



EVOLUTION PHYSICO-CHIMIQUE ET GEOCHIMIQUE DES SEDIMENTS MARINS DE SURFACE

SUIVI TRIENNAL 2018



« Chimie de l'environnement et
Modélisation hydrodynamique »

Rapport triennal
Campagne de
2018

Photos de couverture AEL : Benne Van-Veen utilisée pour le prélèvement des sédiments de surface.

CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL-LEA

Proposition technique et commerciale AEL 138-VI-17-P

Evolution géophysique et géochimique des sédiments marins de surface

Suivi triennal 2018

Kumar-Roiné S., Kaplan H., Laurent A., Moreton B., Drouzy M., Fernandez JM.

Nombre de pages : 47

	Ref AEL	Ref Client	
Identification	138-VI-17-P	L06375/0001	
Titre complet	Évolution géophysique et géochimique des sédiments marins de surface. Suivi triennal 2018.		
Auteurs	Kumar-Roiné S., Kaplan H., Laurent A., Moreton B., Drouzy M., Fernandez JM.		
Résumé	<p>Dans le but de se conformer au plan de suivi règlementaire du milieu marin, il a été mis en place un programme de suivi pour un certain nombre de paramètres qui caractérisent la qualité des sédiments de surface. Ce rapport présente les résultats des prélèvements effectués en 2018 lors de la 4^{ème} campagne dans la zone d'effluence du complexe minier et industriel de Vale-NC. Ce programme de surveillance triennale du milieu marin est réalisé sur un total de 14 stations dont la répartition a été révisée en 2009 puis en 2012. A ce jour, les stations sont réparties en Baie Kwé (St15, St16, St18 et St19), dans le Canal de la Havannah (St02, St03, St05, St07, St09, St14 et St21) et à proximité de l'Île Ouen (St13 et St14).</p> <p>Il en résulte les principaux points suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • le pourcentage de fraction pélitique dans les sédiments varie selon les conditions hydrodynamique et géomorphologique des stations et, que depuis l'état de référence, le taux en matière fine (fraction pélitique) a augmenté aux stations St15 et St16. • les concentrations totales en Co, Cr, Fe, Mn et Ni (métaux latéritiques), bien plus importantes que pour le Cu et Zn (retrouvées à l'état de traces), se répartissent selon un gradient « côte-large » ce qui est relié à la localisation des stations et aux conditions hydrodynamiques qu'elles subissent. Aux stations sentinelles (potentiellement sous influence du complexe minier), aucune hausse remarquable des quantités totales n'est observée ; les concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni demeurent, soit stables, soit en baisse par rapport à celles mesurées en 2006/2009. • les analyses montrent une excellente relation de décroissance des concentrations en fonction de la distance aux termes sources terrigènes identifiés (Creek de la Rade Nord dans la Baie du Prony, la Kwé dans le Canal de la Havannah et la Iré à l'Île Ouen) pour Co, Cr, Fe, Mn et Ni. Ces éléments qui sont constitutifs des phases réductibles et résiduelles, traduisent la faible disponibilité de ces éléments pour les organismes vivants ; ce gradient de concentration étant peu visible pour les formes oxydables et acido-solubles. En termes d'évolutions temporelles, les concentrations en hausses notables, constatées en 2015 pour le Co dans les phases acido-solubles (carbonates ; St18) et réductibles (oxy-hydroxydes ; St06 et St18), ainsi que le Cr pour la phase oxydable (matière organique ; St06, St15 et St16), sont revenues à des niveaux bien plus faibles en 2018. 		
APPROBATION			
FONCTION	NOMS	VISA	DATE
Rédacteurs	Kumar-Roiné S.	SKR	04/01/2019
Vérificateur 1	Fernandez JM.	JMFA	07/01/2019
Vérificateur 2	Pousse Céline.	CP	08/01/2019
Approbateur	Fernandez JM.	JMFA	09/01/2019
EVOLUTION			
VERSION	DESCRIPTION DES MISES A JOUR		DATE
V1.0	Rapport Final		10/01/2019
V1.1	Précisions sur St18 et St19		05/03/2019
COPIE - DIFFUSION			
NOM	ORGANISME		
Casalis C	Vale-NC, Département Environnement		

Ce rapport est cité comme suit : Kumar-Roiné S., Kaplan H., Laurent A., Moreton B., Drouzy M., Fernandez JM. 2018. Evolution géophysique et géochimique des sédiments marins de surface. Suivi triennal 2018. Contrat AEL/Vale-NC138-VI-17-P/L06375/000, 47p.

TABLE DES MATIERES

I.	INTRODUCTION	7
A.	CONTEXTE.....	7
B.	OBJECTIFS.....	7
II.	METHODOLOGIE	8
A.	SITE D’ETUDE.....	8
B.	ECHANTILLONNAGE.....	9
C.	PARAMETRES PHYSIQUES, GEOCHIMIQUES ET ANALYSES	10
III.	RESULTATS	11
A.	QUALITE GEOPHYSIQUE DES SEDIMENTS DE SURFACE	11
B.	COMPOSITION GEOCHIMIQUE DES SEDIMENTS DE SURFACE	15
IV.	CONCLUSION	34

I. INTRODUCTION

A. CONTEXTE

Le programme de travail ici présenté a été défini en accord avec les arrêtés ICPE 2008 relatifs à l'autorisation d'exploitation des installations industrielles et portuaires.

Cette étude fait suite, d'une part, à la définition de « l'Etat de référence » de la qualité géochimique des sédiments de surface déterminée, en 2006, sur 18 stations réparties dans l'aire du lagon sud de Nouvelle-Calédonie (Fernandez *et al.*, 2006) et, d'autre part, **elle assure la continuité du suivi environnemental depuis 2009** qui après une redéfinition du cahier des charges, a été réalisé sur 13 stations (Fernandez *et al.*, 2010). En 2012, à la demande de Vale-NC, 1 station supplémentaire a été ajoutée à ce réseau de suivi (Fernandez *et al.*, 2013). Depuis, sans modification ni interruption, ces 14 stations sont suivies à la fréquence triennale.

Si les effets mécaniques de l'hyper-sédimentation sont mesurables à très court terme, les modifications de leur composition géochimique, notamment en éléments métalliques peuvent avoir des conséquences à moyen voire long termes sur la contamination des écosystèmes benthiques. Au-delà des déséquilibres écologiques que ces apports peuvent induire, la contamination d'organismes marins dont certains sont consommés par l'homme est à considérer : le suivi géochimique des sédiments est donc, à ce titre, un outil de surveillance précoce des contaminations potentielles.

Dans le contexte de la mise en exploitation de l'usine de Vale-NC, l'étude consiste à caractériser la composition minéralogique et granulométrique des sédiments de surface ainsi que les concentrations en métaux réparties dans différentes phases géochimiques constitutives, afin d'estimer leur degré de disponibilité pour les organismes marins benthiques.

B. OBJECTIFS

Ce programme de surveillance triennale du milieu marin est réalisé sur un total révisé de 14 stations, parmi lesquelles 6 sont réparties dans trois zones de potentielles influences directes ; elles constituent un réseau de stations sentinelles à suivre en priorité. On dénombre ainsi, les stations sous influence :

- de l'usine de valorisation du minerai et de son port de commerce, situées dans la Baie du Prony (St15, St16, St18 et St19) ;
- de la mine localisée dans le bassin versant de la Kwé (St06) ;
- du rejet d'effluent par le diffuseur situé dans le Canal de la Havannah (St09).

Ce document regroupe les résultats de la **campagne de 2018** ; cette 4^{ème} étude du suivi géochimique permet ainsi d'affiner le bilan des dépôts sédimentaires.

II. METHODOLOGIE

La méthodologie détaillée des différentes étapes du prélèvement, traitement à l'analyse est décrite dans l'Annexe 1.

A. SITE D'ETUDE

Les opérations d'échantillonnage concernant les 14 stations sont détaillées comme suit (Tableau 1 et Figure 1):

- 4 dans la Baie du Prony ;
- 8 dans le système du Canal de la Havannah ;
- 2 dans le système de l'Île Ouen et Canal Woodin.

Note : Suite à la redéfinition du réseau du suivi sédimentologique (et de la colonne d'eau), le nombre et les positions géographiques de certaines stations ont été modifiés en 2009 par rapport à 2006 (état de référence). Ainsi, 13 stations ont été retenues sur les 18 initiales et les stations St03, St05, St07 et St14 ont été déplacées, respectivement à l'intérieur de la Baie de Port Boisé, à la limite ouest de la réserve Merlet, au nord-est du récif loro et pour la dernière, à l'intérieur de la baie de Port Goro. Exception faite de St05 dont la nouvelle localisation a été définie pour sortir du périmètre de la réserve Merlet, les autres sites ont été choisis pour leur propension à piéger les particules fines, chimiquement plus réactives, et pouvant donc traduire un impact des activités minières. En 2009, puis en 2012, les stations St19 et St21, respectivement, ont été rajoutées suite à la demande de Vale-NC, ce qui porte le nombre de stations à 14.

Tableau 1 : Liste et position des stations de prélèvement du suivi de la qualité géochimique des sédiments de surface dans la zone d'influence de l'usine de Vale-NC.

Station	Zone	Longitude	Latitude	Profondeur (m)
St15	Baie de Prony	166° 52,590	22° 20,037	25
St16		166° 53,365	22° 21,210	44
St18		166° 51,061	22° 21,668	26
St19		166° 53,340	22° 23,170	38
St20	Île Ouen	166° 48,150	22° 24,180	25
St13		166° 51,354	22° 24,914	35
St02		167° 00,506	22° 23,599	33
St03	Canal de la Havannah	166° 58,010	22° 21,190	29
St05		167° 03,100	22° 22,050	34
St06		166° 59,112	22° 20,830	20
St07		166° 57,910	22° 22,820	41
St09		166° 59,754	22° 22,540	47
St14		167° 01,160	22° 19,350	37
St21		166°55,501	22°26,728	36

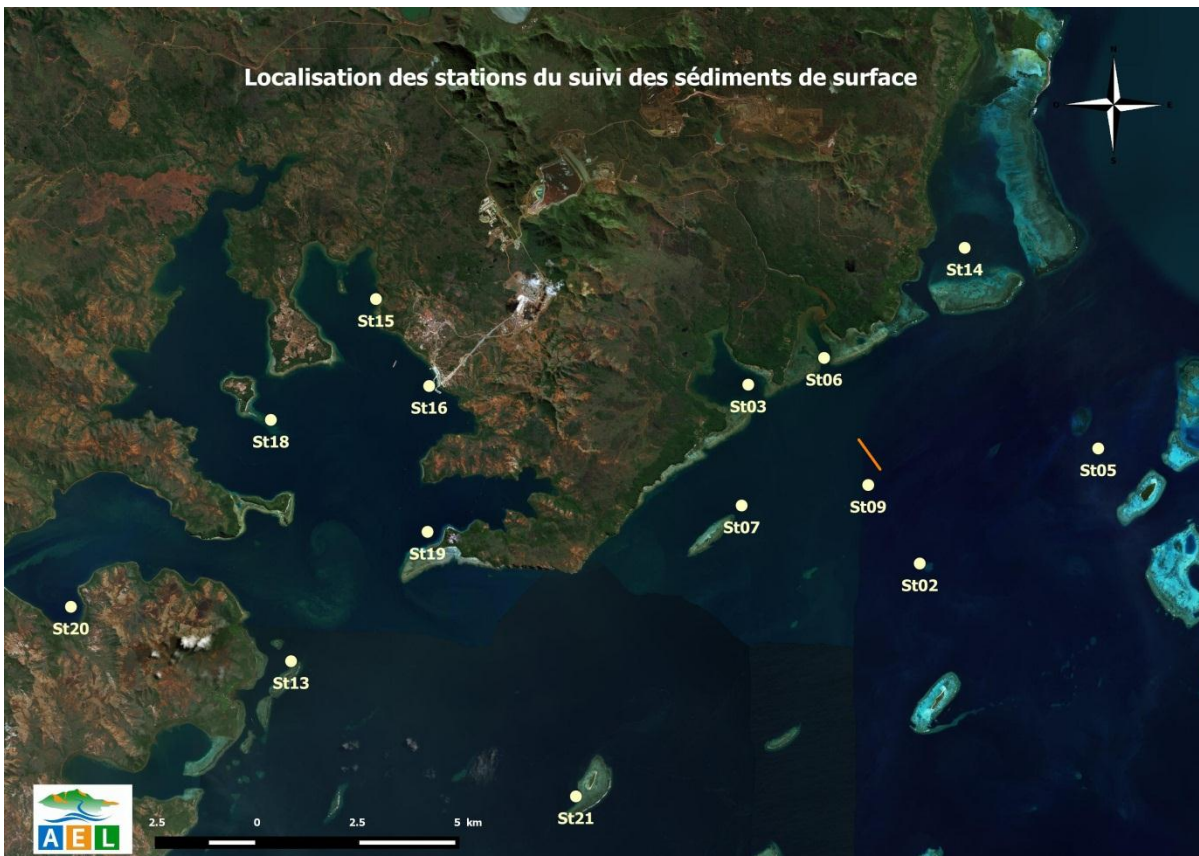


Figure 1 : Localisation géographique des stations de prélèvement du suivi de la qualité géochimique des sédiments de surface dans la zone d'influence de l'usine de Vale-NC (le trait rouge représente l'emplacement du diffuseur).

B. ECHANTILLONNAGE

Les opérations de terrain ont été réalisées à bord du Slavko (Casy Express) au cours de 2 sorties ; 02 mars 2018 et 19 avril 2018. Les prélèvements ont été réalisés avec une benne de type Van-Veen en acier inoxydable (nuance 316 L) ; seule la couche centimétrique de surface a été échantillonnée.

Les sédiments ainsi prélevés ont été conditionnés dans des sachets en vinyle à usage unique (Whirl-Pack) référencés et conservés à 4°C jusqu'à la phase de traitement.

Note : des sédiments meubles ont pu être collectés à 12 stations sur les 14 programmées ; les stations St05 et St09 étant localisées sur des fonds durs, seuls des cailloux et du corail ont pu être récupérés. Ces échantillons n'ont donc pas été analysés.

C. PARAMETRES PHYSIQUES, GEOCHIMIQUES ET ANALYSES

Tous les échantillons de sédiments ont été tamisés par voie humide afin de récupérer les fractions pélitiques (particules de $\varnothing < 41 \mu\text{m}$). La fraction pélitique est considérée de longue date, comme la fraction la plus réactive en matière d'échanges géochimiques avec les métaux (Mayer et Fink, 1979 ; Ackermann, 1980 ; Deely et Fergusson, 1994).

Après tamisage, les fractions pélitiques ont été traitées pour les analyses suivantes :

- Les populations de grains et la minéralogie des particules ;
- Les concentrations en métaux associés aux différentes phases géochimiques composant les sédiments ;
- Les concentrations totales des métaux.

III. RESULTATS

Note : Pour les stations St05 et St09, aucune analyse n'a pu être conduite par manque de matière meuble récoltée. Pour les stations St02 et St21, pour des raisons similaires, la réalisation de la dernière étape de l'extraction sélective (analyse de la phase résiduelle), n'a pas été conduite.

Rappel : Depuis 2009, la station St03 est localisée dans une zone de moindre énergie hydrodynamique qui favorise la sédimentation des particules fines. Cette station initialement placée en bordure externe du platier de Port Boisé a été déplacée à l'intérieur de la baie. Ce changement de position induit donc un biais lors des comparaisons de campagnes postérieures à celle de 2006.

A. QUALITE GEOPHYSIQUE DES SEDIMENTS DE SURFACE

Les résultats concernant la granulométrie des populations de grains et la composition minéralogique sont regroupés dans Annexe 2.

1. Détermination du pourcentage de fraction pélitique

Dans les sédiments de surface prélevés **dans la Baie du Prony**, la fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) est dominante, notamment à la station St16. Cette prédominance des fractions pélitiques persiste jusqu'à la station St19, située sur l'extrémité sud de la baie ; établissant ainsi un gradient côte-large décroissant bien que celui-ci soit faiblement marqué. Seule la station St18, ne contenant que peu de fraction pélitique, fait figure d'exception (Tableau 2 : Compilation des pourcentages de fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) obtenus (moyennes et écart-types) lors des différentes campagnes du suivi de sédiments de surface.). Les pourcentages élevés s'expliquent par la localisation des stations St15, St16 et St18 dans des zones hydrodynamiquement calmes et abritées (Derex *et al.*, 2008 ; Douillet et Fernandez, 2009) où l'alimentation en particules fines s'effectue directement par les différents creeks. *A contrario*, la station St18, plus éloignée de la côte, est exposée aux régimes des Alizés qui brassent les eaux.

Entre les différentes campagnes, on note que les sédiments prélevés aux stations St15, St16 et St18 ont toujours été majoritairement composés de fractions fines. Demeurant proches du pourcentage initial pour la St19 (2009) ; les autres prélèvements (St15 et St16) montrent une hausse par rapport à 2006 (Tableau 2 : Compilation des pourcentages de fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) obtenus (moyennes et écart-types) lors des différentes campagnes du suivi de sédiments de surface.).

Pour les stations localisées **dans le Canal de la Havannah**, la répartition des pélites est très variable comme cela a été observé lors des précédentes campagnes. La hausse des quantités de pélites constatée à partir de 2009 pour les stations St03, St07 et St14 ne résulte que du repositionnement de ces stations vers des aires plus abritées. *A contrario*, pour St06, la baisse constatée de 2006 à 2012, ainsi que de 2015 à 2018 pourrait être expliquée par des changements au niveau des conditions hydro-sédimentaires et/ou hydro-climatiques permettant, localement et de manière temporaire, la formation de lentilles de dépôts pélitiques. En dépit de

ces variations, les stations peuvent être regroupées en trois groupes selon le pourcentage de fraction péltique (Tableau 2 : Compilation des pourcentages de fraction fine ($\emptyset < 41 \mu\text{m}$) obtenus (moyennes et écart-types) lors des différentes campagnes du suivi de sédiments de surface.) :

1. **[Péltites] < 20%**. Il s'agit des stations St02, St05, St09 et St21 soumises aux courants marins forts en raison de leur emplacement le long de l'axe du Canal ;
2. **20% < [Péltites] < 50%**. Ce groupe concerne St06 et St14, stations proches des côtes, et situées dans des zones de courants modérés et qui sont alimentées par les creeks ; et
3. **[Péltites] > 50%**. Il s'agit des stations St03 et St06 voire St07 où les courants marins sont généralement faibles en raison de leur localisation abritée, à proximité des côtes ou récifs.

Les stations St13 et St20 au niveau de l'île Ouen ont présenté des pourcentages de péltites conséquents et notablement stables entre les différentes campagnes 2006/2009 (Tableau 2 : Compilation des pourcentages de fraction fine ($\emptyset < 41 \mu\text{m}$) obtenus (moyennes et écart-types) lors des différentes campagnes du suivi de sédiments de surface.).

Tableau 2 : Compilation des pourcentages de fraction fine ($\emptyset < 41 \mu\text{m}$) obtenus (moyennes et écart-types) lors des différentes campagnes du suivi de sédiments de surface.

Zone	Station	% $\emptyset < 41 \mu\text{m}$				
		2006	2009	2012	2015	2018
Baie du Prony	St15	72,3	98,0	83,4	82,3	89,3
	St16	56,2	97,8	78,5	80,2	96,3
	St18	9,0	ND	2,6	0,3	7,8
	St19	SI	79,3	50,1	76,0	78,6
Canal de la Havannah	St02	1,2	9,8	0,2	0,7	15,4
	St03	0,6	70,6	34,6	59,7	54,6
	St05	5,7	ND	ND	ND	ND
	St06	48,6	39,0	16,9	52,5	37,7
	St07	26,5	65,3	38,0	26,8	57,6
	St09	2,7	13,6	ND	0,1	ND
	St14	0,1	27,0	23,0	24,5	22,6
	St21	SI	SI	5,9	19,7	4,5
Ile Ouen	St13	47,9	58,1	36,3	41,7	49,5
	St20	SI	41,3	30,5	43,0	46,5

ND = valeur non déterminé ; SI = Station inexistante

2. Granulométrie des particules

De manière générale, les sédiments de texture grossière prédominante (mode de $\emptyset > 20 \mu\text{m}$) ont été prélevés dans des aires d'hydrodynamisme modéré à élevé et le plus souvent exposées aux Alizés, à savoir (Figure 2) :

1. A toutes les stations du **Canal de la Havannah** sauf St02 ;
2. La station St18 dans la **Baie du Prony** ;
3. La station St13 à **proximité de l'île Ouen**.

Inversement, les sédiments les plus fins (mode de $\varnothing < 20 \mu\text{m}$) ont été prélevés aux stations St15, St16 St19 et St20, situées à l'intérieur des baies de Prony et Iré, à l'abri des forts courants du Canal de la Havannah et des régimes d'Alizés (Figure 2).

D'après les observations microscopiques, des particules de nature bioclastique (débris coralliens et coquillés) composent les sédiments des stations St06, St07, St18, St20 et St21. Dans une moindre mesure, on retrouve ces débris dans les sédiments de St03, St13, St14 et St19 tandis qu'aux stations St15 et St16, ils y sont quasi-absents ; les sédiments de ces stations présentent une teinte jaunâtre (St16) à ocre (St15) reflétant les influences terrigènes plus ou moins marquées.

Quant aux sédiments prélevés à la station St02, composés à 63 % d'argiles et silts fins ($\varnothing < 20 \mu\text{m}$), elle se singularise du fait de son implantation au milieu du Canal de la Havannah (Figure 2). On notera également que cette station présente une forte variabilité de sa composition en fractions pélitiques depuis 2006 (Tableau 2 : Compilation des pourcentages de fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$) obtenus (moyennes et écart-types) lors des différentes campagnes du suivi de sédiments de surface.), cette variabilité indiquerait une hétérogénéité spatiale dans la composition des sédiments, accompagnée d'une imprécision du positionnement géodésique dû aux courants lors du prélèvement par plus de 30 m de profondeur.

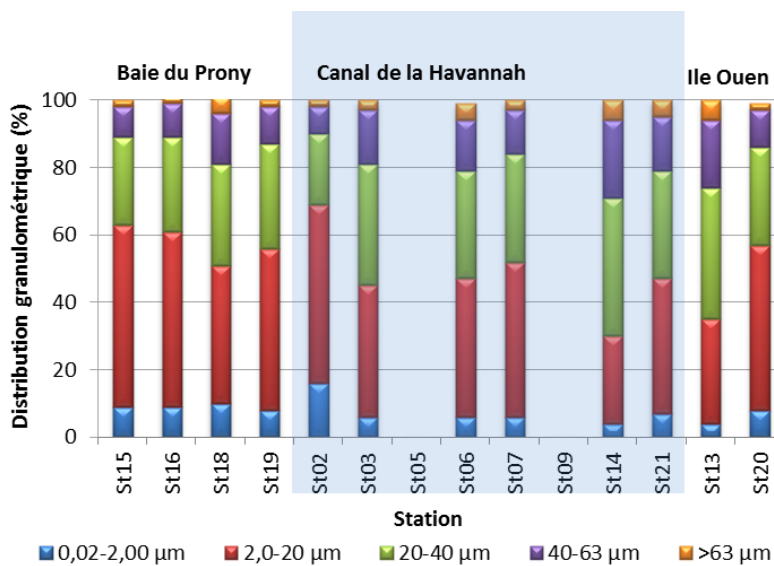


Figure 2 : Distribution granulométrique de la fraction pélitique des sédiments de surface

3. Minéralogie des particules

Présentant une assez grande diversité liée à la localisation des stations, l'Aragonite, la Calcite, la Calcite magnésienne et la Goethite ont néanmoins toujours été détectées sur l'ensemble des stations (Tableau 3).

Plus en détail, **dans le Canal de la Havannah**, les sédiments prélevés se caractérisent par des spectres de diffraction homogènes que seules des proportions en minéraux terrigènes, dont notamment la Goethite, minéral caractéristique de l'altération des latérites, distingue. Les minéraux d'origine marine (l'Aragonite, Calcite, Calcite magnésienne (ainsi que la Halite)) sont quasi-omniprésents aux stations St02, St07 et St14 et même à St03, St06 et St14 en dépit de la présence plus conséquente de la Goethite du fait de leur proximité à la côte (Tableau 3). Ces observations confirment d'une part, la dominance des apports marins dans les

sédiments liée à l'hydrodynamisme du Canal de la Havannah et d'autre part, elles mettent en évidence un gradient côte-large décroissant pour minéraux terrigènes.

Du fait de différentes influences environnementales (naturelles et anthropiques liées à l'exploitation minière) qu'elles subissent, les compositions minéralogiques sont bien plus contrastées **dans la Baie du Prony** ainsi qu'au **niveau de l'île Ouen** (Tableau 3). Ainsi, aux stations St13, St18 et St19, les sédiments sont principalement carbonatés avec la Calcite magnésienne en majorité suivie de la Calcite et l'Aragonite. Toutefois, plus près de la côte, les sédiments de la station St19 permettent de mesurer des quantités notables de Goethite. En raison de leur localisation en fond de baie, les stations St15, St16 et St20 présentent des similarités dans la diversité des minéraux d'origine terrigène décelés. Ainsi, les stations St16 et St20 sont influencées simultanément par les apports marins et terrestres. Cette double influence se traduit à la fois, par la présence de Calcite, Calcite magnésienne, Aragonite et d'Halite, pour l'origine marine, et de Goethite ainsi que la Gibbsite et des Kandites pour l'origine terrigène. La part des minéraux terrigènes devient encore plus conséquente à la station St15 sous influence directe du Creek de la Rade Nord ; elle se distingue très nettement par une composition majoritaire en Goethite avec une forte contribution de Gibbsite ainsi que d'autres minéraux terrigènes tels que la Serpentine et les Kandites. Tous ces minéraux résultants de l'altération soit des latérites, soit de la roche mère ultrabasique, ou bien de la péridotite.

Tableau 3 : Composition minéralogique de la fraction fine ($\phi < 41 \mu\text{m}$) des sédiments de surface.

Zone	Station	% Calcite	% Calcite Mg	% Aragonite	% Halite	% Goethite	% Autres*
Baie du Prony	St15	5	7	2	0	54	32
	St16	24	26	8	1	23	19
	St18	22	52	12	7	4	3
	St19	25	35	12	0	21	6
Canal de la Havannah	St02	17	54	25	4	1	0
	St03	20	49	17	2	8	4
	St05	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	St06	15	39	15	0	25	5
	St07	26	46	17	3	2	5
	St09	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	St14	16	50	23	2	4	5
Ile Ouen	St21	23	49	18	9	1	0
	St13	28	49	20	0	1	2
	St20	21	24	10	1	22	23

* : minéraux argileux, groupe des Kandites, Serpentine, Chlorite, Muscovite, Talc, alpha Quartz, Alpha quartz, groupe des Amphibole calcique et sodique, group des Plagioclase calcique et sodique, Feldspath et/ou Rutile et Gibbsite ; ND : valeur non déterminée.

B. COMPOSITION GEOCHIMIQUE DES SEDIMENTS DE SURFACE

Les concentrations en métaux (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn) et en élément majeur (Ca) dans les fractions fines sont regroupées dans l'Annexe 3.

Note : pour le Cu et Zn, les concentrations obtenues sont très faibles et sont même parfois sous les limites de quantification respectives. Ainsi, les résultats analytiques de ces éléments sont présentés à titre indicatif, ils ne seront pas interprétés.

Rappel : Le manque de matière fine n'a pas permis l'analyse élémentaire de la phase résiduelle pour les stations St05 et St09 ; ces stations ne sont pas donc considérées lors des interprétations suivantes.

METAUX TOTAUX

Rappel : La concentration en éléments totaux, contenue dans les sédiments prélevés aux différentes stations, résulte de la somme des concentrations des 4 phases géochimiques analysées par extractions séquentielles sélectives menées sur la fraction pélitique des sédiments.

Les résultats relatifs aux concentrations totales en métaux et en Ca composant la fraction pélitique des sédiments de surface sont regroupés dans le Tableau 4. Comme pour l'analyse minéralogique, une importante variabilité spatiale est observée, notamment dans la concentration des métaux du cortège latéritique ce qui est à mettre en lien avec la localisation de chaque station et avec l'expression de l'influence de différents termes source, conjuguée aux conditions hydrodynamiques et aux phénomènes de dilution de celle-ci.

Corroborant les observations des analyses minéralogiques, les concentrations les plus fortes en Co, Cr, Fe, Mn et Ni et la plus faible en Ca ont été mesurées **dans la Baie du Prony**, à la station St15, suivies de celles obtenues à St20 (**Ile Ouen**). Par leur situation en fond de baie, ces deux stations sont davantage soumises aux apports terrigènes directement véhiculés par les creeks (Tableau 4).

Bien que d'un niveau inférieur, de fortes concentrations en métaux sont tout de même relevées en St16 et St19 ; inversement, les concentrations en Ca y sont en nette augmentation. Les mêmes observations sont relevées à la station St13 de l'Ile Ouen (Tableau 4). Ces deux gradients inverses, fortement exprimés en relation avec la distance à la côte, constituent donc les signatures des deux pôles d'influence; terrigène avec une décroissance représentée par les métaux *versus* marine, avec une augmentation représentée par le Ca.

Parmi les stations du **Canal de la Havannah**, les plus fortes concentrations en métaux ont été relevées à la station de la Baie Kwé St06 ; elles sont du même ordre de grandeur que celles relevées à la station St16 (Baie du Prony). En ce qui concerne les stations St03, St07 et St14 du Canal et St13 et St18, des niveaux de concentration intermédiaires sont mesurés. Pour la station St14, seul Cr est concerné puisque les concentrations mesurées en Co, Fe, Mn et Ni sont faibles et comparables à celles de St07 (Tableau 4). Pour ce système, comme pour la Baie du Prony, 2 gradients inverses « côte-large » sont observés.

L'étude de la matrice de corrélation inter-éléments montre la similarité d'évolution des concentrations massiques pour Co, Cr, Fe, Ni et Ni ($R^2 > 0,8300$) et aussi une corrélation significative mais négative entre le Ca et les 5 métaux ($R^2 < -0,8900$) (Tableau 5) ce qui permet de conforter l'hypothèse de l'origine latéritique de ces 5 métaux.

Tableau 4 : Concentrations en Ca, Co, Cr, Fe, Mn et Ni mesurées dans les fractions fines des sédiments de surface.

Zone	Station	Concentrations en éléments totaux (mg/kg ps)							
		Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Baie du Prony	ST15	42410	238	12271	12,96	253875	1616	2828	215
	ST16	175246	87,82	2916	11,49	94628	635	1152	206
	ST18	194745	25,71	669	10,75	29299	260	266	205
	ST19	237013	58,22	2221	10,75	62213	282	794	205
Canal de la Havannah	ST02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ST03	259862	25,57	747	10,75	27220	211	305	205
	ST05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ST06	222497	92,05	2977	10,76	83048	399	1118	206
	ST07	275090	15,68	532	10,81	19758	107	221	204
	ST09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ST14	217594	14,39	839	10,75	17828	119	157	204
Ile Ouen	ST21	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ST13	270275	24,43	852	10,75	26574	167	341	204
	ST20	172997	134	4945	10,75	111193	692	1592	205

ND : valeur non déterminée.

Tableau 5 : Matrice de corrélation inter-éléments des concentrations de métaux et du calcium totaux mesurées dans les fractions fines des sédiments de surface (n = 10).

	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ca	1	-0,9016	-0,9185	-0,9218	-0,9479	-0,8902
Co		1	0,9792	0,9896	0,9739	0,9984
Cr			1	0,9909	0,9836	0,9744
Fe				1	0,9903	0,9895
Mn					1	0,9705
Ni						1

Etant donné que Ca est un marqueur de l'influence marine et que Fe est un marqueur d'origine latéritique, le calcul des ratios Ca/Fe renseigne sur l'importance des deux influences respectives (Tableau 6). Ainsi de 2012 à 2018, on constate que ceux-ci demeurent constants sur toutes les stations sauf à la St03 où l'influence marine est en augmentation régulière depuis 2012, et en St18 (St21 présentant une valeur aberrante). L'explication pourrait résider dans l'hétérogénéité spatiale de la couverture sédimentaire comme déjà remarqué avec les résultats de la fraction pélitique. Parmi les stations dont les ratios demeurent constants, 3 groupes d'influence ont pu être identifiés :

- **terrigen**e quasi-exclusive avec un ratio Ca/Fe < 1 ; cas de la station St15 ;
- **marine prédominante** mais sous une influence terrigène marquée avec un ratio compris entre 1 et 5 ; cas des stations St06, St16, St19 et St20 ; et
- **marine quasi-exclusive** avec un ratio Ca/Fe > 5 ; cas des stations St02, St07, St13 et St14.

Tableau 6 : Evolution des ratios Ca/Fe mesurés dans les fractions pélitiques lors des différentes campagnes du suivi géochimique des sédiments de surface.

Zone	Station	ratio Ca/Fe		
		2012	2015	2018
Baie du Prony	St15	0,208	0,113	0,167
	St16	2,45	1,38	1,85
	St18	6,13	0,92	6,65
	St19	4,93	3,62	3,81
Canal de la Havannah	St02	27	21	ND
	St03	2,77	4,93	9,55
	St05	ND	ND	ND
	St06	2,94	1,64	2,68
	St07	11,6	11,7	13,9
	St09	ND	ND	ND
	St14	12,6	12,1	12,2
Ile Ouen	St21	370 (!)	19	ND
	St13	12,6	8,9	10,2
	St20	1,92	1,84	1,84

ND : valeur non déterminée.

Pour étudier les évolutions temporelles des impacts potentiels du complexe de Vale-NC, les concentrations totales en Ca, et en Cr, Fe, Mn et Ni (métaux représentatifs du cortège latéritique) mesurées dans les sédiments de surface des stations sentinelles lors des cinq campagnes triennales sont comparées dans le Tableau 7 ; le choix des stations sentinelles est conforté par l'expression des ratios Ca/Fe.

Les stations retenues sont au nombre de 4 et sont soumises aux apports terrigènes, à savoir :

- la **St06** qui permet le suivi des apports induits par le bassin d'exploitation minière, et ;
- les stations **St15** et **St16** qui permettent d'assurer un suivi des apports induits par les installations industrielles (usine et port de commerce).

A celles-ci s'ajoutent St03 St18 et St19, stations qui se situent en périphérie des zones sous influence industrielle.

Note : La station St09 se situe à proximité immédiat du diffuseur. Toutefois depuis 2012, les analyses sur cette station n'ont pas pu être effectuées, en raison du manque de sédiment meuble fin.

Entre les différentes campagnes et quelle que soit la station, exception faite de St15, les concentrations en Ca demeurent peu variables par rapport à celles des métaux latéritiques (Co, Cr, Fe, Mn et Ni) qui présentent des écarts significatifs dans le temps. Dans la **Baie du Prony**, cette variation est de moindre ampleur, ce qui dénote d'une influence relativement constante des différents termes sources depuis 2006, excepté pour la station St18 qui se singularise par des concentrations en métaux exceptionnellement fortes mesurées en 2015 (Tableau 7). Cette dernière, non soumise à la pression directe des activités du port et de l'usine VNC, cet écart est probablement à relier avec une forte hétérogénéité spatiale des sédiments par son exposition aux vents dominants de E-SE (Alizés).

Pour celles situées dans les baies du **Canal de la Havannah** (St03 et St06), les concentrations mesurées entre les différentes campagnes sont plus variables, notamment à Port Boisé. En dépit de ces variations, aucune des deux ne montre d'enrichissement remarquable ; les concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni analysées pour cette dernière campagne demeurent comparables, voire plus basses que celles mesurées en 2006 (St06) et en 2009 (St03) (Tableau 7).

Tableau 7 : Evolution des concentrations totales en Ca, Co, Cr, Fe, Mn et Ni mesurées dans les fractions péloïtiques des stations sentinelles lors des différentes campagnes du suivi géochimique des sédiments de surface.

Station	Campagne	Concentrations totales (mg/kg ps)					
		Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
St03	2006	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2009	ND	70	1035	30320	485	551
	2012	243045	88	3012	87739	696	1654
	2015	283969	66	2250	57561	435	1013
	2018	259862	26	747	27220	211	305
St06	2006	ND	67	3326	112500	658	1116
	2009	ND	79	1891	60066	666	1043
	2012	251858	87	2928	85756	677	1604
	2015	225917	115	5510	137848	817	2371
	2018	222497	92	2977	83048	399	1118
St15	2006	ND	274	16575	381539	2485	4107
	2009	ND	257	9060	229639	2645	3010
	2012	52668	274	13227	252688	2083	3740
	2015	36001	321	14543	319172	2616	4158
	2018	42410	238	12271	253875	1616	2828
St16	2006	ND	85	4040	112201	735	1262
	2009	ND	89	1593	52240	809	845
	2012	211837	95	3180	86582	840	1381
	2015	139265	93	3495	101015	958	1458
	2018	175236	88	2916	94628	635	1152
St18	2006	ND	33	1662	43609	325	569
	2009	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2012	271423	49	1584	44285	449	735
	2015	205385	154	6162	222129	2120	3776
	2018	194745	26	669	29299	260	266
St19	2006	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2009	ND	75	1605	42771	599	741
	2012	272312	65	2217	55274	540	970
	2015	264627	76	2945	73120	549	1282
	2018	237013	58	2221	62213	282	794

ND : valeur non déterminée.

EXTRACTIONS SEQUENTIELLES SELECTIVES

Rappel : *Compte tenu de la précision demandée en terme d'impact des activités minières dans le milieu marin, l'analyse de la concentration totale des métaux contenus dans les sédiments ne fournit qu'une information globale. En effet, cette dernière ne reflète pas une évaluation potentielle des niveaux de disponibilité de ces éléments chimiques attribuables aux apports industriels. Afin de suivre et/ou de différencier les impacts des sources naturelles et/ou anthropiques, l'analyse des différentes phases géochimiques qui composent le sédiment est amplement préférable. En effet, les métaux associés aux deux premières phases géochimiques (oxydable et acido-soluble) fournissent une évaluation des fractions les plus facilement disponibles pour les organismes vivants. Les deux dernières phases (réductible et résiduelle) représentent des fractions dans lesquelles les métaux sont de moins en moins disponibles et peuvent être assimilés à des signatures géochimiques d'apports terrigènes.*

La répartition des teneurs en éléments dans les 4 différentes phases géochimiques s'effectue de manière inégale ; les fortes concentrations sont observables principalement dans la phase résiduelle (matrice latéritique) et dans la phase acido-soluble (associée aux carbonates), tandis qu'elles sont peu présentes dans la phase réductible (associée aux oxy-hydroxydes). En revanche, aucun élément n'est quantitativement mesurable de manière précise (concentrations < LQ respectives) dans la phase oxydable (associée aux matières organiques) (Tableau 8).

La quantité en éléments associés à chaque phase dépend du comportement géochimique de celui-ci, c'est-à-dire qu'elle est fonction de sa capacité à se solubiliser et à se recombinaison avec d'autres composés chimiques (Figure 3), ainsi :

- **Cr, Fe et Ni** sont présents quasi-exclusivement dans la phase résiduelle (matrice latéritique), quelle que soit la station et la zone d'étude ;
- **Co** se concentre majoritairement dans la phase résiduelle et dans une moindre mesure dans la phase réductible (oxy-hydroxydes), voire oxydable (matière organique) sans, toutefois, la mise en évidence d'une quelconque répartition spatiale ;
- **Ca** est très majoritairement associé à la phase acido-soluble (carbonates) mais des concentrations non négligeables sont mesurées dans la phase réductible, notamment aux stations de forte influence marine, sans distinction de la zone d'étude ;
- **Mn**, bien que contenu principalement dans la phase résiduelle, s'associe également aux phases réductible et acido-soluble ; la proportion de ce dernier semble évoluer à la hausse au détriment de celle de la phase résiduelle aux stations sous influence marine sans que ce phénomène soit systématique dans les 3 zones de l'étude.

Du point de vue de la distribution absolue des niveaux des concentrations mesurés, les extractions séquentielles ont montré que :

- dans la phase oxydable (matières organiques), seuls Co, Cr et Mn se répartissent de manière inégale d'une station à l'autre, tandis que les concentrations en Fe et Ni demeurent, respectivement, non quantifiables et très homogènes, exception faite de St14 qui montre des maxima. Les faibles concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni ne permettent pas d'établir une quelconque corrélation massique entre les éléments. Cependant, un gradient côte-large se dessine, notamment pour le Cr et

Mn, avec une décroissance des concentrations de St15 à St19 (Baie du Prony), de St06 à St07 (Canal de la Havannah) et entre St13 et St20 (Ile Ouen). Quant au Ca, les concentrations mesurées sont plus importantes mais elles demeurent relativement homogènes entre les stations. Avec une moyenne supérieure, seuls les sédiments de la Baie du Prony seraient légèrement plus enrichis en Mn oxydable ; le Co et Cr semblent équitablement répartis entre les 3 zones (Tableau 9 et Tableau 10).

- dans la phase acido-soluble (carbonates), les concentrations sont globalement un peu plus élevées et présentent selon la zone d'étude et l'élément considéré, plusieurs évolutions d'où le faible nombre de corrélations massiques entre Ca, Co, Cr, Fe, Mn et Ni. **En Baie du Prony et au niveau de l'Ile Ouen**, Co, Cr, Mn et Ni évoluent de la même manière ; les concentrations décroissent de St15 à St19 et entre St13 et St20 avec un gradient plus marqué pour Co et Ni, tandis que celui de Ca évolue de manière inverse. Fe, quant à lui, demeure stable à l'Ile Ouen et diminue dans la Baie du Prony. **Dans le Canal de la Havannah**, les concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni demeurent toutes en dessous de la limite de quantification à la station St06 de la baie Kwé, alors qu'un gradient décroissant côte-large est observé de St03 à St07 pour le Co, Mn et Ni, tandis que pour Cr et Fe, le gradient s'inverse, comme entre St03 et St02. On notera également que pour ces 2 métaux la station St14 présente des teneurs comparables à celles mesurées à la St07. Les concentrations en Ca quant à elles restent assez homogènes dans cette zone. **Dans la Baie du Prony**, les valeurs moyennes indiquent un enrichissement en Co, Mn et Ni, comme pour la zone de **l'Ile Ouen**, dans une moindre mesure. Inversement les concentrations moyennes en Cr varient peu entre les 3 zones d'étude, comme pour le Fe, bien que ces dernières soient significativement plus élevées à l'Ile Ouen (Tableau 11 et Tableau 12) ;
- dans la phase réductible (oxy-hydroxydes), les tendances sont moins hétéroclites. En effet, quelle que soit la zone, 2 gradients côte-large se dégagent : de la station St15 à St19 (**Baie du Prony**), de St06 à St07 (**Canal de la Havannah**) et entre St13 et St20 (**l'Ile Ouen**), où les concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni décroissent tandis que celles en Ca croissent de manière notable. Cette uniformité de comportement est confirmée par la matrice de corrélation sauf pour le Fe pour lequel la relation est moins forte ce qui est à mettre en lien avec un gradient décroissant moins marqué dans le Canal de la Havannah. Les concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni étant relativement fortes, les valeurs moyennes obtenues permettent de classer, par ordre décroissant, la **Baie du Prony** comme le système le plus enrichi en métaux latéritiques, puis l'Ile Ouen et enfin le Canal de la Havannah (Tableau 13 et Tableau 14).
- dans la phase résiduelle (matrice minérale), les grandeurs des concentrations mises à part, les tendances demeurent identiques à celles observées pour la phase réductible. En effet, de St15 à St19 (**Baie du Prony**), de St06 à St07 (**Canal de la Havannah**) et entre St13 et St20 (**l'Ile Ouen**), les concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni décroissent tandis que, parallèlement, celles en Ca croissent. De la même manière, le classement selon l'importance des concentrations moyennes en Co, Cr, Fe, Mn et Ni latéritiques demeure identique à celui de la phase réductible, à savoir la Baie du Prony, puis l'Ile Ouen et enfin le Canal de la Havannah (Tableau 15 et Tableau 16).

Ainsi, le Co, Cr, Fe, Mn et Ni réductibles et résiduels suivent la distribution spatiale régie par la distance aux termes sources et les phénomènes de dilution particulière, quelle que soit la zone d'étude. Par conséquent, les termes sources (Creek de la Rade Nord, bassin du Kwé et Iré) s'avèrent prépondérant pour les apports en métaux latéritiques dans les systèmes de la Baie du Prony, du Canal de la Havannah et de l'Ile Ouen, respectivement.

En comparaison, la répartition des concentrations de métaux associés aux phases oxydables et acido-solubles est moins uniforme. En effet, si on observe la même distribution « côte-large » pour les éléments Co, Cr et Mn oxydables, quelle que soit la zone d'étude, pour la phase acido-soluble, ce gradient n'est observé que pour le Co, Mn et Ni et seulement dans la Baie du Prony pour Cr et Fe ; dans le Canal de la Havannah et au niveau de l'Île Ouen le gradient étant inversé. Ces résultats suggèrent que les apports en Co, Cr, Fe, Mn et Ni de ces phases géochimiques, contrairement aux fractions réductibles et résiduelles, ne seraient pas uniquement influencés par un seul et même terme source et que pour certains métaux (ex. Cr et Fe), plusieurs termes sources peuvent coexister.

Enfin, les faibles teneurs dans les formes oxydables (matière organique) et acido-solubles (carbonates) renseignent sur les quantités biodisponibles pour ces métaux. En effet, toutes stations confondues, la fraction de métal la plus labile/disponible (oxydable + acido-soluble) ne représente, par rapport aux concentrations totales, qu'environ 4 % du Co total et 1 % du Cr total ; pour Fe et Ni le pourcentage est inférieur à l'unité. À l'inverse, les proportions augmentent significativement pour Mn (environ 22 % du total), cet élément serait potentiellement ainsi le plus disponible pour les organismes vivants (Tableau 8).

Tableau 8 : Concentrations en Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn (moyennes, écart-types et valeurs extrêmes) obtenues dans les fractions fines des sédiments de surface et la distribution des concentrations selon les phases géochimiques (oxydable, acido-soluble, réductible et résiduelle).

Eléments	Phase 1 : Oxydable (mg/kg ps)							
	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Min	4747	0,250	0,500	0,250	2,50	0,250	0,500	1,25
Max	6291	1,85	50,3	0,314	4,46	9,24	1,12	1,25
Moyenne	5457	0,856	26,9	0,258	2,70	2,62	0,749	1,25
Ecartype	554	0,558	15,6	0,020	0,619	2,62	0,172	0,00
CV (%)	10	65	58	8	23	100	23	0
Distribution (%)	3	1	1	2	0	1	0	1
Eléments	Phase 2 : Acido-soluble (mg/kg ps)							
	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Min	37632	0,250	0,500	0,250	2,50	0,250	0,500	1,25
Max	209914	9,61	11,9	0,506	8,66	260	19,4	1,88
Moyenne	171293	2,29	3,63	0,278	4,78	93,6	5,21	1,33
Ecartype	50115	2,97	3,40	0,080	2,35	89,6	6,05	0,197
CV (%)	29	130	94	29	49	96	116	15
Distribution (%)	83	3	0	3	0	21	1	1
Eléments	Phase 3 : Réductible (mg/kg ps)							
	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Min	10,00	1,20	3,67	0,250	395	15,1	5,22	1,25
Max	71229	50,7	40,8	0,946	887	360	68,6	11,9
Moyenne	29648	12,0	10,7	0,368	567	78,9	20,1	3,14
Ecartype	28908	15,2	11,1	0,254	189	103	20,1	3,14
CV (%)	98	127	103	69	33	130	100	100
Distribution (%)	14	17	0	3	1	18	2	2
Eléments	Phase 4 : Résiduelle (mg/kg ps)							
	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Min	20,0	11,9	509	10,0	17406	62,2	148	200
Max	696	177	12174	11,5	252983	987	2739	200
Moyenne	375	56,4	2856	10,1	71989	274	851	200
Ecartype	226	53,8	3570	0,471	72025	287	818	0
CV (%)	60	95	125	5	100	105	96	0
Distribution (%)	0	79	99	92	99	61	97	97

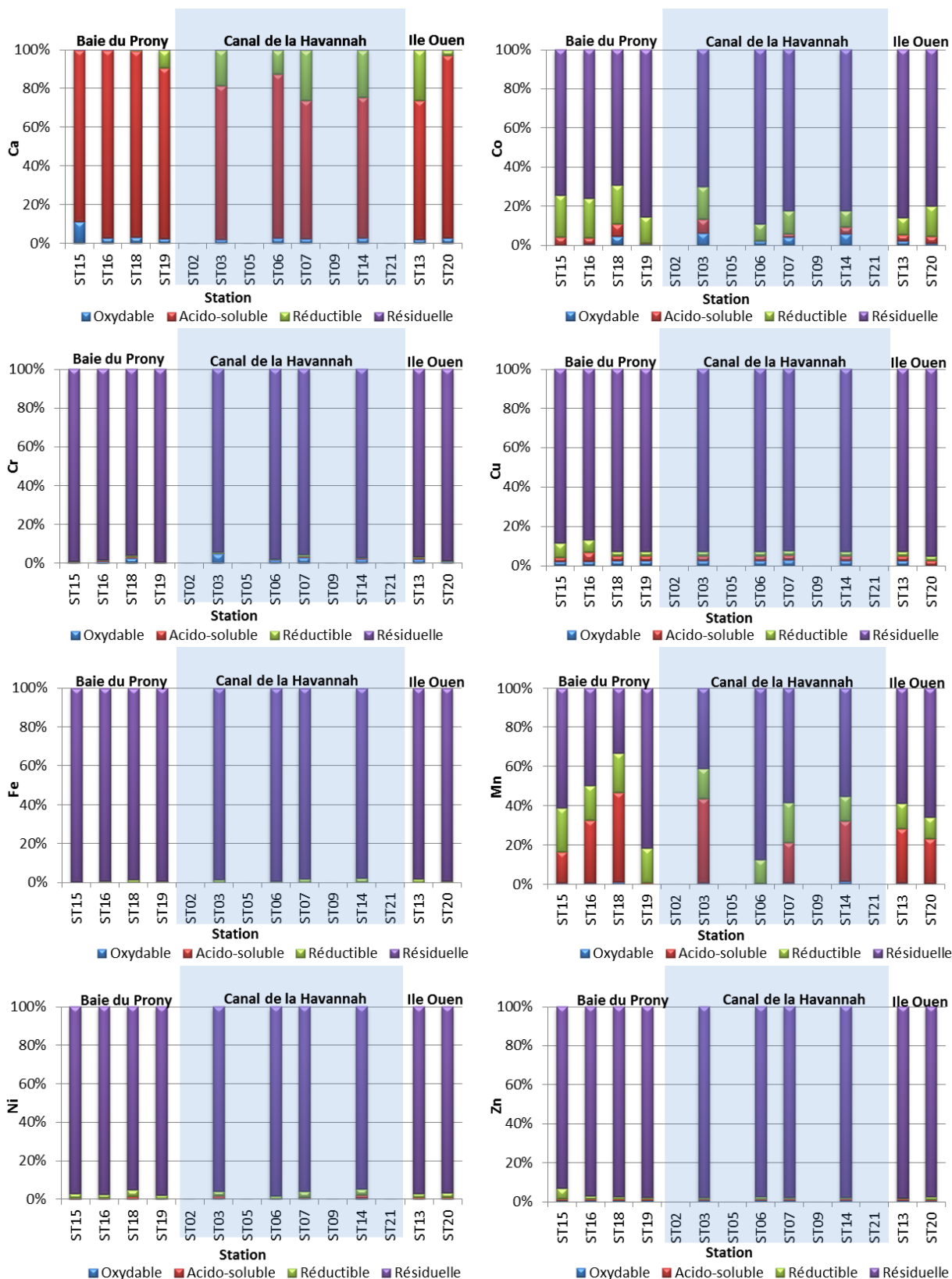


Figure 3 : Distribution des concentrations en Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn dans les fractions péloïtiques des sédiments de surface selon les 4 phases géochimiques (oxydable, acido-soluble, réductible et résiduelle).

Tableau 9 : Concentrations en Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn obtenues dans les fractions fines des sédiments de surface pour la phase oxydable et matrice de corrélation inter-éléments pour les éléments extraits.

Zone	Station	Phase Oxydable : concentrations en mg/kg ps*							
		Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Baie du Prony	ST15	4747	0,287	43,4	<0,25	<2,50	9,24	0,702	<1,25
	ST16	5031	0,330	30,3	<0,25	<2,50	4,30	0,617	<1,25
	ST18	6291	1,16	17,7	<0,25	<2,50	3,13	0,776	<1,25
	ST19	5303	<0,25	<0,5	<0,25	<2,50	<0,25	<0,50	<1,25
	Moyenne	5343	0,592	30,5	<0,25	<2,50	5,56	0,698	<1,25
	Ecart-type	672	0,492	12,8		3,24	0,080		
	CV (%)	13	83	42		58	11		
Canal de la Havannah	ST02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ST03	4958	1,59	37,3	<0,25	<2,50	1,70	0,716	<1,25
	ST05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ST06	5875	1,85	50,3	0,263	<2,50	1,45	0,817	<1,25
	ST07	6163	0,636	15,5	0,314	<2,50	0,760	0,834	<1,25
	ST09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ST14	5917	0,823	17,4	<0,25	4,46	1,60	1,12	<1,25
	ST21	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Moyenne	5728	1,22	30,1	0,289	4,46	1,38	0,872	<1,25
	Ecart-type	529	0,59	16,7	0,036		0,42	0,174	
	CV (%)	9	48	55	12		31	20	
Ile Ouen	ST13	5252	0,535	17,7	<0,25	<2,50	0,988	0,586	<1,25
	ST20	5032	1,11	39,3	<0,25	<2,50	2,80	0,817	<1,25
	Moyenne	5142	0,823	28,5	<0,25	<2,50	1,89	0,702	<1,25
	Ecart-type	156	0,407	15,3		1,28	0,163		
	CV (%)	3	49	53		68	23		

ND : valeur non déterminée.

Tableau 10 : Matrice de corrélation inter-éléments pour les éléments extraits de la phase oxydable des fractions fines des sédiments de surface (n = 10).

	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ca	1	0,2908	-0,3605	0,2920	-0,4725	0,5043
Co		1	0,5344	-0,0210	-0,2953	0,3899
Cr			1	-0,2151	0,5020	0,1728
Fe				1	-0,1365	0,7637
Mn					1	-0,0583
Ni						1

Tableau 11 : Concentrations en Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn obtenues dans les fractions fines des sédiments de surface pour la phase acido-soluble et matrice de corrélation inter-éléments pour les éléments extraits.

Zone	Station	Phase acido-soluble : concentrations en mg/kg*							
		Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Baie du Prony	ST15	37632	9,61	11,9	0,272	2,62	260	19,4	1,88
	ST16	170181	2,96	4,42	0,506	2,99	204	6,01	<1,25
	ST18	187303	1,61	3,06	<0,25	4,02	118	3,22	1,36
	ST19	209914	<0,25	<0,50	<0,25	<2,50	1,60	<0,50	<1,25
	Moyenne	151258	4,73	6,45	0,389	3,21	146	9,55	1,62
Ecart-type	77478	4,28	4,74	0,165	0,73	113	8,67	0,37	
CV (%)	51	91	73	43	23	77	91	23	
Canal de la Havannah	ST02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ST03	206416	1,80	<0,50	<0,25	4,95	90,4	4,22	1,27
	ST05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ST06	188656	<0,25	<0,50	<0,25	<2,5	<0,25	<0,50	<1,25
	ST07	197347	0,283	2,35	<0,25	5,06	22,0	1,53	<1,25
	ST09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ST14	158228	0,496	3,63	<0,25	5,95	36,5	2,08	<1,25
	ST21	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Moyenne	187662	0,860	2,99	<0,25	5,32	49,7	2,61	1,27	
Ecart-type	20919	0,821	0,91		0,55	36,0	1,42		
CV (%)	11	96	30		10	73	54		
Ile Ouen	ST13	194396	0,752	3,70	<0,25	8,56	46,2	2,56	<1,25
	ST20	162853	4,90	5,75	<0,25	8,66	158	12,1	<1,25
	Moyenne	178625	2,83	4,73	<0,25	8,61	102	7,33	<1,25
Ecart-type	22304	2,93	1,45		0,07	79	6,74		
CV (%)	12	104	31		1	77	92		

ND : valeur non déterminée.

Tableau 12 : Matrice de corrélation inter-éléments pour les éléments extraits de la phase acido-soluble des fractions fines des sédiments de surface (n = 10).

	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ca	1	-0,8826	-0,7183	0,4730	-0,8669	-0,6311
Co		1	0,8433	-0,4825	0,8225	0,8341
Cr			1	-0,1504	0,5273	0,6295
Fe				1	-0,5374	-0,5275
Mn					1	0,6945
Ni						1

Tableau 13 : Concentrations en Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn obtenues dans les fractions fines des sédiments de surface pour la phase réductible et matrice de corrélation inter-éléments pour les éléments extraits.

Zone	Station	Phase réductible : concentrations en mg/kg*							
		Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Baie du Prony	ST15	<10	50,7	40,8	0,946	887	360	68,6	11,9
	ST16	<10	17,8	13,4	0,738	831	111	24,1	3,38
	ST18	704	5,15	5,88	<0,25	432	52,3	8,72	2,37
	ST19	21494	7,96	7,90	<0,25	509	49,9	15,1	2,01
	Moyenne	11099	20,4	17,0	0,842	665	143	29,1	4,90
Ecart-type	14701	20,9	16,2	0,147	228	147	27,1	4,67	
CV (%)	132	103	95	17	34	103	93	95	
Canal de la Havannah	ST02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ST03	48006	4,25	4,86	<0,25	425	32,9	8,25	2,04
	ST05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ST06	27269	7,83	7,87	<0,25	509	49,0	17,1	3,00
	ST07	71229	1,83	5,35	<0,25	395	21,8	7,19	1,48
	ST09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ST14	52890	1,20	3,67	<0,25	411	15,1	5,22	1,45
	ST21	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Moyenne	49849	3,78	5,44	<0,25	435	29,7	9,44	1,99
Ecart-type	18070	3,00	1,77		51	14,8	5,25	0,72	
CV (%)	36	80	33		12	50	56	36	
Ile Ouen	ST13	70046	2,11	4,84	<0,25	489	21,6	6,57	<1,25
	ST20	4824	20,9	12,7	<0,25	778	75,3	39,7	2,58
	Moyenne	37435	11,5	8,77	<0,25	634	48,5	23,1	2,58
	Ecart-type	46119	13,3	5,56		204	38,0	23,4	
CV (%)	123	115	63		32	78	101		

ND : valeur non déterminée.

Tableau 14 : Matrice de corrélation inter-éléments pour les éléments extraits de la phase réductible des fractions fines des sédiments de surface (n = 10).

	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ca	1	-0,5373	-0,4397	-0,5157	-0,4748	-0,5226
Co		1	0,9781	0,8779	0,9742	0,9869
Cr			1	0,7932	0,9907	0,9450
Fe				1	0,7891	0,8898
Mn					1	0,9317
Ni						1

Tableau 15 : Concentrations en Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn obtenues dans les fractions fines des sédiments de surface pour la phase résiduelle et matrice de corrélation inter-éléments pour les éléments extraits.

Zone	Station	Phase résiduelle : concentrations en mg/kg*							
		Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Baie du Prony	ST15	<20	177	12174	11,5	252983	987	2739	<200
	ST16	23,6	66,8	2868	<10	93791	316	1122	<200
	ST18	446	17,8	642	<10	28860	86,3	253	<200
	ST19	303	49,8	2212	<10	61700	230	778	<200
	Moyenne	258	77,8	4474	11,5	109334	405	1223	<200
Ecart-type	215	69,2	5218		99367	400	1072		
CV (%)	83	89	117		91	99	88		
Canal de la Havannah	ST02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ST03	483	17,9	705	<10	26787	86,2	292	<200
	ST05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ST06	696	82,1	2918	<10	82534	348	1100	<200
	ST07	350	12,9	509	<10	19355	62,2	212	<200
	ST09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ST14	558	11,9	814	<10	17406	65,5	148	<200
	ST21	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Moyenne	522	31,2	1237	<10	36521	140	438	<200
Ecart-type	145	34,0	1128		30941	139	445		
CV (%)	28	109	91		85	99	102		
Ile Ouen	ST13	582	21,0	826	<10	26074	98,2	331	<200
	ST20	288	107	4887	<10	110403	456	1540	<200
	Moyenne	435	64,0	2857	<10	68239	277	936	<200
Ecart-type	208	60,8	2872		59630	253	855		
CV (%)	48	95	101		87	91	91		

ND : valeur non déterminée.

Tableau 16 : Matrice de corrélation inter-éléments pour les éléments extraits de la phase résiduelle des fractions fines des sédiments de surface (n = 10).

	Ca	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ca	1	-0,5932	-0,6425	-0,6787	-0,6317	-0,6523
Co		1	0,9640	0,9779	0,9871	0,9962
Cr			1	0,9909	0,9925	0,9731
Fe				1	0,9970	0,9890
Mn					1	0,9922
Ni						1

Les concentrations des principaux traceurs terrigènes (Co, Cr, Fe, Mn et Ni), analysés par phase géochimique pour les 5 campagnes triennales aux 6 stations sentinelles (St03 St06, St15, St16, St18 et St19) sont comparées et présentées dans les Tableau 17, Tableau 18, Tableau 19, Tableau 20, Tableau 21 et Tableau 22.

Remarque : aux stations St03 et St19 (2006), la quantité de fraction pélitique étant insuffisante pour la réalisation des extractions séquentielles, aucune donnée relative à ces analyses n'est présentée. Ainsi, la comparaison temporelle pour ces stations sera effectuée avec les données de 2009.

Les évolutions entre 2006/2009 (état de référence) et la campagne 2018 sont regroupées ci-dessous selon les stations:

- **St03 :** les concentrations mesurées en 2018 par rapport à celles de 2009, quels que soient les métaux considérés et la phase géochimique, sont soit en baisse, soit comparables, ce qui reflète un retour tout relatif aux valeurs initiales en matière d'apports et d'influences terrigène/marine (Tableau 17).
- **St06 :** de 2006 à 2018, quel que soit l'élément considéré, les concentrations dans la phase résiduelle restent relativement invariables contrairement à 3 autres fractions géochimiques dont les teneurs sont plus évolutives. En effet, excepté Cr, les concentrations des formes oxydables et carbonatées sont en forte baisse entre 2009 et 2018, tandis que celles de la fraction réductible sont particulièrement en forte hausse (facteur 15 pour Co) en 2015 ; en 2018, les concentrations sont redescendues à des niveaux comparables à ceux de 2006/2009. Pour le Cr, les concentrations augmentent pour les formes oxydables (facteur de 2) tandis que celles associées aux formes carbonatées sont en baisse importante, comme pour les autres métaux (Tableau 18).
- **St15 et St16 :** comparées à 2006 les concentrations mesurées en 2018 sont, soit en baisse, soit restent comparables quels que soient l'élément et la fraction géochimique considérés. La seule exception est observée pour le Cr de la phase oxydable dont les concentrations sur les 2 stations augmentent brusquement dès 2009 pour légèrement diminuer en 2012. Depuis, les valeurs se sont stabilisées. Néanmoins, la hausse entre 2006 et 2018 demeure avec un rapport de 25 et 9, respectivement. Des accroissements de Cr dans la phase carbonatée et en Mn dans la phase réductible sont également constatés (St16). Pour Ni, cela concerne la phase réductible pour la station St15 mais ces augmentations restent relativement modestes (rapport d'environ 2) (Tableau 19 et Tableau 20).
- **St18 et St19 :** quels que soient l'élément et les fractions géochimiques considérés, la majorité des valeurs observées en 2018 sont, soit en baisse, soit restent comparables à celles de 2006 (St18) et 2009 (St19). Les exceptions concernent notamment le Co des phases acido-solubles (carbonatés) et réductibles (oxy-hydroxydes) dont les concentrations augmentent à la St18 de l'ordre d'un facteur 6 et 11, respectivement ; la teneur en Mn réductible s'accroît également à cette station, cette hausse demeurant toutefois modérée (facteur 2). De la même manière, à la St19, l'accroissement des teneurs résiduelles du Co, Cr et Fe sont visibles, avec un rapport de 1,5 seulement et peuvent donc être considérées comme sans conséquence (Tableau 21 et Tableau 22).

Au final, pour les fractions considérées comme biodisponibles (phases oxydable + acido-soluble), toutes stations confondues, la seule hausse des concentrations entre les campagnes 2006/2009 (état initial) et 2018 est observée pour le Cr dont les teneurs ont augmenté d'un facteur 1,7 ; 4 et 6 aux stations St06, St15 et St16, respectivement. En revanche, les concentrations labiles d'autres métaux (Co, Fe, Mn et Ni) sont en diminution (Tableau 17 ; Tableau 18 ; Tableau 19 ; Tableau 20 ; Tableau 21 et Tableau 22).

Tableau 17 : Evolution des concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni associées aux différentes fractions géochimiques (oxydable, acido-soluble, réductible, résiduelle, totale et labile) mesurées dans les fractions péloïtiques de la station sentinelle St03 lors des différentes campagnes du suivi des sédiments de surface.

		St03					
Elements	Campagne	Fraction (mg/kg ps)*					
		Oxydable	Acido-soluble	Réductible	Résiduelle	Totale	Disponible
Co	2006	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2009	8,85	19,20	13,80	27,70	69,55	28,1
	2012	1,21	6,65	6,68	73,69	88,23	7,86
	2015	2,24	2,35	12,17	49,01	65,77	4,58
	2018	1,59	1,80	4,20	18,00	25,59	3,39
Cr	2006	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2009	47,7	25,5	16,80	945	1035	73,2
	2012	57,8	15,0	7,07	2932	3012	72,8
	2015	73,3	2,95	42,35	2131	2250	76,2
	2018	37,0	0,500	5,00	705	748	37,5
Fe	2006	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2009	4,69	380	682	29253	30320	385
	2012	4,44	20,9	307	87407	87739	25,3
	2015	2,50	2,50	1993	55563	57561	5,00
	2018	2,50	4,95	425	26787	27219	7,45
Mn	2006	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2009	13,6	213	61,0	197	485	227
	2012	1,20	253	38,2	403	696	254
	2015	4,92	136	53,3	240	435	141
	2018	1,70	90,0	33,0	86,0	211	91,7
Ni	2006	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2009	8,05	5,35	21,4	516	551	13,4
	2012	0,775	20,3	13,0	1620	1654	21,1
	2015	1,15	8,89	36,2	967	1013	10,0
	2018	0,716	4,22	8,20	292	305	4,94

* pour faciliter la lecture des tendances, les concentrations non quantifiables (surlignées en rouge) sont majorées à la limite de la quantification ; ND : valeur non déterminée.

Tableau 18 : Evolution des concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni associées aux différentes fractions géochimiques (oxydable, acido-soluble, réductible, résiduelle, totale et labile) mesurées dans les fractions pélitiques de la station sentinelle St06 lors des différentes campagnes du suivi des sédiments de surface.

		St06					
Elements	Campagne	Fraction (mg/kg ps)*					
		Oxydable	Acido-soluble	Réductible	Résiduelle	Totale	Disponible
Co	2006	8,42	0,872	1,52	56,1	66,87	9,29
	2009	11,8	18,3	13,5	35,6	79,20	30,1
	2012	1,13	6,94	6,50	72,3	86,85	8,07
	2015	0,605	3,24	23,0	88,5	115	3,85
	2018	1,80	0,250	7,80	82,0	91,85	2,05
Cr	2006	24,8	5,09	4,95	3291	3326	29,9
	2009	69,7	24,0	16,8	1780	1891	93,7
	2012	54,2	15,7	8,45	2850	2928	69,9
	2015	81,0	4,79	51,6	5373	5510	85,8
	2018	50,0	0,500	8,00	2918	2977	50,5
Fe	2006	19,2	76,9	273	112131	112500	96,1
	2009	2,50	328	407	59328	60066	331
	2012	2,50	32,6	405	85316	85756	35,1
	2015	2,50	10,1	1432	136403	137848	12,6
	2018	2,50	2,50	509	82534	83048	5,00
Mn	2006	38,9	242	35,3	341	658	281
	2009	34,3	195	65,8	371	666	229
	2012	1,05	250	35,6	391	677	251
	2015	7,88	171	84,1	554	817	179
	2018	1,00	0,250	49,0	348	398	1,25
Ni	2006	16,9	9,57	14,6	1075	1116	26,5
	2009	10,6	5,50	22,9	1004	1043	16,1
	2012	0,655	20,2	12,8	1570	1604	20,8
	2015	1,70	10,8	54,3	2304	2371	12,5
	2018	0,800	0,500	17,1	1100	1118	1,30

* pour faciliter la lecture des tendances, les concentrations non quantifiables (surlignées en rouge) sont majorées à la limite de la quantification.

Tableau 19 : Evolution des concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni associées aux différentes fractions géochimiques (oxydable, acido-soluble, réductible, résiduelle, totale et labile) mesurées dans les fractions péloïtiques de la station sentinelle St15 lors des différentes campagnes du suivi des sédiments de surface.

		St15					
Elements	Campagne	Fraction (mg/kg ps)					
		Oxydable	Acido-soluble	Réductible	Résiduelle	Totale	Disponible
Co	2006	2,08	25,2	53,5	194	274	27,3
	2009	6,00	39,6	74,1	137	257	45,6
	2012	0,250	19,0	39,0	216	274	19,2
	2015	0,406	9,40	129	182	321	9,80
	2018	0,300	9,60	50,7	177	238	9,90
Cr	2006	1,71	12,45	25,4	16535	16575	14,2
	2009	70,2	40,5	59,5	8890	9060	111
	2012	44,7	29,5	40,1	13113	13227	74,2
	2015	58,3	9,48	237	14238	14543	67,8
	2018	43,0	12,0	41,0	12174	12270	55,0
Fe	2006	47,5	6,08	662	380823	381539	53,6
	2009	2,50	37,6	867	228732	229639	40,1
	2012	2,50	5,20	393	252287	252688	7,70
	2015	2,50	2,50	2159	317008	319172	5,00
	2018	2,50	3,00	887	252983	253876	5,50
Mn	2006	156	720	327	1282	2485	876
	2009	80,1	549	517	1499	2645	629
	2012	4,64	543	328	1207	2083	548
	2015	15,8	397	928	1276	2616	413
	2018	9,00	260	360	987	1616	269
Ni	2006	12,6	41,5	44,2	4009	4107	54,2
	2009	8,57	12,3	95,7	2893	3010	20,9
	2012	0,500	41,2	45,8	3653	3740	41,7
	2015	1,09	13,9	183	3960	4158	15,0
	2018	0,700	19,4	68,6	2739	2828	20,1

* pour faciliter la lecture des tendances, les concentrations non quantifiables (surlignées en rouge) sont majorées à la limite de la quantification.

Tableau 20 : Evolution des concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni associées aux différentes fractions géochimiques (oxydable, acido-soluble, réductible, résiduelle, totale et labile) mesurées dans les fractions péloïtiques de la station sentinelle St16 lors des différentes campagnes du suivi des sédiments de surface.

		St16					
Elements	Campagne	Fraction (mg/kg ps)					
		Oxydable	Acido-soluble	Réductible	Résiduelle	Totale	Disponible
Co	2006	1,48	4,78	15,3	63,2	84,8	6,26
	2009	10,8	20,8	22,7	34,8	89,1	31,6
	2012	0,332	8,71	11,9	73,8	94,8	9,04
	2015	0,323	3,51	25,9	63,4	93,1	3,83
	2018	0,300	3,00	17,8	67,0	88,1	3,30
Cr	2006	3,49	2,23	21,0	4013	4040	5,72
	2009	42,9	18,3	21,2	1511	1593	61,2
	2012	33,9	14,1	9,3	3123	3180	48,0
	2015	36,0	2,50	38,4	3419	3495	38,5
	2018	30,0	4,00	13,0	2868	2915	34,0
Fe	2006	29,3	3,82	1266	110902	112201	33,1
	2009	2,50	49,0	792	51396	52240	51,5
	2012	2,50	22,9	428	86129	86582	25,4
	2015	2,50	2,50	1581	99429	101015	5,00
	2018	2,50	3,00	831	93791	94628	5,50
Mn	2006	103	324	60,1	247	735	427
	2009	50,6	382	90,6	286	809	433
	2012	3,10	410	70,1	356	840	413
	2015	27,6	430	151	350	958	458
	2018	4,00	204	111	316	635	208
Ni	2006	13,3	10,1	28,5	1210	1262	23,4
	2009	8,03	5,19	30,3	801	845	13,2
	2012	0,500	16,5	14,2	1350	1381	17,0
	2015	0,870	8,90	33,3	1415	1458	9,77
	2018	0,600	6,00	24,0	1122	1153	6,60

* pour faciliter la lecture des tendances, les concentrations non quantifiables (surlignées en rouge) sont majorées à la limite de la quantification.

Tableau 21 : Evolution des concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni associées aux différentes fractions géochimiques (oxydable, acido-soluble, réductible, résiduelle, totale et labile) mesurées dans les fractions péloïtiques de la station sentinelle St18 lors des différentes campagnes du suivi des sédiments de surface.

		St18*					
Elements	Campagne	Fraction (mg/kg ps)					
		Oxydable	Acido-soluble	Réductible	Résiduelle	Totale	Disponible
Co	2006	4,62	0,250	0,471	27,9	33,19	4,87
	2009	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2012	0,831	5,60	4,66	37,4	48,53	6,43
	2015	4,30	3,46	17,4	129	154	7,76
	2018	1,20	1,60	5,20	18,0	26,00	2,80
Cr	2006	11,5	3,02	8,96	1639	1662	14,5
	2009	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2012	26,3	11,1	5,04	1542	1584	37,4
	2015	49,3	5,41	38,7	6069	6162	54,7
	2018	18,0	3,00	6,00	642	669	21,0
Fe	2006	19,8	19,48	754	42816	43609	39,3
	2009	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2012	2,50	29,5	317	43936	44285	32,0
	2015	2,50	8,65	2861	219257	222129	11,2
	2018	2,50	4,00	432	28860	29299	6,50
Mn	2006	68,4	101	24,6	132	325	169
	2009	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2012	1,11	246	24,00	179	449	247
	2015	42,5	218	1064	795	2120	261
	2018	3,00	118	52,0	86,0	259	121
Ni	2006	18,9	2,47	16,4	532	569	21,4
	2009	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2012	0,500	10,8	8,86	715	735	11,3
	2015	2,62	9,31	44,3	3720	3776	11,9
	2018	0,800	3,20	8,70	253	266	4,00

* pour faciliter la lecture des tendances, les concentrations non quantifiables (surlignées en rouge) sont majorées à la limite de la quantification ; ND : valeur non déterminée.

Tableau 22 : Evolution des concentrations en Co, Cr, Fe, Mn et Ni associées aux différentes fractions géochimiques (oxydable, acido-soluble, réductible, résiduelle, totale et labile) mesurées dans les fractions péloïtiques de la station sentinelle St19 lors des différentes campagnes du suivi des sédiments de surface.

		St19*					
Elements	Campagne	Fraction (mg/kg ps)					
		Oxydable	Acido-soluble	Réductible	Résiduelle	Totale	Disponible
Co	2006	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2009	10,10	17,10	15,90	31,80	74,90	27,20
	2012	0,773	5,78	5,87	52,19	64,61	6,56
	2015	0,963	2,65	15,95	55,99	75,55	3,61
	2018	0,250	0,250	8,00	50,00	58,50	0,500
Cr	2006	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2009	45,70	19,80	17,80	1522	1605	65,50
	2012	31,40	11,30	5,92	2168	2217	42,70
	2015	50,37	2,00	30,80	2861	2945	52,37
	2018	0,500	0,500	8,00	2212	2221	1,00
Fe	2006	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2009	7,20	173	585	42006	42771	180
	2012	2,50	31,60	302	54938	55274	34,10
	2015	2,50	11,25	1200	71906	73120	13,75
	2018	2,50	2,50	509	61700	62214	5,00
Mn	2006	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2009	21,50	249	69,10	259	599	271
	2012	1,90	246	41,60	251	540	248
	2015	8,04	174	70,43	296	549	182
	2018	0,250	2,00	50,00	230	282	2,25
Ni	2006	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	2009	10,00	4,50	25,40	701	741	14,50
	2012	0,500	11,54	10,65	947	970	12,04
	2015	0,820	6,86	33,27	1241	1282	7,68
	2018	0,500	0,500	15,10	778	794	1,00

* pour faciliter la lecture des tendances, les concentrations non quantifiables (surlignées en rouge) sont majorées à la limite de la quantification ; ND : valeur non déterminée.

IV. CONCLUSION

A l'issue de cette 4^{ème} campagne de suivi réglementaire de la qualité des sédiments de surface, les principales observations à retenir sont :

- la dominance de fraction pélitique composant les sédiments prélevés aux stations St15, St16 et St19 dont les proportions sont en hausse à la St15 (Rade du Nord) et St16 (Port du commerce) par rapport à l'état de référence conduit en 2006. Les minéraux carbonatés (Calcite et Aragonite) dominent la composition des sédiments sur l'ensemble du réseau sauf à la St15 où la composante terrigène est majoritaire (Goethite, Gibbsite, Serpentine et Kandites). Dans une moindre mesure, ces minéraux sont également décelables aux stations St06, St16, St19 et St20, ces stations étant proches des sources d'apports en eau douce.
- les concentrations totales en Co, Cr, Fe, Mn et Ni (éléments représentatifs du cortège latéritique) sont bien plus importantes que celles de Cu et Zn qui comparativement se retrouvent à l'état de traces. Pour ces métaux latéritiques, une remarquable distribution « côte-large » décroissante des concentrations est observée, quelle que soit la zone d'étude (Baie du Prony, Canal de la Havannah et Ile Ouen). Cette distribution peut être mise en relation avec la localisation de chaque station et l'expression des différentes influences (termes sources) conjuguées aux conditions hydrodynamiques et aux phénomènes de dispersion des apports. En effet, des teneurs faibles ont été observées dans les zones soumises à un fort hydrodynamisme, éloignées de la côte (St07, St13, St14 et St18). A l'inverse, les teneurs les plus fortes ont été constatées dans les zones de faible hydrodynamisme (St03, St06, St15, St16, St19 et St20) ; les ratios Ca/Fe soulignant, de surcroît, que l'apport terrigène est amplement prépondérant à la St15. Toutefois, pour cette campagne comparée à celle de l'état de référence (2006/2009), aucun enrichissement des teneurs en Co, Cr, Fe, Mn et Ni total n'est à constater, ni en St15, ni pour les autres stations sentinelles (St03, St06, St16, St18 et St19) du réseau.
- la distribution des éléments dans les différentes fractions géochimiques a montré que Co, Cr, Fe Mn et Ni sont majoritairement liés aux phases réductibles résiduelles (matrice latéritique), voire (oxy-hydroxydes) et de fait, sont peu disponibles pour les organismes vivants ; Mn, par son association à la phase acido-soluble (carbonates), serait potentiellement plus labile. Ces éléments suivent un gradient de concentration spatiale qui est régie par la distance aux termes sources terrigènes (embouchures des creeks) et les phénomènes de dispersion/dilution, quelle que soit la zone d'étude. Par conséquent, le Creek de la Rade Nord (Baie du Prony), le bassin versant de la Kwé (Canal de la Havannah) et la Iré (Ile Ouen), sont identifiables comme prépondérants dans l'apport en métaux latéritiques. En comparaison, la répartition des concentrations pour les métaux associés aux phases oxydables (matière organique) et acido-solubles (carbonates) est moins continue, suggérant ainsi que les apports en Co, Cr, Fe, Mn et Ni ne seraient pas générés par un seul et même terme source direct. Dans tous les cas, au vu des faibles teneurs mesurées dans les fractions oxydables (matière organique) et acido-solubles (carbonates), le risque écotoxicologique par ces formes chimiques semble relativement faible, en l'état du suivi environnemental. Contrairement aux quantités totales, entre la campagne 2006/2009 (état de référence) et celle de 2018, les concentrations diminuent fortement, notamment pour les phases oxydables, acido-solubles et réductibles. Globalement, les concentrations en hausses notables, constatées en 2015 pour le Co dans les phases acido-solubles (carbonates ; St18) et réductibles (oxy-hydroxydes ; St06 et St18), ainsi que le Cr pour la phase oxydable (matière organique ; St06, St15 et St16), sont revenues à des niveaux bien plus faibles en 2018.

REFERENCES

Ackermann F, 1980. A procedure for correcting the grain size effect in heavy metal analyses of estuarine and coastal sediments. *Environment Technology Letters* 1, pp 518–527.

Deely, JM, Fergusson, JE, 1994. Heavy metal and organic matter concentrations and distribution in dated sediments of a small estuary adjacent to a small urban area. *Science of the Total Environment*, 153, pp 97–111.

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

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.

Fernandez JM, Moreton B, Gerard P, Belhandouz A, Fichez R, 2006. Etat de référence : qualité physico-chimique des eaux et niveaux de concentration des métaux dans les sédiments. Convention IRD/Goro-Nickel n°9135 A0, 79p.

Fernandez JM, Moreton B, Dolbecq M, 2010. Suivi sédimentologique triennal 2009 : distribution des métaux dans les sédiments de surface et taux d'accumulation en St133 (Ile Ouen). Convention IRD/Vale-INCO n°2285, 44p.

Fernandez JM, Moreton B, Le Grand H, 2013. Qualité physico-chimique des sédiments marins : suivi réglementaire triennal 2012. Contrat Vale-NC/AEL n° E45538, 56p.

Mayer LM, Fink LK, 1979. Granulometric control of chromium accumulation in estuarine sediments in Maine. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 11, pp 491–503.

Tessier A, Campbell PGC, Bisson M, 1979. Sequential procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry*, 51, pp. 844-851.

Quevauvillier P., Rauret G., Jtipez-Sanchez F., Rubio R., Ure A., Muntau H. 1997. Certification of trace metal extractable contents in a sediment reference material (CRM 601) following a three-step sequential extraction procedure. *Science of the Total Environment*, 205 : 223- 234.

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES STATIONS DE PRELEVEMENT DU SUIVI DE LA QUALITE GEOCHIMIQUE DES SEDIMENTS DE SURFACE DANS LA ZONE D'INFLUENCE DE L'USINE DE VALE-NC (LE TRAIT ROUGE REPRESENTA L'EMPLACEMENT DU DIFFUSEUR). 9	
FIGURE 2 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE DE LA FRACTION PELTIQUE DES SEDIMENTS DE SURFACE	13
FIGURE 3 : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN CA, CO, CR, CU, FE, MN, NI ET ZN DANS LES FRACTIONS PELTIQUES DES SEDIMENTS DE SURFACE SELON LES 4 PHASES GEOCHIMIQUES (OXYDABLE, ACIDO-SOUBLE, REDUCTIBLE ET RESIDUELLE).....	22

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : LISTE ET POSITION DES STATIONS DE PRELEVEMENT DU SUIVI DE LA QUALITE GEOCHIMIQUE DES SEDIMENTS DE SURFACE DANS LA ZONE D'INFLUENCE DE L'USINE DE VALE-NC.	8
TABLEAU 2 : COMPILATION DES POURCENTAGES DE FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) OBTENUS (MOYENNES ET ECART-TYPES) LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES DU SUIVI DE SEDIMENTS DE SURFACE.	12
TABLEAU 3 : COMPOSITION MINERALOGIQUE DE LA FRACTION FINE ($\varnothing < 41 \mu\text{M}$) DES SEDIMENTS DE SURFACE.	14
TABLEAU 4 : CONCENTRATIONS EN CA, CO, CR, FE, MN ET NI MESUREES DANS LES FRACTIONS FINES DES SEDIMENTS DE SURFACE. .	16
TABLEAU 5 : MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS DES CONCENTRATIONS DE METAUX ET DU CALCIUM TOTAUX MESUREES DANS LES FRACTIONS FINES DES SEDIMENTS DE SURFACE (N = 10).	16
TABLEAU 6 : EVOLUTION DES RATIOS CA/FE MESURES DANS LES FRACTIONS PELIQUES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES DU SUIVI GEOCHIMIQUE DES SEDIMENTS DE SURFACE.	17
TABLEAU 7 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS TOTALES EN CA, CO, CR, FE, MN ET NI MESUREES DANS LES FRACTIONS PELIQUES DES STATIONS SENTINELLES LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES DU SUIVI GEOCHIMIQUE DES SEDIMENTS DE SURFACE.	18
TABLEAU 8 : CONCENTRATIONS EN CA, CO, CR, CU, FE, MN, NI ET ZN (MOYENNES, ECART-TYPES ET VALEURS EXTREMES) OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES DES SEDIMENTS DE SURFACE ET LA DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS SELON LES PHASES GEOCHIMIQUES (OXYDABLE, ACIDO-SOUBLE, REDUCTIBLE ET RESIDUELLE).	21
TABLEAU 9 : CONCENTRATIONS EN CA, CO, CR, CU, FE, MN, NI ET ZN OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES DES SEDIMENTS DE SURFACE POUR LA PHASE OXYDABLE ET MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS POUR LES ELEMENTS EXTRAITS.	23
TABLEAU 10 : MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS POUR LES ELEMENTS EXTRAITS DE LA PHASE OXYDABLE DES FRACTIONS FINES DES SEDIMENTS DE SURFACE (N = 10).	23
TABLEAU 11 : CONCENTRATIONS EN CA, CO, CR, CU, FE, MN, NI ET ZN OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES DES SEDIMENTS DE SURFACE POUR LA PHASE ACIDO-SOLUBLE ET MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS POUR LES ELEMENTS EXTRAITS.	24
TABLEAU 12 : MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS POUR LES ELEMENTS EXTRAITS DE LA PHASE ACIDO-SOLUBLE DES FRACTIONS FINES DES SEDIMENTS DE SURFACE (N = 10).	24
TABLEAU 13 : CONCENTRATIONS EN CA, CO, CR, CU, FE, MN, NI ET ZN OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES DES SEDIMENTS DE SURFACE POUR LA PHASE REDUCTIBLE ET MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS POUR LES ELEMENTS EXTRAITS.	25
TABLEAU 14 : MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS POUR LES ELEMENTS EXTRAITS DE LA PHASE REDUCTIBLE DES FRACTIONS FINES DES SEDIMENTS DE SURFACE (N = 10).	25
TABLEAU 15 : CONCENTRATIONS EN CA, CO, CR, CU, FE, MN, NI ET ZN OBTENUES DANS LES FRACTIONS FINES DES SEDIMENTS DE SURFACE POUR LA PHASE RESIDUELLE ET MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS POUR LES ELEMENTS EXTRAITS.	26
TABLEAU 16 : MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS POUR LES ELEMENTS EXTRAITS DE LA PHASE RESIDUELLE DES FRACTIONS FINES DES SEDIMENTS DE SURFACE (N = 10).	26
TABLEAU 17 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN CO, CR, FE, MN ET NI ASSOCIEES AUX DIFFERENTES FRACTIONS GEOCHIMIQUES (OXYDABLE, ACIDO-SOUBLE, REDUCTIBLE, RESIDUELLE, TOTALE ET LABILE) MESUREES DANS LES FRACTIONS PELIQUES DE LA STATION SENTINELLE ST03 LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES DU SUIVI DES SEDIMENTS DE SURFACE.	28
TABLEAU 18 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN CO, CR, FE, MN ET NI ASSOCIEES AUX DIFFERENTES FRACTIONS GEOCHIMIQUES (OXYDABLE, ACIDO-SOUBLE, REDUCTIBLE, RESIDUELLE, TOTALE ET LABILE) MESUREES DANS LES FRACTIONS PELIQUES DE LA STATION SENTINELLE ST06 LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES DU SUIVI DES SEDIMENTS DE SURFACE.	29
TABLEAU 19 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN CO, CR, FE, MN ET NI ASSOCIEES AUX DIFFERENTES FRACTIONS GEOCHIMIQUES (OXYDABLE, ACIDO-SOUBLE, REDUCTIBLE, RESIDUELLE, TOTALE ET LABILE) MESUREES DANS LES FRACTIONS PELIQUES DE LA STATION SENTINELLE ST15 LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES DU SUIVI DES SEDIMENTS DE SURFACE.	30
TABLEAU 20 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN CO, CR, FE, MN ET NI ASSOCIEES AUX DIFFERENTES FRACTIONS GEOCHIMIQUES (OXYDABLE, ACIDO-SOUBLE, REDUCTIBLE, RESIDUELLE, TOTALE ET LABILE) MESUREES DANS LES FRACTIONS PELIQUES DE LA STATION SENTINELLE ST16 LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES DU SUIVI DES SEDIMENTS DE SURFACE.	31

TABLEAU 21 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN Co, Cr, Fe, Mn ET Ni ASSOCIEES AUX DIFFERENTES FRACTIONS GEOCHIMIQUES (OXYDABLE, ACIDO-SOUBLE, REDUCTIBLE, RESIDUELLE, TOTALE ET LABILE) MESUREES DANS LES FRACTIONS PELTIQUES DE LA STATION SENTINELLE ST18 LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES DU SUIVI DES SEDIMENTS DE SURFACE. 32

TABLEAU 22 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN Co, Cr, Fe, Mn ET Ni ASSOCIEES AUX DIFFERENTES FRACTIONS GEOCHIMIQUES (OXYDABLE, ACIDO-SOUBLE, REDUCTIBLE, RESIDUELLE, TOTALE ET LABILE) MESUREES DANS LES FRACTIONS PELTIQUES DE LA STATION SENTINELLE ST19 LORS DES DIFFERENTES CAMPAGNES DU SUIVI DES SEDIMENTS DE SURFACE. 33

ANNEXES

ANNEXE 1..... 40
ANNEXE 2..... 42
ANNEXE 3..... 47

ANNEXE 1

METHODOLOGIE

GRANULOMETRIE

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

MINERALOGIE (DRX)

Les déterminations minéralogiques sont effectuées par diffraction de rayons X (DRX) sur quatre échantillons de fraction fine ($\varnothing < 41 \mu\text{m}$). Cette analyse a été confiée à l'ALS Metallurgy basé en Australie.

DOSAGE DE LA CONCENTRATION TOTALE DES METAUX

La concentration totale des éléments, contenue dans les différents horizons de la carotte sédimentaire, a été déterminée par l'addition des concentrations analysées lors des extractions séquentielles sélectives menées sur la fraction pélitique des sédiments (voir protocole « *dosage des métaux dans les phases géochimiques* »).

DOSAGE DES METAUX DANS LES PHASES GEOCHIMIQUES

Les étapes d'extractions séquentielles ont été conduites avec un protocole modifié de type [Tessier et al., 1979](#) et [Quevauvillier et al., 1997](#) comprenant 4 phases géochimiques. Cette méthode d'extraction est adaptée aux milieux carbonatés.

Pour chaque échantillon, 2 g de pélites ont été nécessaires pour extraire les métaux des 4 phases géochimiques qui sont :

- **La phase oxydable (Phase 1)** : Cette fraction représente les éléments liés à la matière organique et aux sulfures des sédiments. Leur extraction est conduite par un oxydant fort (H_2O_2) en milieu acide ;
- **La phase acido-soluble (Phase 2)** : C'est une fraction facilement solubilisable par l'utilisation d'un acide faible tamponné ($\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COONH}_4$) qui attaque en particulier la matrice carbonatée du sédiment. Elle contient également des éléments très faiblement liés aux autres phases géochimiques ;
- **Formes réductibles (Phase 3)** : Elles sont associées aux oxy-hydroxydes de fer et de manganèse principalement. Leur extraction s'opère avec un agent réducteur puissant (NH_2OH , HCl) en milieu faiblement acide ;
- **La phase résiduelle (Phase 4)** : Elle représente les éléments fortement liés aux constituants de la matière minérale tels que les silicates et aluminosilicates. L'analyse des métaux réfractaires a été conduite après attaque de la matrice géochimique par fusion alcaline, selon le protocole en vigueur à l'IRD. Brièvement, il s'agit de faire réagir du tétraborate de lithium et du sédiment à haute température (1100°C) puis, après refroidissement partiel, de dissoudre les billes d'amalgame formées dans une solution acide (HCl).

Tous les réactifs utilisés sont de marque Merck, qualité ProAnalysis. Les béciers et ustensiles sont soit en verre, PEHD ou en Teflon®.

Après une mise en solution, les huit éléments suivants ont été analysés par ICP-OES : Ca, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni et Zn.

Après conversion des données en concentrations relatives, les limites de quantification (LQ en mg/kg MS) des métaux sont les suivantes :

Elément	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Phase 1, 2 et 3 (mg/kg ps)	13	0,125	0,250	0,125	0,500	0,125	0,250	1,25
Phase 4 (mg/kg ps)	-	5		4	-	-	41	103

TRAITEMENTS STATISTIQUES

L'usage des LQ permet de s'assurer du niveau de sensibilité des analyses mais a pour conséquence d'éliminer des données lors des traitements statistiques lorsque les métaux sont en très faibles concentrations. Avec des jeux de données peu denses, les concentrations moyennes sont alors artificiellement majorées. Dans cette étude, afin de se rapprocher de la réalité, les valeurs en dessous de la LQ sont majorées au seuil de limites respectives pour chaque élément.

ANNEXE 2

OBSERVATIONS MICROSCOPIQUES DE FRACTION > 41 µm



St15



St16



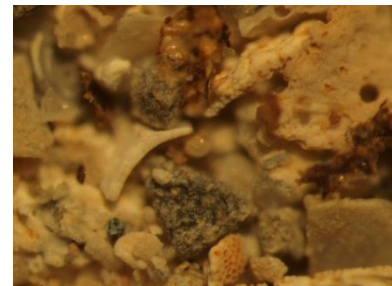
St18



St19



St03



St06



St07



St14



St21



St13



St20

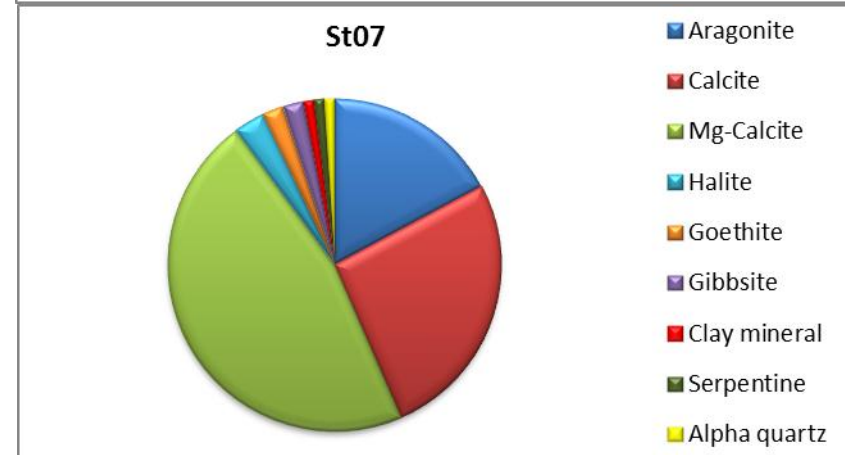
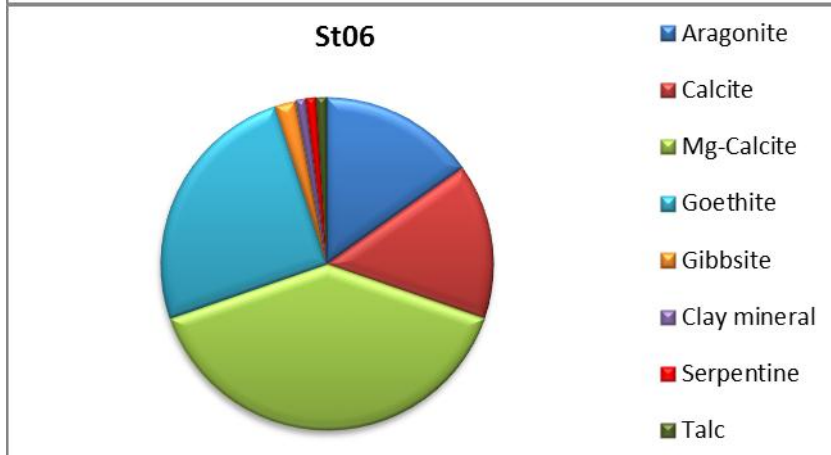
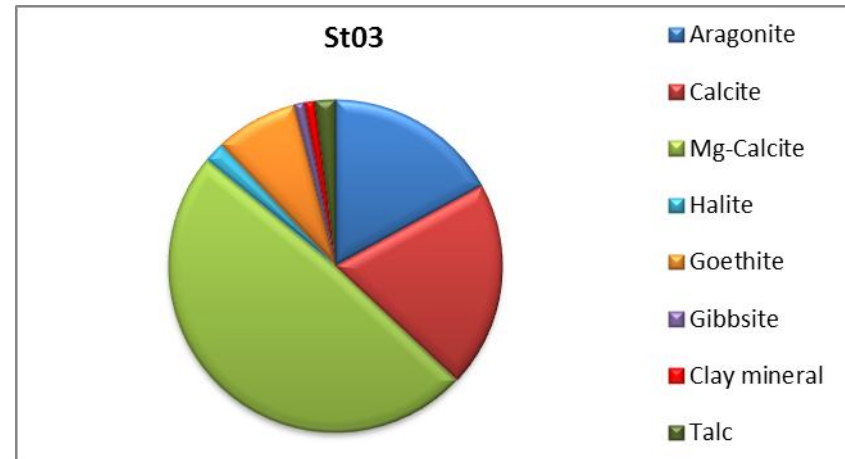
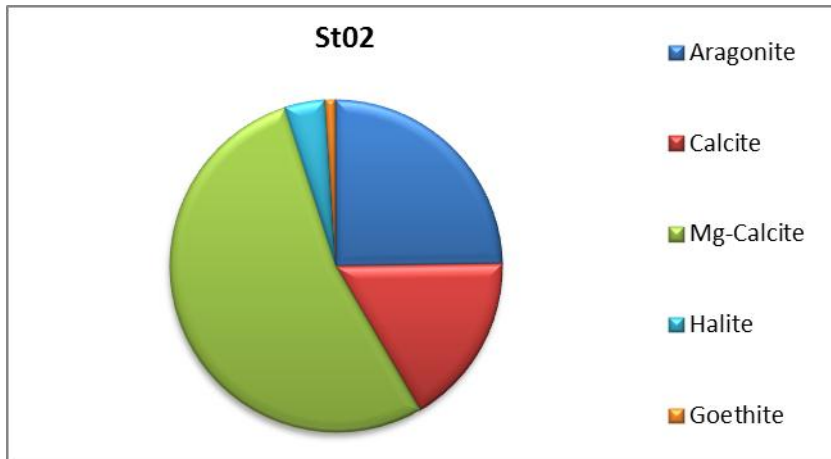
PARAMETRES GRANULOMETRIQUES ET MINERALOGIQUES

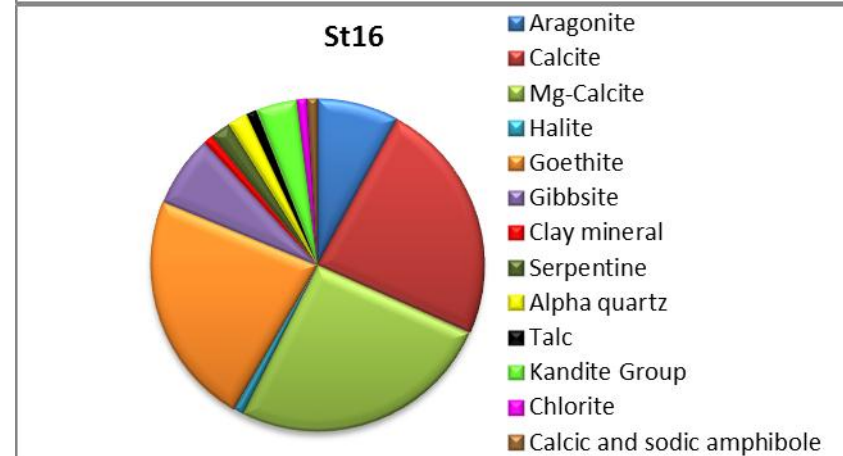
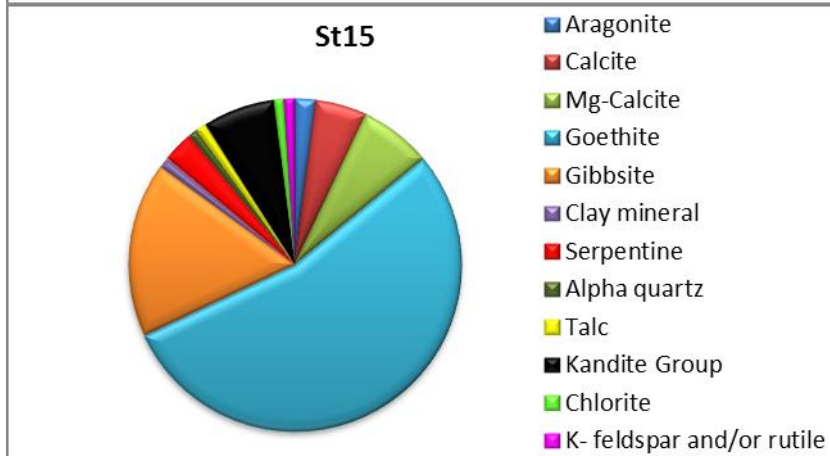
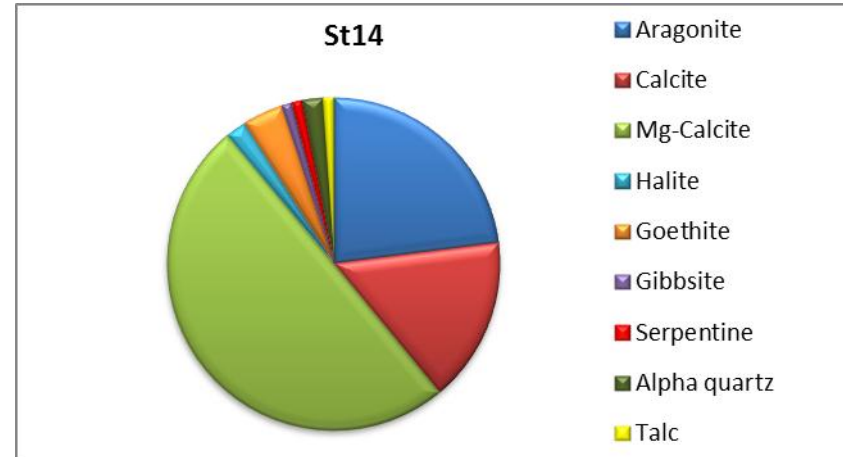
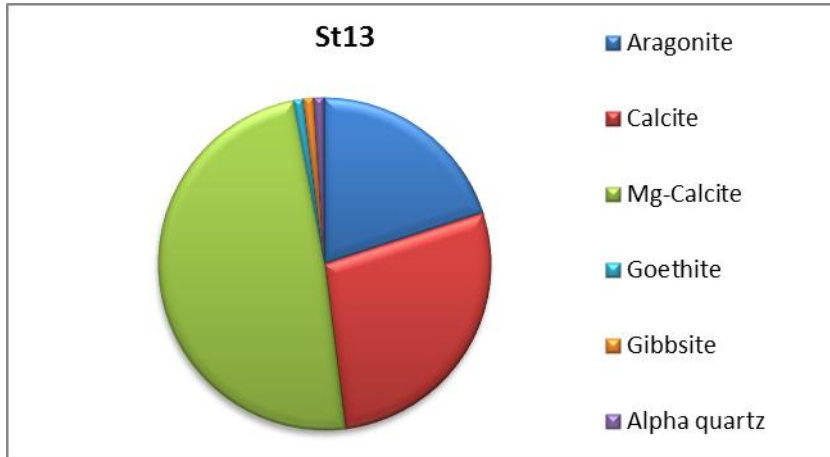
Distribution granulométrique des fractions péltiques des sédiments de surface.

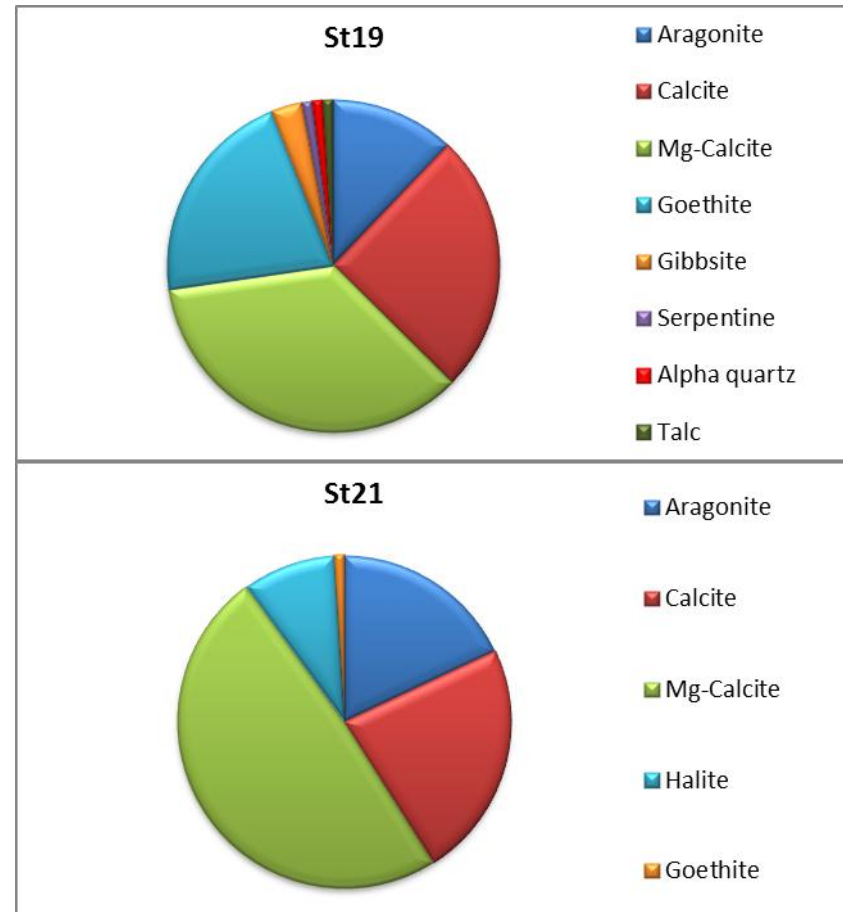
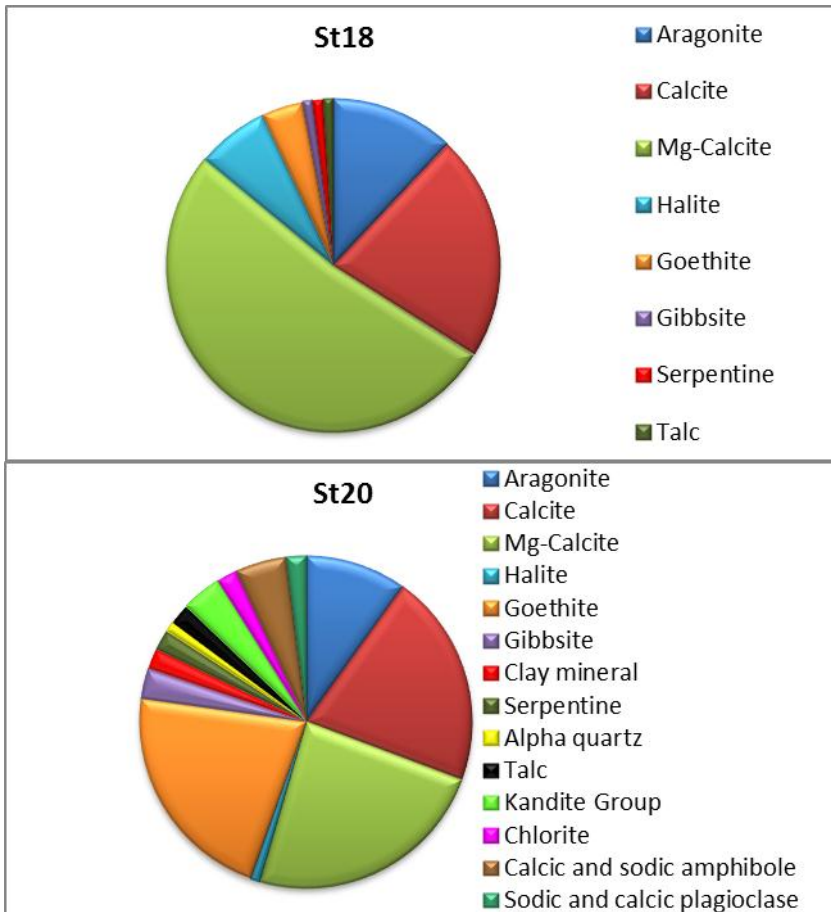
Zone	Station	% Classe de taille*				
		0,02 à 2,00 µm	2,0 à 20 µm	20 à 40 µm	40 à 63 µm	> 63 µm
Baie du Prony	St15	9	54	26	9	2
	St16	9	52	28	10	2
	St18	10	41	30	15	5
	St19	8	48	31	11	2
Canal de la Havannah	St02	16	53	21	8	2
	St03	6	39	36	16	3
	St05	ND	ND	ND	ND	ND
	St06	6	41	32	15	5
	St07	6	46	32	13	3
	St09	ND	ND	ND	ND	ND
	St14	4	26	41	23	6
Ile Ouen	St21	7	40	32	16	5
	St13	4	31	39	20	6
	St20	8	49	29	11	2

* : La somme des classes granulométriques peut différer de 100 % dû à l'arrondissement des valeurs ; ND : valeur non déterminée.

Composition minéralogique des fractions pélitiques des sédiments de surface.







ANNEXE 3

COMPOSITION GEOCHIMIQUE

Distribution des métaux et calcium sur les différentes phases géochimiques des fractions péliques des sédiments de surface.

Zone	Station	Phase Oxydable : concentrations en mg/kg ps							
		Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Baie du Prony	ST15	4747	0,287	43,4	<0,250	<2,50	9,24	0,702	<1,25
	ST16	5031	0,33	30,3	<0,250	<2,50	4,30	0,617	<1,25
	ST18	6291	1,16	17,7	<0,250	<2,50	3,13	0,776	<1,25
	ST19	5303	<0,250	<0,500	<0,250	<2,50	0,250	0,500	<1,25
Canal de la Havannah	ST02	8398	0,326	7,23	0,354	3,52	1,16	1,08	<1,25
	ST03	4958	1,59	37,3	<0,250	<2,50	1,70	0,716	<1,25
	ST05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ST06	5875	1,85	50,3	0,263	<2,50	1,45	0,817	<1,25
	ST07	6163	0,636	15,5	0,314	<2,50	0,76	0,834	<1,25
	ST09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ST14	5917	0,823	17,4	<0,250	4,46	1,6	1,12	<1,25
Ile Ouen	ST21	7182	<0,250	<0,500	<0,250	<2,50	<0,250	<0,500	<1,25
	ST13	5252	0,535	17,7	<0,250	<2,50	0,988	0,586	<1,25
	ST20	5032	1,11	39,3	<0,250	<2,50	2,8	0,817	<1,25

Zone	Station	Phase acido-soluble : concentrations en mg/kg							
		Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Baie du Prony	ST15	37632	9,61	11,9	0,272	2,62	260	19,4	1,88
	ST16	170181	2,96	4,42	0,506	2,99	204	6,01	<1,25
	ST18	187303	1,61	3,06	<0,250	4,02	118	3,22	1,36
	ST19	209914	<0,250	<0,500	<0,250	<2,50	1,6	<0,500	<1,25
Canal de la Havannah	ST02	155227	<0,250	4,52	<0,250	13,5	14,3	0,555	2,44
	ST03	206416	1,80	<0,500	<0,250	4,95	90,4	4,22	1,27
	ST05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ST06	188656	<0,250	<0,500	<0,250	<2,50	<0,250	<0,500	<1,25
	ST07	197347	0,283	2,35	<0,250	5,06	22,0	1,53	<1,25
	ST09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ST14	158228	0,496	3,63	<0,250	5,95	36,5	2,08	<1,25
Ile Ouen	ST21	152576	<0,250	7,90	<0,250	10,7	20,7	1,82	1,71
	ST13	194396	0,752	3,70	<0,250	8,56	46,2	2,56	<1,25
	ST20	162853	4,90	5,75	<0,250	8,66	158	12,1	<1,25

ND : valeur non déterminée.

Zone	Station	Phase réductible : concentrations en mg/kg							
		Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Baie du Prony	ST15	<10,0	50,7	40,8	0,946	887	360	68,6	11,9
	ST16	<10,0	17,8	13,4	0,738	831	111	24,1	3,38
	ST18	704	5,15	5,88	<0,250	432	52,3	8,72	2,37
	ST19	21494	7,96	7,90	<0,250	509	49,9	15,1	2,01
Canal de la Havannah	ST02	6667	<0,250	5,09	<0,250	327	6,00	1,21	1,69
	ST03	48006	4,25	4,86	<0,250	425	32,9	8,25	2,04
	ST05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ST06	27269	7,83	7,87	<0,250	509	49,0	17,1	3,00
	ST07	71229	1,83	5,35	<0,250	395	21,8	7,19	1,48
	ST09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ST14	52890	1,20	3,67	<0,250	411	15,1	5,22	1,45
Ile Ouen	ST21	105689	0,736	6,45	<0,250	437	14,3	4,39	1,90
	ST13	70046	2,11	4,84	<0,250	489	21,6	6,57	<1,25
	ST20	4824	20,9	12,7	<0,250	778	75,3	39,7	2,58

Zone	Station	Phase résiduelle : concentrations en mg/kg							
		Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Baie du Prony	ST15	<20,0	177	12174	11,5	252983	987	2739	<200
	ST16	23,6	66,8	2868	<10,0	93791	316	1122	<200
	ST18	446	18,0	642	<10,0	28860	86,26	253	<200
	ST19	303	49,8	2212	<10,0	61700	230	778	<200
Canal de la Havannah	ST02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ST03	483	17,9	705	<10,0	26787	86,22	292	<200
	ST05	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ST06	696	82,1	2918	<10,0	82534	348	1100	<200
	ST07	350	12,9	509	<10,0	19355	62,2	212	<200
	ST09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ST14	558	11,9	814	<10,0	17406	65,5	148	<200
Ile Ouen	ST21	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ST13	582	21,0	826	<10,0	26074	98,2	331	<200
	ST20	288	107	4887	<10,0	110403	456	1540	<200