

Centre Ifremer Manche Mer du Nord  
Laboratoire Environnement & Ressources de Boulogne-sur-Mer

LEFEBVRE Alain  
PERROUCHET Wendy

Juin 2016

Référence : ODE/LITTORAL/LER.BL/16.07



**Ifremer**

---

**Résultats de la mise en œuvre des réseaux**  
**REPHY (Réseau Phytoplancton et Phycotoxines)**  
**et SRN (Suivi Régional des Nutriments)**

-----

**Zones côtières de la Manche orientale et**  
**de la baie sud de la Mer du Nord**

-----

Bilan de l'année 2015

<b>Numéro d'identification du rapport :</b> RST.LER.BL/16.07 <b>Diffusion :</b> libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte <input type="checkbox"/> interdite  <b>Validé par :</b> LEFEBVRE Alain  <b>Version du document :</b> définitive	<b>Date de publication</b> Juin 2016 <b>Nombre de pages</b> 200 <b>Bibliographie</b> (Oui / <del>Non</del> )  <b>Illustration(s)</b> (Oui / <del>Non</del> )  <b>Langue du rapport</b> Français
<b>Titre et sous-titre du rapport :</b> Résultats de la mise en œuvre des réseaux REPHY et SRN – Zones côtières de la Manche orientale et de la baie sud de la Mer du Nord – Bilan de l'année 2015. <b>Titre traduit :</b> Results from the REPHY and SRN monitoring programs – Coastal zones of the English Channel and southern bight of the North Sea - Annual report for 2015.	
<b>Auteurs principaux :</b>  Lefebvre Alain Perrouchet Wendy	<b>Organisme / Direction / Service, laboratoire</b>  Ifremer/LER/Boulogne-sur-Mer Ifremer/LER/Boulogne-sur-Mer (Stagiaire ULCO – DUT GB)
<b>Collaborateurs :</b>  Blondel Camille Duquesne Vincent Hébert Pascale	<b>Organisme / Direction / Service, laboratoire :</b>  Ifremer/LER/Boulogne-sur-Mer Ifremer/LER/Boulogne-sur-Mer Ifremer/LER/Boulogne-sur-Mer
<b>Organisme commanditaire :</b> Agence de l'Eau Artois-Picardie  <b>Organisme réalisateur :</b> Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (Ifremer) - Centre Manche Mer du Nord - Laboratoire Environnement & Ressources (LER), Boulogne-sur-Mer.  <b>Responsable scientifique :</b> Lefebvre Alain, Ifremer/LER/Boulogne-sur-Mer.	
<b>Cadre de la recherche :</b> Suivi Régional des Nutriments  <b>Code Action Ifremer</b> A050104  <b>Projet Ifremer</b> PHY3  <b>Campagnes en mer :</b> Moyens Nautiques des Services Maritimes des Ports de Boulogne et Calais, du Sport Nautique Valéricain et d'Aquamarine.	

**Résumé :**

Le littoral Nord – Pas de Calais montre de nombreux signes de dysfonctionnements induits principalement par l'activité anthropique. Ces signes se manifestent presque toujours par un déséquilibre des populations qu'elles soient animales ou végétales. En effet, certaines espèces dominent. C'est le cas de la Prymnesiophycée *Phaeocystis sp.*, une algue phytoplanctonique naturelle qui prolifère tous les ans au printemps. Le cycle de développement de l'espèce évolue depuis quelques années (modification de l'amplitude, de la durée et de l'extension géographique du bloom) et est fortement lié à la dynamique des sels nutritifs comme les nitrates et les phosphates par exemple.

Dans le cadre de l'évaluation de l'influence des apports continentaux en éléments nutritifs sur d'éventuels processus d'eutrophisation du milieu marin, de l'estimation de l'efficacité des stations d'épuration à éliminer de telles substances et afin d'établir un suivi à long terme permettant de suivre l'évolution de la qualité des eaux littorales, le réseau de Suivi Régional des Nutriments (SRN) a été mis en place par l'Ifremer en collaboration avec l'Agence de l'Eau Artois-Picardie en 1992 afin de compléter le réseau REPHY (Réseau Phytoplancton et Phycotoxines).

Ce rapport présente les principaux résultats de l'année 2015 en termes d'évolution temporelle des paramètres physico-chimiques et biologiques caractéristiques des masses d'eaux échantillonnées au niveau des points de surveillance de trois radiales situées à Dunkerque, à Boulogne-sur-Mer et en Baie de Somme.

**Abstract :**

The coastal zone of the Nord – Pas de Calais / Picardie showed dysfunctioning patterns of the ecosystem considered to be link to human activities along shores. These results in regular massive development of species, such as the phytoplanktonic seaweed, *Phaeocystis sp.* which life cycle was partly linked to nutrients availability and consequently to anthropogenic inputs.

As part of the evaluation of the influence of continental inputs on the marine environment (nitrates, phosphates,...) and on potential eutrophication processes, of the estimation of the efficiency of the sewage treatments plants in the possible elimination of dumpings and in order to establish a long-term survey to follow up the change in coastal waters quality, the regional nutrients monitoring network was implemented by Ifremer in collaboration with the Agence de l'Eau Artois-Picardie in 1992 in order to complete the REPHY (Phytoplankton and Phycotoxins) monitoring programme.

This study reports the main results for the year 2015 in terms of temporal change of the main physico-chemical and biological parameters characteristic of water masses sampled along three transects offshore Dunkerque, Boulogne-sur-Mer and the Bay of Somme.

**Mots-clés :**

*Manche Orientale - baie sud de la Mer du Nord - Hydrologie - Phytoplancton- Phaeocystis globosa*

**Keywords :**

*Eastern English Channel – southern bight of the North Sea - Hydrology - Phytoplankton - Phaeocystis globosa*

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	5
1. PRÉSENTATION DES SITES D'ÉCHANTILLONNAGE.....	7
2. PRÉLÈVEMENTS ET ANALYSES.....	11
2.1. FREQUENCE DES PRELEVEMENTS.....	11
2.2. PRELEVEMENTS EN MER.....	11
2.3. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES.....	12
2.3.1. Salinité et Température.....	12
2.3.2. Turbidité.....	12
2.3.3. L'oxygène dissous.....	13
2.4. PARAMETRES BIOGEOCHIMIQUES.....	13
2.4.1. Ammonium.....	13
2.4.2. Nitrate.....	13
2.4.3. Nitrite.....	14
2.4.4. Phosphate.....	14
2.4.5. Silicate.....	14
2.4.6. Matières En Suspension (M.E.S.).....	14
2.4.7. Matière Organique Particulaire (M.O.P.).....	15
2.5. PARAMETRES BIOLOGIQUES.....	15
2.5.1. Chlorophylle a et phéopigments.....	15
2.5.2. Phytoplancton.....	16
2.5.2.1. Observation en microscopie inversée.....	16
2.5.2.2. Lecture des graphes.....	16
2.5.2.3. Assurance qualité.....	17
2.5.2.4. Sonde Ysi.....	17
2.5.2.5. Interprétation des Figures.....	18
3. RÉSULTATS.....	22
3.1. PARAMETRES HYDROLOGIQUES.....	22
3.1.1. Dunkerque.....	22
3.1.2. Boulogne-sur-Mer.....	57
3.1.3. La Baie de Somme.....	90
3.2. PARAMETRES BIOLOGIQUES.....	143
3.2.1. Le phytoplancton.....	143
3.2.2. Mesure de la diversité : indice de Sanders.....	144
3.2.3. Genres toxiques et Toxicités.....	145
3.2.4. Dynamique phytoplanctonique.....	146
4. DISCUSSION.....	165
4.1. ÉVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES.....	165
4.2. DYNAMIQUE A LARGE ECHELLE DES EFFLORESCENCES PHYTOPLANCTONIQUES.....	170
4.3. LE SRN ET LA QUALITE DES MASSES D'EAU COTIERE.....	172
5. BILAN ET CONCLUSIONS.....	182
BIBLIOGRAPHIE.....	185
ANNEXES.....	188
<b>P. 187-192: ANNEXE 1</b> .....	188
DONNÉES BRUTES DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES.....	188
<b>P. 193 : ANNEXE 2</b> .....	188
TABLEAU DE SYNTHÈSE DES LIMITATIONS POTENTIELLES EN NUTRIMENTS POUR L'ENSEMBLE DES RADIALES EN 2012.....	188
ANNEXE 1 : DONNEES BRUTES DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES.....	193
(NA : DONNEES MANQUANTES).....	193

ANNEXE 2 - TABLEAU DE SYNTHÈSE DES LIMITATIONS POTENTIELLES EN NUTRIMENTS POUR L'ENSEMBLE  
DES RADIALES EN 2014..... 199

## **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

Les zones côtières consistent en une mosaïque d'écosystèmes interconnectés par des flux de composés dissous, de matières détritiques et d'organismes. Leur position comme zones d'interface entre océan et continent en fait des zones de transition stratégiques dans lesquelles les facteurs terrestres et océaniques se rencontrent, dont la dynamique détermine une grande variété des ressources naturelles. Ainsi, malgré une surface relativement faible, 10 % de surface des océans, les zones côtières sont les plus précieuses mais aussi les plus vulnérables des habitats sur Terre. La production primaire y est très importante, puisqu'elle représenterait à elle seule entre 14 et 30 % de la production primaire océanique totale et est le siège d'une activité de minéralisation très intense qui, dans les sédiments, peut représenter plus de la moitié de la minéralisation totale s'effectuant dans l'ensemble des sédiments marins. Toute cette activité biologique et biogéochimique est sous le contrôle des apports d'éléments nutritifs majeurs qui se font via les rivières, les eaux souterraines et l'atmosphère.

A la fin du XX<sup>ème</sup> siècle, les apports naturels d'éléments nutritifs par les rivières ont considérablement augmenté comme une conséquence de divers facteurs, notamment l'utilisation massive d'engrais minéraux dans l'agriculture et l'accroissement des pressions urbaines le long des côtes (EEA, 2010). L'augmentation à long terme des apports azotés (N) et phosphatés (P) d'origine anthropique et une certaine stabilité des apports en silicates (Si) en zone côtière ont trois conséquences potentielles :

✓ L'induction d'une augmentation de la production primaire, qui était préalablement N et/ou P limitée, peut conduire à de sévères problèmes d'eutrophisation.

✓ Le déclin des rapports Si/N, qui induit une limitation par le silicate pour les populations de diatomées et toute autre modification de l'équilibre stœchiométrique des éléments majeurs (N, P, Si), va aboutir à des changements de dominance et des modifications d'abondance des espèces phytoplanctoniques.

✓ Une limitation par le silicate peut perturber la succession phytoplanctonique classique dans les eaux tempérées et peut provoquer un changement de dominance des espèces siliceuses (diatomées) vers les espèces nonsiliceuses (Flagellés) avec une possible émergence de nouveaux types d'efflorescence dont les espèces caractéristiques sont parfois toxiques.

De plus, dans le contexte hydrodynamique local (régime mégalidal, présence d'une structure frontale «Le fleuve côtier» et d'une dérive résiduelle des masses d'eau vers la Mer du Nord), les apports marins en éléments majeurs ne sont pas négligeables : les apports d'azote

inorganique dissous, de phosphate et de silicate de la Manche vers la Mer du Nord ont été estimés à  $210.10^3$  t/an ,  $41.10^3$  t/an et  $270.10^3$  t/an respectivement.

Avant 1992, le suivi des nutriments sur le littoral était réalisé épisodiquement par l'intermédiaire du RNO (Réseau National d'Observation) ou du RNC (Réseau National de Contrôle). La nécessité de surveiller plus finement et sur une longue période les variations de concentration en sels nutritifs du milieu littoral a conduit l'Agence de l'Eau Artois-Picardie et l'Ifremer à mettre en place, en 1992, le SRN (Suivi Régional des Nutriments) sur la façade du littoral Nord Pas-de-Calais / Picardie. Les objectifs de ce suivi sont d'évaluer l'influence des apports continentaux sur le milieu marin (sels azotés, phosphates, silicates) et leurs conséquences sur d'éventuels processus d'eutrophisation.

Il a pour but également d'estimer l'efficacité des stations d'épuration et des politiques d'aménagement et de gestion de la zone côtière et plus généralement l'éventuelle élimination de tels rejets. L'acquisition régulière des données permet l'établissement d'un suivi à long terme de l'évolution de la qualité des eaux littorales des trois radiales situées au large de Dunkerque, de Boulogne-sur-Mer et de la Baie de Somme permettant de prétendre à pouvoir déconvoluer les effets des changements à grande échelle, des changements liés aux activités anthropiques, plus régionaux.

## 1. Présentation des sites d'échantillonnage

L'échantillonnage est réalisé au niveau de trois systèmes caractéristiques de la Manche orientale ou de la baie sud de la Mer du Nord : Baie de Somme, Boulogne-sur-Mer, Dunkerque (Tableau 1). Les radiales sont constituées de 3 ou 4 points de prélèvements positionnés selon un gradient côte-large (Figures 1, 2 et 3).

- La radiale de Dunkerque caractérise un système côtier de faible profondeur où dominant des apports industriels et où la faible pente des bassins versants est responsable d'écoulements continentaux lents.

- La radiale de Boulogne-sur-Mer est représentative d'un système côtier sous influence d'une structure frontale générée par les apports de la Baie de Seine et où dominant des rejets d'origine agricole.

- La radiale de Baie de Somme caractérise un système estuarien où se concentre une activité conchylicole et agricole importante.

Ces trois systèmes sont structurés hydrodynamiquement et sédimentairement par un régime mégatidal. Les coordonnées des différentes stations sont précisées dans le Tableau 1.

Suite à des modifications au niveau du chenal de navigation en Baie de Somme, un repositionnement du point Mimer a été nécessaire en 2004 (Tableau 1).

Tableau 1. Coordonnées des stations sur les trois radiales

		RADIALES		
		DUNKERQUE	BOULOGNE	BAIE DE SOMME
	<b>Station 0</b>			<b>Bif</b> Latitude : 50°12'88 N Longitude : 1°35'96 E
	<b>Station 1</b>	Latitude : 51°04'30 N Longitude : 2°20'20 E	Latitude : 50°43'90 N au flot Longitude : 1°33'00 E au flot	<b>Mimer' (1992-2004)</b> Latitude : 50°14,121 N Longitude : 1°31,084 E  <b>Mimer (à partir de 2004)</b> Latitude : 50°13'30 N Longitude : 1°32'40 E
	<b>Station 2</b>		Latitude : 50°43'90 N Longitude : 1°30'90 E	<b>Atso</b> Latitude : 50°14'0 N Longitude : 1°28'50 E
	<b>Station 3</b>	Latitude : 51°06'70 N Longitude : 2°17'20 E	Latitude : 50°45'02 N Longitude : 1°27'15 E	<b>Mer 1</b> Latitude : 50°13'60 N Longitude : 1°27'20 E
Cependant la station <b>Mer 1</b> n'est actuellement plus échantillonnée				
	<b>Station 4</b>	Latitude : 51°09'20 N Longitude : 2°15'10 E		<b>Mer 2</b> Latitude : 50°13'15 N Longitude : 1°26'75 E



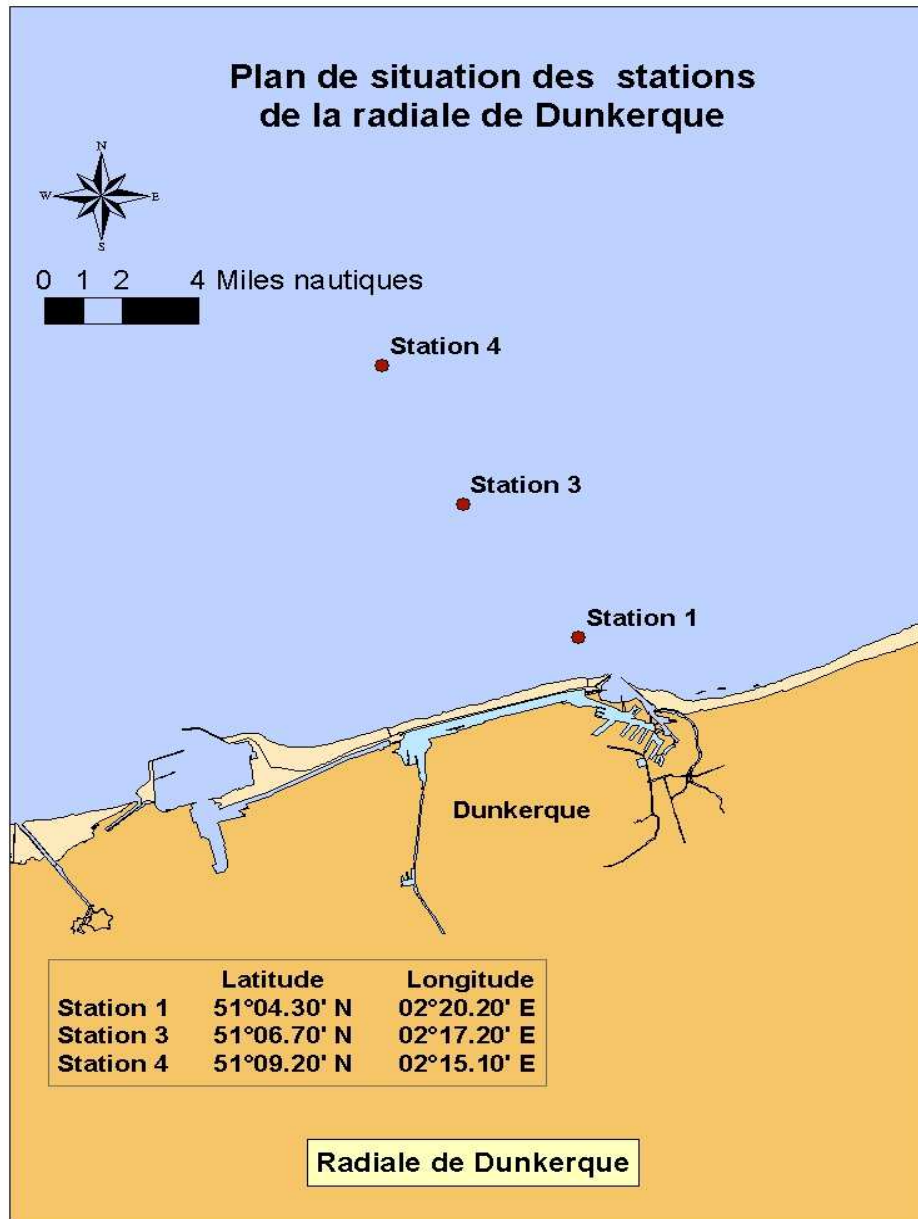


Figure 1. Localisation des points de prélèvements de la radiale de Dunkerque.

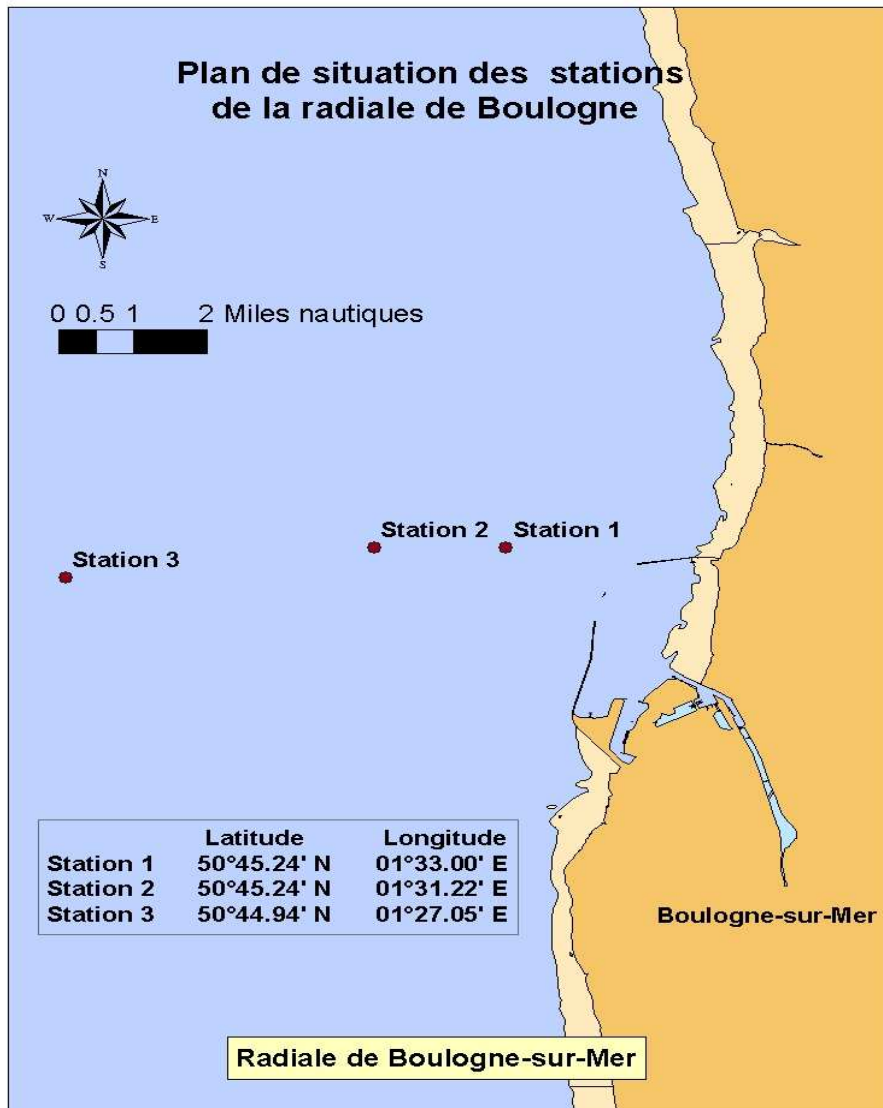


Figure 2. Localisation des points de prélèvements de la radiale de Boulogne-sur-Mer.

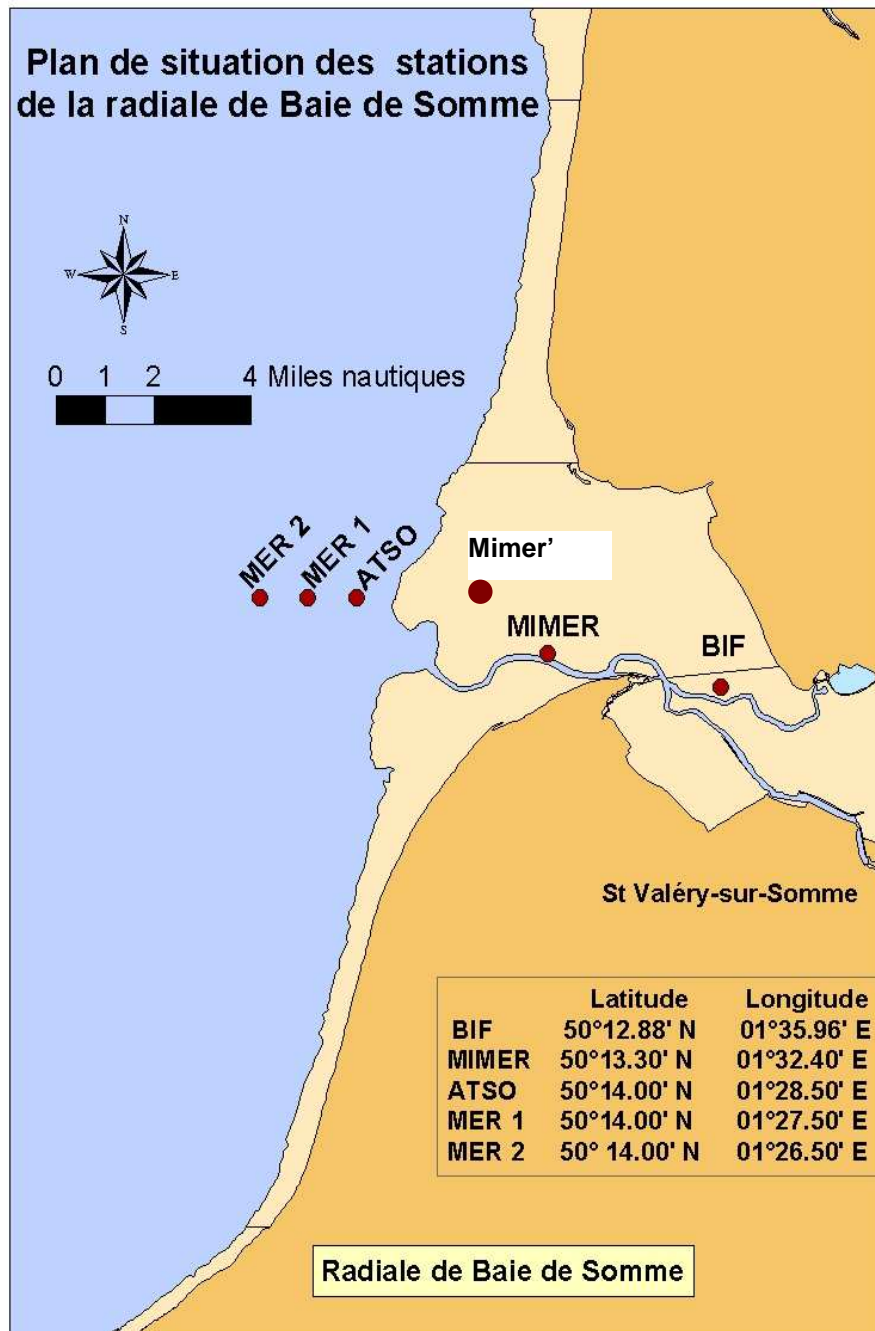


Figure 3. Localisation des points de prélèvements de la radiale de la Baie de Somme.

## 2. Prélèvements et analyses

### 2.1. Fréquence des prélèvements

Les prélèvements sont mensuels mais, entre les mois de mars et de juin, on observe une prolifération de la Prymnesiophycée *Phaeocystis sp.* qui peut représenter une nuisance pour le système marin (Lancelot et al. 1998). L'échantillonnage devient alors bimensuel.

En 2015, comme les deux années précédentes, certaines sorties ont dû être tronquées en raison de conditions météorologiques défavorables et/ou de problèmes techniques ou de disponibilité des moyens nautiques ; seule la station côtière (point de référence pour la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE) et le réseau REPHY) est alors échantillonnée. Sur les 16 missions prévues initialement, le bilan pour cette année est le suivant (Annexe 1) :

- Pour la radiale de Dunkerque : **11 sorties** ont pu être réalisées pour les trois points de prélèvement.
- Pour la radiale de Boulogne-sur-Mer : **12 sorties** ont été réalisées pour les trois points de prélèvement et **2 sorties supplémentaires** ont concerné uniquement la station 1.
- Pour la radiale de la Baie de Somme : **13 sorties** ont pu être réalisées pour les quatre stations.

Les méthodes d'analyse suivent les procédures décrites dans le manuel des analyses chimiques en milieu marin d'Aminot & Chaussepied (1983), Aminot & Kérouel (2004) et sont effectuées selon la procédure d'assurance de la qualité de l'Ifremer.

### 2.2. Prélèvements en mer

Les prélèvements sont effectués en subsurface (-0,5 m à -1 m) à partir d'un bateau et à l'aide d'une bouteille Niskin (Figure 4). C'est une bouteille qui, une fois immergée, se referme de part et d'autre grâce à un percuteur.

L'eau est alors transvasée directement dans un flacon plastique opaque brun de 1 litre pour les analyses de concentration en chlorophylle-*a* et les comptages du phytoplancton ou dans un flacon à usage courant pour les analyses de matières en suspension et de la turbidité



Figure 4.  
Bouteille à prélèvement  
d'eau de type Niskin (5L)

Pour les sels nutritifs, l'eau est pré-filtrée (maille de 50  $\mu\text{m}$ ) avant d'être transvasée dans un flacon. Pour l'ammonium, l'eau pré-filtrée est versée dans un flacon opaque de 100 ml. Ces flacons sont placés en glacière en attendant le retour pour analyse au laboratoire.

### 2.3. Paramètres physico-chimiques

#### 2.3.1. Salinité et Température

La température est, avec la salinité, un des descripteurs de base pour la connaissance du milieu. La température influe sur l'activité biologique dont dépend la production totale et sur la répartition des espèces. En milieu océanique, la température, associée à la salinité, est mesurée pour calculer la masse volumique de l'eau nécessaire à la détermination de la stratification de verticale. La salinité représente le contenu en sels dissous d'une eau. La mesure de la salinité se fait par sonde conductimétrique couplée à une sonde de température.

Le résultat est exprimé en Practical Salinity Unit (P.S.U.). L'UNESCO recommande l'utilisation de l'échelle de salinité comme un rapport sans préciser de dimension ou d'unité. Les notations p.p.t., ‰, g.  $\text{kg}^{-1}$  ne sont plus utilisées et il n'est pas correct de préciser P.S.U. après le nombre. La plage de mesure se situe entre 0,0 et 42,0 avec une précision de  $\pm 0,1$  entre 5 et 25 °C. En ce qui concerne la température, la plage de mesure se situe entre 5,0 °C et 99,9 °C (précision  $\pm 0,1$  °C).

#### 2.3.2. Turbidité

La turbidité est un paramètre qui permet d'apprécier l'aspect visuel, c'est-à-dire le degré d'opacité ou de transparence d'une masse. La turbidité est le plus souvent le résultat des apports continentaux de matériels solides, de la remise en suspension des dépôts sédimentaires et aussi parfois de poussées phytoplanctoniques. De ce fait, elle est étroitement liée à la concentration en MES et influe sur la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau et donc sur la production primaire photosynthétique.

La mesure de la turbidité se fait par néphélométrie et est exprimée en Nephelometric Turbidity Unit (N.T.U.). Elle consiste à mesurer la quantité de lumière diffusée à 90° par rapport à la lumière incidente.

### 2.3.3. L'oxygène dissous

Le niveau d'oxygène est un bon indicateur de la capacité d'un milieu à supporter la vie. L'oxygène en milieu aqueux provient à la fois des processus physiques (échanges atmosphériques entre l'air et l'eau), chimiques, ainsi que de l'activité photosynthétique des plantes. Des chutes des niveaux d'oxygène peuvent cependant résulter du métabolisme des organismes aquatiques lié au processus de respiration, de la décomposition de la matière organique par les bactéries ou encore de l'oxydation chimique de composés organiques et inorganiques.

Sa mesure dans l'eau a été réalisée grâce à l'utilisation de la sonde YSI (voir paragraphe 1.4.3.2.4.).

## 2.4. Paramètres biogéochimiques

La mesure des concentrations pour l'ensemble des nutriments se fait par lecture au spectrophotomètre avec une relation Densité Optique (DO) / concentration selon une courbe de calibration réalisée à chaque série de mesures.

### 2.4.1. Ammonium

Dans l'eau, l'ammoniac existe sous deux principales formes :  $\text{NH}_3$  et  $\text{NH}_4^+$ . Au pH usuel, l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) reste cependant la forme la plus dominante. Le dosage de l'ammonium est effectué selon la méthode de Koroleff (1969). Ce dosage permet de déterminer la totalité de l'azote ammoniacal. Après l'addition d'hypochlorite en milieu basique, il y a une formation de monochloramine. Cette monochloramine réagit avec le phénol pour donner du bleu d'indophénol possédant un maximum d'absorption à 630 nm. La réaction est catalysée par le nitroprussiate.

La concentration d'ammonium est exprimée en  $\mu\text{mol/L}$ . Le seuil de détection de l'appareil est de  $0,15 \mu\text{mol/L}$ .

### 2.4.2. Nitrate

Après réduction des ions nitrates en ions nitrites, par passage sur une colonne au cadmium, la méthode appliquée est la méthode de Bendschneider & Robinson (1952). Les ions nitrites forment un complexe diazoïque avec la sulfanilamide en milieu acide. Ce complexe réagit avec le Nnaphtyl éthylène diamine pour former un complexe coloré rose ayant un maximum d'absorption à 543 nm.

#### 2.4.3. Nitrite

Le dosage est effectué selon la méthode de Bendschneider & Robinson (1952). Les ions nitrites forment un complexe diazoïque avec la sulfanilamide en milieu acide. Ce complexe réagit avec le Nnaphtyl éthylène diamine pour former un complexe coloré rose ayant un maximum d'absorption à 543 nm. La concentration en nitrite est exprimée en  $\mu\text{mol/L}$ . Le seuil de détection est de  $0,05 \mu\text{mol/L}$ .

#### 2.4.4. Phosphate

Le phosphate désigne l'ensemble des formes dissoutes de l'ion orthophosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Leur dosage s'effectue selon la méthode de Murphy & Riley (1962). Ce dosage permet de déterminer les ions orthophosphates dissous dans l'eau de mer. Les ions phosphates réagissent avec le molybdate d'ammonium, en présence d'antimoine, pour former un complexe que l'on réduit par ajout d'acide ascorbique. Cette forme réduite, de coloration bleue, a un maximum d'absorption à 885 nm. La concentration en phosphate est exprimée en  $\mu\text{mol/L}$ . Le seuil de détection est de  $0,05 \mu\text{mol/L}$ .

#### 2.4.5. Silicate

Le terme silicate désigne les formes dissoutes de l'ion orthosilicates  $\text{SiO}_4$ . Dans l'eau de mer, la forme majoritaire est l'acide orthosilicique,  $\text{Si(OH)}_4$ , forme sous laquelle est exprimé le silicate dissous.

Le dosage de cet élément est réalisé selon la méthode de Mullin & Riley (1955) adaptée par Strickland & Parsons (1972). Ce dosage permet de déterminer le silicium dissous réactif. Le silicium réactif forme un complexe silicomolybdique qui, par ajout d'un mélange réducteur, donne une coloration bleue intense. Ce complexe a un maximum d'absorption à 810 nm.

La concentration en silicate est exprimée en  $\mu\text{mol/L}$ . Le seuil de détection est de  $0,1 \mu\text{mol/L}$ .

#### 2.4.6. Matières En Suspension (M.E.S.)

Dans l'eau, il existe des quantités plus ou moins importantes de particules insolubles présentes en suspension. L'importance de ces matières en suspension (M.E.S.) dans un milieu affecte la transparence de l'eau ainsi que la biologie. La filtration d'un échantillon sur une membrane filtrante permet de récupérer la matière vivante ou morte de taille supérieure à  $0,45 \mu\text{m}$

contenue dans l'échantillon, sel de l'eau de mer exclu (le filtre est rincé pour éliminer l'excès de sel).

Par séchage à l'étuve (70 °C) de la matière totale pendant 2 heures, puis par différence de pesée (avant et après séchage), le poids sec de la matière totale est déterminé. Les M.E.S. sont exprimées en mg/L.

#### 2.4.7. Matière Organique Particulaire (M.O.P.)

C'est la fraction organique de la matière particulaire en suspension. Elle est exprimée en mg/L. Pour obtenir sa mesure, le filtre préalablement traité pour la détermination des quantités de matières en suspension (paragraphe 1.4.8) est mis au four à moufle (450 °C) pendant 1 heure. Le résultat de la différence de pesée avant / après passage au four permet l'estimation de la part de matière minérale (M.M.) dans l'échantillon. La quantité de M.O.P. est représentée par la différence entre M.E.S. et M.M.

## 2.5. Paramètres biologiques

#### 2.5.1. Chlorophylle - *a* et phéopigments

La mesure de la concentration en chlorophylle-*a* constitue une estimation simple et spécifique de la biomasse du phytoplancton. Les produits de dégradation de la chlorophylle-*a* dans l'eau sont les phéopigments, également utilisés comme indicateurs de la quantité phytoplanctonique présente.

Par filtration sur membrane (filtre Whatman GF/C de 47 mm), le matériel particulaire est concentré. Les pigments sont ensuite extraits dans un solvant (acétone à 90 %). Après centrifugation pendant 20 minutes à 6000 tr.mn<sup>1</sup>, l'absorbance du surnageant est mesurée par spectrophotométrie à 665 et 750 nm, ce qui permet d'obtenir le taux de chlorophylle-*a* (son pic d'absorbance se situe à 665 nm). Le surnageant est acidifié (par de l'acide chlorhydrique) et la quantité de phéopigments est alors déterminée en mesurant l'absorbance aux mêmes longueurs d'onde.

Les concentrations de la chlorophylle-*a* et des phéopigments sont exprimées en µg/L ou mg/m<sup>3</sup> (précision ± 0,01). Les seuils de détection sont respectivement de 0,04 µg/L et de 0,02 µg/L pour la chlorophylle-*a* et les phéopigments. Dans ce document, le taux de phéopigments est exprimé en pourcentage de chlorophylle active.



## 2.5.2. Phytoplancton

### 2.5.2.1. Observation en microscopie inversée

La procédure utilisée est la Méthode Ütermohl 322/89CSRU/BCM, classiquement utilisée pour l'identification et le dénombrement du phytoplancton dans le cadre des réseaux de surveillance phytoplanctonique. Les observations sont faites le plus vite possible, au moins pour les espèces cibles, et sur les deux types d'échantillons : vivants et fixés. La fixation se fait au lugol (2,5 ml par litre). La solution mère de lugol est à conserver à l'obscurité, la durée de vie en flacon brun est limitée à quelques mois.

L'observation se fait dans une cuve à sédimentation de 10 ml avec un grossissement adéquat. Le temps de décantation minimum est 6 heures (au bout de 2 heures environ, 80 % des espèces sont déjà sur le fond de la cuve).

Pour la lecture, lorsqu'aucune espèce n'est à priori véritablement dominante, la cuve est parcourue entièrement. Dans le cas où une ou plusieurs espèces apparaîtraient très dominantes, un sous-échantillonnage est réalisé. Il consiste en une numération sur les diamètres de la cuve ou des champs choisis de manière aléatoire dans la cuve. Un coefficient multiplicateur permet d'estimer le nombre de cellules phytoplanctoniques observées en fonction du grossissement, du nombre de diamètres ou de champs observés. Le résultat est extrapolé à un volume de 1 litre (résultat en nombre de cellules par litre).

### 2.5.2.2. Lecture des graphes

Depuis 2011, les graphes des flores totales et des taxons dominants ont été largement modifiés.

- La biomasse est représentée par un graphe par point des concentrations en chlorophylle-*a* sur 5 ans. Les résultats de l'année (n-1) en bleu sont superposés aux résultats des 4 années précédentes en gris.

- L'abondance est représentée par un graphe par point de la somme des taxons dénombrés dans les flores totales sur 5 ans. Les résultats de l'année (n-1) en vert sont superposés aux résultats des 4 années précédentes en gris.

- La composition est représentée par des graphes par taxon sur l'année (n-1). La dominance des taxons est estimée en fonction de l'importance qu'occupe le taxon dans l'échantillon. On calcule la proportion du taxon dans l'échantillon par rapport à l'abondance totale, puis la somme des proportions d'un taxon a été calculée sur l'ensemble des échantillons de l'année. Le taxon a un score d'autant plus élevé qu'il est souvent présent et qu'il atteint des concentrations élevées.

### 2.5.2.3. Assurance qualité

L'ensemble des analyses réalisées au laboratoire LER du centre Ifremer Manche Mer du Nord de Boulogne-sur-Mer se fait sous Assurance Qualité (Plan qualité physicochimie du 01/07/2000 et plan qualité métrologie du 23/07/2002). De plus, le laboratoire est impliqué dans le Programme d'Inter Comparaison QUASIMEME (QUality ASSurance for Information from Marine Environmental Monitoring in Europe) pour les nutriments.

### 2.5.2.4. Sonde Ysi

Lors des campagnes de prélèvement, la sonde Ysi 6600 V2 (Figure 5a) a été utilisée afin de caractériser la structure verticale des masses d'eaux des différents sites. Elle est déployée lors de chaque campagne de prélèvements en mode autonome ou en mode supervisé (avec ou sans câble et boîtier de contrôle (Figure 5b)).



Figure 5a.  
Sonde multiparamètres  
Ysi 6600 V2



Figure 5b.  
Boîtier de contrôle  
de la sonde Ysi

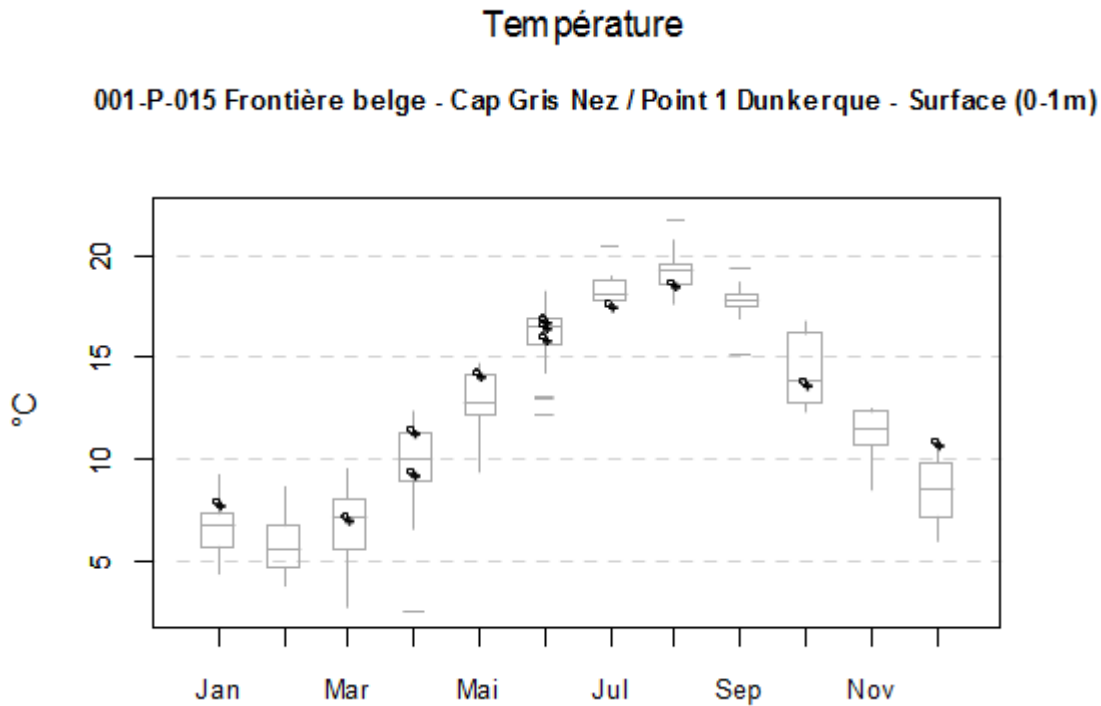
Cette sonde permet la mesure ou le calcul des paramètres présentés dans le tableau 2. La concentration en chlorophylle a est estimée via une mesure de la fluorescence.

Tableau 2. Tableau récapitulatif des paramètres acquis par la sonde Ysi 6600 V2

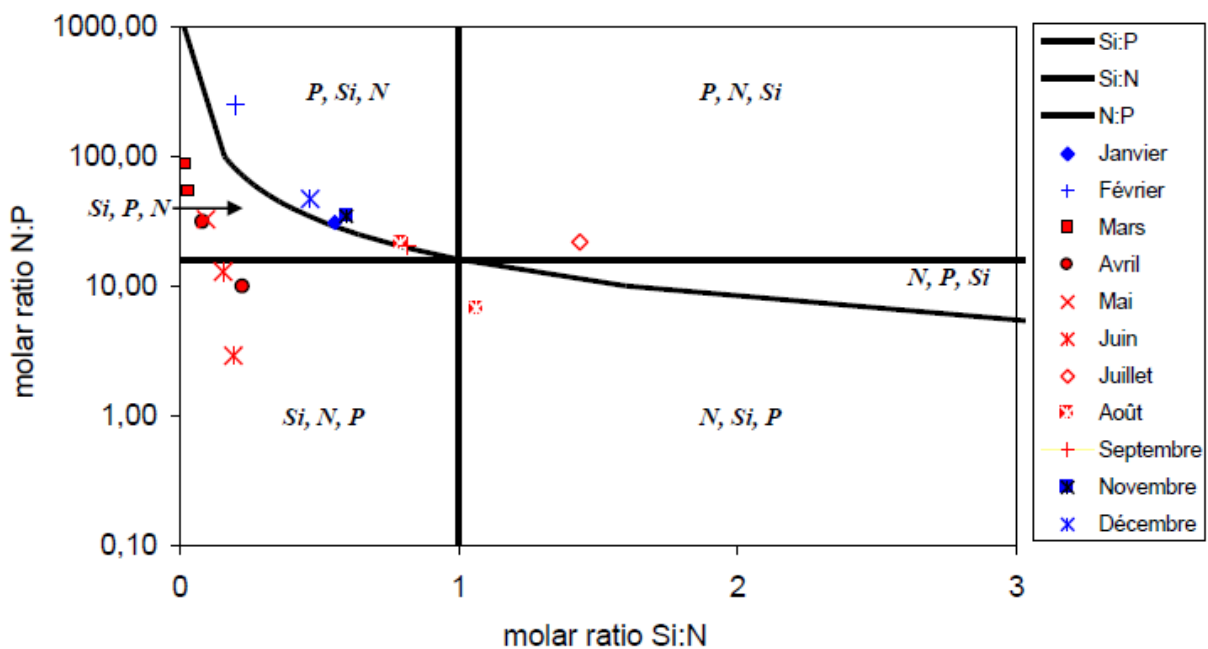
Paramètres	Unités	Plage	Résolution	Précision
<i>Température</i>	Degrés Celsius (°C)	-5°C à + 45°C	0,01 °C	± 0,15 °C
<i>Conductivité</i>	mS / cm	0 à 100 mS/cm	0,001 à 0,1 mS/cm	± 0,5 % de la lecture +0,001 mS/cm
<i>Salinité</i>		0 à 70	0,01	± 1 % de la lecture ou 0,1
<i>Oxygène dissous</i>	% saturation	0 à 500 %	0,1 %	0 à 200% : ± 2 % de la lecture 200 à 500% : ± 6 % de la lecture
<i>Oxygène dissous</i>	mg / L	0 à 50 mg/L	0,01 mg/L	0 à 20 mg/L : ± 2 % de la lecture 200 à 500 mg/L : ± 6 % de la lecture
<i>pH</i>	Unités de pH	0 à 14 unités	0,01 unités	± 0,2 unités
<i>Turbidité</i>	N.T.U.	0 à 1000 N.T.U.	0,1 N.T.U.	± 5 % de la lecture ou 2 N.T.U.
<i>Chlorophylle a</i>	µg / L	0 à 400 µg/L	0,1 µg/L	
<i>Profondeurs</i>	Mètres (m)	0-200 m	0,001 m	De 0 à 9 m : ± 0,02 m De 0 à 60 m : ± 0,12 m De 0 à 200 m : ± 0,3 m

#### 2.5.2.5. Interprétation des Figures

Les paramètres hydrologiques sont représentés par deux types de graphiques. D'abord, les boîtes de dispersion permettent de visualiser les variations saisonnières intégrées sur toute la période 2006 par rapport à l'année d'édition du rapport. Elles représentent les paramètres de tendance centrale et de dispersion des valeurs pour chaque mois pour l'ensemble de la période considérée. L'évolution d'un paramètre, dans notre exemple, la température, lors de l'année N-1 (2015, dans cet exemple) est superposée à la série moyenne et est représentée par les traits gris. Plus la boîte de dispersion est petite, plus les valeurs du milieu sont homogènes. A l'inverse, plus elle est grande, plus les valeurs du milieu sont hétérogènes ou dispersées. Également, plus l'étendue de la moustache est grande, plus les valeurs sont dispersées. En revanche, plus elle est petite, plus les valeurs sont homogènes. Il arrive parfois qu'il y est des valeurs dites extrêmes, atypiques ou bien exceptionnelles, ce sont les outliers.



Le deuxième type de graphique (en illustration ci-dessous : le point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2013) met en évidence les rapports stoechiométriques N/P, Si/N et Si/P qui ont été calculés pour chaque date de prélèvements et pour chaque point. Les résultats sont représentés par mois et un groupement a été réalisé sur la base du découpage proposé par la directive cadre sur l'eau (DCE - 2000/60/CE), c'est-à-dire en distinguant la période productrice (mars à octobre illustrée en rouge) de la période non productrice (novembre à février illustrée en bleu). Le graphique illustre l'évolution des rapports N/P et Si/N. En fonction des valeurs des ratios, les points se retrouvent de part et d'autre des courbes seuils (valeurs de 16 et 1), ce qui permet ensuite de mettre en évidence la limitation par tel ou tel nutriment, par ordre de priorité.



Il est à noter que les rapports Si/N ou N/P sont calculés afin d'aborder la notion de limitation potentielle de la production de biomasse par les nutriments. En effet, selon Redfield & al. (1963) et Brzezinski (1985), la composition élémentaire du phytoplancton en carbone : azote : silice : phosphore (C : N : Si : P) est proche de 106 : 16 : 16 : 1.

D'après cette composition élémentaire, le rapport **N/P (16/1)** dans le phytoplancton vaut **16** et le rapport **Si/N (16/16)** quant à lui, serait égal à **1**. Dans l'eau de mer, le rapport molaire entre l'azote et le phosphore reste approximativement le même que dans le phytoplancton, ce qui optimise la croissance des algues. Il en découle donc les observations suivantes :

➤ Si le rapport N/P est **inférieur à 16**, l'azote est alors potentiellement en carence dans le milieu et la croissance du phytoplancton peut alors être limitée. Inversement, si le rapport N/P est supérieur à 16, le phosphore est alors potentiellement limitant pour la croissance du phytoplancton.

➤ De même, si le rapport Si/N est **inférieur à 1**, le silicate est alors potentiellement en carence dans le milieu et la croissance du phytoplancton (les diatomées) peut alors être limitée. Au contraire, si le rapport Si/N est **supérieur à 1**, l'azote est alors potentiellement en carence dans le milieu et la croissance du phytoplancton peut alors être limitée.

➤ Pour certains paramètres, les caractéristiques de tendance centrale et de dispersion sur la période 1992-2014 sont synthétisées dans un tableau. Les abréviations utilisées sont les suivantes :

**Min** : minimum

**Q1** : premier quartile

**Med** : médiane

**Moy** : moyenne

**Q3** : troisième quartile

**Max** : maximum

**n** : nombre de données

### 3. Résultats

#### 3.1. Paramètres hydrologiques

##### 3.1.1. Dunkerque

###### □ Température

L'évolution saisonnière de ce paramètre est classique pour un tel écosystème tempéré. Les courbes pluriannuelles de température indiquent une dynamique comparable d'une année sur l'autre avec des variations plus ou moins importantes depuis 2006. Par exemple, la température est descendue jusqu'à 2,5 °C en avril 2013 au point 1 et est montée jusqu'à 21,70 °C en août 2009. (Tableau 3). Le cycle saisonnier est fortement marqué avec des valeurs plus basses en hiver et en automne et des valeurs plus fortes au printemps et en été.

Les valeurs peuvent être comparées à la médiane des températures de 2006 à 2014 (Figures 7 à 9). La température en 2015 n'est pas plus élevée que depuis 2006. La médiane des valeurs se situe entre 12,10 °C et 12,20 °C pour la période 2006-2014 contre 12,10 °C et 13,85 °C en 2015 (Tableau 4). Les minima et les maxima sont très proches pour tous les points.

Le gradient côte-large traduit la différence des valeurs entre le point le plus proche de la côte et celui le plus éloigné (Annexe 1). Sur la radiale de Dunkerque, il est compris entre -4,1 et 0,8 °C pour l'année 2015. Il varie selon les saisons. En effet, il est positif en été et en hiver, les températures au niveau de la côte sont plus fortes qu'au large, et négatif le reste de l'année.

Tableau 3. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la température (°C) pour la radiale de Dunkerque sur la période 2006-2014

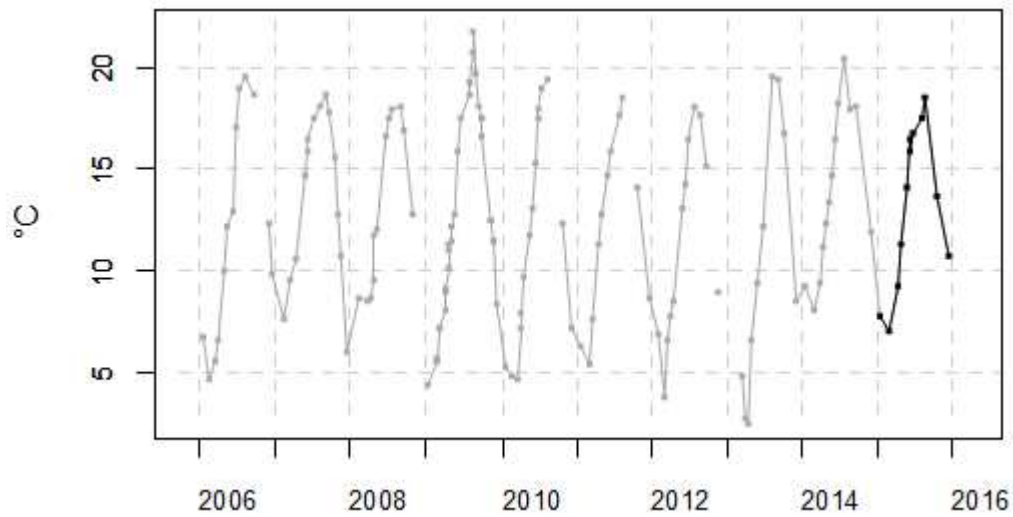
	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>DK1</b>	2,50	8,50	12,20	12,40	4,86	17,40	21,70	133
<b>DK3</b>	2,60	8,30	12,20	12,10	4,76	16,70	19,60	103
<b>DK4</b>	2,70	8,50	12,10	12,11	4,68	16,70	19,10	97

Tableau 4. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la température (°C) pour la radiale de Dunkerque en 2015

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>DK1</b>	7,0	10,32	13,85	13,22	3,95	16,50	18,50	12
<b>DK3</b>	7,0	9,45	12,10	12,58	4,02	15,72	18,30	10
<b>DK4</b>	7,1	9,55	13,00	12,59	3,71	15,10	18,20	11

## Température

001-P-015 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 1 Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-015 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 1 Dunkerque - Variation saisonnière 2015 Température

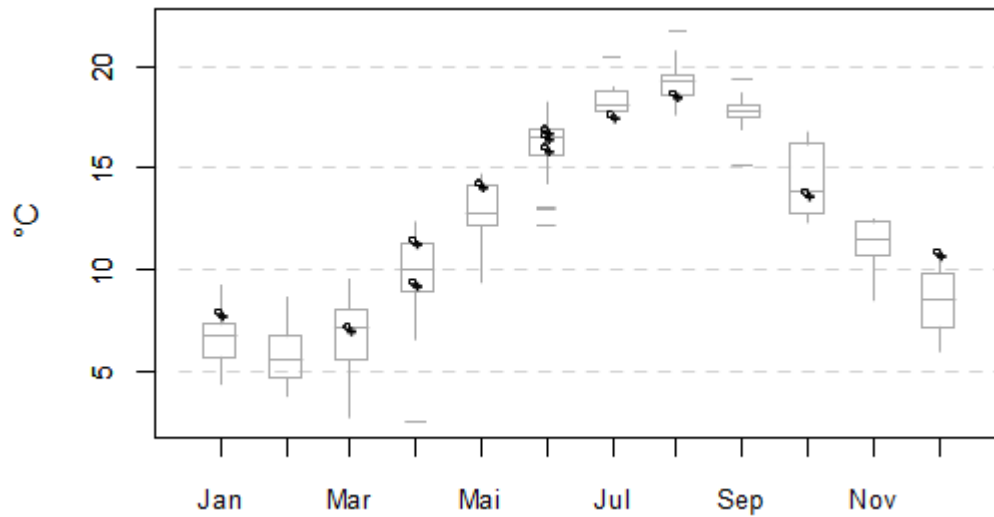
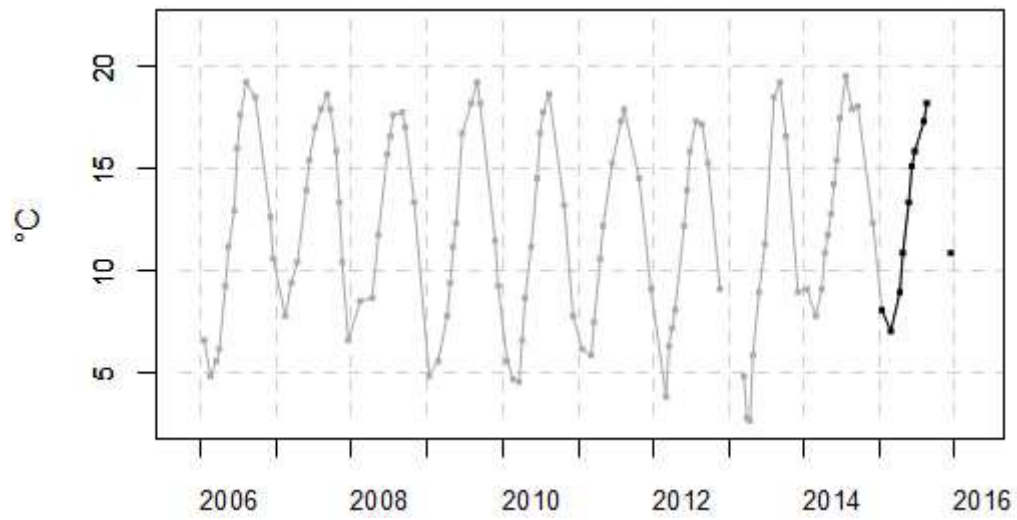


Figure 7. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la température (°C) pour le point 1 de la radiale de Dunkerque (2006-2015)



## Température

001-P-016 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 3 SRN Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-016 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 3 SRN Dunkerque - Variation saisonnière 2015 Température

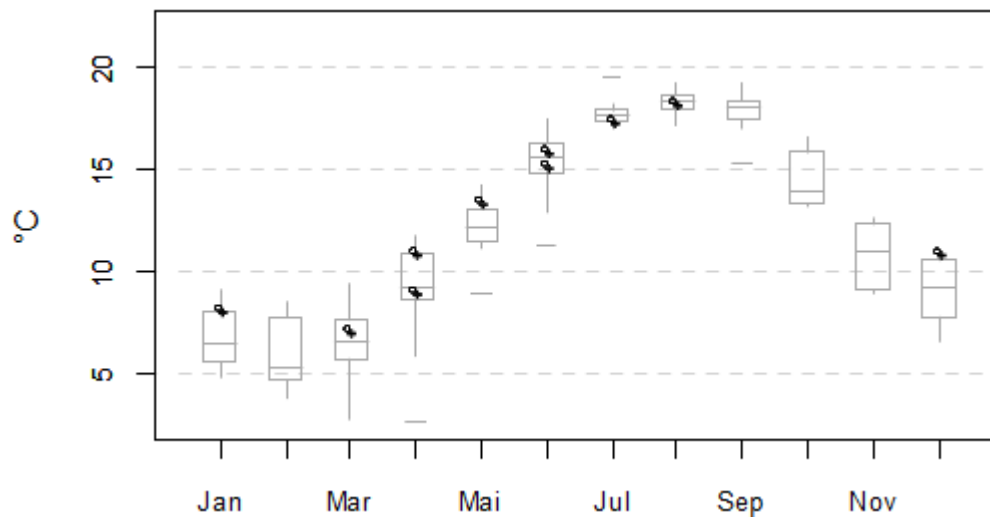
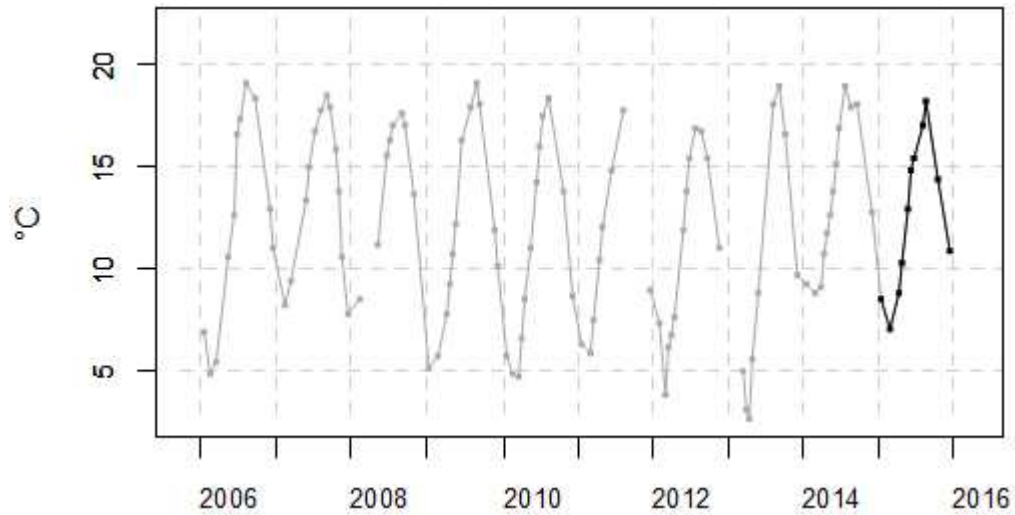


Figure 8. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la température (°C) pour le point 3 de la radiale de Dunkerque (2006-2015)

## Température

001-P-017 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 4 SRN Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-017 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 4 SRN Dunkerque - Variation saisonnière 2015 Température

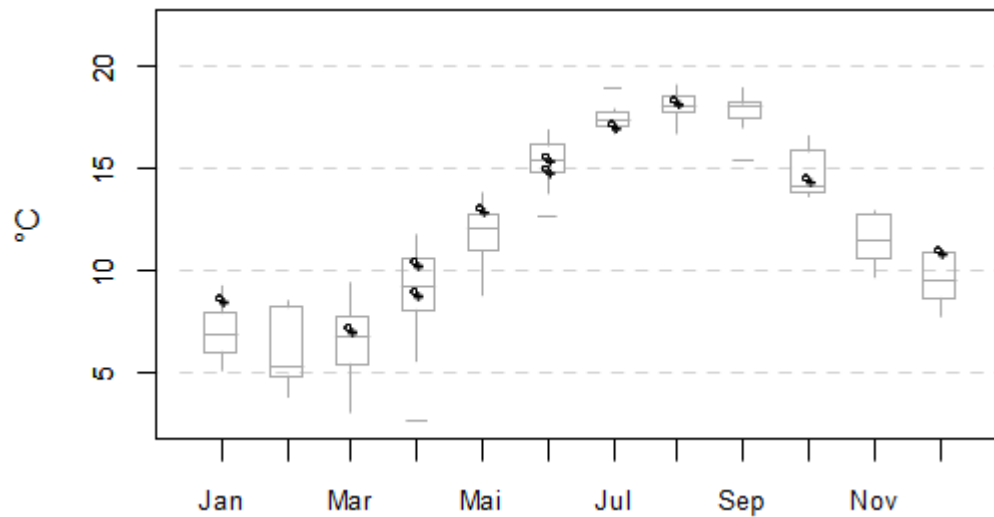


Figure 9. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la température (°C) pour le point 4 de la radiale de Dunkerque (2006-2015)

□ Salinité

Les valeurs de salinité en 2015 sont comparables à celles mesurées depuis 2006 (Tableaux 5 et 6). En effet, la moyenne de la salinité sur la radiale de Dunkerque en 2015 est de 34,53 P.S.U pour 34,65 P.S.U de 2006 à 2014. De plus, les minima et maxima observés durant ces deux périodes sont sensiblement proches (minima pour la radiale en 2015 : 33,10 et en 2006-2014 : 31,30 ; maxima en 2015 : 35,20 et en 2006-2014 : 35,60). La salinité ne présente pas de cycle saisonnier.

Une valeur exceptionnelle est mesurée en 2010 au mois de juin, en effet la valeur de la salinité été de 31,30 P.S.U.

La salinité est généralement plus faible pour le point 1 par rapport aux deux autres points. La différence côte-large est principalement observable de décembre à mai et est liée aux apports continentaux d'eau douce (Tableau 6).

Les fluctuations observées sont le reflet à la fois de conditions de prélèvements différentes (horaires des marées) et de situations environnementales différentes (météorologie, courantologie) qui ne peuvent être appréhendées à cette échelle d'observation.

Le gradient côte-large n'est pas toujours positif, en effet, il varie -0,3 à 1,2 P.S.U. (Annexe 1).

Tableau 5. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la salinité (PSU) pour la radiale de Dunkerque sur la période 2006-2014

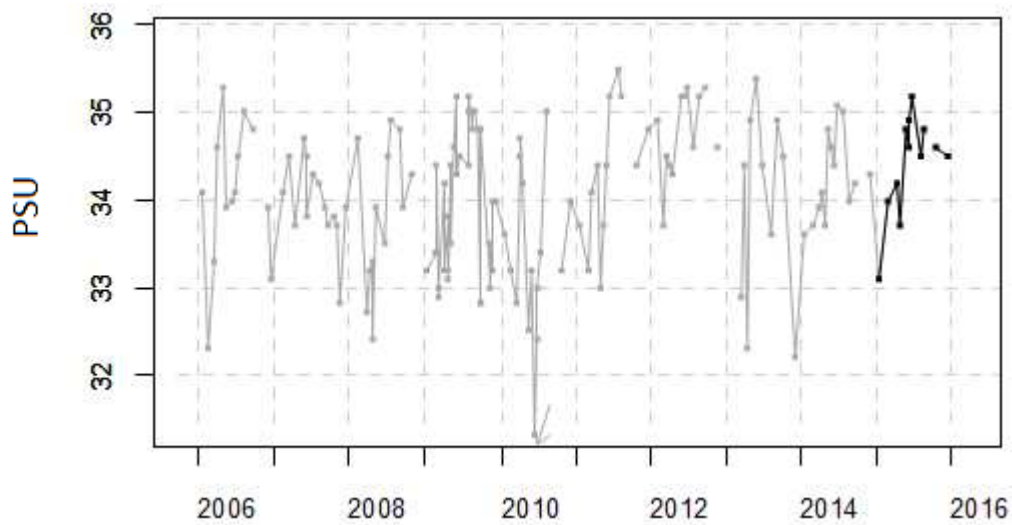
	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>DK1</b>	31,30	33,40	34,10	34,02	0,83	34,60	35,50	135
<b>DK3</b>	32,50	34,00	34,40	34,39	0,67	34,90	35,60	105
<b>DK4</b>	32,80	34,10	34,50	34,49	0,59	34,90	35,60	100

Tableau 6. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la salinité (PSU) pour la radiale de Dunkerque sur la période 2015

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>DK1</b>	33,10	34,15	34,55	34,41	0,58	34,80	35,20	12
<b>DK3</b>	33,80	34,30	34,60	34,54	0,40	34,80	35,20	11
<b>DK4</b>	33,90	34,60	34,60	34,64	0,33	34,80	35,10	11

## Salinité

001-P-015 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 1 Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-015 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 1 Dunkerque - Variation saisonnière 2015 Salinité

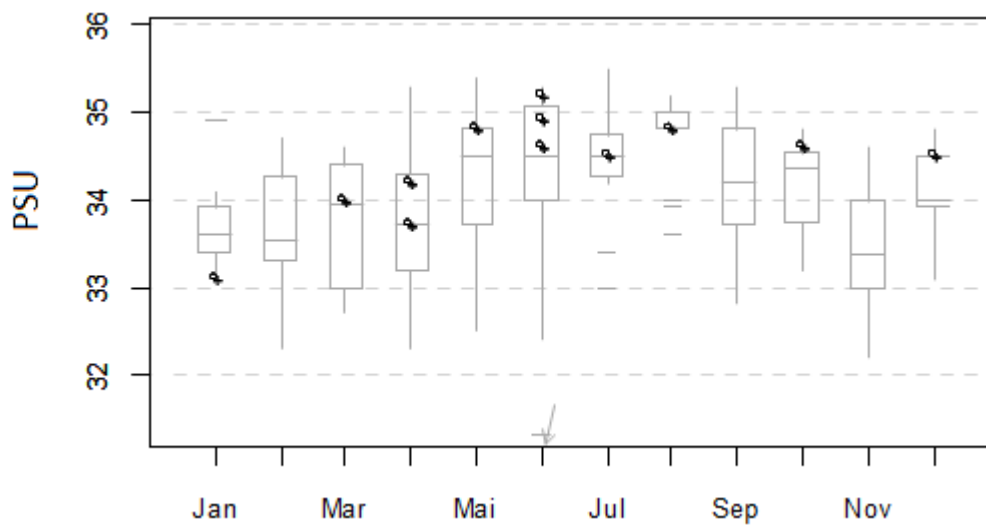
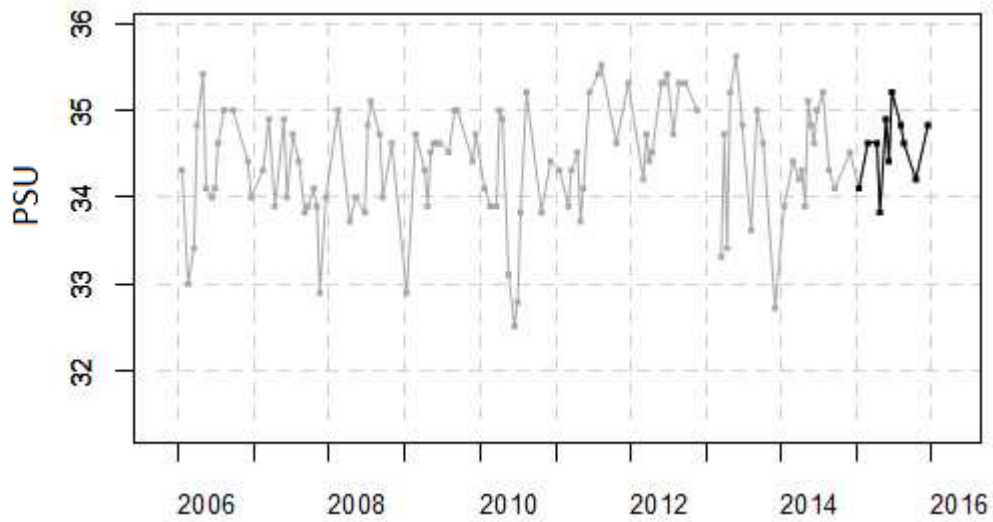


Figure 10. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la salinité (PSU) pour le point 1 de la radiale de Dunkerque pour la période 2006-2015

## Salinité

001-P-016 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 3 SRN Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-016 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 3 SRN Dunkerque - Variation saisonnière 2015 Salinité

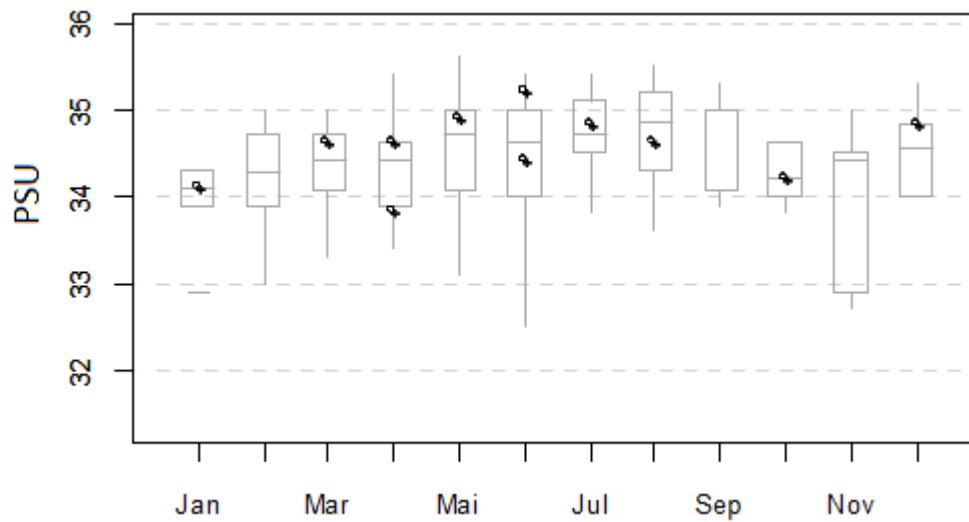
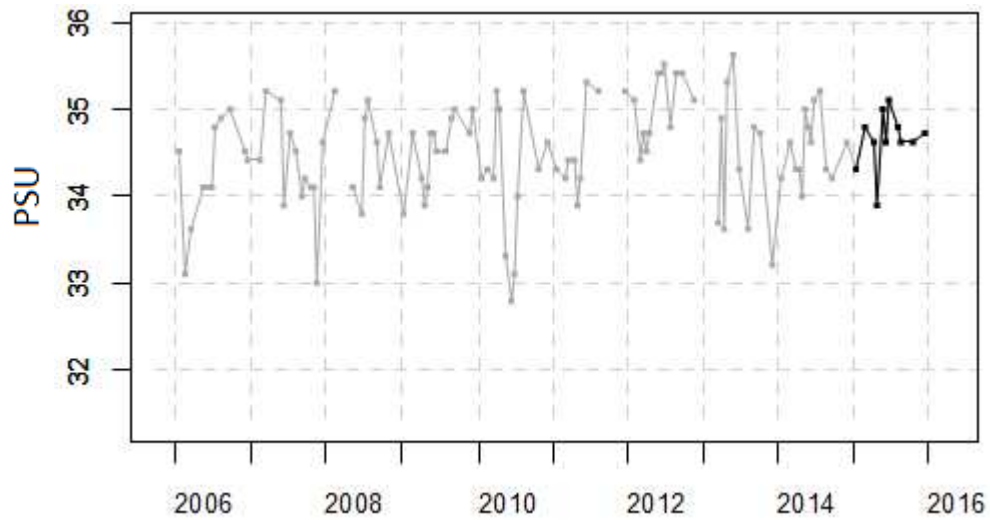


Figure 11. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la salinité (PSU) pour le point 3 de la radiale de Dunkerque pour la période 2006-2015

## Salinité

001-P-017 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 4 SRN Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-017 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 4 SRN Dunkerque - Variation saisonnière 2015 Salinité

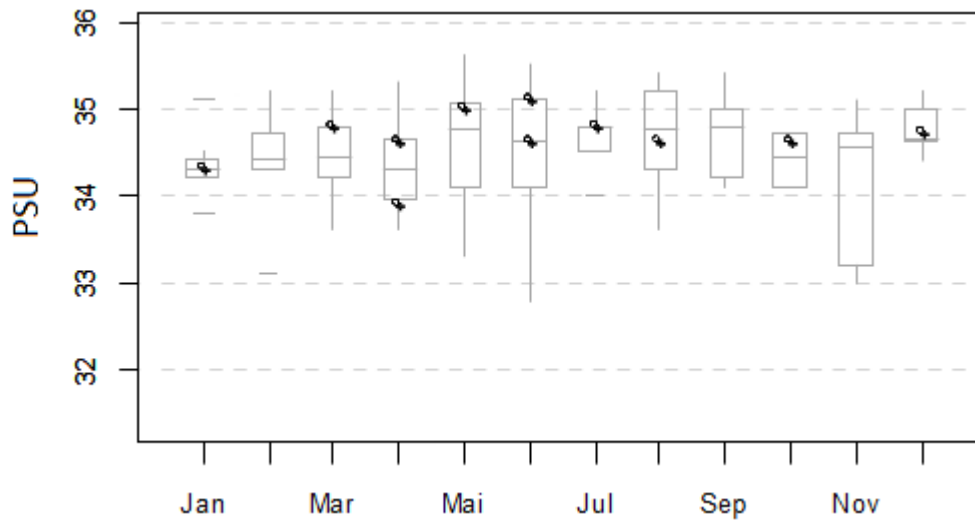


Figure 12. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la salinité (PSU) pour le point 4 de la radiale de Dunkerque pour la période 2006-2015

□ **Turbidité et Matières en suspension**

La turbidité moyenne en 2015 correspond à celle mesurée depuis 2006 (Tableaux 7 et 8) cependant les extremums diffèrent. En effet, la turbidité maximale est nettement inférieure à celle observée les années précédentes. Par exemple, la plus forte valeur en 2015 est de 25,90 N.T.U en février contre 63,10 N.T.U en avril 2013, au point 1.

Pour l'année 2015, la variabilité est plus importante lorsque les points sont proches de la côte. Les valeurs du point 1 présentent de fortes fluctuations. La turbidité est plus élevée de décembre à fin janvier et de mai à début juin, et plus faible le reste de l'année. Par exemple, elle est de 11,4 N.T.U fin mai puis elle chute brutalement jusqu'à 1,74 N.T.U mi-juin. Les valeurs du point 3 varient légèrement avec des hausses en décembre (7,57 N.T.U) et en janvier (6,39 N.T.U). Le reste de l'année, elles fluctuent entre 0,28 et 4,60 N.T.U. Au point 4, la variabilité est plutôt faible. Les valeurs de l'année 2015 sont supérieures aux médianes voire supérieures au 3<sup>ième</sup> quartile pour le point 1 et le cycle saisonnier de la turbidité est faiblement marqué (Figures 13 à 15).

La turbidité maximale cette année est observable en février (25,90 N.T.U au point 1) et la valeur minimale en juin au point 4 (0,28 N.T.U).

Les valeurs sont fortes au point 1 (2006-2014 : moyenne de 6,32 N.T.U ; 2015 : moyenne de 7,75 N.T.U) et diminuent au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la côte, (à la station 4 2006-2014 : moyenne de 1,87 N.T.U ; 2015 : 1,82 N.T.U) (Tableau 8).

Le gradient côte-large est toujours négatif et variable (de -19,43 à -0,38 N.T.U.) (Annexe 1).

Tableau 7. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la turbidité (N.T.U.) pour la radiale de Dunkerque sur la période 2006-2014

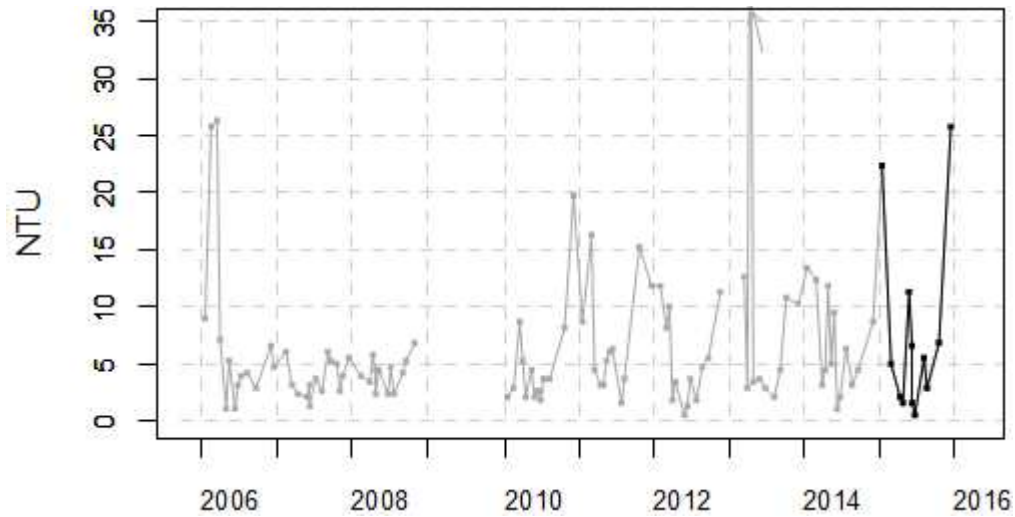
	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>DK1</b>	0,74	3,00	4,52	6,32	7,36	6,72	63,10	101
<b>DK3</b>	0,37	1,57	2,54	3,74	3,37	4,34	21,10	104
<b>DK4</b>	0,35	0,94	1,49	1,87	1,36	2,15	6,98	100

Tableau 8. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la turbidité (N.T.U.) pour la radiale de Dunkerque sur la période 2015

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>DK1</b>	0,66	2,05	5,32	7,75	8,25	8,01	25,90	12
<b>DK3</b>	0,43	1,47	2,17	3,01	2,21	3,62	7,57	11
<b>DK4</b>	0,28	1,18	1,26	1,82	1,18	2,21	4,60	11

## Turbidité

001-P-015 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 1 Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-015 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 1 Dunkerque - Variation saisonnière 2015 Turbidité

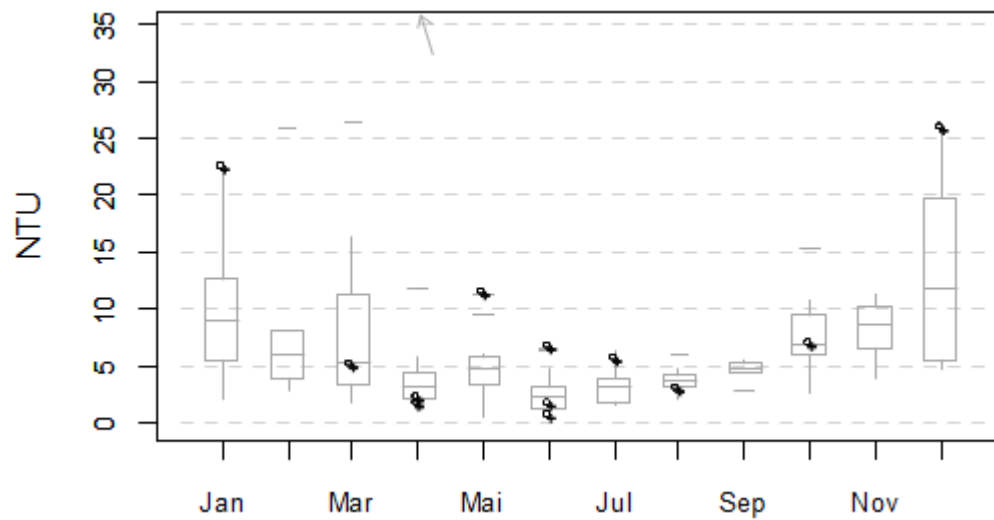
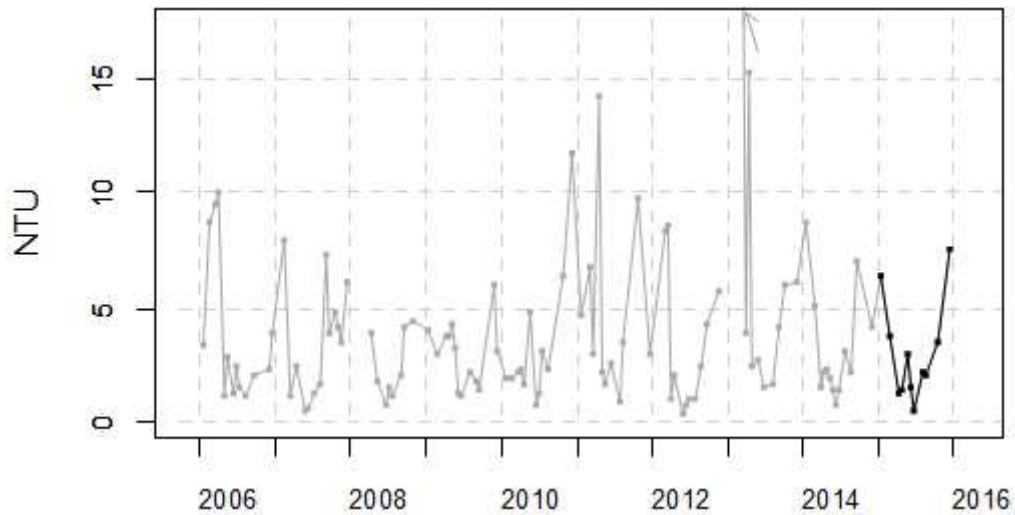


Figure 13. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la turbidité (NTU) pour le point 1 de la radiale de Dunkerque pour la période 2006-2015



## Turbidité

001-P-016 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 3 SRN Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-016 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 3 SRN Dunkerque - Variation saisonnière 2015 Turbidité

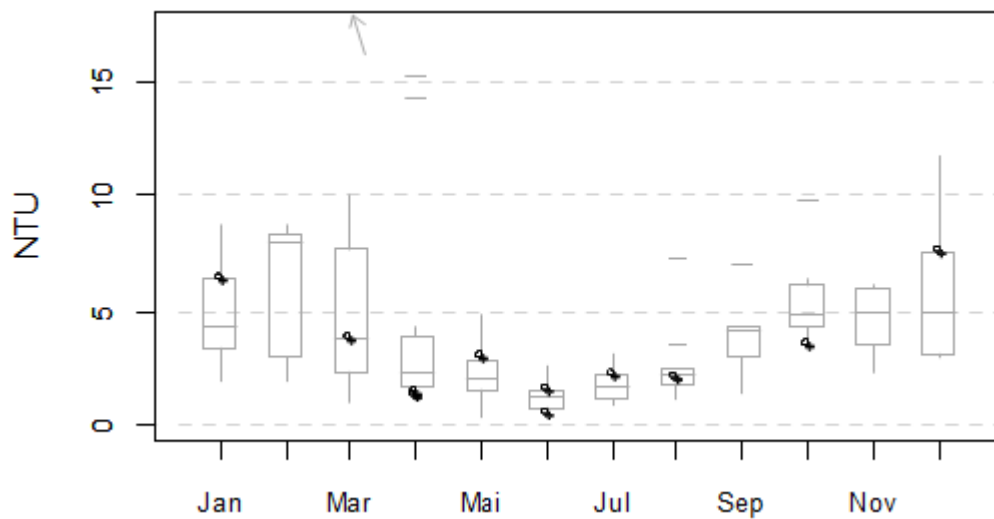
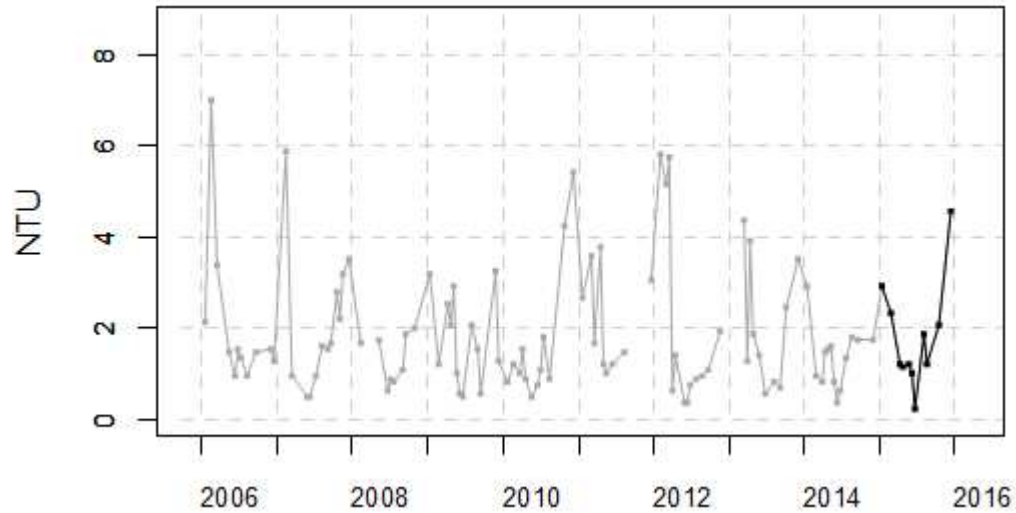


Figure 14. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la turbidité (NTU) pour le point 3 de la radiale de Dunkerque pour la période 2006-2015

## Turbidité

001-P-017 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 4 SRN Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-017 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 4 SRN Dunkerque - Variation saisonnière 2015 Turbidité

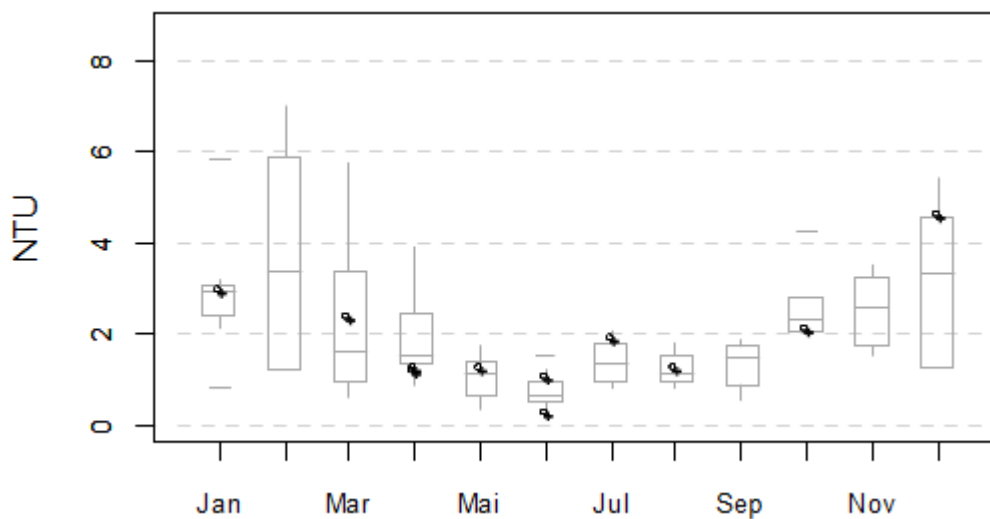


Figure 15. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la turbidité (NTU) pour le point 4 de la radiale de Dunkerque pour la période 2006-2015

Pour l'année 2015, les M.E.S présentent un cycle saisonnier marqué avec des valeurs fortes en hiver et en automne puis des valeurs plus faibles au printemps et en été. Ce schéma s'observe de la côte vers le large mais les amplitudes de variations sont moindres vers le large. Par exemple, les concentrations des M.E.S sont à 37 mg/L (la valeur maximale en 2015), 12,1 mg/L et 7,4 mg/L en

décembre de la côte vers le large) (Tableau 10). Une valeur exceptionnellement élevée est mesurée en 2013 au mois d'avril avec 95,20 mg/L (Tableau 9). Pour les trois points une période se démarque. En effet, une forte variabilité s'observe de l'année 2010 à l'année 2014.

Ces valeurs largement supérieures aux médianes s'expliquent par des conditions météorologiques et/ou courantologiques variables.

Le gradient côte-large est généralement négatif, il varie de -29,6 à 0,7 mg/L (Annexe 1)

Tableau 9. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les MES (mg/L) pour la radiale de Dunkerque sur la période 2006-2014

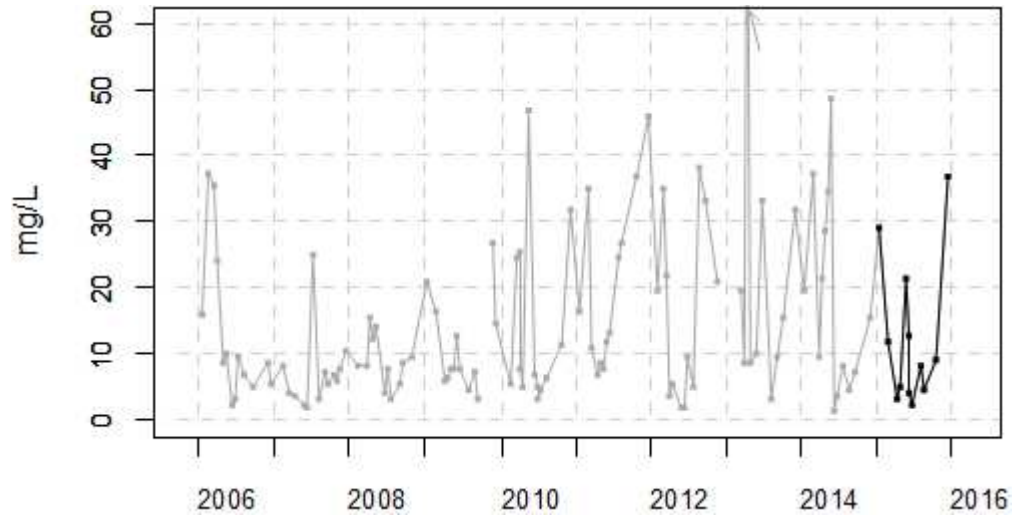
	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>DK1</b>	1,60	5,70	8,80	14,68	13,82	20,75	95,20	110
<b>DK3</b>	0,90	3,75	6,80	10,22	9,70	12,35	46,00	103
<b>DK4</b>	0,30	2,00	3,50	5,82	7,15	5,35	28,90	99

Tableau 10. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les MES (mg/L) pour la radiale de Dunkerque en 2015

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>DK1</b>	2,40	4,70	8,85	12,48	11,09	15,07	37,00	12
<b>DK3</b>	2,60	4,05	5,60	6,38	3,63	6,25	14,40	11
<b>DK4</b>	1,80	2,85	3,80	3,73	1,54	4,20	7,40	11

## Matières en suspension

001-P-015 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 1 Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-015 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 1 Dunkerque - Variation saisonnière 2015 MES

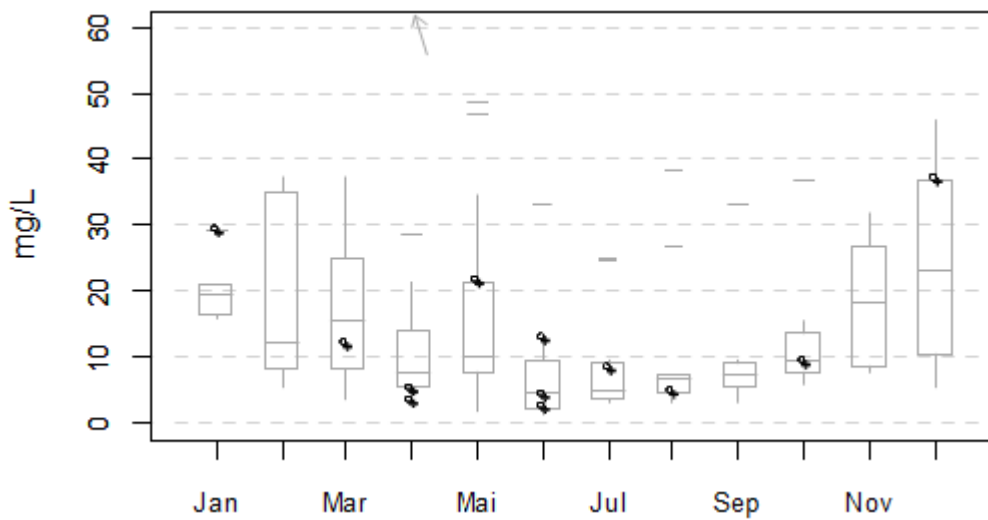
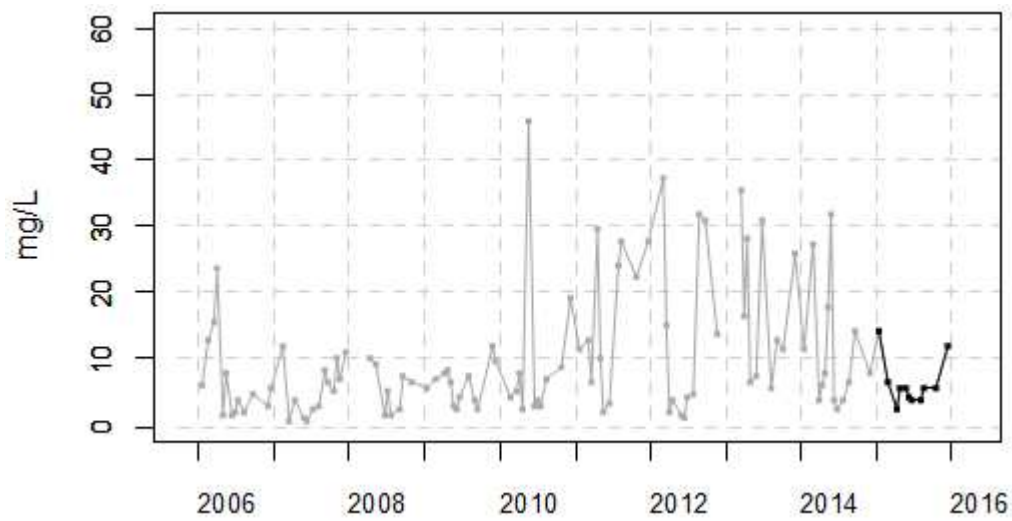


Figure 16. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) des matières en suspension (mg/L) pour le point 1 de la radiale de Dunkerque pour la période 2006-2015

## Matières en suspension

001-P-016 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 3 SRN Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-016 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 3 SRN Dunkerque - Variation saisonnière 2015 MES

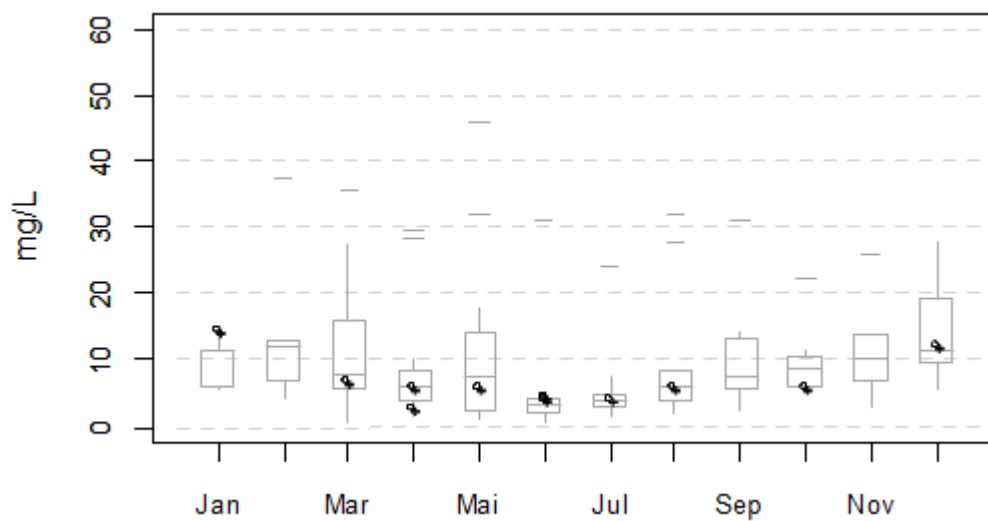
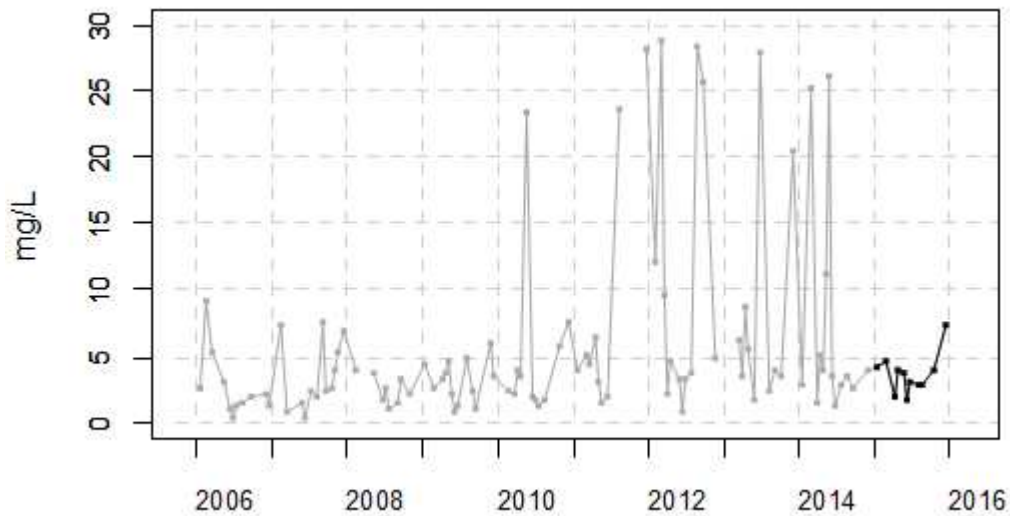


Figure 17. . Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) des matières en suspension (mg/L) pour le point 3 de la radiale de Dunkerque pour la période 2006-2015

## Matières en suspension

001-P-017 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 4 SRN Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-017 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 4 SRN Dunkerque - Variation saisonnière 2015 MES

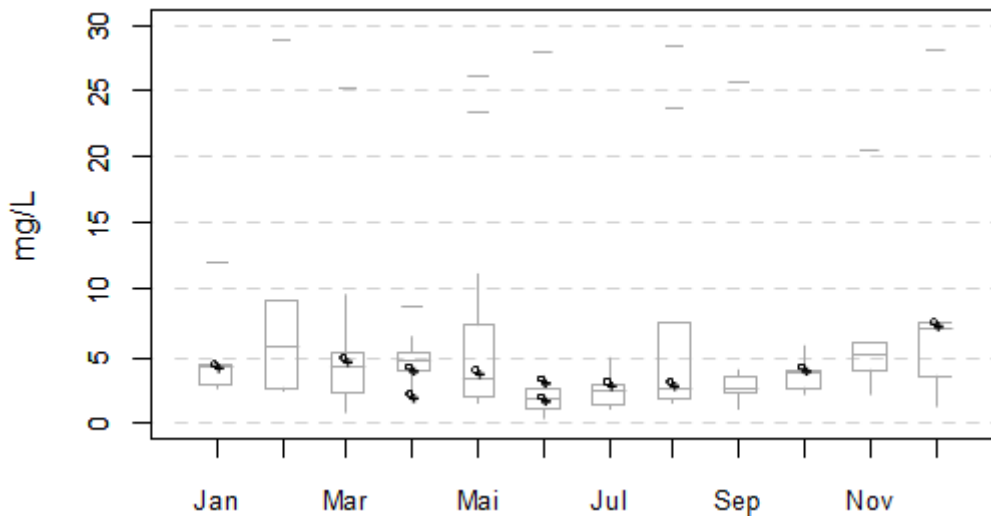


Figure 18. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) des matières en suspension (mg/L) pour le point 4 de la radiale de Dunkerque pour la période 2006-2015

□ Matières organiques

De manière générale, la proportion en matière organique dans les matières en suspension augmente en s'éloignant du littoral, les valeurs les plus hautes sont le plus souvent celles de la station 4. Cependant, au point 1 on observe à deux reprises en avril 100 % de matière organique

dans les M.E.S. alors que le reste de l'année les valeurs ne dépassent pas les 55 %. C'est pendant la période productive que la proportion en matière organique est la plus haute ; à l'inverse, pendant la période hivernale, les matières en suspension contiennent très peu de matière organique.

Les maxima sont relevés en avril pour les trois points (100 % ; 88,5 % ; 100 %, de la côte vers le large).

Les minima sont compris entre 7,6 % et 22,3 % pour les trois points et pendant la période hivernale.

Le gradient côte-large est compris entre -3,3 et 0,7 mg/L. La matière organique présente dans les M.E.S est plus importante au niveau de la côte (Annexe 1).

#### □ Ammonium

Les valeurs d'ammonium en 2015 sont plus faibles que celles observées pour la période 2006-2014 (Tableaux 11 et 12). En effet, la moyenne de l'ammonium sur la radiale de Dunkerque de 2006 à 2014 est de 1,09  $\mu\text{mol/L}$  contre seulement 0,55  $\mu\text{mol/L}$  en 2015. Les valeurs les plus fortes entre 2006-2014 se situent pour le point 1 en octobre 2010 et en avril puis novembre 2013. Pour le point 3, c'est en décembre 2007, en décembre 2010 et en novembre 2013 où les valeurs sont les plus fortes. Les valeurs les plus fortes au point 3 se situent en novembre 2007 et en novembre 2013.

Les valeurs maximales pour la radiale sont faibles et diminuent de la côte vers la large (respectivement, 3,19  $\mu\text{mol/L}$  ; 0,95  $\mu\text{mol/L}$  ; 0,80  $\mu\text{mol/L}$ ). Les valeurs minimales sont proches entre les trois points. L'ammonium ne présente donc pas un cycle saisonnier. (Tableau 12 et Figure 19 à 21).

Le gradient côte-large varie entre -2,39 et 0,1  $\mu\text{mol/L}$  ; les concentrations sont plus fortes près de la côte. (Annexe 1).

Tableau 11. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en ammonium ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour la radiale de Dunkerque sur la période 2006-2014

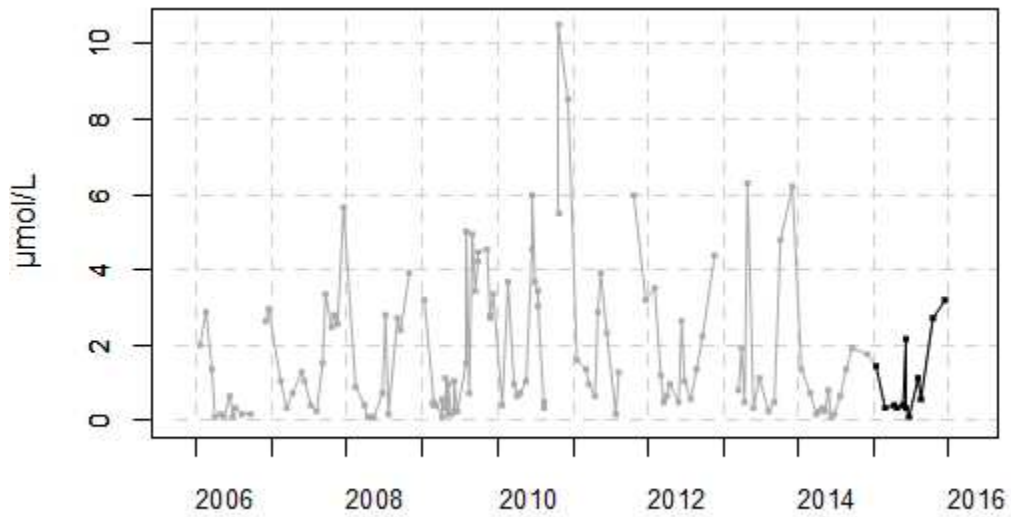
	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>DK1</b>	0,15	0,41	1,08	1,91	2,00	2,91	10,50	125
<b>DK3</b>	0,15	0,15	0,36	0,71	0,91	0,71	4,50	105
<b>DK4</b>	0,15	0,16	0,40	0,65	0,73	0,75	3,34	100

Tableau 12. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en ammonium ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour la radiale de Dunkerque en 2015

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>DK1</b>	0,14	0,38	0,51	1,11	1,05	1,63	3,19	12
<b>DK3</b>	0,15	0,15	0,15	0,27	0,26	0,19	0,95	11
<b>DK4</b>	0,15	0,15	0,15	0,28	0,21	0,33	0,80	11

## Ammonium

001-P-015 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 1 Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-015 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 1 Dunkerque - Variation saisonnière 2015 Ammonium

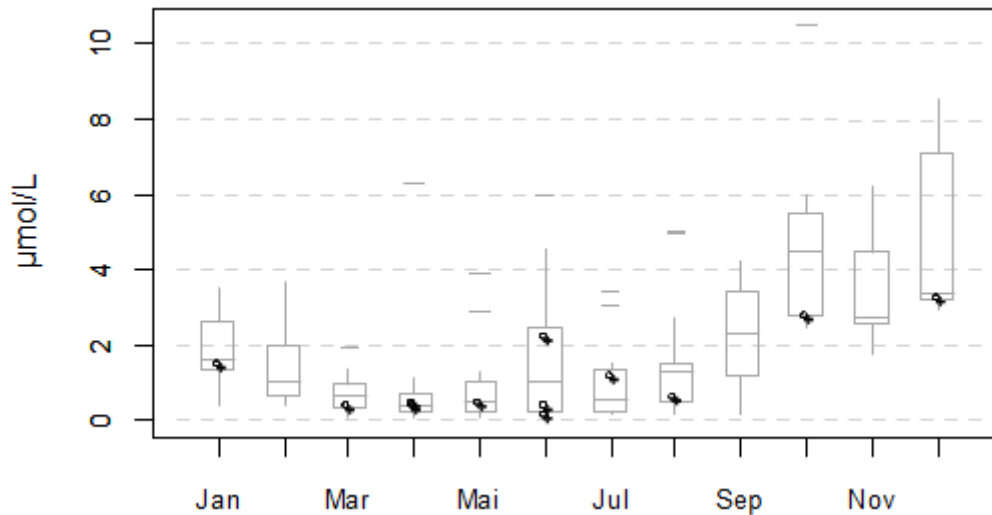
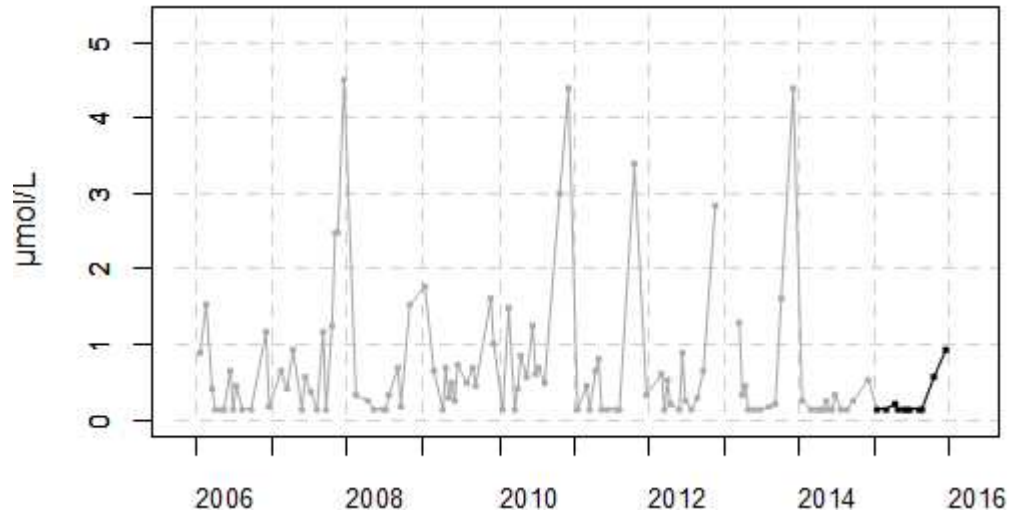


Figure 19. . Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en ammonium ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point 1 de la radiale de Dunkerque pour la période 2006-2015



## Ammonium

001-P-016 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 3 SRN Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-016 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 3 SRN Dunkerque - Variation saisonnière 2015 Ammonium

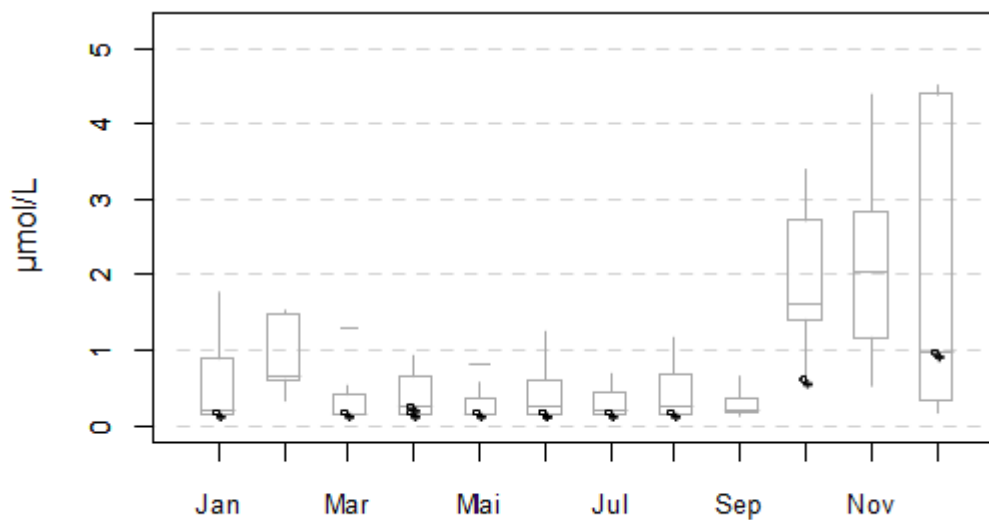
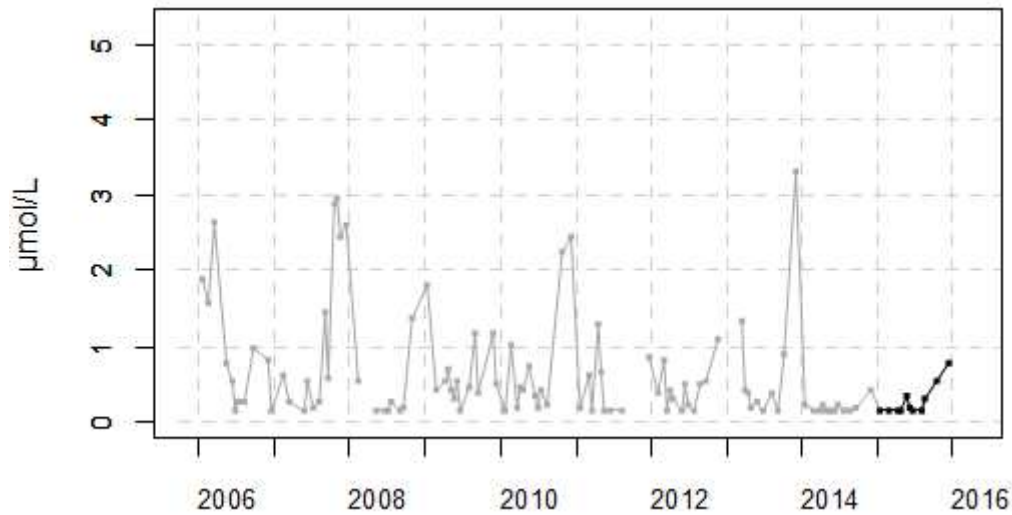


Figure 20. . Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en ammonium ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point 3 de la radiale de Dunkerque pour la période 2006-2015

## Ammonium

001-P-017 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 4 SRN Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-017 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 4 SRN Dunkerque - Variation saisonnière 2015 Ammonium

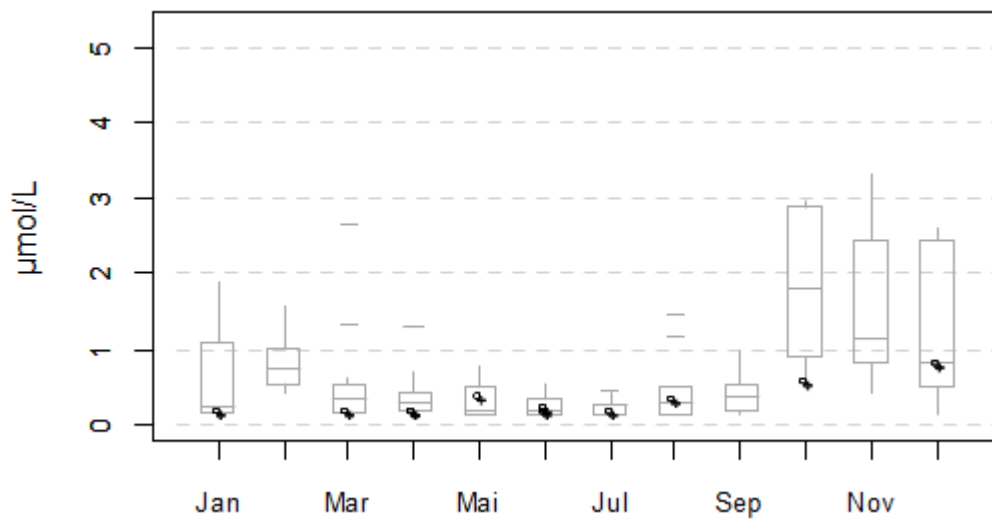


Figure 21. . Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en ammonium ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point 4 de la radiale de Dunkerque pour la période 2006-2015

□ Nitrite + Nitrate

Depuis 2006, les concentrations en nitrite + nitrate sont en moyenne de 6,74  $\mu\text{mol/L}$  pour la radiale de Dunkerque (Tableau 13). Les concentrations diminuent en s'éloignant de la côte. Des valeurs maximales sont notées en mars 2009 pour le point 1 (57,77  $\mu\text{mol/L}$ ), en février 2009 pour les points 3 et 4 (respectivement : 39,34  $\mu\text{mol/L}$  et 34,25  $\mu\text{mol/L}$ ). Les concentrations minimales peuvent atteindre la limite de détection. Un cycle saisonnier est marqué avec des valeurs fortes en hiver et en automne puis des valeurs plus faibles au printemps et en été. Les valeurs les plus fortes sont observées en février 2006 pour les trois points, en mars 2009 pour le point 1 et février 2009 pour les points 3 et 4.

En 2015, les concentrations sont plus faibles (une moyenne de 5,03  $\mu\text{mol/L}$  pour la radiale) et n'ont pas atteint de valeurs extrêmes. La variabilité saisonnière est plus faible (16,80  $\mu\text{mol/L}$  au maximum en janvier au point 1) (Tableau 14). Cependant, les concentrations peuvent être très basses et s'observent d'avril à août. Par la suite, les concentrations augmentent jusqu'en mars (Figures 22, 23 et 24).

Le gradient côte-large varie entre -1,68 et -0,11  $\mu\text{mol/L}$ . Cependant, des variations plus fortes sont observables en décembre (-8,61  $\mu\text{mol/L}$ ), janvier (-3,47  $\mu\text{mol/L}$ ) et mars (-2,80  $\mu\text{mol/L}$ ) où les concentrations en nitrate sont plus importantes près de la côte (Annexe 1).

Tableau 13. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en nitrite et en nitrate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour la radiale de Dunkerque sur la période 2006-2014

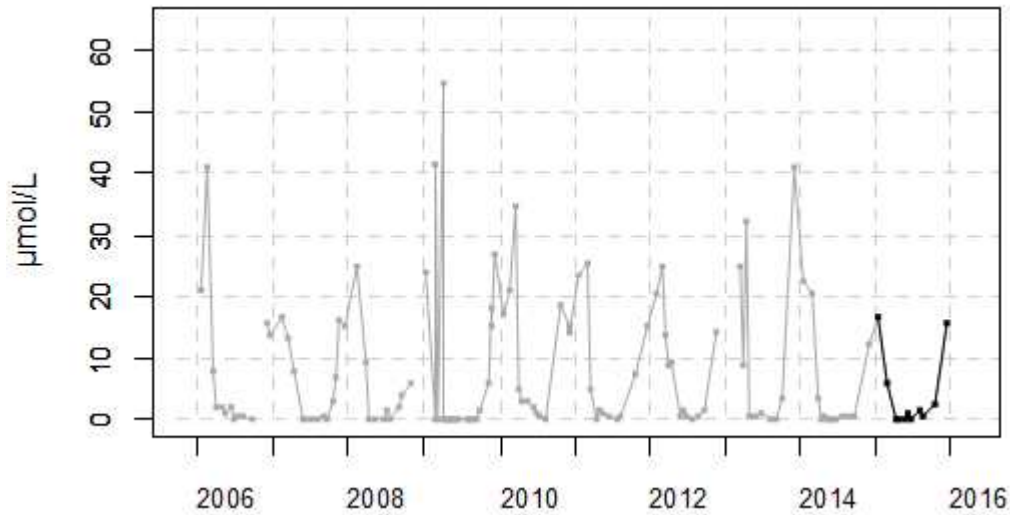
	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>DK1</b>	0,15	0,38	1,84	7,92	11,03	14,30	54,77	121
<b>DK3</b>	0,15	0,20	0,68	6,26	8,75	11,29	39,34	105
<b>DK4</b>	0,15	0,20	0,79	6,04	8,22	10,16	34,25	100

Tableau 14. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en nitrite et en nitrate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour la radiale de Dunkerque en 2015

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>DK1</b>	0,15	0,35	0,92	3,89	6,05	3,53	16,80	12
<b>DK3</b>	0,15	0,17	0,63	2,91	4,80	2,94	15,66	11
<b>DK4</b>	0,15	0,15	0,15	2,46	4,23	2,68	13,33	11

## Nitrite + nitrate

001-P-015 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 1 Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-015 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 1 Dunkerque - Variation saisonnière 2015 NOx

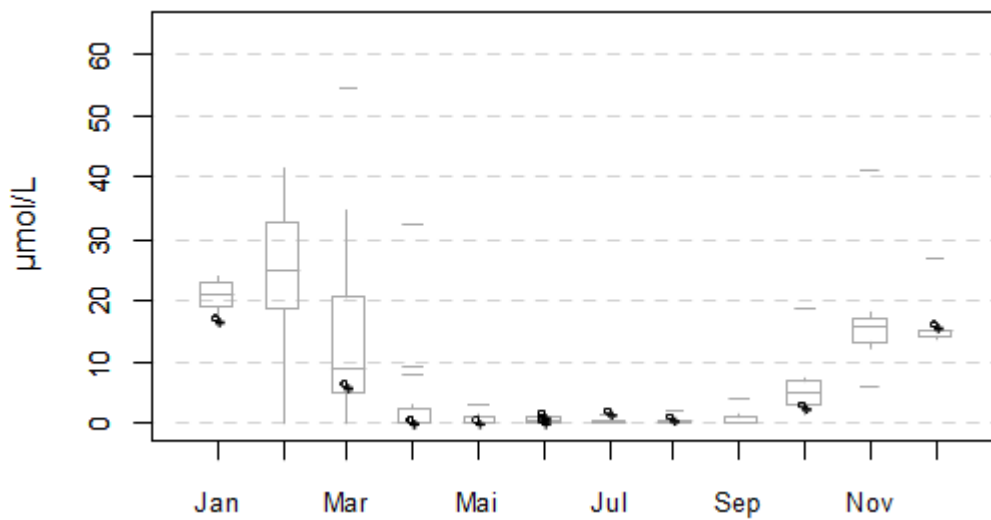
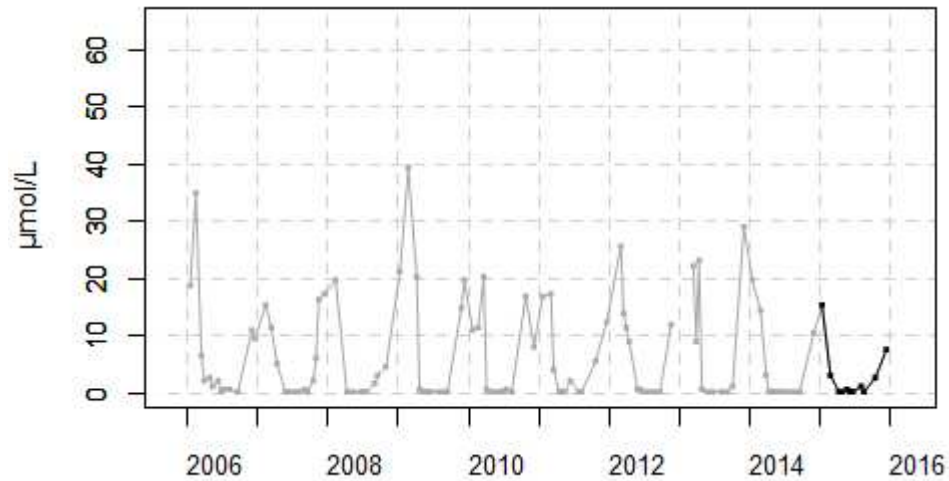


Figure 22. . Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en nitrite et en nitrate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point 1 de la radiale de Dunkerque pour la période 2006-2015

## Nitrite + nitrate

001-P-016 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 3 SRN Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-016 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 3 SRN Dunkerque - Variation saisonnière 2015 NOx

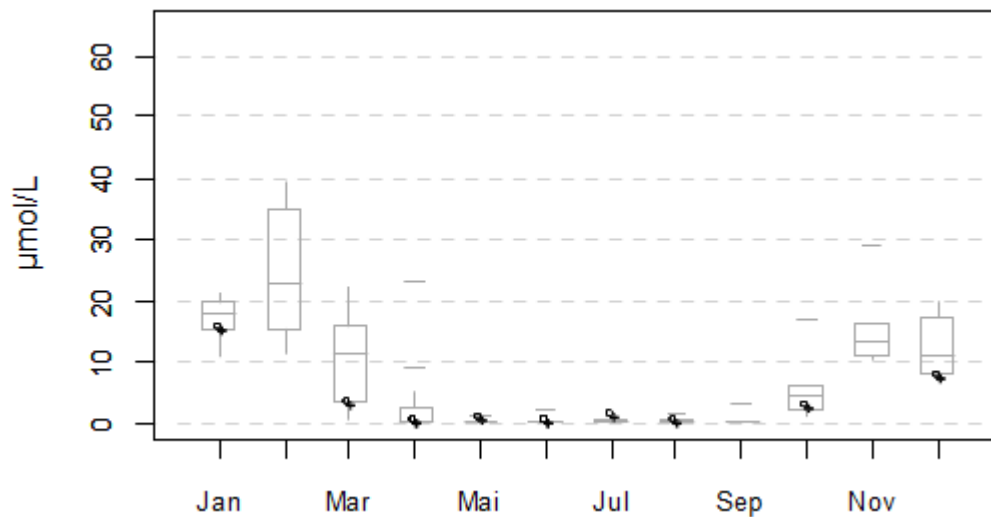
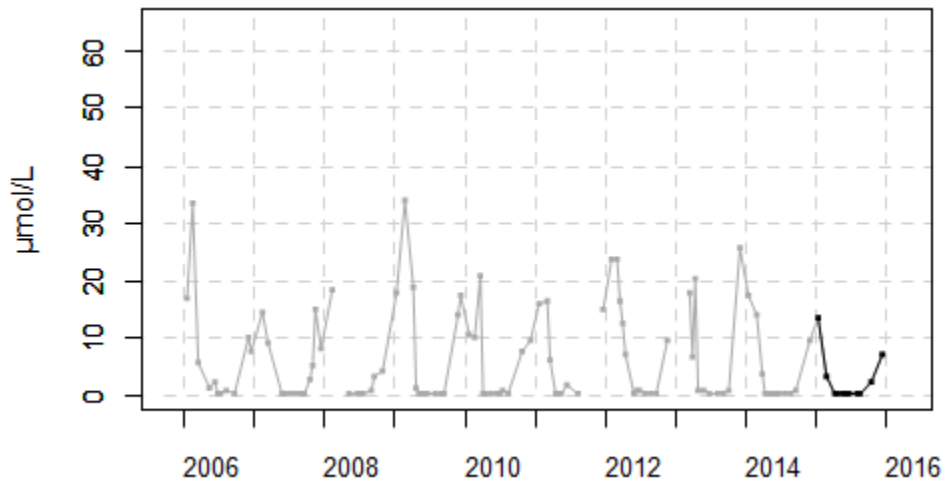


Figure 23. . Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en nitrite et en nitrate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point 3 de la radiale de Dunkerque pour la période 2006-2015

## Nitrite + nitrate

001-P-017 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 4 SRN Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-017 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 4 SRN Dunkerque - Variation saisonnière 2015 NOx

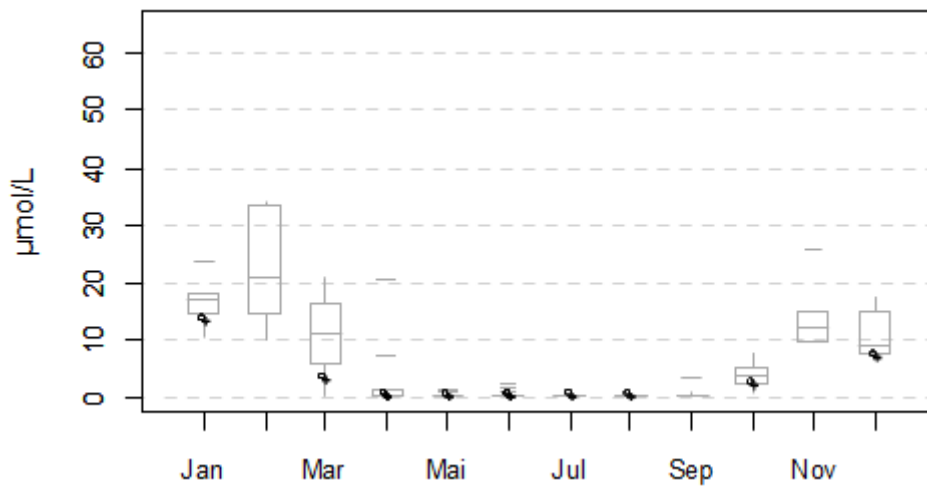


Figure 24. . Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en nitrite et en nitrate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point 4 de la radiale de Dunkerque pour la période 2006-2015

□ **Phosphate**

Depuis 2006, les concentrations en phosphate sont de l'ordre de 0,48  $\mu\text{mol/L}$  en moyenne pour la radiale (Tableau 15).

En 2015, les concentrations apparaissent légèrement plus faibles avec une moyenne pour la radiale de 0,30  $\mu\text{mol/L}$ , ce qui est normal puisque des valeurs pour les mois de février et de novembre sont manquantes (Tableau 16). Elles présentent une faible variabilité tout au long de l'année. Un cycle saisonnier est présent et marqué et les valeurs sont globalement en dessous de la médiane. (Figures 25 à 27)

A partir de mars, les concentrations ont tendance à diminuer pour atteindre un minimum en juin aux points 1 et 4 (respectivement 0,05  $\mu\text{mol/L}$ , 0,10  $\mu\text{mol/L}$  et 0,10  $\mu\text{mol/L}$ ).

A partir du mois d'août, les concentrations augmentent jusqu'à un maximum à 0,65  $\mu\text{mol/L}$  en décembre pour le point 1, en janvier pour le point 3 avec 0,96  $\mu\text{mol/L}$ . Quant au point 4, la concentration maximale est relevée en janvier avec 0,80  $\mu\text{mol/L}$  (Tableau 16).

Le gradient côte-large varie de 0,31 et -0,08  $\mu\text{mol/L}$  avec des valeurs positives de janvier à juin et de août à octobre et négatives le reste de l'année (Annexe 1).

Tableau 15. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en phosphate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour la radiale de Dunkerque sur la période 2006-2014

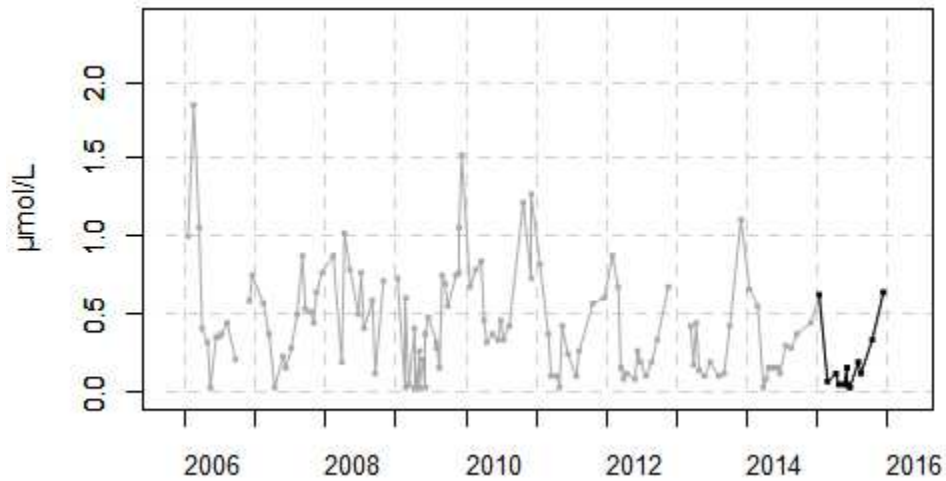
	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>DK1</b>	0,05	0,17	0,39	0,45	0,34	0,66	1,85	119
<b>DK3</b>	0,05	0,29	0,47	0,50	0,31	0,68	1,43	105
<b>DK4</b>	0,05	0,18	0,44	0,48	0,35	0,64	1,84	100

Tableau 16. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en phosphate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour la radiale de Dunkerque en 2015

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>DK1</b>	0,05	0,06	0,13	0,21	0,22	0,23	0,65	12
<b>DK3</b>	0,10	0,14	0,34	0,36	0,26	0,44	0,96	11
<b>DK4</b>	0,10	0,13	0,27	0,33	0,23	0,46	0,80	11

## Phosphate

001-P-015 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 1 Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-015 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 1 Dunkerque - Variation saisonnière 2015 Phosphate

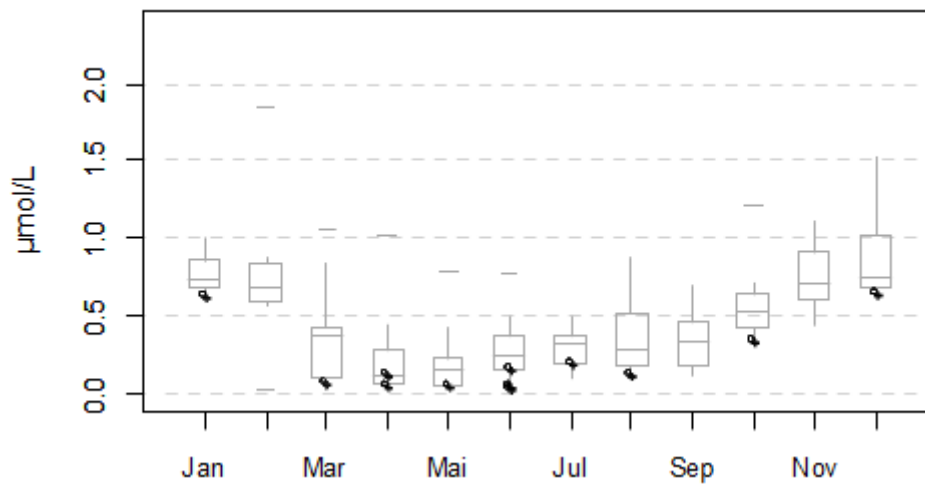
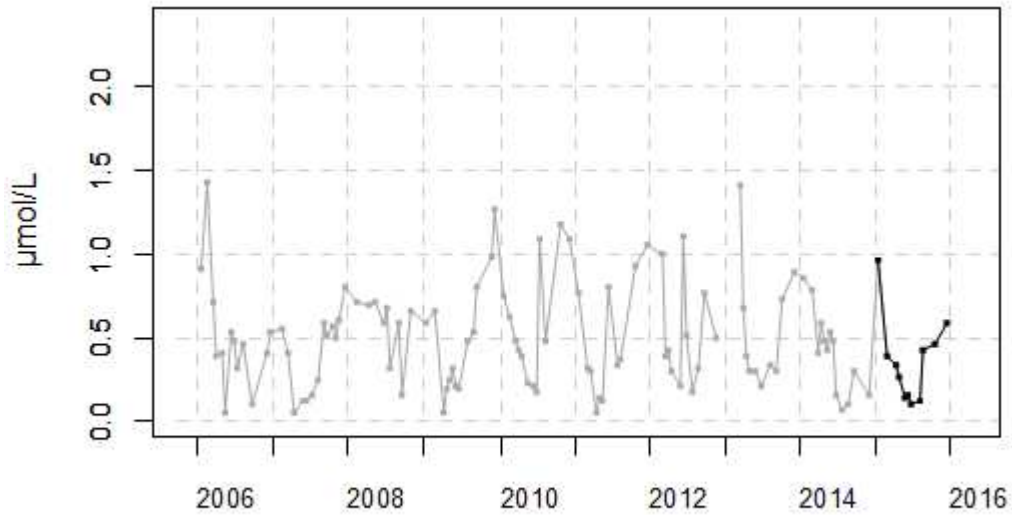


Figure 25. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en phosphate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point 1 de la radiale de Dunkerque pour la période 2006-2015



## Phosphate

001-P-016 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 3 SRN Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-016 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 3 SRN Dunkerque - Variation saisonnière 2015 Phosphate

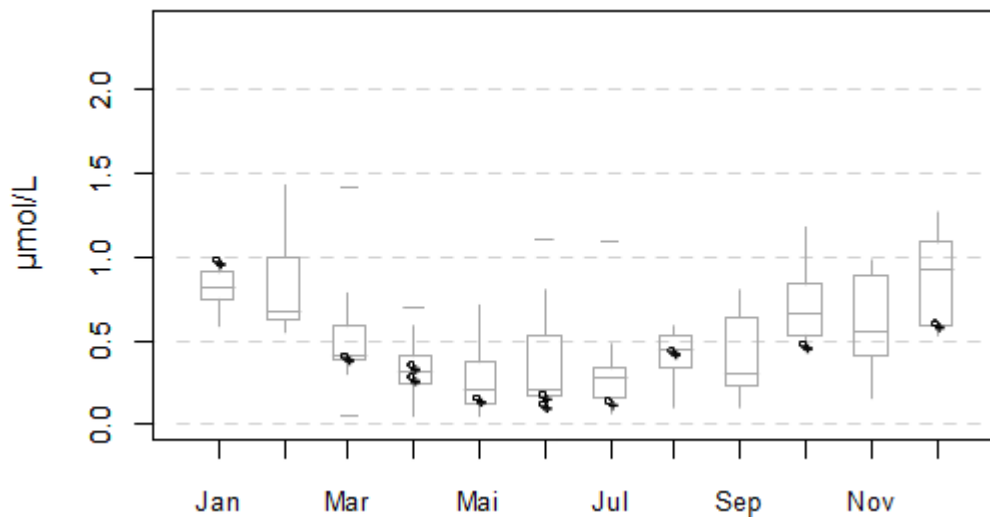
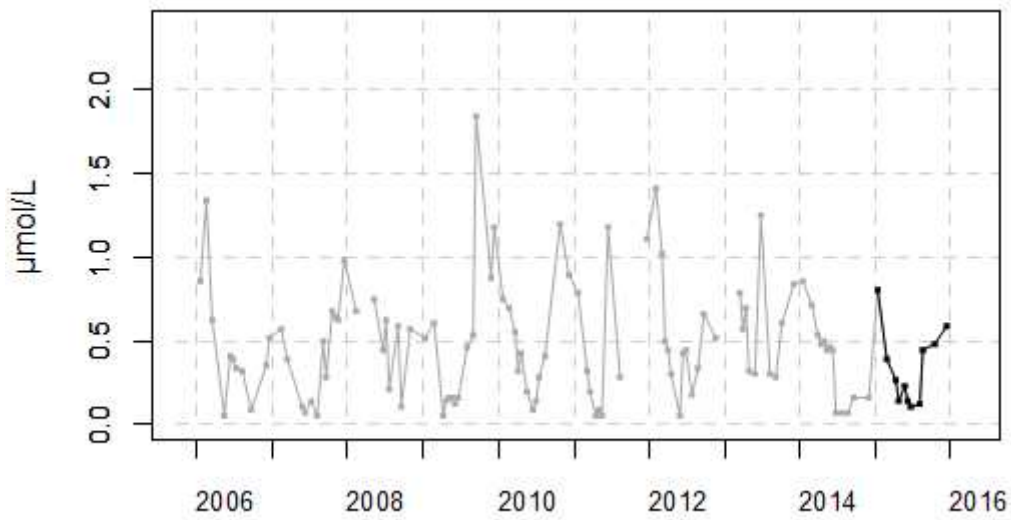


Figure 26. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en phosphate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point 3 de la radiale de Dunkerque pour la période 2006-2015

## Phosphate

001-P-017 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 4 SRN Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-017 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 4 SRN Dunkerque - Variation saisonnière 2015 Phosphate

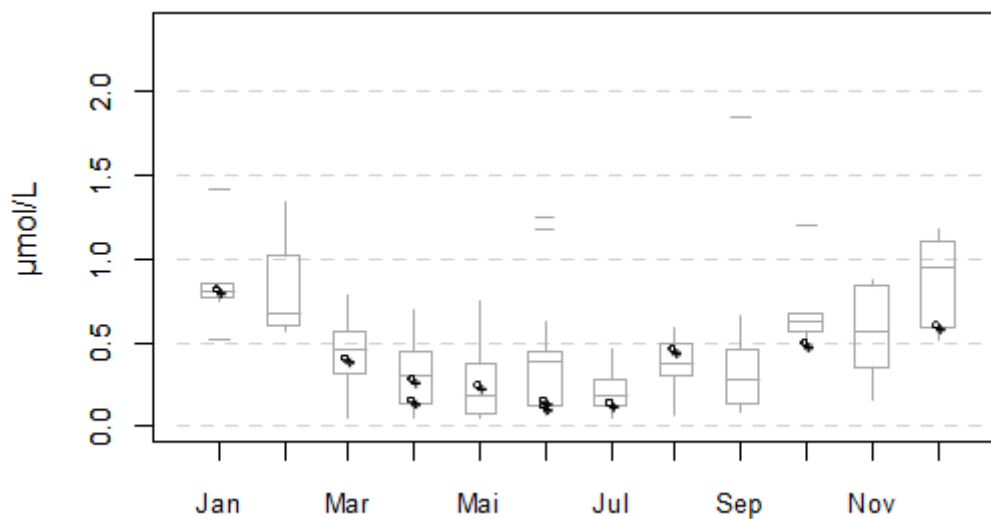


Figure 27. . Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en phosphate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point 4 de la radiale de Dunkerque pour la période 2006-2015

□ Silicate

Depuis 2006, les concentrations en silicate varient entre 0,10 à 25,80  $\mu\text{mol/L}$  (Tableau 17). La variabilité peut être importante. Les concentrations les plus hautes s’observent près de la côte.

Les concentrations en 2015 sont conformes à ce qui est observé habituellement et la variabilité est assez faible. Les valeurs sont fortes en hiver puis elles diminuent à partir du printemps ( $> 0,10 \mu\text{mol/L}$  comme en juin aux points 3 et 4). Les maxima des trois stations sont observées en janvier (respectivement, 15,10  $\mu\text{mol/L}$ , 8,23  $\mu\text{mol/L}$  et 7,55  $\mu\text{mol/L}$ ) (Tableau 18 et Figures 28 à 30).

Le gradient côte-large varie entre -7,55 et 0,42  $\mu\text{mol/L}$ . Globalement, la concentration en silicate est plus forte à la côte (Annexe 1).

Tableau 17. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en silicate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour la radiale de Dunkerque sur la période 2006-2014

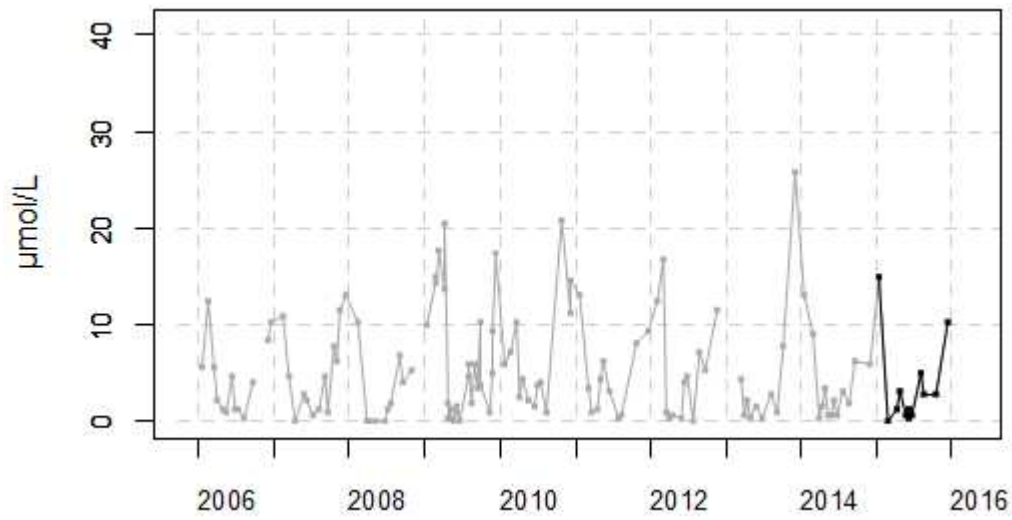
	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>DK1</b>	0,10	1,10	3,68	5,27	5,32	7,88	25,80	120
<b>DK3</b>	0,10	0,28	1,30	2,99	3,95	4,11	20,61	105
<b>DK4</b>	0,10	0,31	1,32	2,72	3,43	3,92	17,09	100

Tableau 18. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en silicate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour la radiale de Dunkerque en 2015

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>DK1</b>	0,10	0,84	2,13	3,74	4,56	6,74	15,10	12
<b>DK3</b>	0,10	0,39	1,02	1,94	2,65	1,51	8,23	11
<b>DK4</b>	0,10	0,75	1,06	1,86	2,43	1,17	7,55	11

## Silicate

001-P-015 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 1 Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-015 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 1 Dunkerque - Variation saisonnière 2015 Silicate

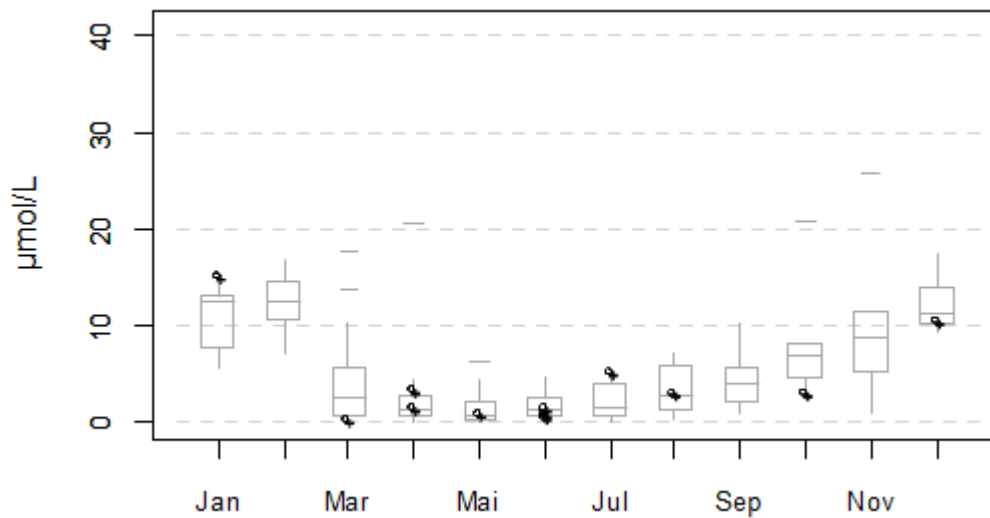
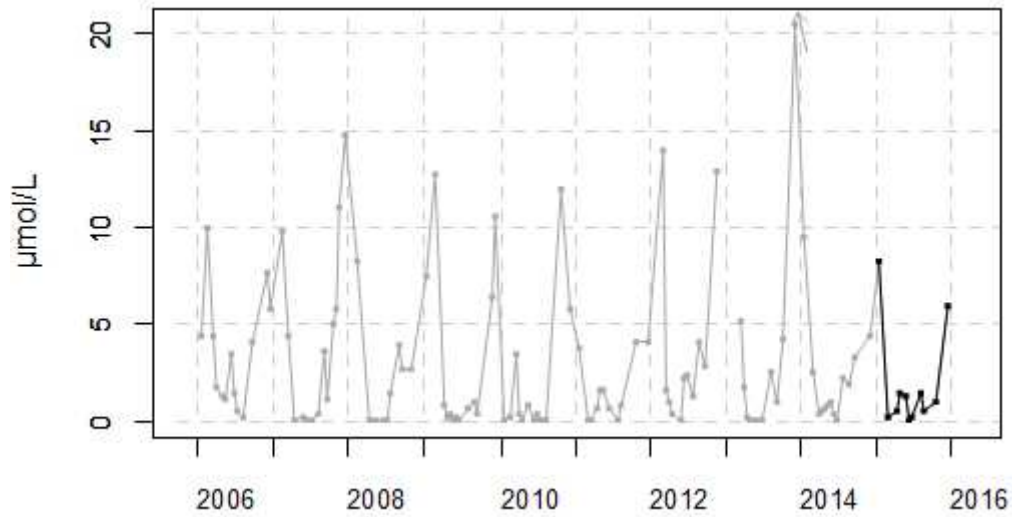


Figure 28. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en silicate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point 1 de la radiale de Dunkerque pour la période 2006-2015

## Silicate

001-P-016 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 3 SRN Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-016 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 3 SRN Dunkerque - Variation saisonnière 2015 Silicate

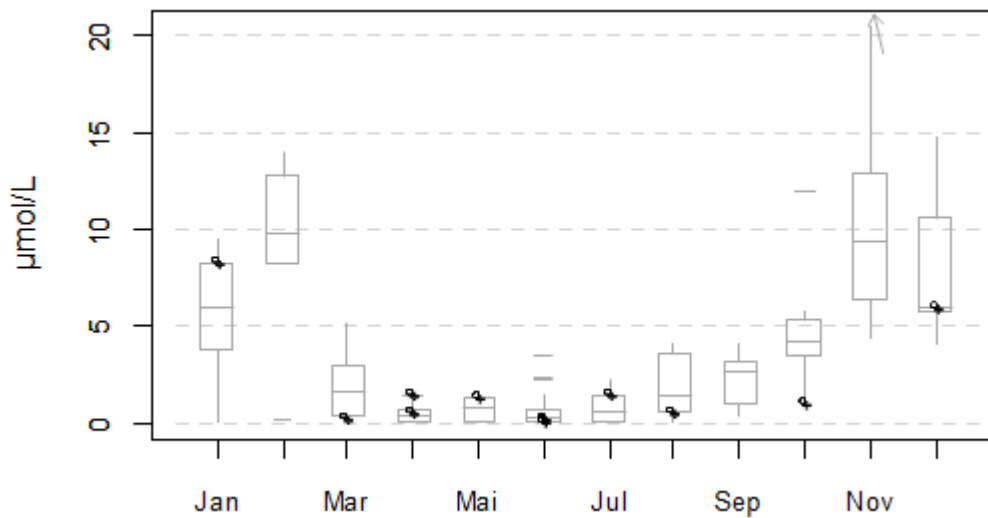
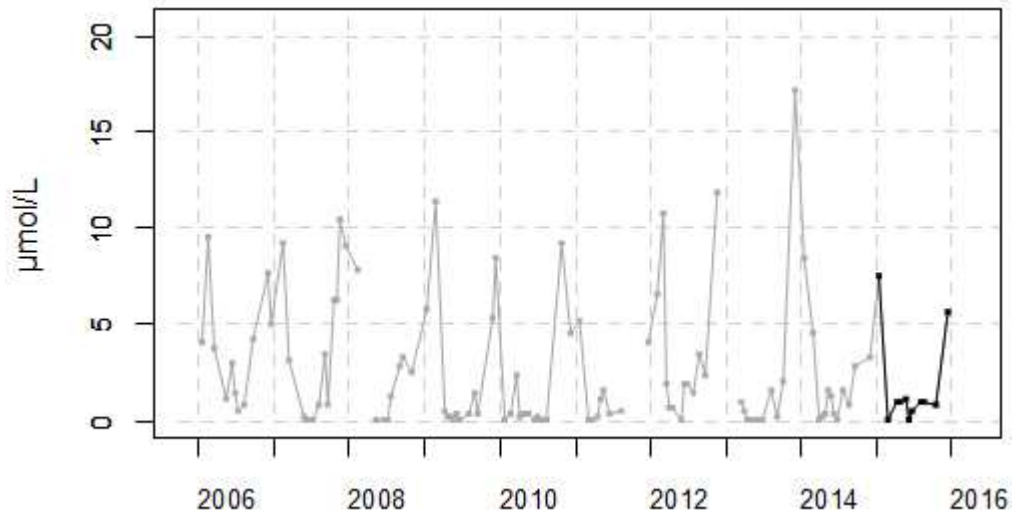


Figure 29. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en silicate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point 3 de la radiale de Dunkerque pour la période 2006-2015

## Silicate

001-P-017 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 4 SRN Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-017 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 4 SRN Dunkerque - Variation saisonnière 2015 Silicate

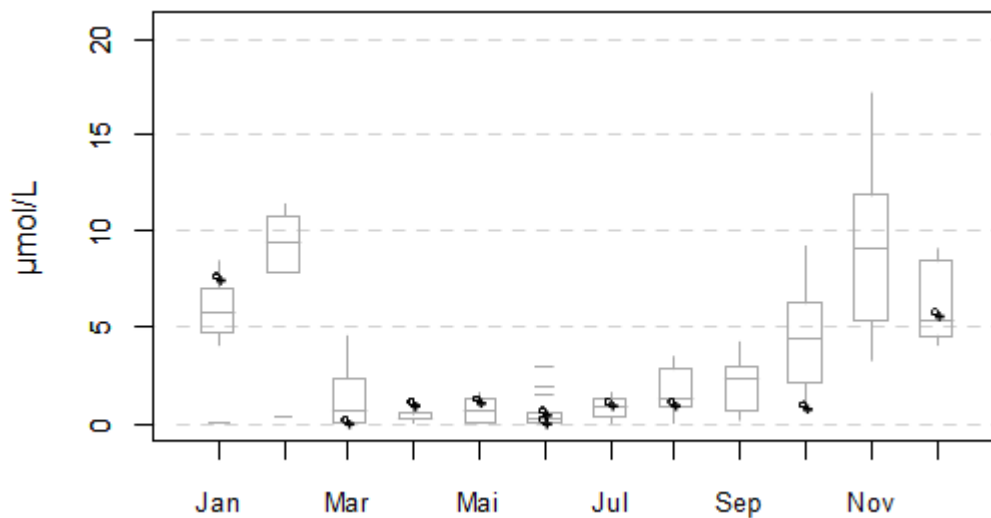


Figure 30. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en silicate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point 4 de la radiale de Dunkerque pour la période 2006-2015

□ Limitation par les nutriments

Les Figures 31 à 33 représentent l'évolution temporelle des éléments nutritifs potentiellement limitants le long de la radiale de Dunkerque. Les figures délimitent six zones qui

définissent, par ordre de priorité, l'élément qui limite majoritairement la croissance des algues au point considéré. En effet, les changements de concentrations en nutriments induisent des changements des rapports stœchiométriques.

Au printemps 2015, au début de la période productive, pour la station 1, la limitation est de type Si, P, N en mars et en juin ; cependant le mois de juin se situe également entre la limitation de type N, P, Si et de N, Si, P. Au mois d'avril, la limitation est de type N, P, Si et de N, Si, P et le mois de mai est de type N, Si, P. Au large (point 4), elle est de type N, Si, P et Si, P, N.

En fin de période estivale (août), l'azote est limitant. La limitation est de type N, P, Si pour le point côtier et N, Si, P plus au large (point 4).

Enfin, en période non productive (novembre et décembre), la limitation est de type Si, P, N et P, Si, N pour le point côtier car le mois de décembre se situe entre ces deux limitations. Pour le point le plus au large, ce sont les phosphates qui limitent le développement du phytoplancton (Annexe 2).

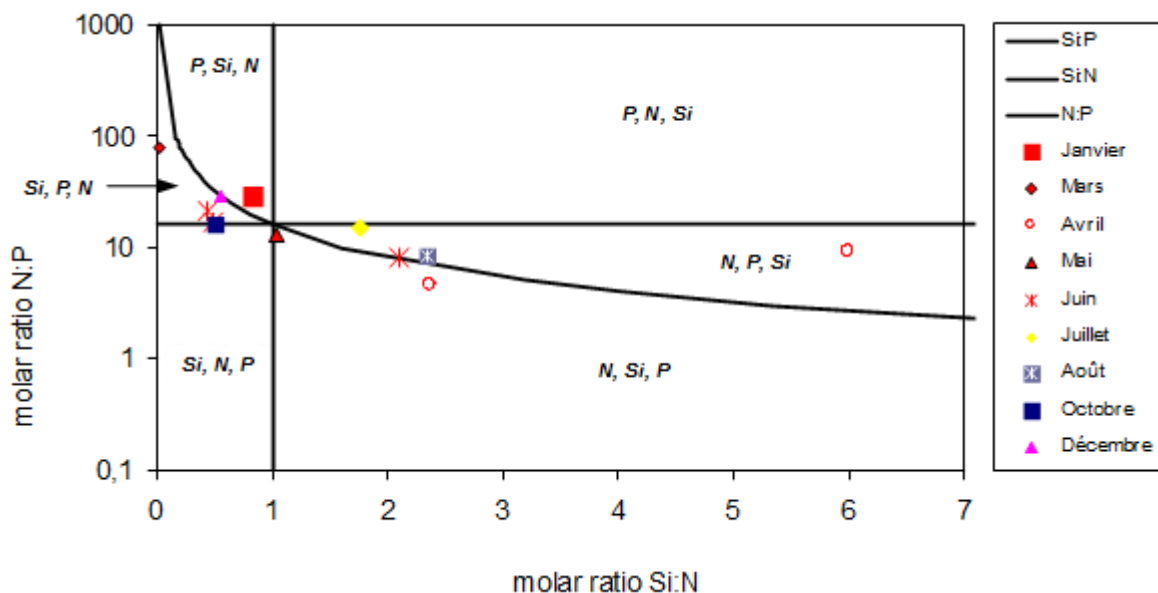


Figure 31. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point 1 de la radiale de Dunkerque en 2015

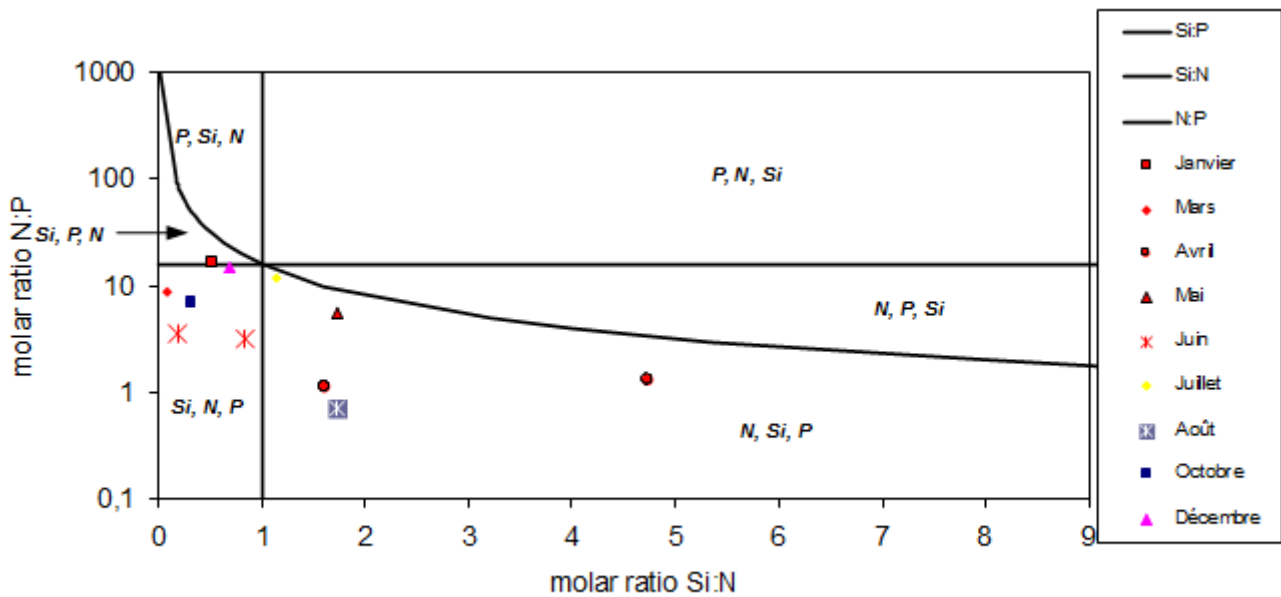


Figure 32. Évolution temporelle des rapports stoechiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point 3 de la radiale de Dunkerque en 2015

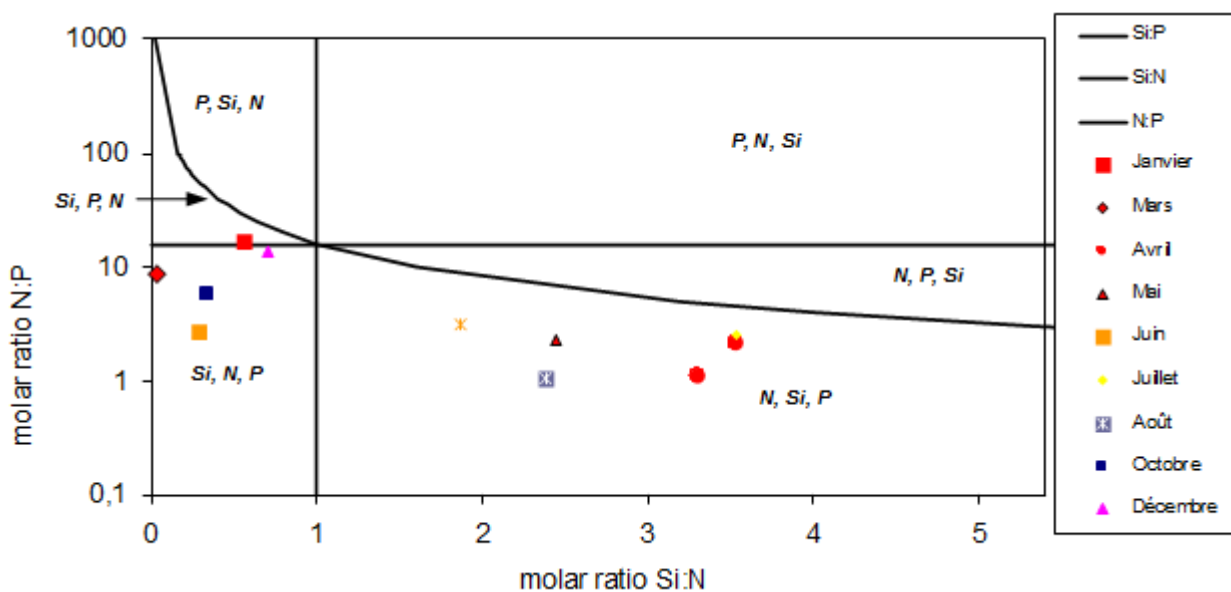


Figure 33 : Évolution temporelle des rapports stoechiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point 4 de la radiale de Dunkerque en 2015

#### □ *Chlorophylle a*

La chlorophylle-*a* est un indicateur de la biomasse du phytoplancton.

La concentration en chlorophylle-*a* présente un cycle saisonnier ainsi qu'une variabilité inter-annuelle très marquée (Tableaux 19 et 20). Des mesures exceptionnelles sont observées en particulier au point 1, en mars 2010 avec 33,07  $\mu\text{g/L}$  et en avril 2013 avec 53,18  $\mu\text{g/L}$ .

Ces hausses traduisent des blooms plus importants du phytoplancton.



Les valeurs les plus fortes sont obtenues en février 2009, en mars 2010 et en avril 2013 pour le point 1. Pour les points 3 et 4, les valeurs les plus fortes se situent en février 2009 et en avril 2013 (Figures 34 à 36).

En 2015, la concentration augmente en mars sur tous les points de la radiale mais sans atteindre des valeurs exceptionnelles. Certaines valeurs sont tout de même supérieures à la médiane, comme le mois de mars pour chaque point (Figure 34 à 36).

Les concentrations varient en fonction de la distance avec la côte. En effet, le gradient côte-large est constamment négatif à l'exception du mois d'avril avec 1,39  $\mu\text{g/L}$  et du mois d'août avec 0,27  $\mu\text{g/L}$ . Le minimum est atteint au mois de mars (-8,43  $\mu\text{g/L}$ ) (Annexe 1).

Tableau 19. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en chlorophylle-*a* ( $\mu\text{g/L}$ ) pour la radiale de Dunkerque sur la période 2006-2014

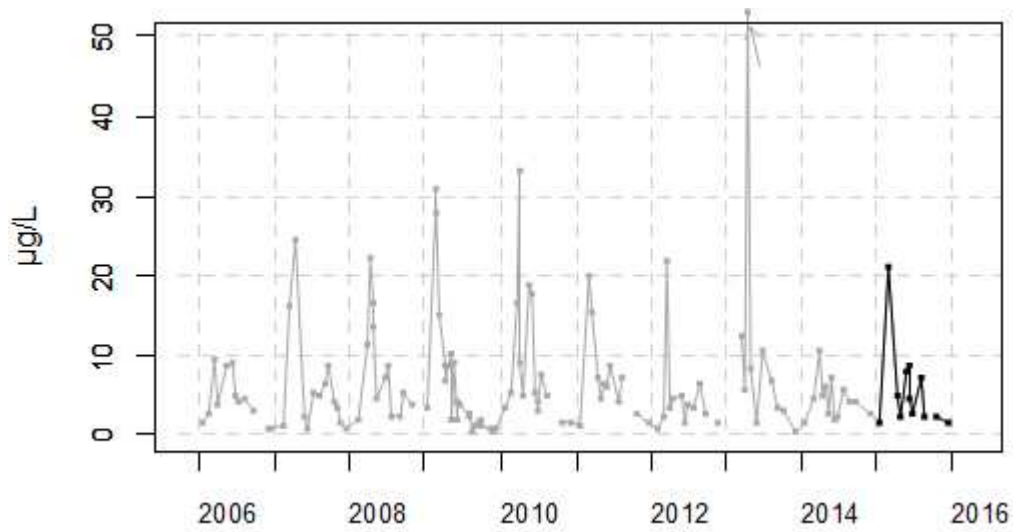
	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>DK1</b>	0,64	2,32	4,46	6,81	7,58	8,67	53,18	124
<b>DK3</b>	0,29	1,99	3,13	5,17	5,60	5,50	28,66	104
<b>DK4</b>	0,46	1,45	2,59	3,52	3,13	4,39	16,53	100

Tableau 20. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en chlorophylle-*a* ( $\mu\text{g/L}$ ) pour la radiale de Dunkerque en 2015

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>DK1</b>	1,58	2,26	3,79	5,66	5,53	7,37	21,27	12
<b>DK3</b>	0,94	1,32	2,02	3,98	4,75	4,55	17,51	11
<b>DK4</b>	0,83	1,31	2,25	3,28	3,43	3,97	12,84	11

## Chlorophylle a

001-P-015 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 1 Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-015 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 1 Dunkerque - Variation saisonnière 2015 Chloro a

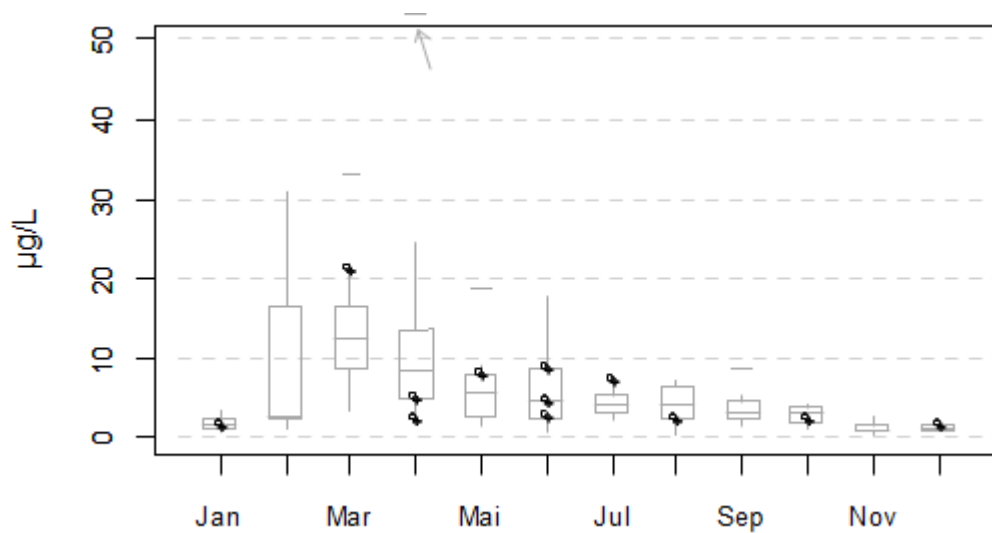
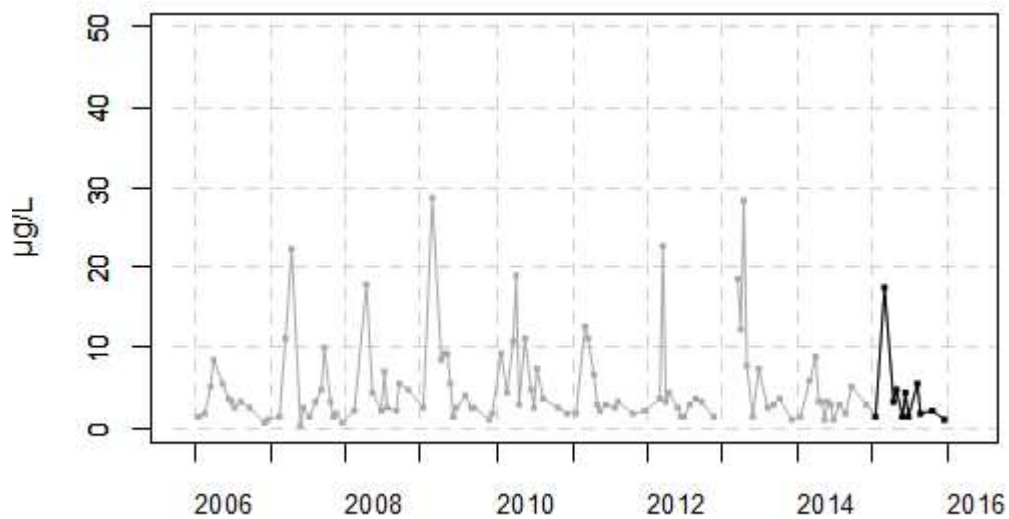


Figure 34. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en chlorophylle-a ( $\mu\text{g/L}$ ) pour le point 1 de la radiale de Dunkerque pour la période 2006-2015

## Chlorophylle a

001-P-016 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 3 SRN Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-016 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 3 SRN Dunkerque - Variation saisonnière 2015 Chloro a

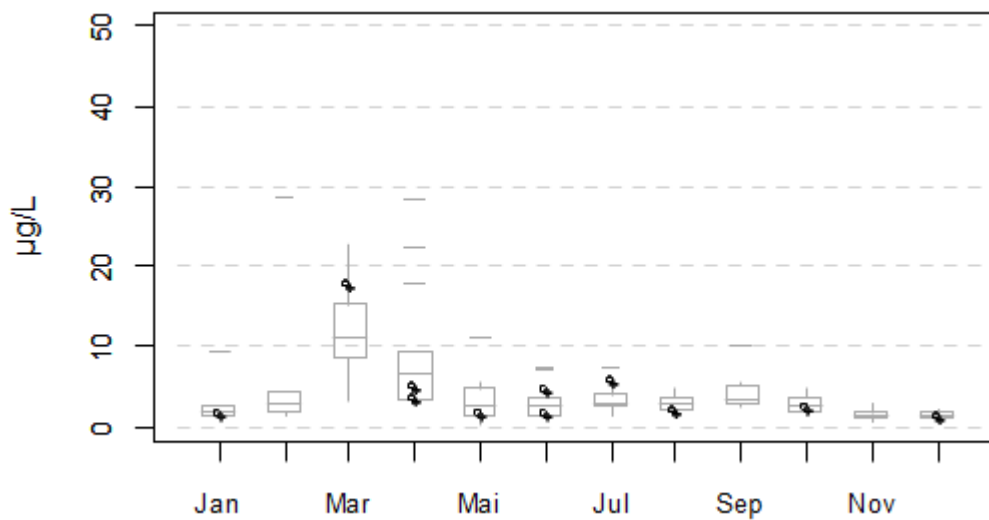
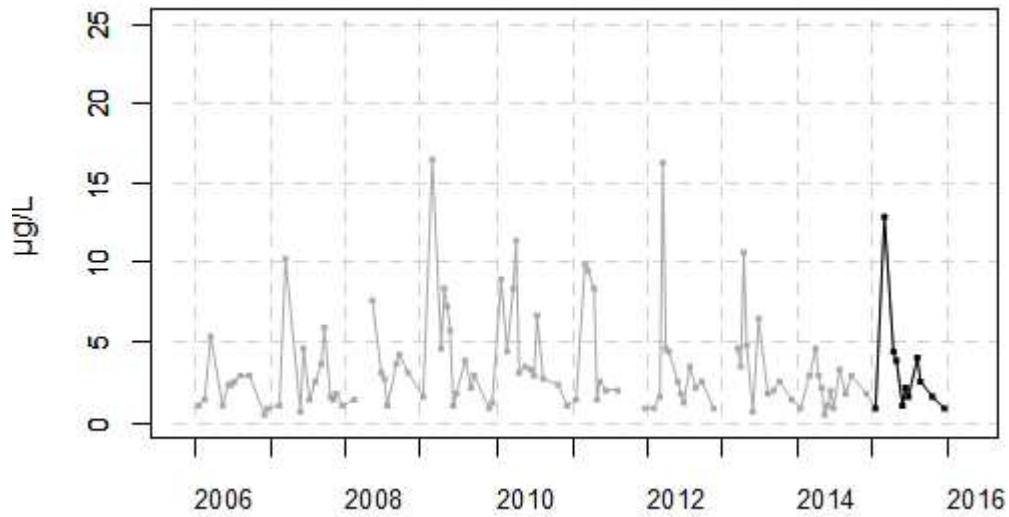


Figure 35. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en chlorophylle-a ( $\mu\text{g/L}$ ) pour le point 3 de la radiale de Dunkerque pour la période 2006-2015

## Chlorophylle a

001-P-017 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 4 SRN Dunkerque - Surface (0-1m)



001-P-017 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 4 SRN Dunkerque - Variation saisonnière 2015 Chloro a

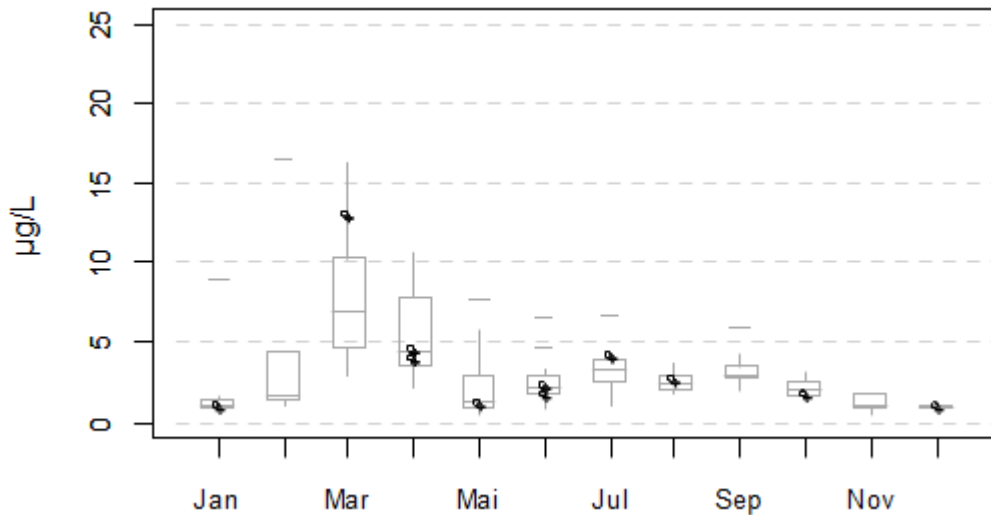


Figure 36. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en chlorophylle-a ( $\mu\text{g/L}$ ) pour le point 4 de la radiale de Dunkerque pour la période 2006-2015

## 3.1.2. Boulogne-sur-Mer

□ Température

La température moyenne sur la radiale de Boulogne-sur-Mer depuis 2006 est de 12,29 °C (Tableau 21). La dynamique saisonnière est caractéristique de celle d'un écosystème tempéré et se caractérise par de faibles valeurs en hiver (minimum en mars 2013 avec 3,40 °C au point 1) et de fortes en été (maximum en juin 2008 avec 22,00 °C au point 1) (Figures 37, 38 et 39).

Pour l'année 2015, les températures sont légèrement supérieures à celles enregistrées depuis 2006 (en moyenne 12,37 °C sur la radiale). Les minima s'observent à la fin hiver et sont compris entre 7,00 et 7,50 °C de la côte vers le large. Un maximum est mesuré en août avec 18,70 °C au point 1 (Tableau 22).

Le manque de données ne permet de conclure à une variabilité des températures.

Il existe un faible gradient de température entre la côte et le large, compris entre -1,10 °C et 0,70 °C. Le gradient est positif de octobre à mi-avril (eaux côtières plus froides) et est négatif le reste de l'année (eaux côtières plus chaudes) (Annexe 1).

Tableau 21. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la température (°C) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer sur la période 2006-2014

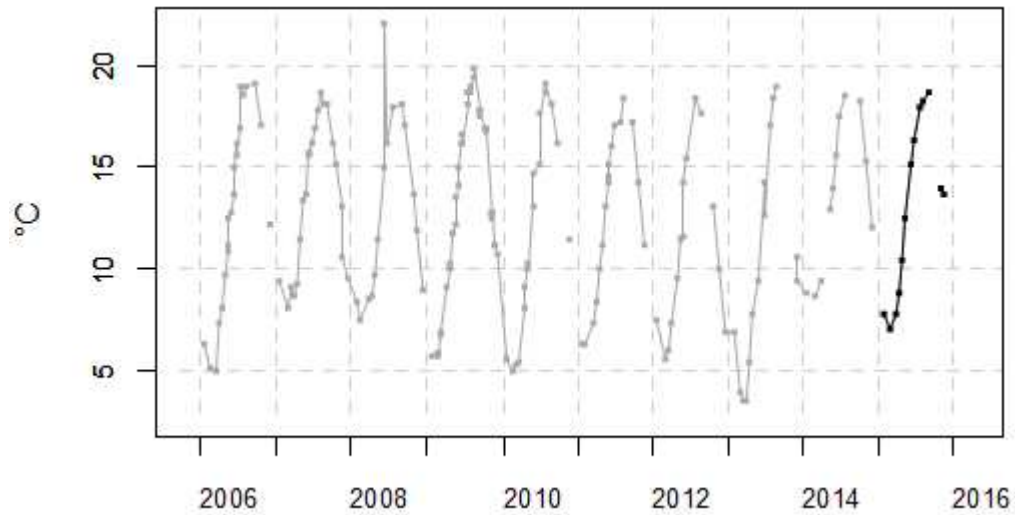
	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BL1</b>	3,40	9,10	12,80	12,64	4,46	16,90	22,00	168
<b>BL2</b>	3,50	8,82	12,20	12,14	4,24	15,92	19,80	126
<b>BL3</b>	3,70	9,00	12,20	12,10	4,06	15,97	18,90	122

Tableau 22. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la température (°C) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2015

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BL1</b>	7,00	8,80	13,70	12,93	4,24	16,30	18,70	13
<b>BL2</b>	7,20	8,30	12,20	12,16	4,02	15,30	17,80	11
<b>BL3</b>	7,50	8,65	11,70	12,02	3,74	15,10	17,40	11

## Température

002-P-007 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 1 Boulogne - Surface (0-1m)



002-P-007 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 1 Boulogne - Variation saisonnière 2015 Température

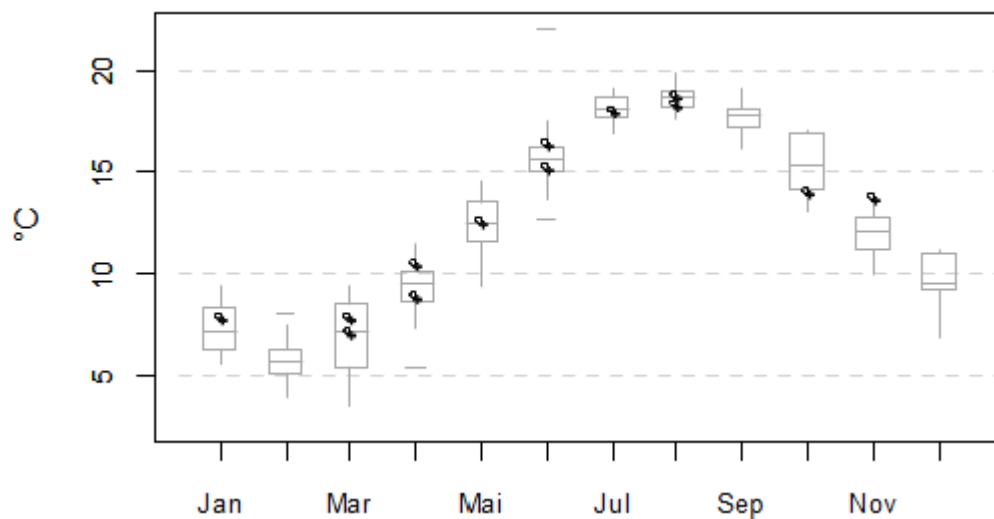
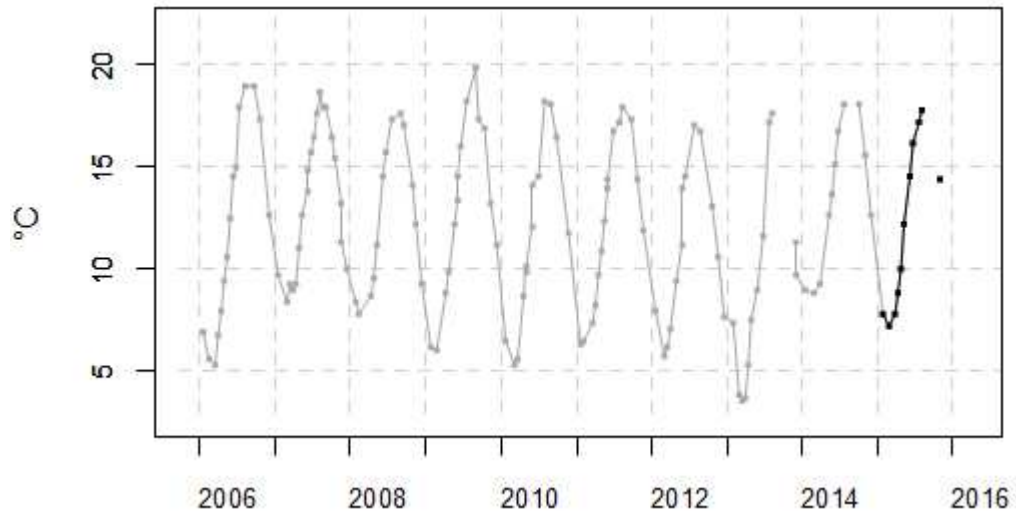


Figure 37. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la température (°C) pour le point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 2006-2015

## Température

002-P-029 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 2 SRN Boulogne - Surface (0-1m)



002-P-029 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 2 SRN Boulogne - Variation saisonnière 2015 Température

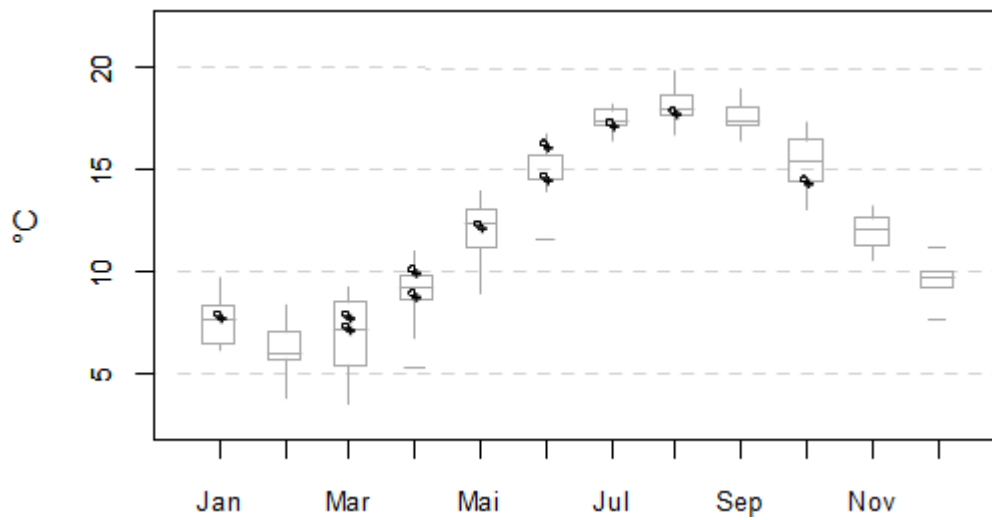
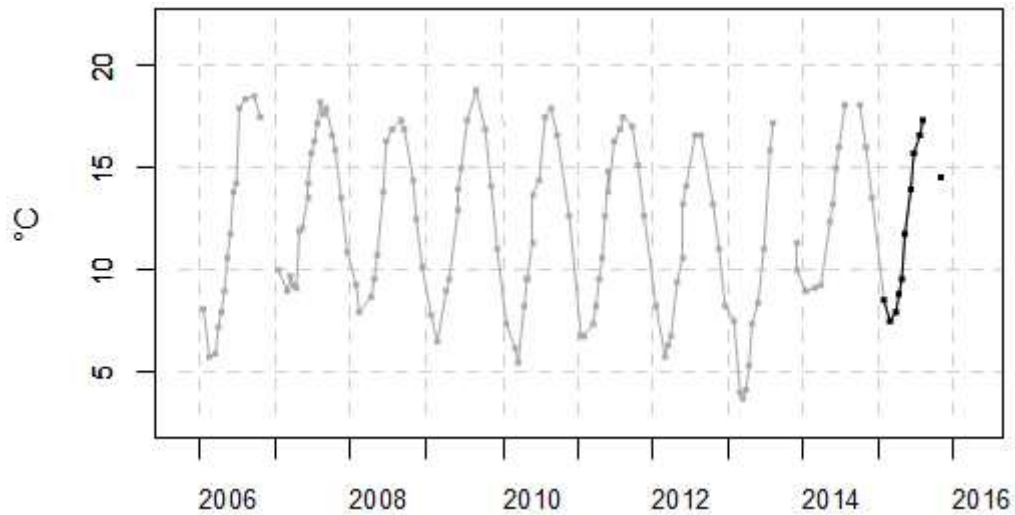


Figure 38. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la température (°C) pour le point 2 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 2006-2015

## Température

002-P-030 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 3 SRN Boulogne - Surface (0-1m)



002-P-030 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 3 SRN Boulogne - Variation saisonnière 2015 Température

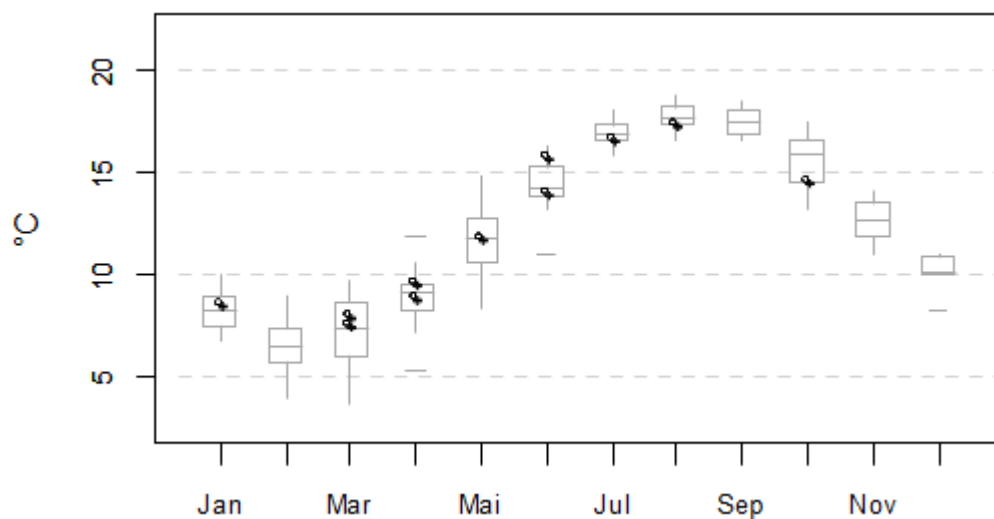


Figure 39. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la température (°C) pour le point 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 2006-2015



□ **Salinité**

La salinité en 2015 est sensiblement identique à celle relevée depuis 2006, excepté pour les minima qui diffèrent légèrement (Tableaux 23 et 24). Pour ce paramètre, il n'y pas de cycle saisonnier marqué. Les valeurs de salinité vont de 33,40 P.S.U. à 35,70 P.S.U. de la côte vers le large.

La dynamique est marquée par une salinité élevée en été et en début d'automne (octobre).

En revanche, les valeurs de salinité sont inférieures à la médiane. (Figures 40 à 42).

Le gradient de salinité entre la côte et le large varie entre 0,1 et 1,1 P.S.U. (Annexe 1).

Tableau 23. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la salinité (P.S.U.) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer sur la période 2006-2014

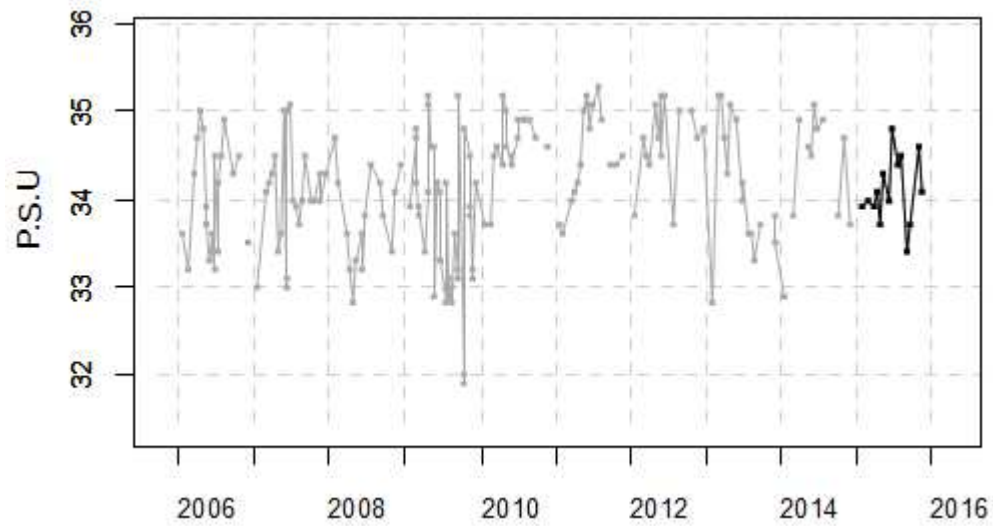
	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BL1</b>	31,90	33,60	34,20	34,14	0,71	34,70	35,30	171
<b>BL2</b>	33,20	34,20	34,70	34,62	0,53	34,70	35,60	126
<b>BL3</b>	33,40	34,50	34,95	34,83	0,57	35,20	35,90	122

Tableau 24. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la salinité (P.S.U.) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2015

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BL1</b>	33,40	33,90	34,05	34,10	0,39	34,37	34,80	14
<b>BL2</b>	33,90	34,35	34,45	34,53	0,38	34,72	35,40	12
<b>BL3</b>	34,40	34,67	34,85	34,85	0,33	35,92	35,70	12

## Salinité

002-P-007 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 1 Boulogne - Surface (0-1m)



002-P-007 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 1 Boulogne - Variation saisonnière 2015 Salinité

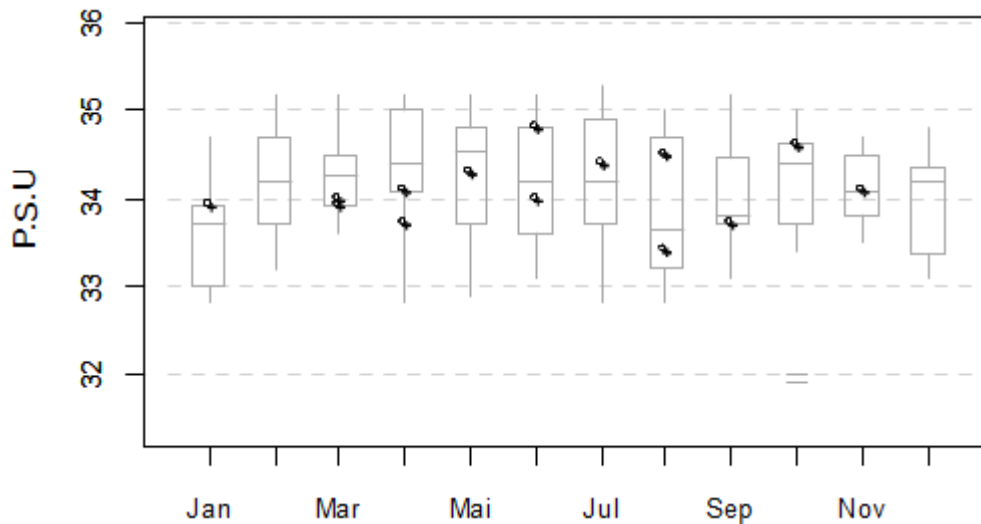
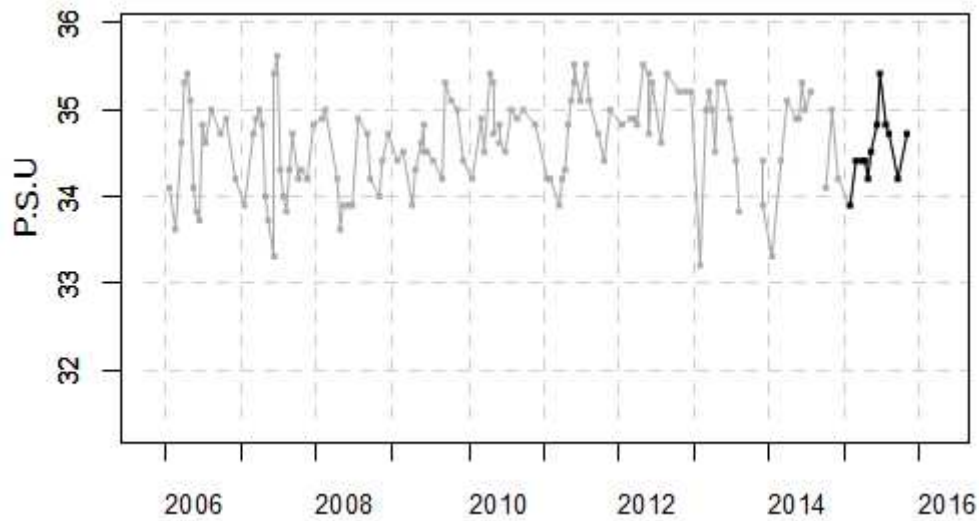


Figure 40. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la salinité (P.S.U) pour le point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 2006-2015

## Salinité

002-P-029 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 2 SRN Boulogne - Surface (0-1m)



002-P-029 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 2 SRN Boulogne - Variation saisonnière 2015 Salinité

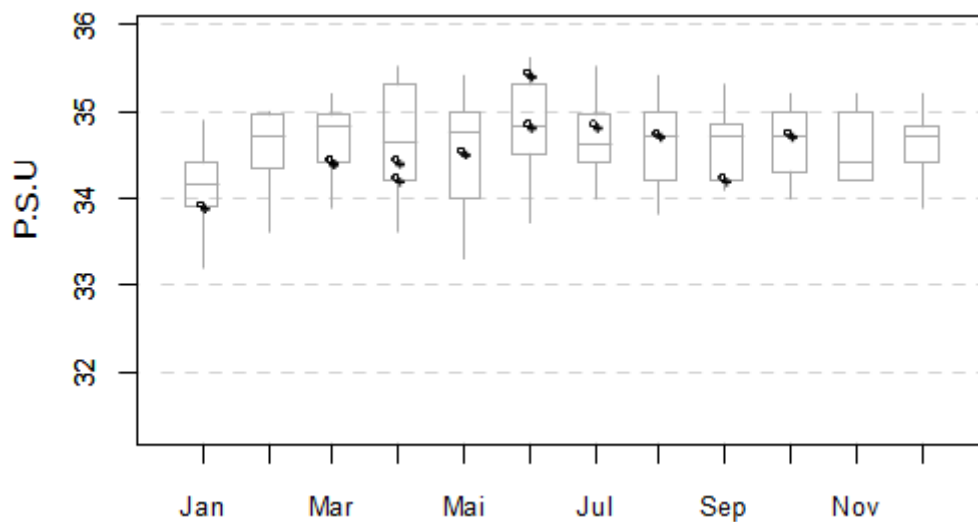
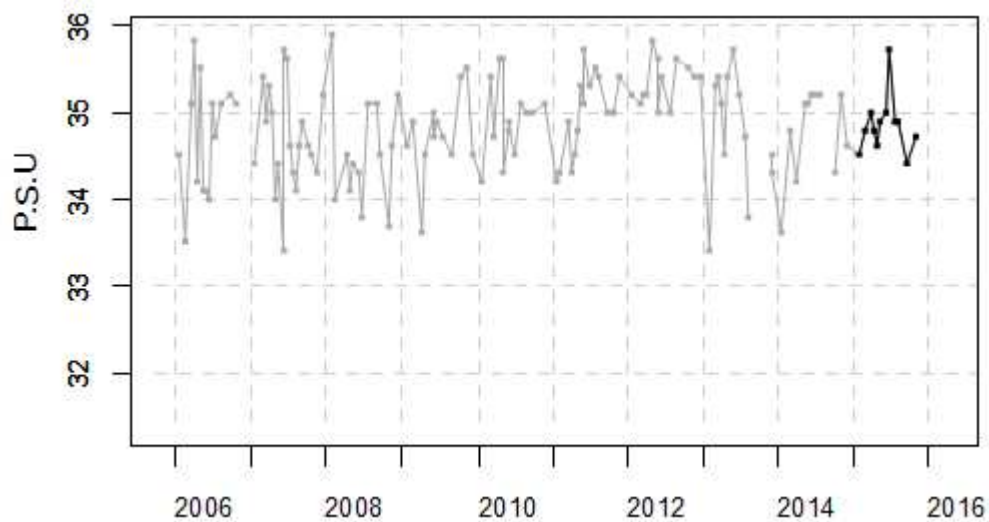


Figure 41. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la salinité (P.S.U) pour le point 2 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 2006-2015

## Salinité

002-P-030 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 3 SRN Boulogne - Surface (0-1m)



002-P-030 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 3 SRN Boulogne - Variation saisonnière 2015 Salinité

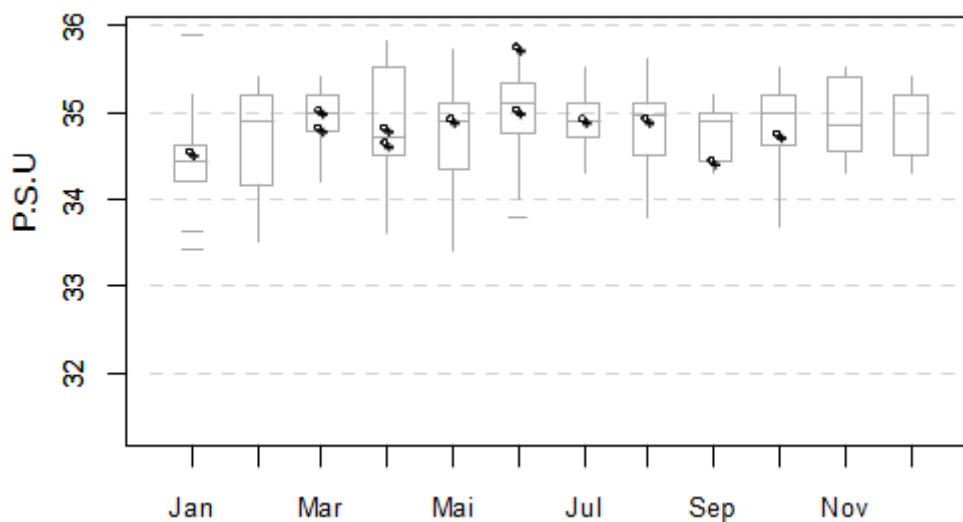


Figure 42. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la salinité (P.S.U) pour le point 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 2006-2015

□ **Turbidité et Matières en suspensions**

La turbidité est généralement faible sur la radiale de Boulogne-sur-Mer pour l'année 2015 (entre 0,28 N.T.U et 5,40 N.T.U) (Tableau 27) mais est semblable à celle relevée de puis 2006 (Tableau 25).

Une valeur exceptionnelle est mesurée en 2007 avec 23,80 N.T.U. en février (Tableau 25).

Les maxima sont atteints en avril pour le point 1 (4,29 N.T.U), en janvier pour le point 2 (5,40 N.T.U) et en décembre pour le point 3 (2,45 N.T.U) (Tableau 26).

Les valeurs les plus fortes sont obtenues en février 2007, en janvier 2012 et en décembre 2013 pour le point 1. Pour le point 2, c'est en février 2006 et en mars, suivi de décembre 2013 où les valeurs sont les plus fortes. Pour le point 3, les valeurs les plus fortes se situent en février 2006 et en février puis décembre 2013 (Figures 43 à 45).

Les valeurs de salinité sont globalement au printemps inférieures ou supérieures à la médiane.

Le gradient côte-large est compris entre -2,94 et 0 N.T.U. (Annexe 1).

Tableau 25. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la turbidité (N.T.U.) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer sur la période 2006-2014

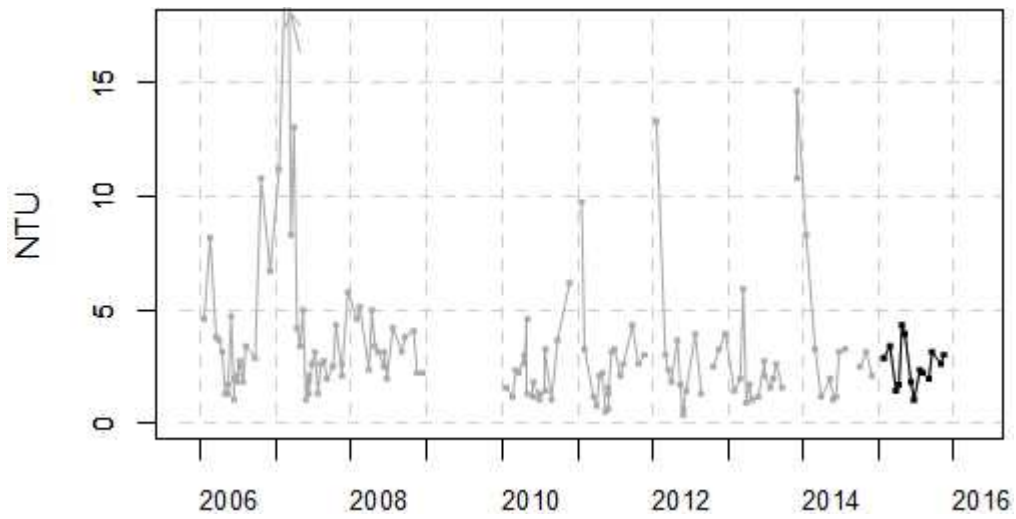
	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BL1</b>	0,34	1,63	2,51	3,34	3,15	3,51	23,80	131
<b>BL2</b>	0,29	1,16	1,79	2,14	1,69	2,62	13,80	126
<b>BL3</b>	0,32	0,84	1,16	1,27	0,66	1,54	4,04	122

Tableau 26. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la turbidité (N.T.U.) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2015

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BL1</b>	0,28	1,18	1,26	1,82	1,18	2,21	4,29	11
<b>BL2</b>	0,81	1,00	1,92	2,09	1,28	2,72	5,40	12
<b>BL3</b>	0,70	0,96	1,29	1,30	0,50	1,29	2,45	12

## Turbidité

002-P-007 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 1 Boulogne - Surface (0-1m)



002-P-007 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 1 Boulogne - Variation saisonnière 2015 Turbidité

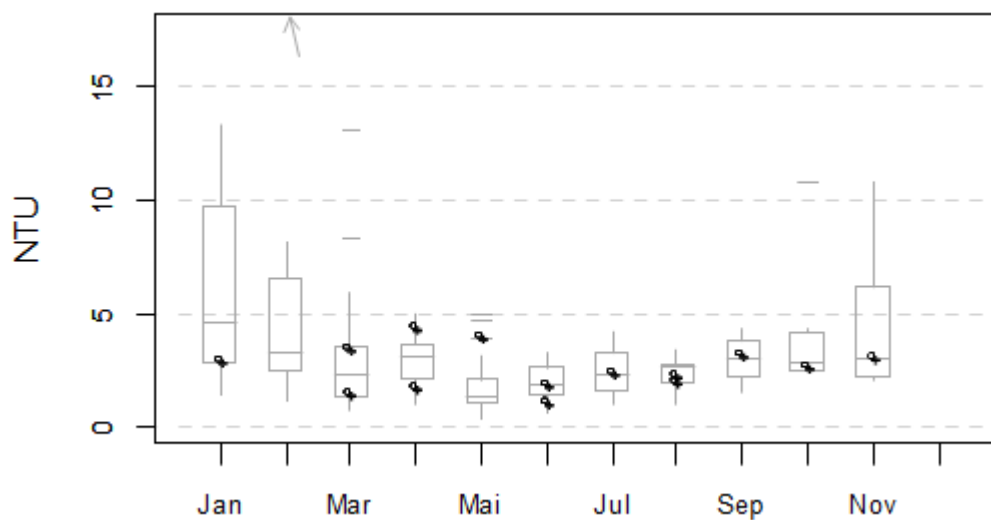
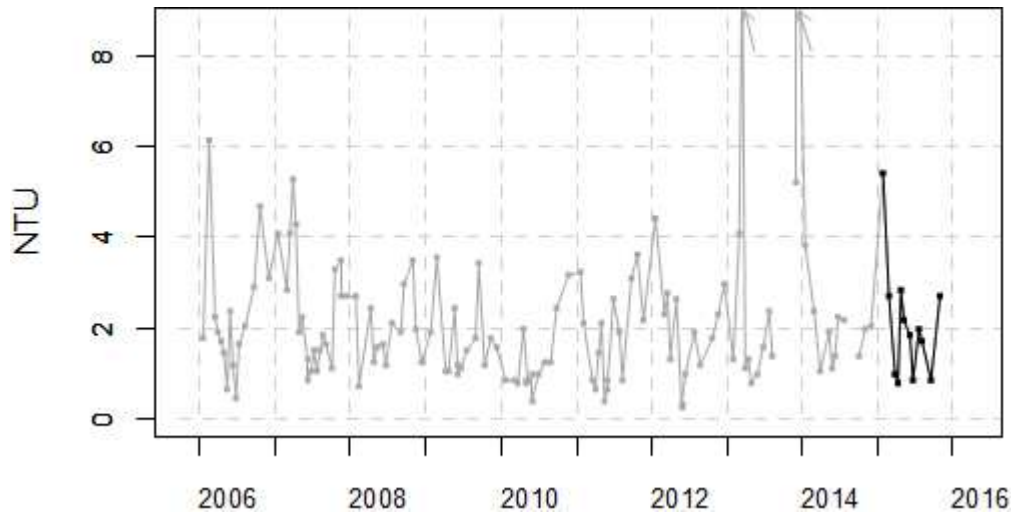


Figure 43. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la turbidité (N.T.U) pour le point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 2006-2015

## Turbidité

002-P-029 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 2 SRN Boulogne - Surface (0-1m)



002-P-029 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 2 SRN Boulogne - Variation saisonnière 2015 Turbidité

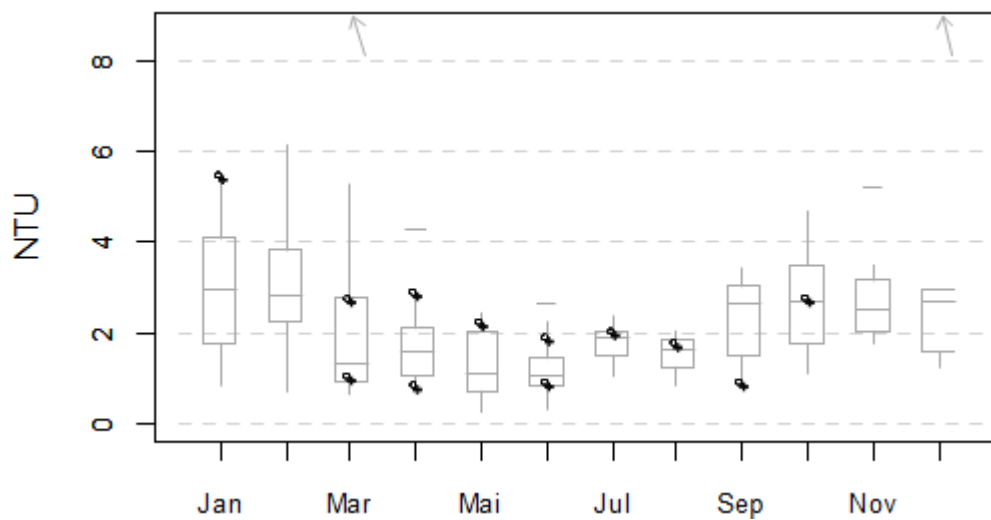
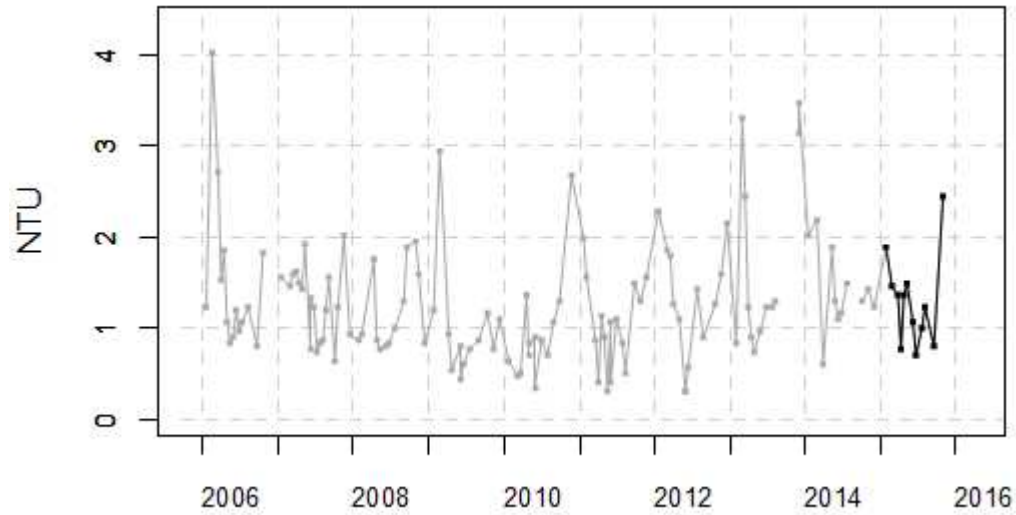


Figure 44. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la turbidité (N.T.U) pour le point 2 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 2006-2015

## Turbidité

002-P-030 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 3 SRN Boulogne - Surface (0-1m)



002-P-030 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 3 SRN Boulogne - Variation saisonnière 2015 Turbidité

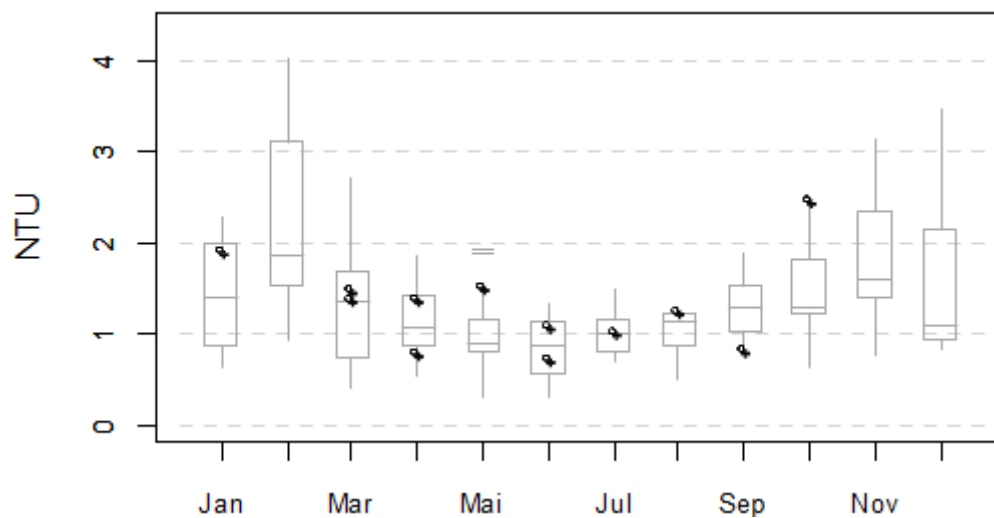


Figure 45. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la turbidité (N.T.U) pour le point 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 2006-2015



Les matières en suspension sont d'autant plus fortes que l'on est proche de la côte (8,73 mg/L ; 6,17 mg/L ; 4,16 mg/L en moyenne depuis 2006 de la côte vers le large) (Tableau 27).

Une période se démarque. En effet, de l'année 2011 à 2014, s'observe une variabilité beaucoup plus forte tandis que les années précédentes et l'année 2015 présentent une variabilité plus faible (Figures 46 à 48).

En 2015, les valeurs sont plus faibles puisque l'on mesure respectivement 5,58 mg/L ; 4,43 mg/L ; 2,73 mg/L en moyenne. Les maxima de l'année 2015 sont nettement inférieurs à ceux relevés depuis 2006 (Tableau 28). En effet, pour le point 1, le maximum est atteint au mois d'avril avec 11,60 mg/L contre 43,20 mg/L en janvier 2012. Pour le point 2, c'est au mois de janvier que la valeur est la plus haute avec 10,10 mg/L contre 46,30 mg/L en mars 2013. C'est au mois de décembre que le maximum est atteint au point 3 avec 4,40 mg/L contre 33,10 mg/L au mois de mai 2014. (Tableaux 27 et 28).

Le gradient côte-large est de l'ordre de -3,5 à -0,10 mg/L. Le point côtier présente en moyenne les concentrations les plus fortes (Annexe 1).

Tableau 27. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les M.E.S. (mg/L) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer sur la période 2006-2014

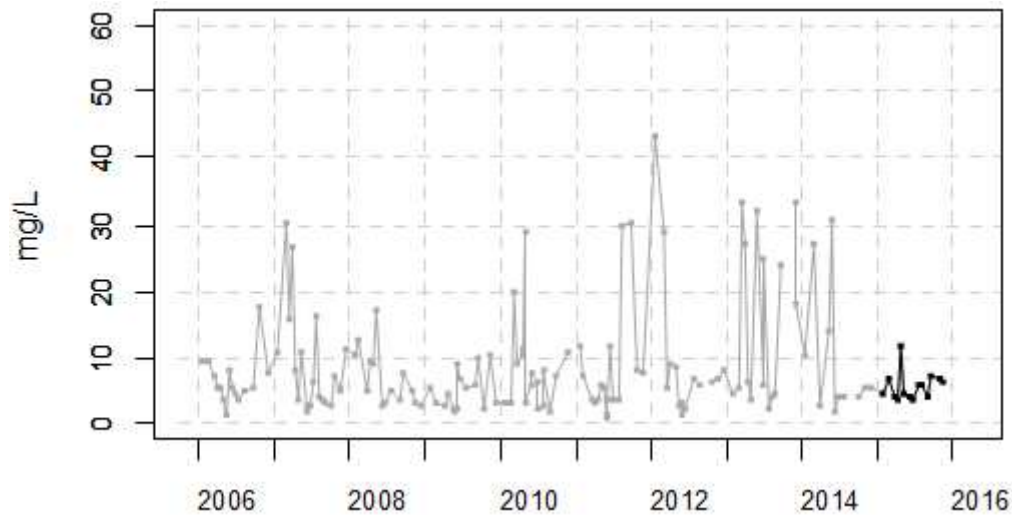
	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BL1</b>	1,00	3,40	5,60	8,73	8,44	9,97	43,20	138
<b>BL2</b>	0,40	2,30	3,55	6,17	7,81	5,77	46,30	126
<b>BL3</b>	0,20	1,10	1,80	4,16	6,93	3,37	33,10	122

Tableau 28. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les M.E.S. (mg/L) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2015

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BL1</b>	3,40	4,10	5,15	5,58	2,14	6,50	11,60	14
<b>BL2</b>	1,60	3,20	4,30	4,43	2,15	5,00	10,10	12
<b>BL3</b>	1,30	2,70	2,70	2,73	0,93	3,35	4,40	12

## Matières en suspension

002-P-007 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 1 Boulogne - Surface (0-1m)



002-P-007 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 1 Boulogne - Variation saisonnière 2015 MES

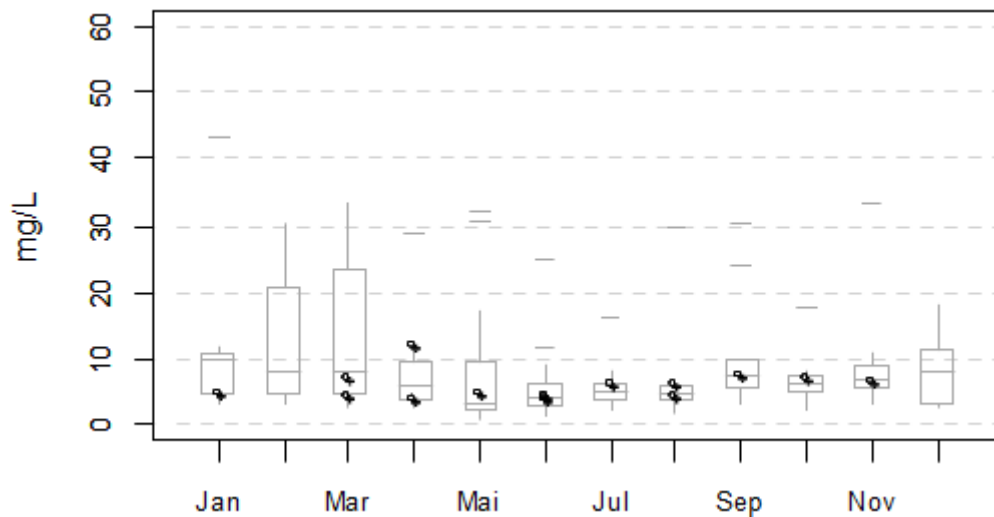
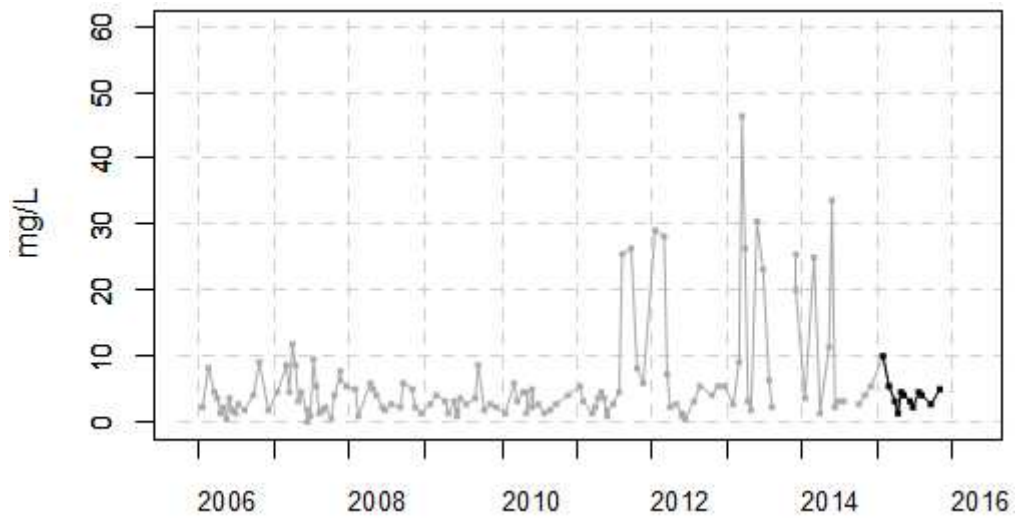


Figure 46. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour les matières en suspension (mg/L) pour le point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 2006-2015

## Matières en suspension

002-P-029 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 2 SRN Boulogne - Surface (0-1m)



002-P-029 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 2 SRN Boulogne - Variation saisonnière 2015 MES

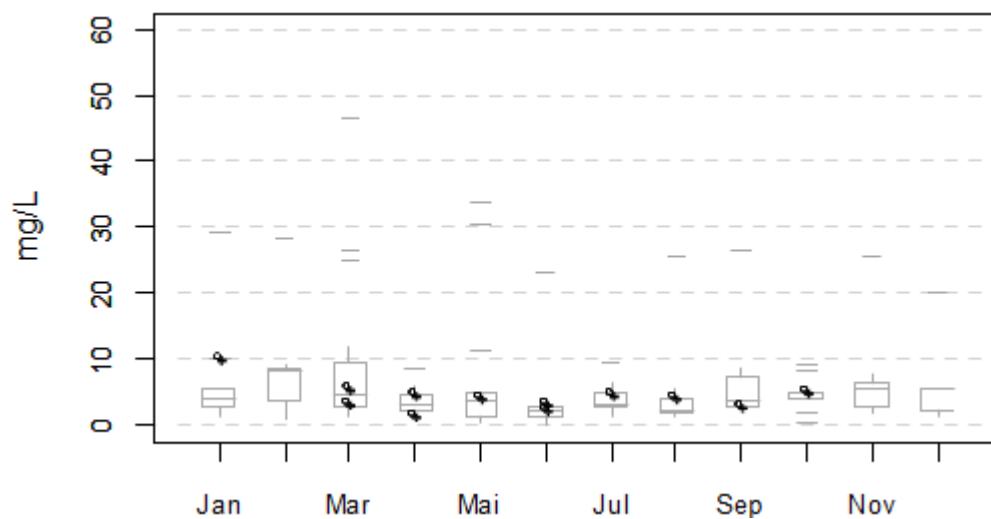
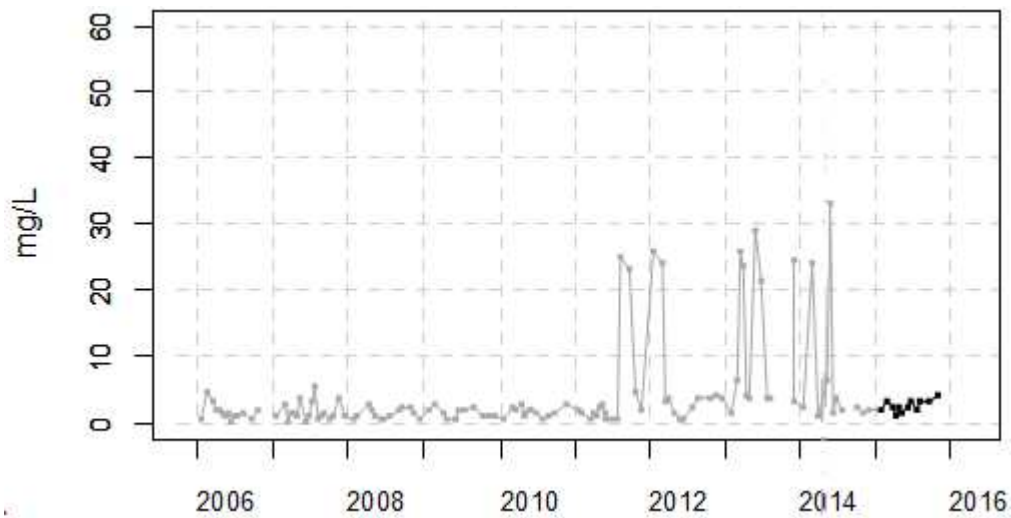


Figure 47. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour les matières en suspension (mg/L) pour le point 2 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 2006-2015

## Matières en suspension

002-P-030 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 3 SRN Boulogne - Surface (0-1m)



002-P-030 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 3 SRN Boulogne - Variation saisonnière 2015 MES

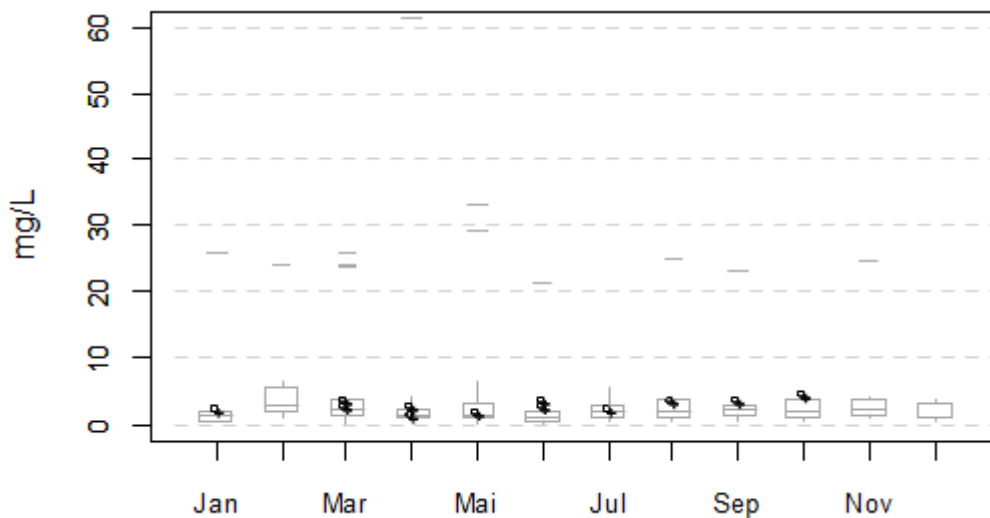


Figure 48. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour les matières en suspension (mg/L) pour le point 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 2006-2015

□ **Matières organiques**

En 2015, la proportion en matière organique dans les matières en suspension est comprise entre 9,0 % (au point 2) et 92,2 % (au point 3).

L'évolution de la concentration de matière organique (M.O.) dans les matières en suspension (M.E.S.) est marquée par un épisode particulier. Il se produit en avril avec des proportions en matière organique dans les matières en suspension comprises entre 76,5 % (au point 1) et 92,2 % (au point 3).

Les périodes automnales et hivernales sont caractérisées par de plus faibles valeurs pour les trois points (minima en janvier aux points 1 et 2 et en décembre au point 3).

Le gradient côte-large globalement négatif, il varie de -3,6 à 0,4 mg/L, ce qui indique un pourcentage de matières organiques plus important à la côte qu'au large (Annexe 1).

□ **Ammonium**

Depuis 2006, les concentrations en ammonium sur la radiale sont assez faibles (1,04  $\mu\text{mol/L}$  de moyenne pour la radiale). Une valeur exceptionnelle est mesurée au point 1 en mars 2013 avec 6,35  $\mu\text{mol/L}$  (Tableau 29). Les plus fortes valeurs sont observées en août et d'octobre à novembre 2007, en septembre 2009 et en mars 2013 pour le point 1. Concernant le point 2, les valeurs les plus fortes se situent en mars et en avril 2007. Au point 3, c'est en février 2006 et en octobre puis décembre 2007 où les valeurs sont les plus fortes (Figures 49 à 51).

Pour l'année 2015, les concentrations sont un peu plus faibles (0,73  $\mu\text{mol/L}$  en moyenne pour la radiale), avec une étendue de valeurs peu importante (2,58  $\mu\text{mol/L}$  au maximum au point 1 en octobre 2015) (Tableau 30).

La dynamique saisonnière est peu marquée (Figures 49 à 51). Néanmoins, une légère augmentation des valeurs est observable à partir de l'été et jusqu'à la fin de l'année.

Le gradient de concentration varie peu (-2,27 à 0,86  $\mu\text{mol/L}$ ) (Annexe 1).

Tableau 29. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en Ammonium ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer sur la période 2006-2014

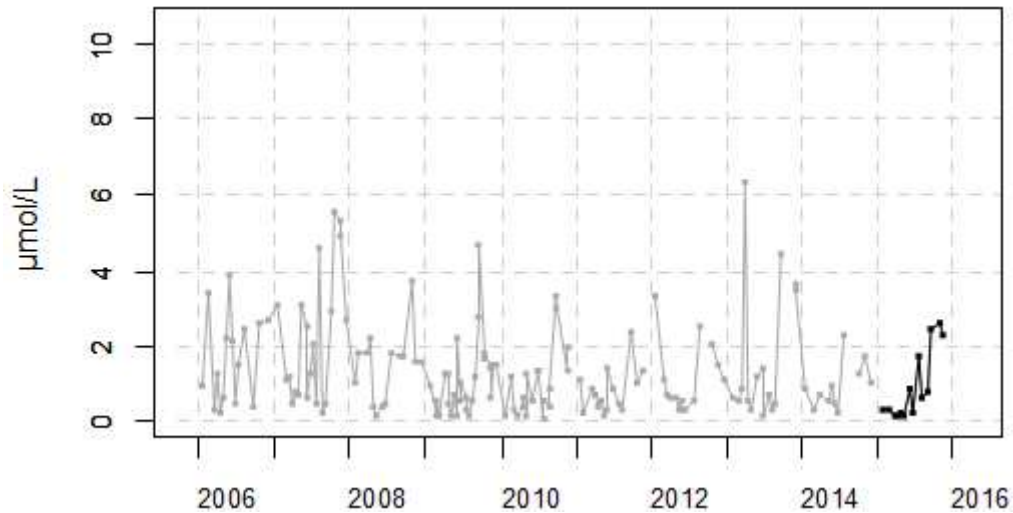
	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BL1</b>	0,10	0,49	0,94	1,34	1,24	1,79	6,35	150
<b>BL2</b>	0,15	0,41	0,75	0,97	0,91	1,16	5,67	126
<b>BL3</b>	0,13	0,39	0,63	0,82	0,66	1,14	4,01	122

Tableau 30. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en Ammonium ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2015

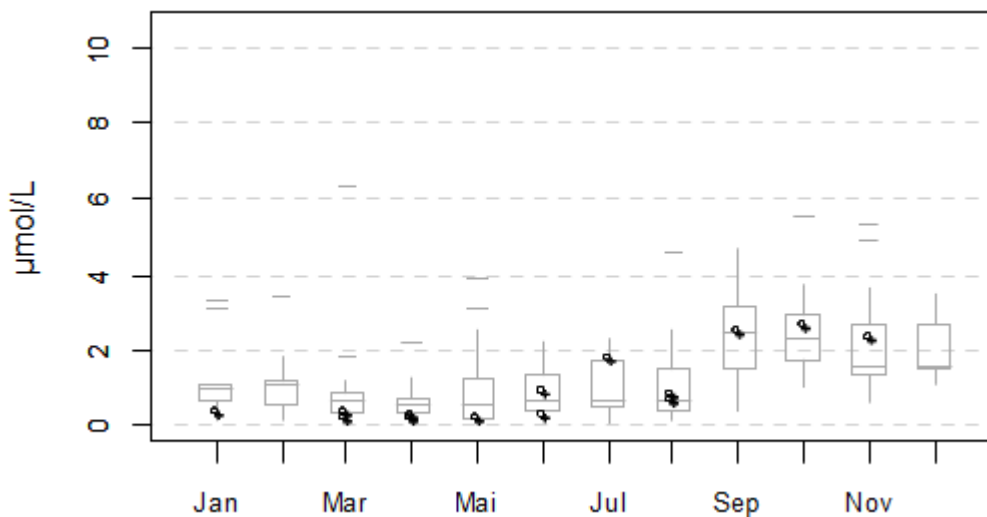
	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BL1</b>	0,12	0,22	0,46	0,91	0,92	1,52	2,58	14
<b>BL2</b>	0,19	0,27	0,49	0,70	0,63	0,71	2,10	12
<b>BL3</b>	0,15	0,23	0,51	0,58	0,43	0,79	1,52	12

## Ammonium

## 002-P-007 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 1 Boulogne - Surface (0-1m)

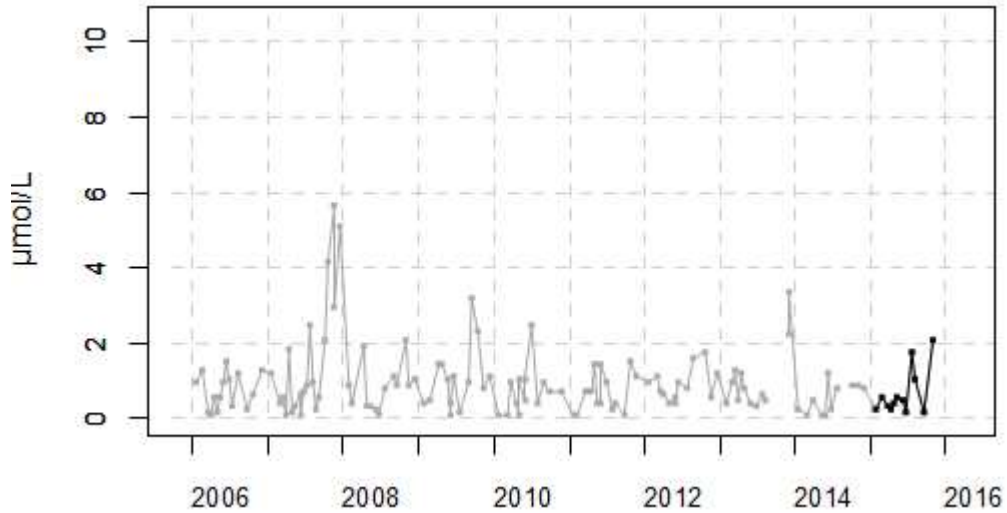


## 002-P-007 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 1 Boulogne - Variation saisonnière 2015 Ammonium

Figure 49. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en ammonium ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 2006-2015

## Ammonium

002-P-029 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 2 SRN Boulogne - Surface (0-1m)



002-P-029 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 2 SRN Boulogne - Variation saisonnière 2015 Ammonium

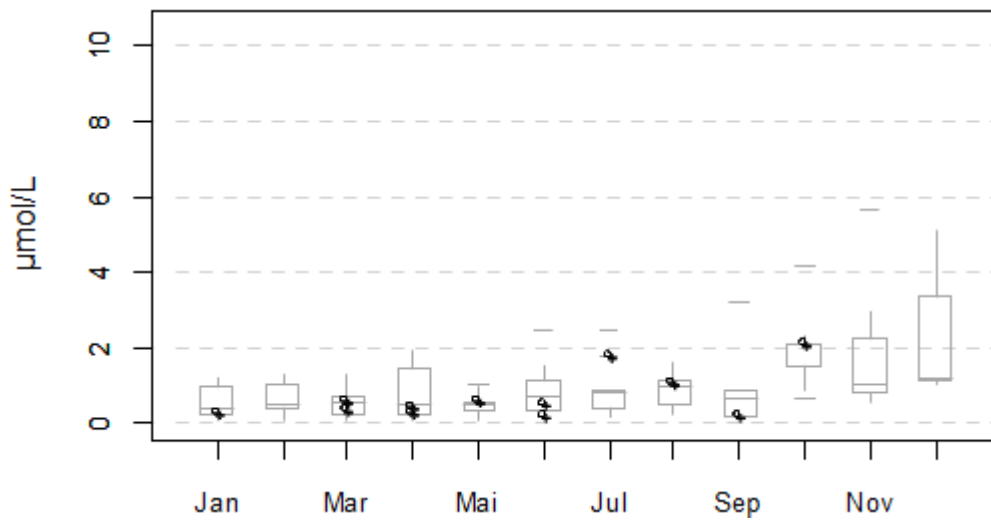
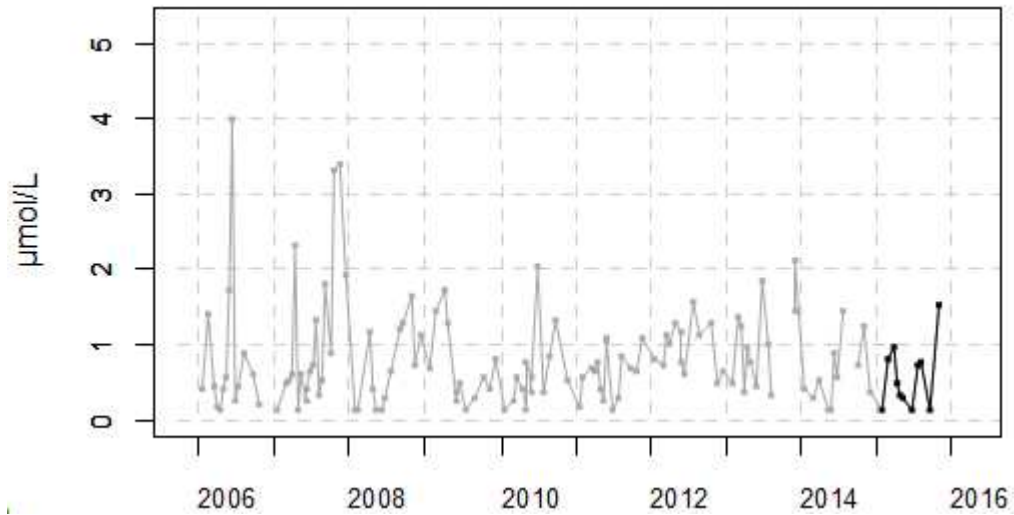


Figure 50. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en ammonium ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point 2 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 2006-2015

## Ammonium

002-P-030 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 3 SRN Boulogne - Surface (0-1m)



002-P-030 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 3 SRN Boulogne - Variation saisonnière 2015 Ammonium

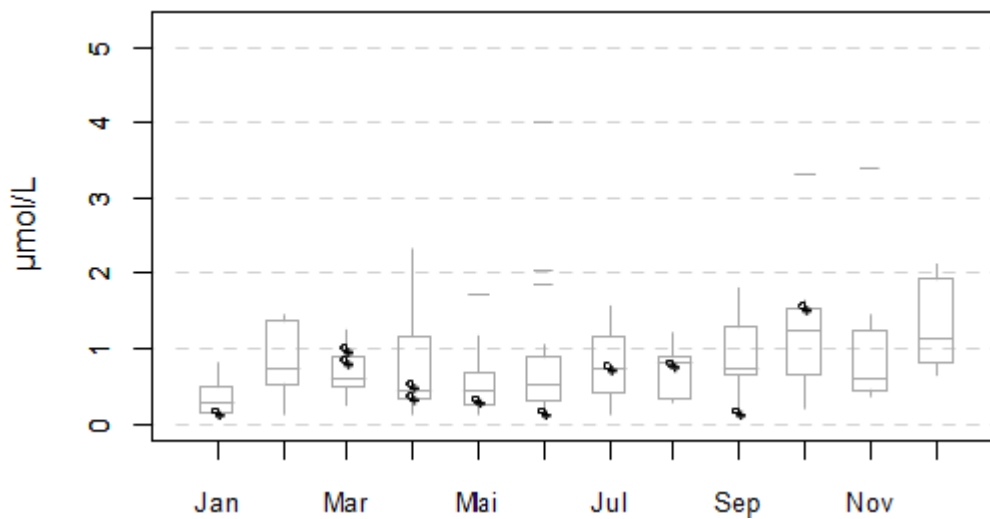


Figure 51. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en ammonium ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 2006-2015



□ Nitrite + Nitrate

Les concentrations en nitrite et en nitrate présentent une variabilité importante d'une année à l'autre. C'est pour cela que l'on présente la somme des nitrites et des nitrates et pas seulement les nitrites.

Depuis 2006, la concentration en nitrite + nitrate est en moyenne de 6,48  $\mu\text{mol/L}$  pour le point 1, 5,65  $\mu\text{mol/L}$  pour le point 2 et 5,15  $\mu\text{mol/L}$  pour le point 3 (Tableau 31).

La dynamique saisonnière classique se caractérise par des concentrations faibles au printemps et en été, puis elles sont fortes en automne et hiver (Figures 52 à 54).

Des valeurs exceptionnelles s'observent en février 2009 (32,26  $\mu\text{mol/L}$  ; 28,01  $\mu\text{mol/L}$  et 64,59  $\mu\text{mol/L}$  de la côte vers le large). De plus des valeurs sont supérieures à la médiane (au point 1 en mars et avril, au point 3 en mai et en septembre) ou inférieures à la médiane (au point 1 en janvier et novembre, au point 3 en janvier et en mars). Les valeurs les plus fortes sont obtenues en janvier puis février 2008, en février 2009 et en janvier 2012 pour le point 1 ; en février 2006, 2008 et 2009 et en janvier 2012 et 2014 pour le point 2 ; en février 2006 et 2009 puis en janvier pour le point 3 (Figures 52 à 54).

En 2015, les concentrations varient entre 0,15  $\mu\text{mol/L}$  et 18,80  $\mu\text{mol/L}$  avec une moyenne de 4,00  $\mu\text{mol/L}$  sur les trois points de la radiale (Tableau 32).

Les minima sont détectés en août pour le point 1 (0,60  $\mu\text{mol/L}$ ), en juillet pour le point 2 et en avril pour le point 3 (0,15  $\mu\text{mol/L}$ ), tandis que les maxima se trouvent en janvier (18,80  $\mu\text{mol/L}$  ; 17,54  $\mu\text{mol/L}$  ; 12,28  $\mu\text{mol/L}$  de la côte vers le large).

Le gradient de côte-large varie entre -6,52 et 1,78  $\mu\text{mol/L}$  (Annexe 1).

Tableau 31. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en nitrite et en nitrate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer sur la période 2006-2014

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BL1</b>	0,15	0,45	1,85	6,48	8,66	9,60	32,26	148
<b>BL2</b>	0,15	0,20	1,65	5,65	7,44	8,96	28,01	126
<b>BL3</b>	0,15	0,20	1,49	5,15	8,16	8,02	64,59	122

Tableau 32. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en nitrite et en nitrate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2015

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BL1</b>	0,60	0,90	2,83	4,96	5,44	7,35	18,80	14
<b>BL2</b>	0,15	0,84	2,14	3,86	4,90	4,61	17,54	12
<b>BL3</b>	0,15	0,26	0,57	3,17	4,00	5,81	12,28	11

## Nitrite + nitrate

002-P-007 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 1 Boulogne - Surface (0-1m)

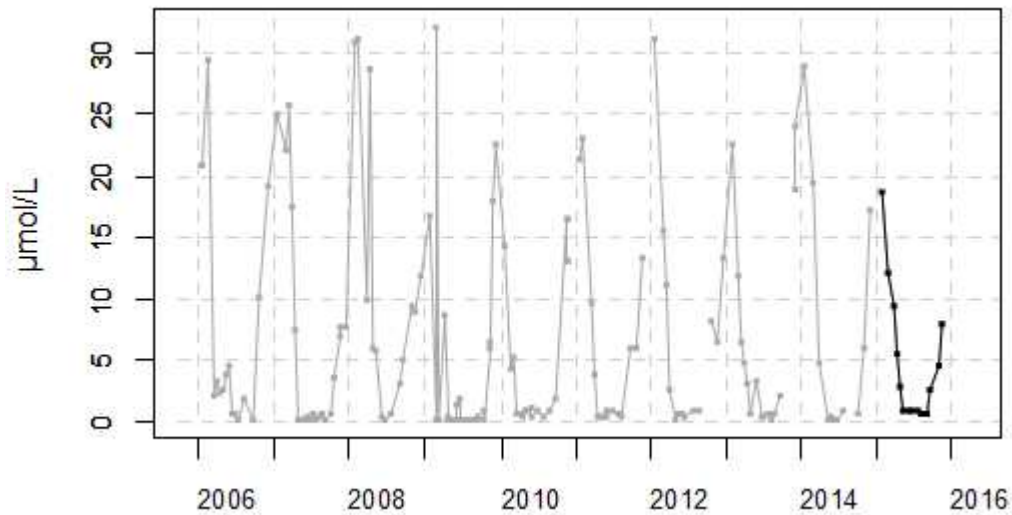
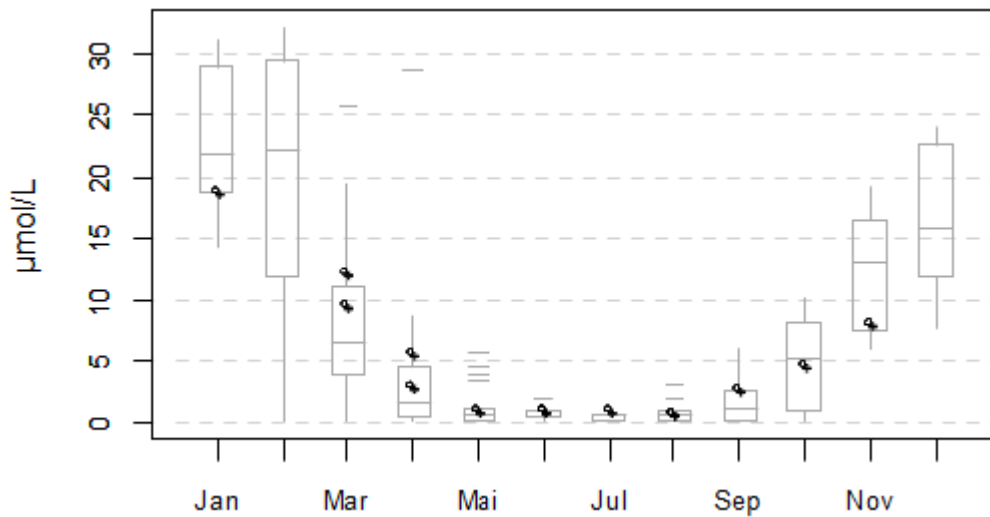
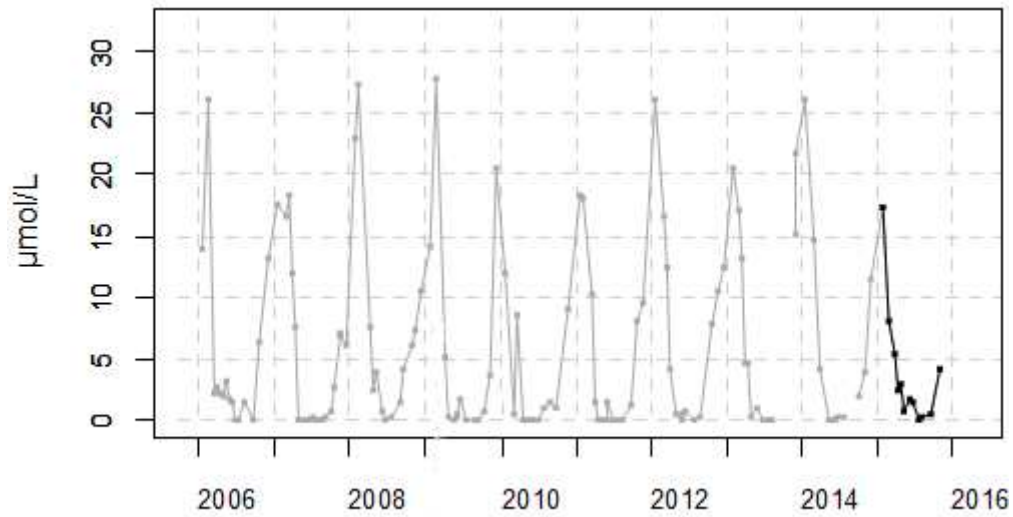
002-P-007 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 1 Boulogne - Variation saisonnière 2015 NO<sub>x</sub>

Figure 52. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en nitrite et en nitrate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 2006-2015

## Nitrite + nitrate

002-P-029 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 2 SRN Boulogne - Surface (0-1m)



002-P-029 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 2 SRN Boulogne - Variation saisonnière 2015 NOx

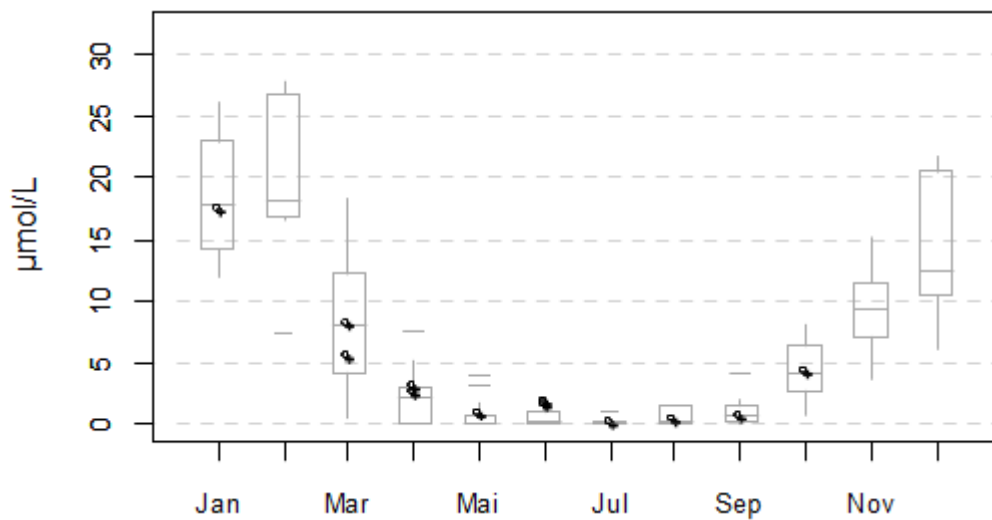
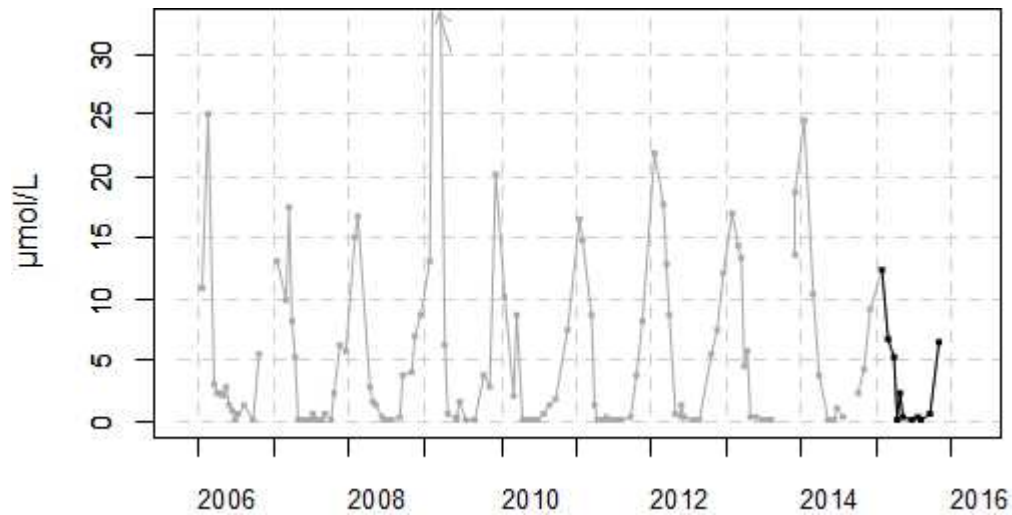


Figure 53. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en nitrite et en nitrate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point 2 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 2006-2015

## Nitrite + nitrate

002-P-030 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 3 SRN Boulogne - Surface (0-1m)



002-P-030 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 3 SRN Boulogne - Variation saisonnière 2015 NOx

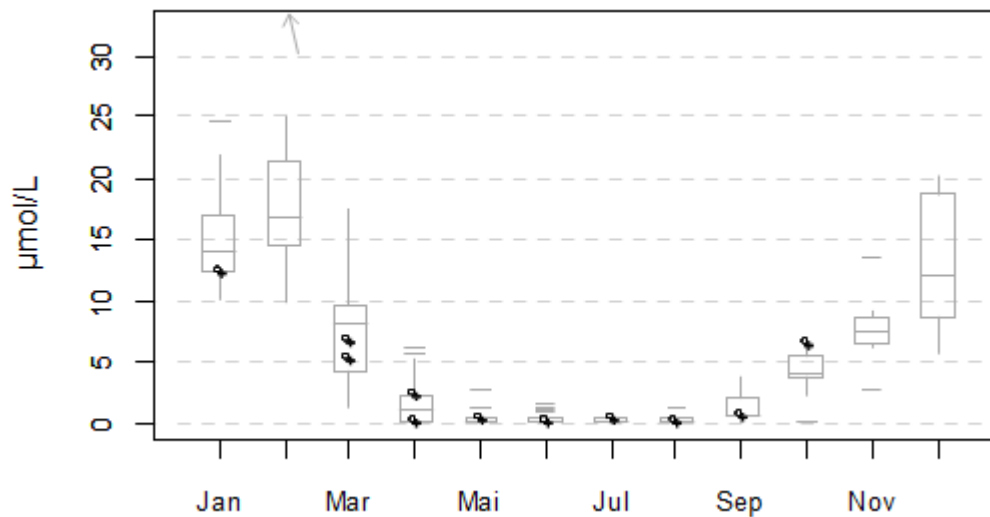


Figure 54. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en nitrite et en nitrate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 2006-2015

□ **Phosphate**

Depuis 2006, la dynamique saisonnière est marquée par des concentrations plus faibles au printemps et en été tant dis qu'elles sont plus importantes le reste de l'année (Figures 55 à 57).

En moyenne, les valeurs sont de 0,48  $\mu\text{mol/L}$  (Tableau 33). Les concentrations les plus élevées s'observent en août 2007 et en juin 2008 pour le point 1 ; en février 2009 et en janvier 2012 pour le point 2 ; en octobre 2007 puis en juin 2008 pour le point 3 (Figures 55 à 57).

La concentration en phosphate peut être extrêmement faible, comme en avril 2007 aux trois points (Tableau 33).

Les concentrations en phosphate en 2015 sont légèrement inférieures à celles relevées depuis 2006. En effet, la moyenne des concentrations pour l'ensemble de la radiale en 2015 est de 0,28  $\mu\text{mol/L}$  (Tableau 34). Globalement, les valeurs sont inférieures à la médiane voire inférieures au 3<sup>ième</sup> quartile (en novembre au point 1, en juillet au point 2 et en avril au point 3) (Figures 55 à 57).

L'ensemble des valeurs sont comprises entre 0,05  $\mu\text{mol/L}$  et 0,78  $\mu\text{mol/L}$  (Tableau 34).

Sur l'ensemble de la radiale, il existe un faible gradient entre la côte et le large puisqu'il atteint au maximum la valeur de 0,39  $\mu\text{mol/L}$  en octobre (Annexe 1).

Tableau 33. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en phosphate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 2006-2014

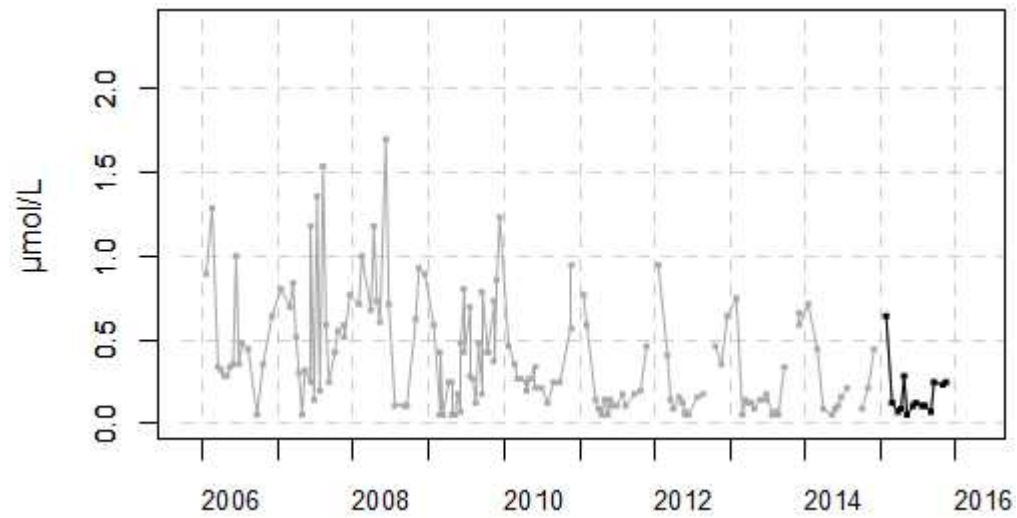
	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BL1</b>	0,05	0,14	0,28	0,40	0,34	0,59	1,69	146
<b>BL2</b>	0,05	0,25	0,48	0,53	0,36	0,73	2,11	126
<b>BL3</b>	0,05	0,26	0,43	0,52	0,36	0,71	2,13	122

Tableau 34. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en phosphate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2015

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BL1</b>	0,06	0,09	0,11	0,18	0,15	0,24	0,65	14
<b>BL2</b>	0,10	0,13	0,29	0,32	0,29	0,45	0,78	12
<b>BL3</b>	0,05	0,17	0,40	0,35	0,22	0,46	0,75	11

## Phosphate

002-P-007 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 1 Boulogne - Surface (0-1m)



002-P-007 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 1 Boulogne - Variation saisonnière 2015 Phosphate

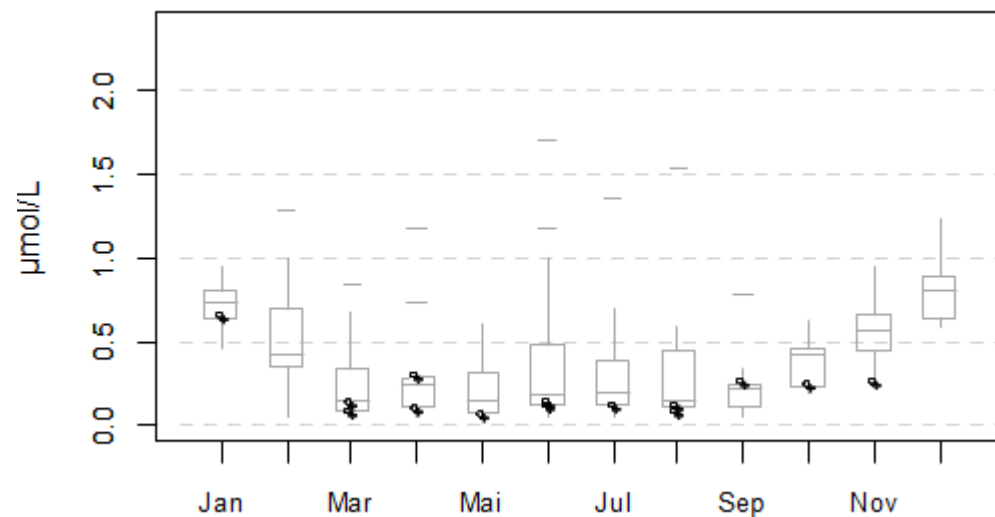
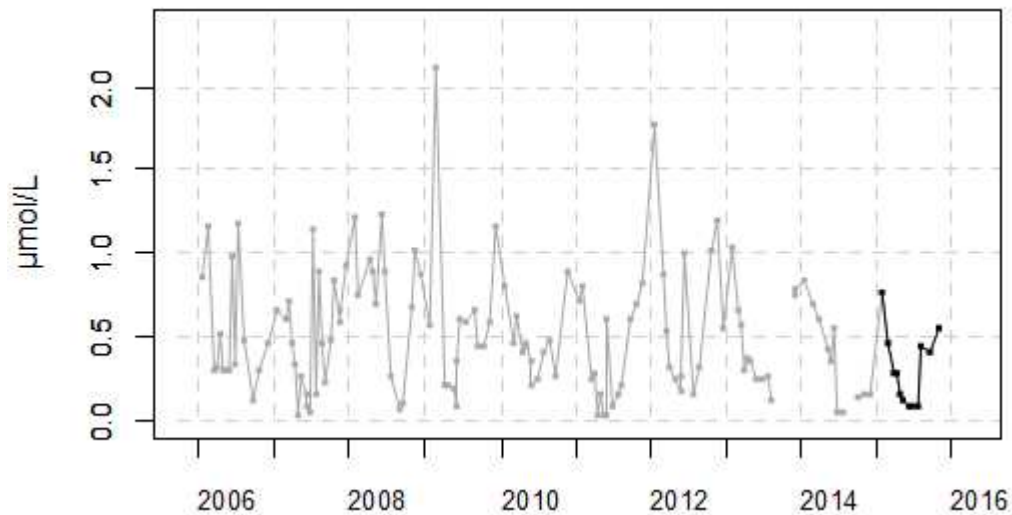


Figure 55. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en phosphate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 2006-2015

## Phosphate

002-P-029 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 2 SRN Boulogne - Surface (0-1m)



002-P-029 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 2 SRN Boulogne - Variation saisonnière 2015 Phosphate

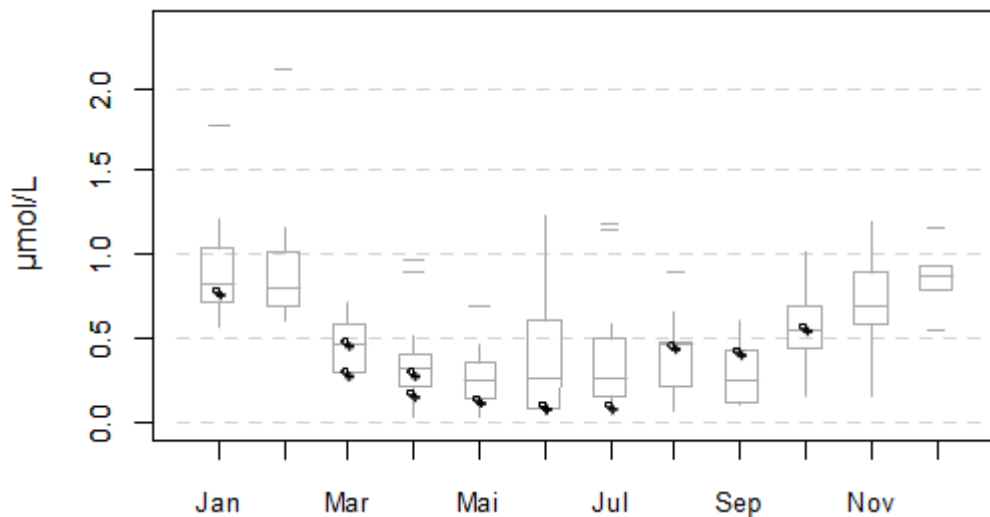
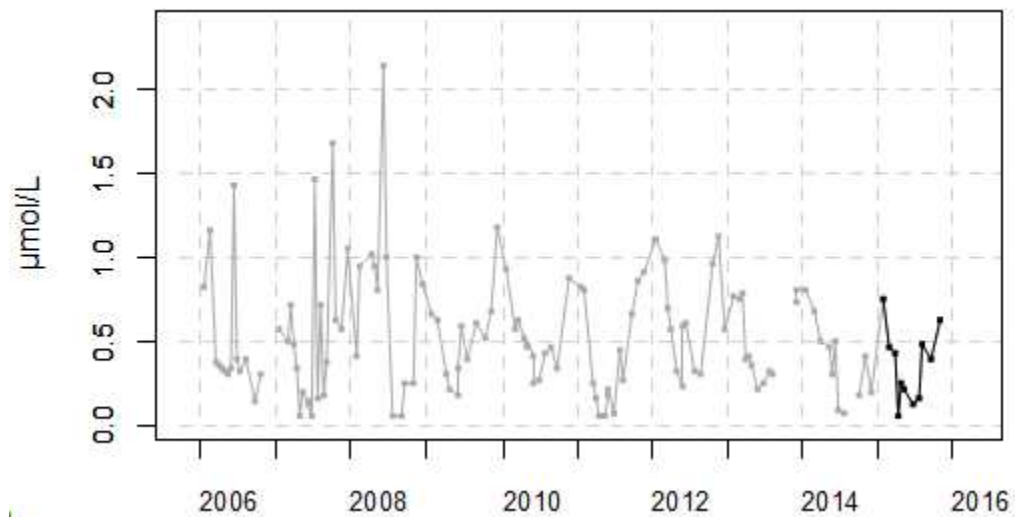


Figure 56. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en phosphate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point 2 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 2006-2015

## Phosphate

002-P-030 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 3 SRN Boulogne - Surface (0-1m)



002-P-030 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 3 SRN Boulogne - Variation saisonnière 2015 Phosphate

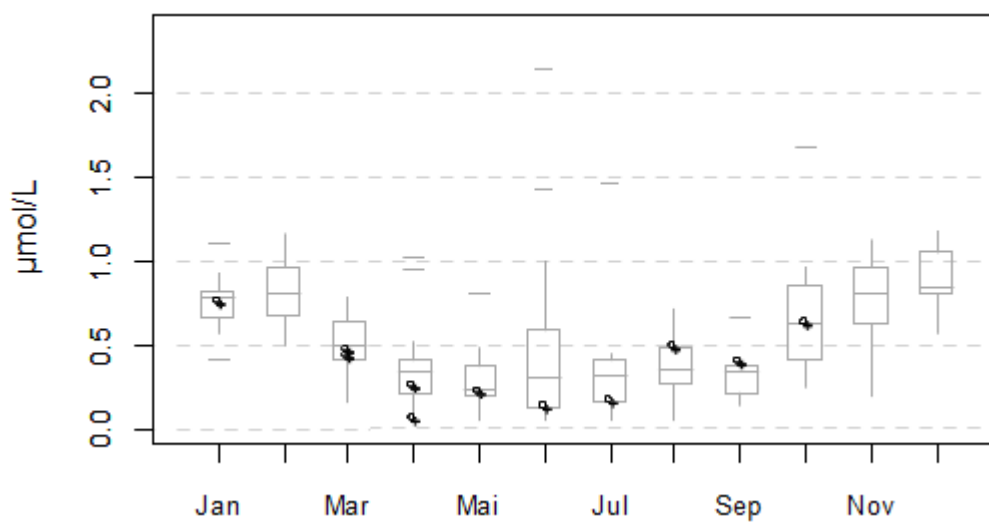


Figure 57 Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en phosphate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 2006-2015



□ **Silicate**

La concentration en silicate sur la radiale de Boulogne-sur-Mer depuis 2006 est en moyenne de 3,10  $\mu\text{mol/L}$  (Tableau 35). La variabilité est assez importante puisque des valeurs exceptionnelles sont observables comme en 2009 (au point 1 : en février avec 17,25  $\mu\text{mol/L}$  ou en mars avec 19,01  $\mu\text{mol/L}$ ). Les concentrations les plus élevées sont obtenues en janvier puis mars en 2007, en février puis mars en 2009 et en janvier 2012 pour le point 1 ; en janvier puis mars 2007, en février puis décembre 2012 et en janvier 2013 et 2014 pour le point 2 ; en mars 2007, en février 2009, en janvier 2013 et en janvier puis octobre 2014 pour le point 3 (Figures 58 à 60).

La dynamique saisonnière est marquée par des faibles concentrations au printemps et en été et des concentrations importantes en automne et en hiver (Figures 58 à 60).

En 2015, la concentration en silicate est en moyenne de 1,57  $\mu\text{mol/L}$ . Les minima sont similaires de ceux observés depuis 2006 (0,10  $\mu\text{mol/L}$  pour les points 1, 2 et 3 en juin). Les maxima sont inférieurs à ce qui est mesuré habituellement : 9,34  $\mu\text{mol/L}$  ; 7,84  $\mu\text{mol/L}$  ; 6,85  $\mu\text{mol/L}$  de la côte vers le large (Tableau 36).

Le gradient de concentration varie de -2,49 à 0,66  $\mu\text{mol/L}$  (Annexe 1).

Tableau 35. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en silicate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer sur la période 2006-2014

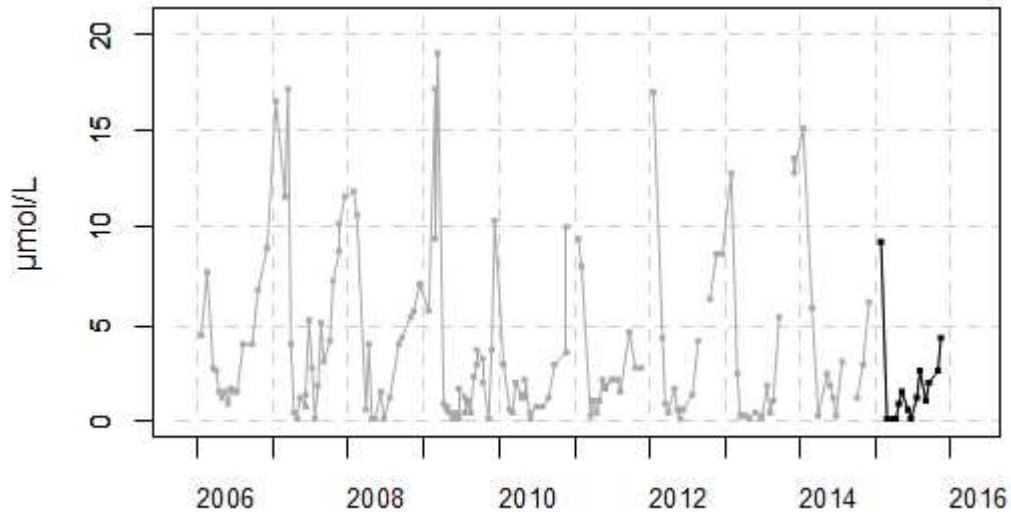
	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BL1</b>	0,10	0,65	1,87	3,65	4,29	4,57	19,01	146
<b>BL2</b>	0,10	0,46	1,55	2,98	3,33	4,07	13,74	126
<b>BL3</b>	0,10	0,35	1,70	2,68	3,04	3,65	12,84	122

Tableau 36. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en silicate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2015

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BL1</b>	0,10	0,32	1,16	1,92	2,46	2,42	9,34	14
<b>BL2</b>	0,10	0,37	0,57	1,42	2,15	1,43	7,84	12
<b>BL3</b>	0,10	0,49	0,64	1,37	1,94	1,42	6,85	11

## Silicate

002-P-007 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 1 Boulogne - Surface (0-1m)



002-P-007 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 1 Boulogne - Variation saisonnière 2015 Silicate

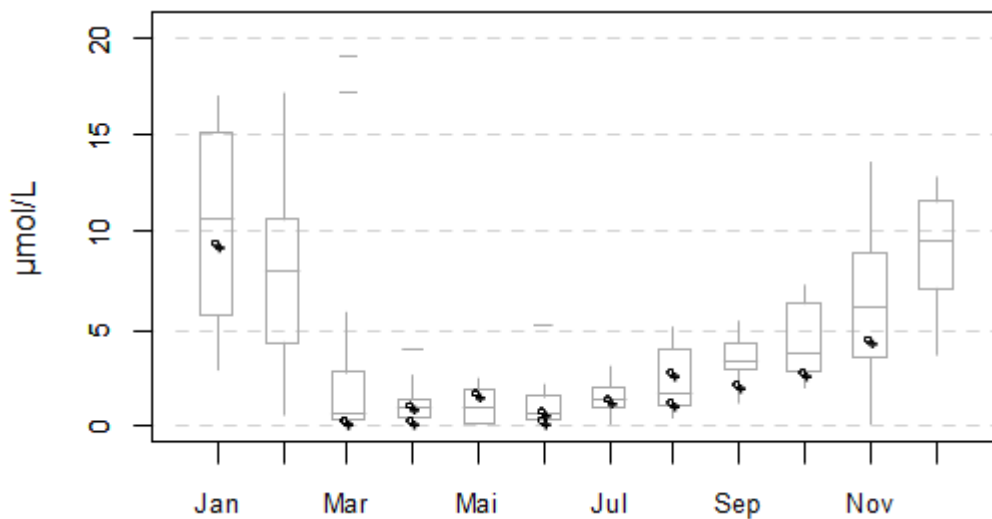
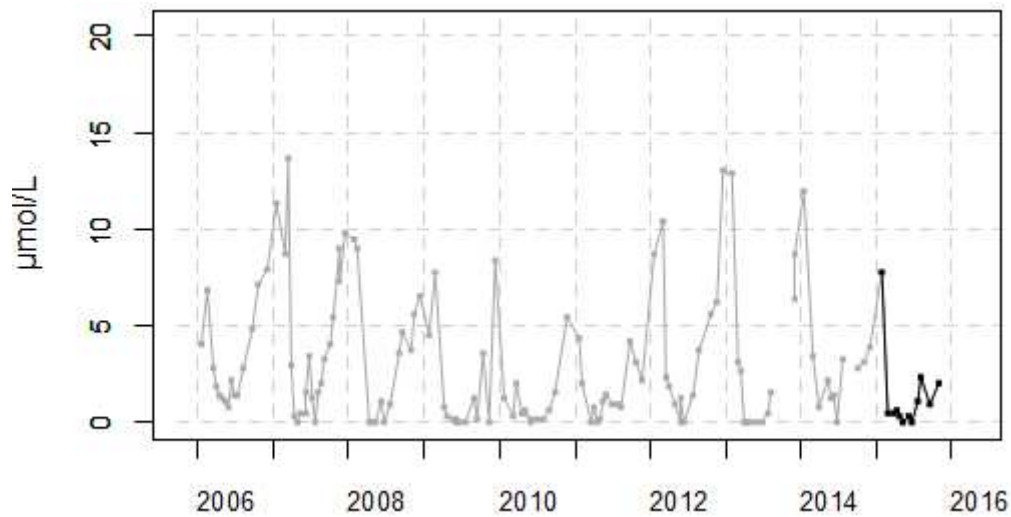


Figure 58. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en silicate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 2006-2015

## Silicate

002-P-029 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 2 SRN Boulogne - Surface (0-1m)



002-P-029 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 2 SRN Boulogne - Variation saisonnière 2015 Silicate

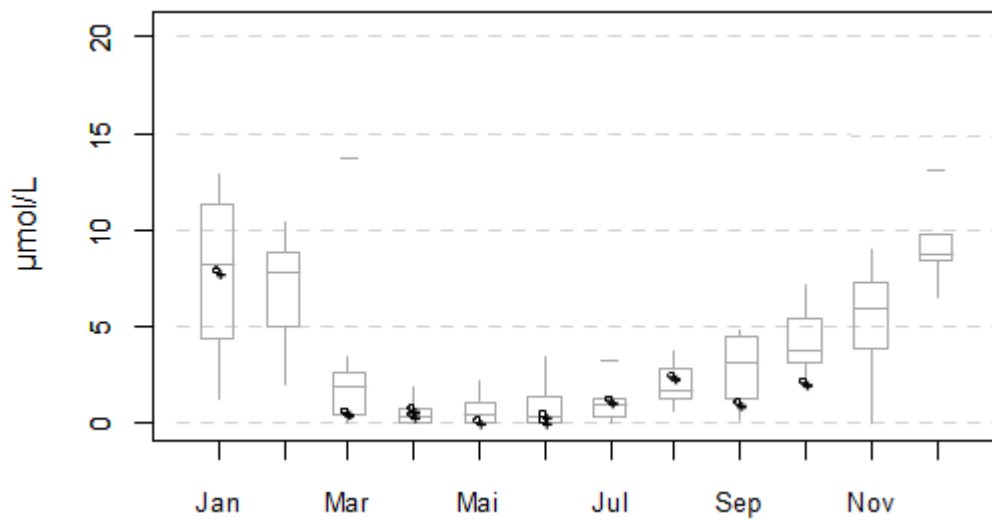
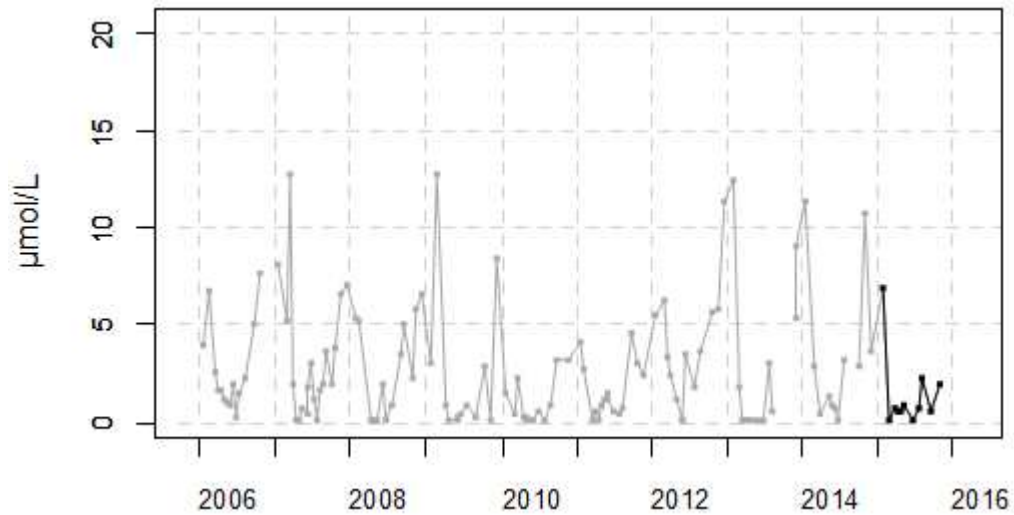


Figure 59. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en silicate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point 2 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 2006-2015

## Silicate

002-P-030 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 3 SRN Boulogne - Surface (0-1m)



002-P-030 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 3 SRN Boulogne - Variation saisonnière 2015 Silicate

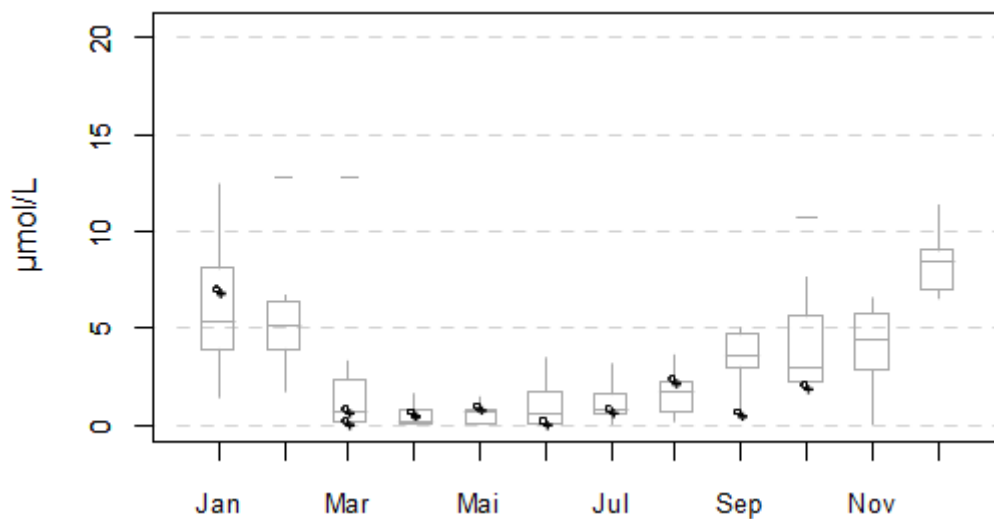


Figure 60. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en silicate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 2006-2015

□ Limitation par les nutriments

Sur la radiale de Boulogne, les limitations sont différentes selon les points :

**Point 1 :**

De septembre à mars, le développement du phytoplancton sur le point côtier est limité par le silicate (Si, P, N) voir le phosphate comme en novembre (P, Si, N). Sur cette période, l'azote est en excès. De mai à juillet, le rapport Si : N augmente tant dis que le N : P diminue. De ce fait, l'azote est globalement limitant pendant ces trois mois.

Des valeurs manquantes en février et en décembre ne nous permettent pas de conclure quant aux types de limitation sur cette période (Annexe 2).

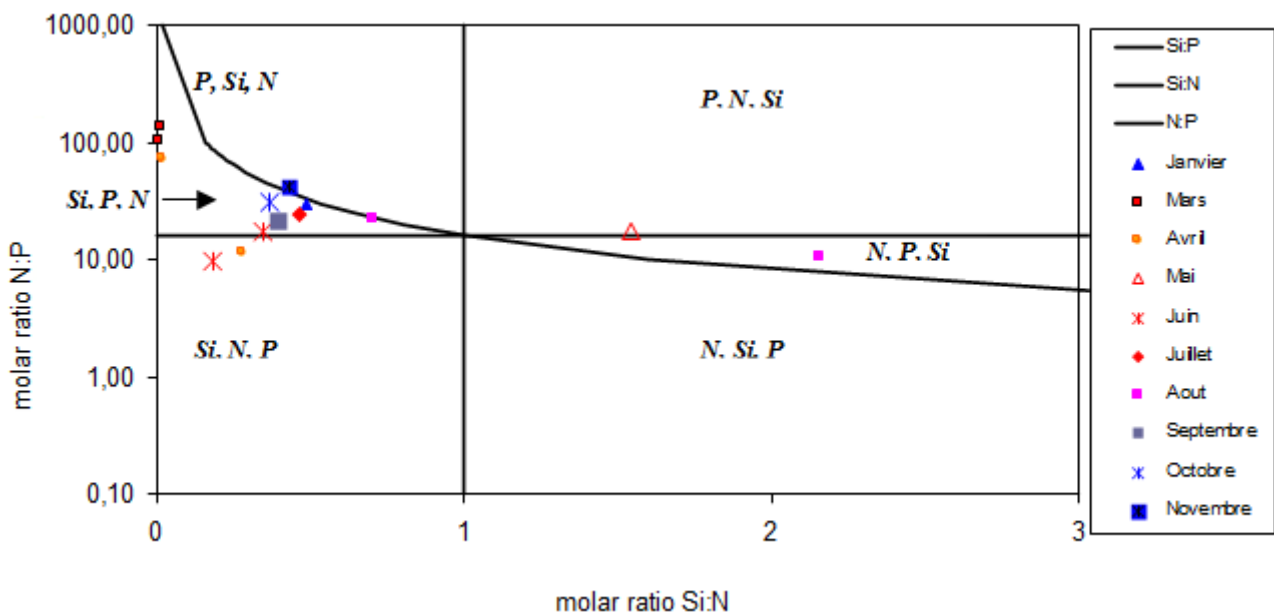


Figure 61. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2015

**Point 2 :**

En 2015, le point 2 se caractérise par un rapport Si : N assez faible car il dépasse rarement 1. Par conséquent, l'azote est en excès et le développement du phytoplancton est limité par le silicate (de janvier à juin et en octobre de type Si, P, N ou Si, N, P).

En août et septembre, le rapport Si : N atteint des valeurs supérieures à 1 (dont la plus élevée en août). Le développement phytoplanctonique est limité par l'azote (en juin de type N, Si, P) (Annexe 2).

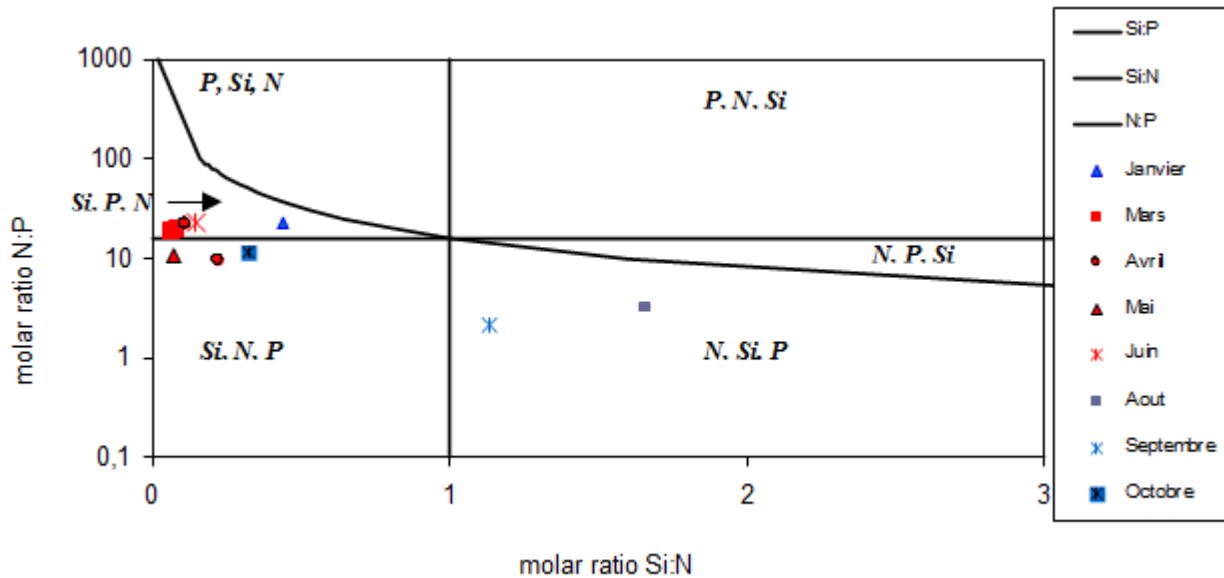


Figure 62. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point 2 de la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2015

### Point 3 :

Pour la station au large de Boulogne, le rapport Si : N ne dépasse que rarement 1. De ce fait, l'azote est en excès et le silicate est l'élément limitant. L'azote est limitant en mai et en août (N, Si, P) (Annexe 2).

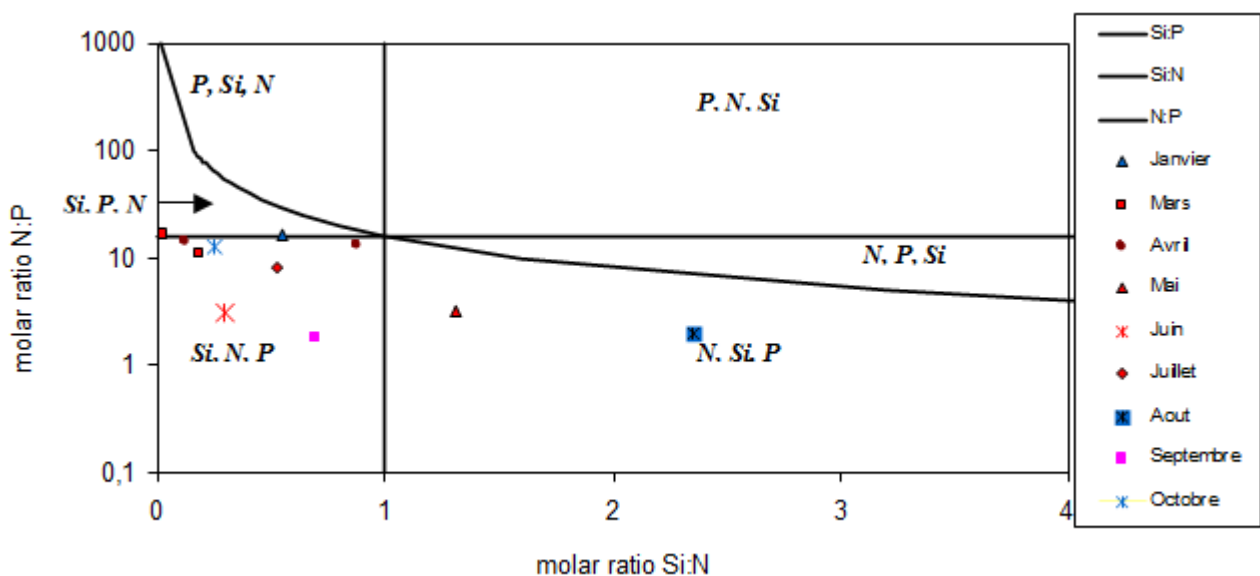


Figure 63. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2015

□ **Chlorophylle a**

La concentration en chlorophylle-*a*, utilisée comme un proxy de la biomasse du phytoplancton présente un cycle saisonnier marqué et une forte variabilité inter-annuelle. L'étendue des valeurs est extrêmement forte (0,21 µg/L au minimum en juin 2007 au point 3 ; 25,84 µg/L au maximum en mai 2008 au point 1) (Tableau 37).

Les concentrations les plus élevées en chlorophylle-*a* sur la radiale de Boulogne-sur-Mer depuis 2006 sont de 25,84 µg/L, 14,21 µg/L, 9,97 µg/L de la côte vers le large, les concentrations sont plus élevées près de la côte. Les valeurs augmentent globalement considérablement en début de saison (mars-avril) pour revenir à de faibles niveaux en toute fin d'année (Tableau 37).

Pour l'année 2015, Les concentrations les plus élevées en chlorophylle-*a* sont légèrement plus faibles que celles relevées depuis 2006 (respectivement : 17,78 µg/L, 15,55 µg/L, 9,45 µg/L) (Tableau 42). Au point 1, des valeurs sont parfois supérieures à la médiane (avril, mai, juin) voire supérieures au 3<sup>ème</sup> quartile (mars, juin, novembre) mais aussi inférieures à la médiane (juin) voire au 1<sup>er</sup> quartile (mars, juillet). Aux points 2 et 3, le même phénomène apparaît, des valeurs sont supérieures à la médiane (juin, avril au point 2 et avril au point 3) voire supérieures au 3<sup>ème</sup> quartile (mars pour les point 2 et 3) mais aussi inférieures à la médiane (septembre, octobre au point 2 et avril, août, octobre au point 3) voire au 1<sup>er</sup> quartile (mars, juillet au point 2 et mars, mai au point 3) (Figures 64 à 66).

Le gradient côte-large est globalement négatif (jusqu'à -11,55 µg/L en mars) indiquant une concentration en chlorophylle-*a* plus forte en zone côtière (Annexe 1).

Tableau 37. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en chlorophylle-*a* (µg/L) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer sur la période 2006-2014

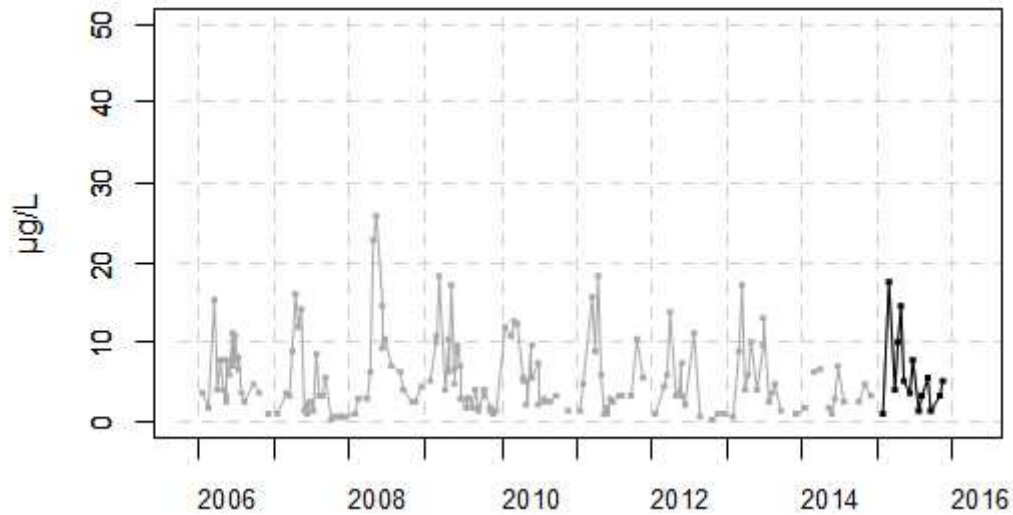
	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BL1</b>	0,22	2,13	3,89	5,55	4,73	7,74	25,84	159
<b>BL2</b>	0,37	1,62	2,66	3,60	3,04	4,52	14,21	124
<b>BL3</b>	0,21	0,98	1,46	2,14	1,96	2,60	9,97	121

Tableau 38. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en chlorophylle-*a* (µg/L) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2015

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BL1</b>	0,92	3,25	4,76	6,07	5,01	7,19	17,78	14
<b>BL2</b>	0,89	1,29	2,49	3,97	4,14	5,32	15,55	12
<b>BL3</b>	0,50	0,70	1,13	2,08	2,52	2,15	9,45	12

## Chlorophylle a

002-P-007 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 1 Boulogne - Surface (0-1m)



002-P-007 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 1 Boulogne - Variation saisonnière 2015 Chloro A

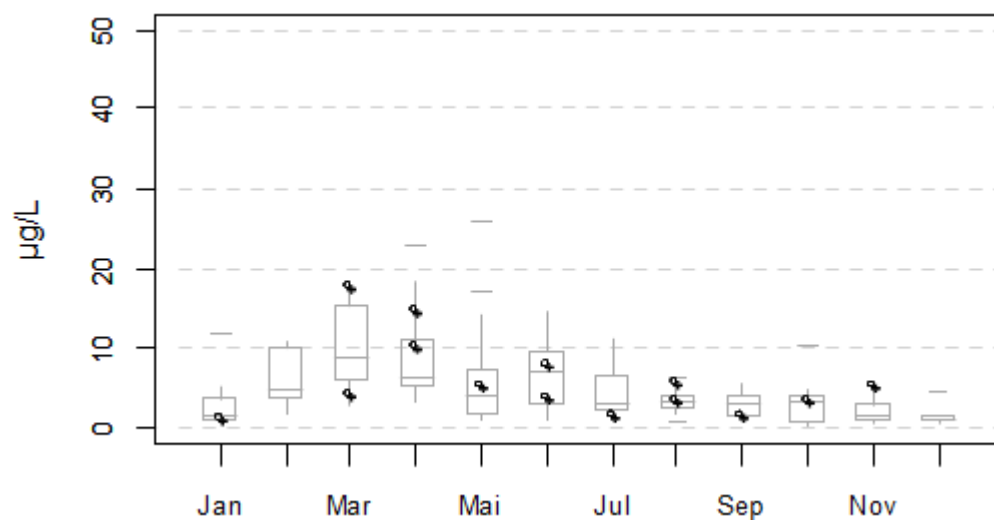
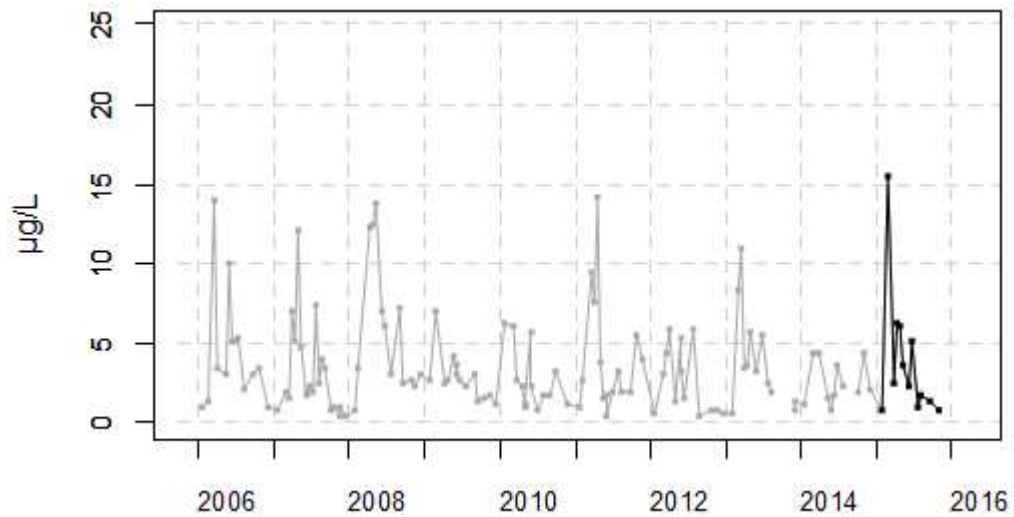


Figure 64. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en chlorophylle-*a* ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) pour le point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 2006-2015



## Chlorophylle a

002-P-029 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 2 SRN Boulogne - Surface (0-1m)



002-P-029 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 2 SRN Boulogne - Variation saisonnière 2015 Chloro A

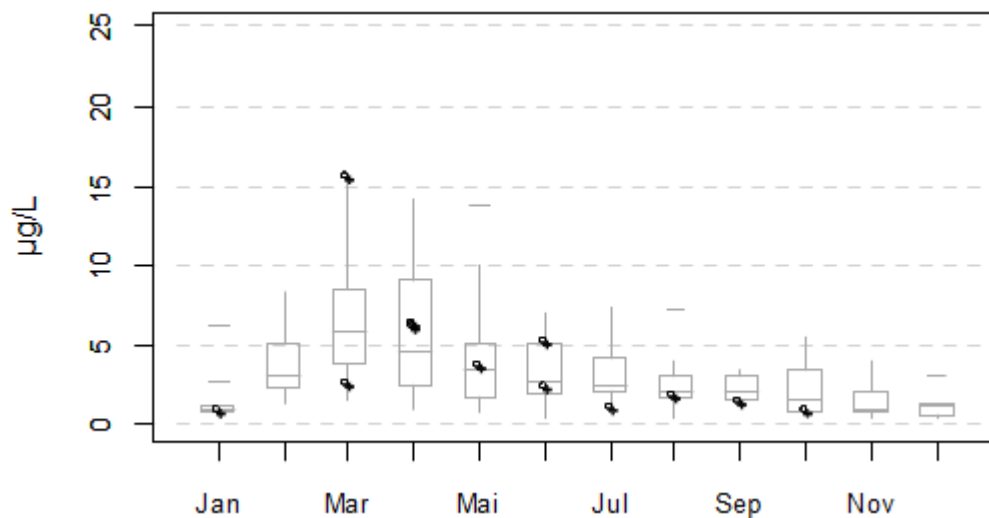
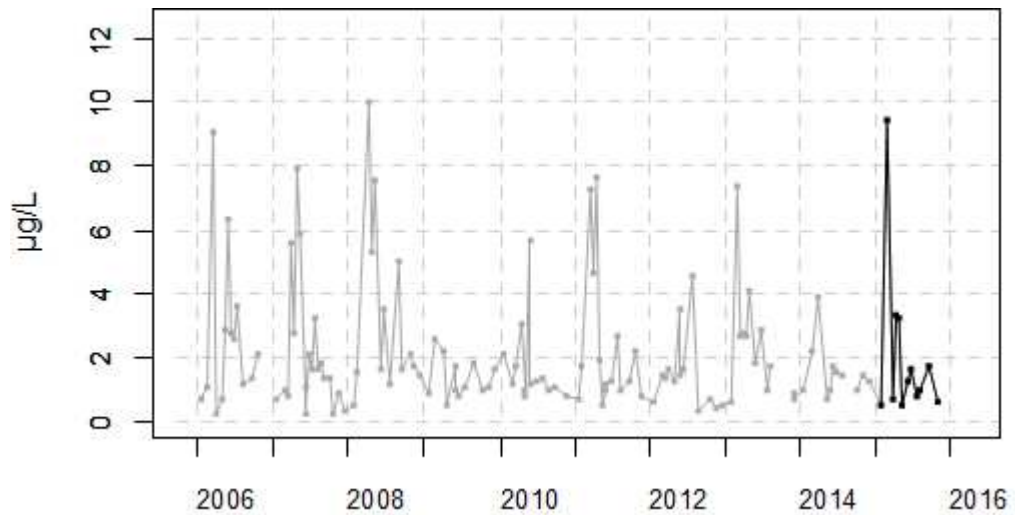


Figure 65. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en chlorophylle-*a* ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) pour le point 2 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 2006-2015

## Chlorophylle a

002-P-030 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 3 SRN Boulogne - Surface (0-1m)



002-P-030 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 3 SRN Boulogne - Variation saisonnière 2015 Chloro A

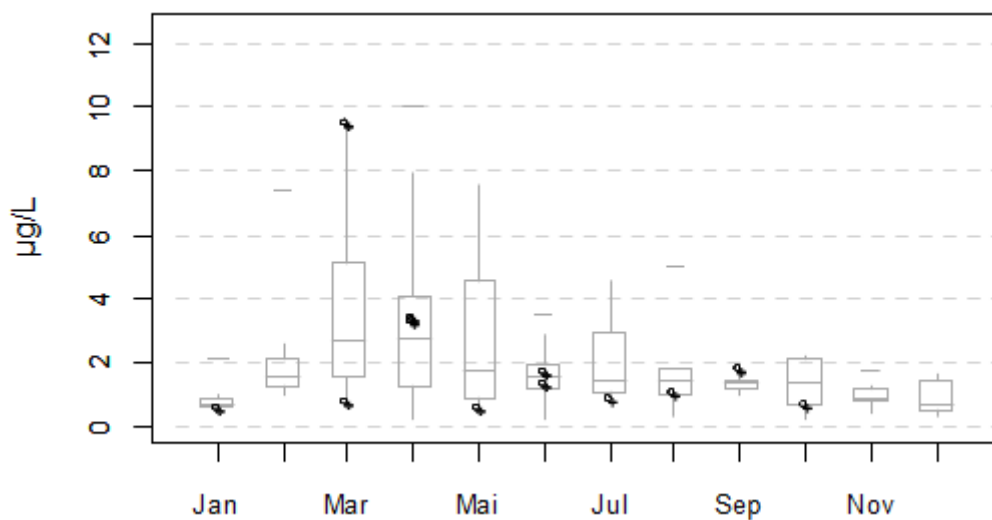


Figure 66. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en chlorophylle-*a* ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) pour le point 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 2006-2015

## 3.1.3. La Baie de Somme

□ Température

Les températures pour la radiale de la Baie de Somme sont en moyenne de 12,69 °C depuis 2006 (Tableau 39). La variabilité est importante d'une année à l'autre. Les valeurs sont généralement comprises entre 5,00 °C et 20,00 °C depuis 2006. Cependant, des valeurs extrêmes sont observées (2,90°C au point Bif en février 2012 ; 20,60 °C au point Mimer en août 2013). Conformément à ce qui est attendu pour un écosystème tempéré, les températures maximales s'observent en été tandis que les plus faibles valeurs sont mesurées en hiver (Figures 67 à 70).

En 2015, les températures sont globalement inférieures à celles mesurées depuis 2006 (en moyenne 12,58 °C pour la radiale). Les valeurs sont comprises entre 6,10 °C et 19,60 °C (Tableau 40).

Au point Bif, des valeurs sont supérieures au 3<sup>ième</sup> quartile (mai, décembre) mais aussi inférieures à la médiane (octobre) voire au 1<sup>er</sup> quartile (septembre). Aux points Mimer, Atso et Mer 2, le même phénomène apparaît, des valeurs sont supérieures à la médiane (mai aux points Mimer, Atso et Mer 2 et en mars en Mer 2) voire supérieures au 3<sup>ième</sup> quartile (décembre pour les points 2 et 3) mais aussi inférieures à la médiane (octobre aux points 2 et 3) voire au 1<sup>er</sup> quartile (juin, septembre aux points Mimer, Atso et Mer 2) (Figures 67 à 70).

Il existe un faible gradient de température entre la côte et le large (d'Atso à Mer 2). Ce gradient est de l'ordre de -0,7 °C à 0,5 °C (Annexe 1).

Tableau 39. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la température (°C) pour la radiale de la Baie de Somme sur la période 2006-2014

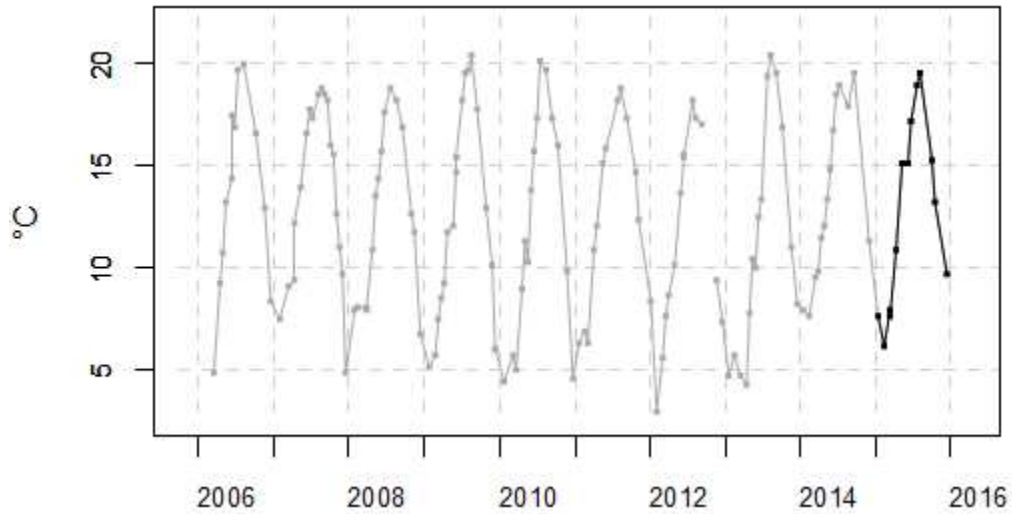
	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BIF</b>	2,90	8,31	12,40	12,54	4,83	17,10	20,40	144
<b>MIMER</b>	3,60	8,40	12,50	12,65	4,76	17,10	20,60	129
<b>ATSO</b>	3,90	8,90	13,00	12,78	4,67	17,20	20,50	137
<b>MER 2</b>	3,80	9,20	12,80	12,81	4,50	17,30	20,30	116

Tableau 40. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la température (°C) pour la radiale de la Baie de Somme en 2015

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BIF</b>	6,10	8,00	13,30	12,67	4,61	15,30	19,60	13
<b>MIMER</b>	6,10	7,90	13,40	12,60	4,52	15,70	19,50	13
<b>ATSO</b>	6,30	8,30	13,70	12,59	4,29	15,80	19,20	13
<b>MER 2</b>	7,60	8,10	13,90	12,48	4,22	15,70	18,90	13

## Température

007-P-008 Baie de Somme / Bif - Surface (0-1m)



007-P-008 Baie de Somme / Bif - Variation saisonnière 2015 Température

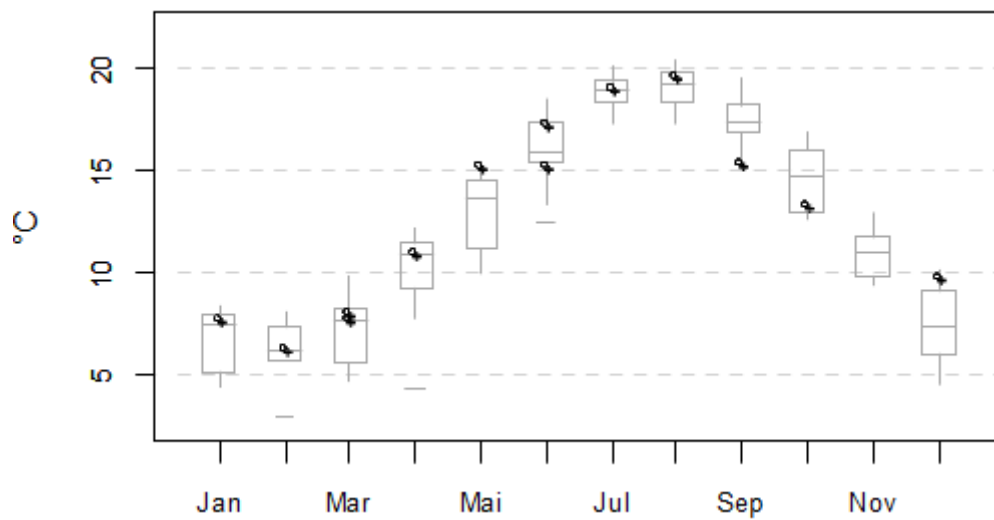
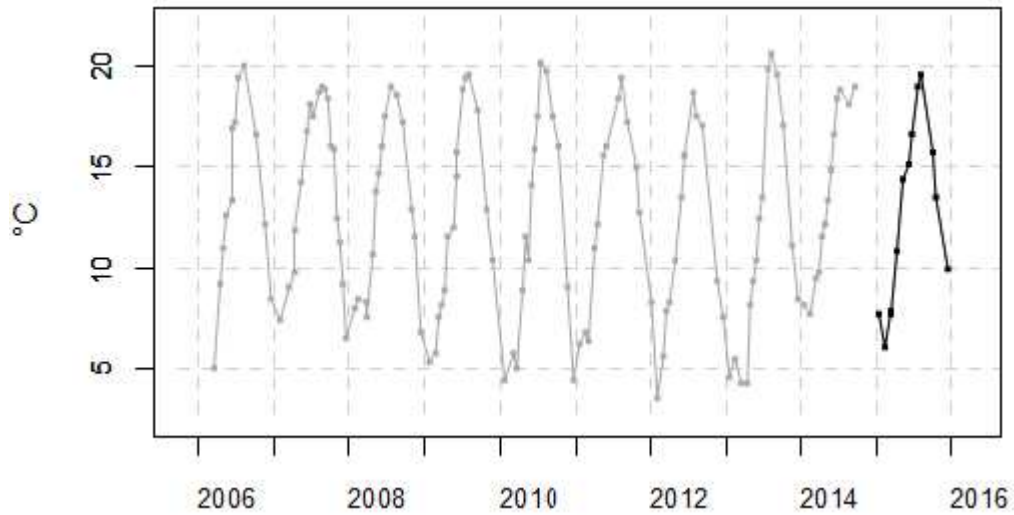


Figure 67. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la température (°C) pour le point Bif de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

## Température

006-P-008 Baie de Somme - large / Mimer - Surface (0-1m)



006-P-008 Baie de Somme - large / Mimer - Variation saisonnière 2015 Température

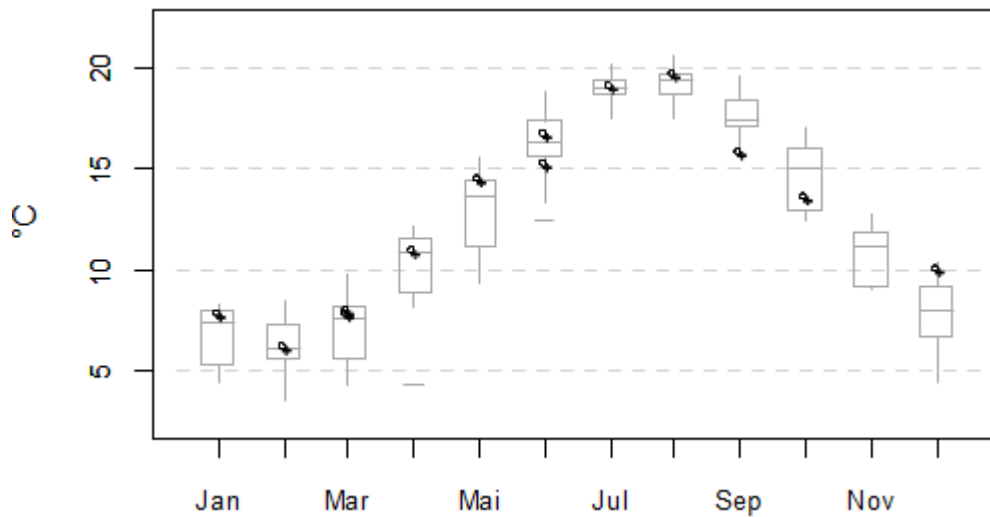
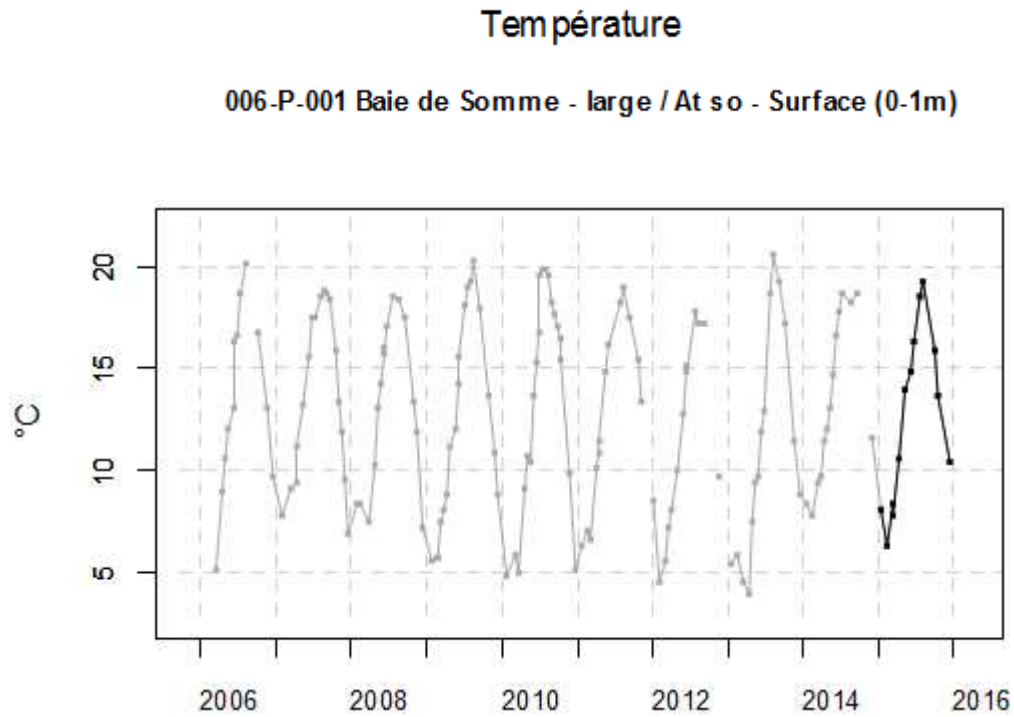


Figure 68. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la température (°C) pour le point Mimer de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015



**006-P-001 Baie de Somme - large / At so - Variation saisonnière 2015 Température**

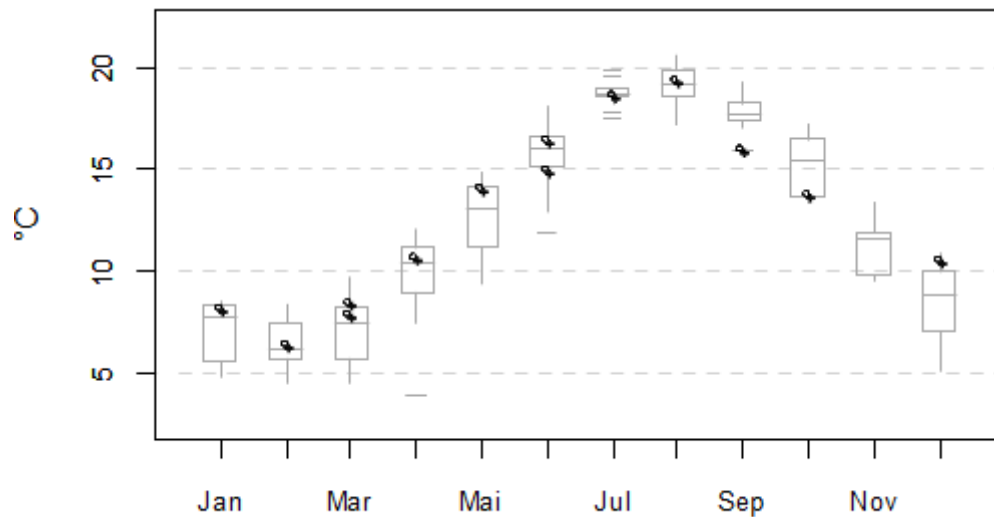
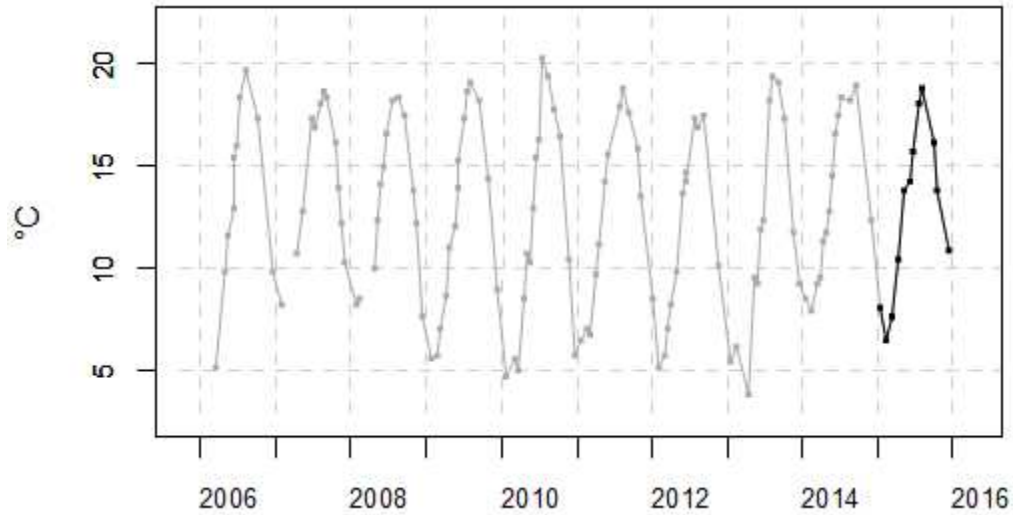


Figure 69. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la température (°C) pour le point Atso de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

## Température

006-P-007 Baie de Somme - large / SRN Somme mer 2 - Surface (0-1m)



006-P-007 Baie de Somme - large / SRN Somme mer 2 - Variation saisonnière 2015 Température

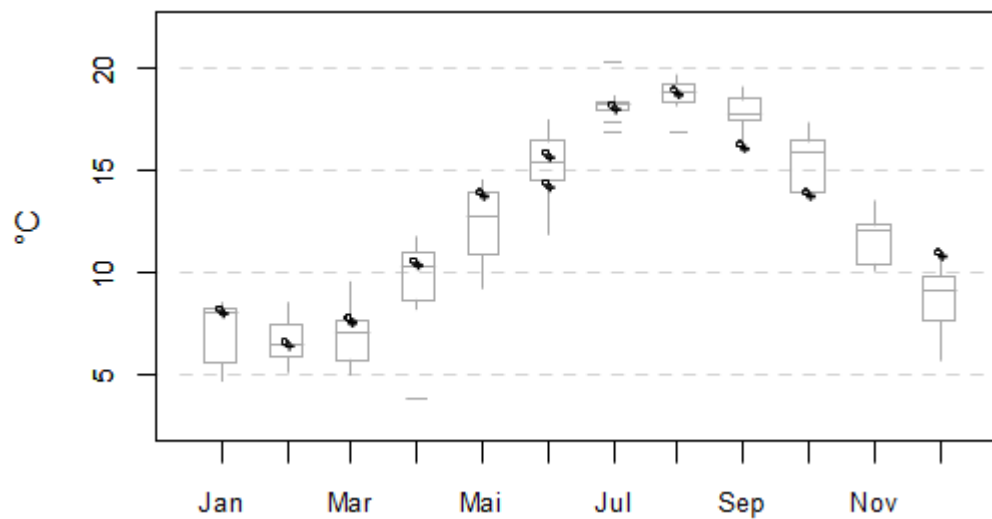


Figure 70. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la température (°C) pour le point Mer 2 de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

□ **Salinité**

La salinité est en moyenne de 33,13 P.S.U. sur la radiale depuis 2006. L'étendue est assez importante puisque les valeurs sont comprises entre 17,70 P.S.U. (septembre 2014) et 35,80 P.S.U. (mai 2007) (Tableau 41). Il faut noter que cette gamme de variation de la salinité mesurée est artificiellement faible pour un système estuarien en raison des contraintes de prélèvement (PM  $\pm$  2h). La salinité ne présente pas de cycle saisonnier marqué (Figures 71 à 74).

Les valeurs sont très légèrement plus élevées pour les points au large (33,94 ; 33,43 ; 32,76 ; 32,40 du large vers la côte) (Figures 71 à 74). Une valeur exceptionnellement basse est mesurée en septembre 2014 avec 17,70 P.S.U. La salinité minimale est en septembre 2014 (17,70 P.S.U.) (Tableau 41).

En 2015, la dynamique de la salinité est comparable à celle de la période 2006-2014 (33,00 P.S.U. en moyenne pour la radiale). Les valeurs sont comprises entre 31,60 P.S.U. et 34,30 P.S.U. (Tableau 42). Aux points Bif et Mimer, des valeurs sont supérieures à la médiane (juillet aux points Bif et Mimer, décembre au point Bif) mais aussi inférieures à la médiane (mars au point Bif et avril pour Mimer) voire au 1<sup>er</sup> quartile (mai, juin, septembre pour Bif). Aux points Atso et Mer 2, le même phénomène apparaît, des valeurs sont supérieures à la médiane (mai au point Atso, février au point Mer 2 et décembre pour les deux points) voire supérieures au 3<sup>ème</sup> quartile (juillet au point Mer 2) mais aussi inférieures à la médiane (avril, juin pour les deux points, septembre au point Atso et janvier, mars, août au point Mer 2) voire au 1<sup>er</sup> quartile (mars pour Atso et octobre Mer 2). (Figures 71 à 74).

Un gradient de salinité s'établit de la côte vers le large entre les points Atso et Mer 2. Il est positif toute l'année et est faible (1,6 au maximum en mars) (Annexe 1).

Tableau 41. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la salinité (P.S.U.) pour la radiale de la Baie de Somme sur la période 2006-2014

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BIF</b>	17,70	31,90	32,70	32,40	1,64	33,30	34,60	145
<b>MIMER</b>	30,40	32,30	33,80	32,76	0,75	33,30	34,60	132
<b>ATSO</b>	31,30	32,90	33,50	33,43	0,72	34,00	35,00	140
<b>MER 2</b>	31,80	33,40	34,05	33,94	0,72	34,40	35,80	118



Tableau 42. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la salinité (P.S.U.) pour la radiale de la Baie de Somme en 2015

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BIF</b>	31,60	31,90	32,30	32,28	0,49	32,70	33,10	13
<b>MIMER</b>	32,20	32,30	32,80	32,72	0,40	33,00	33,30	13
<b>ATSO</b>	31,70	33,00	33,40	33,25	0,58	33,70	33,80	13
<b>MER 2</b>	33,00	33,40	33,90	33,75	0,43	34,10	34,30	13

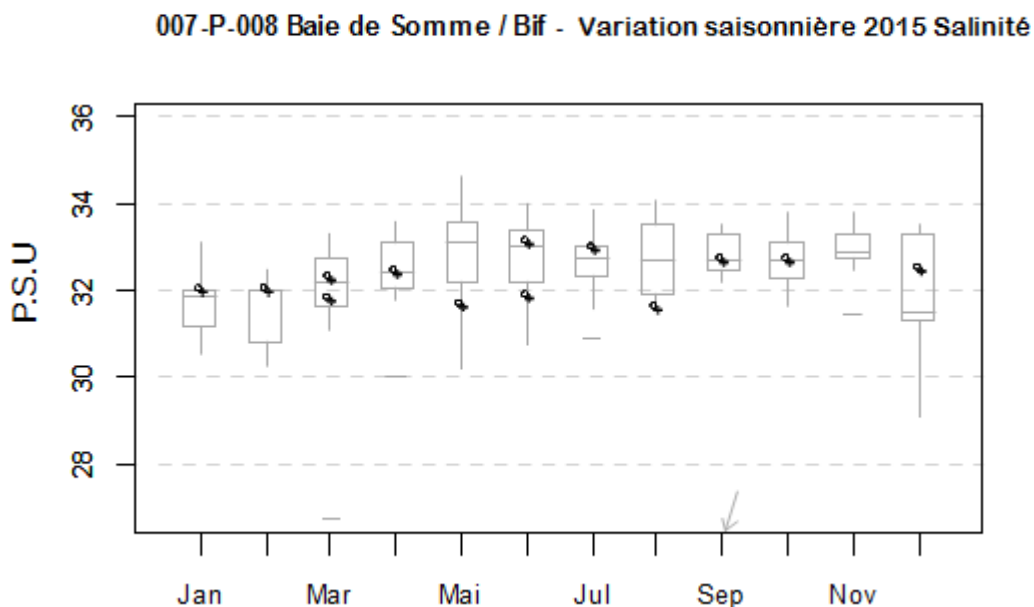
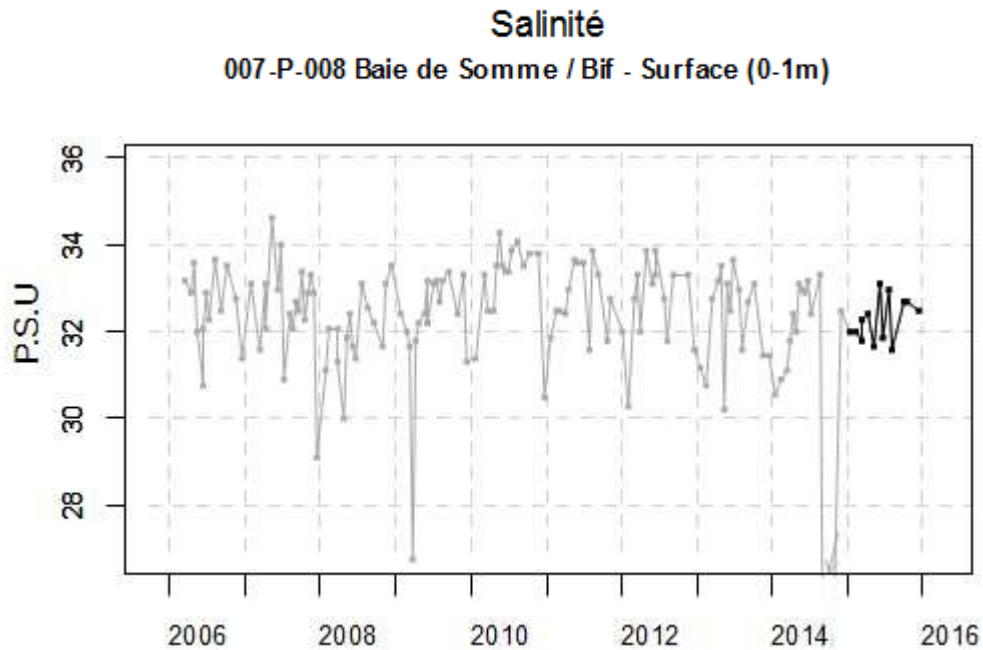


Figure 71. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la salinité (P.S.U.) pour le point Bif de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

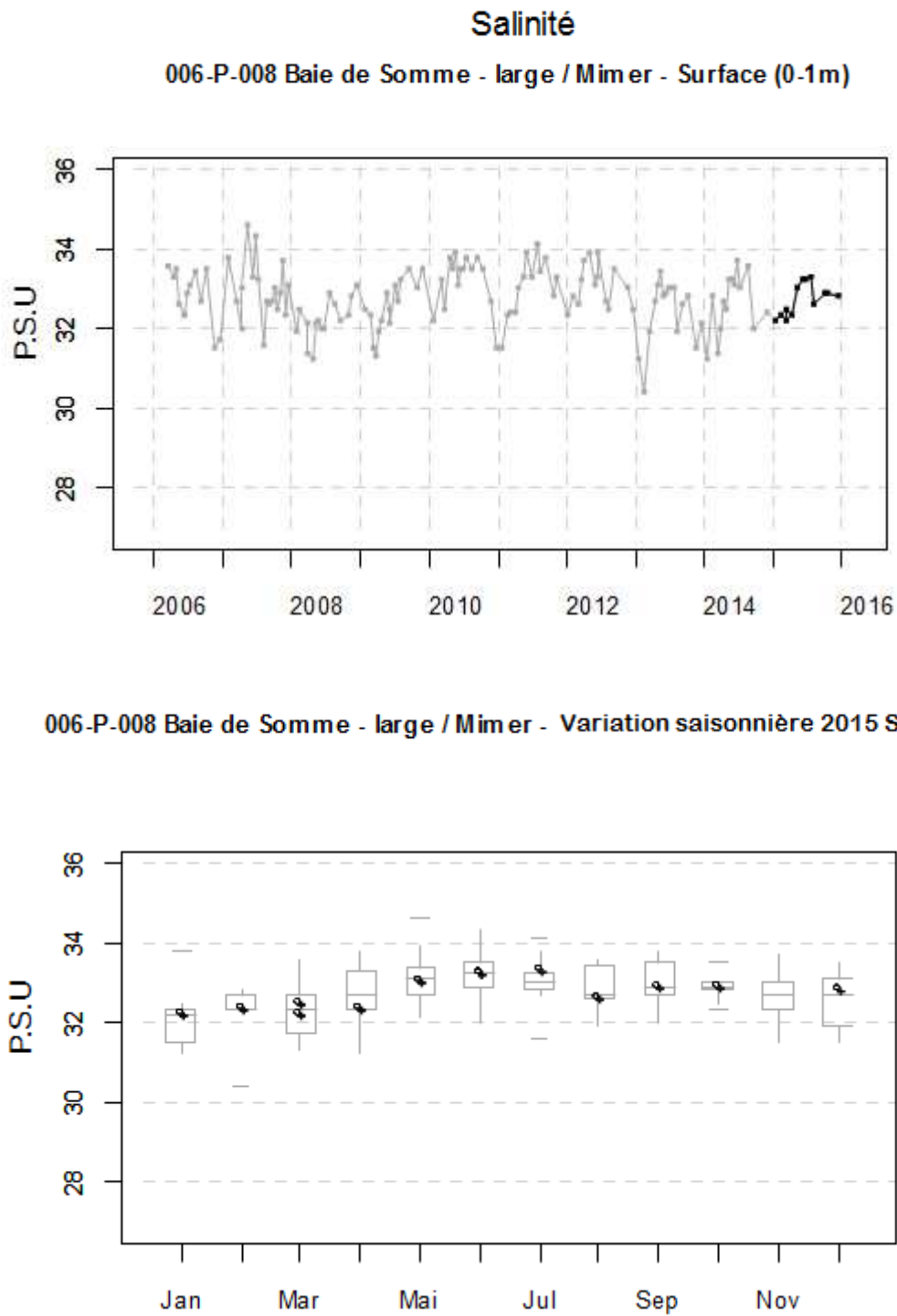
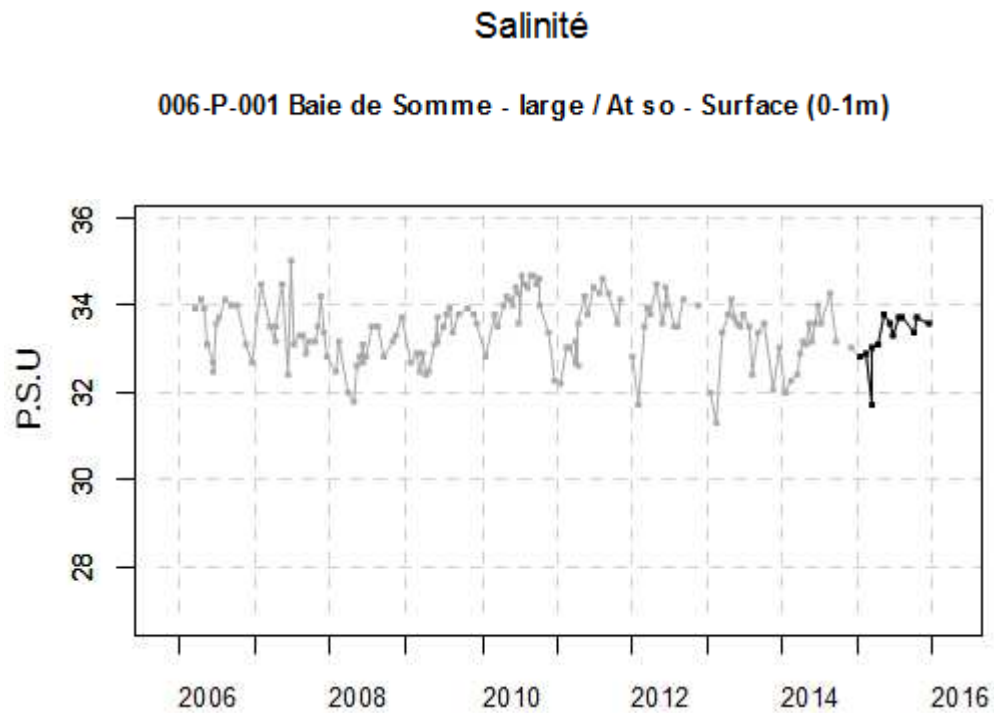


Figure 72. . Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la salinité (P.S.U) pour le point Mimer de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015



**006-P-001 Baie de Somme - large / At so - Variation saisonnière 2015 Salinité**

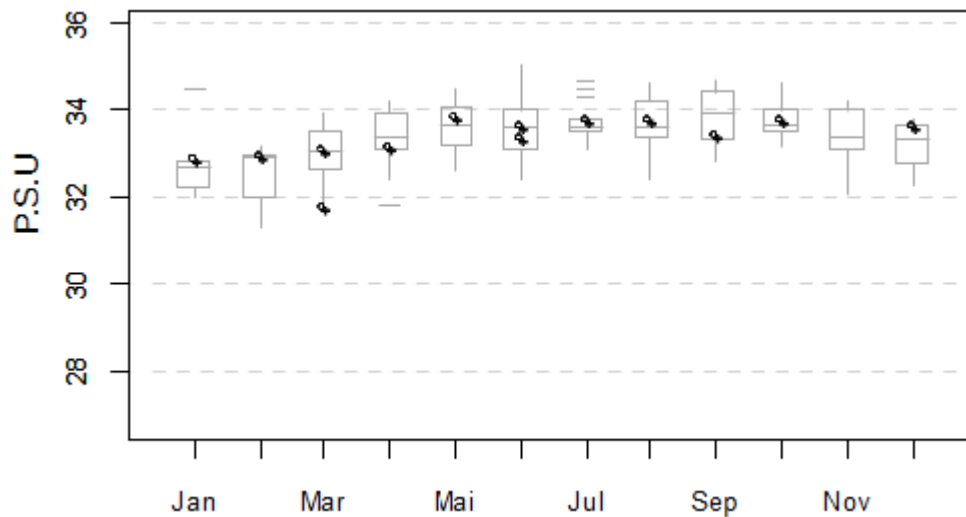
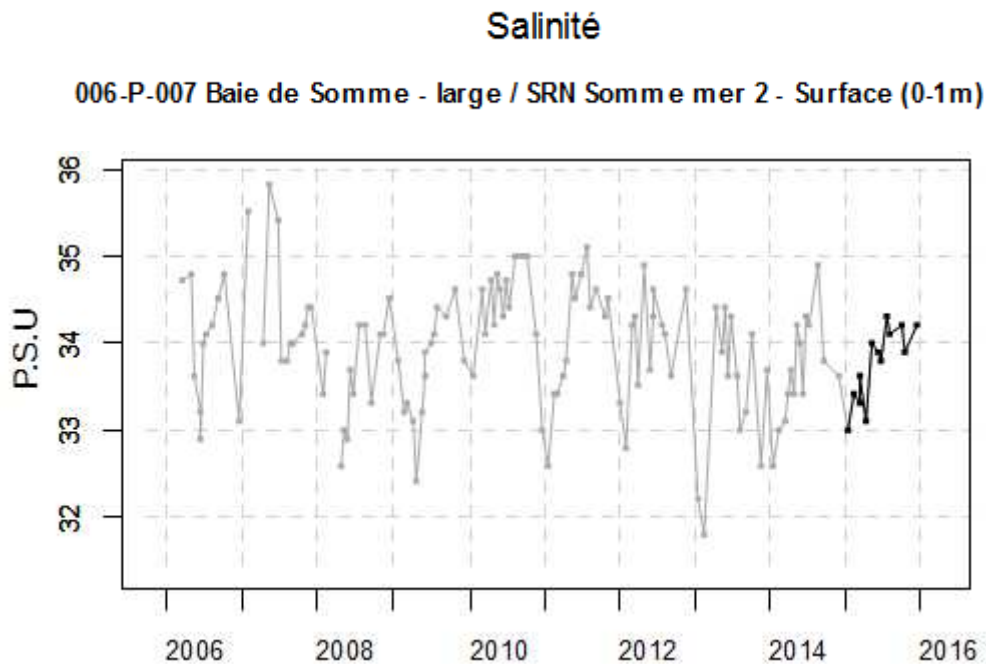


Figure 73. . Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la salinité (P.S.U) pour le point Atso de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015



006-P-007 Baie de Somme - large / SRN Somme mer 2 - Variation saisonnière 2015 Salinité

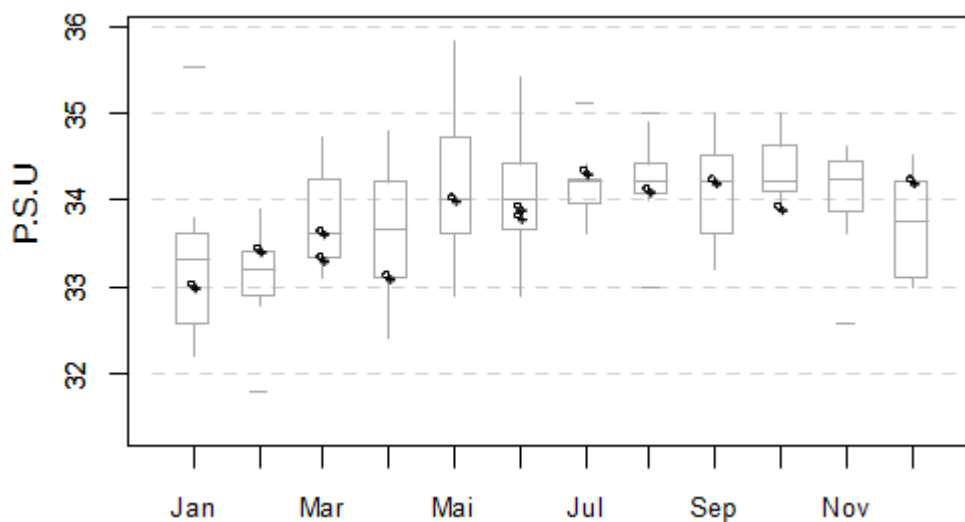


Figure 74. . Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la salinité (P.S.U) pour le point Mer 2 de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

□ **Turbidité et matières en suspension**

La dynamique de la turbidité est très différente en fonction des stations de la radiale. La turbidité est importante pour les points proches de la côte et elle est nettement plus faible pour ceux

au large. En effet, la moyenne des valeurs depuis 2006-2014 pour les points les plus proches de la côte, Bif et Mimer est de 19,84 N.T.U. contre 4,18 N.T.U. pour les deux autres stations (Tableau 43).

La variabilité des valeurs est très grande. Les minima pour les quatre stations sont inférieurs à 1,32 N.T.U. (jusqu'à 0,23 N.T.U. en mai 2012 à la station Mer 2). Les valeurs les plus fortes sont obtenues en décembre 2012 et 2013, et en février 2014 pour le point Bif ; en mars 2009, décembre 2012 et 2013 pour le point Mimer ; en janvier 2007, en novembre puis décembre 2010 ; en mars 2012 pour le point Atso ; en janvier 2015 pour le point Mer 2 (Figures 75 à 78).

En 2015, la dynamique de la turbidité est classique. La moyenne pour les points Bif et Mimer est de 17,19 N.T.U. et celle pour les deux autres points est de 4,18 N.T.U. (Tableau 44).

La variabilité pour les deux stations Bif et Mimer est importante. (par exemple : station Bif : 54,2 N.T.U. en janvier puis 16,6 N.T.U. en février). La variabilité saisonnière est moindre pour les trois points les plus au large, les valeurs ne dépassent pas 15,40 N.T.U.

Cette année est marquée par le fait que la valeur de la turbidité à la station Mer 2 a atteint le maximum depuis 2006 avec 9,30 N.T.U. en janvier (Tableau 44).

Aux points Bif et Mimer, des valeurs sont supérieures à la médiane (juillet, décembre pour les deux points, mai, septembre au point Bif et janvier au point Mimer) voire au 3<sup>ième</sup> quartile (janvier, juin pour le point Bif) mais aussi inférieures à la médiane (février, mars, octobre pour le point Bif) voire au 1<sup>er</sup> quartile (mars pour les deux points et janvier, février, octobre pour le point Mimer). Aux points Atso et Mer 2, le même phénomène apparaît, des valeurs sont supérieures à la médiane (juin, juillet, septembre pour les deux points, octobre au point Atso et mai au point Mer 2) voire supérieures au 3<sup>ième</sup> quartile (janvier, mars, juillet au point Mer 2) mais aussi inférieures à la médiane (février, mars, avril, août pour le point Atso et mars, juin, décembre pour le point Mer 2) voire inférieures au 1<sup>er</sup> quartile (octobre pour les deux points et mars et août pour le point Mer 2. (Figures 75 à 78).

Le gradient côte-large qui s'établit entre la station côtière Atso et la station du large Mer 2 est assez variable et compris entre -13,04 et -0,8 N.T.U. La turbidité au point Atso est toujours supérieure à celle au large en 2015 (Annexe 1).

Tableau 43. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la turbidité (N.T.U.) pour la radiale de la Baie de Somme sur la période 2006-2014

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BIF</b>	0,93	6,21	11,95	18,68	20,68	23,00	139,00	132
<b>MIMER</b>	1,32	7,26	11,95	21,01	23,12	24,40	121,00	132
<b>ATSO</b>	0,51	2,81	4,40	6,19	5,07	7,68	28,00	122
<b>MER 2</b>	0,23	1,15	1,68	2,18	1,52	2,86	7,25	118

Tableau 44. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la turbidité (N.T.U.) pour la radiale de la Baie de Somme en 2015

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BIF</b>	5,77	10,10	18,90	20,18	12,92	22,30	54,20	13
<b>MIMER</b>	2,53	7,12	10,70	14,20	11,88	13,20	41,20	13
<b>ATSO</b>	1,89	2,78	4,60	5,80	3,93	8,50	15,40	13
<b>MER 2</b>	0,92	1,40	1,90	2,56	2,27	2,58	9,30	13

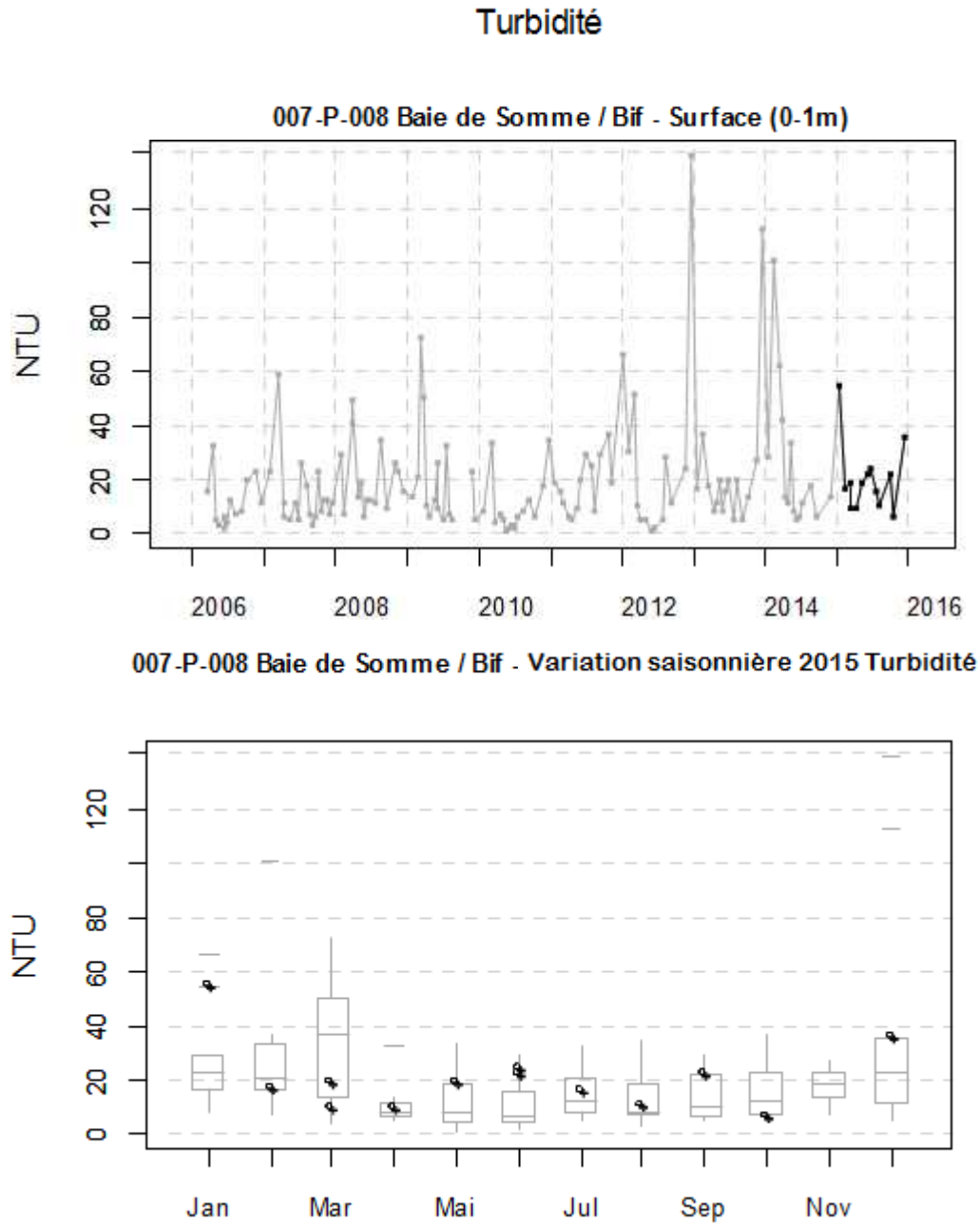


Figure 75. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la turbidité (N.T.U) pour le point Bif de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

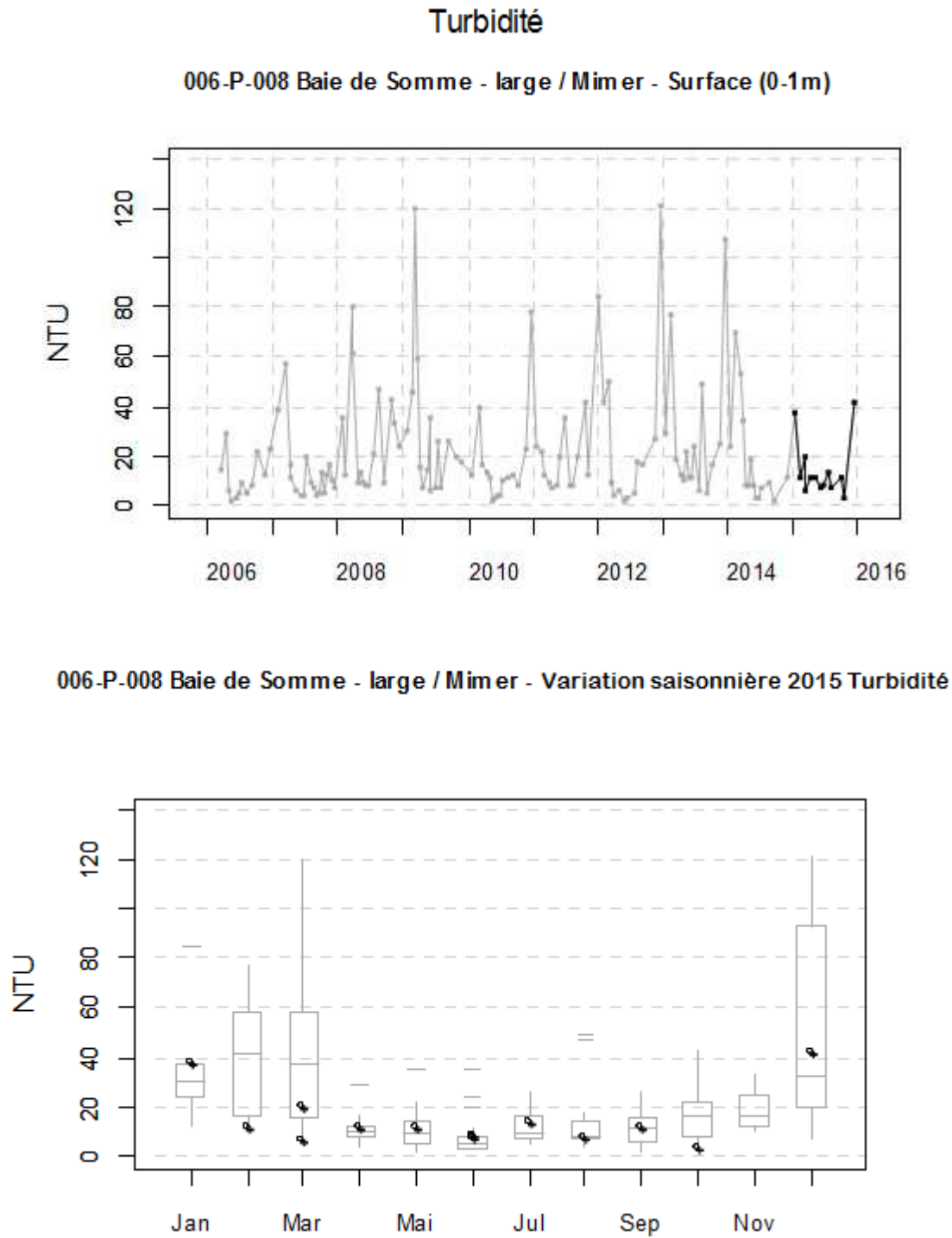
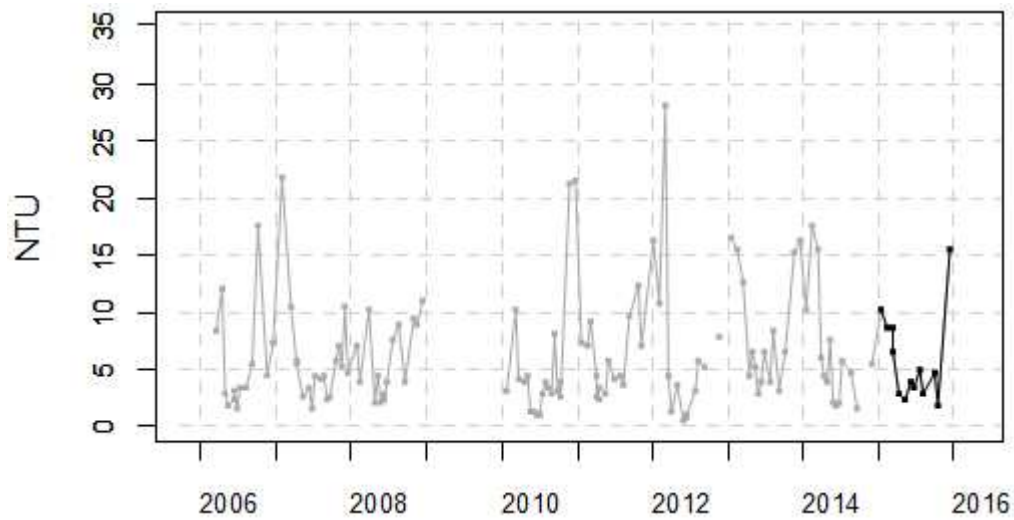


Figure 76. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la turbidité (N.T.U) pour le point Mimer de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015



## Turbidité

006-P-001 Baie de Somme - large / At so - Surface (0-1m)



006-P-001 Baie de Somme - large / At so - Variation saisonnière 2015 Turbidité

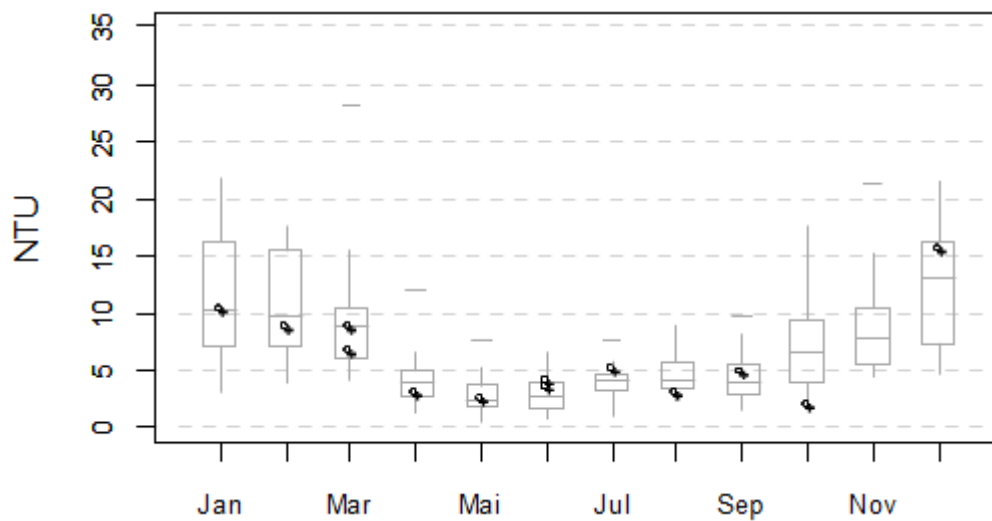
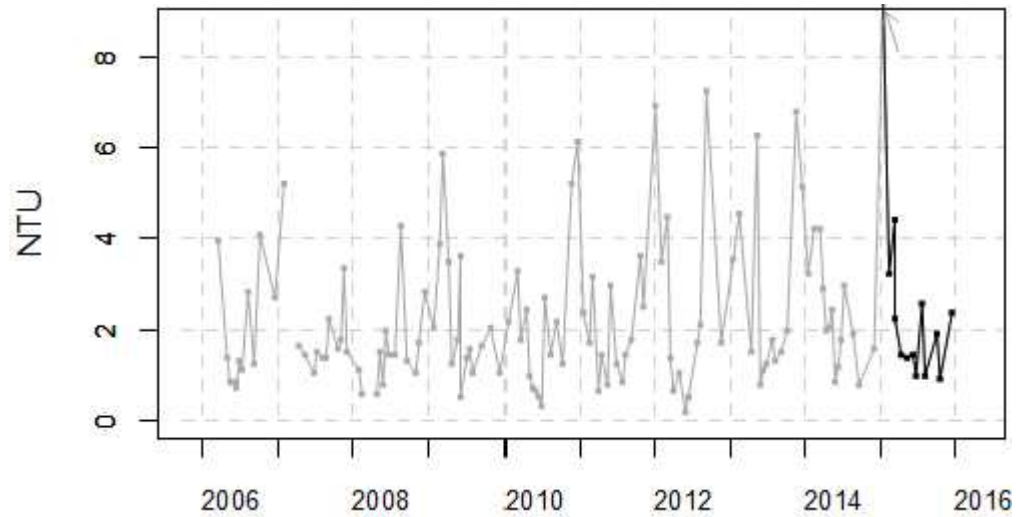


Figure 77. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la turbidité (N.T.U) pour le point Atso de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

## Turbidité

006-P-007 Baie de Somme - large / SRN Somme mer 2 - Surface (0-1m)



006-P-007 Baie de Somme - large / SRN Somme mer 2 - Variation saisonnière 2015 Turbidité

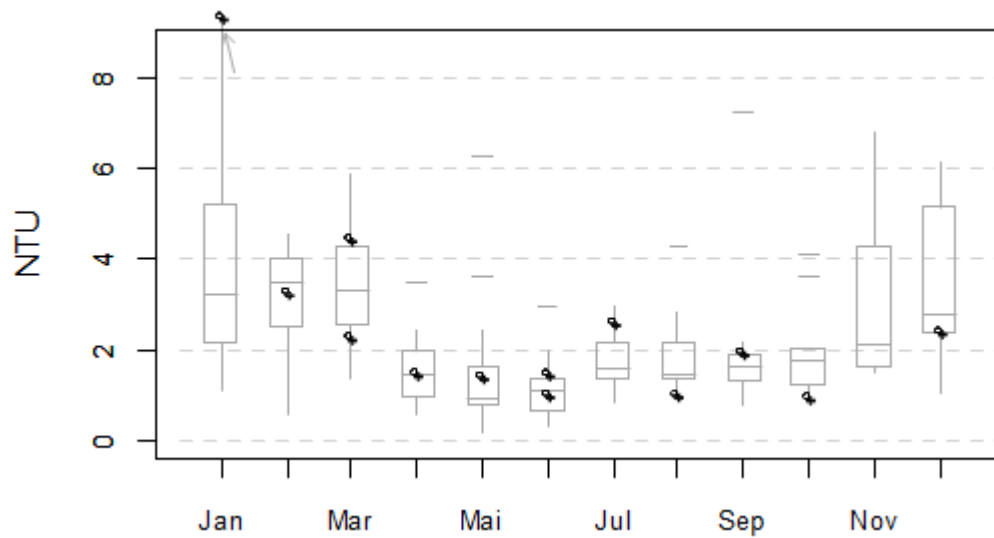


Figure 78. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la turbidité (N.T.U) pour le point Mer 2 de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

Les M.E.S. sont soumises à une variabilité importante. Depuis 2006, les valeurs varient entre 0,40 mg/L au point Mer 2 (en juin 2010 et en mai 2012) et 239,20 mg/L (en décembre 2012 pour les points Bif et Mimer) (Tableau 45).

Les concentrations sont globalement plus élevées pour les points étant proches de la côte (entre 36,10 mg/L et 8,70 mg/L de la côte vers le large en moyenne pour la période 2006-2015) (Tableau 45).

Au point Bif, une période se démarque. En effet, une variabilité plus importante s'observe de la fin d'année 2012 à 2014. (Figure 79).

Les valeurs les plus fortes sont obtenues en décembre 2012, en avril 2013 et en février puis avril 2014 pour le point Bif ; en mars 2008, en décembre 2012 et en avril 2014 pour le point Mimer ; en mars 2013, en février puis avril 2014 pour le point Atso ; en avril 2014 pour le point Mer 2 (Figures 79 à 82).

En 2015, les concentrations sont plus faibles en moyenne (entre 30,75 mg/L et 5,14 mg/L de la côte vers le large) (Tableau 46).

Les concentrations maximales en 2015 sont de 72,40 mg/L pour Bif ; en janvier et de 56,50 mg/L pour Mimer en décembre. Les minima sont atteints en mai pour Atso avec 2,40 mg/L ; Mer 2 avec 1,60 mg/L ; en octobre pour Bif avec 10,80 mg/L ; Mimer avec 7,40 mg/L (Tableau 46).

A l'instar de la turbidité, les concentrations en M.E.S. sont très distinctes pour les points côtiers (Bif et Mimer) et pour ceux au large (Atso et Mer 2). Pour les deux premiers points, les valeurs sont élevées en début et en fin d'année où se situent les maxima, particulièrement en janvier (72,40 mg/L pour Bif) et en décembre (56,50 mg/L pour Mimer).

Pour les deux autres points, les concentrations n'augmentent qu'une seule fois en décembre pour Atso et en janvier pour Mer 2. Le reste de l'année, les valeurs sont faibles.

Aux points Bif et Mimer, des valeurs sont supérieures à la médiane (décembre pour les deux points, juin, septembre au point Bif et janvier au point Mimer) voire au 3<sup>ième</sup> quartile (janvier pour le point Bif) mais aussi inférieures à la médiane (février, mars, octobre pour le point Bif et mai pour le point Mimer) voire au 1<sup>er</sup> quartile (mars, février, octobre pour le point Mimer). Aux points Atso et Mer 2, le même phénomène apparaît, des valeurs sont supérieures à la médiane (juin, décembre pour les deux points, juin et septembre au point Atso) mais aussi inférieures à la médiane (février, mars, juillet, avril, août pour le point Atso et mars, mai, octobre pour le point Mer 2) voire inférieures au 1<sup>er</sup> quartile (mars, mai et octobre pour le point Mer 2) (Figures 79 à 82).

Le gradient côte-large est essentiellement négatif et varie de 0,6 mg/L à -11,55 mg/L (Annexe 1).

Tableau 45. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les MES (mg/L)  
pour la radiale de la Baie de Somme sur la période 2006-2014

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BIF</b>	3,50	14,00	25,60	36,10	36,47	39,60	239,20	133
<b>MIMER</b>	3,60	13,17	24,70	37,55	38,25	45,45	239,20	132
<b>ATSO</b>	0,90	5,10	9,95	14,70	17,74	17,82	167,00	138
<b>MER 2</b>	0,40	2,62	4,00	8,70	13,10	9,17	101,30	118

Tableau 46. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les MES (mg/L)  
pour la radiale de la Baie de Somme en 2015

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BIF</b>	10,80	18,70	26,80	30,75	16,37	37,00	72,40	13
<b>MIMER</b>	7,40	13,80	16,90	21,46	14,41	23,20	56,50	13
<b>ATSO</b>	2,40	2,40	8,00	9,37	5,58	13,00	19,00	13
<b>MER 2</b>	1,60	2,80	4,10	5,14	2,80	7,50	9,90	13

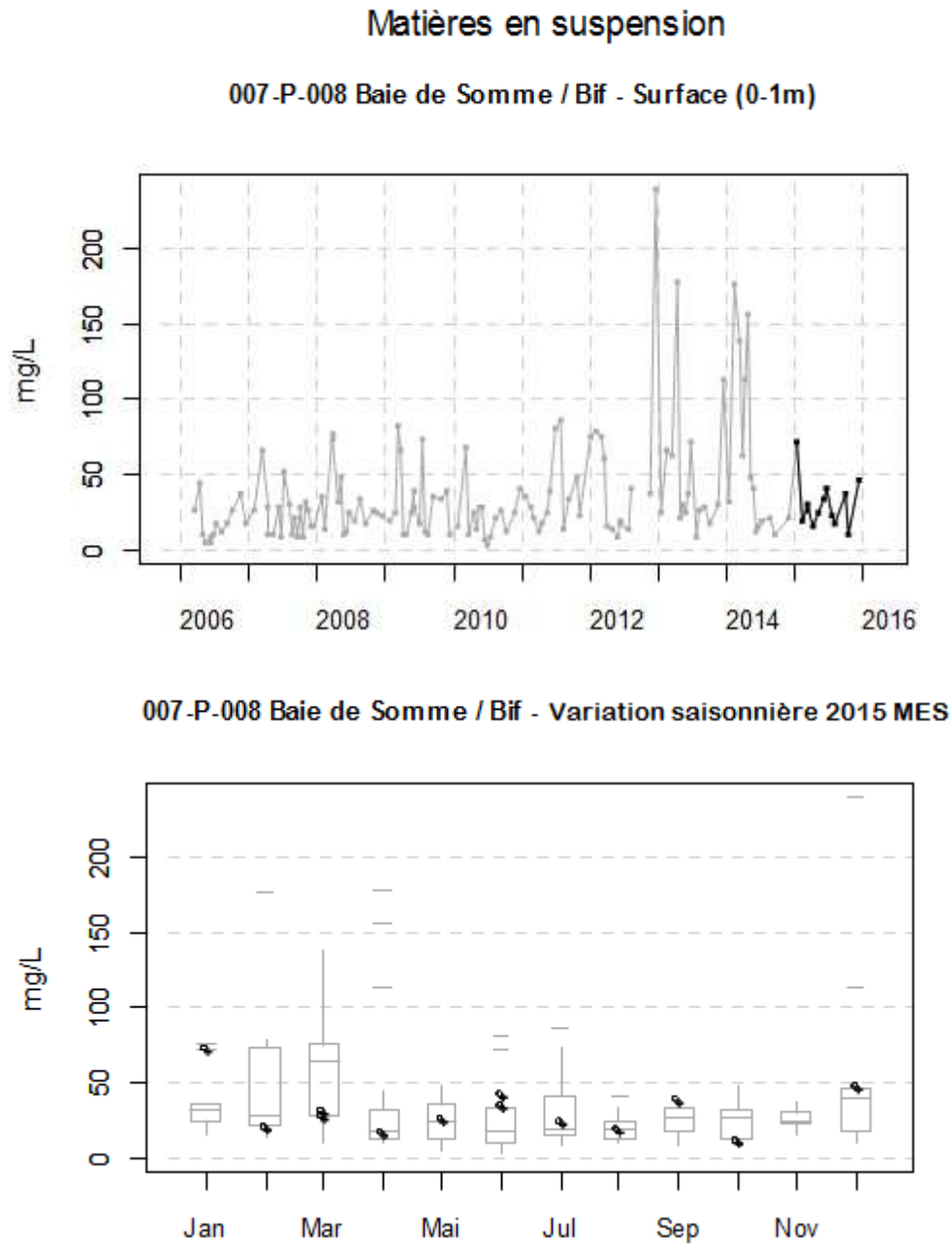
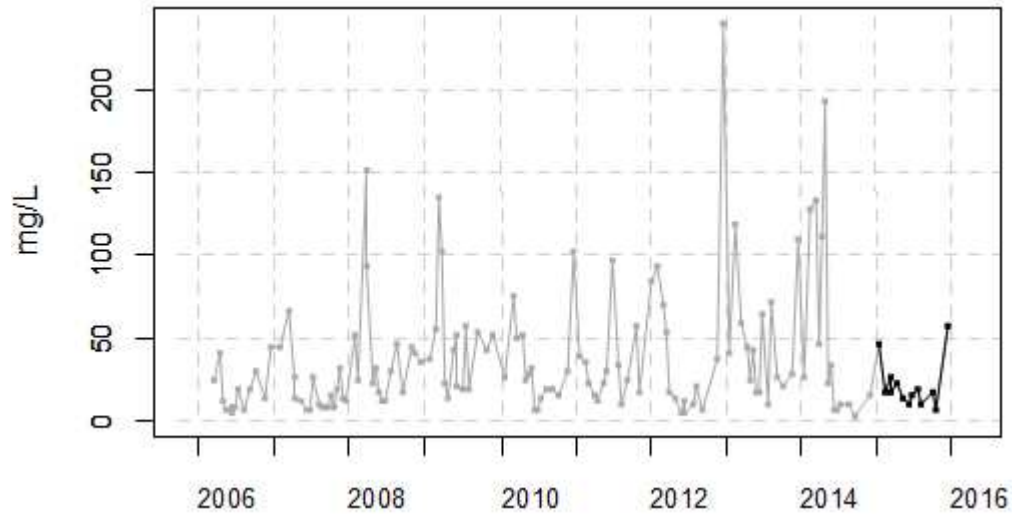


Figure 79. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la turbidité (N.T.U) pour le point Bif de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

## Matières en suspension

006-P-008 Baie de Somme - large / Mimer - Surface (0-1m)



006-P-008 Baie de Somme - large / Mimer - Variation saisonnière 2015 MES

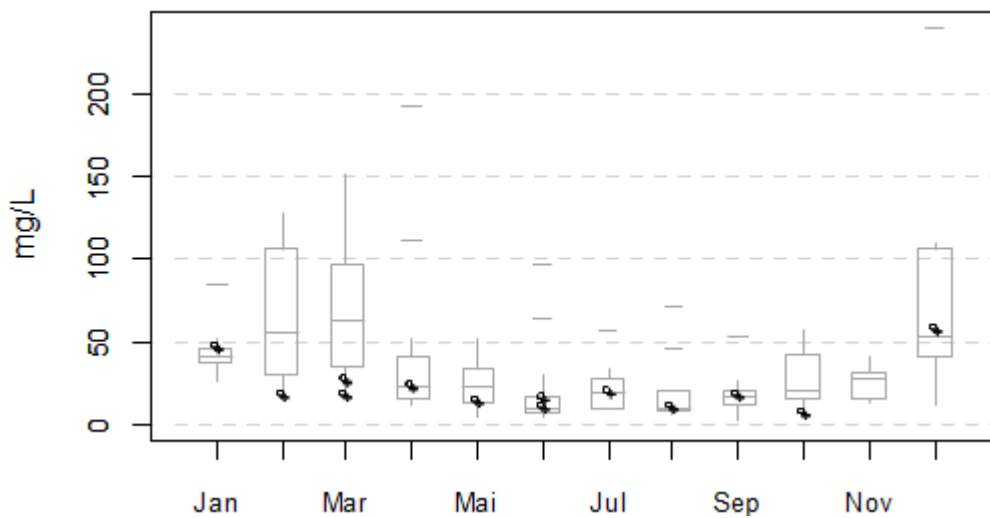
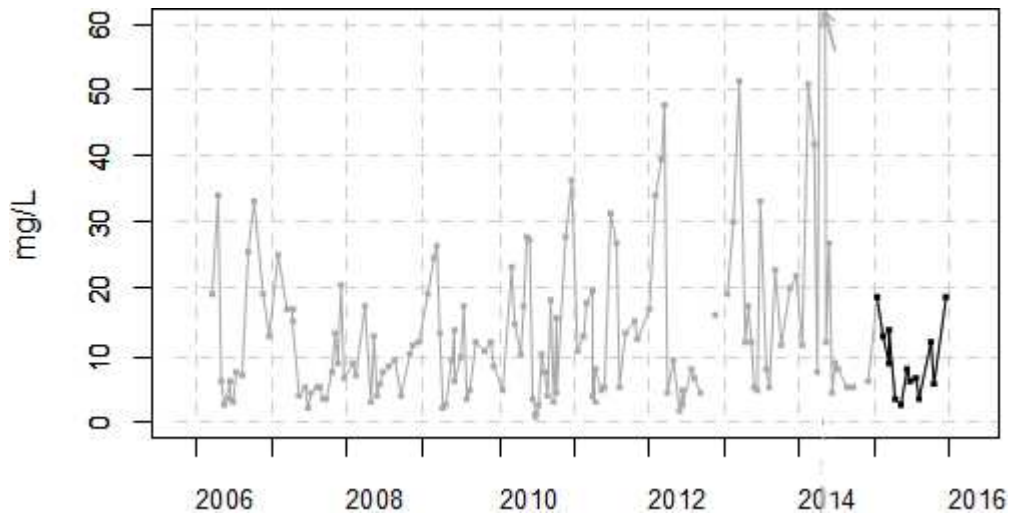


Figure 80. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la turbidité (N.T.U) pour le point Mimer de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

## Matières en suspension

006-P-001 Baie de Somme - large / At so - Surface (0-1m)



006-P-001 Baie de Somme - large / At so - Variation saisonnière 2015 MES

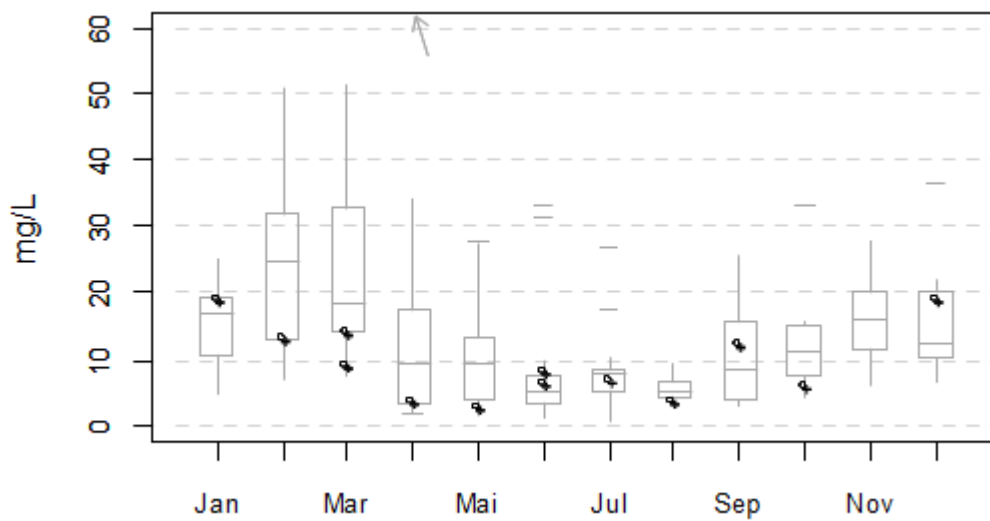
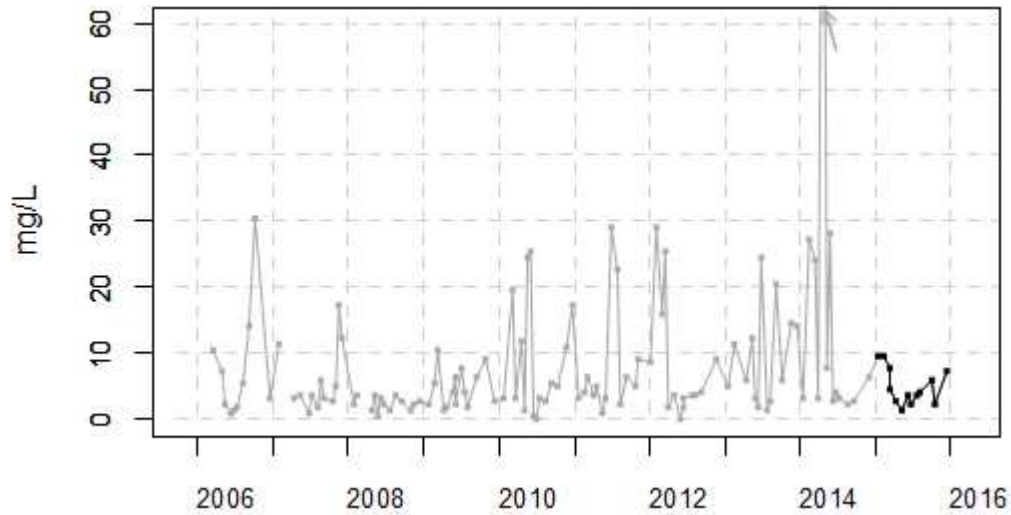


Figure 81. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la turbidité (N.T.U) pour le point Atso de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

## Matières en suspension

006-P-007 Baie de Somme - large / SRN Somme mer 2 - Surface (0-1m)



006-P-007 Baie de Somme - large / SRN Somme mer 2 - Variation saisonnière 2015 MES

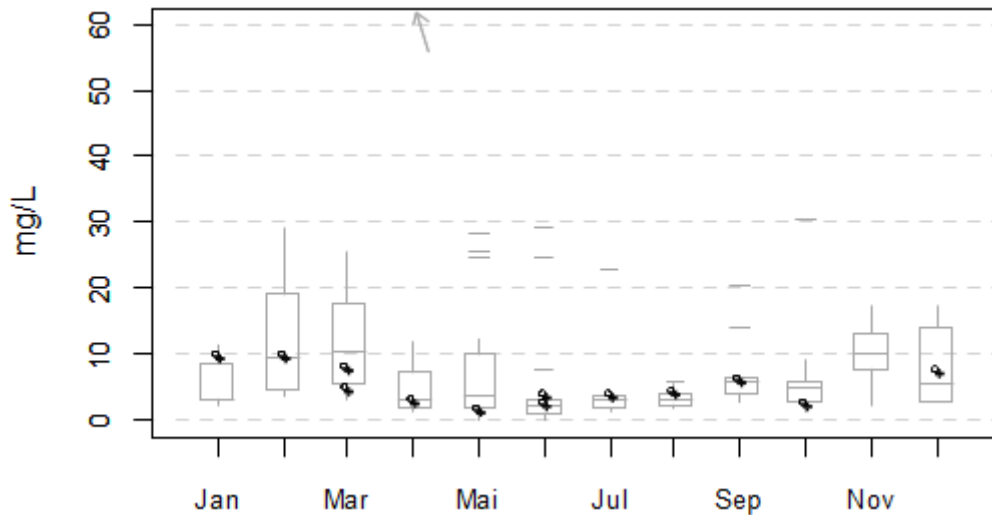


Figure 82. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) pour la turbidité (N.T.U) pour le point Mer 2 de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015



□ **Matière organique**

Le pourcentage de la fraction organique contenue dans les matières en suspension montre une variabilité importante sur l'ensemble des points. La fluctuation sur les points au large (Mer 2 et Atso) est importante. La proportion en matière organique y varie entre 9,0 % et 50,00 %. Quant aux points côtiers (Bif et Mimer), la part de matière organique est plus faible, de 3,70 % à 34,90 %.

Les turbidités étant plus importantes au niveau de la côte, il apparaît normal que les points côtiers présentent moins de matière organique que les points du large qui présentent un potentiel productif plus important. Les valeurs les plus fortes apparaissent au printemps et en été (de mai à août) au moment où les conditions lumineuses sont favorables à la production de la matière organique liée au développement du phytoplancton. Les pics les plus importants sont enregistrés le 17 juin (50,00 %) et le 11 août (48,80 %) au point Mer 2.

Le gradient côte-large varie entre -2,7 et 1,00 mg/L.

□ **Ammonium**

Sur la période 2006-2014, la concentration en ammonium sur la radiale de la Baie de Somme est relativement faible (1,35  $\mu\text{mol/L}$  en moyenne) (Tableau 47). Les concentrations sont comprises entre 0,10 et 10,42  $\mu\text{mol/L}$ . Les valeurs les plus fortes sont mesurées en octobre, septembre et décembre 2010 et en octobre 2009 et 2013 pour le point Bif ; en août 2008, en octobre 2007 et 2013 et novembre 2006 et 2011 pour le point Mimer ; en décembre 2007 et en juin 2011 pour le point Atso ; en juin 2011 et en juillet 2013 pour le point Mer 2. Les minima correspondent au seuil de détection. (Figures 83 à 86).

La dynamique saisonnière est marquée par des valeurs plus fortes en automne/hiver et des faibles valeurs le reste de l'année (Figures 83 à 86). Comme pour les nitrates, cette dynamique est conforme avec une utilisation des nutriments par le phytoplancton pendant la période productive.

Pour l'année 2015, la dynamique saisonnière est semblable à celle de 2006-2014 malgré des concentrations plus faibles (0,65  $\mu\text{mol/L}$  en moyenne pour la radiale).

De plus, les valeurs maximales pour les points sont nettement inférieures à celles de la période 2006-2014 (au maximum 2,72  $\mu\text{mol/L}$  au point Mimer en décembre) (Tableau 48).

En 2015, les minima s'observent au printemps et en été et sont de 0,15  $\mu\text{mol/L}$  pour tous les points (Tableau 48).

Aux points Bif et Mimer, des valeurs sont supérieures à la médiane (septembre au point Bif et mars au point Mimer) mais aussi inférieures à la médiane (mars, juin et septembre pour le point Bif et avril, août et décembre pour le point Mimer) voire au 1<sup>er</sup> quartile (janvier, février, mars et octobre pour les deux points, décembre pour le point Bif et septembre pour le point Mimer). Aux points Atso et Mer 2, le même phénomène apparaît, des valeurs sont supérieures à la médiane (mai, juillet et septembre au point Atso) voire au 3<sup>ième</sup> quartile (août et octobre pour le point Mer 2) mais aussi inférieures à la médiane (février et décembre pour les deux points, octobre pour le point Atso et avril, mai, juin pour le point Mer 2) voire inférieures au 1<sup>er</sup> quartile (janvier pour le point Atso) (Figures 83 à 86).

Le gradient côte-large est faible et généralement négatif sauf en août avec 0,16 mg/L. La concentration en ammonium est donc légèrement plus élevée en zone côtière (Annexe 1).

Tableau 47. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en ammonium ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour la radiale de la Baie de Somme sur la période 2006-2014

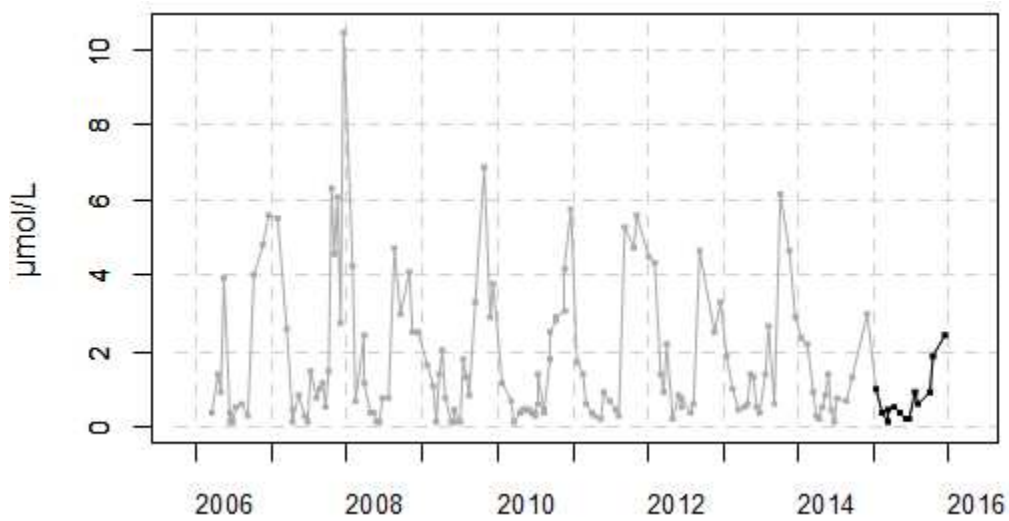
	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BIF</b>	0,15	0,44	0,93	1,78	1,85	2,64	10,42	140
<b>MIMER</b>	0,15	0,43	0,95	1,73	1,77	2,48	6,89	132
<b>ATSO</b>	0,10	0,37	0,73	1,32	1,41	1,57	6,16	138
<b>MER 2</b>	0,15	0,15	0,35	0,58	0,66	0,64	3,57	118

Tableau 48. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en ammonium ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour la radiale de la Baie de Somme en 2015

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BIF</b>	0,15	0,36	0,52	0,78	0,69	0,94	2,46	13
<b>MIMER</b>	0,15	0,18	0,29	0,63	0,80	0,71	2,72	13
<b>ATSO</b>	0,15	0,30	0,46	0,83	0,80	0,96	2,68	13
<b>MER 2</b>	0,15	0,15	0,21	0,36	0,40	0,30	1,57	13

## Ammonium

007-P-008 Baie de Somme / Bif - Surface (0-1m)



007-P-008 Baie de Somme / Bif - Variation saisonnière 2015 Ammonium

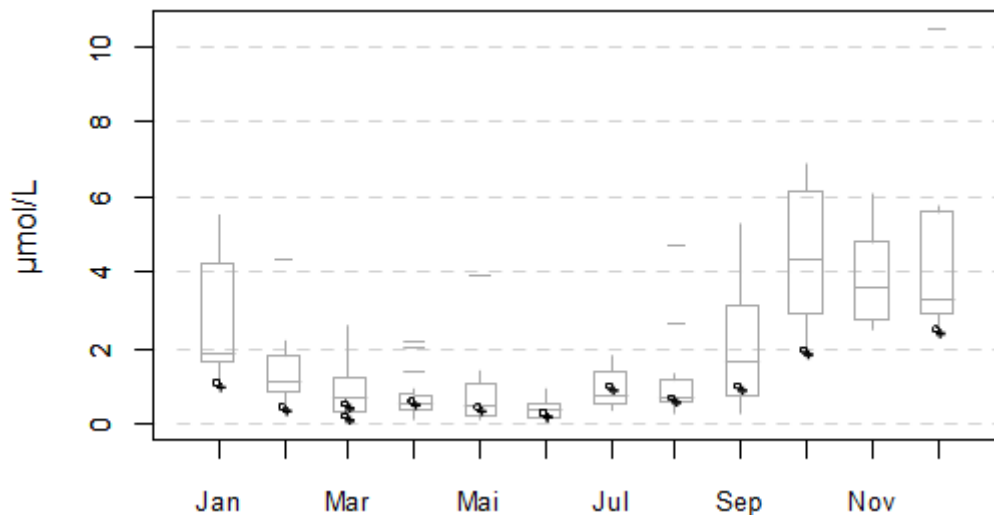
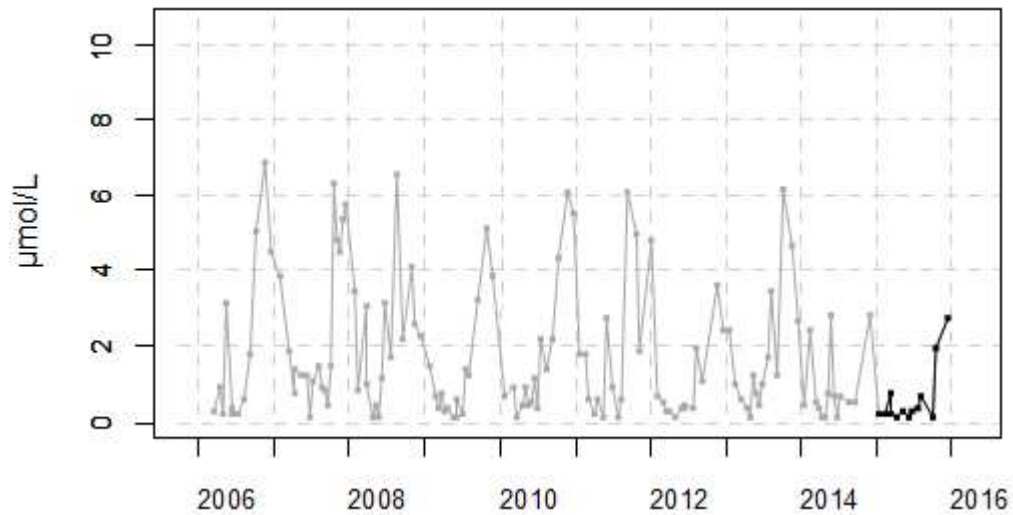


Figure 83. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en ammonium ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point Bif de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

## Ammonium

006-P-008 Baie de Somme - large / Mimer - Surface (0-1m)



006-P-008 Baie de Somme - large / Mimer - Variation saisonnière 2015 Ammonium

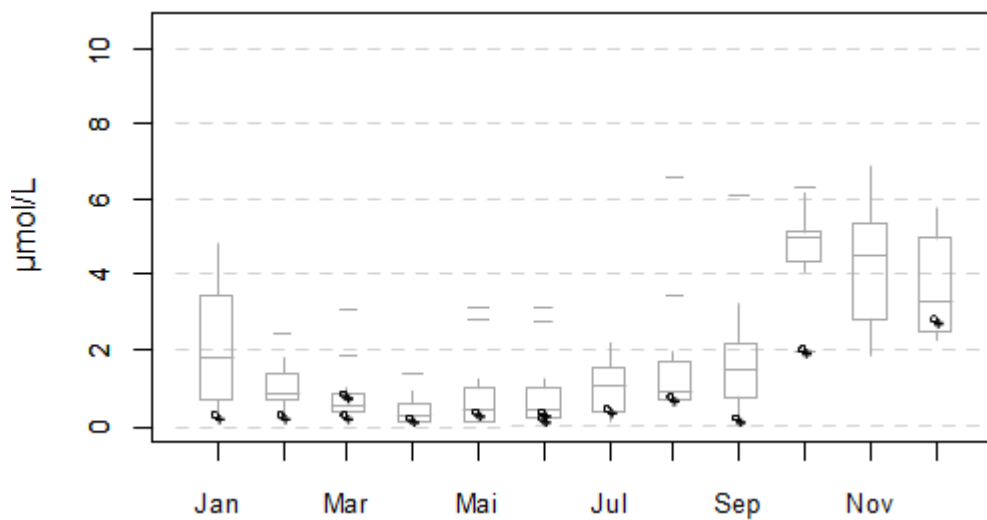
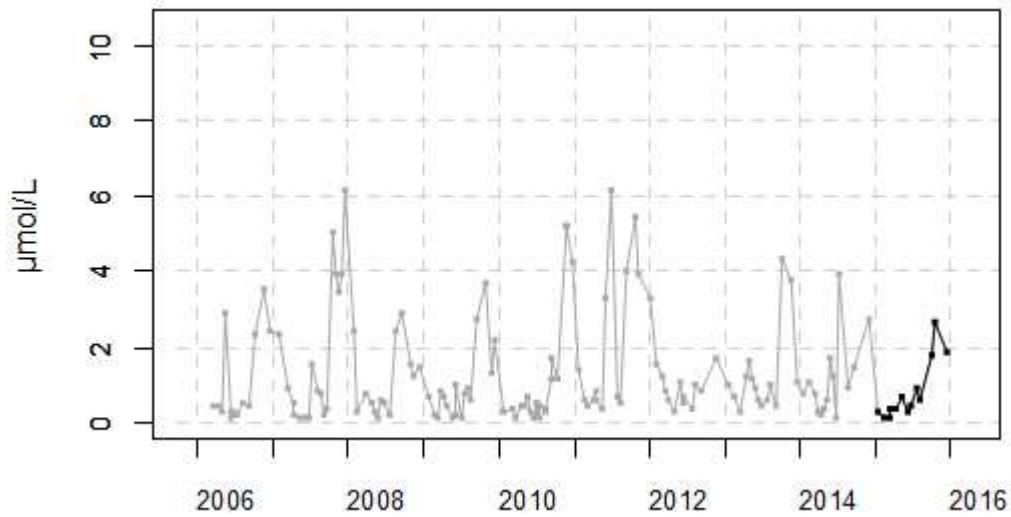


Figure 84. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en ammonium ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point Mimer de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

## Ammonium

006-P-001 Baie de Somme - large / At so - Surface (0-1m)



006-P-001 Baie de Somme - large / At so - Variation saisonnière 2015 Ammonium

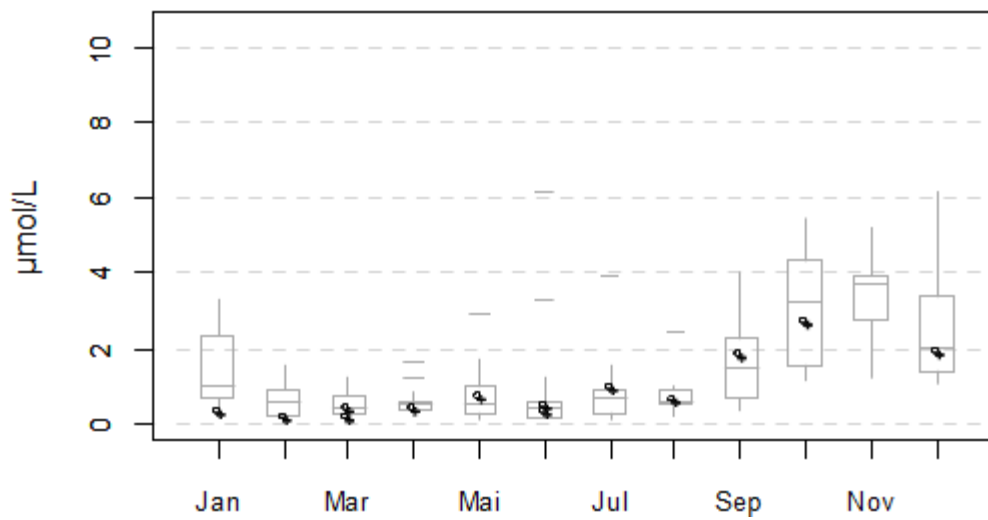
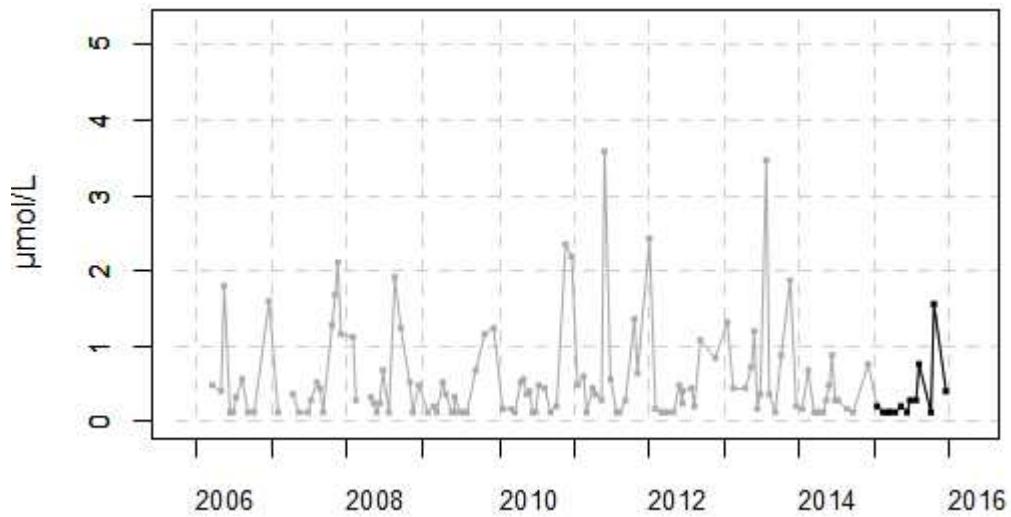


Figure 85. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en ammonium ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point Atso de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

## Ammonium

006-P-007 Baie de Somme - large / SRN Somme mer 2 - Surface (0-1m)



006-P-007 Baie de Somme - large / SRN Somme mer 2 - Variation saisonnière 2015 Ammonium

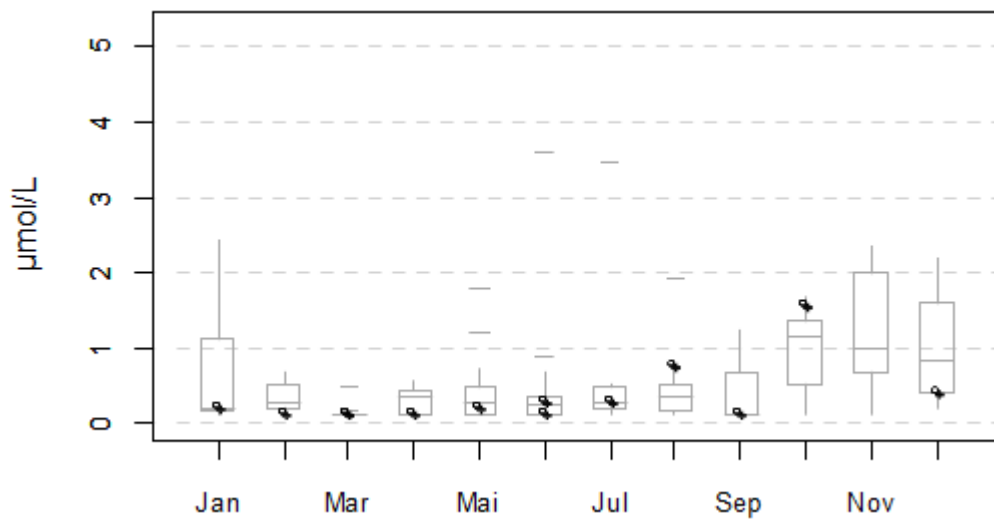


Figure 86. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en ammonium ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point Mer 2 de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

□ Nitrite + Nitrate

Depuis 2006, les concentrations moyennes en nitrite + nitrate varient entre 16,85  $\mu\text{mol/L}$  et 8,65  $\mu\text{mol/L}$  selon les points de la radiale (Tableau 49).

La concentration en nitrite et en nitrate augmente près de la côte.

Les valeurs les plus fortes sont obtenues en février et avril 2012 et en septembre 2014 pour le point Bif ; en janvier puis février 2008 pour le point Mimer ; en janvier 2008 et 2011 pour le point Atso ; en janvier 2012, 2013 et 2015 pour le point Mer 2 (Figures 87 à 90).

Les minima sont de l'ordre du seuil de détection( 0,15  $\mu\text{mol/L}$ ) (Tableau 49).

La dynamique de la concentration en nitrite et en nitrate est marquée par une diminution des concentrations à partir mars et une augmentation à partir de septembre (Figures 87 à 90).

Les concentrations relevées en 2015 sont conformes à celles de la période 2006-2014. En effet, en moyenne, les concentrations en nitrite + nitrate varient de 18,75  $\mu\text{mol/L}$  et 11,76  $\mu\text{mol/L}$  (Tableau 54) et la dynamique saisonnière est identique (Figures 87 à 90).

Aux points Bif et Mimer, des valeurs sont supérieures à la médiane (mars et septembre pour les deux points et avril et mai au point Bif) mais aussi inférieures à la médiane (janvier et février pour les deux points et mars pour le point Bif) voire au 1<sup>er</sup> quartile (décembre pour le point Mimer). Aux points Atso et Mer 2, le même phénomène apparaît, des valeurs sont supérieures à la médiane (juin pour les deux point, juillet au point Atso et janvier au point Mer 2) voire au 3<sup>ème</sup> quartile (mars et avril pour les deux points et juin et septembre pour le point Atso) mais aussi inférieures à la médiane (janvier, février et octobre pour le point Atso) voire inférieures au 1<sup>er</sup> quartile (février et décembre pour le point Mer 2) (Figures 87 à 90).

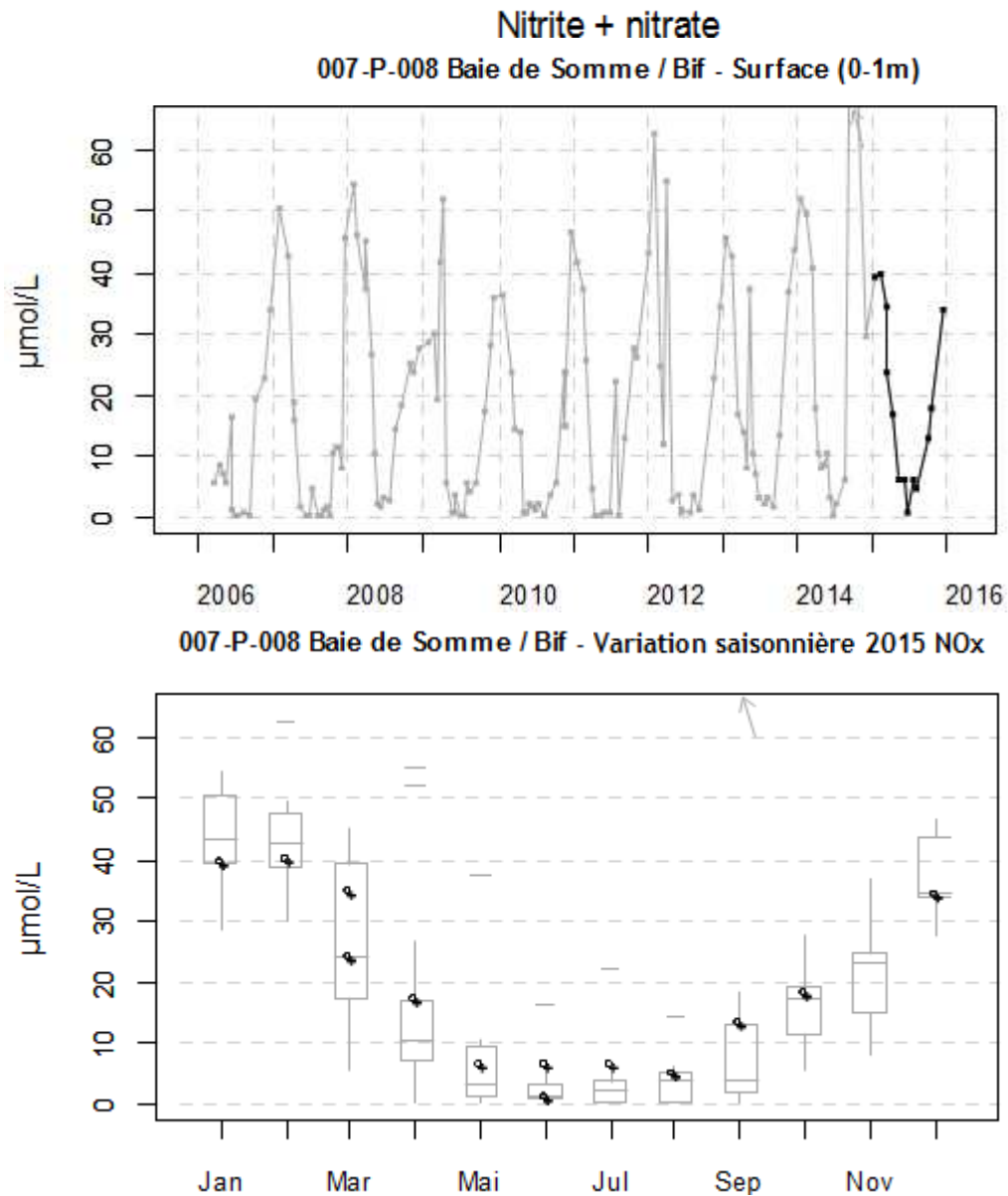
Le gradient côte large est généralement négatif sauf en janvier, il varie de +17,67 $\mu\text{mol/L}$  et -17,14  $\mu\text{mol/L}$  (Annexe 1).

Tableau 49. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en nitrite et en nitrate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour la radiale de la Baie de Somme sur la période 2006-2014

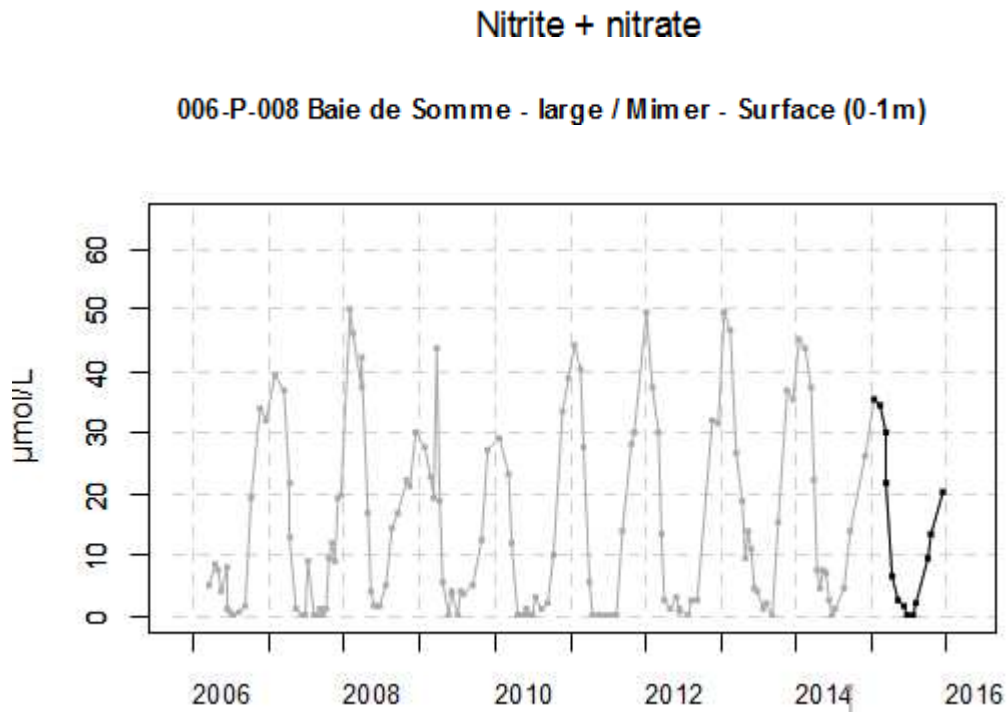
	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BIF</b>	0,15	2,14	10,69	16,85	18,06	26,78	103,00	137
<b>MIMER</b>	0,15	1,44	7,83	14,28	15,01	26,40	49,84	132
<b>ATSO</b>	0,15	0,98	6,11	11,20	12,26	18,17	46,68	135
<b>MER 2</b>	0,15	0,20	2,48	8,65	11,63	14,86	46,36	118

Tableau 50. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en nitrite et en nitrate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour la radiale de la Baie de Somme en 2015

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BIF</b>	1,02	6,19	17,00	18,75	14,11	34,10	39,70	13
<b>MIMER</b>	0,25	2,48	9,50	13,77	13,17	21,75	35,48	13
<b>ATSO</b>	1,17	4,03	9,85	14,71	11,77	24,70	37,00	13
<b>MER 2</b>	0,62	2,46	6,57	11,76	11,98	14,74	42,67	13

Figure 87. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en nitrite ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point Bif de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015





**006-P-008 Baie de Somme - large / Mimer - Variation saisonnière 2015 NO<sub>x</sub>**

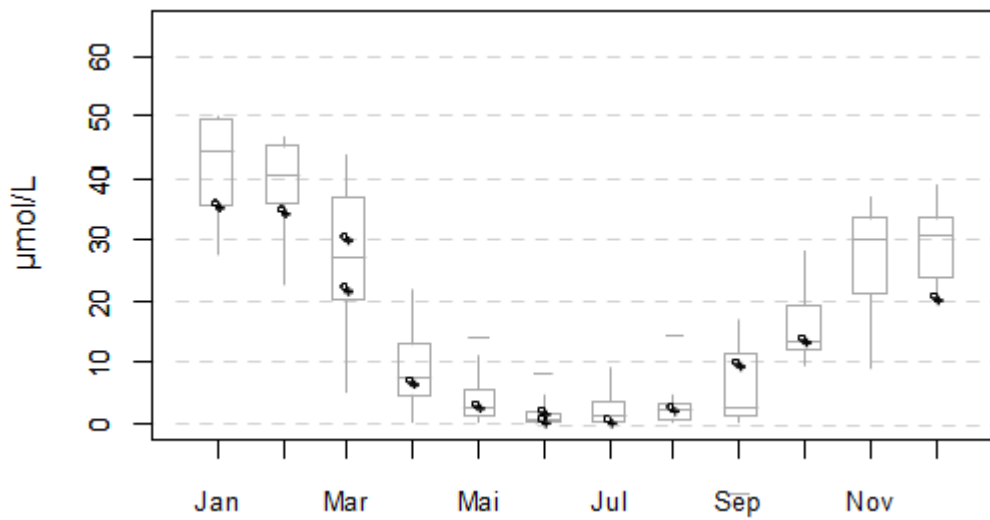
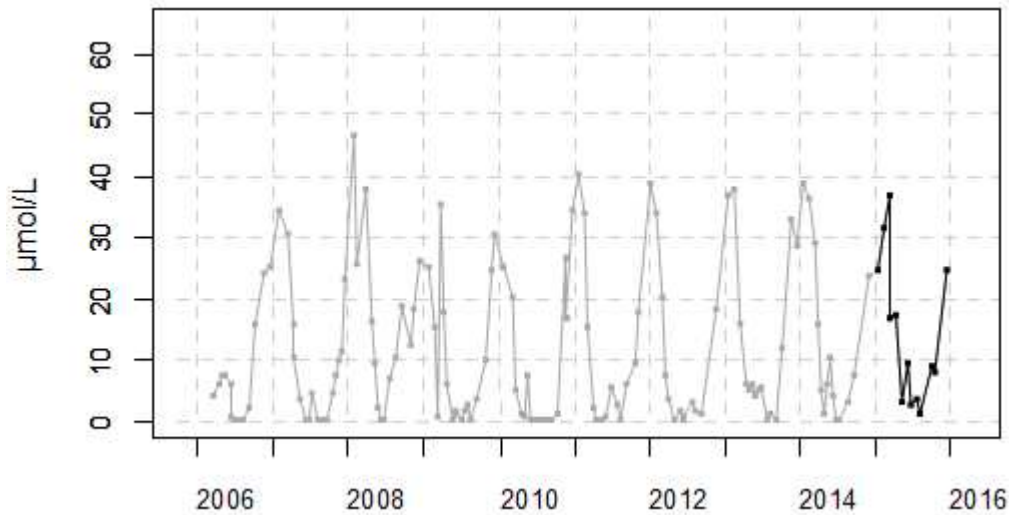


Figure 88. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en nitrite ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point Mimer de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

## Nitrite + nitrate

006-P-001 Baie de Somme - large / At so - Surface (0-1m)



006-P-001 Baie de Somme - large / At so - Variation saisonnière 2015 NOx

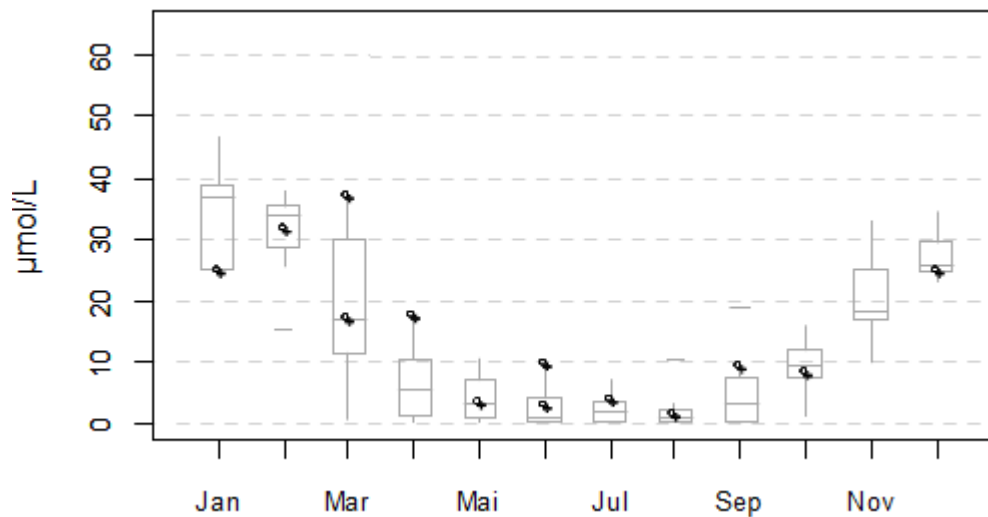
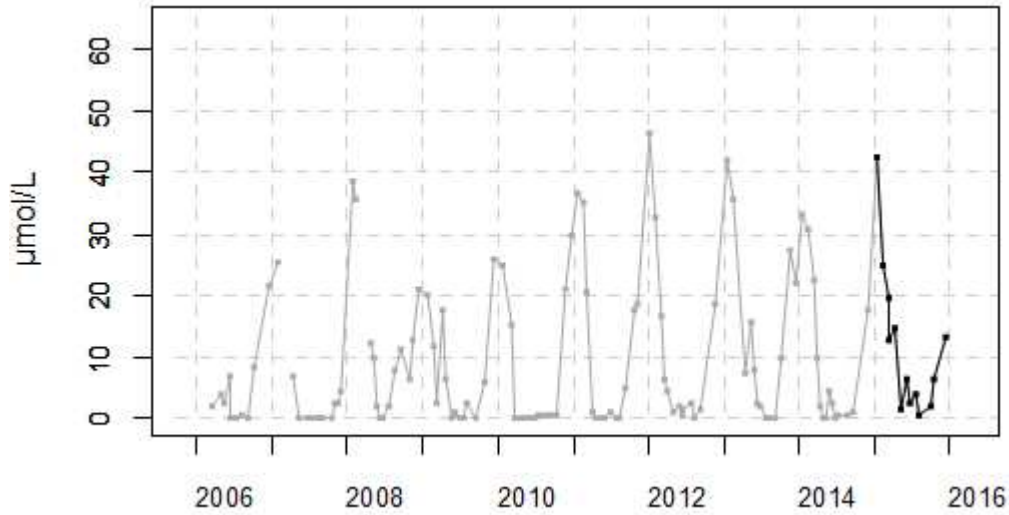


Figure 89 Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en nitrite ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point Atso de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

## Nitrite + nitrate

006-P-007 Baie de Somme - large / SRN Somme mer 2 - Surface (0-1m)



006-P-007 Baie de Somme - large / SRN Somme mer 2 - Variation saisonnière 2015 NOx

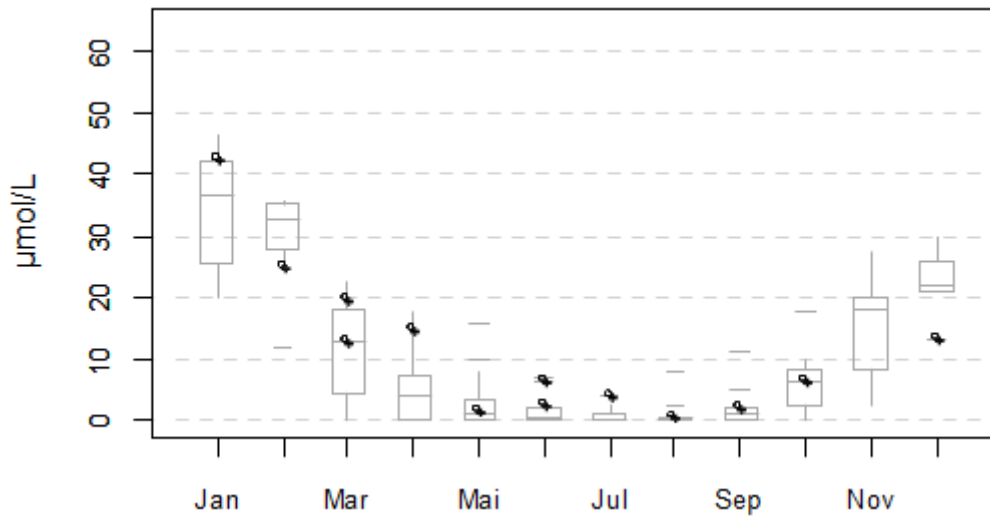


Figure 90. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en nitrite ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point Mer 2 de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

□ **Phosphate**

Depuis 2006, la concentration en phosphate mesurée excède rarement 2  $\mu\text{mol/L}$  (0,52  $\mu\text{mol/L}$  en moyenne pour la radiale) (Tableau 51).

Les valeurs les plus fortes sont obtenues en juillet et septembre 2007 et en juin 2008 pour le point Bif ; en mars, mai et juin 2008 et en février 2012 pour le point Mimer ; en mars 2008, en décembre 2012 et en novembre puis décembre 2010 pour le point Atso ; en janvier puis novembre 2011 et en juin 2013 pour le point Mer 2 (Tableau 51).

Les minima pour les quatre points sont de 0,05  $\mu\text{mol/L}$  (Tableau 51).

La dynamique saisonnière est marquée par des valeurs plus fortes en hiver et plus faibles le reste de l'année (Figures 90 à 94).

En 2015, les concentrations en phosphate sont plus faibles. En effet, la moyenne des valeurs sur la radiale est de 0,40  $\mu\text{mol/L}$ . La variabilité est faible avec au minimum 0,10  $\mu\text{mol/L}$  de phosphate (juin - Mer 2) et au maximum 1,56  $\mu\text{mol/L}$  (avril - Mimer) (Tableau 52).

Aux points Bif et Mimer, des valeurs sont supérieures à la médiane (avril et juin au point Bif et janvier au point Mimer) voire au 3<sup>ième</sup> quartile (mai pour le point Bif) mais aussi inférieures à la médiane (mars, juillet, septembre et décembre pour les deux points, août pour le point Bif et juin pour le point Mimer) voire au 1<sup>er</sup> quartile (février et octobre pour le point Bif et juin et septembre pour le point Mimer). Aux points Atso et Mer 2, le même phénomène apparaît, des valeurs sont supérieures à la médiane (avril au point Atso et janvier puis mars au point Mer 2) mais aussi inférieures à la médiane (mars, juillet et décembre pour les deux points, janvier puis août pour le point Atso et mai, juin et octobre pour le point Mer 2) voire inférieures au 1<sup>er</sup> quartile (février et octobre pour le point Atso) (Figures 90 à 94).

Le gradient côte-large varie entre -0,15 et +0,35  $\mu\text{mol/L}$ , il est globalement positif. Donc les concentrations au large sont plus fortes qu'à la côte (Annexe 1).

Tableau 51. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en phosphates ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour la radiale de la Baie de Somme sur la période 2006-2014

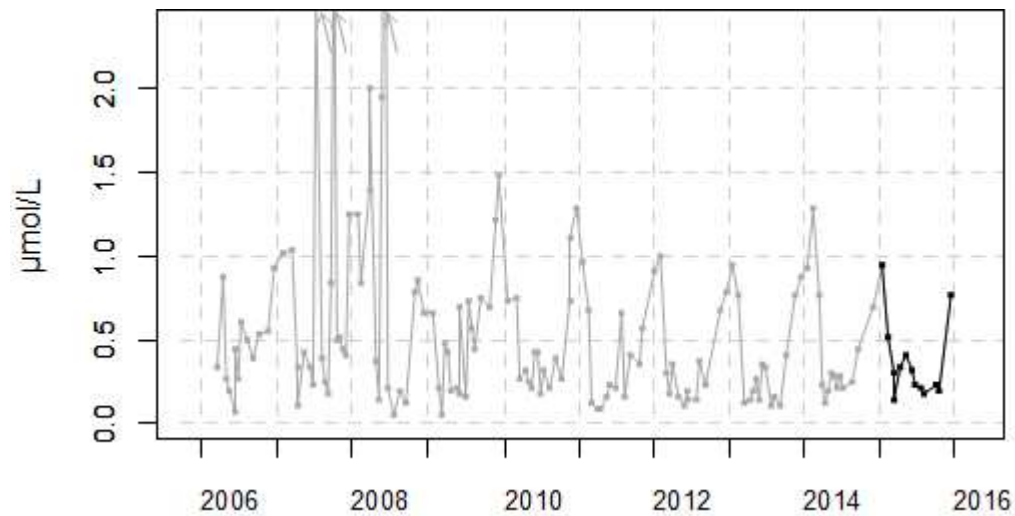
	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BIF</b>	0,05	0,21	0,37	0,54	0,56	0,73	3,99	135
<b>MIMER</b>	0,05	0,30	0,48	0,68	0,64	0,90	4,73	132
<b>ATSO</b>	0,05	0,13	0,26	0,39	0,33	0,57	1,45	133
<b>MER 2</b>	0,05	0,21	0,35	0,47	0,38	0,68	1,90	118

Tableau 52. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en phosphates ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour la radiale de la Baie de Somme en 2015

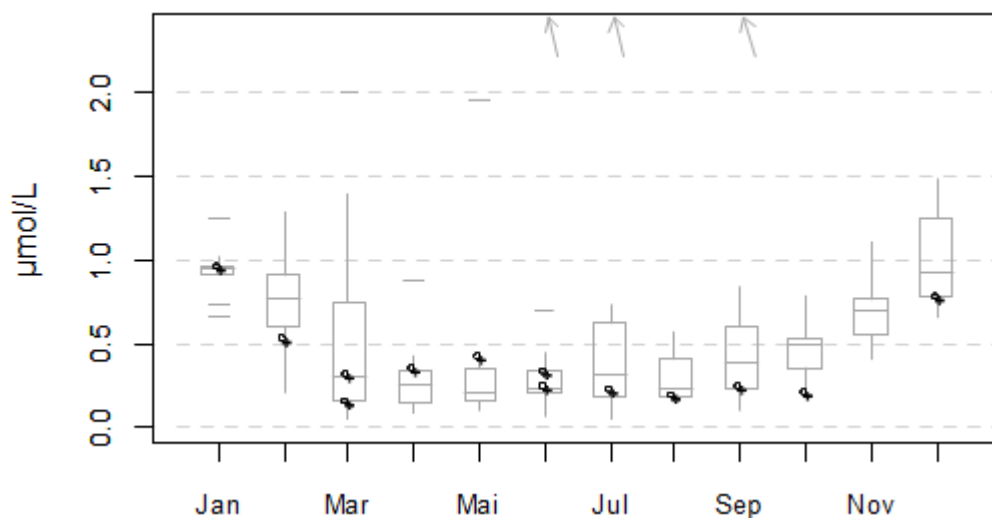
	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BIF</b>	0,13	0,21	0,30	0,36	0,24	0,40	0,94	13
<b>MIMER</b>	0,13	0,26	0,30	0,55	0,46	0,67	1,56	13
<b>ATSO</b>	0,13	0,19	0,24	0,32	0,22	0,29	0,78	13
<b>MER 2</b>	0,10	0,18	0,28	0,37	0,29	0,41	1,13	13

## Phosphate

## 007-P-008 Baie de Somme / Bif - Surface (0-1m)

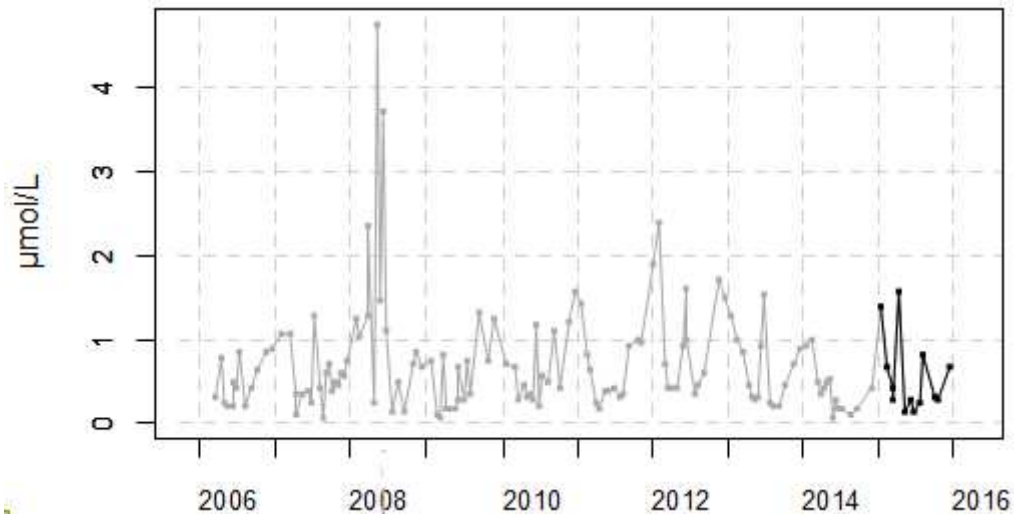


## 007-P-008 Baie de Somme / Bif - Variation saisonnière 2015 Phosphate

Figure 91. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en phosphate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point Bif de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

## Phosphate

006-P-008 Baie de Somme - large / Mimer - Surface (0-1m)



006-P-008 Baie de Somme - large / Mimer - Variation saisonnière 2015 Phosphate

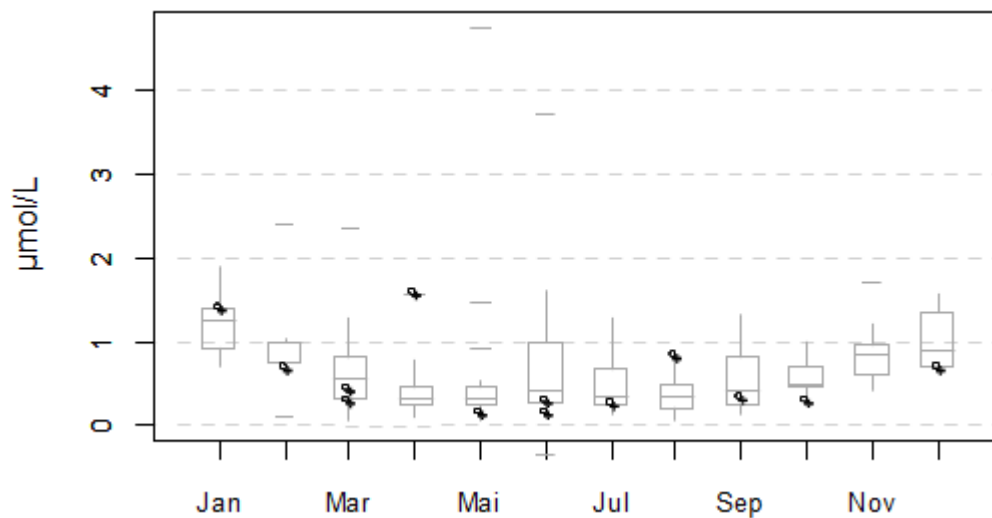
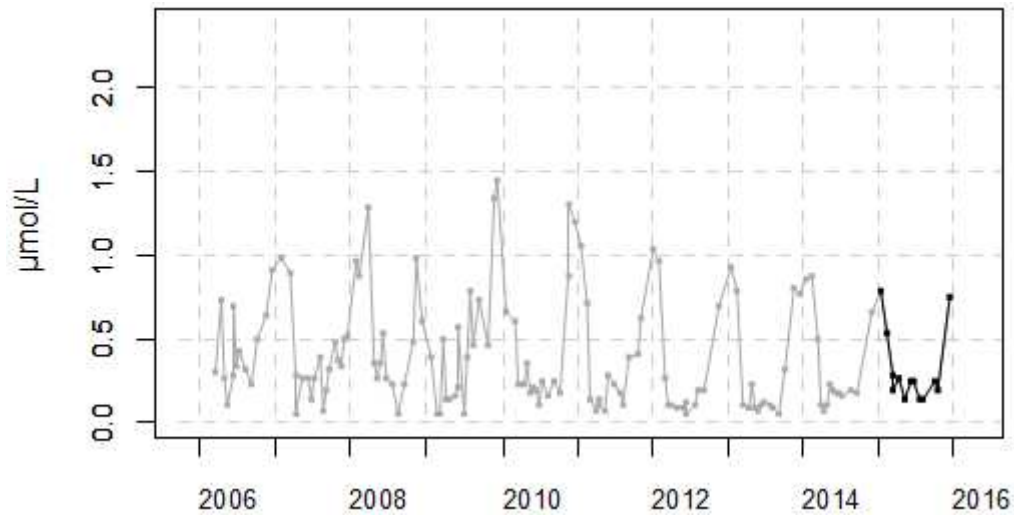


Figure 92 Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en phosphate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point Mimer de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

## Phosphate

006-P-001 Baie de Somme - large / At so - Surface (0-1m)



006-P-001 Baie de Somme - large / At so - Variation saisonnière 2015 Phosphate

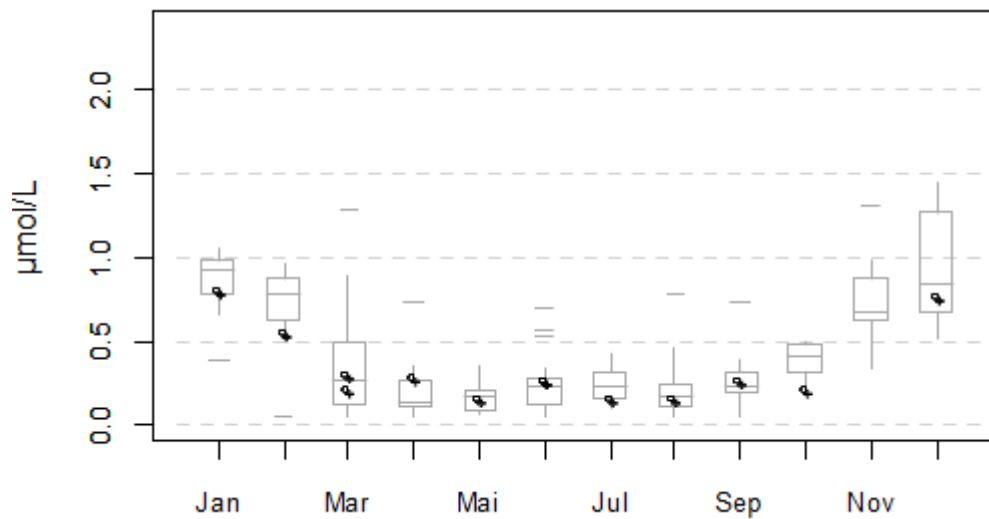
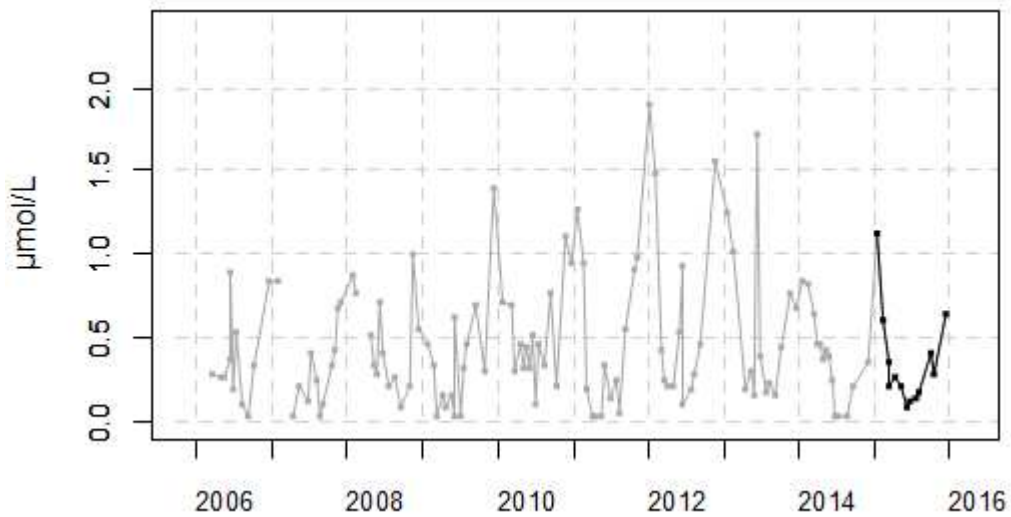


Figure 93. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en phosphate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point Atso de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

## Phosphate

006-P-007 Baie de Somme - large / SRN Somme mer 2 - Surface (0-1m)



006-P-007 Baie de Somme - large / SRN Somme mer 2 - Variation saisonnière 2015 Phosphate

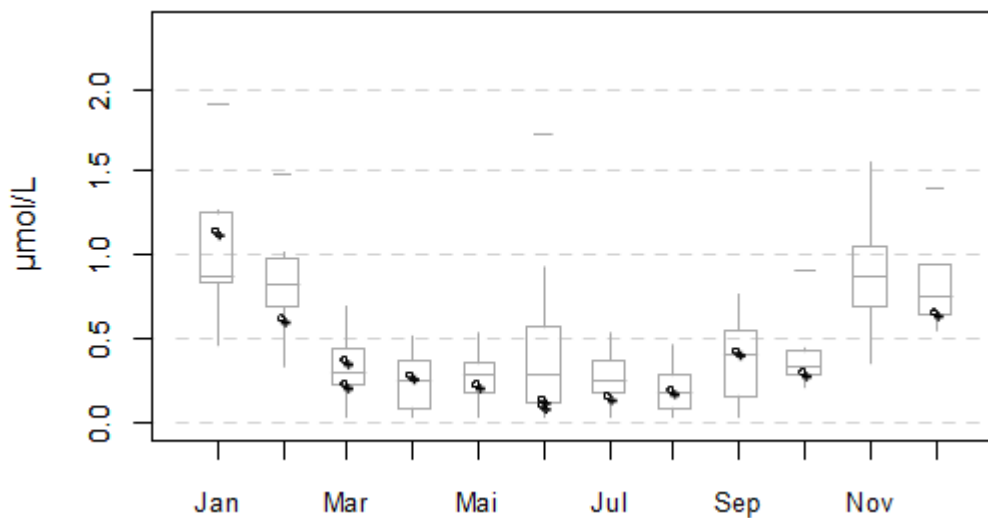


Figure 94 Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en phosphate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point Mer 2 de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015



□ **Silicate**

Les concentrations varient entre 0,10  $\mu\text{mol/L}$  et 41  $\mu\text{mol/L}$  depuis 2006 et la moyenne est de 6,96  $\mu\text{mol/L}$  (Tableau 43). La variabilité peut être importante. De manière générale, les concentrations sont fortes au début et à la fin du cycle et faibles durant la période estivale. Les valeurs les plus fortes sont obtenues en décembre 2007 et en septembre 2014 pour le point Bif ; en novembre 2013 pour le point Mimer ; en mars 2008, en janvier 2013 pour le point Atso ; en janvier 2013 et 2015 pour le point Mer 2 (Figures 95 à 98).

Les concentrations en 2015 sont en moyenne est de 5,36  $\mu\text{mol/L}$ . Une valeur exceptionnelle est mesurée cette année avec 27,21  $\mu\text{mol/L}$  au point Mer 2 en janvier (Tableau 54).

Les maxima sont compris entre 22,10  $\mu\text{mol/L}$  et 27,21  $\mu\text{mol/L}$  en janvier de la côte vers le large. Les minima sont compris entre 0,10  $\mu\text{mol/L}$  et 0,85  $\mu\text{mol/L}$  de mars à juin (Tableau 54).

Aux points Bif et Mimer, des valeurs sont supérieures à la médiane (mars pour les deux points et mai au point Mimer) mais aussi inférieures à la médiane (janvier, mars, août et décembre pour les deux points et juillet pour le point Bif) voire au 1<sup>er</sup> quartile (février et octobre pour les deux points et avril pour le point Bif). Aux points Atso et Mer 2, le même phénomène apparaît, des valeurs sont supérieures à la médiane (avril pour les deux points, mai au point Atso et janvier au point Mer 2) voire au 3<sup>ième</sup> quartile (mars pour les deux points, janvier et mai pour les point Mer 2) mais aussi inférieures à la médiane (mars pour les deux points, août puis décembre pour le point Atso et février pour le point Mer 2) voire inférieures au 1<sup>er</sup> quartile (février et octobre pour le point Atso et juillet, août, septembre, octobre et décembre pour le point Mer 2) (Figures 95 à 98).

Le gradient côte-large est compris entre -6,44 et 5,61  $\mu\text{mol/L}$  et les valeurs les plus faibles sont observables en hiver soit une teneur en silicate plus importante en zone côtière qu'au large (Annexe 1).

Tableau 53. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en silicate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour la radiale de la Baie de Somme sur la période 2006-2014

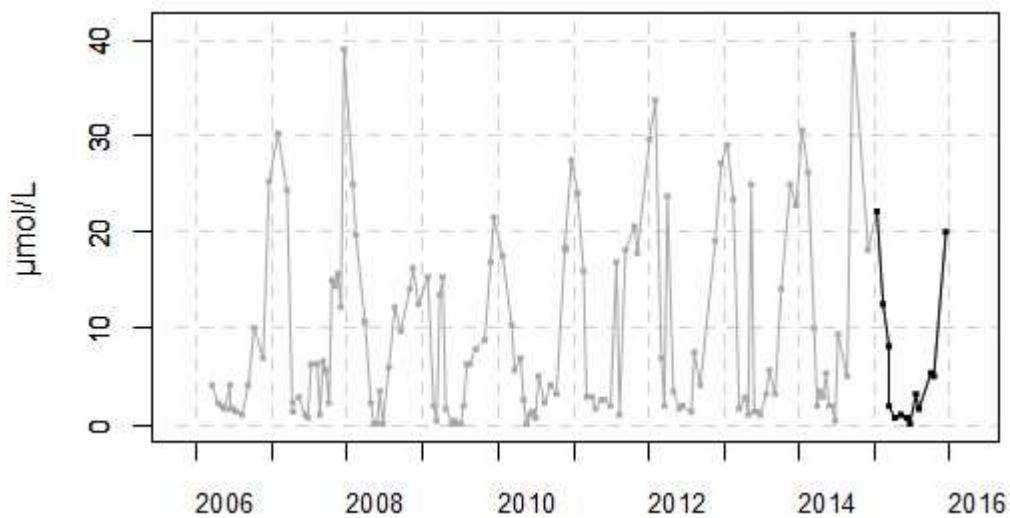
	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BIF</b>	0,10	1,96	5,21	9,38	9,60	15,61	40,60	135
<b>MIMER</b>	0,10	1,30	4,63	7,97	8,07	14,03	32,10	132
<b>ATSO</b>	0,10	0,80	2,83	6,45	7,48	10,80	41,00	133
<b>MER 2</b>	0,10	0,42	1,52	4,06	5,07	6,38	22,15	131

Tableau 54. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en silicate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour la radiale de la Baie de Somme en 2015

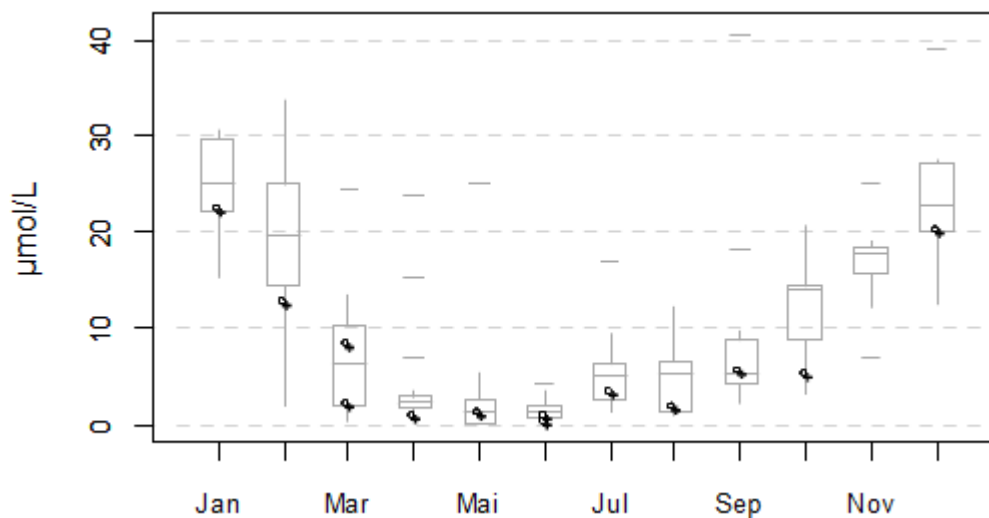
	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BIF</b>	0,29	1,26	3,41	6,48	7,39	8,20	22,10	13
<b>MIMER</b>	0,85	1,65	3,58	5,83	6,48	7,03	21,33	13
<b>ATSO</b>	0,10	0,90	2,22	5,32	6,43	9,86	21,60	13
<b>MER 2</b>	0,10	0,30	0,66	3,80	7,44	3,42	27,21	13

## Silicate

## 007-P-008 Baie de Somme / Bif - Surface (0-1m)

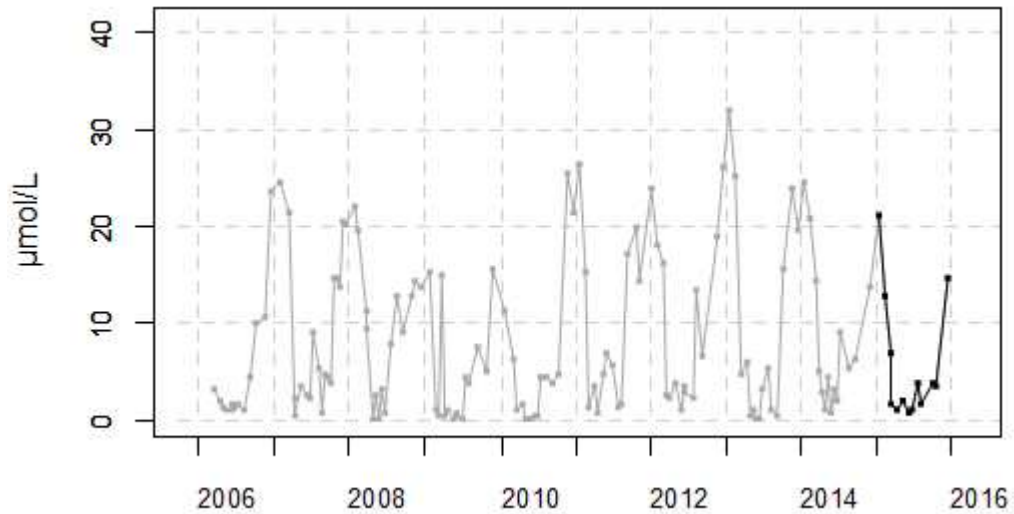


## 007-P-008 Baie de Somme / Bif - Variation saisonnière 2015 Silicate

Figure 95. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en silicate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point Bif de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

## Silicate

006-P-008 Baie de Somme - large / Mimer - Surface (0-1m)



006-P-008 Baie de Somme - large / Mimer - Variation saisonnière 2015 Silicate

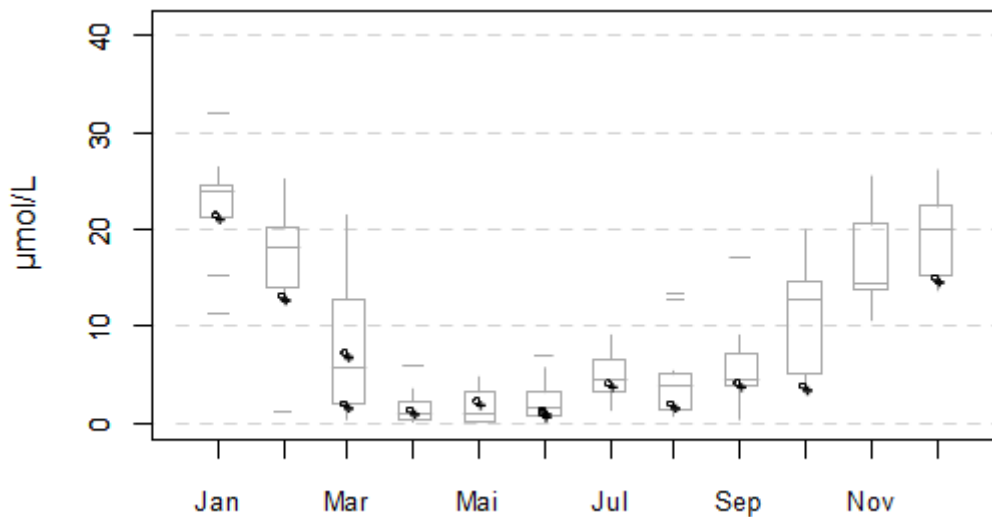
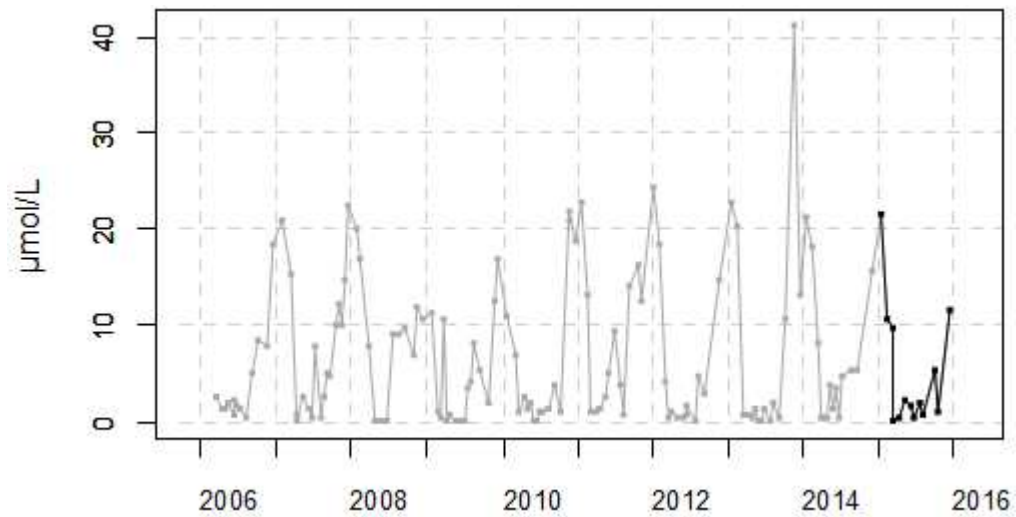


Figure 96. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en silicate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point Mimer de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

## Silicate

006-P-001 Baie de Somme - large / At so - Surface (0-1m)



006-P-001 Baie de Somme - large / At so - Variation saisonnière 2015 Silicate

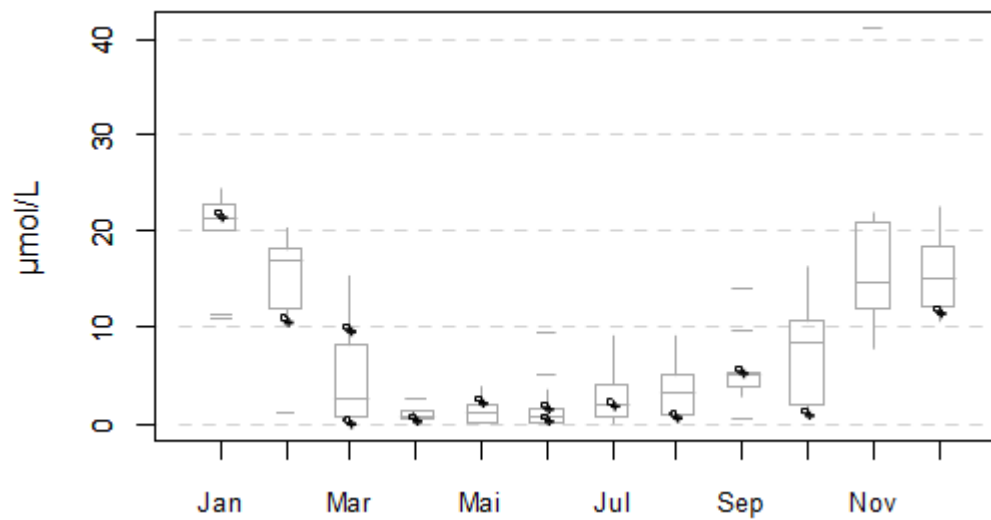
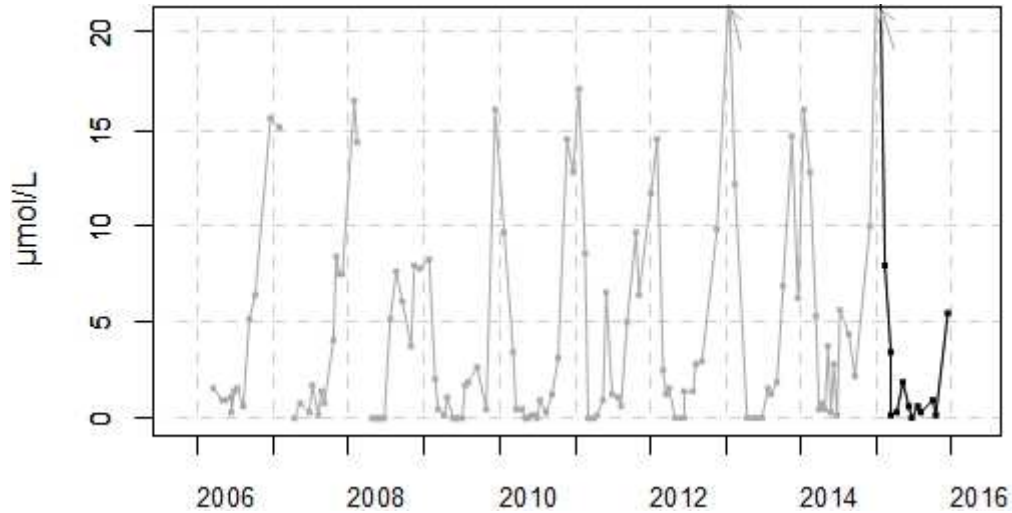


Figure 97. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en silicate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point Atso de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

## Silicate

006-P-007 Baie de Somme - large / SRN Somme mer 2 - Surface (0-1m)



006-P-007 Baie de Somme - large / SRN Somme mer 2 - Variation saisonnière 2015 Silicate

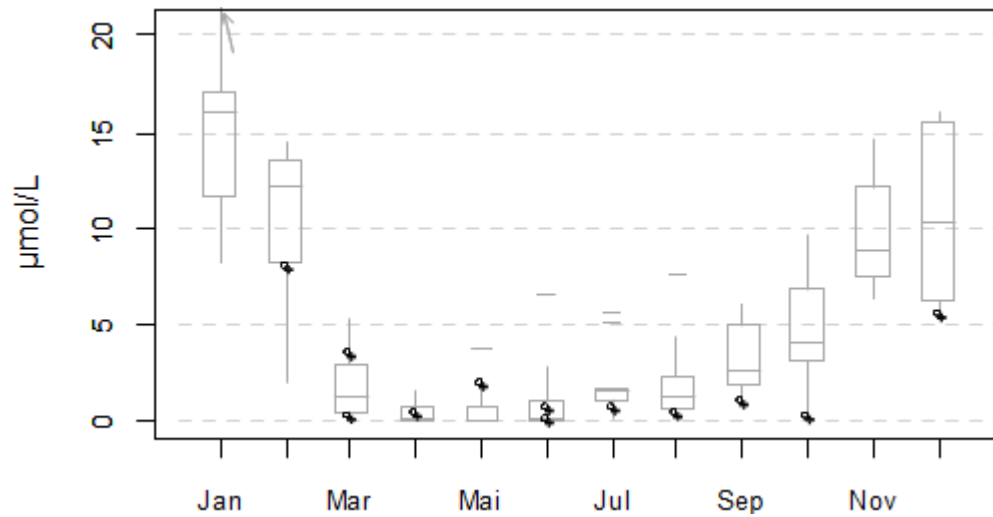


Figure 98. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en silicate ( $\mu\text{mol/L}$ ) pour le point Mer 2 de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

□ Limitation par les nutriments

Les Figures 95 à 98 représentent l'évolution temporelle des éléments nutritifs potentiellement limitants le long de la radiale de la baie de Somme. Les figures délimitent six zones qui définissent, par ordre de priorité, l'élément qui limite majoritairement la croissance des algues au point considéré.

**Point Bif :**

Lors de la période non productive (de novembre à février), le développement du phytoplancton est potentiellement limité par le phosphate, limitation de type P, Si, N. Cette limitation est constatée de juillet à février. Une exception est faite au mois d'août où on passe à une limitation de type Si, P, N.

En début de période productive, de mars à juin, ce sont les silicates qui limitent la prolifération algale. La limitation est de type Si, P, N dans un premier temps (de mars à mai), puis de type Si, N, P dans un second temps (en juin) (Annexe 2).

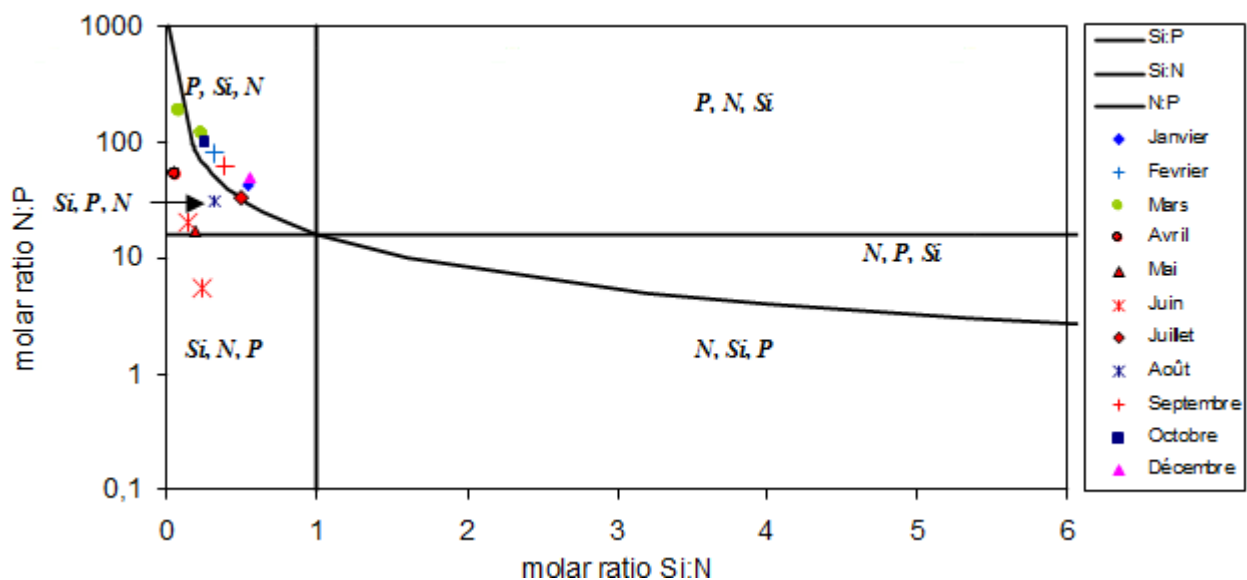


Figure 99. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point Bif de la radiale de la Baie de Somme en 2015

**Point Mimer :**

A l'exception du mois de juin qui est limité par l'azote (N, Si, P), le rapport Si : N est toujours inférieur à 1. Par conséquent, l'azote est globalement en excès.

Tout au long de l'année, excepté en décembre et en février, on observe que la production de phytoplancton est limitée par les silicates (Si, P, N et Si, N, P). En février et en décembre, la limitation est de type P, Si, N (Annexe 2).

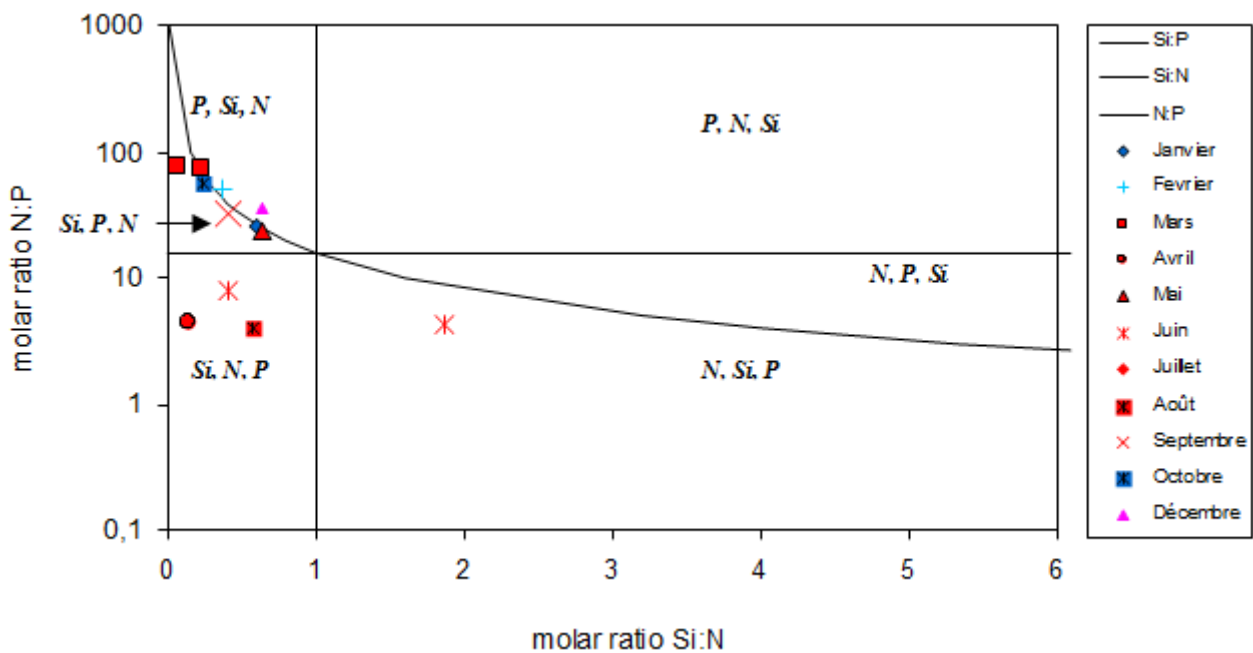


Figure 100. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point Mimer de la radiale de la Baie de Somme en 2015

**Point Atso :**

Tout comme le point Mimer, le point Atso présente, d'une part, des limitations par les phosphates (P, Si, N) de janvier à mars et en septembre et d'autre part, des limitations par les silicates de types Si, P, N et Si, N, P de mars à octobre, excepté le mois de juillet qui se situe au entre les limitations P, Si, N et Si, P, N (Annexe 2).

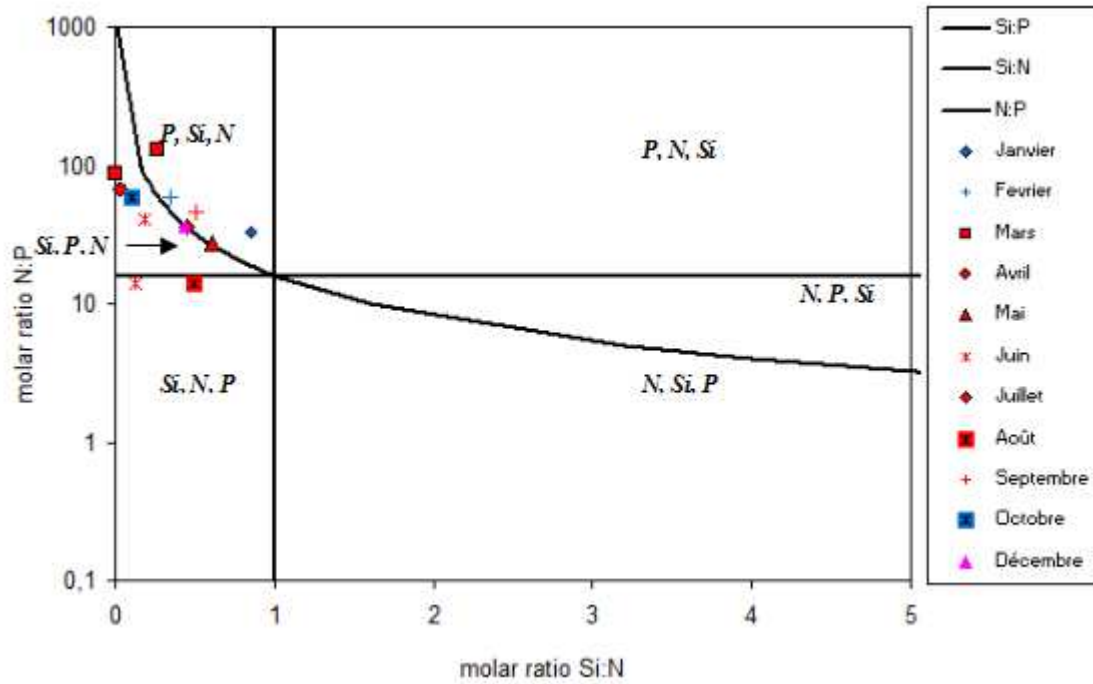


Figure 101. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point Atso de la radiale de la Baie de Somme en 2015

### Point Mer 2 :

Le type de limitation pour le point Mer 2 est comparable au point Atso et au point Mimer. En effet, seul le mois de janvier est limité par les phosphates (P, Si, N) puis, le reste de l'année, c'est une limitation par les silicates qui s'observe, de février à mars et juin à juillet de type Si, P, N et de type Si, N, P en mai et de septembre à octobre (Annexe 2).



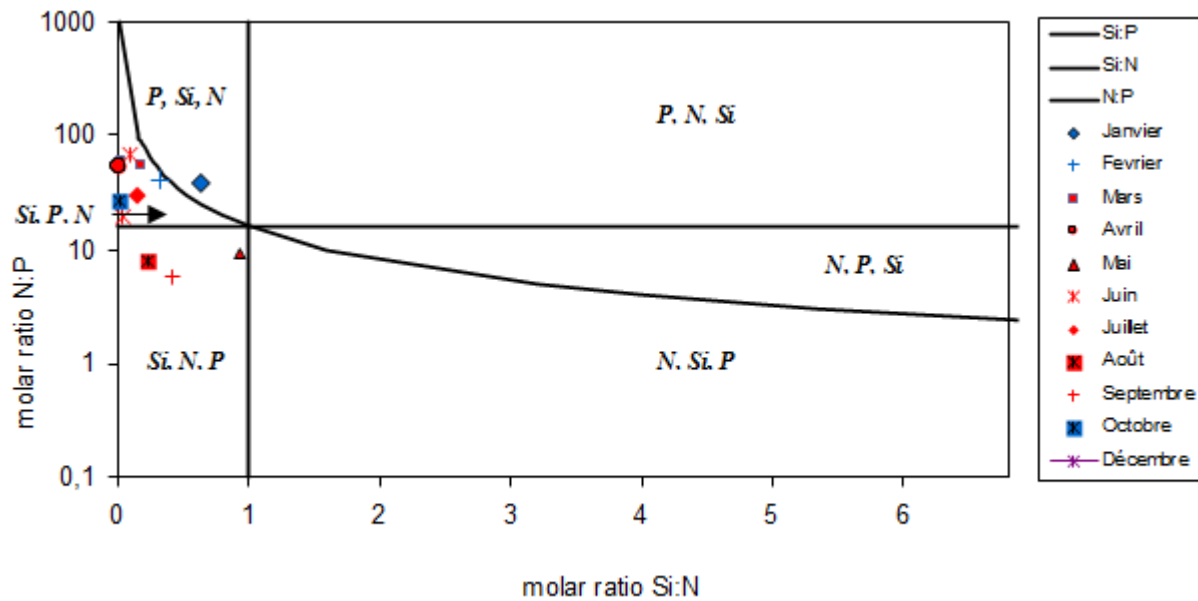


Figure 102. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point Mer 2 de la radiale de la Baie de Somme en 2015

#### □ Chlorophylle-a

De façon générale, la dynamique saisonnière suit le schéma classique pour un écosystème tempéré avec de fortes valeurs au printemps et en été, tandis que les plus faibles valeurs apparaissent en hiver et en automne (Figures 102 à 105). La chlorophylle-*a* est représentative de la biomasse phytoplanctonique.

Les écarts de concentrations sont importants entre les stations côtières et celles au large (en moyenne 16,81 µg/L à Bif ; 5,99 µg/L à Mer 2 depuis 2006). L'étendue des valeurs est plus forte pour les points côtiers : les concentrations varient entre 1,08 µg/L et 99,39 µg/L pour le point Bif contre 0,56 µg/L et 23,01 µg/L pour le point Mer 2 (Tableau 55).

Les valeurs les plus fortes sont obtenues en mars 2008, en juin puis juillet 2011 et en juin 2015 pour le point Bif ; en avril 2008, mars 2009 et juin 2011 pour le point Mimer ; en mai 2008 et en mars 2013 et 2015 pour le point Atso ; en mai 2008 et 2009 et en mars 2011 et 2015 pour le point Mer 2 (Figures 102 à 105).

Les minima sont compris entre 0,56 et 1,08 µg/L (Tableau 55).

L'année 2015 suit la même dynamique saisonnière. Les concentrations les plus fortes sont visibles au printemps et en été avec comme maxima 78,86 µg/L en juin et des concentrations

comprises 28,74 µg/L et 18,86 µg/L en mars de la côte vers le large. Elles sont plus faibles que celles relevées de la période 2006-2015. Les minima sont observés en janvier et en mai pour le point Mer 2 et les valeurs se situent entre 0,53 µg/L et 1,50 µg/L (Tableau 56).

Les concentrations sont légèrement plus élevées pour le point Bif (25,52 µg/L en moyenne contre 17,58 µg/L sur 2006-2014). Les concentrations relevées aux trois autres stations sont conformes. (Tableaux 55 et 56).

Aux points Bif et Mimer, des valeurs sont supérieures à la médiane (mars pour les deux points, juin puis décembre au point Bif et avril puis mai au point Mimer) voire au 3<sup>ième</sup> quartile (février pour les deux points, mars, mai, juin, août et décembre au point Bif et juillet puis septembre au point Mimer) mais aussi inférieures à la médiane (septembre pour le point Bif). Aux points Atso et Mer 2, le même phénomène apparaît, des valeurs sont supérieures à la médiane (septembre au point Mer 2) voire au 3<sup>ième</sup> quartile (mars pour les deux points, février et juillet pour les point Mer 2) mais aussi inférieures à la médiane (juin pour le point Atso et janvier puis octobre pour le point Mer 2) voire inférieures au 1<sup>er</sup> quartile (avril et mai pour les deux points, août pour le point Atso et juin pour le point Mer 2) (Figures 102 à 105).

Le gradient côte-large varie entre -17,6 et 5,9 µg/L. Les valeurs positives s'observent de février à mars, en juin et en août, lorsque les masses d'eaux côtières sont plus riches en chlorophylle-*a* par rapport à celles du large (Annexe 1).

Tableau 55. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en chlorophylle-*a* (µg/L) pour la radiale de la Baie de Somme sur la période 2006-2014

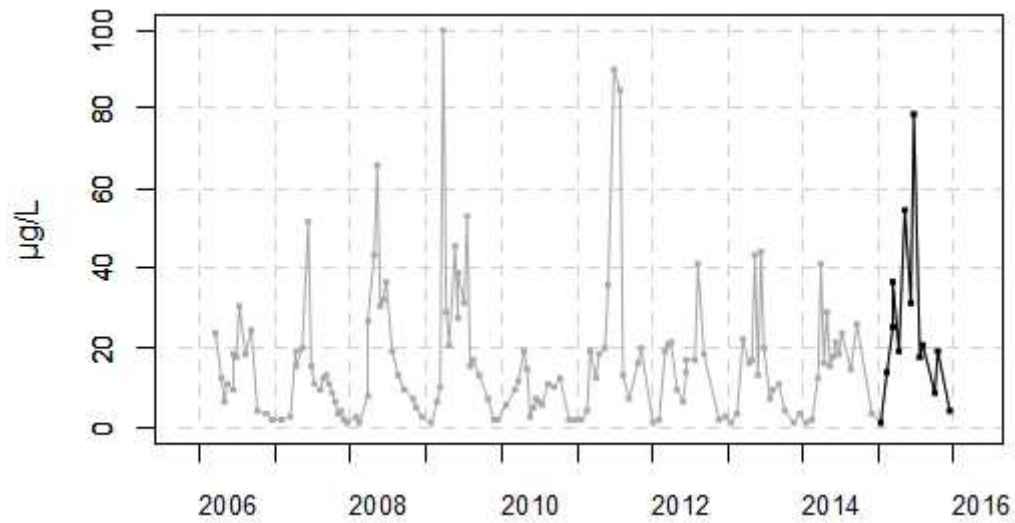
	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BIF</b>	1,08	5,44	13,05	16,81	16,90	19,92	99,39	134
<b>MIMER</b>	0,83	4,05	9,20	13,85	14,90	18,12	79,28	130
<b>ATSO</b>	0,75	3,10	6,37	8,55	7,24	11,34	42,21	137
<b>MER 2</b>	0,56	2,83	4,93	5,99	4,35	8,09	23,01	117

Tableau 56. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en chlorophylle-*a* (µg/L) pour la radiale de la Baie de Somme en 2015

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
<b>BIF</b>	1,50	13,79	19,15	25,52	21,38	31,65	78,86	13
<b>MIMER</b>	1,19	8,42	10,71	13,71	9,13	23,10	28,74	13
<b>ATSO</b>	0,76	3,18	4,71	7,03	7,20	7,25	28,22	13
<b>MER 2</b>	0,53	2,45	4,10	5,83	5,18	7,73	18,86	13

## Chlorophylle a

007-P-008 Baie de Somme / Bif - Surface (0-1m)



007-P-008 Baie de Somme / Bif - Variation saisonnière 2015 Chlorophylle A

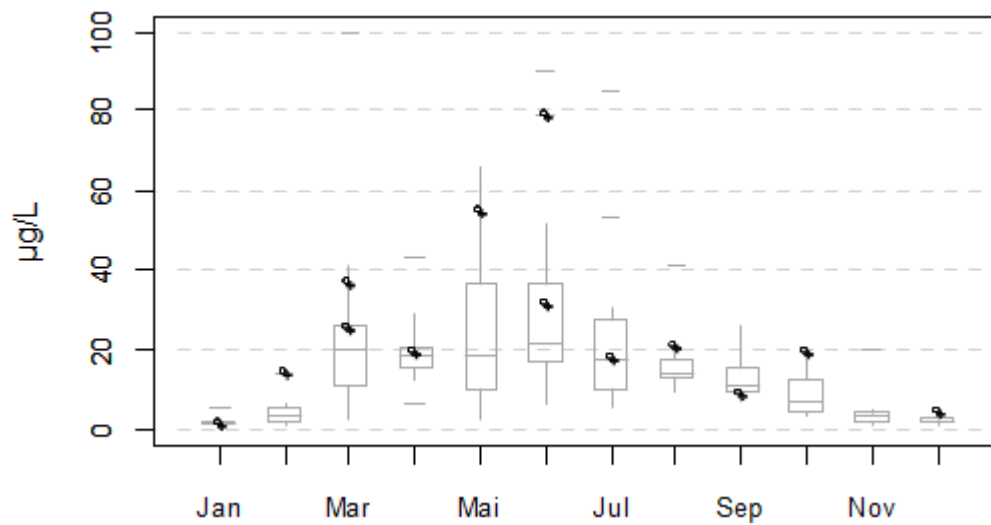
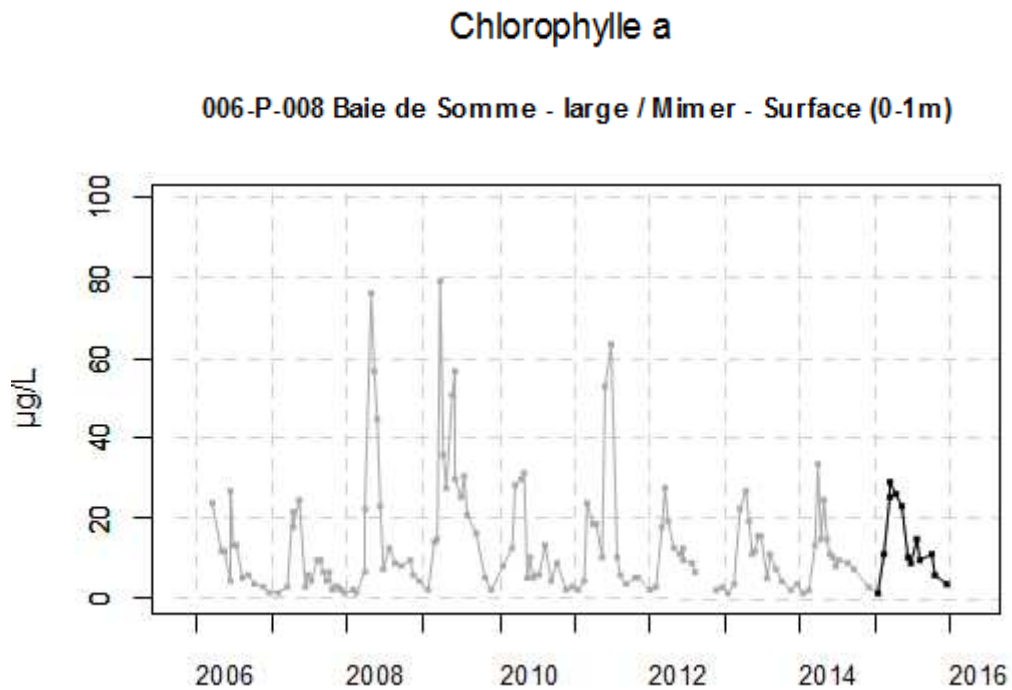


Figure 103. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en chlorophylle-a ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) pour le point Bif de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015



**006-P-008 Baie de Somme - large / Mimer - Variation saisonnière 2015 Chlorophylle A**

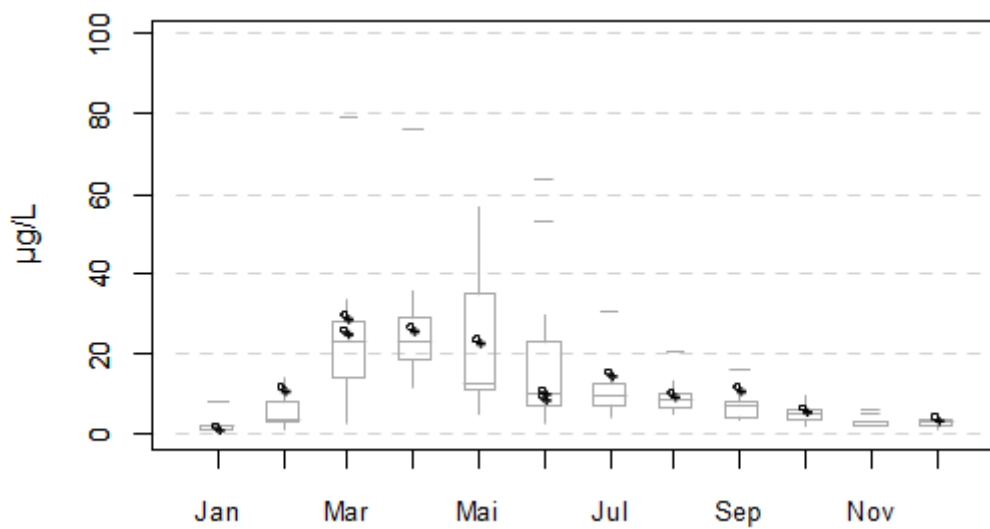
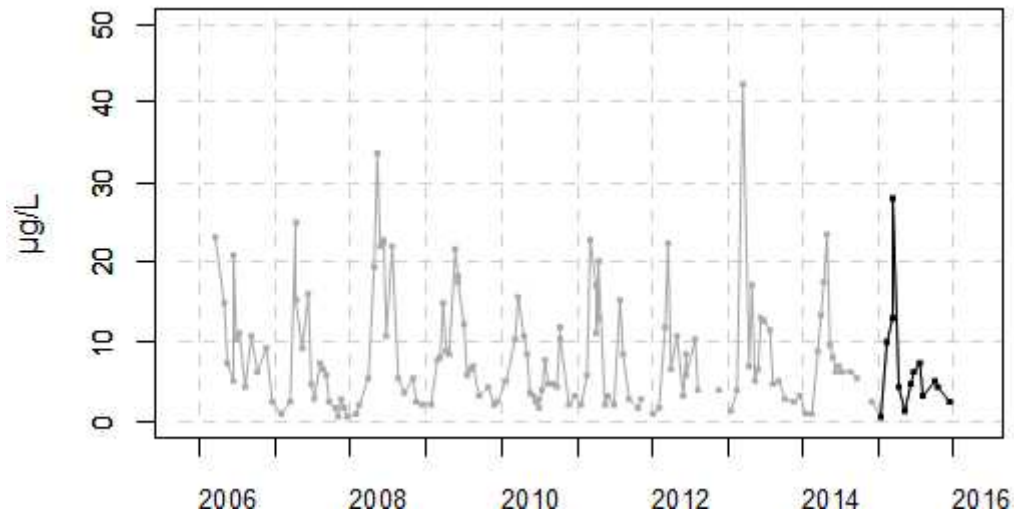


Figure 104. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en chlorophylle-*a* ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) pour le point Mimer de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

## Chlorophylle a

006-P-001 Baie de Somme - large / At so - Surface (0-1m)



006-P-001 Baie de Somme - large / At so - Variation saisonnière 2015 Chlorophylle A

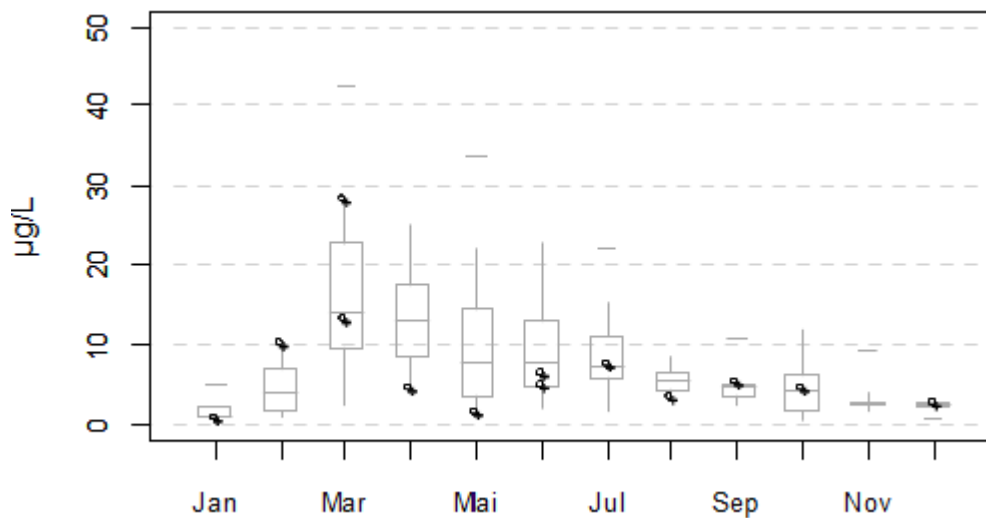
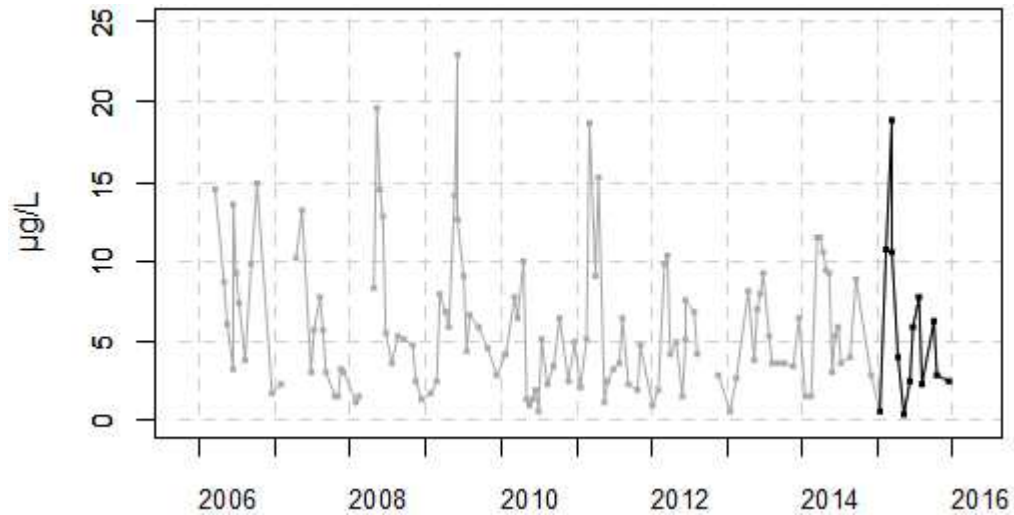


Figure 105. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en chlorophylle-*a* ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) pour le point Atso de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

## Chlorophylle a

006-P-007 Baie de Somme - large / SRN Somme mer 2 - Surface (0-1m)



006-P-007 Baie de Somme - large / SRN Somme mer 2 - Variation saisonnière 2015 Chlorophylle A

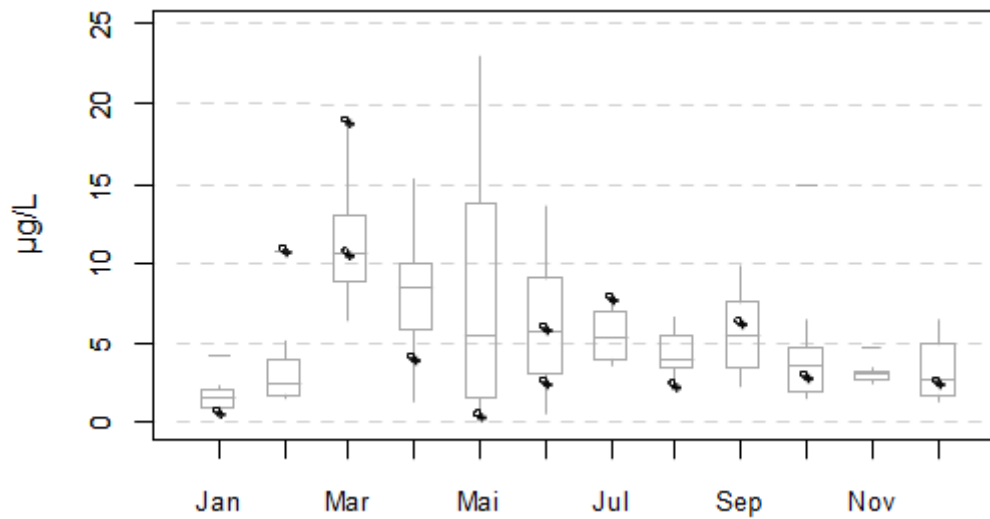


Figure 106. Dynamique pluriannuelle (année 2015 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en noir) de la concentration en chlorophylle-a ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) pour le point Mer 2 de la radiale de la Baie de Somme pour la période 2006-2015

## **3.2. Paramètres biologiques**

### *3.2.1. Le phytoplancton*

Le risque environnemental provoqué par la prolifération de certaines espèces d'algues microscopiques est à l'origine de la mise en veille de certaines masses d'eau marines côtières. On observe, au cours de l'année, des apparitions des blooms sans qu'on en soit capable d'en prédire la date ni la durée. Il existe environ 4 000 espèces phytoplanctoniques dans le monde : certaines d'entre elles (environ 250) peuvent proliférer de façon importante en formant des eaux rouges, brunes ou vertes. D'autres espèces (environ 70) sont toxiques, mais la plupart d'entre elles sont totalement inoffensives. Parmi les espèces toxiques, certaines contiennent des toxines dangereuses pour l'homme, les coquillages ou les poissons. Face à ces menaces, il est important de procéder à des observations régulières pour mieux suivre la dynamique des efflorescences phytoplanctoniques dans les eaux marines. C'est donc en raison du risque pour la santé publique qu'un réseau de surveillance du phytoplancton (REPHY) fonctionne depuis 1984 sur tout le littoral français. Le S.R.N (Suivi Régional des Nutriments) complète ce réseau vers le large.

Le phytoplancton est le premier maillon de la chaîne alimentaire puisqu'il se situe à la base d'un ensemble d'interactions qui structurent un réseau trophique. Sa présence dans un milieu est fonction de la disponibilité en nutriment et aussi la présence de facteurs physiques favorables à son développement (température, éclaircissement, turbulence, turbidité des masses d'eau, etc.). La production primaire est le processus par lequel les algues microplanctoniques transforment la matière minérale en matière organique nécessaire pour leur croissance. En effet, dans les conditions normales d'abondance en éléments nutritifs : allongement des jours d'éclaircissement et de réchauffement progressif des masses d'eau, la croissance du phytoplancton se fait de façon optimale. Au cours des périodes post-automnales, la température et surtout l'ensoleillement diminuent, limitant ainsi la croissance du phytoplancton. Ceci permet la reconstitution des stocks des éléments nutritifs par la minéralisation de la matière organique. L'apparition des blooms printaniers et estivaux entraîne généralement, dans les écosystèmes peu soumis aux apports terrigènes, une diminution progressive des concentrations en éléments nutritifs. Il arrive donc que certains éléments soient absents ou au-dessous des seuils pouvant permettre le développement des blooms. Cette limitation a pu être mise en évidence dans le chapitre précédent où de nombreux éléments ont été identifiés comme potentiellement limitants pour le phytoplancton au cours de l'année.

La Manche orientale est considérée comme ultime réceptacle de certains fleuves chargés en sels nutritifs comme la Seine et la Somme. Elle représente donc un lieu propice au développement des blooms printaniers par exemple, susceptibles d'être envahissants, gênants ou même toxiques.

Le bassin de la Manche orientale montre une grande diversité d'espèces benthiques et pélagiques. Les communautés phytoplanctoniques présentent une forte variation et se succèdent au fur et à mesure des saisons. On observe généralement une succession printanière de *Phaeocystis* et de Diatomées. Pendant la période estivale, on observe les dinoflagellés dont la croissance et les besoins nutritionnels sont moindres. Une efflorescence accessoire de diatomées intervient en automne.

Ce chapitre est consacré à l'étude des variations d'abondance des espèces et de densité spécifique de la communauté phytoplanctonique grâce notamment à l'utilisation d'un indice écologique.

### 3.2.2. Mesure de la diversité : Indice de Sanders

L'indice biologique d'une espèce est l'addition des rangs occupés par cette espèce pour toutes les dates (dates auxquelles l'espèce a été dénombrée). Le rang de l'espèce pour une date donnée est fonction de sa dominance par rapport à celles des autres espèces présentes.

L'indice biologique est calculé selon la méthode de Sanders (1960). Pour chaque date, les espèces sont classées en fonction de leur abondance. La plus abondante, donc la plus dominante à cette date, est notée 10. La seconde 9, la troisième 8 jusqu'à la dixième 1, les suivantes étant notées 0. Ainsi pour chaque date, 10 espèces sont classées. Pour chaque espèce, les notes obtenues à toutes les dates sont additionnées et leur somme correspond à l'indice de Sanders rencontré dans les tableaux de résultats. Guille (1970) propose la classification biocénotique suivante des espèces, en fonction de la valeur de l'indice de SANDERS, pour un site donné :

- Les espèces classées dans les dix premières sont appelées espèces *préférantes* du site.
- Les espèces classées dans les dix suivantes sont les espèces *accompagnatrices* du site.
- Les espèces dont l'indice de SANDERS est égal à 0 sont dites *accessoires* du site.

Les 10 taxons dominants, par point et par mois pour l'année considérée sont représentés dans un tableau qui indique une classe d'abondance. Ces taxons sont ordonnés de haut en bas en fonction de leur indice de Sanders. Le taxon en première ligne est jugé le plus caractéristique du point pour le mois considéré.



### 3.2.3. Genres toxiques et Toxicités

Une surveillance régulière de l'ensemble des espèces phytoplanctoniques permet la détection des espèces toxiques et nuisibles connues, mais également d'espèces potentiellement toxiques. Les résultats sont disponibles sur internet :

(<http://envlit.ifremer.fr/content/download/82798/598028/version/6/file/SyntheseNationaleBullSurvED2015.pdf>)

Plusieurs espèces de *Pseudonitzschia* produisent des toxines amnésiantes (dites toxines ASP ou Amnesic Shellfish Poison). *Dinophysis* produit des toxines diarrhéiques (dites toxines DSP ou Diarrheic Shellfish Poison). Plusieurs autres espèces d'*Alexandrium* produisent des toxines paralysantes (dites toxines PSP ou Paralytic Shellfish Poison).

C'est la présence de ces espèces toxiques dans l'eau, lorsqu'elles dépassent un seuil, qui déclenche la surveillance des toxines dans les coquillages.

Les espèces potentiellement toxiques et nuisibles, avec leur seuil d'alerte faisant l'objet d'une surveillance dans les masses d'eaux côtières du littoral Nord, Pas-de-Calais, Picardie sont :

*Pseudonitzschia delicatissima* (groupe des fines) avec un seuil d'alerte > 300 000 cell./L

*Pseudonitzschia seriata* (groupe des larges) avec un seuil d'alerte > 100 000 cell./L

*Pseudonitzschia* sp. (autres groupes) avec un seuil d'alerte > 100 000 cell./L

*Dinophysis* alerte dès présence ou 500 cell./L si une toxicité n'a jamais été observée

*Alexandrium minutum* avec un seuil d'alerte > 10 000 cell./L

*Alexandrium catenella* ou *tamarense* avec un seuil d'alerte > 5 000 cell./L

### 3.2.4. Dynamique phytoplanctonique

#### 3.2.4.1. Dunkerque

La chlorophylle-*a*, soit le proxy de la biomasse du phytoplancton, présente la même dynamique de 2011 à 2014 sur la radiale de Dunkerque (Figures 107 à 109). Elle augmente lors de la période productive (jusqu'à 53,18 µg/L comme en avril 2013 au point 1) avant de revenir à des valeurs plus basses et présentant une faible étendue (concentrations entre 0 et 10 µg/L). En ce qui concerne l'année 2015, la biomasse suit une dynamique saisonnière semblable à celles des années 2011 à 2014 avec une hausse des valeurs au printemps. Cependant, l'étendue des valeurs est moins

forte. En effet, la valeur maximale sur la radiale de Dunkerque est seulement de 21,27 µg/L en mars, soit une production de biomasse 2,5 fois moins élevée que l’année précédente.

A l’instar de la biomasse, l’abondance des cellules augmente considérablement de mars à mai. Sur la période 2011–2014, le nombre de cellule a atteint  $11,7 \cdot 10^6$  cellules/L en mars 2011 au point 1. Le nombre de cellule augmente de même en juillet pour les points 3 et 4 de la radiale. Des valeurs plus faibles se distinguent lors des périodes froides.

Les valeurs de 2015 sont comparables à celles observées aux années précédentes. La valeur maximale atteint  $12,4 \cdot 10^6$  cellules/L en avril au point 3 de la radiale. De plus, les hausses apparaissent à partir de mars et une diminution du nombre de cellule est observable en hiver.

De manière générale, les Bacillariophycées dominent sur les autres classes. Tout particulièrement, *Pseudo-nitzschia* est présente toute l’année et prolifère d’avril à juin. *Phaeocystis globosa*, une Prymnésiophycée, apparaît de manière épisodique à partir de janvier et, à l’instar de *Pseudo-nitzschia*, se multiplie à partir d’avril sur les points 1 et 3. D’autres classes sont présentes toute l’année en quantité non négligeable (entre 10 000 et 100 000 cellules/L) sans phase de prolifération massive (exemple du groupe des *Cryptophycées* et des *Paralia*).

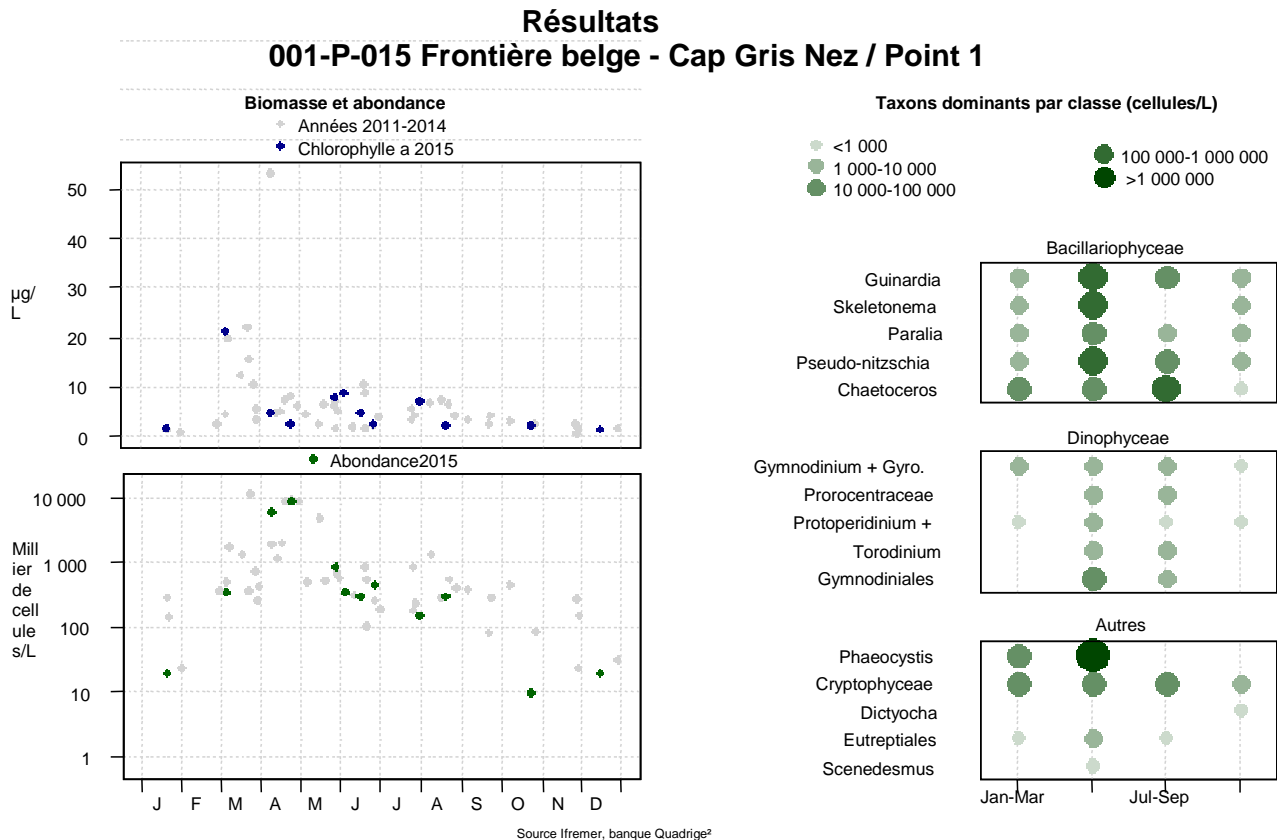


Figure 107. Évolution de l’abondance phytoplanctonique totale entre 2011 et 2015 et classement des taxons dominants au sens de l’indice de Sanders pour le point 1 de la radiale de Dunkerque

### Résultats 001-P-016 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 3 SRN

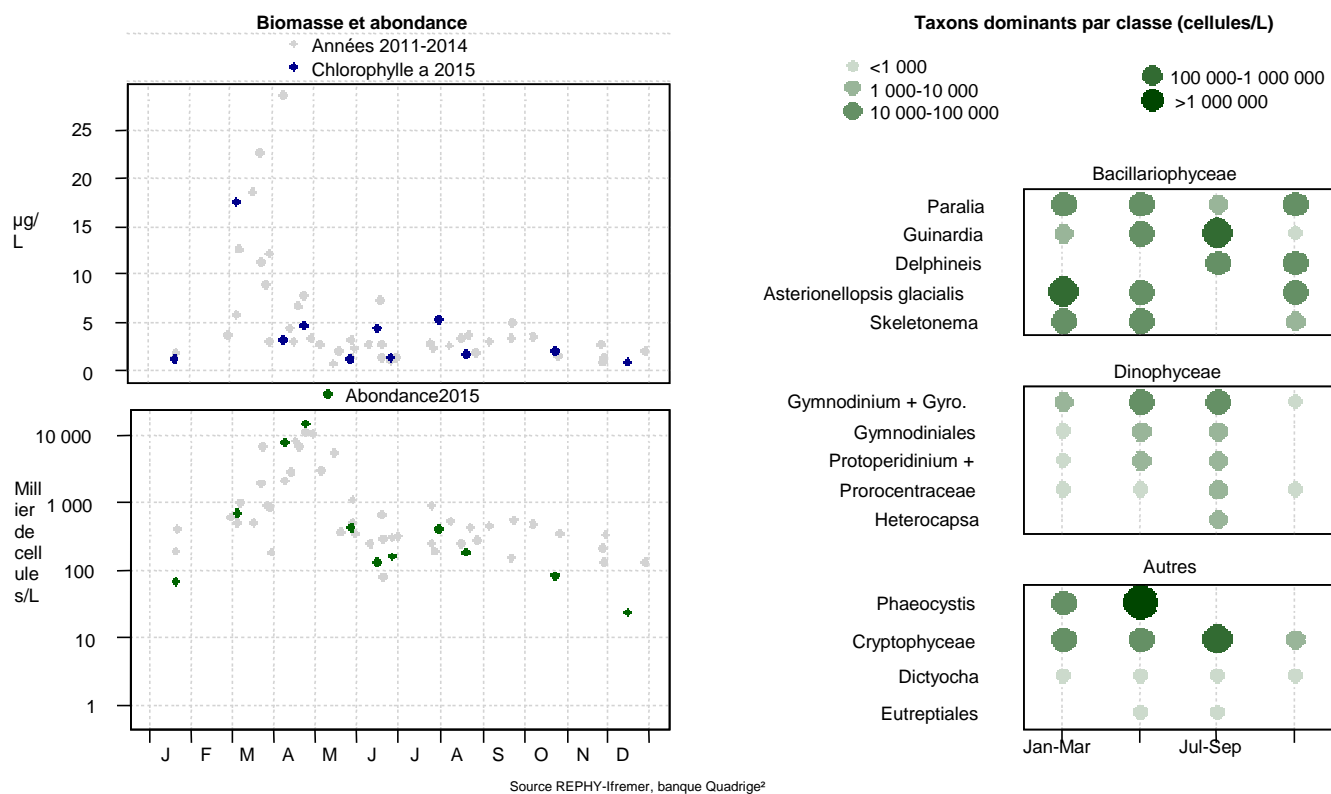


Figure 108. Évolution de l'abondance phytoplanktonique totale entre 2011 et 2015 et classement des taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour le point 3 de la radiale de Dunkerque

### Résultats 001-P-017 Frontière belge - Cap Gris Nez / Point 4 SRN Dunkerque

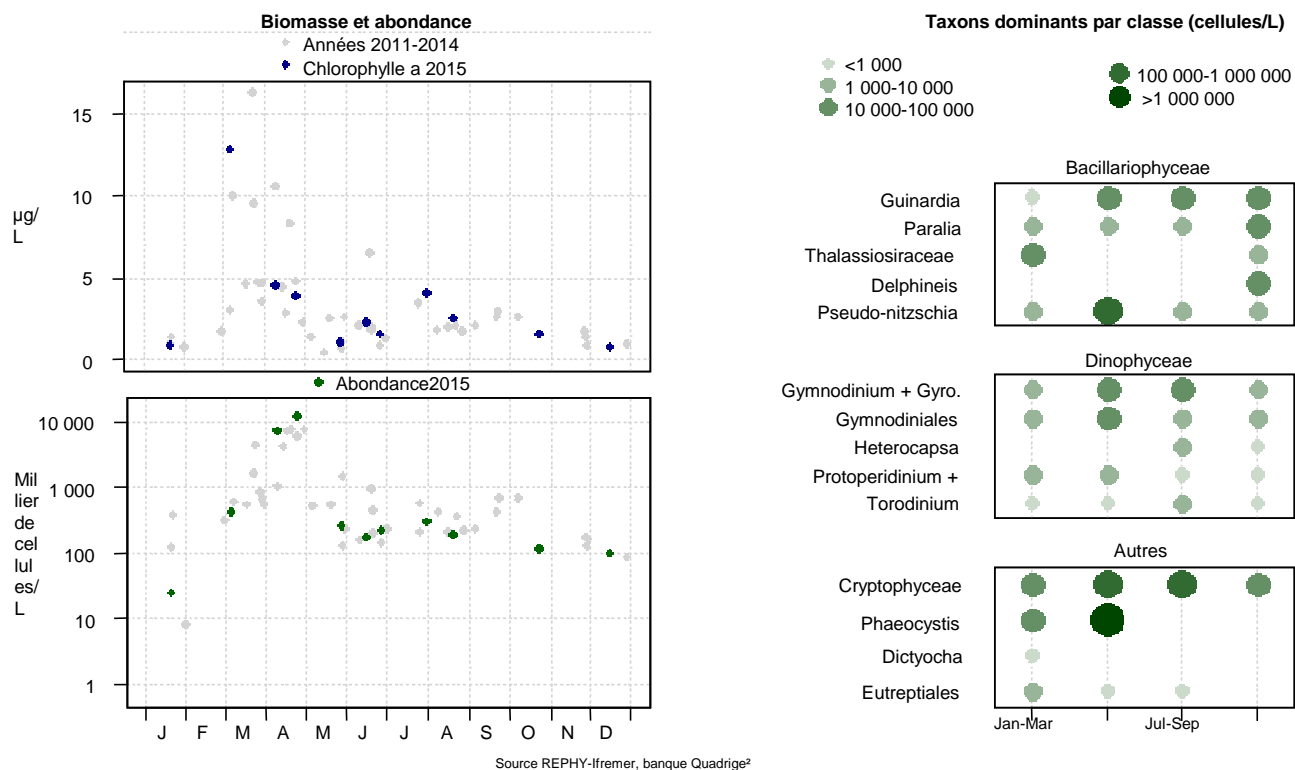


Figure 109. Évolution de l'abondance phytoplanktonique totale entre 2011 et 2015 et classement des taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour le point 4 de la radiale de Dunkerque

Tableau 57. Correspondance entre les intitulés de la base de données Quadrigé 2 et la classe taxonomique pour la radiale de Dunkerque en 2015

## REPHY - Taxons dominants - signification des libellés

Classe	Intitulé graphe	Libellé taxon
Asterionellopsis glacialis	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	Bacillariophyceae
Chaetoceros	<i>Chaetoceros compressus</i>	Bacillariophyceae
Chaetoceros	<i>Chaetoceros curvisetus + debilis + pseudocurvisetus</i>	Bacillariophyceae
Chaetoceros	<i>Chaetoceros socialis + socialis f. radians</i>	Bacillariophyceae
Chaetoceros	<i>Chaetoceros socialis f. radians</i>	Bacillariophyceae
Chaetoceros	<i>Chaetoceros</i>	Bacillariophyceae
Delphineis	<i>Delphineis</i>	Bacillariophyceae
Guinardia	<i>Guinardia delicatula</i>	Bacillariophyceae
Guinardia	<i>Guinardia striata</i>	Bacillariophyceae
Paralia	<i>Paralia sulcata</i>	Bacillariophyceae
Pseudo-nitzschia	<i>Pseudo-nitzschia, complexe delicatissima, groupe des fines (calliantha + delicatissima + pseudodelicatissima + subcurvata)</i>	Bacillariophyceae
Pseudo-nitzschia	<i>Pseudo-nitzschia, groupe des larges symétriques (fraudulenta)</i>	Bacillariophyceae
Skeletonema	<i>Skeletonema costatum</i>	Bacillariophyceae
Thalassiosiraceae	<i>Thalassiosira levanderi + minima</i>	Bacillariophyceae
Amphidinium	<i>Amphidinium</i>	Dinophyceae
Gymnodiniales	<i>Katodinium</i>	Dinophyceae
Gymnodinium + Gyro.	<i>Gymnodinium</i>	Dinophyceae
Gymnodinium + Gyro.	<i>Gyrodinium spirale</i>	Dinophyceae
Gymnodinium + Gyro.	<i>Gyrodinium</i>	Dinophyceae
Heterocapsa	<i>Heterocapsa</i>	Dinophyceae
Prorocentraceae	<i>Prorocentrum micans + arcuatum + gibbosum</i>	Dinophyceae
Prorocentraceae	<i>Prorocentrum micans</i>	Dinophyceae
Protopteridinium +	<i>Protopteridinium</i>	Dinophyceae
Scrippsiella +	<i>Scrippsiella</i>	Dinophyceae
Torodinium	<i>Torodinium</i>	Dinophyceae

 ➤ Indice de Sanders

Les 10 taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour la radiale de Dunkerque sont identifiés sur les figures 107 à 109 et dans le tableau 57. On note que la classe des Cryptophycées est présente tout au long de l'année sur l'ensemble de la radiale ainsi que des taxons comme *Gymnodinium* et *Pseudonitzschia, groupe des larges*. Pour le reste, bien que la composition de la communauté phytoplanctonique soit globalement la même de la côte vers le large, certaines différences de classement sont visibles entre les points de la radiale, ce qui traduit une hétérogénéité spatiale (gradient de distribution côte-large ou distribution par patch) : *Paralia sulcata* se place au niveau des Bacillariophyceae, en troisième position au point 1, en premier au point 3 et en deuxième au point 4. Le recours à un calcul d'indice de Sanders par trimestre sur la base de l'ensemble des

taxons recensés permet d’approfondir l’étude des successions phytoplanctoniques : *Delphineis* est présente au niveau des trois points de la radiale au 4<sup>ème</sup> trimestre mais elle ne fait plus partie des taxons dominants lors du 1<sup>er</sup>, 2<sup>nd</sup> et 3<sup>ème</sup> trimestre pour ces mêmes points. On observe également l’apparition de *Ditylum brightwellii* comme taxon dominant pour le trimestre 1 sur l’ensemble des points de Dunkerque ; par contre, il ne fait pas partie des taxons dominants à l’échelle de l’année (Tableau 57).

➤ **Abondance du phytoplancton toxique**

La surveillance du phytoplancton toxique concerne uniquement le point 1 de la radiale de Dunkerque.

Le genre *Dinophysis* est rarement présent sur ce point (Figure 110). A cet endroit, on peut remarquer que le genre *Dinophysis*, potentiellement responsable de la toxicité DSP, n’a pas été observé en 2015.

Selon les résultats obtenus entre 2011 et 2014, on constate que le genre *Alexandrium* ne présente pas de cycle saisonnier marqué et qu’il ne dépasse pas le seuil d’alerte à 10 000 cellules/L sur cette période. En 2015, ce genre est observable en avril et en août mais il n’atteint toujours pas le seuil d’alerte avec un maximum de 877 cellules/L en août.

La toxicité ASP est particulièrement importante à prendre en compte dans notre zone d’étude. En effet, le genre *Pseudo-nitzschia* atteint des valeurs supérieures au seuil d’alerte fixé à 300 000 cellules/L pour le groupe des valves fines et 100 000 cellules/L pour les autres (les valves larges, effilées, sigmoïdes et le complexe americana). De plus, ce genre possède la capacité de se développer tout au long de l’année. Le groupe des espèces dites fines, c’est-à-dire *Pseudo-nitzschia*, complexe delicatissima (*calliantha* + *delicatissima* + *pseudodelicatissima* + *subcurvata*) a provoqué deux alertes entre 2011 et 2014 ( $0,3 \cdot 10^6$  cellules/L en mai 2011 et  $1,5 \cdot 10^6$  en mai 2014). Aucune alerte n’a été déclenchée de 2011 à 2014 par *Pseudo-nitzschia*, complexe seriata, groupe des larges (*australis* + *fraudulenta* + *seriata* + *subpacifica*). Le groupe des effilées (*multiseries* + *pungens*) n’a pas dépassé le seuil d’alerte depuis mai 2012 ( $0,1 \cdot 10^6$  cellules/L).

Pour l’année 2015, aucun dépassement du seuil d’alerte n’est observé.

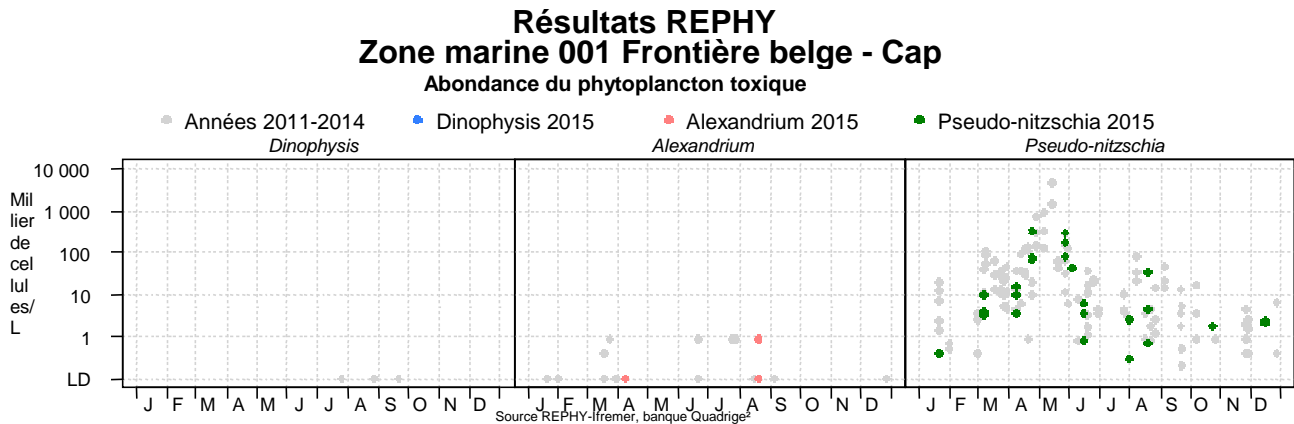


Figure 110. Évolution de l'abondance du phytoplancton toxique pour la radiale de Dunkerque pour les 5 dernières années (symboles grisés) et pour l'année 2015 (symboles en couleur)

### 3.2.4.2. Boulogne-sur-Mer

La dynamique de la biomasse sur la radiale de Boulogne suit le même schéma que sur la radiale de Dunkerque (Figures 111 à 113). La chlorophylle-*a* augmente fortement de mars à mai puis devient plus faible. On peut remarquer des résultats légèrement plus importants au point 1 de Boulogne avec une valeur maximale de 18,37  $\mu\text{g/L}$  en avril 2011 contre 14,21  $\mu\text{g/L}$  au point 2 et 9,45  $\mu\text{g/L}$  au point 3 en mars 2015. Les valeurs du point 1 varient entre 0,22 et 18,37  $\mu\text{g/L}$ , le point 2 de 0,48 et 10  $\mu\text{g/L}$  et le point 3 les valeurs se concentrent entre 0,38 et 5  $\mu\text{g/L}$ .

L'année 2015 possède une dynamique identique avec une valeur de biomasse maximale à 17,78  $\mu\text{g/L}$  en mars à la station 1, 15,55  $\mu\text{g/L}$  en mars à la station 2 et 9,45  $\mu\text{g/L}$  en mars au point 3.

A l'instar de la biomasse, l'abondance des cellules suit le même cycle. Elles se multiplient fortement au printemps, et sont moins nombreuses en hiver. De 2011 à 2014, le développement de cellule maximale est observé en mars 2012 au point 2 ( $15,2 \cdot 10^6$  cellules/L).

En 2015, l'abondance de cellule est maximale à la station 2 en mai avec  $8,2 \cdot 10^6$  cellules/L. Cette valeur est due à la prolifération de *Phaeocystis globosa*. L'abondance est minimale pour les trois stations en janvier.

La proportion des taxons diffère peu de la radiale de Boulogne à celle de Dunkerque. Des taxons sont présents de manière épisodique, comme *Phaeocystis globosa* de janvier à juin. Les blooms de cette espèce sont plus faibles en s'éloignant de la côte. D'autres classes dominent tout au long de l'année et sur toute la radiale comme les Bacillariophycées, notamment *Chaetoceros* ( $0,6 \cdot 10^6$  cellules/L au point 1 en août 2015,  $0,1 \cdot 10^6$  cellules/L au point 2 en août 2015 et  $0,1 \cdot 10^6$  cellules/L au point 3 en août 2015).

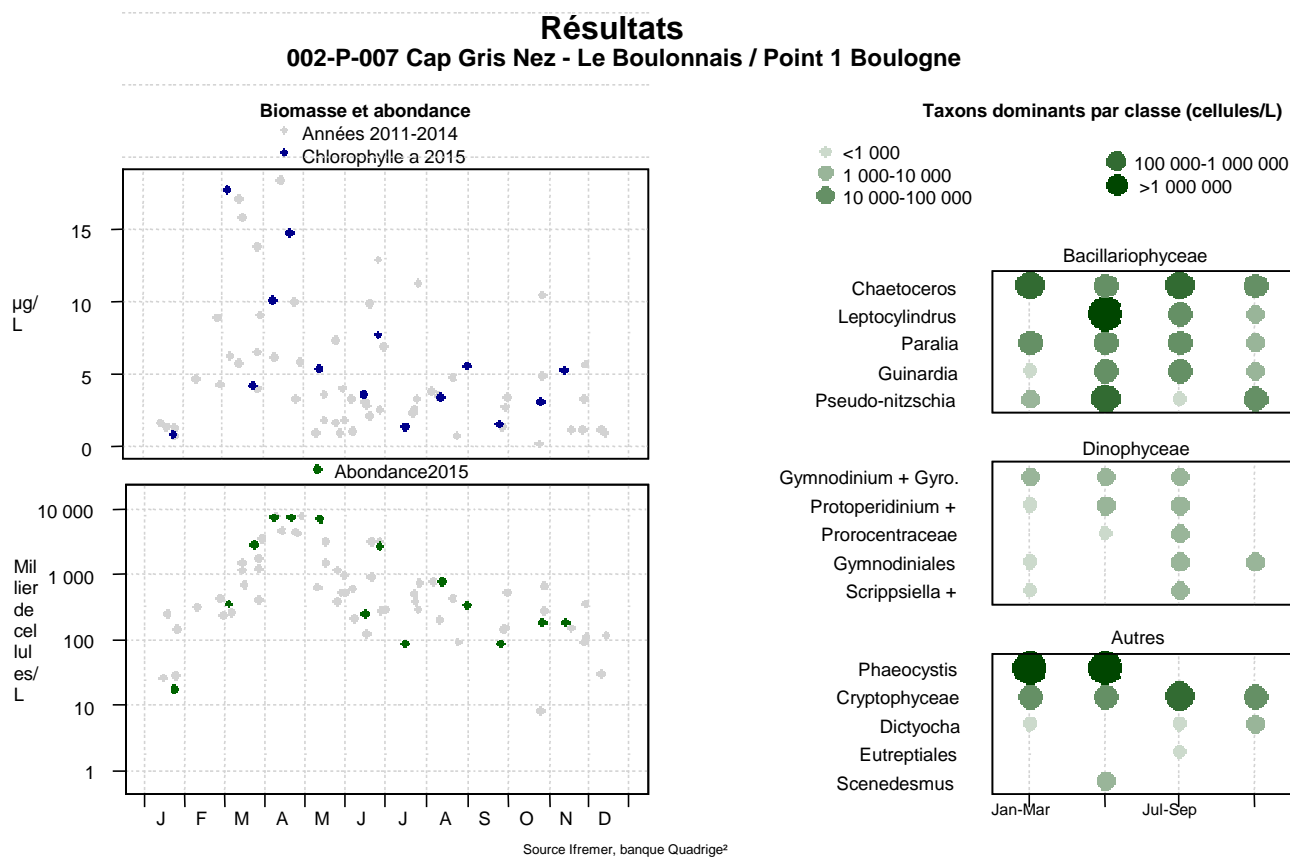


Figure 111. Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2011 et 2015 et classement des taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour le point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer

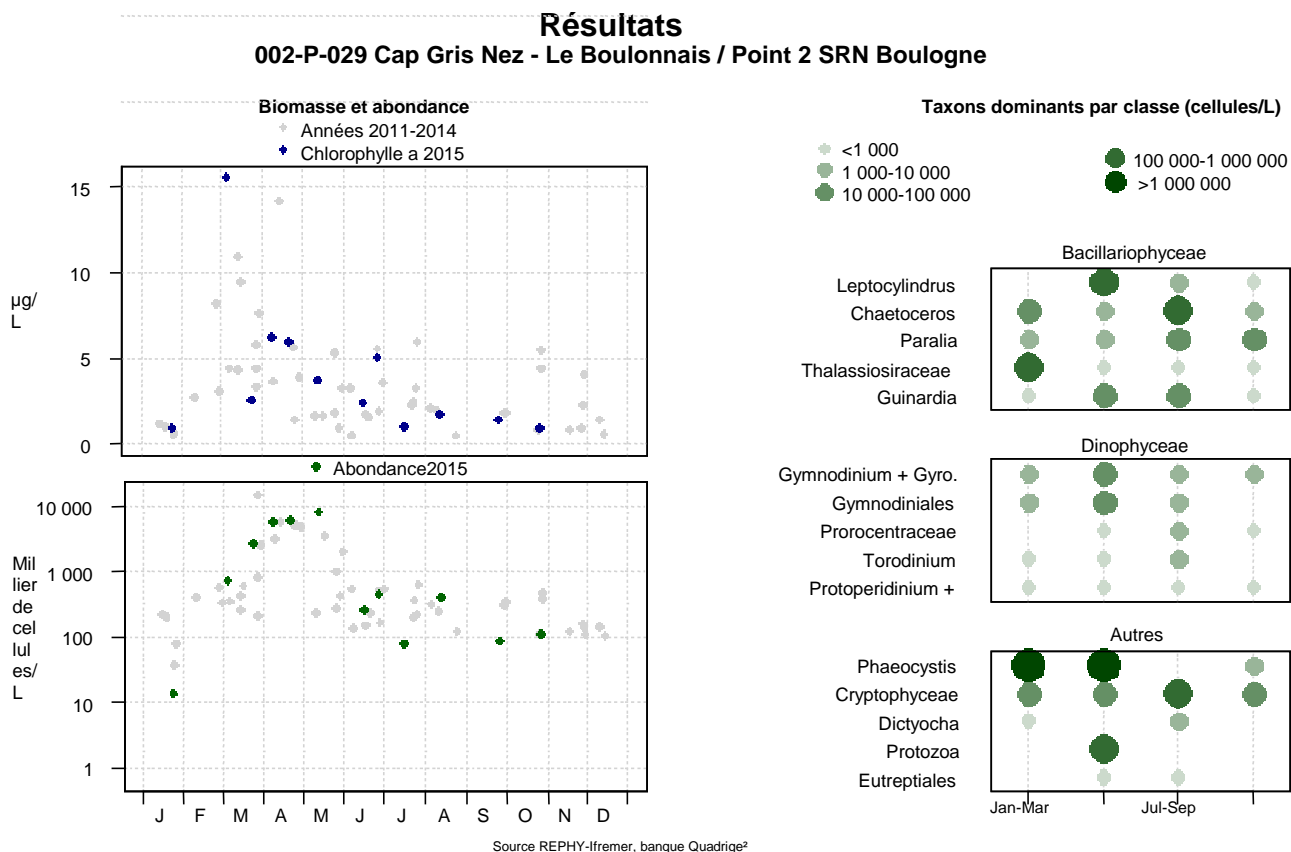


Figure 112. Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2011 et 2015 et classement des taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour le point 2 de la radiale de Boulogne-sur-Mer

**Résultats**  
**002-P-030 Cap Gris Nez - Le Boulonnais / Point 3 SRN Boulogne**

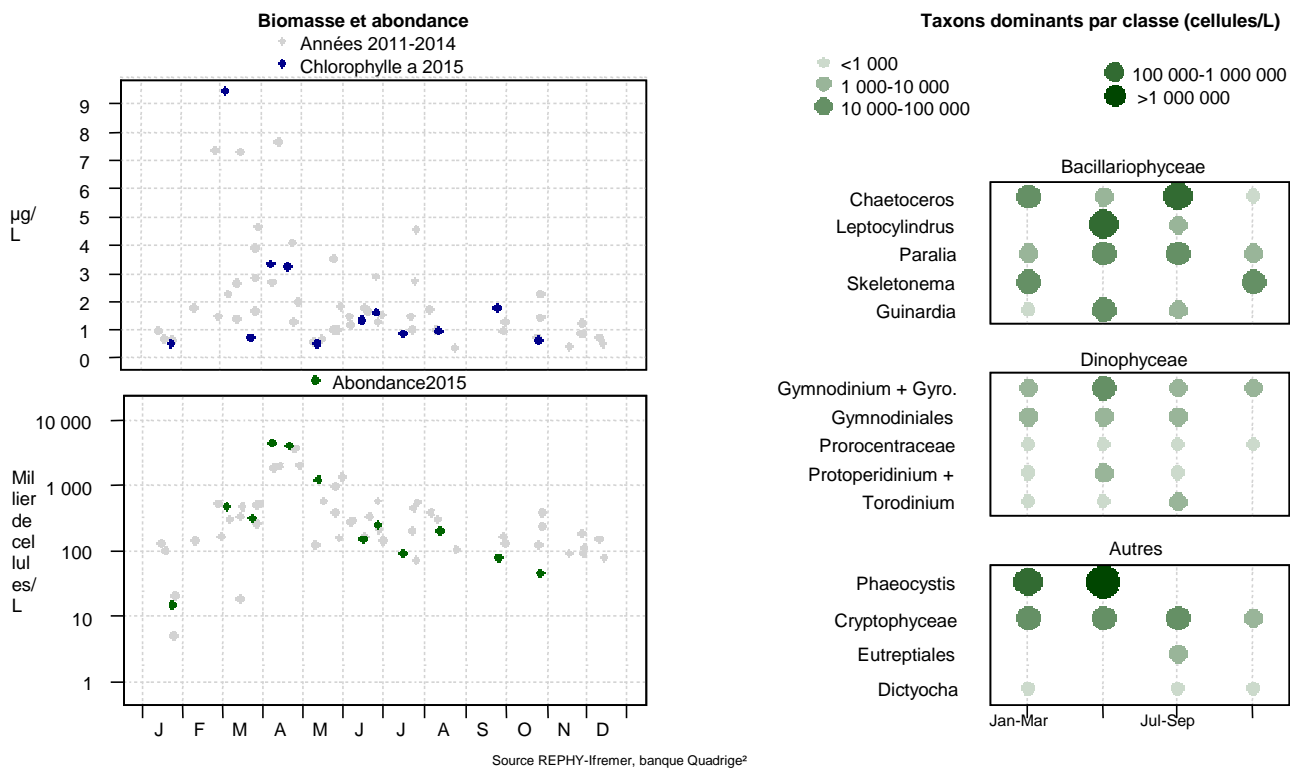


Figure 113. Évolution de l’abondance phytoplanctonique totale entre 2011 et 2015 et classement des taxons dominants au sens de l’indice de Sanders pour le point 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer

Tableau 58. Correspondance entre les intitulés de la base de données Quadrigé 2 et la classe taxonomique pour la radiale de Boulogne en 2015

REPHY – Taxons dominants – signification des libellés

Classe	Intitulé graphe	Libellé taxon
Asterionellopsis glacialis	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	Bacillariophyceae
Chaetoceros	<i>Chaetoceros compressus</i>	Bacillariophyceae
Chaetoceros	<i>Chaetoceros curvisetus + debilis + pseudocurvisetus</i>	Bacillariophyceae
Chaetoceros	<i>Chaetoceros socialis + socialis f. radians</i>	Bacillariophyceae
Chaetoceros	<i>Chaetoceros socialis f. radians</i>	Bacillariophyceae
Chaetoceros	<i>Chaetoceros</i>	Bacillariophyceae
Cymatosiraceae	<i>Brockmanniella brockmannii</i>	Bacillariophyceae
Cymatosiraceae	<i>Plagiogramma</i>	Bacillariophyceae
Delphineis	<i>Delphineis</i>	Bacillariophyceae
Guinardia	<i>Guinardia delicatula</i>	Bacillariophyceae
Guinardia	<i>Guinardia striata</i>	Bacillariophyceae
Leptocylindrus	<i>Leptocylindrus danicus</i>	Bacillariophyceae
Paralia	<i>Paralia sulcata</i>	Bacillariophyceae
Pseudo-nitzschia	<i>Pseudo-nitzschia, complexe delicatissima, groupe des fines (calliantha + delicatissima + pseudodelicatissima + subcurvata)</i>	Bacillariophyceae
Pseudo-nitzschia	<i>Pseudo-nitzschia, groupe des larges symétriques (fraudenta)</i>	Bacillariophyceae



Skeletonema	<i>Skeletonema costatum</i>	Bacillariophyceae
Thalassiosiraceae	<i>Thalassiosira levanderi + minima</i>	Bacillariophyceae
Amphidinium	<i>Amphidinium</i>	Dinophyceae
Gymnodiniales	<i>Katodinium</i>	Dinophyceae
Gymnodinium + Gyro.	<i>Gymnodinium</i>	Dinophyceae
Gymnodinium + Gyro.	<i>Gyrodinium spirale</i>	Dinophyceae
Gymnodinium + Gyro.	<i>Gyrodinium</i>	Dinophyceae
Heterocapsa	<i>Heterocapsa</i>	Dinophyceae
Prorocentraceae	<i>Prorocentrum micans + arcuatum + gibbosum</i>	Dinophyceae
Prorocentraceae	<i>Prorocentrum micans</i>	Dinophyceae
Protoperidinium +	<i>Protoperidinium</i>	Dinophyceae
Scrippsiella +	<i>Scrippsiella</i>	Dinophyceae
Torodinium	<i>Torodinium</i>	Dinophyceae

➤ **Indice de Sanders**

Les 10 taxons dominants (au sens de l'indice de Sanders) pour la radiale de Boulogne sont identifiés sur les figures 111 à 113 et le tableau 58. On note que *Phaeocystis* domine les 3 points de la radiale. Pour le reste, bien que la composition de la communauté phytoplanctonique soit globalement la même de la côte vers le large, certaines différences de classements sont visibles entre les points de la radiale, ce qui traduit une hétérogénéité spatiale (gradient de distribution côte – large ou distribution par patch) : par exemple, on peut noter que *Leptocylindrus danicus* est une espèce qui se place en deuxième position pour les points 1 et 3 pour les Bacillariophyceae, alors qu'elle est en première position pour le point 2.

Le recours à un calcul d'indice de Sanders par trimestre sur la base de l'ensemble des taxons recensés permet d'approfondir l'étude des successions phytoplanctoniques : *Guinardia* est présente au niveau des trois points de la radiale au 2<sup>nd</sup> et 3<sup>ième</sup> trimestres mais elle ne fait plus partie des taxons dominants lors du 1<sup>er</sup> et 4<sup>ème</sup> trimestre pour ces mêmes points. On observe également que *Paralia* fait partie des taxons dominant pour les quatre trimestres pour le point 1, pour le trimestre 2, 3 et 4 sur le point 3. Par contre, *Paralia* ne fait partie des taxons dominant que durant les trimestres 3 et 4 pour le point 2.

➤ **Abondance du phytoplancton toxique**

Le dispositif d'alerte REPHY concerne uniquement le point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer.

Le genre *Dinophysis*, apparaît rarement à Boulogne-sur-Mer (Figure 114). La quantité de cellule maximale observée pour ce genre sur la période 2011-2014 est 100 cellules/L en mars 2011 et en septembre 2014 au point 1.

En 2015, il n'a pas été constaté de cas d'apparition du genre *Dinophysis*, par conséquent le seuil d'alerte n'a pas été dépassé.

Le seuil d'alerte n'est pas dépassé par le genre *Alexandrium*. Il se situe à 10 000 cellules/L pour *Alexandrium minutum* et à 5 000 cellules/L pour *Alexandrium catenella* ou *tamarense*. La quantité de cellule maximale observée pour ce genre sur la période 2011-2014 est 877 cellules/L en novembre 2011 au point 1.

Les *Pseudo-nitzschia* se développent tout au long de l'année et prolifèrent de mars à juillet. *Pseudo-nitzschia* (groupe des fines, groupe des larges et autres) est présent en quantité plus importante. En effet, le groupe des fines, avec un seuil d'alerte à 300 000 cellules/L, dépasse le seuil à deux reprises sur la période 2011 à 2014 (827 800 cellules/L et 340 276 cellules/L en mai 2011).

Au sujet du groupe des larges et des autres groupes (exemple : groupe des effilés, sigmoïdes ou encore *americana*), les valeurs n'ont pas dépassé le seuil d'alerte (100 000 cellules/L) entre 2011 et 2014.

En 2015, les valeurs sont faibles par rapport aux seuils d'alerte. Par exemple, le groupe des fines n'atteint que 223635 cellules/L au maximum en mai. L'alerte n'est donc pas déclenchée.

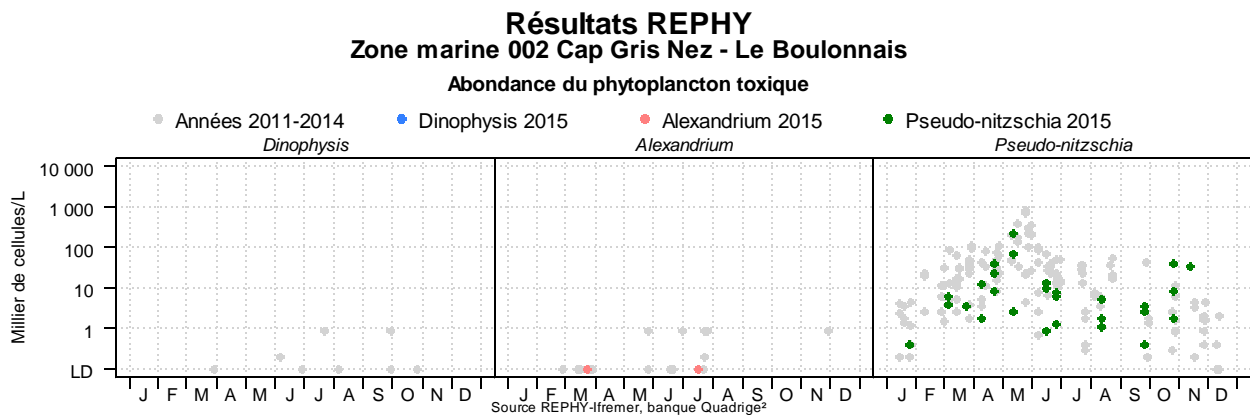


Figure 114. Évolution de l'abondance du phytoplancton toxique pour la radiale de Boulogne-sur-Mer pour les 5 dernières années (symboles grisés) et pour l'année 2015 (symboles en couleur)

### 3.2.4.3. Baie de Somme

La dynamique du phytoplancton est relativement proche de celle observée pour les autres radiales en termes de biomasse et d'abondance phytoplanctonique, bien que les niveaux atteints

puissent être différents (Figures 115 à 118). La quantité de chlorophylle-*a* augmente dès février et les valeurs les plus faibles s’observent en hiver. Des valeurs exceptionnelles sont mises en évidence pour la station Bif à 90,12 µg/L en juin 2011. La biomasse diminue au fur et à mesure que les stations se situent loin de la côte. En effet, la valeur maximale pour la station Mimer est de 63,80 µg/L en juin 2011, 42,21 µg/L en mars 2013 pour la station Atso et 18,76 µg/L en mars 2011 pour la station Mer 2.

En 2015, la dynamique de la biomasse varie selon le même cycle et les résultats diminuent en fonction de l’éloignement de la côte. La valeur de chlorophylle-*a* maximale apparaît en juin à la station Bif (78,86 µg/L).

L’abondance de cellule augmente à partir du mois de mars, notamment à cause des blooms de *Phaeocystis globosa*. Les valeurs moins élevées sont observables en hiver. En avril 2013, les cellules se sont développées jusqu’à 20,1.10<sup>6</sup> cellules/L à la station Mimer.

En 2015, cette espèce atteint jusqu’à 14,6.10<sup>6</sup> cellules/L en avril à la station Mimer. Cette radiale connaît le plus grand développement de cellule.

*Phaeocystis globosa* atteint les valeurs les plus élevées pour l’année 2015 en mai avec 18,3.10<sup>6</sup> cellules/L à la station Bif. On peut noter que ce taxon est présent en plus forte quantité sur cette radiale que sur les deux autres. Cependant, cette espèce n’apparaît que de manière épisodique. La classe des Bacillariophycées, présents tout au long de l’année, domine en général sur les autres classes notamment avec par exemple *Asterionellopsis glacialis* (9,6.10<sup>6</sup> cellules/L en juin à la station Bif).

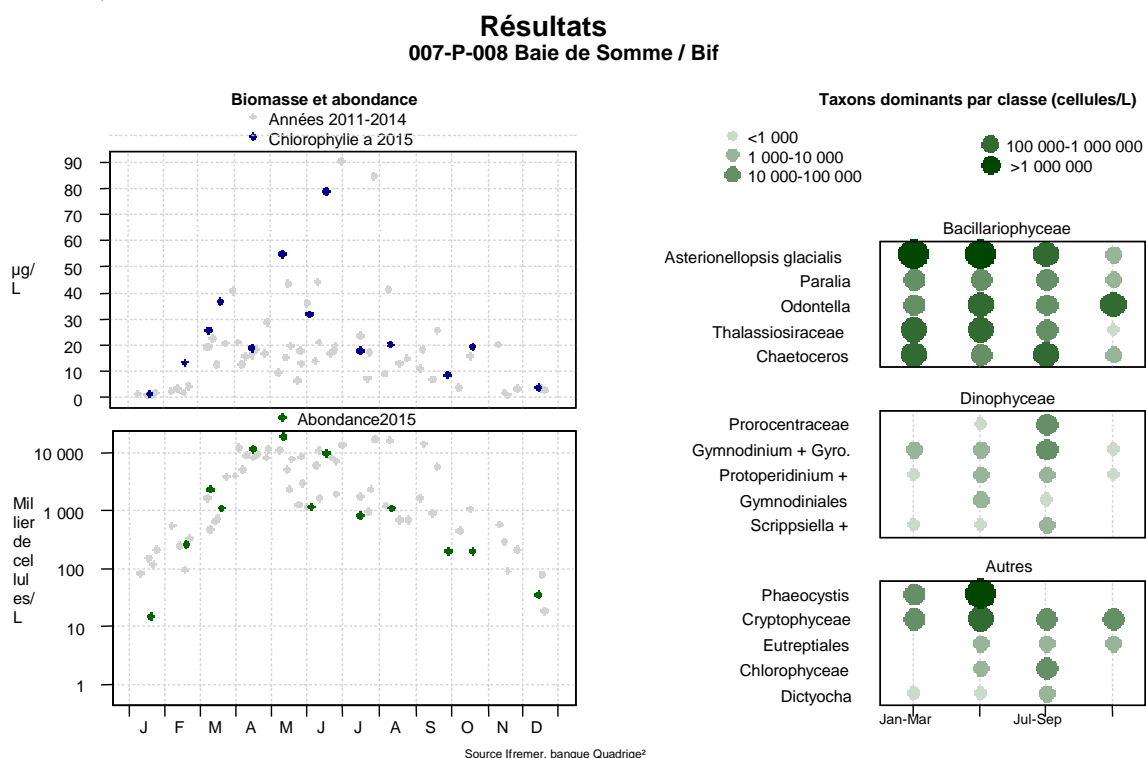


Figure 115. Évolution de l’abondance phytoplanctonique totale entre 2011 et 2015 et classement des taxons dominants au sens de l’indice de Sanders pour le point Bif de la radiale de la Baie de Somme

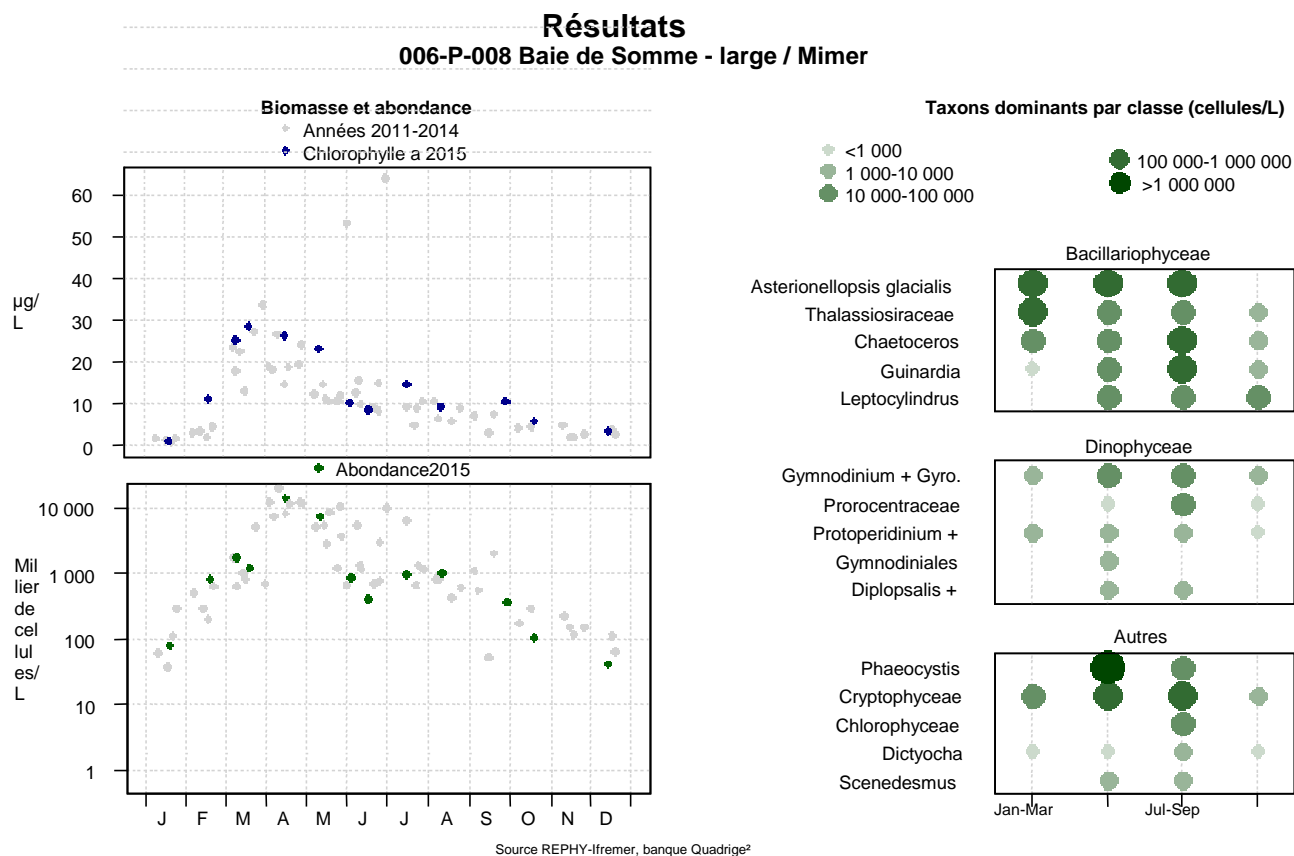


Figure 116. Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2011 et 2015 et classement des taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour le point Mimer de la radiale de la Baie de Somme

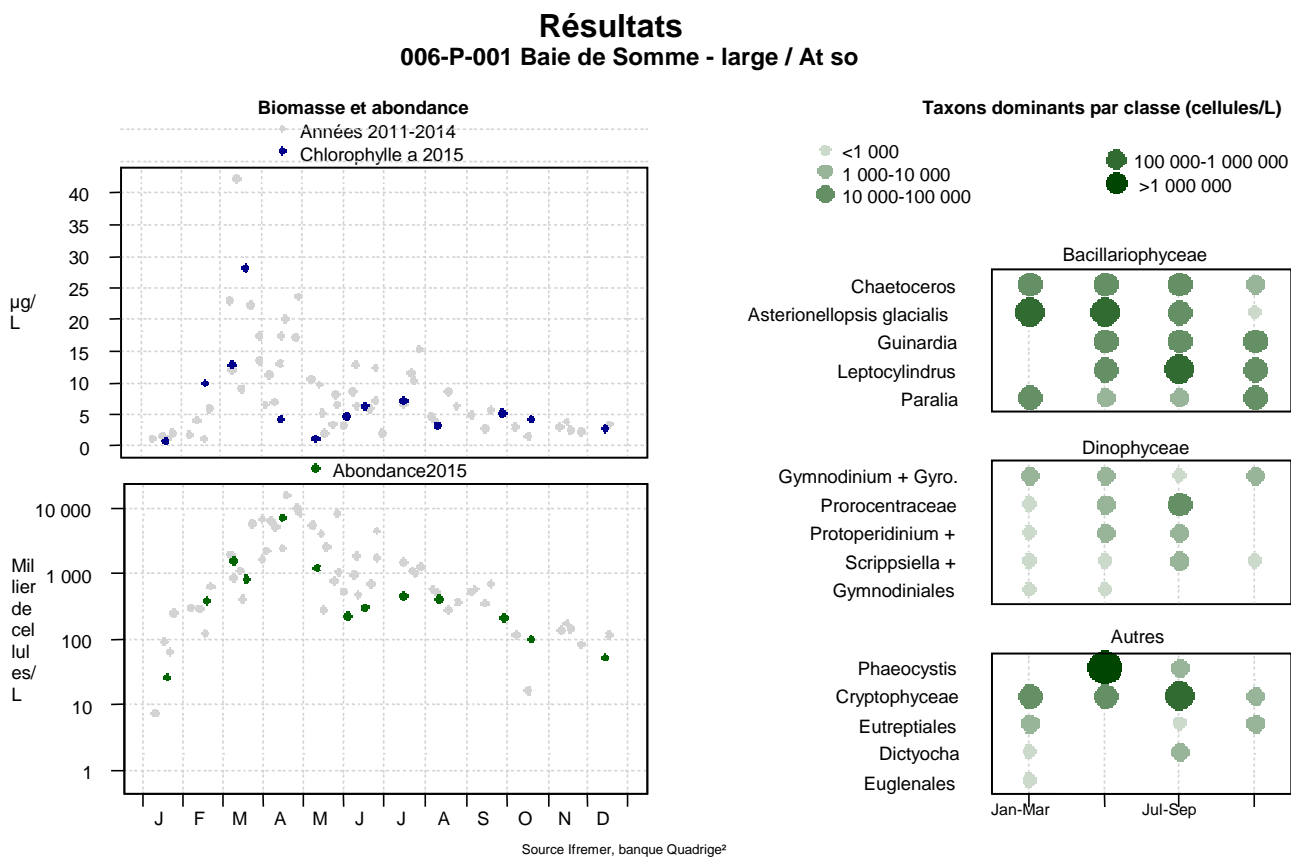


Figure 117. Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2011 et 2015 et classement des taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour le point Atso de la radiale de la Baie de Somme

## Résultats

### 006-P-007 Baie de Somme - large / SRN Somme mer 2

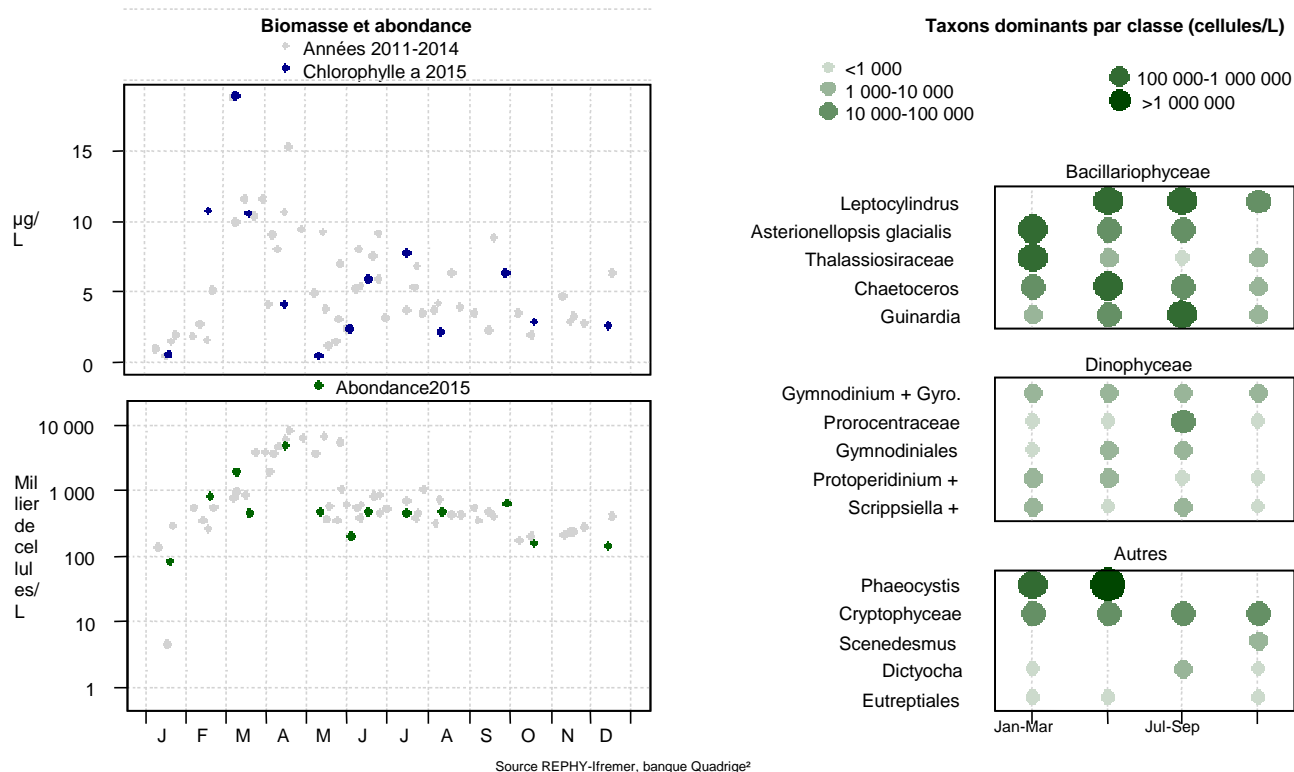


Figure 118. Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2011 et 2015 et classement des taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour le point Somme Mer 2 de la radiale de la Baie de Somme

Tableau 59. Correspondance entre les intitulés de la base de données Quadrigé 2 et la classe taxonomique pour la radiale de la Baie de Somme en 2015

#### REPHY – Taxons dominants – signification des libellés

Classe	Intitulé graphe	Libellé taxon
Asterionellopsis glacialis	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	Bacillariophyceae
Chaetoceros	<i>Chaetoceros compressus</i>	Bacillariophyceae
Chaetoceros	<i>Chaetoceros curvisetus + debilis + pseudocurvisetus</i>	Bacillariophyceae
Chaetoceros	<i>Chaetoceros socialis + socialis f. radians</i>	Bacillariophyceae
Chaetoceros	<i>Chaetoceros socialis f. radians</i>	Bacillariophyceae
Chaetoceros	<i>Chaetoceros</i>	Bacillariophyceae
Cymatosiraceae	<i>Brockmanniella brockmannii</i>	Bacillariophyceae
Cymatosiraceae	<i>Plagiogramma</i>	Bacillariophyceae
Delphineis	<i>Delphineis</i>	Bacillariophyceae
Guinardia	<i>Guinardia delicatula</i>	Bacillariophyceae
Guinardia	<i>Guinardia striata</i>	Bacillariophyceae
Leptocylindrus	<i>Leptocylindrus danicus</i>	Bacillariophyceae
Paralia	<i>Paralia sulcata</i>	Bacillariophyceae
Pseudo-nitzschia	<i>Pseudo-nitzschia, complexe delicatissima, groupe des fines (calliantha + delicatissima + pseudodelicatissima + subcurvata)</i>	Bacillariophyceae

Tableau 59 (suite). Correspondance entre les intitulés de la base de données Quadrigé 2 et la classe taxonomique pour la radiale de la Baie de Somme en 2015

Pseudo-nitzschia	<i>Pseudo-nitzschia</i> , groupe des larges symétriques ( <i>fraudulenta</i> )	Bacillariophyceae
Skeletonema	<i>Skeletonema costatum</i>	Bacillariophyceae
Thalassiosiraceae	<i>Thalassiosira levanderi</i> + <i>minima</i>	Bacillariophyceae
Amphidinium	<i>Amphidinium</i>	Dinophyceae
Diplopsalis +	<i>Diplopsalis</i>	Dinophyceae
Gymnodiniales	<i>Katodinium</i>	Dinophyceae
Gymnodinium + Gyro.	<i>Gymnodinium</i>	Dinophyceae
Gymnodinium + Gyro.	<i>Gyrodinium spirale</i>	Dinophyceae
Gymnodinium + Gyro.	<i>Gyrodinium</i>	Dinophyceae
Heterocapsa	<i>Heterocapsa</i>	Dinophyceae
Prorocentraceae	<i>Prorocentrum micans</i> + <i>arcuatum</i> + <i>gibbosum</i>	Dinophyceae
Prorocentraceae	<i>Prorocentrum micans</i>	Dinophyceae
Protoperidinium +	<i>Protoperidinium</i>	Dinophyceae
Scrippsiella +	<i>Scrippsiella</i>	Dinophyceae
Torodinium	<i>Torodinium</i>	Dinophyceae

### ➤ Indice de Sanders

Les 10 taxons dominants (au sens de l'indice de Sanders) pour la radiale de la Baie de Somme sont identifiés sur les figures 115 à 118 et dans le tableau 59. On note que *Asterionellopsis glacialis* domine les points Bif et Mimer au niveau du taxon des Bacillariophyceae tandis que la classe des *Chaetoceros* domine le point Atso et que le point Mer 2 est dominé par *Leptocylindrus danicus*. Pour le reste, bien que la composition de la communauté phytoplanctonique soit globalement la même de la côte vers le large, certaines différences de classements sont visibles entre les points de la radiale, ce qui traduit une hétérogénéité spatiale (gradient de distribution côte-large ou distribution par patch). Par exemple, on remarque que *Paralia sulcata* est une espèce qui se place en deuxième position pour le point Bif, en cinquième au point Atso et n'apparaît pas dans pour les point Mimer et Mer 2.

Le recours à un calcul d'indice de Sanders par trimestre sur la base de l'ensemble des taxons recensés permet d'approfondir l'étude des successions phytoplanctoniques : *Delphineis* est présent au 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> trimestre au niveau des quatre points de la radiale mais elle ne fait plus partie des taxons dominants lors du 1<sup>er</sup> et 2<sup>nd</sup> trimestre pour ces quatre points. On observe également que *Skeletonema costatum* fait partie des taxons dominants pour le trimestre 1 et 4 sur les points Mer 2 et Mimer, pour le trimestre 1 et 3 sur le point Atso et au trimestre 1 pour Bif. En revanche,

*Skeletonema costatum* ne fait plus partie des taxons dominant durant les trimestres 2 et 3 pour Mer 2 et Mimer, au trimestre 2 et 4 pour Atso et au trimestre 2,3 et 4 pour Bif.

➤ **Abondance du phytoplancton toxique**

Le seuil d’alerte pour la surveillance REPHY concerne uniquement le point Atso de la radiale de Baie de Somme (Figure 119).

Le genre *Dinophysis*, capable de produire la toxine DSP, est présent trois fois sur la radiale de Baie de Somme sur la période 2011 à 2014. Cependant, il n’est pas détecté sur la station Atso et donc le processus d’alerte n’a pas été déclenché.

Les valeurs du genre *Alexandrium*, sur cette même période, sont faibles par rapport au seuil d’alerte fixé à 10 000 cellules/L pour *Alexandrium minutum* et 5 000 cellules/L pour *Alexandrium catenella* ou *tamarense* (877 cellules/L en avril 2013 au maximum). De plus, ce genre est rarement observé (une à deux fois par an).

Le dernier taxon soumis à une surveillance REPHY est *Pseudo-nitzschia*. Il est fréquemment présent en ce point avec une prolifération de mars à juin. Les valeurs dépassent le seuil d’alerte pour le groupe des fines à plusieurs reprises de 2011 à 2014 (au maximum en mai 2014 avec 3 083 913 cellules/L).

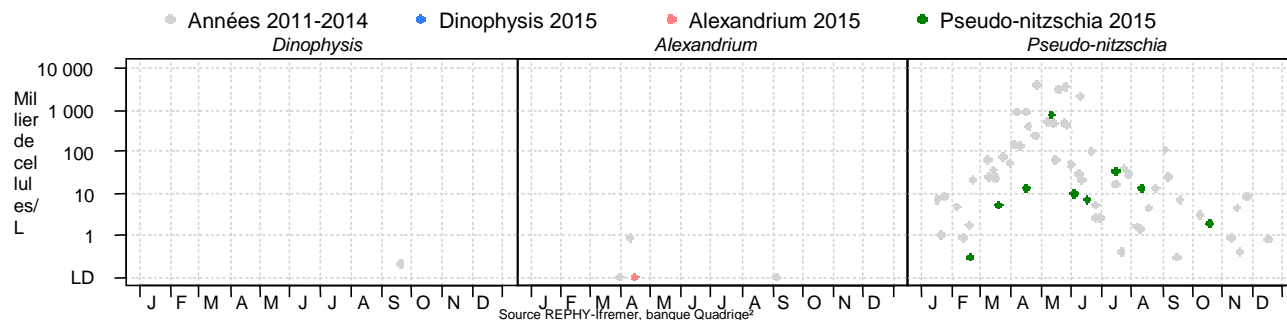
Le groupe des larges ne dépasse pas le seuil d’alerte (100 000 cellules/L) sur cette période (maximum de 91 208 cellules/L en juin 2012) et les valeurs des autres groupes sont nettement inférieures (environ 20 000 cellules/L au maximum en septembre 2013 ) au seuil d’alerte fixé à 100 000 cellules/L.

En 2015, *Dinophysis* ne s’est pas développé à la station Atso et n’est pas présent sur la radiale de Baie de Somme.

*Alexandrium minutum* est présent une fois en mai mais en quantité faible (100 cellules/L).

Le genre *Pseudo-nitzschia*, ne dépasse pas les seuils d’alerte et la valeur maximale est de 24 556 cellules/L pour *Pseudo-nitzschia delicatissima*, le groupe des fines en mai 2015.

**Résultats REPHY**  
**Zone marine 007 Baie de**  
**Abondance du phytoplancton toxique**



**Résultats REPHY**  
**Zone marine 006 Baie de**  
**Abondance du phytoplancton toxique**

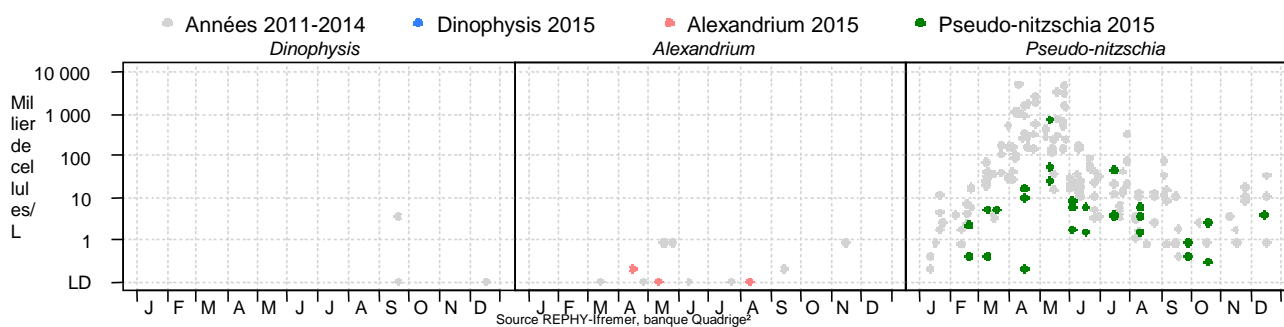


Figure 119. Évolution de l'abondance du phytoplancton toxique pour la radiale de Baie de Somme pour les 5 dernières années (symboles grisés) et pour l'année 2015 (symboles en couleur)



## 4. Discussion

L'observation et la surveillance des écosystèmes se font généralement par la mise en place de réseaux de suivi des paramètres hydrologiques et biologiques qui constituent la base indispensable à la caractérisation globale du système aquatique. De ce fait, les descripteurs environnementaux sont très nombreux et certains sont reliés par des relations de cause à effet ; d'autres, au contraire, sont influencés par les activités anthropiques.

Dans le cadre du SRN (Suivi Régional des Nutriments), un ensemble de paramètres physico-chimiques et biologiques sont utilisés comme indicateurs de la qualité du milieu marin en vue de dégager l'évolution spatiale et temporelle de quelques paramètres significatifs dans la compréhension de la dynamique du phytoplancton, de la qualité de l'eau, voire plus particulièrement du processus d'eutrophisation des eaux côtières.

Le présent rapport résume ainsi les principaux résultats obtenus pour les campagnes de l'année 2015. Il constitue un outil de synthèse permettant de caractériser les masses d'eau échantillonnées au niveau des points de surveillance de trois radiales situées à Dunkerque, à Boulogne-sur-Mer et en Baie de Somme, c'est-à-dire au niveau de trois écosystèmes contrastés, caractéristiques de notre littoral.

### 4.1. Évolution des paramètres physico-chimiques

La dynamique temporelle de l'ensemble des paramètres physico-chimiques observés au cours de l'année suit le schéma classique d'un système tempéré côtier. Les températures sont plus chaudes en été et plus froides en hiver. De même, le gradient thermique semble bien établi sur l'ensemble de la région, même si des études ont montré que l'écart thermique entre les eaux du large et côtières dépasse rarement 1 °C (Brylinsky & Lagadeuc 1990).

Nous avons pu noter, dans le cadre des campagnes de 2015, que le gradient thermique pouvait s'inverser suivant que l'on se trouve en saison hivernale ou estivale, en raison de la faible inertie thermique des eaux côtières peu profondes.

Le bassin oriental de la Manche est une mer épicontinentale à régime macrotidal qui génère des courants de marée rapides sensiblement parallèles à la côte et un courant résiduel en direction du nord-est. Cette dynamique est sous le contrôle des fortes contraintes hydrodynamiques qui caractérisent l'écosystème de la Manche et qui sont à l'origine d'une homogénéisation des masses d'eau sur la verticale, empêchant ainsi l'établissement d'une thermocline estivale.

L'étude de l'hétérogénéité verticale et horizontale des masses d'eau côtière a été abordée en examinant les résultats des mesures obtenues au cours de cette année 2015. Ainsi, le déploiement de

la sonde Ysi a permis de caractériser la structure verticale des masses d'eau. La plupart du temps, la masse d'eau est homogène et les profils verticaux mettent en évidence une faible hétérogénéité, tout au moins dans les zones côtières. Les quelques variations de températures restent négligeables, même à la côte où le mélange entre les eaux douces et salées crée parfois une stratification des masses d'eaux. Celle-ci est dans tous les cas négligeable par rapport à l'hétérogénéité horizontale.

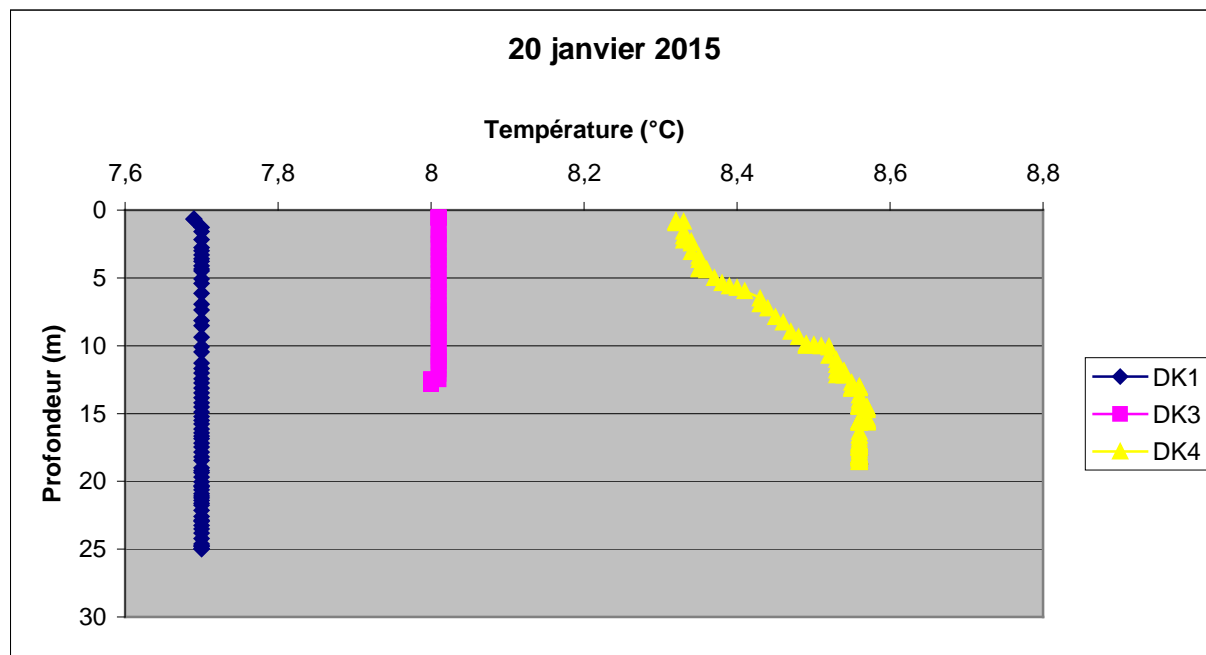


Figure 120. Évolution verticale de la température (°C) sur la radiale de Dunkerque le 20 janvier 2015

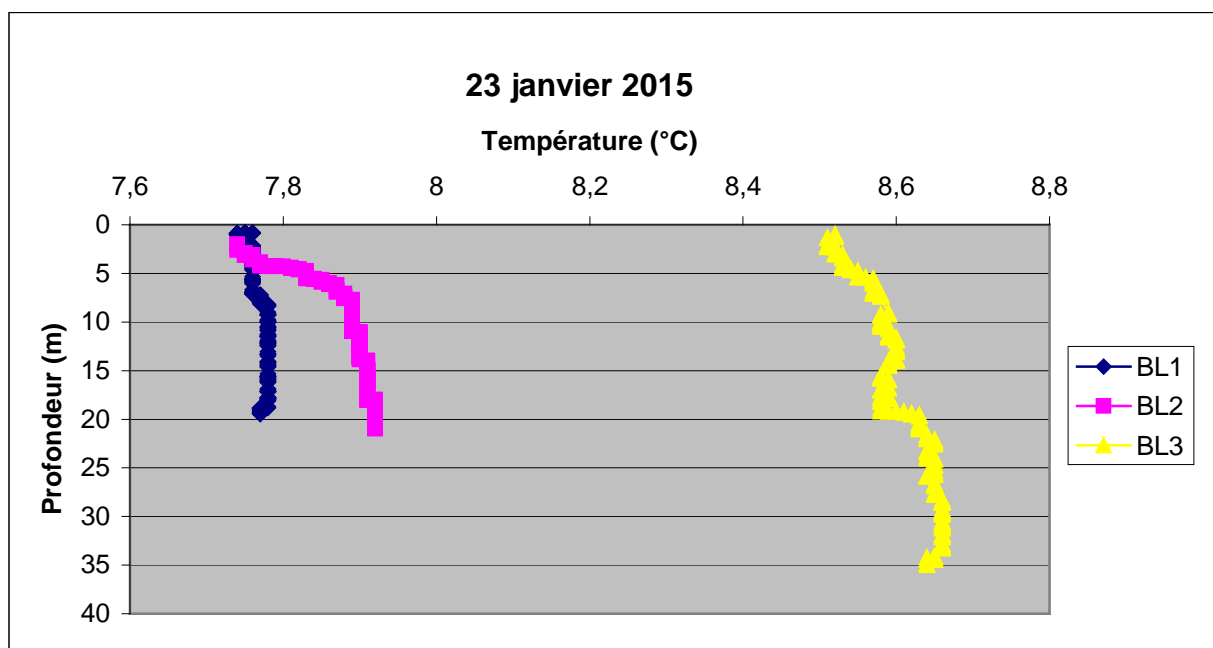


Figure 121. Évolution verticale de la température (°C) sur la radiale de Boulogne-sur-Mer le 23 janvier 2015

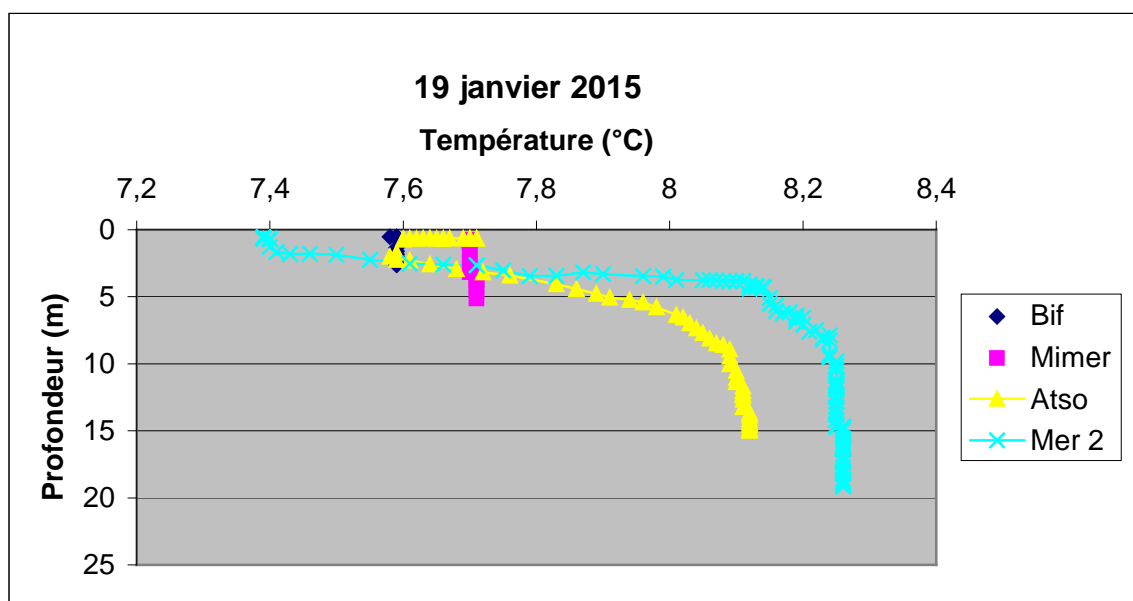


Figure 122. Évolution verticale de la température (°C) sur la radiale de la Baie de Somme le 19 janvier 2015

La salinité varie très peu de 32 à 35 (P.S.U.) au sein de la zone étudiée, à l'exception des sites directement influencés par les apports d'eaux douces en provenance des côtes où les valeurs ont été mesurées autour de 31 (P.S.U.). Ces valeurs de salinité sont très proches de celles définies par Connot and Committee (2006) comme étant caractéristiques des zones côtières sous l'influence des eaux douces (32-34).

Les apports fluviaux le long de la côte française, de la baie de Seine au Cap Gris-Nez, génèrent une masse d'eau côtière qui dérive le long du littoral, séparée de l'océan par une zone frontale. La frange d'eau côtière est nettement influencée par les apports terrestres : la salinité y est plus faible qu'au large et les valeurs de turbidité plus élevées. En effet, la plupart des paramètres hydrologiques et biologiques montrent l'existence d'un gradient côte-large bien marqué. Les valeurs de turbidité étaient en moyenne fortes en hiver et faibles en été et diminuent de la côte vers le large. La dynamique des M.E.S contribue à celle de la turbidité puisqu'elle résulte de la présence de particules minérales ou organiques en suspension. Cependant, la turbidité résulte aussi de la forte concentration des organismes vivants. Une augmentation de la turbidité est la conséquence directe de mouvements sous l'action du vent et des courants, corrélés au coefficient de marée. Sur l'ensemble des trois radiales, la Baie de Somme présente les valeurs de turbidité les plus fortes (maximum de 54,20 et 41,20 NTU aux points Bif et Mimer) contrairement aux deux autres radiales : Boulogne-sur-Mer (maximum de 4,29 NTU à la station 1, soit environ 12 fois moins que

le maximum en Baie de Somme) et Dunkerque (maximum de 25,90 NTU à la station 1 soit environ 2 fois moins que le maximum en Baie de Somme).

Le vent joue également un rôle particulièrement important dans la resuspension, la dispersion et la régulation de la turbidité entre les côtes et le large.

La dynamique des matières en suspension, et par conséquent celle de la turbidité en zone côtière, joue un rôle majeur dans la productivité de ces systèmes. L'évolution de la matière organique des sédiments témoigne de l'activité biologique sur les différentes stations. Elle est liée, en effet, au développement phytoplanctonique qui prédomine pendant les périodes de forte productivité biologique. Les valeurs sont plus fortes au printemps et en été, indiquant une activité de production importante.

La station de Dunkerque présente des valeurs atteignant 100 % M.O dans les M.E.S. En Baie de Somme, la fluctuation qui est observée est liée à la dynamique sédimentaire du milieu avec cependant des valeurs supérieures à celles observées dans certains autres milieux estuariens. Des études dans d'autres estuaires ont montré que la matière organique dans le sédiment reste en général très faible (Etcheber et al. 2007). Les fortes concentrations en matière organique déterminent également les taux de minéralisation par les bactéries hétérotrophes.

L'apparition de certaines espèces responsables de blooms phytoplanctoniques au cours de la période productive peut expliquer les hausses de concentrations en matière organiques sur les trois radiales. C'est le cas de l'espèce *Phaeocystis globosa*, responsable des blooms importants sur l'ensemble des points de mesure des stations. La dynamique de cette espèce et celle des autres sont sous le contrôle direct des apports en nutriments depuis les bassins versants. En période hivernale, la faiblesse de l'ensoleillement, de faibles températures et d'autres paramètres limitent le développement du phytoplancton. Le stock de nutriment n'étant pas consommé lors de cette période, il se régénère. Au printemps, le phytoplancton bénéficie de l'ensoleillement nécessaire à sa croissance et d'un apport de sels nutritifs conséquent. En effet, la variabilité environnementale influence directement l'état physiologique des espèces phytoplanctoniques ou agit indirectement à travers les changements de la composition des espèces qui, en retour, changent les capacités photosynthétiques des assemblages.

La dynamique des sels nutritifs au cours de l'année 2015 est classique et confirme la présence de cycles de nutriments caractéristiques des milieux tempérés. Sur l'ensemble des sites, on observe une utilisation notable des éléments nutritifs en période productive contrairement aux périodes non productives. Pendant la période non productive, en automne notamment, la reconstitution du stock a lieu en absence de consommateurs et aussi de l'augmentation des débits des rivières, ce qui contribue à maintenir les stocks élevés observés au niveau des différentes stations.

Pendant la période productive, l'apparition des blooms coïncide avec une utilisation des nutriments.

Les silicates sont faibles en été du fait de l'apparition en juin des communautés de *Bacillariophycées* (diatomées) utilisant la silice pour fabriquer leur structure alors que l'ammonium chute lors des périodes productives en lien avec les fortes abondances de *P.globosa*. Cette chute prématurée de l'ammonium est caractéristique de l'évolution des formes azotées dans le milieu naturel. En effet, sur un cycle, l'azote ammoniacal apparaît le premier, suivent ensuite les nitrites et enfin les nitrates. Les propriétés chimiques de l'ammonium font que le phytoplancton utilise préférentiellement cet élément.

Il en est de même pour les phosphates qui sont faiblement présents en début d'année, cependant leurs concentrations diminuent jusqu'à être proches de la limite de détection en été. Les concentrations augmentent dès l'automne dues aux apports accrus des rivières. De plus, des phénomènes d'adsorption/désorption du phosphore dans les sédiments ont été identifiés dans les écosystèmes côtiers, ce qui contribue à son remise à disposition.

Du fait de leur importance, certains de ces éléments ont été identifiés comme potentiellement limitants pour la croissance du phytoplancton. Sur les différents points de mesures en 2015, des épisodes de limitation de la croissance principalement par la silice et, dans une moindre mesure, par l'azote et les phosphates ont été mis en évidence. Ces résultats ont été obtenus grâce à l'étude des rapports stœchiométriques de Redfield et al. (1963) et Brzezinski (1985). On observe à l'échelle annuelle, une variabilité de la limitation potentielle. La période automnale et hivernale est de type P : Si : N, Si : N : P ou Si : P : N limitant. L'été est de type Ni : Si : P ou Si : P : N. La période productive présente quant à elle une limitation de type Si : P : N ou de type N : Si : P. Cette distinction de type de limitation montre l'importance de chaque élément. Cette distinction de limitation montre l'importance de la prise en compte de chaque élément et de leurs rapports afin de mieux comprendre le lien entre ces nutriments et la dynamique du phytoplancton et, par conséquent, pour réduire l'ampleur des efflorescences.

La dynamique saisonnière des différents éléments joue un rôle important dans l'apparition des efflorescences phytoplanctoniques dans le milieu. L'absence ou la présence de l'un ou l'autre des éléments majeurs se répercute sur l'apparition et l'amplitude des blooms. Même si la limitation par le phosphore a été identifiée, cela n'empêche pas une apparition de bloom de certaines espèces aux périodes où la limitation est constatée. Dans le cas de l'azote, au contraire, de récents travaux en modélisation de la variation saisonnière des sels nutritifs réalisés sur la côte belge, ont montré que seule la réduction des apports d'azote pouvait induire une diminution significative des blooms de *Phaeocystis globosa* (Lancelot et al., 2009).

Lorsqu'on se réfère à la succession des espèces phytoplanctoniques au cours de l'année et qu'on l'associe à celle des sels nutritifs, on peut résumer la distribution saisonnière du phytoplancton en deux étapes. D'abord une apparition du groupe des Prymnésiophycées représenté par l'espèce *Phaeocystis globosa* entre mars et mai, ensuite par une dominance de certaines Bacillariophycées (*Asterionellopsis glacialis*, *Chaetoceros*, *Leptocylindrus*) en été. Les résultats de l'année 2015 acquis dans le cadre du suivi REPHY/SRN permettent de compléter les études réalisées sur le même site d'étude (Lefebvre et al., 2004 ; Brunet, 1996) et complète les observations et conclusions proposées par Lefebvre et al. (2011) élaborées à partir de cette série de données à long terme issues du même programme entre 1992 et 2007.

#### **4.2. Dynamique à large échelle des efflorescences phytoplanctoniques.**

Afin de mieux appréhender la dynamique à plus grande échelle, les estimations de la concentration en chlorophylle-*a* obtenues à partir des mesures faites par satellite via le capteur MODIS sont couramment utilisées pour obtenir une représentation à une échelle moins régionale et ainsi pouvoir situer les phénomènes observés lors de ce cycle de surveillance et pour chaque radiale à l'échelle de fonctionnement de l'écosystème de la Manche et de la baie sud de la Mer du Nord. Un certain nombre d'images satellites ont été sélectionnées pour illustrer cette dynamique (Figure 123). Une couverture nuageuse trop importante ne permet pas l'acquisition des données par satellite, ainsi les images peuvent ne pas correspondre exactement aux périodes de minima et de maxima.

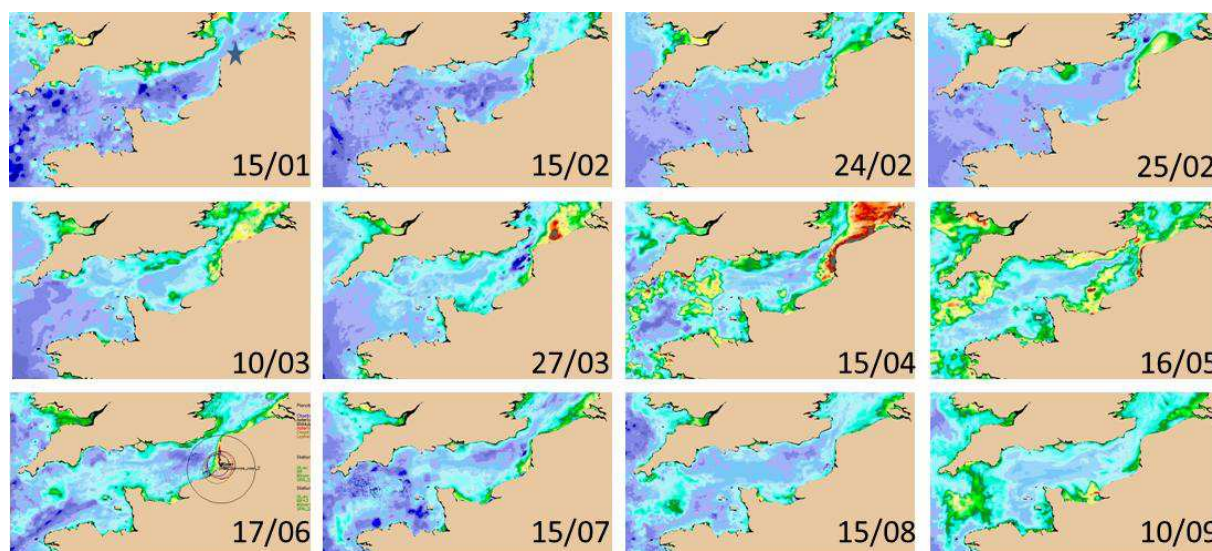


Figure 123. Illustration à méso-échelle de la dynamique de développement phytoplanctonique en 2015 via l'estimation de la concentration en chlorophylle *a* par le capteur MODIS (algorithme OC5 IFR) (étoile bleue, carte du 15/01 : emplacement du CNPE) (source : <http://cersat.ifremer.fr> )

La dynamique spatiale observée en 2015 est classique, avec une initiation du développement d'une forte biomasse phytoplanctonique en baie sud de la Mer du Nord et dans la partie orientale des côtes anglaises en fin d'hiver-début de printemps. Le développement phytoplanctonique se généralise à presque toute la partie sud de la Mer du Nord et à la Manche orientale en mars-avril. Les concentrations restent importantes dans la bande côtière en été, puis diminuent pour ne plus être localisées que dans les zones de panache des fleuves (Rhin, Somme, Seine). Cette plus forte production à proximité des fleuves, mais plus tardive, s'explique par une limitation par la lumière en début de saison (en raison de fortes turbidités) bien que les nutriments soient disponibles.

### 4.3. Le SRN et la qualité des masses d'eau côtière.

La surveillance et la protection de l'environnement nécessitent la mise en place d'un certain nombre de programmes pour évaluer l'état écologique et l'état chimique des eaux. Les objectifs du SRN sont compatibles avec les exigences de mise en œuvre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE - 2000/60/UE). Le SRN vise par ailleurs à évaluer l'influence des apports continentaux sur le milieu marin (sels azotés, phosphates, silicates) et leurs conséquences sur d'éventuels processus d'eutrophisation, ce qui en fait également un élément clef pour répondre aux nouveaux besoins de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM - 2008/56/UE). Dans le cadre de la DCE, il s'agit de donner la priorité à la protection de l'environnement en demandant de veiller non seulement à la non dégradation de la qualité des eaux et d'atteindre d'ici 2015 un bon état général pour les eaux côtières, mais aussi pour les eaux de transition (ce qui correspondrait à un «léger» écart aux conditions de référence). Pour la DCSMM, la stratégie REPHY/SRN est particulièrement adaptée pour contribuer à la surveillance liée au descripteur 5 Eutrophisation afin de pouvoir

évaluer le bon état écologique et de contribuer à d'autres éléments des plans d'actions pour le milieu marin (PAMM).

Les paramètres de suivis concernant la DCE dans le bassin Artois-Picardie varient en fonction des masses d'eaux. Ainsi, les éléments de qualité écologique pour les eaux côtières et de transition sont de 3 types :

- Des paramètres biologiques,
- Des paramètres chimiques et physico-chimiques,
- Des paramètres hydro-morphologiques.

Chacun de ces paramètres permet de classifier les masses d'eau mais une combinaison des trois paramètres permettra d'apprécier la qualité écologique.

Les masses d'eau, qui font l'objet du contrôle de surveillance DCE, sont au nombre de 9 :

- 5 masses d'eau côtières;
- 4 masses d'eau de transition.



Figure 124. Masses d'eau côtières et estuarienne du bassin Artois-Picardie (en bleu foncé, masses d'eau suivies au titre du contrôle de surveillance DCE)



Le choix des points de surveillance a été fait en tenant compte des réseaux de surveillance déjà existants et mis en œuvre par l'Ifremer (REPHY, ROCCH anciennement RNO) et le réseau de Suivi Régional des Nutriments (SRN) mis en œuvre par l'Ifremer et l'Agence de l'Eau.

Dans le cadre de la DCE, la définition de l'état global de l'écosystème prend en compte plusieurs éléments dont le phytoplancton et les nutriments qui sont tous deux suivis dans le cadre du SRN. Ces deux paramètres sont étroitement liés puisqu'ils sont responsables du phénomène d'eutrophisation des eaux. Il s'agit, en effet, de l'enrichissement de façon accrue d'un milieu en éléments nutritifs (ou nutriments) dans le milieu. Les « nutriments » désignent, en effet, l'ensemble des composés inorganiques et des ions nécessaires à la nutrition des producteurs primaires (phytoplancton, macroalgues, angiospermes). Ils sont présents naturellement dans le milieu et ne sont pas directement toxiques pour ce dernier.

Toutefois, lors d'une augmentation de flux de nutriments en zone côtière (en raison d'apports anthropiques tels que les rejets dus au lessivage des terres agricoles, les rejets urbains et industriels), les nutriments peuvent être parfois considérés comme une pression à l'origine de nuisances indirectes. En effet, une augmentation de la teneur en nutriments peut engendrer :

- des développements massifs de certaines espèces phytoplanctoniques, phénomène qui se traduit par une augmentation des teneurs en chlorophylle-*a* dans l'eau.
- des développements massifs de macroalgues opportunistes (ulves, monostromes, entéromorphes),

Ces conséquences directes ont des répercussions sur le bon fonctionnement du milieu en provoquant notamment :

- Une diminution de l'intensité lumineuse nécessaire à la photosynthèse néfaste pour le couvert végétal.
- Une augmentation des teneurs en matière organique dont la dégradation consomme de l'oxygène dissous ; ce phénomène peut générer des anoxies et provoquer la mort des espèces démersales et benthiques.
- La prolifération de certaines espèces phytoplanctoniques peut engendrer des mortalités de poissons ou de coquillages, soit en raison de leur toxicité intrinsèque pour ces animaux, soit parce que leur forte concentration dans l'eau induit un colmatage des branchies.

On définit donc à partir de ces paramètres « Nutriments » et « Phytoplancton », deux principaux éléments de la qualité d'un milieu.

L'élément de qualité nutriments est évalué à l'aide des résultats d'analyse sur les prélèvements effectués en surface (0-1 m) à pleine mer +/- 2 heures, de novembre à février pour les

masses d'eau côtières et de transition du secteur Atlantique, Manche et Mer du Nord pendant les 6 ans d'un plan de gestion.

Trois indicateurs (chlorophylle-*a*, le nombre de bloom et la composition des espèces) ont été retenus pour l'élément de qualité phytoplancton. L'indicateur retenu pour la biomasse est la concentration en chlorophylle-*a* (utilisé comme un symptôme primaire d'eutrophisation).

L'indicateur de l'élément de qualité phytoplancton résulte de la combinaison des indices biomasse, abondance et composition pour toutes les masses d'eau côtières (MEC) et de transition (MET).

L'indice de biomasse correspond au percentile 90 des données de concentration en chlorophylle-*a* sur les 6 années du plan de gestion. L'utilisation du percentile 90 permet de relativiser les plus forts pics de chlorophylle.

L'indice d'abondance est calculé à partir du nombre de blooms observés dans chaque masse d'eau pendant les 6 ans du plan de gestion. Dans la DCE, un bloom correspond à :

- une prolifération supérieure à 250 000 cellules par litre pour les petites cellules dont la taille est comprise entre 5  $\mu\text{m}$  et 20  $\mu\text{m}$ ,
- une prolifération supérieure à 100 000 cellules par litre pour les grandes cellules dont la taille est supérieure ou égale à 20  $\mu\text{m}$ .

L'indice de composition est en cours de développement.

Chaque métrique ou indice est alors transformé en EQR (Ecological Quality Ratio), rapport impliquant la valeur de référence et la valeur de la métrique (valeur entre 0 et 1).

La Figure 125 indique l'état chimique des côtes du Nord-Pas-de-Calais et Picardie. Il en ressort un très bon état pour la plupart des masses d'eau côtière. Seuls les caps Gris Nez – Slack et Slack – La Warente possèdent un mauvais état chimique. Les ports de Dunkerque, de Boulogne sont classés en mauvais état.



Figure 125. Évaluation de l'état chimique des masses d'eau entre 2008 et 2015 dans le cadre du programme de surveillance de la DCE 2000/60/CE

La définition de l'état écologique consiste ainsi à comparer les différents résultats obtenus pour une période donnée à des niveaux de référence. Contrairement à l'état chimique, l'état écologique des ports de Boulogne et Dunkerque sont bons et celui en Baie de Somme est médiocre. Cette dernière est déclassée à cause des proliférations phytoplanctoniques. Cependant, les eaux côtières et de transitions ne sont pas réellement impactées par les ports. En effet, les côtes de Nord-Pas-de-Calais et Picardie sont de qualité moyenne, excepté le cap Gris-Nez dont l'état écologique est mauvais.

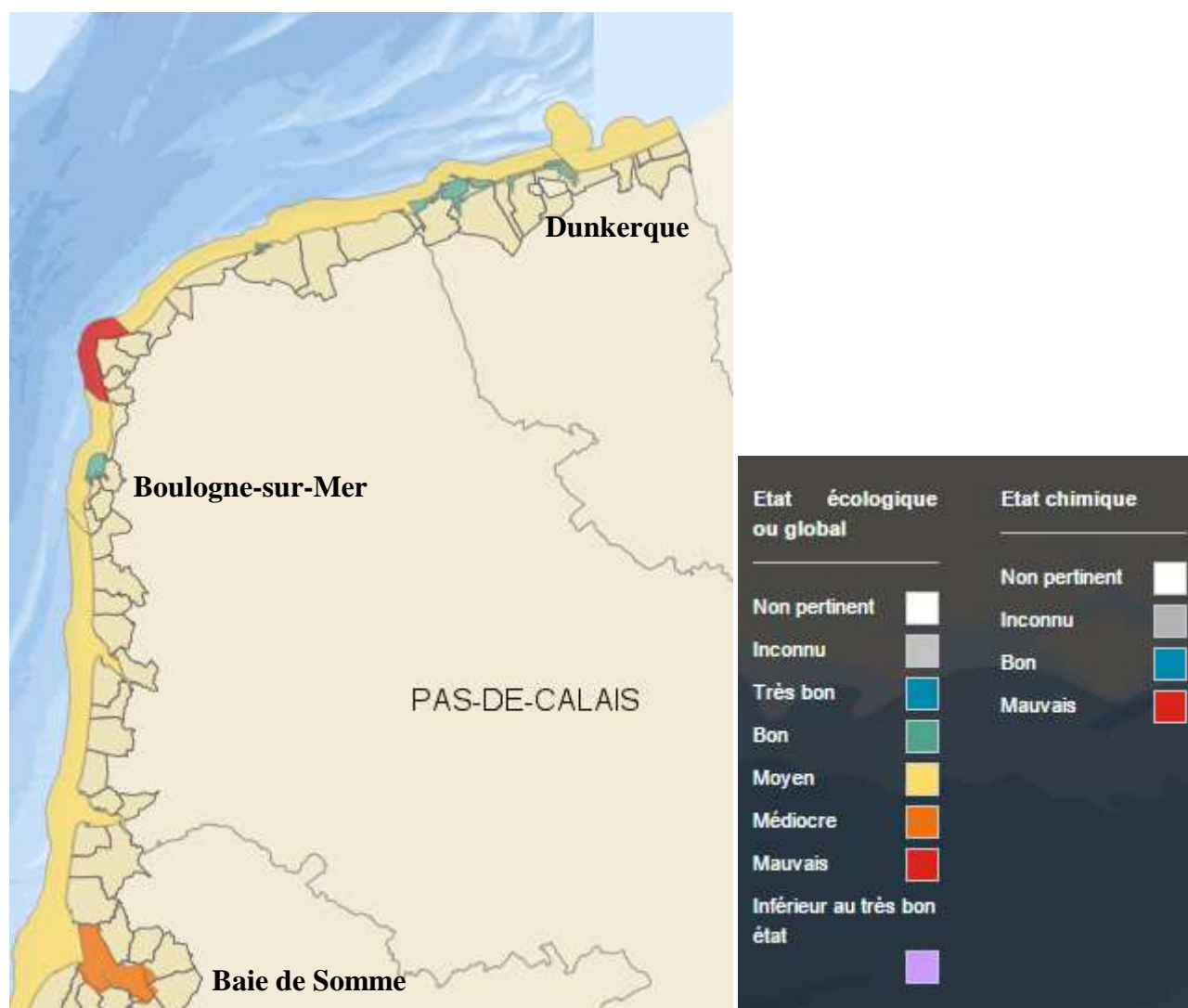


Figure 126. Évaluation de l'état écologique des masses d'eau entre 2008 et 2015 dans le cadre du programme de surveillance de la DCE 2000/60/CE

L'état global des masses d'eau côtières surveillées varie de moyen à mauvais pour les caps Gris-Nez – Slack et Slack – La Wrenne. La qualité des masses d'eau à Boulogne et Dunkerque est déclassée par l'état chimique contrairement à la Baie de Somme dont la qualité médiocre est causée par un mauvais état écologique.



Figure 127. Évaluation de l'état global des masses d'eau entre 2008 et 2015 dans le cadre du programme de surveillance de la DCE 2000/60/CE

L'état biologique est moyen pour les masses d'eau côtières du Nord-Pas-de-Calais et Picardie, il est médiocre pour le port de la Baie de Somme. Les résultats pour les ports de Dunkerque et Boulogne sont jugés non pertinents pour évaluer la qualité de ces masses d'eau turbides.

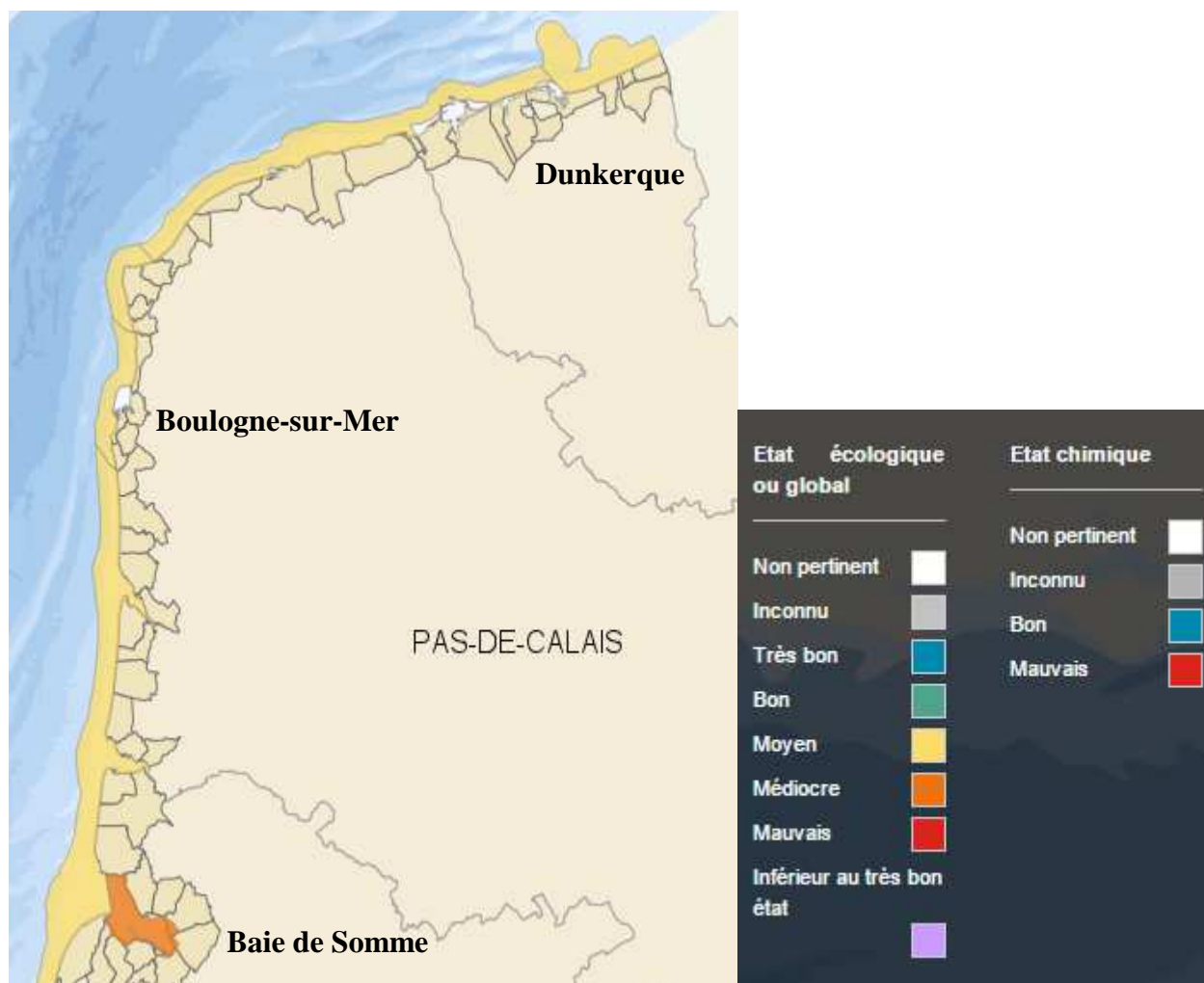


Figure 128. Évaluation de l'état biologique des masses d'eau en date du 01/01/2014 pour l'élément de qualité phytoplancton dans le cadre du programme de surveillance de la DCE 2000/60/CE

L'état physico-chimique de la côte des dunes de Flandres et d'une partie de la côte d'Opale est bon. Cependant, l'autre partie de la côte d'opale et la côte Picardie dont le port de la Baie de Somme présentent un état moyen.

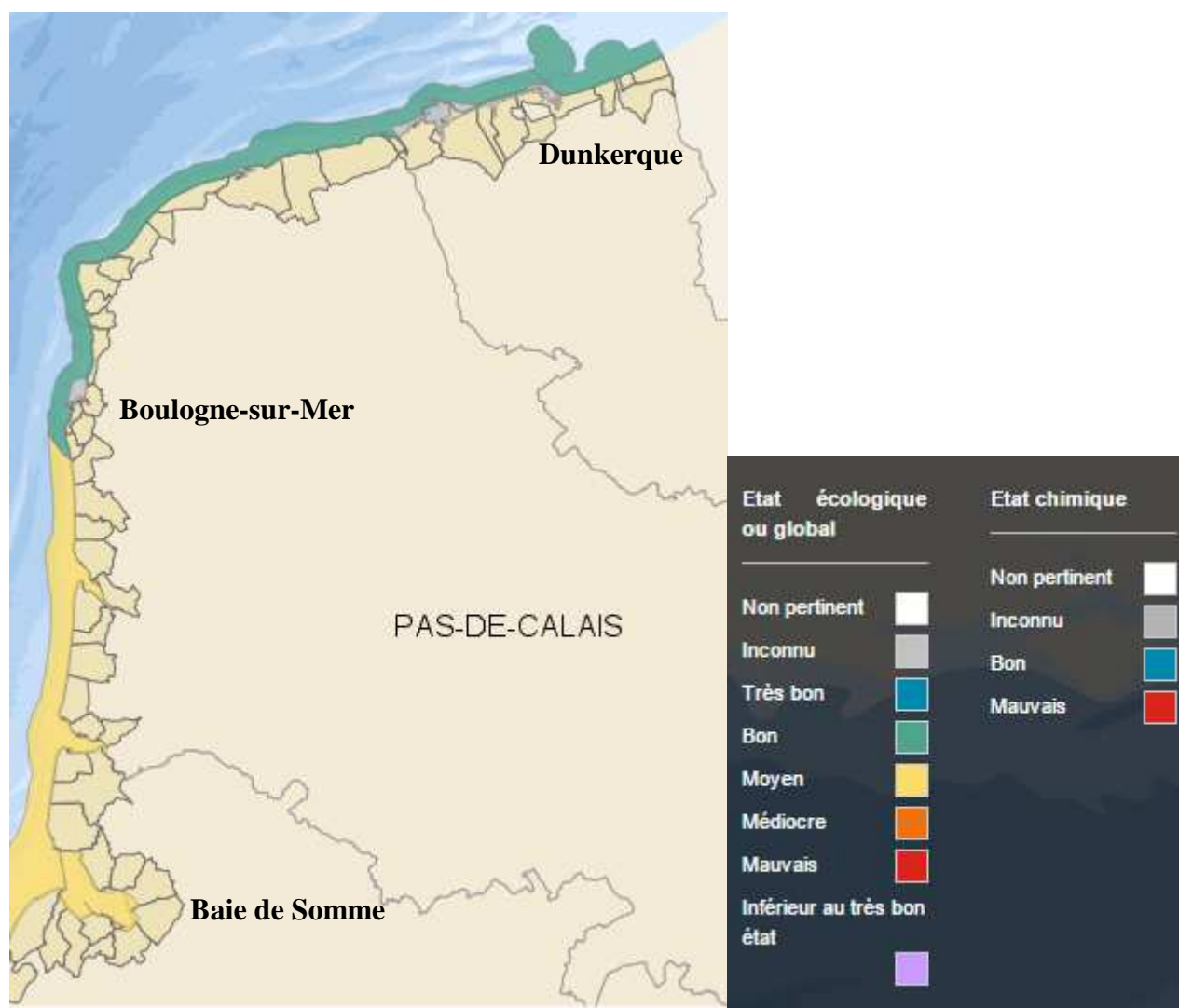


Figure 129. Évaluation de l'état physico-chimique des masses d'eau en date du 01/01/2014 en fonction des nutriments dans le cadre du programme de surveillance de la DCE 2000/60/CE

Les contaminants chimiques sont particulièrement présents sur les ports de Boulogne et Dunkerque à cause de leurs activités économiques importantes. Ceci implique une classification mauvaise pour ces ports et les masses d’eaux adjacentes Boulogne (Gris-Nez – Slack et Slack – La Warenne). Un métal lourd, le Méthylmercure, impacte les deux sites alors que le polluant industriel Tributylétain (TBT) touche uniquement Dunkerque. La Baie de Somme ne contient aucun de ces éléments chimiques, ce qui lui confère un bon état chimique ainsi qu’aux masses d’eaux côtières aux alentours.

Les pesticides ne posent aucun problème pour la qualité des masses d’eau.

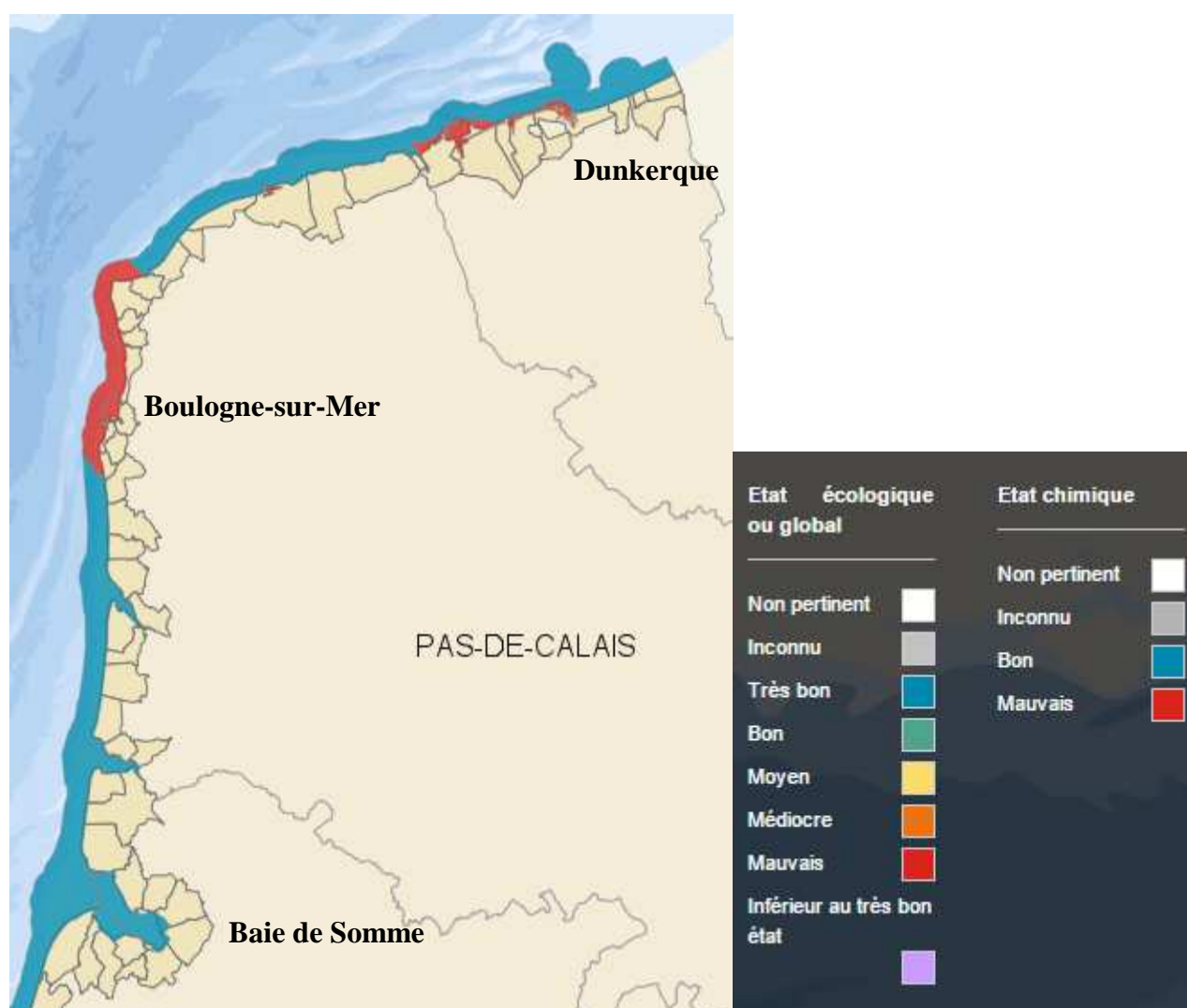


Figure 130. Évaluation des contaminants chimiques présents dans les masses d’eau en date du 01/01/12 dans le cadre du programme de surveillance de la DCE 2000/60/CE



## 5. Bilan et conclusions

Les résultats présentés dans ce rapport pour la période 2006-2015 via la mise en œuvre du programme SRN permettent de définir les principales caractéristiques physico-chimiques et biologiques chaque année au niveau de trois écosystèmes contrastés en Manche orientale et baie sud de la Mer du Nord. La série ainsi constituée permet également de comparer les derniers résultats en référence à une climatologie établie sur plus de 20 ans à fréquence mensuelle ou bimensuelle (début du SRN en 1992).

À l'échelle de l'écosystème, les eaux de surface au cours de l'année 2015 étaient plus chaudes de 1°C à 2°C. Les températures minimales pour l'ensemble des radiales en 2015 sont plus élevées que les températures minimales sur la période 2006-2015. En revanche, les températures maximales de l'ensemble des radiales sont inférieures à celles de la période 2006-2015.

L'ensemble des sites échantillonnés est caractérisé par une dynamique classique des paramètres physico-chimiques et biologiques. Des cycles saisonniers très marqués sont mis en évidence. Par ailleurs, la variabilité inter-annuelle est très importante.

Les assemblages phytoplanctoniques sont caractérisés par une dominance de l'espèce *Phaeocystis globosa* en mars-avril tandis que le groupe des diatomées (*Chaetoceros socialis*, *Asterionellopsis glacialis*...) prédomine le reste de l'année. Sur les trois taxons susceptibles de produire des toxines, aucun ne présente des valeurs supérieures aux seuils d'alerte définis dans le cadre du réseau REPHY sur deux radiales. Ainsi, aucune alerte n'a été déclenchée durant l'année 2015. (Les résultats du réseau REPHY sont disponibles dans le rapport Qualité du Milieu Marin Littoral Synthèse Nationale de la Surveillance :

<http://envlit.ifremer.fr/content/download/82798/598028/version/6/file/SyntheseNationaleBullSurVE D2015.pdf> )

Les résultats du réseau SRN fournissent des éléments essentiels pour appréhender la dynamique des apports côtiers mais ne peuvent pas, à eux seuls, permettre une évaluation de la dynamique globale à l'échelle de l'écosystème. L'importance des blooms de *P.globosa* doit être associée à la dynamique large échelle et non pas aux seuls apports par les principaux fleuves. La variabilité observée peut être liée à des processus à plus grande échelle qui échappent du cadre circonscrit par les campagnes SRN. Ainsi, des évolutions environnementales telles que celles contrôlées par la NAO (North Atlantic Oscillation) ont déjà été mises en évidence (Breton et al., 2006 ; Lefebvre et al., 2011) pour expliquer l'importance des blooms dans la région.

Le recours aux technologies dites nouvelles ou innovantes permet d'envisager une observation et une surveillance de l'environnement marin à des échelles de temps et/ou d'espace adaptées aux processus et phénomènes qui le structurent. L'utilisation de système haute fréquence en point fixe comme la Station Marel Carnot (Schmitt et al., 2014 ; Rousseeuw et al., 2015) pour étudier la variabilité à petite échelle temporelle ou un échantillonnage dynamique automatisé (voir aussi les résultats du projet Interreg IV A des 2 mers intitulé DYMAPHY : [www.dymaphy.eu](http://www.dymaphy.eu)), apparaissent comme des méthodes complémentaires aux méthodes traditionnelles (microscopie par exemple) qui permettront de mieux expliquer certaines anomalies ou valeurs extrêmes et d'avoir une plus grande échelle de gradient côte-large (Lefebvre A. et al., 2011). Cela permettrait également de constituer des bases de données plus importantes contenant des informations utiles à une meilleure appréciation du contexte écologique local en lien avec le changement climatique (Schmitt, F. G., 2011). Par ailleurs, cette extension vers le large associée à une meilleure résolution temporelle s'avère être une approche en accord avec les nouveaux besoins de la DCSMM (Rousseeuw et al., 2015).

Les données REPHY/SRN sont bancarisées dans la base Quadrigé de l'Ifremer et sont mises à disposition à l'adresse suivante : <http://envlit.ifremer.fr/resultats/quadrige>

Les données sont également utilisées pour la validation des modèles biogéochimiques type ECOMARS 3D de l'Ifremer. Elles sont intégrées au serveur d'images satellites pour les besoins de réajustement régulier des tables de correspondance réflectance marine / Chlorophylle et MES des capteurs satellites. Ce travail est valorisé sous forme de publications scientifiques (exemple : Gohin F., 2011).

Dans le contexte de la mise en œuvre dès 2007 de la Directive Cadre sur l'Eau (D.C.E. Directive 2000/60/CE), (COM, 2005, a, b, c), certains points côtiers du S.R.N. intègrent le dispositif dit de Contrôle de Surveillance et de Contrôle Opérationnel. Les documents de référence, les rapports d'évaluation de l'état écologique pour les différents éléments de qualité basés en partie sur les résultats du SRN, sont téléchargeables via le site Ifremer : [http://envlit.ifremer.fr/surveillance/directive\\_cadre\\_sur\\_l\\_eau\\_dce/elements\\_de\\_qualite](http://envlit.ifremer.fr/surveillance/directive_cadre_sur_l_eau_dce/elements_de_qualite)

La nouvelle Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (D.C.S.M.M.), pilier environnemental de l'approche transversale multidisciplinaire abordée dans le Livre Vert, étend l'approche D.C.E. limitée au premier mile nautique à partir de la ligne de base (pour les paramètres biologiques) jusqu'aux eaux du large (Zone Economique Exclusive). Ainsi, les points les plus au large du réseau S.R.N. répondront également aux attentes de diagnostic et de surveillance préconisées par cette directive européenne.

Dans le cadre de la stratégie de lutte contre l'eutrophisation de la convention d'Oslo et de Paris (OSPAR <http://www.ospar.org/>), les résultats du S.R.N. sont intégrés à la base de données utilisée pour définir le statut des masses d'eaux au regard de l'eutrophisation.

Les données REPHY/SRN ont été transmises au groupe de travail CIEM « Phytoplankton and Microbiol Ecology » (WG PME) afin de contribuer à la rédaction du rapport annuel sur le sujet (<http://www.ices.dk/community/groups/Pages/WGPME.aspx> ).

Les données acquises maintenant depuis 1992 constituent ainsi une série à long terme permettant de caractériser la dynamique phytoplanctonique ainsi que les éventuels changements de composition spécifique en réponse aux pressions anthropiques et/ou en réponse aux changements climatiques (Hernández Fariñas et al., 2014).

**BIBLIOGRAPHIE**

- Aminot, A. and M. Chaussepied. 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Centre National pour l'Exploitation des Océans : 395.
- Aminot, A. and R. Kérouel. 2004. Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. Page 336. Ifremer.
- Anonyme. 1985. The international system of units (SI) in oceanography. UNESCO technical paper **45**.
- Barbier, G., O. Arnal, J.-M. Delattre, H. Grossel, and M. Morel. 1986. Le littoral de la région Nord-Pas de Calais : Qualité du milieu marin. Convention de coopération Région Nord-Pas de Calais / Ifremer. Rapport Scientifique et technologique de l'Ifremer **3** : 152.
- Bendschneider, K. and R. J. Robinson. 1952. A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. *Journal of Marine Research*. **11**:86-96.
- Bentley, D., R. Lafite, N. H. Morley, R. James, P. Statham, and J. C. Guary. 1993. Flux de nutriments entre la manche et la mer du Nord, situation actuelle et évolution depuis 10 ans. *Oceanologica Acta* **16**:599-606.
- Billen, G. and C. Lancelot. 1991. N,P,Si retention along the aquatic continuum from land to ocean. Pages 203-209 in R. F. C. Mantoura, J. M. Martin, and R. Wollast, editors. *Toxic phytoplankton in the sea*. Elsevier Science Publishers BV, Amsterdam.
- Boissery P., Tomasino C. 2013. Synthèse des réseaux de surveillance soutenus par l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse.
- Breton, E., Rousseau, V., Parent, J.-Y., Ozer, J., & Lancelot, C. (2006). Hydroclimatic modulation of diatom/Phaeocystis blooms in nutrient-enriched Belgian coastal waters (North Sea). *Limnology and oceanography*, *51*(3), 1401-1409.
- Brunet, C., J. M. Brylinski, L. Bodineau, G. Thoumelin, D. Bentley, and D. Hilde. 1996. Phytoplankton Dynamics During the Spring Bloom in the South-eastern English Channel. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **43**:469-483.
- Brylinsky, J. M. and Y. Lagadeuc. 1990. L'interface eaux côtières / eaux du large dans le Pas de Calais (côtes françaises) : une zone frontale. *Compte rendu de l'académie des sciences de Paris* **311**:535-540.
- Brzezinski, M. A. 1985. THE Si:C:N Ratio of Marine Diatoms: Interspecific variability and the effect of some environmental variables. *Journal of Phycology* **21**:347-357.
- Cancino, L. and R. Neves. 1999. Hydrodynamic and sediment suspension modelling in estuarine systems: Part II: Application to the Western Scheldt and Gironde estuaries. *Journal of Marine Systems* **22**:117-131.
- Connor, D. W. and J. N. C. Committee. 2006. UKSeaMap: the mapping of seabed and water column features of UK seas. Joint Nature Conservation Committee.
- Deborde, J., P. Anschutz, C. Gwenaëlle, H. Etcheber, M.-V. Commarieu, P. Lecroart, and A. Gwenaël. 2007. The dynamics of phosphorus in turbid estuarine systems: Example of the Gironde estuary (France). *Limnol. Oceanogr* **52**:862-872.
- Duarte, C. M., S. Agustí, and D. Vaqué. 2004. Controls on planktonic metabolism in the Bay of Blanes, north-western Mediterranean littoral. *Limnology and Oceanography* **49**:2162-2170.
- Gattuso, J. P., M. Frankignoulle, and R. Wollast. 1998. Carbon and Carbonate Metabolism in Coastal Aquatic Ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics* **29**:405-434.

- Gentilhomme, V. and F. Lizon. 1998. Seasonal cycle of nitrogen and phytoplankton biomass in a well-mixed coastal system (Eastern English Channel). *Hydrobiologia* **361**:191-199.
- Gohin, F., J. N. Druon, and L. Lamperet. 2002. A five channel chlorophyll algorithm applied to SeaWiFS data processed by SeaDAS in coastal waters. *International Journal of remote Sensing* **23**:1639-1661.
- Gohin, F., B. Saulquin, H. Oger-Jeanneret, L. Lozac'h, L. Lampert, A. Lefebvre, P. Riou, and F. Bouchon. 2008. Using satellite chlorophyll concentrations for monitoring the eutrophication risks of coastal waters. *Remote Sensing of environment* **112**:3329-3340.
- Gohin F., 2011. Annual cycles of chlorophyll-a, non algal suspended particulate matter, and turbidity observed from space and in-situ in coastal waters. *Ocean Sci.*, **7**:705-732.
- Guiselin Natacha. 2010. Etude de la dynamique des communautés phytoplanctoniques par microscopie et cytométrie en flux, en eaux côtières de la Manche orientale.
- Hernández Fariñas Tania, Soudant Dominique, Barillé Laurent, Belin Catherine, Lefebvre Alain, Bacher Cédric, 2014. Temporal changes in the phytoplankton community along the French coast of the eastern English Channel and the southern Bight of the North Sea. *ICES J Mar Sci.*, **71** (4): 821-833, doi:10.1093/icesjms/fst192.
- Jickells, T. D. 1998. Nutrient biogeochemistry of the coastal zone. *Science* **281**:217-222.
- Jouenne, F., S. Lefebvre, B. Véron, and Y. Lagadeuc. 2005. Biological and physicochemical factors controlling short-term variability in phytoplankton primary production and photosynthetic parameters in a macrotidal ecosystem (eastern English Channel). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **65**:421-439.
- Kraberg A., Baumann M., Dürselen C-D. 2010. Coastal phytoplankton, photo guide for northern European Seas.
- Koroleff, F. 1969. Direct determination of ammonia in natural waters as indophenol blue. *International Conference on Evolvable Systems.C.M.C* : 9.19.1969.
- Lancelot, C., V. Rousseau, and N. Gypens. 2009. Ecologically based indicators for Phaeocystis disturbance in eutrophied Belgian coastal waters (Southern North Sea) based on field observations and ecological modelling. *Journal of Sea Research* **61**:44-49.
- Lefebvre, A., N. Guiselin, F. Barbet, and F. L. Artigas. 2011. Long-term hydrological and phytoplankton monitoring (1992–2007) of three potentially eutrophic systems in the eastern English Channel and the Southern Bight of the North Sea. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* **68**:2029-2043.
- Lizon, F., Y. Lagadeuc, C. Brunet, D. Aelbrecht, and D. Bentley. 1995. Primary production and photoadaptation of phytoplankton in relation with tidal mixing in coastal waters. *Journal of Plankton Research* **17**:1039-1055.
- Lorenzen, C. J. 1966. A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration. *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts* **13**:223-227.
- Meybeck, M. and R. Helmer. 1989. The quality of rivers : from pristine stage to global pollution, *Pal. Pal. Pal. . Global and Planetary Change* **1**:283-309.
- Middelburg, J. J., C. M. Duarte, and J. P. Gattuso. 2005. Respiration in coastal benthic communities. Pages 206-224 *in* P. A. del Giorgio and P. J. le B Williams, editors. *Respiration in aquatic ecosystems*. Oxford University Press Inc, Oxford.
- Mullin, J. B. and J. P. Riley. 1955. The spectrophotometric determination of silicates-silicon in natural waters with special references to sea water. *Analytica Chimica Acta* **12**:162-170.
- Murphy, J. and J. P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta* **27**:31-36.

- Officer, C. B. 1980. BOX MODELS REVISITED. *Marine Science (Plenum)* **11**:65-114.
- Redfield, A. C., B. H. Ketchum, and F. A. Richards. 1963. The influence of organisms on the composition of seawater. Pages 27-77 in M. N. Hill, editor. *The Sea*, New-York.
- Romero, E., J. Garnier, L. Lassaletta, G. Billen, R. Gendre, P. Riou, and P. Cugier. 2013. Large-scale patterns of river inputs in southwestern Europe: seasonal and interannual variations and potential eutrophication effects at the coastal zone. *Biogeochemistry* **113**:481-505.
- Rousseau, V., A. Leynart, N. Daoud, and C. Lancelot. 2002. Diatom succession, silicification and silicic acid availability in Belgian coastal waters (Southern North Sea). *Marine Ecology Progress Series* **236**:61-73.
- Schapira, M. 2005. Dynamique spatio-temporelle de *Phaeocystis globosa* en manche orientale: effets de la turbulence et des apports sporadiques en sels nutritifs. Université de Lille I, Lille
- Smayda, T. D. 1990. Novel and nuisance phytoplankton blooms in the sea : evidence for a global epidemic. Pages 29-40 *Toxic marine phytoplankton* Elsevier Publishing Co, New-york.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull.Fish.Res.Bd.Can.* **167**:311.
- Huang Y., F.G. Schmitt, 2014. Time dependent intrinsic correlation analysis of temperature and dissolved oxygen time series using empirical mode decomposition. *Journal of Marine Systems*, 130, 90-100.
- Lefebvre A., Belin C. , Amouroux I. & D. Claisse, 2011. Surveillance de la qualité des eaux côtières sur le littoral Nord, Pas-de-Calais et Picardie (Manche orientale) : Etat des lieux. Observation des écosystèmes marin et terrestre de la côte d'Opale : du naturalisme à l'écologie. F.G. Schmitt (Coord.). Edition Union des Océanographes de France, Paris, pp. 225-252.
- Zongo, S. B, Schmitt, F. G., 2011. Scaling analysis of pH fluctuations in coastal waters of the English Channel. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 18, 829-839.
- Rousseuw K, Poisson-Caillault E, Lefebvre A, Hamad D , 2015. Hybrid Hidden Markov Model for Marine Environment Monitoring. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8 (1), 204-213(IF: 2.827).

---

## **ANNEXES**

<b>P. 187-192: Annexe 1</b>	Données brutes des analyses physico-chimiques
<b>P. 193 : Annexe 2</b>	Tableau de synthèse des limitations potentielles en nutriments pour l'ensemble des radiales en 2015

**Annexe 1 : Données brutes des analyses physico-chimiques  
(NA : données manquantes)**

**Dunkerque**

**Radiale de Dunkerque, Station 1**

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>x</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>
20/01/2015	7,7	33,1	22,4	29	2,7	1,66	2,18	1,46	16,8	0,64	15,1
06/03/2015	7	34	5,05	11,8	3,2	21,27	4,67	0,33	5,98	0,08	0,1
09/04/2015	9,2	34,2	2,15	3,2	5	4,99	1,06	0,45	0,15	0,13	1,42
24/04/2015	11,3	33,7	1,6	5	2,8	2,49	0,04	0,39	0,15	0,06	3,24
27/05/2015	14,1	34,8	11,4	21,6	3,6	7,89	2,58	0,4	0,38	0,06	0,8
04/06/2015	16,4	34,6	6,55	12,9	2,4	8,76	2,42	2,14	1,22	0,16	1,48
16/06/2015	15,9	34,9	1,75	4,4	1,3	4,85	0,71	0,37	0,63	0,06	0,49
26/06/2015	16,8	35,2	0,66	2,4	1,3	2,73	0,96	0,14	0,27	0,05	0,86
31/07/2015	17,4	34,5	5,59	8,5	2,5	7,2	1,87	1,14	1,83	0,2	5,24
19/08/2015	18,5	34,8	3,02	4,8	1,5	2,23	1,24	0,58	0,61	0,14	2,78
23/10/2015	13,6	34,6	6,88	9,2	1,7	2,27	1,14	2,75	2,71	0,34	2,71
15/12/2015	10,7	34,5	25,9	37	2,8	1,58	2,61	3,19	15,9	0,65	10,4

**Radiale de Dunkerque, Station 3**

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>x</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>
20/01/2015	8	34,1	6,39	14,4	1,3	1,31	1,08	0,15	15,66	0,96	8,23
06/03/2015	7	34,6	3,75	6,8	1,1	17,51	3,7	0,15	3,28	0,39	0,27
09/04/2015	9	34,6	1,29	2,6	1,8	3,16	2,08	0,23	0,15	0,34	0,61
24/04/2015	10,9	33,8	1,44	5,5	2,3	4,71	0,04	0,15	0,18	0,26	1,56
27/05/2015	13,3	34,9	2,96	5,6	4	1,26	0,3	0,15	0,63	0,14	1,35
16/06/2015	15,2	34,4	1,5	4,3	1,6	4,4	0,63	0,15	0,39	0,15	0,1
26/06/2015	15,9	35,2	0,43	3,7	1,6	1,34	0,37	0,15	0,17	0,1	0,27
31/07/2015	17,4	34,8	2,17	3,8	1	5,39	0,71	0,15	1,13	0,11	1,47
19/08/2015	18,3	34,6	2,06	5,7	1,6	1,75	0,61	0,15	0,15	0,43	0,52
23/10/2015	NA	34,2	3,5	5,7	1,5	2,02	0,96	0,56	2,61	0,45	1,02
15/12/2015	10,8	34,8	7,57	12,1	1,2	0,94	0,88	0,95	7,68	0,59	5,97



## Radiale de Dunkerque, Station 4

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>x</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>
20/01/2015	8,5	34,3	2,97	4,3	1,2	0,93	0,31	0,15	13,33	0,8	7,55
06/03/2015	7,1	34,8	2,34	4,8	0,9	12,84	2,6	0,15	3,18	0,38	0,1
09/04/2015	8,8	34,6	1,25	2	1,7	4,49	1,68	0,15	0,15	0,27	0,99
24/04/2015	10,3	33,9	1,14	4	2	3,88	0,58	0,15	0,15	0,14	1,06
27/05/2015	13	35	1,23	3,8	4	1,05	0,14	0,35	0,15	0,22	1,22
16/06/2015	14,8	34,6	1,02	1,8	2	2,25	0,25	0,2	0,15	0,13	0,1
26/06/2015	15,4	35,1	0,28	3,1	1	1,62	0,23	0,15	0,16	0,1	0,58
31/07/2015	17,1	34,8	1,86	2,9	1,3	4,07	0,76	0,15	0,15	0,12	1,06
19/08/2015	18,2	34,6	1,26	2,8	1,3	2,5	0,88	0,32	0,15	0,45	1,12
23/10/2015	14,4	34,6	2,08	4,1	1,2	1,58	0,72	0,56	2,18	0,48	0,93
15/12/2015	10,9	34,7	4,6	7,4	1,2	0,83	0,41	0,8	7,29	0,59	5,71

## Boulogne

### Radiale de Boulogne, Station 1

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>x</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>
23/01/2015	7,8	33,9	2,9	4,6	0,9	0,92	0,42	0,33	18,8	0,65	9,34
05/03/2015	7	34	3,39	6,9	1,9	17,78	3,89	0,3	12,2	0,12	0,1
24/03/2015	7,7	33,9	1,38	4,1	1,7	4,27	0,85	0,12	9,52	0,07	0,1
08/04/2015	8,8	34,1	1,66	3,4	4,8	10,06	2,45	0,19	5,56	0,08	0,1
21/04/2015	10,4	33,7	4,29	11,6	3,2	14,79	3,94	0,21	3	0,28	0,89
12/05/2015	12,5	34,3	3,9	4,4	2,6	5,4	0,27	0,18	0,85	0,06	1,59
15/06/2015	15,1	34	1,78	4,1	2,5	3,61	1,68	0,88	1,03	0,11	0,66
26/06/2015	16,3	34,8	1,02	3,6	1,5	7,71	1,36	0,25	0,92	0,12	0,21
16/07/2015	17,9	34,4	2,34	5,8	2,6	1,39	0,59	1,74	0,9	0,11	1,23
12/08/2015	18,2	34,5	2,19	5,7	1,5	3,41	0,94	0,59	0,6	0,11	2,56
31/08/2015	18,7	34,4	1,98	4	2,2	5,63	1,5	0,75	0,82	0,07	1,1
25/09/2015	NA	33,7	3,1	7,1	1,3	1,62	1,99	2,42	2,67	0,24	2
26/10/2015	14	34,6	2,65	6,6	1,3	3,2	1,13	2,58	4,59	0,23	2,63
12/11/2015	13,7	34,1	3,06	6,2	1,3	5,26	2,99	2,26	7,95	0,24	4,37

## Radiale de Boulogne, Station 2

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>x</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>
23/01/2015	7,8	33,9	5,4	10,1	0,9	0,89	0,78	0,26	17,54	0,78	7,84
05/03/2015	7,2	34,4	2,72	5,8	1,9	15,55	3,72	0,6	8,04	0,47	0,54
24/03/2015	7,8	34,4	1,03	3,5	1,7	2,6	0,81	0,36	5,41	0,3	0,48
08/04/2015	8,8	34,4	0,81	1,6	1,4	6,26	1,15	0,27	2,51	0,29	0,61
21/04/2015	10	34,2	2,82	4,9	2,9	6,01	1,17	0,46	3,03	0,16	0,39
12/05/2015	12,2	34,5	2,2	4,4	2,8	3,74	0,19	0,59	0,89	0,14	0,1
15/06/2015	14,5	34,8	1,86	3,3	2,9	2,39	0,83	0,53	1,77	0,1	0,33
26/06/2015	16,1	35,4	0,89	2,6	1,4	5,09	0,8	0,23	1,58	0,1	0,1
16/07/2015	17,2	34,8	1,99	4,6	1	0,98	0,72	1,81	0,15	0,1	1,22
12/08/2015	17,8	34,7	1,76	4,2	1,6	1,77	0,59	1,05	0,36	0,45	2,34
25/09/2015	NA	34,2	0,9	2,9	1,3	1,4	0,47	0,19	0,7	0,42	1,01
26/10/2015	14,4	34,7	2,72	5,3	0,9	0,92	0,73	2,1	4,34	0,56	2,08

## Radiale de Boulogne, Station 3

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>x</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>
23/01/2015	8,5	34,5	1,9	1,9	0,4	0,52	0,33	0,15	12,28	0,75	6,85
05/03/2015	7,5	34,8	1,46	3,6	1,7	9,45	3,29	0,81	6,76	0,46	0,15
24/03/2015	7,9	35	1,38	2,7	1,3	0,72	0,44	0,98	5,26	0,43	0,76
08/04/2015	8,8	34,8	0,72	1,3	1,2	3,33	1,09	0,51	0,15	0,05	0,58
21/04/2015	9,6	34,6	1,35	2,7	2	3,24	0,95	0,35	2,28	0,24	0,49
12/05/2015	11,7	34,9	1,5	1,4	1,2	0,5	0,14	0,3	0,35	0,2	0,85
15/06/2015	14	35	1,06	2,4	1,4	1,3	0,39	NA	NA	NA	NA
26/06/2015	15,7	35,7	0,7	3,5	1,5	1,64	0,19	0,16	0,18	0,11	0,1
16/07/2015	16,6	34,9	1,02	2,3	1	0,85	0,1	0,73	0,48	0,15	0,64
12/08/2015	17,4	34,9	1,24	3,3	1,4	0,96	0,38	0,78	0,15	0,47	2,19
25/09/2015	NA	34,4	0,8	3,3	1,7	1,79	0,46	0,15	0,57	0,39	0,5
26/10/2015	14,5	34,7	2,45	4,4	0,9	0,63	0,4	1,52	6,37	0,62	2

## Baie de Somme

### Radiale de la Baie de Somme, Station BIF

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>x</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>
19/01/2015	7,6	32	54,2	72,4	6	1,5	3,86	1,04	39,3	0,94	22,1
18/02/2015	6,1	32	16,6	18,7	0,7	13,79	4,99	0,36	39,7	0,51	12,7
10/03/2015	8	31,8	18,9	30,8	4,3	25,54	7,15	0,15	34,6	0,3	8,2
20/03/2015	7,7	32,3	9,43	26,6	4	36,62	12,34	0,45	23,6	0,13	2,02
16/04/2015	10,9	32,4	8,77	15,8	3,8	19,03	5,69	0,52	17	0,34	0,93
11/05/2015	15,1	31,7	18,9	25,2	4,8	54,68	12,59	0,4	6,4	0,4	1,26
04/06/2015	15,2	33,1	22,3	34	3	31,65	7,62	0,2	6,19	0,32	0,88
17/06/2015	17,2	31,9	23,5	41,2	3,3	78,86	17,57	0,23	1,02	0,23	0,29
16/07/2015	19	33	16	22,8	2,3	17,73	4,76	0,94	5,99	0,21	3,41
11/08/2015	19,6	31,6	10,1	17,2	4,2	20,5	5,68	0,61	4,91	0,18	1,77
28/09/2015	15,3	32,7	22,3	37	4,7	8,81	2,67	0,92	12,9	0,22	5,44
19/10/2015	13,3	32,7	5,77	10,8	7,4	19,15	4,61	1,85	18	0,2	5,08
14/12/2015	9,7	32,5	35,6	47	8,8	3,95	2,89	2,46	34,1	0,76	20,2

### Radiale de la Baie de Somme, Station MIMER

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>x</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>
19/01/2015	7,7	32,2	37,3	46,3	2,9	1,19	2,8	0,18	35,48	1,39	21,33
18/02/2015	6,1	32,3	11,1	17,2	3	11,3	3,3	0,24	34,23	0,67	12,8
10/03/2015	7,9	32,2	19,6	25,7	3,2	25,15	6,65	0,78	29,86	0,42	7,03
20/03/2015	7,7	32,5	5,87	16,9	4,2	28,74	10,57	0,2	21,75	0,28	1,65
16/04/2015	10,8	32,3	10,7	23,2	1,4	26,26	8,58	0,15	6,72	1,56	0,97
11/05/2015	14,3	33	11	13,8	2,3	23,1	5,58	0,29	2,73	0,13	1,94
04/06/2015	15,1	33,2	7,12	10,1	2	10,13	2,31	0,15	1,92	0,26	0,85
17/06/2015	16,6	33,2	7,73	16	2,4	8,42	3,95	0,3	0,25	0,13	1,03
16/07/2015	18,9	33,3	13,2	19,8	2,2	14,63	3,76	0,39	0,27	0,25	3,98
11/08/2015	19,5	32,6	6,57	9,4	1,6	9,37	2,94	0,71	2,48	0,8	1,84
28/09/2015	15,7	32,9	10,7	16,7	4,5	10,71	2,9	0,15	9,5	0,3	3,9
19/10/2015	13,4	32,9	2,53	7,4	4	5,78	1,64	1,95	13,26	0,27	3,58
14/12/2015	10	32,8	41,2	56,5	2,1	3,51	3,53	2,72	20,53	0,66	14,87

## Radiale de la Baie de Somme, Station ATSO

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>x</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>
19/01/2015	8,1	32,8	10,1	18,9	1,9	0,76	0,4	0,3	25	0,78	21,6
18/02/2015	6,3	32,9	8,64	13	5,9	9,97	2,83	0,15	31,5	0,54	10,8
10/03/2015	8,3	31,7	8,5	8,9	1,6	12,96	3,01	0,15	37	0,29	9,86
20/03/2015	7,8	33	6,49	13,9	3,2	28,22	10,2	0,41	17	0,2	0,1
16/04/2015	10,5	33,1	2,71	3,7	1,1	4,38	1,13	0,35	17,4	0,27	0,68
11/05/2015	14	33,8	2,2	2,4	1	1,27	0,6	0,72	3,14	0,14	2,36
04/06/2015	14,8	33,6	3,94	8	1,7	4,71	1,11	0,26	9,85	0,25	1,82
17/06/2015	16,3	33,3	3,31	6,1	1,3	6,43	1,45	0,46	2,91	0,24	0,43
16/07/2015	18,5	33,7	4,84	6,5	1,7	7,25	1,39	0,96	4,03	0,14	2,22
11/08/2015	19,2	33,7	2,78	3,5	1,7	3,18	0,97	0,63	1,17	0,13	0,9
28/09/2015	15,8	33,4	4,6	12,1	1,8	5,23	2,06	1,81	9,19	0,24	5,55
19/10/2015	13,7	33,7	1,89	5,8	1,7	4,4	2,37	2,68	8,33	0,19	1,15
14/12/2015	10,4	33,6	15,4	19	2	2,66	1,76	1,89	24,7	0,74	11,7

## Radiale de la Baie de Somme, Station MER 2

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>x</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>
19/01/2015	8,1	33	9,3	9,9	1,5	0,66	0,47	0,23	42,67	1,13	27,21
18/02/2015	6,4	33,4	3,24	9,5	1,9	10,76	2,37	0,15	24,95	0,62	7,98
10/03/2015	7,6	33,3	4,4	8	0,9	18,86	4,53	0,15	19,86	0,37	3,42
20/03/2015	7,7	33,6	2,24	4,9	0,5	10,62	3,92	0,15	12,83	0,22	0,28
16/04/2015	10,5	33,1	1,46	2,8	1,5	4,1	0,9	0,15	14,74	0,28	0,3
11/05/2015	13,9	34	1,4	1,6	1,2	0,53	0,2	0,21	1,82	0,22	1,9
04/06/2015	14,3	33,9	1,46	3,6	1,5	2,45	0,21	0,15	6,56	0,1	0,66
17/06/2015	15,7	33,8	0,987	2,4	2	5,93	0,7	0,3	2,46	0,14	0,1
16/07/2015	18,1	34,3	2,58	3,8	1,8	7,73	1	0,28	4,13	0,15	0,66
11/08/2015	18,9	34,1	1,03	4,1	0,7	2,26	0,37	0,79	0,62	0,18	0,32
28/09/2015	16,2	34,2	1,9	6,2	0,5	6,32	1,85	0,15	2,17	0,41	0,97
19/10/2015	13,9	33,9	0,923	2,5	1,1	2,95	1,12	1,57	6,57	0,3	0,16
14/12/2015	10,9	34,2	2,36	7,5	3	2,6	0,85	0,4	13,45	0,65	5,51

## GRADIENT COTE-LARGE

### Radiale de Dunkerque

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>x</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>
20/01/2015	0,8	1,2	-19,43	-24,7	-1,5	-0,73	-1,87	-1,31	-3,47	0,16	-7,55
06/03/2015	0,1	0,8	-2,71	-7	-2,3	-8,43	-2,07	-0,18	-2,8	0,3	0
09/04/2015	-0,4	0,4	-0,9	-1,2	-3,3	-0,5	0,62	-0,3	0	0,14	-0,43
24/04/2015	-1	0,2	-0,46	-1	-0,8	1,39	0,54	-0,24	0	0,08	-2,18
27/05/2015	-1,1	0,2	-10,17	-17,8	0,4	-6,84	-2,44	-0,05	-0,23	0,16	0,42
04/06/2015	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
16/06/2015	-1,1	-0,3	-0,73	-2,6	0,7	-2,6	-0,46	-0,17	-0,48	0,07	-0,39
26/06/2015	-1,4	-0,1	-0,38	0,7	-0,3	-1,11	-0,73	0,01	-0,11	0,05	-0,28
31/07/2015	-0,3	0,3	-3,73	-5,6	-1,2	-3,13	-1,11	-0,99	-1,68	-0,08	-4,18
19/08/2015	-0,3	-0,2	-1,76	-2	-0,2	0,27	-0,36	-0,26	-0,46	0,31	-1,66
23/10/2015	0,8	0	-4,8	-5,1	-0,5	-0,69	-0,42	-2,19	-0,53	0,14	-1,78
15/12/2015	0,2	0,2	-21,3	-29,6	-1,6	-0,75	-2,2	-2,39	-8,61	-0,06	-4,69

### Radiale de Boulogne

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>x</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>
23/01/2015	0,7	0,6	-1	-2,7	-0,5	-0,4	-0,09	-0,18	-6,52	0,1	-2,49
05/03/2015	0,5	0,8	-1,93	-3,3	-0,2	-8,33	-0,6	0,51	-5,44	0,34	0,05
08/04/2015	0,2	1,1	0	-1,4	-0,4	-3,55	-0,41	0,86	-4,26	0,36	0,66
21/04/2015	0	0,7	-0,94	-2,1	-3,6	-6,73	-1,36	0,32	-5,41	-0,03	0,48
24/03/2015	-0,8	0,9	-2,94	-8,9	-1,2	-11,55	-2,99	0,14	-0,72	-0,04	-0,4
12/05/2015	-0,8	0,6	-2,4	-3	-1,4	-4,9	-0,13	0,12	-0,5	0,14	-0,74
15/06/2015	-1,1	1	-0,72	-1,7	-1,1	-2,31	-1,29	NA	NA	NA	NA
26/06/2015	-0,6	0,9	-0,32	-0,1	0	-6,07	-1,17	-0,09	-0,74	-0,01	-0,11
16/07/2015	-1,3	0,5	-1,32	L.	-1,6	-0,54	-0,49	-1,01	-0,42	0,04	-0,59
12/08/2015	-0,8	0,4	-0,95	-2,4	-0,1	-2,45	-0,56	0,19	-0,45	0,36	-0,37
31/08/2015	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
25/09/2015	NA	0,7	-2,3	-3,8	0,4	0,17	-1,53	-2,27	-2,1	0,15	-1,5
26/10/2015	0,5	0,1	-0,2	-2,2	-0,4	-2,57	-0,73	-1,06	1,78	0,39	-0,63
12/11/2015	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

## Radiale de la Baie de Somme

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>x</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µg.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>	µmol.l <sup>-1</sup>
19/01/2015	0	0,2	-0,8	-9	-0,4	-0,1	0,07	-0,07	17,67	0,35	5,61
18/02/2015	0,1	0,5	-5,4	-3,5	-4	0,79	-0,46	0	-6,55	0,08	-2,82
10/03/2015	-0,7	1,6	-4,1	-0,9	-0,7	5,9	1,52	0	-17,14	0,08	-6,44
20/03/2015	-0,1	0,6	-4,25	-9	-2,7	-17,6	-6,28	-0,26	-4,17	0,02	0,18
16/04/2015	0	0	-1,25	-0,9	0,4	-0,28	-0,23	-0,2	-2,66	0,01	-0,38
11/05/2015	-0,1	0,2	-0,8	-0,8	0,2	-0,74	-0,4	-0,51	-1,32	0,08	-0,46
04/06/2015	-0,5	0,3	-2,48	-4,4	-0,2	1,22	-0,9	-0,11	-3,29	-0,15	-1,16
17/06/2015	-0,6	0,5	-2,323	-3,7	0,7	1,3	-0,75	-0,16	-0,45	-0,1	-0,33
16/07/2015	-0,4	0,6	-2,26	-2,7	0,1	-4,99	-0,39	-0,68	0,1	0,01	-1,56
11/08/2015	-0,3	0,4	-1,75	0,6	-1	3,14	-0,6	0,16	-0,55	0,05	-0,58
28/09/2015	0,4	0,8	-2,7	-5,9	-1,3	-2,28	-0,21	-1,66	-7,02	0,17	-4,58
19/10/2015	0,2	0,2	-0,967	-3,3	-0,6	-1,8	-1,25	-1,11	-1,76	0,11	-0,99
14/12/2015	0,5	0,6	-13,04	-11,5	1	-2,66	-0,91	-1,49	-11,25	-0,09	-6,19

**Annexe 2 : Tableau de synthèse des limitations potentielles en nutriments pour l'ensemble des radiales en 2015**  
 (NA : données manquantes) (Rappel : Prélèvements bimensuels de mars à juin)

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre		
Dunkerque point 1	P : Si : N	NA	Si : P : N	N : P : Si	N : Si : P	N : P : Si			NA	Si : P : N	NA	Si : P : N		
				N : Si : P		N : Si : P	N : P : Si	N : P : Si		Si : N : P				
Dunkerque point 3	Si : P : N	NA	Si : N : P	Si : P : N	N : Si : P	Si : N : P	N : Si : P	N : Si : P	NA	Si : N : P	NA	Si : N : P		Légende Type de limitation
Dunkerque point 4	Si : P : N	NA	Si : N : P	N : Si : P	N : Si : P	Si : N : P	N : Si : P	N : Si : P	NA	Si : N : P	NA	Si : N : P		Si : P : N
Boulogne point 1	Si : P : N	NA	Si : P : N	Si : P : N	P : N : Si	Si : P : N		P : Si : N	Si : P : N	Si : P : N	P : Si : N	NA		Si : N : P
				Si : N : P	N : P : Si	Si : N : P	Si : P : N	Si : P : N						
Boulogne point 2	Si : P : N	NA	Si : P : N	Si : P : N	Si : N : P	Si : P : N	NA	N : Si : P	N : Si : P	Si : N : P	NA	NA		N : Si : P
				Si : N : P										
Boulogne point 3	Si : P : N	NA	Si : P : N	Si : N : P	N : Si : P	Si : N : P	Si : N : P	N : Si : P	Si : N : P	Si : N : P	NA	NA		N : P : Si
	Si : N : P		Si : N : P											
Somme point Bif	P : Si : N	P : Si : N	Si : P : N	Si : P : N	Si : P : N	Si : N : P	Si : P : N	Si : P : N	P : Si : N	P : Si : N	NA	P : Si : N		P : N : Si
			P : Si : N			Si : P : N	P : Si : N							
Somme point Mmer	Si : P : N	P : Si : N	Si : P : N	Si : P : N	Si : P : N	Si : N : P	N : Si : P	Si : N : P	Si : P : N	Si : P : N	NA	P : Si : N		P : Si : N
						N : Si : P								
Somme Point Atso	P : Si : N	P : Si : N	Si : P : N	Si : P : N	Si : P : N	Si : P : N	Si : P : N		Si : N : P	P : Si : N	NA	Si : P : N		
			P : Si : N		P : Si : N	Si : N : P	P : Si : N					P : Si : N		
Somme Point Mer 2	P : Si : N	Si : P : N	Si : P : N	Si : P : N	Si : N : P	Si : P : N	Si : P : N	Si : N : P	Si : N : P	Si : P : N	NA	Si : P : N		Limitation intermédiaire

