

Département ODE/Unité Littoral
Laboratoire côtier Environnement et Ressources
de Boulogne-sur-Mer

Lefebvre Alain, Ifremer
Poisson-Caillault Emilie, ULCO/LISIC

Juin 2016 – Ifremer/RST.LER.BL/17.06



Rapport N° 11

MAREL Carnot

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

Opérations lors de l'année 2016



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

Opérations lors de l'année 2016

Fiche documentaire

Numéro d'identification du rapport : Ifremer/RST.LER.BL/17.06		Date de publication : Juin 2017	
Diffusion : libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/>		Nombre de pages : 24	
Contact : A. Lefebvre Adresse électronique : alain.lefebvre@ifremer.fr		bibliographie : Oui	
		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). Opérations lors de l'année 2016.			
Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/>		Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>	
Auteurs : Alain Lefebvre Emilie Poisson-Caillault		Organisme / Direction / Service, laboratoire Ifremer – ODE/LER, Boulogne-sur-Mer. ULCO / LISIC, Calais.	
Collaborateurs :			
<u>Nutriments</u> Vincent Duquesne		Ifremer – ODE/LER, Boulogne-sur-Mer.	
<u>Maintenance</u> Michel Répécaud		Ifremer – RDT, Brest.	
Jean-Valéry Facq		Ifremer – RDT/HO, Boulogne-sur-Mer.	
Karenn Bucas		Ifremer – RDT, Brest.	
Loïc Quémener		Ifremer – RDT, Brest.	
Cadre de la recherche : Action Ifremer « MAREL Carnot » (code analytique Imago : A030803A ; eOTP SAP : P204-0029-01)			
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 détaillée 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., Poisson-Caillault E., 2017. MAREL Carnot : Rapport n° 11 : Bilan d'une surveillance à haute fréquence en zone côtière sous influence anthropique (Boulogne-sur-Mer). Opérations lors de l'année 2016. Ifremer/RST.LER.BL/17.06, 24 pages.			



sommaire

1. INTRODUCTION	8
2. RAPPELS : FONCTIONNEMENT DE MAREL CARNOT.....	9
2.1. <i>Le système MAREL Carnot jusque 2014.....</i>	9
2.2. <i>Le système MAREL Carnot depuis 2014.....</i>	11
2.2.1. <i>La base de données</i>	11
2.2.2. <i>Le système de mesures</i>	12
3. RÉSULTATS.....	13
3.1. <i>Bilan de fonctionnement.....</i>	13
3.2. <i>Valorisation des données.....</i>	17
3.2.1. <i>Utilisation des données issues du système MAREL Carnot.....</i>	17
3.2.2. <i>Valorisation scientifiques</i>	17
3.2.3. <i>Projets scientifiques associés.....</i>	19



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. Récemment dans le cadre de l'Infrastructure de Recherche Littorale et Côtière ILICO, les équipes se sont structurées en un réseau national multi-organismes : le COAST-HF. Une large gamme de paramètres est maintenant mesurée sur des sites très variés (Figure 1).

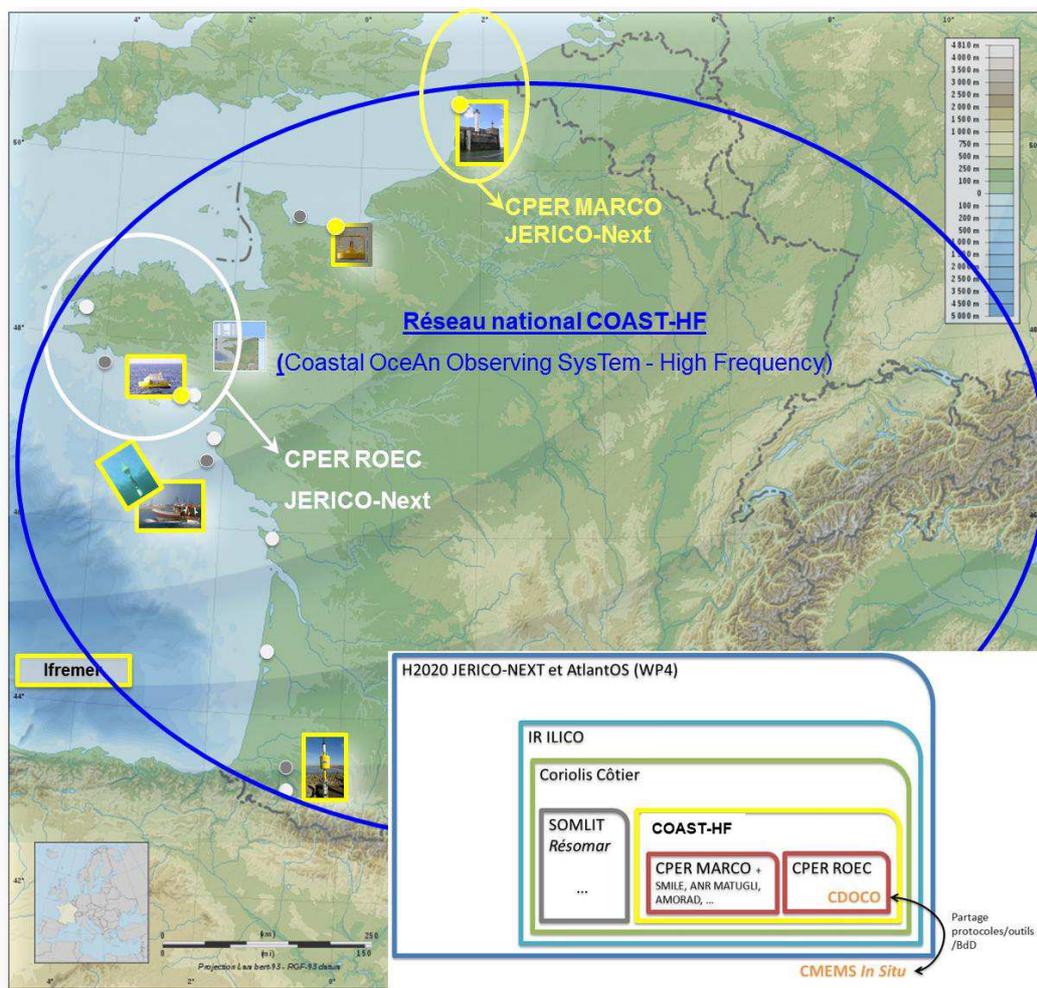


Figure 1. Localisation des stations instrumentées du réseau national COAST-HF. Lien avec les infrastructures de recherche, les projets scientifiques et techniques.

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).

L'évolution des technologies, et par conséquent l'obsolescence des systèmes mis en oeuvre en 2004, est telle que le système MAREL a subi une évolution majeure en 2014. Ainsi, le traitement de la série temporelle acquise depuis maintenant plus de 10 ans nécessite la prise en compte de ces changements pour un traitement optimal des données. Par ailleurs, il faut noter que l'évolution du système est en cours. L'utilisateur des données devra différencier la période de 2004-2014 de la période 2014-2015 conformément aux informations ci-dessous. Il faut également noter que la période en cours est une vraie phase de transition qui devrait permettre de passer de MAREL Carnot - Génération 1.0 à MAREL Carnot - Génération 2.0 d'ici à 2017-2018.

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 150 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 affecter 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 : <https://wwz.ifremer.fr/Recherche-Technologie/Infrastructures-de-recherche/Infrastructures-d-observation-des-oceans/CORIOLIS>

Les données issues des plateformes de mesures à haute fréquence comme MAREL Carnot (Figure 4) sont collectées par CORIOLIS et diffusées par le Centre de données pour l'océanographie côtière opérationnelle (CDOCO). Elles sont accessibles/téléchargeables via :

<http://www.coriolis.eu.org/Observing-the-Ocean/HF-Coastal-Network2>

Le code plateforme pour MAREL Carnot dans CORIOLIS est [62443](#)

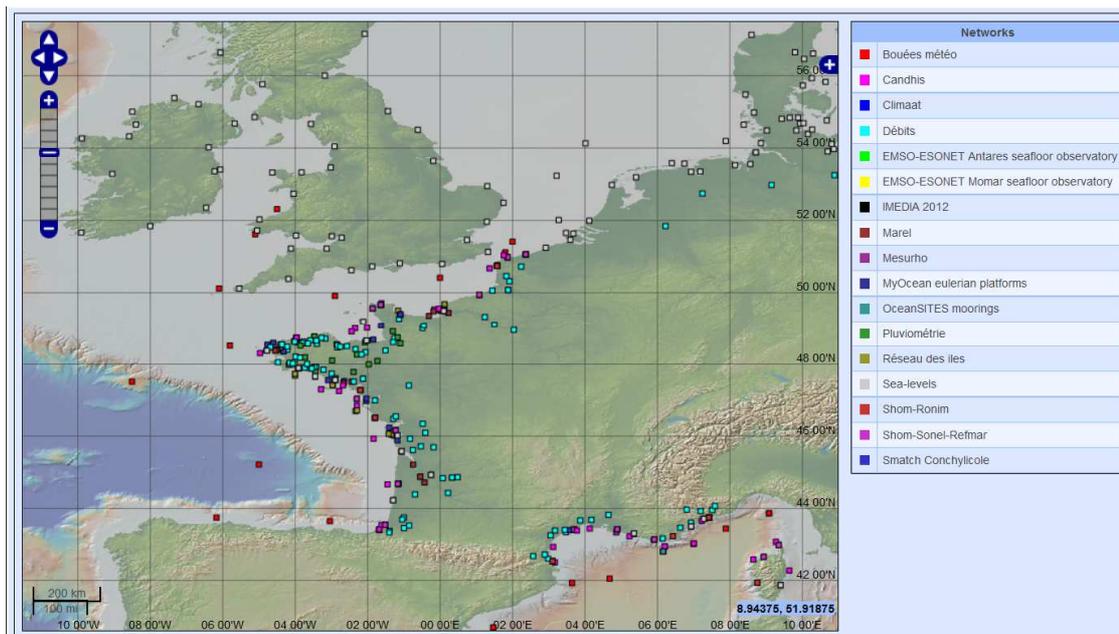


Figure 4. Localisation des différents sites de l'infrastructure CORIOLIS dont fait partie MAREL Carnot.

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

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>). Ifremer. Contact: alain.lefebvre@ifremer.fr

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 le 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 5).

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

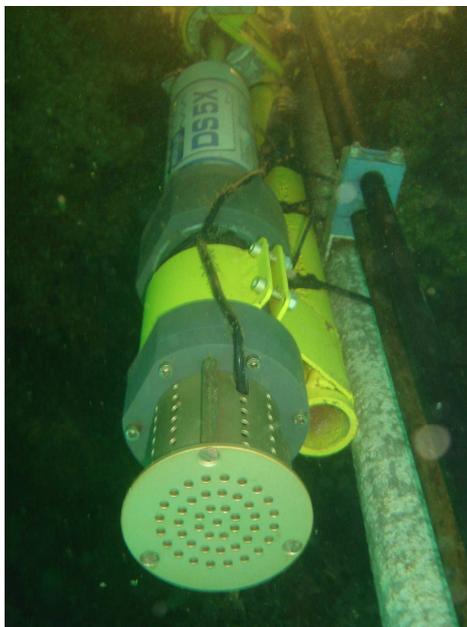


Figure 5. Système de mesure immergé en position sur sa perche

La phase de jouvence du système doit se poursuivre 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 et Repecaud (2006), Lefebvre (2007), Lefebvre (2008), Duval (2009), Lefebvre (2010), Lefebvre (2011), Lefebvre, Rousseuw et Caillault (2012), Lefebvre et Rousseuw (2013), Lefebvre et Rousseuw (2014), Lefebvre et Devreker (2015), Lefebvre et Caillault (2016). 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> ou via la base Archimer (<http://archimer.ifremer.fr/>).

A ce jour, les analyses des nutriments ainsi que les paramètres mesurés dans l'air ne sont plus accessibles.

L'année 2016 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'une manière générale, les interruptions de mesures sont liées à des opérations de maintenance (Figures 6 à 10) 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.

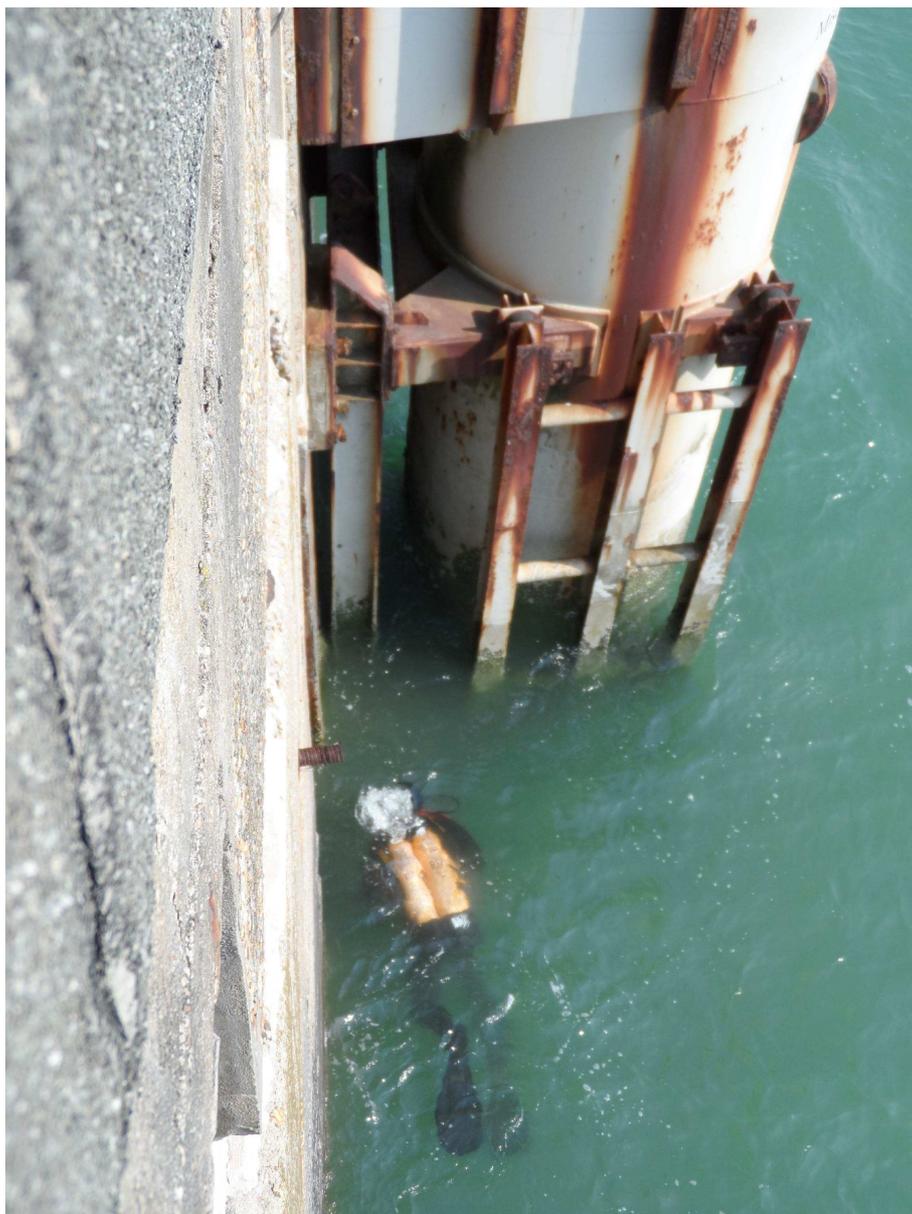


Figure 6. Opération de plongée le long du tube contenant le flotteur (support des capteurs) de MAREL Carnot. Remplacement des anodes anticorrosion et inspection générale.



Figure 7. Opération de maintenance sur le flotteur (support des capteurs, du module de gestion et de transmission des données).



Figure 8. Remise en place d'une anode anticorrosion sur le flotteur (au premier plan). A gauche, à l'arrière-plan, anode après plusieurs mois de déploiement.



Figure 9. A Gauche : Galet de guidage du flotteur et son axe après quelques jours d'utilisation. A Droite : Les mêmes éléments après quelques semaines de déploiement.



Figure 10. Remplacement de la sonde multiparamètre NKE MP6 et vérification de l'efficacité du système de chloration.

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. Utilisation des données issues du système MAREL Carnot

La valorisation et la diffusion des données MAREL Carnot via son numéro DOI (<http://www.seanoe.org/data/00286/39754/>) permet aujourd'hui d'accroître son utilisation à des fins de Recherche mais aussi d'Enseignement.

Les données MAREL Carnot continuent d'être le support du module biostatistique du Master Sciences de la Mer à l'université du Littoral Côte d'Opale (ULCO). Cette unité d'enseignement s'adresse à la fois aux étudiants de première année de Master Sciences de la Mer mais aussi aux étudiants de troisième cycle dans le cadre de leur formation doctorale.

Pour les besoins de cette formation un script R a été développé. Il permet, à partir d'un fichier de données brutes extrait de la base Coriolis, de :

- mettre en forme les données (alignement temporel, validation des données en fonction des gammes capteurs et experts),
- définir la taille de la matrice de données, le pourcentage de données acquises pour la période considérée et par paramètre,
- proposer les paramètres statistiques de base pour les différents paramètres pour la période considérée,
- étudier les variabilités saisonnière et interannuelle grâce à des boîtes à moustaches,
- de comparer les statistiques par paramètre entre les résultats acquis sur la période [Année 0, Année N-1] et ceux acquis l'année N.

Les utilisateurs des données MAREL Carnot (comme d'autres systèmes HF) peuvent avoir accès via le site officiel R à un package permettant une analyse et une prédiction des données basées sur l'utilisation conjointe d'une méthode de classification non supervisée et d'un modèle de Markov caché. Ce package uHMM (<https://cran.r-project.org/web/packages/uHMM/index.html>), contient à la fois des fonctions de visualisation, classification et modélisation de séries temporelles mais aussi une interface utilisateur. Cette interface fournit l'ensemble des résultats et outils statistiques d'analyse dans divers tableurs, images.

3.2.2. Valorisation scientifiques

En 2016, les données MAREL Carnot ont pu être valorisées sous différentes formes :

Rapports et communications scientifiques :

Poisson Caillault E., Lefebvre A., 2017. Towards Chl-a Bloom Understanding by EM-based Unsupervised Event Detection. OCEANS17 MTS/IEEE A vision for sustaining our marine futures, 19-22 juin 2017, Aberdeen, Scotland.

Phan T.-T.-H., Poisson Caillault E., Lefebvre A., Bigand A., 2017. Which DTW method applied to marine univariate time series imputation. OCEANS17 MTS/IEEE A vision for sustaining our marine futures, 19-22 juin 2017, Aberdeen, Scotland.

Phan T.-T.-H., Poisson Caillault E., Bigand A., Lefebvre A., 2017. A novel approach for uncorrelated multivariate time series imputation. 2017 IEEE International Workshop on Machine Learning for signal processing, 25-28 septembre 2017, Tokyo, Japon.

Phan T.T.H., Poisson-Caillault E., Lefebvre A., Bigand A., 2017. Complétion intelligente de séries temporelles de données fortement manquantes : quelle métrique, quelle approche choisir ? Atelier Méthodologie du GIS Campus de la Mer, 3 avril 2017, Boulogne-sur-Mer.

Poisson-Caillault E., Lefebvre A., 2017. Extraction intelligente de signatures caractéristiques dans des séries temporelles. Atelier Méthodologie du GIS Campus de la Mer, 3 avril 2017, Boulogne-sur-Mer.

Lefebvre A., Devreker D., 2017 . Interface utilisateur R pour l'analyse des principales caractéristiques et des tendances des séries temporelles. Atelier Méthodologie du GIS Campus de la Mer, 3 avril 2017, Boulogne-sur-Mer.

Caillault-Poisson E., Rizik A., Ternynck P., Bigand A., Lefebvre A., 2017. New developments to fill gap in high frequency data series and to integrate knowledge in Markov modeling of phytoplankton dynamics. Colloque Oceanography and Geoscience of the eastern English Channel – Pas, present, future (EEC 2017). 6-7 juin 2017, Wimereux, France.

Sautour B., Breton E., Dauvin J.C., Goberville E., Lefebvre A., Luczak C., Poisson-Caillault E., Schmitt F., 2017. Twenty years of observations in the French coastal waters : the case of the eastern English Channel. Colloque Oceanography and Geoscience of the eastern English Channel – Pas, present, future (EEC 2017). 6-7 juin 2017, Wimereux, France.

Lefebvre A., 2017. Comprendre la structure et la dynamique du phytoplancton en réponse aux forçages naturels et anthropiques, et contribuer au développement des outils d'analyses automatisées. Vers un système intégré d'Observation en Manche orientale. Séminaire Ifremer DYNECO, 13 juin 2017, Brest.

Lefebvre A., Caillault E., 2017. Développement d'outils numérique pour une évolution de l'observation à haute fréquence. Journées techniques du Résomar, atelier fluorescence, 14-15 juin 2017, SHOM, Brest.

Lefebvre A., 2017. Fluorescence et mesures à haute fréquence : MAREL Carnot, mesures d'opportunités de type Ferry Box. Journées techniques du Résomar, atelier fluorescence, 14-15 juin 2017, SHOM, Brest.

Encadrements de projets



CPER MARCO – Axe 1



H2020 JERICO-Next – WP4 – JRAP#1

Autres

L'ULCO/LISIC et l'Ifremer poursuivent leur collaboration dans le cadre de la thèse de Phan Thi Thu Hong (2015-2018) intitulée "Appariement élastique (par métrique classique et floue), critères et méthodes pour la classification et la modélisation des séries temporelles incomplètes". Directeur de thèse : Bigand A. Encadrante : Poisson-Caillault E. L'Ifremer, LER/BL collabore à ce travail pour le volet "expertise environnementale".

Une convention d'accueil a été signée avec l'ULCO afin de pouvoir renforcer la collaboration sur le sujet HF avec Mr Jean-Marc Leblond dans le cadre du CPER MARCO et du projet H2020 JERICO-Next. Cette collaboration permet d'envisager un travail approfondi sur l'interfaçage entre MAREL Carnot et de nouveaux systèmes de mesures.

Le système MAREL Carnot est identifié comme l'un des dispositifs de collecte de données pertinents pour les besoins du plan de gestion du Parc Marins des Estuaires Picards et de la Mer d'Opale.

Par ailleurs, dans le cadre de la mise en œuvre du Programme de Surveillance de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM) et plus particulièrement pour les programmes Eutrophisation et Habitats Pélagiques, les systèmes automatisés de mesures à haute fréquence ont été identifiés comme des dispositifs pertinents afin d'améliorer les évaluations couramment réalisées via des approches conventionnelles à basse fréquence (Lefebvre, 2013).

3.2.3. Projets scientifiques associés

Le projet de **CPER MARCO** – Recherches marines et littorales en Côte d'Opale : des milieux aux ressources, aux usages et à la qualité des produits aquatiques, est un projet structurant multi-laboratoires, multi-organismes associant la mise en place d'instruments et d'outils (enquêtes, indicateurs) pour une approche globale de l'étude du milieu marin, de la ressource et de la qualité des produits aquatiques. Pour répondre à ces enjeux académiques et sociétaux, le projet s'articule autour de 6 axes :

- 1- Observation et évaluation de l'environnement marin
- 2- Structure, fonctionnement et dynamique des écosystèmes
- 3- Productivité et durabilité des ressources halieutiques et aquacoles

- 4- Qualité et sécurité des ressources aquatiques
- 5- Vulnérabilité et usages des éco-socio-systèmes marins et littoraux
- 6- Ingénierie marine et littorale.

Le système MAREL Carnot est un des piliers de l'axe 1 qui vise à la jouvence ou la mise en oeuvre de nouveaux systèmes instrumentés qui contribuera ainsi à l'optimisation ou au développement des réseaux d'observation et de surveillance et donnera donc une vision, à la fois à proximité des côtes avec des systèmes fixes instrumentés et au large via les mesures d'opportunité, des évolutions de l'environnement côtier dans son ensemble. Il permettra ainsi d'avoir un suivi étendu des évolutions à long terme. Grâce au caractère haute fréquence des acquisitions, il favorisera également l'anticipation et la compréhension de certains processus, parfois nuisibles pour l'écosystème et/ou pour l'Homme et permettra de quantifier, par exemple, l'impact d'évènements intermittents et d'évènements extrêmes.

A l'échelle européenne, dans la continuité de la démarche scientifique engagée dans le cadre du projet InterReg IVa-2 Mers DYMAPHY (2010-2014), le LER/BL et ses partenaires sont impliqués dans le **projet H2020 JERICO-Next** (New European eXpertise for coastal observatories) et plus particulièrement dans les axes 3 et 4 dédiés, respectivement, (i) au développement de technologies et de méthodologies, avec pour notre groupe un projet orienté vers le développement et la mise en oeuvre de plateformes automatisées pour l'observation du phytoplancton et (ii) à des cas d'étude en Manche et en mer du Nord. Il s'agira pour notre groupe de travailler à l'étude de l'eutrophisation, des blooms d'algues nuisibles et à la diversité du plancton. Le système MAREL Carnot devrait servir de plateforme test à une campagne de mesures à haute résolution couplant le système à un cytomètre en flux et à un analyseur spectral. Ce projet s'inscrit dans le cadre des besoins d'amélioration des connaissances en lien avec la mise en oeuvre de la **DCSMM** (Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin, 2010/56/EU).

3.2.4. Conclusions

Pour conclure, il faut donc noter que le système MAREL Carnot est dans une phase de transition liée à une volonté de jouvence majeure. Cette phase est financée par les projets CPER MARCO, JERICO-Next, par l'Agence de l'Eau Artois Picardie et par le Parc Marin des Estuaires Picards et de la Mer d'Opale. Pendant cette phase, l'acquisition des données en mode nominal est rendue délicate. Ainsi, l'effort est porté sur le développement d'outils d'aide à l'importation depuis la base de données Coriolis, le pré-traitement et l'analyse exploratoire des données, la classification des états environnementaux et la modélisation. Par ailleurs, les responsables techniques et scientifiques du système MAREL Carnot poursuivent leurs implications dans les groupes RESOMAR, COAST-HF (Coastal Ocean Observing System - High Frequency) dans la logique d'une reconnaissance au niveau national dans un système labellisé en lien avec l'Infrastructure de Recherche Littorale et Côtière IR - ILICO. A terme, il s'agit donc de bénéficier d'un système complet depuis l'acquisition des données jusqu'à leur valorisation optimale.

Considérant le tryptique Observation, Surveillance / Etudes et Recherches / Avis, expertises et appui à la politique publique (figure 11), la période actuelle correspond davantage à une montée en puissance du volet Etudes et Recherches. Lorsque MAREL Carnot 2.0 sera opérationnel, l'acquisition en mode nominal de l'ensemble des

paramètres physico-chimiques, biologiques et météorologiques permettra de relancer une observation et/ou une surveillance de la dynamique d'un écosystème côtier sous influence anthropique dans le contexte des proliférations de l'algue nuisible *Phaeocystis globosa*. L'approche multiparamètre couplée à une optimisation du traitement des données permettra de mieux définir des états environnementaux caractéristiques des différentes phases d'évolution saisonnière, voire pluriannuelle, de ce système côtier et permettra ainsi de mieux comprendre la dynamique des nutriments et du phytoplancton (les deux principaux facteurs déclassant lors des évaluations de type DCE, OSPAR). Cette amélioration de l'observation, et par conséquent des connaissances acquises, permettra de mieux comprendre afin d'anticiper pour mieux gérer (volet Avis et Expertises, Appui à la Politique Publique du tryptique de la figure 11).

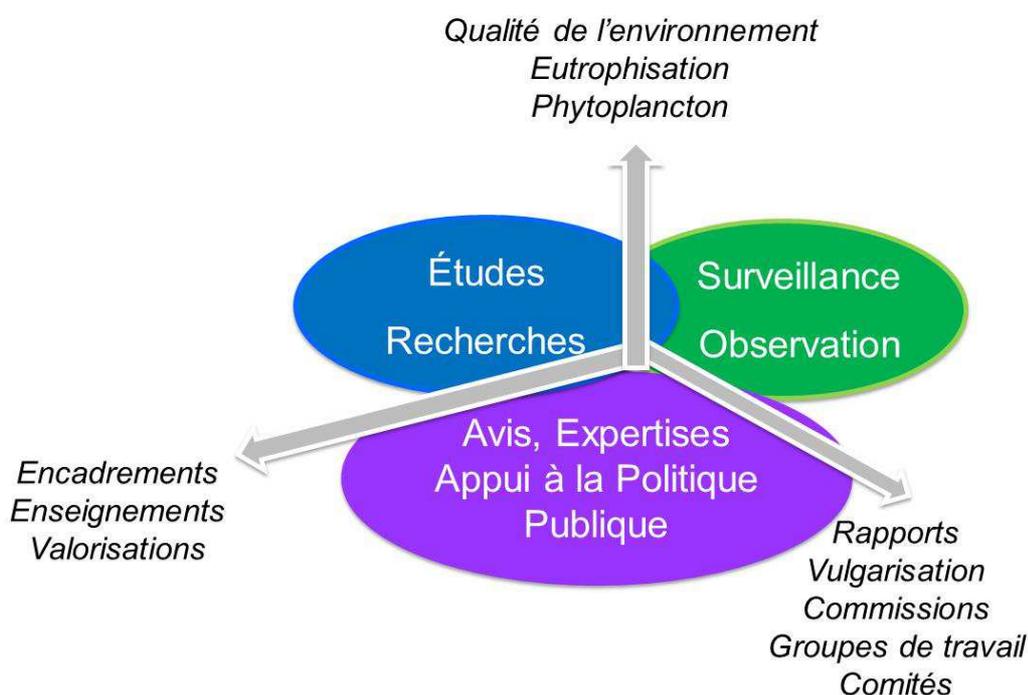


Figure 11. Tryptique sur lequel est basé la stratégie de mise en œuvre de systèmes d'observation comme MAREL Carnot.

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., K erouel, 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 E., Lefebvre A., Ternynck P., 2016. Interface uHMM : Une interface utilisateur graphique sous R, pour construire un modèle de Markov caché non supervisé. Convention ULCO/LISIC-AEAP. Rapport ULCO/LISIC, 16 pages.
- Duval P., 2009. Etude à haute fréquence de la dynamique de l'écosystème côtier sous influence anthropique : contexte des efflorescences de la prymn siophyc e *Phaeocystis globosa* au large de Boulogne-sur-Mer. Ifremer/TMR.LER.BL/09.06, 44 pages (Encadrement A. Lefebvre).
- Derot J., 2014. Utilisation des données de MAREL Carnot pour la compréhension des mécanismes des extrêmes dans la qualité des eaux à Boulogne-sur-mer. Thèse de doctorat de l'université de Lille I.
- 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 Algorith" 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 –  tude 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., 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 A., Rousseuw 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., 2013. Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (2008/56/CE) - Programme de surveillance - Livrable 5 : Proposition scientifique et technique de paramètres et de dispositifs de suivis associés. Rapport Ifremer ODE/RST/LERBL/13.02, 60 pages.
- 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., 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.
- 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.
- Lefebvre A., Poisson-Caillault E., 2016. MAREL Carnot : Rapport n° 10 : Bilan d'une surveillance à haute fréquence en zone côtière sous influence anthropique (Boulogne-sur-Mer). Bilan de l'année 2015. Ifremer/RST.LER.BL/16.06, 26 pages.
- Lefebvre A., Poisson-Caillault E., Rousseeuw K., Hamad D., Soudant D., Soudant A., Gohin F., Répécaud M., 2016. La station instrumentée MAREL Carnot : retours d'expérience de 10 ans d'observation à haute fréquence d'une zone côtière sous influence anthropique. In *Mesures à haute résolution dans l'environnement marin côtier*, Schmitt, F.G. et Lefebvre A. (Eds.) CNRS Editions, 2016, pp. 17-30.
- 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
- Rousseeuw 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.
- Rousseeuw 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.
- Rousseeuw K., Caillault E., Lefebvre A., Hamad D., 2016. Modèle de Markov caché hybridé pour la surveillance de l'environnement marin. In *Mesures à haute*

- résolution dans l'environnement marin côtier, Schmitt, F.G. et Lefebvre A. (Eds.) CNRS Editions, 2016, pp. 111-120.
- 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.
- Schmitt, F. G., 2005. Relating lagrangian passive scalar scaling exponents to eulerien scaling exponents in turbulence. *European Physical Journal*, B48, 129-137.
- Schmitt F. G., Lefebvre A. (Eds.), 2016. Mesures à haute résolution dans l'environnement marin côtier, CNRS Editions. ISBN 978-2-271-08592-4.
- Schmitt F. G., Zongo S. B., Lefebvre A., 2016. Dynamique multi-échelle et extrêmes dans les ratios stochiométriques mesurés en Manche orientale : MAREL Carnot et SOMLIT. In Mesures à haute résolution dans l'environnement marin côtier, Schmitt, F.G. et Lefebvre A. (Eds.) CNRS Editions, 2016, pp. 91-98.
- 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.