

Introduction

Alain Lefebvre et François G. Schmitt

L'océan et sa frange côtière sont des milieux complexes, en mouvement permanent, présentant une grande variabilité sur de grandes gammes d'échelles de temps et d'espace. Ils sont gouvernés par des mécanismes physiques, chimiques et biologiques très incomplètement observés, décrits et compris, soumis à des aléas naturels et à des pressions anthropiques (*i.e.* usages en amont des bassins versants par l'agriculture, l'industrie...) de plus en plus fortes.

Les programmes de recherche, de surveillance et d'observation du milieu marin sont des outils indispensables, d'une part pour rendre compte de la dynamique multi-échelle des zones côtières, de l'océan et des écosystèmes qu'ils abritent (donc pour améliorer les connaissances), et d'autre part pour surveiller leur état environnemental susceptible de se dégrader sous l'effet combiné des pressions anthropiques et des changements plus globaux. Les paramètres physico-chimiques et biologiques classiquement mesurés permettent de définir les conditions environnementales favorables au développement de la faune et de la flore, et reflètent également les effets directs et indirects de leur développement et de leurs interactions dans le milieu, leurs réponses aux pressions et d'une manière générale les biens et services écosystémiques. La combinaison de certains de ces paramètres mesurés en routine permet de définir des indicateurs de qualité indispensables pour répondre aux objectifs d'évaluation et de gestion environnementale des directives et des conventions (exemples de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE - 2000/60/CE), de la Directive Cadre Stratégie du Milieu Marin (DCSMM - 2008/56/CE) et de la Convention d'Oslo et de Paris (OSPAR, 2010)).

Les réseaux d'observation et la haute fréquence

Les réseaux d'observation et de surveillance *in situ* ont pour objectifs principaux :

- d'améliorer nos connaissances sur le fonctionnement de l'écosystème ;
- de contribuer à l'observation et à la surveillance de l'environnement marin et côtier ;
- de contribuer à l'océanographie côtière opérationnelle ;
- de répondre à une demande sociétale qui est de plus en plus précise et pressante pour une aide à la décision pour une gestion cohérente de l'environnement.

Cependant, des lacunes existent et l'une des explications quant à la méconnaissance de ce milieu et de son état de santé tient à la difficulté d'y effectuer des observations régulières. En effet, les campagnes de prélèvements dépendent de la disponibilité des navires, des ressources humaines et par-dessus tout des conditions météorologiques. Les programmes d'observation et de surveillance proposent le plus souvent des fréquences de suivi bimensuelles ou mensuelles, rarement hebdomadaires. Ce sont les approches conventionnelles, dites basses fréquences (BF). Par ailleurs, les approches à plus haute résolution ou haute fréquence (HF) se faisaient et se font encore trop souvent sous forme d'opérations ponctuelles lors de courtes périodes dans le cadre de programme de recherche. L'acquisition de mesures automatisées en mer de manière plus systématique et s'inscrivant dans la durée n'est réellement possible en mode opérationnel (par opposition à la recherche « fondamentale ») que depuis quelques années et seulement pour quelques paramètres et dans certaines zones. Par ailleurs, malgré quelques contributions scientifiques récentes¹, l'extraction de toute l'information contenue dans ce nouveau type de base de données importantes (plusieurs milliers de données par mois

1. Voir la seconde partie de cet ouvrage.

pour un seul système) est rarement optimale en raison des propriétés intrinsèques de ce type de jeu de données HF : forte variabilité, interactions d'échelles et de processus, irrégularité des séries temporelles en raison de périodes de panne et/ou de maintenance, approche multiparamètre... Les conditions d'application des méthodes conventionnelles de traitement des séries temporelles sont très vite impossibles à respecter et les possibilités de modélisation sont restreintes.

L'enjeu pour la communauté scientifique concernée est donc de pouvoir caractériser la variabilité des environnements physique, chimique et biologique, à différentes échelles spatiales et/ou temporelles, à partir de l'enregistrement de proxies (pouvant à terme devenir des indicateurs au sens des Directives) en réponse aux forçages locaux et globaux. Pour ces observations, la mise en œuvre continue et à long terme des systèmes de mesures automatisées à haute fréquence est essentielle, en complémentarité des systèmes conventionnels (appelés ici « basse fréquence »).

Le colloque « haute fréquence » organisé à Boulogne-sur-mer en juin 2014, pour marquer les dix ans de MAREL Carnot

En mars 2004, les premières mesures de la station instrumentée automatisée MAREL Carnot ont été faites, et la station elle-même a été inaugurée officiellement le 25 octobre 2004². À l'occasion des dix ans de cette station de mesure automatique, L'Ifremer (Laboratoire Environnement et Ressources de Boulogne-sur-Mer) et le Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences de Wimereux (UMR 8187 LOG) ont organisé un colloque intitulé « Instrumentation haute fréquence pour l'observation et la surveillance de l'environnement marin », qui s'est déroulé à Boulogne-sur-Mer les 12 et 13 juin 2014.

Ce colloque a été cofinancé par l'Ifremer, le LOG, le CNRS³, l'Université de Lille 1, l'Université du Littoral Côte d'Opale, l'Agence de l'Eau Artois Picardie, la Communauté d'Agglomération du Boulonnais, l'Agence Universitaire de la Francophonie, avec le soutien logistique ou matériel du GIS Campus de la mer, du Pôle de Compétitivité Aquimer, de Véolia Eau et de la Chambre de Commerce et d'Industrie Côte d'Opale.

2. Voir le premier article de cet ouvrage.

3. Plus précisément le RESOMAR, réseau des stations et observatoires marins, <http://resomar.cnrs.fr>.

Le colloque s'est déroulé en trois sessions, portant sur les thématiques suivantes :

- instrumentation et mesures automatiques (de la physique à la biologie) ;
- méthodologie (analyse des données et modélisation) ;
- observation et surveillance : description de séries existantes et applications.

Un jeu de données tests a été proposé aux participants afin de pouvoir développer et/ou tester leur méthode numérique. Il s'agit également de pouvoir caractériser la valeur ajoutée de telle ou telle méthode par rapport aux connaissances déjà acquises par des méthodes plus classiques grâce au système MAREL Carnot (Annexe 1).

En plus des 17 communications et 12 posters, des tutoriaux ont été présentés, par cinq orateurs invités, aux 80 participants issus de différentes unités nationales de recherche universitaire, de laboratoires de l'Ifremer ainsi que de service de l'Etat ou de gestion de l'Environnement.

Ce volume rassemble treize contributions issues de ce colloque. Il vise à proposer à la communauté francophone un état des lieux des systèmes haute résolution ou haute fréquence installés sur les littoraux français, et des méthodes développées par différentes équipes pour analyser ces données. Le volume est séparé en deux parties. La première partie, intitulée « Instrumentation et mesures automatisées : observation et surveillance », présente les systèmes installés, et décrit les principaux résultats obtenus. Il comporte des contributions portant sur le système MAREL Carnot de Boulogne-sur-mer (Lefebvre *et al.*), et le système MAREL Iroise (Rimmelma-Maury *et al.*). L'article de Bucas *et al.* présente les analyseurs chimiques automatiques utilisés dans plusieurs systèmes MAREL. L'article de Schmidt *et al.* présente le système MAGEST installé en Gironde. Enfin les deux derniers articles sont consacrés à des installations en mer Méditerranée : l'article de Garcia *et al.* présente les données d'une station d'observation du Rhône et d'une bouée en baie de Marseille, et l'article de Paireud *et al.* est consacré à la plateforme MesuRho de suivi des paramètres environnementaux à l'embouchure du Rhône.

La seconde partie, intitulée « Analyses de séries et nouvelles méthodologies », recense différentes contributions illustrant des analyses mises en place à partir de données haute fréquence. Les cinq premières contributions utilisent les données haute fréquence de MAREL Carnot. L'article de Schmitt *et al.* utilise les données haute fréquence pour considérer les densités de probabilité et les extrêmes des rapports

stœchiométriques. L'article de Kbaier *et al.* considère la stationnarité des séries, et propose des analyses spectrales. L'article de Rousseuw *et al.* illustre l'application de méthodes de Markov pour analyser la dynamique d'états de l'écosystème. L'article de Ahmed *et al.* propose de tester un modèle de type ARIMA pour modéliser la dynamique des paramètres et tenter des prédictions. L'article de Schmitt et Huang utilise la méthode de décomposition modale empirique sur des séries temporelles issues de la haute fréquence. L'article de Derot *et al.* compare les extrêmes de la fluorescence estimés à partir de plusieurs séries haute fréquence. Enfin l'article de Jalon-Rojas *et al.* étudie les données de MAGEST Gironde à l'aide de plusieurs méthodes, en particulier spectrales.

La diversité des méthodes d'analyse proposées ici montre que le domaine est encore en développement ; il n'existe pas, pour le moment, de méthode « définitive » qui permettrait de caractériser la dynamique multi-échelles des différents paramètres bio-géochimiques mesurés en océanologie côtière à haute fréquence. La recherche dans ce domaine n'est pas mature ; elle est en plein développement, et de nombreux travaux seront encore nécessaires. Nous espérons que cet ouvrage pourra contribuer à en persuader le lecteur.

Remerciements

Les organisateurs de ce colloque, rédacteur de cet ouvrage, remercient vivement les financeurs, les personnels techniques et scientifiques impliqués dans l'organisation du colloque. Les organisateurs du colloque et le comité d'organisation local sont mentionnés ci-dessous :

Organisation

François G. Schmitt, Directeur de recherche au CNRS, Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences, Wimereux *Co-directeur du colloque.*

Alain Lefebvre, Cadre de recherche, Ifremer, Laboratoire Environnement et Ressources, Boulogne-sur-mer *Co-directeur du colloque.*

Michel Répécaud, Cadre, Ifremer, Laboratoire Détection, Capteurs et Mesures, Brest.

Patrick Farcy, Cadre, Direction scientifique Ifremer, Brest.

Comité d'organisation local

Solène Breton (Ifremer) Logistique.

Jonathan Derot (ULCO, LOG) Logistique.

Olmo Duran Medina (ULI, LOG) Logistique.

Bénédicte Desmyttere (Ifremer) Gestion.

Michelle Marquand (ULCO, LOG) Gestion.

Isabelle Neuville (Ifremer) Gestion et logistique.

Valérie Plouvin (CNRS, LOG) Administration.

Kevin Rousseuw (ULCO & Ifremer) Logistique.

Evelyne Termote (ULI, LOG) Gestion.

Les organisateurs adressent également leurs sincères remerciements aux cinq orateurs invités : Rodney Forster (Center for Environment, Fisheries & Aquaculture Science, CEFAS, UK), Renaud Vuillemin (Observatoire Océanologique de Banyuls-sur-mer), Peggy Rimmelin-Maury (Observatoire marin, IUEM, Brest), Patrick Raimbault (CNRS, Institut Méditerranéen d'Océanologie, Marseille) et Sabine Schmidt (CNRS, UMR EPOC, Arcachon) pour leur contribution experte au colloque.

Alain Lefebvre

Ifremer, Laboratoire Environnement et Ressources,
150 quai Gambetta, BP 699, 62321 Boulogne sur Mer, France.

François G. Schmitt

CNRS, UMR LOG 8187, Université de Lille 1,
Université du Littoral Côte d'Opale, 28 avenue Foch,
62930 Wimereux, France.

À propos des citations internes au présent ouvrage

Lorsqu'elle est citée dans le texte, une partie de cet ouvrage est identifiée selon la section à laquelle elle appartient. Ainsi, (II3) se réfère à l'article 3 de Rousseuw *et al.* en seconde partie de cet ouvrage.