

Rapport N° 9

MAREL Carnot

Bilan d'une surveillance à haute fréquence en zone côtière sous influence anthropique (Boulogne-sur-Mer)

Bilan de l'année 2014



**Bilan d'une surveillance à haute fréquence
en zone côtière sous influence
anthropique (Boulogne-sur-Mer)**

Bilan de l'année 2014

Fiche documentaire

Numéro d'identification du rapport : Ifremer/RST.LER.BL/15.06		Date de publication : Juillet 2015	
Diffusion : libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/>		Nombre de pages : 37	
Contact : A. Lefebvre		bibliographie : Oui	
Adresse électronique : alain.lefebvre@ifremer.fr		Illustration(s) : Oui	
Langue du rapport : Français			
Titre du rapport : Bilan d'une surveillance à haute fréquence en zone côtière sous influence anthropique (Boulogne-sur-Mer). Bilan de l'année 2014.			
Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/>		Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>	
Auteur : Alain Lefebvre David Devreker		Organisme / Direction / Service, laboratoire Ifremer – LER/BL Ifremer – LER/BL	
Collaborateurs : <u>Nutriments</u> Vincent Duquesne		Ifremer – LER/BL	
<u>Maintenance</u> Michel Repecaud		Ifremer – RDT-DSMI/Brest	
Jean-Valery Facq		Ifremer – RDT/HO/BL	
Karenn Bucas		Ifremer – RDT/EIM/Brest	
David Le Piver		Ifremer – RDT-DSMI/Brest	
Loïc Quémener		Ifremer – RDT-DSMI/Brest	
Cadre de la recherche : Action Ifremer « MAREL Carnot » (code analytique : A030803A)			
Résumé Installée dans la rade de Boulogne-sur-Mer et inaugurée le 25 novembre 2004, la station MAREL Carnot mesure toutes les 20 minutes la salinité, la température de l'eau et de l'air, la fluorescence, la turbidité, la concentration en oxygène dissous, le pourcentage de saturation en oxygène, le P.A.R., l'humidité relative, la direction et la vitesse du vent, la hauteur d'eau et toutes les 12 heures, la concentration en nitrate, en phosphate et en silicium. Ce rapport vise à présenter les principaux éléments utiles à l'utilisateur des données afin de pouvoir adapter son étude en fonction de la disponibilité des données, de leur qualité et bien entendu de son objectif. Les résultats des paramètres fluorescence, turbidité, concentration en oxygène, température de l'eau sont présentés de manière plus détaillées afin de mettre en évidence les cycles saisonniers caractéristiques, la variabilité inter-annuelle et les éventuelles tendances.			
Mots-clés Manche orientale, Boulogne-sur-Mer, haute fréquence temporelle, MAREL, hydrologie, fluorescence.			
Comment citer ce rapport : Lefebvre A., Devreker D., 2015. MAREL Carnot : Rapport n° 9 : Bilan d'une surveillance à haute fréquence en zone côtière sous influence anthropique (Boulogne-sur-Mer). Bilan de l'année 2014. Ifremer/RST.LER.BL/15.06, 37 pages.			



sommaire

1. INTRODUCTION	7
2. RAPPELS : FONCTIONNEMENT DE MAREL CARNOT.....	8
2.1. <i>Le système MAREL Carnot jusque 2014.....</i>	<i>8</i>
2.2. <i>Le système MAREL Carnot depuis 2014.....</i>	<i>10</i>
2.2.1. <i>La base de données</i>	<i>10</i>
2.2.2. <i>Le système de mesures</i>	<i>11</i>
3. RÉSULTATS.....	12
3.1. <i>Bilan de fonctionnement.....</i>	<i>12</i>
3.2. <i>Valorisation des données.....</i>	<i>13</i>
3.2.1. <i>Valorisation des données issues du système MAREL Carnot.....</i>	<i>13</i>
3.2.2. <i>Colloque « Instrumentation haute fréquence pour l'observation et la surveillance de l'environnement marin »</i>	<i>16</i>
3.2.3. <i>Statistiques de certains paramètres pour l'année 2014.....</i>	<i>18</i>
4. RÉFÉRENCES.....	29
ANNEXE	32

1. INTRODUCTION

La prise de conscience générale des problèmes d'environnement, notamment au niveau du littoral, conduit à renforcer la surveillance qui s'y exerce.

Par l'expérience acquise depuis de nombreuses années dans l'exploitation des réseaux de surveillance de l'environnement, Ifremer a mis en évidence le besoin de développer des systèmes de surveillance automatisée de l'environnement et des effets directs et indirects des activités humaines sur le milieu marin. Les développements technologiques concernant les capteurs physico-chimiques permettent la réalisation de réseaux de stations instrumentées autonomes, effectuant des mesures à fréquence élevée et rapidement disponibles pour les utilisateurs (site web).

Depuis les années 1992-1995, le concept des stations MAREL a été validé puis décliné selon différentes familles de produits adaptés aux contraintes environnementales ainsi qu'aux demandes des utilisateurs. Une large gamme de paramètres est maintenant mesurée sur des sites très variés (Figure 1).



Figure 1. Localisation des stations instrumentées du réseau « Mise en œuvre et évolution des réseaux de mesure *in-situ* côtier »

2. RAPPELS : FONCTIONNEMENT DE MAREL CARNOT

Un rapport bilan n° 1 édité en 2006 présente les différentes étapes de mise en place du système depuis les études avant implantation jusqu'à l'inauguration du site (Lefebvre & Repecaud, 2006).

Les stations de mesure MAREL ont pour objectifs communs la mesure à haute fréquence et, de manière automatique, des paramètres physico-chimiques essentiels de l'eau de mer ainsi que de quelques autres indicateurs caractéristiques. L'ensemble de ces grandeurs mesurées peut être transmis en temps réel vers un centre de traitement de données à terre.

Le système MAREL Carnot enregistre, toutes les 20 minutes, la température de l'air et de l'eau et la salinité de cette dernière, l'oxygène dissous, la fluorescence (chlorophylle), la turbidité, le pH, l'humidité relative et la radiation disponible pour la photosynthèse (P.A.R.). Les concentrations en sels nutritifs (nitrates, silicates et phosphates) sont mesurées toutes les 12 heures (Tableau 1).

2.1. Le système MAREL Carnot jusque 2014

Le cœur du système était constitué d'une cellule de mesure regroupant plusieurs capteurs. L'originalité du système était le pompage de l'eau à travers la zone où elle est analysée, avec une chloration de celle-ci lorsqu'il n'y a pas de cycle de mesure. La chloration de l'eau de mer par électrolyse protège les capteurs contre le développement de bio-fouling. C'est donc cette chloration qui rend possible la bonne tenue dans le temps des capteurs qui restent en place sans intervention de maintenance pendant 3 mois théoriquement.

Tableau 1 : Gamme et caractéristiques des paramètres mesurés

Paramètres physico-chimiques	Gamme	Incertitude
Température	- 5 à + 30 °C	0,1 °C
Conductivité	0 à 70 mS/cm	0,3 mS/cm
Oxygène dissous	0 à 20 mg/L	0,2 mg/L
PH	6,5 à 8,5 UpH	0,2 UpH
Turbidité	0 à 4000 NTU	10 %
Fluorescence	0 à 50 FFU	10 %
Nitrate	0,1 à 100 µmol/L	5 %
Phosphate	0,1 à 100 µmol/L	5 %
Silicate	0,1 à 100 µmol/L	5 %

L'ensemble de ces données était transmis deux fois par jour au Centre Ifremer Manche Mer du Nord de Boulogne-sur-Mer par liaison GSM, ensuite débutait la validation et le traitement des données. Dès cette phase de transmission, les données étaient soumises à un ensemble de procédures de contrôle de qualité. Les données étaient alors caractérisées par un niveau de traitement et par un niveau de qualité (Figure 2).

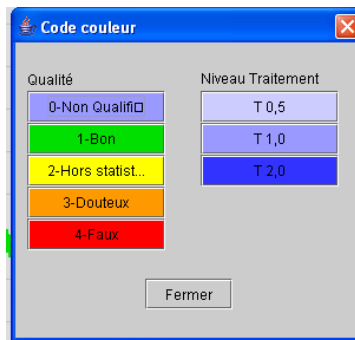


Figure 2. Niveau de traitement et de qualité des données lors de la procédure de contrôle (capture d'écran de l'outil de contrôle qualité OCQ)

Une partie de ce contrôle était fait automatiquement (contrôle du format des fichiers, de la gamme de valeurs observées en référence à des valeurs de références) ; les données étaient alors dans un niveau de traitement T0,5. Un contrôle visuel était également réalisé afin d'identifier « à dire d'experts » le niveau de qualité de la donnée.

Après cette étape, les données passaient en niveau de traitement T1,0 et étaient accessibles par l'internet via <http://www.ifremer.fr/difMARELCarnot/> (Figure 3). Les accès étaient possibles via trois domaines : public, scientifique et technique en fonction du profil de l'utilisateur. Les informations disponibles étaient différentes en fonction du profil utilisateur sélectionné lors de l'étape d'identification (cadre rouge sur Figure 3). Ainsi, le profil 'public' permettait de visualiser les données et d'avoir accès aux rapports de métrologie alors que le profil 'scientifique' permettait en plus de télécharger les données et d'avoir accès à d'autres informations sur le fonctionnement du système. Le profil 'technique' était principalement réservé aux personnes chargées de la maintenance du système.



Figure 3. Page d'accueil du site de consultation des données MAREL Carnot jusque 2014

La chambre de passage était changée trimestriellement et conduit à la vérification sous assurance de qualité de l'étalonnage des capteurs (Tableau 2). Un rapport de métrologie permettait alors d'affecter un niveau de qualité définitif à la donnée qui passait en niveau de traitement final T2,0.

Tableau 2 : Métrologie : Règle de conformité des capteurs de MAREL Carnot

Paramètres	Oxygène dissous (mg/L)	Conductivité (mS/cm)	pH	Turbidité (N.T.U.)	Fluorescence (FFU) Sans nettoyage	Température (° C)
Conformité	+/- 0,20	+/- 0,30	+/- 0,20	+/- 10 %	+/- 10 %	+/- 0,1

2.2. Le système MAREL Carnot depuis 2014

2.2.1. La base de données

L'année 2014 a été marquée par une migration des données vers la base CORIOLIS. Les données sont désormais accessibles via le site :

<http://www.ifremer.fr/co-en/eulerianPlatform?contextId=395&ptfCode=62443&lang=en#+qcgoodonly>

L'utilisateur des données se doit de citer la source en utilisant la formule suivante (modifier les termes entre crochet) :

Coriolis (2015). MAREL Carnot data and metadata from Coriolis Data Center. Data from [Date début] to [Date fin] (<http://www.ifremer.fr/co->

[en/eulerianPlatform?contextId=395&ptfCode=62443&lang=en#+qcgoodonly](http://eulerianPlatform?contextId=395&ptfCode=62443&lang=en#+qcgoodonly)). Ifremer.
Contact: alain.lefebvre@ifremer.fr

Les caractéristiques de la base de données CORIOLIS ainsi que les différents documents d'aide pour l'utilisateur sont accessibles via le site :

<http://www.coriolis.eu.org/Data-Services-Products/Documentation/Format-documentations>

2.2.2. Le système de mesures

La station automatisée MAREL Carnot qui a été implantée sur site en décembre 2004 regroupe des éléments électroniques, informatiques et mécaniques conçus dans les années 90. Le vieillissement général qui affecte tout particulièrement les systèmes exposés à l'environnement marin impose un remplacement d'un certain nombre d'éléments qui ne sont plus fonctionnels. Par ailleurs, l'obsolescence de bon nombre de composants électroniques a conduit à remplacer le système de mesure par un nouvel ensemble automate/cellule de mesure.

Le cœur du système se compose donc maintenant des éléments suivants :

- un automate de contrôle mesure de type MAREL ESTRAN,
- une pompe de circulation (pompage de l'eau sur la sonde),
- un débitmètre pour le contrôle de la pompe,
- un chlorateur pour la production de chlore par électrolyse,
- une sonde multi paramètres de type MP 6 nke (Tableau 3 et figure 4).

Tableau 3. Caractéristiques principales de la sonde nke MP6

Paramètres	Précision	Résolution	Gamme
Pression	0,06 m	0,006 m	0 à 20 m
Température	0,0005 °C à 0°	0,05 °C	-5 à + 35 °C
Conductivité	0,05 mS/cm	0,0012 mS/cm	0 à 70 mS/cm
Oxygène dissous	5 %	0,01 %	0 à 120 %
Fluorescence	1 % gamme	0,08 µg/l	0 à 500 µg/l
Turbidité	2 % gamme	0,012 NTU	0 à 2000 NTU

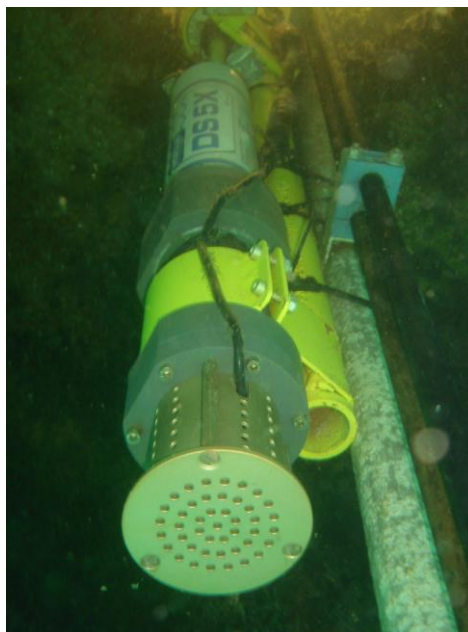


Figure 4. Système de mesure immergé en position sur sa perche

La phase de jouvence du système doit se poursuivre en 2016 et en 2017 pour permettre l'acquisition et la bancarisation, la mise à disposition des autres paramètres physico-chimiques et biologiques indisponibles à ce jour.

3. RÉSULTATS

3.1. Bilan de fonctionnement

Les informations relatives aux périodes de fonctionnement précédentes sont disponibles dans les rapports de Lefebvre & Repecaud (2006), Lefebvre (2007), Lefebvre (2008), Duval (2009), Lefebvre (2010), Lefebvre (2011), Lefebvre, Rousseeuw & Caillault (2012), Lefebvre & Rousseeuw (2013), Lefebvre & Rousseeuw (2014). Ces rapports sont téléchargeables sur le site du laboratoire Environnement & ressources du centre Ifremer Manche Mer du Nord :

<http://wwz.ifremer.fr/manchemerdunord/Environnement/LER-Boulogne-sur-Mer/Surveillance-et-Observation/MAREL-Carnot/Valorisations>

L'année 2014, comme les deux années précédentes, a été marquée par des dysfonctionnements majeurs liés principalement à l'obsolescence de la partie électronique du système qui devient par conséquent de plus en plus difficile à maintenir fonctionnelle (d'où la phase de jouvence engagée en 2014).

D'une manière générale, les interruptions de mesures sont liées à des opérations de maintenance qui peuvent porter sur le système de communication, la pompe d'amorçage, la pompe de nettoyage, le module principal de commande, les jambes de prélèvement, le circuit hydraulique, les galets de roulements, les batteries, le groupe électrogène, etc. Certaines opérations sont liées au remplacement des pièces d'usures, d'autres peuvent être liées à des pannes.

3.2. Valorisation des données

L'utilisateur des données se doit de prendre connaissance des rapports de métrologie disponibles sur le site internet dédié à MAREL Carnot afin d'interpréter au mieux les données.

3.2.1. Valorisation des données issues du système MAREL Carnot

L'année 2014 a été marquée par l'aboutissement des travaux de thèse de Monsieur Kévin Rousseuw (thèse Ifremer / Agence de l'Eau Artois Picardie ; Laboratoire d'accueil : Ifremer, LER, Boulogne-sur-Mer) et de Monsieur Jonathan Derot (thèse Région Nord-Pas-de-Calais / Agence de l'Eau Artois Picardie; Laboratoire d'accueil Ifremer UMR LOG, Wimereux).

Résumé de la thèse de K. Rousseuw :

Titre : Modélisation de signaux temporels hautes fréquences, multicateurs à valeurs manquantes. Application à la prédiction des efflorescences phytoplanctoniques dans les rivières et les écosystèmes marins côtiers.

La prise de conscience des problèmes d'environnement et des effets directs et indirects des activités humaines a conduit à renforcer la surveillance haute fréquence des écosystèmes marins par l'installation de stations de mesures multicateurs autonomes. Les capteurs, installés dans des milieux hostiles, sont sujets à des périodes de calibration, d'entretien voire des pannes et sont donc susceptibles de générer des données bruitées, manquantes voire aberrantes qu'il est nécessaire de filtrer et compléter avant toute exploitation ultérieure.

Dans ce contexte, l'objectif du travail est de concevoir un système numérique automatisé robuste capable de traiter de tel volume de données afin d'améliorer les connaissances quant à la dynamique du phytoplancton. L'étape cruciale est le développement méthodologique de modèle de prédiction des efflorescences du phytoplancton permettant aux utilisateurs de disposer de protocoles adéquats. Nous proposons pour cela l'emploi du modèle de Markov caché hybride pour la détection et la prédiction des états de l'environnement (caractérisation des phases clés de la dynamique et des caractéristiques environnementales associées). L'originalité du travail est l'hybridation du modèle de Markov par un algorithme de classification spectrale.

Le travail s'inscrit dans le cadre d'une collaboration étroite entre l'IFREMER, le LISIC/ULCO et l'Agence de l'eau Artois Picardie afin de développer des systèmes optimisés pour l'étude de l'effet des activités anthropiques sur le fonctionnement des écosystèmes aquatiques et plus particulièrement dans le contexte des efflorescences de l'algue nuisible, *Phaeocystis globosa*.

Résumé de la thèse de J. Derot :

Titre : Utilisation des données de MAREL Carnot pour la compréhension des mécanismes des extrêmes dans la qualité des eaux à Boulogne-sur-Mer.

L'objectif principal de cette thèse était la caractérisation des dynamiques hautes fréquences en milieu côtier et en particulier de leurs extrêmes, par l'intermédiaire de

l'étude de séries temporelles biogéochimiques à long terme enregistrées par des systèmes automatisés.

Les bases de données hautes fréquence utilisées dans cette étude proviennent majoritairement du programme MAREL, qui a été mis en œuvre par l'Ifremer. Des séries temporelles basses fréquences provenant des programmes de surveillance du littoral SOMLIT (CNRS, INSU) et SRN (Ifremer) ont été mises à contribution pour appuyer l'importance des systèmes automatisés. La méthode EMD (Empirical Mode decomposition) a servi de base dans de nombreuses analyses pour étudier ces séries temporelles. Des méthodes plus classiques empruntées aux domaines de l'analyse numérique et de la turbulence ont été utilisées. Cette étude se décompose en 3 parties, et plusieurs annexes. Les matériels et méthodes sont présentés dans la première partie. Dans la seconde partie, la méthode EMD a permis de mettre en avant les fortes fluctuations contenues dans les blooms, ainsi que de mener des analyses spectrales grâce à un couplage avec la transformée de Hilbert. L'analyse en composante principale (ACP) a mis en avant les principaux forçages exercés sur la production primaire et les profils de températures SOMLIT laissant supposer un impact de la stratification sur l'intensité des blooms. Dans la troisième partie, une étude comparative entre les données basses fréquences et hautes fréquences a été menée. Deux méthodes de cross-corrélation (TDIC et co-spectre) ont permis de définir une échelle caractéristique de transition entre les températures de la Manche occidentale et orientale. En annexe, la robustesse de différentes méthodes d'analyses spectrales a été testée au regard du manque de données dans les séries temporelles (qui est un problème inhérent aux bases de données enregistrées par des systèmes automatisés).

Par ailleurs, les données MAREL Carnot ont pu être valorisées sous différentes formes (Bilan 2013-2014):

Publication internationale à comité de lecture

Rousseuw K, Poisson-Caillault E, Lefebvre A, Hamad D , 2015. Hybrid Hidden Markov Model for Marine Environment Monitoring. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 8 (1), 204-213.

Rapports

Lefebvre A., Rousseuw K., 2013. MAREL Carnot : Rapport n° 7 : Bilan d'une surveillance à haute fréquence en zone côtière sous influence anthropique (Boulogne-sur-Mer). Bilan de l'année 2012. Ifremer/RST.LER.BL/13.09, Laboratoire côtier de Boulogne-sur-Mer, 25 p.

Lefebvre A., Rousseuw K., 2014. MAREL Carnot : Rapport n° 8 : Bilan d'une surveillance à haute fréquence en zone côtière sous influence anthropique (Boulogne-sur-Mer). Bilan de l'année 2013. Ifremer/RST.LER.BL/14.02, Laboratoire côtier de Boulogne-sur-Mer, 28 p.

Communications

Rousseeuw K., Caillault E.P., Lefebvre A., Hamad D., 2013. Monitoring system of phytoplankton blooms by using unsupervised classifier and time modeling. Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2013 IEEE International , pp.3962,3965.

Lefebvre A., Rousseeuw K., Caillault E., Hamad D., 2013. Implementation of high frequency approaches to characterize the phytoplankton community and the physico-chemical supporting parameters: Pocket Ferry Box / Algae Online Analyser (Lagrangian approach) & MAREL Carnot (Eulerian approach). DYMAPHY, Working Group Data Analysis, 20-22/3/2013, LISIC, Calais.

Rousseeuw K., Poisson Caillault E., Lefebvre A., Hamad D., 2013. Monitoring system of phytoplankton blooms by using unsupervised classifier and time modeling. International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 21-26 juillet 2013, Melbourne, Australie.

Rousseeuw K., Lefebvre A., Poisson Caillault E. and Hamad D., 2013. Detection of contrasted physico-chemical and biological environmental status using classification and modelling tools. 5th FerryBox Workshop – Celebrating 20 years Alg@line, April 24-25, 2013, Helsinki, Finland.

Lefebvre A., Poisson Caillault E., Rousseeuw K., Hamad D., Soudant D., Gohin F. Facq J.-V., Repecaud M., 2014. La station instrumentée MAREL Carnot : retours d'expériences de 10 ans d'observation à haute fréquence d'une zone côtière sous influence anthropique. Colloque Instrumentation haute fréquence pour l'observation et la surveillance de l'environnement marin. Colloque organisé à l'occasion des 10 ans de la station instrumentée MAREL Carnot. 12-13 juin 2014, CCI, Boulogne-sur-mer.

Répecaud M., Quémener L., Duros W., Bucas K., Laes A., Facq JV., Allenou JP., Retho M., Gabellec R., Pairaud I., Ravel C., Lefebvre A., 2014. La mesure haute fréquence sur le littoral métropolitain : bilans et perspectives sur 20 années de recherche et développement à l'Ifremer : de la technologie à l'exploitation et la valorisation des données. Colloque Instrumentation haute fréquence pour l'observation et la surveillance de l'environnement marin. Colloque organisé à l'occasion des 10 ans de la station instrumentée MAREL Carnot. 12-13 juin 2014, CCI, Boulogne-sur-mer.

Rousseeuw K., Poisson Caillault E., Lefebvre A., Hamad D., 2014. Modèle de Markov Caché hybride pour la surveillance de l'environnement marin. Colloque Instrumentation haute fréquence pour l'observation et la surveillance de l'environnement marin. Colloque organisé à l'occasion des 10 ans de la station instrumentée MAREL Carnot. 12-13 juin 2014, CCI, Boulogne-sur-mer.

Lefebvre A., Nzigou A.-R., Artigas F., 2014. High resolution overview of phytoplankton community (via spectral groups) and hydrology in spring in the eastern English Channel. First attempt before a new Ship-Of-Opportunity line across the Channel ? 6th Ferry Box Workshop, 8-9 septembre 2014, Tallinn, Estonie.

Rousseuw K., Lefebvre A., Caillault E., Hamad D., 2014. Système de surveillance utilisant une classification non supervisée et une modélisation dynamique. Doctorale de la Mer, Boulogne-sur-Mer.

3.2.2. Colloque « Instrumentation haute fréquence pour l'observation et la surveillance de l'environnement marin »

En mars 2004, les premières mesures de la station instrumentée automatisée MAREL Carnot ont été lancées, et la station elle-même a été inaugurée officiellement le 25 octobre 2004. A l'occasion des dix ans de cette station de mesure automatique, l'IFREMER (ODE/LER-BL) et le Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences de Wimereux (UMR 8187 CNRS LOG) ont organisés un colloque sur l'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 (Figure 5).

Le financement de ce colloque a été supporté par l'IFREMER, le CNRS (RESOMAR), l'Université de Lille 1, l'Université du Littoral Côte d'Opale, la Communauté d'Agglomération du Boulonnais, l'Agence Universitaire de la Francophonie, la Région Nord-Pas-de-Calais, le GIS Campus de la mer, le Pôle de Compétitivité Aquimer, Véolia Eau et la Chambre de Commerce et d'Industrie Côte d'Opale.

Le colloque proposé trois sessions, portant sur les thématique 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.

En plus des 22 communications et 12 posters, des tutoriaux ont été présentés, par des orateurs invités, aux 80 participants issus de différentes unités nationale de recherche universitaire, de laboratoires de l'Ifremer ainsi que de service de l'État ou de gestion de l'Environnement : 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).

La station MAREL Carnot mesure de façon automatique, 12 paramètres à un pas de temps de 20 minutes : la salinité, la température de l'eau et de l'air, la fluorescence, la turbidité, la concentration en oxygène dissous, le pourcentage de saturation en oxygène, le PAR (photosynthetic available radiation), l'humidité relative, la direction et la vitesse du vent, la hauteur d'eau ; et trois paramètres toutes les 12 heures : la concentration en nitrate, en phosphate et en silicate. Ainsi, la station permet l'acquisition de 19 x 72 données par jour, soit potentiellement environ 50 000 données par an. A l'occasion du colloque, un sous-ensemble validé et vérifié de la base de données a été mis à disposition de la communauté scientifique sur le site du colloque, pour en faciliter l'utilisation et l'analyse. L'utilisation de ces données a été encouragée lors du colloque, mais l'utilisation de données automatiques issues de tout système en domaine côtier ou en eaux plus profondes, était la bienvenue.

Le cadre général des méthodes et bases de données que le comité d'organisation a souhaité voir discuter lors de ce colloque concernait : les données issues de déploiements autonomes, en milieux estuarien, côtier ou océanique ou avec une fréquence d'échantillonnage fixe inférieure à la semaine ; les bases de données recueillies au moins sur une période de 2 semaines, comportant au minimum plusieurs centaines de points de mesure.

Colloque organisé à l'occasion des 10 ans de la station instrumentée MAREL Carnot (Boulogne-sur-Mer)

Instrumentation haute fréquence pour l'observation et la surveillance de l'environnement marin

12-13 juin 2014 Chambre de Commerce et d'Industrie de Boulogne-sur-Mer

Accès libre sous réserve d'inscription via le site web <http://conference-marelcarnot2014.fr>

Logos des partenaires : Ifremer, LOB, CIRIS, Agence de l'eau, ulco, Université Lille1, Agence Nationale de la Recherche.

Figure 5. Affiche de présentation du Colloque.

3.2.3. Synthèse de résultats

Les statistiques de base pour chaque semaine l'année 2014 sont visibles dans les Tableaux 3 à 7.

L'évolution temporelle de certains paramètres (fluorescence, turbidité, salinité, température de l'eau et concentration en oxygène) mesurés par MAREL Carnot est présentée sur les Figures 4 à 8. Cette année tous les paramètres ont été fortement touchés par les dysfonctionnements du système avec notamment de grosses interruptions en début et fin d'année.

Abréviations utilisées dans les tableaux :

Min. : Valeur minimale

Q1 : Premier quartile (ou percentile 25)

Q3 : Troisième quartile (ou percentile 75)

Max. : Valeur maximale

NA's : Nombre de valeurs manquantes (dysfonctionnement, valeur erronée...)

Mesures : Nombre de mesures effectives (utilisées pour les statistiques)

Fluorescence (FFU)

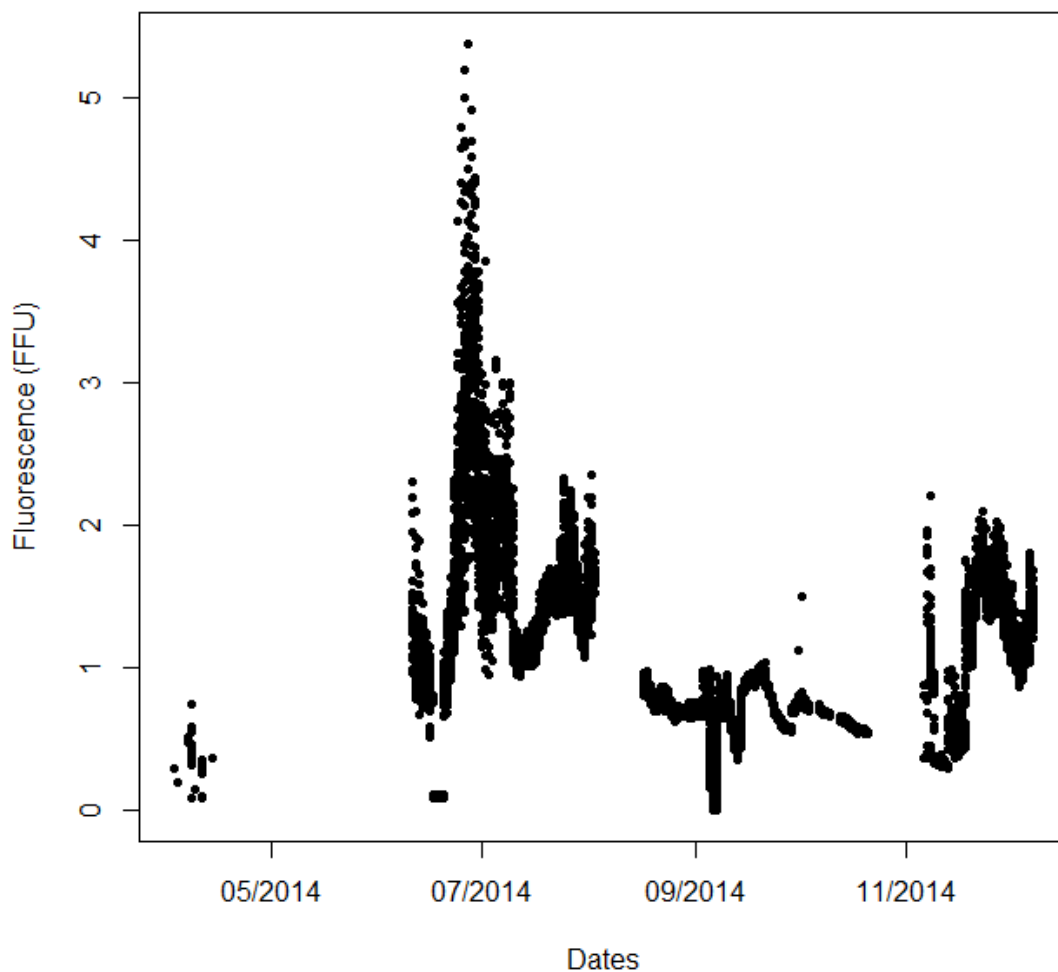


Figure 4. Évolution temporelle de la fluorescence (FFU) pour l'année 2014

Tableau 3. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la Fluorescence (FFU) pour chaque semaine de l'année 2014

Semaine	Min.	Q1	Médiane	Moyenne	Q3	Max.	NA's	Mesures
1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
4	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
7	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
9	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
10	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
11	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
12	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
13	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	

14	0,2	0,2225	0,245	0,245	0,2675	0,29		2
15	0,08	0,3	0,42	0,3855	0,48	0,74		60
16	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36		3
17	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
18	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
19	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
20	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
21	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
22	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
23	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
24	0,67	0,93	1,05	1,089	1,17	2,31		315
25	0,08	0,1	0,77	0,5943	0,98	1,63		474
26	1,11	1,92	2,48	2,533	3,1	5,38		501
27	0,95	1,67	1,93	1,987	2,25	3,85		499
28	0,94	1,04	1,195	1,475	1,8	3	1	386
29	1,01	1,11	1,17	1,228	1,35	1,65	1	498
30	1,36	1,48	1,55	1,601	1,67	2,33		499
31	1,07	1,29	1,45	1,484	1,63	2,35		442
32	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
33	0,81	0,85	0,9	0,8886	0,9275	0,96	1	58
34	0,69	0,73	0,76	0,7674	0,79	0,98	1	499
35	0,62	0,66	0,68	0,6785	0,69	0,77	1	357
36	0	0,39	0,69	0,5789	0,74	0,99		502
37	0,35	0,555	0,71	0,6637	0,78	0,95		503
38	0,83	0,9	0,92	0,9214	0,95	1,04		503
39	0,56	0,59	0,64	0,6734	0,75	0,88		501
40	0,55	0,7	0,73	0,7238	0,77	1,5		414
41	0,66	0,67	0,68	0,6882	0,7	0,74		251
42	0,54	0,58	0,61	0,6097	0,64	0,66		367
43	0,53	0,54	0,55	0,5484	0,56	0,57		63
44	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
45	0,33	0,36	0,37	0,6926	0,99	2,21		
46	0,29	0,33	0,37	0,4219	0,5	0,99		
47	0,41	1,093	1,41	1,303	1,65	2,1		
48	1,13	1,425	1,53	1,527	1,62	2,03		
49	0,86	1,07	1,14	1,173	1,23	1,81		
50	1,21	1,34	1,41	1,411	1,48	1,68		
51	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
52	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
53	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	

Turbidité (NTU)

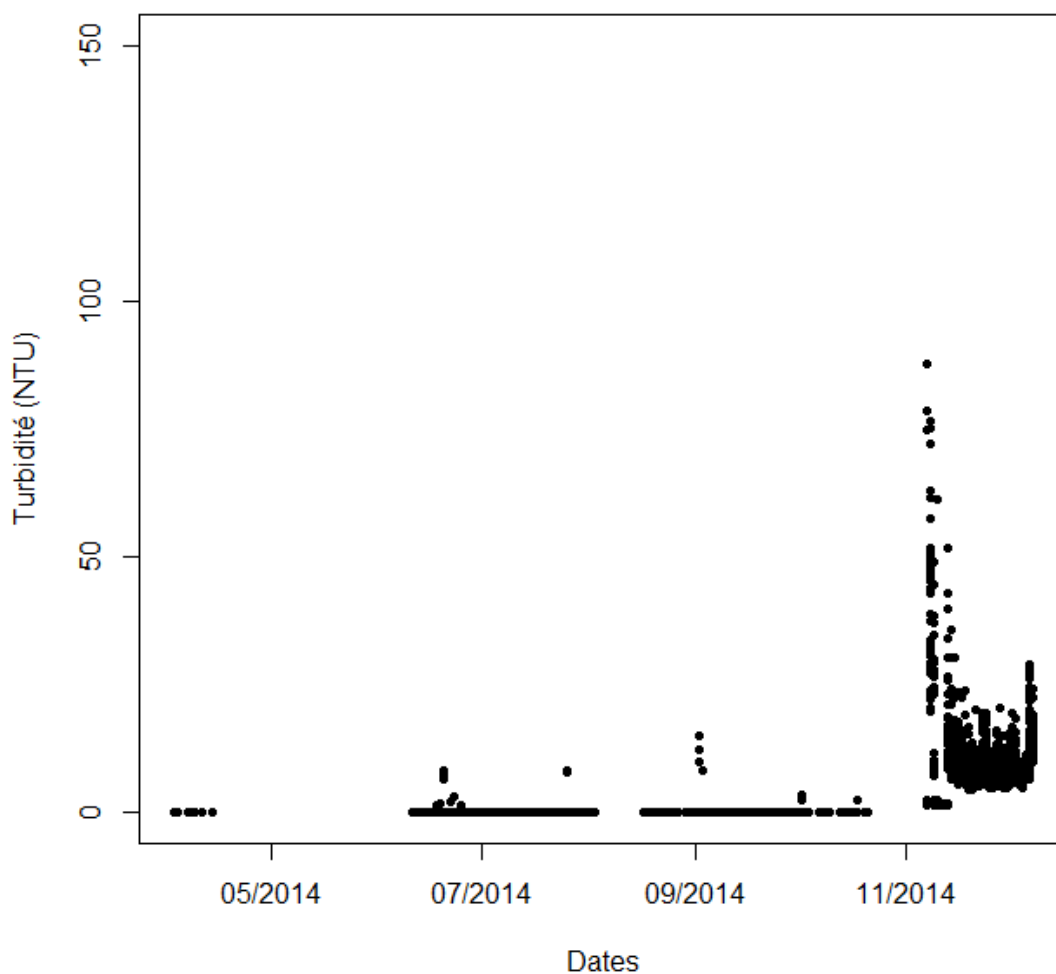


Figure 5. Évolution temporelle de la turbidité (NTU) pour l'année 2014

Tableau 4. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la Turbidité (NTU) pour chaque semaine de l'année 2014

Semaine	Min.	Q1	Médiane	Moyenne	Q3	Max.	NA's	Mesures
1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
4	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
7	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
9	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
10	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
11	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
12	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
13	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
14	0	0	0	0	0	0		2

15	0	0	0	0	0	0		60
16	0	0	0	0	0	0		3
17	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
18	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
19	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
20	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
21	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
22	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
23	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
24	0	0	0	0	0	0		315
25	0	0	0	0,07505	0	8,2	1	473
26	0	0	0	0,008982	0	3		501
27	0	0	0	0	0	0		499
28	0	0	0	0	0	0	5	382
29	0	0	0	0	0	0	20	479
30	0	0	0	0,03265	0	8	12	487
31	0	0	0	0	0	0	4	438
32	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
33	0	0	0	0	0	0	5	54
34	0	0	0	0	0	0	29	471
35	0	0	0	0	0	0	14	344
36	0	0	0	0,09185	0	14,8	11	491
37	0	0	0	0	0	0	15	488
38	0	0	0	0	0	0	11	492
39	0	0	0	0	0	0		501
40	0	0	0	0,03744	0	3,4		414
41	0	0	0	0	0	0		251
42	0	0	0	0,0327	0	2,4		367
43	0	0	0	0	0	0		63
44	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
45	1,4	1,7	22,2	22,03	35,17	87,6	54	132
46	1,5	1,6	1,7	6,705	10	61,2	1	491
47	4,4	6,125	7,1	7,79	8,6	23,8		498
48	4,7	5,9	6,6	7,391	7,8	20,3		499
49	4,6	6,9	8,2	9,15	9,9	29		496
50	9,7	11,8	13,6	14,18	16	24,2	2	55
51	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
52	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
52	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
53	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	

Salinité (PSU)

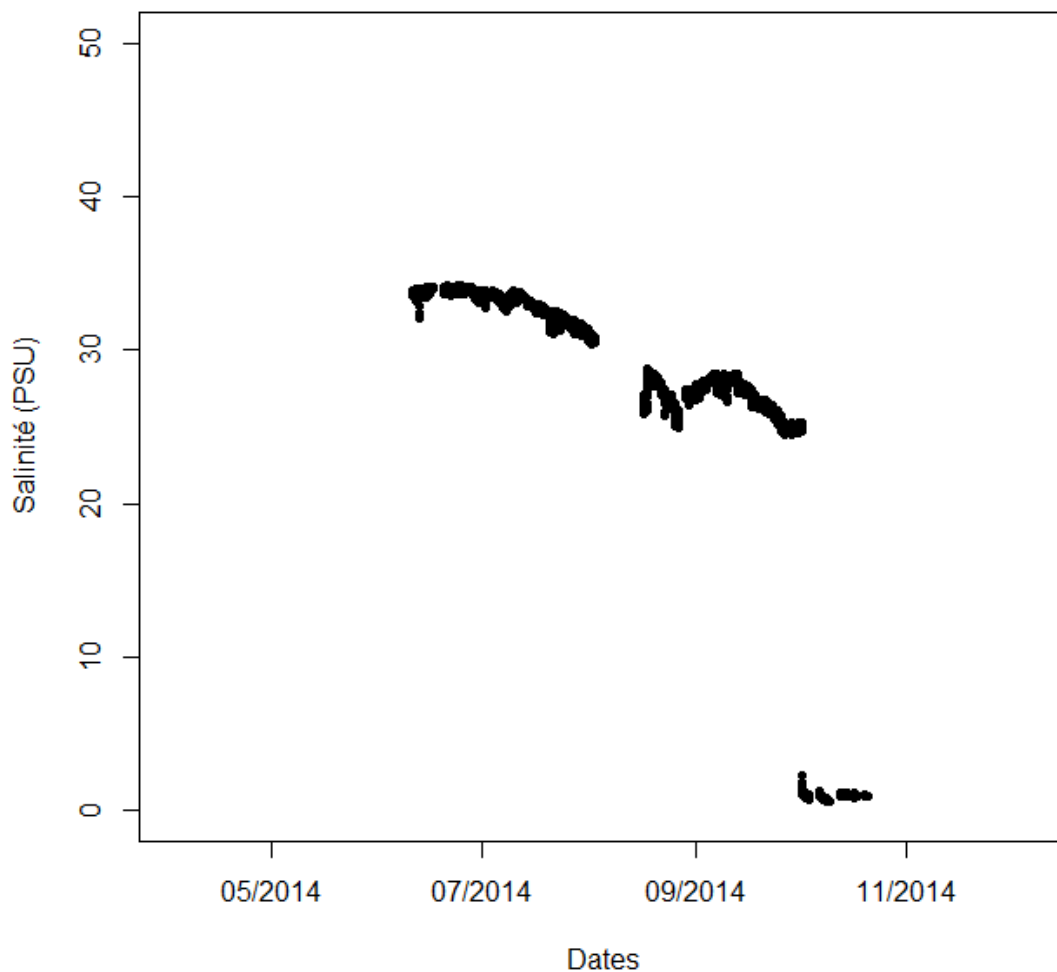


Figure 6. Évolution temporelle de la salinité (PSU) pour l'année 2014

Tableau 5. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la Salinité (PSU) pour chaque semaine de l'année 2014

Semaine	Min.	Q1	Médiane	Moyenne	Q3	Max.	NA's	Mesures
1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
4	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
7	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
9	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
10	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
11	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
12	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
13	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	

14	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2	
15	NA	NA	NA	NA	NA	NA	60	
16	NA	NA	NA	NA	NA	NA	3	
17	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
18	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
19	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
20	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
21	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
22	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
23	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
24	32,05	33,64	33,73	33,71	33,84	34,06		315
25	33,5	33,82	33,95	33,93	34,03	34,19	212	262
26	33,33	33,8	33,91	33,88	33,98	34,23		501
27	32,79	33,51	33,62	33,6	33,71	33,92		499
28	32,58	33,29	33,41	33,41	33,56	33,92	1	386
29	32,29	32,6	32,83	32,81	33,02	33,34	1	498
30	31,06	31,76	32,01	32	32,28	32,55		499
31	30,35	31,01	31,25	31,2	31,41	31,94		442
32	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
33	25,85	26,37	26,51	26,53	26,73	27,07	1	58
34	25,69	27,07	27,85	27,68	28,22	28,76	1	499
35	24,91	25,98	26,74	26,49	27,01	27,48	1	357
36	26,73	27,44	27,78	27,72	28,04	28,43		502
37	26,65	27,7	28,08	27,95	28,25	28,46		503
38	26	26,45	26,77	26,85	27,29	27,76		503
39	24,5	24,96	25,61	25,5	25,98	26,5		501
40	24,5	24,76	24,88	24,89	25,01	25,25	174	240
41	NA	NA	NA	NA	NA	NA	251	
42	NA	NA	NA	NA	NA	NA	367	
43	NA	NA	NA	NA	NA	NA	63	
44	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
45	NA	NA	NA	NA	NA	NA	186	
46	NA	NA	NA	NA	NA	NA	492	
47	NA	NA	NA	NA	NA	NA	498	
48	NA	NA	NA	NA	NA	NA	499	
49	NA	NA	NA	NA	NA	NA	496	
50	NA	NA	NA	NA	NA	NA	57	
51	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
52	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
53	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	

Température de l'eau (°C)

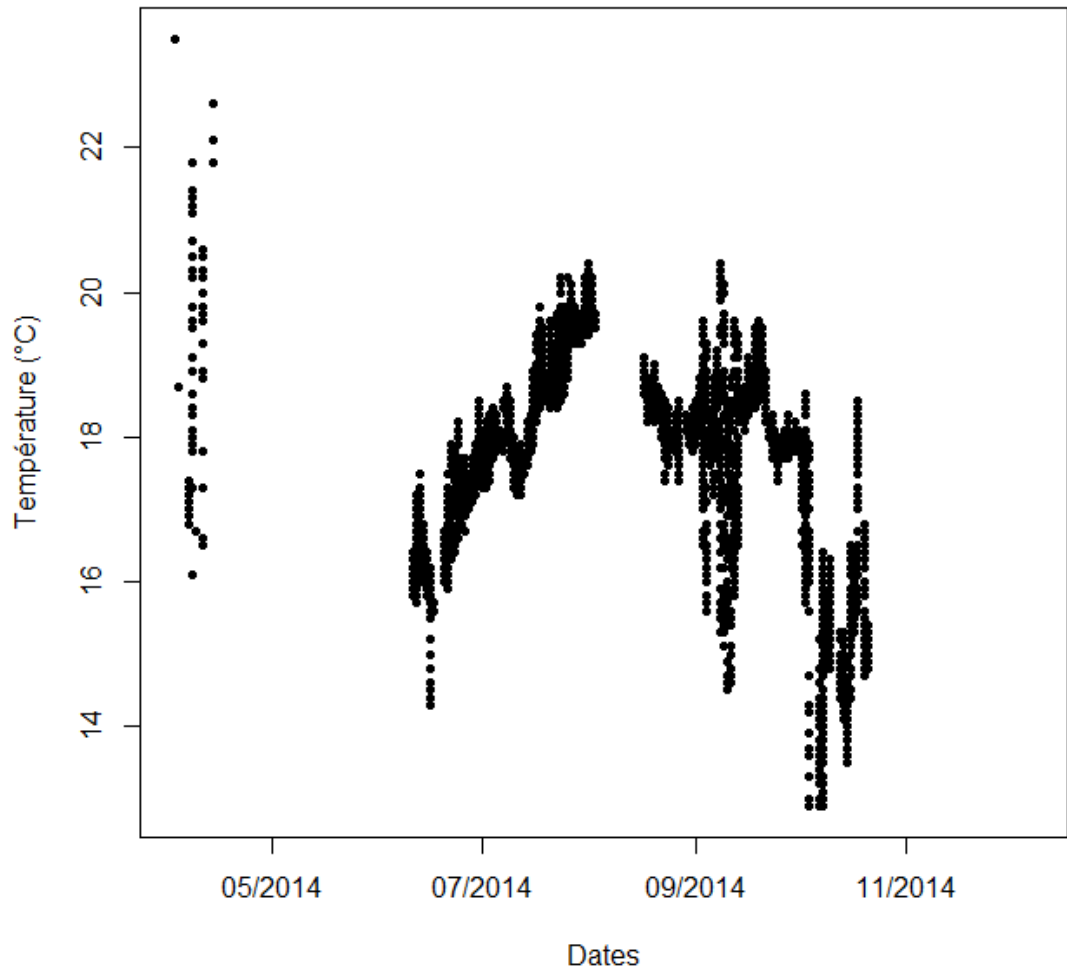


Figure 7. Évolution temporelle de la température de l'eau (°C) pour l'année 2014

Tableau 6. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la Température de l'eau (°C) pour chaque semaine de l'année 2014

Semaine	Min.	Q1	Médiane	Moyenne	Q3	Max.	NA's	Mesures
1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
4	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
7	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
9	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
10	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
11	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
12	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	

13	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
14	18,7	19,9	21,1	21,1	22,3	23,5		2
15	16,1	17,2	18,7	18,65	19,8	21,8		60
16	21,8	21,95	22,1	22,17	22,35	22,6		3
17	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
18	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
19	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
20	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
21	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
22	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
23	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
24	15,7	16,1	16,3	16,32	16,5	17,5		315
25	14,3	16	16,4	16,39	16,88	17,9	212	474
26	16,4	17,1	17,3	17,25	17,4	18,2		501
27	17,3	17,6	17,9	17,83	18	18,5		499
28	17,2	17,5	17,6	17,75	18	18,7	1	387
29	17,6	18,1	18,5	18,49	18,8	19,8	1	499
30	18,4	18,8	19,3	19,16	19,5	20,2		499
31	19,3	19,5	19,6	19,63	19,7	20,4		442
32	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	0
33	18,6	18,8	18,9	18,84	18,9	19,1	1	59
34	17,4	18,2	18,4	18,39	18,6	19	1	500
35	17,4	18	18,1	18,08	18,2	18,5	1	358
36	15,6	17,9	18,2	18,18	18,5	19,6		502
37	14,5	16,6	17,8	17,53	18,5	20,4		503
38	18,1	18,5	18,7	18,72	18,9	19,6		503
39	17,4	17,8	17,9	17,94	18	18,3		501
40	12,9	17,4	17,9	17,53	18	18,6		414
41	12,9	14,2	15,1	14,86	15,6	16,4		251
42	13,5	14,45	15,1	15,33	16,2	18,5		367
43	14,7	15,1	15,4	15,53	15,85	16,8		63
44	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
45	NA	NA	NA	NA	NA	NA	186	
46	NA	NA	NA	NA	NA	NA	492	
47	NA	NA	NA	NA	NA	NA	498	
48	NA	NA	NA	NA	NA	NA	499	
49	NA	NA	NA	NA	NA	NA	496	
50	NA	NA	NA	NA	NA	NA	57	
51	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
52	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
53	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	

Concentration en oxygène (mg/L)

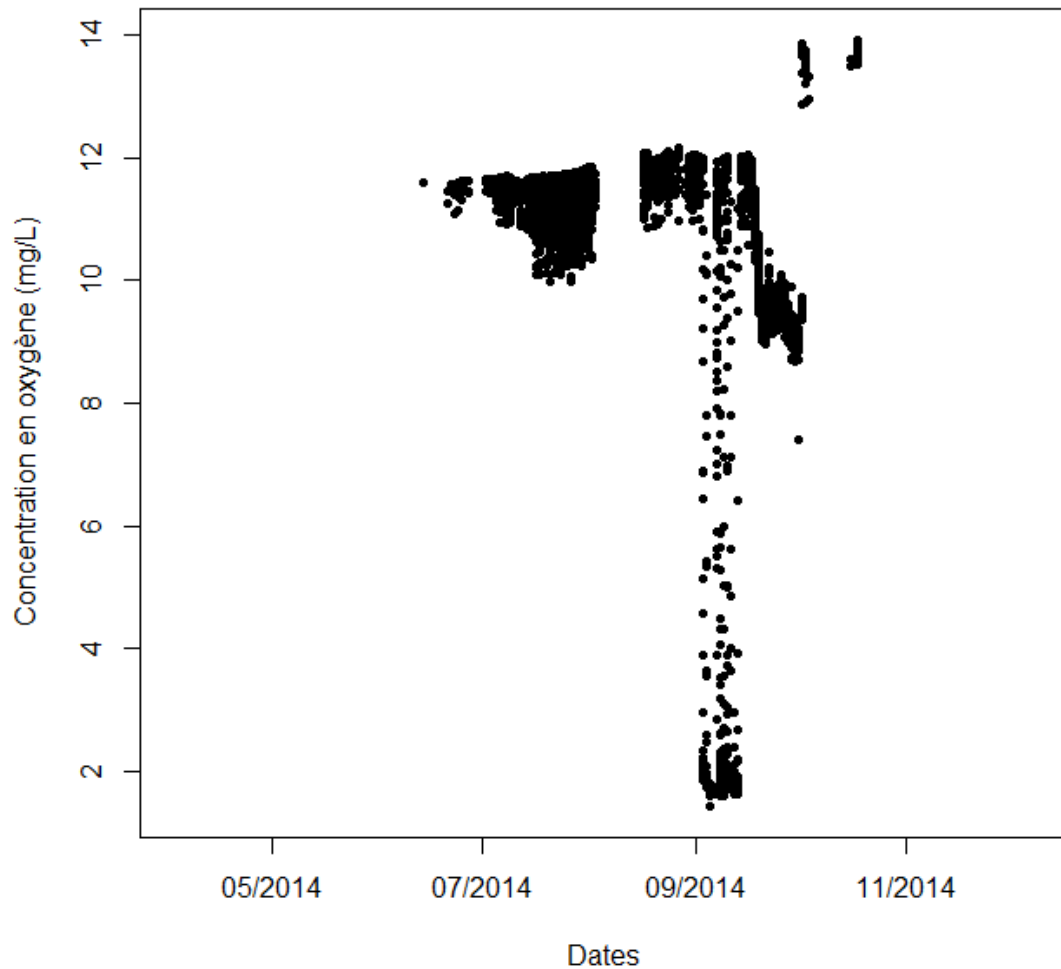


Figure 8. Évolution temporelle de la concentration en oxygène (mg/L) pour l'année 2014

Tableau 7. Tableau - Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en oxygène (mg/L) pour chaque semaine de l'année 2014

Semaine	Min.	Q1	Médiane	Moyenne	Q3	Max.	NA's	Mesures
1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
4	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
7	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
9	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
10	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
11	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
12	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	

13	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
14	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2	
15	NA	NA	NA	NA	NA	NA	60	
16	NA	NA	NA	NA	NA	NA	3	
17	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
18	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
19	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
20	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
21	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
22	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
23	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
24	11,59	11,59	11,59	11,59	11,59	11,59	314	1
25	11,27	11,41	11,46	11,43	11,48	11,55	470	4
26	11,08	11,46	11,53	11,5	11,58	11,62	466	35
27	10,94	11,42	11,59	11,51	11,63	11,67	428	71
28	10,89	11,27	11,48	11,42	11,59	11,69	276	111
29	10,08	11,08	11,37	11,27	11,53	11,7	185	314
30	9,986	10,82	11,28	11,16	11,54	11,75	49	450
31	10,23	10,88	11,22	11,19	11,54	11,86	54	388
32	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
33	11,01	11,6	11,79	11,73	11,97	12,07	11	48
34	10,85	11,62	11,82	11,74	11,91	12,09	231	269
35	10,96	11,5	11,79	11,73	12,01	12,16	285	73
36	5,137	11,23	11,56	11,02	11,84	12,04	290	212
37	5,011	10,22	11,42	10,62	11,91	12,01	370	133
38	8,964	9,708	10,78	10,66	11,6	12,04	29	474
39	8,985	9,496	9,636	9,628	9,769	10,46		501
40	7,418	9,069	9,188	9,943	9,43	13,87	123	291
41	NA	NA	NA	NA	NA	NA	251	
42	13,49	13,66	13,75	13,73	13,8	13,92	347	20
43	NA	NA	NA	NA	NA	NA	63	
44	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
45	NA	NA	NA	NA	NA	NA	186	
46	NA	NA	NA	NA	NA	NA	492	
47	NA	NA	NA	NA	NA	NA	498	
48	NA	NA	NA	NA	NA	NA	499	
49	NA	NA	NA	NA	NA	NA	496	
50	NA	NA	NA	NA	NA	NA	57	
51	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
52	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	
53	NA	NA	NA	NA	NA	NA	504	

Les boîtes à moustaches pour chaque paramètre et pour chaque semaine sont disponibles en annexe 1.

4. RÉFÉRENCES

La liste ci-dessous correspond aux documents cités dans ce rapport ou aux documents de base utiles pour l'interprétation des résultats ou aux documents relatifs à des mesures à haute fréquence. Cette liste n'est pas exhaustive mais permet aux personnes intéressées de disposer d'un minimum de documents pour appréhender le sujet de la mesure à haute fréquence.

- Aminot, A., Kirkwood, D. et Kérouel, R., 1997. Determination of ammonia in seawater by the indophenol-blue method: evaluation of the ICES NUTS I/C 5 questionnaire. *Marine Chemistry*, 56 : 59-75.
- Aminot A. & R. Kérouel, 2004. Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. Éd. Ifremer, 336 p.
- Aminot, A., Kérouel, R. et Birot D., 2001. A flow injection-fluorometric method for the determination of ammonium in fresh and saline waters with a view to in situ analysis. *Water Research*, 35 (7) :1777-1785.
- Brylinski J.-M. & Lagadeuc Y., 1990. L'interface eaux côtières/eaux du large dans le Pas-de-Calais (côte française) : une zone frontale. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 311, Série II, p. 535-540.
- Caillault É., Lefebvre A., Hamad D., 2009. Modélisation de la dynamique de l'efflorescence de l'écosystème côtier. Atelier du Réseau National des Stations Marines sur les mesures à haute fréquence dans l'environnement marin, Wimereux, 22-23 octobre 2009.
- Caillault É. & Lefebvre A., 2011. Phytoplankton monitoring system and countermeasures to prevent toxics algae blooms. Colloque NTMS INNOVATIVE PROJECTS 2011 (Fourth International Conference on New Technologies, Mobility and Security) in conjunction with IFIP NTMS 2011, 10 février 2011, Paris.
- Duval P., 2009. Etude à haute fréquence de la dynamique de l'écosystème côtier sous influence anthropique : contexte des efflorescences de la prymnésiofycée *Phaeocystis globosa* au large de Boulogne-sur-Mer. Ifremer/TMR.LER.BL/09.06, 44 pages (Encadrement A. Lefebvre).
- Forney G. J., "The Viterbi Algorithm," *Proceedings of the IEEE*, vol. 61, no. 3, pp. 268–278, 1973
- Hartigan J.A. & Wong M.A., "A K-means Clustering Algorithm" vol. 28, no.1, pp. 100-108, 1979.
- Hébert C. & A Lefebvre, 2004. Circulation des masses d'eau dans la rade de Boulogne-sur-Mer – Étude préalable à l'implantation de la station de mesures automatisées MAREL Carnot - *Rapport Ifremer DEL/BL/RST/04/08*, 18 pages.
- Ihaka R. & R. Gentleman, 1996. R : a language for data analysis and graphics. *J. Comput. Graphics Stat.*, 5 : 299-314.
- Lefebvre A., Repecaud M., Facq J.-V., Lefebvre G. & B. Hitier, 2002. Projet d'implantation de la station de mesures automatisées MAREL dans le port de Boulogne-sur-Mer - Mesures *in situ* et résultats du modèle d'advection-diffusion Mars 2D. *Rapport Ifremer DEL/BL/RST/02/07*, 51 pages.
- Lefebvre A. & M. Repecaud, 2006. MAREL Carnot - Partie 1 : Bilan de la mise en place d'un système de mesures automatisées à haute fréquence en zone côtière de Boulogne-sur-Mer. *Rapport Ifremer/RST.LER.BL/06.09*, 18 pages + CD ROM.

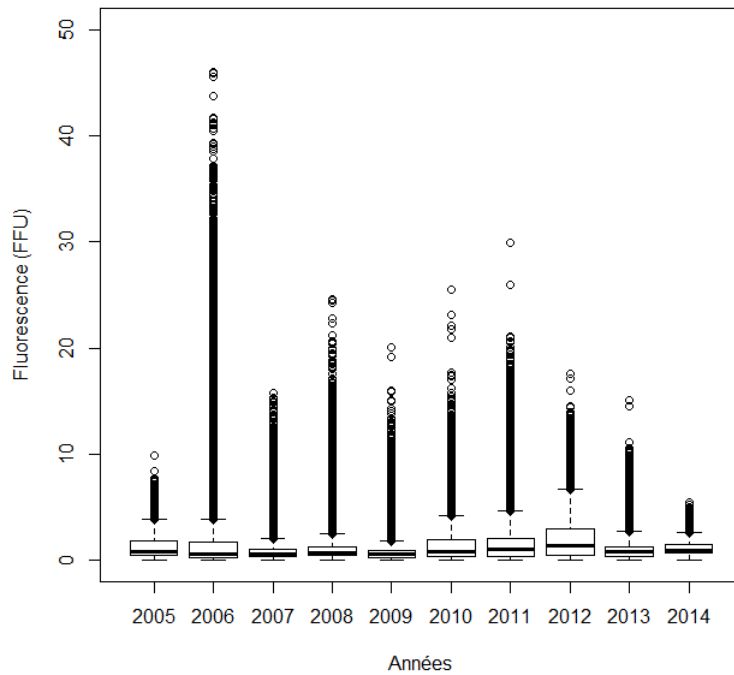
- Lefebvre A., 2007. MAREL Carnot : Partie 2 : Valorisation des données d'une surveillance à haute fréquence en zone côtière sous influence anthropique (Boulogne-sur-Mer). Données de l'année 2006. Ifremer/RST.LER.BL/07.08, 44 pages.
- Lefebvre A., 2008. MAREL Carnot : Partie 3 : Valorisation des données d'une surveillance à haute fréquence en zone côtière sous influence anthropique (Boulogne-sur-Mer). Données de l'année 2007. Ifremer/RST.LER.BL/08.04, 23 pages.
- Lefebvre A., 2009. Mise en œuvre d'un système de Mesures Automatisées en Réseau de l'Environnement Littoral (MAREL Carnot) en Manche orientale : Une zone à problème potentiel au regard de l'eutrophisation sous haute surveillance. Atelier du Réseau National des Stations Marines sur les mesures à haute fréquence dans l'environnement marin. Wimereux, 22-23 octobre 2009.
- Lefebvre A., 2010. MAREL Carnot : Rapport n° 4 : Valorisation des données d'une surveillance à haute fréquence en zone côtière sous influence anthropique (Boulogne-sur-Mer). Bilan de l'année 2009. Ifremer/RST.LER.BL/10.08, 20 pages.
- Lefebvre A., 2011. MAREL Carnot : Rapport n°5 : Valorisation des données d'une surveillance à haute fréquence en zone côtière sous influence anthropique (Boulogne-sur-Mer). Bilan de l'année 2010. Ifremer/RST.LER.BL/11.04, 19 p.
- Lefebvre Alain, Rousseeuw Kévin, Caillault Émilie, 2012. MAREL Carnot : Rapport n°6 : Valorisation des données d'une surveillance à haute fréquence en zone côtière sous influence anthropique (Boulogne-sur-Mer) Bilan de l'année 2011. Ifremer/RST.LER.BL/12.05, 36 p.
- Lefebvre A., Rousseeuw K., 2013. MAREL Carnot : Rapport n° 7 : Bilan d'une surveillance à haute fréquence en zone côtière sous influence anthropique (Boulogne-sur-Mer). Bilan de l'année 2012. Ifremer/RST.LER.BL/13.09, 25 p.
- Lefebvre A., Rousseeuw K., 2014. MAREL Carnot - Rapport n° 8 : Bilan d'une surveillance à haute fréquence en zone côtière sous influence anthropique (Boulogne-sur-Mer). Bilan de l'année 2013. Rapport Ifremer ODE/LITTORAL/LER.BL/14.02, 28 p.
- Lefebvre A. & Caillault É., 2011. Study of the dynamic of the Phytoplankton bloom in the eastern English Channel using an high frequency instrumented station (MAREL) and a naive clustering classification method. Colloque EGU (European Geosciences Union) General Assembly 2011, Vienna, Austria, 3-8 April 2011.
- Lefebvre A., Guiselin N., Barbet F., Artigas L. F. Long-term hydrological and phytoplankton monitoring (1992-2007) of three potentially eutrophicated systems in the eastern English Channel and the southern bight of the North Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 68(10): 2029-2043.
- Legendre L. & P. Legendre, 1998. *Numerical Ecology*. Elsevier, Amsterdam, 853 p.
- Liao T.W., "Clustering of time series data – survey", *Pattern Recognition*, vol.38, no.11, pp. 1857-1874, Nov 2005.
- Plat, T., Denman, K. L., 1975. Turbulent structure function in turbulent shear flows. *Ann, Rev, Ecol, Syst*, 6, 189-210.
- Rabiner L., "A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition", *Proceedings of the IEEE*, 1989.
- Rousseeuw K., É. Caillault, A. Lefebvre, and D. Hamad, "Monitoring system of phytoplankton blooms by using unsupervised classifier and time modeling," in

- Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2013 IEEE International, July 2013, pp. 3962–3965
- Rousseuw K., Poisson Caillault É., Lefebvre A., Hamad D., 2013. Detection of contrasted physico-chemical and biological environmental status using unsupervised classification tools. 5th FerryBox Workshop, Helsinki, Finland, 24-25 April 2013.
- Samen F., Aoustin Y., Repecaud M., Rolin J.F., Woerther P., 2010. Monitoring à Haute Fréquence pour la surveillance du milieu littoral. Rapport Ifremer RDT/IPR/10/074, 158 p.
- Schiffrine N., 2010. Origine, dynamique et conséquences de la prolifération des annélides polydores sur la zone mytilicole de la Baie de Somme : Mise en place d'un suivi à haute fréquence des paramètres physico-chimiques et biologiques. Ifremer/RST.LER.BL/10.04/Laboratoire côtier de Boulogne-sur-Mer, 71 p.
- Schmitt, F. G., 2005. Relating lagrangian passive scalar scaling exponents to eulerien scaling exponents in turbulence. *European Physical Journal*, B48, 129-137.
- Soudant A., Soudant D., Lefebvre A., 2008. Influence de la période et de la fréquence d'échantillonnage sur le percentile 90 de la fluorescence. Ifremer/R.INT. DOP/DYNECO/VIGIES2008.17, 36 p.
- Viterbi A., "Error bounds for convolutional codes and an asymptotically optimum decoding algorithm," *Information Theory, IEEE Transactions on*, 1967
- Zongo S., 2010. Fluctuations multi-échelles dans les séries temporelles biogéochimiques à moyen et long terme en milieu marin côtier. Thèse de doctorat de l'université de Lille I, 308 pages.

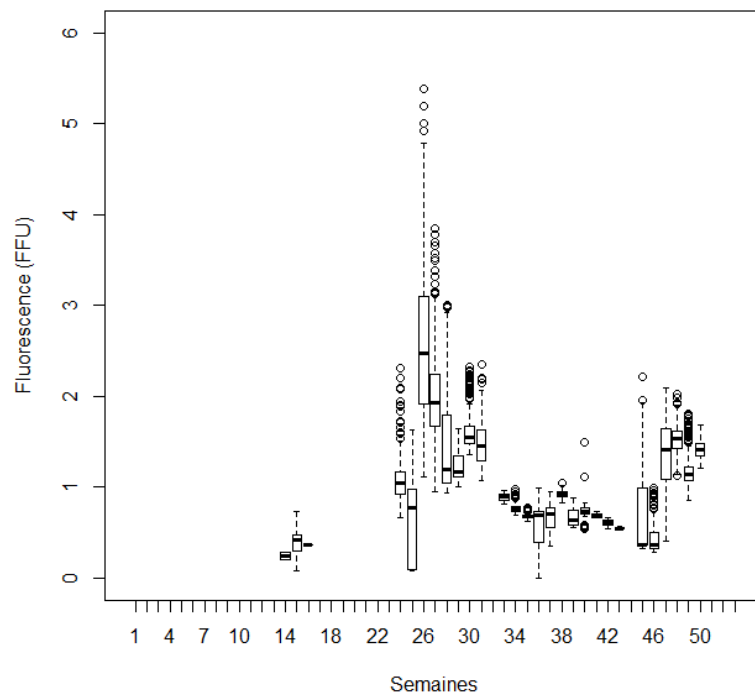
ANNEXE 1. Boîtes à moustache par année pour chaque paramètre mesuré par la station MAREL Carnot pour les années 2005 à 2014 puis par semaine pour l'année 2014.

Fluorescence (FFU)

Boxplot pour les années 2005:2014

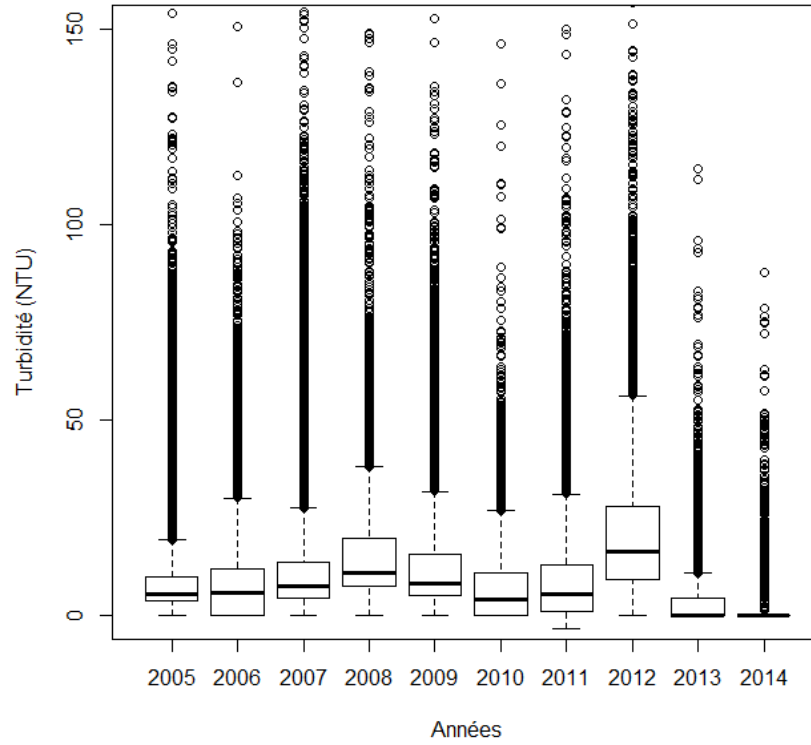


Boxplot pour l'année 2014

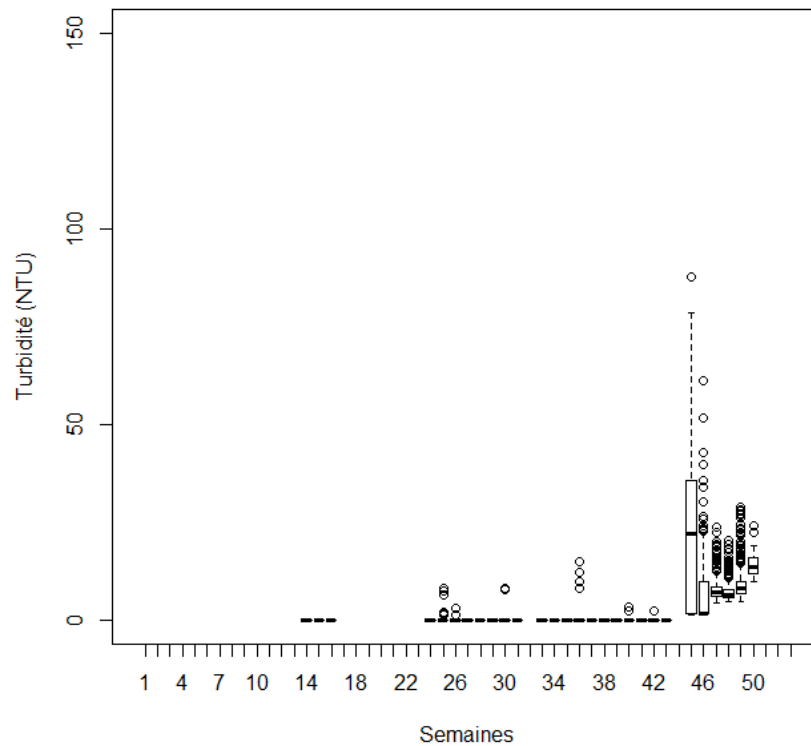


Turbidité (NTU)

Boxplot pour les années 2005:2014

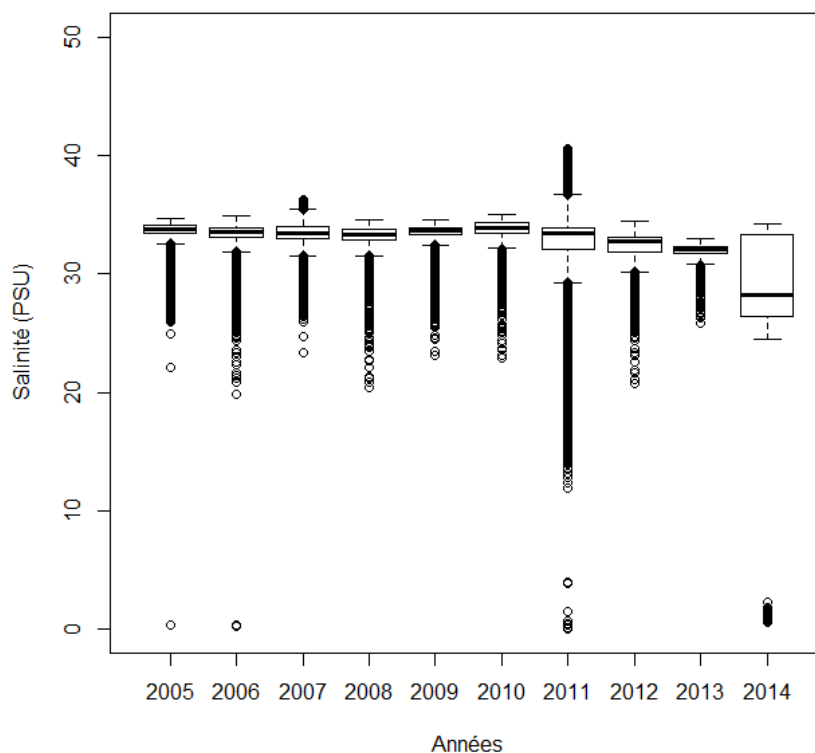


Boxplot pour l'année 2014

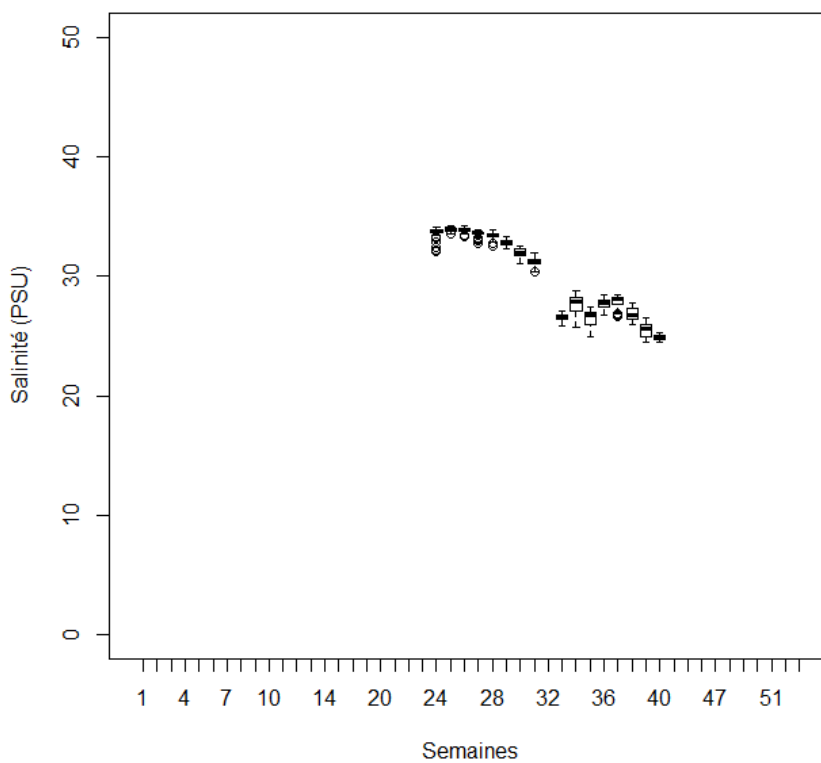


Salinité (PSU)

Boxplot pour les années 2005:2014

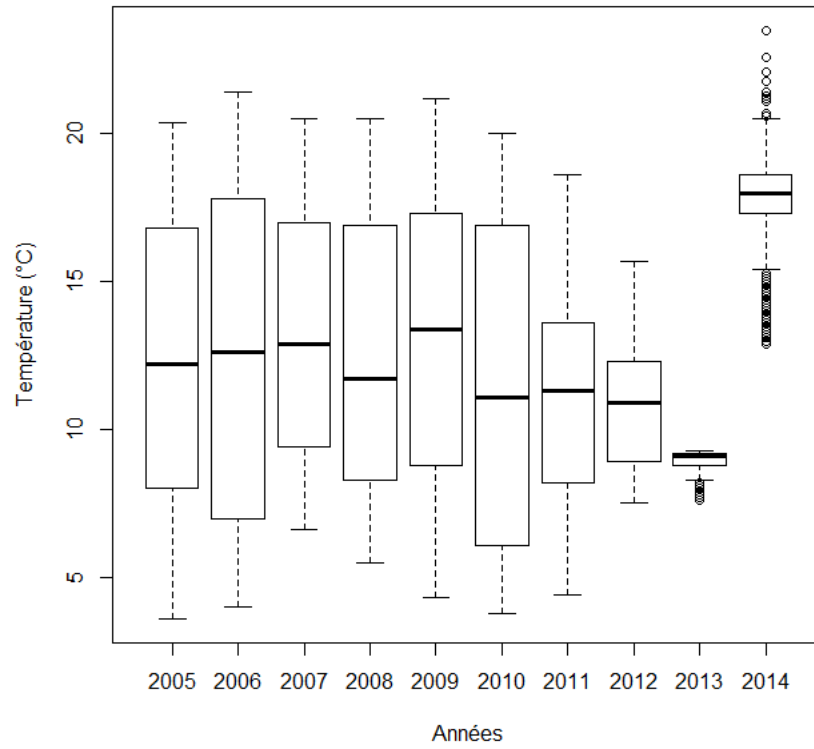


Boxplot pour l'année 2014

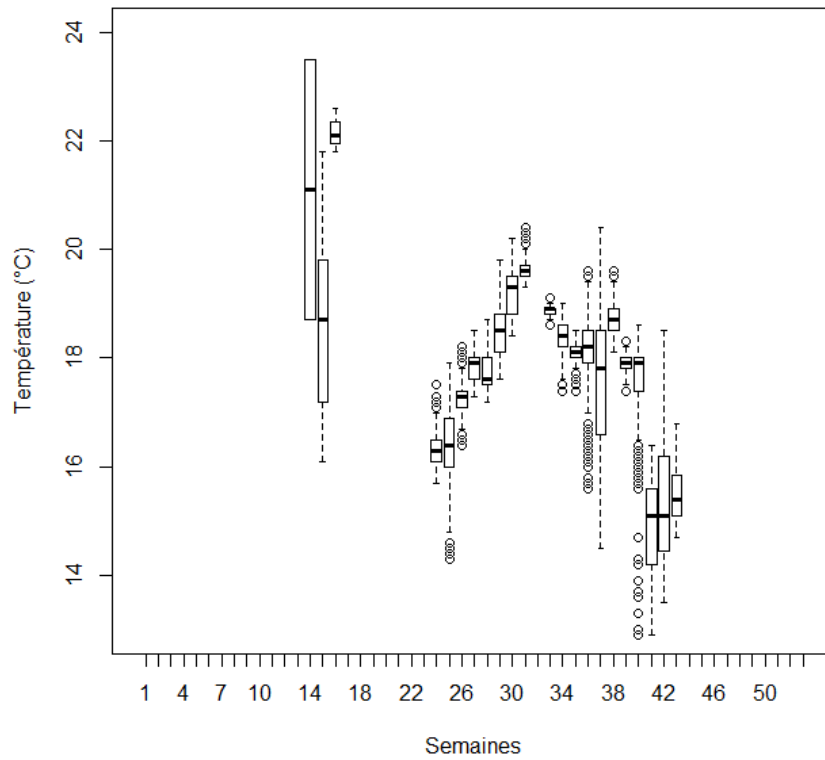


Température de l'eau (°C)

Boxplot pour les années 2005:2014

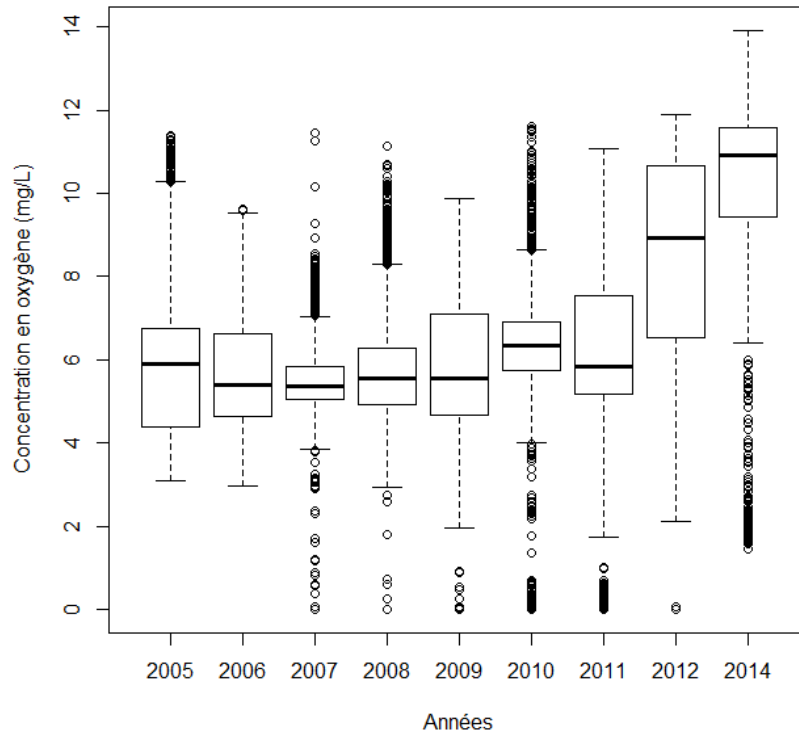


Boxplot pour l'année 2014

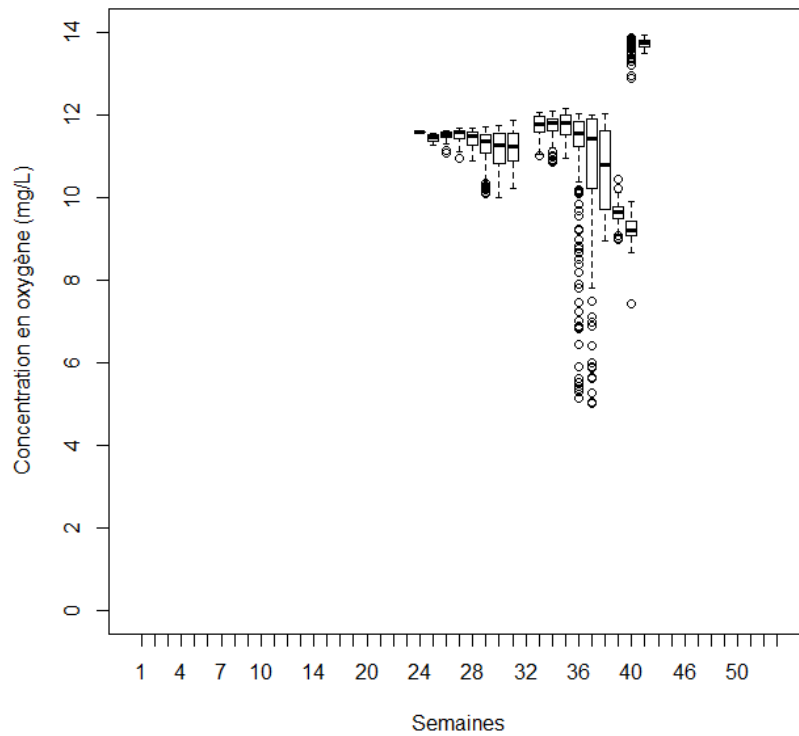


Concentration en oxygène (mg/L)

Boxplot pour les années 2005:2014



Boxplot pour l'année 2014



PARTENAIRES DU PROJET

