



LE NICKEL - SLN

**SUIVI DU MILIEU MARIN SLN
CAMPAGNE 2007**



INGENIERIE EUROPE



**GINGER
SOPRONER**

*Observatoire
Environnements
Tropicaux*

Juin 2008

Dossier n° A001.07029.0001

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION.....	6
1.1 CONTEXTE.....	6
1.2 PROJET D'ARRETE ET AMENAGEMENTS	6
1.2.1 <i>Projet d'arrêté ICPE pour Doniambo</i>	6
1.2.2 <i>Aménagements de l'arrêté</i>	9
2. PRESENTATION DES POINTS D'ECHANTILLONNAGE.....	10
2.1 STATION 01	10
2.2 STATION 12	10
2.3 STATION 22	11
2.4 STATION 33	12
3. DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE DE 2007.....	13
3.1 SUIVI DE LA QUALITE DES EAUX	13
3.1.1 <i>Protocole</i>	13
3.1.2 <i>Prélèvements d'eau et conditions</i>	14
3.2 SUIVI DE LA QUALITE DES SEDIMENTS	14
3.2.1 <i>Protocole</i>	14
3.2.2 <i>Prélèvements de sédiments</i>	14
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	32
4.3 SUIVI DE LA CONTAMINATION METALLIQUE DANS LES BIOINDICATEURS.....	32
4.3.1 <i>Etude des concentrations en métaux dans les tissus biologiques</i>	32
4.3.2 <i>Etude de la croissance des bivalves transplantés</i>	32
4.3.3 <i>Etude de la condition physiologique des bivalves</i>	32
4.4 DISCUSSION	32
4.4.1 <i>Suivi de la qualité des eaux et des sédiments</i>	32
4.4.2 <i>Bioaccumulation des métaux</i>	32
4.4.3 <i>Croissance et condition physiologique des bivalves</i>	32
5. CONCLUSIONS - PERSPECTIVES.....	32

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).
Tableau n°5	Contrôle qualité de la méthode de minéralisation et des analyses chimiques.
Tableau n°6	Valeurs moyennes des paramètres de croissance en longueur et de croissance pondérale des bivalves transplantés (TCJ : taux de croissance journalière).

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</i> sp. 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 en métaux mesurées dans les chairs entières du bivalve <i>Isognomon isognomon</i> à chaque station (moyenne $\pm$ écart-type, n=5 pools de trois spécimens chacun)
Figure n°52	Variabilité des concentrations en métaux mesurées dans les frondes entières de la macroalgue brune <i>Lobophora variegata</i> à chaque station (moyenne $\pm$ écart-type, n=5 pools, sauf pour P33 : n=5 frondes individuelles).
Figure n°53	Evolution de la longueur maximale des valves et du poids frais total des lots de bivalves transplantés entre le début (Ti) et la fin de la période d'immersion (Tf).
Figure n°54	Comparaison interstation des indices de condition physiologique calculés après environ 120 jours de transplantation (n=15 spécimens/st.) (Ti : récolte initiale ; Tf : récolte en fin d'expérience).

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 2007 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 première campagne conduite en 2007.

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

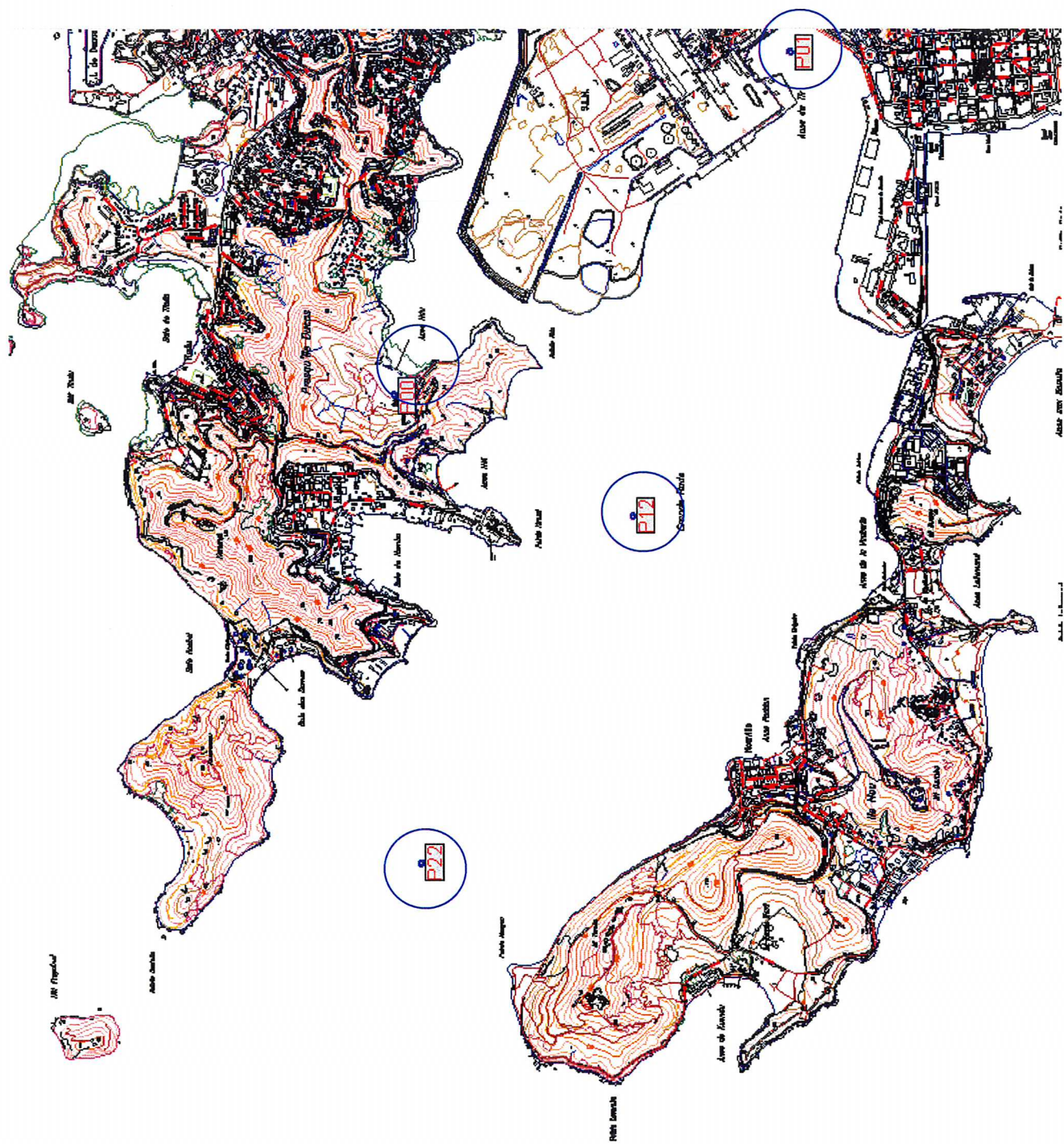


Figure n°1 : Localisation des points d'échantillonnage définis dans la projet d'arrêté ICPE de Doniumbo

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						
<u>Organismes tests</u> :							
Dans la faune							
Dans la flore							
<u>Sédiments</u> : 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 2007 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 2007 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 uniforme, 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.

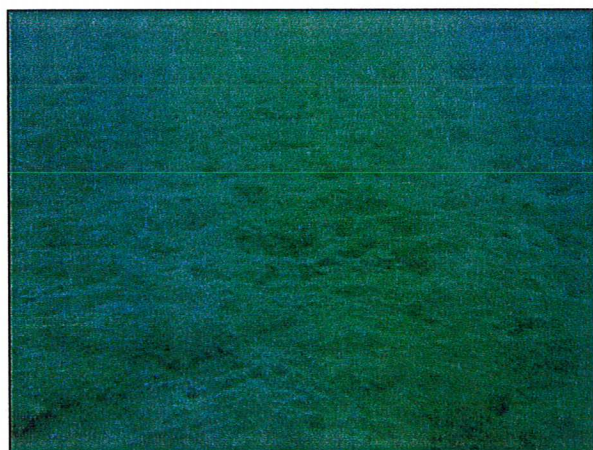


Figure n° 7 : Fond de vaso-sableux très uniforme



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 melampygus*) 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.

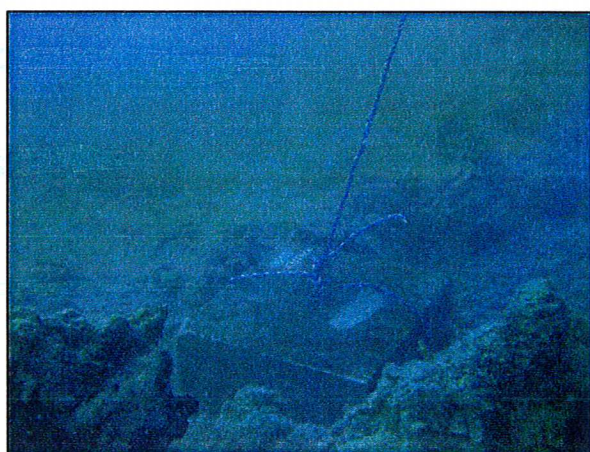


Figure n° 9 : Blocs épars sur fonds sablo-vaseux

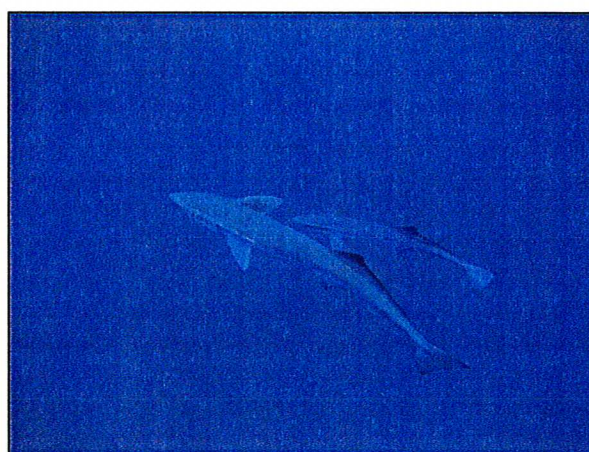


Figure n° 10 : *Remora remora*

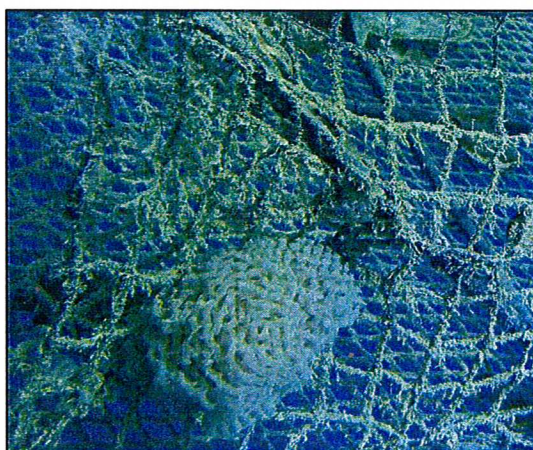


Figure n° 11 : Eponge *Clathrina sp.* sur la cage d'expérimentation

3. DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE DE 2007

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.

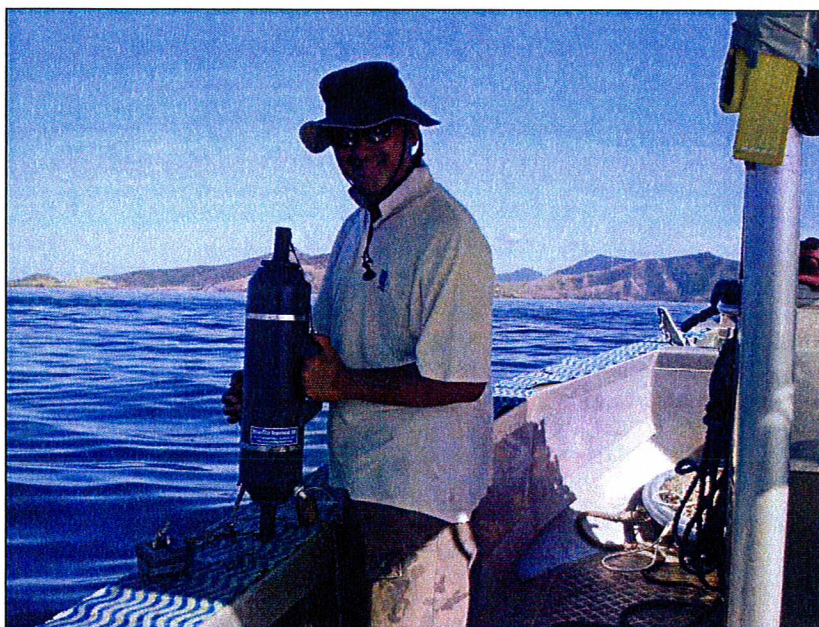


Figure n°12 : Echantillonneur 5 litres pour les prélèvements d'eau.

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 de la première campagne ont été analysés sur le Territoire par le laboratoire de la Calédonienne des Eaux (CDE) 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.

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

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 28 juin 2007 – Mission juin 2007 ;
- Prélèvements et analyses du 1^{er} août 2007 – Mission juillet 2007 ;
- Prélèvements et analyses du 4 septembre 2007 – Mission août 2007 ;
- Prélèvements et analyses du 25 septembre 2007 – Mission septembre 2007 ;
- Prélèvements et analyses du 8 novembre 2007 – Mission octobre 2007 ;
- Prélèvements et analyses du 29 novembre 2007 – Mission novembre 2007 ;
- Prélèvements et analyses du 8 janvier 2008 – Mission décembre 2007 ;
- Prélèvements et analyses du 6 février 2008 – Mission janvier 2008 ;
- Prélèvements et analyses du 11 mars 2008 – Mission février 2008.
- Prélèvements et analyses du 31 mars 2008 – Mission mars 2008 ;
- Prélèvements et analyses du 24 avril 2008 – Mission avril 2008 ;
- Prélèvements et analyses du 27 mai 2008 – Mission mai 2008.

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 (11 juillet 2007).

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 prélèvements de sédiments a été réalisée sur les 4 stations :

- Prélèvements et analyses du 11 juillet 2007 – Mission 2007.

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 la méthodologie mise en œuvre ainsi que les résultats obtenus suite à la première campagne conduite 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.

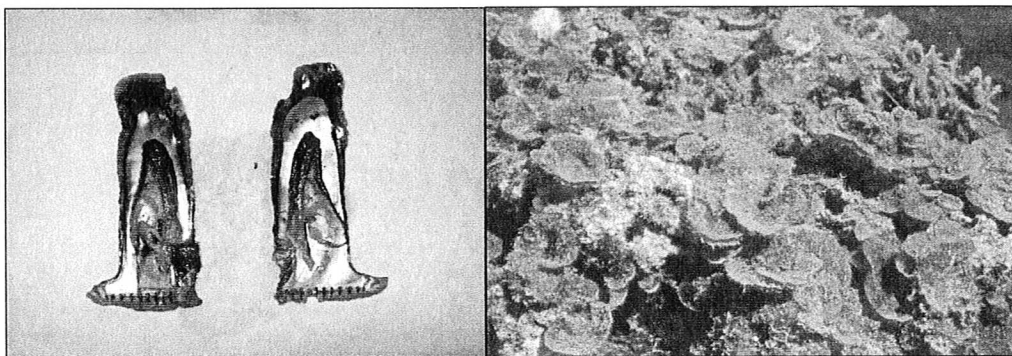


Figure 13 : Photographies des espèces bioaccumulatrices sélectionnées : le bivalve Isognomon isognomon et l'algue brune Lobophora variegata.

b. Récolte et étude des spécimens à transplanter

➤ Site de récolte

Plus de deux cent cinquante spécimens de bivalves ont été récoltés en plongée sous-marine dans l'anse nord de la baie Maa, dans des profondeurs inférieures à cinq mètres. Seuls les plus petits spécimens n'ont pas été récoltés. De même, plus d'une centaine d'algues dont les frondes mesuraient plusieurs centimètres de diamètre ont été prélevées le long du tombant externe du récif situé à l'entrée de cette baie, entre quatre et six mètres de profondeur. 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 fluviaux, industriels ou urbains significatifs dans cette baie.

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.

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.

➤ Préparation des spécimens (brossage, marquage)

Au laboratoire, tous les spécimens récoltés ont été soigneusement brossés et rincés à l'eau de mer afin d'éliminer les organismes encroûtants ainsi que les particules sédimentaires adhérentes. L'appartenance de chaque bivalve à l'espèce sélectionnée (*Isognomon isognomon*) a été vérifiée, et les individus appartenant à une autre espèce, très proche morphologiquement, ont été mis à l'écart. Les bivalves ont ensuite été essuyés avec du papier absorbant afin de sécher les coquilles avant leur marquage sur les deux valves avec un stylo-correcteur blanc (Fig. 14). Chaque fronde d'algue a également été époncée sur du papier absorbant avant leur pesée, mais n'a pas été marquée.

➤ Mesures biométriques

Tous les bivalves marqués (soit 220 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 époncée 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.

➤ 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.

Un total de 75 spécimens (15 bivalves par station, 5 stations) étant nécessaire pour cette première campagne, la distribution des poids frais totaux des 220 spécimens marqués a donc été étudiée afin de sélectionner la classe de poids à retenir pour les transplantations (Fig. 15). Cette distribution indique que 79 % des spécimens vivants récoltés pèsent entre 8 et 19 g. La moyenne des poids frais de ces spécimens est donc de 13,5 g. Les bivalves dont le poids frais est inclus dans cette fourchette autour de cette valeur ont donc été sélectionnés pour constituer les lots à transplanter aux différentes stations, et conservés en aquarium jusqu'à leur transplantation.

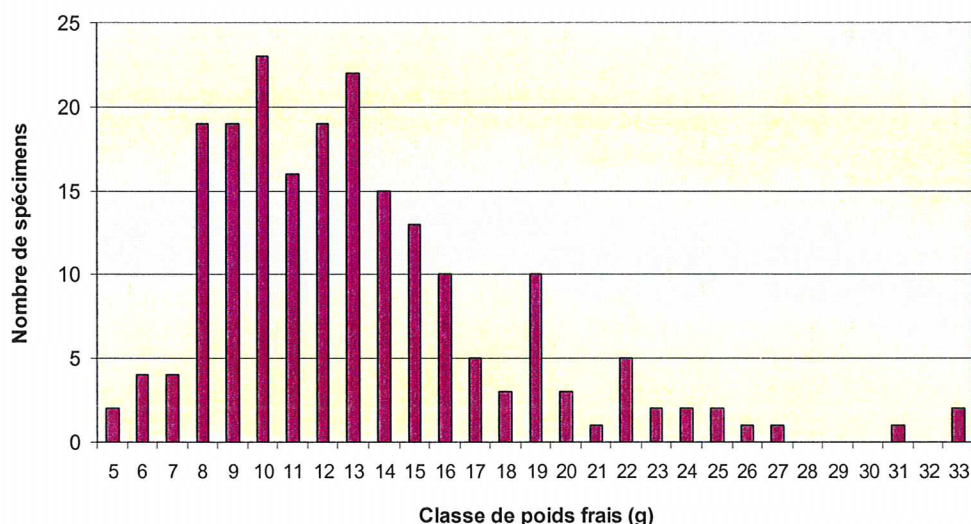


Figure 15 : Distribution des poids frais totaux des bivalves récoltés en Baie Ma.

Une fois soigneusement brossées et immédiatement après leur pesée, les algues de diamètre supérieur à environ trois ou quatre centimètres (afin d'être retenues par la maille des cages) et présentant une couleur et une forme normales ont été transférées dans des sachets plastique référencé au nom de chaque station. Les sachets percés de petits trous pour permettre la circulation d'eau tout en retenant les algues ont ensuite été fermés et disposés dans une glacière remplie d'eau jusqu'à leur réimmersion.

Un lot de quinze spécimens de chacune des deux espèces a également été constitué afin d'évaluer les concentrations initiales en métaux des spécimens transplantés. Les bivalves ont été placés en stabulation pendant 48 h dans un aquarium contenant de l'eau de mer filtrée afin d'éliminer les matières et les particules sédimentaires précédemment ingérées, dont la composition et la masse pourraient fausser les résultats des analyses chimiques des tissus et des pesées de détermination du poids sec. Les bivalves et les algues ont ensuite été mesurés et pesés (poids frais) avant d'être transférés dans un congélateur en attendant leur préparation pour les analyses.

c. Transplantation

➤ 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.

➤ *Immersion des cages*

Dès l'arrivée sur le point GPS précis de chacune des six stations de l'étude (Tableau 4), un lest muni de sa drisse reliée à une bouée de surface a été largué du bateau afin de signaler la position de la station. La longueur de la drisse varie selon la profondeur de la station et a été calculée pour que les flotteurs des cages des stations P12, P22 et P33 soient à une profondeur d'environ 12 m à marée basse. Cette profondeur est légèrement inférieure au tirant d'eau maximum des gros navires dont la route passe à proximité de ces stations.

La constitution du lot de bivalves à immerger à chaque station a ensuite été réalisée sur le bateau en prélevant au hasard les individus dans le stock sélectionné (cf. § Préparation des lots à transplanter.), conservé dans une glacière remplie d'eau de mer. Le numéro individuel de chaque spécimen prélevé a été noté. L'homogénéité des poids frais moyens entre les différents lots a été vérifiée statistiquement a posteriori (cf. § Résultats).

Une fois les quinze bivalves et les algues disposés dans la cage, celle-ci – munie de son flotteur - a été immergée par deux plongeurs sur le point repéré en surface, puis attachée à la drisse reliée au lest après ajustement de la profondeur. La signalisation de surface a ensuite été enlevée au moment du départ de la station. Pour les trois autres stations situées en faible profondeur (Tableau 4), les cages ont été disposées à environ un mètre au dessus du fond.

Les six cages ainsi mises en place sont restées immergées pendant environ quatre mois avant leur récupération, soit de mi-juillet jusqu'à la première quinzaine de novembre 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 LV	5,5	166°19.58	22°12.99
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

➤ *Récupération des cages*

Le repérage de chaque station a été effectué comme précédemment, en larguant depuis le bateau un lest relié à une bouée de surface sur le point GPS correspondant. La récupération des cages a ensuite été réalisée en plongée sous-marine à proximité de ce repère. Les cages ont été retrouvées plus ou moins facilement selon la visibilité de la colonne d'eau. Aux stations où la visibilité était réduite, une corde de plus de dix mètres de longueur a été attachée au lest précédemment largué, et les plongeurs tenant la corde ont décrits des cercles de rayon croissant jusqu'au repérage de la cage.

Cinq des six cages immergées ont été retrouvées. La sixième cage, celle de la station Maa LV, a été volée, la drisse reliant la cage au lest ayant été retrouvée à sa place initiale, l'extrémité sectionnée nette. Une nouvelle récolte d'algues résidentes sur le site a donc été réalisée pour permettre les analyses de métaux.

Les cages des stations P33 et P22 ont été retrouvées posées au fond et non en pleine eau à 12 m de profondeur. Leur flotteur était fortement abîmé et réduit en volume ; celui-ci n'assurait donc plus leur flottabilité.

Un biofouling important (mucus piégeant du sédiment et des algues, organismes encroûtants) a été observé sur les cages Maa II, P01 et dans une moindre mesure P12, alors que les cages P33 et P22 étaient relativement propres. Ce biofouling est susceptible d'entraîner une réduction de la circulation de l'eau dans les cages, donc potentiellement des apports en phytoplancton dont se nourrissent les bivalves, ainsi qu'une réduction de la quantité de lumière dont les algues ont besoin pour réaliser la photosynthèse. Des visites régulières (toutes les trois semaines environ) des cages devront donc être assurées lors de la prochaine campagne afin de broser les cages pour éliminer ce fouling.

➤ *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 broyée et rincée, puis époncée 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 broyés et rincés après repérage de leur marquage, puis mesurés au pied à coulisse et pesés entier après épongeage 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 *Isognomon* de la station P01.

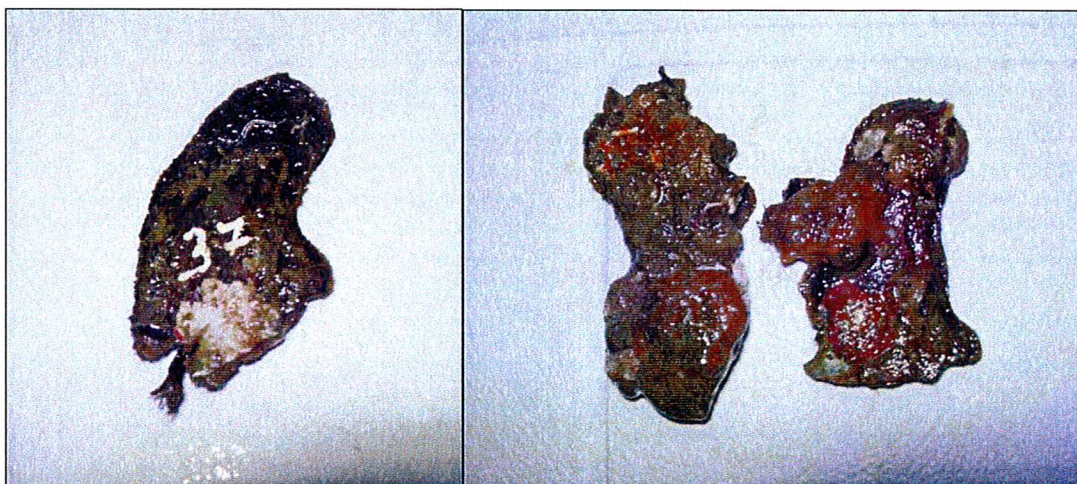


Figure 17 : Photographies d'un spécimen marqué sans épibiose en fin d'expérience (cage P33) et de deux spécimens recouverts d'organismes encroûtants recouvrant le marquage (cage P01).

2.4. Minéralisation et analyses des métaux accumulés dans les tissus

Les chairs entières des bivalves et les frondes des algues congelées ont été lyophilisées, écrasées et morcelées manuellement dans leur sachet, puis pesées afin d'obtenir les poids secs. Chaque échantillon a ensuite été minéralisé (destruction de la matière organique et libération des métaux associés) par contact à forte température avec un mélange (5 mL) d'acide nitrique concentré (HNO₃ 65 %) et de peroxyde d'hydrogène (H₂O₂ 30 %) de qualité analytique. Les solutions ainsi obtenues en fin d'attaque ont été diluées à 20 ml avec de l'eau ultrapure puis stockées jusqu'à leur analyse dans des fioles en polyéthylène précédemment décontaminées.

Afin de réduire autant que possible le nombre d'analyses, donc le coût total de cette première étude méthodologique, cinq pools ont été analysés à chaque station pour chaque espèce. Chaque pool est constitué de deux frondes algales (sauf à la station P33 : analyses individuelles) ou de trois bivalves tirés au hasard parmi les quinze individus de chaque station.

Six répliqués de matériel biologique de référence certifié pour l'analyse des métaux-traces (de concentrations en métaux connues) d'origine marine (DORM-2, Conseil National de Recherche Canada) ont été insérés dans les séries d'échantillons et traités de manière similaire afin de vérifier la validité des méthodes de minéralisation et d'analyse. Six blancs de réactifs ont également été minéralisés et analysés conjointement afin de détecter d'éventuelles contaminations lors des manipulations et de calculer les limites de détection de l'appareil avec cette méthode.

La réalisation des analyses a été confiée au Laboratoire des Moyens Analytiques (LAMA) du Centre I.R.D. de Nouméa, qui bénéficie d'une bonne expérience dans le domaine de l'analyse de métaux dans les tissus biologiques d'origine marine. L'appareil utilisé est une ICP-OES (Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry) Optima 3300 DV (Perkin-Elmer).

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.

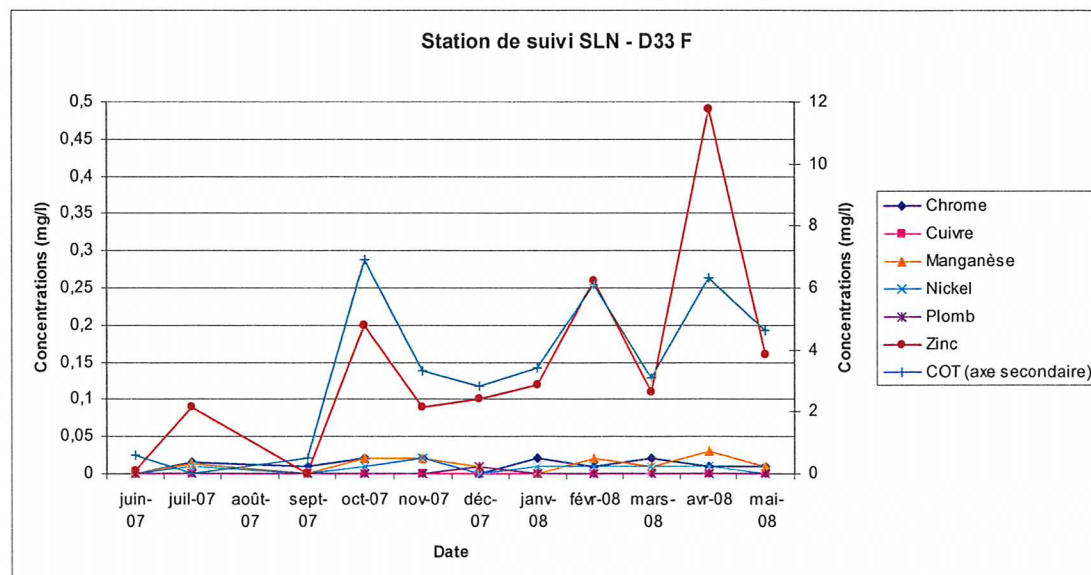
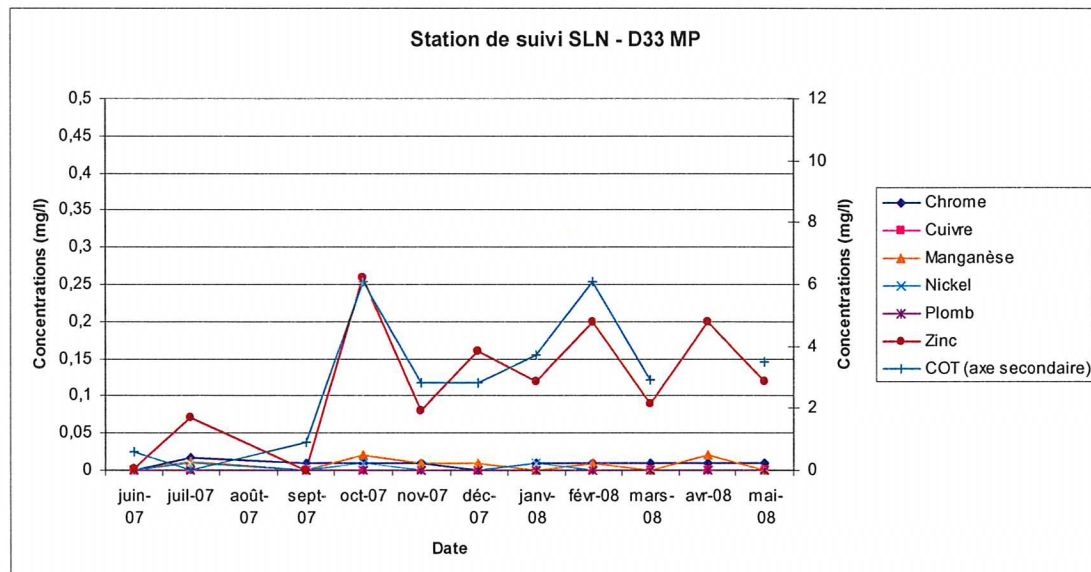
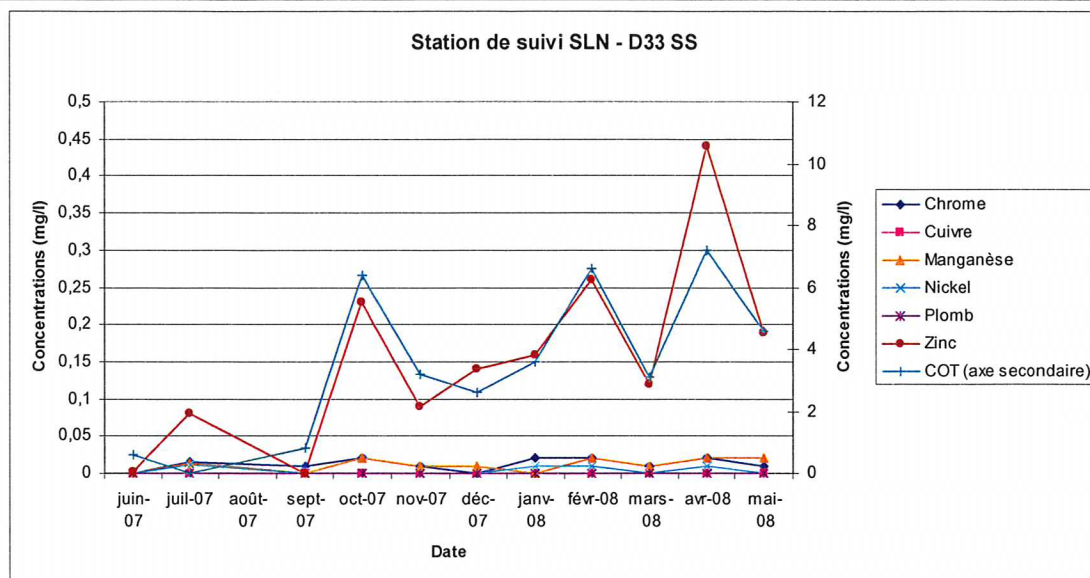
Pour l'ensemble des stations, entre juin 2007 et mai 2008, les teneurs en Chrome, Manganèse et Nickel restent toujours comprises entre les limites de détection du laboratoire (0,01mg/l) et 0,03mg/l. Ce maximum n'a été observé que sur la mission d'avril 2008 et seulement pour le Manganèse. Pour le reste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

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 entre juin 2007 et mai 2008.

Pour l'ensemble des stations la teneur en Zinc est comprise entre juin 2007 et mai 2008 entre 0,001 et 0,49 mg/l (valeur maximale observée en avril 2008 sur D33F). Sur cette même période les valeurs du COT se situent entre < 0,5 et 12 mg/l (valeur maximale observée en avril 2008 sur D22MP).

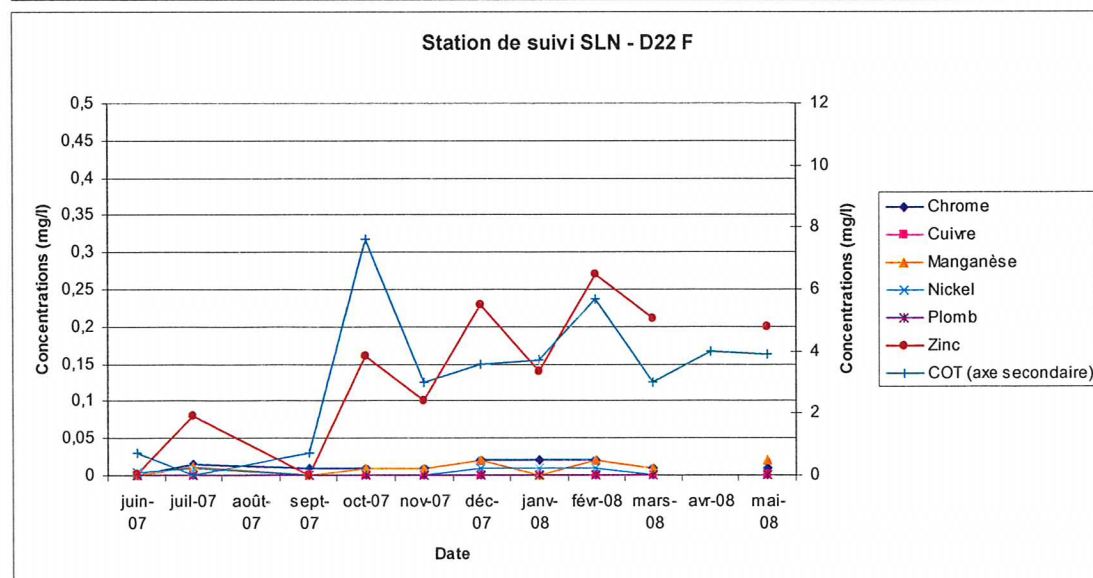
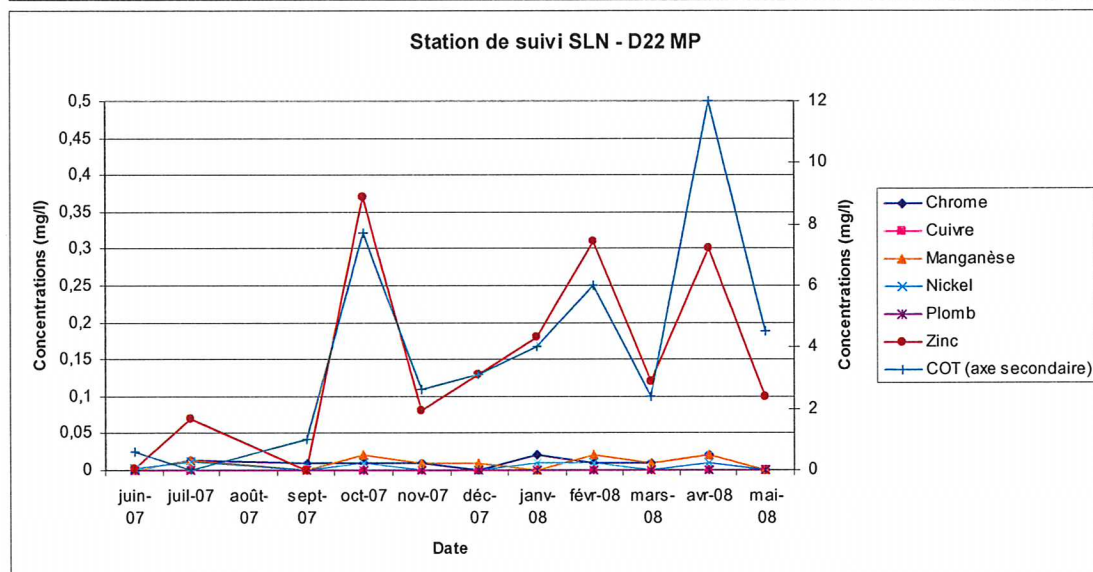
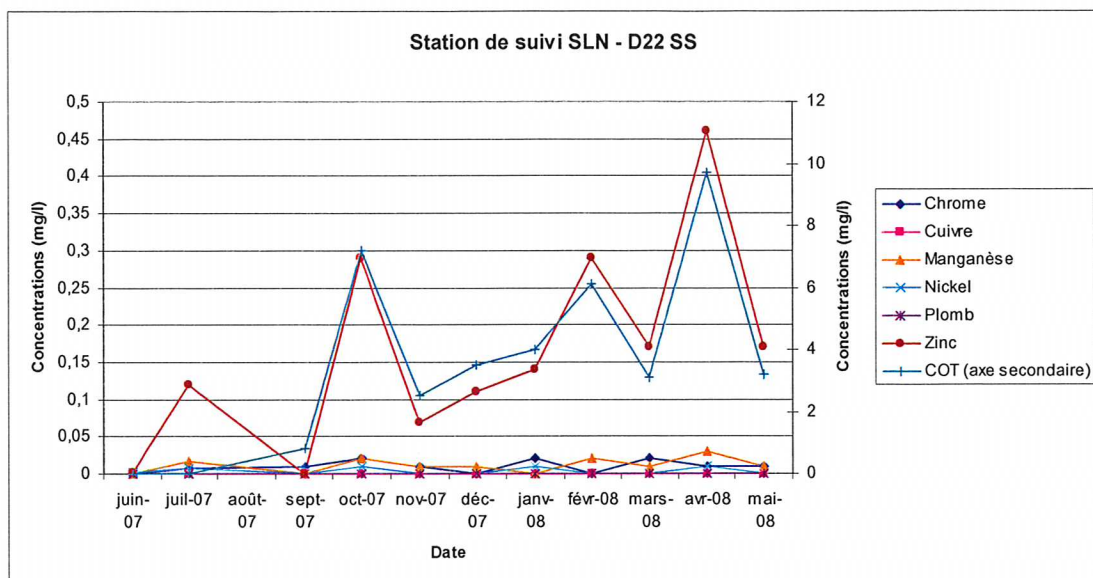
D'un point de vue chronologique quatre périodes sont visibles durant cette première année de suivi :

- juillet 2007-septembre 2007 : légère augmentation du paramètre Zinc et dans une moindre mesure des paramètres Manganèse, Chrome et Nickel sur le premier mois puis diminution jusqu'en septembre (teneurs les plus basses observées pour le zinc sur l'ensemble de la campagne) ;
- septembre 2007-novembre 2007 : accroissement majeur ponctuel des paramètres COT et Zinc et également dans une moindre mesure des paramètres Manganèse, Chrome et Nickel. Les teneurs observées diminuent pour atteindre des valeurs faibles en novembre 2007 ;
- novembre 2007-mars 2008 : accroissement progressif entre novembre et février des paramètres COT et Zinc. Cette tendance est beaucoup moins perceptible pour les autres paramètres. Seul le Manganèse présente un maximum commun au COT et au Zinc en février 2008. Un retour à des valeurs moyennes est observable en mars 2008 ;
- mars 2008-mai 2008 : malgré l'absence de certaines données, notamment sur D12 (casse du flaconnage durant le transport vers le laboratoire), un accroissement majeur ponctuel est observable en avril 2008 pour le COT et le Zinc. Pour ces deux paramètres, les valeurs maximales ont été observées sur cette période (avril 2008). A nouveau cette tendance est beaucoup moins perceptible pour les autres paramètres. Seul le Manganèse présente un maximum commun au COT et au Zinc en avril 2008. Pour ce paramètre également il s'agit de la plus forte valeur observée durant cette 1^{ère} année de suivi (0,03 mg/l). Un retour à des valeurs moyennes est observable en mai 2008.

D 3 3*Figures n°18 à 20 :
Résultats sur les eaux
de la station D33*

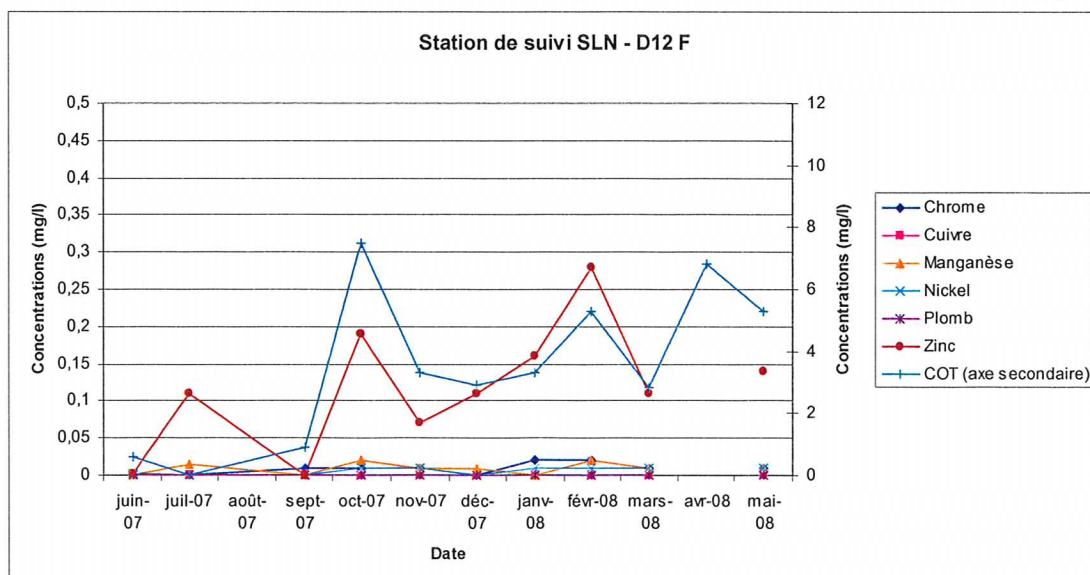
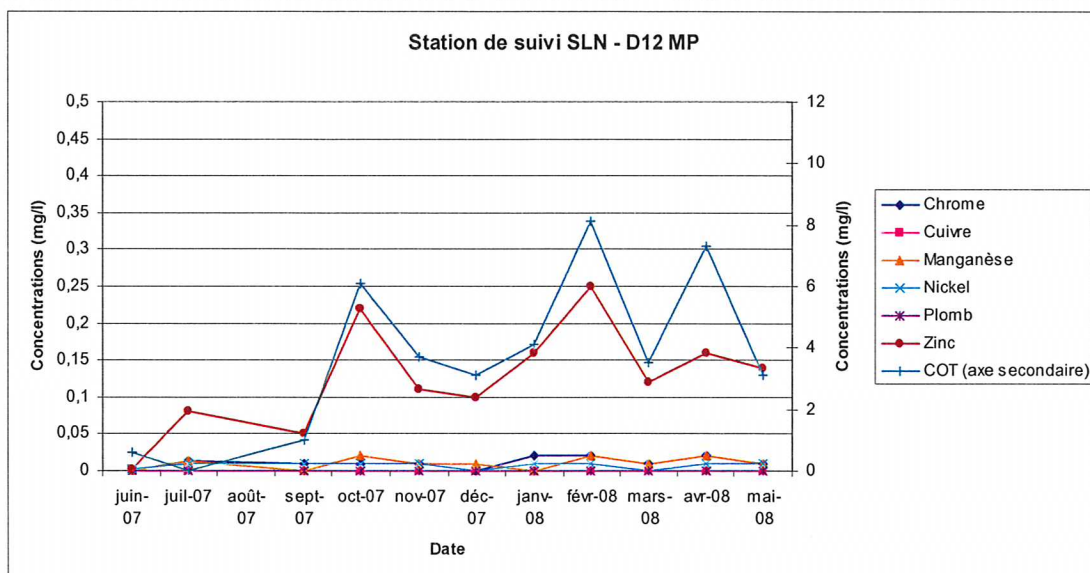
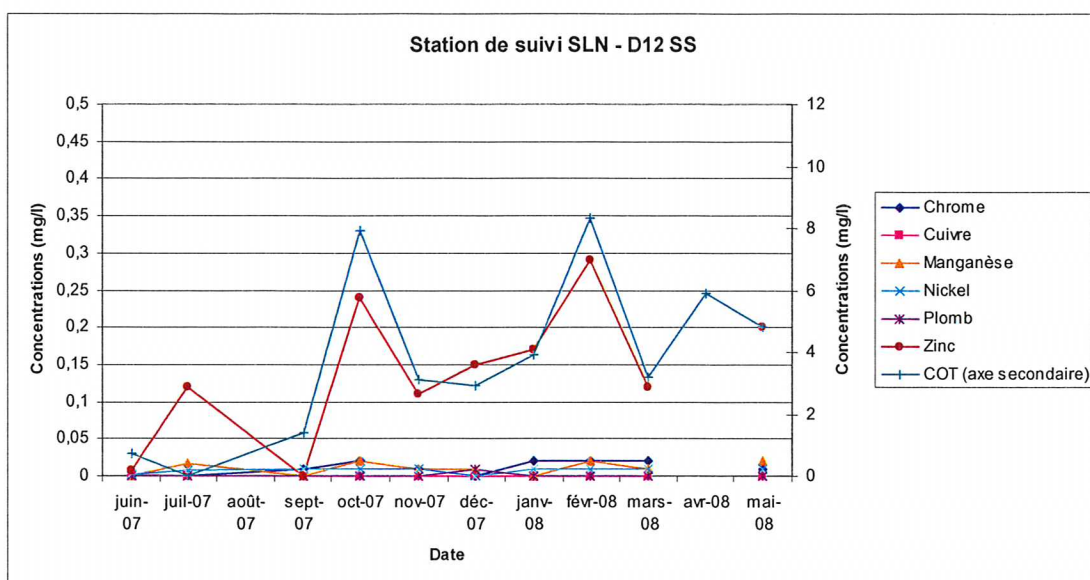
D 2 2

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

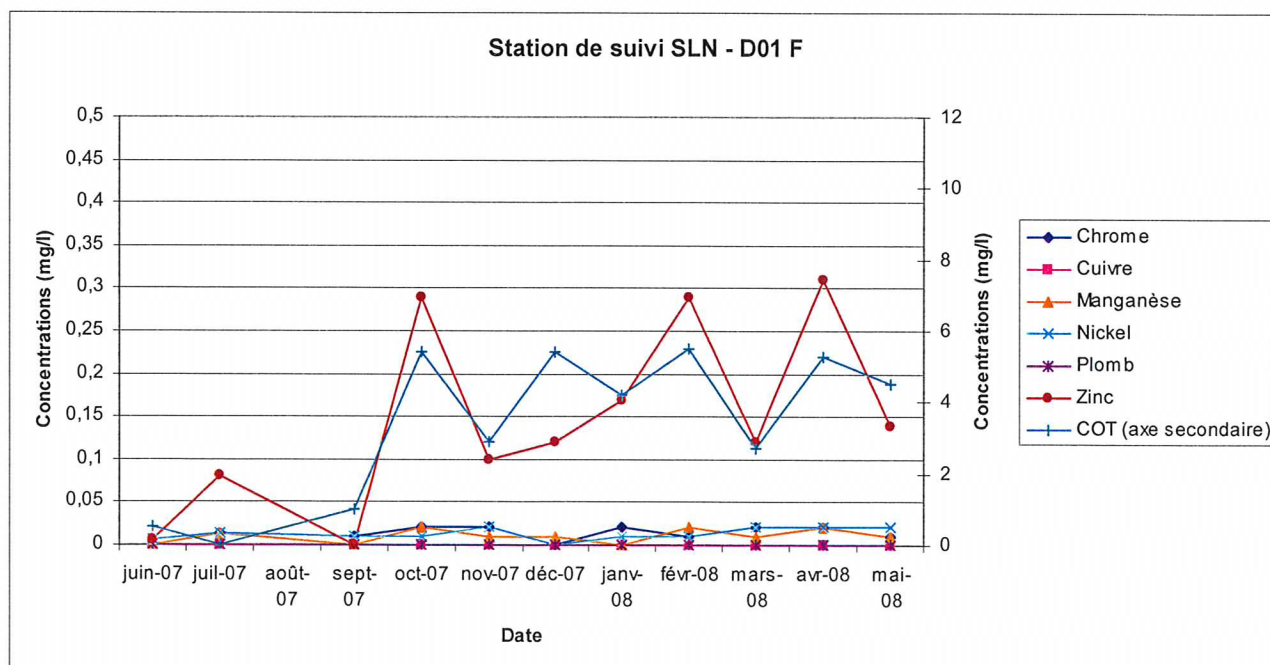
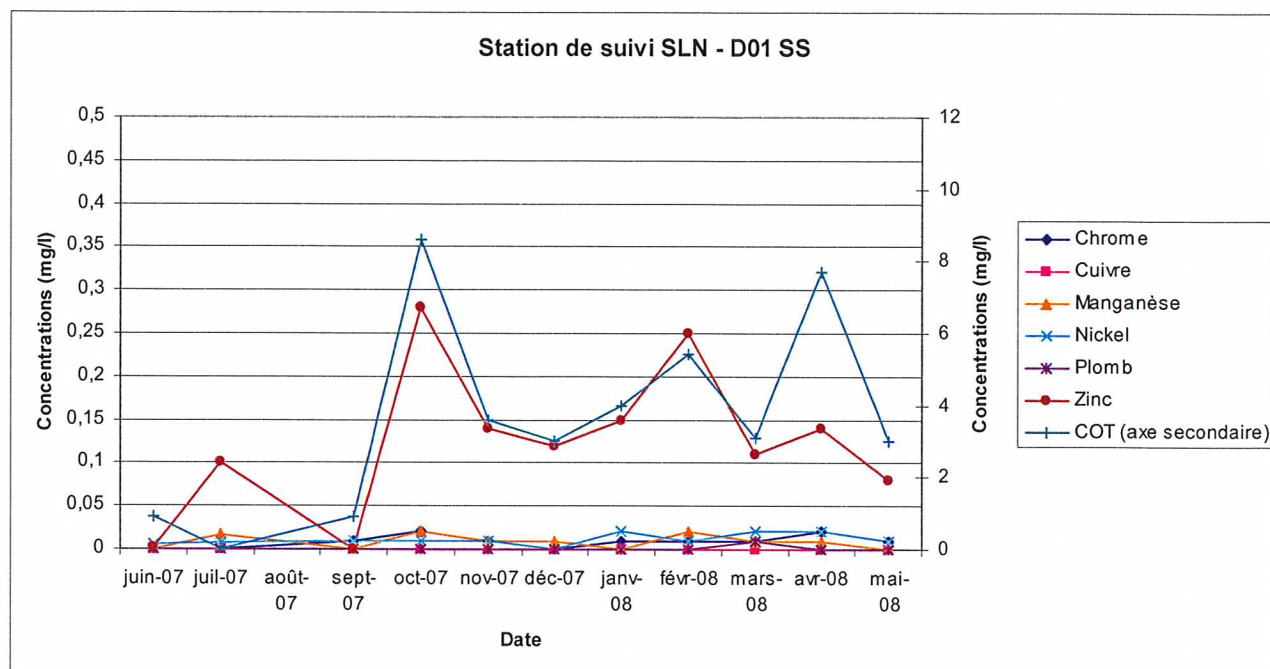


D 1 2

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).

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.

Une légère tendance semble toutefois se dégager concernant le paramètre Zinc. Pour une campagne donnée et une profondeur donnée, les teneurs maximales ont été observées sur D22MP (octobre 07, janvier 08, février 08 et avril 08) et D22F (décembre 07, mars 08 et mai 08).

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, entre juin 2007 et mai 2008 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, entre juin 2007 et mai 2008 n'ont jamais dépassées 0,49 mg/l.

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 :

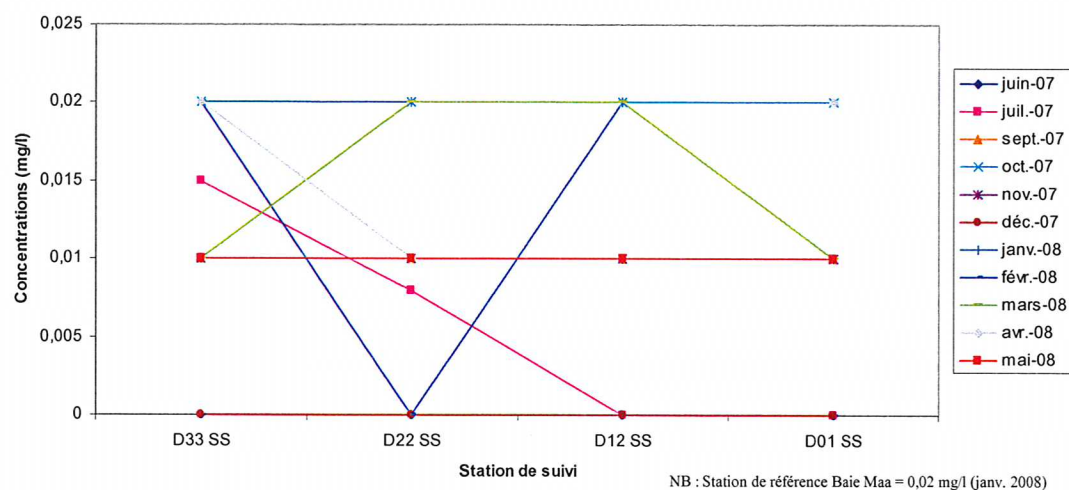
- une origine algale, c'est le carbone constitutif du phytoplancton que l'on peut estimer par le dosage de la chlorophylle ;
- une origine détritique qui représente les apports de l'érosion et des pollutions.

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).

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.

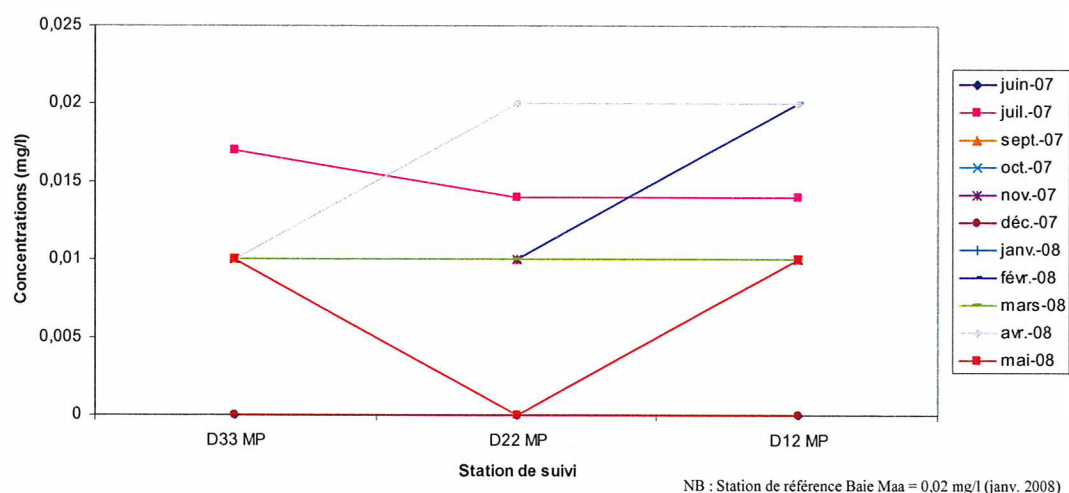
L'eau de mer brute (sans apport anthropique) a une concentration en COT de l'ordre de 1 mg/l. Durant la période juin 2007 / mai 2008, les valeurs de COT observées ont été comprises entre < 0,5 et 12 mg/l.

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



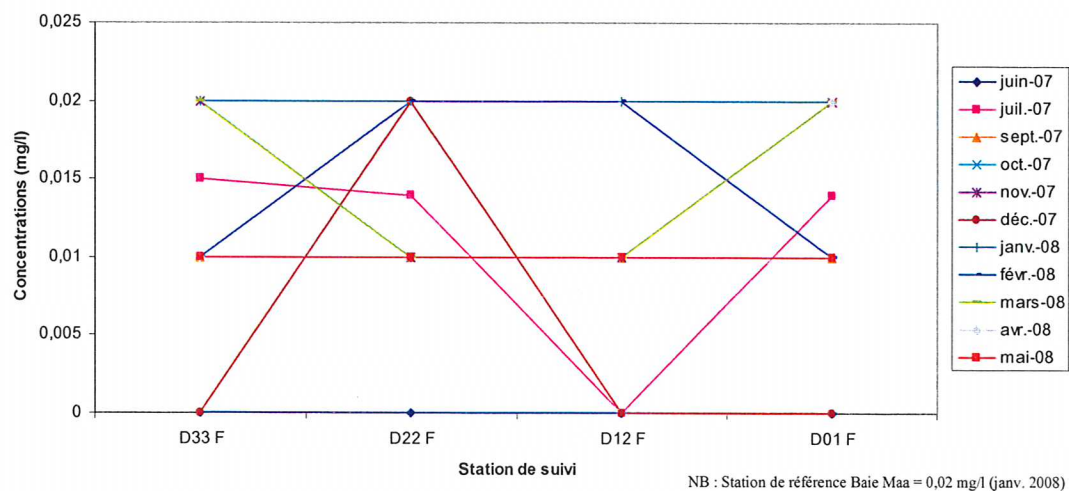
Figures n°29 à 31 :
Teneurs en Chrome
observées sur les
stations de suivi

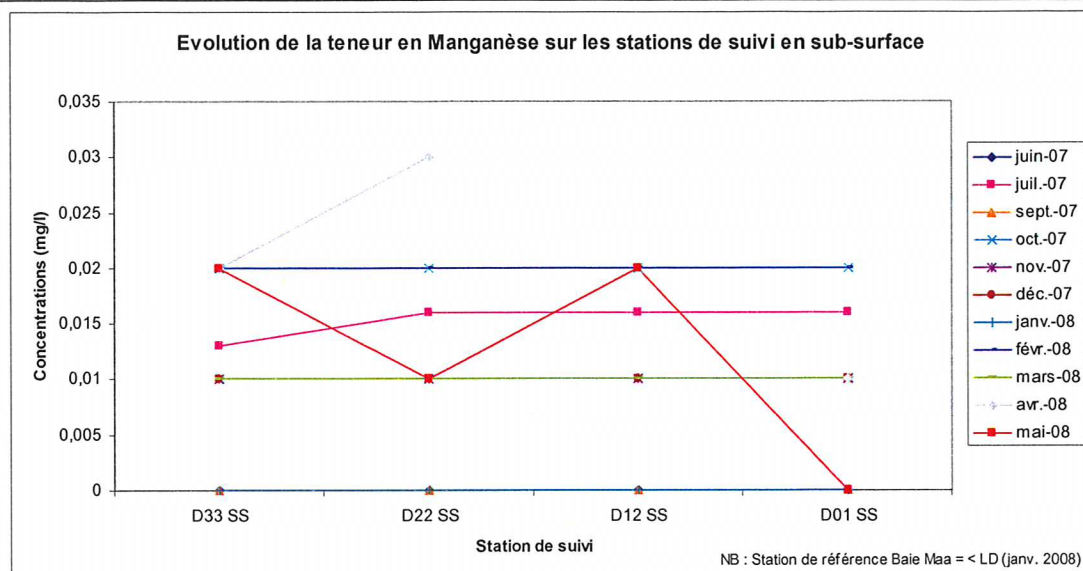
Evolution de la teneur en Chrome sur les stations de suivi à mi-profondeur



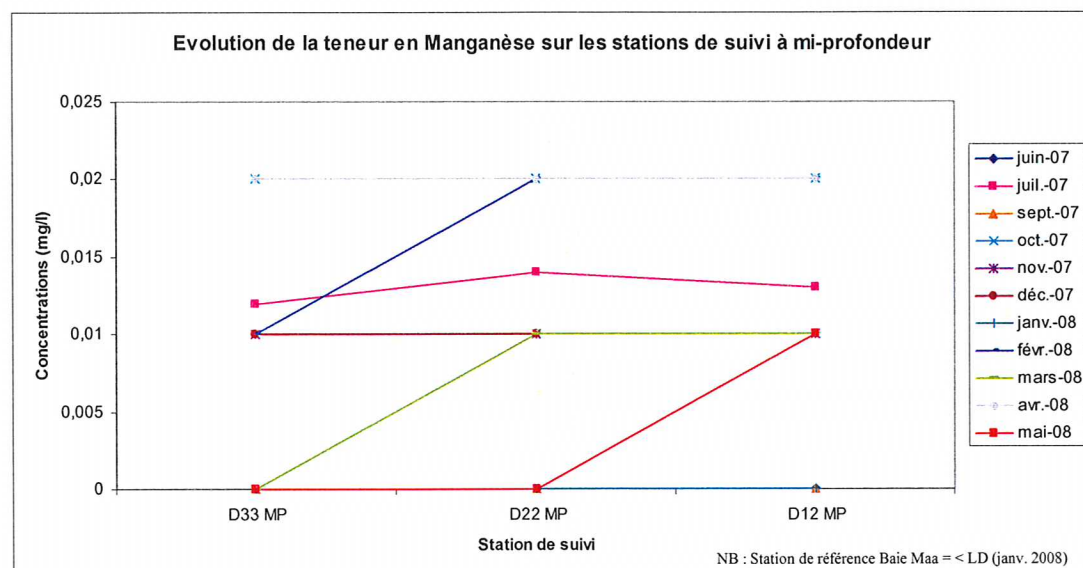
**C
H
R
O
M
E**

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

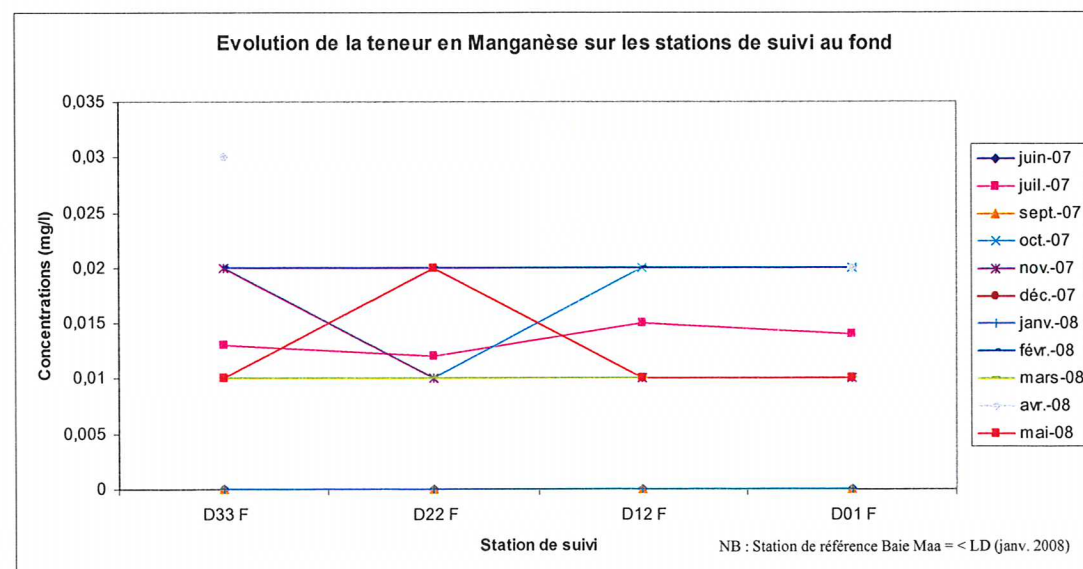


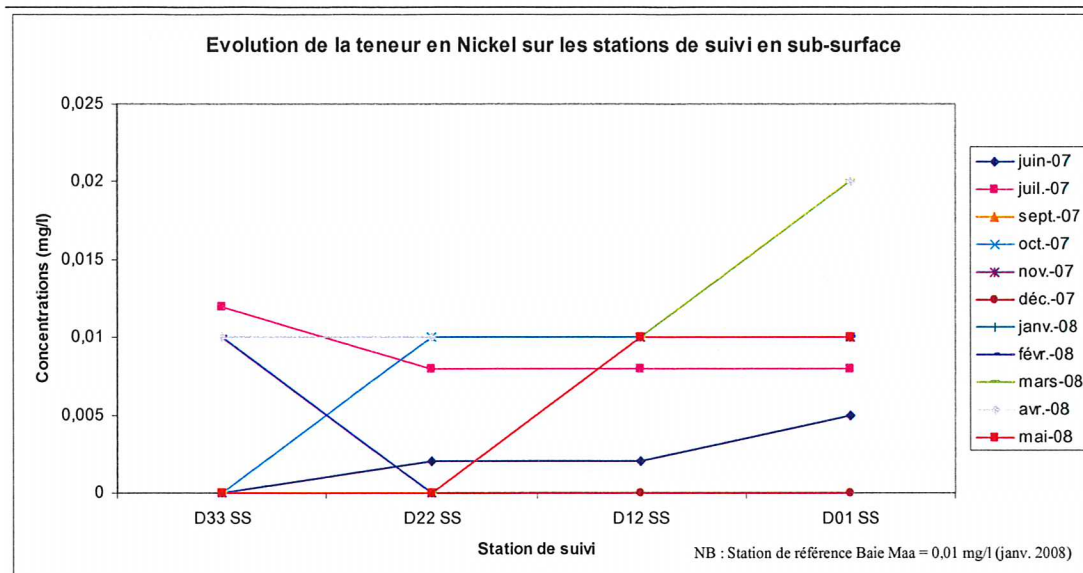


Figures n°32 à 34 :
Teneurs en
Manganèse observées
sur les stations de suivi

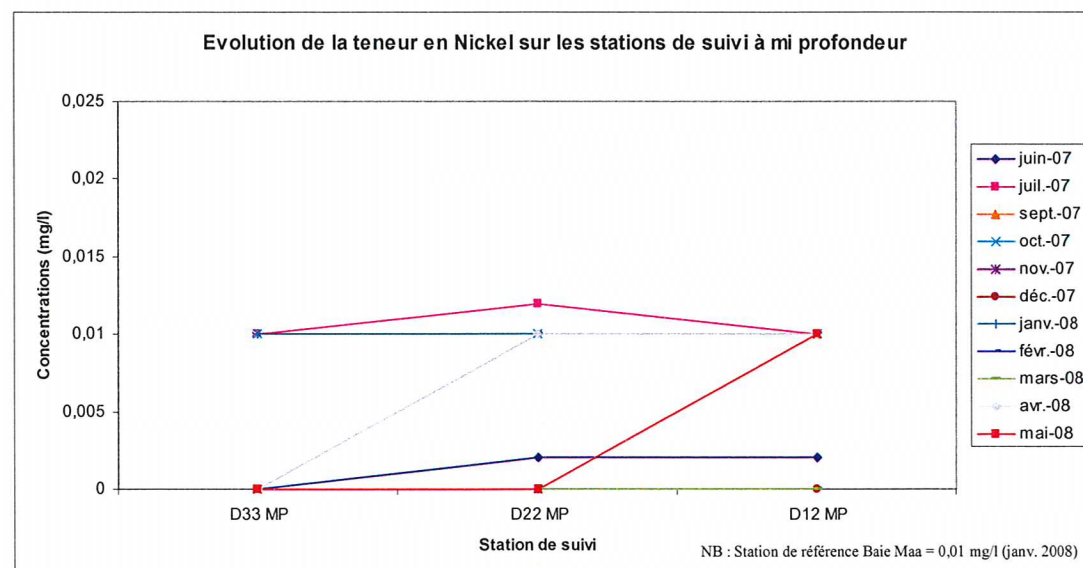


**M
A
N
G
A
N
E
S
E**

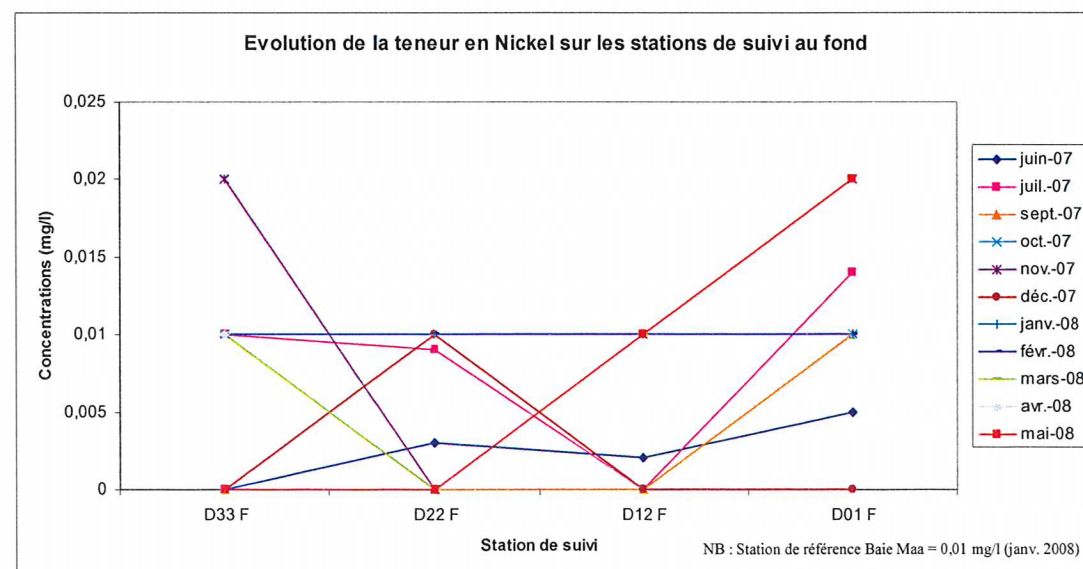


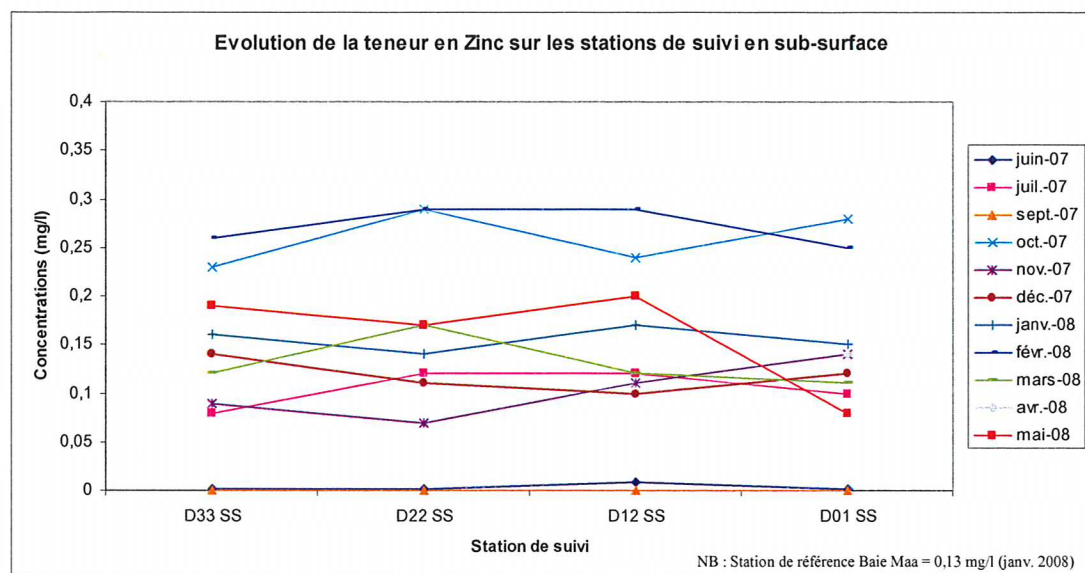


Figures n°35 à 37 :
Teneurs en Nickel
observées sur les
stations de suivi

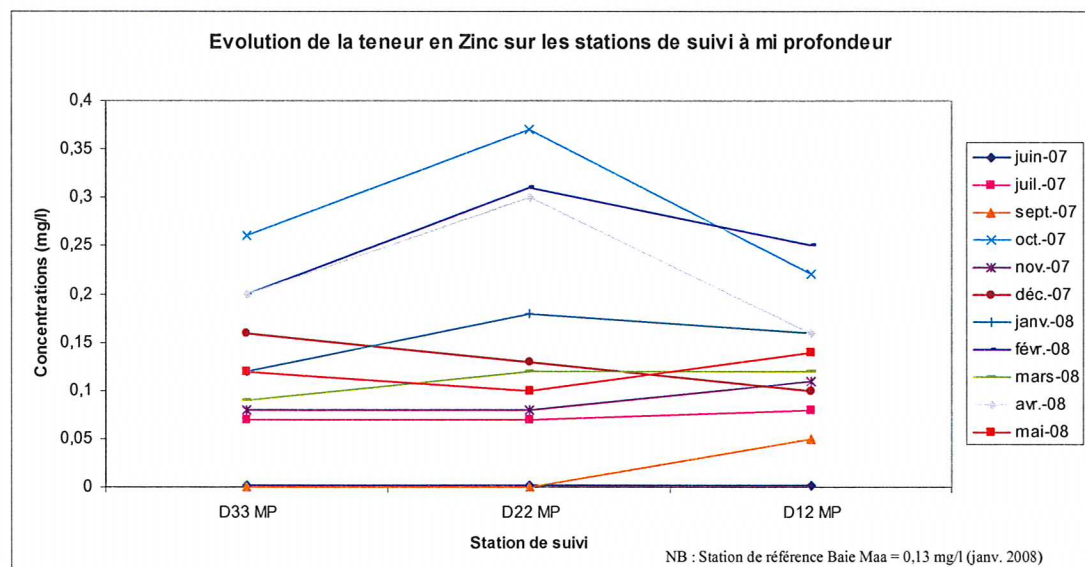


**N
I
C
K
E
L**

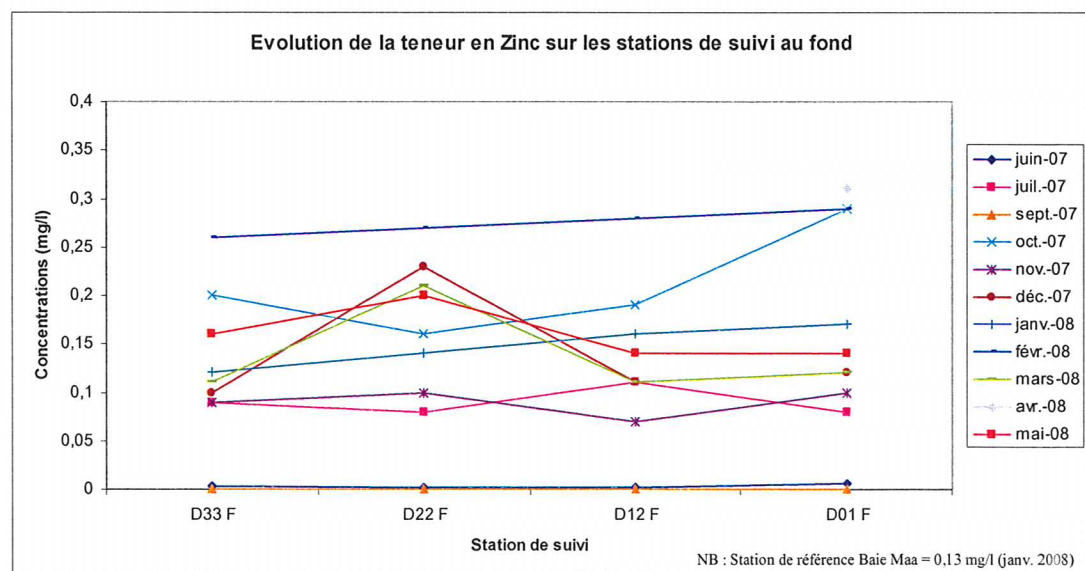


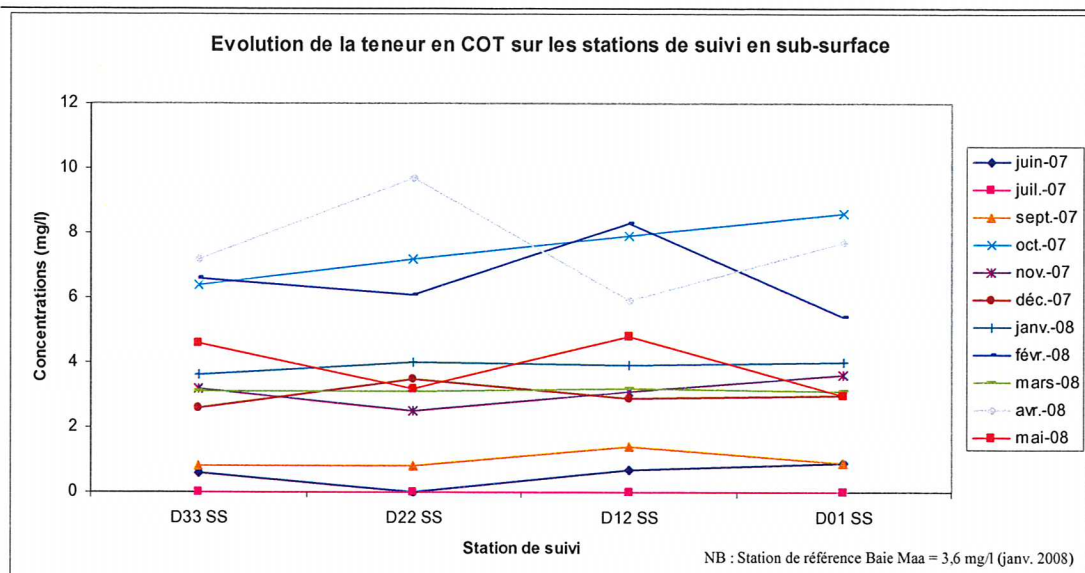


Figures n°38 à 40 :
Teneurs en Zinc
observées sur les
stations de suivi

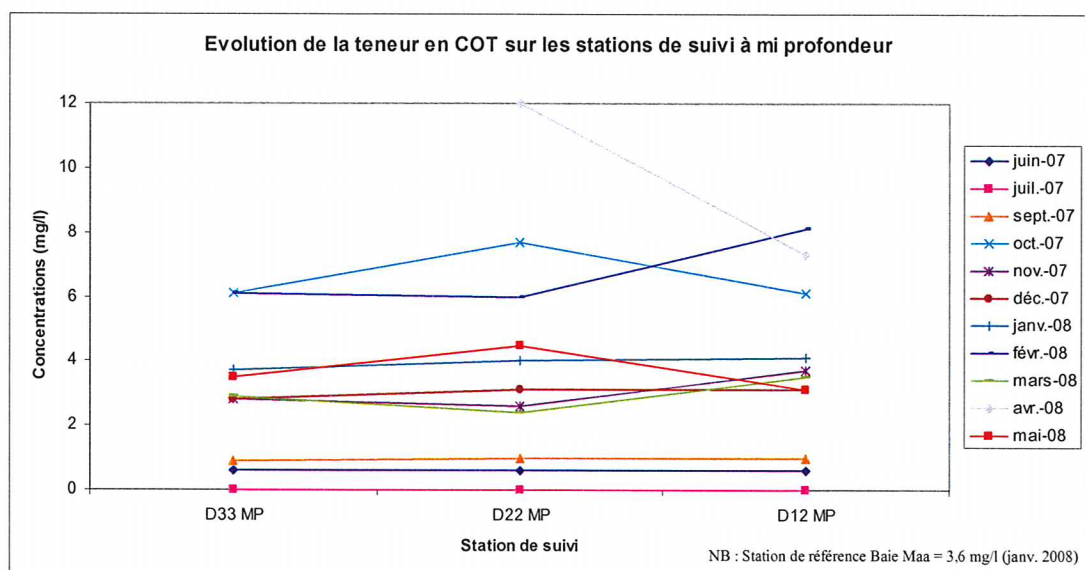


**Z
I
N
C**

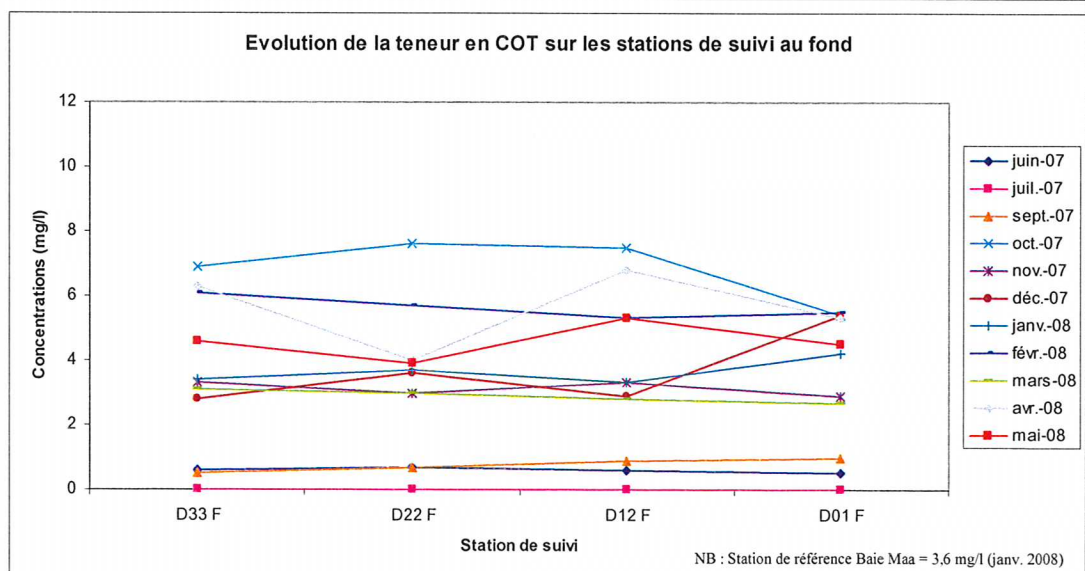




Figures n°41 à 43 :
Teneurs en COT
observées sur les
stations de suivi



**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, il apparaît clairement un gradient de pollution entre D33 et D01. Il est toutefois notable que la concentration en Plomb dans les sédiments est maximale au niveau de D12 puis diminue au niveau de D01. Une vérification de ce constat pourra être faite ultérieurement à partir des teneurs en plomb observées dans les tissus des bioindicateurs.

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 117 et 311 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.

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 (141 à 231 mg/kg MS) possèdent des concentrations supérieures à celle de la Baie Maa et de la VDSS mais sont largement inférieures à la VCI.

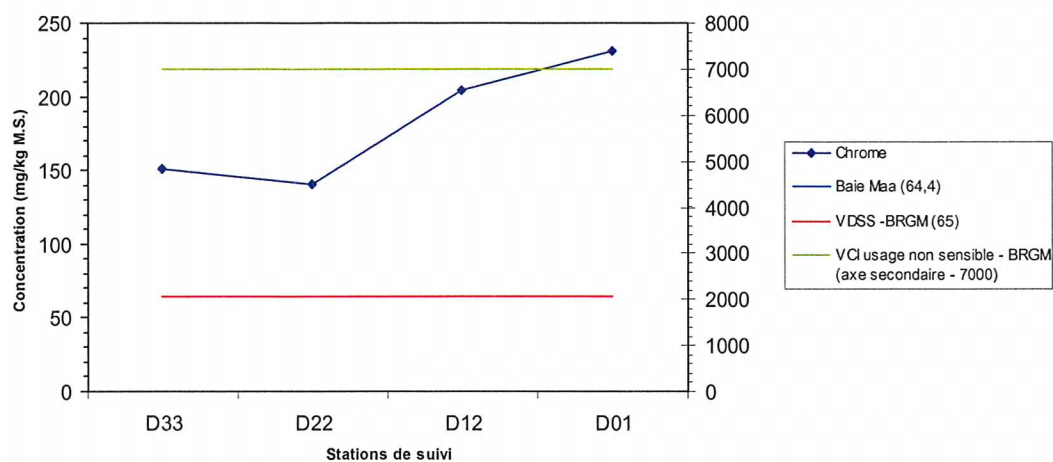
Pour le Cuivre, les teneurs observées sur les 4 stations (<5 à 15,9 mg/kg MS) sont inférieures à la VDSS (95 mg/kg MS) et à la VCI usage sensible (950 mg/kg MS) définies par le BRGM. De plus les stations D33 et D22 possèdent des teneurs inférieures à la Baie Maa, tandis que les sédiments provenant de D12 et D01 sont plus concentrés en Cuivre.

Le même constat peut-être fait pour le Plomb et le Cobalt puisque les stations de suivi présentent des concentrations inférieures aux VDSS et VCI respectives. Cependant pour ces deux paramètres les teneurs en Plomb et Cobalt dans la Grande Rade sont toujours 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, comprises entre 23,9 et 112 mg/kg MS, 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.

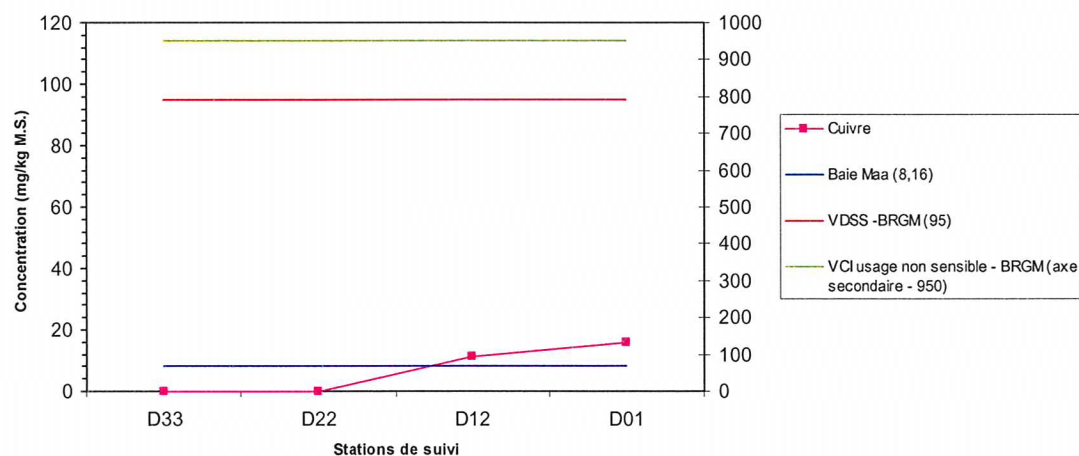
Pour le Nickel, les teneurs observées sur les 4 stations (300 à 2220 mg/kg MS) sont toutes supérieures à la VDSS (70 mg/kg MS) et à la teneur mesurée en Baie Maa (86,6 mg/kg MS). Ce dernier résultat montre même que la station de référence présente également une concentration en nickel supérieure à la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

Teneurs en Chrome des sédiments de la Grande Rade de Nouméa
Prélèvements du 11 juillet 2007

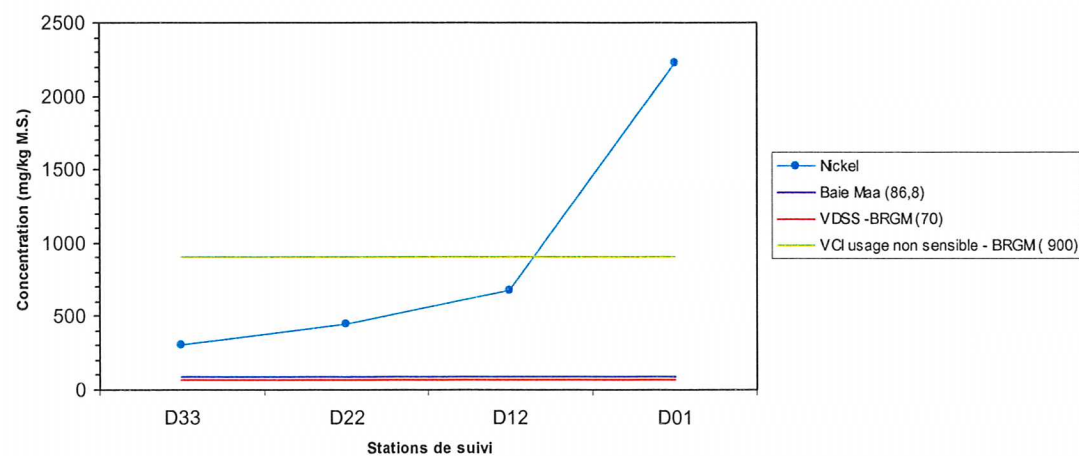


Figures n°44 à 46 :
Evolution de la teneur
en Chrome, Cuivre et
Nickel dans les
sédiments de la
Grande Rade de
Nouméa (D33 à D01).

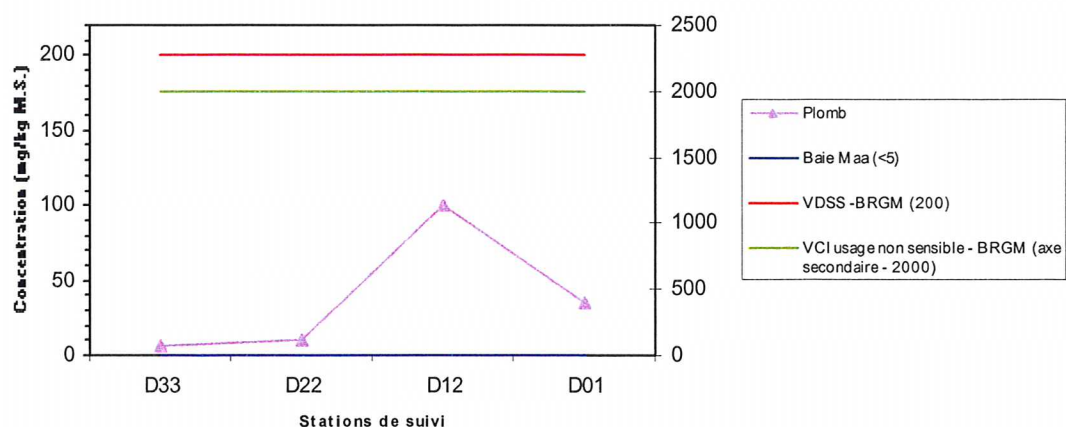
Teneurs en Cuivre des sédiments de la Grande Rade de Nouméa
Prélèvements du 11 juillet 2007



Teneurs en Nickel des sédiments de la Grande Rade de Nouméa
Prélèvements du 11 juillet 2007

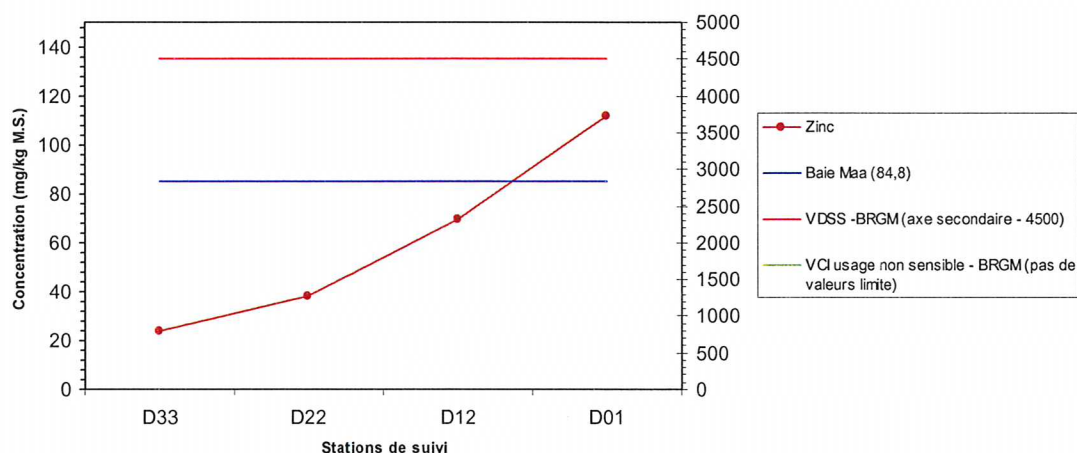


Teneurs en Plomb des sédiments de la Grande Rade de Nouméa
Prélèvements du 11 juillet 2007



*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).*

Teneurs en Zinc des sédiments de la Grande Rade de Nouméa
Prélèvements du 11 juillet 2007



Teneurs en Cobalt des sédiments de la Grande Rade de Nouméa
Prélèvements du 11 juillet 2007

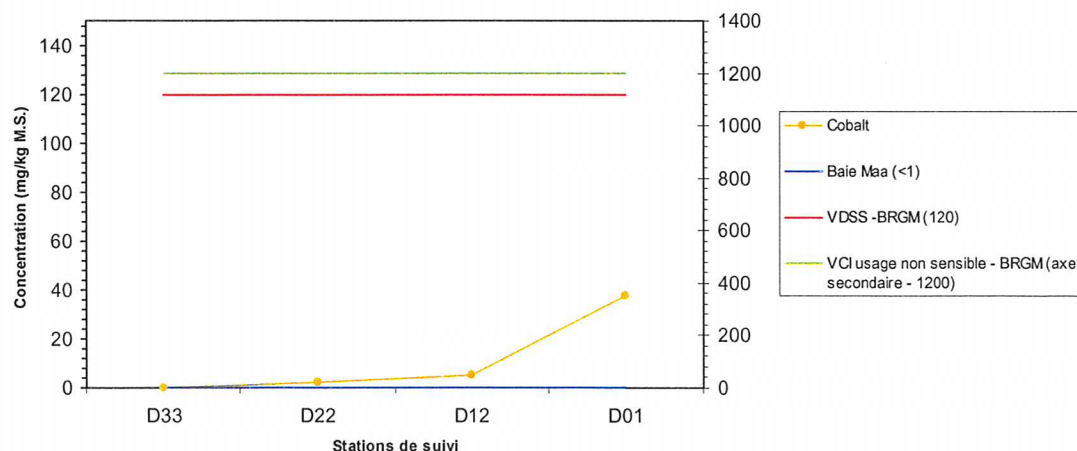
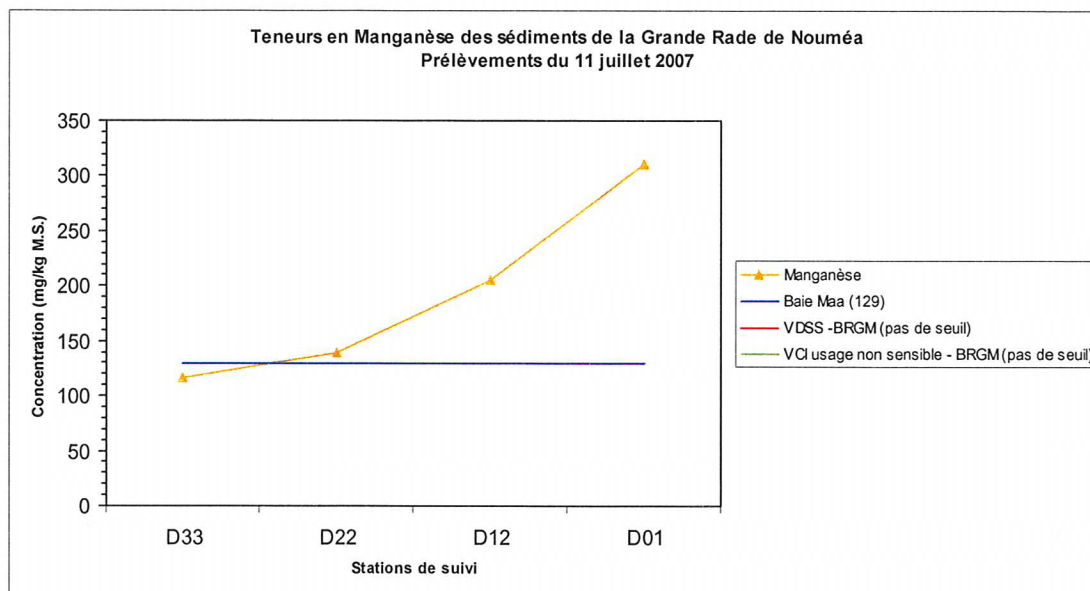


Figure n°50 : Evolution de la teneur en Manganèse dans les sédiments de la Grande Rade de Nouméa (D33 à D01).



4.3 SUIVI DE LA CONTAMINATION METALLIQUE DANS LES BIOINDICATEURS

4.3.1. Etude des concentrations en métaux dans les tissus biologiques

Un contrôle qualité de la méthode de minéralisation et des analyses chimiques par ICP-OES a été réalisé afin de déterminer la justesse et la précision des mesures (Tableau 5). La justesse a été évaluée en comparant les résultats des analyses du matériel biologique de référence (CRM) inséré dans nos séries d'échantillons avec les valeurs certifiées ; pour tous les métaux sauf le plomb (concentration trop proche de la limite de détection), les valeurs moyennes mesurées sont comprises dans l'intervalle de confiance certifié, avec de faibles écarts (erreur relative généralement inférieure à 10 %).

La précision de la méthode a été déterminée en étudiant la variabilité des concentrations de chaque métal mesurées dans les six réplicats de CRM. Les résultats montrent une très bonne précision des mesures, avec des coefficients de variation inférieurs à 5 % à l'exception du plomb. Les résultats d'analyses de cet élément dans les échantillons de bivalves et d'algues doivent donc être considérés avec prudence, bien que les concentrations mesurées soient toutes supérieures à la limite de détection.

Tableau 5 : Contrôle qualité de la méthode de minéralisation et des analyses chimiques.

	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
Valeurs mesurées *	0,19 ± 0,01	32,0 ± 1,3	2,45 ± 0,06	3,66 ± 0,13	17,4 ± 0,6	0,034 ± 0,013	27,7 ± 0,9
Valeurs certifiées **	0,18 ± 0,03	34,7 ± 5,5	2,34 ± 0,16	3,66 ± 0,34	19,4 ± 3,1	0,065 ± 0,007	25,6 ± 2,3
Erreur relative (%)	+ 3	- 8	+ 5	0	- 10	- 47	+ 8
Coeff. Variation (%)	3,7	4,0	2,5	3,5	3,6	38,2	3,1
LD (µg/L) ***	0,27	0,23	4,38	0,25	0,84	1,28	41,3
LD moyen (µg/g ps)	0,03	0,03	0,49	0,03	0,09	0,14	4,64

* moyenne ± écart-type (en µg/g poids sec (ps)) (n=6)

** moyenne ± intervalle de confiance (en µg/g ps)

*** LD : Limite de Détection ; LD moyen : moyenne des deux LD calculées avec la masse la plus élevée (0,695 g ps) et la masse la plus faible (0,102 g ps) de l'ensemble des échantillons.

Les limites de détection de l'appareil des métaux en solution (en µg/L) et dans les tissus biologiques (en µg/g de poids sec) obtenues avec cette méthode sont indiquées dans le tableau 5.

a. Concentrations en métaux chez les bivalves

➤ Niveaux de concentration

A chaque station, les concentrations moyennes mesurées dans les chairs entières varient très fortement selon l'élément considéré et décroissent globalement selon l'ordre suivant (valeur moyenne minimale – valeur moyenne maximale, en µg/g de poids sec) : Zn (875-1357) >> Mn (14,6-24,4) > Cu (9,3-13,5) > Ni (2,0-12,5) > Cr (1,0-3,7) > Co (0,31-0,67). A l'exception du cuivre et du manganèse, les plus fortes concentrations sont observées chez le lot de la station P01, en fond de baie ; les concentrations les plus faibles ont été mesurées à la station de référence (Maa II) à Tf (après transplantation) (Cr, Mn, Ni, Zn) ou en baie de Dumbéa (P33) (Co, Cu) (Fig. 6). Les concentrations en plomb varient de $0,33 \pm 0,06$ (Maa, à Ti) à $1,72 \pm 0,13$ µg/g poids sec (ps) à la station P01. Des valeurs anormalement élevées ont été mesurées en P33 ($23,0 \pm 1,8$ µg/g ps) et à la station Maa à Tf ($6,1 \pm 0,9$ µg/g ps).

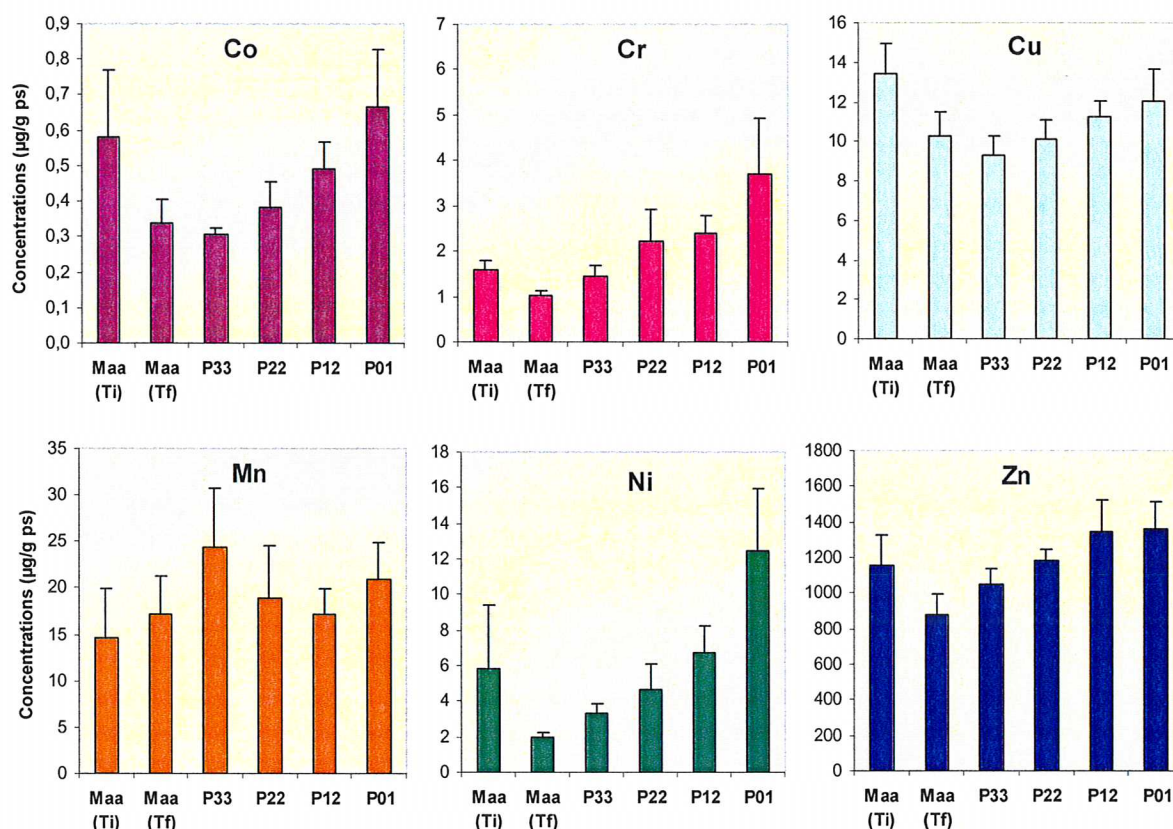


Figure 51 : Variabilité des concentrations en métaux mesurées dans les chairs entières du bivalve *Isognomon isognomon* à chaque station (moyenne $\pm$ écart-type, $n=5$ pools de trois spécimens chacun).

Les concentrations mesurées à la station de référence (Maa II) à T_i (récolte initiale) et T_f (après quatre mois de transplantation) lors de cette première campagne sont généralement similaires ou inférieures à celles rapportées chez cette espèce dans cette baie lors d'une précédente étude réalisée en 2000 (Breau, 2003). De même, les valeurs moyennes en Co, Cr et Mn à la station P12 sont proches ou identiques à celles précédemment trouvées à cette station en 2000 chez des spécimens non transplantés y résidant naturellement. En revanche, les concentrations en Cu et en Ni mesurées dans la présente étude sont environ deux fois moins élevées que celles trouvées en P12 en 2000, et plus de sept fois plus faibles pour Zn. Les concentrations en Cr, Cu, Ni et Zn mesurées sur l'ensemble du gradient, y compris à la station P01 (la plus contaminée), sont incluses dans les fourchettes des rares valeurs citées dans la littérature scientifique chez cette espèce ou chez des espèces du même genre *Isognomon* (cf. Breau, 2003) (pas de données disponibles pour Co et Mn).

➤ Variabilité temporelle des concentrations à la station de référence « bivalves » (Maa II) à T_i et T_f .

La comparaison statistique (test non paramétrique de Mann - Whitney) des concentrations mesurées dans le lot témoin juste après la récolte initiale (T_i) et dans le lot témoin maintenu en cage pendant quatre mois (T_f) indique une diminution significative ($p=0,008$, sauf pour Zn : $p=0,032$) des valeurs pour tous les métaux sauf le plomb (valeur anormale à T_f) et le manganèse, pour lequel aucune différence n'a été détectée ($p=0,310$).

➤ Variabilité inter sites à Tf

La figure 51 indique clairement l'existence d'un gradient de contamination croissant, pour tous les métaux à l'exception du manganèse, entre la station P33 à l'extérieur de la Grande Rade et la station P01 située en fond de baie. L'importance de ce gradient varie cependant selon l'élément et a été précisée pour chacun d'entre eux (sauf le plomb) en comparant statistiquement les concentrations moyennes des lots entre les cinq stations en fin de transplantation (Tf). Des différences significatives (test de Kruskal-Wallis : $p \leq 0,001$ pour Cr, Ni et Zn ; $p < 0,01$ pour Co et $p < 0,05$ pour Cu) ont été détectées pour tous les métaux testés, à l'exception du manganèse ($p = 0,206$). Des comparaisons multiples par paire (procédure non paramétrique de Dunn) indiquent que les concentrations en P01 sont significativement supérieures ($p < 0,05$) à celles de la station de référence à Tf, avec des rapports des concentrations moyennes de 6,3 (Ni), 3,7 (Cr), 2,0 (Co), 1,6 (Zn) et 1,2 (Cu). Les concentrations en P01 sont également systématiquement supérieures à celles en P33 pour tous les métaux testés sauf Mn, mais sont significativement supérieures à celles en P22 uniquement pour Co et Ni. Aucune différence significative n'a en revanche pu être détectée entre les bivalves de P01 et ceux de P12. Les concentrations en D12 sont toutes significativement supérieures à celles de la station de référence sauf pour Mn et Cu, avec des rapports de 3,4 (Ni), 2,4 (Cr) et 1,5 (Co et Zn). Elles sont également supérieures à celles en P33 uniquement pour Co, Cu et Zn. Aucune différence significative n'a été observée entre P12 et P22. Quel que soit le métal considéré (sauf Pb), les concentrations en P22 ne diffèrent pas statistiquement de celles en P33 et sont supérieures à celles en baie Maa uniquement pour Cr, Ni et Zn. Enfin, aucune différence significative n'a été trouvée entre les bivalves transplantés en P33 et ceux en baie Maa.

Bien que les résultats concernant le plomb n'aient pas pu être validés concernant leur justesse, la comparaison entre stations des concentrations mesurées montre une augmentation nette des valeurs entre les stations P22 ($0,57 \pm 0,10 \mu\text{g/g ps}$), P12 ($0,98 \pm 0,09 \mu\text{g/g ps}$) et P01 ($1,72 \pm 0,13 \mu\text{g/g ps}$) indiquant également l'existence d'un gradient croissant vers le fond de baie pour cet élément.

b. Concentrations en métaux chez les algues

➤ Niveaux de concentration

Contrairement aux bivalves, le manganèse ($18,1\text{-}342 \mu\text{g/g}$ poids sec) et le nickel ($3,8\text{-}353 \mu\text{g/g ps}$) présentent les plus fortes concentrations toutes stations confondues. Les différences de concentrations entre les autres métaux sont également bien moins marquées que chez les bivalves. Les valeurs moyennes varient (en $\mu\text{g/g}$ de poids sec) de la manière suivante : Co ($2,7\text{-}24,1$), Cr ($1,0\text{-}89,5$), Cu ($0,7\text{-}26,8$), Zn ($7,1\text{-}63,6$) et Pb ($1,3\text{-}13,9$). Les plus faibles concentrations ont été systématiquement mesurées à la station de référence (Maa LV), et les plus fortes systématiquement en P01 (Fig. 52).

Comme chez les bivalves, les concentrations mesurées dans les algues de la station de référence (située à l'entrée de la baie) à Ti et Tf sont similaires ou même inférieures à celles précédemment trouvées dans des *Lobophora* vivant dans cette baie (Breau, 2003, Hédouin, 2006). Les concentrations trouvées en P01 représentent en revanche les valeurs les plus élevées enregistrées chez cette espèce par rapport aux rares autres études (Nouvelle-Calédonie et Australie) précédemment réalisées, à l'exception toutefois du chrome et du zinc pour lesquelles des concentrations atteignant respectivement $115 \mu\text{g/g ps}$ (baie de Boulari, Breau, 2003) et $213 \mu\text{g/g ps}$ (Port de Townsville, Burdon-Jones et al., 1975) ont déjà été rapportées.

➤ **Variabilité temporelle des concentrations à la station de référence « algues » (Maa LV) à Ti et Tf.**

Contrairement aux bivalves, les concentrations dans les algues récoltées en début et en fin d'expérience ne sont pas significativement différentes (test de Mann - Whitney, $p > 0,05$) pour tous les métaux à l'exception du chrome ($p = 0,016$) et du cuivre ($p = 0,008$).

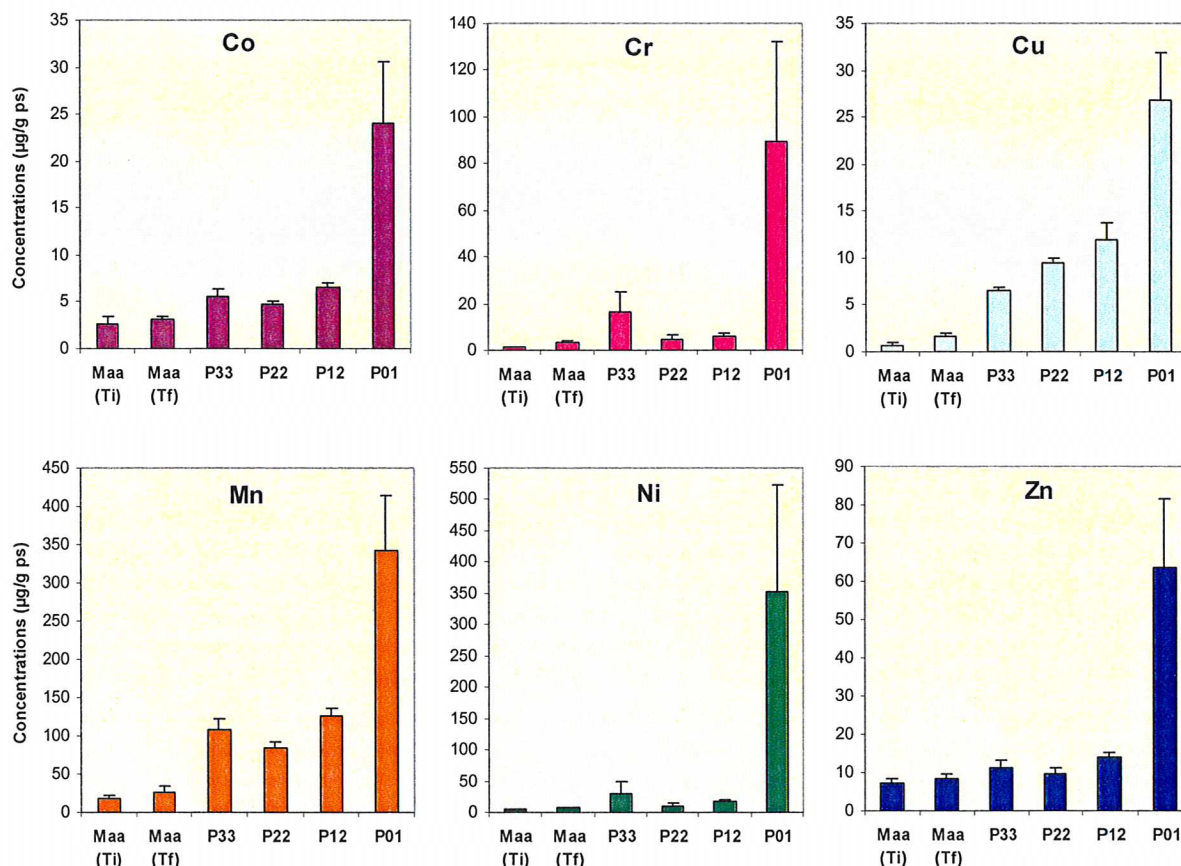


Figure 52 : Variabilité des concentrations en métaux mesurées dans les frondes entières de la macroalgue brune *Lobophora variegata* à chaque station (moyenne $\pm$ écart-type, $n=5$ pools, sauf pour P33 : $n=5$ frondes individuelles).

➤ **Variabilité inter sites à Tf**

Les comparaisons statistiques indiquent que les concentrations moyennes sont très significativement différentes entre les cinq stations à Tf pour tous les métaux (Test de Kruskal - Wallis, $p \leq 0,001$). Trois différences sont observées par rapport aux résultats obtenus chez les bivalves :

- la station P01 montre des écarts de concentrations moyennes beaucoup plus marqués avec les autres stations, avec des rapports de 3,7 à 7,8 pour Co, de 5,6 à 30 pour Cr, de 2,3 à 16,2 pour Cu, de 2,7 à 12,8 pour Mn, de 12 à 56 pour Ni, de 4,6 à 7,5 pour Zn, et de 1,4 à 5,6 pour Pb (non montré). Les écarts les plus importants sont toujours observés avec la station de référence ;

- un gradient net est observé avec le manganèse, avec des concentrations en P12 significativement supérieures à celles en baie Maa ;

- à l'exception du cuivre, du plomb et du zinc, les concentrations moyennes à la station P33 sont toujours significativement supérieures à celles mesurées dans les algues de la station de référence ; des différences significatives de concentrations entre les stations P33 et P22 ne sont cependant détectées qu'avec le chrome.

Similairement aux bivalves, un gradient croissant des concentrations en plomb est observé vers le fond de baie, avec des concentrations moyennes du plomb en P01 et P12 significativement supérieures à celles en P22 et en P33, avec des rapports de 4 pour P12 et de près de 6 pour P01. Aucune différence significative de concentration n'a cependant été trouvée entre les algues de P01 et de P12, ni entre celles de P22 et celles de P33.

4.3.2 Etude de la croissance des bivalves transplantés

L'évolution des variables biométriques (longueur maximale et poids frais total) mesurées chez les bivalves avant (T_i) et après la période de transplantation (T_f) est représentée à la figure 53. Aucune mortalité n'a été observée chez les bivalves durant l'expérience, vérifiant ainsi la capacité d'adaptation de cette espèce à de nouvelles conditions environnementales.

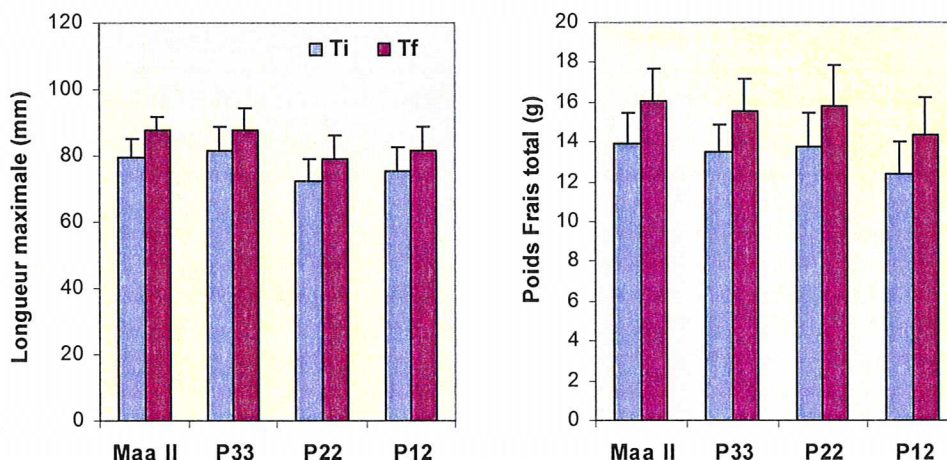


Figure 53 : Evolution de la longueur maximale des valves et du poids frais total des lots de bivalves transplantés entre le début (T_i) et la fin de la période d'immersion (T_f).

Une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée afin de contrôler *a posteriori* l'homogénéité des poids frais totaux des bivalves récoltés en Baie Maa entre les différents lots avant leur transplantation (T_i) ; aucune différence significative ($p > 0,05$) n'a été détectée. La moyenne globale des poids frais des lots des cinq sites en début de transplantation est de $13,22 \pm 0,72$ g. En revanche, malgré des poids frais homogènes, des différences hautement significatives de longueur maximale des coquilles ont été trouvées entre les lots à T_i (ANOVA, $p = 0,004$), avec des valeurs moyennes allant de $74,3 \pm 8,0$ mm (station P01) à $81,3 \pm 7,5$ mm (station P33). Des tests de comparaison *a posteriori* (test de Newman-Keuls et test HSD de Tuckey) ont permis de mettre en évidence des différences de longueur entre les lots des stations P22 et Maa II, P22 et P33, et dans une moindre mesure (test de Newman-Keuls uniquement) une différence entre les lots de P33 et de P01.

A la fin de la période de transplantation, les poids frais moyens des différents lots sont compris entre $14,35 \pm 1,88$ g et $16,04 \pm 1,66$ g, soit une moyenne globale de $15,44 \pm 0,76$ g (P01 exclue). Comme en début d'expérience, aucune différence significative de poids frais n'a été trouvée entre les lots des stations Maa II, P33, P22 et P12 (ANOVA, $p > 0,05$). Les longueurs maximales moyennes à T_f (P01 exclue) s'échelonnent entre $79,2 \pm 7,1$ mm (P22) et $87,8$ mm (stations Maa II et P33).

La comparaison statistique (test *t* pour échantillons dépendants) des mesures biométriques réalisées chez les bivalves avant et après la transplantation à chaque station montre une croissance en longueur ($p < 0,001$) et en poids frais total ($p < 0,001$) très hautement significative pour tous les lots, soit des croissances en longueur moyennes de $8,1 \pm 4,4$ % (st. P12) à $10,6 \pm 5,4$ % (station de référence Maa II) et des croissances pondérales moyennes de $14,8 \pm 5,8$ % (st. P33) à $16,3 \pm 6,9$ % (st. P12) (Tableau 6). Les taux moyens de croissance journalière sur les quatre stations (P01 exclue) sont de $0,115 \pm 0,005$ % pour le poids frais total, et de $0,070 \pm 0,011$ % pour la longueur (Tableau 6). Aucune différence significative des taux de croissance en taille et en poids entre les quatre lots (P01 omis) n'a pu être mise en évidence à T_f (ANOVA, $p > 0,05$).

Tableau 6 : Valeurs moyennes des paramètres de croissance en longueur et de croissance pondérale des bivalves transplantés (TCJ : taux de croissance journalière).

Station	Longueur des valves		Poids Frais total	
	Croissance (%)	TCJ (%)	Croissance (%)	TCJ (%)
Maa II	$10,6 \pm 5,4$	$0,09 \pm 0,04$	$15,4 \pm 4,4$	$0,12 \pm 0,03$
P33	$8,5 \pm 8,2$	$0,07 \pm 0,06$	$14,8 \pm 5,8$	$0,11 \pm 0,04$
P22	$9,6 \pm 6,2$	$0,07 \pm 0,04$	$15,2 \pm 4,7$	$0,11 \pm 0,03$
P12	$8,1 \pm 4,4$	$0,06 \pm 0,03$	$16,3 \pm 6,9$	$0,11 \pm 0,04$
P01	-	-	-	-
Moyenne globale	$9,2 \pm 1,1$	$0,070 \pm 0,011$	$15,4 \pm 0,6$	$0,115 \pm 0,005$

4.3.3 Etude de la condition physiologique des bivalves

L'état de santé global des bivalves a été évalué grâce à l'étude d'indices de condition physiologique calculés à partir de certaines variables biométriques mesurées chez chaque spécimen. Ces indices sont susceptibles de varier principalement selon le stade du cycle sexuel, le statut trophique du milieu (quantité et qualité de la nourriture disponible) et pourraient également diminuer sous l'effet d'une contamination chimique, ce que nous souhaitons vérifier. Deux des méthodes les plus couramment utilisées ont été retenues pour le calcul : l'indice (IC 1) de Lucas & Beninger (1985) et l'indice (IC 2) de Lawrence & Scott (1982), obtenus selon les formules suivantes :

$$\text{IC 1} = (\text{PS} / \text{PC}) \times 1000$$

$$\text{IC 2} = (\text{PS} / [\text{PF tot} - \text{PS}]) \times 1000$$

avec : PS : poids sec des chairs entières ; PC : poids sec de la coquille ; PF tot : poids frais total de l'animal vivant.

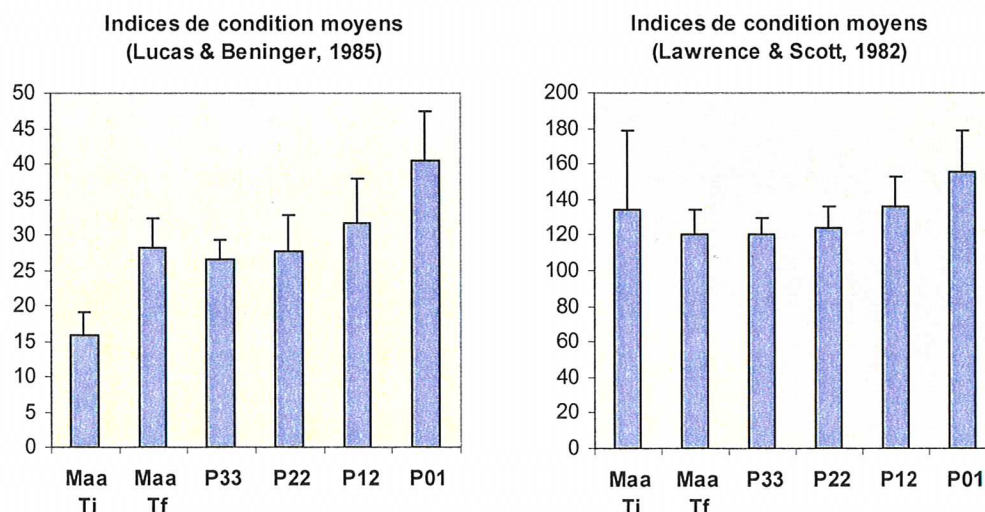


Figure 54 : Comparaison interstation des indices de condition physiologique calculés après environ 120 jours de transplantation ($n=15$ spécimens/st.) (Ti : récolte initiale ; Tf : récolte en fin d'expérience).

La comparaison statistique des valeurs de ces deux indices entre les stations montre des différences hautement significatives (IC1 : ANOVA, $p < 0,0001$; IC2 : Test de Kruskal-Wallis, $p < 0,0001$), avec une augmentation sensible de ces indices (donc un meilleur état physiologique) aux deux stations les plus contaminées du gradient (P01 et P12) (Fig. 54). Les indices IC1 en P01 sont significativement supérieurs à ceux des quatre autres stations (Comparaisons multiples de Tukey (HSD)), tandis que pour IC2, les différences sont significatives avec P22, P33 et Maa (T_f), mais pas avec P12 (Comparaisons multiples non paramétriques de Dunn). La légère augmentation des indices en P12 par rapport aux stations P22, P33 et Maa n'est cependant pas statistiquement significative.

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 sur la période d'étude juin 2007 / janvier 2008, concernant le suivi des eaux et des sédiments, certaines conclusions peuvent être formulées :

- ❖ Absence de différences significatives de contamination métallique dans les eaux entre les stations et les profondeurs de suivis ;
- ❖ Absence de différences significatives de 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). Seul le Zinc présenterait, de façon récurrente, une teneur plus forte au niveau de la station P22 ;
- ❖ 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 en métaux accumulés dans les tissus biologiques des deux espèces sélectionnées entre les cinq stations en fin de transplantation révèle clairement l'existence d'un gradient de contamination métallique entre le fond et la sortie de la baie de la Grande Rade. Les concentrations biologiques mesurées à la station P01 - notamment dans la macroalgue *Lobophora variegata* - semblent relativement élevées, mais le manque de données concernant l'accumulation des métaux chez ces deux espèces à l'échelle mondiale ne permet pas de quantifier comparativement avec précision le degré de contamination.

Contrairement aux bivalves (à l'exception du manganèse), des concentrations en Co, Cr, Mn et Ni sensiblement supérieures en P33 par rapport à la station de référence et à la station P22 (bien que seul le chrome montre une différence significative avec cette dernière station) ont été mesurées chez l'algue *Lobophora variegata*. Ceci pourrait être un artefact lié au fait que la cage P33 a été retrouvée posée sur le fond (à une profondeur de 21 m) à la fin de la transplantation et non plus à 12 m de profondeur comme en début d'immersion (cf. § 2.3.2.), en raison de la détérioration importante de son flotteur.

Seules cinq frondes ont pu être récupérées dans un état correct (et ont donc été analysées individuellement), le lot ayant vraisemblablement souffert du déficit de lumière lié à la turbidité fréquente de la colonne d'eau à cette station et à la profondeur (plus importante qu'aux autres stations) ; ce déficit relatif de lumière pourrait donc avoir joué un rôle sur le métabolisme des métaux et donc sur les concentrations totales. Cependant, ces augmentations de concentrations ne concernent que les métaux généralement associés aux apports terrigènes et non le cuivre, le plomb et le zinc, qui sont au contraire typiquement des marqueurs d'apports anthropiques urbains. L'hypothèse d'apports naturels terrigènes ponctuels sous forme dissoute en P33 (provenant de la rivière de la Dumbéa) s'ajoutant aux apports anthropiques provenant de la Grande Rade est donc également très vraisemblable. Le cas échéant, l'utilisation du bivalve *Isognomon isognomon* n'a pas permis de détecter ce surplus d'apports, ce qui souligne l'importance de l'utilisation conjointe de deux espèces bioindicatrices dont les voies de transfert des métaux diffèrent (sources particulières, phytoplanctoniques et dissoutes pour les bivalves, sources uniquement dissoutes pour les algues).

Les capacités d'accumulation biologique des différents métaux varient selon l'espèce. La macroalgue *Lobophora variegata* accumule beaucoup plus efficacement la plupart des métaux à l'exception notable du zinc, dont les valeurs chez les bivalves sont vingt et une fois à cent vingt trois fois supérieures à celles des algues selon les stations. Ces résultats confirment ceux des deux précédentes études conduites localement chez ces deux espèces (Breau, 2003 ; Hédouin, 2006). Les fortes différences de résultats observées pour le manganèse entre les bivalves et les algues, et entre ce métal et les autres métaux chez le bivalve *Isognomon* suggère en outre l'existence d'un métabolisme particulier de ce métal chez cette espèce. En l'absence d'une confirmation de ces observations et d'une meilleure compréhension des éventuels mécanismes en jeu, la pertinence de la bioindication donnée par cette espèce concernant le manganèse reste donc sujette à caution.

La variabilité temporelle parfois importante des concentrations observée d'une part entre les résultats de l'étude menée en 2000 et ceux de la présente étude chez *Isognomon* à la station P12, et d'autre part à la station de référence Maa II en début et en fin de transplantation, illustre bien le fait que les concentrations mesurées dans les tissus sont susceptibles de varier selon l'âge, le métabolisme et l'état physiologique des bivalves en plus des variations liées à l'évolution des apports en métaux dans leur milieu ambiant. Les comparaisons des résultats obtenus chez des spécimens d'âge (donc de durée d'exposition) et d'état physiologique différents doivent donc être considérées avec prudence. Comme indiqué en introduction de ce rapport, la méthode de transplantation active de spécimens permet de limiter considérablement cette variabilité biologique, car seuls des organismes de mêmes caractéristiques biologiques initiales (âge/taille, non adaptés physiologiquement à une exposition chronique à des métaux car provenant d'un site de référence) subissant ensuite la même durée d'exposition expérimentale en cage sont comparés.

4.4.3. Croissance et condition physiologique des bivalves

L'étude de la croissance et d'indices de condition physiologique globale des spécimens transplantés avait pour objectif de déterminer l'existence éventuelle de relations entre le degré de contamination du milieu ambiant à chaque station révélé par l'analyse des tissus et un éventuel impact sur le métabolisme de cette espèce bioindicatrice. Si de telles relations étaient mises en évidence, la croissance et/ou la condition physiologique de ces espèces pourraient être utilisées comme des marqueurs d'effet biologique à une contamination (ou « biomarqueurs »).

Dans le cadre de cette première campagne de transplantation, l'étude comparative des concentrations en métaux dans les chairs des bivalves transplantés (mais également dans les frondes de l'algue *Lobophora variegata*) indique l'existence d'un gradient de contamination métallique entre la sortie et le fond de la baie. Cependant, aucune diminution des indices de condition physiologique n'a été observée le long de ce gradient, et une augmentation sensible de ces indices a même été observée aux deux stations les plus contaminées.

Tous les spécimens transplantés étant supposés être au même stade de leur cycle de reproduction (minimal en saison fraîche), cette tendance ne peut s'expliquer que par l'existence d'apports nutritifs plus importants sur le plan qualitatif et/ou quantitatif dans le fond de baie. Ces résultats indiquent donc que l'indice de condition physiologique tel qu'il a été calculé semble bien plus représentatif des conditions trophiques que d'un éventuel impact de la contamination du milieu ambiant, et ne peut ainsi pas être directement utilisé comme biomarqueur physiologique d'effet à une contamination.

En ce qui concerne la croissance, aucune différence significative de taille et de poids n'a pu être mise en évidence entre les quatre stations (P01 omis) en fin d'expérience, et une croissance nette des spécimens a été mesurée à toutes les stations - notamment en P12 (station la plus proche de l'usine pour laquelle les données de croissance sont disponibles) entre le début et la fin de la transplantation. Ces résultats suggèrent les deux hypothèses suivantes :

- ❖ la contamination métallique croissante du milieu ambiant le long du gradient mise en évidence par l'étude comparative des concentrations en métaux dans les tissus biologiques n'est pas assez importante pour entraîner des effets visibles sur la croissance ;
- ❖ la croissance étant fortement dépendante de la qualité trophique du milieu environnant, un éventuel impact (diminution de croissance) de la contamination pourrait avoir été compensé par la légère augmentation qualitative ou quantitative des apports nutritifs suggérée par l'étude des indices de condition.

De manière similaire à l'indice de condition, la croissance apparaît donc comme un biomarqueur d'effet à la contamination peu sensible ou peu spécifique d'après ces premiers résultats. Il est cependant tout à fait regrettable que les données de la station P01, la plus proche de l'usine, n'ont pas pu être exploitées pour préciser ces hypothèses.

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 et/ou VCI correspondantes. Les résultats de la seconde campagne de suivi, combinés aux analyses des métaux accumulés dans les tissus des deux espèces transplantées permettront de conclure sur la nécessité de conserver ces paramètres.

Concernant la fréquence d'échantillonnage des sédiments (annuelle), il n'est à ce jour pas possible de se prononcer. Il est nécessaire d'attendre le prélèvement et l'analyse sur l'année 2008.

D'un point de vue biologique, cette première campagne a permis de tester la mise en œuvre technique et de valider scientifiquement l'intérêt de la méthode de transplantation de bioindicateurs quantitatifs (espèces bioaccumulatrices) pour la biosurveillance active de la contamination du milieu marin côtier, et en particulier de la Grande Rade. Les analyses des métaux accumulés dans les tissus des deux espèces sélectionnées – la macroalgue brune *Lobophora variegata* et le bivalve *Isognomon isognomon*, a permis de mettre en évidence l'existence d'un gradient de contamination entre la sortie (station P33) et le fond (station P01) de la baie de la Grande Rade.

En revanche, aucune relation directe n'a pu être mise en évidence entre le degré de contamination de chaque station reflété par les concentrations en métaux dans les chairs des bivalves et les deux paramètres biologiques importants que sont le taux de croissance et la condition physiologique globale. Ces deux paramètres semblent en effet plus sensibles à la qualité trophique du milieu qu'à sa qualité chimique. De nouveaux biomarqueurs d'effet doivent donc être recherchés chez cette espèce afin de pouvoir déterminer les dommages biologiques consécutifs à une contamination du milieu ambiant.

Enfin, l'existence d'un biofouling important sur certaines cages observé lors de cette première campagne est susceptible de biaiser certains résultats. Des visites régulières (toutes les trois semaines environ) des cages devraient donc être effectuées pour éliminer le biofouling et maximiser la pertinence des résultats.