



HAL
open science

Surveillance de la contamination chimique en Méditerranée basée sur les capacités accumultrices de la moule : détermination d'une réponse universelle de capteur.

Marc Bouchoucha, Michel Lhermine, Jean-Claude Franc, François Galgani, Bruno Andral, Pierre Boissery

► To cite this version:

Marc Bouchoucha, Michel Lhermine, Jean-Claude Franc, François Galgani, Bruno Andral, et al.. Surveillance de la contamination chimique en Méditerranée basée sur les capacités accumultrices de la moule : détermination d'une réponse universelle de capteur.. 42èmes Journées de Statistique, 2010, Marseille, France, France. inria-00494811

HAL Id: inria-00494811

<https://inria.hal.science/inria-00494811>

Submitted on 24 Jun 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

SURVEILLANCE DE LA CONTAMINATION CHIMIQUE EN MÉDITERRANÉE BASÉE SUR LES CAPACITÉS ACCUMULATRICES DE LA MOULE : DÉTERMINATION D'UNE RÉPONSE UNIVERSELLE DE CAPTEUR.

Marc Bouchoucha^{a*}, Michel Lhermine^b, Jean-Claude Franc^b, François Galgani^a,
Bruno Andral^a, Pierre Boissery^c.

^a IFREMER, Laboratoire Provence Azur Corse, BP 330, 83 507 La Seyne sur Mer

^b Société Lysis, 78 allée Jean Jaurès, 31 000 Toulouse

^c Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée et Corse, 62 La Canebière, 13 001 Marseille, France

* auteur correspondant. Adresse électronique : marc.bouchoucha@ifremer.fr (M. Bouchoucha)

Résumé

La mesure des contaminants chimiques directement dans la colonne d'eau est coûteuse, difficilement interprétable et peu applicable à de nombreux échantillons prélevés le long d'un important linéaire côtier. Pour surmonter ces difficultés, les contaminants peuvent être mesurés dans la chair de bioaccumulateurs naturels comme les moules. Depuis 1994, le réseau RINBIO cherche à évaluer les niveaux de contamination chimique à l'échelle de la façade méditerranéenne en utilisant une technique de caging de moules. Or, les caractéristiques du capteur représenté par la moule varient en fonction du milieu et notamment de ses capacités trophiques. L'objectif de l'étude est de déterminer la réponse de capteur qui peut s'écrire :

$$\frac{C^{(k)}(t)}{X^0(t)} = F[\vec{\alpha}, \vec{\Phi}^{(k)}(t)] + \epsilon^{(k)}(t) \text{ avec } k \text{ le site, } t \text{ la campagne, } C^{(k)}(t) \text{ concentration dans}$$

le coquillage, $X^0(t)$ mesure du bruit de fond dans l'eau de la campagne, F réponse de capteur de forme paramétrique simple, $\vec{\alpha}$ vecteur des paramètres et $\vec{\Phi}^{(k)}(t)$ vecteur des paramètres de capteur et $\epsilon^{(k)}(t)$ facteur de bruit. Les identifications sont réalisées par une procédure d'optimisation dans laquelle est imbriquée une étape de régression robuste. La détermination de cette réponse permet de calculer les valeurs en contaminants dans la colonne d'eau quelle que soit la croissance des coquillages et donc de les comparer.

Abstract

Direct measurement of chemical contaminants in water column is expensive, hard to interpret and not convenient for numerous samples taken at coastal shelf scale. To overcome these difficulties, contaminants can be measured in tissues from natural bio-accumulators such as mussels. Since 1994, the RINBIO network tries to evaluate chemical contamination levels along the Mediterranean coasts using mussels caging. Therefore, characteristics of the sensor represented by mussels caging vary according to both the environment and the trophic capacity. The aim of this study is to determine sensor's response that can be written:

$$\frac{C^{(k)}(t)}{X^0(t)} = F[\vec{\alpha}, \vec{\Phi}^{(k)}(t)] + \epsilon^{(k)}(t) \text{ with } k \text{ for the site, } t \text{ for the campaign } C^{(k)}(t) \text{ for the}$$

concentration in mussels, $X^0(t)$ as water background measure of the campaign, F as the sensor's answer with a parametric form, $\vec{\alpha}$ for vector of parameters, $\vec{\Phi}^{(k)}(t)$ as vectors of sensor's parameters and $\epsilon^{(k)}(t)$ for noise factor. An optimization process and a robust regression characterize identifications. The determination of the response

enables the calculation of contaminants levels in the water column independently from mussel's growth and their comparison.

Mots clés : Environnement, Analyse de données (data mining)

1. Introduction

La mesure des contaminants chimiques directement dans la colonne d'eau est techniquement compliquée, coûteuse et difficilement interprétable. En outre, cette méthode est peu applicable à de nombreux échantillons prélevés le long d'un important linéaire côtier.

L'utilisation de moules pour l'évaluation des niveaux et des tendances de la contamination chimique des eaux côtières a été proposée au cours des années 70 (Goldberg, 1975). Elle a largement été développée depuis, en particulier dans le cadre du « Mussel Watch » américain et du Réseau d'Observation de la Qualité du Milieu Marin (RNO) français (Cossa, 1997). Ce biomonitorage repose sur l'hypothèse que le contenu en contaminants dans la chair de moules reflète la concentration en contaminants biodisponibles dans l'eau (George et Coombs, 1977 ; Cossa, 1988 ; Casas, 2006 ; Casas, 2008). Ce contenu résulte d'un pseudo-équilibre, entre la concentration dans l'organisme et son environnement, dépendant des processus d'absorption, d'excrétion et d'accumulation (Borchardt, 1983 ; Cossa, 1989).

Le phénomène de bioaccumulation couvrant une période de plusieurs mois, les fluctuations journalières sont lissées. En outre, le niveau en contaminant, plus élevé dans la chair des bivalves que dans l'eau, est plus aisé à mesurer.

Développé par l'IFREMER avec le soutien de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée et Corse, le Réseau Intégrateurs BIOlogiques (RINBIO) a été mis en place dès 1994 pour évaluer la contamination chimique à l'échelle de la façade méditerranéenne. Ce réseau se base sur des techniques de transplantation de moules (*Mytilus galloprovincialis*) dans les sites d'étude. Cette méthode permet d'obtenir un protocole standardisé à l'échelle de la façade (Andral et Tomasino, 2007).

Bien que les concentrations mesurées dans les tissus dépendent de la biodisponibilité des contaminants, le facteur de bioaccumulation est lié à la croissance des individus durant leur période d'immersion et donc à la capacité trophique des différents milieux (Andral et al., 2004). Les caractéristiques du capteur que représente la station de moules varient donc en fonction du milieu d'utilisation. La comparaison de concentrations brutes dans les tissus d'individus issus de zones trophiques différentes n'est donc pas possible et un ajustement des données est nécessaire (Andral et al., 2004)

Différents paramètres biométriques représentant la croissance des mollusques (le poids sec de chair, le poids de coquille, le pourcentage de matière grasse, l'indice de condition) ont été utilisés pour pondérer les mesures de contamination et ont conduit à la définition de modèles d'ajustement (Andral et al., 2004). Cependant, avec cette méthode, seuls des sites étudiés au cours de la même campagne peuvent être comparés. Les comparaisons inter-annuelles ne sont pas possibles. En outre, lorsque le modèle de régression proposé (Andral et al., 2004) n'est pas significatif, seules les données brutes sont utilisables.

L'objectif de ce travail est de développer, à partir des données issues des campagnes RINBIO, un modèle de capteur, par contaminant, applicable à toutes les campagnes. Deux phases ont été nécessaires. Premièrement, vérifier que les données des différentes campagnes sont superposables et qu'il est juste de vouloir mettre en place un modèle unique par contaminant.

Deuxièmement, mettre en place le modèle et l'utiliser pour étudier les facteurs de sur et sous-contamination des sites par rapport à une valeur de référence.

2. Matériel et méthode

2.1. Données

Les données de quatre (n=4) campagnes RINBIO ont été utilisées : 1998, 2000, 2003 et 2006. 158 (N=158) sites répartis le long de la façade méditerranéenne ont été suivis. Pour chaque site, les paramètres biométriques (Tableau 1) ont été mesurés.

Paramètre	Description
Poids sec (PS)	Poids de chair (en g) après séchage pendant 48h à l'étuve
Indice de condition (IC)	Poids sec de chair divisé par poids sec de coquille
Pourcentage de matières grasses (MG)	Pourcentage de matières grasses contenu dans la chair
Indicateur de milieu (M)	Milieu d'étude : mer ouverte ou lagune

Tableau 1 : Paramètres biométriques suivis au cours des campagnes RINBIO

Certains polluants ont été exclus du traitement selon deux critères : le nombre de valeurs supérieures au seuil de détection analytique doit être supérieur à 10 et le contaminant doit être mesuré sur les quatre campagnes. Quatorze contaminants ont été retenus : le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le mercure (Hg), le nickel (Ni), le plomb (Pb), le zinc (Zn), l'arsenic (As), le DDT et ses métabolites DDE et DDD, les polychlorobiphényles (PCB – C138 et C153) et le fluoranthène (FluoT).

2.2. Ecriture du modèle

Une loi de proportionnalité entre la concentration mesurée et la concentration dans l'eau est postulée. Elle est de la forme : $C^{(k)}(t) \approx X^{(k)}(t) F[\vec{\alpha}, \vec{\Phi}^{(k)}(t)]$ (I) avec k le site, t la campagne, $C^{(k)}(t)$ concentration dans le coquillage à la date t, $X^{(k)}(t)$ concentration dans l'eau, F réponse de capteur de forme paramétrique simple, $\vec{\alpha}$ vecteur des paramètres et $\vec{\Phi}^{(k)}(t)$ vecteur des paramètres du capteur. (Tableau 1)

La détermination de la réponse du capteur $F[\vec{\alpha}, \vec{\Phi}^{(k)}(t)]$ ainsi que les concentrations $X^{(k)}(t)$ exploite le fait qu'une majorité de sites se trouve soumis à une concentration quasi identique en contaminant dans l'eau. Les sites sont partitionnés en deux groupes : le groupe 1 constitué des sites soumis à l'iso-contamination (\bar{X}^0) pour lesquels $X^{(k)} \approx X^0$, permettant de mettre en évidence l'effet du capteur ; le groupe 2 formé par les sites en situation de sur ou sous-contamination ($X^{(k)} \gg X^0$ ou $X^{(k)} \ll X^0$). Le degré d'appartenance $w^{(k)}(t)$ du site (k) au groupe 1 se détermine par une technique de régression robuste.

En se cantonnant donc aux stations du groupe 1, il est possible de déterminer les niveaux d'iso-contamination $X^0(t)$ en même temps que la réponse du capteur F, en expliquant le

rapport des concentrations : $\frac{C^{(k)}(t)}{X^0(t)} = F[\bar{\alpha}, \bar{\Phi}^{(k)}(t)] + \epsilon^{(k)}(t)$ (II) avec $\epsilon^{(k)}(t)$ facteur de bruit faisant la différence entre la réponse effective et la réponse prédite du capteur.

Pour effectuer les identifications, une procédure d'optimisation dans laquelle s'inscrit une régression robuste est utilisée. L'imbrication de ces outils simples est appliquée itérativement à la maximisation d'une fonction d'objectif $O[X^0(t), \bar{\alpha}]$ intégrant les rapports signal/bruit relatifs à chaque campagne. Une fois les éléments $X^0(t)$ et $\bar{\alpha}$ déterminés, les écarts relatifs de contamination pour chaque site (k) et pour chaque campagne (t) sont construits :

$$K^{(k)}(t) = \frac{X^{(k)}(t) - X^0(t)}{X^0(t)}$$

2.3 Technique d'optimisation

La procédure se déroule ainsi :

1. Calcul des valeurs initiales $X^0(t) = \bar{C}(t)$,
2. Réalisation de la régression (II) : un chiffrage du vecteur $\bar{\alpha}$ est obtenu ainsi qu'un ensemble de nN poids statistiques $w^{(k)}(t)$,
3. La fonction d'objectif $O[X^0(t), \bar{\alpha}]$ est calculée. On se propage dans l'espace des paramètres $\{\bar{\alpha}, X^0(t), t=1, \dots, n\}$ pour déterminer un nouveau lot de ses valeurs allant dans le sens de l'accroissement de la fonction d'objectif. Les itérations sont arrêtées lorsque le maximum de l'objectif est atteint. Sinon, on retourne à l'étape 2.

2.4 Technique de régression

Le modèle final est obtenu par l'enchaînement des procédures suivantes :

1. Définition du modèle courant initial comme étant le modèle complet,
2. Calcul pour chaque site (k) le poids statistique $w^{(k)}$ quantifiant son degré d'appartenance au groupe 1. Ce poids est obtenu au moyen d'un algorithme de régression robuste qui s'appuie sur le modèle courant,
3. Test de l'éventuelle nullité d'un coefficient du lissage ; deux solutions se présentent alors :
 - a) au moins un des coefficients est nul à un risque donné. Dans ce cas, celui dont la probabilité associée à l'hypothèse nulle est la plus grande est posé nul. L'étape 2 est réitérée avec le modèle ainsi élagué,
 - b) aucun coefficient n'est nul au risque donné. Dans ce cas, la procédure d'identification est terminée.

3. Résultats et conclusion

L'effet capteur des stations de moules est démontré. Pour certains polluants, le RSB dépasse 90 (Figure 1). Les valeurs minimums de ce rapport ont été obtenues pour le Chrome, le DDE, le DDD, le Congénère 138 (PCB), le Congénère 153 (PCB) et le fluoranthène. Cependant, même pour ces contaminants, le rapport reste correct. Le bio-capteur, même s'il est bruité, est fiable. En outre, celui-ci s'améliorera avec l'ajout de nouvelles données issues de la campagne RINBIO 2009. Les écarts relatifs de contamination pour l'ensemble des sites ayant fait l'objet de mesures au cours de la campagne 2006 sont tracés (Figure). Ces résultats sont interprétés

pour la détermination de la qualité chimique des masses d'eau en Méditerranée française conduisant à des mesures de gestion.

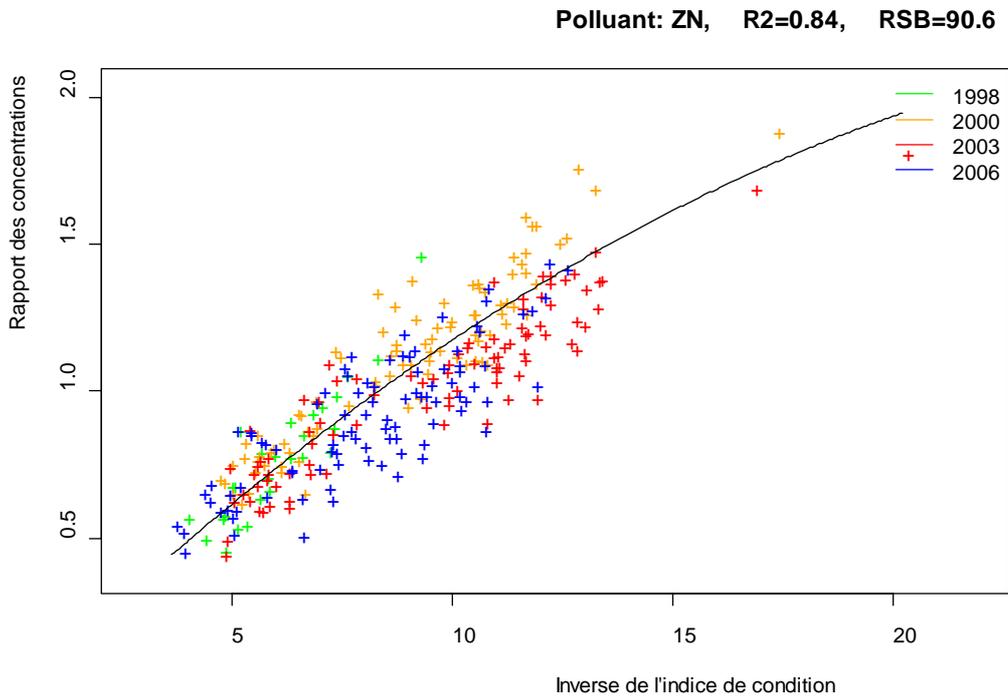


Figure 1 : Tracé du rapport des concentrations de zinc en fonction de 1/IC.

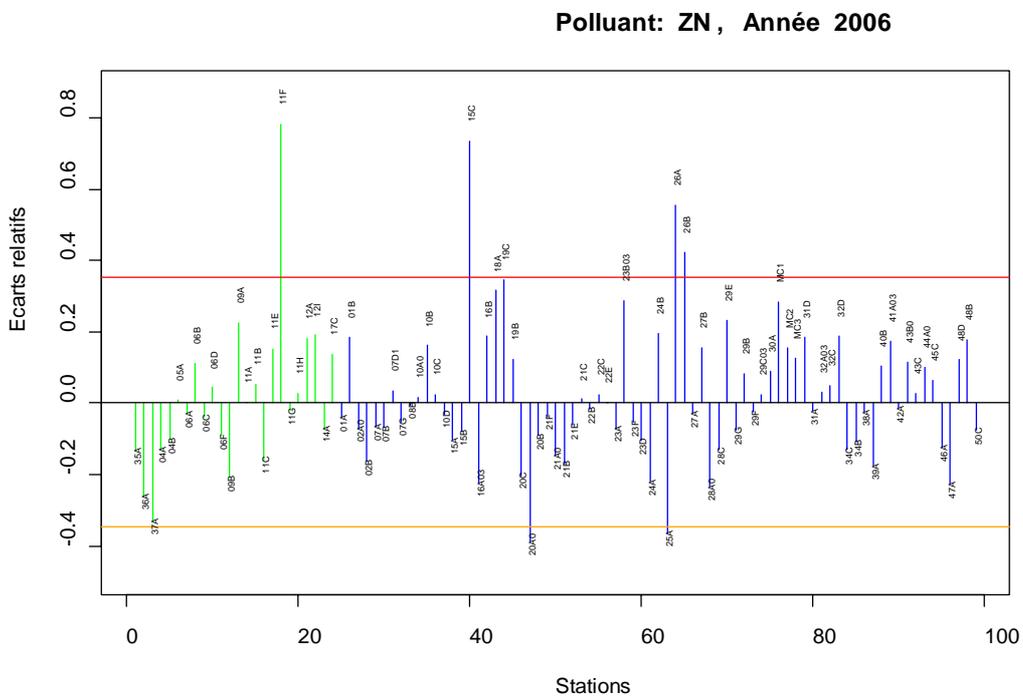


Figure 2 : Visualisation des écarts relatifs de concentration dans l'eau.

Bibliographie

- [1] Andral, B., Stanisière, J.Y., Sauzade, D. Henocque, Y., Thebault, H., Boissery, P. (1998) Etude des niveaux de contamination chimique en Méditerranée basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules. Rapport du 35^{ème} congrès de la CIEM, Dubrovnik 35 (1), 224-225.
- [2] Andral, B., Stanisière, J.Y., Thebault, H., Boissery, P. (2001) Surveillance des niveaux de contamination chimique et radiologique en Méditerranée basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules. Rapport du 36^{ème} congrès de la CIEM, Monaco 36 (1), 107-108.
- [3] Andral, B., Stanisière, J.Y., Sauzade, D. Damier, E., Thebault, H., Galgani, F., Boissery, P. (2004) Monitoring chemical contamination levels in the Mediterranean based on the use of mussels caging. Mar. Pollut. Bull. 49, 704-712.
- [4] Andral, B. et Tomasino, C. (2007) Réseau Intégrateurs Biologiques. Rinbio 2006. Evaluation de la qualité des eaux basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules en Méditerranée : résultats de la campagne 2006. Rapport IFREMER RST.DOP/LER-PAC/07-24. 96p + Ann.
- [5] Borchardt, T. (1983) Influence of food quantity on the kinetic of cadmium uptake by *Mytilus edulis*. Mar. Biol. 85, 233-244.
- [6] Casas, S. et Bacher, C. (2006) Modelling trace metal (Hg and Pb) bioaccumulation in the Mediterranean mussel, *Mytilus galloprovincialis*, applied to environmental monitoring. J.Sea Res. 56, 168-181.
- [7] Casas, S., Gonzalez, J.L., Andral, B., Cossa, D. (2008) Relation between metal concentration in water and metal content of marine mussels (*Mytilus galloprovincialis*): impact of physiology. Env. Tox. Chem. 27, 1543-1552.
- [8] Cossa, D. (1988) Cadmium in *Mytilus* spp.: Worldwide survey and relationship between seawater and mussel content. Mar. Environ. Res. 26, 265-284.
- [9] Cossa, D. (1989) A review of the use of *Mytilus* spp. As quantitative indicators of cadmium and mercury contamination in coastal water. Oceanol. Acta. 12, 417-432.
- [10] George, S.G. et Coombs, T.L. (1977) The effects of chelating agents on the uptake and accumulation of cadmium by *Mytilus edulis*, Mar. Biol. 39, 261-268.
- [11] Goldberg, E.D. (1975) The Mussel Watch, Mar. Pollut. Bull. 6, 111.