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

AMBIAUD Antonin
LEFEBVRE Alain

Juin 2017

Référence : ODE/LITTORAL/LER.BL/17.05

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 2016

Numéro d'identification du rapport : IFREMER/ODE/LITTORAL/RST.LER.BL/17.05 **Diffusion** : libre [X] restreinte □ interdite □ **Validé par** : LEFEBVRE Alain **Version du document** : définitive	**Date de publication** Juin 2017 **Nombre de pages** 215 **Bibliographie** (Oui / ~~Non~~) **Illustration(s)** (Oui / ~~Non~~) **Langue du rapport** Français

Titre et sous-titre du rapport :
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 2016.
Titre traduit :
Results from the REPHY and SRN monitoring programs – Coastal zones of the English Channel and southern bight of the North Sea - Annual report for 2016.

Auteurs principaux :	**Organisme / Direction / Service, laboratoire**
Lefebvre Alain	Ifremer/LER/Boulogne-sur-Mer
AMBIAUD Antonin	Ifremer/LER/Boulogne-sur-Mer (Stagiaire ULCO – DUT GB)

Collaborateurs :	**Organisme / Direction / Service, laboratoire :**
Blondel Camille	Ifremer/LER/Boulogne-sur-Mer
Duquesne Vincent	Ifremer/LER/Boulogne-sur-Mer
Cordier Rémy	Ifremer/LER/Boulogne-sur-Mer

Convention Ifremer / AEAP 2016

Organisme commanditaire :
Agence de l'Eau Artois-Picardie

Organisme réalisateur :
Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (Ifremer) - Centre Manche Mer du Nord - Laboratoire Environnement & Ressources (LER), Boulogne-sur-Mer.

Responsable scientifique : Lefebvre Alain, Ifremer/LER/Boulogne-sur-Mer.

Cadre de la recherche : Suivi Régional des Nutriments et REPHY

Code Action Ifremer
A050104 (IMAGO) P305-0013-04-MS (eOTP)

Projet Ifremer PHY3

Campagnes en mer : 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 graphique 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 2016 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 dysfonctioning 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 2016 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.FRÉQUENCE DES PRÉLÈVEMENTS 11
2.2.PRÉLÈVEMENTS EN MER 11
2.3.PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES 12
2.3.1.Salinité et Température 12
2.3.2.Turbidité 12
2.3.3.L'oxygène dissous 13
2.4.PARAMÈTRES BIOGÉOCHIMIQUES 13
2.4.1.Ammonium 13
2.4.2.Nitrate 13
2.4.3.Nitrite 13
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.PARAMÈTRES 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 21

3.1.PARAMÈTRES HYDROLOGIQUES 21
3.1.1.Dunkerque 21
3.1.2.Boulogne-sur-Mer 65
3.1.3.La Baie de Somme 109
3.2.PARAMÈTRES BIOLOGIQUES 166
3.2.1.Le phytoplancton 166
3.2.2.Mesure de la diversité : Indice de Sanders 167
3.2.3.Genres toxiques et Toxicités 168
3.2.4.Dynamique phytoplanctonique 169

4.DISCUSSION 183

4.1.ÉVOLUTION DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES 183
4.2.DYNAMIQUE À LARGE ÉCHELLE DES EFFLORESCENCES PHYTOPLANCTONIQUES. 189
4.3.LE SRN ET LA QUALITÉ DES MASSES D'EAU CÔTIÈRE. 190

5.BILAN ET CONCLUSIONS 200

BIBLIOGRAPHIE 203

ANNEXES 206

ANNEXE 1 : DONNÉES BRUTES DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES 207
ANNEXE 2 : CORRESPONDANCE ENTRE LES INTITULÉS DE LA BASE DE DONNÉES QUADRIGE 2 ET LA CLASSE TAXONOMIQUE POUR L'ENSEMBLE DES RADIALES EN 2016 214
ANNEXE 3 : TABLEAU DE SYNTHÈSE DES LIMITATIONS POTENTIELLES EN NUTRIMENTS POUR L'ENSEMBLE DES RADIALES EN 2016 215

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^{ème} 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 tout 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 non siliceuses (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 mégatidal, 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 diminuer 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 dominent 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 dominent 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**
STATIONS	**Station 0**			**Bif** Latitude : 50°12'88 N Longitude : 1°35'96 E
	Station 1	Latitude : 51°04'30 N Longitude : 2°20'20 E	Latitude : 50°43'90 N au flot Longitude : 1°33'00 E au flot	Mimer' (1992-2004) Latitude : 50°14,121 N Longitude : 1°31,084 E **Mimer** (à partir de 2004) Latitude : 50°13'30 N Longitude : 1°32'40 E
	Station 2		Latitude : 50°43'90 N Longitude : 1°30'90 E	**Atso** Latitude : 50°14'0 N Longitude : 1°28'50 E
	Station 3	Latitude : 51°06'70 N Longitude : 2°17'20 E	Latitude : 50°45'02 N Longitude : 1°27'15 E	
	La station **Mer 1** n'est actuellement plus échantillonnée			
	Station 4	Latitude : 51°09'20 N Longitude : 2°15'10 E		**Mer 2** Latitude : 50°13'15 N Longitude : 1°26'75 E

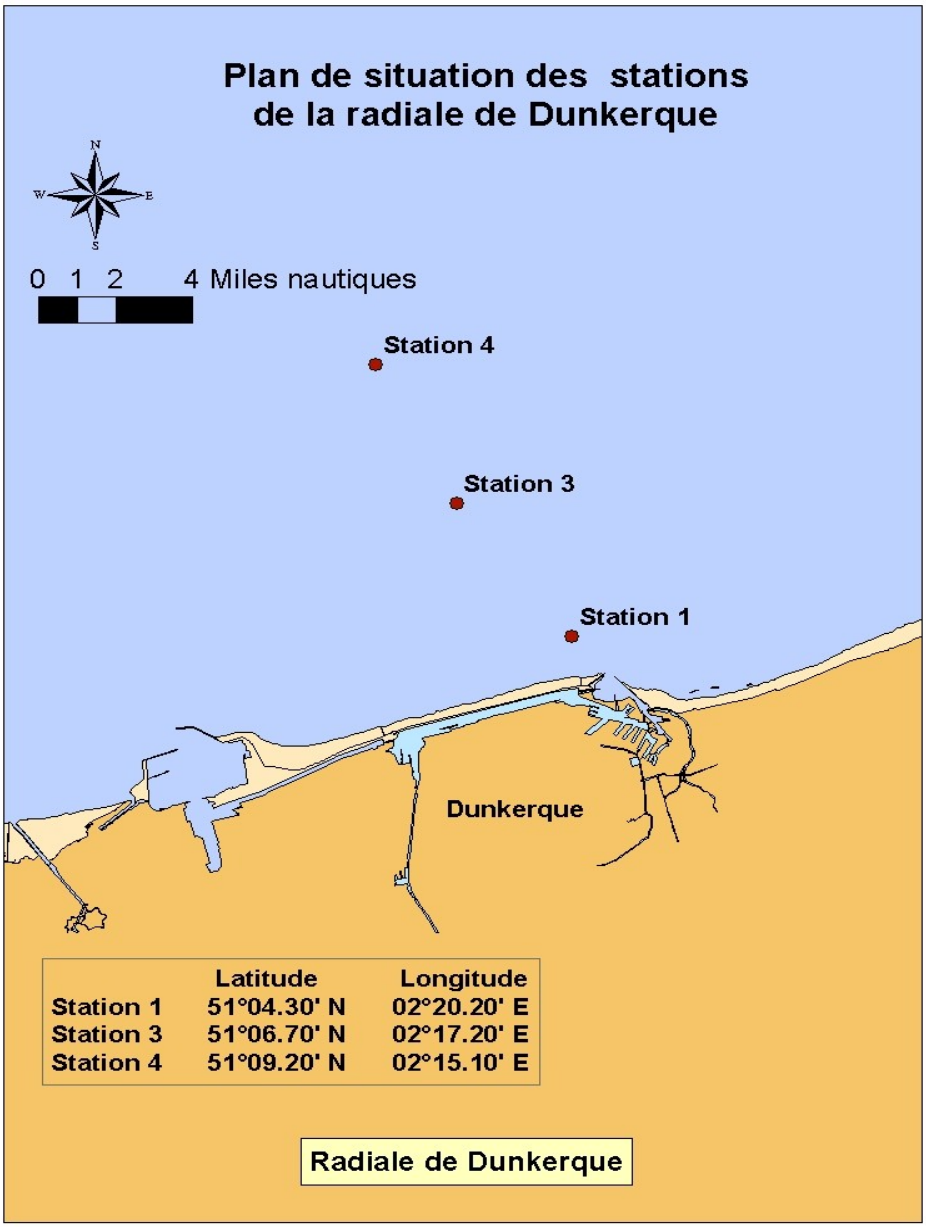


Figure 1. Localisation des points de prélèvements de la radiale de Dunkerque.

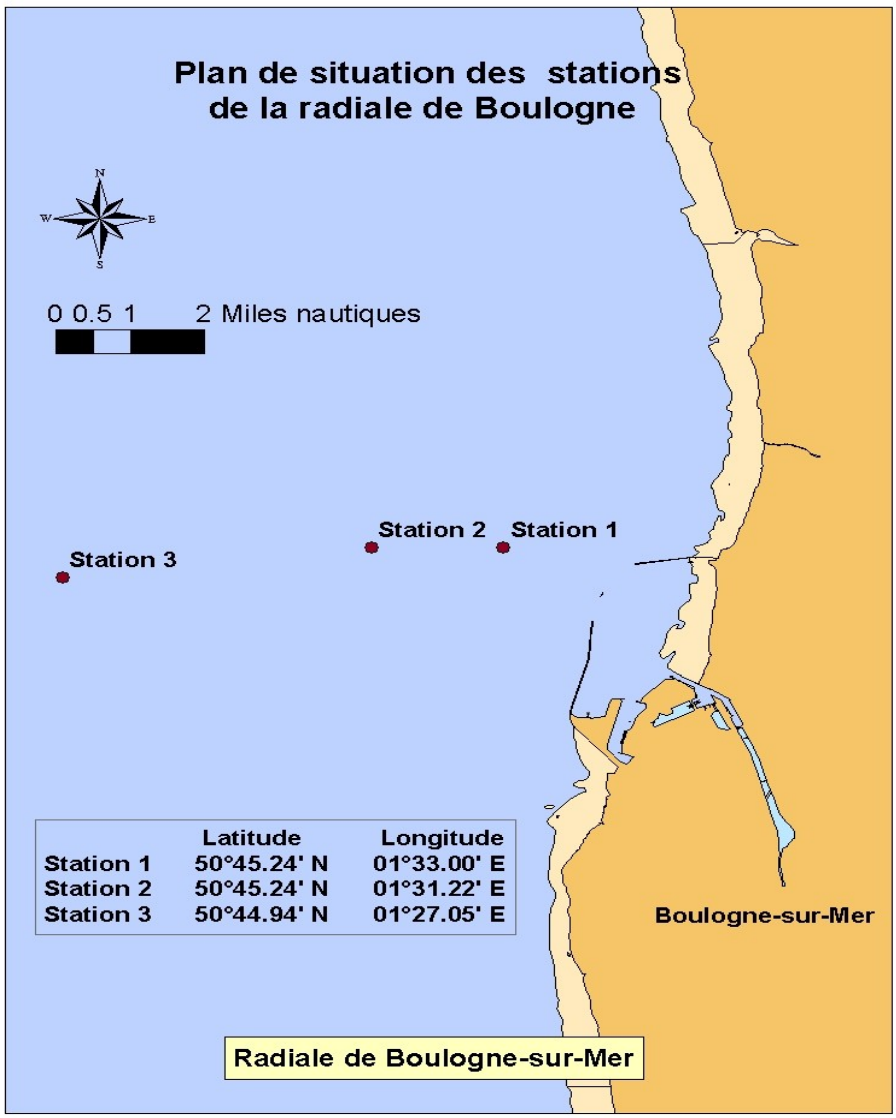


Figure 2. Localisation des points de prélèvements de la radiale de Boulogne-sur-Mer.

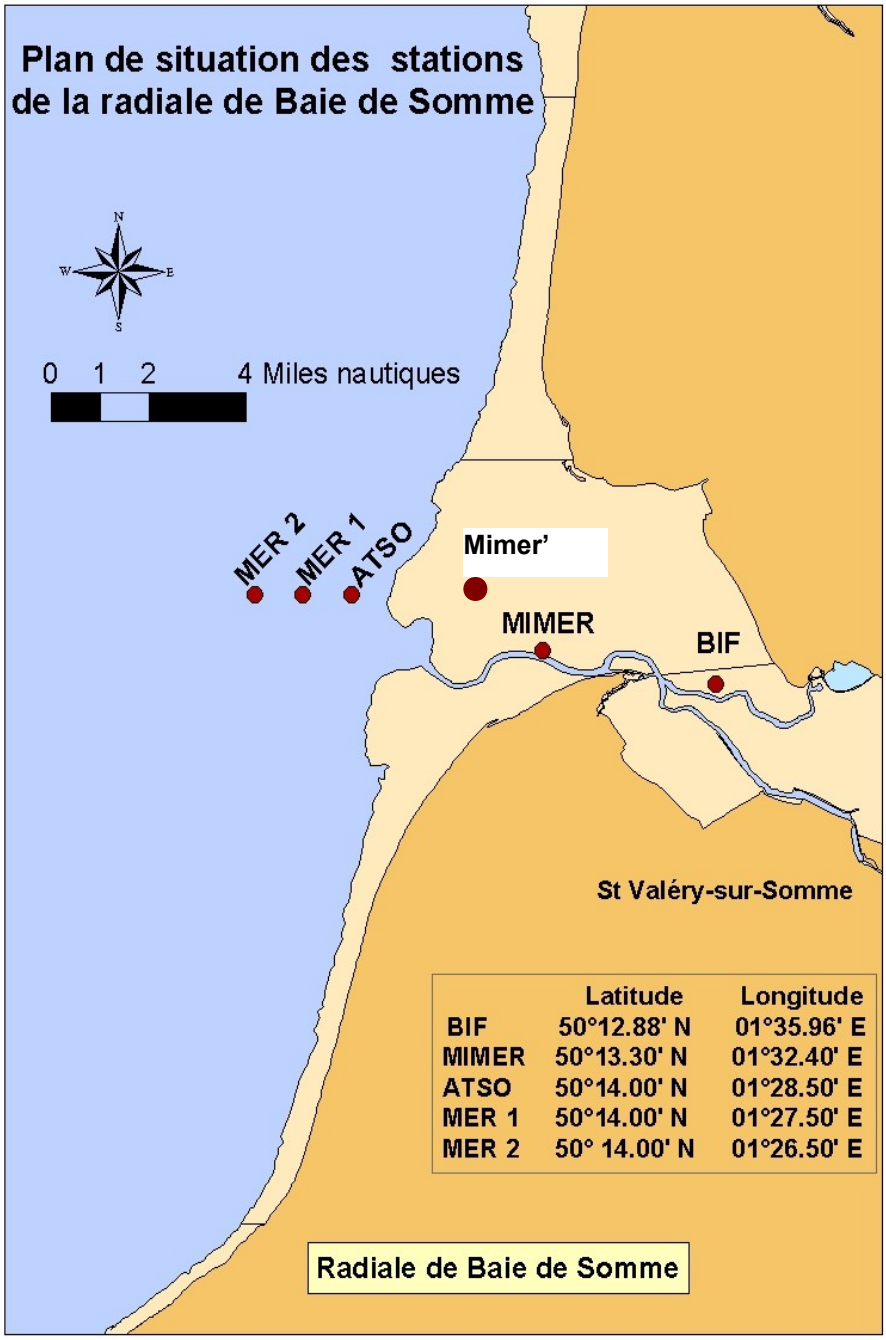


Figure 3. Localisation des points de prélèvements de la radiale de la Baie de Somme.

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 2016, comme les trois 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 : **14 sorties** ont pu être réalisées pour les trois points de prélèvement.
- Pour la radiale de Boulogne-sur-Mer : **15 sorties** ont été réalisées pour les trois points de prélèvement et 4 **sorties supplémentaires** ont concerné uniquement la station 1.
- Pour la radiale de la Baie de Somme : **15 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

Pour les sels nutritifs, l'eau est pré-filtrée (maille de 50 µm) 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. 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 ± 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 ± 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 : NH_3 et NH_4^+. Au pH usuel, l'ammonium (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 µmol/L. Le seuil de détection de l'appareil est de 0,15 µmol/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 µmol/L. Le seuil de détection est de 0,05 µmol/L.

2.4.4. Phosphate

Le phosphate désigne l'ensemble des formes dissoutes de l'ion orthophosphate (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 µmol/L. Le seuil de détection est de 0,05 µmol/L.

2.4.5. Silicate

Le terme silicate désigne les formes dissoutes de l'ion orthosillicates SiO_4. Dans l'eau de mer, la forme majoritaire est l'acide orthosilicique, $Si(OH)_4$, 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 µmol/L. Le seuil de détection est de 0,1 µmol/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 µm 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 $tr.mn^{1}$, 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^3 (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

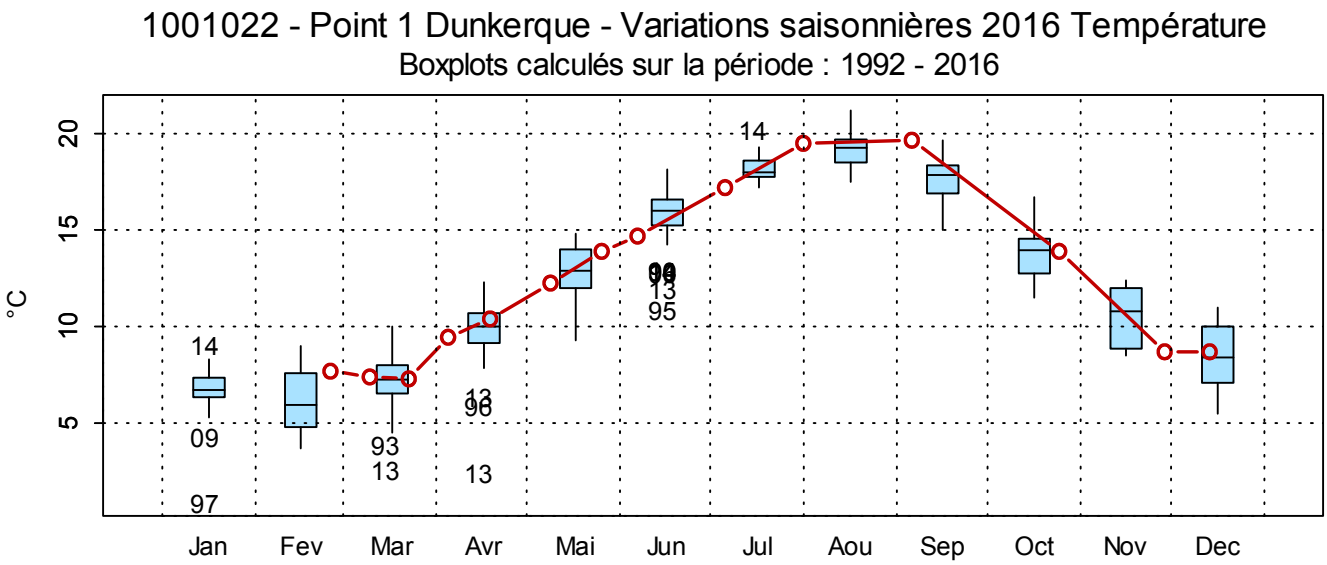
Cette sonde permet la mesure ou le calcul des paramètres présentés dans le tableau 2. La concentration en chlorophylle a est estimée via une mesure de la fluorescence.

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

Paramètres	Unités	Plage	Résolution	Précision
Température	Degrés Celsius (°C)	-5°C à + 45°C	0,01 °C	± 0,15 °C
Conductivité	mS / cm	0 à 100 mS/cm	0,001 à 0,1 mS/cm	± 0,5 % de la lecture +0,001 mS/cm
Salinité	P.S.U	0 à 70	0,01	± 1 % de la lecture ou 0,1
Oxygène dissous	% saturation	0 à 500 %	0,1 %	0 à 200% : ± 2 % de la lecture 200 à 500% : ± 6 % de la lecture
Oxygène dissous	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
pH	Unités de pH	0 à 14 unités	0,01 unités	± 0,2 unités
Turbidité	N.T.U.	0 à 1000 N.T.U.	0,1 N.T.U.	± 5 % de la lecture ou 2 N.T.U.
Chlorophylle a	µg / L	0 à 400 µg/L	0,1 µg/L	
Profondeurs	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*

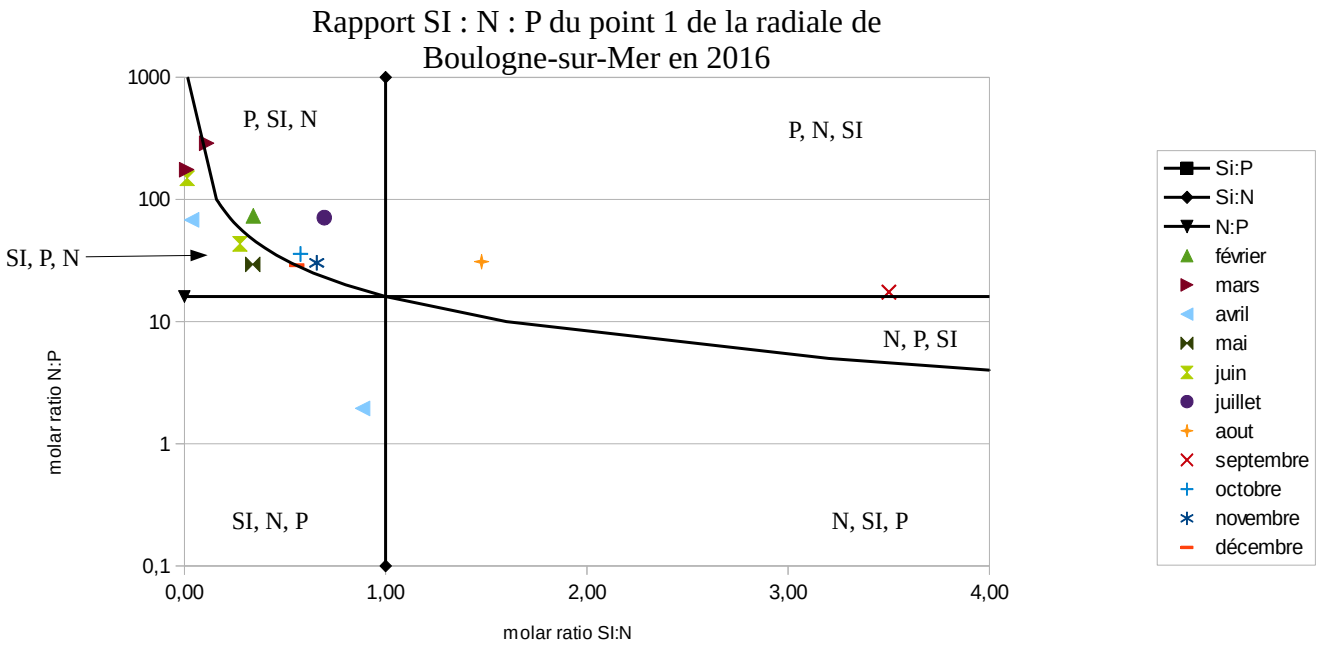
Les paramètres hydrologiques sont représentés par deux types de graphiques. D'abord, les boîtes de dispersion permettent de visualiser les variations saisonnières intégrées sur toute la période 1992 par rapport à l'année d'édition du rapport. Elles représentent les paramètres de tendance centrale et 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 (2016, 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 ait 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 2016) 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. 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 et 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 1992-2016 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
NA : nombre de valeurs non attribuées

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 1992. Par exemple, la température est descendue jusqu'à 1,00 °C en janvier 1997 au point 1 et est montée jusqu'à 21,2 °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.

En ce qui concerne l'année 2016, le cycle de la température est globalement le même que les années précédentes avec un mois de février et un mois d'octobre un peu plus chaud (Figures 8 à 10). La médiane des valeurs se situe entre 11,1 °C et 11,7 °C pour la période 1992-2015 contre 10,6 °C et 11,3°C en 2016 (Tableaux 3 et 4).

Le gradient large-côte traduit la différence des valeurs entre le point le plus loin de la côte et celui le plus près (Annexe 1). Sur la radiale de Dunkerque, il est compris entre -1,1°C au mois de mai et 1,2 °C au mois de novembre pour l'année 2016. Il varie selon les saisons. En effet, il est positif en hiver et négatif en été, les températures au niveau de la côte sont plus élevées par rapport au large en été et inversement en hiver.

Tableau 3. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la température (°C) pour la radiale de Dunkerque sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
DK1	1,00	8,10	11,7	12,0	4,61	16,3	21,2	281	155
DK3	1,50	7,90	11,1	11.7	4,46	15,4	20,0	253	38
DK4	2,00	8,00	11,2	11.7	4,40	15,4	22,0	245	37

Tableau 4. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la température (°C) pour la radiale de Dunkerque en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
DK1	7,30	8,70	11,3	12,2	4,37	14,5	19,7	14	2
DK3	7,20	8,93	10,8	12,0	4,16	14,5	19,2	14	2
DK4	7,30	8,98	10,6	12,0	4,01	14,7	19,0	14	2

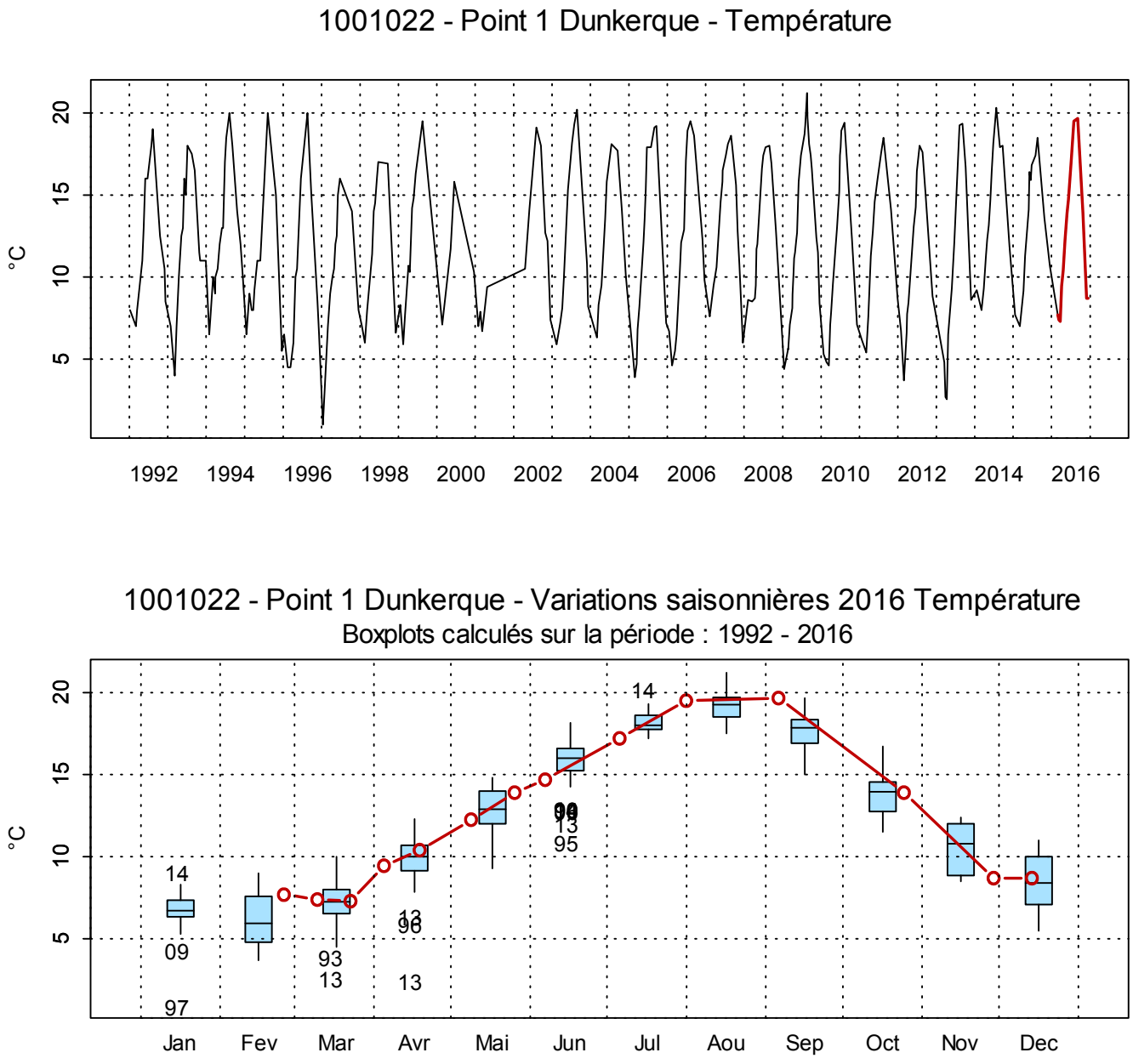


Figure 8. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la température (°C) pour le point 1 de la radiale de Dunkerque (1992-2016)

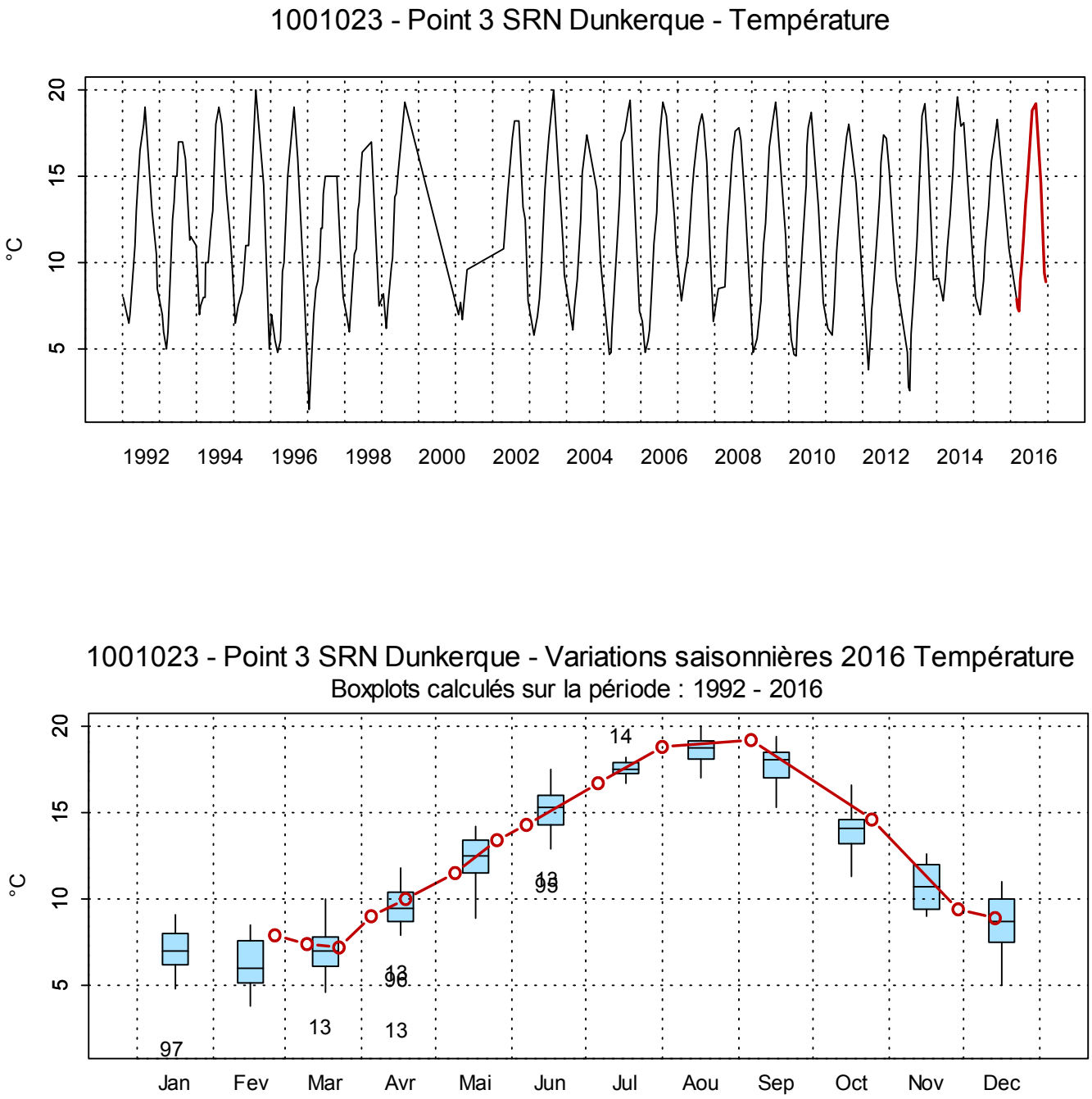
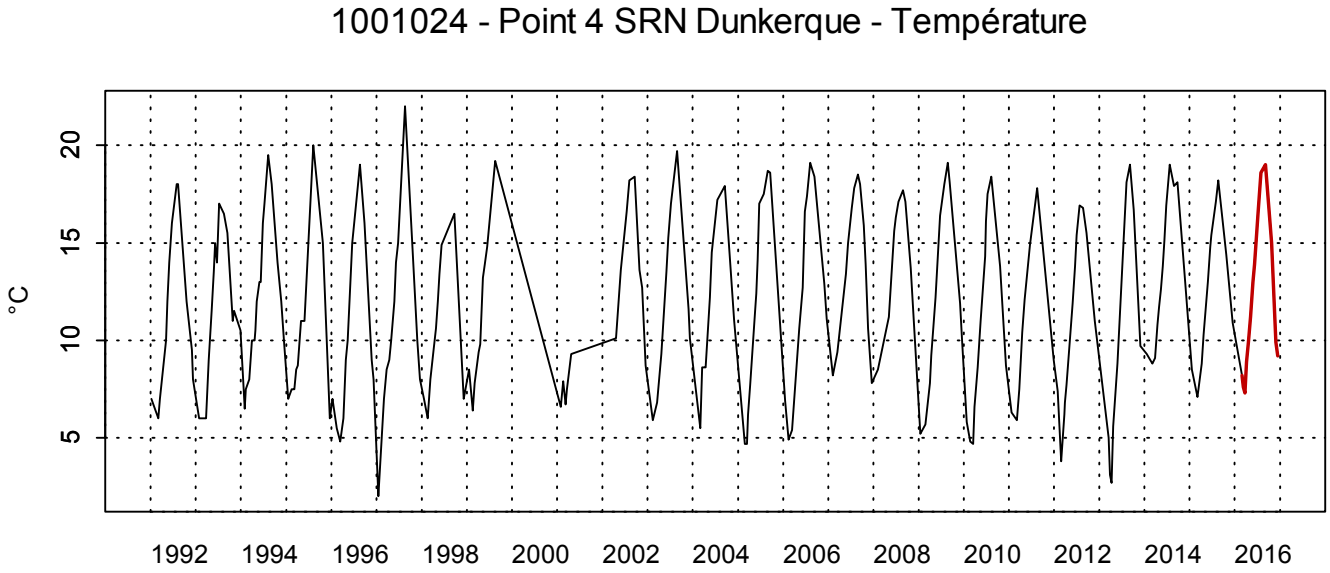


Figure 9. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la température (°C) pour le point 3 de la radiale de Dunkerque (1992-2016)



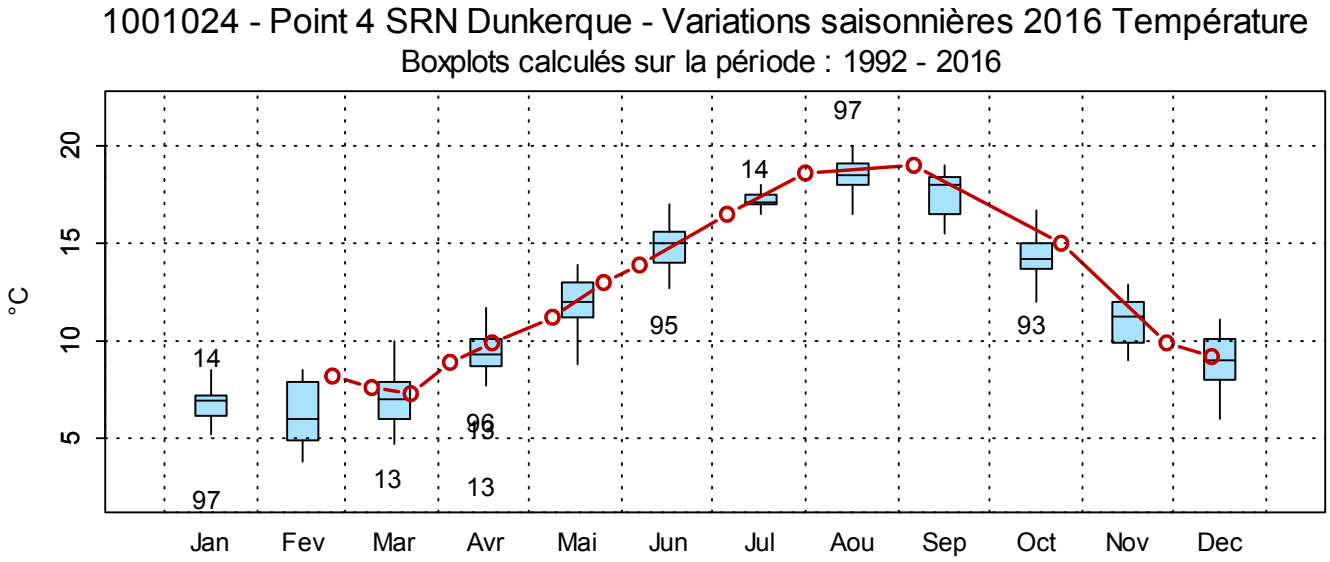


Figure 10. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la température (°C) pour le point 4 de la radiale de Dunkerque (1992-2016)

- ***Salinité***

Les valeurs de salinité en 2016 sont comparables à celles mesurées depuis 1992 (Tableaux 5 et 6). En effet, la médiane de la salinité sur la radiale de Dunkerque en 2016 se trouve entre 34,2 et 34,5 P.S.U contre 33,6 et 34,1 P.S.U de 1992 à 2015.

Des valeurs exceptionnelles ont été mesurées, par exemple en 1995 au mois d'août, les valeurs de la salinité étaient descendues jusqu'à 31,2 P.S.U. En revanche, en juillet 2014, la salinité est montée jusqu'à 35,7 P.S.U (Figures 11 à 13). En 2016, la salinité a été un peu plus élevée que les autres années de fin avril jusqu'à début mai. Cependant, une valeur extrême est observable en mars et en juin pour tous les points. La salinité est plus faible pour le point 1 par rapport aux deux autres points (Tableaux 5 et 6).

La différence large-côte est observable tout au long de l'année avec des valeurs positives, en effet, elle varie de 0 à 1,4 P.S.U en 2016 (Annexe 1).

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

Tableau 5. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la salinité (P.S.U) pour la radiale de Dunkerque sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
DK1	31,2	33,6	34,2	34,0	0,81	34,6	35,5	300	136
DK3	31,9	34,0	34,4	34,3	0,66	34,8	35,6	273	18
DK4	32,3	34,1	34,5	34,4	0,58	34,8	35,7	264	18

Tableau 6. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la salinité (P.S.U) pour la radiale de Dunkerque sur la période 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
DK1	32,5	34,2	34,5	34,2	0,70	34,6	34,9	14	2
DK3	33,3	34,7	34,6	34,5	0,55	34,8	35,1	14	2
DK4	33,4	34,6	34,7	34,6	0,47	34,9	35,1	14	2

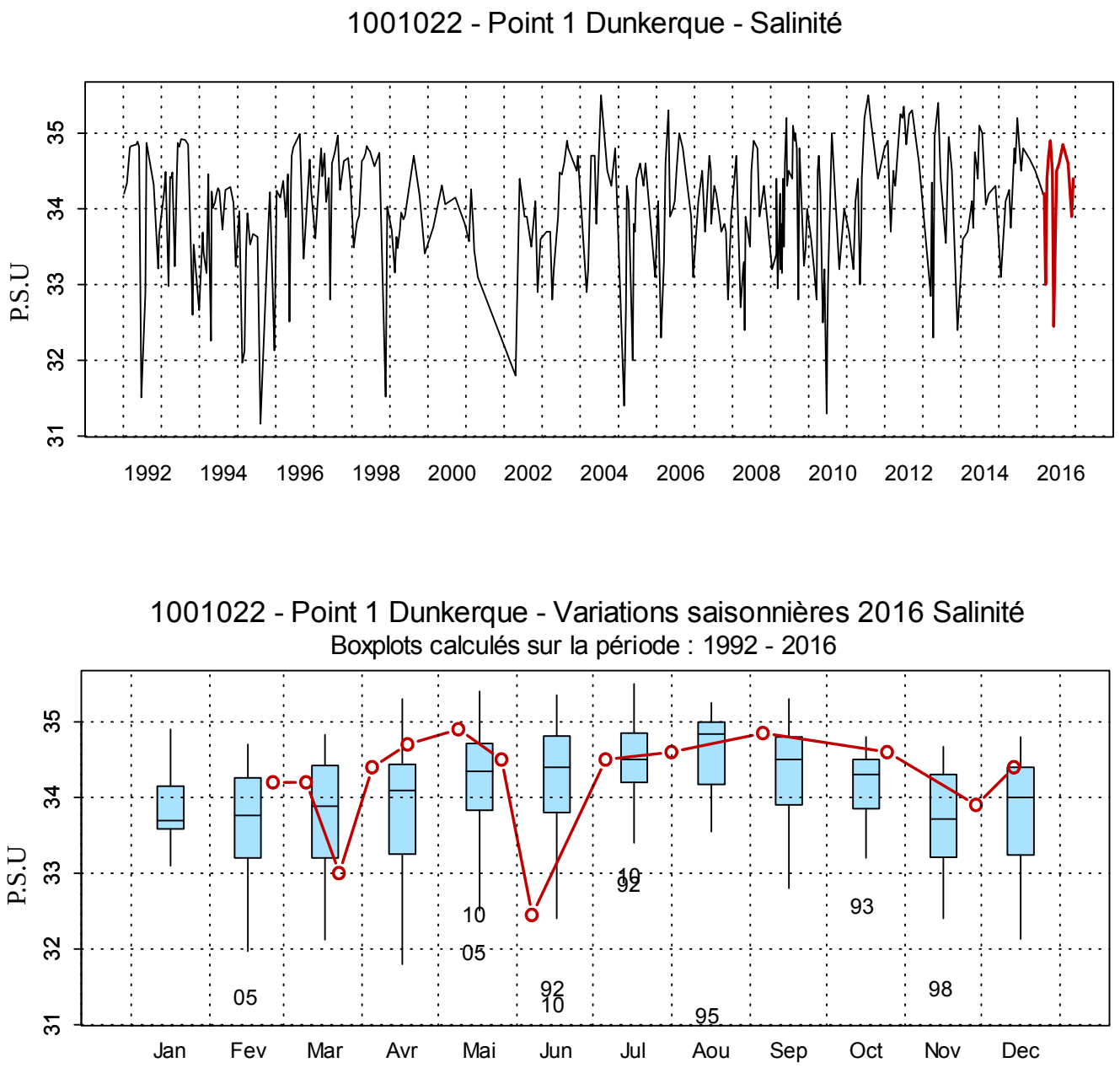


Figure 11. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la salinité (P.S.U) pour le point 1 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016

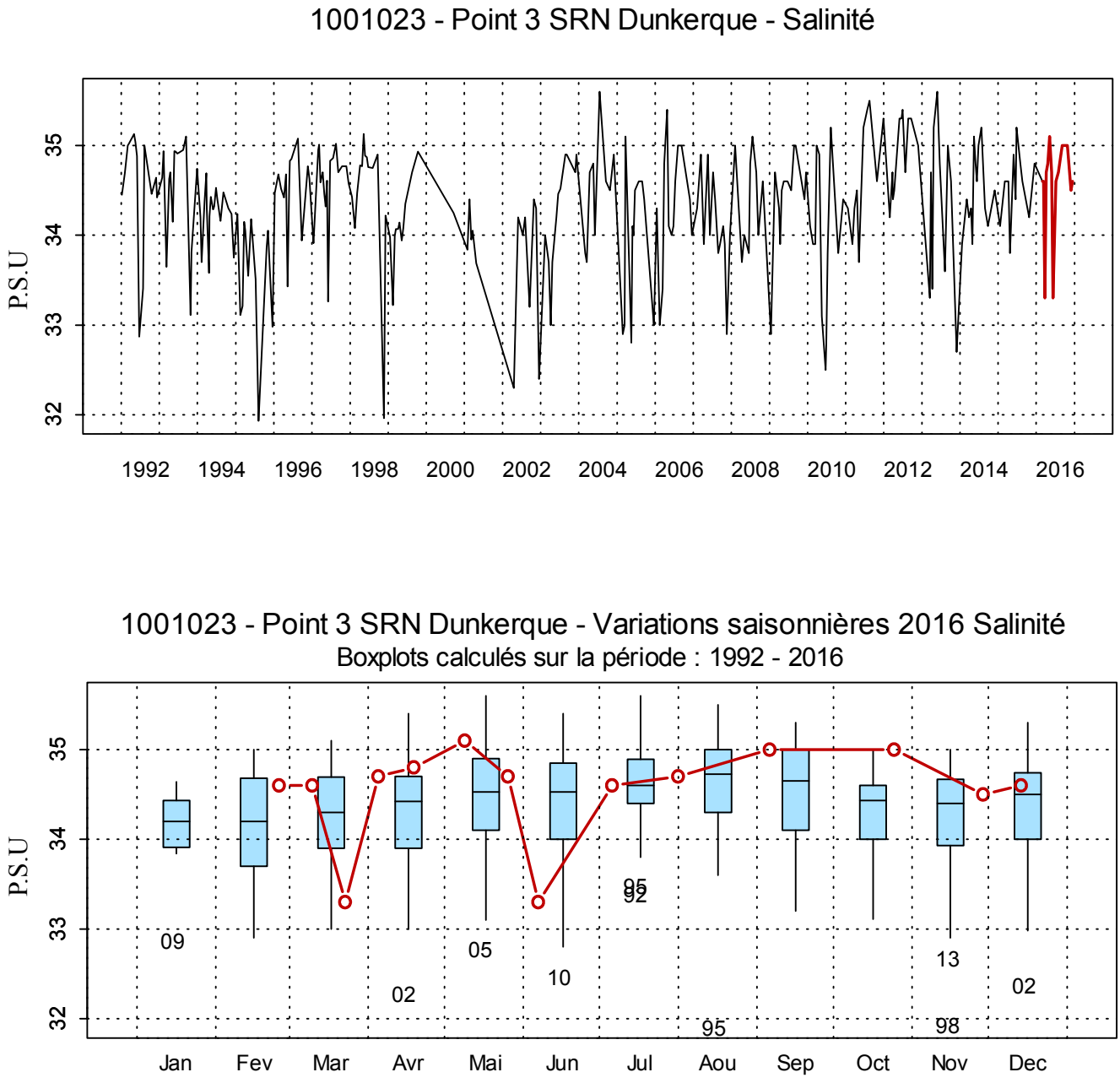


Figure 12. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la salinité (P.S.U) pour le point 3 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016

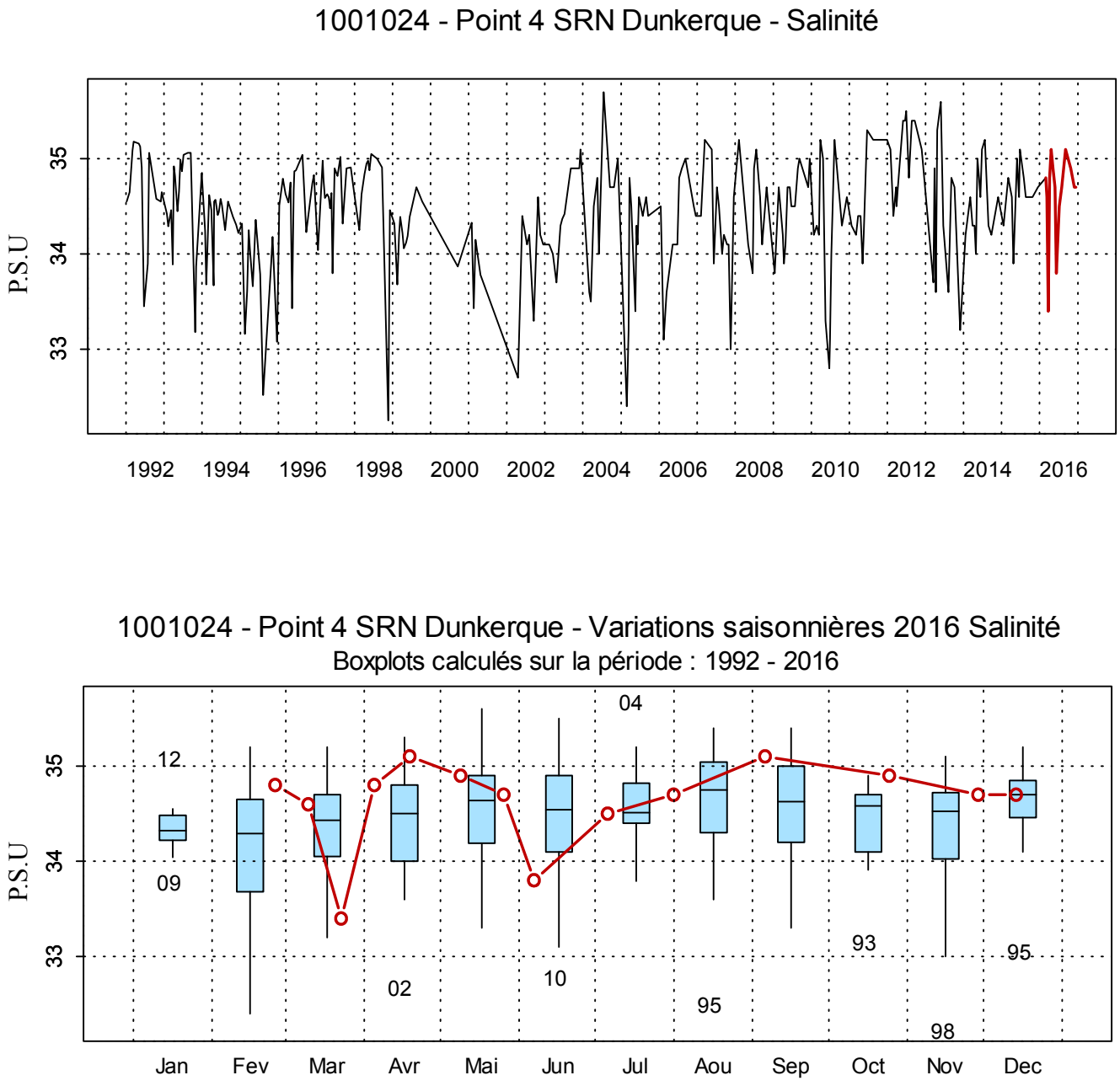


Figure 13. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la salinité (P.S.U) pour le point 4 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016

- ***Turbidité et Matières en suspension***

La turbidité est associée à un cycle saisonnier. En effet, des valeurs plus importantes sont observées de septembre à mars et plus faibles d'avril à août durant la période printanière et estivale. Depuis 1992, les valeurs de médiane se situent entre 1,52 et 4,34 N.T.U. En 2016, les valeurs de médiane sont supérieures et se situent entre 2,05 et 5,33 N.T.U. Des valeurs maximales sont notées en avril 2013 pour le point 1 (63,1 N.T.U), en mars 2013 pour le point 3 (21,1 N.T.U) et en novembre 1998 pour le point 4 (18,0 N.T.U) (Tableaux 7 et 8 et Figures 14 à 16).

En 2016, les valeurs du point 1 et du point 2 présentent de fortes fluctuations. La turbidité est plus élevée de novembre à mars, et plus faible le reste de l'année. Cependant, début mars et début mai, la turbidité est plus élevée que les autres années (valeurs extrêmes). Par exemple, elle est de 31,6 N.T.U au point 1 début mars puis elle chute brutalement jusqu'à 2,47 N.T.U début avril. Les valeurs du point 4 varient légèrement par rapport aux autres points avec les mêmes hausses en mars et en mai mais avec un maxima plus faible. Les valeurs de l'année 2016 sont supérieures aux médianes voire supérieures au 3^{ième} quartile pour toutes les stations (Tableaux 7 et 8 et Figures 14 à 16). La turbidité maximale cette année est observable en mars (31,6 N.T.U au point 1) et la valeur minimale en mai au point 4 (0,61 N.T.U).

Les valeurs sont importantes au point 1 (1992-2015 : moyenne de 6,49 N.T.U ; 2016 : moyenne de 9,15 N.T.U) et diminuent au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la côte, (à la station 4 1992-2015 : moyenne de 2,38 N.T.U ; 2016 : 2,05 N.T.U) (Tableaux 7 et 8). Le gradient large-côte est toujours négatif et variable de -25,58 à -0,69 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 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Ecart-type	Q3	Max	n	NA
DK1	0,60	2,48	4,34	6,49	7,20	7,58	63,1	290	146
DK3	0,10	1,40	2,37	3,52	3,27	4,30	21,1	265	26
DK4	0,10	0,95	1,52	2,38	2,53	2,90	18,0	260	22

Tableau 8. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la turbidité (N.T.U.) pour la radiale de Dunkerque sur la période 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Ecart-type	Q3	Max	n	NA
DK1	2,47	4,03	5,33	9,15	8,19	14,3	31,6	14	2
DK3	0,68	1,74	3,44	5,17	4,72	7,64	17,3	14	2
DK4	0,61	0,81	2,05	2,59	2,05	3,90	6,02	14	2

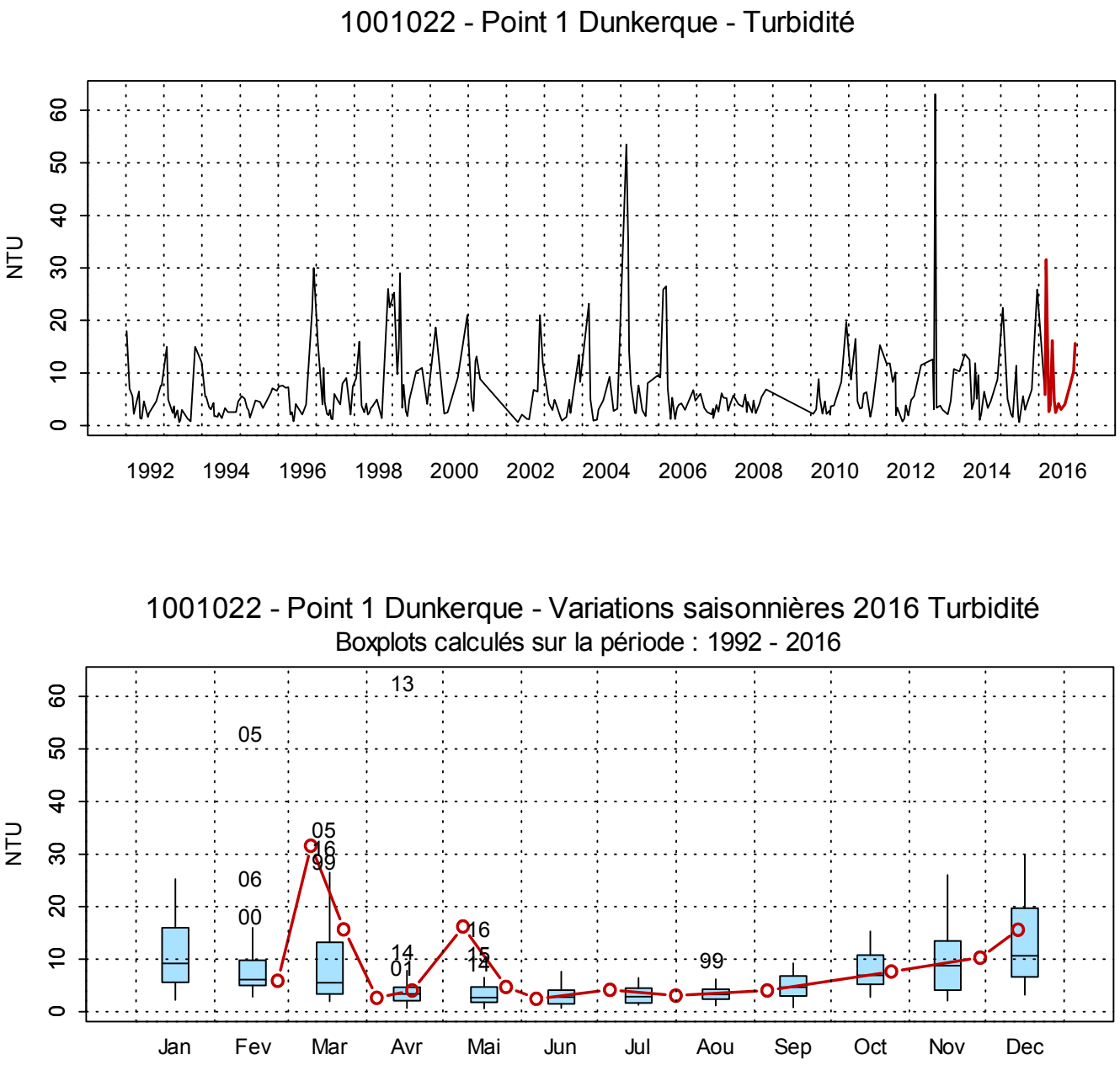
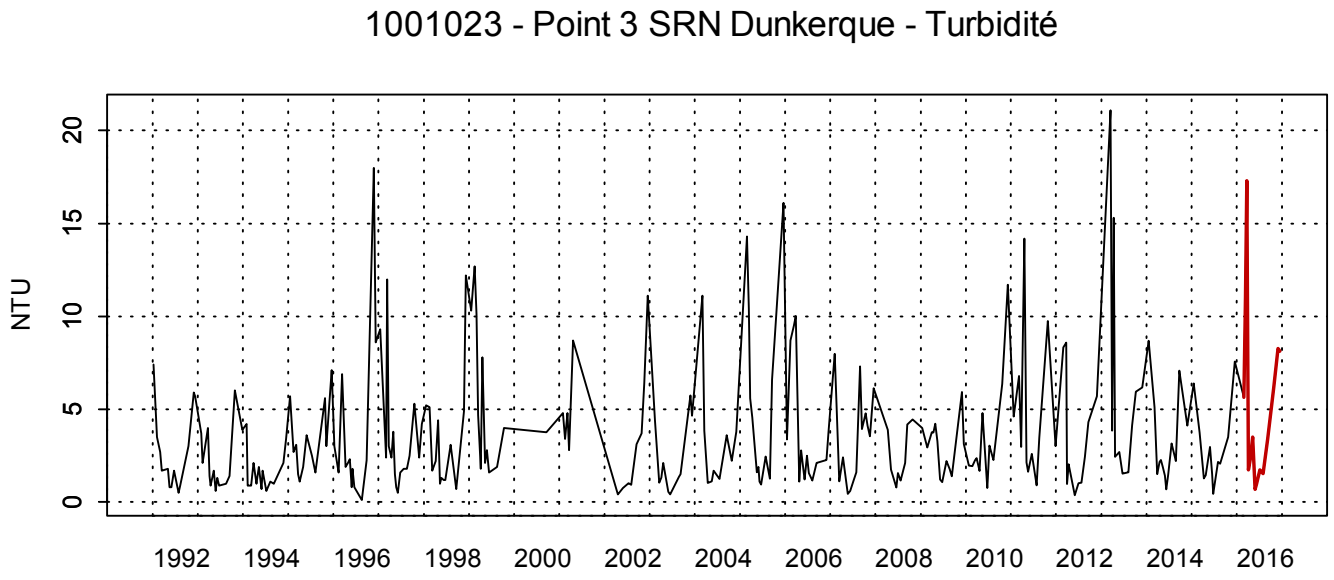


Figure 14. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la turbidité (NTU) pour le point 1 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016



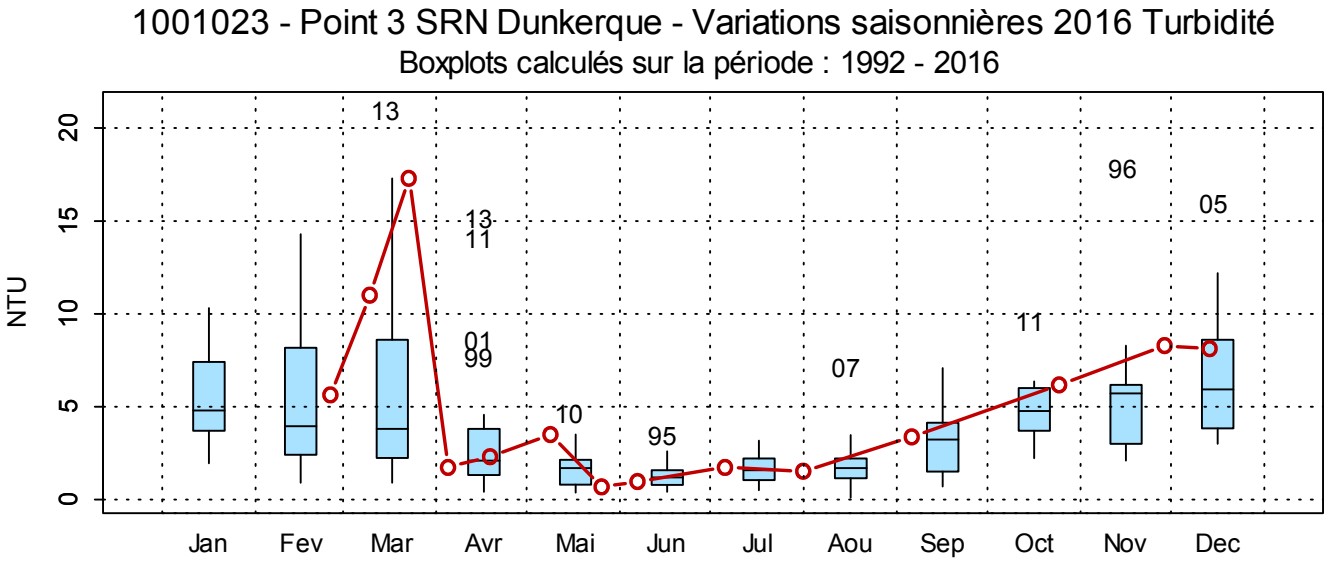


Figure 15. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la turbidité (NTU) pour le point 3 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016

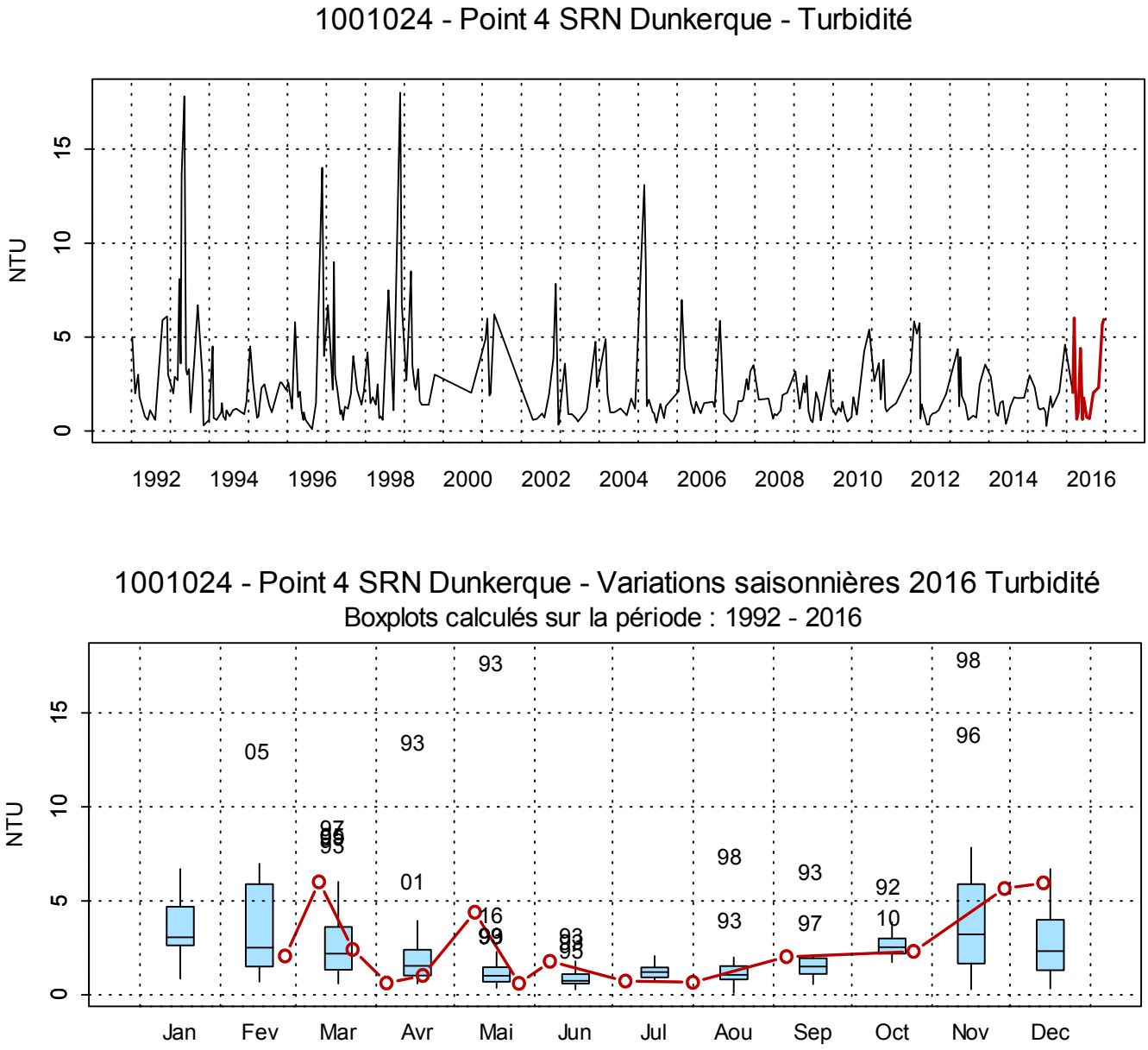


Figure 16. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la turbidité (NTU) pour le point 4 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016

Depuis 1992, les M.E.S présentent un cycle saisonnier marqué avec des valeurs fortes en hiver et en automne puis des valeurs très faibles au printemps et en été (Figures 17 à 19). Ce schéma s'observe de la côte vers le large mais les amplitudes de variations sont moindres vers le large. Par exemple, entre 1992 et 2015, les valeurs de moyenne vont de 13,4 mg/L à 5,85 mg/L de la côte vers le large (Tableau 9). Des valeurs exceptionnelles sont observables entre 2010 et 2014 pour tous les points et pour plusieurs mois (Figures 17 à 19).

Les M.E.S sont liées à la turbidité. En effet, plus il y a de turbidité, plus les fonds sont remués, plus les M.E.S sont omniprésents. Par exemple, des valeurs exceptionnellement élevées sont mesurées en 2016 au mois de mars pour les point 1, 3 et 4 ainsi qu'en avril et en mai au point 1 (valeur maximale de 54,8 mg/L au mois de mars au point 1) (Tableau 10 et Figures 17 à 19). Ceci est dû à une turbidité élevée durant ce mois-ci (31,6 N.T.U au point 1) (Tableau 8). Une forte variabilité s'observe de l'année 2010 à l'année 2014 avec une année 2015 plus calme et une année 2016 qui rejoint la période 2010-2014 (Figures 17 à 19).

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

Le gradient large-côte est négatif, il varie de -46,0 à -0,3 mg/L (Annexe 1). La concentration en M.E.S est plus importante au niveau des côtes.

Tableau 9. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les MES (mg/L) pour la radiale de Dunkerque sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Ecart-type	Q3	Max	n	NA
DK1	1,60	5,50	9,10	13,4	11,6	17,0	95,2	275	161
DK3	0,60	3,70	6,25	8,71	7,58	11,4	46,0	264	27
DK4	0,30	2,30	4,00	5,85	6,05	6,50	39,0	255	27

Tableau 10. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les MES (mg/L) pour la radiale de Dunkerque en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Ecart-type	Q3	Max	n	NA
DK1	4,70	8,63	11,7	18,1	14,1	26,5	54,8	14	2
DK3	2,00	4,63	6,20	9,89	8,89	11,6	32,2	14	2
DK4	1,30	3,03	3,90	5,03	3,88	4,85	16,2	14	2

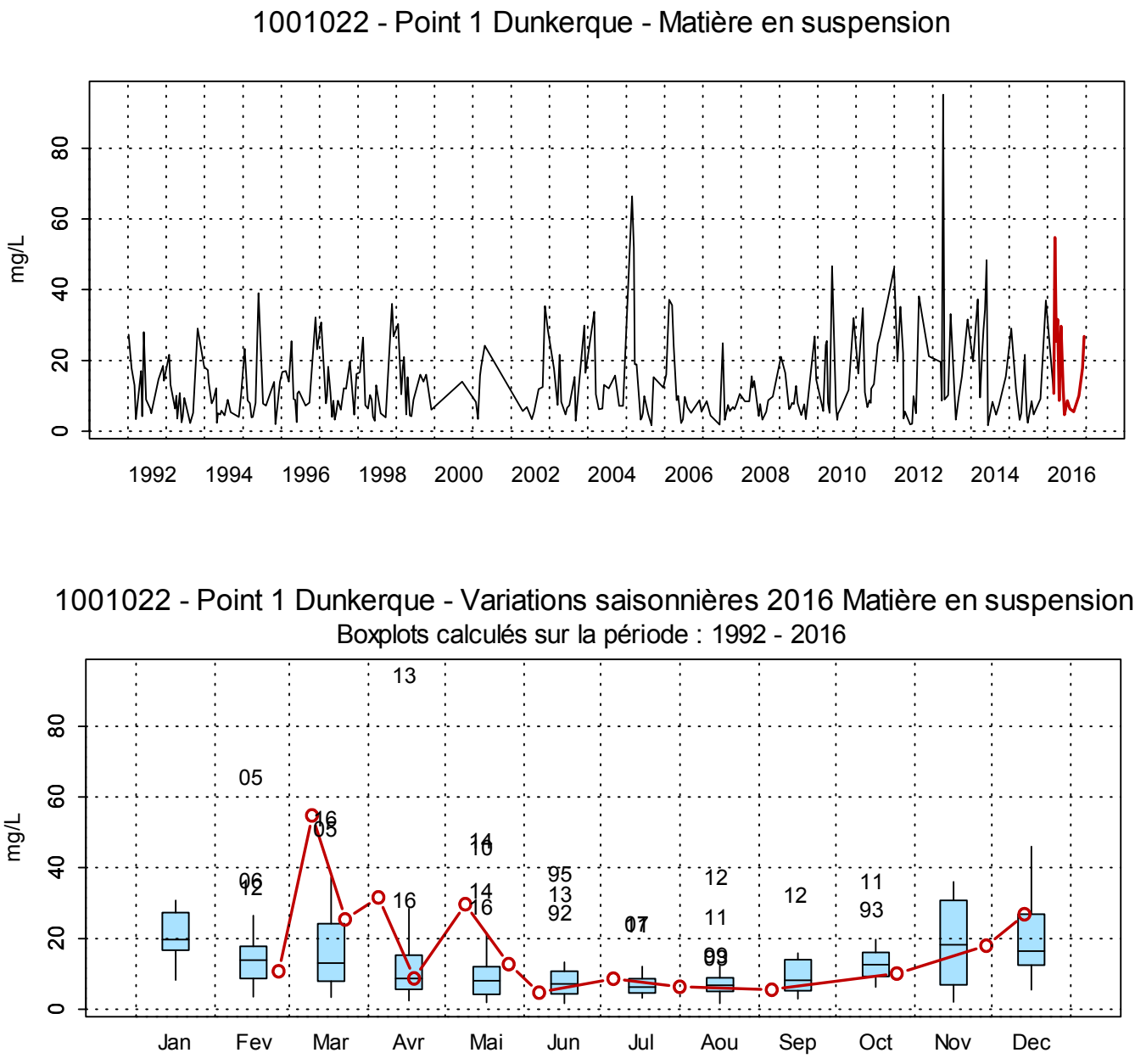
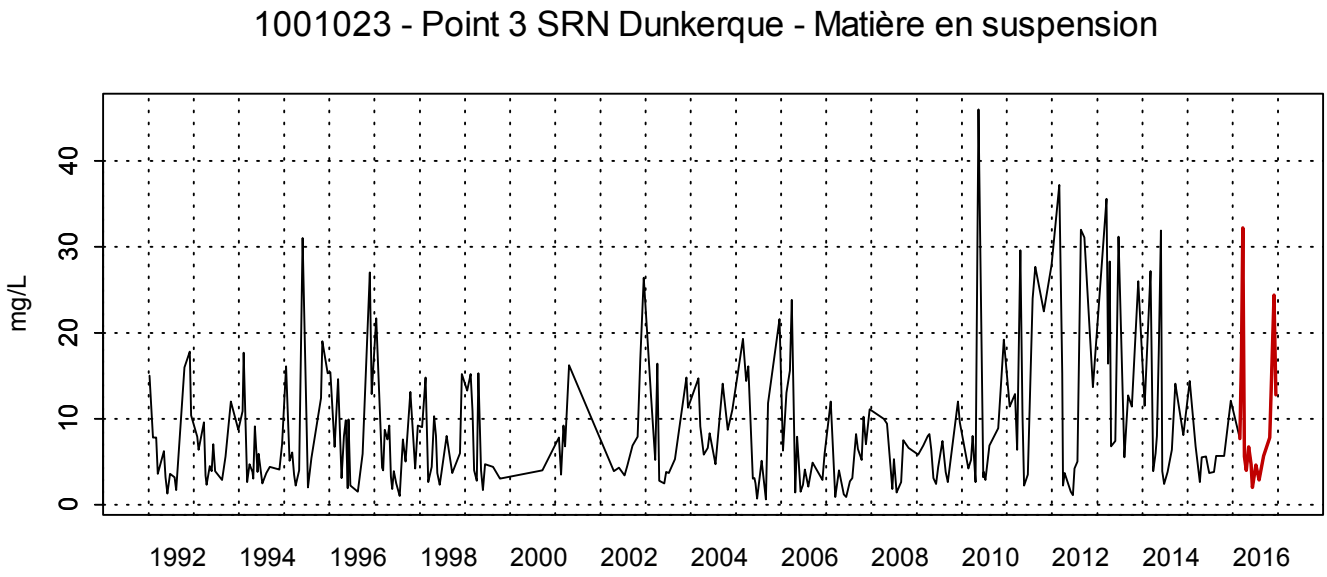


Figure 17. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) des matières en suspension (mg/L) pour le point 1 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016



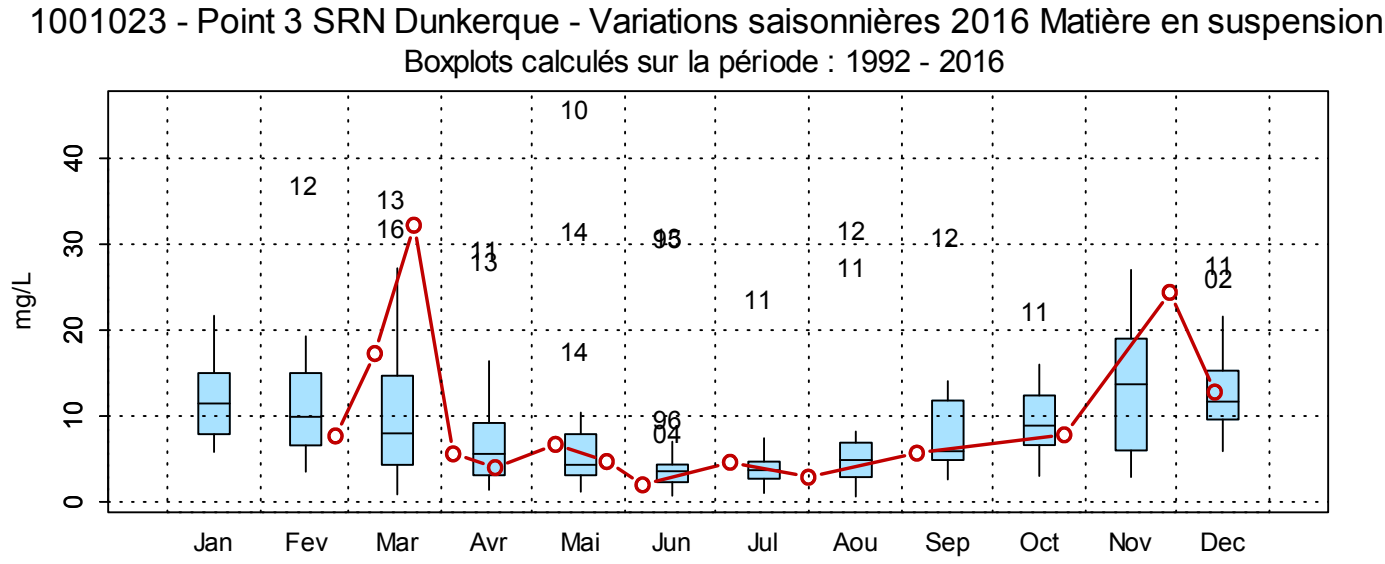


Figure 18. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) des matières en suspension (mg/L) pour le point 3 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016

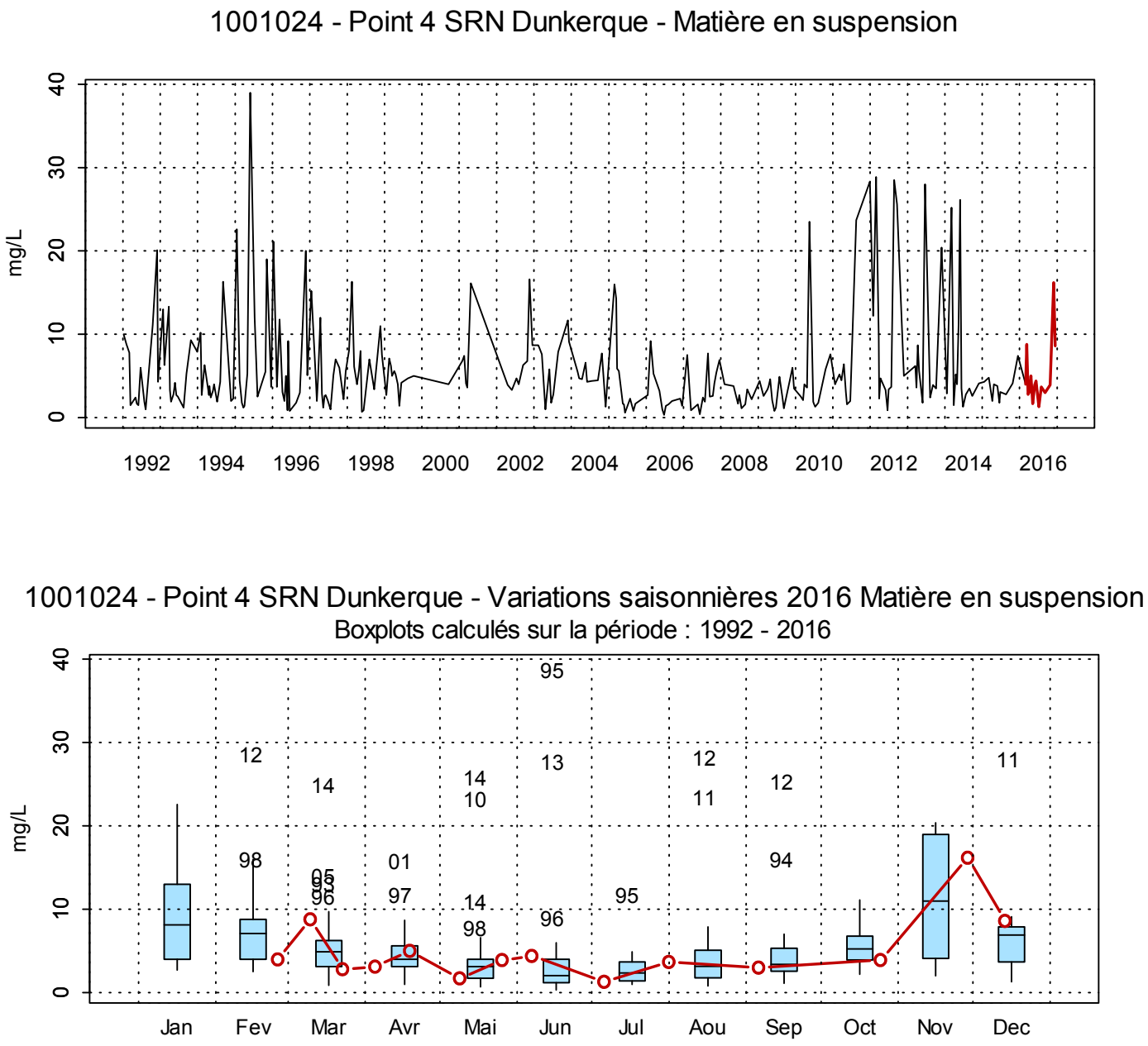


Figure 19. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) des matières en suspension (mg/L) pour le point 4 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016

- ***Matières organiques***

De manière générale, la proportion en matière organique dans les matières en suspension diminue en s'éloignant du littoral, les valeurs les plus hautes sont le plus souvent celles de la station 1. 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 (Figures 20 à 22) .

Depuis 1992 jusqu'à 2015, les valeurs de médiane en matière organique se situent entre 2,00 mg/L et 1,20 mg/L pour la radiale de Dunkerque (Tableau 11). Les valeurs les plus extrêmes sont observées en mai 2014 pour les trois points (respectivement 32,3, 16,7 et 10,4 mg/L de la côte au large), en mai 2010 pour le point 3 et en avril 2001 pour le point 4 (Tableau 11 et Figures 20 à 22).

En ce qui concerne l'année 2016, la concentration en matière organique particulaire reste faible. Cependant, il y a une élévation durant la période productive (mars-avril-mai) pour le point 1 ainsi qu'au mois de mars, mai et novembre pour le point 3 (Figures 20 et 21). Les valeurs de médiane restent relativement proches de celles de 1992-2015 (Tableaux 9 et 10).

Le gradient large-côte est compris entre -6,0 et -0,2 mg/L. La matière organique présente dans les M.E.S est plus importante au niveau de la côte (Annexe 1).

Tableau 11. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les matières organiques en suspension (mg/L) pour la radiale de Dunkerque sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
DK1	0,05	1,40	2,00	2,77	2,64	3,20	32,3	275	161
DK3	0,05	1,15	1,56	2,03	1,78	2,29	16,7	264	27
DK4	0,07	0,90	1,20	1,62	1,36	1,90	10,4	255	27

Tableau 12. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les matières organiques en suspension (mg/L) pour la radiale de Dunkerque en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
DK1	1,30	1,70	2,50	2,89	1,67	3,70	7,20	14	2
DK3	1,10	1,30	1,45	1,90	1,03	1,88	4,60	14	2
DK4	0,70	1,13	1,25	1,34	0,38	1,50	2,10	14	2

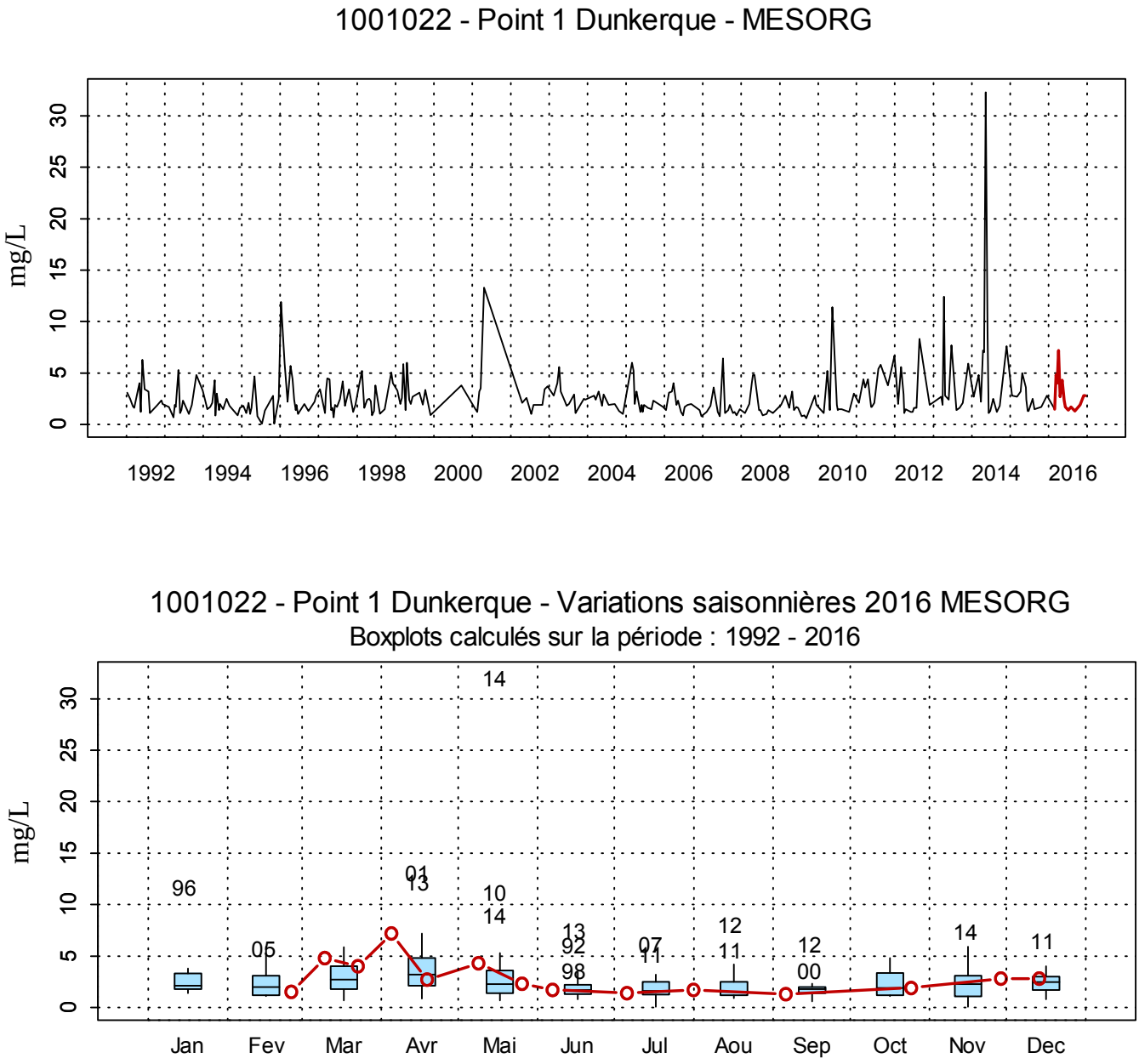


Figure 20. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) des matières organiques en suspension (mg/L) pour le point 1 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016

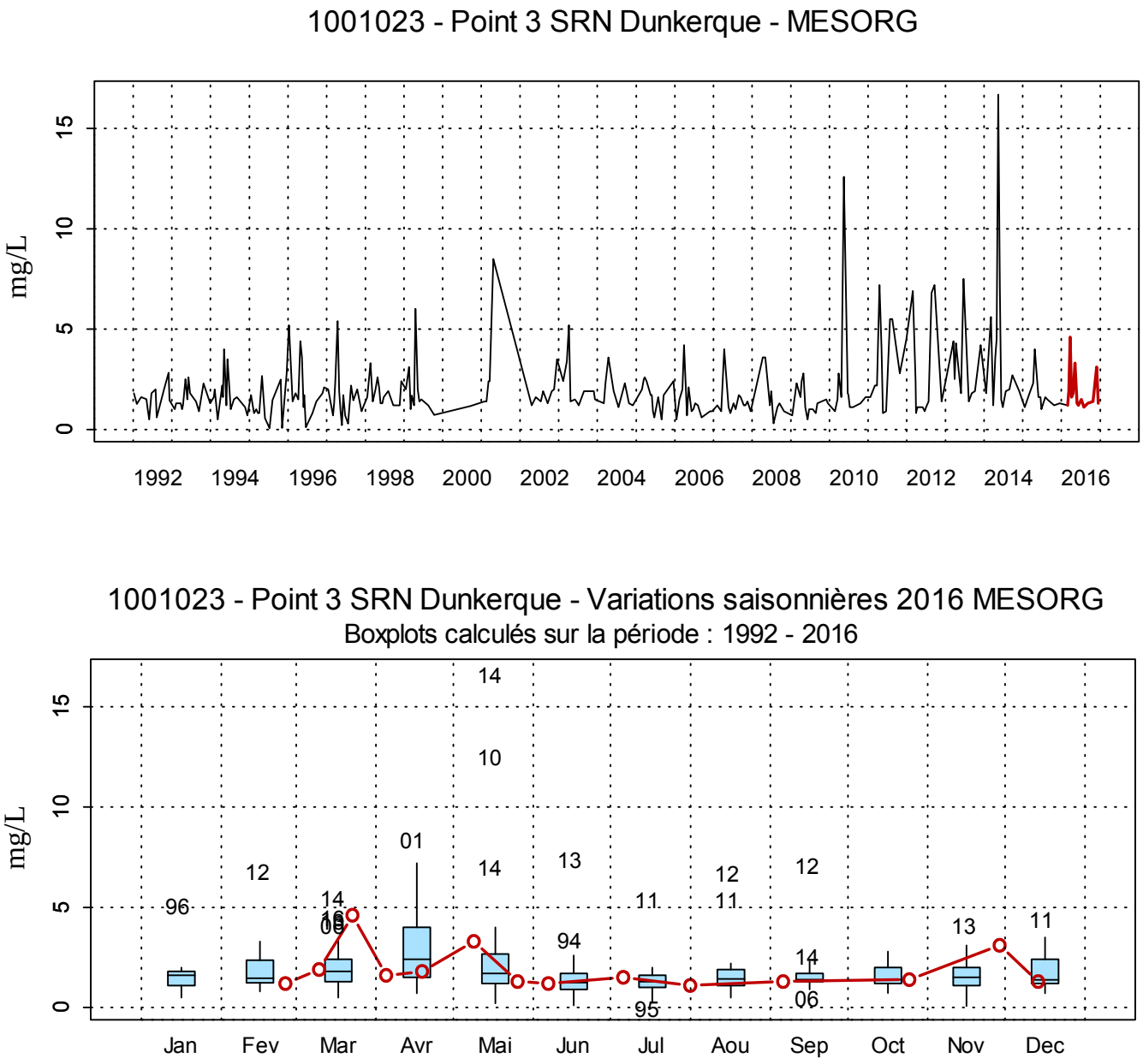


Figure 21. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) des matières organiques en suspension (mg/L) pour le point 3 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016

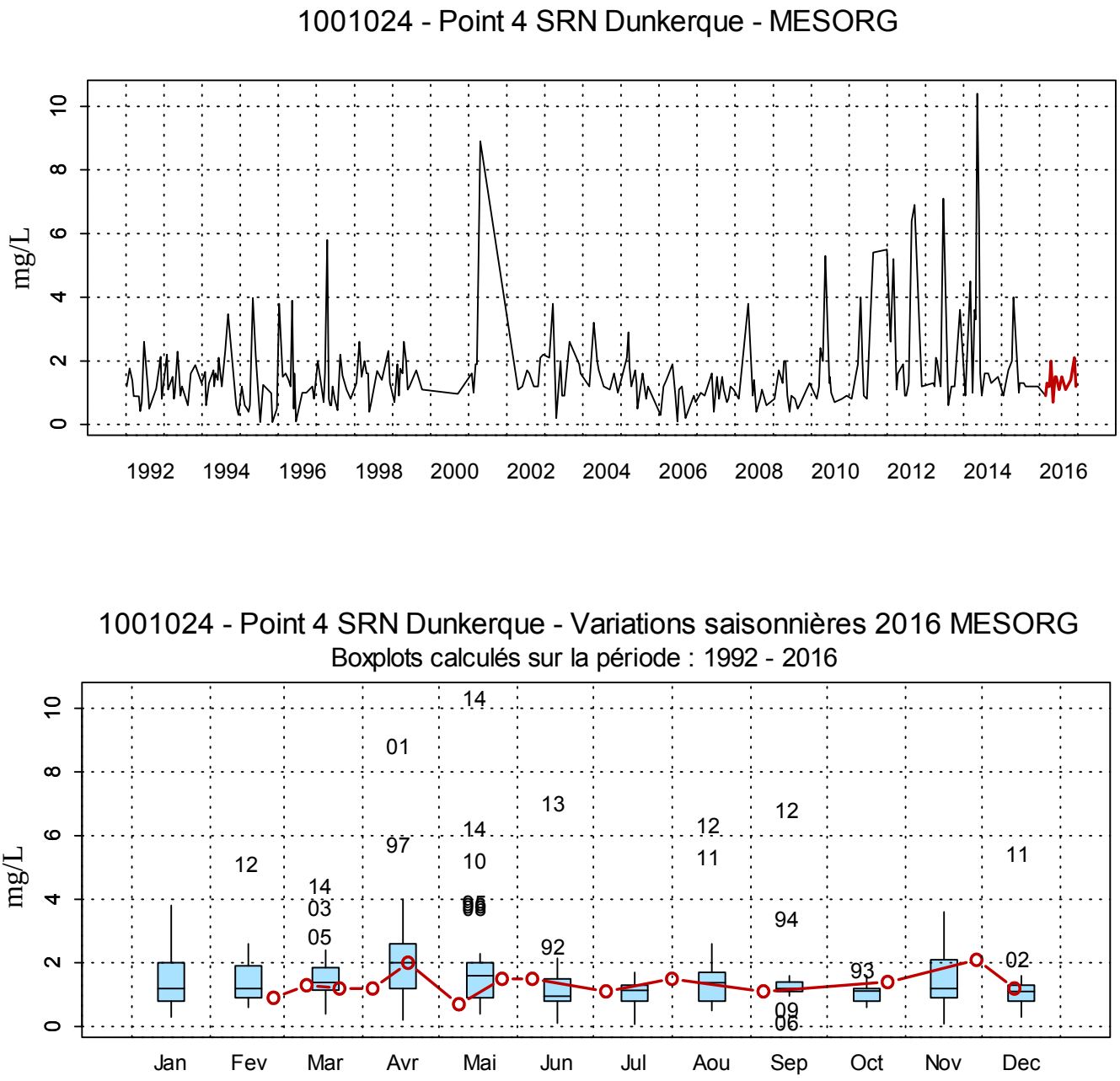


Figure 22. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) des matières en suspension (mg/L) pour le point 4 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016

- ***Ammonium***

L'ammonium présente un cycle saisonnier avec des valeurs un peu plus importantes d'octobre à février et plus faibles de mars à septembre (Figures 23 à 25). Des valeurs extrêmes sont identifiables en juin 1992 et en 1997 au point 1 ; en mai 1999 au point 3 ; en septembre 1998 et en mai 1999 au point 4 (valeurs les plus fortes) (Figures 23 à 25).

Les valeurs d'ammonium en 2016 sont faibles voire très faibles par rapport aux années 1992-2015 (Tableaux 13 et 14). En effet, la moyenne de l'ammonium sur la radiale de Dunkerque de 1992 à 2015 est de 3,03 µmol/L contre seulement 1,75 µmol/L en 2016 pour le point 1. Cette baisse est particulièrement due à l'absence de donnée durant le mois de janvier et le début du mois de février. Cependant, des valeurs particulièrement élevées sont observables durant le mois de novembre pour tous les points (respectivement 7,24 µmol/L, 4,52 µmol/L et 3,68 µmol/L de la côte vers le large). Les valeurs minimales sont proches entre les trois points (Tableau 14 et Figures 23 à 25).

Le gradient côte-large varie entre -3,56 et 0,21 µmol/L, les concentrations sont globalement plus fortes près de la côte (Annexe 1).

Tableau 13. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en ammonium (µmol/L) pour la radiale de Dunkerque sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
DK1	0,14	0,72	2,00	2,78	3,03	3,70	29,4	289	147
DK3	0,15	0,25	1,12	1,69	1,70	2,60	11,2	272	19
DK4	0,15	0,25	1,27	1,73	1,77	2,61	9,40	263	19

Tableau 14. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en ammonium (µmol/L) pour la radiale de Dunkerque en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
DK1	0,15	0,25	1,28	1,75	2,06	1,74	7,24	14	2
DK3	0,15	0,15	0,24	0,78	1,22	0,71	4,52	14	2
DK4	0,15	0,15	0,20	0,77	1,13	0,73	3,68	14	2

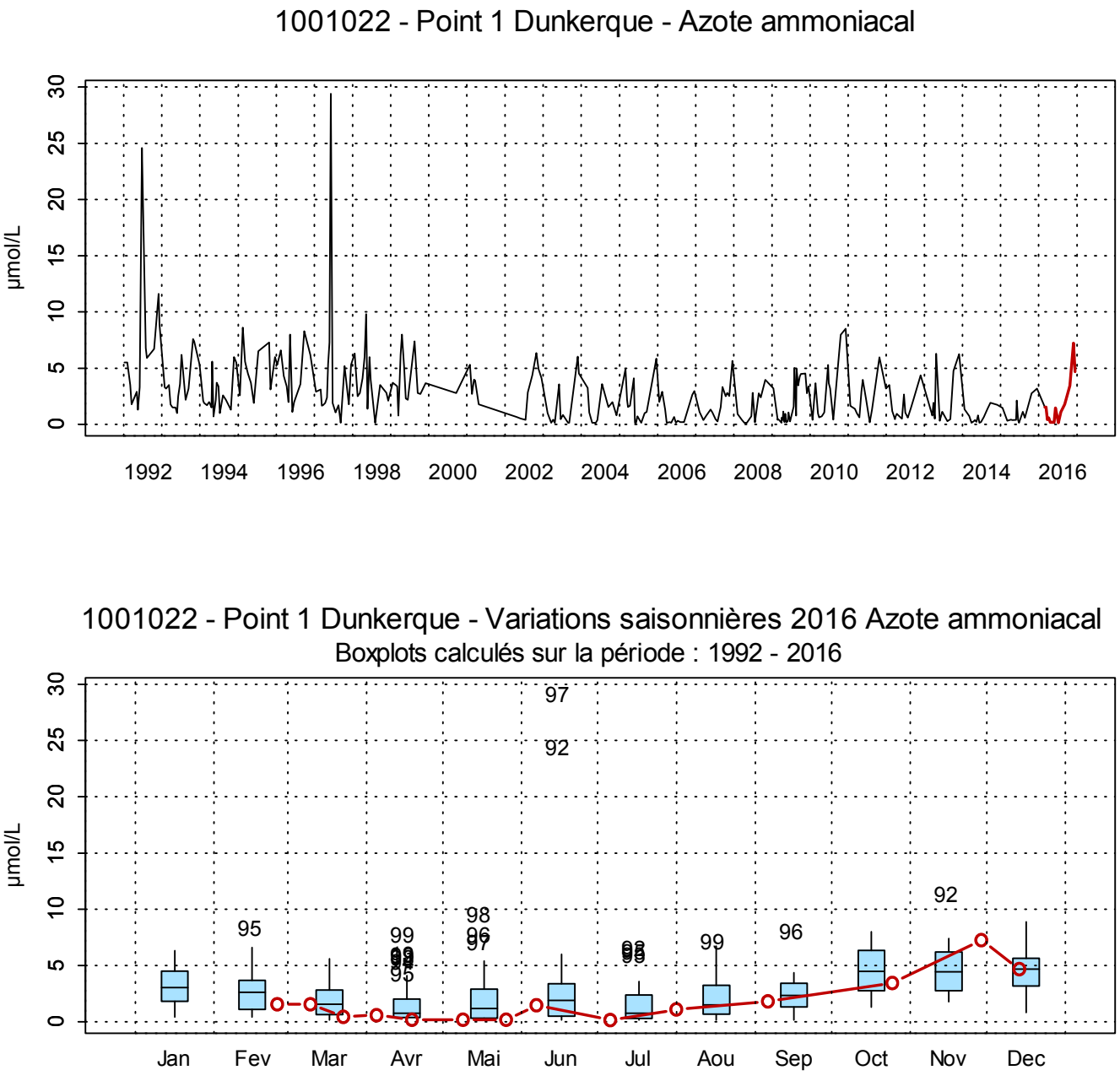


Figure 23. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en ammonium (µmol/L) pour le point 1 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016.

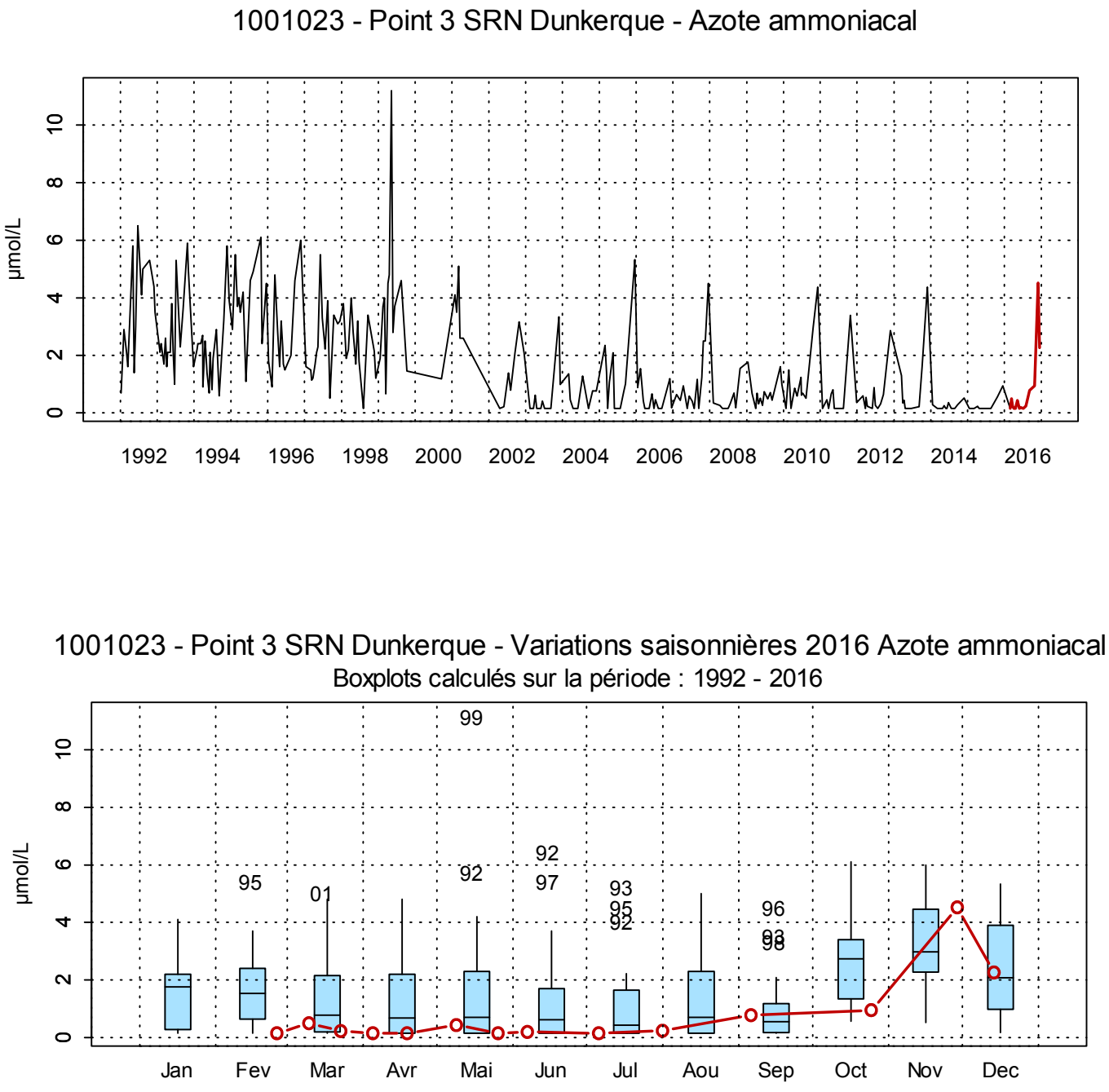


Figure 24. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en ammonium (µmol/L) pour le point 3 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016.

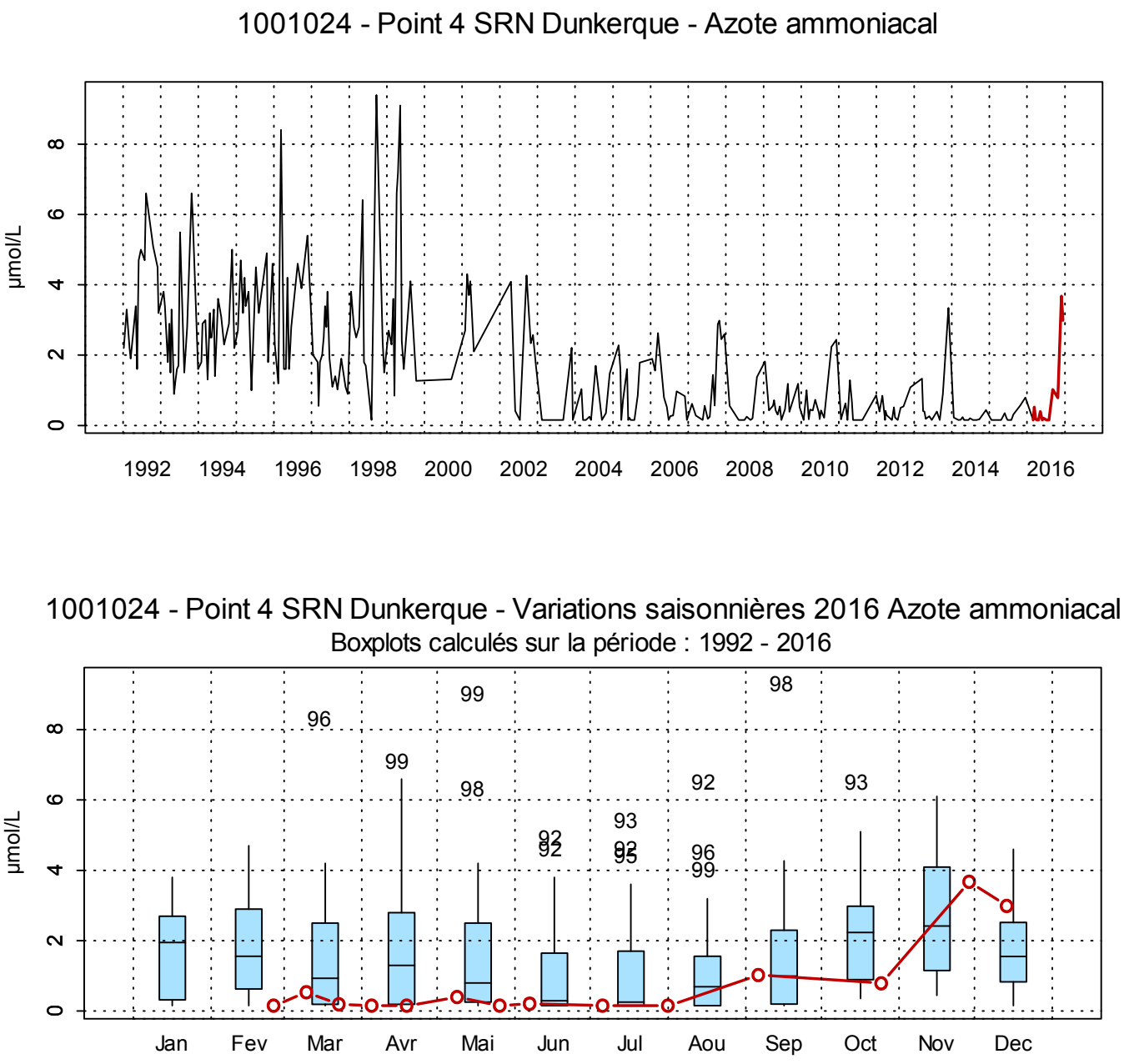


Figure 25. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en ammonium (µmol/L) pour le point 4 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016.

- ***Nitrite + Nitrate***

Depuis 1992 jusqu'à 2015, les valeurs de médiane en nitrite-nitrate se situent entre 2,27 µmol/L et 2,45 µmol/L pour la radiale de Dunkerque (Tableau 15). En 2016, les valeurs de médiane sont environ 2 fois supérieures (Tableaux 15 et 16). Des valeurs maximales sont notées en mars 2009 pour le point 1 (54,8 µmol/L), en mars 1993 pour les points 3 et 4 (respectivement : 40,2 µmol/L et 41,6 µmol/L). Les concentrations minimales peuvent atteindre la limite de détection (Tableaux 15 et 16). Un cycle saisonnier est marqué avec des valeurs fortes en hiver et en automne puis des valeurs plus faibles au printemps et en été (Figures 26 à 28).

En 2016, les concentrations sont plus faibles (une moyenne allant de 5,93 à 7,18 µmol/L pour la radiale) avec quelques valeurs extrêmes. Par exemple, en juin pour le point 1 et en avril pour les points 3 et 4 (Figures 26 à 28). La variabilité saisonnière est assez forte (19,4 µmol/L au maximum en novembre et 0.60 µmol/L au minimum pour plusieurs mois au point 1) (Tableau 16). Les concentrations peuvent être très basses et s'observent d'avril à septembre. Par la suite, les concentrations restent hautes jusqu'en mars malgré la valeur exceptionnelle d'avril pour le point 3 et 4 (respectivement 17,2 µmol/L et 20,2 µmol/L) (Tableau 16 et Figures 26 à 28).

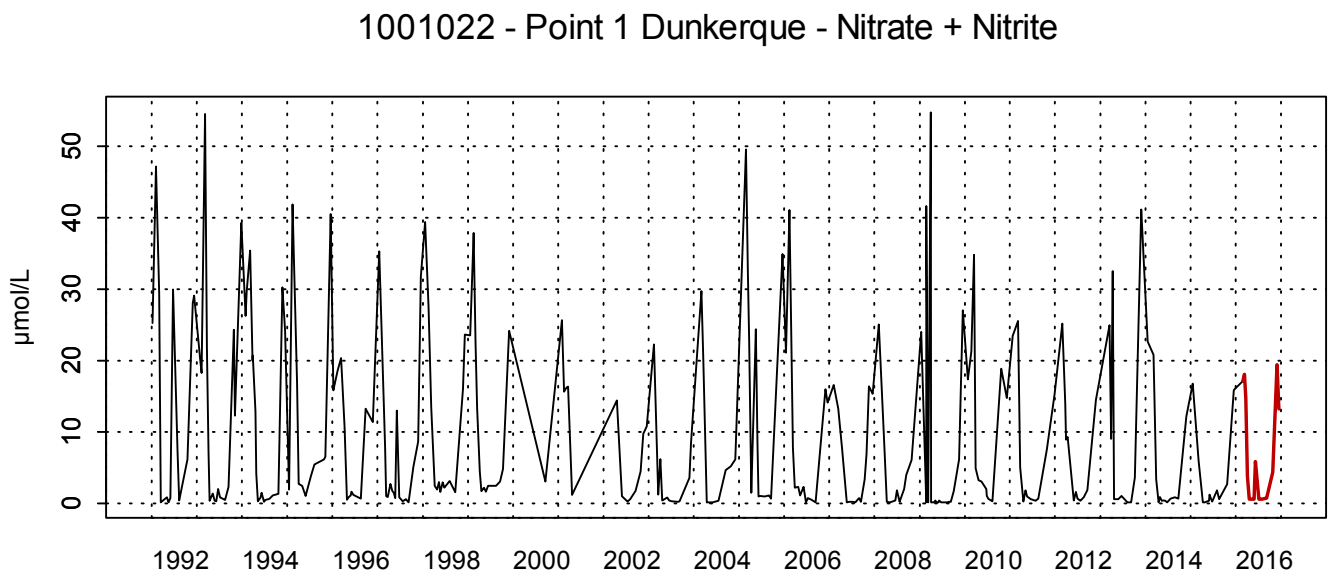
Le gradient large-côte varie entre -12,00 et 19,55 µmol/L. Durant la période productive (avril) et durant la fin de l'été (août-septembre), il y a plus de nitrite-nitrate au large que près des côtes. Cependant, pour les autres périodes, la concentration en nitrite-nitrate est plus élevée près des côtes (Annexe 1).

Tableau 15. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en nitrite et en nitrate (µmol/L) pour la radiale de Dunkerque sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
DK1	0,15	0,62	2,45	9,12	12,0	15,9	54,8	287	149
DK3	0,10	0,33	2,31	7,29	9,27	12,2	40,2	273	18
DK4	0,15	0,47	2,27	6,90	8,66	11,3	41,6	263	19

Tableau 16. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en nitrite et en nitrate (µmol/L) pour la radiale de Dunkerque en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
DK1	0,60	0,61	4,12	7,18	7,54	14,3	19,4	14	2
DK3	0,15	0,66	4,10	5,93	5,93	11,4	17,2	14	2
DK4	0,15	0,38	4,67	6,20	6,42	10,8	20,2	14	2



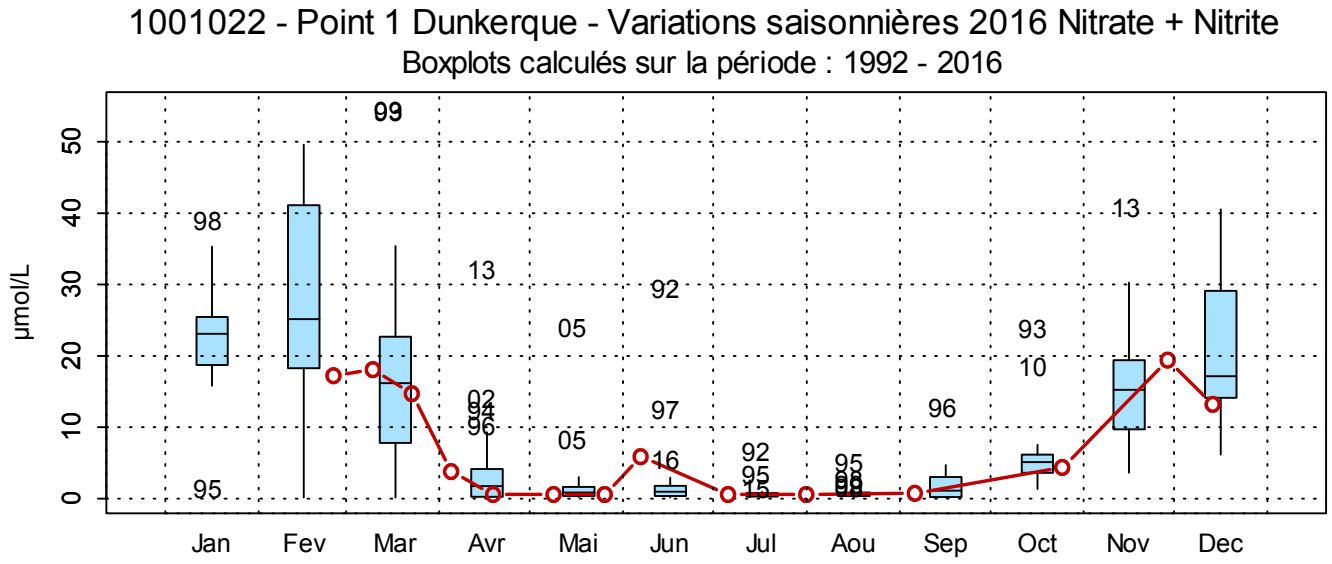


Figure 26. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en nitrite et en nitrate (µmol/L) pour le point 1 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016

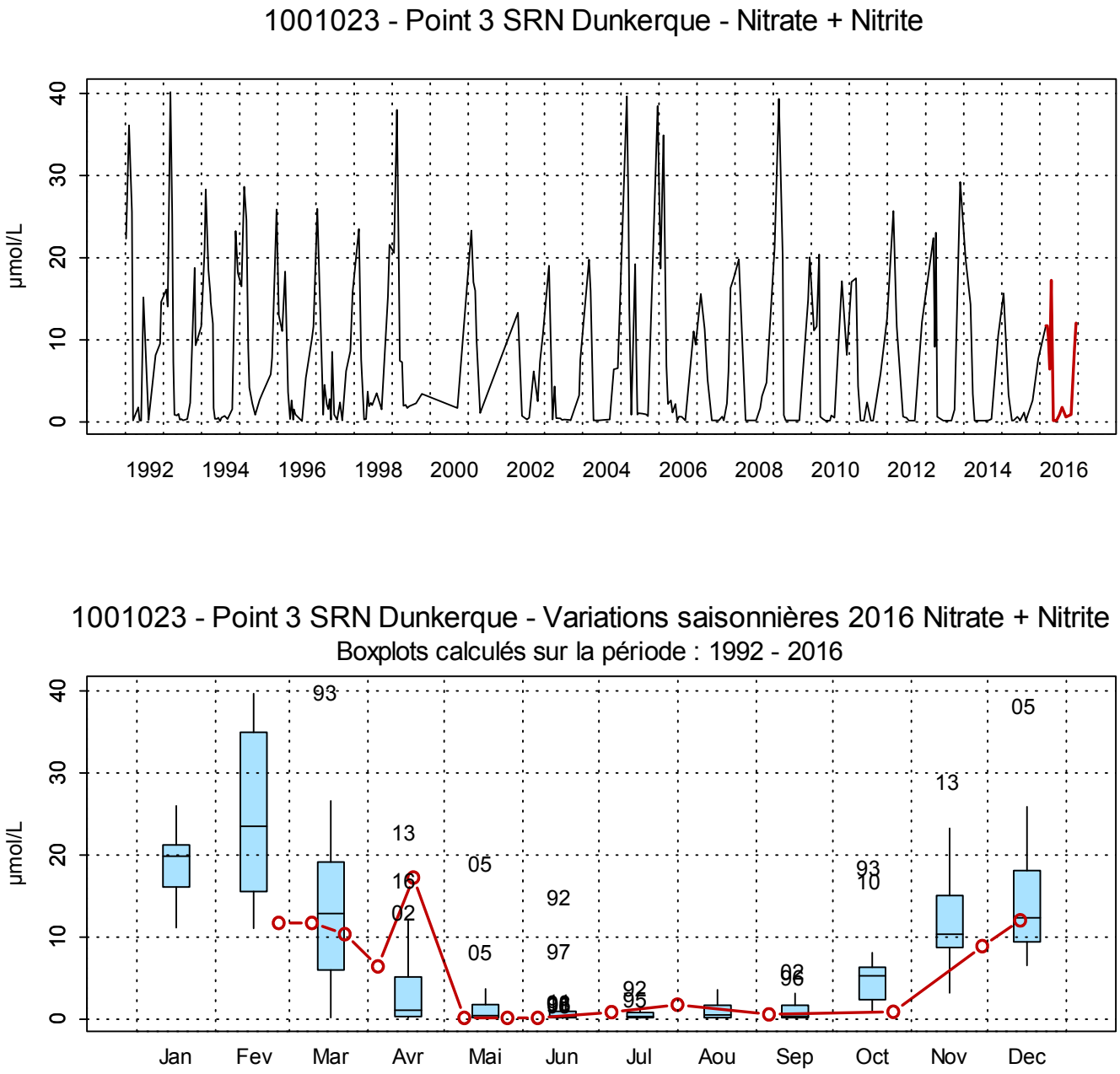


Figure 27. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en nitrite et en nitrate (µmol/L) pour le point 3 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016

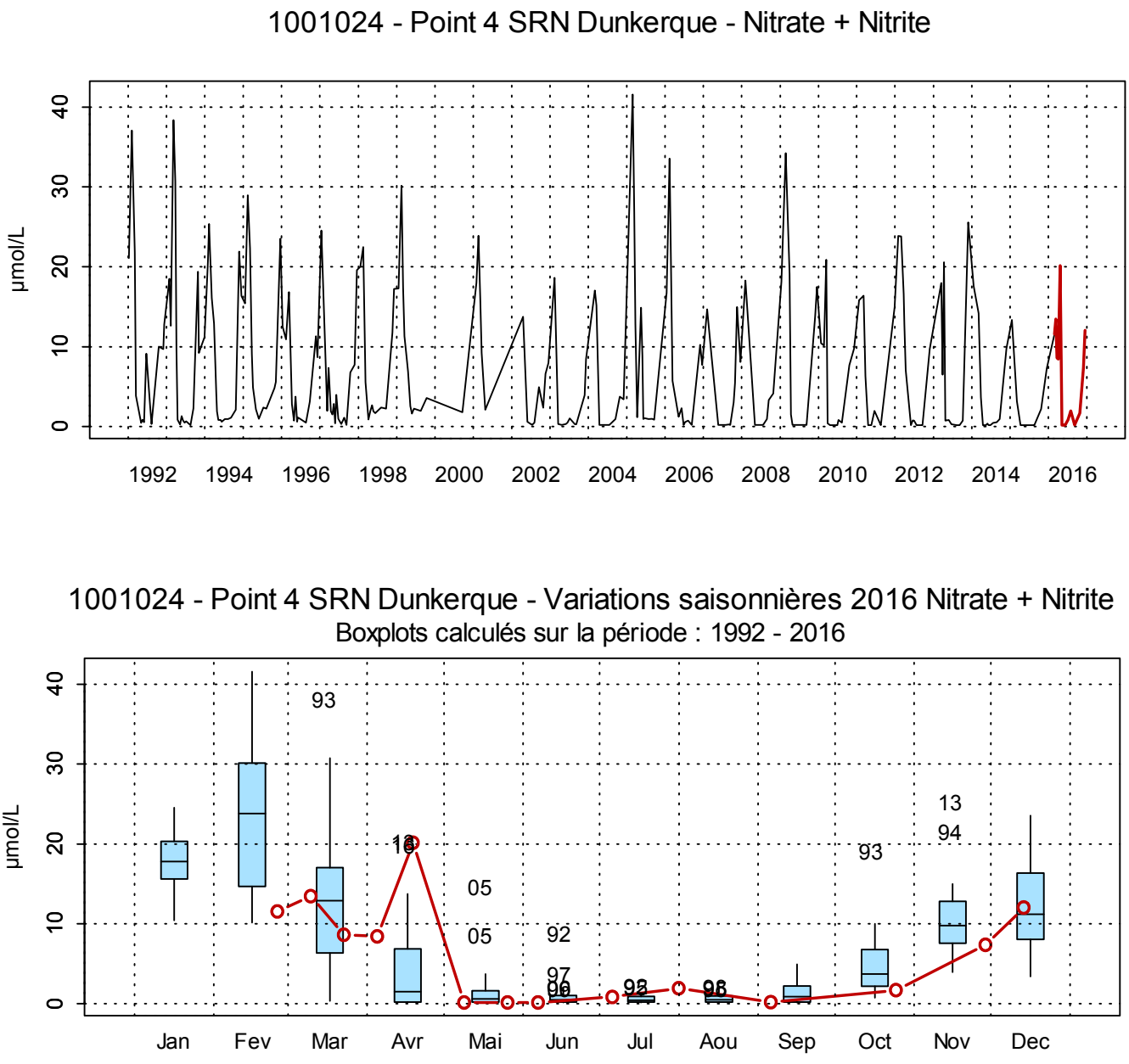


Figure 28. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en nitrite et en nitrate (µmol/L) pour le point 4 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016.

- ***Phosphate***

Depuis 1992, les concentrations en phosphate sont de l'ordre de 0,43 µmol/L en moyenne pour la radiale (Tableau 19). Un cycle saisonnier est observable avec des valeurs fortes en automne et en hiver et des valeurs plus faibles en été et au printemps.

En 2016, les concentrations apparaissent plus faibles avec une moyenne pour la radiale de 0,18 µmol/L (Tableau 20). Elles présentent une faible variabilité tout au long de l'année (Figures 30 à 32). A partir de mars, les concentrations ont tendance à diminuer pour atteindre un minimum en mars (respectivement 0,10 µmol/L, 0,05 µmol/L et 0,05 µmol/L). A partir de juillet-août, après la période productive, les concentrations augmentent jusqu'à un maximum en novembre pour tous les points (respectivement 0,70 µmol/L, 0,49 µmol/L et 0,42 µmol/L) (Tableau 20). Globalement, les valeurs sont majoritairement inférieures à la médiane tout au long de l'année voire même au 1er quantile pour tous les points (Figures 30 à 32).

Le gradient large-côte varie de -0,4 à -0,03 µmol/L avec des valeurs négatives tout au long de l'année. Les concentrations sont plus élevées au niveau des côtes (Annexe 1).

Tableau 19. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en phosphate (µmol/L) pour la radiale de Dunkerque sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Ecart-type	Q3	Max	n	NA
DK1	0,01	0,20	0,43	0,59	0,74	0,78	9,80	288	148
DK3	0,05	0,20	0,42	0,52	0,38	0,77	2,00	272	19
DK4	0,05	0,20	0,44	0,51	0,41	0,73	2,69	263	19

Tableau 20. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en phosphate (µmol/L) pour la radiale de Dunkerque en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Ecart-type	Q3	Max	n	NA
DK1	0,10	0,16	0,23	0,32	0,20	0,47	0,70	14	2
DK3	0,05	0,06	0,20	0,20	0,13	0,24	0,49	14	2
DK4	0,05	0,05	0,12	0,16	0,13	0,25	0,42	14	2

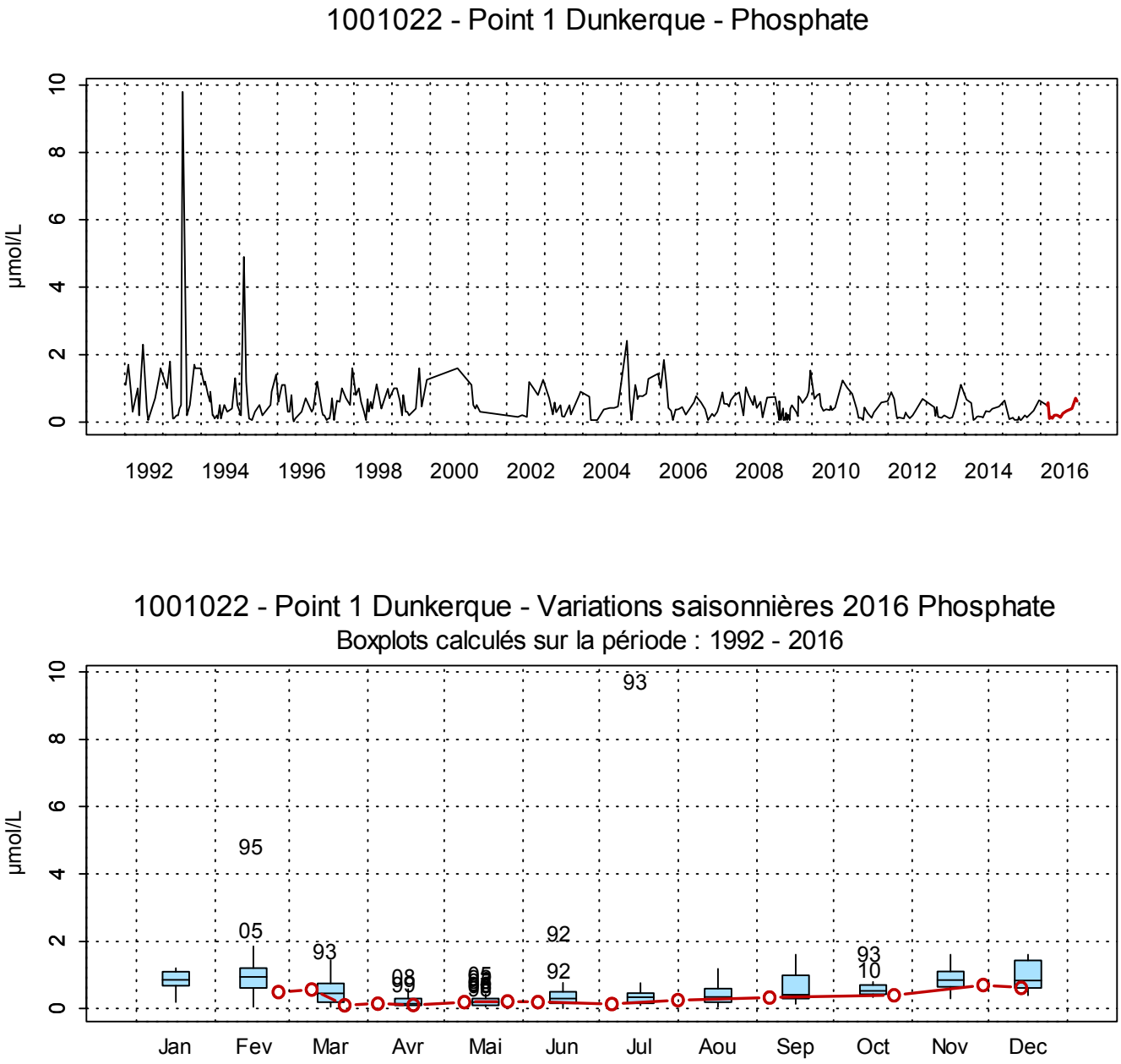


Figure 29. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en phosphate (µmol/L) pour le point 1 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016

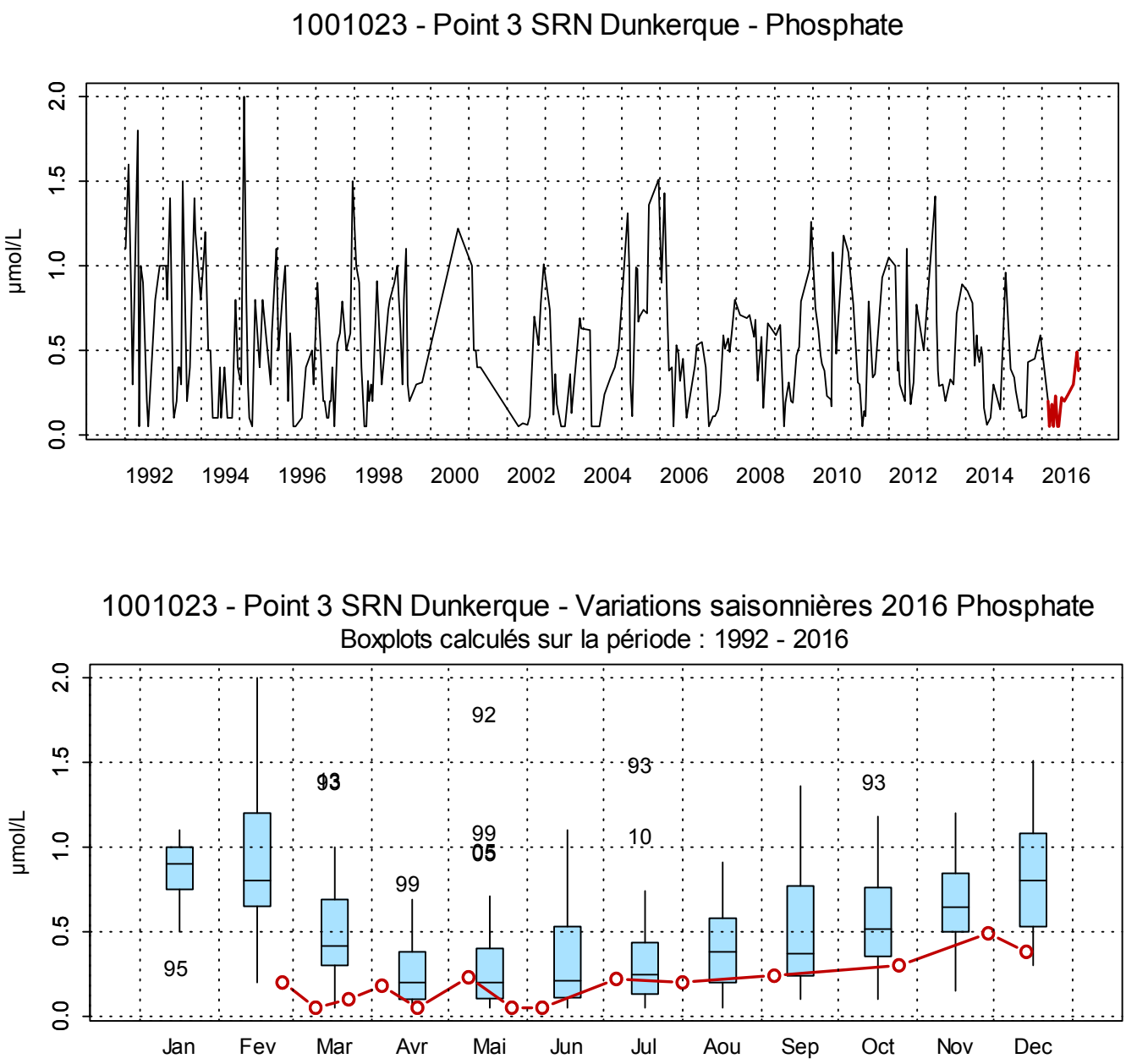


Figure 30. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en phosphate (µmol/L) pour le point 3 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016

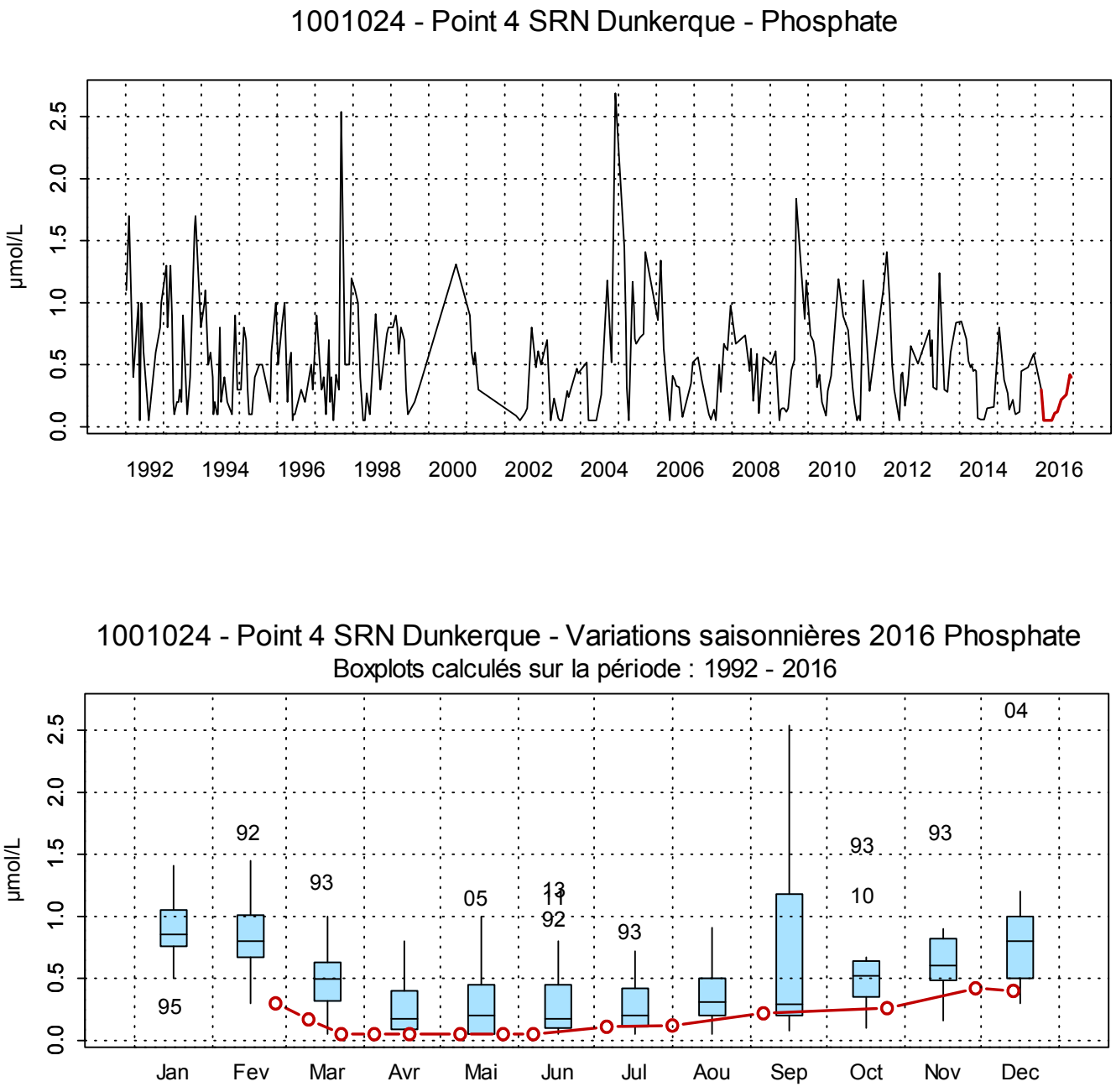


Figure 31. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en phosphate (µmol/L) pour le point 4 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016

- ***Silicate***

Depuis 1992, les concentrations en silicate varient entre 0,10 à 35,2 µmol/L (Tableau 21). La variabilité peut être importante. Comme pour le phosphate, un cycle saisonnier est observable avec des valeurs importantes de septembre à mars et plus faibles d'avril à août. Des valeurs extrêmement élevées sont essentiellement identifiées durant la période automnale et hivernale (février 1995 par exemple).

Les concentrations en 2016 sont conformes à ce qui est observé habituellement et la variabilité est assez faible. Les moyennes sont inférieures à celles émises durant la période 1992-2015 (respectivement 5,32 µmol/L, 3,42 µmol/L et 3,30 µmol/L de 1992 à 2015 pour la radiale contre 3,59 µmol/L, 2,14 µmol/L et 2,14 µmol/L pour 2016) (Tableaux 21 et 22). En revanche, il faut prendre en compte le fait qu'il n'y ait pas de données en janvier (Figures 33 à 35). Comme pour le phosphate, les valeurs sont fortes en hiver puis elles diminuent à partir du printemps lors de la période productive (mars). Les maxima pour le point 1 et 3 sont observées en novembre (respectivement, 12,6 µmol/L et 7,34 µmol/L) et pour le point 4 en décembre (6,87 µmol/L) (Tableau 22 et Figures 33 à 35). Les concentrations minimales peuvent atteindre la limite de détection (0,10 µmol/L pour le point 3 et 4).

Le gradient côte-large varie entre -6,93 et 0,43 µmol/L. Globalement, la concentration en silicate est plus forte au niveau des côtes (Annexe 1).

Tableau 21. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en silicate (µmol/L) pour la radiale de Dunkerque sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Ecart-type	Q3	Max	n	NA
DK1	0,10	1,07	3,21	5,32	5,94	7,18	35,2	289	147
DK3	0,10	0,40	1,51	3,42	4,53	4,38	26,0	272	19
DK4	0,10	0,40	1,60	3,30	4,27	4,64	25,9	264	18

Tableau 22. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en silicate (µmol/L) pour la radiale de Dunkerque en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Ecart-type	Q3	Max	n	NA
DK1	0,27	0,76	2,14	3,59	3,74	5,22	12,6	14	2
DK3	0,10	0,23	1,75	2,14	2,28	2,93	7,34	14	2
DK4	0,10	0,28	1,66	2,14	2,18	3,33	6,87	14	2

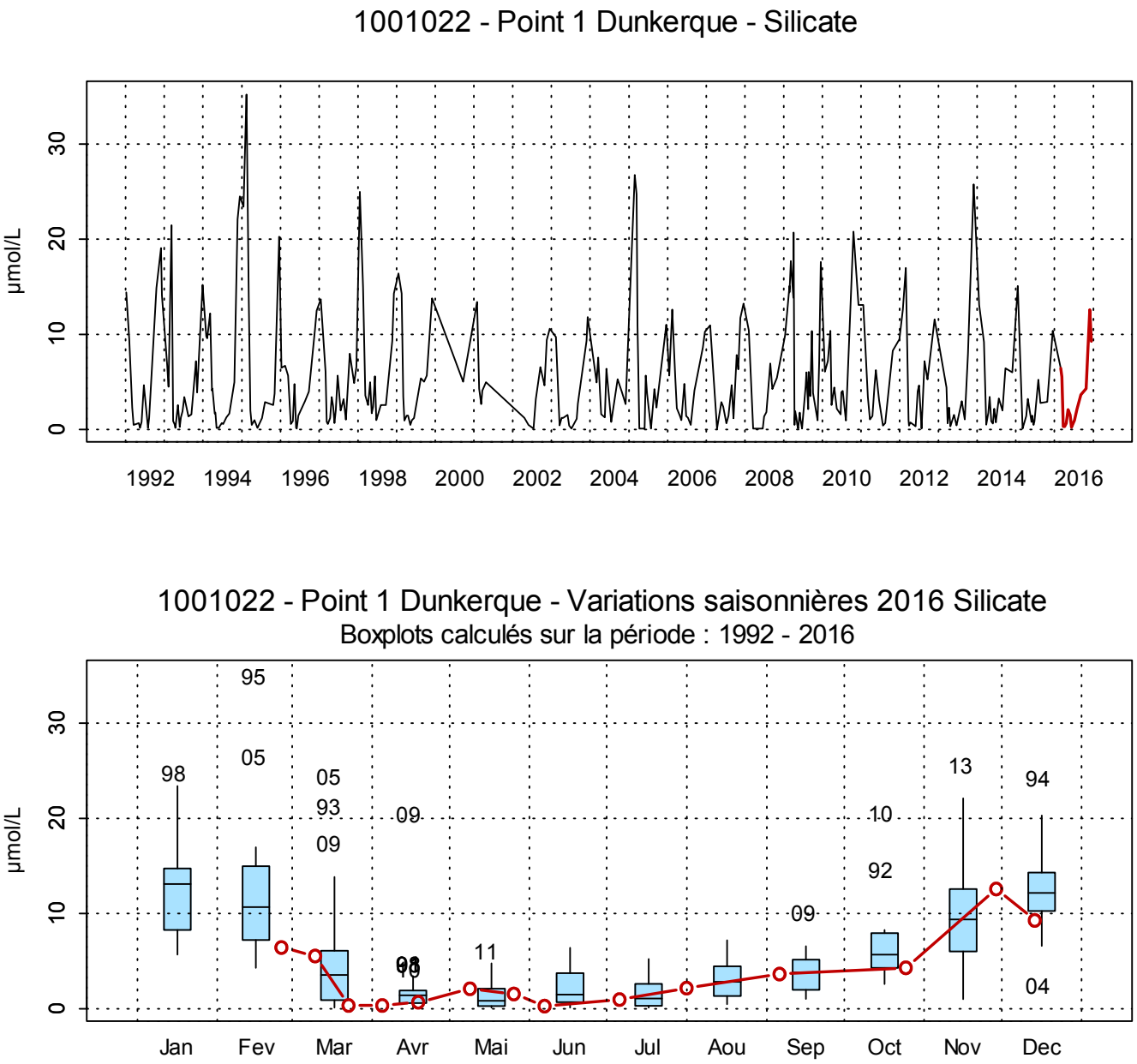


Figure 32. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en silicate (µmol/L) pour le point 1 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016

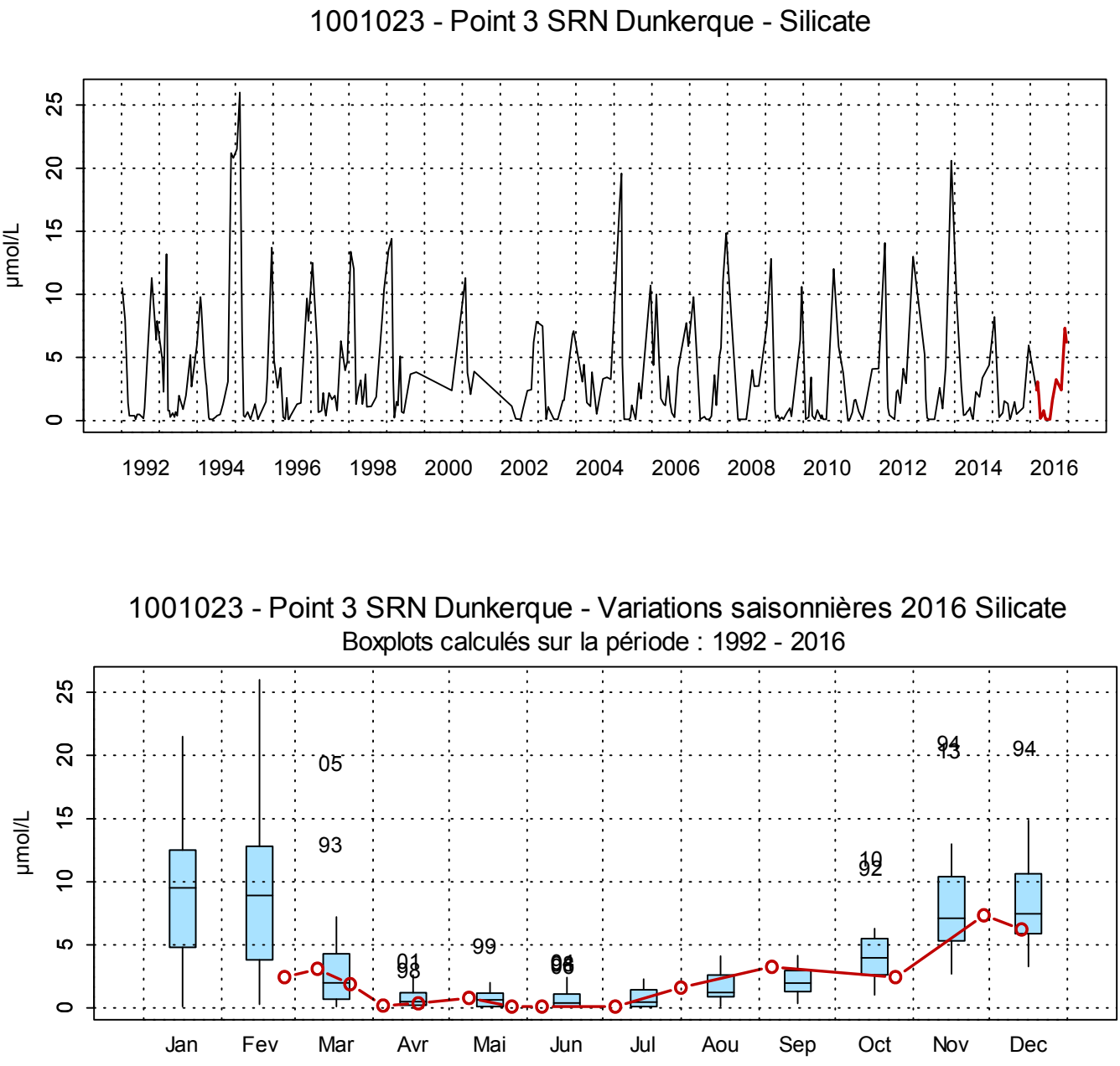
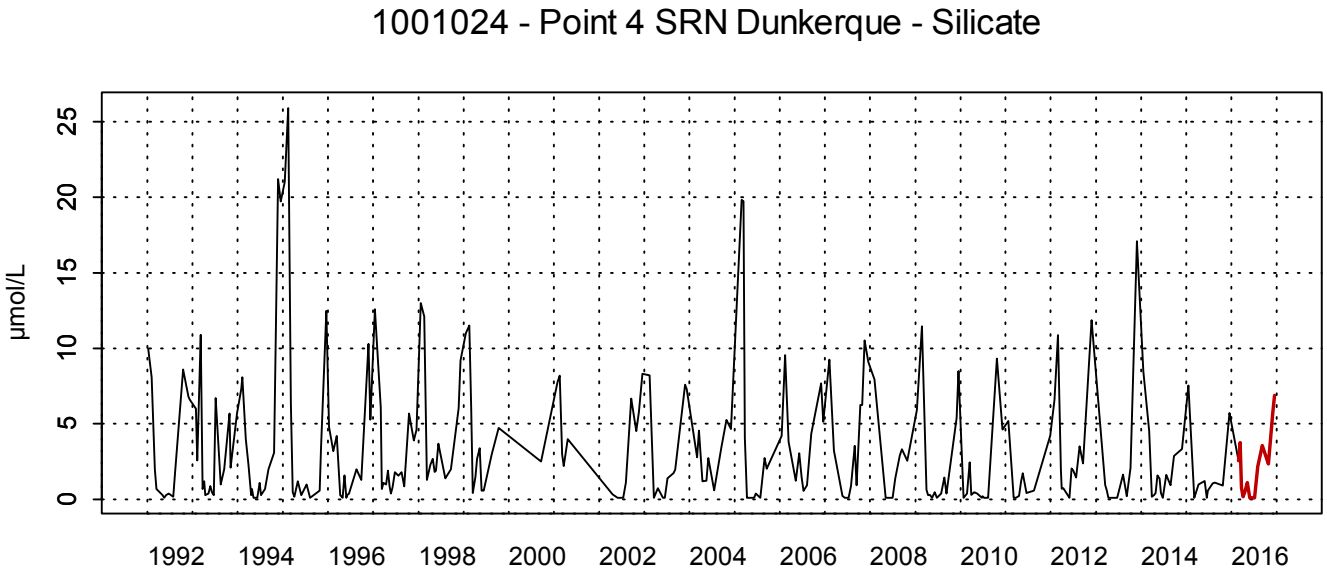


Figure 33. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en silicate (µmol/L) pour le point 3 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016



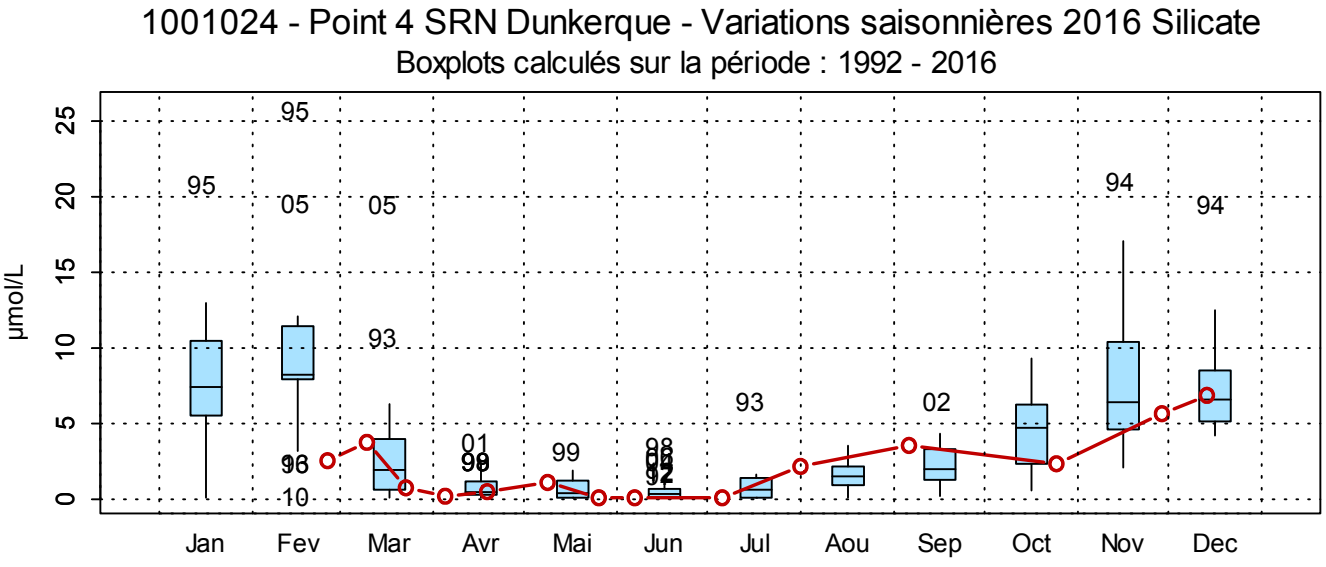


Figure 34. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en silicate (µmol/L) pour le point 4 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016

- ***Oxygène dissous***

L'oxygène dissous présente un cycle saisonnier. En effet, sa concentration est plus élevée de novembre à avril et elle diminue de mai à octobre (Figure 29). Depuis 1992, les valeurs de médiane se situent entre 8,96 mg/L et 8,55 mg/L mais le nombre de données reste assez faible pour les points 3 et 4. En 2007, des valeurs élevées ont pu être observées pour plus plusieurs mois sur le point 1 (juillet, septembre, octobre, novembre, décembre) (Figure 29).

En 2016, la variabilité de l'oxygène dissous est similaire aux années 2010 à 2015 (Figure 29). Les valeurs de la médiane sont légèrement supérieures durant la période 2007-2015 (9,29 à 9,46 mg/L pour la radiale de Dunkerque) (Tableaux 17 et 18). Une élévation de la concentration en oxygène dissous est observable en juin (Figure 29).

Le gradient large-côte varie entre -0,64 et 1,08 mg/L. Il y a généralement davantage d'oxygène dissous au large durant la période productive (mars à mai) et pendant l'été (juillet à août), alors que, le restant de l'année, la concentration est plus élevée près des côtes (Annexe 1).

Tableau 17. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en oxygène dissous (mg/L) pour la radiale de Dunkerque sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Ecart-type	Q3	Max	n	NA
DK1	6,91	8,02	8,96	9,41	1,74	10,5	15,1	116	320
DK3	7,75	8,11	8,67	9,14	1,31	10,4	11,6	20	271
DK4	7,70	8,07	8,55	9,02	1,21	9,77	11,6	23	259

Tableau 18. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en oxygène dissous (mg/L) pour la radiale de Dunkerque en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Ecart-type	Q3	Max	n	NA
DK1	7,50	8,23	9,46	9,13	0,99	9,71	10,9	14	2
DK3	7,63	8,25	9,46	9,20	0,94	9,83	10,5	14	2
DK4	7,48	8,25	9,29	9,24	1,11	9,94	11,5	14	2

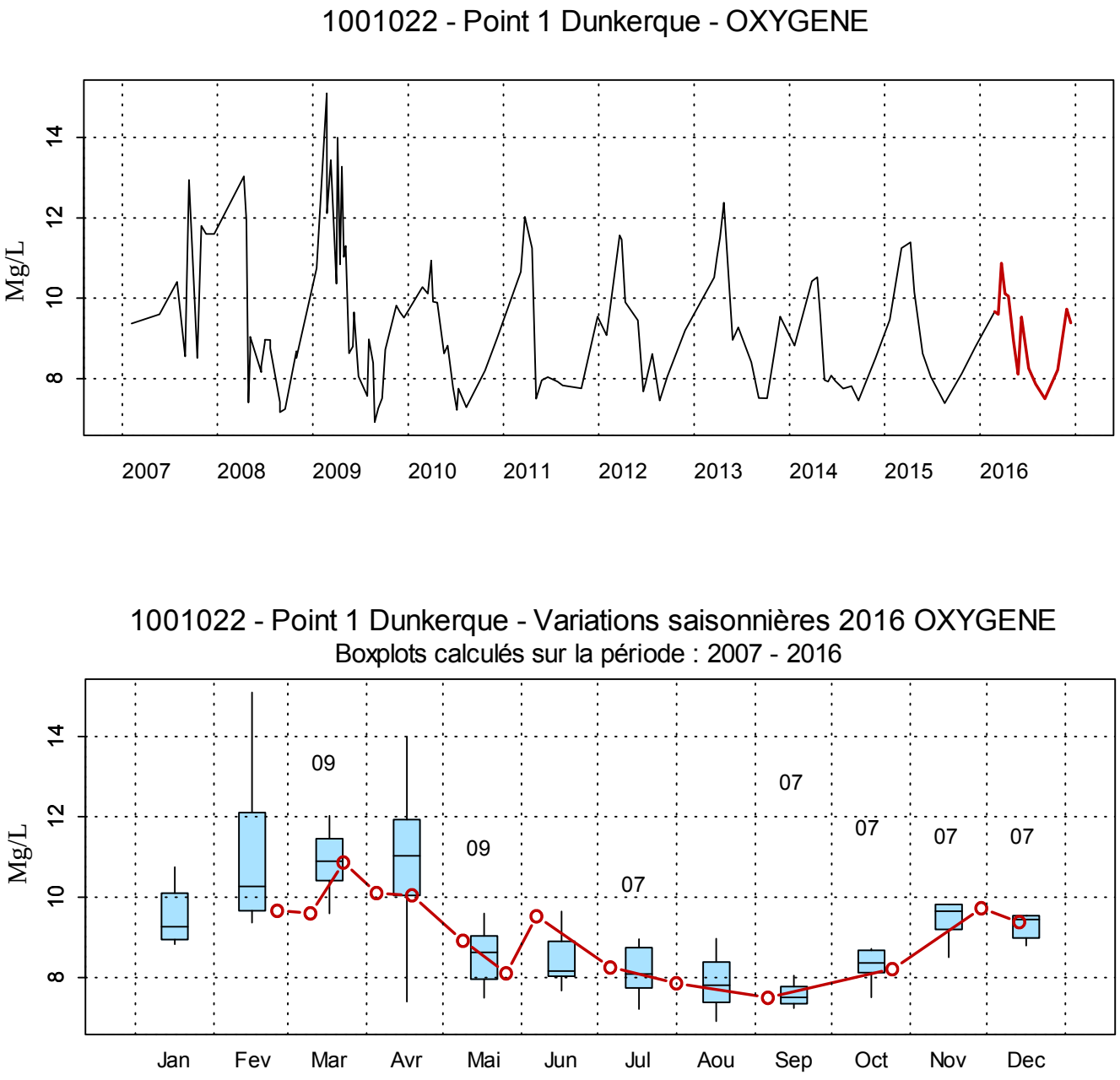


Figure 35. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en oxygène dissous (mg/L) pour le point 1 de la radiale de Dunkerque pour la période 2007-2016

- ***Limitation par les nutriments***

Les Figures 36 à 38 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 2016, au début de la période productive (mars à mai), la limitation est de type SI, P, N et tend à évoluer vers une limitation de type N, SI, P et de type N, P, SI jusqu'à la fin du mois de mai pour le point 4. Pour le mois de juin, c'est le silicate qui limite principalement le développement du phytoplancton (SI, P, N et SI, N, P).

Durant la période estivale (juillet à septembre), la limitation est de type N, SI, P pour le point côtier et SI, N, P pour quelques relevés au large (en particulier juillet-août). La limitation est de type P, N, SI pour le mois d'août au point 4 .

Enfin, en période non productive (novembre à mars), la limitation est majoritairement de type SI, P, N pour toutes les stations et tend pour certains mois (mars, novembre, février et décembre), à évoluer dans une limitation de type P, SI, N.

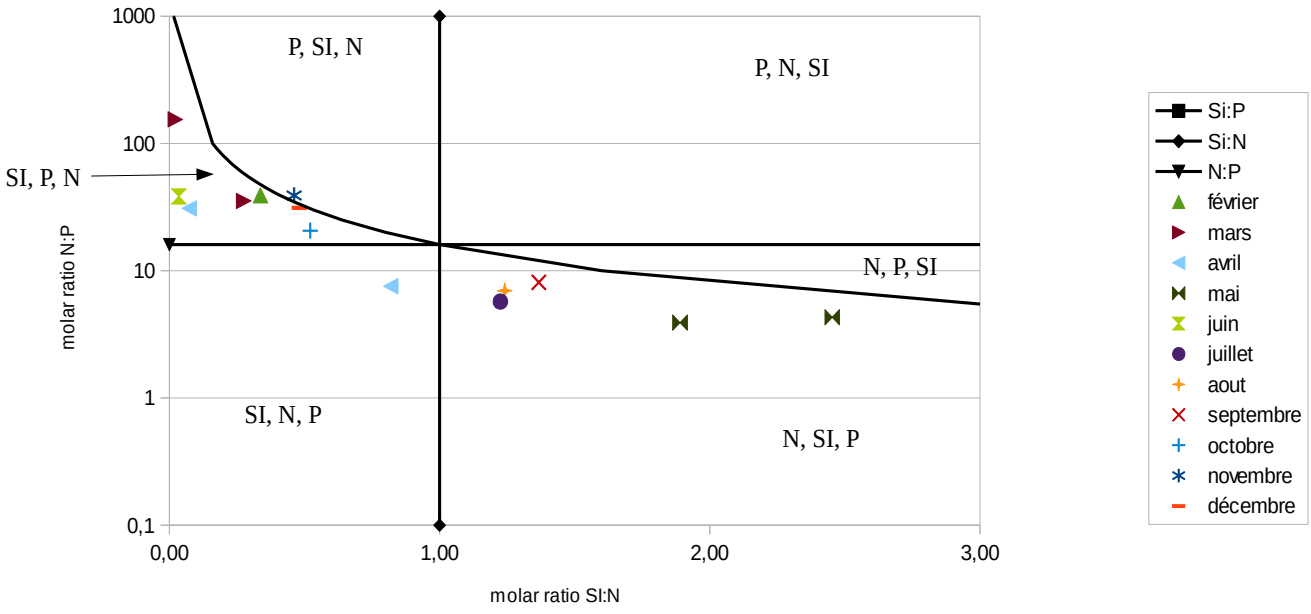


Figure 36. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point 1 de la radiale de Dunkerque en 2016

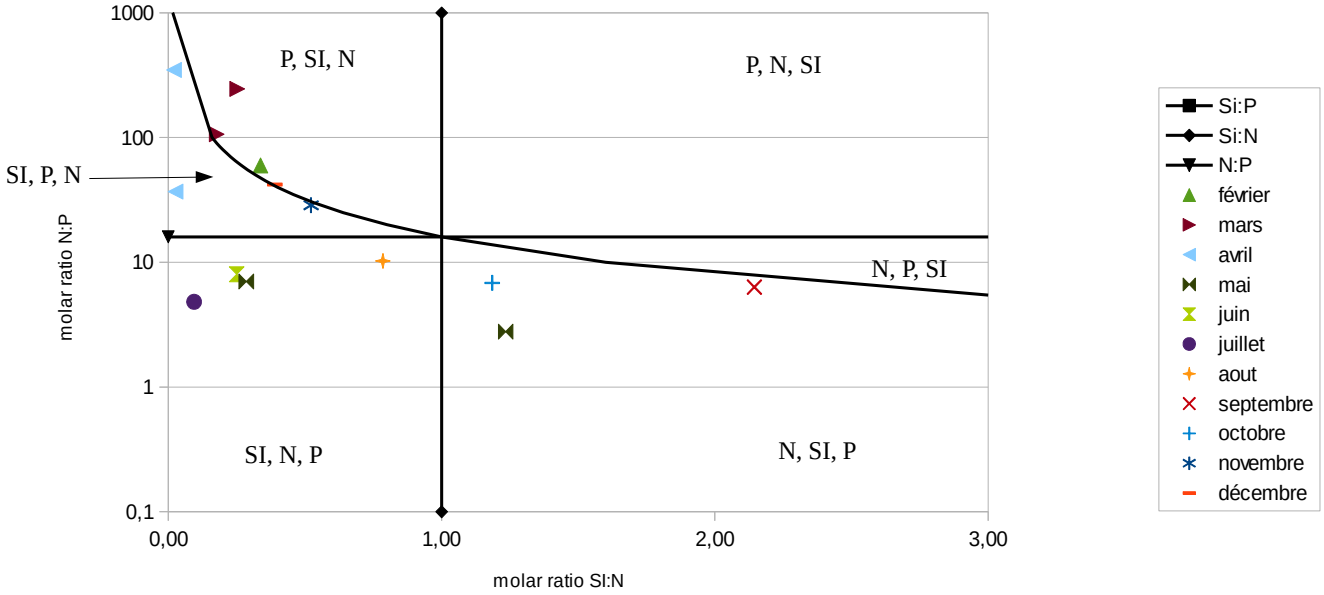


Figure 37. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point 3 de la radiale de Dunkerque en 2016

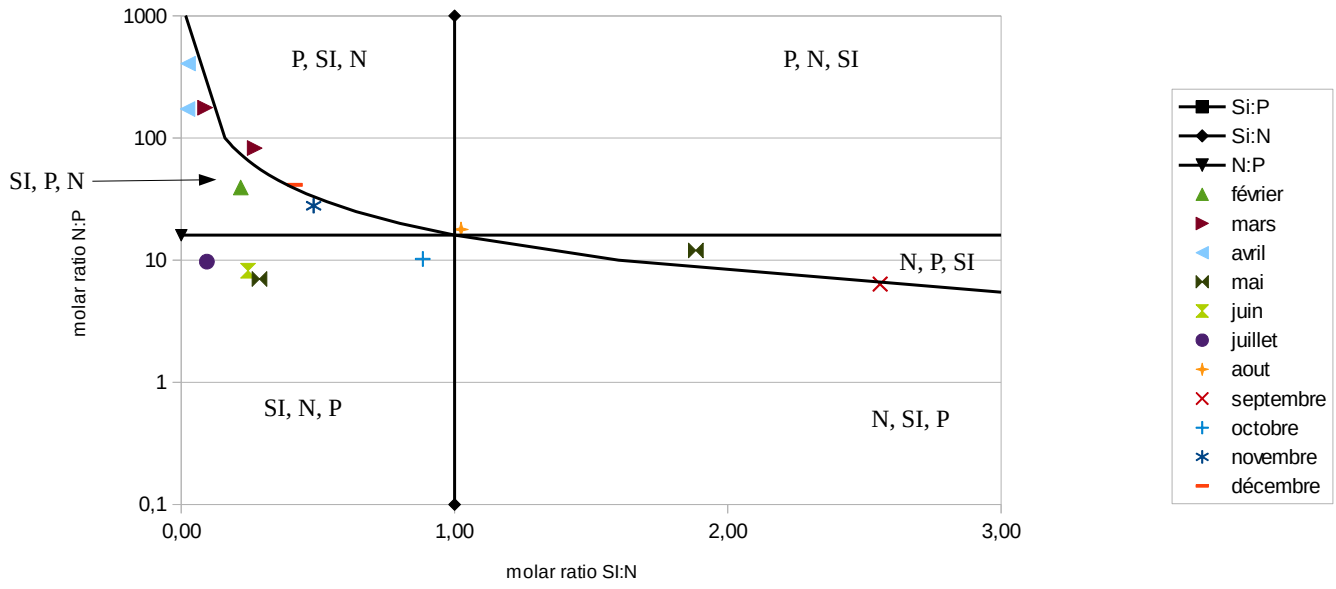


Figure 38: Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point 4 de la radiale de Dunkerque en 2016

- ***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 (Figures 39 à 41). Durant la période 1992-2015, la moyenne varie de 7,29 µg/L à 3,91 µg/L (de la côte vers le large). Des mesures exceptionnelles sont observées en particulier au point 1, en avril 2013 avec 53,2 µg/L et en avril 1994 avec 51,18 µg/L. Ces hausses traduisent des blooms plus importants du phytoplancton.

En 2016, la moyenne varie de 7,98 µg/L à 3,00 µg/L (de la côte vers le large). Pour le point 1 et 3, la moyenne est supérieure par rapport aux autres années. Cependant, pour le point 4, la moyenne est inférieure (Tableau 23 et 24). La concentration augmente en mars sur tous les points de la radiale et a atteint une valeur exceptionnelle fin mars au niveau des points 1 et 3 (respectivement 34,3 µg/L et 57,3 µg/L) (Tableau 24 et Figures 39 et 40). Elle diminue ensuite jusqu'à fin mai. Puis au mois de juin, il y a de nouveau une élévation de la chlorophylle-*a* pour tous les points (Figures 39 à 41). Pour les autres périodes, la concentration en chlorophylle-*a* est relativement basse.

Les concentrations varient en fonction de la distance avec la côte. En effet, le gradient large-côte est constamment négatif. Il varie de -0,77 à -25,86 µg/L pour la radiale de Dunkerque (Annexe 1). La chlorophylle-*a* est majoritairement présente au niveau des côtes.

Tableau 23. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en chlorophylle-*a* (µg/L) pour la radiale de Dunkerque sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Ecart-type	Q3	Max	n	NA
DK1	0,24	2,51	4,86	7,29	7,87	8,84	53,2	298	138
DK3	0,26	2,01	3,49	5,64	5,66	7,22	31,0	271	20
DK4	0,05	1,54	2,67	3,94	3,97	4,61	29,2	263	19

Tableau 24. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en chlorophylle-*a* (µg/L) pour la radiale de Dunkerque en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Ecart-type	Q3	Max	n	NA
DK1	1,83	4,03	5,51	7,98	8,18	8,83	34,3	14	2
DK3	0,66	1,90	2,96	7,90	14,6	7,21	57,3	14	2
DK4	0,55	1,58	2,08	3,00	2,28	4,03	8,43	14	2

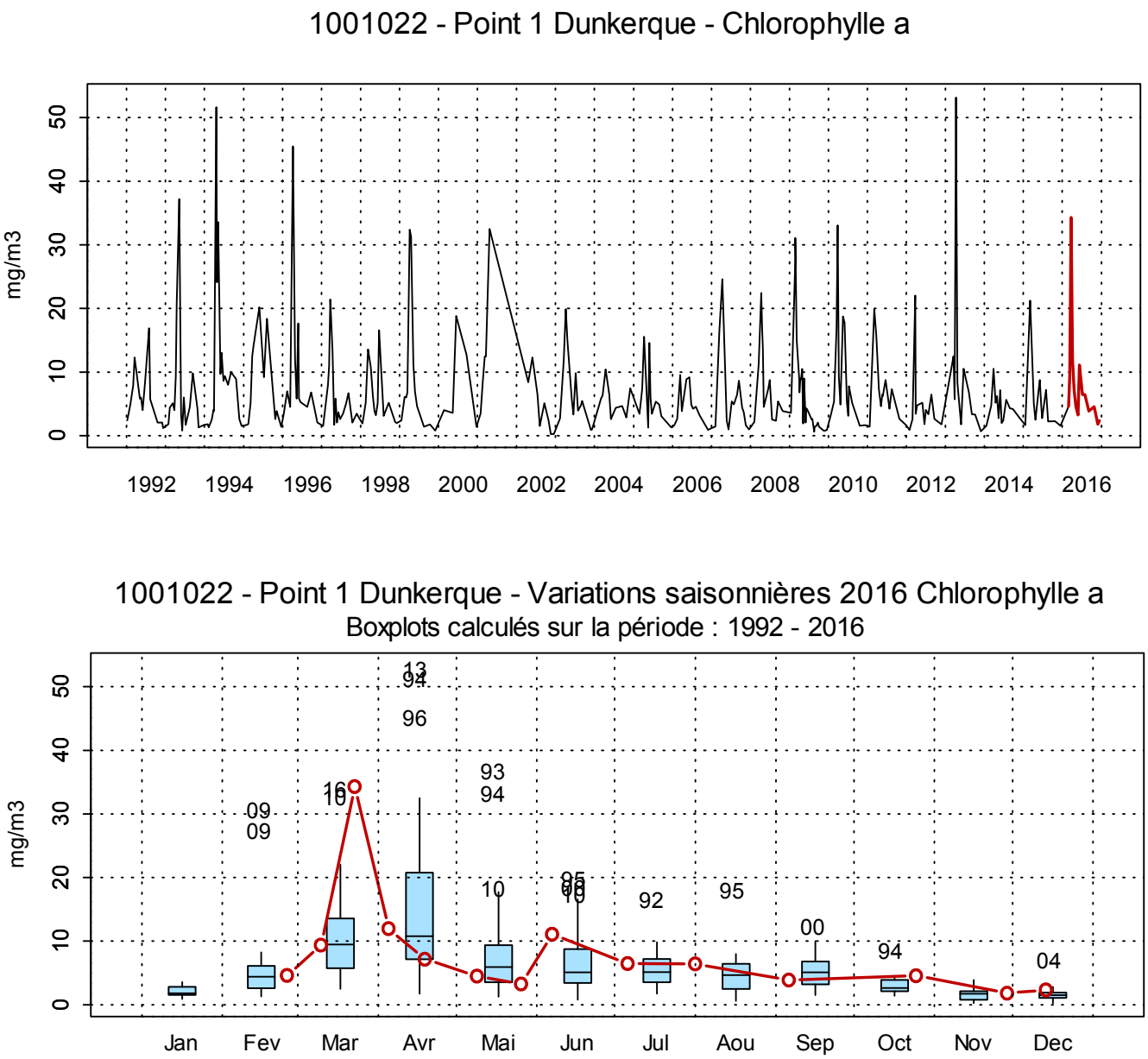


Figure 39. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en chlorophylle-*a* (µg/L) pour le point 1 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016

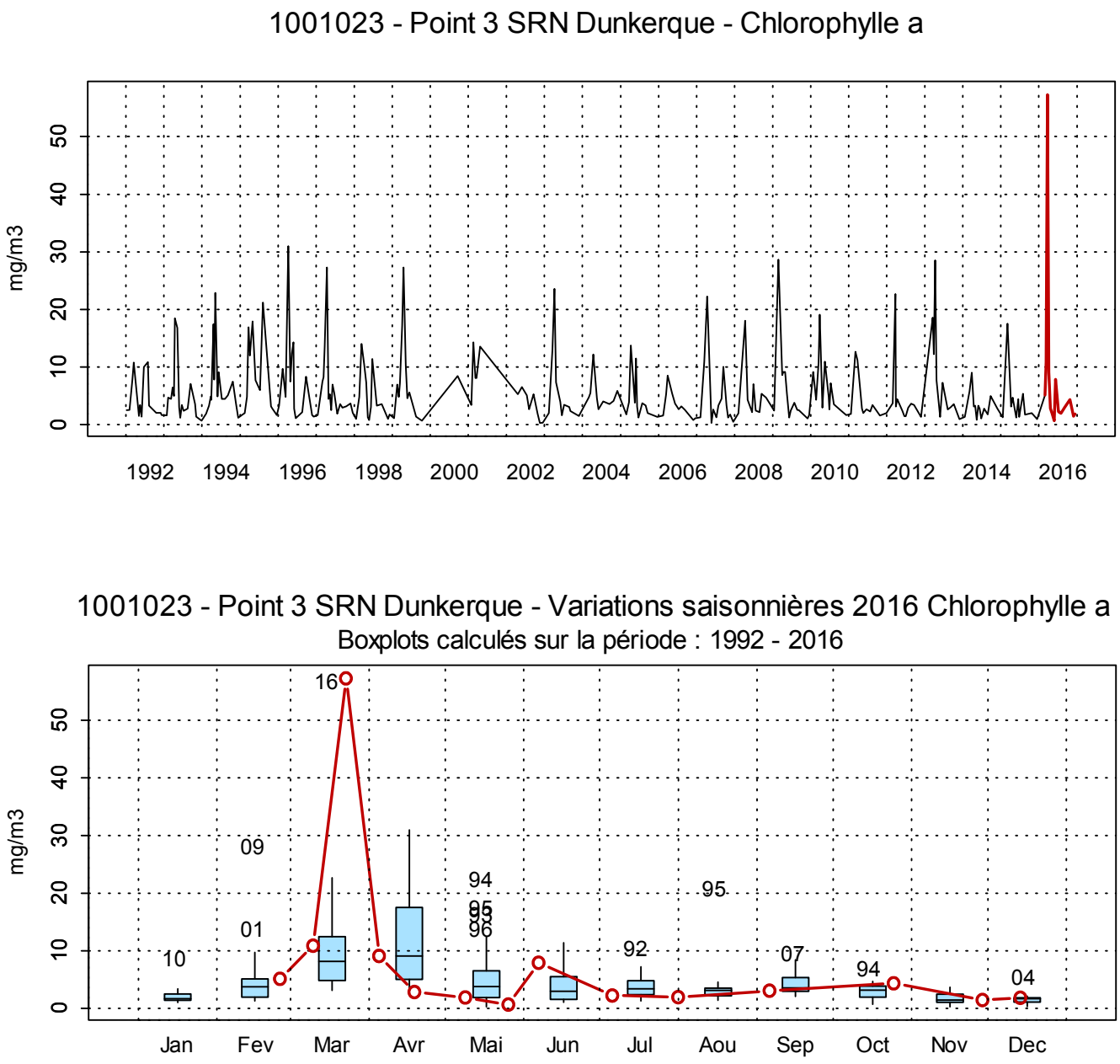
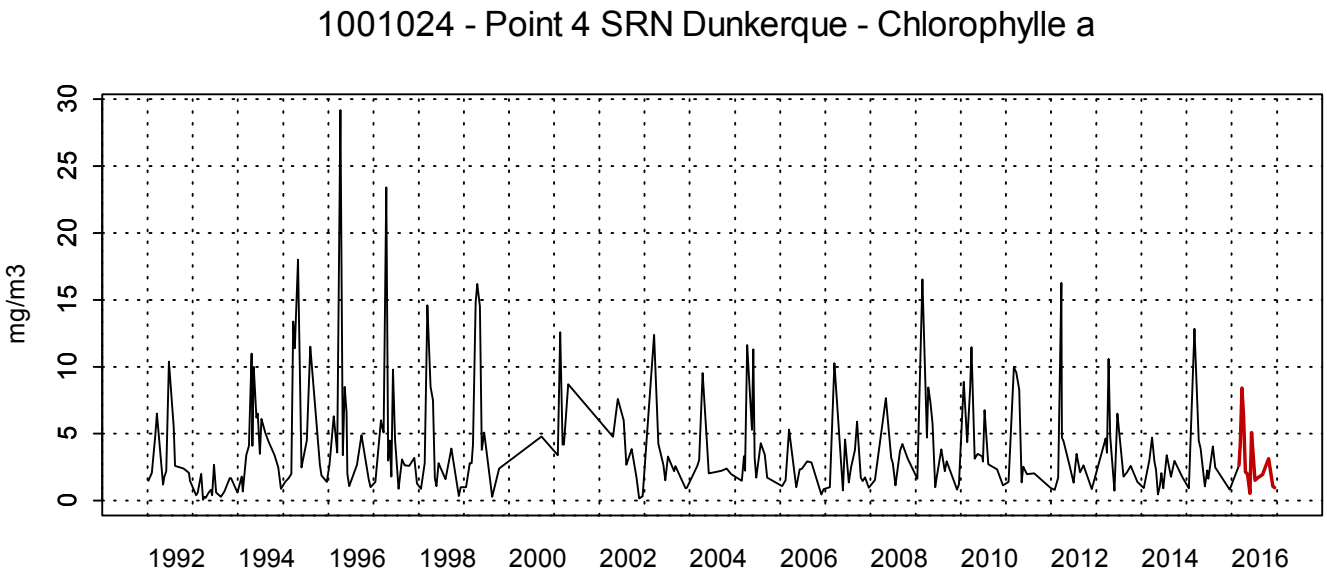


Figure 40. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en chlorophylle-*a* (µg/L) pour le point 3 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016



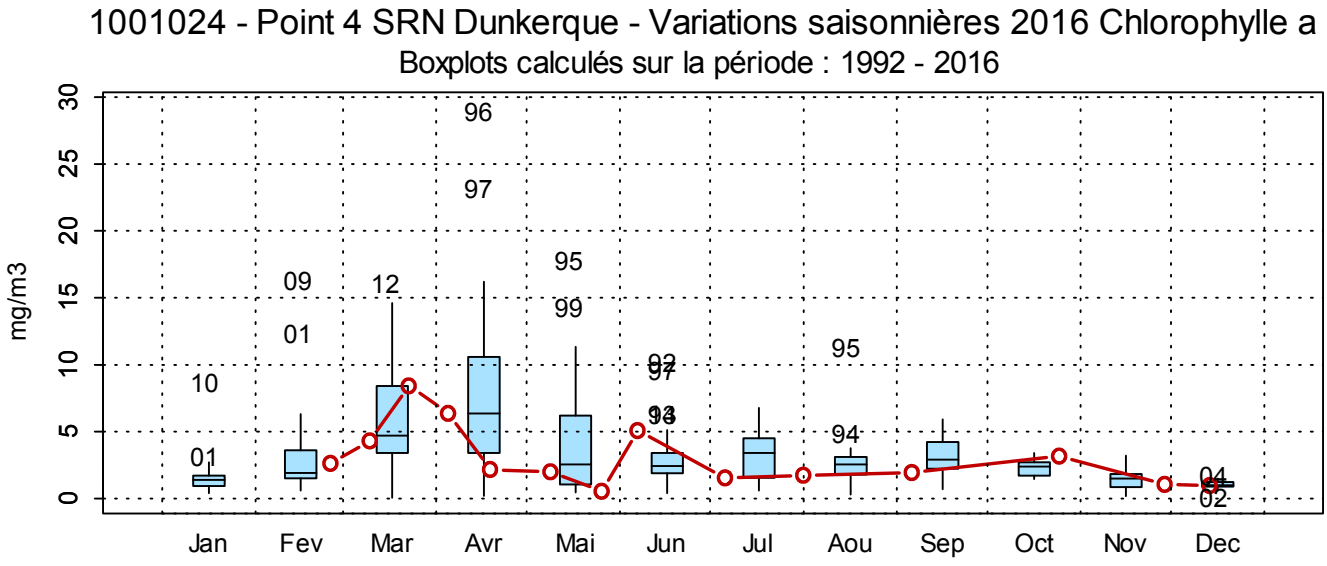


Figure 41. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en chlorophylle-*a* (µg/L) pour le point 4 de la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2016.

3.1.2. Boulogne-sur-Mer

- ***Température***

La température moyenne sur la radiale de Boulogne-sur-Mer depuis 1992 est de 12,27 °C (Tableau 25). La dynamique saisonnière est caractéristique de celle d'un écosystème tempéré et se caractérise par de faibles valeurs en hiver (minimum en janvier 1997 avec 2,10 °C au point 1) et de fortes en été (maximum en juin 2008 avec 22,1 °C au point 1) (Tableau 25 et Figures 42 à 44).

Pour l'année 2016, les températures sont légèrement supérieures à celles enregistrées depuis 1992 (en moyenne 12,9°C sur la radiale) mais il faut prendre en compte l'absence de données en janvier. Les minima s'observent à la fin de l'hiver (février-mars) et sont compris entre 7,25 et 7,90 °C de la côte vers le large. Un maximum est mesuré début septembre avec 19,70 °C au point 1 (Tableau 26). L'année 2016 ne montre pas de valeur anormale sur l'ensemble des points.

Il existe un faible gradient de température entre la côte et le large, compris entre -1,80°C et 1,40°C. Le gradient est positif d'octobre à début avril (eaux côtières plus froides) et est négatif pendant les autres périodes (eaux côtières plus chaudes) (Annexe 1).

Tableau 25. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la température (°C) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Ecart-type	Q3	Max	n	NA
BL1	2,10	8,65	12,1	12,4	4,43	16,2	22,1	361	188
BL2	3,50	8,58	12,0	12,2	4,21	15,7	21,8	324	32
BL3	3,70	8,83	11,8	12,2	4,05	15,7	21,8	318	33

Tableau 26. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la température (°C) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Ecart-type	Q3	Max	n	NA
BL1	7,25	9,58	12,9	13,3	4,22	16,9	19,7	19	1
BL2	7,70	8,80	12,4	12,7	4,22	16,5	19,2	15	1
BL3	7,90	9,15	12,2	12,7	3,97	16,4	18,7	15	1

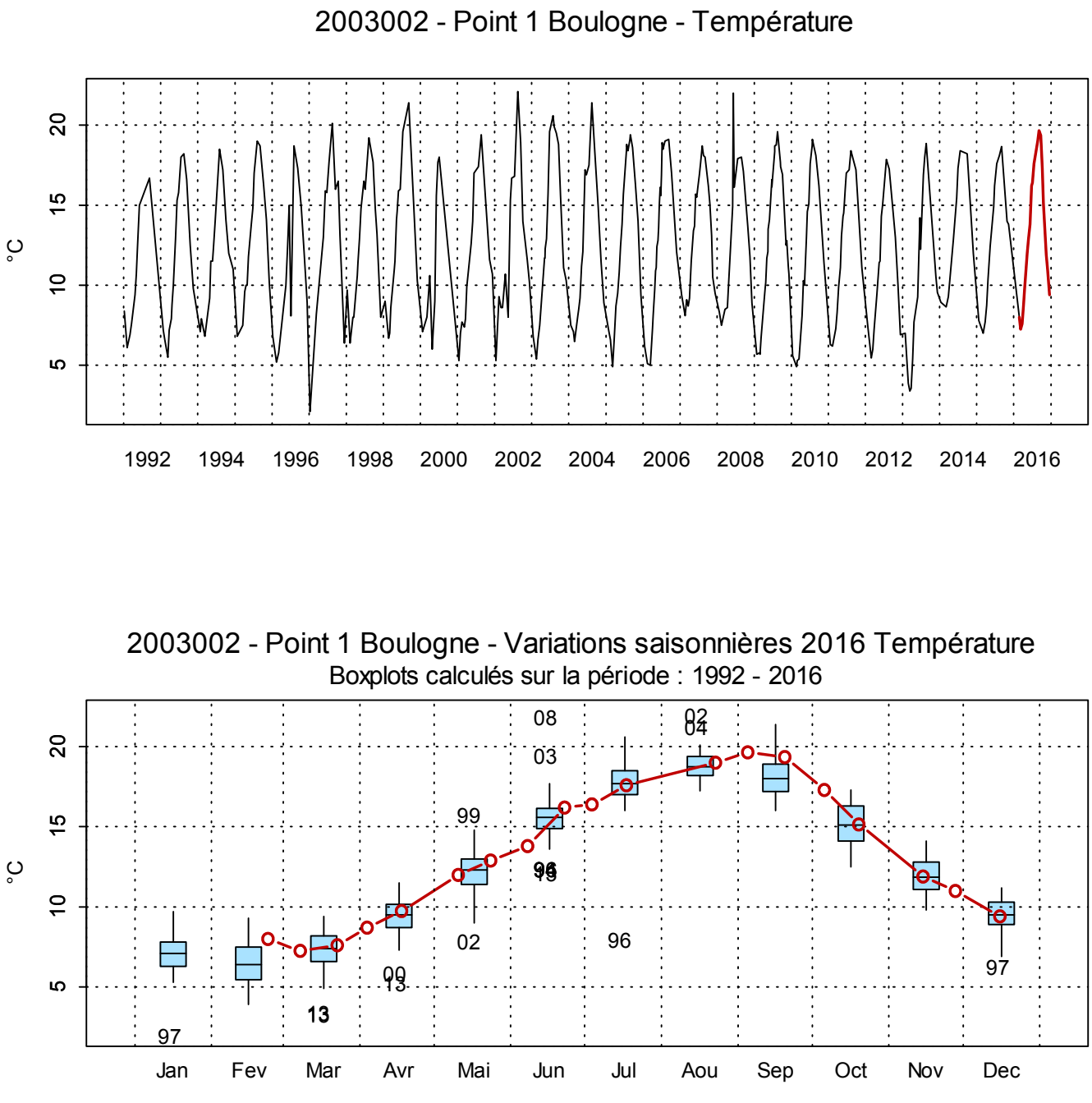


Figure 42. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la température (°C) pour le point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 1992-2016

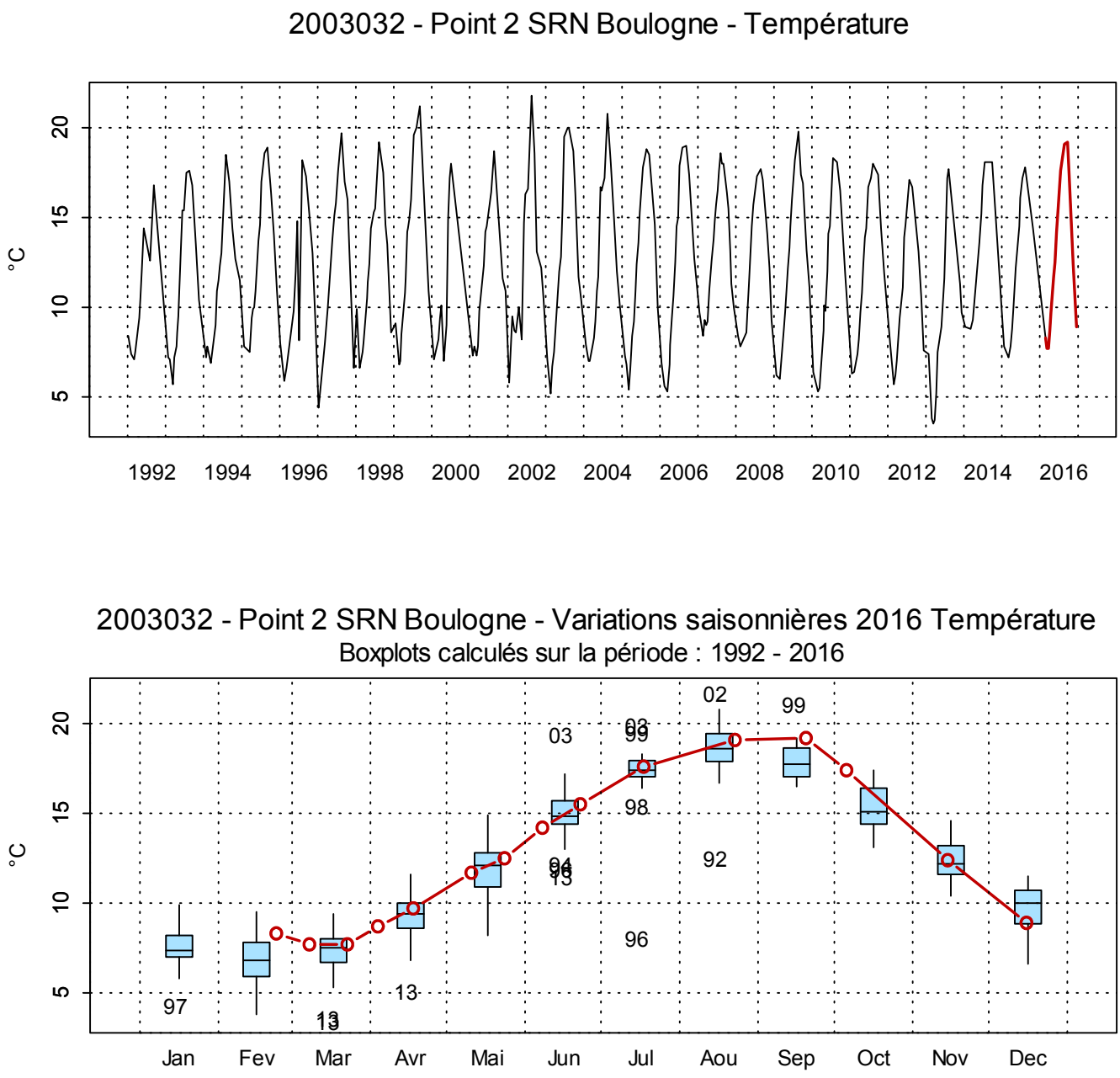
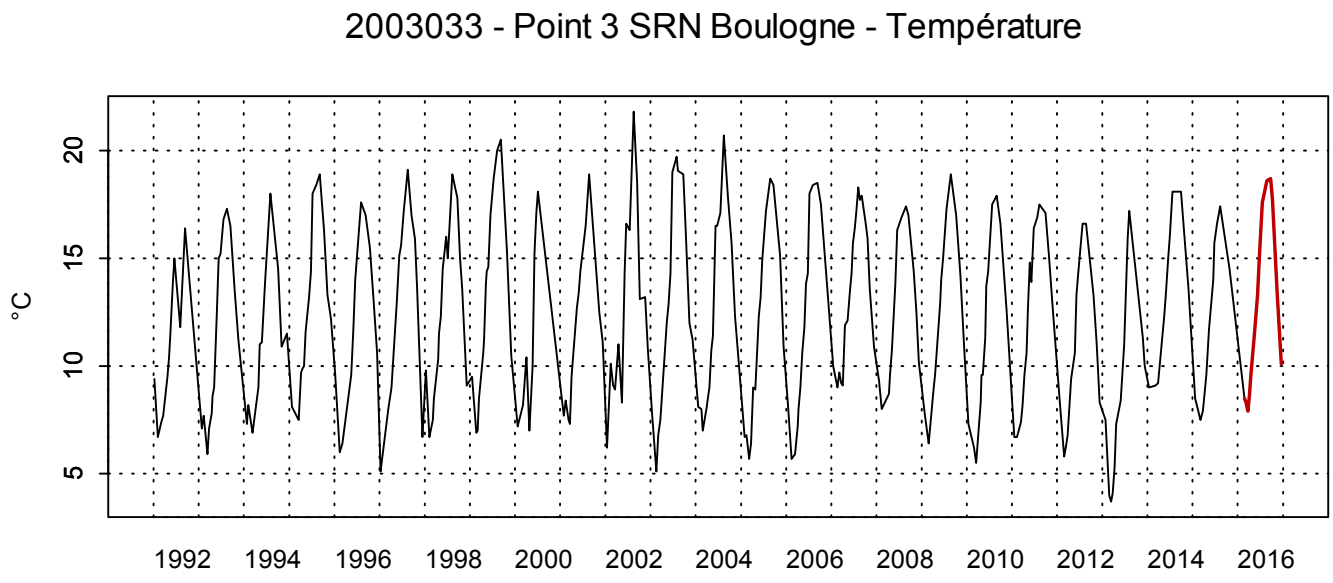


Figure 43. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la température (°C) pour le point 2 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 1992-2016



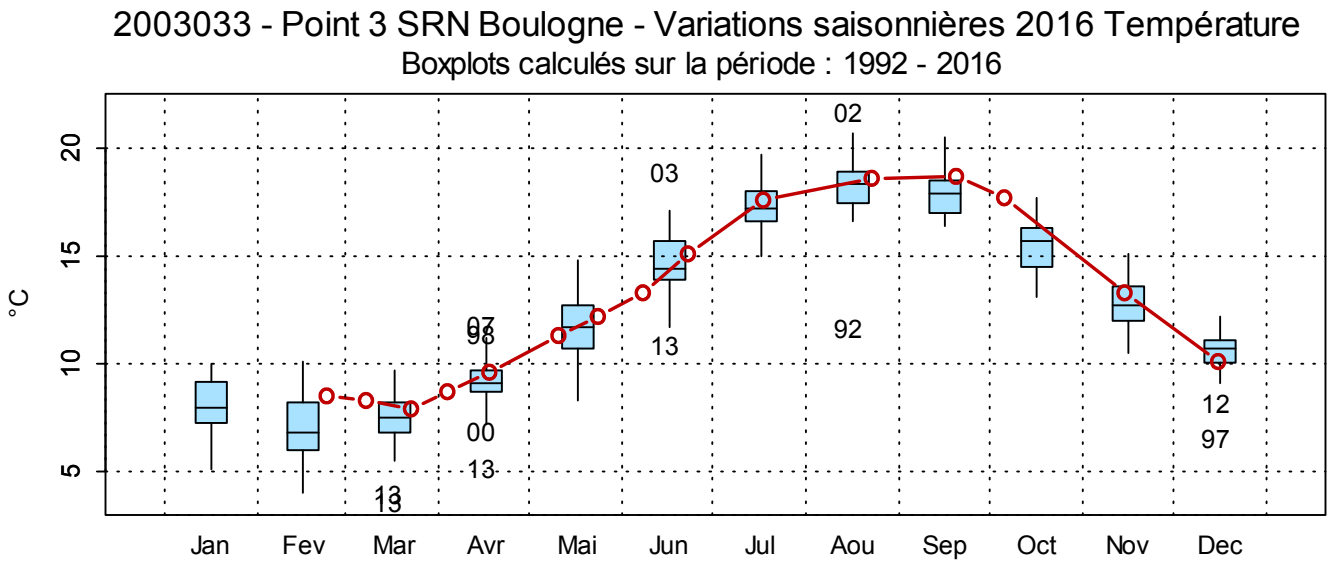


Figure 44. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la température (°C) pour le point 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 1992-2016

- ***Salinité***

Pour ce paramètre, il n'y pas de cycle saisonnier marqué. Des valeurs exceptionnelles ont été mesurées. Par exemple en 1995 au mois de janvier, au point 1, les valeurs de la salinité étaient descendues jusqu'à 29,1 P.S.U. En revanche, en janvier 2008, la salinité est montée jusqu'à 35,9 P.S.U pour le point 4 (Figures 45 à 47).

La salinité en 2016 a des valeurs de moyenne et de médiane sensiblement identiques à celles relevées depuis 1992, les minima diffèrent légèrement (respectivement 29,1 P.S.U, 29,3 P.S.U et 29,3 P.S.U pour la période 1992-2015 contre 33,5 P.S.U, 34,0 P.S.U et 33,8 P.S.U pour 2016) (Tableaux 27 et 28). Les valeurs de salinité vont de 33,5 P.S.U à 35,2 P.S.U et augmentent lorsqu'on se dirige vers le large. La salinité a été globalement un peu plus élevée que les autres années fin avril et fin mai pour les points 3 et 4 et fin avril-début juin pour le point 1. Cependant, elle a légèrement diminué en juillet pour tous les points.

Le gradient de salinité entre la côte et le large varie entre -0,2 et 1,2 P.S.U. (Annexe 1). La salinité est généralement plus faible au point 1 par rapport aux deux autres points.

Tableau 27. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la salinité (P.S.U) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Ecart-type	Q3	Max	n	NA
BL1	29,1	33,4	34,0	33,8	1,03	34,5	35,3	363	186
BL2	29,3	33,9	34,4	34,2	0,98	34,8	35,6	320	36
BL3	29,3	34,1	34,6	34,4	0,95	35,0	35,9	316	35

Tableau 28. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la salinité (P.S.U) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Ecart-type	Q3	Max	n	NA
BL1	33,5	34,1	34,5	34,4	0,49	34,8	35,1	19	1
BL2	34,0	34,3	34,7	34,6	0,43	35,0	35,3	15	1
BL3	33,8	34,5	34,8	34,8	0,49	35,2	35,6	15	1

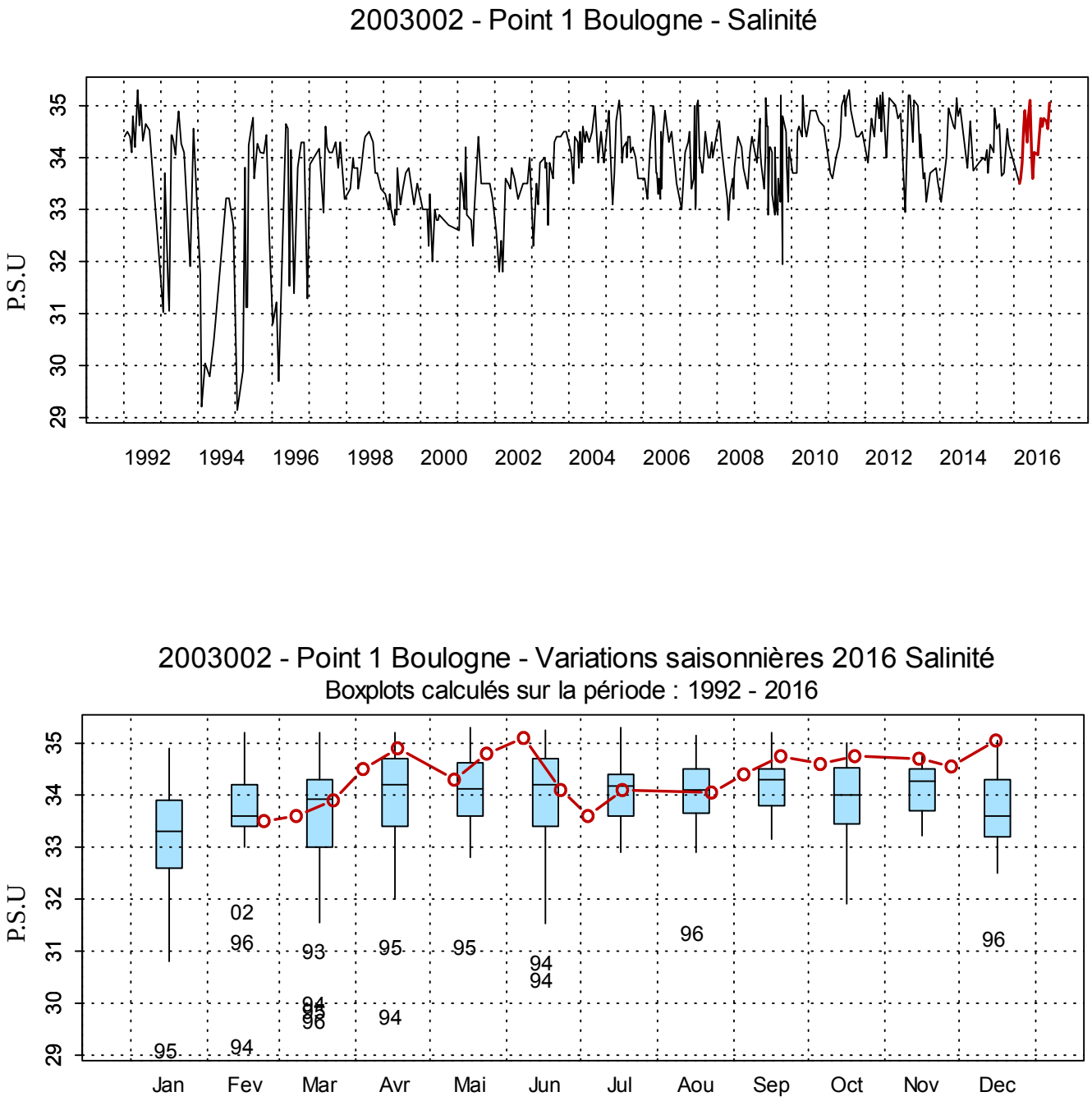


Figure 45. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge**)** pour la salinité (P.S.U) pour le point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 1992-2016

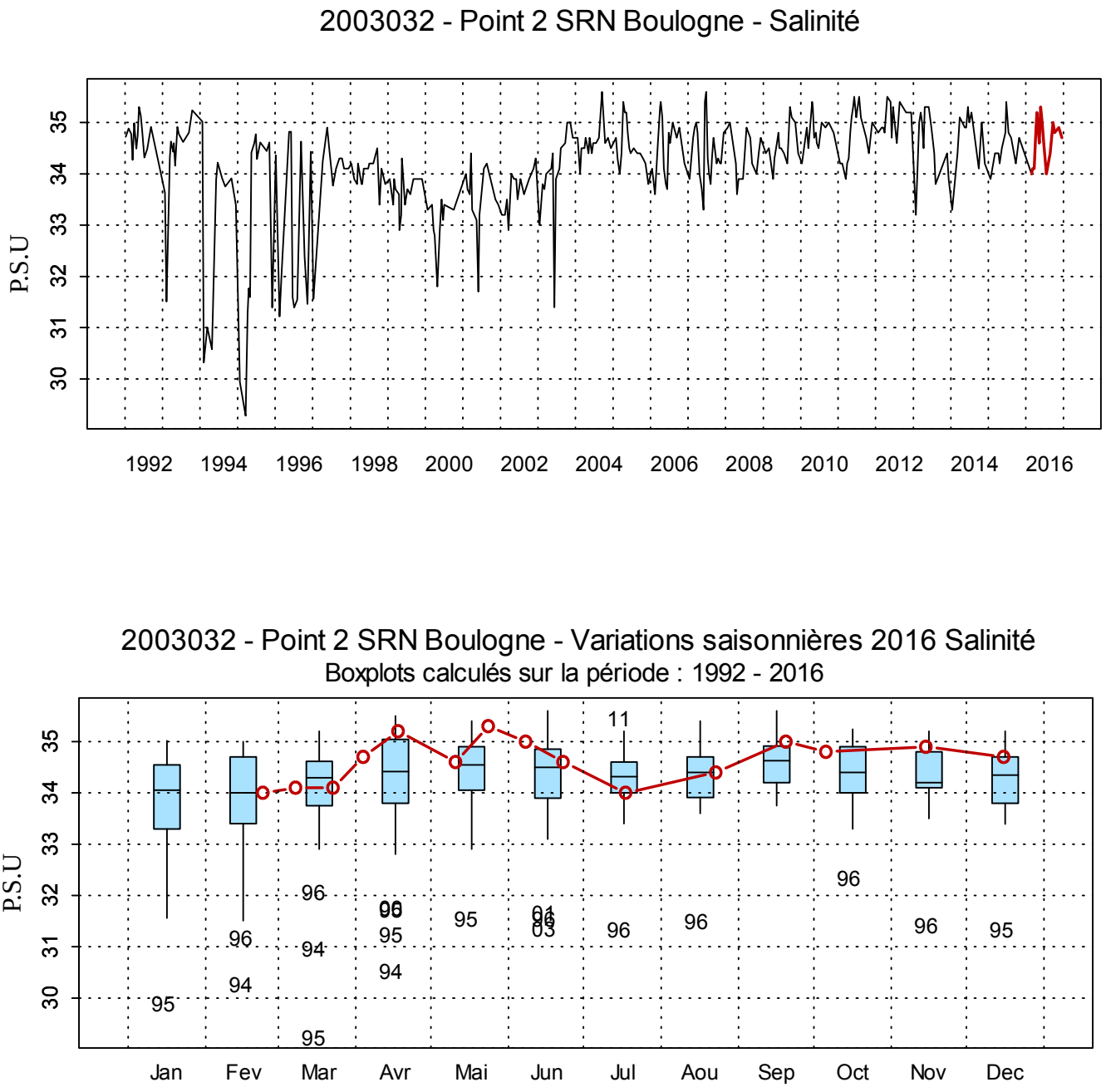
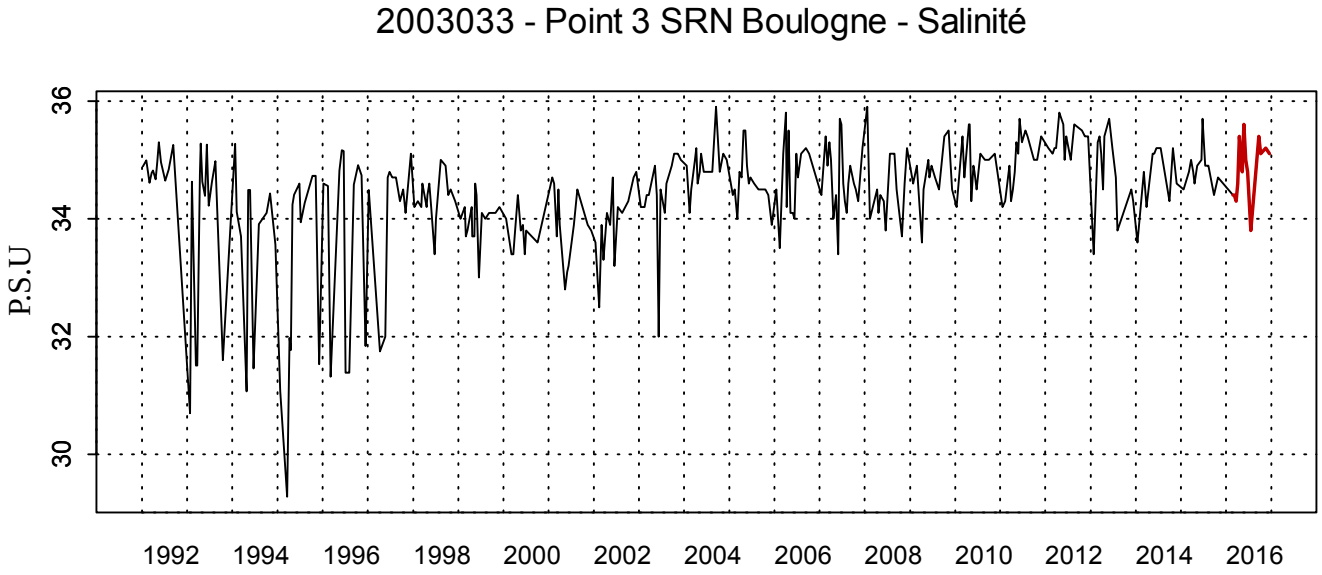


Figure 46. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la salinité (P.S.U) pour le point 2 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 1992-2016



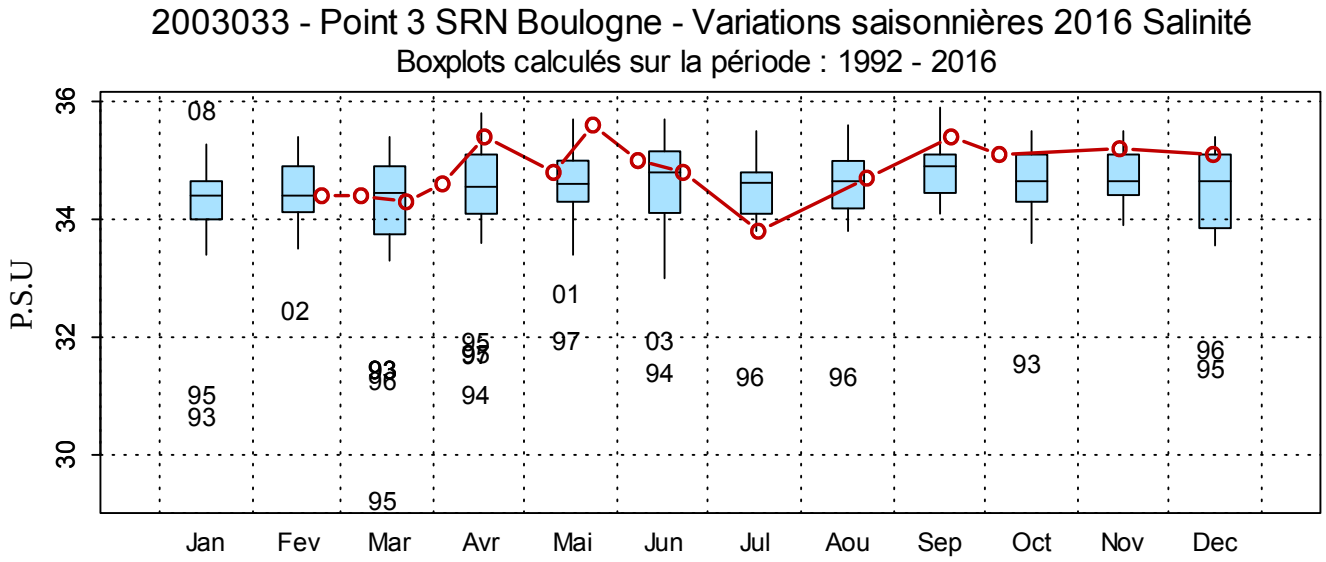


Figure 47. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la salinité (P.S.U) pour le point 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 1992-2016

- ***Turbidité et Matières en suspensions***

Un cycle saisonnier est marqué pour la turbidité avec des valeurs plus élevées en automne et en hiver (de septembre à mars) et plus faibles au printemps et en été (d'avril à août). Les valeurs les plus fortes sont obtenues en janvier 2000, en février 2007 et en mars 1997 pour le point 1. Pour le point 2, c'est en novembre 2004, suivi de décembre 2013 où les valeurs sont les plus fortes. Pour le point 3, les valeurs les plus fortes se situent en janvier 1997 et 2005, puis en décembre 2016 (troisième valeur la plus haute depuis 1992) (Figures 48 à 50).

La turbidité est généralement faible sur la radiale de Boulogne-sur-Mer pour l'année 2016 (entre 0,51 N.T.U et 13,8 N.T.U) (Tableau 30). Les valeurs de médiane et de moyenne sont approximativement les mêmes entre 1992-2015 et 2016. Cependant, des valeurs assez élevées sont obtenues en mars mars avec 13,8 N.T.U pour le point 1, 6,10 N.T.U au point 2 et environ 3,3 N.T.U pour le point 3. Une valeur extrême est également relevée au mois de décembre avec 6,69 N.T.U au point 3 (Tableau 30 et Figures 48 à 50). Au mois de juin, la turbidité est un peu plus haute par rapport aux autres années pour les points 2 et 3 (Figures 49 et 50). Les maxima sont atteints en mars pour le point 1 et 2 (respectivement 13,8 N.T.U et 6.10 N.T.U), et en décembre pour le point 3 (6,69 N.T.U) (Tableau 30).

Le gradient large-côte est négatif tout au long de l'année et est compris entre -10,49 et 0,21 N.T.U (Annexe 1). Globalement, la turbidité près des côtes est d'autant plus élevée qu'au niveau du large.

Tableau 29. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la turbidité (N.T.U.) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BL1	0,10	1,40	2,50	3,63	3,70	4,10	30,0	365	184
BL2	0,11	1,02	1,71	2,25	1,96	2,73	13,8	328	28
BL3	0,10	0,70	1,09	1,33	1,07	1,60	9,75	322	29

Tableau 30. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la turbidité (N.T.U.) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BL1	1,43	1,76	2,69	4,07	3,33	4,73	13,8	19	1
BL2	0,64	1,31	1,65	2,65	1,93	4,11	6,10	15	1
BL3	0,51	0,77	0,98	1,73	1,65	2,20	6,69	15	1

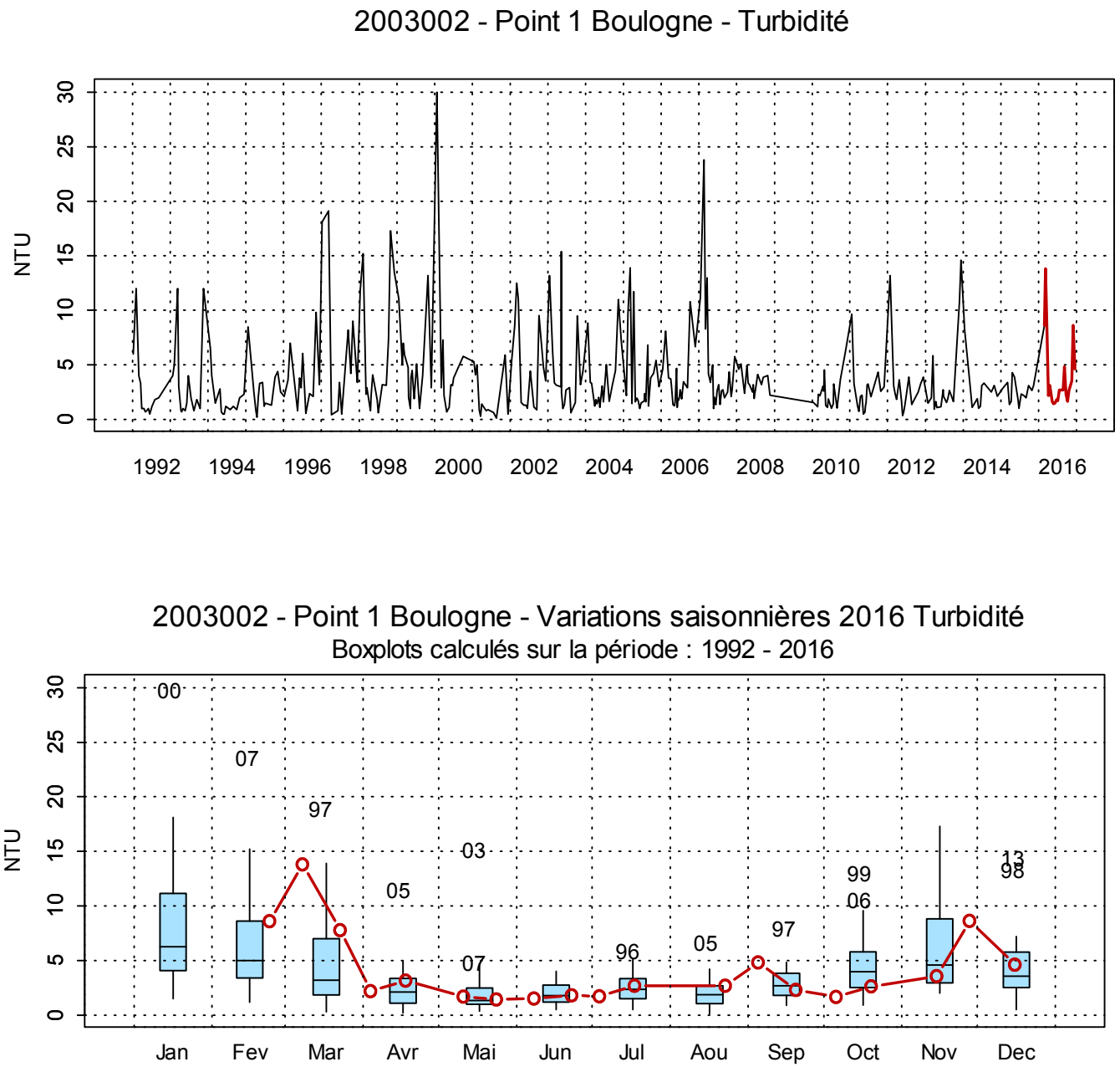
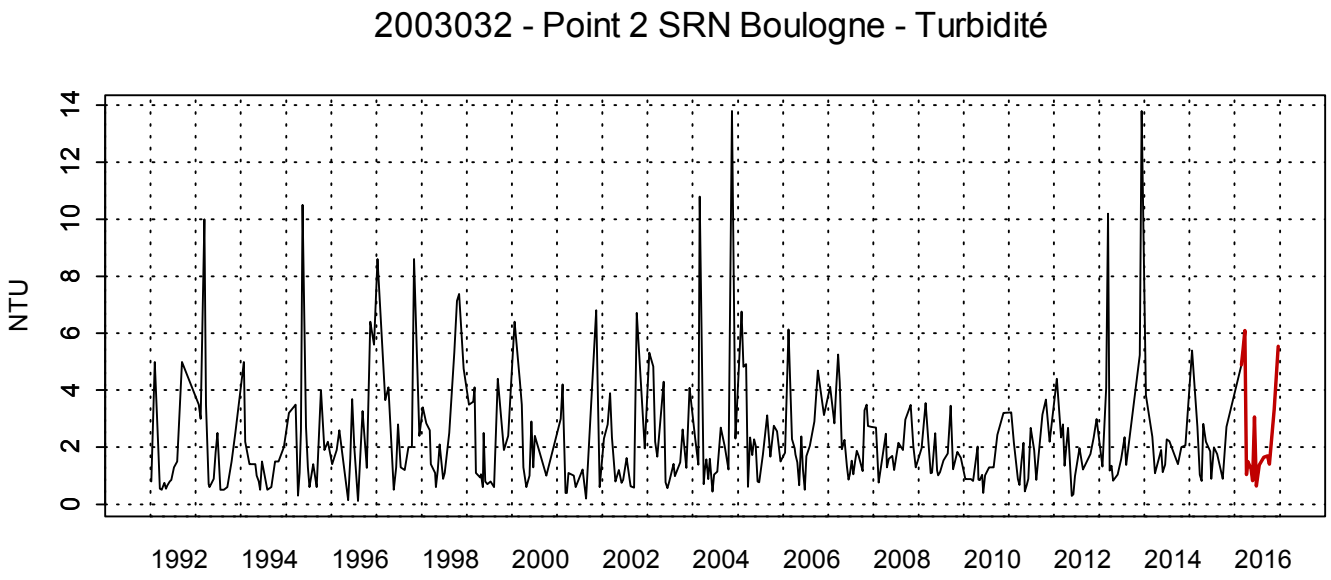


Figure 48. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la turbidité (N.T.U) pour le point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 1992-2016



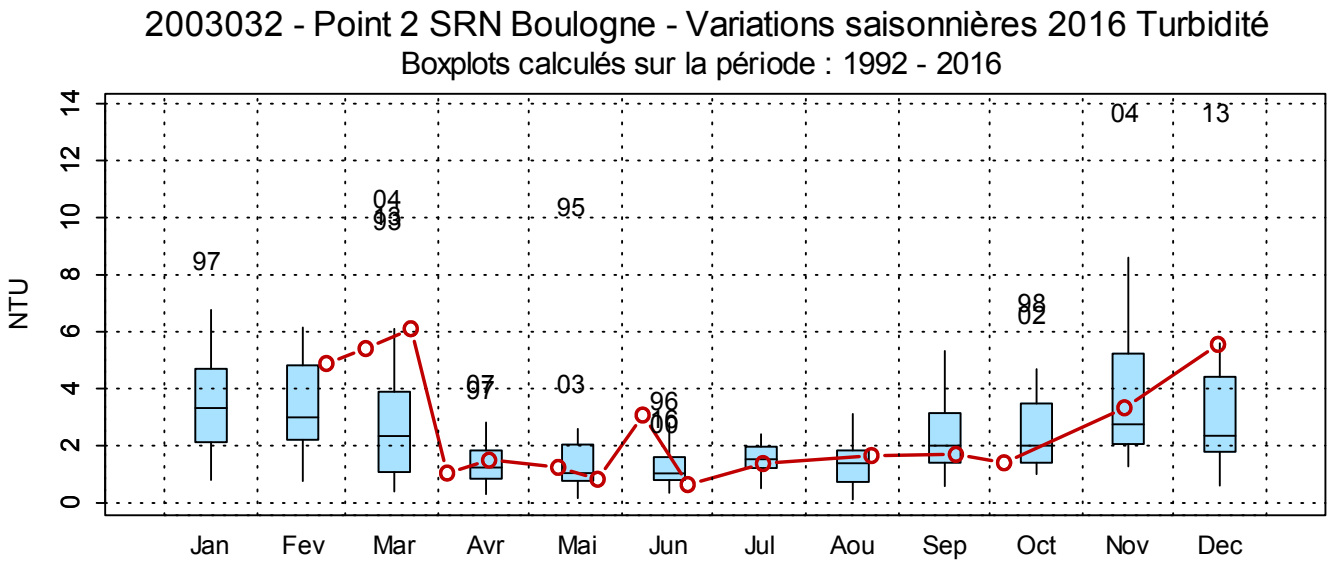


Figure 49. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la turbidité (N.T.U) pour le point 2 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 1992-2016

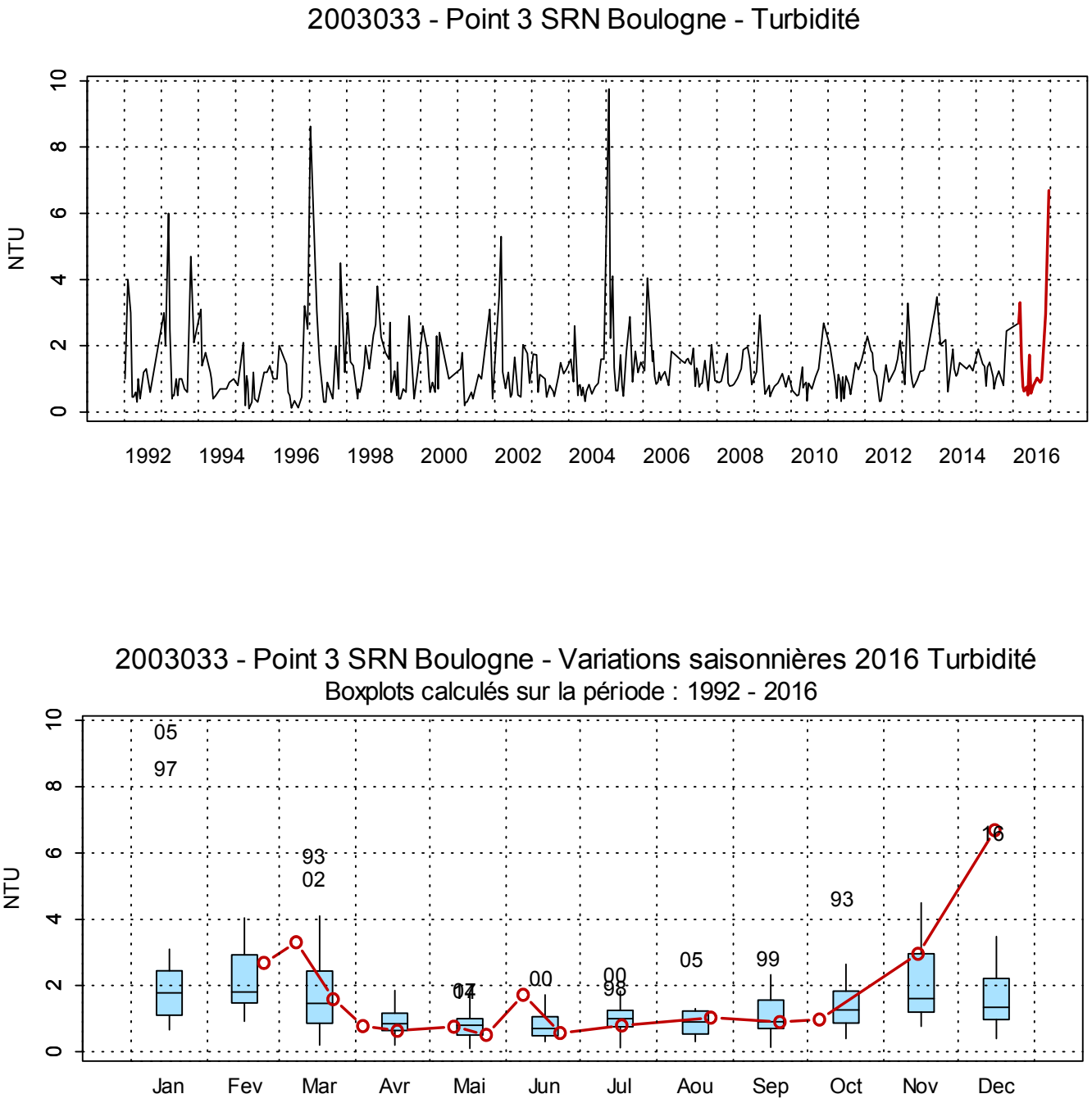


Figure 50. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la turbidité (N.T.U) pour le point 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 1992-2016

Les matières en suspension sont d'autant plus fortes que l'on est proche de la côte (8,42 mg/L ; 5,39 mg/L ; 3,80 mg/L en moyenne depuis 1992 de la côte vers le large) (Tableau 31). Un cycle saisonnier est marqué avec des valeurs plus fortes d'octobre à mars et plus faibles d'avril à septembre (Figures 51 à 53).

Après une année 2015 avec une faible variabilité, 2016 en est de même pour les points 2 et 3. Au point 1, une variabilité plus forte est présente. Au mois de mars, il y a une légère augmentation de la concentration en M.E.S et fin novembre, elle a atteint une valeur extrême de 33,5 mg/L (Tableau 31 et Figures 51 à 53). Les valeurs sont plus faibles pour les points 2 et 3 et plus fortes pour le point 1 puisque l'on mesure respectivement 8,77 mg/L ; 4,95 mg/L ; 3,75 mg/L en moyenne. Les maxima de l'année 2016 sont nettement inférieurs à ceux relevés depuis 1992 (Tableau 31). En effet, pour le point 1, le maximum est atteint au mois de novembre avec 33,5 mg/L contre 46,4 mg/L en avril 2002. Pour le point 2, c'est au mois de mars que la valeur est la plus haute avec 12,0 mg/L contre 46,30 mg/L en mars 2013. C'est au mois d'avril que le maximum est atteint au point 3 avec 9.30 mg/L contre 95,2 mg/L au mois de mai 1996 (Tableaux 31 et 32). Pour ce point, des valeurs extrêmes sont observables aux mois de juin et décembre.

Le gradient large-côte est de l'ordre de -19,0 à -0,4 mg/L. Le point côtier présente les concentrations les plus fortes (Annexe 1).

Tableau 31. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les M.E.S. (mg/L) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BL1	0,05	3,40	5,80	8,42	8,14	9,70	46,4	340	209
BL2	0,05	1,98	3,60	5,39	6,33	6,00	46,3	328	28
BL3	0,05	1,10	2,10	3,80	7,27	3,60	95,2	321	30

Tableau 32. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les M.E.S. (mg/L) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BL1	2,20	4,50	6,70	8,77	7,70	9,35	33,5	19	1
BL2	0,80	2,35	3,90	4,95	3,39	6,50	12,0	15	1
BL3	0,60	1,50	2,90	3,75	2,89	5,10	9,30	15	1

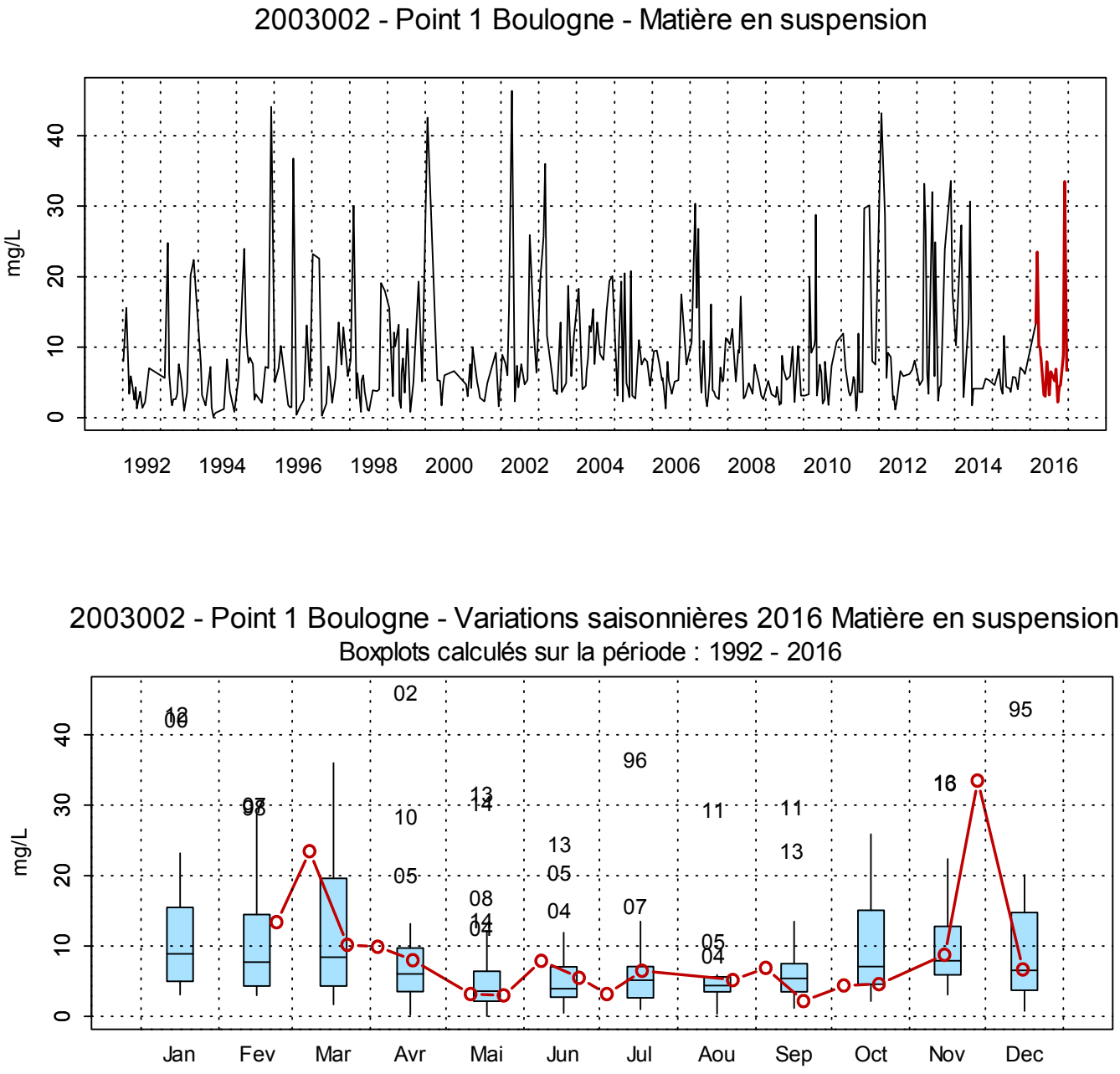
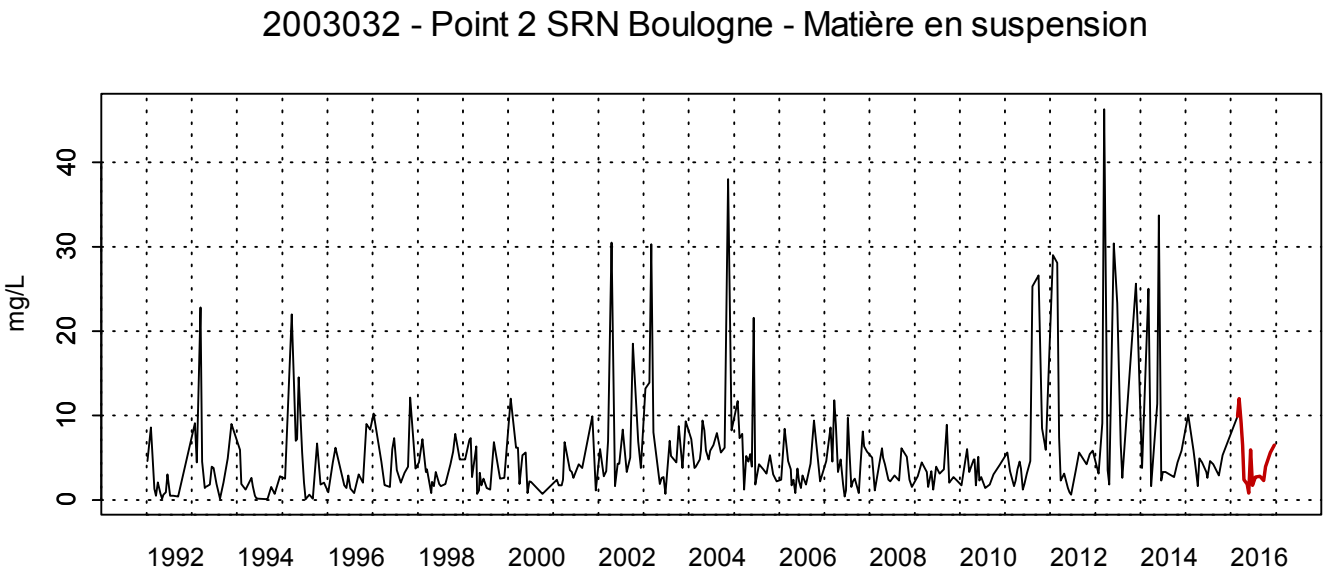


Figure 51. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour les matières en suspension (mg/L) pour le point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 1992-2016



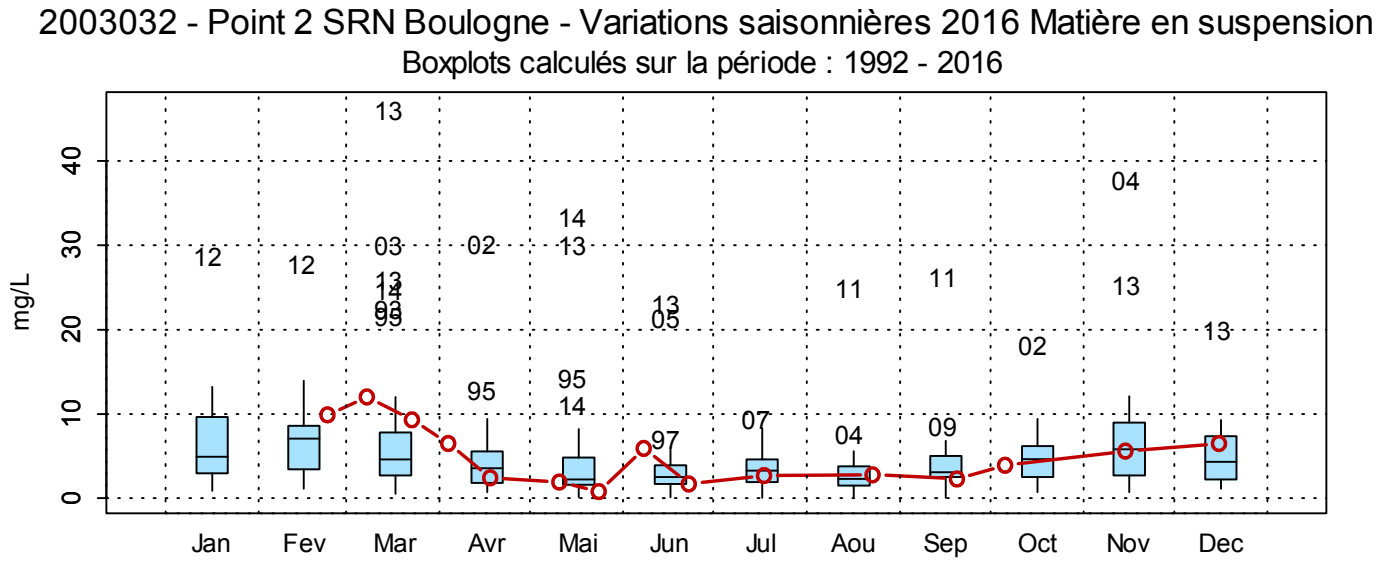
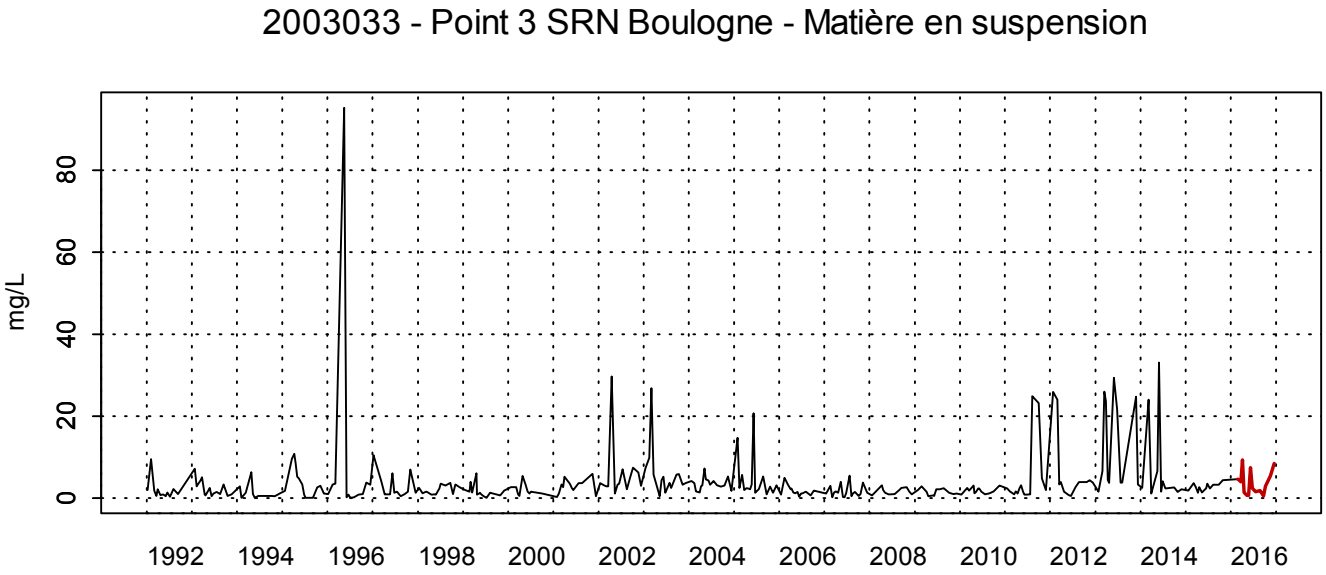


Figure 52. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour les matières en suspension (mg/L) pour le point 2 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 1992-2016



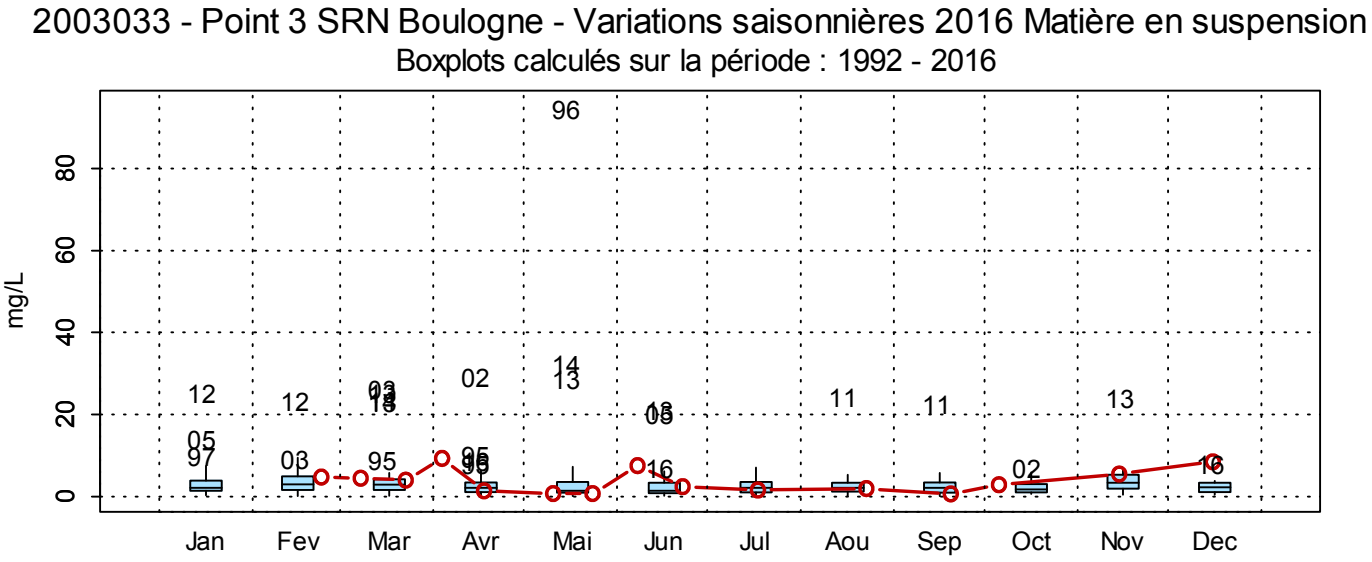


Figure 53. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour les matières en suspension (mg/L) pour le point 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 1992-2016

- ***Matières organiques***

Depuis 1992, la concentration en M.E.S organique sur la radiale de Boulogne est relativement faible avec de nombreuses valeurs extrêmes. Par exemple, pour le point 1, en mai 2014, la concentration était de 14 mg/L (Tableau 33 et Figure 54). Les matières organiques ne présentent pas de cycle saisonnier.

En 2016, la proportion en matière organique dans les matières en suspension est comprise entre 12.5 % (au point 2) et 50 % (au point 3). L'évolution de la concentration en matière organique (M.O.) dans les matières en suspension (M.E.S.) est globalement stable et faible avec seulement des petites élévations en avril et fin novembre pour le point 1. Une valeur supérieure au 3ème quartile est observable en avril pour le point 2 et 3 et en juin pour le point 3. Au mois de septembre, pour les trois points, les valeurs sont inférieures au 1er quartile (respectivement 0,70 mg/L, 0,10 mg/L et 0,30 mg/L). Les valeurs de médiane et de moyenne sont pratiquement identiques entre la période 1992-2015 et 2016 (Tableaux 33 et 34).

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

Tableau 33. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les matières organiques en suspension (mg/L) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BL1	0	1,10	1,50	1,87	1,53	2,20	14,0	341	208
BL2	0	0,80	1,10	1,49	1,33	1,60	9,90	327	29
BL3	0	0,60	0,90	1,24	1,26	1,30	8,80	321	30

Tableau 34. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les matières organiques en suspension. (mg/L) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BL1	0,70	1,60	1,80	2,04	1,13	2,10	5,20	19	1
BL2	0,10	0,85	1,10	1,11	0,49	1,25	2,40	15	1
BL3	0,30	0,70	0,90	0,97	0,47	1,10	2,10	15	1

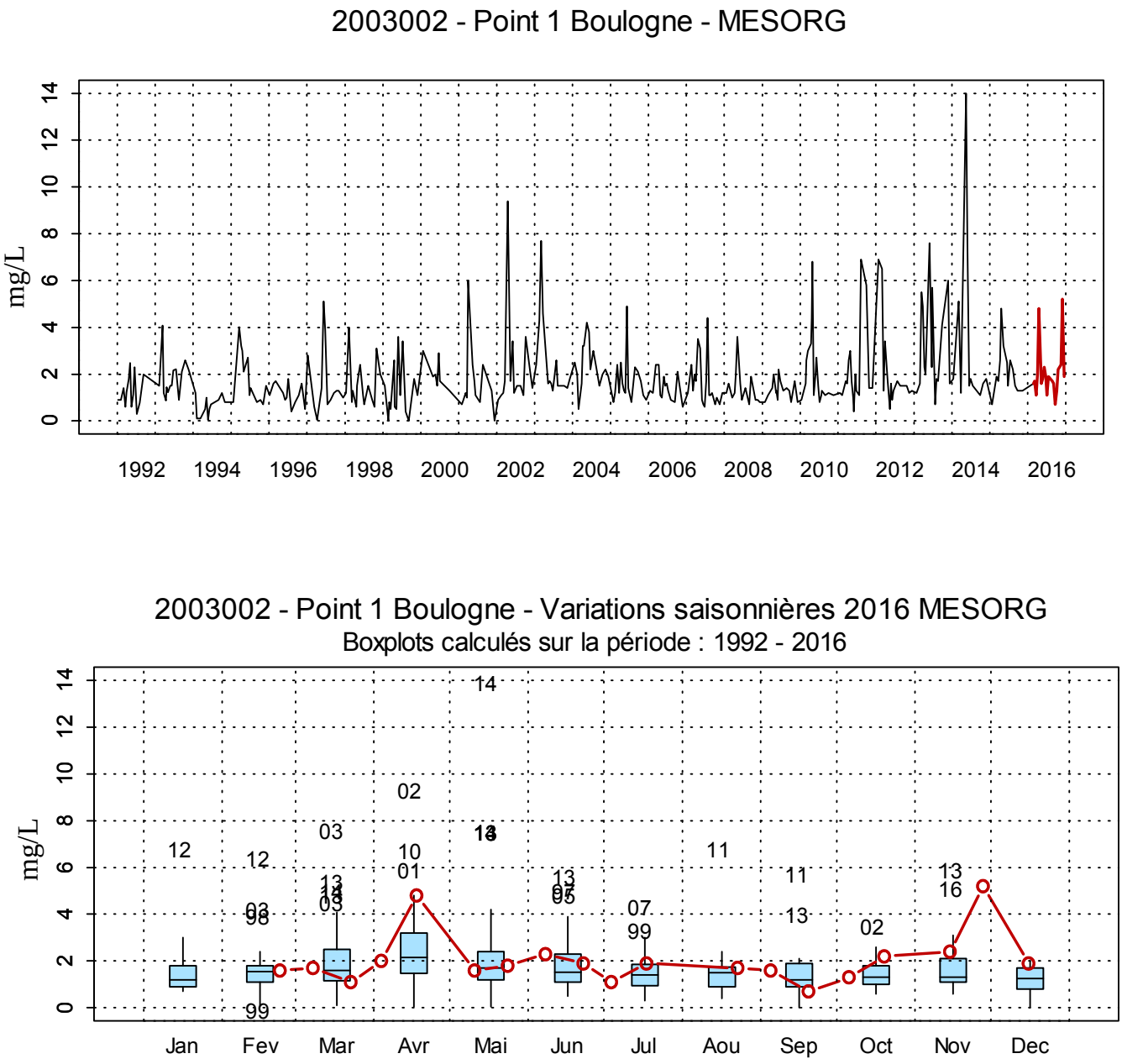


Figure 54. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour les matières organiques en suspension (mg/L) pour le point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 1992-2016

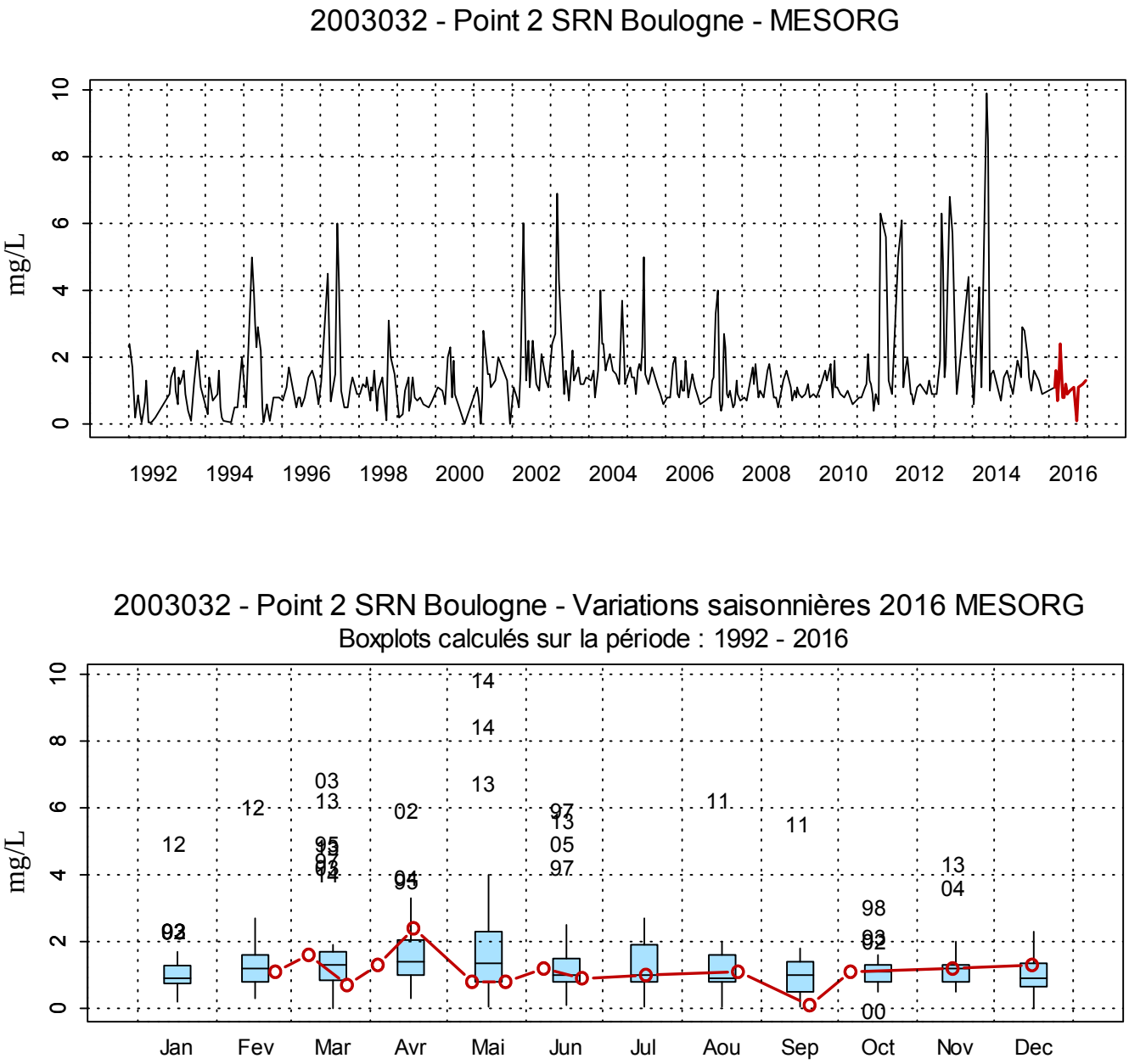


Figure 55. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour les matières organiques en suspension (mg/L) pour le point 2 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 1992-2016

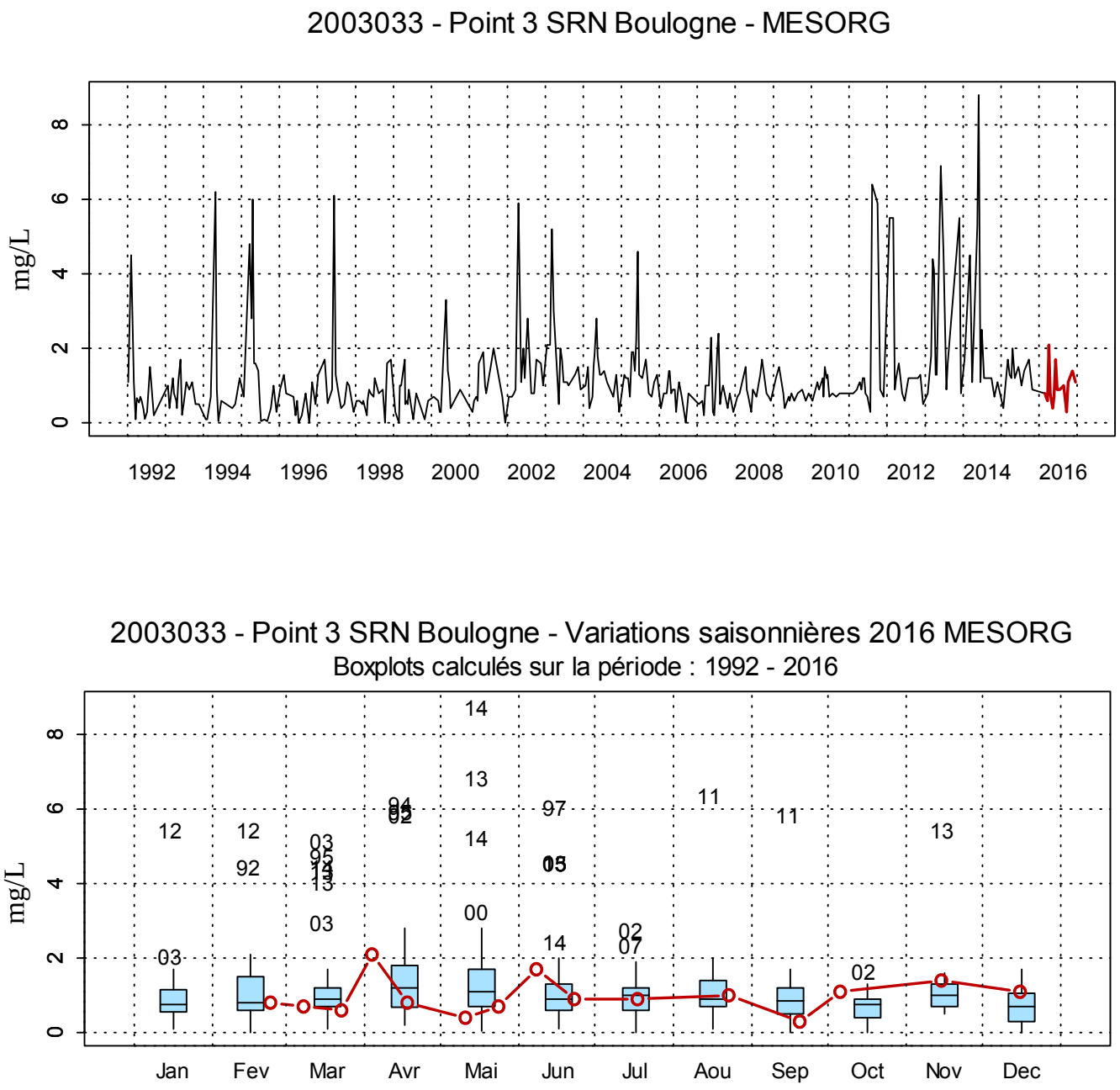


Figure 56. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour les matières organiques en suspension (mg/L) pour le point 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer de 1992-2016

- ***Ammonium***

Depuis 1992, les concentrations en ammonium sur la radiale sont assez faibles (1,20 µmol/L de moyenne pour la radiale). La dynamique saisonnière est peu marquée (Figures 57 à 59). Néanmoins, une légère augmentation des valeurs est observable à partir de la fin de l'été et jusqu'à la fin de l'année. Concernant le point 1, les valeurs les plus fortes se situent en juillet 2002 et en novembre-décembre 1997. Au point 2, c'est en juillet 1997, en décembre 1997 et en décembre 2007 où les valeurs sont les plus fortes. Au point 3, les valeurs les plus élevées sont enregistrées en février 1998 et en décembre 1997 mais globalement les valeurs sont très faibles tout au long de l'année (Figures 57 à 59).

Pour l'année 2016, les concentrations sont un peu plus faibles que la période 1992-2015 (0,73 µmol/L en moyenne pour la radiale), avec une étendue de valeurs peu importante (3,94 µmol/L au maximum au point 1 en octobre 2016) (Tableau 36 et Figure 57). Globalement, pour tous les points, entre février et août, les valeurs sont inférieures à la médiane voire même au 1er quartile (Figures 57 à 59).

Le gradient de concentration large-côte varie peu (-3,37 à 0,57 µmol/L) (Annexe 1). Cependant, la majorité des gradients sont négatifs. Cela montre que la concentration en ammonium est plus élevée près des côtes.

Tableau 35. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en Ammonium (µmol/L) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BL1	0,06	0,51	1,10	1,50	1,41	2,00	10,2	347	202
BL2	0,10	0,45	0,85	1,11	1,02	1,38	5,67	327	29
BL3	0,04	0,38	0,70	1,00	1,04	1,33	9,77	321	30

Tableau 36. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en Ammonium (µmol/L) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BL1	0,15	0,34	0,74	1,26	1,27	1,53	3,94	19	1
BL2	0,15	0,15	0,37	0,55	0,58	0,70	2,18	15	1
BL3	0,15	0,15	0,20	0,37	0,30	0,48	0,98	15	1

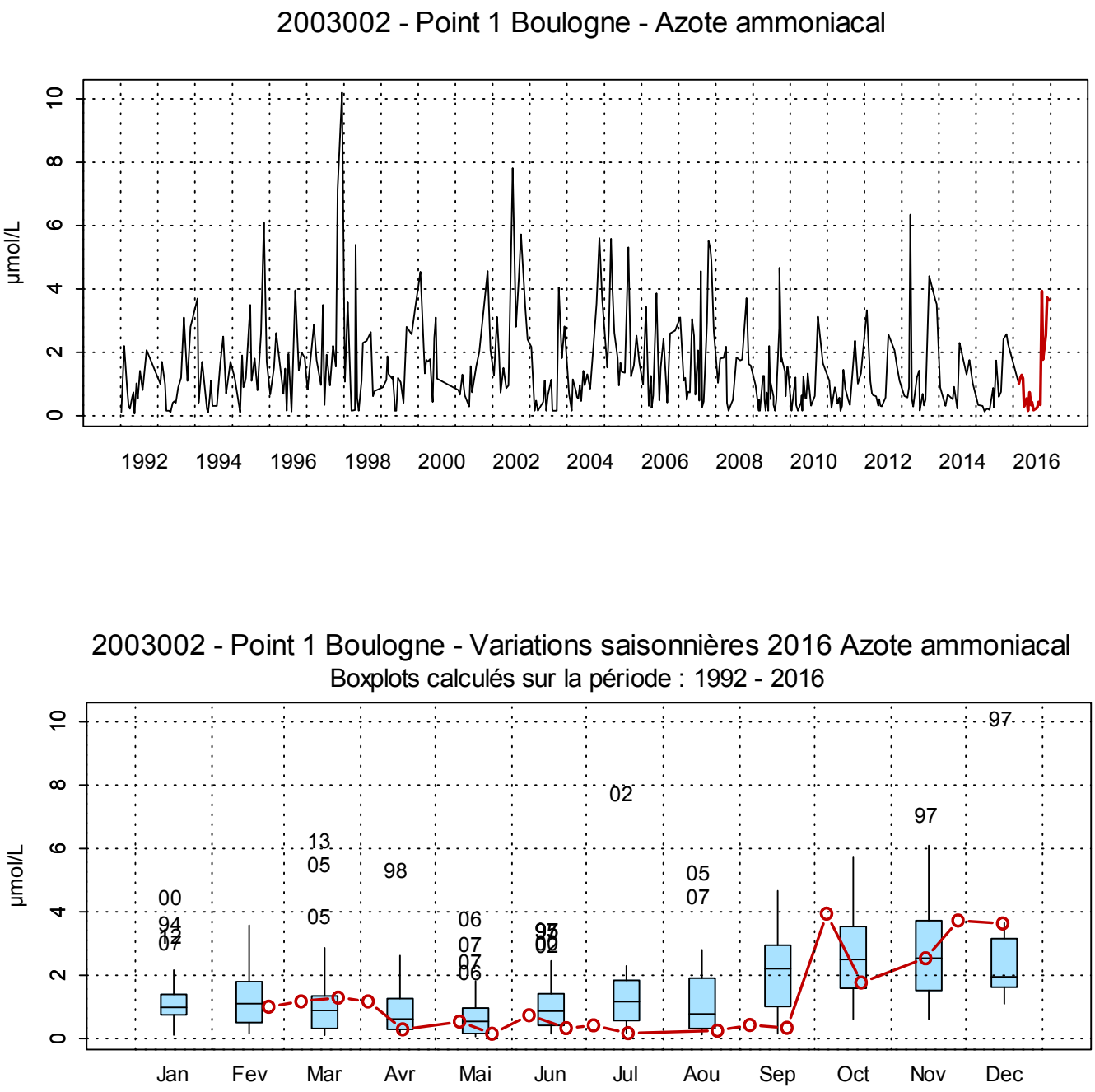
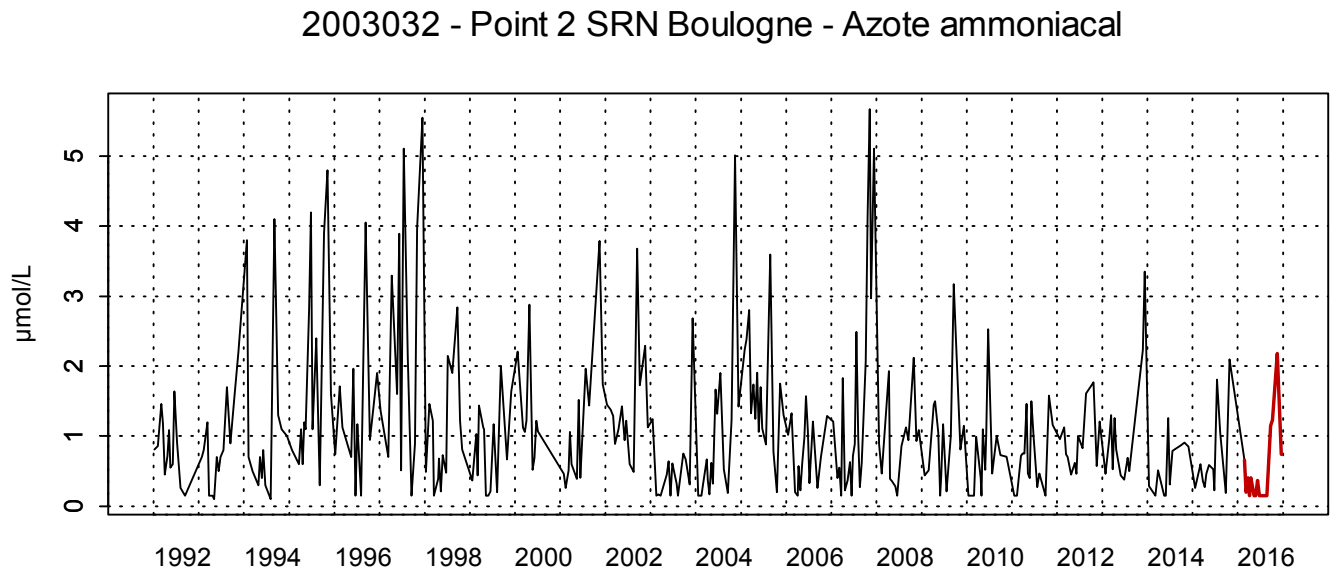


Figure 57. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en ammonium (µmol/L) pour le point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2016



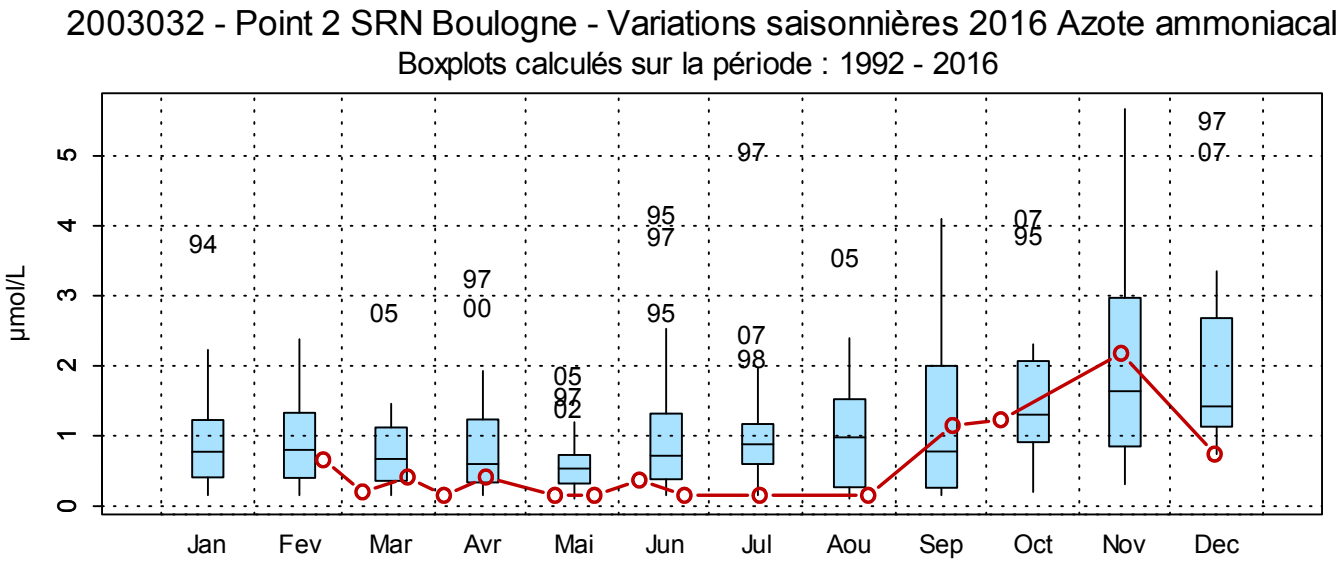


Figure 58. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en ammonium (µmol/L) pour le point 2 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2016

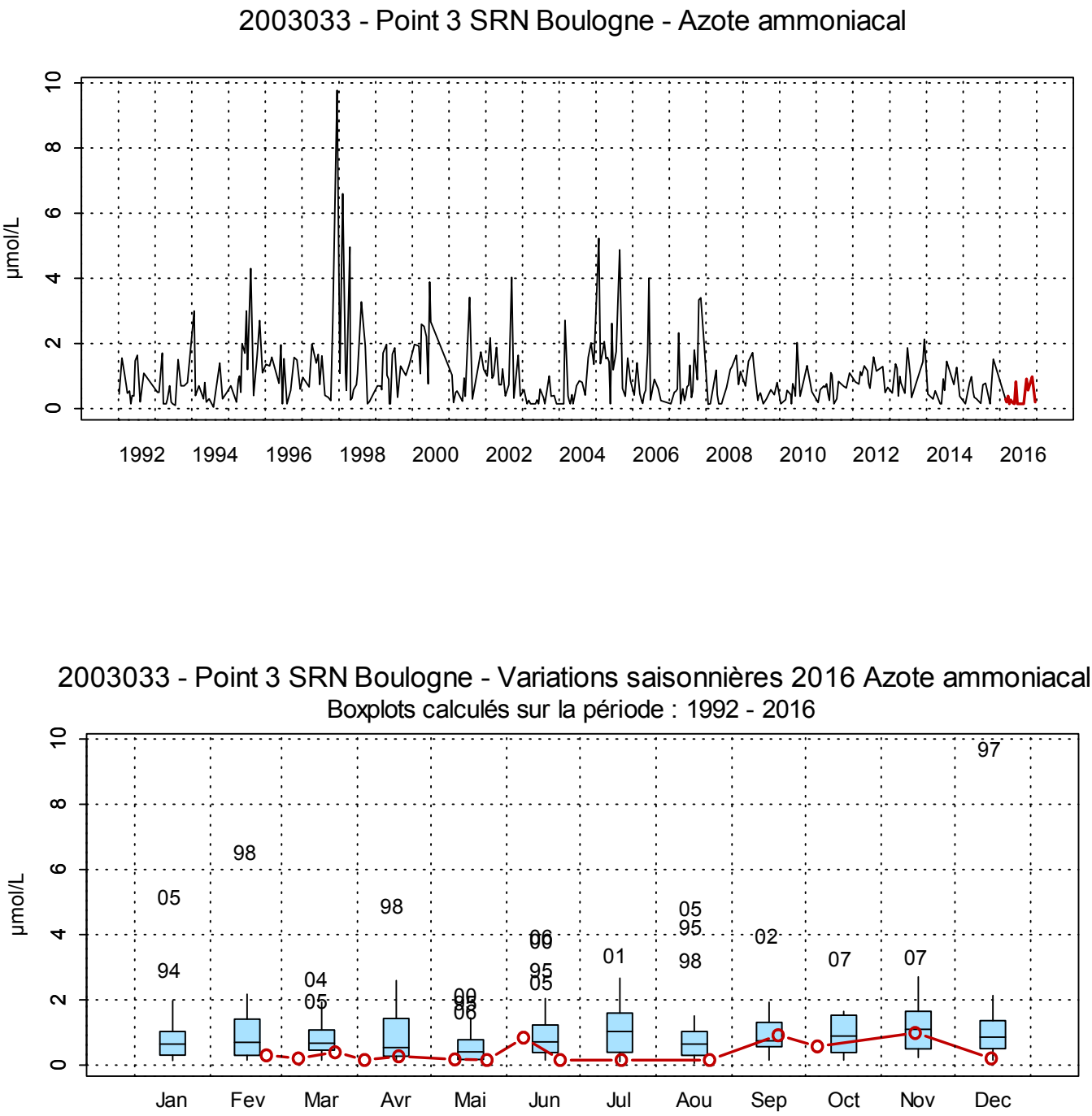


Figure 59. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en ammonium (µmol/L) pour le point 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2016

- ***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 en nitrite et en nitrate et pas seulement le nitrite. La dynamique saisonnière classique se caractérise par des concentrations faibles au printemps et en été, puis elles sont fortes en automne et hiver suite aux apports des eaux continentales (Figures 60 à 62).

Depuis 1992, la concentration en nitrite-nitrate est en moyenne de 7,16 µmol/L pour le point 1, 6,16 µmol/L pour le point 2 et 5,52 µmol/L pour le point 3 (Tableau 37). Des valeurs exceptionnelles s'observent en janvier 1994 (43,8 µmol/L ; 44,4 µmol/L et 39,7 µmol/L de la côte vers le large) (Tableau 37). Les valeurs les plus fortes sont obtenues en janvier 1994 et en mars 2002 pour le point 1 ; en janvier 1994 pour le point 2 ; en janvier 1994 et février 2009 pour le point 3 (Figures 60 à 62).

En 2016, les concentrations varient entre 0,15 µmol/L et 20,4 µmol/L avec une moyenne de 4,21 µmol/L sur les trois points de la radiale (Tableau 38). Les maxima se trouvent en février pour le point 1 (20,4 µmol/L) et en avril pour le point 2 et 3 (12,7 µmol/L et 14,6 µmol/L de la côte vers le large) (Tableau 38 et Figures 60 à 62). L'absence de données en janvier ne permet pas d'avoir des maxima complètement fiables.

Le gradient de large-côte varie entre -12,11 et 13,67 µmol/L. Globalement, les concentrations sont plus hautes près des côtes sauf durant la période productive (avril en l'occurrence) et durant l'été (juillet-août) (Annexe 1).

Tableau 37. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en nitrite et en nitrate (µmol/L) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BL1	0,15	0,55	2,14	7,16	9,17	12,1	43,8	346	203
BL2	0,15	0,39	1,77	6,16	7,64	11,3	44,4	326	30
BL3	0,15	0,40	2,05	5,52	7,28	9,08	64,6	318	33

Tableau 38. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en nitrite et en nitrate (µmol/L) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BL1	0,60	0,60	1,39	4,90	6,34	8,97	20,4	19	1
BL2	0,15	0,31	1,97	4,23	4,78	8,85	12,7	15	1
BL3	0,15	0,15	1,42	3,51	4,27	5,87	14,6	15	1

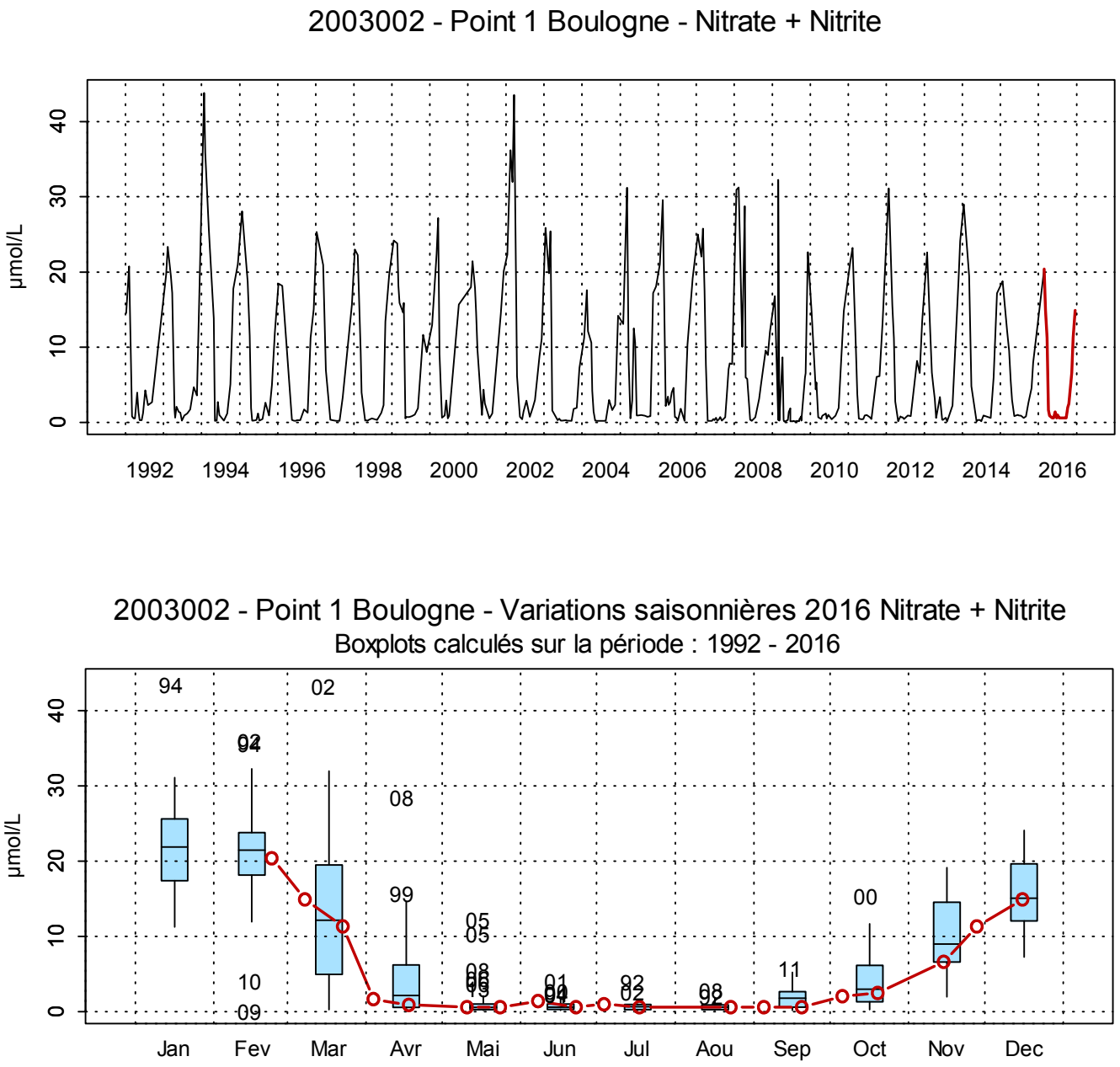


Figure 60. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait noir) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en nitrite et en nitrate (µmol/L) pour le point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2016

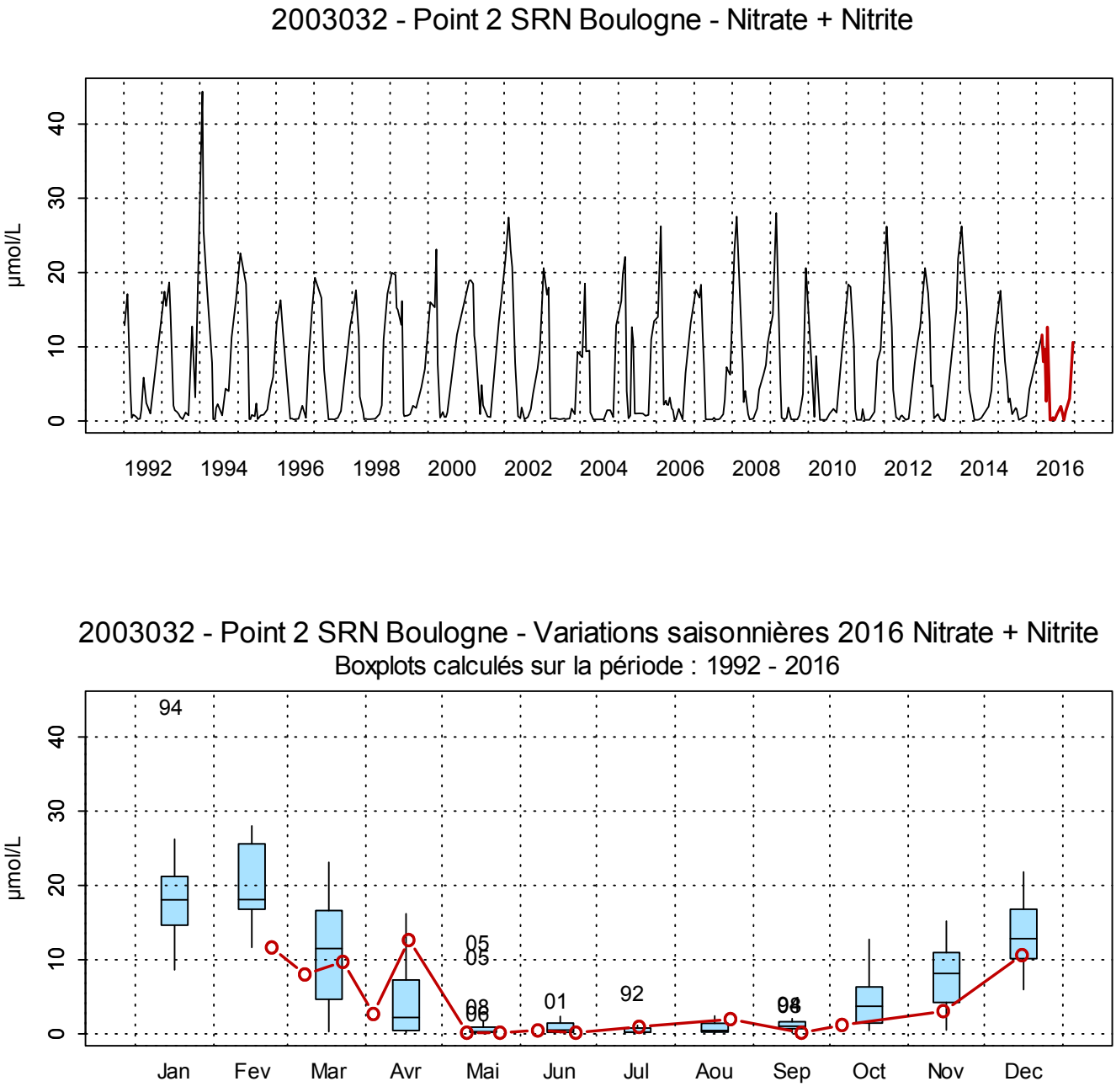


Figure 61. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en nitrite et en nitrate (µmol/L) pour le point 2 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2016

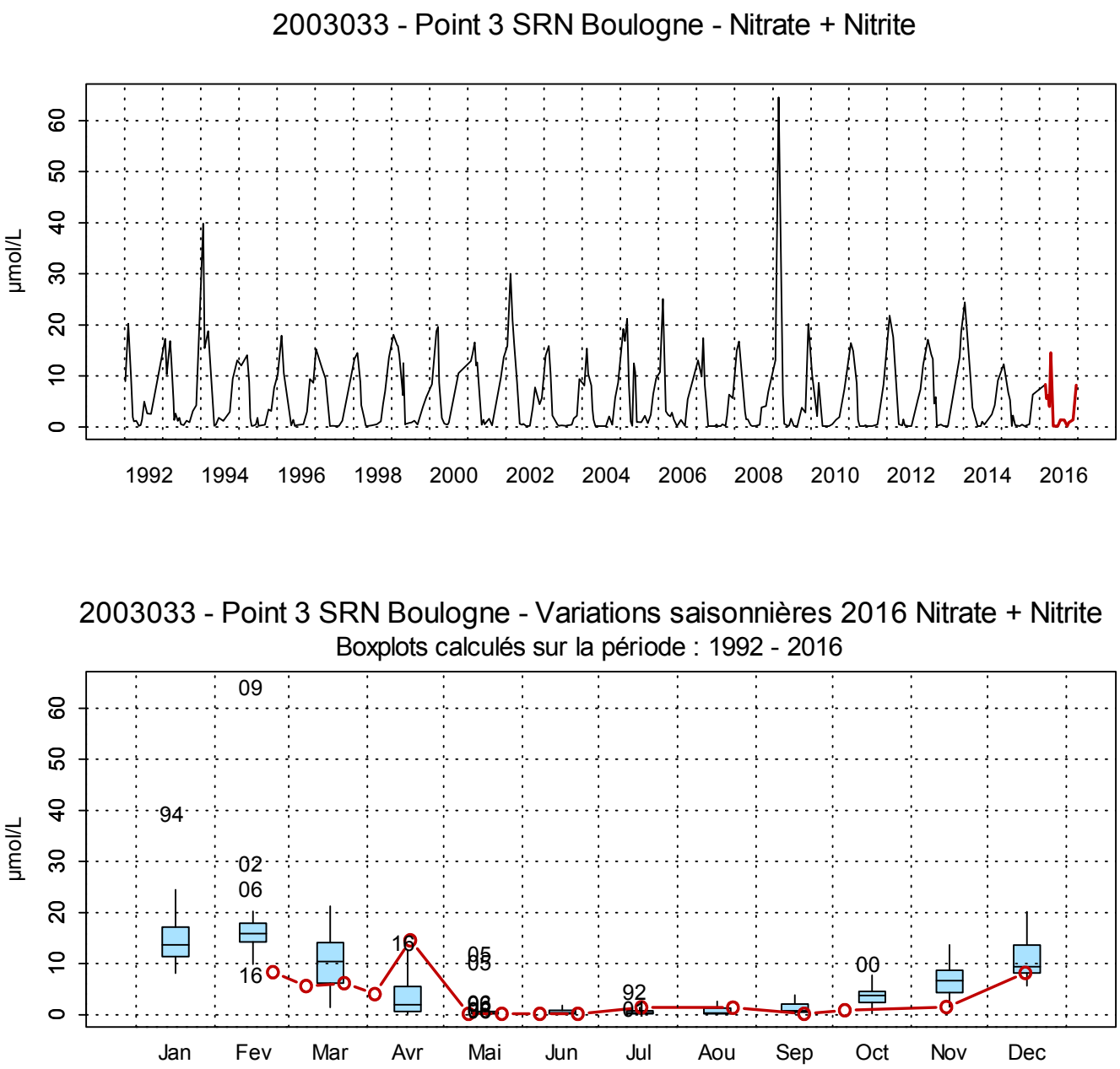


Figure 62. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en nitrite et en nitrate (µmol/L) pour le point 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2016

- ***Phosphate***

Depuis 1992, la dynamique saisonnière est marquée par des concentrations plus faibles au début du printemps et en été tandis qu'elles sont plus importantes durant les autres périodes (Figures 64 à 66). La chute du phosphate est due au développement du phytoplancton durant la période productive (mars-avril-mai). En moyenne, les valeurs sont de 0,44 µmol/L (Tableau 41). Les concentrations les plus élevées s'observent en janvier et février 1993 pour le point 1 ; en janvier 1993 et en février 2009 pour le point 2 ; en janvier 1993 puis en juin 2008 pour le point 3 (Figures 64 à 66).

Les concentrations en phosphate en 2016 sont inférieures à celles relevées depuis 1992. En effet, la moyenne des concentrations pour l'ensemble de la radiale en 2016 est de 0,16 µmol/L (Tableau 42). Globalement, pour tous les points, les valeurs sont inférieures à la médiane voire inférieures au 3^{ième} quartile durant les mois d'août à décembre (Figures 64 à 68). L'ensemble des valeurs sont comprises entre 0,05 µmol/L et 0,60 µmol/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 0,22 µmol/L en septembre et au minimum la valeur de -0,38 µmol/L en février (Annexe 1).

Tableau 41. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en phosphate (µmol/L) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BL1	0,05	0,14	0,30	0,44	0,42	0,64	3,10	350	199
BL2	0,05	0,14	0,34	0,45	0,39	0,67	2,40	329	27
BL3	0,04	0,16	0,36	0,43	0,36	0,61	2,30	322	29

Tableau 42. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en phosphate (µmol/L) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BL1	0,09	0,16	0,18	0,25	0,16	0,28	0,60	19	1
BL2	0,05	0,08	0,13	0,19	0,13	0,30	0,39	15	1
BL3	0,05	0,07	0,18	0,18	0,11	0,26	0,38	15	1

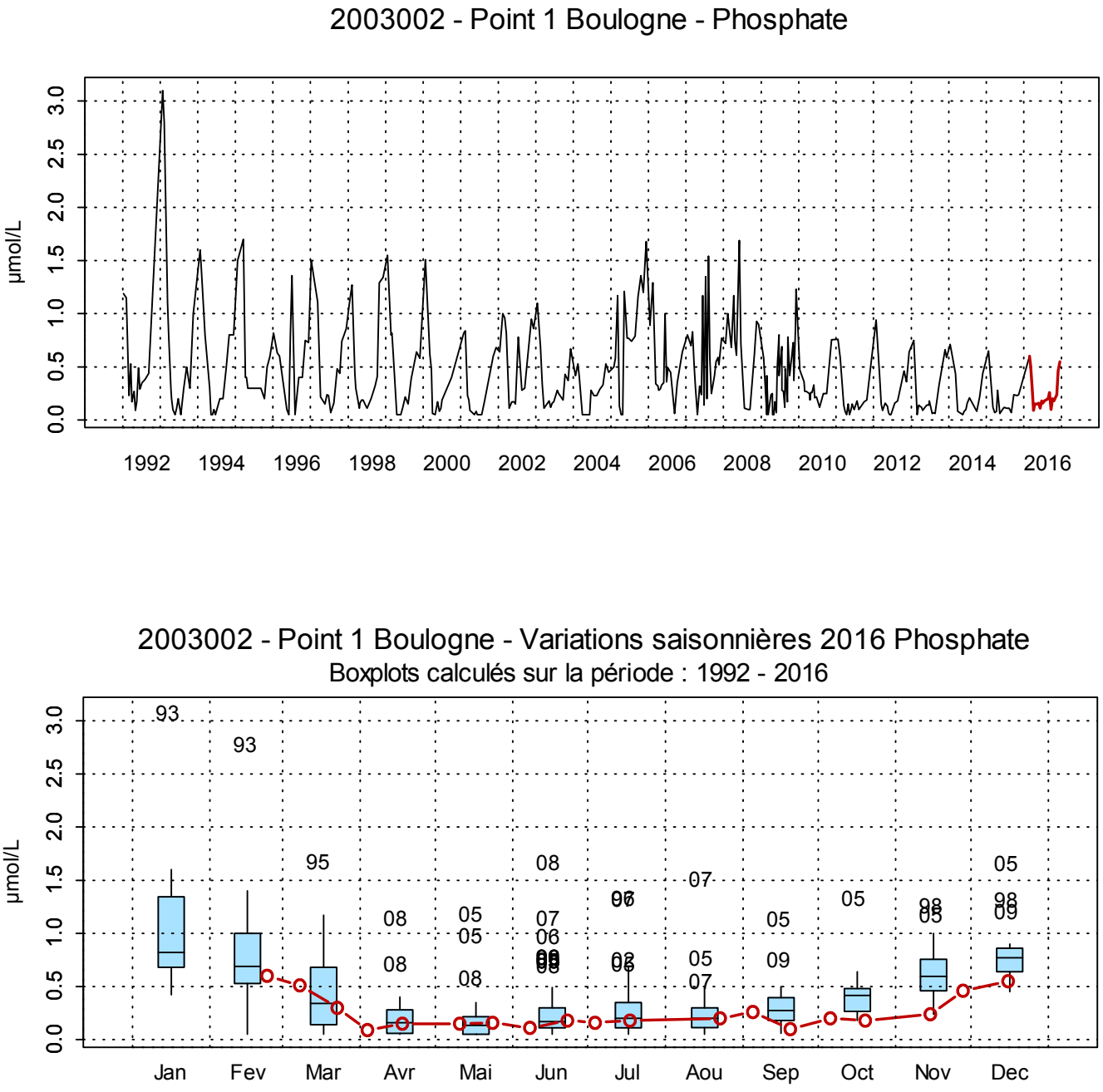


Figure 63. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en phosphate (µmol/L) pour le point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2016

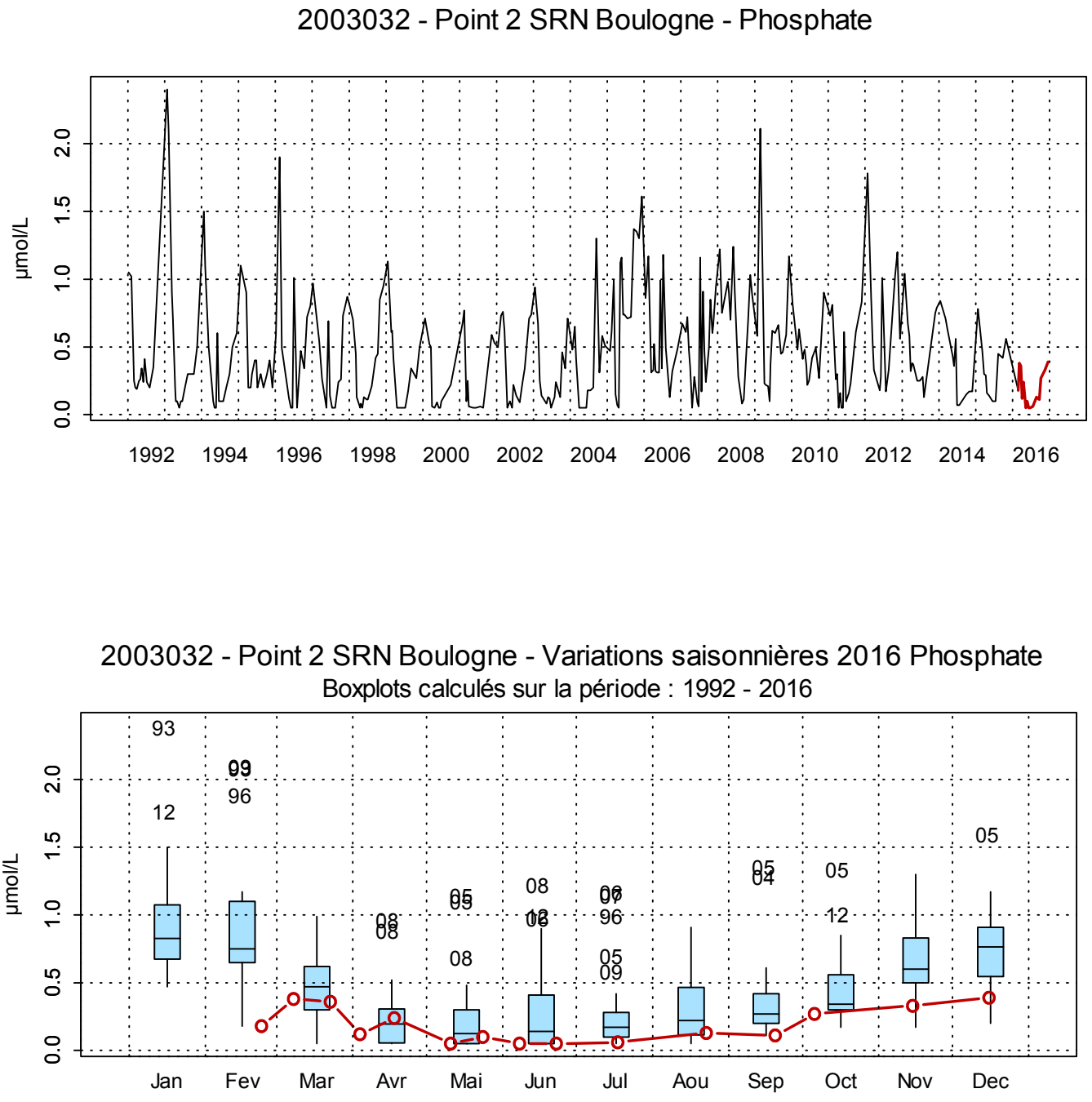
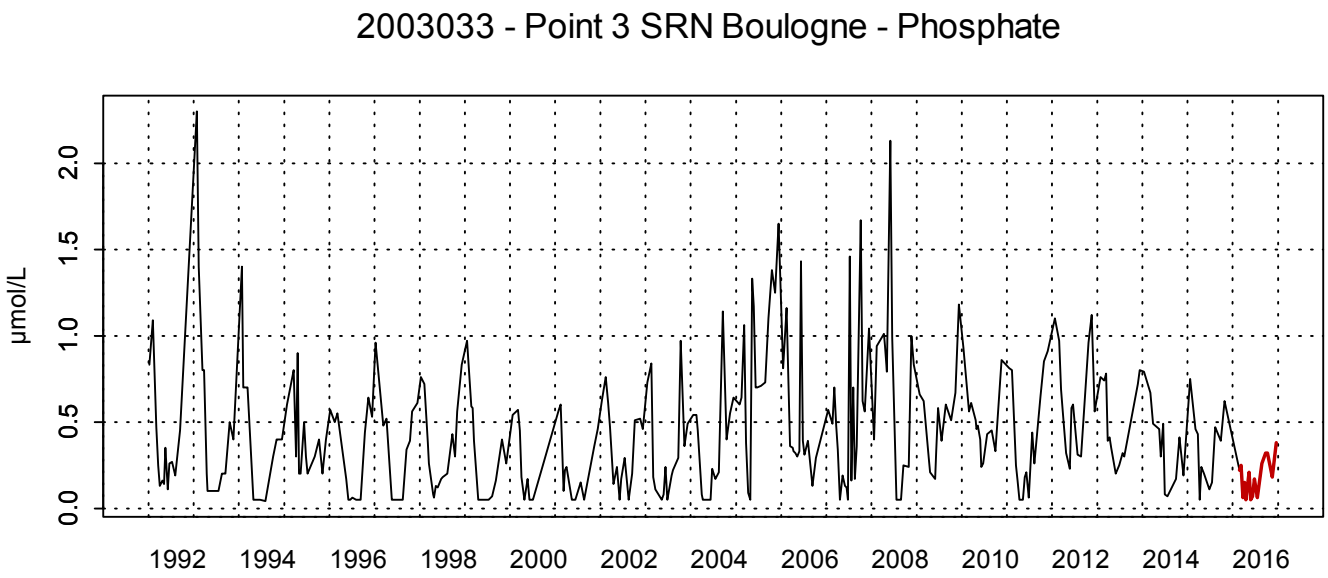


Figure 64. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en phosphate (µmol/L) pour le point 2 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2016.



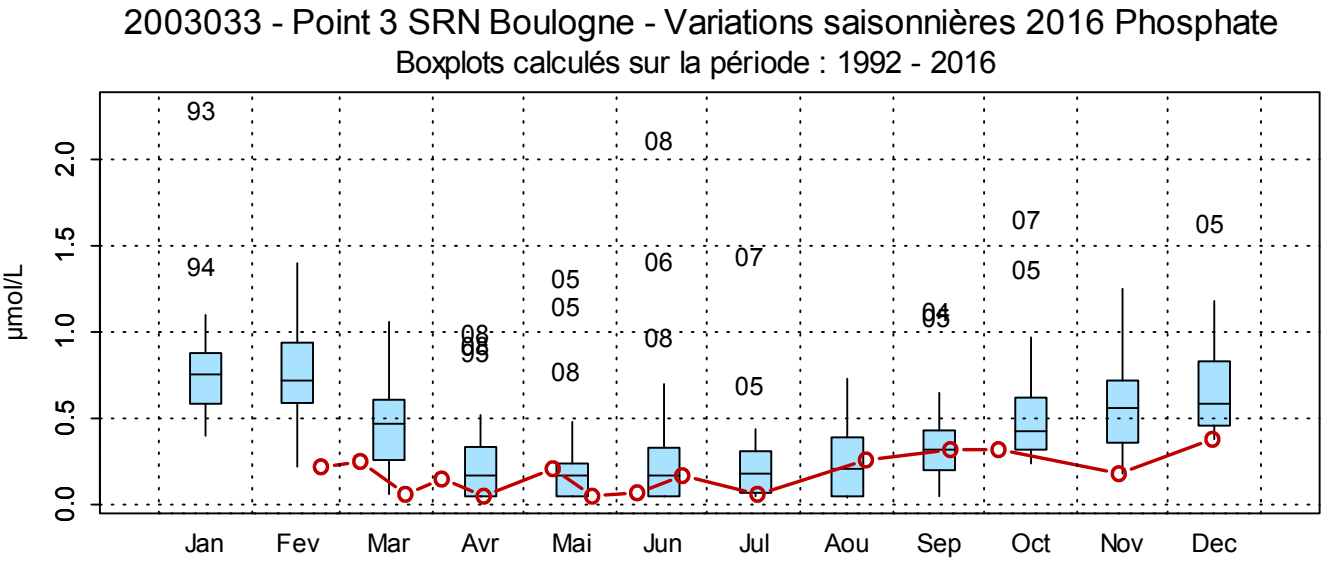


Figure 65. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en phosphate (µmol/L) pour le point 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2016

- ***Silicate***

La concentration en silicate sur la radiale de Boulogne-sur-Mer depuis 1992 est en moyenne de 2,75 µmol/L (Tableau 43). La variabilité est assez importante puisque des valeurs exceptionnelles sont observables comme en 2009 (au point 1 : en mars avec 19,0 µmol/L). Les concentrations les plus élevées sont obtenues en mars en 2007 et en mars en 2009 pour le point 1 ; en janvier 1994 et en mars 2007 pour le point 2 ; en janvier 1994 et en février 2002 pour le point 3 (Figures 67 à 69). La dynamique saisonnière est marquée par des faibles concentrations au printemps et en été et des concentrations importantes en automne et en hiver (Figures 67 à 69). Ce cycle est semblable à celui du phosphate.

En 2016, la concentration en silicate est en moyenne de 2,09 µmol/L. Les minima sont similaires de ceux observés depuis 1992 (0.10 µmol/L pour les points 1, 2 et 3 en juin-juillet). Les maxima sont inférieurs à ce qui est mesuré habituellement : 9,41 µmol/L ; 7,13 µmol/L ; 6,24 µmol/L en 2016 contre 19,0 µmol/L, 18,9 µmol/L et 16,5 µmol/L de la côte vers le large (Tableaux 43 et 44). Des valeurs sont supérieures au 3ème quartile début mars pour les points 1 et 2, en novembre pour le point 1 et en juillet pour le point 2.

Le gradient de concentration large-côte varie de -4,6 à 1,85 µmol/L. Les valeurs alternent entre le positif et le négatif avec une tendance à tendre vers une concentration en silicate plus forte près des côtes (plus de négatifs que de positifs) (Annexe 1).

Tableau 43. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en silicate (µmol/L) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BL1	0,10	0,28	1,58	3,23	3,96	4,38	19,0	348	201
BL2	0,10	0,10	1,43	2,63	3,20	3,85	18,9	327	29
BL3	0,10	0,10	1,52	2,39	2,87	3,47	16,5	320	31

Tableau 44. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en silicate (µmol/L) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BL1	0,10	0,37	0,76	2,46	3,04	3,54	9,41	19	1
BL2	0,10	0,36	2,12	2,13	2,00	3,01	7,13	15	1
BL3	0,10	0,35	1,62	1,68	1,65	2,40	6,24	15	1

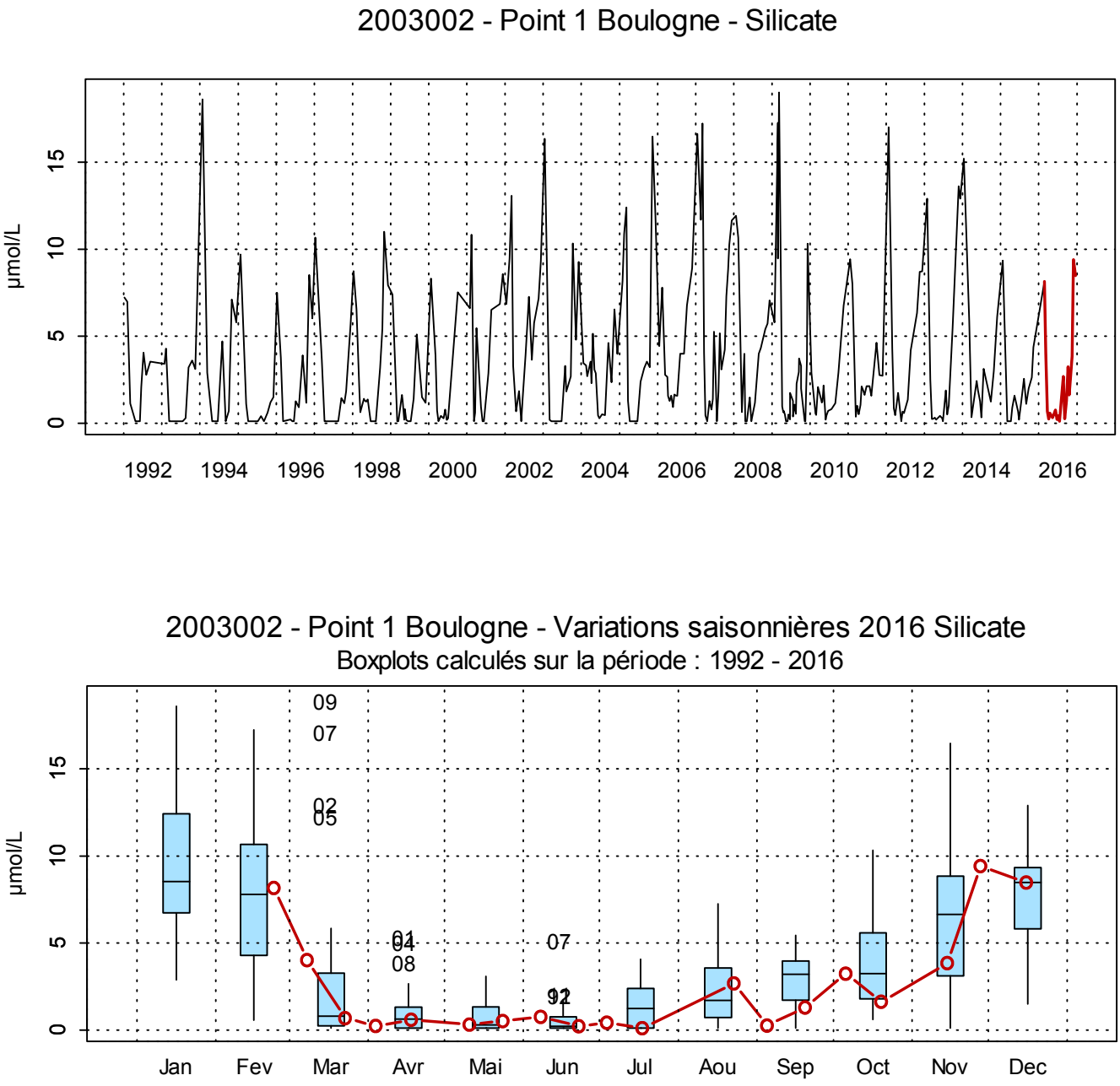


Figure 66. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en silicate (µmol/L) pour le point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2016

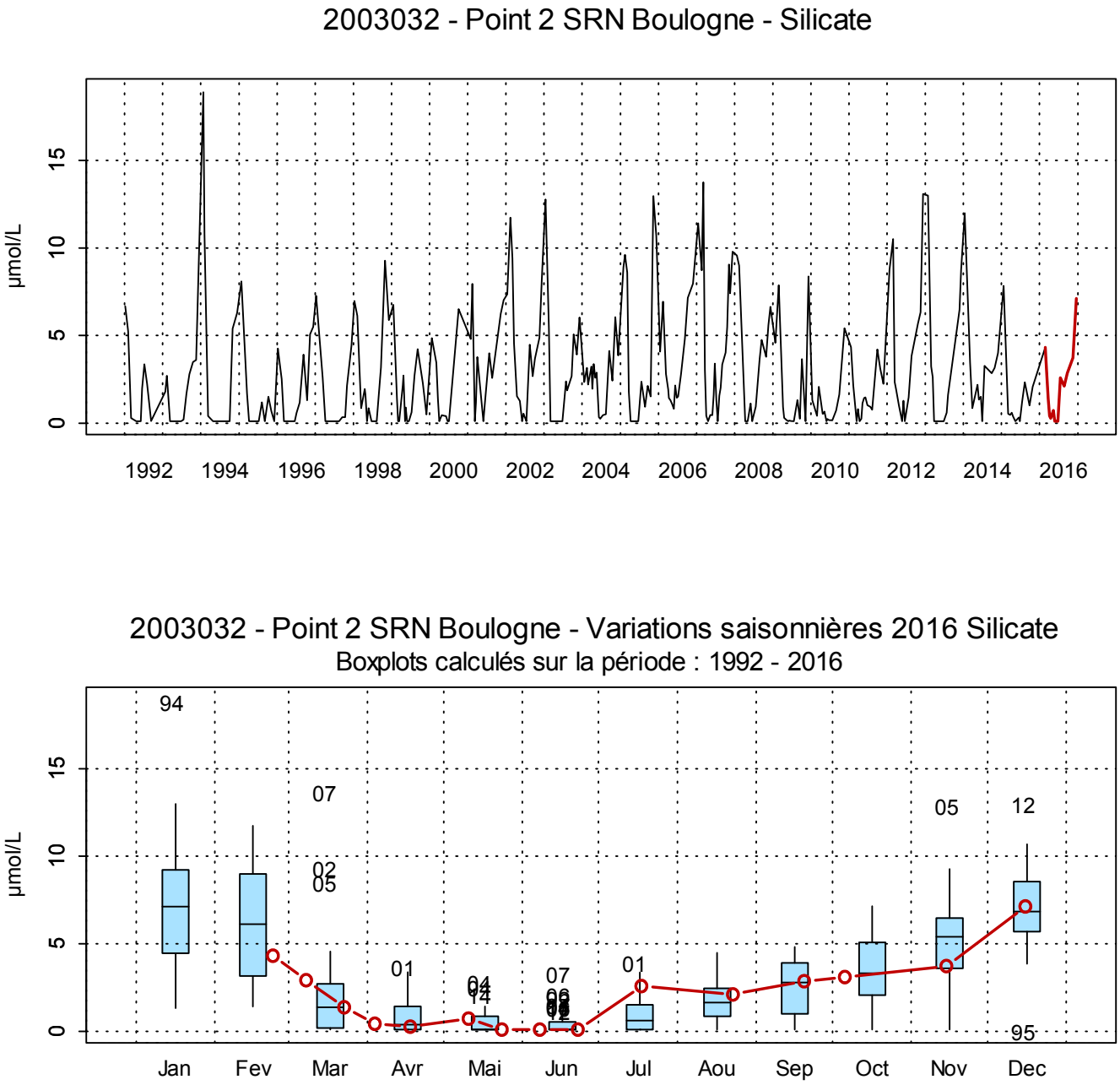


Figure 67. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en silicate (µmol/L) pour le point 2 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2016

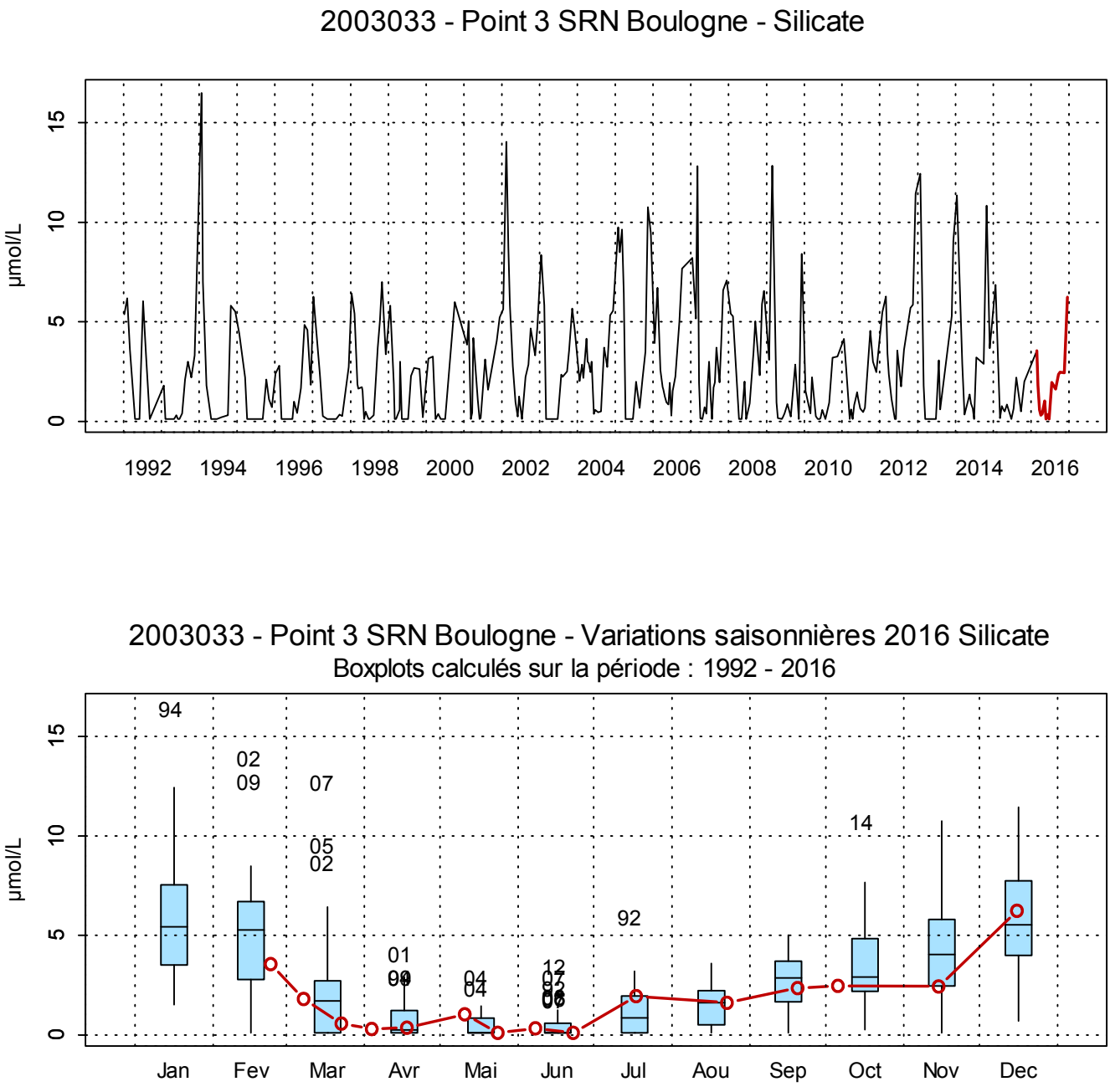


Figure 68. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en silicate (µmol/L) pour le point 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2016.

- ***Oxygène dissous***

L'oxygène dissous présente un cycle saisonnier. En effet, sa concentration est plus élevée de novembre à avril et elle diminue de mai à octobre (Figure 63). En 2007, des valeurs extrêmes ont pu être observées pour plusieurs mois sur le point 1 (juin, juillet, octobre et novembre) (Figure 63).

En 2016, la fluctuation de l'oxygène dissous n'a pas beaucoup évolué pour les points. Elle n'a pas montré de valeur anormale par rapport à la période 2007-2015 mis à part une petite baisse début octobre (Figure 63). Les valeurs de la médiane sont légèrement supérieures à la période 1992-2015 (8,67 à 8,88 mg/L en 2016 contre 8,52 à 8,69 mg/L pour la radiale de Dunkerque) (Tableaux 39 et 40). L'année 2016 est comparable à l'année 2010 et 2012 avec pratiquement les mêmes fluctuations (Figure 63). Entre septembre et avril, les valeurs sont principalement inférieures à la médiane voire même au 1er quartile.

Le gradient large-côte varie très peu (-0,44 à 0,64 mg/L). Il y a pratiquement une variation positive-négative tous les changements de mois. Il n'est donc pas possible de dire si l'oxygène dissous est davantage présent au niveau des côtes ou au niveau du large (Annexe 1).

Tableau 39. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en oxygène dissous (mg/L) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BL1	2,27	7,91	8,69	8,93	1,51	10,1	12,5	140	409
BL2	7,32	7,98	8,52	8,80	1,07	9,56	10,6	21	335
BL3	7,22	7,95	8,54	8,75	0,96	9,23	9,23	21	330

Tableau 40. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en oxygène dissous (mg/L) pour la radiale de Dunkerque en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BL1	7,19	8,00	8,72	8,74	0,99	9,41	10,8	19	1
BL2	7,24	7,96	8,67	8,75	0,96	9,53	10,6	15	1
BL3	7,56	8,49	8,88	8,96	0,85	9,45	10,4	15	1

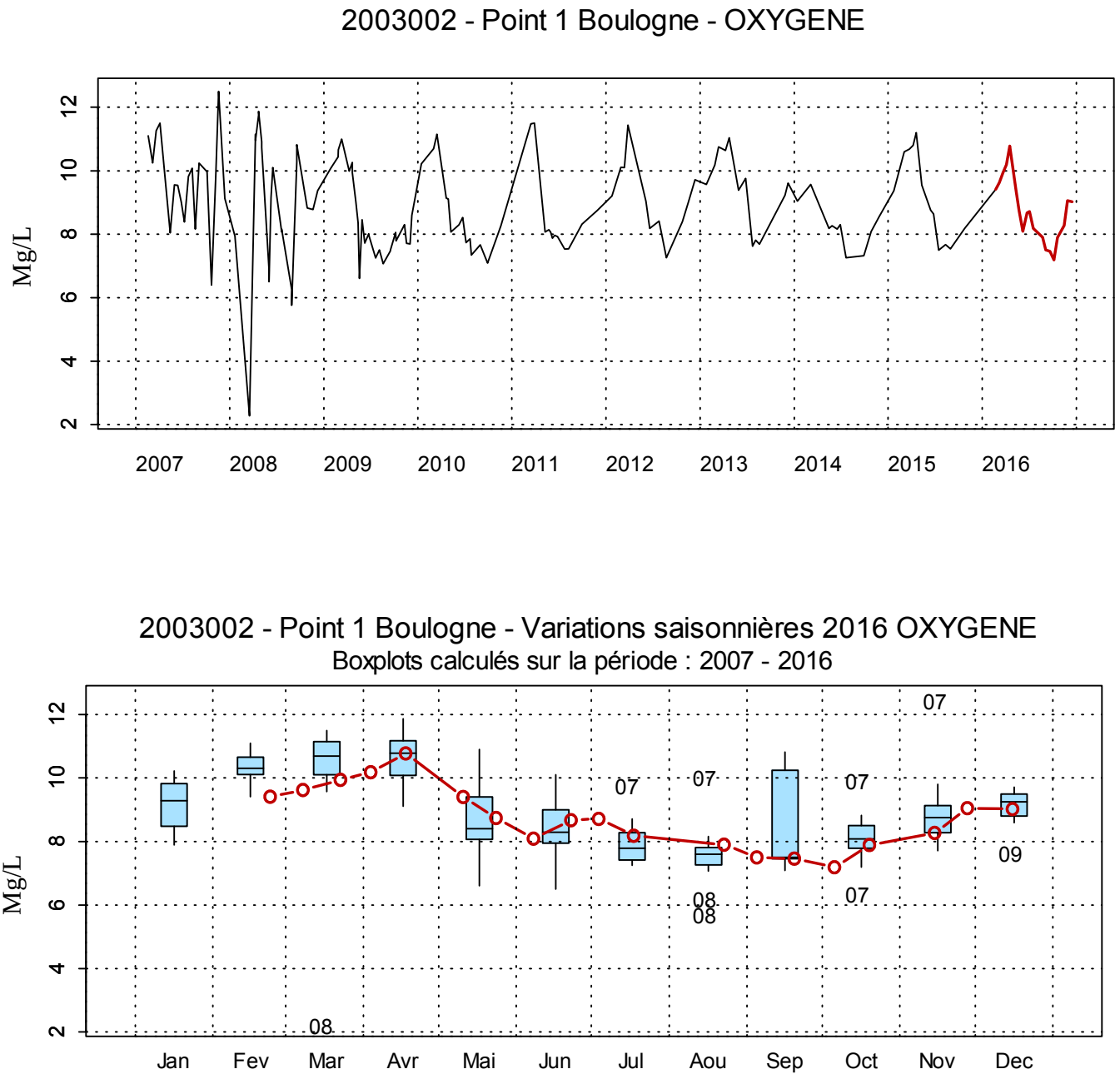


Figure 69. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en oxygène dissous (mg/L) pour le point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 2007-2016

- ***Limitation par les nutriments***

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

Point 1 :

En ce qui concerne le point 1, pratiquement tous les mois se retrouvent avec une limitation de type SI, P, N et SI, N, P. Le silicate est limitant pour le développement du phytoplancton.

Cependant, pour la fin de la période estivale (août-septembre), la limitation est de type N, SI, P et pour le mois de novembre, la limitation à tendance à être de type P, SI, N.

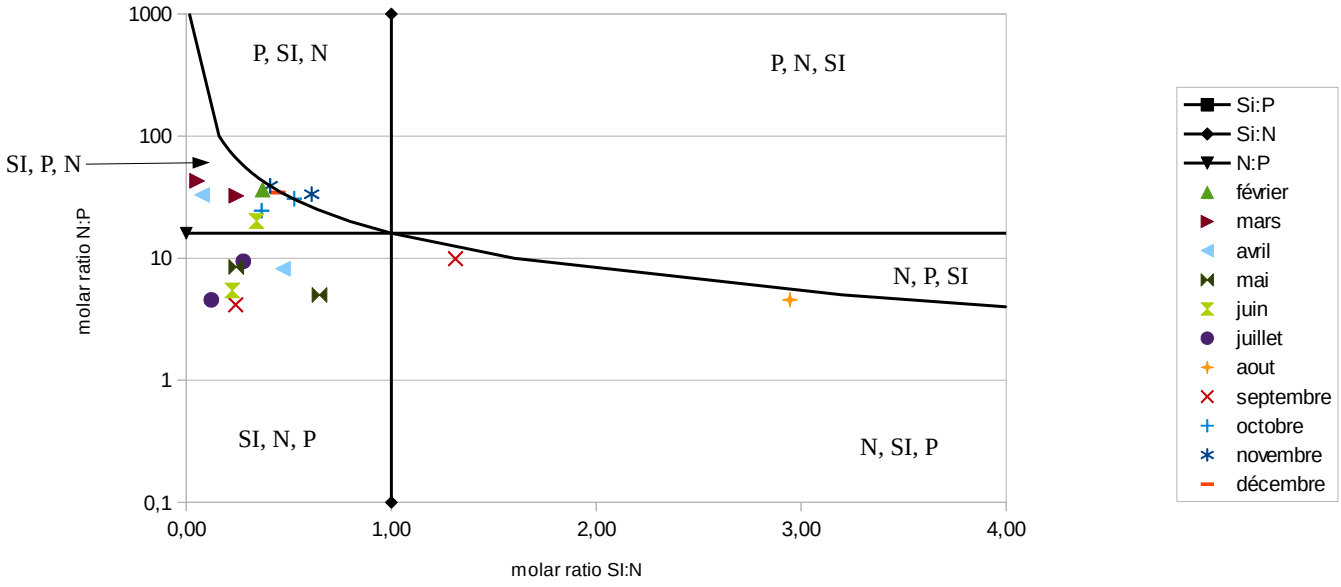


Figure 70. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2016

Point 2 :

En 2016, le point 2 se caractérise également 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 majoritairement limité par le silicate (SI, N, P et SI, P, N), sauf pour quelques échantillons : mai et octobre avec une limitation de type N, SI, P ; septembre avec une limitation de type N, P, SI ; juillet et décembre avec une limitation en phosphate.

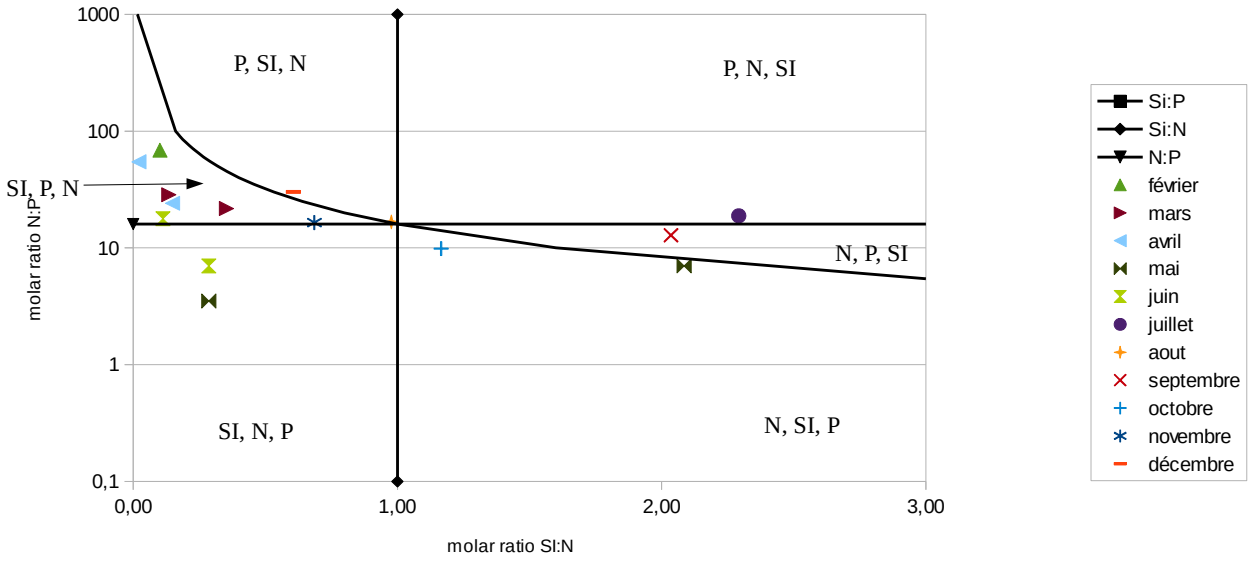


Figure 71. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point 2 de la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2016

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 pour un relevé en mai et durant l'automne : septembre, octobre (N, Si, P). Le phosphate quant à lui est limitant durant le mois de juillet (P, N, SI).

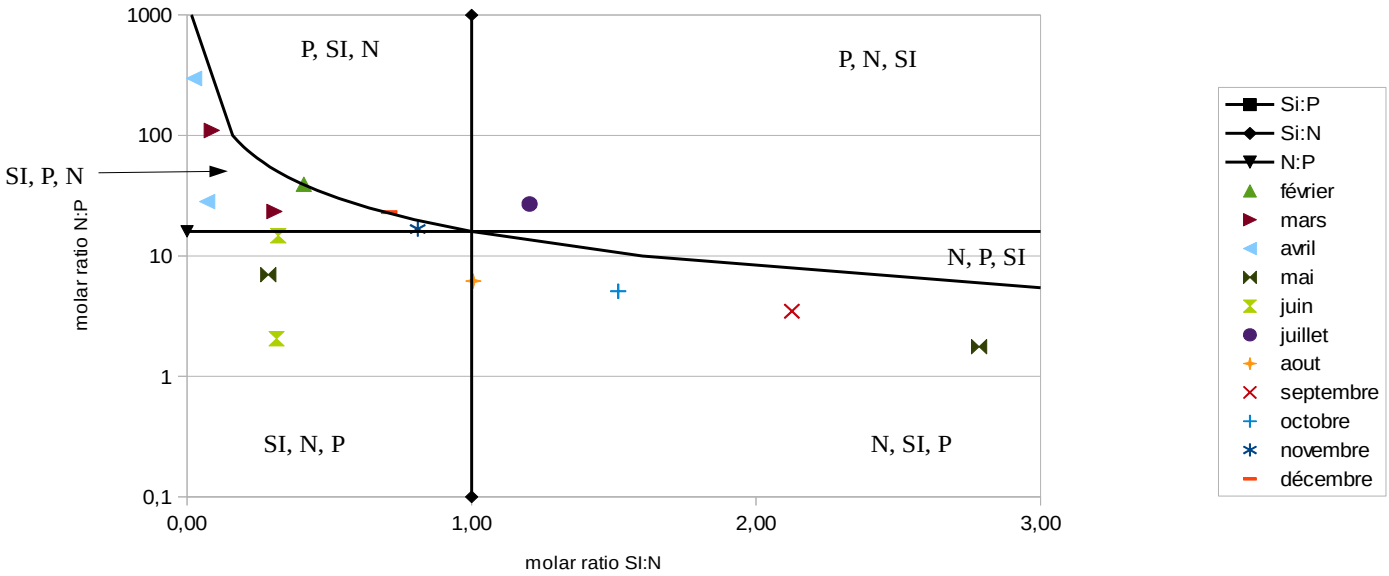


Figure 72. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2016

- ***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 (0,01 µg/L au minimum en août 1992 au point 1 ; 29,6 µg/L au maximum en avril 1994 au point 1) (Tableau 45). Les concentrations les plus élevées en chlorophylle-*a* sur la radiale de Boulogne-sur-Mer depuis 1992 sont de 29,6 µg/L, 19,2 µg/L, 16,3 µg/L de la côte vers le large. Les valeurs augmentent globalement considérablement en début de saison (mars-avril) pour revenir à de faibles niveaux en toute fin d'année (Tableau 45 et Figures 73 à 75).

Pour l'année 2016, les concentrations les plus élevées en chlorophylle-*a* sont légèrement plus faibles que celles relevées depuis 1992 (respectivement : 10,5 µg/L, 5,90 µg/L, 4,93 µg/L) (Tableau 46). Au point 1, des valeurs sont parfois supérieures à la médiane voire supérieures au 3ème quartile (fin juin à septembre) mais aussi inférieures à la médiane (avril à début juin) voire au 1er quartile (février, début juin, début octobre). Aux points 2 et 3, le même phénomène apparaît, des valeurs sont supérieures à la médiane (fin mars, juillet à septembre au point 2 et début avril au point 3) voire supérieures au 3ème quartile (juillet-août aux points 2 et 3) mais aussi inférieures à la médiane (début mars, avril au point 2 et mars, fin avril au point 3) voire au 1er quartile (mai, début juin, octobre au point 2 et mai, début juin, octobre au point 3) (Figures 73 à 75).

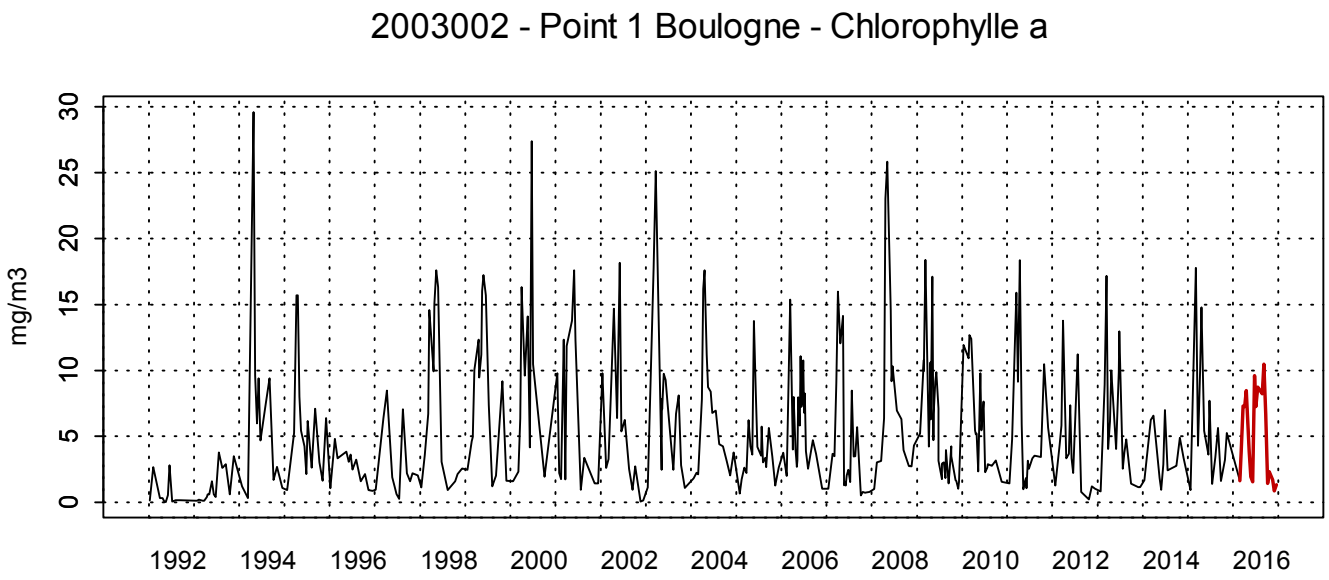
Le gradient large-côte est globalement négatif (jusqu'à -7,94 µg/L en juin) indiquant une concentration en chlorophylle-*a* plus forte en zone côtière (Annexe 1).

Tableau 45. 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 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BL1	0,01	1,77	3,61	5,51	5,14	7,80	29,6	366	183
BL2	0,05	2,42	4,78	3,65	3,60	1,20	19,2	324	32
BL3	0,02	0,80	1,39	2,26	2,43	2,70	16,3	315	36

Tableau 46. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en chlorophylle-*a* (µg/L) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BL1	0,85	1,69	3,89	4,98	3,35	7,77	10,5	19	1
BL2	0,83	1,16	2,45	2,77	1,81	4,40	5,90	15	1
BL3	0,55	1,04	1,41	1,76	1,19	2,04	4,93	15	1



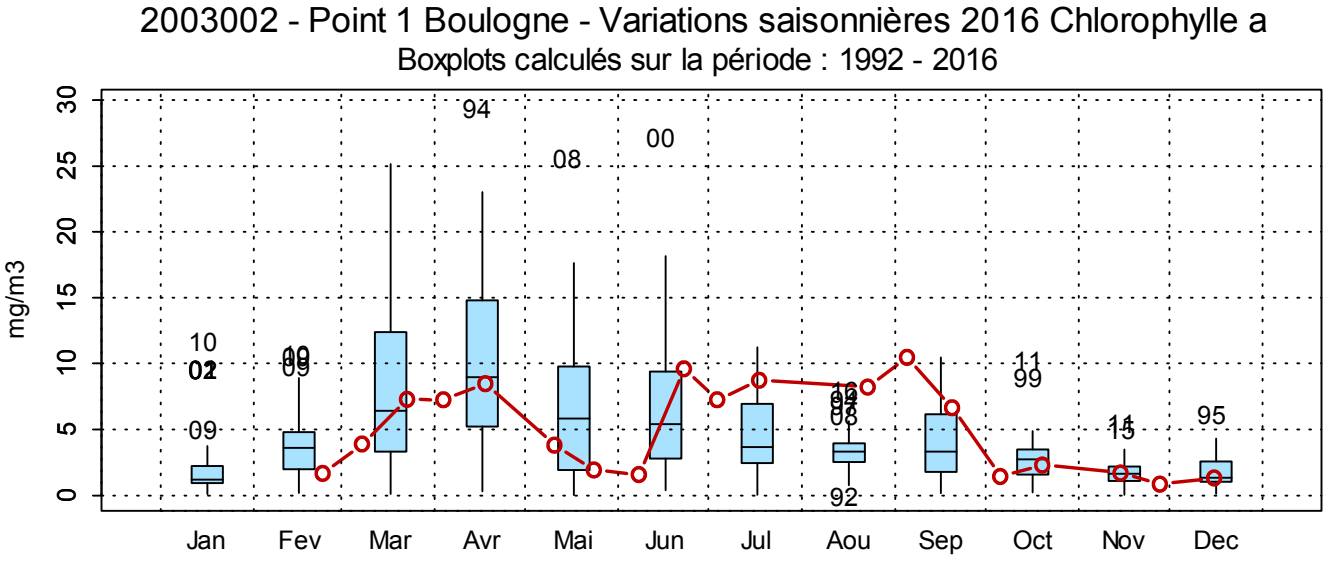


Figure 73. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2015 en rouge) de la concentration en chlorophylle-*a* (mg/m^3) pour le point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2016

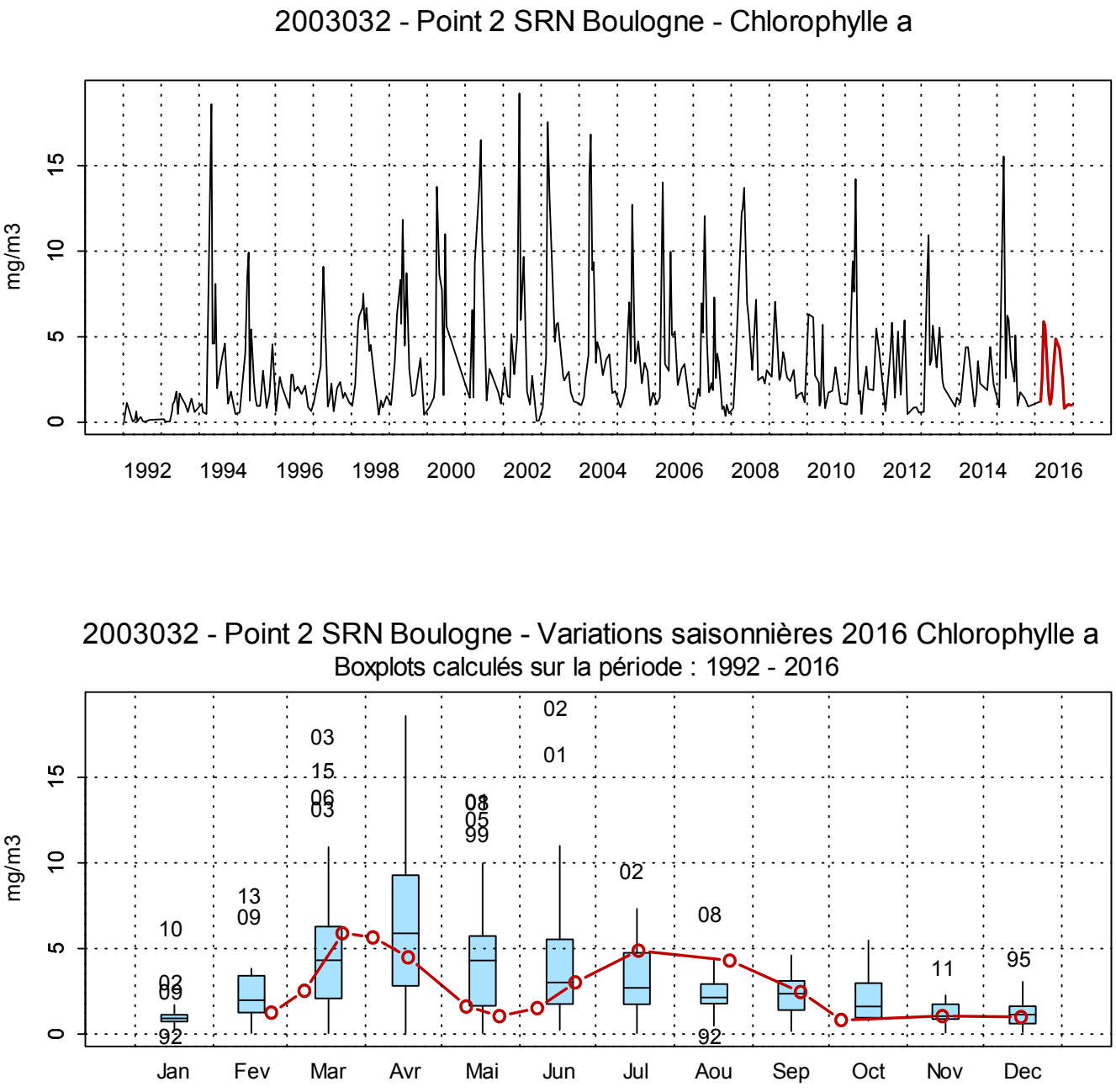


Figure 74. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en chlorophylle-*a* (mg/m^3) pour le point 2 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2016

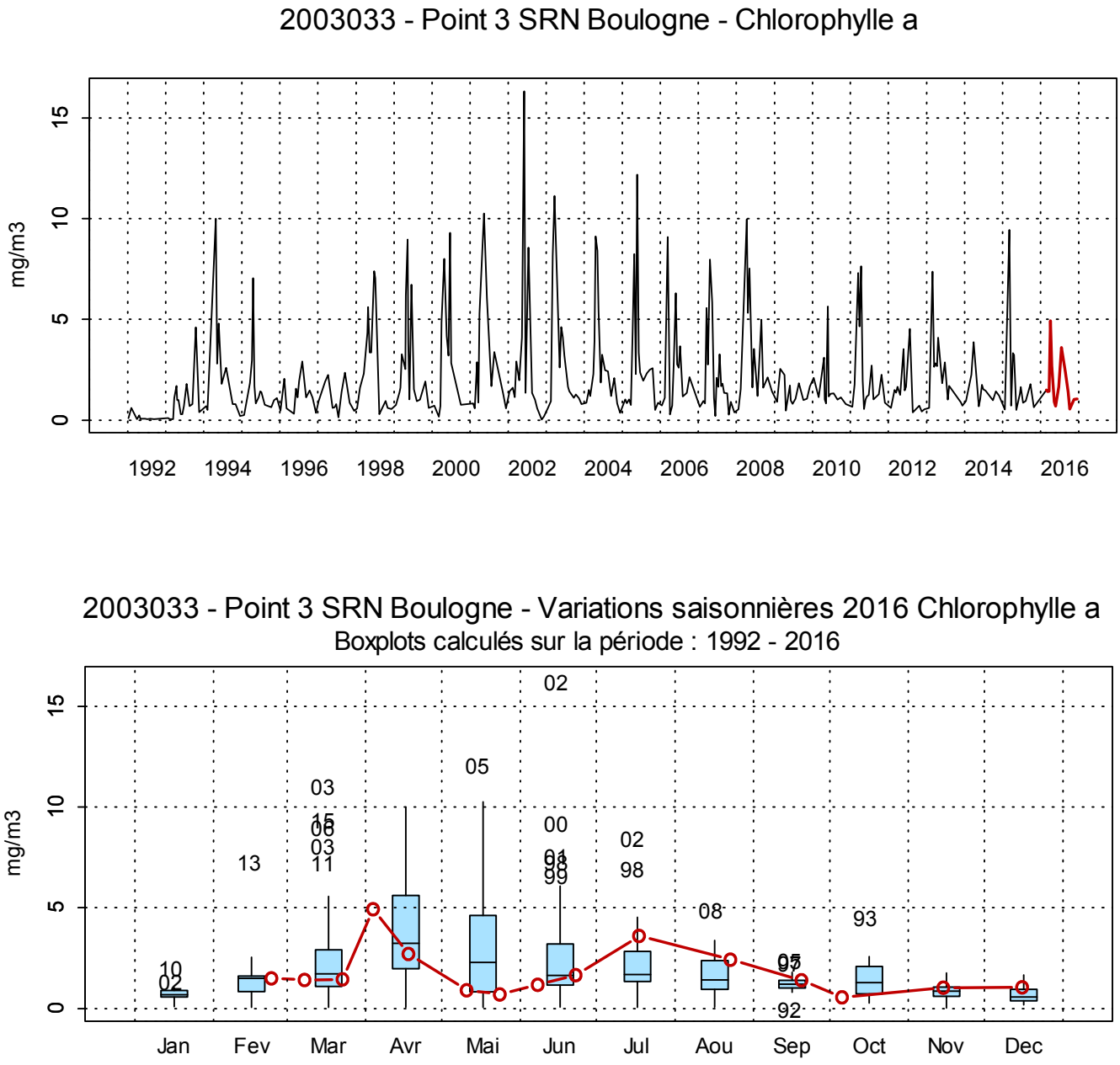


Figure 75. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en chlorophylle-*a* (µg/L) pour le point 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2016

3.1.3. La Baie de Somme

- ***Température***

Les températures pour la radiale de la Baie de Somme sont en moyenne de 12,75 °C depuis 1992 (Tableau 47). La variabilité est importante d'une année à l'autre. Les valeurs sont généralement comprises entre 2,00 °C et 22,9 °C depuis 1992. Cependant, des valeurs extrêmes sont observées (en avril 2013 à tous les point). 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 76 à 79).

En 2016, les températures sont globalement égales à celles mesurées depuis 1992 (en moyenne 12,88 °C pour la radiale). Les valeurs sont comprises entre 7,00 °C et 20,6 °C (Tableau 48). Au point Bif, des valeurs sont supérieures au 3^{ième} quartile (juin, juillet et début septembre) mais aussi inférieures à la médiane (début mars, début avril et août). Aux points Mimer, Atso et Mer 2, le même phénomène apparaît, des valeurs sont supérieures à la médiane (fin avril, mai, juin, décembre aux points Mimer, Atso et Mer 2 et en juillet en Atso) voire supérieures au 3^{ième} quartile (février et septembre pour les trois points) mais aussi inférieures à la médiane pour plusieurs mois voire au 1er quartile (début juin et novembre aux points Mimer, Atso et Mer 2) (Figures 76 à 79).

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 -0,8 °C à 0,7 °C (Annexe 1).

Tableau 47. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la température (°C) pour la radiale de la Baie de Somme sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BIF	2,50	8,40	12,5	12,5	4,68	16,9	22,9	331	51
MIMER	2,00	9,00	13,0	13,0	4,74	17,4	22,1	271	170
ATSO	2,00	8,78	13,0	12,8	4,69	17,0	22,1	343	186
MER 2	3,00	9,00	12,5	12,7	4,40	16,7	21,6	305	34

Tableau 48. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la température (°C) pour la radiale de la Baie de Somme en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BIF	7,00	7,85	12,9	12,9	4,93	16,5	20,5	15	1
MIMER	7,10	8,60	13,3	12,9	4,75	16,3	20,6	15	1
ATSO	7,25	9,15	12,9	12,8	4,48	15,7	20,2	15	1
MER 2	7,40	9,30	13,0	12,9	4,51	15,7	20,5	15	1

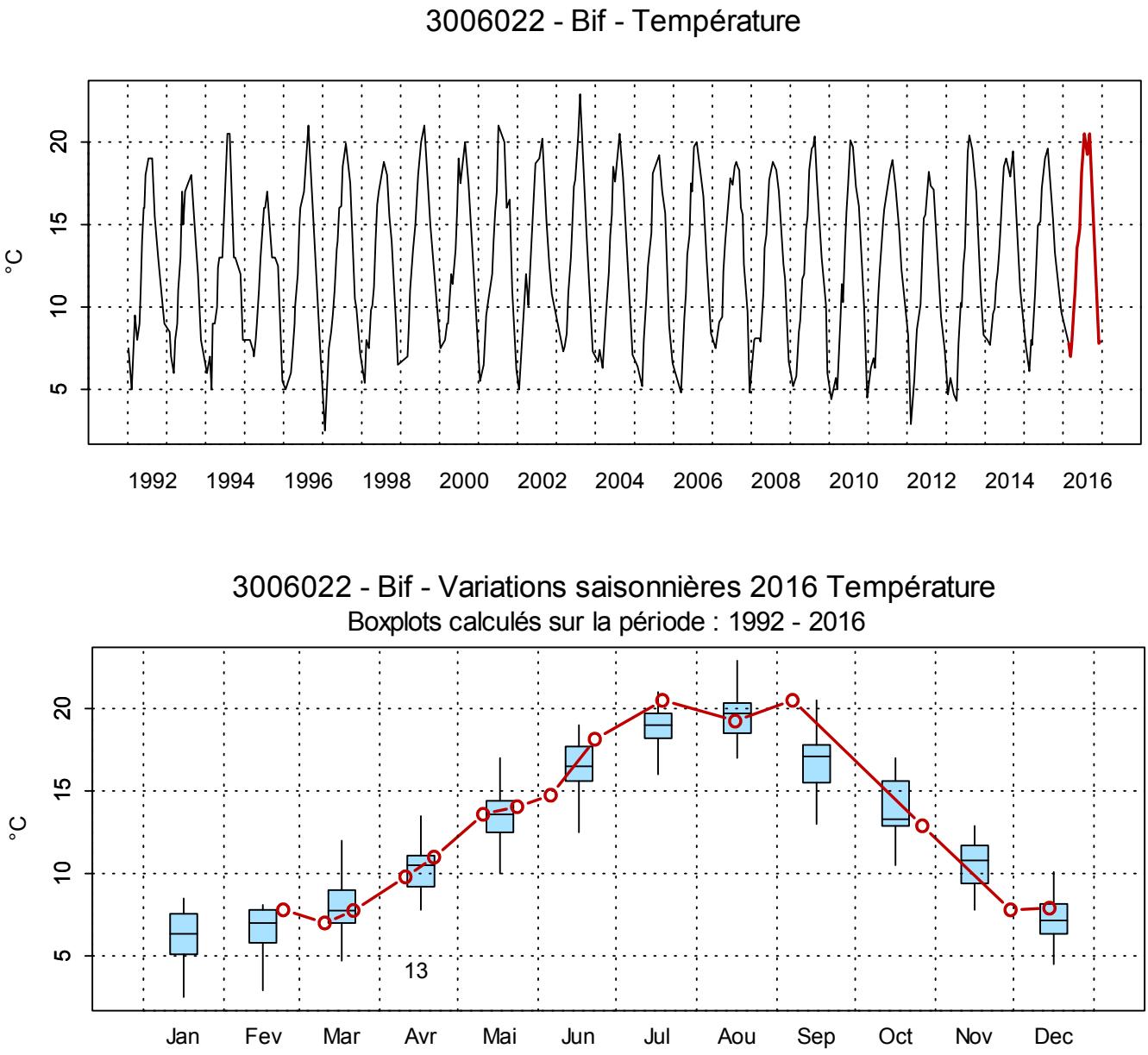


Figure 76. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la température (°C) pour le point Bif de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016

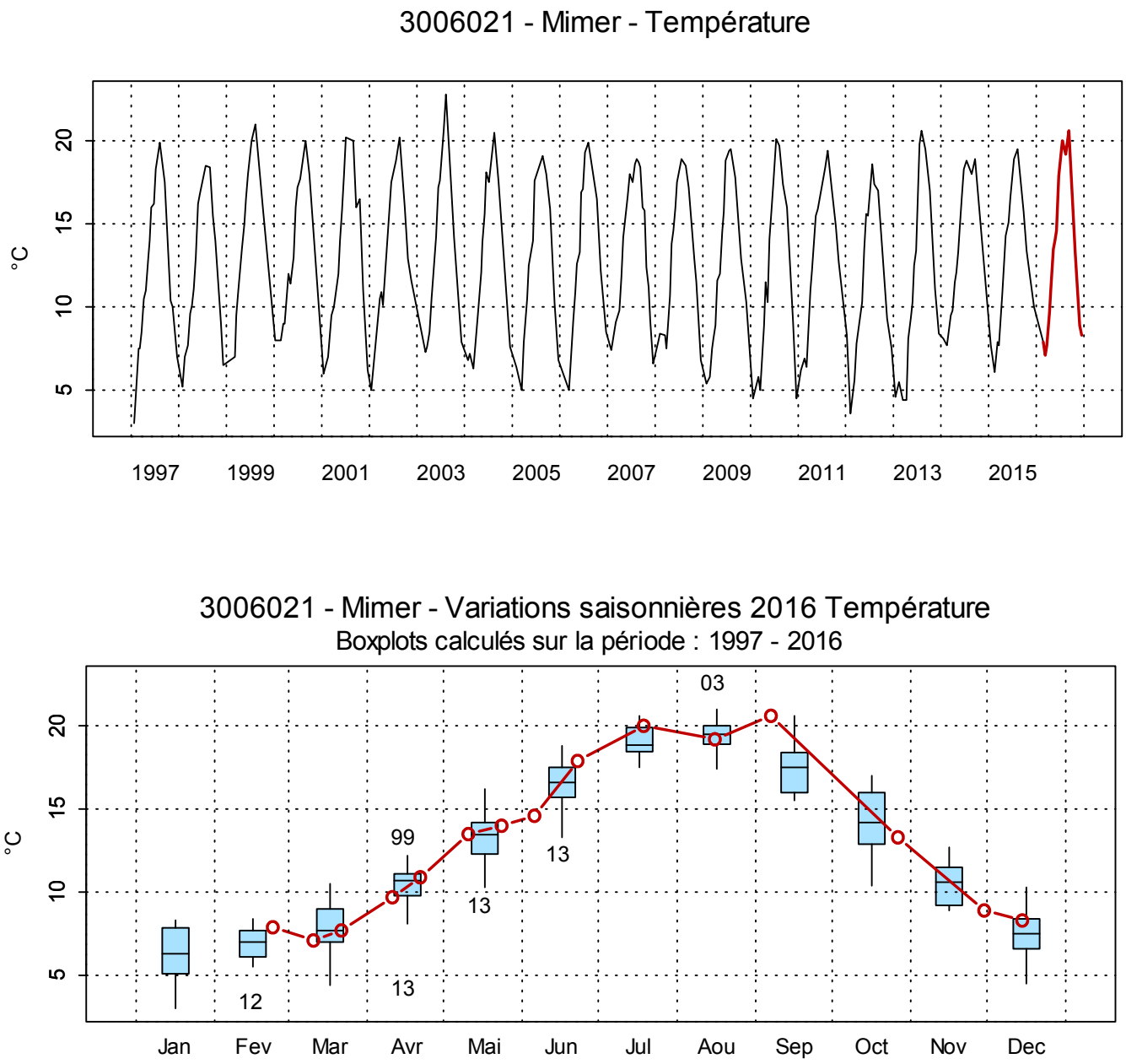


Figure 77. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la température (°C) pour le point Mimer de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1997-2016

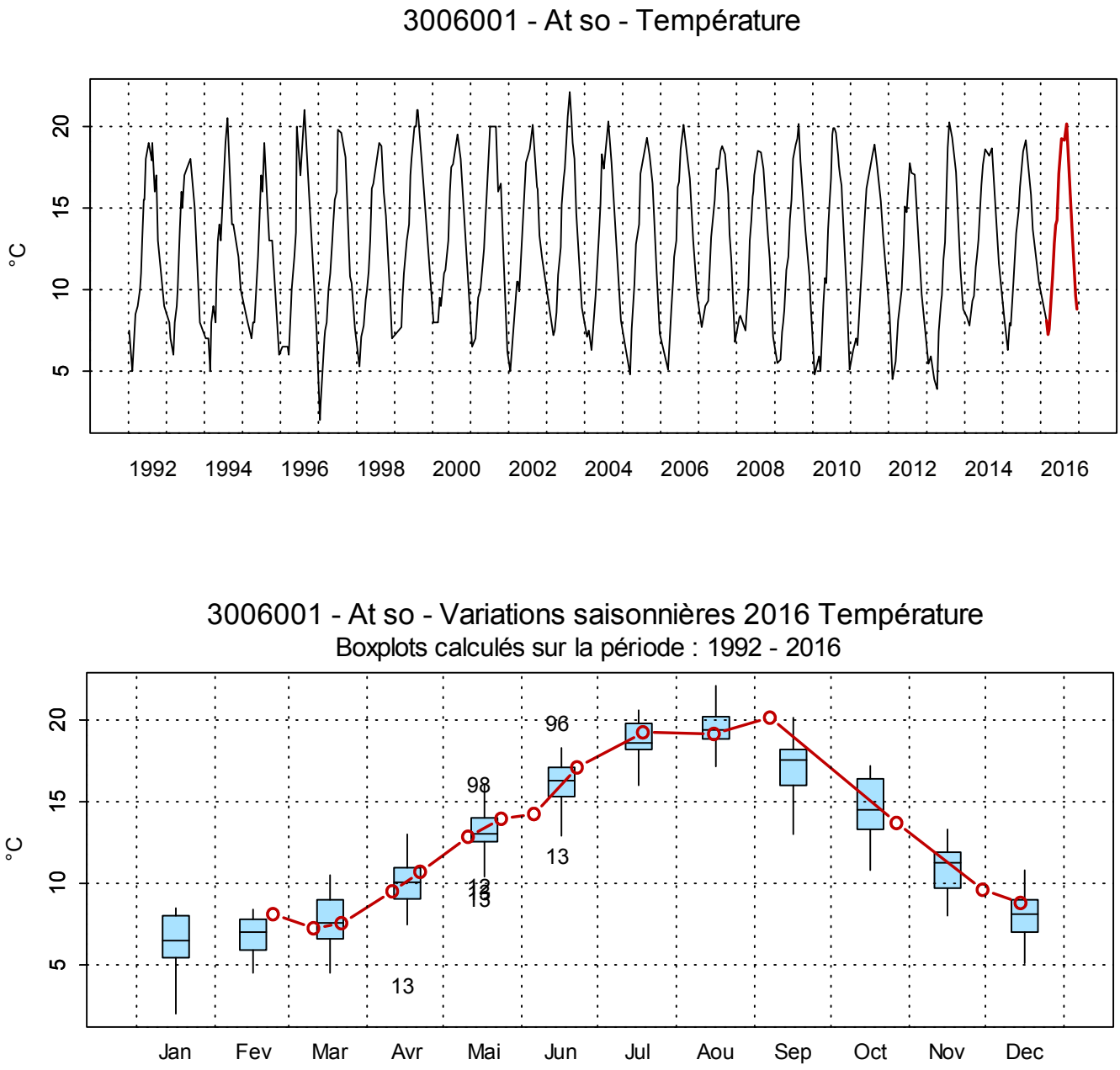


Figure 78. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la température (°C) pour le point Atso de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016

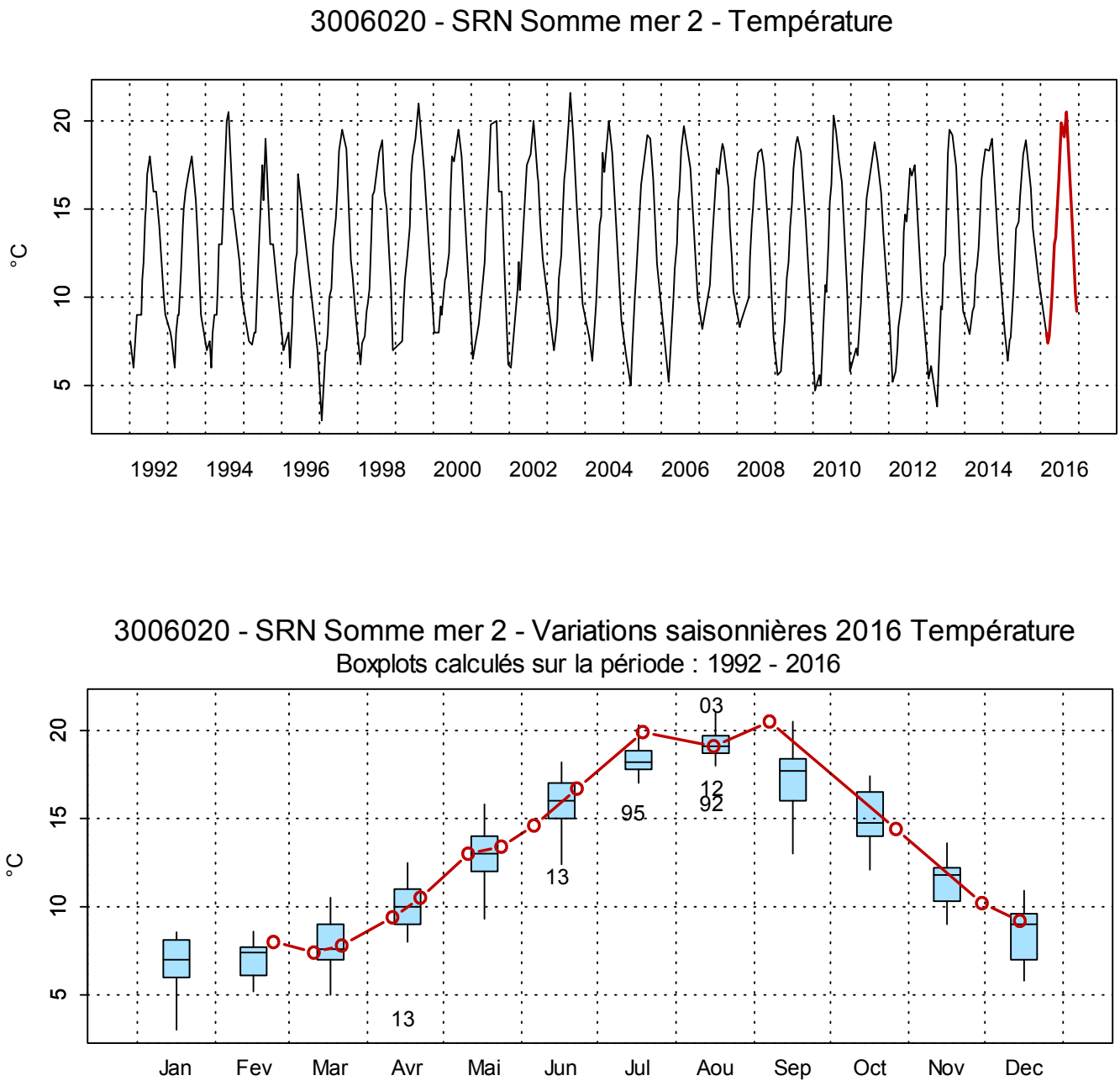


Figure 79. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la température (°C) pour le point Mer 2 de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016

- ***Salinité***

La salinité est en moyenne de 32,4 P.S.U. sur la radiale depuis 1992. L'étendue est assez importante puisque les valeurs sont comprises entre 9,10 P.S.U. (mars 2002 au point Bif) et 35,80 P.S.U. (mai 2007 au point Mer 2) (Tableau 49 et Figures 80 et 83). 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 ± 2h). La salinité ne présente pas de cycle saisonnier marqué (Figures 80 à 83). Les valeurs sont légèrement plus élevées pour les points au large (32,0 P.S.U ; 32,7 P.S.U ; 32,9 P.S.U ; 33,4 P.S.U de la côte vers le large) (Tableau 49). Une valeur exceptionnellement basse est mesurée en mars 2002 avec 9,10 P.S.U au point Bif.

En 2016, la dynamique de la salinité est globalement comparable à celle de la période 1992-2015 (33,15 P.S.U. en moyenne pour la radiale). Les valeurs sont comprises entre 29,1 P.S.U. et 34,7 P.S.U. (Tableau 49). Aux points Bif et Mimer, les valeurs sont supérieures à la médiane (de novembre à mai et en septembre aux points Bif et Mimer, début juin au point Bif) mais aussi inférieures à la médiane (juin à août et octobre aux points Bif et Mimer). Aux points Atso et Mer 2, le même phénomène apparaît, sauf que les valeurs du mois d'octobre sont supérieures à la médiane. (Figures 80 à 83).

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 sauf pour le mois de juillet et de septembre mais à une faible variabilité (de -0,2 à 0,7 P.S.U) (Annexe 1).

Tableau 49. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la salinité (P.S.U.) pour la radiale de la Baie de Somme sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BIF	9,10	30,8	32,0	31,4	2,71	32,9	34,6	334	48
MIMER	29,2	32,1	32,7	32,6	0,87	33,2	34,6	260	34
ATSO	26,0	32,0	32,9	32,5	1,53	33,6	35,0	347	182
MER 2	28,0	32,6	33,4	33,1	1,40	34,1	35,8	308	31

Tableau 50. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la salinité (P.S.U.) pour la radiale de la Baie de Somme en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BIF	29,1	31,7	32,8	32,3	1,15	33,0	33,3	15	1
MIMER	31,7	32,7	33,0	32,8	0,56	33,2	33,6	15	1
ATSO	32,2	33,5	33,7	33,6	0,48	33,8	34,1	15	1
MER 2	32,4	33,7	34,0	33,9	0,59	34,3	34,7	15	1

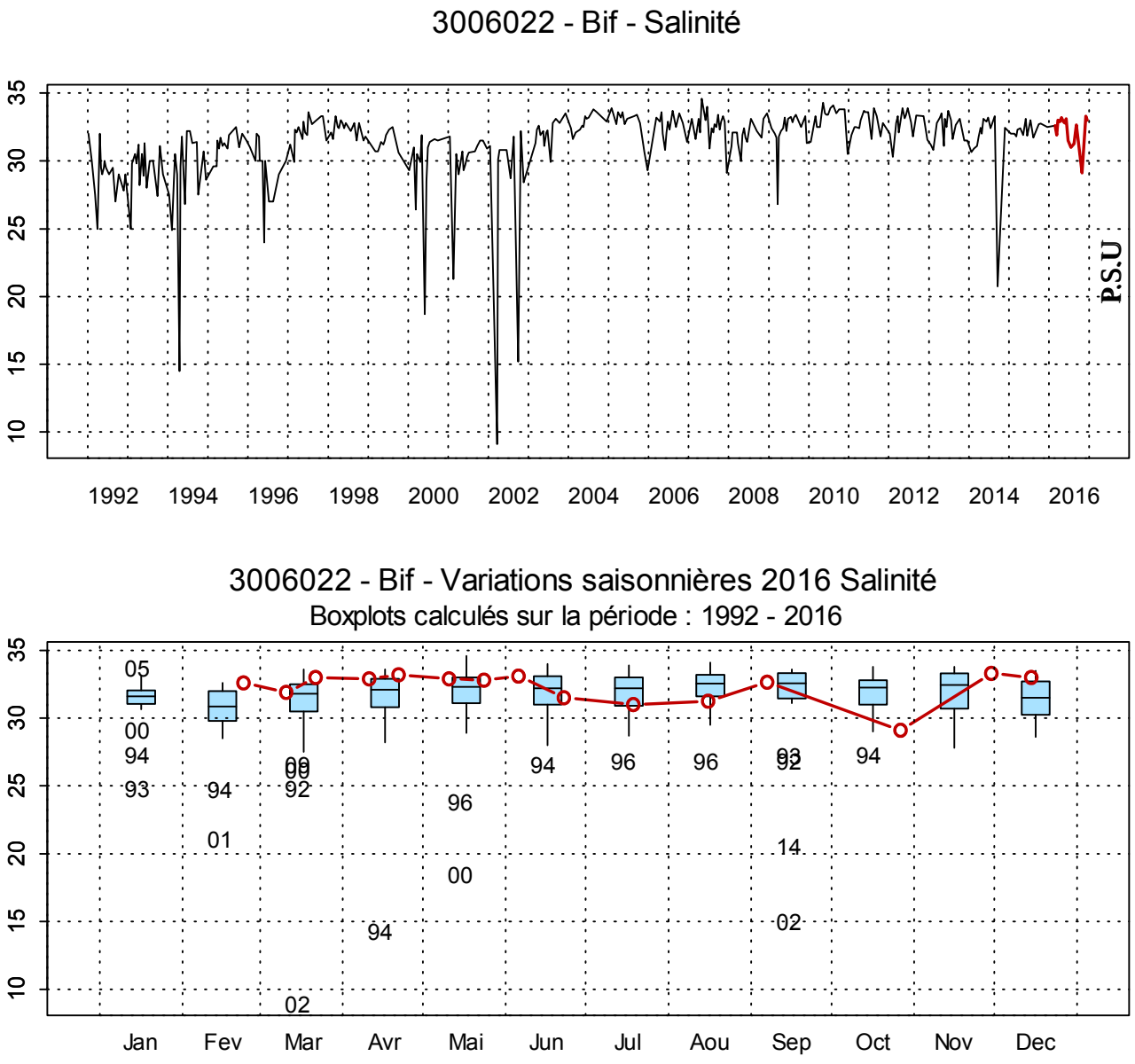


Figure 80. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la salinité (P.S.U) pour le point Bif de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016

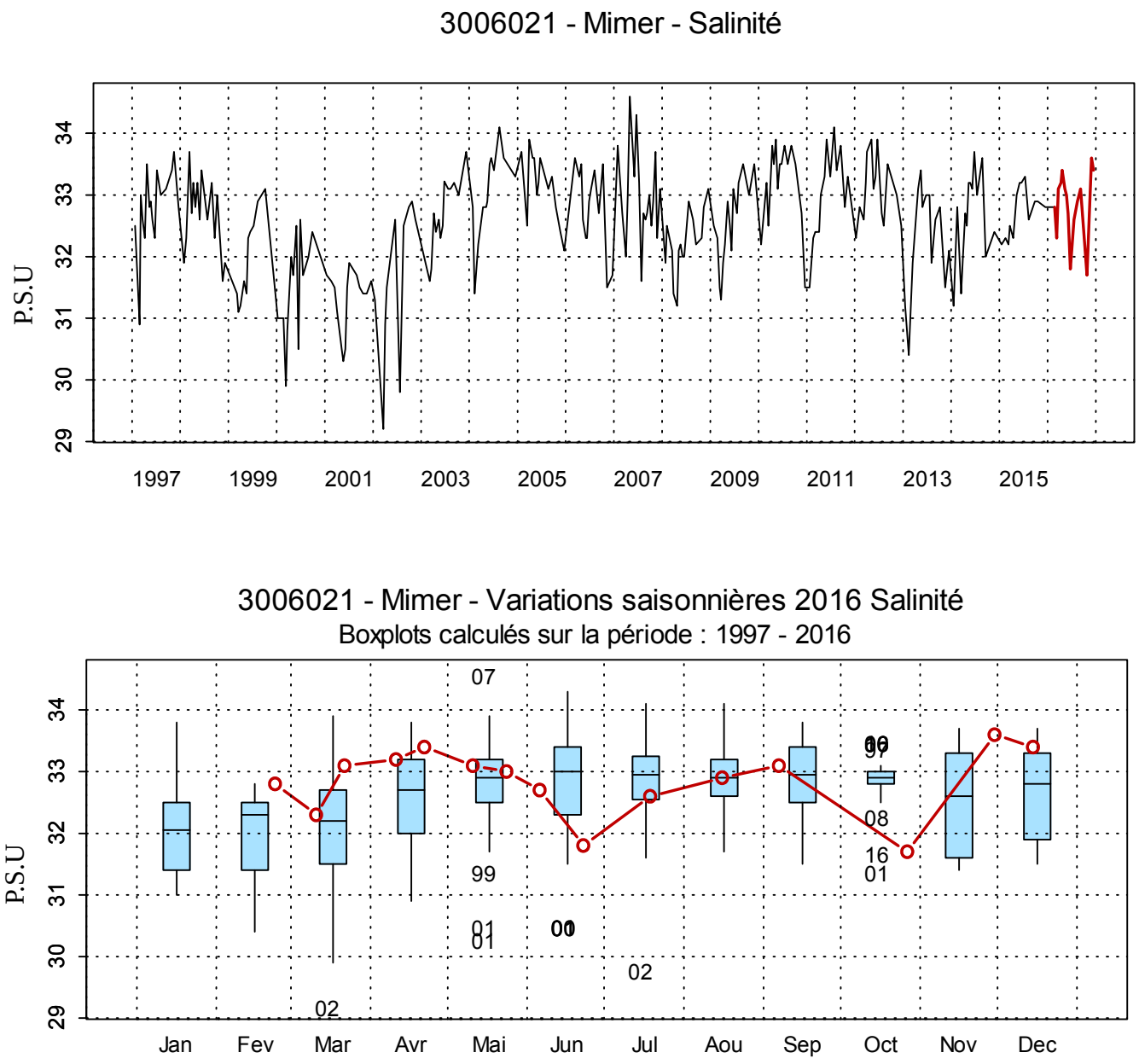


Figure 81. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la salinité (P.S.U) pour le point Mimer de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1997-2016

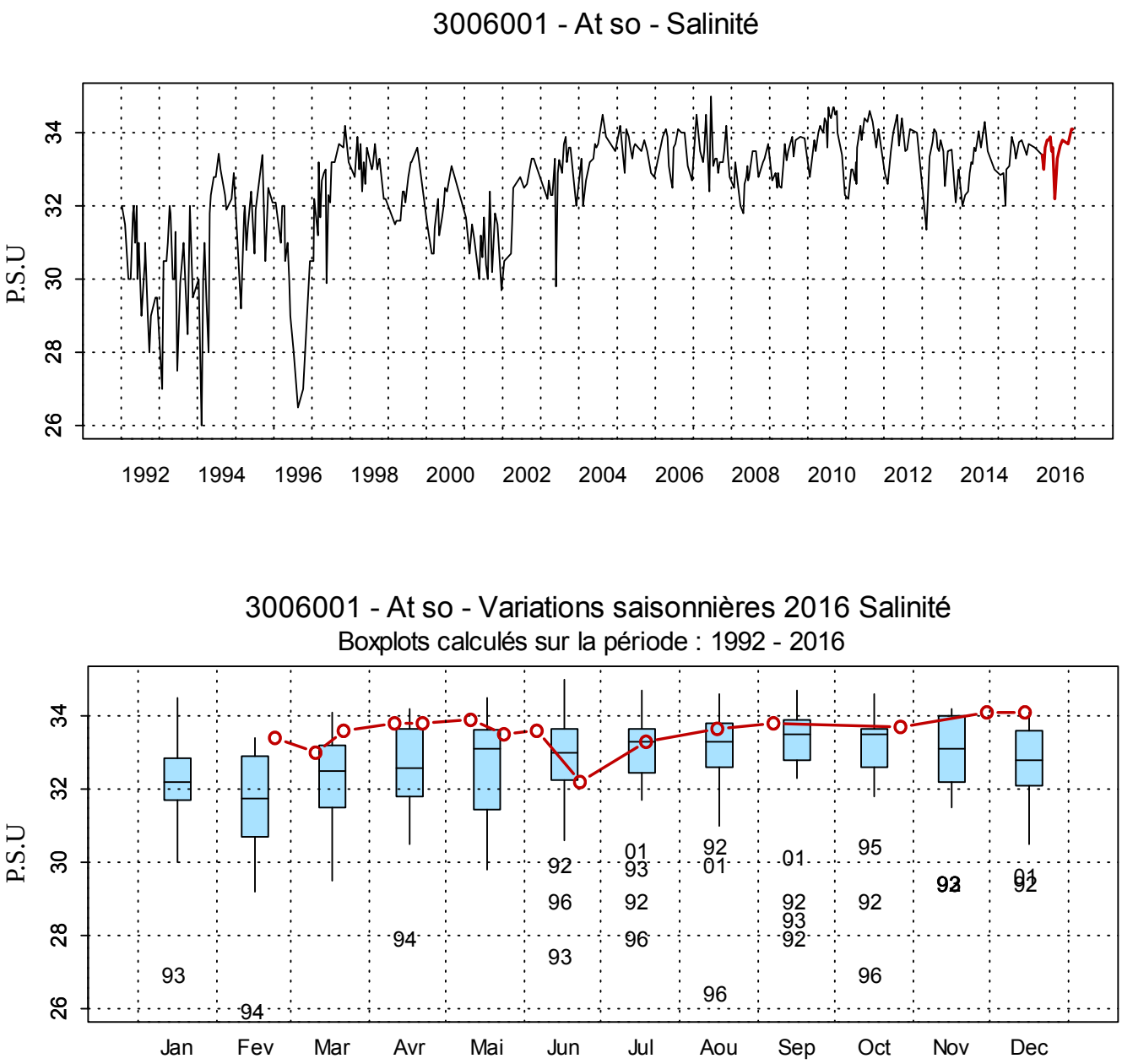


Figure 82. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la salinité (P.S.U) pour le point Atso de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016

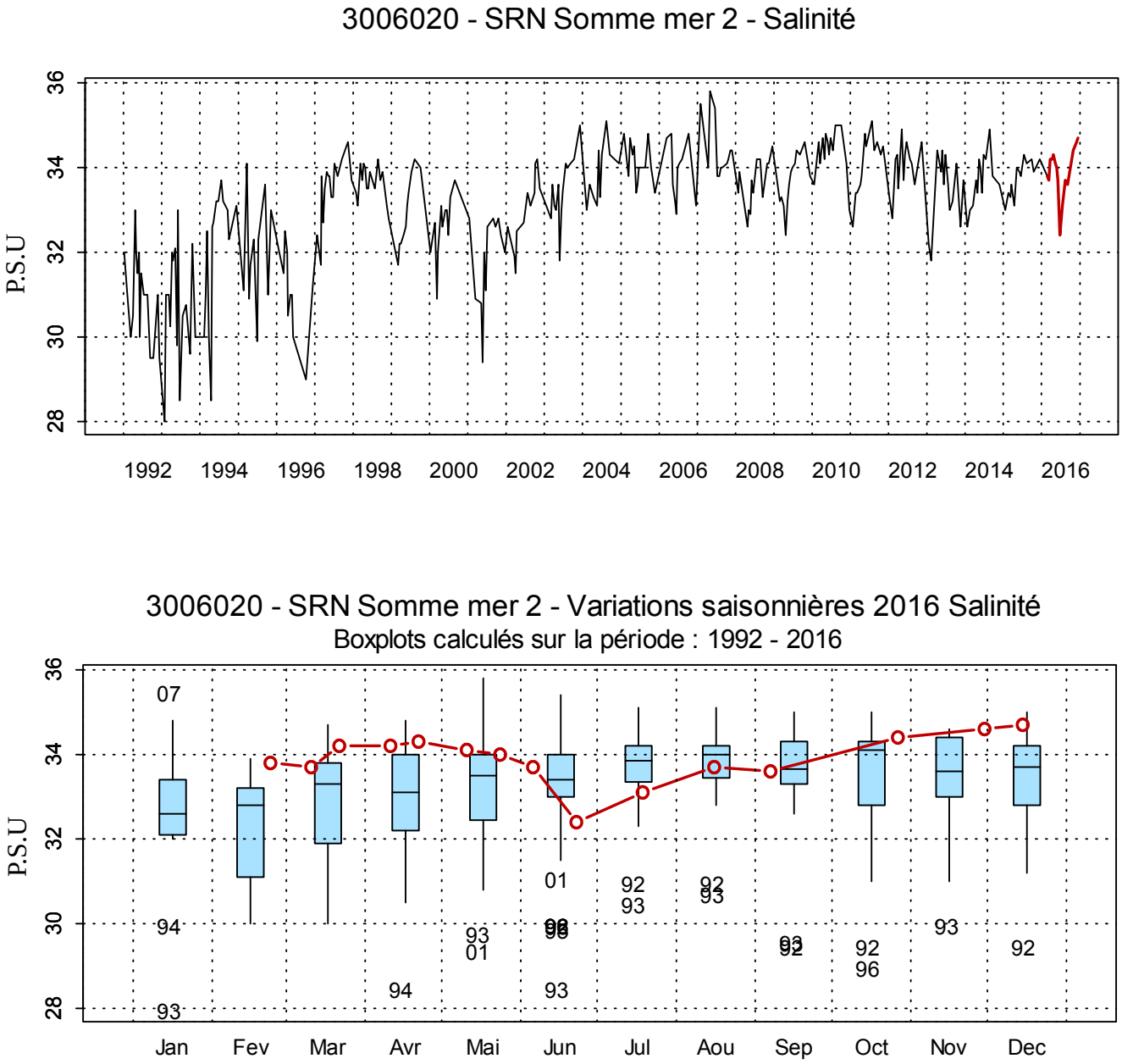


Figure 83. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la salinité (P.S.U) pour le point Mer 2 de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016

- ***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 1995-2015 pour les points les plus proches de la côte, Bif et Mimer est de 20,5 N.T.U. contre 5,77 N.T.U. pour les deux autres stations (Tableau 51).

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 pour le point Bif ; en mars 2009, décembre 2012 et 2013 pour le point Mimer ; en avril 2001 et en janvier-novembre 1998 pour le point Atso ; en janvier-février 1998 ainsi que plusieurs mois en 1997 pour le point Mer 2 (Figures 84 à 87).

En 2016, la dynamique de la turbidité est inférieure par rapport à la période 1995-2015. La moyenne pour les points Bif et Mimer est de 17,0 N.T.U. et celle pour les deux autres points est de 5,11 N.T.U. (Tableau 52). La variabilité pour les deux stations Bif et Mimer est importante (par exemple : station Bif : 79,4 N.T.U début mars puis environ 10,0 N.T.U fin mars). La variabilité saisonnière est moindre pour les deux points les plus au large, les valeurs ne dépassent pas 20,5 N.T.U (Tableau 52). Aux points Bif et Mimer, les valeurs sont majoritairement inférieures à la médiane sauf pour certains mois (début avril pour les deux points, août au point Bif). Certaines valeurs sont mêmes supérieures au 3^{ième} quartile (début mars pour les 2 points et en décembre pour le point Bif). Aux points Atso et Mer 2, le même phénomène apparaît, des valeurs sont supérieures à la médiane (de septembre à début mars pour le point Mer 2, de même pour le point Atso sauf le mois de septembre et de décembre) mais les valeurs sont inférieures ou égales à la médiane le restant de l'année (Figures 84 à 87).

Le gradient large-côte qui s'établit entre la station côtière Atso et la station du large Mer 2 est assez variable et compris entre -15,81 et -0,64 N.T.U. La turbidité au point Atso est toujours supérieure à celle au large en 2016 (Annexe 1).

Tableau 51. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la turbidité (N.T.U.) pour la radiale de la Baie de Somme sur la période 1995-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BIF	0,93	7,84	16,0	21,4	19,4	27,3	139,0	284	98
MIMER	1,32	7,06	12,6	19,6	19,5	25,0	121,0	259	35
ATSO	0,51	3,30	5,27	8,21	7,71	10,3	55,0	295	234
MER 2	0,23	1,38	2,04	3,32	3,84	3,39	23,0	250	89

Tableau 52. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la turbidité (N.T.U.) pour la radiale de la Baie de Somme en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BIF	3,71	6,85	12,0	18,6	19,6	19,6	79,4	15	1
MIMER	1,93	3,83	9,55	15,4	19,2	15,5	72,2	15	1
ATSO	1,71	2,84	3,90	7,53	6,16	9,66	20,5	15	1
MER 2	0,67	1,36	2,30	2,69	1,55	4,11	5,06	15	1

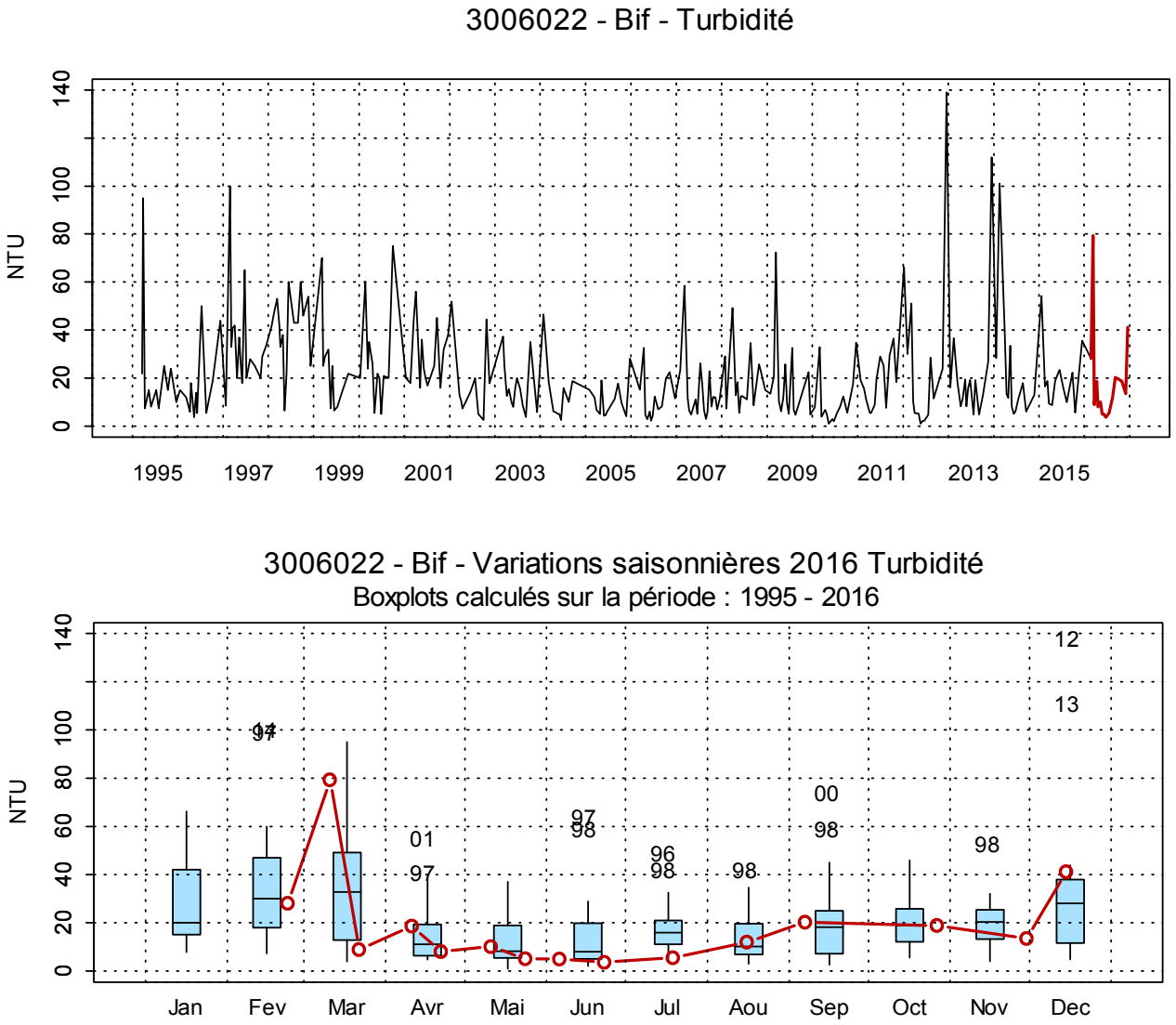


Figure 84. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la turbidité (N.T.U) pour le point Bif de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1995-2016

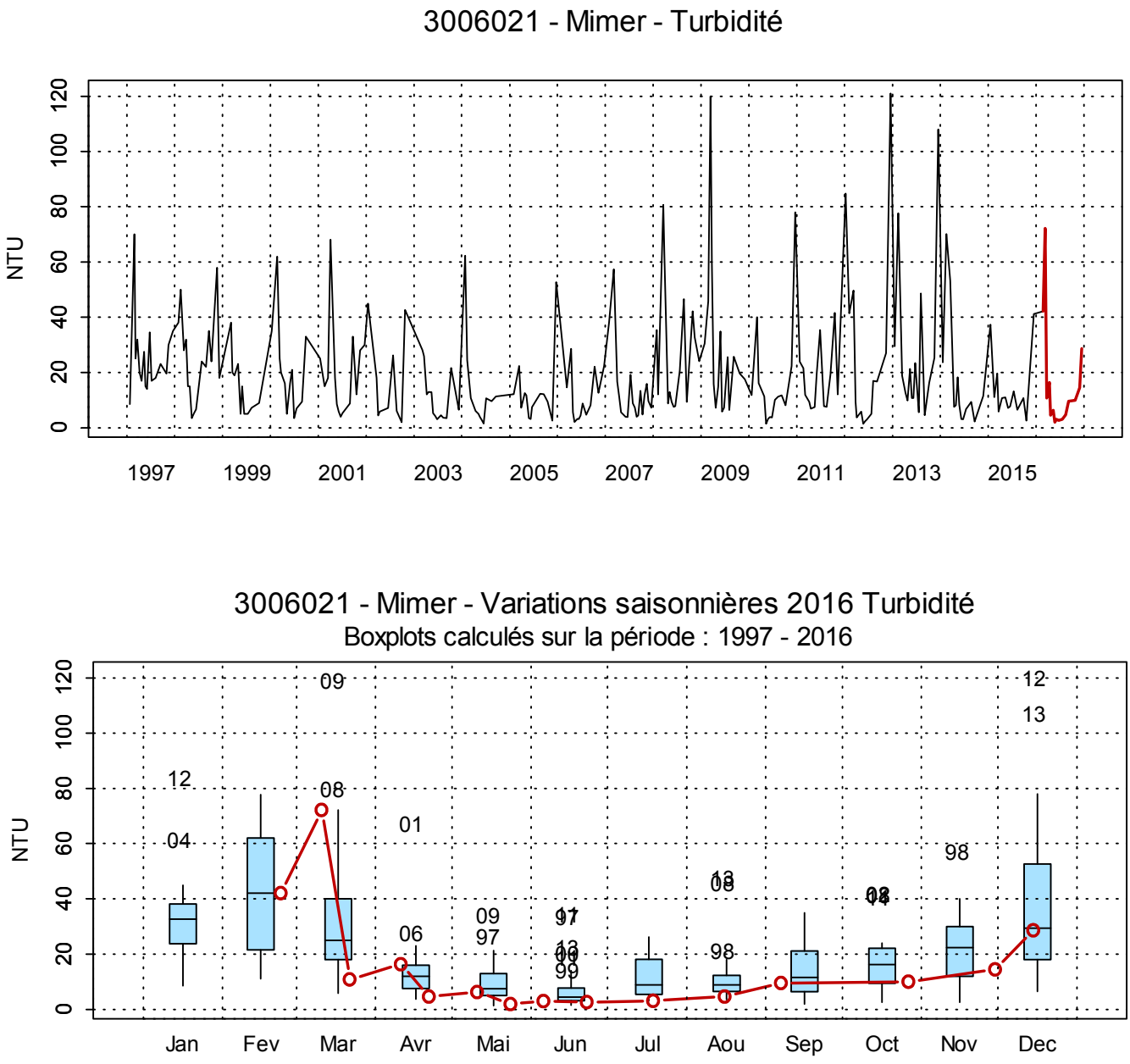


Figure 85. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la turbidité (N.T.U) pour le point Mimer de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1997-2016

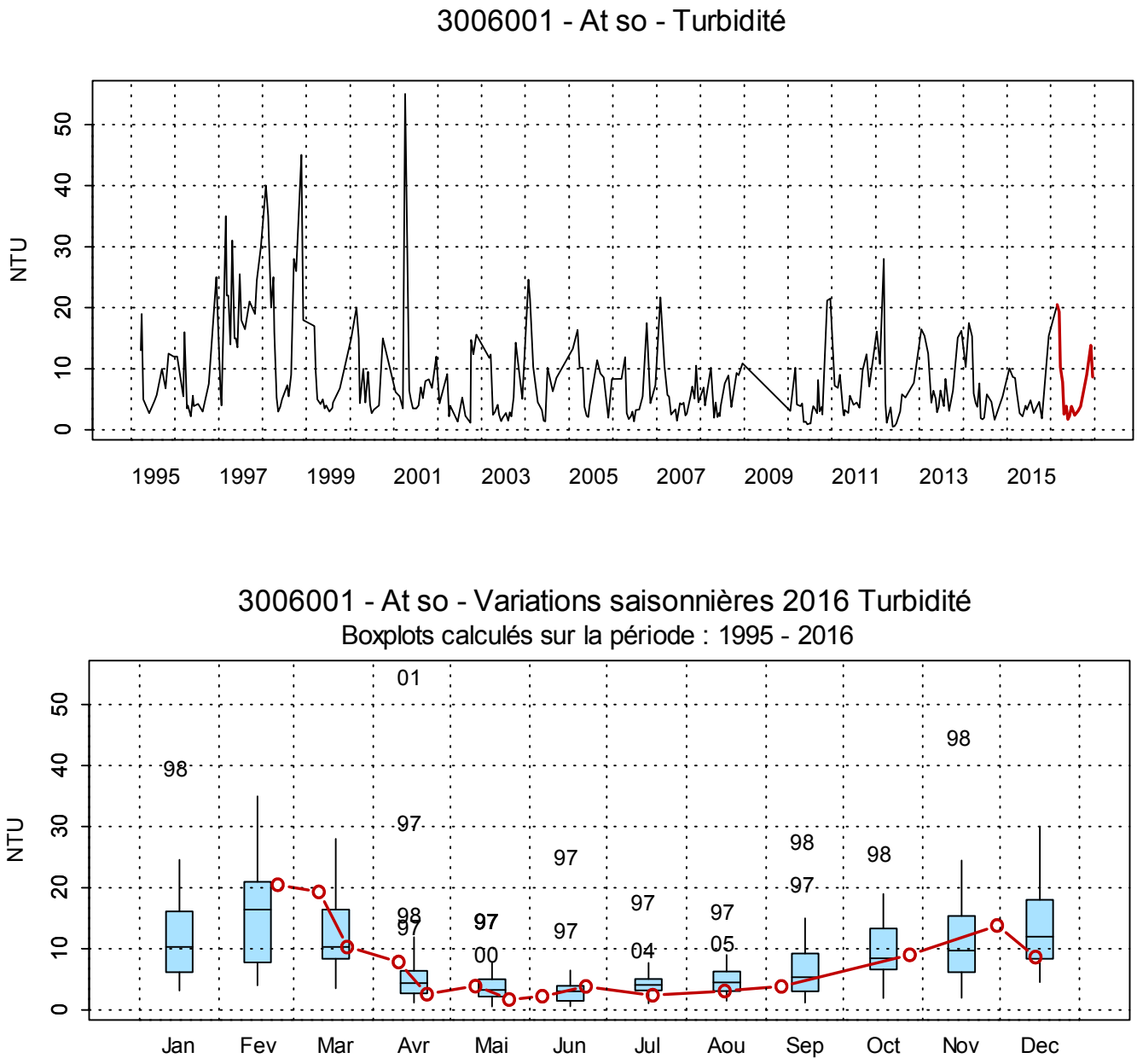
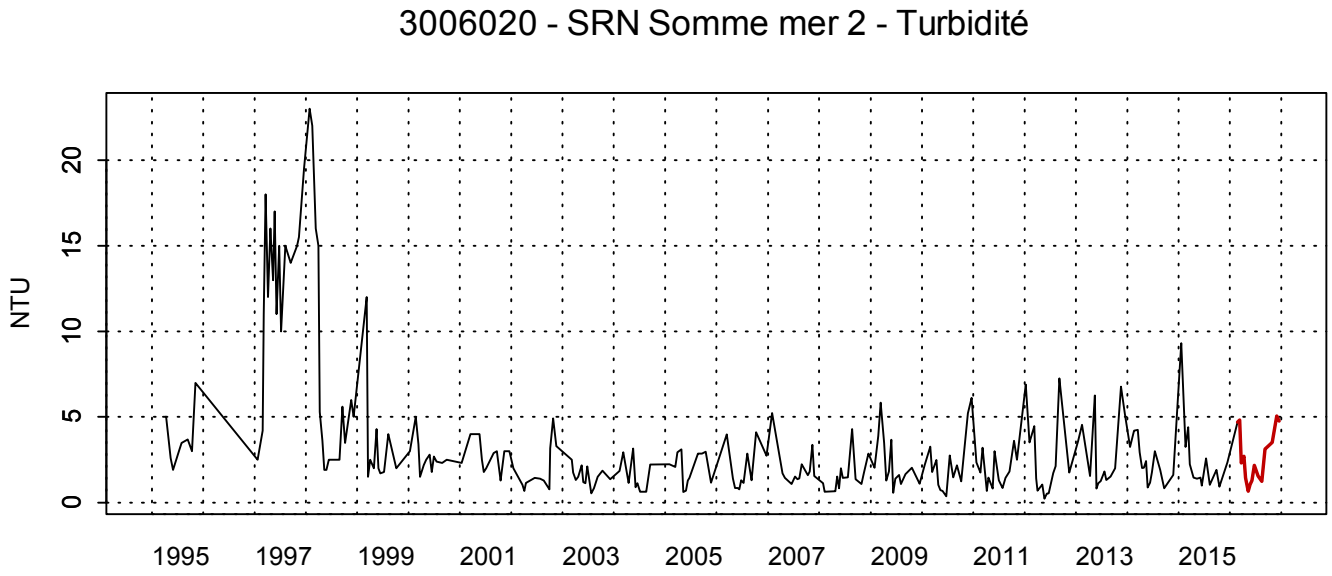


Figure 86. Dynamique pluriannuelle (année 201 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la turbidité (N.T.U) pour le point Atso de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1995-2016



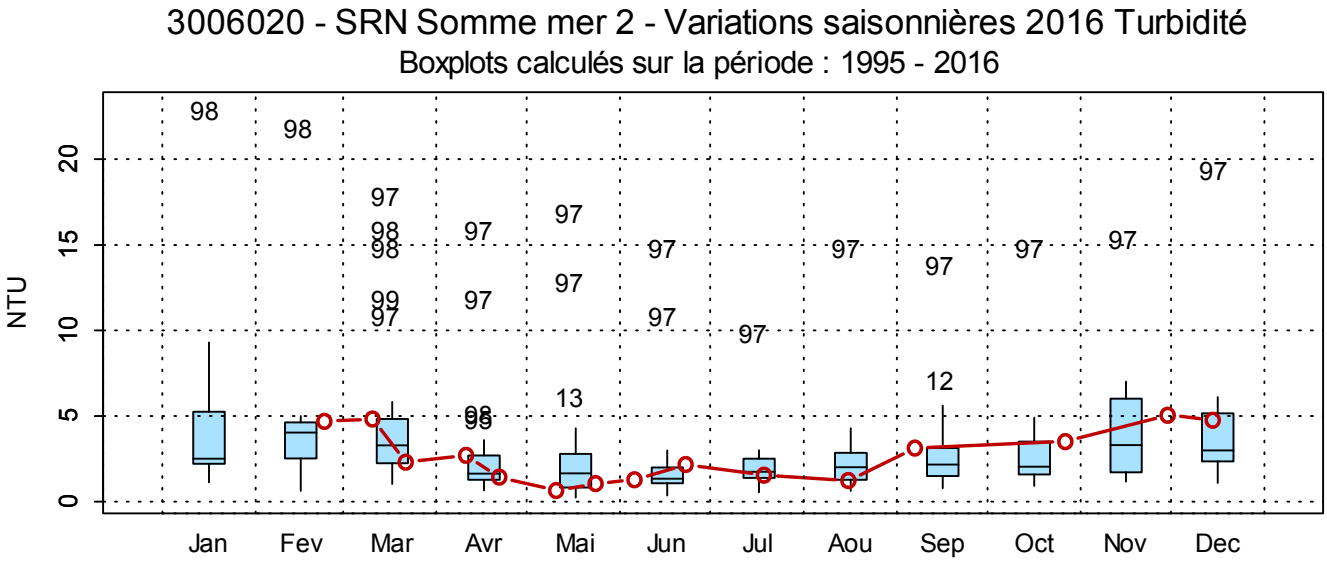


Figure 87. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la turbidité (N.T.U) pour le point Mer 2 de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1995-2016

- ***MES***

Les M.E.S. sont soumises à une variabilité importante. Depuis 1992, les valeurs varient entre 0,40 mg/L au point Mer 2 (en juin 2010 et en mai 2012) et 239,2 mg/L (en décembre 2012 pour les points Bif et Mimer) (Tableau 53). Les concentrations sont globalement plus élevées pour les points étant proches de la côte (entre 42,5 mg/L et 14,6 mg/L de la côte vers le large en moyenne pour la période 1992-2015) (Tableau 53). Au point Bif, une période se démarque. En effet, une variabilité plus importante s'observe de la fin d'année 2012 à 2014 (Figure 88). Aux points Atso et Mer 2, c'est entre 1993 et 1996 qu'une période se démarque. Les valeurs étaient élevées tout au long de l'année (Figures 89 et 90). Les valeurs les plus fortes sont obtenues en décembre 2012, en avril 2013 pour le point Bif ; en décembre 2012 et en avril 2014 pour le point Mimer ; en avril 2012 pour le point Atso ; en mars 1993 et en avril 2014 pour le point Mer 2 (Figures 88 à 91).

En 2016, les concentrations sont plus faibles en moyenne (entre 31,2 mg/L et 7,29 mg/L de la côte vers le large) (Tableau 54). Les concentrations maximales sont de 105,2 mg/L pour Bif ; en mars et de 91,6 mg/L pour Mimer en mars. Les minima sont atteints en mai pour Atso avec 2,40 mg/L ; Mer 2 avec 1,00 mg/L ; en juin pour Bif avec 8,40 mg/L ; en mai pour Mimer avec 3,80 mg/L (Tableau 54). 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 mars (105,2 mg/L pour Bif) et (91,6 mg/L pour Mimer) (Tableau 54). Pour les deux autres points, les concentrations augmentent une seule fois en mars et légèrement en décembre pour Atso et Mer 2. En ce qui concernent les autres périodes, les valeurs sont faibles. Aux points Bif et Mimer, les valeurs sont majoritairement inférieures à la médiane tout au long de l'année sauf pour le mois de décembre (pour Bif) et le début du mois de mars pour les 2 points. Aux points Atso et Mer 2, le même phénomène apparaît, la majorité des valeurs sont inférieures à la médiane de la période 1992-2015 sauf le mois de novembre (pour Mer 2) et la fin du mois de mars pour les 2 points (Figures 88 à 91).

Le gradient large-côte est essentiellement négatif et varie de -23,7 mg/L à 2,40 mg/L (Annexe 1). La concentration en M.E.S est plus élevée près des côtes par rapport au large sauf pour la fin du mois de mai.

Tableau 53. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les MES (mg/L) pour la radiale de la Baie de Somme sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BIF	3,50	19,6	32,1	42,5	33,6	58,7	239,2	329	53
MIMER	2,50	13,3	21,8	32,1	31,3	38,7	239,2	260	34
ATSO	0,90	7,22	14,6	20,9	19,5	28,0	167,0	338	191
MER 2	0,40	3,90	6,51	14,6	17,4	19,3	101,3	311	28

Tableau 54. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les MES (mg/L) pour la radiale de la Baie de Somme en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BIF	8,40	15,7	23,3	31,2	24,8	39,5	105,2	15	1
MIMER	3,80	5,50	12,8	23,3	25,0	33,5	91,6	15	1
ATSO	2,40	5,20	10,7	14,5	12,9	19,5	49,5	15	1
MER 2	1,00	2,80	4,80	7,29	7,05	8,05	25,8	15	1

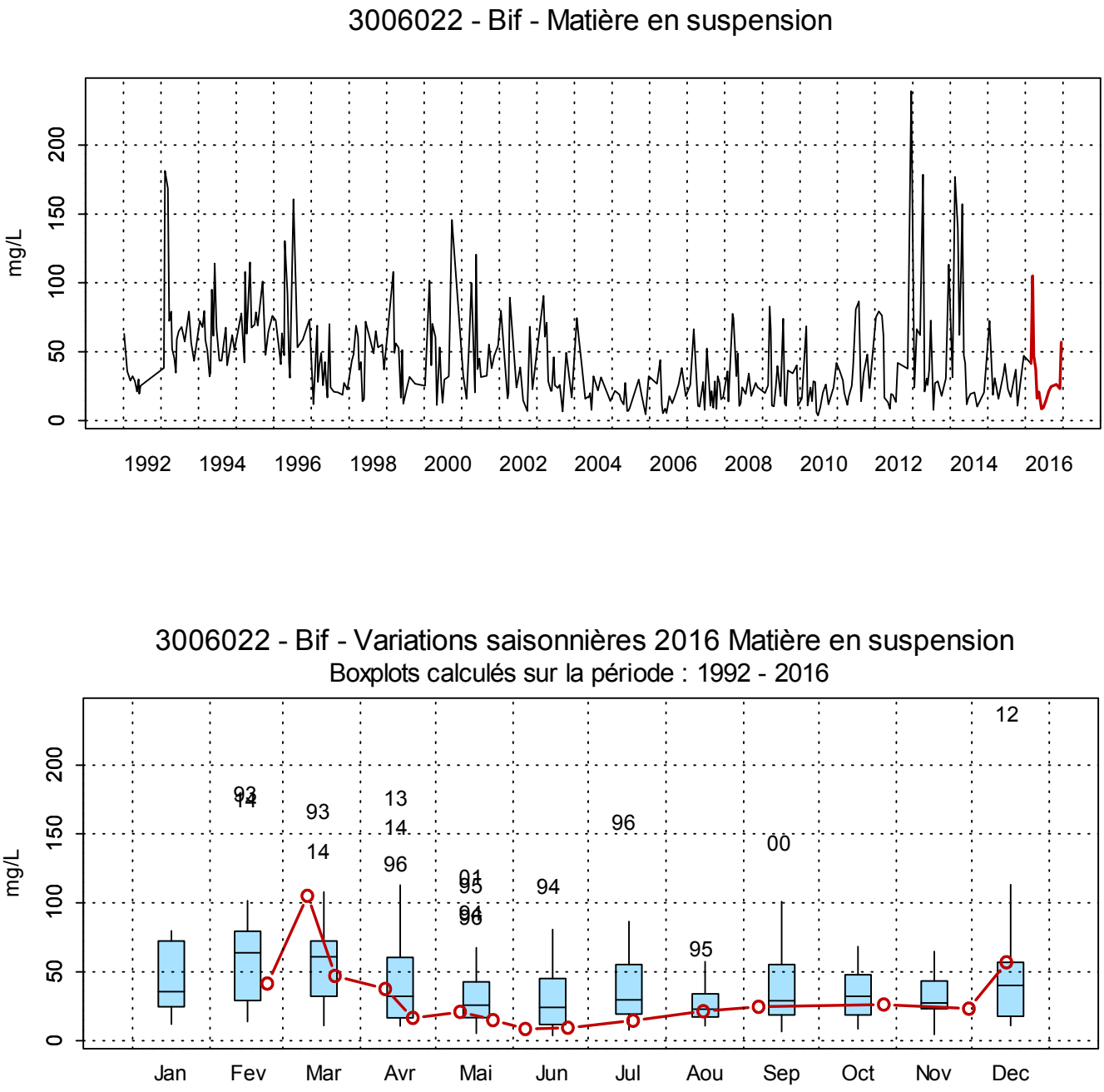


Figure 88. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la turbidité (N.T.U) pour le point Bif de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016

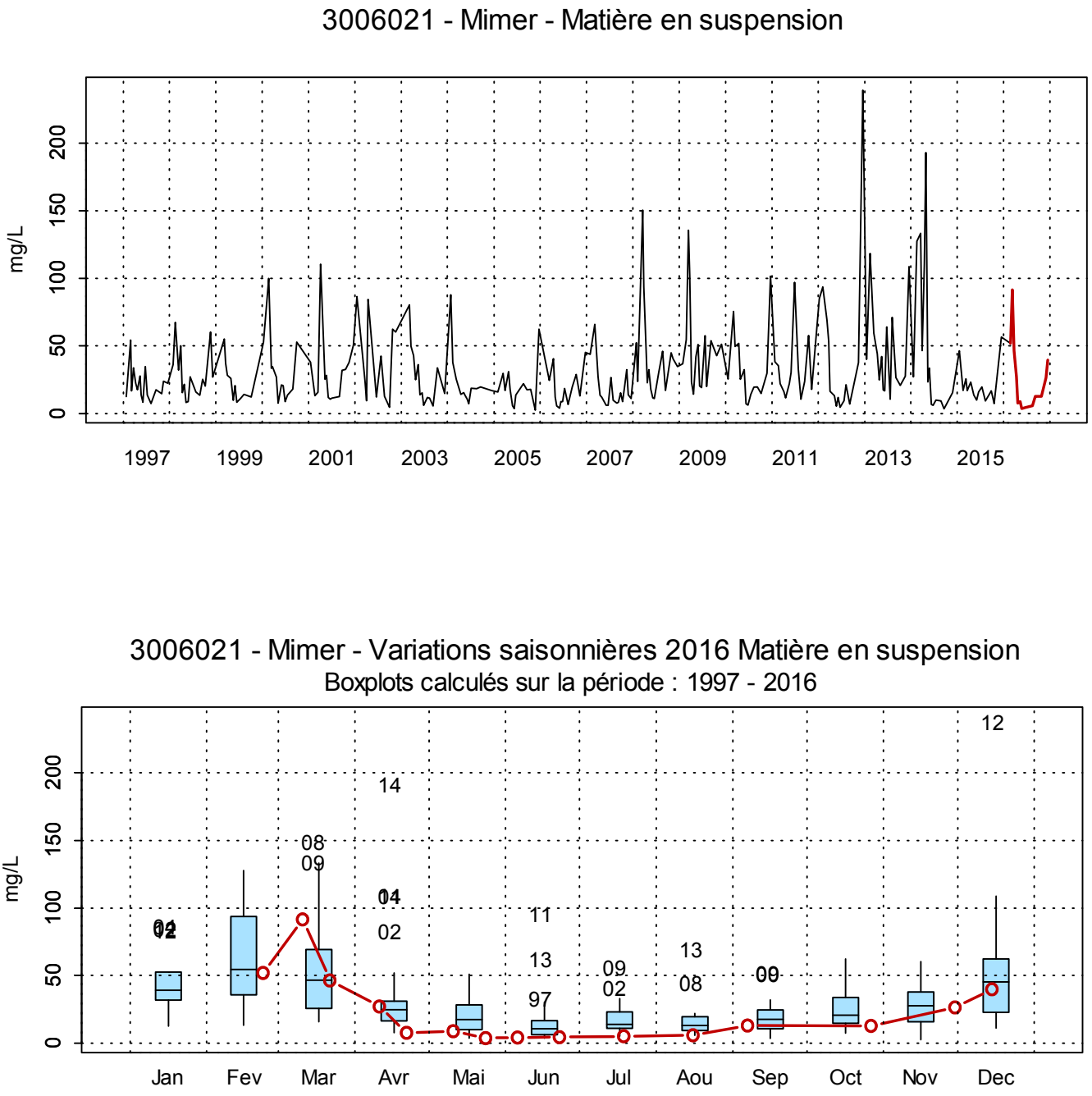


Figure 89. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la turbidité (N.T.U) pour le point Mimer de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1997-2016

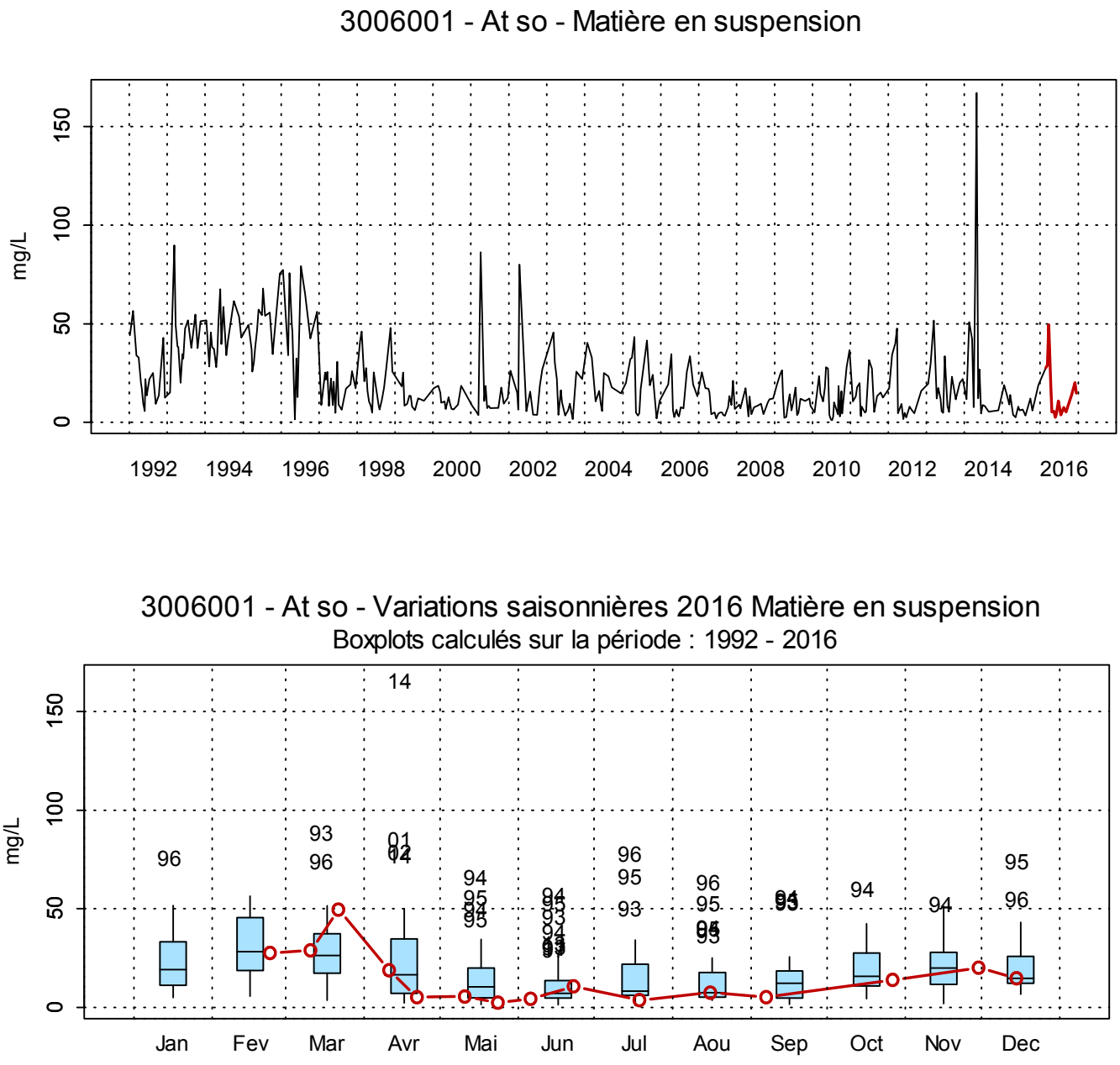


Figure 90. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la turbidité (N.T.U) pour le point Atso de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016

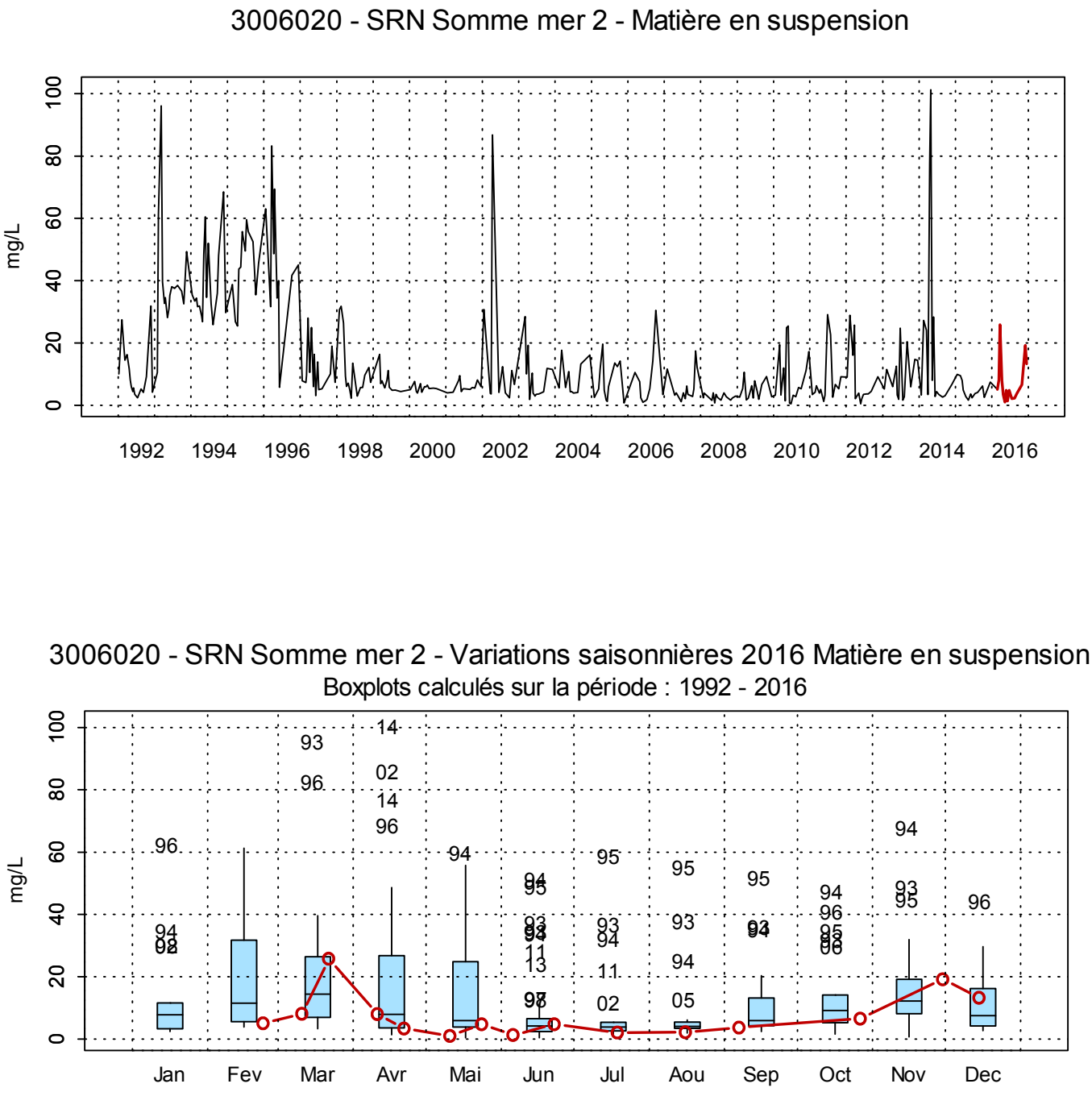


Figure 91. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la turbidité (N.T.U) pour le point Mer 2 de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016

- ***Matière organique***

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 (Figures 92 à 95). Le pourcentage de la fraction organique contenue dans les matières en suspension montre une variabilité importante sur l'ensemble des points.

En 2016, la fluctuation sur les points au large (Mer 2 et Atso) est importante. La proportion en matière organique y varie entre 18 % et 46 %. Quant aux points côtiers (Bif et Mimer), la part de matière organique est plus faible, de 8 % à 20 %. Les turbidités étant plus importantes au niveau de la côte, il paraît normal que les points aux larges présentent moins de matière organique que les points côtiers qui présentent un potentiel productif plus important. Cependant, en 2016, les valeurs sont faibles voire très faibles tout au long de l'année (inférieures aux médianes) sauf le mois d'août pour le point Bif, le mois de décembre pour le point Mer 2 et fin mars pour tous les points (Figures 92 à 95).

Le gradient large-côte varie entre -3,4 et 0,8 mg/L. Il est globalement négatif tout au long de l'année sauf les mois de juillet, novembre et fin mai. Ceci est dû au fait qu'il y ait plus de matière organique près des côtes qu'au niveau du large.

Tableau 55. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les matières organiques en suspension (mg/L) pour la radiale de la Baie de Somme sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BIF	0,60	2,80	6,00	7,73	6,65	10,6	45,0	313	69
MIMER	0,10	2,20	4,10	5,62	5,19	7,48	48,0	260	34
ATSO	0,70	1,70	3,40	4,84	4,48	6,62	39,0	336	193
MER 2	0,20	1,30	2,56	3,87	3,78	5,38	24,7	311	28

Tableau 56. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les matières organiques en suspension (mg/L) pour la radiale de la Baie de Somme en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BIF	1,70	2,80	3,80	4,01	1,76	4,80	8,10	15	1
MIMER	0,70	1,80	2,20	2,72	1,79	2,80	7,60	15	1
ATSO	1,10	1,70	2,00	2,46	1,90	2,35	8,90	15	1
MER 2	0,40	1,15	1,40	1,67	1,28	1,65	5,50	15	1

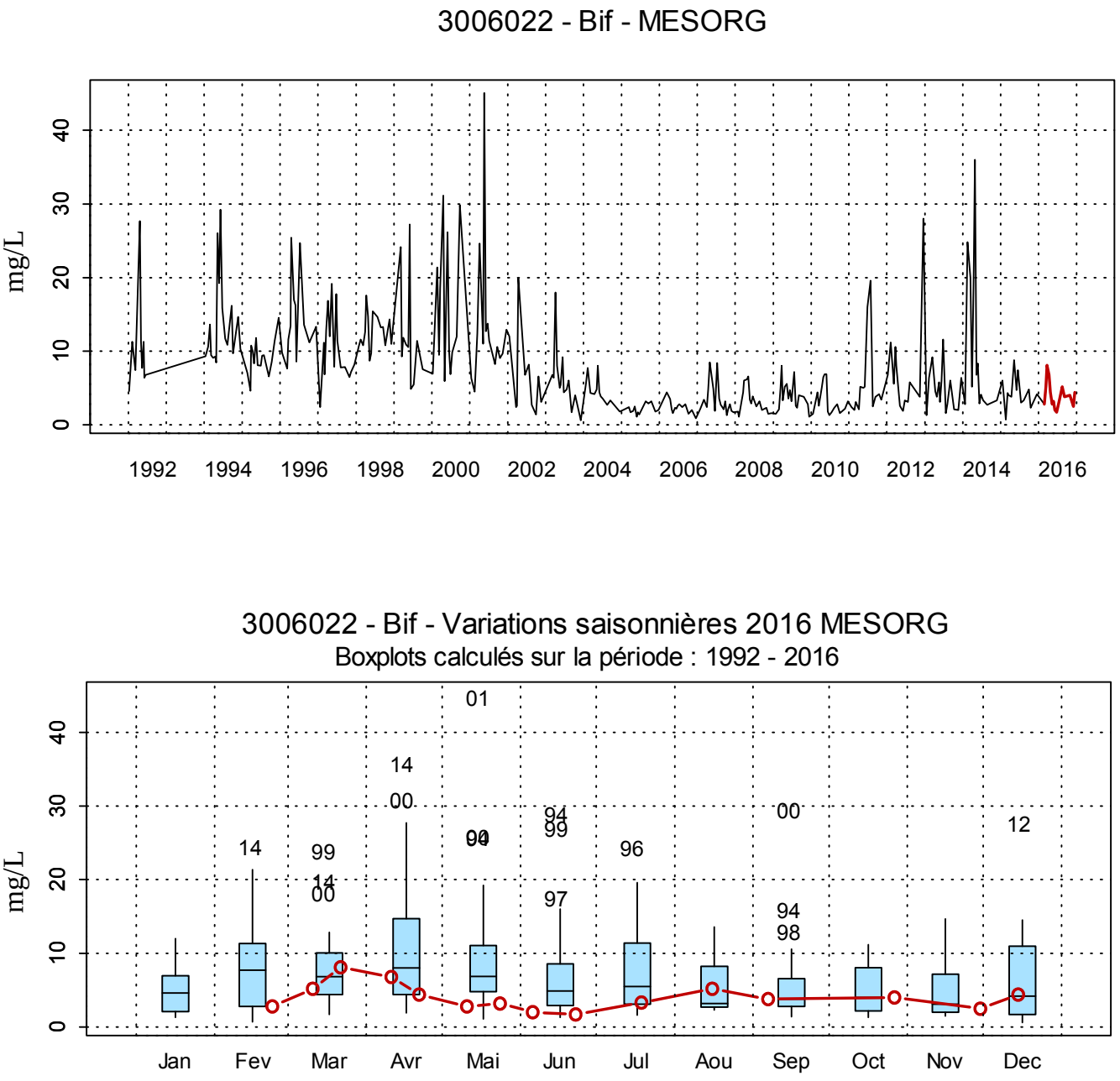


Figure 92. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la turbidité (N.T.U) pour le point Bif de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016

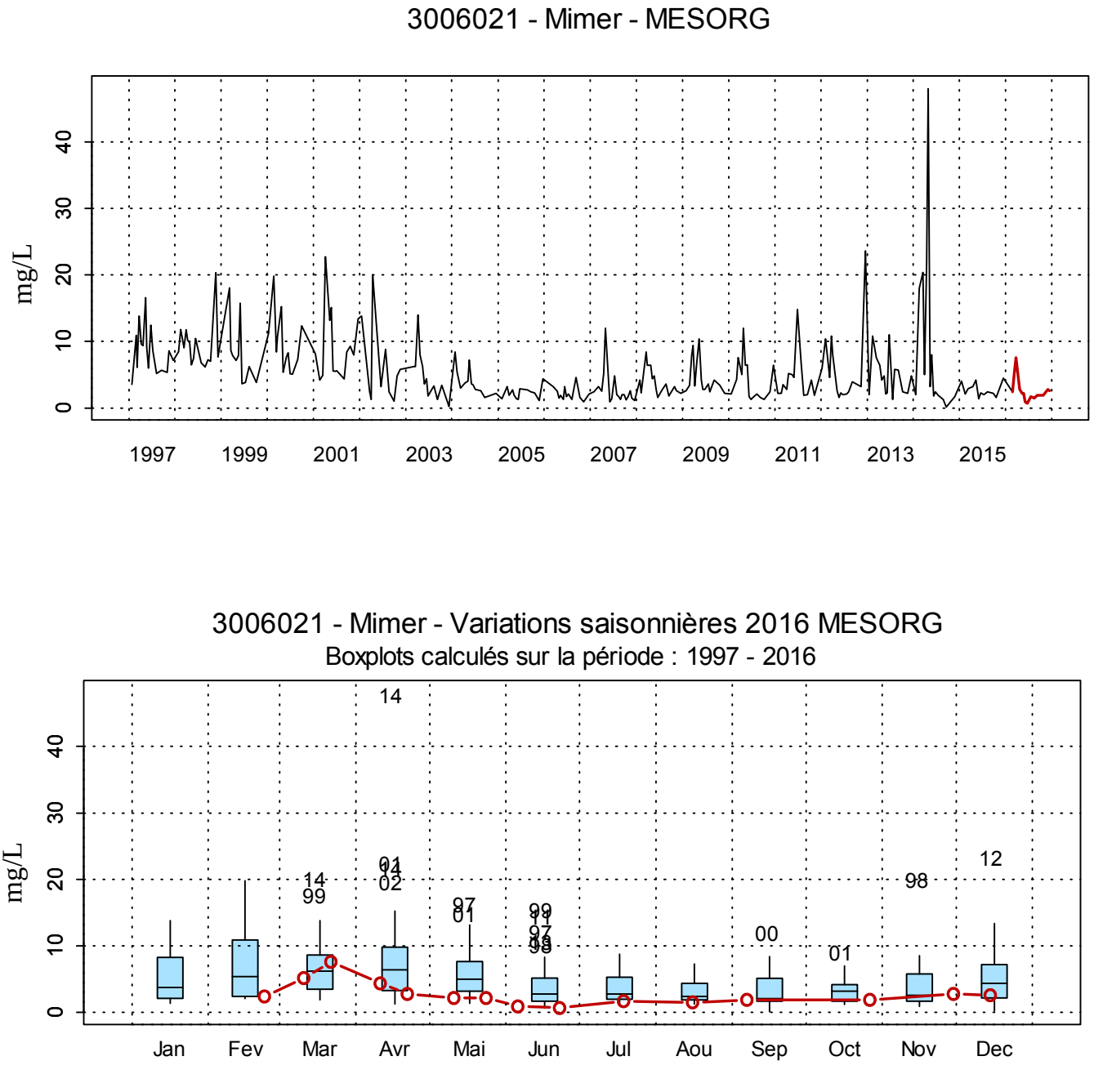


Figure 93. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la turbidité (N.T.U) pour le point Mimer de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1997-2016

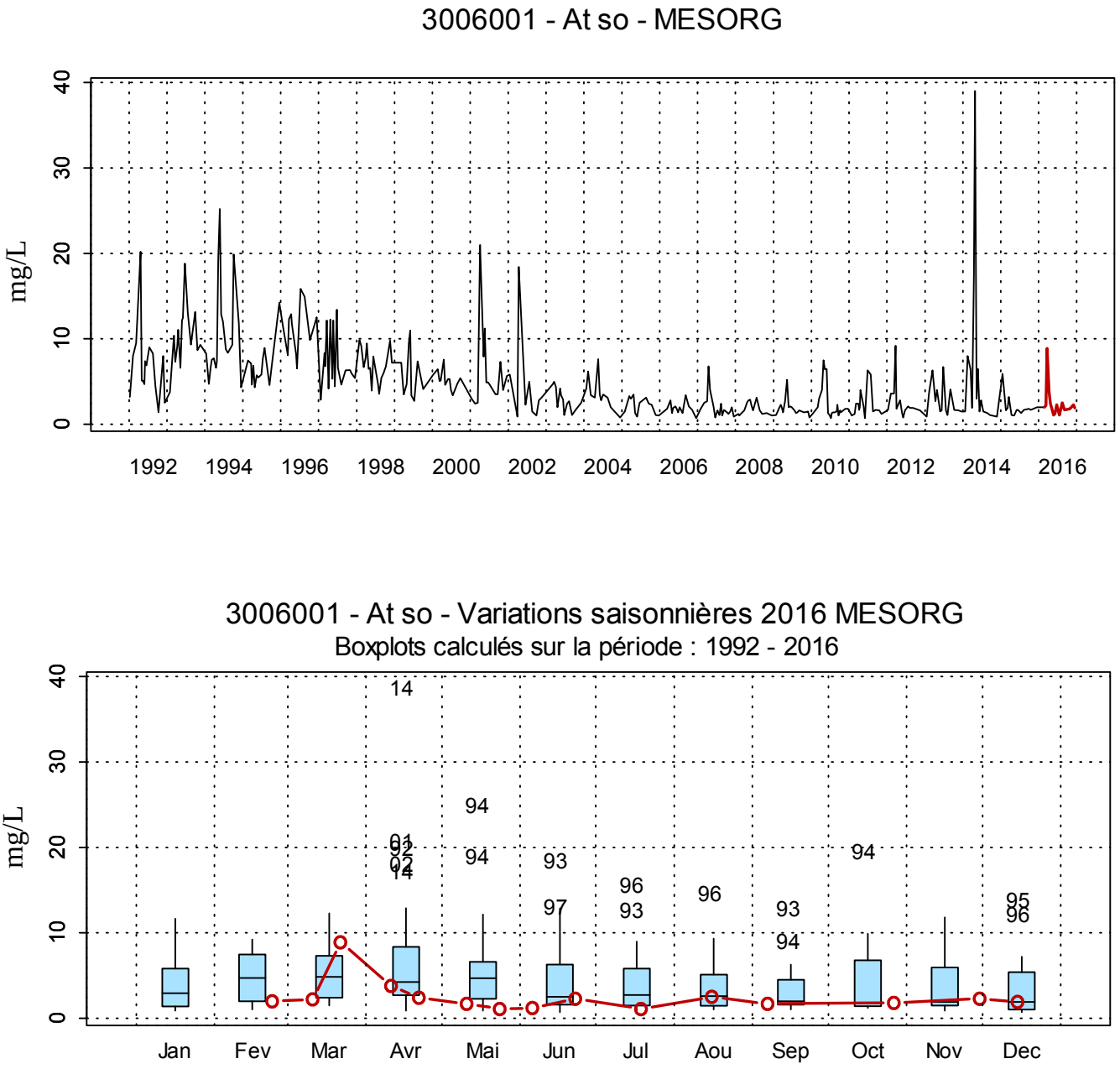


Figure 94. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la turbidité (N.T.U) pour le point Atso de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016

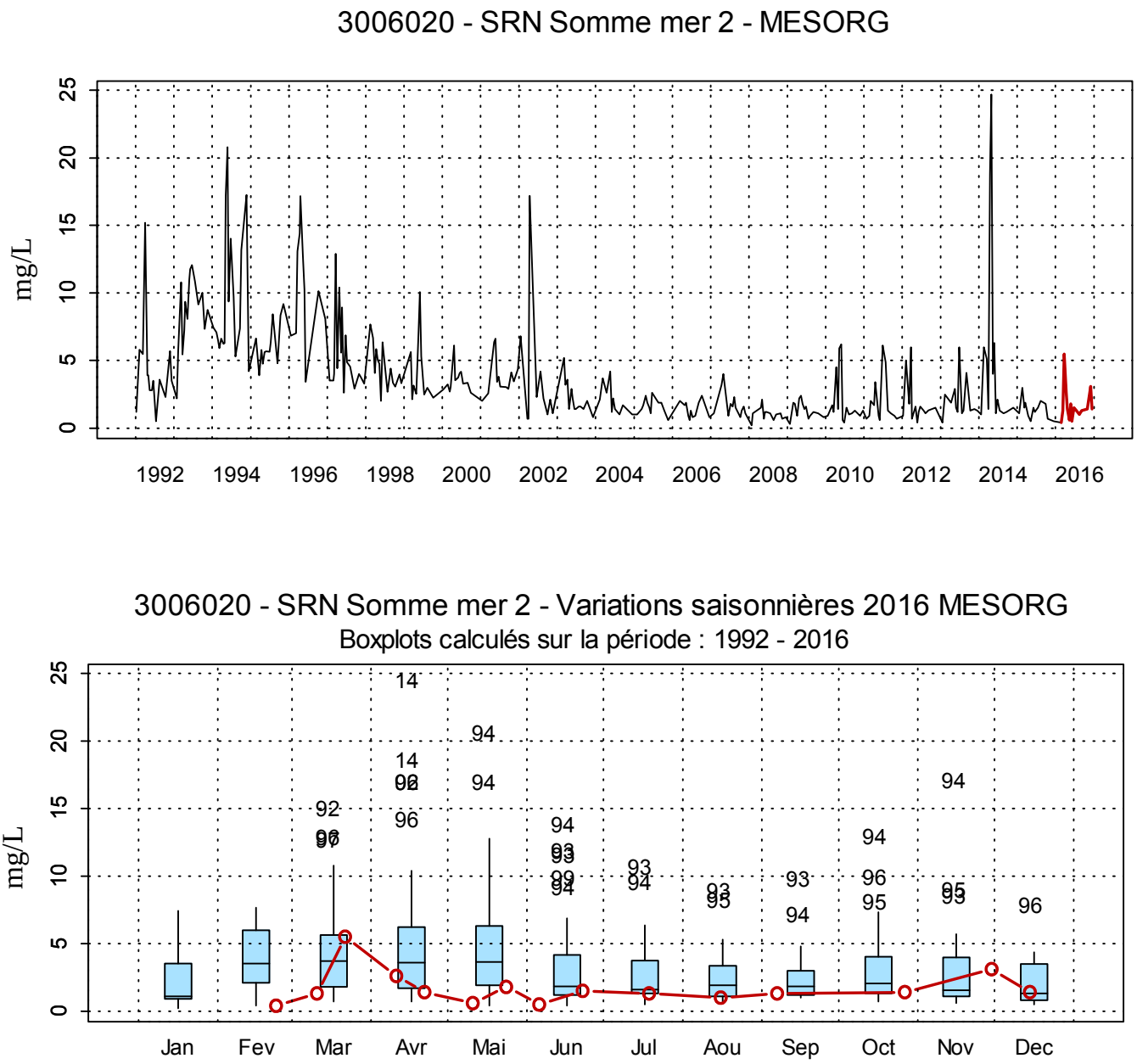


Figure 95. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) pour la turbidité (N.T.U) pour le point mer 2 de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016

- ***Ammonium***

Sur la période 1992-2015, la concentration en ammonium sur la radiale de la Baie de Somme est relativement faible (2,00 µmol/L en moyenne) (Tableau 57). Les concentrations sont comprises entre 0,02 et 33,1 µmol/L. Les valeurs les plus fortes sont mesurées en mars et juin 1997 pour le point Bif ; en mars 1997 et en décembre 1998 pour le point Mimer ; en avril, mai, juin 1992 pour le point Atso ; en avril 1992 et en mai-décembre 1998 pour le point Mer 2. Les minima correspondent au seuil de détection (Figures 96 à 99). La dynamique saisonnière est marquée par des valeurs plus fortes en automne/hiver et des faibles valeurs le reste de l'année (Figures 96 à 99). Comme pour le nitrate-nitrite, cette dynamique est conforme avec une utilisation des nutriments par le phytoplancton pendant la période productive.

Pour l'année 2016, la dynamique saisonnière est semblable à celle de 1992-2015 malgré des concentrations légèrement plus faibles (1,77 µmol/L en moyenne pour la radiale). De plus, les valeurs maximales pour les points sont nettement inférieures à celles de la période 1992-2015 (au maximum 11,9 µmol/L au point Bif en octobre (valeur exceptionnelle)) (Tableau 58 et Figure 96). Les minima s'observent au printemps et en été et sont de 0,15 µmol/L pour les points Bif, Atso et Mer 2 (Tableau 58). Aux points Bif et Mimer, les valeurs sont supérieures à la médiane voire au 3ième quartile de septembre à décembre et en juin pour le point Bif et de août à octobre pour le point Mimer. Durant les autres périodes, les valeurs ne sont pas anormales. Au point Atso, le même phénomène apparaît, les valeurs sont supérieures à la médiane voire au 3^{ième} quartile d'octobre à décembre et en mars au point Atso. Au point Mer 2, les valeurs sont supérieures à la médiane pour le mois de septembre et d'octobre mais à des concentrations très faibles (Figures 96 à 99).

Le gradient large-côte est faible et généralement négatif sauf en septembre avec 0,4 mg/L. La concentration en ammonium est donc légèrement plus élevée en zone côtière (Annexe 1).

Tableau 57. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en ammonium (µmol/L) pour la radiale de la Baie de Somme sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BIF	0,02	0,45	1,17	2,42	3,22	3,10	24,7	333	49
MIMER	0,02	0,38	1,09	2,12	2,89	3,05	24,2	260	34
ATSO	0,02	0,40	0,92	2,15	3,79	2,67	30,7	333	196
MER 2	0,05	0,15	0,42	1,31	2,81	1,26	33,1	309	30

Tableau 58. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en ammonium (µmol/L) pour la radiale de la Baie de Somme en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BIF	0,15	0,75	2,06	2,94	3,36	3,56	11,9	15	1
MIMER	0,15	0,33	0,75	2,00	2,49	3,16	9,05	15	1
ATSO	0,16	0,61	0,90	1,62	1,84	1,69	6,62	15	1
MER 2	0,15	0,15	0,23	0,52	0,49	0,83	1,60	15	1

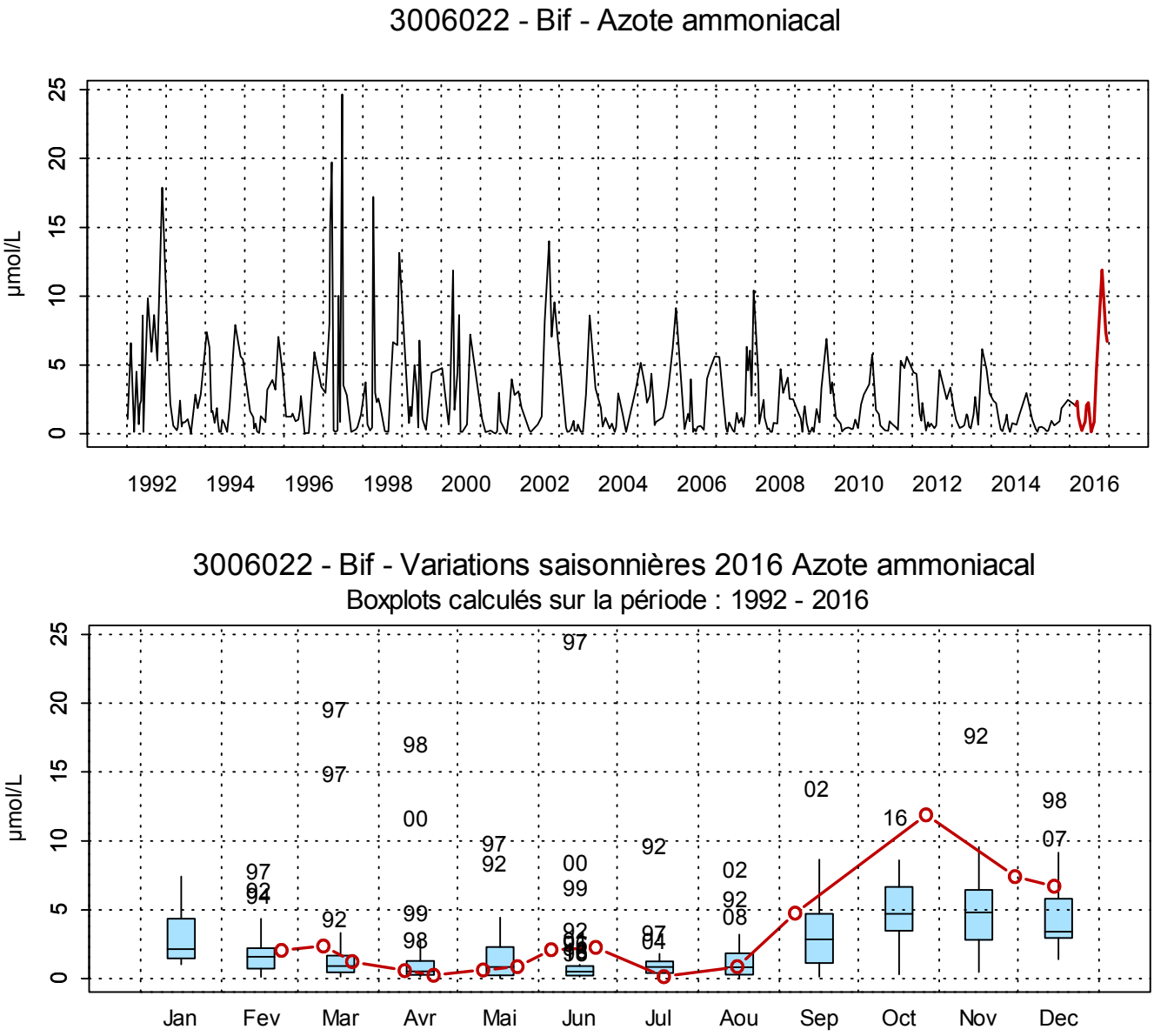


Figure 96. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en ammonium (µmol/L) pour le point Bif de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016

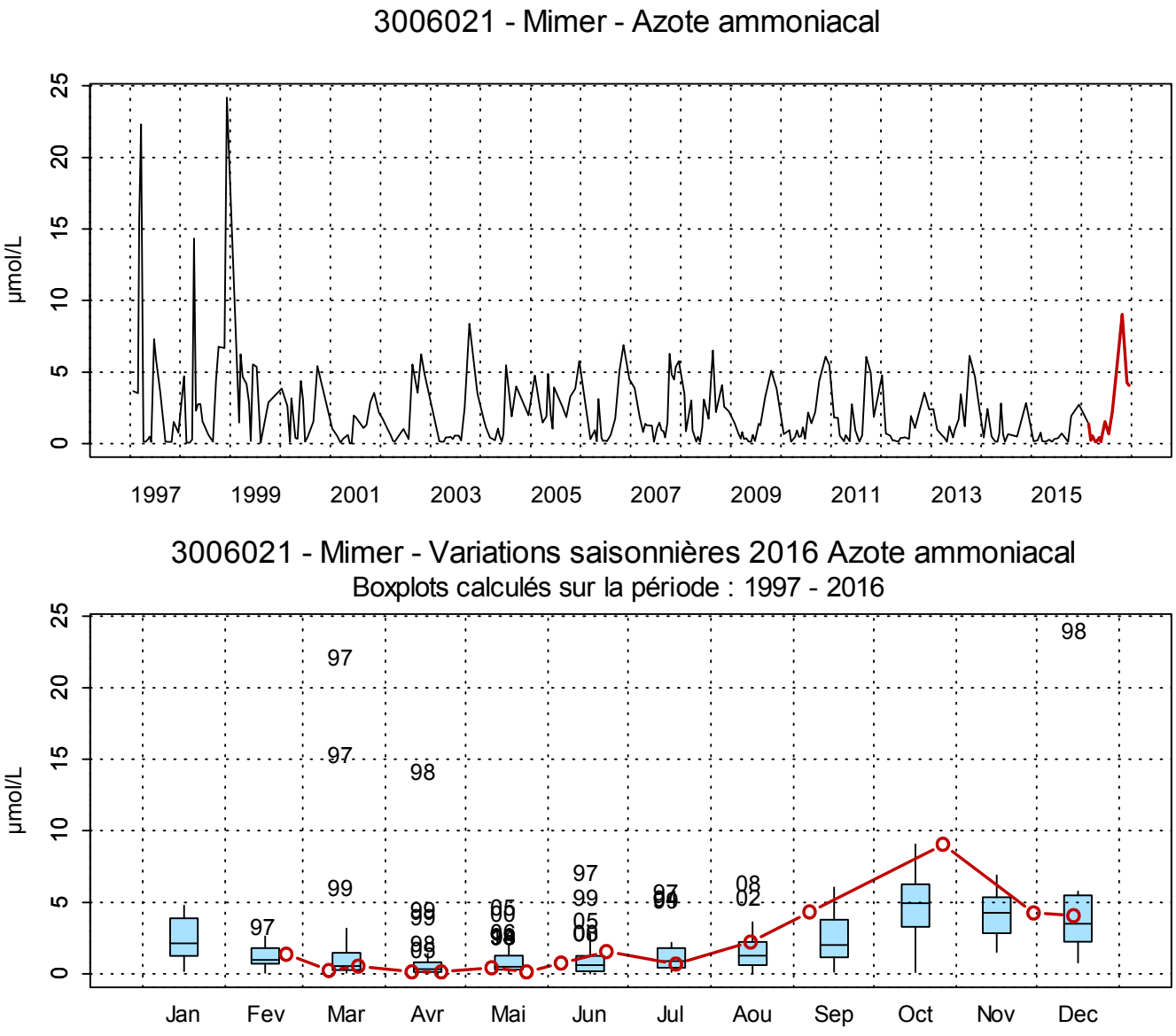


Figure 97. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en ammonium (µmol/L) pour le point Mimer de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1997-2016

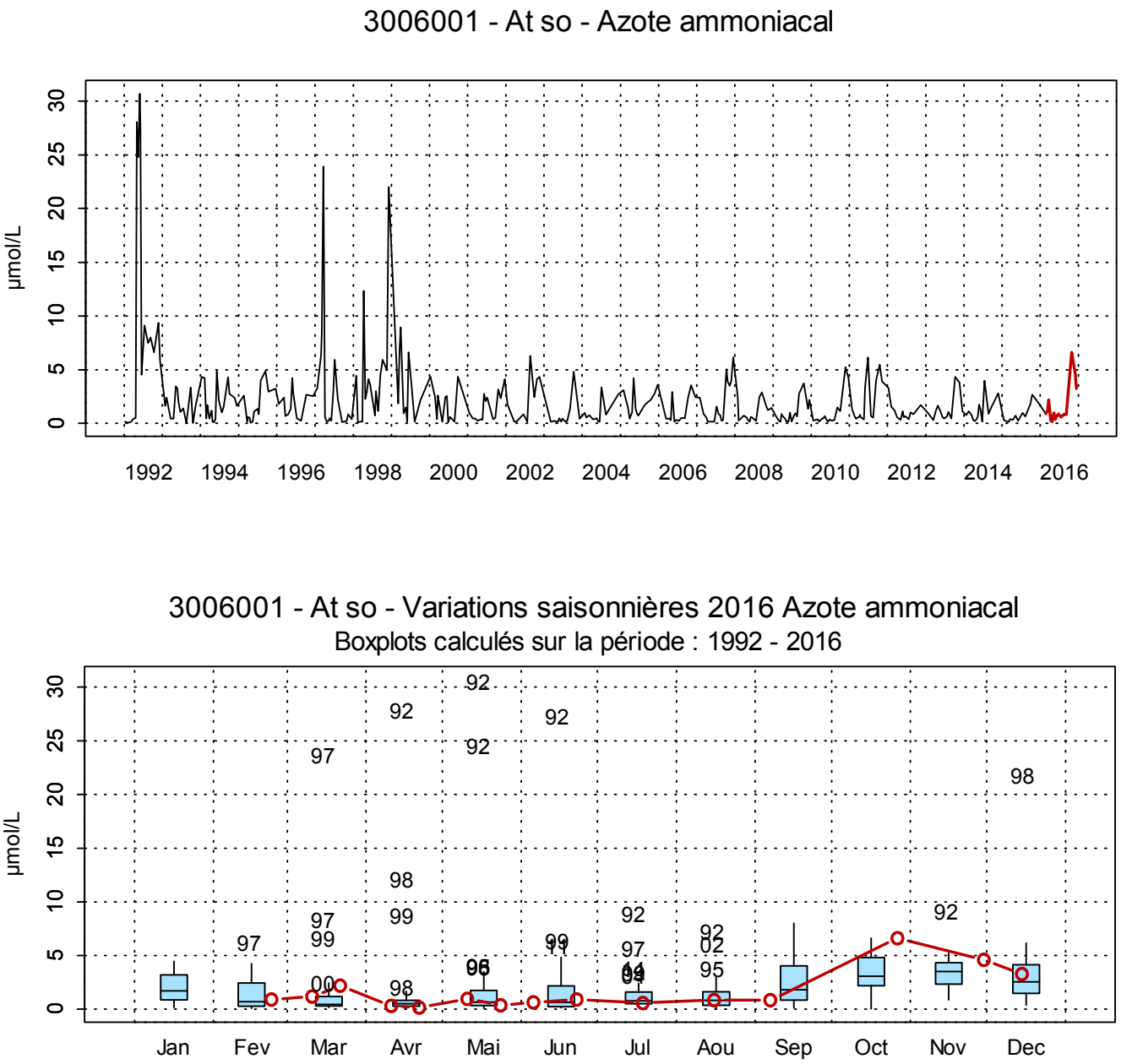


Figure 98. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en ammonium (µmol/L) pour le point Atso de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016

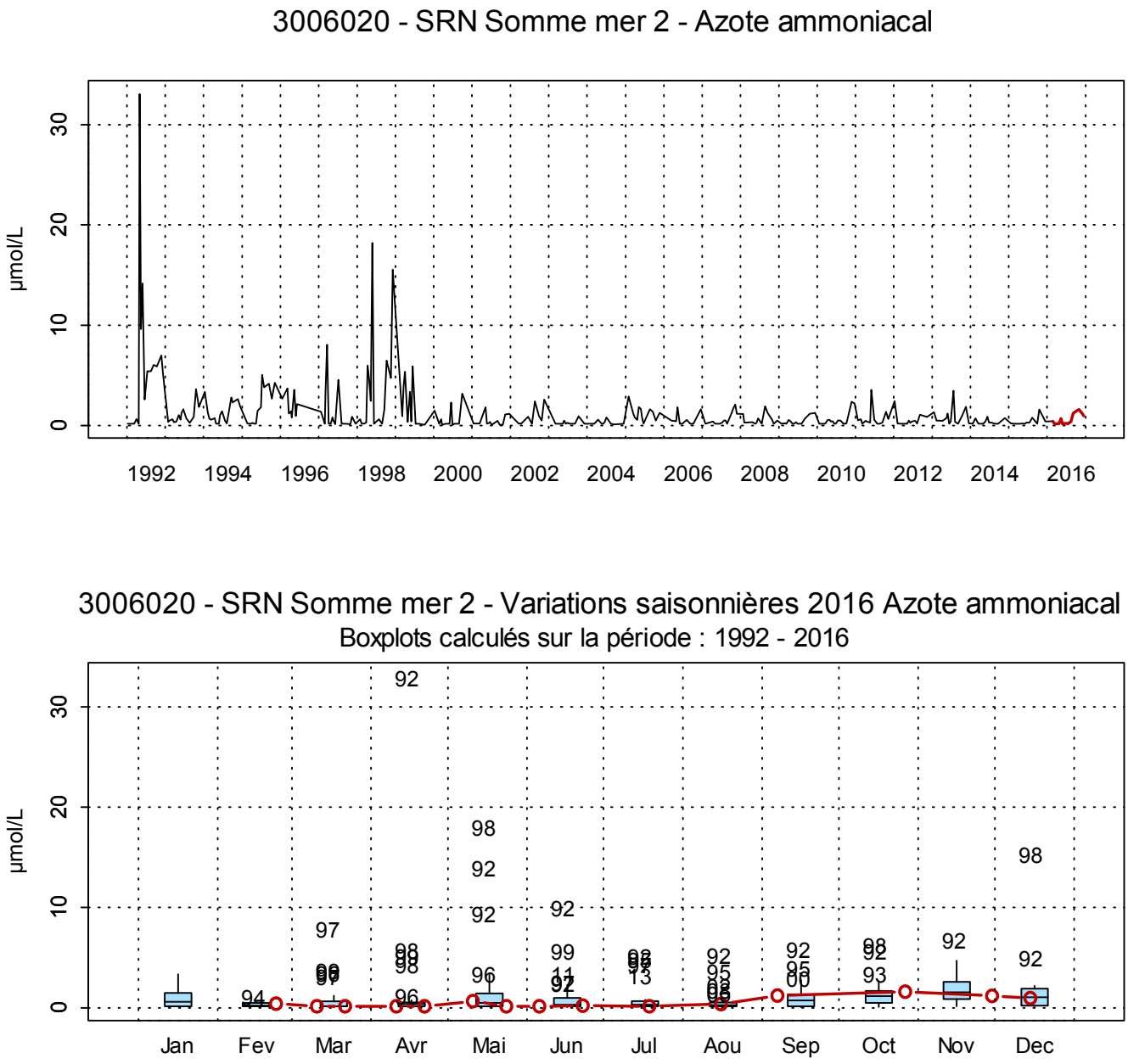


Figure 99. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en ammonium (µmol/L) pour le point Mer 2 de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016

- ***Nitrite + Nitrate***

Depuis 1992, les concentrations moyennes en nitrite-nitrate varient entre 18,2 µmol/L et 9,83 µmol/L selon les points de la radiale (Tableau 59). La concentration en nitrite et en nitrate augmente près de la côte. Les valeurs les plus fortes sont obtenues en février, en avril 1994 et en mai 2000 pour le point Bif ; en mars 2002 pour le point Mimer ; en février 1995 et en décembre 2001 pour le point Atso ; en mars pour le point Mer 2 (Figures 100 à 103). Les minima sont de l'ordre du seuil de détection (0,03 µmol/L) (Tableau 59). La dynamique de la concentration en nitrite et en nitrate est marquée par une diminution des concentrations à partir de mars et une augmentation à partir de septembre (Figures 100 à 103).

Les médianes relevées en 2016 sont supérieures à celles de la période 1992-2015. En effet, les concentrations en nitrite-nitrate varient de 13,0 µmol/L à 3,98 µmol/L de 1992 à 2015 (Tableau 59) contre 15,5 µmol/L à 7,70 µmol/L en 2016 (de la côte vers le large) (Tableau 60). Cependant, la dynamique saisonnière est toujours flagrante (Figures 100 à 103). Au point Bif et Mimer, des valeurs extrêmes sont observables : en juillet, août et octobre au point Bif et en avril, juin, octobre pour le point Mimer. Fin mars, aux deux points, la concentration en nitrite-nitrate est particulièrement basse (inférieure au 1er quartile) Aux autres points, des valeurs sont également supérieures à la médiane voire même au 3ème quartile (fin juin et octobre pour Atso et Mer 2) mais aussi inférieures au 1er quartile (mars) (Figures 100 à 103).

Le gradient côte large est généralement négatif sauf en avril, il varie de -9,53 µmol/L à 8,12 µmol/L (Annexe 1). La concentration en nitrate-nitrite est généralement plus élevée près des côtes.

Tableau 59. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en nitrite et en nitrate (µmol/L) pour la radiale de la Baie de Somme sur la période 1997-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BIF	0,15	3,12	13,0	18,2	19,1	28,0	133,9	334	48
MIMER	0,15	2,40	9,28	14,6	14,4	24,2	64,2	260	34
ATSO	0,10	1,91	7,20	12,7	13,2	20,8	56,9	333	196
MER 2	0,03	0,75	3,98	9,83	11,7	17,0	51,5	308	31

Tableau 60. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en nitrite et en nitrate (µmol/L) pour la radiale de la Baie de Somme en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BIF	4,30	6,50	15,5	21,0	18,0	31,5	68,9	15	1
MIMER	2,26	6,50	14,3	16,6	12,0	24,3	36,6	14	2
ATSO	0,60	3,65	9,63	10,9	9,51	17,3	29,9	15	1
MER 2	0,15	2,06	7,70	8,38	8,12	11,5	28,6	14	2

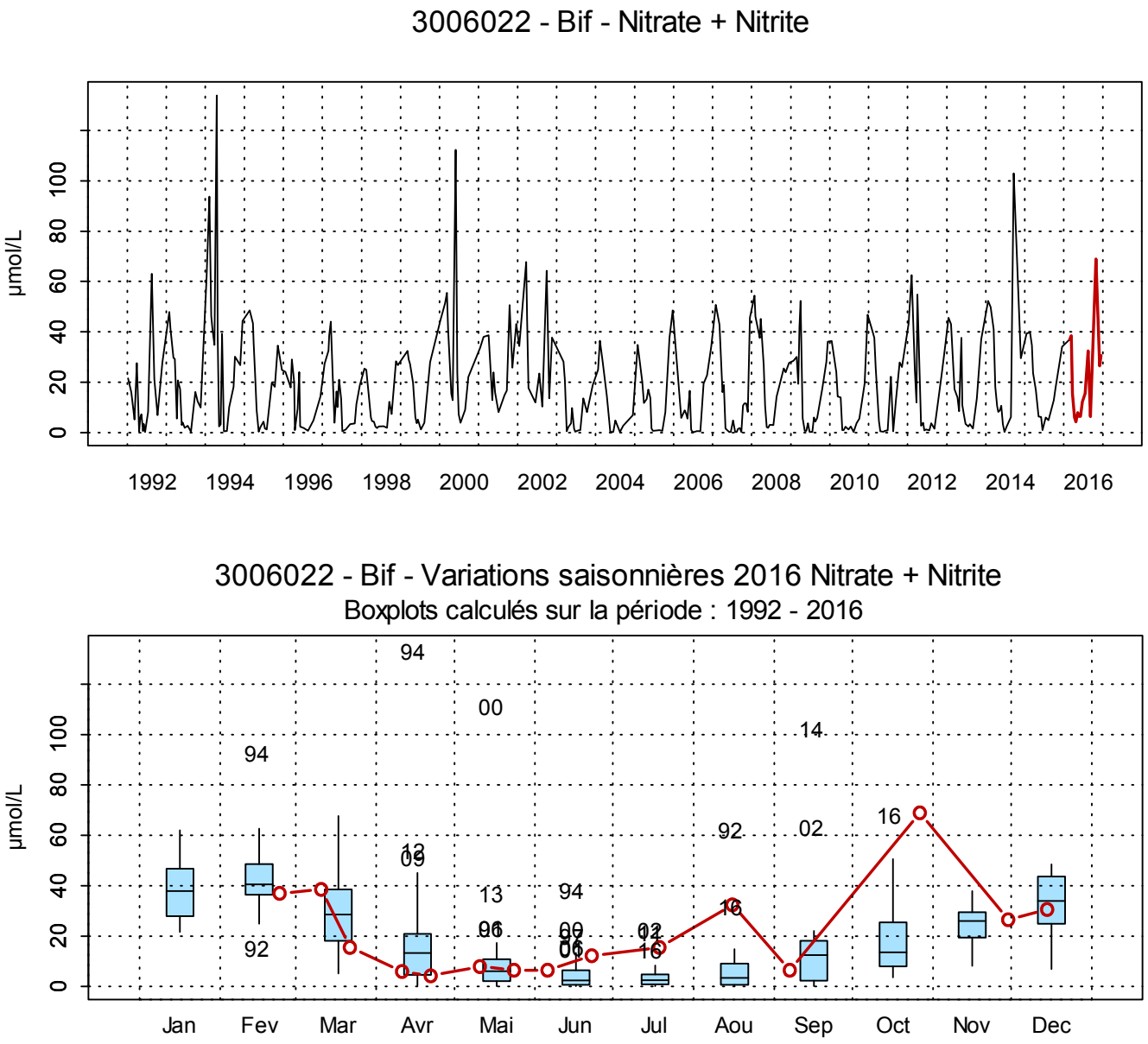


Figure 100. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en nitrite (µmol/L) pour le point Bif de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016

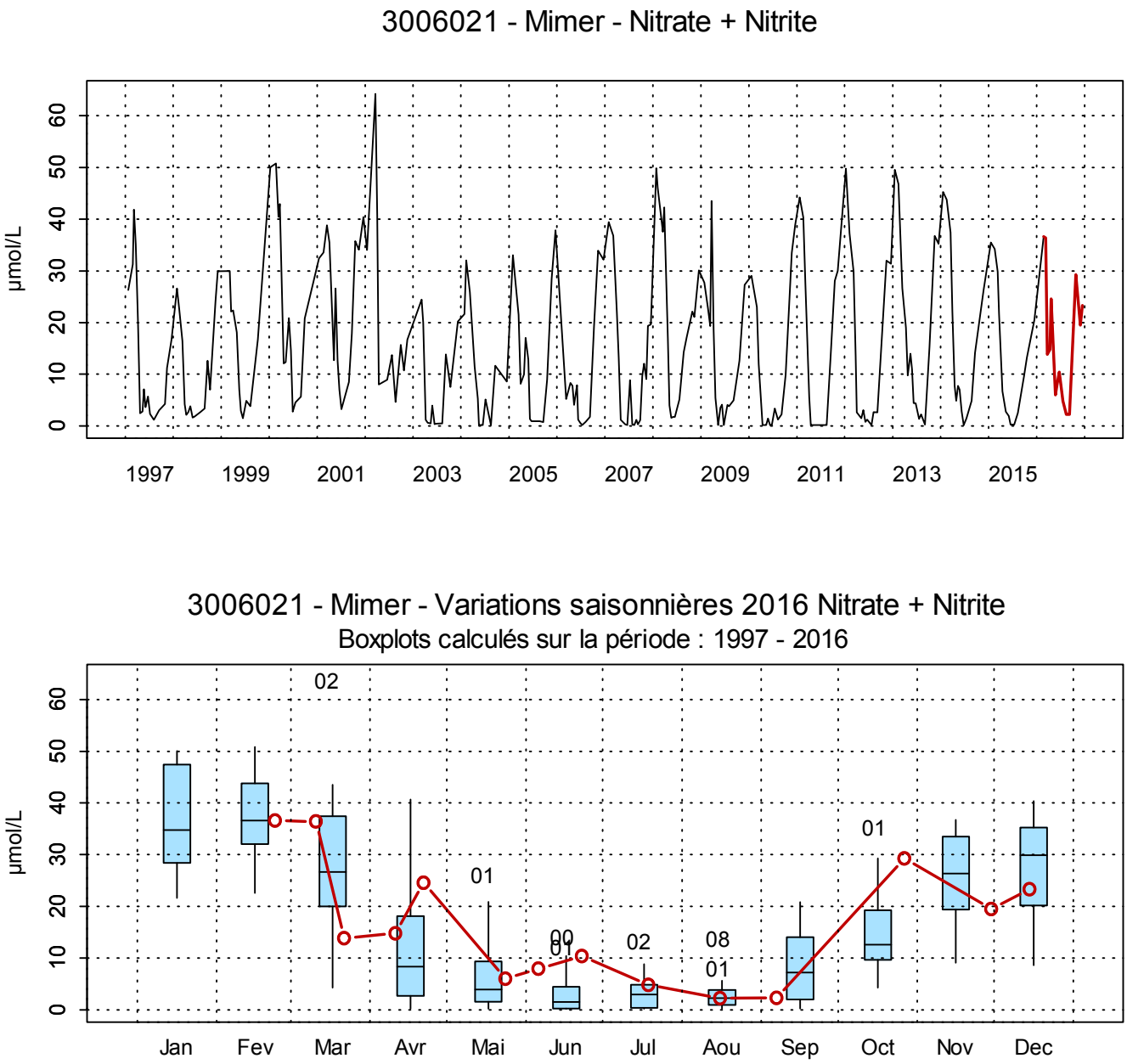
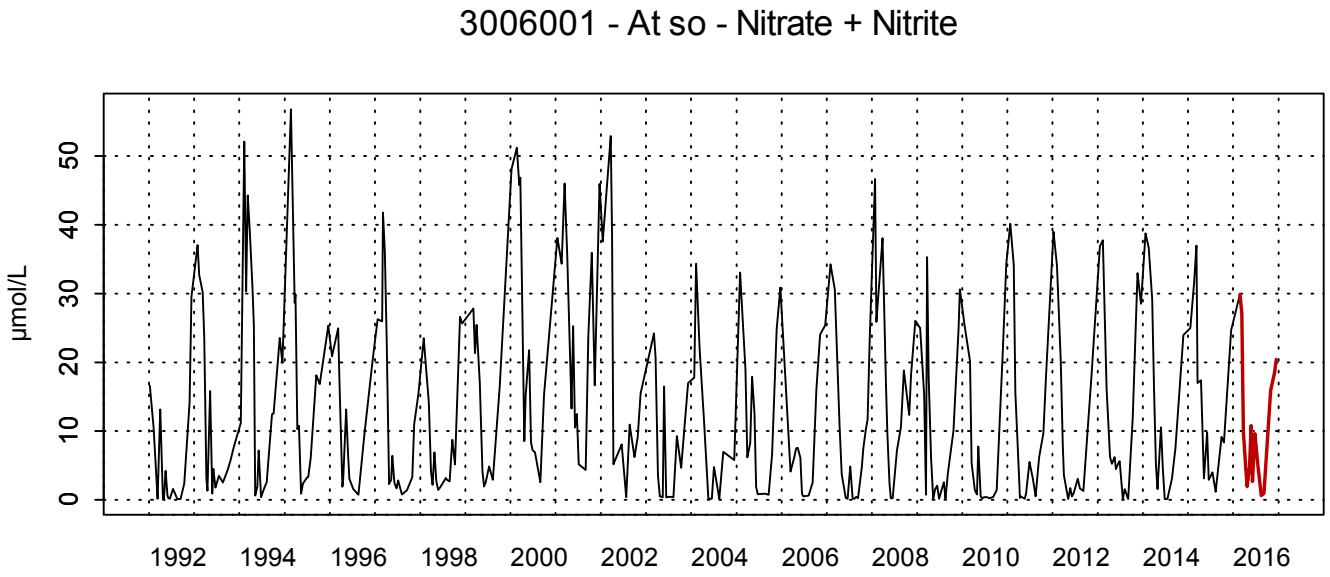


Figure 101. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en nitrite (µmol/L) pour le point Mimer de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016



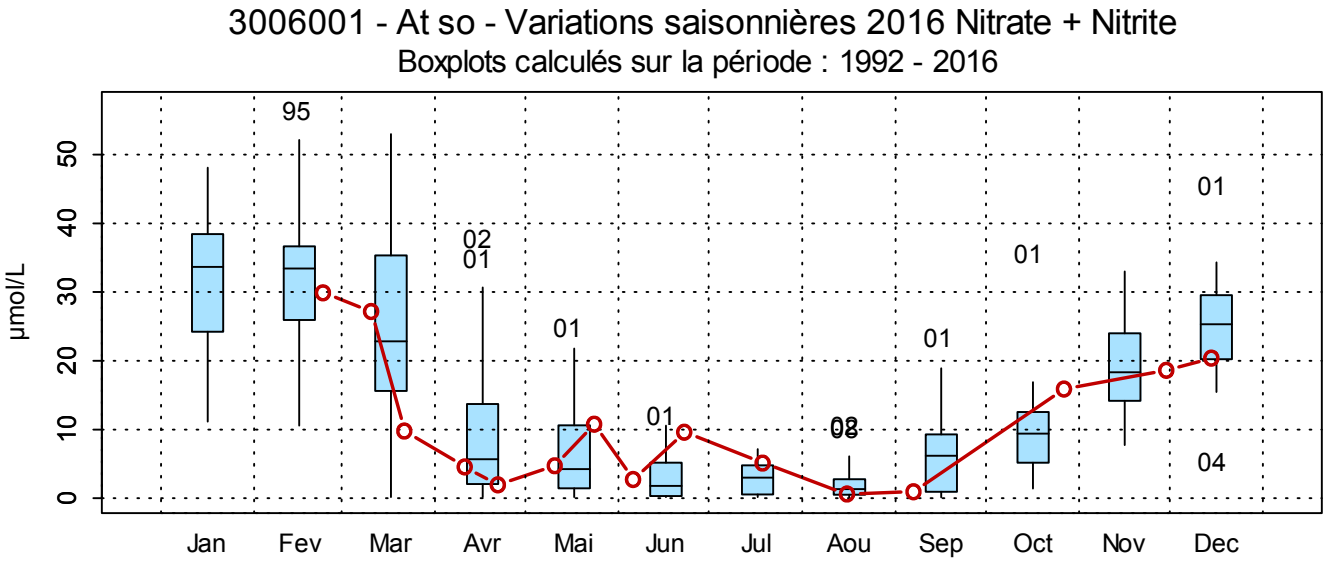


Figure 102. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en nitrite (µmol/L) pour le point Atso de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016

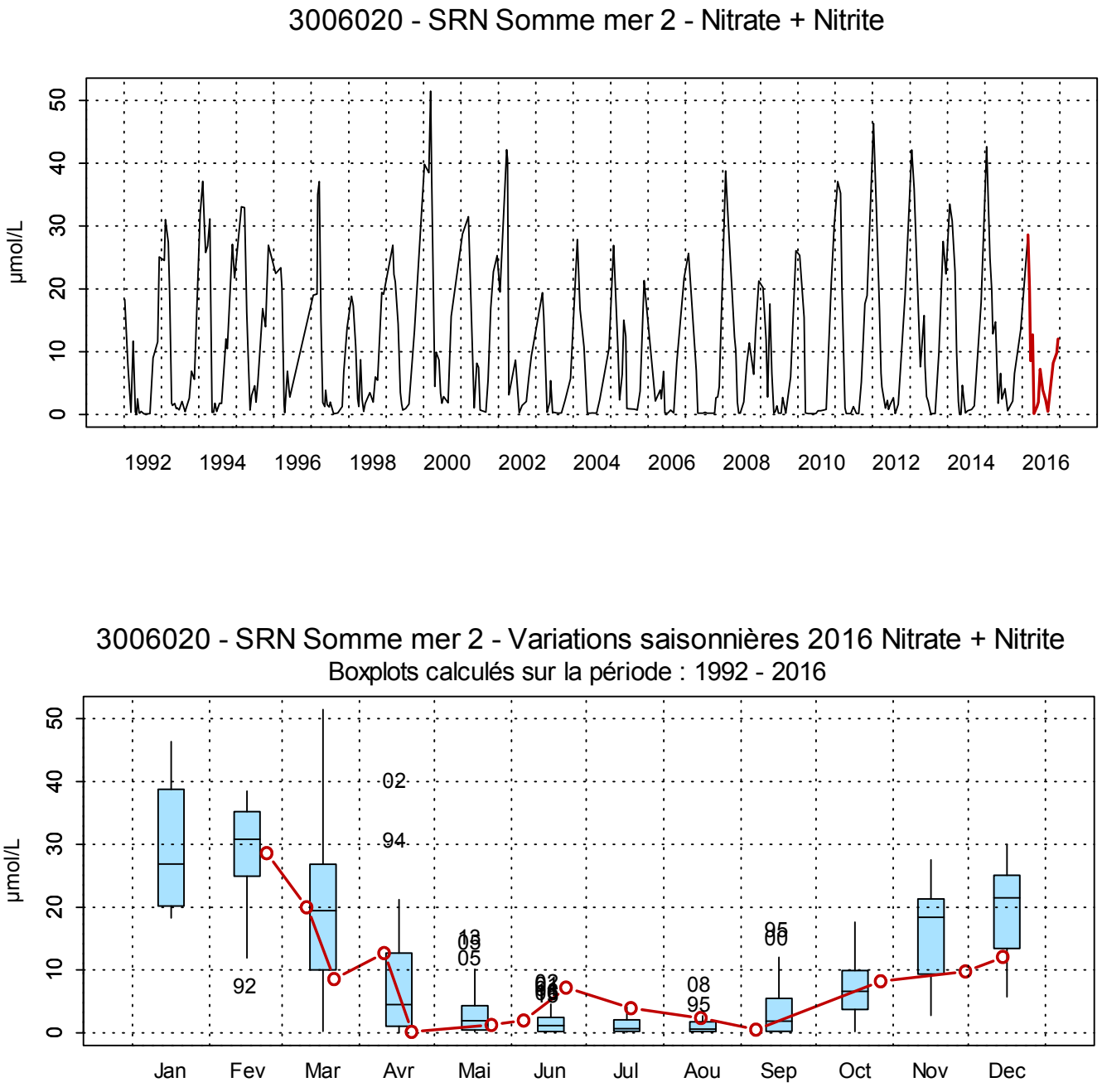


Figure 103. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en nitrite (µmol/L) pour le point Mer 2 de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016

- ***Phosphate***

Depuis 1992, la concentration en phosphate mesurée excède rarement 2,0 µmol/L (0,60 µmol/L en moyenne pour la radiale) (Tableau 51). Les valeurs les plus fortes sont obtenues en janvier et mars 1992 ainsi qu'en janvier et février 1993 pour le point Bif ; en mars, mai et juin 2008 et en février 2012 pour le point Mimer ; en mai, juin puis décembre 1992 pour le point Atso ; en janvier, mai, juin et décembre pour le point Mer 2 (Tableau 63). Les minima pour les quatre points sont de 0,02 µmol/L et 0,03 µmol/L (Tableau 63). La dynamique saisonnière est marquée par des valeurs plus fortes en hiver et plus faibles le reste de l'année (Figures 105 à 108).

En 2016, les concentrations en phosphate sont plus faibles. En effet, la moyenne des valeurs sur la radiale est de 0,32 µmol/L. La variabilité est faible avec au minimum 0,05 µmol/L de phosphate (Mimer et Mer 2) et au maximum 1,27 µmol/L (en avril pour Mimer) (Tableau 64). Aux quatre points, pratiquement toutes les valeurs sont inférieures ou à peu près égales à la médiane sauf pour la fin du mois d'avril au point Mimer (valeur extrême) et le début du mois de mai pour le point Atso (Figures 105 à 108).

Le gradient large-côte varie entre -0,38 et 0,04 µmol/L, il est globalement négatif sauf au début du mois d'avril. Donc les concentrations près des côtes sont plus fortes par rapport au large (Annexe 1).

Tableau 63. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en phosphate (µmol/L) pour la radiale de la Baie de Somme sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BIF	0,02	0,19	0,39	0,93	2,49	0,85	31,5	330	52
MIMER	0,03	0,20	0,42	0,58	0,56	0,81	4,73	260	34
ATSO	0,03	0,13	0,27	0,44	0,42	0,64	3,03	334	195
MER 2	0,03	0,11	0,30	0,45	0,48	0,66	3,32	311	28

Tableau 64. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en phosphate (µmol/L) pour la radiale de la Baie de Somme en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BIF	0,13	0,18	0,34	0,43	0,29	0,69	0,95	15	1
MIMER	0,05	0,05	0,20	0,36	0,38	0,53	1,27	14	2
ATSO	0,09	0,13	0,20	0,31	0,23	0,48	0,78	15	1
MER 2	0,05	0,05	0,10	0,17	0,15	0,26	0,46	14	2

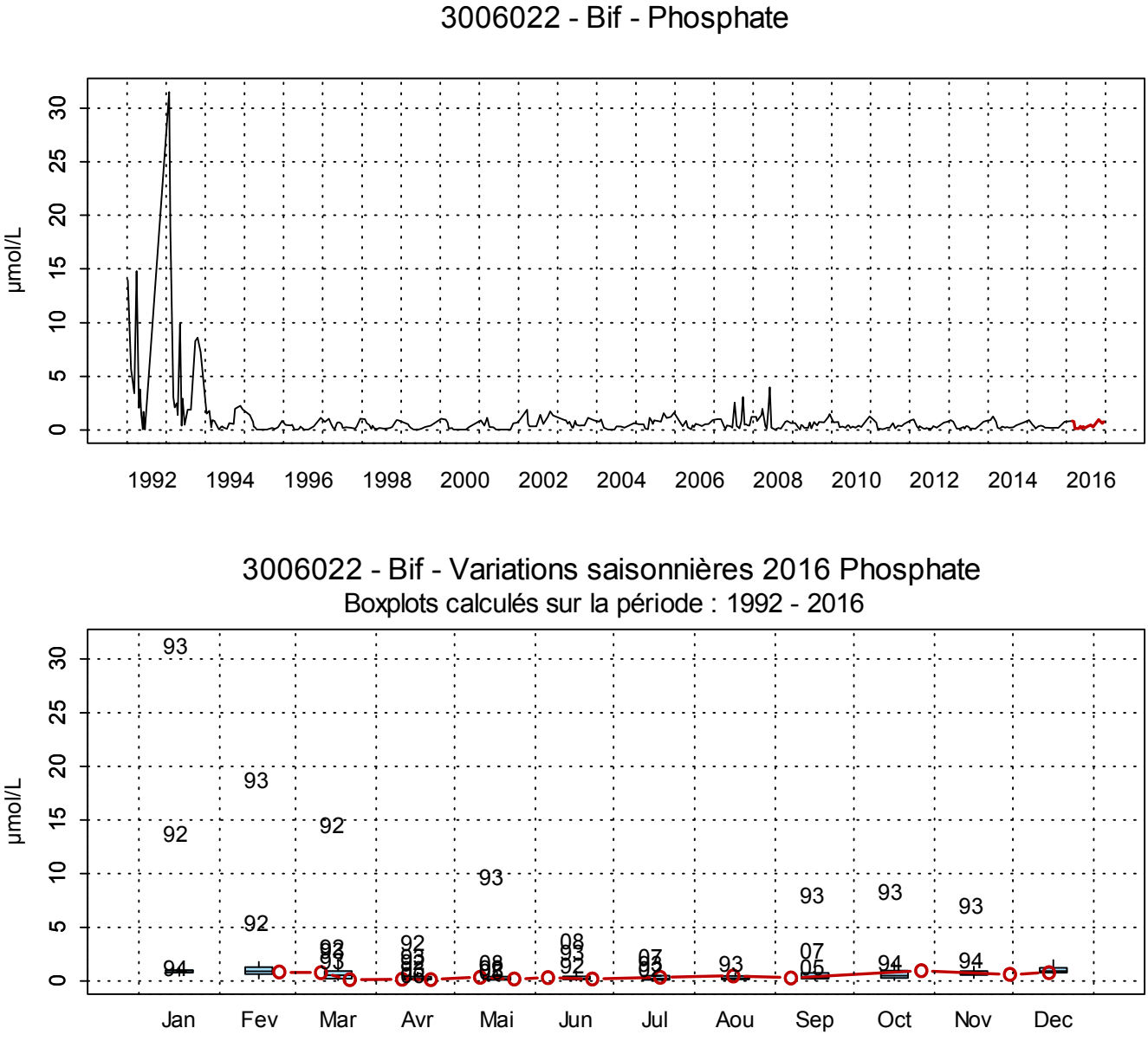


Figure 104. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en phosphate (µmol/L) pour le point Bif de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016

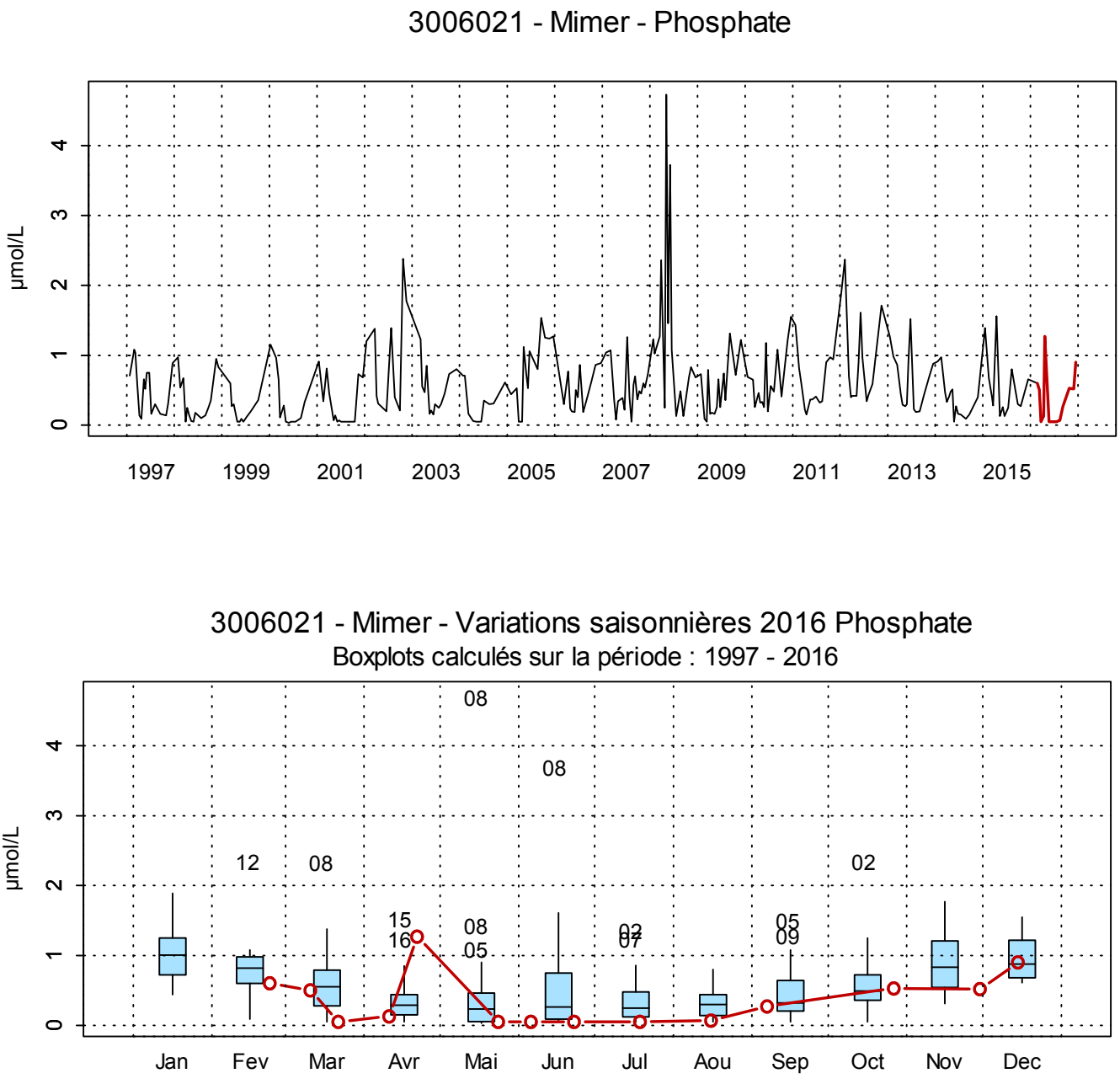


Figure 105. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en phosphate (µmol/L) pour le point Mimer de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1997-2016

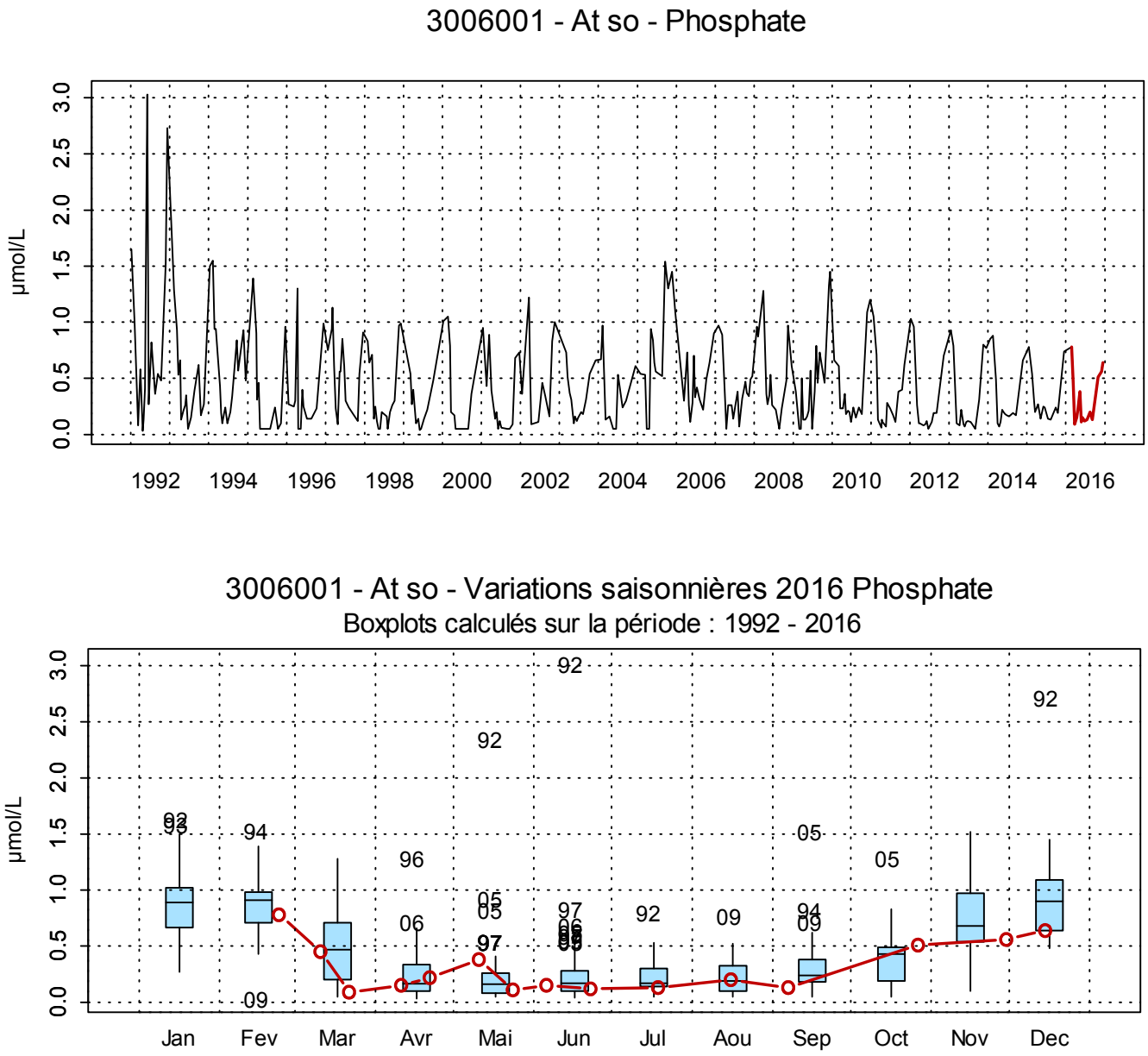


Figure 106. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en phosphate (µmol/L) pour le point Atso de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016

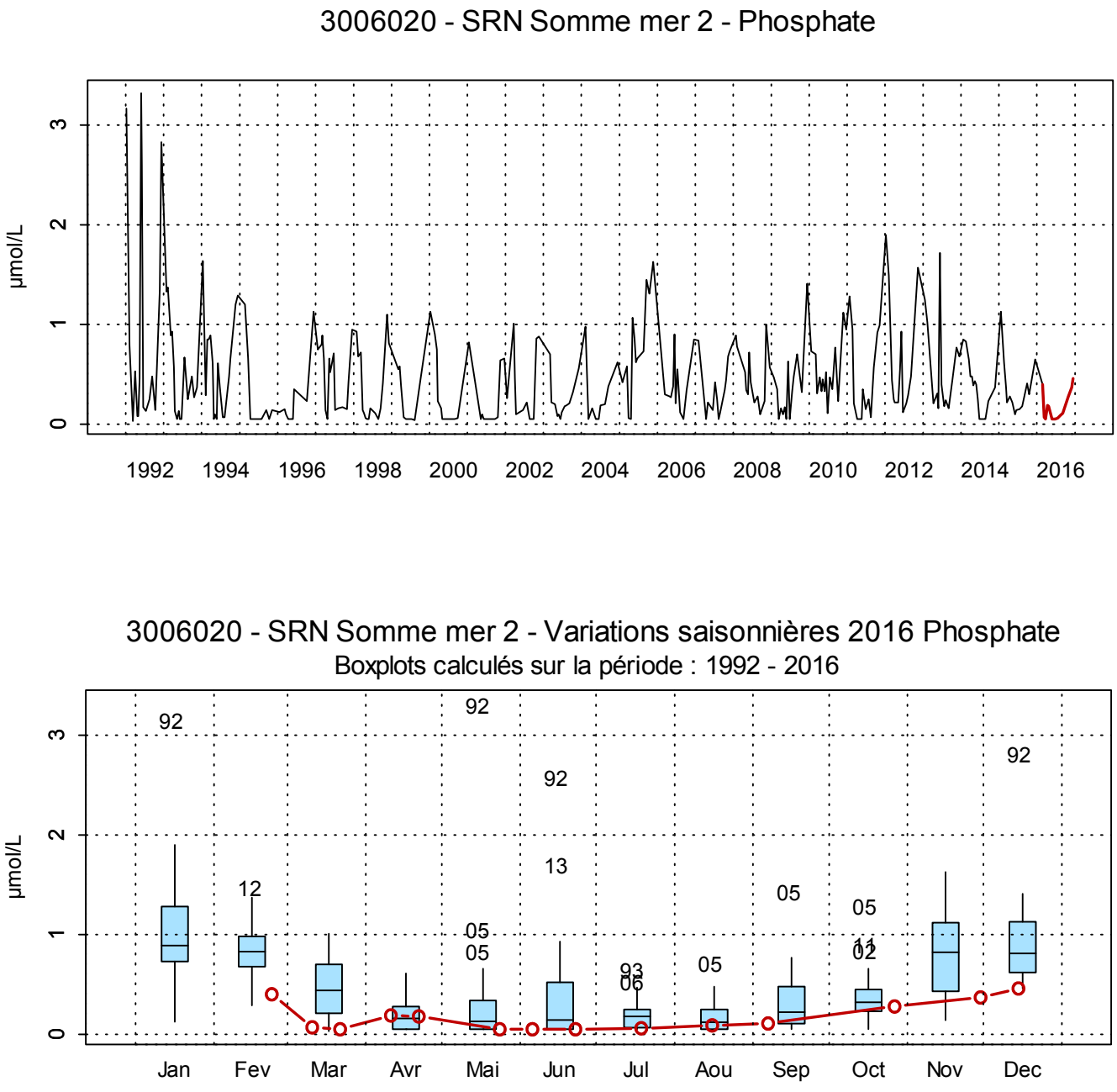


Figure 107. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en phosphate (µmol/L) pour le point Mer 2 de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016

Silicate

Les concentrations varient entre 0,06 µmol/L et 108,8 µmol/L depuis 1992 et la moyenne est de 6,56 µmol/L (Tableau 65). La variabilité peut être importante. De manière générale, comme pour le phosphate, 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 mars 2002 pour les points Bif et Mimer ; en novembre 2013 pour le point Atso ; ; en avril 1994 et en septembre 2001 pour le point Mer 2 (Figures 109 à 111).

Les concentrations en 2016 sont en moyenne de 6,60 µmol/L. Des valeurs exceptionnelles sont mesurées cette année au point Bif avec environ 20,8 µmol/L au mois d'août et 39,3 µmol/L au mois d'octobre (Tableau 66). Les maxima sont compris entre 10,1 µmol/L et 39,3 µmol/L de la côte vers le large. Les minima sont compris entre 0,10 µmol/L et 0,81 µmol/L de mars à juin (période productive) (Tableau 66). Aux points Bif et Mimer, des valeurs sont supérieures à la médiane voire même au 3ème quartile (majoritairement de juin à octobre pour les deux points) avec des valeurs extrêmes en août et octobre. En ce qui concernent les autres périodes, les valeurs sont soit égales, soit inférieures à la médiane. Aux points Atso et Mer 2, les valeurs restent relativement proches de la médiane. Il n'y a pas de valeur anormale cette année pour ces points (Figures 109 à 111).

Le gradient large-côte est compris entre -6,91 et 2,49 µmol/L. Le gradient est majoritairement négatif sauf fin avril et entre le mois de juillet et le mois de septembre (Annexe 1). Les concentrations en silicates sont globalement plus élevées près des côtes.

Tableau 65. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en silicate (µmol/L) pour la radiale de la Baie de Somme sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BIF	0,09	1,63	4,06	8,32	10,5	12,5	108,8	334	48
MIMER	0,10	1,30	4,16	7,11	7,43	11,4	32,1	260	34
ATSO	0,06	1,01	3,60	6,30	6,90	10,0	41,0	334	195
MER 2	0,06	0,57	2,24	4,49	5,62	6,63	45,8	311	28

Tableau 66. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en silicate (µmol/L) pour la radiale de la Baie de Somme en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BIF	0,73	2,84	7,69	10,9	10,4	16,0	39,3	15	1
MIMER	0,81	1,58	6,22	7,39	6,40	11,8	20,3	15	1
ATSO	0,20	1,19	1,90	4,82	5,22	8,89	13,9	15	1
MER 2	0,10	0,49	2,23	3,28	3,38	6,26	10,1	15	1

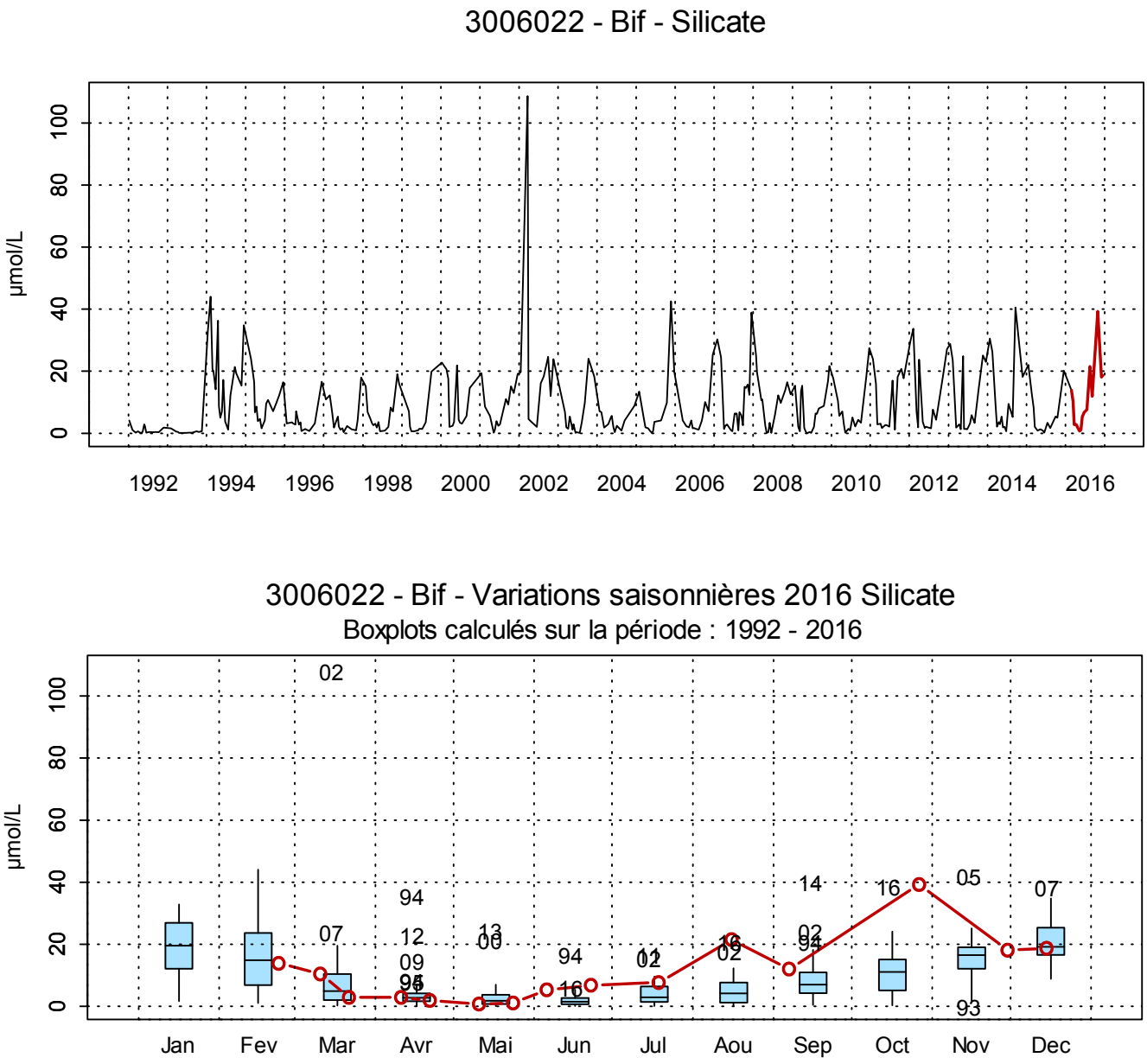


Figure 108. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en silicate (µmol/L) pour le point Bif de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016

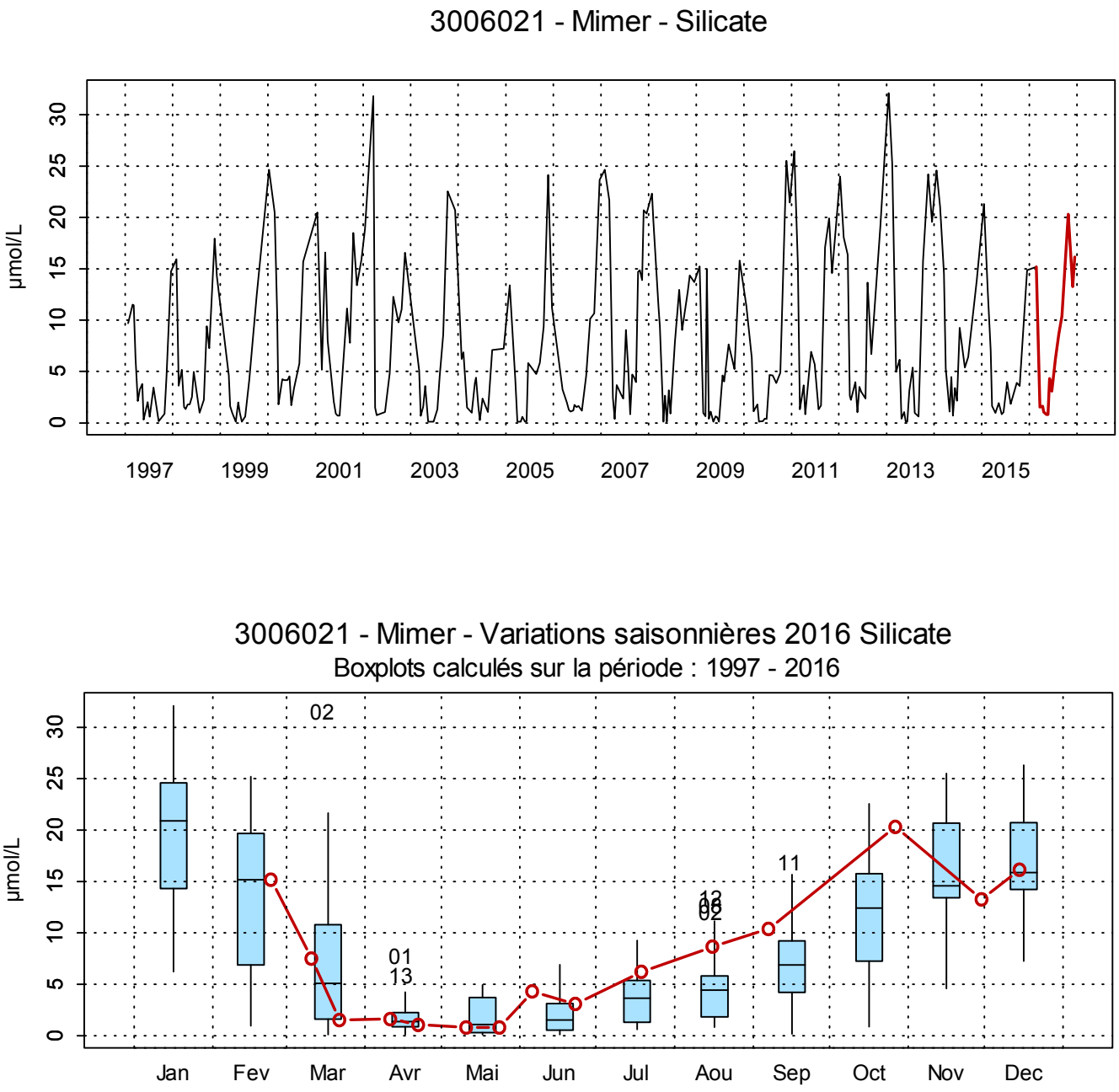


Figure 109. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en silicate (µmol/L) pour le point Mimer de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1997-2016

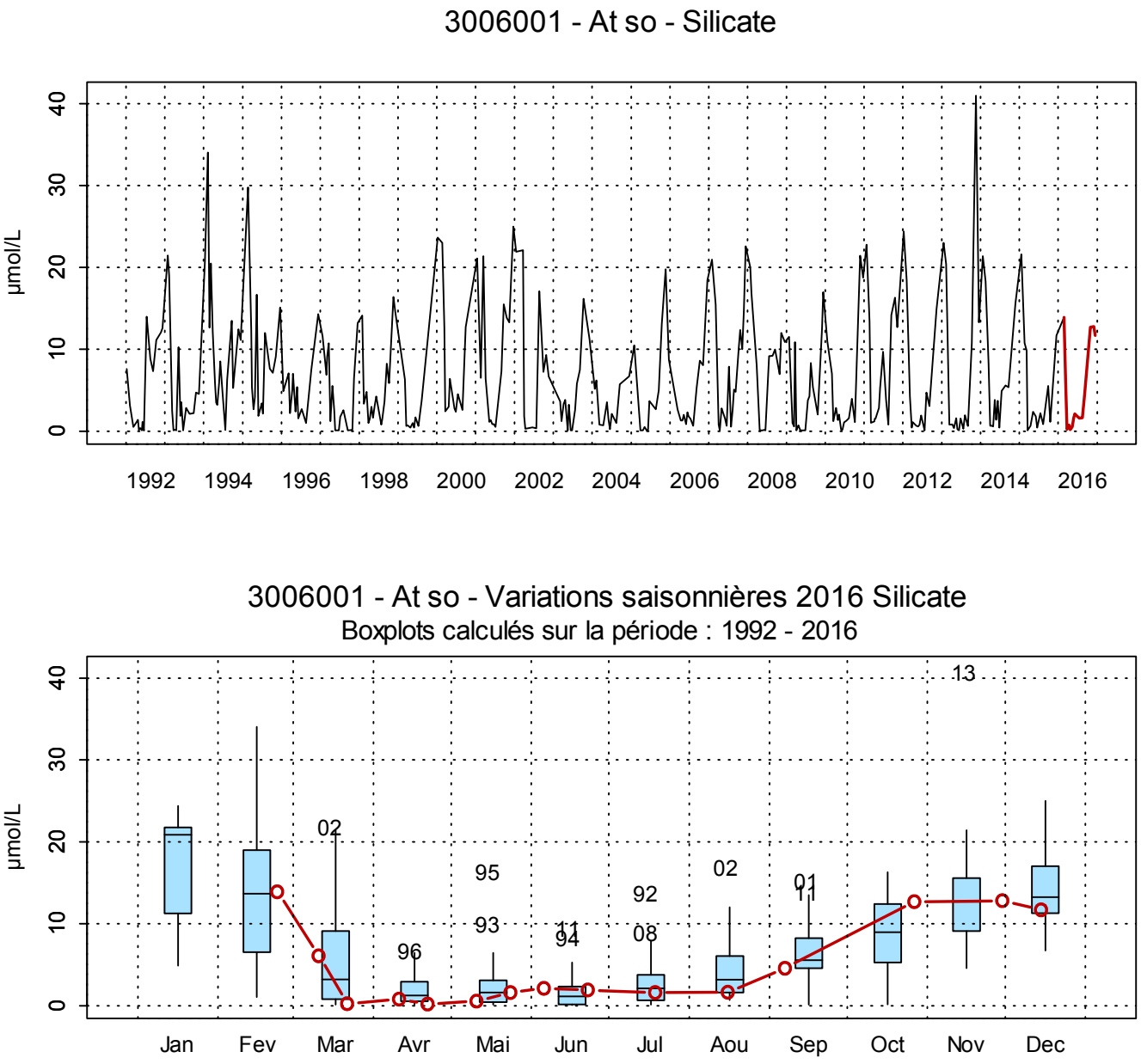


Figure 110. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en silicate (µmol/L) pour le point Atso de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016

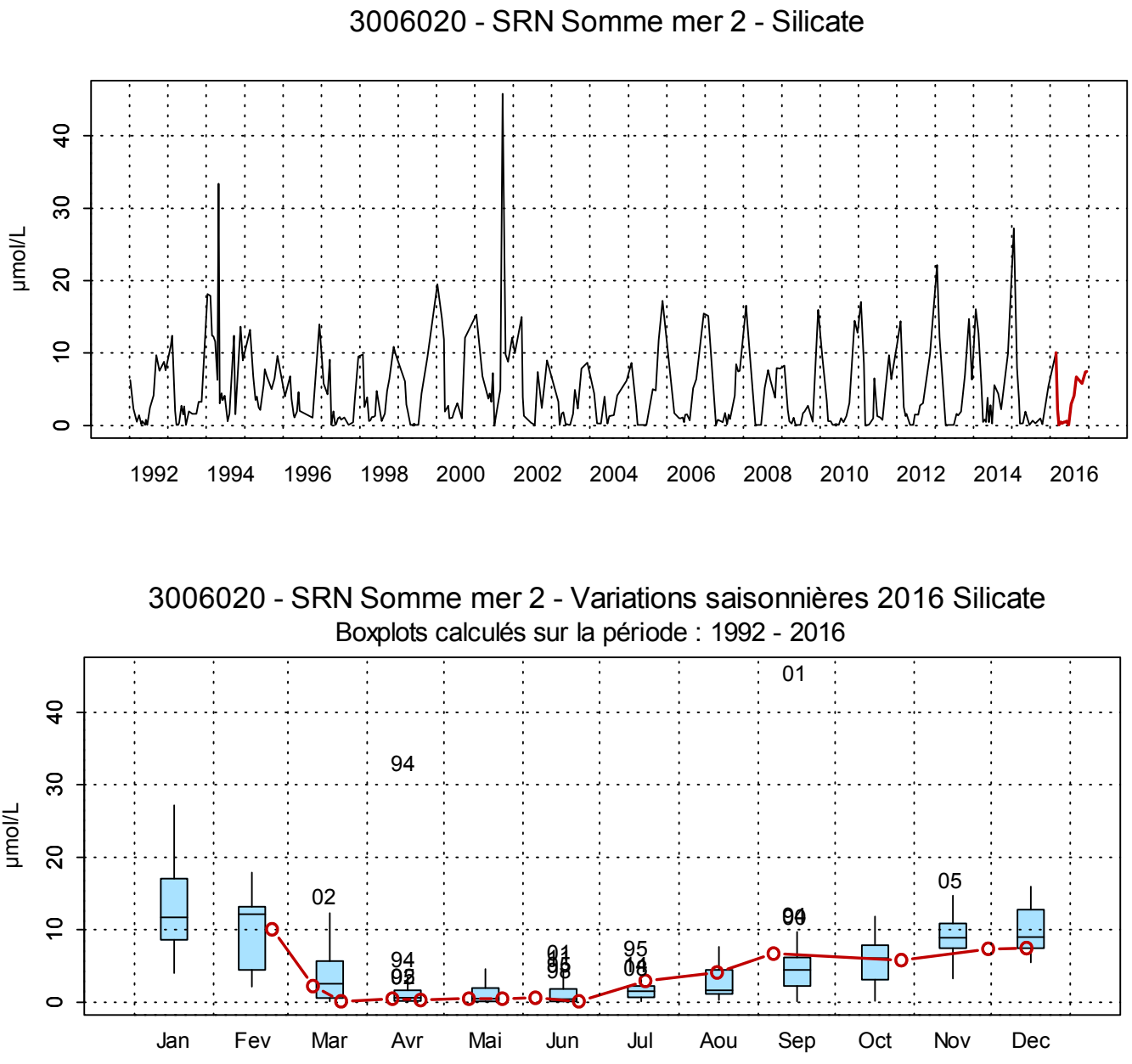


Figure 111. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en silicate (µmol/L) pour le point Mer 2 de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016

- ***Oxygène dissous***

L'oxygène dissous présente un cycle saisonnier. En effet, sa concentration est plus élevée de novembre à avril avec les apports des eaux continentales, mais elle diminue de mai à octobre car les bactéries se développent en consommant l'oxygène et la matière organique produite par le phytoplancton durant la période productive (Figure 104). Des valeurs extrêmes ont pu être observées pour le point Bif en septembre 2008, en juillet et août 2012 ainsi qu'en mai 2015. En mai 2008, une valeur minimale de 1,94 mg/L est relevée sur ce point (Figure 104).

En 2016, le schéma d'évolution de la concentration de l'oxygène dissous n'a pas beaucoup évoluée pour les points. En revanche, une valeur extrême est observée en novembre et une baisse de la concentration est plus marquée en juin (valeur minimum de l'année avec 7,66 mg/L) par rapport à la période 2008-2015 (Figure 104). Les valeurs de la médiane sont légèrement supérieures à la période 1992-2015 (8,67 à 8,88 mg/L en 2016 contre 8,52 à 8,69 mg/L pour la radiale de Dunkerque) (Tableaux 61 et 62).

Le gradient large-côte varie très peu (-0,44 à 0,64 mg/L). Il y a pratiquement une variation positive-négative tous les changements de mois. Il n'est donc pas possible de dire si l'oxygène dissous est davantage présent au niveau des côtes ou du large (Annexe 1).

Tableau 61. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en oxygène dissous (mg/L) pour la radiale de la baie de Somme sur la période 1992-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BIF	1,94	8,71	9,48	9,61	1,61	10,6	14,8	101	281
MIMER	8,01	8,82	9,46	9,77	1,18	10,8	11,9	25	269
ATSO	4,06	8,24	9,29	9,43	1,65	10,6	14,0	140	389
MER 2	7,91	8,79	9,43	9,74	1,27	10,6	12,3	26	313

Tableau 62. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en oxygène dissous (mg/L) pour la radiale de la baie de Somme en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BIF	7,66	8,39	9,56	9,33	1,09	10,1	11,4	15	1
MIMER	7,96	8,31	9,59	9,35	1,04	10,2	10,8	15	1
ATSO	7,75	8,23	9,56	9,17	1,02	9,80	10,6	15	1
MER 2	7,97	8,80	9,57	9,65	1,19	10,3	11,8	15	1

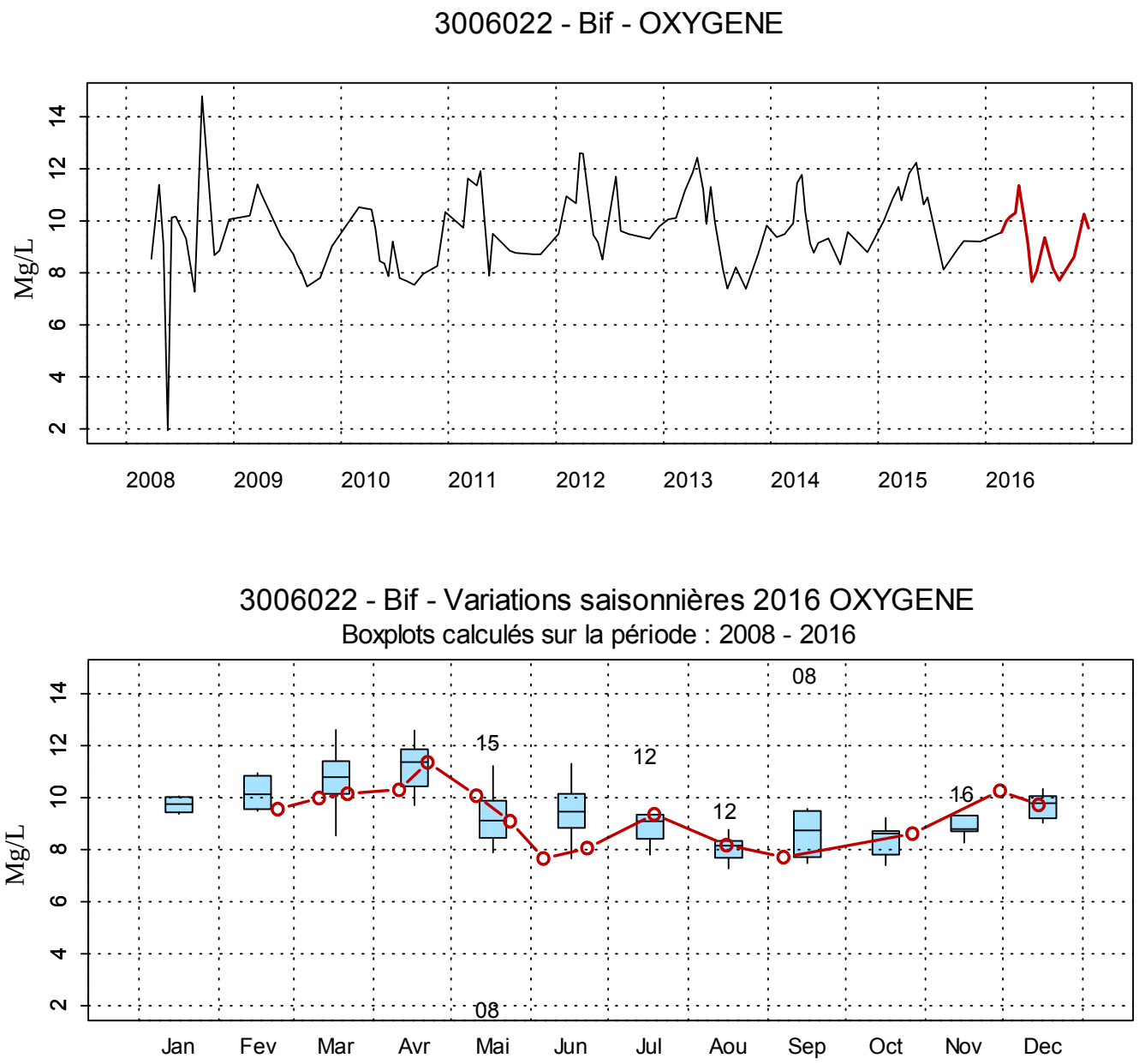


Figure 112. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en oxygène dissous (mg/L) pour le point Bif de la radiale de la baie de Somme pour la période 2008-2016

- ***Limitation par les nutriments***

Les Figures 113 à 116 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 juillet à février), le développement du phytoplancton est potentiellement limité par le phosphate, limitation de type P, Si, N voir P, N, SI pour le mois de septembre. Cette limitation est constatée de juillet à février.

En début de période productive, de fin mars à début juin, c'est le silicate qui limite la prolifération algale. La limitation est de type Si, P, N.

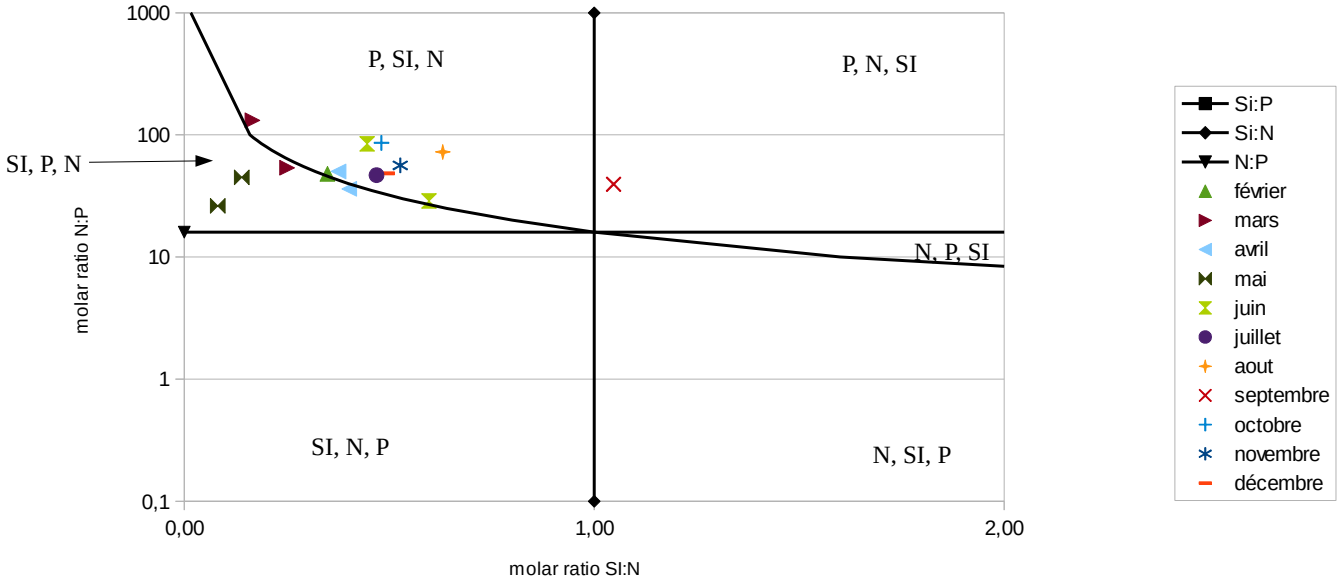


Figure 113. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point Bif de la radiale de la Baie de Somme en 2016

Point Mimer :

En 2016, le rapport Si : N est toujours inférieur à 1 pour la majorité des mois. Par conséquent, l'azote est globalement en excès.

Tout au long de l'année, excepté durant la période de prolifération algale, on observe que la production de phytoplancton est limitée par le phosphate (P, SI, N et P, N, SI). En mars, avril, mai, la limitation à tendance à être de type SI, P, N.

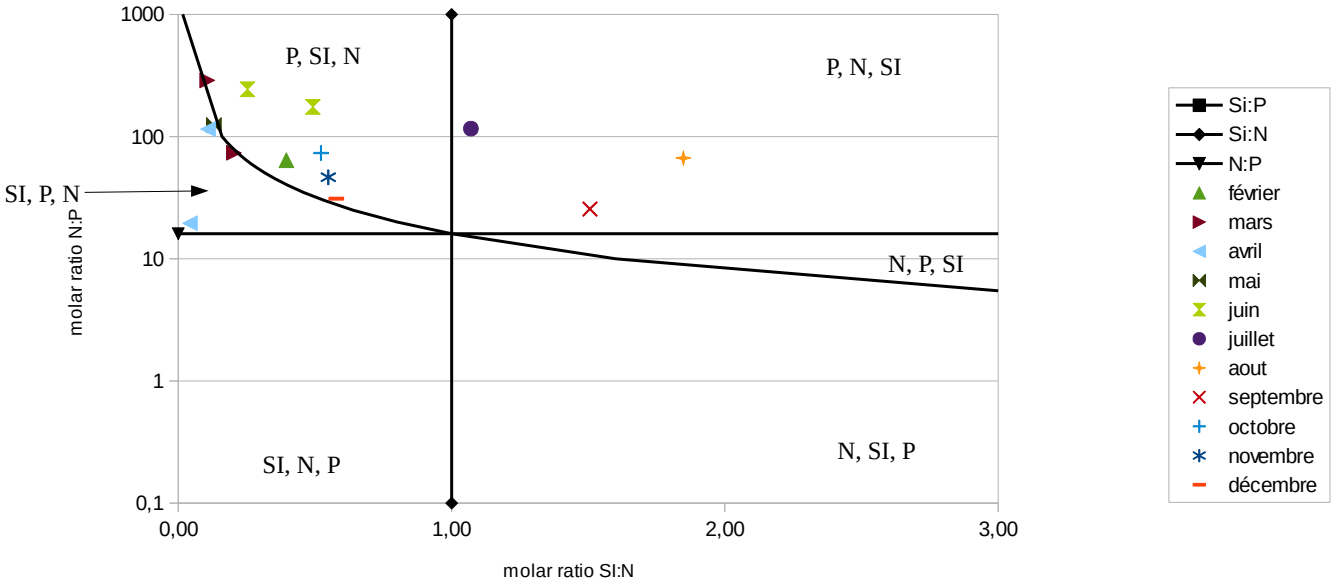


Figure 114. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point Mimer de la radiale de la Baie de Somme en 2016

Point Atso :

Durant la prolifération phytoplanctonique (de mars à juillet), la limitation est toujours de type SI, P, N sauf pour un relevé en avril qui est de type SI, N, P.

A la fin de la période estivale (août- septembre), il s'agit de l'azote qui limite la prolifération du phytoplancton (N, P, SI et N, SI, P).

Durant la période hivernale (octobre à février), la limitation est faite par le phosphate (P, SI, N).

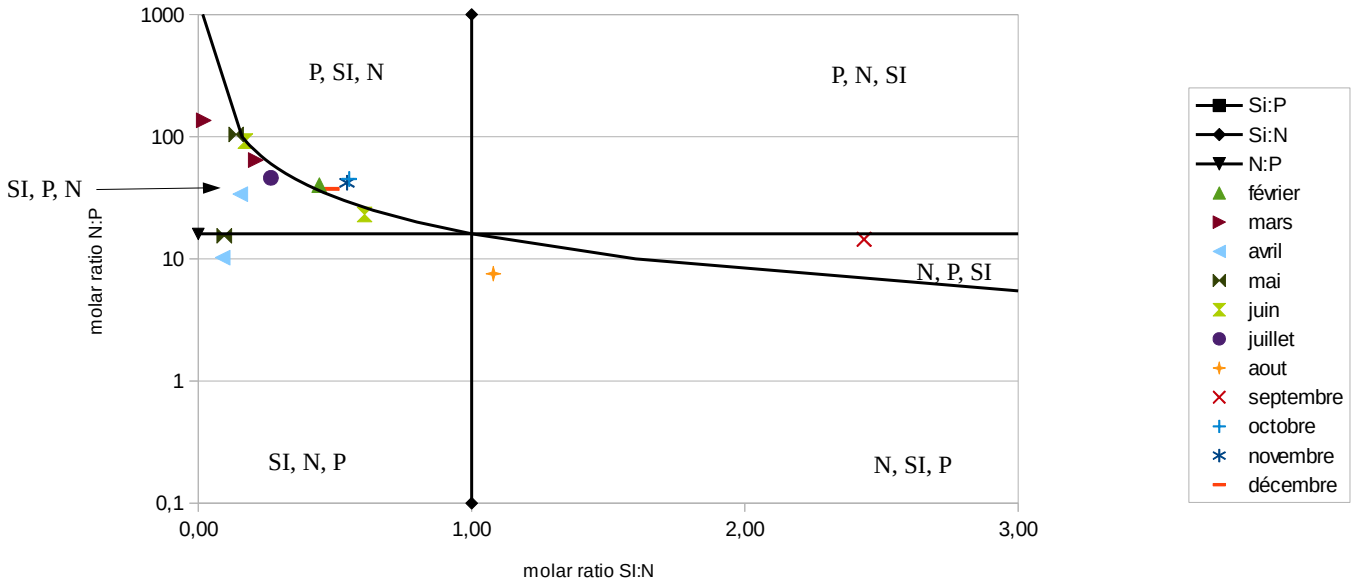


Figure 115. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point Atso de la radiale de la Baie de Somme en 2016

Point Mer 2 :

Le type de limitation pour le point mer 2 est comparable au point Atso. En effet, la période printanière (mars à juin) est toujours limitée par le silicate (SI, P, N) et (SI, N, P) pour un relevé en avril. Les autres mois sont limités par le phosphate que ce soit de type P, SI, N (majoritairement durant la période hivernale ainsi que le mois de juillet), que de type P, N, SI (durant la fin de la période estivale).

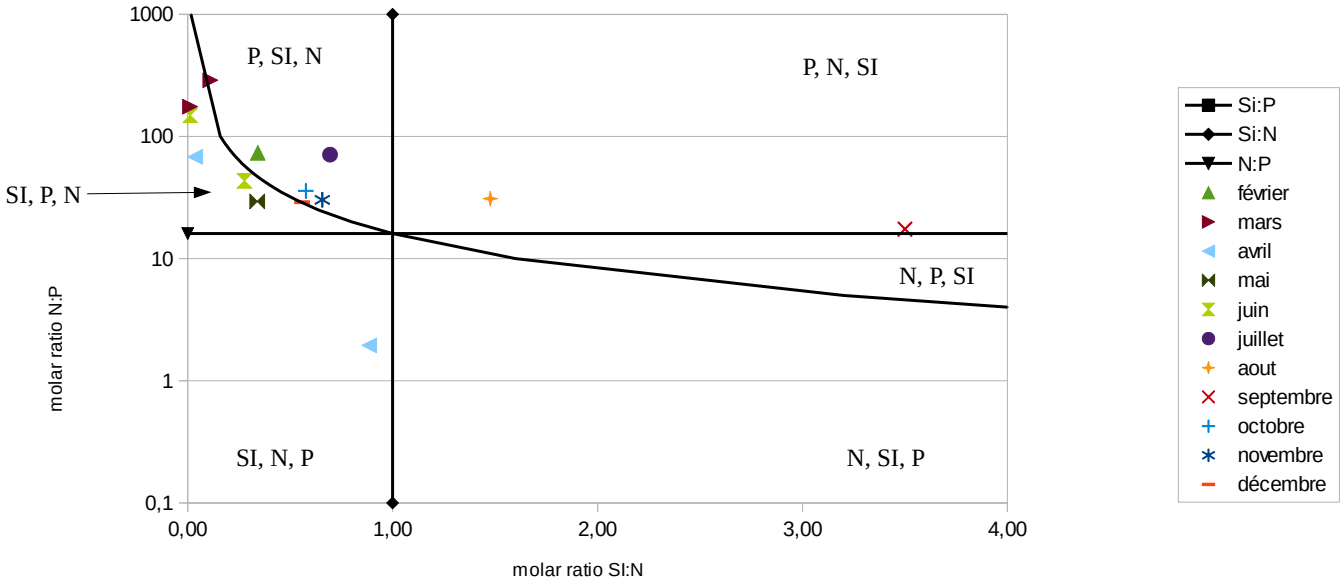


Figure 116. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point Mer 2 de la radiale de la Baie de Somme en 2016

- ***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 117 à 120). 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 17,1 µg/L à Bif ; 6,32 µg/L à Mer 2 depuis 1992). L'étendue des valeurs est plus forte pour les points côtiers : les concentrations varient entre 0,32 µg/L et 128,2 µg/L pour le point Bif contre 0,05 µg/L et 34,6 µg/L pour le point Mer 2 (Tableau 67). Les valeurs les plus fortes sont obtenues en mai 2000 et en mars 2009 pour le point Bif ; en avril 2008, mars 2009 et en avril 1998 pour le point Mimer ; en avril 1998 et 2001 pour le point Atso ; en avril 1998 et en juin 2001 pour le point Mer 2 (Figures 117 à 120). Les minima sont compris entre 0,05 et 0,32 µg/L (Tableau 67).

L'année 2016 suit la même dynamique saisonnière. Les concentrations les plus fortes sont visibles au printemps et en été avec comme maxima 38,3 µg/L en août au point Bif. Pour le point Bif et Mimer, elles sont plus faibles que celles relevées de la période 1992-2015. En revanche, pour le point Atso, la moyenne et la médiane sont très fortement élevées par rapport aux années précédentes. Les minima sont observés entre novembre et février et les valeurs se situent entre 1,33 µg/L et 1,80 µg/L (Tableau 68).

Les concentrations sont légèrement plus élevées pour le point Atso (9,94 µg/L en moyenne contre 8,60 µg/L sur 1992-2015). Les concentrations relevées en moyenne aux points Bif et Mimer sont plus faibles et proches pour Mer 2 (Tableaux 67 et 68).

Aux points Bif et Mimer, des valeurs sont supérieures à la médiane voire au 3^{ième} quartile (juillet-août pour le point Bif) mais aussi inférieures à la médiane (juin pour les deux points). Aux points Atso et Mer 2, le même phénomène apparaît, des valeurs sont supérieures à la médiane voire même au 3^{ième} quartile (mars, août et septembre pour Atso et juillet-août pour Mer 2) mais aussi inférieures à la médiane voire inférieures au 1er quartile (début juin pour les deux points et mars pour Mer 2) (Figures 117 à 120).

Le gradient large-côte varie entre -21,88 et 2,90 µg/L. Les valeurs positives s'observent d'octobre à décembre, lorsque les masses d'eaux côtières sont moins riches en chlorophylle-*a* par rapport à celles du large (Annexe 1).

Tableau 67. 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 1997-2015

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BIF	0,32	4,81	12,3	17,1	17,9	21,4	128,2	333	49
MIMER	0,19	4,06	9,21	13,4	13,4	18,5	79,3	258	36
ATSO	0,21	2,99	5,87	8,60	8,33	11,1	58,5	343	186
MER 2	0,05	2,35	4,64	6,32	5,74	8,54	34,6	309	30

Tableau 68. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en chlorophylle-*a* (µg/L) pour la radiale de la Baie de Somme en 2016

	Min	Q1	Médiane	Moyenne	Écart-type	Q3	Max	n	NA
BIF	1,33	4,67	11,8	14,2	11,6	22,9	38,3	15	1
MIMER	1,50	3,22	8,00	8,93	6,58	13,2	19,5	15	1
ATSO	1,80	3,09	11,1	9,94	6,83	13,3	24,7	15	1
MER 2	1,34	3,35	6,98	6,59	3,66	8,75	13,1	15	1

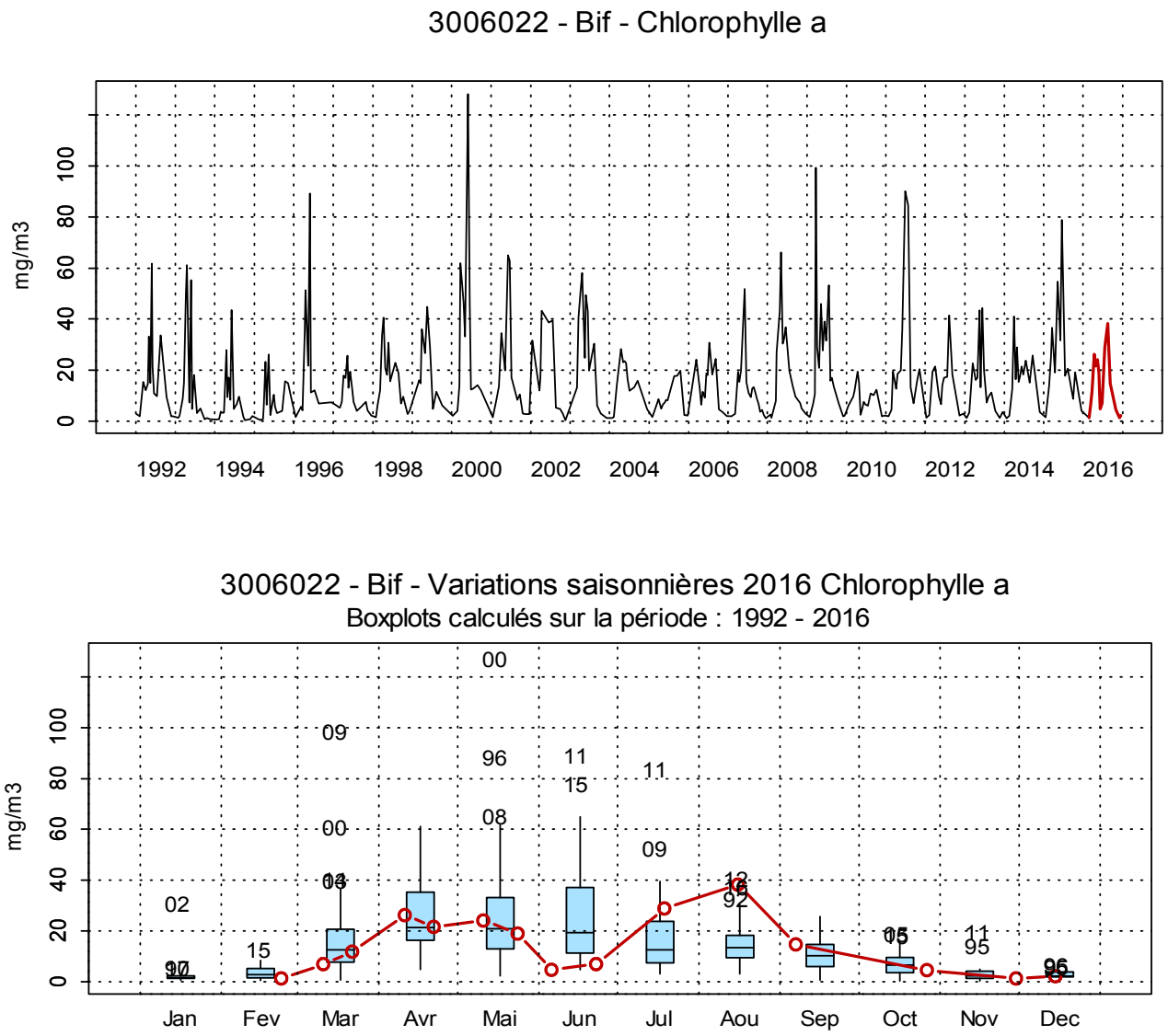


Figure 117. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en chlorophylle-*a* (mg/m^3) pour le point Bif de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016.

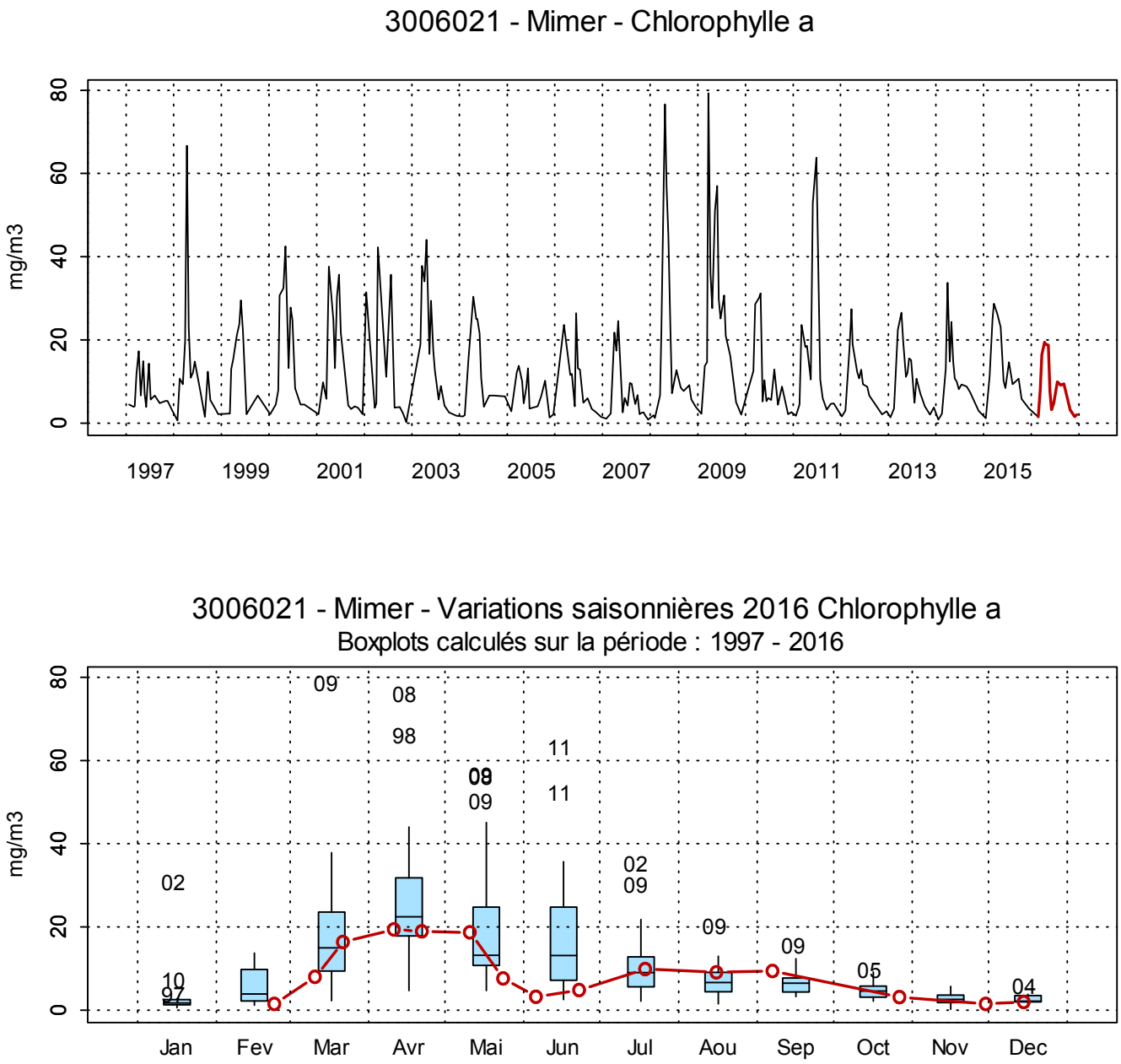
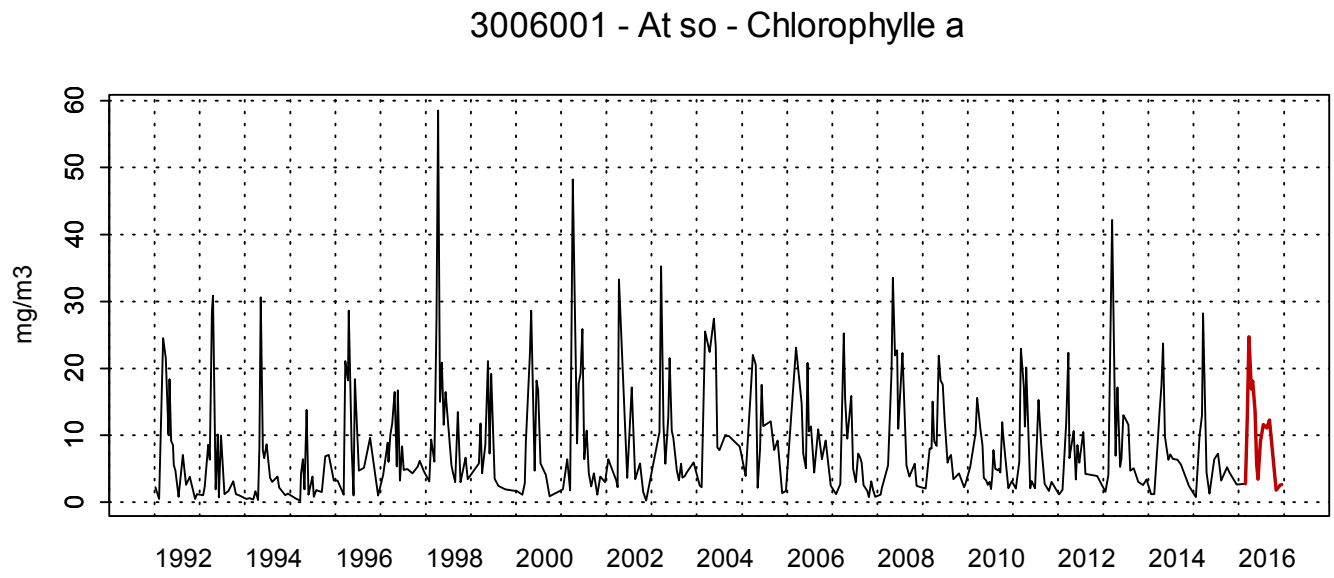


Figure 118. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en chlorophylle-*a* (mg/m^3) pour le point Mimer de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1997-2016



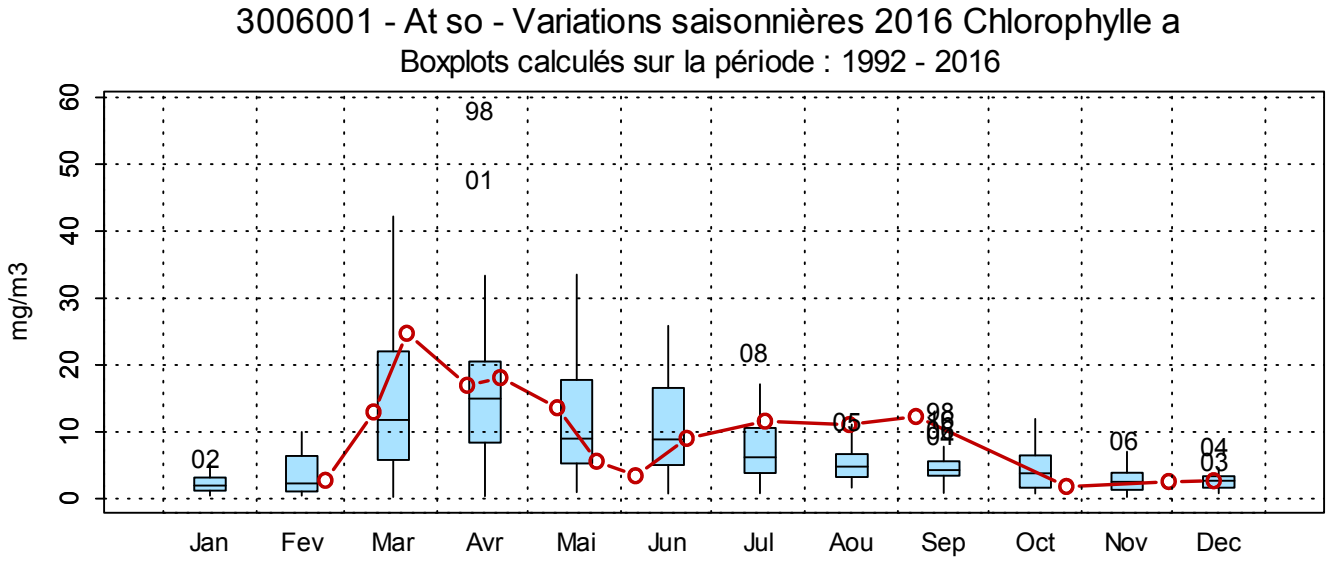


Figure 119. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en chlorophylle-*a* (mg/m^3) pour le point Atso de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016.

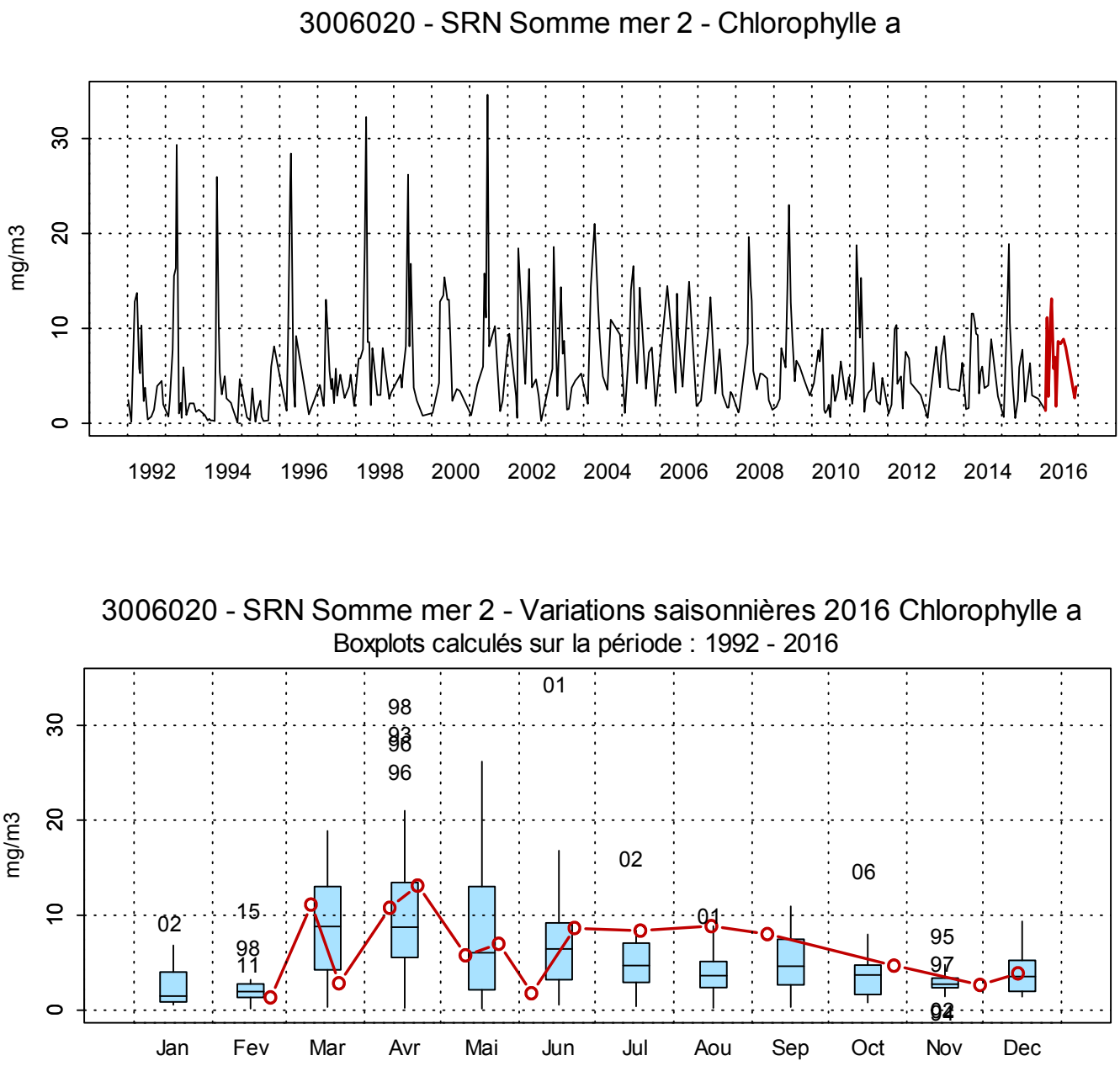


Figure 120. Dynamique pluriannuelle (année 2016 en trait rouge) et boîtes à moustaches mensuelles (valeurs pour l'année 2016 en rouge) de la concentration en chlorophylle-a (mg/m^3) pour le point Mer 2 de la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2016

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, éclairement, 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'éclairement 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 2012 à 2015 sur la radiale de Dunkerque (Figures 121 à 123). 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 majoritairement entre 0 et 10 µg/L). En ce qui concerne l'année 2016, la biomasse suit une dynamique saisonnière semblable à celle des années 2012 à 2015 avec une hausse de la concentration en chlorophylle particulièrement élevée fin mars. Ceci est dû à la présence de 24 puis 35 espèces de diatomées qui constituent le plus gros de la biomasse (en particulier des Bacillariophycées).

A l'instar de la biomasse, l'abondance des cellules augmente considérablement de mars à mai. Sur la période 2012–2015, le nombre de cellule a atteint environ 10.10^6 cellules/L en avril pour plusieurs années au point 1. Le nombre de cellule augmente de même en juillet pour les points de la radiale mais avec une hausse moins accentuée. Des valeurs plus faibles se distinguent lors des périodes froides.

Les valeurs de 2016 sont comparables à celles observées aux années précédentes. La valeur maximale atteint environ $7{,}0.10^6$ cellules/L en avril au point 1 de la radiale. De plus, les hausses apparaissent à partir de mars (sauf pour le point 3 qui présente une baisse fin mars) et une diminution du nombre de cellule est observable en hiver. En juillet, au point 1, une remontée de l'abondance est observable.

De manière générale, les Bacillariophycées dominent sur les autres classes et ils sont presque tous annuellement présents. Tout particulièrement, *Pseudo-nitzschia* est présente toute l'année et prolifère d'avril à juin. En mai 2016, au point 1, *Pseudo-Nitzschia delicatissima* a atteint 549 000 cellules/L, le seuil d'alerte étant de 300 000 cellules/L, l'alerte est alors lancée. *Phaeocystis globosa,* une Prymnésiophycée, à l'instar de *Pseudo-nitzschia*, se multiplie à partir d'avril. Au point 1, la quantité est élevée d'avril à juin (maximum de 4 302 000 cellules/L le 19 avril 2016). Au point 3, la présence de P*haeocystis* se situe entre avril et juin (maximum le 9 juin avec plus de 4.10^6 cellules/L). Au point 4, la quantité de *Phaeocystis* est plus faible avec un maximum le 9 juin à $2{,}9.10^6$ cellules/L. Cependant, on observe une quantité assez importante de ce taxon aux points 3 et 4 durant la période hivernale alors qu'il ne devrait pas y en avoir autant. D'autres classes sont présentes toute l'année en quantité non négligeable (entre 10 000 et 100 000 cellules/L voire entre 100 000 et 1 000 000 de cellules/L) sans phase de prolifération massive (exemple du groupe des *Cryptophycées*).

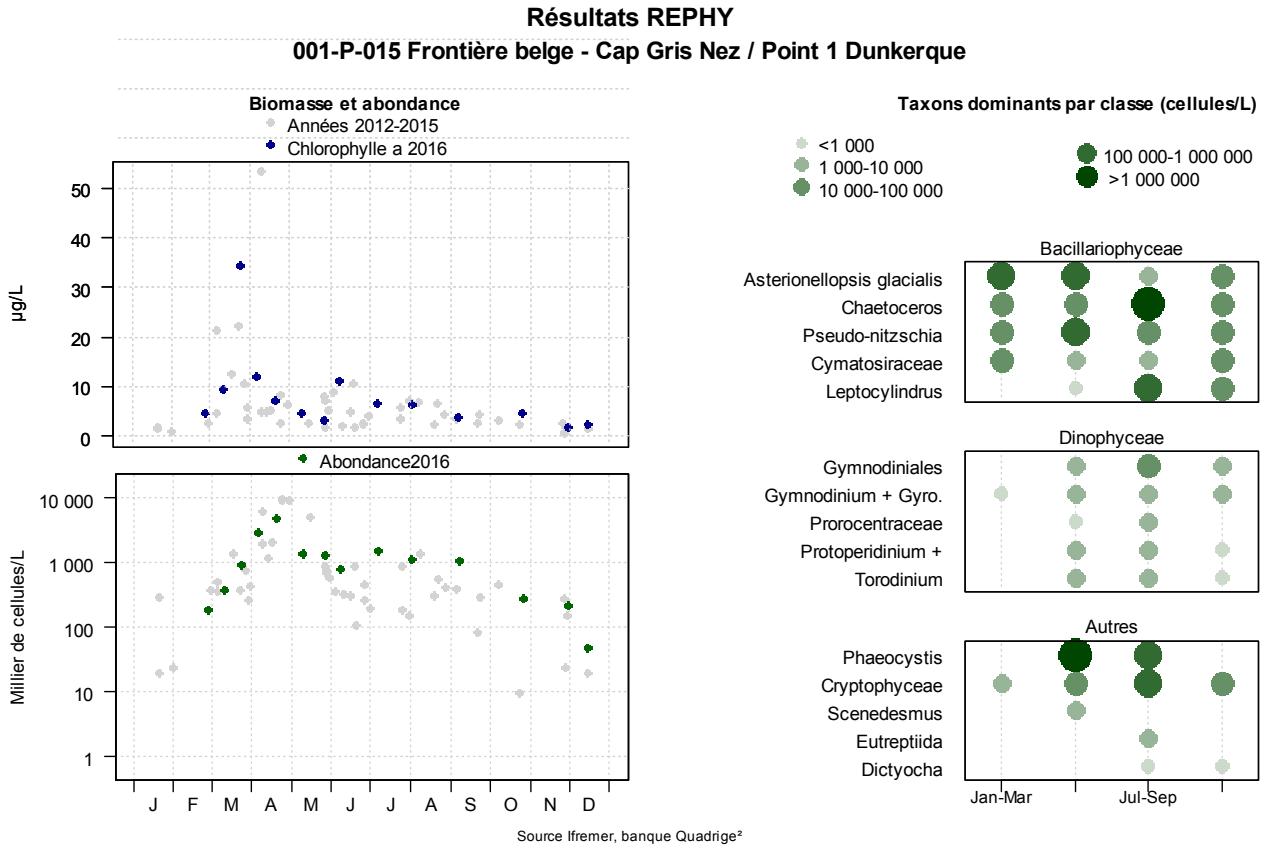


Figure 121. Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2012 et 2016 et classement des taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour le point 1 de la radiale de Dunkerque.

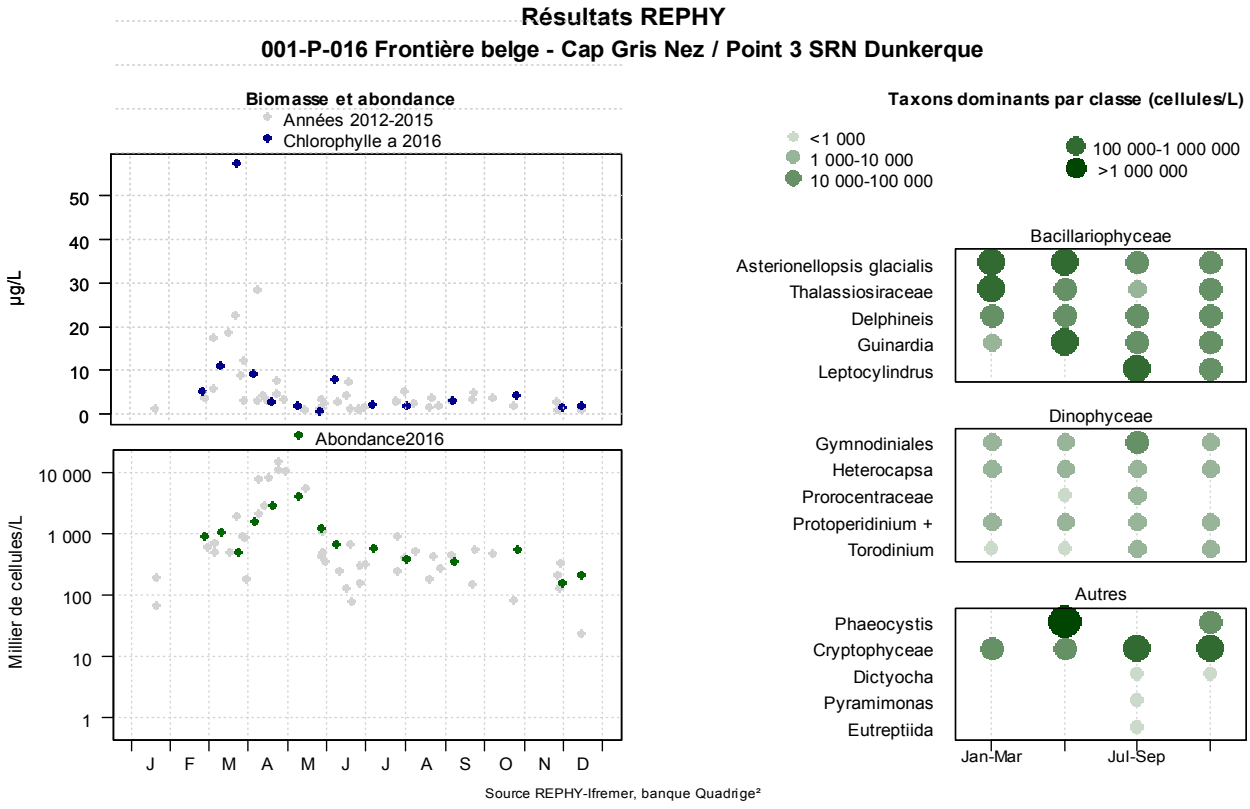


Figure 122 Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2012 et 2016 et classement des taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour le point 3 de la radiale de Dunkerque

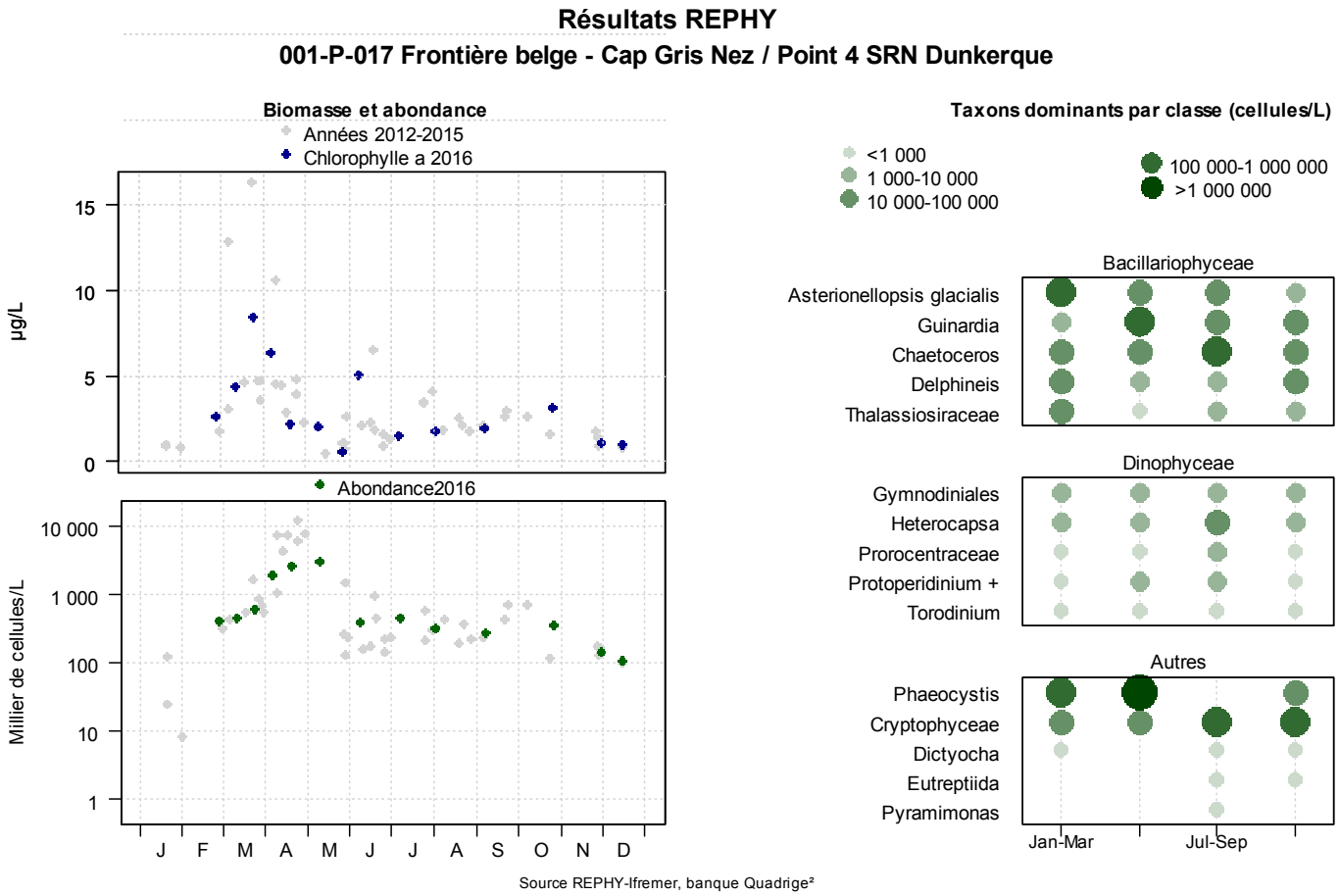


Figure 123. Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2012 et 2016 et classement des taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour le point 4 de la radiale de Dunkerque.

- ***Indice de Sanders***

Les 10 taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour la radiale de Dunkerque sont identifiés sur les figures 121 à 123 et dans l'annexe 2. 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 *Gymnodiniales et Torodinium*. 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 large-côte ou distribution par patch) : *Guinardia* se place au niveau des Bacillariophycae, en 4ème position au point 3, en 2ème position au point 3 et absent du classement au point 1. Le recours a 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 : *Eutreptiida* est présente au niveau des trois points de la radiale au 3ième trimestre mais elle ne fait plus partie des taxons dominants lors du 1er, 2nd trimestre pour ces mêmes points.

- ***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 124). A cet endroit, on peut remarquer que le genre *Dinophysis*, potentiellement responsable de la toxicité DSP, a été présent deux fois (avril et juin) au cours de l'année 2016, déclenchant ainsi l'alerte.

Selon les résultats obtenus entre 2012 et 2015, 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 2016, ce genre est observable en juin et en août mais il n'atteint toujours pas le seuil d'alerte avec un maximum de 1754 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 et plus particulièrement durant la période productive du phytoplancton. Le groupe des espèces dites fines, c'est-à-dire *Pseudo-nitzschia*, complexe delicatissima (*calliantha* + *delicatissima* + *pseudodelicatissima* + *subcurvata*) a provoqué 1 alerte entre 2012 et 2015 ($1{,}5.10^6$ en mai 2014. Aucune alerte n'a été déclenchée de 2012 à 2015 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 ($0{,}1.10^6$ cellules/L).

Pour l'année 2016, le complexe *delicatissima* a provoqué un dépassement de seuil d'alerte avec 549 000 cellules/L en mai. Il n'y a pas eu d'alerte pour les autres mois en ce qui concerne *Pseudo-nitzschia.*

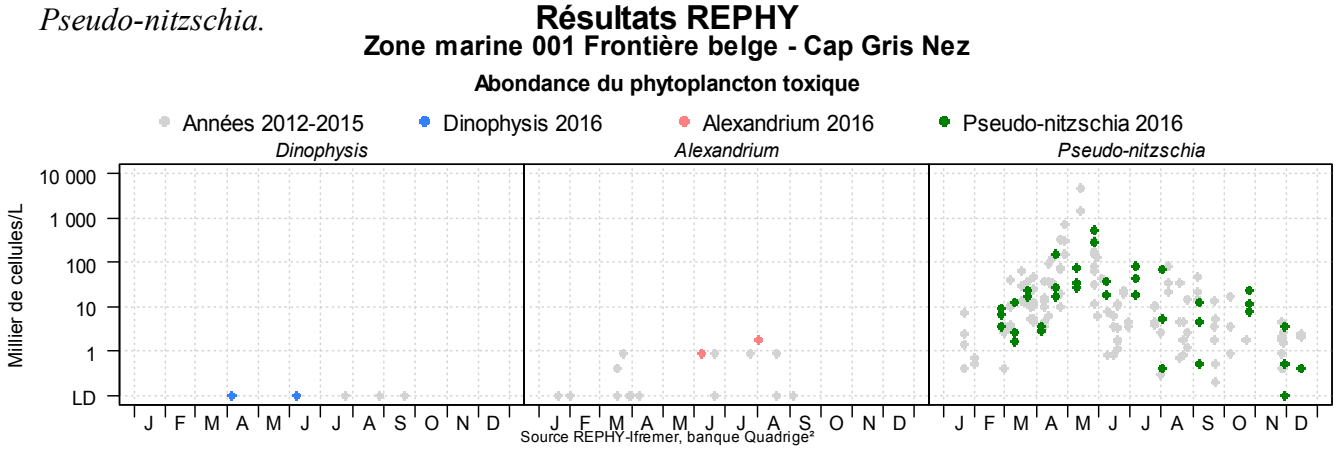


Figure 124. Évolution de l'abondance du phytoplancton toxique pour la radiale de Dunkerque pour les 4 dernières années (symboles grisés) et pour l'année 2016 (symboles en couleur).

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 125 à 127). La chlorophylle-*a* augmente fortement de mars à mai puis devient plus faible. De juin à septembre, la concentration en *chlorophylle-a* peut être amenée à augmenter suivant les années. On peut remarquer des résultats légèrement plus importants au point 1 de Boulogne avec une valeur maximale de 18,37 µg/L en mars entre 2012 et 2015 contre 9,45 µg/L au point 3 en mars 2015. Les valeurs du point 1 varient entre 0,22 et 18,37 µg/, le point 2 de 0,48 et 16,0 µg/L et le point 3 les valeurs se concentrent entre 0,38 et 5,0 µg/L.

L'année 2016 possède une dynamique identique avec une valeur de biomasse maximale à 10,5 µg/L en septembre à la station 1, 5,90 µg/L en mars à la station 2 et 4,93 µg/L en avril au point 3. Cette année est marquée par une période estivale (juin à septembre) avec des concentrations en chlorophylle-*a* assez élevées. Ceci s'explique par une forte présence de *Leptocylindrus*, *Chaetoceros* et de *Cryptophyceae* durant cette période.

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 2012 à 2015, le développement de cellule maximale est observé en avril pour tous les points.

En 2016, l'abondance de cellule est maximale entre avril et mai. Cette valeur est due à la prolifération de *Phaeocystis globosa.* Au point 1, la quantité maximale se situe le 18 avril avec 9 017 000 cellules/L. Au point 2, la quantité est plus faible avec un maximum de 4 406 000 cellules/L le 18 avril. Au point 3, la quantité de *Phaeocystis* est encore plus faible avec un maximum de 3 419 000 cellules/L le 18 avril. L'abondance est minimale pour les stations 1 et 2 en février et en décembre pour la station 3. On observe comme pour la chlorophylle-*a,* un deuxième pic durant la période estivale (juin à septembre pour le point 1 ; juillet à septembre pour le point 2 et juillet-août pour le point 3) avec des valeurs très élevées par rapport aux autres années (forte présence de *Leptocylindrus, Chaetoceros et Cryptophyceae*).

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* d'avril 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* qui, en plus, prolifère essentiellement durant la période juillet-septembre (entre 10 000 et plus d'1 000 000 de cellules/L).

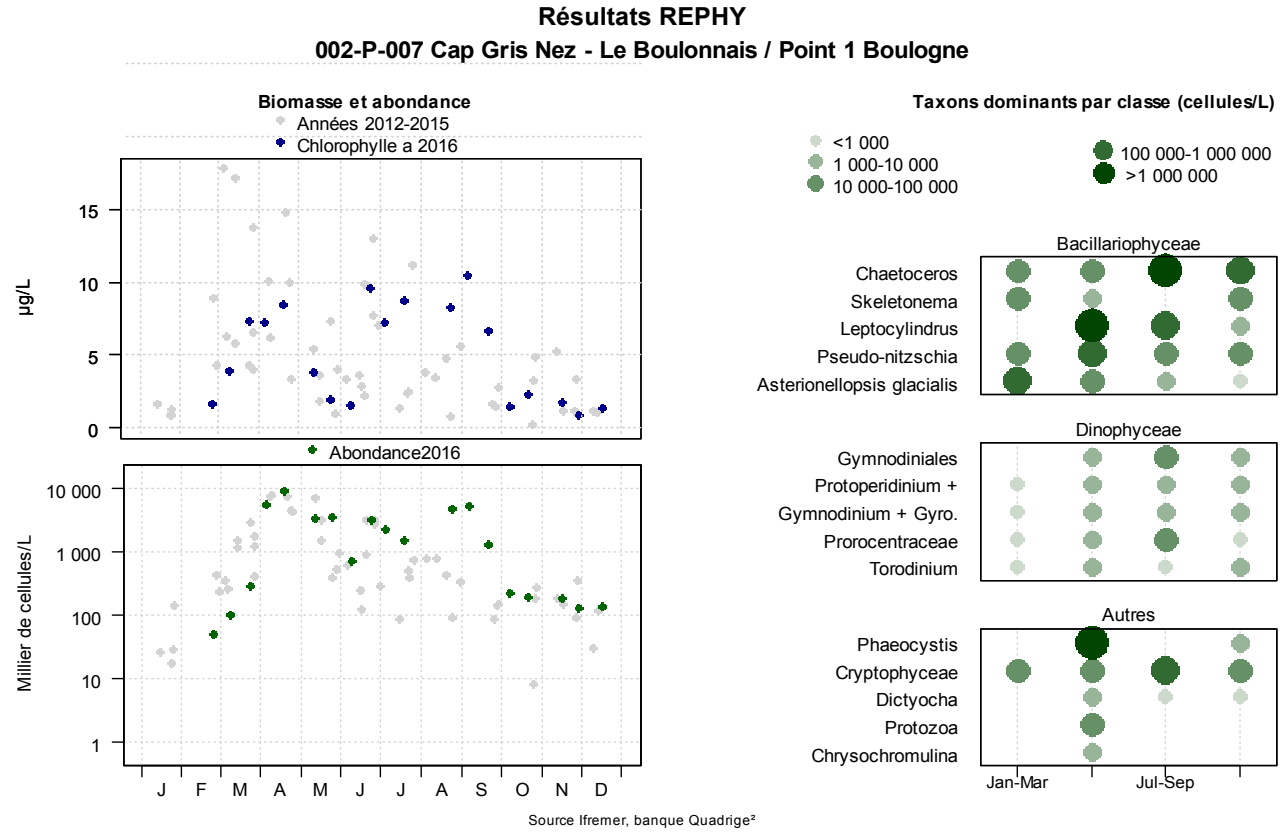


Figure 125. Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2012 et 2016 et classement des taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour le point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer

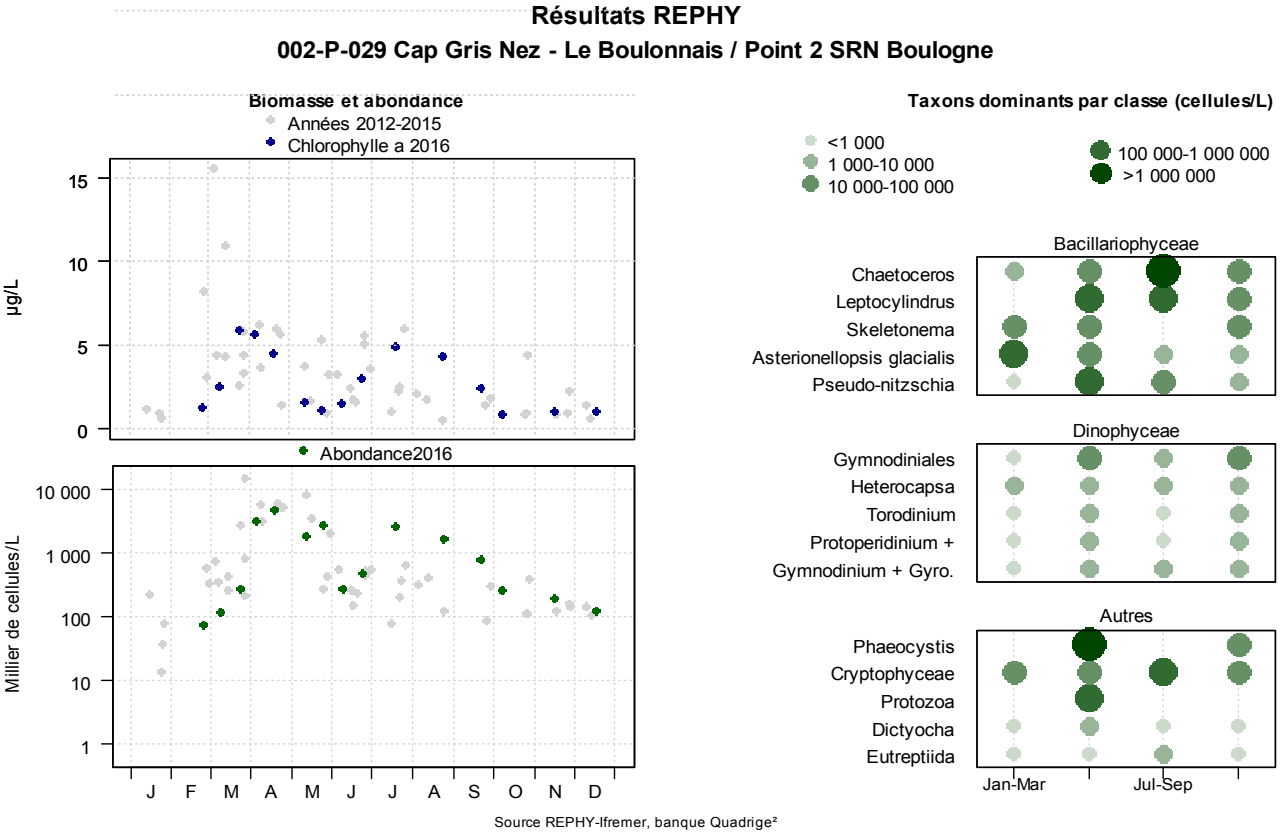


Figure 126. Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2012 et 2016 et classement des taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour le point 2 de la radiale de Boulogne-sur-Mer.

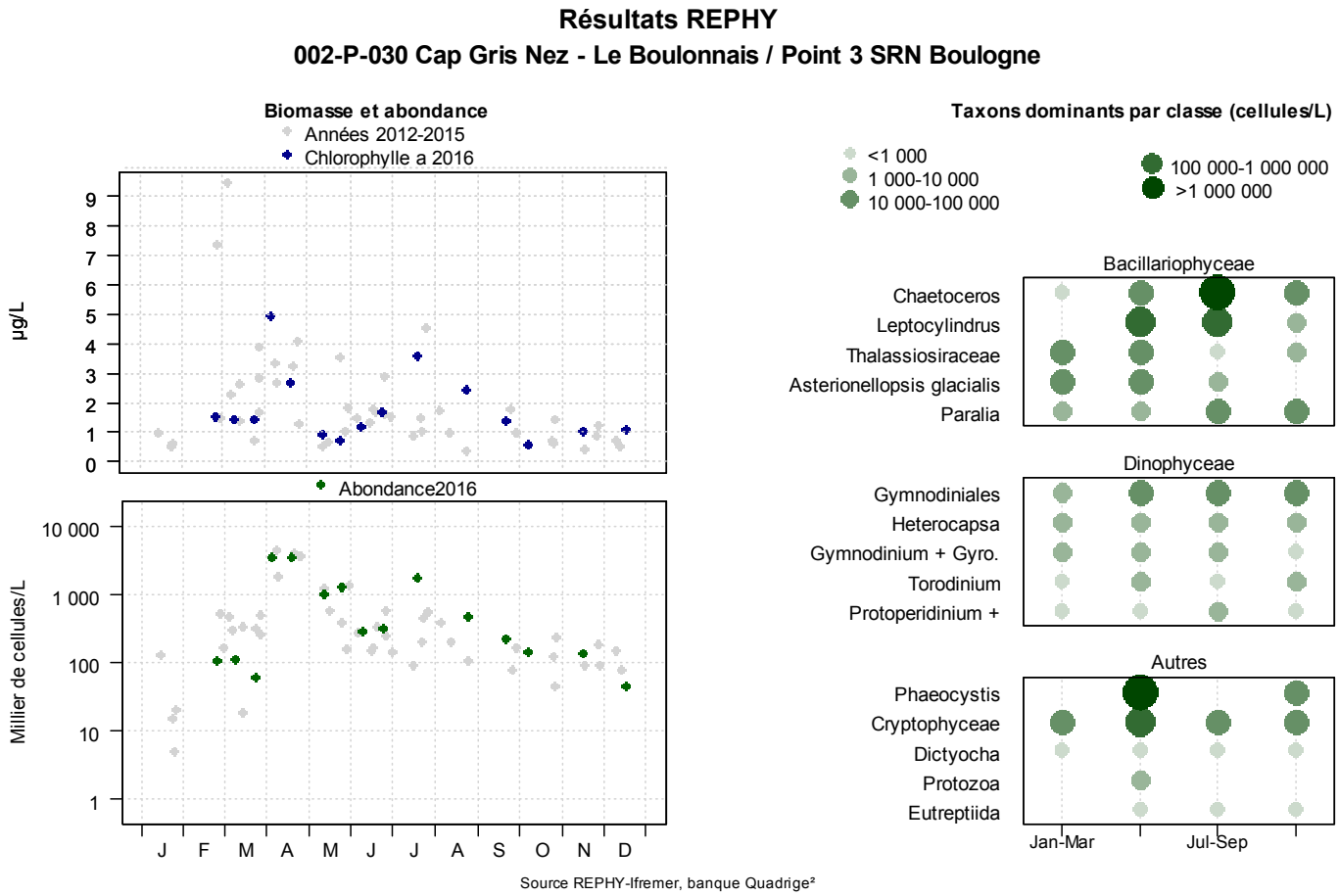


Figure 127. Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2012 et 2016 et classement des taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour le point 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer.

- ***Indice de Sanders***

Les 10 taxons dominants (au sens de l'indice de Sanders) pour la radiale de Boulogne sont identifiés sur les figures 125 à 127 et l'Annexe 2. On note que *Phaeocystis* domine les 3 points de la radiale d'avril à juin, *Chaetoceros* domine les 3 points de juillet à septembre et certains taxons sont présents toute l'année mais en plus petite quantité comme par exemple les Cryptophyceae, les *Protoperidinium* et les *Torodinium* de la famille des Dinophyceae. 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 large-côte ou distribution par patch) : par exemple, on peut noter que *Leptocylindrus danicus* est une espèce qui se place en deuxième position pour les points 2 et 3 pour les Bacillariophycae, alors qu'elle est en troisième position pour le point 1.

Le recours a 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 : *Leptocylindrus* est présente au niveau des trois points de la radiale au 2nd , 3ième et 4ième trimestre mais elle ne fait plus partie des taxons dominants lors du 1er trimestre pour ces même points. On observe également que *Protozoa* fait partie des taxons dominants seulement durant la période d'avril à juin mais il présente des quantités différentes suivants les points.

- ***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 128). La quantité de cellule maximale observée pour ce genre sur la période 2012-2015 est en septembre 2014 au point 1. En 2016, il n'a pas été constaté de cas d'apparition du genre *Dinophysis*, par conséquent le seuil d'alerte n'a pas été dépassé.

En 2016, 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 2012-2015 est 200 cellules/L en juillet 2013 au point 1.

Les *Pseudo-nitzschia* se développent tout au long de l'année et prolifèrent en mai. *Pseudo-nitzschia* (groupe des fines, groupe des larges et autres) est présent en quantité plus importante. En effet, le groupe des fines (*Pseudo-nitzschia delicatissima*), avec un seuil d'alerte à 300 000 cellules/L, ne dépasse pas le seuil sur la période 2012 à 2015.

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 2012 et 2015. En 2016, une alerte est déclenchée en mai avec 375 356 cellules/L et 752 446 cellules/L de *Pseudo-nitzschia delicatissim*a.

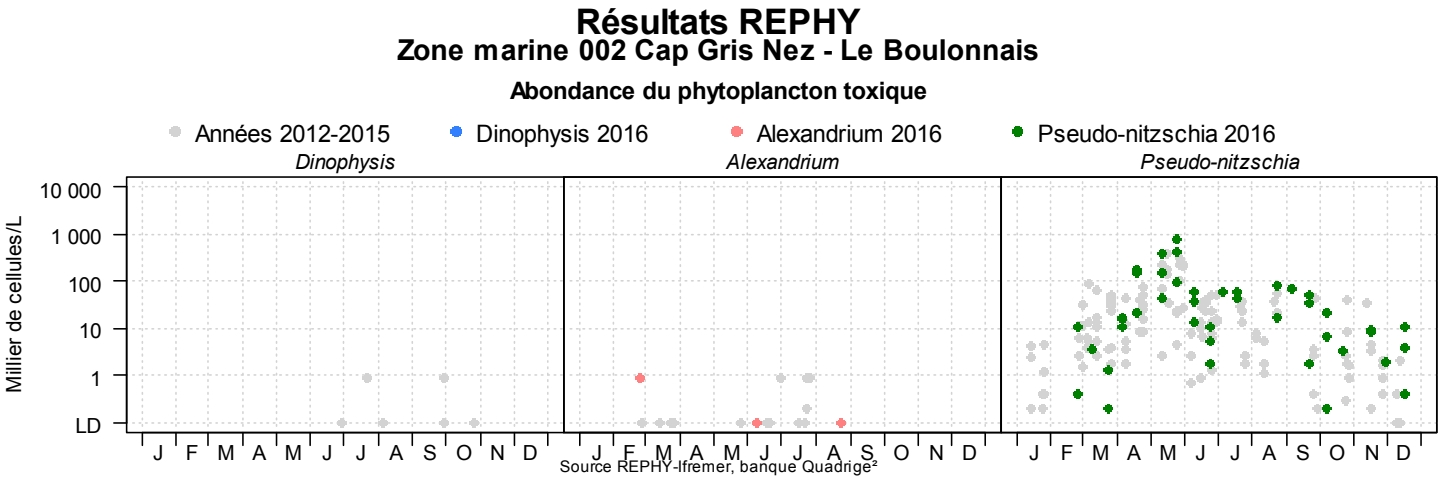


Figure 128. Évolution de l'abondance du phytoplancton toxique pour la radiale de Boulogne-sur-Mer pour les 4 dernières années (symboles grisés) et pour l'année 2016 (symboles en couleur)

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 129 à 132). La quantité de chlorophylle-*a* augmente dès février et diminue à partir de mai et les valeurs les plus faibles s'observent en hiver. Des valeurs exceptionnelles sont mises en évidence pour la station Bif en juin 2015 (78,86 µg/L). 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 d'environ 34,5 µg/L en mars 2014, 42,21 µg/L en mars 2013 pour la station Atso et environ 18,5 µg/L en mars 2015 pour la station Mer 2.

En 2016, la dynamique de la biomasse varie selon le même cycle et les résultats diminuent en fonction de l'éloignement de la côte. Cependant, la concentration en chlorophylle-*a* se remet à augmenter en juin-juillet jusqu'en août pour le point Bif et jusqu'en septembre pour les autres points. Cette élévation de la chlorophylle-*a* est due majoritairement à la forte présence de *Chaetoceros, Pennées, Chlorophyceae, Cryptophyceae et Pseudo-nitzschia* durant cette période. La valeur de chlorophylle-*a* maximale apparaît en août à la station Bif (38,4 µg/L) .

L'abondance de cellule augmente à partir du mois de mars, notamment à cause des blooms de phytoplancton et diminue à partir de mai. Les valeurs moins élevées sont observables en hiver. En avril 2013, les cellules se sont développées jusqu'à $20{,}1.10^6$ cellules/L à la station Mimer .

En 2016, la radiale connaît le plus grand développement de cellule. *Phaeocystis globosa,* présent majoritairement d'avril à mai, atteint les valeurs les plus élevées en avril pour tous les points avec $8{,}57.10^6$ cellules/L à la station Bif, $9{,}46.10^6$ cellules/L à la station Mimer, 10 085 229 cellules/L à la station Atso et 5 761 000 cellules/L pour la station Mer 2. Cependant, cette espèce

n'apparaît que de manière épisodique. Comme la concentration en chlorophylle-*a,* le nombre de cellules augmente en juillet, dû en particulier à la présence de *Chaetoceros, Pennées, Chlorophyceae, Cryptophyceae et Pseudo-nitzschia.* La classe des Bacillariophycées, présente tout au long de l'année, domine en général sur les autres classes.

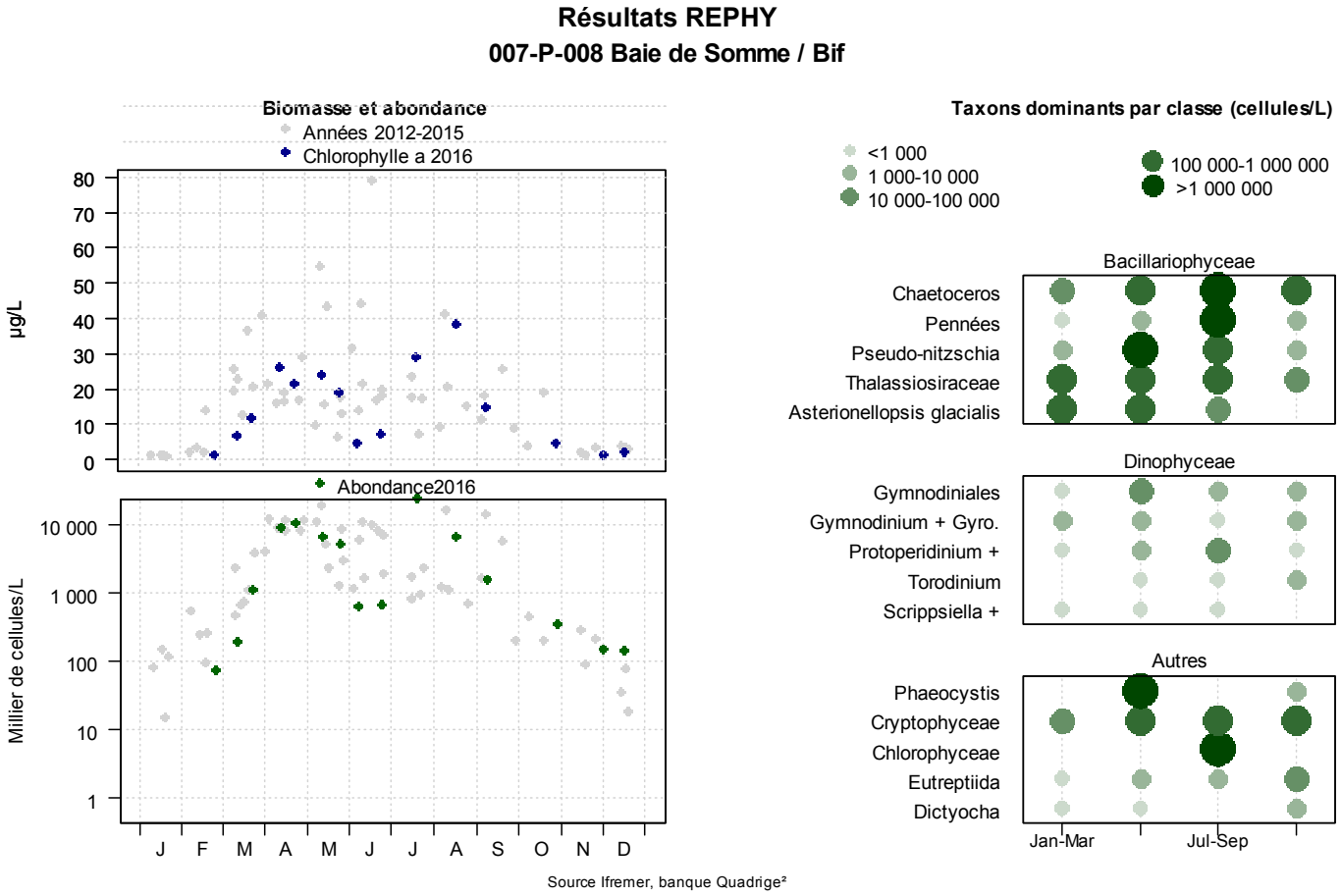


Figure 129. Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2012 et 2016 et classement des taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour le point Bif de la radiale de la Baie de Somme

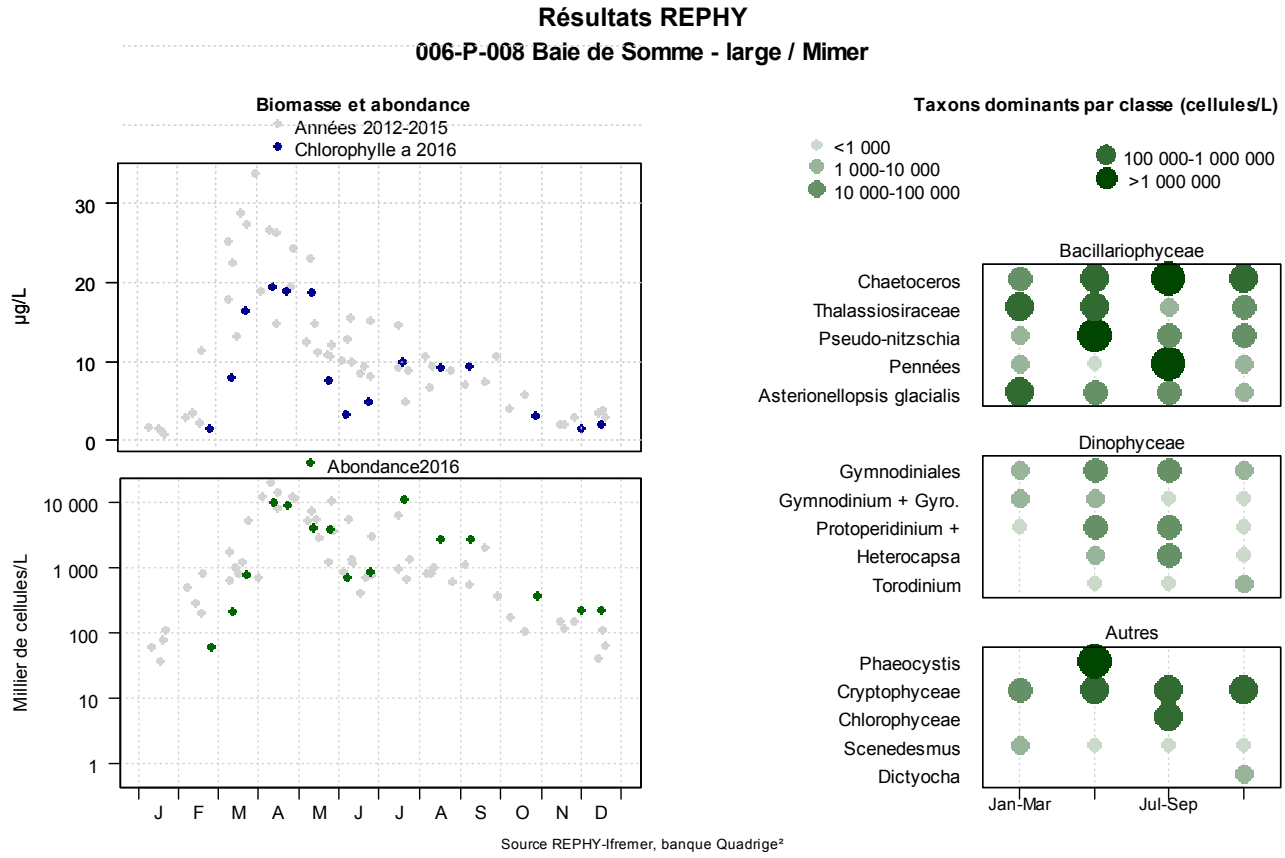


Figure 130. Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2012 et 2016 et classement des taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour le point Mimer de la radiale de la Baie de Somme

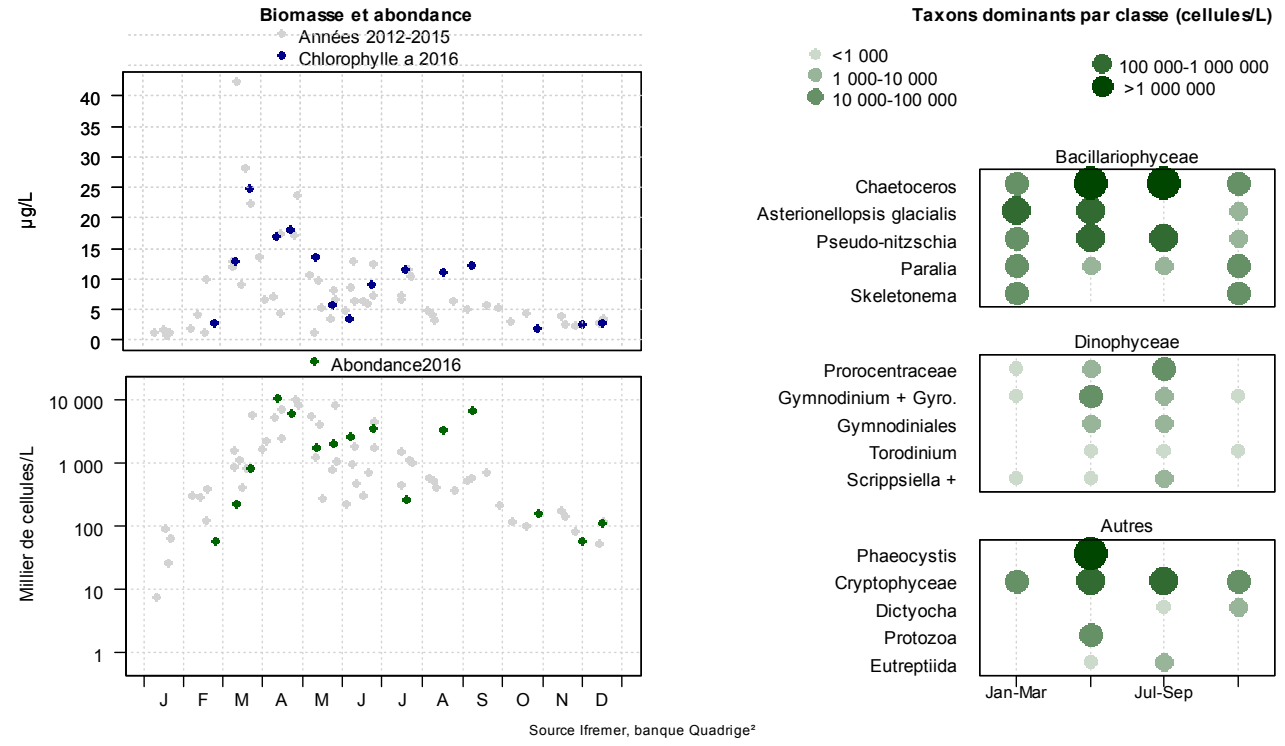


Figure 131.Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2012 et 2016 et classement des taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour le point Atso de la radiale de la Baie de Somme

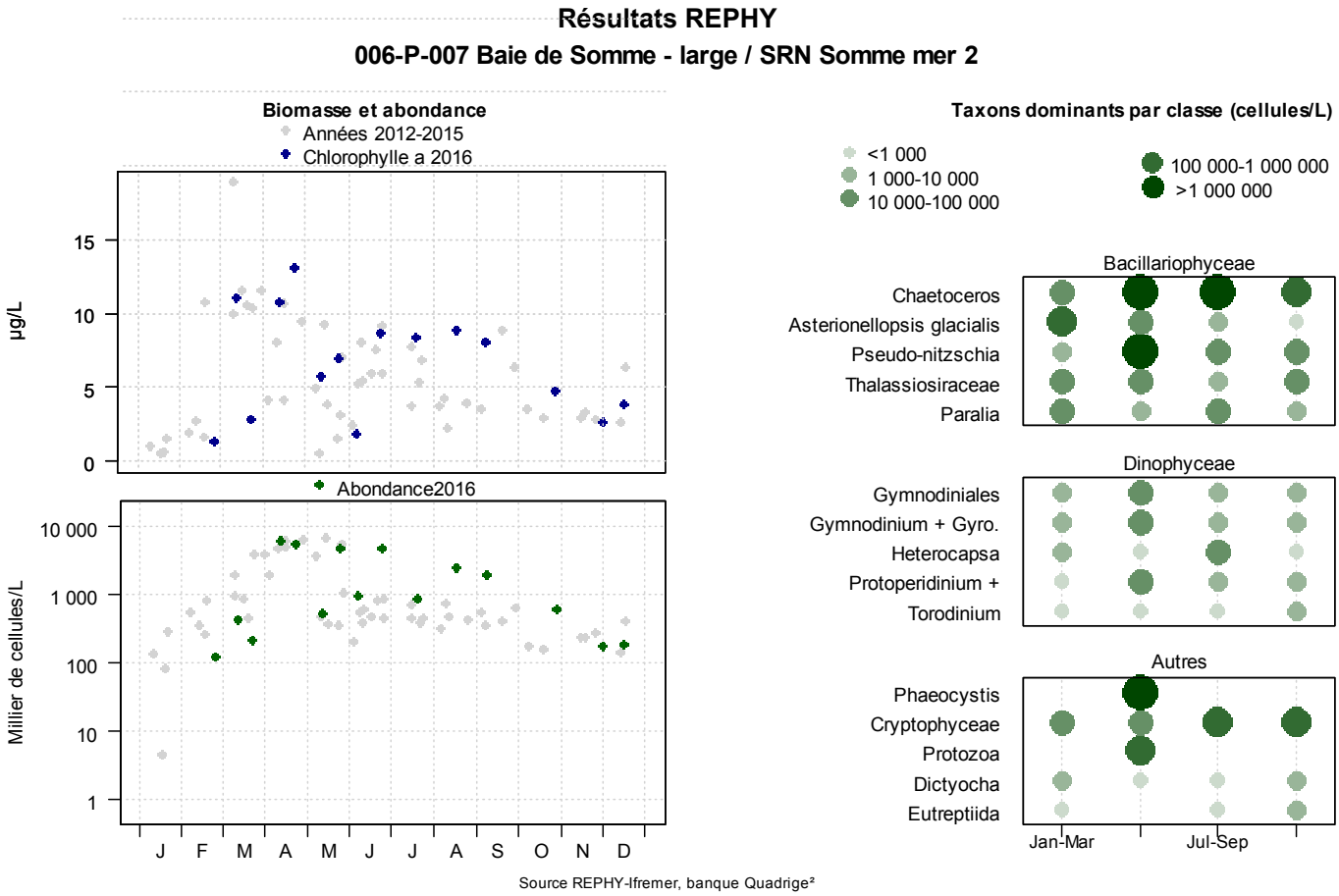


Figure 132. Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2012 et 2016 et classement des taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour le point Somme Mer 2 de la radiale de la Baie de Somme

- ***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 129 à 132 et dans l'annexe 2. On note que *Chaetoceros* domine tous les points au niveau du taxon des Bacillariophycae et *Phaeocystis* domine pour tous les points durant la période avril-juin. A noter que *Pseudo-Nitzschia* est particulièrement présent durant la période de prolifération de *Phaeocystis* pour tous les points (entre 100 000 et plus d'1 000 000 de cellules/L) 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 large-côte ou distribution par patch). Par exemple, on remarque que *Paralia* est une espèce qui se place en 4^{ième} position pour le point Atso, en cinquième au point Mer 2 et n'apparaît pas pour les points Mimer et Bif.

Le recours a 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 : *Phaeocystis* est présent au 2ième trimestre au niveau des quatre points de la radiale mais elle ne fait plus partie des taxons dominants lors du 1er , 3ième et 4ième trimestres pour ces quatre points. On observe également que *Pennées* fait partie des taxons dominants pour tous les trimestres et majoritairement durant la période de juillet à septembre sur les points Bif et Mimer. En revanche, *Pennées* ne fait plus partie des taxons dominants pour l'ensemble des trimestres aux point Atso et Mer 2.

- ***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 133).

Le genre *Dinophysis,* capable de produire la toxine DSP, est présent qu'une fois sur la radiale de Baie de Somme sur la période 2012 à 2015. Cependant, il est détecté 3 fois au large entre 2012 et 2015 donc le processus d'alerte a 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 2012 à 2015 (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 2016, *Dinophysis* ne s'est pas développé à la station au large et n'est pas présent sur la station Atso.

Alexandrium minutum est présent une fois sur la station Atso en mai mais en quantité faible (100 cellules/L).

Le genre *Pseudo-nitzschia*, dépasse les seuils d'alerte deux fois : en mai avec 929 000 cellules/L et en juin avec 423 358 cellules/L pour *Pseudo-nitzschia delicatissima.*

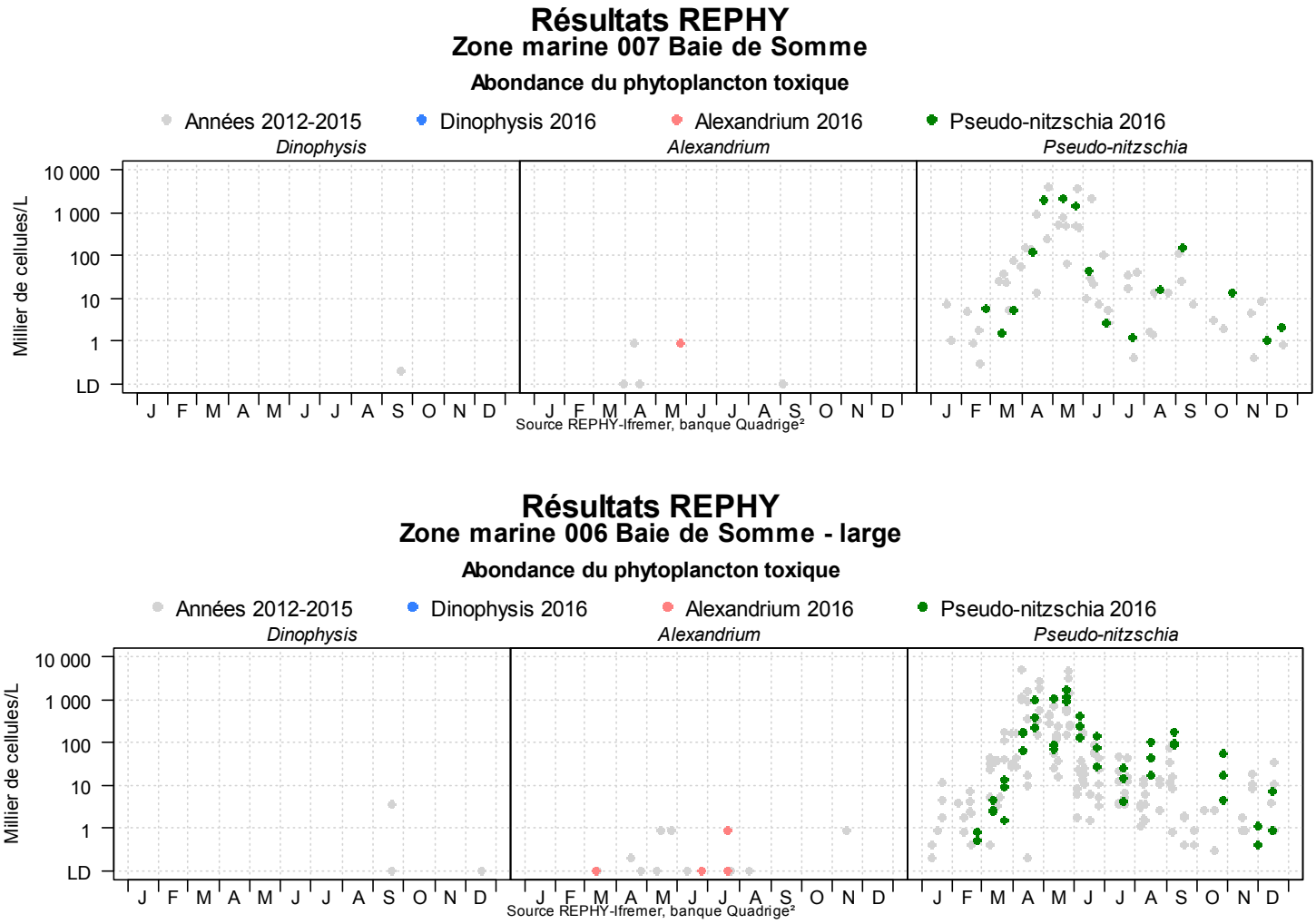


Figure 133. Évolution de l'abondance du phytoplancton toxique pour la radiale de Baie de Somme sur la côte et au large pour les 4 dernières années (symboles grisés) et pour l'année 2016 (symboles en couleurs)

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 2016. 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 2016, 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 2016. 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.

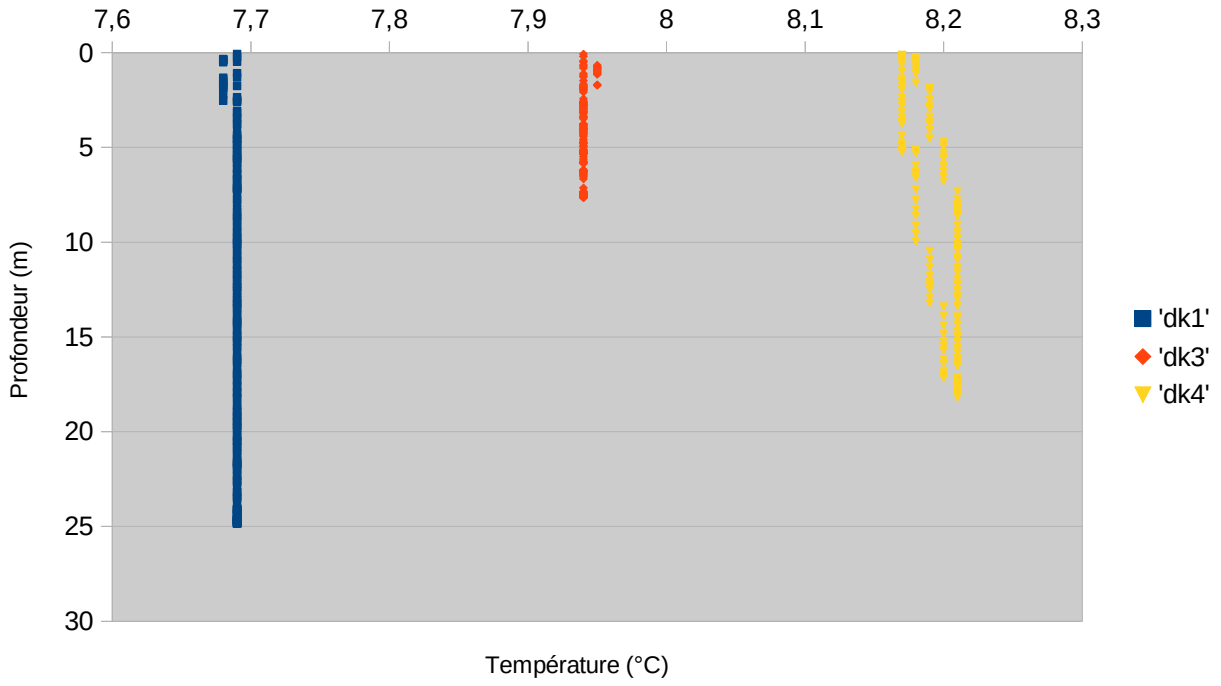


Figure 134. Évolution verticale de la température (°C) sur la radiale de Dunkerque le 26 février 2016

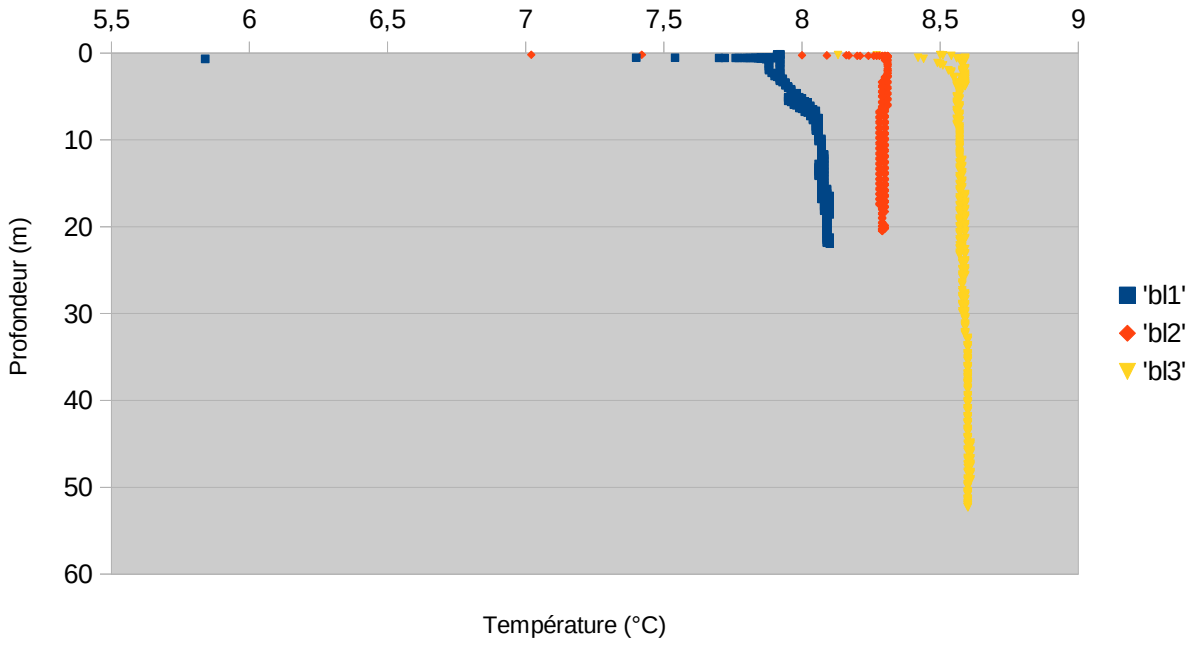


Figure 135. Évolution verticale de la température (°C) sur la radiale de Boulogne-sur-Mer le 24 février 2016

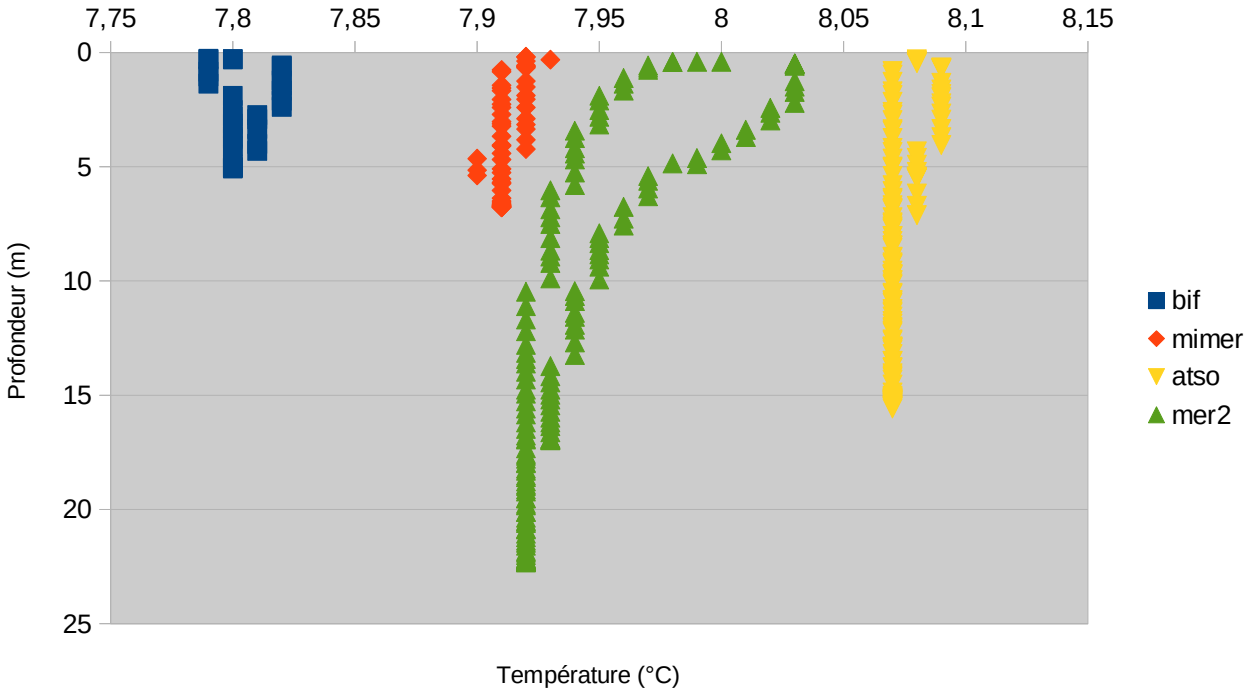


Figure 136. Évolution verticale de la température (°C) sur la radiale de la Baie de Somme le 24 février 2016

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 mesurées sont plus basses (autour de 29 P.S.U. au point Bif). 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). Cependant des valeurs de salinité sont plus basses par rapport à la normale. C'est le cas du point 1 de Dunkerque, au mois de mars. Cette chute de salinité est due à la présence d'un vent du Nord-Est qui va apporter de l'eau moins salée venant de l'Arctique.

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 large-côte 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 79,4 et 72,2 NTU aux points Bif et Mimer) contrairement aux deux autres radiales : Boulogne-sur-Mer (maximum de 13,8 NTU à la station 1, soit environ 5 fois moins que le maximum en Baie de Somme) et Dunkerque (maximum de 31,6 NTU à la station 1 soit environ 2 fois moins que le maximum en Baie de Somme). La turbidité a été particulièrement importante en mars pour les radiales avec la présence de tempêtes.

Le vent joue également un rôle particulièrement important dans la remise en suspension, 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 50 % 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 organique 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 2016 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 concentrations en silicates diminuent au printemps et sont faibles en été du fait de l'apparition en mars et en juin des communautés de *Bacillariophycées* (diatomées) utilisant la silice pour fabriquer leur structure. 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 sa 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 2016, 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 trois étapes. D'abord une apparition de diatomées en février-mars avec par exemple *Asterionellopsis glacialis et Chaetoceros* puis ces Bacillariophycées disparaissent pour laisser apparaître le bloom phytoplanctonique du groupe des Prymnésiophycées représenté par l'espèce *Phaeocystis globosa* entre mars et mai. Pour finir, on a encore une fois une dominance de certaines Bacillariophycées (*Asterionellopsis glacialis*, *Chaetoceros*, *Leptocylindrus*) en été. Les résultats de l'année 2016 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 complètent 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 2016.

En 2016, en ce qui concerne la radiale de Dunkerque, on obtient tout d'abord une importante production nouvelle de diatomées en mars qui est la conséquence des apports de nutriments (dû aux stocks hivernaux) et en particulier du silicate. Les diatomées disparaissent pour laisser apparaître, en plus faible proportion, *Phaeocystis globosa,* au mois d'avril, qui utilise le nitrate et le nitrite particulièrement élevés fin mars, dû au bloom printanier de diatomées, pour créer une production régénérée. Enfin, *Pseudo-nitzschia* se développe à partir de début mai en utilisant la biomasse du phytoplancton *(Phaeocystis)* pour s'en servir comme support. Le complexe *Pseudo-nitzschia delicatissima* a provoqué un dépassement de seuil d'alerte avec 549 000 cellules/L le 26 mai 2016.

Pour la radiale de Boulogne, on obtient cette fois-ci une quantité moins importante de diatomées en mars et une plus forte concentration en *Phaeocystis* en avril avec 9.10^6 cellules/L. Le cycle des nutriments est classique avec un pic de nitrite-nitrate en avril et une forte turbidité en mars. Une forte biomasse estivale est observable avec la présence en quantité importante de *Leptocylindrus, Chaetoceros* et de *Cryptophyceae* malgré des concentrations faibles en nutriments durant cette période. Seul le silicate est un peu plus élevé en juillet et août mais la biomasse est importante dès juin. Le complexe *Pseudo-nitzschia delicatissima* a provoqué un dépassement d'alerte 2 fois de suite en mai 2016 avec 375 356 cellules/L et 752 446 cellules/L.

Pour la radiale de la baie de Somme, on met en évidence un cycle classique d'évolution de la concentration en chlorophylle-*a* avec une forte présence de *Phaeocystis* en avril avec 10.10^6 cellules/L. Cependant, en juillet-août, comme pour Boulogne, la concentration en chlorophylle-*a* augmente avec l'importante présence de *Chaetoceros, Pennées* et *Pseudo-nitzschia.* Ce

développement se fait grâce à une importante présence de silicate et de nitrite-nitrate durant la période estivale. *Pseudo-nitzschia delicatissima* a provoqué 2 alertes dont une fin mai avec 929 000 cellules/L et l'autre début juin avec 423 350 cellules/L sur la radiale.

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 137). 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.

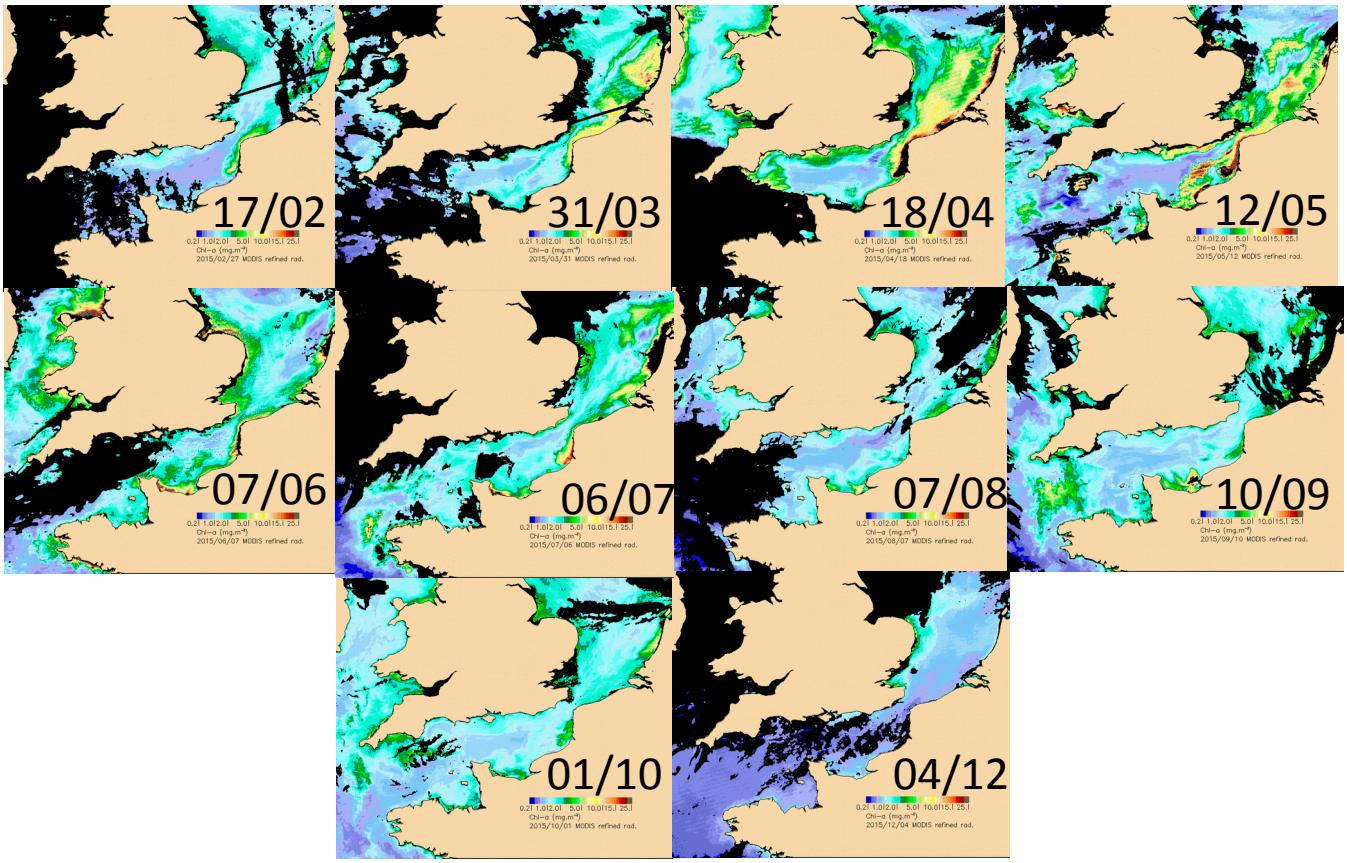


Figure 137. Illustration à méso-échelle de la dynamique de développement phytoplanctonique en 2016 via l'estimation de la concentration en chlorophylle *a* par le capteur MODIS (algorithme OC5 IFR) (source : http://cersat.ifremer.fr)

La dynamique spatiale observée en 2016 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 et mai. 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 2016 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.

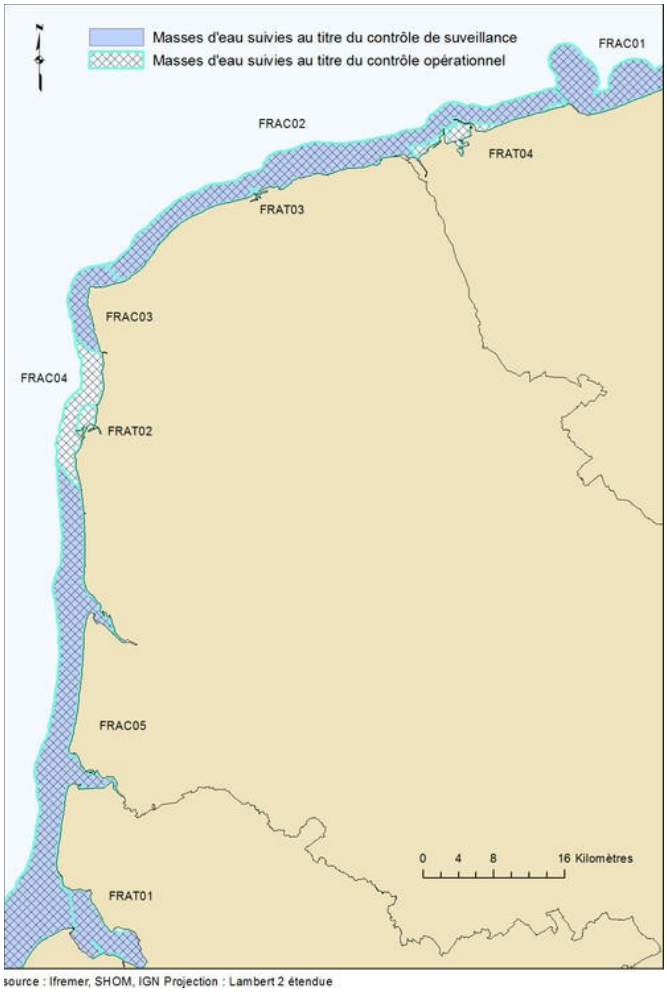


Figure 138. Masses d'eau côtières et estuarienne du bassin Artois-Picardie (en bleu foncé, masses d'eau suivies au titre du contrôle de surveillance DCE)

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 µm et 20 µm,
- une prolifération supérieure à 100 000 cellules par litre pour les grandes cellules dont la taille est supérieure ou égale à 20 µm.

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 139 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 Warenne possèdent un mauvais état chimique. Les ports de Dunkerque, de Boulogne sont classés en mauvais état.

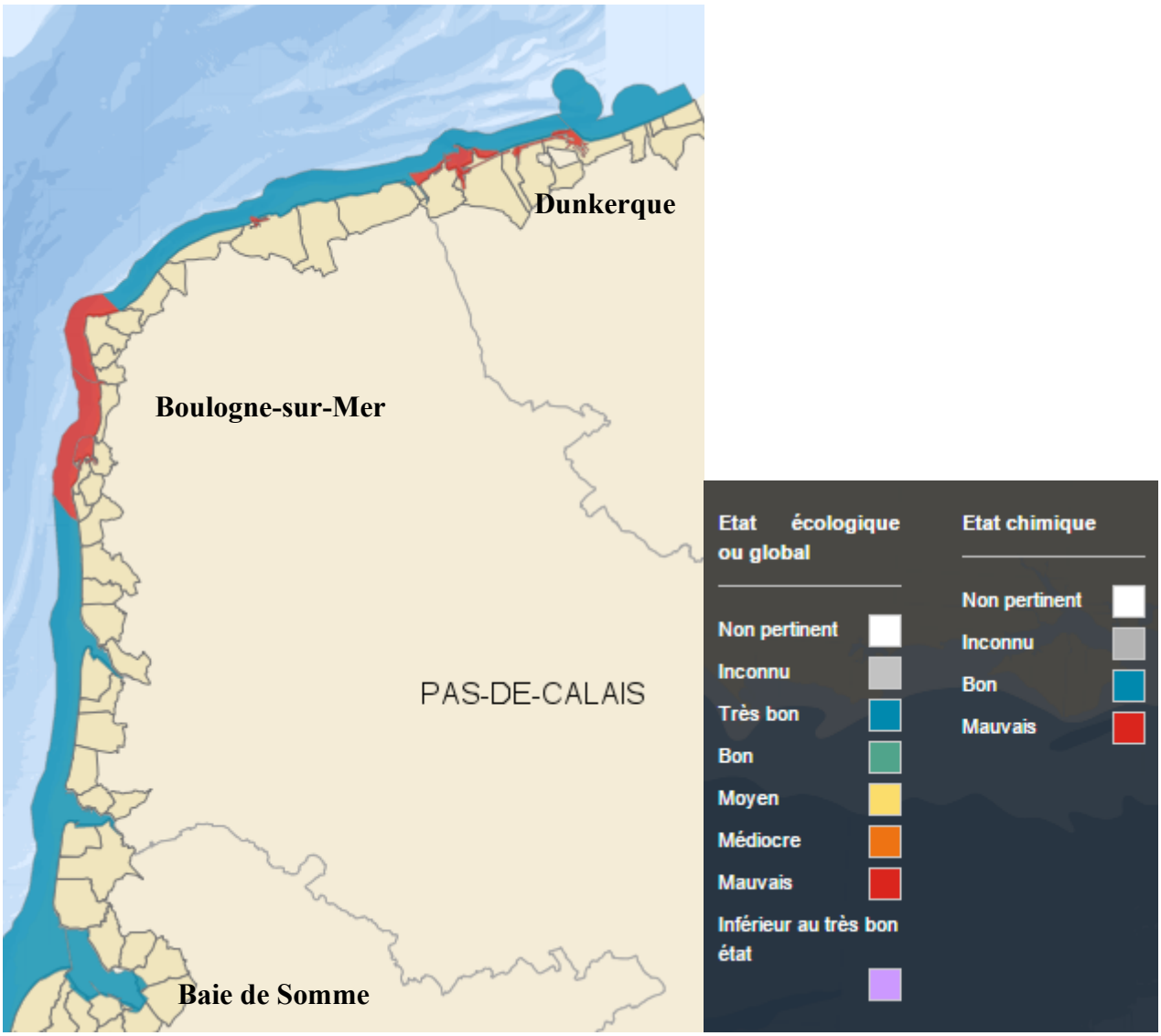


Figure 139. Évaluation de l'état chimique des masses d'eau entre 2008 et 2015 dans le cadre du programme de surveillance de la DCE 2000/60/CE

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 est bon 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 écologie est mauvais.

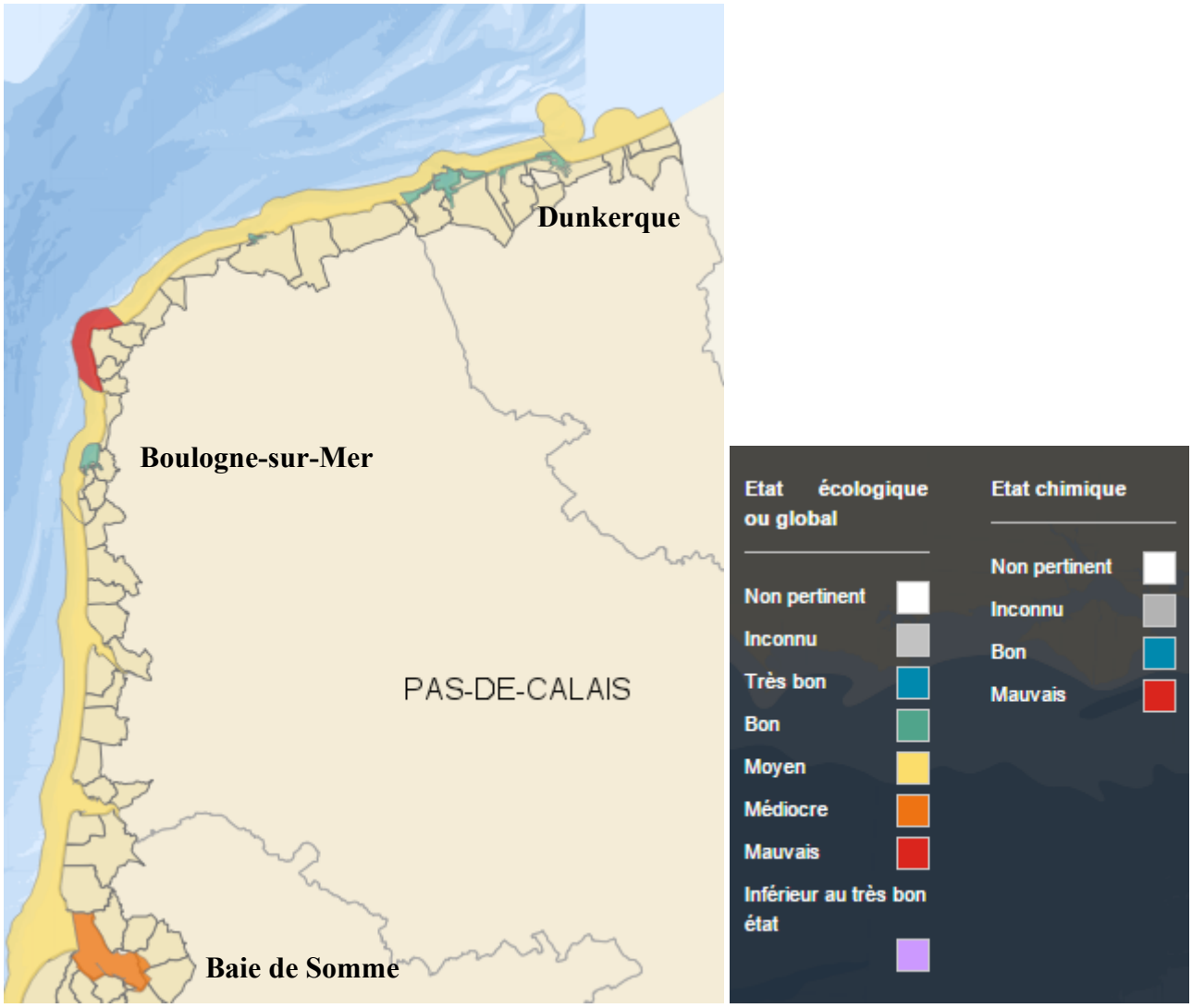


Figure 140. Évaluation de l'état écologique des masses d'eau entre 2008 et 2015 dans le cadre du programme de surveillance de la DCE 2000/60/CE

L'état global des masses d'eaux côtières surveillées varie de moyen à mauvais pour les caps Gris-Nez – Slack et Slack – La Warenne. 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**.**

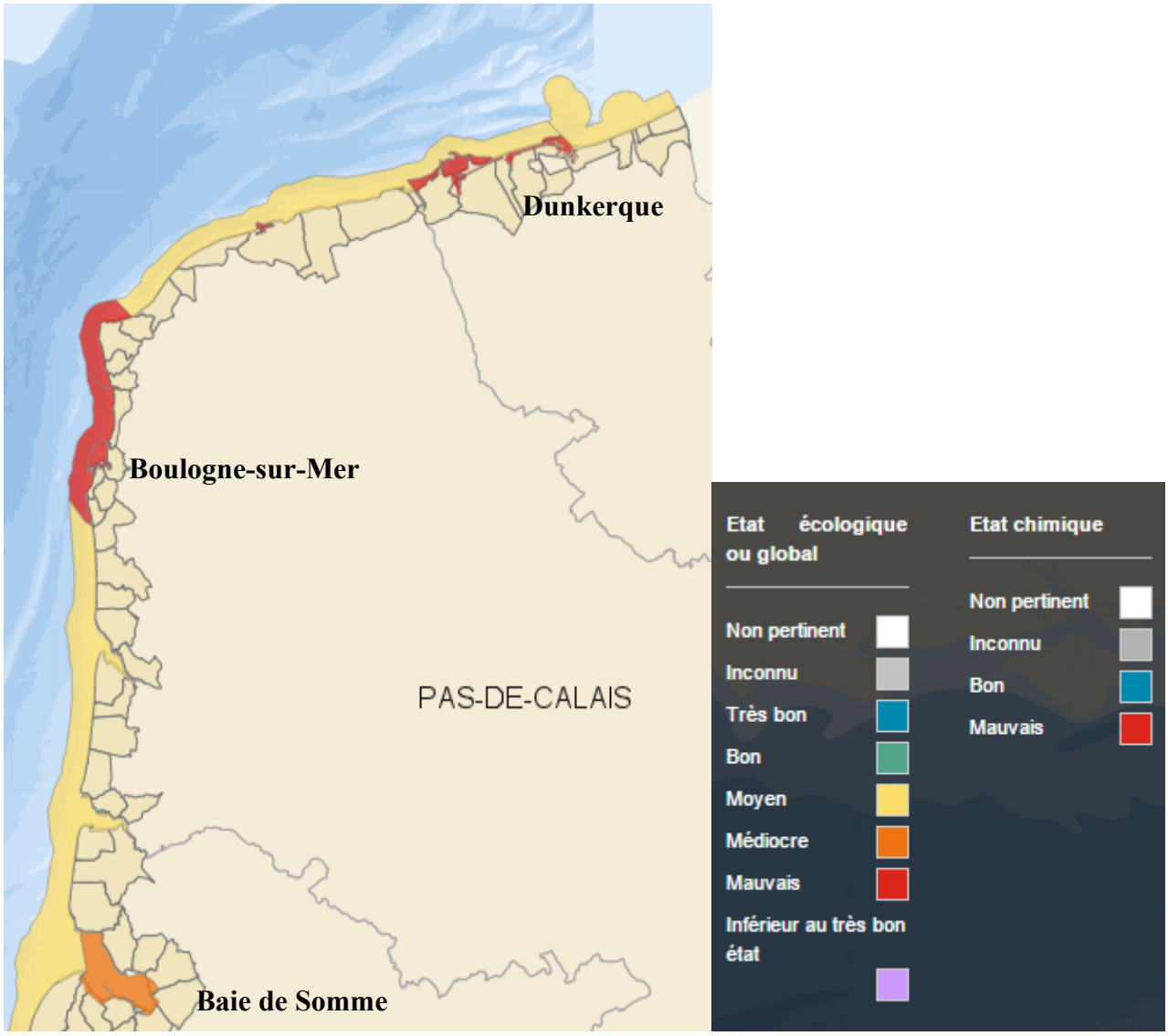


Figure 141. Évaluation de l'état global des masses d'eau entre 2008 et 2015 dans le cadre du programme de surveillance de la DCE 2000/60/CE

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.

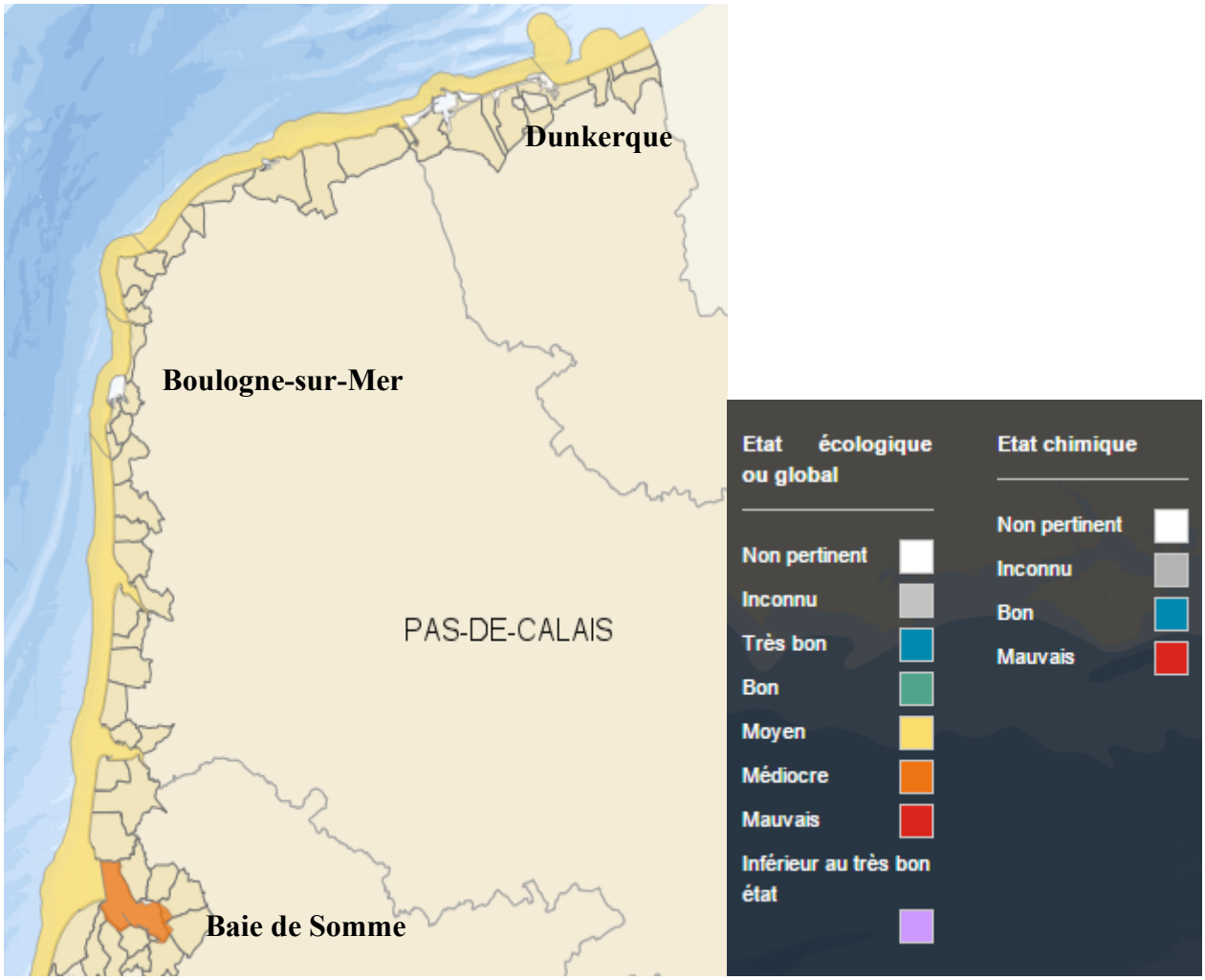


Figure 142. Évaluation de l'état biologique des masses d'eau pour l'élément de qualité phytoplancton dans le cadre du programme de surveillance de la DCE 2000/60/CE

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.

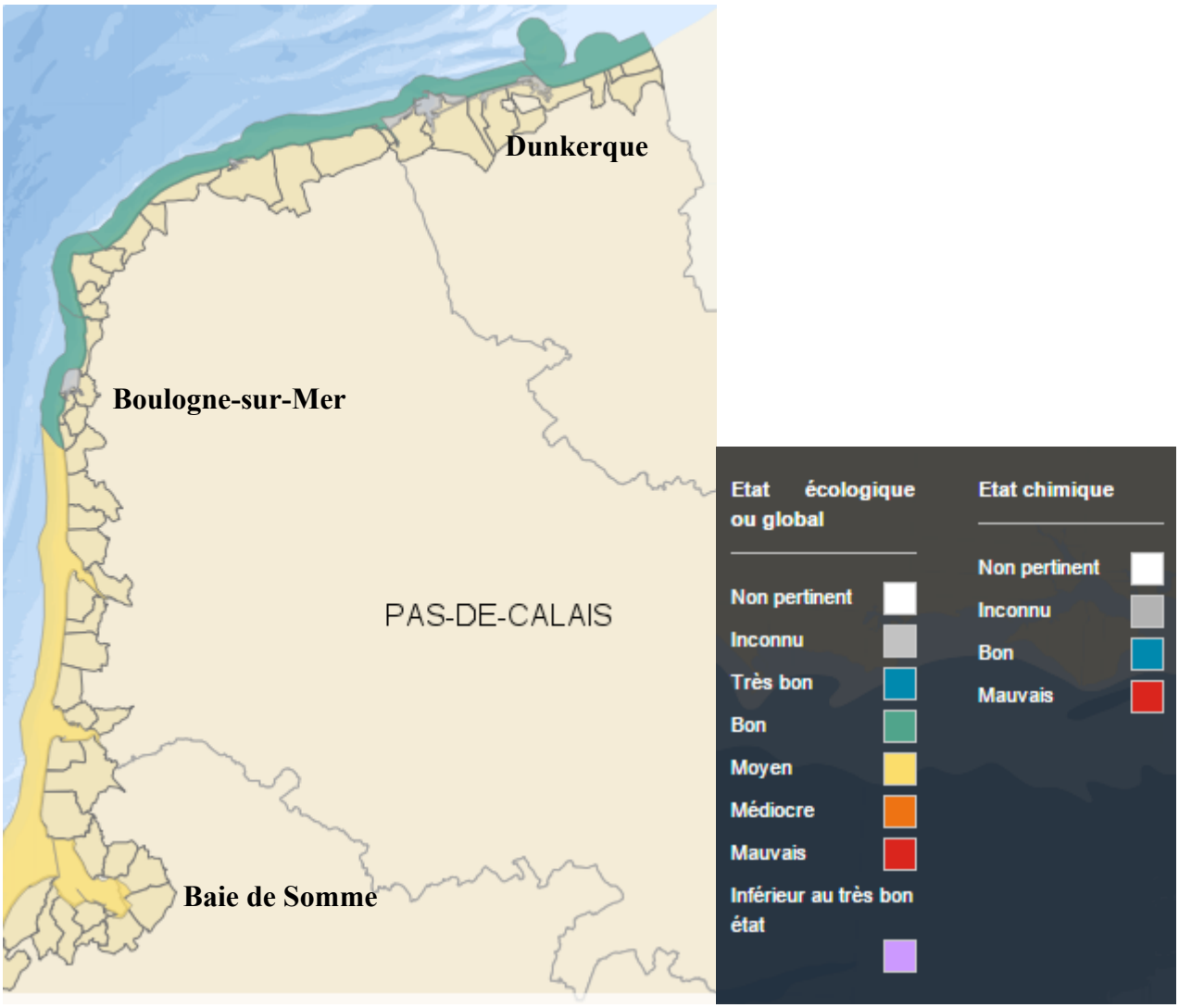


Figure 143. Évaluation de l'état physico-chimique des masses d'eau en fonction des nutriments dans le cadre du programme de surveillance de la DCE 2000/60/CE

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.

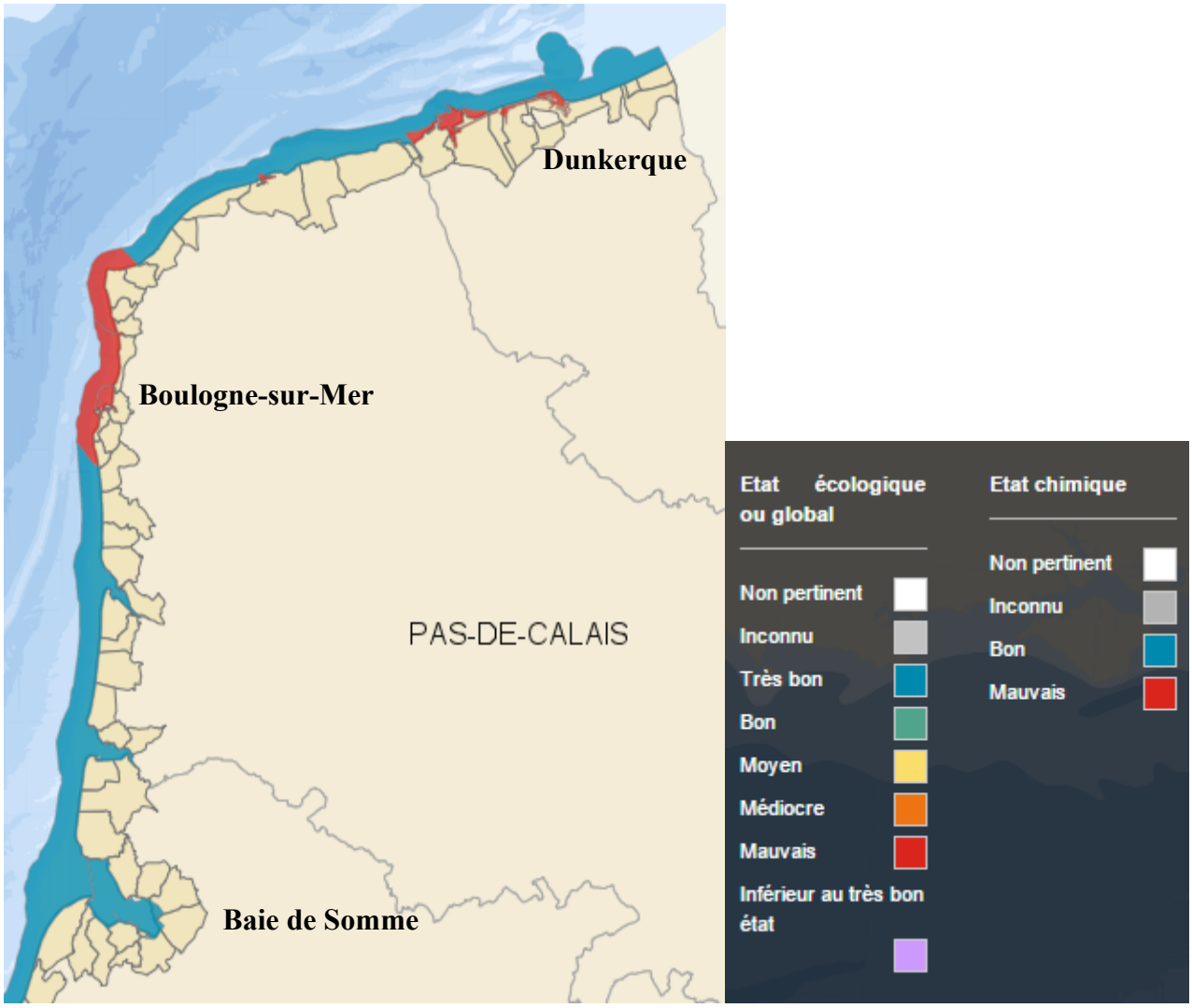


Figure 144. Évaluation des contaminants chimiques présents dans les masses d'eau dans le cadre du programme de surveillance de la DCE 2000/60/CE

5. Bilan et conclusions

Les résultats présentés dans ce rapport pour la période 1992-2016 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 2016 étaient légèrement plus chaudes pour Boulogne-sur-mer et la Baie de Somme alors que la température était plus basse pour Dunkerque par rapport à la période 1992-2015. Les températures minimales pour l'ensemble des radiales en 2016 sont plus élevées que les températures minimales sur la période 1992-2015. En revanche, les températures maximales de l'ensemble des radiales sont inférieures à celles de la période 1992-2015.

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, Asterionellopsis glacialis…*) prédomine le reste de l'année. Sur les trois taxons susceptibles de produire des toxines, les 3 radiales présentent des valeurs supérieures aux seuils d'alerte définis dans le cadre du réseau REPHY (*Dinophysis* et *Pseudo-Nitzschia* pour Dunkerque et *Pseudo-Nitzschia* pour Boulogne-sur-mer et la Baie de Somme).

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.

En 2016, selon l'étude de Seuront et Souissi (2002), la prolifération du phytoplancton était de type NAO+ avec une valeur de 0,98. Cependant, pour la radiale de Dunkerque (baie sud de la mer du Nord), il y a plus de diatomées que de *Phaeocystis* et inversement pour la radiale de

Boulogne (Manche orientale). Ces observations indiquent que les conclusions de ces auteurs basées sur des données acquises au cours de la période 1991-2000 ne sont plus valides pour les années plus récentes.

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), 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 large-côte (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 Quadrige 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

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 Économique 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 littotal 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. Wollasr, 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 Corde.

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. Gwenaelle, 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 turbdity 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 Giogio 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. Leynarert, 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 phytplankton 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.

Rousseeuw K, Poisson-Caillault E, Lefèbvre 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).

Seuront L, Souissi S. 2002. Climatic control of *Phaeocystis* spring bloom in the Eastern English Channel(1991-2000)

ANNEXES

P. 207-213 : Annexe 1	Données brutes des analyses physico-chimiques et gradient large-côte pour l'ensemble des radiales en 2016
P.214 : Annexe 2	Correspondance entre les intitulés de la base de données Quadrige 2 et la classe taxonomique pour toutes les radiales
P.215 : Annexe 3	Tableau de synthèse des limitations potentielles en nutriments pour l'ensemble des radiales en 2016

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_4^+	NO_x	No2 + NO3	PO_4^{3-}	Oxygène	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$\mu g.l^{-1}$	$\mu g.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$
26/02/2016	7,7	34,2	5,91	10,7	1,5	4,6	1,26	1,54	0,39	17,2	0,49	9,69	6,45
10/03/2016	7,4	34,2	31,6	54,8	4,8	9,39	4,86	1,55	0,46	18,1	0,57	9,74	5,53
23/03/2016	7,3	33,0	15,7	25,4	4,0	34,29	9,3	0,44	0,3	14,7	0,10	10,42	0,34
05/04/2016	9,5	34,4	2,65	31,6	7,2	11,97	2,07	0,59	0,22	3,82	0,15	9,92	0,34
19/04/2016	10,4	34,7	4,05	8,7	2,7	7,15	0,42	0,18	0,05	0,6	0,11	9,93	0,68
09/05/2016	12,3	34,9	16,2	29,7	4,3	4,49	9,3	0,19	0,05	0,62	0,2	8,78	2,11
26/05/2016	13,9	34,5	4,75	12,7	2,3	3,27	0,57	0,17	0,05	0,6	0,21	8,21	1,55
07/06/2016	14,9	32,4	2,47	4,7	1,7	11,08	1,37	1,46	0,3	5,89	0,2	9,61	0,27
06/07/2016	17,3	34,5	4,17	8,6	1,4	6,48	1,78	0,15	0,05	0,6	0,14	8,24	0,98
01/08/2016	19,5	34,6	3,07	6,3	1,7	6,43	1,48	1,09	0,05	0,60	0,25	7,95	2,16
06/09/2016	19,7	34,8	4,02	5,5	1,3	3,88	1,01	1,8	0,12	0,75	0,33	7,62	3,65
25/10/2016	13,9	34,7	7,63	10,1	1,9	4,57	1,46	3,45	0,39	4,41	0,40	8,36	4,30
29/11/2016	8,7	33,9	10,3	17,9	2,8	1,83	1,35	7,24	0,65	19,4	0,70	9,91	12,6
14/12/2016	8,7	34,4	15,6	26,8	2,8	2,33	1,75	4,68	1,47	13,2	0,62	9,52	9,3

Radiale de Dunkerque, Station 3

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH_4^+	NO_x	No2 + NO3	PO_4^{3-}	Oxygène	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$\mu g.l^{-1}$	$\mu g.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$
26/02/2016	7,9	34,6	5,63	7,7	1,2	5,14	1,18	0,15	0,07	11,73	0,2	9,8	2,43
10/03/2016	7,4	34,6	11	17,3	1,9	10,91	2,81	0,5	0,05	11,71	0,05	9,75	3,09
23/03/2016	7,2	33,3	17,3	32,2	4,6	57,28	15,78	0,23	0,05	10,36	0,1	10,31	1,88
05/04/2016	9	34,7	1,74	5,6	1,6	9,09	1,46	0,15	0,05	6,44	0,18	10,51	0,18
19/04/2016	10	34,8	2,31	4	1,8	2,86	0,24	0,15	0,05	17,24	0,05	10	0,36
09/05/2016	11,5	35,1	3,5	6,7	3,3	1,88	3,27	0,44	0,05	0,15	0,23	9,32	0,79
26/05/2016	13,4	34,7	0,683	4,7	1,3	0,66	0,07	0,15	0,05	0,15	0,05	8,19	0,1
07/06/2016	14,3	33,3	0,962	2	1,2	7,9	0,99	0,2	0,05	0,15	0,05	9,41	0,1
06/07/2016	16,7	34,6	1,74	4,6	1,5	2,26	0,55	0,15	0,05	0,86	0,22	8,23	0,1
01/08/2016	18,8	34,7	1,52	2,9	1,1	1,94	0,42	0,24	0,05	1,76	0,2	8,05	1,61
06/09/2016	19,2	35	3,37	5,7	1,3	3,05	0,97	0,78	0,15	0,59	0,24	7,63	3,26
25/10/2016	14,6	35	6,17	7,8	1,4	4,35	2,02	0,95	0,2	0,9	0,3	8,29	2,43
29/11/2016	9,4	34,5	8,28	24,4	3,1	1,45	1	4,52	0,65	8,88	0,49	9,84	7,34
14/12/2016	8,9	34,6	8,13	12,8	1,3	1,83	1,2	2,26	1,68	12,03	0,38	9,51	6,23

Radiale de Dunkerque, Station 4

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH_4^+	NO_x	No2 + NO3	PO_4^{3-}	Oxygène	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$\mu g.l^{-1}$	$\mu g.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$
26/02/2016	8,2	34,8	2,06	4	0,9	2,63	0,69	0,15	0,13	11,55	0,3	9,64	2,57
10/03/2016	7,6	34,6	6,02	8,8	1,3	4,32	1,15	0,53	0,08	13,46	0,17	9,98	3,78
23/03/2016	7,3	33,4	2,42	2,8	1,2	8,43	1,5	0,19	0,05	8,62	0,05	11,5	0,77
05/04/2016	8,9	34,8	0,634	3,1	1,2	6,37	0,61	0,15	0,05	8,45	0,05	10,31	0,2
19/04/2016	9,9	35,1	1,04	5	2	2,16	0,05	0,15	0,05	20,15	0,05	10,24	0,51
09/05/2016	11,2	34,9	4,4	1,7	0,7	1,99	3,76	0,4	0,05	0,15	0,05	9,83	1,13
26/05/2016	13	34,7	0,61	3,9	1,5	0,55	0,04	0,15	0,05	0,15	0,05	8,12	0,1
07/06/2016	13,9	33,8	1,78	4,4	1,5	5,08	0,2	0,21	0,05	0,15	0,05	8,97	0,1
06/07/2016	16,5	34,5	0,735	1,3	1,1	1,53	0,32	0,15	0,05	0,87	0,11	8,51	0,1
01/08/2016	18,6	34,7	0,673	3,7	1,5	1,73	0,39	0,15	0,05	1,94	0,12	8,04	2,19
06/09/2016	19	35,1	2,03	3	1,1	1,95	0,31	1,02	0,17	0,21	0,22	7,48	3,58
25/10/2016	15	34,9	2,31	3,9	1,4	3,16	1,12	0,79	0,18	1,69	0,26	8,16	2,35
29/11/2016	9,9	34,7	5,66	16,2	2,1	1,06	0,75	3,68	0,63	7,4	0,42	9,32	5,67
14/12/2016	9,2	34,7	5,95	8,6	1,2	0,98	0,72	2,99	1,49	12,04	0,4	9,25	6,87

Boulogne

Radiale de Boulogne, Station 1

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH_4^+	NO_x	No2 + NO3	PO_4^{3-}	Oxygène	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$\mu g.l^{-1}$	$\mu g.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$
24/02/2016	7,9	33,2	8,6	13,4	1,6	1,66	0,84	1,01	0,48	20,4	0,6	9,53	8,15
08/03/2016	7,2	33,6	13,8	23,5	1,7	3,89	1,55	1,18	0,46	14,9	0,51	9,66	4,02
23/03/2016	7,6	33,9	7,79	10,2	1,1	7,3	2,92	1,29	0,3	11,3	0,3	9,93	0,68
04/04/2016	8,7	34,5	2,2	9,9	2	7,26	1,31	1,18	0,1	1,69	0,09	10,12	0,23
18/04/2016	9,8	34,9	3,14	8	4,8	8,48	1,53	0,29	0,05	0,89	0,15	10,64	0,58
11/05/2016	12,4	34	1,68	3,2	1,6	3,82	6,88	0,54	0,13	0,6	0,15	9,39	0,31
24/05/2016	13,1	34,6	1,43	3	1,8	1,94	0,23	0,15	0,05	0,6	0,16	8,73	0,52
08/06/2016	13,8	35,1	1,51	7,9	2,3	1,57	0,25	0,74	0,09	1,39	0,11	8,14	0,76
23/06/2016	16,9	33,7	1,8	5,5	1,9	9,6	2,18	0,33	0,05	0,6	0,18	8,85	0,22
04/07/2016	16,7	33,4	1,71	3,2	1,1	7,26	1,24	0,42	0,1	0,99	0,16	8,82	0,42
18/07/2016	17,8	34	2,7	6,5	1,9	8,75	2,11	0,17	0,05	0,6	0,18	8,24	0,1
23/08/2016	19,3	33,8	2,69	5,2	1,7	8,23	1,7	0,25	0,06	0,6	0,2	7,99	2,68
05/09/2016	19,7	34,3	4,82	6,9	1,6	10,48	3,39	0,43	0,05	0,6	0,26	7,57	0,26
20/09/2016	19,4	34,7	2,3	2,2	0,7	6,66	1,72	0,34	0,05	0,6	0,1	7,62	1,3
06/10/2016	17,3	34,5	1,66	4,4	1,3	1,44	0,5	3,94	0,18	2,03	0,2	7,41	3,24
20/10/2016	15,2	34,7	2,63	4,6	2,2	2,31	0,72	1,77	0,16	2,48	0,18	7,96	1,62
15/11/2016	11,9	34,7	3,55	8,8	2,4	1,71	1,54	2,54	0,22	6,63	0,24	8,51	3,84
28/11/2016	10,9	34,5	8,63	33,5	5,2	0,85	1,17	3,73	0,36	11,3	0,46	9,4	9,41
16/12/2016	9,3	35,1	4,63	6,7	1,9	1,33	0,42	3,64	0,41	14,9	0,55	9,06	8,47

Radiale de Boulogne, Station 2

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH_4^+	NO_x	No2 + NO3	PO_4^{3-}	Oxygène	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$\mu g.l^{-1}$	$\mu g.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$
24/02/2016	8,3	34	4,89	9,9	1,1	1,25	0,44	0,66	0,08	11,62	0,18	9,54	1,25
08/03/2016	7,7	34,1	5,41	12	1,6	2,54	0,68	0,2	0,07	8	0,38	9,52	2,92
23/03/2016	7,7	34,1	6,1	9,3	0,7	5,9	3,34	0,41	0,16	9,7	0,36	9,75	1,38
04/04/2016	8,7	34,7	1,04	6,5	1,3	5,65	0,4	0,15	0,05	2,69	0,12	10,03	0,43
18/04/2016	9,7	35,2	1,5	2,4	2,4	4,49	0,17	0,41	0,05	12,65	0,24	10,56	0,28
11/05/2016	11,7	34,6	1,24	1,9	0,8	1,61	3,2	0,15	0,05	0,15	0,05	9,1	0,73
24/05/2016	12,5	35,3	0,826	0,8	0,8	1,06	0,04	0,15	0,05	0,15	0,1	8,69	0,1
08/06/2016	14,2	35	3,07	5,9	1,2	1,52	0,19	0,37	0,05	0,47	0,05	8,02	0,1
23/06/2016	15,5	34,6	0,64	1,7	0,9	3,03	0,49	0,15	0,05	0,15	0,05	8,31	0,1
04/07/2016	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
18/07/2016	17,6	34	1,38	2,7	1	4,88	0,86	0,15	0,05	0,93	0,06	8,39	2,59
23/08/2016	19,1	34,4	1,65	2,8	1,1	4,3	0,52	0,15	0,05	1,97	0,13	7,89	2,12
05/09/2016	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
20/09/2016	19,2	NA	1,7	2,3	0,1	2,45	1,08	1,15	0,11	0,15	0,11	7,24	2,87
06/10/2016	17,4	34,8	1,4	3,9	1,1	0,83	0,14	1,23	0,24	1,19	0,27	7,67	3,1
20/10/2016	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
15/11/2016	12,4	34,9	3,33	5,6	1,2	1,05	1	2,18	0,21	3,05	0,33	7,9	3,73
28/11/2016	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
16/12/2016	8,9	34,7	5,55	6,5	1,3	1	0,4	0,74	0,41	10,61	0,39	8,67	7,13

Radiale de Boulogne, Station 3

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH_4^+	NO_x	No2 + NO3	PO_4^{3-}	Oxygène	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$\mu g.l^{-1}$	$\mu g.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$
24/02/2016	8,5	34,4	2,68	4,7	0,8	1,5	0,07	0,29	0,07	8,29	0,22	9,55	3,55
08/03/2016	8,3	34,4	3,31	4,5	0,7	1,41	0,48	0,2	0,09	5,57	0,25	9,34	1,8
23/03/2016	7,9	34,3	1,59	4	0,6	1,44	1,01	0,39	0,05	6,16	0,06	10,09	0,57
04/04/2016	8,7	34,6	0,774	9,3	2,1	4,93	0,38	0,15	0,05	4,05	0,15	10,38	0,3
18/04/2016	9,6	35,4	0,635	1,4	0,8	2,7	0,14	0,26	0,05	14,56	0,05	10,2	0,37
11/05/2016	11,3	34,8	0,756	0,7	0,4	0,91	1,87	0,17	0,05	0,15	0,21	9,26	1,03
24/05/2016	12,2	35,6	0,51	0,7	0,7	0,7	0,04	0,15	0,05	0,15	0,05	8,97	0,1
08/06/2016	13,3	35	1,72	7,5	1,7	1,18	0,04	0,83	0,05	0,15	0,07	8,62	0,33
23/06/2016	15,1	34,8	0,569	2,4	0,9	1,66	0,24	0,15	0,05	0,15	0,17	8,62	0,11
04/07/2016	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
18/07/2016	17,6	33,8	0,791	1,6	0,9	3,6	0,9	0,15	0,05	1,42	0,06	8,88	1,95
23/08/2016	18,6	34,7	1,03	1,9	1	2,42	0,11	0,15	0,06	1,4	0,26	7,94	1,62
05/09/2016	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
20/09/2016	18,7	35,4	0,9	0,6	0,3	1,39	0,3	0,91	0,05	0,15	0,32	7,56	2,36
06/10/2016	17,7	35,1	0,975	2,9	1,1	0,55	0,07	0,57	0,2	0,86	0,32	7,9	2,47
20/10/2016	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
15/11/2016	13,3	35,2	2,96	5,5	1,4	1,03	0,96	0,98	0,56	1,47	0,18	8,35	2,44
28/11/2016	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
16/12/2016	10,1	35,1	6,69	8,5	1,1	1,05	0,73	0,2	0,39	8,19	0,38	8,68	6,24

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_4^+	NO_x	No2 + NO3	PO_4^{3-}	Oxygène	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$\mu g.l^{-1}$	$\mu g.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$
24/02/2016	7,8	32,6	28,2	41,4	2,8	1,33	1,64	2,06	0,75	37	0,83	9,56	13,9
11/03/2016	7	31,9	79,4	105,2	5,2	6,96	7,95	2,36	0,57	38,5	0,77	9,98	10,4
22/03/2016	7,8	33	8,97	46,9	8,1	11,83	4,05	1,23	0,37	15,5	0,13	10,11	2,84
11/04/2016	9,8	32,9	18,7	37,6	6,8	26,26	6,9	0,58	0,98	5,99	0,15	10,26	2,84
22/04/2016	11	33,2	8,08	16,4	4,4	21,61	4,57	0,25	0,15	4,3	0,13	10,96	1,89
11/05/2016	13,6	32,9	10,2	20,8	2,8	24,18	33,17	0,63	0,34	7,95	0,34	10,04	0,73
24/05/2016	14,1	32,8	5,12	15	3,2	18,95	5,83	0,87	0,26	6,5	0,17	9,10	1,07
06/06/2016	14,8	33,1	5,02	8,4	2	4,76	2,22	2,09	0,34	6,5	0,31	7,69	5,33
23/06/2016	18,2	31,5	3,71	9,3	1,7	7,04	2,42	2,26	0,65	12,3	0,18	8,05	6,78
19/07/2016	20,5	31	5,61	14,5	3,3	28,92	8,54	0,15	0,75	15,5	0,35	9,29	7,69
16/08/2016	19,3	31,1	12	21,4	5,2	38,31	11,66	0,86	0,83	32,4	0,47	8,12	21,5
07/09/2016	20,5	32,6	20,3	24,6	3,8	14,79	4,99	4,76	0,28	6,42	0,29	7,71	12
27/10/2016	12,9	28,5	18,9	26,2	4	4,57	3,86	11,9	0,93	68,9	0,95	8,65	39,3
30/11/2016	7,8	33,3	13,6	23,3	2,5	1,33	1,39	7,42	0,43	26,5	0,61	10,38	18,1
15/12/2016	7,9	33	41,2	56,8	4,4	2,29	5,42	6,72	0,47	30,6	0,78	9,77	18,7

Radiale de la Baie de Somme, Station MIMER

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH_4^+	NO_x	No2 + NO3	PO_4^{3-}	Oxygène	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$\mu g.l^{-1}$	$\mu g.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$
24/02/2016	7,9	32,8	42,1	52	2,4	1,5	2,29	1,38	0,38	36,61	0,6	9,64	15,17
11/03/2016	7,1	32,3	72,2	91,6	5,2	8	6,76	0,23	0,2	36,4	0,5	9,95	7,49
22/03/2016	7,7	33,1	10,8	46,4	7,6	16,41	4,01	0,54	0,06	13,83	0,05	10,79	1,53
11/04/2016	9,7	33,2	16,4	27,2	4,4	19,45	6,03	0,15	0,05	14,78	0,13	10,34	1,63
22/04/2016	10,9	33,4	4,59	7,6	2,8	18,95	3,27	0,15	0,05	24,59	1,27	10,8	1,06
11/05/2016	13,5	33,1	6,3	8,8	2,2	18,7	24,81	0,42	NA	NA	NA	10,26	0,81
24/05/2016	14	33	1,93	3,8	2,2	7,65	1,6	0,15	0,05	6,01	0,05	9,26	0,81
06/06/2016	14,6	32,7	3,03	4,1	0,9	3,27	1,15	0,75	0,05	7,94	0,05	8,05	4,3
23/06/2016	17,9	31,8	2,63	4,5	0,7	4,83	1,42	1,55	0,27	10,39	0,05	8,17	3,09
19/07/2016	20	32,6	3,06	5,1	1,7	9,93	2,9	0,69	0,32	4,8	0,05	8,7	6,22
16/08/2016	19,2	32,9	4,61	5,9	1,5	9,14	2,8	2,23	0,19	2,26	0,07	8,12	8,65
07/09/2016	20,6	33,1	9,55	12,9	1,9	9,43	3,89	4,32	0,3	2,28	0,27	7,96	10,39
27/10/2016	13,3	31,7	9,98	12,8	1,9	3,16	2,43	9,05	0,58	29,3	0,53	8,45	20,33
30/11/2016	8,9	33,6	14,5	26,5	2,8	1,55	1,75	4,26	0,42	19,52	0,52	10,23	13,28
15/12/2016	8,3	33,4	28,7	39,8	2,6	1,99	3,36	4,08	0,54	23,31	0,9	9,59	16,15

Radiale de la Baie de Somme, Station ATSO

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH_4^+	NO_x	No2 + NO3	PO_4^{3-}	Oxygène	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$\mu g.l^{-1}$	$\mu g.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$
24/02/2016	8,1	33,4	20,5	27,6	2	2,74	1,5	0,9	0,6	29,9	0,78	9,58	13,9
11/03/2016	7,3	33	19,3	29	2,2	12,96	3,32	1,18	0,55	27,2	0,45	10,04	6,07
22/03/2016	7,6	33,6	10,3	49,5	8,9	24,71	4,92	2,19	0,29	9,79	0,09	10,33	0,24
11/04/2016	9,5	33,8	7,81	18,8	3,8	16,93	4,66	0,29	0,2	4,59	0,15	10,58	0,78
22/04/2016	10,7	33,8	2,58	5,2	2,4	18,12	2,59	0,16	0,12	1,97	0,22	10,62	0,2
11/05/2016	12,9	33,9	3,9	5,5	1,7	13,57	19,2	0,96	0,16	4,75	0,38	12,8	0,56
24/05/2016	14,2	33,4	1,7	2,4	1,1	5,6	0,88	0,37	0,32	10,8	0,11	9,86	1,59
06/06/2016	14,3	33,6	2,23	4,3	1,2	3,43	0,99	0,64	0,12	2,71	0,15	8,03	2,11
23/06/2016	17,1	32,2	3,83	10,7	2,3	9,03	3,77	0,9	0,51	9,63	0,12	8,24	1,9
19/07/2016	19,3	33,3	2,38	3,7	1,1	11,58	2,23	0,58	0,28	5,13	0,13	8,31	1,59
16/08/2016	19,2	33,6	3,1	7,5	2,5	11,08	3,04	0,84	0,07	0,6	0,2	8,28	1,63
07/09/2016	20,2	33,8	3,85	5,2	1,7	12,3	2,59	0,83	0,1	0,95	0,13	7,85	4,58
27/10/2016	13,7	33,7	9,01	13,9	1,8	1,8	1,63	6,62	0,49	15,9	0,51	7,88	12,7
30/11/2016	9,6	34,1	13,8	20,1	2,3	2,55	1,89	4,59	0,33	18,6	0,56	9,77	12,8
15/12/2016	8,8	34,1	8,64	14,8	1,9	2,66	1,41	3,26	0,31	20,4	0,64	9,4	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_4^+	NO_x	No2 + NO3	PO_4^{3-}	Oxygène	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$\mu g.l^{-1}$	$\mu g.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$mg.l_{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$
24/02/2016	8	33,8	4,69	5,1	0,4	1,34	0,29	0,41	0,32	28,62	0,4	9,78	10,05
11/03/2016	7,4	33,7	4,83	8,1	1,3	11,11	2	0,15	0,05	20,01	0,07	10,71	2,23
22/03/2016	7,8	34,2	2,3	25,8	5,5	2,83	0,54	0,15	0,05	8,58	0,05	11,24	0,1
11/04/2016	9,4	34,2	2,71	8	2,6	10,8	1,65	0,15	0,05	12,71	0,19	11,46	0,47
22/04/2016	10,5	34,3	1,43	3,4	1,4	13,13	1,65	0,15	0,05	0,15	0,18	11,76	0,31
11/05/2016	13	34,1	0,666	1	0,6	5,78	5,98	0,67	NA	NA	NA	9,83	0,5
24/05/2016	13,4	34	1,06	4,8	1,8	6,98	1,28	0,15	0,05	1,27	0,05	9,57	0,5
06/06/2016	14,6	33,7	1,28	1,3	0,5	1,79	0,19	0,15	0,05	1,97	0,05	8,15	0,6
23/06/2016	16,7	32,4	2,17	4,8	1,5	8,64	2,25	0,23	0,05	7,19	0,05	9,08	0,1
19/07/2016	19,9	33,1	1,55	2,1	1,3	8,38	1,17	0,15	0,17	3,94	0,06	9,06	2,96
16/08/2016	19,1	33,7	1,24	2,2	1	8,86	1,37	0,4	0,05	2,34	0,09	8,49	4,12
07/09/2016	20,5	33,6	3,14	3,7	1,3	8,02	1,52	1,23	0,18	0,51	0,11	8,53	6,72
27/10/2016	14,4	34,4	3,52	6,6	1,4	4,7	1,49	1,6	0,23	8,21	0,28	7,97	5,79
30/11/2016	10,2	34,6	5,06	19,2	3,1	2,66	0,94	1,19	0,25	9,76	0,37	9,74	7,36
15/12/2016	9,2	34,7	4,76	13,3	1,4	3,87	1,25	0,98	0,29	12,06	0,46	9,33	7,45

GRADIENT COTE-LARGE

Radiale de Dunkerque

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH_4^+	NO_x	PO_4^{3-}	Oxygène	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$\mu g.l^{-1}$	$\mu g.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$
26/02/16	0,5	0,6	-3,85	-6,7	-0,6	-1,97	-0,57	-1,39	-5,65	-0,19	-0,05	-3,88
10/03/16	0,2	0,4	-25,58	-46	-3,5	-5,07	-3,71	-1,02	-4,64	-0,4	0,24	-1,75
23/03/16	0	0,4	-13,28	-22,6	-2,8	-25,86	-7,8	-0,25	-6,08	-0,05	1,08	0,43
05/04/16	-0,6	0,4	-2,016	-28,5	-6	-5,6	-1,46	-0,44	4,63	-0,1	0,39	-0,14
19/04/16	-0,5	0,4	-3,01	-3,7	-0,7	-4,99	-0,37	-0,03	19,55	-0,06	0,31	-0,17
09/05/16	-1,1	0	-11,8	-28	-3,6	-2,5	-5,54	0,21	-0,47	-0,15	1,05	-0,98
26/05/16	-0,9	0,2	-4,14	-8,8	-0,8	-2,72	-0,53	-0,02	-0,45	-0,16	-0,09	-1,45
07/06/16	-1	1,4	-0,69	-0,3	-0,2	-6	-1,17	-1,25	-5,74	-0,15	-0,64	-0,17
06/07/16	-0,8	0	-3,435	-7,3	-0,3	-4,95	-1,46	0	0,27	-0,03	0,27	-0,88
01/08/16	-0,9	0,1	-2,397	-2,6	-0,2	-4,7	-1,09	-0,94	1,34	-0,13	0,09	0,03
06/09/16	-0,7	0,3	-1,99	-2,5	-0,2	-1,93	-0,7	-0,78	-0,54	-0,11	-0,14	-0,07
25/10/16	1,1	0,2	-5,32	-6,2	-0,5	-1,41	-0,34	-2,66	-2,72	-0,14	-0,2	-1,95
29/11/16	1,2	0,8	-4,64	-1,7	-0,7	-0,77	-0,6	-3,56	-12	-0,28	-0,59	-6,93
14/12/16	0,5	0,3	-9,65	-18,2	-1,6	-1,35	-1,03	-1,69	-1,16	-0,22	-0,27	-2,43

Radiale de Boulogne

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH_4^+	NO_x	PO_4^{3-}	Oxygène	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$\mu g.l^{-1}$	$\mu g.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$
24/02/16	0,6	1,2	-5,92	-8,7	-0,8	-0,16	-0,77	-0,72	-12,11	-0,38	0,02	-4,6
08/03/16	1,1	0,8	-10,49	-19	-1	-2,48	-1,07	-0,98	-9,33	-0,26	-0,32	-2,22
23/03/16	0,3	0,4	-6,2	-6,2	-0,5	-5,86	-1,91	-0,9	-5,14	-0,24	0,16	-0,11
04/04/16	0	0,1	-1,426	-0,6	0,1	-2,33	-0,93	-1,03	2,36	0,06	0,26	0,07
18/04/16	-0,2	0,5	-2,505	-6,6	-4	-5,78	-1,39	-0,03	13,67	-0,1	-0,44	-0,21
11/05/16	-1,1	0,8	-0,924	-2,5	-1,2	-2,91	-5,01	-0,37	-0,45	0,06	-0,13	0,72
24/05/16	-0,9	1	-0,92	-2,3	-1,1	-1,24	-0,19	0	-0,45	-0,11	0,24	-0,42
08/06/16	-0,5	-0,1	0,21	-0,4	-0,6	-0,39	-0,21	0,09	-1,24	-0,04	0,48	-0,43
23/06/16	-1,8	1,1	-1,231	-3,1	-1	-7,94	-1,94	-0,18	-0,45	-0,01	-0,23	-0,11
18/07/16	-0,2	-0,2	-1,909	-4,9	-1	-5,15	-1,21	-0,02	0,82	-0,12	0,64	1,85
23/08/16	-0,7	0,9	-1,66	-3,3	-0,7	-5,81	-1,59	-0,1	0,8	0,06	-0,05	-1,06
20/09/16	-0,7	0,7	-1,4	-1,6	-0,4	-5,27	-1,42	0,57	-0,45	0,22	-0,06	1,06
06/10/16	0,4	0,6	-0,685	-1,5	-0,2	-0,89	-0,43	-3,37	-1,17	0,12	0,49	-0,77
15/11/16	1,4	0,5	-0,59	-3,3	-1	-0,68	-0,58	-1,56	-5,16	-0,06	-0,16	-1,4

Radiale de la Baie de Somme

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH_4^+	NO_x	PO_4^{3-}	Oxygène	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	$mg.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$\mu g.l^{-1}$	$\mu g.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$	$mg.l^{-1}$	$\mu mol.l^{-1}$
24/02/16	-0,1	0,4	-15,81	-22,5	-1,6	-1,4	-1,21	-0,49	-1,28	-0,38	0,2	-3,85
11/03/16	0,1	0,7	-14,47	-20,9	-0,9	-1,85	-1,32	-1,03	-7,19	-0,38	0,67	-3,84
22/03/16	0,2	0,6	-8	-23,7	-3,4	-21,88	-4,38	-2,04	-1,21	-0,04	0,91	-0,14
11/04/16	-0,1	0,4	-5,1	-10,8	-1,2	-6,13	-3,01	-0,14	8,12	0,04	0,88	-0,31
22/04/16	-0,2	0,5	-1,15	-1,8	-1	-4,99	-0,94	-0,01	-1,82	-0,04	1,14	0,11
11/05/16	0,1	0,2	-3,234	-4,5	-1,1	-7,79	-13,22	-0,29	NA	NA	-2,97	-0,06
24/05/16	-0,8	0,6	-0,64	2,4	0,7	1,38	0,4	-0,22	-9,53	-0,06	-0,29	-1,09
06/06/16	0,3	0,1	-0,95	-3	-0,7	-1,64	-0,8	-0,49	-0,74	-0,1	0,12	-1,51
23/06/16	-0,4	0,2	-1,66	-5,9	-0,8	-0,39	-1,52	-0,67	-2,44	-0,07	0,84	-1,8
19/07/16	0,6	-0,2	-0,83	-1,6	0,2	-3,2	-1,06	-0,43	-1,19	-0,07	0,75	1,37
16/08/16	-0,1	0,1	-1,86	-5,3	-1,5	-2,22	-1,67	-0,44	1,74	-0,11	0,21	2,49
07/09/16	0,3	-0,2	-0,71	-1,5	-0,4	-4,28	-1,07	0,4	-0,44	-0,02	0,68	2,14
27/10/16	0,7	0,7	-5,49	-7,3	-0,4	2,9	-0,14	-5,02	-7,69	-0,23	0,09	-6,91
30/11/16	0,6	0,5	-8,74	-0,9	0,8	0,11	-0,95	-3,4	-8,84	-0,19	-0,03	-5,44
15/12/16	0,4	0,6	-3,88	-1,5	-0,5	1,21	-0,16	-2,28	-8,34	-0,18	-0,07	-4,25

Annexe 2 **: Correspondance entre les intitulés de la base de données Quadrige 2 et la classe taxonomique pour l'ensemble des radiales en 2016**

REPHY – Taxons dominants – signification des libellés

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

Annexe 3 **: Tableau de synthèse des limitations potentielles en nutriments pour l'ensemble des radiales en 2016**
(NA : données manquantes) (Rappel : Prélèvements bimensuels de mars à juin)

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Dunkerque 1	NA	SI, P, N	SI, P, N	SI, P, N SI, N, P	N, SI, P	SI, P, N	N, SI, P	N, SI, P	N, SI, P	SI, P, N	P, SI, N	SI, P, N
Dunkerque 3	NA	P, SI, N	P, SI, N	SI, P, N	SI, N, P N, SI, P	SI, N, P	SI, N, P	SI, N, P	N, SI, P	N, SI, P	SI, P, N	SI, P, N P, SI, N
Dunkerque 4	NA	SI, P, N	SI, P, N P, SI, N	SI, P, N	N, P, SI SI, N, P	SI, N, P	SI, N, P	P, N, SI	N, SI, P N, P, SI	SI, N, P	SI, P, N	P, SI, N
Boulogne 1	NA	SI, P, N	SI, P, N	SI, P, N SI, N, P	SI, N, P	SI, P, N SI, N, P	SI, N, P	N, SI, P	SI, N, P N, SI, P	SI, P, N	P, SI, N	P, SI, N SI, P, N
Boulogne 2	NA	SI, P, N	SI, P, N	SI, P, N	SI, N, P N, SI, P	SI, P, N SI, N, P	P, N, SI	P, SI, N SI, N, P	N, P, SI	N, SI, P	SI, P, N SI, N, P	P, SI, N
Boulogne 3	NA	P, SI, N SI, P, N	SI, P, N	SI, P, N	SI, N, P N, SI, P	SI, N, P	P, N, SI	N, SI, P	N, P, SI	N, SI, P	SI, P, N	P, SI, N SI, P, N
Somme Bif	NA	SI, P, N P, SI, N	SI, P, N P, SI, N	SI, P, N P, SI, N	SI, P, N	P, SI, N	P, SI, N	P, SI, N	P, N, SI	P, SI, N	P, SI, N	P, SI, N
Somme Mimer	NA	P, SI, N	P, SI, N SI, P,N	SI, P, N	SI, P, N	P, SI, N	P, N, SI	P, N, SI	P, N, SI	P, SI, N	P, SI, N	P, SI, N
Somme Atso	NA	P, SI, N	SI, P, N	SI, P, N SI, N, P	SI, P, N	SI, P, N	SI, P, N	N, SI, P	N, P, SI	P, SI, N	P, SI, N	P, SI, N
Somme Mer 2	NA	P, SI, N	SI, P, N	SI, P, N SI, N, P	SI, P, N	SI, P, N	P, SI, N	P, N, SI	P, N, SI	P, SI, N	P, SI, N	P, SI, N SI, P, N

Légende : type de limitation

Si : P: N
SI : N : P
N : SI : P
N : P : SI
P : N : SI
P : SI : N

Limitation intermédiaire