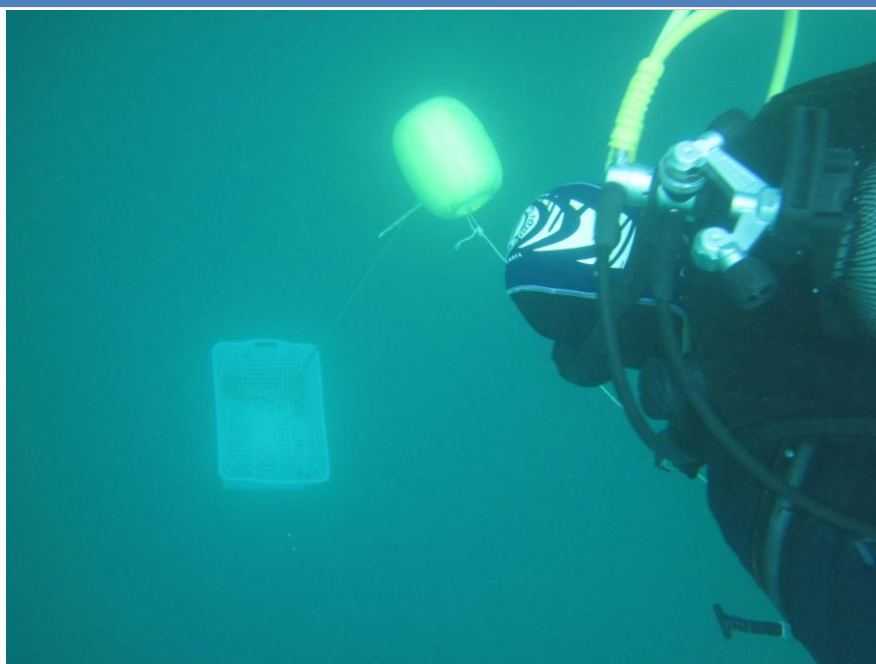




**SUIVI DE LA QUALITE ECO-TOXICOLOGIQUE
(METAUX) DES EAUX DE LA ZONE SUD DU LAGON
DE NOUVELLE-CALEDONIE PAR
TRANSPLANTATION D'ESPECES BIO-INDICATRICES
CAMPAGNE ANNUELLE**



Rapport annuel
Période de
Avril à octobre 2015



CONTRAT DE CONSULTANCE

AEL - LEA

PO E78669/0001

**Suivi de la qualité éco-toxicologique (métaux) des eaux de
la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie par
transplantation d'espèces bio-indicatrices**

Campagne annuelle

Période d'avril-octobre 2015

Kumar-Roiné S., Gilbert A., Laurent A., Fernandez JM.

Nombre de pages : 56

	N/Ref	V/Ref	
Identification	041-VI-15-P	E78669/0001	
Titre complet	Suivi de la qualité éco-toxicologique (métaux) des eaux de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie par transplantation d'espèces bio-indicatrices. Campagne annuelle : Période d'avril - octobre 2015.		
Auteurs	Kumar-Roiné S., Gilbert A., Laurent A., Fernandez JM.		
Résumé	La sixième campagne de transplantation d'organismes marins s'est déroulée de fin-avril à début octobre 2015 (soit 156 jours d'immersion). Comme la campagne de 2014, celle-ci a également été réalisée par une immersion d'environ 5 mois (au lieu de 3 mois des campagnes 2010-2013). A l'inverse, le nombre des stations a réduit de 10 à 5. De même, l'étude de transplantation a été réalisé avec un seul bio-indicateur, le bivalve <i>Isognomon isognomon</i> contrairement aux deux (le bivalve <i>I. isognomon</i> et une algue <i>Lophobora variegata</i>). Cette étude a permis de rassembler les 8 éléments étudiés en deux groupes : le groupe 1 qui est constitué de métaux appelés « miniers » (Co, Cr, Fe, Mn et Ni) et le groupe 2 d'éléments appelés « non miniers » (As, Cu et Zn). Les métaux miniers montrent une réponse plus marquée que les métaux non miniers avec un différentiel en faveur des stations de Baie qui présentent des concentrations supérieures à la station Océanique. Plus précisément, la station de la Rade du Nord St15 et du port St16P présente les concentrations les plus élevées en particulier le Cr et le Co. C'est également le cas avec la station St16P qui présente cette année encore une réponse de bio-accumulation significative de certains métaux non miniers (Cu et Zn). A l'inverse, la station à proximité de l'îlot Nouaré (St31) fait bien office de référence car elle présente les concentrations les plus faibles en Cr, Co, Mn, Fe et Ni tandis que les stations de Port Boisé St03 et de Baie Kwé St06 présentent généralement les concentrations intermédiaires. Ainsi, cette campagne 2015 présente une réponse cohérente avec les pressions existantes (terrigène et anthropique) et les caractéristiques géographiques des stations (systèmes ouverts versus fermés). De 2014 à 2015, une évolution significative est constatée liée à une augmentation des métaux miniers au niveau des stations de Baie. Cette augmentation concerne plus particulièrement la station St15 (Co, Cr, Fe et Ni) dont l'évolution est importante mais également la station référence St31 (Co, Cr et Ni). Par ailleurs, la station St31 voit également les concentrations d'As et Zn augmenter. L'analyse spatiale et temporelle des facteurs biologiques et environnement ne permettent pas d'expliquer ces évolutions à augmentation des métaux à la fois miniers et non miniers. Cette évolution générale serait donc liée à la biodisponibilité de ces métaux soit en raison d'activité miniers dans la zone d'étude (la station St15) soit en raison de la présence d'eau résultant d'un up-welling (la station St31).		
APPROBATION			
FONCTION	NOMS	VISA	DATE
Rédacteur	Gilbert A., Kumar-Roiné S.		25/01/2016
Vérificateur 1	Fernandez JM.		27/01/2016
Vérificateur 2	Pousse C.		28/01/2016
Approbateur(s)	Kumar-Roiné S.		29/01/2016
EVOLUTION			
VERSION	DESCRIPTION DES MISES A JOUR		DATE
V1.0	Rapport final		30/01/2016
V1.1	Rapport final, modification titre-conclusion		08/02/2016
COPIE - DIFFUSION			
NOM	ORGANISME		
Céline Casalis	VALE NC, Département Environnement		

Ce rapport doit être cité comme suit : Kumar-Roiné S., Gilbert A., Laurent A., Fernandez J.M., 2016. Suivi de la qualité éco-toxicologique (métaux) des eaux de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie par transplantation d'espèces bio-indicatrices. Campagne annuelle : **Période d'avril à octobre 2015.** Rapport AEL 041-VI-15-P, Vale-NC/AEL E78669/0001, 56 p.

TABLE DES MATIERES

I.	INTRODUCTION	6
A.	CONTEXTE	6
B.	OBJECTIFS.....	7
II.	METHODOLOGIE	8
A.	CHOIX ET TYPOLOGIE DES STATIONS DE SUIVI.....	8
B.	ECHANTILLONNAGE ET ANALYSE	9
C.	PRISE EN COMPTE DES PARAMETRES METEOROLOGIQUES	10
D.	TRAITEMENT DES DONNEES	11
1.	Campagne de <i>caging</i> 2015	11
2.	Comparaison de la campagne de <i>caging</i> 2015 avec celle de 2014.....	12
3.	Données environnementales	12
4.	Données biométriques	13
III.	RESULTAT-DISCUSSION	14
A.	REPONSE SPATIALE DES BIO-INDICATEURS DE LA CAMPAGNE 2015	14
1.	Analyses exploratoires des stations	14
2.	Analyses des niveaux de FC 2015 par typologie	17
3.	Analyses des niveaux de FC 2015 par station	20
B.	COMPARAISON DE REPONSE SPATIO-TEMPORELLE DES BIO-INDICATEURS 2014-2015	24
1.	Comparaison des campagnes 2014-2015 par typologie.....	24
2.	Comparaison des campagnes 2014-2015 par station	27
C.	DESCRIPTION DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX ET BIOMETRIQUES.....	32
1.	Durée de <i>caging</i>	32
2.	Pluviométrie	32
3.	Vitesse et direction des vents.....	33
4.	Température de l'eau de mer	34
5.	Données biométriques et de croissance relative	36
IV.	CONCLUSION.....	38
A.	TRANSPLANTATION 2015	38
B.	PERSPECTIVES.....	40
	REFERENCE	41
	LISTE DES FIGURES	43
	LISTE DES TABLEAUX	44
	LISTE DES ANNEXES.....	45

I. INTRODUCTION

A. CONTEXTE

La surveillance du milieu marin potentiellement impacté par les activités industrielles du complexe de Vale Nouvelle-Calédonie s'effectue sur la base de quatre groupes d'indicateurs physico-chimiques et un groupe d'indicateurs de la qualité éco-toxicologique 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-NC. 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-NC 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 des métaux présents dans le milieu ambiant sous forme dissoute dans l'eau et/ou sous forme particulaire/alimentaire. En effet, ces fractions (dite « bio-disponible ») sont capables de pénétrer dans ces organismes et d'y induire potentiellement des effets toxiques (éco-toxicologie).

Par ailleurs, cette technique de surveillance est recommandée par le « Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en NC » élaboré à la demande conjointe de l'ADECAL et du CNRT « Le Nickel et son environnement » ([Beliaeff et al., 2011](#)).

Forte de l'expérience acquise dans le cadre des précédents travaux de recherche (Convention IRD/Goro-Ni, N° 1124, 2006), l'équipe (maintenant AEL/LEA) exerce annuellement, pour Vale-NC, cette surveillance éco-toxicologique depuis 2009 et, sans interruption, jusqu'à aujourd'hui (2015) (contrat AEL/Vale-NC E54191/0001).

Pour répondre aux exigences du cahier des charges, le laboratoire AEL a mis en place une équipe composée de spécialistes provenant des deux seules entités expérimentées en matière de transplantation opérant sur le Territoire depuis plus de 5 ans. Ainsi, une co-traitance, entre les équipes AEL en qualité de mandataire et GINGER-SOPRONER, a été effectuée.

Ce rapport présente les résultats obtenus dans le cadre de la mise en œuvre de la **sixième campagne** de transplantation (« *caging* »), qui s'est déroulée de fin avril à début octobre 2015.

B. OBJECTIFS

La méthode de transplantation d'espèces marines en stations artificielles (ou « *caging* ») consiste à immerger pendant cinq mois¹ un bivalve *Isognomon isognomon*, une espèce bio-indicatrice accumulatrice de métaux. Cette expérimentation s'effectue dans des cages en plastique disposées à mi profondeur (de 5 à 12 m), à des localisations géographiques prédéfinies.

Pendant cette durée d'immersion des spécimens dans le milieu récepteur à surveiller, les concentrations en métaux dans les tissus s'équilibrent progressivement avec celles des mêmes métaux présents sous formes bio-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 bio-disponibles pour le bio-indicateur.**

A l'issue de cette période d'immersion, les concentrations en huit métaux² accumulés dans les tissus de ce bivalve ont été mesurées par analyse chimique ; les paramètres physiologiques (taux de croissance et condition physiologique globale) étant également étudiés.

Cette méthode offre des avantages importants pour le suivi environnemental car elle permet à l'expérimentateur de contrôler un certain nombre de facteurs biologiques (ex. l'espèce des spécimens transplantés, leur taille et stade du cycle sexuel,...) qui influent fortement sur la variabilité des concentrations en contaminants bio-accumulés. L'utilisation pour la transplantation de spécimens récoltés dans un site de référence (non influencé par l'activité minière, comme la Baie Maa) abritant des populations importantes permet de s'affranchir de la nécessité de la présence naturelle de ces espèces sur les points de suivi. Elle autorise donc de positionner judicieusement les stations de surveillance. Elle assure aussi l'obtention, pour chacune des stations étudiées, des résultats directement comparables entre eux : les résultats obtenus sont le reflet de la quantité moyenne de contaminant disponible pendant la période de transplantation pour l'organisme transplanté en fonction d'un ensemble de facteurs hydro-climatiques et/ou anthropiques.

Ainsi, cette étude éco-toxicologique de la bio-accumulation des métaux a pour objectif d'obtenir des informations intégrées dans le temps. Les données ainsi obtenues avant le début d'exploitation du complexe minier, puis chaque année à la même période pendant toute la durée d'exploitation du complexe minier, permettent d'évaluer quantitativement l'évolution temporelle et spatiale des apports en métaux bio-disponibles dans le milieu marin côtier.

La présente campagne fait suite à l'étude de synthèse établissant le bilan des 5 années précédentes (2009, 2010, 2011, 2012 et 2013) de suivi de la qualité des eaux par l'utilisation de bio-indicateurs dans le périmètre d'influence de Vale-NC (Gilbert et Fernandez, 2014). Basée sur les recommandations faites dans ce rapport critique, la présente campagne comme la campagne de 2014 a fait l'objet de modifications, notamment l'augmentation de la durée d'immersion. En effet, la durée d'immersion est portée à 5 mois au lieu de 3 mois initialement pour mettre clairement en évidence des phases d'accumulation voire, d'élimination significatives des métaux.

¹ Initialement conduites sur des périodes de 3 mois entre 2009 et 2013, la durée de la transplantation a été étendue à 5 mois pour permettre une meilleure réponse des organismes aux concentrations auxquelles ils sont exposés.

² As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn

II. METHODOLOGIE

La méthode de transplantation mise en œuvre suit étroitement les recommandations formulées dans le protocole international standardisé [ASTM E2122-02](#).

La méthodologie détaillée des différentes étapes est décrite dans l'Annexe 1.

A. CHOIX ET TYPOLOGIE DES STATIONS DE SUIVI

A l'instar de la caractérisation de l'état de référence par transplantation réalisée en 2009 ([Breau et al., 2009b](#)), un ensemble de 8 stations (localisées dans le Canal de la Havannah et les baies adjacentes ainsi que la Baie de Prony) a été sélectionné en tenant compte des résultats de la modélisation hydrodynamique conduite par l'IRD ([Derex et al., 2008](#) ; [Douillet et Fernandez, 2009](#)) parmi les quatorze stations du plan de suivi physico-chimique du milieu marin (Contrats AEL/Vale-NC, C2445 de 2010 et C3052 de 2013).

Au cours des campagnes de 2009 à 2014, la position de certaines de ces stations et le nombre des stations suivies ont cependant sensiblement été modifiés par rapport aux localisations mentionnées dans le plan de surveillance physico-chimique du milieu marin (Arrêté ICPE du 9 octobre 2009) afin de tenir compte des recommandations relatives aux aspects opérationnels de déploiement des cages ([Breau et al., 2009b](#) ; [Gilbert et Fernandez, 2014](#)).

Suite aux résultats prometteurs de la campagne de 2014 ([Kumar-Roiné et al., 2015](#)), le réseau 2015 a été optimisé aux 5 stations sentinelles.

Les 5 stations pour la campagne 2015 et leurs coordonnées GPS sont présentées dans la Figure 1 et le Tableau 1.

Tableau 1 : Description des cinq stations de suivi éco-toxicologique du milieu marin par transplantation d'espèces bio-accumulatrices dans le cadre de la campagne de 2015.

Zone	Station		GPS		Profondeur (m)	
			Long. Nord	Lat. Sud	Station	Cage
Baie du Prony	Quai du Port de Prony	St16P	166°59,102	22°20,850	10,0	5,0
	Rade du Nord	St15	166°52,523	22°19,982	29,5	11,0
Canal de la Havannah	Chenal de Port boisé	St03	166°58,005	22°21,177	28,4	10,5
	Chenal de la baie Kwé	St06	166°59,105	22°20,853	23,0	10,0
	Illet Nouaré	St31	167°01,105	22°25,050	20,0	11,5

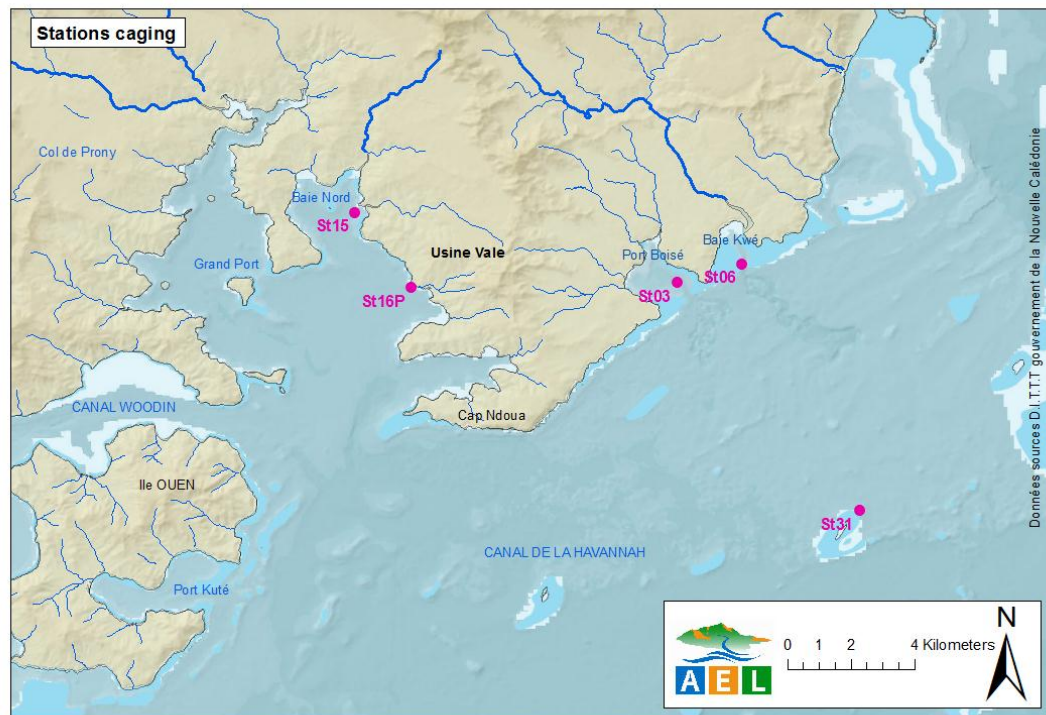


Figure 1 : Localisation géographique des cinq stations de suivi éco-toxicologique du milieu marin par transplantation d'espèces bio-accumulatrices dans le cadre de la campagne de 2015.

B. ECHANTILLONNAGE ET ANALYSE

Brièvement, les huitres *Isognomon isognomon* Linnaeus ont été récoltées le 24 avril 2015 à la Baie Maa, précédemment identifié comme un site de référence pour l'étude de la plupart des métaux étudiés, à l'exception du Cu (Breau, 2003 ; Breau et al., 2009a).

Après le brossage des coquilles et 48 h de dépuración, 180 spécimens de poids frais compris entre 9 et 25 g ont été sélectionnés. Six lots de bivalves (5 lots à transplanter ainsi qu'un lot témoin initial) ont ensuite été constitués par tirage aléatoire au sein des individus sélectionnés.

La campagne d'immersion des cages a été réalisée le 28 avril 2015. A chaque station, un lot de bivalves (n=30) a été transféré dans une cage. Les cages ont ensuite été immergées entre 5 m et 11,5 m de profondeur en plongée sous-marine.

A intervalle de 5 à 7 semaines d'immersion (soit le 05 juin 2015, le 23 juillet 2015 et le 28 août 2015), les dispositifs de transplantation immergés aux 5 stations du réseau ont été contrôlés et brossés pour enlever le bio-fouling.

Enfin, le 02 octobre 2015, soit après 5 mois d'immersion (156 jours), les 5 dispositifs de transplantation ont été récupérés.

Une fois les cages remontées à bord, les spécimens ont immédiatement été brossés et transférés dans des glacières compartimentées référencées contenant de l'eau de mer du site jusqu'à leur retour au laboratoire.

A terre, les bivalves transplantés ont été brossés et placés pendant 48 h en dépuration. Chaque spécimen a ensuite été épongé et pesé pour l'obtention du poids frais total, puis disséqué. Les tissus mous de chaque individu des 6 lots ont ensuite été pesés pour l'obtention du poids frais des chairs entières. Les chairs des 30 bivalves de chaque lot ont été combinées cinq par cinq de manière aléatoire pour constituer six pools par cage. Ces échantillons ont été congelés et lyophilisés.

Rappel : 1 station = 1 lot = 30 individus par cage = 6 pools d'environ 5 individus analysés

Chaque pool de bivalves a ensuite été minéralisé à haute température 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 0,5 g de tissus selon la méthode décrite dans [Breau \(2003\)](#) et [Breau et al. \(2009a\)](#).

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, exprimées en µg/g de poids sec (µg/g ps).

C. PRISE EN COMPTE DES PARAMETRES METEOROLOGIQUES

Les conditions météorologiques régnant dans la zone pendant les 5 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 pluviométrie et les données de vent (vitesse et direction) sont mesurées par la station météorologique de Vale-NC (98817104 – Goro Usine), située sur l'ancienne usine pilote, en bordure de la Baie du Prony.

La température de l'eau peut également influencer sur le métabolisme des organismes transplantés, donc potentiellement sur la croissance et, par conséquent, sur le taux de transfert des composés chimiques en général. Lors de cette campagne, les cages aux stations St06, St16P et St31, ont été équipées d'un capteur miniaturisé qui a permis l'acquisition de la température de l'eau à une fréquence de 4 fois par jour, soit toutes les 6 heures, à partir de 29 avril 2015 jusqu'au 01 octobre 2015.

D. TRAITEMENT DES DONNEES

1. Campagne de *caging* 2015

a) Différenciation du cortège métallique

La campagne de *caging* 2015 est étudiée en dissociant les métaux selon leur origine. On différencie notamment le Cr, Co, Fe, Ni et Mn qui sont associés aux activités minières et/ou à la dégradation des sols nickélifères, des métaux d'origines anthropiques As, Zn et Cu.

b) Typologie des stations de *caging*

La localisation géographique associée aux données hydrodynamiques fournies par la modélisation du transport des fractions dissoutes et particulaires (Derex *et al.*, 2008 ; Douillet et Fernandez, 2009) nous a conduit à proposer la typologie de classification des stations présentée dans le Tableau 2.

S'ajoute à cette typologie, la station de référence où ont été prélevés les bio-indicateurs (Baie Maa) que l'on nommera « Lot initial ». Cette typologie à trois modalités (Baie, Océanique et Lot initial) sera analysée de sorte à évaluer si elle constitue une stratification significative.

Tableau 2 : Typologie simplifiée des stations.

Station	Typologie
St03	Baie -
St06	Baie -
St15	Baie -
St16P	Baie -
St31	- Océanique

c) Pondération des données

On travaille sur les facteurs de concentration (FC) conformément au rapport de synthèse (Gilbert et Fernandez, 2014) de sorte à analyser les réponses des bio-indicateurs en différenciant les FC>1 qui correspondent à de la bio-accumulation les FC<1 qui correspondent à de l'élimination.

Aussi pour chaque année, chaque concentration a été pondérée par la moyenne du lot initial (T0). Cette nouvelle variable est appelée facteur de concentration (FC) :

$$\bullet \quad FC = [\text{métal}] / [\text{métal du lot initial}]$$

Il est noté arbitrairement sur l'ensemble des graphiques et tableaux en prenant le nom du métal suivi par « /T0 » (Ex. : As/ T0 ; Ni/ T0 ; Cr/ T0 ; etc.).

Cette transformation permet de rendre les évolutions indépendantes des concentrations initiales et facilite les interprétations dans les évolutions.

Aussi pour prendre en compte la variabilité naturelle des lots initiaux, l'écart type a également été calculé de manière à réaliser des études statistiques sur la variable FC.

Ainsi, un FC significativement inférieur au Lot initial traduira la mise en place d'une phase d'élimination des métaux. A l'inverse un FC significativement supérieur au Lot initial est synonyme d'accumulation.

d) Methodologie d'analyse des données

Les stations sont étudiées dans un premier temps à l'aide d'analyses classiques en composantes principales (ACP) sur la matrice normalisée des FC par métal et par station. Les stations sont parallèlement classées suivant leurs similarités dans les assemblages métalliques par une Classification Ascendante Hierarchique (CAH) basée sur les distances euclidiennes.

Après vérification des exigences de normalité et d'homogénéité des variances, des analyses de variance paramétriques sont réalisées (ANOVA). Ces analyses statistiques sont réalisées sur les FC des stations regroupées par typologie (Baie vs Océanique) de sorte à évaluer la significativité de ce facteur ($\alpha=5\%$). Ces analyses sont ensuite réalisées entre le FC de chaque typologie et celui des lots initiaux pour identifier les évolutions significatives témoignant d'une bio-accumulation ou d'une élimination. Enfin une série de graphiques est réalisée de sorte à illustrer les résultats. Cette procédure est enfin réalisée directement sur les stations sans regroupement typologique.

2. Comparaison de la campagne de caging 2015 avec celle de 2014

a) Comparaison par typologie

Pour cette analyse au niveau typologique seules les stations St03, St06, St15, St16P et St31 communes aux deux campagnes sont conservées. Sont ainsi écartées des analyses deux stations de Baie (St16 et St18) et trois stations Océaniques (St07, St13 et St14) non échantillonnées en 2015.

Après vérification des conditions d'application des analyses de variance paramétriques, des ANOVA ($\alpha=5\%$) sont conduites afin d'évaluer la significativité des évolutions entre campagnes du FC, par typologie et par métal. Enfin une série de graphiques est réalisée de sorte à illustrer les résultats.

a) Comparaison par station

La procédure précédente est reconduite mais à l'échelle de chacune des stations entre les deux campagnes étudiées. Cette analyse est toutefois précédée d'une analyse exploratoire.

Les stations sont étudiées à l'aide d'analyses classiques en composantes principales (ACP) sur la matrice normalisée des FC par métal, par station et par année. Les stations sont parallèlement classées suivant leurs similarités dans les assemblages métalliques par une Classification Ascendante Hierarchique (CAH) basée sur les distances euclidiennes.

3. Données environnementales

Les données environnementales constituent des facteurs qui peuvent influencer et expliquer les évolutions spatiales ou temporelles constatées dans les réponses de bio-accumulation. On présentera ici seulement les données correspondant à la campagne 2015 qu'on cherchera à comparer à la campagne de 2014.

a) Durée de caging

Cette campagne fait suite à un travail de réflexion et de synthèse qui a conduit à proposer une augmentation de la durée de *caging* (Gilbert et Fernandez, 2014). Un total de 156 jours d'immersion a été réalisé avec une mise en cages et une relève, respectivement, le 28 avril 2015 et le 02 octobre 2015.

b) Pluviométrie, vents et Température

Les données journalières de précipitation, de vitesse et direction des vents de la station météorologique de Port Boisé (Goro Usine ; station 98817104) sur la période de *caging* ont été extraites et traitées. Les données de température de l'eau de mer au niveau des cages relevées par les capteurs miniaturisés ont également été extraites et traitées.

4. Données biométriques

c) Calcul des métriques

Les données biométriques de poids total humide (g) lors de la mise en cage et à la relève sont analysées par station et par regroupement typologique.

La croissance relative (CR) en poids est calculée selon la formule suivante :

- $$CR \text{ poids (g/j)} = \frac{PF \text{ tot à } T_f - PF \text{ tot à } T_i}{(T_f - T_i)}$$

PF tot : poids frais total de l'animal vivant mesurée à T_i et à T_f ; T_i : début de transplantation ; T_f : fin de transplantation

L'indice AFNOR ou indice de qualité (IC) (norme AFNOR NF V45056, 1985) est également calculé selon la formule suivante :

- $$IC (\%) = \frac{PF \text{ chairs}}{PF \text{ tot}} \times 100$$

PF tot : poids frais total de l'animal vivant ; PF chairs : poids frais des chairs.

Enfin à partir des variables biométriques pour les comparaisons interannuelles, le taux de croissance journalière (TCJ) en poids frais total est calculé selon l'expression suivante :

- $$TCJ (\%) = \frac{(\ln V_f - \ln V_i) \times 100}{(T_f - T_i)}$$

$\ln V$: logarithme népérien de la variable biométrique V (poids frais total) mesurée à T_i (V_i) et à T_f (V_f) ; T_i : début de transplantation ; T_f : fin de transplantation.

d) Comparaison statistique

Après vérification des exigences de normalité et d'homogénéité des variances, des analyses de variance paramétriques sont réalisées (ANOVA). Ces analyses statistiques sont réalisées sur les métriques précédentes regroupées par station ou par niveau typologie (Baie vs Océanique) de sorte à évaluer la significativité de ce niveau de structuration spatiale ($\alpha=5\%$). Cette procédure est reconduite mais pour évaluer la significativité des évolutions temporelles. Enfin une série de graphiques est réalisée de sorte à illustrer les résultats.

III. RESULTAT-DISCUSSION

A. REPONSE SPATIALE DES BIO-INDICATEURS DE LA CAMPAGNE 2015

L'ensemble des données brutes des concentrations en métaux et les FCs calculés est présenté dans l'Annexe 4 et l'Annexe 5, respectivement.

1. Analyses exploratoires des stations

a) Métaux miniers

On observe une séparation suivant la typologie Baie/Océanique sur l'axe n°1 de l'ACP expliquée par le cortège des métaux miniers avec les stations de Baie qui présentent des FC supérieurs (Annexe 5). On remarque également un regroupement des stations de la Baie du Prony (St15 et St16P) par rapport à celles de Port Boisé et de Baie Kwé (Figure 2a et b). Cette dernière présente des niveaux de FC supérieurs au niveau des métaux miniers et particulièrement en Cr et Co.

La station St31, seule station Océanique, s'écarte du groupe des stations de Baie. Cette station présente des niveaux de FC faibles en Ni, Fe, Mn, Co et Cr.

Une réponse cohérente avec les pressions existantes est donc obtenue à l'issue de la campagne de bio-accumulation vis-à-vis des métaux miniers.

b) Métaux non miniers

On remarque sur l'axe factoriel n°1 de l'ACP (Figure 3a) que la station du port St16P s'oppose aux autres stations du fait d'un FC supérieur pour le Zn et le Cu (Annexe 5). Les stations présentent également une certaine structuration sur l'axe n°2 qui est fortement liée à l'As avec la station St06 qui possède un FC supérieur aux autres.

L'analyse du cortège de métaux non miniers sur le dendrogramme de la classification (Figure 3b) montre que la station St31, seule station Océanique, s'écarte du groupe des autres stations dites de Baie. Cette station présente des niveaux de FC faibles en Cu et Zn.

La réponse vis-à-vis des métaux non miniers reste donc également cohérente avec les pressions existantes mais moins tranchée que celle des métaux miniers.

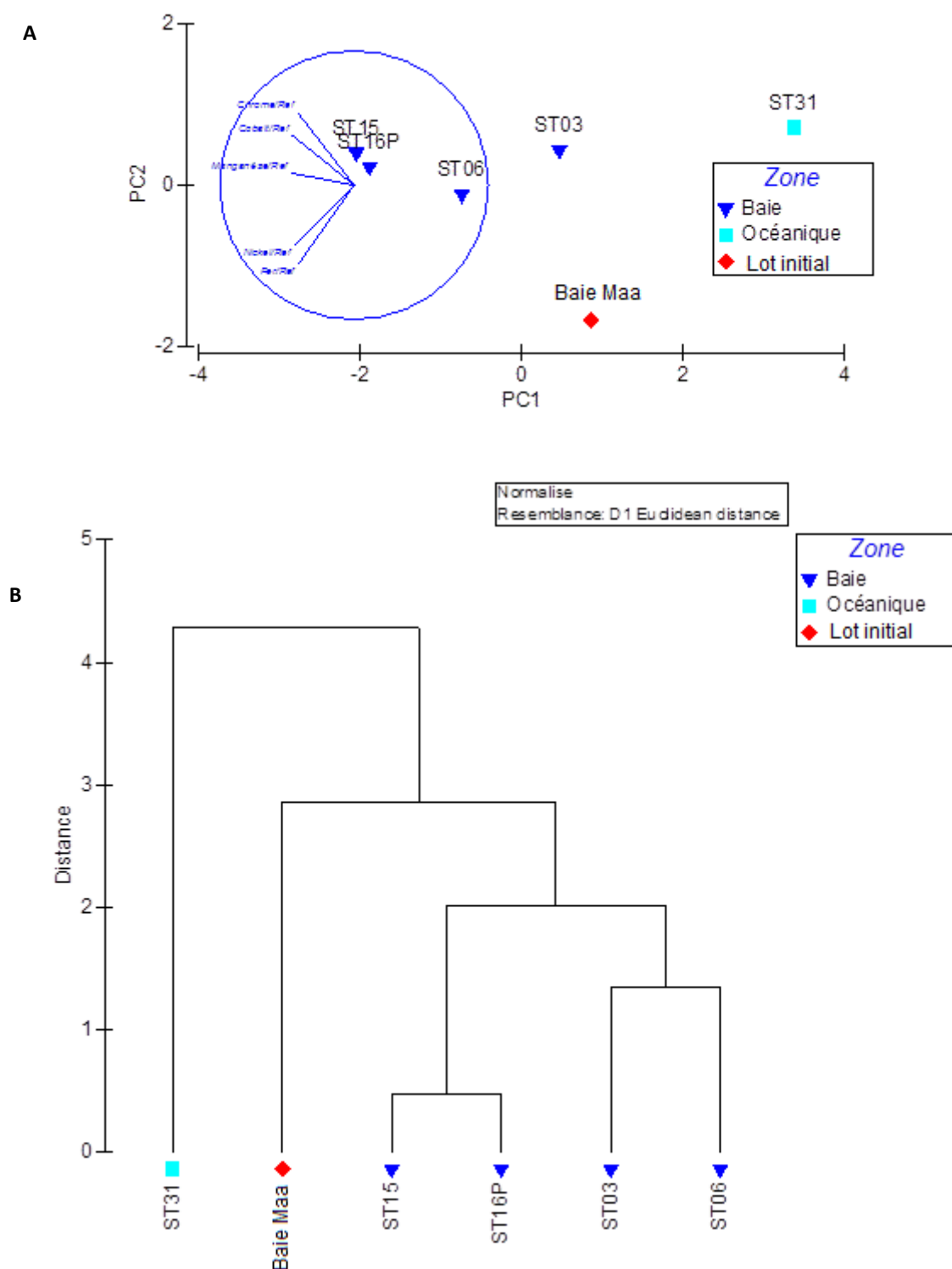


Figure 2 : Illustration de la réponse de la bio-accumulation du cortège métallique d'origine minière (Cr, Co, Fe, Ni et Mn) par station avec des analyses ACP (A) et CAH (B) dans la cadre de la campagne de 2015. Le plan factoriel explique 97,4 % de la variabilité du jeu de données.

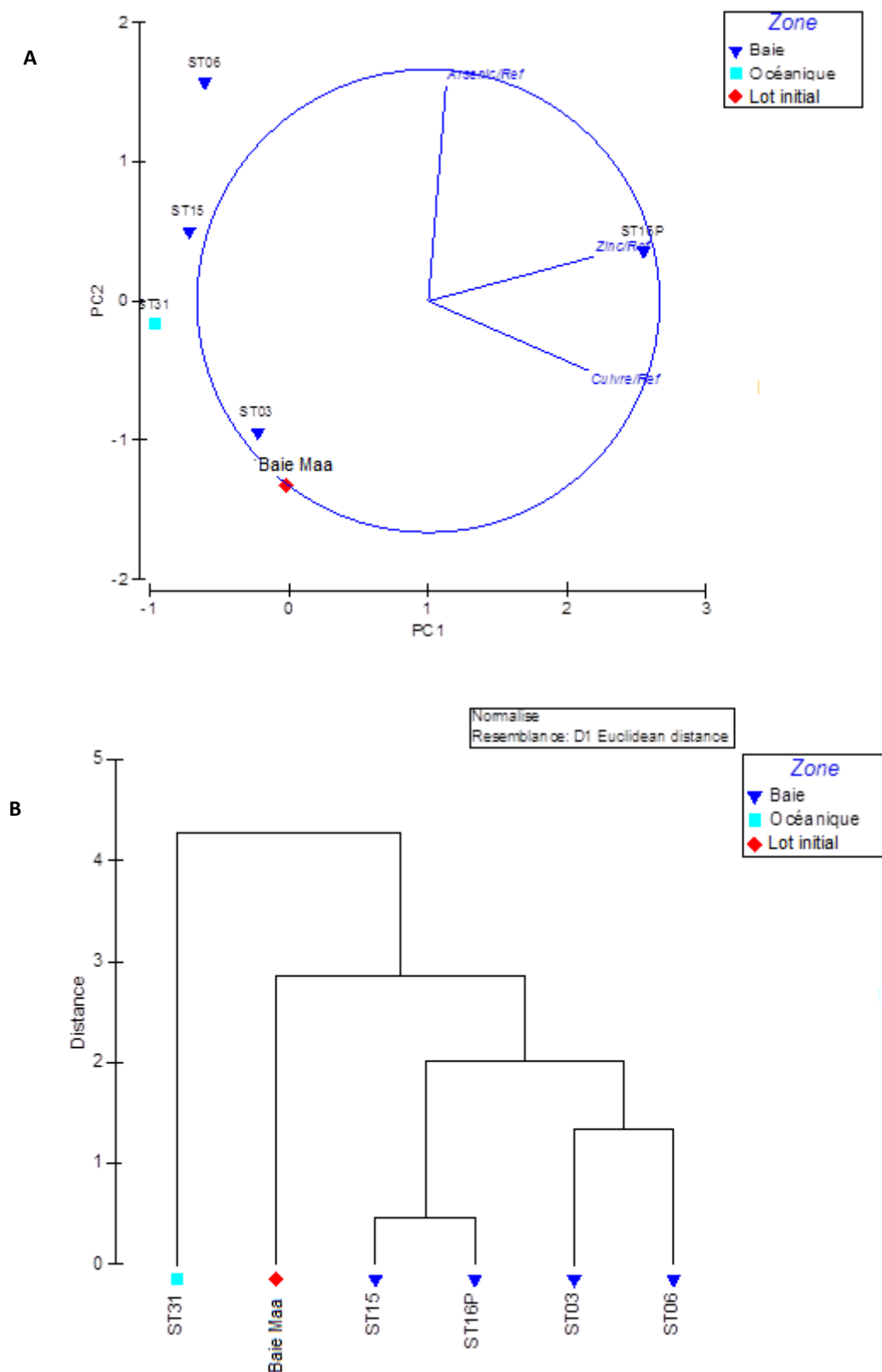


Figure 3 : Illustration de la réponse de la bio-accumulation du cortège métallique d'origine non minière (Zn, Cu et As) par station avec des analyses ACP (A) et CAH (B) dans le cadre de la campagne de 2015. Le plan factoriel explique 92,6 % de la variabilité du jeu de données.

2. Analyses des niveaux de FC 2015 par typologie

L'analyse des données de FC regroupées suivant la classification typologique Baie/Océanique/Lot initial est présentée dans la Figure 4 et Figure 5 pour les métaux miniers et pour les non miniers, respectivement. La significativité statistique des évolutions par zone typologique est présentée dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Synthèse de la significativité de l'effet typologique (ANOVA) au seuil α de 5%.

Métaux		Baie/Océanique	Baie/T0	Océanique/T0
Non minier	As	NS	NS	NS
	Cu	NS	NS	NS
	Zn	NS	NS	NS
Minier	Co	*	A*	NS
	Cr	*	A*	A*
	Fe	*	NS	E*
	Mn	*	A*	NS
	Ni	*	NS	E*

* = effet significatif ; NS = Non Significatif ; T0 = lot initial ; A* = bio-accumulation significative par rapport le Lot initial ; E* = élimination significative par rapport le Lot initial.

La typologie est un facteur de structuration significatif pour l'ensemble des métaux miniers mais ne l'est pas pour les non miniers (Tableau 3). En effet, pour l'ensemble des métaux miniers, une évolution différentielle est observée avec des niveaux moyens de FC significativement supérieurs sur la typologie de Baie par rapport à ceux de la typologie Océanique (Figure 4).

A contrario, ces évolutions constatées en comparaison avec les lots initiaux ne sont pas systématiquement significatives. Par exemple, pour le Co et le Mn, une élimination (non significative) est observée sur la station Océanique alors qu'une bio-accumulation (significative) est mesurée sur celles de Baie. Pour le Ni et le Fe, l'on constate, comme en 2014, qu'une phase d'élimination différentielle est observée par rapport aux lots initiaux. Cette élimination n'est d'ailleurs significative qu'au niveau de la station Océanique. Pour le Cr, les deux typologies présentent une phase de bio-accumulation (significative) (Figure 4 ; Tableau 3).

Les métaux non-miniers présentent une tendance d'évolution différentielle avec un FC à peine supérieur sur la typologie de Baie. Toutefois ces différences ne sont pas statistiquement vérifiées (Figure 5 ; Tableau 3).

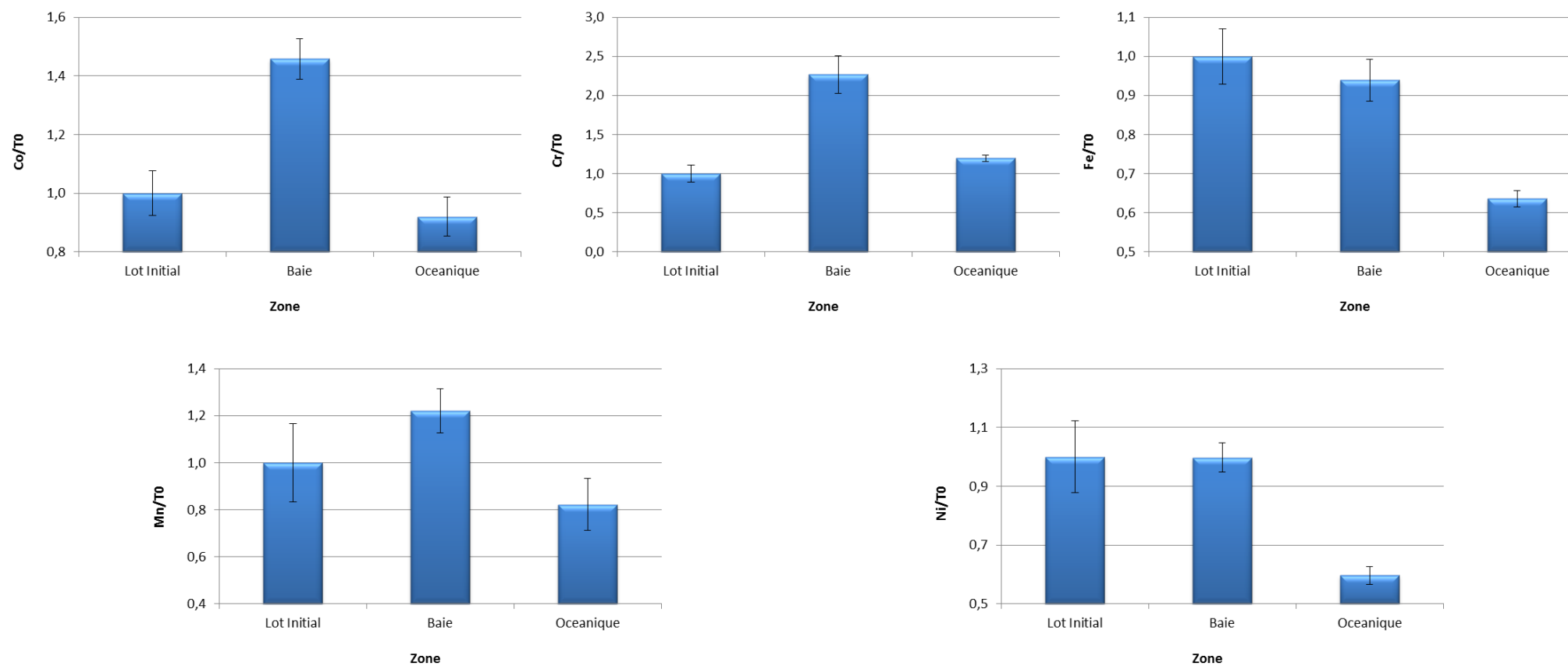


Figure 4 : Facteur de concentration pour les métaux miniers (Co, Cr, Mn, Fe et Ni) par niveau typologique pour la campagne 2015. Les valeurs représentées sont les valeurs moyennes $\pm$ l'intervalle de confiance.

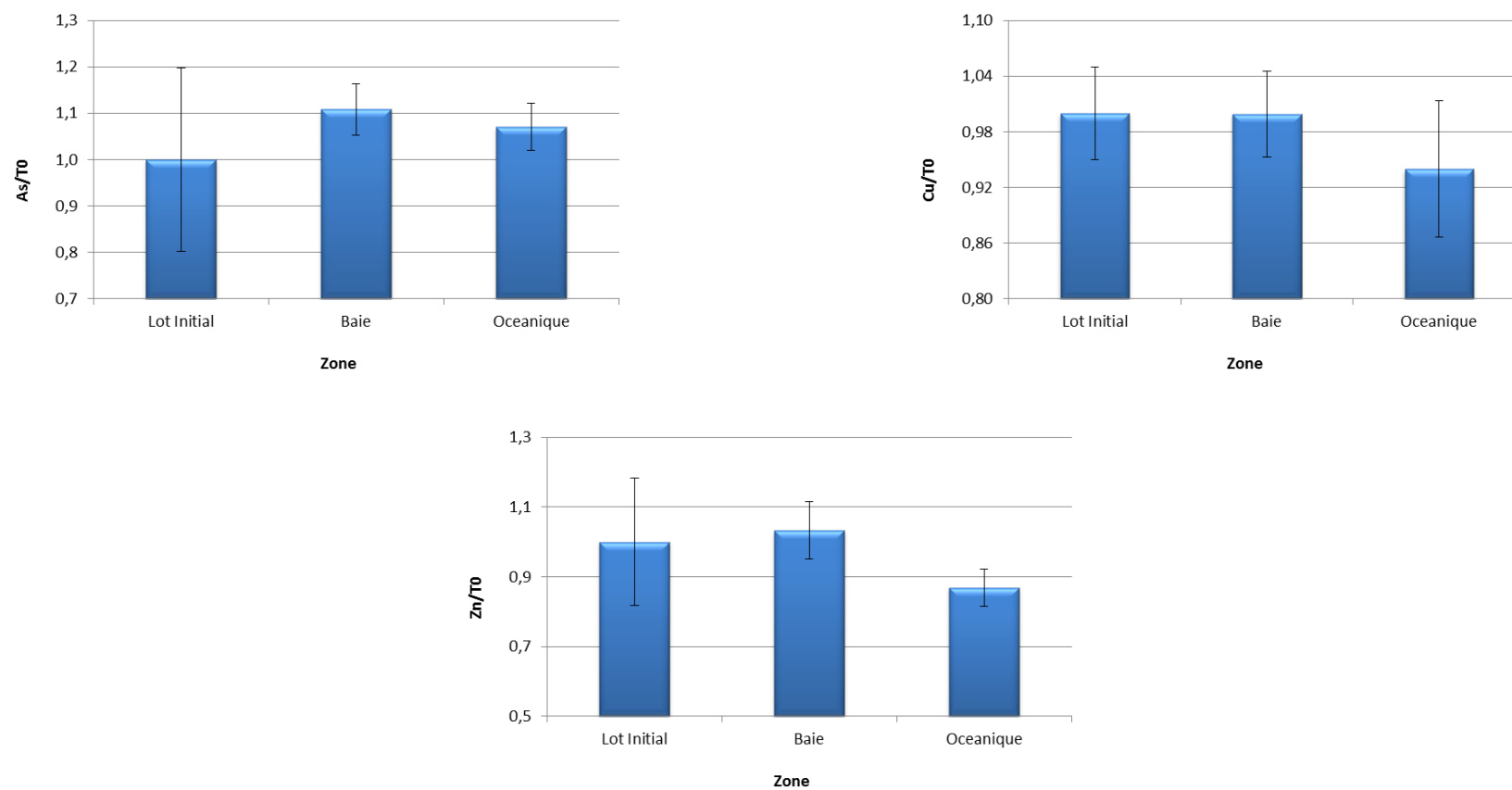


Figure 5 : Facteur de concentration pour les métaux non miniers (As, Cu et Zn) par niveau typologique pour la campagne 2015. Les valeurs représentées sont les valeurs moyennes $\pm$ l'intervalle de confiance.

3. Analyses des niveaux de FC 2015 par station

Les réponses différentielles des bio-indicateurs observées entre les typologies proviennent des stations qui la composent. Aussi, les Figure 6 et Figure 7 qui présentent les niveaux FC par station et par métal confirment les tendances mises en évidence à travers les analyses exploratoires et statistiques précédentes. La significativité statistique des évolutions pour chaque station par rapport aux lots initiaux est présentée dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Synthèse de la significativité des évolutions des facteurs de concentration de chaque station en référence au témoin initial (ANOVA) au seuil α de 5%.

Métaux		Evolution significative liée à une Bio-accumulation	Evolution significative liée à une Elimination
Non minier	As/T0	-	-
	Cu/ T0	St16P	-
	Zn/ T0	St16P	-
Minier	Co/T0	St03, St06, St15, St16P	-
	Cr/T0	St03, St06, St15, St16P	-
	Fe/T0	-	St03, St31
	Mn/T0	-	-
	Ni/T0	-	St31

T0 = lot initial

Au niveau des métaux miniers, l'on retrouve globalement une séparation entre les niveaux de FC plus élevés des stations de Baie et la station Océanique St31 qui fait office de référence. Même si cela n'est pas toujours significatif, les niveaux de FC sont généralement plus élevés sur les stations de la Baie de Prony (St15 et St16P) qu'au niveau des stations de Port Boisé (St03) et de la Baie Kwé (St06) (Figure 6).

Pour les métaux non miniers, le Cu et le Zn, les niveaux de FC sont globalement plus élevés à la station St16P qu'aux autres stations. Toutefois, pour les trois métaux non miniers, cette séparation Baie/Océanique en fonction des FC est moins évidente. En effet, si la station St31 (qui fait office de référence) présente un niveau du FC inférieur à la moyenne des 4 stations de Baie, un FC moyen par station inférieur est systématiquement constaté par chaque métal au niveau d'une station de Baie (As : St03 ; Cu : St06 ; Zn : St15) (Figure 7).

Au delà de ce constat, il apparaît que la réponse du bio-indicateur *I. isognomon*, pour les métaux miniers, étudiée de façon statistique dans le contexte du Grand Sud présente (Tableau 4) :

- une réponse significative de bio-accumulation sur toutes les stations de Baie pour le Co et le Cr ;
- une réponse significative d'élimination sur la station océanique St31 pour le Fe et Ni;
- aucune différence statistique sur l'ensemble des stations pour le Mn ;
- une réponse de bio-accumulation significativement plus élevée aux stations en Baie de Prony que celles de Baie Kwé et de Port Boisé pour le Co et Cr ; et
- aucune différence significative entre les stations St03 et St06, ni entre les stations St15 et St16P pour le Co et Cr.

Pour les métaux non miniers, d'un point de vue statistique, il apparaît que la réponse du bio-indicateur *I. isognomon* présente (Tableau 4) :

- aucune différence statistique entre stations pour l'As ; et
- aucune différence statistique pour le Cu et le Zn sur l'ensemble des stations, à l'exception de la station du port St16P où une bio-accumulation significative est constatée.

Exception faite de la station du port St16P qui présente pour le Cu et le Zn une bio-accumulation marquée, les résultats de cette campagne démontrent que le niveau de biodisponibilité des métaux non miniers reste généralement faible et du même ordre de grandeur que sur la station océanique St31 (Annexe 4). Aussi, la réponse vis-à-vis des métaux non miniers est moins tranchée que celle des métaux miniers.

Ainsi, à ce jour, le Co et le Cr apparaissent comme étant les plus pertinents dans le cadre du suivi de la bio-accumulation des métaux miniers. Bien qu'aucune bio-accumulation n'a été constatée pour le Fe et Ni, les résultats obtenus demeurent prometteurs. En effet, l'élimination de ces métaux observée à la station océanique St31 indique que ce bio-accumulateur est sensible à ces éléments et qu'il les régule en fonction des concentrations auxquelles ils sont exposés.

Note : *les huitres I. isognomon, espèce benthique, sont récoltées en Baie Maa sur des fonds durs envasés au contact des sédiments ; lors des tests de transplantation, elles sont placées à mi-profondeur de la colonne d'eau. Les sédiments et les eaux interstitielles, naturellement plus riches en métaux que l'eau de mer, expliquent les niveaux de concentration plus élevés dans les tissus de ces spécimens. Cette observation expliquerait la réponse en élimination que l'on constate pour le Fe et Ni.*

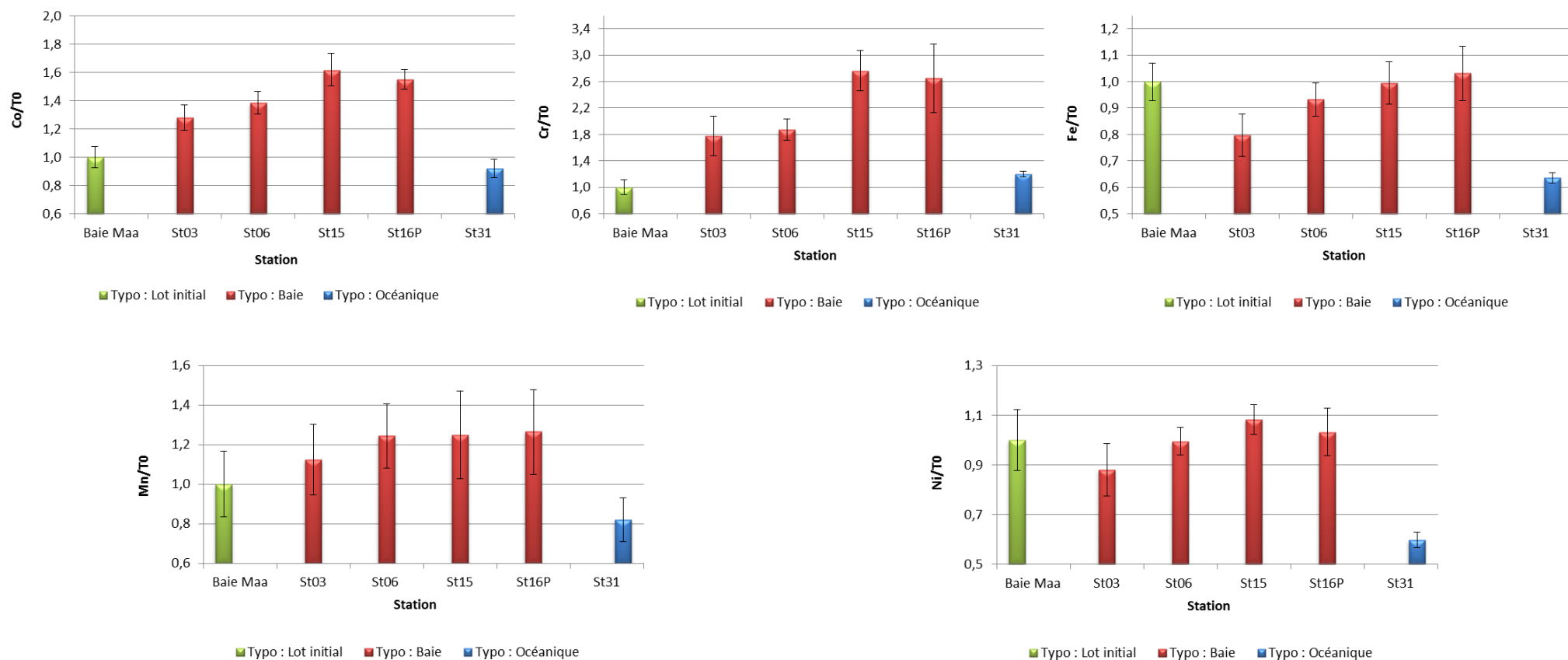


Figure 6 : Facteur de concentration pour les métaux miniers (Co, Cr, Mn, Fe et Ni) par station pour la campagne 2015. Les valeurs représentées sont les valeurs moyennes $\pm$ l'intervalle de confiance.

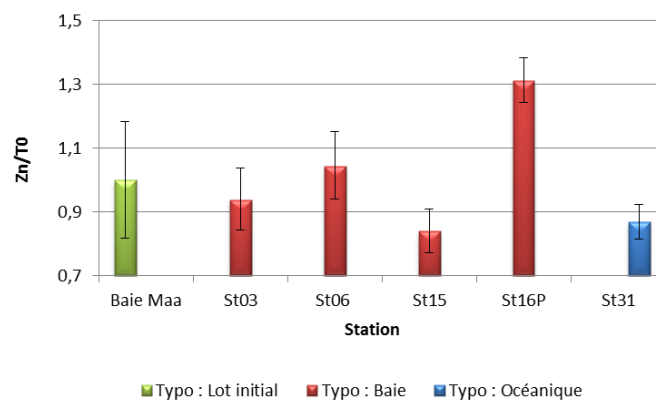
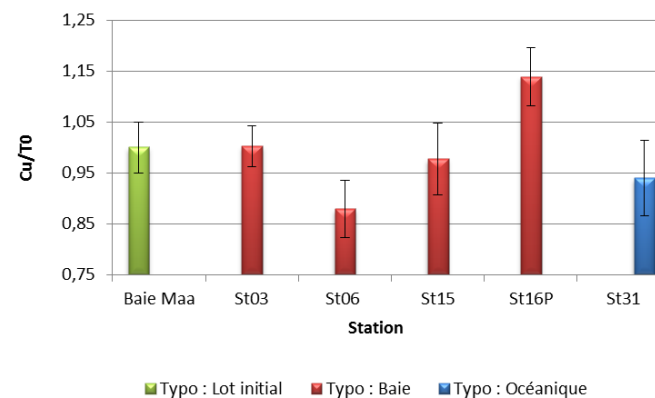
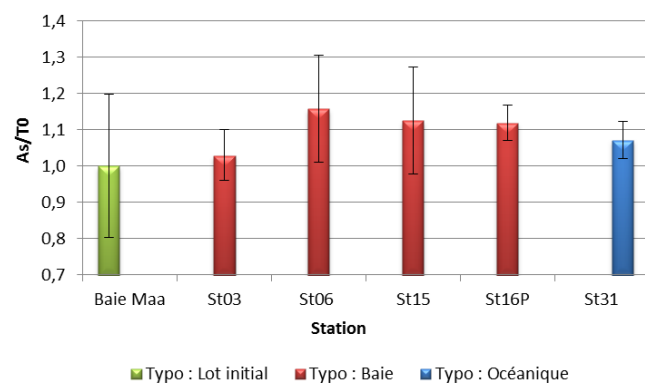


Figure 7 : Facteur de concentration pour les métaux non miniers (As, Cu et Zn) par station pour la campagne 2015. Les valeurs représentées sont les valeurs moyennes $\pm$ l'intervalle de confiance.

B. COMPARAISON DE REPONSE SPATIO-TEMPORELLE DES BIO-INDICATEURS 2014-2015

1. Comparaison des campagnes 2014-2015 par typologie

La comparaison des évolutions du FC par typologie et entre les années 2014 et 2015 est présentée dans la Figure 8. La significativité statistique des évolutions entre 2014 et 2015 par zone typologique est présentée au Tableau 5.

Ainsi l'année 2015 est caractérisée par rapport à 2014 pour les métaux non miniers :

- au niveau des baies par l'absence d'évolution significative du FC du Cu et Zn et par une baisse significative pour l'As ; et
- au niveau océanique par une augmentation significative du FC pour l'As et le Zn et par une baisse significative pour le Cu.

Vis-à-vis des métaux miniers, l'année 2015 est caractérisée par rapport à 2014 :

- au niveau des baies par une augmentation significative du Co, Cr, Mn et Ni et par l'absence d'évolution significative du Fe ; et
- au niveau océanique par une augmentation significative du Co, Cr et Ni et par l'absence d'évolution significative du Fe et Mn.

Tableau 5 : Synthèse de la significativité de l'évolution typologique 2014-2015 (ANOVA) au seuil α de 5%.

	Métaux	Baie	Océanique
Non minier	As/T0	D*	A*
	Cu/T0	NS	D*
	Zn/T0	NS	A*
Minier	Co/T0	A*	A*
	Cr/T0	A*	A*
	Fe/T0	NS	NS
	Mn/T0	A*	NS
	Ni/T0	A*	A*

NS = Non Significatif ; T0 = lot initial ; A* = augmentation significative lors de la campagne de 2015 par rapport celle de 2014 ; D* = diminution significative lors de la campagne de 2015 par rapport celle de 2014.

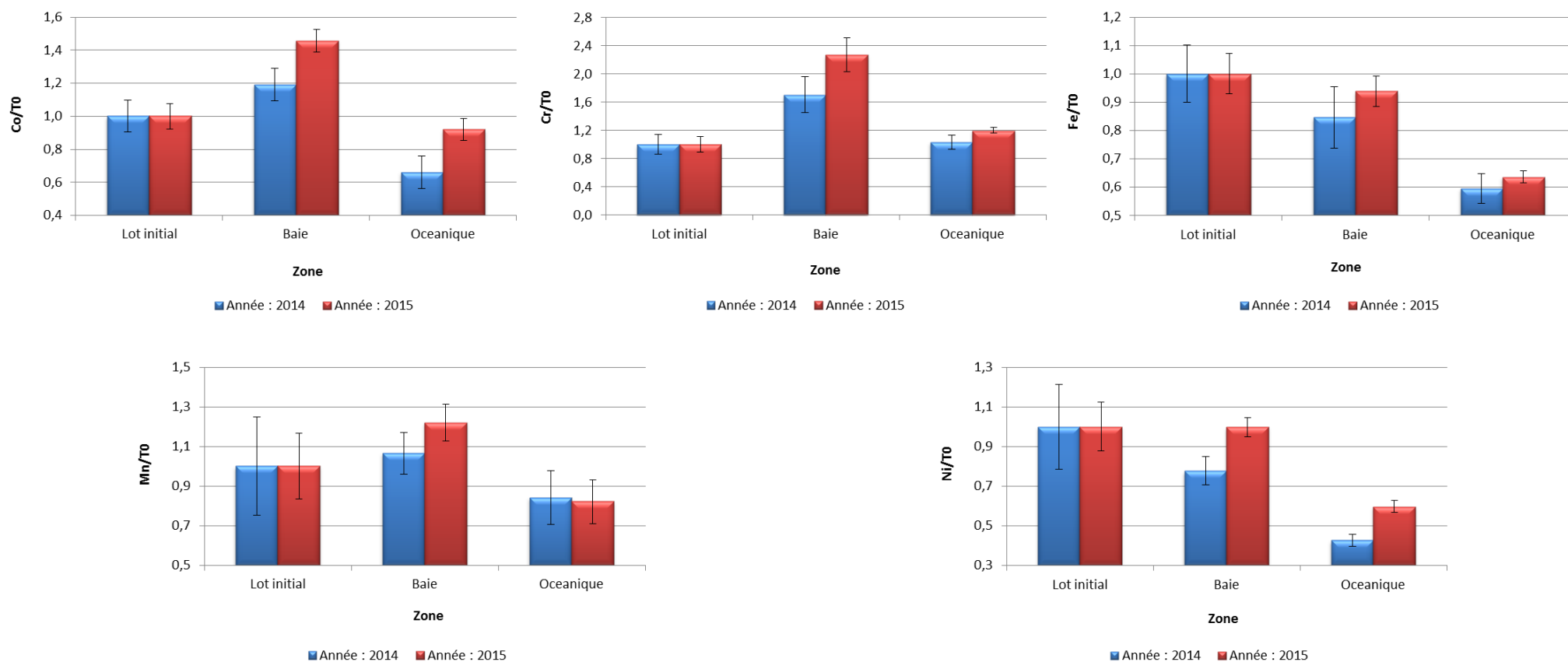


Figure 8 : Facteur de concentration pour les métaux miniers (Cr, Co, Mn, Fe et Ni) par zone et par année 2014 et 2015. Les valeurs représentées sont les valeurs moyennes $\pm$ l'intervalle de confiance.

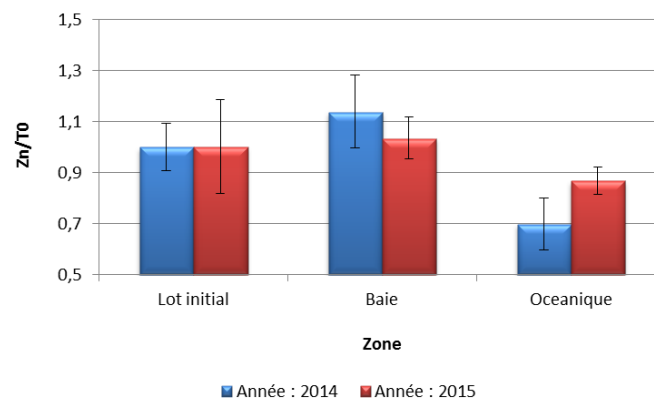
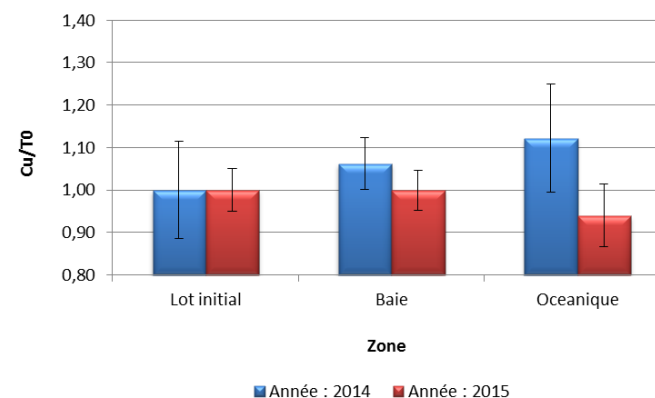
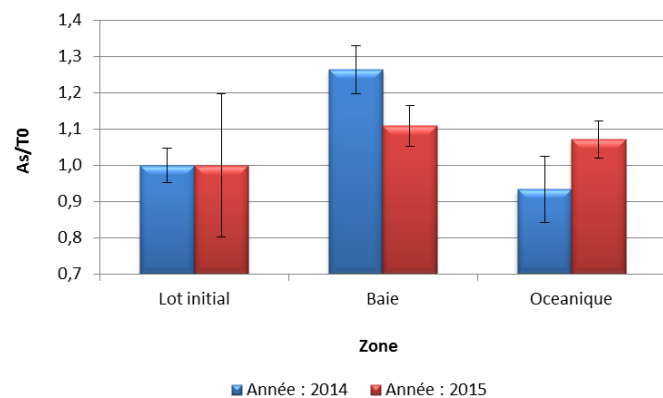


Figure 9 : Facteur de concentration pour les métaux non miniers (As, Cu et Zn) par zone et par année 2014 et 2015. Les valeurs représentées sont les valeurs moyennes $\pm$ l'intervalle de confiance.

2. Comparaison des campagnes 2014-2015 par station

L'analyse exploratoire réalisée sur les données du cortège métallique par station et par année sur l'ensemble des métaux (miniers et non miniers) est complétée par une classification qui permet d'identifier trois groupes (Figure 10) constitués par :

- la station du port St16P (2015 et 2014) ;
- la station Océanique de référence St31 (2015 et 2014) ; et
- les autres stations de Baie (2015 et 2014).

Ainsi, cette analyse fait apparaître une distinction cohérente entre la station Océanique de référence St31 généralement moins chargée en métaux, la station du port, St16P, généralement la plus chargée en métaux et les autres stations de Baie (St03, St06 et St15).

Elle fait également apparaître certaines évolutions du cortège métallique notamment la station St15 qui semble montrer une évolution importante des métaux miniers.

L'analyse statistique des données permet de caractériser sur l'ensemble des stations et pour certains métaux, les évolutions significatives par station entre 2014 et 2015 au-delà du constat précédant (Tableau 6). Ainsi, pour les métaux miniers, les évolutions constatées sont caractérisées par :

- une augmentation du FC pour le Co, Cr, Fe et Ni exclusivement ;
- l'absence de différence significative pour le Mn sur l'ensemble des stations ;
- le Co qui présente, en fréquence, le plus d'évolutions significatives ;
- la station St15 située dans la Baie de Prony qui présente, en fréquence de métaux, le plus d'évolutions significatives ;
- la station St16P qui ne présente aucune évolution significative entre les deux dernières campagnes ; et
- la station St31 qui voit son FC augmenter pour le Co, Cr et Ni.

Pour les métaux non miniers, les évolutions mises en évidence sont :

- généralement liées à une baisse des FC ; et
- une augmentation des FC de l'As et du Zn sur la station St31.

La réponse significative en accumulation pour Ni constatée à la station St15 renforce l'hypothèse que l'observation de ce métal, comme le Co et Cr, est vraisemblablement très pertinente à conduire avec le bio-indicateur *I. isognomon*. Ainsi, un phénomène de bioaccumulation ($FC > 1$) pourrait bien être mesuré dans le contexte d'une augmentation des concentrations en Ni dans le lagon du Grand Sud de Nouvelle-Calédonie.

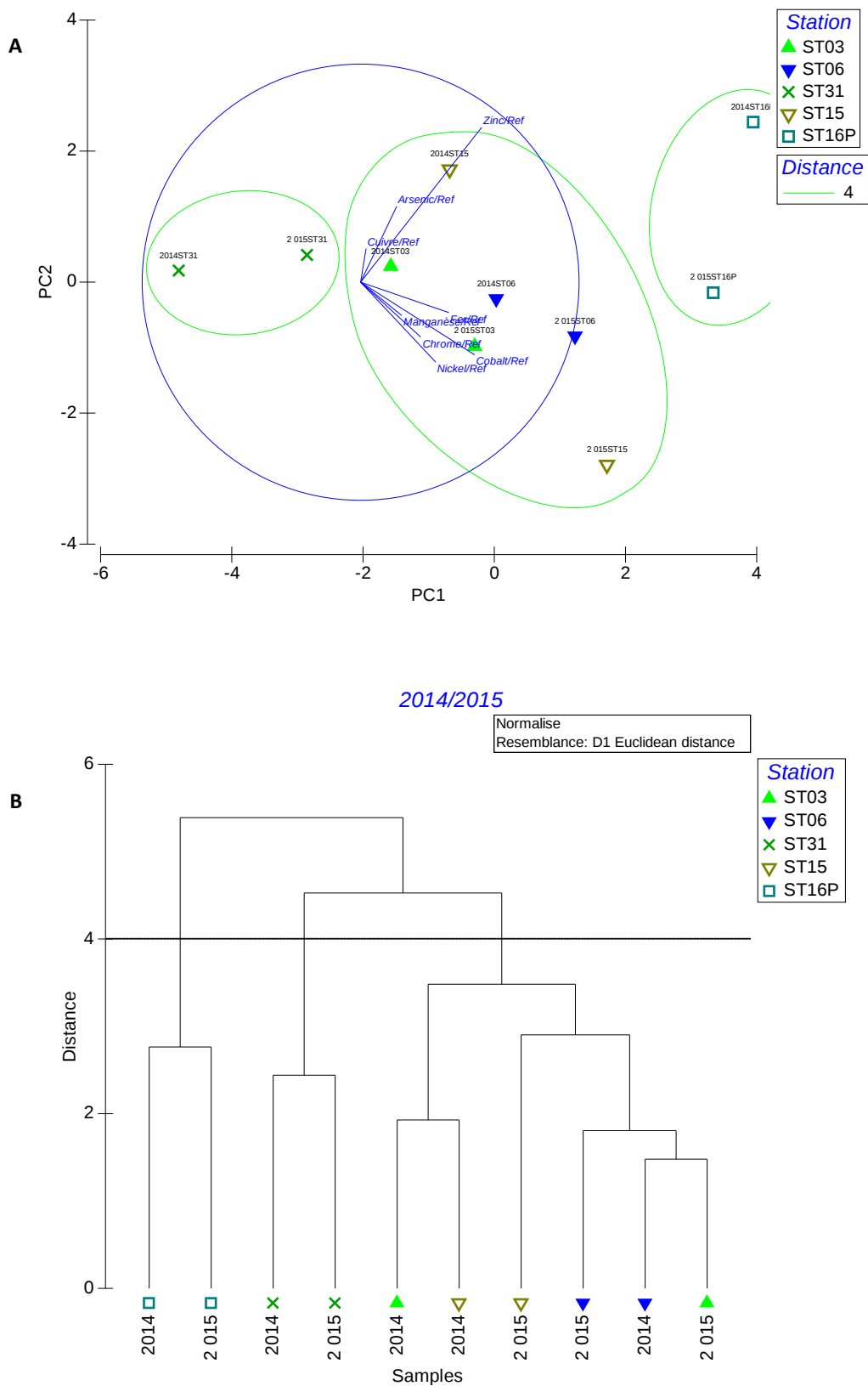


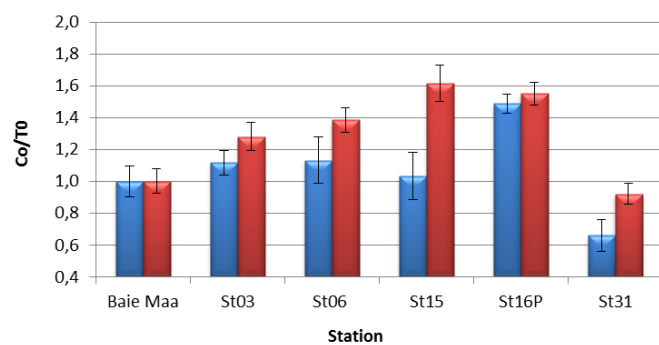
Figure 10 : Illustration de la réponse de la bio-accumulation du cortège métallique total minier et non minier par station avec des analyses ACP (A) et CAH (B) pour l'année 2014 et 2015. Le plan factoriel explique 90% % de la variabilité du jeu de données.

Tableau 6 : Synthèse de la significativité des évolutions temporelles (2014-2015) des facteurs de concentration de chaque station en référence au témoin initial (ANOVA) au seuil α de 5%.

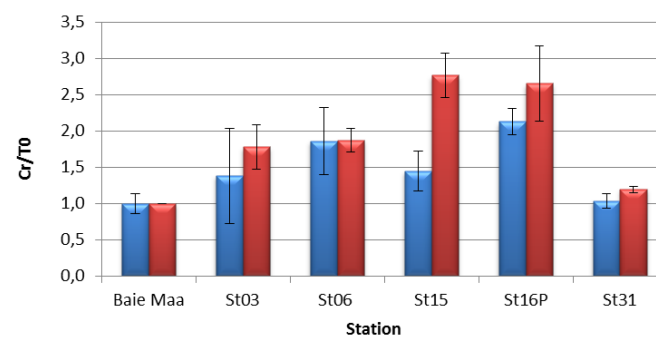
Métaux		St03	St06	St15	St16P	St31
Non minier	As/T0	D*	NS	D*	D*	A*
	Cu/T0	NS	NS	NS	NS	D*
	Zn/T0	NS	NS	D*	D*	A*
Minier	Co/T0	A*	A*	A*	NS	A*
	Cr/T0	NS	NS	A*	NS	A*
	Fe/T0	NS	NS	A*	NS	NS
	Mn/T0	NS	NS	NS	NS	NS
	Ni/T0	NS	NS	A*	NS	A*

NS = Non Significatif ; T0 = lot initial ; * = augmentation significative lors de la campagne de 2015 par rapport celle de 2014 ; D* = diminution significative lors de la campagne de 2015 par rapport celle de 2014.

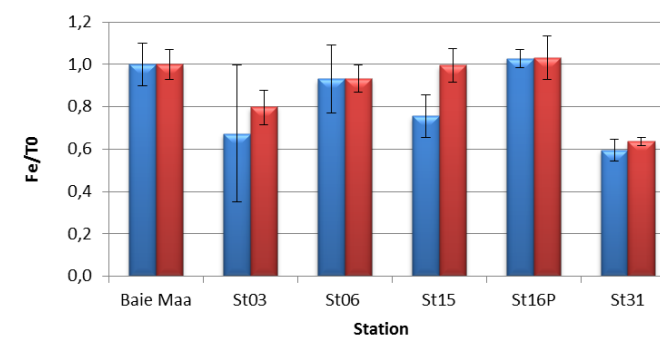
Remarque : l'augmentation des concentrations à la station Océanique de référence St31 en métaux miniers (Co, Cr et Ni) et non miniers (Zn) de 2014 à 2015 est pour le moins surprenante. L'influence des facteurs environnementaux et biométriques est étudiée afin de suggérer une explication à cette évolution.



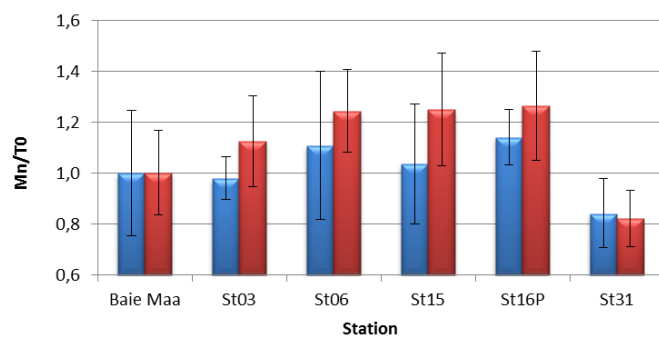
■ Année: 2014 ■ Année: 2015



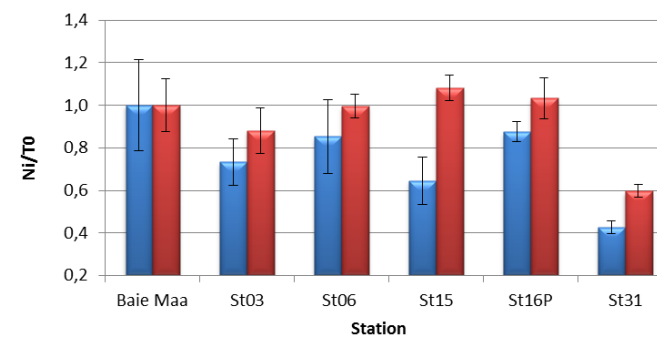
■ Année: 2014 ■ Année: 2015



■ Année: 2014 ■ Année: 2015



■ Année: 2014 ■ Année: 2015



■ Année: 2014 ■ Année: 2015

Figure 11 : Facteur de concentration pour les métaux miniers (Cr, Co, Mn, Fe et Ni) par station et par année 2014 et 2015. Les valeurs représentées sont les valeurs moyennes $\pm$ l'intervalle de confiance.

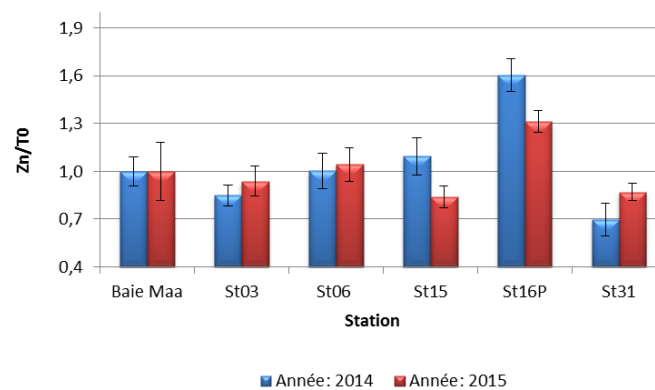
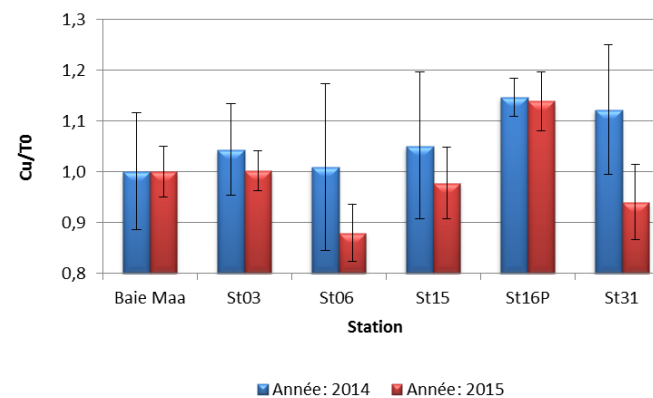
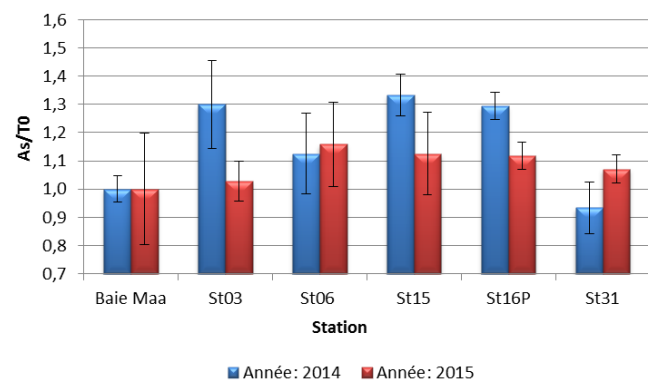


Figure 12 : Facteur de concentration pour les métaux non miniers (As, Cu et Zn) par station et par année 2014 et 2015. Les valeurs représentées sont les valeurs moyennes $\pm$ l'intervalle de confiance.

C. DESCRIPTION DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX ET BIOMETRIQUES

1. Durée de *caging*

Cette campagne fait suite à un travail de réflexion et de synthèse qui avait conduit à proposer une augmentation de la durée de *caging* (Gilbert et Fernandez, 2014). Avec une durée de 156 jours, la durée de *caging* de cette campagne 2015 est beaucoup plus longue que celles réalisées avant 2013 et identique à la campagne de 2014 (Tableau 7).

Tableau 7 : Durée de *caging* de 2009 à 2015 en jours.

Campagne	Durée d'immersion						
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Durée d'immersion en jours	96	86	90	114	83	155	156

2. Pluviométrie

Les données pluviométriques de cumul journalier sont présentées dans la Figure 13. Du 28 avril au 01 octobre 2015, la pluviométrie totale mesurée par la station météorologique de Goro Usine a été de 500,4 mm, avec un épisode pluvieux de moyenne intensité mesuré le 11 juin 2015 (40,1 mm).

La moyenne journalière sur la période de mise en cage mesurée est sensiblement la même que pour la campagne précédente avec $3,22 \pm 5,98$ mm/j en 2015 contre $3,78 \pm 10,21$ mm/j en 2014.

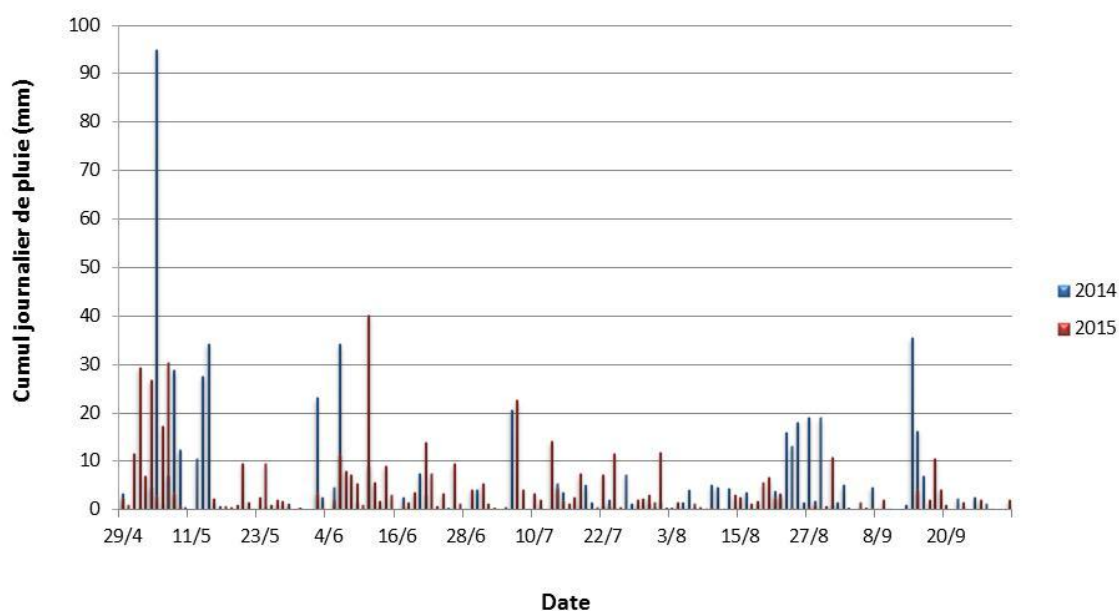


Figure 13 : Cumul journalier de pluie à la station météorologique de Vale-NC (Goro Usine ; station 98817104) pour les campagnes de *caging* de 2014 et 2015.

3. Vitesse et direction des vents

Les données de vitesse et direction des vents sont présentées dans la Figure 14. Du 30 avril au 01 octobre 2015, la vitesse journalière moyenne du vent relevée par la station météorologique de Goro Usine sur l'ensemble de la campagne a été de $12,1 \pm 3,0$ m/s tandis que les régimes des vents, très variables, soufflaient généralement d'O/SO à SE en faiblissant.

Avec la campagne de 2014, la différence notable en 2015 réside dans la mise en place des régimes de secteur O, le plus souvent et généralement de plus forte intensité. En effet, l'amplitude de vitesse est plus élevée que celle précédemment enregistrée lors de la campagne de 2014 (moyenne de $7,3 \pm 2,7$ m/s).

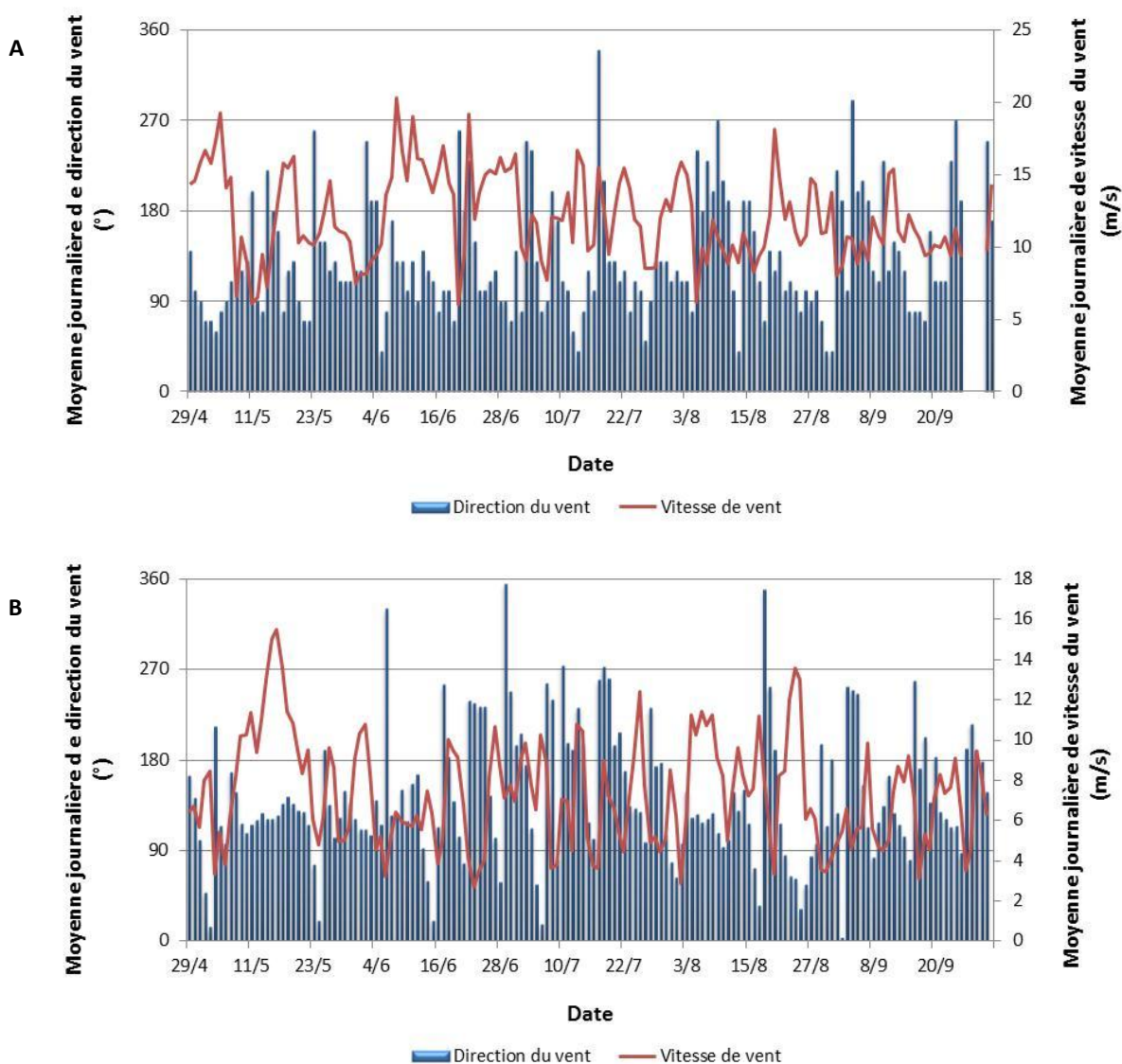


Figure 14 : Evolution de la vitesse et de la direction des vents (moyenne journalière) mesurée en continu à la station météorologique de Vale-NC (Goro Usine ; station 98817104) pendant toute la durée de la campagne de transplantation 2015 (A) et 2014 (B).

4. Température de l'eau de mer

La température de l'eau de mer a été relevée au niveau des cages St06, St016P et St31 par un capteur miniaturisé. Le nombre de valeurs enregistrées est de 624 sur 156 jours à chacune de ces 3 stations. Les températures moyennes, minimales et maximales globales par station sont représentées dans le Tableau 8.

Remarque : suite à un problème détecté avec le capteur miniaturisé de la station St31, les données relevées à partir du 28 août 2015 ont été écartées.

Les profils de ces relevés de température sont présentés dans la Figure 15. Globalement, entre les stations, les profils des températures se ressemblent. Les profils des données montrent qu'une tendance régulière à la baisse est observée après le 13 mai 2015 (saison fraîche) sur toutes les stations.

Sur les stations de Baie (St06 et St16P dont l'acquisition des données est complète), l'eau de mer a perdu environ 3 et 4 °C, respectivement. Pour la station Océanique St31, celle-ci relève 5°C. Par ailleurs, contrairement à la station St31, les profils de deux stations de Baie, dont plus particulièrement celui de St16P, démontrent que les températures de l'eau de mer dans une journée fluctuent peu.

Toutefois, en superposant les trois profils de température, l'on constate que la station St16P (Baie du Prony) demeure plus fraîche ($22,5 \pm 1,1$ °C) que les stations, St06 et St31 (Canal de la Havannah ; $23,0 \pm 1,0$ et $23,0 \pm 1,1$, respectivement).

Cette différence, également observée lors de la campagne en 2014 (Kumar-Roiné *et al.*, 2015), est notamment marquante entre fin mai et mi-juin 2015 ainsi qu'entre mi-juillet et début septembre 2015. Seulement, pendant environ un mois, de mi-juin à mi-juillet 2015, les températures sont semblables entre les trois stations.

Les températures moyennes entre l'année 2014 et 2015 mesurées à la station St06, la seule station dont le profil de température a été relevé pour les deux campagnes, ne présentent pas de différences significatives ($23,0 \pm 1,0$ et $22,5 \pm 1,0$ °C, respectivement).

Tableau 8 : Les moyennes, écart-types, minimales et maximales de température de l'eau de mer par station (n=624). Les données ont été recueillies à chaque station par un capteur miniaturisé à la fréquence de 4 relevés journaliers, soit toutes les 6 heures.

Station	St06	St16P	St31
Moyenne (°C)	23,0	22,5	23,0
Ecart-type (°C)	1,0	1,1	1,1
Min (°C)	21,7	21,1	20,3
Max (°C)	25,1	24,9	25,4

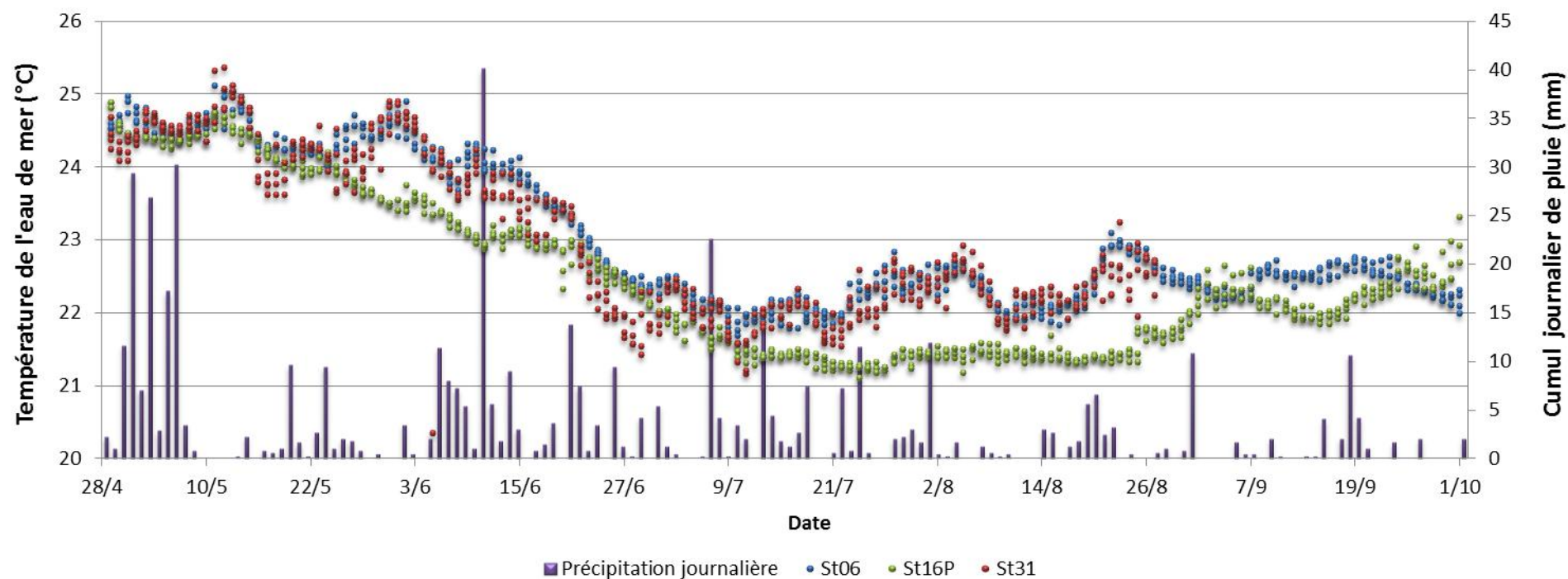


Figure 15 : Evolution de la température de l'eau de mer pendant la campagne de 2015 comparée avec la pluviométrie. Les données ont été recueillies aux stations St06, St15 et St31 toutes les 6 heures, entre le 29 avril et le 01 octobre 2015 par des capteurs miniaturisés. (●) = révélés journaliers toutes les 6 heures.

5. Données biométriques et de croissance relative

Les données de biométrie initiales et finales de poids sont présentées à la Figure 16 et dans l'Annexe 2 et l'Annexe 3.

Pour cette campagne, les populations des cages étaient constituées de lots homogènes d'individus d'un poids moyen de $16,9 \pm 4,7$ g. Cette caractéristique est sensiblement identique à celle de la campagne 2014 dont les individus des lots présentaient un poids moyen de $17,1 \pm 5,7$ g.

Les données présentées dans la Figure 16 montrent qu'une certaine croissance en poids est observée à l'issue des 156 jours d'immersion, avec une masse moyenne finale de $19,5 \pm 4,6$ g par individu. Cette croissance est sensiblement la même que celle observée lors de la campagne de l'année 2014 dont les lots présentaient un poids moyen final par individu de $19,7 \pm 5,7$ g.

L'indice de condition physiologique (IC), rapport entre le poids frais des chairs sur le poids frais total après transplantation, présente une valeur moyenne de $11,2 \pm 3,0$ %. Cet indice est également identique à celui de la campagne de l'année 2014 qui présentait une valeur moyenne de $11,1 \pm 1,7$ %.

Ainsi, l'ensemble des variables biométriques et de croissance de cette campagne 2015 ne présente pas de différences significatives entre les typologies ni entre les stations (Anova, $\alpha=5\%$). D'un point de vu temporel, l'année 2015 présente des caractéristiques similaires à l'année 2014. Les variables biométriques ne présentent pas de différences significatives entre les campagnes (Anova, $\alpha=5\%$).

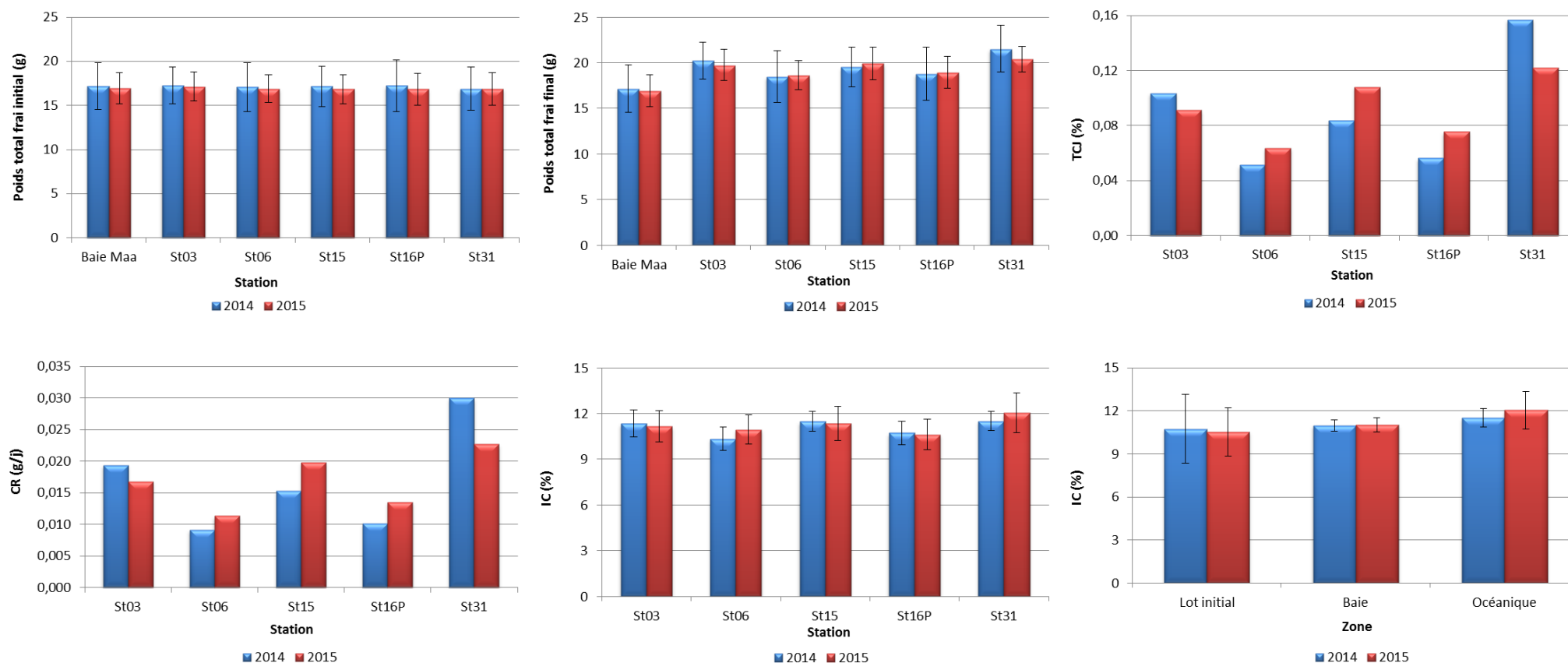


Figure 16 : Données de biométrie des campagnes 2014 et 2015 (Poids frais initial, Poids frais final, TCJ³ en poids, CR⁴ en poids et IC⁵). Les valeurs représentées sont les valeurs moyennes $\pm$ l'intervalle de confiance.

³ TCJ ou Taux de Croissance Journalière

⁴ CR ou Croissance relative

⁵ IC ou indice de qualité (IC)

IV. CONCLUSION

A. TRANSPLANTATION 2015

Cette campagne 2015 a été conduite en maintenant une durée d'immersion similaire à celle de 2014 dont la durée avait été allongée suite aux recommandations faites lors de la synthèse (Gilbert et Fernandez, 2014).

Ainsi, les résultats de la campagne 2015 confirment que le facteur « temps d'exposition » est bien déterminant pour obtenir une réponse significative du bio-indicateur et qu'il était nécessaire d'augmenter la durée de la transplantation.

La campagne 2015 montre, en effet, des réponses différentielles entre typologie, en adéquation avec les pressions métalliques minières attendues, entre des systèmes ouverts (stations dites « Océanique ») et plus fermés (stations dites de « Baie »). Ces réponses des bivalves ne sont pas toujours liées à des phases de bio-accumulation (par exemple, Co et Cr) puisque des phases d'élimination (par exemple, Ni) sont parfois constatées. Certains métaux (par exemple, As) ne présentent d'ailleurs pas d'évolutions et restent à des niveaux de concentration identiques aux lots initiaux.

D'un point de vue général, les métaux miniers (Co, Cr, Fe, Mn et Ni) montrent une réponse plus marquée que les métaux non miniers (As, Cu et Zn) avec des FC supérieurs pour les stations de Baie à celui de la station Océanique. D'un point de vue statistique seulement trois métaux montrent des phases de bio-accumulation significatives dans les stations de Baie : Co, Mn et Cr. Au niveau de la seule station Océanique, une phase de bio-accumulation du Cr est également observée ainsi que deux phases d'élimination pour le Fe et le Ni. Pour les métaux non miniers, les tendances observées restent statistiquement non significatives pour l'ensemble des stations. Aucune structuration par niveau typologique, ni d'évolution significative témoignant d'une bio-accumulation/élimination n'est détectée à l'échelle des typologies.

Toutefois, l'analyse des niveaux de FC à l'échelle des stations offre des informations complémentaires intéressantes. Elles montrent que le Co et le Cr apparaissent comme étant les métaux plus pertinents dans le cadre du suivi de la bio-accumulation des métaux miniers dans le contexte du Grand Sud de Nouvelle-Calédonie puisque une réponse significative est constatée sur toutes les stations de Baie. Par ailleurs, cette analyse montre également que les stations situées en Baie du Prony présentent une bio-accumulation significativement plus élevée que celles de Baie Kué et de Port Boisé.

L'étude montre également que les réponses marquées sont cohérentes avec les pressions existantes. Par exemple, les stations de la Rade du Nord (St15) et du port de commerce (St16P) présentent les concentrations les plus élevées en Cr, Co, Mn, Ni et Fe. De plus, à la station St16P, cette année encore montre une réponse significative en matière de bio-accumulation de certains métaux non miniers (Cu et le Zn). A l'inverse, la station à proximité de l'îlot Nouaré (St31) (à laquelle une phase d'élimination pour le Fe et Ni a été observée), fait bien office de référence car elle présente les valeurs de FC les plus faibles en Cr, Co, Mn, Fe et Ni. En effet, les stations côtières, enclavées dans les baies (St15 et St16P) et à proximité des aires d'influence minière (St15) et portuaire (St16P) seraient les plus enclins à être impactées par les apports terrigènes et les activités anthropiques.

D'un point de vu temporel, l'année 2015 montre une évolution significative liée à une augmentation du FC sur l'ensemble des métaux miniers par rapport à l'année 2014 (Kumar-Roiné *et al.*, 2015). Cette évolution analysée par niveau typologique montre qu'elle s'opère généralement sur les stations de Baie et ainsi que sur la station Océanique. Cette observation permet de soulever plusieurs hypothèses et notamment celle d'une augmentation globale conduisant à une évolution de la biodisponibilité de ces métaux à l'exception du Fe et Mn.

Spatialement, l'analyse statistique montre que cette évolution 2014-2015 des métaux miniers dans les baies est exprimée par à une augmentation :

- du FC du Co à l'exception de la station St16P;
- des FC de tous ces métaux dans la Rade Nord (St15), à l'exception du Mn ; et
- du FC au niveau de la station St31 pour 3 métaux (Co, Cr et Ni).

En outre, en 2014, les métaux miniers des stations St06 et St16P, d'une part, et des stations St03 et St15 d'autre part, semblent se comporter de la même manière (Kumar-Roiné *et al.*, 2015). En 2015, ces « duos » de stations ont été modifiés ; les comportements similaires sont alors observés pour les couples des stations St15 et St16P et St03 et St06. Cette observation vient conforter l'augmentation significative du cortège métallique minier à la station St15.

Le comportement du Ni constaté à la station St15 renforce l'intérêt de conserver ce métal, comme le Co et Cr, dans le cadre des suivis avec *I. isognomon*. Ce constat est en accord avec Hédoin *et al.*, 2011 qui avait conclu positivement sur la capacité de régulation de cet organisme pour la plupart des éléments.

Par ailleurs, Hédoin *et al.*, 2011 avait également conclu que la principale voie de l'accumulation des métaux dans ces organismes serait l'ingestion de matières particulaires plutôt que la voie d'eau de mer (métaux dissous). Ainsi, les résultats obtenus de la présente étude et celle de densités de flux verticaux des particules conduite lors du deuxième semestre 2015 (Achard *et al.*, 2015) peuvent être rapprochés. En effet, au niveau des stations, les flux collectés en St15 sont principalement d'origine terrigène et caractérisés par une plus forte concentration en Co, Cr, Fe, Mn et Ni, (x1,5 à x2,0) par rapport à St06 (Tableau 9) ; ces observations corroborent les résultats obtenus lors de l'étude de la transplantation. En effet, les niveaux de FC sont généralement plus élevés à la station St15 qu'à la station St06, notamment pour le Co et Cr dont l'écart de concentrations dans les particules est plus marqué.

Tableau 9 : Concentrations moyennes en métaux dans les flux verticaux collectés à la station de la Baie Kwé (St06) et de la Rade Nord (St15) lors du deuxième semestre 2015.

Station	Métaux minier (mg/kg)				
	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
St06	108 ± 34	4126 ± 1307	101619 ± 24 237	940 ± 940	1882 ± 421
St15	228 ± 18	8016 ± 728	177466 ± 13141	2148 ± 208	2751 ± 248

Pour le Mn, aucune différence significative n'a été observée pour ce métal bio-accumulé ; ce résultat est également en accord avec l'étude d'Hédoin *et al.*, 2011 qui, en dépit des niveaux élevés de Mn mesurés dans les sédiments, n'avait pas observé de bio-accumulation dans les tissus des organismes en raison d'une faible biodisponibilité du métal.

Pour les métaux non miniers, les évolutions mises en évidence sont généralement liées à une baisse des FC, à l'exception de l'As et du Zn sur la station St31 qui voit son FC augmenter.

L'analyse spatiale et temporelle des facteurs biologiques et environnementaux ne permet pas d'expliquer ces augmentations en métaux, à la fois miniers et non miniers sur l'ensemble de la zone étudiée.

Cette évolution générale serait donc liée à l'augmentation de ces métaux soit en raison de l'activité minière dans la zone (la station de la Rade Nord St15) soit, en raison de la présence d'eaux profondes enrichies en métaux (formation d'up-welling ; [Fichez et al., 2005](#)) sous l'effet des alizés soutenus du phénomène « El Niño » 2015 (Ilot Nouaré, St31).

B. PERSPECTIVES

Entre 2009-2015, le paramétrage du suivi de la qualité éco-toxicologique (métaux) des eaux par transplantation d'espèces bio-indicatrices a considérablement évolué. Basées sur les observations faites lors des campagnes 2014 et 2015, les recommandations émises pour la prochaine campagne 2016 sont les suivantes :

- la campagne 2015 a confirmé que la durée d'immersion de 5 mois est bien déterminante dans la réponse différentielle observée du bio-indicateur. La prochaine campagne 2016 devra également être réalisée avec une durée d'immersion similaire pour pouvoir suivre et comparer les évolutions des métaux bio-disponibles dans le lagon du Grand Sud de Nouvelle-Calédonie ;
- lors de la campagne 2015, une seule mortalité de bivalve a été observée contre 9 en 2014. En 2015, le nombre d'individus de 20 à 30, et la fréquence de brossage des dispositifs de 2 à 3 ont été augmentés. La prochaine campagne devra être réalisée avec une périodicité de nettoyage équivalente ; et
- entre 2014-2015, le nombre de stations a été réduit de 10 à 5 dont une seule station « Océanique ». Afin de mieux suivre les effets typologiques, il est suggéré d'inclure une autre station « Océanique », notamment la station St07 qui, par ailleurs, permettrait de suivre les effets de l'émissaire.

Cette étude a démontré que le suivi des évolutions des métaux dans l'eau de mer par les bio-indicateurs est un outil puissant, complémentaire aux suivis de la colonne d'eau et des densités de flux particulières. Toutefois, la bivalve *I. isognomon* est le seul bio-indicateur à être utilisé dans des programmes de suivis environnementaux. Au vu de la diminution des cohortes de *I. isognomon* observée sur le site de référence (Baie Maa) et afin de compléter les interprétations, le clam *Gafrarium tumidum* et l'huître *Pinctada maculata* sont suggérés comme deux potentiels organismes bio-indicateurs ([Pluchino et Fernandez, 2014](#)) à condition de mettre en œuvre des tests complémentaires.

REFERENCE

AFNOR NF V45056, 1985 AFNOR, 1985. Norme française huîtres creuses. *Dénomination et classification*. NF V 45056, 5 p.

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.

Achard R., Kumar-Roiné S., Kaplan H., Pluchino S., Haddad L., Laurent A., et Fernandez J.M., 2015. Suivi des densités de flux verticaux de particules dans le Canal de la Havannah, la Baie Kwé et la Rade Nord de Prony : Mission juillet-septembre et octobre-novembre 2015. Contrat Vale-NC/AEL n° 3052-2013, 56 p.

Beliaeff B., Bouvet G., Fernandez J.M., David C., Laugier T., 2011. Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT « Le Nickel et son environnement », 169 p.

Breau L., 2003. Etude de la bio-accumulation des métaux dans quelques espèces marines tropicales : Recherche de bio-indicateurs 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., 2009a. Evaluation des apports en métaux dans l'environnement marin tropical par transplantation d'organismes bio-accumulateurs. Rapport Final du Volet 2 « Eco-toxicologie », 2ème 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., 2009b. Etat de Référence de la Zone Sud du Lagon de Nouvelle-Calédonie : Détermination de la qualité éco-toxicologique initiale des eaux par transplantation d'espèces bio-indicatrices (Bio-accumulation). Rapport de la Convention de Recherches IRD/Vale Inco NC n°2535, 01/12/2009, IRD-Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 30 p.

Clarke K.R., Warwick R.M., 1994. Similarity-based testing for community pattern: the 2-way layout with no replication. *Marine Biology*, 118, 167-176.

Derex P., Douillet P., Le Gendre R., 2008. Modélisation et transport des formes dissoutes. Modèle de Transport, Simulation annuelle de rejet. Convention IRD/Goro-Ni 1124, 183 p.

Douillet P. et Fernandez J.M., 2009. Modélisation et simulation du transport des formes particulières d'origine naturelle (Canal de la Havannah et Kwé). Modèle de Transport. Simulation annuelle de la sédimentation des particules en contact avec l'effluent. Rapport final. Convention IRD/Goro-Ni, 1124 p.

Fichez R., Adjerdon M., Bozec Y.M., Breau L., Chancerelle Y., Chevillon C., Douillet P., Fernandez J.M., Frouin P., Kulbicki M., Moreton B., Ouillon S., Payri C., Perez T., Sasal P., Thébault J., 2005. A review of selected indicators of particle, nutrient and metals in coral lagoon systems. *Aquatic Living Resource*, 18: 125-147.

Gilbert A., Fernandez, JM., 2014. Synthèse des variations spatio-temporelles de l'absorption des métaux chez *Isognomon isognomon* et *Lobophora variegata*. Rapport final. Convention SOPRONER/AEL/VALE-NC, 31 p.

Hédouin L., Pringault O., Métian M., Bustamante P., Warnau M., 2007. Nickel bio-accumulation in bivalves from the New Caledonia lagoon: Seawater and food exposure. *Chemosphere*, 666: 1449-1457.

Hédouin L., Bustamante P., Fichez R., Warnau M., 2008. The tropical brown alga *Lobophora variegata* as a bio-indicator of mining contamination in the New Caledonia lagoon: A field transplantation study. *Marine Environmental Research* 66: 438-444.

Hédouin L., Bustamante P., Churlaud C., Pringault O., Fichez R., Warnau M., 2009. Trends in concentrations of selected metalloid and metals in two bivalves from the coral reefs in the SW lagoon of New Caledonia. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72: 372-381.

Hédouin L., Gomez Batista M., Métian M., Buschaizzo E., Warnau M., 2010. Metal and metalloid bio-concentration capacity of two tropical bivalves for monitoring the impact of land-based mining activities in the New Caledonia lagoon. *Marine Pollution Bulletin*, 61: 554-567.

Hédouin L., Pringault O., Bustamante P., Fichez R., Warnau M., 2011. Validation of two tropical marine bivalves as bio-indicators of mining contamination in the New Caledonia lagoon: Field transplantation experiments. *Water Research*, 45: 483-496.

Kumar-Roiné S., Gilbert A., Raynal A., Fernandez JM., 2015. Suivi de la qualité éco-toxicologique (métaux) des eaux de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie par transplantation d'espèces bio-indicatrices : Campagne 2014. Rapport AEL 163-VI-14-P, Vale-NC/AEL E67170/0001, 75 p.

Pluchino S., Fernandez J.M., 2014. Caractérisation de la pression par transplantation *in-situ* du bivalve bio-accumulateur *Modiolus auriculatus*. Programme ADIIP 2009, CNRT « Le nickel et son environnement », 37 p.

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES CINQ STATIONS DE SUIVI ECO-TOXICOLOGIQUE DU MILIEU MARIN PAR TRANSPLANTATION D'ESPECES BIO-ACCUMULATRICES DANS LE CADRE DE LA CAMPAGNE DE 2015.	9
FIGURE 2 : ILLUSTRATION DE LA REPONSE DE LA BIO-ACCUMULATION DU CORTEGE METALLIQUE D'ORIGINE MINIERE (Cr, Co, Fe, Ni ET Mn) PAR STATION AVEC DES ANALYSES ACP (A) ET CAH (B) DANS LA CADRE DE LA CAMPAGNE DE 2015. LE PLAN FACTORIEL EXPLIQUE 97,4 % DE LA VARIABILITE DU JEU DE DONNEES.	15
FIGURE 3 : ILLUSTRATION DE LA REPONSE DE LA BIO-ACCUMULATION DU CORTEGE METALLIQUE D'ORIGINE NON MINIERE (Zn, Cu ET As) PAR STATION AVEC DES ANALYSES ACP (A) ET CAH (B) DANS LA CADRE DE LA CAMPAGNE DE 2015. LE PLAN FACTORIEL EXPLIQUE 92,6 % DE LA VARIABILITE DU JEU DE DONNEES.	16
FIGURE 4 : FACTEUR DE CONCENTRATION POUR LES METAUX MINIER (Co, Cr, Mn, Fe ET Ni) PAR NIVEAU TYPOLOGIQUE POUR LA CAMPAGNE 2015. LES VALEURS REPRESENTES SONT LES VALEURS MOYENNES $\pm$ L'INTERVALLE DE CONFIANCE.	18
FIGURE 5 : FACTEUR DE CONCENTRATION POUR LES METAUX NON MINIER (As, Cu ET Zn) PAR NIVEAU TYPOLOGIQUE POUR LA CAMPAGNE 2015. LES VALEURS REPRESENTES SONT LES VALEURS MOYENNES $\pm$ L'INTERVALLE DE CONFIANCE.	19
FIGURE 6 : FACTEUR DE CONCENTRATION POUR LES METAUX MINIER (Co, Cr, Mn, Fe ET Ni) PAR STATION POUR LA CAMPAGNE 2015. LES VALEURS REPRESENTES SONT LES VALEURS MOYENNES $\pm$ L'INTERVALLE DE CONFIANCE.	22
FIGURE 7 : FACTEUR DE CONCENTRATION POUR LES METAUX NON MINIER (As, Cu ET Zn) PAR STATION POUR LA CAMPAGNE 2015. LES VALEURS REPRESENTES SONT LES VALEURS MOYENNES $\pm$ L'INTERVALLE DE CONFIANCE.	23
FIGURE 8 : FACTEUR DE CONCENTRATION POUR LES METAUX MINIER (Cr, Co, Mn, Fe ET Ni) PAR ZONE ET PAR ANNEE 2014 ET 2015. LES VALEURS REPRESENTES SONT LES VALEURS MOYENNES $\pm$ L'INTERVALLE DE CONFIANCE.	25
FIGURE 9 : FACTEUR DE CONCENTRATION POUR LES METAUX NON MINIER (As, Cu ET Zn) PAR ZONE ET PAR ANNEE 2014 ET 2015. LES VALEURS REPRESENTES SONT LES VALEURS MOYENNES $\pm$ L'INTERVALLE DE CONFIANCE.	26
FIGURE 10 : ILLUSTRATION DE LA REPONSE DE LA BIO-ACCUMULATION DU CORTEGE METALLIQUE TOTAL MINIER ET NON MINIER PAR STATION AVEC DES ANALYSES ACP (A) ET CAH (B) POUR L'ANNEE 2014 ET 2015. LE PLAN FACTORIEL EXPLIQUE 90% % DE LA VARIABILITE DU JEU DE DONNEES.	28
FIGURE 11 : FACTEUR DE CONCENTRATION POUR LES METAUX MINIER (Cr, Co, Mn, Fe ET Ni) PAR STATION ET PAR ANNEE 2014 ET 2015. LES VALEURS REPRESENTES SONT LES VALEURS MOYENNES $\pm$ L'INTERVALLE DE CONFIANCE.	30
FIGURE 12 : FACTEUR DE CONCENTRATION POUR LES METAUX NON MINIER (As, Cu ET Zn) PAR STATION ET PAR ANNEE 2014 ET 2015. LES VALEURS REPRESENTES SONT LES VALEURS MOYENNES $\pm$ L'INTERVALLE DE CONFIANCE.	31
FIGURE 13 : CUMUL JOURNALIER DE PLUIE A LA STATION METEOROLOGIQUE DE VALE-NC (GORO USINE ; STATION 98817104) POUR LES CAMPAGNES DE CAGING DE 2014 ET 2015.	32
FIGURE 14 : EVOLUTION DE LA VITESSE ET DE LA DIRECTION DES VENTS (MOYENNE JOURNALIERE) MESUREE EN CONTINU A LA STATION METEOROLOGIQUE DE VALE-NC (GORO USINE ; STATION 98817104) PENDANT TOUTE LA DUREE DE LA CAMPAGNE DE TRANSPLANTATION 2015 (A) ET 2014 (B).....	33
FIGURE 15 : EVOLUTION DE LA TEMPERATURE DE L'EAU DE MER PENDANT LA CAMPAGNE DE 2015 COMPAREE AVEC LA PLUVIOMETRIE. LES DONNEES ONT ETE RECUEILLIES AUX STATIONS St06, St15 ET St31 TOUTES LES 6 HEURES, ENTRE LE 29 AVRIL ET LE 01 OCTOBRE 2015 PAR DES CAPTEURS MINIATURISES. (●) = REVELES JOURNALIERS TOUTES LES 6 HEURES.	35
FIGURE 16 : DONNEES DE BIOMETRIE DES CAMPAGNES 2014 ET 2015 (POIDS FRAIS INITIAL, POIDS FRAIS FINAL, TCJ EN POIDS, CR EN POIDS ET IC). LES VALEURS REPRESENTES SONT LES VALEURS MOYENNES $\pm$ L'INTERVALLE DE CONFIANCE.	37

LISTE DES TABLEAUX

TABEAU 1 : DESCRIPTION DES CINQ STATIONS DE SUIVI ECO-TOXICOLOGIQUE DU MILIEU MARIN PAR TRANSPLANTATION D'ESPECES BIO-ACCUMULATRICES DANS LE CADRE DE LA CAMPAGNE DE 2015.	8
TABEAU 2 : TYPOLOGIE SIMPLIFIEE DES STATIONS.	11
TABEAU 3 : SYNTHESE DE LA SIGNIFICATIVITE DE L'EFFET TYPOLOGIQUE (ANOVA) AU SEUIL A DE 5%.	17
TABEAU 4 : SYNTHESE DE LA SIGNIFICATIVITE DES EVOLUTIONS DES FACTEURS DE CONCENTRATION DE CHAQUE STATION EN REFERENCE AU TEMOIN INITIAL (ANOVA) AU SEUIL A DE 5%.	20
TABEAU 5 : SYNTHESE DE LA SIGNIFICATIVITE DE L'EVOLUTION TYPOLOGIQUE 2014-2015 (ANOVA) AU SEUIL A DE 5%.	24
TABEAU 6 : SYNTHESE DE LA SIGNIFICATIVITE DES EVOLUTIONS TEMPORELLES (2014-2015) DES FACTEURS DE CONCENTRATION DE CHAQUE STATION EN REFERENCE AU TEMOIN INITIAL (ANOVA) AU SEUIL A DE 5%.	29
TABEAU 7 : DUREE DE CAGING DE 2009 A 2015 EN JOURS.	32
TABEAU 8 : LES MOYENNES, ECART-TYPES, MINIMALES ET MAXIMALES DE TEMPERATURE DE L'EAU DE MER PAR STATION (N=624). LES DONNEES ONT ETE RECUEILLIES A CHAQUE STATION PAR UN CAPTEUR MINIATURISE A LA FREQUENCE DE 4 RELEVES JOURNALIERS, SOIT TOUTES LES 6 HEURES.	34
TABEAU 9 : CONCENTRATIONS MOYENNES EN METAUX DANS LES FLUX VERTICAUX COLLECTES A LA STATION DE LA BAIE KWE (St06) ET DE LA RADE NORD (St15) LORS DU DEUXIEME SEMESTRE 2015.	39



LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1	46
ANNEXE 2	50
ANNEXE 3	51
ANNEXE 4	53
ANNEXE 5	55

ANNEXE 1

Méthodologie

RECOLTE ET SELECTION DES SPECIMENS A TRANSPLANTER

Sur la base des travaux de recherche conduits localement ([Hédouin et al., 2007](#) ; [Hédouin et al., 2008](#) ; [Hédouin et al., 2009](#) ; [Hédouin et al., 2010](#) ; [Hédouin et al., 2011](#)), deux espèces bio-indicatrices ont initialement été retenues pour la réalisation de ce suivi éco-toxicologique : l'huître *Isognomon isognomon* Linnaeus et l'algue brune *Lobophora variegata* (Lamouroux) Womersley.

Depuis 2009, la perte de frondes de *L. variegata* en fin de transplantation est constatée. La diminution du nombre de frondes devenue critique au point de rendre les traitements de données sujets à caution, en 2015, cette espèce a été abandonnée et le suivi a été effectué avec seulement l'espèce *I. isognomon*.

Les huitres ont été récoltées le 24 avril 2015 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., 2009a](#)). Cette récolte a été effectuée en plongée sous-marine.

A bord du bateau, après un tri initial et le brossage des coquilles, les bivalves (n = 495) ont été mis dans des glacières contenant de l'eau de mer pour le transport jusqu'au laboratoire. A terre, les organismes ont été mis en dépuration sous oxygénation forcée (bullage d'air) pendant 48 h dans de l'eau de mer filtrée (Aquarium des Lagons) afin d'éliminer les matières ingérées.

Après dépuration, 493 spécimens (2 n'ont pas survécus) ont été épongés et pesés pour obtenir le poids frais total de l'animal vivant. L'âge et la croissance des bivalves étant susceptibles d'exercer une influence sur les processus de bio-accumulation, 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 ([Breau et al., 2009b](#)), une sélection des spécimens ayant un poids frais total compris entre 12 et 18 g a été réalisée. Cependant, pour cette étude, en l'absence d'un nombre suffisant d'individus dans la classe 12-18 g, 180 spécimens compris entre 9 et 25 g ont été sélectionnés.

Les 180 individus sélectionnés ont ensuite été dispatchés en six lots de bivalves (5 lots à transplanter ainsi qu'un lot témoin initial ; 30 individus par lot). La constitution des lots est faite par tirage aléatoire au sein des individus sélectionnés de sorte que la variation des poids frais totaux moyens reste réduite, permettant ainsi une analyse comparative des concentrations moyennes entre les stations en fin de période de transplantation.

Remarque : Depuis 2011, une raréfaction des bivalves *I. isognomon* dans la Baie Maa de poids frais compris entre 12 et 20 g est constatée. En effet, la fourchette de cette classe de poids frais a été progressivement élargie de 12-18 g (2009) à 7-28 g (2014). La Baie Maa est un site de référence reconnu par plusieurs équipes qui conduisent les études de transplantation. Ainsi, il n'est pas impossible que la collecte ciblée des individus ait pu exercer une pression sur la structure de la population. A la lumière de ce constat, il devient impératif d'entreprendre des nouvelles prospections

afin de définir un nouveau gisement de référence pour les futures études à conduire. Afin de réduire l'impact de cette collecte, 223 individus restants ont été conservés sous oxygénation forcée et remis à Bai Maa le 29 avril 2015.

IMMERSION, CONTROLE ET RECUPERATION DES CAGES

Cinq des 6 lots ont été transférés dans des glacières compartimentées remplies d'eau de mer jusqu'à leur immersion en cages. Le cinquième lot (lot de référence ou lot Baie Maa) a été congelé en chambre froide (-25°C) dans l'attente de son traitement pour la détermination des concentrations initiales en métaux avant transplantation.

La campagne d'immersion des cages a été réalisée le 28 avril 2015. A chaque station, un lot de bivalves ($n = 30$) a été transféré dans une cage en plastique rigide surmontée d'un flotteur (et une bouteille de 5L pour faciliter la montée des cages) et reliée par un bout à une gueuse. Tous les individus ont été immobilisés grâce à des fils tendus en croix sur les fonds de cage afin d'éviter que le courant les amasse dans un coin. Trois cages, celles de St06, St16P et St31, ont été équipées d'un capteur miniaturisé (modèle HOBO Water Temperature Pro v2 Data Logger –U22-001) programmé pour l'enregistrement de la température de l'eau à la fréquence de 4 relevés journaliers.

Ensuite, les cages ont été immergées entre 5 m et 11,5 m de profondeur en plongée sous-marine.

A intervalle de 5 à 7 semaines d'immersion (soit le 05 juin 2015, le 23 juillet 2015 et le 28 août 2015), les dispositifs de transplantation immergés aux 5 stations du réseau ont été contrôlés ; les cages ont été ramenées à bord, brossées afin d'éliminer le « *biofouling* » déposé sur et à l'intérieur des cages et sur les flotteurs, ces développements pouvant potentiellement limiter grandement la circulation de l'eau, et puis re-immérer.

Enfin, le 02 octobre 2015, soit après 5 mois d'immersion (156 jours), les 5 dispositifs de transplantation ont été récupérés.

Une fois les cages remontées à bord, les spécimens ont immédiatement été brossés et transférés dans des glacières compartimentées référencées contenant de l'eau de mer du site jusqu'à leur retour au laboratoire.

ANALYSES DES ECHANTILLONS

Après la récupération des cages, les bivalves transplantés ont été placés pendant 48 h en dépuration sous oxygénation forcée dans de l'eau de mer filtrée (Aquarium des Lagons) puis brossés afin d'éliminer, respectivement, les matières ingérées ainsi que les particules de sédiments et l'épibiose adhérents. Après dépuration, chaque spécimen a été épongé et pesé pour l'obtention du poids frais total, puis disséqué. Les tissus mous de chaque individu des 6 lots ont ensuite été pesés pour l'obtention du poids frais des chairs entières, puis congelés et lyophilisés.

Les chairs des 30 bivalves de chaque lot ont été combinées cinq par cinq de manière aléatoire pour constituer six pools par cage.

Rappel : 1 station = 1 lot = 30 individus par cage = 6 pools d'environ 5 individus analysés

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.

Chaque pool de bivalves a ensuite été minéralisé à haute température 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 0,5 g de tissus selon la méthode décrite dans Breau (2003) et Breau *et al.* (2009a).

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, exprimées en µg/g de poids sec (µg/g ps).

Les limites de quantification de la méthode figurent dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Limites de quantification de la méthode de dosage des métaux dans les tissus biologiques par ICP-OES.

Métaux	As	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
LQ (µg/g ps)	1,0	0,20	0,10	0,20	2,0	0,10	0,40	10

PROTOCOLE DE CONTROLE QUALITE

Un contrôle qualité des méthodes de minéralisation et d'analyse a été effectué :

- en insérant à intervalle de 10 échantillons dans chaque série analytique du **matériel biologique de référence certifié**, d'origine marine TORT2 et DORM3, (Conseil National de Recherches Canada ; CNRC). La comparaison des données obtenues avec les valeurs certifiées permet de vérifier le biais des mesures des éléments As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn ;
- en analysant des **triplicatas** sur 10 % des échantillons. Les triplicatas permettent de vérifier la fidélité des mesures des éléments Co, Fe, Mn, Ni et Zn ; et
- en faisant analyser 10 % des échantillons dits de « **contrôle inter-laboratoire** ». Ces échantillons sont envoyés à un laboratoire d'analyse externe afin de renseigner sur la qualité des analyses des éléments Co, Fe, Mn, Ni et Zn réalisées par AEL.

Les résultats du contrôle qualité réalisé par l'insertion de matériel biologique de référence certifié sont présentés dans le Tableau 2 et Tableau 3. Les biais sont <15% ce qui souligne la qualité des analyses effectuées.

Tableau 2 : Biais des mesures des métaux dans 0,5 g de matériel biologique de référence certifié DORM3 (CNRC) minéralisé et analysé dans le cadre de la campagne de 2015.

Métaux	As (µg/g ps)	Cr (µg/g ps)	Cu (µg/g ps)	Fe (µg/g ps)	Ni (µg/g ps)	Zn (µg/g ps)
Valeurs obtenues *	6,8	1,75	14,5	326,5	1,24	58
Ecart-type *	0,3	0,06	0,1	14,5	0,06	3
Valeurs certifiées	6,9	1,89	15,5	347,0	1,28	51
Ecart-type	0,3	0,07	0,6	20,0	0,24	3
Biais (%) **	1	7	6	6	3	12

* Moyenne ± écart-type : n = 4 échantillons certifiés DORM3.

** La biais est exprimée par le pourcentage des valeurs obtenues - valeurs certifiées/valeurs certifiées

Tableau 3 : Biais des mesures des métaux dans 0,5 g de matériel biologique de référence certifié TORT2 (CNRC) minéralisé et analysé dans le cadre de la campagne de 2015.

Métaux	As (µg/g ps)	Co (µg/g ps)	Cr (µg/g ps)	Cu (µg/g ps)	Fe (µg/g ps)	Mn (µg/g ps)	Ni (µg/g ps)	Zn (µg/g ps)
Valeurs obtenues*	21,1	0,53	0,71	94,9	92,9	12,64	2,17	198
Ecart-type*	4,5	0,02	0,05	10,5	5,0	0,74	0,24	13
Valeurs certifiées	21,6	0,51	0,77	106,0	105,0	13,60	2,50	180
Ecart-type	1,8	0,09	0,15	10,0	13,0	1,20	0,19	6
Biais (%)**	2	3	7	10	12	7	13	10

* Moyenne ± écart-type : n = 2 échantillons certifiés TORT2.

** La biais est exprimée par le pourcentage des valeurs obtenues - valeurs certifiées/valeurs certifiées.

Pour toutes stations confondues, la fidélité des mesures obtenues diffèrent d'un élément à l'autre mais le coefficient de variation reste <15% pour tous les métaux ce qui est excellent (Tableau 4).

Tableau 4 : Fidélités des mesures de concentration de métaux Co, Fe, Mn, Ni et Zn (moyenne ± écart-type) réalisées en triplicatas dans le cadre de la campagne de 2015.

Station	Co (µg/g ps)	Fe (µg/g ps)	Mn (µg/g ps)	Ni (µg/g ps)	Zn (µg/g ps)
Lot initial	0,28 ± 0,01	194,9 ± 22,1	16,39 ± 0,15	2,18 ± 0,11	828 ± 22
CV (%)	5	11	1	5	3
St06	0,47 ± 0,02	183,5 ± 1,1	16,26 ± 0,83	2,37 ± 0,07	1408 ± 102
CV (%)	5	1	5	3	7
St16P	0,50 ± 0,03	220,7 ± 11,0	18,68 ± 0,11	2,52 ± 0,16	1541 ± 12
CV (%)	6	5	1	6	1
St31	0,27 ± 0,01	122,9 ± 1,1	17,80 ± 0,40	1,41 ± 0,02	999 ± 15
CV (%)	4	1	2	2	1

CV : coefficient de variation en pourcentage.

Les échantillons pour les comparaisons inter laboratoires ont été confiés au laboratoire Micropolluant (France) et analysés par ICP-MS. Les résultats de cet exercice sont présentés dans le Tableau 5. L'écart relatif des mesures entre les deux laboratoires reste < 35%. Pour la plupart des mesures, l'écart est même <15% ce qui constitue un résultat excellent étant donné que les analyses ont été effectuées en utilisant deux méthodes différentes ; ICP-OES pour AEL et ICP-MS pour Micropolluant.

Tableau 5 : Comparaison des résultats d'analyse des métaux Co, Fe, Mn, Ni et Zn mesurés en duplicatas par le laboratoire Micropolluant (ICP-MS) et AEL (ICP-OES) dans le cadre de la campagne de 2015.

Station	Co (µg/g ps)		Fe (µg/g ps)		Mn (µg/g ps)		Ni (µg/g ps)		Zn (µg/g ps)	
	Micropolluant	AEL	Micropolluant	AEL	Micropolluant	AEL	Micropolluant	AEL	Micropolluant	AEL
Lot initial	0,36	0,31	180,6	164,4	15,46	13,34	2,53	2,21	1032	1113
Ecart relatif (%)	13		9		15		13		8	
St06	0,49	0,45	196,1	188,5	23,29	21,59	2,98	2,71	1173	1439
Ecart relatif (%)	9		4		8		9		20	
St16P	0,58	0,51	178,5	171,9	25,40	23,14	3,33	2,40	1352	1689
Ecart relatif (%)	12		4		9		33		22	
St31	0,29	0,27	124,9	122,0	17,88	16,41	1,59	1,39	817	967
Ecart relatif (%)	7		2		9		13		17	

ANNEXE 2

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

Poids frais total de chaque spécimen de bivalve *Isognomon isognomon* mesuré avant transplantation (Ti) dans le cadre de la campagne de 2015.

Individus	Poids frais total (g)					
	Lot initial	St 03	St 06	St 15	St 16P	St 31
1	19,88	19,31	22,85	17,66	15,04	17,45
2	19,08	21,11	14,70	13,52	15,44	25,36
3	13,66	21,70	17,17	14,97	12,26	21,55
4	23,30	21,14	18,13	15,26	10,04	13,07
5	22,75	17,93	18,16	21,69	15,84	18,38
6	20,91	23,47	15,64	19,71	16,35	9,40
7	14,29	24,08	16,33	13,90	9,88	15,76
8	10,35	19,60	13,21	20,12	22,56	19,08
9	23,42	17,58	18,72	12,03	22,26	10,59
10	12,79	25,10	25,00	11,14	11,40	14,69
11	23,62	23,40	10,22	15,55	20,36	21,30
12	16,12	24,95	21,04	18,18	10,80	13,33
13	11,95	15,71	19,36	10,91	11,39	14,39
14	11,67	16,47	22,54	23,51	8,60	8,84
15	18,34	15,83	20,27	16,60	18,47	11,60
16	10,48	20,52	13,78	21,28	13,28	17,97
17	17,81	17,92	24,38	15,85	21,52	18,53
18	21,79	13,55	13,62	20,02	20,12	22,03
19	16,18	10,75	19,56	22,31	20,05	13,02
20	22,75	13,56	21,37	13,62	21,26	15,10
21	10,61	13,45	11,65	12,99	16,66	22,44
22	23,35	14,05	11,32	22,99	24,03	25,06
23	15,38	14,35	10,69	19,08	23,70	22,70
24	15,34	13,43	10,86	19,05	23,42	23,72
25	23,35	17,16	14,88	11,74	25,17	20,23
26	9,04	9,34	15,72	13,22	11,87	24,06
27	22,81	11,00	18,23	25,20	12,43	10,98
28	11,11	11,93	22,37	10,37	13,52	10,40
29	13,28	15,23	12,18	9,24	14,51	11,12
30	13,12	10,27	12,73	23,31	22,95	13,64
Moyenne	16,95	17,13	16,89	16,83	16,84	16,86
Ecart-type	4,95	4,62	4,37	4,52	5,08	5,11
Intervalle de confiance	1,85	1,73	1,63	1,69	1,90	1,91

ANNEXE 3

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

Poids frais total de chaque spécimen de bivalve *Isognomon isognomon* mesuré après transplantation (Tf) dans le cadre de la campagne de 2015.

Individus	Poids frais total (g)					
	Lot initial	St 03	St 06	St 15	St 16P	St 31
1	19,88	12,46	12,95	17,27	25,08	13,84
2	19,08	21,53	23,43	22,39	13,32	13,95
3	13,66	12,72	27,82	20,23	19,09	26,90
4	23,30	24,91	19,37	27,13	11,33	25,32
5	22,75	17,19	16,19	12,97	22,28	24,83
6	20,91	16,74	17,07	19,29	23,80	20,41
7	14,29	18,33	24,11	22,81	14,50	14,56
8	10,35	27,41	19,30	12,71	12,28	23,00
9	23,42	16,35	17,64	21,54	24,60	15,48
10	12,79	18,42	13,05	19,23	25,09	18,55
11	23,62	21,04	21,08	17,13	15,18	21,64
12	16,12	16,96	17,16	17,76	16,43	22,17
13	11,95	26,98	16,88	21,78	18,95	21,38
14	11,67	21,72	23,55	16,32	27,48	21,09
15	18,34	30,23	15,39	11,40	22,80	24,99
16	10,48	14,25	14,85	18,77	26,40	24,92
17	17,81	22,20	22,21	16,37	18,33	19,75
18	21,79	18,51	13,63	16,80	14,91	19,63
19	16,18	21,53	17,87	28,91	23,81	21,51
20	22,75	22,53	21,55	24,99	22,68	17,64
21	10,61	17,20	11,84	12,90	12,88	17,14
22	23,35	19,20	22,21	12,99	21,62	22,07
23	15,38	24,65	19,55	22,13	12,62	26,19
24	15,34	18,98	15,06	19,23	17,31	19,53
25	23,35	11,77	12,38	28,86	19,28	14,07
26	9,04	21,82	23,79	22,66	14,79	21,39
27	22,81	16,54	27,83	23,19	11,99	23,98
28	11,11	12,32	20,43	23,50	14,77	18,91
29	13,28	23,19	19,38	26,52	23,05	22,32
30	13,12	24,84	12,16		21,76	14,74
Moyenne	16,95	19,75	18,66	19,92	18,95	20,40
Ecart-type	4,95	4,73	4,50	4,88	4,94	3,88
Intervalle de confiance	1,85	1,77	1,68	1,86	1,85	1,45

Poids frais de chair de chaque spécimen de bivalve *Isognomon isognomon* mesuré après transplantation (Tf) dans le cadre de la campagne de 2015.

Individus	Poids frais de chair (g)					
	Lot initial	St 03	St 06	St 15	St 16P	St 31
1	1,63	1,69	1,72	1,33	2,34	3,33
2	2,46	2,46	2,64	2,04	1,22	1,50
3	1,07	1,59	1,95	2,48	1,93	2,82
4	2,08	3,08	1,86	1,98	1,09	1,97
5	1,30	1,58	1,81	2,40	2,51	3,06
6	1,91	1,91	1,64	1,75	2,12	2,95
7	1,01	1,96	2,90	2,26	1,37	1,75
8	1,24	3,58	1,78	1,21	1,31	1,53
9	1,11	1,80	1,29	1,97	2,89	2,23
10	1,19	2,58	1,29	3,23	2,51	2,10
11	1,96	3,30	2,85	2,20	2,17	2,23
12	1,60	1,97	1,58	2,30	3,06	2,36
13	1,94	2,68	2,42	2,38	2,11	2,69
14	1,37	1,87	1,94	1,84	1,95	3,05
15	0,76	1,81	2,31	1,47	1,83	2,56
16	2,26	1,81	1,47	1,84	2,36	2,08
17	0,94	2,29	2,14	3,33	1,88	2,22
18	2,61	2,28	1,31	1,87	1,74	2,84
19	0,93	2,16	2,34	1,93	3,46	3,08
20	1,34	1,35	3,06	2,30	1,75	2,24
21	1,44	1,22	1,27	1,50	1,91	3,41
22	2,30	2,11	2,26	1,41	1,09	2,36
23	1,21	2,52	2,36	2,58	1,97	1,45
24	2,17	2,04	1,67	2,26	2,08	2,24
25	2,26	1,86	1,36	3,26	1,35	2,13
26	1,29	2,76	1,55	2,91	1,75	2,25
27	1,09	1,44	1,98	2,26	1,24	2,46
28	2,31	2,36	2,04	3,20	1,45	2,37
29	2,23	1,99	2,80	2,31	2,53	1,72
30	2,35	2,12	2,20		1,99	2,11
Moyenne	1,64	2,14	1,99	2,20	1,96	2,37
Ecart-type	0,56	0,56	0,52	0,58	0,58	0,53
Intervalle de confiance	0,21	0,21	0,19	0,22	0,22	0,20

ANNEXE 4

Concentrations en métaux chez les bivalves *Isognomon isognomon*

Concentrations des métaux mesurés dans les bivalves *Isognomon isognomon* transplantés dans le lagon sud de Nouvelle-Calédonie et dans le lot initial dans le cadre de la campagne de 2015.

Pool	Lot initial (µg/g ps)							
	As	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
1	38,4	0,29	0,97	5,96	173,3	24,02	2,01	1005
2	58,1	0,36	1,21	6,11	209,4	16,99	2,76	1243
3	33,4	0,32	1,40	6,75	197,5	16,59	2,97	1617
4	52,8	0,31	1,27	5,61	194,2	15,96	2,55	1293
5	34,4	0,31	1,08	6,11	164,4	13,34	2,21	1113
6	37,6	0,28	1,04	6,32	225,6	16,20	2,31	857
Moyenne	42,4	0,31	1,16	6,14	194,0	17,18	2,47	1188
Ecart-type	10,4	0,03	0,16	0,38	22,6	3,59	0,36	263
Intervalle de confiance	10,9	0,03	0,17	0,40	23,7	3,77	0,38	276

Pool	St03 (µg/g ps)							
	As	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
1	40,6	0,40	1,92	6,01	141,7	18,32	2,24	1101
2	42,9	0,46	2,88	5,93	184,2	14,98	2,74	1058
3	45,7	0,40	1,88	5,80	134,2	19,63	2,01	1105
4	42,9	0,36	1,76	6,37	147,7	15,87	1,88	964
5	39,3	0,38	1,74	6,23	135,1	22,13	1,88	1054
6	49,7	0,39	2,23	6,62	160,6	25,19	2,15	1383
Moyenne	43,5	0,40	2,07	6,16	150,6	19,35	2,15	1111
Ecart-type	3,7	0,03	0,44	0,31	19,1	3,85	0,32	143
Intervalle de confiance	3,9	0,04	0,46	0,32	20,1	4,04	0,34	150

Pool	St06 (µg/g ps)							
	As	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
1	44,5	0,39	1,75	6,21	152,4	22,93	2,20	1165
2	56,6	0,40	2,22	5,07	172,2	20,23	2,49	1222
3	52,3	0,43	2,08	5,50	168,3	26,96	2,40	1121
4	45,9	0,44	2,30	5,21	192,0	20,56	2,42	1058
5	57,3	0,45	2,40	5,08	188,5	21,59	2,71	1439
6	38,1	0,47	2,30	5,62	182,0	16,50	2,33	1293
Moyenne	49,1	0,43	2,17	5,45	175,9	21,46	2,43	1216
Ecart-type	7,5	0,03	0,23	0,44	14,7	3,44	0,17	136
Intervalle de confiance	7,9	0,03	0,24	0,46	15,4	3,61	0,18	142

Concentrations des métaux mesurés dans les bivalves *Isognomon isognomon* transplantés dans le lagon sud de Nouvelle-Calédonie et dans le lot initial dans le cadre de la campagne de 2015.

Pool	St15 (µg/g ps)							
	As	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
1	57,2	0,53	3,13	5,68	190,1	22,56	2,55	1144
2	46,2	0,47	2,89	5,47	168,6	24,26	2,42	950
3	55,2	0,48	3,58	6,27	203,5	17,66	2,89	864
4	48,8	0,58	3,57	6,04	207,5	16,50	2,73	1032
5	39,6	0,49	3,60	6,95	197,1	18,84	2,79	918
6	38,5	0,47	2,54	5,64	161,0	29,17	2,50	1057
Moyenne	47,6	0,50	3,22	6,01	188,0	21,50	2,65	994
Ecart-type	7,8	0,04	0,44	0,54	19,1	4,78	0,18	103
Intervalle de confiance	8,1	0,05	0,46	0,57	20,0	5,02	0,19	108

Pool	St16P (µg/g ps)							
	As	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
1	50,6	0,47	2,65	6,82	182,1	16,67	2,48	1509
2	50,2	0,50	4,45	7,01	199,9	19,38	2,93	1618
3	46,3	0,44	2,42	7,11	168,6	29,54	2,07	1388
4	43,9	0,48	3,41	7,76	225,5	23,20	2,74	1569
5	46,3	0,51	2,56	6,41	171,9	23,14	2,40	1689
6	48,8	0,54	3,17	7,14	235,3	18,55	2,74	1525
Moyenne	47,7	0,49	3,11	7,04	197,2	21,75	2,56	1550
Ecart-type	2,6	0,04	0,76	0,44	28,1	4,61	0,31	103
Intervalle de confiance	2,8	0,04	0,79	0,46	29,5	4,84	0,32	108

Pool	St31 (µg/g ps)							
	As	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
1	44,7	0,28	1,34	5,46	111,6	12,66	1,45	940
2	41,0	0,27	1,48	4,86	124,9	13,19	1,61	1020
3	44,3	0,28	1,33	5,82	117,7	13,07	1,36	1090
4	46,5	0,34	1,36	6,26	121,6	11,74	1,52	1150
5	46,2	0,27	1,44	6,42	122,0	16,41	1,39	967
6	49,7	0,26	1,27	5,92	122,3	18,34	1,38	987
Moyenne	45,4	0,28	1,37	5,79	120,0	14,23	1,45	1026
Ecart-type	2,9	0,03	0,08	0,57	4,7	2,56	0,10	80
Intervalle de confiance	3,0	0,03	0,08	0,60	4,9	2,69	0,10	84

ANNEXE 5

Facteur de concentration (FC) des métaux dans les bivalves *Isognomon isognomon*

Facteur de concentration (FC) des métaux mesurés dans les bivalves *Isognomon isognomon* transplantés dans le lagon sud de Nouvelle-Calédonie et dans le lot initial dans le cadre de la campagne de 2015.

Pool	Lot initial							
	As	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
1	0,9	0,9	0,8	1,0	0,9	1,4	0,8	0,8
2	1,4	1,2	1,0	1,0	1,1	1,0	1,1	1,1
3	0,8	1,0	1,2	1,1	1,0	1,0	1,2	1,4
4	1,2	1,0	1,1	0,9	1,0	0,9	1,0	1,1
5	0,8	1,0	0,9	1,0	0,9	0,8	0,9	0,9
6	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	0,7
Moyenne	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Ecart-type	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
Intervalle de confiance	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,2

Pool	St03							
	As	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
1	1,0	1,3	1,7	1,0	0,7	1,1	0,9	0,9
2	1,0	1,5	2,5	1,0	1,0	0,9	1,1	0,9
3	1,1	1,3	1,6	0,9	0,7	1,1	0,8	0,9
4	1,0	1,2	1,5	1,0	0,8	0,9	0,8	0,8
5	0,9	1,2	1,5	1,0	0,7	1,3	0,8	0,9
6	1,2	1,2	1,9	1,1	0,9	1,5	0,9	1,2
Moyenne	1,0	1,3	1,8	1,0	0,8	1,1	0,9	0,9
Ecart-type	0,1	0,1	0,4	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1
Intervalle de confiance	0,1	0,1	0,3	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1

Pool	St06							
	As	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
1	1,1	1,2	1,5	1,0	0,8	1,3	0,9	1,0
2	1,3	1,3	1,9	0,8	0,9	1,2	1,0	1,0
3	1,2	1,4	1,8	0,9	0,9	1,6	1,0	0,9
4	1,1	1,4	2,0	0,8	1,0	1,2	1,0	0,9
5	1,4	1,4	2,1	0,8	1,0	1,3	1,1	1,2
6	0,9	1,5	2,0	0,9	1,0	0,9	1,0	1,2
Moyenne	1,2	1,4	1,9	0,9	0,9	1,2	1,0	1,0
Ecart-type	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Intervalle de confiance	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1

Facteur de concentration (FC) des métaux dans les bivalves *Isognomon isognomon* transplantés dans le lagon sud de Nouvelle-Calédonie et dans le lot initial dans le cadre de la campagne de 2015.

St15								
Pool	As	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
1	1,4	1,7	2,7	0,9	1,0	1,3	1,0	1,0
2	1,1	1,5	2,5	0,9	0,9	1,4	1,0	0,8
3	1,3	1,5	3,1	1,0	1,1	1,0	1,2	0,7
4	1,2	1,9	3,1	1,0	1,1	1,0	1,1	0,9
5	0,9	1,6	3,1	1,1	1,0	1,1	1,1	0,8
6	0,9	1,5	2,2	0,9	0,9	1,7	1,0	0,9
Moyenne	1,1	1,6	2,8	1,0	1,0	1,2	1,1	0,8
Ecart-type	0,2	0,1	0,4	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1
Intervalle de confiance	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1

St16P								
Pool	As	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
1	1,2	1,5	2,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,3
2	1,2	1,6	3,8	1,1	1,1	1,1	1,2	1,4
3	1,1	1,4	2,1	1,2	0,9	1,7	0,8	1,2
4	1,0	1,5	2,9	1,3	1,2	1,3	1,1	1,3
5	1,1	1,6	2,2	1,0	0,9	1,3	1,0	1,4
6	1,1	1,6	2,6	1,1	1,2	1,1	1,0	1,3
Moyenne	1,1	1,5	2,7	1,1	1,0	1,3	1,0	1,3
Ecart-type	0,1	0,1	0,6	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1
Intervalle de confiance	0,0	0,1	0,5	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1

St31								
Pool	As	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
1	1,1	0,9	1,1	0,9	0,6	0,7	0,6	0,8
2	1,0	0,9	1,3	0,8	0,7	0,8	0,7	0,9
3	1,0	0,9	1,1	0,9	0,6	0,8	0,6	0,9
4	1,1	1,1	1,2	1,0	0,6	0,7	0,6	1,0
5	1,1	0,9	1,2	1,0	0,6	1,0	0,6	0,8
6	1,2	0,9	1,2	1,0	0,7	1,0	0,6	0,8
Moyenne	1,1	0,9	1,2	0,9	0,6	0,8	0,6	0,9
Ecart-type	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1
Intervalle de confiance	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1