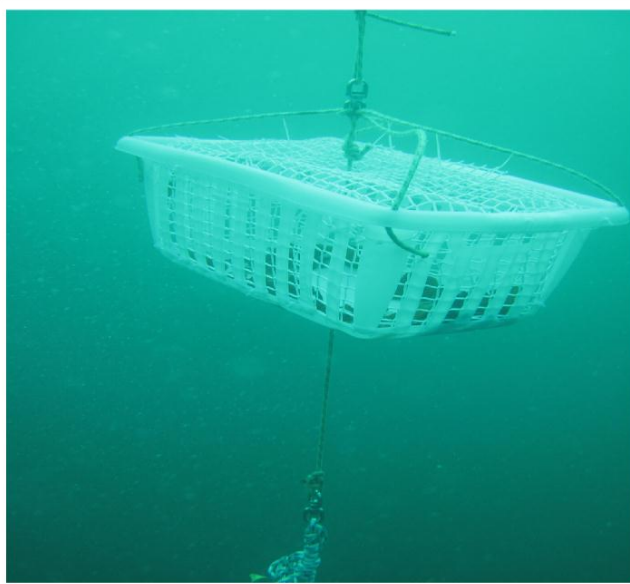




SUIVI DE LA QUALITE ECOTOXICOLOGIQUE (METAUX) DES
EAUX DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE
PAR TRANSPLANTATION D'ESPECES BIOINDICATRICES :

MISSION DE JUIN-SEPTEMBRE 2012



4 février 2013

CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL - LEA

Convention n° C2466

***SUIVI DE LA QUALITE ECOTOXICOLOGIQUE (METAUX) DES EAUX DE
LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE PAR
TRANSPLANTATION D'ESPECES BIOINDICATRICES :***

Mission de juin-septembre 2012

Auteur (s) :

Shilpa KUMAR-ROINE

Adeline GOYAUD

François Roupsard

Jean-Michel FERNANDEZ

Nombre de pages : 44

	N/Ref	V/Ref	
Identification	100217-VI-05	C2466	
Titre complet	SUIVI DE LA QUALITE ECOTOXICOLOGIQUE (METAUX) DES EAUX DE LA ZONE SUD DU LAGON DE NOUVELLE-CALEDONIE PAR TRANSPLANTATION D'ESPECES BIOINDICATRICES : Mission de juin-septembre 2012		
Auteurs	Shilpa KUMAR-ROINE, Adeline GOYAUD, François ROUPSARD et Jean-Michel FERNANDEZ		
Résumé	La quatrième campagne de transplantation d'organismes marins s'est déroulée de début juin à fin septembre 2012. Elle a été marquée par des conditions climatiques comparables à l'année précédente, seule la température de l'eau mer était sensiblement plus fraîche. Ces conditions environnementales ont permis un comportement physiologique normal des organismes transplantés. Pour <i>Isognomon isognomon</i>, selon les métaux considérés, les concentrations mesurées soulignent l'existence d'apports significatifs mais modérés, typiques des milieux côtiers naturels néo-calédoniens, comme en 2011. En termes de variabilité, celle-ci est minimale en St03 (Port Boisé) pour Co, Fe, Mn et Ni mais aussi Cr, voire Cu en raison de la localisation de cette station dans un secteur préservé de l'influence minière, malgré la proximité de la côte. Pour des raisons d'éloignement et/ou d'exposition aux influences océaniques, la variabilité est également infime pour les principaux traceurs terrigènes que sont les formes dissoutes de Co, Cr et Ni, aux stations St31 (Ilot Nouaré) et St13 (Récif Ma, Ile Ouen). A l'inverse, la variabilité est maximale en St16 (Port de commerce, Baie du Prony) pour Cr, Cu, Mn et Ni. Cette station est localisée dans une zone potentiellement influencée par les activités industrielles à la faveur des conditions hydro-climatiques (lessivage des bassins et faible hydrodynamique). En ce qui concerne l'étude des macroalgues <i>L. variegata</i>, celle-ci a posé un problème de perte de frondes au cours de l'expérience ; il n'a pas été possible d'émettre des interprétations à partir des maigres résultats obtenus. Cette expérience indique que les rejets industriels dans le Canal de la Havannah n'a pas induit d'augmentation des concentrations en métaux dans les organismes transplantés par rapport à l'état initial précédemment établi en 2009.		
APPROBATION			
FONCTION	NOMS	VISA	DATE
Rédacteur	Shilpa-KUMAR-ROINE		21/01/2013
Vérificateur 1	Jean Michel FERNANDEZ		01/02/2013
Vérificateur 2			
Approbateur(s)	Jean Michel FERNANDEZ		04/02/2013
EVOLUTION			
VERSION	DESCRIPTION DES MISES A JOUR		DATE
1.0	Rapport final		04/02/2013
COPIE - DIFFUSION			
NOM	ORGANISME		
Céline CASALIS	VALE NC, Département Environnement		

Ce rapport doit être cité comme suit :

KUMAR-ROINE S., A. GOYAUD, F. ROUPSARD, H. ET FERNANDEZ J.M., 2012. Suivi de la qualité écotoxicologique (métaux) des eaux de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie par Transplantation d'espèces bioindicatrices (Bioaccumulation), Campagne 2012. Rapport AEL 100217-VI-05, 44 p.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	7
OBJECTIFS	8
METHODOLOGIE	9
RECOLTE ET SELECTION DES SPECIMENS A TRANSPLANTER.....	9
IMMERSION, CONTROLE ET RECUPERATION DES CAGES.....	10
CONDITIONS METEOROLOGIQUES	12
BIOMETRIE, ANALYSE DES ECHANTILLONS ET TRAITEMENT STATISTIQUE	16
RESULTATS - DISCUSSION.....	18
CROISSANCE ET CONDITION PHYSIOLOGIQUE DES BIVALVES TRANSPLANTES	18
CONCENTRATIONS EN METAUX DANS LES BIVALVES	22
concentration et variabilité	22
Distribution spatiale	26
Variabilité inter-annuelle.....	29
CONCENTRATIONS EN METAUX DANS LES ALGUES	32
CONCLUSION	33
REFERENCES	35
LISTE DES FIGURES	36
LISTE DES TABLEAUX	37
ANNEXES	38

INTRODUCTION

La surveillance du milieu marin potentiellement impacté par les activités industrielles du complexe de Vale-NC s'effectue sur la base de quatre groupes d'indicateurs physico chimiques et un groupe d'indicateurs de la qualité écotoxicologique de l'eau grâce à des bio-accumulateurs.

Cette surveillance s'effectue au niveau de stations marines selon les prescriptions réglementaires des arrêtés d'autorisation d'exploiter (du port et de l'usine) et de la Convention fixant les modalités de mise en œuvre de la démarche pour la conservation de la biodiversité, entre la Province Sud et Vale Nouvelle-Calédonie. Les principaux jalons pour la mise en place de cette surveillance ont été les deux arrêtés ICPE et la convention ci-dessous :

- Arrêté ICPE : installations portuaires du 13 juillet 2007
- Arrêté ICPE : usine et UPM du 9 octobre 2008 ;
- CCB : Convention pour la Conservation de la Biodiversité entre la Province Sud et Vale Nouvelle-Calédonie du 20 mars 2009 (Convention n° 27-2009/APS).

Dans le cadre de la CCB, l'utilisation d'espèces bio-accumulatrices a été proposée afin de quantifier (par des analyses chimiques des tissus mous) la fraction (dite « bio-disponible ») des métaux présents dans le milieu ambiant sous forme dissoute dans l'eau et/ou sous forme particulaire/alimentaire ; ces fractions étant capables de pénétrer dans ces organismes et d'y induire potentiellement des effets toxiques (écotoxicologie).

Fort de l'expérience acquise dans le cadre des précédents travaux de recherche (Convention IRD/Goro-Ni, N° 1124, 2006), l'équipe (aujourd'hui AEL) exerce annuellement, pour Vale-NC, cette surveillance écotoxicologique depuis 2009 et, sans interruption, jusqu'à aujourd'hui (2012) (contrat AEL/Vale-NC N°C2466).

Ce rapport présente les résultats obtenus dans le cadre de la mise en œuvre de la quatrième campagne de transplantation (« *caging* »), qui s'est déroulée de début juin à fin septembre 2012.

OBJECTIFS

La méthode de transplantation d'espèces marines en stations artificielles (ou « caging ») consiste à immerger pendant trois mois deux espèces bioindicatrices accumulatrices de métaux (une algue et un bivalve). Cette expérimentation s'effectue dans des cages en plastique disposées à une profondeur (-12m) et des localisations géographiques prédéfinies. Pendant cette durée d'immersion des spécimens dans le milieu récepteur à surveiller, les concentrations en métaux dans les tissus de ces spécimens s'équilibrent progressivement et de façon proportionnelle avec celles des mêmes métaux présents sous formes disponibles pour ces espèces dans le milieu ambiant. **Cette accumulation dans les chairs fournit donc une indication quantitative des apports globaux en métaux qui sont disponibles dans le milieu marin pour le bioindicateur.**

A l'issue de cette période d'immersion, les concentrations en différents métaux accumulés dans les tissus des deux espèces sont mesurées par analyse chimique ; divers paramètres physiologiques (taux de croissance et condition physiologique globale) sont également étudiés chez les bivalves. Les données ainsi obtenue avant le début des rejets liquides dans le milieu marin, puis chaque année à la même période pendant toute la durée d'exploitation du complexe minier, permettront d'évaluer quantitativement l'évolution temporelle et spatiale des apports en métaux biodisponibles dans le milieu marin côtier.

METHODOLOGIE

Le principe, les avantages, la mise au point et les aspects techniques de la méthode de transplantation sont présentés de manière détaillée dans le rapport [Breau et al., 2009b](#) ; cette méthode suit en outre étroitement les recommandations formulées dans le protocole international standardisé [ASTM E2122-02](#).

RECOLTE ET SELECTION DES SPECIMENS A TRANSPLANTER

LE BIVALVE *ISOGNOMON ISOGNOMON*

Les bivalves *Isognomon isognomon* Linnaeus et les macroalgues brunes *Lobophora variegata* (Lamouroux) Womersley ont été récoltés le 4, 5 et 6 juin 2012 à la Baie Maa, précédemment identifiée comme un site de référence pour l'étude de la plupart des métaux étudiés, à l'exception du cuivre ([Breau, 2003](#) ; [Breau et al., 2009b](#)).

Après tri et brossage des coquilles, les bivalves (n = 300) ont été mis en dépuration pendant 48 h dans de l'eau de mer filtrée (Aquarium des Lagons) afin d'éliminer les matières ingérées. Après dépuration, les spécimens ont été épongés et pesés pour obtenir le poids frais total de l'animal vivant, puis mesurés au dixième de millimètre à l'aide d'un pied à coulisse pour déterminer la longueur linéaire de la coquille (à partir de la pointe de la charnière, près du byssus).

L'âge et la croissance des bivalves étant susceptibles d'exercer une influence sur les processus de bioaccumulation, une sélection des spécimens à transplanter a été réalisée d'après des critères biométriques, en particulier le poids frais total de l'animal vivant. Sur la base de l'étude de la structure biométrique de la population récoltée en Baie Maa lors de la première campagne de transplantation réalisée en 2009 (Caractérisation de l'état initial, [Breau et al., 2009c](#)), une sélection des spécimens ayant un poids frais total compris entre 12 et 20 g a été réalisée. En l'absence d'un nombre insuffisant d'individus dans la classe 12-20 g, les spécimens compris entre 11,5- 21,5 g ont été sélectionnés (Figure 1).

Comme lors de la précédente campagne de 2011, neuf lots de quinze bivalves chacun (huit lots à transplanter ainsi qu'un lot témoin avant transplantation) ont ensuite été constitués par tirage aléatoire au sein des individus sélectionnés. Les poids frais moyens des lots au temps initial (T_i) varient de $16,56 \pm 3,01$ g à $16,78 \pm 2,69$ g, soit une moyenne globale de $16,63 \pm 2,81$ g (Tableau 1). Ces neuf lots ne présentent aucune différence significative de poids frais total (Test de Kruskal-Wallis (KW); $p=1,0$).

Les longueurs moyennes des lots de coquilles au temps initial (T_i) varient de $79,5 \pm 6,0$ mm à $83,3 \pm 9,9$ mm, soit une moyenne globale de $81,33 \pm 11,06$ mm (Tableau 1), et ne diffèrent pas significativement (KW ; $p=0,68$).

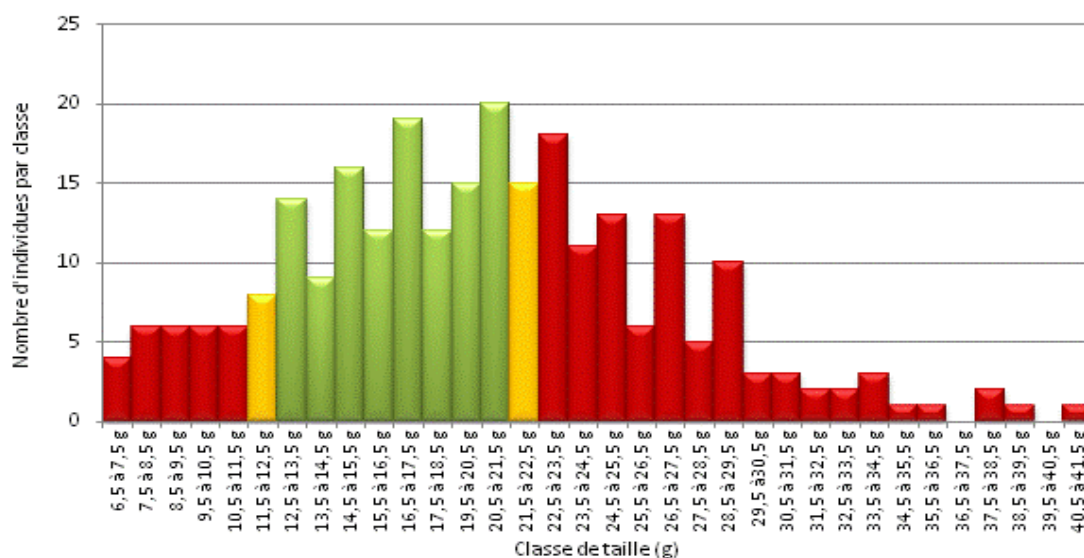


Figure 1 : Classement en poids des spécimens mesurés au temps initial (T_i). En vert, le poids optimal, en orange, le poids à la limite des valeurs optimales et en rouge, le poids dépassant les bornes optimales d'acceptation pour la transplantation.

L'ALGUE LOBOPHORA VARIEGATA

Les algues *Lobophora variegata* récoltées ont été triées afin de sélectionner les frondes de taille supérieure à la maille des cages de transplantation (2 cm x 2 cm). Celles-ci ont ensuite été brossées puis distribuées de façon à constituer neuf lots de quinze algues chacun (huit lots à transplanter ainsi qu'un lot témoin).

Contrairement aux bivalves, aucune mesure biométrique individuelle n'est habituellement réalisée sur les algues.

IMMERSION, CONTROLE ET RECUPERATION DES CAGES

Pour chacune des deux espèces, huit des neuf lots ont été transférés dans des glacières compartimentées remplies d'eau de mer jusqu'à leur immersion en cages ; le neuvième lot a été congelé en chambre froide (-25°C) dans l'attente de son traitement pour la détermination des concentrations initiales en métaux avant transplantation.

Sept des huit stations de transplantation ont été sélectionnées parmi les quatorze stations du plan de suivi physico-chimique du milieu marin (Contrat AEL/Vale-NC, n° C2445, 2010). La huitième station, St31-Nouaré (sous influence purement océanique et donc considérée comme une station de référence), ne figure pas dans le plan de suivi fixé par cette Convention. Cette stations a été créée en 2010 pour remplacer la station St05-Kié, à laquelle les interventions en

plongée sous-marine et l'immersion de matériel scientifique ne sont pas aisément réalisables en raison des trop forts courants régnant à cet endroit. La localisation de la station St31-Nouaré a cependant été déplacée en 2011 de quelques centaines de mètres vers la pointe nord-est de l'îlot Nouaré, par rapport à la campagne de 2010. En effet, par le passé, les résultats ont curieusement montré de trop fortes concentrations en certains métaux pour pouvoir utiliser sa localisation initiale comme une référence ; la présence d'eau résultant d'un up-welling en serait la raison (Fichez et al, 2005).

De même, suite des problèmes rencontrés lors des précédentes campagnes avec la cage immergée à la station St16-Port Vale (retrouvée posée sur le fond en raison de la destruction de son flotteur probablement consécutivement au passage d'un navire à l'aplomb du dispositif), en accord avec Vale-NC, la position de mouillage a été déplacée vers la zone Nord-Ouest du port, ce point se trouvant en dehors de l'alignement d'entrée des cargos.

La localisation des huit stations est indiquée dans le Tableau 1 et représentée à la Figure 2.

La campagne d'immersion des cages a été réalisée les 7 et 8 juin 2012. A chaque station, un lot de bivalves et un lot d'algues ont été transférés dans une cage en plastique rigide surmontée d'un flotteur et reliée par un bout à une gueuse. Les cages ont été immergées à 10 m de profondeur en plongée sous-marine.

Après environ un mois et demi d'immersion (soit le 02 août 2012), les dispositifs de transplantation immergés aux huit stations ont été contrôlés en plongée sous-marine puis brossés afin d'éliminer le « *biofouling* » déposé sur les cages et les flotteurs.

Enfin, les 26, 27 et 28 septembre 2012, soit après un peu plus de trois mois d'immersion, les huit dispositifs de transplantation ont été récupérés. Une fois les cages remontées à bord, les spécimens des deux espèces ont immédiatement été transférés et stockés dans des glacières compartimentées référencées contenant de l'eau de mer du site jusqu'à leur retour au laboratoire.

Tableau 1 : Description des huit stations de suivi écotoxicologique par transplantation d'espèces bioaccumulatrices.

STATIONS			Longitude Nord	Latitude Sud	Poids frais moyens à Ti (g)	Longueurs moyennes à Ti (mm)	Date immersion
Baie du Prony	Port de Prony	St16	166°52,54	22°20,76	16,60 ± 3,13	79,46 ± 5,95	08-06-2012
	Illet Casy	St18	166°51,06	22°21,67	16,60 ± 2,85	81,43 ± 13,79	08-06-2012
Canal de la Havannah	Chenal de Port boisé	St03	166°58,01	22°21,19	16,65 ± 3,17	83,01 ± 9,89	07-06-2012
	Chenal de la baie Kwé	St 06	166°59,11	22°20,83	16,59 ± 3,17	82,04 ± 12,69	07-06-2012
	Ile Ouen Récif Ma	St 13	166°51,36	22°24,91	16,60 ± 2,67	82,24 ± 9,81	08-06-2012
	Récif Ioro	St 07	166°57,90	22°22,83	16,69 ± 2,57	81,06 ± 9,11	07-06-2012
	Baie de Goro	St14	167°01,15	22°19,35	16,78 ± 2,69	81,59 ± 5,70	07-06-2012
	Témoins îlot Nouaré	St31	167°00,45	22°25,46	16,59 ± 2,71	80,85 ± 11,19	08-06-2012
	Lot témoin				16,56 ± 3,01	80,43 ± 11,06	
	Moyenne globale				16,63 ± 2,81	81,33 ± 11,06	

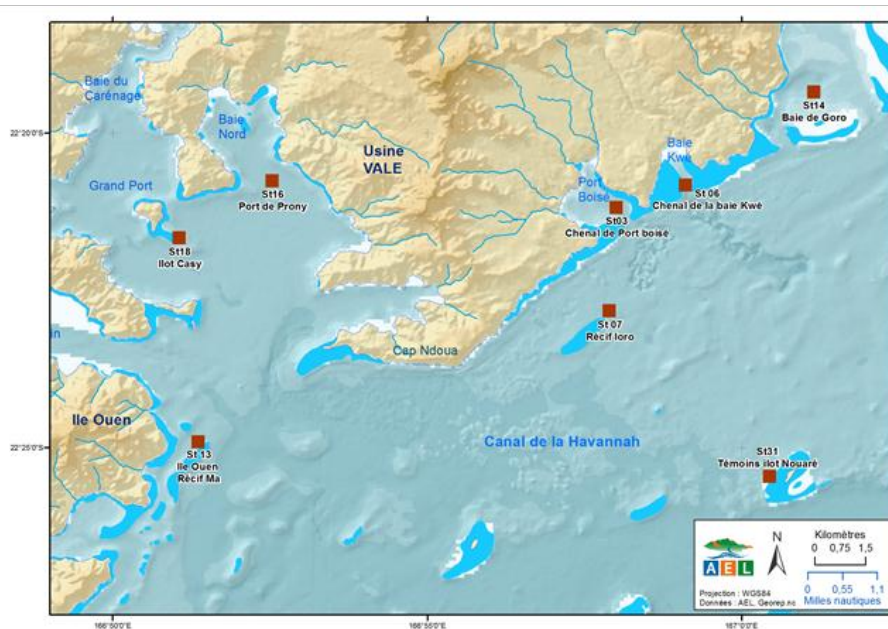


Figure 2 : Localisation géographique des huit stations de suivi écotoxique du milieu marin par transplantation d'espèces bioaccumulatrices.

CONDITIONS METEOROLOGIQUES

Les conditions météorologiques régnant dans la zone pendant les trois mois d'immersion des cages sont susceptibles d'influer d'une part, sur la nature et la quantité des apports en métaux dans le milieu marin (lixiviation des sols en fonction des taux de précipitations) et d'autre part, sur leur dispersion en mer (force et direction des vents).

La température de l'eau peut également influencer, mais sur le métabolisme des organismes transplantés, donc potentiellement sur la croissance et par voie de conséquence sur le taux de transfert des composés chimiques en général.

La pluviométrie et les données de vents (vitesse et direction) sont mesurées par la station météorologique de Vale NC, située sur l'ancienne usine pilote, en bordure de la Baie du Prony. Les données de température (de l'air et de l'eau) sont obtenues par la station météorologique de AEL/IRD installée sur la balise du récif Ioro, dans le Canal de la Havannah. Pour cette campagne, ces données de température (de vitesse et direction des vents) sont cependant incomplètes, après le 13 août en raison d'une panne de la centrale d'acquisition, leur acquisition a été interrompue.

PLUVIOMETRIE

Du 7 juin au 28 septembre (soit après 114 jours de transplantation), la pluviométrie totale a été de 411 mm (Figure 3). Les années précédentes, pour la même période, la pluviométrie a été de 344 mm en 2011 sur 90 jours de mesures, 315 mm en 2010 sur 85 jours, et 245 mm en 2009 sur 83 jours.

Pour la campagne de 2012, deux fortes valeurs du taux de précipitations ont été mesurées, le 11 juin (72,5 mm) et le 18 septembre (105,2 mm), quelques jours seulement avant la récupération des cages. En 2011, la pluviométrie a été plus régulière sur toute la période de transplantation cependant, un cumul de 344 mm a été enregistré pendant les 90 jours d'immersion des cages alors que, pour le même laps de temps, en 2012, seulement 225,3 mm ont été recueillis (Figure 4).

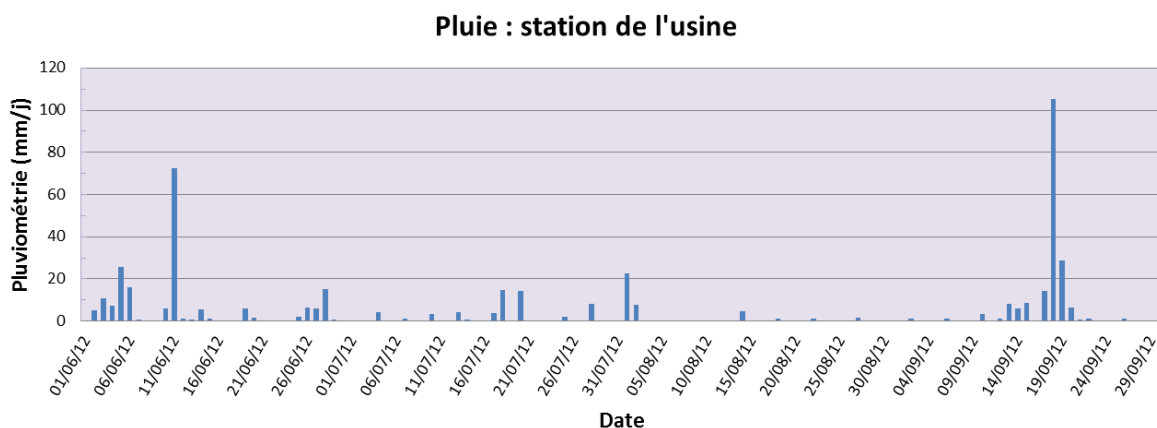


Figure 3 : Pluviométrie journalière mesurée au niveau de l'ancienne usine pilote de Vale-NC pendant toute la durée de la campagne de transplantation 2012.

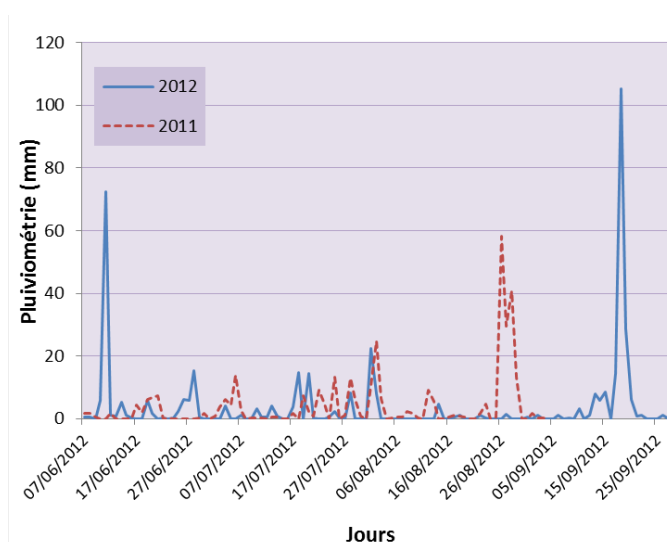


Figure 4 : Comparaison des données de pluviométrie journalière mesurée au niveau de l'ancienne usine pilote de Vale-NC pendant toute la durée des campagnes de transplantation 2011 et 2012

VITESSE ET DIRECTION DES VENTS

La vitesse journalière moyenne du vent révélée sur l'ensemble de la campagne a été de 11,2 m/s, avec des valeurs minimales d'environ 3,9 m/s et une valeur maximale de 26,9 m/s. Cette amplitude de vitesse est largement supérieure à celle précédemment enregistrée lors de la campagne de 2011 (1,92 à 11,67 m/s) (Figure 5).

La différence notable entre les deux régimes météorologiques réside dans la mise en place de dominantes de secteur SE en 2012 au détriment du secteur SW observé 2011 (Figure 6).

Toutefois, ces écarts peuvent être imputables à la différence d'altitude des stations de mesures (Figure 5) et aux éventuels effets de reliefs des environnements respectifs.

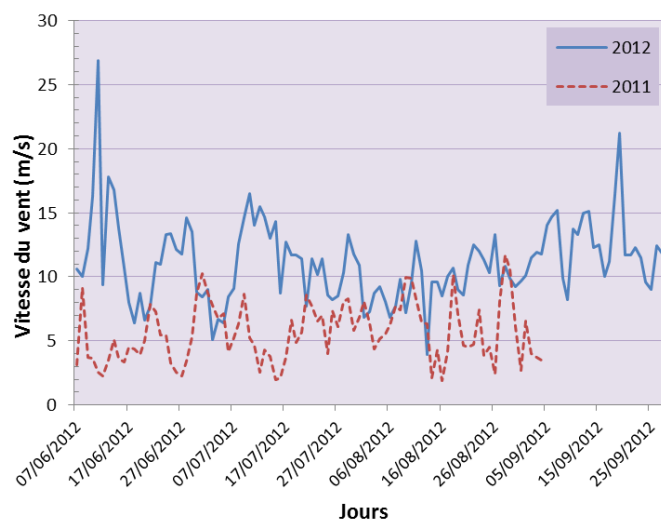


Figure 5 : Evolution et comparaison de la vitesse des vents (moyennes journalières) mesurées en continu à la station météorologique de Vale-NC lors de la campagne de 2012 et à la station d'Ioro lors de la campagne de 2011.

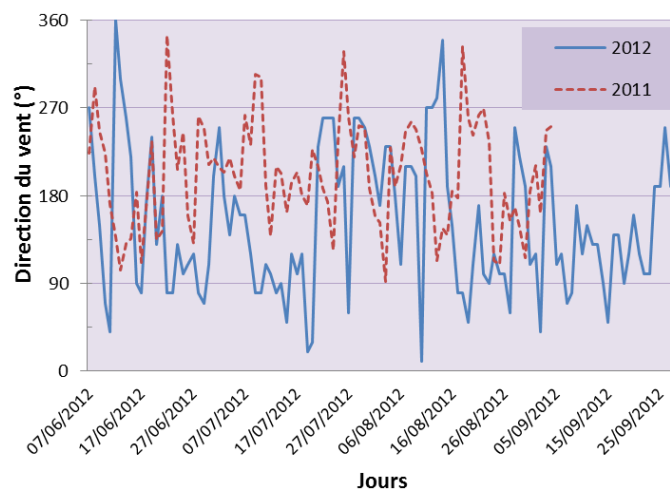


Figure 6 : Evolution et comparaison des directions de vents (moyennes journalières) mesurées en continu à la station météorologique de Vale-NC lors de la campagne de 2012 et à la station d'Ioro lors de la campagne de 2011.

TEMPERATURE

La température moyenne globale de l'eau au niveau du récif Ioro relevée du 7 juin au 13 août est de $21,3^{\circ} \pm 0,4^{\circ} \text{C}$ et

oscille entre 20,3°C et 22,6°C, avec une tendance régulière à la baisse à partir de juin (début de saison fraîche). A partir du 21 juillet, les températures journalières de l'eau oscillent fortement (Figure 7).

Lors de cette campagne, les températures moyennes journalières de l'eau sont nettement inférieures à celle de 2011, pendant la première moitié de la période d'immersion des cages, cette différence pouvant atteindre plus de 1°C (Figure 8) ; d'une manière globale, la moyenne de température pour les premiers 68 jours d'immersion est de $21,3 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$ pour 2012 contre $22,0 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$ pour 2011. Cependant, malgré cette variabilité en 2011, les courbes de température de l'eau pour les deux années suivent la même tendance.

Quant à la température moyenne journalière de l'air au niveau du récif loro pour la campagne de 2012, comme en 2011, elle est caractérisée par une tendance globale à la baisse marquant ainsi l'entrée dans la saison fraîche (Figure 8).

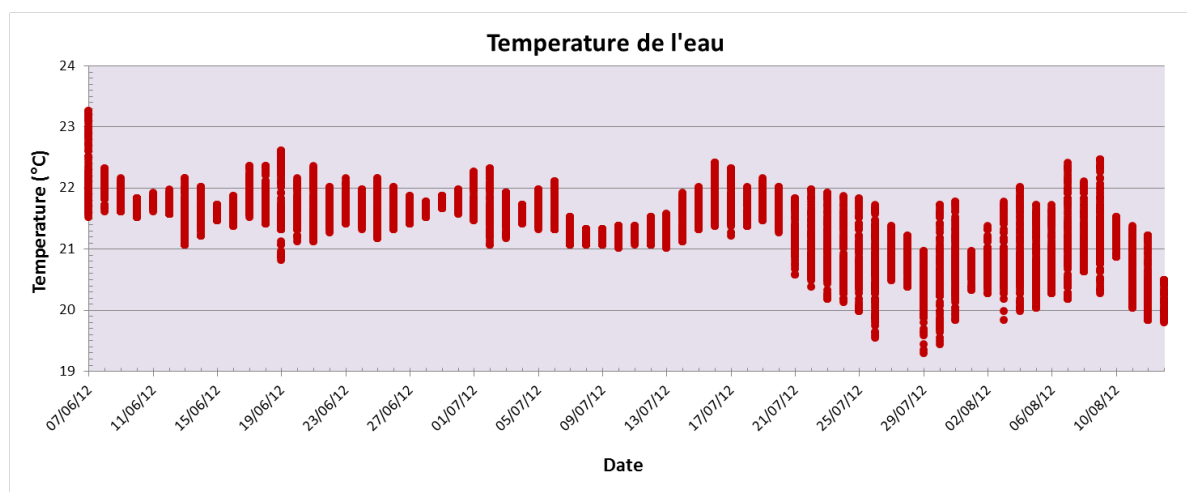


Figure 7 : Evolution des températures de l'eau de mer pendant la campagne de transplantation 2012. Les données ont été recueillies à la station d'Ioro toutes les 5 minutes du 07 juin 2012 au 13 août, soit durant les premiers 68 jours sur 114 jours de la campagne de transplantation 2012.

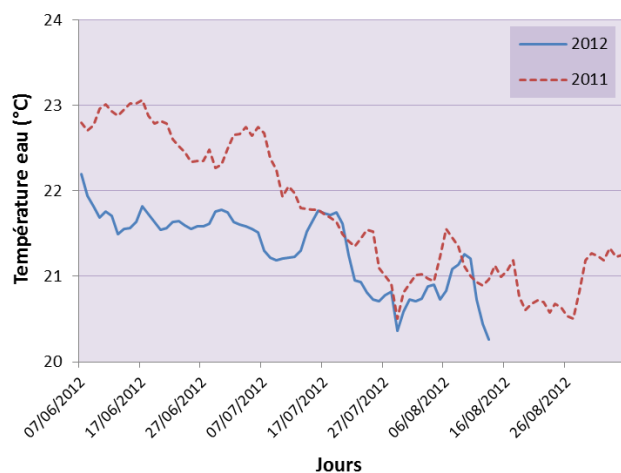


Figure 8 : Comparaison des données de température de l'eau de mer (moyennes journalières) des campagnes de transplantation 2011 et 2012. Ces données ont été recueillies au niveau du récif d'Ioro. Pour la campagne 2012, les données concernent seulement 68 des 114 jours de la campagne 2012.

BIOMETRIE, ANALYSE DES ECHANTILLONS ET TRAITEMENT STATISTIQUE

Après récupération des cages, les bivalves transplantés ont été placés 48 h en dépuración puis brossés afin d'éliminer les matières ingérées ainsi que les particules de sédiments et l'épibiose adhérents. Après dépuración, chaque spécimen a été mesuré au pied à coulisse, épongé et pesé pour l'obtention du poids frais total, puis disséqué. Les tissus mous ont ensuite été pesés pour l'obtention du poids frais des chairs entières, puis congelés et lyophilisés.

PARAMETRE PHYSIOLOGIQUE

A partir des variables biométriques obtenues, la croissance relative a été calculée ainsi que le taux de croissance journalière (TCJ) en longueur et en poids frais total selon l'expression suivante :

$$TCJ (\%) = ((Ln Vf - Ln Vi) \times 100) / (Tf - Ti)$$

Ln V : logarithme népérien de la variable biométrique V (longueur ou poids frais total) mesurée à **Ti** (**Vi**) et à **Tf** (**Vf**) ; **Ti** : début de transplantation ; **Tf** : fin de transplantation.

BIOACCUMULATION DES METAUX

Les chairs des quinze bivalves de chaque station ont été combinées trois par trois de manière aléatoire pour constituer cinq pools par cage. Cette méthode du « pooling » permet de réduire significativement le nombre total d'échantillons à analyser tout en conservant une possibilité d'analyse statistique selon des méthodes non paramétriques, notamment. De même, les algues ont été brossées et rincées à l'eau de mer, puis combinées pour former cinq lots par station. Les lots d'algues et de chairs de bivalves ont été congelés dans des sachets référencés puis lyophilisés.

Chaque lot de bivalves et d'algues a ensuite été minéralisé en conditions hyperbares (four micro-ondes) avec une solution d'acide nitrique concentré et de peroxyde d'hydrogène (qualité supra-pur) afin de solubiliser les métaux accumulés dans 0,500 g de tissus selon la méthode décrite dans Breau (2003) et Breau *et al.* (2009b). Un contrôle qualité des méthodes de minéralisation et d'analyse a été effectué en insérant dans les séries analytiques du matériel biologique de référence certifié, d'origine marine (TORT-2, NRCC).

Les solutions obtenues ont été diluées puis analysées par ICP-OES (Varian, Modèle 730 ES) afin de déterminer les concentrations en As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn. Les résultats du contrôle qualité réalisé pour ces séries d'échantillons sont présentés dans le Tableau 2.

La précision de la méthode est excellente pour As, Cu et Zn (variation < 5 %) et acceptable pour Cr, Mn et Ni (variation < 20 %). Par ailleurs, une excellente justesse relative a été obtenue pour As, Mn et Zn (de 102 % à 108 %)¹. Cette grandeur a été évaluée en comparant les résultats d'analyse du matériel biologique de référence régulièrement inséré dans les séries avec les valeurs certifiées.

¹ Les données relatives aux autres métaux doivent donc être interprétées avec prudence. Une étude méthodologique sera initiée très prochainement afin d'identifier les causes de ce problème puis le résoudre.

Tableau 2 : Résultats du « Contrôle Qualité » des méthodes de minéralisation et d'analyses chimiques des métaux dans 0,500 g de tissus biologiques réalisé dans le cadre de la campagne 2012.

PARAMETRES	As	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Valeurs obtenues (µg/g ps) ¹	13,6	0,14	0,9	2,9	187	3,6	0,5	70,3
Ecart-type ¹	0,3	0,06	0,2	0,1	104	0,6	0,1	1,0
Valeurs certifiées (µg/g ps) ²	12,6	0,10	0,7	3,3	146	3,5	0,6	67,1
Ecart-type ²	1,2	0,02	0,2	0,4	14	0,3	0,2	3,8
Précision relative (%) ³	2	42	18	5	56	16	19	1
Justesse relative (%) ⁴	108	140	125	87	128	102	80	105
Limite de quantification (µg/g ps)	1,7	0,1	0,3	0,4	3	0,4	0,4	10

¹ Moyenne ± écart-type : n = 3 échantillons certifiés TORT-2 (Conseil National de Recherches, Canada)

² Moyenne ± intervalle de confiance

³ La précision relative est exprimée par le coefficient de variation des valeurs obtenues ($CV = \text{écart-type} / \text{moyenne} \times 100$)

⁴ La justesse relative est exprimée par le pourcentage des valeurs obtenues et valeurs certifiées.

ANALYSES STATISTIQUES

Les analyses statistiques menées avaient pour objectifs de déterminer si :

- 1) le poids et la longueur des individus transplantés ont varié significativement entre le début et la fin de la transplantation, pour chaque station ;
- 2) les teneurs en différents métaux (As, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Zn) ont varié significativement au sein des individus transplantés entre le début et la fin de la transplantation, pour chaque station ;
- 3) il existe des différences significatives de poids, taille et teneurs en métaux entre les différentes stations à l'issue de la période de transplantation.

Il a tout d'abord été déterminé si les données à analyser répondaient aux exigences de mise en œuvre des analyses de variance (i.e. distribution gaussienne et homoscédaticité) (Scherrer 1984, Zar 1999).

Lorsque les conditions nécessaires étaient remplies, des analyses de variance (ANOVA) ont donc été utilisées afin de comparer les paramètres d'intérêts (poids, longueur et teneurs en métaux) entre le début et la fin de la transplantation pour une station donnée (points 1 et 2), ou entre stations (point 3).

Dans le cas contraire, des tests non-paramétriques ont remplacé les ANOVA : tests de Wilcoxon-Mann-Whitney pour les analyses correspondant aux points 1 et 2, et tests de Kruskal-Wallis pour les analyses correspondant au point 3 (Scherrer 1984, Zar 1999).

La réalisation et la validation de l'ensemble des ANOVA et tests non-paramétriques (Wilcoxon-Mann-Whitney et Kruskal-Wallis), les transformations éventuellement appliquées aux données, et l'ensemble des analyses afférentes ont été réalisées à l'aide du logiciel R Software®. Le risque de première espèce α a été fixé à 0,05.

A l'issue des différentes analyses conduites, lorsqu'une variation significative aura été détectée sur un des paramètres considérés, la représentation graphique des données permettra de caractériser l'amplitude et le profil de cette variation, en vue de son interprétation.

RESULTATS - DISCUSSION

CROISSANCE ET CONDITION PHYSIOLOGIQUE DES BIVALVES TRANSPLANTES

Les données correspondant à la biométrie des bivalves avant et après transplantation sont regroupées en annexe 1 et annexe 2.

Avant la transplantation (T_i), les poids frais totaux moyens par lot s'échelonnent entre $16,59 \pm 2,17$ g (stations St31) et $16,78 \pm 2,69$ g (station St18) soit une moyenne globale de $16,64 \pm 2,79$ g, toutes stations de transplantation confondues. En fin d'expérience (T_f), les poids frais totaux moyens mesurés oscillent entre $18,11 \pm 3,11$ g (station St06) et $20,27 \pm 2,81$ g (station St03) soit une moyenne globale de $19,33 \pm 3,03$ g, toutes stations de transplantation confondues.

A chacune des huit stations, le poids frais total moyen à T_f est supérieur à celui mesuré en début d'expérience à T_i (Figure 9A). Cette augmentation correspond à une croissance moyenne relative allant de 9,1% (station St06) à 22,1% (station St03) du poids initial (Tableau 3). Cette différence en poids frais observée entre T_i et T_f est statistiquement significative (ANOVA ; $p < 0,05$) pour toutes les stations à l'exception St06 et St07.

De même, à T_i , les longueurs des coquillages par lot s'échelonnent entre $79,5 \pm 6,0$ mm (station St03) et $83,0 \pm 9,9$ mm (station St07) soit une moyenne globale de $81,5 \pm 9,9$ mm, toutes stations de transplantation confondues. A T_f , les longueurs des coquillages mesurés sont comprises entre $86,0 \pm 11,6$ (station St06) et $89,7 \pm 9,6$ mm (station St13) soit une moyenne globale de $87,4 \pm 9,4$ mm, toutes stations de transplantation confondues (Figure 9B). Les croissances relatives moyennes représentent de 4,2% (station St07) à 9,7% (station St03) de la longueur moyenne initiale (Tableau 3). Cette augmentation en longueur n'est cependant statistiquement significative que pour les stations St03 et St18 (ANOVA ; $p < 0,05$).

Les taux moyens de croissance journalière « *TCJ en poids frais* » s'échelonnent entre 0,08 % (station St06) et 0,18% (station St03) et les « *TCJ en longueur* » correspondants sont compris entre 0,04 % (station St07) et 0,08 % (stations St03 et St13) (Tableau 3). Ces taux diffèrent faiblement entre les stations, en particulier les valeurs de « *TCJ en longueur* » qui sont identiques entre les stations St16 et St18 (Baie de Prony), St14 (Baie de Goro) et St31 (station de référence, Ilot Nouaré). Par ailleurs, une comparaison statique démontre qu'à T_f il n'y a aucune différence significative, ni en poids frais total, ni en longueur de coquille entre les diverses stations (ANOVA ; $p > 0,05$).

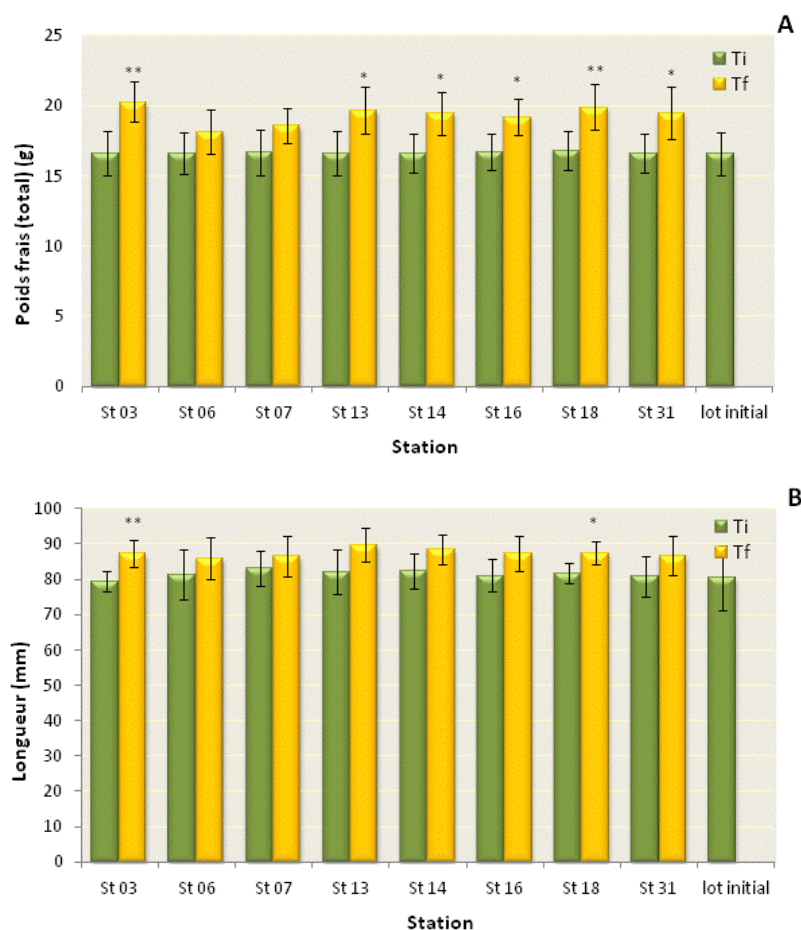


Figure 9 : Comparaison des valeurs moyennes des poids frais totaux moyens (A) et des longueurs des coquilles (B) avant (Ti) et après (Tf) transplantation chez le bivalve *Isognomon isognomon* (n=15 individus par station). Les astérisques indiquent le niveau de signification entre Ti et Tf après l'analyse de la variance (ANOVA) à $P < 0,01$ (**) ou $P < 0,05$ (*).

Toutefois, l'on constate que les « TCJ en poids frais » et les « TCJ en longueur » des coquilles sont relativement corrélés ($R^2=0,751$; Figure 10), pour la campagne 2012, le ratio entre les deux valeurs étant de $0,47 \pm 0,8$ avec des valeurs extrêmes rencontrées aux stations St07 et St18 ($R=0,40$) et St06 ($R=0,60$). Il est également à noter qu'aucune corrélation entre « TCJ en poids frais » et « TCJ en longueur » des coquilles n'a été observée à l'issue de la campagne précédente de 2011.

La comparaison interannuelle des deux taux de croissance (TCJ pondérale et taille) obtenus respectivement pour les campagnes 2011 et 2012 indique que le développement des organismes est assez semblable d'une année sur l'autre entre les stations (aucune valeur pour St16 n'avait été obtenue en 2011 en raison de la perte de la cage). Cette observation est particulièrement avérée pour la croissance en taille (longueur des coquilles ; Figure 11). En effet, la différence maximal entre les valeurs « TCJ en longueur » sur les deux campagnes est de seulement 0,02% pour les sept stations comparées. Il est à noter également que la valeur « TCJ en longueur » la plus élevée a été observée au niveau de la station St03 pour les deux années consécutives.

Les valeurs « *TCJ en poids frais* » restent également très constantes entre les campagnes au niveau de plusieurs stations ; par exemple pour la station St07, ce taux est de 0,10% pour chacune des deux années. Cette homogénéité des TCJ est également constatée au niveau des stations St03 et St06 (différence de 0,01% entre 2011 et 2012) et St13 et St18 (différence de 0,02%).

Tableau 3 : Taux de croissance moyenne et journalière en poids frais total (PF_{tot}) et en longueur des coquilles (Long.) et indice de condition physiologique du bivalve *Isognomon isognomon*.

Station	LOCALISATION	Croissance moyenne		Taux moyens de croissance journalière (TCJ)		Indice de condition physiologique (IC) (%)
		PF _{tot} (%)	Long. (%)	PF _{tot} (%)	Long. (%)	
St 03	Chenal de la Baie de Port Boisé	22,1	9,7	0,18	0,08	11,4 ± 0,9
St 06	Chenal de la Baie Kwé	9,1	5,6	0,08	0,05	10,4 ± 1,5
St 07	Récif Ioro (pointe nord)	11,5	4,2	0,10	0,04	10,6 ± 2,0
St 13	Récif Ma (pointe nord), Ile Ouen	18,5	9,3	0,15	0,08	10,5 ± 1,6
St 14	Baie de Goro	17,1	7,5	0,14	0,06	10,8 ± 1,6
St 16	Port commercial de l'usine Vale NC	15,1	7,6	0,12	0,06	11,2 ± 1,8
St 18	Îlot Casy (pointe du platier sud-est)	18,4	7,3	0,15	0,06	11,7 ± 1,3
St 31	Îlot Nouaré (bord ouest)	17,3	7,1	0,14	0,06	10,6 ± 1,6
Lot initial		-	-	-	-	10,6 ± 1,9

Toutefois, quelques différences sensibles ont été constatées entre ces deux campagnes. Par exemple, le taux de croissance pondérale le plus élevé en 2012 a été constaté au niveau de la station St03, alors qu'il a été relevé à la station St31 pour la campagne de 2011. Les « *TCJ en poids frais* » pour les stations St14 et St31 montrent des taux de croissance notablement différents ; ces taux passent de 0,24% en 2011 à 0,14% en 2012 pour la station St31 (différence de 0,1%) et de 0,14% en 2011 à 0,08% en 2012 pour la station St14 (différence de 0,06%).

Enfin, il est remarquable de noter que pour les deux campagnes 2011 et 2012, les taux de croissance (« *TCJ en poids frais* » et « *TCJ en longueur* ») les plus faibles ont été observés au niveau des stations St06 et St07.

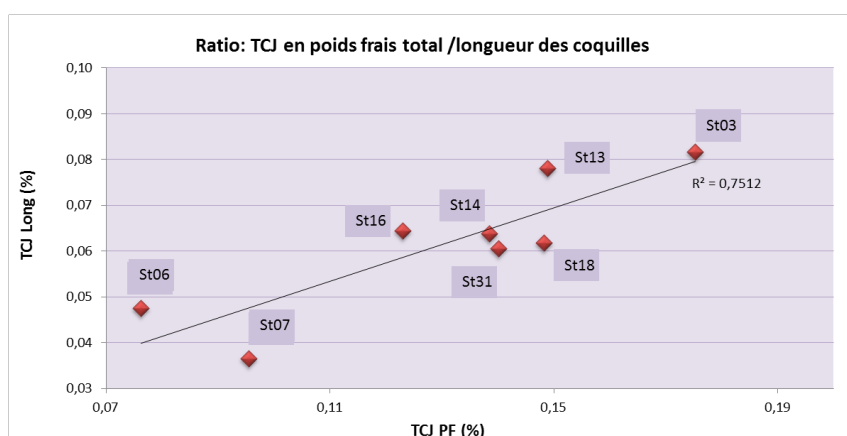


Figure 10 : Taux moyens de croissance journalière en poids frais total (PF_{total}) et en longueur de coquille (Long.) chez les bivalves *Isognomon isognomon* transplantés en 2012.

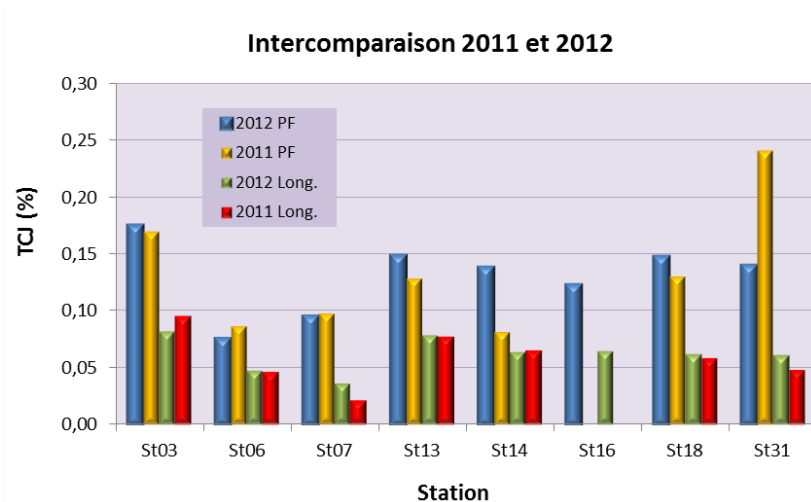


Figure 11 : Comparaison interannuelle des taux moyens de croissance journalière en poids frais total (PF_{total}) et en longueur des coquilles (Long.) chez les bivalves *Isognomon isognomon* transplantés lors des campagnes 2011 et 2012.

L'indice de condition physiologique (IC) moyen oscille entre 10,3% (station St06) et 11,7% (station St18) ; ces valeurs sont remarquablement similaires entre les 8 différentes lots transplantés dans la zone d'étude et celui conservé comme lot témoin (différence maximale de seulement 1,3% ; Figure 12). La comparaison interannuelle de cet indice ne révèle aucune tendance globale ; les valeurs étant très proches voire identiques entre les différentes stations des deux campagnes. Toutefois, on notera que la valeur obtenue au niveau de la station St31 en 2011 est sensiblement plus haute que celle obtenue en 2012.

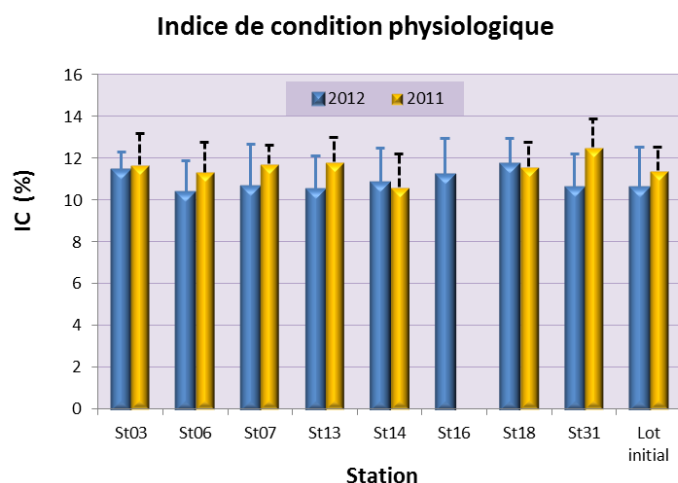


Figure 12 : Comparaison interannuelle des indices de condition physiologique moyenne des bivalves *Isognomon isognomon* transplantés lors des campagnes 2011 et 2012.

CE QU'IL FAUT RETENIR

A chaque station, les taux de croissance des spécimens immergés mesurés entre le début et la fin de la période de transplantation (114 jours) et évalués par différents indices (croissance moyenne et journalière en poids frais total et en longueur des coquilles) indiquent que les conditions environnementales régnant à proximité des cages sont propices au bon fonctionnement de leur métabolisme global voire similaires à celles de la zone de collecte (Baie Maa).

Toutefois, les taux de croissance varient selon la station et le paramètre considéré ; leur évolution semble globalement obéir à la hiérarchisation suivante :

- 1 - les croissances les plus fortes correspondent aux bivalves de la station St03 (Port Boisé);
- 2 - celle-ci est suivie par les bivalves des stations St13 (Récif Ma) et St18 (Ilot Casy) ;
- 3 - ensuite, sont concernées les stations St14 (Baie de Goro) et St31 (Ilot Nouaré) ;
- 4 - puis la station St16 (Port de Prony) ;
- 5 - et finalement les stations St07 (Récif Ioro) et St06 (Baie Kwé).

Exceptions faites des deux stations St14 et St31, les taux de croissance mesurés en 2012 sont du même ordre de grandeur que ceux précédemment obtenus en 2011. Par ailleurs, le taux de croissance pondérale le plus important en 2011 et 2012 concernent les bivalves de la station St03. A l'inverse, les stations St06 et St07 montrent les taux de croissance pondérale et en taille le plus faible.

Après 114 jours d'immersion, les bivalves montrent des indices physiologiques relativement proches de ceux observés avant l'immersion (lot initial récolté à la Baie Maa) et homogène entre les différentes stations. Ces indices sont également très proches de ceux calculés en 2011.

Ces résultats traduisent des conditions environnementales constantes entre les deux campagnes 2011 et 2012 malgré la relative différence de température des eaux de mer mesurée en début de période d'immersion.

CONCENTRATIONS EN METAUX DANS LES BIVALVES**CONCENTRATION ET VARIABILITE**

Les concentrations des métaux chez bivalves mesurées après leur transplantation sont regroupées dans l'annexe 3. Les concentrations moyennes et médianes (n=5) pour chacune des différentes stations ainsi que la variabilité inter-stations de ces concentrations en métaux de la campagne de transplantation 2012 sont reportées dans la Figure 13.

Les résultats d'analyses indiquent que les gammes de concentrations sont très différentes selon le métal considéré, à savoir que les valeurs moyennes extrêmes vont de $0,37 \pm 0,05 \mu\text{g/g ps}$ (ps = poids sec) pour le cobalt à $814,8 \pm 60,4 \mu\text{g/g ps}$ pour le zinc. Globalement, les niveaux de concentrations mesurés permettent de classer les

métaux selon l'ordre suivant : (Zn) > (Fe) > (As) > (Mn) > (Cu) > (Ni) > (Cr) > (Co). Par ailleurs, leur distribution spatiale s'effectue de la manière suivante :

- Arsenic (As)** : les concentrations médianes varient de 49,7 à 57,9 $\mu\text{g/g}$ ps, soit une moyenne globale de $53,5 \pm 3,2$ $\mu\text{g/g}$ ps. Les concentrations mesurées sont équivalentes aux concentrations maximales, voire même légèrement supérieures à celles observées dans la région de Nouméa (38,0 à 54,0 $\mu\text{g/g}$ de ps). Après 114 jours d'immersion, les teneurs en arsenic ne montrent aucune variation spatiale significative (Kruskal-Wallis ; $p > 0,05$), ni entre les différentes stations, ni entre ces stations et le lot témoin (Baie Maa : $55,4 \pm 7,3$ $\mu\text{g/g}$ ps). Toutefois, la station St07 montre la plus grande dispersion des résultats et la St16 la plus petite (Figure 13).
- Cobalt (Co)** : les concentrations médianes du cobalt varient de 0,31 à 0,44 $\mu\text{g/g}$ ps, soit une moyenne globale de $0,37 \pm 0,05$ $\mu\text{g/g}$ ps. Ces concentrations s'inscrivent toutes dans la gamme des valeurs précédemment mesurées dans la région de Nouméa (0,18 à 0,69 $\mu\text{g/g}$ ps). Aucune variation spatiale significative (Kruskal-Wallis ; $p > 0,05$), ni entre les différentes stations, ni entre ces stations et le lot témoin, n'a été avérée pour ce métal. Cependant, les teneurs obtenues pour les stations St03, St14 et St16 (respectivement $0,40 \pm 0,03$; $0,41 \pm 0,12$ et $0,45 \pm 0,11$ $\mu\text{g/g}$ ps) sont proches de celles observées au fond de la Grande Rade (Nouméa), tandis que les teneurs des autres stations ne diffèrent pas significativement de celle du lot témoin ($0,37 \pm 0,05$ $\mu\text{g/g}$ ps). Graphiquement, les résultats les plus dispersés correspondent aux stations St06 et St14, les plus homogènes aux stations St03, St13 et St31 (Figure 13).
- Chrome (Cr)** : les concentrations médianes du chrome varient de 1,2 à 2,3 $\mu\text{g/g}$ ps, soit une moyenne globale de $1,7 \pm 0,4$ $\mu\text{g/g}$ ps. Ces concentrations sont comprises dans la gamme des valeurs précédemment mesurées en 2007 et 2008 (1,0 à 3,7 $\mu\text{g/g}$ ps). Les stations St03 et St16, avec des valeurs moyennes de $2,1 \pm 0,5$ et $2,2 \pm 0,8$ $\mu\text{g/g}$ ps, respectivement, montrent des teneurs très proches de celles observées au fond de la Grande Rade (Nouméa) et supérieures à celle du lot témoin ($1,6 \pm 0,3$ $\mu\text{g/g}$ ps) ; à l'inverse, les teneurs aux stations St13, St18 et St31, voire St06 sont bien plus faibles (1,3 à 1,5 $\mu\text{g/g}$ ps). Malgré ces constatations, le test de Kruskal-Wallis ne révèle aucune différence significative dans les teneurs en chrome entre les lots transplantés et le lot témoin. Toutefois, ce test indique bien que les stations St13 et St31 présentent des teneurs significativement plus faibles que les stations St03 et surtout St16 ($p < 0,05$). Graphiquement, seules les stations St14 et St16 montrent une dispersion des résultats assez grande (Figure 13).
- Cuivre (Cu)** : les concentrations médianes du cuivre varient de 4,7 à 6,9 $\mu\text{g/g}$ ps, soit une moyenne globale de $5,9 \pm 0,6$ $\mu\text{g/g}$ ps. Ces concentrations sont largement inférieures à celles précédemment mesurées dans la Grande Rade (Nouméa) en 2007 et 2008 (8,6 à 12,1 $\mu\text{g/g}$ ps). Ces résultats se caractérisent par une variabilité spatiale notable. Par ailleurs, les stations St06, St13, St16 et St31 ($5,2 \pm 1,0$; $5,2 \pm 1,4$; $5,4 \pm 1,2$ et $5,9 \pm 1,1$ $\mu\text{g/g}$ ps, respectivement) montrent des concentrations nettement inférieures à celles mesurées dans les quatre autres dont l'ordre de grandeur reste similaire à celui du lot témoin ($6,6 \pm 0,5$ $\mu\text{g/g}$ ps). Cependant statistiquement, cette variation n'est considérée comme significative que pour la station St06 (Kruskal-Wallis ; $p < 0,05$). Enfin, si les teneurs varient peu entre les lots transplantés selon le test de Kruskal-Wallis, graphiquement la station St16 montre la plus grande dispersion des résultats et St03 la plus faible (Figure 13).
- Fer (Fe)** : les concentrations médianes du fer varient de 126,8 à 171,5 $\mu\text{g/g}$ ps, soit une moyenne globale de $151,9 \pm 23,9$ $\mu\text{g/g}$ ps. Ces teneurs varient peu entre les différents lots transplantés (Kruskal-Wallis ; $p > 0,05$) et correspondent aux teneurs minimales mesurées en Grande Rade (117 à 311 $\mu\text{g/g}$ ps). De plus, les teneurs

sont toutes inférieures ou égales à la valeur Ti fournie par le lot témoin ($180,9 \pm 10,8 \mu\text{g/g ps}$), exception faite de St07 qui montre une grande dispersion des résultats. Cette observation est particulièrement avérée pour les stations St13 et St18 où ces valeurs sont significativement plus faibles que celles du lot témoin (test Kruskal-Wallis ; $p < 0,05$).

- **Manganèse (Mn)** : les concentrations médianes du manganèse varient de $15,4$ à $26,8 \mu\text{g/g ps}$, soit une moyenne globale de $22,0 \pm 4,7 \mu\text{g/g ps}$. Elles sont proches, voire légèrement supérieures, aux valeurs enregistrées en 2007 et 2008 dans la Grande Rade ($12,3$ à $24,4 \mu\text{g/g ps}$). La variabilité des teneurs n'est statistiquement significative, ni entre les lots transplantés et le lot témoin ($22,7 \pm 5,0 \mu\text{g/g ps}$), ni entre les lots transplantés (Kruskal-Wallis ; $p > 0,05$). Malgré ce test statistique, des teneurs moyennes différentes sont observables, la plus faible à la station St14 ($16,6 \pm 3,4 \mu\text{g/g ps}$) et la plus forte à station St16 ($27,9 \pm 12,5 \mu\text{g/g ps}$) qui montre la plus grande dispersion des résultats ; la station plus faible étant enregistrée en St03 (Figure 13).
- **Nickel (Ni)** : les concentrations médianes du nickel varient de $1,5$ à $3,0 \mu\text{g/g ps}$, soit une moyenne globale de $1,9 \pm 0,4 \mu\text{g/g ps}$. Ces teneurs correspondent aux valeurs minimales précédemment enregistrées en 2007 et 2008 dans la Grande Rade de Noumea ($2,0$ à $13,2 \mu\text{g/g ps}$). Les teneurs mesurées dans les lots transplantés varient peu par rapport aux teneurs du lot témoin ($2,1 \pm 0,4 \mu\text{g/g ps}$) à l'exception des stations St31 et St16 où, respectivement on observe la teneur minimale ($1,5 \pm 0,1 \mu\text{g/g ps}$) et la maximale ($2,8 \pm 1,0 \mu\text{g/g ps}$). Pour la station St31, la concentration moyenne est différente de celle du lot témoin de façon significative (test Kruskal-Wallis ; $p < 0,05$). En outre, cette station St31 diffère également de façon significative des stations St03, St06 et St16 et ainsi permet de mettre en évidence une variation spatiale (Kruskal-Wallis ; $p < 0,05$), la station St16 montrant, la plus grande dispersion et les plus faibles étant observées en St03 et St31 (Figure 13).
- **Zinc (Zn)** : les concentrations médianes du zinc varient de $712,6$ à $856,0 \mu\text{g/g ps}$, soit une moyenne globale de $817,6 \pm 63,9 \mu\text{g/g ps}$. Elle correspond aux valeurs minimales, voire sont inférieures à celles antérieurement mesurées dans la Grande Rade (748 à $1663 \mu\text{g/g ps}$). Ces résultats ne sont pas statistiquement significatifs pour en conclure à une variation, ni entre les différentes stations, ni entre les stations et le lot témoin ($792 \pm 87,8 \mu\text{g/g ps}$). Graphiquement, la plus grande dispersion des résultats est observée à la station St31, les plus faibles en St06 et St18 (Figure 13).

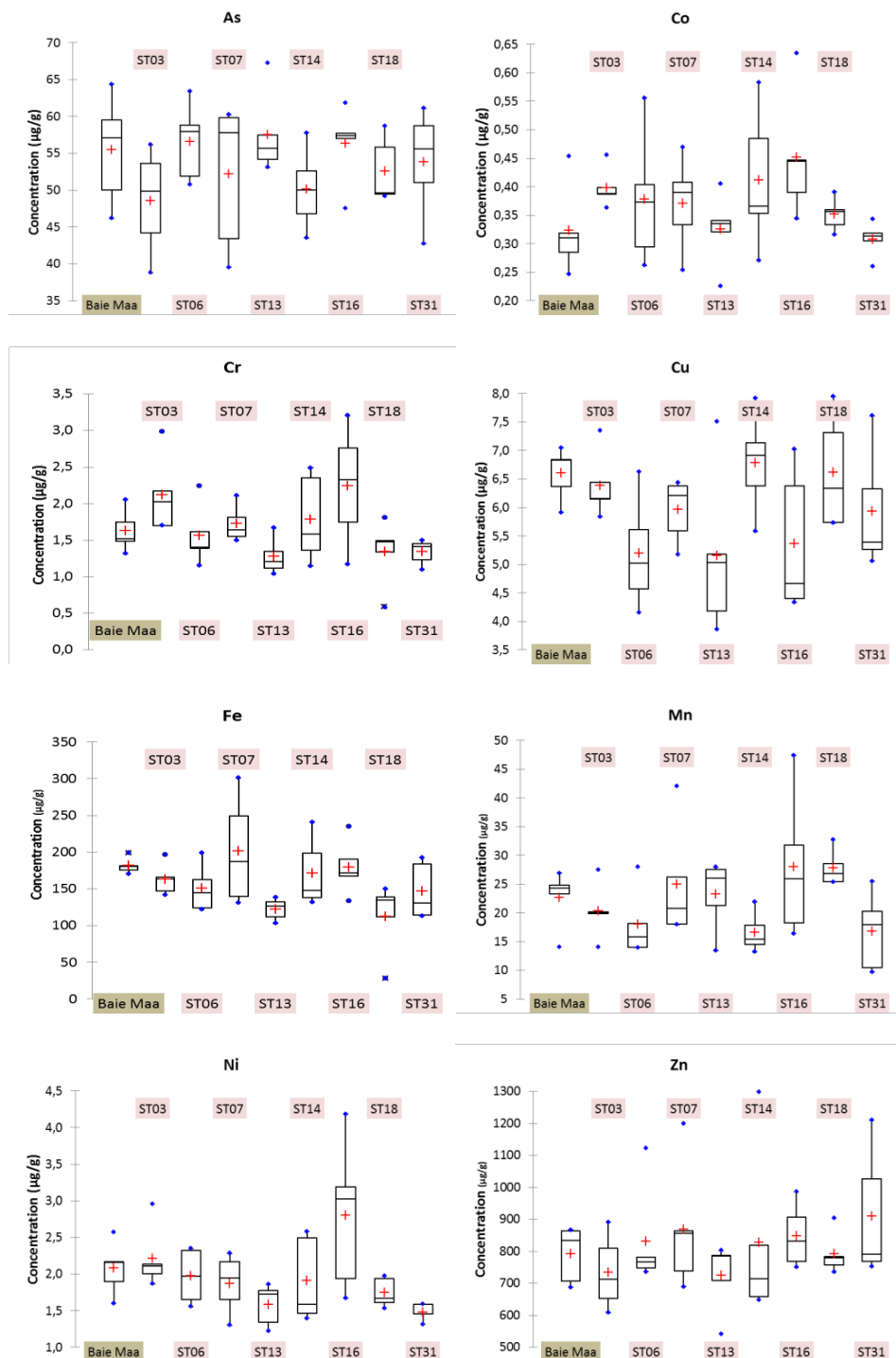


Figure 13 : Variabilité des concentrations en métaux chez le bivalve *Isognomon isognomon* lors de la campagne de transplantation 2012 (n=5 lots de 3 spécimens/station). (Les rectangles représentent la distribution de 50 % des données ; à l'intérieur, la croix rouge représente la moyenne et le trait horizontal la valeur médiane des données. « Baie Maa » = lot initial en Ti).

DISTRIBUTION SPATIALE

Pour les huit stations du suivi écotoxicologique, l'analyse de la matrice de corrélation inter-éléments montre l'existence de relations de proportionnalité seulement entre les trois éléments qui sont : le **cobalt**, le **nickel** et le **chrome** (Tableau 4 et Tableau 5). Les coefficients de Pearson pour les trois couples Co/Cr ($R=0,903$), Co/Ni ($R=0,921$) et Cr/Ni ($R=0,901$) sont significatifs (seuil de dissimilarité = 0,80) et traduisent le niveau relatif des influences terrigènes en fonction de la localisation géographique et hydrodynamique de la station de suivi.

Hormis ces éléments, aucune tendance spatiale ne peut être dégagée avec les autres métaux dont les comportements géochimiques ou bien les sources diffèrent (Tableau 4 et Tableau 5) : par exemple, le manganèse issu des massifs latéritiques montre une tendance à la précipitation au débouché des creek, le fer étant impliqué dans les cycles biogéochimiques du phytoplancton, sa concentration dissoute montre de grandes variations et l'arsenic ne présente pas d'évolution particulière en milieu marin, sa concentration demeure constante.

Tableau 4 : Matrice de proximité (Coefficient de corrélation de Pearson) des concentrations moyennes en métaux dans le bivalve *Isognomon isognomon*. Calcul sans prise en compte du lot témoin (Baie Maa).

	As	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
As	1							
Co	-0,200	1						
Cr	-0,344	0,903	1					
Cu	-0,888	0,087	0,087	1				
Fe	-0,298	0,586	0,691	0,036	1			
Mn	0,236	0,223	0,158	-0,132	-0,046	1		
Ni	-0,006	0,921	0,910	-0,148	0,503	0,391	1	
Zn	0,085	-0,016	-0,017	-0,005	0,454	-0,176	-0,020	1

Seuil de dissimilarité = 0,80

Tableau 5 : Matrice de proximité (Coefficient de corrélation de Pearson) des concentrations moyennes en métaux dans le bivalve *Isognomon isognomon*. Calcul avec prise en compte du lot témoin (Baie Maa).

	As	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
As	1							
Co	-0,260	1						
Cr	-0,345	0,856	1					
Cu	-0,736	-0,053	0,065	1				
Fe	-0,215	0,413	0,646	0,136	1			
Mn	0,241	0,188	0,156	-0,104	-0,028	1		
Ni	0,019	0,810	0,898	-0,097	0,511	0,394	1	
Zn	0,052	0,037	-0,010	-0,055	0,388	-0,182	-0,036	1

Seuil de dissimilarité = 0,80

Les concentrations en métaux accumulés dans les chairs et mesurés dans le milieu naturel, sous formes dissoutes et/ou particulaires, sont liées. Cependant, la corrélation entre ces grandeurs n'est pas évidente à établir dans le milieu naturel en particulier. En effet, l'incorporation de métaux dans les tissus dépend d'une part, de voies de transfert trophiques dont la complexité est avérée et d'autre part, des influences terrigènes dont l'occurrence et l'intensité sont fonction de paramètres hydro-climatiques. En dépit de ces difficultés, il a été recherché si une tendance globale

pouvait être avancée pour expliquer le profil de distribution des métaux d'influence terrigène dans les organismes bioaccumulateurs.

Dans cet objectif, les concentrations en cobalt, chrome et nickel mesurées dans les organismes ont été comparées avec les données de ces métaux dissous obtenues lors des deux campagnes semestrielles de suivi « *Colonne d'eau* » réalisées en 2012 (mars et août). Pour la comparaison, il n'a été considéré que les concentrations obtenues à **mi-profondeur** ; cette cote étant assimilable à la profondeur d'immersion des cages. Sept des huit stations sont communes aux opérations de transplantation d'organismes et de suivi physico-chimique, à savoir : St03, St06, St07, St13 St14, St16 et St18. Pour la station St31, qui est uniquement retenue pour les études de transplantation, les données recueillies à la station St05 ont été prises en compte en raison de sa proximité et de la similitude des milieux.

Pour les trois métaux (Co, Cr et Ni) mesurés dans les bivalves, les concentrations moyennes suivent une hiérarchisation approximativement similaire de celle obtenue pour les formes dissoutes déterminées dans la colonne d'eau (valeurs 2012). Par ordre décroissant, les deux classements sont les suivants :

- (As) > (Zn) > (Mn) = **(Ni)** > (Cu) > **(Cr)** ≥ (Fe) > **(Co)** dans la colonne d'eau (mi-profondeur) ;
- (Zn) > (Fe) > (As) > (Mn) > (Cu) > **(Ni)** > **(Cr)** > **(Co)** dans les bivalves.

Par ailleurs, pour la campagne 2012, les niveaux de concentration de Co, Cr et Ni sont en moyenne de :

- 0,37 ±0,05 µg/g ps pour le cobalt, 1,67 ±0,34 µg/g ps pour le chrome et 1,96 ±0,05 µg/g ps dans les bivalves ;
- 0,03 ±0,01 µg/L pour le cobalt, 0,13 ±0,02 µg/L pour le chrome et 0,21 ±0,07 µg/L dans la colonne d'eau (mi-profondeur).

Une relation linéaire étroite ($R^2 = 0,848$) entre le cobalt et le nickel s'observe pour les huit stations de la zone d'étude (Figure 14A). La signification du coefficient de corrélation diminue fortement ($R^2 = 0,655$) lorsque les valeurs du couple *cobalt/nickel* du lot témoin (Baie Maa) sont prises en compte (Figure 14B). De même, des relations linéaires sont observées d'une part, entre le chrome et le nickel ($R^2 = 0,827$ avec huit stations et $R^2 = 0,805$ avec les huit stations et le lot témoin ; Figure 14C et Figure 14D) et d'autre part, entre le chrome et le cobalt ($R^2 = 0,814$ avec les huit stations et $R^2 = 0,732$ avec les huit stations et le lot témoin ; Figure 14E et Figure 14F).

Cette approche statistique permet de conclure que :

- malgré une grande variabilité des conditions environnementales et d'un faible gradient de concentrations pour les trois métaux (Co, Cr et Ni), les organismes bioaccumulateurs répondent relativement clairement ;
- un classement des stations selon leurs niveaux de concentration peut être évoqué : **St31 < St13 < St18 < St07 = St06 = St14 = St03 < St16**. Ainsi les teneurs minimales sont toujours enregistrées au niveau de station St31 (Ilot Nouaré, station de référence éloigné de la côte) et les teneurs maximales sont observées à la station St16 (port commercial de Vale-NC situé près de la côte).

Bien que proche de la côte Est de l'île Ouen, la station St13 (Récif Ma) présente également des teneurs parmi les plus faibles, voire semblables (dans le cas du chrome) à celles de la station St 31 (Ilot Nouaré). Ces faibles teneurs sont probablement à relier à l'influence océanique qui est probablement dominante dans ce secteur. En effet, le modèle hydrodynamique du Canal de la Havannah montre clairement que la résultante des courants de marée est orientée selon un axe NE/SW prenant son origine au niveau de la passe de la Havannah (Douillet et Le Gendre, 2008) ; il en

résulte que l'influence terrigène de l'île Ouen y est vraisemblablement amoindrie du fait de la position plus à l'Ouest.

Au niveau de la station St18, les teneurs enregistrées sont similaires (dans le cas du chrome) voire légèrement supérieures que celles relevées aux stations St31 et St13. Cette distribution peut être liée au positionnement de la station relativement isolé de la Grande Terre conjointement à la circulation des courants de faible intensité présents dans ce secteur de la Baie du Prony.

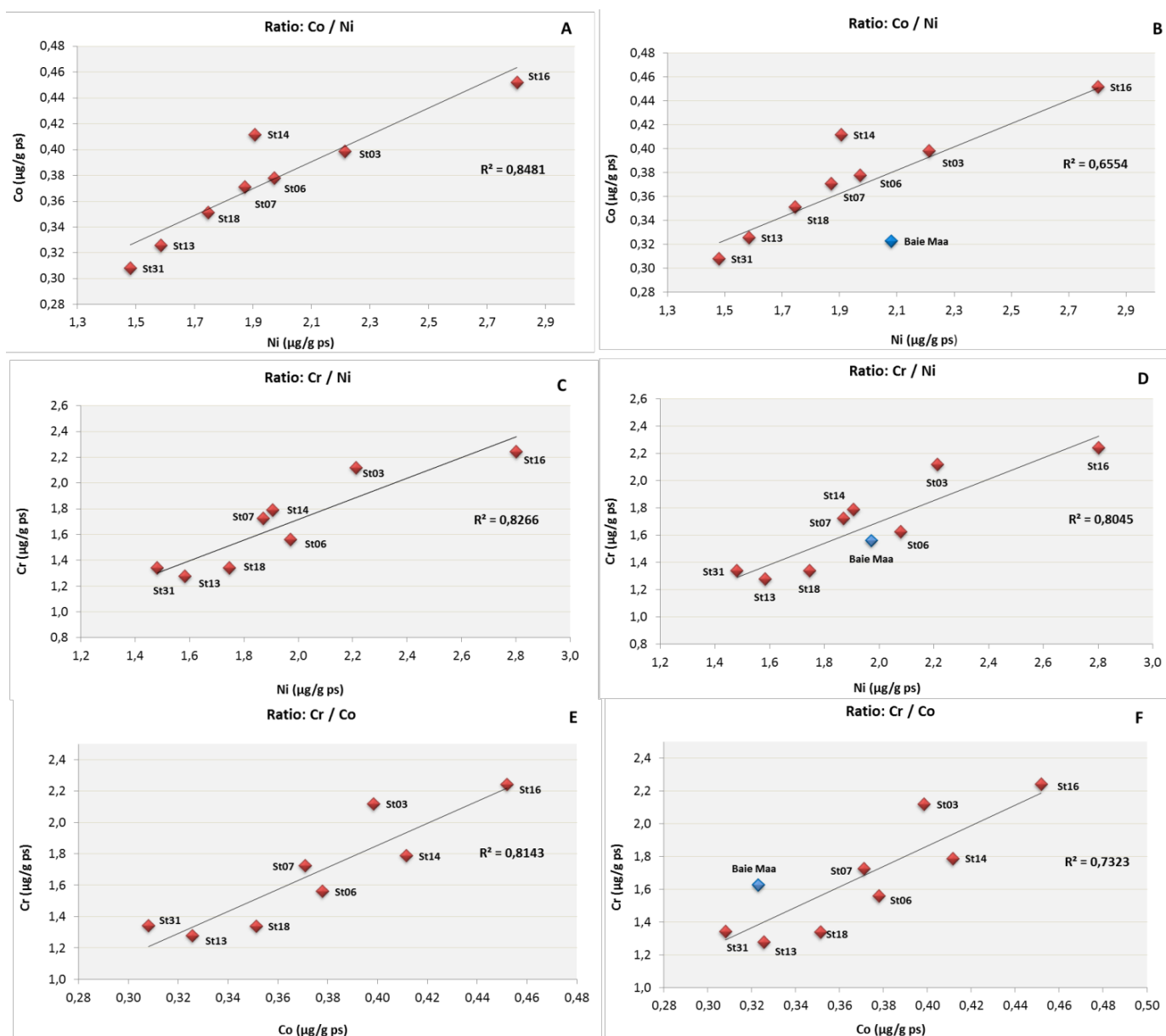


Figure 14 : Relations de proportionnalité entre deux métaux bioaccumulés chez le bivalve *Isognomon isognomon* transplanté lors de la campagne de 2012 (n=5).

VARIABILITE INTER-ANNUELLE

Pour chaque métal, les concentrations mesurées en 2012 sur l'ensemble des stations ont été comparées à celles précédemment obtenues suite à la campagne de 2011 (Figure 15). Globalement, les principales tendances pour le réseau de suivi sont explicitées ci-dessous :

- **Arsenic (As)** : les teneurs en arsenic mesurées en 2012 sont supérieures à celles de 2011 pour les toutes les stations, y compris le lot témoin. L'augmentation est particulièrement marquée aux stations St13, St18 et St31. Cette variation interannuelle est significative (Kruskal-Wallis ; $p < 0,05$).
- **Cobalt (Co)** : les teneurs en cobalt mesurées en 2012 sont inférieures à celle de 2011. Toutefois, elles restent assez similaires entre les deux campagnes sauf pour la station St18 où une teneur notablement plus faible à celle enregistrée en 2011 a été constatée. Cette variation interannuelle n'est pas significative (Kruskal-Wallis ; $p > 0,05$).
- **Chrome (Cr)** : les teneurs en chrome mesurées en 2012 sont inférieures à celles de 2011 pour les stations St06, St13, St14 et St18. Cette tendance est inversée pour le lot témoin. Statistiquement, cette variation interannuelle est significative (Kruskal-Wallis ; $p < 0,05$).
- **Cuivre (Cu)** : en 2012 les teneurs en cuivre sont similaires à celle de 2011, voire inférieures pour les stations St06, St07 St13 et St18. Cette variation interannuelle n'est pas significative (Kruskal-Wallis ; $p > 0,05$).
- **Fer (Fe)** : les teneurs en fer lors des deux campagnes sont similaires sauf au niveau de la station St31 où la teneur en 2012 est légèrement supérieure à celle de 2011. Cette variation interannuelle enregistrée pour 2012 n'est pas significative (Kruskal-Wallis ; $p > 0,05$).
- **Manganèse (Mn)** : hormis deux stations (St13 et St14) pour lesquelles les concentrations sont respectivement 1,5 et 2,0 fois plus élevées en 2011 par rapport à 2012, les valeurs ne montrent qu'une légère diminution de 2011 à 2012. est également constatée au niveau de la station St13. Cette variation interannuelle n'est pas significative (Kruskal-Wallis ; $p > 0,05$).
- **Nickel (Ni)** : les teneurs en nickel sont similaire entre les campagnes 2011 et 2012 sauf pour les stations St18 et St31 où une légère diminution a été constatée en 2012. Cette variation interannuelle n'est pas significative (Kruskal-Wallis ; $p > 0,05$).
- **Zinc (Zn)** : les teneurs en zinc lors de la campagne 2012 sont globalement supérieures à celle de 2011, plus particulièrement pour les stations St07 et St31. Statistiquement, cette variation interannuelle est significative (Kruskal-Wallis ; $p < 0,05$).

Comme constaté pour 2012, les données obtenues pour le cobalt, le chrome et le nickel montrent également un lien de proportionnalité en 2011 (Figure 16) comme le montrent les coefficients de Pearson significatifs pour les couples Co/Ni ($R^2 = 0,742$), Cr/Ni ($R^2 = 0,921$) et Cr/Co ($R^2 = 0,795$).

A l'exception de la station St18, la distribution spatiale 2011 des teneurs montre également de grandes similitudes avec celle obtenue en 2012, le classement par ordre décroissant est : St31 > St13 > St07 = St06 > St18 > St14 = St03.

Cependant, la campagne de 2011 se différencie par une forte relation linéaire constatée entre fer et certains autres métaux : Fe/Ni ($R^2 = 0,872$), Fe/Cr ($R^2 = 0,919$) et Fe/Co ($R^2 = 0,649$).

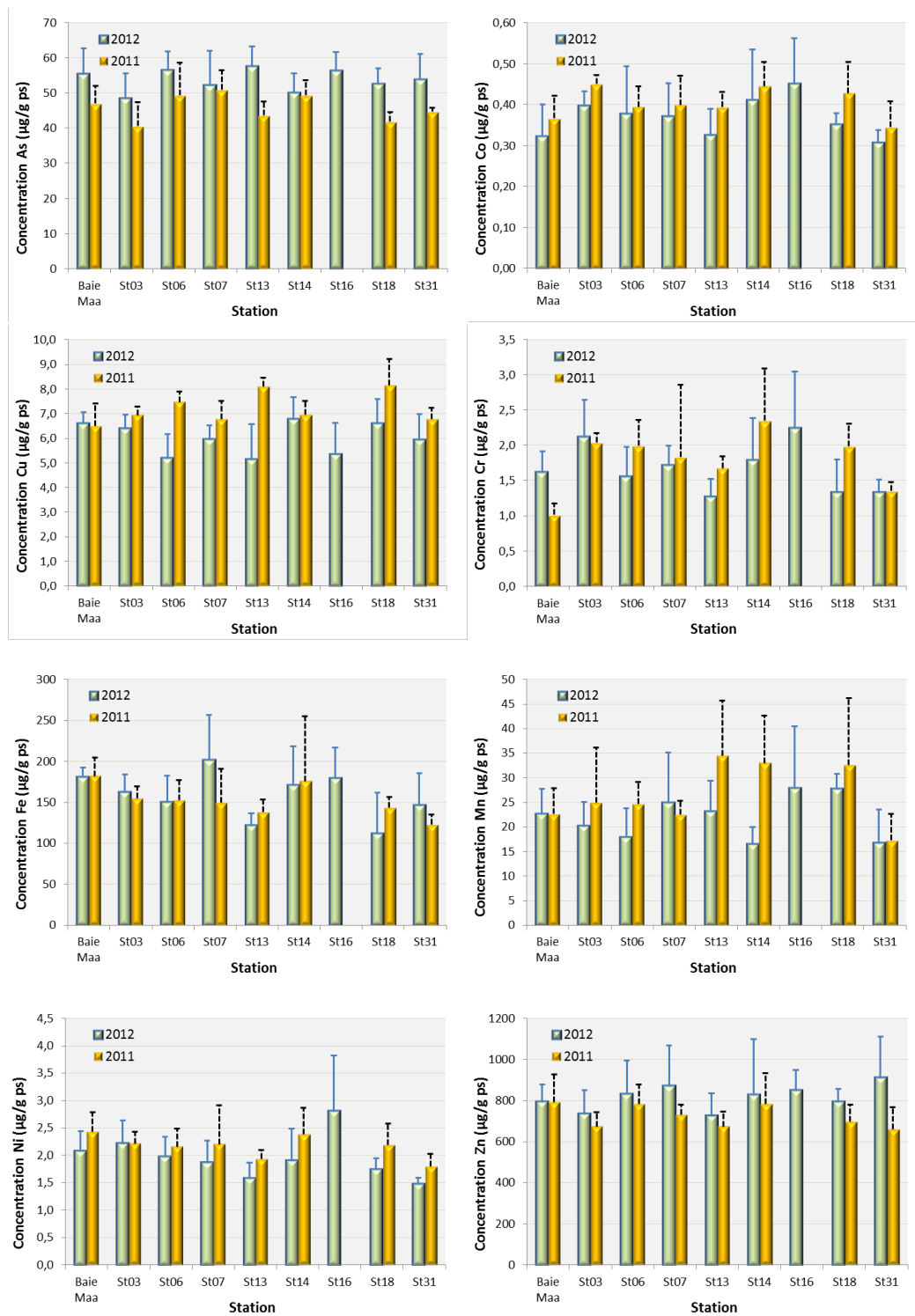


Figure 15 : Evolution temporelle des concentrations moyennes des huit métaux analysés (As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn) chez le bivalve *Isognomon isognomon* transplanté aux différentes stations en 2011 et 2012 (n=5).

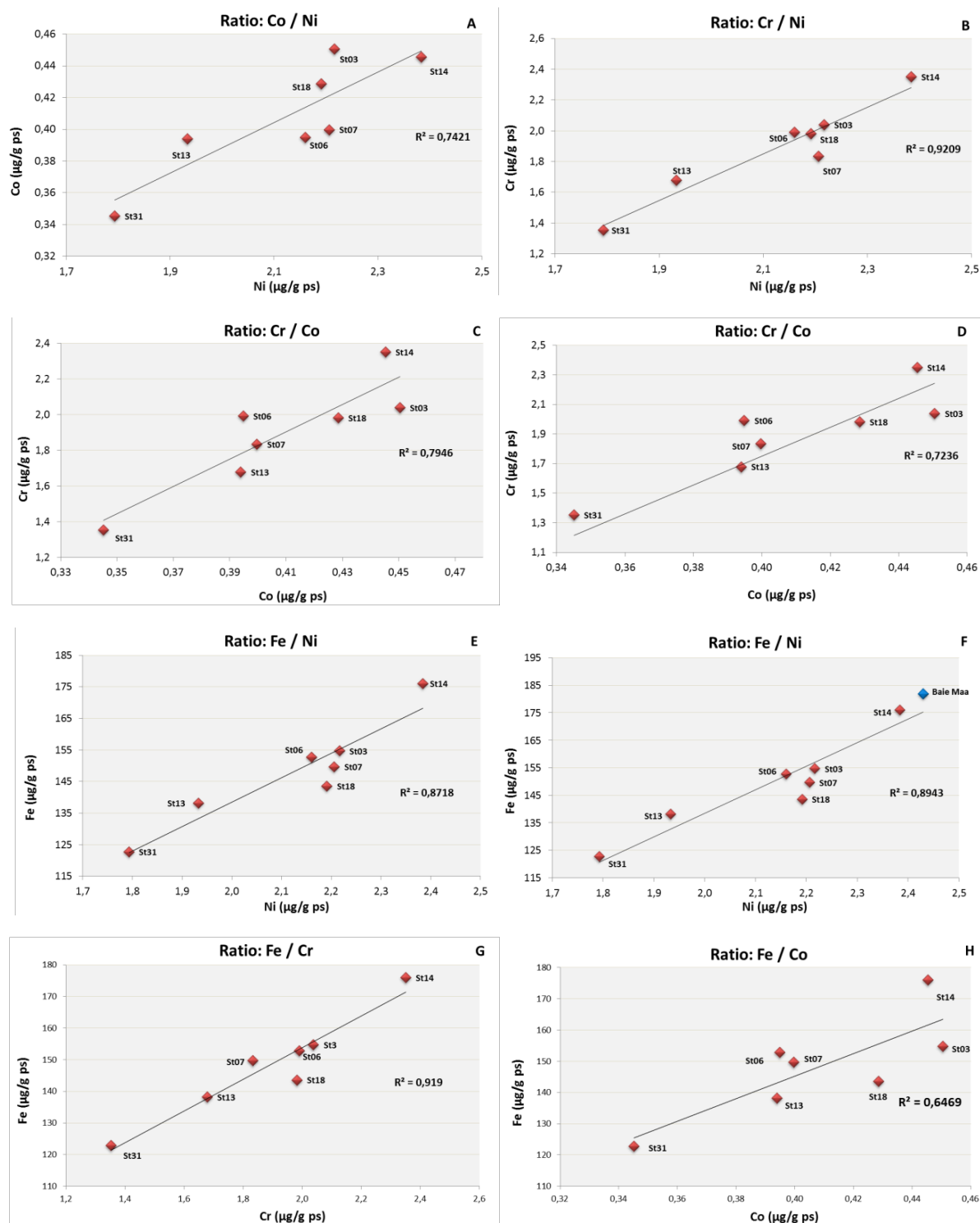


Figure 16 : Relations de la proportionnalité entre deux métaux bio accumulés chez le bivalve *Isognomon isognomon* transplantés lors de la campagne de 2011 (n=20 par stations).

CE QU'IL FAUT RETENIR

Globalement, pour toutes les stations et métaux confondus, les teneurs mesurées dans les chairs en 2012 sont du même ordre de grandeur, voire quasi similaires, à celles obtenues l'année précédente (2011). L'arsenic et le cobalt sont les deux seuls métaux dont les teneurs semblent statistiquement augmenter de façon significative pour l'ensemble du domaine. Pour les autres métaux seules quelques stations sont concernées et montrent des variations significatives : Cr en St03 et St16, Cu en St06, Fe en St13 et St18 et enfin Ni en St31.

Comme pour l'année précédente, le classement par ordre d'importance en métaux bioaccumulés est : Zn > Fe > As > Mn > Cu > Ni > Cr > Co. Malgré les faibles niveaux de concentration dans l'environnement lagonaire, le zinc montre une affinité toute particulière pour le bivalve *Isognomon isognomon* (Breau, 2003).

Malgré les différences d'état physiologiques constatées pour certaines stations, aucune divergence dans les concentrations associées n'est constatée.

En dépit des résultats statistiques (test de Kruskal-Wallis), il est observé, pour huit métaux, des comportements différents d'une station à l'autre, notamment en matière de dispersion des résultats analytiques. Par ailleurs, les trois marqueurs terrigènes (Co, Cr et Ni) se caractérisent par des distributions linéaires identiques ayant pour bornes les stations St31 (site de référence dans le Canal de Havannah) et St16 (port commercial de Vale-NC). Entre ces deux stations, les 6 autres se répartissent selon un ordonnancement qui n'est pas directement fonction de la distance à la côte. En effet, ces observations sont à relier aux conditions hydro-climatiques et hydrodynamiques environnant chaque station.

De manière globale, les mêmes tendances ont été constatées lors de la campagne de 2011, notamment pour Co, Cr et Ni.

CONCENTRATIONS EN METAUX DANS LES ALGUES

Après les 114 jours d'immersion, une énorme perte de matériel biologique a été constatée sur toutes les stations.

En effet, sur cinq des huit stations (St03, St06, St07, St14 et St31), une seule fronde a pu être analysée sur les lots de 15 frondes initialement placées dans les cages pour l'étude complète de transplantation d'organismes marins. Pour les stations St13 et St16 seules 2 frondes ont pu être récupérées pour l'analyse et 3 pour St18. A noter, cette perte en nombre de frondes a été constatée depuis 2009, bien que beaucoup moins importante qu'en 2012.

L'origine de cette perte semble être le broutage des frondes d'algues par les poissons. En effet, lors des plongées en bouteille destinées au brossage des cages pour éliminer le biofouling, mais aussi lors de la récupération des lignes de mouillage, de grandes colonies de petits poissons ont pu être observées à l'intérieur des nasses.

Cette diminution est trop importante pour pouvoir traiter les données analytiques et émettre une quelconque interprétation pertinente sur l'évolution des concentrations fournies par cette étude. Les données des concentrations des métaux sont quand même présentées dans l'annexe 3.

CONCLUSION

Cette quatrième campagne de transplantation de bioindicateurs en stations artificielles dans la région sud a permis de préciser un certain nombre d'aspects techniques et scientifiques.

Pour commencer, le déplacement de la cage St16 vers la zone Nord-Ouest du port, en dehors de l'alignement d'entrée des cargos, s'est révélé judicieux car les années précédentes le module avait subi des dégâts voire engendré la perte total de la ligne en 2011.

L'étude biométrique des bivalves *I. isognomon* entre le début et la fin de la période de transplantation a confirmé que les conditions (physiques et trophiques) régnant à proximité des cages sont propices à la croissance des spécimens. L'importance de cette croissance varie cependant entre les stations ; les bivalves de la station St03 montrant la croissance la plus importante et des stations comme St06 et St07 montrant les croissances les plus faibles. Globalement, ces taux conjointement à l'indice physiologique traduisent une relative homogénéité des conditions environnementales pour les campagnes 2011 et 2012 et ce, malgré la différence de température de l'eau de mer durant les premiers trente de jours de l'immersion.

Les concentrations en métaux dans les tissus des bivalves transplantés varient selon l'élément considéré et également selon la station. Toutefois, le classement en métaux bioaccumulés est, par ordre d'importance, toujours respecté, à savoir : Zn > Fe > As > Mn > Cu > Ni > Cr > Co, comme en 2011. Les concentrations mesurées dans la zone d'étude en 2012, elles aussi sont globalement dans le même ordre de grandeur, voire similaire à celles mesurées l'année précédente et ceci malgré une période plus longue d'immersion (114 jours contre 90 jours) et une pluviométrie plus abondante de 411 mm contre 344 mm.

Une confrontation des données de bioaccumulation avec les concentrations moyennes en métaux dissous, déterminées à mi-profondeur, pour la période 2009-2012, n'a pas démontré de tendance claire. Il faut rappeler que les prélèvements d'eau sont opérés ponctuellement dans le temps et l'espace deux fois par an (mars et août), contrairement aux expositions de trois mois d'immersion et par conséquent d'incorporation continue des métaux pour l'expérience de transplantation. Par ailleurs, les métaux dissous ne constituent qu'une des voies de contamination des organismes dont on ne peut estimer la part dans les mécanismes totaux d'incorporation.

En termes de variabilité, celle-ci est minimale en St03 (Port Boisé) pour Co, Fe, Mn et Ni mais aussi Cr, voire Cu en raison de la localisation de cette station dans un secteur préservé de l'influence minière, malgré la proximité de la côte. Pour des raisons d'éloignement et/ou d'exposition aux influences océaniques, la variabilité est également infime pour les principaux traceurs terrigènes que sont les formes dissoutes de Co, Cr et Ni, aux stations St31 (Ilot Nouaré) et

St13 (Récif Ma, Ile Ouen) ; ces mêmes éléments sont également en concentrations relativement constantes à la Station St18. Enfin, à la station St06 (Baie Kwé), les apports très pauvres en arsenic font que sa concentration y est remarquablement homogène. A l'inverse, la variabilité est maximale en St16 (Port de commerce, Baie du Prony) pour Cr, Cu, Mn et Ni. Cette station est localisée dans une zone potentiellement influencée par les activités industrielles à la faveur des conditions hydro-climatiques (lessivage des bassins et faible hydrodynamique). L'amplitude maximale pour les concentrations en fer est observée en St07, probablement en lien avec la boucle biogéochimique du phytoplancton.

En ce qui concerne l'étude des macroalgues *L. variegata*, celle-ci a posé un problème de perte de frondes au cours de l'expérience. Il semble fortement que les frondes sont ingérées par des poissons de petite taille réussissent à rentrer dans les cages. Compte tenu, de la perte de matériel expérimental, il n'a pas été possible d'émettre des interprétations à partir des maigres résultats obtenus. Pour résoudre ce problème, d'une part, le nombre de frondes devra être doublé pour passer à 30 au lieu de 15 actuellement, et d'autre part, il sera nécessaire réduire la taille des mailles des nasses à 15mm au lieu de 20 mm.

REFERENCES

ASTM, 2002. E2122-02: Standard Guide for Conducting in-situ field bioassays with caged bivalves. *American Society for Testing and Material – International*, West Conshohocken, PA, United States, 30 p.

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, Spécialité « Océanologie Biologique et Environnement marin »*, La Rochelle, France, 318 p. + Annexes.

Breau L., Moreton B., Gérard P., 2009b. Evaluation des apports en métaux dans l'environnement marin tropical par transplantation d'organismes bioaccumulateurs. *Rapport Final du Volet 2 « Ecotoxicologie », 2^{ème} Partie, Programme « Etude sur le comportement, la dispersion et les effets biologiques des effluents industriels dans le lagon sud de la Nouvelle-Calédonie, Convention de Recherches IRD/Goro Nickel n°1124, 17/08/09, IRD-Nouméa, 60 p.*

Breau L., Goyaud A., Le Grand H., Moreton B., 2009c. Etat de Référence de la Zone Sud du Lagon de Nouvelle-Calédonie : Détermination de la qualité écotoxicologique initiale des eaux par transplantation d'espèces bioindicatrices (Bioaccumulation). *Rapport de la Convention de Recherches IRD/Vale Inco NC n°2535, 01/12/2009, IRD-Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 30 p.*

Breau L., Goyaud A., Roupsard F., Legrand H., Fernandez J.M., 2011. Suivi de la qualité écotoxicologique (métaux) des eaux de la zone sud du lagon de Nouvelle Calédonie par transplantation d'espèces bioindicatrices (bioaccumulation), Campagne 2011. Contrat de Consultance AEL-LEA/Vale NC, Convention n°C2466, 44 p.

Douillet P et Le Gendre, 2008. Modélisation et simulation du transport des formes dissoutes et particulières. Modèle hydrodynamique. Note technique – Validation. Convention IRD/Goro-Nickel n°1124, 54p.

Scherrer B., 1984. Biostatistique. Gaëtan Morin Editions, Paris.

Zar J.H., 1999. Biostatistical Analysis, 4th Edition. Prentice Hall International, London.

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : CLASSEMENT EN POIDS DES SPECIMENS MESURES AU TEMPS INITIAL (T_i). EN VERT, LE POIDS OPTIMAL, EN ORANGE, LE POIDS A LA LIMITE DES VALEURS OPTIMALES ET EN ROUGE, LE POIDS DEPASSANT LES BORNES OPTIMALES D'ACCEPTATION POUR LA TRANSPLANTATION.	10
FIGURE 2 : LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES HUIT STATIONS DE SUIVI ECOTOXICOLOGIQUE DU MILIEU MARIN PAR TRANSPLANTATION D'ESPECES BIOACCUMULATRICES.	12
FIGURE 3 : PLUVIOMETRIE JOURNALIERE MESUREE AU NIVEAU DE L'ANCIENNE USINE PILOTE DE VALE-NC PENDANT TOUTE LA DUREE DE LA CAMPAGNE DE TRANSPLANTATION 2012.	13
FIGURE 4 : COMPARAISON DES DONNEES DE PLUVIOMETRIE JOURNALIERE MESUREE AU NIVEAU DE L'ANCIENNE USINE PILOTE DE VALE-NC PENDANT TOUTE LA DUREE DES CAMPAGNES DE TRANSPLANTATION 2011 ET 2012	13
FIGURE 5 : EVOLUTION ET COMPARAISON DE LA VITESSE DES VENTS (MOYENNES JOURNALIERES) MESUREES EN CONTINU A LA STATION METEOROLOGIQUE DE VALE-NC LORS DE LA CAMPAGNE DE 2012 ET A LA STATION D'ORO LORS DE LA CAMPAGNE DE 2011.	14
FIGURE 6 : EVOLUTION ET COMPARAISON DES DIRECTIONS DE VENTS (MOYENNES JOURNALIERES) MESUREES EN CONTINU A LA STATION METEOROLOGIQUE DE VALE-NC LORS DE LA CAMPAGNE DE 2012 ET A LA STATION D'ORO LORS DE LA CAMPAGNE DE 2011.	14
FIGURE 7 : EVOLUTION DES TEMPERATURES DE L'EAU DE MER PENDANT LA CAMPAGNE DE TRANSPLANTATION 2012. LES DONNEES ONT ETE RECUEILLIES A LA STATION D'ORO TOUTES LES 5 MINUTES DU 07 JUIN 2012 AU 13 AOUT, SOIT DURANT LES PREMIERS 68 JOURS SUR 114 JOURS DE LA CAMPAGNE DE TRANSPLANTATION 2012.	15
FIGURE 8 : COMPARAISON DES DONNEES DE TEMPERATURE DE L'EAU DE MER (MOYENNES JOURNALIERES) DES CAMPAGNES TRANSPLANTATION 2011 ET 2012. CES DONNEES ONT ETE RECUEILLIES AU NIVEAU DU RECIF D'ORO. POUR LA CAMPAGNE 2012, LES DONNEES CONCERNENT SEULEMENT 68 DES 114 JOURS DE LA CAMPAGNE 2012.	15
FIGURE 9 : COMPARAISON DES VALEURS MOYENNES DES POIDS FRAIS TOTAUX MOYENS (A) ET DES LONGUEURS DES COQUILLES (B) AVANT (T_i) ET APRES (T_f) TRANSPLANTATION CHEZ LE BIVALVE <i>ISOGNOMON ISOGNOMON</i> (N=15 INDIVIDUS PAR STATION). LES ASTERISQUES INDIQUENT LE NIVEAU DE SIGNIFICATION ENTRE T_i ET T_f APRES L'ANALYSE DE LA VARIANCE (ANOVA) A $P<0,01$ (**) OU $P<0,05$ (*).....	19
FIGURE 10 : TAUX MOYENS DE CROISSANCE JOURNALIERE EN POIDS FRAIS TOTAL (PF_{TOTAL}) ET EN LONGUEUR DE COQUILLE (LONG.) CHEZ LES BIVALVES <i>ISOGNOMON ISOGNOMON</i> TRANSPLANTES EN 2012.	20
FIGURE 11 : COMPARAISON INTERANNUELLE DES TAUX MOYENS DE CROISSANCE JOURNALIERE EN POIDS FRAIS TOTAL (PF_{TOTAL}) ET EN LONGUEUR DES COQUILLES (LONG.) CHEZ LES BIVALVES <i>ISOGNOMON ISOGNOMON</i> TRANSPLANTES LORS DES CAMPAGNES 2011 ET 2012.....	21
FIGURE 12 : COMPARAISON INTERANNUELLE DES INDICES DE CONDITION PHYSIOLOGIQUE MOYENNE DES BIVALVES <i>ISOGNOMON ISOGNOMON</i> TRANSPLANTES LORS DES CAMPAGNES 2011 ET 2012.....	21
FIGURE 13 : VARIABILITE DES CONCENTRATIONS EN METAUX CHEZ LE BIVALVE <i>ISOGNOMON ISOGNOMON</i> LORS DE LA CAMPAGNE DE TRANSPLANTATION 2012 (N=5 LOTS DE 3 SPECIMENS/STATION). (LES RECTANGLES REPRESENTENT LA DISTRIBUTION DE 50 % DES DONNEES ; A L'INTERIEUR, LA CROIX ROUGE REPRESENT LA MOYENNE ET LE TRAIT HORIZONTAL LA VALEUR MEDIANE DES DONNEES. « BAIE MAA » = LOT INITIAL EN T_i).	25
FIGURE 14 : RELATIONS DE PROPORTIONNALITE ENTRE DEUX METAUX BIOACCUMULES CHEZ LE BIVALVE <i>ISOGNOMON ISOGNOMON</i> TRANSPLANTE LORS DE LA CAMPAGNE DE 2012 (N=5).	28
FIGURE 15 : EVOLUTION TEMPORELLE DES CONCENTRATIONS MOYENNES DES HUIT METAUX ANALYSES (As, Co, Cr, Cr, Fe, Mn, Ni ET Zn) CHEZ LE BIVALVE <i>ISOGNOMON ISOGNOMON</i> TRANSPLANTE AUX DIFFERENTES STATIONS EN 2011 ET 2012 (N=5).	30
FIGURE 16 : RELATIONS DE LA PROPORTIONNALITE ENTRE DEUX METAUX BIO ACCUMULES CHEZ LE BIVALVE <i>ISOGNOMON ISOGNOMON</i> TRANSPLANTES LORS DE LA CAMPAGNE DE 2011 (N=20 PAR STATIONS).	31

LISTE DES TABLEAUX

TABEAU 1 : DESCRIPTION DES HUIT STATIONS DE SUIVI ECOTOXICOLOGIQUE PAR TRANSPLANTATION D'ESPECES BIOACCUMULATRICES.	11
TABEAU 2 : RESULTATS DU « CONTROLE QUALITE » DES METHODES DE MINERALISATION ET D'ANALYSES CHIMIQUES DES METAUX DANS 0,500 G DE TISSUS BIOLOGIQUES REALISE DANS LE CADRE DE LA CAMPAGNE 2012.	17
TABEAU 3 : TAUX DE CROISSANCE MOYENNE ET JOURNALIERE EN POIDS FRAIS TOTAL (PF_{TOT}) ET EN LONGUEUR DES COQUILLES (LONG.) ET INDICE DE CONDITION PHYSIOLOGIQUE DU BIVALVE <i>ISOGNOMON ISOGNOMON</i>	20
TABEAU 4 : MATRICE DE PROXIMITE (COEFFICIENT DE CORRELATION DE PEARSON) DES CONCENTRATIONS MOYENNES EN METAUX DANS LE BIVALVE <i>ISOGNOMON ISOGNOMON</i> . CALCUL SANS PRISE EN COMPTE DU LOT TEMOIN (BAIE MAA).	26
TABEAU 5 : MATRICE DE PROXIMITE (COEFFICIENT DE CORRELATION DE PEARSON) DES CONCENTRATIONS MOYENNES EN METAUX DANS LE BIVALVE <i>ISOGNOMON ISOGNOMON</i> . CALCUL AVEC PRISE EN COMPTE DU LOT TEMOIN (BAIE MAA).	26

ANNEXES

ANNEXE 1 : Biométrie des bivalves *Isognomon isognomon* avant transplantation

ANNEXE 2 : Biométrie des bivalves *Isognomon isognomon* après transplantation

ANNEXE 3 : Concentrations en métaux chez les bivalves *Isognomon isognomon*

ANNEXE 4 : Concentrations en métaux chez les algues *Lobophora variegata*

ANNEXE 1

Biométrie des bivalves *Isognomon isognomon* avant transplantation (Ti)

N° indiv	Station (Poids Frais total, g)								
	St 03	St 06	St 07	St 13	St 14	St 16	St 18	St 31	lot initial
1	11,45	11,65	11,92	11,61	12,11	11,90	12,20	11,38	22,05
2	12,93	12,84	12,34	12,62	12,85	12,90	12,95	13,10	15,80
3	12,27	12,96	12,57	13,20	13,77	14,23	14,47	13,25	15,94
4	14,59	14,06	13,31	13,20	15,00	14,47	14,73	14,68	18,90
5	14,34	15,52	14,61	14,63	14,36	14,64	14,67	14,66	13,48
6	15,30	15,64	15,58	15,56	15,57	15,86	15,81	15,93	16,88
7	15,88	15,80	16,34	15,38	15,86	16,95	17,23	16,51	19,66
8	16,67	17,29	16,96	17,13	17,10	17,01	17,03	16,77	17,92
9	17,34	17,26	17,50	17,05	17,10	17,58	15,70	17,76	17,90
10	17,70	17,83	17,98	17,36	17,42	17,79	17,61	17,74	20,46
11	21,43	18,88	20,47	20,94	18,56	19,06	19,31	18,98	11,42
12	18,81	19,00	18,56	19,20	18,92	19,01	19,15	18,53	12,79
13	19,61	19,43	20,38	19,60	19,53	19,64	20,14	19,93	13,60
14	19,71	19,54	20,12	19,91	20,22	19,57	19,89	19,66	14,89
15	20,91	21,32	21,14	21,44	20,65	19,70	20,78	20,02	16,67
Moyenne (g)	16,60	16,60	16,65	16,59	16,60	16,69	16,78	16,59	16,56
Ecart-type	3,13	2,85	3,17	3,17	2,67	2,57	2,69	2,71	3,01

N° indiv	Station (Longueur, mm)								
	St 03	St 06	St 07	St 13	St 14	St 16	St 18	St 31	lot initial
1	67,60	63,70	67,70	73,10	69,40	64,00	73,00	74,80	90,84
2	78,20	64,10	63,70	74,60	79,40	69,20	77,40	69,00	83,39
3	75,20	76,22	91,30	80,90	76,00	87,90	79,90	92,90	89,08
4	75,60	68,40	-	69,30	-	78,30	90,70	83,10	24,24
5	75,00	81,80	77,10	71,40	68,10	75,00	79,80	70,50	73,45
6	87,70	84,80	79,90	80,10	70,50	80,90	74,30	71,00	84,03
7	86,30	84,40	87,50	85,70	85,60	76,50	79,40	65,10	85,42
8	83,30	69,20	85,60	80,90	74,70	83,10	73,50	73,10	79,77
9	73,70	71,40	96,80	79,20	88,20	85,70	83,50	87,20	87,53
10	75,60	92,00	76,30	88,30	84,90	68,60	83,50	81,60	103,24
11	87,50	78,10	81,80	105,40	87,30	89,30	86,30	92,20	78,78
12	82,20	79,40	85,60	84,60	88,70	97,00	85,00	75,20	67,41
13	86,00	107,00	79,70	67,80	82,30	83,60	83,20	79,70	70,23
14	81	94,3	94,90	75,90	95,3	87,70	82,40	92,40	90,56
15	77,00	106,60	94,30	113,40	101,00	89,10	91,90	104,90	98,45
Moyenne (mm)	79,46	81,43	83,01	82,04	82,24	81,06	81,59	80,85	80,43
Ecart-type	5,95	13,79	9,89	12,69	9,81	9,11	5,70	11,19	18,34

ANNEXE 2

Biométrie des bivalves *Isognomon isognomon* après transplantation (Tf)

N° indiv	Station (Poids Frais total, g)							
	St 03	St 06	St 07	St 13	St 14	St 16	St 18	St 31
1	14,66	21,98	19,44	19,73	20,68	20,71	16,06	24,26
2	23,08	21,43	22,82	24,20	21,92	22,39	16,74	18,15
3	22,01	23,18	17,88	14,31	20,58	18,00	23,59	24,88
4	17,02	16,00	14,76	24,78	18,31	22,92	19,03	14,23
5	20,69	13,85	22,05	19,75	17,60	17,25	21,16	19,32
6	18,52	19,32	21,58	17,22	21,51	16,73	24,25	21,35
7	19,59	14,32	20,25	19,16	14,87	17,41	15,71	15,28
8	22,85	18,56	17,58	21,88	19,81	20,22	18,97	21,34
9	25,59	19,31	17,45	17,02	24,41	21,96	20,30	23,93
10	19,55	19,61	18,52	15,31	20,98	16,31	22,04	15,46
11	19,83	16,56	18,34	24,37	20,78	21,77	17,84	18,15
12	23,22	15,67	15,91	17,69	21,60	16,65	21,77	22,09
13	18,92	16,05	14,95	19,17	16,69	18,43	14,81	21,44
14	17,54	21,69	18,43	17,46	12,31	22,07	25,05	14,52
15	20,92	14,10	-	22,83	19,55	15,20	20,69	17,63
Moyenne (g)	20,27	18,11	18,57	19,66	19,44	19,20	19,87	19,47
Ecart-type	2,81	3,11	2,49	3,31	3,06	2,62	3,20	3,61

N° indiv	Station (Longueur, mm)							
	St 03	St 06	St 07	St 13	St 14	St 16	St 18	St 31
1	70,44	94,26	99,24	87,65	91,81	95,83	79,35	111,58
2	96,91	89,79	98,27	94,35	93,14	95,75	83,71	82,10
3	93,46	98,67	73,88	86,17	85,52	75,23	94,23	92,71
4	81,80	76,94	75,77	113,72	86,83	94,12	84,02	76,17
5	84,87	81,62	95,94	95,71	83,27	83,54	88,07	82,35
6	87,31	80,10	107,38	87,35	99,90	91,21	93,90	86,83
7	82,03	69,32	86,95	88,19	79,70	68,09	77,17	83,13
8	91,94	95,43	85,32	77,38	99,32	99,32	97,06	80,69
9	89,92	79,38	76,88	87,51	95,98	89,73	78,46	90,25
10	95,98	106,36	69,56	78,51	89,61	84,31	93,01	75,00
11	96,56	84,33	76,55	104,79	91,44	99,44	83,34	70,70
12	82,22	66,58	90,35	81,87	94,98	75,03	89,28	92,86
13	90,23	76,01	82,39	92,29	86,30	89,79	91,52	103,89
14	86,21	91,50	93,02	84,32	70,13	92,24	93,65	84,45
15	78,17	99,14	-	85,32	78,65	74,79	86,27	85,94
Moyenne (g)	87,2	86,0	86,5	89,7	88,4	87,2	87,5	86,6
Ecart-type	7,5	11,6	11,3	9,6	8,2	9,9	6,4	10,7

N° indiv	Station (Poids frais chairs entière, g)								
	St 03	St 06	St 07	St 13	St 14	St 16	St 18	St 31	lot initial
1	1,94	2,55	2,19	2,13	2,19	2,29	1,97	2,59	2,76
2	2,67	2,33	2,41	3,24	2,22	2,6	2,15	2,3	2,00
3	2,4	2,27	2,31	1,37	3,15	2,46	2,87	2,48	1,66
4	1,81	1,97	1,62	2,27	1,76	2,84	1,85	1,69	1,71
5	2,17	1,45	2,48	2,57	2	1,32	2,03	2,36	1,84
6	1,98	2,29	1,09	2,07	2,25	1,34	2,93	2,31	1,74
7	2,29	1,8	2,08	1,77	1,53	1,97	1,65	1,57	2,17
8	2,86	1,84	2,02	2,42	2,43	1,92	2,11	2,44	2,26
9	3,09	1,85	2,43	1,62	2,84	2,62	2,24	2,62	1,76
10	2,18	1,61	2,04	1,72	2,1	1,97	2,88	1,41	2,27
11	2,38	1,45	1,71	1,73	1,59	2,76	2,31	1,69	0,87
12	2,23	1,66	1,74	1,6	2,56	1,93	3,02	2,82	1,52
13	2,19	1,89	1,59	2,06	1,79	2,47	1,82	1,85	1,28
14	2	2,05	1,71	1,91	1,23	2,14	2,8	1,01	1,19
15	2,41	1,08	-	2,31	2,02	1,66	2,25	1,99	1,38
Moyenne (g)	2,31	1,87	1,96	2,05	2,11	2,15	2,33	2,08	1,76
Ecart-type	0,35	0,39	0,40	0,47	0,51	0,48	0,46	0,52	0,49

ANNEXE 3

Concentrations en métaux chez les bivalves *Isognomon isognomon*

(µg/g de poids sec)

Stations	As	Co	Cu	Cr	Fe	Mn	Ni	Zn
Baie Maa	59,5	0,25	6,8	1,5	176	14,0	1,6	868
Baie Maa	64,4	0,32	6,8	1,5	170	24,3	2,2	864
Baie Maa	50,1	0,31	5,9	1,3	181	26,9	2,2	688
Baie Maa	57,1	0,28	6,4	2,1	199	23,3	1,9	706
Baie Maa	46,2	0,45	7,0	1,8	181	24,8	2,6	834
Moyenne	55,4	0,3	6,6	1,6	181	24,8	2,1	792
Ecar-type	7,3	0,1	0,5	0,3	10,8	1,5	0,4	87,8
St03	38,8	0,40	6,4	2,2	166	19,8	2,1	608
St03	49,8	0,46	6,2	3,0	197	20,1	3,0	713
St03	44,2	0,36	7,4	1,7	142	27,5	2,0	652
St03	53,6	0,39	6,1	1,7	147	20,0	1,9	891
St03	56,2	0,39	5,8	2,0	163	14,1	2,1	809
Moyenne	48,5	0,4	6,4	2,1	163	20,3	2,2	735
Ecar-type	7,1	0,0	0,6	0,5	21,3	4,8	0,4	115,5
St06	58,8	0,26	5,6	1,2	122	14,0	1,6	749
St06	51,9	0,37	6,6	2,2	199	28,0	2,3	768
St06	63,5	0,40	4,6	1,4	145	14,0	2,0	737
St06	50,8	0,56	5,0	1,6	163	15,8	2,3	1123
St06	57,9	0,29	4,2	1,4	124	18,1	1,7	782
Moyenne	56,6	0,4	5,2	1,6	151	18,0	2,0	759
Ecar-type	5,2	0,1	1,0	0,4	31,7	5,8	0,4	20,0
St07	43,4	0,33	6,4	1,5	131	18,0	1,7	739
St07	60,3	0,41	6,2	1,6	301	26,2	1,9	856
St07	39,5	0,25	5,2	-	-	20,8	1,3	690
St07	59,9	0,39	5,6	1,7	142	42,1	2,2	863
St07	57,8	0,47	6,4	2,1	232	18,0	2,3	1199
Moyenne	52,2	0,4	6,0	1,7	201	20,7	1,9	787
Ecar-type	9,9	0,1	0,6	0,3	80	3,9	0,4	86,2
St13	54,2	0,32	5,2	1,2	103	26,0	1,7	542
St13	53,1	0,34	7,5	1,1	127	28,0	1,3	709
St13	55,7	0,23	4,2	1,0	112	27,6	1,2	803
St13	67,3	0,34	5,0	1,4	138	21,3	1,8	788
St13	57,5	0,41	3,9	1,7	132	13,4	1,9	785
Moyenne	57,6	0,3	4,6	1,3	122	25,7	1,6	771
Ecar-type	5,7	0,1	0,6	0,2	14,5	3,1	0,3	42,4
St14	43,5	0,35	7,1	1,6	148	13,2	1,4	659
St14	57,8	0,58	6,4	2,4	241	21,9	2,5	1298
St14	50,0	0,27	5,6	1,1	132	15,4	1,5	714
St14	46,8	0,49	7,9	2,5	199	14,5	2,6	649
St14	52,6	0,37	6,9	1,4	138	17,8	1,6	819
Moyenne	50,1	0,4	6,8	1,8	172	15,2	1,9	710
Ecar-type	5,5	0,1	0,9	0,6	46,8	2,0	0,6	77,8

Stations	As	Co	Cu	Cr	Fe	Mn	Ni	Zn
St16	57,4	0,44	7,0	2,8	190	47,4	3,2	832
St16	57,7	0,63	6,4	3,2	235	25,9	4,2	751
St16	47,6	0,34	4,4	1,8	133	16,4	1,9	768
St16	61,8	0,45	4,3	2,3	171	31,8	3,0	987
St16	57,0	0,39	4,7	1,2	168	18,3	1,7	908
Moyenne	56,3	0,5	4,9	2,2	166	23,1	3,5	815
Ecar-type	5,3	0,1	1,0	0,8	23,8	7,1	0,6	71,0
St18	49,5	0,36	7,3	1,5	134	32,7	1,7	785
St18	58,7	0,33	5,7	1,3	112	26,8	1,6	904
St18	55,9	0,36	5,7	1,8	150	25,4	2,0	735
St18	49,7	0,32	7,9	1,5	138	28,6	1,5	757
St18	49,2	0,39	6,3	0,6	28	25,4	1,9	780
Moyenne	52,6	0,4	6,6	1,3	134	27,8	1,7	764
Ecar-type	4,4	0,0	1,0	0,5	15,7	3,0	0,2	22,5
St31	61,1	0,32	7,6	1,5	193	10,5	1,5	1210
St31	42,7	0,26	5,1	1,1	113	9,7	1,3	754
St31	51,1	0,31	5,3	1,2	115	20,3	1,6	769
St31	55,6	0,34	5,4	1,5	130	25,5	1,6	792
St31	58,8	0,31	6,3	1,4	184	18,0	1,5	1027
Moyenne	53,9	0,3	5,9	1,3	147	21,3	1,5	771
Ecar-type	7,3	0,0	1,1	0,2	38,5	3,9	0,1	19,2

ANNEXE 4

Concentrations en métaux chez les algues *Lobophora variegata*

(µg/g de poids sec)

Stations	As	Co	Cu	Cr	Fe	Mn	Ni	Zn
Baie Maa	24,8	1,2	3,7	0,8	91	23,3	2,2	8,4
Baie Maa	24,2	1,2	3,6	1,0	122	26,4	1,9	6,0
Baie Maa	23,1	1,0	3,5	0,9	125	20,9	1,9	5,4
Baie Maa	26,8	1,3	3,4	1,2	139	28,4	2,2	4,0
Baie Maa	23,1	1,0	3,2	1,1	130	16,1	1,9	4,0
Moyenne	24,4	1,1	3,5	1,0	121	23,0	2,0	6
Ecar-type	1,5	0,1	0,2	0,2	18	4,8	0,1	2
St03	32,6	3,15	2,4	2,5	149	16,4	3,3	7
Moyenne	32,6	3,15	2,4	2,5	149	16,4	3,3	7
Ecar-type	-	-	-	-	-	-	-	-
St06	34,0	3,02	3,9	4,4	241	26,4	5,0	17
Moyenne	34,0	3,02	3,9	4,4	241	26,4	5,0	17
Ecar-type	-	-	-	-	-	-	-	-
St07	31,2	4,16	3,5	15,5	849	45,5	13,8	14
Moyenne	52,2	0,4	6,0	1,7	168	20,7	1,9	787
Ecar-type	-	-	-	-	-	-	-	-
St13	32,2	2,59	2,1	4,6	226	25,6	4,4	6
St13	33,4	3,04	1,8	4,5	219	25,4	4,4	6
Moyenne	32,8	2,82	1,9	4,6	222	25,5	4,4	6
Ecar-type	0,9	0,32	0,2	0,1	5	0,2	0,0	0
St14	34,8	2,40	4,6	4,0	257	16,8	5,0	18
Moyenne	34,8	2,40	4,6	4,0	257	16,8	5,0	18
Ecar-type	-	-	-	-	-	-	-	-
St16	29,3	1,76	5,7	4,8	215	20,2	4,3	9
St16	31,6	2,15	2,7	9,5	421	25,0	6,9	4
Moyenne	30,5	1,96	4,2	7,2	318	22,6	5,6	6
Ecar-type	1,6	0,27	2,1	3,3	146	3,4	1,8	3
St18	37,8	3,70	2,9	8,2	407	27,5	7,2	6
St18	34,4	3,56	2,9	8,7	473	31,7	7,9	8
St18	31,7	3,41	3,3	7,5	391	31,3	6,9	7
Moyenne	34,6	3,55	3,0	8,1	424	30,2	7,3	7
Ecar-type	3,0	0,14	0,3	0,6	43	2,3	0,5	1
St31	37,6	3,1	3,4	11,1	682	22,4	12,0	21
Moyenne	37,6	3,05	3,4	11,1	682	22,4	12,0	21
Ecar-type	-	-	-	-	-	-	-	-