

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



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

Données de l'année 2006

Fiche documentaire

Numéro d'identification du rapport : Ifremer/RST.DOP/LER/BL.07.08		Date de publication : Septembre 2007
Diffusion : libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/>		Nombre de pages : 44
Contact : A. Lefebvre Adresse électronique : alain.lefebvre@ifremer.fr		bibliographie : Oui
		Illustration(s) : Oui
		Langue du rapport : Français
Titre de l'article Valorisation des données d'une surveillance à haute fréquence en zone côtière sous influence anthropique (Boulogne-sur-Mer). Données de l'année 2006.		
Contrat n° Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/> Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>		
Auteur : Alain Lefebvre	Organisme / Direction / Service, laboratoire Ifremer – LER/BL	
Collaborateurs : <u>Mesures <i>in situ</i></u> Camille Blondel Vincent Duquesne	Ifremer – LER/BL Ifremer – LER/BL	
<u>Maintenance</u> Michel Repecaud Jean-Valéry Facq Renaud Vuillemin Karenn Bucas David Le Piver Loïc Quémener	Ifremer – TSI/SI/Brest Ifremer – ERT/HO/BL Ifremer – TSI/SI/Brest Ifremer – TSI/SI/Brest Ifremer – TSI/DM/Brest Ifremer – TSI/DM/Brest	
Cadre de la recherche : OCO – Océanographie Côtière Opérationnelle – MAREL Carnot C.P.E.R. Nord Pas-de-Calais		
Destinataires : Agence de l'Eau Artois Picardie, SMCO, Universités, SMBC, DIRENs		
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. La partie 1 de ce travail paru en 2006 présente le projet depuis les études préliminaires jusqu'à l'implantation du système de mesures sur la digue Carnot, la transmission des données et les procédures associées ainsi que la description sommaire des premiers résultats. Le présent rapport constitue le premier bilan des données acquises par la station de mesures automatisées MAREL Carnot pour l'année 2006 dans un format qui préfigure celui d'un bulletin annuel.		
Mots-clés Détroit du Pas-de-Calais, rade de Boulogne-sur-Mer, mesures à haute fréquence, MAREL, efflorescence phytoplanctoniques, nutriments		

sommaire

1. INTRODUCTION	9
2. RAPPELS : FONCTIONNEMENT DE MAREL CARNOT	9
3. RESULTATS – DISCUSSIONS	12
3.1. <i>Bilan de fonctionnement</i>	12
3.2. <i>Impact de la position de MAREL Carnot sur les résultats</i>	12
3.3. <i>Interprétation du signal de fluorescence par rapport aux concentrations de chlorophylle a</i>	14
3.4. <i>Statistiques de base de la série de données 2006</i>	16
3.5. <i>Comparaison avec les données du réseau S.R.N.</i>	20
3.6. <i>Zooms sur quelques événements environnementaux</i>	26
3.6.1. <i>Apports de nutriments par le bassin versant de la Liane</i>	26
3.6.2. <i>Dynamique des efflorescences phytoplanctoniques</i>	27
3.7. <i>Optimisation du traitement des données</i>	33
<hr/>	
4. CONCLUSIONS – PERSPECTIVES	34
5. BIBLIOGRAPHIE	37
6. AUTRES DOCUMENTS	37
ANNEXES (4)	40

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.

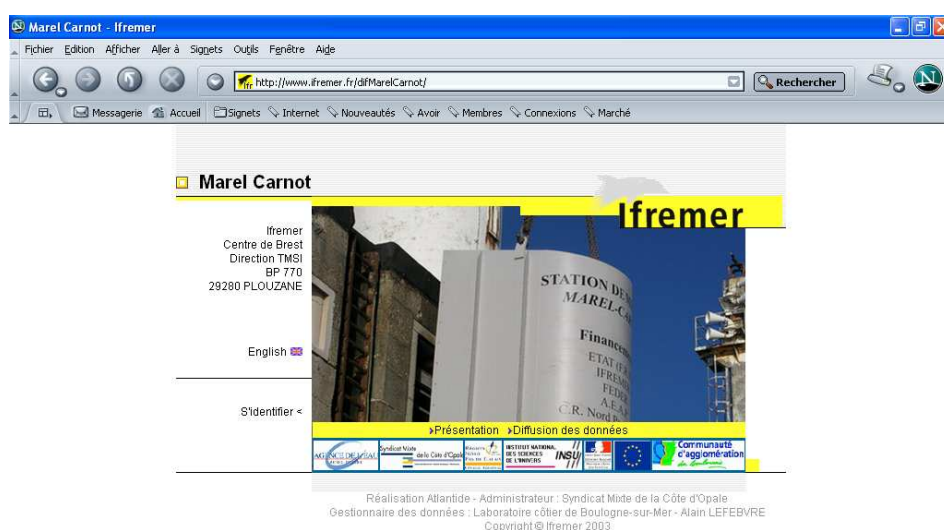


Figure 3 : Page d'accueil du site de consultation des données MAREL Carnot

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 – DISCUSSIONS

Certaines figures sont directement issues de l'outil de contrôle qualité des données de MAREL Carnot. Tous les niveaux de qualité des données sont alors représentés : les courbes sont vertes pour des données « bonnes », rouges pour des données « fausses » et oranges pour des données « douteuses ». L'échelle des ordonnées n'est valide que pour un seul paramètre (précision dans la légende).

3.1. Bilan de fonctionnement

MAREL Carnot entrera en 2008 dans sa 4^{ième} année de fonctionnement. Le présent rapport fait le bilan des données acquises en 2006 (2^{ième} année). Pour les paramètres de base, cela représente entre 22204 et 22896 données. La fréquence d'acquisition étant largement inférieure (1/12 h et non 36/12 h), le nombre de données de concentrations en sels nutritifs est compris entre 527 et 624.

Pour l'année 2006, le pourcentage mensuel de données acquises varie entre 74,1 et 93,5 % (Tableau 3).

Tableau 3 : Pourcentages mensuels d'acquisition de données en 2006.

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
% données acquises	87,1	80,8	93,5	89,7	92,0	89,4
	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
% données acquises	88,4	90,7	84,2	88,9	78,1	74,1

La plupart des interruptions majeures de l'acquisition des données (de l'ordre d'une journée) sont liées aux maintenances du système.

En 2006, la chambre de passage portant les capteurs de température, turbidité, pH, fluorescence, oxygène dissous a fait l'objet de 4 rotations (13/03, 08/06, 08/09, 12/12) : désinstallation d'une chambre qui sera vérifiée au laboratoire et installation d'une nouvelle chambre dont le fonctionnement des capteurs est validé par le laboratoire de métrologie. En parallèle, l'analyseur de sels nutritifs fait l'objet de 7 rotations : remplacement de l'analyseur par son jumeau et/ou arrêt prolongé pour maintenance (20/01, 09/02, 23/02, 16-17/05, 26/07-08/09, 22/09-25/10, 17/11-24/11). Les poches de réactifs sont, en moyenne, changés tous les mois.

3.2. Impact de la position de MAREL Carnot sur les résultats

La station de mesures est située à l'intérieur de la rade du port de Boulogne-sur-Mer. Le fonctionnement hydrodynamique de la rade est tel que la station subit potentiellement l'influence du bassin versant de la Liane et de la zone côtière adjacente (Figure 4).

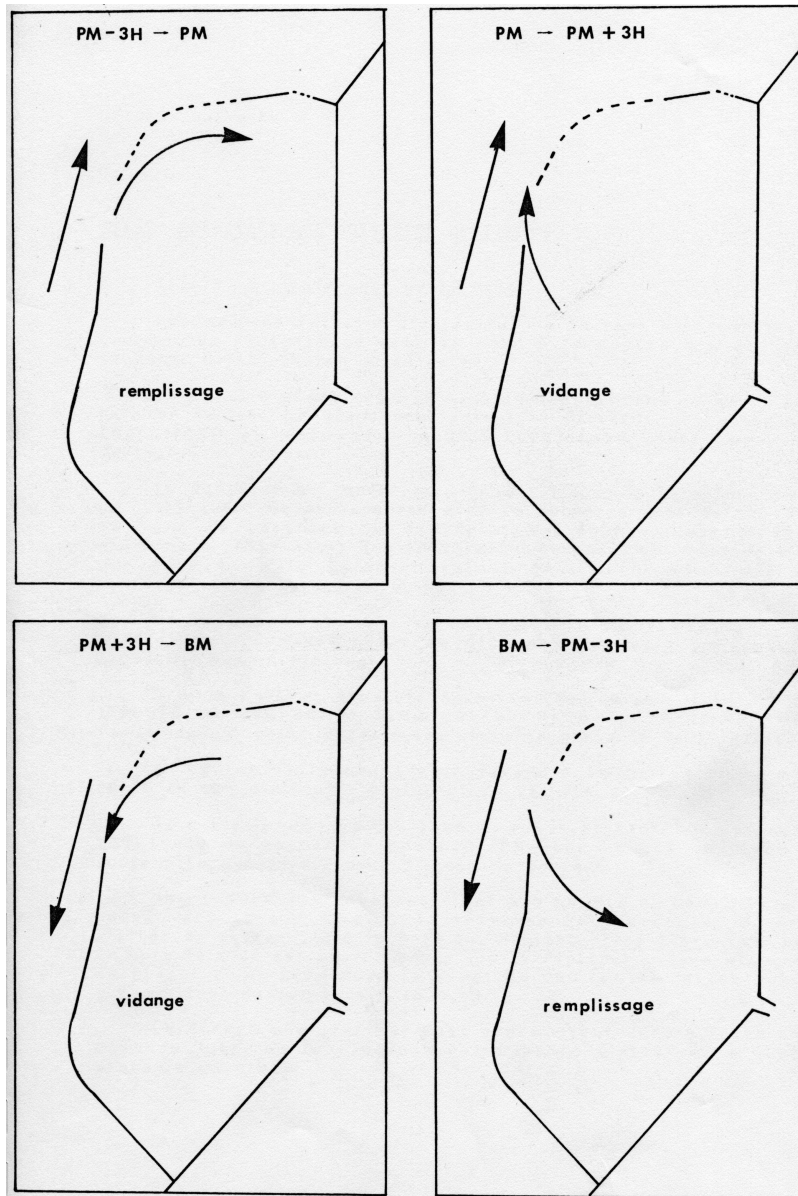


Figure 4 : Fonctionnement hydrodynamique de la rade de Boulogne-sur-Mer (source : Service Maritime des ports de Boulogne et Calais)

L'influence de la Liane a été étudiée via les données d'ouverture du barrage Marguet (Source : Service Maritime des ports de Boulogne et Calais) (Annexe 2) et les données de pluviométrie (Source : Météo France).

Les épisodes lors desquels la salinité est inférieure à 30 (critère arbitraire d'appréciation de l'influence des eaux douces de la Liane) représente 1,1 % des données acquises (Tableau 4). La plupart de ces événements se situent dans la classe de salinité]25, 30].

Tableau 4 : Paramètres de tendance centrale et de dispersion des données de salinité inférieure à 30 et répartition par catégories

Min.	Q1	Moy.	Médiane	Q3	Max.	N
19,87	27,44	28,15	28,88	29,52	30,00	240

Min : minimum / Q1 : quantile 25 % / Médiane : quantile 50 % / Q3 : quantile 75 % / Max : maximum / N : nombre de valeurs

Salinité	[19,25]]25,30]]30,36]
N	20	220	22463
%	0,09	0,97	98,94

Les résultats montrent que les ouvertures du barrage Marguet provoquent une entrée d'eau douce dans la rade dont l'effet se fait ressentir jusqu'au niveau du site de MAREL Carnot. Ces ouvertures sont liées à régulations lors d'épisodes pluvieux majeurs et/ou à des régulations 'de routine' du niveau de la Liane.

La salinité minimale (19,87) est observée le 09/12/2006.

Le signal acquis par MAREL Carnot est donc majoritairement représentatif de la zone marine côtière et présente l'avantage d'intégrer des événements liés au fonctionnement du barrage Marguet régulant la Liane.

3.3. Interprétation du signal de fluorescence par rapport aux concentrations de chlorophylle *a*

L'estimation de la biomasse phytoplanctonique se fait classiquement par une mesure de la concentration en chlorophylle *a* (méthode colorimétrique de Sorensen, 1976 - *In* : Aminot & Kérouel, 2004). Les mesures de fluorescence *in situ* sont de plus en plus nombreuses et il est très tentant de vouloir comparer les valeurs obtenues par ces deux méthodes. Les approches les plus simples se contentent de fournir un facteur de conversion entre les deux. Des études approfondies ont permis d'établir que la relation entre le signal de fluorescence et la concentration en chlorophylle *a* était beaucoup plus complexe : biais de mesures, interactions avec d'autres paramètres physico-chimiques, état physiologique de la communauté phytoplanctonique, ...

Ce type d'étude s'avérait donc indispensable sur notre littoral afin de pouvoir interpréter au mieux les données de MAREL Carnot et de pouvoir les comparer notamment avec celles des réseaux S.R.N./ REPHY.

Ainsi, lors des campagnes de prélèvements du S.R.N. (Suivi Régional des Nutriments sur le littoral Nord Pas-de-Calais ; Financements Ifremer/ Agence de l'Eau Artois Picardie) (Annexe 1) et lors des interventions sur MAREL Carnot, des échantillons d'eau ont été collectés afin de réaliser des mesures de concentration de chlorophylle *a* au laboratoire et d'étudier la composition phytoplanctonique (dénombrement de l'abondance et de la composition spécifique par microscopie inversée selon la méthode d'Ütermohl). Ces données sont comparées aux mesures de fluorescence de MAREL Carnot. L'échantillonnage a été opéré entre janvier 2005 et novembre 2006 (49 campagnes) (Annexe 3).

Les données phytoplanctoniques ont permis de calculer (i) l'indice de diversité de Shannon (Legendre & Legendre, 1998) qui fournit une information synthétique sur la richesse spécifique et l'équilibre du peuplement considéré, (ii) l'indice de similarité qualitatif de Sorensen (Classification hiérarchique) basé sur la présence et l'absence des espèces et (iii) l'indice de distance de Bray-Curtis (Classification hiérarchique) qui

prend en compte les variations d'abondance des espèces présentes dans les prélèvements comparés. Ces deux dernières méthodes permettent de définir des groupes d'espèces phytoplanctoniques sur la base de leur présence/absence ou des variations de leur abondance (Legendre & Legendre, 1998) (Annexe 3).

Le tableau 5 présente les paramètres statistiques de base de la concentration en chlorophylle *a* et du signal de fluorescence lors de la période d'étude.

Tableau 5 : Paramètres de tendance centrale et de dispersion de la concentration en chlorophylle *a* ($\mu\text{g/L}$) et du signal de fluorescence (F.F.U.).

	Min	Q1	Médiane	Moy.	Q3	Max	N
Chlorophylle <i>a</i>	0,6	2,3	5,4	3,9	7,8	21,6	49
Fluorescence	0,1	0,5	3,1	0,8	1,8	52,2	49

Min : minimum / Q1 : quantile 25 % / Médiane : quantile 50 % / Q3 : quantile 75 % / Max : maximum / N : nombre de valeurs

Les 2 signaux reproduisent les modifications de la composition de la population phytoplanctonique représentée par le biais de l'indice de Shannon (Figure 5).

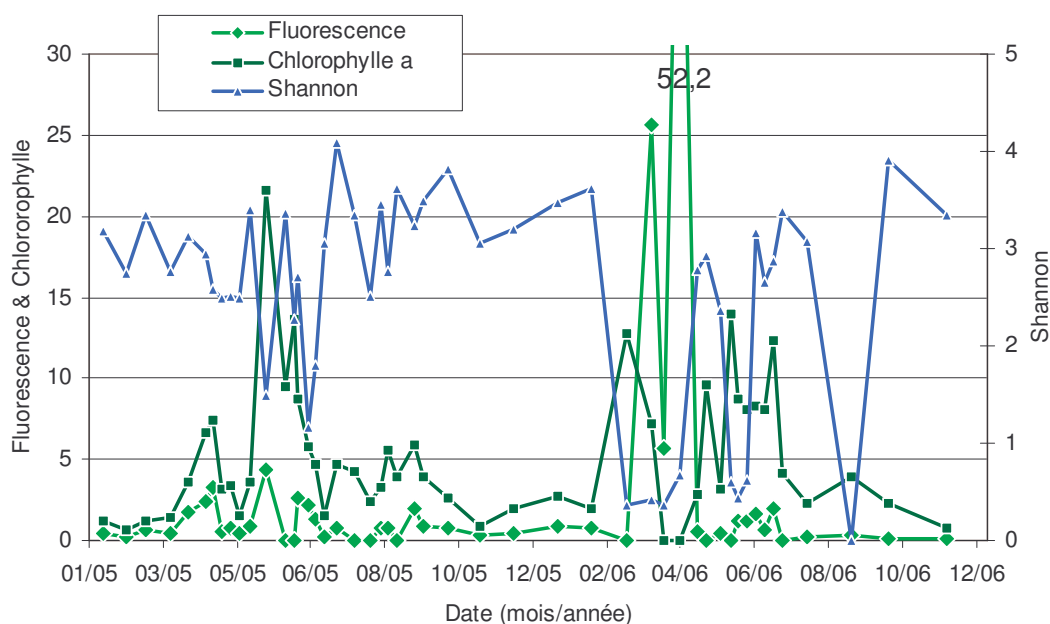


Figure 5 : Évolution temporelle de la fluorescence in situ (F.F.U.), de la concentration en chlorophylle *a* ($\mu\text{g/L}$) et de l'indice de diversité de Shannon.

Les caractéristiques du calcul de la relation linéaire entre la concentration en chlorophylle *a* et la fluorescence ne permettent pas de conclure quant à une relation significative au risque de première espèce $\alpha = 5\%$ ($n=38$ – suppression des outliers). Il n'est donc pas possible de passer de l'un à l'autre des signaux par l'utilisation d'un simple facteur de correction. Les données (Annexe 3) montrent clairement que ce facteur fluctue énormément (Tableau 6) en réponse aux modifications de la composition de la population phytoplanctonique. Ces modifications au sein de la population phytoplanctonique sont visualisées par des chutes de l'indice de Shannon lors de la dominance de certains taxons et/ou lorsque la richesse spécifique est faible (Figure 5).

De même, les classifications hiérarchiques montrent que les échantillons se répartissent en au moins 8 groupes selon l'indice de Sorensen et en 10 groupes selon l'indice de Bray-Curtis (Annexe 3).

Tableau 6 : Paramètres de tendance centrale et de dispersion du rapport entre la concentration en chlorophylle *a* et la fluorescence

Min.	Q1	Moy.	Médiane	Q3	Max.	N
0,3	3,0	5,4	4,2	6,6	22,7	49

Min : minimum / Q1 : quantile 25 % / Médiane : quantile 50 % / Q3 : quantile 75 % / Max : maximum / N : nombre de valeurs

3.4. Statistiques de base de la série de données 2006

Les données acquises par MAREL Carnot présentent différents niveaux de qualité. L'affectation de ce niveau est basée sur la connaissance acquise grâce au réseau S.R.N. (Annexe 1). Les statistiques de base sont calculées sur des données filtrées : définition d'un intervalle min. – max. pour chaque paramètre (Tableau 7).

Tableau 7 : Paramètres de tendance centrale et de dispersion des paramètres mesurés par MAREL Carnot au cours de l'année 2006

	Min	Q1	Médiane	Moy.	Q3	Max	N
Fluo.	0,00	0,23	0,61	2,38	1,68	58,31	22896
Hum.Rel.	25,21	73,50	81,91	80,23	88,04	98,79	22218
O2d corr.	4,23	6,63	7,72	8,21	9,45	13,73	22710
Sat. O2	55,64	83,37	90,16	92,93	101,77	135,02	22710
Salinité	19,87	33,09	33,50	33,37	33,91	34,92	22703
Turb.	0,00	0,00	5,70	9,04	12,00	136,30	22611
P.A.R.	0,0	0,0	10,5	284,9	394,3	2195,0	22215
T. Air	- 2,81	7,29	12,39	12,24	17,49	31,38	22204
T. Eau	4,00	7,00	12,60	12,48	17,80	21,40	22712
NO3	0,02	3,69	8,62	14,17	23,98	49,74	568
PO4	0,00	0,39	0,65	0,84	0,97	4,69	527
SiOH	0,01	1,43	3,59	5,22	8,97	24,83	624

Min : minimum / Q1 : quantile 25 % / Médiane : quantile 50 % / Q3 : quantile 75 % / Max : maximum / N : nombre de valeurs

Fluo : Fluorescence (F.F.U.) / Hum.Rel. : humidité relative (%) / O2d corr. : Concentration en oxygène dissous corrigée de la salinité (mg/L) / Sat. O2 : pourcentage de saturation en oxygène / Salinité (P.S.U.) / Turb. : turbidité (N.T.U.) / P.A.R. : Lumière disponible pour la photosynthèse ($\mu\text{mol/s/m}^2$) / T. Air : température de l'air ($^{\circ}\text{C}$) / T. Eau : température de l'eau ($^{\circ}\text{C}$) / NO3 : concentration en nitrate ($\mu\text{mol/L}$) / PO4 : concentration en phosphate ($\mu\text{mol/L}$) / SiOH : concentration en silicium ($\mu\text{mol/L}$)

Les figures 6 à 12 représentent l'évolution temporelle des différents paramètres. Certains paramètres feront l'objet de commentaires spécifiques dans les paragraphes suivants.

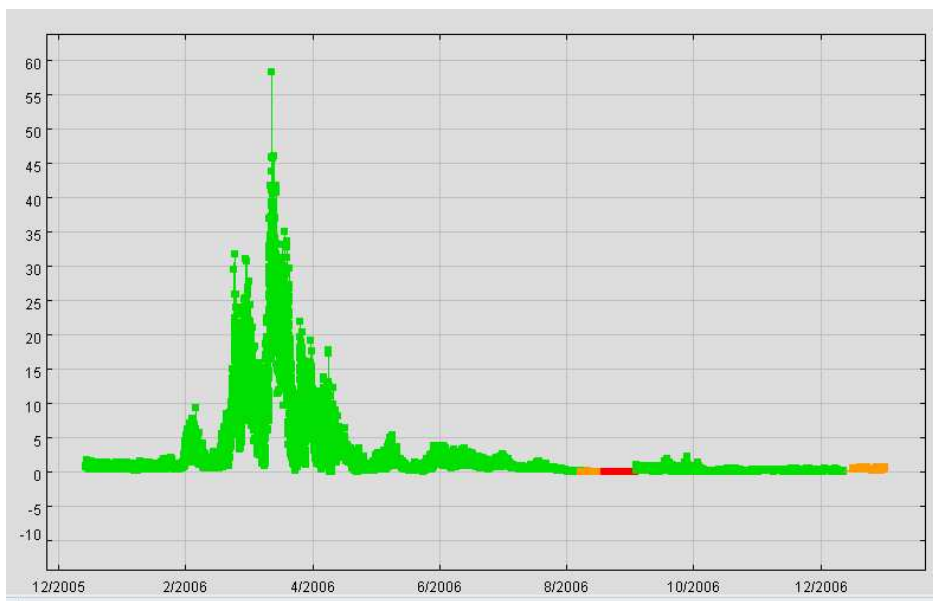


Figure 6 : Évolution temporelle de la fluorescence (F.F.U.) mesurée par MAREL Carnot au cours de l'année 2006

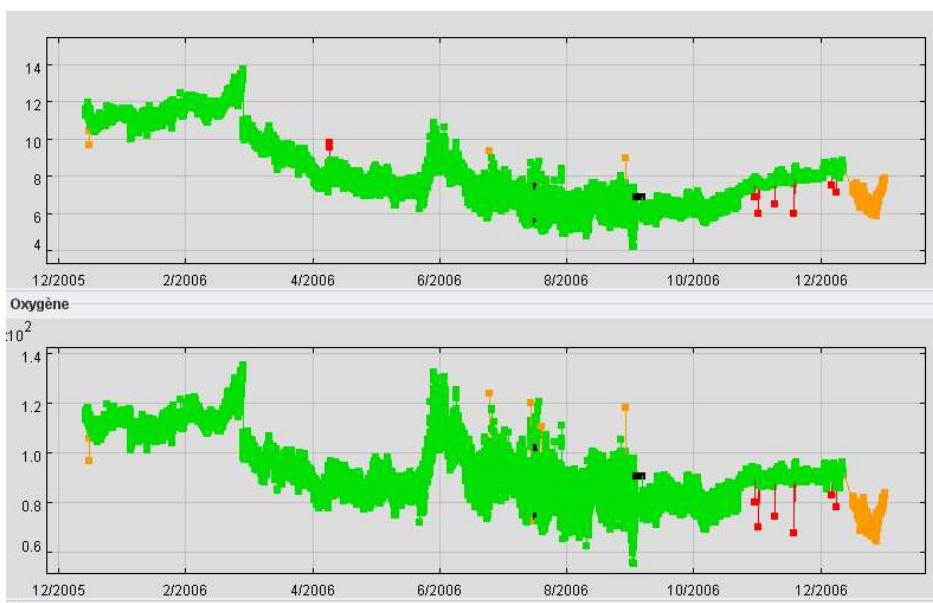


Figure 7 : Évolution temporelle de la concentration en oxygène dissous corrigé de la salinité (mg/L) et du pourcentage de saturation en oxygène mesurée par MAREL Carnot au cours de l'année 2006

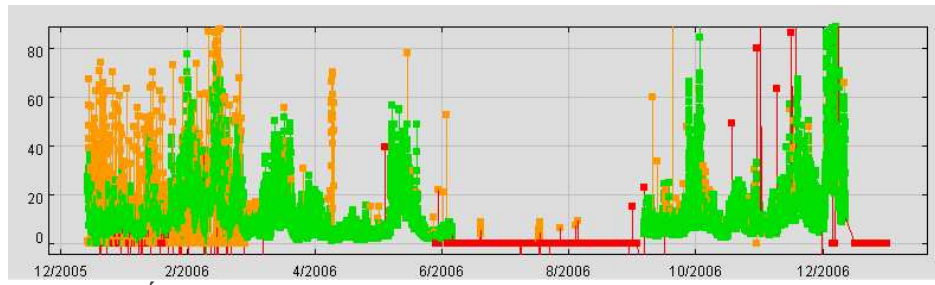


Figure 8 : Évolution temporelle de la turbidité (N.T.U.) mesurée par MAREL Carnot au cours de l'année 2006

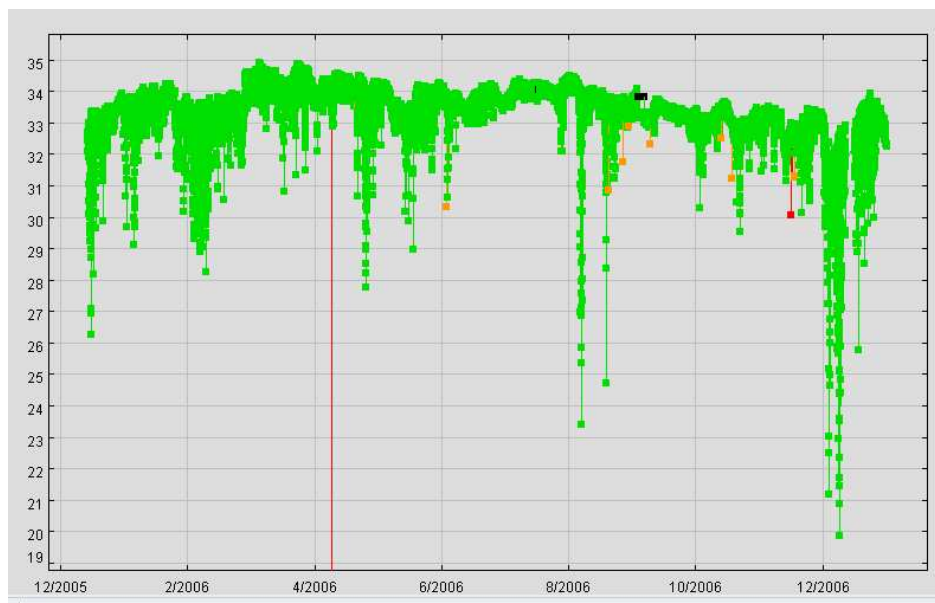


Figure 9 : Évolution temporelle de la salinité (P.S.U.) mesurée par MAREL Carnot au cours de l'année 2006

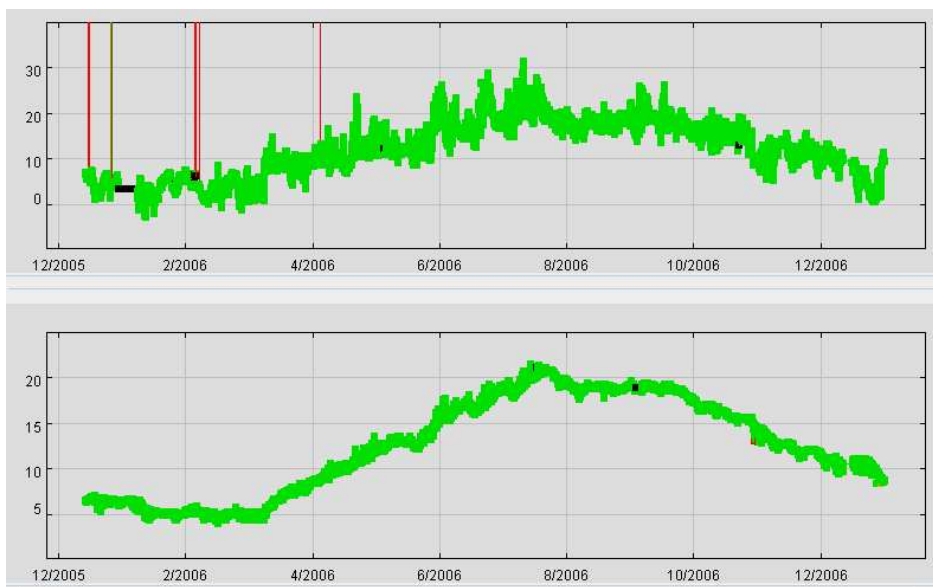


Figure 10 : Évolution temporelle de la température de l'air et de l'eau (°C) mesurée par MAREL Carnot au cours de l'année 2006

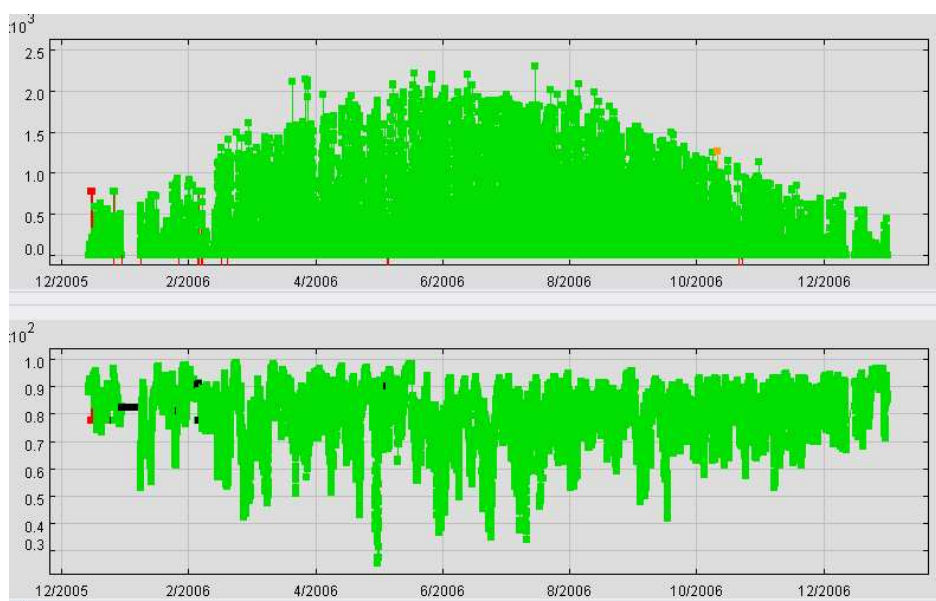


Figure 11 : Évolution temporelle du P.A.R. ($\mu\text{mol/s/m}^2$) et de l'humidité relative (%) mesurée par MAREL Carnot au cours de l'année 2006

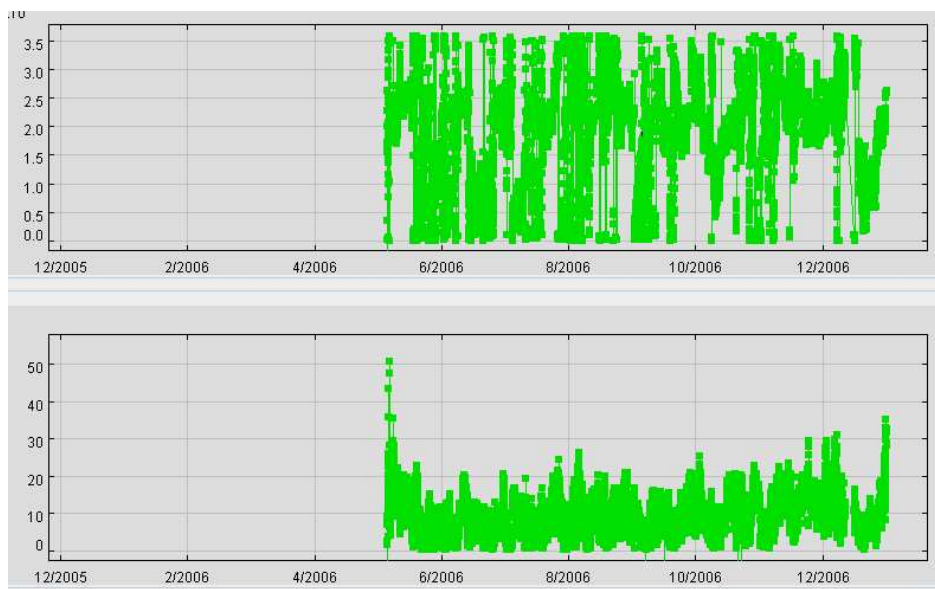


Figure 12 : Évolution temporelle de la direction (rose de 360°) et de la vitesse (m/s) du vent mesurées par MAREL Carnot au cours de l'année 2006

3.5. Comparaison avec les données du réseau S.R.N.

Les données acquises par MAREL Carnot permettent de mettre en évidence la variabilité de la température de l'eau depuis les échelles saisonnières jusqu'au échelles infra-marées. Les données 2006 du S.R.N. (Annexe 1) sont représentatives du cycle saisonnier mais sous-estiment clairement les fortes températures ($> 20,0$ °C) observées au cours de la fin du mois de juillet et du début du mois d'août (Figure 13).

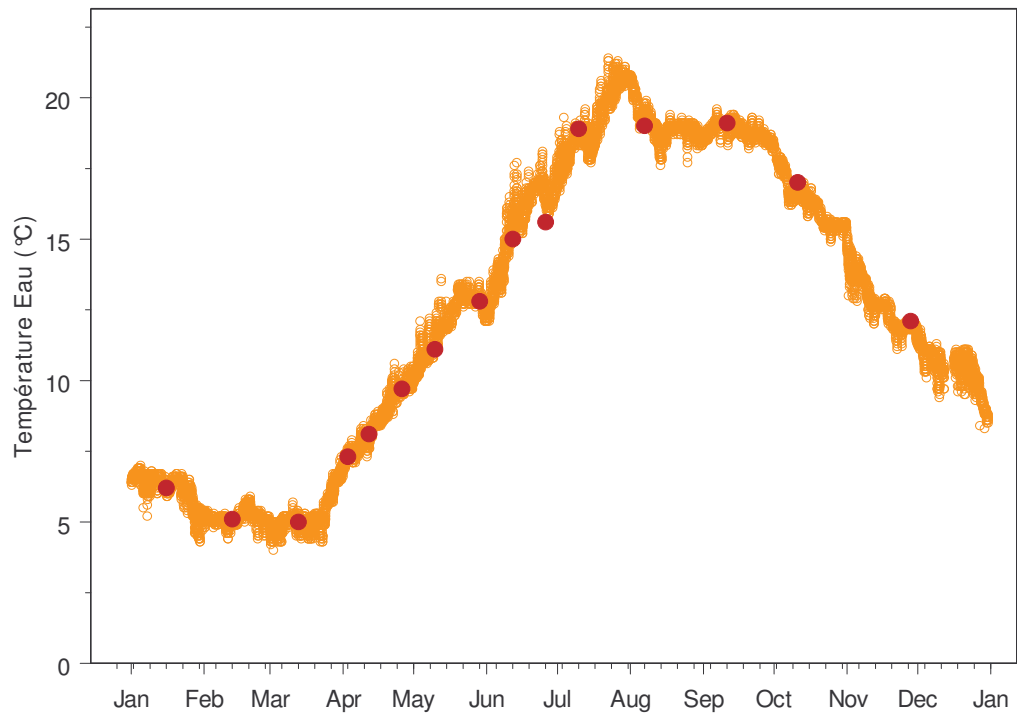


Figure 13 : Évolution temporelle de la température de l'eau (°C) mesurée par MAREL Carnot (cercles oranges) et par le S.R.N. (points rouges)

Le réseau S.R.N. permet de mettre en évidence 4 blooms d'importances au niveau du point le plus côtier (13/03, 12/04, 26/06 et 11/09) grâce à l'observation des variations de la concentration en chlorophylle *a* (maximum le 13/03 : 15,4 µg/L). Les données de fluorescence de MAREL Carnot indiquent l'occurrence d'un nombre plus important de poussées phytoplanctoniques et un bloom majeur qui s'est en réalité produit à la fin du mois de mars (Figures 14 & 15).

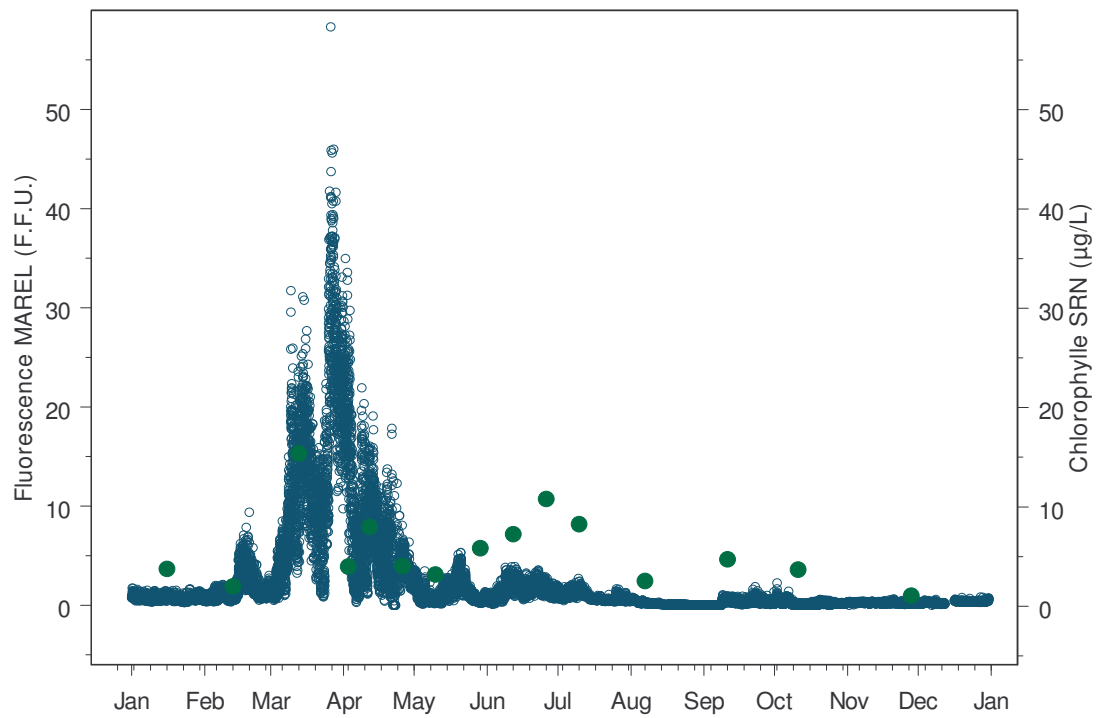


Figure 14 : Évolution temporelle de la fluorescence (F.F.U.) mesurée par MAREL Carnot (cercles bleus) et de la concentration en chlorophylle *a* ($\mu\text{g/L}$) estimée par le S.R.N. (points verts) (*Comparaison uniquement qualitative*)

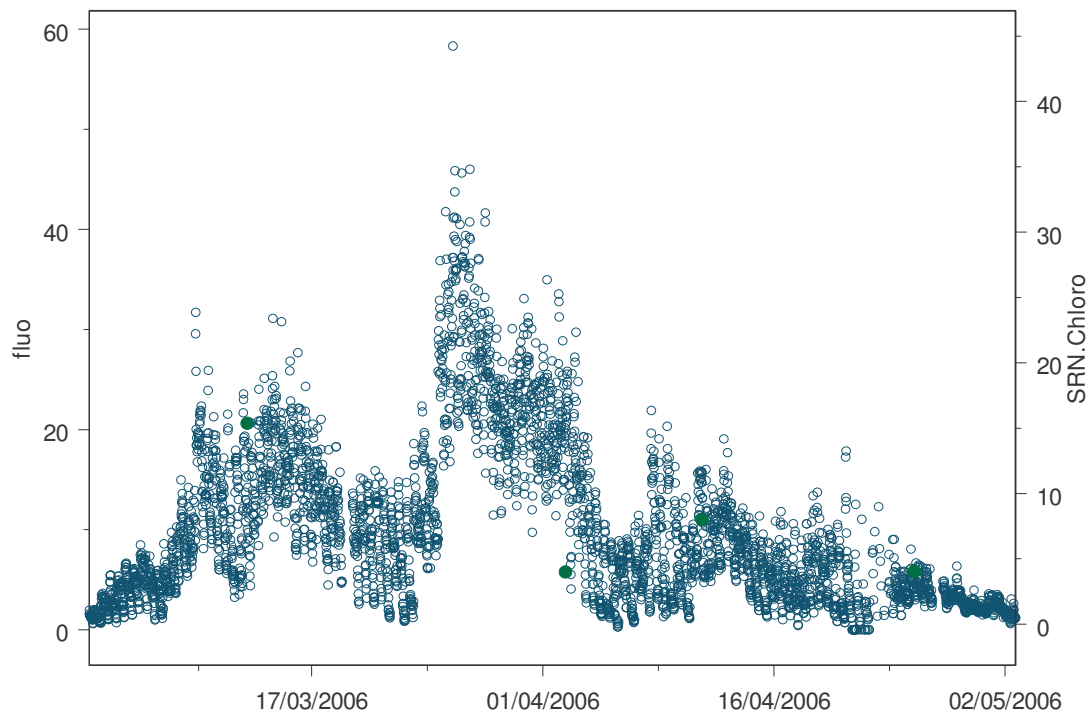


Figure 15 : Évolution temporelle de la fluorescence (F.F.U.) mesurée par MAREL Carnot (cercles bleus) et de la concentration en chlorophylle *a* ($\mu\text{g/L}$) estimée par le S.R.N. (points verts) (*Comparaison uniquement qualitative*) en mars et avril 2006.

Les turbidités mesurées par MAREL Carnot sont beaucoup plus importantes que celles mesurées par le S.R.N. (Figure 16). Ceci s'explique par la position du système de mesures automatisées dans la rade (remise en suspension à proximité de la digue).

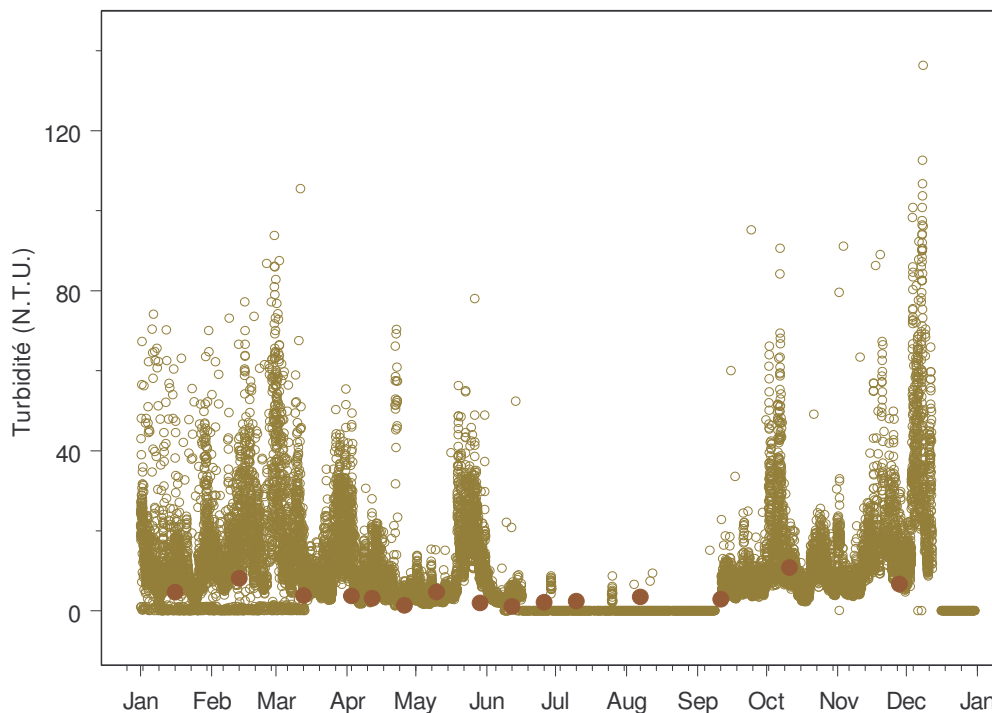


Figure 16 : Évolution temporelle de la turbidité (N.T.U.) mesurée par MAREL Carnot (cercles verts) et par le S.R.N. (points marrons)

La salinité au point côtier du réseau S.R.N. est caractéristique de conditions marégraphiques comprises entre PM – 2 h et PM + 2 h (Figure 17). Les données MAREL Carnot mettent en évidence des chutes relativement importantes de la salinité (cf. paragraphe 3.2.).

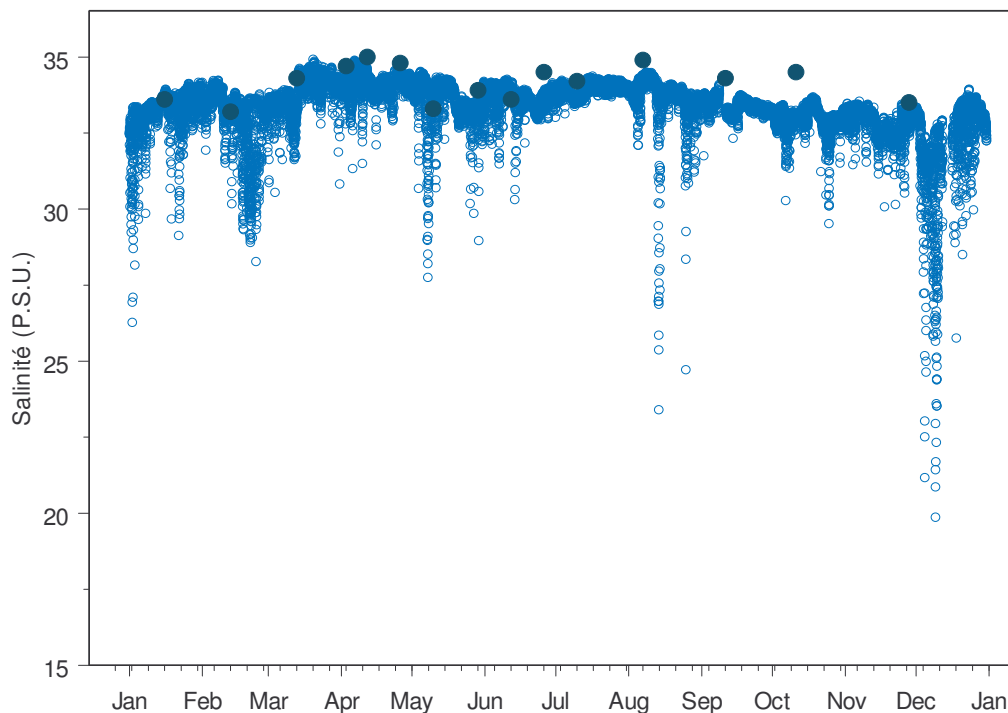


Figure 17 : Évolution temporelle de la salinité (P.S.U.) mesurée par MAREL Carnot (cercles bleus clairs) et par le S.R.N. (points bleus foncés)

Sans remettre en cause l'intérêt du réseau S.R.N. dont les objectifs historiques et plus récents (soutien à la Directive Cadre sur l'Eau) n'implique pas une fréquence d'échantillonnage analogue à celle de MAREL Carnot, la comparaison des données acquises avec celles de la station de mesures automatisées met en évidence des différences très marquées en terme d'amplitude des variations, de variabilité et de nombre d'événements environnementaux détectés.

MAREL Carnot permet la surveillance à haute fréquence d'un système côtier sous influence directe, via la Liane, d'un bassin versant et permet ainsi l'identification des pressions sur le milieu. La radiale du S.R.N. est telle que les points sont positionnés dans des masses d'eau différentes définies par Brylinski & Lagadeuc (1990). La masse d'eau côtière est également celle qui est retenue pour le contrôle de surveillance défini par la Directive Cadre sur l'Eau (D.C.E) (2000/60/CE). Le point intermédiaire se situe dans la zone de balancement de la structure frontale et le point du large constitue une référence hors influence anthropique. Cette répartition des points de surveillance permet d'envisager une approche du type DPSIR (Driving force, Pressures, States, Impact, Responses) afin de mieux appréhender la dynamique d'un système appartenant à un littoral classé comme « zone à problème au regard de l'eutrophisation » selon les termes de la convention OSPAR et comme à « risque de non atteinte du bon état écologique » selon la D.C.E..

3.6. Zooms sur quelques événements environnementaux

3.6.1. Apports de nutriments par le bassin versant de la Liane

Les apports d'eau douce par la Liane se traduisent par des apports de nutriments vers la zone marine côtière. En fonction de la saison, ces événements vont avoir des conséquences environnementales différentes :

- en mai, ces apports de nutriments vont constituer une ressource trophique pour le phytoplancton abondamment présent en période printanière. On observe qu'après des épisodes de faible salinité associés à des augmentations des concentrations en nitrate, en phosphate et en silicium, le signal de fluorescence augmente (Figure 18),

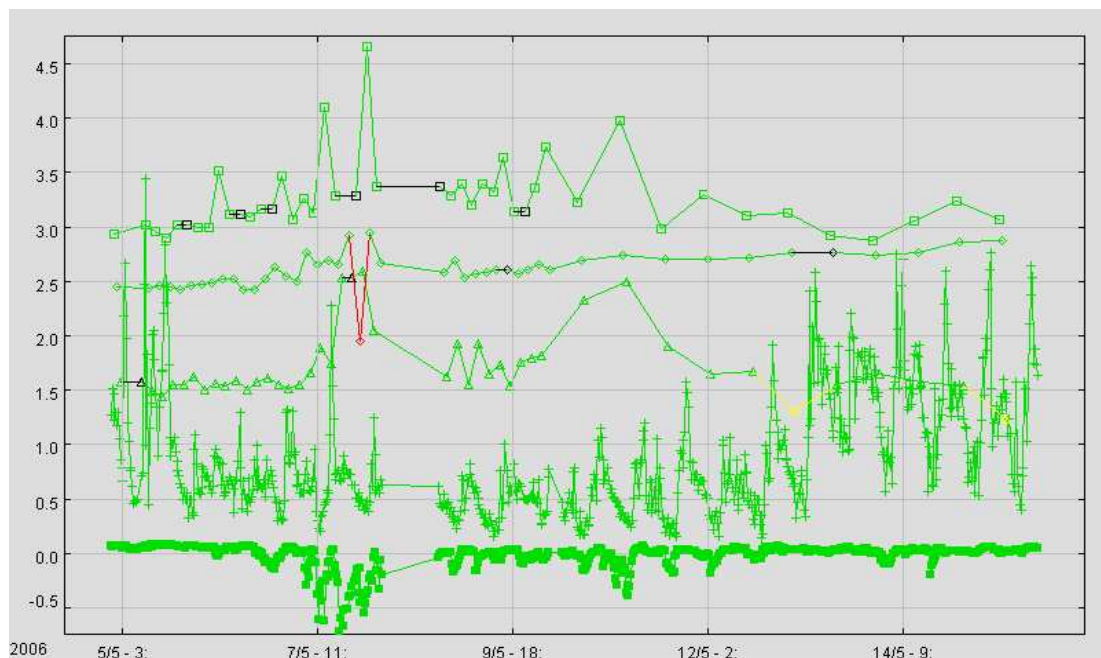


Figure 18 : Évolution temporelle de la salinité (P.S.U.) (carrés), des concentrations en nitrate (carrés évidés), en phosphate (losanges), en silicium (triangles) et du signal de fluorescence (croix) mesurés par MAREL Carnot entre le 5 et le 14 mai 2006 (Ordonnées uniquement valables pour la fluorescence).

- en décembre, les apports de nutriments via la Liane vont contribuer à la constitution du « stock » de nutriment hivernal. Le signal de fluorescence n'est pas modifié (Figure 19).

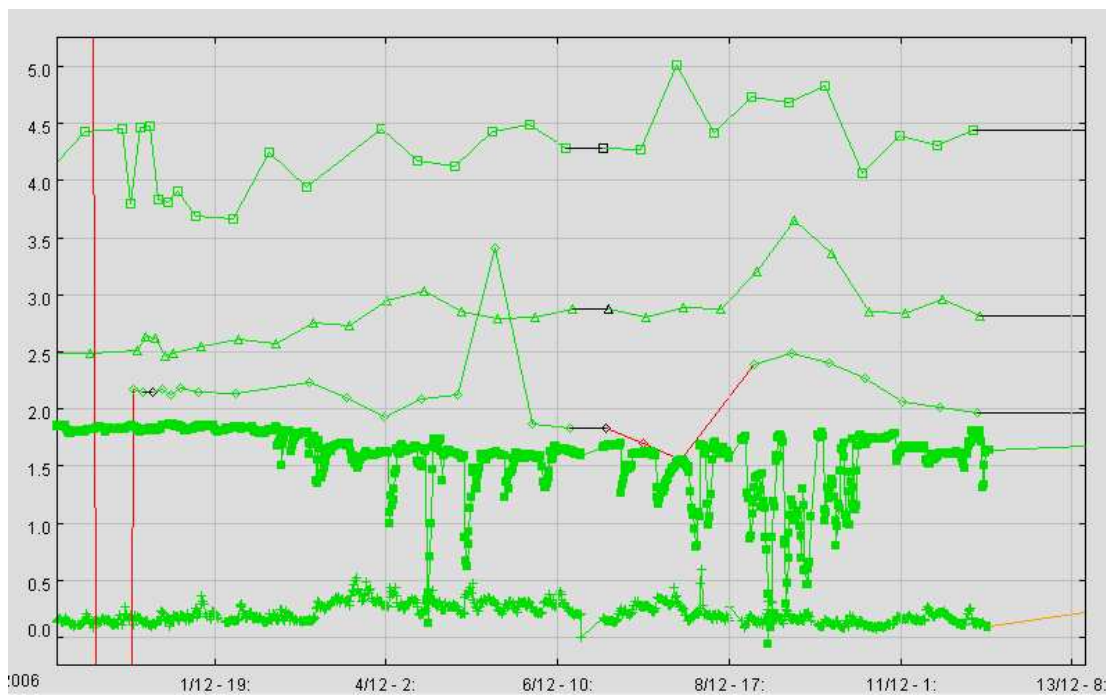


Figure 19 : Évolution temporelle de la salinité (P.S.U.) (carrés), des concentrations en nitrate (carrés évidés), en phosphate (losanges), en silicium (triangles) et du signal de fluorescence (croix) mesurés par MAREL Carnot entre le 1^{er} et le 13 décembre 2006 (Ordonnées uniquement valables pour la fluorescence).

3.6.2. Dynamique des efflorescences phytoplanctoniques

3.6.2.1. Février 2006

La première augmentation conséquente de la fluorescence est observée mi- février. Le signal, jusque là inférieure à 1,5, va progressivement augmenter pour régulièrement être supérieur à 5. Cette initiation du bloom s'accompagne d'une modification des concentrations en nutriments dès le 9 février (Figure 20). La production de biomasse phytoplanctonique entraîne une diminution des concentrations. La disponibilité de silicium va favoriser le développement des diatomées (d'abord des cellules coloniales de petites tailles puis des cellules isolées de plus grandes tailles ; Lefebvre & Dewaele, 2007).

Le P.A.R. globalement inférieur à $500 \mu\text{mol/s/m}^2$ en janvier peut atteindre des valeurs de l'ordre de 700 à plus de $900 \mu\text{mol/s/m}^2$ en février (Figure 21).

Des apports de nutriments via la Liane vont contribuer au maintien de ce développement phytoplanctonique. En effet, des chutes de la salinité sont observées le 10, le 13, le 15 et du 18 au 26 février (Figure 22). Ces apports d'eaux douces coïncident avec des ouvertures du barrage Marguet lors d'une période de pluies abondantes ($61,2 \text{ mm}$ entre le 12 et le 23 février). Les concentrations en nutriments après avoir chuté entre le 9 et le 14 février reviennent à des niveaux comparables à ceux du début du mois de février (Figure 20).

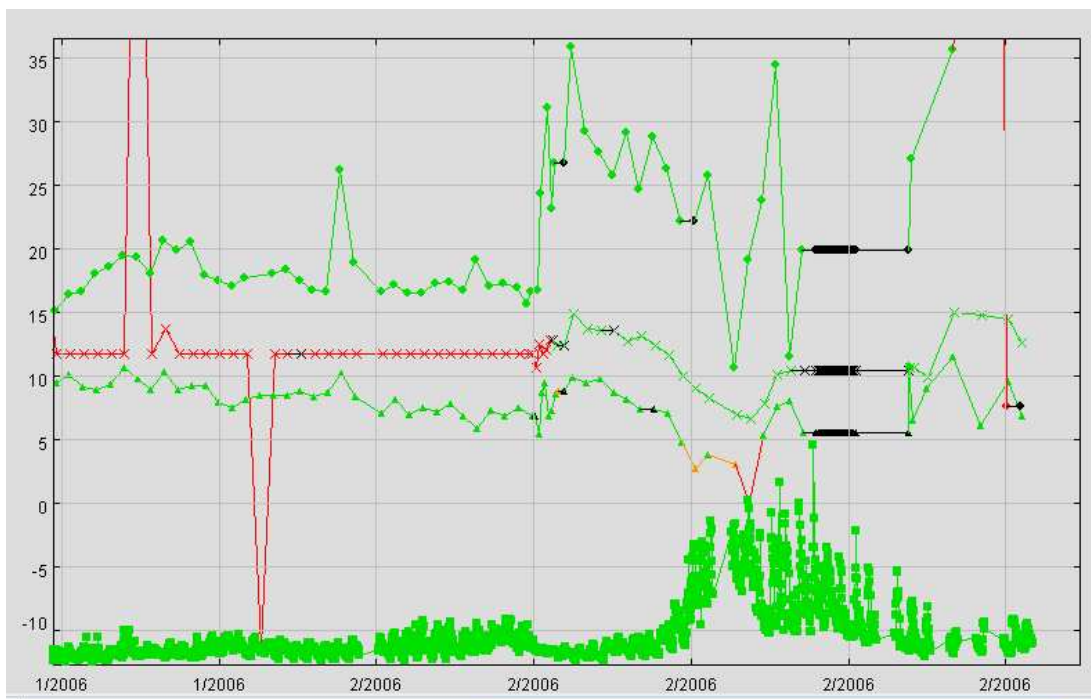


Figure 20 : Évolution temporelle de la fluorescence (F.F.U.) (carrés), des concentrations en nitrate (losanges), en phosphate (croix), en silicium (triangles) et du signal de fluorescence (croix) mesurés par MAREL Carnot entre le 1^{er} et le 13 décembre 2006 (Ordonnées uniquement valables pour le nitrate).

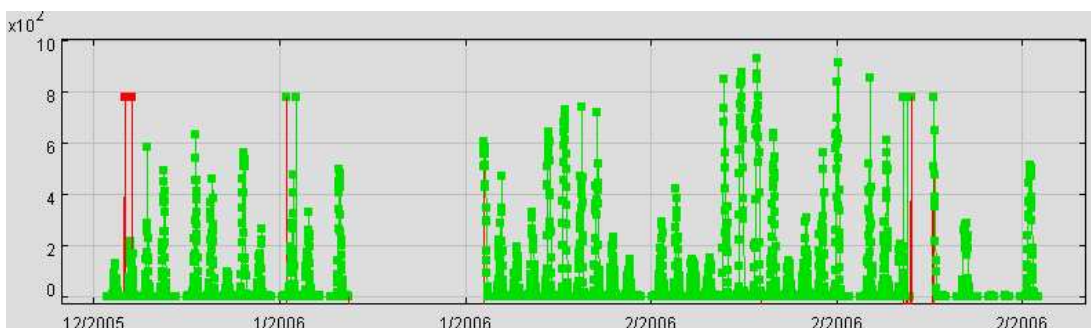


Figure 21 : Évolution temporelle du P.A.R. ($\mu\text{mol/s/m}^2$) en janvier et février 2006

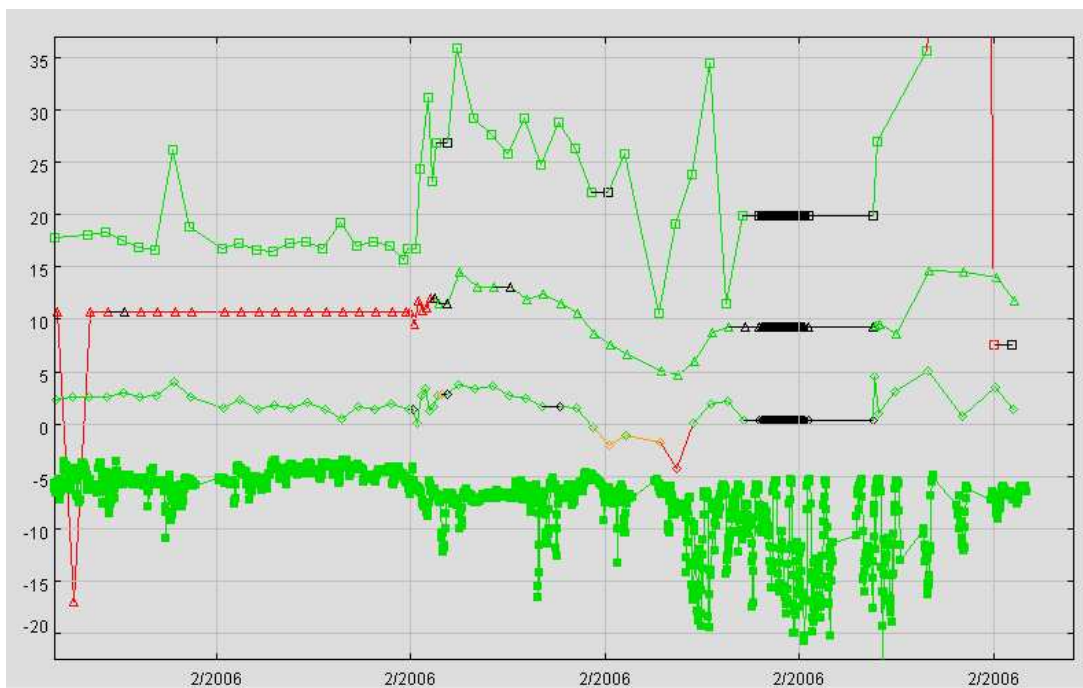


Figure 22 : Évolution temporelle de la salinité (N.T.U.) (carrés pleins), des concentrations en nitrate (carrés évidés), en phosphate (losanges), en silicium (triangles) mesurés par MAREL Carnot au mois de février 2006 (Ordonnées uniquement valables pour le nitrate).

3.6.2.2. Mars 2006

Une seconde efflorescence a lieu lors de la première quinzaine de mars. Les concentrations de nutriments sont encore suffisantes dans le milieu pour assurer un développement phytoplanctonique : concentration en nitrate de l'ordre de 10 $\mu\text{mol/L}$, concentration en phosphate de l'ordre de 1 $\mu\text{mol/L}$ et concentration en silicium de l'ordre de 5 $\mu\text{mol/L}$ (Figures 23, 24 & 25). Le signal de fluorescence, compris entre 1 et 9 F.F.U. au début du mois de mars, va être maximum entre le 9 et le 10 mars (env. 20 F.F.U.) puis entre le 14 et le 16 mars (env. 25 F.F.U.). Des chutes de salinité sont observées entre le 10 et le 12 mars ($31 < \text{salinité} < 33$). Ce phénomène ne peut être directement lié à une ouverture du barrage Marguet (Annexe 2), ni à une pluviométrie très importante (8,8 mm entre le 6 et le 8 mars). A la fin du bloom ($> 19/3$), la concentration en nitrate fluctue entre 2 et 10 $\mu\text{mol/L}$, la concentration en phosphate est inférieure à 1 et celle en silicium est comprise entre 1,5 et 8 $\mu\text{mol/L}$ (Figures 23, 24 & 25). Les apports d'eau douce dont l'origine restent à déterminer ont contribué à l'augmentation des concentrations mais un phénomène de production régénérée suite aux blooms est très probable. Ce fonctionnement de l'écosystème sur notre littoral a déjà été évoqué par Gentilhomme & Lizon (1998). Le 23 mars, les concentrations atteignent 19 $\mu\text{mol/L}$ pour le nitrate, 0,8 $\mu\text{mol/L}$ pour le phosphate et 7,6 $\mu\text{mol/L}$ pour le silicium. Ce stock de nutriments va contribuer à un nouveau développement phytoplanctonique dès le 24 mars. Le signal de fluorescence, inférieur à 15 F.F.U., va régulièrement dépasser 35 F.F.U. entre le 25 et le 27 mars. Il reste de l'ordre de 20 F.F.U. jusqu'au 4 avril. A cette période, les concentrations en nutriments sont plus faibles (nitrate : $< 15 \mu\text{mol/L}$; phosphate : $< 0,4 \mu\text{mol/L}$; silicium : $< 5,1 \mu\text{mol/L}$).

Entre le 5 et le 22 mars, le PAR est régulièrement compris entre 1200 et 1500 $\mu\text{mol/s/m}^2$ (Figure 26).

Une efflorescence de moindre ampleur a lieu entre le 10 et le 25 mai (Fluorescence max. : 5,3 F.F.U.). Une phase de production soutenue mais de faible ampleur (< 4 F.F.U.) se déroule entre le 1^{er} juin et le 31 juillet. Chaque maximum de fluorescence est précédé par une augmentation des concentrations en nutriments (Figure 27).

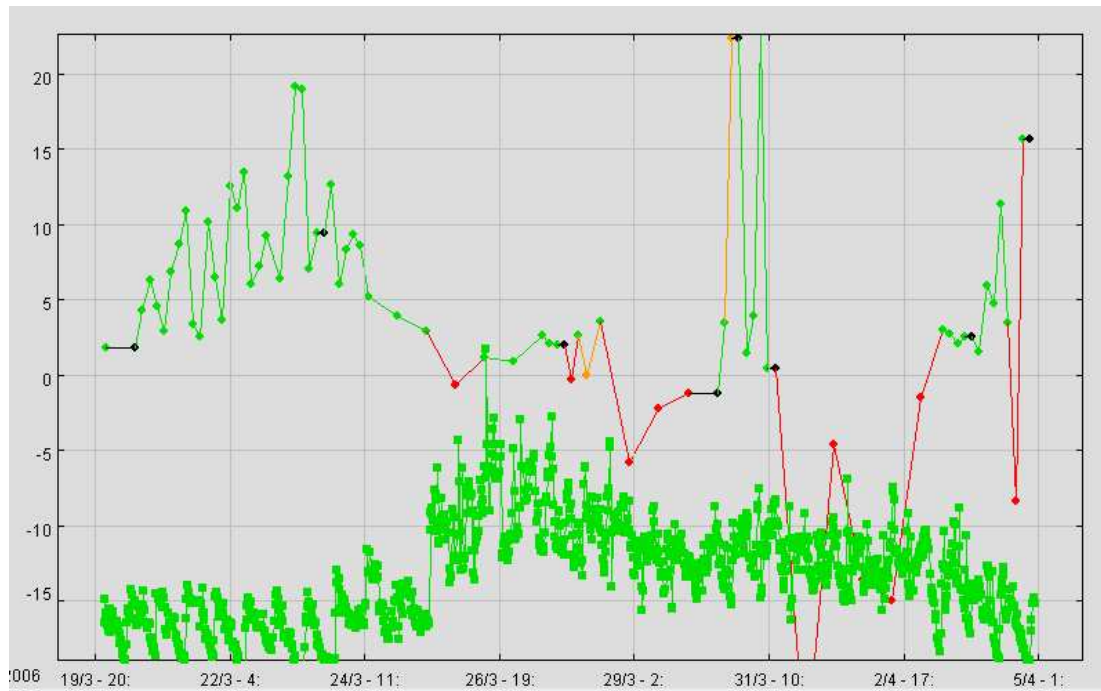


Figure 23 : Évolution temporelle de la fluorescence et de la concentration en nitrate ($\mu\text{mol/L}$) entre le 19 mars et le 5 avril 2006 (Ordonnées uniquement valables pour le nitrate).

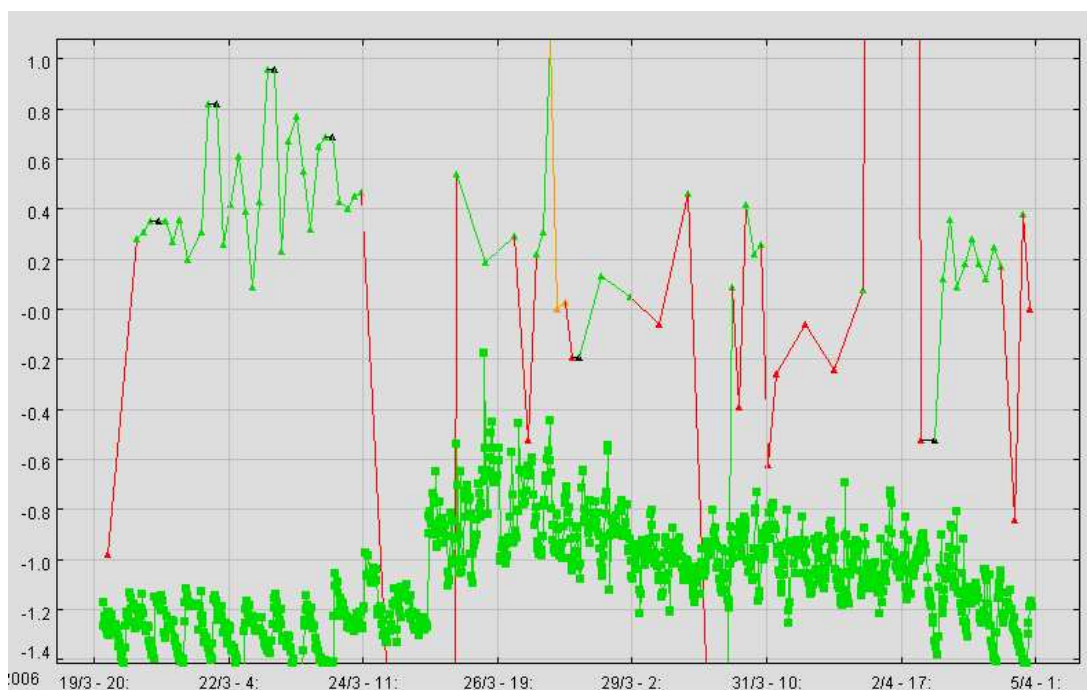


Figure 24 : Évolution temporelle de la fluorescence et de la concentration en phosphate ($\mu\text{mol/L}$) entre le 19 mars et le 5 avril 2006 (Ordonnées uniquement valables pour le phosphate).

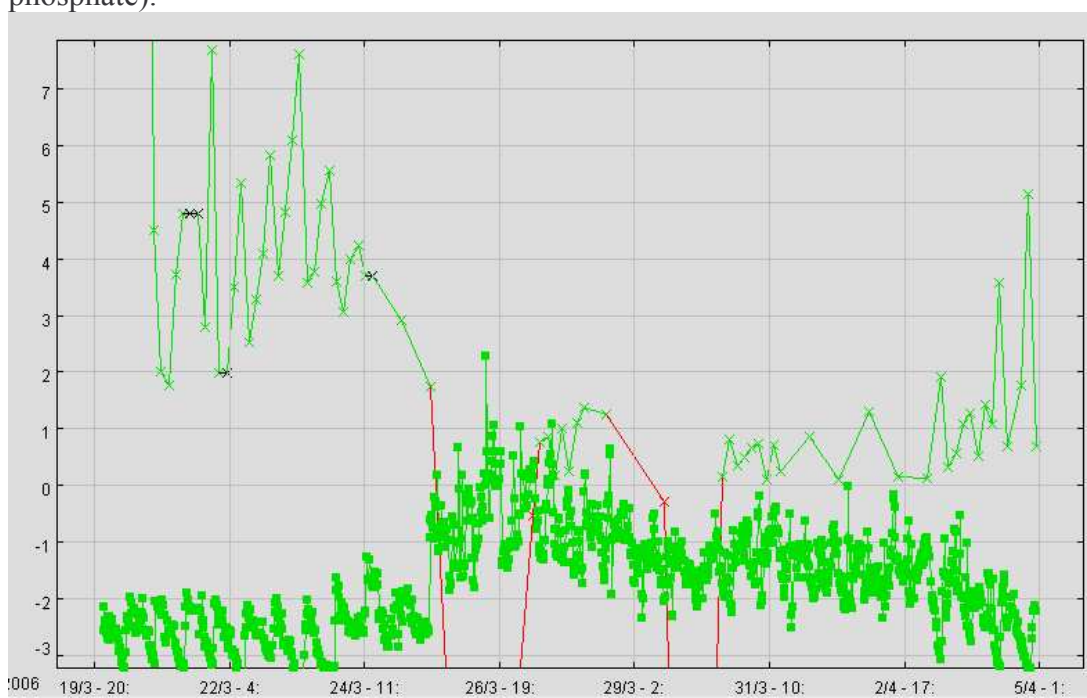


Figure 25 : Évolution temporelle de la fluorescence et de la concentration en silicium ($\mu\text{mol/L}$) entre le 19 mars et le 5 avril 2006 (Ordonnées uniquement valables pour le silicium).

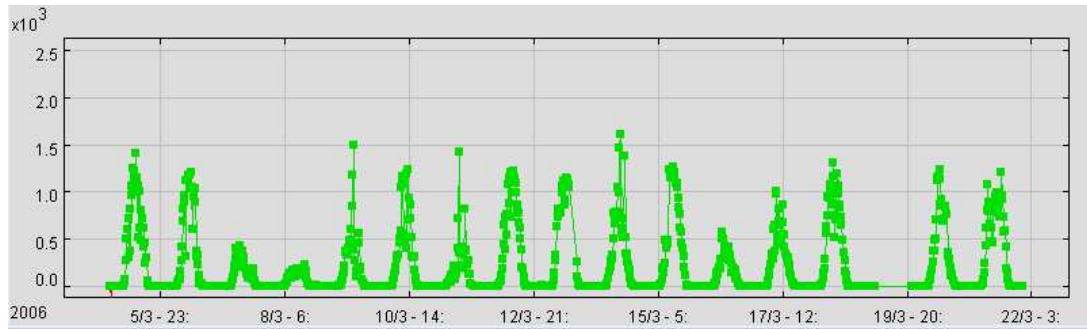


Figure 26 : Évolution temporelle du P.A.R. ($\mu\text{mol/s/m}^2$) entre le 5 et le 22 mars 2006

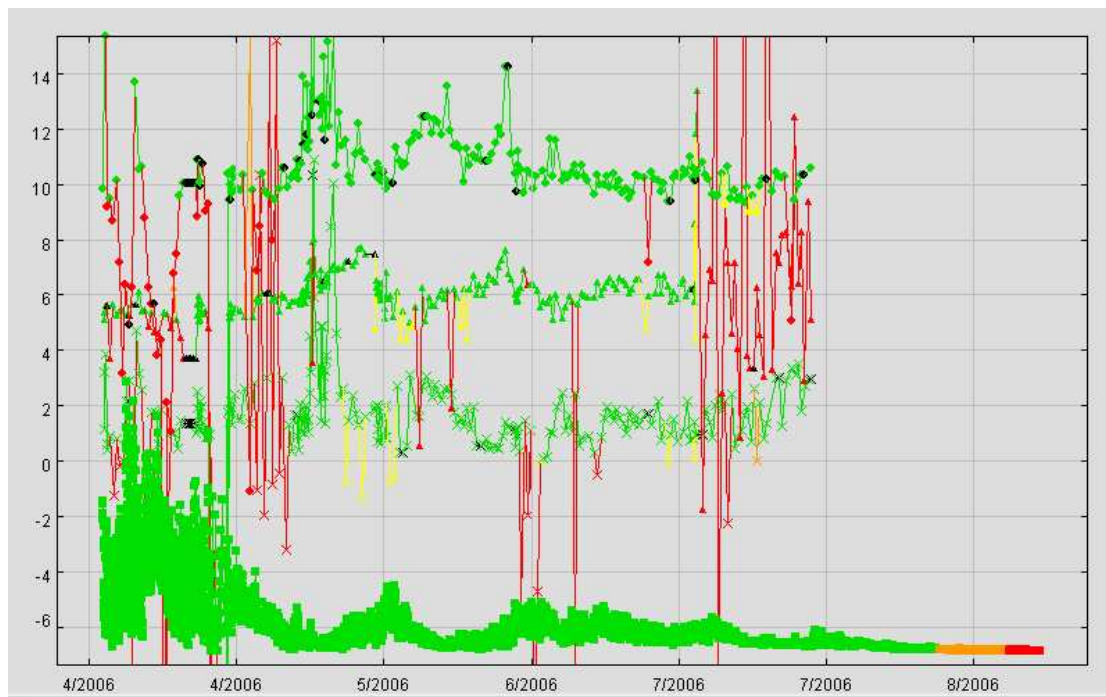


Figure 27 : Évolution temporelle de la fluorescence (F.F.U.) (carrés), des concentrations en nitrate (losanges), en phosphate (triangle), en silicium (croix) mesurés par MAREL Carnot entre le 5 avril et le 30 août 2006 (Ordonnées uniquement valables pour le nitrate).

3.7. Optimisation du traitement des données

Afin d'optimiser le traitement des données en interne Ifremer et de permettre aux partenaires du projet ainsi qu'au détenteur d'un accès à l'interface de téléchargement des données une visualisation plus rapide des informations, une procédure de mise en forme des données extraites, de calculs de base et de représentation graphique est en voie de développement sous le logiciel R (Figure 28).

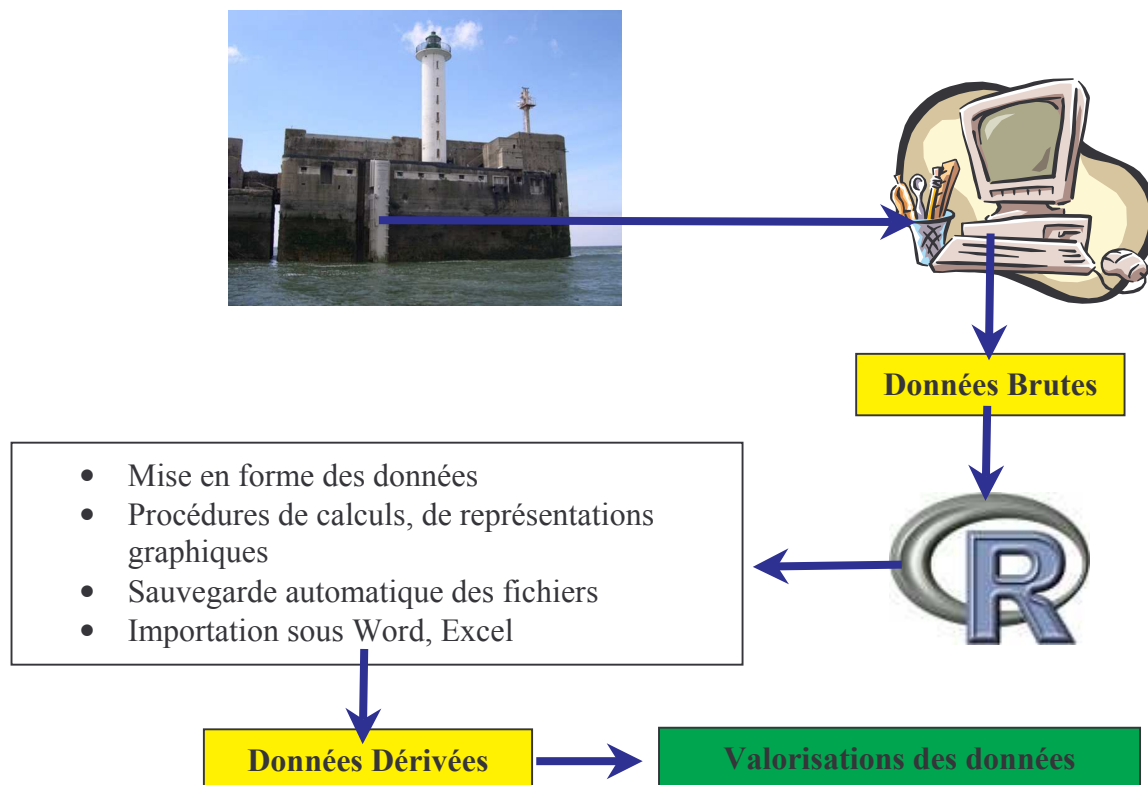


Figure 28 : Optimisation du traitement des données de MAREL Carnot

R (Ihaka et Gentleman, 1996, R development Core Team 2004, <http://www-r.project.org>) est un environnement de travail permettant la réalisation de calculs statistiques, de modélisation et bien d'autres calculs. Il est basé sur un langage avec une syntaxe simple et intuitive : le langage S. L'avantage d'un travail dans cet environnement est que le logiciel est gratuit. Les variables, données, fonctions, résultats sont stockés dans la mémoire sous forme d'objets qui ont chacun un nom. L'utilisateur va agir sur ces objets avec des opérateurs (arithmétiques, logiques et de comparaison) et des fonctions. Le langage R est interprété et non compilé, c'est à dire que l'exécution des lignes de commandes peut se faire au coup par coup, ce qui permet la correction immédiate des erreurs au fur et à mesure du développement. La syntaxe simple et intuitive permet à l'utilisateur d'adapter le programme à ses propres besoins grâce aux aides nombreuses sous forme d'aide en ligne dans le logiciel, de divers documents papiers et d'un site internet dédié.

Une fois finalisée, ce package de valorisation des données sera téléchargeable sur le site internet de MAREL Carnot.

4. CONCLUSIONS – PERSPECTIVES

Ce rapport constitue le premier bilan des données acquises par la station de mesures automatisées MAREL Carnot pour l'année 2006 dans un format qui préfigure celui d'un bulletin annuel qui sera mis à disposition des différents partenaires directs et qui sera également téléchargeable librement sur le site internet dédié (<http://www.ifremer.fr/difMarelCarnot/>). A terme, en plus de ce bulletin, un outil d'aide au traitement des données sera disponible. Ce package comprendra un ensemble de programmes permettant la mise en forme des données après leur téléchargement, les représentations graphiques de base, la sélection de périodes d'études, la mise en œuvre de calculs (bilan de fonctionnement, statistiques de base par paramètres, détection des ruptures et tendances,...). Cet outil fonctionnera grâce au logiciel gratuit R. Outre cet avantage financier, la syntaxe simple et intuitive du langage R permettra aux utilisateurs d'ajouter de nouvelles fonctionnalités aux programmes ; chacun pouvant ainsi contribuer à l'optimisation du traitement de ces données complexes que sont les données à haute fréquence.

Depuis son installation, en dehors des accès « grand public » pour lesquelles aucun mot de passe n'est nécessaire, un certain nombre de demandes spécifiques de création d'identifiant en profil « scientifique » ont été émises en externe Ifremer. Ces utilisateurs sont référencés à l'Université des Sciences et Technologies de Lille, à l'Université du Littoral Côte d'Opale, à l'Agence de l'Eau Artois Picardie, au centre de la mer Nausicaa, à Météo-France, à la DIREN Nord Pas-de-Calais, au Syndicat Mixte pour le SAGE du Boulonnais, au lycée Mariette de Boulogne-sur-Mer et dans divers bureaux d'études.

En utilisation dite « routinière », les données de MAREL Carnot sont validées tous les jours, sauf pour les concentrations de sels nutritifs qui le sont le vendredi. Cette visualisation journalière des données acquises permet également une surveillance en temps quasi-réel du système côtier boulonnais avec, par exemple :

- Le recensement des apports d'eau douce via les chutes de salinité : (i) indicateur d'apports anthropiques potentiels en terme de nutriments afin de suivre la dynamique des efflorescences phytoplanctoniques sous influence d'apports locaux et/ou marin et (ii) indicateur indirect de pollutions d'origine microbiologique (conséquence pour les eaux de baignades, la conchyliculture : zones de production au nord et au sud de Boulogne/Mer).
- La surveillance du signal de fluorescence comme indicateur de biomasse phytoplanctonique : ce signal est comparé aux données de flores phytoplanctoniques acquises dans le cadre du S.R.N. notamment afin de suivre l'évolution du bloom de *Phaeocystis globosa* et/ou d'autres espèces nuisibles.
- L'utilisation des données météorologiques notamment en terme de programmation des campagnes de prélèvements en mer et comme complément d'information pour l'interprétation des données environnementales (S.R.N., REPHY, ...).

L'interprétation de données à haute fréquence s'avère très complexe. Le traitement statistique approfondi des données est contraint par des conditions d'applications

strictes avec notamment l'obligation de disposer d'observations réalisées à des intervalles de temps réguliers. Dans l'ensemble des séries disponibles, la densité de l'échantillonnage est variable dans le temps. Il en résulte que certaines périodes sont plus fortement représentées que d'autres. Cette irrégularité a diverses origines : possibilité de paramétrer l'effort d'échantillonnage (notamment pour les sels nutritifs), non-réalisation de certaines observations en raison de pannes ou de maintenances, ... Les techniques de régularisation des séries sont tout aussi complexes. Certaines techniques alternatives en cours de développement pourraient être appliquées aux séries de données MAREL Carnot (Schmitt & Souissi, publications en soumission).

Les exemples d'interprétation des données qui sont faites dans ce rapport ne constituent qu'une partie des possibilités d'amélioration de la compréhension qu'offre les données à haute fréquence. La combinaison des données acquises par différents réseaux dont les objectifs, et par conséquent les fréquences d'échantillonnage, sont différents va permettre l'approche multi-paramètres et multi-échelles indispensable pour une approche écosystémique telle que recommandée par la Politique Maritime de l'Union Européenne au travers de la Stratégie Marine Européenne, considéré comme son pilier environnemental par le Livre Vert. La connaissance ne pourra être améliorée que par l'utilisation de différentes approches : les mesures *in situ* à différentes échelles de temps et d'espace, la télédétection et la modélisation hydrodynamique et biogéochimique.

En 2006, le pourcentage de données acquises par le module principal (hors nutriments) fluctue entre 78,1 et 93,5. La chambre de passage, soutien des principaux capteurs et l'analyseur de sels nutritifs ont fait l'objet, respectivement, de 4 et de 7 rotations (remplacement par un jumeau pour nettoyage, maintenance + rapport de métrologie).

Les données mettent en évidence que le site d'implantation du système le rend caractéristique de la zone marine côtière (salinité moyenne de 34,4) avec une sensibilité aux apports d'eau douce via la Liane lors des ouvertures du barrage Marguet (salinité minimale mesurée : 19,9).

Une étude particulière a permis de confirmer la complexité de la relation entre le signal de fluorescence *in situ* et la concentration en chlorophylle *a* mesuré par colorimétrie. La variabilité du signal dépendant de processus à différentes échelles, depuis la cellule jusqu'à la communauté phytoplanctonique, et d'interactions avec des paramètres physico-chimiques comme par exemple la turbidité. Ainsi, il n'est pas possible de passer de l'un à l'autre par l'utilisation d'un simple facteur de conversion.

La comparaison des résultats acquis par MAREL Carnot avec ceux du réseau S.R.N. (Suivi Régional des Nutriments) montre la complémentarité des approches de cette surveillance du milieu marin en terme de positionnement des points mais également en terme de fréquence.

L'étude approfondie de quelques périodes de l'année 2006 met en évidence l'importance des apports locaux de nutriments dans la dynamique du phytoplancton et dans la reconstitution des stocks de nutriments, favorable à une production primaire soutenue. La haute fréquence permet également de rechercher les conditions d'initiation et de fin d'efflorescence selon une approche multi-paramètres. La complexité des processus mise en jeu est telle que d'autres paramètres devront être acquis. Parmi ceux-ci, l'ammonium à son importance.

Les résultats du S.R.N. (Lefebvre & Dewaele, 2007) ont confirmé l'importance de l'ammonium dans la dynamique du phytoplancton (Figure 29) telle que mis en évidence par Gentilhomme & Lizon (1998) lors d'une étude au large de Boulogne-sur-Mer en 1994. Cet ammonium est utilisé préférentiellement par le phytoplancton même en présence de fortes concentrations en nitrate et selon Gentilhomme & Lizon (1998) son utilisation est caractéristique de la phase de pré-bloom de *Phaeocystis globosa*.

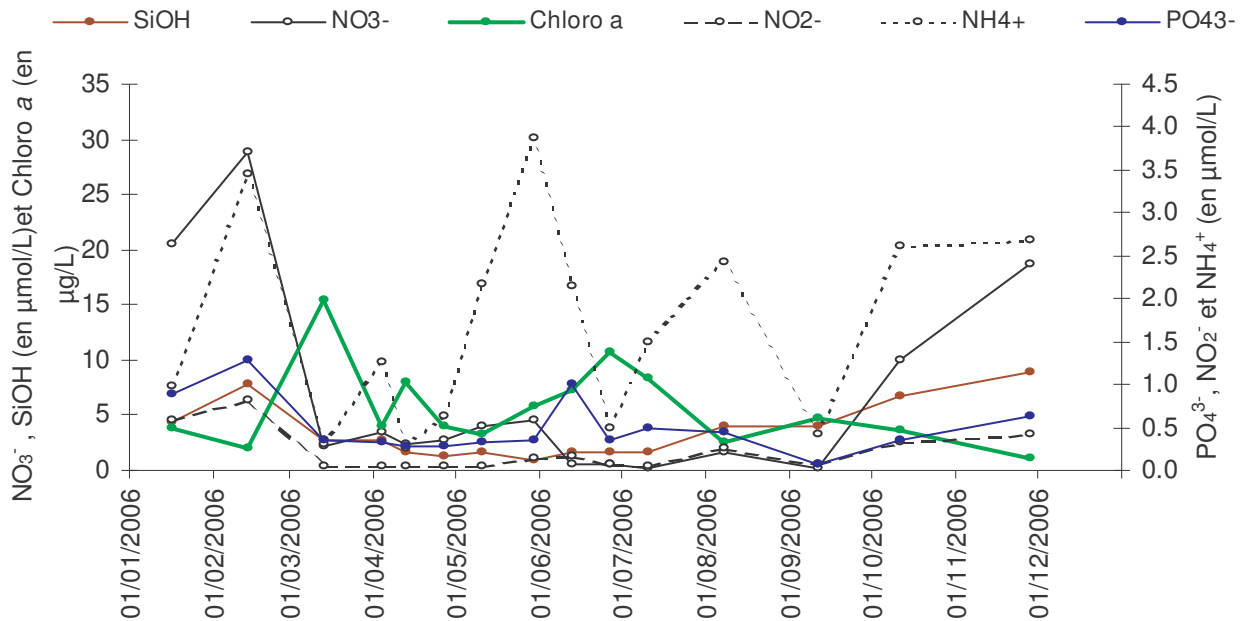


Figure 29 : Évolution temporelle de la chlorophylle a et des sels nutritifs au point 1 de la radiale S.R.N. de Boulogne-sur-Mer en 2006.

Ce paramètre sera particulièrement étudié dès 2008 grâce à l'installation d'un capteur CHEMINI (CHEMical MINIaturised analyser) sur la station de mesures MAREL Carnot (Cofinancement Ifremer / FEDER dans le cadre du Contrat de Plan État Région Nord Pas-de-Calais). Ce nouvel analyseur est mono-paramètre et est réalisé de façon à pouvoir être assimilé à un capteur. Cela offre plusieurs avantages comme par exemple la possibilité de mesurer indépendamment (et de façon simultanée) plusieurs sels et d'utiliser des méthodes de détection différentes (colorimétrie et fluorimétrie). Une première version du CHEMINI a été réalisée pour la détermination in situ de l'azote ammoniacal par fluorimétrie (Aminot et al. 1997, 2001). Ce système sera installé en phase de test sur la station MAREL Carnot en fin d'année 2007 ou au début de l'année 2008.

5. BIBLIOGRAPHIE

- Aminot, A., Kirkwood, D. et K erouel, 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 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 analyses. *Water Research*, 35 (7) :1777-1785.
- Aminot A. & R. K erouel, 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.
- 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. & Dewaele Kevin, 2007. Suivi Régional des Nutriments sur le littoral du Nord Pas de Calais Picardie. Bilan de l'année 2004. Ifremer/RST.LER.BL/07.05/Laboratoire côtier de Boulogne-sur-Mer, 149 p.
- Legendre L. & P. Legendre, 1998. *Numerical Ecology*. Elsevier, Amsterdam, 853 p.

6. AUTRES DOCUMENTS

Rapports :

- Barbet F. & Alizier S., 2006.  tude 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.
- Claudiel 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

Publications :

Dur, G., F. G. Schmitt, S. Souissi: Analysis of high frequency temperature time series in the Seine estuary from the Marel autonomous monitoring buoy, *Hydrobiologia*, sous presse.

Schmitt, F. G., G. Dur, S. Souissi: Multiscale fluctuations of turbidity, oxygen and pH in the Seine river estuary (France) obtained from an autonomous measuring device, soumis à *Estuarine Coastal and Shelf Science*.

Colloques :

Schmitt, FG, Fluctuations multi-échelles de la turbidité, de l'oxygène et du pH dans l'estuaire de la Seine, et estimation de leurs flux, Colloque de Restitution Seine Aval Rouen, 8 septembre 2006.

Schmitt FG, G. Dur, S. Souissi, Analyse multi-échelles des données enregistrées à haute fréquence par des systèmes de mesure automatique en milieu littoral, Atelier Expérimentation et Instrumentation 2007, Villeurbanne 5-6 avril 2007.

Stages :

Dur G., 2006. Modélisation des processus physique et biologique à différentes échelles spatio-temporelles dans le cas de la population du copépode *Eurytemora affinis* de l'estuaire de la Seine. DEA Européen de Modélisation de l'Environnement Marine de l'Université de Liège (co-encadrement S. Souissi, F. Schmitt).

Alizier S., F. Barbet, 2006. Étude comparative des données issues de la station automatisée MAREL et du réseau SOMLIT au niveau de Boulogne sur mer sur la période 2004-2005, mini-projet de M2 Pro GBECC Option aquatique, Université de Lille 1 (encadrement F. Schmitt).

PARTENAIRES DU PROJET



Syndicat Mixte
de la Côte d'Opale



Audomarois - Boulonnais - Calaisis - Dunkerquois - Montreuillois



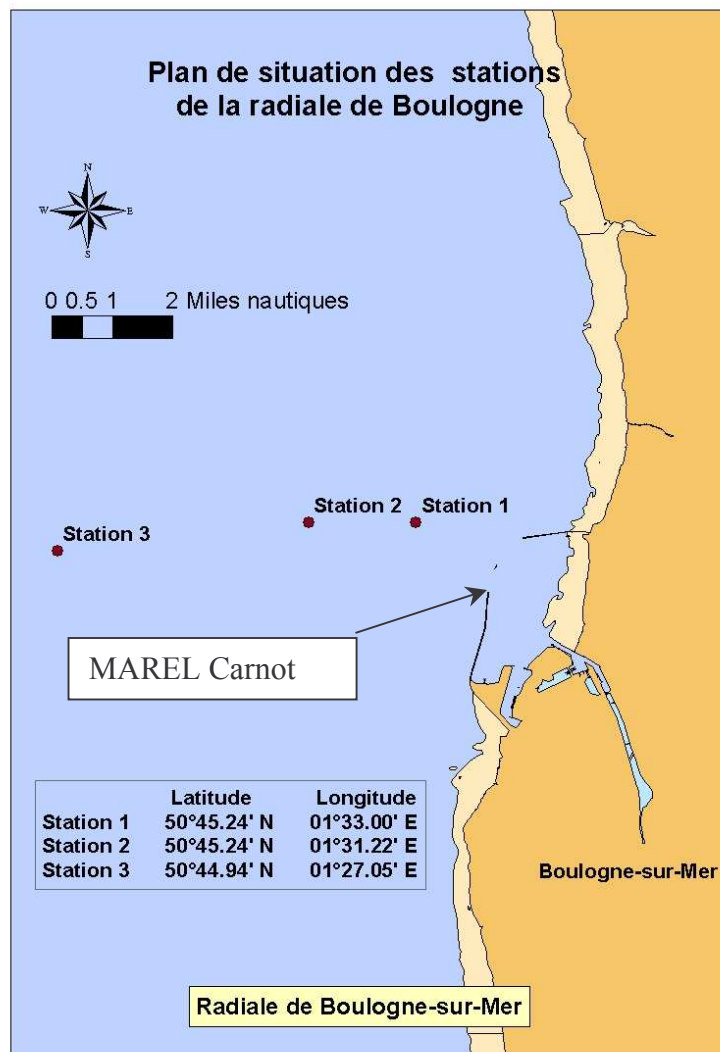
INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
DE L'UNIVERS



ANNEXES

ANNEXE 1 : le réseau S.R.N. (Suivi régional des nutriments sur le littoral Nord, Pas-de-Calais et Picardie) - Radiale de Boulogne-sur-Mer.

<http://w3.ifremer.fr/delbl/presentation/programmes/srn/index.htm>



ANNEXE 2 : Ouvertures significatives du barrage Marguet au cours de l'année 2006
(Source : Service Maritime des ports de Boulogne et Calais)

Date
01/01/2006
14/02/2006
18/02/2006
20/02/2006
07/05/2006
25/05/2006
13/08/2006
14/08/2006
24/08/2006
25/08/2006
24/10/2006
21/11/2006
23/11/2006
25/11/2006
02/12/2006
03/12/2006
04/12/2006
06/12/2006
07/12/2006
08/12/2006
09/12/2006

ANNEXE 3 : Résultats de l'étude comparative entre le signal de fluorescence, la concentration en chlorophylle a et la composition phytoplanctonique (Classification hiérarchique : indices de Bray-Curtis et de Sorensen ; Indices de diversité de Shannon)

* Facteur : rapport concentration en chlorophylle a / fluorescence


* Les codes couleurs permettent d'identifier les groupes phytoplanctoniques définis par les classifications hiérarchiques.

Date	Bray-Curtis	Sorensen	heure MAREL	Fluo	heure Chloro	Chloro	Facteur	Shannon
13/01/2005			09:36	0,47	09:30	1,23	2,6	3,18
31/01/2005			11:36	0,26	11:30	0,64	2,5	2,74
16/02/2005			15:56	0,65	15:50	1,21	1,9	3,35
08/03/2005			15:16	0,45	15:25	1,4	3,1	2,77
23/03/2005			15:56	1,7	15:50	3,63	2,1	3,13
06/04/2005			14:36	2,44	14:40	6,63	2,7	2,94
11/04/2005			15:36	3,32	15:38	7,46	2,2	2,57
19/04/2005			10:16	0,51	10:25	3,16	6,2	2,49
26/04/2005			10:56	0,81	11:00	3,38	4,2	2,51
03/05/2005			14:36	0,42	14:30	1,52	3,6	2,49
11/05/2005			11:16	0,87	11:15	3,64	4,2	3,39
25/05/2005			11:16	4,4	11:15	21,63	4,9	1,50
09/06/2005			/	/	11:00	9,52	/	3,36
16/06/2005			/	/	14:25	13,62	/	2,27
20/06/2005			15:36	2,6	15:30	8,71	3,4	2,71
28/06/2005			15:56	2,19	16:00	5,75	2,6	1,17
04/07/2005			09:56	1,27	10:00	4,72	3,7	1,80
11/07/2005			15:16	0,2	15:30	1,52	7,6	3,06
21/07/2005			10:36	0,72	10:45	4,74	6,6	4,10
04/08/2005			/	/	10:10	4,25	/	3,35
17/08/2005			/	/	10:10	2,35	/	2,51
26/08/2005			14:16	0,73	14:15	3,28	4,5	3,45
31/08/2005			15:56	0,71	16:05	5,59	7,9	2,76
08/09/2005			/	/	15:05	3,89	/	3,62
22/09/2005			11:56	1,98	11:50	5,89	3,0	3,23
29/09/2005			15:16	0,89	15:15	3,95	4,4	3,49
19/10/2005			10:16	0,77	10:15	2,65	3,4	3,81
14/11/2005			11:36	0,28	11:40	0,84	3,0	3,06
12/12/2005			11:36	0,49	11:40	1,94	4,0	3,20
16/01/2006			15:16	0,82	15:20	2,76	3,4	3,47
13/02/2006			11:16	0,8	11:25	1,99	2,5	3,61
13/03/2006			/	/	15:40	12,71	/	0,36
03/04/2006			10:16	25,59	10:23	7,2	0,3	0,42
12/04/2006			10:16	5,68	10:25	/	/	0,36
26/04/2006			15:36	52,18	15:35	/	/	0,68
10/05/2006			10:36	0,56	10:45	2,87	5,1	2,78
17/05/2006			/	/	10:50	9,58	/	2,93
29/05/2006			15:16	0,4	15:20	3,14	7,9	2,36
06/06/2006			/	/	14:20	13,95	/	0,60
12/06/2006			15:56	1,2	15:58	8,7	7,3	0,43
19/06/2006			10:16	1,23	10:05	8,05	6,5	0,61
Date	Bray-Curtis	Sorensen	heure MAREL	Fluo	heure Chloro	Chloro	Facteur	Shannon
26/06/2006			15:36	1,65	15:35	8,24	5,0	3,17



03/07/2006			09:36	0,66	09:45	8,11	12,3	2,65
10/07/2006			15:16	1,92	15:25	12,29	6,4	2,88
18/07/2006			/	/	09:37	4,2	/	3,39
07/08/2006			10:16	0,18	10:20	2,29	12,7	3,07
11/09/2006			16:16	0,36	16:10	3,91	10,9	/
11/10/2006			10:16	0,1	10:25	2,27	22,7	3,91
28/11/2006			09:56	0,1	10:00	0,79	7,9	3,34

ANNEXE 4 : Claudel H. & Roossens J., 2007. Les systèmes de mesures à haute fréquence en Manche et en Mer du Nord : Bouées et FerryBox. Poster du 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.

Les systèmes de mesures haute fréquence en Manche et en Mer du Nord

H. CLAUDEL, J. ROOSSENS
 Université du Littoral Côte d'Opale, année 2006-2007
 Master 2 professionnel Gestion Intégrée des Ecosystèmes Littoraux et Marins



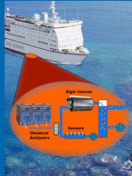



Intérêts des mesures haute fréquence

Dans le contexte actuel de réchauffement climatique, toutes les échelles de temps et d'espaces sont importantes. Les mesures haute fréquence servent à :

- analyser des phénomènes naturels ou des forçages anthropiques
- décrire des événements aux cycles très courts
- obtenir des données disponibles en temps réel

Les outils

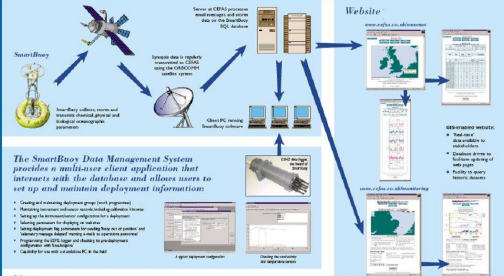




MAREL Carnot
 Source: <http://www.ifremer.fr>

GABBARD
 Source: <http://www.cefas.co.uk>


FerryBox
 Source: <http://www.ferrybox.org>

Principe de fonctionnement



Source: <http://www.cefas.co.uk>

Carte



Source: <http://www.cefas.co.uk>

Tableau récapitulatif


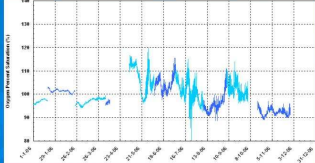
Nom	Coordonnées	Localisation	Date d'implantation	Lien web
Gabbard	50°00' N 2°20' E	Mer du Nord Côte anglaise	11/12/2000 → 29/08/2002	http://www.cefas.co.uk/monitoring/gabbard.htm
West Gabbard	51°59' N 2°05' E	Mer du Nord Côte anglaise	28/08/2002	http://www.cefas.co.uk/monitoring/westgab.htm
Warp Anchorage	51°31'5 N 1°01'9 E	Estuaire de la Tamise	30/11/2000	http://www.cefas.co.uk/monitoring/th1.htm
Noordwijk	52°15' N 4°24' E	Mer du Nord Côte hollandaise	17/09/2001 → 09/01/2002	
	52°16' N 4°22' E		26/02/2002 → 23/04/2002	
	52°18' N 4°18' E		07/03/2000 → 19/09/2001	http://www.cefas.co.uk/monitoring/n10.htm
Oyster Ground	54°25' N 4°02' E	Mer du Nord centre	14/03/2006	http://www.cefas.co.uk/monitoring/oyster.htm

Paramètres mesurés

- Température
- Salinité
- Oxygène dissous
- pH
- M.E.S.
- P.A.R.
- Turbidité
- Sels nutritifs
- Fluorescence
- Paramètres météorologiques

Résultats

Teneur en oxygène dissous

Données de l'Ifremer
 Source: <http://www.ifremer.fr>

Données de CEFAS
 Source: <http://www.cefas.co.uk>