

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

CLABAUT Thomas
DEVREKER David
LEFEBVRE Alain

Juin 2019

Référence : ODE/LITTORAL/LER.BL/19.05



Ifremer

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

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

Bilan de l'année 2018

<p>Numéro d'identification du rapport : IFREMER/ODE/LITTORAL/RST.LER.BL/19.05</p> <p>Diffusion : libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte <input type="checkbox"/> interdite <input type="checkbox"/></p> <p>Validé par : LEFEBVRE Alain</p> <p>Version du document : définitive</p>	<p>Date de publication Juillet 2019</p> <p>Nombre de pages 215</p> <p>Bibliographie (Oui / Non)</p> <p>Illustration(s) (Oui / Non)</p> <p>Langue du rapport Français</p>
<p>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 2018.</p> <p>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 2018.</p>	
<p>Auteurs principaux :</p> <p>Clabaut Thomas</p> <p>Devreker David</p> <p>Lefebvre Alain</p>	<p>Organisme / Direction / Service, laboratoire</p> <p>Ifremer/LER/Boulogne-sur-Mer (Stagiaire ULCO – DUT GB)</p> <p>Ifremer/LER/Boulogne-sur-Mer</p> <p>Ifremer/LER/Boulogne-sur-Mer</p>
<p>Collaborateurs :</p> <p>Blondel Camille</p> <p>Duquesne Vincent</p> <p>Cordier Rémy</p>	<p>Organisme / Direction / Service, laboratoire :</p> <p>Ifremer/LER/Boulogne-sur-Mer</p> <p>Ifremer/LER/Boulogne-sur-Mer</p> <p>Ifremer/LER/Boulogne-sur-Mer</p>
<p>Organisme commanditaire : Agence de l'Eau Artois-Picardie</p> <p>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.</p> <p>Responsable scientifique : Lefebvre Alain, Ifremer/LER/Boulogne-sur-Mer.</p>	
<p>Cadre de la recherche : Suivi Régional des Nutriments et REPHY</p> <p>Code Action Ifremer A050104 (IMAGO) P305-0013-04-MS (eOTP)</p> <p>Projet Ifremer PHY3</p> <p>Campagnes en mer : Moyens Nautiques des Services Maritimes des Ports de Boulogne et Calais, du Sport Nautique Valéricain et d'Aquamarine.</p>	

Résumé :

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

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

Ce rapport présente les principaux résultats de l'année 2018 en termes d'évolution temporelle des paramètres physico-chimiques et biologiques caractéristiques des masses d'eaux échantillonnées au niveau des points de surveillance de trois radiales situées à Dunkerque, à Boulogne-sur-Mer et en Baie de Somme.

Abstract :

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

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

This study reports the main results for the year 2018 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.....	4
1. Présentation des sites d'échantillonnage.....	6
2. Prélèvements et analyses.....	10
2.1. Fréquence des prélèvements.....	10
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.....	12
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- <i>a</i>	15
2.5.2. Phytoplancton.....	15
2.5.2.1. <i>Observation en microscopie inversée</i>	15
2.5.2.2. <i>Lecture des graphes</i>	16
2.5.2.3. <i>Assurance qualité</i>	16
2.5.2.4. <i>Sonde Ysi</i>	17
2.5.2.5. <i>Interprétation des Figures</i>	18
3. Résultats.....	21
3.1. Paramètres hydrologiques.....	21
3.1.1. <i>Dunkerque</i>	21
3.1.2. <i>Boulogne-sur-Mer</i>	66
3.1.3. <i>La Baie de Somme</i>	110
3.2. Paramètres biologiques.....	167
3.2.1. Le phytoplancton.....	167
3.2.2. Mesure de la diversité : Indice de Sanders.....	168
3.2.3. Genres toxiques et Toxicités.....	169
3.2.4. Dynamique phytoplanctonique.....	170
4. Discussion.....	183
4.1. Évolution des paramètres physico-chimiques et biologiques.....	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.....	199
BIBLIOGRAPHIE.....	202
ANNEXES.....	205
<i>Annexe 1</i> : Données brutes des analyses physico-chimiques.....	206
<i>Annexe 2</i> : l'ensemble des radiales en 2018.....	213
<i>Annexe 3</i> : Tableau de synthèse des limitations potentielles en nutriments pour l'ensemble des radiales en 2018.....	214

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 dominant des apports industriels et où la faible pente des bassins versants est responsable d'écoulements continentaux lents.
- La radiale de Boulogne-sur-Mer est représentative d'un système côtier sous influence d'une structure frontale générée par les apports de la Baie de Seine et où dominant des rejets d'origine agricole.
- La radiale de Baie de Somme caractérise un système estuarien où se concentre une activité conchylicole et agricole importante.

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

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

Tableau 1. Coordonnées des stations sur les trois radiales

		RADIALES		
		DUNKERQUE	BOULOGNE	BAIE DE SOMME
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) (depuis février 2017) Latitude : 50°14,121 N Longitude : 1°31,084 E Mimer' (2004-février 2017) 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	
	Station 4	Latitude : 51°09'20 N Longitude : 2°15'10 E		Mer 2 Latitude : 50°13'15 N Longitude : 1°26'75 E

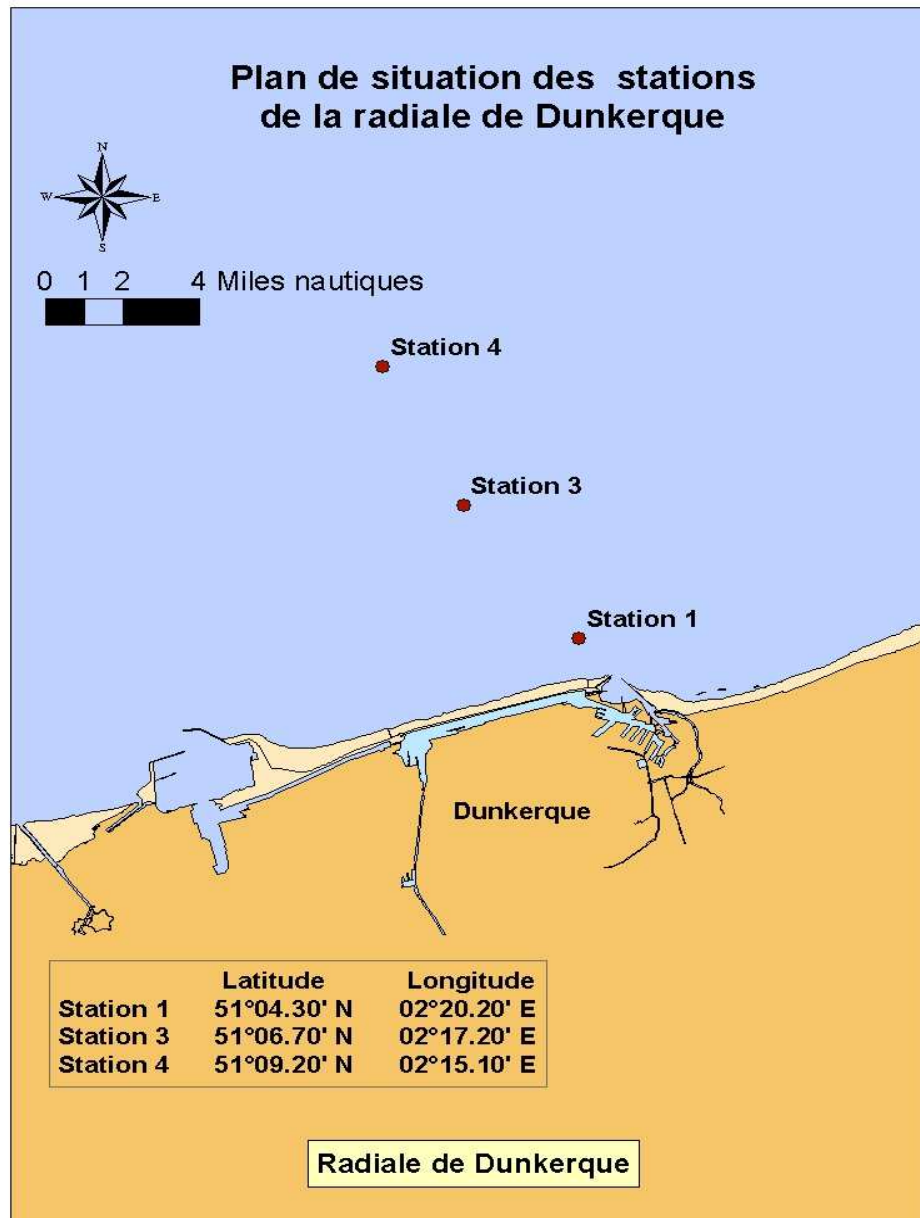


Figure 1. Localisation des points de prélèvements de la radiale de Dunkerque

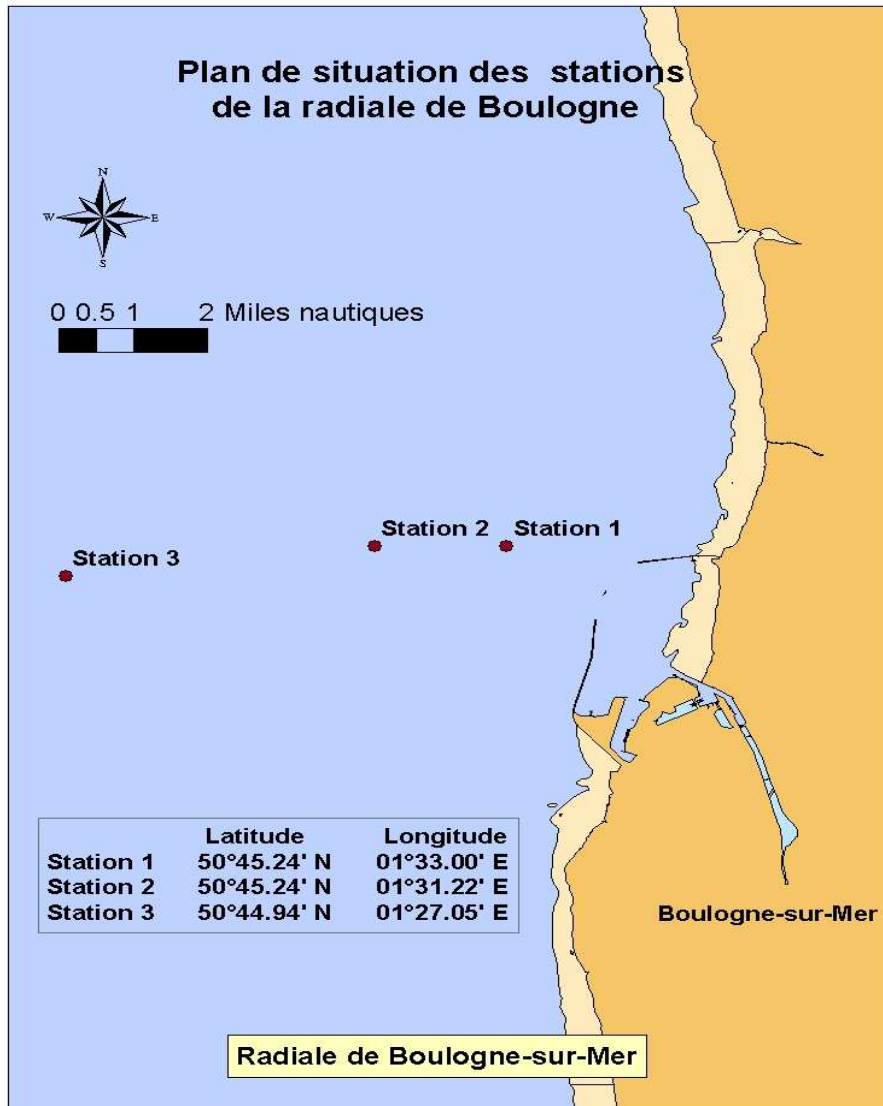


Figure 2. Localisation des points de prélèvements de la radiale de Boulogne-sur-Mer

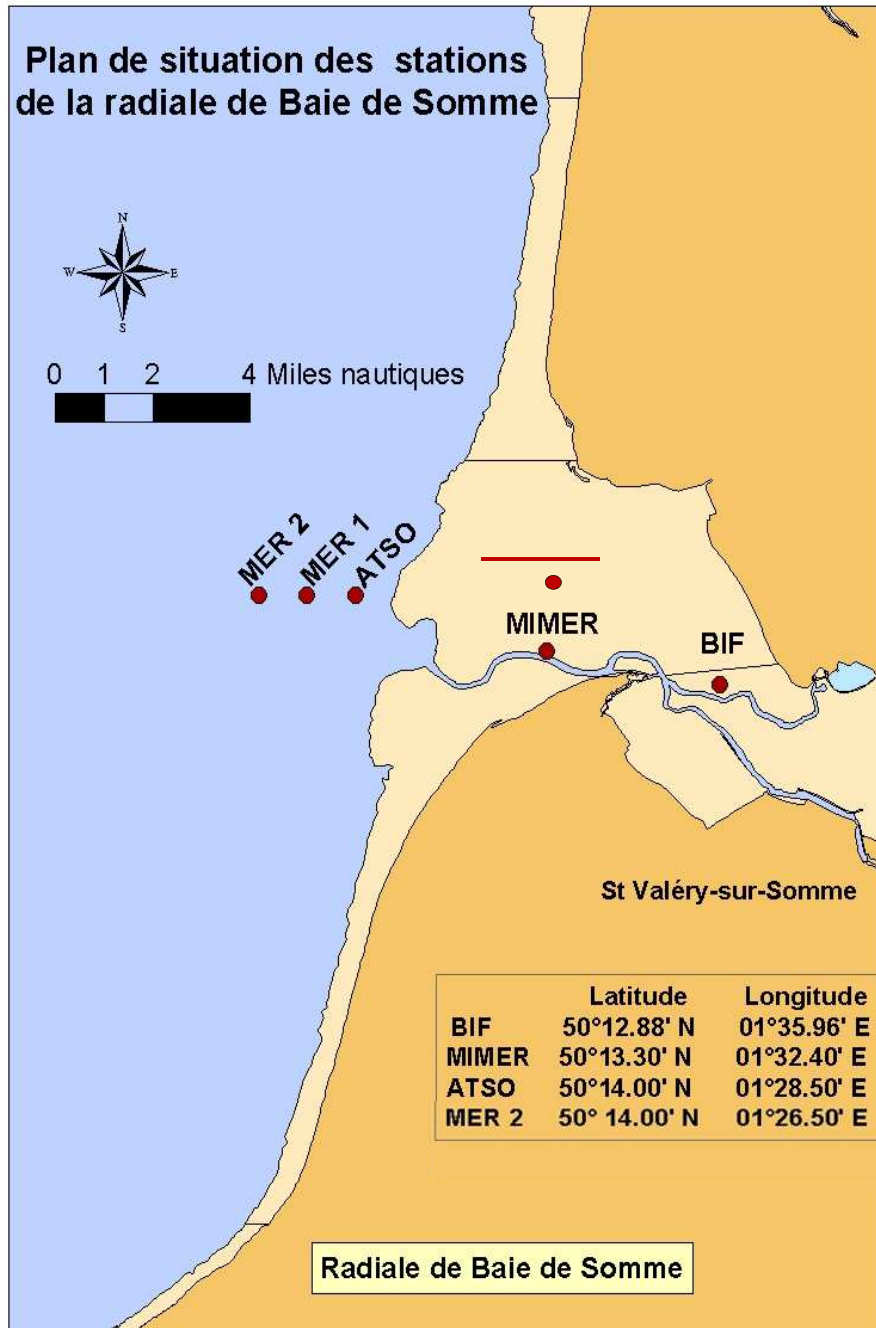


Figure 3. Localisation des points de prélèvements de la radiale de la Baie de Somme

2. Prélèvements et analyses

2.1. Fréquence des prélèvements

Les prélèvements effectués sont regroupés au sein de deux réseaux de surveillance du milieu marin côtier : le REPHY et le SRN. Depuis 2017, dans le cadre du REPHY, la fréquence de prélèvements a évolué pour passer d'un prélèvement par mois au point le plus proche des côtes des trois radiales à deux, exception faite de la baie de Somme où cette modification concerne le point Atso. Ce réseau dépend alors théoriquement de 24 sorties en mer étendues sur l'année (la moitié de ces sorties étant commune aux deux réseaux). En ce qui concerne le SRN, la stratégie d'échantillonnage n'a pas été modifiée. Les prélèvements sont mensuels et s'étendent de la côte au large. Cependant, de mars à juin, une prolifération de la Prymnesiophycée *Phaeocystis sp.* est observable. Elle peut représenter une nuisance pour le système marin (Lancelot et al. 1998) ; c'est pourquoi, sur cette période, les prélèvements sont bimensuels. Les prélèvements pour le SRN représentent alors 16 sorties par an.

La cause de la modification de la stratégie d'échantillonnage du réseau REPHY est la création du réseau PHYTOBS (+ Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE)), celui-ci regroupant deux composantes majeures de la surveillance de l'environnement marin côtier : le REPHY et le SOMLIT. Les objectifs du réseau PHYTOBS sont donc :

- analyser les réponses aux changements environnementaux,
- reconnaître les niches écologiques et les habitats,
- détecter les variations de phénologie,
- caractériser les traits et groupes fonctionnelles.

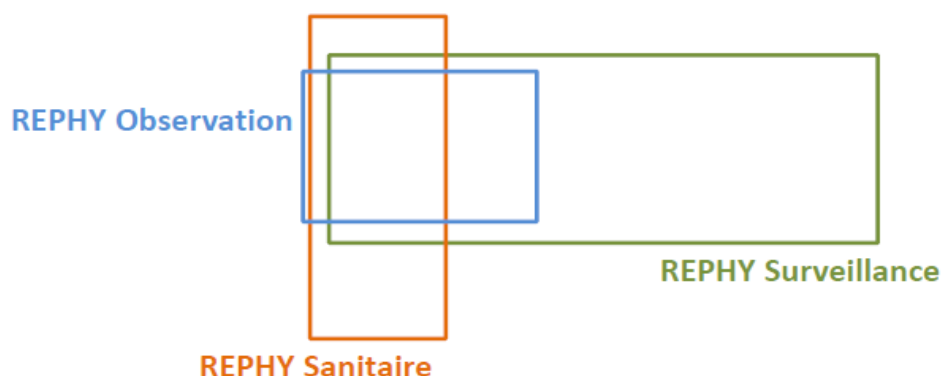


Figure 4. Les différentes composantes du REPHY : le REPHY Observation répond à des questions de recherche (flore totale). Il correspond à la partie labellisée PHYTOBS. Le REPHY Surveillance répond aux directives européennes (DCE et DCSMM) (flore indicatrice). Le REPHY Sanitaire complète les deux autres en ciblant les espèces toxiques (flore toxique). Les points du SRN répondent à tout ou partie de ces trois composantes.

En 2018, certaines sorties ont dû être tronquées, en raison de conditions météorologiques défavorables et/ou de problèmes techniques ou d'indisponibilités des moyens nautiques ; seule la station côtière (point de référence pour la Directive Cadre sur l'Eau 2000/60/CE et le réseau REPHY) a pu être, dans certains cas, échantillonnée. Sur les 24 missions (SRN + REPHY) prévues initialement, le bilan pour cette année est le suivant (Annexe 1) :

	<i>Dunkerque</i>	<i>Boulogne-sur-Mer</i>	<i>Baie de Somme</i>
Sortie REPHY	20 sur 24	22 sur 24	17 sur 24
Sortie SRN	11 sur 16	14 sur 16	13 sur 16

Tableau 2. Récapitulatif du nombre de sorties réalisées

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

2.2. Prélèvements en mer

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

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



Figure 4. Bouteille de prélèvement Niskin

Pour les sels nutritifs, l'eau est préfiltrée (maille de 50 µm) avant d'être transvasée dans un flacon. Pour l'ammonium, l'eau préfiltrée 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 (1 P.S.U. = 1 g de sel (NaCl) par kg d'eau de mer). 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 $\pm 0,1$ entre 5 et 25 °C. En ce qui concerne la température, la plage de mesure se situe entre 5,0 °C et 99,9 °C (précision $\pm 0,1$ °C).

2.3.2. Turbidité

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

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

2.3.3. L'oxygène dissous

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

Sa mesure dans l'eau, en mg/L, 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 $\mu\text{mol/L}$. Le seuil de détection de l'appareil est de $0,15 \mu\text{mol/L}$.

2.4.2. Nitrate

Après réduction des ions nitrates en ions nitrites, par passage sur une colonne au cadmium, la méthode appliquée est la méthode de Bendschneider & Robinson (1952). Les ions nitrites forment un complexe diazoïque avec la sulfanilamide en milieu acide. Ce complexe réagit avec le Nnaphthyl éthylène diamine pour former un complexe coloré rose ayant un maximum d'absorption à 543 nm. La limite de quantification est de $0,15 \mu\text{mol/L}$.

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 Nnaphthyl éthylène diamine pour former un complexe coloré rose ayant un maximum d'absorption à 543 nm. La limite de quantification est de $0,05 \mu\text{mol/L}$.

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 $\mu\text{mol/L}$. La limite de quantification est de 0,05 $\mu\text{mol/L}$.

2.4.5. Silicate

Le terme silicate désigne les formes dissoutes de l'ion orthosilicate SiO_4 . Dans l'eau de mer, la forme majoritaire est l'acide orthosilicique, $\text{Si}(\text{OH})_4$, forme sous laquelle est exprimé le silicate dissous.

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

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

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

Dans l'eau, il existe des quantités plus ou moins importantes de particules insolubles présentes en suspension. L'importance de ces matières en suspension (M.E.S.) dans un milieu affecte la transparence de l'eau ainsi que la biologie. La filtration d'un échantillon sur une membrane filtrante permet de récupérer la matière vivante ou morte de taille supérieure à 0,45 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 24 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*

La mesure de la concentration en chlorophylle-*a* constitue une estimation simple et spécifique de la biomasse du phytoplancton.

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.mn¹, 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).

Les concentrations en chlorophylle-*a* sont exprimées en µg/L ou mg/m³ (précision ± 0,01). Le seuil de détection de ce pigment est de 0,04 µg/L.

2.5.2. Phytoplancton

2.5.2.1. *Observation en microscopie inversée*

La procédure utilisée est la méthode Ütermohl 322/89CSR/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 de 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 prélèvements, 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).

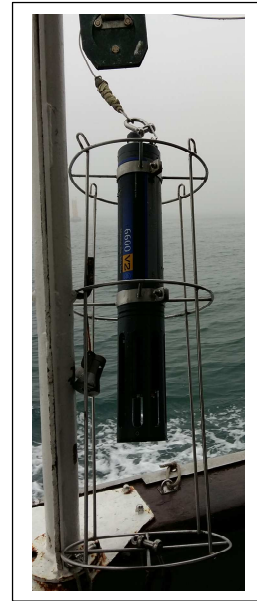


Figure 5a. Sonde multiparamètres Ysi 6600 V2

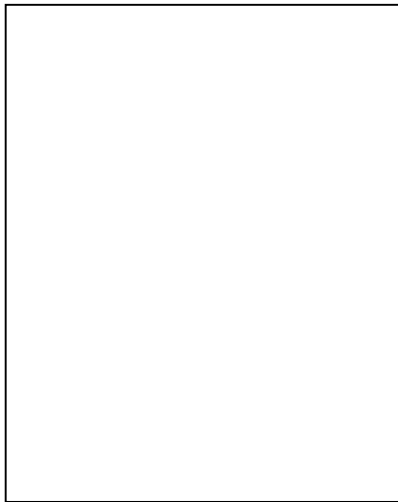


Figure 5b. Boîtier de contrôle de la sonde

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.

Ces profils de sonde sont accessibles sur CORIOLIS. (<http://www.coriolis.eu.org/>)

Tableau 3. Tableau récapitulatif des paramètres acquis par la sonde Ysi 6600 V2

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

2.5.2.5. *Interprétation des Figures*

Les paramètres hydrologiques sont représentés par deux types de graphiques. D'abord, les boîtes de dispersion permettent de visualiser les variations saisonnières intégrées sur toute la période 1992 par rapport à l'année (n-1) 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 du point 1 de la radiale de Dunkerque lors de l'année (n-1) (2018, dans cet exemple) est superposée à la série moyenne et est représentée en rouge. 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.

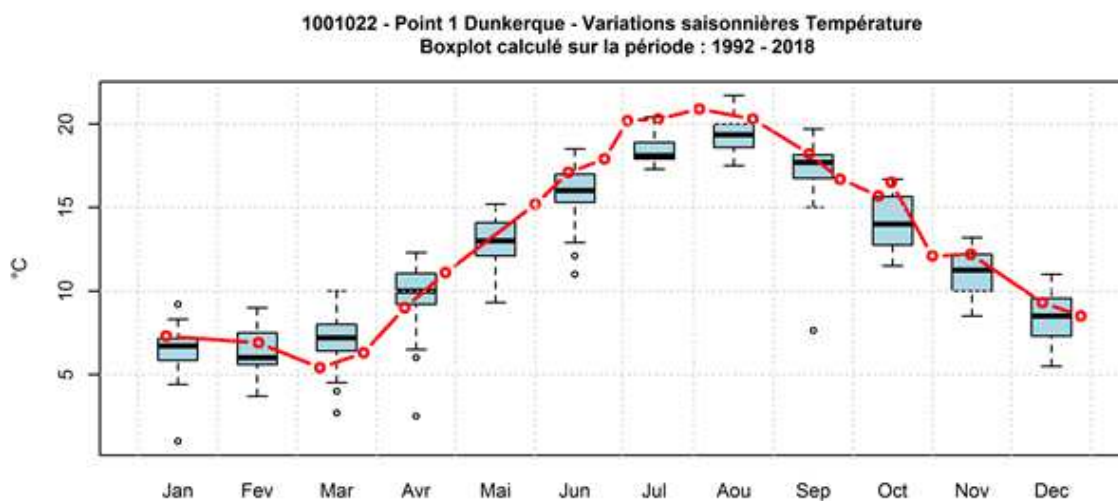


Figure 5. Variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la température (°C) pour le point 1 de la radiale de Dunkerque (1992-2018)

Le deuxième type de graphique (en illustration ci-dessous : le point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2018) met en évidence les rapports stœchiométriques 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 :

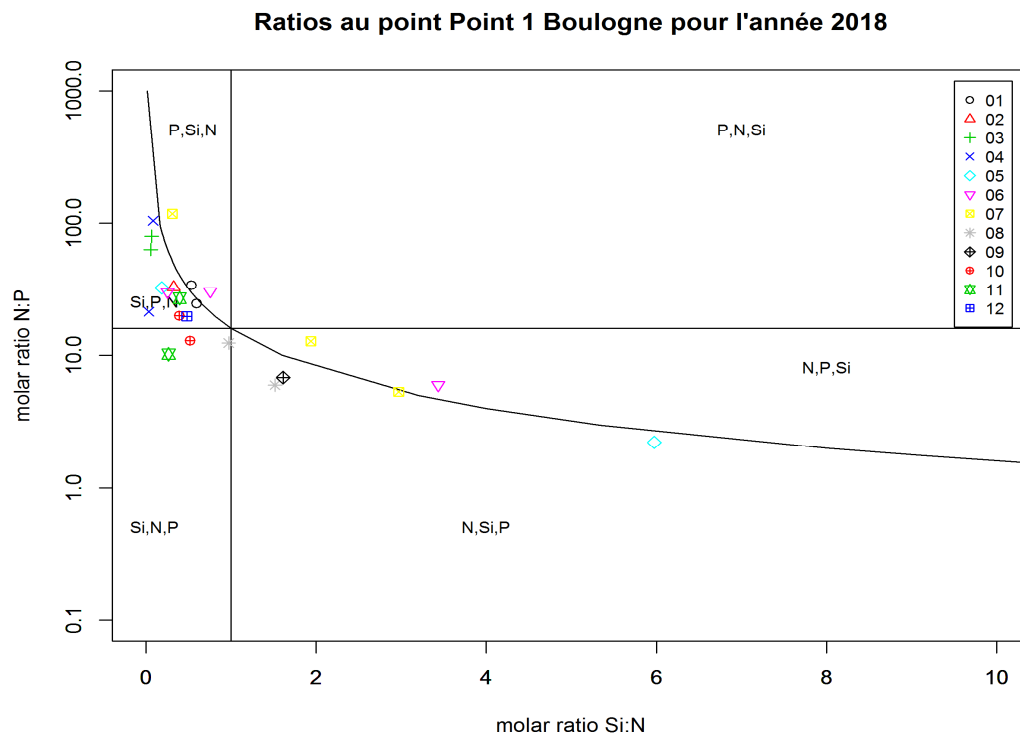


Figure 6. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2018

➤ 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 1992-2018 sont synthétisées dans un tableau. Les abréviations utilisées sont les suivantes :

Min : minimum

Q1 : premier quartile

Q3 : troisième quartile

Max : maximum

n : nombre de données

3. Résultats

3.1. Paramètres hydrologiques

3.1.1. Dunkerque

□ Température

De 1992 à 2017, la température était comprise entre 1,00 et 22,00 °C. Les températures moyennes des trois points de la radiale sur cette période sont 12,06 ; 11,73 et 11,76 °C, de la côte au large (Tableau 4). 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. Les valeurs extrêmes inférieures (et supérieures) ont été observées au cours des années : 1997, 2013 (1994, 1997, 2009) (Figures 7 à 9).

En ce qui concerne l'année 2018, le cycle saisonnier de la température est globalement le même que les années précédentes. Cependant, une bonne partie de l'année, les températures sont supérieures aux valeurs enregistrées antérieurement (Figures 7 à 9). En effet, les valeurs se situent entre 5,40 et 20,90 °C et les moyennes sont égales à 13,67, 12,34, 12,21 °C de la côte au large (Tableaux 4 et 5).

Le gradient côte-large traduit la différence des valeurs entre le point le plus proche de la côte et celui le plus éloigné de celle-ci. Sur la radiale de Dunkerque, en 2018, celui-ci est compris entre -2,2°C en Juillet et 1,8°C en Décembre (Annexe 1). Il varie selon les saisons. En effet, il est positif en hiver et négatif en été, c'est-à-dire que les températures sont plus élevées au niveau de la côte qu'au large en été et inversement en hiver.

Tableau 4. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la température (°C) pour la radiale de Dunkerque sur la période 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
DK1	1,00	8,00	11,70	12,06	4,60	16,30	21,70	317
DK3	1,50	7,95	11,10	11,73	4,44	15,54	20,00	279
DK4	2,00	8,05	11,20	11,76	4,37	15,40	22,00	270

Tableau 5. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la température (°C) pour la radiale de Dunkerque en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
DK1	5,40	9,00	15,20	13,67	5,22	17,90	20,90	21
DK3	5,50	8,00	10,40	12,34	5,33	16,50	20,70	11
DK4	5,40	8,00	11,10	12,21	5,10	16,85	19,80	11

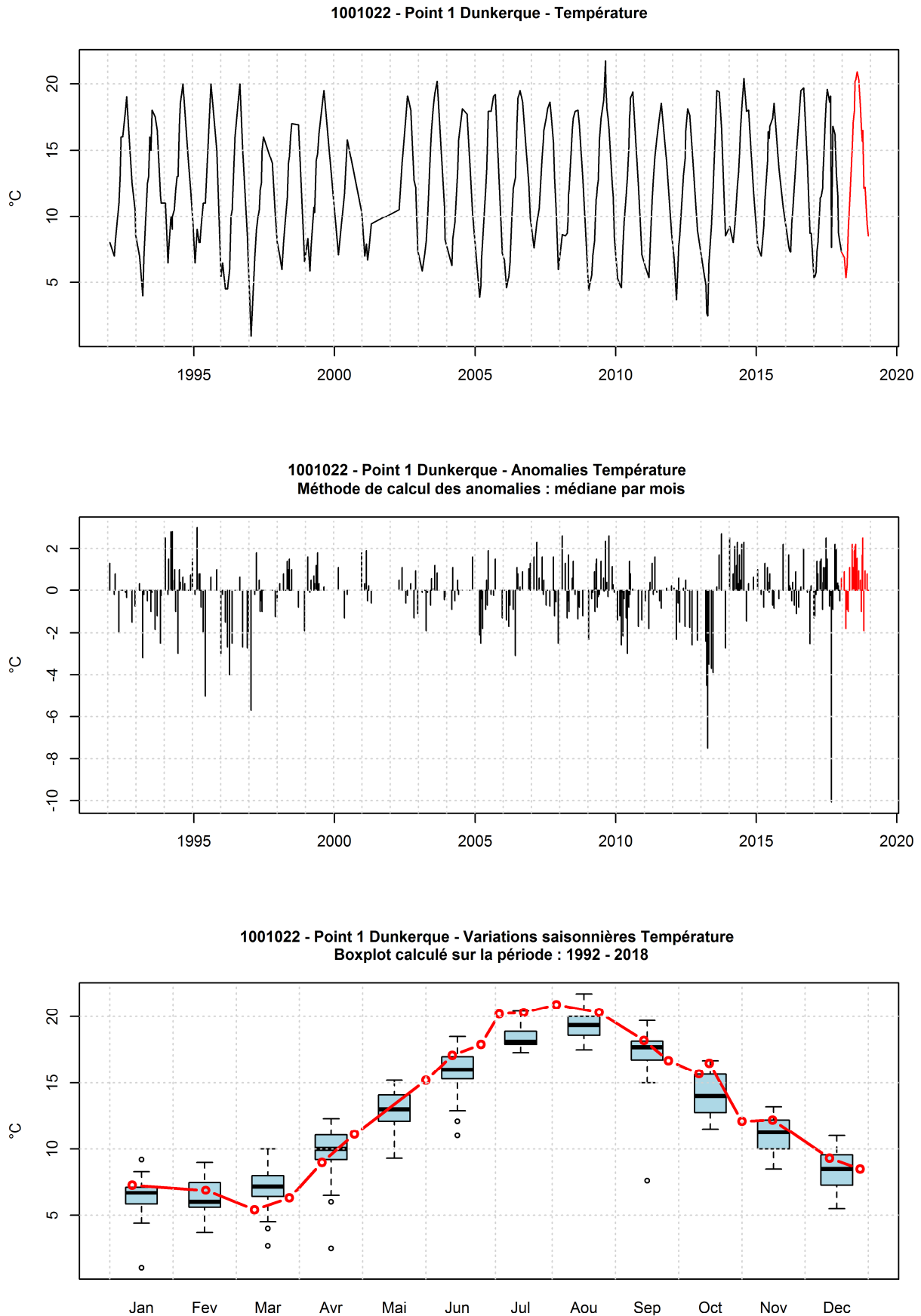


Figure 7. Evolution temporelle de la température (°C), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 1 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

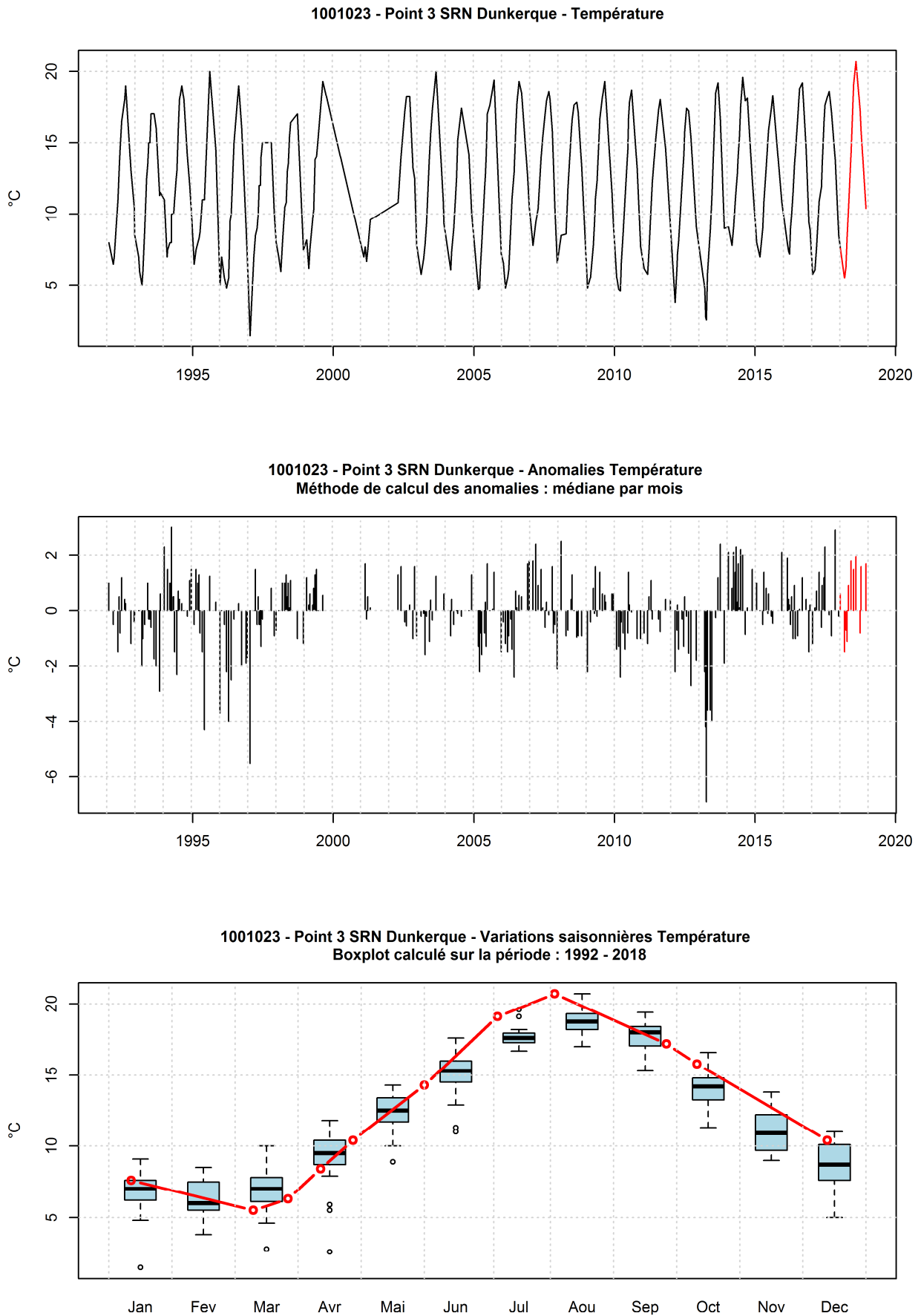


Figure 8. Evolution temporelle de la température (°C), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 3 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

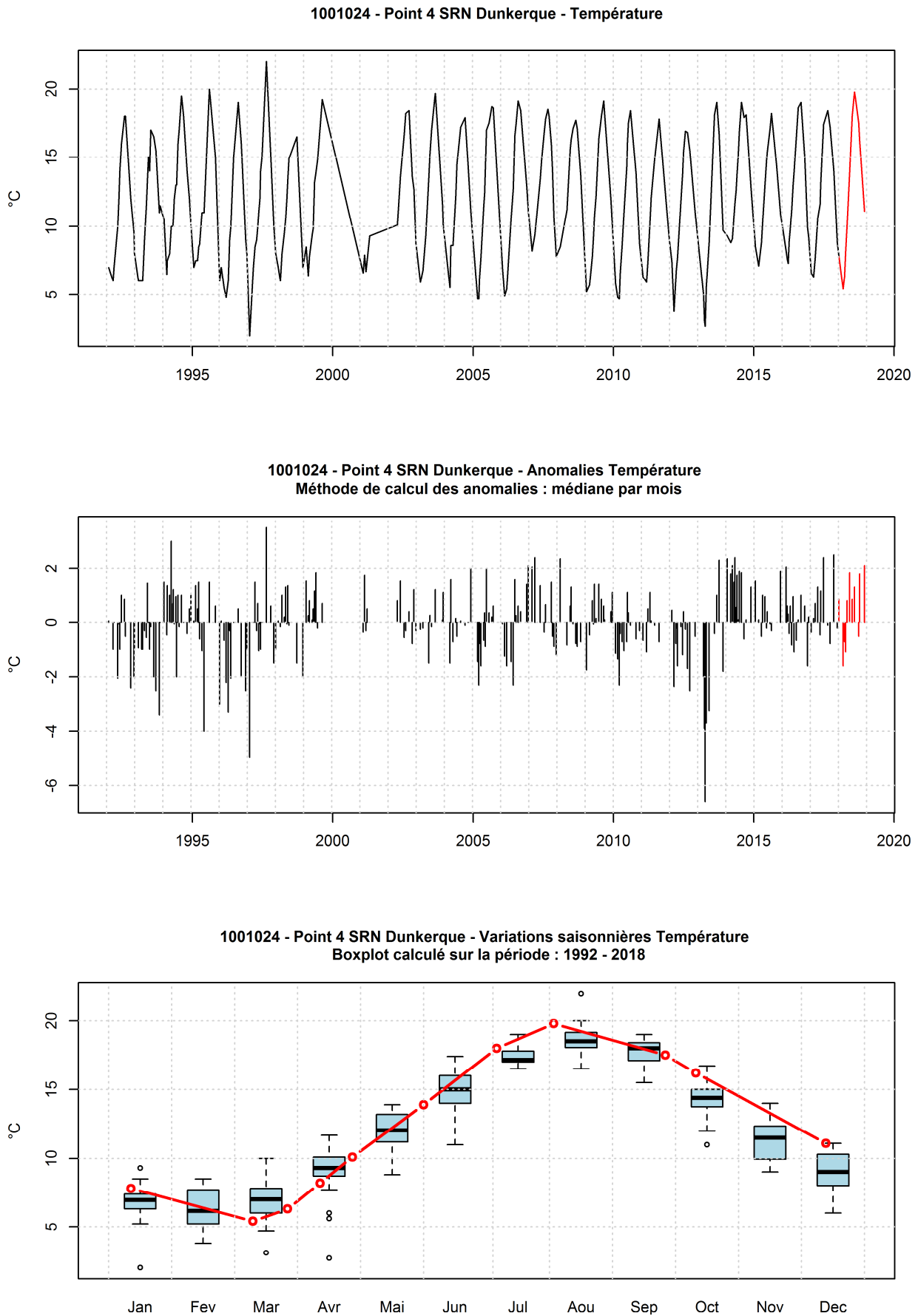


Figure 9. Evolution temporelle de la température ($^{\circ}\text{C}$), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 4 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

□ **Salinité**

Sur la période 1992-2017, la salinité est comprise entre 31,16 et 35,70 P.S.U. Les valeurs moyennes de salinité des trois points de la radiale sur cette période sont 34,06, 34,34 et 34,44 P.S.U. (de la côte au large) (Tableau 6). Les valeurs extrêmes inférieures (et supérieures) ont été observées au cours des années : 1995, 2005, 2010, 2013 (2004, 2012, 2011, 2013) (Figures 10 à 12).

En 2018, la salinité est plus élevée que les autres années, notamment à la fin de l'hiver (février/mars) ou encore aux mois de juin et juillet (Figures 10 à 12). Une diminution importante est notable en juin pour le point 1 et, en juillet, pour les points 3 et 4. Les moyennes comprises entre 34,11 et 34,49 P.S.U. sont légèrement supérieures à celles des années précédentes (de 34,09 à 34,44 P.S.U. entre 1992 et 2017). La salinité est classiquement plus faible pour le point 1 de la radiale par rapport aux deux autres points (Tableaux 6 et 7) en raison notamment de l'influence du port de Dunkerque (ruissellements) et, dans une moindre mesure, de l'Aa.

Le gradient côte-large varie de -0,2 à 0,6 P.S.U. ; une seule valeur négative est observée en octobre. Le reste de l'année, les valeurs sont positives (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 6. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la salinité (P.S.U.) pour la radiale de Dunkerque sur la période 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
DK1	31,16	33,69	34,23	34,06	0,80	34,60	35,50	336
DK3	31,93	34,00	34,47	34,34	0,65	34,80	35,60	299
DK4	32,25	34,19	34,54	34,44	0,57	34,82	35,70	289

Tableau 7. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la salinité (P.S.U.) pour la radiale de Dunkerque sur la période 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
DK1	32,40	33,80	34,20	34,09	0,67	34,50	35,20	21
DK3	33,70	34,30	34,40	34,40	0,33	34,60	34,90	11
DK4	33,90	34,40	34,40	34,49	0,31	34,70	34,90	11

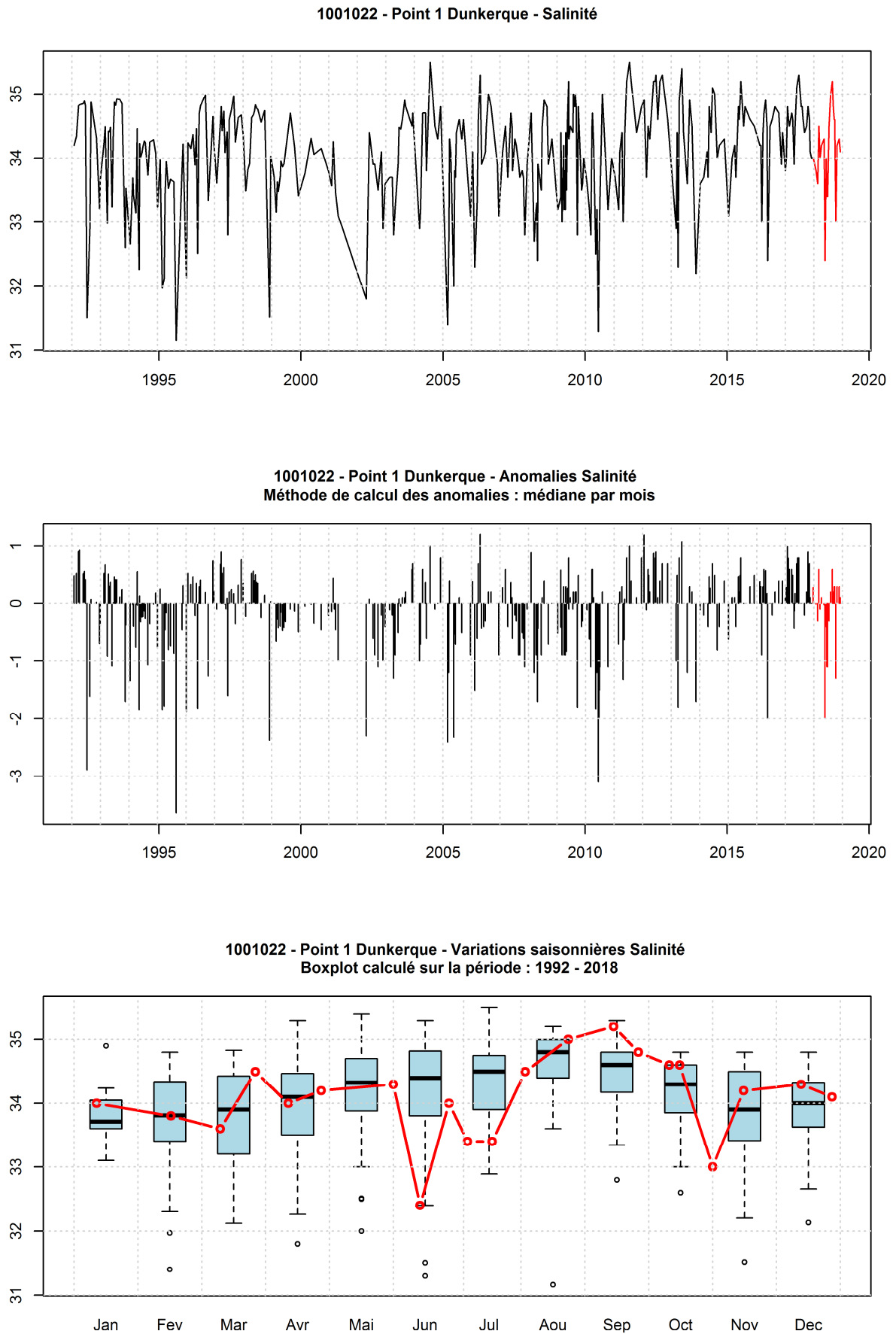


Figure 10. Evolution temporelle de la salinité (P.S.U), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 1 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

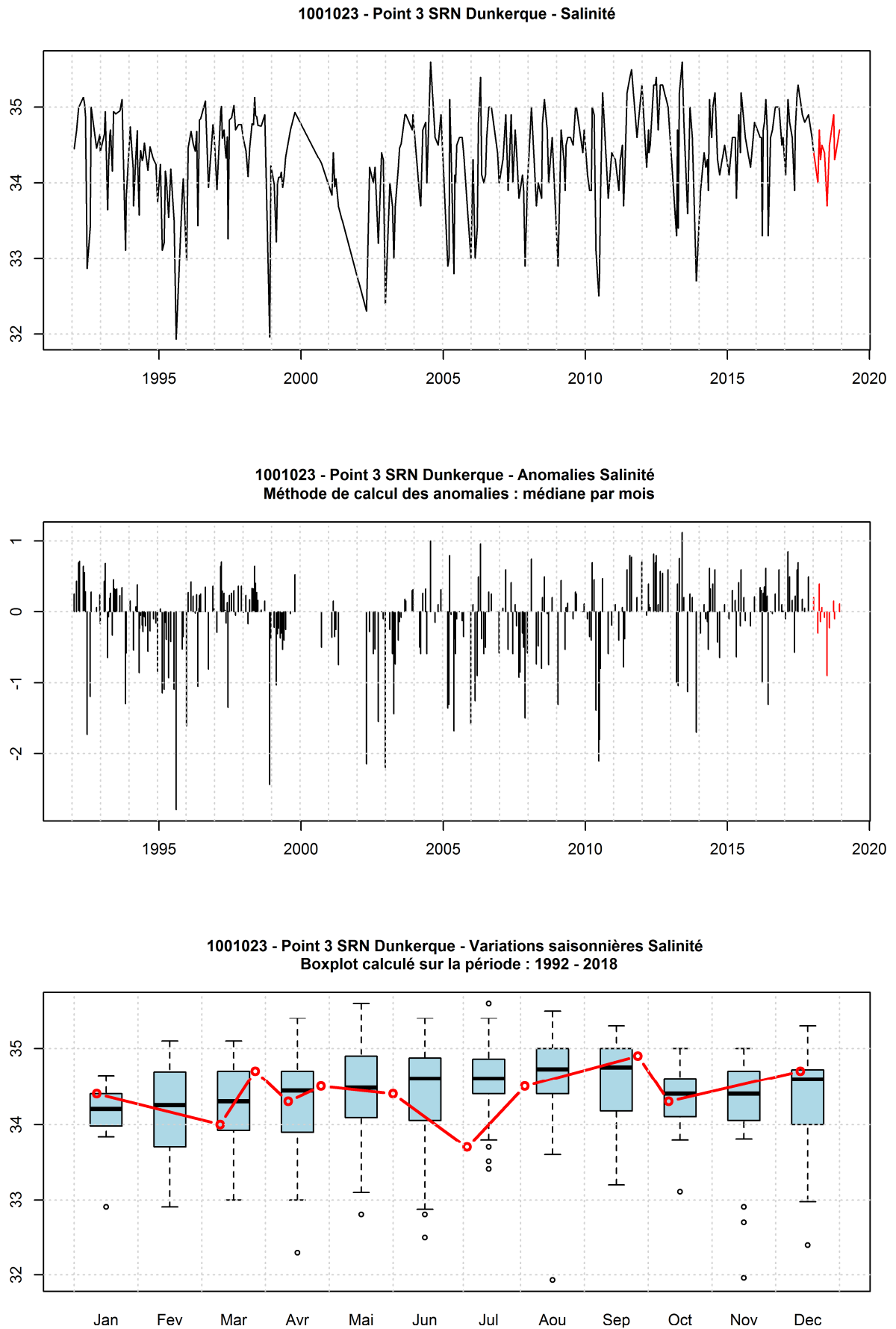


Figure 11. Evolution temporelle de la salinité (P.S.U), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 3 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

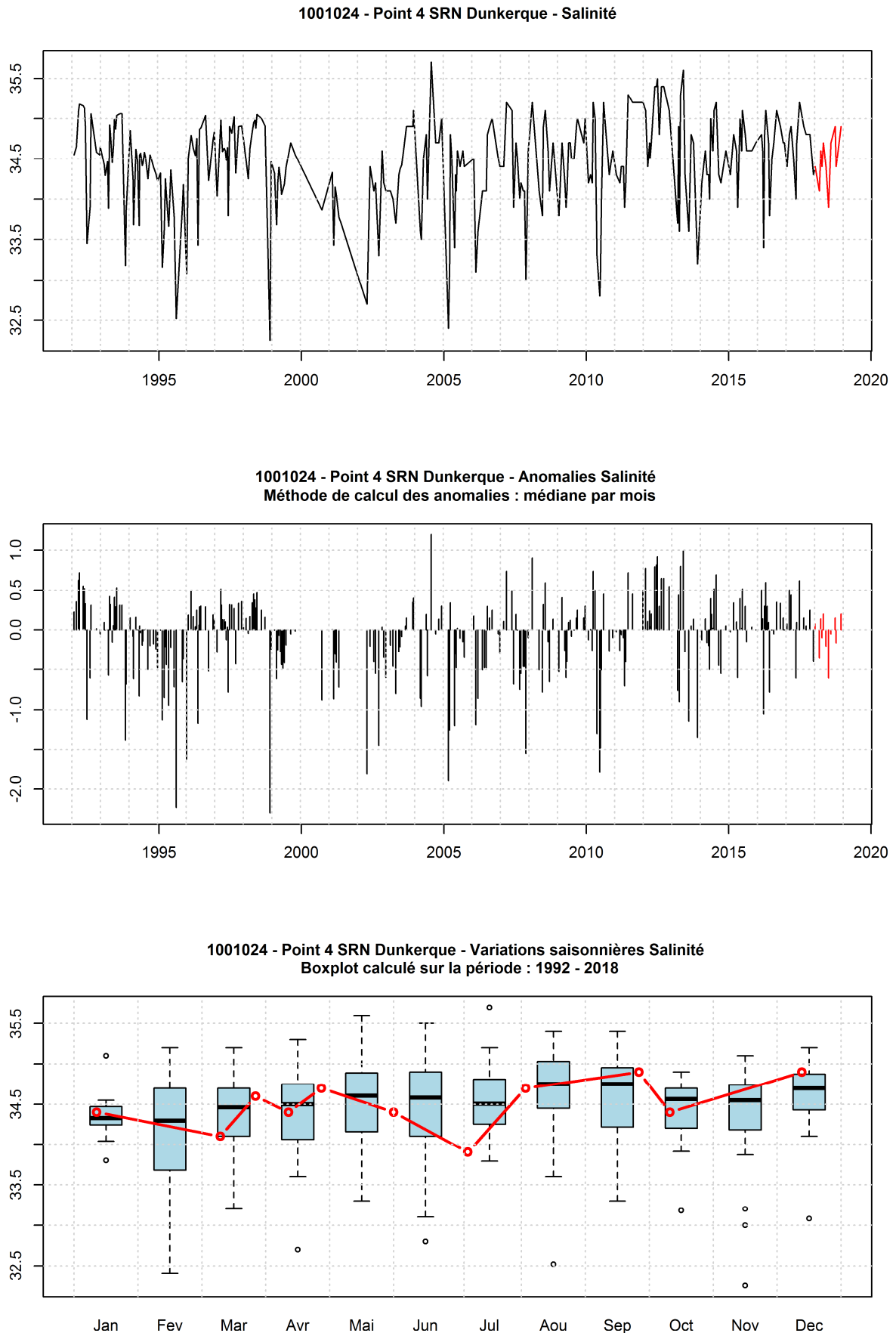


Figure 12. Evolution temporelle de la salinité (P.S.U), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 4 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

□ **Turbidité et Matières en suspension**

De 1992 à 2017, les valeurs associées à la turbidité sont comprises entre 0,10 et 63,10 N.T.U. Les valeurs moyennes enregistrées correspondent à 6,73, 3,65 et 2,42 N.T.U. (de la côte au large) (Tableau 8). Les valeurs extrêmes supérieures ont été observées au cours des années 1993, 1996, 2005, 2013 et 2016. La dynamique de la turbidité présente un cycle saisonnier. En effet, des valeurs plus importantes sont observées de septembre à mars ; les valeurs les plus basses sont, quant à elles, observées d'avril à août, c'est-à-dire, durant la période printanière et estivale (Figures 13 à 15).

En 2018, la turbidité observe un cycle saisonnier globalement identique aux années précédentes. L'ensemble de la radiale présente une hausse de la turbidité le 9 mars avec 23,2 N.T.U. au point 1, soit la valeur maximale de cette année, 11,5 et 7,58 N.T.U respectivement aux points 3 et 4. Les valeurs de l'année 2018 sont similaires à celles des années précédentes (valeurs moyennes de 5,85, 4,67 et 2,59 N.T.U. de la côte vers le large) (Tableaux 8 et 9). La turbidité minimale de cette année est observable en août au point 4 : 0,57 N.T.U.

Le gradient côte-large est majoritairement négatif et variable de -15,71 à 0.07 N.T.U, seule valeur positive mesurée en mars. La turbidité est alors plus importante près des côtes (Annexe 1).

Tableau 8. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la turbidité (N.T.U.) pour la radiale de Dunkerque sur la période 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
DK1	0,60	2,60	4,51	6,73	7,23	7,76	63,10	326
DK3	0,10	1,45	2,40	3,65	3,37	4,59	21,10	291
DK4	0,10	0,95	1,55	2,42	2,54	2,95	18,00	285

Tableau 9. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la turbidité (N.T.U.) pour la radiale de Dunkerque sur la période 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
DK1	1,83	2,37	4,07	5,85	5,19	6,99	23,20	21
DK3	1,14	2,32	4,33	4,67	3,49	4,74	11,50	11
DK4	0,57	0,86	1,99	2,59	2,11	3,69	7,49	11

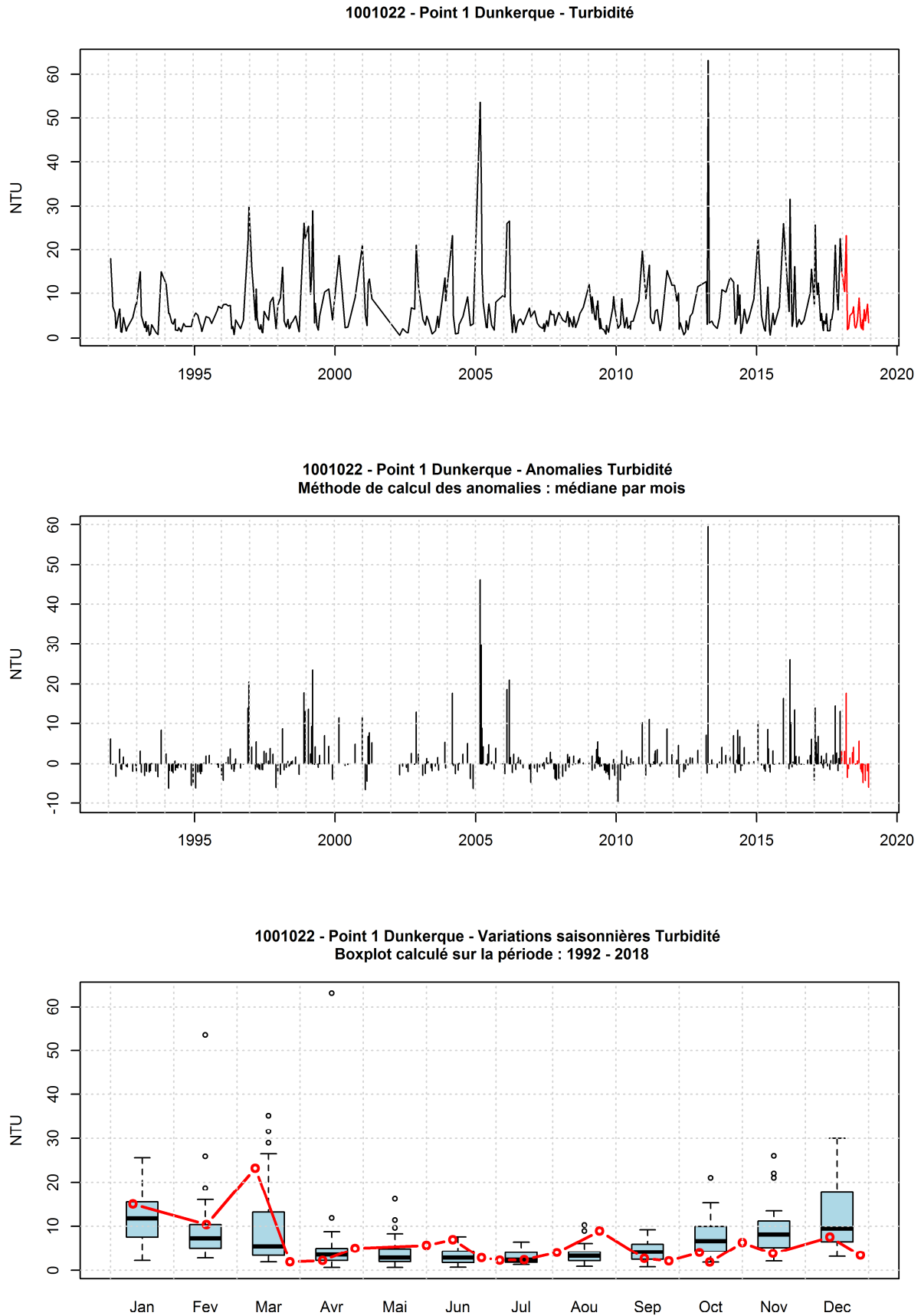


Figure 13. Evolution temporelle de la turbidité (N.T.U), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 1 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

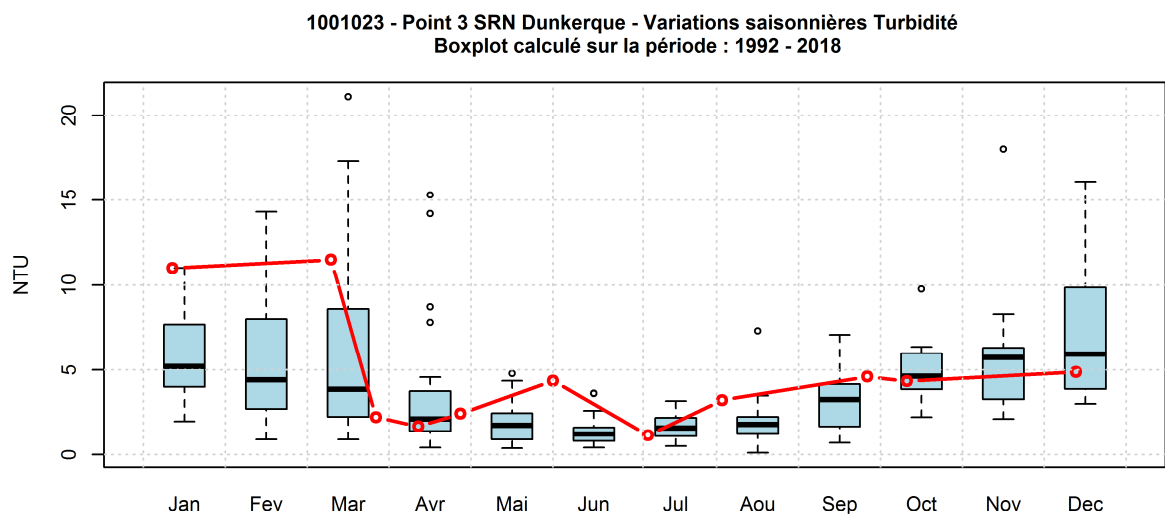
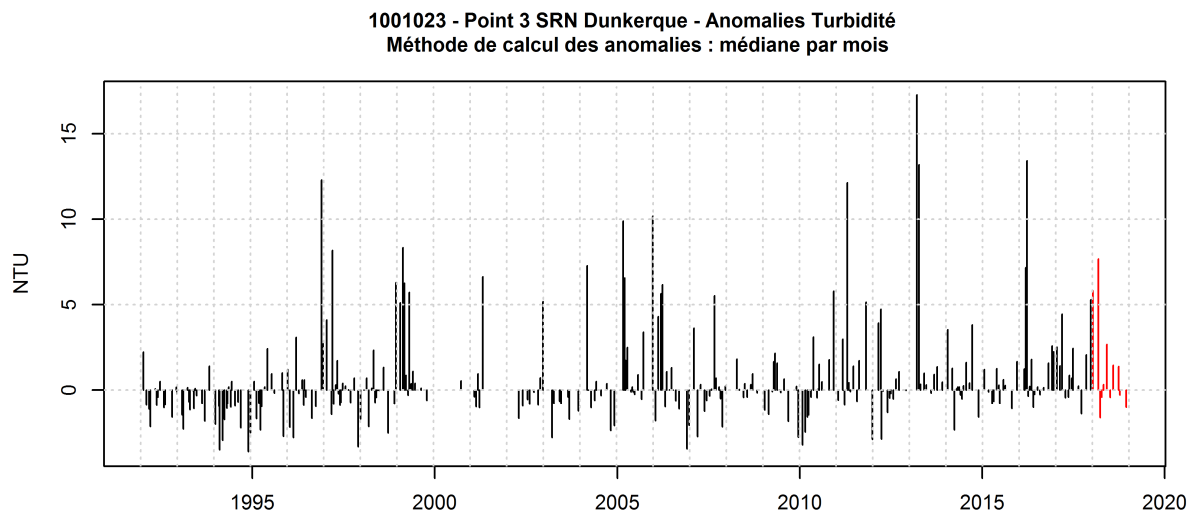
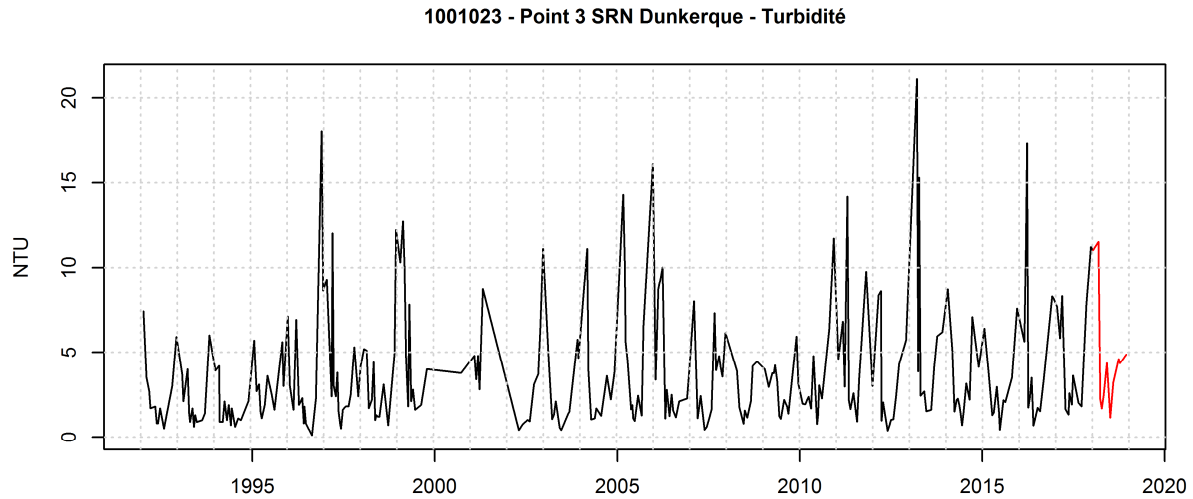


Figure 14. Evolution temporelle de la turbidité (N.T.U), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 3 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

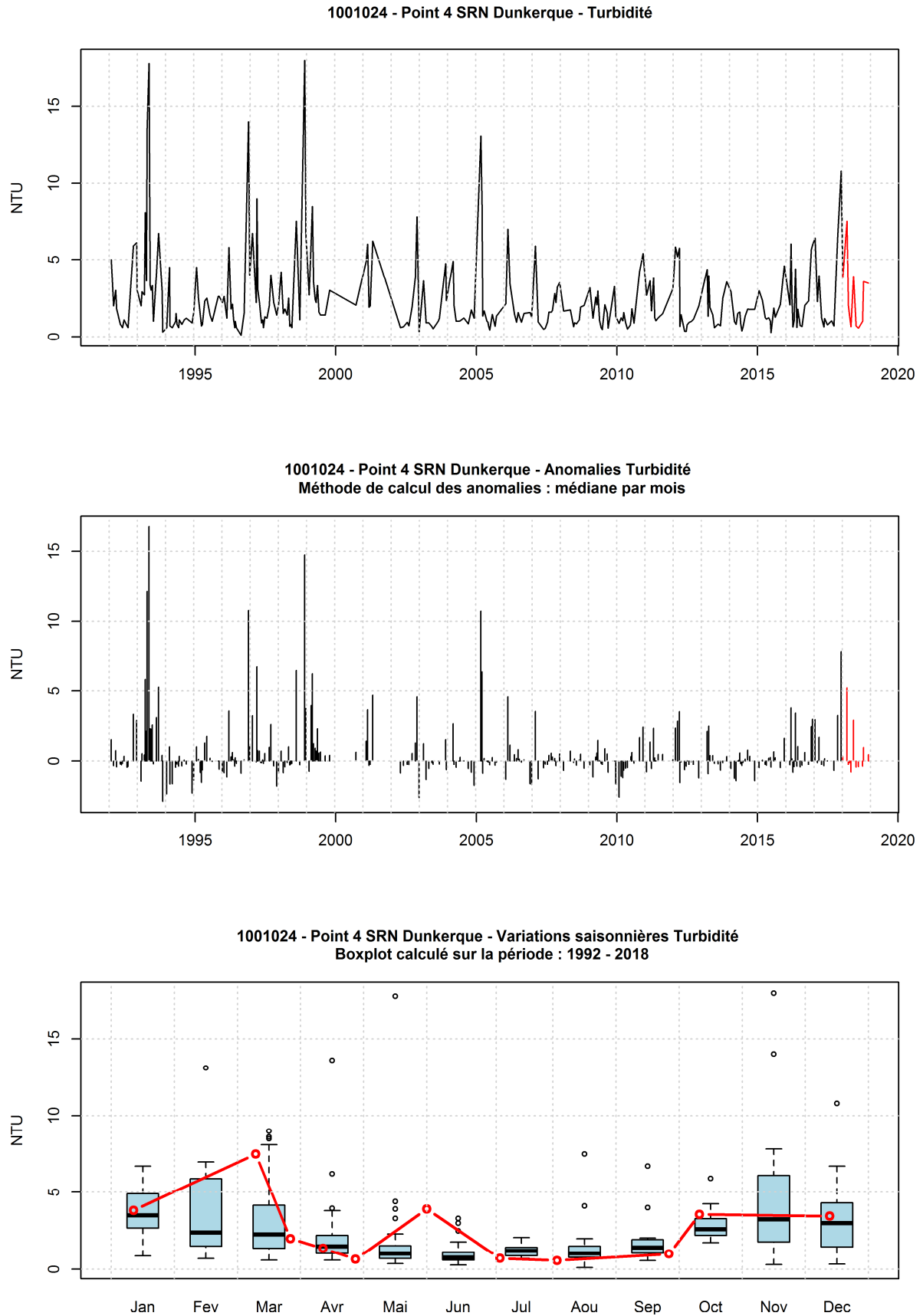


Figure 15. Evolution temporelle de la turbidité (N.T.U), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 4 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

De 1992 à 2017, la quantité de MES est comprise entre 0,30 et 95,20 mg/L. Les concentrations moyennes du point 1 au point 4 sont respectivement 13,76, 8,83 et 5,83 mg/L (Tableau 10). Les valeurs extrêmes supérieures ont été observées au cours des années 1995, 2010, 2012, 2014 et 2017. Les MES présentent un cycle saisonnier marqué avec des valeurs fortes en hiver et en automne, puis des valeurs plus faibles au printemps et en été. Ce schéma s'observe de la côte vers le large, mais les amplitudes de variations sont moindres vers le large (Figures 16 à 18).

Les concentrations MES sont fortement liées à celle de la turbidité ; en 2018, elles suivent le même cycle que cette dernière avec une augmentation de la concentration en MES en mars et une valeur maximale de 25,3 mg/L au point 1 le 9 mars. Les concentrations moyennes sont plus faibles que sur la période 1992-2017 : 8,26, 7,02 et 3,27 mg/L en 2018 du point 1 au point 4. Une forte variabilité s'observe de l'année 2010 à l'année 2014 avec une année 2015 plus calme et des années 2016-2017 qui rejoignent la période 2010-2014 ; l'année 2018 est davantage semblable à la période calme des années 2007, 2008 et 2009 (Figures 16 à 18).

Le gradient côte-large est négatif, il varie entre -15,40 et -0,90 mg/L. La concentration en M.E.S est, par conséquent, plus importante au niveau des côtes (Annexe 1).

Tableau 10. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les MES (mg/L) pour la radiale de Dunkerque sur la période 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
DK1	1,60	5,80	9,70	13,76	12,03	17,50	95,20	311
DK3	0,60	3,80	6,45	8,83	7,52	11,58	46,00	290
DK4	0,30	2,40	4,00	5,83	5,87	6,65	39,00	280

Tableau 11. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les MES (mg/L) pour la radiale de Dunkerque en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
DK1	2,40	4,20	7,20	8,26	5,60	11,00	25,30	21
DK3	1,60	3,00	5,30	7,02	4,87	10,70	14,70	11
DK4	1,50	1,70	2,50	3,27	2,50	3,55	9,90	11

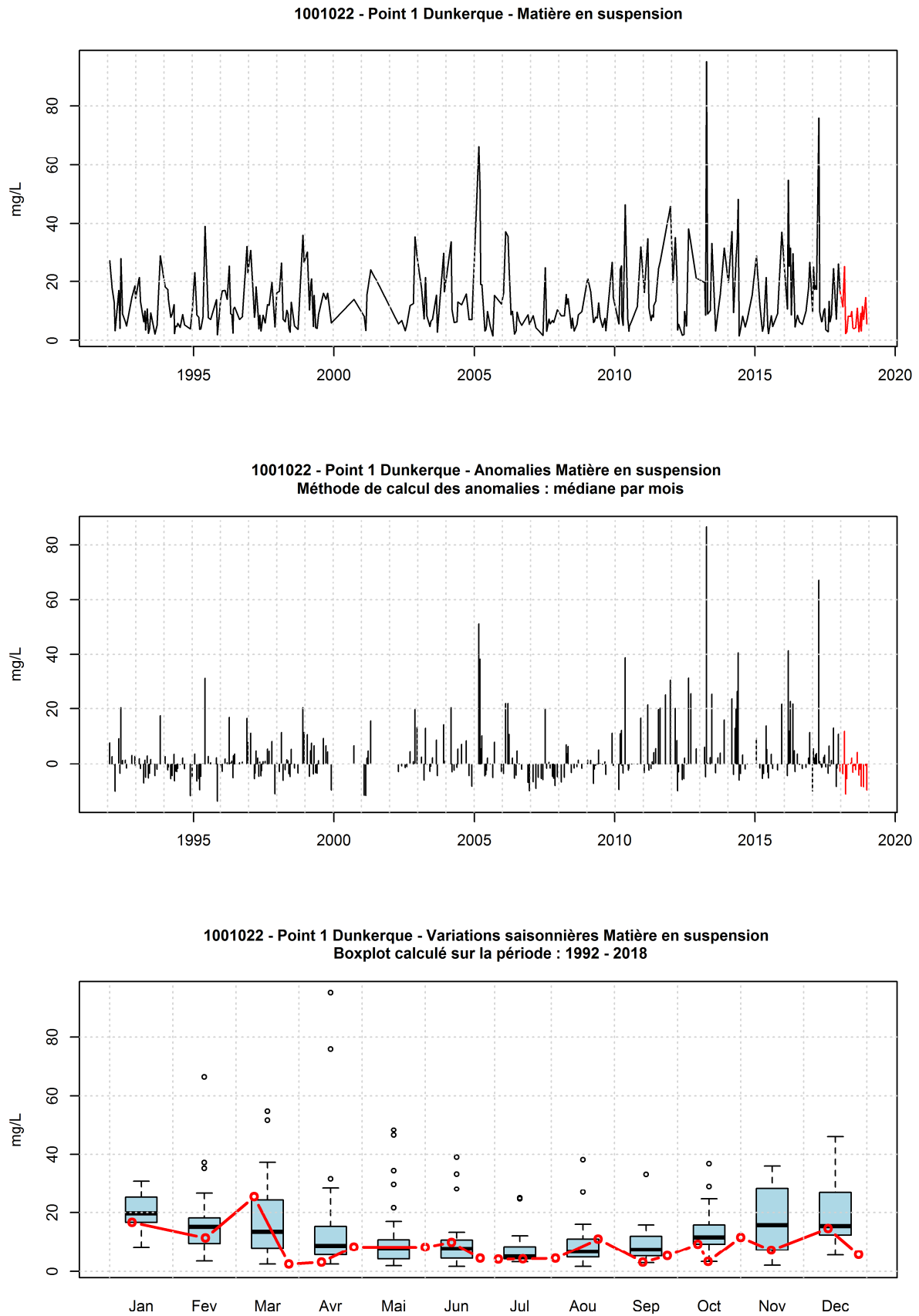


Figure 16. Evolution temporelle de la concentration en M.E.S (mg/L), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 1 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

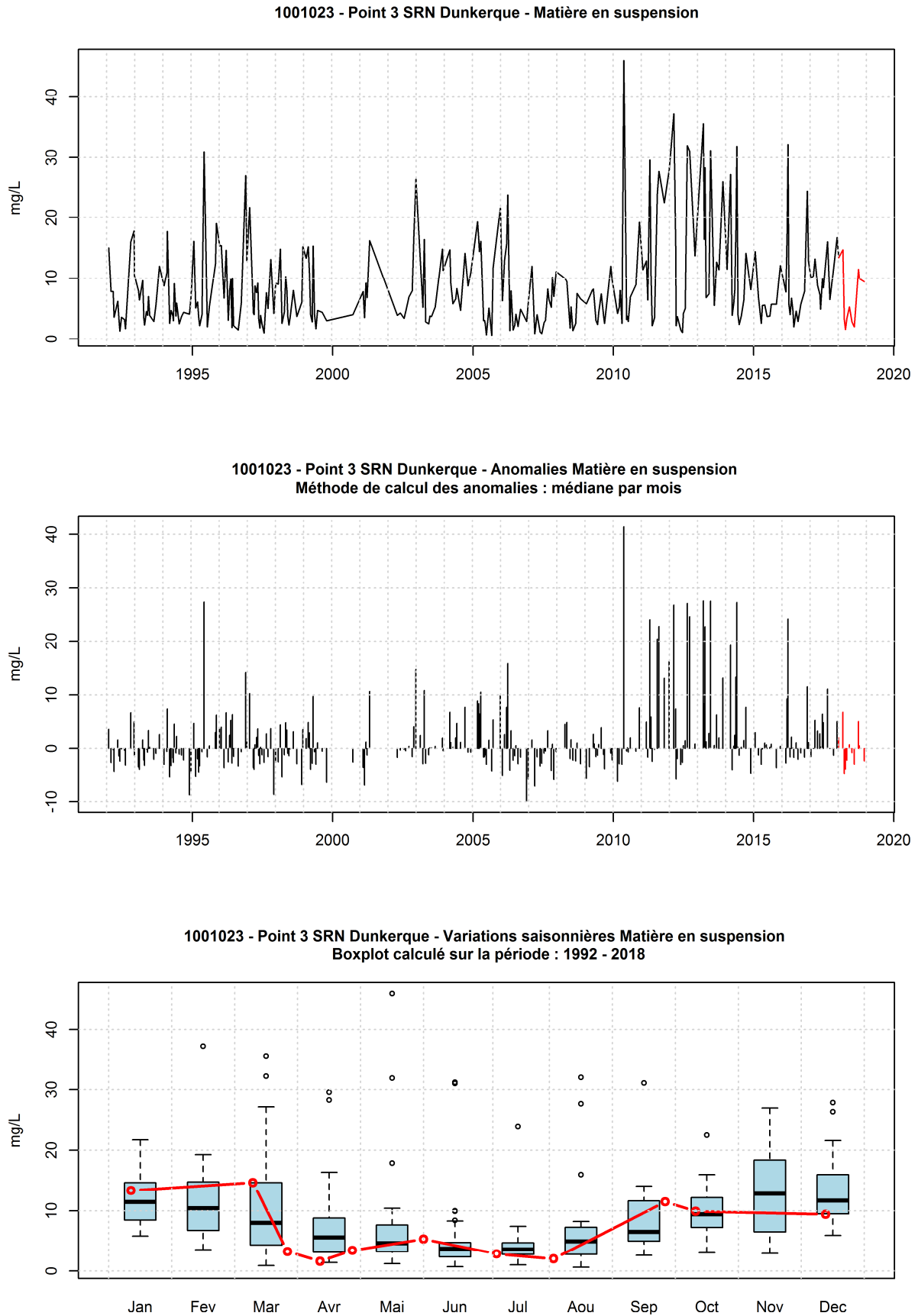


Figure 17. Evolution temporelle de la concentration en M.E.S (mg/L), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 3 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

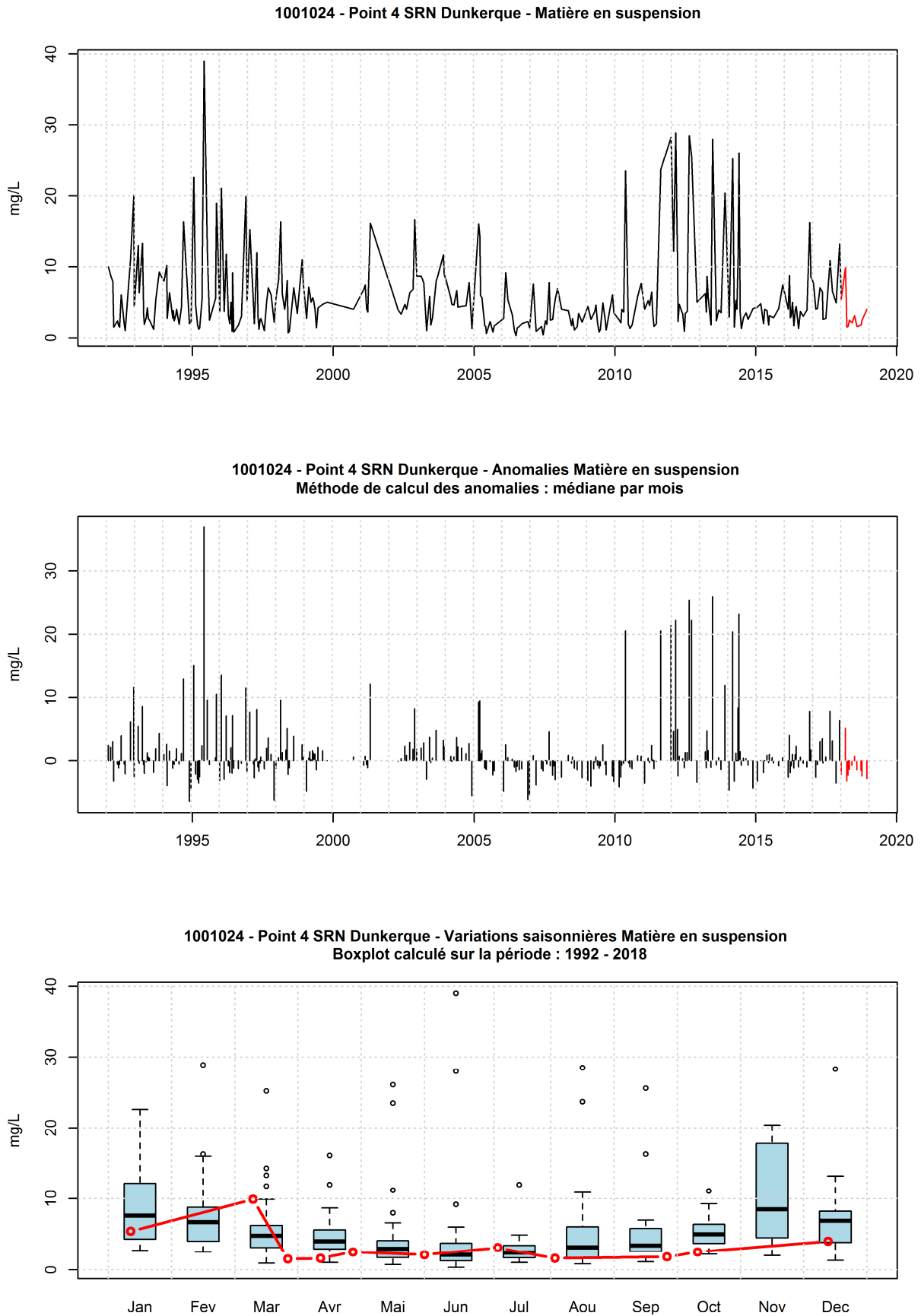


Figure 18. Evolution temporelle de la concentration en M.E.S (mg/L), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 4 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

□ **Matières organiques**

De manière générale, la proportion en matières organiques 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. Les valeurs extrêmes supérieures ont été observées au cours des années 2001, 2010, 2012, 2014 et 2017. C'est pendant la période productive que la proportion en matières organiques est la plus haute ; à l'inverse, pendant la période hivernale, les matières en suspension contiennent peu de matières organiques (Figures 19 à 21).

De 1992 à 2017, la quantité de matières organiques dans les M.E.S était comprise entre 0,05 et 32,30 mg/L. Les moyennes de concentration en matières organiques de la côte au large étaient respectivement 2,76, 2,03 et 1,61 mg/L pour la radiale de Dunkerque (Tableau 12). Les valeurs les plus extrêmes sont observées en mai 2014 pour les trois points (32,3, 16,7 et 10,4 mg/L de la côte au large), en mai 2017 pour le point 1 et en avril 2001 pour le point 4 (Tableau 12 et Figures 19 à 21).

En ce qui concerne l'année 2018, la concentration en matières organiques particulières suit dans l'ensemble les valeurs des années antérieures. En avril, au point 1, est enregistrée la valeur la plus haute pour cette année (3,50 mg/L). Les valeurs de moyennes, soit 1,66, 1,51 et 1,10 mg/L de la côte vers le large, sont plus faibles que celles de 1992-2016 (Tableaux 12 et 13).

Le gradient côte-large est compris entre -2,20 et 0,20 mg/L

Tableau 12. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les matières organiques en suspension (mg/L) pour la radiale de Dunkerque sur la période 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
DK1	0,05	1,40	2,00	2,76	2,63	3,20	32,30	311
DK3	0,05	1,20	1,56	2,03	1,72	2,30	16,70	290
DK4	0,07	0,90	1,20	1,61	1,31	1,87	10,40	280

Tableau 13. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les matières organiques en suspension (mg/L) pour la radiale de Dunkerque en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
DK1	0,30	1,20	1,50	1,66	0,74	2,00	3,50	21
DK3	0,70	1,25	1,60	1,51	0,48	2,30	2,60	11
DK4	0,60	0,75	1,10	1,10	0,38	1,35	1,70	11

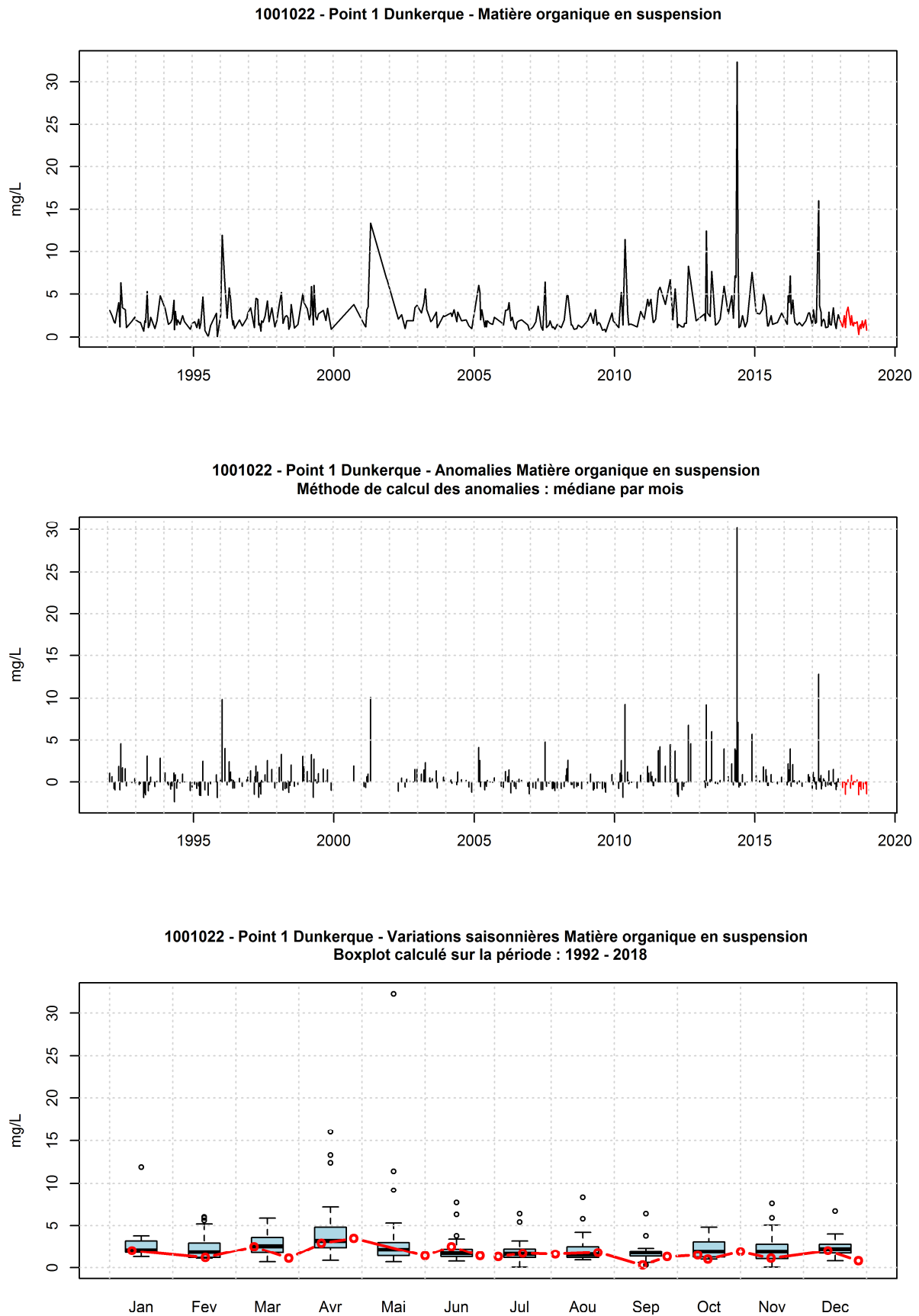


Figure 19. Evolution temporelle de la concentration en M.E.S organique (mg/L), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 1 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

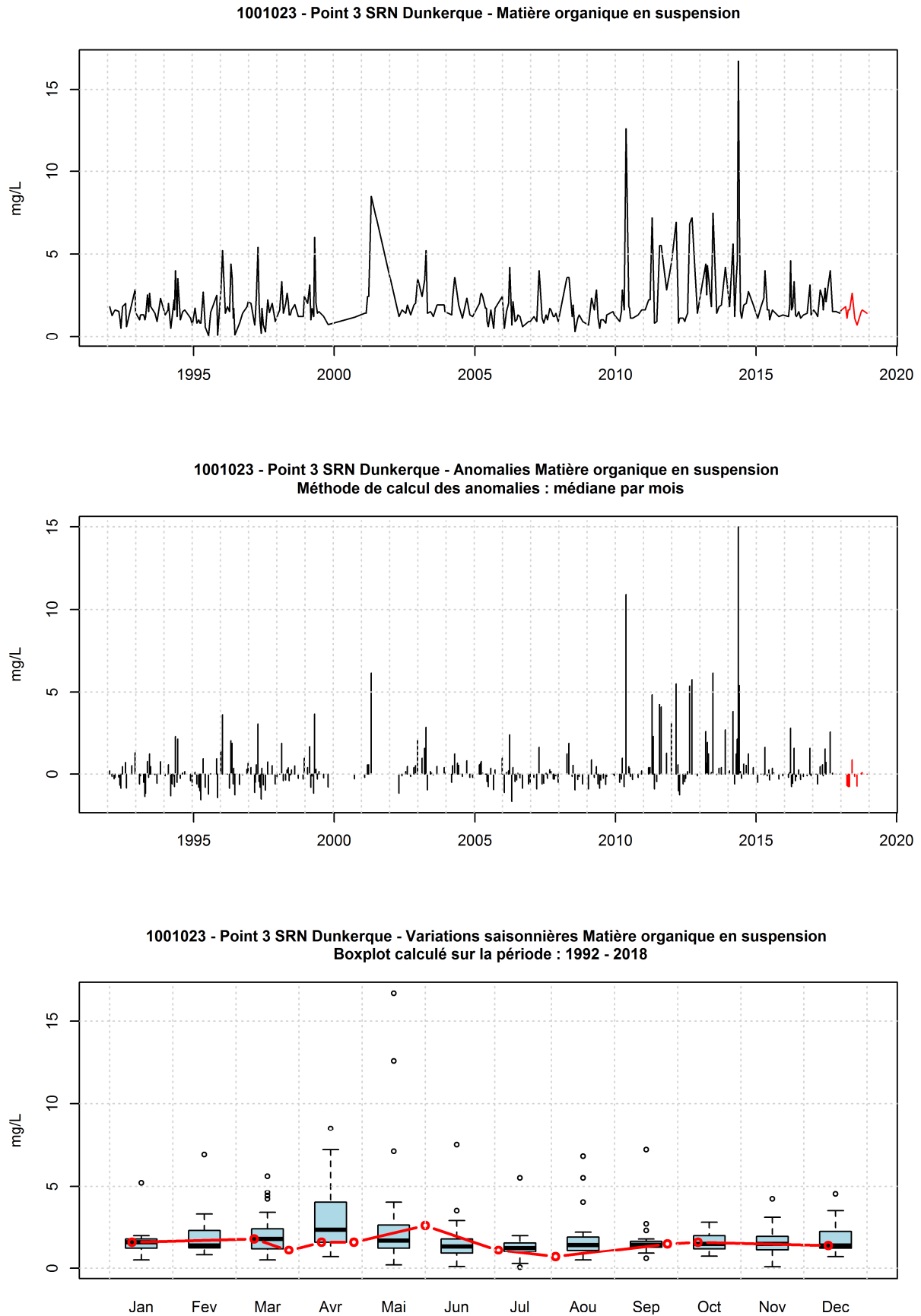


Figure 20. Evolution temporelle de la concentration en M.E.S organique (mg/L), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 3 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

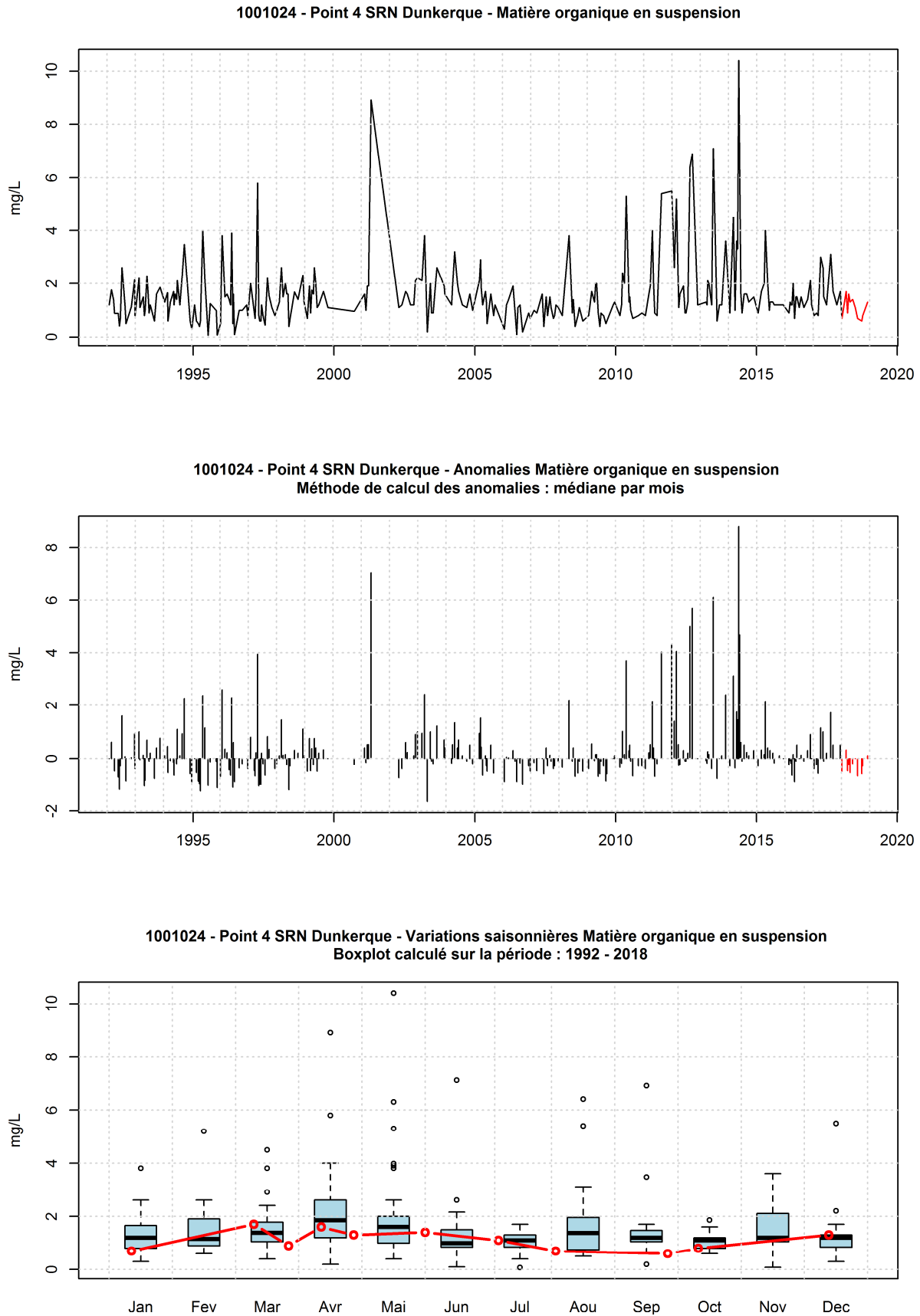


Figure 21. Evolution temporelle de la concentration en M.E.S organique (mg/L), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 4 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

□ **Ammonium**

Sur la période 1992-2017, la concentration en ammonium est comprise entre 0,15 et 29,40 $\mu\text{mol/L}$. Les valeurs moyennes correspondent à 2,64, 1,60 et 1,63 $\mu\text{mol/L}$ (de la côte au large) (Tableau 14). Les valeurs extrêmes supérieures ont été observées au cours des années 1992, 1997, 1998, 1999 et 2010. L'ammonium présente un cycle saisonnier avec des valeurs plus importantes d'octobre à février et plus faibles de mars à septembre (Figures 22 à 24).

De même qu'en 2017, les valeurs d'ammonium de 2018 sont faibles, voire très faibles par rapport aux années 1992-2017 (Tableaux 14 et 15). En effet, la valeur moyenne de la concentration en ammonium au point 1 de la radiale de Dunkerque de 1992 à 2017 est de 2,64 $\mu\text{mol/L}$ contre seulement 1,03 $\mu\text{mol/L}$ en 2018. Néanmoins, une valeur importante est mesurée le 17 juillet et correspond à la concentration maximale de cette année : 3,79 $\mu\text{mol/L}$ au point 1 de la radiale. Les valeurs minimales atteignent la limite de détection de l'appareil pour les trois points de prélèvements (Tableau 15 et Figures 22 à 24).

Le gradient côte-large varie entre -2,17 et 0,00 $\mu\text{mol/L}$, les concentrations sont donc plus fortes près des côtes ou égales à celles du large pour les mois d'avril à août et octobre (Annexe 1).

Tableau 14. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en ammonium ($\mu\text{mol/L}$) pour la radiale de Dunkerque sur la période 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
DK1	0,15	0,64	1,90	2,64	3,00	3,67	29,40	325
DK3	0,15	0,21	0,90	1,60	2,94	2,40	11,20	298
DK4	0,15	0,23	1,02	1,63	1,74	2,50	9,40	288

Tableau 15. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en ammonium ($\mu\text{mol/L}$) pour la radiale de Dunkerque en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
DK1	0,15	0,15	0,25	1,03	1,31	2,01	3,79	21
DK3	0,15	0,15	0,15	0,42	0,42	0,55	1,22	11
DK4	0,15	0,15	0,20	0,44	0,43	0,65	1,39	11

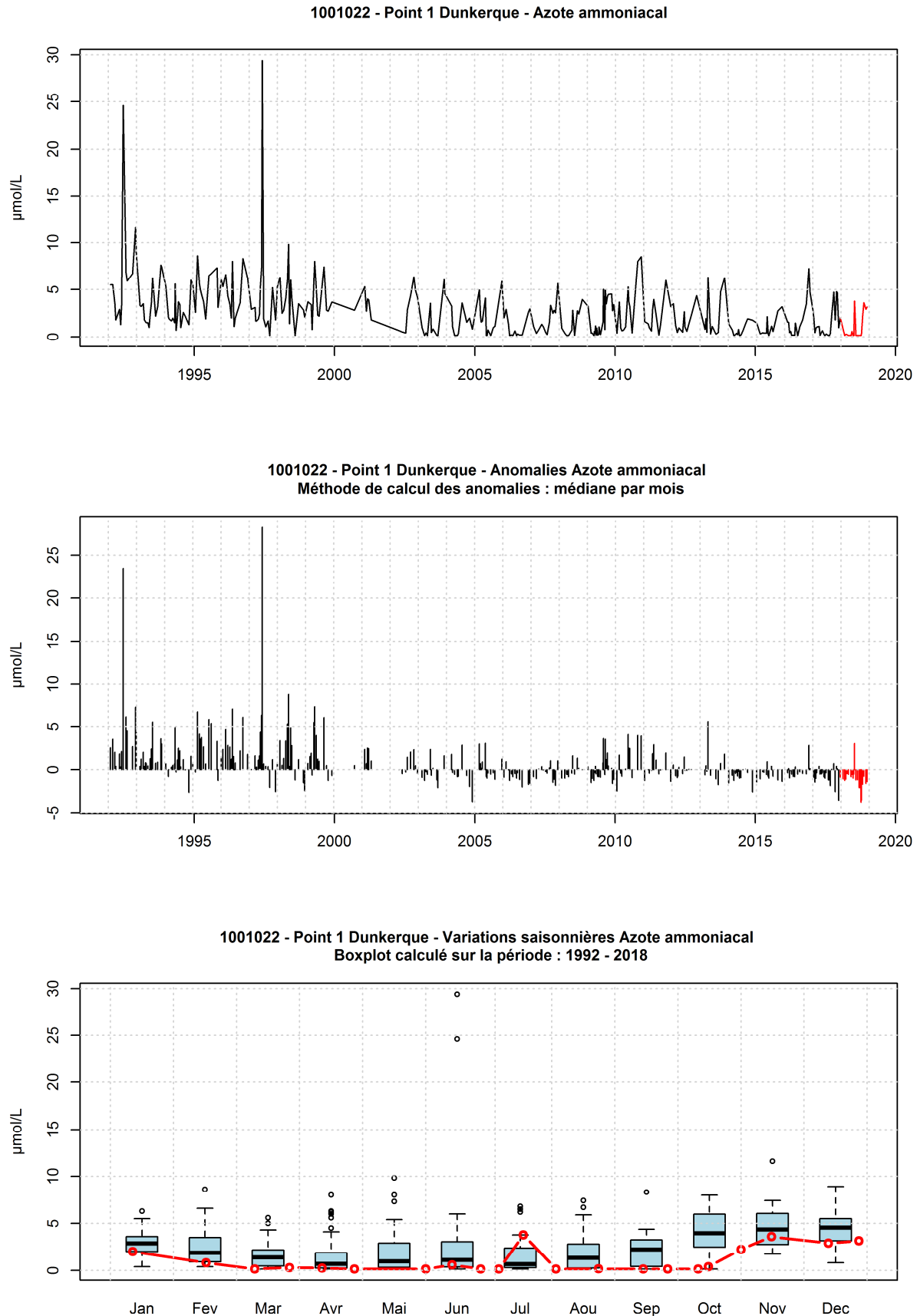


Figure 22. Evolution temporelle de la concentration en ammonium ($\mu\text{mol/L}$), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 1 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

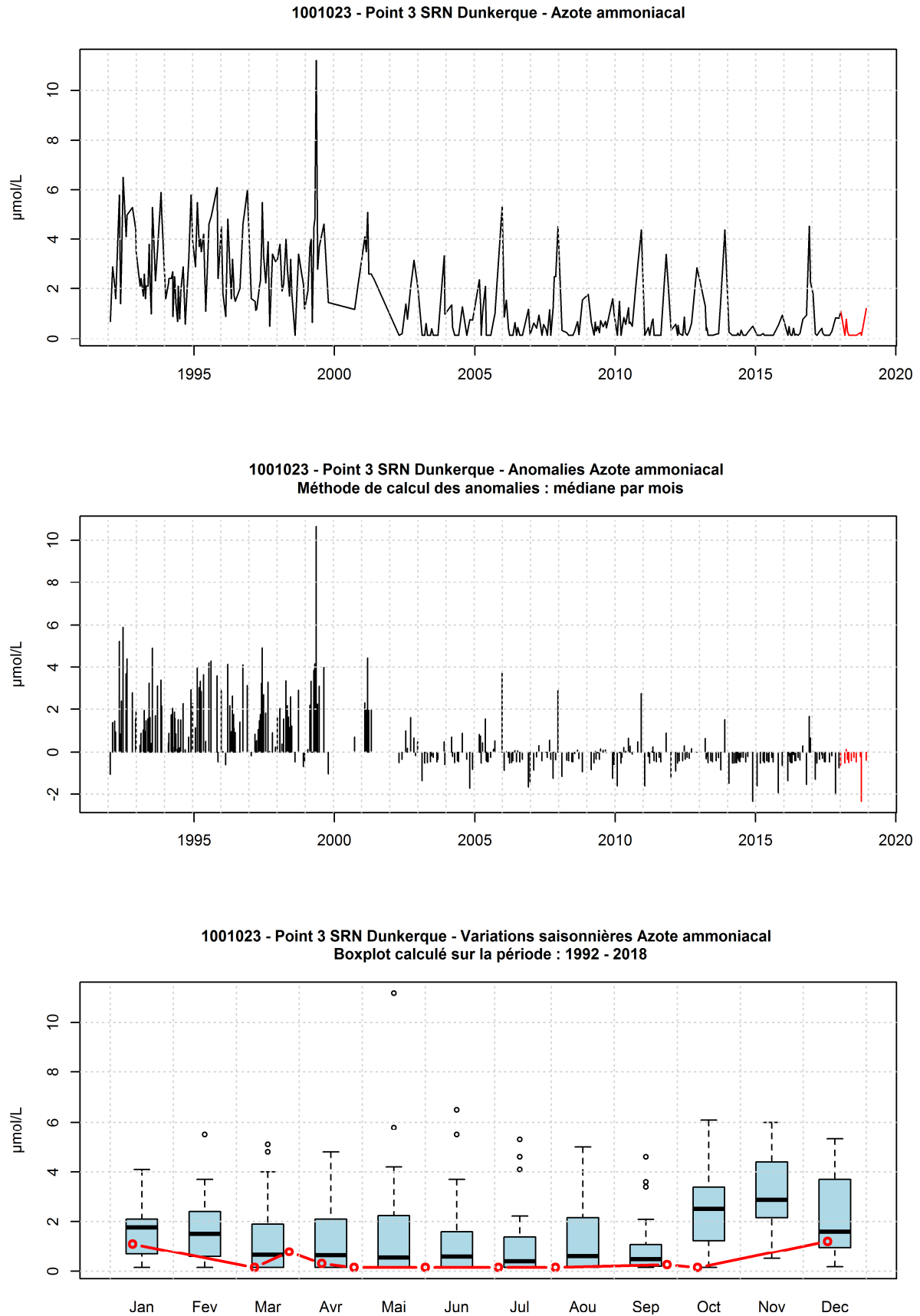


Figure 23. Evolution temporelle de la concentration en ammonium ($\mu\text{mol/L}$), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 3 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

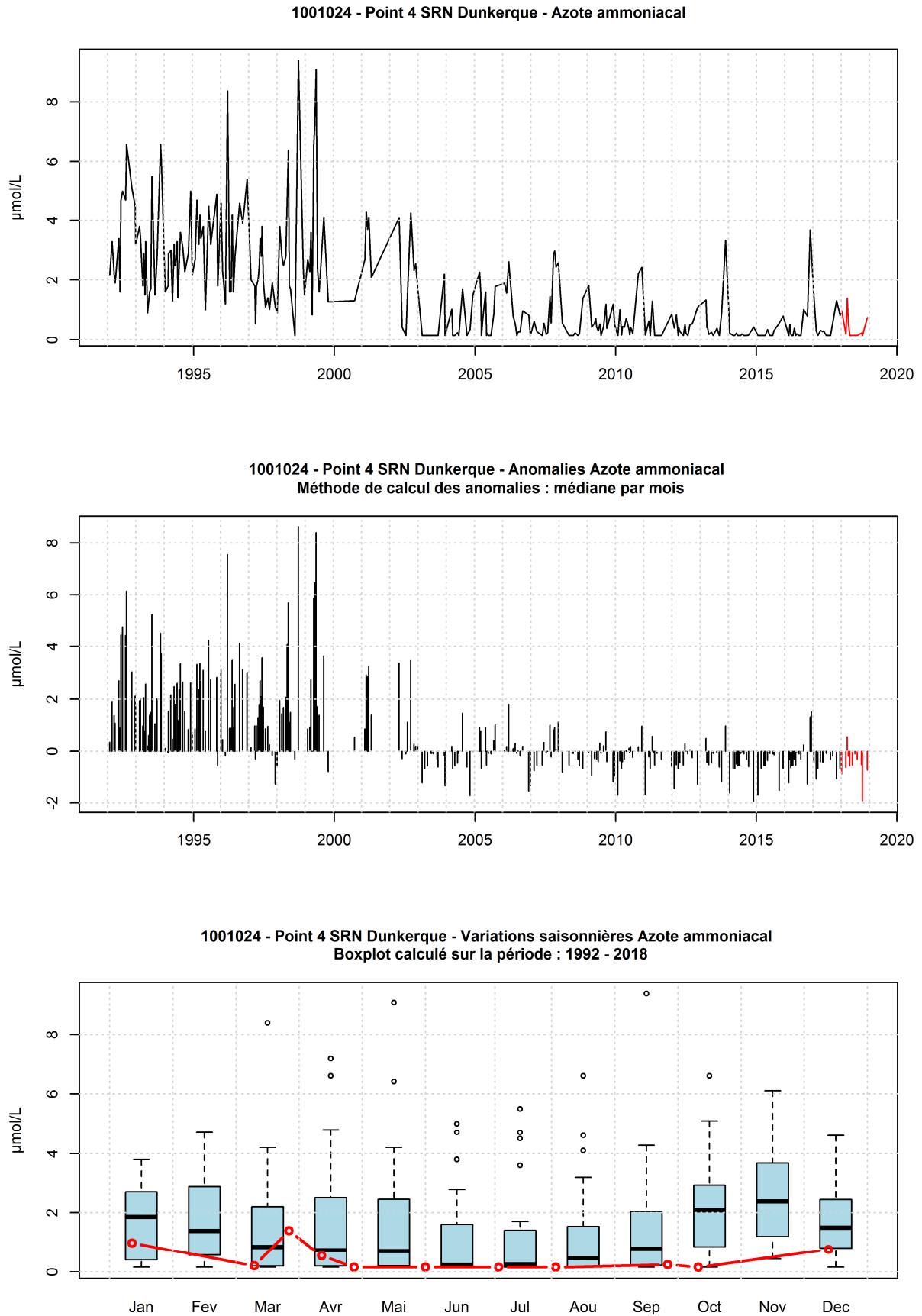


Figure 24. Evolution temporelle de la concentration en ammonium ($\mu\text{mol/L}$), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 4 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

□ Nitrite + Nitrate

En raison de la fugacité de la forme NO_2 lors des réactions de nitrification / dénitrification, il a été décidé de considérer la somme NO_2 et NO_3 pour cette étude.

De 1992 à 2017, les concentrations de nitrite-nitrate sont comprises entre 0,15 et 54,77 $\mu\text{mol/L}$. Les concentrations moyennes de ces deux composés azotés sont 8,86, 7,08 et 6,75 $\mu\text{mol/L}$ de la côte au large (Tableau 16). Les valeurs extrêmes supérieures ont été observées au cours des années 1993, 1994, 2005, 2009 et 2013. Ces deux oxydes d'azotes présentent un cycle saisonnier marqué avec des valeurs fortes en hiver et en automne, puis par des valeurs plus faibles au printemps et en été (Figures 25 à 27).

En 2018, les concentrations sont plus faibles. Les concentrations moyennes de la radiale sont comprises entre 2,70 et 4,31 $\mu\text{mol/L}$. La variabilité saisonnière est assez forte : elle évolue de 22,10 $\mu\text{mol/L}$ au maximum en février au point 1 à un minimum de 0,15 $\mu\text{mol/L}$ au mois de juillet (Tableau 17). Les concentrations minimales de la radiale correspondent à la limite de détection (Tableaux 16 et 17). Des concentrations très basses s'observent de mai à octobre. Lors de la deuxième partie de l'année, les concentrations sont plus fortes ; cependant, celles-ci restent tout de même en dessous des médianes calculées sur la période 1992-2017, sauf en ce qui concerne les mois de mars et avril où les concentrations dépassent les concentrations médianes pour ces mois (Tableau 17 et Figures 25 à 27).

Le gradient côte-large fluctue entre -9,81 et 0,00 $\mu\text{mol/L}$. La concentration en ces deux oxydes d'azote est alors plus importante près des côtes qu'au large, sauf pour les mois de mai à août où la différence est nulle (Annexe 1).

Tableau 16. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en nitrite et en nitrate ($\mu\text{mol/L}$) pour la radiale de Dunkerque sur la période 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
DK1	0,15	0,60	2,48	8,86	11,55	15,74	54,77	324
DK3	0,15	0,31	2,28	7,08	9,05	11,72	40,15	299
DK4	0,15	0,42	2,25	6,75	8,48	11,32	41,57	288

Tableau 17. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en nitrite et en nitrate ($\mu\text{mol/L}$) pour la radiale de Dunkerque en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
DK1	0,15	0,15	0,74	4,31	6,44	4,41	22,00	21
DK3	0,15	0,16	0,98	3,11	4,10	3,93	12,44	11
DK4	0,15	0,18	0,69	2,70	3,27	4,47	8,95	11

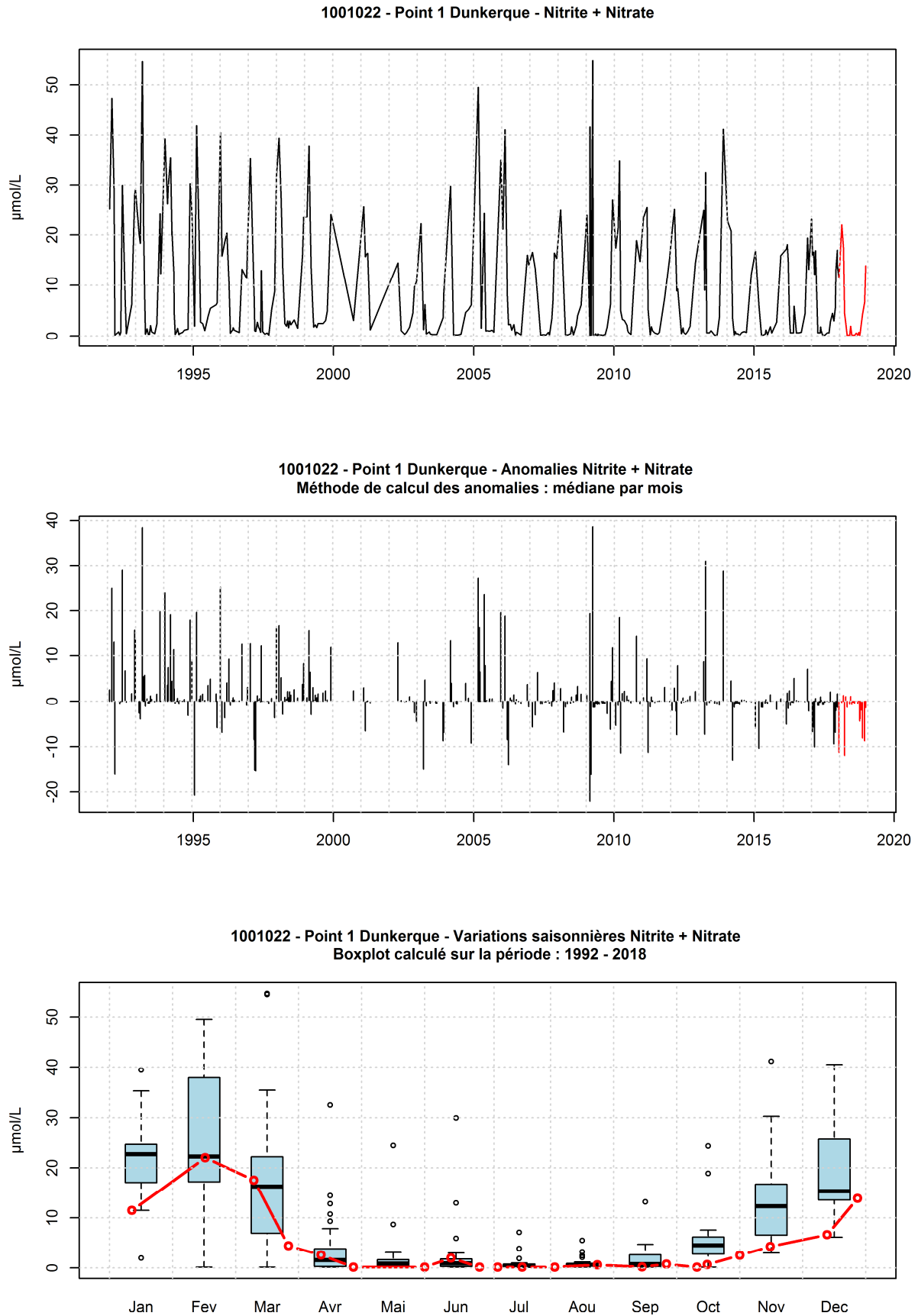


Figure 25. Evolution temporelle de la concentration en nitrates + nitrites ($\mu\text{mol/L}$), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 1 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

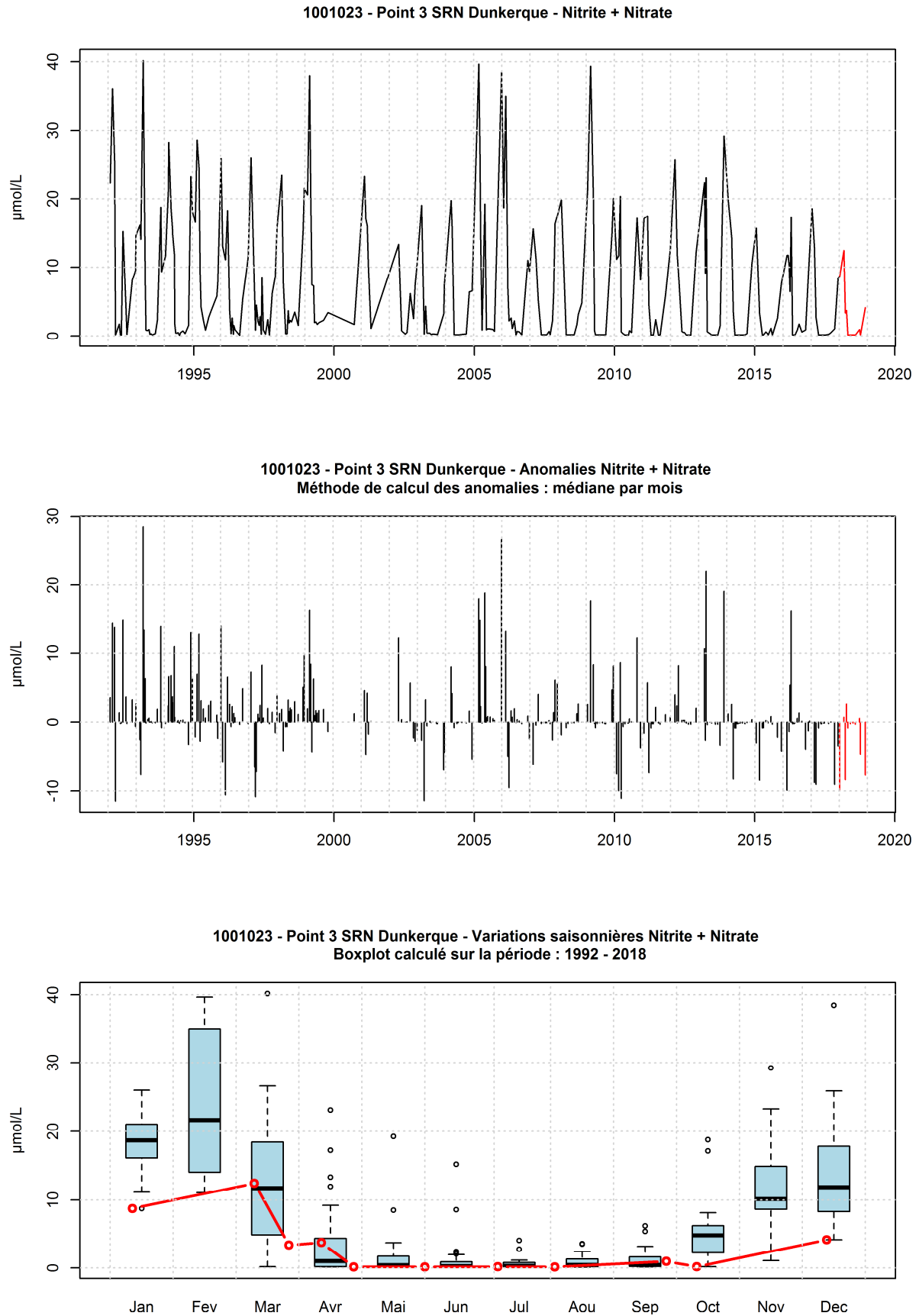


Figure 26. Evolution temporelle de la concentration en nitrates + nitrites ($\mu\text{mol/L}$), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 3 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

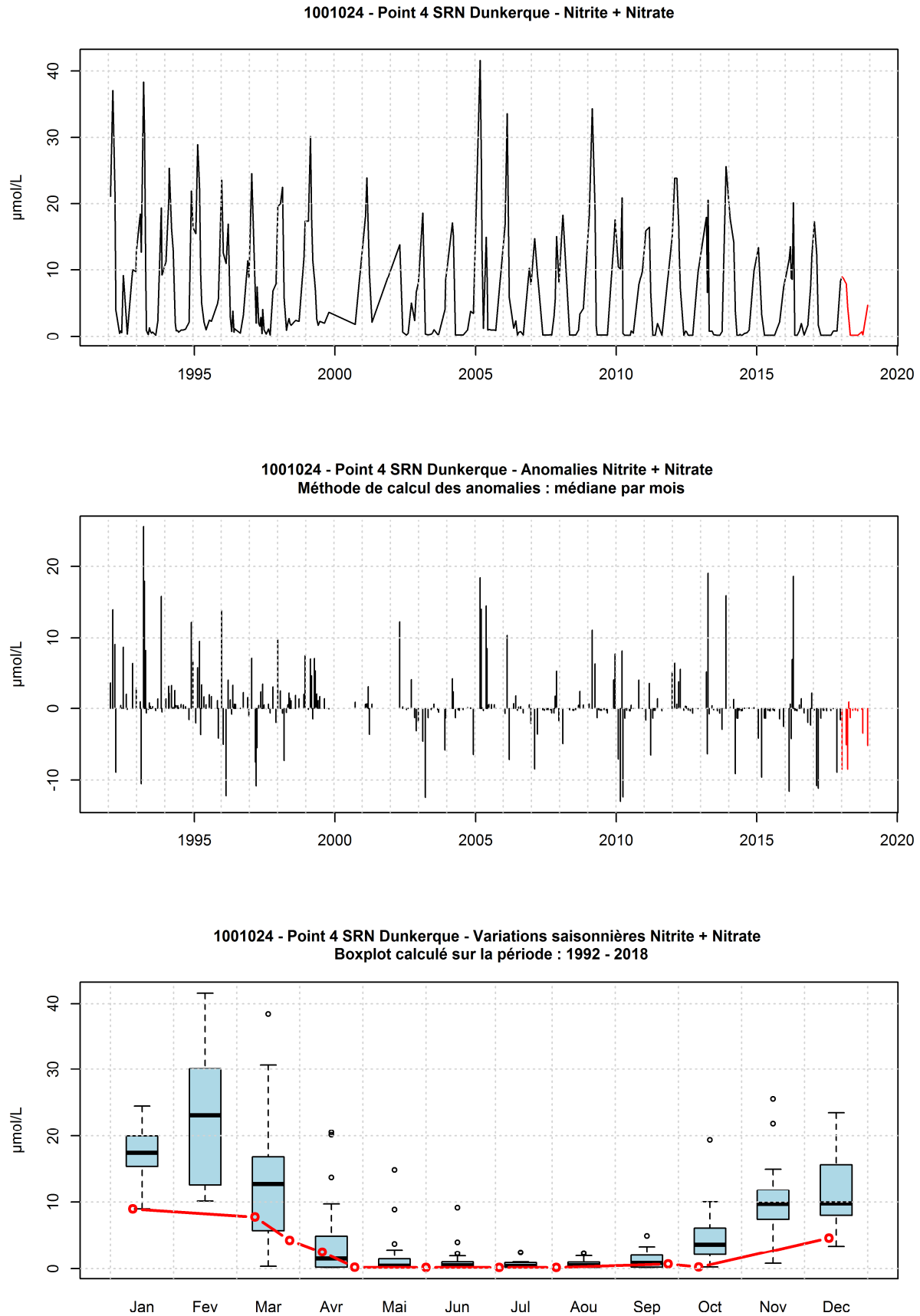


Figure 27. Evolution temporelle de la concentration en nitrates + nitrites ($\mu\text{mol/L}$), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 4 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

□ **Phosphate**

La période 1992-2017 comprend des valeurs allant de 0,05 à 9,80 $\mu\text{mol/L}$. Les concentrations moyennes en phosphate sont 0,56, 0,49 et 0,48 $\mu\text{mol/L}$ (du point 1 au point 4) (Tableau 18). Les valeurs extrêmes supérieures ont été observées au cours des années 1992, 1993, 1995, 2004, 2005 et 2017. Un cycle saisonnier est observable avec des valeurs plus importantes en automne et en hiver, et des valeurs plus faibles en été et au printemps (Figures 28 à 30).

En 2018, les concentrations en phosphate apparaissent plus faibles. En effet, les moyennes vont de 0,18 à 0,26 $\mu\text{mol/L}$. Elles présentent une faible variabilité tout au long de l'année (Figures 28 à 30). Le maximum est atteint en janvier : 2,3, 0,43 et 0,49 $\mu\text{mol/L}$ de la côte vers le large. A partir de mars, les concentrations ont tendance à diminuer pour atteindre un minimum fin avril (respectivement 0,11 $\mu\text{mol/L}$, 0,07 $\mu\text{mol/L}$ et 0,05 $\mu\text{mol/L}$ de la côte au large). A partir du mois d'août, les concentrations augmentent pour l'ensemble de la radiale (Figures 28 à 30).

Le gradient côte-large évolue entre -0,12 et 0,07 $\mu\text{mol/L}$. Les concentrations sont plus élevées au niveau des côtes, hormis pour le mois de mars (Annexe 1).

Tableau 18. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en phosphate ($\mu\text{mol/L}$) pour la radiale de Dunkerque sur la période 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
DK1	0,05	0,20	0,42	0,56	0,71	0,74	9,80	324
DK3	0,05	0,20	0,40	0,49	0,38	0,72	2,00	298
DK4	0,05	0,15	0,40	0,48	0,41	0,70	2,69	288

Tableau 19. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en phosphate ($\mu\text{mol/L}$) pour la radiale de Dunkerque en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
DK1	0,05	0,07	0,29	0,26	0,19	0,42	0,63	21
DK3	0,05	0,05	0,13	0,18	0,15	0,29	0,43	11
DK4	0,05	0,05	0,12	0,18	0,16	0,27	0,49	11

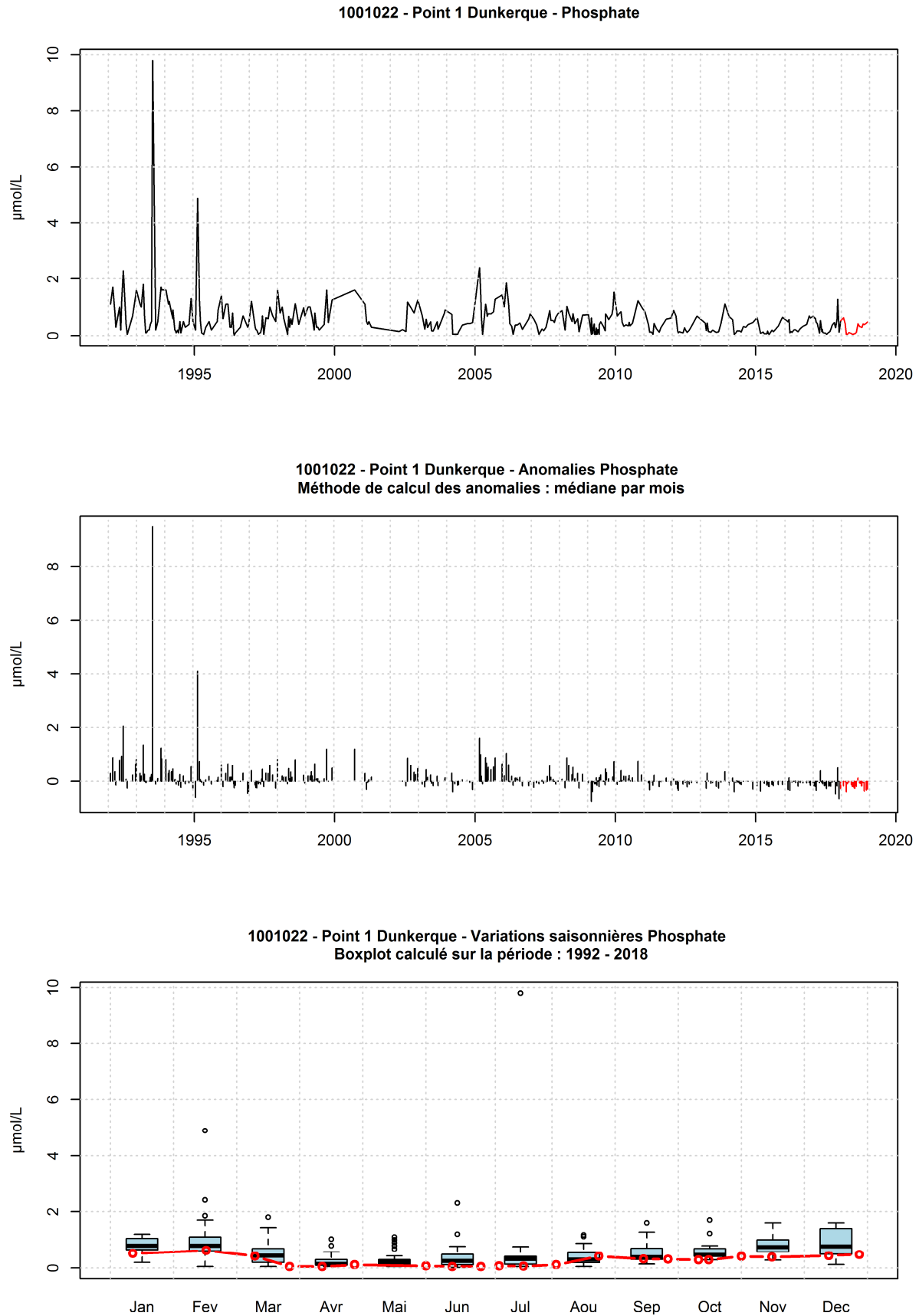


Figure 28. Evolution temporelle de la concentration en phosphate ($\mu\text{mol/L}$), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 1 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

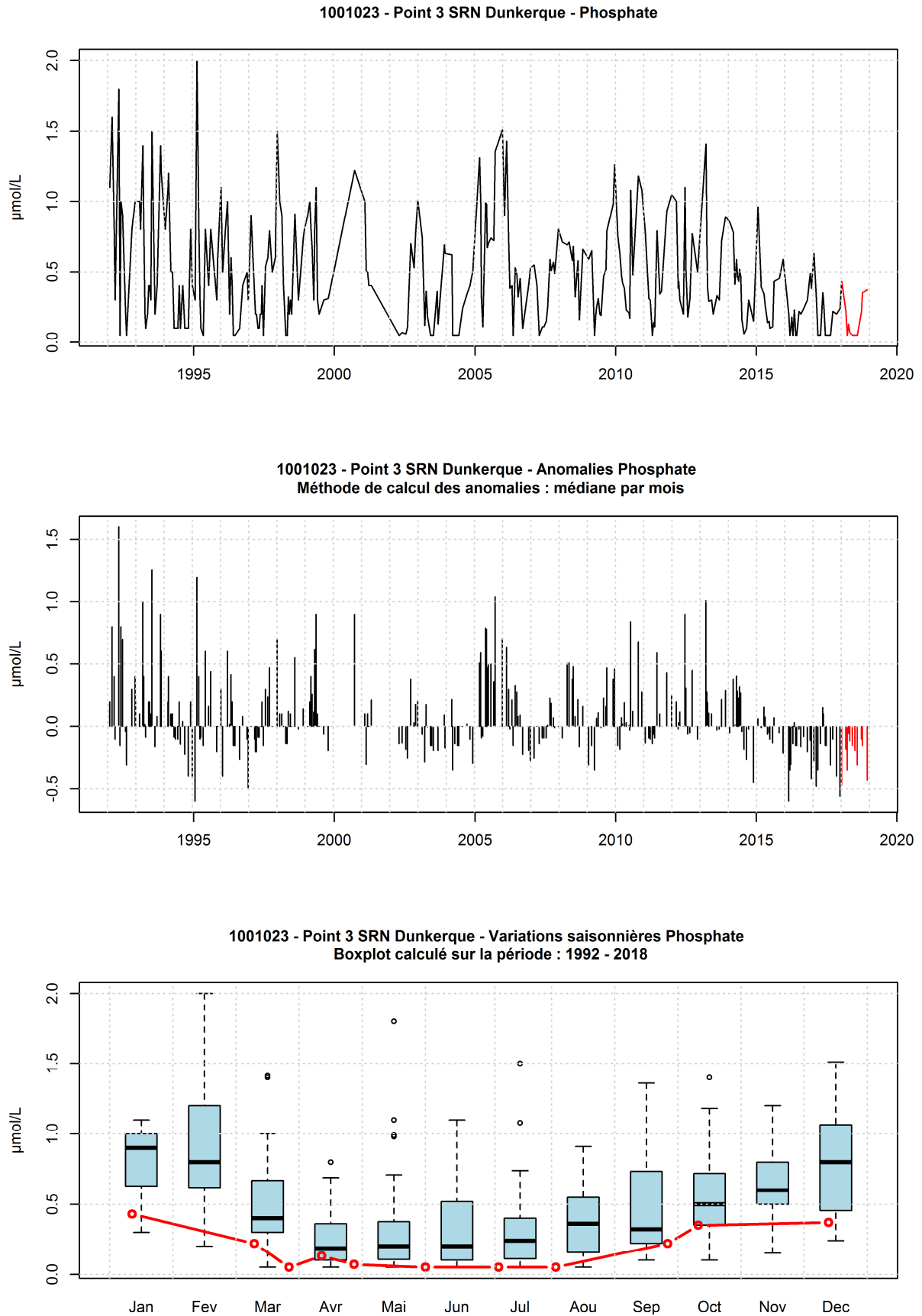


Figure 29. Evolution temporelle de la concentration en phosphate ($\mu\text{mol/L}$), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 3 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

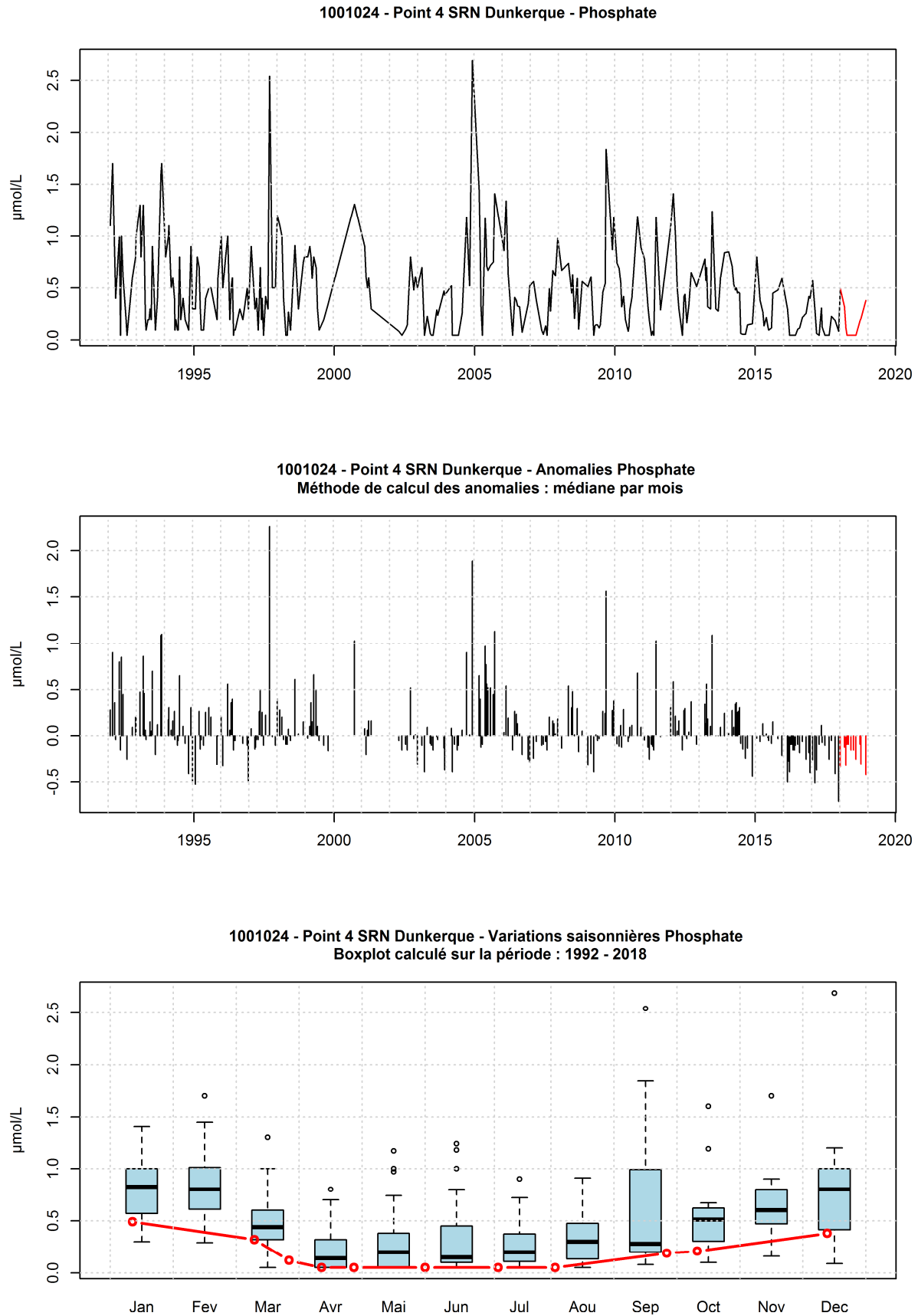


Figure 30. Evolution temporelle de la concentration en phosphate ($\mu\text{mol/L}$), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 4 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2017 (année 2018 en rouge)

□ **Silicate**

De 1992 à 2017, les concentrations en silicate varient entre 0,10 et 35,20 $\mu\text{mol/L}$. Les concentrations moyennes de la côte vers le large sont respectivement 5,20, 3,33 et 3,22 $\mu\text{mol/L}$ (Tableau 20). Les valeurs extrêmes supérieures ont été observées au cours des années : 1994, 1995, 1998, 2005 et 2013. La variabilité peut être importante. Comme pour les autres sels nutritifs, un cycle saisonnier est observable avec des valeurs importantes de septembre à mars et plus faibles d'avril à août. Les valeurs élevées de la concentration en silicate sont essentiellement identifiées durant la période automnale et hivernale (Figures 31 à 33).

En 2018, les concentrations moyennes en silicates sont inférieures à celles émises antérieurement (respectivement 5,2 $\mu\text{mol/L}$, 3,33 $\mu\text{mol/L}$ et 3,22 $\mu\text{mol/L}$ de 1992 à 2017 pour la radiale contre 3,04 $\mu\text{mol/L}$, 1,94 $\mu\text{mol/L}$ et 1,98 $\mu\text{mol/L}$ pour 2017) (Tableaux 20 et 21). Cependant, le mois d'août se démarque avec des valeurs plus élevées (Figures 31 à 33). Les maxima pour cette radiales sont observés en décembre pour le point 1 (11,19 $\mu\text{mol/L}$) et en janvier pour les points 3 et 4 (6,53 et 6,40 $\mu\text{mol/L}$). Le mois d'avril observe les valeurs minimales de cette année pour l'ensemble de la radiale.

Le gradient côte-large varie entre -3,27 et 0,46 $\mu\text{mol/L}$. La concentration en silicate est donc plus forte au niveau des côtes en 2018, sauf pour les mois de juillet et septembre (Annexe 1).

Tableau 20. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en silicate ($\mu\text{mol/L}$) pour la radiale de Dunkerque sur la période 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
DK1	0,10	1,11	3,24	5,20	5,73	6,80	35,20	325
DK3	0,10	0,40	1,60	3,33	4,40	4,20	26,00	297
DK4	0,10	0,40	1,62	3,22	4,14	4,54	25,90	278

Tableau 21. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en silicate ($\mu\text{mol/L}$) pour la radiale de Dunkerque en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
DK1	0,38	0,69	1,12	3,04	3,44	4,92	11,19	21
DK3	0,22	0,49	0,98	1,94	2,04	3,04	6,53	11
DK4	0,18	0,54	0,87	1,98	2,00	2,80	6,40	11

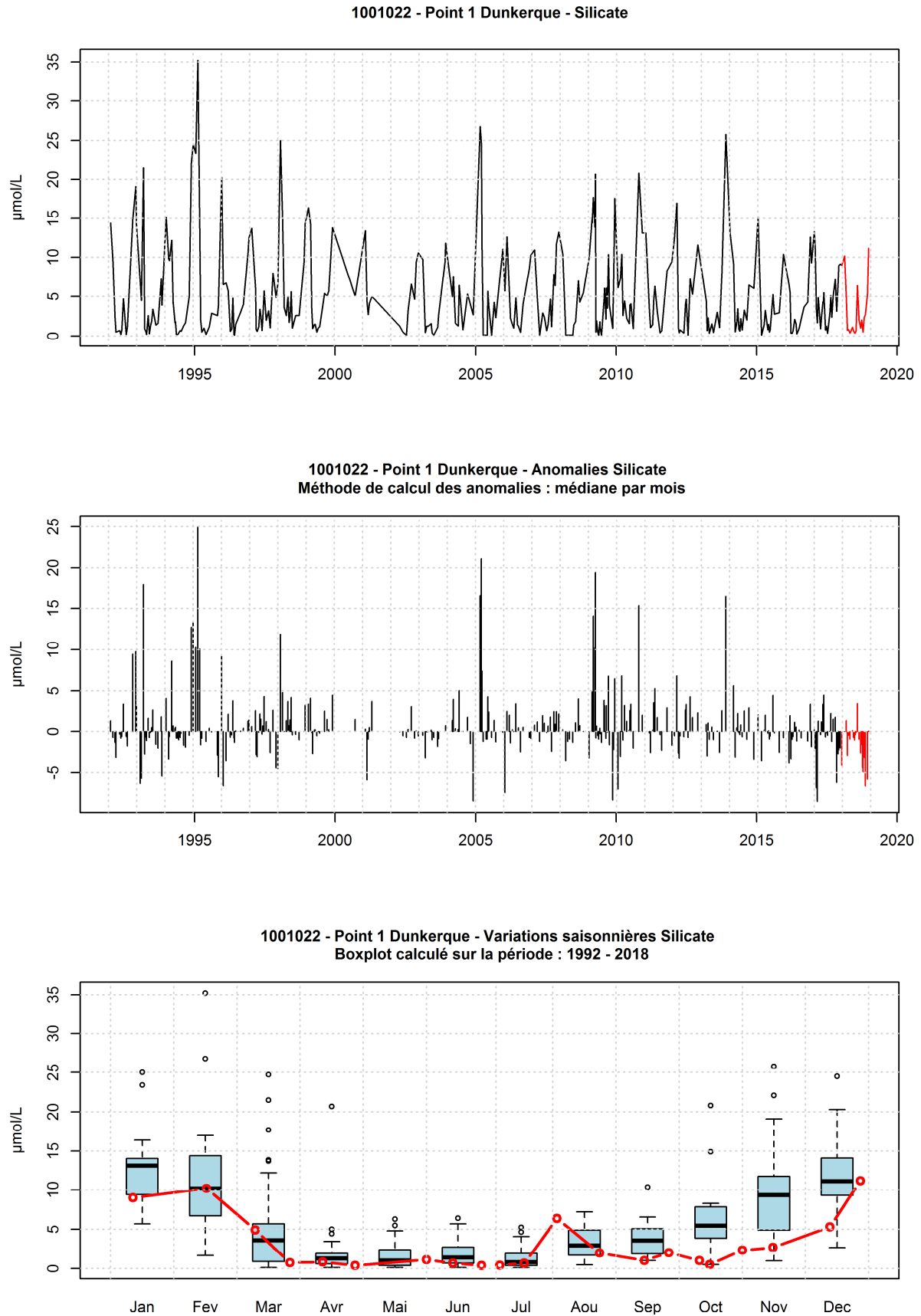


Figure 31. Evolution temporelle de la concentration en silicate ($\mu\text{mol/L}$), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 1 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

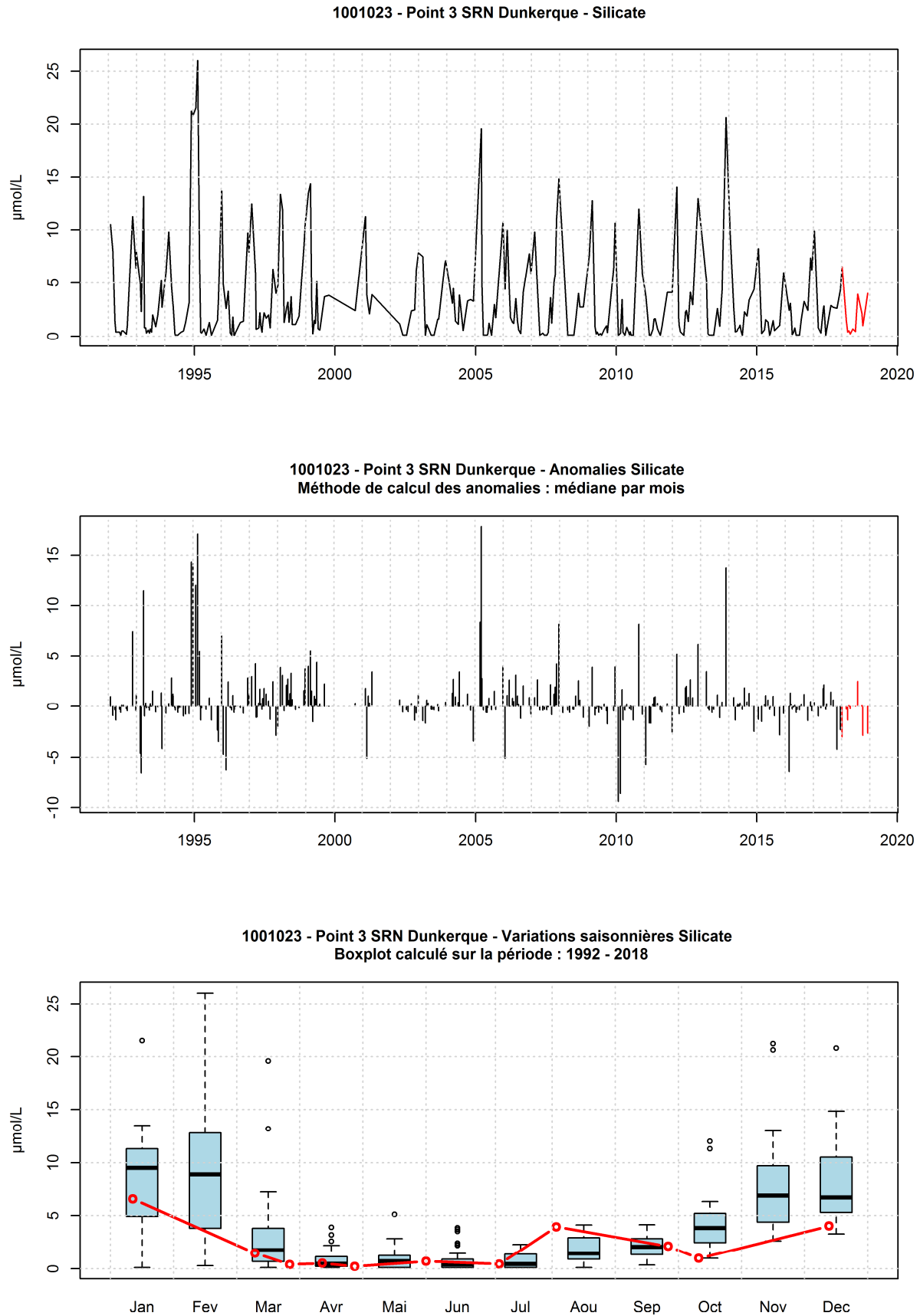


Figure 32. Evolution temporelle de la concentration en silicate ($\mu\text{mol/L}$), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 3 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

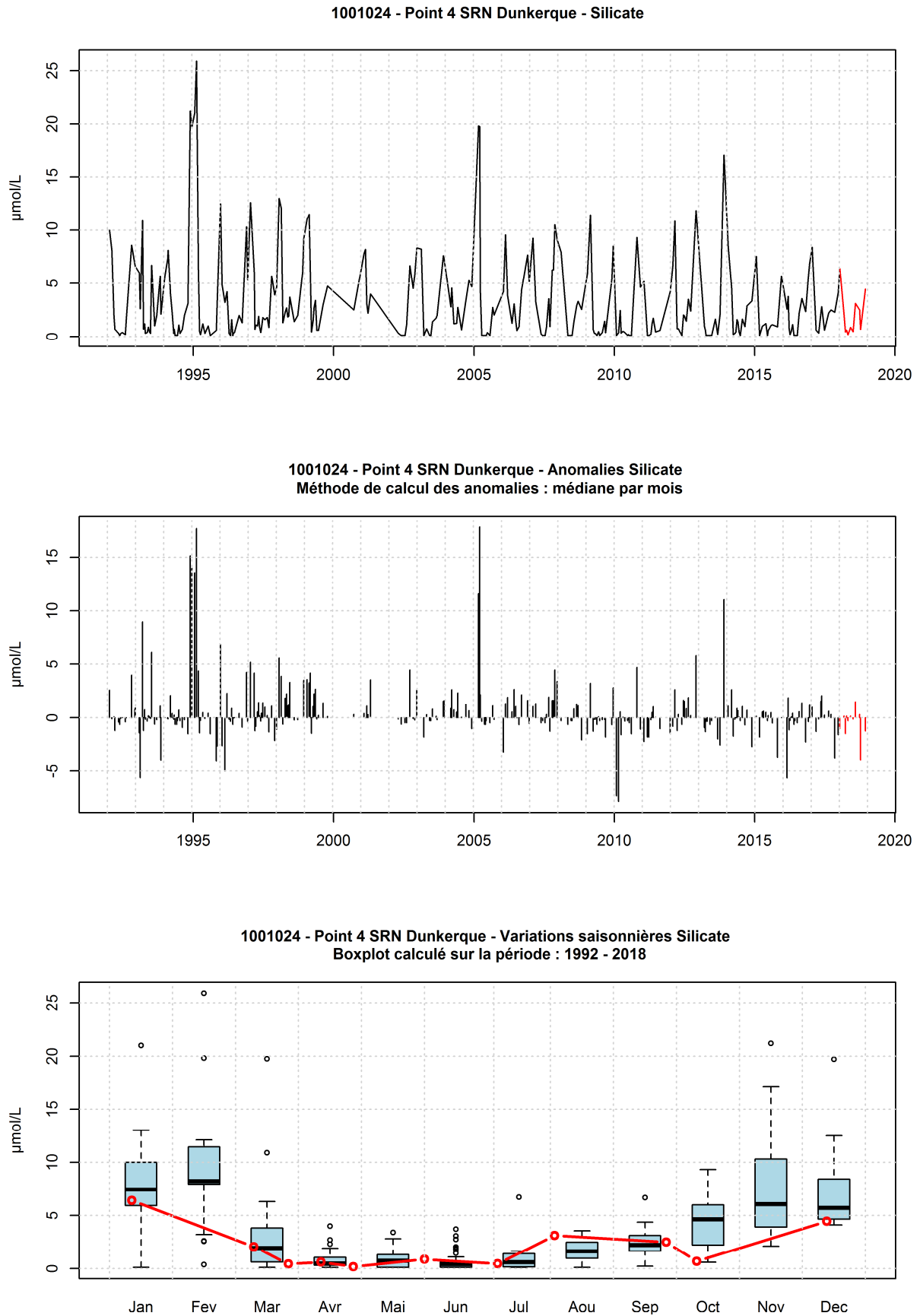


Figure 33. Evolution temporelle de la concentration en silicate ($\mu\text{mol/L}$), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 4 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

□ Oxygène dissous

Sur la période 2007-2017, l’oxygène dissous dans l’eau est compris entre 6,91 et 12,38 mg/L. Les valeurs moyennes sont 9,38, 9,09 et 9,10 mg/L ; cependant, le nombre de données reste assez faible pour les points 3 et 4 (Tableau 22). Les valeurs extrêmes supérieures (et inférieures) ont été observées au cours des années 2007, 2009, 2017 et (2008, 2009, 2010). L’oxygène dissous présente un cycle saisonnier : en effet, les valeurs sont importantes de novembre à avril et basses de mai à octobre (Figure 34).

En 2018, la variabilité de l’oxygène dissous est similaire aux années 2007 à 2017. Néanmoins, des concentrations plus faibles qu’habituellement sont observées au cours de la période productive (Figure 34). Les valeurs moyennes sont légèrement inférieures aux années précédentes (8,90 à 9,32 mg/L en 2017 contre 9,09 à 9,38 mg/L pour la période 2007-2017- Tableaux 22 et 23). Une élévation de la concentration en oxygène dissous est observable au mois de mars (Figure 34). Le maximum est atteint ce même mois avec une concentration de 10,34 mg/L et le minimum en mai avec une concentration de 7,48 mg/L.

Le gradient côte-large varie entre -0,45 et 1,25 mg/L. Il y a globalement davantage d’oxygène dissous au large durant la période productive (février à mai), de même jusqu’en juillet. Quant au reste de l’année, la concentration est légèrement supérieure près des côtes (Annexe 1).

Tableau 22. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en oxygène dissous (mg/L) pour la radiale de Dunkerque sur la période 2007-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
DK1	6,91	8,04	9,00	9,38	1,77	10,13	19,20	144
DK3	7,63	8,11	8,89	9,09	1,10	9,83	11,57	46
DK4	7,48	8,14	8,82	9,10	1,19	9,88	12,38	48

Tableau 23. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en oxygène dissous (mg/L) pour la radiale de Dunkerque en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
DK1	7,65	8,31	8,81	8,90	0,77	9,55	10,29	18
DK3	8,10	9,96	9,78	9,32	0,89	9,96	10,23	8
DK4	7,96	8,26	9,79	9,29	1,04	10,26	10,40	9

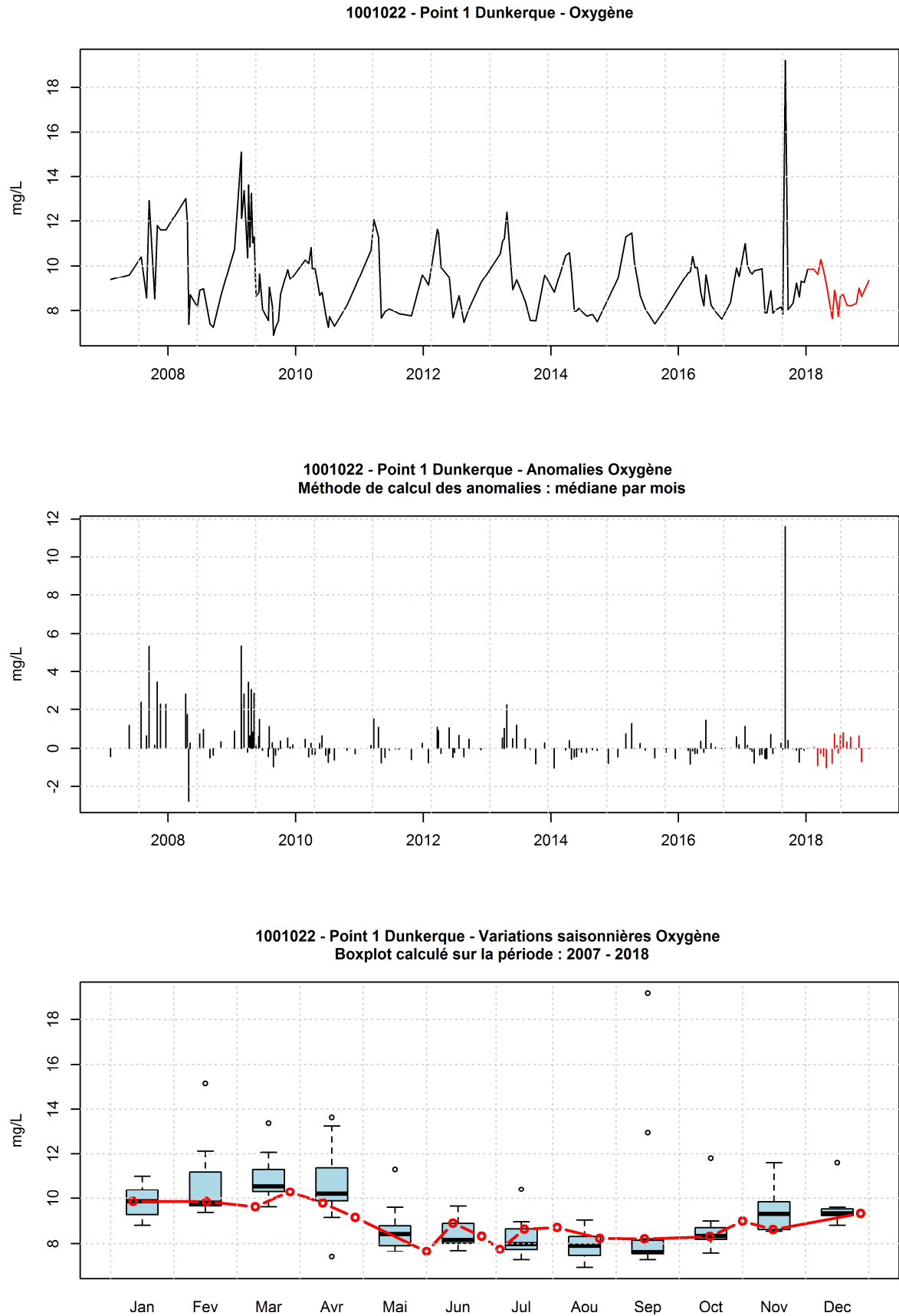


Figure 34. Evolution temporelle de la concentration en oxygène dissous (mg/L), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 1 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

□ **Limitation par les nutriments**

Les Figures 35 à 37 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.

En 2018, au début de la période productive (mars à mai), la limitation est de type Si, P, N. Elle évolue au mois d'avril pour faire de l'azote l'élément limitant (limitation type N, P, Si et N, Si, P) et reste ainsi aux mois de mai et de juin. Une limitation par la silice (type Si, N, P) est tout de même observée au mois de mai au point 3 de la radiale (Figures 35 à 37 et Annexe 2).

Au cours de la période estivale (juillet à septembre), l'élément limitant est majoritairement l'azote (limitation N, P, Si et N, Si, P). De plus, des données manquantes pour les points 3 et 4 de la radiale empêchent de connaître la limitation par les nutriments pour ces points au mois de juin (Figures 35 à 37 et Annexe 2).

Enfin, en période non productive (octobre à mars), les limitations sont contrastées. Au point 1, d'octobre à décembre, on observe majoritairement une limitation par la silice (type Si, P, N et Si, N, P) tandis que la seconde partie du mois de décembre ainsi que le mois de janvier sont marqués par une limitation de type P, Si, N. En ce qui concerne les point 3 et 4 de la radiale, un manque de données empêche de connaître la limitation par les nutriments au mois de février et novembre. Au mois d'octobre, l'élément limitant est l'azote (limitation type N, Si, P) alors qu'au mois de décembre, c'est la silice (limitation type Si, N, P). En mars, la limitation est de type Si, P, N, de même que pour le mois de janvier (Figures 35 à 37 et Annexe 2).

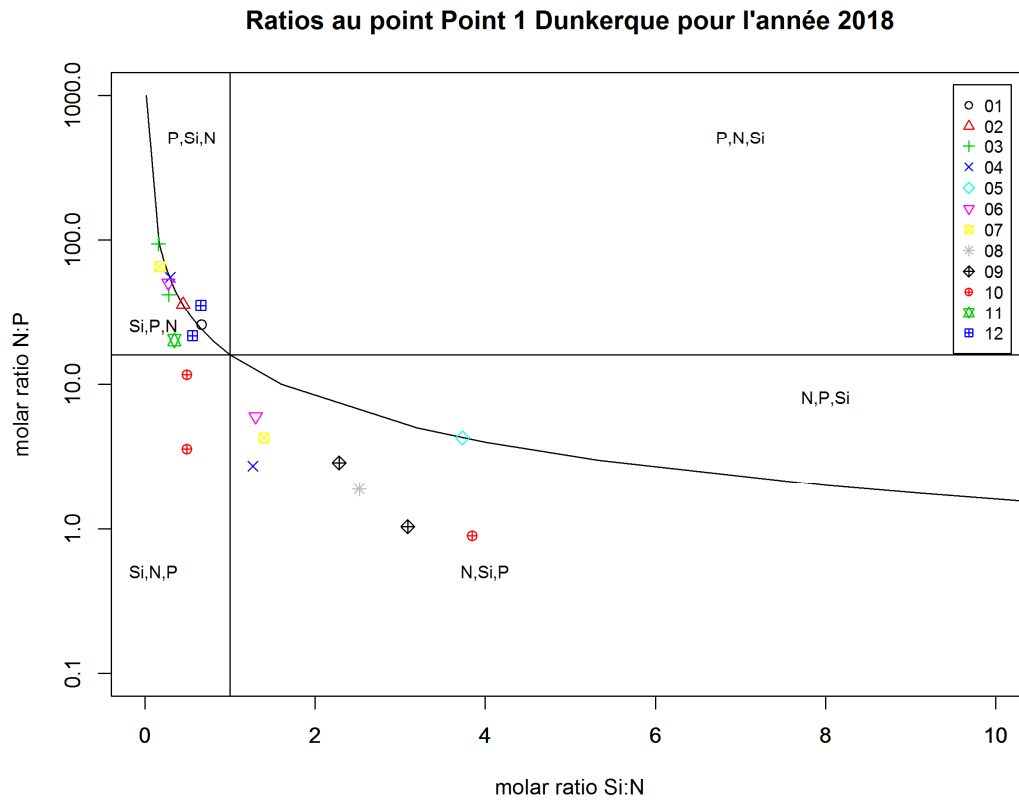


Figure 35. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point 1 de la radiale de Dunkerque en 2018

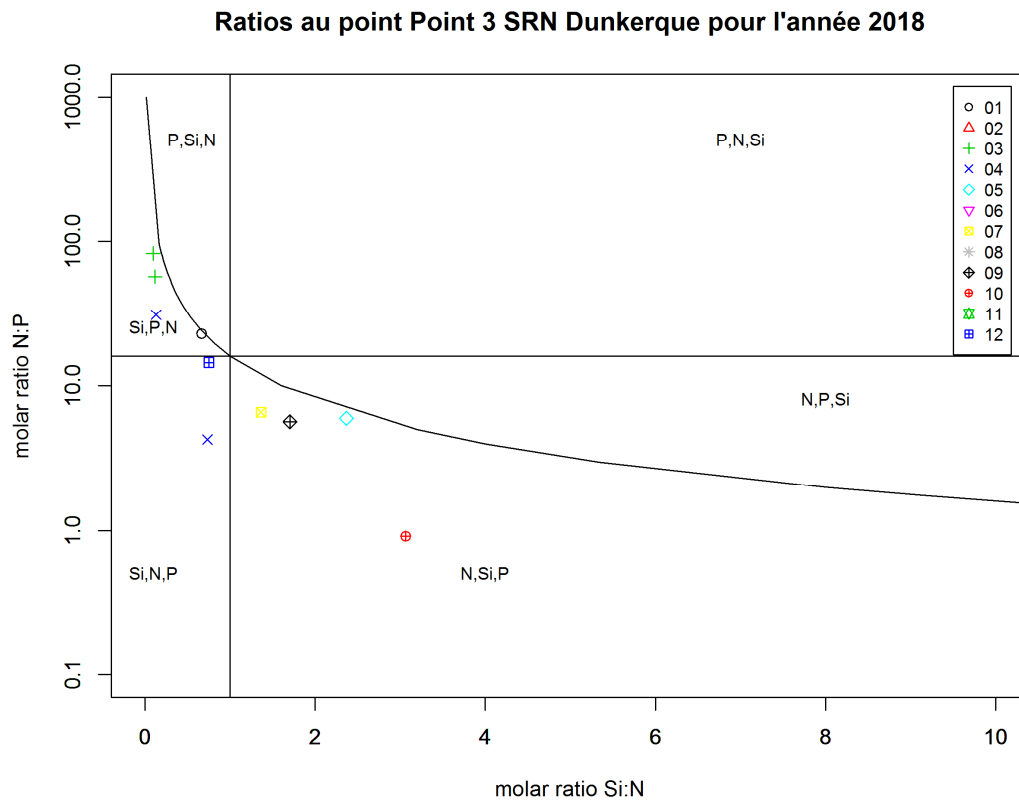


Figure 36. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point 3 de la radiale de Dunkerque en 2018

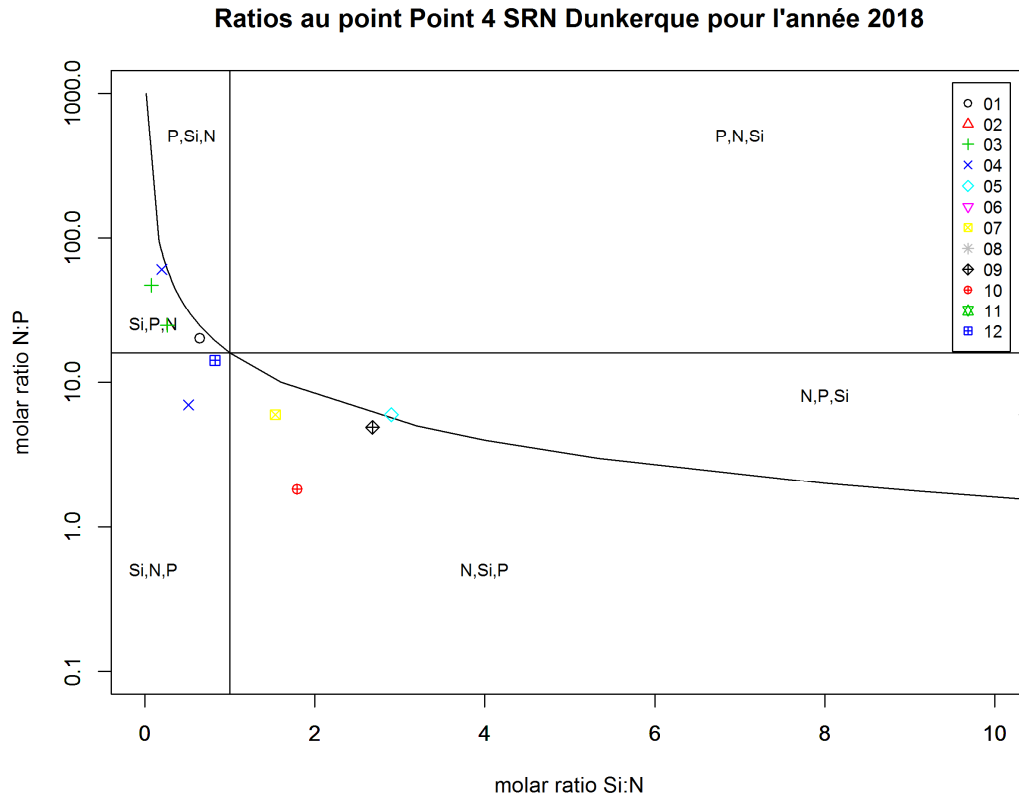


Figure 37. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point 4 de la radiale de Dunkerque en 2018

□ **Chlorophylle a**

La chlorophylle-*a* est un indicateur de la biomasse du phytoplancton. La concentration en chlorophylle-*a* présente un cycle saisonnier très marqué ainsi qu'une forte variabilité interannuelle (Figures 38 à 40).

Durant la période 1992-2017, les concentrations évoluent de 0,05 à 57,28 µg/L. Les valeurs moyennes sont 7,05, 5,63 et 3,81 µg/L de la côte vers le large (Tableau 24). Les valeurs extrêmes supérieures ont été observées au cours des années 1993, 1994, 1996, 2013, 2016. Ces valeurs conséquentes traduisent des blooms plus importants du phytoplancton (Figures 38 à 40).

En 2018, la moyenne varie de 5,82 µg/L à 3,04 µg/L (de la côte au large). Elle est alors inférieure à la moyenne des années précédentes (Tableaux 24 et 25). Cependant, des concentrations élevées sont observées en mars et en avril sur l'ensemble de la radiale. Un épisode de concentration importante est également relevé en juin et correspond au maximum de cette année : 14,04 µg/L (Figures 38 et 40). Seuls les mois de janvier, mai et décembre présentent les valeurs les plus basses sur l'ensemble de la radiale (Figures 38 à 40).

Les concentrations en chlorophylle-*a* varient en fonction de la distance avec la côte pour cette radiale. En effet, le gradient côte-large est constamment négatif. Il varie de -8,09 à -0,45 µg/L et est moins marqué de fin avril à mars (Annexe 1).

Tableau 24. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en chlorophylle-*a* (µg/L) pour la radiale de Dunkerque sur la période 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
DK1	0,24	2,49	4,60	7,05	7,68	8,55	53,18	334
DK3	0,26	1,95	3,40	5,63	6,26	7,06	57,28	297
DK4	0,05	1,51	2,60	3,81	3,85	4,50	29,20	288

Tableau 25. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en chlorophylle-*a* (µg/L) pour la radiale de Dunkerque en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
DK1	0,91	3,49	4,54	5,82	4,01	7,32	14,04	21
DK3	0,96	1,47	3,79	4,75	4,04	6,60	13,68	11
DK4	0,91	1,43	2,23	3,04	2,12	4,310	7,40	11

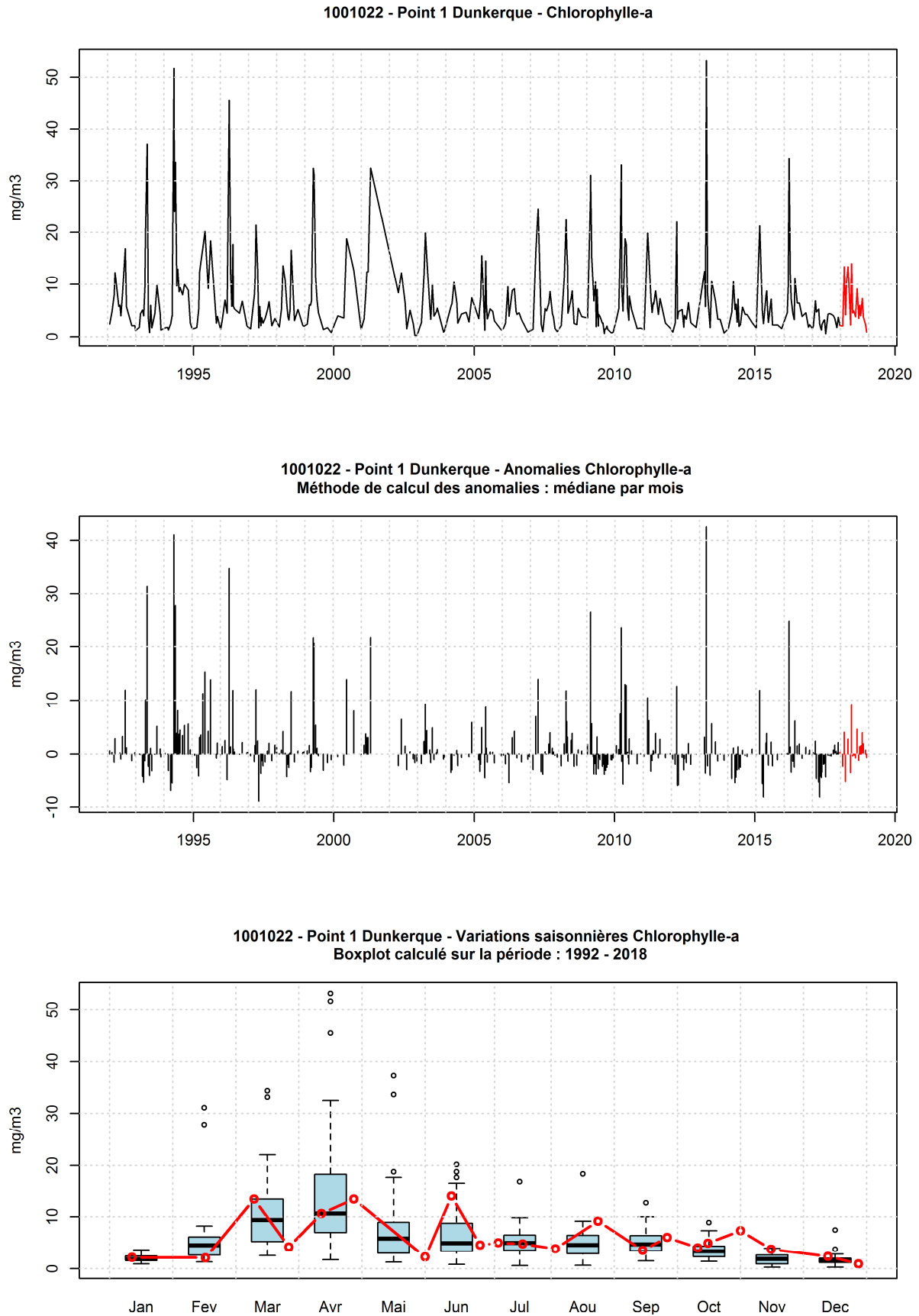


Figure 38. Evolution temporelle de la concentration en chlorophylle *a* ($\mu\text{g/L}$), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 1 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

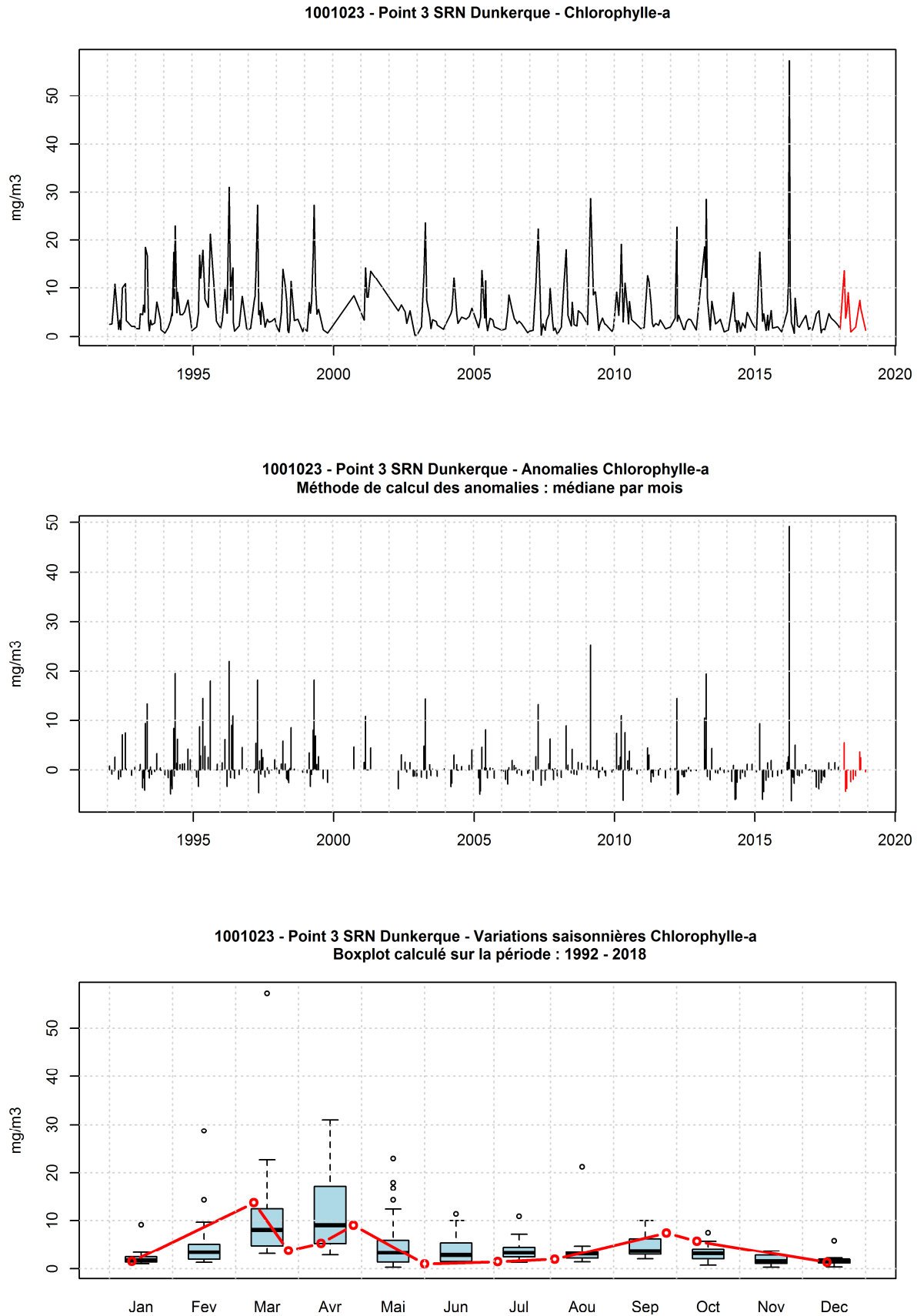


Figure 39. Evolution temporelle de la concentration en chlorophylle *a* ($\mu\text{g/L}$), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 3 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

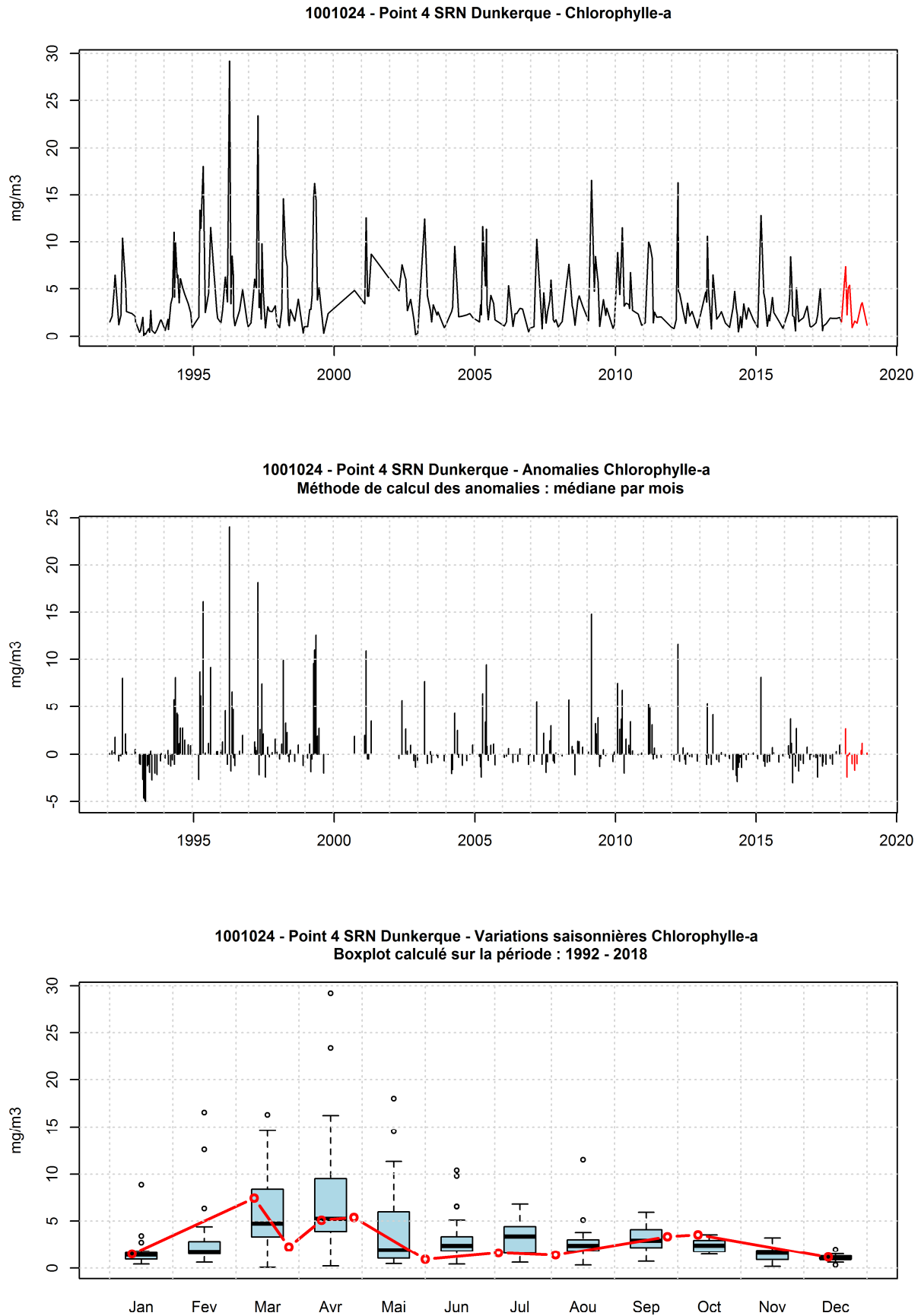


Figure 40. Evolution temporelle de la concentration en chlorophylle a ($\mu\text{g/L}$), des anomalies (écart à la moyenne mensuel) et boîtes de dispersions pour le point 4 de la radiale de Dunkerque et pour la période 1992-2018 (année 2018 en rouge)

3.1.2. Boulogne-sur-Mer

□ Température

De 1992 à 2017, la température était comprise entre 2,10 et 22,10 °C. Les températures moyennes des trois points de la radiale sur cette période sont : 12,51, 12,21 et 12,23 °C (de la côte au large - Tableau 25). Les valeurs extrêmes inférieures (et supérieures) ont été observées au cours des années 1996, 1997, 2002, 2013 et (2002, 2004, 2008). 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 (Figures 41 à 43).

Pour l'année 2018, les températures collectées sont en moyenne inférieures à celles enregistrées antérieurement (12,72, 11,72 et 11,89°C de la côte vers le large). Les minima s'observent l'hiver (février-mars) et sont compris entre 5,70 et 7,00 °C de la côte vers le large. Un maximum est mesuré en août avec 20,40 °C au point 1 (Tableau 26). Aucune valeur extrême n'est observée en 2018 (Figures 41 à 43).

Le gradient côte-large est compris entre -1,30°C et 2,00°C. Il est globalement positif de septembre à début avril (eaux côtières plus froides) et est négatif l'autre moitié de l'année (eaux côtières plus chaudes) (Annexe 1).

Tableau 26. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la température (°C) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer sur la période 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BL1	2,10	8,70	12,35	12,51	4,43	16,50	22,10	404
BL2	3,50	8,60	12,00	12,21	4,19	15,78	21,80	354
BL3	3,70	8,90	11,85	12,23	4,03	15,90	21,80	348

Tableau 27. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la température (°C) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BL1	5,70	8,25	12,40	12,72	4,78	16,43	20,40	24
BL2	6,00	7,73	10,65	11,72	4,87	15,45	19,50	14
BL3	6,70	7,85	11,20	11,89	3,66	15,33	19,20	14

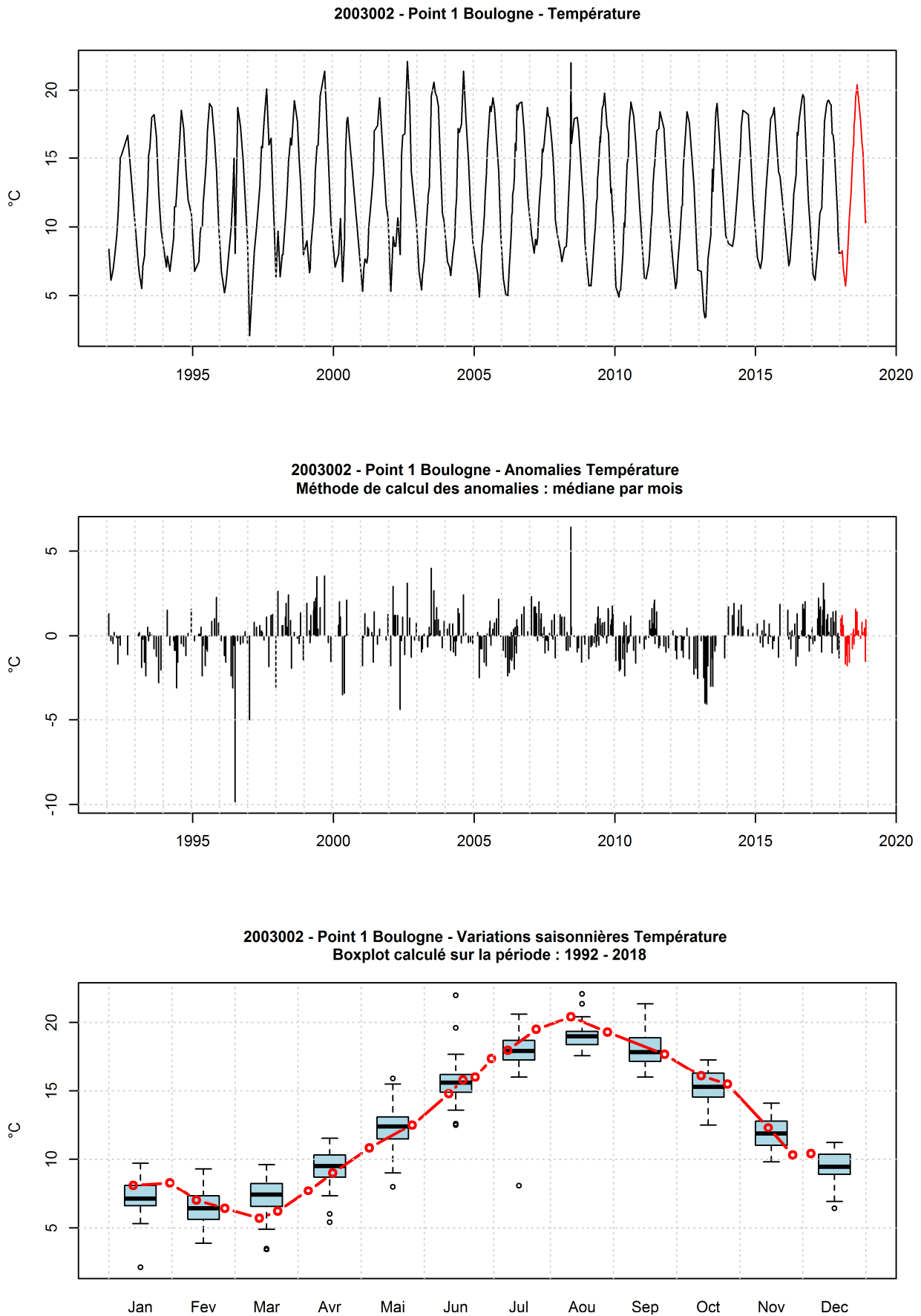


Figure 41. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la température (°C) pour le point 1 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

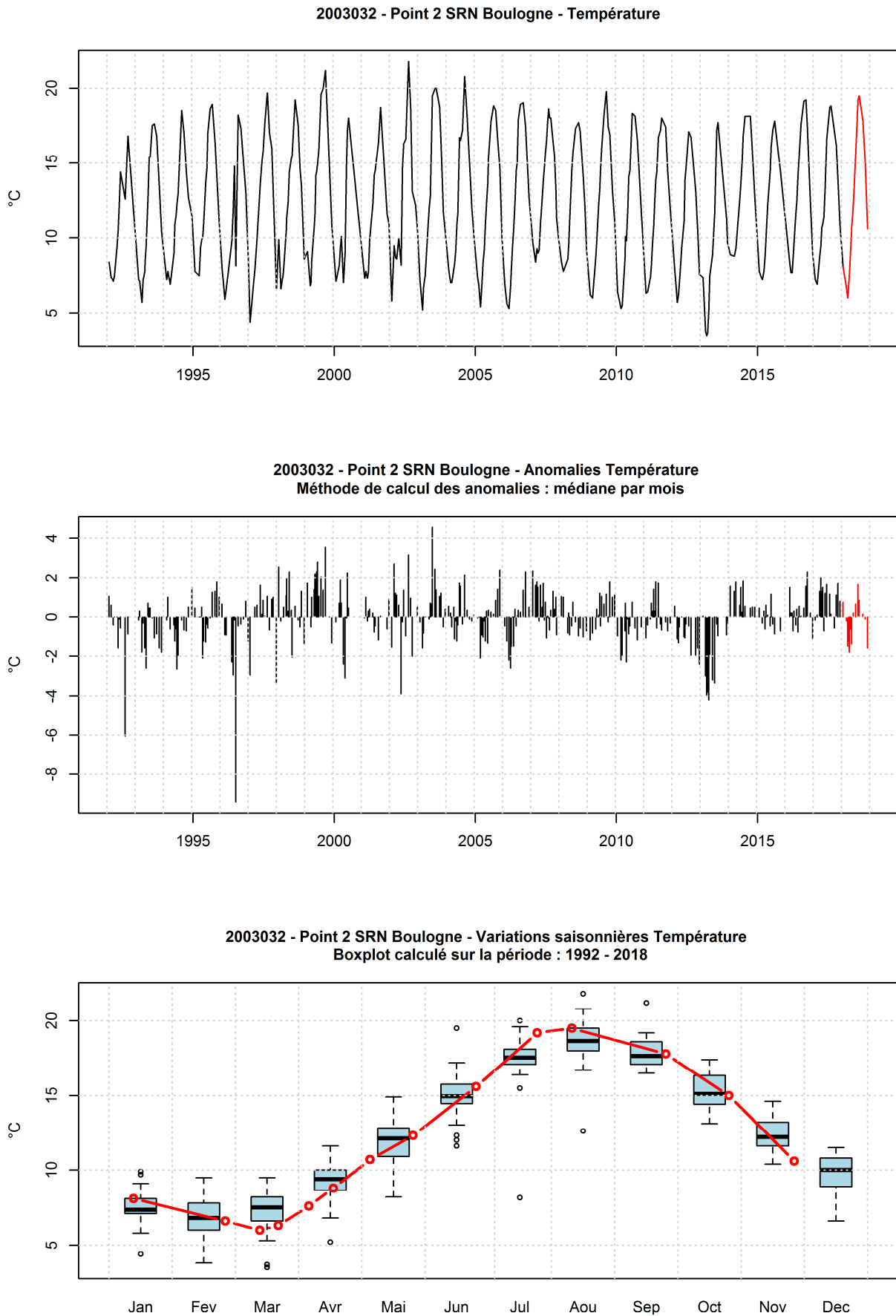


Figure 42. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la température (°C) pour le point 2 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

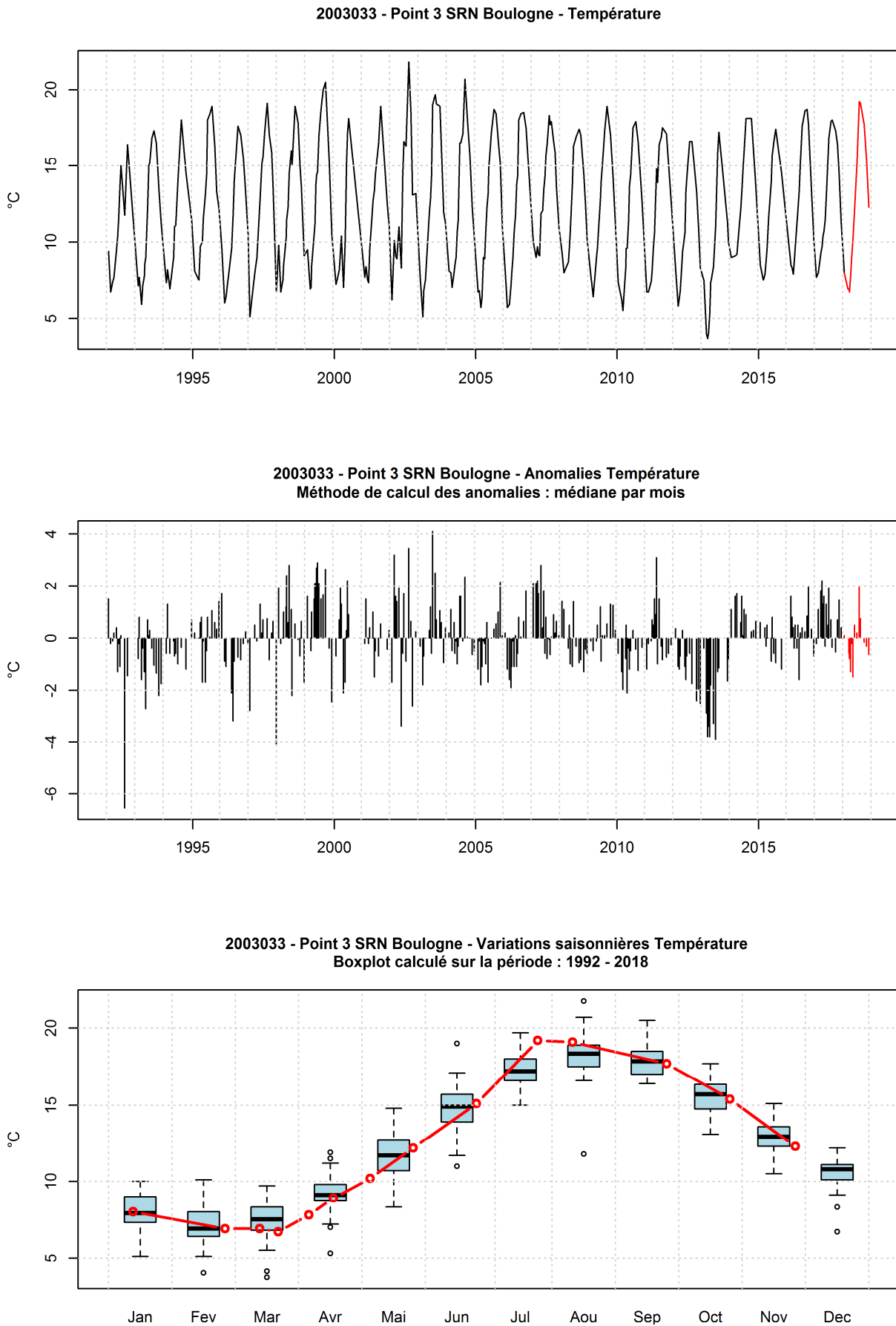


Figure 43. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la température (°C) pour le point 3 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

□ **Salinité**

Sur la période 1992-2017, la salinité est comprise entre 29,14 et 35,90 P.S.U. Les valeurs moyennes de salinité des trois points de la radiale sur cette période sont : 33,88, 34,22 et 34,46 P.S.U. (de la côte au large - Tableau 28). Les valeurs extrêmes inférieures ont été observées au cours des années 1993, 1994, 1995 et 1996 (Figures 44 à 46).

La salinité en 2018 présente des valeurs de moyennes supérieures aux années précédentes (Tableaux 28 et 29). Les valeurs se placent entre 33,50 P.S.U en janvier et 35,70 P.S.U en mars au point 3. De plus, les valeurs de salinité sont globalement supérieures aux médianes calculées sur la période 1992-2017. Septembre observe une salinité importante sur l'ensemble de la radiale (35,3, 35,5 et 35,6 P.S.U. de la côte vers le large) (Figures 44 à 46). La salinité est classiquement plus faible au point 1 de la radiale par rapport aux deux autres points (Tableaux 28 et 29) en raison notamment de l'influence des apports d'eaux douces du fleuve La Liane.

Le gradient de salinité entre la côte et le large varie entre -0,9 et 1,9 P.S.U. Une seule valeur négative est observée en janvier ; l'ensemble des saisons est alors marqué par une salinité plus importante au large que sur la côte (Annexe 1). Des données acquises à plus haute résolution par le système MAREL Carnot permettent de compléter l'information. Ces données font l'objet d'une valorisation spécifique (Lefebvre A., Poisson-Caillault E., 2017. Lien vers la fiche d'information MAREL Carnot : <http://www.seanoe.org/data/00286/39754/>).

Tableau 28. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la salinité (P.S.U) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer sur la période 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BL1	29,14	33,50	34,10	33,88	1,00	34,50	35,30	407
BL2	29,28	33,90	34,40	34,22	0,95	34,80	35,60	351
BL3	29,28	34,20	34,60	34,46	0,93	35,00	35,90	346

Tableau 29. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la salinité (P.S.U) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BL1	33,60	34,18	34,40	34,38	0,38	34,70	35,30	24
BL2	34,30	34,50	34,65	34,76	0,35	34,95	35,50	14
BL3	33,50	34,80	35,00	34,94	0,56	35,28	35,70	14

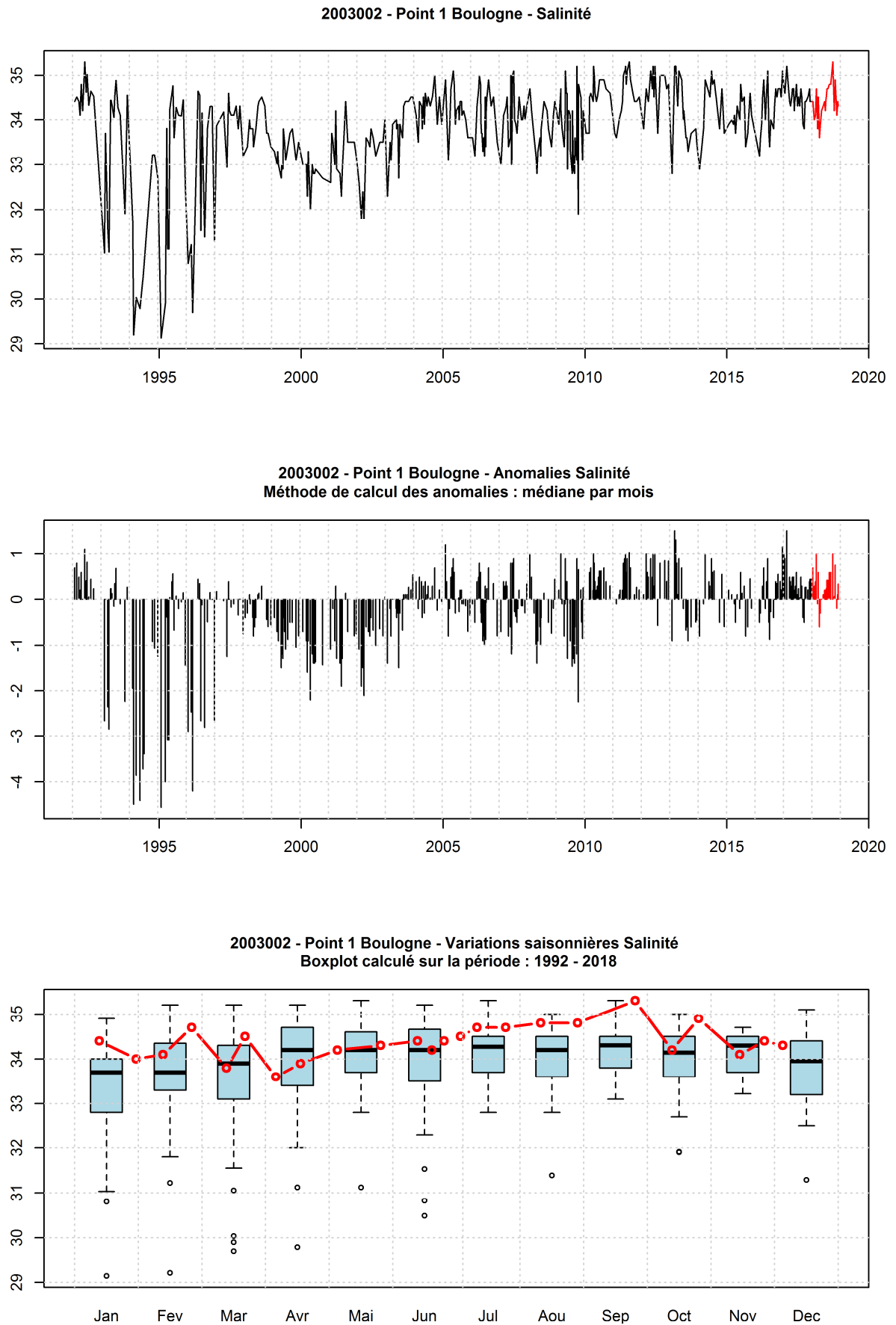


Figure 44. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la salinité (P.S.U) pour le point 1 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

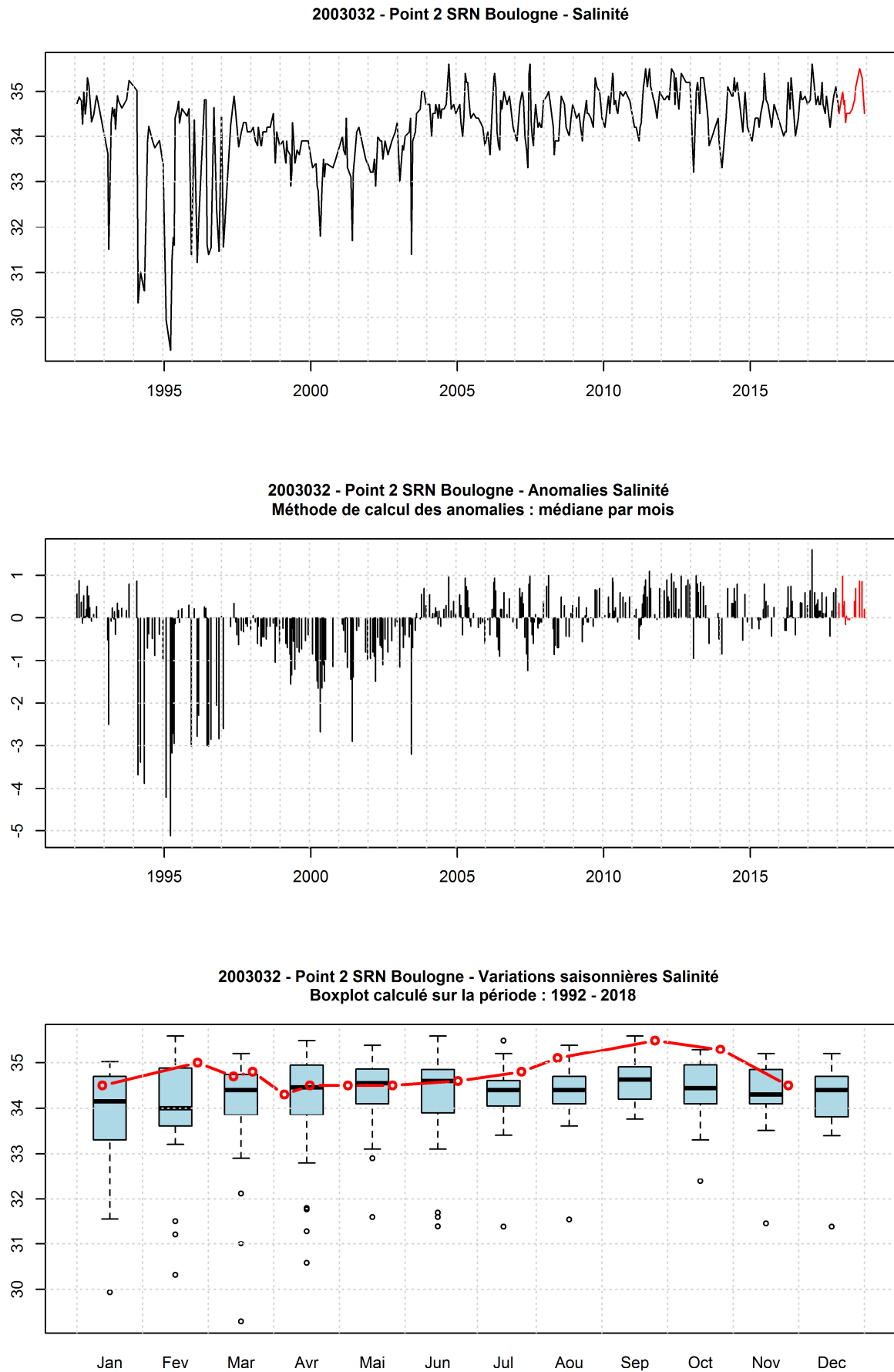


Figure 45. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la salinité (P.S.U) pour le point 2 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

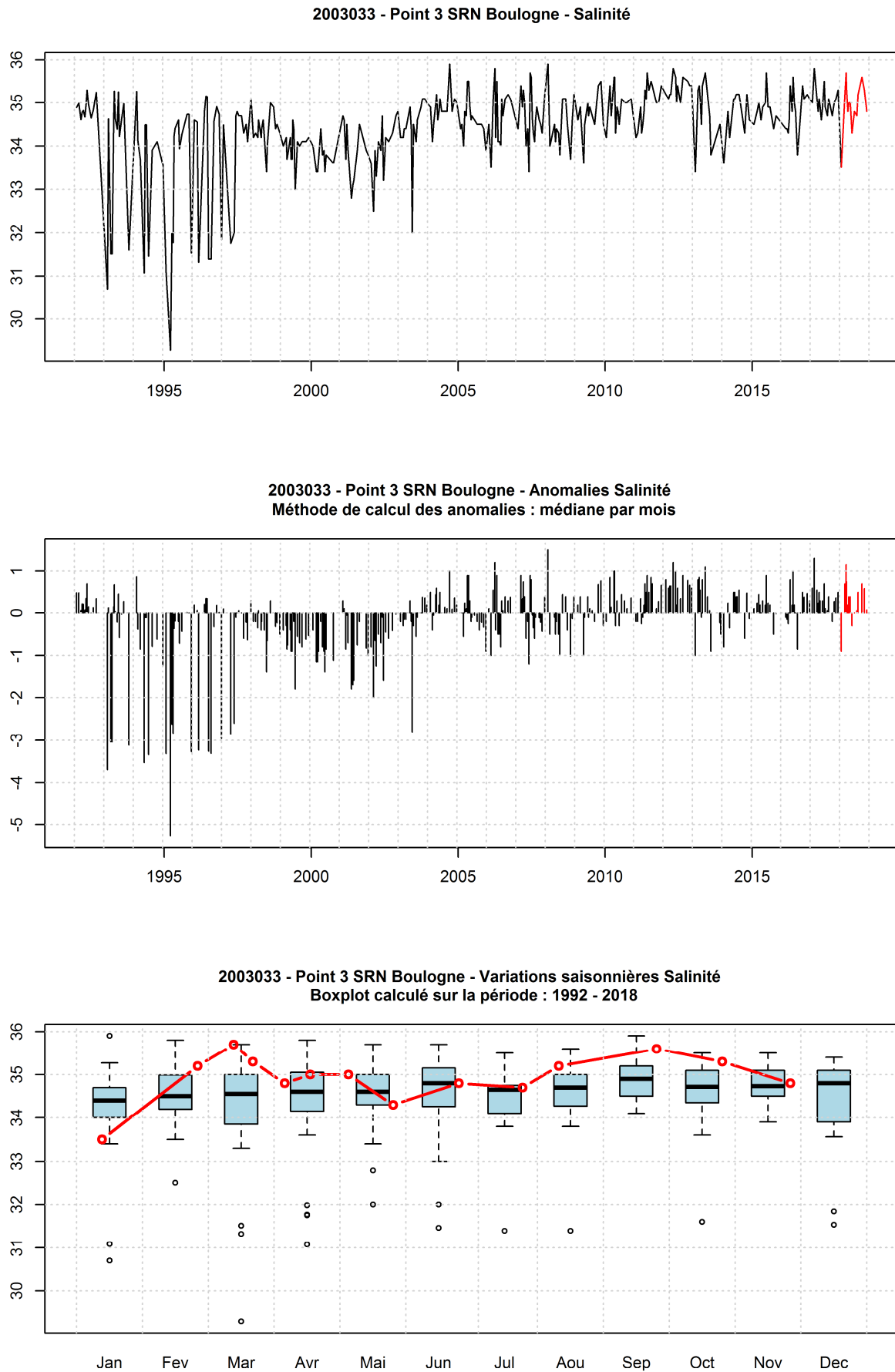


Figure 46. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la salinité (P.S.U) pour le point 3 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

□ **Turbidité et Matières en suspensions**

De 1992 à 2017, les valeurs associées à la turbidité sont comprises entre 0,10 et 31,90 N.T.U. Les valeurs moyennes enregistrées correspondent à 3,78, 2,30 et 1,36 N.T.U. (de la côte au large) (Tableau 30). Les valeurs extrêmes supérieures ont été observées au cours des années 1997, 2000, 2007 et 2017. La dynamique de la turbidité présente un cycle saisonnier. En effet, des valeurs plus importantes sont observées de septembre à mars, les valeurs les plus basses sont quant à elles observées d'avril à août, c'est-à-dire, durant la période printanière et estivale (Figures 47 à 49).

En 2018, la turbidité sur la radiale de Boulogne-sur-Mer est en moyenne plus faible que sur la période 1992-2017 (1,35 à 2,85 N.T.U en 2017 contre 1,36 à 3,78 N.T.U les années qui précèdent) (Tableaux 30 et 31). Une certaine variabilité est observée tout au long de l'année, principalement sur les points 2 et 3 et notamment par la présence de petits pics de valeurs aux mois de mai et août. Cette hausse de la turbidité en mai est également constatée au point 1. Les maxima sont atteints en janvier pour l'ensemble de la radiale avec 8,73 N.T.U. comme valeur extrême pour cette année au point 1 (Tableau 31 et Figures 47 à 49)

Le gradient côte-large est négatif tout au long de l'année et est compris entre -5,99 et -0,13 N.T.U. (Annexe 1). La turbidité est par conséquent plus élevée à proximité des côtes qu'au large.

Tableau 30. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la turbidité (N.T.U.) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer sur la période 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BL1	0,10	1,50	2,63	3,78	3,90	4,20	31,90	409
BL2	0,11	1,04	1,74	2,30	1,97	2,80	13,80	359
BL3	0,10	0,70	1,10	1,36	1,10	1,60	9,75	352

Tableau 31. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la turbidité (N.T.U.) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BL1	0,80	1,29	2,16	2,85	2,34	2,93	8,73	24
BL2	0,74	1,30	1,78	2,20	1,34	2,52	5,23	14
BL3	0,60	0,82	1,05	1,35	0,75	1,92	2,74	14

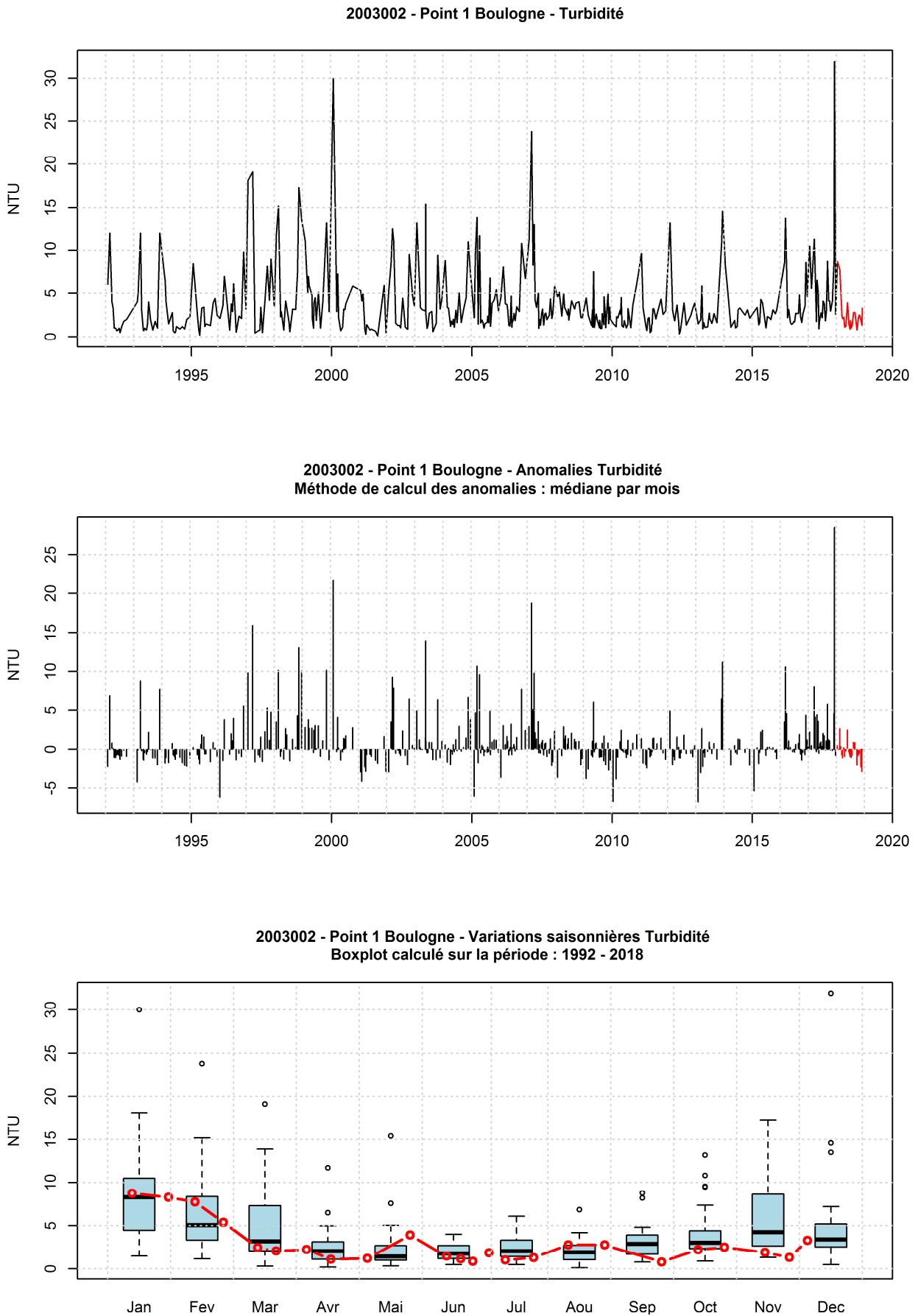


Figure 47. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la turbidité (N.T.U) pour le point 1 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

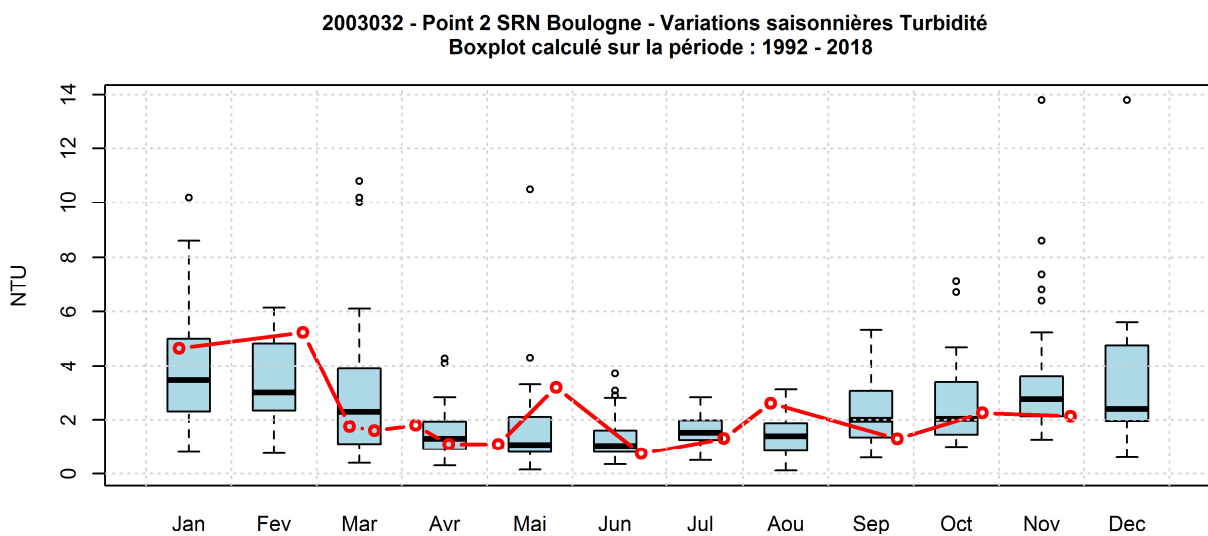
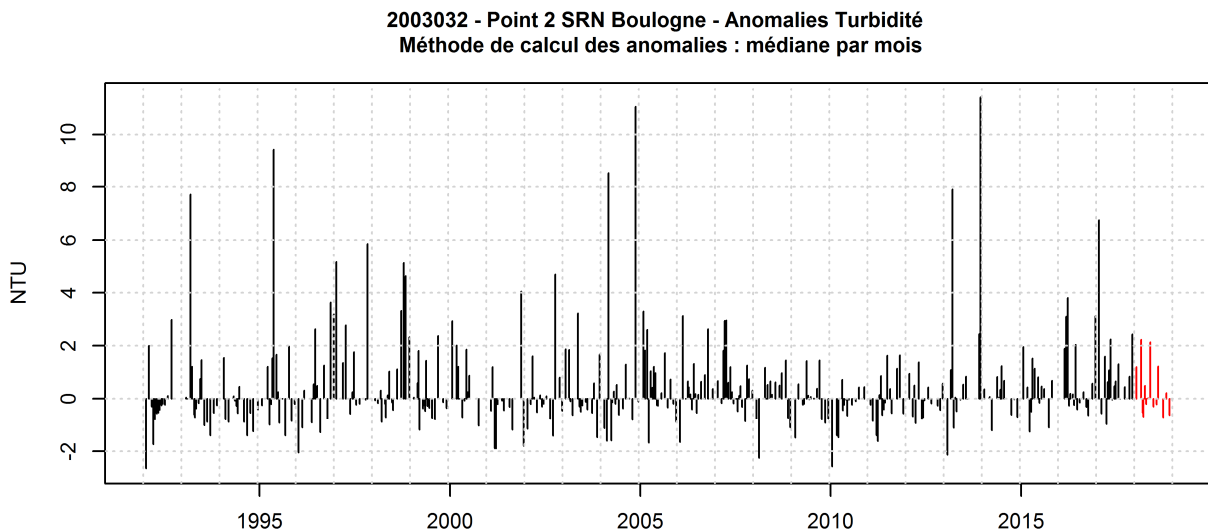
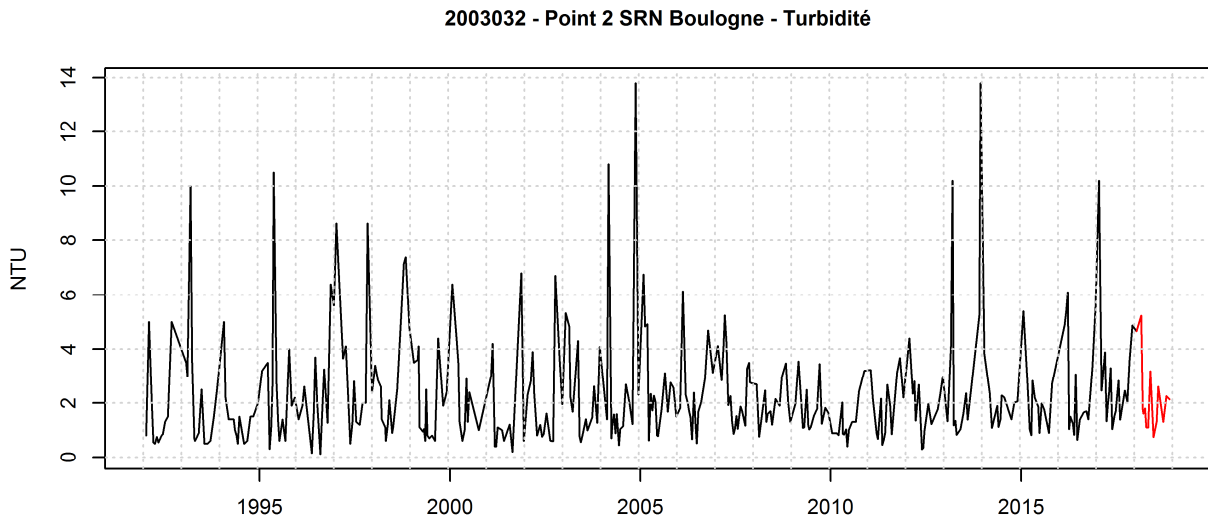


Figure 48. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la turbidité (N.T.U) pour le point 2 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

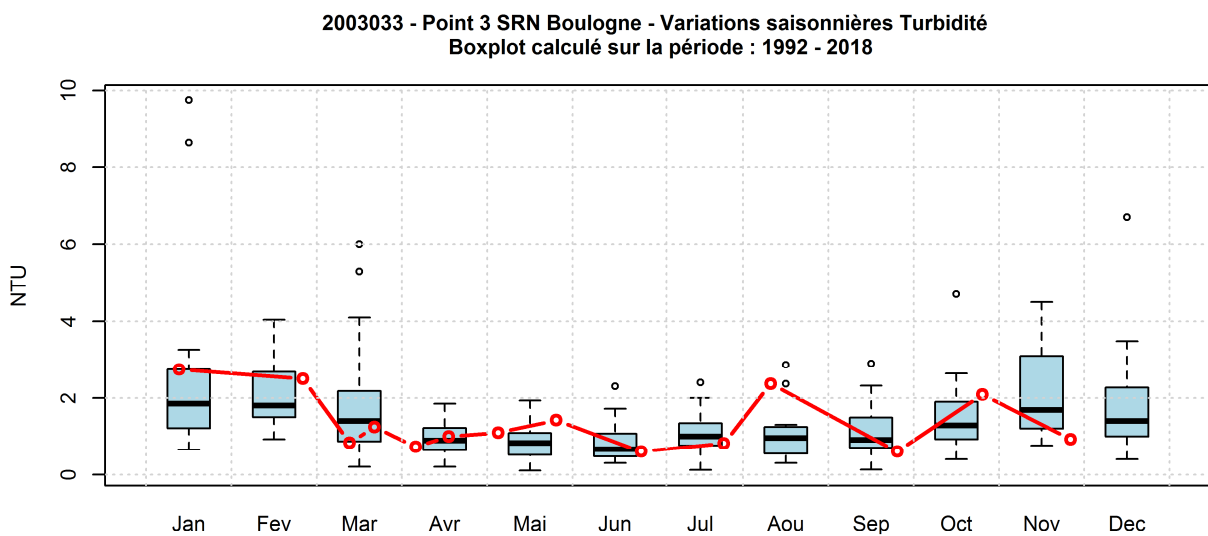
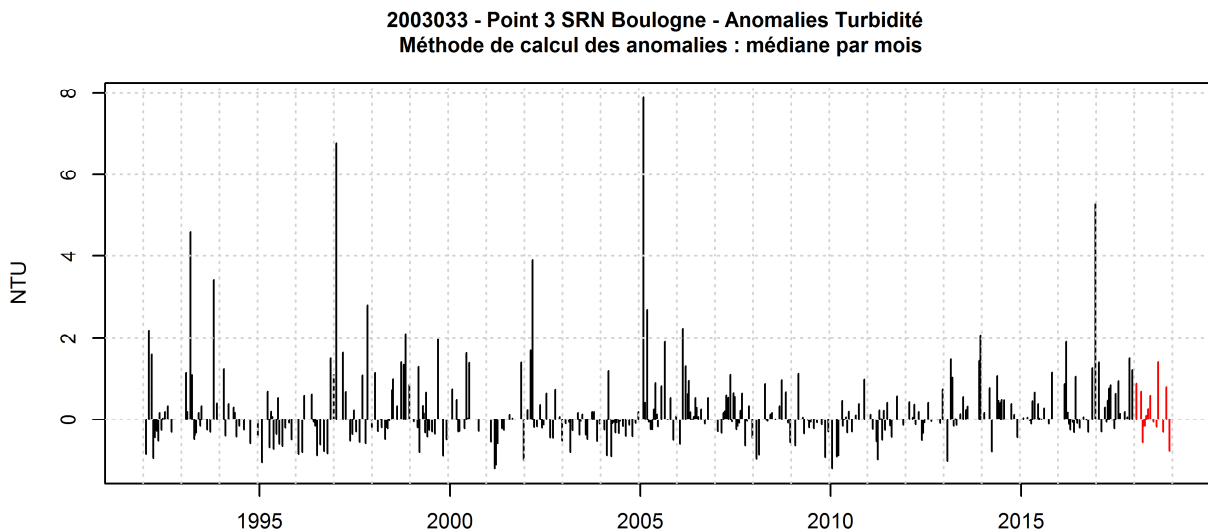
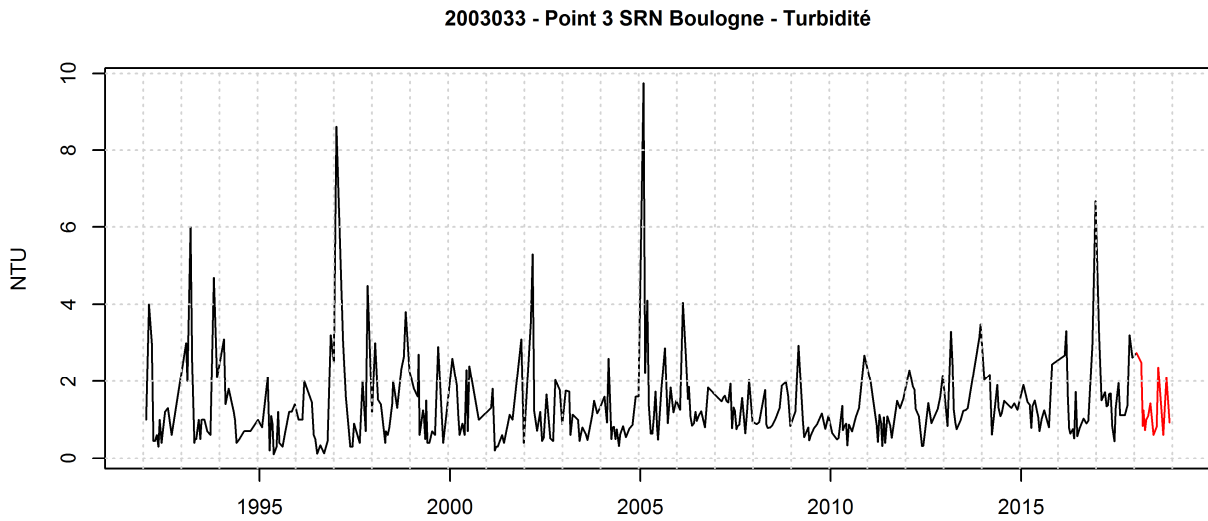


Figure 49. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la turbidité (N.T.U) pour le point 3 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

De 1992 à 2017, la quantité de MES est comprise entre 0,05 et 95,20 mg/L. Les concentrations moyennes du point 1 au point 3 sont respectivement : 8,62, 5,40 et 3,83 mg/L (Tableau 32). Les valeurs extrêmes supérieures ont été observées au cours des années 1995, 1996, 2002, 2012 et 2013. Les MES présentent un cycle saisonnier marqué avec des valeurs fortes en hiver et en automne, puis des valeurs plus faibles au printemps et en été. Ce schéma s'observe de la côte vers le large, mais les amplitudes de variations sont moindres vers le large (Figures 50 à 52).

En 2018, la quantité de M.E.S suit globalement le même schéma que la turbidité avec des moyennes comprises entre 6,59 et 2,62 mg/L de la côte vers le large. Cependant, le point 1 présente de fortes fluctuations, la variabilité la plus forte est observée en mai et en juin avec respectivement 24,3 et 28,4 mg/L. Cette dernière valeur correspond à la valeur maximale mesurée cette année (Tableau 32 et Figures 50 à 52). Les valeurs sont plus faibles pour les points 2 et 3 et restent inférieures à celles observées antérieurement (Figures 50 à 52).

Le gradient côte-large est de l'ordre de -21,60 à 0,30 mg/L. Celui-ci maintient majoritairement des valeurs négatives toute l'année (sauf pour les mois de juin et septembre) et indique ainsi de plus fortes concentrations en M.E.S sur la zone côtière (Annexe 1).

Tableau 32. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les M.E.S. (mg/L) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer sur la période 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BL1	0,05	3,50	5,90	8,62	8,16	10,20	46,40	384
BL2	0,05	2,00	3,70	5,40	6,13	6,15	46,30	359
BL3	0,05	1,10	2,30	3,83	6,99	3,70	95,20	351

Tableau 33. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les M.E.S. (mg/L) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BL1	1,30	3,28	4,70	6,59	6,57	7,45	28,40	24
BL2	1,60	2,40	2,85	3,56	1,67	5,15	6,70	14
BL3	0,70	1,63	2,65	2,62	1,50	3,18	6,60	14

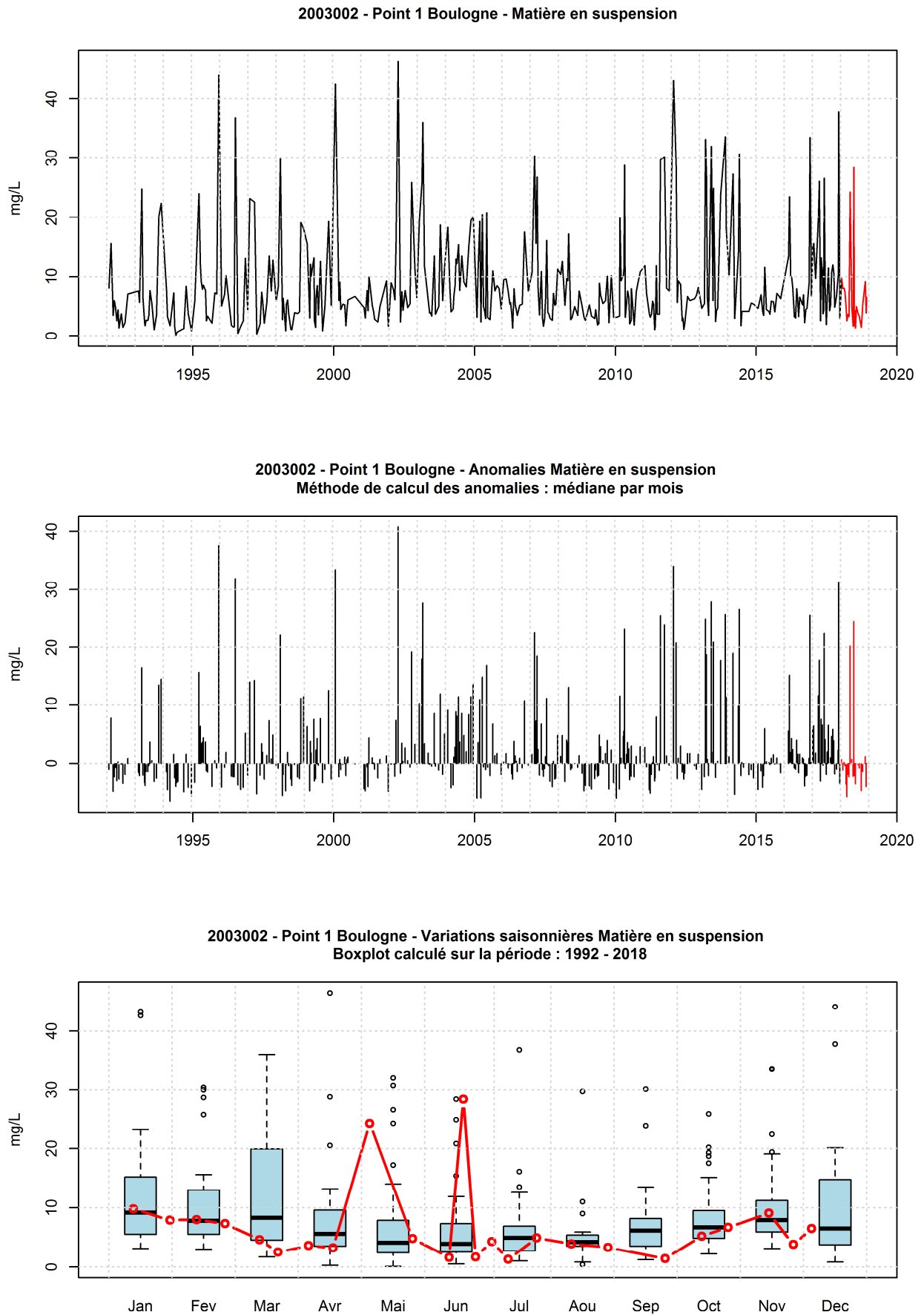


Figure 50. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en M.E.S (mg/L) pour le point 1 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

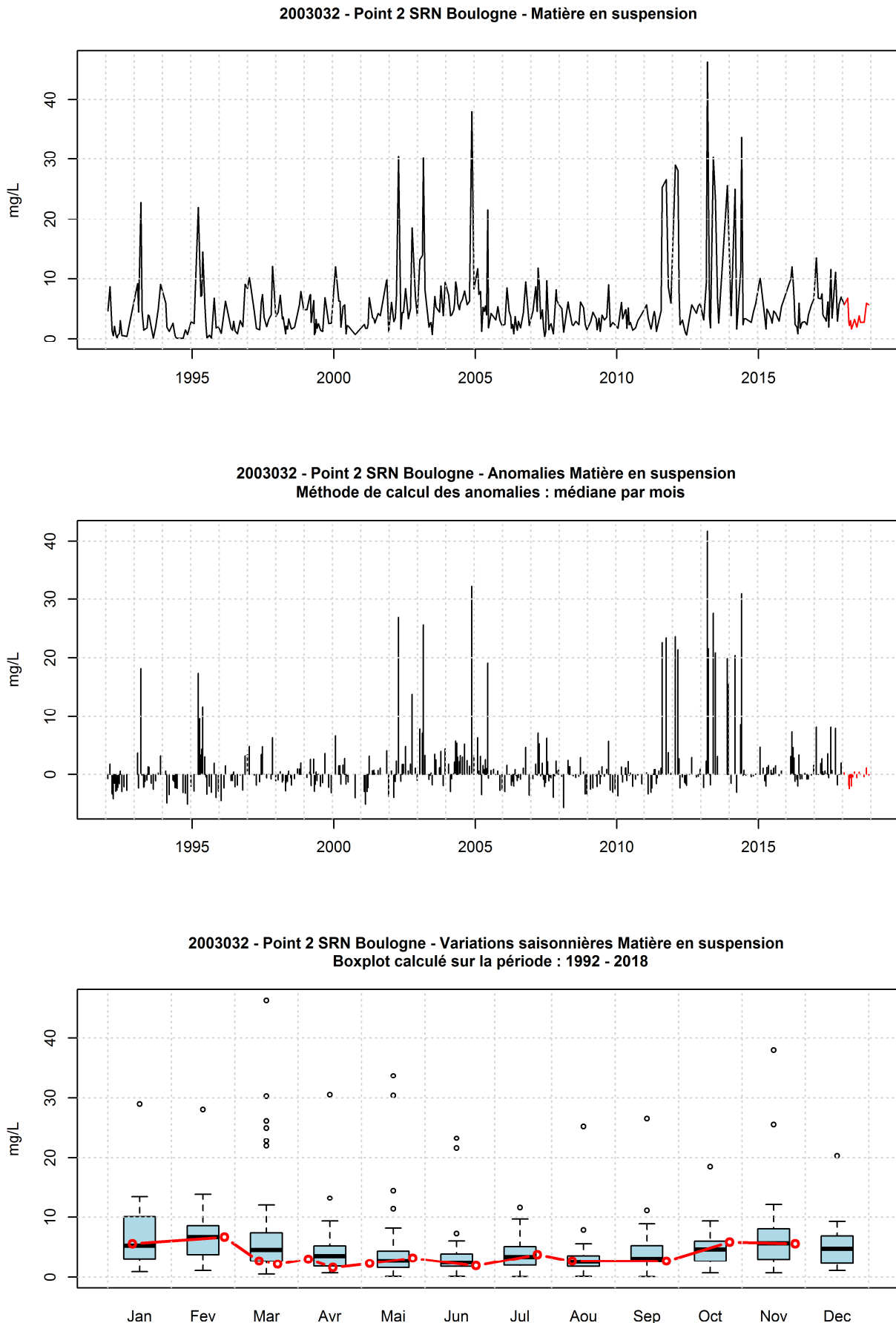


Figure 51. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en M.E.S (mg/L) pour le point 2 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

Figure 52. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en M.E.S (mg/L) pour le point 3 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

□ **Matières organiques**

De manière générale, la proportion en matières organiques 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 peu de matières organiques (Figures 53 à 55).

De 1992 à 2017, la quantité de matières organiques dans les M.E.S était comprise entre 0,05 et 14,00 mg/L. Les moyennes de concentration en matières organiques de la côte au large étaient respectivement 1,90 ; 1,46 et 1,24 mg/L pour la radiale de Boulogne (Tableau 34). Les valeurs extrêmes supérieures ont été observées au cours des années 2002, 2003, 2011, 2012, 2013 et 2014 (Figures 53 à 55).

En 2018, l'évolution de la concentration en matières organiques (M.O) dans les matières en suspension (M.E.S) est globalement stable. Néanmoins, quelques valeurs inhabituelles sont également observées au point 1 aux mois de mai et juin avec respectivement 5,6 et 5,2 mg/L. Sur les deux autres points, ces valeurs extrêmes sont plus rares mais existent tout de même. En effet, le mois d'août présente une concentration en matières organiques de 2,10 mg/L au point 3 (Tableau 35 et Figures 53 à 55).

Le gradient côte-large varie de -4,40 à 1 mg/L, une seule valeur positive est observée au mois d'août (Annexe 1). La matière organique est donc majoritairement présente dans les eaux côtières.

Tableau 34. 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 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BL1	0,05	1,10	1,50	1,90	1,50	2,20	14,00	385
BL2	0,05	0,80	1,10	1,46	1,28	1,60	9,90	358
BL3	0,05	0,64	0,90	1,24	1,21	1,30	8,80	351

Tableau 35. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les matières organiques en suspension (mg/L) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BL1	0,60	0,90	1,25	1,58	1,28	1,53	5,60	24
BL2	0,60	0,83	1,05	1,00	0,26	1,18	1,50	14
BL3	0,60	0,70	0,80	0,98	0,44	1,10	2,10	14

Figure 53. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en M.E.S organique (mg/L) pour le point 1 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

Figure 54. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en M.E.S organique (mg/L) pour le point 2 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

Figure 55. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en M.E.S organique (mg/L) pour le point 3 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

□ **Ammonium**

Sur la période 1992-2017, la concentration en ammonium est comprise entre 0,15 et 10,20 $\mu\text{mol/L}$. Les valeurs moyennes correspondent à 1,49, 1,07 et 0,98 $\mu\text{mol/L}$ (de la côte au large) (Tableau 36). Les valeurs extrêmes supérieures ont été observées au cours des années 1997, 2002, 2005, 2007 et 2013. L'ammonium présente un cycle saisonnier avec des valeurs plus importantes de septembre à février (principalement à proximité de la côte) et plus faibles de mars à septembre (Figures 56 à 58).

Pour l'année 2018, la variabilité est plus forte que les années précédentes. En effet, les valeurs se situent globalement en-dessous de la médiane de janvier à juillet et présentent de fortes fluctuations le reste de l'année pour les points 1 et 2. Deux augmentations importantes de la concentration en azote ammoniacal caractérisent les valeurs du point 1 pendant la deuxième partie de l'année : 3,42 $\mu\text{mol/L}$ en août et 7,9 $\mu\text{mol/L}$ en octobre, correspondant au maximum mesuré cette année. Au point 2, la concentration atteint 4,04 $\mu\text{mol/L}$ en octobre. Ces concentrations diminuent en novembre, l'absence de données pour décembre empêche de connaître la tendance pour la fin de l'année (Figure 56 à 58).

Le gradient côte-large évolue entre -6,53 et 0,6 $\mu\text{mol/L}$. Des valeurs de gradient contrastées empêchent de dégager une tendance annuelle. La période productive présente des concentrations en ammonium moins importante près des côtes (Annexe 1).

Tableau 36. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en Ammonium ($\mu\text{mol/L}$) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer sur la période 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BL1	0,15	0,50	1,08	1,49	1,41	2,06	10,20	392
BL2	0,15	0,40	0,80	1,07	1,00	1,32	5,67	358
BL3	0,15	0,34	0,69	0,97	1,02	1,32	9,77	351

Tableau 37. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en Ammonium ($\mu\text{mol/L}$) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BL1	0,15	0,25	0,54	1,26	1,69	1,50	7,90	23
BL2	0,15	0,40	0,57	0,94	1,07	0,74	4,04	14
BL3	0,18	0,43	0,53	0,66	0,42	0,88	1,39	14

Figure 56. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en ammonium ($\mu\text{mol/L}$) pour le point 1 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

Figure 57. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en ammonium ($\mu\text{mol/L}$) pour le point 2 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

Figure 58. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en ammonium ($\mu\text{mol/L}$) pour le point 3 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

□ Nitrite + Nitrate

En raison de la fugacité de la forme NO_2 lors des réactions de nitrification / dénitrification, il a été décidé de considérer la somme NO_2 et NO_3 pour cette étude.

De 1992 à 2017, les concentrations de nitrite-nitrate sont comprises entre 0,15 et 64,59 $\mu\text{mol/L}$. Les concentrations moyennes de ces deux composés azotés sont 6,92 ; 5,92 et 5,32 $\mu\text{mol/L}$ de la côte au large (Tableau 38). Les valeurs extrêmes supérieures ont été observées au cours des années 1994, 2002, 2005, 2008 et 2009. Ces deux oxydes d'azotes présentent un cycle saisonnier marqué avec des valeurs fortes en hiver et en automne, puis par des valeurs plus faibles au printemps et en été (Figures 59 à 61).

En 2018, les concentrations varient entre 0,15 et 20,27 $\mu\text{mol/L}$. Les valeurs sont dans l'ensemble basses toute l'année et suivent le cycle saisonnier des années précédentes. Cependant, au mois de juillet est observable une concentration inhabituelle de 5,74 au point 1 contre 0,79 $\mu\text{mol/L}$ en moyenne pour ce mois. Le maximum annuel pour l'ensemble de la radiale est mesuré au point 1 : 20,27 $\mu\text{mol/L}$ (Tableau 39 et Figures 59 à 61).

L'évolution du gradient côte-large est comprise entre -10,64 et 0 $\mu\text{mol/L}$. Mis à part un gradient côte-large nul observé en juin et juillet, la quantité de ces deux oxydes d'azote est supérieure près des côtes (Annexe 1).

Tableau 38. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en nitrite et en nitrate ($\mu\text{mol/L}$) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer sur la période 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BL1	0,15	0,60	1,98	6,92	8,90	11,78	43,81	391
BL2	0,15	0,35	1,75	5,92	7,47	10,66	44,38	357
BL3	0,15	0,34	1,79	5,32	7,11	8,72	64,59	348

Tableau 39. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en nitrite et en nitrate ($\mu\text{mol/L}$) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BL1	0,15	0,84	2,72	4,86	5,57	6,69	20,27	23
BL2	0,15	0,24	2,68	3,87	4,49	5,69	14,89	14
BL3	0,15	0,15	0,97	2,65	4,35	2,16	15,11	14

Figure 59. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en nitrate + nitrite ($\mu\text{mol/L}$) pour le point 1 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

Figure 60. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en nitrate + nitrite ($\mu\text{mol/L}$) pour le point 2 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

Figure 61. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en nitrate + nitrite ($\mu\text{mol/L}$) pour le point 3 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

□ **Phosphate**

La période 1992-2017 comprend des valeurs allant de 0,05 à 3,10 $\mu\text{mol/L}$. Les concentrations moyennes en phosphate sont de 0,42 ; 0,43 et 0,41 $\mu\text{mol/L}$ (du point 1 au point 4) (Tableau 40). Les valeurs extrêmes supérieures ont été observées au cours des années 1993, 1995, 2005, 2007 et 2008. Un cycle saisonnier est observable avec des valeurs plus importantes en automne et en hiver, et des valeurs plus faibles en été et au printemps (Figures 62 à 64).

Les concentrations en phosphate en 2018 sont inférieures à celles relevées depuis 1992. En effet, les moyennes des concentrations sont 0,26 ; 0,20 et 0,21 $\mu\text{mol/L}$ (de la côte au large) (Tableau 41). Globalement, pour tous les points, les valeurs sont en-dessous de la médiane, voire inférieures au 3^{ème} quartile. Néanmoins, quelques valeurs sont tout de même supérieures à celles des années précédentes, comme au mois d'avril, août, septembre et octobre pour le point 1. (Figures 62 à 64) ; cependant, les concentrations ne dépassent pas les 0,66 $\mu\text{mol/L}$. Au point 3, janvier présente la valeur maximale de cette année : 0,98 $\mu\text{mol/L}$ (Tableau 41)

Le gradient côte-large est marqué par une majorité de valeurs négatives. Allant de -0,37 à 0,32 $\mu\text{mol/L}$, les mois d'avril, mai, juin et juillet présentent un gradient nul (Annexe 1). Les eaux côtières sont alors, dans l'ensemble, plus chargées en phosphate que celles du large.

Tableau 40. Paramètres de tendance centrale et de dispersion de la concentration en phosphate ($\mu\text{mol/L}$) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BL1	0,05	0,14	0,28	0,42	0,41	0,60	3,10	395
BL2	0,05	0,13	0,32	0,43	0,38	0,62	2,40	360
BL3	0,05	0,14	0,32	0,41	0,36	0,58	2,30	352

Tableau 41. Paramètres de tendance centrale et de dispersion de la concentration en phosphate ($\mu\text{mol/L}$) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BL1	0,05	0,08	0,21	0,26	0,19	0,39	0,66	23
BL2	0,05	0,05	0,08	0,20	0,20	0,37	0,67	14
BL3	0,05	0,05	0,07	0,21	0,26	0,34	0,98	14

Figure 62. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en phosphate ($\mu\text{mol/L}$) pour le point 1 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

Figure 63. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en phosphate ($\mu\text{mol/L}$) pour le point 2 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

Figure 64. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en phosphate ($\mu\text{mol/L}$) pour le point 3 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

□ **Silicate**

De 1992 à 2017, les concentrations en silicate varient entre 0,10 et 19,01 $\mu\text{mol/L}$. Les concentrations moyennes de la côte vers le large sont respectivement de 3,18, 2,58 et 2,33 $\mu\text{mol/L}$ (Tableau 42). Les valeurs extrêmes supérieures ont été observées au cours des années 1994, 2002, 2005, 2007, 2009 et 2012. Un cycle saisonnier est observable avec des valeurs importantes de septembre à mars et plus faibles d'avril à août (Figures 65 à 67).

En 2018, les valeurs sont comprises entre 0,10 et 11,05 $\mu\text{mol/L}$. Les concentrations moyennes en silicate sont 3,02, 2,11 et 2,00 $\mu\text{mol/L}$ (de la côte au large) (Tableau 43). Ces valeurs sont alors plus basses que celles identifiées antérieurement. Cependant, dans l'ensemble, le jeu de données suit une distribution classique pour ce paramètre. Des valeurs proches du 3ème quartile sont observables en janvier sur l'ensemble de la radiale, ainsi qu'entre mai et septembre au point 1 (Figures 65 à 67). Le maximum de cette année est mesuré à ce même point en janvier : 11,05 $\mu\text{mol/L}$ (Tableau 43).

Le gradient de concentration côte-large fluctue entre -2,68 et 2,94 $\mu\text{mol/L}$. Les valeurs ne permettent pas d'identifier une tendance ; cependant, la majorité de l'année, les concentrations en silicate sont plus fortes près des côtes (Annexe 1).

Tableau 42. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en silicate ($\mu\text{mol/L}$) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer sur la période 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BL1	0,10	0,38	1,59	3,18	3,85	4,31	19,01	391
BL2	0,10	0,10	1,43	2,58	3,12	3,68	18,90	357
BL3	0,10	0,11	1,52	2,33	2,79	3,30	16,50	349

Tableau 43. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en silicate ($\mu\text{mol/L}$) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BL1	0,30	0,94	2,07	3,02	3,12	3,77	11,05	24
BL2	0,37	0,44	1,23	2,11	2,51	2,66	9,46	14
BL3	0,30	0,44	1,35	2,00	2,26	2,67	8,52	14

Figure 65. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en silicate ($\mu\text{mol/L}$) pour le point 1 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

Figure 66. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en silicate ($\mu\text{mol/L}$) pour le point 2 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

Figure 67. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en silicate ($\mu\text{mol/L}$) pour le point 3 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

□ Oxygène dissous

Sur la période 2007-2017, l'oxygène dissous dans l'eau est compris entre 6,26 et 12,50 mg/L. Les valeurs moyennes sont 8,95, 8,77 et 8,89 mg/L ; cependant, le nombre de données reste assez faible pour les points 2 et 3 (Tableau 44). Les valeurs extrêmes inférieures (et supérieures) ont été observées au cours des années 2008, 2011, 2012, 2017 et (2007, 2008). L'oxygène dissous présente un cycle saisonnier : en effet, les valeurs sont importantes de septembre à avril et basses de mai à août (Figure 68).

L'année 2018 présente une distribution de valeurs semblables aux années précédentes. Les concentrations sont comprises entre 6,88 et 11,97 mg/L. Les valeurs moyennes sont supérieures à celles de la période 2007-2017 (8,95, 8,77 et 8,89 mg/L de la côte vers le large en 2017) (Tableaux 44 et 45). Cependant, les mois de janvier à avril observent des fluctuations associées à des valeurs relativement importantes (en-dessus du 3^{ème} quartile) ; la concentration de 11,97 mg/L atteinte en avril correspond au maximum de cette année (Figure 68).

Le gradient côte-large évolue entre -0,84 et 0,66 mg/L. Les valeurs ne permettent pas d'identifier une tendance (Annexe 1).

Tableau 44. 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 2007-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BL1	6,26	7,98	8,72	8,95	1,29	9,96	12,50	172
BL2	7,24	7,93	8,53	8,77	0,99	9,54	10,75	50
BL3	7,22	8,06	8,88	8,89	0,91	9,70	10,39	51

Tableau 45. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en oxygène dissous (mg/L) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BL1	6,88	8,08	9,17	9,21	1,39	10,20	11,97	23
BL2	7,54	8,63	9,48	9,59	1,31	10,69	11,31	13
BL3	7,51	8,16	10,07	9,58	1,39	10,83	11,35	13

Figure 68. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en oxygène dissous (mg/L) pour le point 1 de la radiale de Boulogne (2007-2018)

□ **Limitation par les nutriments**

En 2018, les 3 points présentent globalement le même schéma quant à la limitation des nutriments : les mois de janvier à mai présentent une limitation de type Si, P, N avec une limitation N, Si, P pour la deuxième moitié du mois de mai. Les mois de juin et juillet alternent quant à eux les limitations N, Si, P et N, P, Si. Au cours du mois d'août et jusqu'en décembre, c'est la silice qui fait défaut avec des limitations de type Si, P, N et Si, N, P. Septembre fait exception avec une limitation du type N, Si, P. Néanmoins, novembre présente une limitation de type N, Si, P uniquement pour le point 3 (Figure 69 et Annexe 2).

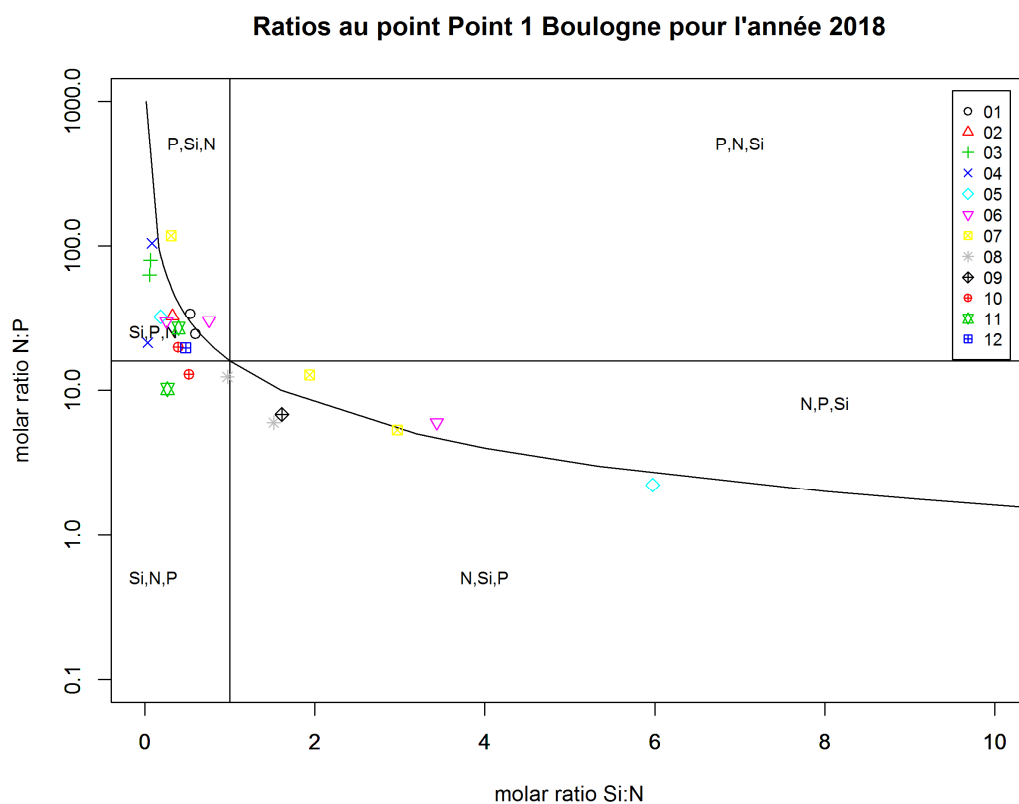


Figure 69. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2018

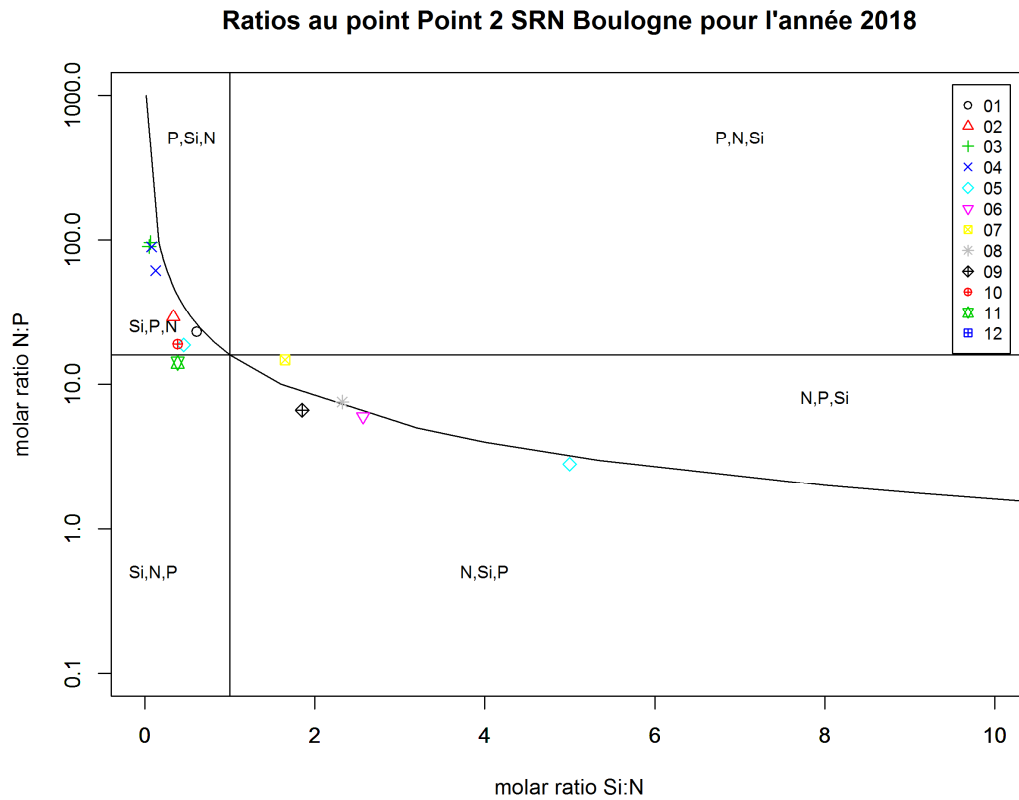


Figure 70. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point 2 de la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2018

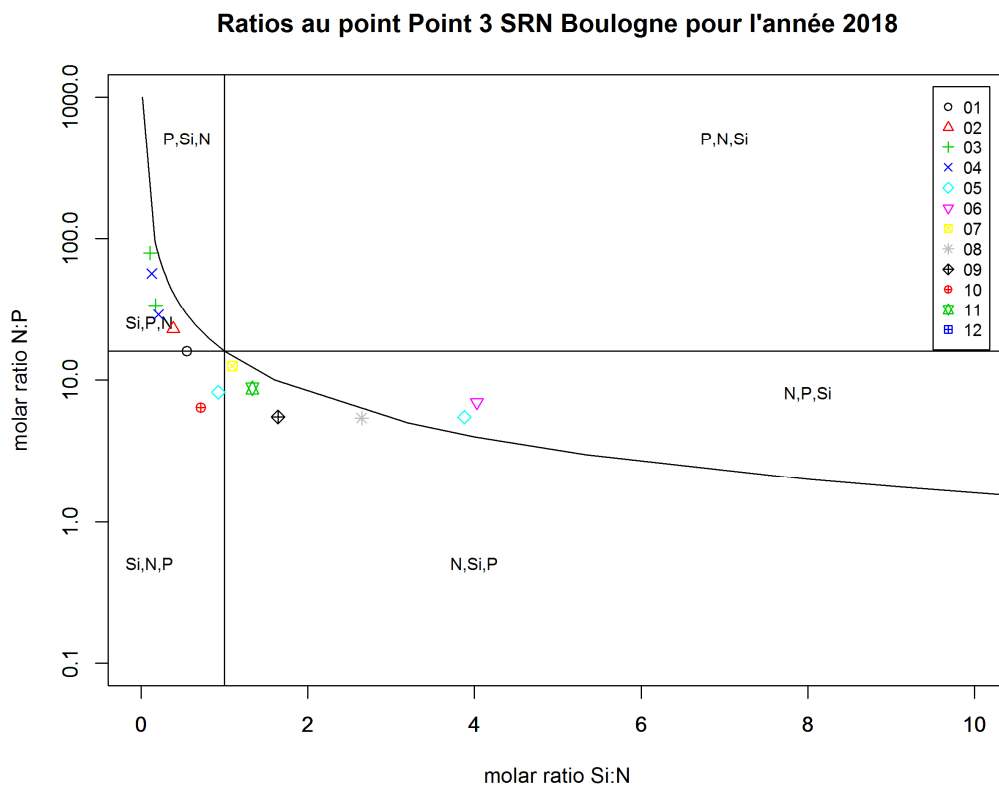


Figure 71. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2018

□ **Chlorophylle a**

La chlorophylle-*a* est un indicateur de la biomasse du phytoplancton. La concentration en chlorophylle-*a* présente un cycle saisonnier très marqué ainsi qu'une forte variabilité interannuelle (Figures 72 à 74).

Durant la période 1992-2017, les concentrations évoluent de 0,05 à 29,60 µg/L. Les valeurs moyennes sont : 5,34, 3,56 et 2,20 µg/L de la côte vers le large (Tableau 46). Les valeurs extrêmes supérieures ont été observées au cours des années 1994, 2000, 2002, 2003, 2008 et 2011. Ces valeurs conséquentes traduisent des blooms plus importants du phytoplancton (Figures 72 à 74).

Pour l'année 2018, les concentrations en chlorophylle *a* évoluent entre 1,16 et 11,25 µg/L. Les valeurs moyennes sont similaires à celles calculées sur la période 1992-2017 (4,49, 3,93 et 2,39 µg/L en 2018 de la côte au large) (Tableau 47). Dans l'ensemble, les valeurs sont proches de celles enregistrées antérieurement. Seul le mois de mars observe des concentrations importantes pour les points 2 et 3 (respectivement 9,81 et 5,87 µg/L) (Figures 72 à 74).

Les valeurs du gradient côte-large se situent entre -7,04 et 0,24 µg/L ; cette unique valeur positive correspond au mois janvier. Les concentrations en chlorophylle *a* sont supérieures à proximité des côtes (Annexe 1).

Tableau 46. 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 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BL1	0,05	1,77	3,51	5,34	4,97	7,36	29,60	410
BL2	0,05	1,24	2,36	3,56	3,48	4,65	19,22	355
BL3	0,05	0,81	1,39	2,20	2,35	2,60	16,32	345

Tableau 47. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en chlorophylle-*a* (µg/L) pour la radiale de Boulogne-sur-Mer en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BL1	1,16	2,22	3,77	4,49	2,92	6,56	11,25	24
BL2	0,89	2,14	3,02	3,93	2,73	4,13	9,81	14
BL3	0,72	1,30	1,95	2,39	1,54	3,23	5,87	14

Figure 72. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en chlorophylle-*a* ($\mu\text{g/L}$) pour le point 1 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

Figure 73. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en chlorophylle-*a* ($\mu\text{g/L}$) pour le point 2 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

Figure 74. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en chlorophylle-*a* ($\mu\text{g/L}$) pour le point 3 de la radiale de Boulogne (1992-2018)

□ **Température**

De 1992 à 2017, la température était comprise entre 2,00 et 22,90 °C. Les températures moyennes des quatre points de la radiale sur cette période sont de 12,45, 12,60, 13,00 et 12,50 °C (de la côte au large) (Tableau 48). Les valeurs extrêmes inférieures (et supérieures) ont été observées au cours des années 1995, 1997, 2012, 2013 et (1996, 1999, 2003). 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 (Figures 75 à 78).

En 2018, les températures sont en moyenne supérieures aux années antérieures (12,63, 12,62, 14,17 et 12,88 de Bif à Mer2). Les valeurs sont comprises entre 4,30 et 21,90 °C (Tableau 49). Les mois de juillet et août se révèlent être les plus chauds de l'année pour l'ensemble des points. C'est en août qu'est observée la température la plus élevée de l'année au point Mer2 : 21,90 °C. De manière générale, les températures hivernales sont inférieures à la médiane, exceptée pour le mois de décembre (Figures 75 à 78).

Le gradient de température côte-large se situe entre -1,10 et 0,70 °C. Les valeurs de gradient négatives sont observées en mars et juin, signifiant des températures supérieures dans les eaux côtières pour cette période. En revanche, la deuxième partie de l'année, la tendance est inversée (Annexe 1).

Tableau 48. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la température (°C) pour la radiale de la Baie de Somme sur la période 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BIF	2,50	8,38	12,45	12,57	4,69	17,00	22,90	360
MIMER	3,00	8,50	12,60	12,77	4,71	17,10	22,80	285
ATSO	2,00	8,80	13,00	12,84	4,69	17,00	22,10	378
MER2	3,00	9,00	12,50	12,70	4,41	16,70	21,60	334

Tableau 49. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la température (°C) pour la radiale de la Baie de Somme en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BIF	4,60	7,95	11,20	12,63	5,87	16,98	21,90	12
MIMER	4,30	8,25	10,75	12,62	5,89	17,18	21,90	12
ATSO	4,40	9,63	15,75	14,17	5,21	18,40	21,50	20
MER2	4,90	9,20	11,50	12,88	5,38	16,50	21,90	13

Figure 75. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la température (°C) pour le point Bif de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 76. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la température (°C) pour le point Mimer de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 77. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la température (°C) pour le point Atso de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 78. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la température (°C) pour le point Mer2 de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

□ **Salinité**

Sur la période 1992-2017, la salinité est comprise entre 9,10 et 35,80 P.S.U. Il faut noter que cette gamme de variation de la salinité mesurée est artificiellement faible pour un système estuarien en raison des contraintes de prélèvement ($PM \pm 2h$). Les valeurs moyennes de salinité des quatre points de la radiale sur cette période sont : 31,43, 32,62, 32,62 et 33,20 P.S.U. (de la côte au large) (Tableau 50). Les valeurs extrêmes inférieures (et supérieures) ont été observées au cours des années 1993, 1994, 1996, 2000, 2001, 2002, 2014 (et 2005, 2007, 2010, 2014) (Figures 79 à 82).

En 2018, la salinité présente des valeurs plus importantes à partir du mois de juin et, pour le reste de l'année, sur l'ensemble des points. Ces valeurs sont majoritairement supérieures au 3^{ème} quartile. En effet, les moyennes de ces quatre points sont plus élevées en 2018 que celles calculées précédemment (32,07, 32,61, 33,41 et 33,62 P.S.U. de la côte au large) (Tableau 51 et Figures 79 à 82).

Le gradient côte-large de la salinité varie de -0,10 à 1,20 P.S.U. Les valeurs négatives se trouvent en avril et en août. Ces valeurs mises à part, le gradient indique une salinité de l'eau plus importante au large (Annexe 1).

Tableau 50. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la salinité (P.S.U.) pour la radiale de la Baie de Somme sur la période 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
BIF	9,10	30,90	32,00	31,43	2,67	32,90	34,60	363
MIMER	29,20	32,20	32,70	32,62	0,85	33,20	34,60	289
ATSO	26,00	32,00	33,00	32,62	1,50	33,60	35,00	382
MER2	28,00	32,60	33,60	33,20	1,37	34,20	35,80	337

Tableau 51. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la salinité (P.S.U.) pour la radiale de la Baie de Somme en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
BIF	28,50	31,30	32,70	32,07	1,42	33,10	33,60	13
MIMER	31,20	31,80	32,90	32,61	0,83	33,30	33,80	13
ATSO	31,90	32,73	33,80	33,41	0,81	34,03	34,40	20
MER2	32,40	32,60	34,00	33,62	0,90	34,50	34,60	13

Figure 79. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la salinité (P.S.U) pour le point Bif de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 80. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la salinité (P.S.U) pour le point Mimer de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 81. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la salinité (P.S.U) pour le point Atso de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 82. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la salinité (P.S.U) pour le point Mer2 de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

□ **Turbidité et matières en suspension**

La dynamique de la turbidité est très différente en fonction des stations de la radiale. En effet, de 1992 à 2017, les valeurs associées à la turbidité sont comprises entre 0,23 et 139,00 N.T.U. Les valeurs moyennes enregistrées correspondent à 21,58, 19,68, 8,24 et 3,26 N.T.U. (de la côte au large) (Tableau 52). Les valeurs extrêmes supérieures ont été observées au cours des années 1997, 2001, 2009, 2013, 2014 et 2016. La dynamique de la turbidité présente un cycle saisonnier. En effet, des valeurs plus importantes sont observées de septembre à mars ; les valeurs les plus basses sont quant à elles observées d'avril à août, c'est-à-dire durant la période printanière et estivale (Figures 83 à 86).

En 2018, la turbidité montre une grande variabilité. Les valeurs sont comprises entre 1,04 et 63,40 N.T.U. Les valeurs moyennes sont supérieures aux années précédentes aux points Bif, Mimer et Atso (respectivement 21,71, 23,97 et 9,28 N.T.U.). A l'inverse, le point Mer2 présente une moyenne inférieure à celle de la période 1992-2017 (3,03 N.T.U.) (Tableau 53). Le mois de mars présente les valeurs les plus importantes pour l'ensemble des points, excepté au point Bif où le maximum est atteint en février (Figures 83 à 86).

Le gradient côte-large varie entre -19,83 et -0,24 N.T.U. La turbidité est alors plus forte près des côtes (Annexe 1).

Tableau 52. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la turbidité (N.T.U) pour la radiale de la Baie de Somme sur la période 1995-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BIF	0,93	7,99	16,20	21,58	19,33	28,20	139,00	313
MIMER	1,32	6,69	12,40	19,68	19,59	25,08	121,00	288
ATSO	0,51	3,29	5,39	8,24	7,65	10,30	55,00	330
MER2	0,23	1,38	2,10	3,26	3,67	3,50	23,00	279

Tableau 53. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la turbidité (N.T.U) pour la radiale de la Baie de Somme en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BIF	6,71	10,20	17,20	21,71	14,33	33,10	51,10	13
MIMER	3,56	6,53	14,40	23,97	20,57	37,50	63,40	13
ATSO	1,30	3,12	4,55	9,28	8,58	12,05	27,60	20
MER2	1,04	2,11	2,82	3,03	1,67	3,50	7,77	13

Figure 83. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la turbidité (N.T.U) pour le point Bif de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 84. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la turbidité (N.T.U) pour le point Mimer de la radiale de la baie de Somme (1997-2018)

Figure 85. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la turbidité (N.T.U) pour le point Atso de la radiale de la baie de Somme (1995-2018)

Figure 86. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la turbidité (N.T.U) pour le point Mer2 de la radiale de la baie de Somme (1995-2018)

□ **M.E.S.**

De 1992 à 2017, la quantité de M.E.S. est comprise entre 0,40 et 239,20 mg/L. Les concentrations moyennes du point Bif au point Mer2 sont respectivement : 42,05 ; 31,66 ; 20,37 et 13,94 mg/L (Tableau 54). Les valeurs extrêmes supérieures ont été observées au cours des années 1996, 2000, 2008, 2012, 2013 et 2014. Les M.E.S., comme la turbidité, présentent un cycle saisonnier marqué avec des valeurs fortes en hiver et en automne, puis des valeurs plus faibles au printemps et en été. Ce schéma s'observe de la côte vers le large mais les amplitudes de variations sont moindres vers le large (Figures 87 à 90).

En 2018, la quantité de M.E.S. est en moyenne inférieure aux années précédentes (29,50, 32,94, 17,57, 7,66 mg/L de la côte vers le large) (Tableau 55). Les valeurs sont comprises entre 1,90 et 81,80 mg/L. De fortes valeurs sont identifiables aux mois de mars et juin aux points Bif, Mimer et Atso ainsi qu'en décembre pour ce même point et le point Mimer. Le maximum de 81,80 mg/L est atteint au point Mimer en mars (Tableau 55, Figures 87 à 90).

Le gradient côte-large est essentiellement négatif et varie entre -27,10 et 3,80 mg/L. Dans l'ensemble, les concentrations en M.E.S sont donc supérieures à proximité des côtes, exception faite pour les valeurs de gradient positives observées au mois de septembre et de novembre (Annexe 1).

Tableau 54. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les MES (mg/L) pour la radiale de la Baie de Somme sur la période 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
BIF	3,50	19,70	31,56	42,05	33,06	57,26	239,20	358
MIMER	2,50	12,80	21,52	31,66	30,62	40,20	239,20	289
ATSO	0,90	7,19	14,30	20,37	18,90	27,40	167,00	373
MER2	0,40	3,90	6,30	13,94	16,88	16,59	101,30	340

Tableau 55. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les MES (mg/L) pour la radiale de la Baie de Somme en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
BIF	8,60	15,20	26,10	29,50	16,91	44,60	56,60	13
MIMER	5,50	11,10	28,00	32,94	25,74	50,00	81,80	13
ATSO	1,80	7,08	13,75	17,57	12,20	25,00	44,00	20
MER2	2,70	4,20	5,60	7,66	4,79	11,30	16,80	13

Figure 87. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en M.E.S (mg/L) pour le point Bif de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 88. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en M.E.S (mg/L) pour le point Mimer de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 89. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en M.E.S (mg/L) pour le point Atso de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 90. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en M.E.S (mg/L) pour le point Mer2 de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

□ **Matière organique**

De manière générale, la proportion en matières organiques 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 matières organiques est la plus haute ; à l'inverse, pendant la période hivernale, les matières en suspension contiennent peu de matières organiques (Figures 91 à 94).

De 1992 à 2017, la quantité de matières organiques dans les M.E.S était comprise entre 0,10 et 48,00 mg/L. Les moyennes de concentration en matières organiques de la côte au large étaient respectivement : 7,47 ; 5,34 4,60 et 3,67 mg/L (Tableau 56). Les valeurs extrêmes supérieures ont été observées au cours des années 1999, 2000, 2001, 2012 et 2014 (Figures 91 à 94).

En 2018, la concentration en matières organiques est inférieure par rapport à la période 1992-2017. En effet, les moyennes calculées pour cette année sont : 5,13, 4,52, 2,38 et 1,72 mg/L de la côte au large (Tableau 57) mises à part quelques valeurs, notamment celles enregistrées aux mois de juin aux points Bif, Mimer et Atso. Les six premiers mois de l'année, les concentrations sont inférieures au premier quartile. Les concentrations évoluent entre 0,90 et 16,40 mg/L, ce qui est plutôt bas (Figures 91 à 94).

Le gradient côte-large se situe entre -3,60 et 2,10 mg/L. Les deux seules valeurs positives correspondent aux mois de septembre et novembre. La concentration en matières organiques est globalement plus importante près des côtes (Annexe 1).

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 sur la période 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BIF	0,60	2,80	5,44	7,47	6,47	9,95	45,04	342,00
MIMER	0,10	2,20	3,64	5,34	5,01	7,00	48,00	289,00
ATSO	0,70	1,70	3,00	4,60	4,35	6,48	39,00	371,00
MER2	0,20	1,30	2,20	3,67	3,68	4,93	24,70	340,00

Tableau 57. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour les matières organiques en suspension (mg/L) pour la radiale de la Baie de Somme en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BIF	1,60	2,10	3,60	5,13	4,06	6,60	16,40	13,00
MIMER	1,20	1,60	4,00	4,52	3,42	7,00	12,40	13,00
ATSO	0,90	1,58	2,25	2,38	1,13	2,80	5,20	20,00
MER2	1,20	1,40	1,60	1,72	0,54	1,90	3,30	13,00

Figure 91. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en M.E.S organique (mg/L) pour le point Bif de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 92. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en M.E.S organique (mg/L) pour le point Mimer de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 93. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en M.E.S organique (mg/L) pour le point Atso de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 94. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en M.E.S organique (mg/L) pour le point Mer2 de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

□ **Ammonium**

Sur la période 1992-2017, la concentration en ammonium est comprise entre 0,15 et 33,06 $\mu\text{mol/L}$. Les valeurs moyennes correspondent à 2,45, 2,10, 2,10 et 1,24 $\mu\text{mol/L}$ (de la côte au large) (Tableau 58). Les valeurs extrêmes supérieures ont été observées au cours des années 1992, 1997, 1998 et 2002. L'ammonium présente un cycle saisonnier avec des valeurs plus importantes de septembre à février (principalement à proximité de la côte) et plus faibles de mars à septembre (Figures 95 à 98).

Pour l'année 2018, les concentrations en ce paramètre présentent une dynamique saisonnière semblable à celle de 1992-2017. Cependant, les moyennes apparaissent plus faibles sauf pour le point Mimer (2,32, 2,66, 1,71 et 0,52 $\mu\text{mol/L}$ des Points Bif à Mer2) (Tableau 59). Des concentrations importantes sont atteintes en septembre pour les points Bif et Mimer, en août et septembre pour le point Atso. Les concentrations évoluent entre 0,15 et 6,66 $\mu\text{mol/L}$. Aucun point ne montre de valeur extrême (Figures 95 à 98).

Le gradient côte-large varie entre -2,01 et 0,58 $\mu\text{mol/L}$, les concentrations en ammonium sont donc globalement supérieures dans la zone côtière sauf pour le mois de juin où le gradient est positif et pour les mois de mars, mai, juillet et août où la différence est nulle (Annexe 1).

Tableau 58. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en ammonium ($\mu\text{mol/L}$) pour la radiale de la Baie de Somme sur la période 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
BIF	0,15	0,47	1,23	2,45	3,18	3,24	24,67	363
MIMER	0,15	0,35	1,06	2,10	2,82	3,11	24,18	289
ATSO	0,15	0,41	0,92	2,10	3,64	2,58	30,70	369
MER2	0,15	0,15	0,41	1,24	2,70	1,22	33,06	338

Tableau 59. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en ammonium ($\mu\text{mol/L}$) pour la radiale de la Baie de Somme en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
BIF	0,15	0,15	0,33	2,32	3,20	4,88	9,32	13
MIMER	0,15	0,23	1,22	2,66	3,43	4,81	10,99	13
ATSO	0,15	0,15	0,44	1,71	2,10	2,78	6,83	20
MER2	0,15	0,15	0,23	0,52	0,53	0,63	1,62	13

Figure 95. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en ammonium ($\mu\text{mol/L}$) pour le point Bif de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 96. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en ammonium ($\mu\text{mol/L}$) pour le point Mimer de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 97. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en ammonium ($\mu\text{mol/L}$) pour le point Atso de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 98. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en ammonium ($\mu\text{mol/L}$) pour le point Mer2 de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

□ Nitrite + Nitrate

En raison de la fugacité de la forme NO_2 lors des réactions de nitrification / dénitrification, il a été décidé de considérer la somme NO_2 et NO_3 pour cette étude.

De 1992 à 2017, les concentrations de nitrite-nitrate sont comprises entre 0,15 et 133,90 $\mu\text{mol/L}$. Les concentrations moyennes de ces deux composés azotés sont : 18,41, 14,46, 12,51 et 9,55 $\mu\text{mol/L}$ de la côte au large (Tableau 60). Les valeurs extrêmes supérieures ont été observées au cours des années 1994, 2000, 2012, 2014 et 2016. Ces deux oxydes d'azotes présentent un cycle saisonnier marqué avec des valeurs fortes en hiver et en automne, puis avec des valeurs plus faibles au printemps et en été (Figures 99 à 102).

En 2018, les concentrations moyennes en nitrite-nitrate sont plus basses que les années antérieures (17,20, 12,55, 8,33 et 8,18 $\mu\text{mol/L}$ de la côte au large) (Tableau 61). Février et mars présentent les valeurs les plus importantes sur l'ensemble de la radiale ; cependant, aucune valeur extrême n'est enregistrée sur la radiale (Figures 99 à 102).

Le gradient côte-large évoluant entre -10,79 et 2,95 $\mu\text{mol/L}$, la concentration en ces deux oxydes d'azote est alors plus forte à proximité des côtes, hormis la valeur de gradient positive observable en juin et les valeurs de gradient nulle des mois de juillet et août (Annexe 1).

Tableau 60. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en nitrite et en nitrate ($\mu\text{mol/L}$) pour la radiale de la Baie de Somme sur la période 1997-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BIF	0,15	3,39	13,21	18,41	18,92	28,20	133,90	364
MIMER	0,15	2,41	9,28	14,46	14,12	23,10	64,23	288
ATSO	0,15	1,88	7,45	12,51	12,89	20,40	56,86	369
MER2	0,15	0,73	3,99	9,55	11,37	16,34	51,48	336

Tableau 61. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en nitrite et en nitrate ($\mu\text{mol/L}$) pour la radiale de la Baie de Somme en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BIF	0,15	3,69	11,68	17,20	15,17	28,10	45,31	13
MIMER	0,40	2,67	10,89	12,55	10,79	15,00	36,00	13
ATSO	0,15	1,08	5,76	8,33	9,74	11,56	37,16	20
MER2	0,15	1,37	4,39	8,18	9,14	13,88	26,37	13

Figure 99. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en nitrate + nitrite ($\mu\text{mol/L}$) pour le point Bif de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 100. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en nitrate + nitrite ($\mu\text{mol/L}$) pour le point Mimer de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 101. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en nitrate + nitrite ($\mu\text{mol/L}$) pour le point Atso de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 102. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en nitrate + nitrite ($\mu\text{mol/L}$) pour le point Mer2 de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

□ **Phosphate**

La période 1992-2017 comprend des valeurs allant de 0,05 à 31,50 $\mu\text{mol/L}$. Les concentrations moyennes en phosphate sont : 0,89, 0,56, 0,43 et 0,43 $\mu\text{mol/L}$ (de Bif à Mer2) (Tableau 62). Les valeurs extrêmes supérieures ont été observées au cours des années 1992, 1993, 2005, 2008 et 2012. Un cycle saisonnier est observable avec des valeurs plus importantes en automne et en hiver, et des valeurs plus faibles en été et au printemps (Figures 103 à 106).

L'année 2018 marque des concentrations en phosphate en moyenne moins élevées que sur la période 1992-2017 (0,46, 0,46, 0,36 et 0,24 $\mu\text{mol/L}$ des points Bif à Mer2) (Tableau 63). Néanmoins, certaines valeurs sont supérieures aux médianes calculées précédemment (voire du 3^{ème} quartile) comme, par exemple, au mois de mai, juin, août et septembre pour les points Mimer et Atso, ou encore en février et mars (Atso), septembre et octobre (Mer2) (Figures 103 à 106).

Le gradient côte-large est marqué par une majorité de valeurs négatives. Il évolue entre -0,29 et 0,06 $\mu\text{mol/L}$. Seules deux valeurs supérieures ou égales à 0 $\mu\text{mol/L}$ (mars et décembre) sont observables et indiquent alors dans l'ensemble une concentration en phosphate plus importante à proximité des côtes (Annexe 1).

Tableau 64. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en phosphate ($\mu\text{mol/L}$) pour la radiale de la Baie de Somme sur la période 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
BIF	0,05	0,19	0,39	0,89	2,39	0,80	31,50	360
MIMER	0,05	0,19	0,42	0,56	0,55	0,79	4,73	288
ATSO	0,05	0,13	0,27	0,43	0,41	0,62	3,03	370
MER2	0,05	0,10	0,28	0,43	0,47	0,64	3,32	339

Tableau 65. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en phosphate ($\mu\text{mol/L}$) pour la radiale de la Baie de Somme en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
BIF	0,15	0,21	0,43	0,46	0,28	0,77	0,93	13
MIMER	0,05	0,30	0,40	0,46	0,25	0,70	0,81	13
ATSO	0,05	0,13	0,34	0,36	0,23	0,57	0,75	20
MER2	0,05	0,08	0,16	0,24	0,23	0,30	0,72	13

Figure 103. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en phosphate ($\mu\text{mol/L}$) pour le point Bif de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 104. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en phosphate ($\mu\text{mol/L}$) pour le point Mimer de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 105. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en phosphate ($\mu\text{mol/L}$) pour le point Atso de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 106. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en phosphate ($\mu\text{mol/L}$) pour le point Mer2 de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Silicate

De 1992 à 2017, les concentrations en silicate varient entre 0,10 et 108,78 $\mu\text{mol/L}$. Les concentrations moyennes de la côte vers le large sont respectivement : 8,46, 7,13, 6,18 et 4,37 $\mu\text{mol/L}$ (Tableau 66). Les valeurs extrêmes supérieures ont été observées au cours des années 1994, 2001, 2002, 2005, 2013, 2014 et 2016. Un cycle saisonnier est observable avec des valeurs importantes de septembre à mars et plus faibles d'avril à août (Figures 107 à 110).

Les concentrations en silicate en 2018 montrent une variabilité importante entre les points. En effet, au point Bif et Mimer est calculée une moyenne supérieure à celle des années précédentes et pour les points Atso et Mer2, elles y sont inférieures (9,69, 8,54, 5,67 et 2,92 $\mu\text{mol/L}$) (Tableau 67). Des fluctuations importantes sont observables pour les points Mimer et Atso : de juin à septembre, les valeurs enregistrées sont nettement supérieures aux moyennes mensuelles des années antérieures (Figures 107 à 110).

Le gradient côte-large variant entre -5,92 et 1,15 $\mu\text{mol/L}$ ne présente qu'une unique valeur positive au mois de juin et une valeur nulle en avril. La concentration en silicate a alors tendance à être plus élevée près des côtes (Annexe 1).

Tableau 66. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en silicate ($\mu\text{mol/L}$) pour la radiale de la Baie de Somme sur la période 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BIF	0,10	1,69	4,20	8,46	10,39	12,88	108,78	363
MIMER	0,10	1,31	4,28	7,13	7,30	11,39	32,10	288
ATSO	0,10	1,04	3,58	6,18	6,72	9,89	41,00	368
MER2	0,10	0,55	2,16	4,37	5,48	6,47	45,78	339

Tableau 67. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en silicate ($\mu\text{mol/L}$) pour la radiale de la Baie de Somme en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BIF	1,19	3,83	8,47	9,69	7,13	12,11	23,26	13
MIMER	0,57	4,58	6,26	8,54	6,58	11,84	20,80	13
ATSO	0,11	1,21	2,96	5,67	6,08	10,31	18,67	20
MER2	0,33	1,02	1,27	2,92	4,16	1,72	14,87	13

Figure 107. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en silicate ($\mu\text{mol/L}$) pour le point Bif de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 108. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en silicate ($\mu\text{mol/L}$) pour le point Mimer de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 109. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en silicate ($\mu\text{mol/L}$) pour le point Atso de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 110. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en silicate ($\mu\text{mol/L}$) pour le point Mer2 de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

□ Oxygène dissous

Sur la période 2007-2017, l'oxygène dissous dans l'eau est compris entre 1,94 et 13,98 mg/L. Les valeurs moyennes sont : 9,57, 9,47, 9,38 et 9,54 mg/L ; cependant, le nombre de données reste assez faible pour les points Mimer et Mer2 (Tableau 68). Les valeurs extrêmes supérieures ont été observées au cours des années 2012, 2015 et 2016. L'oxygène dissous présente un cycle saisonnier ; en effet, les valeurs sont importantes de novembre à avril et basses de mai à octobre (Figures 111 et 112).

L'année 2018 comprend des valeurs en oxygène dissous similaires aux années précédentes (valeurs moyennes de 9,56, 9,66, 9,12 et 9,66 mg/L de Bif à Mer2) (Tableau 69). En revanche, le point Atso présente une concentration inhabituelle élevée au mois de juin de 11,79 mg/L. L'absence de données pour janvier, octobre et novembre empêche d'observer la tendance globale de cette année bien qu'elle semble proche du schéma des années antérieures (Figures 111 et 112).

Le gradient côte-large oscille entre -1,53 et 1,03 mg/L. Des valeurs de gradient majoritairement positives se succèdent, ce qui indique une quantité d'oxygène dissous supérieure au large durant cette période (Annexe 1).

Tableau 68. 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 1992-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
BIF	7,39	8,70	9,48	9,57	1,27	10,36	12,67	118
MIMER	7,82	8,58	9,46	9,47	1,09	10,20	11,88	54
ATSO	4,06	8,26	9,27	9,38	1,50	10,35	13,98	164
MER2	7,21	8,66	9,43	9,54	1,24	10,04	12,28	55

Tableau 69. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en oxygène dissous (mg/L) pour la radiale de la baie de Somme en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>n</i>
BIF	7,47	9,33	9,56	9,56	1,04	10,24	10,77	11
MIMER	7,12	8,68	9,52	9,66	1,60	11,01	11,90	11
ATSO	7,40	7,96	9,45	9,12	1,30	9,97	11,79	18
MER2	7,89	8,81	9,50	9,66	1,31	10,72	11,59	12

Figure 111. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en oxygène dissous (mg/L) pour le point Bif de la radiale de la baie de Somme (2009-2018)

Figure 112. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en oxygène dissous (mg/L) pour le point Atso de la radiale de la baie de Somme (2009-2018)

□ **Limitation par les nutriments**

Les points de cette radiale présentent des contextes et apports en nutriments différents et doivent alors être abordés séparément.

Point Bif :

Les prélèvements effectués au point Bif démontrent que les principaux éléments limitants en ce point sont la silice et le phosphore. En effet, la majorité de l'année présente une limitation type P, Si, N. Seuls les mois de mai et octobre observent une limitation de type Si, P, N, ainsi que le mois de juin qui présente des limitations N, Si, P et Si, N, P (Figure 113 et Annexe 2).

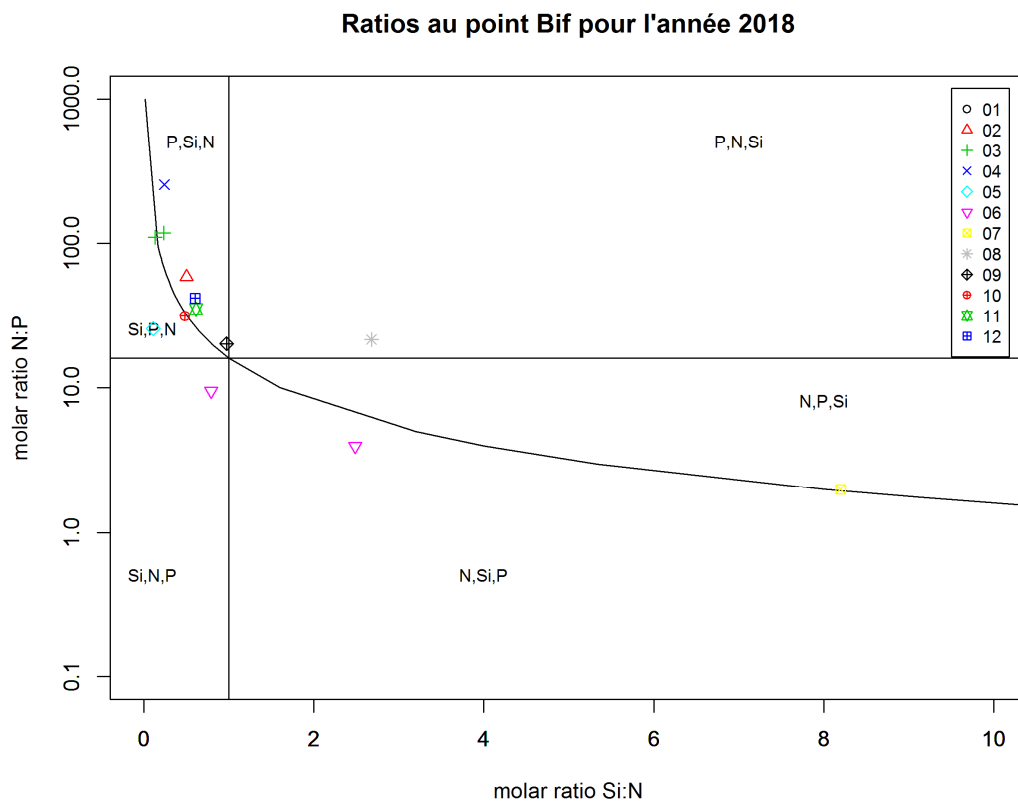


Figure 113. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point Bif de la radiale de la Baie de Somme en 2018

Point Mimer :

Ce point a présenté des limitations par les nutriments de type Si, P, N en mars, avril, mai, septembre, octobre, novembre et décembre et des limitations azotées les mois de juin et juillet (type N, Si, P et N, P, Si). C'est ensuite le phosphate qui prend le rôle d'élément limitant le mois d'août (limitations type P, N, Si) (Figure 114 et Annexe 2).

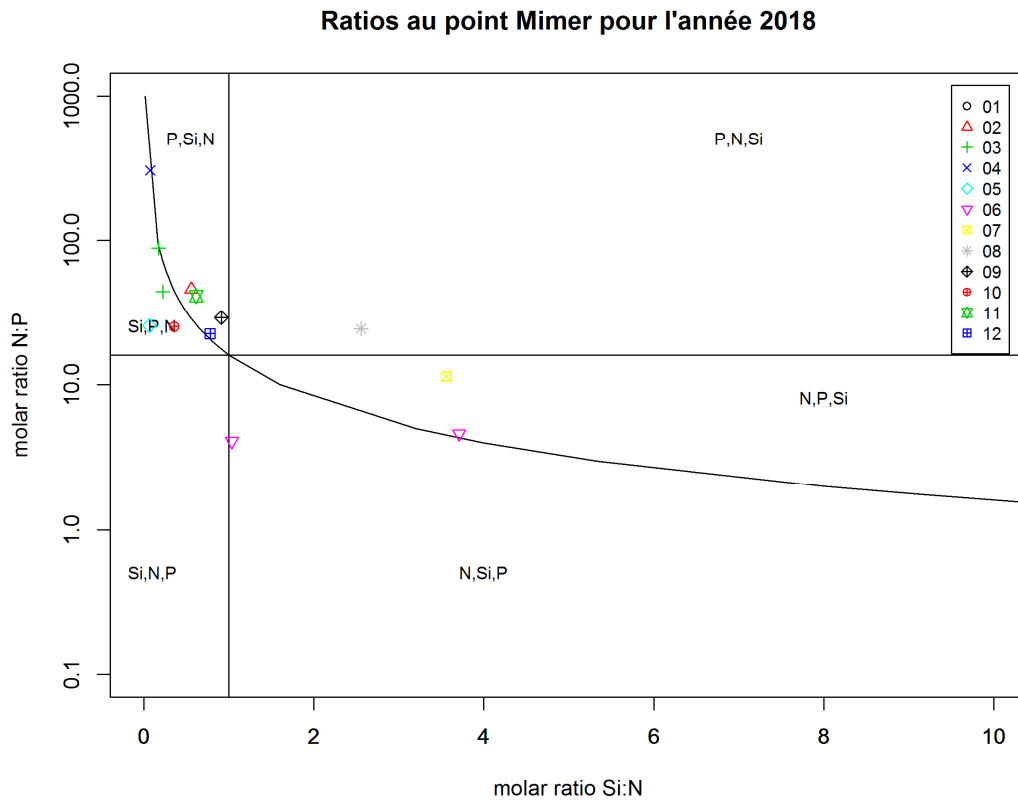


Figure 114. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point Mimer de la radiale de la Baie de Somme en 2018

Au cours de la période productive de 2018, des limitations par les nutriments contrastées sont remarquables. La silice s'impose comme élément limitant les mois de mars, avril et octobre (limitations type Si, P, N et Si, N, P). Les mois de février, septembre, novembre et décembre présentent une limitation par le phosphore (type P, Si, N). Les mois de juin, juillet et août présentent, quant à eux, des limitations de type N, P, Si et N, Si, P ainsi que Si, N, P pour juin (Figure 115 et Annexe 2).

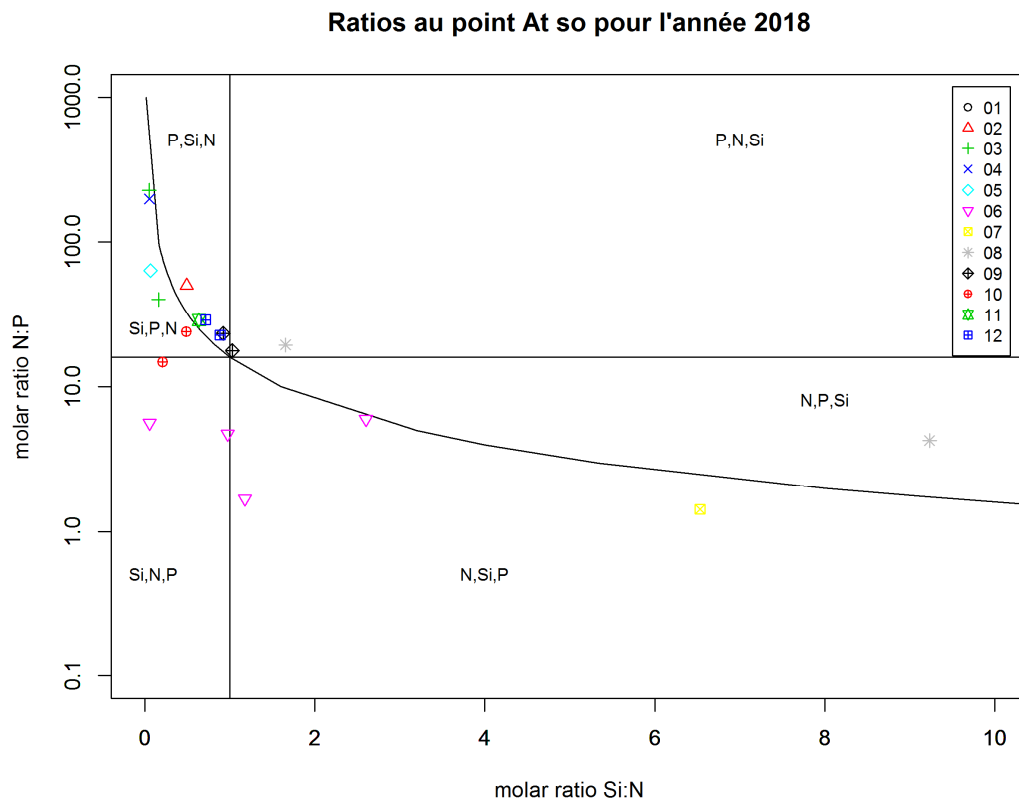


Figure 115. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point Atso de la radiale de la Baie de Somme en 2018

Sur ce point, la silice correspond à l'élément limitant une bonne partie de l'année (limitation type Si, N, P et Si, P, N les mois de janvier à avril, de octobre à décembre). L'azote fait, quant à lui, défaut des mois de juin à septembre (limitation type N, Si, P et N, P, Si) tandis que le phosphore n'est limitant qu'au mois de février (limitation P, N, Si) (Figure 116 et Annexe 2).

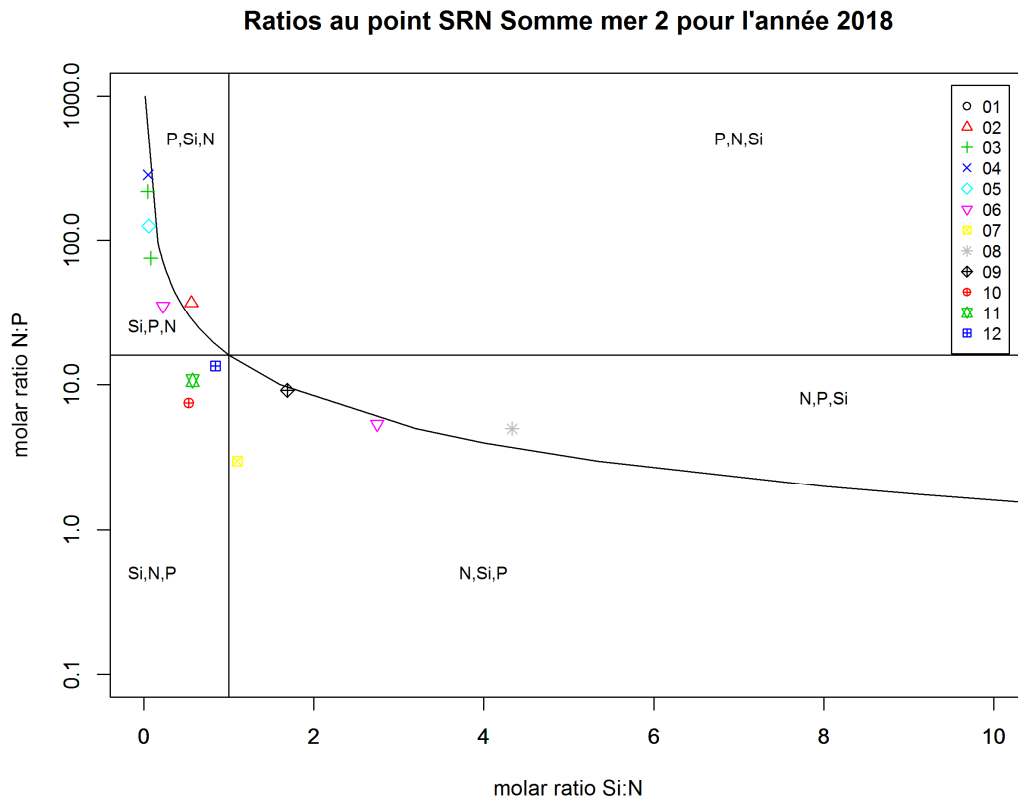


Figure 116. Évolution temporelle des rapports stœchiométriques définissant les éléments nutritifs potentiellement limitants au point Mer 2 de la radiale de la Baie de Somme en 2018

□ **Chlorophylle-a**

La chlorophylle-*a* est un indicateur de la biomasse du phytoplancton. La concentration en chlorophylle-*a* présente un cycle saisonnier très marqué ainsi qu'une forte variabilité interannuelle (Figures 117 à 120).

Durant la période 1992-2017, les concentrations évoluent de 0,05 à 128,16 µg/L. Les valeurs moyennes sont : 17,30, 12,84, 8,45 et 6,24 µg/L de la côte vers le large (Tableau 70). Les valeurs extrêmes supérieures ont été observées au cours des années 1996, 2000, 2008, 2009, 2011, 2015 et 2017. Ces valeurs conséquentes traduisent des blooms plus importants du phytoplancton (Figures 117 à 120).

En 2018, les concentrations en chlorophylle-*a* varient de 0,89 à 113,68 µg/L. Les points Bif et Mimer montrent des concentrations moyennes supérieures à celles des années précédentes (29,46 et 22,12 µg/L) (Tableau 71). La principale cause de ce changement est sans nul doute les concentrations importantes enregistrées en mars, mai et juin. Certaines de ces valeurs sont des valeurs extrêmes comme pour les mois de mars et juin. La valeur enregistrée le 13 juin pour le point Mimer est une nouvelle valeur extrême supérieure pour ce point (88,17 µg/L). Le maximum de cette année est de 113,68 µg/L pour le point Bif en juin (Tableau 70 et 71, Figures 117 à 120). Les autres points présentent des concentrations moyennes nettement supérieures à celles calculées sur la période 1992-2017 en mars (Figures 117 à 120).

Le gradient côte-large de la chlorophylle-*a* est contrasté. Les valeurs de celui-ci varient entre -12,80 et 4,25 µg/L, seule valeur positive mesurée en novembre. La concentration en chlorophylle-*a* est donc plus importante près des côtes (Annexe 1).

Tableau 70. 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 1997-2017

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BIF	0,32	4,67	12,18	17,30	18,22	21,60	128,16	362
MIMER	0,19	3,97	8,85	12,84	12,98	17,38	79,28	287
ATSO	0,21	3,00	5,78	8,45	8,10	10,98	58,53	378
MER2	0,05	2,37	4,57	6,24	5,59	8,54	34,60	338

Tableau 71. Paramètres de tendance centrale et de dispersion pour la concentration en chlorophylle-*a* (µg/L) pour la radiale de la Baie de Somme en 2018

	<i>Min</i>	<i>Q1</i>	<i>Médiane</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>	<i>Q3</i>	<i>Max</i>	<i>N</i>
BIF	0,89	3,49	19,78	29,46	33,51	51,02	113,68	13
MIMER	1,50	2,77	9,97	22,12	27,41	26,92	88,17	13
ATSO	1,25	4,57	6,68	8,92	6,96	11,23	32,91	20
MER2	1,16	3,86	5,62	6,81	5,18	7,92	21,86	13

Figure 117. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en chlorophylle-*a* ($\mu\text{g/L}$) pour le point Bif de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 118. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en chlorophylle-*a* ($\mu\text{g/L}$) pour le point Mimer de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 119. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en chlorophylle-*a* ($\mu\text{g/L}$) pour le point Atso de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

Figure 120. Dynamique pluriannuelle, anomalies pluriannuelles et variations saisonnières mensuelles (année 2018 en rouge) de la concentration en chlorophylle-*a* ($\mu\text{g/L}$) pour le point Mer2 de la radiale de la baie de Somme (1992-2018)

3.2. Paramètres biologiques

3.2.1. Le phytoplancton

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

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

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

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

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

3.2.2. Mesure de la diversité : Indice de Sanders

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

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

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

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

3.2.3. Genres toxiques et Toxicités

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

http://envlit.ifremer.fr/infos/rephy_info_toxines.

Plusieurs espèces de *Pseudo-nitzschia* 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 :

Pseudo-nitzschia delicatissima (groupe des fines) avec un seuil d'alerte > 300 000 cell./L

Pseudo-nitzschia seriata (groupe des larges) avec un seuil d'alerte > 100 000 cell./L

Pseudo-nitzschia 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 phytoplantonique

3.2.4.1. Dunkerque

La chlorophylle-*a*, soit le proxy de la biomasse du phytoplancton, présente la même dynamique de 2014 à 2017 sur la radiale de Dunkerque (Figures 121 à 123). Elle augmente lors de la période productive (jusqu'à 34.19 µg/L comme en mars 2016 au point 1) avant de revenir à des valeurs plus basses et présentant une faible étendue (concentrations majoritairement entre 0,05 et 10,00 µg/L).

En ce qui concerne l'année 2018, la biomasse suit une dynamique saisonnière semblable à celle des années 2014 à 2017. Néanmoins, une concentration plus élevée par rapport au reste de l'année est observable début mars aux trois points de la radiale, ainsi qu'en avril pour les points 1 et 2. Celle-ci est notamment due à la prolifération de taxons tels que les Cryptophycées, *Phaeocystis globosa* et *Pseudo-nitzschia*. En revanche, la biomasse diminue de façon importante à la fin du mois de mars sur l'ensemble de la radiale pour retrouver des valeurs proches du début de la période productive à partir d'avril. Le point 1 présente également une chute de la biomasse à la fin du mois de mai. En effet, *Phaeocystis globosa* a proliféré de janvier à septembre, or ce taxon contient peu de chlorophylle-*a* et inhibe la croissance des autres espèces. L'absence de données, la première moitié du mois de mai, empêche d'observer l'évolution de la biomasse en fin de saison.

A l'instar de la biomasse, l'abondance des cellules augmente considérablement de mars à mai. Sur la période 2014-2017, le nombre de cellules a atteint environ $10 \cdot 10^6$ cellules/L en avril sur l'ensemble de la radiale et ce sur plusieurs années. Une hausse moins accentuée du nombre de cellules est également remarquable au moins de juillet. Un pic d'abondance est détecté au mois d'août, principalement dû à la prolifération de *Phaeocystis globosa* à cette période. Des valeurs plus faibles se distinguent lors des périodes froides.

Les valeurs de 2018 sont comparables à celles observées lors des années précédentes. La valeur maximale atteint environ $10 \cdot 10^6$ cellules/L en avril pour les trois points de la radiale. De plus, l'abondance du phytoplancton augmente à partir de mars pour les points les plus éloignés de la côte. Une seconde poussée du phytoplancton est notable au mois d'août aux trois points de la radiale. Une diminution du nombre de cellules est observable en hiver.

De manière générale, les *Bacillariophycées* ainsi que les Cryptophycées présentes annuellement dominent les autres groupes phytoplantoniques. C'est cependant *Phaeocystis* (groupe des Prymnésiophycées) qui atteint l'abondance la plus élevée, le 27 avril, avec 7 600 000 cellules/L. Tous les points de la radiale observent une grande quantité de *Phaeocystis* sur la période productive, et ce, jusqu'en septembre avec une moyenne de 71 207 cellules/L contre 20 741 cellules/L pour *Cryptophyceae* présent toute l'année. D'autres taxons sont présents sur la radiale mais en moindre quantité.

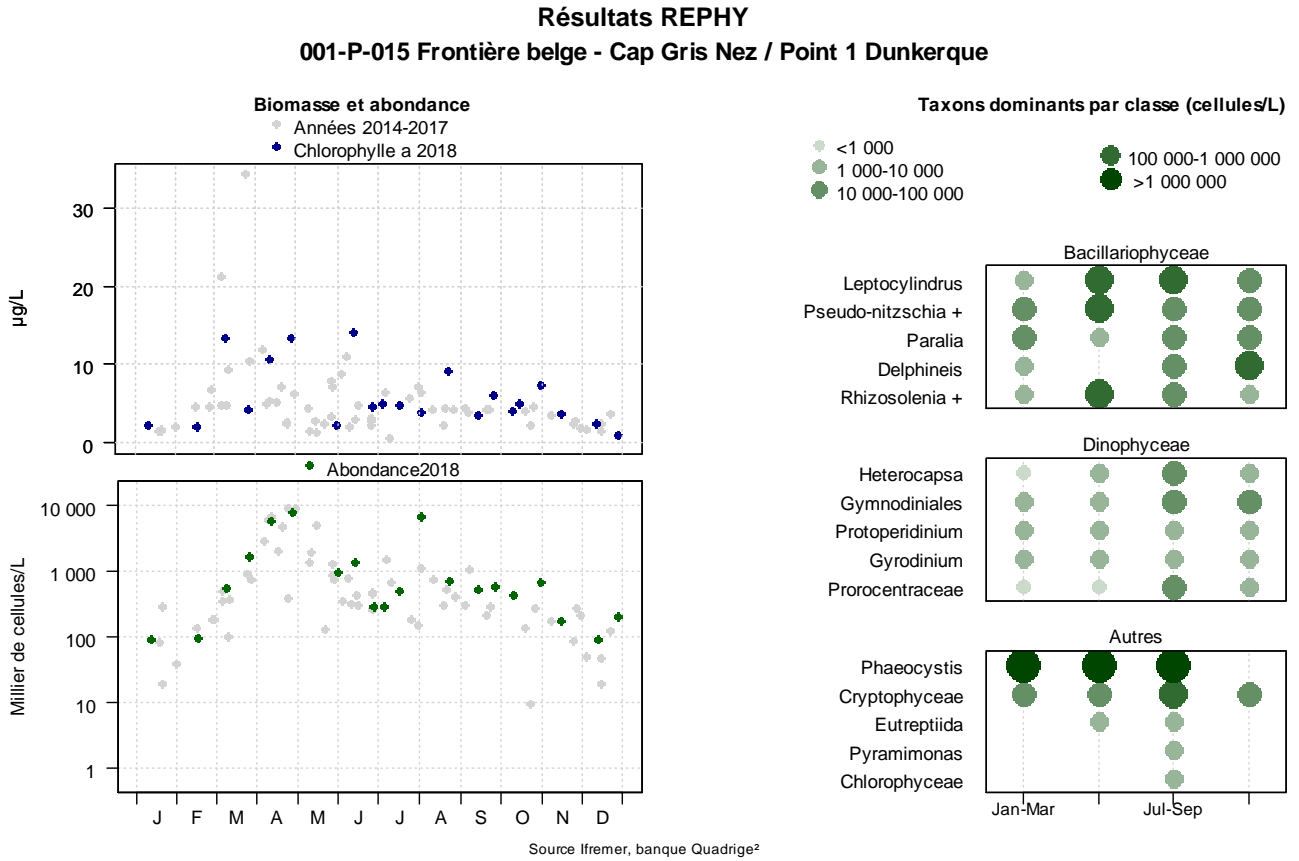


Figure 121. Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2014 et 2018 et classement des taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour le point 1 de la radiale de Dunkerque.

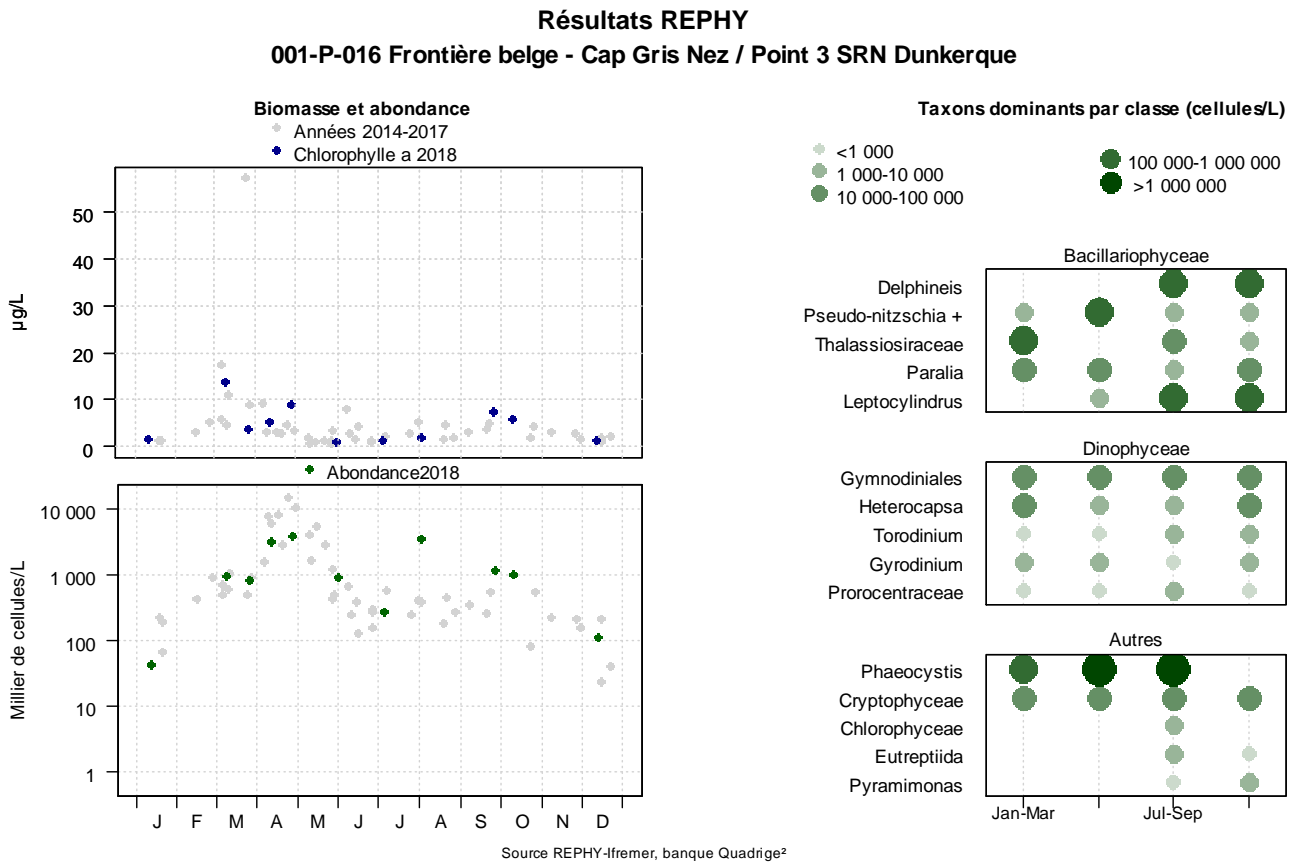


Figure 122. Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2014 et 2018 et classement des taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour le point 3 de la radiale de Dunkerque

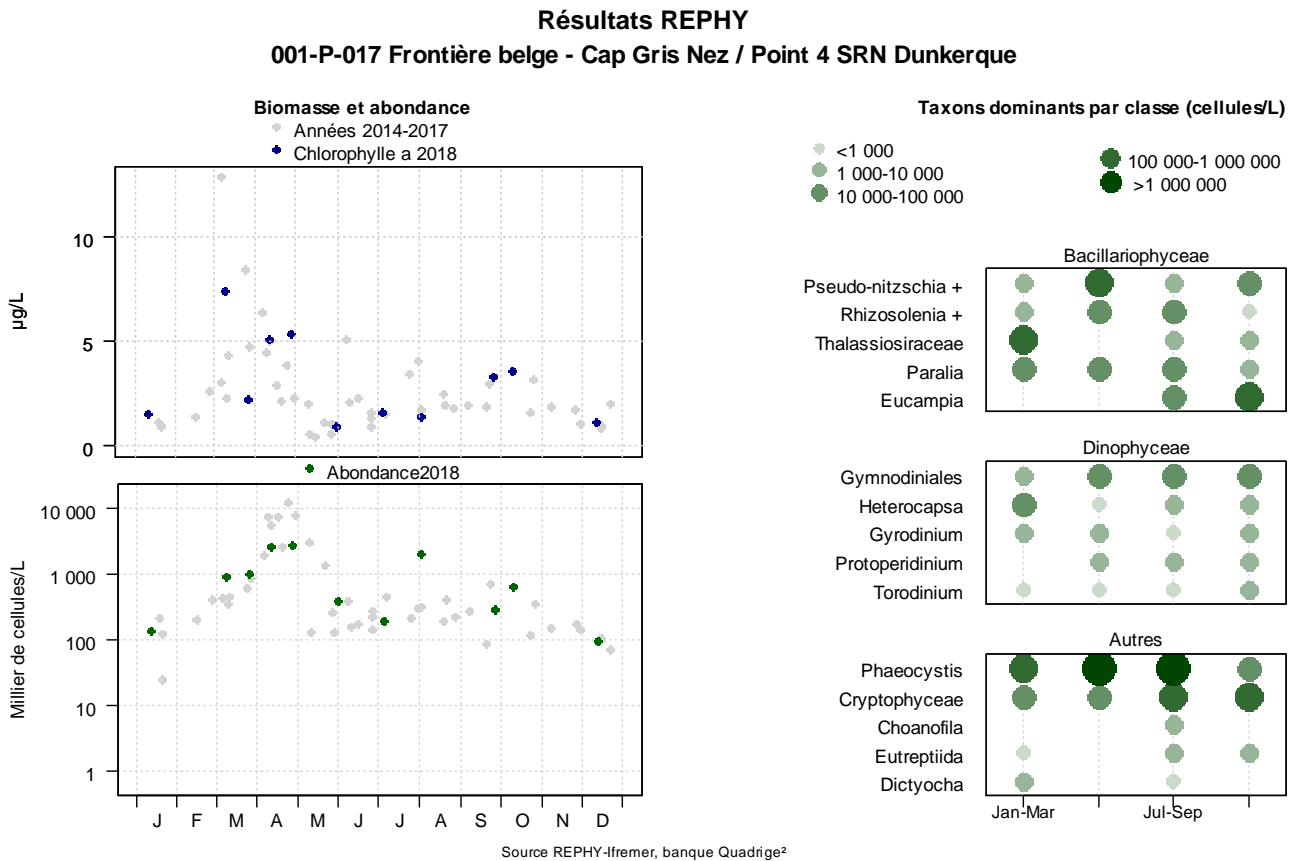


Figure 123. Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2014 et 2018 et classement des taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour le point 4 de la radiale de Dunkerque.

➤ 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. La famille des Cryptophycées est présente tout au long de l'année sur l'ensemble de la radiale, de même que *Gymnodiniale*. Des concentrations importantes de *Phaeocystis globosa* sont détectables pour les 2 premiers trimestres principalement. Pour les autres genres, 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, traduisant ainsi une hétérogénéité spatiale (gradient de distribution côte-large ou distribution par patch) : *Rhizosolenia* se place au niveau des *Bacillariophycées* en 4^{ème} position au point 1, il est absent au point 2 et se retrouve en 2^{ème} position au point 3. De la même manière, certains taxons ne sont présents qu'à la côte, comme *Delphineis*.

Le recours au calcul de l'indice de Sanders par trimestre sur la base de l'ensemble des taxons recensés permet d'approfondir l'étude des successions.

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. La concentration en chlorophylle-*a* augmente fortement de mars à mai ; elle diminue ensuite et se stabilise. Cependant, de juin à septembre, la concentration en chlorophylle-*a* peut être amenée à augmenter. Effectivement, d'importantes valeurs sont observées entre 2014 et 2017 (exemple : 9.60 µg/L en juin 2016 au point 1). Ce phénomène est nettement moins marqué sur les autres points de la radiale (Figures 125 à 127).

L'année 2018 répète la dynamique saisonnière établie sur la période 2014-2017. La concentration en chlorophylle-*a* est plus importante lors de la période productrice et augmente fortement à partir de février jusqu'au mois de juin ; elle diminue ensuite et se stabilise. La deuxième partie du mois de mars présente également une diminution de la biomasse due à la prolifération importante de *Phaeocystis globosa* ; cette espèce présente des concentrations faibles en chlorophylle-*a*. Les concentrations maximums en chlorophylle-*a* sont hautes (8.64, 9.81 et 5.87 µg/L de la côte vers la large). Des valeurs plus importantes pour le mois de novembre sont observées au point 1 : en cause des taxons tels que les Bacillariophycées, Cryptophycées et *Phaeocystis globosa* (Figures 125 à 127).

L'abondance suit le même cycle que la biomasse. Les cellules de phytoplancton se multiplient fortement au printemps et sont moins nombreuses en hiver. De 2014 à 2017, la quantité de cellules maximum est observée, pour les points 1 et 3 en avril, et en mai pour le point 2.

En 2018, la répartition annuelle des cellules est semblable aux quatre dernières années. L'abondance phytoplanctonique est maximale entre avril et mai. Cette valeur est principalement due à la prolifération importante cette année de *Phaeocystis globosa*. En effet, les quantités maximums enregistrées lors des blooms de ce taxon sont 14 713 000 cellules/L au point 1, 4 322 000 cellules/L au point 2 et 5 807 000 cellules/L au point 3. Le pic attendu au mois de juillet est négligeable pour l'année 2018 malgré la présence en quantité relativement importante de taxons comme *Chaetoceros* ou encore les Cryptophycées (Figures 125 à 127).

La proportion des taxons diffère peu de la radiale de Boulogne à celle de Dunkerque. Cependant *Phaeocystis globosa* n'est présent que d'avril à juin sur la radiale de Boulogne. Les blooms de cette espèce sont cependant plus importants près de la côte qu'au large pour la radiale de Boulogne. Certaines classes sont, quant à elles, présentes tout l'année et sur toute la radiale comme la Bacillariophycée *Chaetoceros* qui, de plus, prolifère au cours de la période juillet-septembre (plus d'1 000 000 de cellules/L) (Figures 125 à 127).

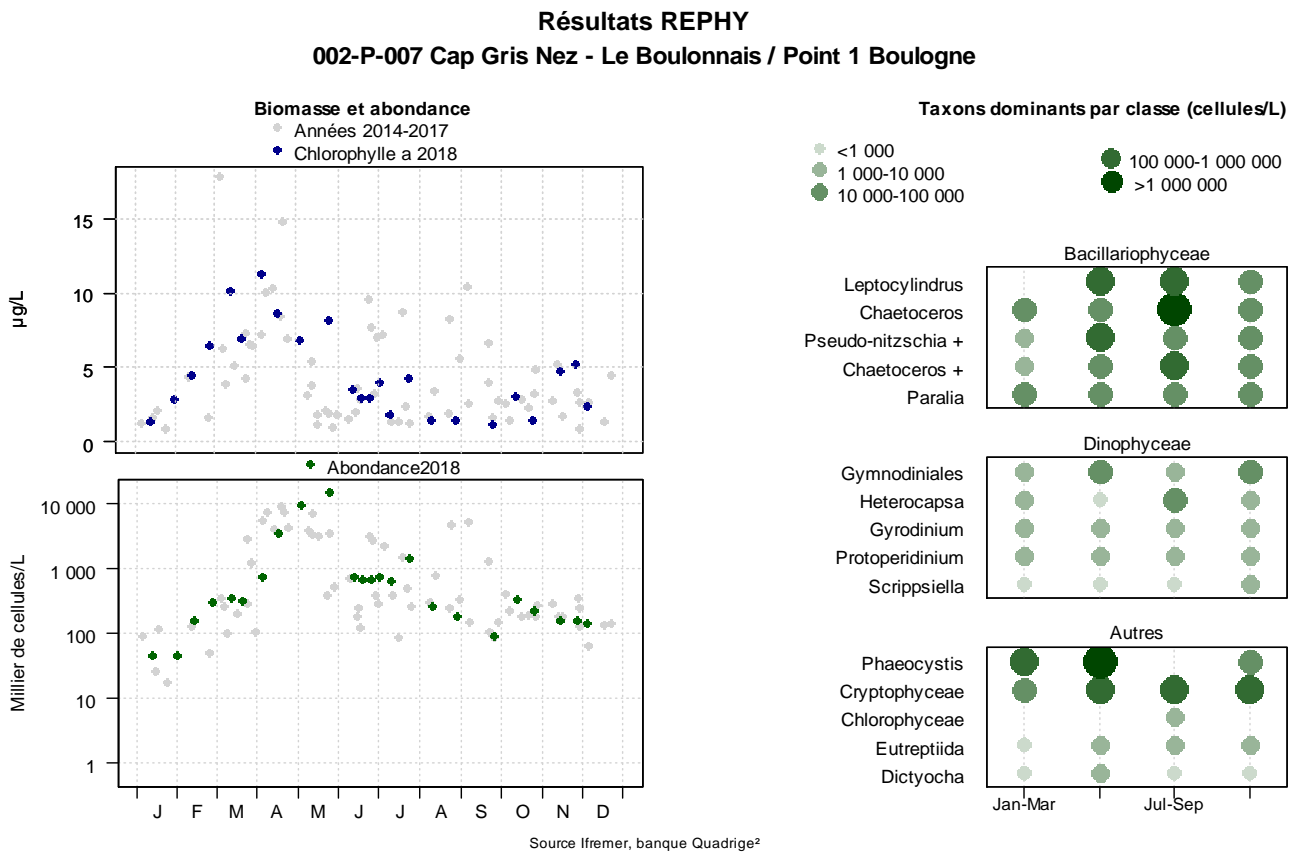


Figure 125. Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2014 et 2018 et classement des taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour le point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer

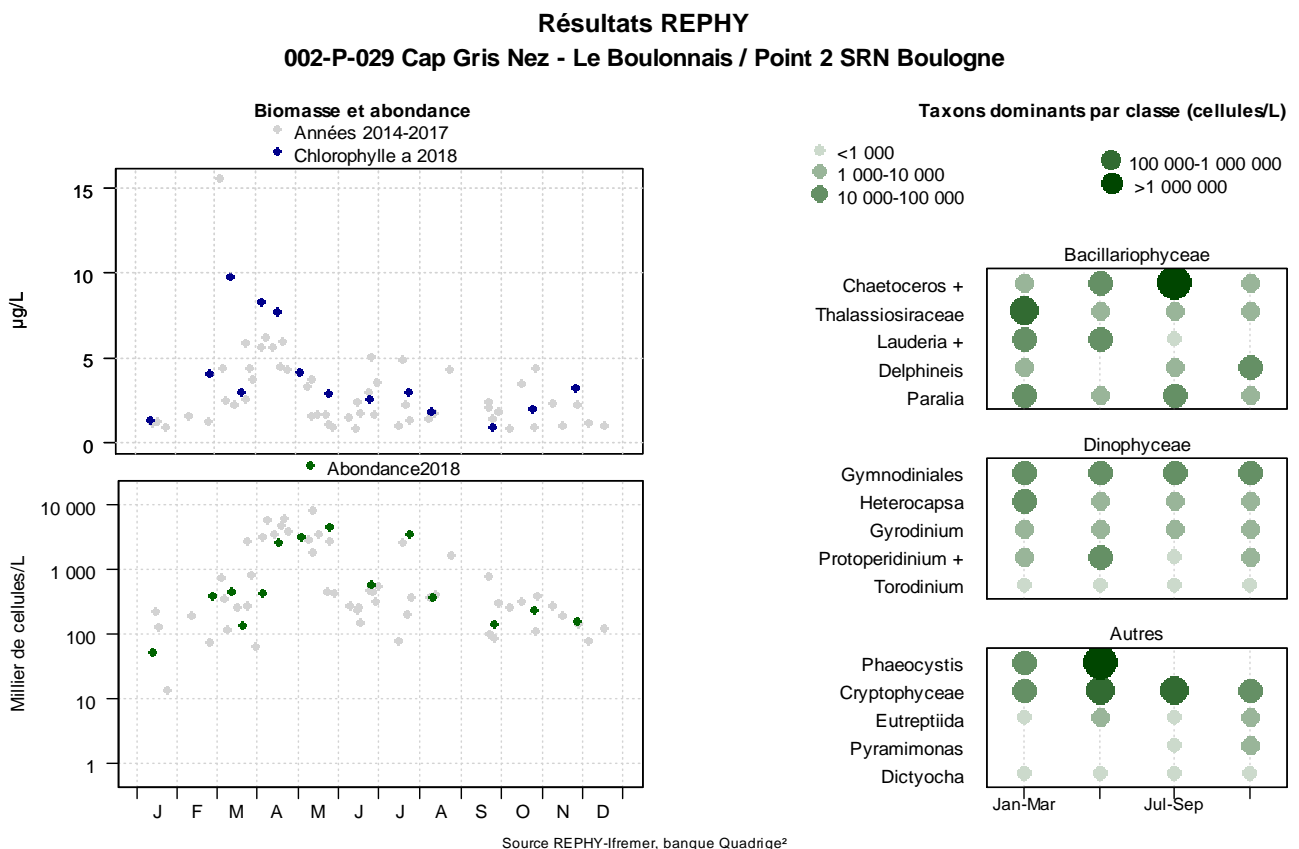


Figure 126. Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2014 et 2018 et classement des taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour le point 2 de la radiale de Boulogne-sur-Mer.

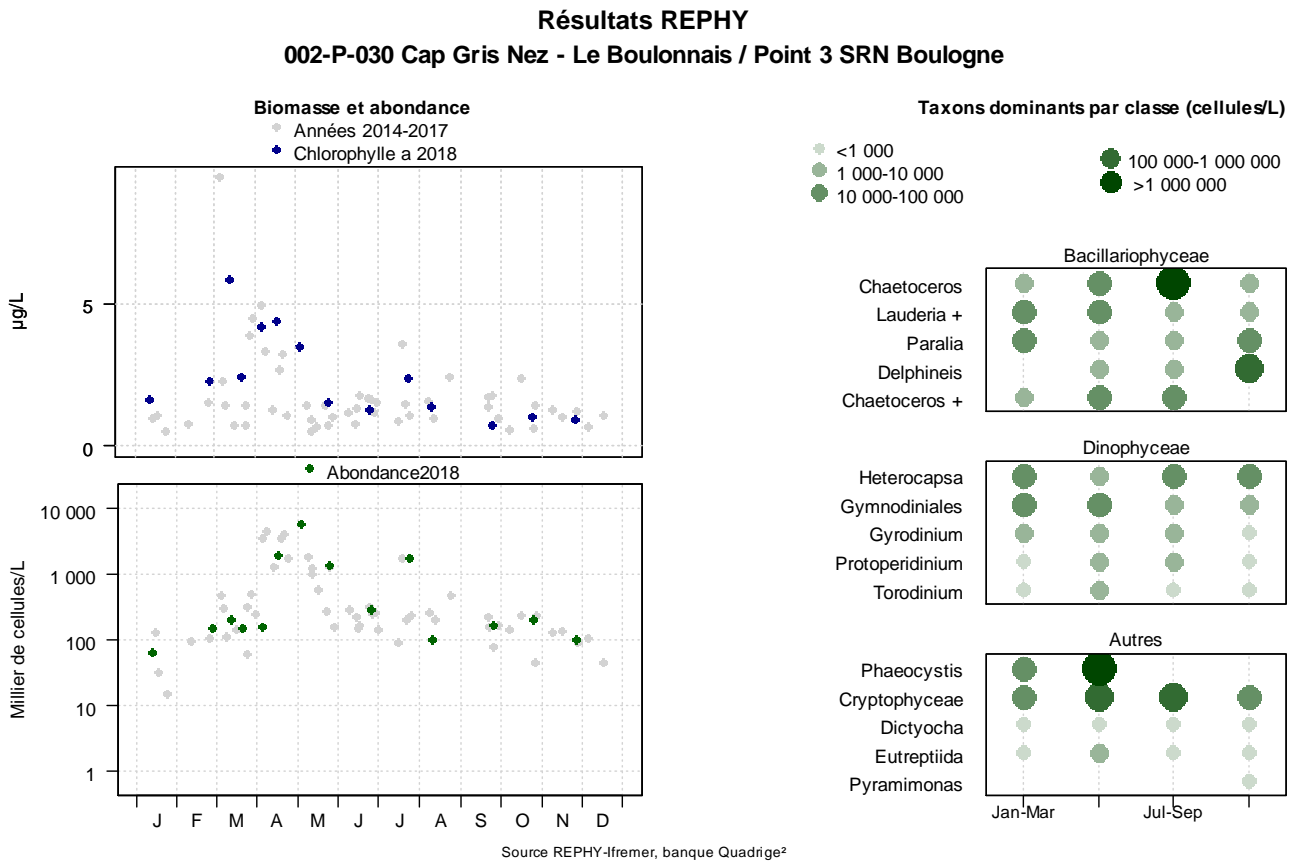


Figure 127. Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2014 et 2018 et classement des taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour le point 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer.

➤ 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. Le taxon *Phaeocystis* domine les 3 points de la radiale d'avril à juin. D'autres taxons sont présents toute l'année en quantité relativement importante comme *Chaetoceros* aux points 2 et 3 et *Leptocylindrus* au point 1 de la radiale. Les Cryptophycées sont également présents toute l'année en plus petite quantité. 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, le taxon *Chaetoceros* + se place en 4^{ème} position au point 1, en 1^{ère} position au point 2 et en 5^{ème} position au point 3. Le recours au calcul d'indice de Sanders par trimestre sur la base de l'ensemble des taxons recensés permet d'approfondir l'étude des successions phytoplanctoniques : le taxon *Phaeocystis* est présent au niveau des trois points de la radiale aux 1^{er} et 2nd trimestres mais il ne fait plus partie des taxons dominants le reste de l'année pour les points 2 et 3.

➤ **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 cellules maximales observées pour ce genre sur la période 2014-2017 se situe en septembre 2014 au point 1.

En 2018, il n’a pas été constaté de cas d’apparition du genre *Dinophysis* (Figure 128).

Le genre *Alexandrium* est, quant à lui, présent. Néanmoins, son seuil de toxicité de 10 000 cellules/L pour *Alexandrium minutum* et de 5 000 cellules/L pour *Alexandrium catenella* ou *tamarense* n’est pas dépassé. La quantité de cellules maximales observées pour ce genre est de 877 cellules/L, notamment en juillet 2018 (Figure 128).

Les *Pseudo-nitzschia* se développent tout au long de l’année et prolifèrent en mai. Durant la période 2014-2017, le groupe des fines (*Pseudo-nitzschia delicatissima*) a dépassé deux fois le seuil d’alerte (Seuil fixé à 300 000 cellules/L : 375 000 et 750 000 cellules/L en mai 2016, 1 052 000 en mai 2017). En juin 2018, ce taxon a dépassé le seuil avec une valeur de 376 000 cellules/L (Figure 128).

Les autres taxons (valves larges, effilées, sigmoïdes et le complexe *americana*), n’ont pas dépassé le seuil d’alerte de 100 000 cellules/L entre 2014 et 2017. Pour l’année 2018, le seuil d’alerte a été dépassé deux fois en juin : 199 000 et 134 000 cellules/L.

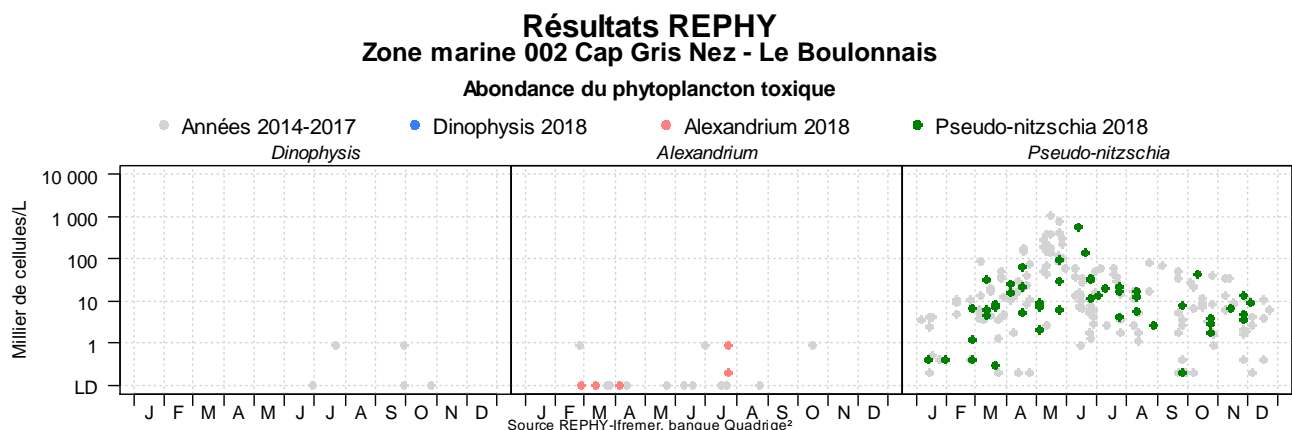


Figure 128. Évolution de l’abondance du phytoplancton toxique pour la radiale de Boulogne-sur-Mer pour les 4 dernières années (symboles grisés) et pour l’année 2018 (symboles en couleur)

3.2.4.3. Baie de Somme

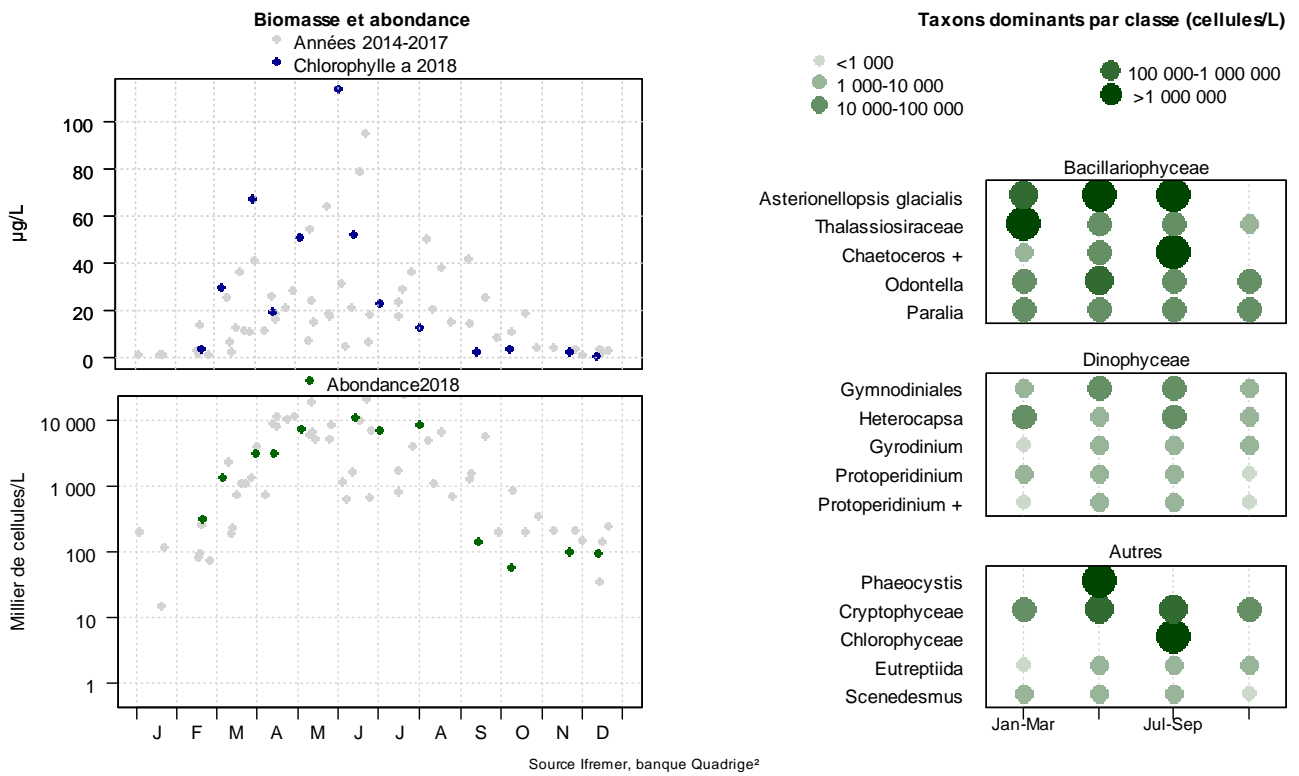
La dynamique du phytoplancton est légèrement différente de celle observée pour les autres radiales. En effet, la quantité de chlorophylle-*a* augmente dès février et diminue le plus souvent après le pic de concentration d'avril-mai. Les valeurs les plus faibles s'observent en hiver. Des valeurs exceptionnelles sont mises en évidence, notamment aux points Bif en juin 2015 et juin 2017 : respectivement 78,86 et 95.23 µg/L. La quantité de biomasse est plus importante près des côtes. Toutefois, les points Mimer et Atso présentent des concentrations relativement proches (Figures 129 à 132).

En 2018, l'évolution de la quantité de biomasse est relativement similaire à celle de la période 2014-2017. Au point Bif, le pic de concentration est également observé en juin et atteint 113.68 µg/L. Cette concentration est enregistrée comme étant la plus forte de l'année ainsi que la valeur la plus élevée depuis 2014. Cette élévation de la chlorophylle-*a* durant la période productive est majoritairement due à la forte présence de taxons comme *Phaeocystis globosa* pour l'ensemble des points, *Asterionellopsis glacialis* pour les points Bif, Mimer et Atso ou encore *Pseudonitzschia*+ pour Mer 2. Aucun autre pic n'est clairement identifié le reste de l'année (Figures 129 à 132).

La courbe d'abondance de cellules phytoplanctoniques est corrélée à celle de la concentration en chlorophylle-*a*. Cependant, l'abondance phytoplanctonique se révèle être tout de même légèrement en avance par rapport à cette dernière. Effectivement, à partir du mois de février, le nombre de cellules par litre augmente. Les valeurs diminuent après le pic de concentration (Figures 129 à 132).

En 2018, l'abondance est à son maximum en juin pour chaque point. Sur cette période, le taxon *Phaeocystis globosa* prolifère sur l'ensemble de la radiale, les valeurs atteintes sont : $10.7.10^6$, $16.7.10^6$, $11.4.10^6$, et $1.86.10^6$ cellules/L, des points Bif à Mer2. Cependant, ce n'est pas l'espèce majoritaire sur l'ensemble de la radiale pendant cette période. En effet, *Asterionellopsis glacialis* présente une valeur supérieure à $20,8.10^6$ cellules/L au point Bif en juin, ainsi qu'une valeur avoisinant les $10,0.10^6$ cellules/L au point Mimer et Atso. Le troisième trimestre voit apparaître des valeurs d'abondance du taxon *Chaetoceros* + élevées pour les points Bif, Mimer et Atso. *Letpocylindrus* présente une augmentation de sa concentration au point Atso. La classe des *Bacillariophycées* est présente en quantité tout au long de l'année (Figures 129 à 132).

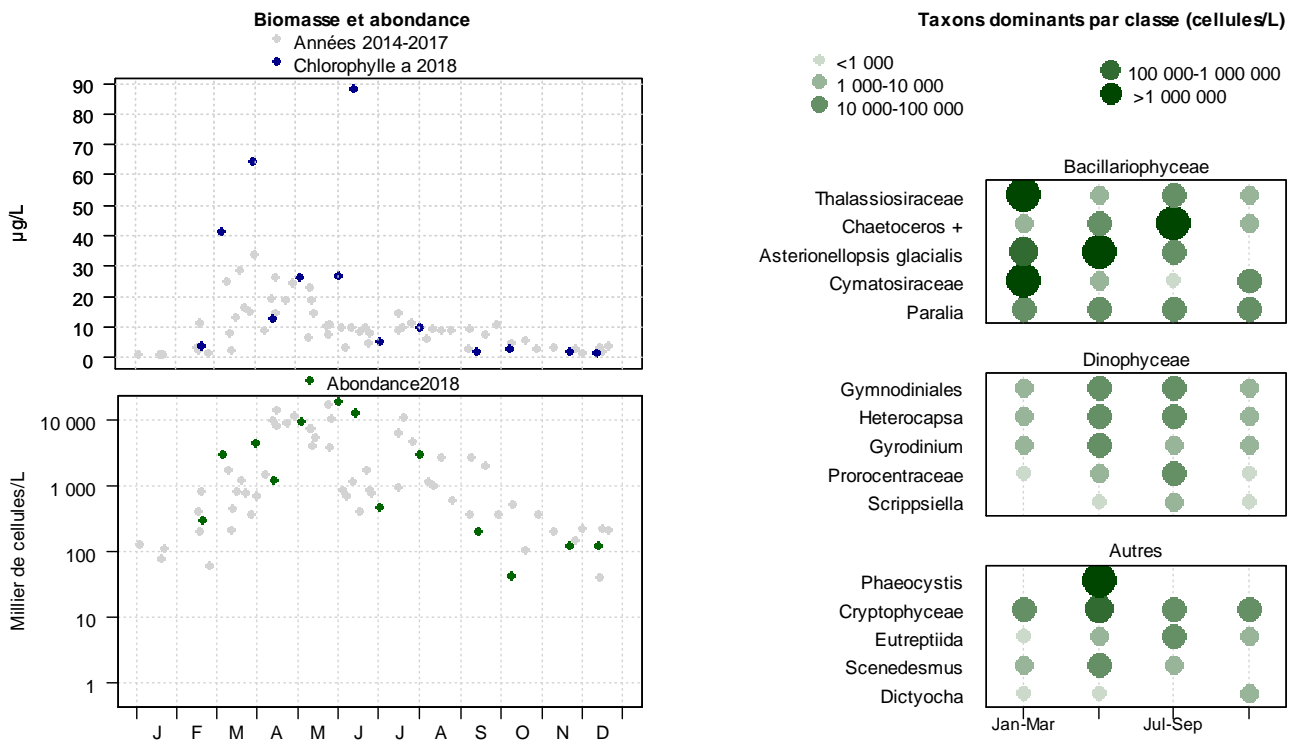
Résultats REPHY
007-P-008 Baie de Somme / Bif



Source Ifremer, banque Quadrige²

Figure 129. Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2014 et 2018 et classement des taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour le point Bif de la radiale de la Baie de Somme

Résultats REPHY
006-P-008 Baie de Somme - large / Mimer



Source REPHY-Ifremer, banque Quadrige²

Figure 130. Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2014 et 2018 et classement des taxons dominants au sens de l'indice de Sanders pour le point Mimer de la radiale de la Baie de Somme

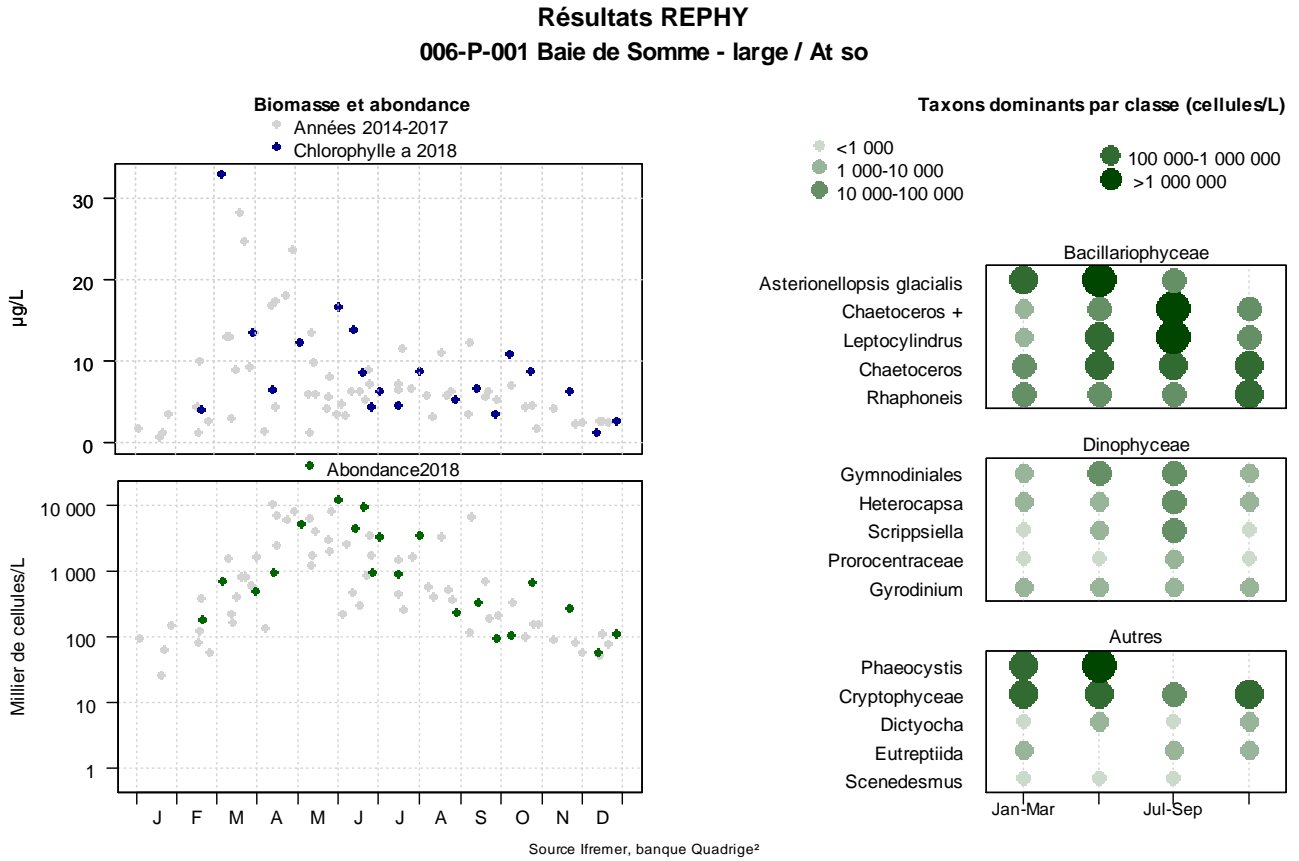


Figure 131.Évolution de l’abondance phytoplanctonique totale entre 2014 et 2018 et classement des taxons dominants au sens de l’indice de Sanders pour le point Atso de la radiale de la Baie de Somme

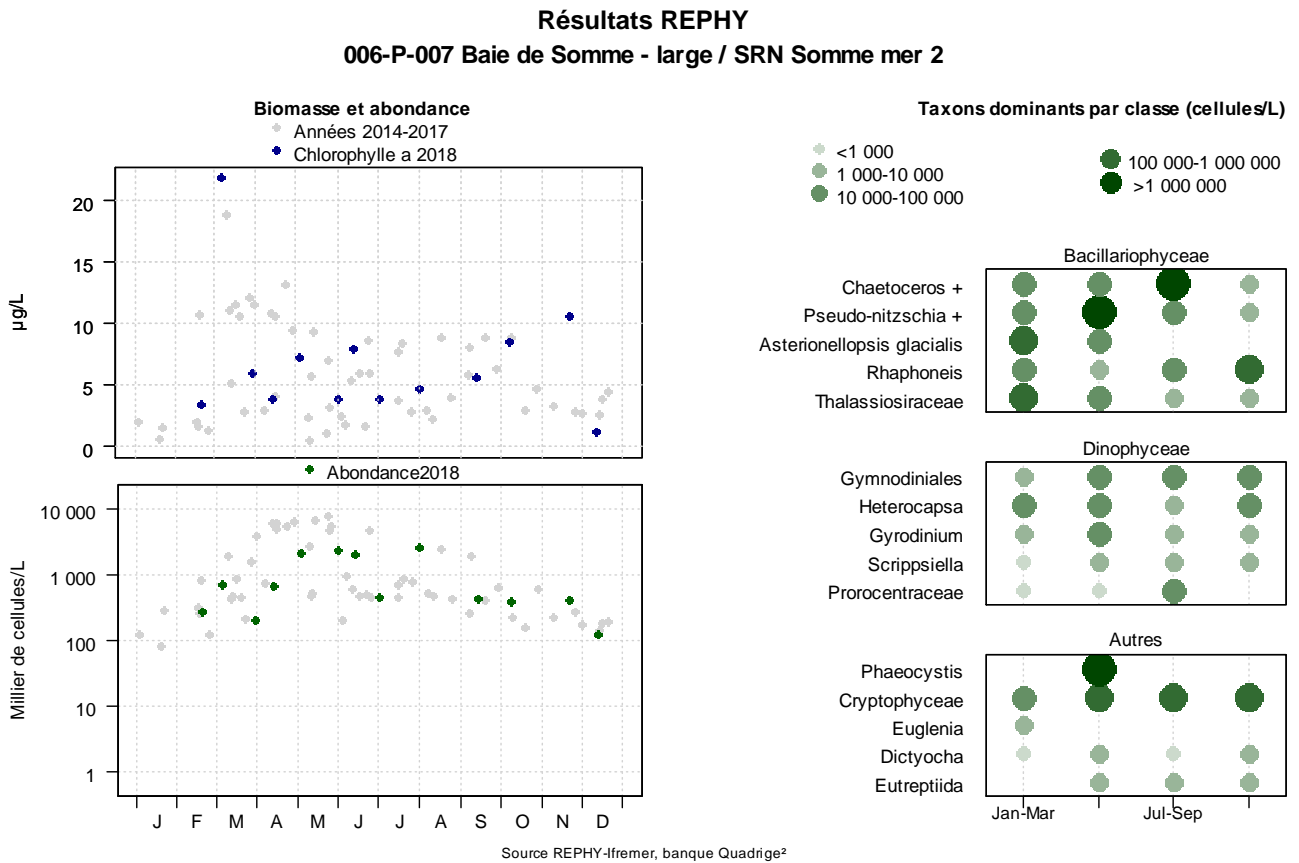


Figure 132. Évolution de l’abondance phytoplanctonique totale entre 2014 et 2018 et classement des taxons dominants au sens de l’indice de Sanders pour le point Somme Mer 2 de la radiale de la Baie de Somme

➤ **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. La répartition des taxons est variée sur cette radiale : en effet, au niveau du taxon des Bacillariophycées, *Asterionellopsis glacialis* domine le point Bif et Atso ; les *Thalassiosiraceae* le point Mimer ; *Chaoteceros* + le point Mer2. Il est à noter que le genre *Phaeocystis* présente d'importantes valeurs durant le deuxième semestre (plus d'un millions de cellules/L sur toute la radiale). *Pseudo-nitzschia* présente des concentrations similaires pour le point Mer2. Bien que la plupart des espèces phytoplanctoniques soient présentes sur l'ensemble de la radiale, une certaine hétérogénéité s'observe tout de même. Par exemple, l'espèce *Rhaphoneis* se place en 4^{ème} position au point Mer2, en 5^{ème} position au point Atso et n'apparaît pas pour les points Mimer et Mer2.

Le recours au calcul de l'indice de Sanders par trimestre sur la base de l'ensemble des taxons recensés permet d'approfondir l'étude des successions phytoplanctoniques. Par ce fait, *Phaeocystis* est observable au 2^{ème} trimestre sur toute la radiale et au premier trimestre pour le point Atso, mais ne fait plus partie des taxons dominants le reste de l'année.

➤ **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*, suspecté de produire la toxine DSP, n'est détecté que deux fois au point Atso sur la période 2014 à 2017. La quantité de cellules du genre *Alexandrium* sur cette période est faible. En effet, la valeur max. atteinte est d'environ 900 cellules/L pour un seuil d'alerte fixé à 10 000 cellules/L pour *Alexandrium minutum* et 5 000 cellules/L pour *Alexandrium catenella* ou *tamarense*. De plus, ce genre est rarement observé (une à deux fois par an). En ce qui concerne le taxon *Pseudo-nitzschia*, celui-ci est fréquemment observé avec une prolifération de mars à juin. Pour mémoire, des valeurs ont dépassé le seuil d'alerte pour le groupe des fines (seuil fixé à 300 000 cellules/L) à plusieurs reprises sur la période 2014-2017. Les autres espèces (valves larges, effilées, sigmoïdes et le complexe *americana*) n'ont, quant à elles, pas dépassé le seuil d'alerte de 100 000 cellules/L sur cette période.

En 2018, les genres *Dinophysis* et *Alexandrium* ne sont pas détectés. Le taxon *Pseudo-nitzschia delicatissima* a dépassé trois fois le seuil d'alerte en juin : 447 000, 435 000 et 433 000 cellules/L. Les analyses de toxines dans les coquillages (moules prélevées sur le point REPHY « Pointe de Saint Quentin ») n'ont pas permis de conclure à la présence de toxines. L'alerte a ainsi

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 sont reliés par des relations de cause à effet ; d'autres sont directement influencés par les activités anthropiques.

Dans le cadre du SRN (Suivi Régional des Nutriments), un ensemble de paramètres physico-chimiques et biologiques est utilisé comme indicateur de la qualité du milieu marin en vue de définir l'évolution spatiale et temporelle de quelques paramètres significatifs dans la compréhension de la dynamique du phytoplancton, de la qualité de l'eau et, plus particulièrement du processus d'eutrophisation des eaux côtières de la Manche orientale et la baie sud de la Mer du Nord.

Le présent rapport résume ainsi les principaux résultats obtenus pour les campagnes de l'année 2018. 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 et biologiques

La dynamique temporelle de l'ensemble des paramètres physico-chimiques observés au cours de l'année 2018 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 2018, 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 2018. Ainsi, le déploiement de

la sonde Ysi a permis de caractériser la structure verticale des masses d'eau (figures 134 à 136). Ces profils de sonde sont bancarisés sur CORIOLIS (<http://www.coriolis.eu.org/>).

La plupart du temps, les masses d'eaux sont homogènes. Les quelques variations de températures restent négligeables, même à la côte où le mélange entre les eaux douces et salées est susceptible de créer une stratification des masses d'eaux. Celle-ci est dans tous les cas négligeable par rapport à l'hétérogénéité horizontale.

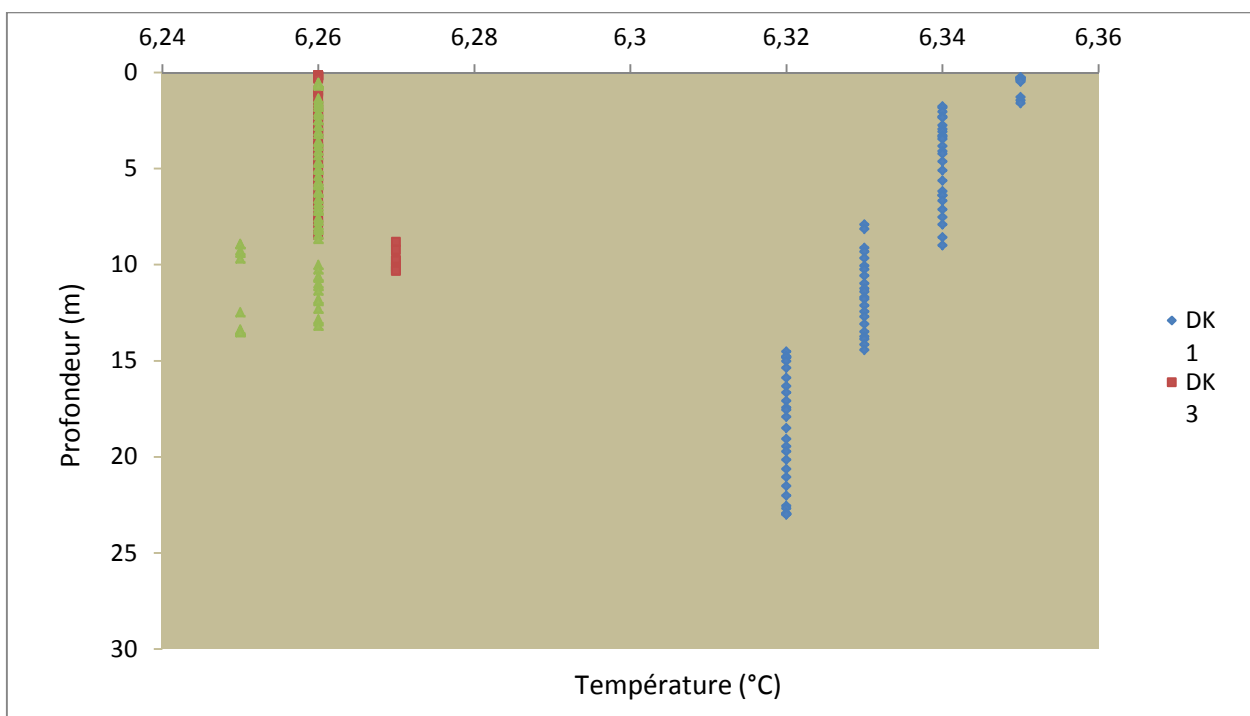


Figure 134. Évolution verticale de la température (°C) sur la radiale de Dunkerque le 26 mars 2018

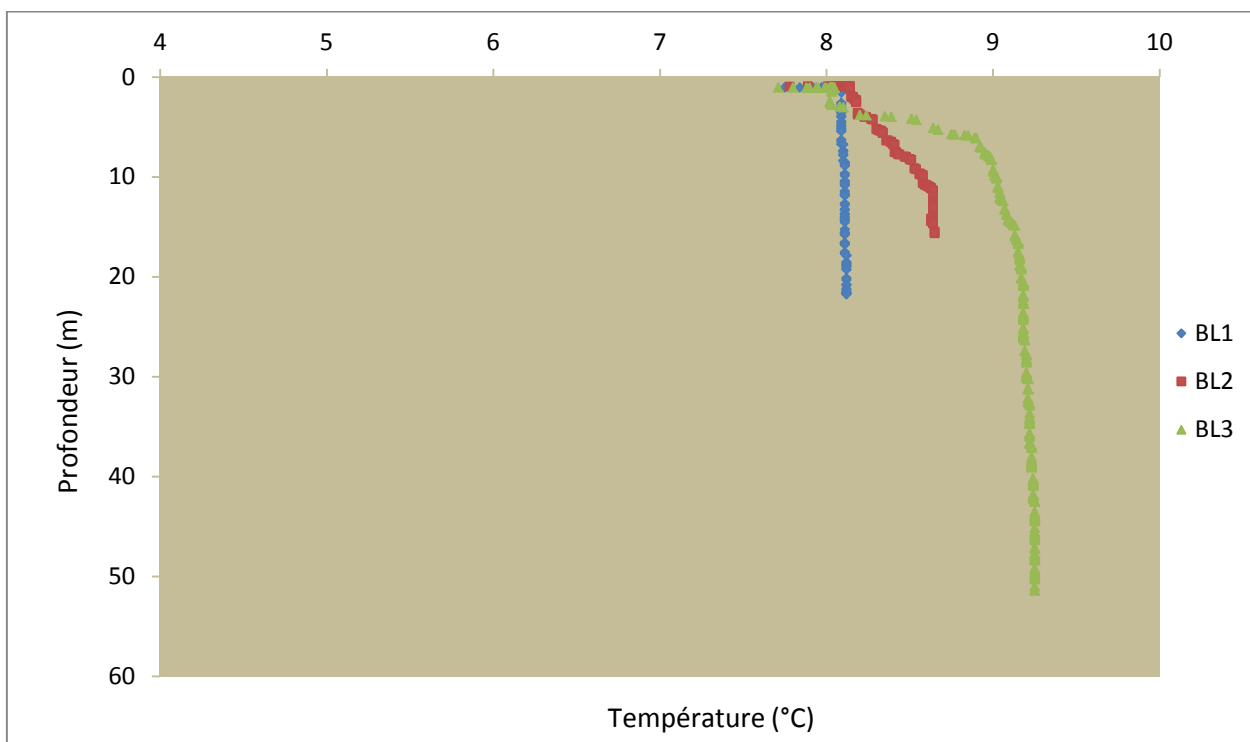


Figure 135. Évolution verticale de la température (°C) sur la radiale de Boulogne-sur-Mer le 26 mars 2018

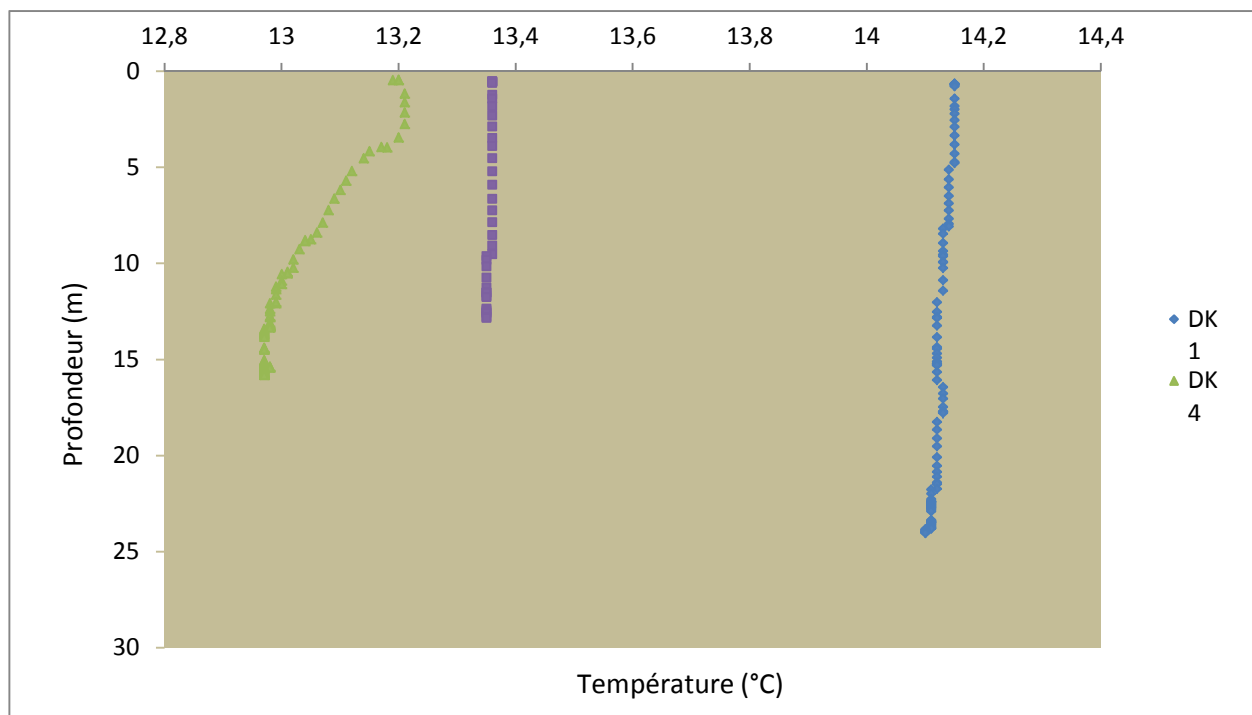


Figure 136. Évolution verticale de la température (°C) sur la radiale de la Baie de Somme le 26 mars 2018

La salinité varie très peu : de 33 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 32 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). Ces valeurs ne sont cependant pas représentatives de l'étendue des salinités observables dans cette zone dans la mesure où les prélèvements ne se font qu'à un moment restreint de la marée : PM +/- 2h.

Les apports fluviaux le long de la côte française, de la baie de Seine au Cap Gris-Nez, génèrent une masse d'eau côtière qui dérive le long du littoral, séparée de l'océan par une zone frontale. La frange d'eau côtière est nettement influencée par les apports terrestres : la salinité y est plus faible qu'au large et les valeurs de turbidité plus élevées. En effet, la plupart des paramètres hydrologiques et biologiques montrent l'existence d'un gradient côte-large bien marqué. Les valeurs de turbidité sont en moyenne fortes en hiver, faibles en été et diminuent à mesure de l'éloignement de la côte. 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. Néanmoins, la turbidité résulte également de la forte concentration des organismes vivants. De plus, une augmentation de la turbidité peut être la conséquence directe de mouvements sous l'action des vents 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 63,40 N.T.U. au point Mimer en 2018) par

comparaison aux deux autres radiales : Boulogne-sur-Mer (maximum de 8,73 N.T.U. à la station 1 en 2018) et Dunkerque (maximum de 23,20 N.T.U. au point DK1 en 2018).

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, jouent 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 fluctuation de la quantité de matières organiques en Baie de Somme 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 contenue dans les sédiments reste en général très faible (Etcheber et al. 2007). Les fortes concentrations en matières organiques 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 matières organiques sur les trois radiales. C'est le cas de l'espèce *Phaeocystis globosa*, responsable de 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, comme la turbidité, limitent le développement du phytoplancton. Le stock de nutriment n'étant pas consommé lors de cette période, il atteint une valeur maximale. Au printemps, le phytoplancton bénéficie de l'ensoleillement nécessaire à sa croissance et de ce stock conséquent de nutriments.

La dynamique des sels nutritifs au cours de l'année 2018 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 lors 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. En effet, la quantité de cellules par litre augmente considérablement entre mars et avril, période à laquelle la concentration en nitrate diminue fortement.

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 2018, 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). A l'échelle annuelle, est observée 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 N : Si : P ou N : P : Si. La période productive présente, quant à elle, l'ensemble des limitations possibles. 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, permet d'identifier les priorités en termes de réduction des apports de nutriments.

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, des 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 2018 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.

Les observations des années antérieures ont permis de dresser un schéma type de la succession phytoplanctonique (Figure 137),

Figure 137. Schéma type de la succession phytoplanctonique avant, pendant et après le bloom printanier de *Phaeocystis globosa*

En 2018, la dynamique phytoplanctonique est semblable à celle des années précédentes si l'on considère la succession *Bacillariophycées*/*P.globosa*/*Bacillariophycées*. Les espèces observées ne sont cependant pas tout à fait les mêmes avant et après le bloom. L'intensité du bloom de *P. globosa* est considérée comme importante pour l'année 2018.

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* sont obtenues à partir des mesures faites par satellite via le capteur MODIS. Ces estimations sont couramment utilisées pour obtenir une représentation à une échelle moins régionale afin de pouvoir situer les phénomènes observés lors de ce cycle de surveillance, et ce, 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 une acquisition des données complète 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 du développement phytoplanctonique en 2018 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 2018 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 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 avril. Les concentrations restent importantes dans la bande côtière en été, puis diminuent pour ne plus être localisées que

dans les zones de panache des fleuves (Rhin, Somme, Seine). Cette plus forte production à proximité des fleuves, mais plus tardive, s'explique par une limitation par la lumière en début de saison (en raison de fortes turbidités) bien que les nutriments soient disponibles.

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

La surveillance et la protection de l'environnement nécessitent la mise en place d'un certain nombre de programmes pour évaluer l'état écologique et l'état chimique des eaux. Les objectifs du SRN sont compatibles avec les exigences de mise en œuvre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE - 2000/60/UE). Le SRN vise par ailleurs à évaluer l'influence des apports continentaux sur le milieu marin (sels azotés, phosphates, silicates) et leurs conséquences sur d'éventuels processus d'eutrophisation, ce qui en fait également un élément clef pour répondre aux nouveaux besoins de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM - 2008/56/UE). Dans le cadre de la DCE, il s'agit de donner la priorité à la protection de l'environnement en demandant de veiller non seulement à la non dégradation de la qualité des eaux et d'atteindre en 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 aux descripteurs 5-Eutrophisation et 1-Habitat pélagique (notamment pour le phytoplancton) 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 classer 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 (Figure 138) :

- 5 masses d'eau côtières (FRAC01, FRAC02, FRAC03, FRAC04, FRAC05),
- 4 masses d'eau de transition (FRAT01, FRAT02, FRAT03, FRAT04).



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 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. Une augmentation de la teneur en nutriments peut alors 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 matières organiques 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).



Figure 140. 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

L'état physico-chimique des masses d'eau en fonction des nutriments de la côte des dunes de Flandres et de la Côte d'Opale est bon. Cependant, l'état de la Baie de Somme reste moyen.



Figure 141. 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 biologique est majoritairement moyen pour les masses d'eau côtières du Nord - Pas-de-Calais et de la Picardie. Il est médiocre en Baie de Somme. Les zones Gris Nez - Slack et Slack – La Warente possèdent un bon état biologique. 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 écologique des masses d'eau entre 2010 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 écologique est mauvais (Figure 140).

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 Wardenne possèdent un mauvais état chimique. Les ports de Dunkerque et de Boulogne sont également classés en mauvais état du fait de leurs activités industrielles. Le responsable de l'état de ces ports est un métal lourd, le Méthylmercure, tandis que le Tributylétain (TBT) est quant à lui responsable du mauvais état de la masse d'eau Gris-Nez – Slack. 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 de ses alentours. Les masses d'eaux ne montrent pas de concentrations suffisamment élevées en pesticides pour que ces derniers constituent un problème.

Figure 143. Évaluation de l'état chimique des masses d'eau entre 2010 et 2015 dans le cadre du programme de surveillance de la DCE 2000/60/CE



Figure 144. Évaluation de l'état global des masses d'eau entre 2010 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 zones Gris-Nez – Slack et Slack – La Warenne. La qualité des masses d'eau des ports de Boulogne et Dunkerque est déclassée du fait d'un mauvais état chimique contrairement à la Baie de Somme où la qualité médiocre de l'eau est causée par un mauvais état écologique.

5. Bilan et conclusions

Les résultats présentés dans ce rapport pour la période 1992-2018, 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 25 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 2018 étaient en moyenne plus chaudes pour les trois radiales. Néanmoins, aucune valeur extrême (supérieure ou inférieure) n'est enregistrée au cours de l'année.

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 pour certains de ces paramètres.

Les assemblages phytoplanctoniques sont caractérisés par une dominance de la prymnesphycée *Phaeocystis globosa* en mars-avril tandis que d'autres classes (ex. les *Bacillariophycées* et les *Cryptophycées*) dominent le reste de l'année. Sur les trois taxons susceptibles de produire des toxines, seul *Pseudo-nitzschia delicatissima* a dépassé le seuil d'alerte de 300 000 cellules/L. Cette espèce a alors provoqué cinq alertes : sur la radiale de Dunkerque, sur celle de Boulogne et trois dans la Baie de Somme. Aucune toxine n'a été mise en évidence dans les coquillages prélevés sur les sites conchylicoles de référence situés à proximité de ces radiales.

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. Des analyses plus récentes prenant en compte davantage de résultats (1992-2018) tendent à remettre en question les conclusions quant à une linéarité de la réponse entre l'indice NAO et l'abondance de *Phaeocystis globosa*, des diatomées et des dinoflagellés. Les anomalies positives ou négatives de l'indice hivernal NAO (décembre à mars) ne sont pas systématiquement liées à des anomalies positives ou négatives des abondances phytoplanctoniques (Figure 145)

Figure 145. Anomalies de l'indice hivernal NAO (A), de l'abondance de *Phaeocystis globosa* (B), des diatomées (C) et des dinoflagellés (D) entre mars et juin, pour la période 1992-2018.

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 F.G. , Lefebvre A. (Eds.), 2016) pour étudier la variabilité à petite échelle temporelle ou un échantillonnage dynamique automatisé, apparaît comme une méthode complémentaire aux méthodes traditionnelles (microscopie par exemple) qui permettra de mieux expliquer certaines anomalies ou valeurs extrêmes et d'avoir une plus grande échelle de gradient large-côte. 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. 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 (Lefebvre A., 2013).

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

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

Dans le contexte de la mise en œuvre dès 2007 de la Directive Cadre sur l'Eau (D.C.E. Directive 2000/60/CE), (COM, 2005, a, b, c), certains points côtiers du S.R.N. intègrent le dispositif dit de Contrôle de Surveillance et de Contrôle Opérationnel. Les documents de référence, les rapports d'évaluation de l'état écologique pour les différents éléments de qualité basés en partie sur les résultats du SRN sont téléchargeables via le site Ifremer :

http://envlit.ifremer.fr/surveillance/directive_cadre_sur_l_eau_dce/elements_de_qualite.

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 littoral de la région Nord-Pas-de-Calais : Qualité du milieu marin. Convention de coopération Région Nord - Pas-de-Calais / Ifremer. Rapport Scientifique et technologique de l'Ifremer 3 : 152.
- Bendschneider, K. and R. J. Robinson. 1952. A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. *Journal of Marine Research*. 11:86-96.
- Bentley, D., R. Lafite, N. H. Morley, R. James, P. Statham, and J. C. Guary. 1993. Flux de nutriments entre la manche et la mer du Nord, situation actuelle et évolution depuis 10 ans. *Oceanologica Acta* 16:599-606.
- Billen, G. and C. Lancelot. 1991. N,P,Si retention along the aquatic continuum from land to ocean. Pages 203-209 in R. F. C. Mantoura, J. M. Martin, and R. Wollas, editors. *Toxic phytoplankton in the sea*. Elsevier Science Publishers BV, Amsterdam.
- Boissery P., Tomasino C. 2013. Synthèse des réseaux de surveillance soutenus par l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse.
- Breton, E., Rousseau, V., Parent, J.-Y., Ozer, J., & Lancelot, C. (2006). Hydroclimatic modulation of diatom/Phaeocystis blooms in nutrient-enriched Belgian coastal waters (North Sea). *Limnology and oceanography*, 51(3), 1401-1409.
- Brunet, C., J. M. Brylinski, L. Bodineau, G. Thoumelin, D. Bentley, and D. Hilde, 1996. Phytoplankton Dynamics During the Spring Bloom in the South-eastern English Channel. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 43:469-483.
- Brylinsky, J. M. and Y. Lagadeuc. 1990. L'interface eaux côtières / eaux du large dans le Pas-de-Calais (côtes françaises) : une zone frontale. *Compte rendu de l'académie des sciences de Paris* 311:535-540.
- Brzezinski, M. A. 1985. THE Si:C:N Ratio of Marine Diatoms: Interspecific variability and the effect of some environmental variables. *Journal of Phycology* 21:347-357.
- Cancino, L. and R. Neves. 1999. Hydrodynamic and sediment suspension modelling in estuarine systems: Part II: Application to the Western Scheldt and Gironde estuaries. *Journal of Marine Systems* 22:117-131.
- Dussuel A., Lefebvre A., 2018. Bilan de la mise en oeuvre des réseaux REPHY et SRN en Manche orientale et baie sud de la Mer du Nord. Bilan de l'année 2017. Rapport Ifremer ODE/LITTORAL/LER.BL/18.07, 215 pages.
- 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 turbidity observed from space and in-situ in coastal waters. *Ocean Sci.*, 7:705-732.
- Guiselin Natacha. 2010. Etude de la dynamique des communautés phytoplanctoniques par microscopie et cytométrie en flux, en eaux côtières de la Manche orientale.
- Hernández Fariñas Tania, Soudant Dominique, Barillé Laurent, Belin Catherine, Lefebvre Alain, Bacher Cédric, 2014. Temporal changes in the phytoplankton community along the French coast of the eastern English Channel and the southern Bight of the North Sea. *ICES J Mar Sci.*, 71 (4): 821-833, doi:10.1093/icesjms/fst192.
- 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.
- 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., 2013. Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (2008/56/CE) - Programme de surveillance - Livrable 5 : Proposition scientifique et technique de paramètres et de dispositifs de suivis associés. Rapport Ifremer ODE/RST/LERBL/13.02, 60 pages.
- Lefebvre A., 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.
- 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.

- Lefebvre A., Poisson-Caillault E., Grassi K., 2018. MAREL Carnot : Rapport n° 12 : Bilan d'une surveillance à haute fréquence en zone côtière sous influence anthropique (Boulogne-sur-Mer). Bilan 2017. Ifremer/RST.LER.BL/18.05, 24 pages.
- 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 Gioglio 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. Gendré, P. Riou, and P. Cugier. 2013. Large-scale patterns of river inputs in southwestern Europe: seasonal and interannual variations and potential eutrophication effects at the coastal zone. *Biogeochemistry* 113:481-505.
- Rousseau, V., A. Leynart, N. Daoud, and C. Lancelot. 2002. Diatom succession, silicification and silicic acid availability in Belgian coastal waters (Southern North Sea). *Marine Ecology Progress Series* 236:61-73.
- Rousseuw K, Poisson-Caillault E, Lefebvre A, Hamad D , 2015. Hybrid Hidden Markov Model for Marine Environment Monitoring. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8 (1), 204-213(IF: 2.827).
- Schapiro, 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.
- Schmitt F.G. , Lefebvre A. (Eds.), Mesures à haute résolution dans l'environnement marin côtier, CNRS Editions, 2016. ISBN 978-2-271-08592-4 (<http://www.cnrseditions.fr/home/7300-mesures-a-haute-resolution-dans-l-environnement-marin-cotier.html>).
- Seuront L, Souissi S. 2002. Climatic control of *Phaeocystis* spring bloom in the Eastern English Channel (1991-2000).
- Smayda, T. D. 1990. Novel and nuisance phytoplankton blooms in the sea : evidence for a global epidemic. Pages 29-40 *Toxic marine phytoplankton* Elsevier Publishing Co, New-york.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull.Fish.Res.Bd.Can.* 167:311.
- 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.

ANNEXES

P. 206-212 : Annexe 1	Données brutes des analyses physico-chimiques et gradient large-côte pour l'ensemble des radiales en 2018
P.213 : Annexe 2	Correspondance entre les intitulés de la base de données Quadrigé 2 et la classe taxonomique pour toutes les radiales
P.214 : Annexe 3	Tableau de synthèse des limitations potentielles en nutriments pour l'ensemble des radiales en 2018

**Annexe 1 : Données brutes des analyses physico-chimiques
(NA : données manquantes)**

Dunkerque

Radiale de Dunkerque, Station 1

Date	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiOH	Oxygène
	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	mg.l ⁻¹
11/01/2018	7,30	34,00	15,00	16,70	2,00	2,16	2,01	11,50	0,52	8,99	9,86
16/02/2018	6,90	33,80	10,40	11,40	1,20	2,08	0,83	22,00	0,63	10,20	9,85
09/03/2018	5,40	33,60	23,20	25,30	2,50	13,46	0,15	17,56	0,42	4,92	9,62
26/03/2018	6,30	34,50	1,92	2,40	1,10	4,16	0,31	4,41	0,05	0,73	10,29
11/04/2018	9,00	34,00	2,20	3,10	2,90	10,64	0,25	2,53	0,05	0,83	9,79
27/04/2018	11,10	34,20	5,05	8,30	3,50	13,46	0,15	0,15	0,11	0,38	9,15
31/05/2018	15,20	34,30	5,70	8,20	1,40	2,22	0,15	0,15	0,07	1,12	7,65
13/06/2018	17,10	32,40	6,99	9,90	2,50	14,04	0,59	1,95	0,05	0,69	8,90
27/06/2018	17,90	34,00	2,86	4,40	1,40	4,54	0,15	0,15	0,05	0,39	8,32
05/07/2018	20,20	33,40	2,28	4,10	1,30	4,99	0,15	0,15	0,07	0,42	7,74
17/07/2018	20,30	33,40	2,37	4,20	1,70	4,75	3,79	0,15	0,06	0,68	8,64
02/08/2018	20,90	34,50	4,07	4,40	1,60	3,82	0,15	0,15	0,11	6,38	8,71
23/08/2018	20,30	35,00	8,96	11,00	1,80	9,18	0,18	0,61	0,42	1,99	8,23
14/09/2018	18,20	35,20	2,70	3,10	0,30	3,49	0,15	0,18	0,32	1,02	8,21
26/09/2018	16,70	34,80	2,10	5,30	1,30	6,04	0,15	0,74	0,31	2,03	NA
10/10/2018	15,70	34,60	4,07	9,30	1,50	3,99	0,15	0,11	0,29	1,00	NA
15/10/2018	16,50	34,60	1,83	3,30	1,00	4,91	0,40	0,64	0,29	0,51	8,31
31/10/2018	12,10	33,00	6,35	11,60	1,90	7,32	2,25	2,52	0,41	2,34	8,99
15/11/2018	12,20	34,20	3,86	7,20	1,10	3,74	3,60	4,27	0,39	2,71	8,62
12/12/2018	9,30	34,30	7,58	14,60	2,00	2,33	2,92	6,64	0,44	5,31	NA
27/12/2018	8,50	34,10	3,46	5,70	0,80	0,91	3,16	13,93	0,48	11,19	9,33

Radiale de Dunkerque, Station 3

Date	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiOH	Oxygène
	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	mg.l ⁻¹
11/01/2018	7,60	34,40	11,00	13,40	1,60	1,51	1,11	8,74	0,43	6,53	9,94
09/03/2018	5,50	34,00	11,50	14,70	1,80	13,68	0,15	12,44	0,22	1,48	9,66
26/03/2018	6,30	34,70	2,21	3,20	1,10	3,79	0,79	3,35	0,05	0,40	10,23
11/04/2018	8,40	34,30	1,68	1,60	1,60	5,32	0,31	3,71	0,13	0,52	9,89
27/04/2018	10,40	34,50	2,42	3,40	1,60	9,06	0,15	0,15	0,07	0,22	10,03
31/05/2018	14,30	34,40	4,36	5,30	2,60	0,96	0,15	0,15	0,05	0,71	8,19
05/07/2018	19,10	33,70	1,14	2,80	1,10	1,43	0,15	0,18	0,05	0,45	8,10
02/08/2018	20,70	34,50	3,22	2,00	0,70	1,95	0,15	0,15	0,05	3,95	8,55
26/09/2018	17,20	34,90	4,60	11,50	1,50	7,44	0,27	0,98	0,22	2,13	NA
10/10/2018	15,80	34,30	4,33	9,90	1,60	5,75	0,15	0,17	0,35	0,98	NA
12/12/2018	10,40	34,70	4,87	9,40	1,40	1,31	1,22	4,14	0,37	4,02	NA

Radiale de Dunkerque, Station 4

Date	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiOH	Oxygène
	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	mg.l ⁻¹
11/01/2018	7,80	34,40	3,82	5,40	0,70	1,49	0,97	8,95	0,49	6,40	9,79
09/03/2018	5,40	34,10	7,49	9,90	1,70	7,40	0,20	7,75	0,32	2,07	9,85
26/03/2018	6,30	34,60	1,99	1,50	0,90	2,23	1,39	4,29	0,12	0,43	10,26
11/04/2018	8,20	34,40	1,37	1,60	1,60	5,07	0,54	2,51	0,05	0,61	10,36
27/04/2018	10,10	34,70	0,66	2,50	1,30	5,37	0,15	0,20	0,05	0,18	10,40
31/05/2018	13,90	34,40	3,91	2,10	1,40	0,91	0,15	0,15	0,05	0,87	8,01
05/07/2018	18,00	33,90	0,72	3,10	1,10	1,60	0,15	0,15	0,05	0,46	7,96
02/08/2018	19,80	34,70	0,57	1,60	0,70	1,37	0,15	0,15	0,05	3,11	8,26
26/09/2018	17,50	34,90	1,00	1,80	0,60	3,33	0,24	0,69	0,19	2,49	NA
10/10/2018	16,20	34,40	3,56	2,50	0,80	3,54	0,15	0,23	0,21	0,68	8,68
12/12/2018	11,10	34,90	3,45	4,00	1,30	1,14	0,75	4,65	0,38	4,45	NA

Boulogne

Radiale de Boulogne, Station 1

Date	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiOH	Oxygène
	°C	P,S,U.	N,T,U.	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	mg.l ⁻¹
12/01/2018	8,10	34,40	8,73	9,80	0,80	1,39	0,67	15,57	0,66	9,60	9,52
30/01/2018	8,30	34,00	8,27	7,90	0,80	2,88	0,54	20,27	0,61	11,05	10,51
12/02/2018	7,00	34,10	7,73	8,00	0,90	4,49	0,18	NA	NA	10,30	9,90
26/02/2018	6,40	34,70	5,38	7,30	1,30	6,48	0,29	12,61	0,39	4,14	10,79
12/03/2018	5,70	33,80	2,45	4,60	1,50	10,19	0,37	12,40	0,20	0,70	11,64
21/03/2018	6,20	34,50	2,08	2,50	1,10	6,93	0,36	7,63	0,10	0,50	10,50
05/04/2018	7,70	33,60	2,26	3,60	1,30	11,25	0,19	8,62	0,42	0,31	11,00
17/04/2018	9,00	33,90	1,12	3,20	1,30	8,64	0,48	5,03	0,05	0,43	11,97
04/05/2018	10,80	34,20	1,23	24,30	5,60	6,81	0,21	1,14	0,05	0,30	9,70
25/05/2018	12,50	34,30	3,91	4,80	3,00	8,19	1,50	0,21	0,19	2,51	9,17
12/06/2018	14,80	34,40	1,48	1,60	0,90	3,52	1,11	1,25	0,09	2,07	7,70
19/06/2018	15,80	34,20	1,16	28,40	5,20	2,99	0,15	2,52	0,12	0,92	8,45
25/06/2018	16,00	34,40	0,86	1,70	0,70	2,99	0,17	0,15	0,05	1,03	8,07
02/07/2018	17,40	34,50	1,86	4,30	1,70	4,01	0,15	0,15	0,06	0,95	8,40
10/07/2018	18,00	34,70	1,02	1,30	0,60	1,82	0,49	5,74	0,05	1,82	8,09
24/07/2018	19,50	34,70	1,31	4,90	1,50	4,27	3,42	0,15	0,05	1,24	7,84
10/08/2018	20,40	34,80	2,80	3,90	1,10	1,44	1,87	0,31	0,30	3,62	6,88
28/08/2018	19,30	34,80	2,78	3,30	0,70	1,44	1,49	0,53	0,40	3,64	7,45
25/09/2018	17,70	35,30	0,80	1,40	0,90	1,16	1,28	1,18	0,39	4,31	7,76
12/10/2018	16,10	34,20	2,23	5,20	1,30	3,04	7,90	2,72	0,31	2,06	8,52
25/10/2018	15,50	34,90	2,52	6,70	1,60	1,44	2,33	3,05	0,55	4,28	NA
14/11/2018	12,30	34,10	1,91	9,10	1,80	4,75	1,49	3,36	0,21	2,24	9,44
26/11/2018	10,30	34,40	1,32	3,80	1,20	5,21	2,26	2,40	0,38	1,03	9,07
04/12/2018	10,40	34,30	3,30	6,50	1,10	2,35	0,67	4,84	0,36	3,40	9,40

Radiale de Boulogne, Station 2

Date	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiOH	Oxygène
	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	mg.l ⁻¹
12/01/2018	8,10	34,50	4,65	5,60	0,60	1,38	0,64	14,89	0,67	9,46	9,77
26/02/2018	6,60	35,00	5,23	6,70	1,20	4,04	0,65	10,83	0,39	3,83	10,34
12/03/2018	6,00	34,70	1,76	2,70	1,10	9,81	0,54	6,71	0,08	0,37	11,31
21/03/2018	6,30	34,80	1,61	2,20	1,00	2,99	0,77	5,96	0,07	0,45	10,69
05/04/2018	7,60	34,30	1,80	3,00	1,00	8,31	0,51	4,87	0,06	0,41	11,27
17/04/2018	8,80	34,50	1,10	1,60	1,20	7,70	0,34	2,75	0,05	0,39	11,22
04/05/2018	10,70	34,50	1,09	2,30	0,60	4,16	0,45	0,49	0,05	0,43	9,48
25/05/2018	12,30	34,50	3,19	3,20	1,50	2,94	0,16	0,15	0,11	1,55	9,38
25/06/2018	15,60	34,60	0,74	1,90	0,80	2,60	0,15	0,15	0,05	0,77	8,02
24/07/2018	19,20	34,80	1,31	3,80	1,20	3,04	0,59	0,15	0,05	1,22	8,02
10/08/2018	19,50	35,10	2,61	2,70	0,90	1,88	0,38	0,15	0,07	1,23	7,54
25/09/2018	17,80	35,50	1,30	2,70	0,70	0,89	1,59	0,87	0,37	4,55	8,63
25/10/2018	15,00	35,30	2,25	5,90	1,10	1,99	4,04	3,54	0,40	2,91	NA
26/11/2018	10,60	34,50	2,13	5,60	1,10	3,28	2,35	2,60	0,35	1,90	9,05

Radiale de Boulogne, Station 3

Date	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiOH	Oxygène
	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	mg.l ⁻¹
12/01/2018	8,00	33,50	2,74	3,00	0,80	1,63	0,55	15,11	0,98	8,52	10,07
26/02/2018	6,90	35,20	2,50	3,10	0,90	2,27	0,51	9,39	0,43	3,80	10,61
12/03/2018	6,90	35,70	0,84	2,60	1,10	5,87	0,61	1,76	0,07	0,41	10,83
21/03/2018	6,70	35,30	1,24	1,70	0,80	2,44	0,97	3,79	0,06	0,51	10,85
05/04/2018	7,80	34,80	0,73	1,50	0,60	4,21	0,55	2,29	0,05	0,36	11,35
17/04/2018	8,90	35,00	1,00	0,80	0,70	4,38	0,41	1,04	0,05	0,30	11,13
04/05/2018	10,20	35,00	1,10	2,70	1,20	3,49	0,26	0,15	0,05	0,38	10,36
25/05/2018	12,20	34,30	1,42	0,70	0,70	1,50	0,18	0,15	0,06	1,28	9,14
25/06/2018	15,10	34,80	0,60	2,00	0,70	1,27	0,20	0,15	0,05	1,41	8,16
24/07/2018	19,20	34,70	0,82	3,40	1,10	2,38	0,48	0,15	0,05	0,69	8,08
10/08/2018	19,10	35,20	2,37	3,80	2,10	1,39	0,50	0,15	0,12	1,72	7,51
25/09/2018	17,70	35,60	0,60	1,60	0,70	0,72	1,31	0,51	0,33	2,99	7,89
25/10/2018	15,40	35,30	2,09	6,60	1,70	1,02	1,35	0,89	0,35	1,60	NA
26/11/2018	12,30	34,80	0,92	3,20	0,60	0,93	1,39	1,59	0,34	3,97	8,60

Baie de Somme

Radiale de la Baie de Somme, Station BIF

Date	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiOH	Oxygène
	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	mg.l ⁻¹
19/02/2018	6,50	31,00	51,10	52,60	4,40	3,49	1,23	45,31	0,79	23,26	10,12
06/03/2018	4,60	31,20	33,10	36,60	3,60	29,83	0,27	28,10	0,24	6,56	10,77
30/03/2018	7,20	31,30	39,20	56,60	8,00	67,06	0,15	29,63	0,27	3,83	10,61
13/04/2018	10,30	28,50	18,70	26,80	6,60	19,78	0,15	40,69	0,16	9,80	10,33
04/05/2018	12,10	31,50	31,30	44,60	7,60	51,02	0,15	10,83	0,43	1,19	10,14
01/06/2018	16,30	31,50	33,50	50,80	16,40	113,68	0,33	2,73	0,77	7,60	9,56
13/06/2018	16,40	33,10	14,20	26,10	6,30	51,97	0,15	1,47	0,17	1,28	9,25
02/07/2018	20,30	33,60	7,61	12,40	3,60	23,27	0,15	0,15	0,15	2,46	9,41
01/08/2018	21,90	33,10	6,71	11,20	2,40	13,02	0,83	3,69	0,21	12,11	7,98
13/09/2018	18,70	33,10	10,20	8,60	1,60	2,76	9,32	9,41	0,93	18,25	7,47
08/10/2018	NA	32,70	8,37	15,20	2,00	3,49	5,93	11,68	0,56	8,47	NA
21/11/2018	8,20	32,90	11,10	20,30	2,10	2,66	4,88	14,03	0,54	11,59	NA
12/12/2018	9,00	33,40	17,20	21,70	2,10	0,89	6,68	25,92	0,78	19,61	9,54

Radiale de la Baie de Somme, Station MIMER

Date	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiOH	Oxygène
	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	mg.l ⁻¹
19/02/2018	6,60	31,20	55,00	69,80	4,00	3,82	1,22	36,00	0,81	20,80	10,08
06/03/2018	4,30	31,60	63,40	81,80	7,20	41,30	0,18	24,63	0,56	5,51	11,37
30/03/2018	7,20	31,80	45,90	61,20	7,00	64,40	0,17	26,40	0,30	4,58	10,67
13/04/2018	9,40	32,50	3,82	5,60	1,60	12,80	0,23	15,00	0,05	1,12	11,90
04/05/2018	11,90	31,80	30,00	27,60	5,20	26,51	0,15	8,77	0,35	0,57	11,35
01/06/2018	16,30	32,20	12,50	36,80	12,40	26,92	0,33	1,97	0,56	2,38	9,35
13/06/2018	16,60	32,90	21,60	30,60	8,20	88,17	0,23	1,39	0,35	6,01	9,30
02/07/2018	20,10	33,80	4,35	5,50	1,40	5,26	1,77	0,40	0,19	7,72	8,06
01/08/2018	21,90	33,40	3,56	7,10	2,40	9,97	1,96	2,67	0,19	11,84	7,55
13/09/2018	18,90	32,90	13,00	11,10	1,80	2,10	10,99	10,89	0,75	19,92	7,12
08/10/2018	NA	32,90	14,40	28,00	1,50	2,77	7,17	10,49	0,70	6,26	NA
21/11/2018	8,60	33,30	6,53	13,10	1,20	2,05	4,81	11,67	0,40	10,13	NA
12/12/2018	9,60	33,60	37,50	50,00	4,80	1,50	5,42	12,83	0,81	14,21	9,52

Radiale de la Baie de Somme, Station ATSO

Date	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiOH	Oxygène
	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	mg.l ⁻¹
19/02/2018	6,70	31,90	22,70	24,60	2,80	3,99	0,48	37,16	0,75	18,52	9,98
06/03/2018	4,40	32,30	27,60	38,40	3,50	32,91	0,15	20,35	0,51	3,25	10,42
30/03/2018	7,20	32,30	4,30	9,50	2,10	13,56	0,15	24,85	0,11	1,28	10,48
13/04/2018	9,10	33,10	1,75	4,40	1,60	6,61	0,41	13,46	0,07	0,70	10,66
04/05/2018	11,50	32,50	2,51	7,20	1,60	12,35	0,15	8,11	0,13	0,55	9,95
01/06/2018	15,40	33,00	3,78	12,40	4,80	16,62	0,19	1,24	0,30	1,39	9,47
13/06/2018	16,50	32,80	2,30	5,90	2,70	13,81	0,65	1,44	0,37	0,11	9,42
20/06/2018	18,20	32,30	3,15	24,30	5,20	8,65	0,28	0,58	0,51	1,01	11,79
26/06/2018	18,00	33,30	1,30	1,80	0,90	4,49	0,15	0,15	0,05	0,78	7,82
02/07/2018	19,20	34,20	3,02	5,50	1,70	6,32	0,15	0,15	0,21	1,96	8,14
16/07/2018	20,10	34,00	4,13	6,70	1,50	4,60	0,15	0,15	0,05	4,80	7,40
01/08/2018	21,50	34,10	4,27	10,80	2,40	8,89	0,15	0,15	0,07	2,77	8,14
28/08/2018	19,50	34,00	13,40	23,50	2,40	5,23	6,83	4,45	0,58	18,67	7,46
13/09/2018	19,00	33,90	8,70	8,40	1,20	6,74	6,08	5,38	0,49	10,56	7,72
27/09/2018	17,10	34,40	11,60	23,60	1,50	3,58	3,34	6,62	0,56	10,23	7,90
08/10/2018	16,10	34,00	11,30	27,30	2,00	10,86	2,59	6,14	0,59	1,81	8,22
24/10/2018	15,30	34,30	7,89	31,80	2,80	8,85	2,43	4,05	0,27	3,14	NA
21/11/2018	9,80	34,10	4,80	15,10	1,30	6,32	2,54	6,41	0,31	5,68	NA
12/12/2018	9,90	33,90	19,50	26,20	2,80	1,25	3,63	10,92	0,64	12,85	9,58
26/12/2018	8,80	33,70	27,50	44,00	2,80	2,72	3,79	14,74	0,64	13,25	9,53

Radiale de la Baie de Somme, Station MER 2

Date	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiOH	Oxygène
	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	mg.l ⁻¹
19/02/2018	6,90	32,50	3,96	6,70	1,60	3,41	0,23	26,37	0,72	14,87	14,87
06/03/2018	4,90	32,50	7,77	11,30	1,90	21,86	0,15	16,51	0,22	1,35	1,35
30/03/2018	7,10	32,40	2,82	4,20	1,70	5,99	0,15	23,78	0,11	1,02	1,02
13/04/2018	9,20	33,00	1,04	2,70	1,20	3,86	0,31	13,88	0,05	0,70	0,70
04/05/2018	11,50	32,60	2,27	2,90	1,30	7,25	0,15	7,40	0,06	0,43	0,43
01/06/2018	14,60	33,60	3,13	5,30	1,20	3,82	0,15	0,28	0,08	1,18	1,18
13/06/2018	15,40	34,00	1,55	5,60	1,40	7,92	1,23	4,39	0,16	1,26	1,26
02/07/2018	19,50	34,30	1,67	3,60	1,60	3,88	0,15	0,15	0,10	0,33	0,33
01/08/2018	21,90	34,00	2,11	4,80	1,90	4,65	0,15	0,15	0,06	1,30	1,30
13/09/2018	19,10	34,50	2,70	12,20	3,30	5,62	1,38	1,37	0,30	4,64	4,64
08/10/2018	16,50	34,60	3,50	16,80	1,70	8,56	0,49	1,92	0,32	1,27	1,27
21/11/2018	10,50	34,60	3,07	15,60	1,90	10,57	0,63	2,37	0,28	1,72	NA
12/12/2018	10,30	34,50	3,75	7,90	1,60	1,16	1,62	7,82	0,70	7,94	9,00

GRADIENT CÔTE-LARGE

Radiale de Dunkerque												
	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Oxygène	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	mg.l-1	µmol.l ⁻¹
11/01/2018	0,5	0,4	-11,18	-11,3	-1,3	-0,67	-1,04	-0,01	-2,54	-0,03	-0,07	-2,59
09/03/2018	0	0,5	-15,71	-15,4	-0,8	-6,06	0,05	-0,16	-9,65	-0,1	0,23	-2,85
26/03/2018	0	0,1	0,07	-0,9	-0,2	-1,93	1,08	-0,01	-0,11	0,07	-0,03	-0,3
11/04/2018	-0,8	0,4	-0,83	-1,5	-1,3	-5,57	0,29	-0,02	0	0	0,57	-0,22
27/04/2018	-1	0,5	-4,39	-5,8	-2,2	-8,09	0	0,03	0,02	-0,06	1,25	-0,2
31/05/2018	-1,3	0,1	-1,79	-6,1	0	-1,31	0	0	0	-0,02	0,36	-0,25
05/07/2018	-2,2	0,5	-1,565	-1	-0,2	-3,39	0	0	0	-0,02	0,22	0,04
02/08/2018	-1,1	0,2	-3,5	-2,8	-0,9	-2,45	0	0	0	-0,06	-0,45	-3,27
26/09/2018	0,8	0,1	-1,1	-3,5	-0,7	-2,71	0,09	-0,05	0	-0,12	NA	0,46
10/10/2018	0,5	-0,2	-0,51	-6,8	-0,7	-0,45	0	-0,02	0,14	-0,08	NA	-0,32
12/12/2018	1,8	0,6	-4,13	-10,6	-0,7	-1,19	-2,17	-0,17	-1,82	-0,06	NA	-0,86

Radiale de Boulogne												
	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Oxygène	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	mg.l-1	µmol.l ⁻¹
12/01/2018	-0,1	-0,9	-5,99	-6,8	0	0,24	-0,12	0,05	-0,51	0,32	0,55	-1,08
26/02/2018	0,5	0,5	-2,88	-4,2	-0,4	-4,21	0,33	-0,05	-3,17	0,04	-0,18	-0,34
12/03/2018	1,2	1,9	-1,615	-2	-0,4	-4,32	0,32	-0,3	-10,34	-0,13	-0,81	-0,29
21/03/2018	0,5	0,8	-0,84	-0,8	-0,3	-4,49	0,6	-0,13	-3,71	-0,04	0,35	0,01
05/04/2018	0,1	1,2	-1,529	-2,1	-0,7	-7,04	0,19	-0,16	-6,17	-0,37	0,35	0,05
17/04/2018	-0,1	1,1	-0,12	-2,4	-0,6	-4,26	0,22	-0,09	-3,9	0	-0,84	-0,13
04/05/2018	-0,6	0,8	-0,13	-21,6	-4,4	-3,32	-0,22	-0,05	-0,94	0	0,66	0,08
25/05/2018	-0,3	0	-2,49	-4,1	-2,3	-6,69	-0,03	-0,02	-0,04	-0,13	-0,03	-1,23
25/06/2018	-0,9	0,4	-0,257	0,3	0	-1,72	0,05	0	0	0	0,09	0,38
24/07/2018	-0,3	0	-0,492	-1,5	-0,4	-1,89	-0,01	0	0	0	0,24	-0,55
10/08/2018	-1,3	0,4	-0,43	-0,1	1	-0,05	-2,92	-0,03	-0,13	-0,18	0,63	-1,9
25/09/2018	0	0,3	-0,2	0,2	-0,2	-0,44	-0,18	-0,1	-0,57	-0,06	0,13	-1,32
25/10/2018	-0,1	0,4	-0,43	-0,1	0,1	-0,42	-6,55	-0,22	-1,94	-0,2	NA	-2,68
26/11/2018	2	0,4	-0,398	-0,6	-0,6	-4,28	-0,1	-0,05	-0,76	-0,04	-0,47	2,94

	Radiale de la Baie de Somme											
	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	Oxygène	SiOH
	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹
S												
19/02/2018	0,2	0,6	-18,74	-17,9	-1,2	-0,58	-0,245	-0,06	-10,73	-0,03	-0,05	-3,645
06/03/2018	0,5	0,2	-19,83	-27,1	-1,6	-11,05	0	-0,06	-3,78	-0,29	1,14	-1,9
30/03/2018	-0,1	0,1	-1,48	-5,3	-0,4	-7,57	0	-0,04	-1,03	0	0,13	-0,26
13/04/2018	0,1	-0,1	-0,71	-1,7	-0,4	-2,75	-0,1	0	0,42	-0,02	0,93	0
04/05/2018	0	0,1	-0,24	-4,3	-0,3	-5,1	0	-0,03	-0,68	-0,07	1,1	-0,12
01/06/2018	-0,8	0,6	-0,65	-7,1	-3,6	-12,8	-0,04	-0,17	-0,79	-0,22	0,35	-0,21
13/06/2018	-1,1	1,2	-0,75	-0,3	-1,3	-5,89	0,58	0,22	2,73	-0,21	-1,53	1,15
02/07/2018	0,3	0,1	-1,35	-1,9	-0,1	-2,44	0	0	0	-0,11	0,79	-1,63
01/08/2018	0,4	-0,1	-2,16	-6	-0,5	-4,24	0	0	0	-0,01	1,03	-1,47
13/09/2018	0,1	0,6	-6	3,8	2,1	-1,12	-4,7	-0,36	-3,65	-0,19	0,24	-5,92
08/10/2018	0,4	0,6	-7,8	-10,5	-0,3	-2,3	-2,1	-0,26	-3,96	-0,27	0,21	-0,54
21/11/2018	0,7	0,5	-1,73	0,5	0,6	4,25	-1,91	-0,13	-3,91	-0,03	NA	-3,96
12/12/2018	0,4	0,6	-15,75	-18,3	-1,2	-0,09	-2,01	-0,13	-2,97	0,06	-0,58	-4,91

Annexe 2 : l'ensemble des radiales en 2018**REPHY - Taxons dominants - signification des intitulés**

Intitulé graphe	Libellé taxon	Classe
Asterionellopsis glacialis	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Bacillariophyceae</i>
Chaetoceros	<i>Chaetoceros</i>	<i>Bacillariophyceae</i>
Chaetoceros +	<i>Chaetoceros curvisetus + debilis + pseudocurvisetus</i>	<i>Bacillariophyceae</i>
Chaetoceros +	<i>Chaetoceros decipiens + lorenzianus</i>	<i>Bacillariophyceae</i>
Cymatosiraceae	<i>Brockmanniella brockmannii</i>	<i>Bacillariophyceae</i>
Delphineis	<i>Delphineis</i>	<i>Bacillariophyceae</i>
Eucampia	<i>Eucampia zodiacus</i>	<i>Bacillariophyceae</i>
Lauderia +	<i>Lauderia + Detonula</i>	<i>Bacillariophyceae</i>
Leptocylindrus	<i>Leptocylindrus danicus</i>	<i>Bacillariophyceae</i>
Leptocylindrus	<i>Leptocylindrus</i>	<i>Bacillariophyceae</i>
Odontella	<i>Odontella</i>	<i>Bacillariophyceae</i>
Paralia	<i>Paralia sulcata</i>	<i>Bacillariophyceae</i>
Pseudo-nitzschia +	<i>Pseudo-nitzschia, complexe seriata, groupe des effilées (multiseries + pungens)</i>	<i>Bacillariophyceae</i>
Pseudo-nitzschia +	<i>Pseudo-nitzschia, complexe seriata, groupe des larges (australis + fraudulenta + seriata + subpacific)</i>	<i>Bacillariophyceae</i>
Pseudo-nitzschia +	<i>Pseudo-nitzschia, groupe des larges symétriques (fraudulenta)</i>	<i>Bacillariophyceae</i>
Rhaphoneis	<i>Rhaphoneis</i>	<i>Bacillariophyceae</i>
Rhizosolenia +	<i>Rhizosolenia imbricata + styliformis</i>	<i>Bacillariophyceae</i>
Rhizosolenia +	<i>Rhizosolenia setigera + setigera f. pungens</i>	<i>Bacillariophyceae</i>
Thalassiosiraceae	<i>Thalassiosira + Porosira</i>	<i>Bacillariophyceae</i>
Thalassiosiraceae	<i>Thalassiosira levanderi</i>	<i>Bacillariophyceae</i>
Gymnodiniales	<i>Gymnodiniales</i>	<i>Dinophyceae</i>
Gyrodinium	<i>Gyrodinium spirale</i>	<i>Dinophyceae</i>
Gyrodinium	<i>Gyrodinium</i>	<i>Dinophyceae</i>
Heterocapsa	<i>Heterocapsa</i>	<i>Dinophyceae</i>
Prorocentraceae	<i>Prorocentrum micans</i>	<i>Dinophyceae</i>
Protoperidinium	<i>Protoperidinium</i>	<i>Dinophyceae</i>
Protoperidinium +	<i>Protoperidinium + Peridinium</i>	<i>Dinophyceae</i>
Scrippsiella	<i>Scrippsiella</i>	<i>Dinophyceae</i>
Torodinium	<i>Torodinium</i>	<i>Dinophyceae</i>
Asterionellopsis glacialis	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Bacillariophyceae</i>
Chaetoceros	<i>Chaetoceros</i>	<i>Bacillariophyceae</i>

Annexe 3 : Tableau de synthèse des limitations potentielles en nutriments pour l'ensemble des radiales en 2018

(NA : données manquantes) (Rappel : Prélèvements bimensuels de mars à juin)

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	
Dunkerque 1	P, Si, N	P, Si, N	Si, P, N	P, Si, N	N, P, Si	N, Si, P	Si, P, N	N, Si, P	N, Si, P	Si, N, P	Si, P, N	P, Si, N	Type de limitation
				N, Si, P		Si, P, N				Si, N, P			
Dunkerque 3	Si, P, N	NA	Si, P, N	Si, P, N	N, Si, P	NA	N, Si, P	NA	N, Si, P	N, Si, P	NA	Si, N, P	Si : P : N
Dunkerque 4	Si, P, N	NA	Si, P, N	Si, P, N	N, P, Si	NA	N, Si, P	N, P, Si	N, Si, P	N, Si, P	NA	Si, N, P	Si : N : P
				Si, N, P									
Boulogne 1	Si, P, N	Si, P, N	Si, P, N	Si, P, N	Si, P, N	Si, P, N	Si, P, N	N, Si, P	N, Si, P	Si, N, P	Si, P, N	Si, P, N	N : Si : P
	P, Si, N				N, Si, P	N, P, Si	Si, N, P	Si, P, N					
Boulogne 2	Si, P, N	Si, P, N	Si, P, N	Si, P, N	Si, P, N	N, Si, P	N, P, Si	N, P, Si	N, Si, P	Si, P, N	Si, N, P	NA	N : P : Si
					N, Si, P								
Boulogne 3	Si, P, N	Si, P, N	Si, P, N	Si, P, N	Si, N, P	N, P, Si	N, Si, P	N, Si, P	N, Si, P	Si, N, P	N, Si, P	NA	P : N : Si
					N, P, Si								
Somme Bif	NA	P, Si, N	P, Si, N	P, Si, N	Si, P, N	Si, N, P	N, P, Si	P, N, Si	P, Si, N	Si, P, N	P, Si, N	P, Si, N	P : Si : N
			Si, P, N			N, Si, P							
Somme Mimer	NA	P, Si, N	Si, P, N	Si, P, N	Si, P, N	N, Si, P	N, Si, P	P, N, Si	P, Si, N	Si, P, N	P, Si, N	P, Si, N	Limitation intermédiaire*
						N, P, Si							
Somme Atso	NA	P, Si, N	Si, P, N	Si, P, N	Si, P, N	Si, N, P	N, Si, P	N, P, Si	P, N, Si	Si, N, P	P, Si, N	P, Si, N	
						N, Si, P			P, Si, N	Si, P, N			
Somme Mer 2	NA	P, Si, N	Si, P, N	Si, P, N	Si, P, N	Si, P, N	N, Si, P	N, P, Si	N, Si, P	Si, N, P	Si, N, P	Si, N, P	
						N, Si, P							

* Le type de limitation observé pour ce mois est très proche d'un autre type de limitation (Figures 71, 113 et 115)