Si les teneurs sont comparables à celles de la station jumelle St60-NE, en revanche, la matrice de corrélation ne met en évidence aucune similarité de comportement (seuil de 0,95 ; Tableau 11). Seuls, le cobalt, le manganèse et le nickel montrent une très faible tendance commune (Tableau 11).

En termes d'évolution des influences marine et terrigène, la normalisation des concentrations du calcium par le fer n'a pu être envisagée que pour 3 échantillons en quantité suffisante. Cependant, ces valeurs soulignent la grande homogénéité dans la composition des masses d'eau lagonaires de cette station (15,6 < Ca/Fe < 18,3), comme pour sa station jumelle St60-NE.

Tableau 10 : Concentrations moyennes, écart-types et valeurs extrêmes des concentrations en métaux et calcium dans les MES collectées dans le Canal de la Havannah entre le 12 septembre et le 29 octobre 2012 (Station St60-SW ; n=4).

	ELEMENT ANALYSE (mg/kg)					
	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
MIN	324 982	17	547	17 810	162	306
MAX	329 551	37	637	20 772	208	411
MOYENNE	327 177	29	595	18 959	180	362
ECART-TYPE	2 202	8	43	1 296	20	43
% RSD	1	29	7	7	11	12

Tableau 11 : Matrice de corrélation inter-éléments des concentrations de métaux et du calcium dans les MES collectées dans le Canal de la Havannah entre le 12 septembre et le 29 octobre 2012 (Station St60-SW ; n=4).

	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ca	**1**					
Co	-0,119	**1**				
Cr	0,275	0,149	**1**			
Fe	-0,366	0,605	0,619	**1**		
Mn	0,485	0,523	0,384	0,299	**1**	
Ni	0,297	0,714	0,458	0,467	0,706	**1**

Note : *les évolutions relativement distinctes des stations St60-NE et St60-SW ont déjà fait l'objet d'observations du même type pour des campagnes antérieures, quelle que soit la saison étudiée. Il semble assez net que les influences terrigènes sont estompées au niveau de la station St60-SW par rapport à la station jumelle St60-NE.*

4.3.3.2 Teneurs en soufre

La concentration moyenne en soufre est de 3320 ±202 mg/kg. Cette valeur montre que l'élément ne varie pas en fonction des conditions hydro-climatiques régnantes dans le Canal de la Havannah (Figure 15). Elle est par ailleurs très similaire aux résultats obtenus antérieurement.

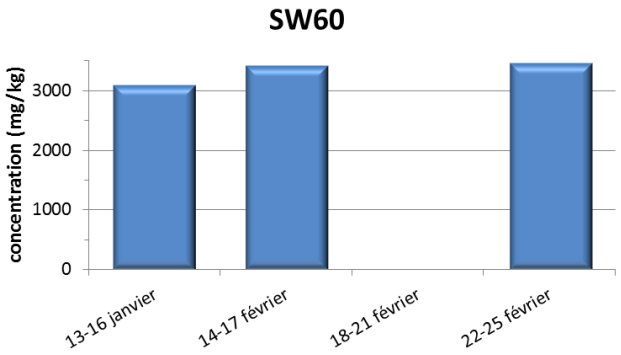


Figure 15 : Concentration du soufre dans les 4 godets correspondant aux événements météorologiques marquants enregistrés entre le 12 septembre et le 29 octobre 2012 dans le Canal de la Havannah (St60-SW).

CE QU'IL FAUT RETENIR

Les conditions hydro-climatiques influent sur la valeur des paramètres géochimiques analysés qui montrent des évolutions temporelles tant en Baie Kwé que dans le Canal de la Havannah : ces variations sont d'ordre qualitatif et quantitatif.

En Baie Kwé (St06-KW1) comme dans le Canal de la Havannah (St60-NE), les concentrations mesurées sont similaires à celles de la campagne précédente de janvier-février 2012 alors que les saisons sont différentes. Ces valeurs sont cependant supérieures à celles de la campagne de la saison fraiche précédente (juillet-août 2011) et montrent donc également une sensible augmentation par rapport aux résultats obtenus pour la définition de l'Etat de Référence réalisé en 2007.

Pour la station St60-SW, globalement, les concentrations mesurées se situent dans l'ordre de grandeur des résultats de 2007 avec, cependant une légère augmentation n'atteignant pas un facteur 1,5 ; pour Co cette augmentation est toutefois plus élevée (2,5 fois).

Les compositions en métaux traduisent clairement l'origine latéritique des particules dans la Baie Kwé, cette influence est amoindrie dans le Canal, en progressant vers l'ouest, de St60-NE à St60-SW.

5 INTERPRETATION

5.1 INFLUENCE DES FACTEURS METEOROLOGIQUES

5.1.1 Baie Kwé,

En « saison fraiche » (campagne juillet-septembre 2011), le mouillage des pièges à sédiments avait conduit à établir un parallèle entre la quantité collectée, la distribution des populations granulométrique et l'action mécanique induite par certaines directions de vents. Des conditions météorologiques semblables ont été observées durant cette troisième campagne (septembre-octobre 2012). Elles ont donné lieu à une quantité importante de MES collectée (11,52 g le 14-17 octobre) dont la composition montre la présence d'une grande proportion de particules de fort diamètre. Ces particules ont été remises en suspension à la faveur d'un régime de SE à S de forte intensité (10 à 16 m/s ; Figure 16) accompagné d'un épisode pluvieux modéré (45 mm). La quantité mesurée est la plus élevée mesurée durant la période.

Par ordre décroissant, la deuxième masse la plus importante (8,83 g) correspond avec des conditions météorologiques identiques (2-5 octobre), mais sans précipitations atmosphériques.

Un épisode pluvieux plus conséquent (105,2 mm le 18 septembre), n'a eu que peu d'effet sur les flux de particules puisque seulement 6,06 g ont été collectés dans le piège. Malgré des vitesses maximales parfois élevées (21,2 m/s), le régime d'E à SE n'a pas permis de soulever un clapot suffisant pour produire une resuspension des particules sédimentées en raison probablement de sa courte durée.

En Baie Kwé (St06-KW1), il apparait donc que l'existence des couches turbides bien développées pendant la « saison fraiche » est clairement imputable à la remobilisation des particules. La contribution des précipitations atmosphériques, à travers le lessivage des sols, peut être réduite en fonction la force des vents et surtout de l'orientation de ceux-ci.

L'augmentation du rapport Ca/Fe, notamment entre le 22 et le 29 octobre (Figure 16) est en accord avec les hypothèses émises de prépondérance des fractions carbonatées pour des conditions de vents moyens ou forts (hormis les alizés) et orienté dans un large secteur SW à W.

Rappel : *les régimes à dominantes E, N et W ne favorisent pas la formation d'un clapot suffisant pour engendrer des remises en suspension des particules, en raison du relief environnant et de l'orientation de la baie ouverte vers le sud. De ce fait, seuls les régimes de secteur S et S-E forts (FIX > 10 m/s) permettent l'entrée dans la baie d'une houle capable de brasser les fonds et générer le remaniement des vases latéritiques. L'importance des fractions carbonatées augmente proportionnellement (ratio Ca/Fe), soit sous l'action des vents faibles particulièrement de secteurs E, N et W favorisant le déplacement des masses d'eau enrichies en tests de micro-organismes marins comme les foraminifères, soit par l'installation de régimes forts globalement de secteurs SE à S (FIX > 14 m/s) capables de mettre en suspension les particules plus grossières résultant de l'altération du platier.*

5.1.2 Canal de la Havannah

Pour les deux stations du Canal de la Havannah, hormis les 4 échantillons traités, les quantités collectées n'ont pas permis d'effectuer la totalité des analyses géochimiques programmées. Seules, les masses sédimentées ont pu être déterminées ; leurs répartitions temporelles respectives correspondent exactement aux mêmes périodes de temps pour les deux stations jumelles St60-NE et St60-SW (Figure 17). En effet, la première collecte coïncide avec l'épisode pluvieux du 18 septembre, les 3 autres aux régimes de vents faibles couvrant des secteurs NE-SE et SW-NW.

Si les deux stations réagissent logiquement de manière très similaire (Tableau 12), la station St60-SW montrerait que les apports sont maximums lorsque les vents soufflent d'un large secteur SW à NW. En dehors de ces conditions, les apports qui atteignent les stations de piégeage du Canal de la Havannah sont faibles à très faibles.

Tableau 12 : Concentrations moyennes et écart-types des éléments analysés dans les MES collectées dans les stations St60-NE (godets NE-2, NE-10, NE-11 et NE-12) et St60-SW (godets SW-2, SW-10, SW-11 et SW-12) entre le 12 septembre et le 29 octobre 2012.

		Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
St60-NE	**Moyenne**	345918	29	566	18347	189	344
	Ecart-type	19677	5	23	1641	49	68
St60-SW	**Moyenne**	327177	29	595	18959	180	362
	Ecart-type	2202	8	43	1296	20	43

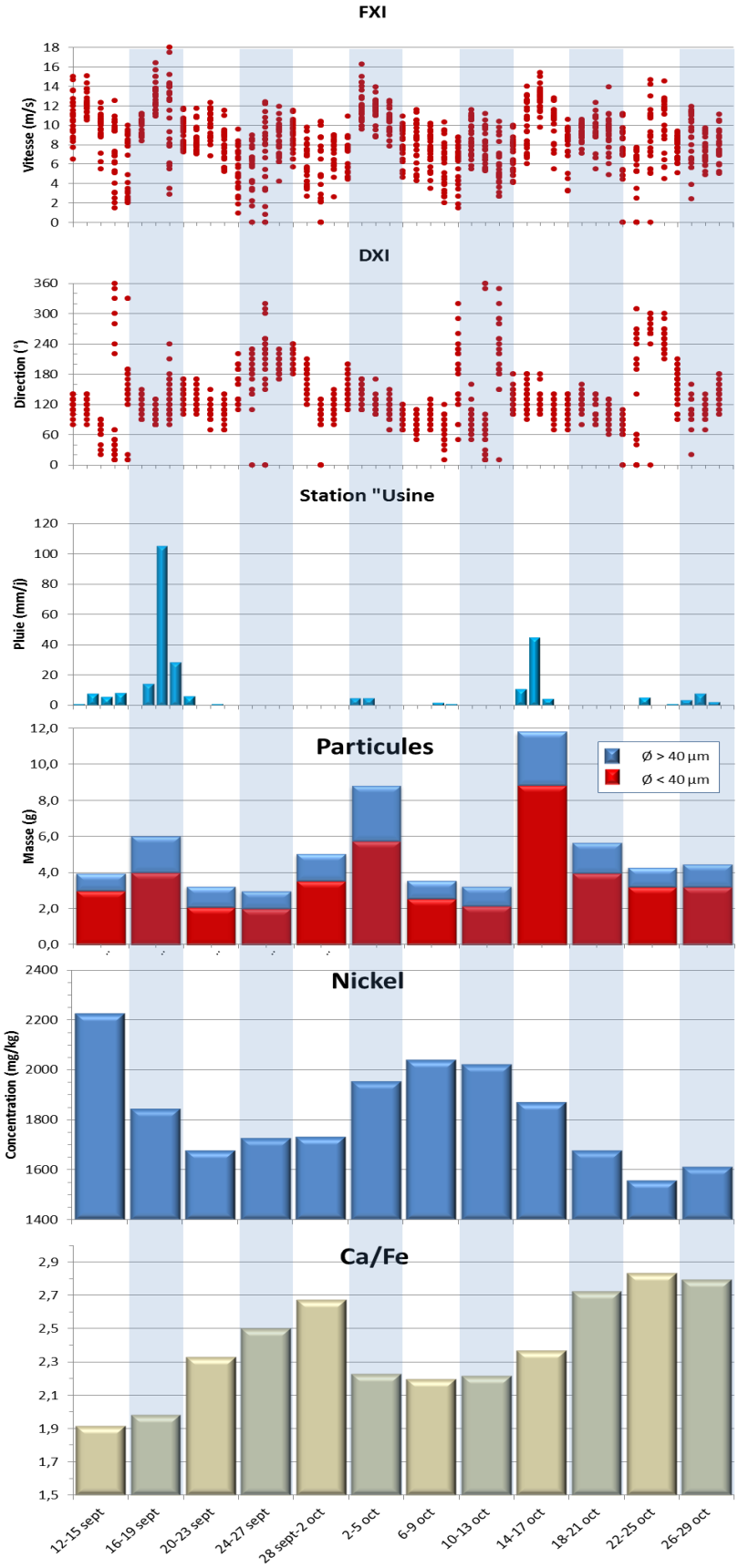


Figure 16 : Diagramme combiné : direction maximum des vents (DXI), vitesse maximum des vents instantanée (FXI), taux de précipitation, fractions inférieures et supérieures à 40 µm, concentration en nickel dans les MES et ratio Ca/Fe à la station St06-KW1 pour la période du 12 septembre au 29 octobre 2012.

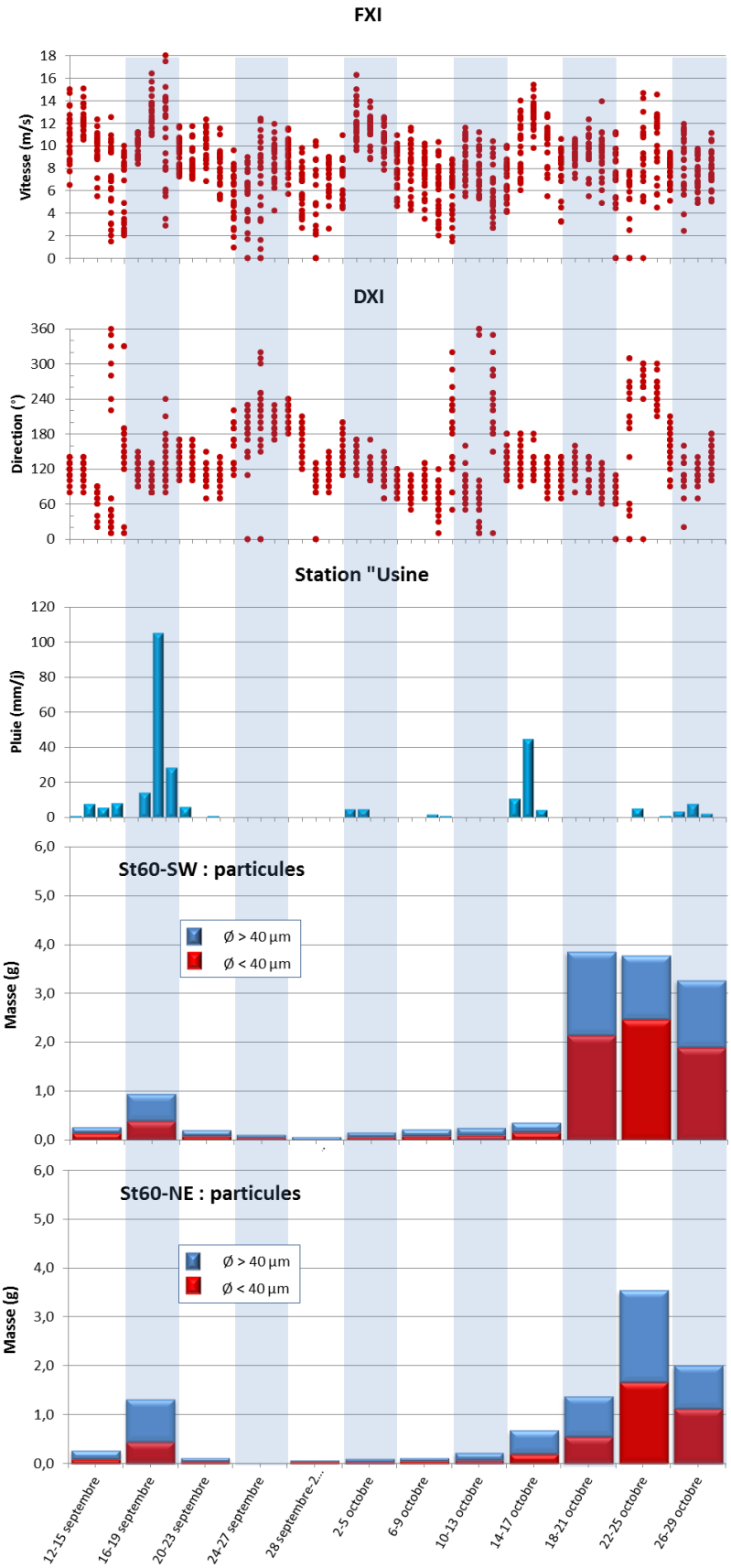


Figure 17 : Diagramme combiné : direction maximum des vents (DXI), vitesse maximum des vents instantanée (FXI), taux de précipitation, fractions inférieures et supérieures à 40 µm, aux stations St60-NE et St60-SW pour la période du 12 septembre au 29 octobre 2012.

5.2 CALCUL DES FLUX DE MATIERES

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

MATIERE EN SUSPENSION

Pour la Baie Kwé, les valeurs minimales des flux sont 3 et 2 fois plus fortes que celles relevées, à la fois, pour juillet-août 2011 et pour l'Etat de Référence, respectivement (Convention IRD/Goro-Ni, n°1230, 2007). Toutefois, elles demeurent du même ordre de grandeur que celles de la campagne précédente de la saison chaude de janvier-février 2012 (Contrat OEIL/AEL, n°110328-OE-03, 2012). A l'inverse, les flux maximums de la campagne septembre-octobre 2012 sont les plus faibles flux jusqu'à présent obtenus (Tableau 13).

En ce qui concerne le Canal de la Havannah, les valeurs minimales des deux saisons fraîches (juillet-août 2011 et sept-octobre 2012) sont, globalement, comparables pour l'ensemble des deux stations St60-NE et St60-SW. En ce qui concerne les maximales, celles-ci ont doublé en sept-octobre 2012 par rapport à la même saison de 2011, mais demeurent d'un ordre de grandeur comparable à ceux obtenus pour l'Etat de Référence de 2007. Par rapport à la saison chaude (janvier-février 2012), les flux ont logiquement été divisés par 2 et 3, respectivement pour les valeurs minimales et maximales (Tableau 13).

Tableau 13 : Valeurs minimales et maximales des densités de flux en matière particulaire au niveau des stations St06-KW1 (Baie Kwé), St60-NE et St60-SW (Canal de la Havannah) ; comparaison des valeurs obtenues en 2011 et 2012 avec celles mesurées en 2007 (Etat de référence, station T4M).

	VALEUR DU FLUX MES (g/m²/j)	BAIE KWE (KW1)	CANAL DE LA HAVANNAH (60-NE)	CANAL DE LA HAVANNAH (60-SW)
Etat de référence 2007(T4M)	Minimum	8,0	-	0,7
	Maximum	168,4	-	14,8
Saison fraiche juillet-août 2011	Minimum	5,0	Piège perdu	0,2
	Maximum	118,5		11,4
Saison chaude janvier-février 2012	Minimum	10,5	1,3	0,9
	Maximum	128,1	26,9	33,4
Saison fraiche Sept-octobre 2012	Minimum	15,0	0,1	0,3
	Maximum	59,1	17,7	19,2

ELEMENTS METALLIQUES ET CALCIUM

Pour la Baie Kwé, les densités de flux en métaux totaux sont du même ordre de grandeur qu'en 2007, lors de la définition de « l'Etat de référence » (Convention IRD/Goro-Ni, n°1230, 2007 ; contrat OEIL/AEL, n°110328-OE-03, 2012). Cependant, il est à remarquer une sensible augmentation des niveaux de concentration en « saison chaude » d'un facteur 1,5 à 2, exception faite de Ca dont le flux reste bien constant.

En ce qui concerne le Canal de la Havannah, selon l'élément, les flux sont 2 à 10 fois plus forts en « saison chaude » qu'en « saison fraiche » ; les flux sont équivalent pour les deux stations St60-NE et St60-SW.

Les valeurs mesurées en 2011 et 2012 sont présentées dans le Tableau 14.

Tableau 14 : Valeurs minimales et maximales des densités de flux en éléments métalliques et calcium au niveau des stations St06-KW1 (Baie Kwé), St60-NE et St60SW (Canal de la Havannah) entre juillet-août 2011 et septembre-octobre 2012.

ST06-KW1		DENSITE DE FLUX EN ELEMENTS (mg/m²/j)					
		Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Saison fraiche juillet-août 2011	Minimum	1 283	0,4	14,6	409	3,5	7,4
	Maximum	24 519	11,4	392,8	10 460	94,5	185,8
Saison chaude janvier-février 2012	Minimum	2 501	1,0	31,8	999	7,5	18,0
	Maximum	29 794	14,6	492,5	14 378	118,8	267,1
Saison fraîche sept-octobre 2012	Minimum	4 125	1,6	57,1	1 648	12,4	25,9
	Maximum	15 490	6,1	219,0	6 531	50,9	110,6

ST60-NE		DENSITE DE FLUX EN ELEMENTS (mg/m²/j)					
		Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Saison fraiche juillet-août 2011	Minimum	Piège à sédiment perdu					
	Maximum						
Saison chaude janvier-février 2012	Minimum	392	0,03	1,0	27	0,2	0,6
	Maximum	7 973	0,66	19,1	616	7,3	11,4
Saison fraîche sept-octobre 2012	Minimum	-	-	-	-	-	-
	Maximum	5 892	0,51	9,5	315	3,0	5,9

ST60-SW		DENSITE DE FLUX EN ELEMENTS (mg/m²/j)					
		Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Saison fraiche juillet-août 2011	Minimum	60	0,01	0,17	0,2	0,08	0,05
	Maximum	3 732	0,16	5,03	157	1,59	2,74
Saison chaude janvier-février 2012	Minimum	314	0,03	0,7	22	0,41	0,46
	Maximum	9 543	0,93	21,4	736	9,16	13,38
Saison fraîche sept-octobre 2012	Minimum	-	-	-	-	-	-
	Maximum	6 329	0,70	10,1	351	3,43	7,08

CE QU'IL FAUT RETENIR

Pour la période étudiée (fin de saison fraîche avec des pluies modérées à faibles), la quantité et la distribution des MES dans les eaux, tant en Baie Kwé que dans le Canal de la Havannah, sont grandement régies par l'action mécanique de la houle, elle-même générée par les vents, ces facteurs se combinant aux des effets de la lixiviation des bassins versants.

En cohérence avec les résultats précédents (« saison fraiche »), seuls les régimes d'un large secteur S sont susceptibles de remettre en suspension les particules sédimentées jusqu'à une profondeur de 10 m, ce mécanisme étant notamment observable dans la Baie Kwé mais également le long des côtes. Une fraction de ces particules suit ensuite les courants dominant vers le secteur W du Canal de la Havannah. L'alimentation en MES de celui-ci est quasi exclusivement assurée par des particules carbonatées et coïncide avec les vents de secteurs SW à W qui balayent l'important système récifal qui borde le lagon sud-est ; les flux semblent être en sensible augmentation.

Les valeurs minimales de flux de métaux sont en augmentation pour la Baie Kwé à l'inverse de maximales. Dans le Canal, entre les deux saisons fraiches étudiées, les valeurs maximales sont toutes en nette progression (St60-SW).

6 CONCLUSION

Pour la période d'études comprise entre le 12 septembre et le 29 octobre 2012 (fin de saison fraîche), les vents ont montré une variabilité temporelle classique conduisant à une alternance des cycles de régimes de secteurs E à W majoritairement, avec des rotations au S et au N en milieu et en fin de période d'études. Les vitesses ont fluctué grandement puisqu'elles ont couvert une large gamme de valeurs, allant du calme plat pour atteindre des vitesses maximales de près de 20 m/s. En termes de précipitations, seul un, voire deux épisodes notables sont à signaler avec 105,2 mm cumulés le 18 septembre et 45 mm le 15 octobre 2012. Ces conditions hydro-climatiques conduisent aux conclusions suivantes :

1. **BAIE KWE**
    a. Les précipitations ne semblent pas avoir généré de couche turbide notable dans la Baie Kwé.
    b. Un deuxième néphéloïde s'est formé en milieu de période (2-5 octobre) sous l'effet d'un régime fort (16 m/s) de secteur SE le 2 février. Comme mentionné en conclusion des rapports précédents, les vents de S à SE supérieurs à 10 m/s sont nécessaires pour entrainer une remise en suspension des particules latéritiquees.
    c. Un troisième néphéloïde, de majeure intensité, a été mis en place en fin de période grâce à des conditions météorologiques similaires (direction et de force des vents) avec cependant une contribution terrigène complémentaire probablement due au lessivage des sols sous l'effet des précipitations enregistrée le 18 octobre.
    d. Dans les deux dernières formations turbides, la quantité de particules moyenne à grossières (Ø > 40 µm) ont été remises en suspension.
2. **CANAL DE LA HAVANNAH**
    a. Cette période d'étude se caractérise par la faible quantité de MES collectée dans chacun des deux pièges, particulièrement jusqu'au 14 octobre. En effet, mis à part un court épisode en début de période où environ 1 g de matière a été collecté, seuls les 12 derniers jours ont permis de piéger jusqu'à environ 4 g. Leur analyse montre clairement l'existence d'une signature terrigène (latéritique), les apports dans le Canal n'en demeurent pas moins modestes.
    b. Comme estimé antérieurement, au niveau des stations de mesure, la charge minérale due aux apports terrigènes issus de la Kwé est bien diluée. Toutefois, le facteur n'est plus que de 5, il était estimé à 70 en janvier-février 2012. En ce qui concerne les apports en calcium, l'analyse des MES montre que de nombreux débris coquillers et tests de micro-organismes la compose.
    c. Dans le Canal de la Havannah, en dehors de ces périodes météorologiques particulières et en l'absence de forts épisodes pluvieux, les flux de particules sont très modestes et leur nature est, logiquement, à très forte dominante marine (%CaCO3 > 95).

A ce stade de l'activité industrielle, aucune trace d'enrichissement anormal en calcium ou en soufre (signatures potentielles du rejet industriel) dans les MES collectées au niveau des stations St60-NE et/ou St60-SW ne permet de déceler l'influence de l'effluent (présence de gypse).

7 REFERENCES

Ankley, G. T., D. M. Di Toro, et al. (1996). Technical basis and proposal for deriving sediment quality criteria for metals. Environmental Toxicology and Chemistry 15(12): 2056-2066.

ASTM, 1997. E1850 – 97 : Standard Guide for Selection of Resident Species as Test Organisms for Aquatic and Sediment Toxicity Tests. American Society for Testing and Material – International, West Conshohocken, PA, United States, 13 p.

Bodeï & Pointeau, 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.

Douillet P. et Fernandez JM, 2009. Modélisation et simulation du transport des formes dissoutes et particulaires. Simulation annuelle de la sédimentation des particules naturelles en contact avec l'effluent. Convention IRD/Goro-Nickel n°1124, 55p.

Derex P, Douillet P, Le Gendre R, 2008b. Modélisation et simulation du transport des formes dissoutes et particulaires. Modèle de transport. Simulation annuelle du rejet. Convention IRD/Goro-Nickel n°1124, 196p.

INERIS, 2003. Analyse critique de l'acceptabilité du niveau de rejet de manganèse dans le milieu marin – Rapport Final, Goro Nickel. H. Baroudi, J. Bureau, C. Rollin, Institut de l'Environnement Industriel et des Risques – Direction des Risques Chroniques, INERIS-DRC-03-53097/DESP-R02, 17 décembre 2003, 37 p. + Annexes.

ISO, 2006a. ISO 10253: Qualité de l'eau – Essai d'inhibition de la croissance des algues marines avec Skeletonema costatum et Phaeodactylum tricornutum. Organisation Internationale de Standardisation (ISO), Genève, Suisse, 12 p.

8 LISTE DES FIGURES

FIGURE 1: AIRE D'ETUDE POUR LE SUIVI DES FLUX VERTICAUX DE PARTICULES ISSUES DU PROCESS DE PRODUCTION DE L'USINE ET DES ACTIVITES D'EXCAVATION DE MINE DE VALE-NC. LE TRAIT ROUGE REPRESENTE LE DIFFUSEUR, DE PART ET D'AUTRE FIGURENT LES DEUX STATIONS ST60-SW ET ST60-NE LOCALISEES A 60M DU REJET. EN BAIE KWE LE PIEGE A SEDIMENTS A ETE MOUILLE A LA STATION ST06-KW1. LA STATION ST09 APPARTIENT AU RESEAU SEMESTRIEL DE SURVEILLANCE PHYSICO-CHIMIQUE DE LA COLONNE D'EAU. 10

FIGURE 2 : PUISSANCE TYPE DE L'EPAISSEUR DE MARQUAGE PAR L'EFFLUENT (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 : ENREGISTREMENT DES « *TAUX DE PRECIPITATIONS JOURNALIERS (RR)* » EN (MM/J), « *DIRECTION DU VENT MAXI INSTANTANE HORAIRE (DXI)* » EN (°) ET « *VITESSE DU VENT INSTANTANE MAXI HORAIRE (FXI)* » EN (M/S), A LA STATION METEOROLOGIQUE DE L' « USINE » DE VALE-NC POUR LA PERIODE DU 12 SEPTEMBRE AU 29 OCTOBRE 2012. 13

FIGURE 4 : MASSES COLLECTEES DANS LES 12 GODETS DU PIEGE SEQUENTIEL MOUILLE DU 12 SEPTEMBRE AU 29 OCTOBRE 2012 EN BAIE KWE (ST06-KW1). COMPOSITION DES MATIERES EN SUSPENSION (MES) : IMPORTANCE DES FRACTIONS FINES (< 40 µM) ET FRACTIONS GROSSIERES (> 40 µM). 14

FIGURE 5 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUES DES POPULATIONS DE GRAINS COLLECTES EN BAIE KWE (ST06-KW1) PAR LE PIEGE A SEDIMENTS SEQUENTIEL, DU 12 SEPTEMBRE AU 29 OCTOBRE 2012. 15

FIGURE 6 : TENEURS EN CARBONATES DANS LES PARTICULES COLLECTEES PAR LES 12 GODETS DU PIEGE SEQUENTIEL MOUILLE DU 12 SEPTEMBRE AU 29 OCTOBRE 2012 EN BAIE KWE (ST06-KW1). 16

FIGURE 7 : MASSES COLLECTEES DANS LES 12 GODETS DU PIEGE SEQUENTIEL MOUILLE DU 12 SEPTEMBRE AU 29 OCTOBRE 2012 DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH, AU NORD-EST DU DIFFUSEUR (ST60-NE). COMPOSITION DES MATIERES EN SUSPENSION (MES) : IMPORTANCE DES FRACTIONS FINES (< 40 µM) ET FRACTIONS GROSSIERES (> 40 µM). 17

FIGURE 8 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUES DES POPULATIONS DE GRAINS COLLECTES DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH (ST60-NE) PAR LE PIEGE A SEDIMENTS SEQUENTIEL, DU 12 SEPTEMBRE AU 29 OCTOBRE 2012 ; L'ANALYSE DES MES DES GODETS NE60-2, NE60-6 ET NE60-9 N'A PU ETRE REALISEE PAR MANQUE DE MATIERE. 17

FIGURE 9 : TENEURS EN CARBONATES DANS LES PARTICULES COLLECTEES PAR LES 12 GODETS DU PIEGE SEQUENTIEL MOUILLE DU 12 SEPTEMBRE AU 29 OCTOBRE 2012 DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH (ST60-NE). LES ECHANTILLONS NE60-1 A NE60-9 N'ONT ETRE ANALYSES PAR MANQUE DE MATIERE. 18

FIGURE 10 : MASSES COLLECTEES DANS LES 12 GODETS DU PIEGE SEQUENTIEL MOUILLE DU 12 SEPTEMBRE AU 29 OCTOBRE 2012 DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH, AU SUD-OUEST DU DIFFUSEUR (ST60-SW). COMPOSITION DES MATIERES EN SUSPENSION (MES) : IMPORTANCE DES FRACTIONS FINES (< 40 µM) ET FRACTIONS GROSSIERES (> 40 µM). 19

FIGURE 11 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUES DES POPULATIONS DE GRAINS COLLECTES DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH (ST60-SW) PAR LE PIEGE A SEDIMENTS SEQUENTIEL DU 12 SEPTEMBRE AU 29 OCTOBRE 2012 ; L'ANALYSE DES MES DES GODETS SW60-2, SW60-6 ET SW60-9 N'A PU ETRE REALISEE PAR MANQUE DE MATIERE. 20

FIGURE 12 : TENEURS EN CARBONATES DANS LES PARTICULES COLLECTEES PAR LES 12 GODETS DU PIEGE SEQUENTIEL MOUILLE DU 12 SEPTEMBRE AU 29 OCTOBRE 2012 DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH (ST60-SW). 21

FIGURE 13 : NORMALISATION DES CONCENTRATIONS EN CALCIUM PAR LE FER POUR LES MES COLLECTEES EN BAIE KWE (ST06-KW1) ENTRE LE 12 SEPTEMBRE ET LE 29 OCTOBRE 2012. 23

FIGURE 14 : CONCENTRATION DU SOUFRE DANS LES 4 GODETS CORRESPONDANT AUX EVENEMENTS METEOROLOGIQUES MARQUANTS ENREGISTRES ENTRE LE 12 SEPTEMBRE ET LE 29 OCTOBRE 2012 DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH (ST60-NE). 25

FIGURE 15 : CONCENTRATION DU SOUFRE DANS LES 4 GODETS CORRESPONDANT AUX EVENEMENTS METEOROLOGIQUES MARQUANTS ENREGISTRES ENTRE LE 12 SEPTEMBRE ET LE 29 OCTOBRE 2012 DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH (ST60-SW). 26

FIGURE 16 : DIAGRAMME COMBINE : DIRECTION MAXIMUM DES VENTS (DXI), VITESSE MAXIMUM DES VENTS INSTANTANEE (FXI), TAUX DE PRECIPITATION, FRACTIONS INFERIEURES ET SUPERIEURES A 40 µM, CONCENTRATION EN NICKEL DANS LES MES ET RATIO CA/FE A LA STATION ST06-KW1 POUR LA PERIODE DU 12 SEPTEMBRE AU 29 OCTOBRE 2012. 30

FIGURE 17 : DIAGRAMME COMBINE : DIRECTION MAXIMUM DES VENTS (DXI), VITESSE MAXIMUM DES VENTS INSTANTANEE (FXI), TAUX DE PRECIPITATION, FRACTIONS INFERIEURES ET SUPERIEURES A 40 µM, AUX STATIONS ST60-NE ET ST60-SW POUR LA PERIODE DU 12 SEPTEMBRE AU 29 OCTOBRE 2012. 31

9 LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : LOCALISATION EXACTE DES TROIS STATIONS DE MOUILLAGE DES PIEGES A PARTICULES SEQUENTIELS : CANAL DE LA HAVANNAH (ST60-SW ET ST60-NE) ET EN BAIE KWE (STKW1). CES COORDONNEES SONT CONFORMES AU REFERENTIEL WGS-84. 9

TABLEAU 2 : LISTE DES ECHANTILLONS COLLECTES AUX STATIONS DE MOUILLAGE DES PIEGES A SEDIMENTS (ST60-SW, STST60-NE ET ST06-KW1) ET PERIODES DE COLLECTE ENTRE SEPTEMBRE ET OCTOBRE 2012. 11

TABLEAU 3 : COMPOSITION MINERALOGIQUE DES MES COLLECTEES EN BAIE KWE (STATION (ST06-KW1) PAR LE PIEGE A SEDIMENTS SEQUENTIEL, DU 12 SEPTEMBRE AU 29 OCTOBRE 2012. 16

TABLEAU 4 : COMPOSITION MINERALOGIQUE DES MES COLLECTEES DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH (STATION ST60-NE) PAR LE PIEGE A SEDIMENTS SEQUENTIEL, DU 12 SEPTEMBRE AU 29 OCTOBRE 2012. 18

TABLEAU 5 : COMPOSITION MINERALOGIQUE DES MES COLLECTEES DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH (STATION ST60-SW) PAR LE PIEGE A SEDIMENTS SEQUENTIEL, DU 12 SEPTEMBRE AU 29 OCTOBRE 2012. 20

TABLEAU 6 : CONCENTRATIONS MOYENNES, ECART-TYPES ET VALEURS EXTREMES DES CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM DANS LES MES COLLECTEES EN BAIE KWE ENTRE LE 12 SEPTEMBRE ET LE 29 OCTOBRE 2012 (STATION ST06-KW1 ; N=12). 22

TABLEAU 7 : MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS DES CONCENTRATIONS DE METAUX ET DU CALCIUM DANS LES MES COLLECTEES EN BAIE KWE ENTRE LE 12 SEPTEMBRE ET LE29 OCTOBRE 2012. 23

TABLEAU 8 : CONCENTRATIONS MOYENNES, ECART-TYPES ET VALEURS EXTREMES DES CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM DANS LES MES COLLECTEES DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH ENTRE LE 12 SEPTEMBRE ET LE 29 OCTOBRE 2012 (STATION ST60-NE ; N=4). 24

TABLEAU 9 : MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS DES CONCENTRATIONS DE METAUX ET DU CALCIUM DANS LES MES COLLECTEES DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH ENTRE LE 12 SEPTEMBRE ET LE 29 OCTOBRE 2012 (STATION ST60-NE; N= 4). 24

TABLEAU 10 : CONCENTRATIONS MOYENNES, ECART-TYPES ET VALEURS EXTREMES DES CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM DANS LES MES COLLECTEES DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH ENTRE LE 12 SEPTEMBRE ET LE 29 OCTOBRE 2012 (STATION ST60-SW ; N=4). 26

TABLEAU 11 : MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS DES CONCENTRATIONS DE METAUX ET DU CALCIUM DANS LES MES COLLECTEES DANS LE CANAL DE LA HAVANNAH ENTRE LE 12 SEPTEMBRE ET LE 29 OCTOBRE 2012 (STATION ST60-SW ; N=4). 26

TABLEAU 12 : CONCENTRATIONS MOYENNES ET ECART-TYPES DES ELEMENTS ANALYSES DANS LES MES COLLECTEES DANS LES STATIONS ST60-NE (GODETS NE-2, NE-10, NE-11 ET NE-12) ET ST60-SW (GODETS SW-2, SW-10, SW-11 ET SW-12) ENTRE LE 12 SEPTEMBRE ET LE 29 OCTOBRE 2012. 29

TABLEAU 13 : VALEURS MINIMALES ET MAXIMALES DES DENSITES DE FLUX EN MATIERE PARTICULAIRE AU NIVEAU DES STATIONS ST06-KW1 (BAIE KWE), ST60-NE ET ST60-SW (CANAL DE LA HAVANNAH) ; COMPARAISON DES VALEURS OBTENUES EN 2011 ET 2012 AVEC CELLES MESUREES EN 2007 (ETAT DE REFERENCE, STATION T4M). 32

TABLEAU 14 : VALEURS MINIMALES ET MAXIMALES DES DENSITES DE FLUX EN ELEMENTS METALLIQUES ET CALCIUM AU NIVEAU DES STATIONS ST06-KW1 (BAIE KWE), ST60-NE ET ST60SW (CANAL DE LA HAVANNAH) ENTRE JUILLET-AOUT 2011 ET SEPTEMBRE-OCTOBRE 2012. 33

10 LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : DESCRIPTION DES METHODES DE TRAITEMENT ET D'ANALYSES DES ECHANTILLONS.

ANNEXE 2 : VALEURS JOURNALIERES DES PARAMETRES METEOROLOGIQUES (DONNEES VALE-NC) : PRECIPITATIONS, DIRECTION ET VITESSE DU VENT.

ANNEXE 3 : RESULTATS D'ANALYSES ET MESURES DES MES DU CANAL DE LA HAVANNAH ET DE LA BAIE KWE : MASSES COLLECTEES, GRANULOMETRIES DES POPULATIONS DE GRAINS, COMPOSITIONS MINERALOGIQUES, TENEURS EN CARBONATES ET OBSERVATIONS MICROSCOPIQUES.

ANNEXE 4 : RESULTATS DE CALCULS DE CONCENTRATIONS EN METAUX TOTAUX, CALCIUM ET SOUFRE DANS LES MES DE LA BAIE KWE ET DU CANAL DE LA HAVANNAH.

ANNEXE 5 : RESULTATS DE CALCULS DES VALEURS DE DENSITE DE FLUX EN MES ET EN METAUX.

ANNEXE – 1

Description des méthodes de traitement et d'analyses des échantillons

Evaluation des flux de MES

Les flux verticaux de particules apportées par le réseau hydrologique de la Baie Kwe sont estimés par collecte de séries temporelles d'échantillons de MES. Cette opération est assurée par le déploiement de pièges à sédiment de type séquentiel de 0,05 m² de section efficace (Technicap, type PPS4/3) qui est gréé sur une ligne de mouillage équipée avec un largueur acoustique. La durée d'immersion a été de 1,5 mois environ (18 janvier -05 mars 2012).

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

Les matières en suspension collectées sont traitées au laboratoire, conditionnées puis conservées par congélation dans des sachets à usage unique. Les MES sont ensuite caractérisées de manière à évaluer les fractions terrigènes et marines (carbonates). Les flux sont estimés (g/m²/j) et confrontés aux différents régimes météorologiques et/ou hydrodynamiques.

Techniques et analyses

Dosage des carbonates

Les teneurs en carbonate sont déterminées sur les fractions pélitiques (Ø < 40 µm) par la méthode dite du « calcimètre de Bernard ». Cette méthode consiste en une attaque du sédiment grâce à une solution d'acide chlorhydrique qui génère la formation de CO_2. Le volume de gaz est titré et la concentration en carbonate de calcium est déterminée par relation stœchiométrique.

Granulométrie

L'étude de la distribution des populations de particules fines (silts et argiles) est conduite sur la fraction < 2000 µm après élimination des organismes « actifs » (Swimmers). La distribution de ces populations est réalisée par granulométrie laser après remise en suspension des sédiments, ajout d'agent dispersant (Pyrophosphates de Na/K) et agitation aux ultrasons. Seulement 4 échantillons par carrousel sont analysés.

Cette analyse a été confiée à l'Université d'Auckland (School of Environment), Nouvelle-Zélande.

Minéralogie

Les sources et l'évolution temporelle des matériaux sont estimées en fonction des espèces minérales décelées. Les déterminations de ces espèces sont effectuées par diffraction de rayons X (DRX) sur les 4 échantillons pélitiques (Ø < 40 µm)de l'étude granulométrique.

Cette analyse a été confiée à l'Université d'Auckland (School of Environment), Nouvelle-Zélande.

Dosage des métaux dans les MES

Le dosage des métaux, nécessaire pour le suivi des flux de polluants est conduit par attaque totale des fractions pélitiques (Ø < 40 µm) des sédiments par fusion alcaline. Seuls, Ca et 5 métaux (Co, Cr, Fe, Mn et Ni) sont analysés par ICP-OES.

Des échantillons de référence (MESS-3 et PACS-2) ont été attaqués selon le même protocole pour la validation des résultats de mesures.

Dosage du soufre

Le dosage du soufre est conduit par attaque totale des fractions pélitiques (Ø < 40 µm) des sédiments par attaque acide à haute température en conditions hyperbares. L'analyse de S est effectuée par ICP-OES.

Dosage des HCT

L'analyse des hydrocarbures totaux est effectuée sur le sédiment brut par la norme NF EN ISO 9377-2.

Ce dosage n'a pas pu être conduit en raison du manque de masse récoltée dans les godets des pièges à sédiments. .

ANNEXE – 2

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

Date	Pluie (mm)	TN (°C)	TX (°C)	FXI (m/s)	DXI (°)
11/09/2012	0	18,2	21,4	13,3	150
12/09/2012	1,2	18,3	21,5	15	130
13/09/2012	8	18,2	22	15,1	130
14/09/2012	6	17,5	21,3	12,3	90
15/09/2012	8,4	18	25,5	12,5	50
16/09/2012	0	17,4	21,5	10	140
17/09/2012	14,4	19	21,3	11,2	140
18/09/2012	105,2	17,4	19,3	16,4	90
19/09/2012	28,7	17,4	21,4	21,2	120
20/09/2012	6,2	18,7	21,6	11,7	160
21/09/2012	0,8	19,7	22,2	11,7	120
22/09/2012	1,2	19,4	22,8	12,3	100
23/09/2012	0	19,5	24,1	11,5	100
24/09/2012	0	17,2	23,3	9,6	190
25/09/2012	0	16,1	22,2	9	190
26/09/2012	1	15,6	23,6	12,4	250
27/09/2012	0,2	17,3	22,2	11,9	190
28/09/2012	0	17,5	21,4	11,5	240
29/09/2012	0	16,7	21,6	9,8	200
30/09/2012	0	15,7	23	10,4	100
01/10/2012	0	18,5	22,9	9	90
02/10/2012	5	19,2	23,1	12,7	110
03/10/2012	5,2	15,9	20	16,3	150
04/10/2012	0	17,7	21,5	13,9	130
05/10/2012	0	18,4	22,8	12,5	120
06/10/2012	0	18,6	24	10,9	90
07/10/2012	0,2	19,2	24,2	11,6	80
08/10/2012	2	19,3	23,7	10,2	130
09/10/2012	1,2	19,8	28,7	10,3	30
10/10/2012	0	21,7	26,7	8,8	220
11/10/2012	0	21,6	26,3	11,6	60
12/10/2012	0	22,2	29,9	11,2	10
13/10/2012	0,6	20,2	27,2	10,4	180
14/10/2012	11	20,4	21,7	10	110
15/10/2012	45	18	19,4	14	120
16/10/2012	4,6	17,5	20,8	15,4	120
17/10/2012	0,2	18,9	22,6	12,8	90

Date	Pluie (mm)	TN (°C)	TX (°C)	FXI (m/s)	DXI (°)
18/10/2012	0	18,6	22,7	10,6	120
19/10/2012	0	19,4	22,2	10,6	120
20/10/2012	0	18,9	23,4	12,3	120
21/10/2012	0	19,5	24,3	13,9	80
22/10/2012	0	18,7	25,4	11,2	90
23/10/2012	5,4	19,9	26,3	7,7	190
24/10/2012	1	18,7	22,9	14,7	260
25/10/2012	1,4	18,1	23,1	14,5	220
26/10/2012	3,8	18,9	23	9,2	210
27/10/2012	8	19,3	22,8	11,9	140
28/10/2012	2,4	19,1	25	9,7	110
29/10/2012	0,2	20,2	23,4	11,1	110
30/10/2012	0	18,9	22,4	10	160

Valeurs horaires des paramètres météorologiques (données Station « Usine » de Vale) : direction et vitesse du vent (DXI et FXI).

Etant donné la grande quantité d'information enregistrée (1552 lignes), les valeurs ne figurent pas en annexe mais peuvent être obtenues sur simple demande à AEL.

ANNEXE – 3

Résultats d'analyses et mesures des MES du Canal de la Havannah et de la Baie Kwé : masses collectées, granulométries des populations de grains, compositions minéralogiques, teneurs en carbonates et observations microscopiques.

MES SEDIMENTEE

PERIODE DE COLLECTE	STATION	MASSE COLLECTEE (g)	STATION	MASSE COLLECTEE (g)	STATION	MASSE COLLECTEE (g)
12-15 septembre	KW1-1	3,97	NE60-1	0,27	SW60-1	0,27
16-19 septembre	KW1-2	6,06	NE60-2	1,31	SW60-2	0,95
20-23 septembre	KW1-3	3,27	NE60-3	0,12	SW60-3	0,20
24-27 septembre	KW1-4	3,00	NE60-4	0,02	SW60-4	0,11
28 sept-2 octobre	KW1-5	5,06	NE60-5	0,08	SW60-5	0,07
2-5 octobre	KW1-6	8,83	NE60-6	0,10	SW60-6	0,16
6-9 octobre	KW1-7	3,58	NE60-7	0,11	SW60-7	0,22
10-13 octobre	KW1-8	3,28	NE60-8	0,23	SW60-8	0,25
14-17 octobre	KW1-9	11,82	NE60-9	0,68	SW60-9	0,37
18-21 octobre	KW1-10	5,68	NE60-10	1,38	SW60-10	3,84
22-25 octobre	KW1-11	4,31	NE60-11	3,55	SW60-11	3,77
26-29 octobre	KW1-12	4,50	NE60-12	2,00	SW60-12	3,26

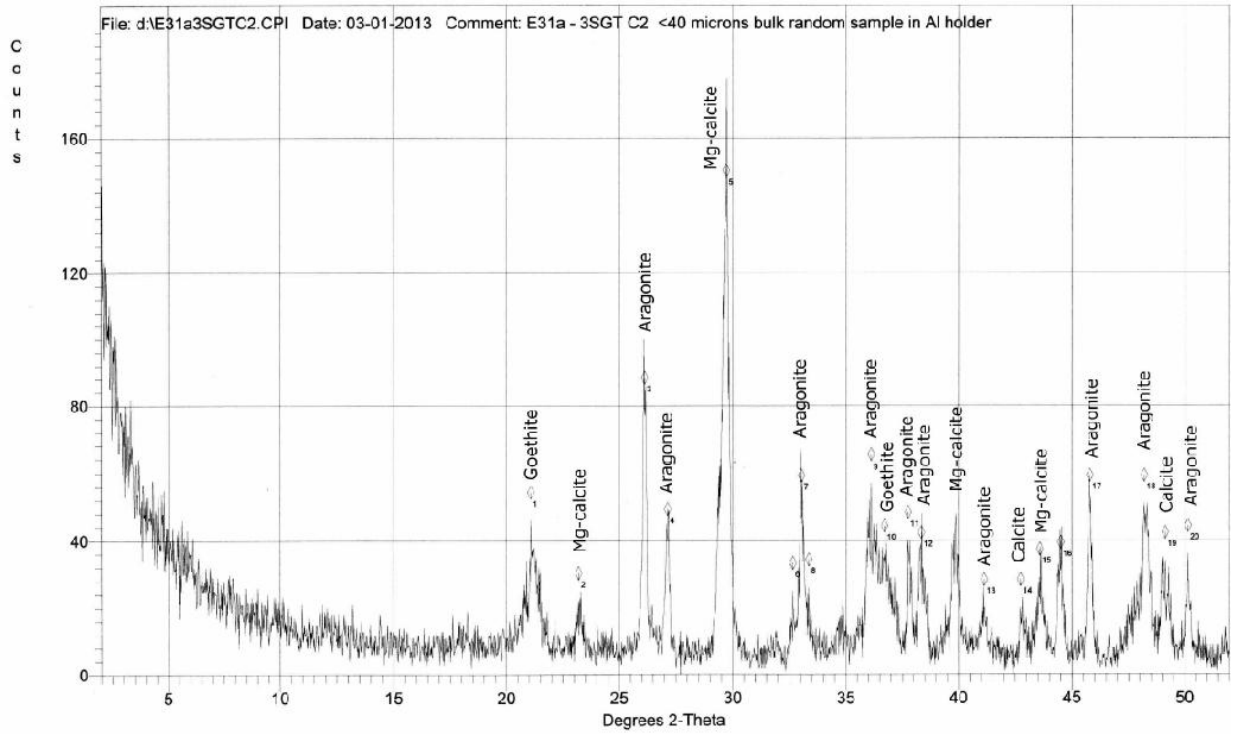
COMPOSITION GRANULOMETRIQUE

	POURCENTAGE VOLUMETRIQUE ENTRE LES CLASSES GRANULOMETRIQUES						
	0,02-2 µm	**2-20 µm**	**20-40 µm**	**40-50 µm**	**50-63 µm**	**63-200 µm**	**> 200 µm**
KW1-2	1,66	43,60	34,95	8,58	6,14	5,08	0,00
KW1-4	11,74	55,38	21,12	4,57	3,18	3,93	0,09
KW1-8	4,30	50,48	29,00	6,94	4,94	4,34	0,00
KW1-11	12,30	52,51	22,11	4,97	3,55	4,21	0,34
NE60-2	2,32	39,91	37,24	9,63	6,66	4,25	0,00
NE60-4	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
NE60-8	3,87	56,45	25,41	5,41	3,68	5,16	0,02
NE60-11	1,82	42,55	34,28	8,91	6,56	5,88	0,00
SW60-2	1,80	44,28	35,53	8,56	5,86	3,97	0,00
SW60-4	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SW60-8	6,14	58,36	26,01	5,13	3,03	1,34	0,00
SW60-11	2,18	42,53	35,33	8,97	6,31	4,68	0,00

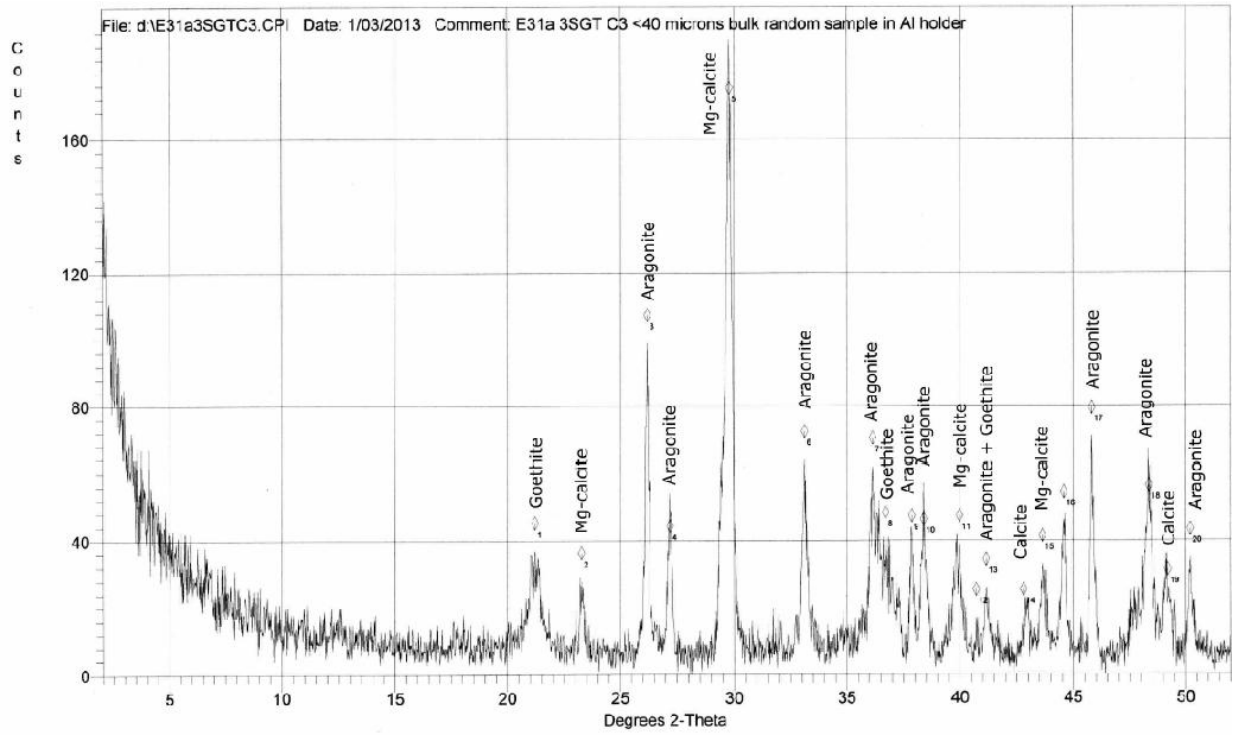
Nd = non déterminée par manque de matière

COMPOSITION MINERALOGIQUE DES MES DE LA BAIE KWE

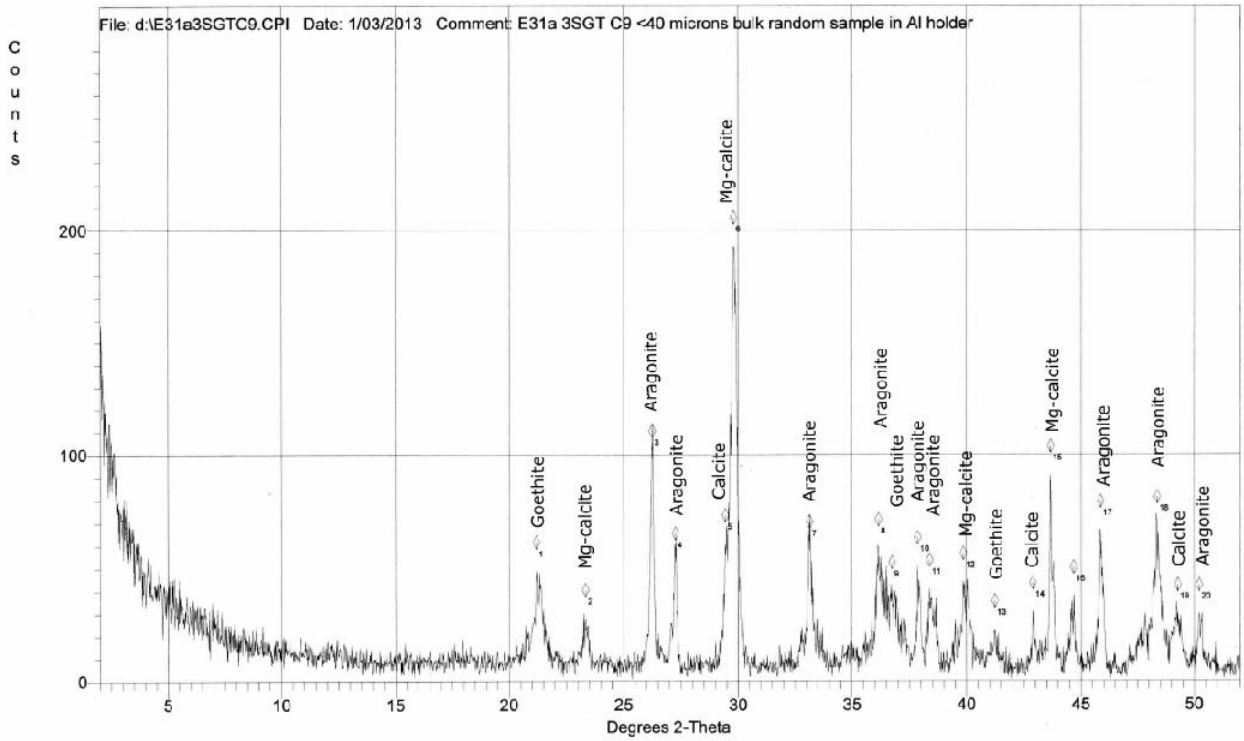
Station St06-KW1 ; godet 2



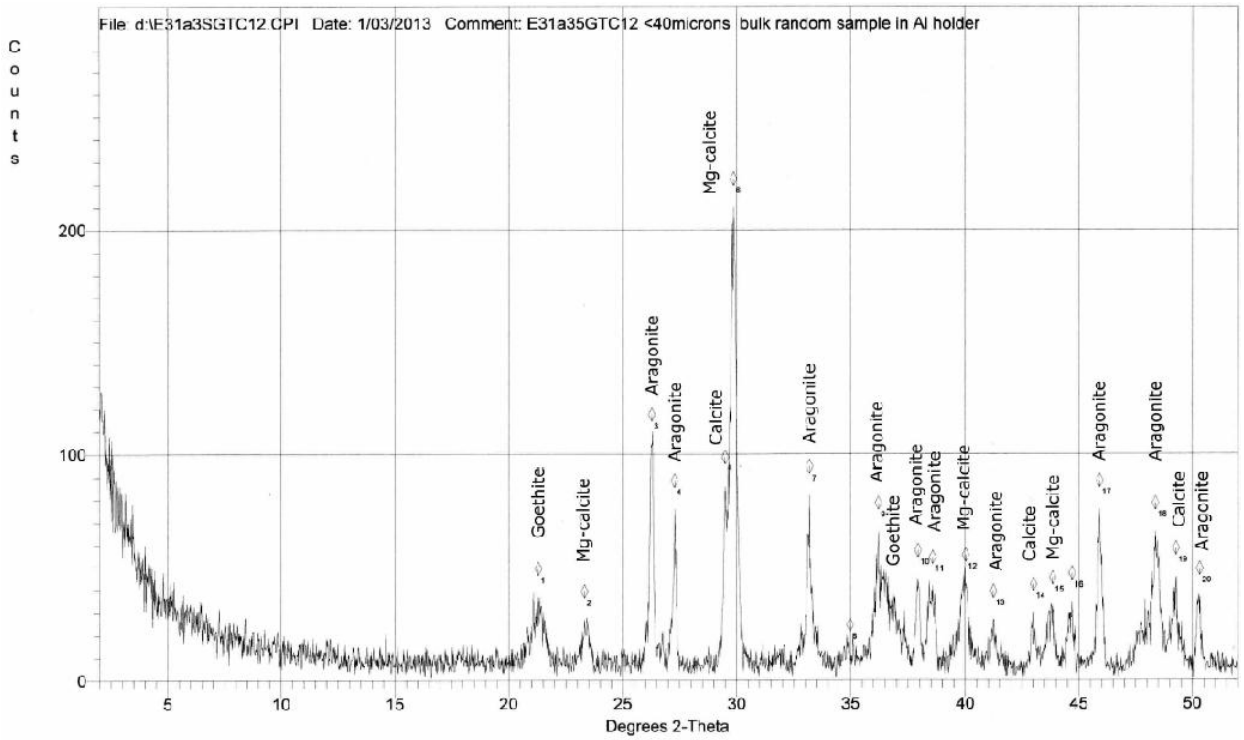
Station St06-KW1 ; godet 3



Station St06-KW1 ; godet 9

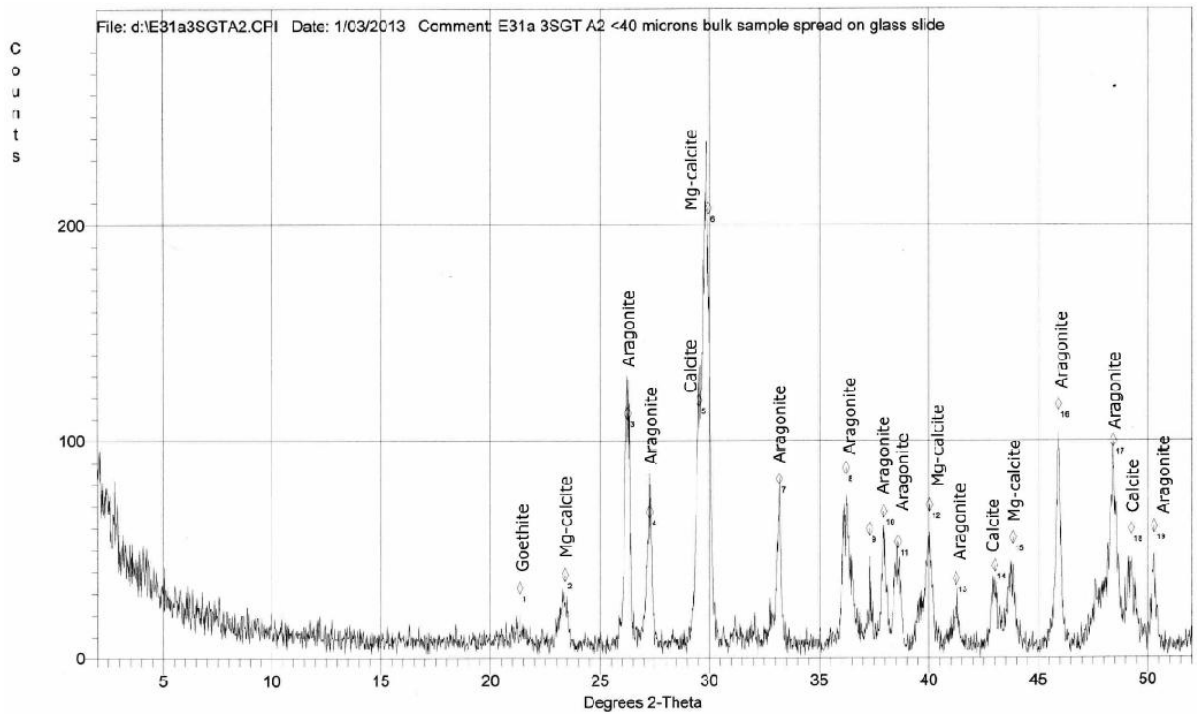


Station St06-KW1 ; godet 12

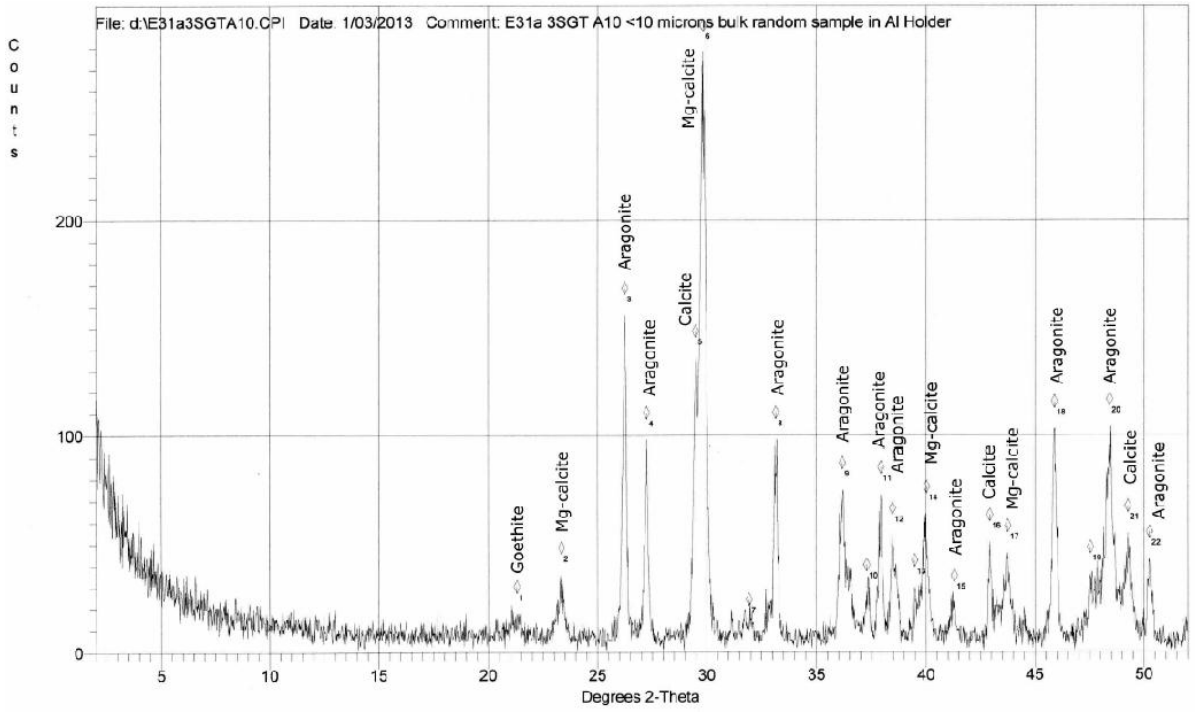


COMPOSITION MINERALOGIQUE DES MES DU CANAL DE LA HAVANNAH

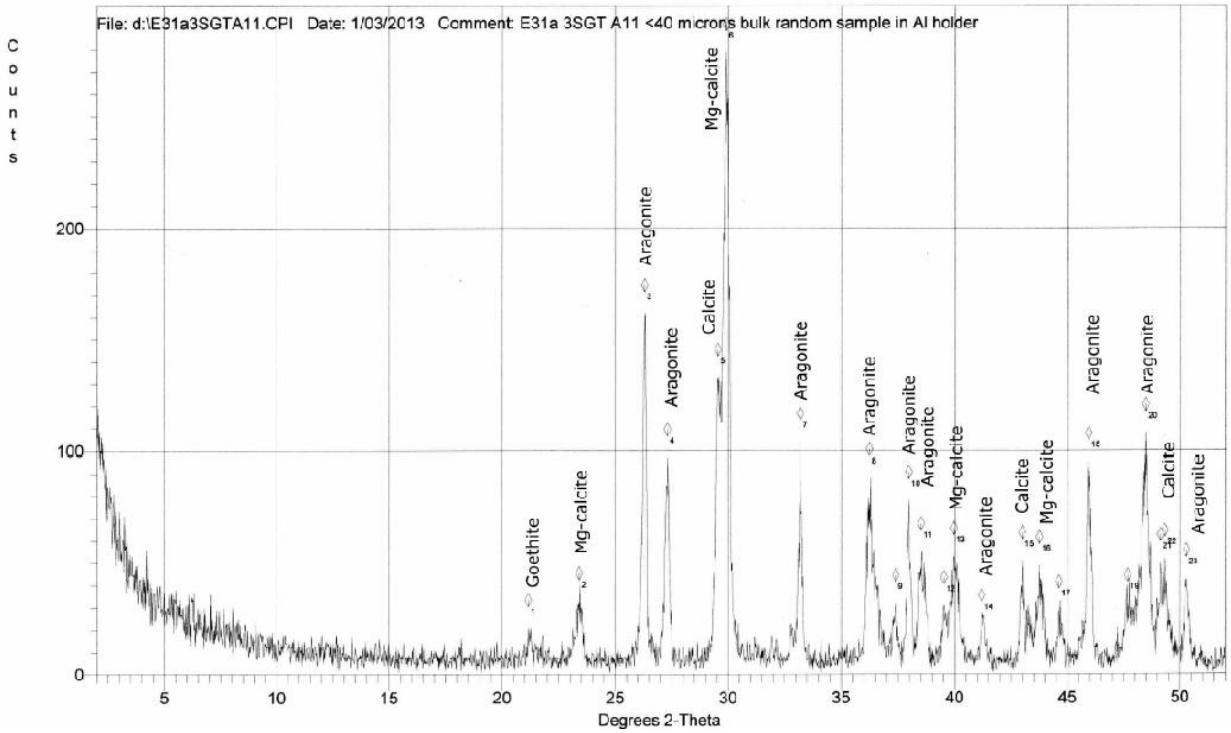
Station St60-NE ; godet 2



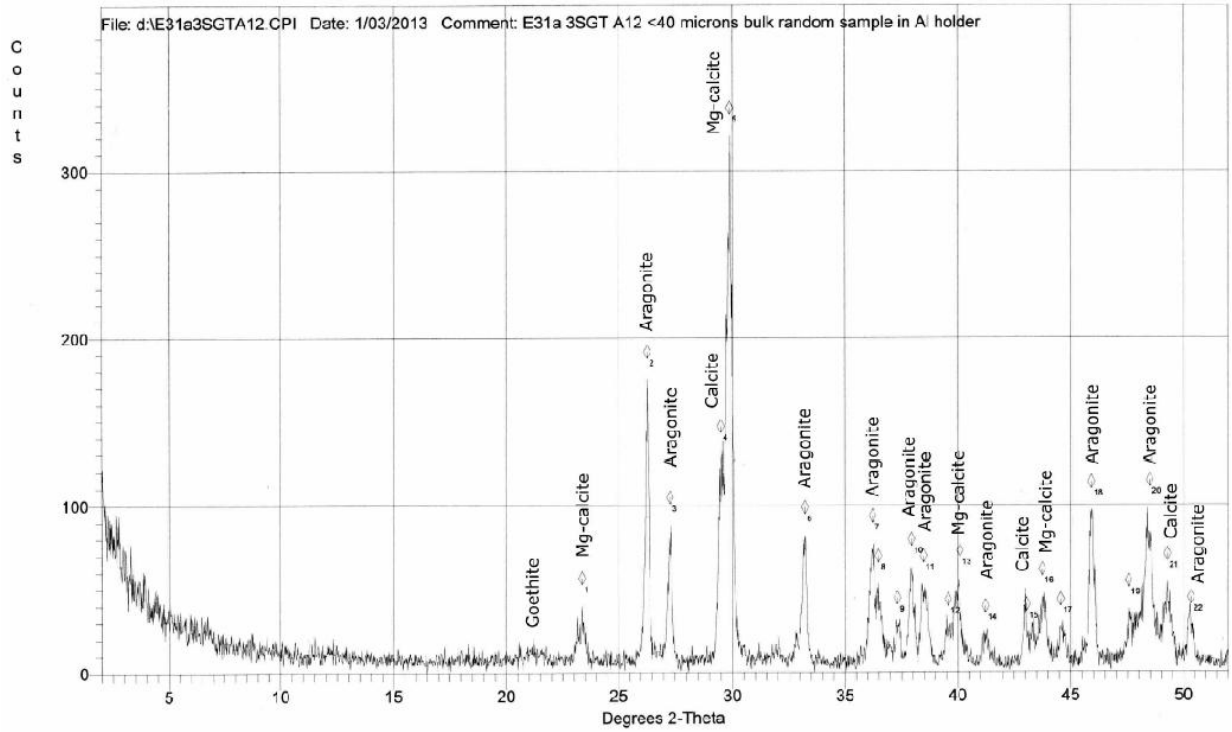
Station St60-NE ; godet 10



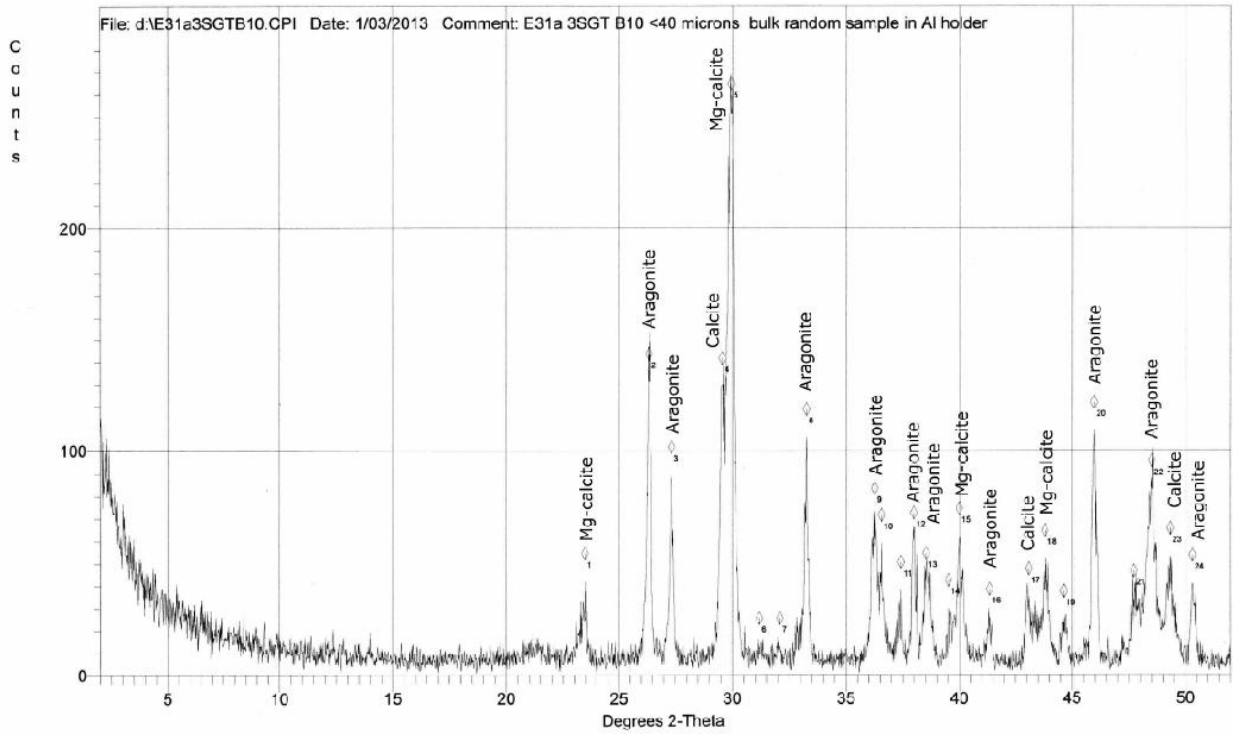
Station St60-NE ; godet 11



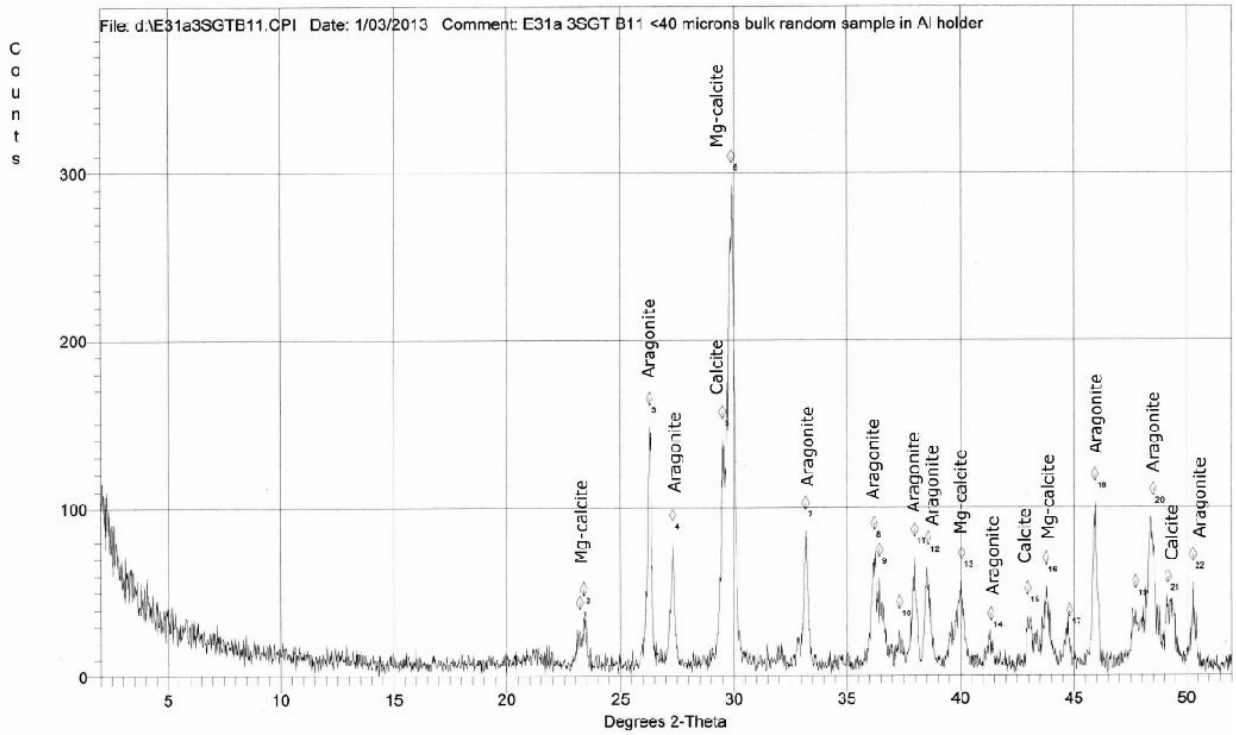
Station St60-NE ; godet 12



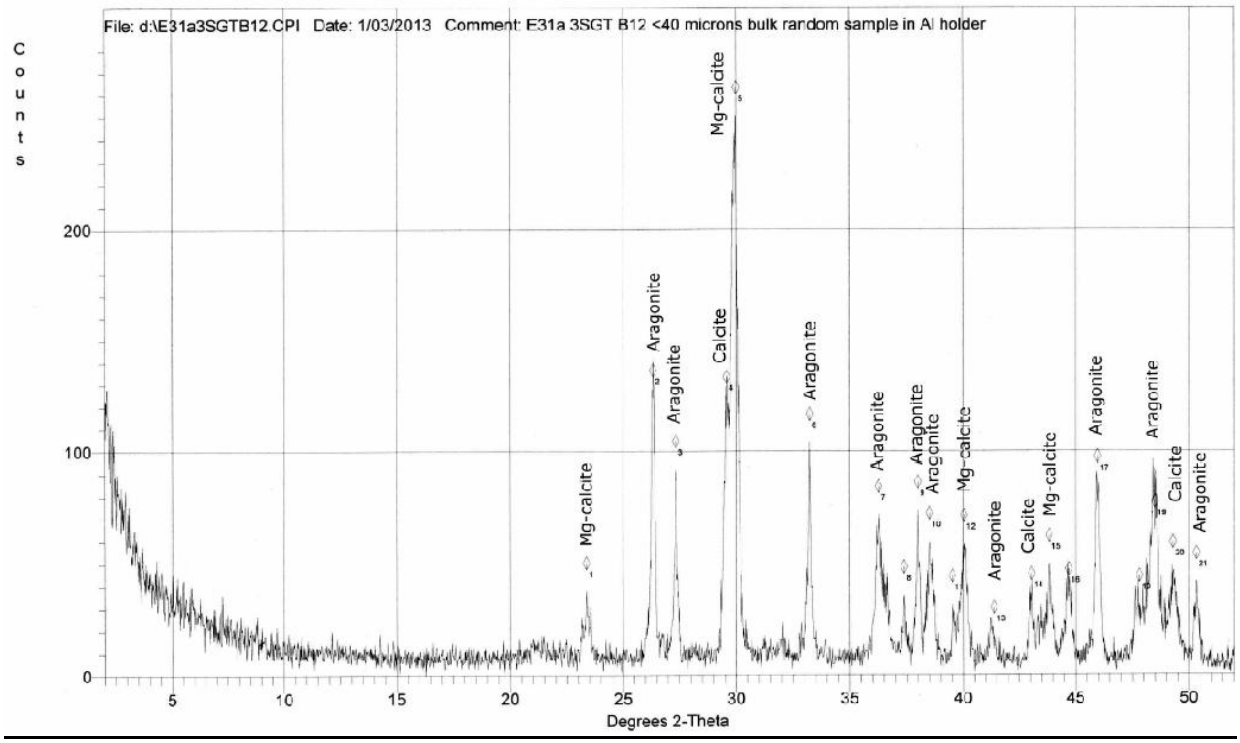
Station St60-SW ; godet 10



Station St60-SW ; godet 11



Station St60-SW ; godet 12



Remarque : Les trop faibles quantités de matière collectée en début de période (godet SW60-2) n'a pas permis de réaliser les analyses minéralogiques.

TENEURS EN CARBONATES

PERIODE DE COLLECTE	STATION	$CaCO_3$ (%)	STATION	$CaCO_3$ (%)	STATION	$CaCO_3$ (%)
12-15 septembre	KW1-1	61,4	NE60-1	nd	SW60-1	nd
16-19 septembre	KW1-2	64,4	NE60-2	nd	SW60-2	nd
20-23 septembre	KW1-3	63,6	NE60-3	nd	SW60-3	nd
24-27 septembre	KW1-4	67,8	NE60-4	nd	SW60-4	nd
28 sept-2 octobre	KW1-5	67,7	NE60-5	nd	SW60-5	nd
2-5 octobre	KW1-6	64,7	NE60-6	nd	SW60-6	nd
6-9 octobre	KW1-7	64,6	NE60-7	nd	SW60-7	nd
10-13 octobre	KW1-8	65,8	NE60-8	nd	SW60-8	nd
14-17 octobre	KW1-9	66,9	NE60-9	nd	SW60-9	nd
18-21 octobre	KW1-10	70,0	NE60-10	nd	SW60-10	84,0
22-25 octobre	KW1-11	71,9	NE60-11	86,1	SW60-11	84,1
26-29 octobre	KW1-12	71,0	NE60-12	84,1	SW60-12	79,9

nd = non déterminée en raison du manque de masse collectée

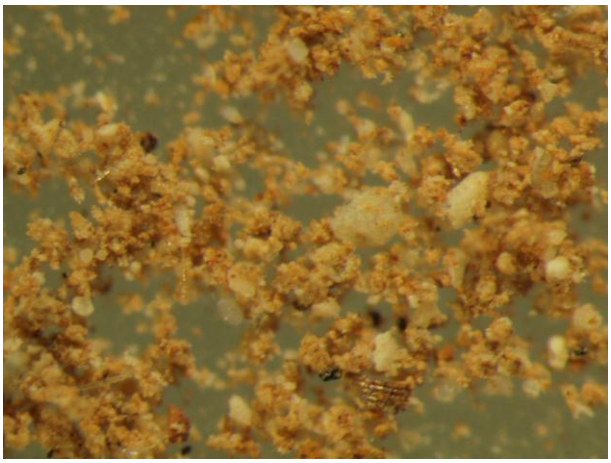
OBSERVATION AU MICROSCOPE OPTIQUE (GROSSISSEMENT X 11,5)

KW1-2

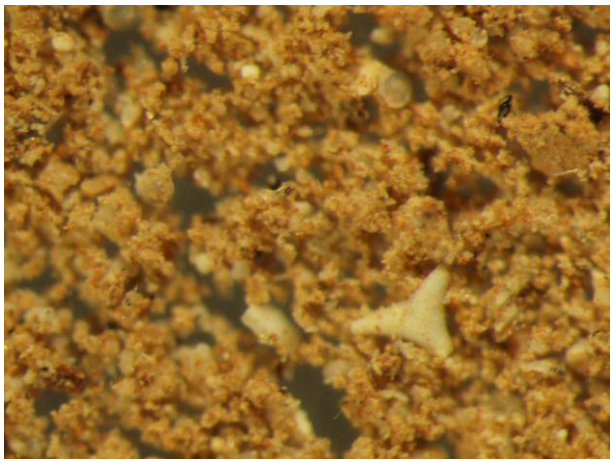
KW1-6

Matières en suspension collectée dans les godets KW1-2 et KW1-6 : Présence de nombreuses particules latéritiques de couleur brune, de débris végétaux terrestres arrachés aux bassins versants ainsi que de coraux et de tests de microorganismes marins plus ou moins fortement altérés.

La quantité de particules carbonatées est relativement importante malgré la proximité de l'embouchure de la Kwé.



NE-10



SW-10

Matières en suspension collectée dans les godets NE-10 et SW-10 : Présence de particules latéritiques en faible quantité et de très petite taille. Sédimentation de nombreux débris de tests de microorganismes marins imbriqués dans des substances organiques voire de micro-coquillages dans un état d'altération faible.

ANNEXE – 4

Résultats de calculs de concentrations en métaux totaux, calcium et soufre dans les MES de la Baie Kwé (KW1) et du Canal de la Havannah station (SW60).

PERIODE DE COLLECTE	ECHANTILLON	Ca (mg/kg)	Co (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)
12-15 septembre	**KW1-1**	248829	129	4540	129942	964	2226
16-19 septembre	**KW1-2**	252330	124	4615	127216	986	1845
20-23 septembre	**KW1-3**	268160	111	3955	115017	865	1679
24-27 septembre	**KW1-4**	275216	106	3809	109907	828	1727
28 sept-2 octobre	**KW1-5**	274130	97	3529	102466	755	1732
2-5 octobre	**KW1-6**	258196	110	4461	115876	895	1955
6-9 octobre	**KW1-7**	265087	118	4299	120689	904	2040
10-13 octobre	**KW1-8**	262078	112	4094	118090	866	2022
14-17 octobre	**KW1-9**	262094	103	3706	110501	862	1872
18-21 octobre	**KW1-10**	271036	90	3285	99484	757	1677
22-25 octobre	**KW1-11**	264863	84	3031	93391	688	1557
26-29 octobre	**KW1-12**	270613	85	3164	96818	711	1613

PERIODE DE COLLECTE	ECHANTILLON	Ca (mg/kg)	Co (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)
12-15 septembre	**NE60-1**	nd	nd	nd	nd	nd	nd
16-19 septembre	**NE60-2**	373441	22	566	16280	142	255
20-23 septembre	**NE60-3**	nd	nd	nd	nd	nd	nd
24-27 septembre	**NE60-4**	nd	nd	nd	nd	nd	nd
28 sept-2 octobre	**NE60-5**	nd	nd	nd	nd	nd	nd
2-5 octobre	**NE60-6**	nd	nd	nd	nd	nd	nd
6-9 octobre	**NE60-7**	nd	nd	nd	nd	nd	nd
10-13 octobre	**NE60-8**	nd	nd	nd	nd	nd	nd
14-17 octobre	**NE60-9**	nd	nd	nd	nd	nd	nd
18-21 octobre	**NE60-10**	346787	32	573	19679	186	410
22-25 octobre	**NE60-11**	332048	29	535	17777	170	333
26-29 octobre	**NE60-12**	331397	33	591	19652	257	380

PERIODE DE COLLECTE	ECHANTILLON	Ca (mg/kg)	Co (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)
12-15 septembre	**SW60-1**	nd	nd	nd	nd	nd	nd
16-19 septembre	**SW60-2**	328515	17	637	18949	162	306
20-23 septembre	**SW60-3**	297152	23	618	18781	185	366
24-27 septembre	**SW60-4**	nd	nd	nd	nd	nd	nd
28 sept-2 octobre	**SW60-5**	nd	nd	nd	nd	nd	nd
2-5 octobre	**SW60-6**	nd	nd	nd	nd	nd	nd
6-9 octobre	**SW60-7**	nd	nd	nd	nd	nd	nd
10-13 octobre	**SW60-8**	nd	nd	nd	nd	nd	nd
14-17 octobre	**SW60-9**	nd	nd	nd	nd	nd	nd
18-21 octobre	**SW60-10**	37	572	18304	169	369	37
22-25 octobre	**SW60-11**	31	547	17810	182	361	31
26-29 octobre	**SW60-12**	31	624	20772	208	411	31

nd = non déterminée en raison du manque de masse collectée

STATION	Soufre (mg/kg)	STATION	Soufre (mg/kg)
SW60-2	3087	NE60-2	nd
SW60-10	3421	NE60-10	nd
SW60-11	nd	NE60-11	3093
SW60-12	3452	NE60-12	2908

nd = non déterminée en raison du manque de masse collectée

ANNEXE – 5

Résultats de calculs de densités de flux de matière particulaire (MES) et métaux pour la Baie Kwé (St06-KW1) et le Canal de la Havannah (St60-NE et St60-SW).

MES

PERIODE DE COLLECTE	STATION	Flux MES (g/m²/j)	STATION	Flux MES (g/m²/j)	STATION	Flux MES (g/m²/j)
12-15 septembre	KW1-1	19,8	NE60-1	1,36	SW60-1	1,34
16-19 septembre	KW1-2	30,3	NE60-2	6,56	SW60-2	4,76
20-23 septembre	KW1-3	16,4	NE60-3	0,59	SW60-3	1,02
24-27 septembre	KW1-4	15,0	NE60-4	0,10	SW60-4	0,55
28 sept-2 octobre	KW1-5	25,3	NE60-5	0,38	SW60-5	0,34
2-5 octobre	KW1-6	44,1	NE60-6	0,49	SW60-6	0,81
6-9 octobre	KW1-7	17,9	NE60-7	0,57	SW60-7	1,12
10-13 octobre	KW1-8	16,4	NE60-8	1,15	SW60-8	1,26
14-17 octobre	KW1-9	59,1	NE60-9	3,39	SW60-9	1,84
18-21 octobre	KW1-10	28,4	NE60-10	6,88	SW60-10	19,21
22-25 octobre	KW1-11	21,6	NE60-11	17,75	SW60-11	18,84
26-29 octobre	KW1-12	22,5	NE60-12	10,02	SW60-12	16,32

Métaux particulaires

PERIODE DE COLLECTE ST06-KW1	Ca (mg/m²/j)	Co (mg/m²/j)	Cr (mg/m²/j)	Fe (mg/m²/j)	Mn (mg/m²/j)	Ni (mg/m²/j)
12-15 septembre	4 937	2,6	90,1	2 578	19,1	44,2
16-19 septembre	7 639	3,7	139,7	3 851	29,9	55,9
20-23 septembre	4 386	1,8	64,7	1 881	14,2	27,5
24-27 septembre	4 125	1,6	57,1	1 648	12,4	25,9
28 sept-2 octobre	6 929	2,4	89,2	2 590	19,1	43,8
2-5 octobre	11 398	4,8	196,9	5 115	39,5	86,3
6-9 octobre	4 740	2,1	76,9	2 158	16,2	36,5
10-13 octobre	4 292	1,8	67,0	1 934	14,2	33,1
14-17 octobre	15 490	6,1	219,0	6 531	50,9	110,6
18-21 octobre	7 691	2,6	93,2	2 823	21,5	47,6
22-25 octobre	5 709	1,8	65,3	2 013	14,8	33,6
26-29 octobre	6 093	1,9	71,2	2 180	16,0	36,3

PERIODE DE COLLECTE ST60-NE	Ca (mg/m²/j)	Co (mg/m²/j)	Cr (mg/m²/j)	Fe (mg/m²/j)	Mn (mg/m²/j)	Ni (mg/m²/j)
12-15 septembre	nd	nd	nd	nd	nd	nd
16-19 septembre	2 452	0,14	3,71	106,9	0,93	1,67
20-23 septembre	nd	nd	nd	nd	nd	nd
24-27 septembre	nd	nd	nd	nd	nd	nd
28 sept-2 octobre	nd	nd	nd	nd	nd	nd
2-5 octobre	nd	nd	nd	nd	nd	nd
6-9 octobre	nd	nd	nd	nd	nd	nd
10-13 octobre	nd	nd	nd	nd	nd	nd
14-17 octobre	nd	nd	nd	nd	nd	nd
18-21 octobre	2 384	0,22	3,94	135,3	1,28	2,82
22-25 octobre	5 892	0,51	9,49	315,5	3,02	5,91
26-29 octobre	3 321	0,33	5,92	196,9	2,57	3,81

PERIODE DE COLLECTE ST60-SW	Ca (mg/m²/j)	Co (mg/m²/j)	Cr (mg/m²/j)	Fe (mg/m²/j)	Mn (mg/m²/j)	Ni (mg/m²/j)
12-15 septembre	nd	nd	nd	nd	nd	nd
16-19 septembre	1 564	0,08	3,03	90,2	0,77	1,46
20-23 septembre	nd	nd	nd	nd	nd	nd
24-27 septembre	nd	nd	nd	nd	nd	nd
28 sept-2 octobre	nd	nd	nd	nd	nd	nd
2-5 octobre	nd	nd	nd	nd	nd	nd
6-9 octobre	nd	nd	nd	nd	nd	nd
10-13 octobre	nd	nd	nd	nd	nd	nd
14-17 octobre	nd	nd	nd	nd	nd	nd
18-21 octobre	6 329	0,70	10,98	351,5	3,25	7,08
22-25 octobre	6 134	0,59	10,30	335,5	3,43	6,80
26-29 octobre	5 304	0,51	10,18	339,0	3,39	6,70

nd = non déterminée en raison du manque de masse collectée