

Diffusion :

1 Original
 1 Original Informatique
 1 Copie conforme
 1 Original

Le Nickel S.L.N
 Le Nickel S.L.N
 Le Nickel S.L.N
 ARCHIVES SOPRONER

DEPARTEMENT ENVIRONNEMENT

RAPPORT

43 pages de texte et 145 pages d'annexe

**Plan de surveillance du milieu marin dans la
 Grande Rade de Nouméa**

-

Suivi milieu marin SLN 2007 / 2008

N° DOSSIER	DATE	CHARGE D'AFFAIRES
A001-07029-0001	juillet 2009	Nicolas GUIGUIN

Le système qualité de GINGER SOPRONER est certifié ISO 9001-2008 par





LE NICKEL - SLN

**SUIVI DU MILIEU MARIN SLN
CAMPAGNE 2008**



Juin 2009
Dossier n° A001.07029.0001

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION.....	5
1.1 CONTEXTE.....	5
1.2 PROJET D'ARRETE ET AMENAGEMENTS.....	5
1.2.1 <i>Projet d'arrêté ICPE pour Doniambo</i>	5
1.2.2 <i>Aménagements de l'arrêté</i>	8
2. PRESENTATION DES POINTS D'ECHANTILLONNAGE.....	9
2.1 STATION 01.....	9
2.2 STATION 12.....	9
2.3 STATION 22.....	10
2.4 STATION 33.....	11
3. DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE DE 2008.....	12
3.1 SUIVI DE LA QUALITE DES EAUX.....	12
3.1.1 <i>Protocole</i>	12
3.1.2 <i>Prélèvements d'eau et conditions</i>	13
3.2 SUIVI DE LA QUALITE DES SEDIMENTS.....	13
3.2.1 <i>Protocole</i>	13
3.2.2 <i>Prélèvements de sédiments</i>	13
3.3 EVALUATION ET SUIVI DE LA CONTAMINATION METALLIQUE DE LA GRANDE RADE PAR TRANSPLANTATION DE BIOINDICATEURS.....	15
3.3.1 <i>Objectif de l'étude</i>	15
3.3.2 <i>Intérêt des Bioaccumulateurs pour l'évaluation de la contamination chimique du milieu marin</i>	15
3.3.3 <i>Intérêt de la méthode de biosurveillance active par transplantation</i>	15
3.3.4 <i>Matériel et Méthodes</i>	16
4. RESULTATS ET DISCUSSION.....	22
4.1 SUIVI DE LA QUALITE DES EAUX.....	22
4.1.1 <i>Evolution chronologique des paramètres de suivi</i>	22
4.1.2 <i>Evolution des paramètres de suivi en fonction des stations</i>	27
4.2 SUIVI DE LA QUALITE DES SEDIMENTS.....	33
4.3 SUIVI DE LA CONTAMINATION METALLIQUE DANS LES BIOINDICATEURS.....	38
4.3.1 <i>Niveaux des concentrations en métaux chez les bivalves transplantés</i>	38
4.3.2 <i>Variabilité des concentrations entre les diverses stations après transplantation</i>	38
4.3.3 <i>Comparaison des concentrations entre les campagnes 2007 et 2008</i>	39
4.3.4 <i>Etude de la croissance pondérale des bivalves transplantés</i>	40
4.4 DISCUSSION.....	41
4.4.1 <i>Suivi de la qualité des eaux et des sédiments</i>	41
4.4.2 <i>Bioaccumulation des métaux</i>	42
5. CONCLUSIONS - PERSPECTIVES.....	43

LISTE DES TABLEAUX, FIGURES ET ANNEXES

LISTE DES TABLEAUX

Tableau n°1	Coordonnées des stations définies dans le projet d'arrêté
Tableau n°2	Fréquences d'échantillonnage pour les prélèvements d'eau définies dans le projet d'arrêté
Tableau n°3	Fréquences d'échantillonnage pour les organismes tests et les sédiments définies dans le projet d'arrêté
Tableau n°4	Coordonnées GPS (système WGS 84 / RGNC 1991) des six stations de l'étude de transplantation (Maa LV : station de référence pour les algues ; Maa II : station de référence pour les bivalves).

LISTE DES FIGURES

Figure n°1	Localisation des points d'échantillonnage définis dans le projet d'arrêté ICPE de Doniambo
Figure n°2	Fond de vase criblé de trous d'organismes fouisseurs
Figure n°3	<i>Arothron manilensis</i> sur fond de vase
Figure n°4	Cérianthe sur fond détritique
Figure n°5	Fond à dominance détritique recouvert d'une pellicule de particules fines
Figure n°6	Corail champignon (<i>Fungidae</i>) sur les débris
Figure n°7	Fond de vase sableux très uniforme
Figure n°8	Trous d'organismes fouisseurs
Figure n°9	Blocs épars sur fonds sablo-vaseux
Figure n°10	<i>Remora remora</i>
Figure n°11	Eponge <i>Clathrina sp.</i> sur la cage d'expérimentation
Figure n°12	Echantillonneur 5 litres pour les prélèvements d'eau.
Figure n°13	Photographies des espèces bioaccumulatrices sélectionnées : le bivalve <i>Isognomon isognomon</i> et l'algue brune <i>Lobophora variegata</i> .
Figure n°14	Marquage et pesée des bivalves à transplanter.
Figure n°15	Distribution des poids frais totaux des bivalves récoltés en Baie Maa.
Figure n°16	Photographie d'une cage contenant les organismes transplantés.
Figure n°17	Photographies d'un spécimen marqué sans épibiose en fin d'expérience (cage P33) et de deux spécimens recouverts d'organismes encroûtants recouvrant le marquage (cage P01).
Figure n°18	Résultats sur les eaux de la station D33 SS
Figure n°19	Résultats sur les eaux de la station D33 MP
Figure n°20	Résultats sur les eaux de la station D33 F
Figure n°21	Résultats sur les eaux de la station D22 SS
Figure n°22	Résultats sur les eaux de la station D22 MP
Figure n°23	Résultats sur les eaux de la station D22 F
Figure n°24	Résultats sur les eaux de la station D12 SS
Figure n°25	Résultats sur les eaux de la station D12 MP

Figure n°26	Résultats sur les eaux de la station D12 F
Figure n°27	Résultats sur les eaux de la station D01 SS
Figure n°28	Résultats sur les eaux de la station D01 F
Figure n°29	Teneurs en Chrome observées sur les stations de suivi en sub-surface
Figure n°30	Teneurs en Chrome observées sur les stations de suivi à mi profondeur
Figure n°31	Teneurs en Chrome observées sur les stations de suivi au fond
Figure n°32	Teneurs en Manganèse observées sur les stations de suivi en sub-surface
Figure n°33	Teneurs en Manganèse observées sur les stations de suivi à mi profondeur
Figure n°34	Teneurs en Manganèse observées sur les stations de suivi au fond
Figure n°35	Teneurs en Nickel observées sur les stations de suivi en sub-surface
Figure n°36	Teneurs en Nickel observées sur les stations de suivi à mi profondeur
Figure n°37	Teneurs en Nickel observées sur les stations de suivi au fond
Figure n°38	Teneurs en Zinc observées sur les stations de suivi en sub-surface
Figure n°39	Teneurs en Zinc observées sur les stations de suivi à mi profondeur
Figure n°40	Teneurs en Zinc observées sur les stations de suivi au fond
Figure n°41	Teneurs en COT observées sur les stations de suivi en sub-surface
Figure n°42	Teneurs en COT observées sur les stations de suivi à mi profondeur
Figure n°43	Teneurs en COT observées sur les stations de suivi au fond
Figure n°44	Evolution de la teneur en Chrome dans les sédiments de la Grande Rade de Nouméa (D33 à D01).
Figure n°45	Evolution de la teneur en Cuivre dans les sédiments de la Grande Rade de Nouméa (D33 à D01).
Figure n°46	Evolution de la teneur en Nickel dans les sédiments de la Grande Rade de Nouméa (D33 à D01).
Figure n°47	Evolution de la teneur en Plomb dans les sédiments de la Grande Rade de Nouméa (D33 à D01).
Figure n°48	Evolution de la teneur en Zinc dans les sédiments de la Grande Rade de Nouméa (D33 à D01).
Figure n°49	Evolution de la teneur en Cobalt dans les sédiments de la Grande Rade de Nouméa (D33 à D01).
Figure n°50	Evolution de la teneur en Manganèse dans les sédiments de la Grande Rade de Nouméa (D33 à D01).
Figure n°51	Variabilité des concentrations moyennes en métaux mesurées dans les chairs entières du bivalve <i>Isognomon isognomon</i> à chaque station.
Figure n°52	Comparaison des concentrations mesurées à chaque station lors des deux campagnes de transplantation (2007/2008).
Figure n°53	Comparaison du poids frais total moyen des lots avant (Ti) et après (Tf) transplantation sur chaque station
Figure n°54	Evolution du taux de croissance moyen journalier selon la station.

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I	Détail des conditions d'intervention des missions de prélèvements
ANNEXE II	Résultats bruts sur la qualité des eaux des 4 stations de suivi
ANNEXE III	Résultats bruts sur la qualité des eaux de la station de référence
ANNEXE IV	Résultats bruts sur la qualité des sédiments des 4 stations de suivi
ANNEXE V	Résultats bruts sur la qualité des sédiments de la station de référence

1. INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE

Dans le cadre du projet d'arrêté ICPE pour Doniambo, la SLN a missionné SOPRONER pour mettre en place un protocole de surveillance du milieu marin dans la Grande Rade de Nouméa.

Cette campagne de 2008 a été réalisée par la société SOPRONER avec l'appui du consultant O.E.T (Observatoire des Environnements Tropicaux) pour la partie bioaccumulation des métaux. Ce rapport présente la méthodologie mise en œuvre ainsi que les résultats obtenus suite à la deuxième campagne conduite en 2008.

1.2 PROJET D'ARRETE ET AMENAGEMENTS

1.2.1 Projet d'arrêté ICPE pour Doniambo

Dans la version de fin 2006 du projet d'arrêté ICPE, l'art 11.2.1 demande d'établir « une surveillance du milieu marin autour du rejet des effluents de l'usine [...] au minimum sur les 5 stations de mesures suivantes » :

Tableau n°1 : Coordonnées des stations définies dans le projet d'arrêté

P00	166° 25',36 E	22° 15',7 S
P01	166° 26',48 E	22° 15',7 S
P12	166° 24',98 E	22° 15',24 S
P22	166° 23',85 E	22° 14',6 S
P33	166° 22',53 E	22° 13',95 S
M03	166° 21',17 E	22° 15',41 S

Le projet d'arrêté ne mentionnant pas le référentiel géographique de ces coordonnées, nous en sommes arrivés à considérer le système RGNC 1991 comme celui utilisé par le service instructeur. En utilisant ce référentiel, les stations d'études sont localisables sur la figure page suivante.

Sauf erreur de notre part, la station P00 se situe donc à terre sur la presqu'île de Ducos. La station M03 est définie par la DIMENC comme station de référence.

Le projet d'arrêté mentionne en Annexe VIII que « la surveillance de la qualité physico-chimique de l'eau de mer est réalisée selon les stations de surveillance, les paramètres, les profondeurs et les fréquences suivantes »:

Tableau n°2 : Fréquences d'échantillonnage pour les prélèvements d'eau définies dans le projet d'arrêté

Stations	Paramètres		
	Température	COT	Métaux (Cr, Cu, Zn, Mn, Ni, Pb)
Profondeurs : Subsurface Mi-profondeur Proximité du fond			
D01	mensuelle	mensuelle	mensuelle
D12	mensuelle	mensuelle	mensuelle
D22	mensuelle	mensuelle	mensuelle
D33	mensuelle	mensuelle	mensuelle
Point complémentaire	mensuelle	mensuelle	mensuelle

Dans cette même annexe, il est précisé que « la surveillance de l'accumulation des métaux dans l'environnement marin est réalisée selon les stations de surveillance, les paramètres et les fréquences suivantes » :

Tableau n°3 : Fréquences d'échantillonnage pour les organismes tests et les sédiments définies dans le projet d'arrêté

Stations	Paramètres						
	Cobalt	Chrome	Chrome hexavalent	Manganèse	Zinc	Plomb	Nickel
Organismes tests :							
Dans la faune							
Dans la flore							
Sédiments : voir note en bas de tableau							
D01	A	A	A	A	A	A	A
D12	A	A	A	A	A	A	A
D22	A	A	A	A	A	A	A
D33	A	A	A	A	A	A	A
Point complémentaire	A	A	A	A	A	A	A

(A = annuelle)

Note : méthode de prélèvements des sédiments : pièges à particules (rapport hauteur / diamètre > 8) ou bennes de volume suffisant

D'après ces éléments, il semble nécessaire d'assimiler les stations P de l'article 11.2.1 aux stations D de l'annexe VIII. Dans cette dernière, la station P00 n'est nullement mentionnée mais la notion de point complémentaire apparaît.

Concernant les organismes-tests, il est précisé, dans l'art. 11.2.1, qu'ils « devront être représentatifs pour leur sensibilité aux effets toxicologiques sur la base de leur abondance toute l'année sur le terrain ». Les deux espèces animale (bivalve) et végétale (macroalgue) utilisées dans le cadre de la campagne 2008 ont été sélectionnées sur la base de deux principaux critères écologiques et physiologiques, tous deux vérifiés lors de récents travaux de recherche conduits localement :

1. leur abondance annuelle dans la bande côtière de Nouméa. Les deux organismes sélectionnés figurent parmi les espèces les plus communément rencontrées dans les baies du Grand Nouméa. Cette abondance n'est cependant pas observée sur l'ensemble des fonds côtiers ; c'est notamment le cas des stations de suivi positionnées dans la Grande Rade, où seule l'espèce de bivalve a été trouvée sur l'une des quatre stations. La méthode de transplantation a donc été proposée, car elle permet justement de s'affranchir de la présence naturelle des espèces indicatrices sur les sites à surveiller, celles-ci étant récoltées dans un site non contaminé abritant des populations importantes.
2. leur forte capacité de bioaccumulation des métaux dans les tissus. Cette propriété permet ainsi de quantifier et de suivre dans le temps la fraction des métaux capable de pénétrer dans ces organismes, tout en simplifiant les analyses chimiques. Cependant, cette approche ne permet pas d'évaluer directement les effets toxiques susceptibles d'être provoqués par les métaux présents dans les tissus biologiques. Des travaux de recherche sont actuellement conduits dans ce domaine, afin d'établir des relations entre les concentrations en métaux dans le milieu ou dans les tissus et l'apparition d'effets délétères. L'utilisation en routine de ces espèces bioaccumulatrices en tant qu'espèces sensibles sur le plan toxicologique est donc encore prématurée. Cependant, l'évaluation des effets toxicologiques peut être réalisée selon une autre méthodologie (bioessais en laboratoire), actuellement en cours de validation dans le cadre d'un programme de recherche mené localement.

Comme stipulé dans l'Annexe VIII, « le programme de surveillance ci-dessus constitue un programme cadre devant être précisé par l'exploitant dans les conditions de l'article 13 et dans un but opérationnel ».

Pour répondre aux attentes du service instructeur et dans l'optique de vérifier la faisabilité technique du programme de l'arrêté, le suivi que nous avons réalisé en 2008 a été complet sur 4 stations D01, D12, D22 et D33 :

1. suivi de la qualité de l'eau (mensuel) ;
2. suivi de la concentration des métaux dans les sédiments (annuel) ;
3. suivi de la bioaccumulation des métaux dans deux organismes tests (faune (bivalve) et flore (algue)) (annuel).

La Société Le Nickel (S.L.N.) ayant pris les devants par rapport à la publication du nouvel arrêté, il nous est apparu plus judicieux, dans un premier temps, de nous consacrer à la mise au point du protocole de suivi sur quatre stations de mesure et une station de référence, avant d'étendre éventuellement le suivi aux cinq stations de mesures stipulées dans le projet d'arrêté.

1.2.2 Aménagements de l'arrêté

La mise en place de ce protocole et son expérimentation sur 2007/2008 a nécessité quelques aménagements du projet d'arrêté :

1. la station M03 (prévue dans l'arrêté) ne présente pas les caractéristiques biologiques et la qualité physico-chimique susceptibles de répondre à la notion de station « vierge » de tout impact anthropique. Elle a donc été remplacée par la station Baie Maa. Cette station a été retenue pour le prélèvement des espèces qui ont été introduites sur les 4 stations de suivi. Une analyse de la teneur initiale en métaux a également été réalisée sur ces espèces ;
2. les méthodologies de préparation et d'analyse ne permettent pas à l'heure actuelle d'isoler dans les organismes tests le Chrome Hexavalent du Chrome Total. De plus, afin de pouvoir faire concorder les résultats des analyses sur l'eau, les sédiments et les organismes tests, le Chrome Hexavalent a été remplacé par le Cuivre, le Chrome total restant bien entendu analysé.
3. le premier constat ayant été l'absence d'organismes accumulateurs de métaux dans la zone d'étude (hormis sur P12 où il a pu être recensé la présence de bivalves), nous vous avons proposé une méthodologie basée sur l'introduction d'organismes tests sur les stations de suivi. De façon à identifier les bioindicateurs les plus représentatifs pour leur capacité d'accumulation dans ce milieu, la mise au point du protocole a été proposée sur 2007/2008.

Par conséquent, compte tenu des conditions locales de la Grande Rade (baie fermée, rejets urbains et industriels variés...), le programme d'étude 2007/2008 que nous vous avons proposé a pour finalité de vérifier la faisabilité technique et opérationnelle du projet d'arrêté, notamment en ce qui concerne les substances susceptibles de s'accumuler dans l'environnement.

2. PRESENTATION DES POINTS D'ECHANTILLONNAGE

2.1 Station 01

Les fonds sont vaseux, très uniformes. La profondeur moyenne de la station 01 est de -5m. La vie benthique est peu présente, on observe toutefois de nombreux trous de vers marins et autres organismes fouisseurs. Un tapis très clairsemé de phanérogames marines (*Halophila decipiens*) est recensé. Malgré une visibilité très réduite (en général inférieure à 1 mètre), nous avons pu observer quelques poissons, notamment le poisson-globe pyjama (*Arothron manilensis*). Compte tenu du fort envasement de cette zone et de la faible circulation qui y règne (fond de baie), les fonds apparaissent dégradés et la sensibilité écologique de la station 01 est considérée comme faible.



Figure 2 : Fond de vase criblé de trous d'organismes fouisseurs



Figure n° 3 : Arothron manilensis sur fond de vase

2.2 Station 12

La profondeur moyenne de la station 12 est de -13m. Les fonds sont à dominance détritique, recouverts de sédiments fins sur une épaisseur de quelques millimètres à centimètres. Les débris jonchant le fond proviennent de coquillages, de roches calcaires ou de coraux (en particulier de coraux branchus de la famille des Acropores). On recense une vie relativement diversifiée, notamment ont été observés un cérianthe (sorte d'anémone), quelques coraux (Fungidae, Acropores, Montipores, Porites) et des bivalves (*Isognomon isognomon*, *Hytissa hyotis*). Compte tenu de la présence de fonds « durs » et d'un relief un peu plus marqué que sur les autres stations, la station 12 abrite un peuplement vivant plus riche que les autres stations (présence de caches, refuges et de substrats durs qui peuvent être colonisés). En revanche un taux de sédimentation important est relevé sur les substrats et dans la colonne d'eau, limitant l'installation d'une vie pérenne et florissante. Ce milieu est caractérisé par une sensibilité écologique faible.

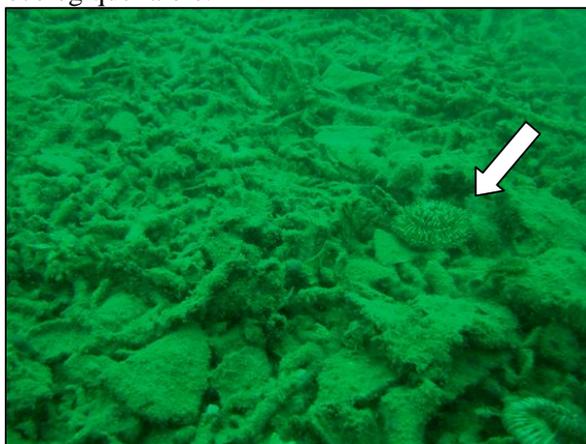


Figure n° 4 : Cérianthe sur fond détritique



Figure n° 5 : Fond à dominance détritique recouvert d'une pellicule de particules fines

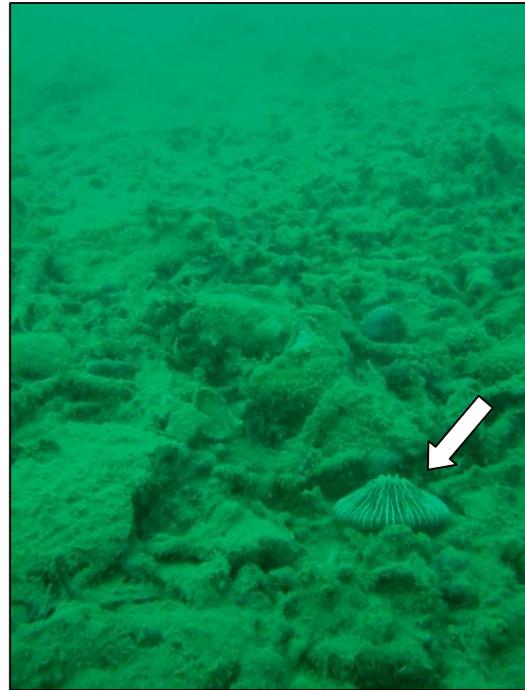


Figure n° 6 : Corail champignon (Fungidae) sur les débris

2.3 Station 22

La profondeur moyenne de la station 22 est de -18m. Les fonds sont très uniformes, il s'agit d'étendues vaso-sableuses où on observe quelques trous de vers et organismes fouisseurs. Compte tenu du fort taux d'envasement des fonds et de la quasi-absence de vie recensée, la sensibilité écologique de cette zone est considérée comme faible.



Figure n° 7 : Fond de vaso-sableux très uniforme



Figure n° 8 : Trous d'organismes fouisseurs

2.4 Station 33

La station 33 présente une profondeur moyenne de -23m. Les fonds sont sableux à sablo-vaseux, recouverts de quelques roches éparses. Les roches sont colonisées d'algues brunes et vertes, et probablement d'éponges telles que *Clathrina sp.*, celle-ci s'étant développée sur la cage au cours des mois d'expérimentation. On observe également quelques taches éparses de phanérogames marines, en particulier *Halophila decipiens* et *Halophila ovalis*. Deux carangues (*Caranx melampygos*) ont été recensées ainsi que deux remoras (*Remora remora*). Bien que nous ne les ayons pas observés lors de nos reconnaissances de terrain, cette zone est connue pour abriter des pâtés coralliens épars colonisés par des peuplements typiques des milieux turbides mais somme toute en bon état de santé. Par principe de précaution, nous classons cette zone en sensibilité écologique moyenne.



Figure n° 9 : Blocs épars sur fonds sablo-vaseux



Figure n° 10 : Remora remora



Figure n° 11 : Eponge Clathrina sp. sur la cage d'expérimentation

3. DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE DE 2008

La campagne a été organisée dès réception de la demande de la SLN. Au jour du rapport les missions suivantes ont été réalisées :

3.1 Suivi de la qualité des eaux

3.1.1 Protocole

Les prélèvements ont été réalisés à l'aide d'un échantillonneur d'eau en matériau inerte d'une capacité de 5 litres.



Figure n°12 : Echantillonneur 5 litres pour les prélèvements d'eau.

Pour chaque station (P01, P12, P22 et P33) le suivi de la qualité des eaux est effectué en sub-surface (à 3m de profondeur), mi-profondeur et au fond (à 1m avant le fond). Compte tenu de la faible profondeur de D01 (P < 6m) seuls deux prélèvements en subsurface et au fond sont réalisables.

Un prélèvement à mi-profondeur a également été réalisé le 6 février 2008 au niveau de la Baie Maa (Station Baie Maa 2 – Profondeur 3,2m – Echantillonnage à 1,5m). Il servira de référence de qualité des eaux pour le suivi sur 2007-2008.

Une fois positionnée à la profondeur recherchée, la fermeture du préleveur est déclenchée à l'aide d'un message envoyé depuis la surface.

Les échantillons d'eau ont été stabilisés (pour les métaux 0,5% HNO₃ et 0,5% H₂SO₄ pour le COT) après prélèvements, expédiés par FEDEX et analysés dans le laboratoire métropolitain EUROFINS ENVIRONNEMENT qui est de plus accrédité COFRAC.

La première campagne de 2007, a permis d'analyser les échantillons d'eau sur le Territoire au laboratoire de la Calédonienne des Eaux (CDE). Cette démarche avait été entreprise afin d'avoir une référence de résultat au niveau local et de vérifier la non dégradation des échantillons d'eau durant le transport vers la métropole.

3.1.2 Prélèvements d'eau et conditions

Au jour du rapport 12 missions de prélèvements d'eau ont été réalisées sur les 4 stations :

- Prélèvements et analyses du 20 juin 2008 – Mission juin 2008 ;
- Prélèvements et analyses du 22 juillet 2008 – Mission juillet 2008 ;
- Prélèvements et analyses du 26 août 2008 – Mission août 2008 ;
- Prélèvements et analyses du 3 octobre 2008 – Mission septembre 2008 ;
- Prélèvements et analyses du 31 octobre 2008 – Mission octobre 2008 ;
- Prélèvements et analyses du 16 décembre 2008 – Mission novembre 2008 ;
- Prélèvements et analyses du 12 janvier 2009 – Mission décembre 2008 ;
- Prélèvements et analyses du 10 février 2009 – Mission janvier 2009 ;
- Prélèvements et analyses du 3 mars 2009 – Mission février 2009 ;
- Prélèvements et analyses du 23 mars 2009 – Mission mars 2009 ;
- Prélèvements et analyses du 27 avril 2009 – Mission avril 2009 ;
- Prélèvements et analyses du 5 juin 2009 – Mission mai 2009.

Le détail des conditions d'intervention est présenté en Annexe I.

3.2 Suivi de la qualité des sédiments

3.2.1 Protocole

Afin de se rendre compte des fonds marins existants et prélever un échantillon représentatif des sédiments sur chaque station, les prélèvements ont été réalisés manuellement par un plongeur. Cet échantillonnage a été réalisé le même jour que la campagne d'immersion des cages avec les organismes tests (16 juillet 2008).

Un prélèvement de sédiment a également été réalisé le 6 février 2008 au niveau de la Baie Maa (Station Bai Maa 2 – Profondeur 3,2m). Il servira de référence de qualité des eaux pour le suivi sur 2007-2008.

Les échantillons de sédiment des 4 stations et de la station de référence ont été expédiés par FEDEX et analysés dans le laboratoire métropolitain EUROFINS ENVIRONNEMENT.

3.2.2 Prélèvements de sédiments

Au jour du rapport 1 mission de prélèvement de sédiments a été réalisée sur les 4 stations :

- Prélèvements et analyses du 16 juillet 2008 – Mission 2008.

3.3 Evaluation et suivi de la contamination métallique de la Grande Rade par transplantation de bioindicateurs

3.3.1 Objectif de l'étude

L'étude a pour objectif d'évaluer sur deux années consécutives (2007/2008), à raison d'une campagne par an, le degré de contamination métallique de l'environnement marin de la Baie de la Grande Rade (soit quatre stations disposées selon un gradient de distance du fond de baie vers la sortie de baie) grâce à l'analyse chimique de sept métaux (cobalt, chrome, cuivre, manganèse, nickel, plomb et zinc) accumulés dans les tissus d'espèces marines animales et végétales appelées « Bioindicateurs quantitatifs », ou « Bioaccumulateurs », transplantées (cages) sur chaque station à surveiller. La pertinence de certains paramètres physiologiques en tant que biomarqueurs d'effets à une contamination chez ces espèces est en outre étudiée.

Ce rapport présente les résultats de la deuxième campagne de transplantation réalisée en 2008, et les met en relation avec ceux précédemment obtenus en 2007. Deux espèces bioaccumulatrices ont été retenues pour la réalisation de cette première campagne : le bivalve *Isognomon isognomon* et l'algue brune *Lobophora variegata*.

3.3.2. Intérêt des Bioaccumulateurs pour l'évaluation de la contamination chimique du milieu marin

Les espèces bioaccumulatrices sont des espèces capables d'accumuler fortement dans leurs tissus certains métaux présents dans le milieu ambiant sous des formes biologiquement disponibles. Cette propriété permet ainsi de quantifier et de suivre dans le temps la fraction des métaux capable de pénétrer dans ces organismes (ce que les analyses chimiques totales d'eau ou de sédiments ne permettent pas d'évaluer), tout en simplifiant la réalisation des analyses. La connaissance des concentrations en métaux dans les tissus biologiques constitue en outre une première étape vers l'évaluation de la toxicité des métaux vis-à-vis de ces organismes. Celle-ci fait cependant l'objet de travaux de recherche en cours localement, et n'est donc pas validée à l'heure actuelle.

3.3.3. Intérêt de la méthode de biosurveillance active par transplantation

Bien que les espèces indicatrices utilisées pour la biosurveillance sont sélectionnées notamment sur la base de leur abondance annuelle dans la bande côtière de Nouméa (cf. § 3.3.4 a.), celle-ci n'est cependant pas observée sur l'ensemble des fonds côtiers ; c'est notamment le cas des stations de suivi positionnées dans la Grande Rade, où seule l'espèce de bivalve a été trouvée sur l'une des quatre stations. La méthode de transplantation a donc été proposée, car elle permet justement de s'affranchir de la présence naturelle de ces espèces sur les sites à surveiller, celles-ci étant récoltées dans un site non contaminé abritant des populations importantes. Cette origine commune et extérieure aux stations à surveiller des spécimens transplantés permet également d'éliminer le biais lié à l'adaptation physiologique des organismes résidents à une contamination ambiante chronique, lors des comparaisons des résultats entre les différentes stations. Cette méthode permet enfin de disposer de spécimens en quantité suffisante et de taille calibrée, ce qui favorise fortement la sensibilité et la pertinence des tests statistiques de comparaison des résultats.

3.3.4. Matériel et Méthodes

a. Choix des espèces

Les deux espèces bioindicatrices utilisées lors de cette première campagne ont été retenues sur la base de précédents travaux de recherche ayant démontré leur abondance dans les baies de Nouméa (Breau, 2003¹) ainsi que leur important potentiel de bioaccumulation de la plupart des métaux d'intérêt (Breau, 2003 ; Hédouin, 2006²).

Ces espèces sont caractéristiques des fonds de baie envasés et sont donc particulièrement adaptées aux conditions physico-chimiques susceptibles d'être rencontrées dans la Grande Rade. Une faible mortalité des spécimens transplantés est en conséquence attendue.



Figure 13 : Photographies des espèces bioaccumulatrices sélectionnées : la bivalve Isognomon isognomon et l'algue brune Lobophora variegata.

b. Récolte et étude des spécimens à transplanter

Ø Site de récolte

Deux cents cinquante bivalves ont été récoltés en plongée sous-marine dans le même site qu'en 2007 (la baie Maa) et à la même date (4-5 juillet), en faibles profondeurs. Plus d'une centaine d'algues dont les frondes mesuraient plusieurs centimètres de diamètre ont également été prélevées sur ce même site plutôt que sur celui échantillonné en 2007, situé sur le tombant externe du récif à l'entrée de la baie. Tous les spécimens récoltés ont été stockés dans des glacières remplies avec de l'eau de mer du site régulièrement agitée manuellement (pour favoriser l'oxygénation) jusqu'au retour au laboratoire.

La Baie Maa a été choisie comme site de récolte et site de référence relative en raison :

- de la présence importante de ces deux espèces, donc de leur facilité de récolte ;
- des faibles concentrations en métaux précédemment mesurées dans les tissus des deux espèces dans ce site (Breau, 2003), liées à l'absence d'apports fluviatiles, industriels ou urbains significatifs dans cette baie.

¹ **Breau L. (2003).** Etude de la bioaccumulation des métaux dans quelques espèces marines tropicales : Recherche de Bioindicateurs de contamination et application à la surveillance de l'environnement côtier dans le lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie. Thèse de Doctorat de l'Université de La Rochelle, 318 p. + annexes.

² **Hédouin L. (2006).** Caractérisation d'espèces bioindicatrices pour la surveillance des activités minières et la gestion de l'environnement en milieu récifal et lagunaire : application au lagon de Nouvelle-Calédonie. Thèse de Doctorat de l'Université de La Rochelle, 322 p.

Ø Préparation des spécimens (brossage, marquage)

Tous les bivalves récoltés ont été placés en dépuración en aquarium pendant au moins 24 h afin d'éliminer les matières ingérées, puis ont été soigneusement brossés et rincés à l'eau de mer. Les valves de chaque spécimens ont ensuite été éponnées puis marquées d'un numéro d'identification individuelle à l'aide d'un stylo correcteur (Fig. 14). Les algues ont été inspectées afin de retirer les frondes les plus petites ou abîmées ; Des lots homogènes ont ensuite été constitués, puis pesés. Chaque lot a été stocké en aquarium dans un panier plastique en attendant sa transplantation.

Ø Mesures biométriques

Tous les bivalves marqués (soit 250 spécimens) ont ensuite été immédiatement pesés (Fig. 14) afin de déterminer le poids frais total (incluant celui des chairs vivantes, de la coquille et de l'eau intérieure), puis leur longueur maximale a été mesurée au dixième de millimètre à l'aide d'un pied à coulisse. Chaque algue éponnée a également été pesée pour l'obtention du poids frais, mais n'a pas été mesurée. Tous les bivalves ont ensuite été remis en aquarium en attendant la détermination de la classe de taille à prendre en compte pour la constitution des lots (cf. paragraphe suivant). En revanche, les lots de macroalgues ont été constitués immédiatement après leur pesée, la veille de leur réimmersion.



Figure 14 : marquage et pesée des bivalves à transplanter.

Ø Préparation des lots à transplanter

De nombreux travaux de recherche ont précédemment montré l'existence de relations étroites entre les concentrations en métaux dans les chairs et la taille ou le poids de bivalves vivant dans un même site. Une comparaison pertinente de ces concentrations entre des lots de spécimens transplantés sur des stations différentes nécessite donc de réduire autant que possible la variabilité entre spécimens liée uniquement à leur taille. Ceci peut être réalisé en ne sélectionnant pour la transplantation que des bivalves de taille ou de poids proches. Dans le cas d'*Isognomon isognomon*, la morphologie de la coquille est très variable (plus ou moins courbée, longue et peu large ou bien l'inverse) et pourrait dépendre notamment des contraintes physiques imposées par le substrat sur lequel elle est fixée. Le poids frais total de l'animal vivant nous apparaît donc être une donnée plus simple à mesurer et plus représentative de la croissance des animaux pendant l'expérience, bien que de fortes variations géographiques et saisonnières existent pour cette variable. Les bivalves provenant tous du même site et ayant été récoltés le même jour, ce dernier type de variabilité entre spécimens n'intervient pas. Le poids frais total a donc été pris en compte comme critère de choix des spécimens à transplanter.

La distribution des poids frais totaux des 250 spécimens marqués a été étudiée afin de sélectionner la classe de poids à retenir pour les transplantations (Fig. 15). Cette distribution indique que 61 % des spécimens ont des poids frais totaux compris entre 8 et 19 g ; ils étaient 79 % dans cette même classe de taille en 2007.

Afin de réduire l'éventuelle variabilité des concentrations en métaux entre spécimens d'un même lot liée à la différence de taille, une classe de poids frais total plus réduite, soit de 12 à 20 g (représentant 50 % des bivalves récoltés) a été sélectionnée pour cette seconde campagne.

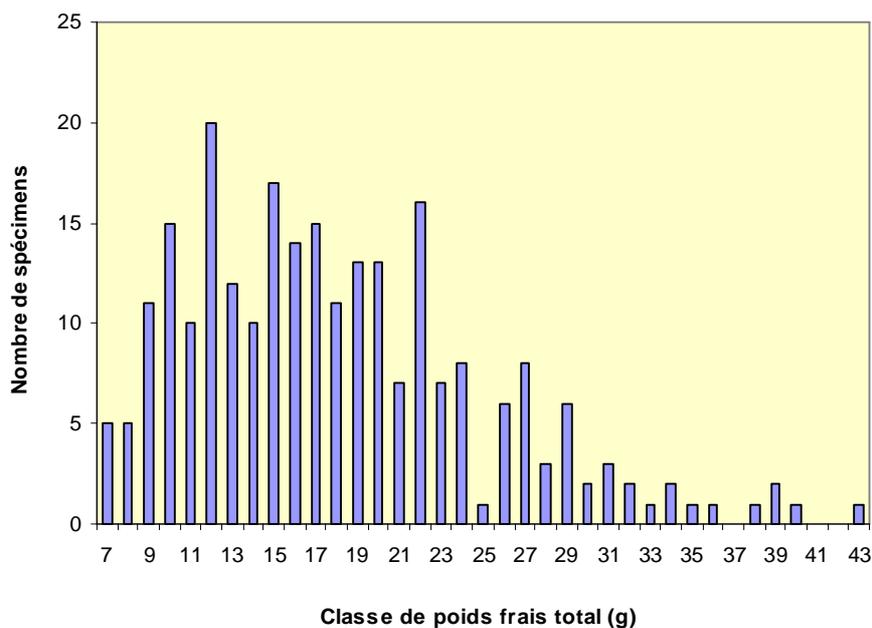


Figure 15 : Distribution des poids frais totaux des bivalves récoltés en Baie Maa.

Contrairement à la campagne 2007, lors de laquelle les lots de bivalves à transplanter ont été constitués sur le bateau juste avant la mise à l'eau des cages, les lots d'*Isognomon* ont été préparés au laboratoire avant la sortie. Bien que plus contraignante techniquement, cette méthode permet de vérifier statistiquement que les poids frais moyens des différents lots ne sont pas significativement différents avant leur immersion, afin d'éviter d'éventuels biais liés à l'influence de cette variable biométrique lors des comparaisons des concentrations en métaux en fin d'expérience. Des lots de vingt spécimens par station ont ainsi été constitués, au lieu de quinze lors de la campagne 2007.

Des tests statistiques (test de Mann-Whitney) de comparaison des poids frais totaux des différents lots entre les campagnes 2007 et 2008 indiquent que les poids frais moyens sont similaires entre les deux campagnes pour les stations Maa (référence) et P33 ; ceux-ci sont en revanche légèrement mais significativement supérieurs en 2008 aux stations P01, P12 et P22 par rapport à 2007 ($p < 0,05$).

c. Transplantation

Ø Dispositif de transplantation

Le dispositif de transplantation comprend trois éléments :

- ▼ **une cage** constituée d'un maillage en nylon soutenu par des armatures métalliques recouvertes de caoutchouc, et d'un fond en grillage plastique semi-rigide (Fig. 16) ;

- ✓ **un flotteur** en polystyrène, relié à la cage par une corde fine et permettant le maintien de la cage en pleine eau ;
- ✓ **un lest en béton** comportant un anneau de fixation pour y nouer la drisse le reliant à la cage.



Figure 16 : photographie d'une cage contenant les organismes transplantés.

Ø Immersion des cages

Une fois les lots constitués (stockés dans des glacières compartimentées remplies d'eau de mer), ceux-ci ont été transplantés en cages sur les quatre stations de suivi dans la Grande Rade (Tableau 4), ainsi qu'à la station de référence où ont été récoltés les spécimens, en baie Maa. Les cages ont été immergées aux mêmes dates (11 et 16 juillet), aux mêmes profondeurs (12 m à marée basse pour les stations P33, P22 et P12 ; 5 m, soit au fond, pour les stations Maa II et P01) et selon la méthode que lors de la campagne de 2007.

Tableau 4 : Coordonnées GPS (système WGS 84 / RGNC 1991) des six stations de l'étude de transplantation (Maa LV : station de référence pour les algues ; Maa II : station de référence pour les bivalves).

	Prof (m)	RGNC 1991 (WGS84)	
Maa II	2,5	166°20.69	22°11.82
P01	4,9	166°26.48	22°15.70
P12	13	166°24.98	22°15.24
P22	17	166°23.85	22°14.60
P33	21,5	166°22.53	22°13.95

Ø Récupération des cages

Les cages sont restées immergées pendant cinq mois, soit environ un mois de plus que lors de la campagne de 2007 afin de permettre une évaluation plus précise des éventuelles différences des taux de croissance des bivalves transplantés. L'allongement de cette durée de transplantation peut cependant influencer sur les concentrations en métaux analysées dans les chairs et doit donc être pris en compte lors des comparaisons des résultats entre les deux campagnes.

La récupération des cages et le traitement des spécimens ont été réalisés selon les mêmes protocoles qu'en 2007 (voir rapport final, campagne 2007). Comme avant la transplantation, les bivalves transplantés ont été brossés et placés en déuration dans de l'eau filtrée afin d'éliminer les matières ingérées ou retenues dans la cavité interne, puis pesés et mesurés vivants après avoir été éponnés. Les individus ont ensuite été disséqués puis les chairs entières congelées et lyophilisées. Les taux de croissance moyens journaliers pour chaque station ont été calculés selon la formule suivante :

$$\text{Taux de croissance} = ((\text{Ln Pf} - \text{Ln Pi}) \times 100) / (\text{Tf} - \text{Ti})$$

Avec Ln : logarithme népérien du poids frais total (P) ; Pi : Poids frais total avant transplantation ; Pf : poids frais total après transplantation ; Ti et Tf : dates d'immersion puis de récupération des cages.

En revanche, quasiment aucune algue n'a été retrouvée dans les cages lors de leur récupération. Les raisons de cette disparition sont inconnues et seules des hypothèses peuvent être envisagées, telles que leur mort et leur décomposition suite à une exposition trop longue ou à un épisode ponctuel de dégradation de leurs conditions de survie, ou leur broutage par des organismes de petites taille ayant pu pénétrer dans les cages.

Ø *Traitement des échantillons*

Une fois chaque cage remontée sur le bateau, les bivalves et les algues ont été immédiatement transférées dans une glacière contenant de l'eau du site régulièrement agitée manuellement jusqu'au retour au laboratoire.

Les algues ont alors suivi le même traitement qu'avant leur transplantation : chaque fronde a été soigneusement brossée et rincée, puis éponnée sur du papier absorbant avant d'être pesée pour la détermination du poids frais. Les frondes ont ensuite été transférées dans des sachets individuels référencés, stockés dans un congélateur jusqu'à leur préparation pour les analyses chimiques.

- ▼ Remarque 1 : à chaque station, le poids frais total du lot après transplantation était nettement inférieur à celui mesuré en début d'expérience lors de la constitution des lots. Une perte non négligeable lors de l'exposition *in situ* (mortalité ou broutage par des organismes de taille inférieure à la maille des cages ?) ou lors de la récupération des cages a donc eu lieu. Aucune étude de croissance n'a donc pu être réalisée, mais les analyses de métaux pourront être effectuées sur les frondes récupérées.

Les bivalves ont été rincés pour éliminer le maximum de sédiments adhérents, puis placés en stabulation pendant 48 h dans de l'eau de mer non contaminée filtrée afin de permettre l'élimination des particules précédemment ingérées. Les spécimens ont ensuite été soigneusement brossés et rincés après repérage de leur marquage, puis mesurés au pied à coulisse et pesés entiers après éponnage des coquilles avec du papier absorbant. Une fois les mesures effectuées, les bivalves ont été sacrifiés puis disséqués. Les chairs entières ont été transférées dans des sachets individuels référencés stockés dans un congélateur en attendant leur préparation pour les analyses de métaux. Les coquilles ont été séchées puis pesées.

- ▼ Remarque 2 : le repérage du marquage a été problématique chez la plupart des bivalves transplantés à la station P01 en raison de la fixation sur les coquilles de nombreux organismes encroûtants (notamment des vers, des éponges et des ascidies, Fig. 17). L'élimination de cette épibiose, indispensable pour obtenir des mesures justes de la taille et du poids frais en fin d'expérience, a entraîné d'une part celle du marquage sous-jacent, et d'autre part des cassures des extrémités extrêmement fragiles des valves. Or, l'absence de repérage individuel des spécimens en fin d'expérience et la modification de la longueur et du poids de l'animal consécutives aux cassures ne permettent pas d'obtenir une mesure individuelle correcte de la différence de longueur et de poids frais nécessaire aux calculs de comparaison statistique de la croissance. Ces données sont donc manquantes pour les *Isochnomon* de la station P01.



Figure 17 : Photographies d'un spécimen marqué sans épibiose en fin d'expérience (cage P33) et de deux spécimens recouverts d'organismes encroûtants recouvrant le marquage (cage P01).

2.4. Minéralisation et analyses des métaux accumulés dans les tissus

Les chairs lyophilisées ont été broyées, pesées, puis minéralisées selon les mêmes méthodes qu'en 2007. Après une attaque des tissus avec un mélange concentré d'acide nitrique et de peroxyde d'hydrogène de qualité analytique, les solutions obtenues ont été diluées puis confiées au Laboratoire des Moyens Analytiques du Centre IRD de Nouméa pour être analysées par ICP-OES (Modèle Optima 3300 DV, Perkin Elmer).

Les analyses de six métaux (cobalt Co, chrome Cr, cuivre Cu, manganèse Mn, nickel Ni et zinc Zn) ont été réalisées selon la même méthode que celle utilisée et validée au niveau assurance qualité en 2007. Le plomb a également été analysé mais les résultats obtenus avec du matériel biologique de référence n'étaient pas conformes aux concentrations certifiées ; la série d'analyse n'a donc pas pu être validée, et les résultats ne sont donc pas présentés.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 SUIVI DE LA QUALITE DES EAUX

4.1.1. Evolution chronologique des paramètres de suivi

Pour chaque station de suivi (D01, D12, D22 et D33) et pour chaque sous station (SS, MP et F) l'évolution chronologique des 7 paramètres de suivi (Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn et COT) est représentée sous forme de graphique en suivant (figures n°18 à 28). Les résultats bruts sur la qualité des eaux des 4 stations de suivi sont fournis en Annexe II. Les résultats de la station de référence sont fournis en Annexe III.

Pour l'ensemble des stations, entre juin 2008 et mai 2009, les teneurs en Chrome, Manganèse et Nickel restent toujours comprises entre les limites de détection du laboratoire (0,01mg/l) et 0,03mg/l. Ce maximum n'a été observé que sur la mission de septembre 2008 et seulement pour le Manganèse. Pour le reste de la campagne, la teneur observée pour ces trois paramètres n'a jamais dépassée 0,02 mg/l. Ces observations sont équivalentes à celles identifiées lors de la campagne de 2007.

Sur ces mêmes stations les teneurs en Cuivre et Plomb ont toujours été observées comme inférieures aux limites de détection respectives du laboratoire (0,02mg/l et 0,01mg/l). Aucune variation de ces paramètres n'a pu être observée sur les stations sur les deux années d'étude (entre juin 2007 et mai 2009).

Pour l'ensemble des stations la teneur en Zinc est comprise entre juin 2008 et mai 2009 entre 0,001 et 0,35 mg/l (valeur maximale observée en août 2008 sur D33MP). Cette dernière est légèrement inférieure à celle mesurée sur la campagne de 2007 mais le pic de la teneur se situe toujours sur la station D33 (0,49 mg/l en avril 2008 sur D33F).

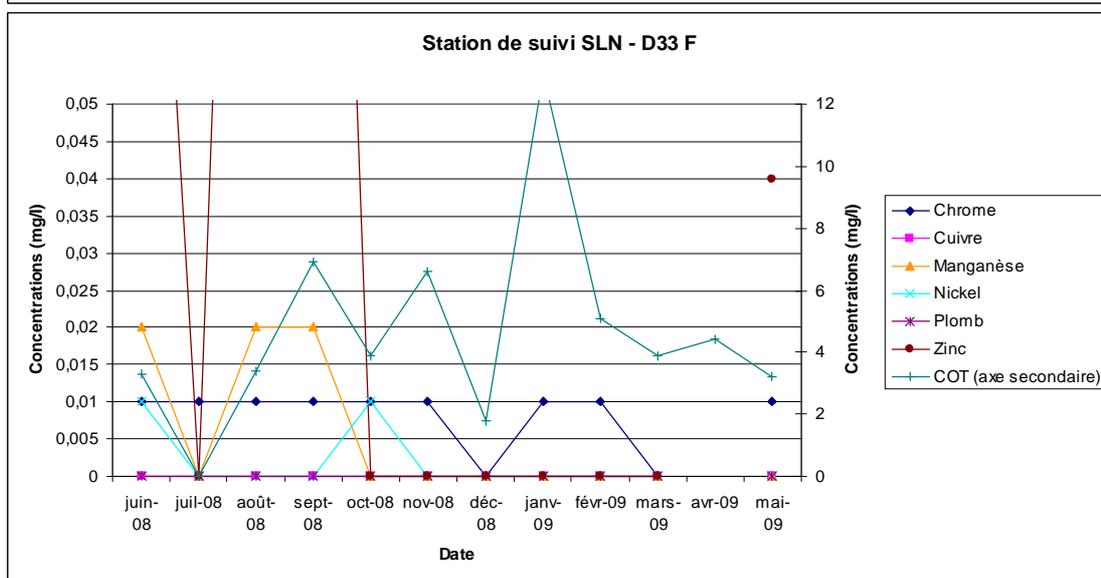
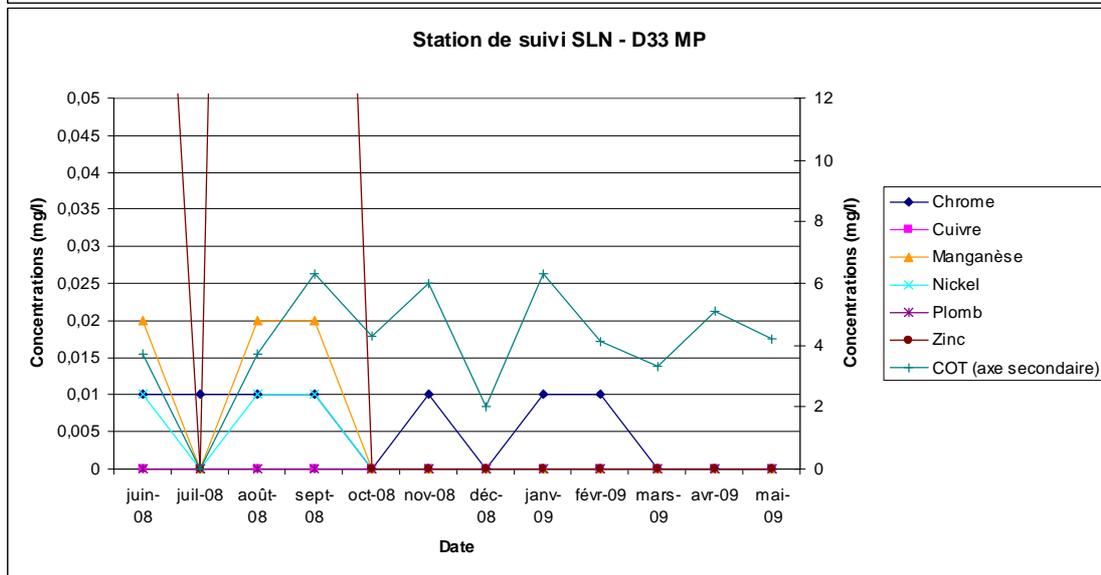
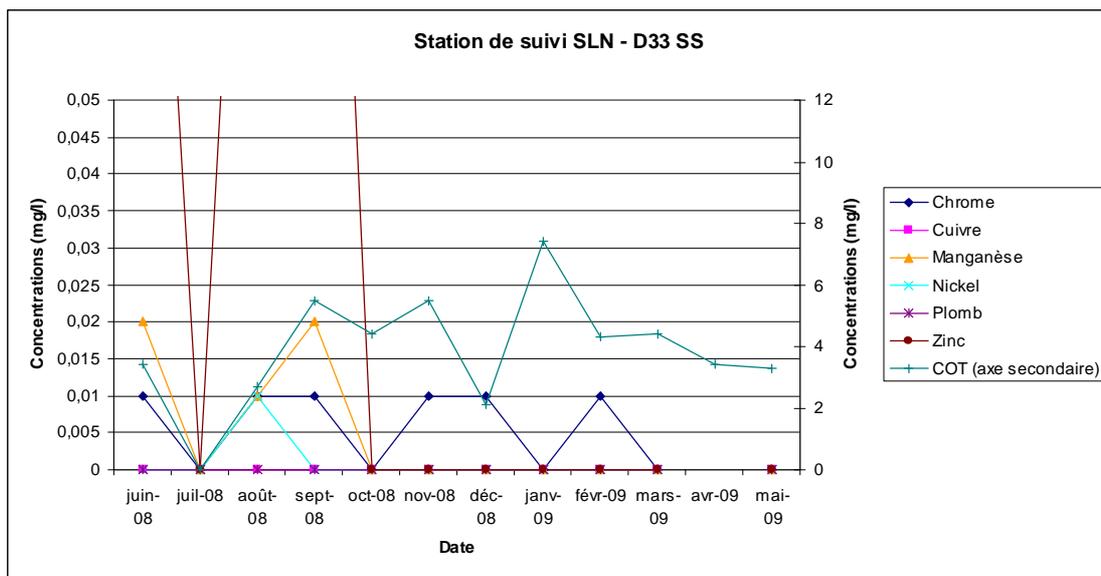
Sur cette même période les valeurs du COT se situent entre < 0,5 et 13 mg/l (valeur maximale observée en janvier 2009 sur D33F). La valeur maximale est légèrement supérieure à celle observée en 2008 (12 mg/l en avril 2008 sur D22MP).

D'un point de vue chronologique, quatre périodes avaient été identifiées en 2007 :

- juillet – septembre : en 2007 légère augmentation du paramètre Zinc était observable. Lors de la campagne 2008, elle se traduit par un pic important de ce paramètre lors des campagnes d'août et septembre. En plus des données de juin 2009, ces deux campagnes sont les seules qui ont permis d'observer une teneur en Zinc supérieur au seuil de détection. Dans une moindre mesure, tout comme en 2007, une légère augmentation des paramètres Manganèse, Chrome et Nickel sur cette période puis une diminution sont observables ;
- septembre - novembre : à l'image de 2007, des accroissements ponctuels du paramètre COT sont observables. Ceux identifiés pour le Zinc et également dans une moindre mesure des paramètres Manganèse, Chrome et Nickel ne sont pas retrouvés en 2008. Les teneurs observées diminuent pour atteindre des valeurs les plus faibles en décembre 2008 (contre novembre pour l'année 2007) ;
- sur les 2 dernières périodes (novembre – mars et mars – mai), les observations de 2007 ne se retrouvent pas en 2008. Sur cette année, le COT présente un pic important en janvier puis se stabilise sur les derniers mois. Pour les autres paramètres seuls les paramètres Chrome et Nickel en moindre mesure se retrouve avec des légers pics ponctuellement. Concernant le Manganèse et le Zinc toutes les missions suivant celle de septembre 2008 ont présentés des teneurs inférieures aux limites de détection du laboratoire.

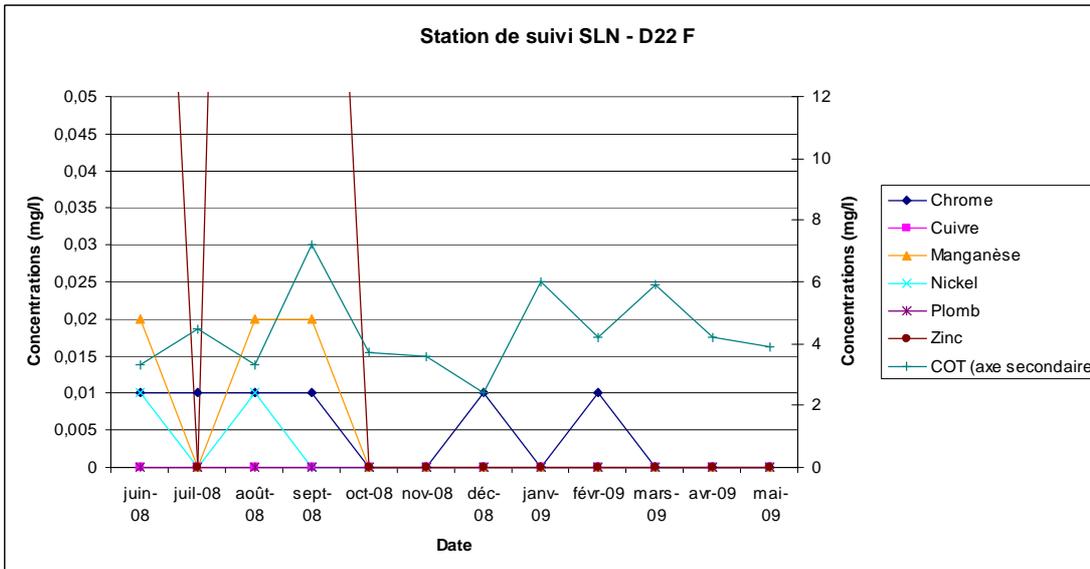
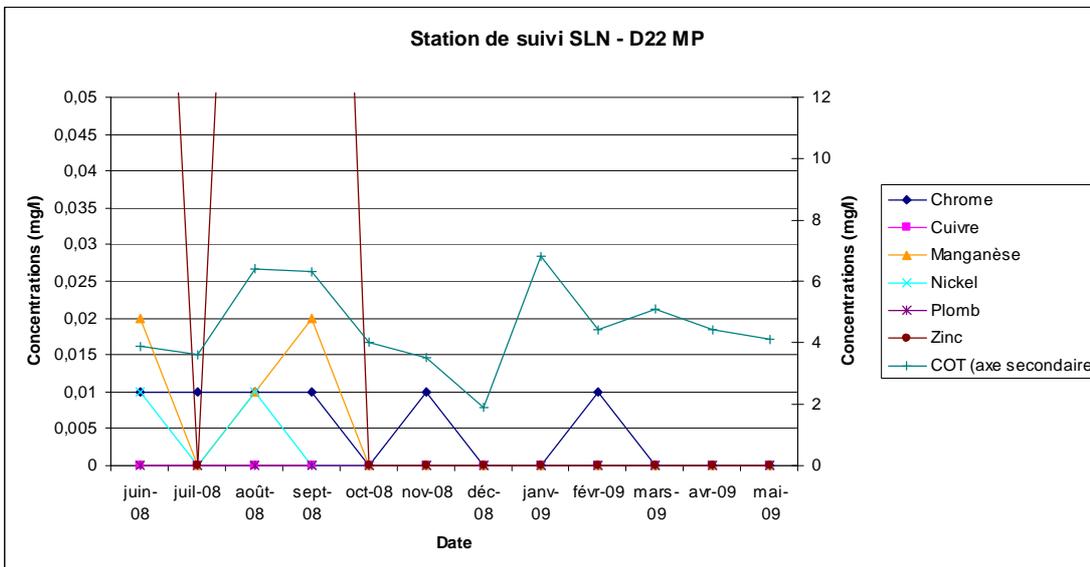
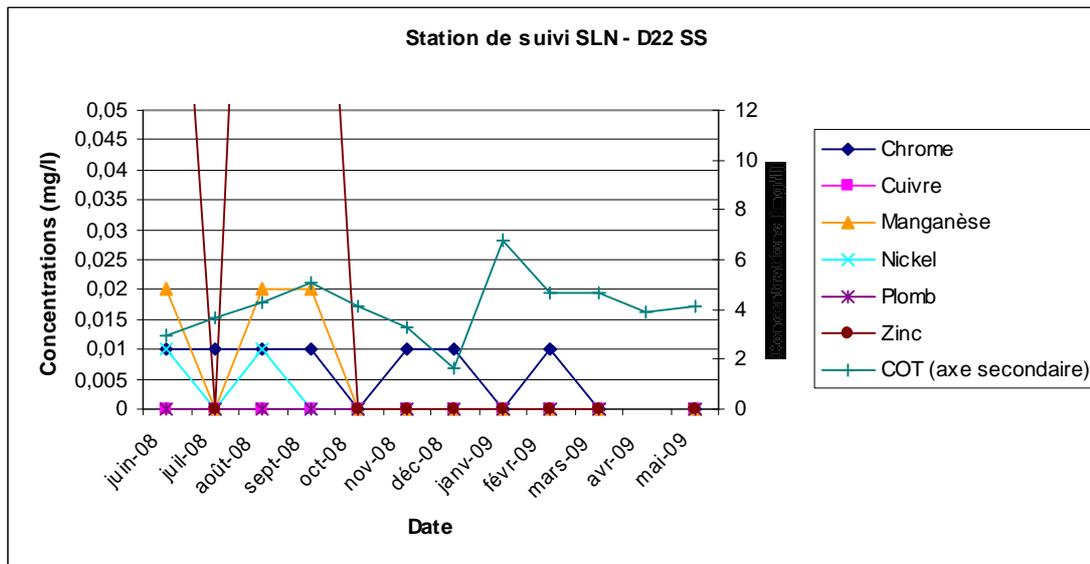
D 3 3

*Figures n°18 à 20 :
Résultats sur les eaux
de la station D33*



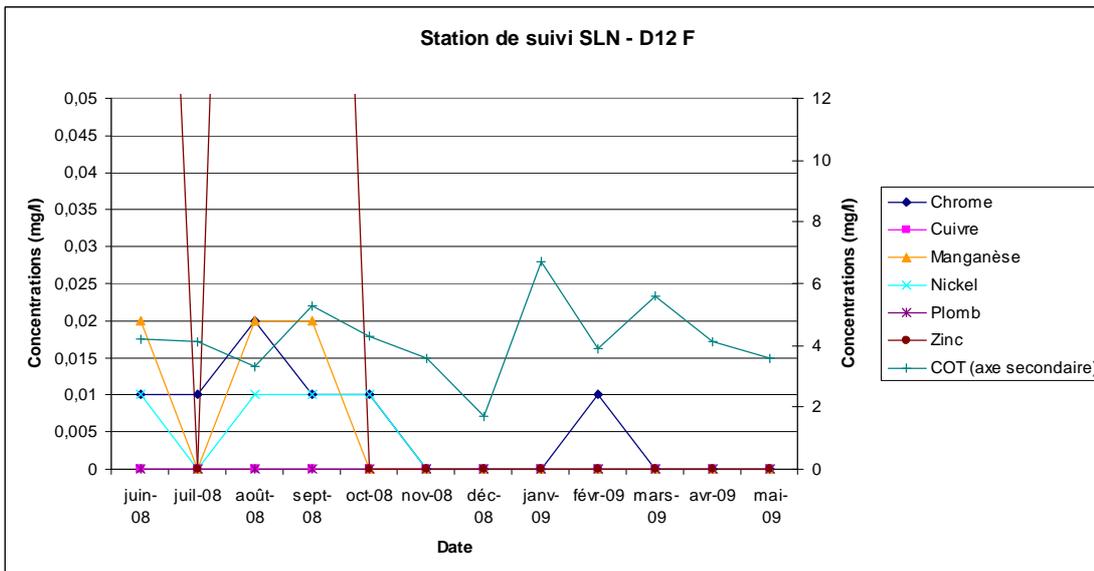
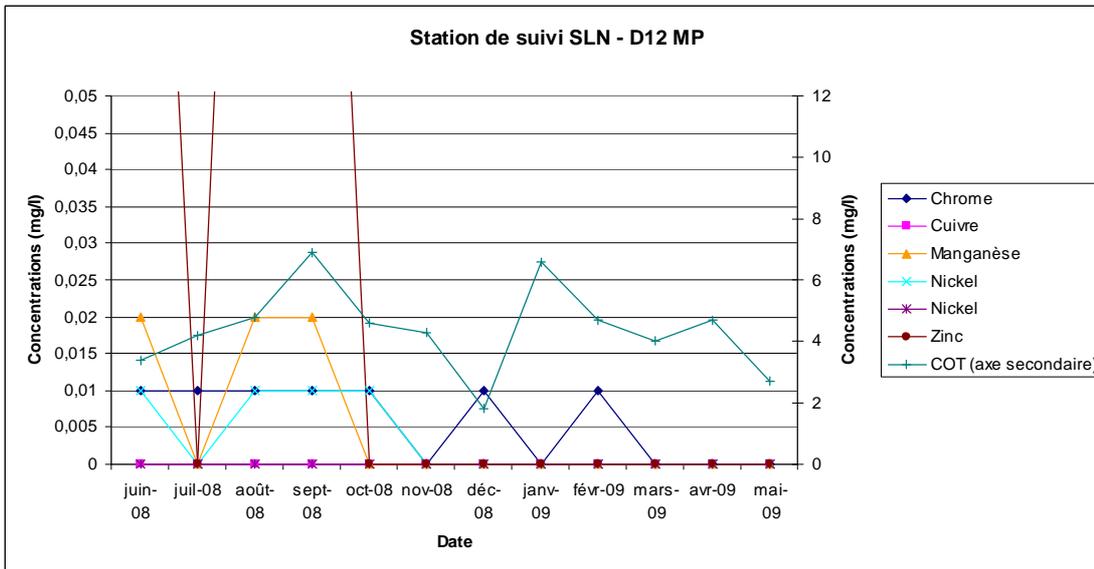
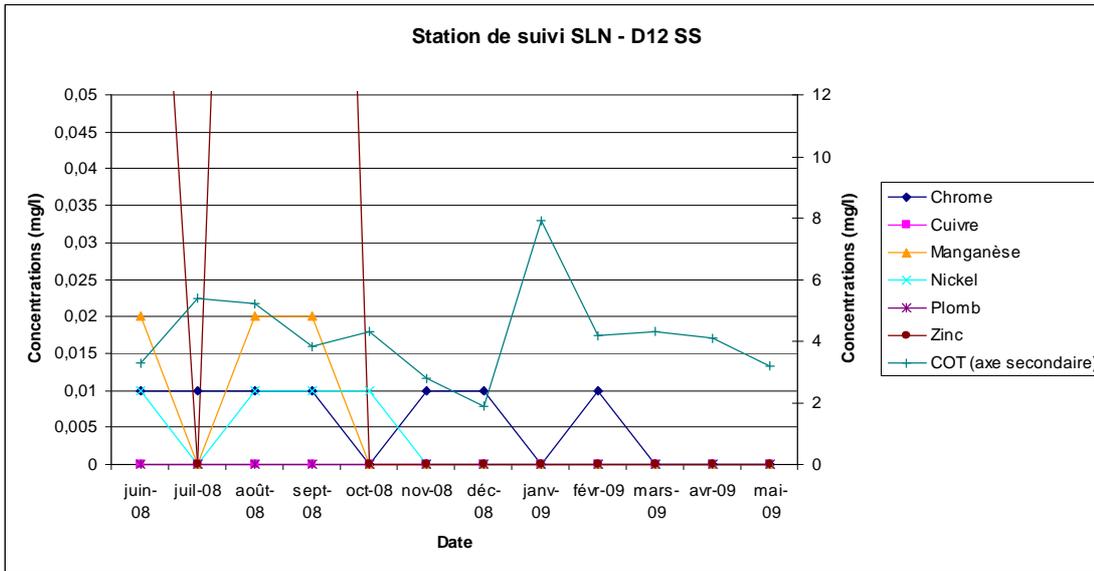
D 2 2

*Figures n°21 à 23 :
Résultats sur les eaux
de la station D22*



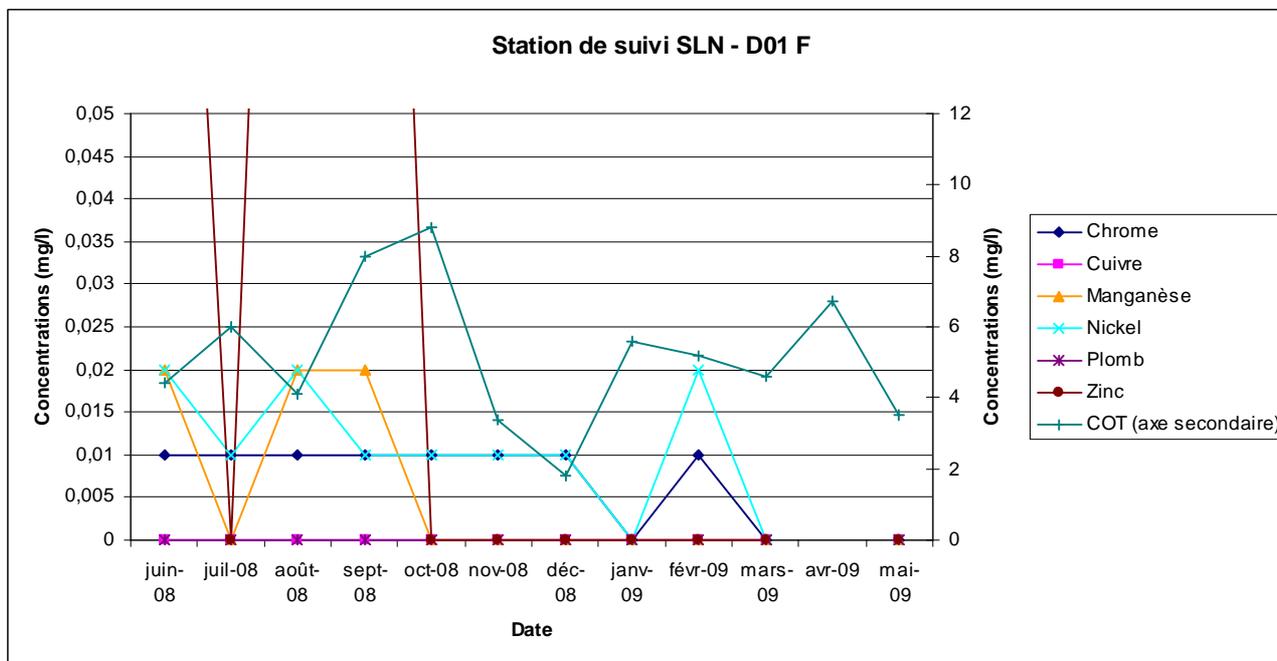
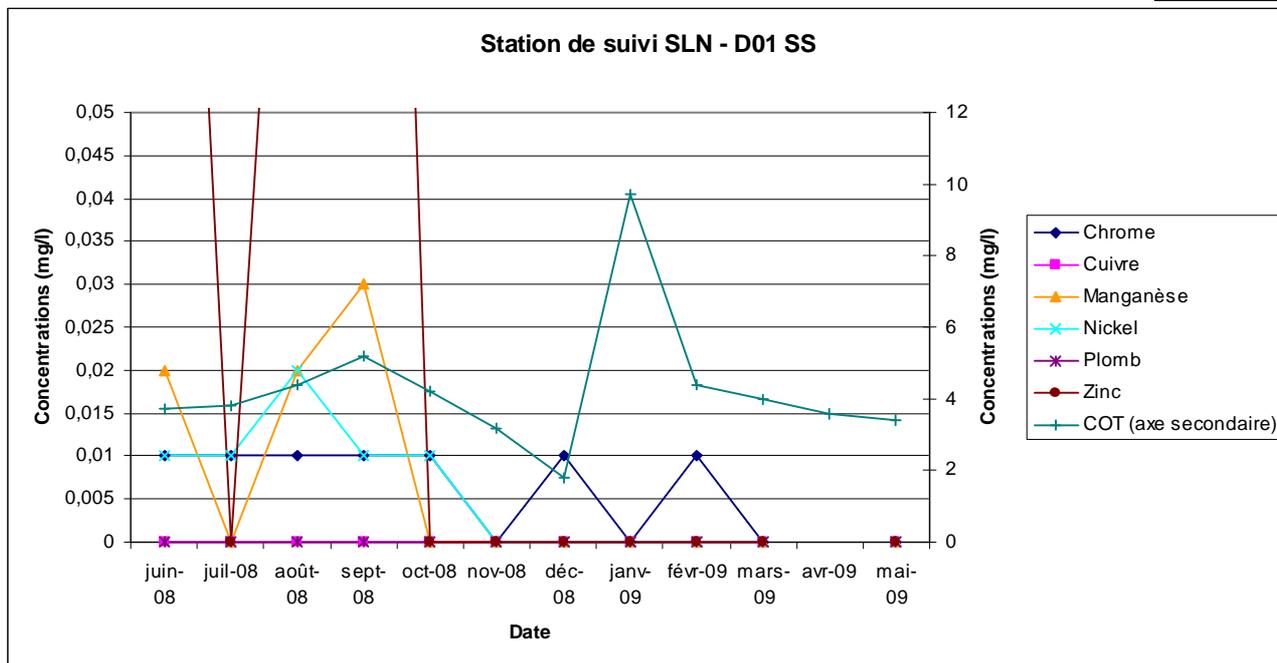
D 1 2

*Figures n°24 à 26 :
Résultats sur les eaux
de la station D12*



Figures n°27 et 28 : Résultats sur les eaux de la station D01

D 0 1



4.1.2. Evolution des paramètres de suivi en fonction des stations

Pour chaque paramètre (Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn et COT) et pour chaque sous station (SS, MP et F) l'éventuel gradient de pollution entre la prise d'eau de l'usine de Doniambo (D01) et la sortie de la Grande Rade (D33) est représenté sous forme de graphique en suivant (figures n° 29 à 43).

Tout comme lors de la campagne de 2007, pour un paramètre et une date donnés, il apparaît que la concentration observée en sub-surface, à mi-profondeur ou au fond est relativement homogène. Il ne semble pas y avoir de différence significative de concentration sur la colonne d'eau.

En 2007, une légère tendance semblait se dégager concernant le paramètre Zinc avec des teneurs maximales qui étaient observées sur D22MP et D22F. Pour 2008, cette évolution n'est pas vérifiée et les résultats inférieurs au seuil de détection du laboratoire sont beaucoup plus importants que l'année précédente.

Dans le cadre de la gestion des sites (potentiellement) pollués, une Valeur de Constat d'Impact (VCI – usage non sensible) a été définie pour les paramètres Chrome, Manganèse, Nickel et Zinc. Elle permet ainsi de définir si une eau est ou a été impactée par une source de pollution spécifique. (Annexe 5C révision du 9 décembre 2002 – Valeurs guides en matière de pollution des sols et des eaux - BRGM).

Pour les paramètres Chrome, Manganèse et Nickel les valeurs retenues sont respectivement 0,25 mg/l, 0,25mg/l et 0,10 mg/l. Dans notre cas, pour ces trois paramètres, les valeurs observées sur les deux années consécutives, soit entre juin 2007 et mai 2009, n'ont jamais dépassées 0,03 mg/l.

Pour le Zinc la VCI usage non sensible retenue est de 6 mg/l. Dans notre cas, les valeurs observées sur les deux années n'ont jamais dépassées 0,49 mg/l (avril 2008 – D33F). Pour la seconde campagne (juin 2008 – mai 2009), la teneur maximale a été obtenue sur la station D33 MP en août 2008.

De plus, pour un paramètre donné, les valeurs observées en janvier 2008, sur les 5 stations (D01, D12, D22, D33 et Baie Maa) sont quasiment équivalentes.

Dans la littérature, il apparaît que le carbone organique transporté peut avoir deux origines essentielles :

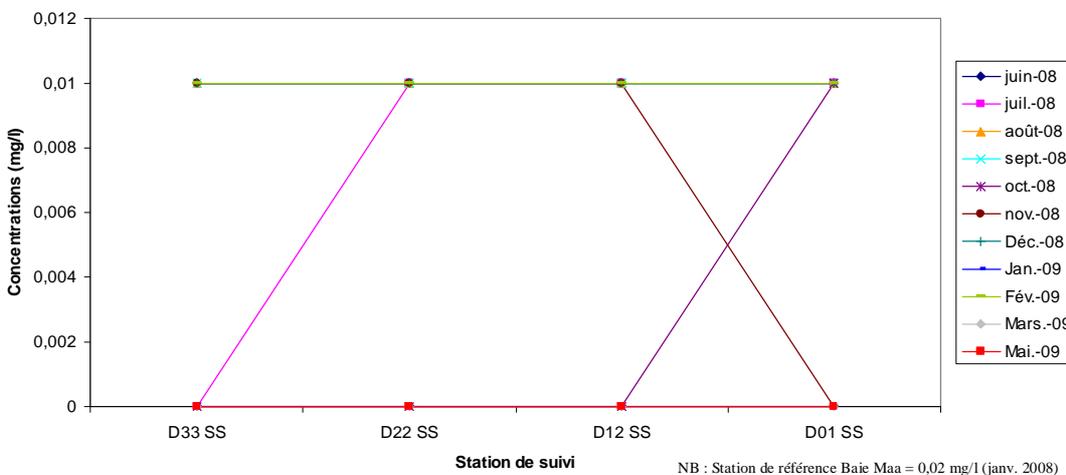
- une origine algale, c'est le carbone constitutif du phytoplancton que l'on peut estimer par le dosage de la chlorophylle ;
- une origine détritique qui représente les apports de l'érosion et des pollutions.

Les eaux usées urbaines contiennent habituellement près de 100 mg/l de Carbone Organique Total ou COT. A titre de comparaison les valeurs de COT observées sur les points de rejets de l'usine de Doniambo sont comprises, pour 2007 (rapport SOPRONER n°A001.07035.0001 – janvier 2008), entre < 0,5 mg/l (E1) et 34 mg/l (E6) et pour 2008 (rapport SOPRONER n°A001.08037.0001 – novembre 2008), entre < 0,5 mg/l (E1) et 138 mg/l (E3B).

Toujours à titre de comparaison (source Université du Havre), avant l'estuaire, la Seine présente des concentrations en COT comprises entre 5 et 11 mg/l. Dans l'estuaire, du fait du bouchon vaseux, les concentrations sont très variables mais elles peuvent dépasser 30 mg/l.

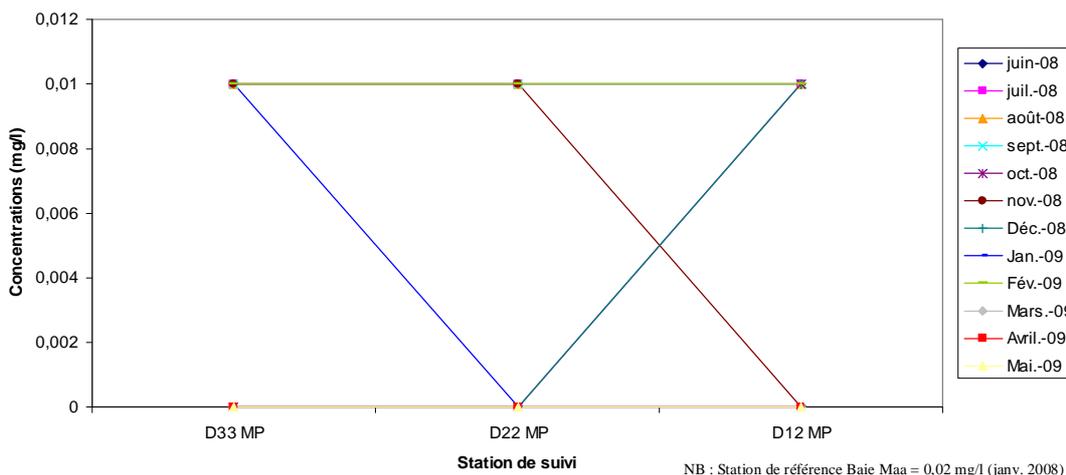
L'eau de mer brute (sans apport anthropique) a une concentration en COT de l'ordre de 1 mg/l. Durant la période juin 2007 / mai 2008, les valeurs de COT observées ont été comprises entre < 0,5 et 12 mg/l (D22 MP – avril 2008). Sur la seconde mission, les analyses laissent apparaître des teneurs comprises entre < 0,5 et 13 mg/l (D33 F – janvier 2009).

Evolution de la teneur en Chrome sur les stations de suivi en sub-surface



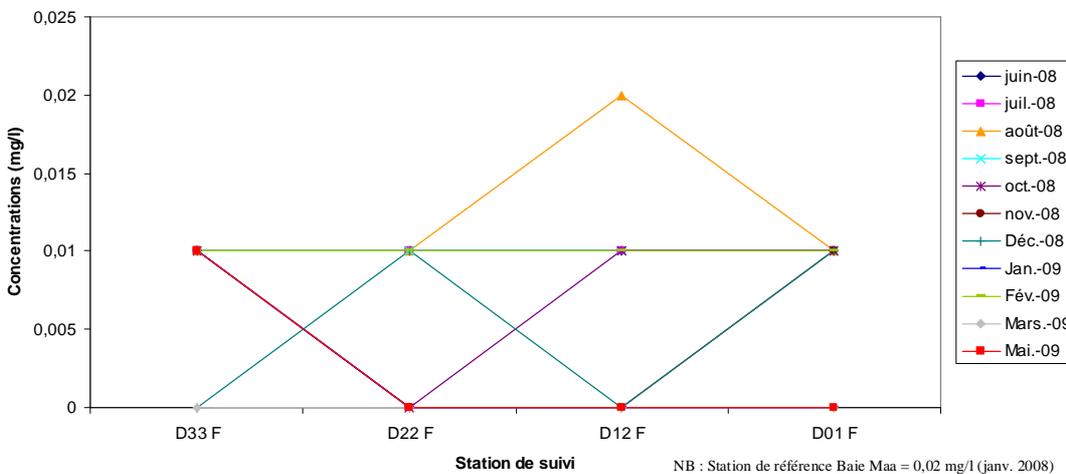
Figures n°29 à 31 : Teneurs en Chrome observées sur les stations de suivi

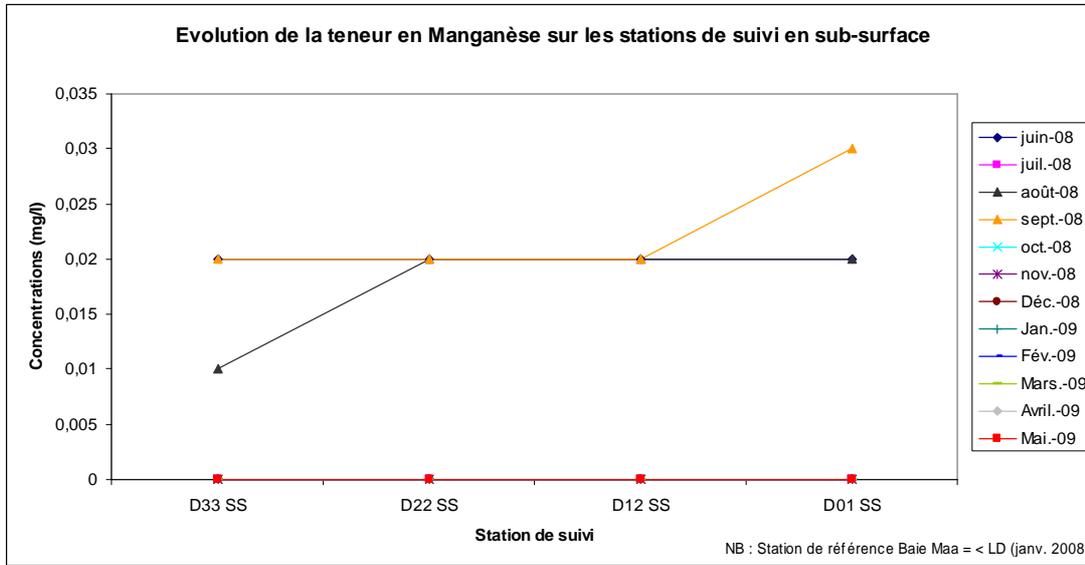
Evolution de la teneur en Chrome sur les stations de suivi à mi-profondeur



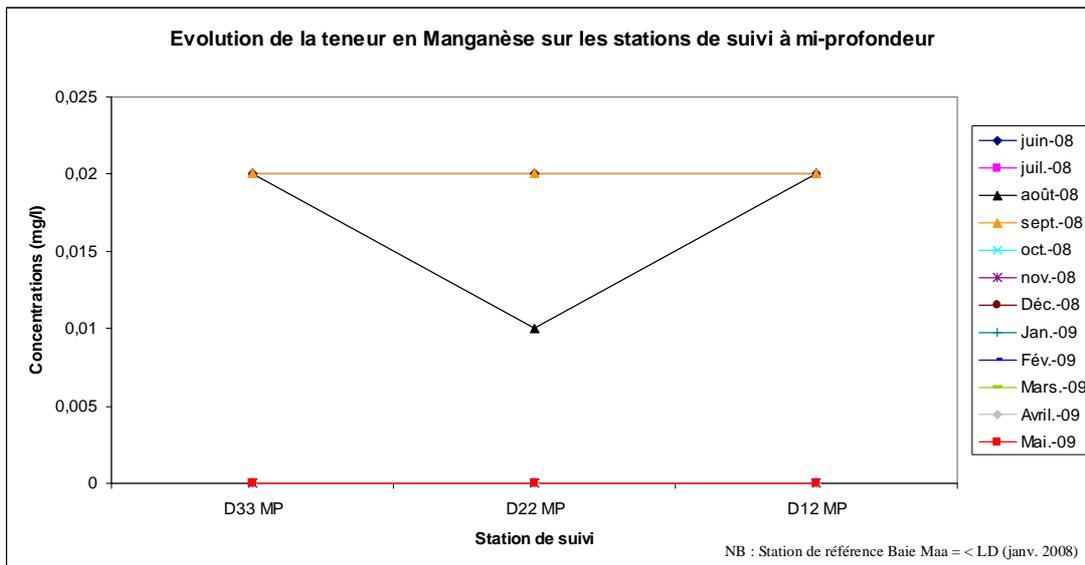
**C
H
R
O
M
E**

Evolution de la teneur en Chrome sur les stations de suivi au fond

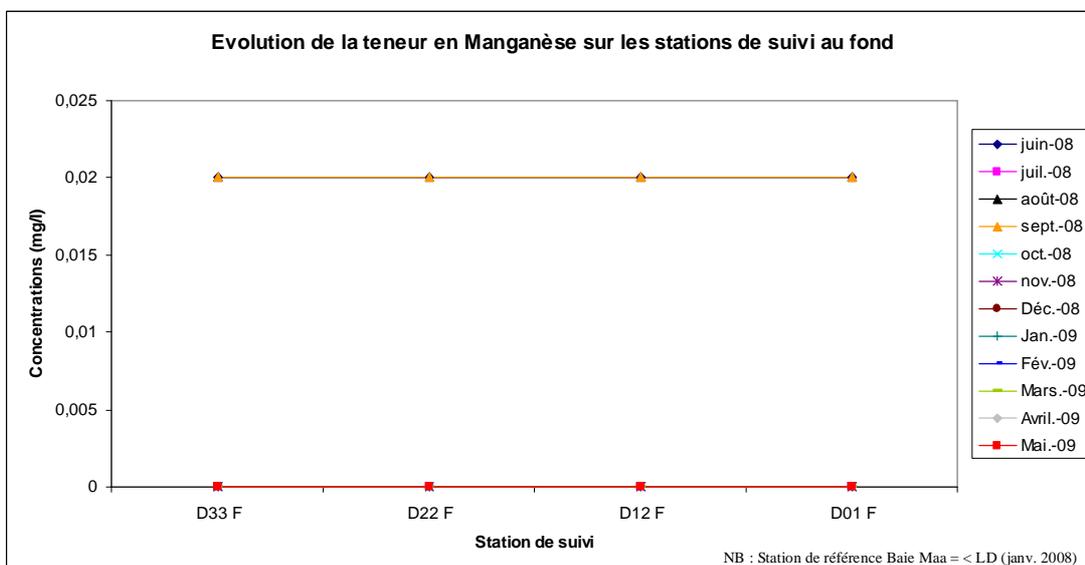


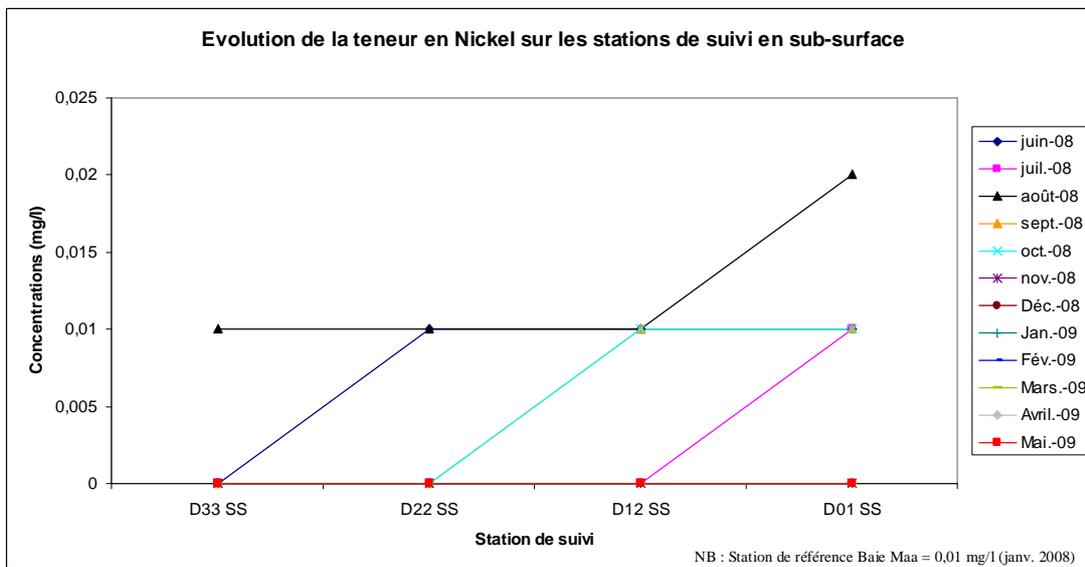


*Figures n°32 à 34 :
Teneurs en
Manganèse observées
sur les stations de suivi*

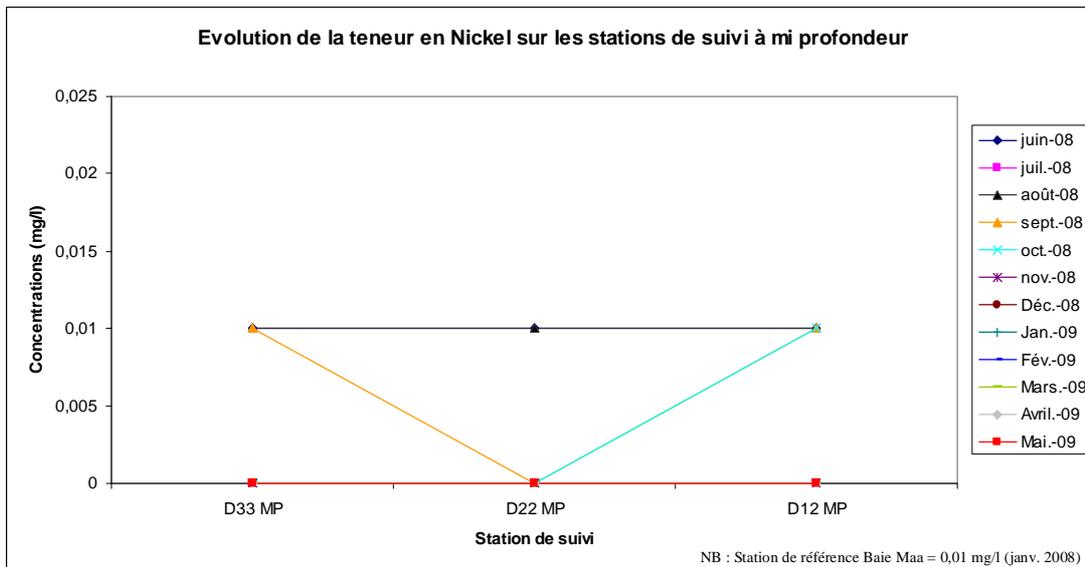


**M
A
N
G
A
N
È
S
E**

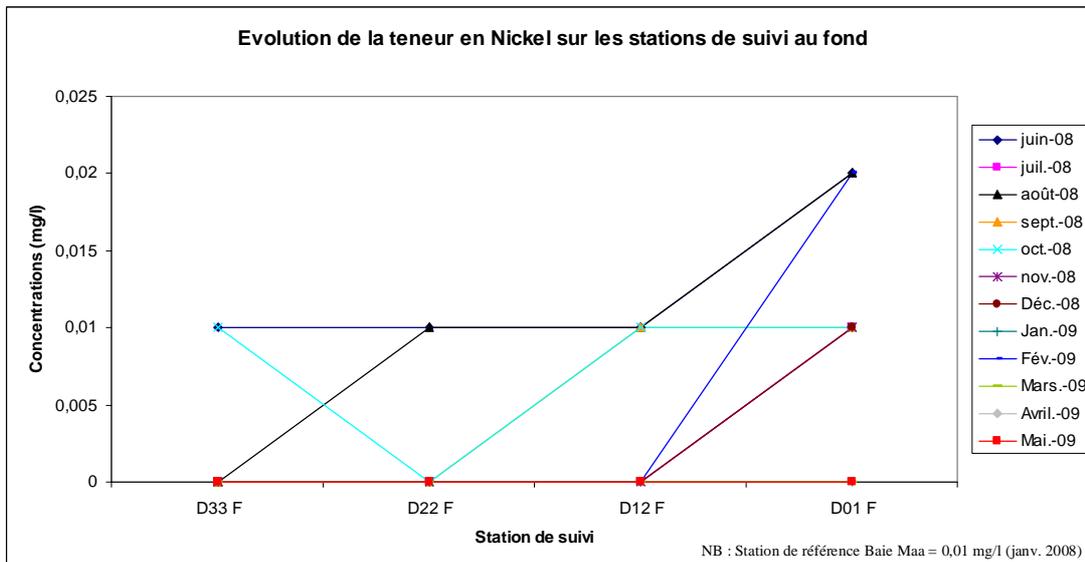


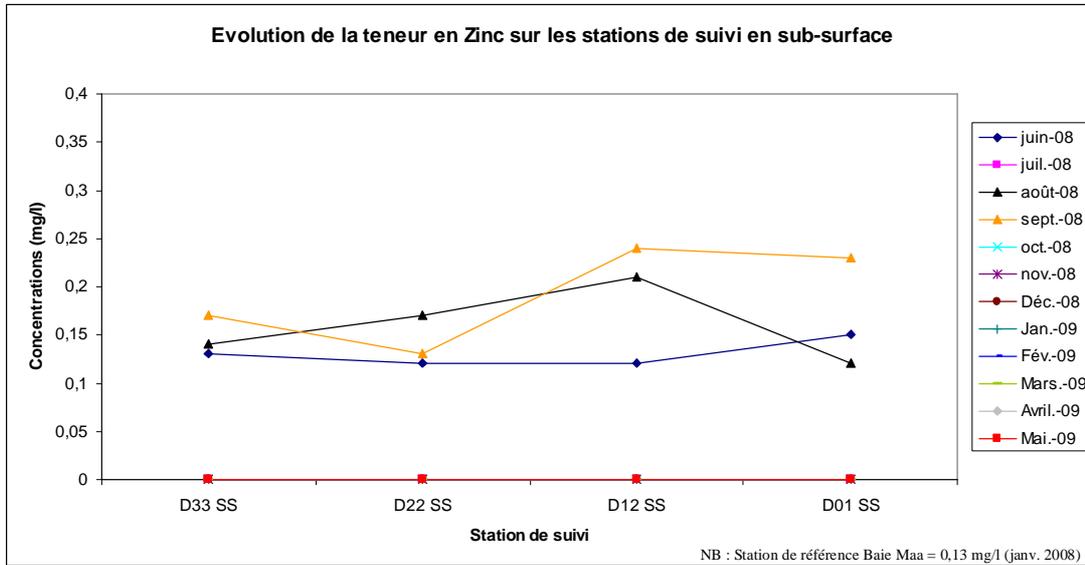


*Figures n°35 à 37 :
Teneurs en Nickel
observées sur les
stations de suivi*

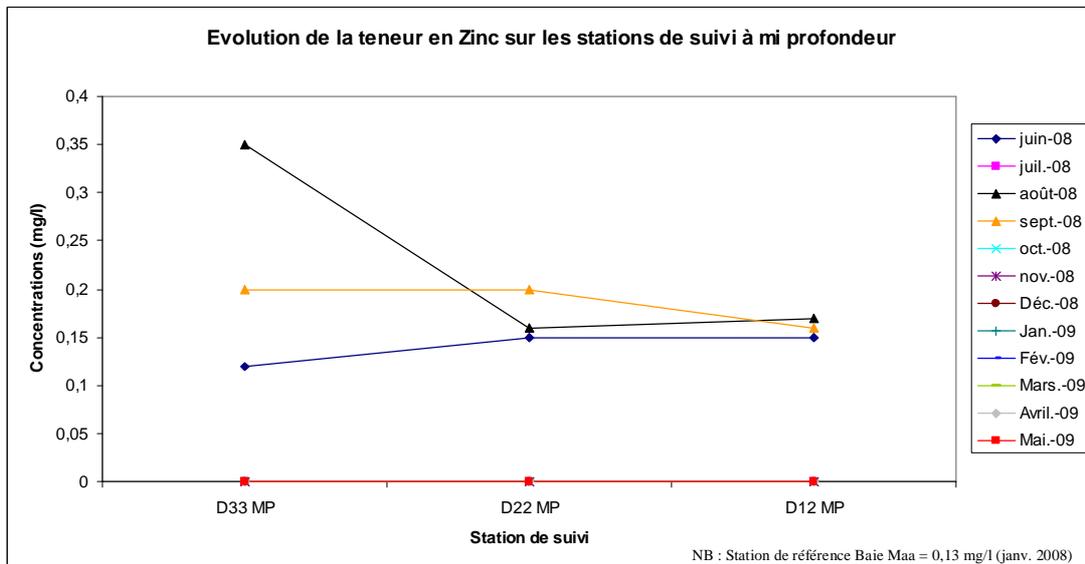


**N
I
C
K
E
L**

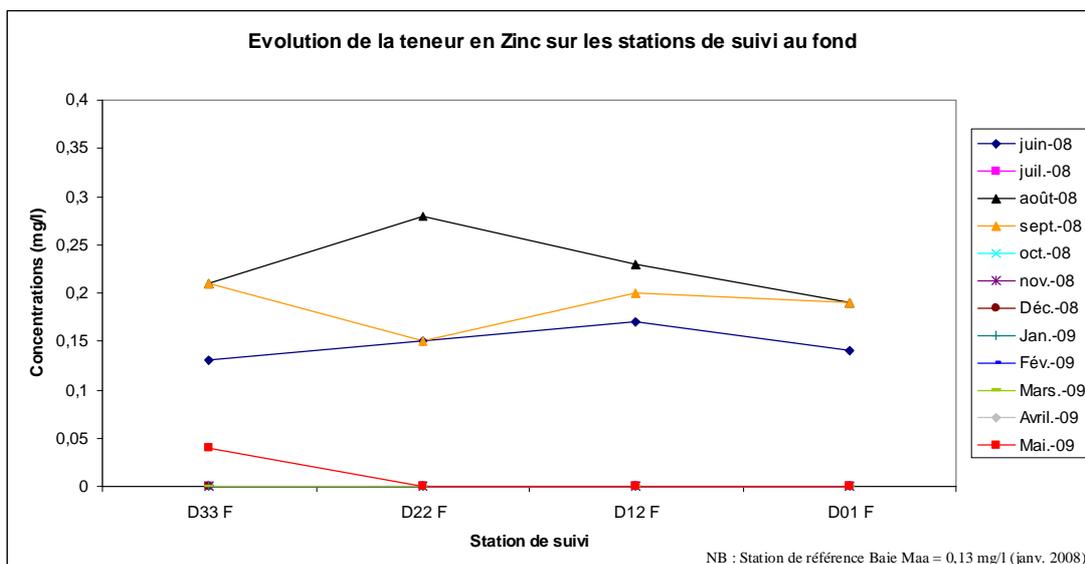


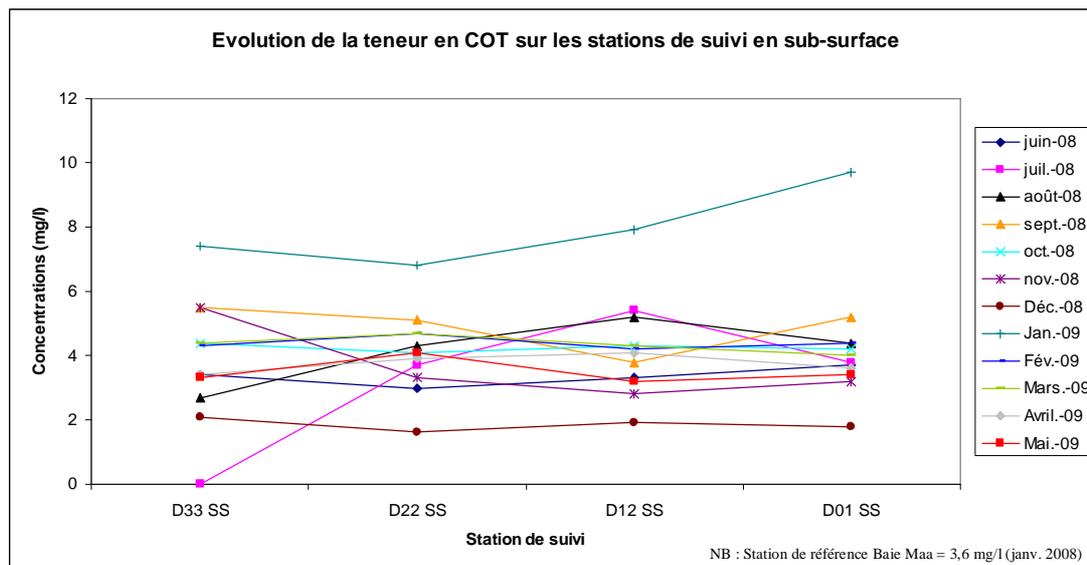


*Figures n°38 à 40 :
Teneurs en Zinc
observées sur les
stations de suivi*

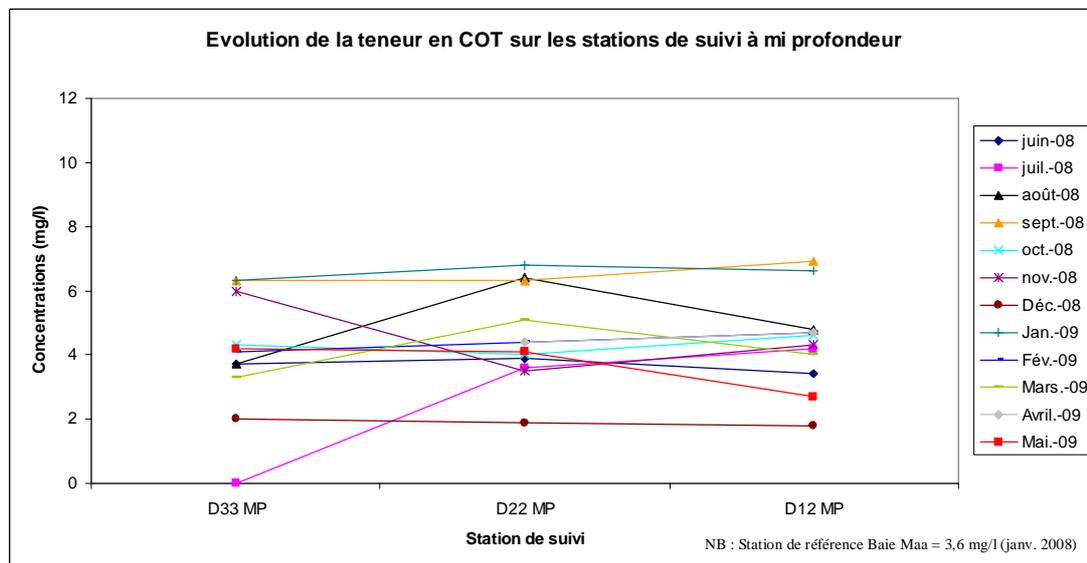


**Z
I
N
C**

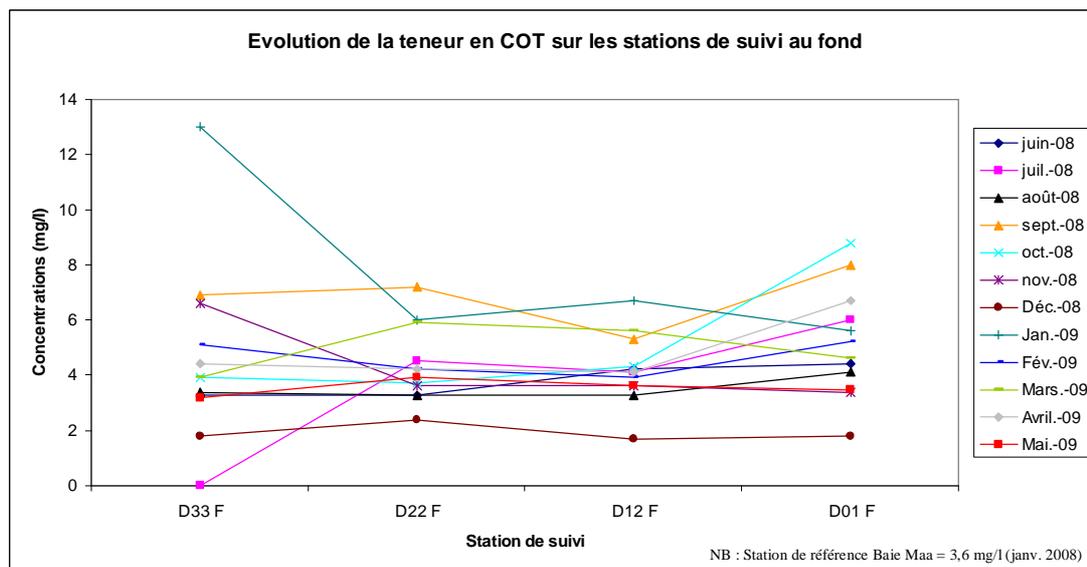




Figures n°41 à 43 :
Teneurs en COT observées sur les stations de suivi



C
O
T



4.2 SUIVI DE LA QUALITE DES SEDIMENTS

Pour chaque paramètre (Cr, Cu, Mn, Ni, Pb et Zn) l'éventuel gradient de pollution entre la prise d'eau de l'usine de Doniambo (D01) et la sortie de la Grande Rade (D33) est représenté sous forme de graphiques en suivant (figures n° 44 à 50). Les résultats bruts sur la qualité des sédiments sont fournis en Annexe IV. Les résultats de la station de référence sont fournis en Annexe V.

Pour tous les paramètres, les teneurs métalliques observées en 2008 sont dans le même ordre de grandeur que l'année précédente et, dans la majorité des cas, légèrement supérieures. A nouveau cette année, il apparaît clairement un gradient de pollution entre D33 et D01. Il également à nouveau notable que la concentration en Plomb dans les sédiments est maximale au niveau de D12 puis diminue au niveau de D01.

Même si entre les deux campagnes il peut être constaté un léger accroissement général des teneurs en métaux sur les stations, il existe cependant des anomalies qui contredisent cette conclusion. Elles sont observables, entre 2007 et 2008, sur :

- D12 avec une forte diminution de Chrome, une légère diminution de Nickel et de Manganèse et également une forte augmentation de Plomb ;
- D01 avec une forte baisse de Cobalt et une légère baisse de Manganèse.

Ces différences peuvent s'expliquer par le fait qu'il s'agit d'un prélèvement ponctuel sur chaque station et donc potentiellement une forte variabilité sur l'échantillon prélevé d'une année sur l'autre. De plus, le substrat à prélever est différent sur les stations, ce qui se caractérise par un refus pondéral à 2mm (voir bulletin d'analyses) variable entre les sites. En effet, alors que les stations P33, P22, P01 et Baie Maa ont un refus pondéral à 2mm compris, sur les deux années, entre 3% et 26%, celui de P12 a été de 69,2% en 2007 et 91,7% en 2008. Hors les analyses chimiques sont réalisées sur la fraction inférieure à 2mm. Cette fraction étant très différente des autres au niveau de P12, il est probable que cela influe sur la précision des résultats.

Dans le cadre de la gestion des sites (potentiellement) pollués, une Valeur de Constat d'Impact (VCI – usage non sensible) et une Valeur de Définition de Source-Sol (VDSS) ont été définies pour tous les paramètres hormis le Manganèse. La première permet de définir si un sol est ou a été impactée par une source de pollution spécifique et la seconde de définir si un sol peut être une source de pollution. (Annexe 5C révision du 9 décembre 2002 – Valeurs guides en matière de pollution des sols et des eaux - BRGM).

Les concentrations métalliques obtenues sur les 4 stations de suivi ont également été comparées aux valeurs obtenues sur la station de référence Baie Maa.

Pour le Manganèse, il n'existe pas de VCI ou de VDSS, seule une comparaison avec la station de référence a pu être réalisée. Il apparaît que les concentrations observées sur les 4 stations sont comprises entre 124 et 296 mg/kg MS. En baie Maa, la teneur en Manganèse a été relevée à 129 mg/kg MS. Par conséquent les stations D22, D12 et D01 possèdent des teneurs supérieures à la station de référence. Ce résultat se vérifie sur les deux années d'étude même si en 2008 les teneurs sur D12 et D01 sont légèrement inférieures à celle de 2007.

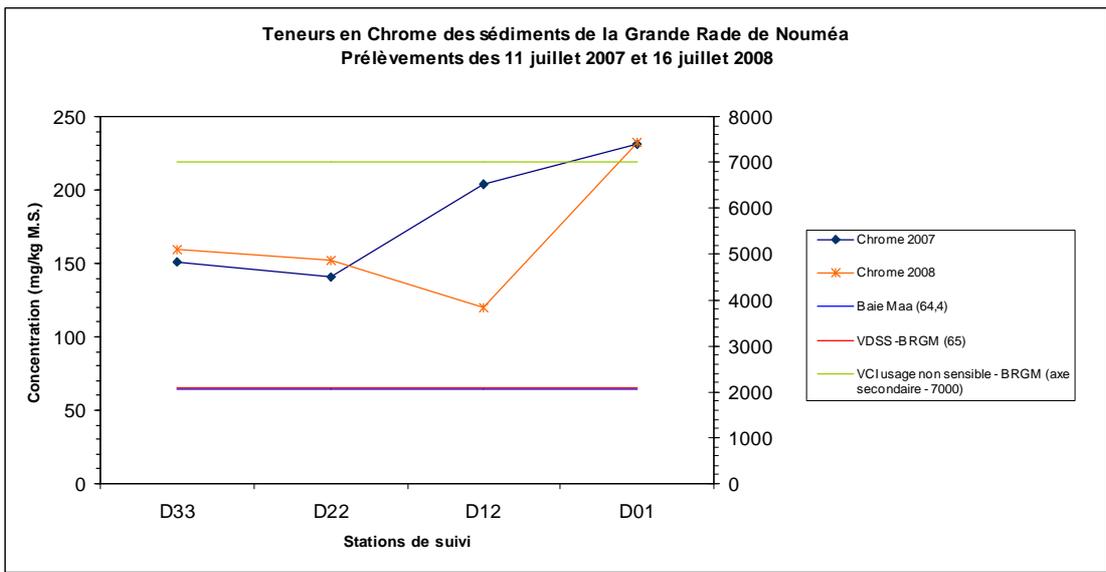
Le Chrome possède une VDSS et une VCI usage non sensible fixés respectivement à 65 et 7000 mg/kg MS. La Baie Maa présente elle une concentration de 64,4 mg/kg MS. Les 4 stations de suivi (120 à 232 mg/kg MS) possèdent des concentrations supérieures à celle de la Baie Maa et de la VDSS mais sont largement inférieures à la VCI.

Pour le Cuivre, les teneurs observées sur les 4 stations (<5 à 17,1 mg/kg MS) sont semblables à celle de 2007 et restent inférieures à la VDSS (95 mg/kg MS) et à la VCI usage sensible (950 mg/kg MS) définies par le BRGM. Comme pour 2007, les stations D33 et D22 possèdent des teneurs inférieures à la Baie Maa, tandis que les sédiments provenant de D12 et D01 sont plus concentrés en Cuivre.

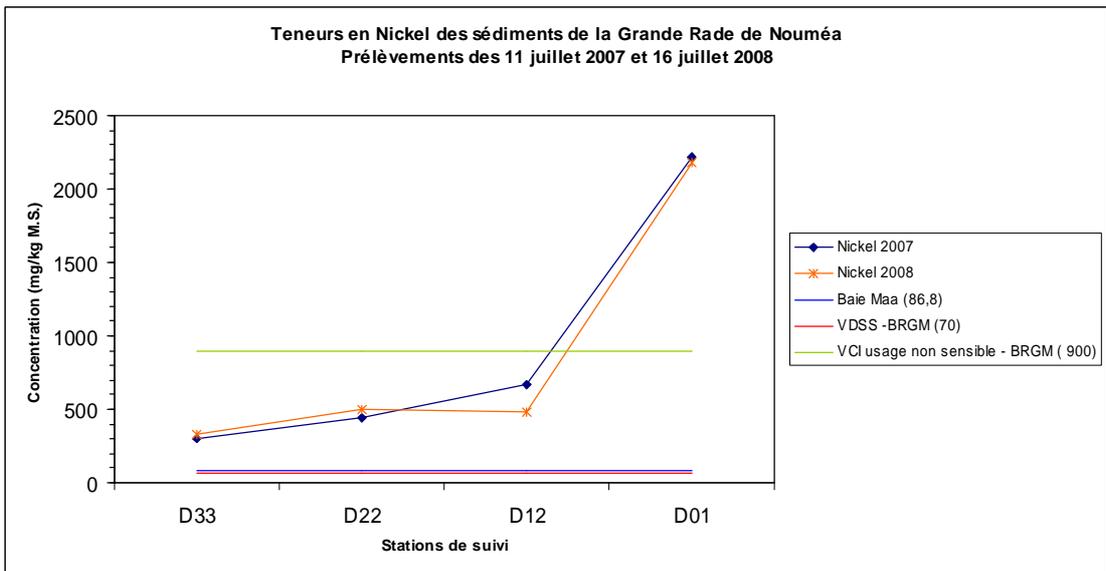
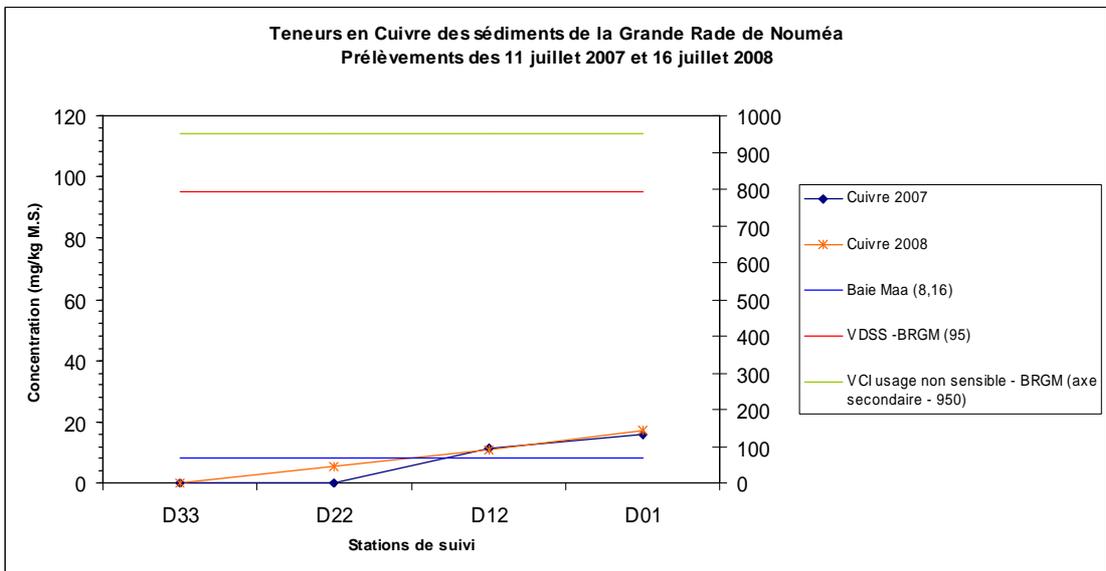
D'un point de vue global, le même constat peut-être fait pour le Plomb et le Cobalt puisque les stations de suivi présentent quasiment toutes des concentrations inférieures aux VDSS et VCI respectives. La totalité des stations ne se retrouvent pas en 2008 puisque la teneur en plomb sur D12 (217 mg/kg MS) est supérieure à la VDSS. Par contre comme en 2007, pour ces deux paramètres les teneurs observées dans la Grande Rade sont équivalentes ou supérieures aux valeurs de la Baie Maa.

Le paramètre Zinc possède une VDSS de 4500 mg/kg MS et une VCI sans valeur limite. Les concentrations mesurées dans la Grande Rade, en 2007 et 2008 sont constantes et comprises entre 24 et 110 mg/kg MS. Elles sont donc largement inférieures à la VDSS. La Baie Maa dispose d'une teneur en Zinc de 84,8 mg/kg MS et seule la station D01 a présenté une concentration plus élevée sur les deux années consécutives.

Pour le Nickel, les teneurs observées en 2007 et 2008, sur les 4 stations (300 à 2220 mg/kg MS) sont toutes supérieures à la VDSS (70 mg/kg MS) et à la teneur mesurée en Baie Maa (86,6 mg/kg MS). Ce dernier résultat montre même que la station de référence présente également une concentration en nickel supérieure à la VDSS. Par contre seule la station D01 présente une concentration supérieure à la VCI usage non sensible du Nickel (900 mg/kg MS).



Figures n°44 à 46 :
Evolution de la teneur en Chrome, Cuivre et Nickel dans les sédiments de la Grande Rade de Nouméa (D33 à D01).



Figures n°47 à 49 :
Evolution de la teneur en Plomb, Zinc et Cobalt dans les sédiments de la Grande Rade de Nouméa (D33 à D01).

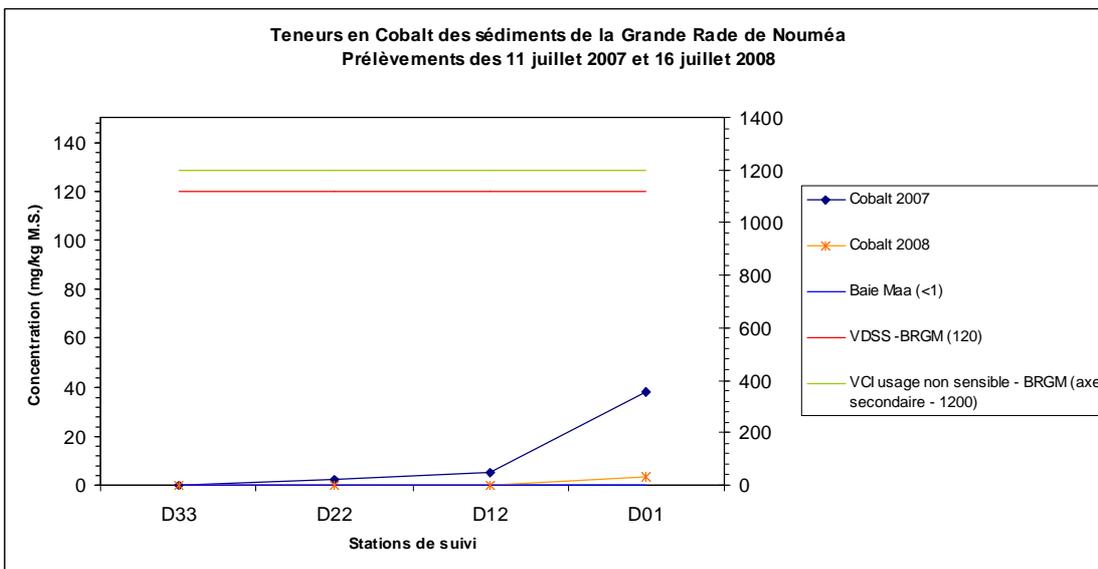
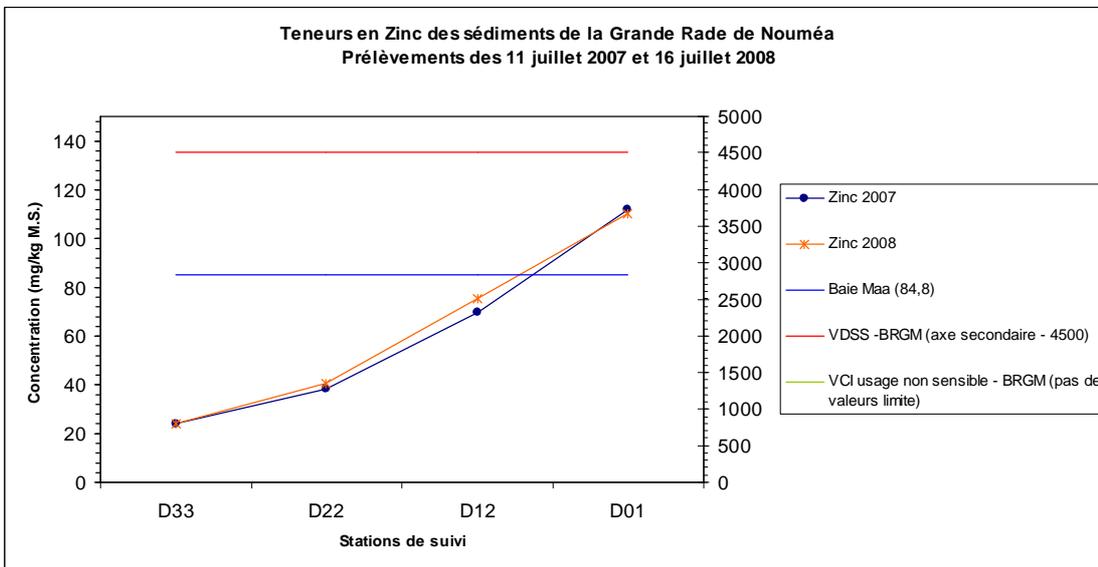
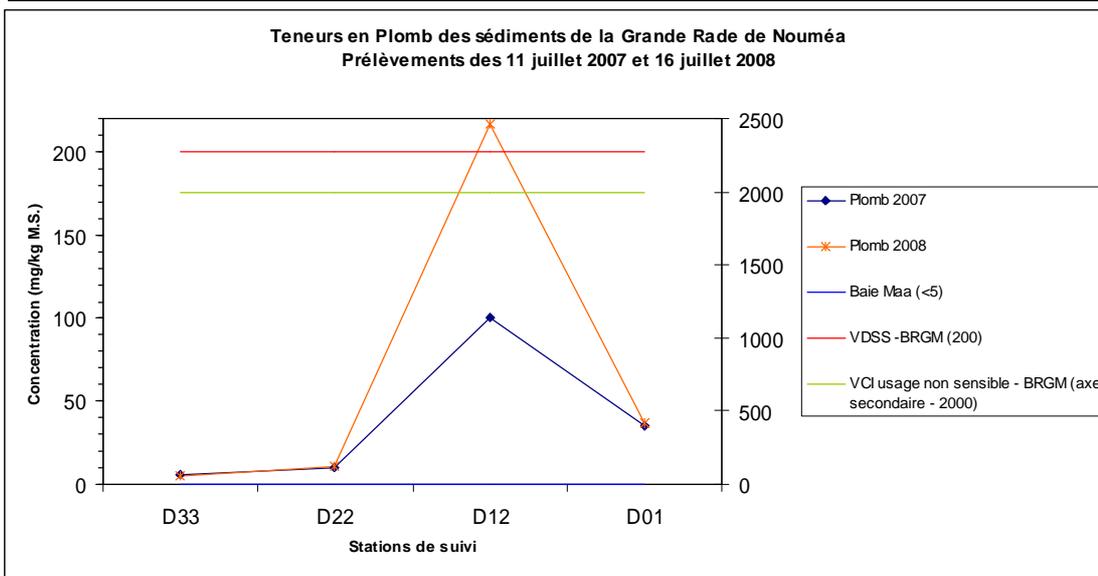
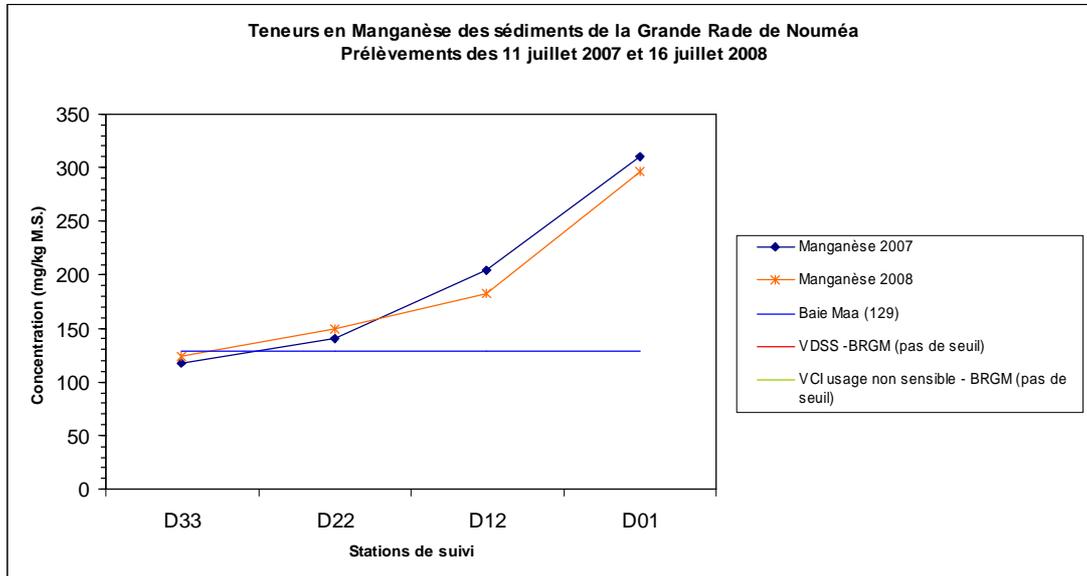


Figure n°50 : Evolution de la teneur en Manganèse dans les sédiments de la Grande Rade de Nouméa (D33 à D01).



4.3 SUIVI DE LA CONTAMINATION METALLIQUE DANS LES BIOINDICATEURS

4.3.1. Niveaux des concentrations en métaux chez les bivalves transplantés

Toutes stations confondues, les concentrations moyennes de chaque métal varient selon les fourchettes de valeurs suivantes : Co : 0,2 – 0,7 µg/g ; Cr : 1,6 – 2,7 µg/g ; Cu : 8,6 – 9,8 µg/g ; Mn : 12,2 – 15,4 µg/g ; Ni : 3,0 – 13,2 µg/g ; Zn : 748 – 1854 µg/g. Globalement, ces fourchettes de valeurs sont très proches de celles précédemment mesurées chez les spécimens transplantés lors de la campagne de 2007. Des comparaisons plus précises des valeurs obtenues lors des deux campagnes sont présentées au paragraphe 4.3.3.

La comparaison des concentrations des différents métaux à chaque station de suivi permet de les classer selon l'ordre suivant : Co < Cr < Ni < Cu < Mn << Zn. Ce classement est identique à celui précédemment observé lors de la campagne de 2007. Seule la station P01 montre un classement légèrement différent, avec une inversion du Cu et du Ni, soit Co < Cr < Cu < Ni < Mn < Zn.

4.3.2 Variabilité des concentrations entre les diverses stations après transplantation

A l'exception du cuivre et du zinc, les concentrations moyennes les plus élevées ont été mesurées à la station P01, située en fond de baie. Un seul spécimen mort (station P01) a été comptabilisé sur l'ensemble des bivalves transplantés. Les concentrations les plus faibles s'observent aux stations Maa (référence) et P33 (située en sortie de la Grande Rade, dans la Baie de Dumbéa) (figure 51)

Pour le manganèse, un léger gradient apparaît également entre les stations P22 et P01. Cependant, de même qu'en 2007, la concentration moyenne à la station P33 est sensiblement supérieure à celle en P22, et la variabilité des concentrations entre spécimens est généralement importante à toutes les stations, empêchant la détection de différences géographiques significatives ($p=0,217$). Pour le cuivre en revanche, les concentrations mesurées sont quasiment identiques entre les différentes stations, et sont même légèrement inférieures à la station P01 ; aucune différence significative entre les stations a donc été détectée ($p=0,122$).

De même qu'en 2007, un gradient croissant de concentrations en Co, Cr, Ni et Zn s'observe entre la station P33 située dans la baie de Dumbéa, et les stations P12 et P01, localisées dans le fond de la Grande Rade à proximité immédiate de l'usine de Doniambo. Des tests de comparaison statistique (test de Kruskal Wallis) indiquent que les différences observées sont hautement significatives ($p<0,0001$). Des tests de comparaison multiples par paires (procédure non paramétrique de Dunn) permettent de préciser statistiquement ces différences. Ainsi, aucune différence significative n'a pu être détectée entre les lots de bivalves transplantés en P12 et en P01 pour Co, Cr et Zn (ainsi que Cu et Mn) ; seules les concentrations en Ni à la station P01 sont significativement ($p<0,05$) supérieures à celles en P12. En revanche, les concentrations mesurées en P01 sont significativement supérieures à celles des lots immergés aux trois autres stations (P22, P33, Maa) pour tous les métaux (à l'exception de Cu et Mn). Aucune différence de concentration significative n'a été trouvée entre le lot de la station P12 et celui de la station P22 pour Co et Cr (ainsi que Cu et Mn) ; les concentrations en Ni et Zn en P12 sont au contraire significativement supérieures à celles en P22. Pour tous les métaux sauf Cu et Mn, les concentrations en P12 sont significativement supérieures ($p<0,05$) à celles en P33 et en baie Maa. De même, les concentrations en Co, Cr, Ni et Zn en P22 sont statistiquement supérieures à celles en P33.

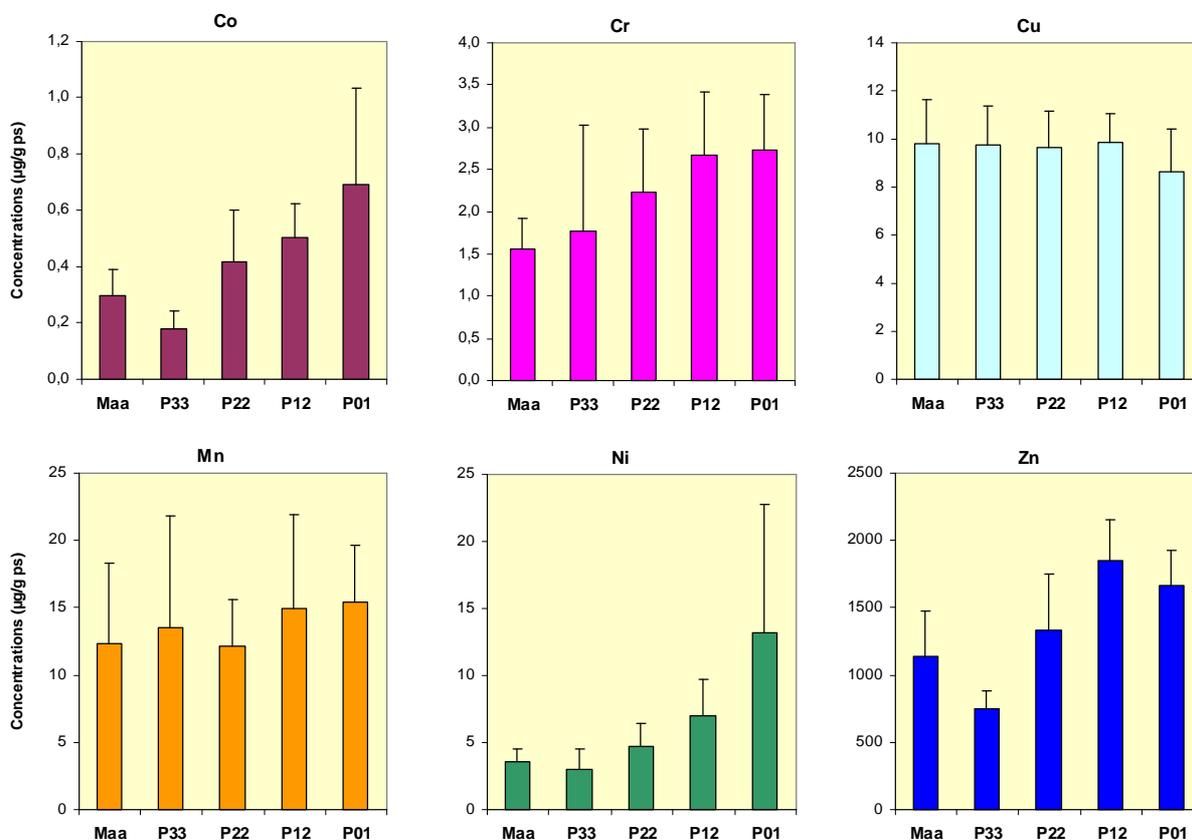


Figure 51 : Variabilité des concentrations moyennes en métaux mesurées dans les chairs entières du bivalve *Isognomon isognomon* à chaque station.

4.3.3 Comparaison des concentrations entre les campagnes 2007 et 2008

Les concentrations de chaque métal à chacune des cinq stations de l'étude ont été comparées entre les deux campagnes de 2007 et de 2008 (Figure 52). Pour le nickel, les concentrations mesurées suite à la campagne de 2007 sont strictement identiques à celles obtenues en 2008 pour l'ensemble des quatre stations du suivi et confirment donc sans ambiguïté l'existence d'un gradient net entre le fond et la sortie de la baie. Seule la station de référence (Maa) montre une concentration moyenne supérieure lors de la dernière campagne. Le cobalt montre une tendance très similaire, à l'exception toutefois de la station P33 ; la concentration moyenne en 2008 y est en effet significativement inférieure à celle trouvée l'année précédente. Un gradient net et de même intensité s'observe donc pour cet élément pour des deux campagnes.

Les concentrations moyennes en chrome aux stations P33, P22 et P12 sont également relativement proches entre les deux campagnes, mais divergent en revanche sensiblement à la station P01 : les valeurs mesurées en 2008 y sont sensiblement inférieures à celles trouvées en 2007. Le gradient de concentrations en chrome est donc confirmé par cette seconde campagne, mais apparaît très légèrement moins marqué que celui identifié en 2007. Un gradient de concentration plus net s'observe au contraire pour le zinc en 2008, avec une concentration moyenne en P33 inférieure à celle trouvée en 2007 et avec des concentrations moyennes significativement supérieures en P12, P01 et dans une moindre mesure en P22 par rapport à la précédente campagne. Ceci pourrait être lié à l'augmentation de la durée de transplantation lors de la deuxième campagne, le zinc s'accumulant continuellement dans les tissus de cette espèce même après que l'animal a atteint un pseudo-équilibre avec son milieu ambiant.

Contrairement à la première campagne, pour laquelle un gradient léger mais régulier des concentrations en cuivre avait été identifié, aucun gradient n'a pu être détecté lors de la seconde campagne de 2008. Les concentrations moyennes sont quasiment identiques entre les deux campagnes pour les stations Maa, P33 et P22, mais ne montrent pas d'augmentation aux stations P12 et P01 comme en 2007. En ce qui concerne le manganèse, les concentrations mesurées lors de la seconde campagne sont systématiquement inférieures à celles trouvées lors de la première campagne en 2007 et ne révèlent qu'un très léger gradient (non significatif toutefois, cf. paragraphe précédent) entre le fond et la sortie de la baie. Cet élément est le seul pour lequel la station P33 montre une concentration moyenne légèrement supérieure à celle obtenue à la station P22.

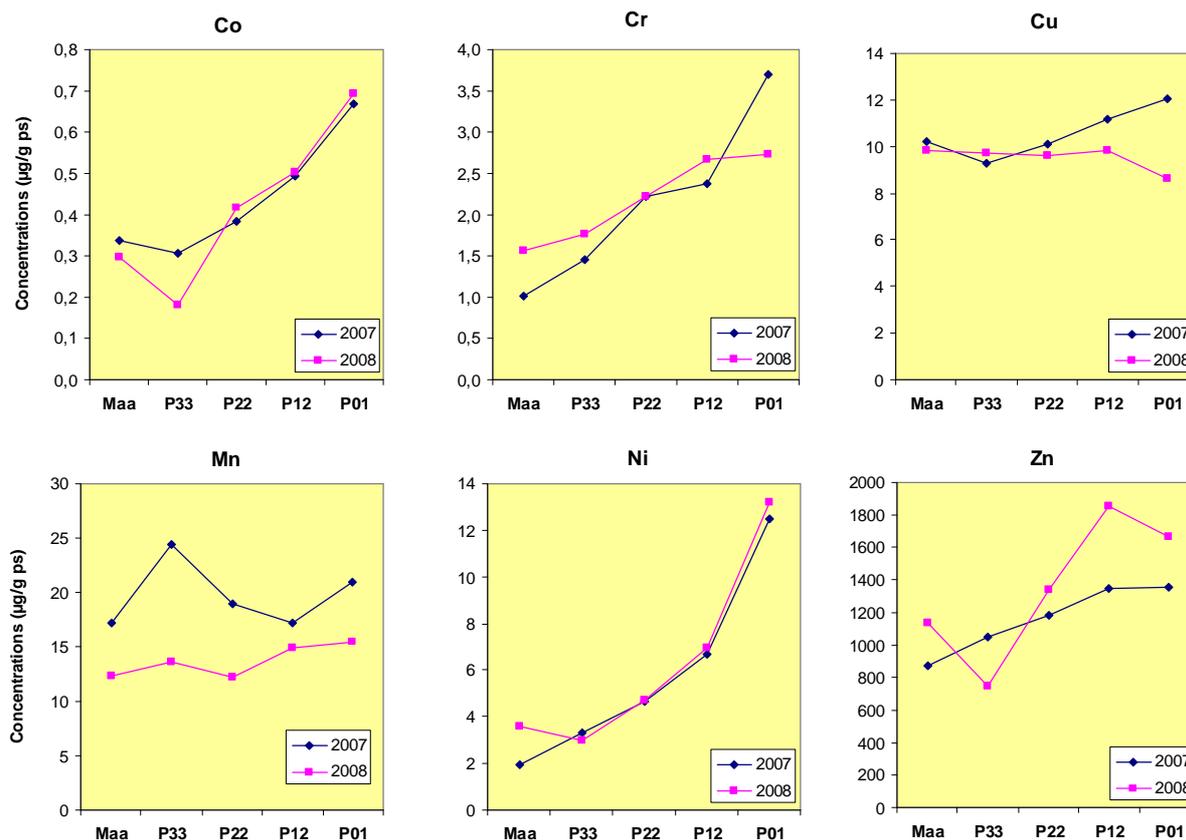


Figure 52 : Comparaison des concentrations mesurées à chaque station lors des deux campagnes de transplantation (2007/2008).

4.3.4 Etude de la croissance pondérale des bivalves transplantés

L'évolution du poids frais total moyen des lots avant et après transplantation a été étudiée afin de vérifier si les conditions environnementales de chaque station sont pénalisantes ou non pour la croissance des spécimens transplantés (Figure 53). Des tests statistiques de comparaison (test de Mann-Whitney) révèlent que le poids frais total des spécimens immergés sur les cinq stations a significativement augmenté au cours de la transplantation ($p=0,0002$ pour Maa et P33 ; $p=0,005$ pour P01, et $p=0,012$ pour P22), à l'exception toutefois du lot de la station P12 ($p=0,098$). Ces augmentations pondérales moyennes sont de 24 % en baie Maa, de 28 % en P33, de 17 % en P22, de 10 % en P12, et de 18 % en P01.

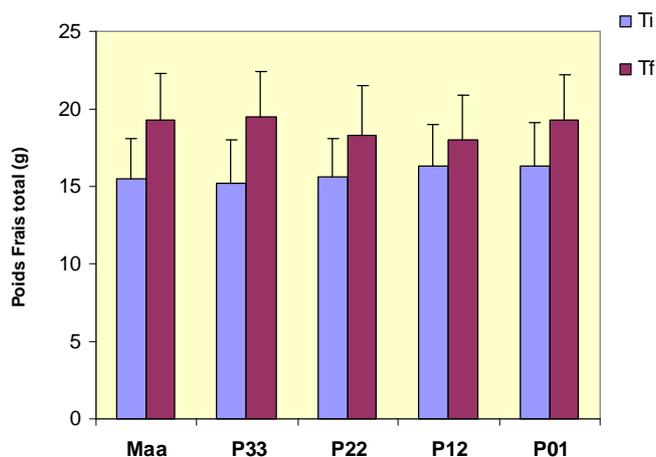


Figure 53 : Comparaison du poids frais total moyen des lots avant (Ti) et après (Tf) transplantation sur chaque station

L'étude de l'évolution du taux de croissance moyen journalier entre les stations (Figure 54) révèle une diminution nette et régulière de la croissance entre les stations P33 (située en sortie de baie) et P12 (située en fond de baie). Une légère augmentation de croissance s'observe entre les stations P12 et P01, le taux de croissance à cette dernière station atteignant une valeur similaire à celle calculée en P22.

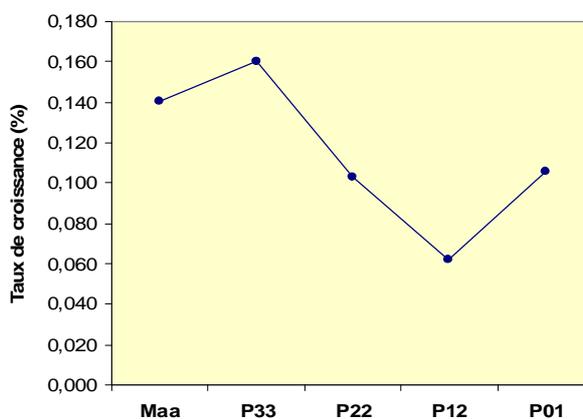


Figure 54 : Evolution du taux de croissance moyen journalier selon la station.

4.4 DISCUSSION

4.4.1 Suivi de la qualité des eaux et des sédiments

Le suivi de la qualité des eaux (mensuel) et des sédiments (annuel) avait pour principal objectif de vérifier l'existence d'un gradient de pollution entre la sortie et le fond de la Grande Rade de Nouméa. Dans une moindre mesure, l'objectif était de vérifier et d'optimiser le protocole de suivi proposé par le service instructeur. Par conséquent les résultats obtenus sur la période d'étude, juin 2008 / juin 2009, permettent de confirmer les conclusions de la campagne de 2007, à savoir :

- ▼ Absence de différences significatives de contamination métallique dans les eaux entre les stations et les profondeurs de suivis ;

- ✓ Absence de différences significatives de l'évolution la teneur en COT, dans les eaux, entre les stations et les profondeurs suivis ;
- ✓ Pour les eaux, réponse équivalente sur toutes les stations et sur les différentes profondeurs de suivi face à une pollution métallique et/ou organique (absence de gradient de pollution dans la Grande Rade);
- ✓ Pour les sédiments présence de gradients de pollution dans la Grande Rade entre D33 et D01 pour tous les métaux suivis ;
- ✓ Lors d'une remobilisation et/ou utilisation des sédiments de la Grande Rade, ceux-ci pourraient être considérés comme source de pollution potentielle en Chrome et Nickel (Teneurs > VDSS) ;
- ✓ Teneurs en Nickel, au niveau des sédiments de D01, caractérisant un impact sur le milieu (Teneurs > VCI usage non sensible).

4.4.2. Bioaccumulation des métaux

L'étude comparative des concentrations moyennes des différents métaux analysés entre les lots de bivalves immergés en 2008 sur les quatre stations de suivi indique l'existence d'un gradient de contamination de la baie de la Grande Rade par certains métaux tels que le cobalt, le chrome, le nickel et le zinc. Ce gradient est décroissant entre le fond de baie (stations P01 puis P12) et la sortie de baie (stations P22 et P33), ce qui suggère que l'usine de Doniambo constitue un des principaux points source de cette contamination plurimétallique de la baie. Les plus fortes concentrations moyennes ont été enregistrées à la station la plus au fond de la baie (P01) à l'exception du cuivre et du zinc. Pour ce dernier élément, la concentration moyenne la plus élevée a été trouvée à la station P12. Pour le manganèse, un léger gradient apparaît entre les stations P22 et P01 mais n'est pas statistiquement significatif. Pour le cuivre en revanche, aucun gradient de concentration n'a été détecté.

Ces résultats confirment globalement ceux obtenus lors de la première campagne de transplantation, ce qui indique clairement que le gradient de contamination précédemment observé n'est pas ponctuel et pourrait au contraire être permanent. La comparaison des résultats obtenus lors de ces deux campagnes consécutives révèle une quasi similitude des concentrations en Co et Ni tout le long de ce gradient d'une année à l'autre. Un gradient plus marqué en 2008 s'observe en revanche pour le zinc par rapport à 2007 ; le chrome montre une tendance inverse, avec des différences de concentrations entre les stations du gradient légèrement plus importantes en 2007. Le léger gradient des concentrations en cuivre précédemment trouvé lors de la première campagne n'a cependant pas été retrouvé, aucune différence de concentration n'ayant été détectée en 2008.

L'étude de la croissance pondérale des spécimens au cours de la période de transplantation à chaque station révèle qu'à l'exception de la station P12 (fond de baie), tous les lots immergés ont significativement grossi en termes de poids frais total moyen, soit des augmentations de 17 à 28 % par rapport à leur masse initiale. Ceci indique que les conditions physico-chimiques et trophiques (alimentation) ont été globalement suffisamment satisfaisantes pour permettre la croissance en poids des bivalves, sauf à la station P12. En revanche, l'examen de l'évolution du taux de croissance pondérale moyen journalier le long du gradient montre une nette décroissance des valeurs entre la sortie de baie (station P33) et le fond de baie (stations P12 et P01). Ceci pourrait résulter soit d'une diminution quantitative et/ou qualitative progressive des conditions trophiques entre ces stations, soit d'un impact écotoxicologique de la contamination chimique sur le métabolisme des bivalves transplantés. L'augmentation du taux de croissance observé à la station P01 pourrait s'expliquer par l'existence d'apports organiques importants favorisant la croissance des bivalves et contrebalançant l'éventuel effet toxique de la contamination ambiante.

Malheureusement, aucune analyse n'a pu être réalisée sur les algues transplantées en raison de leur disparition constatée lors de la remontée des cages en fin de transplantation. Les résultats de la première campagne n'ont donc pas pu être confirmés chez cette deuxième espèce. Parmi les hypothèses possibles, l'augmentation de la durée d'immersion en zone contaminée pourrait expliquer la disparition des algues ; celle-ci devrait donc être réduite à trois ou quatre mois maximum par la suite.

5. CONCLUSIONS - PERSPECTIVES

Au niveau méthodologie, la fréquence d'échantillonnage des eaux (mensuelle) semble adaptée si l'on veut permettre d'identifier une pollution et de pouvoir la suivre jusqu'à un éventuel retour à la normal (ex : augmentation brutale fréquente de la teneur en Zinc et COT).

Concernant les eaux, les teneurs en Cuivre et Plomb n'ont jamais dépassé le seuil de détection du laboratoire. Les données disponibles sur les sédiments sont également faibles et inférieures aux VDSS (hormis D12 en 2008) et/ou VCI correspondantes. Enfin les données obtenus sur les bioindicateurs sont soit non exploitables soit peu représentatives d'un gradient de pollution. Par conséquent il ne semble évident que ces deux paramètres soient utiles dans le cadre de ce suivi.

Concernant le suivi des sédiments, il semble que la fréquence d'échantillonnage (annuelle) soit suffisante pour permettre d'observer de légère évolution. Une attention particulière devra être faite au niveau de la station P12 afin de démontrer ou non l'incidence du refus pondéral à 2mm sur la précision des analyses.

D'un point de vue biologique, les deux campagnes conduites en 2007 et en 2008 ont permis de vérifier la faisabilité technique de la méthode de surveillance active par transplantation d'espèces bioindicatrices en stations artificielles (cages). Le matériel utilisé pour la transplantation a pu être testé dans des environnements fortement envasés afin d'en vérifier la résistance pendant toute la durée d'immersion. L'organisation des diverses opérations ainsi que les méthodes d'immersion et de récupération des cages ont pu être mises à l'épreuve et optimisées.

Les résultats acquis lors de ces deux campagnes indiquent l'existence d'un gradient de contamination en certains métaux entre la sortie et le fond de la baie de la Grande Rade, vraisemblablement permanent. Une surveillance à raison d'une campagne par an de cette baie selon cette méthodologie apparaît donc nécessaire pour suivre l'évolution à long terme de ce gradient.

En parallèle à l'étude de faisabilité technique présentée, cette méthodologie fait actuellement l'objet d'une validation scientifique finale dans le cadre d'un programme de recherche conduit à l'IRD sur la base d'un autre financement. Les résultats de la présente étude de faisabilité technique ainsi que ceux obtenus dans ce contexte de validation scientifique permettent maintenant de proposer cette méthode de transplantation pour la surveillance annuelle en routine de la qualité chimique du milieu marin et de son évolution à long terme.