



SUIVI ENVIRONNEMENTAL DU MILIEU MARIN (2010-2012)

QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX (ST15 & ST16) ET DES SEDIMENTS

SYNTHESE

Mars, mai, août et novembre 2012



AEL - LEA

10 janvier 2013

*Photos de couverture AEL : Arrivée des modules au port de commerce de Vale-NC*

## CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL - LEA

---

Convention n° C2445/C2445 - AVENANT-01

### ***SUIVI ENVIRONNEMENTAL DU MILIEU MARIN (2010-2012)***

***QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX (St15 & St16)***

***ET DES SEDIMENTS (St16)***

**Le Grand H.  
Moreton B.  
Roupsard F.  
Haddad L.  
Hulliger M.  
Fernandez JM.**

Nombre de pages : 59

	<b>N/Ref</b>	<b>V/Ref</b>	
<b>Identification</b>	100216-VI-04/ 111121-VI-15	C2445/C2445 - AVENANT-01	
<b>Titre complet</b>	Suivi environnemental du milieu marin (2012-2012) : Qualité physico-chimique des eaux (St15 & St16) et des sédiments (St16). Synthèse (mars, mai, août et novembre 2012).		
<b>Auteurs</b>	Le Grand H, Moreton B, Rounsard F, Haddad L, Hulliger M et Fernandez JM		
<b>Résumé</b>	<p>Cette étude fait suite à une demande de définition de « l'Etat de référence » de la qualité physico-chimique et des niveaux de concentration des métaux dissous des eaux et des sédiments dans la zone sous influence portuaire. Ce programme de surveillance du milieu marin est réalisé trimestriellement au niveau des stations St16 du port de commerce et de St15 de la rade de Nord (Baie du Prony). Le suivi a consisté en quatre campagnes de prélèvements d'eau (mars, avril, août et octobre) afin de déterminer les principaux paramètres physico-chimiques, les concentrations en métaux dissous ainsi que les concentrations en hydrocarbures. Pour les sédiments le suivi est d'ordre annuel.</p> <p>Cette étude met en évidence une nouvelle fois l'influence des apports d'eaux douces sur la qualité physico-chimique des masses d'eaux et leurs concentrations en métaux dissous. Cependant, la mise en place de mécanismes de transfert de masses d'eau sous l'effet de conditions météorologiques particulières est visible, notamment lors de la campagne de mai 2012.</p> <p>Les niveaux de concentrations des éléments majeurs, des carbonates, des hydrocarbures et les valeurs du pH des stations St15 et St16 ne montrent pas de tendance temporelle particulière pour 2012.</p> <p>Pour les sédiments, les 2 premiers centimètres du dépôt se distinguent des horizons sous-jacents par la composition granulométrique et géochimique, particulier des concentrations en cuivre notables.</p> <p>Un faible gradient de concentration vertical des métaux labiles semble se dessiner tout comme pour le soufre qui montre une légère surconcentration à la surface des dépôts. Aucune évolution temporelle ne semble se dessiner, ni pour le soufre, ni l'ensemble des métaux excepté pour le cuivre. Toutefois, la variabilité spatiale de l'échantillonnage ne permet pas encore de conclure formellement.</p>		
<b>APPROBATION</b>			
<b>FONCTION</b>	<b>NOMS</b>	<b>VISA</b>	<b>DATE</b>
Rédacteur	Hélène Le Grand		05/01/2013
Vérificateur 1	JM Fernandez		08/01/2013
Vérificateur 2	Shilpa Kumar-Roine		08/01/2013
Approbateur(s)	JM Fernandez		10/01/2013
<b>EVOLUTION</b>			
<b>VERSION</b>	<b>DESCRIPTION DES MISES A JOUR</b>	<b>DATE</b>	
V1	Rapport final (St15+St16)	10/01/2013	
<b>COPIE - DIFFUSION</b>			
<b>NOM</b>	<b>ORGANISME</b>		
Céline Casalis	VALE NC, Département Environnement		

**Ce rapport est cité comme suit :**

Le Grand H, Moreton B, Rounsard F, Haddad L, Hulliger M et Fernandez JM, 2013. Suivi environnemental du milieu marin (2012-2012) : Qualité physico-chimique des eaux (St15 & St16) et des sédiments (St16). Synthèse (mars, mai, août et novembre 2012). Contrat Vale-NC/AEL n° C2445/C2445 - AVENANT-01, Rapport AEL 111121-VI-15, 59p.

# TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION .....	7
OBJECTIFS.....	8
METHODOLOGIE .....	9
A.    SITE D'ETUDE.....	9
B.    CONDITIONS METEOROLOGIQUES DES PRELEVEMENTS .....	10
C.    CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES .....	11
D.    ECHANTILLONNAGE.....	12
1)    Colonne d'eau.....	12
2)    Sédiments .....	13
E.    PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ET ANALYSES.....	14
RESULTATS .....	15
A.    STATIONS St15 ET St16 : COLONNE D'EAU.....	15
1)    Structures des masses d'eau.....	15
2)    Eléments majeurs et pH .....	19
3)    Matière en suspension .....	20
4)    Carbonates (Station St16).....	21
5)    Hydrocarbures totaux.....	22
6)    distribution des Métaux dissous.....	22
B.    STATION St16 : SEDIMENTS.....	26
1)    Caracteristiques physiques de la carotte .....	26
2)    Granulométrie des particules .....	26
3)    Minéralogie des sédiments.....	27
4)    Composition géochimique des sédiments.....	27
SYNTHESE .....	33
A.    STATIONS St15 ET St16 ; COLONNE D'EAU.....	33
1)    Station St15.....	33
2)    Station St16.....	36
B.    STATION St16 : SEDIMENTS.....	39
1)    Evolution temporelle des concentrations en métaux.....	39
2)    Evolution temporelle des concentrations en soufre.....	40
CONCLUSION .....	41
REFERENCES .....	42
LISTE DES FIGURES .....	43
LISTE DES TABLEAUX .....	45
LISTE DES ANNEXES.....	46



# INTRODUCTION

Le programme de travail ici présenté a été défini en réponse au cahier des charges proposé par la Province-Sud de Nouvelle-Calédonie au titre des arrêtés ICPE relatifs à l'autorisation d'exploitation des installations industrielles et portuaires.

La présente étude fait suite aux demandes de définition de « l'Etat de référence » :

- d'une part, de la qualité physico-chimique et des niveaux de concentration des métaux dissous des eaux des stations St15 (Prony Creek Baie Nord) et St16 (zone portuaire de la Baie du Prony) (Conventions IRD/Goro-Ni, n°1142 de 2005 et n°1312, 2007) ;
- d'autre part, de la qualité physico-chimique des sédiments de surface à la station St16 (zone portuaire de la Baie du Prony) (Convention IRD/Goro-Ni n° 9135 AO, 2006).

Conformément aux arrêtés ICPE, le suivi environnemental du milieu marin est conduit depuis 2008 pour la « qualité la colonne d'eau » (Convention IRD/Goro-Ni, n°2172) et 2009 pour la « qualité des sédiments » de surface (Convention IRD/Vale-Inco, n°2285).

Outre ces obligations, à la demande de Vale-NC, une mission annuelle de suivi géochimique des sédiments de surface à la station St16 (zone portuaire de Vale-NC) a été mise en place depuis 2010 (Contrat Vale-NC/AEL, n° E20532). La présente étude fait suite à cette surveillance.

## OBJECTIFS

Le programme de surveillance du milieu marin dans la Baie du Prony est réalisé :

- Trimestriellement au niveau des stations St15 (Prony Creek Baie Nord) et St16 (zone portuaire Baie du Prony). Il consiste en quatre campagnes de prélèvements d'eau (mars, mai, août et novembre 2012) afin de déterminer et suivre l'évolution temporelle des principaux paramètres physico-chimiques, des concentrations en métaux dissous ainsi que des concentrations en hydrocarbures ;
- Annuellement à la station St16 (zone portuaire Baie du Prony). Il consiste en une étude fine de la sédimentologie et de la géochimie des dépôts centimétriques de surface pour évaluer le degré d'impact des activités portuaires.

Ce document présente une synthèse pour 2012 des résultats obtenus concernant :

- les campagnes de suivi trimestriel de la colonne d'eau ;
- la campagne de suivi annuel des sédiments de surface.

Les techniques de prélèvement, de conditionnement, de traitement et d'analyses sont spécifiques et reconnues pour l'analyse en milieu marin et saumâtre.

# METHODOLOGIE

## A. SITE D'ETUDE

Les échantillonnages de la colonne d'eau se sont déroulés lors des deux campagnes semestrielles, « saison humide » (6 mars 2012) et « saison sèche » (8 août 2012) ainsi que lors de deux campagnes trimestrielles qui ont eu lieu le 10 mai et le 6 novembre 2012<sup>1</sup> ; les sédiments ont fait l'objet d'un échantillonnage le 10 mai 2012.

Les opérations d'échantillonnage de la colonne d'eau concernent les stations St15 (166°52.590 E ; 22°20.037 S, profondeur 25 m) et St16 (166°53.365 E ; 22°21.210 S, profondeur 44 m), pour cette dernière les sédiments ont également été échantillonnés (Figure 1).

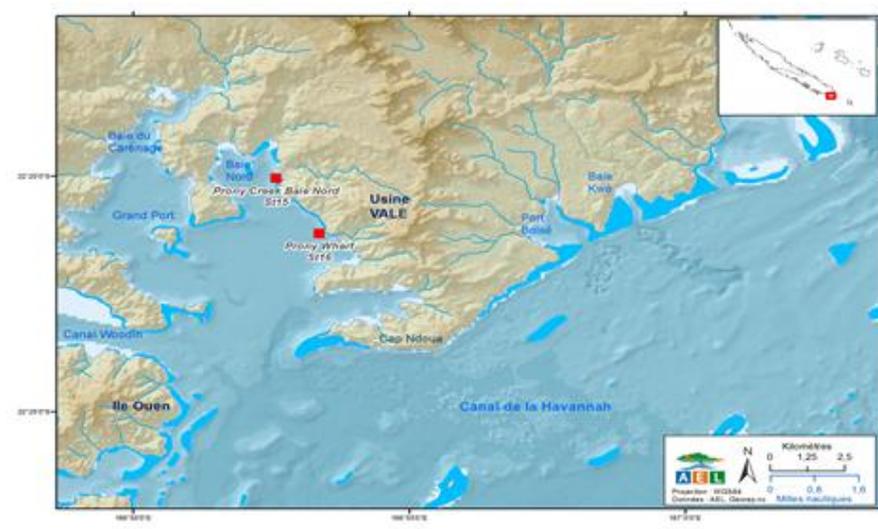


Figure 1 : Localisation géographique des stations de prélèvements dans la colonne d'eau et les sédiments St15 et St16.

<sup>1</sup> Le détail des opérations et des traitements des échantillons sont fournis dans le rapport :

Le Grand Hélène, Moreton B, Hulliger M, Rouspard F, Kumar-Roiné S et Fernandez JM, 2013. SUIVI ENVIRONNEMENTAL DU MILIEU MARIN (2010-2012). 2<sup>ème</sup> Semestre. Contrat Vale-NC/AEL n° C2445, Rapport AEL 100216-VI-04, 88p.

## B. CONDITIONS METEOROLOGIQUES DES PRELEVEMENTS

Les hauteurs des précipitations quotidiennes pendant les campagnes de prélèvements et la semaine précédant les campagnes sont répertoriées dans le Tableau 1.

### **Campagne du 6 mars 2012 :**

Conditions météorologiques de la semaine précédant la campagne de prélèvements :

- Vent : ~15 Nœuds ;
- Pluie : 43,1 mm cumulés en 5 jours.

Conditions météorologiques pendant la campagne de prélèvements :

- Conditions générales : temps nuageux avec quelques éclaircies ;
- Vent : SE 15 Nœuds, rafales 20 Nœuds ;
- Pluie : 3 mm ont été relevés pendant la campagne.

### **Campagne du 10 mai 2012 :**

Conditions météorologiques de la semaine précédant la campagne de prélèvements :

- Pluie : 7,4 mm accumulés en 5 jours.
- Vent : SW, 18 Nœuds

Conditions météorologiques pendant la campagne de prélèvements :

- Conditions générales : temps ensoleillé et mer calme ;
- Vent : SE, 5 Nœuds ;
- Pluie : 0,4 mm ont été relevés pendant la campagne.

### **Campagne du 8 août 2012 :**

Conditions météorologiques de la semaine précédant la campagne de prélèvements :

- Vent : <10 Nœuds ;
- Pluie : 16,6 mm de pluie ont été relevés le 2 août 2012.

Conditions météorologiques pendant la campagne de prélèvements :

- Conditions générales : beau temps, mer calme ;
- Vent : S-SE 5-10 Nœuds ;
- Pluie : pas de précipitation pendant la campagne.

### **Campagne du 6 novembre 2012 :**

Conditions météorologiques de la semaine précédant la campagne de prélèvements :

- Pluie : 105,7 mm cumulés en 5 jours.

Conditions météorologiques pendant la campagne de prélèvements :

- Conditions générales : mer calme ;
- Vent : SE 15-20 Nœuds ;
- Pluie : 1,2 mm ont été relevés pendant la campagne.

Tableau 1 : Hauteur des précipitations quotidiennes 5 jours avant et pendant les 4 campagnes de prélèvements 2012.

Campagne	Date	Hauteur des précipitations quotidiennes (mm)
Mars 2012	1/3	1,8
	2/3	12,1
	3/3	12,5
	4/3	14,1
	5/3	2,6
<b>Prélèvement</b>	<b>6/3</b>	<b>3,0</b>
Mai 2012	5/5	5,4
	6/5	0,0
	7/5	0,0
	8/5	0,8
	9/5	1,2
<b>Prélèvement</b>	<b>10/5</b>	<b>0,4</b>
Août 2012	3/8	0,0
	4/8	0,0
	5/8	0,0
	6/8	0,0
	7/8	0,0
<b>Prélèvement</b>	<b>8/8</b>	<b>0,0</b>
Novembre 2012	1/11	0,0
	2/11	0,2
	3/11	0,0
	4/11	2,4
	5/11	103,1
<b>Prélèvement</b>	<b>6/11</b>	<b>1,2</b>

### C. CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES

Les conditions hydrodynamiques ont potentiellement une influence sur la valeur mesurée des paramètres physico-chimiques des eaux. Afin de resituer chaque prélèvement dans ce contexte, les heures d'arrivée aux stations ont été reportées sur des marégrammes (Figure 2 et Figure 3).

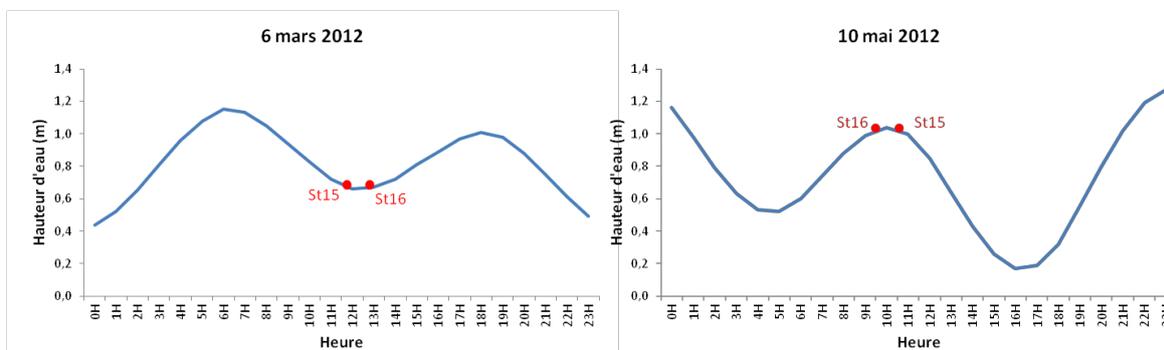


Figure 2 : Heures de prélèvements dans la colonne d'eau et marégrammes des campagnes trimestrielles du 6 mars et du 10 mai 2012.

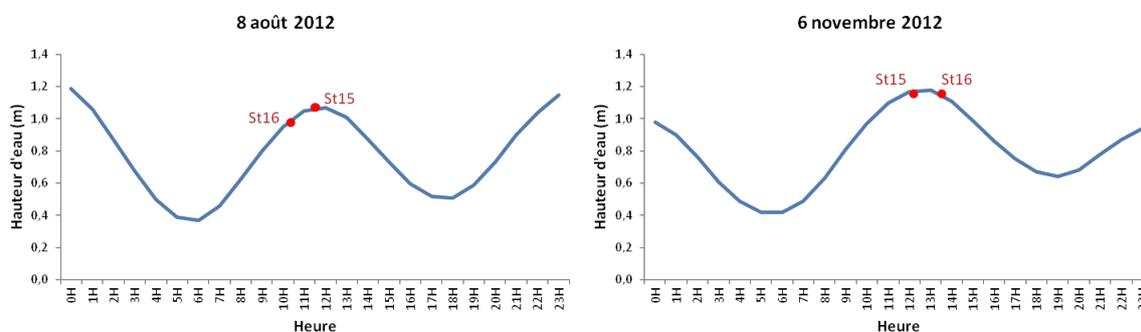


Figure 3 : Heures de prélèvements dans la colonne d'eau et marégrammes des campagnes trimestrielles du 8 août et du 6 novembre 2012.

## D. ECHANTILLONNAGE

### 1) COLONNE D'EAU

Le détail des opérations d'échantillonnage est décrit dans les deux rapports semestriels<sup>2</sup> de 2012.

En bref, pour chaque station, les prélèvements d'eau ont été effectués : (i) par bouteille « Niskin » pour la détermination des paramètres physico-chimiques ; (ii) par bouteille « Goflo, Metal-Free » pour le dosage des métaux dissous et des hydrocarbures totaux.

<sup>2</sup> Le Grand Héléne, Moreton B, Hulliger M, Rouspard F, Kumar-Roiné S et Fernandez JM, 2013. SUIVI ENVIRONNEMENTAL DU MILIEU MARIN (2010-2012) 2<sup>ème</sup> Semestre. Contrat Vale-NC/AEL n° C2445, Rapport AEL 100216-VI-04, 88p.

Le Grand Héléne, Rouspard F, Creuzil J, Moreton B, Kumar-Roiné S et Fernandez JM, 2012. SUIVI ENVIRONNEMENTAL DU MILIEU MARIN (2010-2012) 1<sup>er</sup> Semestre. Contrat Vale-NC/AEL n° C2445, Rapport AEL 100216-VI-04, 81p.

Les profondeurs d'échantillonnage ont été les suivantes :

- Sub-surface (-3 m) ;
- mi-profondeur ;
- proximité du fond (environ 3 m).

Lors des campagnes de prélèvement, les opérations suivantes ont été réalisées :

- Profils multiparamétriques avec la sonde CTD (Seabird, modèle SBE 19) afin de déterminer la salinité, la température, la turbidité et la fluorescence dans la colonne d'eau ;
- prélèvements d'eau pour la détermination du pH, des MES, et des concentrations en magnésium, sulfates et, carbonates (pour la station St16 uniquement);
- prélèvements d'eau pour l'analyse des hydrocarbures totaux ;
- prélèvements d'eau à des fins d'analyse des métaux dissous spectrométrie émission couplée à une torche à plasma (ICP-OES) pour Co, Cu, Mn, Ni et Zn et par électrochimie (Voltammétrie) pour les dosages du couple Cr/Cr(VI).

---

## 2) SEDIMENTS

Une carotte a été extraite afin de compléter les informations obtenues lors des deux premières campagnes du suivi géochimique des sédiments. Seulement les quatre premiers centimètres sont pris en considération pour ce type d'étude (Contrats Vale-NC/AEL n°E20532, 2010 et Vale-NC/AEL, n°E29928, 2011).

Le prélèvement de la carotte a été effectué avec un carottier composé d'un tube amovibles de 0,60 m de longueur et un diamètre de 8 cm. Un tube en plexiglass a été utilisé afin de préserver l'intégrité géochimique des sédiments et visualiser le bon état de conservation de l'interface « *eau-sédiments* ».

La carotte a été maintenue verticale jusqu'au découpage des 4 horizons d'une épaisseur égale à 1 cm. Les couches centimétriques ont été conditionnées dans des sachets en vinyle à usage unique (Whirl-pack), puis congelées et lyophilisées.

Les opérations réalisées sur chacun des 4 horizons de la carotte sont les suivantes :

- Analyse des populations de grains par granulométrie laser ;
- Détermination de la composition minéralogique par diffraction de rayons X (DRX) ;
- Détermination de la concentration en métaux associés aux différentes phases géochimiques composant les horizons. Cette étape a été conduite par extraction séquentielle puis analyse par spectrométrie d'émission (ICP-OES) ;
- Analyse du soufre, dont le suivi reflètera le niveau d'impact des activités portuaires de déchargement sur le milieu marin.

Seuls les échantillons de sédiments destinés au dosage des métaux ont été tamisés par voie humide afin de récupérer les fractions pélitiques (particules de diamètre inférieur à 40 µm) ; la fraction pélitique étant considérée de longue date, comme la fraction très majoritairement réactive en matière d'échanges géochimiques avec les métaux (Mayer and Fink, 1979; Ackerman, 1980; Deely and Fergusson, 1994; He and Walling, 1996).

## E. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ET ANALYSES

Les méthodes sont décrites en Annexe 1.

# RESULTATS

## A. STATIONS ST15 ET ST16 : COLONNE D'EAU

### 1) STRUCTURES DES MASSES D'EAU

Rappel: Les mesures de température, salinité, fluorescence et turbidité sont nécessaires pour déterminer la stratification verticale des masses d'eau. En milieu côtier et estuarien, la salinité est un traceur des apports d'eaux douces. La turbidité est définie comme étant la « réduction de transparence d'un liquide due à la présence de substances non dissoutes » (Aminot et Kérouel 2004) ; elle est le reflet de la charge particulaire dans l'eau. En milieu côtier et estuarien, la turbidité peut indiquer l'existence d'apports en particules provenant des rivières, d'une remise en suspension de dépôts sédimentaires ainsi que de blooms planctoniques. La fluorescence permet d'estimer la concentration en pigment chlorophylliens et donc de quantifier globalement la biomasse phytoplanctonique (Aminot et Kérouel 2004).

Les valeurs des paramètres physico-chimiques (température, salinité, fluorescence et turbidité) mesurées aux stations St15 et St16 lors des campagnes de mars, mai, août et novembre 2012 sont reportées dans les Figure 4, Figure 5 et les Tableau 2 et Tableau 3.

L'ensemble des données montre que :

- La **température** des masses d'eau est homogène en mars et en août correspondant, respectivement, à la fin de la « saison chaude » et de la « saison fraîche ». Pendant les saisons intermédiaires une stratification est visible.

Les températures des masses d'eau sont maximales en mars (St15 :  $27,01 \pm 0,15^\circ\text{C}$  ; St16 :  $26,68 \pm 0,19^\circ\text{C}$ ) et sont inférieures de 5 à 6°C en août (St15 :  $21,73 \pm 0,05^\circ\text{C}$  ; St16 :  $21,56 \pm 0,06^\circ\text{C}$ ). Durant les intersaisons, les eaux sont comprises entre  $23,65 \pm 0,23^\circ\text{C}$  (St15) et  $23,33 \pm 0,06^\circ\text{C}$  (St16) en novembre et  $24,83 \pm 0,16^\circ\text{C}$  (St15) et  $24,67 \pm 0,26^\circ\text{C}$  (St16) en mai.

Pour les deux stations, les eaux en mars sont légèrement plus chaudes en surface qu'au fond ( $27,22$  à  $26,77^\circ\text{C}$  en St15 et  $26,91$  à  $26,12^\circ\text{C}$  en St16), alors qu'en août (particulièrement en St16) la situation inverse se produit : ces différences montrent que l'homogénéisation de la colonne d'eau n'est donc encore tout à fait achevée.

Les profils de novembre mettent en évidence la présence d'une masse d'eau plus chaude dans les 7 premiers mètres sous la surface (St15 :  $24,01 \pm 0,06^\circ\text{C}$ ; St16 :  $23,59 \pm 0,05^\circ\text{C}$ ) que dans le reste de la colonne d'eau où la température diminue progressivement avec la profondeur (St15 :  $23,55 \pm 0,15^\circ\text{C}$ ; St16 :  $23,30 \pm 0,15^\circ\text{C}$ ). A l'inverse, en mai 2012, la température des eaux de surface de la station St15 ( $24,36 \pm 0,01^\circ\text{C}$ ) et St16 ( $24,35 \pm 0,06^\circ\text{C}$ ) est plus froide d'environ  $0,40^\circ\text{C}$  que dans le reste de la colonne d'eau (St15 :  $24,87 \pm 0,08^\circ\text{C}$ ; St16 :  $24,86 \pm 0,07^\circ\text{C}$ ), toutefois, la couche plus fraîche n'est que de 2 m environ pour St15 alors qu'elle occupe 13 m à la station St16.

- D'une façon générale, les profils de **salinité** des mois de mars (« saison chaude ») et d'août (saison fraîche) sont relativement constants avec la profondeur. En intersaison, les profils, notamment pour la station St15 (Creek de la rade Nord) montrent une importante dessalure dans les eaux de surface.

La plus forte augmentation de salinité avec la profondeur a été observée à la station St15 en novembre avec des valeurs passant de 34,09 à 35,48 ‰ dans les 7 premiers mètres alors que seulement une légère dessalure est observée à la station St16, mais dans les 15 premiers mètres. L'autre importante dessalure également mise en évidence concerne le profil de la station St15 du mois de mai ; les valeurs de salinité passant de 34,26 à 35,00 ‰ dans les 6 premiers mètres. La dessalure est également observée à la station St16, de manière plus atténuée ( $0,4^\circ\text{C}$ ), mais sur une profondeur beaucoup plus importante (13 m).

- Les valeurs de **fluorescence** augmentent d'ordinaire modérément avec la profondeur, toutefois, en particulier pour la station St15 (Creek de la rade Nord), des masses d'eau enrichies en chlorophylle *a* sont mises en évidence en mai (St15 et St16) et août (St16).

En effet, à la station St15, ces profils présentent des couches de fluorescence plus élevée à 12 et 20 m de fond atteignant des valeurs maximales de  $0,96$  et  $1,36 \text{ mg/m}^3$ , respectivement. Le profil de fluorescence de la station St16 de mai montre également une couche de fluorescence maximale en mi-profondeur atteignant  $1,01 \text{ mg/m}^3$  prenant naissance à 13 m de profondeur. En mars, le profil de fluorescence à la station St16 augmente régulièrement avec la profondeur ( $0,02$  à  $0,91 \text{ mg/m}^3$ ).

- la **turbidité** est globalement plus élevée en surface et en profondeur avec des valeurs relativement stable entre ces deux masses d'eau. A la station St15, les profils des 4 campagnes trimestrielles mettent en évidence un néphéloïde benthique à partir de 23-25 m, atteignant jusqu'à 12,48 NTU lors de la campagne de novembre. Les profils de la station St16 présentent des valeurs de turbidité plus élevées à partir de 41 m, notamment en mai où les valeurs atteignent 5,50 NTU. Le profil de mars montre une couche de turbidité plus forte dans les 10 premiers mètres avec des valeurs maximales de 2,30 NTU.

#### CE QU'IL FAUT RETENIR

Les profils des variables physico-chimiques mettent en évidence l'influence des apports d'eaux douces des creeks de la Baie du Prony sur la station St15. En effet, les fortes précipitations précédant la campagne de novembre 2012 ont engendrées une forte dessalure, des températures légèrement plus élevées en surface ainsi que l'apparition d'un néphéloïde benthique. Pour St15, l'influence d'apports d'eaux douces est également bien visible sur les profils de la campagne de mai 2012 avec des températures et une salinité sont plus faibles en surface.

A la station St16, la dessalure et la baisse de température de l'importante couche de surface en mai 2012 résulte probablement de l'entrée d'eaux en provenant du Canal et poussées par les vents forts de SW. Un pic de fluorescence sous cette couche délimite les eaux sous-jacentes purement lagunaires de la baie.

## Creek de la Rade Nord : St15

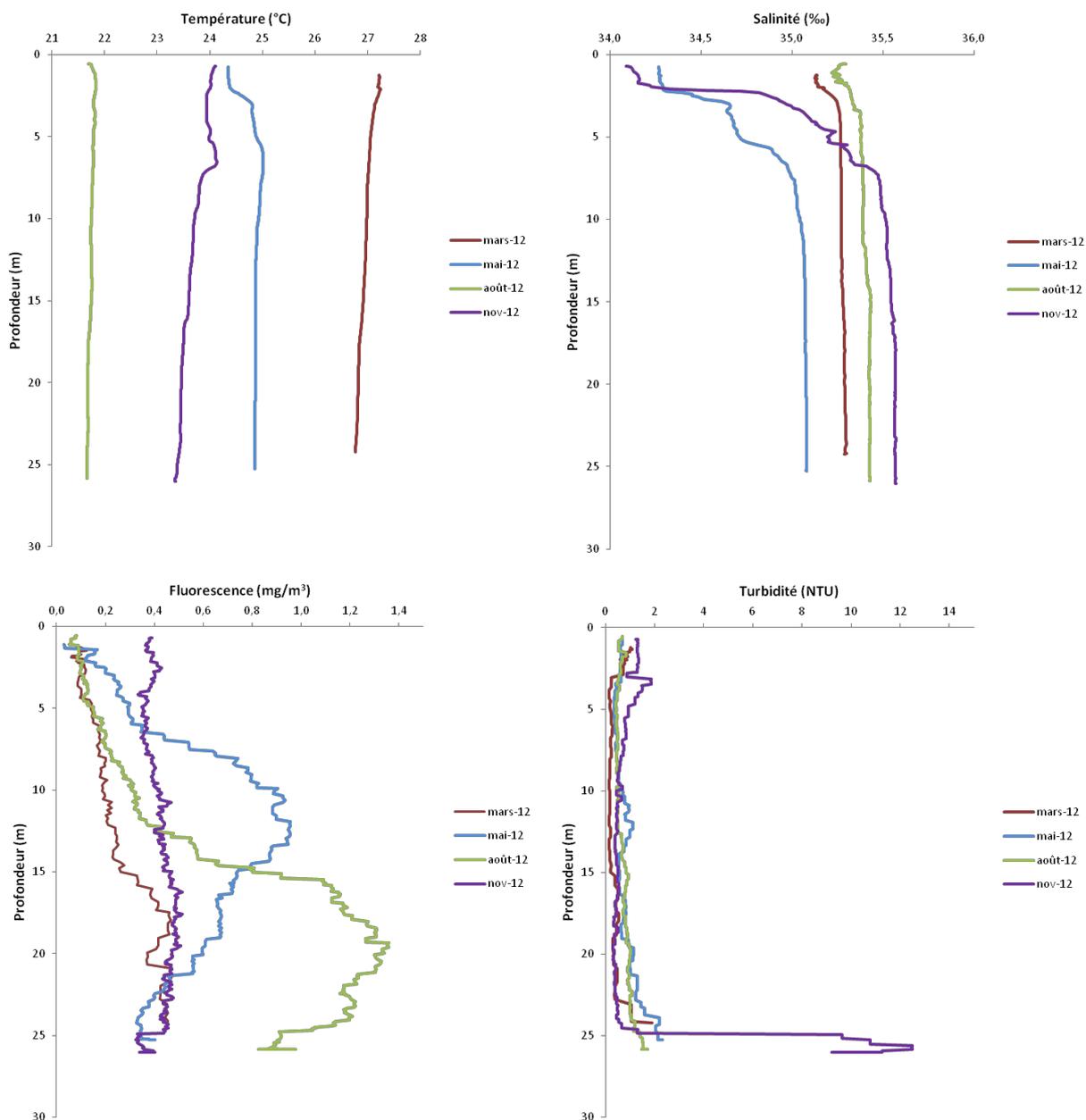


Figure 4 : Profils de température (°C), salinité (‰), fluorescence (mg/m<sup>3</sup>) et turbidité (NTU) de la station St15 aux campagnes trimestrielles de 2012.

### Port de commerce : St16

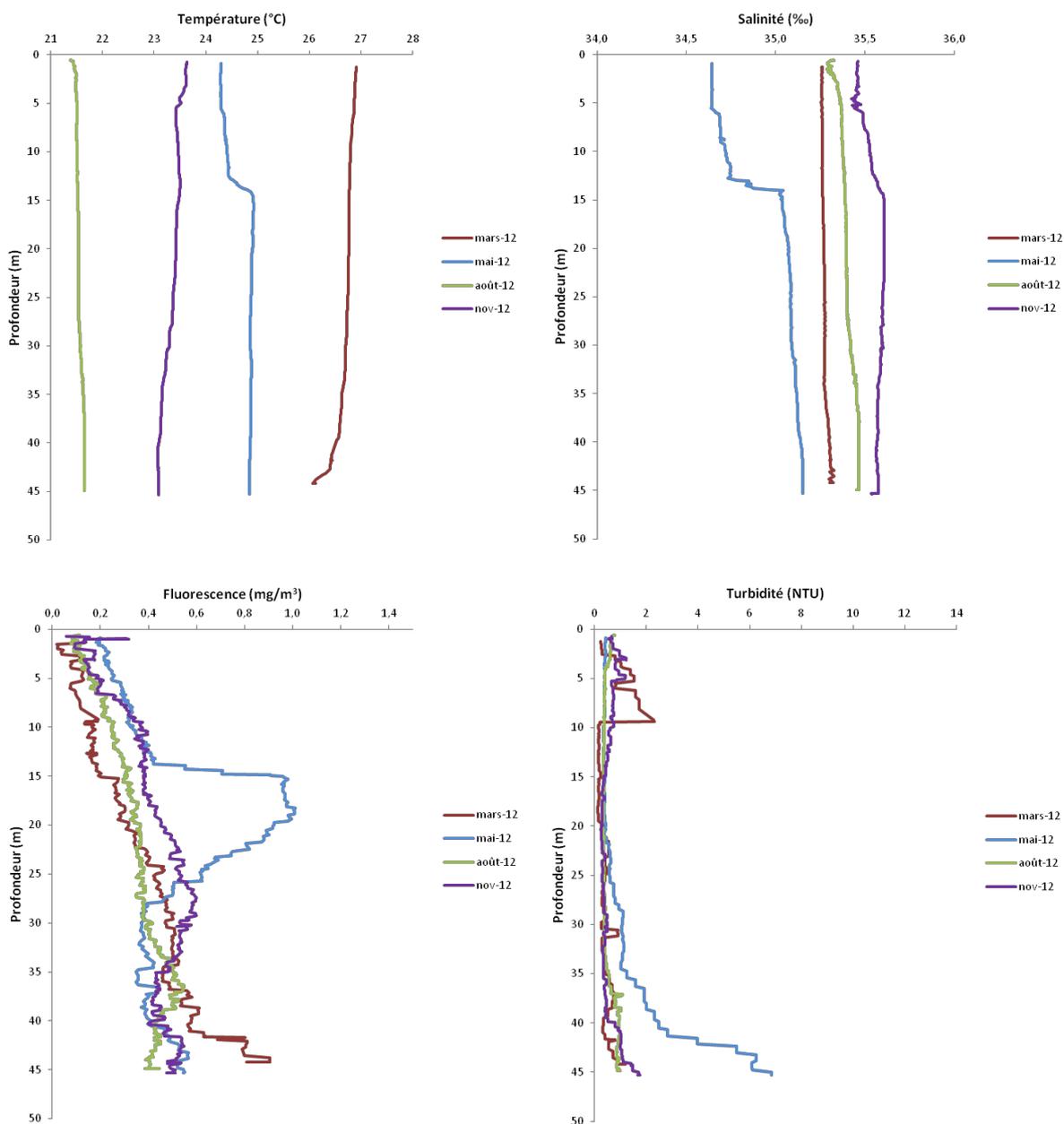


Figure 5 : Profils de température (°C), salinité (‰), fluorescence (mg/m<sup>3</sup>) et turbidité (NTU) de la station St16 aux campagnes trimestrielles de 2012.

Tableau 2 : Minimums, maximums et moyennes des valeurs de température, salinité, fluorescence et turbidité de la station St15 lors des campagnes trimestrielles de 2012.

Campagne		Température (°C)	Salinité (‰)	Fluorescence (mg/m <sup>-3</sup> )	Turbidité (NTU)
Mars 2012	Min	26,77	35,13	0,06	0,15
	Max	27,25	35,30	0,47	1,91
	<b>Moyenne</b>	<b>27,01 ± 0,15</b>	<b>35,24 ± 0,06</b>	<b>0,23 ± 0,13</b>	<b>0,47 ± 0,34</b>
Mai 2012	Min	24,35	34,26	0,03	0,35
	Max	25,01	35,08	0,96	2,32
	<b>Moyenne</b>	<b>24,83 ± 0,16</b>	<b>34,93 ± 0,25</b>	<b>0,54 ± 0,25</b>	<b>0,87 ± 0,51</b>
Août 2012	Min	21,67	35,22	0,05	0,42
	Max	21,84	35,43	1,36	1,70
	<b>Moyenne</b>	<b>21,73 ± 0,05</b>	<b>35,40 ± 0,04</b>	<b>0,68 ± 0,46</b>	<b>0,83 ± 0,36</b>
Novembre 2012	Min	23,33	34,09	0,32	0,29
	Max	24,13	35,57	0,51	12,48
	<b>Moyenne</b>	<b>23,65 ± 0,23</b>	<b>35,39 ± 0,37</b>	<b>0,42 ± 0,05</b>	<b>1,64 ± 2,96</b>

Tableau 3 : Minimums, maximums et moyennes des valeurs de température, salinité, fluorescence et turbidité de la station St16 lors des campagnes trimestrielles de 2012.

Campagne		Température (°C)	Salinité (‰)	Fluorescence (mg/m <sup>-3</sup> )	Turbidité (NTU)
Mars 2012	Min	26,06	35,25	0,02	0,13
	Max	26,91	35,33	0,91	2,30
	<b>Moyenne</b>	<b>26,68 ± 0,19</b>	<b>35,28 ± 0,02</b>	<b>0,39 ± 0,24</b>	<b>0,51 ± 0,42</b>
Mai 2012	Min	24,29	34,64	0,18	0,34
	Max	24,92	35,15	1,01	5,50
	<b>Moyenne</b>	<b>24,67 ± 0,26</b>	<b>34,92 ± 0,20</b>	<b>0,48 ± 0,24</b>	<b>0,82 ± 0,89</b>
Août 2012	Min	21,39	35,29	0,08	0,32
	Max	21,65	35,47	0,55	1,06
	<b>Moyenne</b>	<b>21,56 ± 0,06</b>	<b>35,41 ± 0,04</b>	<b>0,34 ± 0,60</b>	<b>0,52 ± 0,23</b>
Novembre 2012	Min	23,07	35,42	0,06	0,27
	Max	23,64	35,61	0,60	1,76
	<b>Moyenne</b>	<b>23,33 ± 0,17</b>	<b>35,56 ± 0,05</b>	<b>0,42 ± 0,12</b>	<b>0,62 ± 0,36</b>

## 2) ELEMENTS MAJEURS ET pH

Les résultats d'analyse des ions sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) et magnésium (Mg<sup>2+</sup>) et des valeurs de pH des stations St15 et St16 sont regroupés dans les Tableau 4 et Tableau 5.

Les valeurs moyennes de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Mg<sup>2+</sup> et pH sont relativement similaires entre les stations St15 et St16. Les concentrations de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ne diffèrent pas entre les campagnes alors que les concentrations de Mg<sup>2+</sup> sont légèrement plus élevées en août que lors des trois autres campagnes. Les valeurs de pH mesurées en mars et en août sont plus faibles que celles mesurées lors des campagnes de mai et novembre 2012, toutefois, ces variations ne sont pas significatives.

Les valeurs moyennes de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Mg<sup>2+</sup> et pH sont néanmoins conformes aux valeurs attendues et similaires avec celles obtenues lors des campagnes de suivi précédentes (Convention AEL-LEA/Vale-NC N°C2445).

Tableau 4 : Concentrations des ions  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  et valeurs du pH mesurées lors des campagnes trimestrielles 2012 à la station St15.

Campagne	Niveau	$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L)	$\text{Mg}^{2+}$ (mg/L)	pH
Mars 2012	S	2742	1328	8,24
	M	2652	1317	8,24
	F	2630	1370	8,24
Mai 2012	S	2738	1384	8,29
	M	2674	1386	8,29
	F	2686	1412	8,26
Août 2012	S	2668	1805	8,25
	M	2753	1861	8,26
	F	2706	1920	8,26
Novembre 2012	S	2775	1229	8,30
	M	2645	1278	8,30
	F	2653	1264	8,31
<b>Moyenne</b>		<b>2693 ± 48</b>	<b>1463 ± 248</b>	<b>8,27 ± 0,03</b>

Tableau 5 : Concentrations des ions  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  et valeurs du pH mesurées lors des campagnes trimestrielles 2012 à la station St16.

Campagne	Niveau	$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L)	$\text{Mg}^{2+}$ (mg/L)	pH
Mars 2012	S	2780	1325	8,24
	M	2774	1331	8,24
	F	2803	1394	8,22
Mai 2012	S	2650	1376	8,31
	M	2696	1405	8,30
	F	2666	1369	8,29
Août 2012	S	2520	1798	8,25
	M	2719	1927	8,26
	F	2619	1578	8,26
Novembre 2012	S	2657	1259	8,31
	M	2746	1270	8,32
	F	2718	1279	8,30
<b>Moyenne</b>		<b>2696 ± 80</b>	<b>1442 ± 215</b>	<b>8,27 ± 0,03</b>

### 3) MATIERE EN SUSPENSION

**Rappel:** La mesure des MES est importante dans les milieux côtiers et estuariens car elle reflète l'importance des apports continentaux et de la remise en suspension de sédiments sous l'influence des conditions météorologiques (vent, pluie...). Les MES influencent également la production primaire : une charge particulaire élevée peut en effet modifier l'épaisseur de la couche euphotique (Aminot et Kérouel 2004). En milieux côtier et estuarien, ces valeurs peuvent varier de 0,5 à 5 mg/L (Aminot et Kérouel 2004).

Les résultats des concentrations des matières en suspension (MES) aux stations St15 et St16 pour les campagnes trimestrielles 2012 sont regroupés dans les Figure 6, Figure 7 et en Annexe 2.

Globalement, les concentrations de MES des stations St15 et St16 sont plus élevées en profondeur qu'en mi-profondeur et surface. Seules les mesures effectuées à la station St15 en novembre n'ont pas montrées la même distribution ; la concentration de surface (0,88 mg/L) étant plus élevée que celles de mi-profondeur (0,29 mg/L) et fond (0,64 mg/L). A l'inverse, pour la même campagne, les concentrations de fond (0,84 mg/L) de la station St16 sont deux fois plus hautes que celles mesurées en mi-profondeur (0,30 mg/L) et surface (0,44 mg/L). Les concentrations de fond maximales ont été mesurées en mai pour les deux stations (St15 : 1,07 mg/L ; St16 : 2,39 mg/L). Pour cette même campagne, la concentration de fond de la station St15 est deux fois plus haute que

celles de mi-profondeur (0,52 mg/L) et surface (0,51 mg/L) et la concentration de fond de la station St16 est de 5 à 7 fois plus élevée que celles de mi-profondeur (0,45 mg/L) et surface (0,34 mg/L).

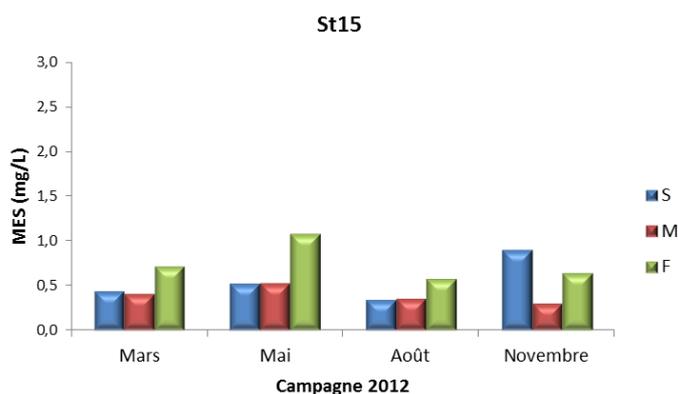


Figure 6 : Concentrations des MES de la station St15 aux trois niveaux de profondeur échantillonnés (S : surface ; M : mi-profondeur ; F : fond) lors des campagnes trimestrielles de 2012.

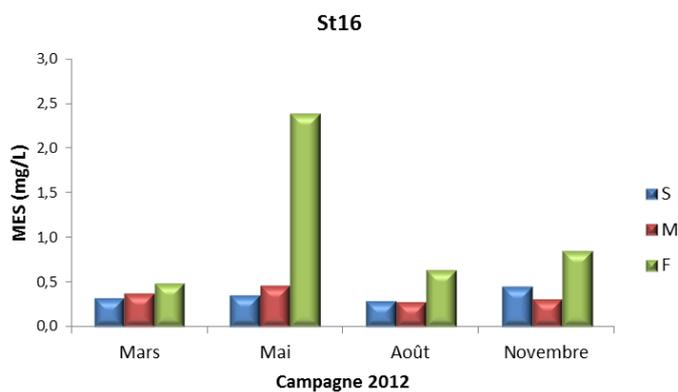


Figure 7 : Concentrations des MES de la station St16 aux trois niveaux de profondeur échantillonnés (S : surface ; M : mi-profondeur ; F : fond) lors des campagnes trimestrielles de 2012.

#### 4) CARBONATES (STATION ST16)

Les résultats d'analyse des carbonates des campagnes trimestrielles 2012 à la station St16 sont reportés dans le Tableau 6.

Les concentrations de carbonates sont relativement similaires et conformes aux valeurs attendues (Convention AEL-LEA/Vale-NC N°C2445). Celles-ci varient entre 2,20 et 2,41 meq/L avec une valeur moyenne de  $2,29 \pm 0,07$  meq/L.

Tableau 6 : Concentrations des ions carbonates mesurées lors des campagnes trimestrielles 2012 à la station St16.

Campagne	Niveau	Alcalinité totale (meq/L)
Mars 2012	S	2,22
	M	2,22
	F	2,25
Mai 2012	S	2,20
	M	2,27
	F	2,25
Août 2012	S	2,31
	M	2,37
	F	2,41
Novembre 2012	S	2,37
	M	Nd
	F	2,35

## 5) HYDROCARBURES TOTAUX

L'analyse des prélèvements des stations St15 et St16 n'a pas permis de mettre en évidence des concentrations en hydrocarbures totaux supérieures à la limite de détection de la méthode (LQ <0,1 mg/L).

## 6) DISTRIBUTION DES METAUX DISSOUS

Les résultats d'analyse des métaux dissous des stations St15 et St16 des campagnes trimestrielles 2012 sont regroupés dans les Figure 8, Figure 9, Figure 10,

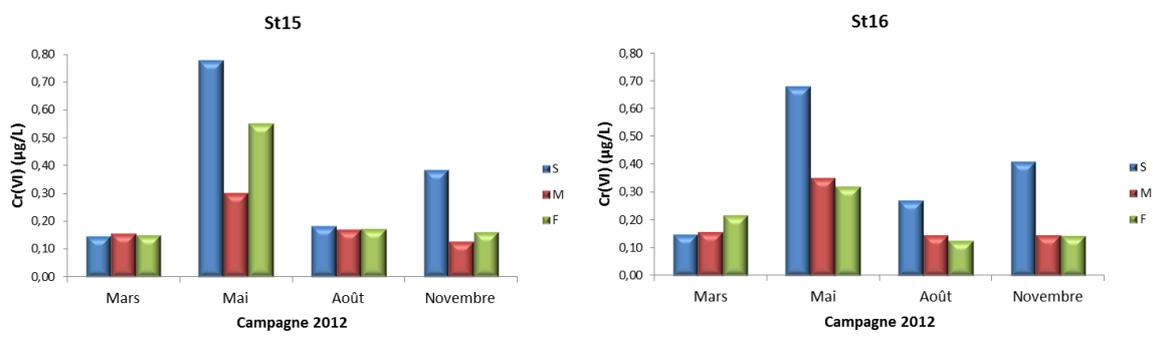


Figure 11, Figure 12, Figure 13 et en Annexe 3.

Les concentrations de **Co**, **Mn** et **Ni** de la station **St15** présentent globalement la même distribution. En mars, la concentration de fond (0,092 µg/L) est plus élevée que celles de mi-profondeur (0,059 µg/L) et surface (0,064 µg/L) alors que l'inverse est observé en mai et novembre. Les concentrations de surface (0,043 µg/L) et fond (0,044 µg/L) mesurées en août sont quasiment similaires et légèrement supérieures à celle de mi-profondeur (0,030 µg/L). Dans la colonne d'eau, les écarts de concentrations les plus importants ont été observés en mai ; les concentrations de surface de Co (0,100 µg/L), Mn (0,570 µg/L) et Ni (0,820 µg/L) sont 2 à 3 fois plus importantes que celles de mi-profondeur et fond. La concentration maximale de Ni a été mesurée en mai en surface (0,820 µg/L) alors que celle

de Mn a été observée en profondeur en mars (1,127 µg/L) et celle de Co en surface lors de la campagne de novembre (0,108 µg/L).

Pour ces mêmes métaux, les concentrations de la station **St16** sont globalement moins élevées que celle de la station St15. Pour les 4 campagnes trimestrielles, les concentrations de **Co** diminuent avec la profondeur. Les concentrations les plus élevées ont été mesurées en mai (0,065 µg/L) et novembre (0,064 µg/L) et la plus faible en août (0,038 µg/L). Pour le **Mn**, seules les concentrations de mars présentent cette distribution ; la concentration de surface (0,422 µg/L) étant plus élevée que celles de mi-profondeur (0,302 µg/L) et fond (0,315 µg/L). Les concentrations de Mn mesurées en mai et août ne diffèrent que très légèrement dans la colonne d'eau. En novembre, celles-ci sont deux fois plus élevées en surface (0,274 µg/L) et mi-profondeur (0,283 µg/L) qu'au fond (0,131 µg/L). Pour le **Ni**, à l'inverse du Mn, les concentrations diminuent avec la profondeur lors des campagnes de mai et août alors qu'elles ne présentent pas de distribution particulière aux deux autres campagnes. La concentration maximale de Ni a été mesurée en surface en mai atteignant 0,574 µg/L.

Pour les stations **St15** et **St16**, les concentrations de **Cr(VI)** sont plus élevées en surface qu'en mi-profondeur et fond lors des campagnes de mai et novembre. Par exemple, les concentrations de novembre sont environ trois fois plus élevées en surface (St15 : µg/L 0,386 µg/L ; St16 : 0,412 µg/L) qu'en mi-profondeur (St15 : µg/L 0,127 µg/L ; St16 : 0,160 µg/L) et fond (St15 : µg/L 0,146 µg/L ; St16 : 0,144 µg/L). C'est également le cas en août, uniquement pour la station St16. Pour la station St15, les concentrations mesurées en mars (0,151 ± 0,005 µg/L) et août (0,174 ± 0,007 µg/L) sont quasiment identiques entre les trois niveaux de profondeur échantillonnés. Pour les stations St15 et St16, les concentrations les plus élevées ont été mesurées en surface en mai atteignant 0,780 et 0,680 µg/L, respectivement.

Pour les stations **St15** et **St16**, les concentrations de **Cu** ne montrent pas de distribution particulière avec la profondeur ni entre les différentes campagnes de 2012. Les concentrations maximales ont été mesurées à la station St15, en surface (0,483 µg/L) et en profondeur (0,530 µg/L) lors des campagnes de mars et août, respectivement. A l'exception de ces deux valeurs, les concentrations de Cu sont comprises entre des valeurs inférieures à la limite de quantification (0,015 µg/L) et 0,225 µg/L.

Les concentrations de **Zn** mesurées aux stations **St15** et **St16** lors des campagnes trimestrielles 2012 ne présentent pas de distribution particulière dans la colonne d'eau. Les concentrations les plus importantes ont été mesurées en mai où les valeurs sont comprises entre 1,117 et 1,438 µg/L pour la station St15 et 1,114 et 1,245 µg/L pour la station St16.

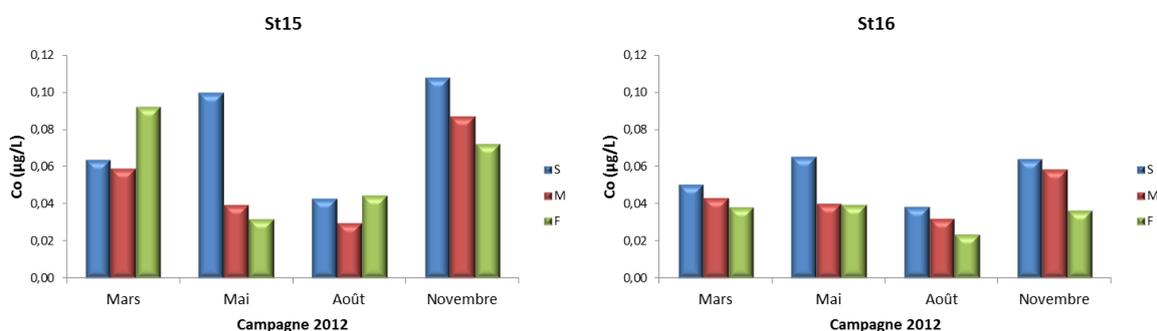


Figure 8 : Concentrations de Co aux stations St15 et St16 aux trois niveaux de profondeurs échantillonnés (S : surface ; M : mi-profondeur ; F : fond) lors des campagnes trimestrielles de 2012.

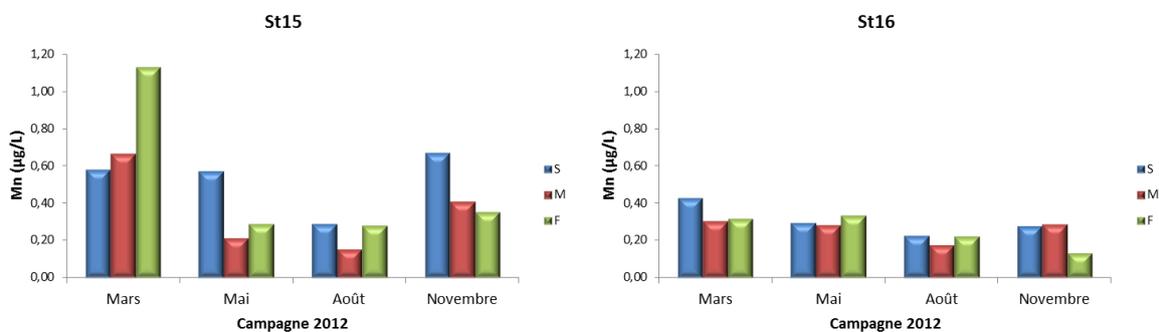


Figure 9 : Concentrations de Mn aux stations St15 et St16 aux trois niveaux de profondeurs échantillonnées (S : surface ; M : mi-profondeur ; F : fond) lors des campagnes trimestrielles de 2012.

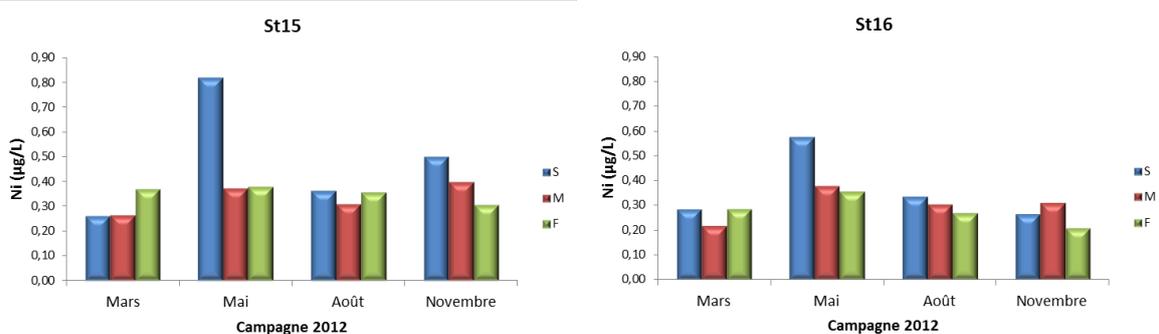


Figure 10 : Concentrations de Ni aux stations St15 et St16 aux trois profondeurs échantillonnées (S : surface ; M : mi-profondeur ; F : fond) lors des campagnes trimestrielles de 2012.

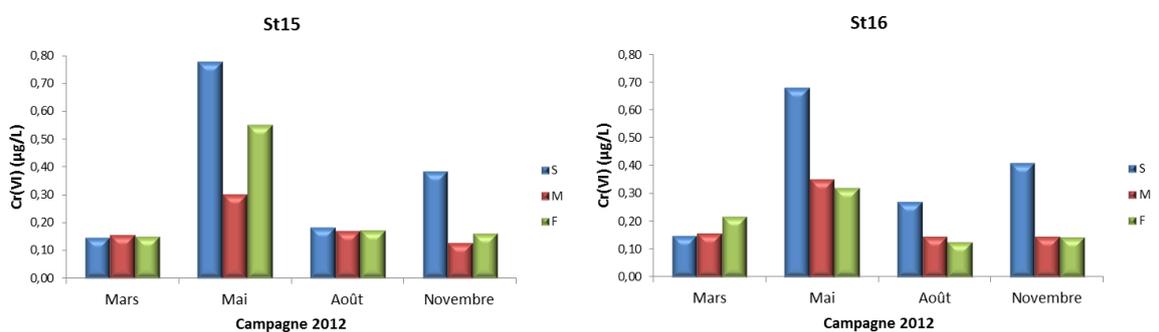


Figure 11 : Concentrations de Cr(VI) aux stations St15 et St16 aux trois profondeurs échantillonnées (S : surface ; M : mi-profondeur ; F : fond) lors des campagnes trimestrielles de 2012.

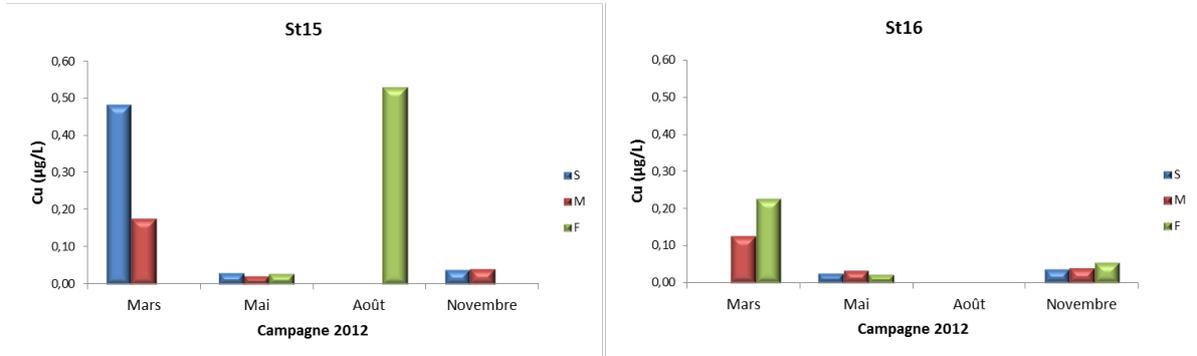


Figure 12 : Concentrations de Cu aux stations St15 et St16 aux trois profondeurs échantillonnées (S : surface ; M : mi-profondeur ; F : fond) lors des campagnes trimestrielles de 2012.

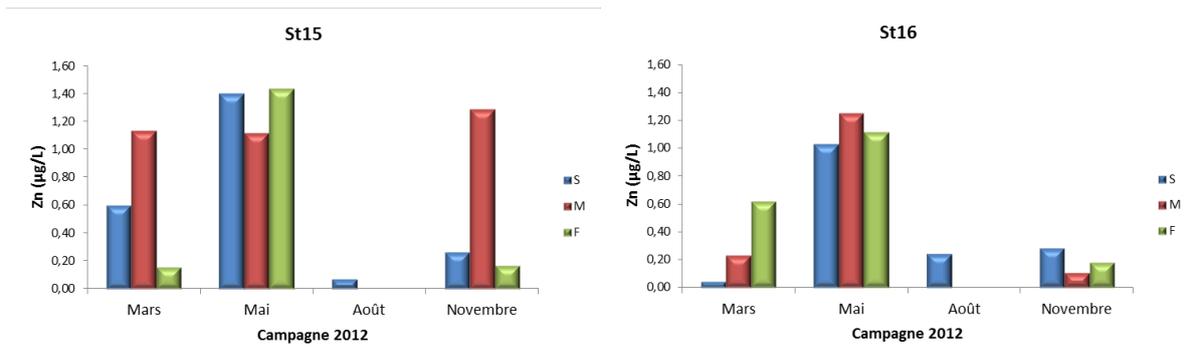


Figure 13 : Concentrations de Zn aux stations St15 et St16 aux trois profondeurs échantillonnées (S : surface ; M : mi-profondeur ; F : fond) lors des campagnes trimestrielles de 2012.

#### CE QU'IL FAUT RETENIR

La distribution temporelle des concentrations des métaux dissous tels que le Co, Cr(VI), Mn et Ni au niveau des stations St15 et St16 présentent des similitudes. Les concentrations de Co, Cr(VI), Mn et Ni sont presque systématiquement plus élevées en surface qu'à mi-profondeur et au fond pour les campagnes de mai et novembre 2012. Ces résultats sont à relier avec les apports d'eaux douces provenant des creeks de la Baie du Prony, également bien mis évidence sur les profils des variables physico-chimiques et/ou l'influence terrigène globale observée en Baie de Prony.

## B. STATION ST16 : SEDIMENTS

### 1) CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DE LA CAROTTE

Les valeurs des paramètres physiques sont regroupées en Annexe 4.

L'observation visuelle de la carotte entière montre que deux couches composent les sédiments : la première constituant la moitié supérieure du prélèvement environ (10 cm) se différencie de la deuxième par sa couleur brune. Ce changement de couleur, passant du brun-rouge en surface au beige au fond, suggère que les sédiments qui composent les couches les plus récentes sont potentiellement plus riches en particules latéritiques.

Ce premier examen permet aussi de constater que les sédiments sont de nature silto-argileuse ; très fluide dans les premiers centimètres de la carotte, la vase devient plus compacte, seulement à 4 centimètres sous l'interface.

### 2) GRANULOMETRIE DES PARTICULES

Les valeurs de tous les paramètres granulométriques sont regroupées en Annexe 4.

Le pourcentage en fractions pélitiques des sédiments ( $\varnothing < 40 \mu\text{m}$ ) augmente de manière notable dans les deux premiers centimètres. En effet, cette fraction progresse de 87,0% dans les sédiments les plus anciens à 93,5% dans les plus récents, en moyenne (Figure 14).

Par ailleurs, la granulométrie montre un affinement de la composition en particules dans les deux horizons les plus récents (Figure 14 et Tableau 7). En effet, dans ces deux horizons de surface, les populations granulométriques de silts moyen et sables fins (classe 200-2000  $\mu\text{m}$ ) sont inexistantes. En revanche, plus de 80% des particules sont des argiles ou des silts fins (0,02-20  $\mu\text{m}$ ). Pour les sédiments les plus anciens les fractions grossières (silts moyens - sables fins) et fines (argiles - silts fins) représentent respectivement, 2-4 % et 68-77%.

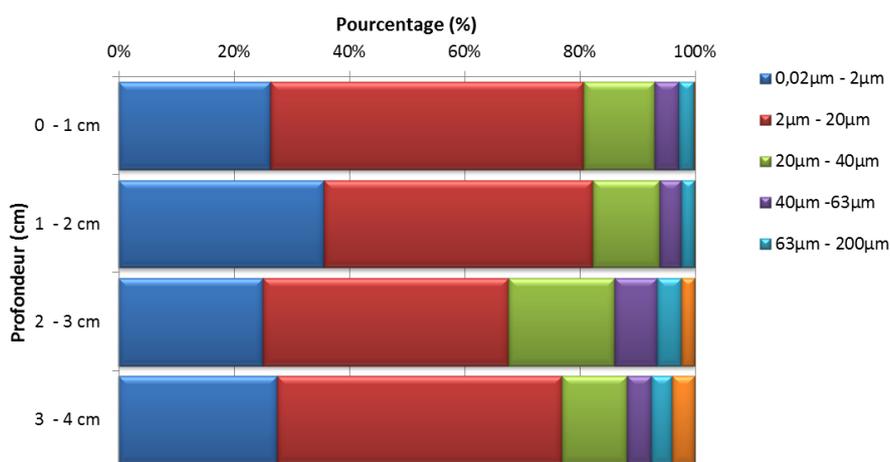


Figure 14 : Distribution granulométrique en pourcentage volumique pour les horizons (0-1 cm), (1-2 cm), (2-3 cm) et (3-4 cm) de la carotte St16 et représentation graphique de l'évolution des pourcentages en fractions pélitiques ( $\varnothing < 40 \mu\text{m}$ ).

Tableau 7 : Analyse granulométrique des 4 premiers niveaux sédimentaires de la carotte St16.

St16 Horizon	MICRON SIZE DISTRIBUTION (Volume %)					
	0,02µm - 2µm	2µm - 20µm	20µm - 40µm	40µm - 63µm	63µm - 200µm	200µm - 2000µm
0 - 1 cm	26,36	54,31	12,38	4,12	2,63	0,20
1 - 2 cm	35,64	46,60	11,67	3,76	2,32	0,01
2 - 3 cm	25,05	42,59	18,36	7,36	4,31	2,33
3 - 4 cm	27,57	49,35	11,25	4,31	3,62	3,90

### 3) MINÉRALOGIE DES SÉDIMENTS

Les valeurs des paramètres minéralogiques et des teneurs en carbonates sont regroupées en Annexe 4.

Les analyses réalisées par diffractométrie de rayons X montrent que les sédiments contiennent de marqueurs terrigènes d'origine latéritique comme la goethite, voire des traces de gibbsite (Tableau 8). Des traces infimes de spinelles chromifères et magnésiochromites semblent avoir été décelées ainsi que de kieserite ( $MgSO_4 \cdot H_2O$ ) et d'antalarite ( $Cu_3(SO_4)(OH)_4$ ).

A l'inverse, les minéraux comme la calcite, la calcite magnésienne et l'aragonite (constituant des coquilles d'invertébrés) sont amplement majoritaires. Leur présence met en évidence la prédominance claire de l'origine marine des 4 niveaux étudiés.

Tableau 8 : Composition minéralogique des sédiments pour les horizons (0-1 cm), (1-2 cm), (10-11 cm), (19-20 cm) de la carotte St16.

HORIZON	MINÉRAL					
	Mg-Calcite	Calcite	Aragonite	Goethite	Kaolinite	Autres
0 - 1 cm	M	M	M	M	m	Gibbsite ? à ~4.82Å
1 - 2 cm	M	M	M	M	m	? à ~4.82Å
2 - 3 cm	M	M	M	M	m	? à ~4.82Å
3 - 4 cm	M	M	M	M	m	? à ~4.82Å

M = présence majoritaire; m = présence minoritaire

### 4) COMPOSITION GEOCHIMIQUE DES SÉDIMENTS

Les valeurs des paramètres géochimiques sont regroupées en Annexe 5.

#### a) EXTRACTIONS SEQUENTIELLES : MÉTAUX

**Rappel :** Compte tenu de la précision demandée en termes d'impact des activités portuaires dans le milieu marin, l'analyse de la concentration totale des métaux contenus dans les sédiments ne peut fournir qu'une information globale qui ne permet ni d'évaluer les niveaux de disponibilité de ces éléments chimiques, ni d'estimer les variations dues aux apports industriels de faibles intensités. Afin de suivre et/ou de différencier les impacts des sources terrestres et/ou anthropiques, l'analyse des différentes phases géochimiques qui composent le sédiment est amplement préférable. Les deux premières phases géochimiques (matière organique et carbonates) et leurs métaux associés fournissent surtout une évaluation de leur fraction potentiellement disponible pour les organismes vivants.

Les deux dernières phases (oxydes et résidu) représentent des fractions dans lesquelles les métaux sont beaucoup moins disponibles mais sont à considérer comme des outils pour tracer les apports terrigènes (signature géochimiques).

### i. DISTRIBUTION MASSIQUE DES PHASES GEOCHIMIQUES

Les proportions massiques des 4 phases géochimiques montrent clairement une différence entre les deux premiers horizons sédimentaires et les deux suivants (Figure 15). En d'autres termes, les sédiments les plus récents sont composés d'une proportion moindre de phases résiduelles et oxy-hydroxydées par rapports aux sédiments plus anciens sous-jacents : cette diminution est de l'ordre de 10%.

A l'inverse, un enrichissement notable dans la phase organique est observé dans les 2 premiers centimètres de la carotte ; les proportions de phase organique, qui sont multipliées par un facteur 4 en moyenne, par rapports aux deux horizons inférieurs, ne sont pas habituellement mesurées.

Cette augmentation, est accompagnée par une légère décroissance de la fraction carbonatée.

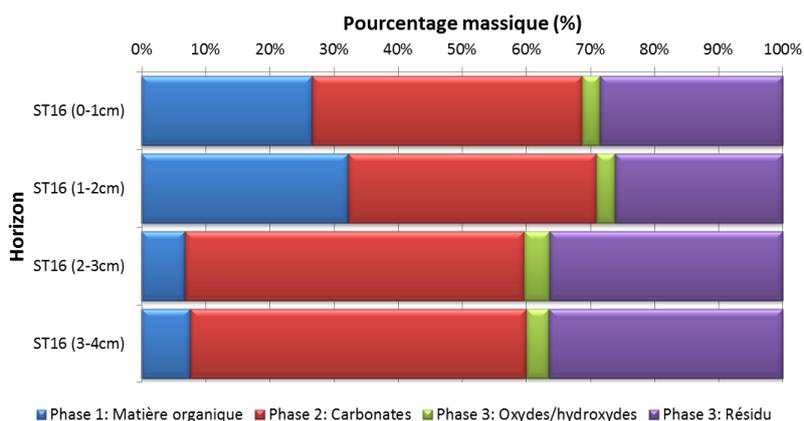


Figure 15 : Distribution massique des 4 phases géochimiques pour chacun des horizons de la carotte St16.

### ii. DISTRIBUTION DE CONCENTRATIONS EN METAUX

Pour tous les métaux analysés, les concentrations totales sont inférieures dans les deux premières couches sédimentaires à celles des deux suivantes (Tableau 9). Les écarts peuvent atteindre et même dépasser les 25% dans le cas de Co, Cu, Fe et Ni ; la différence la moins prononcée est observée pour Cr qui diminue en surface seulement de 2%. Pour Ca, Mn et Zn, la différence est intermédiaire (15%).

Tableau 9 : Concentrations totales dans les fractions péloïtiques ( $\phi < 40\mu\text{m}$ ) des sédiments de surface de la carotte St16.

HORIZON	Ca (mg/kg)	Co (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)
0 - 1 cm	199 766	75	2 367	9	65 920	782	1 032	60
1 - 2 cm	180 194	67	2 232	8	60 758	679	959	47
2 - 3 cm	222 251	94	2 287	11	83 325	874	1 350	62
3 - 4 cm	224 393	95	2 427	11	85 563	852	1 387	63

#### PHASE ORGANIQUE

Dans cette phase, le calcium (Ca), le cobalt (Co), le fer (Fe), nickel (Ni) et le zinc (Zn) ne montrent aucune évolution de concentrations notable entre les horizons (Figure 17). Par ailleurs, hormis Ca dont la concentration relative représente 5% du total, pour les quatre autres métaux, cette fraction n'est plus que de l'ordre du pourcent, voire non quantifiable car les concentrations deviennent inférieures aux limites de quantification respectives.

A l'inverse, la concentration relative en Cu est d'environ 7-8% dans le niveau le plus ancien et augmente légèrement en surface, passant environ à 12%. Bien que très faibles, les concentrations relatives de Mn montrent également une tendance à l'augmentation dans les horizons récents.

Seul Cr montre une tendance à la diminution dans les sédiments récents.

#### PHASE CARBONATEE

Cette phase est logiquement composée par le calcium qui représente entre 85 et 90% de la concentration totale du sédiment. A l'inverse, Cr, Fe et même Ni, sont en concentrations extrêmement faibles (< 1%) et ne montrent pas d'évolution remarquable dans les 4 horizons sédimentaires de la carotte.

Entre ces extrêmes, les concentrations relatives en Co, Cu, Mn et Zn dans la phase carbonatée augmentent sensiblement dans les sédiments de surface. Ainsi les concentrations en Cu et Zn passent d'environ 6-8% à 12% environ. Pour Cu et Mn, les proportions représentent, respectivement 31% et 51% dans l'horizon le plus ancien, 37% et 55% dans le plus récent.

#### PHASE OXY-HYDROXYDEE

Le calcium peut encore représenter jusqu'à 10% dans cette phase géochimique, tout comme Mn et Zn ; Co étant en quantité légèrement supérieure (12%). Les autres éléments (Cr, Fe et Ni) constituent des fractions infinitésimales voire non quantifiables car elles sont inférieures aux limites de quantification (Cu).

Hormis une concentration plus forte dans l'horizon de surface pour Zn, aucune tendance n'est remarquable.

#### PHASE RESIDUELLE

Le calcium est présent en proportions infimes dans cette dernière phase géochimique (< 0,5%). A l'inverse, Fe, Cr et Ni représente plus de 98% des concentrations totales composant les sédiments. Les concentrations relatives en Co, Cu, Mn, Zn diminuent dans la colonne sédimentaire, des sédiments les plus anciens vers les plus récents. Ainsi, respectivement, les valeurs passent de 77 à 73%, 60 à 51%, 40 à 34% et 91 à 80% du total.

### b) COMPOSITION EN SOUFRE DISPONIBLE

D'une façon générale, les concentrations montrent une tendance à la baisse avec la profondeur d'enfouissement (Figure 16) ; Pour le soufre lixiviable, les teneurs décroissent de 1969 à 1321 mg/kg, pour la fraction échangeable, elles passent de 2059 à 1535 mg/kg ; les niveaux de concentration en soufre lixiviable et échangeable sont sensiblement proches pour 4 horizons (Annexe 5).

Au vu de ces résultats, la disponibilité en soufre par solubilisation directe semble moins élevée que la proportion extraite obtenue par attaque chimique ménagée. Il ressort de ces tests qu'une fraction non négligeable du soufre est faiblement combinée à la matière organo-minérale, notamment par adsorption.

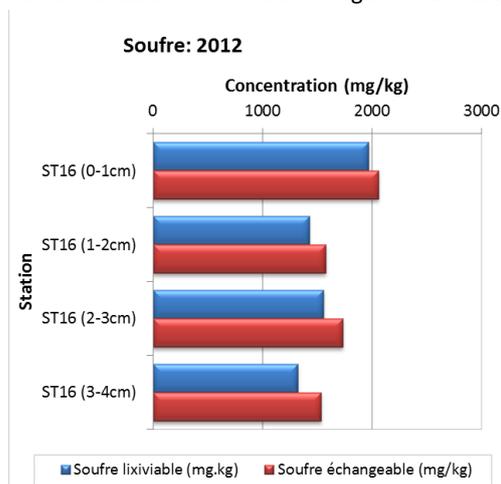


Figure 16 : Evolution des concentrations en soufre lixiviable et en soufre échangeable dans la fraction brute des sédiments de la carotte St16.

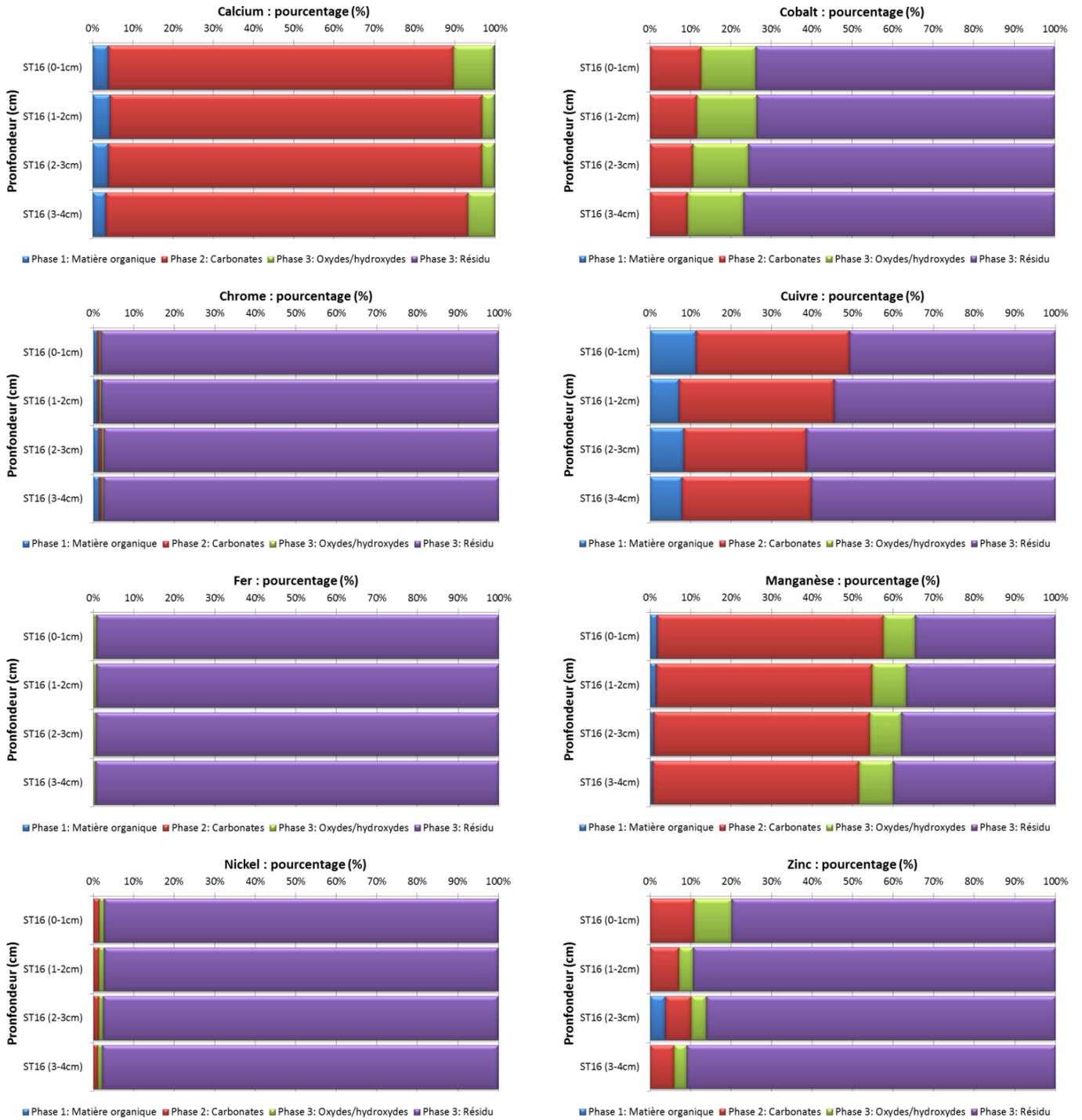


Figure 17 : Variation relatives des concentrations des métaux et du calcium dans les 4 phases géochimiques des sédiments de surface de la carotte St16.

**CE QU'IL FAUT RETENIR**

Les sédiments de surface semblent être composés de 2 strates de 2 centimètres d'épaisseur chacune.

Les sédiments les plus récents (couche supérieure) se distinguent par une fraction silto-argileuse en proportion plus importante. La minéralogie ne permet pas de différencier les horizons mais souligne l'origine principalement marine des dépôts.

Dun point de vue géochimique, les 2 premiers centimètres du dépôt sont inhabituellement enrichis en phase organique ( $\approx 30\%$ ) comparativement aux dépôts sous-jacents ( $\approx 10\%$ ) ; cette couche à caractère organique et la fraction carbonatée des sédiments renferment une proportion importante du cuivre total (jusqu'à 50%).

Un faible gradient de concentration vertical des métaux semble se dessiner dans les phases organiques et carbonatées, tout comme pour le soufre qui montre une légère surconcentration dans le premier centimètre des dépôts.

# SYNTHESE

## A. STATIONS ST15 ET ST16 ; COLONNE D'EAU

Les conditions météorologiques, notamment les précipitations, pouvant avoir une influence sur les concentrations en métaux dissous, le cumul des précipitations avant (5 jours avant) et pendant les campagnes a donc été reporté depuis 2007 (Figure 18).

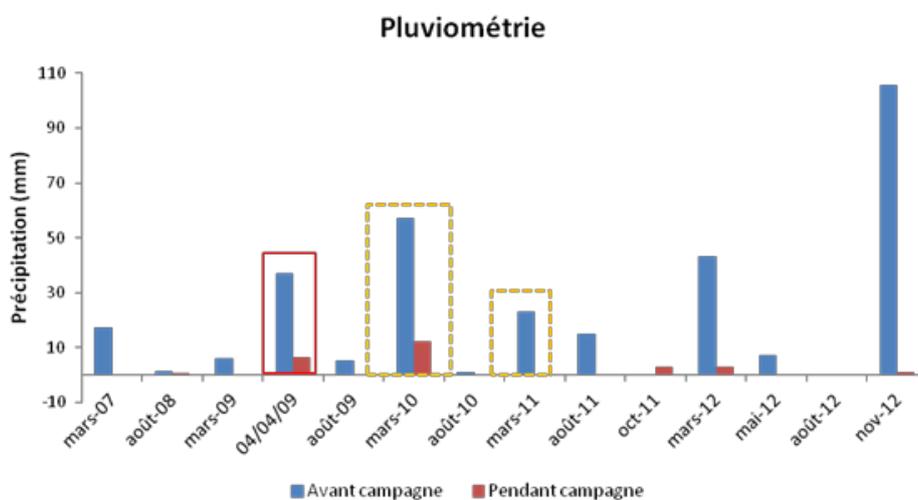


Figure 18 : Cumul des précipitations avant les campagnes (5 jours avant) et pendant les campagnes de prélèvement effectuées entre 2007 et 2012 à la station St15.

### 1) STATION ST15

**Rappel :** Sur les graphiques, la moyenne des concentrations est représentée par une ligne rouge continue encadrée par les bornes de l'écart-type inférieures et supérieures, représentées par des lignes vertes discontinues. L'encadré continu rouge correspond à la fuite d'acide d'avril 2009. Les encadrés discontinus orange correspondent aux campagnes de mars 2010 et 2011.

Cette synthèse regroupe les concentrations des métaux dissous (Co, Cr(VI), Cu, Mn et Ni) mesurées lors des campagnes de suivis de la station St15 réalisées depuis 2007. Les concentrations de Co, Cr(VI), Mn et Ni observées dans la colonne d'eau après la fuite d'acide d'avril 2009 ont été ajoutées à cette synthèse afin de pouvoir comparer les valeurs obtenues lors des différentes opérations de suivi avec des valeurs accidentelles (encadré rouge). Les suivis de la station St15 sont, depuis octobre 2011 effectués trimestriellement.

Les concentrations maximales de Co, Cr(VI), Mn et Ni ont été observées simultanément pour les trois éléments pour les mois de mars 2010 et 2011. Ces valeurs correspondent à des eaux de surface et/ou fond (Figure 19, Figure 20, Figure 21 et Figure 22).

Pour le **Co**, la concentration de surface de mars 2010 (0,27 µg/L) et les concentrations de surface (0,17 µg/L) et fond (0,25 µg/L) de mars 2011 sont jusqu'à deux fois plus élevées que la borne supérieure du bruit de fond géochimique de ce métal (0,13 µg/L). Ces concentrations sont presque identiques à celles mesurées lors de la fuite d'acide de 2009 (S : 0,24 µg/L ; F : 0,22 µg/L).

Pour le **Cr(VI)**, les concentrations maximales sont mesurées en surface lors des campagnes de mars 2010 (0,78 µg/L) et 2011 (1,22 µg/L) ainsi que lors de la campagne de mai 2012 (0,78 µg/L). Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que la concentration obtenue immédiatement après la fuite d'acide d'avril 2009 (1,09 µg/L, le 4 avril 2009). Pour cet élément, au mois de mai 2012, les concentrations dans les eaux de fond et de surface sont elles aussi plus hautes que la borne supérieure du bruit de fond géochimique. Hormis ces 4 valeurs, les concentrations de Cr(VI) mesurées entre 2007 et 2012 sont relativement similaires au bruit de fond géochimique du Cr(VI) (0,27 ± 0,23 µg/L).

Pour le **Mn**, seule la concentration des eaux de fond du mois de mars 2011 (4,16 µg/L) est nettement plus élevée que la borne supérieure du bruit de fond moyen du Mn (1,32 µg/L) pour la station. Par ailleurs, cette valeur est presque 8 fois plus haute que la concentration des eaux de fond mesurée lors de la fuite d'acide de 2009 (0,56 µg/L, le 4 avril 2009). La concentration de surface de mars 2010 (1,27 µg/L), mars 2011 (1,00 µg/L) sont du même ordre de grandeur que celle obtenue après la fuite d'acide (1,01 µg/L, le 4 avril 2009).

Comme pour le Co, la concentration de **Ni** de surface obtenue en mars 2010 (1,06 µg/L) et les concentrations de surface (1,44 µg/L) et fond (0,91 µg/L) obtenues en mars 2011 sont jusqu'à deux fois plus élevées que la borne supérieure du bruit de fond géochimique de ce métal (0,68 µg/L). Ces concentrations restent néanmoins inférieures à la concentration de surface de Ni mesurée après la fuite d'acide (1,85 µg/L, le 4 avril 2009).

Deux concentrations de **Cu** (Figure 23) se démarquent lors pour les campagnes de mars 2012 en surface (0,48 µg/L) et d'août 2012 en profondeur (0,53 µg/L) ; celles-ci étant plus de deux fois plus élevée que la borne supérieure du bruit de fond géochimique du Cu (0,08 ± 0,11 µg/L).

La station St15 est très sensible aux influences terrigènes générées par les précipitations atmosphériques dont la creek de la Rade Nord se fait le relais. Cependant, les variations des concentrations des métaux dissous tels que le Co, Cr(VI), Mn et Ni, bien que reliées aux précipitations, peuvent être également influencées par d'autres phénomènes tels que la remise en suspension des eaux de fond sous les effets mécaniques du vent (direction et force) ou la marée (resolubilisation des métaux). En effet, les précipitations importantes du mois de novembre 2012 n'ont pas engendrées de concentrations de métaux dissous plus élevées que celles mesurées en mars 2010 et 2011.

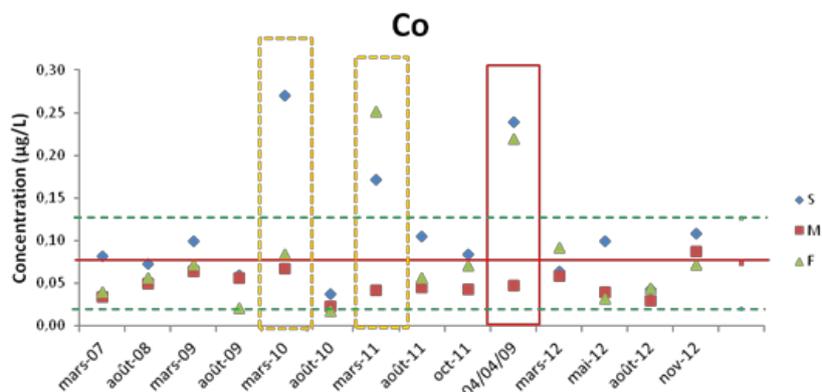


Figure 19 : Concentrations de Co mesurées à la station St15 (S : surface ; M : mi-profondeur ; F : fond) lors des campagnes de prélèvement réalisées entre 2007 et 2012.

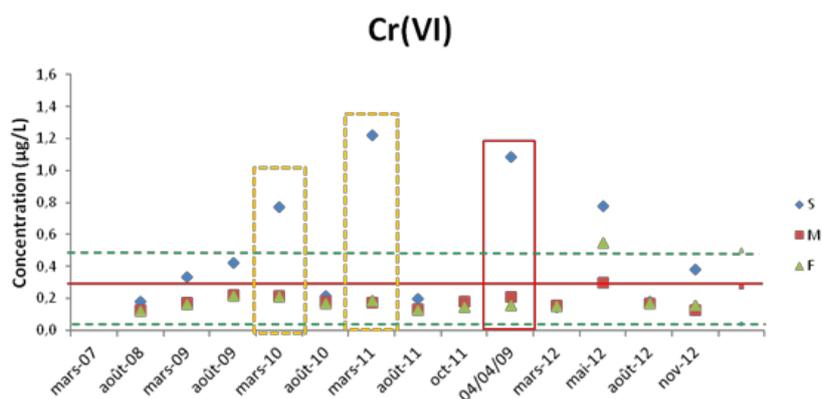


Figure 20 : Concentrations de Cr(VI) mesurées à la station St15 (S : surface ; M : mi-profondeur ; F : fond) lors des campagnes de prélèvement réalisées entre 2007 et 2012.

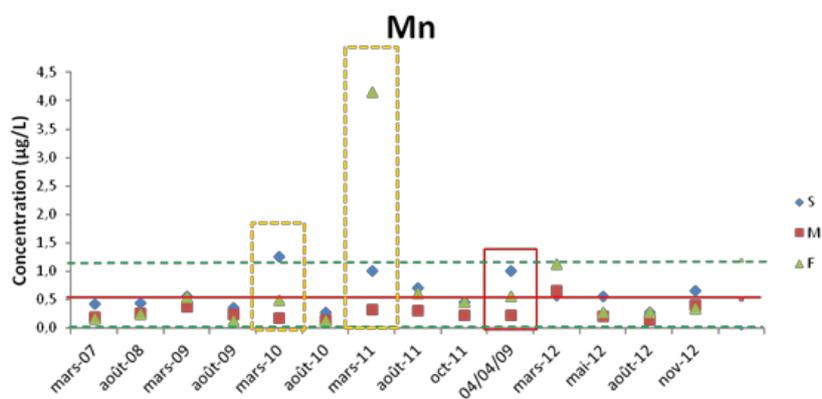


Figure 21 : Concentrations de Mn mesurées à la station St15 (S : surface ; M : mi-profondeur ; F : fond) lors des campagnes de prélèvement réalisées entre 2007 et 2012.

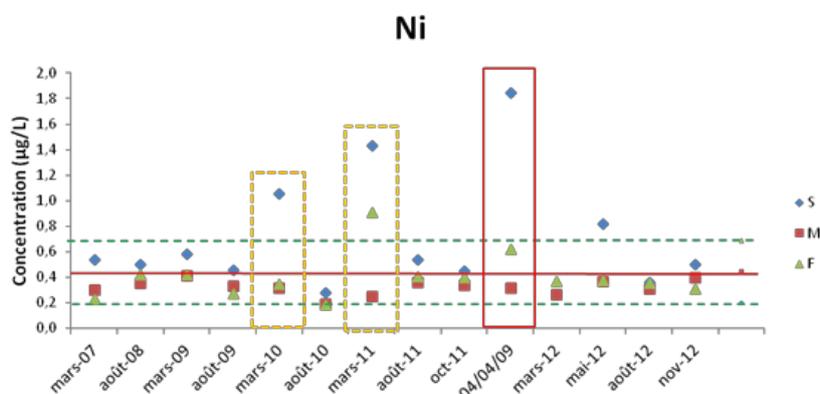


Figure 22 : Concentrations de Ni mesurées à la station St15 (S : surface ; M : mi-profondeur ; F : fond) lors des campagnes de prélèvement réalisées entre 2007 et 2012.

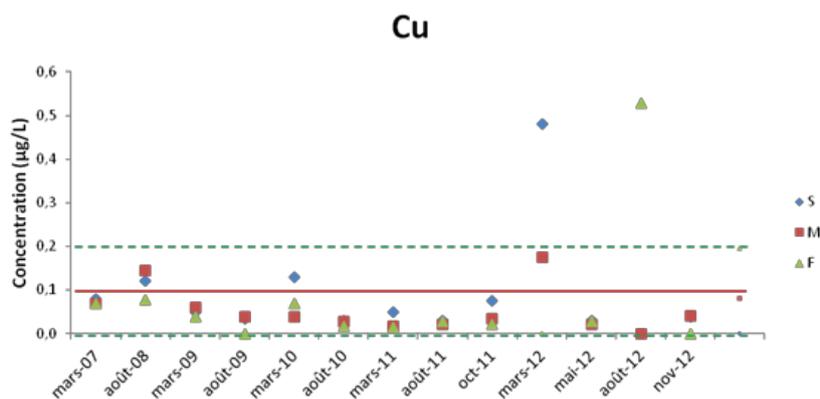


Figure 23 : Concentrations de Cu mesurées à la station St15 (S : surface ; M : mi-profondeur ; F : fond) lors des campagnes de prélèvement réalisées entre 2007 et 2012.

## 2) STATION ST16

**Rappel :** Sur les graphiques, la moyenne des concentrations est représentée par une ligne rouge continue encadrée par les bornes de l'écart-type inférieures et supérieures, représentées par des lignes vertes discontinues. Les encadrés discontinus orange correspondent aux campagnes de mars 2010 et 2011.

Cette synthèse regroupe les concentrations des métaux dissous (Co, Cr(VI), Cu, Mn et Ni) dans la colonne d'eau mesurées lors des campagnes de suivis de la station St16 réalisées depuis 2007.

Quelques concentrations de **Co**, **Cr(VI)**, **Mn** et **Ni** (Figure 24, Figure 25, Figure 26 et Figure 27) sont situées au-delà des bornes inférieures et supérieures du bruit de fond géochimique moyen ; celles-ci correspondent uniquement à des concentrations des eaux de surface. Les concentrations maximales de ces métaux ont été mesurées lors des campagnes de mai 2010 et mars 2011 ; celles-ci étant nettement plus élevées que les bornes supérieures du bruit de fond de ces métaux. Par exemple, les concentrations de surface de Cr(VI) mesurées en mai 2010 (1,43 µg/L) et en mars 2011 (1,29 µg/L) sont 2 à 3 fois plus élevées que la borne supérieure du bruit de fond de Cr(VI) (0,43 µg/L).

Quelques concentrations de **Cu** (Figure 28) sont également plus élevées que la borne supérieure du bruit de fond géochimique de cet élément. La concentration de surface mesurée lors de la campagne d'octobre 2008 est particulièrement haute par rapport aux autres valeurs (0,53 µg/L) ; elle est environ trois fois plus élevée que la borne supérieure du bruit de fond du Cu (0,16 µg/L).

Les fortes précipitations sont responsables d'apports terrigènes relayés par les creeks de la Baie du Prony qui sont donc les sources principales en métaux particulaires et dissous comme mesurées à la station St16 en mai 2010. Si le cumul des précipitations tombées avant la campagne de mai 2010 est conséquent, il ne peut à lui seul expliquer les augmentations de concentrations observées dans les eaux de surface puisque ce lien n'est pas démontré systématiquement. D'autres paramètres entrent probablement en jeu (déplacement des masses d'eau en fonction de l'état de la marée, la direction et la force des vents).

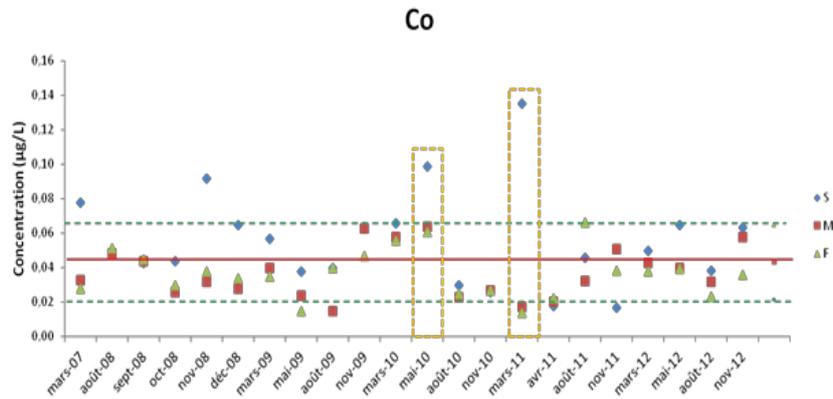


Figure 24 : Concentrations de Co mesurées à la station St16 (S : surface ; M : mi-profondeur ; F : fond) lors des campagnes de prélèvement réalisées entre 2007 et 2012.

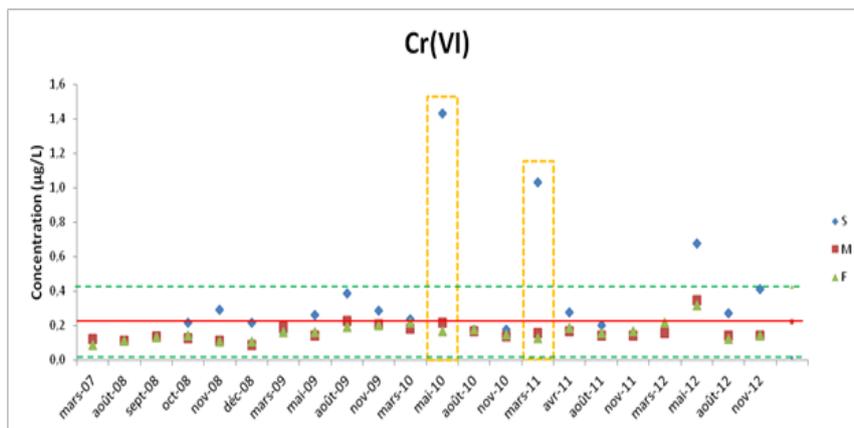


Figure 25 : Concentrations de Cr(VI) mesurées à la station St16 (S : surface ; M : mi-profondeur ; F : fond) lors des campagnes de prélèvement réalisées entre 2007 et 2012.

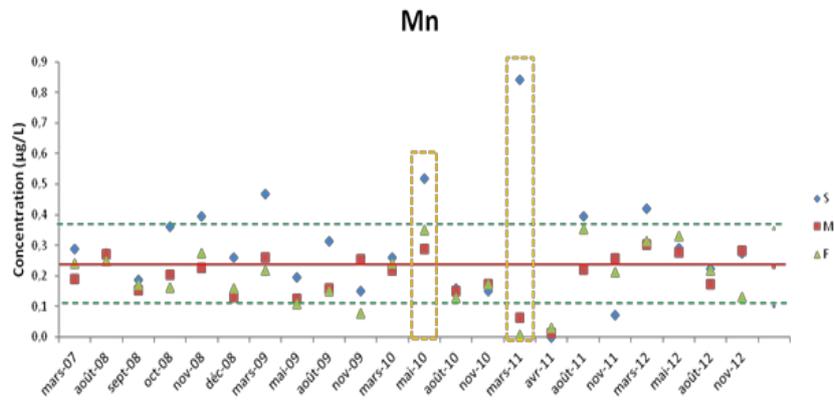


Figure 26 : Concentrations de Mn mesurées à la station St16 (S : surface ; M : mi-profondeur ; F : fond) lors des campagnes de prélèvement réalisées entre 2007 et 2012.

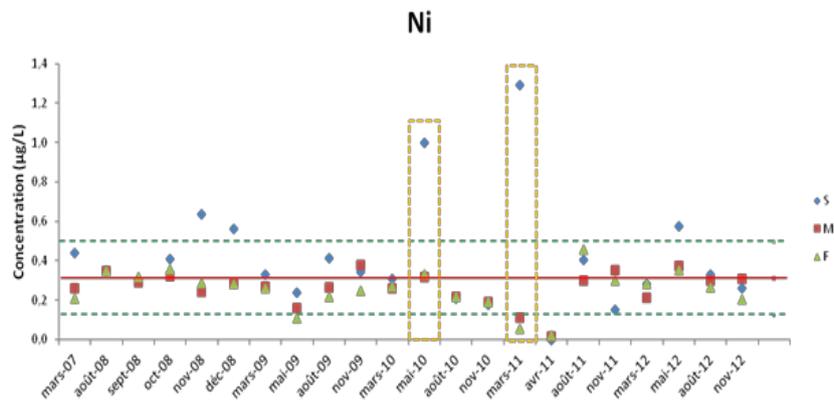


Figure 27 : Concentrations de Ni mesurées à la station St16 (S : surface ; M : mi-profondeur ; F : fond) lors des campagnes de prélèvement réalisées entre 2007 et 2012.

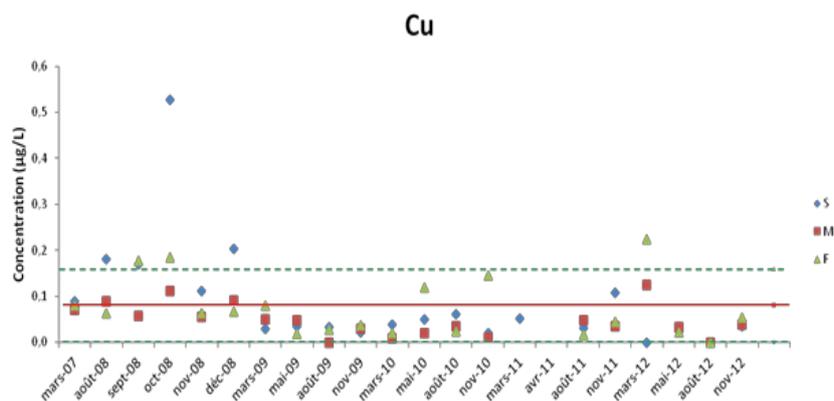


Figure 28 : Concentrations de Cu mesurées à la station St16 (S : surface ; M : mi-profondeur ; F : fond) lors des campagnes de prélèvement réalisées entre 2007 et 2012.

## B. STATION ST16 : SEDIMENTS

### 1) EVOLUTION TEMPORELLE DES CONCENTRATIONS EN METAUX

Les phases géochimiques composées par les oxy-hydroxydes de fer et manganèse sont relativement stables, la mise en solution des métaux associés à celles-ci ne pouvant être réalisée que sous des conditions physico-chimiques particulières (milieu fortement réducteur), les variations temporelles ne sont pas notables. Ce constat est tout particulièrement avéré pour les formes résiduelles qui représentent les éléments métalliques très fortement liés ou constituant la matière minérale tels que les silicates et aluminosilicates : seules les formes organiques ou carbonatées présentent donc un intérêt pour le suivi de la qualité géochimique des sédiments en termes de disponibilité des éléments.

L'ensemble des résultats pour les métaux Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn et le calcium analysés en 2010, 2011 et 2012 sont regroupés dans l'annexe 5

#### PHASE ORGANIQUE

L'évolution des concentrations de chrome sont relativement constantes dans le temps (Figure 29). En effet, les fluctuations observées pour chaque niveau ne résultent probablement que de la variabilité spatiale du prélèvement. Pour le cuivre, les concentrations semblent être plus élevées en 2012 mais, là encore la variabilité spatiale de la composition des sédiments pourrait être avancée (Figure 30). En ce qui concerne le manganèse, aucune tendance temporelle ne peut être dégagée (Figure 31).

#### PHASE CARBONATEE

Le chrome, qui est en concentration moindre que dans la phase organique, ne montre pas de tendance avec le temps ; la variabilité de l'échantillonnage pouvant être à l'origine des fluctuations (Figure 29). Pour le manganèse dont les concentrations sont environ 30 fois plus élevées dans cette phase carbonatée, il ne semble pas non plus qu'une évolution temporelle émerge (Figure 30). A l'inverse, pour le cuivre, les concentrations semblent être 3 fois plus élevées en 2012 qu'auparavant (Figure 31). Toutefois, cet accroissement des concentrations affectant les 4 horizons sédimentaires simultanément, la tendance observable devra être confirmée par les prélèvements à venir.

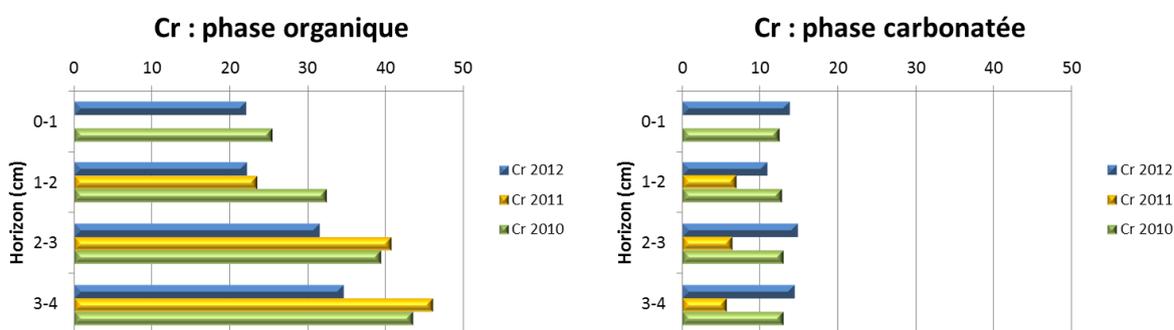


Figure 29 : Evolution temporelle des concentrations en chrome dans les sédiments prélevés en 2010, 2011 et 2012 à la station St16.

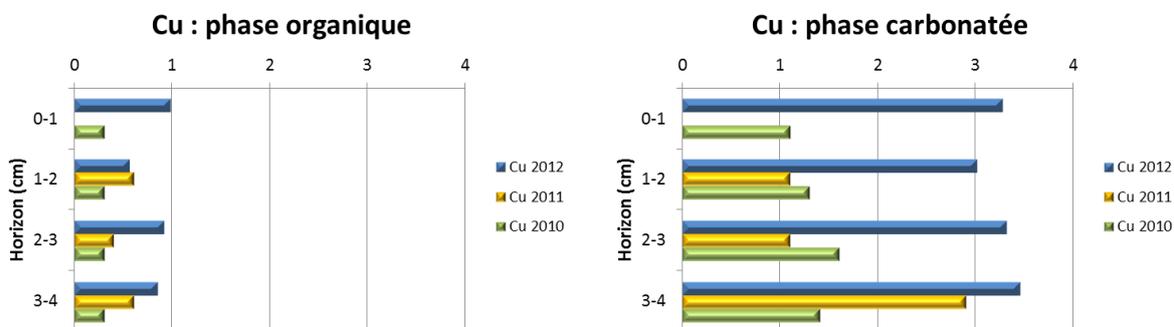


Figure 30 : Evolution temporelle des concentrations en cuivre dans les sédiments prélevés en 2010, 2011 et 2012 à la station St16.

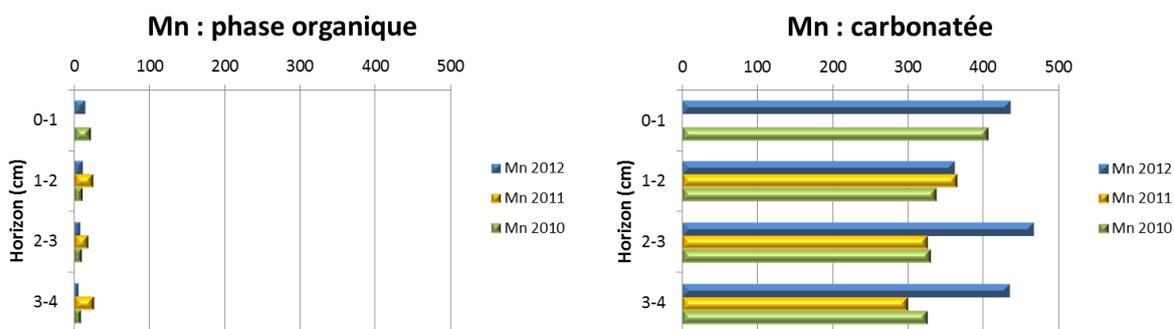


Figure 31 : Evolution temporelle des concentrations en manganèse dans les sédiments prélevés en 2010, 2011 et 2012 à la station St16.

## 2) EVOLUTION TEMPORELLE DES CONCENTRATIONS EN SOUFRE

Aucune évolution temporelle n'est décelable pour élément.

## CONCLUSION

Cette étude met en évidence une nouvelle fois l'influence des apports d'eaux douces sur la qualité physico-chimique des masses d'eaux et leurs concentrations en métaux dissous. Cependant, la mise en place de mécanismes de transfert de masses d'eau sous l'effet de conditions météorologiques particulières est visible, notamment lors de la campagne de mai 2012.

La plupart des concentrations de MES est plus élevée dans les eaux de fond correspond avec la présence de néphéloïde benthique, également mis en évidence sur les profils de turbidité.

Les niveaux de concentrations des éléments majeurs, des carbonates, des hydrocarbures et les valeurs du pH des stations St15 et St16 ne montrent pas de tendance temporelle particulière pour l'année 2012.

Pour les sédiments, les 2 premiers centimètres du dépôt se distinguent des horizons sous-jacents par la composition granulométrique et géochimique. En effet, la phase organique des sédiments est quantitativement plus importante et elle renferme des concentrations en cuivre notables, notamment.

Un faible gradient de concentration vertical des métaux labiles semble se dessiner tout comme pour le soufre qui montre une légère surconcentration dans le premier centimètre des dépôts.

La synthèse des concentrations des métaux dissous des stations St15 et St16 entre 2007 et 2012 montrent que les précipitations engendrant de forts apports d'eaux douces dans la Baie du Prony sont les principales sources en métaux dissous et particulaires. Cependant d'autres phénomènes tels que le moment de marée, la force et la direction du vent, peuvent influencer les variations de concentrations de métaux dissous dans cette baie.

Si aucune évolution temporelle ne semble se dessiner, ni pour le soufre, ni l'ensemble des métaux pris en compte pour cette étude, le cuivre pourrait voir sa concentration augmenter dans les sédiments. Toutefois, la variabilité spatiale de l'échantillonnage ne permet pas encore de conclure formellement.

## 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.

Aminot A, Kérouel R (2004). *Hydrologie des systèmes marins. Paramètres et analyses*. Ed. Ifremer, 336 p.

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.

Le Grand H, Dolbecq M, Moreton B, Goyaud A, Fernandez JM (2010) Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (1<sup>er</sup> semestre 2010). Convention AEL-LEA/Vale-Nc n°C2445, 79 p.

Le Grand H, Dolbecq M, Moreton B, Goyaud A, Fernandez JM (2010) Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. Suivi saison humide (2<sup>ième</sup> semestre 2010). Convention AEL-LEA/Vale-Nc n°C2445, 73 p.

Le Grand H, Dolbecq M, Kerbrat AS, Moreton B, Goyaud A, Haddad L, Creuzil J, Fernandez JM (2011) Suivi environnemental colonne d'eau 2010-2012 : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous des eaux (1<sup>er</sup> semestre 2011). Convention AEL-LEA/Vale-Nc n°C2445, 73 p.

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.

## LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES STATIONS DE PRELEVEMENTS DANS LA COLONNE D'EAU ET LES SEDIMENTS St15 ET St16. ....	9
FIGURE 2 : HEURES DE PRELEVEMENTS DANS LA COLONNE D'EAU ET MAREGRAMMES DES CAMPAGNES TRIMESTRIELLES DU 6 MARS ET DU 10 MAI 2012. ....	12
FIGURE 3 : HEURES DE PRELEVEMENTS DANS LA COLONNE D'EAU ET MAREGRAMMES DES CAMPAGNES TRIMESTRIELLES DU 8 AOUT ET DU 6 NOVEMBRE 2012. ....	12
FIGURE 4 : PROFILS DE TEMPERATURE (°C), SALINITE (‰), FLUORESCENCE (MG/M <sup>3</sup> ) ET TURBIDITE (NTU) DE LA STATION St15 AUX CAMPAGNES TRIMESTRIELLES DE 2012. ....	17
FIGURE 5 : PROFILS DE TEMPERATURE (°C), SALINITE (‰), FLUORESCENCE (MG/M <sup>3</sup> ) ET TURBIDITE (NTU) DE LA STATION St16 AUX CAMPAGNES TRIMESTRIELLES DE 2012. ....	18
FIGURE 6 : CONCENTRATIONS DES MES DE LA STATION St15 AUX TROIS NIVEAUX DE PROFONDEUR ECHANTILLONNES (S : SURFACE ; M : MI-PROFONDEUR ; F : FOND) LORS DES CAMPAGNES TRIMESTRIELLES DE 2012. ....	21
FIGURE 7 : CONCENTRATIONS DES MES DE LA STATION St16 AUX TROIS NIVEAUX DE PROFONDEUR ECHANTILLONNES (S : SURFACE ; M : MI-PROFONDEUR ; F : FOND) LORS DES CAMPAGNES TRIMESTRIELLES DE 2012. ....	21
FIGURE 8 : CONCENTRATIONS DE Co AUX STATIONS St15 ET St16 AUX TROIS NIVEAUX DE PROFONDEURS ECHANTILLONNES (S : SURFACE ; M : MI-PROFONDEUR ; F : FOND) LORS DES CAMPAGNES TRIMESTRIELLES DE 2012. ....	23
FIGURE 9 : CONCENTRATIONS DE Mn AUX STATIONS St15 ET St16 AUX TROIS NIVEAUX DE PROFONDEURS ECHANTILLONNES (S : SURFACE ; M : MI-PROFONDEUR ; F : FOND) LORS DES CAMPAGNES TRIMESTRIELLES DE 2012. ....	24
FIGURE 10 : CONCENTRATIONS DE Ni AUX STATIONS St15 ET St16 AUX TROIS PROFONDEURS ECHANTILLONNEES (S : SURFACE ; M : MI-PROFONDEUR ; F : FOND) LORS DES CAMPAGNES TRIMESTRIELLES DE 2012. ....	24
FIGURE 11 : CONCENTRATIONS DE Cr(VI) AUX STATIONS St15 ET St16 AUX TROIS PROFONDEURS ECHANTILLONNEES (S : SURFACE ; M : MI-PROFONDEUR ; F : FOND) LORS DES CAMPAGNES TRIMESTRIELLES DE 2012. ....	24
FIGURE 12 : CONCENTRATIONS DE Cu AUX STATIONS St15 ET St16 AUX TROIS PROFONDEURS ECHANTILLONNEES (S : SURFACE ; M : MI-PROFONDEUR ; F : FOND) LORS DES CAMPAGNES TRIMESTRIELLES DE 2012. ....	25
FIGURE 13 : CONCENTRATIONS DE Zn AUX STATIONS St15 ET St16 AUX TROIS PROFONDEURS ECHANTILLONNEES (S : SURFACE ; M : MI-PROFONDEUR ; F : FOND) LORS DES CAMPAGNES TRIMESTRIELLES DE 2012. ....	25
FIGURE 14 : DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE EN POURCENTAGE VOLUMIQUE POUR LES HORIZONS (0-1 CM), (1-2 CM), (2-3 CM) ET (3-4 CM) DE LA CAROTTE St16 ET REPRESENTATION GRAPHIQUE DE L'EVOLUTION DES POURCENTAGES EN FRACTIONS PELTIQUES (Ø<40µM). ....	26
FIGURE 15 : DISTRIBUTION MASSIQUE DES 4 PHASES GEOCHIMIQUES POUR CHACUN DES HORIZONS DE LA CAROTTE St16. ....	28
FIGURE 16 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN SOUFRE LIXIVABLE ET EN SOUFRE ECHANGEABLE DANS LA FRACTION BRUTE DES SEDIMENTS DE LA CAROTTE St16. ....	30
FIGURE 17 : VARIATION RELATIVES DES CONCENTRATIONS DES METAUX ET DU CALCIUM DANS LES 4 PHASES GEOCHIMIQUES DES SEDIMENTS DE SURFACE DE LA CAROTTE St16. ....	31
FIGURE 18 : CUMUL DES PRECIPITATIONS AVANT LES CAMPAGNES (5 JOURS AVANT) ET PENDANT LES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT EFFECTUEES ENTRE 2007 ET 2012 A LA STATION St15. ....	33
FIGURE 19 : CONCENTRATIONS DE Co MESUREES A LA STATION St15 (S : SURFACE ; M : MI-PROFONDEUR ; F : FOND) LORS DES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT REALISEES ENTRE 2007 ET 2012. ....	35

FIGURE 20 : CONCENTRATIONS DE Cr(VI) MESUREES A LA STATION St15 (S : SURFACE ; M : MI-PROFONDEUR ; F : FOND) LORS DES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT REALISEES ENTRE 2007 ET 2012. ....	35
FIGURE 21 : CONCENTRATIONS DE Mn MESUREES A LA STATION St15 (S : SURFACE ; M : MI-PROFONDEUR ; F : FOND) LORS DES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT REALISEES ENTRE 2007 ET 2012. ....	35
FIGURE 22 : CONCENTRATIONS DE Ni MESUREES A LA STATION St15 (S : SURFACE ; M : MI-PROFONDEUR ; F : FOND) LORS DES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT REALISEES ENTRE 2007 ET 2012. ....	36
FIGURE 23 : CONCENTRATIONS DE Cu MESUREES A LA STATION St15 (S : SURFACE ; M : MI-PROFONDEUR ; F : FOND) LORS DES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT REALISEES ENTRE 2007 ET 2012. ....	36
FIGURE 24 : CONCENTRATIONS DE Co MESUREES A LA STATION St16 (S : SURFACE ; M : MI-PROFONDEUR ; F : FOND) LORS DES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT REALISEES ENTRE 2007 ET 2012. ....	37
FIGURE 25 : CONCENTRATIONS DE Cr(VI) MESUREES A LA STATION St16 (S : SURFACE ; M : MI-PROFONDEUR ; F : FOND) LORS DES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT REALISEES ENTRE 2007 ET 2012. ....	37
FIGURE 26 : CONCENTRATIONS DE Mn MESUREES A LA STATION St16 (S : SURFACE ; M : MI-PROFONDEUR ; F : FOND) LORS DES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT REALISEES ENTRE 2007 ET 2012. ....	38
FIGURE 27 : CONCENTRATIONS DE Ni MESUREES A LA STATION St16 (S : SURFACE ; M : MI-PROFONDEUR ; F : FOND) LORS DES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT REALISEES ENTRE 2007 ET 2012. ....	38
FIGURE 28 : CONCENTRATIONS DE Cu MESUREES A LA STATION St16 (S : SURFACE ; M : MI-PROFONDEUR ; F : FOND) LORS DES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT REALISEES ENTRE 2007 ET 2012. ....	38
FIGURE 29 : EVOLUTION TEMPORELLE DES CONCENTRATIONS EN CHROME DANS LES SEDIMENTS PRELEVES EN 2010, 2011 ET 2012 A LA STATION St16. ....	39
FIGURE 30 : EVOLUTION TEMPORELLE DES CONCENTRATIONS EN CUIVRE DANS LES SEDIMENTS PRELEVES EN 2010, 2011 ET 2012 A LA STATION St16. ....	40
FIGURE 31 : EVOLUTION TEMPORELLE DES CONCENTRATIONS EN MANGANESE DANS LES SEDIMENTS PRELEVES EN 2010, 2011 ET 2012 A LA STATION St16. ....	40

## LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : HAUTEUR DES PRECIPITATIONS QUOTIDIENNES 5 JOURS AVANT ET PENDANT LES 4 CAMPAGNES DE PRELEVEMENTS 2012. ....	11
TABLEAU 2 : MINIMUMS, MAXIMUMS ET MOYENNES DES VALEURS DE TEMPERATURE, SALINITE, FLUORESCENCE ET TURBIDITE DE LA STATION ST15 LORS DES CAMPAGNES TRIMESTRIELLES DE 2012. ....	19
TABLEAU 3 : MINIMUMS, MAXIMUMS ET MOYENNES DES VALEURS DE TEMPERATURE, SALINITE, FLUORESCENCE ET TURBIDITE DE LA STATION ST16 LORS DES CAMPAGNES TRIMESTRIELLES DE 2012. ....	19
TABLEAU 4 : CONCENTRATIONS DES IONS $SO_4^{2-}$ ET $Mg^{2+}$ ET VALEURS DU PH MESUREES LORS DES CAMPAGNES TRIMESTRIELLES 2012 A LA STATION ST15. ....	20
TABLEAU 5 : CONCENTRATIONS DES IONS $SO_4^{2-}$ ET $Mg^{2+}$ ET VALEURS DU PH MESUREES LORS DES CAMPAGNES TRIMESTRIELLES 2012 A LA STATION ST16. ....	20
TABLEAU 6 : CONCENTRATIONS DES IONS CARBONATES MESUREES LORS DES CAMPAGNES TRIMESTRIELLES 2012 A LA STATION ST16. ....	22
TABLEAU 7 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE DES 4 PREMIERS NIVEAUX SEDIMENTAIRES DE LA CAROTTE ST16. ....	27
TABLEAU 8 : COMPOSITION MINERALOGIQUE DES SEDIMENTS POUR LES HORIZONS (0-1 cm), (1-2 cm), (10-11 cm), (19-20 cm) DE LA CAROTTE ST16. ....	27
TABLEAU 9 : CONCENTRATIONS TOTALES DANS LES FRACTIONS PELTIQUES ( $\phi < 40\mu m$ ) DES SEDIMENTS DE SURFACE DE LA CAROTTE ST16. ....	28

## LISTE DES ANNEXES

**Annexe 1 : Méthodologie**

**Annexe 2 : Concentrations des matières en suspension (MES)**

**Annexe 3 : Concentrations des métaux dissous dans la colonne d'eau**

**Annexe 4 : Caractérisations granulométrique et minéralogique**

**Annexe 5 : Résultats des extractions séquentielles de métaux, calcium et soufre dans les sédiments de la carotte St16.**

# ANNEXE 1

## **Traitement des eaux**

### **STRUCTURES DES MASSES D'EAU**

La structuration verticale des masses d'eau sur chacune des stations échantillonnées a été obtenue grâce aux profils verticaux réalisés à l'aide d'une sonde CTD SBE19 équipée de capteurs additionnels. La fréquence d'acquisition des données étant de 0,5 secondes et la vitesse de descente d'environ 0,5 m.s<sup>-1</sup>, une série d'acquisition est générée tous les 25 cm environ.

Les paramètres mesurés par la sonde CTD sont les suivants :

- La pression, qui permet de calculer la profondeur ;
- La salinité, déduite de la mesure de la conductivité ;
- La température (°C) ;
- La turbidité par mesure de la néphélogéométrie exprimée en FTU (Formazin Turbidity Units) : 1FTU  $\simeq$  1 mg.L<sup>-1</sup> de matière particulaire sèche (capteur Sea Point) ;
- La fluorescence *in-vivo*, exprimée en mg.m<sup>-3</sup>, permet d'estimer la concentration en pigments chlorophylliens.

### **ANALYSE DES METAUX DISSOUS DANS LA COLONNE D'EAU**

#### **Conditionnement et analyse**

Pour chaque station, les deux profondeurs (mi-profondeur et fond) ont été prélevées en double :

- Les échantillons du premier lot ont été directement filtrés à 0,45  $\mu$ m en ligne (filtres Millipore, qualité HA, pré-lavés) puis passés sur les résines cationiques OnGuard II M afin de concentrer les métaux dissous le jour même du prélèvement. Les percolations terminées, chaque colonne de résine a été bouchée à chaque extrémité avec des bouchons (Luer) puis stockée dans un portoir fermé hermétiquement.
- Les 36 échantillons du deuxième lot ont été destinés pour les analyses du Cr(VI). Ces analyses ont été effectuées par électrochimie (Voltamétrie) de retour au laboratoire de AEL/LEA.

Les métaux ont ensuite été élués de la résine par lavage des colonnes à l'acide nitrique (2 M) et analysés par ICP-OES (Marque Varian, modèle Vista). Les dosages ont été réalisés aux longueurs d'ondes suivantes : Co 228,615 ; Fe 259,940 ; Mn 259,372 ; Ni 216,555 ; Zn 202,548.

**Validation des analyses**

Deux échantillons certifiés pour le dosage des éléments traces (TM-26,3 et TMDA-61) délivrés par la société *Environment Canada* ont été intercalés dans chaque série d'analyses pour valider les calibrations (Tableau 1 et Tableau 2). Les limites de quantification des métaux analysés sont regroupées dans le Tableau 3.

Tableau 1 : Résultats d'analyse des échantillons certifiés TM-26,3 (n=3).

Elément	Valeur déterminée (µg/L)			Valeur certifiée (µg/L)	
	Campagnes	Mars/mai	Août		Novembre
Co		10,5 ± 0,5	9,5 ± 0,7	8,8 ± 0,8	8,1 ± 1
Cu		14,7 ± 1,3	Nd	13,3 ± 1,7	21 ± 3,6
Mn		19,7 ± 0,3	17,4 ± 0,3	18,2 ± 0,3	17 ± 1,4
Ni		13,6 ± 0,5	14,1 ± 1,6	10,0 ± 1,2	10,2 ± 1,3
Zn		46,7 ± 0,6	48,0 ± 2,75	46,5 ± 1,5	39

Tableau 2 : Résultats d'analyse des échantillons certifiés TM-26,3 (n=3).

Elément	Valeur déterminée (µg/L)			Valeur certifiée (µg/L)	
	Campagnes	Mars/mai	Août		Novembre
Co		69,7 ± 0,7	66,8 ± 0,7	68,4 ± 1,1	62,9 ± 5,8
Cu		69,8 ± 1,0	82,9 ± 1,9	72,4 ± 0,5	81,1 ± 10,1
Mn		84,9 ± 0,9	77,8 ± 1,1	80,9 ± 0,3	74,8 ± 7,3
Ni		65,4 ± 0,5	68,3 ± 1,7	64,6 ± 1,0	58,7 ± 6,4
Zn		82,5 ± 0,79	83,5 ± 3,65	80,7 ± 0,5	71,3 ± 8,7

Tableau 3 : Limite de quantification des métaux Co, Fe, Mn et Ni.

Elément	LQ (µg/L)
Co	0,012
Cr(VI)	0,050
Cu	0,015
Mn	0,011
Ni	0,012
Zn	0,020

La validation des résultats d'analyse issus de la chaîne de traitement sur lit de résine a été effectuée avec un échantillon certifié (CASS-5 Nearshore Seawater) conditionné de manière identique que les eaux prélevées (Tableau 4).

Tableau 4 : Résultats d'analyse de l'échantillon certifié CASS-5.

Élément	Valeur déterminée (n=3)	Valeur certifiée
Co	0,104 ± 0,006	0,095
Cu	0,369 ± 0,015	0,380
Mn	2,476 ± 0,250	2,620
Ni	0,279 ± 0,006	0,330
Zn	0,772 ± 0,167	0,719

## Traitement des sédiments

### DOSAGE DES CARBONATES

Les teneurs en carbonate sont déterminées par la méthode dite du « calcimètre de Bernard ». Cette méthode consiste en une attaque du sédiment grâce à une solution d'acide chlorhydrique qui génère la formation de CO<sub>2</sub>. Le volume de gaz est titré et la concentration en carbonate de calcium est déterminée par relation stœchiométrique.

### GRANULOMETRIE

L'étude de la distribution des populations de particules fines (silt et argile) est conduite sur la fraction < 2000 µm. La distribution de ces populations est réalisée par granulométrie laser (Malvern), après remise en suspension des sédiments, ajout d'agent dispersant (Pyrophosphates de Na/K) et agitation aux ultrasons.

### MINERALOGIE (DRX)

Les espèces minérales ont été déterminées par diffraction de rayons X (DRX) sur des échantillons 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.

### DOSAGE DE LA CONCENTRATION TOTALE DES METAUX

L'analyse de la concentration totale des métaux contenus dans les horizons de la carotte St16 a été conduite par attaque totale des sédiments par fusion alcaline (voir protocole « dosage des métaux dans les phases géochimiques »). Après mise en solution, les métaux Ca, Co, Cr, Fe, Mn et Ni ont été dosés par ICP-OES.

### DOSAGE DES METAUX DANS LES PHASES GEOCHIMIQUES

Les étapes d'extraction séquentielles ont été conduites conformément au protocole de type Tessier et al. (1979) comprenant 4 ou 5 phases géochimiques.

Pour chaque échantillon, 2 g de pélites ont été nécessaires pour extraire les métaux des 4 phases géochimiques afin de séparer les formes suivantes :

- **Formes oxydables** : Cette fraction représente les métaux liés à la matière organique du sédiment. Leur extraction est conduite par un oxydant fort ( $H_2O_2$ , 110 vol) en milieu acide ;
- **Formes acido-solubles** : C'est une fraction facilement solubilisable par l'utilisation d'un acide faible tamponné en solution ( $CH_3COOH/CH_3COONH_4$ ) 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 ( $NH_2OH, HCl$ ) 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, 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 ( $1100^\circ C$ ) 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 béchers et ustensiles sont soit en PEHD ou en Teflon®.

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

### DOSAGE DU SOUFRE LIXIVIABLE

L'extraction du soufre lixiviable s'est faite par agitation mécanique de 1g de sédiment dans 100 mL pendant 16 heures. Les échantillons ont ensuite été centrifugés à 3000 RPM puis filtrés à  $0,45 \mu m$  avant d'être analysés à l'ICP-OES.

### DOSAGE DU SOUFRE ECHANGEABLE SELON LA PROCEDURE D'EXTRACTION BCR

L'attaque a été conduit sur 1 g de sédiment sec avec 40 ml d'acide acétique 0,11 M pendant 16 h à température ambiante ; l'échantillon a ensuite été centrifugé à 3000 RPM pendant 20 minutes puis filtré à  $0,45 \mu m$  avant d'être analysé par ICP-OES.

## ANNEXE 2

### *Concentrations des matières en suspension*

Concentrations des matières en suspension (MES) des stations St15 et St16 échantillonnées lors des campagnes trimestrielles de mars, mai, août et novembre 2012. Niveaux de prélèvement : S = surface +3m ; M = mi-profondeur ; F = fond -3m.

Campagne	Niveau	St15	St16
Mars 2012	S	0,43	0,31
	M	0,40	0,37
	F	0,71	0,48
Mai 2012	S	0,51	0,34
	M	0,52	0,45
	F	1,07	2,39
Août 2012	S	0,34	0,28
	M	0,35	0,27
	F	0,57	0,63
Novembre 2012	S	0,88	0,44
	M	0,29	0,30
	F	0,64	0,84

## ANNEXE 3

### **Concentration des métaux dissous dans la colonne d'eau**

Concentrations des métaux dissous (Co, Cr(VI), Cu, Mn, Ni et Zn) des stations St15 et St16 échantillonnées lors des campagnes trimestrielles de mars, mai, août et novembre 2012. Niveaux de prélèvement : S = surface +3m ; M = mi-profondeur ; F = fond -3m. <LQ : Valeur inférieure à la limite de quantification ; Nd : Valeur non déterminée suite à un problème de pré-traitement ou d'analyse.

#### **Station St15**

Campagne	Niveau	Co (µg/L)	Cr(VI) (µg/L)	Cu (µg/L)	Mn (µg/L)	Ni (µg/L)	Zn (µg/L)
Mars	S	0,064	0,146	0,483	0,577	0,262	0,600
	M	0,059	0,156	0,176	0,664	0,262	1,136
	F	0,092	0,150	<LQ	1,127	0,369	0,156
Mai	S	0,100	0,780	0,031	0,570	0,820	1,400
	M	0,039	0,300	0,023	0,210	0,371	1,117
	F	0,032	0,550	0,028	0,287	0,379	1,438
Août	S	0,043	0,182	<LQ	0,287	0,364	0,069
	M	0,030	0,168	<LQ	0,152	0,309	Nd
	F	0,044	0,172	0,530	0,279	0,357	<LQ
Novembre	S	0,108	0,386	0,040	0,667	0,500	0,266
	M	0,087	0,127	0,042	0,407	0,397	1,288
	F	0,072	0,160	<LQ	0,352	0,306	0,170

#### **Station St16**

Campagne	Niveau	Co (µg/L)	Cr(VI) (µg/L)	Cu (µg/L)	Mn (µg/L)	Ni (µg/L)	Zn (µg/L)
Mars	S	0,050	0,150	<LQ	0,422	0,282	0,042
	M	0,043	0,158	0,125	0,302	0,215	0,230
	F	0,038	0,218	0,225	0,315	0,281	0,614
Mai	S	0,065	0,680	0,023	0,292	0,574	1,027
	M	0,040	0,350	0,033	0,279	0,377	1,245
	F	0,039	0,320	0,023	0,332	0,353	1,114
Août	S	0,038	0,272	<LQ	0,224	0,333	0,244
	M	0,032	0,146	<LQ	0,174	0,301	Nd
	F	0,023	0,126	<LQ	0,219	0,266	Nd
Novembre	S	0,064	0,412	0,035	0,274	0,263	0,284
	M	0,058	0,146	0,039	0,283	0,310	0,103
	F	0,036	0,144	0,053	0,131	0,205	0,178

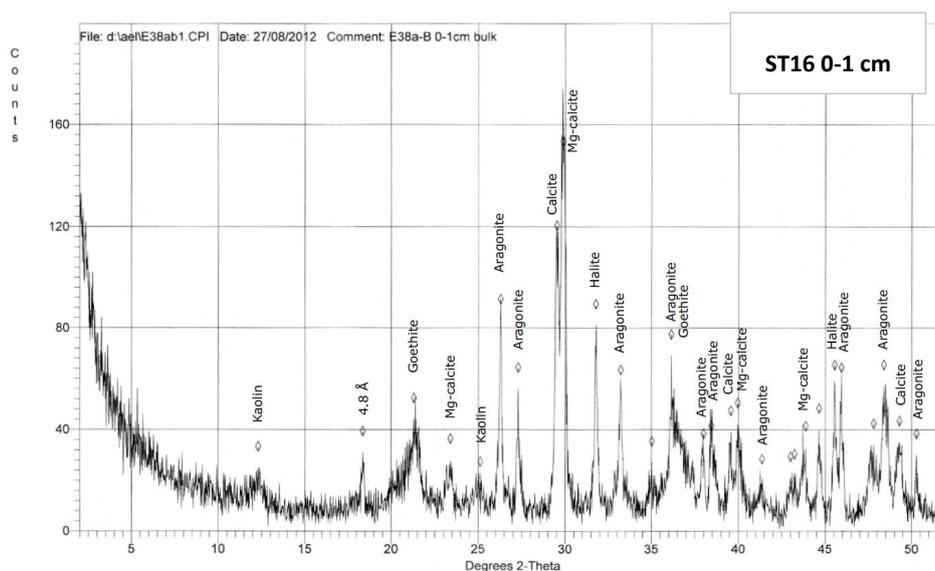
## ANNEXE 4

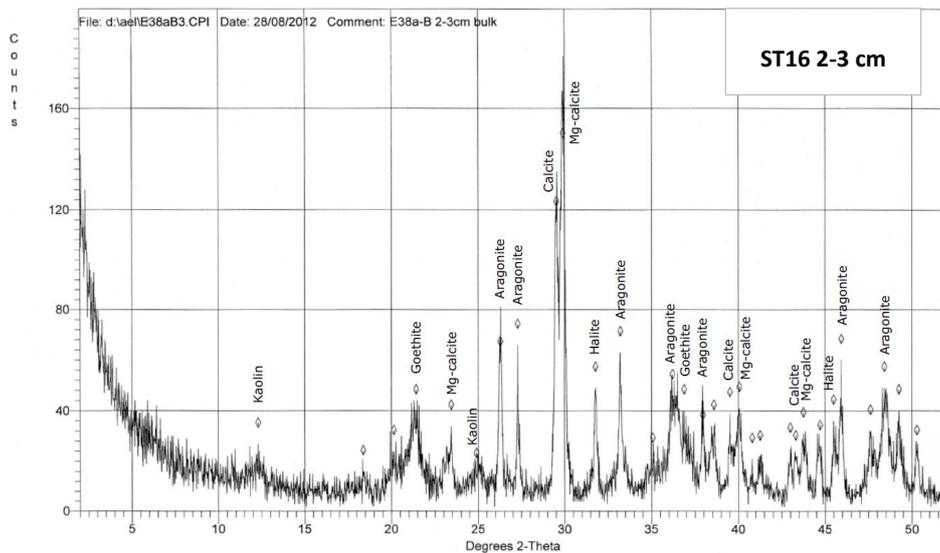
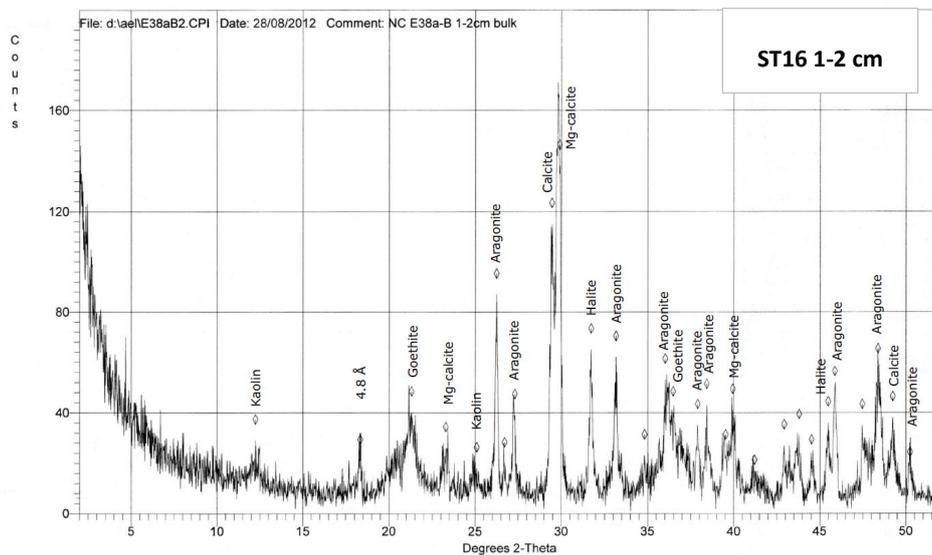
### Caractérisations granulométrique et minéralogique.

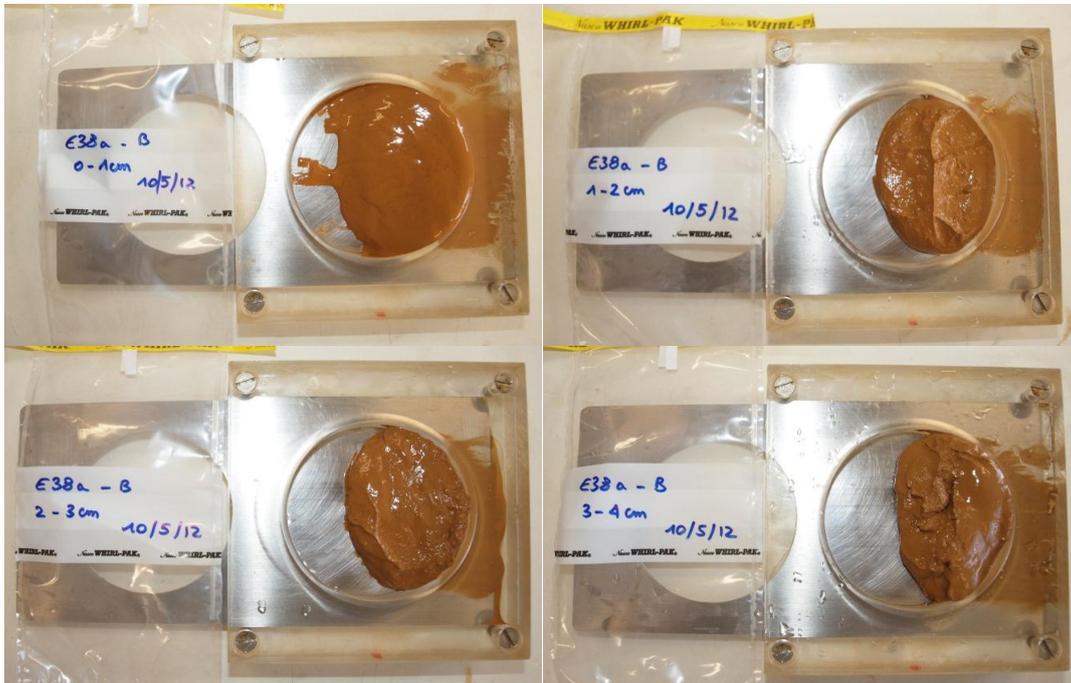
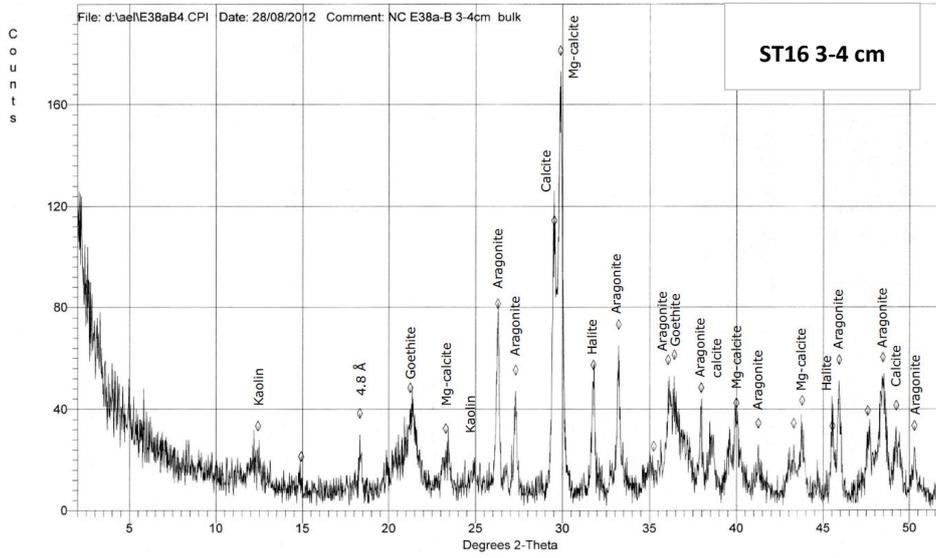
#### COMPOSITION GRANULOMETRIQUE DES SEDIMENTS

Horizon	POURCENTAGE VOLUMETRIQUE ENTRE LES CLASSES GRANULOMETRIQUES							Volume weighted mean (µm)
	0,02-2 µm	2-20 µm	20-40 µm	40-50 µm	50-63 µm	63-200 µm	> 200 µm	
0-1	26,4	54,3	12,4	2,4	1,7	2,6	0,2	13,0
1-2	35,6	46,6	11,7	2,2	1,5	2,3	0,0	11,3
2-3	25,0	42,6	18,4	4,2	3,1	4,3	2,3	25,0
3-4	27,6	49,3	11,2	2,4	1,9	3,6	3,9	40,9

#### COMPOSITION MINERALOGIQUE DES SEDIMENTS







## ANNEXE 5

**Résultats des extractions séquentielles de métaux, calcium et soufre dans les sédiments de la carotte St16.**

## COMPOSITION DES SEDIMENTS EN METAUX PAR EXTRACTION SEQUENTIELLES

Campagne	MATIERE ORGANIQUE : concentrations en mg/kg								
	Horizon	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Ca
2012	Horizon (cm)	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Ca
	0-1	<0,3	22,0	1,0	2,0	13,7	<0,5	<0,75	7 622
	1-2	<0,3	22,2	0,6	1,2	10,1	<0,5	<0,75	7 788
	2-3	<0,3	31,4	0,9	4,6	7,3	0,7	2,3	8 605
	3-4	<0,3	34,5	0,9	<0,5	4,9	<0,5	<0,75	7 280
2011	Horizon (cm)	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Ca
	0-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	1-2	0,3	23,5	0,6	4,9	24,5	1	<LQ	15 777
	2-3	0,5	40,7	0,4	1,6	17,7	1,1	<LQ	14 841
	3-4	0,7	46	0,6	3,1	25	1,8	<LQ	13 759
2010	Horizon	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Ca
	0-1	0,3	25,4	0,3	8,1	21,1	0,6	<LD	9 968
	1-2	0,3	32,4	0,3	7,2	10,2	0,5	<LD	10 426
	2-3	0,7	39,4	0,3	4,9	9,7	0,5	<LD	11 376
	3-4	1,1	43,4	0,3	7,1	8,9	0,8	<LD	12 032

ND : analyses non réalisée par manque de matière.

Campagne	CARBONATES: concentrations en mg/kg								
	Horizon	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Ca
2012	Horizon (cm)	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Ca
	0-1	9,4	13,7	3,3	19,1	436	15,8	6,5	171 610
	1-2	7,8	10,8	3,0	9,2	362	13,7	3,3	166 664
	2-3	9,9	14,7	3,3	11,6	466	17,9	4,0	206 423
	3-4	8,8	14,3	3,5	10,5	434	16,4	3,8	202 010
2011	Horizon (cm)	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Ca
	0-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	1-2	6,4	6,9	1,1	168	365	11,8	2,3	207 639
	2-3	6,2	6,4	1,1	185	325	12,4	2,1	197 813
	3-4	6	5,6	2,9	195	299	11,1	3,4	193 576
2010	Horizon	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Ca
	0-1	7	12,4	1,1	142	406	9,3	1,5	201 020
	1-2	6,1	12,7	1,3	154	337	8,8	2,2	181 260
	2-3	6,3	12,9	1,6	169	330	10,2	2	176 076
	3-4	5,7	12,9	1,4	138	325	9,7	1,3	190 463

ND : analyses non réalisée par manque de matière.

Campagne	OXY-HYDROXYDES: concentrations en mg/kg								
	Horizon	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Ca
2012	Horizon (cm)	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Ca
	0-1	10,1	8,3	<0,5	467,7	62	11,8	5,6	20 002
	1-2	10,0	9,2	<0,5	467,2	57	12,0	1,7	5 458
	2-3	12,8	11,5	<0,5	528,8	69	14,7	2,3	6 926
	3-4	13,2	10,8	<0,5	431,8	72	14,9	2,0	14 851
2011	Horizon (cm)	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Ca
	0-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	1-2	11	11,6	<LQ	335	83	13,4	3,2	5 480
	2-3	10,5	10	<LQ	230	77,2	13,6	3,2	5 472
	3-4	11,8	11,9	<LQ	285	73,7	14,7	3,6	6 397
2010	Horizon	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Ca
	0-1	9,5	9,1	0,6	321	88,1	9,8	1,3	7 209
	1-2	6,7	7,1	0,7	163	69,2	7,5	1,2	10 066
	2-3	7,7	8,1	0,8	215	68,3	8,4	1,2	9 801
	3-4	6,3	6,6	0,6	169	62,4	7,5	1	7 974

ND : analyses non réalisée par manque de matière.

RESIDU: concentrations en mg/kg									
Campagne	Horizon	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Ca
2012	<b>Horizon (cm)</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Zn</b>	<b>Ca</b>
	0-1	55,3	2322	4,4	65431	270	1004	48,2	532
	1-2	49,7	2190	4,3	60281	250	933	42,0	285
	2-3	71,0	2229	6,8	82780	331	1316	53,6	296
	3-4	72,9	2368	6,5	85120	341	1356	57,7	252
2011	<b>Horizon (cm)</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Zn</b>	<b>Ca</b>
	0-1	ND							
	1-2	69,3	2 775	< LQ	81 874	299,1	1 027	45,4	183
	2-3	69,7	2 759	< LQ	81 884	352,6	1 026	36,2	293
	3-4	68,4	2 753	< LQ	81 782	374,6	1 026	37,1	220
2010	<b>Horizon</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Zn</b>	<b>Ca</b>
	0-1	39,5	1731	5,7	29745	192	593	39,2	267
	1-2	58,4	2279	8,5	35143	284	896	50,9	346
	2-3	47,9	1780	7,1	33097	226	736	41,5	239
	3-4	52,1	2139	7,2	33598	253	794	44,1	307

ND : analyses non réalisées par manque de matière.

Exceptionnellement pour la campagne 2011, les valeurs de concentrations dans la phase résiduelle sont issues du calcul : « concentration en métaux totaux – somme des concentrations dans les 3 premières phases de l'extraction séquentielle ».

## COMPOSITION DES SEDIMENTS EN SOUFRE EXTRACTIBLE

HORIZON (cm)	Soufre lixiviable (mg/kg)	Soufre échangeable (mg/kg)
0-1	1969	2059
1-2	1423	1575
2-3	1555	1732
3-4	1321	1535

Concentrations obtenues après digestion sélective du soufre sur la fraction brute des sédiments.