

## Rapport N°4

# MAREL Carnot

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

## Bilan de l'année 2009





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

Bilan de l'année 2009



## Fiche documentaire

<b>Numéro d'identification du rapport :</b> Ifremer/RST.DOP/LER/BL.10.08		<b>Date de publication :</b> Septembre 2010 <b>Nombre de pages :</b> 20 <b>bibliographie :</b> Oui <b>Illustration(s) :</b> Oui <b>Langue du rapport :</b> Français	
<b>Diffusion :</b> libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/> <b>Contact :</b> A. Lefebvre Adresse électronique : alain.lefebvre@ifremer.fr			
<b>Titre du rapport :</b> Valorisation des données d'une surveillance à haute fréquence en zone côtière sous influence anthropique (Boulogne-sur-Mer). Données de l'année 2009.			
Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/>		Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>	
<b>Auteur :</b> Alain Lefebvre <b>Collaborateurs :</b> <u>Mesures <i>in situ</i></u> Camille Blondel Vincent Duquesne <u>Maintenance</u> Michel Repecaud Jean-Valery Facq Karenn Bucas David Le Piver Loïc Quémener		<b>Organisme / Direction / Service, laboratoire</b> Ifremer – LER/BL  Ifremer – LER/BL Ifremer – LER/BL  Ifremer – RDT-DSMI/Brest Ifremer – RDT/HO/BL Ifremer – RDT/EIM/Brest Ifremer – RDT-DSMI/Brest Ifremer – RDT-DSMI/Brest	
Cadre de la recherche : Action Ifremer « MAREL Carnot »			
Destinataires : Agence de l'Eau Artois Picardie, SMCO, Universités, CPEL			
<b>Résumé</b> 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. Le présent rapport n'est pas destiné à valoriser l'ensemble des données acquises en 2009 sous forme de tableaux et de figures car ces traitements dépendent de la question posée et dépendent donc de l'intérêt du lecteur. Ce rapport présente les travaux de valorisation de données par les différentes équipes impliqués dans le projet MAREL Carnot.			
<b>Mots-clés</b> Détroit du Pas-de-Calais, rade de Boulogne-sur-Mer, mesures à haute fréquence, MAREL, paramètres généraux de qualité du milieu marin			
<b>Comment citer ce rapport :</b> 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.			



# sommaire

---

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>9</b>
<b>2. RAPPELS : FONCTIONNEMENT DE MAREL CARNOT.....</b>	<b>10</b>
<b>3. RESULTATS – DISCUSSIONS.....</b>	<b>12</b>
3.1. <i>Bilan de fonctionnement.....</i>	12
3.2. <i>Valorisation des données.....</i>	13
3.2.1. Atelier du Réseau National des Stations Marines sur les mesures à haute fréquence dans l'environnement marin, 22-23 octobre 2009, Wimereux.....	13
3.2.2. Fluctuations multi-échelles et extrêmes dans les séries temporelles biogéochimiques à moyen et long terme en milieu marin côtier. Thèse de doctorat de l'Université de Lille I, Sylvie Zongo sous la direction de F. Schmitt (LOG) .....	14
3.2.3. Développement méthodologiques pour le traitement des données à haute fréquence .....	14

---

<b>4. REFERENCES.....</b>	<b>17</b>
<b>5. AUTRES DOCUMENTS.....</b>	<b>19</b>







## 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, l'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, la stabilité des mesures dans le temps étant assurée par la chloration des capteurs.

Le maintien de ces installations en bon état de fonctionnement a permis aux équipes concernées d'acquérir une solide expérience en maintenance opérationnelle. D'autre part, la multiplication des stations MAREL en France métropolitaine, regroupées en réseaux locaux a nécessité la mise en place d'une structure chargée d'organiser ces différents réseaux : le projet ROSLIT (Figure 1). La métrologie, sous assurance qualité, représente un des aspects les plus importants de cette organisation.

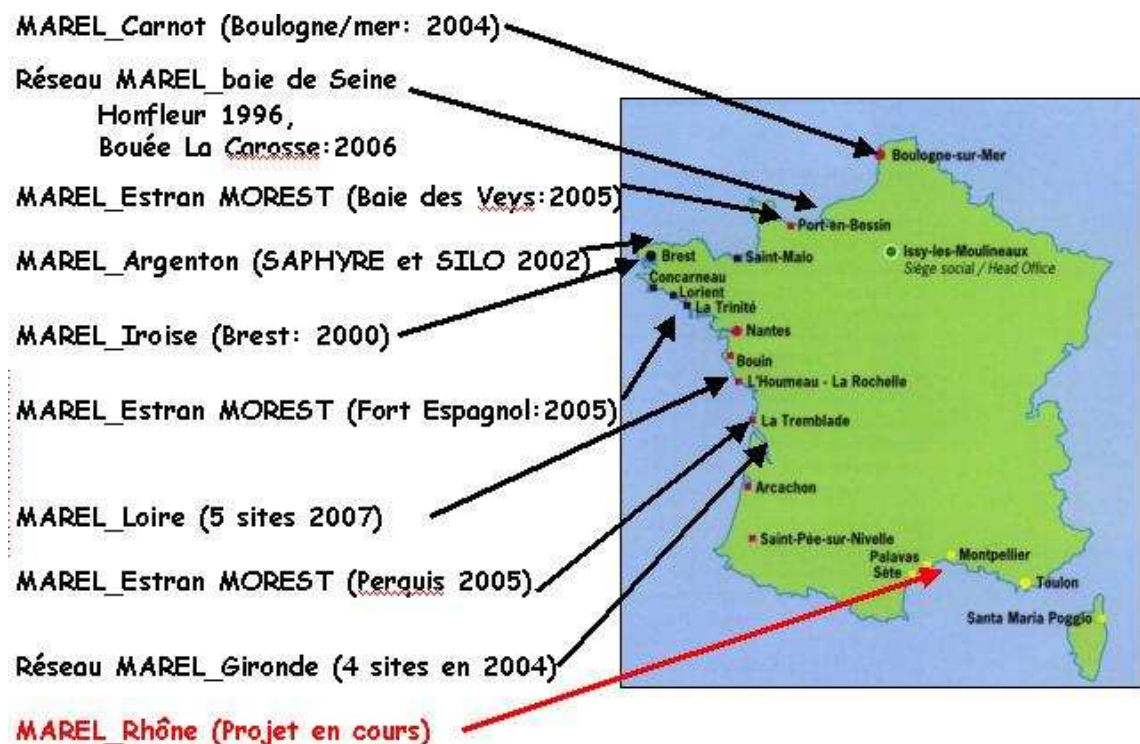


Figure 1 : Localisation des stations instrumentées du réseau ROSLIT

## 2. RAPPELS : FONCTIONNEMENT DE MAREL CARNOT

Un premier rapport de 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 cœur du système est constitué d'une cellule de mesure regroupant plusieurs capteurs. L'originalité du système est 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.

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). Ces fréquences sont ajustables.

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

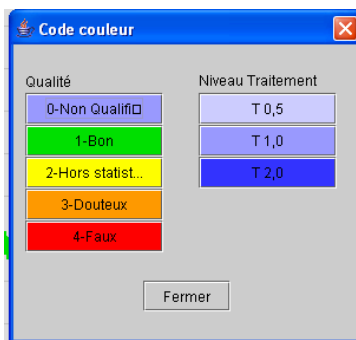


Figure 2 : Niveau de traitement et de qualité des données lors de la procédure de contrôle (capture d'écran de l'outil de contrôle qualité)

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

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

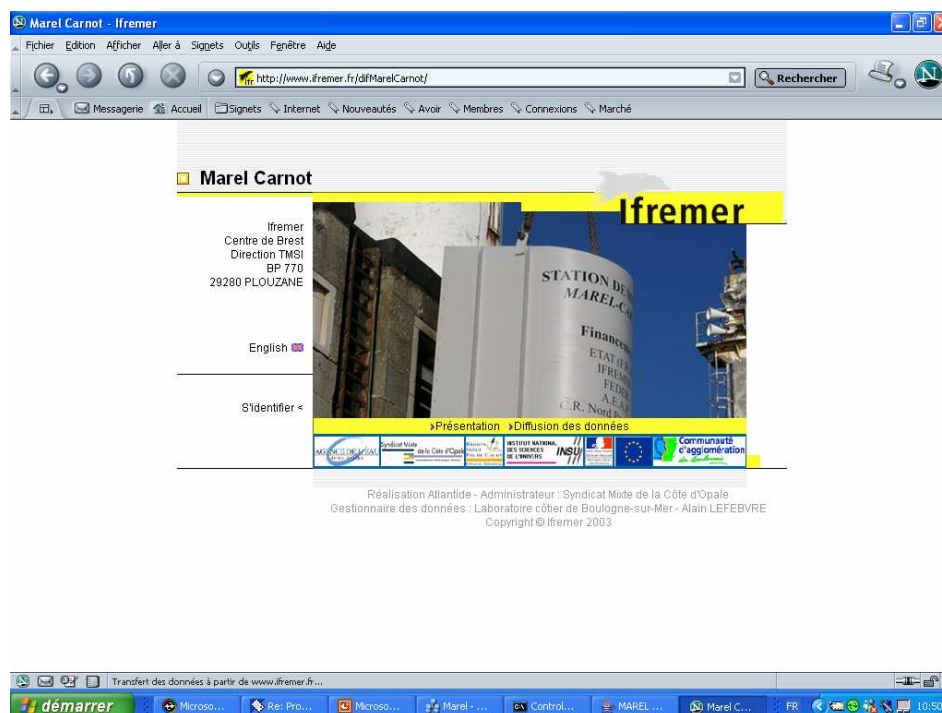


Figure 3 : Page d'accueil du site de consultation des données MAREL Carnot

La chambre de passage est changée trimestriellement et conduit à la vérification sous assurance de qualité de l'étalonnage des capteurs (Tableau 2). Un rapport de métrologie permet alors d'affecter un niveau de qualité définitif à la donnée qui passe 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 (U.A.) Sans nettoyage	Température (° C)
Conformité	+/- 0,20	+/- 0,30	+/- 0,20	+/- 10 %	+/- 10 %	+/- 0,1

### 3. RESULTATS

#### 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). Ces rapports sont téléchargeables sur le site du laboratoire Environnement & ressources du centre Ifremer Manche Mer du Nord : [http://wwz.ifremer.fr/manchemerdunord/activites\\_et\\_missions/environnement](http://wwz.ifremer.fr/manchemerdunord/activites_et_missions/environnement)

L'analyseur de nutriments a fait l'objet de 6 rotations permettant une maintenance régulière du système (Rappel ; 2 analyseurs sont disponibles. Lorsque l'un est sur le système MAREL Carnot, l'autre est en maintenance au laboratoire).

La chambre de passage, support des capteurs de salinité, température de l'eau, turbidité, concentration en oxygène et fluorescence, a fait l'objet de 3 rotations. Les autres opérations de maintenance ont porté sur le système de communication, la pompe d'amorçage, le module principal de commande, les jambes de prélèvement, le circuit hydraulique, les galets de roulements, les batteries, le groupe électrogène. Les opérations de moindres importances ne sont pas listées dans ce document.

Sur la base des données acquises par le capteur de fluorescence, le tableau 3 permet de définir le pourcentage d'acquisition de données du système pour chaque mois de l'année 2009. Les données acquises par l'analyseur de nutriments sont moins nombreuses en raison d'une fréquence d'échantillonnage différente (1 mesure toutes les 12 heures et non pas une mesure toutes les 20 minutes).

Tableau 3 : Pourcentages mensuels d'acquisition de données en 2007.

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
% données acquises	66,0	91,3	56,5	74,3	99,4	98,8
	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
% données acquises	93,3	88,9	96,9	95,8	94,5	90,4

## 3.2. Valorisation des données

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

### 3.2.1. Atelier du Réseau National des Stations Marines sur les mesures à haute fréquence dans l'environnement marin, 22-23 octobre 2009, Wimereux.

Cet atelier a été organisé par F. Schmitt (UMR CNRS 8187 LOG, Wimereux) et P. Raimbault (Laboratoire de Microbiologie Géochimie et Ecologie Marine, Marseille). Les participants étaient issus de différents organismes de recherches ou gestionnaire du milieu : VLIZ, Belgium ; CEFAS, UK ; University of Rhode Islands, USA ; OSU, Roscoff ; OSU, Brest ; OSU, Banyuls ; OSU, Villefranche sur Mer ; Ifremer, Brest ; IUEM, Brest ; EPOC, Bordeaux ; AEAP.

Une présentation intitulée « 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 » a été faite par Lefebvre A. (2009).

Le résumé de la communication est le suivant :

La prise de conscience générale des problèmes d'environnement, notamment au niveau du littoral, conduit à renforcer la surveillance qui s'y exerce. Ce renforcement de l'effort d'échantillonnage passe inévitablement par l'augmentation de la fréquence d'acquisition des données. Par l'expérience acquise depuis de nombreuses années dans l'exploitation des réseaux de surveillance de l'environnement, l'Ifremer a contribué à la mise en évidence du 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).

Dans ce contexte, la station de Mesures Automatisées en Réseau de l'Environnement Littoral - MAREL - a été mise en place au niveau de la digue Carnot du port de Boulogne-sur-Mer en 2004. Le système mesure toutes les 20 minutes la température de l'air et de l'eau, la salinité, la turbidité, la fluorescence, le PAR (Photosynthetic Available Radiation), le pH, la concentration en oxygène dissous (et le pourcentage de saturation), la pression atmosphérique, la direction et la vitesse du vent, la hauteur d'eau. Les concentrations en nitrate, en phosphate et en silicate sont mesurées toutes les

12 heures. Les données sont mises à disposition, après validation et qualification, du grand public, des gestionnaires de l'environnement, des scientifiques ... via l'adresse <http://www.ifremer.fr/difMarelCarnot/>

Le site d'implantation du système offre l'avantage de permettre l'étude de la dynamique de l'écosystème côtier sous influence d'une structure frontale (le « fleuve côtier ») et des apports anthropiques (notamment via la rivière Liane) en intégrant à la fois les signaux marins côtiers et les signaux révélateurs de l'influence du bassin versant du boulonnais. La mise en œuvre de ce système s'opère dans le contexte particulier de l'observation et de la surveillance d'un écosystème potentiellement perturbé par les proliférations massives de la prymnésiofycée *Phaeocystis globosa* et qui est, selon les critères de la Directive Cadre sur l'Eau et de la convention d'Oslo et de Paris, en risque de non-atteinte du bon état écologique ou une zone à problème potentiel au regard de l'eutrophisation, respectivement.

### 3.2.2. Fluctuations multi-échelles et extrêmes dans les séries temporelles biogéochimiques à moyen et long terme en milieu marin côtier.

Ce travail de thèse de l'Université de Lille I est accompli par Sylvie Zongo sous la direction de F. Schmitt (LOG) et s'appuie en partie sur les données de MAREL Carnot. Il a été l'occasion de renforcer la collaboration en le Laboratoire Environnement & Ressources du centre Ifremer de Boulogne-sur-Mer et l'UMR CNRS 8187 LOG de Wimereux. La soutenance de thèse devrait avoir lieu au mois d'octobre 2010 à la Station Marine de Wimereux.

Cette collaboration a permis la rédaction de deux manuscrits qui seront publiés prochainement :

- Zongo S. B., Schmitt F. G., Lefebvre A., Repecaud M., 2009. Observations biogéochimiques des eaux côtière à Boulogne-sur-mer à haute fréquence: les mesures automatiques de la bouée MAREL. Presse UOF, accepté pour publication.
- Zongo S.B. , F. G. Schmitt and A. Lefebvre. Multiscales dynamics of biogeochemical parameters in the English Channel water. Submitted to Progress in Oceanography, septembre 09.

### 3.2.3. Développement méthodologiques pour le traitement des données à haute fréquence

Ce travail de collaboration entre le Laboratoire Environnement & Ressources du centre Ifremer de Boulogne-sur-Mer et le laboratoire LISIC de l'Université du Littoral Côte d'Opale a pour objectif de développer des méthodes de traitements des données à haute fréquence. Ces données ne peuvent en effet être traités par les méthodes classiques en raison de leur volume (plusieurs milliers de données par an), de leur non régularité en raison des périodes de panne ou de maintenance, de leur extrême variabilité qui est telle que l'expertise scientifique en est rendu très difficile.

Une présentation des premiers résultats d'analyses a été faite lors de l'atelier du Réseau National des Stations Marines sur les mesures à haute fréquence dans l'environnement marin (Caillaut et al., 2009). L'objectif cette étude était de partir d'une analyse avancée

---

de signaux issus des différents capteurs, afin d'élaborer un modèle dynamique permettant une meilleure prévisibilité des efflorescences. Ce modèle se doit d'être adaptatif et doit tenir compte des phénomènes de non stationnarité de l'environnement. Ajoutons à cela que le modèle doit aussi tenir compte du contexte de mesures bruitées, manquantes voire erronées. Pour l'atelier, nous avons posé le problème et montré les phases de pré-traitements des signaux et d'extraction de caractéristiques. Nous avons considéré l'ensemble de la base de données (signaux) caractéristique du milieu marin comme étant un nuage de points dans un espace multidimensionnel. Cet espace a été décomposé en classes caractéristiques d'efflorescence (absence, début, maintien, fin, etc.) permettant ainsi de ramener l'étude à un problème de classification.

Le travail accompli au cours de cette collaboration a permis d'envisager le dépôt d'un sujet de thèse dès 2009 par l'Université du Littoral Côte d'Opale, en collaboration avec l'Ifremer, pour un financement par le Syndicat Mixte de la Côte d'Opale. L'intitulé de ce projet de thèse est : Apprentissage semi supervisé de données temporelles par classification spectrale et modélisation markovienne. Application à la modélisation de la dynamique de l'efflorescence de l'écosystème côtier. Ce travail serait encadré par le D. Hamad (LISIC-ULCO), E. Caillault (LISIC-ULCO) et A. Lefebvre (IFREMER-LER/BL).

### **Résumé du sujet**

Récemment, l'apprentissage spectral semi supervisé a reçu une attention toute particulière vu qu'il constitue une approche unifiée pour la réduction de la dimension (prétraitement des données) et la classification (décision). Ce type d'apprentissage permet de faire intervenir des connaissances a priori dans le processus de décision du type contraintes sur les données : appartient à une classe définie, n'appartient pas à une classe définie, ressemble à, ne ressemble pas, etc.

Nous projetons d'étendre l'apprentissage semi supervisé à l'étude de systèmes caractérisés par des signaux variables à la fois dans le temps et dans l'espace. Il s'agit d'appliquer l'apprentissage dans l'étude de la signature dynamique de l'écosystème marin côtier. Ceci afin de mieux comprendre les conditions de déclenchement, de maintien et de fin des efflorescences phytoplanctonique (bloom) à partir de l'ensemble des données multi capteurs de la station de mesures automatisées Marel-Carnot située dans la rade de Boulogne-sur-Mer. Les données acquises permettent de caractériser l'environnement physico-chimique, météorologique et biologique lors des efflorescences. Certains des taxons impliqués dans ces efflorescences peuvent être nuisibles pour les écosystèmes pélagiques et benthiques. Certains taxons, potentiellement responsable de la production de toxines, sont nuisibles pour l'homme via l'ingestion de coquillages, concentrateurs des toxines produites. L'intégrité de l'écosystème et les services écosystémiques sont alors atteints.

Le système proposé devra être robuste à la qualité des données qui sont bruitées, manquantes et ou aberrantes.

Les travaux seront axés à la fois sur l'extraction intelligente de signatures caractéristiques dynamiques (temporellement) par classification spectrale et le couplage avec une modélisation markovienne. Les résultats attendus sont de pouvoir caractériser au mieux un ensemble de signaux temporels multi-variables par modèle dynamique.

Les travaux seront axés à la fois sur l'extraction intelligente de signatures caractéristiques dynamiques (temporellement) par classification spectrale et le couplage

avec une modélisation markovienne. Les résultats attendus sont de pouvoir caractériser au mieux un ensemble de signaux temporels multi-variables par modèle dynamique.

**Le jury d'attribution des bourses de thèses SMCO n'a pas retenu ce sujet pour un financement dès 2010. La poursuite des travaux engagés au cours de cette collaboration est donc fortement compromise voire stoppée faute de financement permettant d'accueillir un doctorant.**

#### 3.2.4. Monitoring à Haute Fréquence pour la surveillance du milieu littoral

A la demande de l'ONEMA (Office National pour l'Etude des Milieux Aquatiques), un travail de synthèse portant sur l'état de l'art en terme de monitoring à haute fréquence pour la surveillance du milieu littoral en France et à l'étranger a été rédigé par l'Ifremer en collaboration avec l'ensemble des partenaires impliqués dans ce type de monitoring (Samen et al., 2010). Le système MAREL Carnot y est bien entendu répertorié. Le rapport est disponible via le site internet du Laboratoire Environnement & Ressources du centre Ifremer de Boulogne-sur-Mer, dans la section consacrée à MAREL Carnot.



---

## REFERENCES

- Aminot, A., Kirkwood, D. et K  rouel, 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., K  rouel, 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 analyses. *Water Research*, 35 (7) :1777-1785.
- Aminot A. & R. K  rouel, 2004. Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses.   d. Ifremer, 336 p.
- 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., 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.
- 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).
- Gentilhomme V. & F. Lizon, 1998. Seasonal cycle of nitrogen and phytoplankton biomass in a well-mixed coastal system (Eastern English Channel). *Hydrobiologia*, 361 : 191-199.
- 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., 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.

- Legendre L. & P. Legendre, 1998. *Numerical Ecology*. Elsevier, Amsterdam, 853 p.
- Plat, T., Denman, K. L., 1975. Turbulent structure function in turbulent shear flows. *Ann, Rev, Ecol, Syst*, 6, 189-210.
- Schmitt, F. G., 2005. Relating lagrangian passive scalar scaling exponents to eulerien scaling exponents in turbulence. *European Physical Journal*, B48, 129-137.
- 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.
- Vanhoutte-Brunier A., Ménesguen A., Lefebvre A., Cugier P., 2008. Using a nitrogen-tracking technique in a 3D model of the primary production to assess the fueling sources of *Phaeocystis globosa* blooms in the eastern English Channel and the southern North Sea. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, en révision.

---

## 4. AUTRES DOCUMENTS

- Barbet F. & Alizier S., 2006. Étude comparative des données issues de la station automatisée MAREL et du réseau SOMLIT au niveau de Boulogne/Mer sur la période 2004-2005. Rapport de projet du Master 2 Professionnel « Gestion de la Biodiversité et des Écosystèmes Côtiers » de l'Université des Sciences et Technologies de Lille, Encadrant F. Schmitt, 22 pages.
- Bucas K., 2005. Synthèse des tests méthodologiques de CHEMINI pour le dosage de l'ammonium. Rapport Interne Ifremer TSI/ME.05.12, 25 pages.
- Bucas K., 2006a. Compte rendu des tests en température sur le CHEMINI Ammonium du 9 mai 2006. Rapport Interne Ifremer TSI/ME.06.16, 19 pages.
- Bucas K., 2006b. Manuel d'utilisation et de maintenance du CHEMINI Ammonium. Rapport Interne Ifremer TSI/ME.05.56, 32 pages.
- Claudel H. & Roossens J., 2007. Les systèmes de mesures haute fréquence en Manche et en Mer du Nord : Bouées et FerryBox. Rapport de projet du Master 2 Professionnel « Gestion de la Biodiversité et des Écosystèmes Côtiers » de l'Université des Sciences et Technologies de Lille, Encadrant : A. Lefebvre, 35 pages + Poster (Annexe 4).
- Degorre O., 2005. Évolution temporelle des sels nutritifs à haute fréquence : premier traitement des données de la station automatisée MAREL. Rapport de stage du Master 1 Environnement de l'Université des Sciences et Technologies de Lille, Encadrant : V. Gentilhomme, 29 pages.
- Giacomini E., Vodouhe G. & Pleignet R., 2005. Analyse des données des bouées MAREL en baie de Seine et en rade de Boulogne-sur-Mer. Rapport de projet du Master 2 Professionnel « Gestion de la Biodiversité et des Écosystèmes Côtiers » de l'Université des Sciences et Technologies de Lille, Encadrant : F. Schmitt, 19 pages.
- Schmitt, F. : Outils multi-échelles pour l'estimation des flux particuliers et dissous; acquisition et analyse de données, Rapport final, programme Seine Aval, 2006, 24 pp.

## PARTENAIRES DU PROJET



Syndicat Mixte  
de la Côte d'Opale  
Audomarois - Boulonnais - Calaisis - Dunkerquois - Montreuillois

