



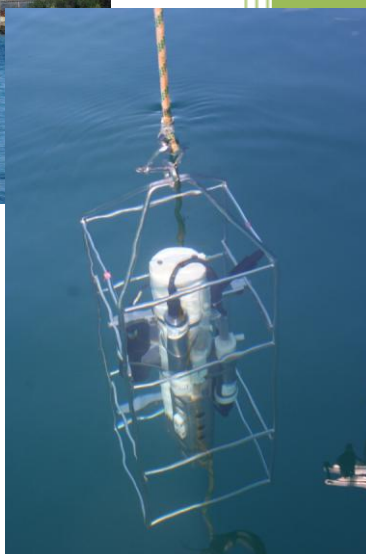
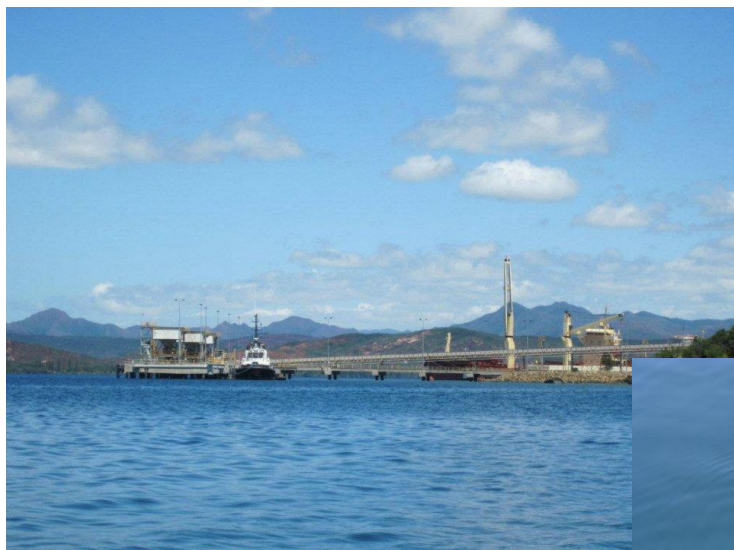
RAPPORT FINAL

SUIVI ENVIRONNEMENTAL COLONNE D'EAU (2010-2012) :

QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE ET CONCENTRATIONS EN METAUX DISSOUS DES EAUX :

St15 & St16

Mars, mai, août et octobre 2011



AEL - LEA

7 février 2012

Photos de couverture AEL : Prony wharf et sonde CTD

CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL - LEA

Convention n° C2445/C2445 - AVENANT-01

***SUIVI ENVIRONNEMENTAL COLONNE D'EAU (2010-2012) :
QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE ET CONCENTRATIONS EN METAUX DISSOUS
DES EAUX : St015 et St16 (mars, mai, août et octobre 2011)***

Le Grand H.
Moreton B.
Dolbecq M.
Haddad L.
Roupsard F.
Douchin C.
Dubuc A.
Creuzil J.
Fernandez JM.

Nombre de pages : 45

	N/Ref	V/Ref	
Identification	C2445/C2445 - AVENANT-01	100216-VI-04/ 111121-VI-15	
Titre complet	Suivi environnemental colonne d'eau (2010-2012) : Qualité physico-chimique des eaux et concentrations en métaux dissous. St15 & St16 : Mars, mai, août et novembre 2011		
Auteurs	Le Grand H, Moreton B, Dolbecq M, Haddad L, Roupsard F, Douchin C, Dubuc A, Creuzil J, Fernandez JM		
Résumé	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. 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. Les données recueillies permettent de mettre en évidence l'influence des apports terrigènes en matière de particules et d'eaux douces sur la qualité physico-chimique des masses d'eau et de leurs concentrations en métaux dissous dont les variations sont directement reliées au régime pluvial. La synthèse des résultats d'analyse des métaux dissous (Co, Cr(VI), Cu, Mn et Ni) de 2007 à 2011 permet également de montrer que les fortes précipitations ayant lieu avant chaque campagne sont les principales sources en métaux dissous et particulaires mais d'autres paramètres tels que le moment de l'échantillonnage ou la force et la direction du vent doivent également influencer la qualité physico-chimique des masses ainsi que sa concentration en métaux dissous.		
APPROBATION			
FONCTION	NOMS	VISA	DATE
Rédacteur	Hélène Le Grand		12/01/2012
Vérificateur 1	Benjamin Moreton		12/01/2012
Vérificateur 2	Jean Michel Fernandez		03/02/12
Approbateur(s)	Jean Michel Fernandez		03/02/12
EVOLUTION			
VERSION	DESCRIPTION DES MISES A JOUR		DATE
V1	Rapport final (St15+St16)		07/02/2012
COPIE - DIFFUSION			
NOM	ORGANISME		
Céline Casalis	VALE NC, Département Environnement		

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	5
INTRODUCTION	7
OBJECTIFS	8
METHODOLOGIE	8
III.A. SITE D'ETUDE.....	8
III.B. CONDITIONS METEOROLOGIQUES	9
III.C. CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES	12
III.D. ECHANTILLONNAGE	13
III.E. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ET ANALYSE	13
RESULTATS	14
IV.A. STRUCTURES DES MASSES D'EAU	14
IV.A.1. Station St16.....	14
IV.A.1. Station st15	17
IV.B. ELEMENTS MAJEURS ET PH.....	19
IV.C. MATIERE EN SUSPENSION (MES)	20
IV.D. CARBONATES (STATION St16).....	22
IV.E. HYDROCARBURES TOTAUX.....	22
IV.F. DISTRIBUTION DES METAUX DISSOUS DANS LA COLONNE D'EAU	23
IV.F.1. Station St16.....	23
IV.F.2. Station St15.....	25
SYNTHESE	27
V.A. STATION St16.....	27
V.B. STATION St15.....	31
CONCLUSION	36
REFERENCES	37
LISTE DES FIGURES	38
LISTE DES TABLEAUX	40
LISTE DES ANNEXES	40

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 à :

- (1) Une demande de définition de « l'Etat de référence » de la qualité physico-chimique et des niveaux de concentration des métaux dissous des eaux de la station St16 (zone portuaire de la Baie du Prony) (Conventions IRD-Goro-Ni n°1142 de 2005 et n°1312 de 2007) ;
- (2) Une demande de Vale-NC d'affiner le jeu de données du suivi physico-chimique de la colonne d'eau qui fait l'objet du contrat Vale-NC/AEL C2445 de 2010. L'objectif est d'acquérir des données complémentaires à la station St15 (Prony Creek Baie Nord) compte tenu des impacts que les installations industrielles exercent sur le milieu.

Ce document présente les résultats des campagnes de prélèvements aux stations St15 et St16 réalisées en mars, mai, août et octobre 2011.

OBJECTIFS

Le programme de surveillance du milieu marin prévoit un échantillonnage trimestriel de la colonne d'eau au niveau de la station St16 (port de commerce de la Baie du Prony). Les analyses ont pour objectif de suivre l'évolution des principaux paramètres physico-chimiques, les concentrations en métaux dissous ainsi que les concentrations en hydrocarbures dans le secteur d'influence de l'installation portuaire et de son activité maritime.

La Rade du nord étant directement influencées par les apports du Creek de la Rade du Nord, ce programme a également pour objet de préciser l'évolution des eaux marines au niveau de la station d'observation réglementaire St15. Les paramètres physico-chimiques et les concentrations de certains métaux dissous des eaux de la station St15 sont mesurés également de façon trimestrielle afin d'évaluer l'impact des unités industrielles édifiées sur le bassin versant du Creek de la Rade Nord.

METHODOLOGIE

III.A. SITE D'ETUDE

Les positionnements des stations St16 (zone portuaire de la Baie du Prony) et St15 (zone d'expansion du Creek de Rade du Nord) sont représentés à la Figure 1.

Les échantillonnages de la station St16 (166°53.365 E ; 22°21.210 S, profondeur 44 m) se sont déroulés lors des 2 campagnes semestrielles, « saison humide » (2 mars 2011) et « saison sèche » (10 août 2011) et 2 campagnes de prélèvements trimestrielles qui ont eu lieu le 28 avril et le 25 octobre 2011. Lors de cette dernière, des prélèvements ont également été effectués à la station St15 (166°52.590 E ; 22°20.037 S, profondeur 25 m).

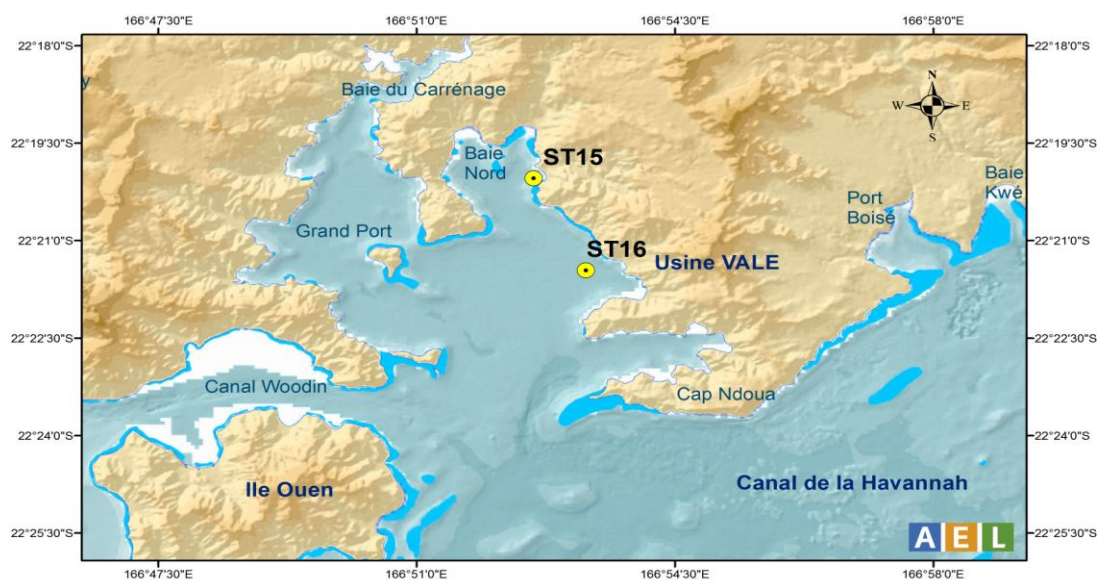


Figure 1 : Localisation géographique des stations de prélèvement St15 et St16.

III.B. CONDITIONS METEOROLOGIQUES

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

Campagne du 2 mars 2011 :

Conditions météorologiques de la semaine précédant la campagne de prélèvements :

- Vent : E-SE 10 nœuds ;
- Pluie : 23,3 mm accumulés en 5 jours.

Conditions météorologiques pendant la campagne de prélèvements :

- Conditions générales : beau temps, mer calme ;
- Vent : NE <5 nœuds ;
- Pluie : 0 mm.

Campagne du 28 avril 2011 :

Conditions météorologiques de la semaine précédant la campagne de prélèvements :

- Vent : 10 nœuds ;
- Pluie : 12,4 mm accumulés en 5 jours.

Conditions météorologiques pendant la campagne de prélèvements :

- Conditions générales : abrité de la houle dans la Baie de Prony ;
- Vent : SE 15 nœuds ;
- Pluie : 4,4 mm.

Campagne du 10 août 2011 :

Conditions météorologiques de la semaine précédant la campagne de prélèvements :

- Vent : E-SE 10-15 nœuds ;
- Pluie : 15 mm accumulés en 5 jours.

Conditions météorologiques pendant la campagne de prélèvements :

- Conditions générales : beau temps ;
- Vent : S <5 nœuds ;
- Pluie : 0 mm.

Campagne du 25 octobre 2011 :

Conditions météorologiques de la semaine précédant la campagne de prélèvements :

- Vent : E-SE 10-15 nœuds ;
- Pluie : 0,2 mm accumulés en 5 jours.

Conditions météorologiques pendant la campagne de prélèvements :

- Conditions générales : beau temps.
- Vent : E-SE 10-15 nœuds ;
- Pluie : 3 mm.

Tableau 1 : Quantité de précipitations quotidiennes, 5 jours avant et pendant (en grisé) les 4 campagnes de prélèvements trimestrielles 2011.

Campagne	Date	Quantité de précipitations quotidiennes (mm)
Mars 2011	25/2	0
	26/2	14,7
	27/2	6,2
	28/2	0
	1/3	2,4
	2/3	0
Avril 2011	23/4	4
	24/4	0
	25/4	2,2
	26/4	0,8
	27/4	1
	28/4	4,4
Août 2011	5/8	0,2
	6/8	0
	7/8	9,2
	8/8	5,6
	9/8	0
	10/8	0
Octobre 2011	20/10	0
	21/10	0,2
	22/10	0
	23/10	0
	24/10	0
	25/10	3

III.C. CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES

Les prélèvements ont été effectués à marée montante. Les différents moments sont représentés à travers les marégrammes des Figure 2 et Figure 3.

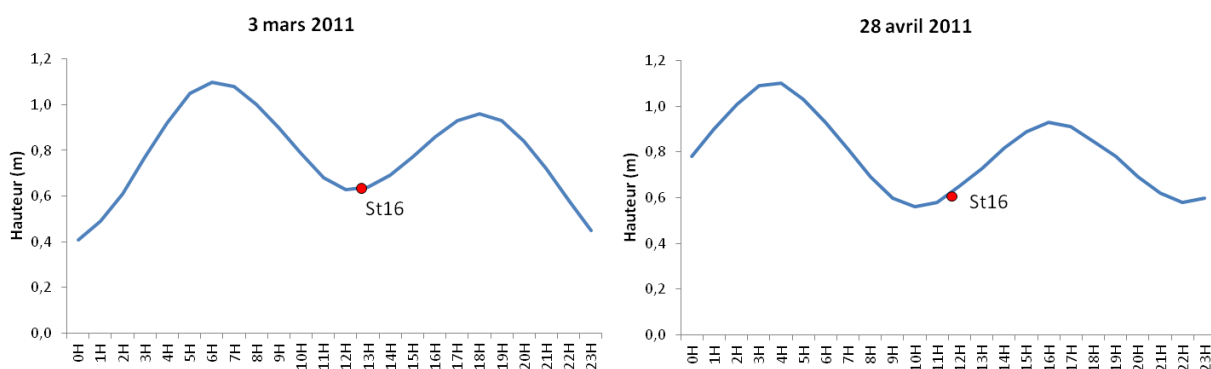


Figure 2 : Heures de prélèvements dans la colonne d'eau et marégrammes des campagnes trimestrielles de mars et avril 2011.

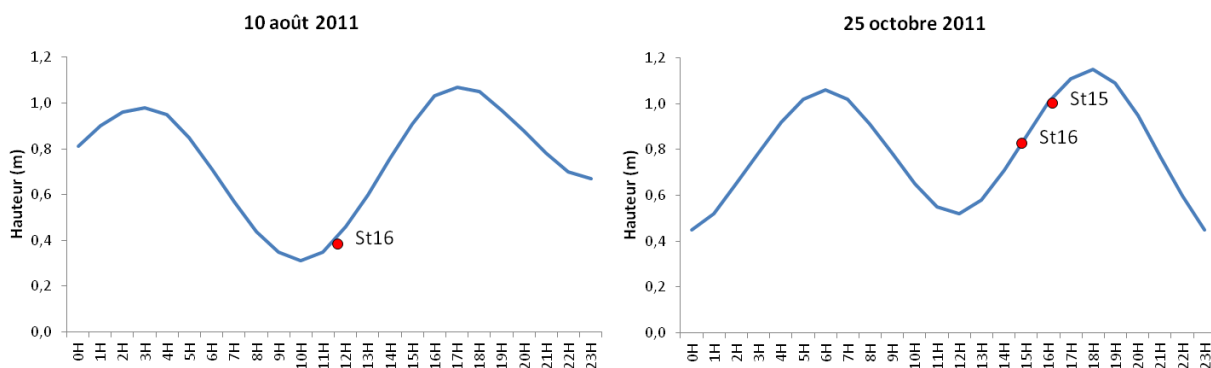


Figure 3 : Heures de prélèvements dans la colonne d'eau et marégrammes des campagnes trimestrielles d'août et octobre 2011.

III.D. ECHANTILLONNAGE

Pour chaque station (St15 et St16), les prélèvements d'eau ont été effectués : (i) par bouteille « Niskin » pour la détermination du pH, des MEST et le dosage des ions magnésium, sulfates et carbonates ; (ii) par bouteille « Goflo, Metal-Free » pour le dosage des métaux dissous et des hydrocarbures totaux. L'eau a été échantillonnée aux profondeurs 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 MEST, et des concentrations en magnésium, sulfates et carbonates ;
- Prélèvements d'eau pour l'analyse des hydrocarbures totaux ;
- Prélèvements d'eau à des fins d'analyse des métaux dissous par spectrométrie optique (ICP-OES) pour Co, Cu, Mn, Ni et Zn et par électrochimie (Voltamétrie) pour les dosages du couple Cr/Cr(VI).

III.E. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ET ANALYSE

Les méthodes sont décrites en Annexe 1.

RESULTATS

IV.A. 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 milieux 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). En milieux 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).

IV.A.1. STATION ST16

Les valeurs des paramètres physico-chimiques (température, salinité, fluorescence et turbidité) mesurées à la station St16 lors des campagnes de mars, avril, août et octobre 2011 sont reportées dans le Tableau 2, les Figure 4 et Figure 5.

L'ensemble des données montre que :

- Les **températures** relevées dans les masses d'eau diminuent de mars ($25,75 \pm 0,93$ °C) à août ($21,63 \pm 0,13$ °C) puis se réchauffent en octobre ($22,93 \pm 0,06$ °C). Les profils de température des campagnes d'avril, août et octobre sont relativement homogènes alors que celui du mois de mars montre un gradient de température négatif avec la profondeur. La diminution est très rapide dans les 3 premiers mètres (de $28,38$ à $27,00$ °C) puis progressive vers le fond ($27,00$ à $24,44$ °C en 40 m).
- La **salinité** est relativement constante entre les campagnes d'avril ($35,41 \pm 0,05$ ‰), d'août ($35,51 \pm 0,04$ ‰) et octobre ($35,67 \pm 0,01$ ‰) ainsi qu'au sein de la colonne d'eau. Le profil de salinité de la campagne de mars met en évidence une dessalure sensible en surface avec une salinité passant de $32,98$ à $35,10$ ‰ dans les 3 premiers mètres. Ces plus faibles valeurs dans les eaux de surface proviennent très probablement des apports d'eaux douces des creeks qui bordent la Baie de Prony. Ces apports sont en liens avec les précipitations ayant eu lieu la semaine précédant la campagne de mars ($23,3$ mm) ; celles-ci étant légèrement plus importantes que celles accumulées avant les campagnes d'avril, août et octobre.
- Comme les profils de température et salinité, seul le profil **fluorescence** de la campagne de mars diffère des 3 autres. Alors que les profils de fluorescence des campagnes d'avril ($0,63 \pm 0,16$ mg.m⁻³), août ($0,30 \pm 0,20$ mg.m⁻³) et octobre ($0,51 \pm 0,22$ mg.m⁻³) sont relativement identiques et homogènes au sein de la

colonne d'eau, celui du mois de mars montre une forte augmentation de fluorescence en profondeur avec un maximum atteignant $9,40 \text{ mg.m}^{-3}$ à environ 35 m de profondeur. Cette augmentation de fluorescence est vraisemblablement due à la présence d'apports terrigènes sédimentés constitués de débris végétaux entraînés par les pluies précédant la campagne et le développement concomitant de biomasse phytoplanctonique.

- Les profils de **turbidité** diffèrent entre les campagnes. Les profils du mois de mars et avril présentent des valeurs de turbidité homogènes dans les 40 premiers mètres et des couches turbides de fond (néphéloïdes benthiques) où les valeurs atteignent des maxima de 4,56 et 4,97 NTU, respectivement. Le profil du mois d'août met également en évidence un néphéloïde benthique atteignant des valeurs maximales de 1,73 NTU, plus de 2 fois plus faibles que les maxima observés en mars et avril. En surface, seul le profil de turbidité de la campagne d'octobre montre une couche de turbidité plus élevée dans les 10 premiers mètres avec des valeurs maximales atteignant 2,41 NTU. Pour tous les profils, la turbidité reste constante à partir de 10 mètres jusqu'à 35 m fond, environ.

Tableau 2 : Minimum, maximum et moyennes des valeurs de température, salinité, fluorescence et turbidité de la station St16 lors des campagnes trimestrielles de mars, avril, août et octobre 2011.

Campagne		Température (°C)	Salinité (‰)	Fluorescence (mg.m^{-3})	Turbidité (NTU)
Mars	Min	24,40	32,98	0,01	0,12
	Max	28,38	35,47	9,40	4,56
	Moyenne	$25,73 \pm 0,93$	$35,26 \pm 0,43$	$1,45 \pm 2,05$	$0,84 \pm 1,36$
Avril	Min	24,74	35,29	0,39	0,14
	Max	25,17	35,45	1,04	4,97
	Moyenne	$25,01 \pm 0,13$	$35,41 \pm 0,05$	$0,63 \pm 0,16$	$0,45 \pm 0,75$
Août	Min	21,47	35,43	0,01	0,27
	Max	22,00	35,64	0,62	1,73
	Moyenne	$21,63 \pm 0,13$	$35,51 \pm 0,04$	$0,30 \pm 0,20$	$0,50 \pm 0,39$
Octobre	Min	22,81	35,66	0,03	0,33
	Max	23,02	35,68	0,88	2,41
	Moyenne	$22,93 \pm 0,06$	$35,67 \pm 0,01$	$0,51 \pm 0,22$	$0,86 \pm 0,64$

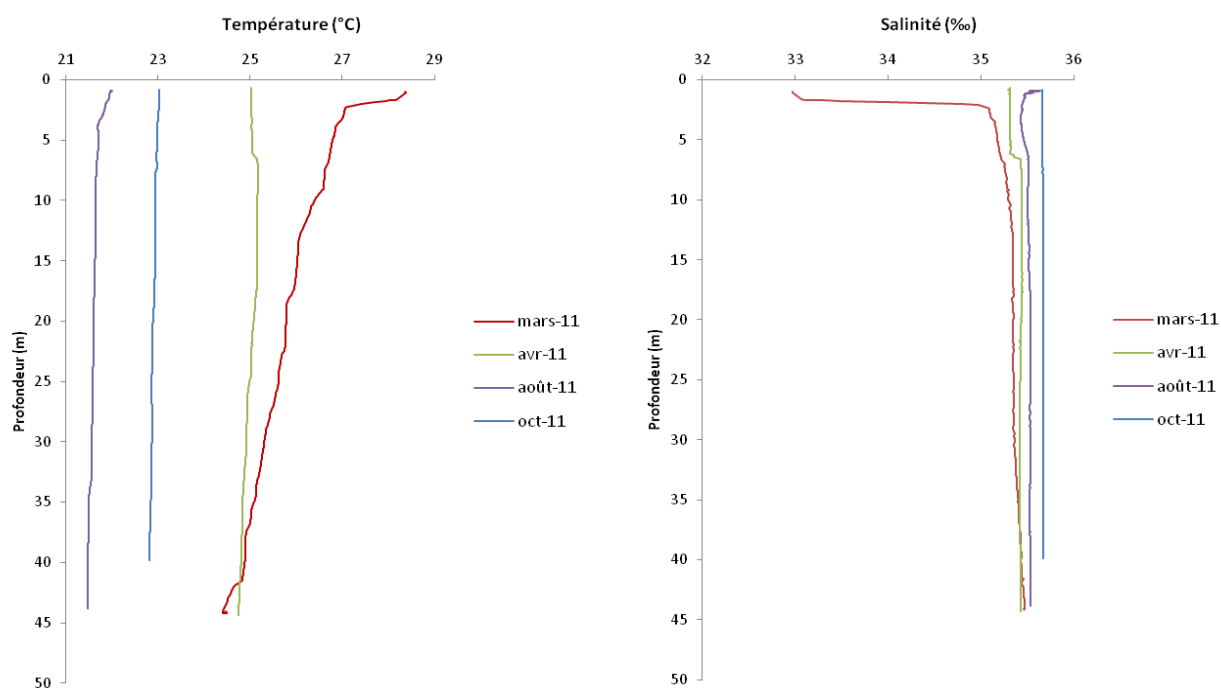


Figure 4 : Profils de température (°C) et salinité (‰) de la station St16 aux campagnes de mars, avril, août et octobre 2011.

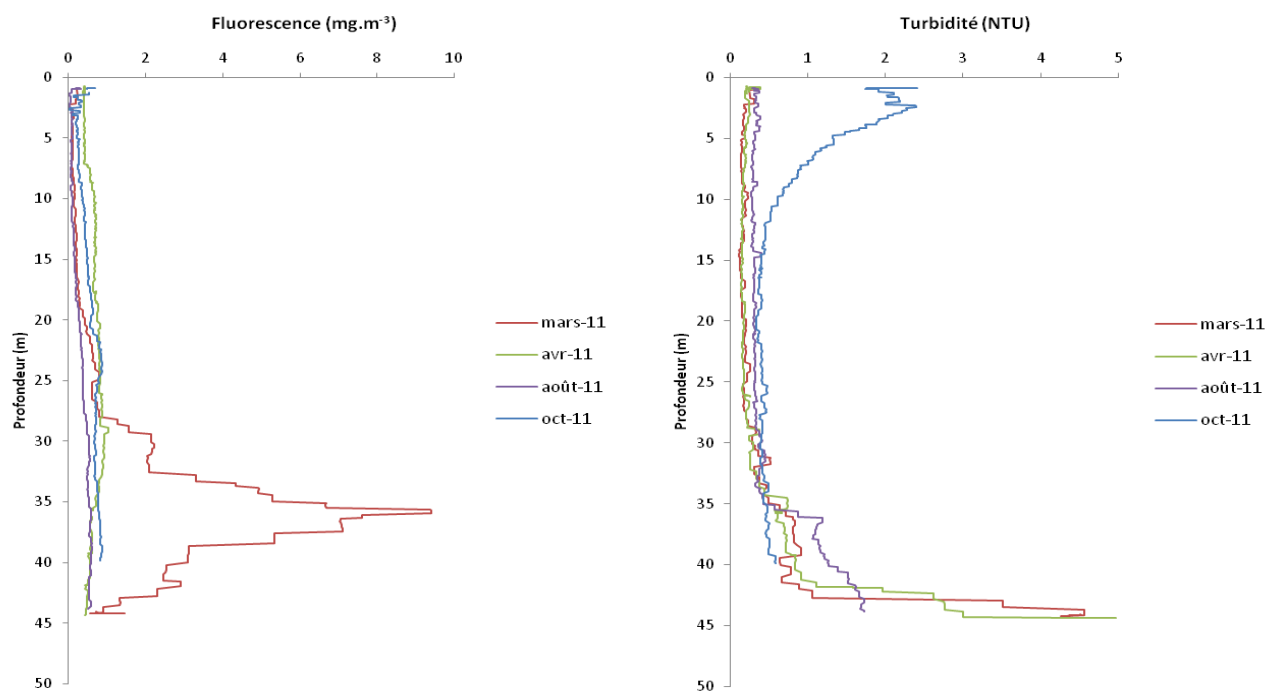


Figure 5 : Profils de fluorescence ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) et turbidité (NTU) de la station St16 aux campagnes de mars, avril, août et octobre 2011.

IV.A.1.STATION ST15

Les valeurs des paramètres physico-chimiques (température, salinité, fluorescence et turbidité) mesurées à la station St15 lors des campagnes semestrielles de mars, août et la trimestrielle d'octobre 2011 sont regroupées dans le Tableau 3 et les Figure 6 et Figure 7.

L'ensemble des données montre que :

- Les **températures** des masses d'eau diminuent de mars ($26,42 \pm 0,57$ °C) en août ($23,06 \pm 0,11$ °C) puis se réchauffent en octobre ($23,06 \pm 0,11$ °C). Comme observé à la station St16, les profils de température des campagnes d'août et octobre 2011 sont relativement homogènes au sein de la colonne d'eau. Les températures de surface mesurées lors de la campagne du mois de mars 2011 passent de 28,0 à 26,8 °C dans les 3 premiers mètres puis celles-ci diminuent progressivement avec la profondeur jusqu'à 25,5 °C au fond ;
- Les profils de **salinité** du mois d'août ($35,51 \pm 0,03$ ‰) et d'octobre ($35,67 \pm 0,01$ ‰) 2011 sont stables au sein de la colonne d'eau alors le profil du mois de mars 2011 met en évidence une forte hausse de salinité dans les 3 premiers mètres avec des valeurs de salinité passant de 32,8 à 35,2 ‰ ; plus de 23 mm d'eau de pluie ont été enregistrés dans les jours qui ont précédé le prélèvement ;
- Les profils de **fluorescence** des campagnes de mars et août 2011 montrent que la fluorescence augmente progressivement avec la profondeur puis plus rapidement entre 20 et 25 m. Celle-ci passe de 0,3 à 1,5 mg.m^{-3} lors de la campagne de mars 2011 et de 0,6 à 0,8 mg.m^{-3} lors de la campagne d'août 2011. Les valeurs de fluorescence mesurées lors de la campagne d'octobre 2011 sont notablement supérieures à celles mesurées pendant les 2 campagnes précédentes ; la fluorescence augmente progressivement avec la profondeur de 0,1 à 1,6 mg.m^{-3} jusqu'à 20 m puis diminuent sensiblement dans les 5 derniers mètres ;
- Les profils de **turbidité** d'août et d'octobre 2011 sont quasiment similaires ; la turbidité diminue fortement dans les premiers 10 mètres (Août : 5,2 à 0,6 NTU ; Octobre : 4,4 à 1,0 NTU) puis reste relativement stable dans le reste de la colonne d'eau. En mars, malgré des valeurs de turbidité légèrement plus élevées en surface (0,8 NTU), le profil de turbidité présente des valeurs constantes entre 5 et 23 mètres de profondeur ($\sim 0,2$ NTU) ; celles-ci augmentent ensuite jusqu'à 2,8 NTU dans les 2 derniers mètres du profil mettant en évidence l'existence d'un néphéloïde benthique probablement lié à la sédimentation des particules apportées par les précipitations atmosphériques de la semaine précédente . Sous la surface, l'origine de la couche turbide est à rechercher ailleurs (resuspension ?).

Tableau 3 : Minimum, maximum et moyennes des valeurs de température, salinité, fluorescence et turbidité de la station St15 lors des la campagne trimestrielle d'octobre 2011.

Campagne		Température (°C)	Salinité (‰)	Fluorescence (mg.m ⁻³)	Turbidité (NTU)
Mars	Min	25,52	32,80	0,06	0,15
	Max	27,99	35,34	1,01	2,76
	Moyenne	26,42 ± 0,57	35,17 ± 0,48	0,27 ± 0,19	0,39 ± 0,48
Août	Min	21,61	35,45	0,05	0,52
	Max	22,28	35,57	0,81	5,39
	Moyenne	21,74 ± 0,19	35,51 ± 0,03	0,25 ± 0,20	1,70 ± 1,40
Octobre	Min	22,91	35,65	0,10	0,59
	Max	23,26	35,68	1,63	4,68
	Moyenne	23,06 ± 0,11	35,67 ± 0,01	0,92 ± 0,45	1,71 ± 1,17

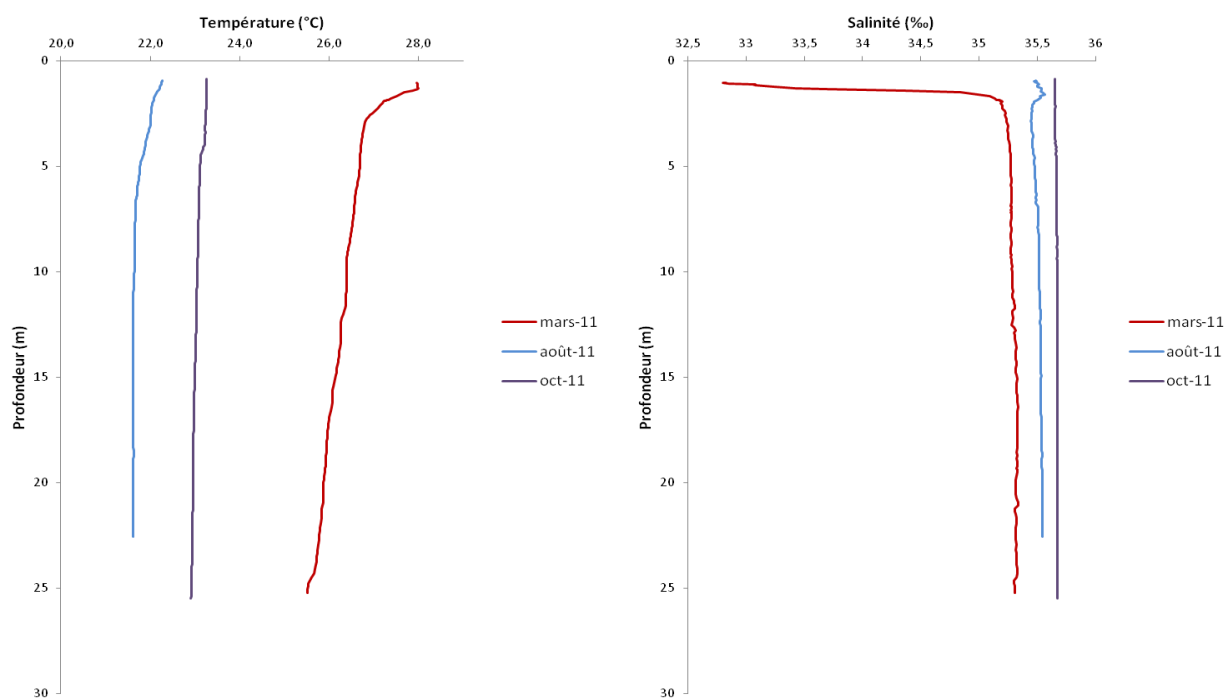


Figure 6 : Profils de température (°C) et salinité (‰) de la station St15 aux campagnes de mars, août et octobre 2011.

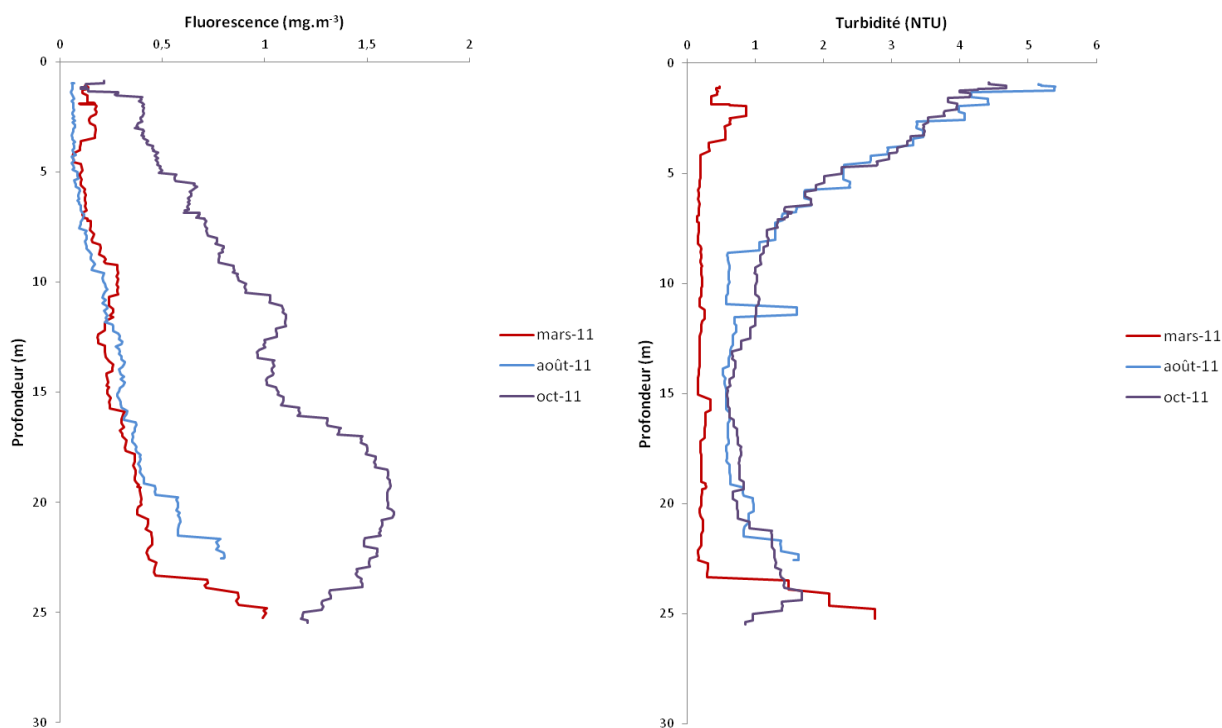


Figure 7 : Profils de fluorescence (mg.m^{-3}) et turbidité (NTU) de la station St15 aux campagnes de mars, août et octobre 2011.

Ce qu'il faut retenir : Les profils obtenus lors des différentes campagnes de 2011 mettent clairement en évidence l'influence des apports terrigènes en matière de particules (minérales et végétales) et d'eau douce. En particulier, ces observations peuvent être directement reliées aux conséquences des précipitations atmosphériques ayant eu lieu avant la campagne de mars 2011. Toutefois, des mécanismes liés à d'autres phénomènes (vitesse et direction des vents) doivent être pris en compte dans l'explication, notamment, de la présence des couches turbides observées.

IV.B. ELEMENTS MAJEURS ET PH

Les résultats des mesures de pH et d'analyse des éléments majeurs des stations St16 et St15 sont regroupés dans l'Annexe 2.

Les valeurs moyennes de pH et les concentrations moyennes des ions majeurs de la station St16 et St15 sont conformes aux valeurs attendues et similaires avec celles obtenues lors des campagnes de suivi précédentes (Convention AEL-LEA/Vale-NC N°C2445).

Les valeurs moyennes mesurées à la station St16 lors des campagnes de mars, avril, août et octobre 2011 sont :

- pH = $8,23 \pm 0,07$;
- Magnésium (Mg^{2+}) : $1421 \pm 154 \text{ mg.L}^{-1}$;
- Sulfates (SO_4^{2-}) : $2628 \pm 243 \text{ mg.L}^{-1}$.

Les valeurs moyennes mesurées à la station St15 lors des campagnes de mars, août et octobre 2011 sont :

- pH = $8,22 \pm 0,07$;
- Magnésium (Mg^{2+}) : $1426 \pm 182 \text{ mg.L}^{-1}$;
- Sulfates (SO_4^{2-}) : $2515 \pm 311 \text{ mg.L}^{-1}$.

IV.C. MATIERE EN SUSPENSION (MES)

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 MES des stations St16 et St15 sont regroupés dans l'Annexe 2 et les Figure 8 et Figure 9.

Au niveau de la station St16, hormis la concentration de MES mesurée en profondeur lors de la campagne d'avril 2011 ($1,86 \text{ mg.L}^{-1}$), les concentrations de MES sont relativement constantes ($0,31 \pm 0,08 \text{ mg.L}^{-1}$) entre les campagnes. On remarque cependant que pour les campagnes de mars, avril et août 2011, les concentrations de fond semblent très légèrement supérieures aux concentrations de mi-profondeur et surface ; ces valeurs de MES correspondent avec les profils de turbidité présentant une turbidité plus élevée en profondeur. Toutefois, les profils de turbidité des campagnes de mars et avril 2011 sont similaires alors que les valeurs de MES d'avril sont 5 fois plus élevées que les valeurs de mars. La technique d'échantillonnage par bouteille est probablement à l'origine de ces différences. A cela deux raisons majeures, il est, en effet, assez difficile de prélever avec exactitude à la bonne profondeur une couche de 2 à 3 m d'épaisseur, notamment près du fond et à ces profondeurs (40 m).

Globalement les concentrations de la station St15 ne présentent pas de distribution particulière avec la profondeur. Les concentrations de surface et fond des campagnes de mars 2011 ($S = 0,32 \text{ mg.L}^{-1}$; $F = 0,42 \text{ mg.L}^{-1}$) et août ($S = 0,32 \text{ mg.L}^{-1}$; $F = 0,36 \text{ mg.L}^{-1}$) sont similaires. Ces valeurs sont globalement 2 fois moins élevées que celles mesurées lors de la campagne d'octobre ($S = 0,57 \text{ mg.L}^{-1}$; $F = 0,64 \text{ mg.L}^{-1}$).

Remarque : Les concentrations de MES ne sont pas toujours corrélées avec les valeurs de turbidité. En effet, aux problèmes techniques de prélèvement, s'ajoute le fait que la turbidité correspond à la mesure de l'effet de la matière en suspension sur la transmission de lumière à travers un milieu aqueux. C'est une mesure qualitative alors que la détermination de la matière en suspension est une mesure quantitative. Les propriétés de la matière en

suspension dans un milieu peut varier en fonction d'un certain nombre de paramètres (ex : taille, forme, densité, structure organique) et donc faire varier la turbidité et la détermination de la MES de façon différente.

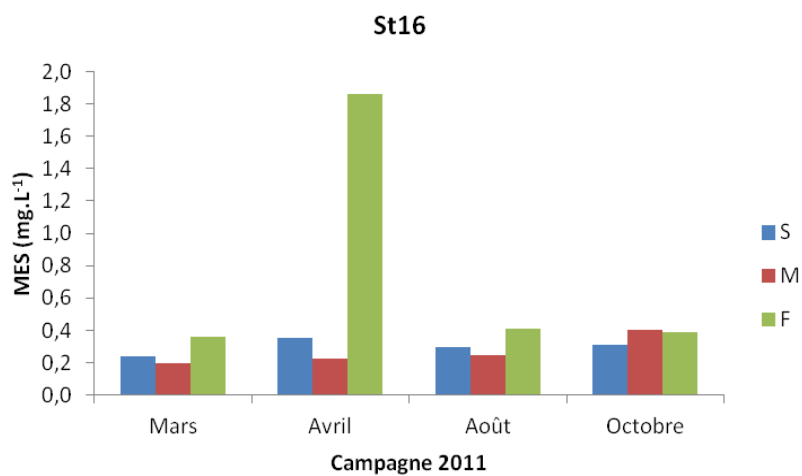


Figure 8 : Concentration des MES de la station St16 aux trois niveaux de profondeur échantillonnées (S = surface ; M = mi-profondeur ; F = fond) lors des campagnes de mars, avril, août et octobre 2011.

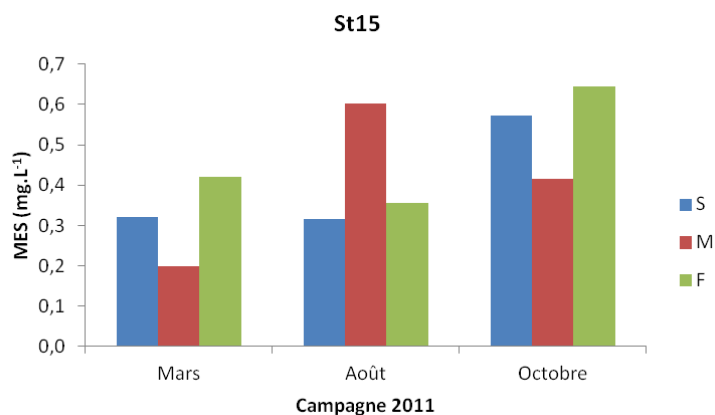


Figure 9 : Concentration des MES de la station St15 aux trois niveaux de profondeur échantillonnées (S = surface ; M = mi-profondeur ; F = fond) lors des campagnes de mars, août et octobre 2011.

IV.D. CARBONATES (STATION ST16)

Les résultats d'analyse des carbonates de la station St16 sont présentés en Annexe 2 et la Figure 10. Les concentrations de carbonates sont traduites par les valeurs d'alcalinité totale exprimées en meq.L^{-1} .

Les résultats d'analyse des carbonates des campagnes de mars, avril, août et octobre 2011 sont relativement similaires et conformes aux valeurs attendues (Convention AEL-LEA/Vale-NC N°C2445). Celles-ci ne varient que très légèrement, entre 2,10 à 2,37 meq.L^{-1} avec une valeur moyenne de $2,26 \pm 0,08 \text{ meq.L}^{-1}$.

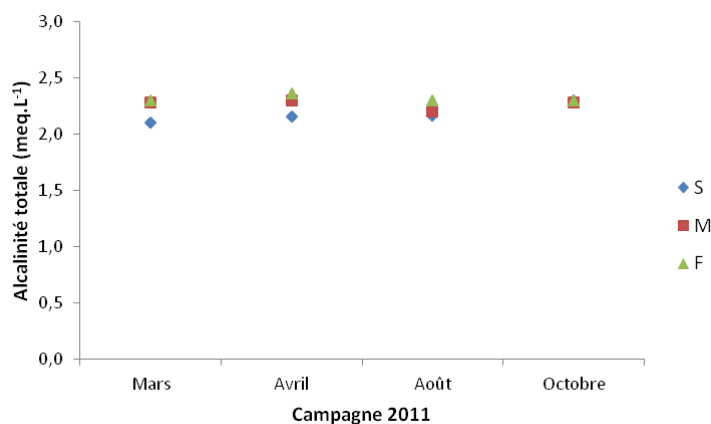


Figure 10 : Concentration des carbonates de la station St16 aux trois niveaux de profondeur échantillonnées (S = surface ; M = mi-profondeur ; F = fond) lors des campagnes de mars, avril, août et octobre 2011.

IV.E. HYDROCARBURES TOTAUX

L'analyse des prélèvements de la station St16, comme pour les années précédentes, n'a pas permis de mettre en évidence des concentrations en hydrocarbures totaux supérieures à la limite de détection de la méthode ($\text{LQ} < 0,1 \text{ mg.L}^{-1}$).

Remarque : Suite à un problème d'échantillonnage, les concentrations de HCT de la station St15 n'ont pas pu être déterminées.

IV.F. DISTRIBUTION DES METAUX DISSOUS DANS LA COLONNE D'EAU

IV.F.1. STATION ST16

Les résultats d'analyse des métaux dissous de la station St16 sont regroupés en Annexe 3 et dans les Figure 11, Figure 12, Figure 13 et Figure 14.

Les concentrations de Co, Cr(VI), Mn et Ni de la station St16 présentent la même distribution au cours du temps et sont directement reliées au régime pluvial. En effet, les concentrations de surface les plus élevées sont mesurées lors de la campagne de mars où le cumul des précipitations des 5 jours précédant la campagne (23,3 mm) est plus élevé que ceux mesurés avant les 3 autres campagnes (Tableau 1). Par exemple, les concentrations de surface de Ni mesurées en mars ($1,29 \mu\text{g.L}^{-1}$) sont 3 et 8 fois plus élevées que celles mesurées lors des campagnes d'août ($0,41 \mu\text{g.L}^{-1}$) et d'octobre 2011 ($0,15 \mu\text{g.L}^{-1}$).

Les concentrations de Cu et Zn ne sont pas reliées au régime pluvial ; celles-ci diffèrent de façon non corrélées entre les campagnes et les profondeurs.

Remarque : Les valeurs non déterminées (Nd) sont et ont donc été retirées.

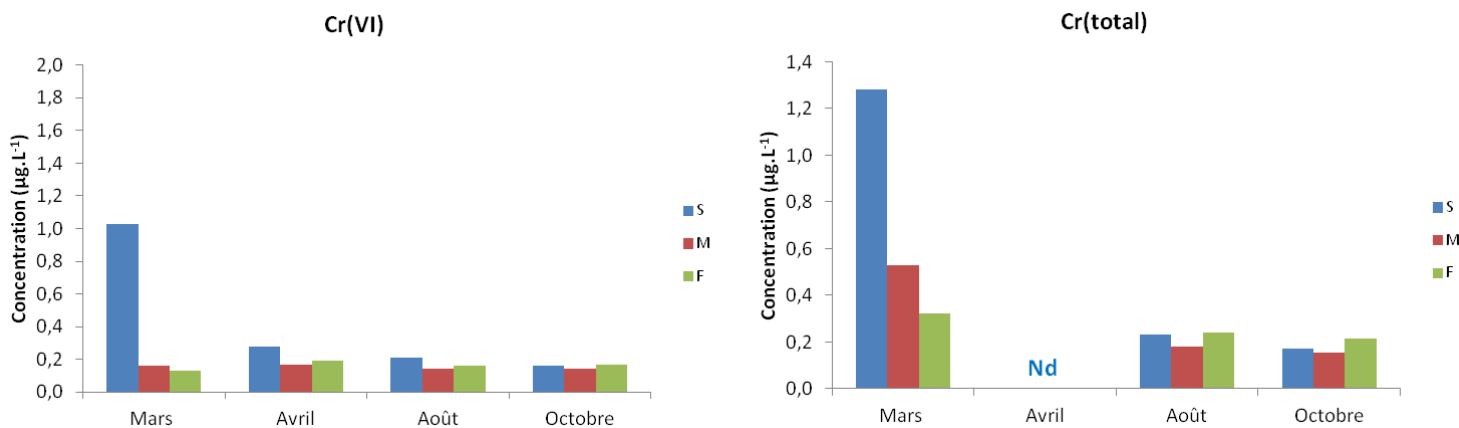


Figure 11 : Evolution des concentrations de Cr(VI) et Cr total à la station St16 aux trois niveaux de profondeur échantillonnées (S = surface ; M = mi-profondeur ; F = fond) lors des campagnes de mars, avril, août et octobre 2011.

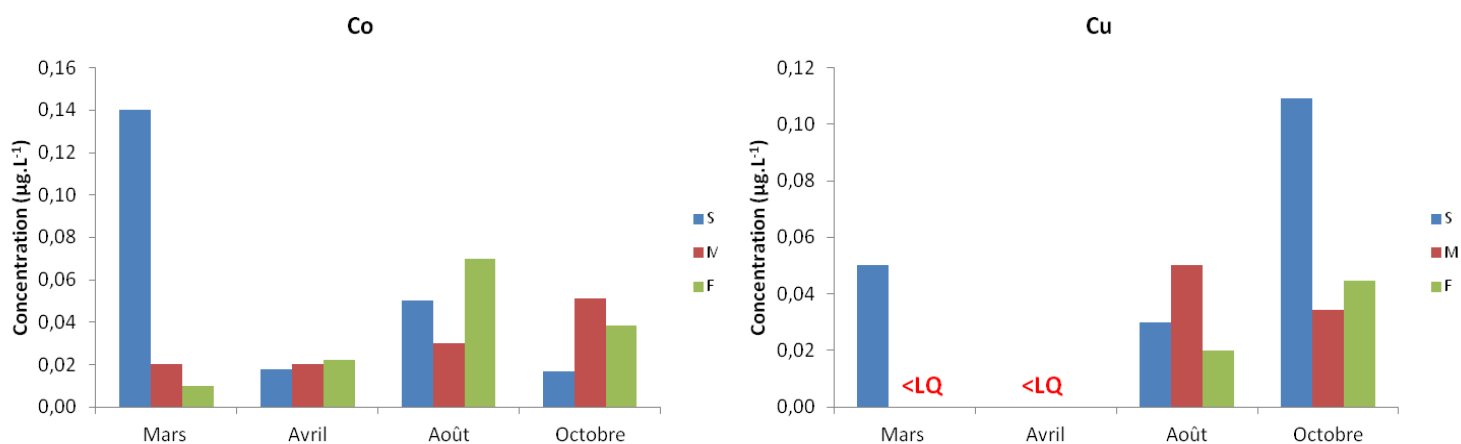


Figure 12 : Evolution des concentrations de Co et Cu à la station St16 aux trois niveaux de profondeur échantillonnées (S = surface ; M = mi-profondeur ; F = fond) lors des campagnes de mars, avril, août et octobre 2011 (<LQ = valeurs inférieures aux limites de quantification).

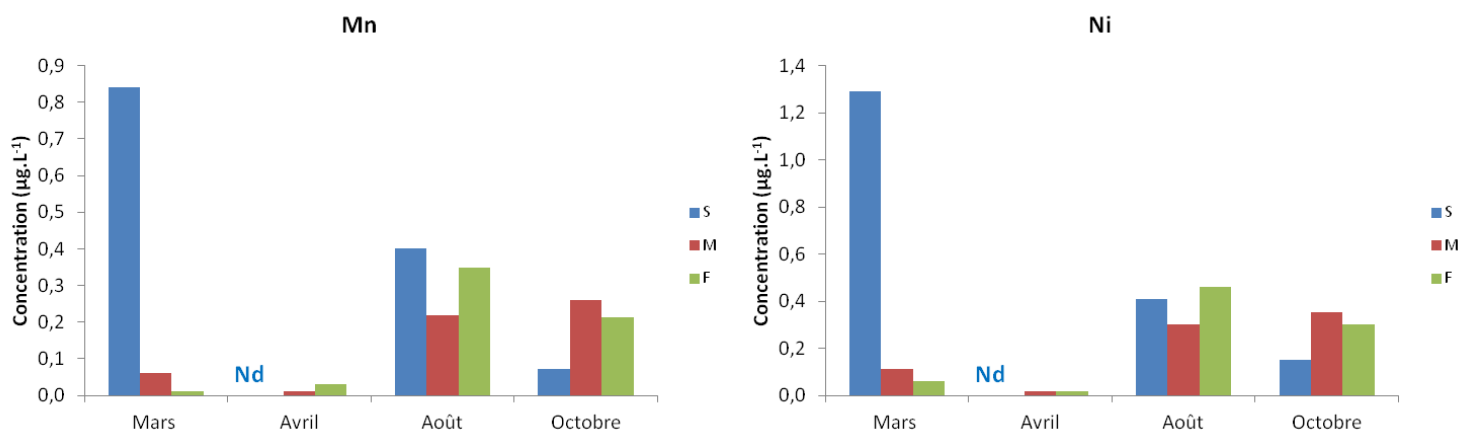


Figure 13 : Evolution des concentrations de Mn et Ni à la station St16 aux trois niveaux de profondeur échantillonnées (S = surface ; M = mi-profondeur ; F = fond) lors des campagnes de mars, avril, août et octobre 2011 (Nd = valeurs non déterminées).

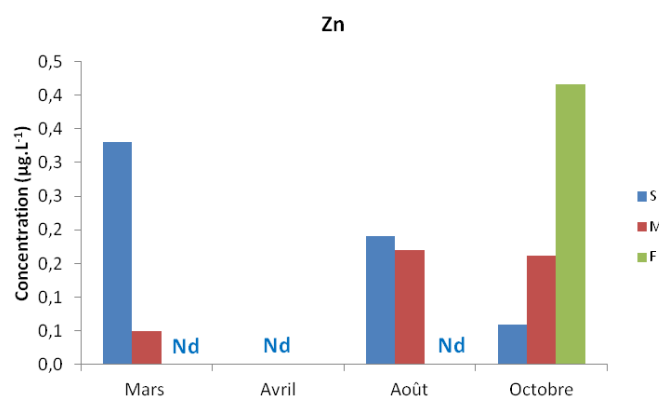


Figure 14 : Evolution des concentrations de Zn à la station St16 aux trois niveaux de profondeur échantillonnées (S = surface ; M = mi-profondeur ; F = fond) lors des campagnes de mars, avril, août et octobre 2011 (Nd = valeurs non déterminées).

IV.F.2. STATION ST15

Les résultats d'analyse des métaux dissous de la station St15 sont regroupés en Annexe 3 et dans les Figure 15, Figure 16, Figure 17 et Figure 18.

Les concentrations de Co, Cr(VI), Cr total, Mn et Ni les plus élevées sont mesurées dans les eaux de surface du mois de mars. Par exemple, les concentrations de Cr total ($1,86 \mu\text{g.L}^{-1}$) sont 7 fois plus élevées que celles mesurées en août ($0,26 \mu\text{g.L}^{-1}$) et octobre ($0,27 \mu\text{g.L}^{-1}$). Par ailleurs, lors de cette campagne, les concentrations de surface du Cr(VI), Cr total et du Ni sont nettement plus élevées qu'à mi-profondeur et au fond ; les concentrations de Cr(VI) sont 6 fois plus élevées en surface ($1,22 \mu\text{g.L}^{-1}$) qu'à mi-profondeur ($0,18 \mu\text{g.L}^{-1}$) et fond ($0,19 \mu\text{g.L}^{-1}$). A l'inverse, les concentrations de Co et Mn dans les eaux de fond sont les plus hautes, particulièrement pour le Mn dont les concentrations ($4,16 \mu\text{g.L}^{-1}$) sont respectivement 12 et 4 fois plus élevées que celles de mi-profondeur ($0,33 \mu\text{g.L}^{-1}$) et de surface ($1,00 \mu\text{g.L}^{-1}$), respectivement.

Les concentrations de Cu mesurées lors des campagnes de mars et d'octobre 2011 diminuent fortement avec la profondeur alors que les concentrations mesurées en août restent du même ordre dans toute la colonne d'eau. En effet, en mars et octobre 2011, les concentrations dans les eaux de surface sont 5 et 4 fois plus élevées que les concentrations au fond. En août, celles-ci sont similaires en surface et profondeur ($0,03 \mu\text{g.L}^{-1}$) et plus légèrement plus faible à mi-profondeur ($0,02 \mu\text{g.L}^{-1}$)

Les concentrations de Zn sont globalement plus élevées lors de la campagne de mars mais ne présentent pas de distribution particulière en fonction de la profondeur ; les concentrations semblent toutefois systématiquement plus fortes dans les eaux de surface et de fond.

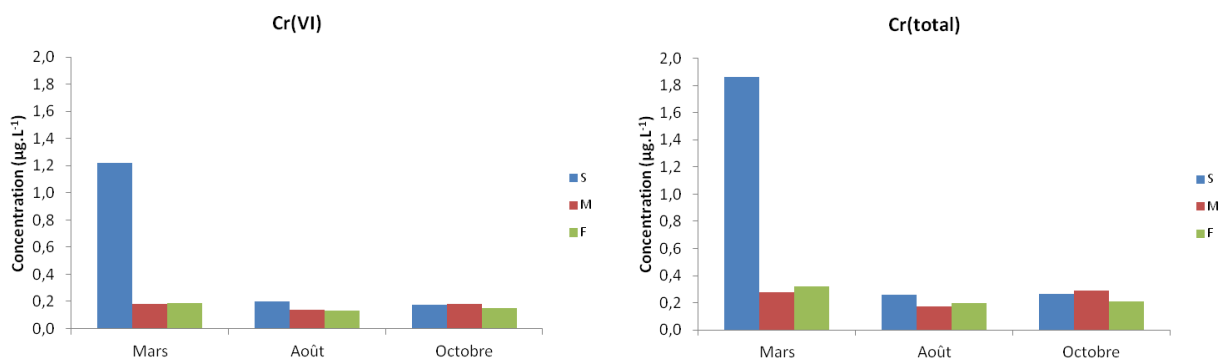


Figure 15 : Evolution des concentrations de Cr(VI) et Cr total à la station St15 aux trois niveaux de profondeur échantillonnées (S = surface ; M = mi-profondeur ; F = fond) lors des campagnes de mars, août et octobre 2011.

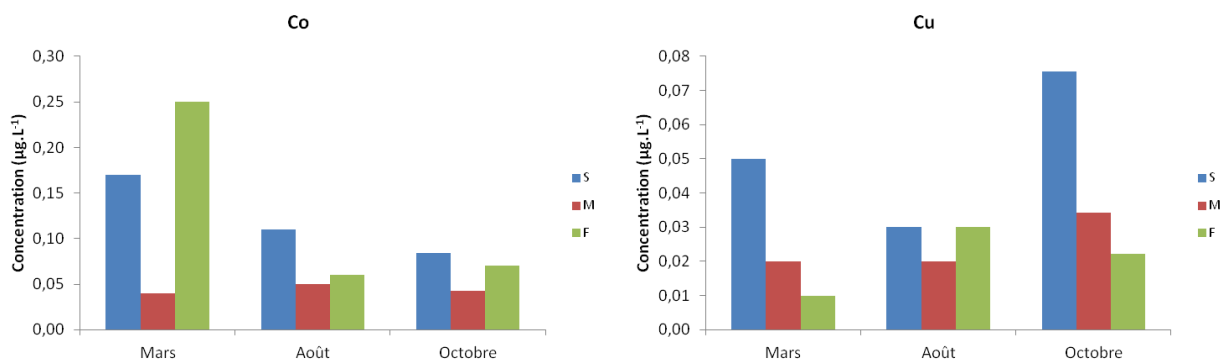


Figure 16 : Evolution des concentrations de Co et Cu à la station St15 aux trois niveaux de profondeur échantillonnées (S = surface ; M = mi-profondeur ; F = fond) lors des campagnes de mars, août et octobre 2011 (<LQ = valeurs inférieures aux limites de quantification).

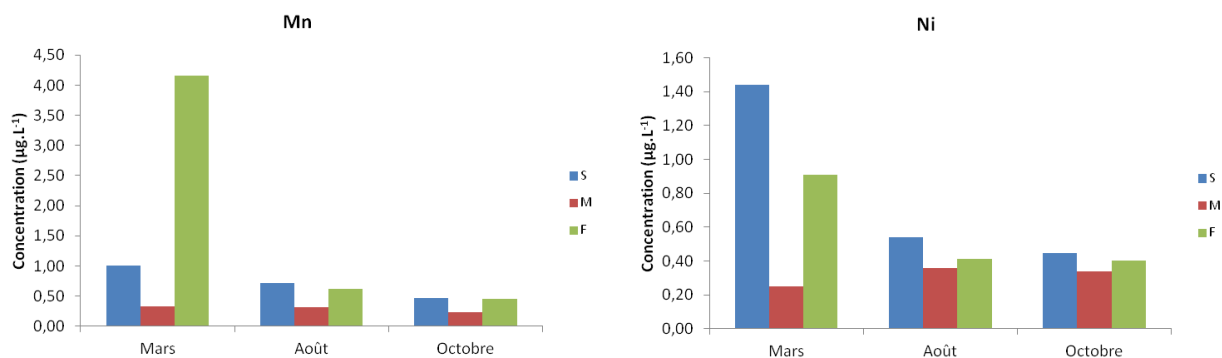


Figure 17 : Evolution des concentrations de Mn et Ni à la station St15 aux trois niveaux de profondeur échantillonnées (S = surface ; M = mi-profondeur ; F = fond) lors des campagnes de mars, août et octobre 2011 (Nd = valeurs non déterminées).

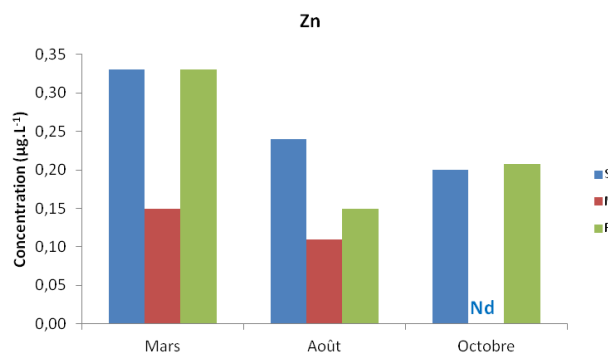


Figure 18 : Evolution des concentrations de Zn à la station St15 aux trois niveaux de profondeur échantillonnées (S = surface ; M = mi-profondeur ; F = fond) lors des campagnes de mars, août et octobre 2011 (Nd = valeurs non déterminées).

Ce qu'il faut retenir : La distribution temporelle des concentrations des métaux dissous tels que le Co, Cr(VI), **Cr total**, Mn et Ni au niveau des stations St16 et St15 présente des similitudes. On remarque notamment que les concentrations de ces métaux dissous mesurées lors de la campagne de mars 2011 sont directement reliées aux conséquences des précipitations atmosphériques sur les quantités métaux dissous générés par les apports terrigènes (particules et eaux douces).

Au niveau de ces stations et ce stade de l'activité industrielle, les variations de concentrations des métaux étudiés semblent essentiellement attribuables aux aléas climatiques. Il reste, toutefois, mal expliqué l'évolution de certains métaux comme Cu qu'il faudra surveiller notamment près du port (St16), voire de Zn sur les deux stations.

SYNTHESE

V.A. STATION ST16

Cette synthèse regroupe les concentrations des métaux dissous (Co, Cr(VI), Cu, Mn et Ni) dans la colonne d'eau mesurées pour les campagnes de suivi de la station St16 réalisées depuis mars 2007. Sur les graphiques (Figure 20, Figure 21, Figure 22, Figure 23 et Figure 24), la moyenne des concentrations est représentée par une ligne rouge continue, encadrée par les bornes inférieures et supérieures de l'écart-type qui sont représentées par des lignes vertes discontinues. Les conditions météorologiques, notamment les précipitations, pouvant avoir une influence sur les concentrations en métaux des eaux, le cumul des précipitations avant (5 jours précédents) et pendant les campagnes a été reporté dans la Figure 19.

Quelques concentrations de Co, Cr(VI), Mn et Ni sont situées au-delà des bornes inférieures et supérieures du bruit de fond géochimique moyen : celles-ci correspondent uniquement à des concentrations dans les eaux de surface. En effet, seulement deux concentrations de Cr(VI), observées en mai 2010 ($1,43 \mu\text{g.L}^{-1}$) et de mars 2011 ($1,03 \mu\text{g.L}^{-1}$), sont notablement plus élevées que la valeur moyenne. Ces deux valeurs maximales sont accompagnées par des concentrations élevées en Co, Mn et Ni ; les concentrations de mars 2011 (Co : $0,14 \mu\text{g.L}^{-1}$; Mn : $0,84 \mu\text{g.L}^{-1}$; Ni : $1,29 \mu\text{g.L}^{-1}$) étant, par ailleurs, supérieures à celles de mai 2010 (Co : $0,10 \mu\text{g.L}^{-1}$; Mn : $0,52 \mu\text{g.L}^{-1}$; Ni : $1,00 \mu\text{g.L}^{-1}$).

La concentration maximale de Cu a été mesurée en surface lors de la campagne trimestrielle d'octobre 2008 ($0,53 \mu\text{g.L}^{-1}$) ; celle-ci est plus de 3 fois plus élevée que la borne supérieure du bruit de fond moyen ($0,16 \mu\text{g.L}^{-1}$). Par

ailleurs, les mesures effectuées en 2008 (août, septembre, octobre et décembre) sont légèrement plus élevées que la borne supérieure du bruit de fond moyen. Hormis cette période, les concentrations de Cu sont toutes comprises entre les bornes inférieure et supérieure du bruit de fond moyen.

Inéluctablement, les fortes précipitations sont responsables d'apports terrigènes relayées par les creeks de la Baie du Prony qui sont donc les sources principales en métaux particuliers/dissous, comme mesurés à la station St16. Si le cumul des précipitations tombées avant la campagne de mai 2010 est conséquent, comparé à ceux mesurés avant les autres campagnes, il ne peut à lui seul expliquer les augmentations de concentrations observées dans l'eau de surface puisque ce lien n'est pas démontré systématiquement. Toutefois, une relation existe, bien évidemment, mais d'autres paramètres entrent probablement en jeu comme le moment du prélèvement (déplacement des masses d'eau en fonction de l'état de la marée, la direction et la force des vents). En effet, le cumul des précipitations calculé avant la campagne de mars 2011, par exemple, n'est pas très élevé alors que les concentrations maximales de Co, Mn et Ni sont mesurées durant cette même période.

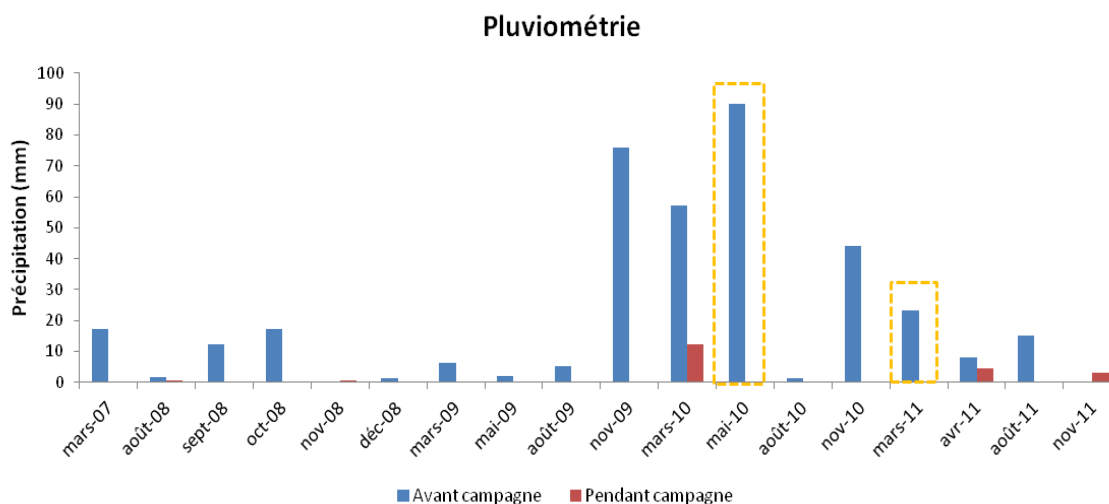


Figure 19 : Cumuls des précipitations avant les campagnes (5 jours avant) et pendant les campagnes de prélèvement effectuées entre 2007 et 2011 à la station St16.

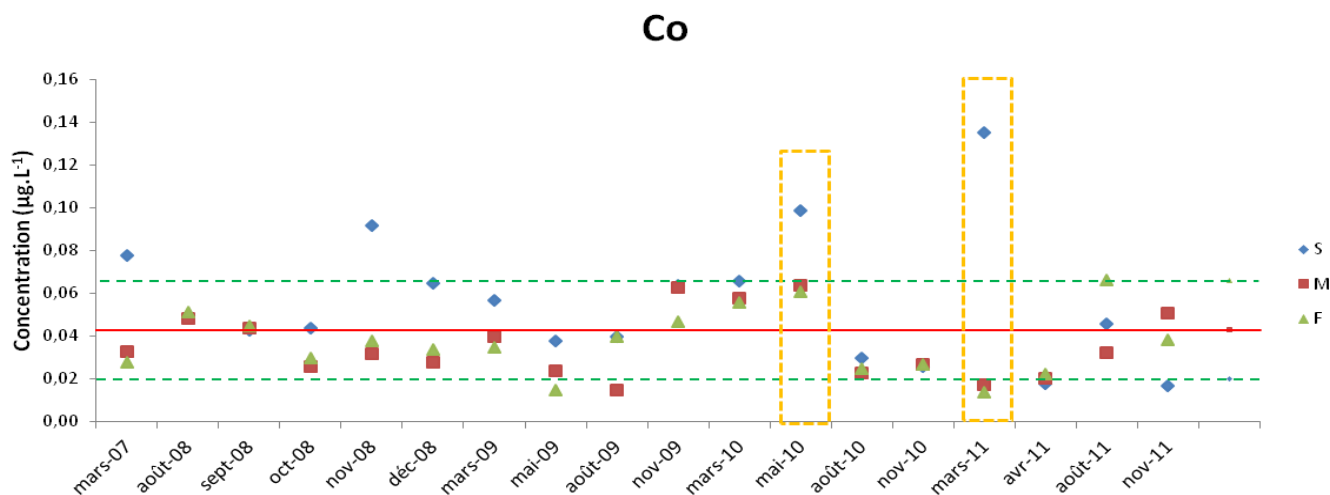


Figure 20 : Concentrations de Co mesurées à la station St16 (S = surface ; M = Mi-profondeur ; F = Fond) lors des campagnes de prélèvement réalisées entre 2007 et 2011 (Trait rouge continu : bruit de fond géochimique moyen ; Trait discontinu vert : bornes inférieures et supérieures du bruit de fond géochimique moyen).

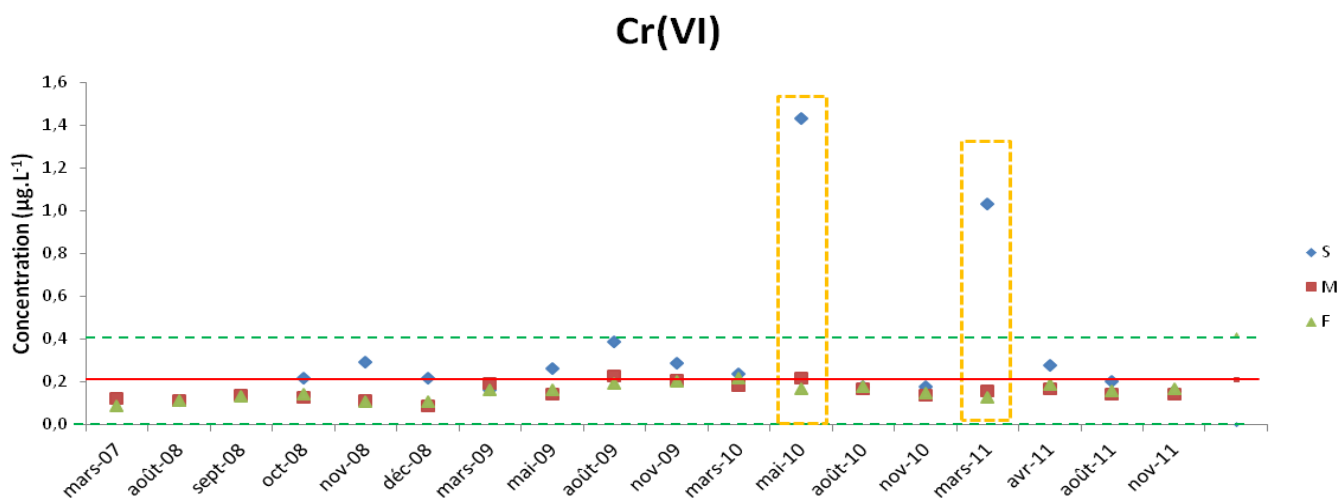


Figure 21 : Concentrations de Cr(VI) mesurées à la station St16 (S = surface ; M = Mi-profondeur ; F = Fond) lors des campagnes de prélèvement réalisées entre 2007 et 2011 (Trait rouge continu : bruit de fond géochimique moyen ; Trait discontinu vert : bornes inférieures et supérieures du bruit de fond géochimique moyen).

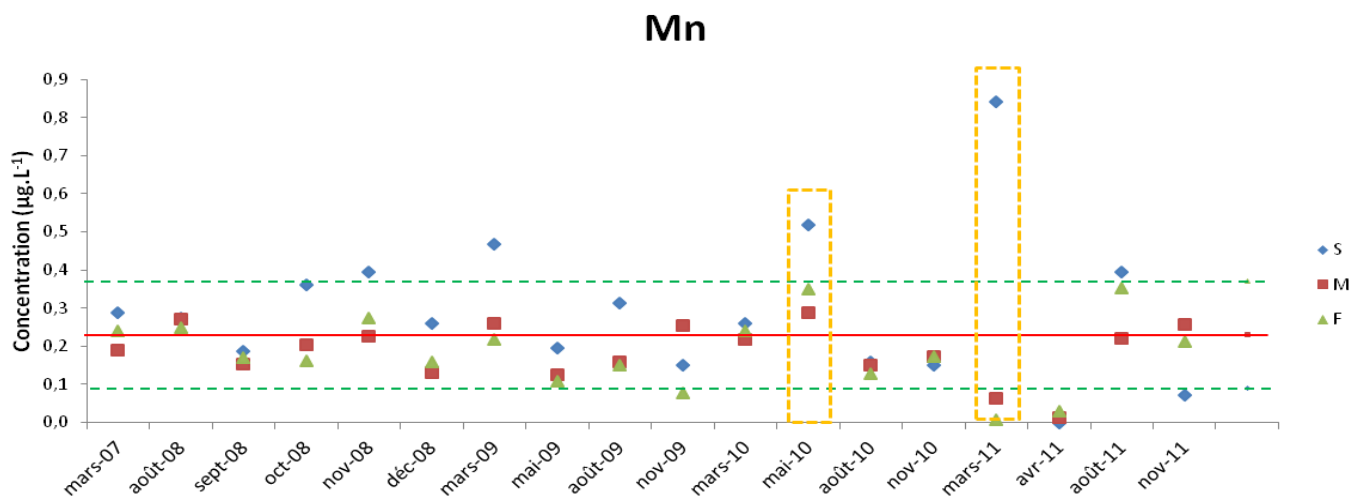


Figure 22 : Concentrations de Mn mesurées à la station St16 (S = surface ; M = Mi-profondeur ; F = Fond) lors des campagnes de prélèvement réalisées entre 2007 et 2011 (Trait rouge continu : bruit de fond géochimique moyen ; Trait discontinu vert : bornes inférieures et supérieures du bruit de fond géochimique moyen).

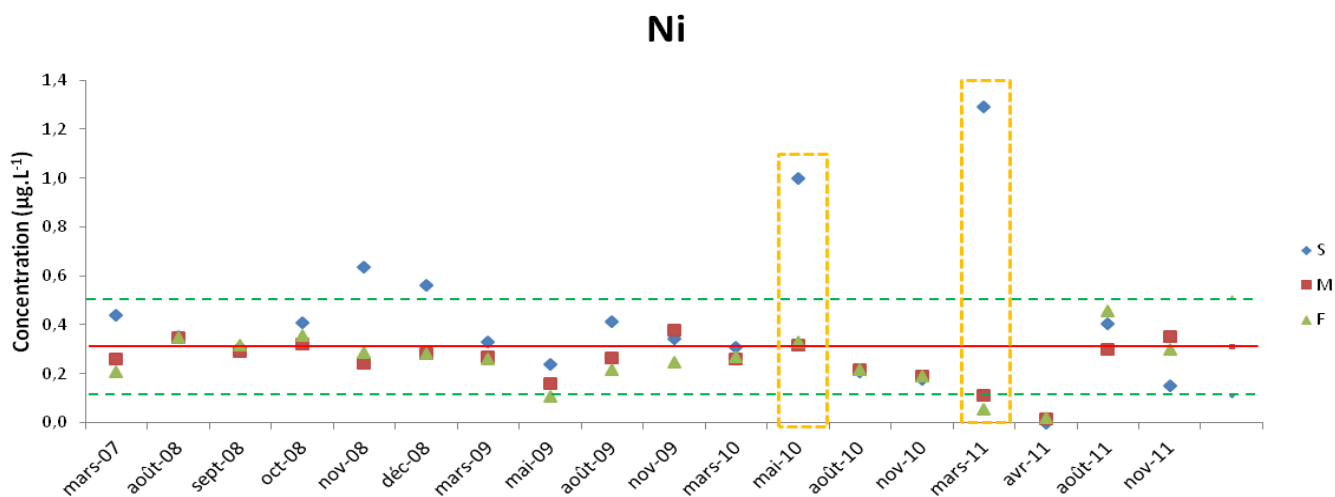


Figure 23 : Concentrations de Ni mesurées à la station St16 (S = surface ; M = Mi-profondeur ; F = Fond) lors des campagnes de prélèvement réalisées entre 2007 et 2011 (Trait rouge continu : bruit de fond géochimique moyen ; Trait discontinu vert : bornes inférieures et supérieures du bruit de fond géochimique moyen).

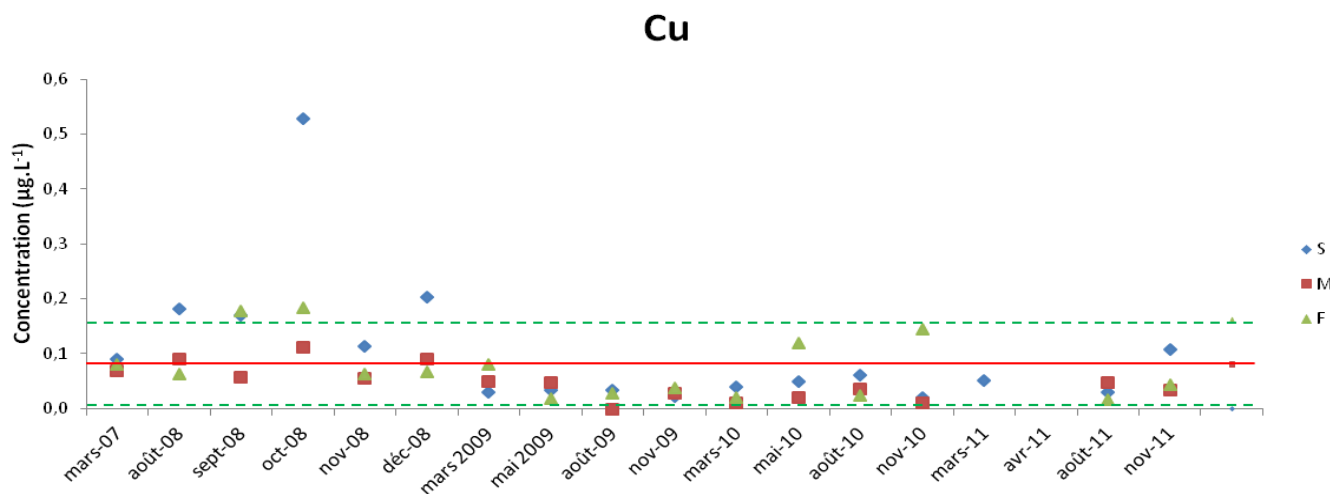


Figure 24 : Concentrations de Cu mesurées à la station St16 (S = surface ; M = Mi-profondeur ; F = Fond) lors des campagnes de prélèvement réalisées entre 2007 et 2011 (Trait rouge continu : bruit de fond géochimique moyen ; Trait discontinu vert : bornes inférieures et supérieures du bruit de fond géochimique moyen).

V.B. STATION ST15

Cette synthèse regroupe les valeurs des concentrations des métaux dissous (Co, Cr(VI), Cu, Mn et Ni) dans la colonne d'eau mesurées lors des campagnes de suivi de la station St15 réalisées depuis mars 2007. Les concentrations de Co, Cr(VI), Mn et Ni mesurées dans la colonne d'eau après la fuite d'acide d'avril 2009 ont également été ajoutées à cette synthèse afin de pouvoir comparer les valeurs de bruit de fond obtenues lors des suivis avec des valeurs accidentelles (encadré rouge). Les suivis de la station St15 sont, depuis octobre 2011, effectués trimestriellement. Le cumul des précipitations avant (5 jours précédents) et pendant les campagnes a été reporté dans la Figure 25.

Rappel : Sur les graphiques (Figure 26, Figure 27, Figure 28, Figure 29 et Figure 30), la moyenne des concentrations est représentée par une ligne rouge continue, encadrée par les bornes de l'écart-type inférieures et supérieures qui sont représentées par des lignes vertes discontinues.

Des concentrations maximales en Co, Cr(VI), Mn et Ni ont été mesurées, l'une lors des campagnes de mars 2010 et l'autre en mars 2011. Les valeurs obtenues sont quasiment toutes plus élevées que les bornes supérieures du bruit de fond géochimique. Contrairement à la station St16, les concentrations maximales sont observées à la fois dans les eaux de surface et de fond. Seul pour le Cr(VI), les concentrations maximales sont mesurées en surface pour les mois de mars 2010 ($0,78 \mu\text{g.L}^{-1}$) et 2011 ($1,22 \mu\text{g.L}^{-1}$) ; celles-ci sont du même ordre de grandeur que la valeur observée immédiatement après la fuite d'acide d'avril 2009 ($1,09 \mu\text{g.L}^{-1}$, le 04 avril 2009).

Pour Co et Ni, les concentrations dans les eaux de surface et de fond dépassent notablement les bornes supérieures des bruits de fonds respectifs ; pour Mn, seule la concentration des eaux de fond est nettement plus forte ($4,16 \mu\text{g.L}^{-1}$), soit plus de 3 fois la borne supérieure du bruit de fond moyen ($1,32 \mu\text{g.L}^{-1}$). Cette valeur est également presque 8 fois plus élevée que la concentration des eaux de fond mesurée après la fuite d'acide ($0,56 \mu\text{g.L}^{-1}$, le 40 avril 2009). A noter que dans les eaux de surface, les concentrations en Ni (mars 2010) et en Co et Ni (mars 2011) sont du même ordre, voire inférieures aux valeurs observées après l'accident.

La plupart des résultats d'analyses de Cu sont compris entre les bornes inférieures et supérieures du bruit de fond géochimique moyen ($0,05 \pm 0,04 \mu\text{g.L}^{-1}$). Trois concentrations de Cu se retrouvent sensiblement au-dessus des valeurs maximales du bruit de fond ; les concentrations de surface ($0,12 \mu\text{g.L}^{-1}$) et mi-profondeur ($0,15 \mu\text{g.L}^{-1}$) mesurées lors de la campagne d'août 2008 et la concentration de surface mesurée lors de la campagne de mars 2010 ($0,13 \mu\text{g.L}^{-1}$).

Cette station (St15) est très sensible aux influences terrigènes générées par les précipitations atmosphériques dont le Creek de la Rade Nord se fait le relai. Toutefois, les phénomènes de remise en suspension des particules conduisant à des solubilisations temporaires de métaux sous l'action de phénomènes mécaniques (houle générée par les vents) n'est pas non plus à écarter.

Le comportement des éléments comme Co, Ni, voire Cr(VI) pour les eaux de surface, sont similaires ; leur distribution dépendant amplement de la quantité en apports terrigènes. Le manganèse est quant à lui rapidement évacué de la colonne d'eau pour se retrouver piégé par le matériel particulaire qui sédimente.

Les niveaux de concentration des métaux analysés pour le suivi environnemental et immédiatement après la fuite d'acide (04 avril 2009) sont du même ordre de grandeur.

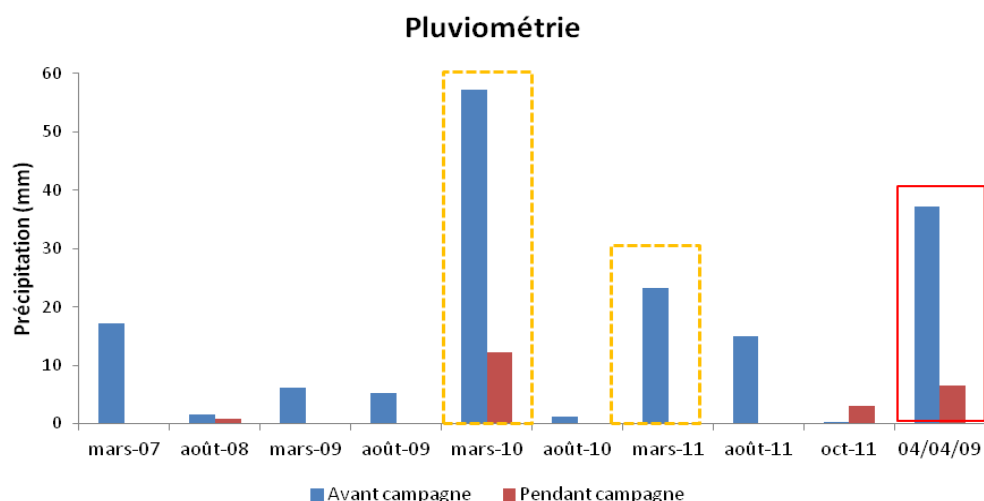


Figure 25 : Cumuls des précipitations avant les campagnes (5 jours avant) et pendant les campagnes de prélèvement effectuées entre 2007 et 2011 à la station St15 (Encadré discontinu orange : cumul des précipitations maximales (2) ; Encadré continu rouge : fuite d'acide d'avril 2009).

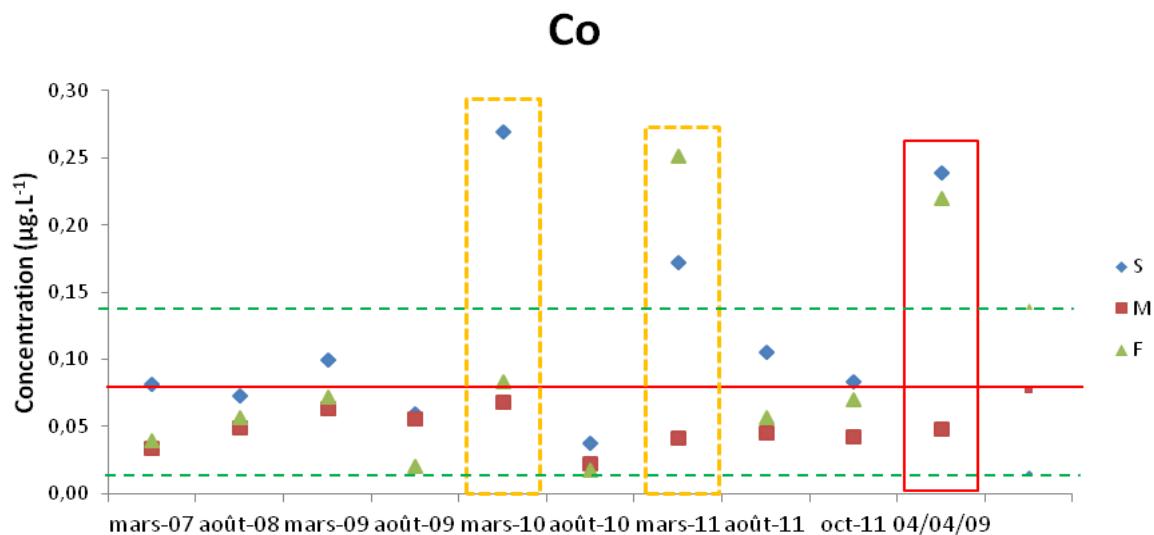


Figure 26 : Concentrations de Co mesurées à la station St15 (S = surface ; M = Mi-profondeur ; F = Fond) lors des campagnes de prélèvement réalisées entre 2007 et 2011 (Trait rouge continu : bruit de fond géochimique moyen ; Trait continu vert : bornes inférieures et supérieures du bruit de fond géochimique moyen ; Encadré continu rouge : fuite d'acide d'avril 2009).

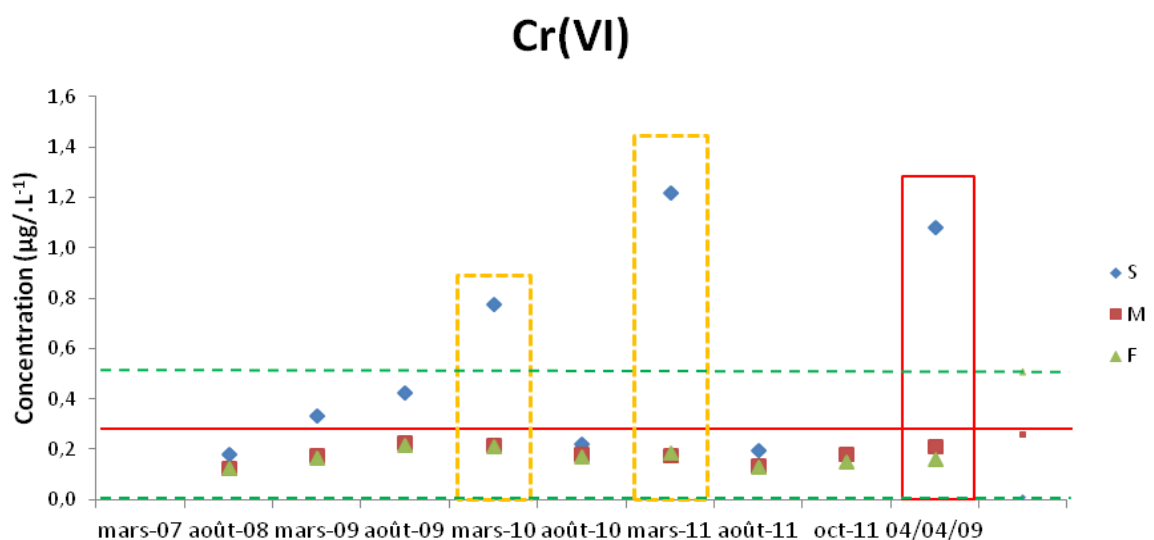


Figure 27 : Concentrations de Cr(VI) mesurées à la station St15 (S = surface ; M = Mi-profondeur ; F = Fond) lors des campagnes de prélèvement réalisées entre 2007 et 2011 (Trait rouge continu : bruit de fond géochimique moyen ; Trait continu vert : bornes inférieures et supérieures du bruit de fond géochimique moyen ; continu rouge : fuite d'acide d'avril 2009).

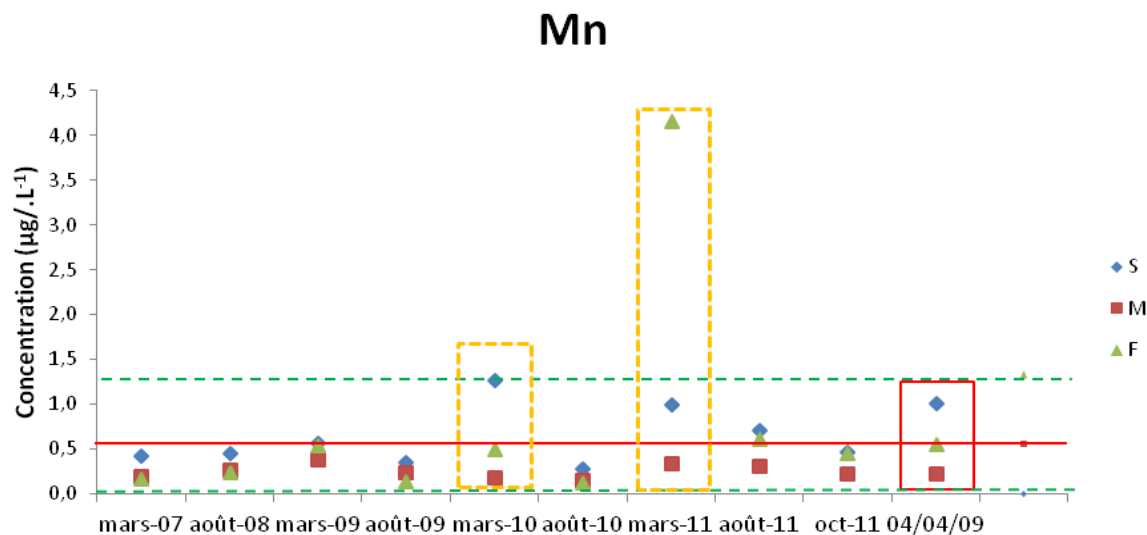


Figure 28 : Concentrations de Mn mesurées à la station St15 (S = surface ; M = Mi-profondeur ; F = Fond) lors des campagnes de prélèvement réalisées entre 2007 et 2011 (Trait rouge continu : bruit de fond géochimique moyen ; Trait continu vert : bornes inférieures et supérieures du bruit de fond géochimique moyen ; continu rouge : fuite d'acide d'avril 2009).

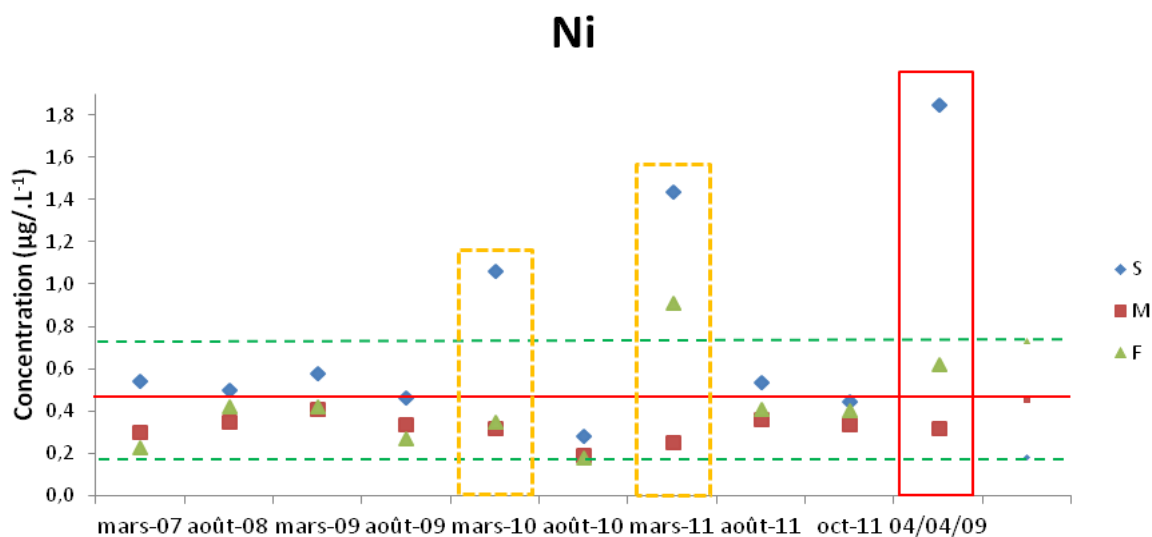


Figure 29 : Concentrations de Ni mesurées à la station St15 (S = surface ; M = Mi-profondeur ; F = Fond) lors des campagnes de prélèvement réalisées entre 2007 et 2011 (Trait rouge continu : bruit de fond géochimique moyen ; Trait continu vert : bornes inférieures et supérieures du bruit de fond géochimique moyen ; continu rouge : fuite d'acide d'avril 2009).

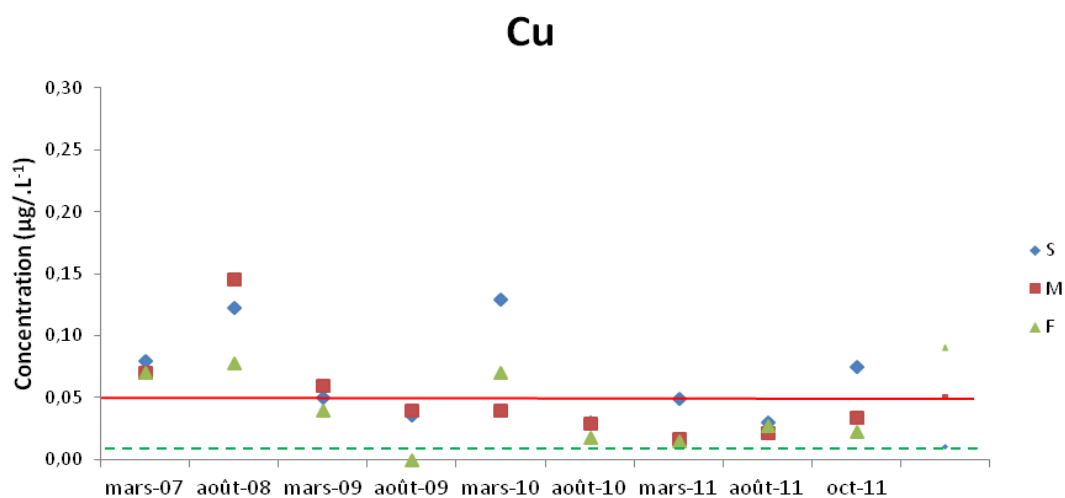


Figure 30 : Concentrations de Cu mesurées à la station St15 (S = surface ; M = Mi-profondeur ; F = Fond) lors des campagnes de prélèvement réalisées entre 2007 et 2011 (Trait rouge continu : bruit de fond géochimique moyen ; Trait continu vert : bornes inférieures et supérieures du bruit de fond géochimique moyen ; continu rouge : fuite d'acide d'avril 2009).

CONCLUSION

Cette étude met en évidence l'influence des apports terrigènes en matière de particules et d'eaux douces sur la qualité physico-chimique des masses d'eau et leurs concentrations en métaux dissous, dont les variations sont directement reliées au régime pluvial.

Les concentrations des éléments majeurs, du pH, des carbonates et des hydrocarbures des stations St15 et St16 ne montrent pas de tendance particulière entre chaque campagne.

Les concentrations de MES mesurées aux stations st15 et St16 varient entre les campagnes ; il est cependant difficile de déterminer la cause exacte de ces variations.

La synthèse des concentrations des métaux dissous des stations St15 et St16 de 2007 à 2011 permet également de montrer que les fortes précipitations ayant lieu avant chaque campagne sont les principales sources en métaux dissous et particuliers mais d'autres paramètres tels que le moment de l'échantillonnage ou la force et la direction du vent doivent également influencer la qualité physico-chimiques des masses d'eau ainsi que leurs concentrations en métaux dissous.

REFERENCES

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

Anderson DH, Robinson R.J (1946) Rapid electro- metric determination o f the alkalinity o f sea water using a glass electrode. Ind. Eng. Chem. 18, 767-773.

Fernandez JM, Le Grand H, Moreton B, Dolbecq M, Damien P (2010) Suivi environnemental 2009 : Qualité physico-chimique et concentrations en métaux dissous des eaux. Convention IRD/Vale-Inco n°C2284/E13517, 127 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 (1^{er} 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^{ième} semestre 2010). Convention AEL-LEA/Vale-Nc n°C2445, 73 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. St16 : mars, mai, août et novembre 2011). Convention AEL-LEA/Vale-Nc n°C2445, 30 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^{er} semestre 2011). Convention AEL-LEA/Vale-Nc n°C2445, 73 p.

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES STATIONS DE PRELEVEMENT St15 ET St16.	9
FIGURE 2 : HEURES DE PRELEVEMENTS DANS LA COLONNE D'EAU ET MAREGRAMMES DES CAMPAGNES TRIMESTRIELLES DE MARS ET AVRIL 2011.	12
FIGURE 3 : HEURES DE PRELEVEMENTS DANS LA COLONNE D'EAU ET MAREGRAMMES DES CAMPAGNES TRIMESTRIELLES D'AOÛT ET OCTOBRE 2011.....	12
FIGURE 4 : PROFILS DE TEMPERATURE (°C) ET SALINITE (‰) DE LA STATION St16 AUX CAMPAGNES DE MARS, AVRIL, AOÛT ET OCTOBRE 2011.	16
FIGURE 5 : PROFILS DE FLUORESCENCE (MG.M ⁻³) ET TURBIDITE (NTU) DE LA STATION St16 AUX CAMPAGNES DE MARS, AVRIL, AOÛT ET OCTOBRE 2011.	16
FIGURE 6 : PROFILS DE TEMPERATURE (°C) ET SALINITE (‰) DE LA STATION St15 AUX CAMPAGNES DE MARS, AOÛT ET OCTOBRE 2011.	18
FIGURE 7 : PROFILS DE FLUORESCENCE (MG.M ⁻³) ET TURBIDITE (NTU) DE LA STATION St15 AUX CAMPAGNES DE MARS, AOÛT ET OCTOBRE 2011.....	19
FIGURE 8 : CONCENTRATION DES MES DE LA STATION St16 AUX TROIS NIVEAUX DE PROFONDEUR ECHANTILLONNEES (S = SURFACE ; M = MI-PROFONDEUR ; F = FOND) LORS DES CAMPAGNES DE MARS, AVRIL, AOÛT ET OCTOBRE 2011.	21
FIGURE 9 : CONCENTRATION DES MES DE LA STATION St15 AUX TROIS NIVEAUX DE PROFONDEUR ECHANTILLONNEES (S = SURFACE ; M = MI-PROFONDEUR ; F = FOND) LORS DES CAMPAGNES DE MARS, AOÛT ET OCTOBRE 2011.	21
FIGURE 10 : CONCENTRATION DES CARBONATES DE LA STATION St16 AUX TROIS NIVEAUX DE PROFONDEUR ECHANTILLONNEES (S = SURFACE ; M = MI-PROFONDEUR ; F = FOND) LORS DES CAMPAGNES DE MARS, AVRIL, AOÛT ET OCTOBRE 2011.	22
FIGURE 11 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS DE Cr(VI) ET Cr TOTAL A LA STATION St16 AUX TROIS NIVEAUX DE PROFONDEUR ECHANTILLONNEES (S = SURFACE ; M = MI-PROFONDEUR ; F = FOND) LORS DES CAMPAGNES DE MARS, AVRIL, AOÛT ET OCTOBRE 2011.	23
FIGURE 12 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS DE Co ET Cu A LA STATION St16 AUX TROIS NIVEAUX DE PROFONDEUR ECHANTILLONNEES (S = SURFACE ; M = MI-PROFONDEUR ; F = FOND) LORS DES CAMPAGNES DE MARS, AVRIL, AOÛT ET OCTOBRE 2011 (<LQ = VALEURS INFERIEURES AUX LIMITES DE QUANTIFICATION).	24
FIGURE 13 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS DE Mn ET Ni A LA STATION St16 AUX TROIS NIVEAUX DE PROFONDEUR ECHANTILLONNEES (S = SURFACE ; M = MI-PROFONDEUR ; F = FOND) LORS DES CAMPAGNES DE MARS, AVRIL, AOÛT ET OCTOBRE 2011 (Nd = VALEURS NON DETERMINEES).....	24
FIGURE 14 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS DE Zn A LA STATION St16 AUX TROIS NIVEAUX DE PROFONDEUR ECHANTILLONNEES (S = SURFACE ; M = MI-PROFONDEUR ; F = FOND) LORS DES CAMPAGNES DE MARS, AVRIL, AOÛT ET OCTOBRE 2011 (Nd = VALEURS NON DETERMINEES).....	24
FIGURE 15 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS DE Cr(VI) ET Cr TOTAL A LA STATION St15 AUX TROIS NIVEAUX DE PROFONDEUR ECHANTILLONNEES (S = SURFACE ; M = MI-PROFONDEUR ; F = FOND) LORS DES CAMPAGNES DE MARS, AOÛT ET OCTOBRE 2011.	25
FIGURE 16 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS DE Co ET Cu A LA STATION St15 AUX TROIS NIVEAUX DE PROFONDEUR ECHANTILLONNEES (S = SURFACE ; M = MI-PROFONDEUR ; F = FOND) LORS DES CAMPAGNES DE MARS, AOÛT ET OCTOBRE 2011 (<LQ = VALEURS INFERIEURES AUX LIMITES DE QUANTIFICATION).	26
FIGURE 17 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS DE Mn ET Ni A LA STATION St15 AUX TROIS NIVEAUX DE PROFONDEUR ECHANTILLONNEES (S = SURFACE ; M = MI-PROFONDEUR ; F = FOND) LORS DES CAMPAGNES DE MARS, AOÛT ET OCTOBRE 2011 (Nd = VALEURS NON DETERMINEES).....	26
FIGURE 18 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS DE Zn A LA STATION St15 AUX TROIS NIVEAUX DE PROFONDEUR ECHANTILLONNEES (S = SURFACE ; M = MI-PROFONDEUR ; F = FOND) LORS DES CAMPAGNES DE MARS, AOÛT ET OCTOBRE 2011 (Nd = VALEURS NON DETERMINEES).....	26
FIGURE 19 : CUMULS DES PRECIPITATIONS AVANT LES CAMPAGNES (5 JOURS AVANT) ET PENDANT LES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT EFFECTUEES ENTRE 2007 ET 2011 A LA STATION St16.....	28

FIGURE 20 : CONCENTRATIONS DE CO MESUREES A LA STATION St16 (S = SURFACE ; M = MI-PROFONDEUR ; F = FOND) LORS DES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT REALISEES ENTRE 2007 ET 2011 (TRAIT ROUGE CONTINU : BRUIT DE FOND GEOCHIMIQUE MOYEN ; TRAIT DISCONTINU VERT : BORNES INFERIEURES ET SUPERIEURES DU BRUIT DE FOND GEOCHIMIQUE MOYEN).	29
FIGURE 21 : 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 2011 (TRAIT ROUGE CONTINU : BRUIT DE FOND GEOCHIMIQUE MOYEN ; TRAIT DISCONTINU VERT : BORNES INFERIEURES ET SUPERIEURES DU BRUIT DE FOND GEOCHIMIQUE MOYEN).	29
FIGURE 22 : CONCENTRATIONS DE MN MESUREES A LA STATION St16 (S = SURFACE ; M = MI-PROFONDEUR ; F = FOND) LORS DES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT REALISEES ENTRE 2007 ET 2011 (TRAIT ROUGE CONTINU : BRUIT DE FOND GEOCHIMIQUE MOYEN ; TRAIT DISCONTINU VERT : BORNES INFERIEURES ET SUPERIEURES DU BRUIT DE FOND GEOCHIMIQUE MOYEN).	30
FIGURE 23 : CONCENTRATIONS DE Ni MESUREES A LA STATION St16 (S = SURFACE ; M = MI-PROFONDEUR ; F = FOND) LORS DES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT REALISEES ENTRE 2007 ET 2011 (TRAIT ROUGE CONTINU : BRUIT DE FOND GEOCHIMIQUE MOYEN ; TRAIT DISCONTINU VERT : BORNES INFERIEURES ET SUPERIEURES DU BRUIT DE FOND GEOCHIMIQUE MOYEN).	30
FIGURE 24 : CONCENTRATIONS DE CU MESUREES A LA STATION St16 (S = SURFACE ; M = MI-PROFONDEUR ; F = FOND) LORS DES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT REALISEES ENTRE 2007 ET 2011 (TRAIT ROUGE CONTINU : BRUIT DE FOND GEOCHIMIQUE MOYEN ; TRAIT DISCONTINU VERT : BORNES INFERIEURES ET SUPERIEURES DU BRUIT DE FOND GEOCHIMIQUE MOYEN).	31
FIGURE 25 : CUMULS DES PRECIPITATIONS AVANT LES CAMPAGNES (5 JOURS AVANT) ET PENDANT LES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT EFFECTUEES ENTRE 2007 ET 2011 A LA STATION St15 (ENCADRE DISCONTINU ORANGE : CUMUL DES PRECIPITATIONS MAXIMALES (2) ; ENCADRE CONTINU ROUGE : FUITE D'ACIDE D'AVRIL 2009).	32
FIGURE 26 : CONCENTRATIONS DE CO MESUREES A LA STATION St15 (S = SURFACE ; M = MI-PROFONDEUR ; F = FOND) LORS DES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT REALISEES ENTRE 2007 ET 2011 (TRAIT ROUGE CONTINU : BRUIT DE FOND GEOCHIMIQUE MOYEN ; TRAIT CONTINU VERT : BORNES INFERIEURES ET SUPERIEURES DU BRUIT DE FOND GEOCHIMIQUE MOYEN ; ENCADRE CONTINU ROUGE : FUITE D'ACIDE D'AVRIL 2009).	33
FIGURE 27 : 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 2011 (TRAIT ROUGE CONTINU : BRUIT DE FOND GEOCHIMIQUE MOYEN ; TRAIT CONTINU VERT : BORNES INFERIEURES ET SUPERIEURES DU BRUIT DE FOND GEOCHIMIQUE MOYEN ; CONTINU ROUGE : FUITE D'ACIDE D'AVRIL 2009).	33
FIGURE 28 : CONCENTRATIONS DE MN MESUREES A LA STATION St15 (S = SURFACE ; M = MI-PROFONDEUR ; F = FOND) LORS DES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT REALISEES ENTRE 2007 ET 2011 (TRAIT ROUGE CONTINU : BRUIT DE FOND GEOCHIMIQUE MOYEN ; TRAIT CONTINU VERT : BORNES INFERIEURES ET SUPERIEURES DU BRUIT DE FOND GEOCHIMIQUE MOYEN ; CONTINU ROUGE : FUITE D'ACIDE D'AVRIL 2009).	34
FIGURE 29 : CONCENTRATIONS DE Ni MESUREES A LA STATION St15 (S = SURFACE ; M = MI-PROFONDEUR ; F = FOND) LORS DES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT REALISEES ENTRE 2007 ET 2011 (TRAIT ROUGE CONTINU : BRUIT DE FOND GEOCHIMIQUE MOYEN ; TRAIT CONTINU VERT : BORNES INFERIEURES ET SUPERIEURES DU BRUIT DE FOND GEOCHIMIQUE MOYEN ; CONTINU ROUGE : FUITE D'ACIDE D'AVRIL 2009).	34
FIGURE 30 : CONCENTRATIONS DE CU MESUREES A LA STATION St15 (S = SURFACE ; M = MI-PROFONDEUR ; F = FOND) LORS DES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT REALISEES ENTRE 2007 ET 2011 (TRAIT ROUGE CONTINU : BRUIT DE FOND GEOCHIMIQUE MOYEN ; TRAIT CONTINU VERT : BORNES INFERIEURES ET SUPERIEURES DU BRUIT DE FOND GEOCHIMIQUE MOYEN ; CONTINU ROUGE : FUITE D'ACIDE D'AVRIL 2009).	35

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : QUANTITE DE PRECIPITATIONS QUOTIDIENNES, 5 JOURS AVANT ET PENDANT (EN GRISE) LES 4 CAMPAGNES DE PRELEVEMENTS TRIMESTRIELLES 2011.....	11
TABLEAU 2 : MINIMUM, MAXIMUM ET MOYENNES DES VALEURS DE TEMPERATURE, SALINITE, FLUORESCENCE ET TURBIDITE DE LA STATION ST16 LORS DES CAMPAGNES TRIMESTRIELLES DE MARS, AVRIL, AOÛT ET OCTOBRE 2011.	15
TABLEAU 3 : MINIMUM, MAXIMUM ET MOYENNES DES VALEURS DE TEMPERATURE, SALINITE, FLUORESCENCE ET TURBIDITE DE LA STATION ST15 LORS DES LA CAMPAGNE TRIMESTRIELLE D'OCTOBRE 2011.	18

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Méthodologie

Annexe 2 : concentrations des éléments majeurs, de la MES, alcalinité totale et pH

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

ANNEXE 1

METHODOLOGIE

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⁻¹, une série d'acquisition est générée tous les 25 cm environ.

Les paramètres de la sonde CTD et leurs spécifications (Tableau 1) 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 néphélométrie exprimée en NTU (Nephelometric Turbidity Unit) ;
- La fluorescence *in-vivo*, exprimée en mg.m⁻³, permet d'estimer la concentration en pigments chlorophylliens (capteurs Wet labs).

Tableau 1 : Spécifications des paramètres de la sonde

Paramètres	Gamme	Précision initiale	Résolution
Conductivité (S.m ⁻¹)	0 - 9	0,0005	0,0007
Température (°C)	-5 à +35	0,005	0,0001
Pression (db)	0 - 350	0,35	0,007
Turbidité (NTU)	0 - 25	NA*	0,01
Fluorescence (µg.L ⁻¹ Chl)	0 - 50	NA*	0,025

Eléments majeurs, pH et matière en suspension

Un sous-échantillonnage à partir des prélèvements en bouteilles Niskin a été effectué pour :

- Les dosages des ions Mg ont été effectués par analyse directe à l'ICP-OES après dilution (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy, marque Varian, modèle Vista) ;
- Les dosages des sulfates ont été réalisés par chromatographie ionique capillaire (Waters, CIA) ;
- La mesure du pH (pHmètre WTW) ;
- L'évaluation de charge en MEST. Celle-ci a été obtenue après filtration d'un volume connu d'échantillon et la pesée du filtre (Nuclepore de 0,45 µm de porosité).

Le flaconnage utilisé pour le stockage des prélèvements d'eau est en PEHD et les échantillons ont été conservés au froid (4 °C) jusqu'à leur analyse de retour au laboratoire.

Carbonates (Station St16)

Un sous-échantillonnage à partir des prélèvements en bouteilles Niskin a été effectué pour le dosage des carbonates.

La méthode utilisée est adaptée de celle Anderson & Robinson (1946). Elle consiste à effectuer un dosage potentiométrique de l'alcalinité totale à partir d'une titration de l'eau de mer par un acide fort (HCl, 0,1N).

Le flaconnage utilisé est en PEHD et les échantillons ont été conservés au froid (4°C) jusqu'à leur analyse.

Analyse des hydrocarbures totaux

Des sous-échantillons ont été collectés à partir des prélèvements en bouteilles General Oceanics, modèle Go-Flo (Coating interne en Teflon®). Les eaux ont été conditionnées dans des flacons en verre afin d'éviter tout contact prolongé avec des matières plastiques pouvant induire une contamination potentielle. L'analyse des hydrocarbures totaux s'est effectuée soit par norme NF T90-203 ou bien DIN EN ISO 9377-2.

La définition de l'indice en hydrocarbure dissous revient au dosage des hydrocarbures des chaînes carbonées comprises entre C10 et C40 par chromatographie gazeuse (GC/FID). Cette méthode permet de doser 0,1 mg/l d'hydrocarbures (elle est cependant moins sensible que l'ancienne norme NF T90-114 utilisant la méthode au CCl₄ aujourd'hui interdite en raison de la très haute toxicité du solvant organique). Les analyses ont été confiées au laboratoire : Micropolluants Technologie S.A., Thionville, France.

Analyse des métaux dissous dans la colonne d'eau

Conditionnement et analyse

Pour chacune campagnes semestrielle (mars et août 2010) et trimestrielles (mai et novembre 2010), les échantillons ont été prélevés en double.

Les échantillons du premier lot ont été directement filtrés à 0,45 µm 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 métaux ont ensuite été élués de la résine par lavage des colonnes à l'acide nitrique (2M) et analysés par ICP-OES (Marque Varian, modèle Vista). Les dosages ont été réalisés aux longueurs d'ondes suivantes : Cd 226,502 ; Co 230,786 ; Cu 324,754 ; Fe 238,204 ; Mn 257,610 ; Ni 231,604 ; Pb 217,000 ; Zn 206,200.

Les échantillons du deuxième lot ont été filtrés à 0,45 µm en ligne (filtres Millipore, qualité HA, pré-lavés) et ont été analysés par voltamétrie pour le dosage du couple Cr/CrVI. La voltamétrie est une technique électrochimique qui permet de mesurer le comportement du potentiel à l'électrode de surface. Le potentiel varie de manière systématique causant la réduction ou l'oxydation des espèces chimiques électro-actives à l'électrode. Les pics obtenus sont proportionnels à la concentration des espèces métalliques labiles.

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. Les limites de quantification de cinq métaux analysés sont regroupées dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Résultats d'analyse des échantillons certifiés TM-26,3 et TMDA-61.

Elément	TM-26.3 ($\mu\text{g.L}^{-1}$)		TMDA-61 ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	
	Valeur déterminée		Valeur déterminée	
	(n=3)	Valeur certifiée	(n=3)	Valeur certifiée
Co	$9,3 \pm 0,3$	$8,1 \pm 1$	$73,0 \pm 0,8$	$62,9 \pm 5,8$
Fe	$19,3 \pm 0,2$	$21 \pm 3,6$	$83,2 \pm 0,2$	$81,1 \pm 10,1$
Mn	$18,9 \pm 0,1$	$17 \pm 1,4$	$84,7 \pm 0,3$	$74,8 \pm 7,3$
Ni	$13,9 \pm 0,3$	$10,2 \pm 1,3$	$67,6 \pm 0,4$	$58,7 \pm 6,4$
Zn	$46,2 \pm 0,12$	39	$83,1 \pm 0,7$	$71,3 \pm 8,7$

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

Elément	LQ ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
Co	0,012
Fe	0,011
Mn	0,011
Ni	0,012

La validation des résultats d'analyse issus de la chaîne de traitement sur lit de résine a été effectuée avec un échantillon certifié (SLEW) conditionné de manière identique aux eaux prélevées (Tableau 4). L'analyse a été effectuée le 30 Janvier 2012.

Tableau 4 : Résultats d'analyses des échantillons de référence SLEW.

Elément	SLEW ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	
	Valeur déterminée (n=2)	Valeur certifiée
Co	0,044	$0,042 \pm 0,01$
Cu	1,54	$1,55 \pm 0,12$
Mn	1,92	$1,61 \pm 0,22$
Ni	1,17	$1,23 \pm 0,07$
Zn	0,29	$0,20 \pm 0,04$

ANNEXE 2

CONCENTRATIONS DES ELEMENTS MAJEURS, DE LA MES, ALCALINITE TOTALE ET PH

Concentrations des éléments majeurs (Mg^{2+} et SO_4^{2-}), de la MES, alcalinité totale et pH de la station St16 échantillonnée lors des campagnes de mars, avril, août et octobre 2011 et de la station St15 échantillonnée lors de la campagne de mars, août et octobre 2011. Niveaux de prélèvements : S = surface +3m ; M = mi-profondeur ; F = fond -3m. <LQ = Valeur inférieure à la limite de quantification. Nd = Valeur non déterminée. (*) Triplicats.

Station St16

Campagne	Niveau	pH	MES (mg.L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ (mg.L ⁻¹)	Mg ²⁺ (mg.L ⁻¹)	Alcalinité total (meq.L ⁻¹)
Mars	S	8,20	0,24	2545	1299	2,10
	M	8,19	0,20	2547	1299	2,29
	F	8,20	0,36	2618	1332	2,31
Avril	S	Nd	0,36	2621	1301	2,16
	M	Nd	0,22	2154	1350	2,31
	F	Nd	1,86	2217	1298	2,37
Août	S	8,33	0,30	2737	1598	2,17 ± 0,06*
	M	8,32	0,25	2637	1727	2,20
	F	8,30	0,41	2806	1668	2,30
Octobre	S	8,17	0,31	2855	1361	2,30 ± 0,02*
	M	8,18	0,40	2888	1402	2,28
	F	8,18	0,39	2910	1420	2,30

Station St15

Campagne	Niveau	pH	MES (mg.L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ (mg.L ⁻¹)	Mg ²⁺ (mg.L ⁻¹)
Mars	S	8,21	0,32	2077	1321
	M	8,20	0,20	2143	1349
	F	8,19	0,42	2279	1347
Août	S	8,32	0,32	2532	1481
	M	8,32	0,60	2535	1898
	F	8,31	0,36	2456	1358
Octobre	S	8,14	0,57	2909	1377
	M	8,16	0,41	2886	1341
	F	8,16	0,64	2819	1362

ANNEXE 3

CONCENTRATIONS DES MÉTAUX DISSOUS DANS LA COLONNE D'EAU

Concentrations des métaux dissous (Co, Cr(VI), Cr total, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn) de la station St16 échantillonnée lors des campagnes de mars, avril, août et octobre 2011 et de la station St15 échantillonnée lors des campagnes de mars, août et octobre 2011. Niveaux de prélèvements : S = surface +3m ; M = mi-profondeur ; F = fond -3m. <LQ = Valeur inférieure à la limite de quantification. Nd = Valeur non déterminée.

Station St16

Campagne	Niveau	Co ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Cr(VI) ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Cr tot ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Cu ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Mn ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Ni ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Zn ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
Mars	S	0,14	1,03	1,28	0,05	0,84	1,29	0,33
	M	0,02	0,16	0,53	<LQ	0,06	0,11	0,05
	F	0,01	0,13	0,32	<LQ	0,01	0,06	Nd
Avril	S	0,02	0,28	Nd	<LQ	Nd	Nd	Nd
	M	0,02	0,17	Nd	<LQ	0,01	0,02	Nd
	F	0,02	0,19	Nd	<LQ	0,03	0,02	Nd
Mai	S	0,05	0,21	0,23	0,03	0,40	0,41	0,19
	M	0,03	0,14	0,18	0,05	0,22	0,3	0,17
	F	0,07	0,16	0,24	0,02	0,35	0,46	Nd
Octobre	S	0,02	0,16	0,17	0,11	0,07	0,15	0,06
	M	0,05	0,14	0,15	0,03	0,26	0,35	0,16
	F	0,04	0,17	0,22	0,04	0,21	0,30	0,42

Station St15

Campagne	Niveau	Co ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Cr(VI) ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Cr tot ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Cu ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Mn ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Ni ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Zn ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
Mars	S	0,17	1,22	1,86	0,05	1,00	1,44	0,33
	M	0,04	0,18	0,28	0,02	0,33	0,25	0,15
	F	0,25	0,19	0,32	0,01	4,16	0,91	0,33
Août	S	0,11 $\pm$ 0,01	0,20 $\pm$ 0,03	0,26 $\pm$ 0,03	0,03 $\pm$ 0,01	0,72 $\pm$ 0,02	0,54 $\pm$ 0,02	0,24 $\pm$ 0,15
	M	0,05 $\pm$ 0,01	0,14 $\pm$ 0,01	0,17 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,01	0,31 $\pm$ 0,01	0,36 $\pm$ 0,01	0,11 $\pm$ 0,11
	F	0,06 $\pm$ 0,01	0,13 $\pm$ 0,01	0,20 $\pm$ 0,03	0,03 $\pm$ 0,01	0,62 $\pm$ 0,01	0,41 $\pm$ 0,01	0,15 $\pm$ 0,06
Octobre	S	0,08	0,18	0,27	0,08	0,47	0,45	0,20
	M	0,04	0,18	0,29	0,03	0,23	0,34	Nd
	F	0,07	0,15	0,21	0,02	0,46	0,40	0,21