



**QUALITE PHYSICO-CHEMIQUE DES
SEDIMENTS MARINS : SUIVI
REGLEMENTAIRE TRIENNAL 2012**



03/01/2013

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

CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL - LEA

Convention n° 120312-VI-16

Qualité physico-chimique des sédiments marins : suivi réglementaire triennal 2012

Fernandez Jean Michel

Moreton Benjamin

Le Grand Hélène

	N/Ref	V/Ref	
Identification	120312-VI-16	Commande E45538	
Titre complet	Qualité physico-chimique des sédiments marins : suivi réglementaire triennal 2012		
Auteurs	Fernandez JM, Moreton B, Le Grand H,		
Résumé	<p>Le travail ici présenté a été défini à la demande de Vale-NC selon l'arrêté ICPE 2008 qui exige la réalisation d'un suivi géochimique et sédimentologique des dépôts naturels dans l'aire du lagon sud de Nouvelle Calédonie. Cette étude fait suite à la définition de « l'Etat de référence » physico-chimique des sédiments déterminée pour le Canal de la Havannah et la Baie Kwé en 2006 (Convention IRD/Goro-Ni n° 9135 AO) et à la première campagne triennale de suivi de 2009 (Contrat IRD/Vale-Inco n°45538). Ce document regroupe les résultats de la deuxième étude du suivi géochimique et sédimentologique. Il en résulte les principaux points suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la granulométrie des sédiments n'a pas évolué de manière probante dans l'ensemble des stations entre 2009 et 2012, à l'exception de St06 ; • les métaux de la phase organique ne se distribuent pas selon un gradient « côte-large » même si les valeurs sont maximales le long d'une frange côtière, à l'inverse des métaux analysés dans la phase carbonatée mais les différents termes sources terrigènes n'exercent pas des pressions identiques, le bassin versant du Creek de la Rade Nord s'avérant prépondérant; • tous les métaux constitutifs des phases oxy-hydroxydées et résiduelles montrent une excellente relation de décroissance des concentrations en fonction de la distance aux termes sources ; • les quantités totales de cobalt, chrome et nickel sont constantes depuis 2006, toutefois une différence est notée dans la répartition de certaines formes géochimiques de ces métaux, en particulier les carbonates qui semblent bien être liées aux apports en métaux dissous à proximité des creeks. 		
APPROBATION			
FONCTION	NOMS	VISA	DATE
Rédacteur	Fernandez JM		28/12/12
Vérificateur 1	Moreton B		29/12/12
Vérificateur 2	Kumar-Roiné S		29/12/12
Approbateur(s)	Fernandez JM		02/01/13
EVOLUTION			
VERSION	DESCRIPTION DES MISES A JOUR	DATE	
V1.1	Rapport définitif	03/01/13	
COPIE - DIFFUSION			
NOM	ORGANISME		
Casalis C	Département environnement Vale-NC		

Ce rapport est cité comme suit :

Fernandez JM, Moreton B, Le Grand Hélène, 2013. Qualité physico-chimique des sédiments marins : suivi réglementaire triennal 2012. Contrat Vale-NC/AEL n° E45538, Rapport AEL 120312-VI-16, 56p.

TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION	7
2	OBJECTIFS	8
3	METHODOLOGIE	9
3.1	SITE D'ETUDE ET PRELEVEMENTS	9
3.2	ECHANTILLONNAGE	10
3.3	PARAMETRES PHYSIQUES, GEOCHIMIQUES ET ANALYSES	10
4	RESULTATS ET DISCUSSION	11
4.1	GRANULOMETRIE	11
4.1.1	Fraction pélitique des sédiments	11
4.1.2	Spectre granulométrique des sédiments	12
4.2	MINERALOGIE	14
4.2.1	Canal de la Havannah	14
4.2.2	Ile Ouen/Canal Woodin	14
4.2.3	Baie du Prony	14
4.3	METAUX ASSOCIES AUX PHASES GEOCHIMIQUES DES SEDIMENTS.....	15
4.3.1	Masses des phases géochimiques extraites	15
4.3.2	Métaux liés aux phases géochimique.....	16
4.4	COMPARAISON INTERANNUELLE 2006, 2009 ET 2012	22
5	CONCLUSION	26
6	REFERENCES	27
7	LISTE DES FIGURES	28
8	LISTE DES TABLEAUX	29
9	LISTE DES ANNEXES	30

1 INTRODUCTION

Le travail ici présenté a été défini à la demande de Vale-NC et est conforme aux accords transcrits dans l'arrêté ICPE 2008.

Cet arrêté exige la réalisation d'un suivi géochimique et sédimentologique des dépôts naturels dans l'aire du lagon sud de Nouvelle Calédonie potentiellement impactée par les activités industrielles de Vale-NC.

Cette étude fait suite, d'une part, à la définition de « l'Etat de référence » physico-chimique des sédiments déterminée sur 18 stations pour le Canal de la Havannah et la Baie Kwé en 2006 (Convention IRD/Goro-Ni n° 9135 AO) et d'autre part, à la première campagne triennale de suivi de 2009 sur 14 stations (Contrat IRD/Vale-Inco n°45538).

Ce document regroupe les résultats de la **deuxième étude du suivi géochimique et sédimentologique** du milieu marin. Les résultats présentés concernent principalement les niveaux de concentration des métaux dans les sédiments de 14 stations : 13 stations figurant dans l'arrêté ICPE 2008 et 1 station supplémentaire à la demande de Vale-NC.

Si les effets mécaniques de l'hyper-sédimentation sont mesurables immédiatement, les modifications de leur composition géochimique, notamment en éléments métalliques peuvent avoir des conséquences en termes de 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 physico-chimique des sédiments est donc, à ce titre, un outil de surveillance précoce des contaminations potentielles.

2 OBJECTIFS

Les objectifs de cette étude sont de caractériser les sédiments en déterminant leur composition minéralogique, leur granulométrie ainsi que les concentrations en métaux (As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn) dans différentes fractions géochimiques labiles afin d'estimer leur degré de disponibilité pour les organismes marins benthiques.

Cette étude vise également à disposer de nouveaux résultats afin de réaliser une inter-comparaison spatio-temporelle de l'ensemble des indicateurs de suivi des sédiments (2009 et 2012). Ces résultats de physico-chimie des sédiments marins viennent alimenter la base de référence (2006) destinée à la surveillance de l'impact industriel dans l'environnement.

Le rapport présente les résultats obtenus pour la **deuxième campagne (2012) du suivi des sédiments dans la Canal de la Havannah et la Baie du Prony**.

3 METHODOLOGIE

3.1 SITE D'ETUDE ET PRELEVEMENTS

Cette deuxième campagne de suivi physico-chimique des sédiments a été conduite du 14 au 16 mai 2012. La mission de prélèvements a été réalisée à bord de l'embarcation « Slavko » sur les 13 stations telles que prédéfinies dans le cahier des charges et proposées par la Province Sud de Nouvelle-Calédonie (Figure 1) ; une station (St21) supplémentaire a été ajoutée à la demande Vale-NC depuis 2009.

Le positionnement des stations a été assuré par GPS (Global Positioning System) et rapporté au référentiel universel WGS 84 (Tableau 1).

De manière plus détaillée, les prélèvements concernent 14 stations distribuées comme suit (Tableau 1 et Figure 1) :

- 4 dans la Baie du Prony ;
- 8 dans le système du Canal de la Havannah ;
- 1 dans le Canal Woodin ;
- 1 au nord-est de l'île Ouen.

Tableau 1 : Nomenclature et coordonnées des 14 stations de suivi physico-chimique des sédiments.

STATIONS	N°	Coordonnées (WGS-84)		PROFONDEUR	
		LONGITUDE	LATITUDE	METRES	
Baie de Prony	Creek Baie Nord	St15	166° 52,590	22° 20,037	25
	Prony Warf	St16	166° 53,365	22° 21,210	44
	Ilot Casy	St18	166° 51,061	22° 21,668	26
	Rade de l'Est	St19	166° 53,340	22° 23,170	38
Ile Ouen / Canal Woodin	Baie Iré	St20	166° 48,150	22° 24,180	25
	Pointe Nord du récif Ma	St13	166° 51,354	22° 24,914	35
Canal de la Havannah	Basse Chambeyron	St02	167° 00,506	22° 23,599	33
	Baie de Port Boisé	St03	166° 58,010	22° 21,190	29
	Ilot Kié	St05	167° 03,100	22° 22,050	34
	Récif de la baie Kwé	St06	166° 59,112	22° 20,830	20
	Récif Ioro	St07	166° 57,910	22° 22,820	41
	Canal de la Havannah	St09	166° 59,754	22° 22,540	47
	Port de Goro	St14	167° 01,160	22° 19,350	37
	Ugo	St21	166°55,501	22°26,728	36

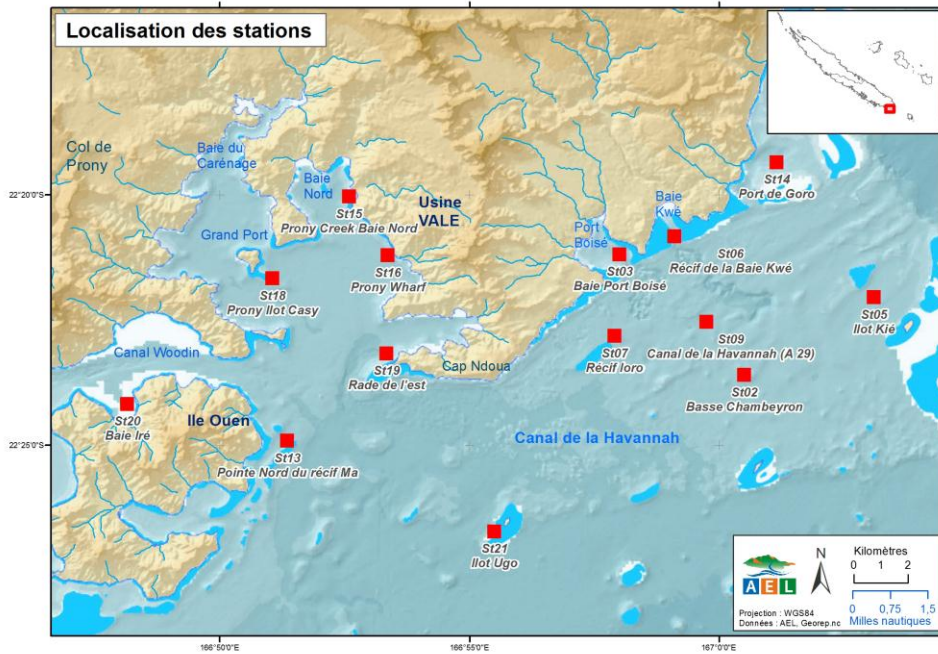


Figure 1 : Localisation géographique des stations de suivi de la qualité des sédiments.

3.2 ECHANTILLONNAGE

Pour chacune des 14 stations du suivi sédimentaire, 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.

Chaque échantillon a été conditionné dans des sachets en vinyle à usage unique (Whirl-Pack) référencés. Les sédiments ainsi prélevés ont été conservés à 4°C dans une glacière, puis de retour au laboratoire, ils ont aussitôt été congelés, puis lyophilisés avant leur traitement et leur analyse.

3.3 PARAMETRES PHYSIQUES, GEOCHIMIQUES ET ANALYSES

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

4 RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 GRANULOMETRIE

Les valeurs des analyses granulométriques sont regroupées en Annexe 2.

Des sédiments meubles ont pu être collectés à 12 stations sur les 14 programmées. En effet, les 2 stations, St05 et St09, sont localisées sur des fonds durs, la plupart du temps difficiles à échantillonner et qui, de plus, montrent une variabilité spatiale importante de la nature des dépôts.

4.1.1 Fraction pélitique des sédiments

Rappel : L'étude de la distribution des populations de particules composant la fraction fine (silts plus argiles inférieurs à 40 μ m) est nécessaire car elles déterminent à elles seules 90% des capacités géochimiques d'échange du sédiment. Ces capacités sont à relier au potentiel toxique de celui-ci comme l'on montré de nombreux auteurs depuis quelques années (ex. : Mayer et Fink, 1979 ; Ackerman, 1980 ; Deely et Fergusson, 1994 ; He et Walling, 1996).

Les résultats du pourcentage pélitique des sédiments de surface sont regroupés dans le Tableau 2 et l'Annexe 2.

BAIE DU PRONY

Sur les 4 stations localisées dans la Baie de Prony, les stations St15 et St16 sont composées d'une très forte proportion de pélites, respectivement 83,5% et 78,5% (Tableau 2). A l'ouest du Cap N'Doua, les sédiments de la station St19 sont également composés d'une forte proportion de pélites (50,1%). Ces pourcentages élevés s'expliquent par la localisation des stations de prélèvement qui sont implantées dans des zones hydrodynamiquement calmes (Derex et al, 2008 ; Douillet et Fernandez, 2009) où l'alimentation en particules fines s'effectue par les différents creeks.

CANAL DE LA HAVANNAH

Les pourcentages pélitiques des stations localisées dans le Canal de la Havannah sont assez contrastés. Ils démontrent la diversité des conditions hydrodynamiques régnautes qui permettent, seulement localement, la formation de lentilles de dépôts pélitiques, quelques fois d'ordre temporaire (Tableau 2).

Sur les 10 stations du Canal, 5 d'entre-elles (St03, St07, St13, St14 et St20) sont composées de pélites en proportions importantes (23,0 à 38,0%). Pour les stations St02, St06 et St21, celles-ci ne présentent, au maximum, que 16,9 % de fractions pélitiques.

Les sédiments des stations St05 et St09 n'ont pas pu être collectés en raison de leur positionnement dans les zones de trop fort hydrodynamisme empêchant toute sédimentation des particules fines ; il s'agit, respectivement de

l'Ilot Kié (à proximité de la réserve Merlet) et du secteur proche du diffuseur, au milieu du chenal (Canal de la Havannah).

Tableau 2 : Teneur en fraction péltique (< 40µm) des sédiments échantillonnés dans le domaine d'étude ; (nd) = non déterminé en raison de la présence de sédiments meubles en quantité insuffisante.

	STATIONS	LOCALISATION	% PELITES		
			2006	2009	2012
Baie de Prony	St15	Creek Baie Nord	72,3	98	83,4
	St16	Prony Warf	56,2	97,8	78,5
	St18	Ilot Casy	9	nd	2,6
	St19	Rade de l'Est		79,3	50,1
Ile Ouen / Canal Woodin	St20	Baie Iré		41,3	30,5
	St13	Pointe Nord du récif Ma	47,9	58,1	36,3
Canal de la Havannah	St02	Basse Chambeyron	1,2	9,8	0,2
	St03	Baie de Port Boisé	0,6	70,6	34,6
	St05	Ilot Kié	5,7	nd	nd
	St06	Récif de la baie Kwé	48,6	39,0	16,9
	St07	Récif loro	26,5	65,3	38,0
	St09	Canal de la Havannah	2,7	13,6	nd
	St14	Port de Goro	0,6	27	23,0
	St21	Ilot Ugo			5,9

Si les pourcentages en pélites fluctuent pour une station donnée, en St06, la quantité de fraction fine semble diminuer depuis 2006 de manière régulière.

Pour les stations St03, St07 et St14, l'augmentation de la quantité de pélites qui est constatée depuis 2009 par rapport à 2006, s'explique par leur repositionnement en 2008 (ICPE) vers des aires plus abritées, choisies pour leur propension potentielle à piéger les particules fines.

4.1.2 Spectre granulométrique des sédiments

Les résultats d'analyses sont regroupés dans le Tableau 3 et l'annexe 2.

Les sédiments collectés présentent une assez grande diversité. Celle-ci est liée à la localisation des stations c'est-à-dire aux différentes influences environnementales qu'elles subissent, notamment en matière d'hydrodynamisme.

Ainsi, outre les stations dont l'échantillonnage n'a pas été possible (St05 et St09), les sédiments les plus grossiers ont été prélevés aux stations :

- St02 et St21, localisées, respectivement, au centre du Canal de Havannah et au nord du Cap N'Doua (Ilot Ugo), dans des secteurs de fort hydrodynamisme ;
- St06, localisée dans la Baie Kwé, sous l'influence de l'embouchure du creek ;
- St18 dans la Baie du Prony, au sud de l'Ilot Casy, exposé aux régimes d'alizés.

La composition granulométrique montre que les particules supérieures à 200 µm sont amplement majoritaires (57 à 95 %) et que leur nature est bioclastique (Annexe 3). Pour certaines stations comme St02, voire St18 et St21, les

fractions inférieures à 200 µm sont quasiment inexistantes (Tableau 3).

A l'inverse, les sédiments qui sont quasiment composés d'argiles et de silts fins à moyens sont localisés dans les zones profondes et abritées, comme les stations St15 et St16 dont l'influence des apports terrigènes est notable.

Les stations St03, St07, St13, St19 et St20 présentent la particularité d'être composées d'accumulations bimodales de sédiments fins et grossiers (Annexe 3). Ces stations sont localisées dans des zones très singulières de calme hydrodynamique relatif ; ces configurations résultent, soit de la construction de récifs coralliens frangeants ou de bancs de sables qui amoindrissent les courants du Canal de la Havannah (St07 et St13), soit bénéficient de la géomorphologie des lieux (St19 et St20) ; la station St03 étant située à l'intérieur de la baie de Port Boisé.

Pour la station St14, les sédiments sont composés de populations de particules grossières dont la distribution est unimodale.

Tableau 3 : Caractéristiques granulométriques des 14 sédiments correspondant aux stations de suivi sédimentologique. Pourcentage de fraction des classes granulométriques. (nd) = mesure granulométrique non effectuée en raison de la présence de sédiments meubles en quantité insuffisante.

	STATIONS	LOCALISATION	CLASSE GRANULOMETRIQUE (µm)					
			0,02 - 2	2 -20	20 -40	40-63	63 - 200	200 - 2000
Baie de Prony	St15	Creek Baie Nord	28	42	13	7	8	2
	St16	Prony Warf	23	41	14	6	6	9
	St18	Ilot Casy	0	2	1	1	20	77
	St19	Rade de l'Est	6	24	20	15	25	10
Ile Ouen / Canal Woodin	St20	Baie Iré	3	18	10	9	40	20
	St13	Pointe Nord du récif Ma	3	21	13	12	35	17
Canal de la Havannah	St02	Basse Chambeyron	0	0	0	0	4	95
	St03	Baie de Port Boisé	3	18	13	14	34	18
	St05	Ilot Kié	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	St06	Récif de la baie Kwé	5	8	4	2	5	75
	St07	Récif loro	2	20	16	13	31	18
	St09	Canal de la Havannah	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	St14	Port de Goro	1	13	9	12	48	17
	St21	Ilot Ugo	0	3	3	3	34	57

CE QU'IL FAUT RETENIR

La granulométrie des sédiments n'a pas évolué de manière probante dans l'ensemble des stations entre 2009 et 2012, à l'exception de St06. Pour cette station, une augmentation des fractions grossières semble se dessiner depuis 2006.

Ailleurs, les variations sont imputables à la variabilité naturelle et à l'imprécision du prélèvement (dérive de l'embarcation pendant les prélèvements).

4.2 MINERALOGIE

Les résultats d'analyses de diffractométrie de rayons X(DRX) sont regroupés en Annexe 2.

Les minéraux identifiés ont été les suivants : l'aragonite, la calcite, la calcite magnésienne, la goethite et la kaolinite. L'halite a également été observée mais ce minéral provient sans aucun doute d'un artefact généré lors de l'étape de lyophilisation des sédiments.

4.2.1 Canal de la Havannah

Dans le Canal, l'ensemble des minéraux énumérés a été décelé. Toutefois, ces minéraux ne sont pas tous présents dans toutes les stations. Ainsi, les sédiments des stations St02 et St21 qui sont situées au large dans le Canal de la Havannah, sont exclusivement composés minéraux carbonatés comme la calcite magnésienne qui est amplement majoritaire. Les analyses montrent aussi la présence de calcite et d'aragonite.

Les stations St07 et St14, localisées dans des aires de mélange des eaux, respectivement loro et Port Goro, recèlent des traces infimes de goethite ; les minéraux carbonatés demeurant très bien représentés et majoritaires.

Les proportions de goethite augmentent sensible au fur et à mesure que les stations sont proches de la côte. Ainsi, pour St03 (Port Boisé) et St06 (Baie Kwé), l'influence terrigène devient sensible à notable, respectivement. La calcite magnésienne reste le minéral prédominant.

Pour les stations St05 et St09, aucune analyse n'a pu être conduite par manque de sédiment meuble récolté.

4.2.2 Ile Ouen/Canal Woodin

Pour les deux stations localisées à proximité de l'Ile Ouen, des traces de goethite ont été décelées. Les minéraux majoritaires restent la calcite magnésienne, qui est le principal composant carbonaté, ainsi que la calcite et l'aragonite.

4.2.3 Baie du Prony

Dans cette baie, les compositions sont très contrastées. Ainsi, à la station St18 (Ilo Casy), aucune présence de goethite n'est décelable, les minéraux composant les sédiments étant exclusivement carbonatés ; calcite magnésienne en majorité, suivie de la calcite et de l'aragonite.

Plus près de la côte, les sédiments de la station St19 permettent de mesurer des quantités notables de goethite, le reste des minéraux étant bien entendu de nature carbonatée. Enfin, directement influencée par les creek des Rade du Nord et de l'Est, respectivement, les stations St15 et St16 montrent de grandes quantités de goethite mais aussi de kaolinite¹.

¹ Ce minéral est d'ordinaire un traceur de l'altération de roches magmatiques acides, ce qui semble contradictoire avec les formations péridotitiques qui constituent le sud de la Nouvelle-Calédonie. Par ailleurs, les diffractométries ne montrent pas non plus de traces de gibbsite ou de lizardite produits par l'altération des latérites.

La station (St16) contient plus de calcite magnésienne que la station (St15) sous influence du Creek de la Nord.

CE QU'IL FAUT RETENIR

Les minéraux carbonatés dominent la composition des 12 échantillons de sédiments.

La goethite, minéral issu de l'altération des latérites, est décelable sur un nombre de stations limité aux proches embouchures des sources d'apports terrigènes uniquement.

4.3 METAUX ASSOCIES AUX PHASES GEOCHIMIQUES DES SEDIMENTS

Les valeurs des concentrations en métaux extraits dans les 4 phases géochimiques sont regroupées en Annexe 3.

4.3.1 Masses des phases géochimiques extraites

A l'issue de chaque étape de l'extraction séquentielle des métaux, la masse de chacune des phases géochimiques attaquées (phases organique, carbonatée, oxy-hydroxydée et résiduelle) a été pesée (Figure 2).

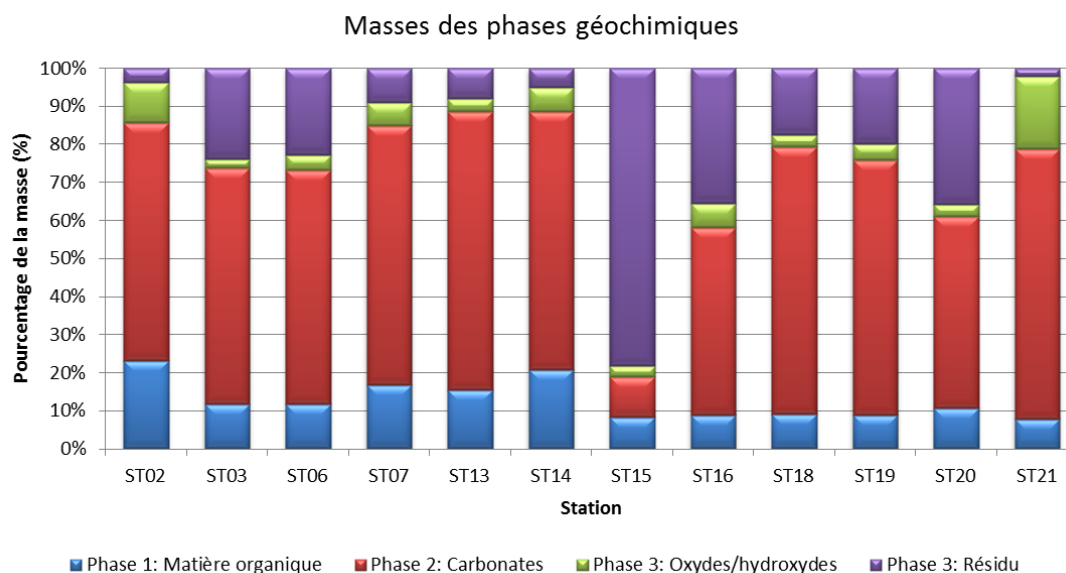


Figure 2 : Répartition des masses des 4 phases géochimiques attaquées pour chacune des 12 stations échantillonnées de la campagne 2012. Aucun échantillon de sédiment aux stations St05 et St09 n'a pu être prélevé.

Les carbonates constituent la phase majoritaire des sédiments (approximativement 45 à 80%), exception faite à la station St15 (environ 10%) où c'est la phase résiduelle qui est prédominante et représente à elle seule 80% de la masse totale. La quantité de phase résiduelle est variable d'un sédiment à l'autre ; les plus faibles sont recensées en St02 et St21 avec 2 à 3% et cet apport latéritique est également modeste aux stations St14, St13 et St14 (5 à

10%). Ailleurs, les valeurs sont intermédiaires : plus de 35 % pour St06 (Bie Kwé) et St20 (Baie Iré). Ces résultats sont en parfait accord avec les analyses de diffractométrie de rayons X.

En ce qui concerne, la phase organique, elle représente entre 7 et 22 % de la masse totale, approximativement. Les valeurs les plus faibles correspondent aux sédiments des stations influencées par les apports terrigènes (St15, St16 et St19). Toutefois, des valeurs de même ordre sont également mesurées dans les milieux carbonatés (St18 et St21). Les plus fortes teneurs sont obtenues aux stations St02 et St14, respectivement localisées dans le Canal et le Port de Goro.

La phase oxy-hydroxydée occupe une place importante dans la composition des sédiments des milieux ouverts tels ceux prélevés au niveau des stations St02 et St21. A l'inverse, les sédiments des aires sous influence terrigène montrent, en général, les teneurs les plus faibles ; il s'agit notamment des stations proches de creeks St15 (Creek de la Rade Nord), St06 (Baie Kwé), mais aussi dans les baies où l'hydrodynamisme est faible ; comme St03, St18, St19 et St20.

4.3.2 Métaux liés aux phases géochimique

Sur 14 stations programmées, seuls 12 sédiments ont pu être analysés. Les résultats de l'analyse de As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn sont regroupés dans l'annexe 3

4.3.2.1 Concentrations en métaux dans la phase organique

NIVEAUX DE CONCENTRATIONS

Pour chacun des métaux, les concentrations dans cette phase organique sont très inégales d'une station à l'autre. Les plus élevées sont mesurées pour Cr (3,3-57,8 mg/kg), viennent ensuite Fe (0,6-13,7 mg/kg), Mn (0,7-4,6 mg/kg), Cu (0,5-1,6 mg/kg) et Co (0,3-1,2 mg/kg). Le nickel (Ni) est en teneurs très faibles, souvent inférieures à la limite de quantification (<0,5 mg/kg) ; Zn n'étant dosable dans aucun échantillon de la phase organique des sédiments (<0,75 mg/kg), tout comme As et Cd (Tableau 4). Le cuivre (Cu) est le seul élément à être en concentrations notables dans quasiment tous les échantillons de sédiments (Figure 3).

CONCENTRATIONS RELATIVES

En termes d'affinité avec la phase organique des sédiments, Co, Cr, Cu, Fe et Ni ne représentent des proportions notables que pour la station St21 (Figure 3). En effet, ils constituent de 20 à 30% des concentrations totales respectives de chacun des éléments. Ailleurs dans le domaine d'étude, les concentrations sont d'ordre infinitésimal, sauf pour le cuivre, qui exception faite des stations St15, St18 et St20, représentent encore entre 5 et 12%.

DISTRIBUTION SPATIALE

Les plus faibles concentrations en métaux correspondent aux stations St07 (Balise Ioro), St13 (Récif Ma) et St14 (Port Goro). En St15 (Creek Rade Nord), les concentrations de Cr (44,7 mg/kg) sont parmi les plus élevées et Mn atteint la valeur maximale mesurée (4,6 mg/kg) pour cette campagne.

Les concentrations de Co, Cr, et Ni sont relativement élevées dans les sédiments des stations St03 (Port Boisé) et St06 (Baie Kwé) ; la station St20 (Baie Iré) étant également enrichie en Mn tandis que pour St21 (Ilot Ugo), de fortes concentrations en Cu et Fe sont décelées.

D'un point de vue de la répartition spatiale, hormis des stations comme St03, St06 et St15 proches de la côte, donc soumises à des apports terrigènes, les concentrations en métaux ne montrent pas de distribution très ordonnée (Tableau 5). En effet, le manganèse (Mn) permet de dessiner une décroissance des concentrations avec

l'éloignement à la côte avec une valeur maximale mesurée dans la Baie du Prony, au droit du Creek de la Rade Nord (St15). Trois autres tendances du même ordre semblent pouvoir se dégager au sortir de la Baie Kwé mais pour Co, Cr et Ni seulement.

Tableau 4 : Concentrations en métaux et calcium dans la phase organique des sédiments du lagon sud de Nouvelle Calédonie pour la campagne de 2012

Station	Phase organique : concentration en mg/kg									
	As	Cd	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
ST02	<1	< 2	4849	<0,3	3,3	0,6	<0,5	<0,3	<0,5	<0,75
ST03	<1	<2	7917	1,2	57,8	0,8	4,4	1,2	0,8	<0,75
ST06	<1	< 2	7620	1,1	54,2	0,9	0,6	1,0	0,7	<0,75
ST07	<1	< 2	9575	0,4	20,4	0,7	3,3	0,7	<0,5	<0,75
ST13	<1	< 2	8126	0,5	18,3	0,5	3,0	0,9	<0,5	<0,75
ST14	<1	< 2	9145	0,6	19,2	0,7	<0,5	0,7	0,6	<0,75
ST15	<1	< 2	4347	<0,3	44,7	<0,5	0,6	4,6	<0,5	<0,75
ST16	<1	< 2	6626	0,3	33,9	0,6	1,8	3,1	<0,5	<0,75
ST18	<1	< 2	5289	0,8	26,3	<0,5	2,0	1,1	<0,5	<0,75
ST19	<1	< 2	6144	0,8	31,4	0,6	<0,5	1,9	<0,5	<0,75
ST20	<1	< 2	6002	1,0	42,2	<0,5	<0,5	2,4	<0,5	<0,75
ST21	<1	< 2	5900	0,6	14,6	1,6	13,7	1,2	1,1	<0,75

Tableau 5 : Matrice de corrélation inter-éléments pour les métaux extraits de la phase organique des sédiments.

	As	Cd	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
As	x									
Cd	x	x								
Ca	x	x	1,000							
Co	x	x	-0,236	1,000						
Cr	x	x	0,025	0,805	1,000					
Cu	x	x	-0,178	0,151	-0,031	1,000				
Fe	x	x	-0,042	-0,112	-0,487	0,891	1,000			
Mn	x	x	-0,697	-0,089	0,370	-0,225	-0,334	1,000		
Ni	x	x	-0,939	-0,180	-0,326	0,935	??	0,696	1,000	
Zn	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

4.3.2.2 Concentrations en métaux dans la phase carbonatée

NIVEAUX DE CONCENTRATIONS

Les concentrations en métaux dans cette phase carbonatée sont plus homogènes que dans la phase organique bien que celles du manganèse (Mn) soient, à minima, 10 fois plus élevées que les autres (exception faite de Ca). En effet, les concentrations les plus élevées sont mesurées pour Mn (43-543 mg/kg), viennent ensuite Ni (3,5-41,2 mg/kg), Fe (5,2-40,1 mg/kg), Cr (9,8-29,5 mg/kg) et Co (0,7-19,0 mg/kg). Le zinc (3,1-10,7 mg/kg) et surtout le cuivre (2,1-3,5 mg/kg) sont en teneurs plus faibles ; As et Cd n'étant dosables dans aucun échantillon de la phase carbonatée des sédiments (Tableau 6).

CONCENTRATIONS RELATIVES

En termes d'affinité avec la phase carbonatée, Cu (15-70%), Mn (25-75%), voire Co (5-45%) et Zn (1-70%), sont présents en proportions notables dans les sédiments de toutes les stations (Figure 3). Dans tous les cas, ces concentrations sont d'autant plus importantes que les sédiments ont une composition carbonatée. Pour les autres métaux (Cr, Fe et Ni), leur présence n'est notable que dans les sédiments de la station St21, à des niveaux plus ou moins concentrés.

DISTRIBUTION SPATIALE

Pour des métaux comme Co, Mn, Ni, voire Cr, un gradient côte-large est clairement établi. En effet, dans la phase carbonatée, les concentrations les plus faibles correspondent aux stations St02 (Basse Chambeyron) et St21 (Ilot Ugo) dont les influences marines sont les plus marquées (Tableau 6 et Tableau 7). Plus près des côtes, les niveaux de concentrations augmentent pour les stations St07 (Balise Ioro), St13 (Récif Ma) et St14 (Port Goro), cet enrichissement devenant plus important en St18 (Ilot Casy) et St19 (Rade de l'Est) ; les valeurs maximales sont observées en St16 (Port de commerce) et St06 (Baie Kwé) puis en St20 (Baie Iré) et enfin St15 (Rade Nord).

Pour le cuivre, la distribution est très homogène et ne permet pas, de ce fait, de dessiner une quelconque évolution spatiale. Toutefois, comme pour Fe, les concentrations les plus faibles sont observées dans les sédiments de la station St15 ; cette homogénéité montre que les concentrations en Cu ne sont pas sensibles aux fluctuations en matière d'apports terrigènes d'origine latéritiques.

La distribution de Zn est intermédiaire et ne montre pas de tendance particulière.

Tableau 6 : Concentrations en métaux et calcium dans la phase carbonatée des sédiments du lagon sud de Nouvelle Calédonie pour la campagne de 2012.

Station	Phase carbonatée : concentration en mg/kg									
	As	Cd	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
ST02	<5	< 2	234692	0,7	16,7	2,8	33,7	43	3	4,7
ST03	<5	<2	229307	6,6	15,0	3,4	20,9	253	20,3	4,2
ST06	<5	< 2	236961	6,9	15,7	3,4	32,6	250	20,2	8,1
ST07	<5	< 2	256793	2,0	10,1	3,4	28,6	99	7,6	7,5
ST13	<5	< 2	264881	2,3	10,3	3,1	40,1	102	7,3	7,0
ST14	<5	< 2	246243	2,1	9,8	3,0	32,1	88	7,6	5,8
ST15	<5	< 2	45738	19,0	29,5	2,1	5,2	543	41,2	3,1
ST16	<5	< 2	197872	8,7	14,1	3,2	22,9	410	16,5	3,1
ST18	<5	< 2	260744	5,6	11,1	3,5	29,5	246	10,8	4,1
ST19	<5	< 2	257349	5,8	11,3	3,1	31,6	246	11,5	3,1
ST20	<5	< 2	194508	15,2	17,5	3,0	31,9	412	39,2	4,3
ST21	<5	< 2	255589	0,8	18,2	3,4	28,4	59	5,0	10,7

Tableau 7 : Matrice de corrélation inter-éléments pour les métaux extraits de la phase carbonatée des sédiments

	As	Cd	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
As	x									
Cd	x	x								
Ca	x	x	1,000							
Co	x	x	-0,852	1,000						
Cr	x	x	-0,884	0,703	1,000					
Cu	x	x	0,823	-0,575	-0,696	1,000				
Fe	x	x	0,850	-0,672	-0,759	0,542	1,000			
Mn	x	x	-0,791	0,958	0,601	-0,453	-0,691	1,000		
Ni	x	x	-0,804	0,974	0,697	-0,517	-0,610	0,892	1,000	
Zn	x	x	0,443	-0,550	-0,154	0,440	0,392	-0,631	-0,435	1,000

4.3.2.3 Concentrations en métaux dans la phase oxy-hydroxydées

NIVEAUX DE CONCENTRATIONS

Exception faite des sédiments de la station St15 (Rade Nord), les concentrations dans cette phase hydroxydée sont très homogènes (sauf pour le calcium). Les concentrations les plus élevées sont mesurées pour Fe (118-459 mg/kg), viennent ensuite Mn (7-70 mg/kg), Ni (2,2-28,7 mg/kg), Co (1-17 mg/kg) et Cr (3,4-10,3 mg/kg). Le zinc (1,2-3,0 mg/kg) est en teneurs plus faibles ; As, Cu et Cd n'étant dosables dans aucun échantillon de la phase carbonatée des sédiments (Tableau 8).

A la station St15, les valeurs de concentration dans la phase oxy-hydroxydée sont : (Co)=39,0 mg/kg ; (Cr)=40,1 mg/kg ; (Mn)=328 mg/kg et (Ni)=46 mg/kg, soit respectivement, des enrichissements de 2, 4, 5, et 1,5.

CONCENTRATIONS RELATIVES

En termes d'affinité avec la phase oxy-hydroxydée, Co (5-10%), Mn (5-15%), voire Zn (1-10%) sont présents en proportions notables dans les sédiments de toutes les stations (Figure 3). Pour les autres métaux (Cr, Cu, Fe et Ni), bien que présents à l'état de traces, leur proportion n'est notable que dans les sédiments de la station St21, à des niveaux plus ou moins concentrés. Toutefois, la faible quantité de matière péritique peut conduire à un artefact.

DISTRIBUTION SPATIALE

Pour des métaux comme Co, Cr, Mn et Ni, un gradient côte-large est clairement établi. En effet, comme pour les carbonates, les concentrations dans la phase oxy-hydroxydée les plus faibles correspondent aux stations St02 (Basse Chambeyron), St07 (Balise Ioro), St14 (Port Goro) et St21 (Ilot Ugo) dont les influences marines sont les plus marquées (Tableau 8 et Tableau 7). Plus près des côtes, les niveaux de concentrations augmentent pour les stations St03 (Port Boisé), St06 (Baie Kwé), St13 (Récif Ma), cet enrichissement devenant plus important en St16 (Port de commerce), St19 (Rade de l'Est) puis St20 (Baie Iré) ; les valeurs maximales étant observées en St15 (Rade Nord).

Pour le fer et le zinc, les distributions sont relativement homogènes et ne permettent pas, de ce fait, de dessiner une quelconque évolution spatiale.

La distribution de Zn est intermédiaire et ne montre pas de tendance particulière.

Tableau 8 : Concentrations en métaux et calcium dans la phase oxy-hydroxydée des sédiments du lagon sud de Nouvelle Calédonie pour la campagne de 2012.

Station	Phase oxy-hydroxydée : concentration en mg/kg									
	As	Cd	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
ST02	<5	<2	18741	0,5	3,4	<0,5	250	6,6	3	1,6
ST03	<5	<2	5159	6,7	7,1	<0,5	307	38,2	13,0	2,3
ST06	<5	<2	6620	6,5	8,5	<0,5	405	35,6	12,8	1,2
ST07	<5	<2	14368	1,5	3,5	<0,5	206	15,6	5,6	2,0
ST13	<5	<2	9124	2,3	5,6	<0,5	459	16,3	9,2	1,6
ST14	<5	<2	13233	1,7	4,3	<0,5	457	13,4	7,0	1,4
ST15	<5	<2	2350	39,0	40,1	<0,5	393	328,4	45,8	3,9
ST16	<5	<2	6940	11,9	9,3	<0,5	428	70,1	14,2	1,8
ST18	<5	<2	5120	4,7	5,0	<0,5	317	24,0	8,9	1,4
ST19	<5	<2	8427	5,9	5,9	<0,5	302	41,6	10,6	1,7
ST20	<5	<2	5774	17,0	10,3	<0,5	393	65,7	28,7	3,0
ST21	<5	<2	26995	<0,3	3,9	<0,5	118	13,5	2,2	1,4

Tableau 9 : Matrice de corrélation inter-éléments pour les métaux extraits de la phase oxy-hydroxydée des sédiments.

	As	Cd	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
As	x									
Cd	x	x								
Ca	x	x	1,000							
Co	x	x	-0,654	1,000						
Cr	x	x	-0,570	0,966	1,000					
Cu	x	x	x	x	x	x				
Fe	x	x	-0,403	0,269	0,249	x	1,000			
Mn	x	x	-0,562	0,969	0,996	x	0,210	1,000		
Ni	x	x	-0,689	0,981	0,925	x	0,319	0,920	1,000	
Zn	x	x	-0,463	0,877	0,819	x	0,017	0,830	0,896	1,000

4.3.2.4 Concentrations en métaux dans la phase résiduelle

NIVEAUX DE CONCENTRATIONS

Hormis la station St15 dont les concentrations sont très élevées, dans cette phase résiduelle les valeurs sont relativement hétérogènes pour tous les autres prélèvements (Tableau 10). En effet, les concentrations observées se distribuent de manière suivante : Fe (620-107.400 mg/kg), Cr (20-5870 mg/kg), Ni (13-2290 mg/kg), Mn (3-564 mg/kg), Co (7-134 mg/kg) et Zn (2-103 mg/kg). Le cuivre est mesurable en faibles concentrations (0,6-6,2 mg/kg) et des traces de cadmium, voire d'arsenic, sont également décelables.

A la station St15, les valeurs de concentration dans la phase résiduelle sont : (Co)=216 mg/kg ; (Cr)=13.113 mg/kg ; (Mn)=1.207 mg/kg et (Ni)=3.653 mg/kg, soit des enrichissements d'un facteur 2 environ.

CONCENTRATIONS RELATIVES

La phase résiduelle renferme 20 à 85% du Co total contenu dans les sédiments, 35 à 98% du Cr, 15 à 87 du Cu, 80 à 98% du Fe 5 à 60% du Mn, 60 à 98% du Ni et 15 à 95% du Zn (Figure 3). Pour les autres métaux (As, Cd), ils ne sont présents qu'à l'état de traces.

DISTRIBUTION SPATIALE

Comme pour les métaux de la phase oxy-hydroxydée, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn, se distribuent selon un gradient côte-large clairement établi. En effet, les concentrations dans la phase résiduelle les plus faibles correspondent aux stations St02 (Basse Chambeyron), St07 (Balise Ioro), St13 (Récif Ma), (St14 (Port Goro) et St21 (Ilot Ugo) dont les influences marines sont les plus marquées (Tableau 10 et Tableau 11). Plus près des côtes, les niveaux de concentrations augmentent pour les stations St03 (Port Boisé), St06 (Baie Kwé), St16 (Port de commerce, St18 (Ilot Casy) et St19 (Rade de l'Est), cet enrichissement devenant plus important en St20 (Baie Iré) ; les valeurs maximales étant observées en St15 (Rade Nord). Pour le cadmium, la distribution est relativement comparable.

Tableau 10 : Concentrations en métaux et calcium dans la phase résiduelle des sédiments du lagon sud de Nouvelle Calédonie pour la campagne de 2012.

Station	Phase résiduelle : concentration en mg/kg									
	As	Cd	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
ST02	<20	<2	298	7	352	0,6	9246	36	148	10
ST03	<20	4,2	662	74	2932	5,3	87407	403	1620	72
ST06	<20	4,7	657	72	2850	4,6	85316	391	1570	65
ST07	<20	<2	468	21	702	1,5	24015	103	426	22
ST13	<20	<2	221	20	787	0,9	21905	97	384	19
ST14	<20	<2	296	14	538	1,0	16241	72	283	14
ST15	42,7	11,3	233	216	13113	12,3	252287	1207	3653	193
ST16	<20	3,9	399	74	3123	6,2	86129	356	1350	78
ST18	<20	2,1	270	37	1542	3,8	43936	179	715	45
ST19	<20	2,5	392	52	2168	2,9	54938	251	947	48
ST20	<20	5,1	689	134	5869	4,1	107409	564	2292	103
ST21	<20	<2	64	< 0,3	20	<0,5	620	3	13	2

Tableau 11 : Matrice de corrélation inter-éléments pour les métaux extraits de la phase résiduelle des sédiments.

	As	Cd	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
As	x									
Cd	x	1,000								
Ca	x	-0,238	1,000							
Co	x	0,962	0,293	1,000						
Cr	x	0,976	0,129	0,982	1,000					
Cu	x	0,940	0,043	0,917	0,921	1,000				
Fe	x	0,996	0,216	0,982	0,985	0,967	1,000			
Mn	x	0,993	0,228	0,990	0,991	0,947	0,997	1,000		
Ni	x	0,973	0,371	0,993	0,962	0,926	0,980	0,986	1,000	
Zn	x	0,981	0,257	0,992	0,981	0,960	0,994	0,993	0,988	1,000

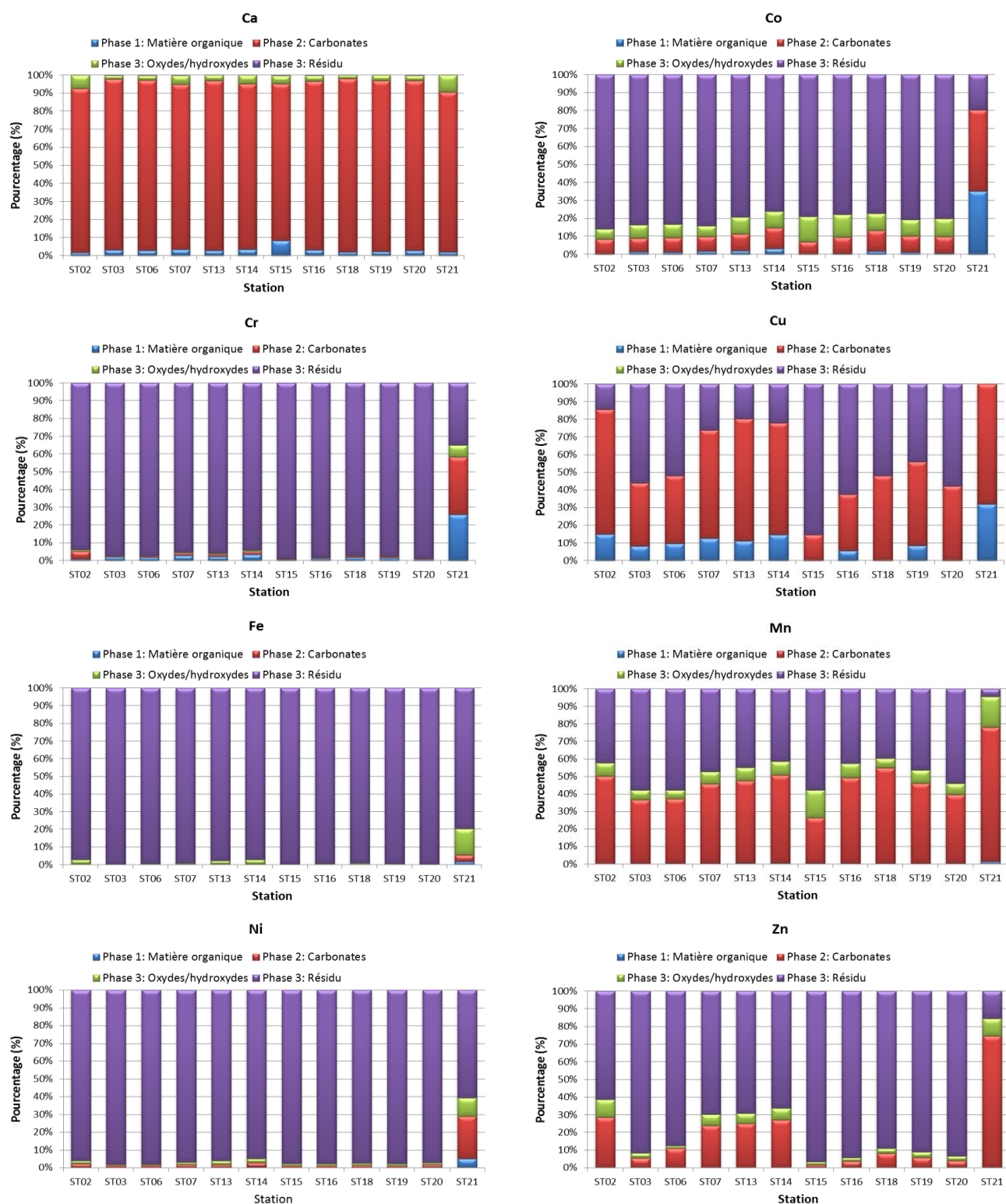


Figure 3 : Distribution relative des principaux métaux extraits (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn) et du calcium des 4 phases géochimiques des sédiments des 12/14 stations échantillonnées.

CE QU'IL FAUT RETENIR

Les métaux de la phase organique ne suivent pas de distribution spatiale régie par la distance à la côte (phénomène de dilution particulière). Toutefois, les valeurs sont maximales le long d'une frange côtière sans que celle-ci influe de manière identique sur les niveaux de concentration des métaux.

La phase carbonatée des métaux permet de mettre en évidence une distribution spatiale qui globalement suit un gradient de décroissance des concentrations en fonction de la distance à la côte. Cependant, les différents termes sources terrigènes n'exercent pas des pressions identiques, notamment la Kwé et le Creek de la Rade Nord ; le bassin versant de ce dernier s'avérant prépondérant pour les apports en Co, Cr, Mn et Ni.

En ce qui concerne les phases oxy-hydroxydées, les niveaux de concentration des métaux sont faibles et une seule source avérée (Creek de la Rade Nord) est mise en évidence ; la Baie Iré montrant aussi des teneurs notables. La distribution s'effectue selon un fort gradient côte-large.

Tous les métaux constitutifs de la matrice géochimique des latérites (phase résiduelle) montrent une excellente relation de décroissance des concentrations en fonction de la distance aux termes sources. Le Creek de la Rade Nord est le principal vecteur identifié du cortège des métaux terrigènes; la Kwé ainsi que les creeks qui alimentent les baies de Port Boisé et Iré sont autant de sources secondaires à prendre en compte.

4.4 COMPARAISON INTERANNUELLE 2006, 2009 ET 2012

Les résultats d'analyses des 3 campagnes triennales (2006, 2009 et 2012) pour les éléments Co, Cr, Fe, Mn et Ni sont réunies en Annexe 5. Ces données concernent les stations sentinelles St06, St15 et St16.

Les analyses en métaux totaux réalisées depuis 2012 (Tableau 12) montrent que les concentrations en Co et Mn sont remarquablement constantes dans le temps pour les 3 stations sentinelles ; respectivement les variations sont comprises entre 4% (St15) à 13% (St06) et de 1% (St06) à 12% (St15).

Tableau 12 : Concentrations totales Co, Cr, Fe, Mn et Ni pour les sédiments de surface des 3 stations sentinelles ; valeurs moyennes, écart-types e et %RSD pour les concentrations 2006, 2009 et 2012.

	STATIONS	MOYENNE 2006 A 2012	ECART-TYPE	% RSD
Cobalt	St06	78	10	13
	St15	269	10	4
	St16	90	5	6
Chrome	St06	2715	741	27
	St15	12954	3765	29
	St16	2938	1241	42
Fer	St06	86106	26220	30
	St15	287954	81862	28
	St16	83674	30087	36
Manganèse	St06	667	10	1
	St15	2404	290	12
	St16	795	54	7
Nickel	St06	1254	305	24
	St15	3619	558	15
	St16	1163	275	22

Les écarts de concentrations sont un peu plus important pour Fe (28% en St15 à 36% en St16) et Ni (15% en St15 et 24% en St06), le chrome (Cr) montrant la dispersion la plus importante (27% en St06 à 42% en St16). Ces résultats reflètent la variabilité naturelle des sédiments mais peuvent aussi, notamment au niveau des embouchures de certains creeks, exprimer des changements dans la nature des apports particulaires.

La concentration totale de chaque métal se distribue de manière inégale dans les 4 différentes phases géochimiques attaquées ; la quantité de métal pour chaque phase étant liée au comportement géochimique du métal, c'est-à-dire en fonction de ses capacités à se solubiliser puis à se recombinaison avec d'autres composés.

L'étude des concentrations des principaux traceurs terrigènes (Co, Cr et Ni) permet de suivre les évolutions temporelles des pressions au niveau des stations sentinelles localisées à proximité des deux termes sources de matériel particulaire prépondérants : le Creek de la Rade Nord (St15) et la creek Kwé (St06).

COBALT (Figure 4)

Dans la phase organique de la station St06, les concentrations en Co montrent une diminution d'un facteur 10 entre 2006/2009 et 2012, une baisse tout aussi remarquable est observée pour les sédiments de station St15 ([Co] < LQ). Pour cette dernière, en particulier, la différence peut en partie être imputée au positionnement du site de prélèvement, celui-ci étant localisé au pied du talus deltaïque du Creek de la Rade Nord où la variabilité des sédiments est importante du fait des effets de crues ; la matière organique étant peu dense, sa propension à être transportée vers le large et dispersée est plus forte.

Dans la phase carbonatée, au niveau du prisme deltaïque de la Rade Nord (St15), le creek semble avoir une influence relativement constante sur le cobalt incorporable dans les carbonates. Cette influence semble s'étendre à la répartition des formes oxy-hydroxydées du métal. A l'inverse, en Baie Kwé (St06), une progression notable des formes carbonatées du métal semble se dessiner depuis les deux dernières campagnes du suivi sédimentologique (2009 et 2012), cette augmentation étant également sensible dans la formation des oxy-hydroxydes de cobalt. Dans ces deux cas, les concentrations en Co ont été multipliées par un facteur 10 environ.

Les formes résiduelles qui représentent plus de 90% de la concentration totale, montrent une très légère progression en 2012, à peine plus sensible pour St06 que pour St15.

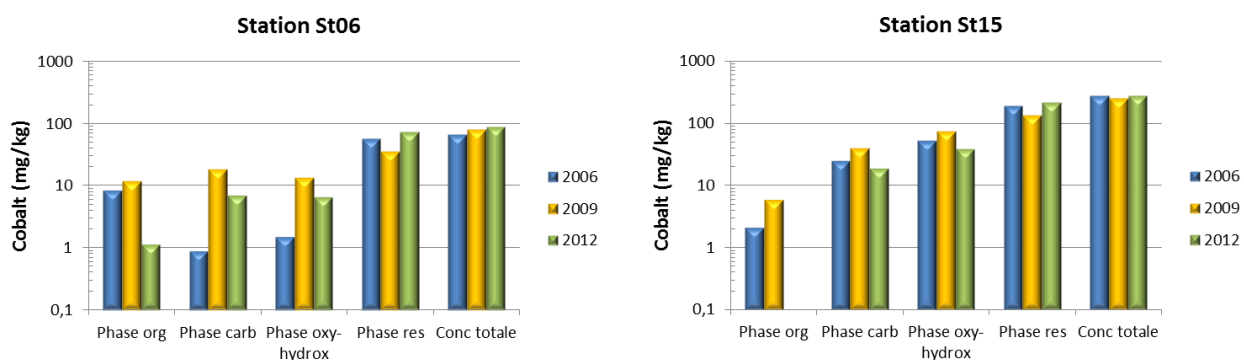


Figure 4 : Concentrations en Co dans les 4 différentes phases géochimiques : évolutions temporelles 2006, 2009 et 2012 pour les stations sentinelles St06 (Baie Kwé) et St15 (Creek de la rade Nord).

CHROME (Figure 5)

Le chrome dans la phase organique montre une variabilité interannuelle de faible amplitude pour les sédiments de la station St06. A l'inverse, celle-ci est en forte progression depuis plusieurs années au niveau de la station St15 où, d'une manière globale, les concentrations sont actuellement près de 40 fois celles mesurées en 2006.

Pour la phase carbonatée, comme pour le cobalt, les concentrations semblent avoir progressé depuis 2006. Cet accroissement s'est matérialisé de manière moins claire en Rade Nord qu'en Baie Kwé même si, dans cette dernière, les niveaux de concentrations sont plus faibles d'un facteur 5 environ.

Un schéma comparable est observable pour les formes du chrome lié aux phases oxy-hydroxydées, là encore, de manière plus nette dans les sédiments de la Baie Kwé, mais aussi à des niveaux de concentrations 5 fois inférieurs en moyenne.

En ce qui concerne les fractions du chrome liées aux phases résiduelles, celles-ci demeurent assez constantes dans le temps. Le chrome, généralement présent dans les produits d'altération est sous la forme de chromite, minéral de forte densité qui sédimente rapidement et ne retrouve que rarement dans les sédiments exportés dans le Canal.

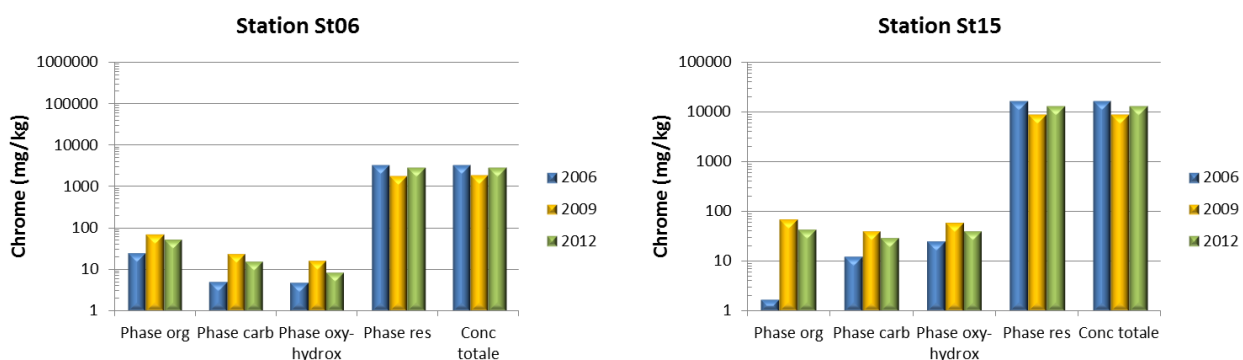


Figure 5 : Concentrations en Cr dans les 4 différentes phases géochimiques : évolutions temporelles 2006, 2009 et 2012 pour les stations sentinelles St06 (Baie Kwé) et St15 (Creek de la rade Nord).

NICKEL (Figure 6)

Pour 2012, le nickel extrait de la phase organique des sédiments montre des concentrations en limite de détection (<1 mg/kg), contrairement aux mesures réalisées en 2006 et 2009 où il dépassait les 10 mg/kg. Cette observation concerne les sédiments de la Baie Kwé comme ceux de la Rade Nord. Tout comme pour le cobalt, la variabilité sédimentaire peut, là aussi, constituer un facteur explicatif de ces résultats.

En ce qui concerne les formes carbonatées, le nickel est moins concentré dans les sédiments de la Baie Kwé que dans ceux de la Rade Nord. Cette répartition est probablement à relier, d'une part, aux effets de dilution particulière des apports terrigènes, la Baie Kwé étant un milieu plus carbonaté que la rade et d'autre part à la quantité plus importante de nickel dissous exporté par les eaux du Creek de la Rade Nord.

Les oxy-hydroxydes de nickel sont en concentrations relativement constantes depuis 2006, tant pour les sédiments de la Baie Kwé (St06) que du Creek de la Rade Nord (St15) ; les phases résiduelles ne montrent pas non plus, une grande variabilité temporelle.

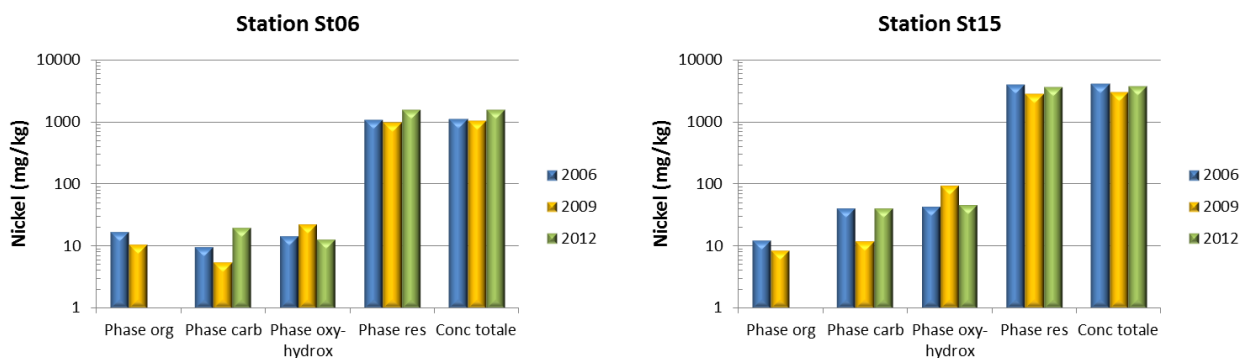


Figure 6 : Concentrations en Ni dans les 4 différentes phases géochimiques : évolutions temporelles 2006, 2009 et 2012 pour les stations sentinelles St06 (Baie Kwé) et St15 (Creek de la rade Nord).

CE QU'IL FAUT RETENIR

Les quantités totales de cobalt, chrome et nickel sont constantes depuis 2006, toutefois une différence est notée dans la répartition de certaines formes géochimiques de ces métaux, en particulier les carbonates. Cette évolution temporelle affecte de manière différente les métaux en fonction, d'une part, des caractéristiques physico-chimiques propres et d'autre part, du terme source (creeks Rade Nord ou Kwé).

Les formes organiques évoluent de manière assez aléatoire tandis que les formes carbonatées semblent bien être liées aux apports en métaux dissous ; les concentrations étant plus élevées au droit du Creek de la Rade Nord que dans la Baie Kwé.

5 CONCLUSION

A l'issue de cette deuxième campagne de suivi de la « Qualité des sédiments », il apparaît que :

- la granulométrie des sédiments n'a pas évolué de manière probante dans l'ensemble des stations entre 2009 et 2012, à l'exception de St06. Les minéraux carbonatés dominent la composition des 12/14 échantillons de sédiments prélevés dans la zone d'études ; la goethite, minéral issu de l'altération des latérites, étant décelable sur un nombre limité de stations proches des sources d'apports terrigènes uniquement ;
- les métaux de la phase organique ne se distribuent pas selon un gradient « côte-large » même si les valeurs sont maximales le long d'une frange côtière ;
- à l'inverse, les métaux analysés dans la phase carbonatée mettent en évidence une distribution spatiale qui globalement suit un gradient de décroissance des concentrations en fonction de la distance à la côte. Cependant, les différents termes sources terrigènes n'exercent pas des pressions identiques, notamment la Kwé et le Creek de la Rade Nord ; le bassin versant de ce dernier s'avérant prépondérant pour les apports en Co, Cr, Mn et Ni dissous ;
- tous les métaux constitutifs des phases oxy-hydroxydées et résiduelles montrent une excellente relation de décroissance des concentrations en fonction de la distance aux termes sources. Le Creek de la Rade Nord est le principal vecteur identifié des métaux terrigènes.

En ce qui concerne l'évolution temporelle, les quantités totales de cobalt, chrome et nickel sont constantes depuis 2006, toutefois une différence est notée dans la répartition de certaines formes géochimiques de ces métaux, en particulier les carbonates qui semblent bien être liées aux apports en métaux dissous ; les concentrations étant plus élevées au droit du Creek de la Rade Nord que dans la Baie Kwé.

6 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.

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

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.

He Q, Walling, DE, 1996. Interpreting particle size effects in the adsorption of Cs-137 and unsupported Pb-210 by mineral soils and sediments. *J. Environ. Radioac.*, 30 (2), pp 117-137.

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.

7 LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES STATIONS DE SUIVI DE LA QUALITE DES SEDIMENTS.	10
FIGURE 2 : REPARTITION DES MASSES DES 4 PHASES GEOCHIMIQUES ATTAQUEES POUR CHACUNE DES 12 STATIONS ECHANTILLONNEES DE LA CAMPAGNE 2012. AUCUN ECHANTILLON DE SEDIMENT AUX STATIONS St05 ET St09 N' A PU ETRE PRELEVE.	15
FIGURE 3 : DISTRIBUTION RELATIVE DES PRINCIPAUX METAUX EXTRAITS (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni ET Zn) ET DU CALCIUM DES 4 PHASES GEOCHIMIQUES DES SEDIMENTS DES 12/14 STATIONS ECHANTILLONNEES.	21
FIGURE 4 : CONCENTRATIONS EN Co DANS LES 4 DIFFERENTES PHASES GEOCHIMIQUES : EVOLUTIONS TEMPORELLES 2006, 2009 ET 2012 POUR LES STATIONS SENTINELLES St06 (BAIE KWE) ET St15 (CREEK DE LA RADE NORD).....	23
FIGURE 5 : CONCENTRATIONS EN Cr DANS LES 4 DIFFERENTES PHASES GEOCHIMIQUES : EVOLUTIONS TEMPORELLES 2006, 2009 ET 2012 POUR LES STATIONS SENTINELLES St06 (BAIE KWE) ET St15 (CREEK DE LA RADE NORD).....	24
FIGURE 6 : CONCENTRATIONS EN Ni DANS LES 4 DIFFERENTES PHASES GEOCHIMIQUES : EVOLUTIONS TEMPORELLES 2006, 2009 ET 2012 POUR LES STATIONS SENTINELLES St06 (BAIE KWE) ET St15 (CREEK DE LA RADE NORD).....	25

8 LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : NOMENCLATURE ET COORDONNEES DES 14 STATIONS DE SUIVI PHYSICO-CHIMIQUE DES SEDIMENTS.	9
TABLEAU 2 : TENEUR EN FRACTION PELITIQUE (< 40µm) DES SEDIMENTS ECHANTILLONNES DANS LE DOMAINE D’ETUDE ; (ND) = NON DETERMINE EN RAISON DE LA PRESENCE DE SEDIMENTS MEUBLES EN QUANTITE INSUFFISANTE.	12
TABLEAU 3 : CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES DES 14 SEDIMENTS CORRESPONDANT AUX STATIONS DE SUIVI SEDIMENTOLOGIQUE. POURCENTAGE DE FRACTION DES CLASSES GRANULOMETRIQUES. (ND) = MESURE GRANULOMETRIQUE NON EFFECTUEE EN RAISON DE LA PRESENCE DE SEDIMENTS MEUBLES EN QUANTITE INSUFFISANTE.	13
TABLEAU 4 : CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM DANS LA PHASE ORGANIQUE DES SEDIMENTS DU LAGON SUD DE NOUVELLE CALEDONIE POUR LA CAMPAGNE DE 2012.	17
TABLEAU 5 : MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS POUR LES METAUX EXTRAITS DE LA PHASE ORGANIQUE DES SEDIMENTS.	17
TABLEAU 6 : CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM DANS LA PHASE CARBONATEE DES SEDIMENTS DU LAGON SUD DE NOUVELLE CALEDONIE POUR LA CAMPAGNE DE 2012.	18
TABLEAU 7 : MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS POUR LES METAUX EXTRAITS DE LA PHASE CARBONATEE DES SEDIMENTS.	18
TABLEAU 8 : CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM DANS LA PHASE OXY-HYDROXYDEE DES SEDIMENTS DU LAGON SUD DE NOUVELLE CALEDONIE POUR LA CAMPAGNE DE 2012.	19
TABLEAU 9 : MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS POUR LES METAUX EXTRAITS DE LA PHASE OXY-HYDROXYDEE DES SEDIMENTS.	19
TABLEAU 10 : CONCENTRATIONS EN METAUX ET CALCIUM DANS LA PHASE RESIDUELLE DES SEDIMENTS DU LAGON SUD DE NOUVELLE CALEDONIE POUR LA CAMPAGNE DE 2012.	20
TABLEAU 11 : MATRICE DE CORRELATION INTER-ELEMENTS POUR LES METAUX EXTRAITS DE LA PHASE RESIDUELLE DES SEDIMENTS.	20
TABLEAU 12 : CONCENTRATIONS TOTALES Co, Cr, Fe, Mn et Ni POUR LES SEDIMENTS DE SURFACE DES 3 STATIONS SENTINELLES ; VALEURS MOYENNES, ECART-TYPE ET %RSD POUR LES CONCENTRATIONS 2006, 2009 ET 2012.	22

9 LISTE DES ANNEXES

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

ANNEXE 2 : A - GRANULOMETRIE DES POPULATIONS DE PARTICULES DES 12/14 SEDIMENTS PRELEVES.

B - OBSERVATIONS MICROSCOPIQUES DES SEDIMENTS : FRACTIONS SUPERIEURE A 2 MM ; GROSSISSEMENT X1.

ANNEXE 3 : A - OBSERVATIONS MICROSCOPIQUES DES SEDIMENTS : FRACTIONS TAMISEES A 2 MM ; GROSSISSEMENT X4.

B - OBSERVATIONS MICROSCOPIQUES DES SEDIMENTS : FRACTIONS SUPERIEURE A 2 MM ; GROSSISSEMENT X4.

ANNEXE 4 : RESULTATS D'ANALYSES DES METAUX EXTRAITS DES QUATRE DIFFERENTES PHASES GEOCHIMIQUES CONSTITUTIVES DES SEDIMENTS.

ANNEXE 5 : A - EXTRACTIONS SEQUENTIELLES DES METAUX : COMPARAISONS INTERANNUELLES DES CONCENTRATIONS PAR PHASE POUR TROIS STATIONS SENTINELLES : St06 (BAIE KWE), St15 CREEK DE LA RADE NORD) ET St16 (PORT DE COMMERCE).

B- EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN METAUX (CO, CR, FE, MN ET NI) POUR LES DEUX TERMES SOURCES PRINCIPAUX DE L'AIRE D'ETUDES : STATIONS St06 (BAIE KWE) ET St15 (CREEK DE LA RADE NORD)

ANNEXE – 1

Description des méthodes de traitement et d'analyses des échantillons

Conditionnement

Les opérations de sous-échantillonnage suivantes ont été réalisées :

- prélèvements dans les sédiments de surface pour la détermination des compositions granulométrique et minéralogique ;
- prélèvements dans les sédiments de surface pour la détermination des paramètres géochimiques : concentrations en métaux (As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn) dans 4 phases géochimiques constitutives des dépôts.

Chaque échantillon de sédiment a été conditionné dans des sachets en vinyle à usage unique (Whirl-Pack) référencés. Les sédiments ainsi prélevés ont été conservés à 4°C dans une glacière, puis de retour au laboratoire, ils ont aussitôt été congelés et lyophilisés.

Pour tous les échantillons destinés à l'analyse des métaux, une séparation granulométrique des sédiments a été effectuée par voie humide (Eau Ultra-pure) afin de récupérer la fraction sédimentaire chimiquement la plus réactive² : il s'agit des pélites (particules < 40 µm). Les échantillons tamisés ont été séchés à l'étuve (40°C) puis conditionnés pour leur conservation.

Analyse des compositions granulométrique

La caractérisation des sédiments a été conduite par analyse granulométrique aux seuils de coupures standards pour séparer, le cas échéant, les sables moyen et grossiers ($\phi > 500 \mu\text{m}$), les sables fins ($500 < \phi < 250 \mu\text{m}$), les silts grossiers ($250 < \phi < 125 \mu\text{m}$), les silts moyen ($125 < \phi < 63 \mu\text{m}$) et les silts fins plus les argiles ($\phi < 63 \mu\text{m}$).

L'étude de la distribution des populations de particules composant la fraction fine (silts plus argiles inférieurs à 40µm) est nécessaire car elles déterminent à elles seules 90% des capacités géochimiques d'échange du sédiment

² Mayer LM, Fink LK, 1979. Granulometric control of chromium accumulation in estuarine sediments in Maine. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 11, pp 491–503.

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.

He Q, Walling, DE, 1996. Interpreting particle size effects in the adsorption of Cs-137 and unsupported Pb-210 by mineral soils and sediments. *J. Environ. Radioac.*, 30 (2), pp 117-137.

qui sont à relier au potentiel toxique de celui-ci. La distribution de ces populations de particules fines a été réalisée par granulométrie laser après remise en suspension des sédiments, ajout d'agent dispersant (Pyrophosphates de Na/K) et agitation aux ultrasons.

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

Analyse des compositions minéralogique

Les espèces minérales ont été déterminées par diffraction de rayons X (DRX) sur des échantillons séparés à 40 µm (pélites) modérément broyés. L'appareil utilisé est un Philips (PW1050/25) équipé d'une anticathode Cu. La recherche des minéraux a été réalisée avec le code UPDSM.

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

Dosage des métaux liés aux fractions géochimiques

Pour le suivi triennal, des extractions séquentielles sur les sédiments ont été conduites de manière à séparer 4 phases géochimiques³. Cette méthodologie permet de mieux appréhender les effets de l'impact d'une contamination métallique dans le milieu. Les deux premières étapes du protocole permettent de mettre en évidence les conditions sédimentaires et les influences anthropiques, les deux dernières reflètent l'évolution géochimique naturelle.

Pour chaque échantillon, les 4 formes géochimiques suivantes des métaux Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn ainsi que de Ca ont été extraites :

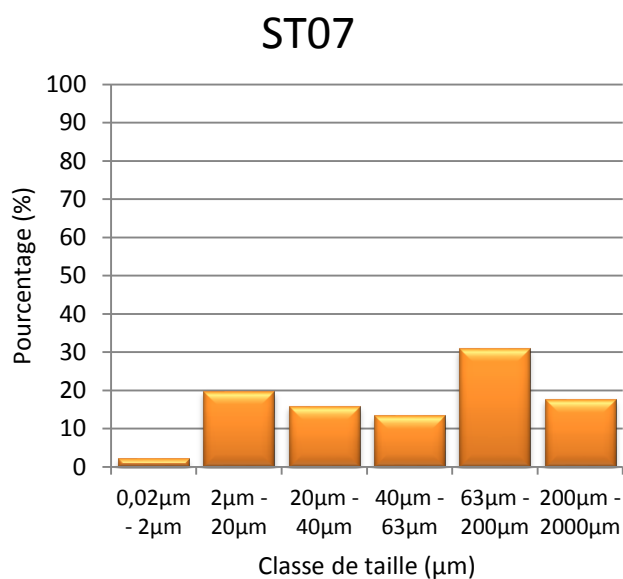
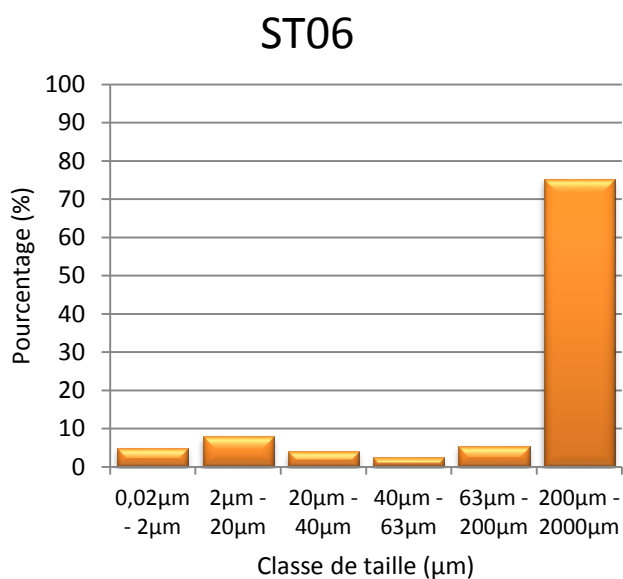
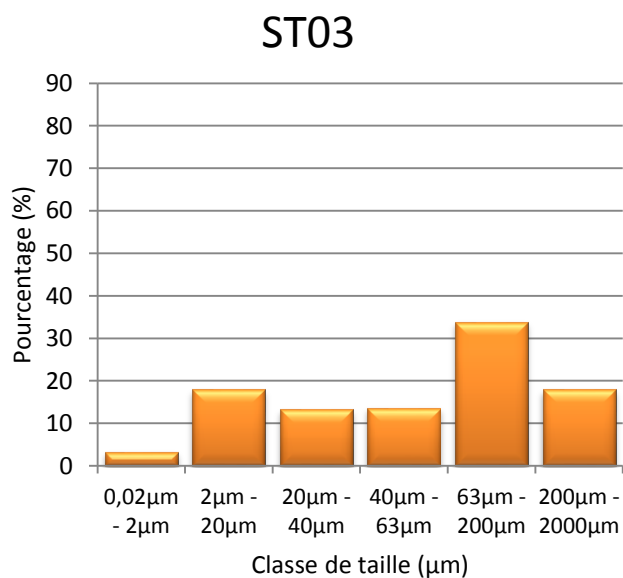
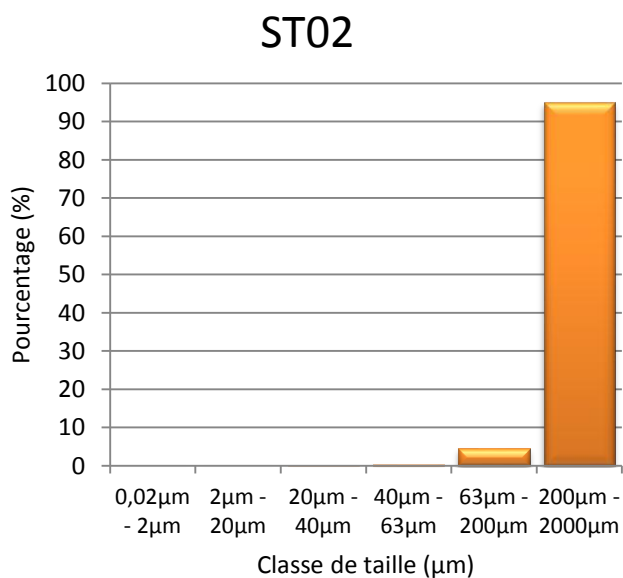
- **formes oxydables** : Cette fraction représente les métaux liés à la matière organique du sédiment. Leur extraction est conduite par un oxydant fort en milieu acide ;
- **formes acido-solubles** : C'est une fraction facilement solubilisable par l'utilisation d'un acide faible tamponné en solution qui attaque en particulier la matrice carbonatée du sédiment. Elle contient également des éléments très faiblement liés aux autres phases géochimiques ;
- **formes réductibles** : Elles sont associées aux oxy-hydroxydes de fer et manganèse principalement. Leur extraction s'opère avec un agent réducteur puissant en milieu faiblement acide ;
- **formes réfractaires** : Elles représentent les éléments métalliques fortement liés ou constituant 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 à haute température puis solubilisation de l'amalgame avec un acide dilué.

Après mise en solution (séquentielle ou totale), les métaux et le calcium ont été dosés par spectrométrie d'émission optique couplée à une torche plasma (ICP-OES Varian, modèle Vista).

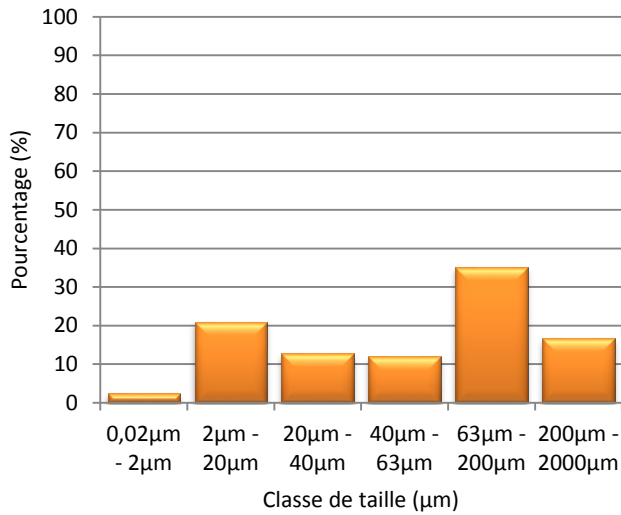
³ Tessier A, Campbell PGC, Bisson M, 1979. Sequential procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry*, 51, pp. 844-851.

ANNEXE – 2

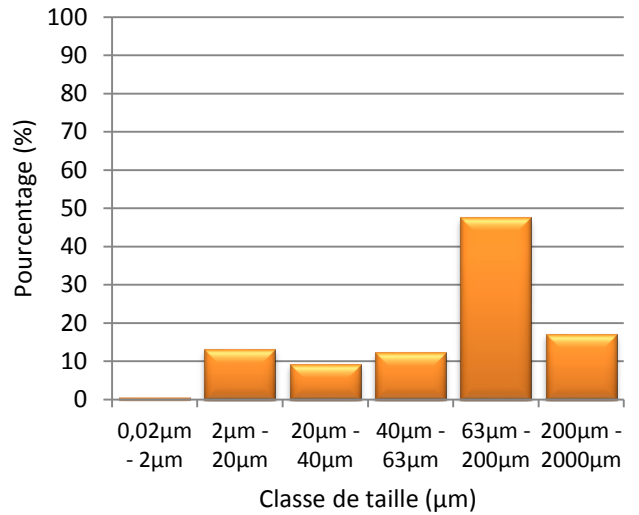
A - Granulométrie des populations de particules des 12/14 sédiments prélevés.



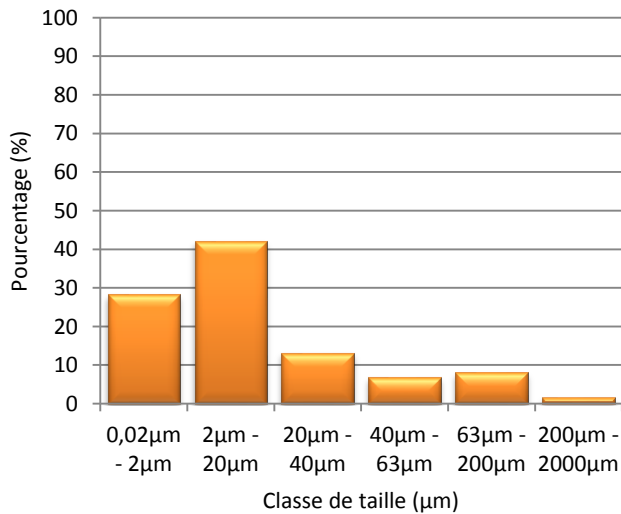
ST13



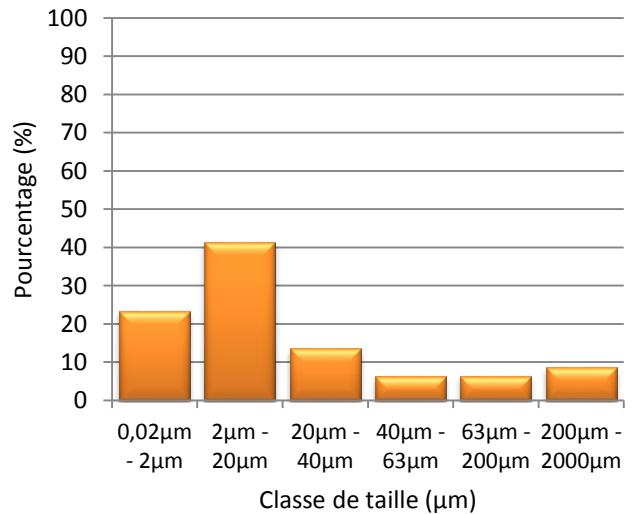
ST14



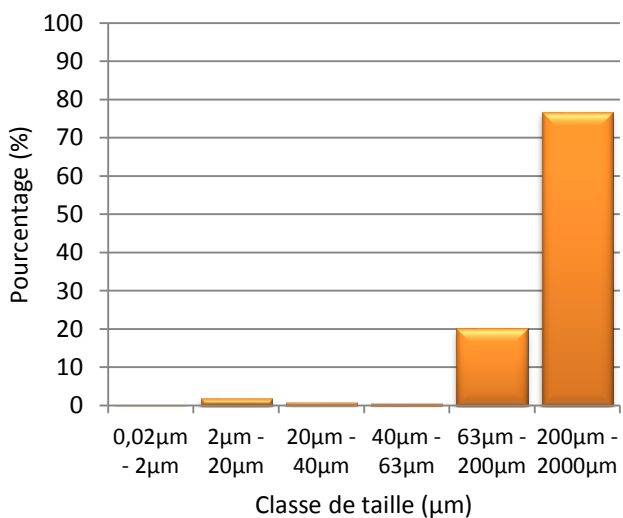
ST15



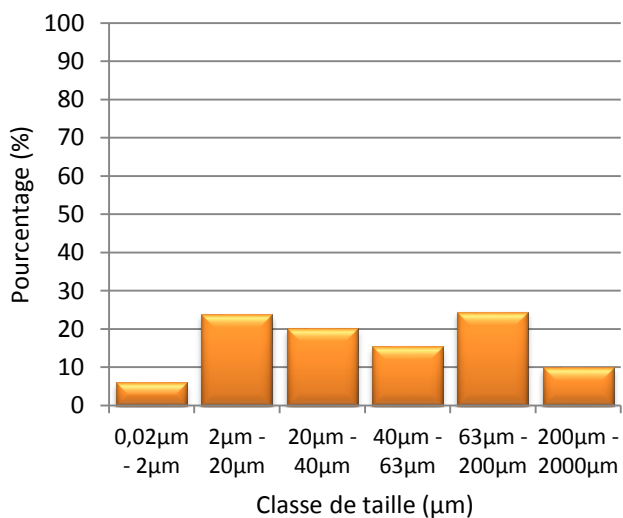
ST16



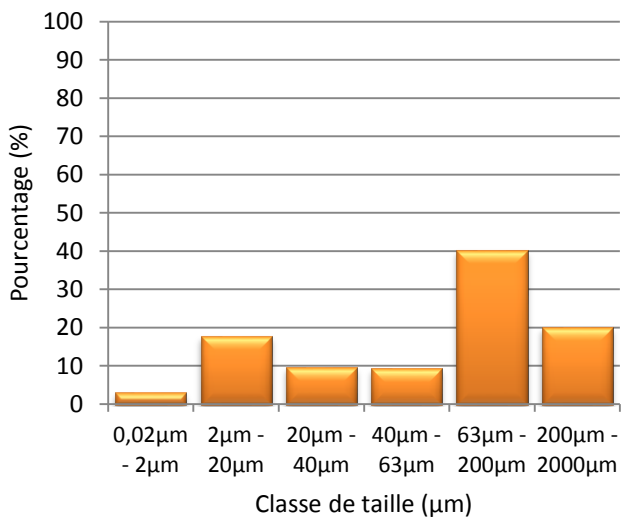
ST18



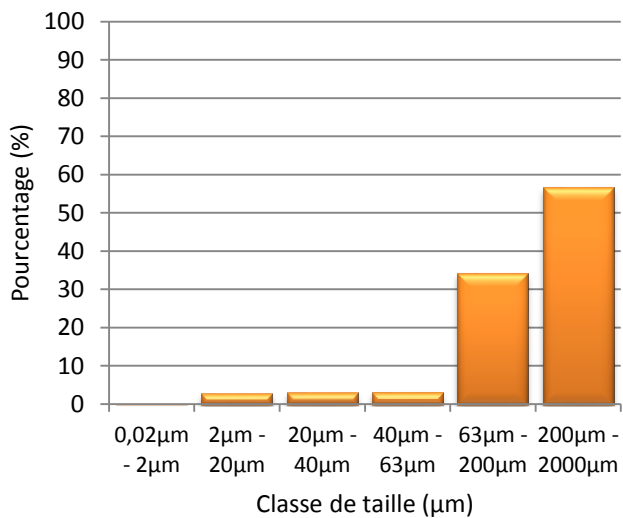
ST19



ST20

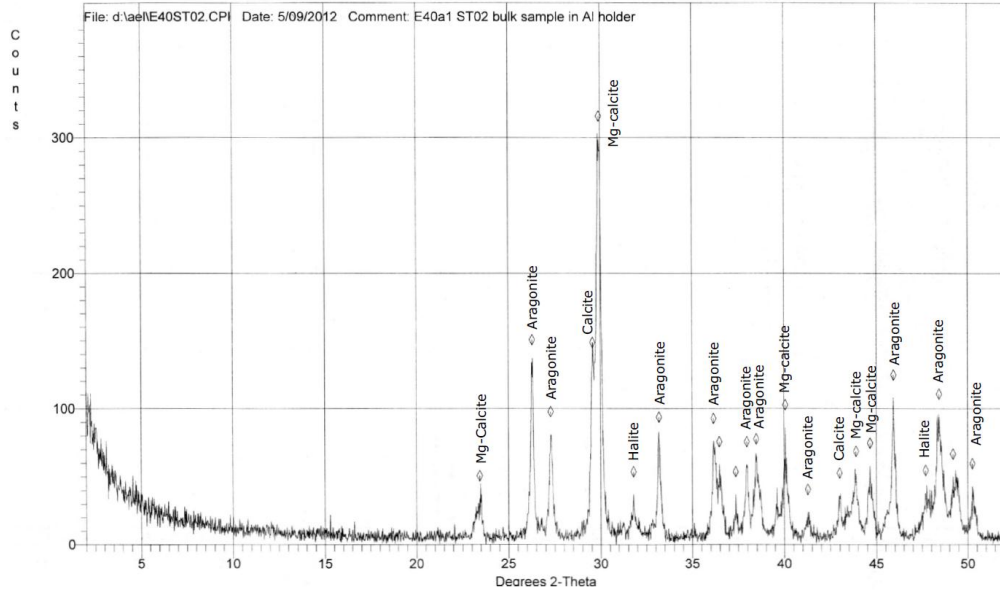


ST21

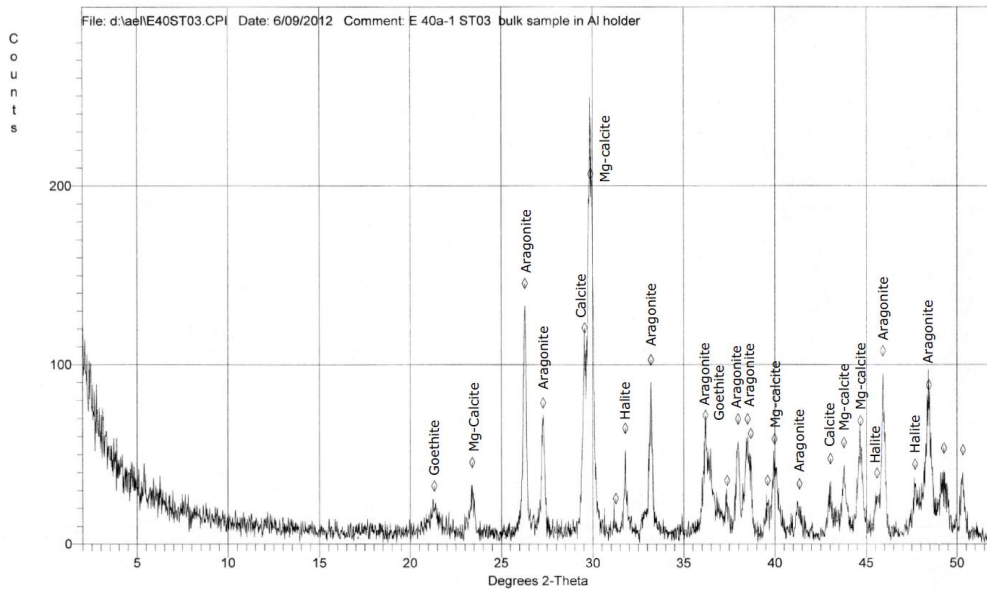


B - Diffractogrammes des 12/14 sédiments prélevés

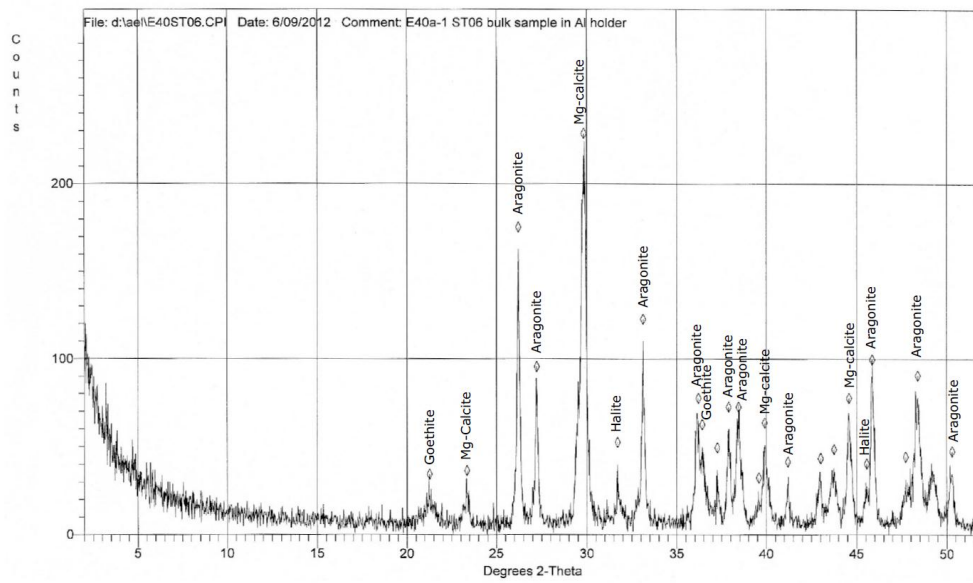
Station St02



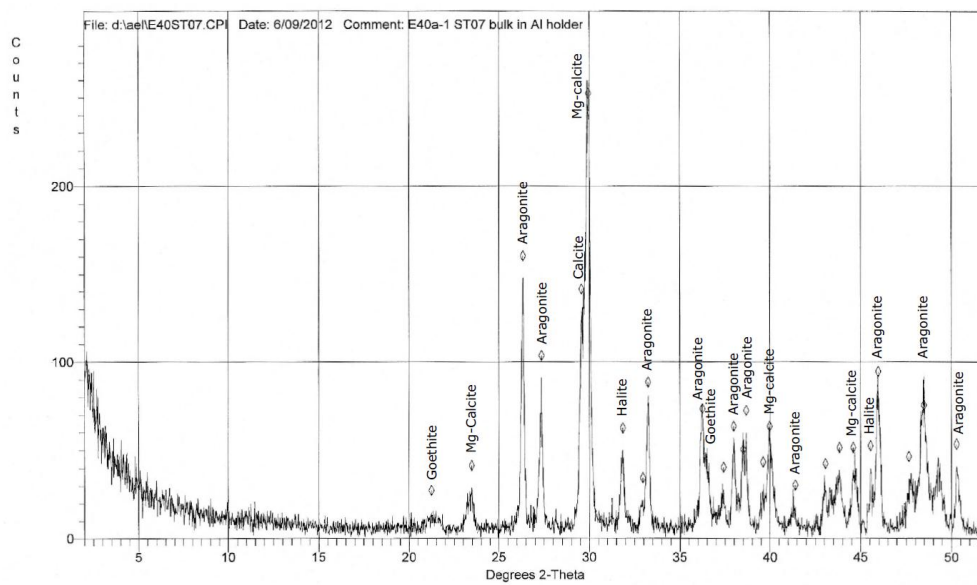
Station St03



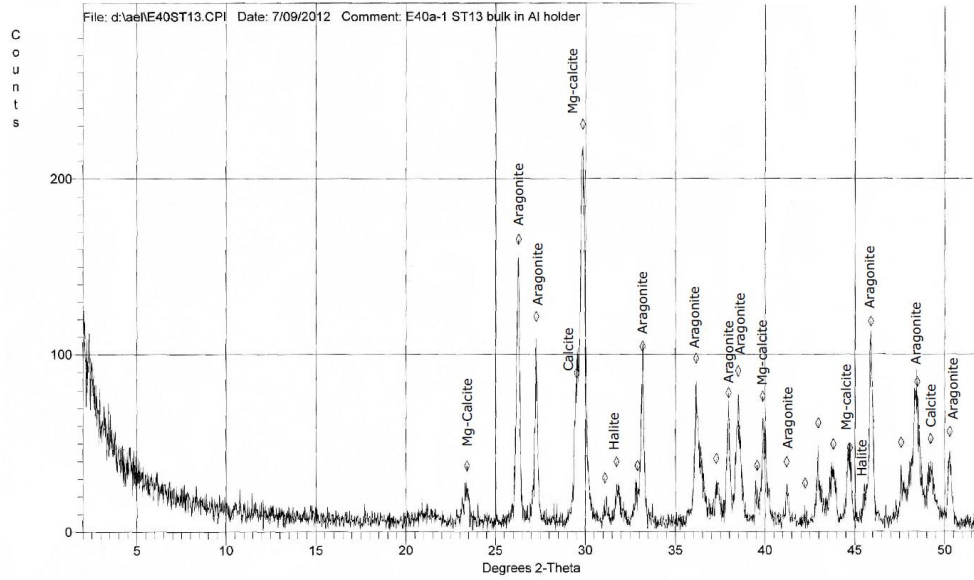
Station St06



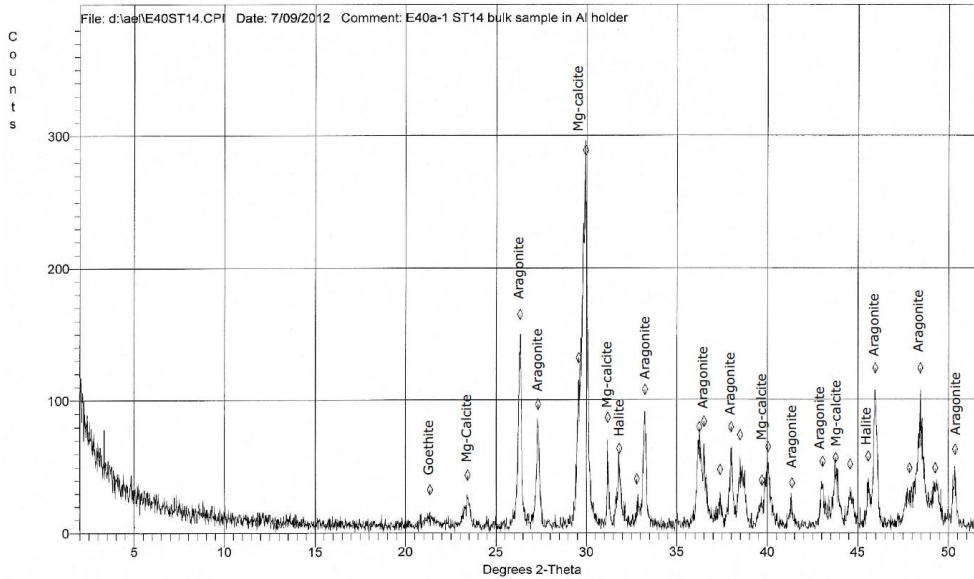
Station St07



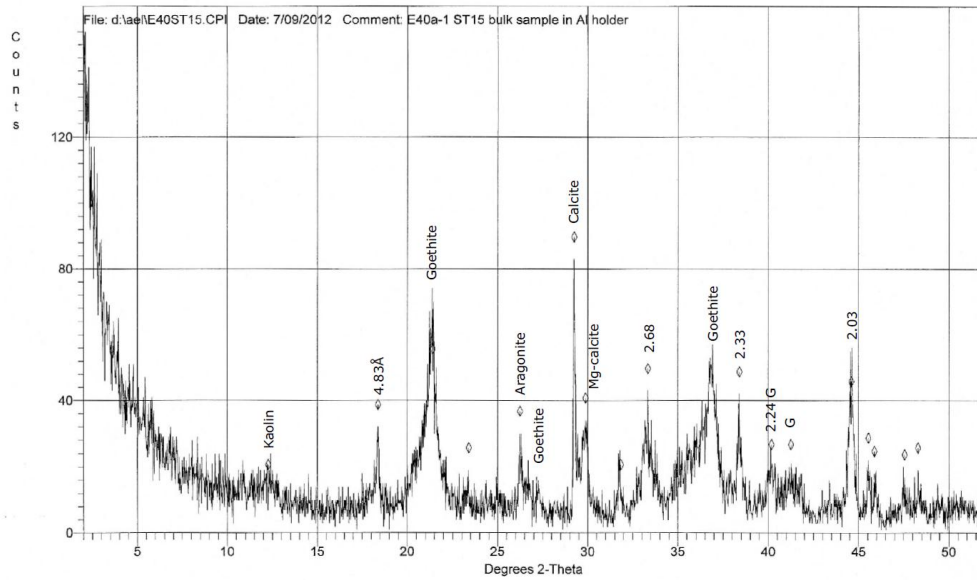
Station St13



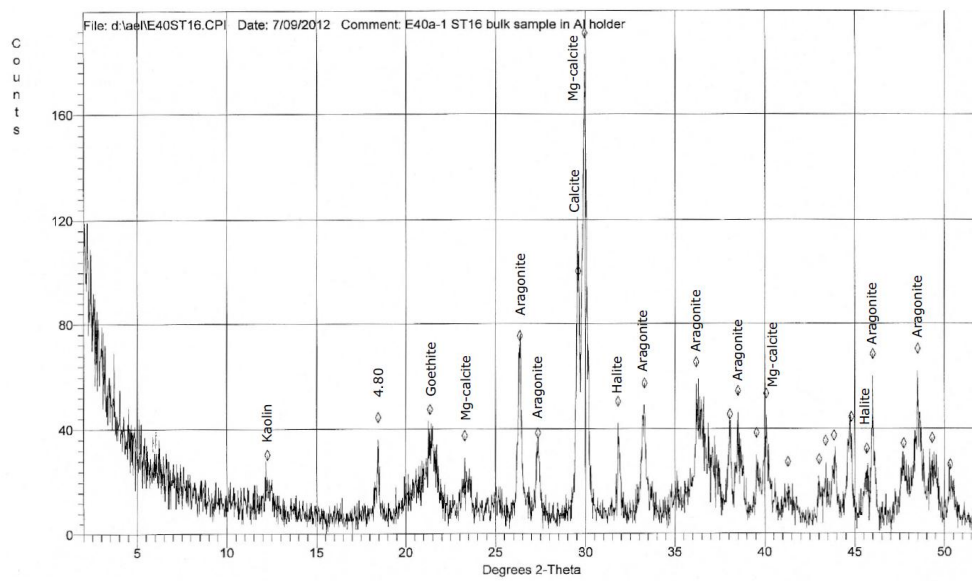
Station St14



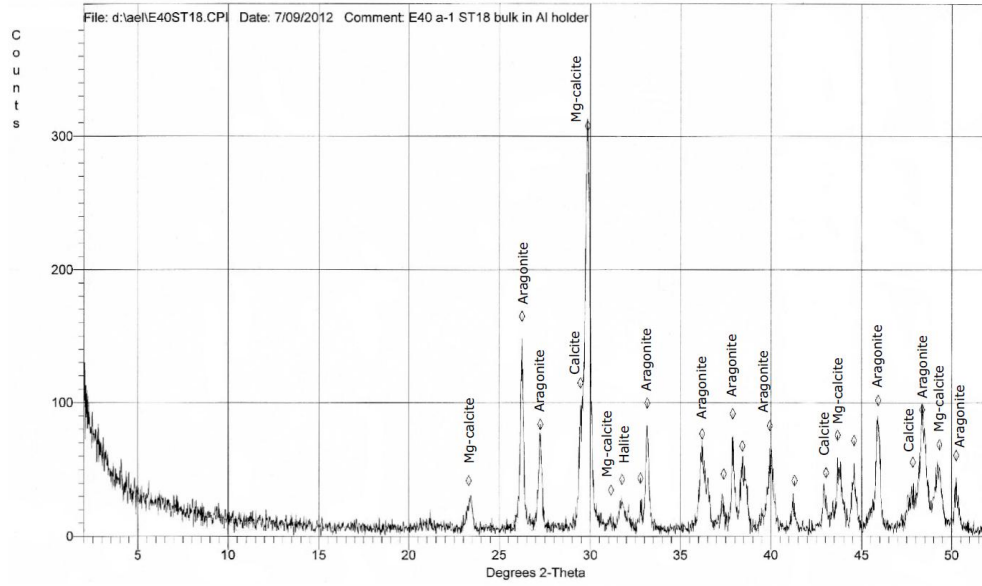
Station St15



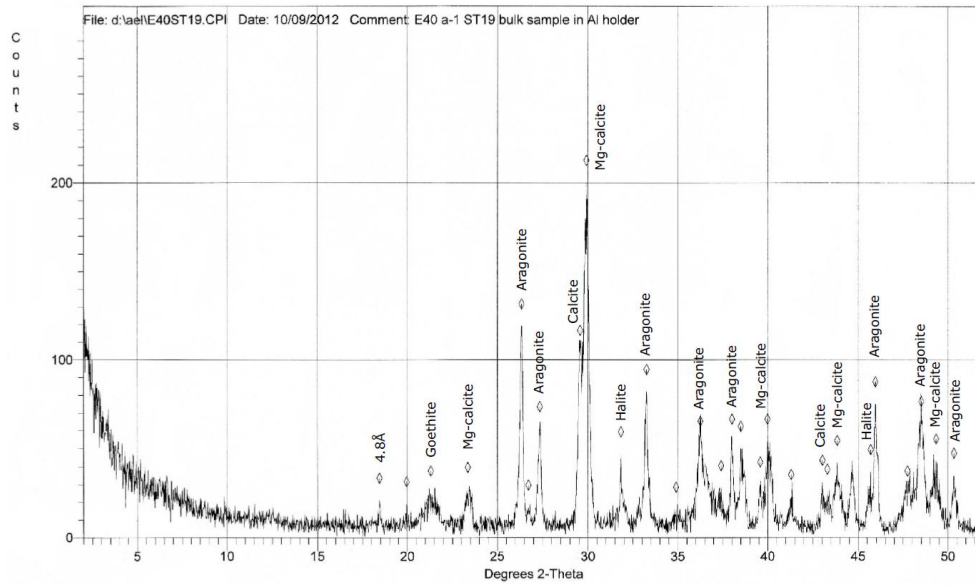
Station St16



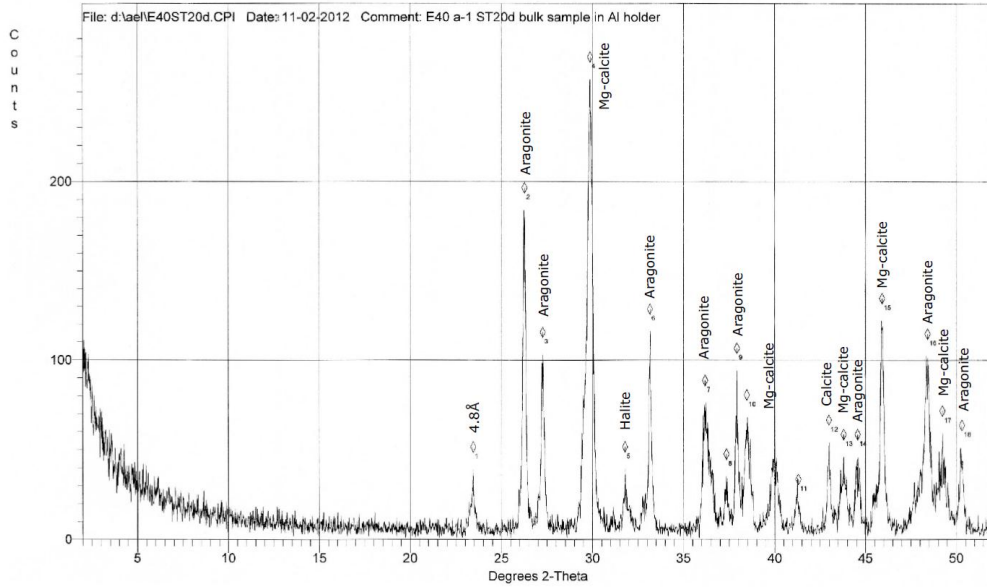
Station St18



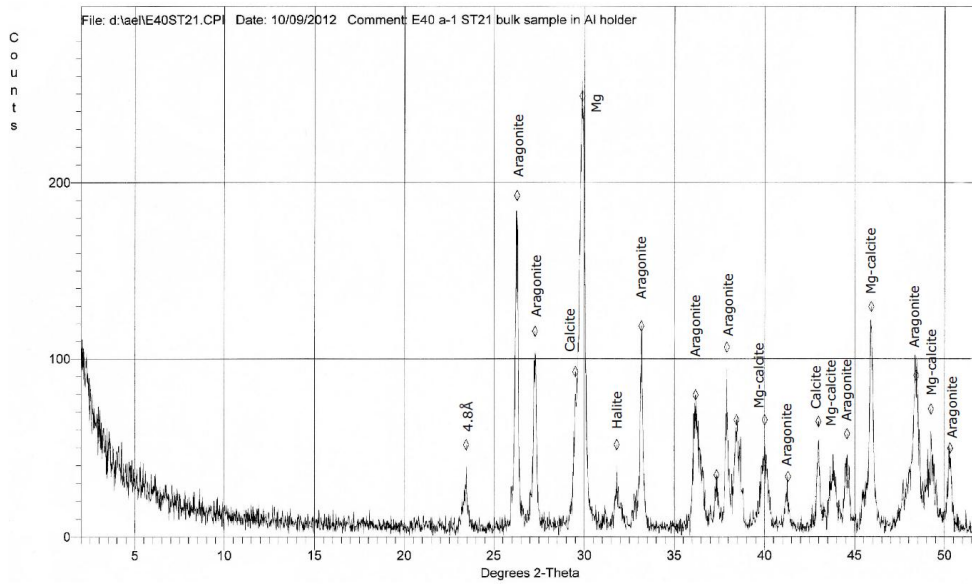
Station St19



Station St20



Station St21



ANNEXE – 3

A - Observations microscopiques des sédiments : fractions tamisées à 2 mm ; grossissement x4.



ST02



ST03



ST06



ST07



ST13



ST14



ST15



ST16



ST18



ST19



ST20



ST21

B - Observations microscopiques des sédiments : fractions supérieure à 2 mm ; grossissement x1.



ST02



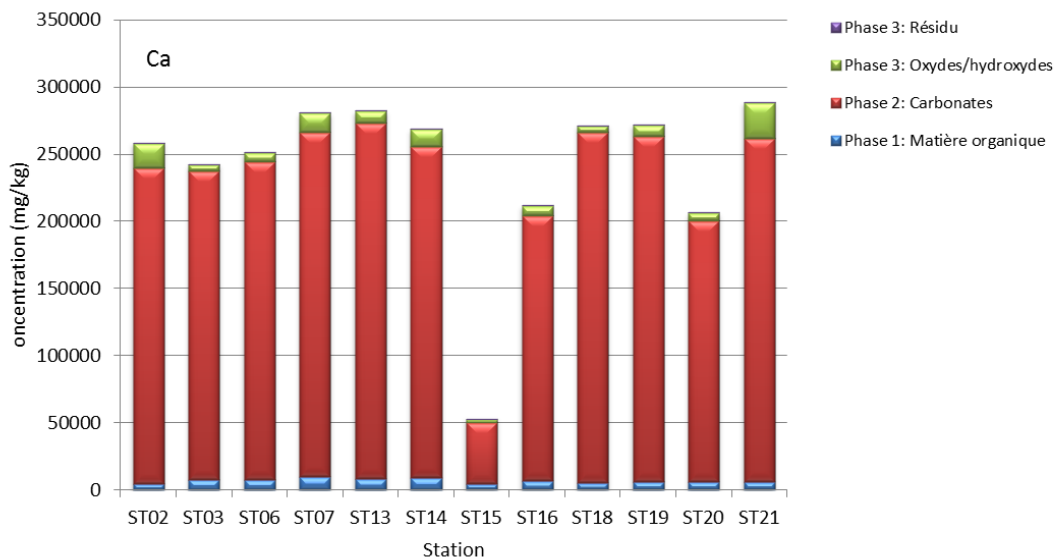
ST07

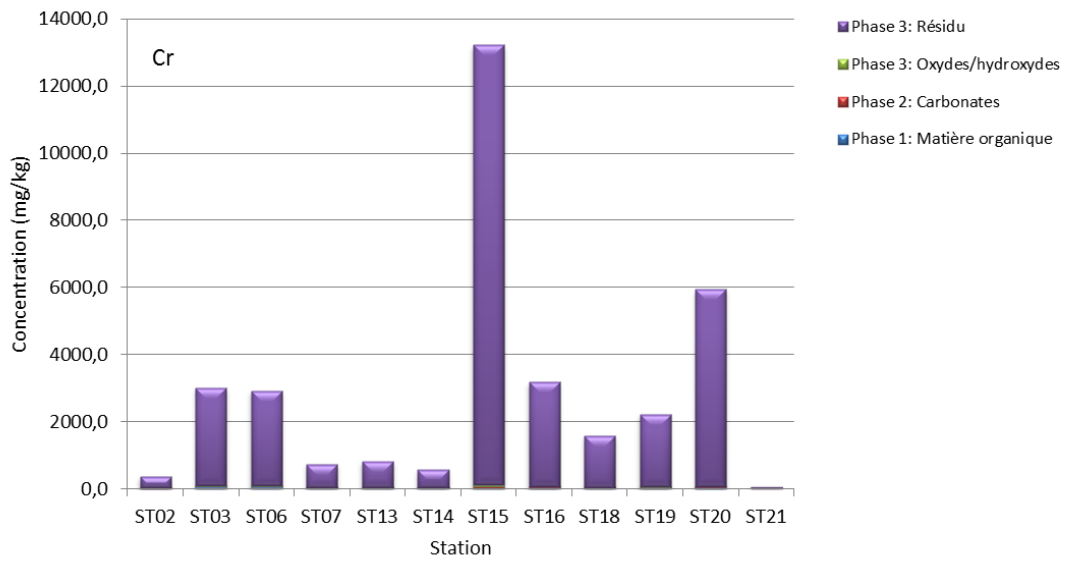
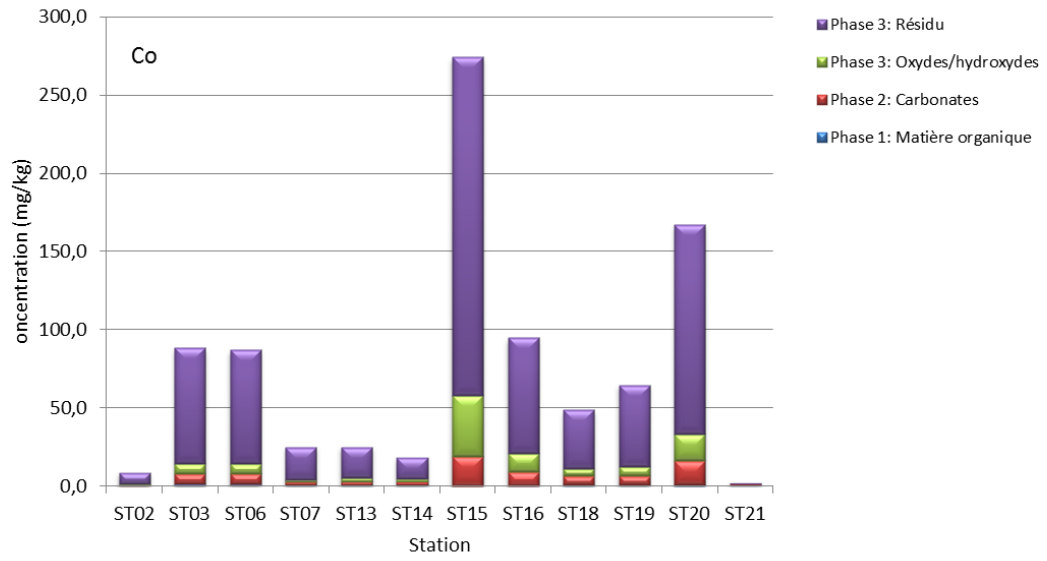


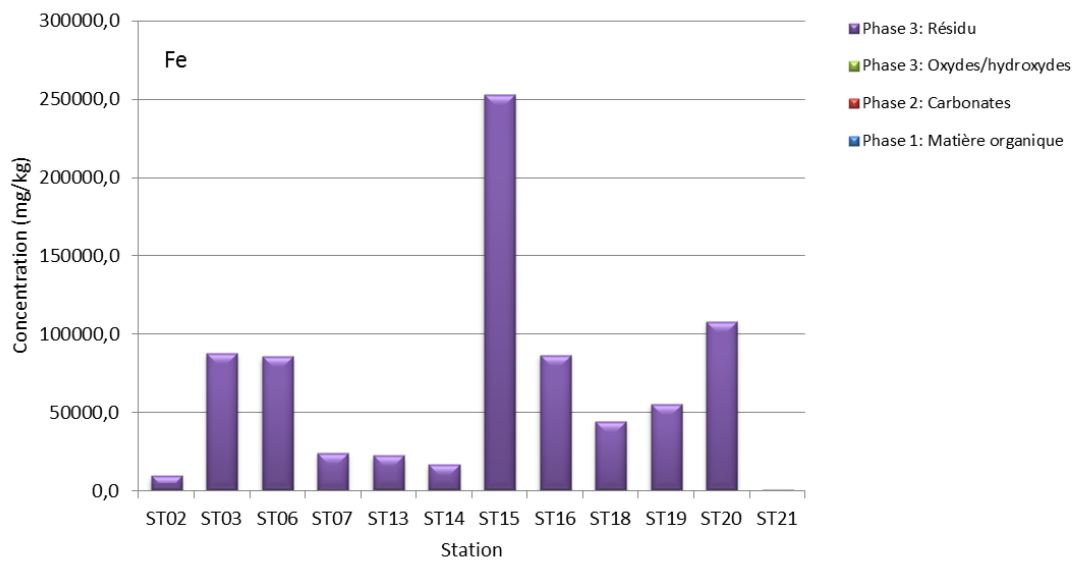
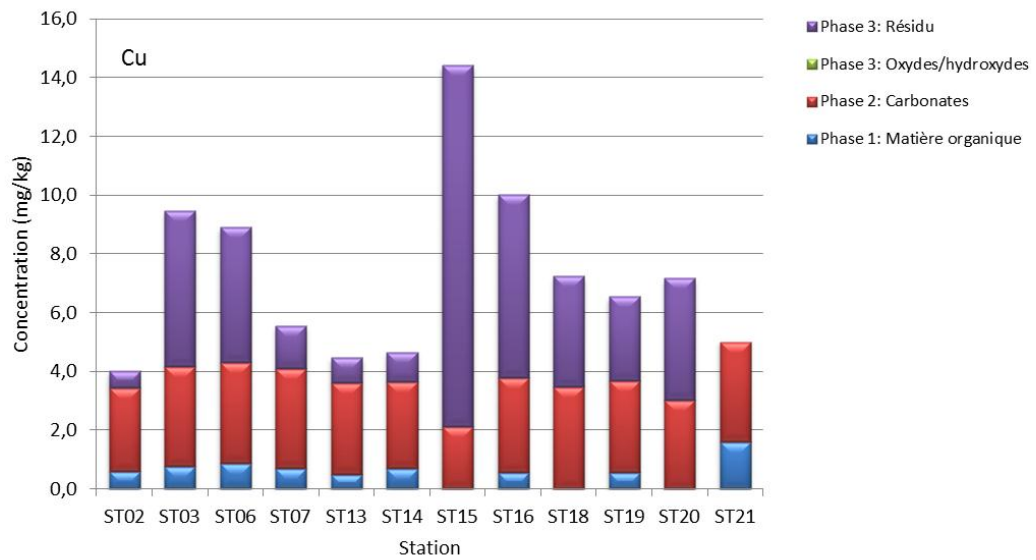
ST18

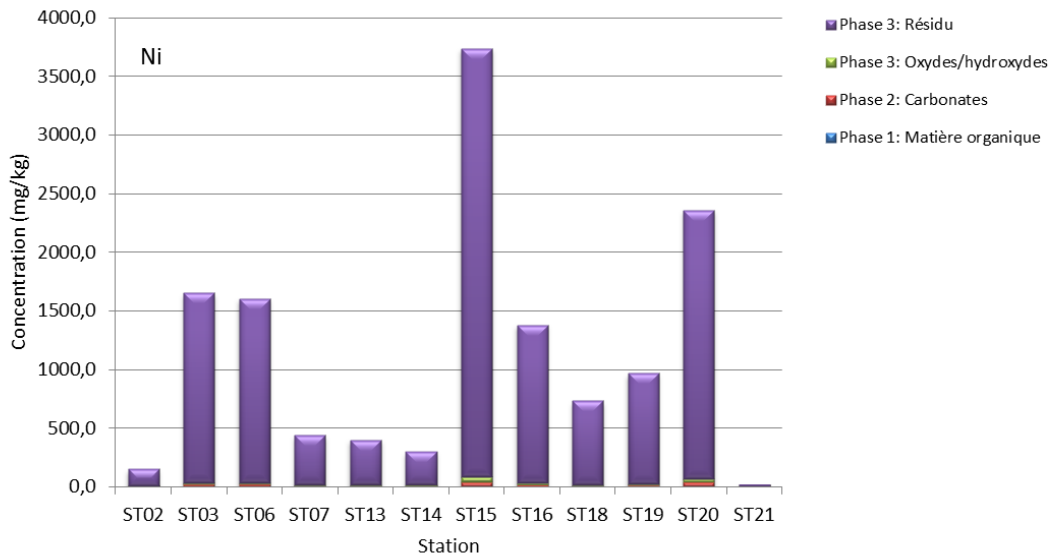
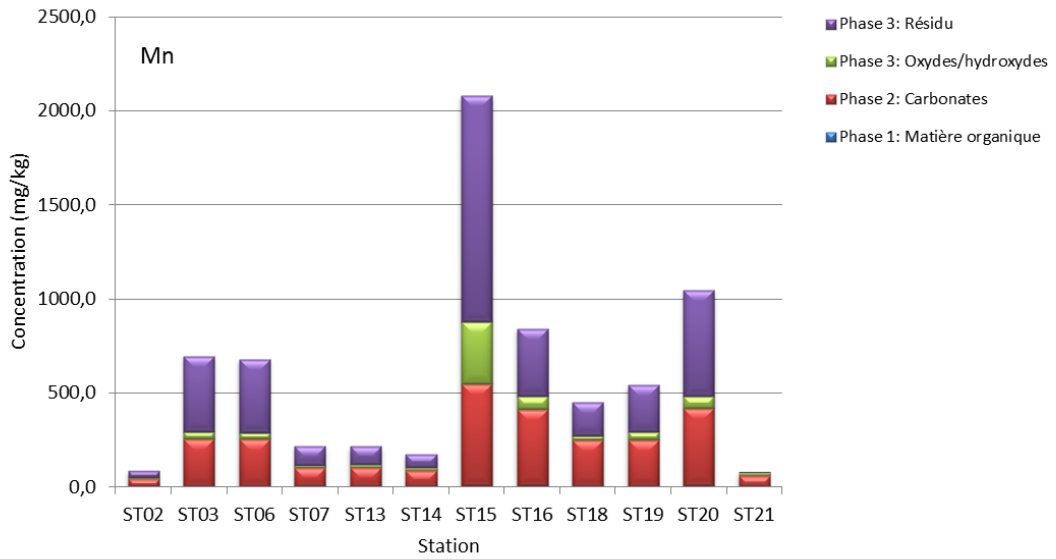
ANNEXE – 4

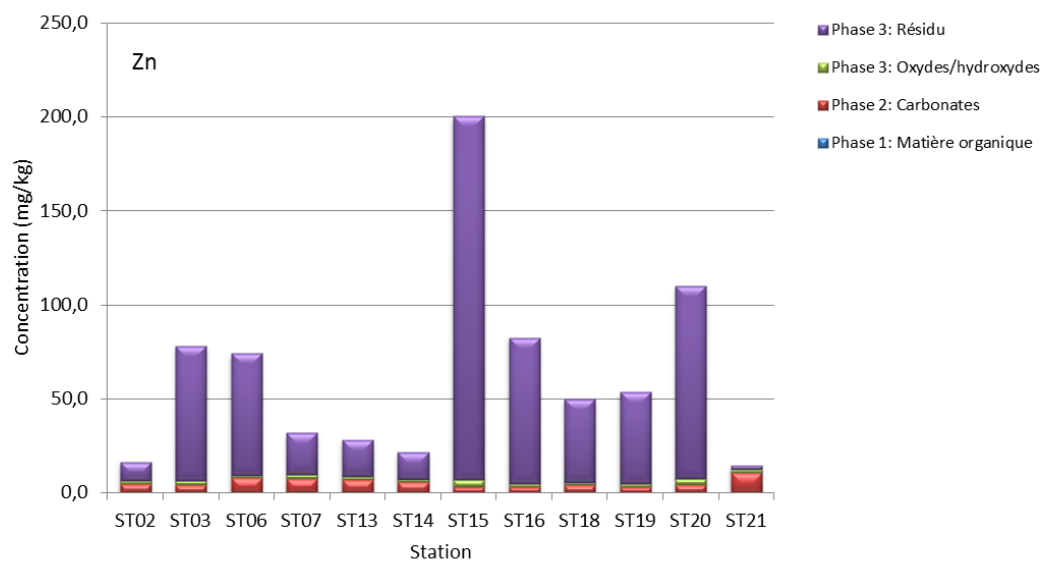
Résultats d'analyses des métaux extraits des quatre différentes phases géochimiques constitutives des sédiments.











ANNEXE – 5

A - Extractions séquentielles des métaux : comparaisons interannuelles des concentrations par phase pour trois stations sentinelles : St06 (Baie Kwé), St15 Creek de la Rade Nord) et St16 (Port de commerce).

Tableaux des valeurs de concentration

Phase organique (µg/g)				
	Stations	2006	2009	2012
Co	St06	8,4	11,8	1,1
	St15	2,1	6,0	<0,3
	St16	1,5	10,8	0,3
Cr	St06	24,8	69,7	54,2
	St15	1,7	70,2	44,7
	St16	3,5	42,9	33,9
Fe	St06	19,2	0,3	0,6
	St15	47,5	0,1	0,6
	St16	29,3	0,4	1,8
Mn	St06	38,9	34,3	1,0
	St15	156,0	80,1	4,6
	St16	103,0	50,6	3,1
Ni	St06	16,9	10,6	0,7
	St15	12,6	8,6	<0,5
	St16	13,3	8,0	<0,5

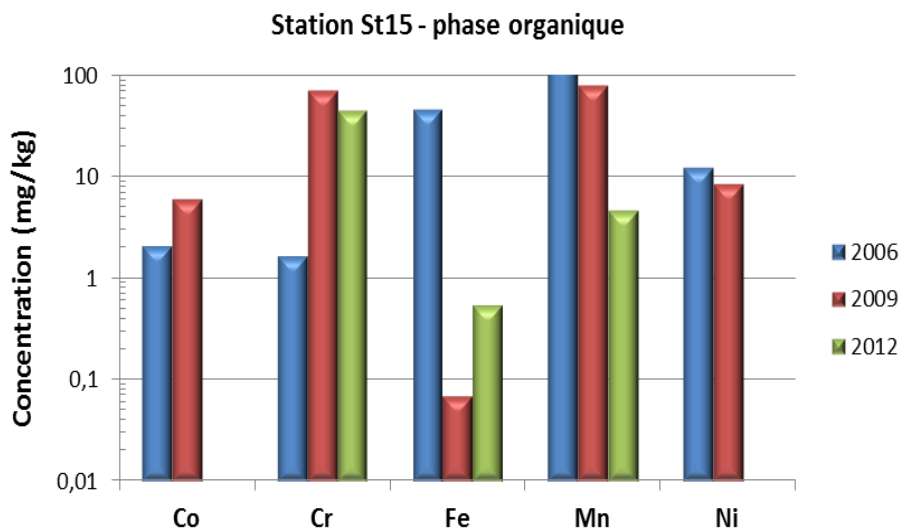
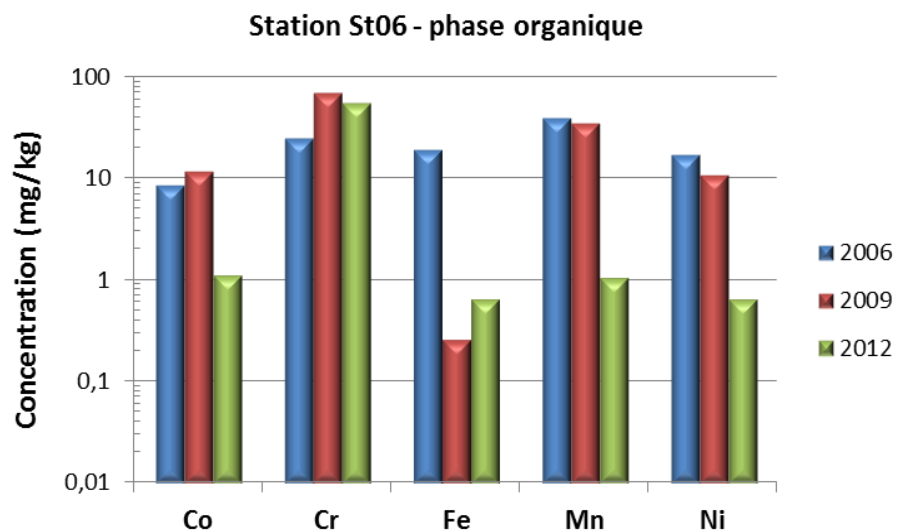
Phase carbonatée (µg/g)				
	Stations	2006	2009	2012
Co	St06	0,9	18,3	6,9
	St15	25,2	39,6	19,0
	St16	4,8	20,8	8,7
Cr	St06	5,1	24,0	15,7
	St15	12,5	40,5	29,5
	St16	2,2	18,3	14,1
Fe	St06	76,9	328,0	32,6
	St15	6,1	38,0	5,2
	St16	3,8	49,0	22,9
Mn	St06	242,0	196,0	250,2
	St15	721,0	549,0	543,0
	St16	324,0	382,0	410,3
Ni	St06	9,6	5,5	20,2
	St15	41,5	12,3	41,2
	St16	10,1	5,2	16,5

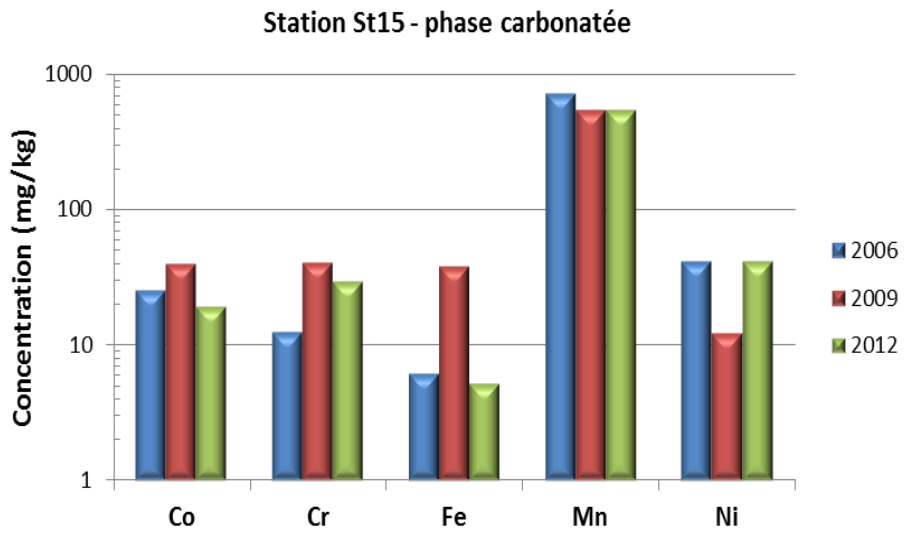
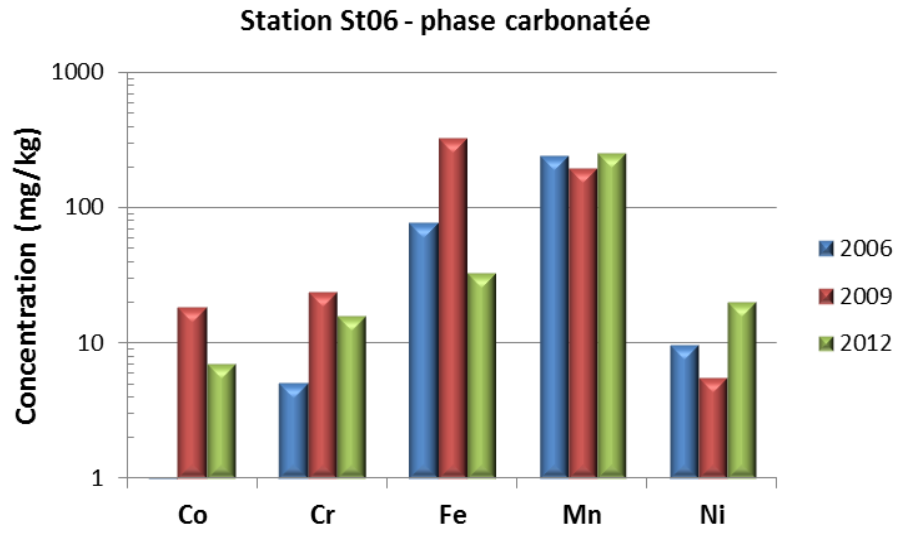
Phase oxy-hydroxydée (µg/g)				
	Stations	2006	2009	2012
Co	St06	1,5	13,5	6,5
	St15	53,5	74,1	39,0
	St16	15,3	22,7	11,9
Cr	St06	5,0	16,8	8,5
	St15	25,4	59,5	40,1
	St16	21,0	21,2	9,3
Fe	St06	273,0	408,0	405,3
	St15	662,0	868,0	393,1
	St16	1266,0	792,0	427,6
Mn	St06	35,3	65,8	35,6
	St15	326,6	517,0	328,4
	St16	60,1	90,6	70,1
Ni	St06	14,6	22,9	12,8
	St15	44,2	95,7	45,8
	St16	28,5	30,3	14,2

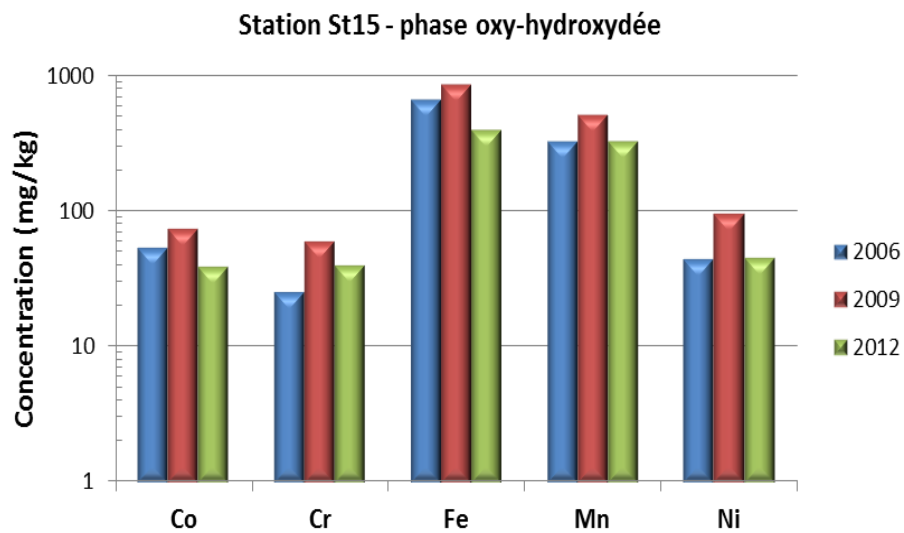
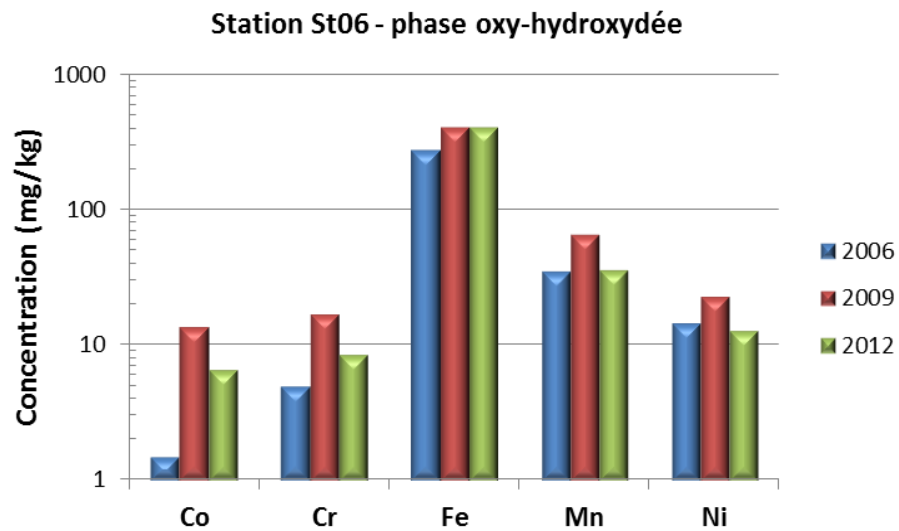
Phase résiduelle (µg/g)				
	Stations	2006	2009	2012
Co	St06	56	36	72
	St15	194	137	216
	St16	63	35	74
Cr	St06	3291	1781	2850
	St15	16535	8890	13113
	St16	4013	1511	3123
Fe	St06	112131	59328	85316
	St15	380823	228732	252287
	St16	110909	51396	86129
Mn	St06	341	371	391
	St15	1282	1499	1207
	St16	247	286	356
Ni	St06	1075	1004	1570
	St15	4009	2893	3653
	St16	1210	801	1350

Total (µg/g)				
	Stations	2006	2009	2012
Co	St06	67	79	87
	St15	275	257	274
	St16	85	89	95
Cr	St06	3326	1891	2928
	St15	16575	9060	13227
	St16	4040	1593	3180
Fe	St06	112500	60064	85755
	St15	381539	229638	252686
	St16	112201	52238	86582
Mn	St06	658	667	677
	St15	2485	2645	2083
	St16	735	809	840
Ni	St06	1116	1043	1603
	St15	4107	3010	3740
	St16	1262	845	1381

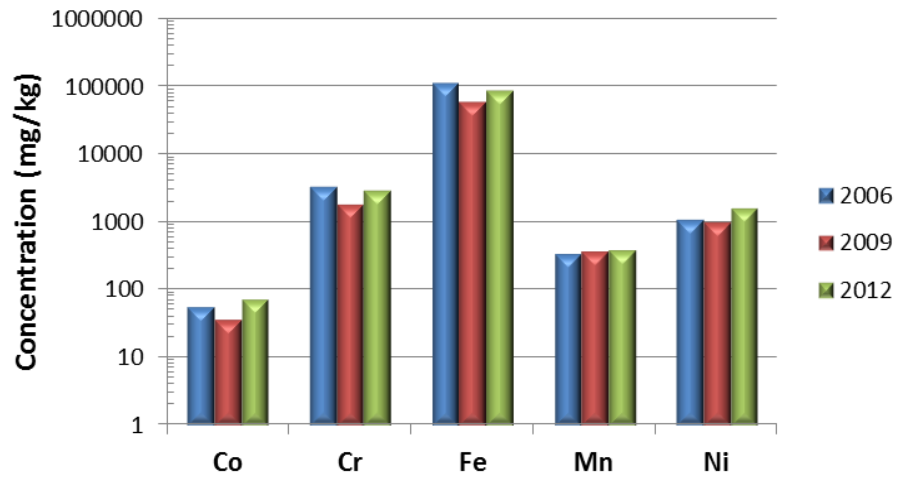
B- Evolution des concentrations en métaux (Co, Cr, Fe, Mn et Ni) pour les deux termes sources principaux de l'aire d'études : stations St06 (Baie Kwé) et St15 (Creek de la Rade Nord).







Station St06 - phase résiduelle



Station St15 - phase résiduelle

