

Laboratoire Environnement Côtier & Ressources Aquacoles
de Boulogne Sur Mer

Alain Lefebvre

Kévin Dewaele (stagiaire IUT – Univ. Littoral Côte d'Opale)

Juin 2007

Ifremer/RST.LER.BL/07.05

Ifremer

SUIVI REGIONAL DES NUTRIMENTS SUR LE
LITTORAL NORD – PAS DE CALAIS / PICARDIE

Bilan de l'année 2006



Le fort d'Ambleteuse – Estuaire de la Slack (Photo. F. Verin, 2007)

FICHE DOCUMENTAIRE

Numéro d'identification du rapport : RST.LER.BL/07.05 Diffusion : libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte <input type="checkbox"/> interdite <input type="checkbox"/> Validé par : LEFEBVRE Alain Version du document : définitive		date de publication Juin 2007 nombre de pages 149 bibliographie (Oui / Non) illustration(s) (Oui / Non) langue du rapport Français
Titre et sous-titre du rapport : Le suivi régional des nutriments sur le littoral Nord Pas-de-Calais Picardie. Bilan de l'année 2006. Titre traduit : The regional nutrients monitoring network of the coastal zone of the Nord Pas-de-Calais Picardie. Annual report for 2006.		
Auteur(s) principal(aux) : Lefebvre Alain Dewaele Kévin		Organisme / Direction / Service, laboratoire Ifremer/LER/Boulogne sur Mer Stagiaire IUT Génie Biologique – Université du Littoral Côte d'Opale.
Collaborateur(s) : Blondel C. Vilbas J.V. Duquesne V. Hébert P.		Organisme / Direction / Service, laboratoire Ifremer/LER/Boulogne sur Mer
Travaux universitaires : / diplôme : / discipline : / établissement de soutenance : / année de soutenance : /		
Titre du contrat de recherche : S.R.N.		n° de contrat IFREMER 06/1215941/MFY
Organisme commanditaire : Agence de l'Eau Artois Picardie Organisme(s) réalisateur(s) : Institut Français de Recherche pour l'exploitation durable de la mer (Ifremer) Boulogne – 150, quai Gambetta Responsable scientifique : LEFEBVRE Alain Ifremer/LER/Boulogne-sur-Mer.		
Cadre de la recherche : Suivi Régional des Nutriments Action : B030704 Convention : 5502400 (réf. AEAP) Suivi Régional des Nutriments Projet : / Autres (préciser) : / Campagne océanographique : (nom de campagne, année, nom du navire) Moyens Nautiques des Services Maritimes des Ports de Boulogne et Calais, du Sport Nautique Valericain et d'Aquamarine.		

Résumé :

Le littoral Nord – Pas de Calais montre de nombreux signes de dysfonctionnements induits principalement par l'activité anthropique. Ces signes se manifestent presque toujours par un déséquilibre des populations qu'elles soient animales ou végétales. En effet, certaines espèces dominent. C'est le cas de la Prymnesiophycée *Phaeocystis sp.*, une algue phytoplanctonique naturelle qui prolifère tous les ans au printemps. Le cycle de développement de l'espèce semble évoluer 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. Ce rapport présente le bilan de l'année 2006, en terme d'évolution temporelle des principaux paramètres physico-chimiques caractéristiques 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. This 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. This study deals with the annual report 2006 in terms of evolution of the main physico-chemical parameters characteristic of water masses regarding three transects offshore Dunkerque, Boulogne-sur-Mer and the Bay of Somme.

Mots-clés :

Qualité des eaux littorales – Manche orientale - Surveillance - *Phaeocystis globosa*

Keywords :

Quality of coastal waters – Eastern English Channel - Monitoring - *Phaeocystis globosa*

SOMMAIRE

INTRODUCTION.	3
1. PRESENTATION DU SUIVI REGIONAL DES NUTRIMENTS	4
1.1. LES RADIALES	4
1.2. FREQUENCE DES PRELEVEMENTS	4
1.3. PRELEVEMENTS EN MER	4
1.4. PARAMETRES ETUDIES ET ANALYSES	9
1.4.1. Salinité et Température	9
1.4.2. Turbidité	9
1.4.3. Ammonium	9
1.4.4. Nitrate	9
1.4.5. Nitrite	9
1.4.6. Phosphate	10
1.4.7. Silicate	10
1.4.8. Matières En Suspension (M.E.S.)	10
1.4.9. Matière Organique Particulaire (M.O.P.)	10
1.4.10. Chlorophylle a et phéopigments	10
1.4.11. Phytoplancton	11
1.4.12. Assurance qualité	11
1.4.13. Interprétation des figures	12
2. COMPARAISON INTRA-RADIALE	13
2.1. DUNKERQUE	13
2.1.1. Température	13
2.1.2. Salinité	16
2.1.3. Turbidité et matières en suspension	17
2.1.4. Matière organique	21
2.1.5. Chlorophylle a et sels nutritifs	23
2.1.6. Phéopigments	37
2.1. BOULOGNE-SUR-MER	38
2.2.1. Température	38
2.2.2. Salinité	41
2.2.3. Turbidité et matières en suspension	42
2.2.4. Matière organique	46
2.2.5. Chlorophylle a et sels nutritifs	48
2.2.6. Phéopigments	62
2.3. LA BAIE DE SOMME	63
2.3.1. Température	63
2.3.2. Salinité	68
2.3.3. Turbidité et matières en suspension	69
2.3.4. Matière organique	75
2.3.5. Chlorophylle a et sels nutritifs	78
2.3.6. Phéopigments	106
3. PHYTOPLANCTON	107
3.1. INTRODUCTION	107
3.2. INDICES ECOLOGIQUES	107
3.2.1. Indice de SANDERS	107
3.2.2. Indice de SHANNON	108
3.2.3. Résultats	109
4. DISCUSSION	119
4.1. Température et salinité	119
4.2. Turbidité, matières en suspension et matière organique	119
4.3. Nutriments	120
4.4. Chlorophylle a, phéopigments et phytoplancton	121
CONCLUSIONS & PERSPECTIVES	125

SOMMAIRE

BIBLIOGRAPHIE	128
ANNEXES	132
ANNEXE 1	133
ANNEXE 2	139
ANNEXE 3	146

INTRODUCTION

Les zones côtières littorales sont les plus précieuses et les plus vulnérables des habitats sur Terre (Jickells, 1998). Des apports significatifs d'éléments nutritifs majeurs se font via les rivières, les eaux souterraines et l'atmosphère. Ces voies d'apports en éléments nutritifs ont été exacerbées ces dernières décennies par les activités humaines. L'augmentation à long terme des apports azotés (N) et phosphatés (P) d'origine anthropique en zone côtière a trois conséquences potentielles : (1) l'induction d'une augmentation de la production primaire qui a été préalablement N et/ou P limitée peut conduire à de sévères problèmes d'eutrophisation (Meybeck & Helmer, 1989 ; Smayda, 1990), (2) le déclin des rapports Silice / Azote, qui induit une limitation par la silice pour les populations de diatomées et toute autre modification de l'équilibre stoechiométrique des éléments majeurs (N, P, Si) (rapports de Redfield, 1963 et de Brzezinski, 1985), vont aboutir à des changements de dominance et des modifications d'abondance des espèces phytoplanctoniques (Officer & Ryther, 1980 ; Smayda, 1990), (3) une limitation par la silice 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) (Billen *et al.*, 1991) 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 » (Brylinski & Lagadeuc, 1990), 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 $210.10^3 \text{ t.an}^{-1}$, $41.10^3 \text{ t.an}^{-1}$ et $270.10^3 \text{ t.an}^{-1}$, respectivement (Bentley *et al.*, 1993).

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 dans 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.

1. Présentation du suivi régional des nutriments

1.1. Les radiales

L'échantillonnage est réalisé au niveau de trois systèmes caractéristiques de la Manche orientale et de la baie sud de la Mer de Nord : Dunkerque, Boulogne-sur-Mer, Baie de Somme (Tableau 1). Les radiales sont constituées de 3 ou 5 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 (Barbier *et al.*, 1986). 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 (Brylinski & Lagadeuc, 1990) et où dominant des rejets d'origine agricole (Barbier *et al.*, 1986). 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).

1.2. Fréquence des prélèvements

Chaque station est échantillonnée mensuellement. La fréquence de l'échantillonnage devient bimensuelle entre les mois de mars et de juin, période de prolifération de la prymnesiophycée *Phaeocystis sp.* qui peut représenter une nuisance pour le système marin (Lancelot *et al.*, 1998).

En 2006, 16 prélèvements étaient prévus, tous ont pu être réalisés à Boulogne-sur-Mer. En raison de conditions météorologiques défavorables et de problèmes techniques relatifs aux moyens nautiques, seules 13 sorties ont été réalisées à Dunkerque et 12 en Baie de Somme (Annexe 1).

À partir de 2007 et dans le contexte de la future mise en place du contrôle de surveillance de la Directive Cadre sur l'Eau, la fréquence d'échantillonnage sera bimensuelle toute l'année et les points dit intermédiaires ne seront plus échantillonnés (« Point 3 SRN Dunkerque », « Point 2 SRN Boulogne »).

1.3. Prélèvements en mer

Les prélèvements sont effectués en sub-surface (- 0,5 m à - 1 m) à partir d'un bateau et à l'aide d'une perche équipée d'un flacon amovible de 1 litre. L'eau est transvasée directement dans un flacon plastique opaque brun de 1 litre pour la chlorophylle et le phytoplancton ou dans un flacon à usage courant pour les analyses des matières en suspension et de la turbidité. Pour les sels nutritifs, l'eau est pré-filtrée (maille de 50 μm) avant d'être transvasée dans un flacon. Pour l'ammoniaque, l'eau pré-filtrée est versée dans un flacon opaque de 100 ml. Ces flacons sont placés en glacière en attendant le retour pour analyse au laboratoire.

Tableau 1 : Coordonnées des stations sur les trois radiales

RADIALES STATIONS	DUNKERQUE	BOULOGNE	BAIE DE SOMME
Station 0			<u>Bif</u> 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	<u>Mimer</u> Latitude : 50°13'30 N Longitude : 1°32'40 E <u>Mimer'</u> Latitude : 50°14,121 N Longitude : 1°31,084 E
Station 2		Latitude : 50°43'90 N Longitude : 1°30'90 E	<u>Atso</u> 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	<u>Mer1</u> Latitude : 50°13'60 N Longitude : 1°27'20 E
Station 4	Latitude : 51°09'20 N Longitude : 2°15'10 E		<u>Mer2</u> Latitude : 50°13'15 N Longitude : 1°26'75 E

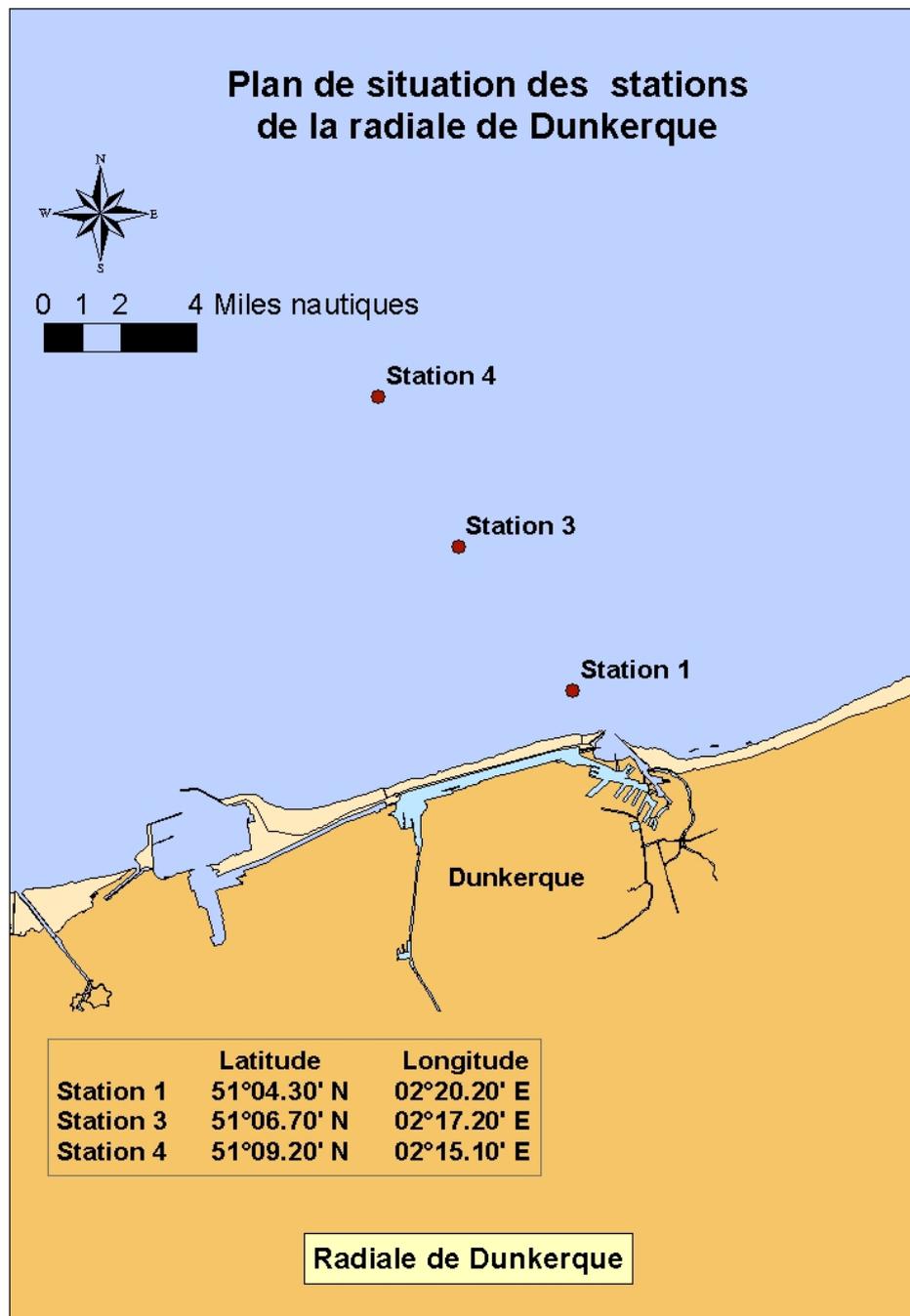


Figure 1. Localisation des points de prélèvements de la radiale de Dunkerque

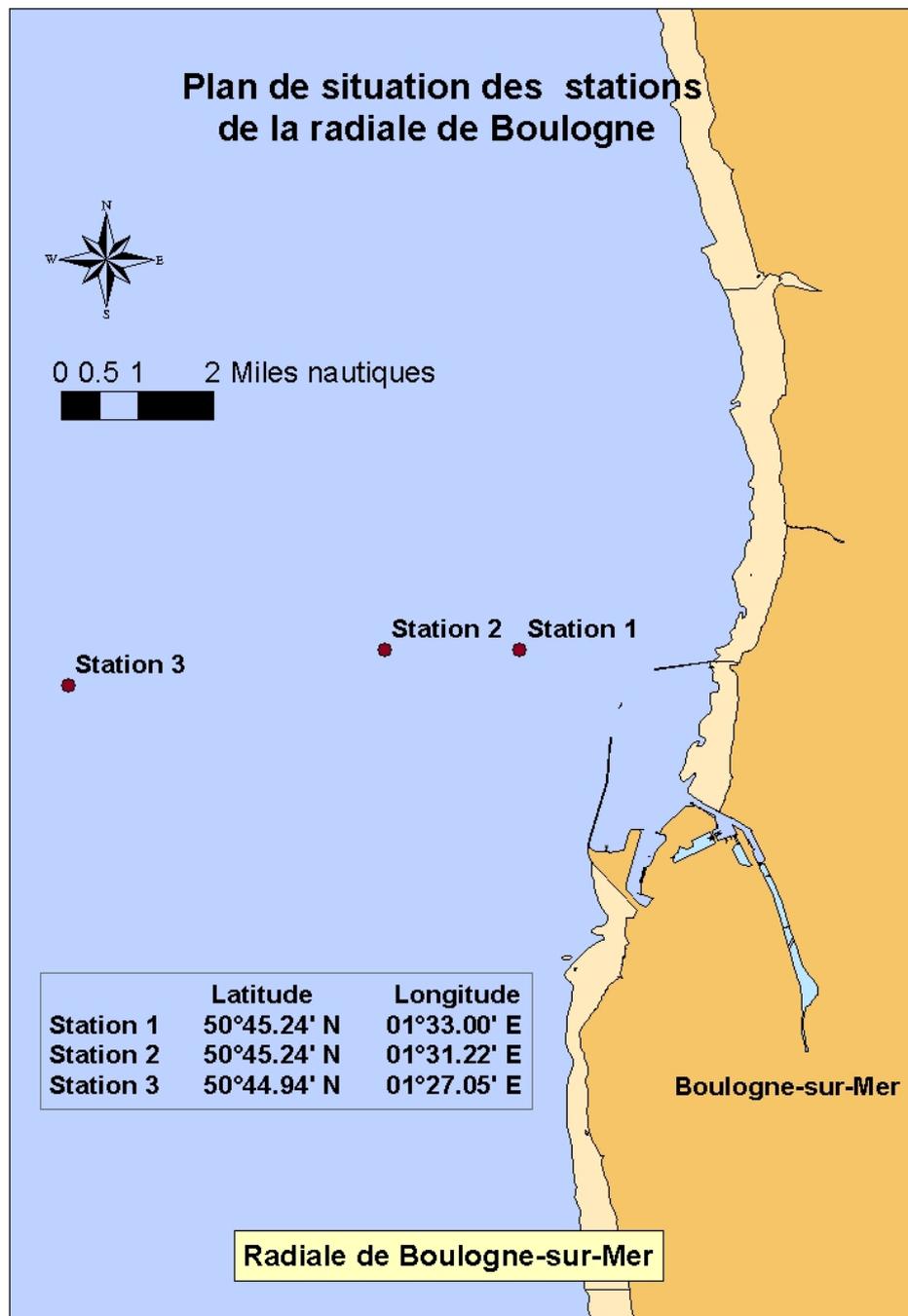


Figure 2. Localisation des points de prélèvements de la radiale de la Boulogne-sur-Mer

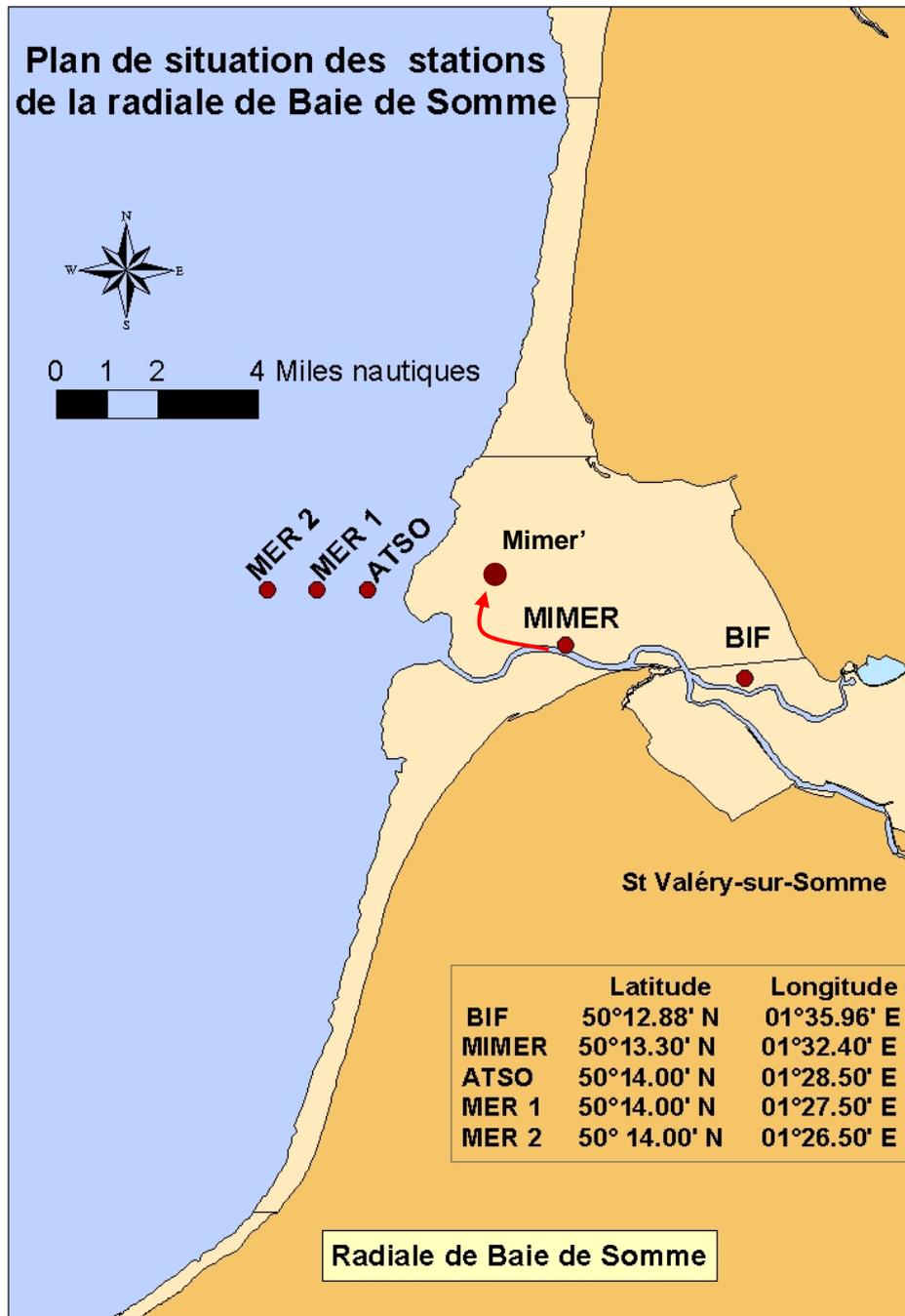


Figure 3. Localisation des points de prélèvements de la radiale de la Baie de Somme

1.4. Paramètres étudiés et analyses

Les méthodes d'analyses 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.

1.4.1. Salinité et Température

La mesure de la salinité se fait par sonde conductimétrique couplée à une sonde de température soit directement dans le milieu, soit au laboratoire dans le flacon de prélèvement.

Le résultat est exprimé en Practical Salinity Unit (P.S.U.). L'UNESCO recommande l'utilisation de l'échelle de salinité comme un rapport sans préciser de dimensions 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 (Anonyme, 1985). La plage de mesure se situe entre 0.0 et 42.0 avec une précision de ± 0.1 entre 5 et 25°C.

En ce qui concerne la température, elle est mesurée en même temps par la sonde dont la plage de mesure se situe entre -5.0 et 99.9°C (précision ± 0.1 °C).

1.4.2. Turbidité

La méthode utilisée est une mesure par néphélométrie. Elle consiste à mesurer la quantité de lumière diffusée à 90° par rapport à la lumière incidente.

La turbidité est exprimée en Nephelometric Turbidity Unit (N.T.U.).

1.4.3. Ammonium

Le dosage 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 mesure de concentration se fait par lecture au spectrophotomètre avec une relation Densité Optique (DO) / concentration selon une courbe de calibration réalisée à chaque série de mesures. La concentration d'ammonium est exprimée en $\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$. Le seuil de détection de l'appareil est de $0,15 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$.

1.4.4. 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 N-naphtyl éthylène diamine pour former un complexe coloré rose ayant un maximum d'absorption à 543 nm.

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

La concentration en nitrate est exprimée en $\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$. Le seuil de détection est de $0,15 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$.

1.4.5. 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 N-naphtyl éthylène diamine pour former un complexe coloré rose ayant un maximum d'absorption à 543 nm.

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

La concentration en nitrite est exprimée en $\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$. Le seuil de détection est de $0,05 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$.

1.4.6. Phosphate

Le dosage est effectué 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 mesure de concentration se fait par lecture au spectrophotomètre avec une relation Densité Optique (DO) / concentration selon une courbe de calibration réalisée à chaque série de mesures.

La concentration en phosphate est exprimée en $\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$. Le seuil de détection est de $0,05 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$.

1.4.7. Silicate

Le dosage 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 mesure de concentration se fait par lecture au spectrophotomètre avec une relation Densité Optique (DO) / concentration selon une courbe de calibration réalisée à chaque série de mesures.

La concentration en silicate est exprimée en $\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$. Le seuil de détection est de $0,1 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$.

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

La filtration de l'échantillon sur une membrane filtrante permet de récupérer la matière vivante ou morte de taille supérieure à $0,45 \mu\text{m}$ contenue dans l'échantillon, sel de l'eau de mer exclu (le filtre est rincé pour éliminer l'excès de sel).

Par séchage à l'étuve (70°C) de la matière totale pendant 2 heures, puis par différence de pesée (avant et après séchage), le poids sec de la matière totale est déterminé.

Les M.E.S. sont exprimées en $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

1.4.9. Matière Organique Particulaire (M.O.P.)

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..

La M.O.P. est exprimée en $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

1.4.10. Chlorophylle a et phéopigments

La méthode de Lorenzen (1967) est appliquée pour définir les concentrations en chlorophylle *a* et en phéopigments qui sont respectivement des indicateurs de la biomasse et de la quantité phytoplanctonique. 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 de 20 minutes à $6000 \text{ tr}\cdot\text{mn}^{-1}$, l'absorbance du surnageant est mesurée par spectrophotométrie à 665 et 750 nm, ce qui permet d'obtenir le taux de chlorophylle *a* (son pic d'absorbance se situe à 665 nm). Le surnageant est acidifié (par de l'acide chlorhydrique) et la quantité de phéopigments est alors déterminée en mesurant l'absorbance aux mêmes longueurs d'onde.

Les concentrations des deux paramètres sont exprimées en $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ou $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (précision $\pm 0,01$). Les seuils de détection sont respectivement de $0,04 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ et de $0,02 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ pour la chlorophylle *a* et les

phéopigments. Dans ce document, le taux de phéopigments est exprimé en pourcentage de chlorophylle *active*.

1.4.11. Phytoplancton

La procédure utilisée est celle recommandée par Belin (2001) (Méthode Utermohl 322/89-CSRU/BCM) dans le cadre des réseaux de surveillance phytoplanctonique de l'Ifremer. Les observations sont faites le plus vite possible, au moins pour les espèces cibles, et sur les deux types d'échantillon : vivants et fixés.

Les méthodes de fixation seront différentes suivant que l'observation est faite immédiatement après le prélèvement ou bien décalée dans le temps.

Fixation pour observation immédiate (dans la journée) : la fixation se fait au lugol (2,5 ml par litre). La solution mère de lugol est à conserver au noir, la durée de vie en flacon brun est limitée à quelques mois.

Fixation pour observation décalée (lendemain) : après le lugol, ajout de formol pour conservation des formes fragiles.

Fixation pour conservation de l'échantillon : après observation, la conservation prolongée de l'échantillon est possible en ajoutant du formol.

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

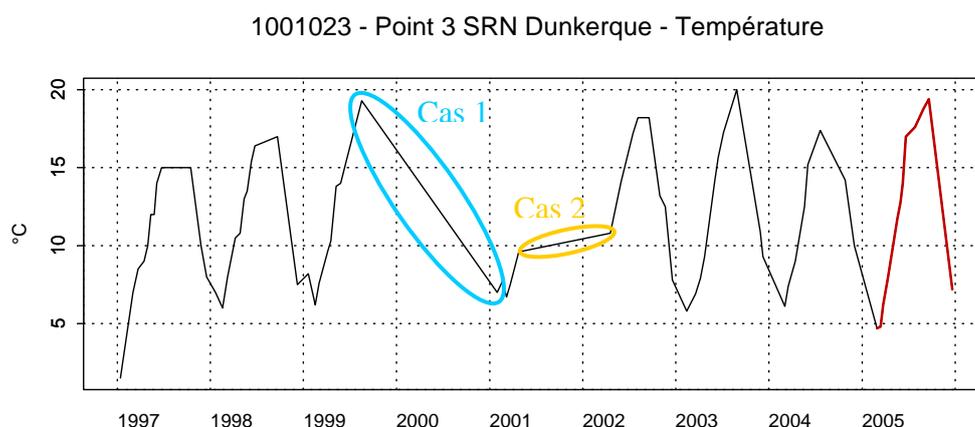
Pour la lecture, lorsque aucune espèce n'est à priori véritablement dominante, la cuve est parcourue entièrement. Dans le cas où une ou plusieurs espèces apparaîtraient très dominantes, un sous-échantillonnage est réalisé. Il consiste en une numération sur les diamètres de la cuve ou des champs choisis 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).

1.4.12. Assurance qualité

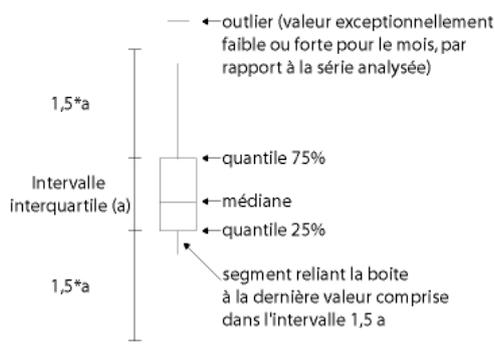
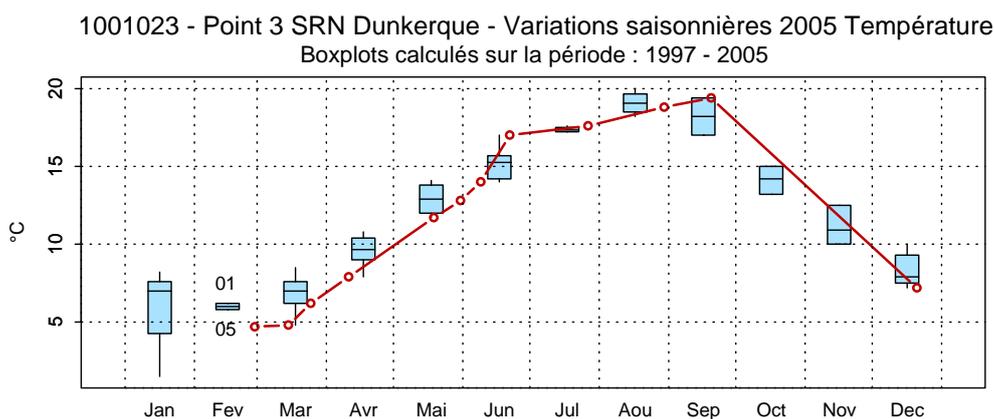
L'ensemble des analyses réalisées au laboratoire LER du centre Ifremer Manche - mer du Nord de Boulogne-sur-Mer se fait sous Assurance Qualité (Plan qualité physicochimie du 01/07/2000 et plan qualité métrologie du 23/07/2002). De plus, le laboratoire est impliqué dans le Programme d'Inter Comparaison QUASIMEME (QUALITY ASSURANCE for INFORMATION from MARINE ENVIRONMENTAL MONITORING in EUROPE) pour les sels nutritifs.

1.4.13. Interprétation des figures

Les paramètres hydrologiques mesurés, par exemple, sur la période 1992 - 2006 sont représentés par deux types de graphiques. D'abord, le premier illustre l'évolution du paramètre considérée à long terme, de 1997 à 2005. Les valeurs de l'année étudiée sont figurées en rouge, mais attention lors de l'absence de données sur un graphique, les points sont reliés par un trait, ce qui peut être trompeur quant à l'interprétation de l'évolution du cycle à long terme (exemples : [cas 1](#) → forte chute due à l'absence de données entre le début de l'hiver 1999 et le milieu de l'hiver 2001, et [cas 2](#) → période apparemment stable en raison de l'absence de données du printemps 2001 au printemps 2002).



Enfin, les boîtes de dispersion permettent de visualiser les variations saisonnières. Elles représentent la distribution des valeurs dans chaque mois, pour l'ensemble de la période considérée. Les valeurs extrêmement faibles ou fortes sont indiquées par l'année où le phénomène s'est produit (exemple : au mois de février 2001, la valeur de la température fut exceptionnelle à Dunkerque).



2. Comparaison intra-radiale

2.1. Dunkerque

Pour des raisons météorologiques et techniques, les prélèvements du mois d'octobre et novembre pour le point 4 n'ont pu être effectués. Au total, 12 campagnes de prélèvements ont été réalisées pour les autres points.

2.1.1. Température

Bilan 2006

La courbe de température indique une dynamique de température classique (Figure 1.1.). Dès le mois de février la température augmente et atteint son maximum en août (19,5 °C au point côtier). A partir de septembre, la température devrait commencer à diminuer (données non disponibles pour les mois d'octobre et novembre) jusqu'en décembre (de 9,8 °C à 11,1 °C respectivement du point côtier au point le plus éloigné).

Il existe globalement un faible gradient de température entre la côte et le large, sauf en été où il varie de - 1,5 °C à + 1,3 °C. Le gradient est globalement négatif ou nul au printemps et en été (eaux côtières plus chaudes) et est positif en hiver (Figure 1.1. - Annexe 2).

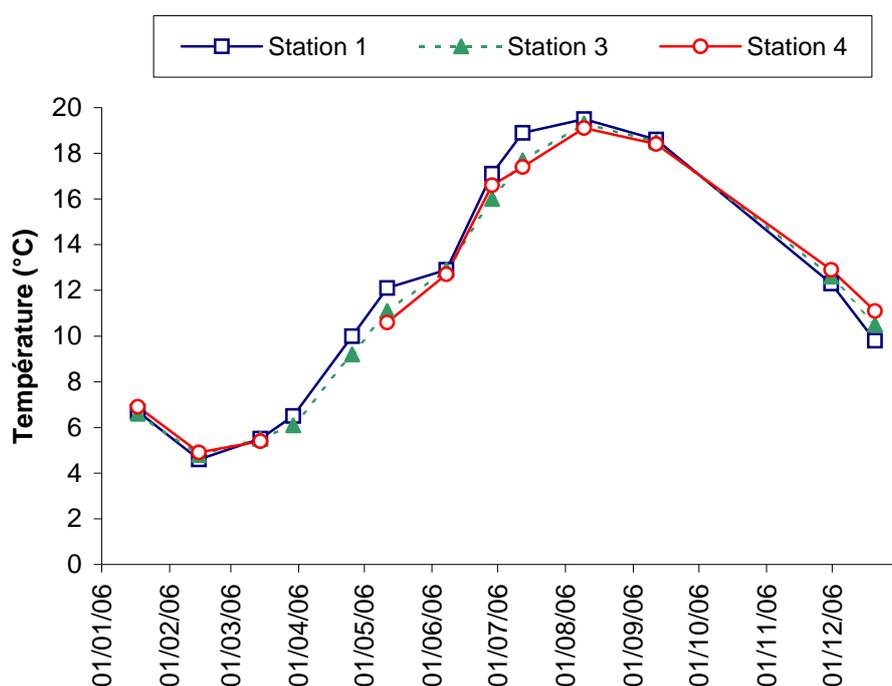
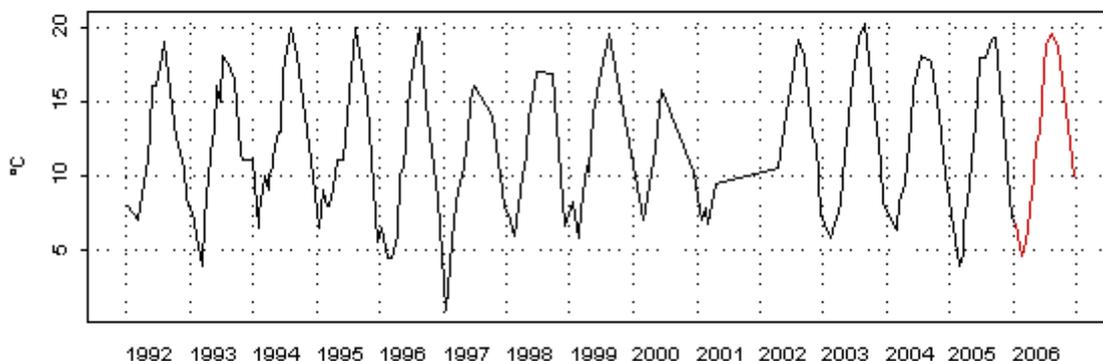


Figure 1.1. Évolution temporelle en 2006 de la température (°C) sur la radiale de Dunkerque

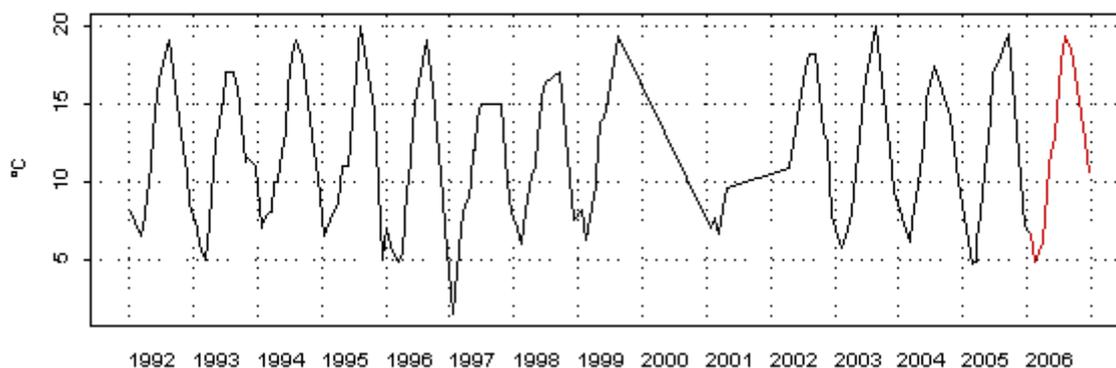
Évolution à long terme

Les cycles saisonniers sont nettement marqués pour l'ensemble de la période considérée (valeurs manquantes en 2000 pour les points 3 et 4, et en 2001 pour les 3 points). L'évolution temporelle des températures en 2006 est cohérente avec le schéma établi sur la période 1992-2006. La médiane des températures de 2006 ($12,1^{\circ}\text{C}$ pour le point côtier) est supérieure à celle mesurée sur la période 1992-2006 ($11,0^{\circ}\text{C}$ pour le point côtier). (Figure 1.2.a.).

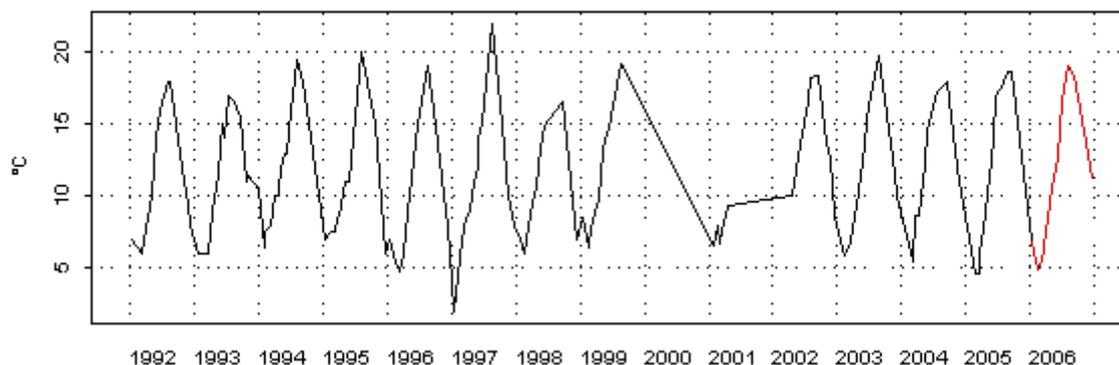
1001022 - Point 1 SRN Dunkerque - Température



1001023 - Point 3 SRN Dunkerque - Température

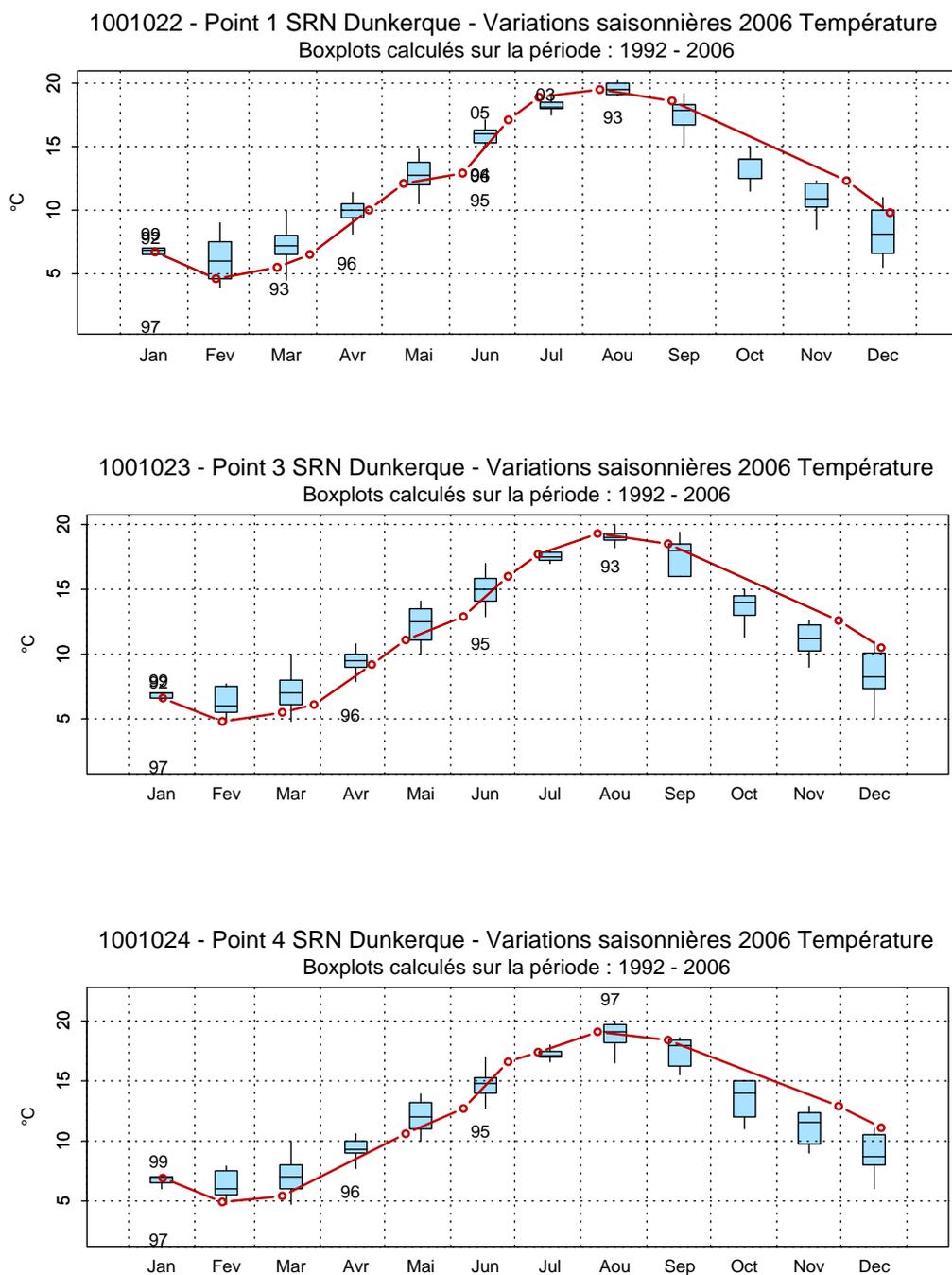


1001024 - Point 4 SRN Dunkerque - Température



**Figure 1.2.a. Évolution de la température ($^{\circ}\text{C}$)
sur la radiale de Dunkerque pour la période de 1992 à 2006**

La période 1992-2006 présente une médiane comprise entre 10,8 °C et 11 °C entre la côte et le large. La température maximale est observée en 2003 (20,2 °C au point côtier) alors que l'hiver 1997 présente la température minimale sur les trois points de prélèvement (1,0 °C au point côtier) (Figure 1.2.b.).



**Figure 1.2.b. Évolution des variations saisonnières de température (°C)
sur la radiale de Dunkerque pour la période de 1992 à 2006**

2.1.2. Salinité

Bilan 2006

La salinité est caractéristique d'un système marin côtier (Figure 1.3.). Elle est comprise entre 31,1 et 35,5 au point 1, entre 31,9 et 35,6 au point 3 et entre 32,2 et 35,7 au point 4.

Les fluctuations observées sont le reflet à la fois de conditions de prélèvements différents (marée) et de situation environnementales différentes (météorologie, courantologie) qui ne peuvent être appréhendés à cette échelle d'observation

Le gradient côte - large de salinité est compris entre 0,0 et 1,3 (Figure 1.3. - Annexe 2).

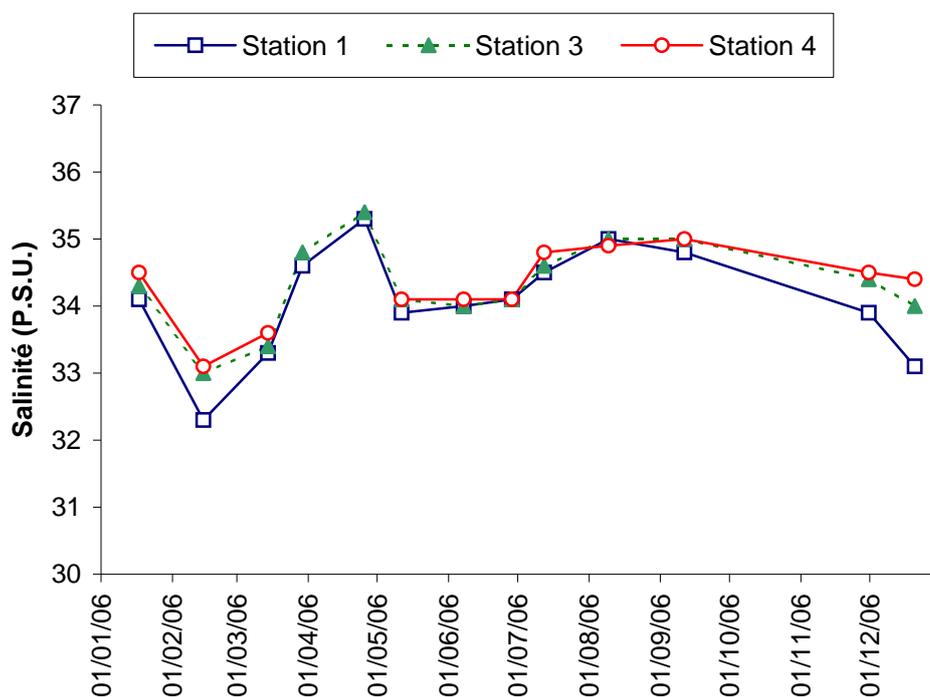


Figure 1.3. Évolution temporelle de la salinité (P.S.U) sur la radiale de Dunkerque

2.1.3. Turbidité et matières en suspension

Bilan 2006

L'évolution de la turbidité est comparable à celle des matières en suspension (M.E.S.). Les valeurs sont élevées en hiver et chutent au printemps. L'eau est plus turbide à la côte qu'au large (Figures 1.4. et 1.5.).

Les maximums de turbidité et de M.E.S. sont observés avec respectivement :

26,5 N.T.U. et 35,6 mg·l⁻¹ en février-mars pour le point 1 ;

10,0 N.T.U. et 23,8 mg·l⁻¹ en mars pour le point 3 ;

6,9 N.T.U. et 21,6 mg·l⁻¹ en février pour le point 4 (Figures 1.4. et 1.5. - Annexe 2).

Les différences de turbidité et de matières en suspension entre la côte et le large sont comprises, respectivement entre 0,3 et 23,1 N.T.U. et entre 1,3 mg·l⁻¹ et 30,3 mg·l⁻¹ (Figure 1.4. et 1.5. - Annexe 2).

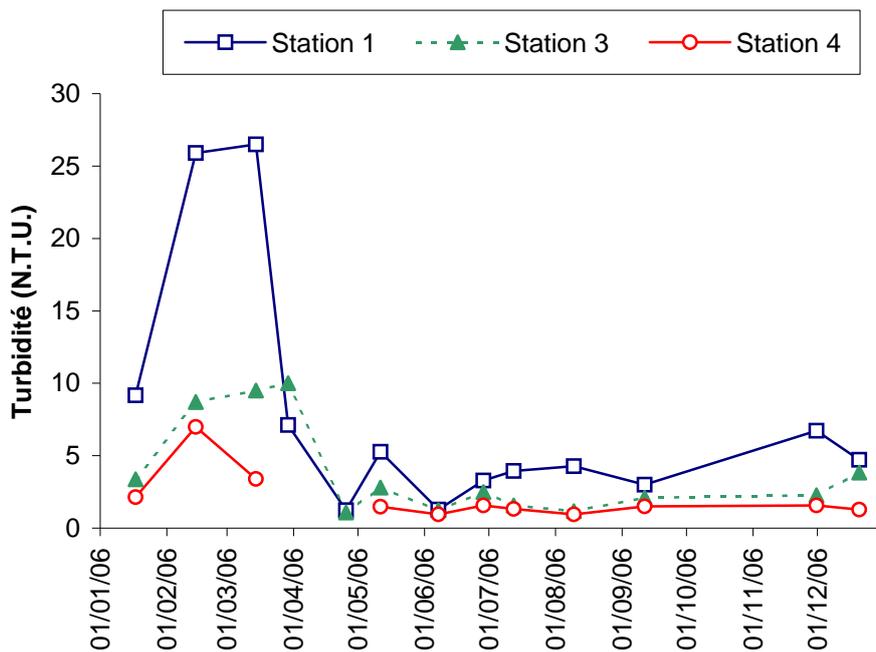


Figure 1.4. Évolution temporelle de la turbidité (N.T.U.) sur la radiale de Dunkerque

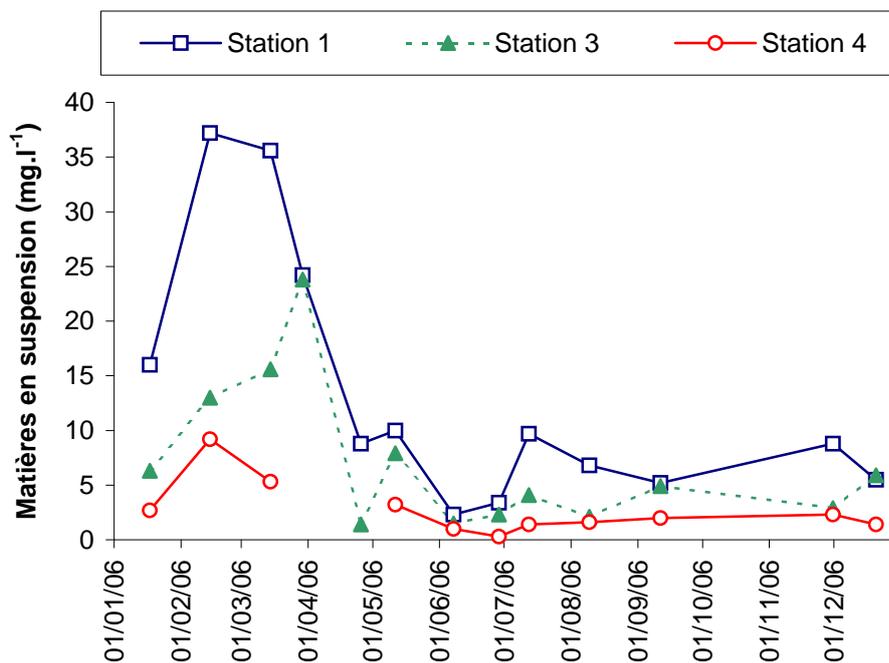


Figure 1.5. Évolution temporelle des matières en suspension (mg.l⁻¹) sur la radiale de Dunkerque

Évolution à long terme

Le cycle saisonnier présente des maxima situés en automne-hiver et des minima au printemps-été. L'année 2006 est caractérisée par des valeurs élevées pour les mois de février et mars, mais des turbidités inférieures aux valeurs médianes pour les mois d'automne (Figure 1.6.). Les années 1996 et 1998 sont caractérisées par des turbidités maximales en fin de cycle saisonnier.

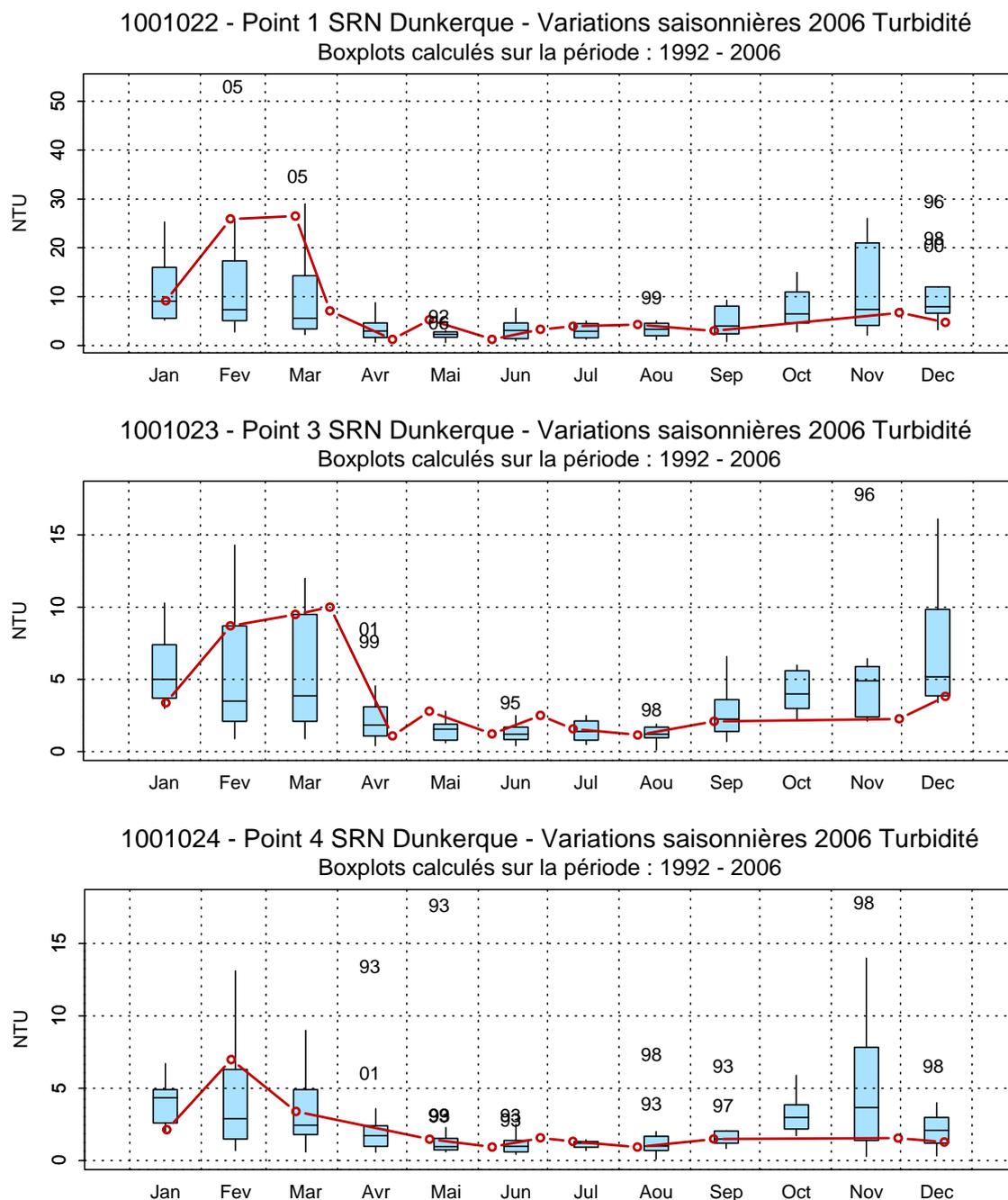


Figure 1.6. Évolution des variations saisonnières de turbidité (N.T.U.) sur la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2006

Globalement, les teneurs en M.E.S. sont plus fortes en hiver qu'en été et elles sont plus importantes à la côte qu'au large. Pour le point côtier, le schéma d'évolution de la turbidité est similaire, mais les valeurs atteintes lors des mois de février et mars 2005 représentent les maximales observées sur la période 1992-2006 (Figure 1.7.).

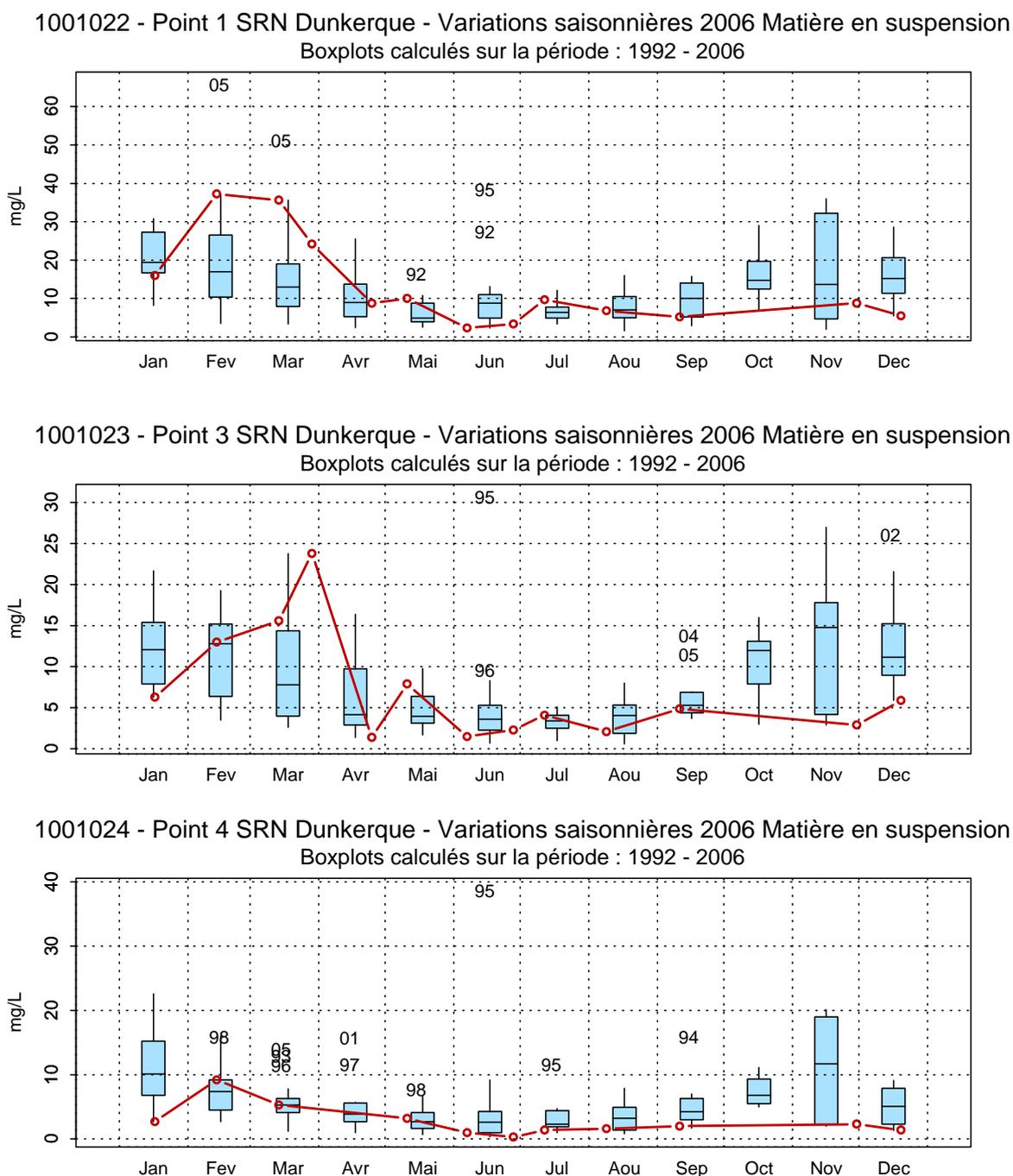


Figure 1.7. Évolution des variations saisonnières de matières en suspension ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2006

2.1.4. Matière organique

Bilan 2006

On observe des maximums de teneur en matière organique en juin et août, avec pour le mois de juillet une chute de la matière organique dans les M.E.S., ainsi qu'une remontée pour le mois de décembre pour le point 4. En général, les valeurs sont plus faibles à la côte qu'au large (Figure 1.8. - Annexe 2).

Le gradient côte-large est compris entre 2 % et 61 % (Figure 1.8. - Annexe 2).

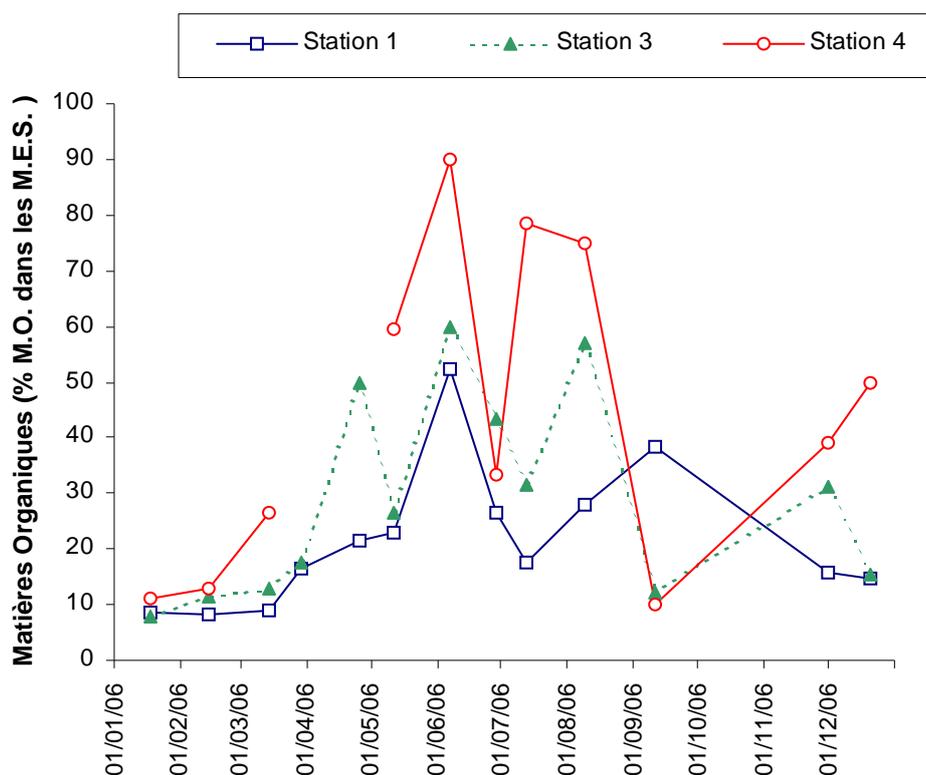


Figure 1.8. Évolution temporelle de la teneur en matière organique (%) dans les matières en suspension sur la radiale de Dunkerque

Évolution à long terme

La médiane au point côtier pour l'année 2006 est de $1,90 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ contre $2,00 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ pour la période 1992-2006. Les valeurs sont classiques pour les 3 points, sauf lors du mois de février où elles sont légèrement supérieures (Figure 1.9.). Les valeurs d'avril 2001 représentent toujours le maximum observé. Des minimums mensuels ont été observés lors des années 1995, 1997 alors que des maximums ont été observés en 1992, 1994, 1996, 2000, 2001 et 2003.

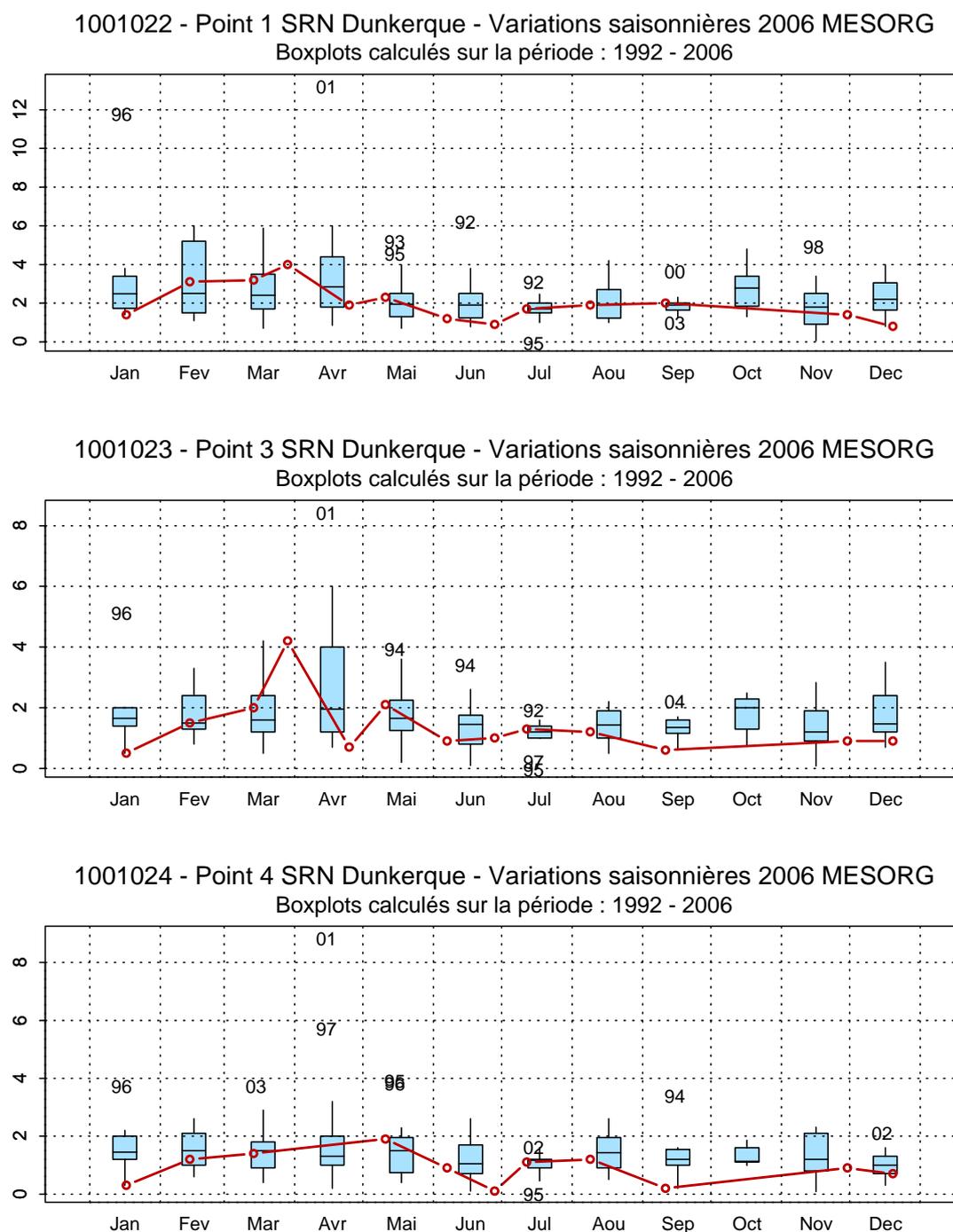


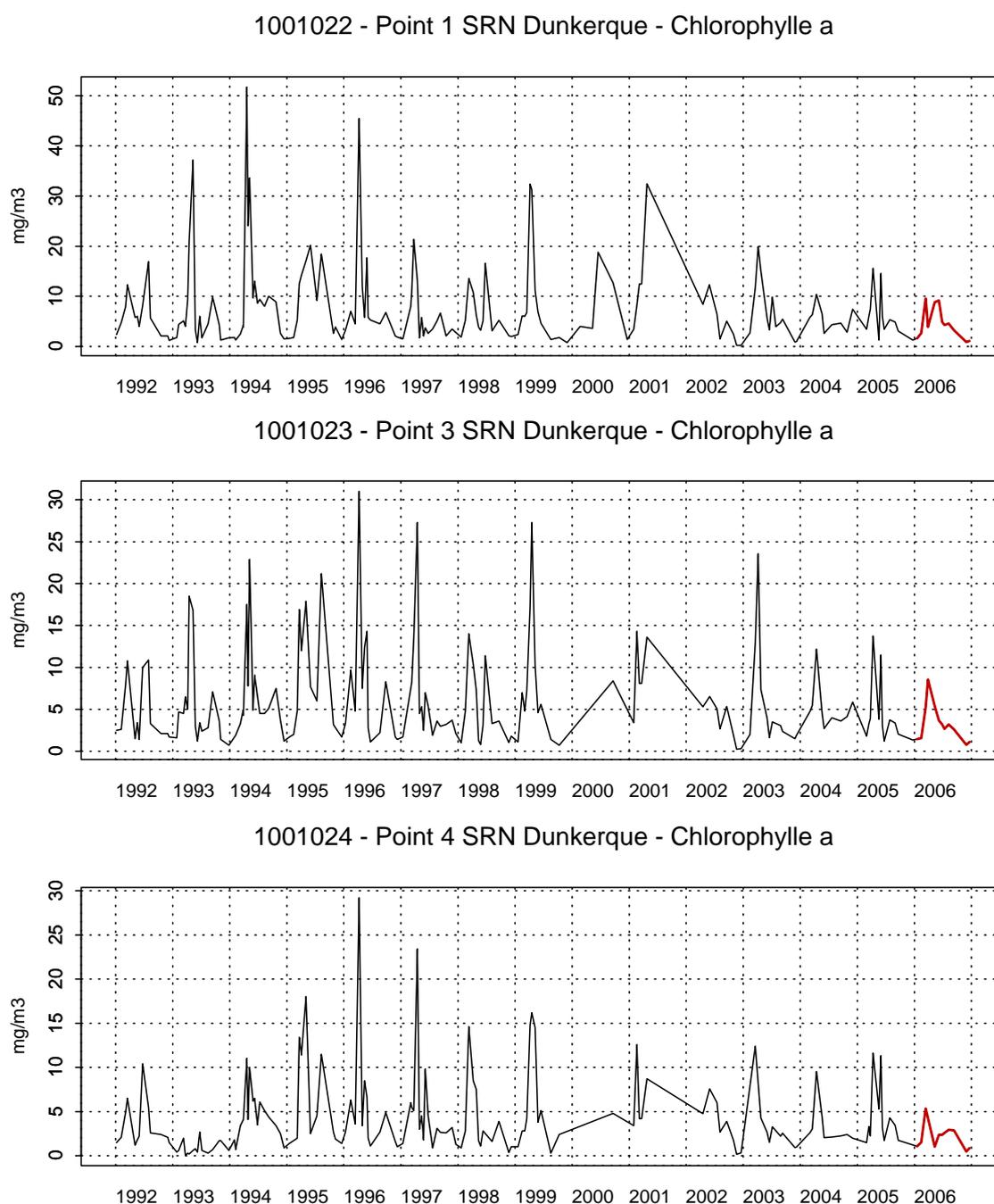
Figure 1.9. Évolution des variations saisonnières en M.E.S. organiques ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2006

2.1.5. Chlorophylle a et sels nutritifs

Les graphiques de synthèse de ces paramètres pour l'année 2006 sont repris de la Figure 1.16. à la Figure 1.18. ceci afin de faciliter l'interprétation.

- chlorophylle a

L'année 2006 apparaît comme une année faible en terme de concentration en chlorophylle a. Un maximum se situe au printemps comme chaque année ($9,56 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ au point côtier). Un autre maximum aussi marqué que le premier est observé en début d'été ($9,16 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ au point côtier) (Figure 1.10.a.).



**Figure 1.10.a. Évolution de la chlorophylle a ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)
sur la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2006**

Les variations saisonnières suivent le schéma établi sur la période 1992-2006 : les concentrations en chlorophylle *a* sont plus fortes de mars à mai et la dispersion autour de la médiane est plus importante à cette période (Figure 1.10.b.). Les années 1995 à 1998 restent remarquables du point de vue des concentrations atteintes lors de certains mois printaniers.

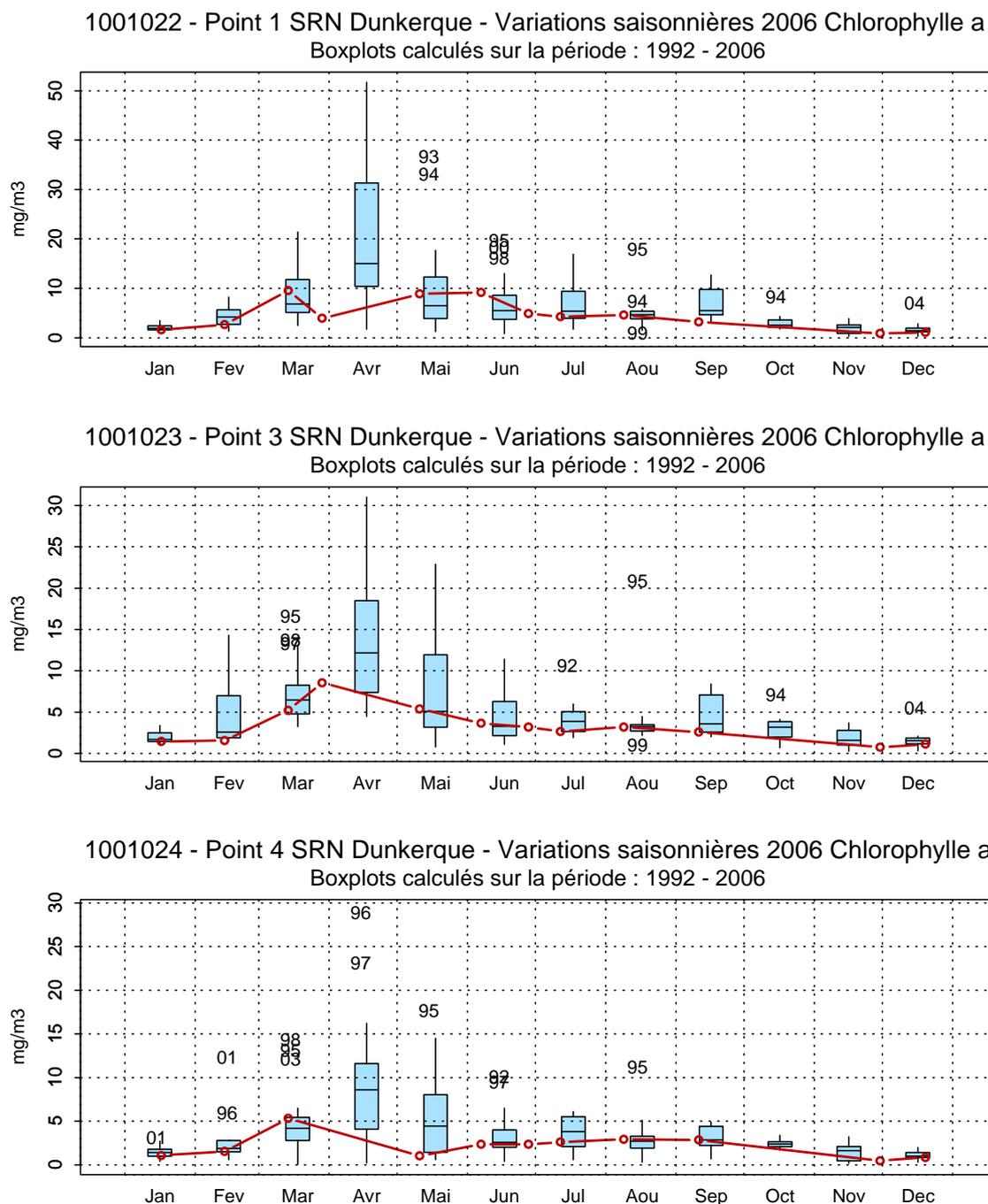
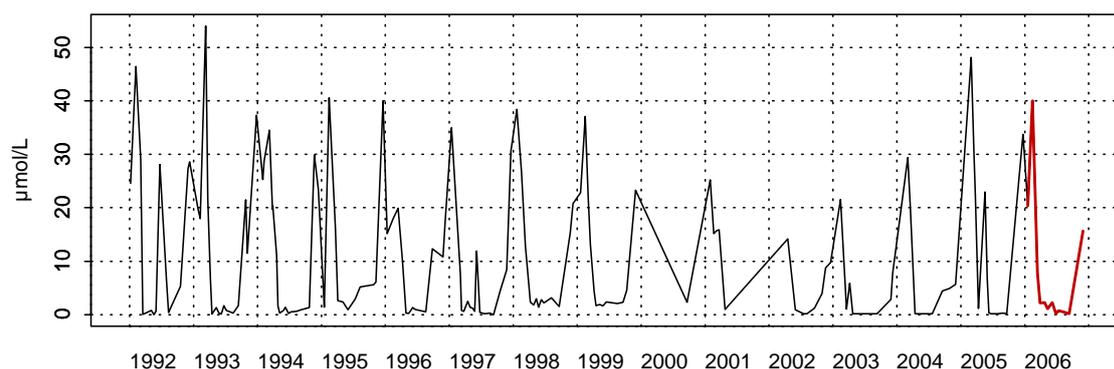


Figure 1.10.b. Évolution des variations saisonnières en chlorophylle *a* ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2006

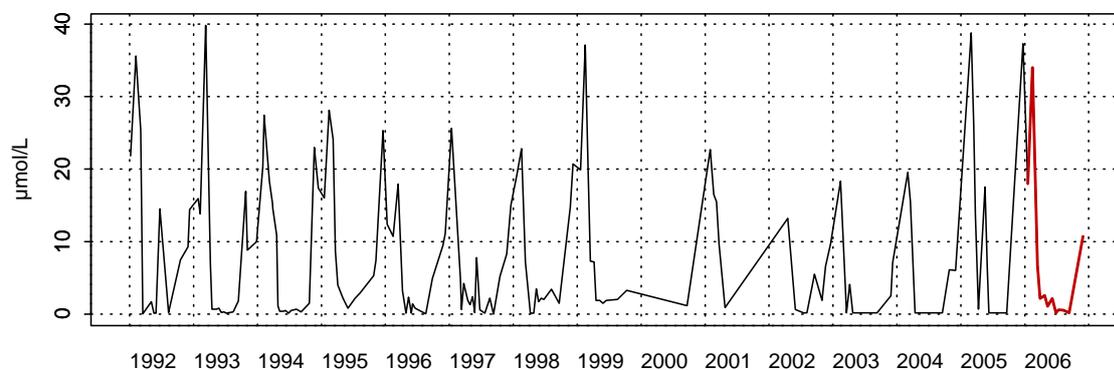
- Nitrate

La concentration de nitrate est moyenne en 2006. Elle est maximale en février au point côtier ($39,98 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$). Les teneurs en nitrate sont plus élevées en période hivernale qu'estivale. On obtient sur les trois points de prélèvement les mêmes tendances : un pic en début d'année, puis une forte baisse des nitrates dans le milieu au printemps, puis un accroissement de la concentration dès l'automne (Figure 1.11.a.).

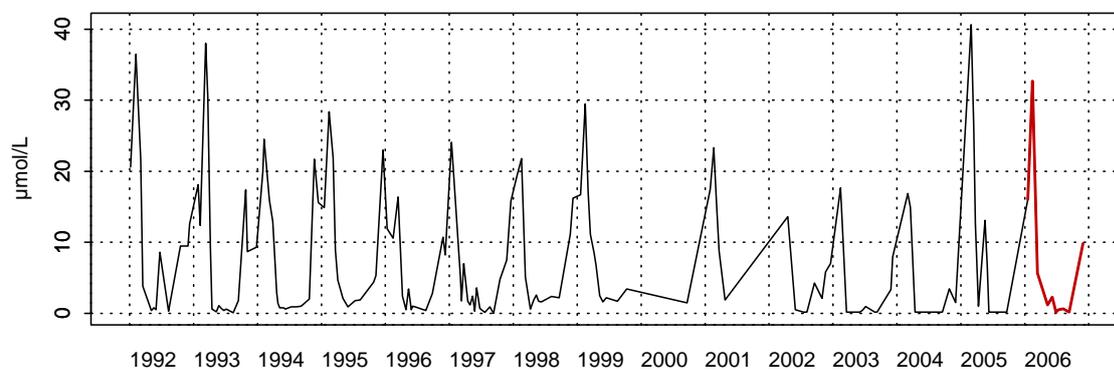
1001022 - Point 1 SRN Dunkerque - Azote nitrique (nitrate)



1001023 - Point 3 SRN Dunkerque - Azote nitrique (nitrate)



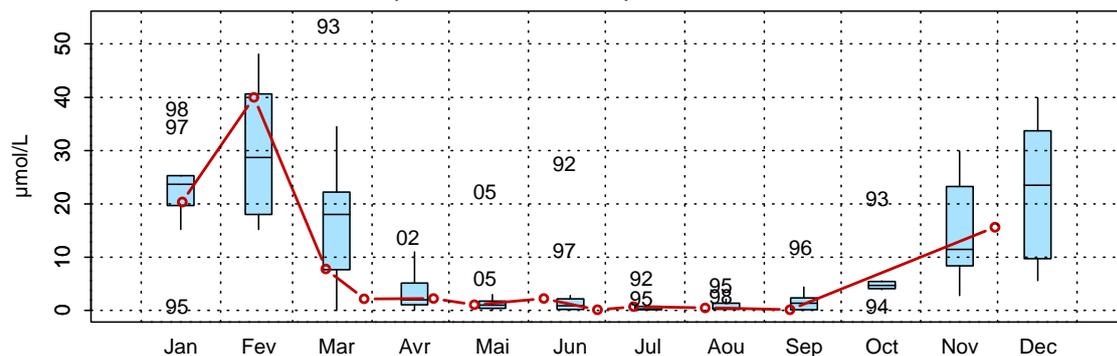
1001024 - Point 4 SRN Dunkerque - Azote nitrique (nitrate)



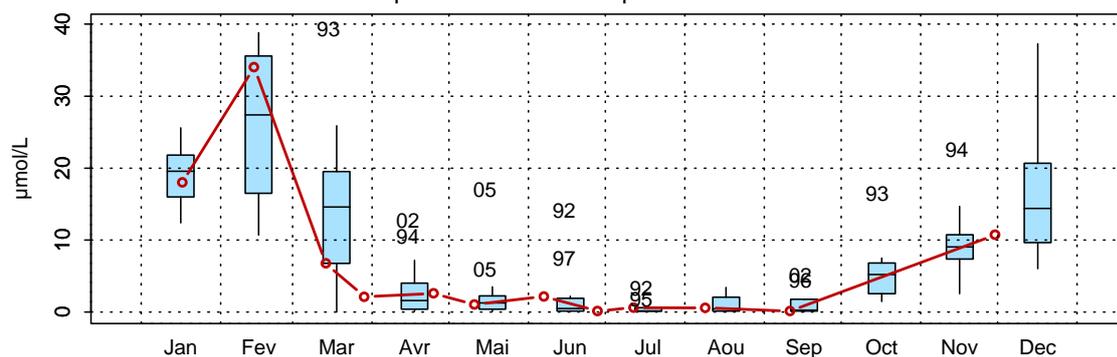
**Figure 1.11.a. Évolution des nitrates ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$)
sur la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2006**

Les variations saisonnières sont telles que les concentrations sont élevées en période hivernale et faibles en période estivale. L'absence de données pour les mois d'octobre et décembre ne permet pas de conclure quant à une concentration automnale plus élevée que la « normale » (sauf novembre). Les années 1992 à 1997 et 2002 apparaissent comme des années particulières avec des valeurs estivales et/ou printanières particulièrement élevées (Figure 1.11.b.).

1001022 - Point 1 SRN Dunkerque - Variations saisonnières 2006 Azote nitrique (nitrate)
Boxplots calculés sur la période : 1992 - 2006



1001023 - Point 3 SRN Dunkerque - Variations saisonnières 2006 Azote nitrique (nitrate)
Boxplots calculés sur la période : 1992 - 2006



1001024 - Point 4 SRN Dunkerque - Variations saisonnières 2006 Azote nitrique (nitrate)
Boxplots calculés sur la période : 1992 - 2006

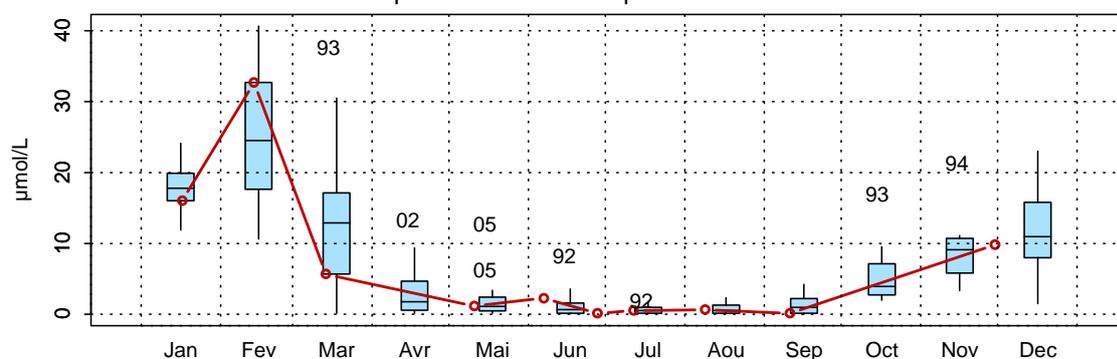


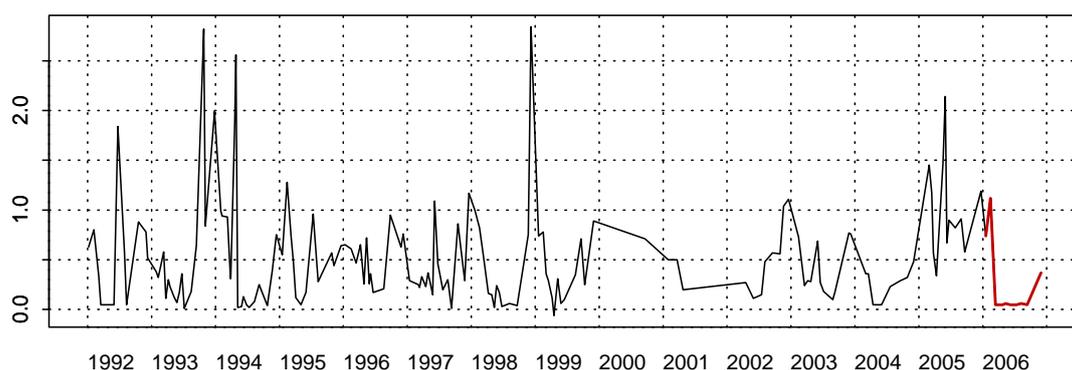
Figure 1.11.b. Évolution des variations saisonnières en nitrate ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2006

- Nitrite

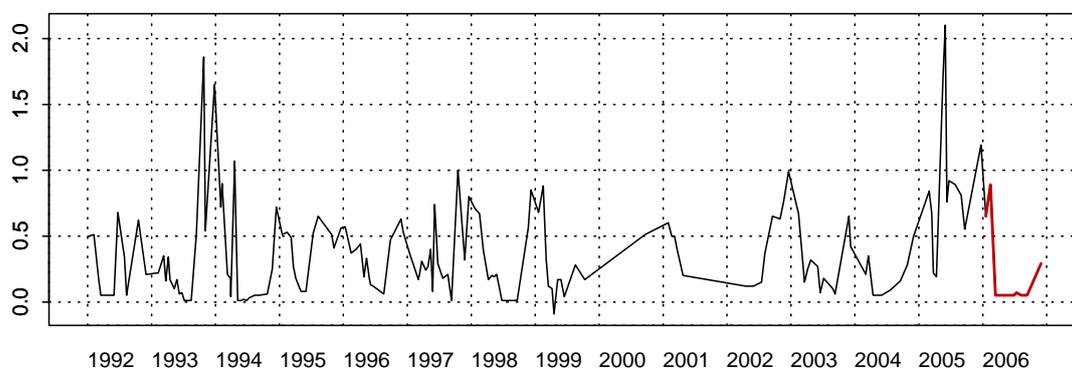
Les concentrations en nitrite présentent des fluctuations importantes d'une année sur l'autre. L'aspect fugace de cet élément lors des réactions de nitrification-dénitrification rend difficile l'interprétation.

Pour l'année 2006, la concentration médiane de nitrite à la côte est parmi les plus faibles depuis 1992 (inférieure à la limite de détection contre $0,34 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ pour la période 1992-2006) (Figure 1.12.a.).

1001022 - Point 1 SRN Dunkerque - NO₂



1001023 - Point 3 SRN Dunkerque - NO₂



1001024 - Point 4 SRN Dunkerque - NO₂

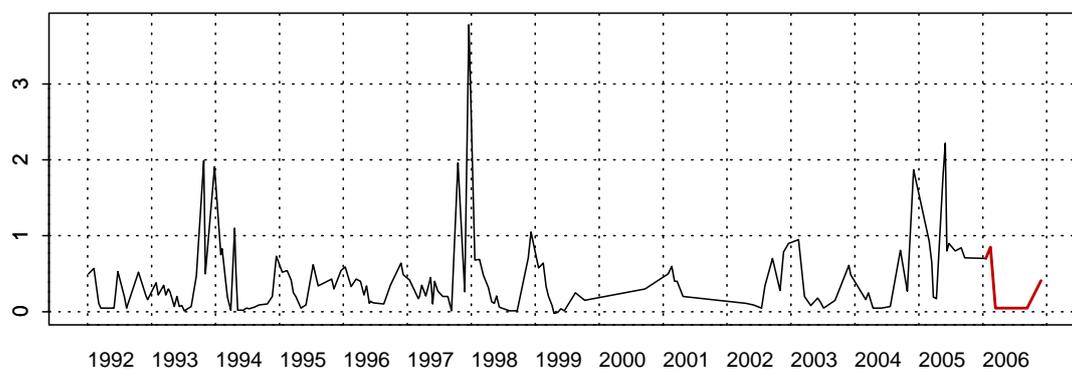


Figure 1.12.a. Évolution des nitrites ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2006

Le cycle 2006 des concentrations en nitrite est cohérent avec celui établi sur la période 1992-2006, mais les concentrations sont globalement inférieures à celles observées sur la période 1992-2006 (Figure 1.12.b.).

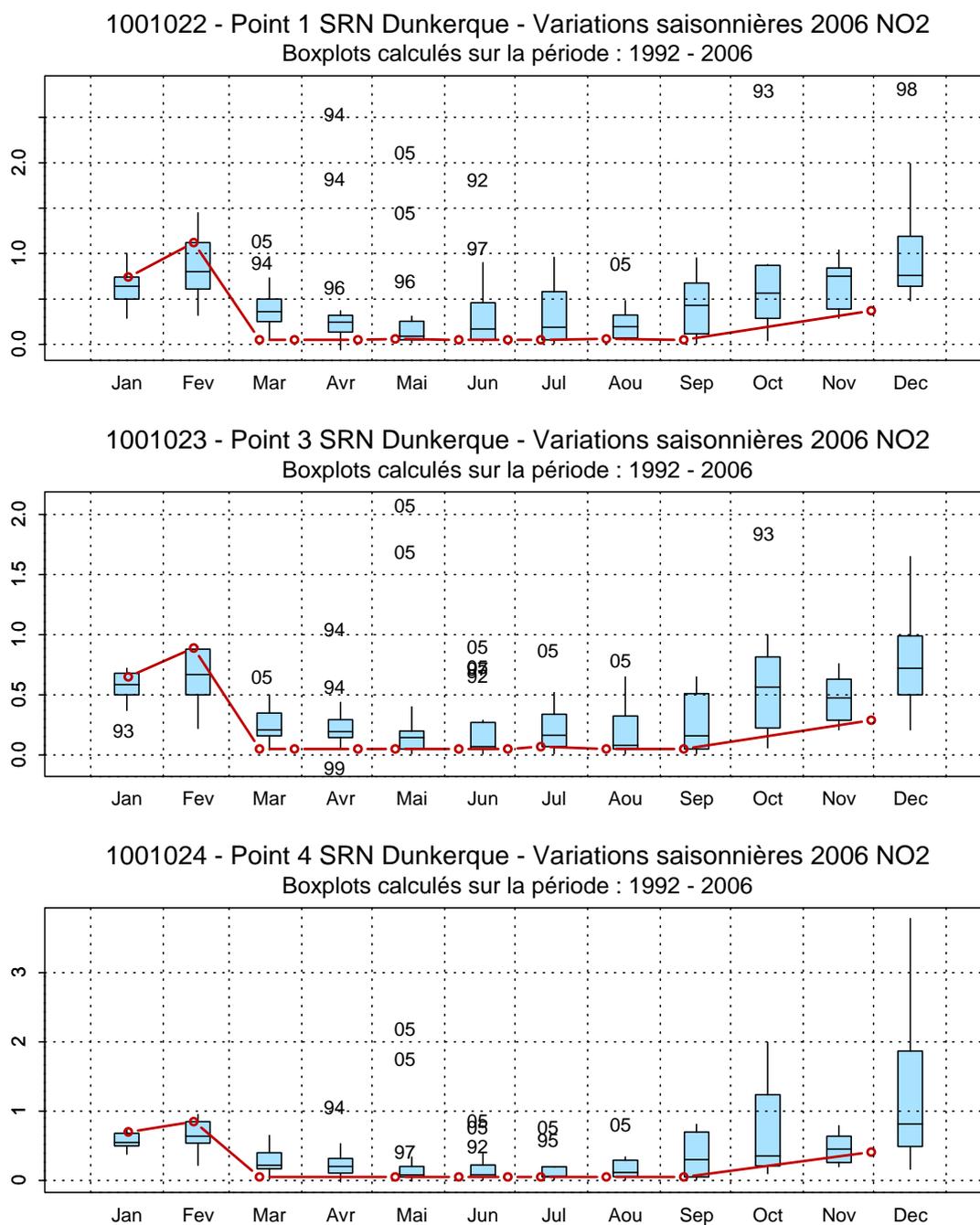
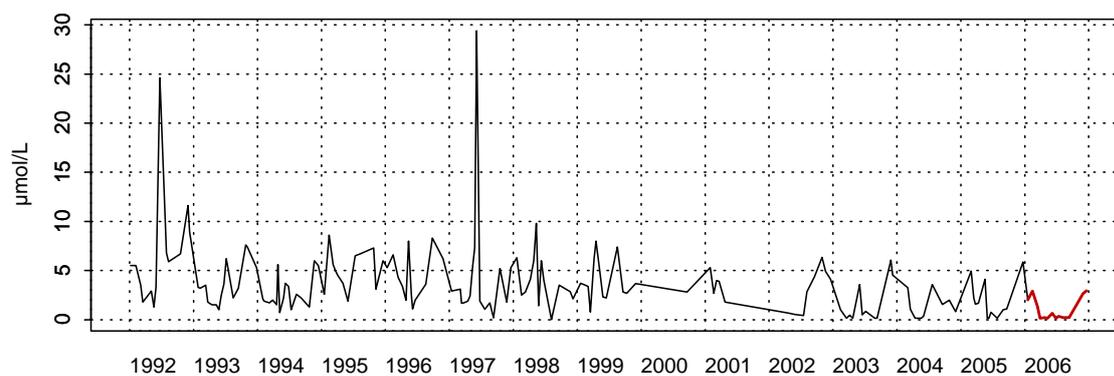


Figure 1.12.b. Évolution des variations saisonnières en nitrite ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2006

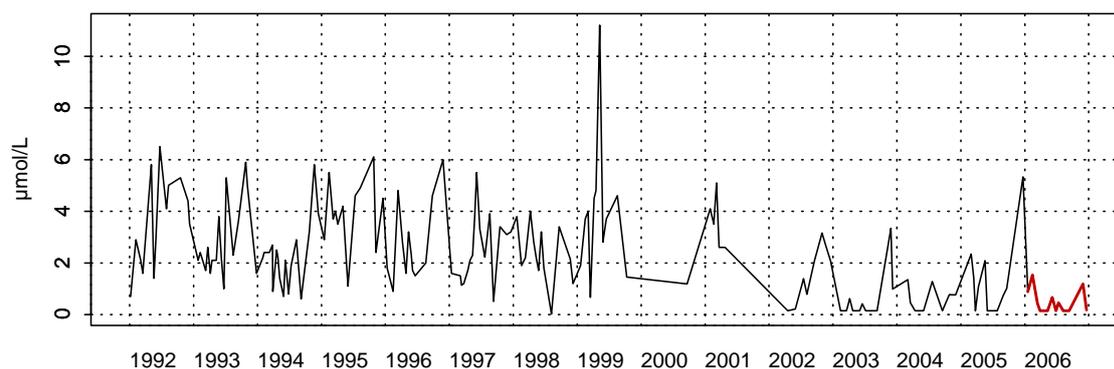
- Ammonium

Le schéma d'évolution de la concentration en ammonium apparaît classique bien que particulièrement faible par rapport au schéma établi sur la période 1992-2006 (Figure 1.13.a).

1001022 - Point 1 SRN Dunkerque - Azote ammoniacal



1001023 - Point 3 SRN Dunkerque - Azote ammoniacal



1001024 - Point 4 SRN Dunkerque - Azote ammoniacal

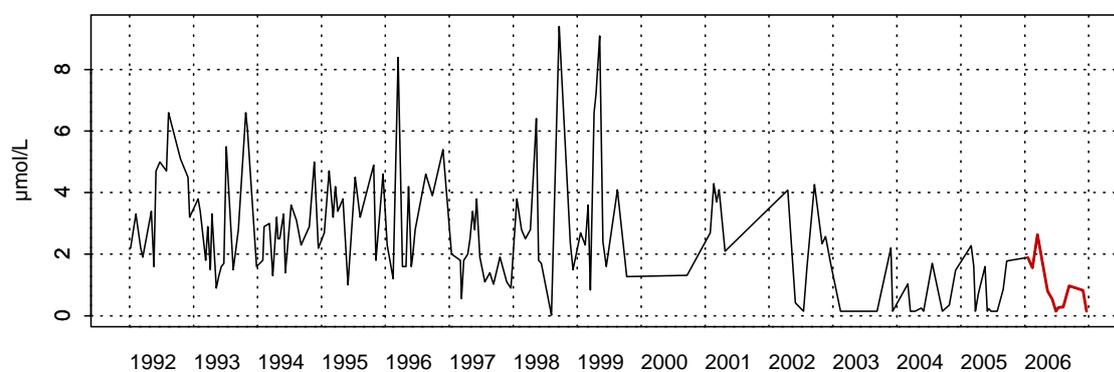


Figure 1.13.a. Évolution de l'ammonium ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2006

En 2006, les concentrations en ammonium sont bien inférieures à celles habituellement enregistrés (Figure 1.13.b.). L'année 1999 est remarquable du point de vue des concentrations atteintes lors du printemps au niveau des points intermédiaire et du large. La concentration était particulièrement élevée à la côte en juin en 1992 et 1997.

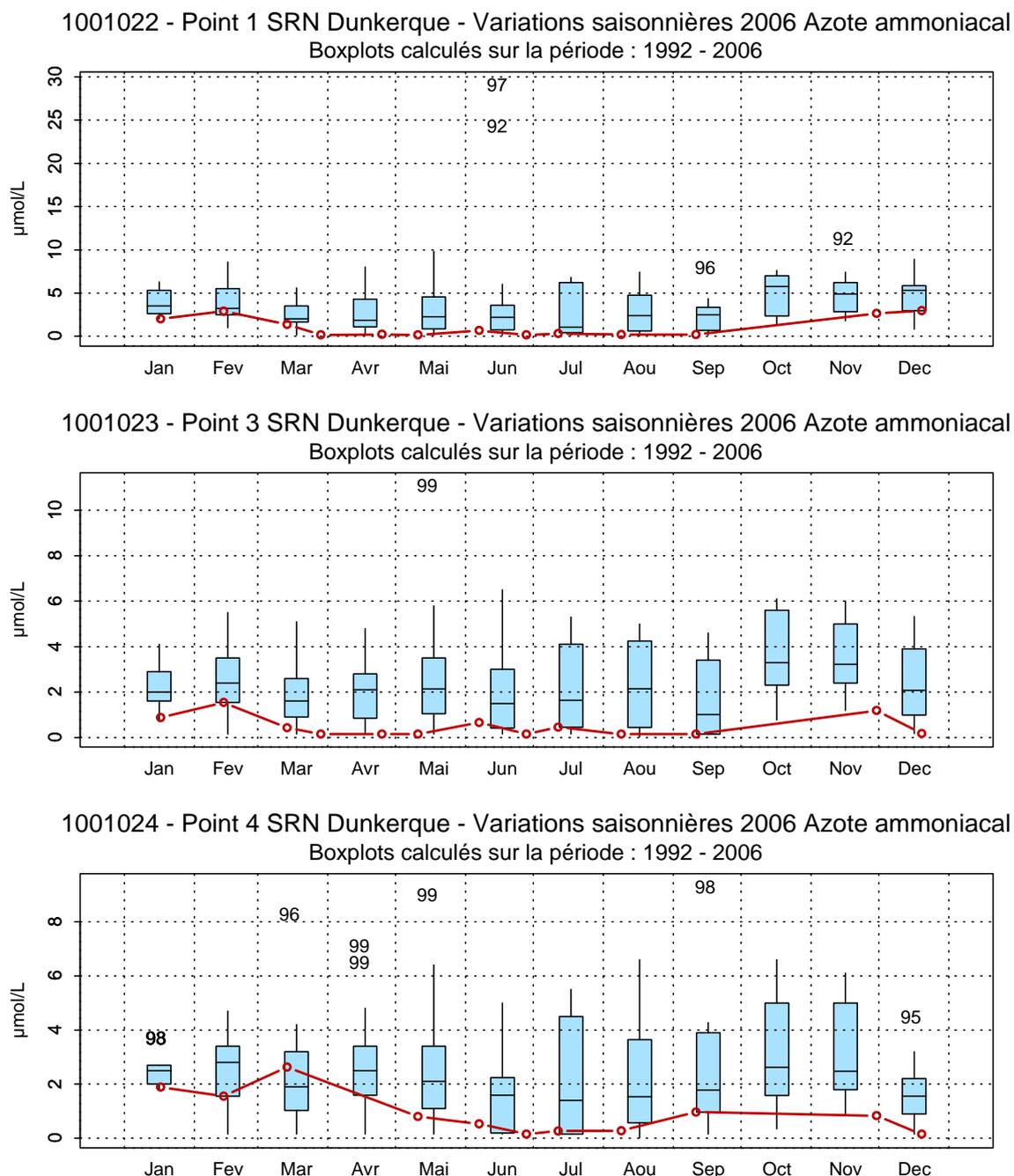


Figure 1.13.b. Évolution des variations saisonnières en ammonium ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2006

- Phosphate

Au point côtier, la médiane est de $0,41 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ pour l'année 2006 contre $0,50 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ pour la période 1992-2006. L'année 2006 est donc globalement moins riche en phosphate que les autres années (Figure 1.14.a).

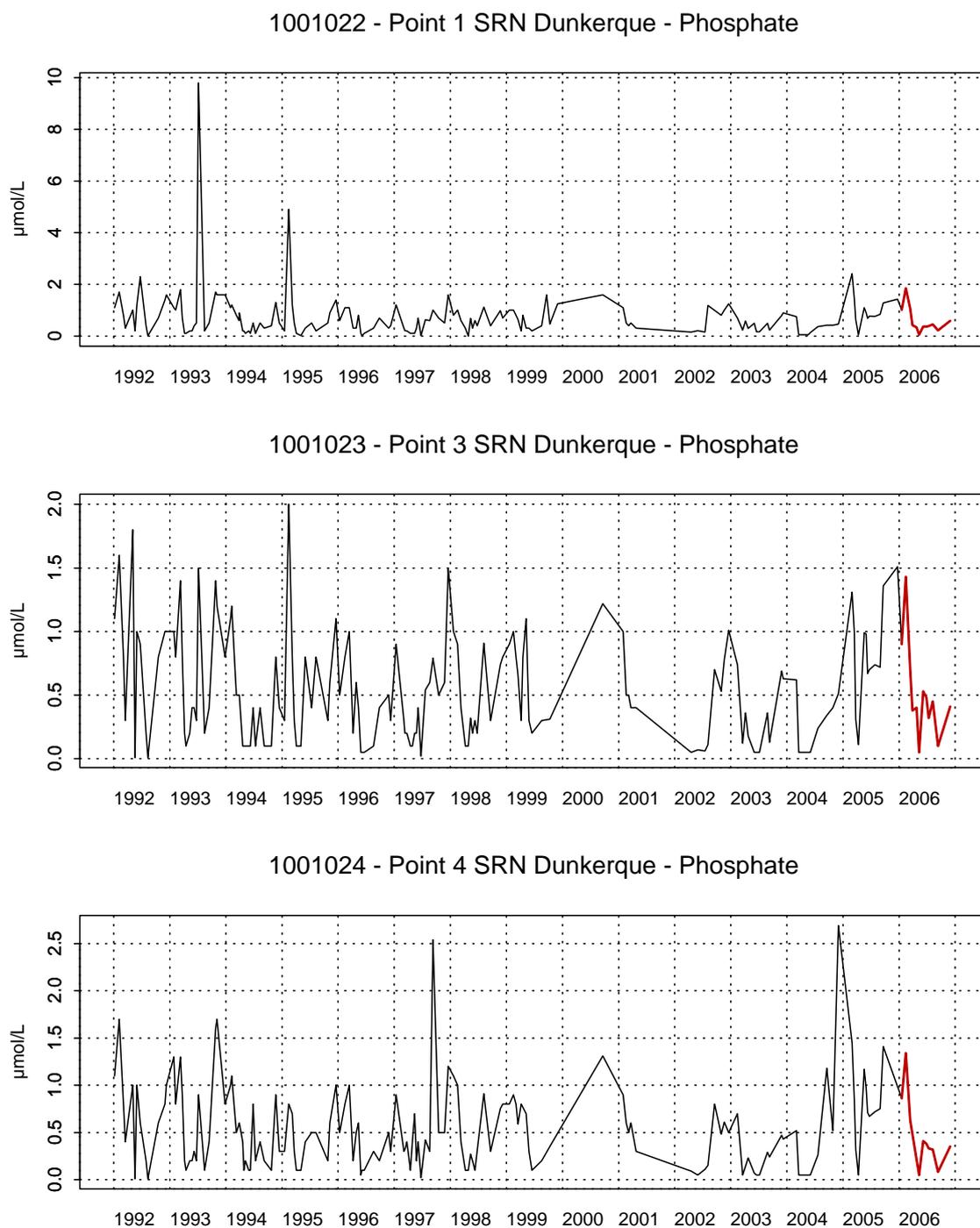


Figure 1.14.a. Évolution des phosphates ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2006

Les variations saisonnières sont bien marquées et suivent globalement le schéma établi sur la période 1992-2006. Les valeurs pour les mois d'été, sont cependant supérieures à celles observées habituellement. L'absence de données au point côtier pour les mois d'octobre et décembre ne permet pas de conclure quant à ce schéma d'évolution en fin de cycle. Les années 1992, 1993 et 1995 présentent des valeurs particulièrement fortes lors de certains mois et pour certains points (Figure 1.14.b.).

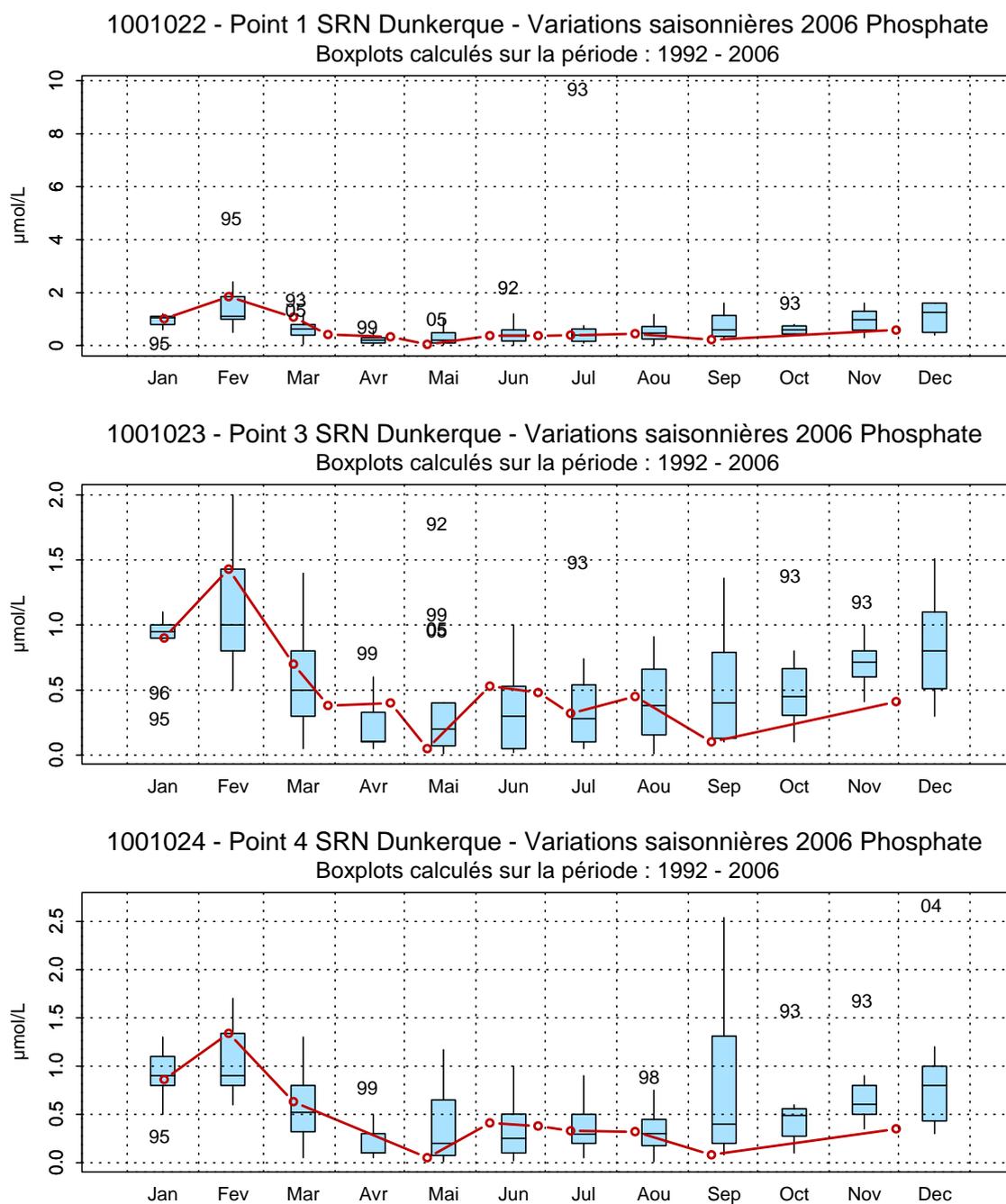
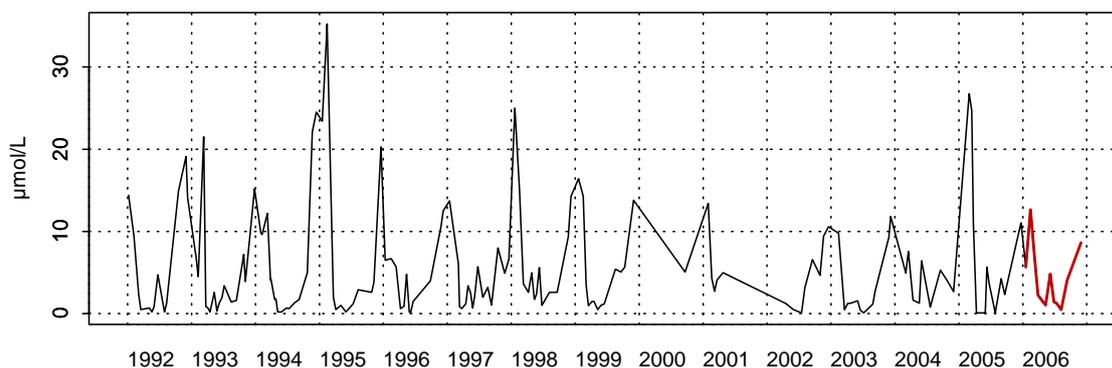


Figure 1.14.b. Évolution des variations saisonnières en phosphate ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2006

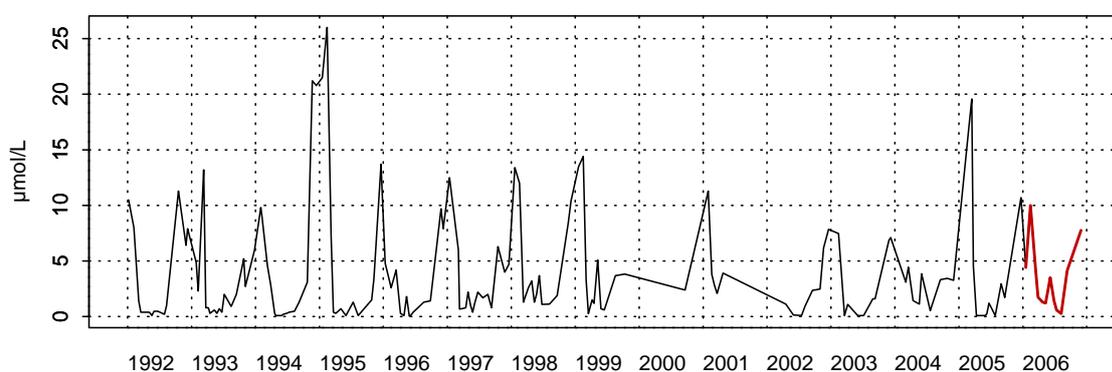
- Silicate

Les maximums de concentrations en silicate sont atteints en période hivernale et diminuent fortement au printemps. Nous observons également un pic en juin pour les trois points de la radiale. Pendant la période estivale, les concentrations sont relativement faibles, puis le stock se reconstitue à la fin de l'automne (Figure 1.15.a.).

1001022 - Point 1 SRN Dunkerque - Silicate



1001023 - Point 3 SRN Dunkerque - Silicate



1001024 - Point 4 SRN Dunkerque - Silicate

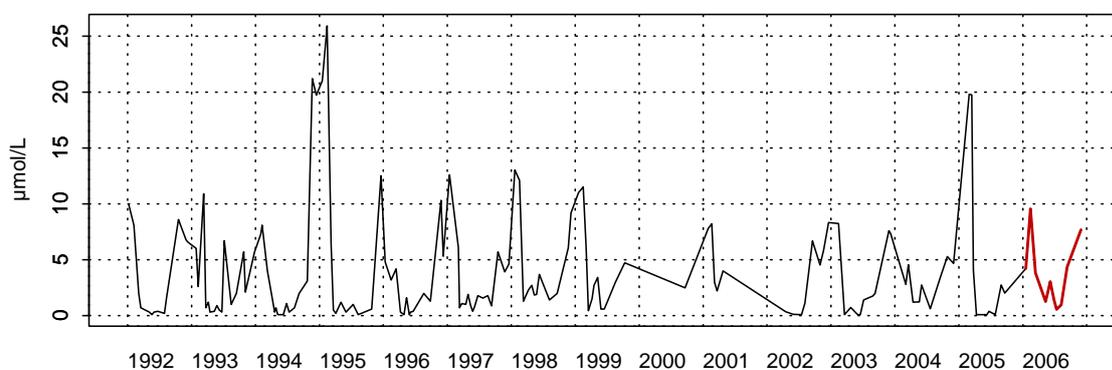


Figure 1.15.a. Évolution des silicates ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2006

Le cycle saisonnier 2006 suit le cycle classique, sauf pour le mois de juin où la concentration est supérieure à celles habituellement enregistrées. La médiane au point côtier pour l'année 2006 est de $3,17 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ contre $3,20 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ pour la période de 1992 à 2006. Les années 1992 à 1995 et 2002 apparaissent particulières du point de vue des concentrations atteintes lors de certains mois pour certains points (Figure 1.15.b.).

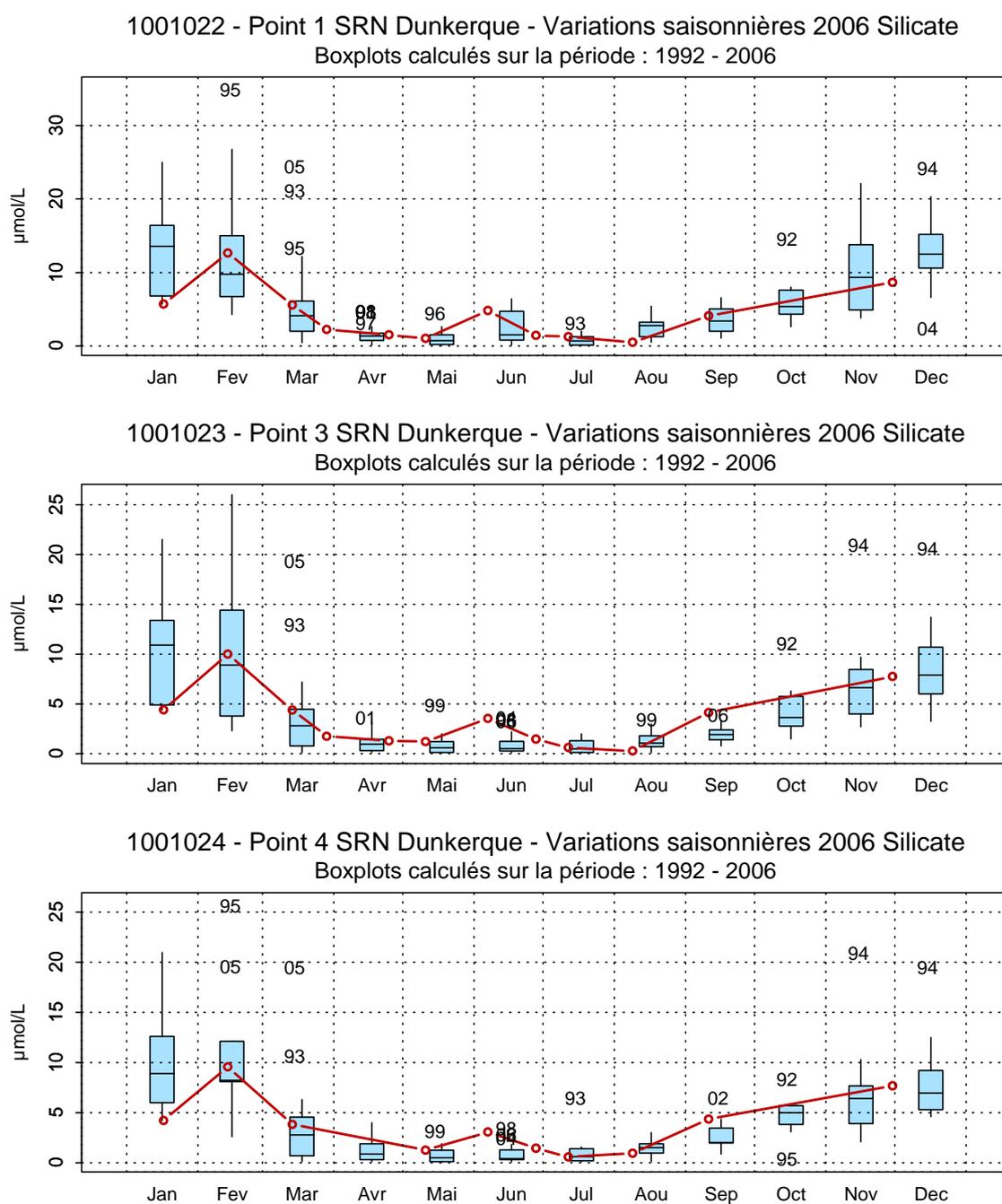


Figure 1.15.b. Évolution des variations saisonnières en silicate ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de Dunkerque pour la période 1992-2006

Dynamique de la biomasse phytoplanctonique et des sels nutritifs en 2006

Le point 1 présente une dynamique d'évolution de la concentration en chlorophylle *a* et en sels nutritifs en 4 phases :

(1) En janvier-février la concentration en chlorophylle *a* augmente légèrement en même temps que les concentrations en sels nutritifs qui atteignent un de leur maximum à mi-février.

En mars-avril, la concentration en chlorophylle *a* augmente brutalement (maximum $9,56 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ au point côtier) parallèlement à une diminution (jusqu'au seuil de détection) de la concentration en sels nutritifs (divisé par 35 pour les nitrates et par 12 pour les silicates). La concentration en ammonium passe sous le seuil de détection avec une diminution d'un facteur 20.

(2) La concentration en chlorophylle *a* chute ainsi que celle en sels nutritifs.

(3) La concentration en chlorophylle *a* nous est inconnue pour la période avril-mai, mais la concentration globale des sels nutritifs reste stable. La comparaison avec les valeurs suivantes laisse à penser que la concentration en chlorophylle *a* a pu présenter une seconde augmentation.

(4) La concentration en chlorophylle *a* chute de nouveau pour les mois de fin mai/début juillet alors qu'au même moment nous observons une remontée de la concentration en phosphate dans le milieu ainsi qu'un pic de silicate en juin ($4,82 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$)

La concentration en chlorophylle se stabilise vers le mois d'août puis chute de septembre à décembre, le milieu s'enrichit en nitrate, nitrite, ammonium, phosphate et silicates afin de reconstituer le stock hivernal (Figure 1.16. - Annexe 2).

Ce schéma est observé au point 3 (Figure 1.17. - Annexe 2).

Au point 4, la différence concerne la phase (3). La concentration en chlorophylle *a* est faible en mai (Figure 1.18. - Annexe 2).

Pour faciliter la lecture, des différentes phases, les échelles des ordonnées des graphiques ne sont pas les mêmes.

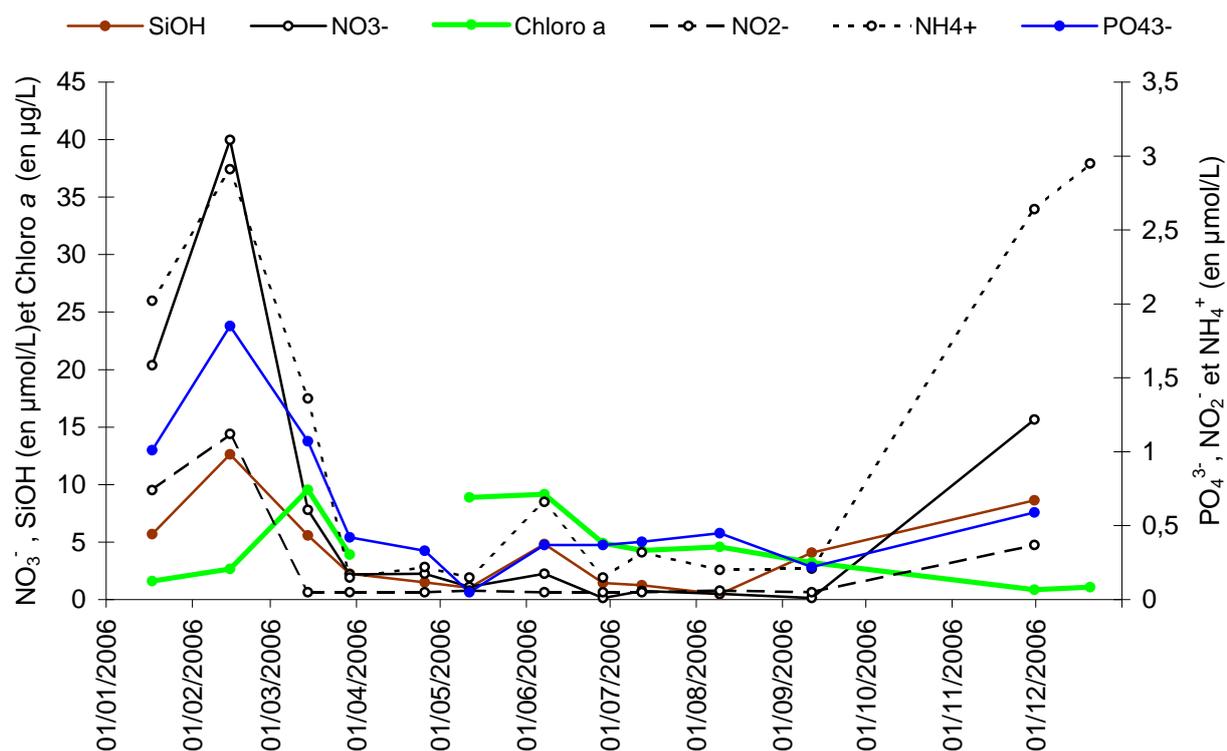
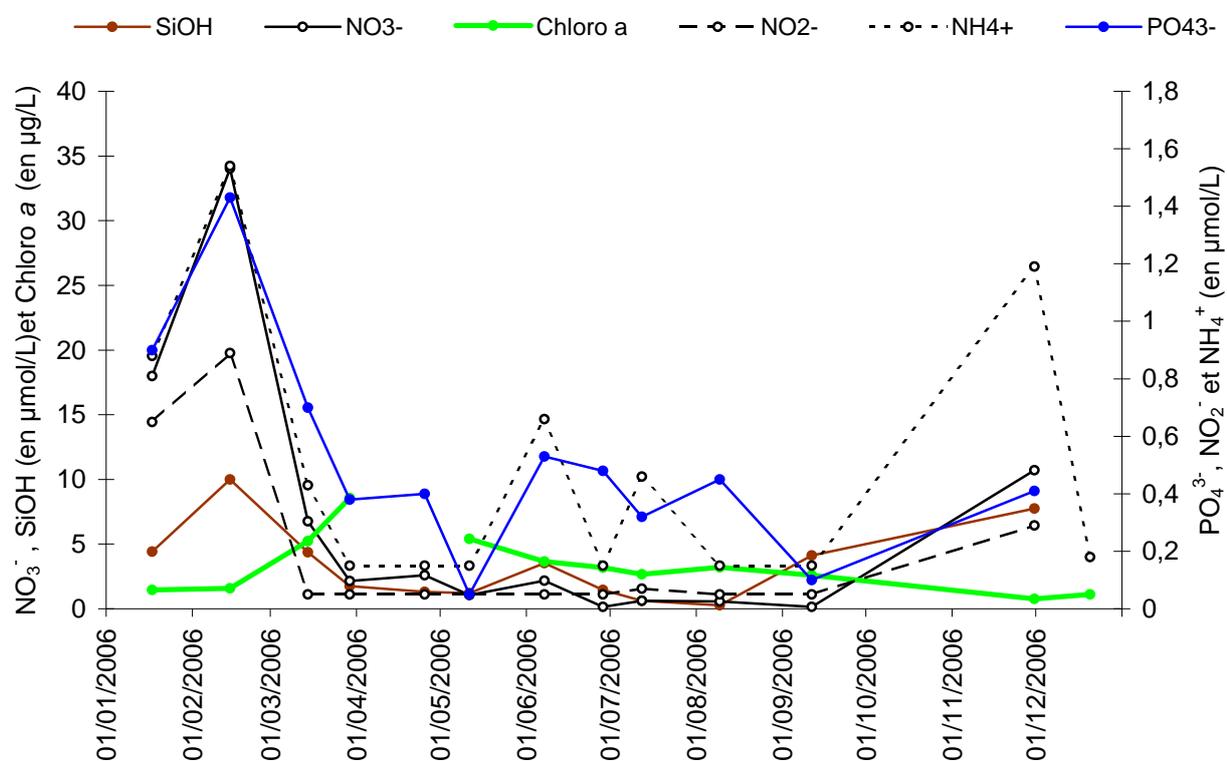
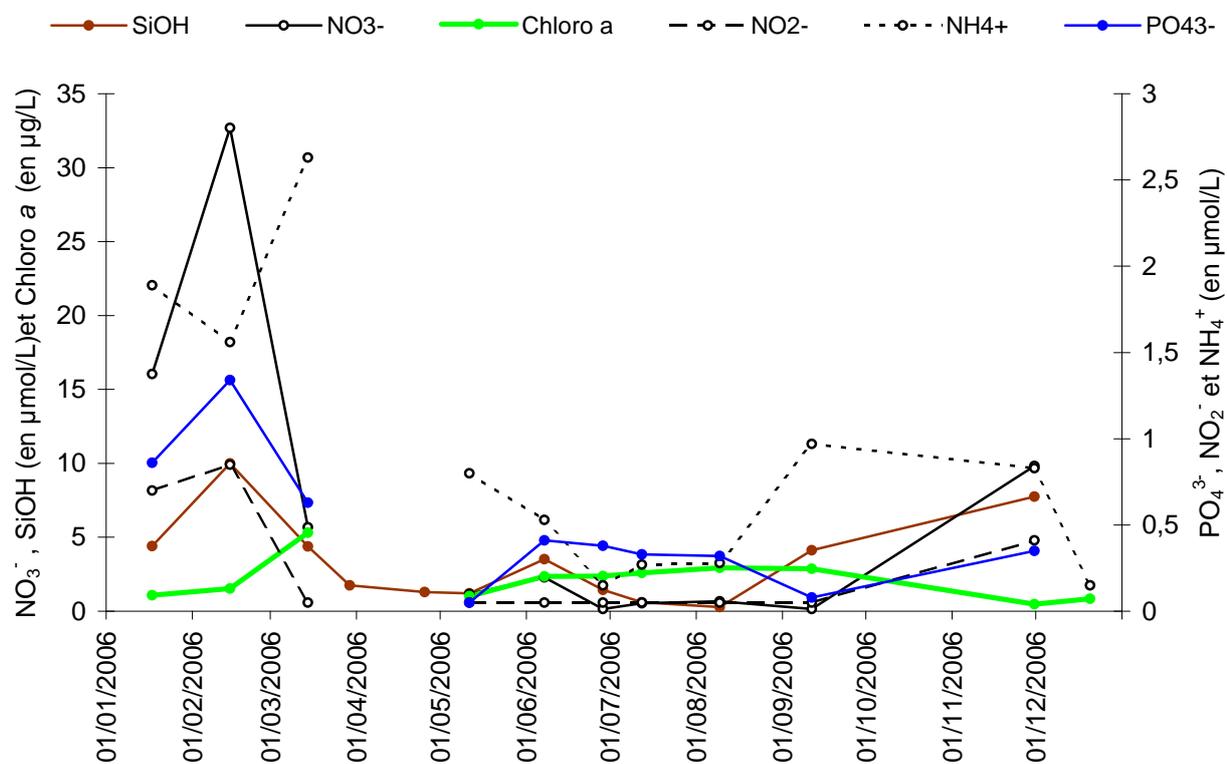


Figure 1.16. Évolution temporelle de la chlorophylle *a* et des sels nutritifs au point 1 de la radiale de DunkerqueFigure 1.17. Évolution temporelle de la chlorophylle *a* et des sels nutritifs au point 3 de la radiale de DunkerqueFigure 1.18. Évolution temporelle de la chlorophylle *a* et des sels nutritifs au point 4 de la radiale de Dunkerque

2.1.6. Phéopigments

Les résultats sont exprimés en pourcentage de chlorophylle *active*.

Pour des raisons météorologiques et techniques, les prélèvements des mois d'avril et octobre n'ont pas pu être effectués.

Le pourcentage d'activité chlorophyllienne est globalement inférieur à 60 % en début de saison puis chute en mars pour atteindre des valeurs de l'ordre de 30 % à 40 %. De mai à septembre, le pourcentage est supérieur à 80 %. Il chute considérablement en début-décembre (figure 1.19. - Annexe 2).

Le gradient côte-large est compris entre 0 % et 26 % (Figure 1.19. - Annexe 2).

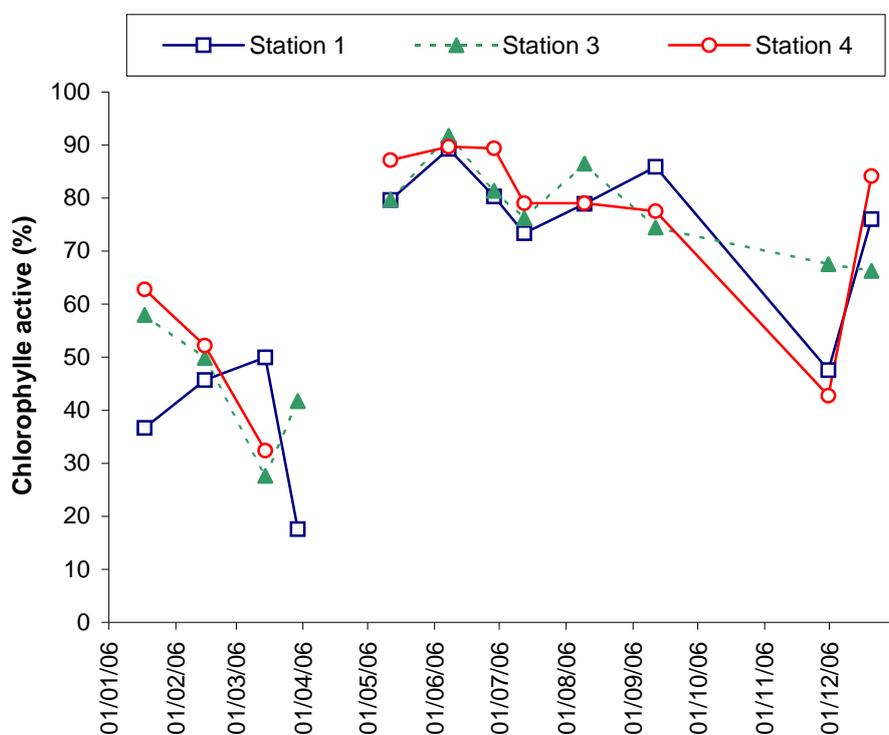


Figure 1.19. Évolution temporelle du pourcentage de chlorophylle *active* sur la radiale de Dunkerque

2.1. Boulogne-sur-Mer

2.2.1. Température

Bilan 2006

L'évolution des températures est classique d'un système tempéré avec de valeurs faibles en hiver (de 5,0 à 5,9 °C en mars) suivies d'une augmentation pour atteindre les maxima estivaux (fin août de l'ordre de 19,0 °C), puis les températures diminuent progressivement pour tendre vers les minima hivernaux .

Il existe globalement un faible gradient de température entre la côte et le large, sauf en été où il varie de $-1,3$ °C à $+1,9$ °C. Le gradient est négatif ou nul au printemps et en été (eaux côtières plus chaudes) et est positif en hiver (Figure 2.1. - Annexe 2).

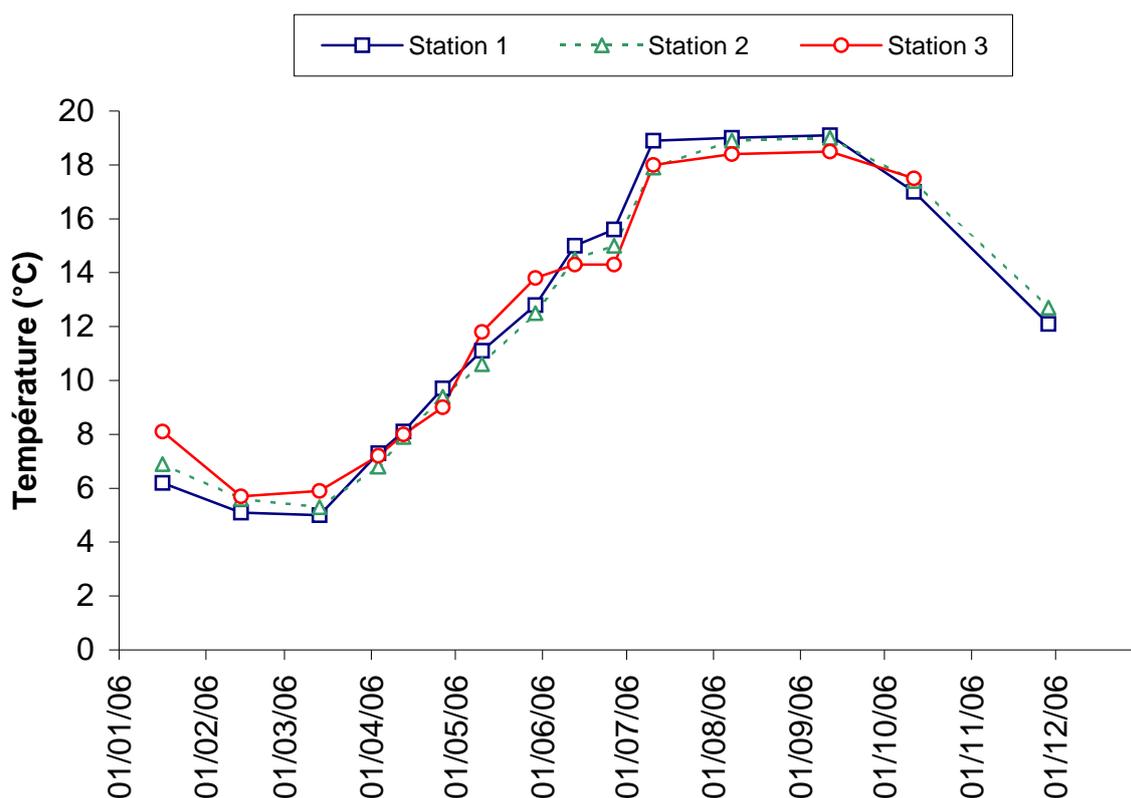
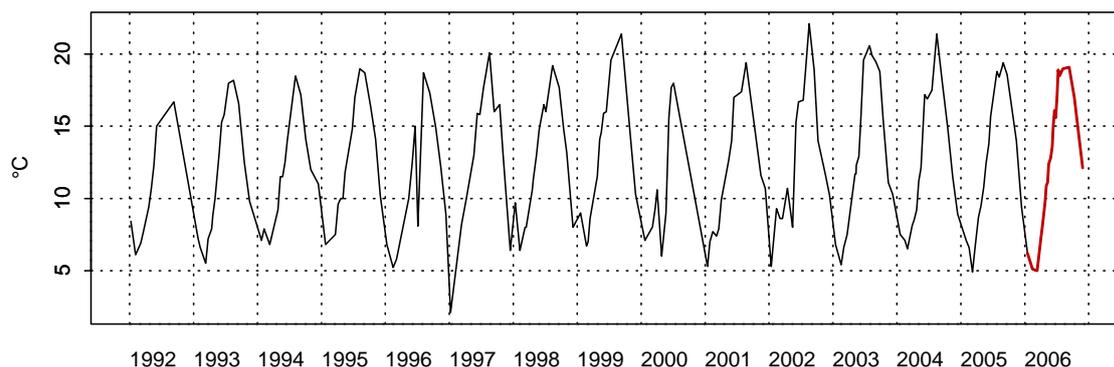


Figure 2.1. Évolution temporelle de la température (°C) sur la radiale de Boulogne-sur-Mer

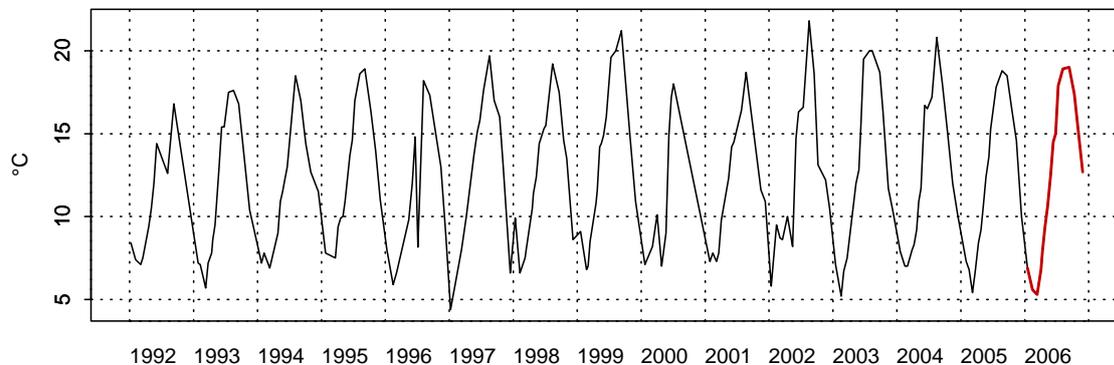
Évolution à long terme

La température maximale relevée sur la période 1992-2006 est de 22,1 °C en 2002. La température minimale (2,1 °C) est relevée au début de l'année 1997. Les températures de 2006 sont supérieures par rapport aux années précédentes (médiane de 12,8 °C contre 11,9 °C sur la période 1992-2006) (Figure 2.2.a.).

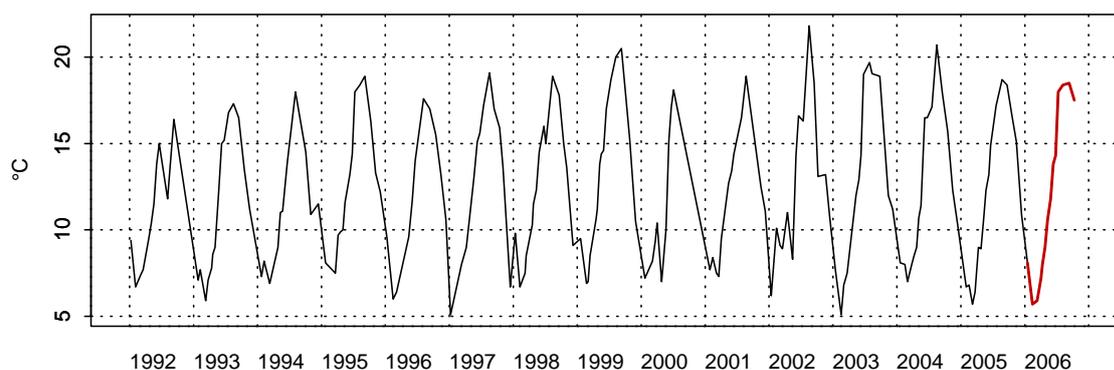
2003002 - Point 1 SRN Boulogne - Température



2003032 - Point 2 SRN Boulogne - Température



2003033 - Point 3 SRN Boulogne - Température



**Figure 2.2.a. Évolution des températures (°C)
sur la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2006**

Les variations saisonnières sont cohérentes avec le schéma établi sur la période 1992-2006. Les températures sont globalement inférieures à la médiane en début de saison, et supérieures vers la fin de saison. Des minima et/ou des maxima ont été mesurés lors des années 1996, 1997, 2002, 2003 (Figure 2.2.b.).

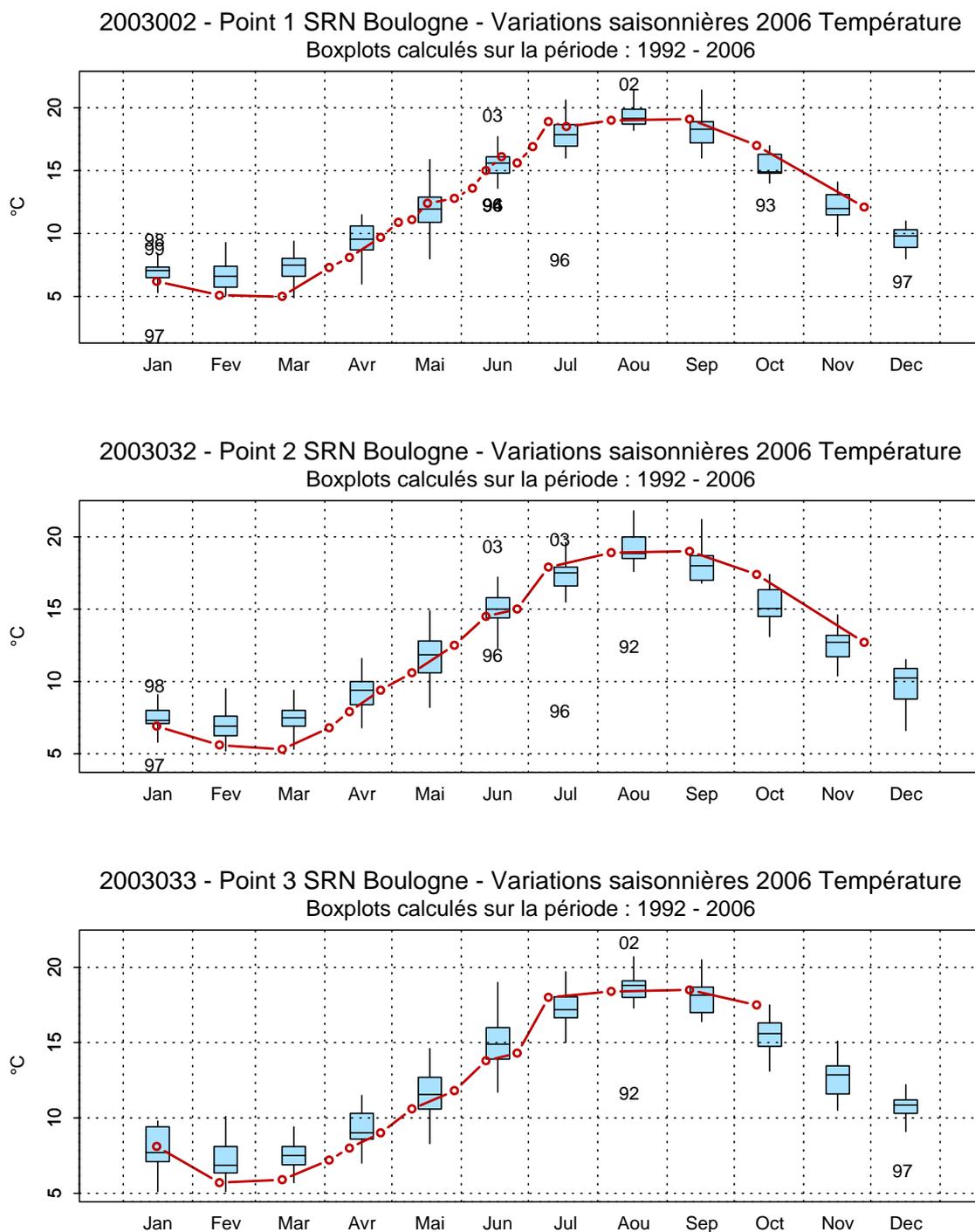


Figure 2.2.b. Évolution des variations saisonnières de température (°C) sur la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2006

2.2.2. Salinité

Bilan 2005

La salinité est caractéristique d'un système marin. Elle est comprise entre 33,2 et 35,0 au point 1, entre 33,6 et 35,4 au point 2 et entre 33,5 et 35,8 au point 3.

Les fluctuations observées sont le reflet à la fois de conditions de prélèvements différents (marée) et de situation environnementales différentes (météorologie, courantologie) qui ne peuvent être appréhendés à cette échelle d'observation.

Le gradient côte-large de salinité varie de 0,20 à 2,20 (Figure 2.3. - Annexe 2 & Figure II.a. - Annexe 3).

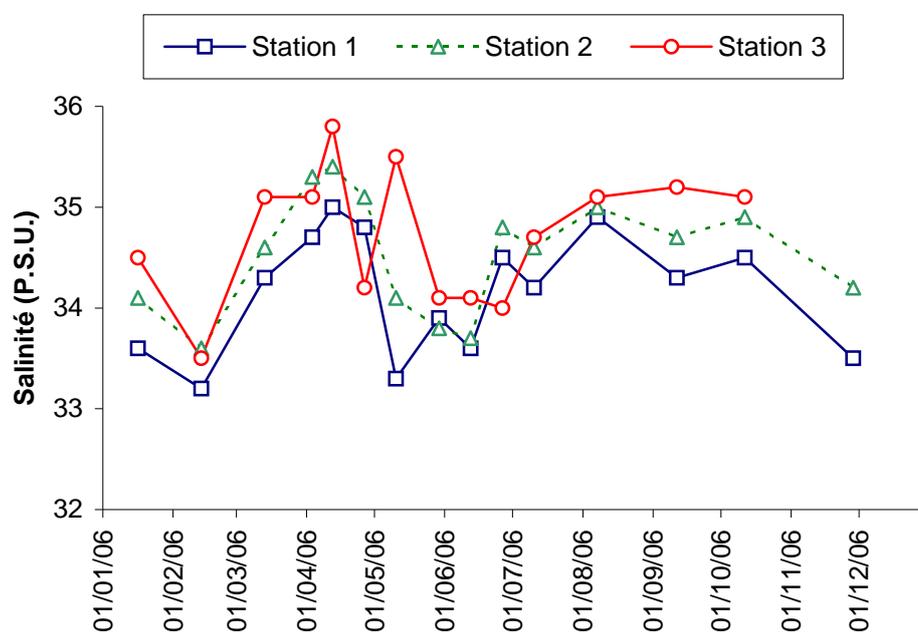


Figure 2.3. Évolution temporelle de la salinité (P.S.U.) sur la radiale de Boulogne-sur-Mer

2.2.3. Turbidité et matières en suspension

Bilan 2006

Les valeurs de turbidité sont plus importantes en hiver qu'en été, avec 2 maximums importants en février et en octobre (8,1 et 10,8 N.T.U. au point côtier). Durant les saisons printanière et estivale, les valeurs sont de l'ordre de 2 N.T.U. au niveau des points intermédiaire et du large, le point côtier présente des valeurs pouvant être deux fois plus élevées.

Pour les matières en suspension (M.E.S.), l'évolution est comparable : les valeurs les plus importantes sont mesurées au mois de février et octobre avec, respectivement, 9,5 mg·l⁻¹ et 17,5 mg·l⁻¹. Une augmentation brutale est observée en mai aux 3 points (concentration multipliée par 6). Les valeurs de turbidité et de M.E.S. sont plus stables et plus faibles au large qu'à la côte (Figures 2.4. et 2.5. - Annexe 2).

Les gradients côte-large de turbidité et des M.E.S. sont compris, respectivement, entre 0,19 et 8,97 N.T.U. et entre 0,10 et 15,6 mg·l⁻¹ (Figure 2.4. et 2.5. - Annexe 2).

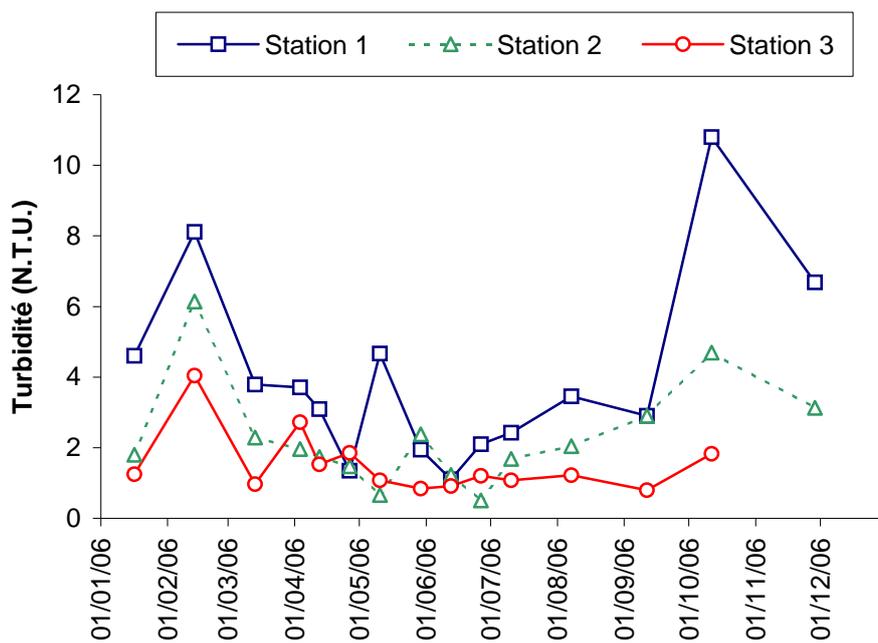


Figure 2.4. Évolution temporelle de la turbidité (N.T.U.) sur la radiale de Boulogne-sur-Mer

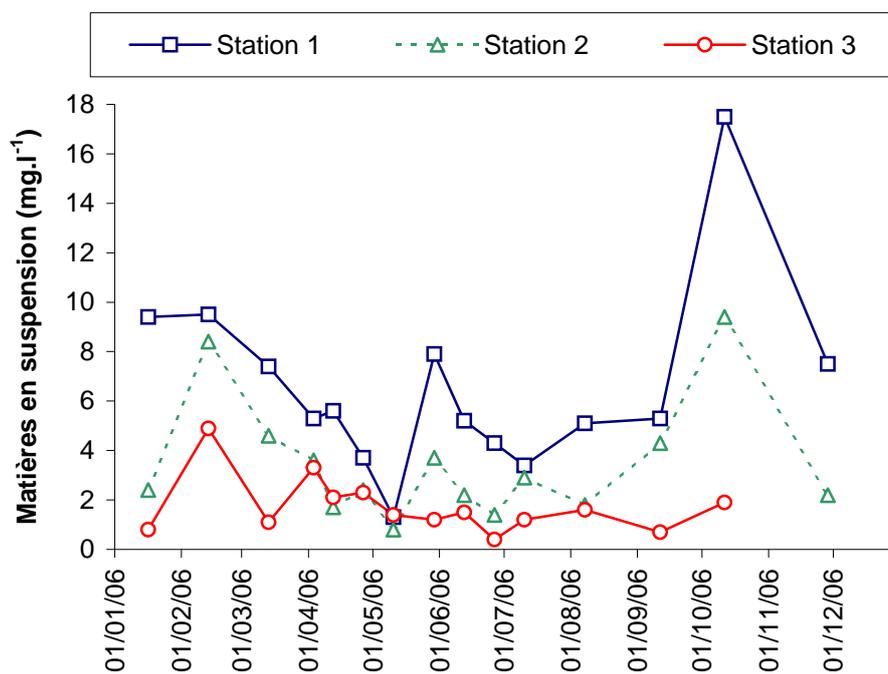


Figure 2.5. Évolution temporelle des matières en suspension (mg.l⁻¹) sur la radiale de Boulogne-sur-Mer

Évolution à long terme

L'évolution mise en évidence sur la période 1992-2006 est tel que le schéma 2006 apparaît comme « classique ». Les valeurs sont particulièrement variables en début et en fin de saison (Janvier à mars et septembre à novembre).

Pour la période 1992-2006, la turbidité est plus importante au point côtier avec une médiane de 2,90 N.T.U. contre 1,67 N.T.U. et 1,00 N.T.U. pour les points intermédiaire et large (Figure 2.6.).

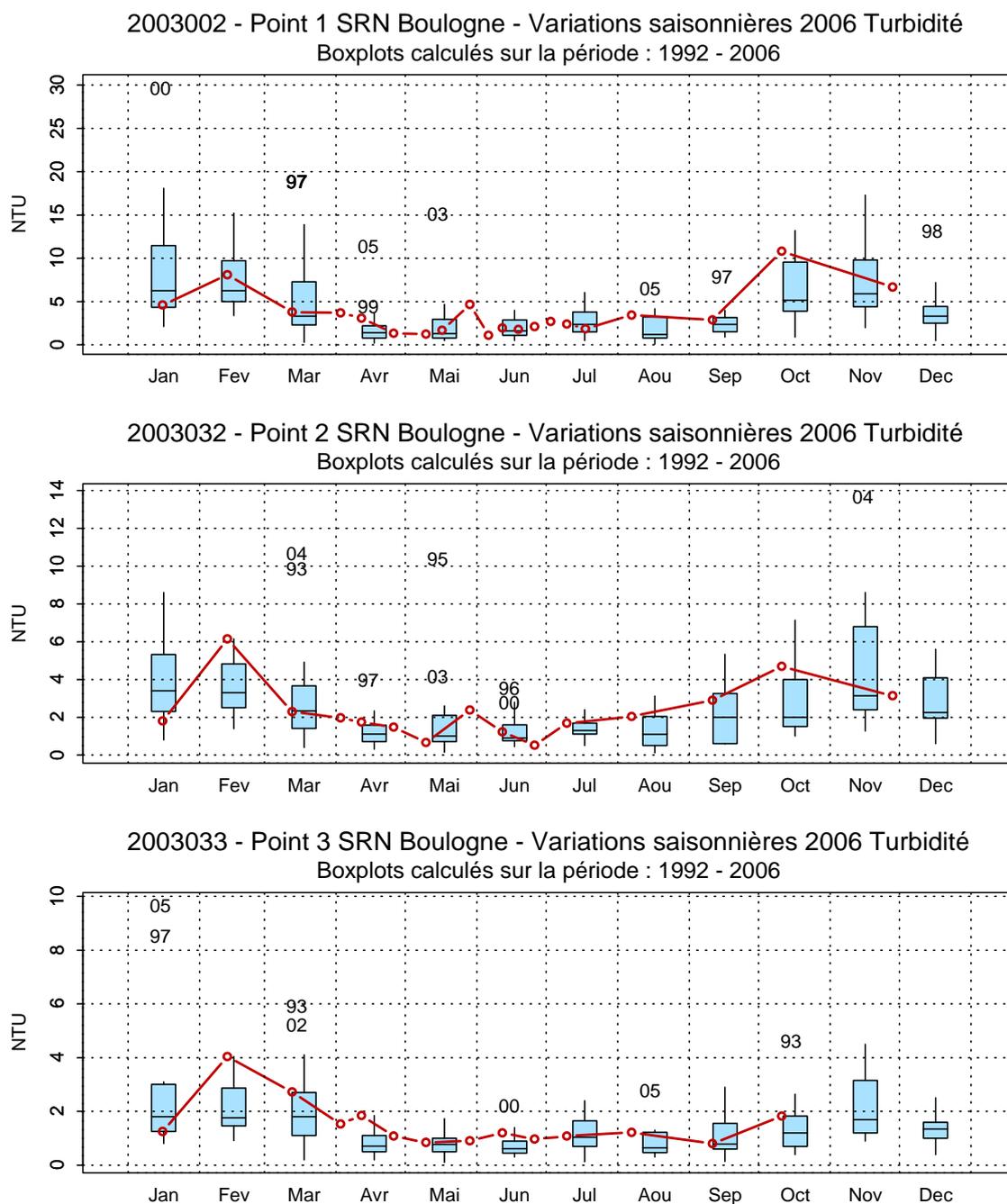


Figure 2.6. Évolution des variations saisonnières de turbidité (N.T.U.) sur la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2006

Les teneurs en M.E.S. sont plus importantes à la côte qu'au large (médiane en 2006 au point côtier de 5,30 mg·l⁻¹ contre 2,40 mg·l⁻¹ et 1,45 mg·l⁻¹ aux points intermédiaire et large). Sur le long terme, l'année 2006 est une année « moyenne » du point de vue des M.E.S. : les médianes sur la période 1992-2006 sont de 5,90 mg·l⁻¹ au point 1, 3,60 mg·l⁻¹ au point 2 et 2,10 mg·l⁻¹ au point 3 (Figure 2.7.).

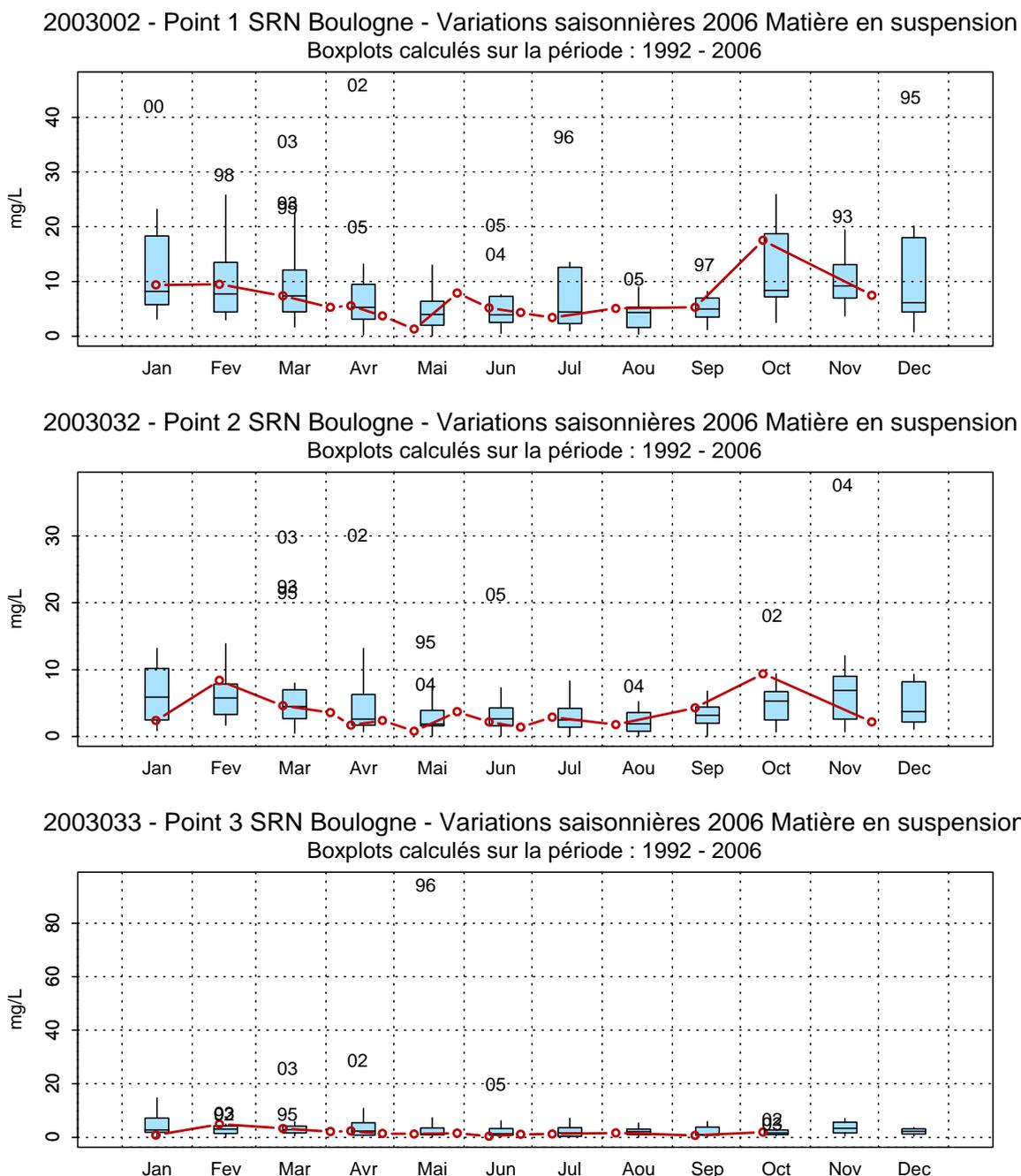


Figure 2.7. Évolution des variations saisonnières de M.E.S. (mg·l⁻¹) sur la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2006

2.2.4. Matière organique

Malgré une forte variabilité, la teneur en matière organique augmente globalement de janvier à juin (d'environ 15 à 80 %) puis chute pour atteindre les faibles niveaux hivernaux (de l'ordre de 15 %) (Figure 2.8. - Annexe 2).

La teneur en matière organique est toujours plus importante au large (à l'exception d'avril et mai). Le gradient côte-large est compris entre 3 % et 53 % (Figure 2.8. - Annexe 2).

Certains maximums de matière organique correspondent à des maximums de chlorophylle *a* (voir paragraphe 2.2.5.).

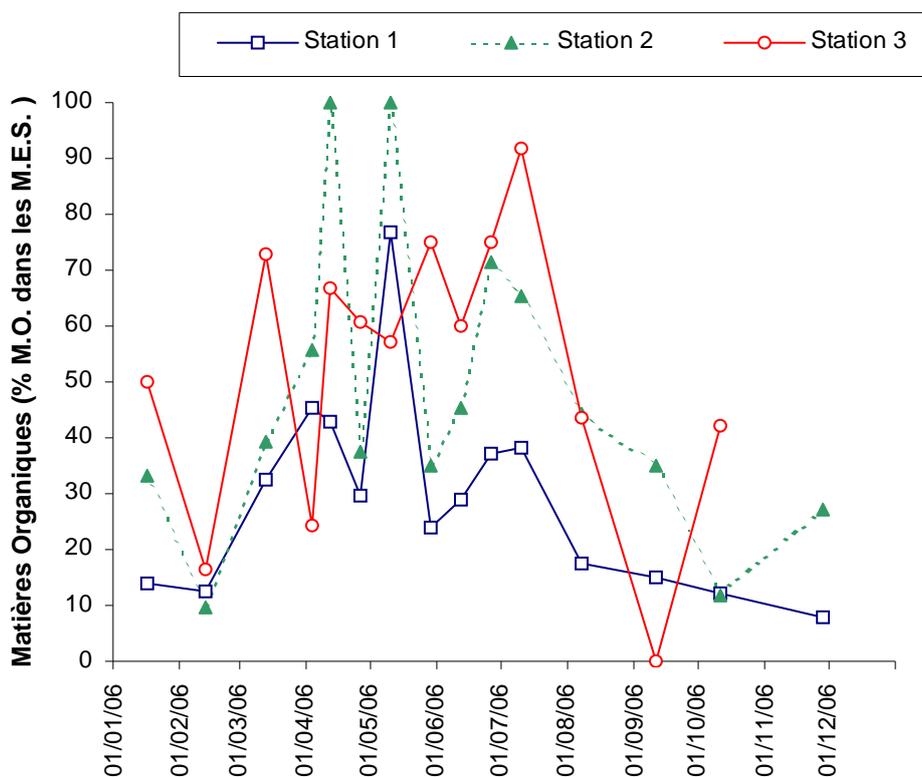


Figure 2.8. Évolution temporelle de la teneur en matière organique (%) dans les matières en suspension sur la radiale de Boulogne-sur-Mer

Évolution à long terme

Les concentrations en M.E.S. organiques sont restées dans la « moyenne » pour toute l'année 2006 pour les 3 points. Les années 1992, 1995, 1997, 2001 à 2005 restent des années où la concentration en M.E.S. organiques était relativement importante pour certains points de la radiale et lors de certains mois (Figure 2.9.).

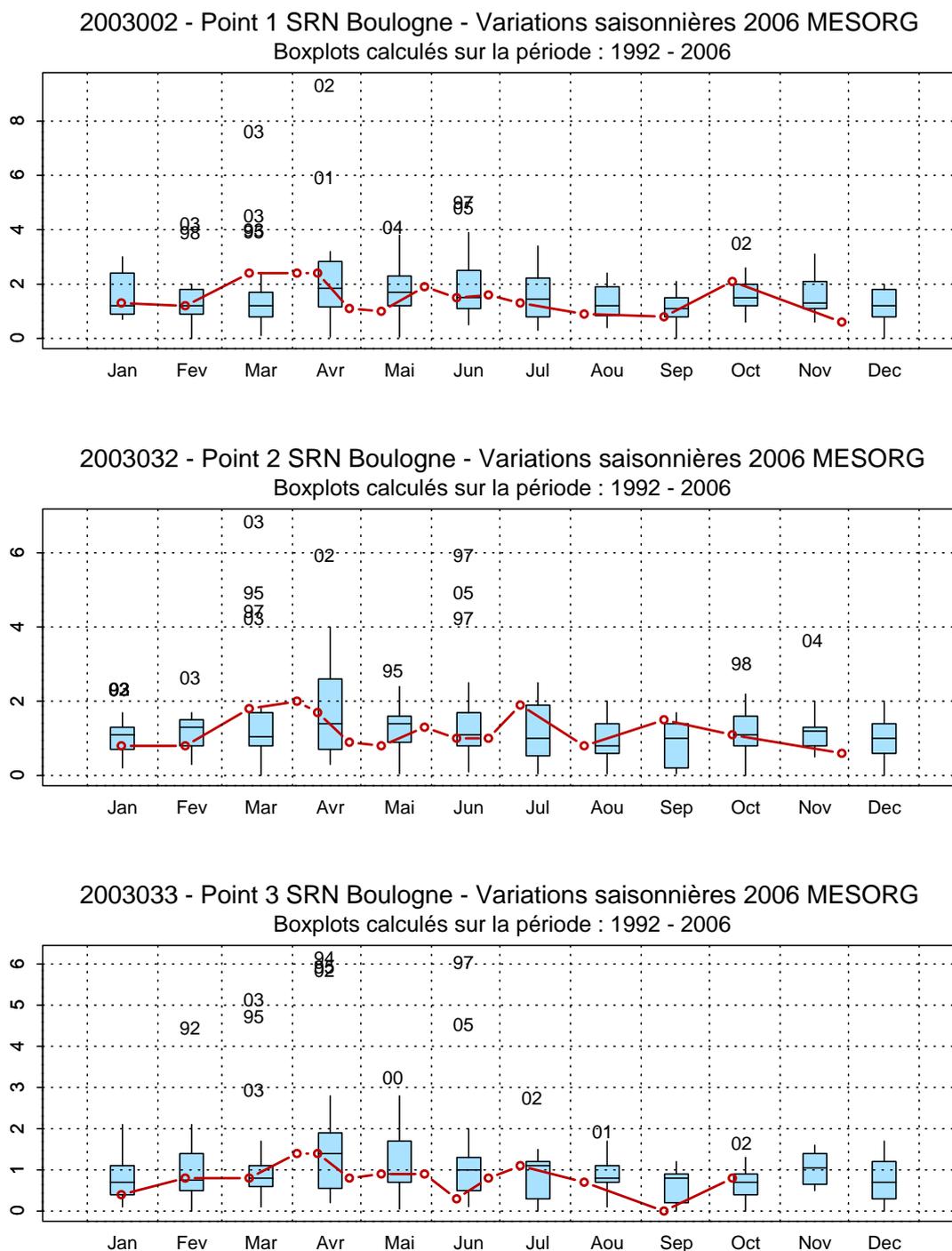


Figure 2.9. Évolution des variations saisonnières de M.E.S. organiques ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2006

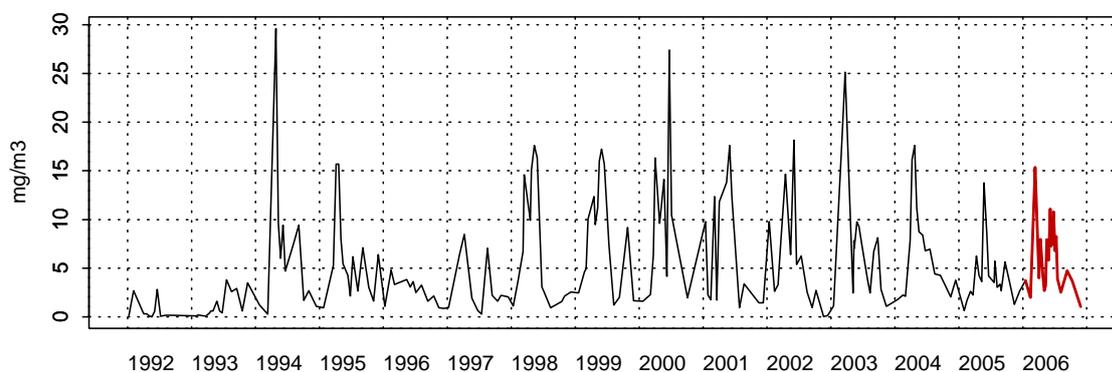
2.2.5. Chlorophylle a et sels nutritifs

Les graphiques de synthèse de ces paramètres pour l'année 2006 sont repris de la Figure 1.16. à la Figure 1.18. ceci afin de faciliter l'interprétation.

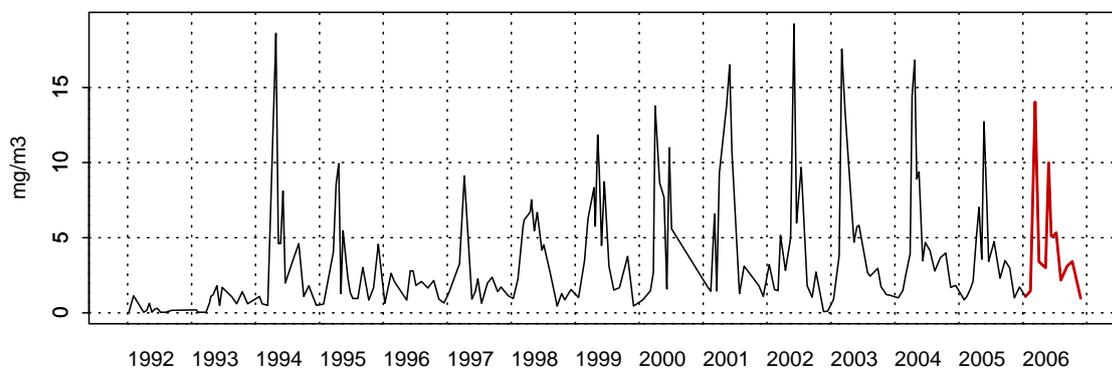
- chlorophylle a

Les concentrations en chlorophylle a les plus importantes ont été mesurées en 1994, 2000 et 2003. L'année la plus pauvre est l'année 1992. L'année 2006 peut être considérée comme « moyenne » (Figure 2.10.a.).

2003002 - Point 1 SRN Boulogne - Chlorophylle a



2003032 - Point 2 SRN Boulogne - Chlorophylle a



2003033 - Point 3 SRN Boulogne - Chlorophylle a

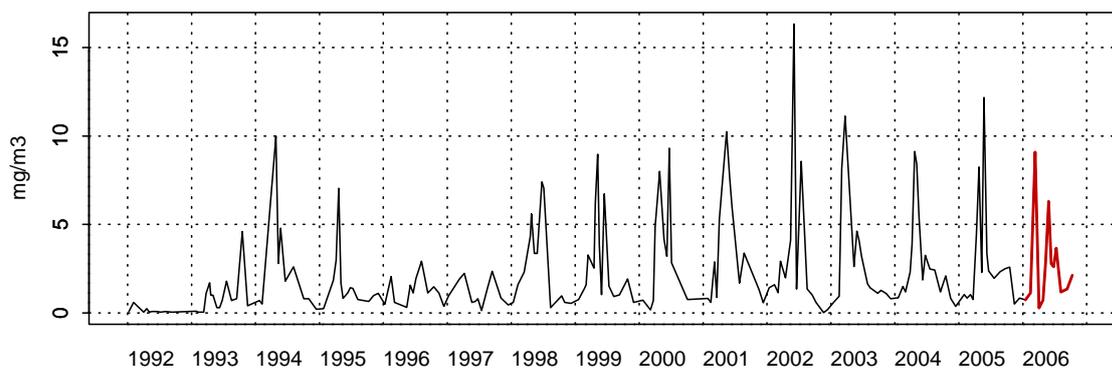


Figure 2.10.a. Évolution de la chlorophylle a ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2006

Le cycle est caractérisé par une augmentation des concentrations entre mars et juin et parfois en septembre ou octobre. L'année 2006 est caractérisée par des valeurs importantes en mars (tout points confondus) et mai (sauf à la côte). Le bloom automnal est relativement bien marqué (Figure 2.10.b).

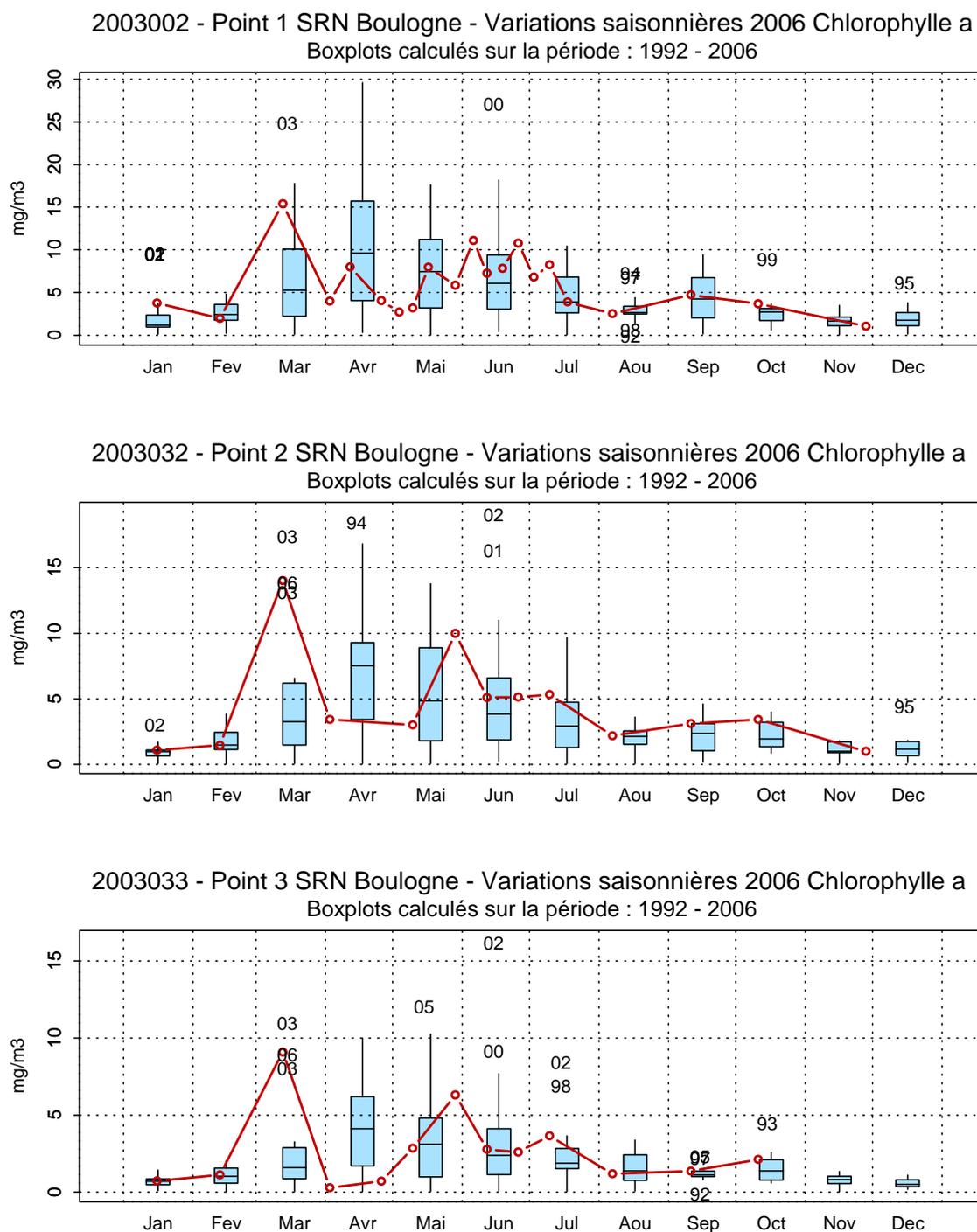


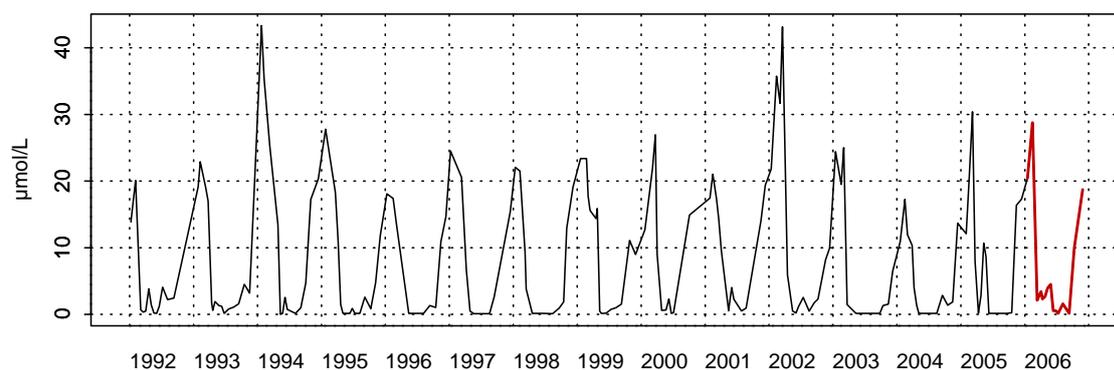
Figure 2.10.b. Évolution des variations saisonnières en chlorophylle a ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2006

- Nitrate

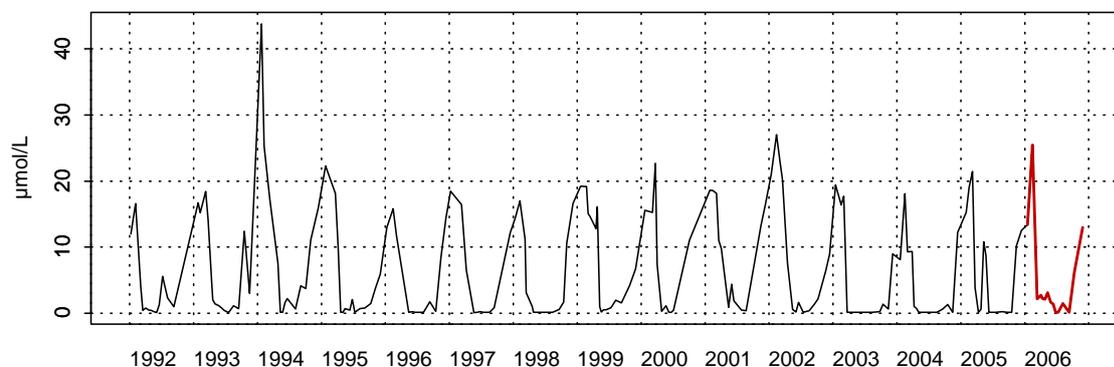
Le cycle saisonnier des nitrates est très marqué. Les années 1994 et 2002 sont caractérisées par les plus fortes concentrations hivernales mesurées sur la période 1992-2006.

L'année 2006 présente des concentrations en nitrate du même ordre de grandeur de celles des années précédentes (médiane au point côtier en 2006: $5,30 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ et médiane sur la période 1992-2006: $5,90 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$). Les concentrations sont toujours plus élevées en période hivernale (Figure 2.11.a.).

2003002 - Point 1 SRN Boulogne - Azote nitrique (nitrate)



2003032 - Point 2 SRN Boulogne - Azote nitrique (nitrate)



2003033 - Point 3 SRN Boulogne - Azote nitrique (nitrate)

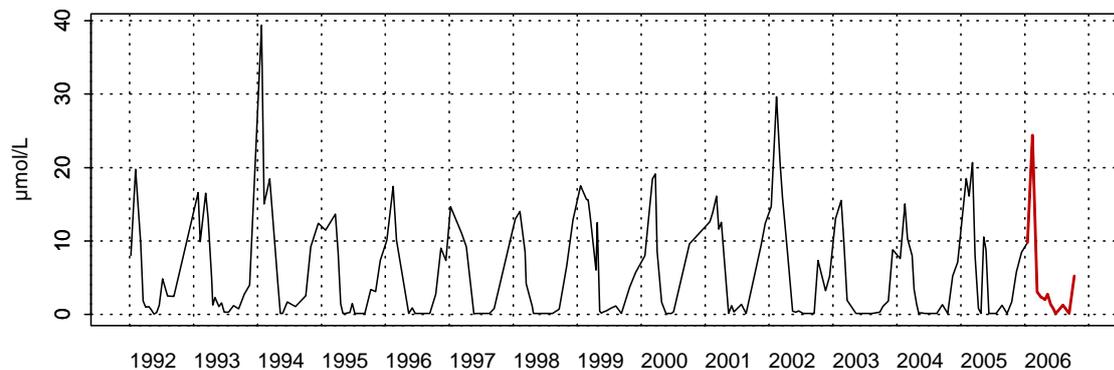


Figure 2.11.a. Évolution des nitrates ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2006

L'évolution saisonnière est telle que les concentrations de nitrate sont élevées en période hivernale et basses en période estivale. Le cycle saisonnier 2006 est cohérent avec celui établi pour la période 1992-2006. Les concentrations ont été particulièrement faibles en mars 2006 et très fortes en octobre et novembre (Figure 2.11.b.).

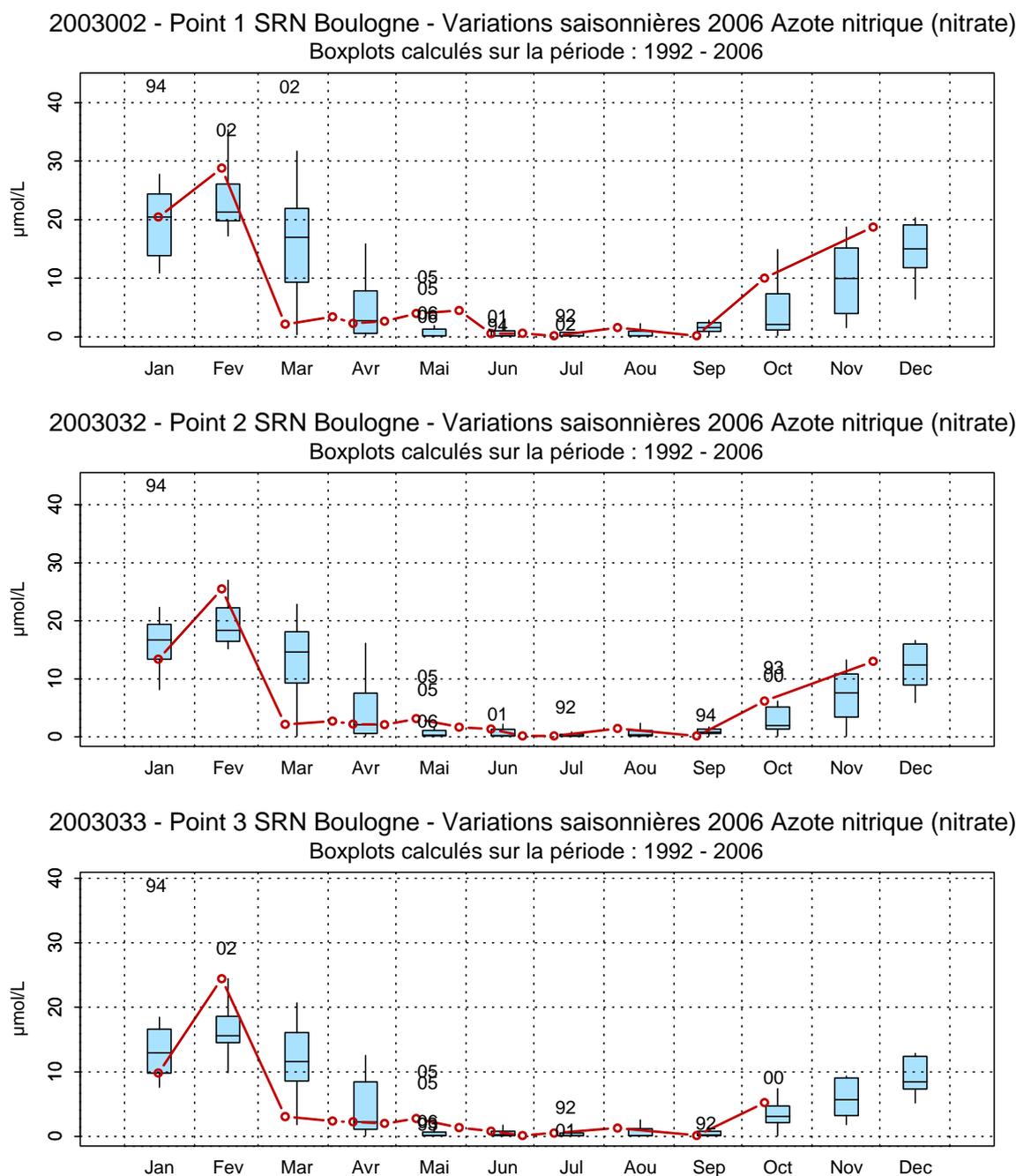
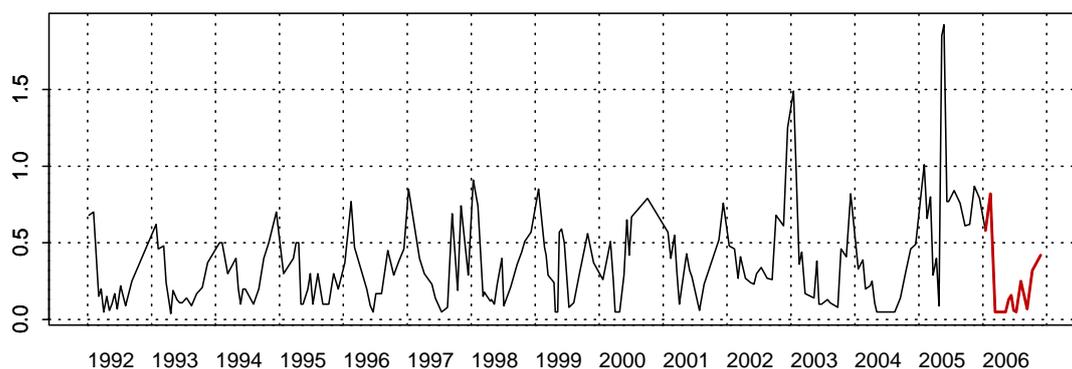


Figure 2.11.b. Évolution des variations saisonnières en nitrate ($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) sur la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2006

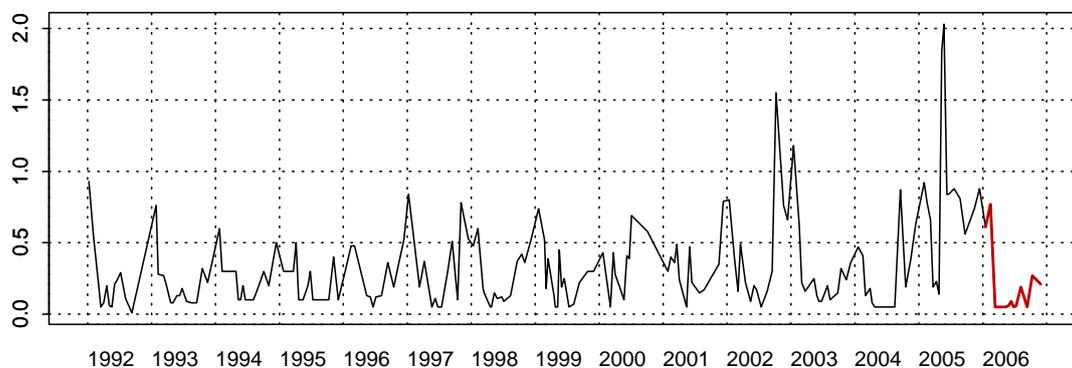
- Nitrite

Malgré une dynamique complexe, la concentration en nitrite présente un cycle saisonnier marqué : les concentrations peuvent être multipliées par un facteur 3 entre l'été et l'hiver. L'année 2006 présente des valeurs parmi les plus faibles depuis 1992 (médiane pour 2006 : $0,07 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ contre $0,29 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ pour la période 1992-2006). Les années 2003 et 2005 sont caractérisées par des concentrations hivernales très élevées (Figure 2.12.a.).

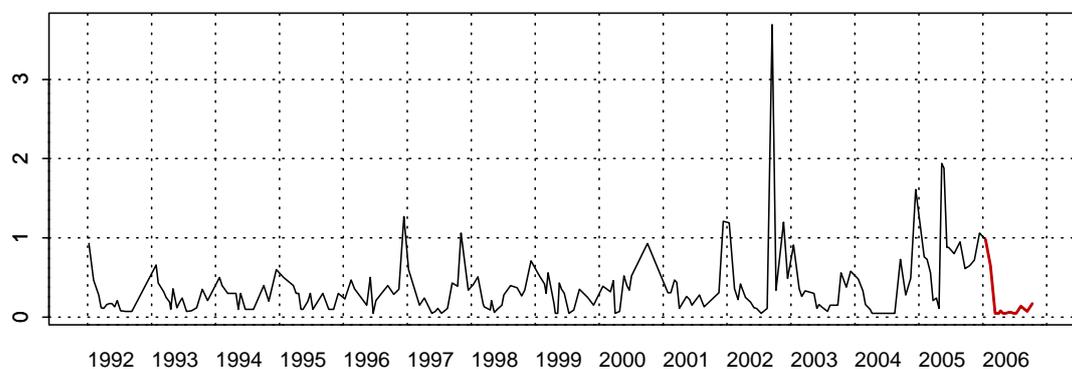
2003002 - Point 1 SRN Boulogne - NO2



2003032 - Point 2 SRN Boulogne - NO2



2003033 - Point 3 SRN Boulogne - NO2



**Figure 2.12.a. Évolution des nitrites ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$)
sur la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2006**

En 2006, pour les trois points, les valeurs sont situées en-dessous de la « normale » sauf en janvier, février et août (Figure 2.12.b.).

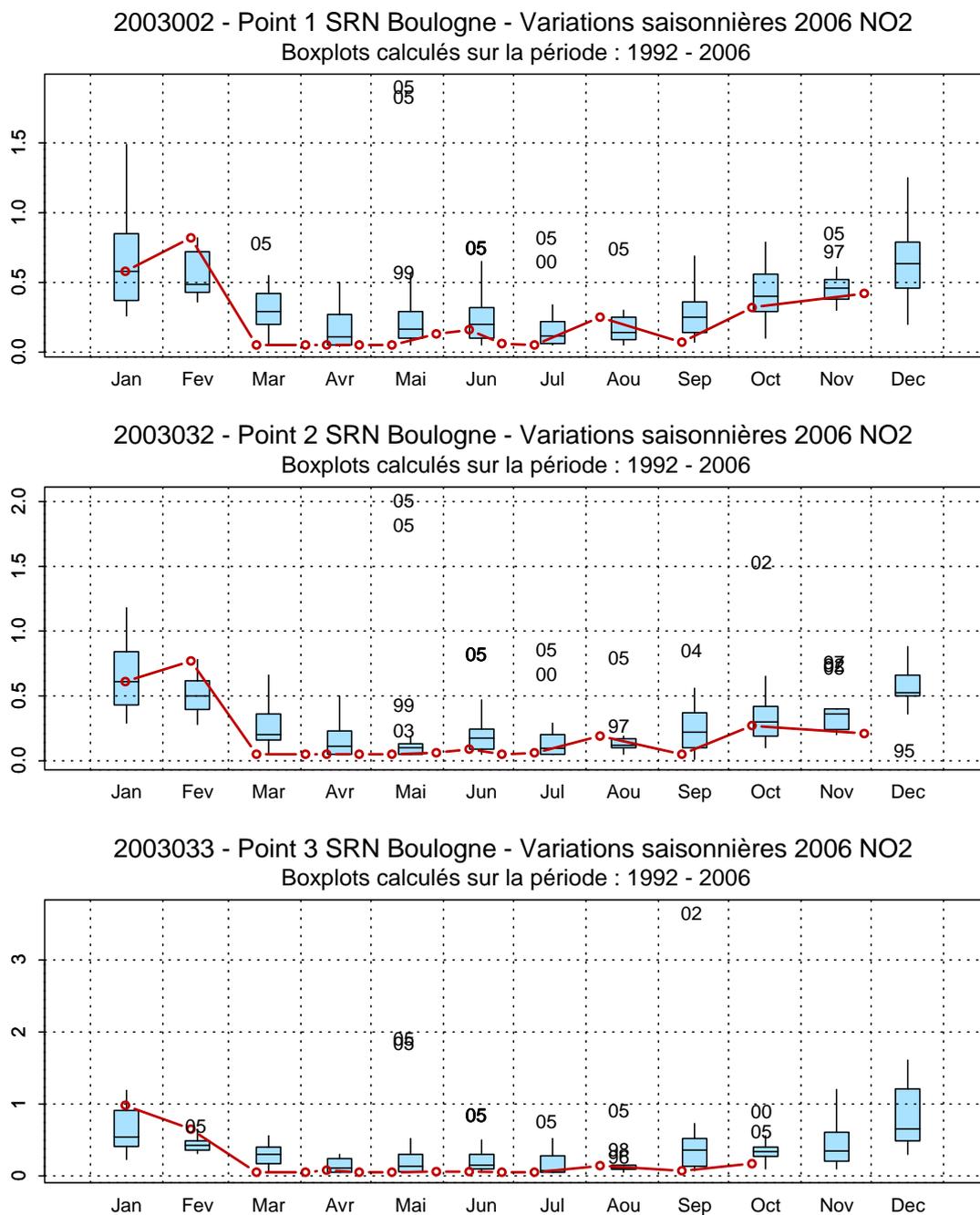
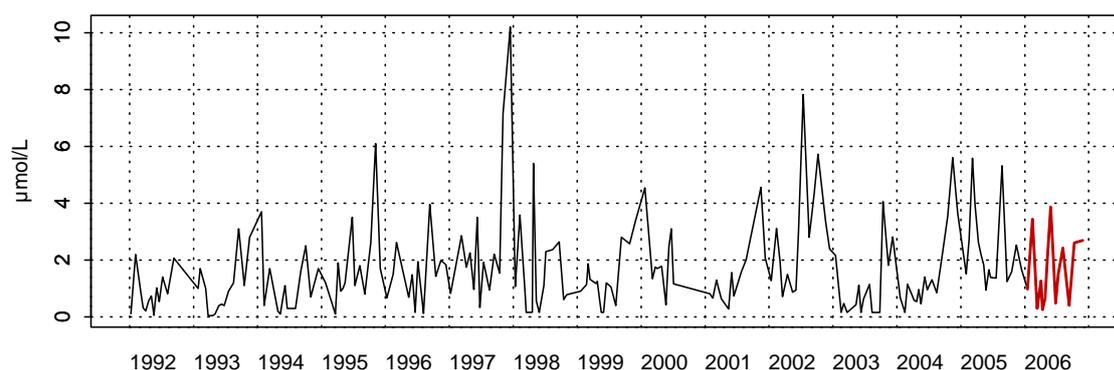


Figure 2.12.b. Évolution des variations saisonnières en nitrite ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2006

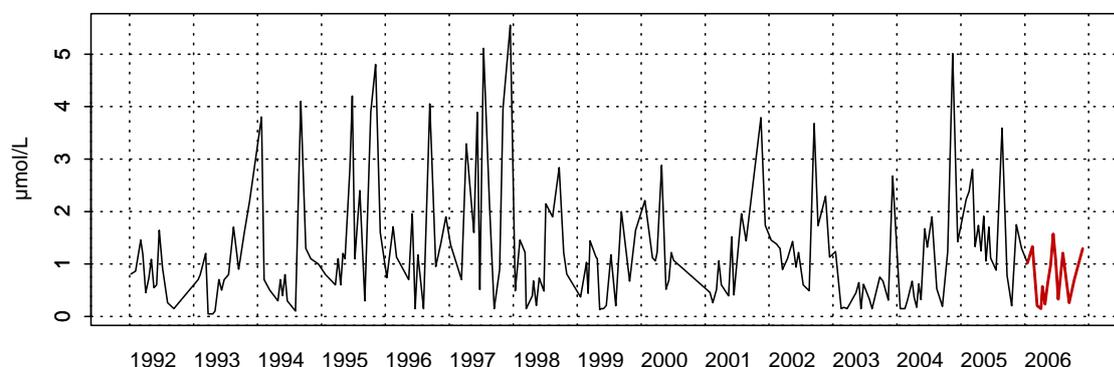
- Ammonium

Les concentrations en ammonium présentent une variabilité inter-mensuelle et inter-annuelle très importante. La concentration en ammonium apparaît comme faible en 2006 excepté pour le point côtier. La médiane de 2006 est un peu plus faible que celle de la période 1992-2006 pour les points 2 et 3 avec : 1,50 contre 1,25 $\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ (point 1) ; 0,70 contre 0,97 $\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ (point 2) ; 0,46 contre 0,73 $\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ (point 3) (Figure 2.13.a.).

2003002 - Point 1 SRN Boulogne - Azote ammoniacal



2003032 - Point 2 SRN Boulogne - Azote ammoniacal



2003033 - Point 3 SRN Boulogne - Azote ammoniacal

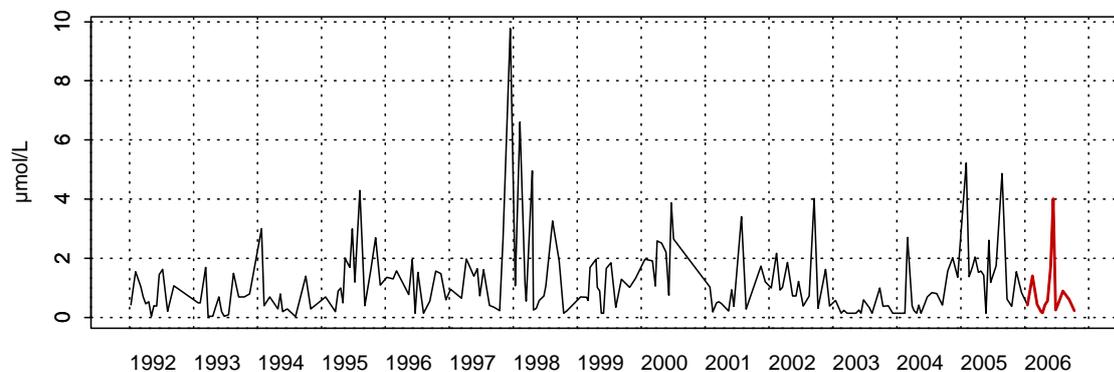


Figure 2.13.a. Évolution de l'ammonium ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2006

La concentration en ammonium a tendance à augmenter au cours de la saison. Ce processus est plus marqué à la côte qu'au large. En 2006, ce schéma est peu visible en raison de valeurs fortes en janvier et juin pour l'ensemble des points. Les années 1995, 1997, 1998, 2000, 2002 et 2005 restent exceptionnelles quant aux valeurs enregistrées lors de certains mois pour certains points (Figure 2.13.b.).

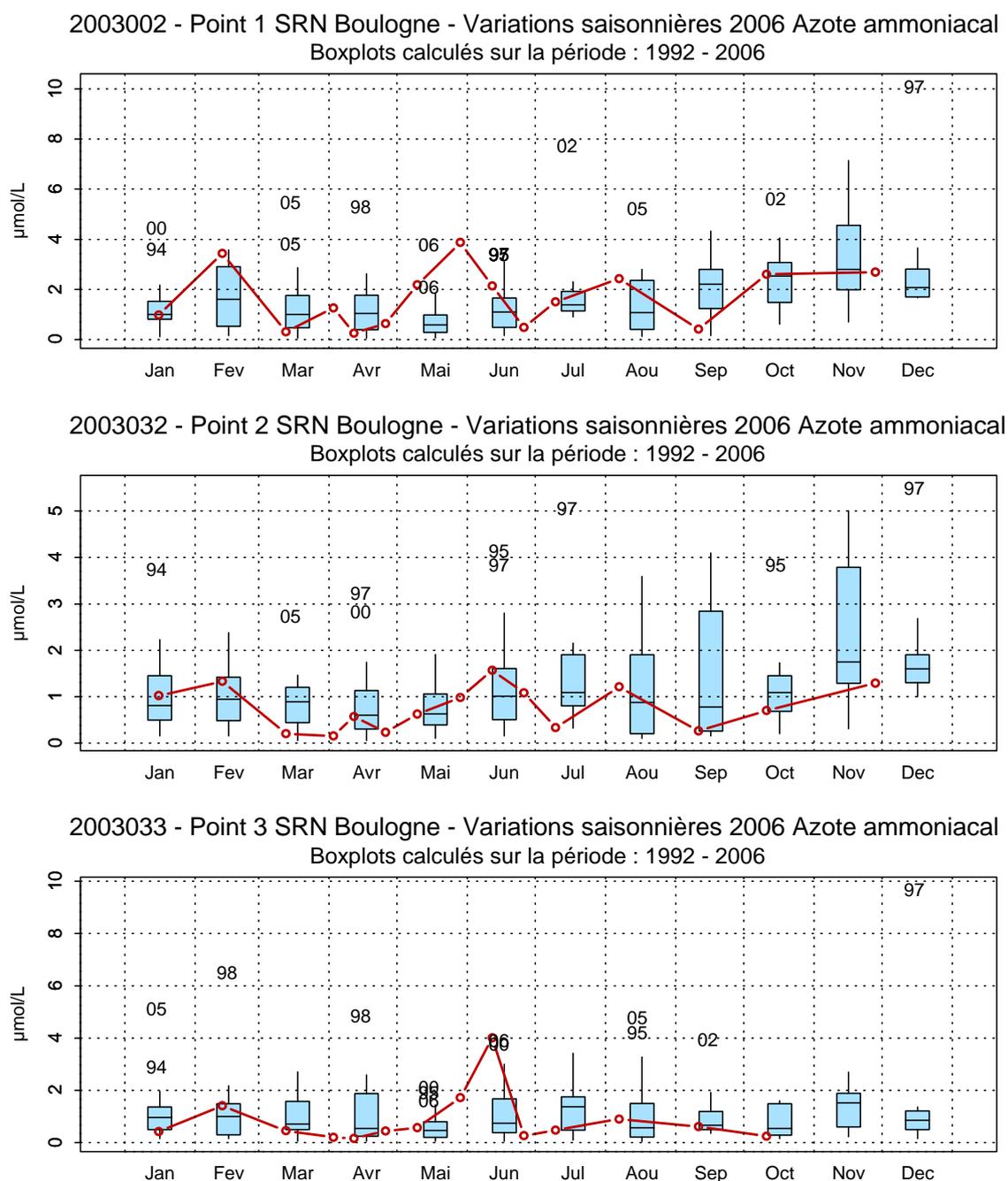
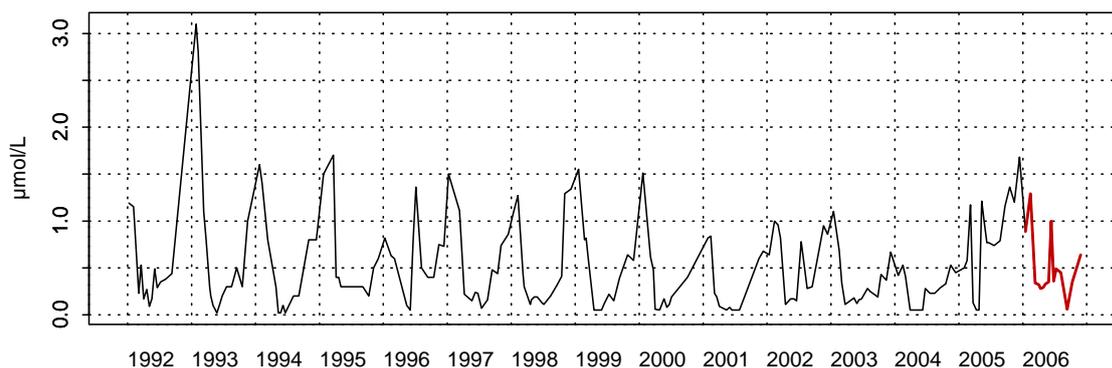


Figure 2.13.b. Évolution des variations saisonnières en ammonium ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2006

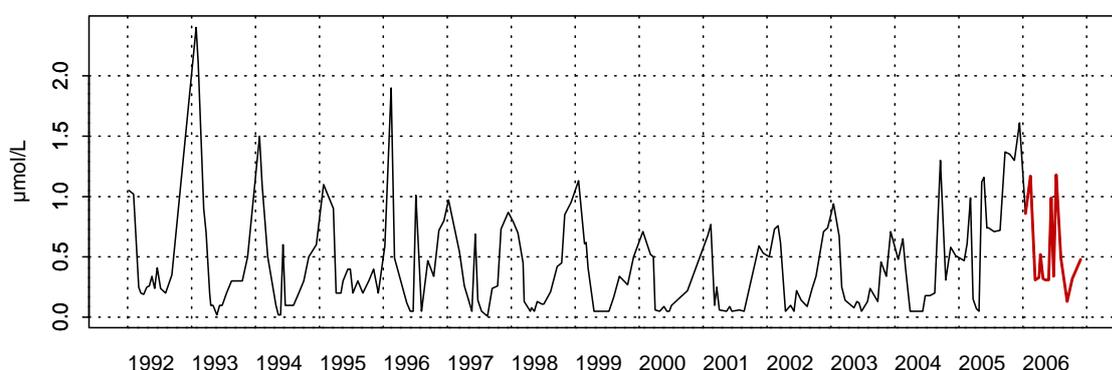
- Phosphate

Globalement, les concentrations en phosphate sont plus importantes en période hivernale qu'estivale. Alors que les concentrations diminuent depuis 1992, l'année 2005 a présenté des valeurs particulièrement fortes. Les concentrations ont été également importantes lors de certains mois et pour certains points lors des années 1993, 1995 et 1996 (Figure 2.14.a).

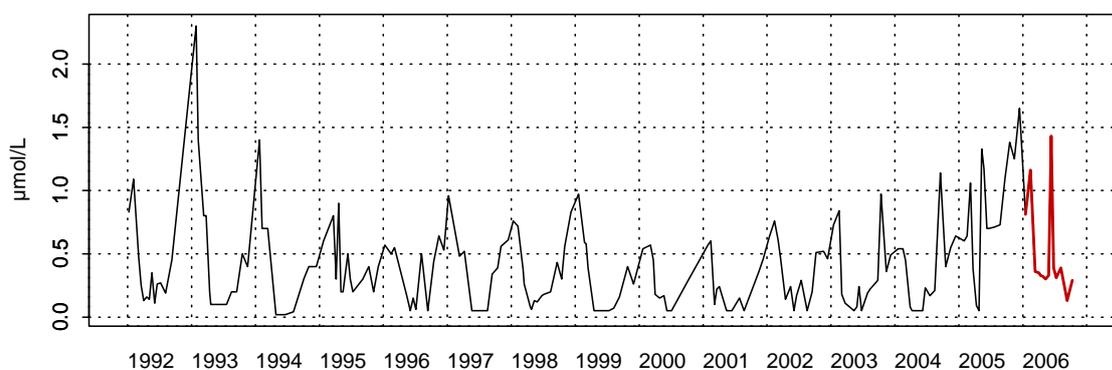
2003002 - Point 1 SRN Boulogne - Phosphate



2003032 - Point 2 SRN Boulogne - Phosphate



2003033 - Point 3 SRN Boulogne - Phosphate



**Figure 2.14.a. Évolution des phosphates ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$)
sur la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2006**

L'année 2006 présente des concentrations en phosphate « moyennes » (médiane de $0,34 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ en 2006 contre une médiane de $0,35 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ pour la période 1992-2006 au point côtier). En 2006, la courbe d'évolution des concentrations en phosphate ne suit pas les variations que l'on pouvait observer lors des années antérieures. Des valeurs exceptionnelles ont observées en juin pour tous les points ainsi qu'en juillet pour le point 2 (Figure 2.14.b.).

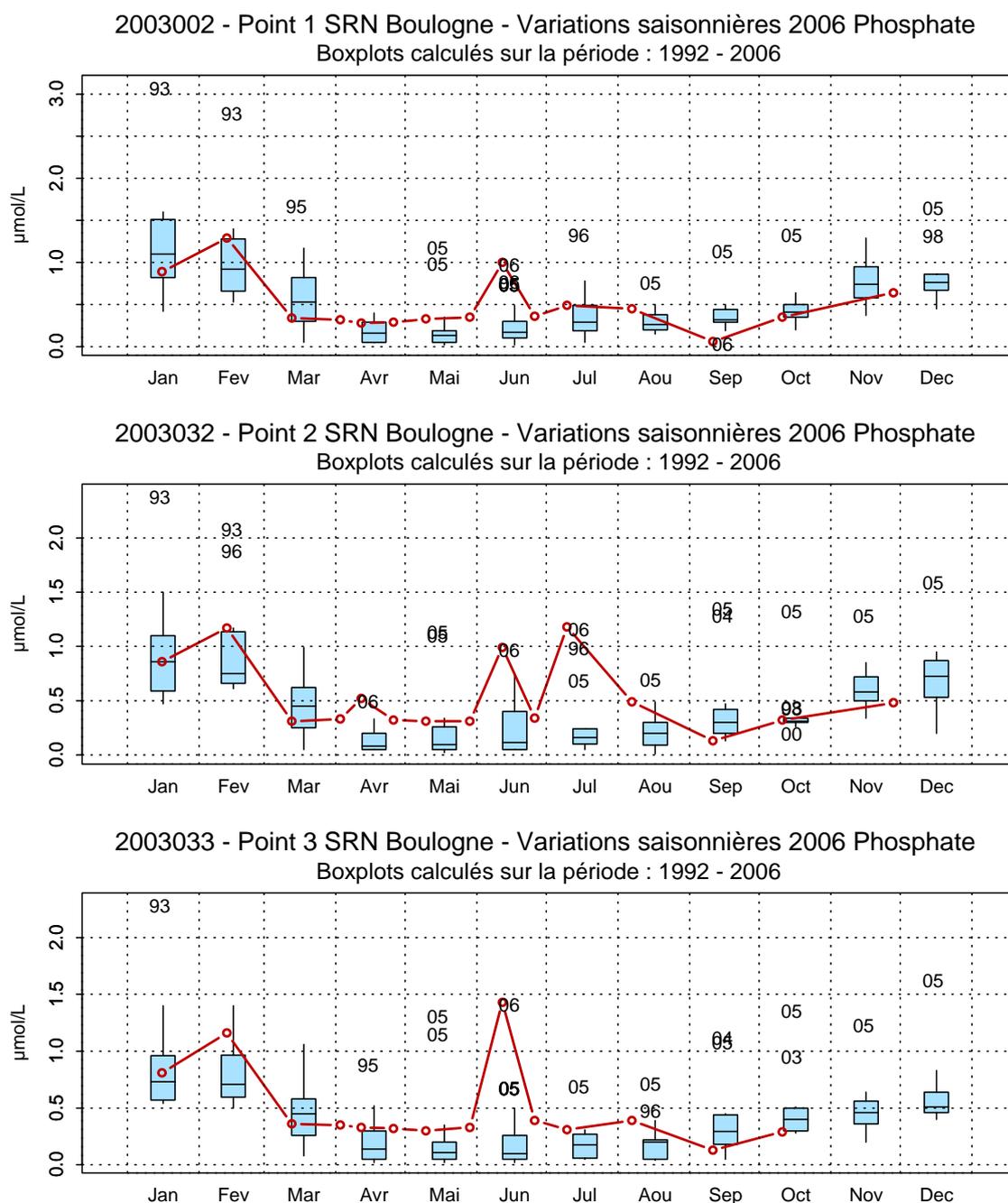
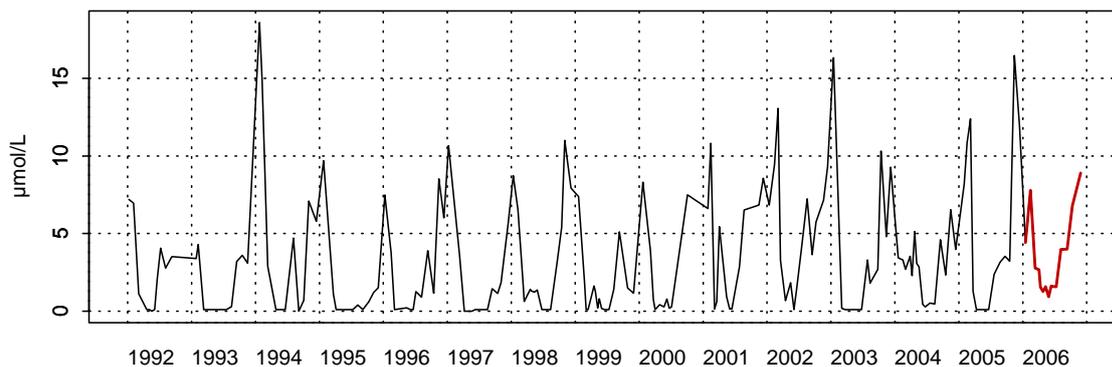


Figure 2.14.b. Évolution des variations saisonnières en phosphate ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2006

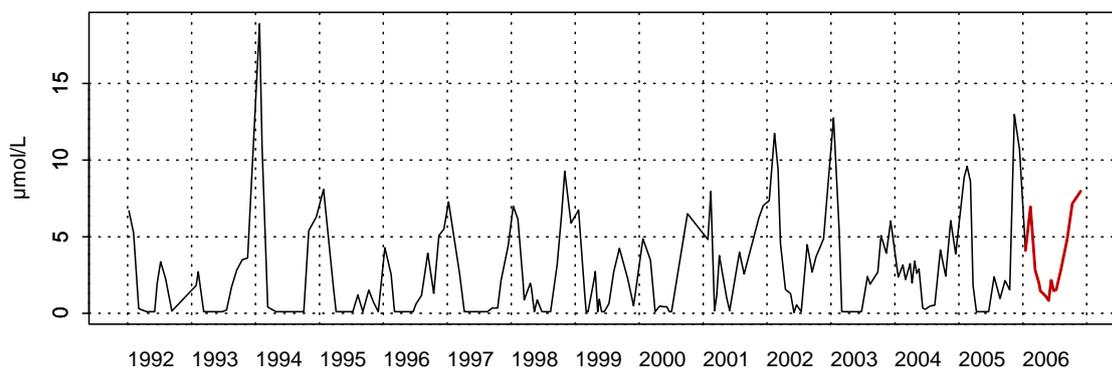
- Silicate

Comme pour les concentrations en nitrate, phosphate, le cycle d'évolution de la concentration en silicate est nettement visible au cours d'une année. Les années 1994, 2002 et 2005 sont marqués par les plus fortes concentrations mesurées pour la période 1992-2006 (Figure 2.15.a).

2003002 - Point 1 SRN Boulogne - Silicate



2003032 - Point 2 SRN Boulogne - Silicate



2003033 - Point 3 SRN Boulogne - Silicate

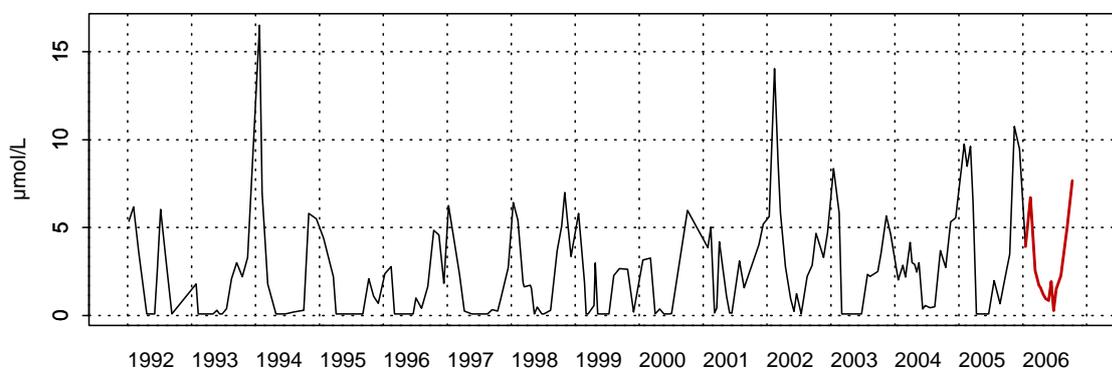


Figure 2.15.a. Évolution des silicates ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2006

Globalement, le cycle saisonnier est tel que les valeurs les plus élevées sont mesurées en période hivernale. Les variations saisonnières 2006 sont cohérentes avec le schéma établi sur la période 1992-2006 bien que les niveaux mensuels atteints soient supérieurs à la médiane (notamment en fin de saison). En 1994, 2002 et 2005, les concentrations sont particulièrement élevées lors des mois de janvier, mars et novembre (Figure 2.15.b.).

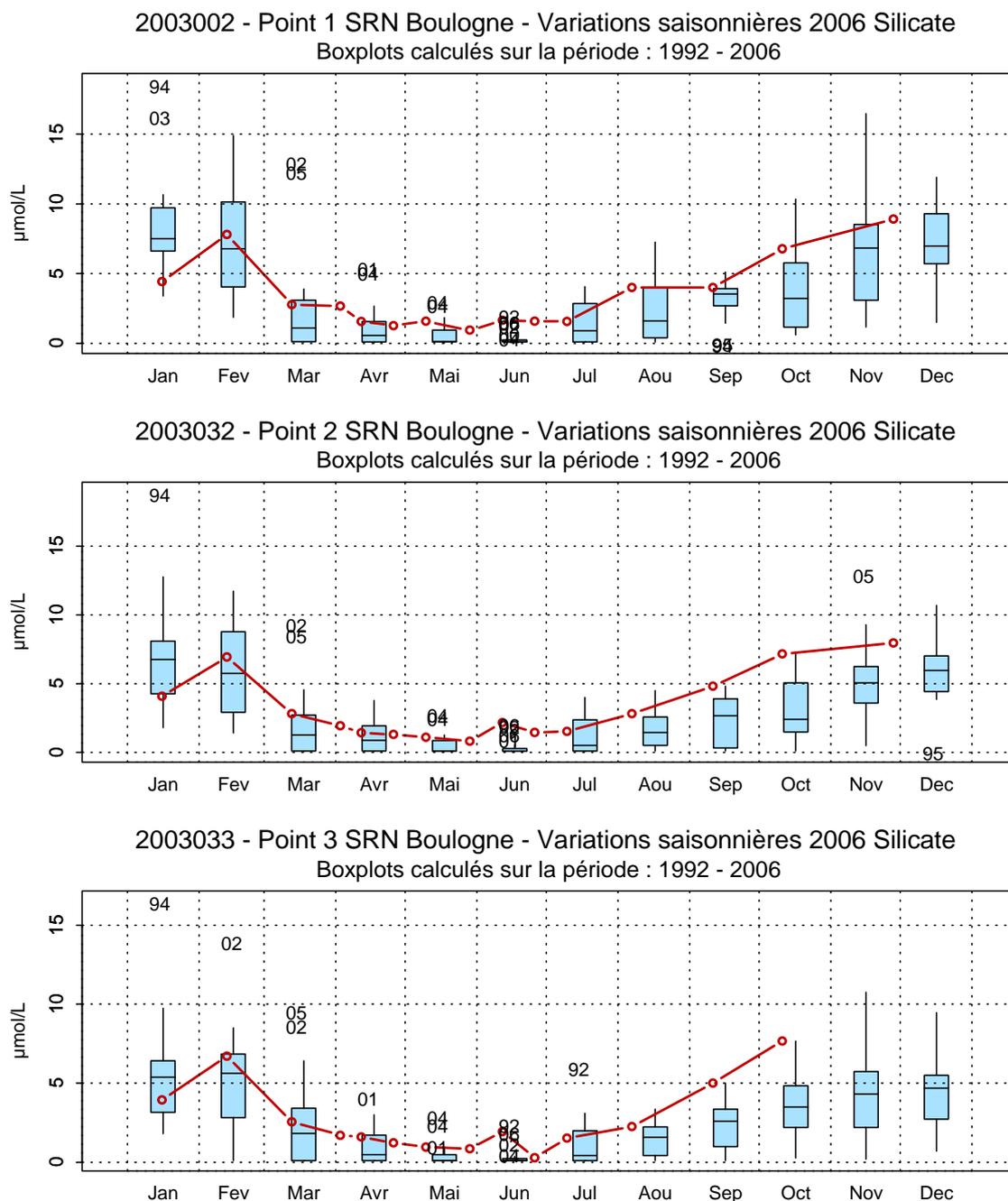


Figure 2.15.b. Évolution des variations saisonnières en silicate ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de Boulogne-sur-Mer pour la période 1992-2006

Dynamique de la biomasse phytoplanctonique et des sels nutritifs en 2006

L'évolution temporelle de la concentration en chlorophylle *a* et des sels nutritifs au point 1 peut être simplifiée de la manière suivante : on assiste à une succession de croissances et décroissances des concentrations en chlorophylle *a* parallèlement aux concentration en sels nutritifs et Silicate qui suivent des évolutions inverses.

(1) En mars, la concentration en chlorophylle *a* augmente dans le milieu et atteint un premier maximum ($15,4 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ au point côtier) alors que les sels nutritifs chutent brutalement. C'est la prymnesiophycées qui domine largement le cortège phytoplanctonique (plus de 90 % de présence sur toute la radiale)

(2) De mars à mai nous observons une diminution de la concentration en chlorophylle *a* avec en avril, l'apparition d'un second pic de chlorophylle *a* de moindre ampleur suite à une forte augmentation de la concentration en ammonium.

(3) Les concentrations en ammonium et en phosphate augmentent fortement puis sont utilisés par le phytoplancton. La chlorophylle *a* augmente donc de nouveau pour atteindre $10,8 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ le 26 juin. Cette période est dominée par la diatomée *Pseudonitzschia seriata*.

(4) Une nouvelle baisse du taux de chlorophylle *a* est visible avec une légère reprise en septembre en même temps qu'une remontée des ions ammonium et silicates

(5) En décembre : forte augmentation de la concentration en sels nutritifs et faible concentration en chlorophylle *a* (Figure 2.16 – Annexe 2).

Les évolutions aux points 2 et 3 sont comparables mais les niveaux de concentration atteints sont plus faibles. Le pic automnal de chlorophylle *a* n'est pas observé pour le point 3 de la radiale (Figure 2.17. et 2.18. - Annexe 2).

Pour faciliter la lecture, des différentes phases, les échelles des ordonnées des graphiques ne sont pas les mêmes.

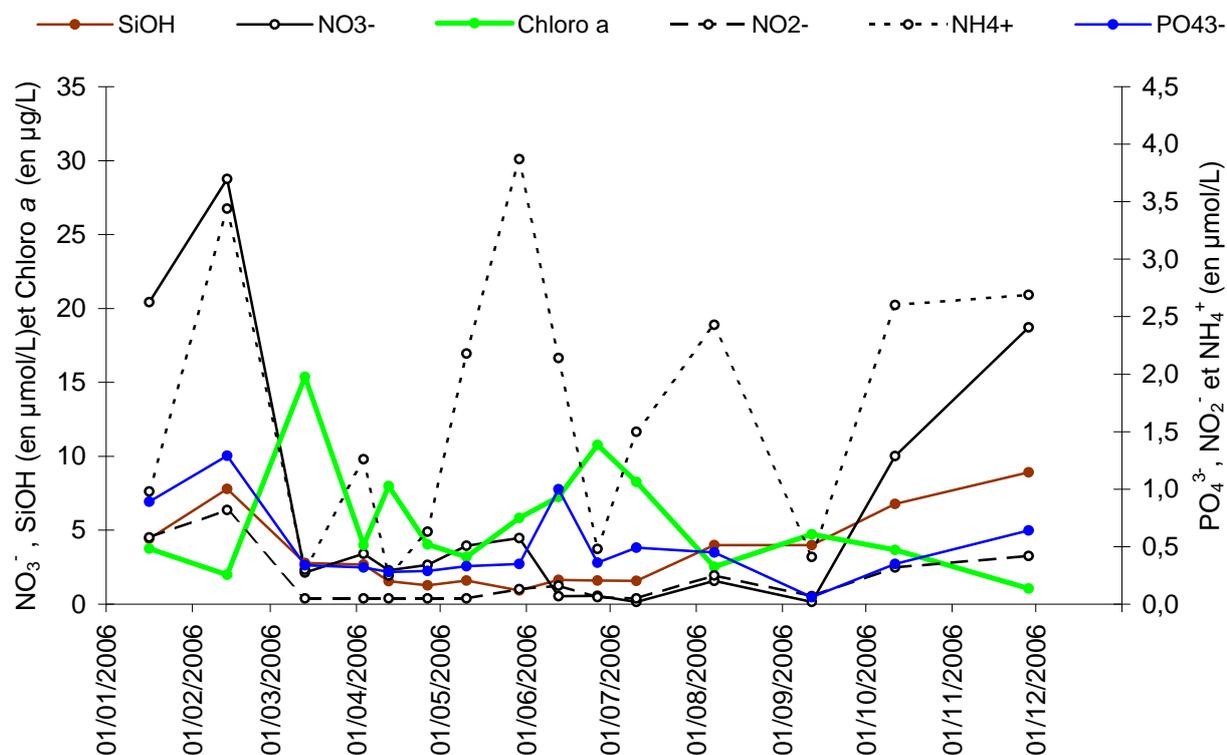


Figure 2.16. Évolution temporelle de la chlorophylle *a* et des sels nutritifs au point 1 de la radiale de Boulogne-sur-Mer

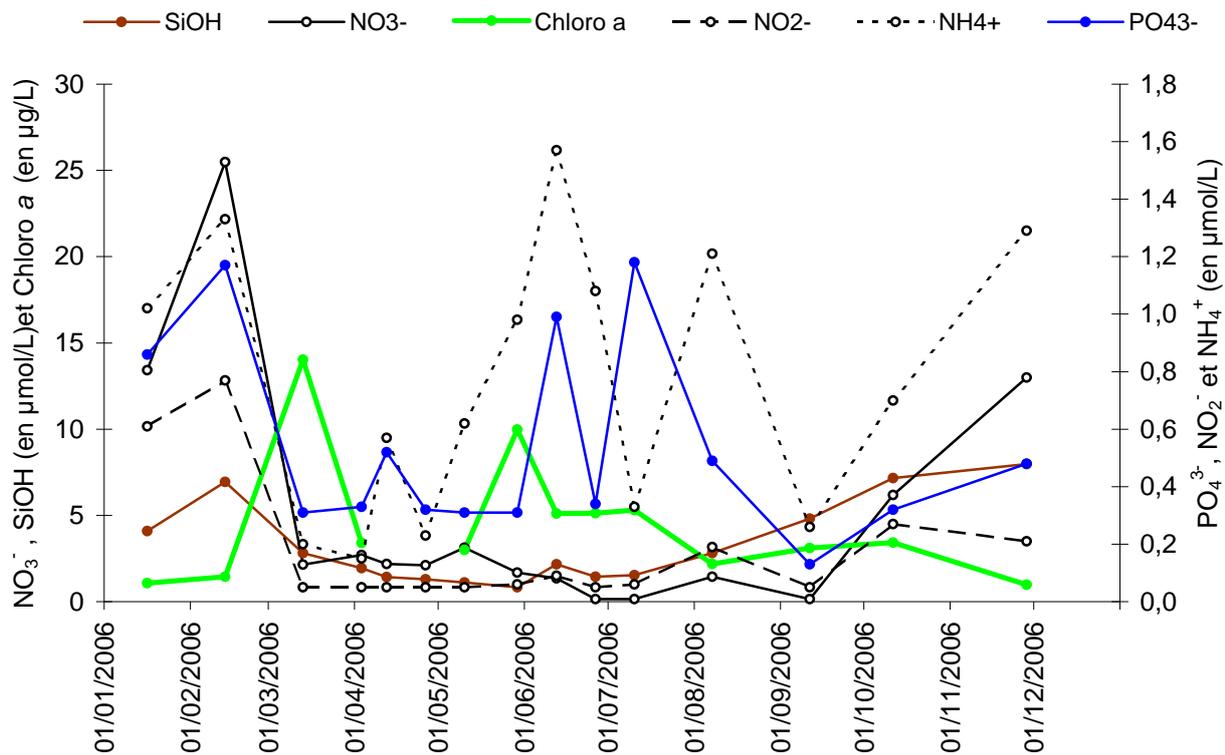


Figure 2.17. Évolution temporelle de la chlorophylle *a* et des sels nutritifs au point 2 de la radiale de Boulogne-sur-Mer

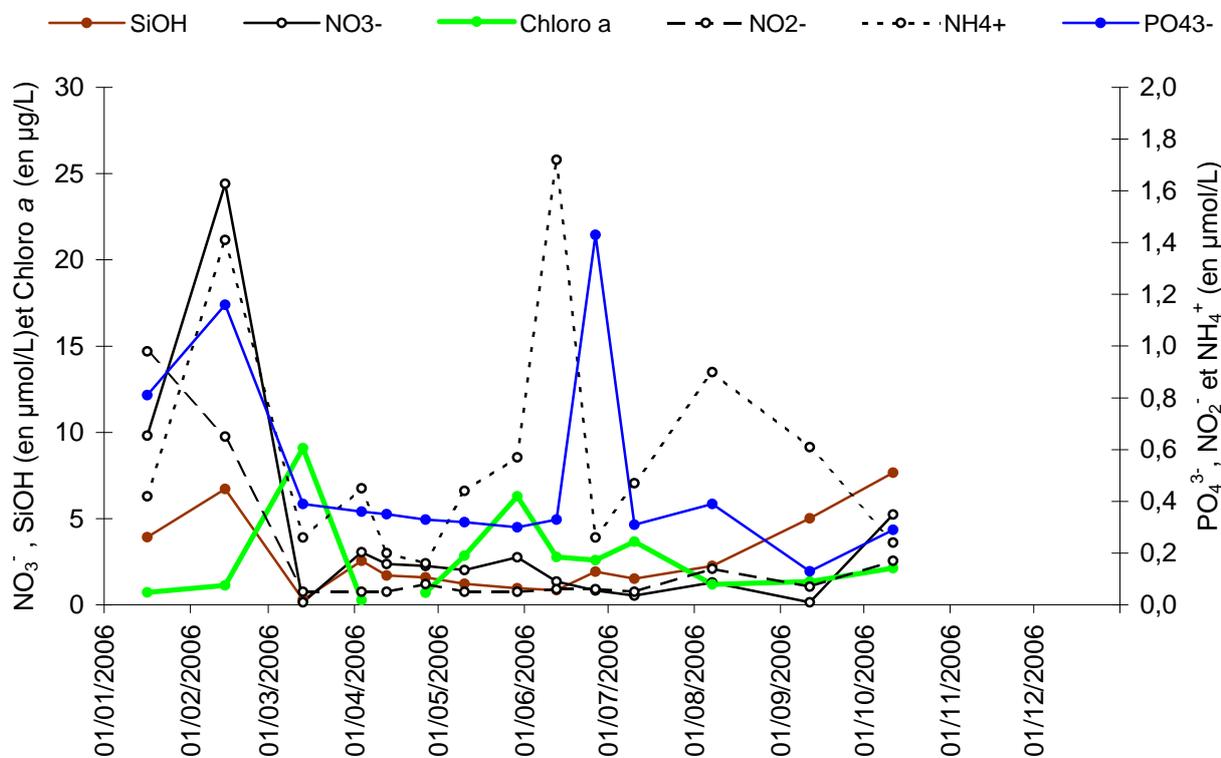


Figure 2.18. Évolution temporelle de la chlorophylle *a* et des sels nutritifs au point 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer

2.2.6. Phéopigments

Les résultats sont exprimés en pourcentage de chlorophylle *active*.

La chlorophylle est peu active en hiver (entre 50 % et 60 %). L'activité est maximale pendant la période printanière et estivale (les maxima sont proches de 85 %). Après les mois de juillet et août, l'activité chute pour atteindre 55 % environ (Figure 2.13. - Annexe 2).

Le gradient côte-large du pourcentage de chlorophylle *active* est compris entre 2 % et 18 % (Figure 2.19. - Annexe 2).

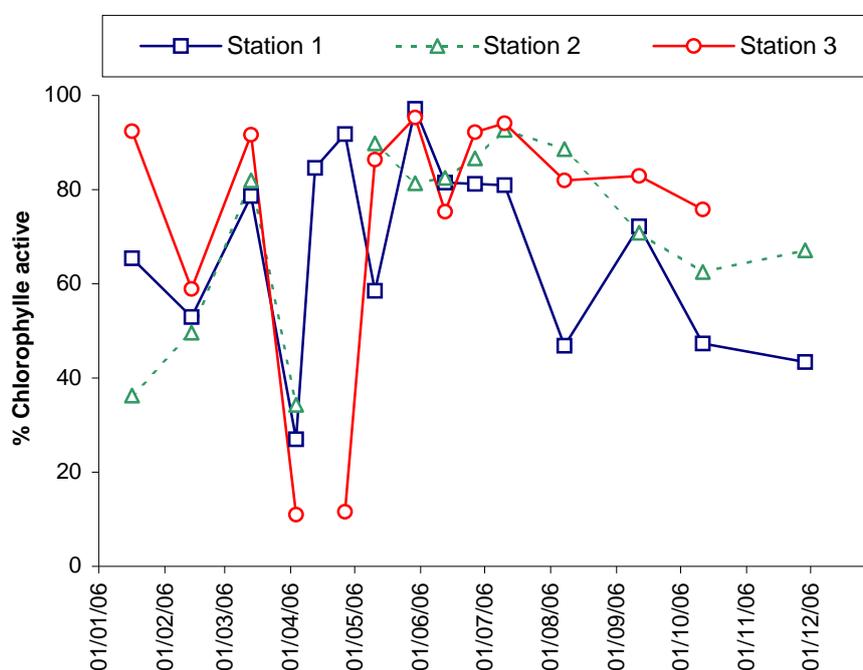


Figure 2.19. Évolution temporelle du pourcentage de chlorophylle *active* sur la radiale de Boulogne-sur-Mer

2.3. La Baie de Somme

Pour des raisons météorologiques et techniques, les prélèvements des mois de février, avril, juillet et décembre (pour les stations Mer1 et Mer2) n'ont pu être effectués. Au total, 13 campagnes de prélèvement ont été réalisées.

2.3.1. Température

Bilan 2006

L'évolution des températures est classique et caractérisée par de faibles valeurs en période hivernale (de 4,8 °C au point Bif à 5,2 °C aux points Mer1 et Mer2 en mars) et par des températures maximales en août (de l'ordre de 20 °C). La température diminue ensuite pour tendre vers des valeurs supérieures à celles du début de l'année (entre 8,4 °C au point Bif et 9,90 °C au point Mer2) (Figure 3.1. - Annexe 2).

Les températures sont assez homogènes pour les 5 points, le gradient côte-large est soit nul, soit au maximum de 1,5 °C. Il est négatif ou nul d'avril à août (eaux côtières plus chaudes) et positif en hiver (Figure 3.1. - Annexe 2).

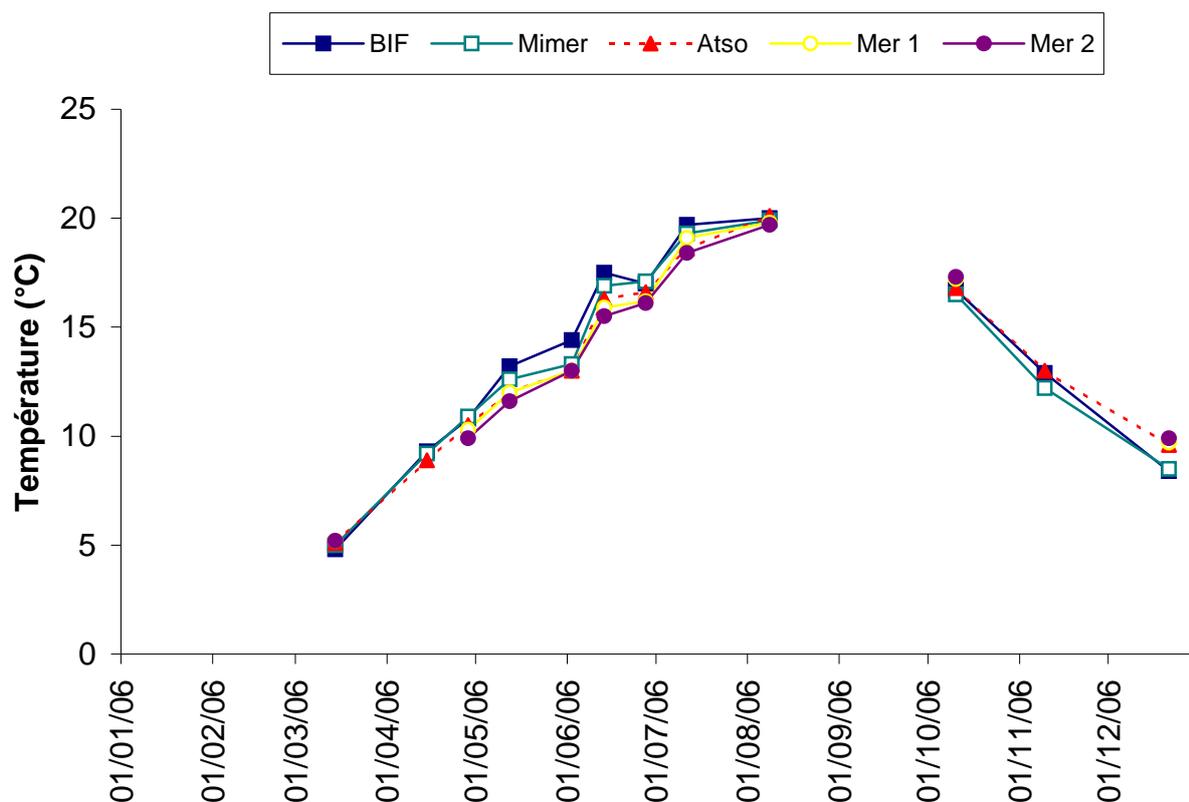
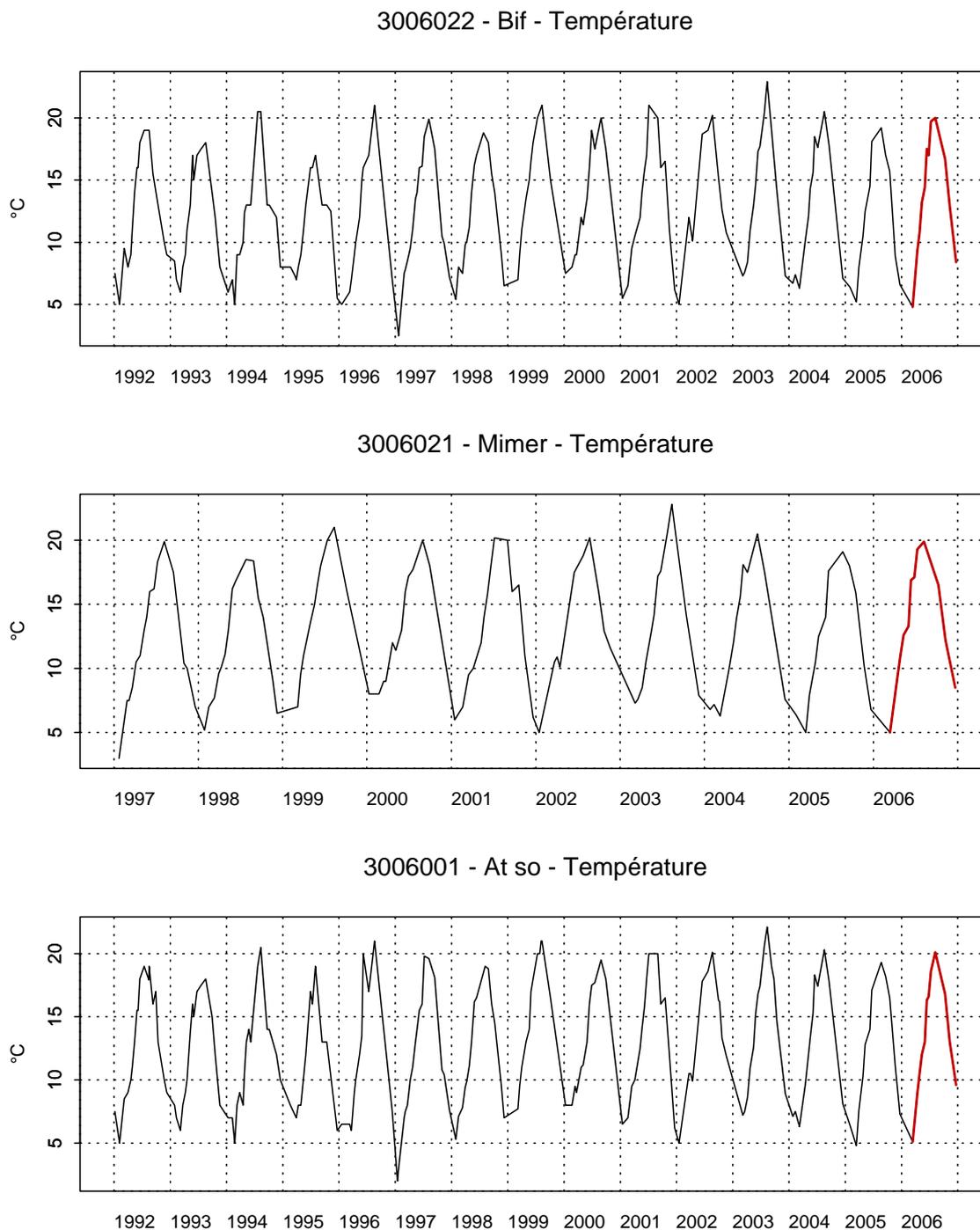


Figure 3.1. Évolution temporelle de la température (°C) sur la radiale de la Baie de Somme

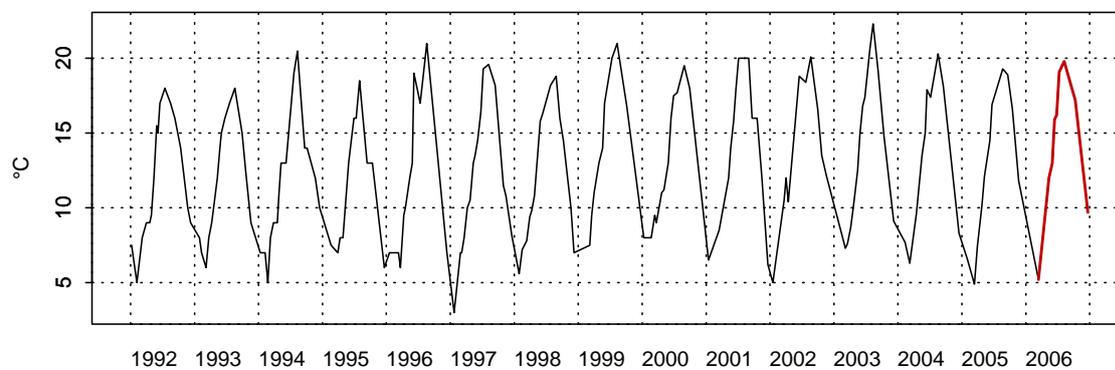
Évolution à long terme

Les cycles saisonniers sont nettement marqués (Figure 3.2.a.). Les variations saisonnières de température pour la période 1992-2006 sont classiques avec des faibles valeurs en hiver et élevées en été. Les valeurs de 2006 sont assez proches de celles habituellement enregistrées. Les valeurs minimales ont été enregistrées au cours du mois de janvier 1997 et ceci pour tous les points de prélèvement. Les valeurs maximales ont été enregistrées en août 2003 avec 22,9 °C au point Bif (Figure 3.2.a.).

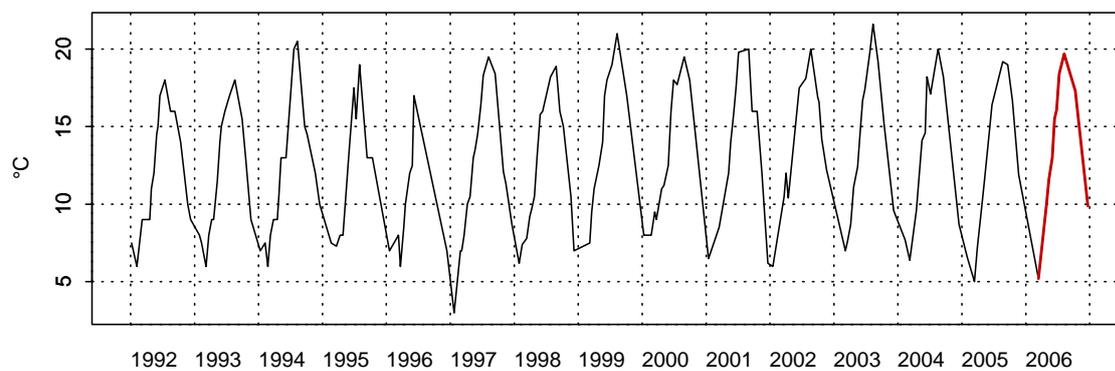


**Figure 3.2.a. Évolution des températures (°C)
sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006**

3006019 - SRN Somme mer 1 - Température



3006020 - SRN Somme mer 2 - Température



**Figure 3.2.a. (suite) Évolution des températures (°C)
sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006**

En 2006 les médianes printanières sont globalement inférieures à celles de la période 1992-2006 tandis que les médianes estivales sont elles supérieures à celles de la période 1992-2006 (Figure 3.2.b.).

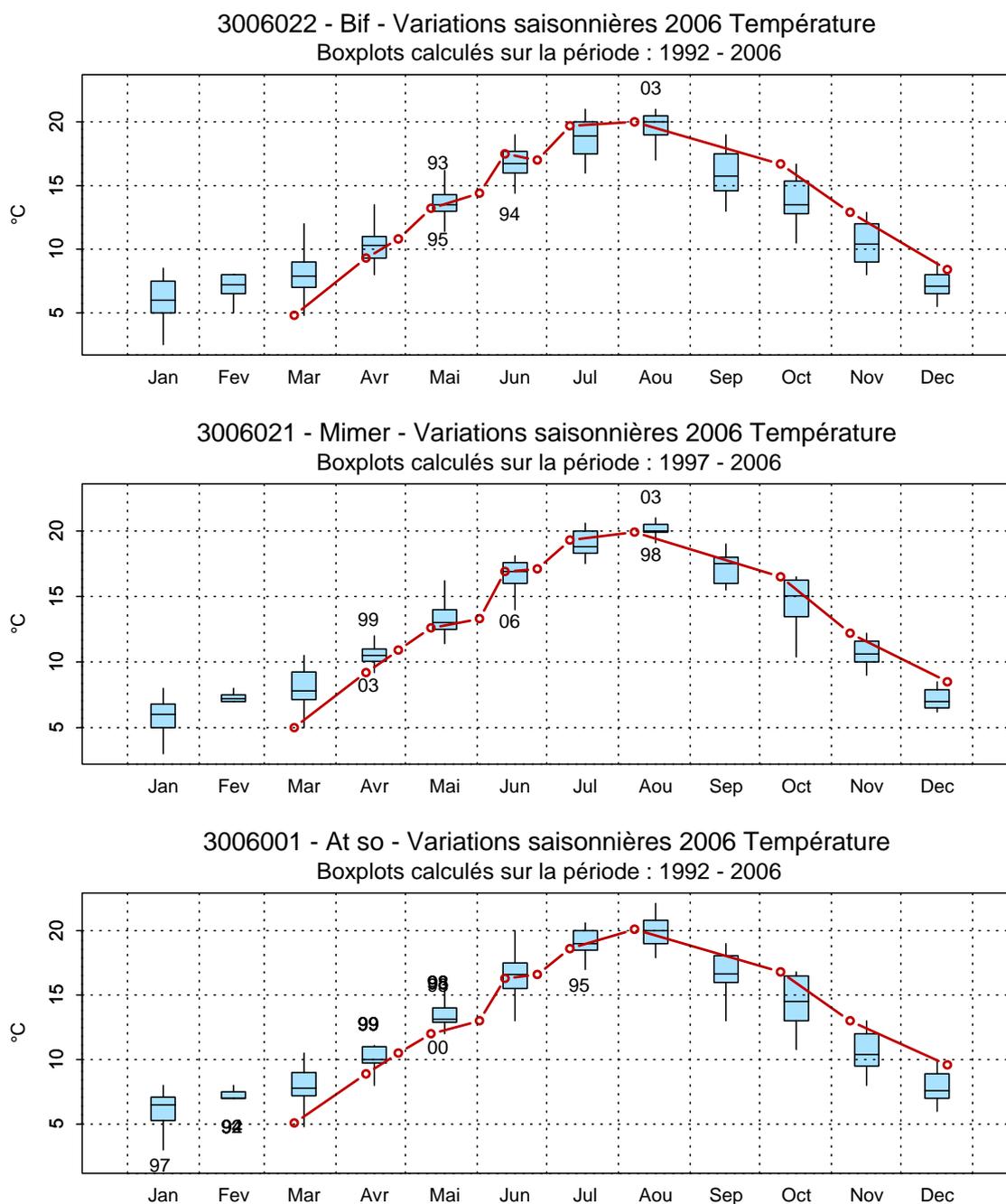
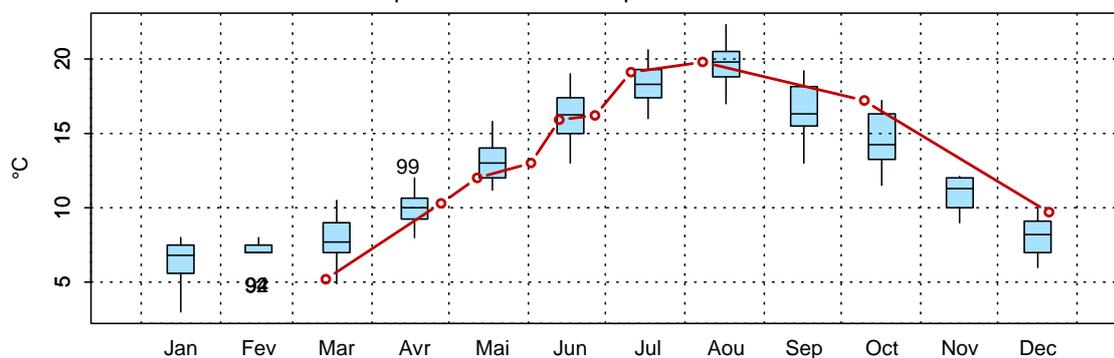


Figure 3.2.b. Évolution des variations saisonnières de température (°C) sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006

3006019 - SRN Somme mer 1 - Variations saisonnières 2006 Température
Boxplots calculés sur la période : 1992 - 2006



3006020 - SRN Somme mer 2 - Variations saisonnières 2006 Température
Boxplots calculés sur la période : 1992 - 2006

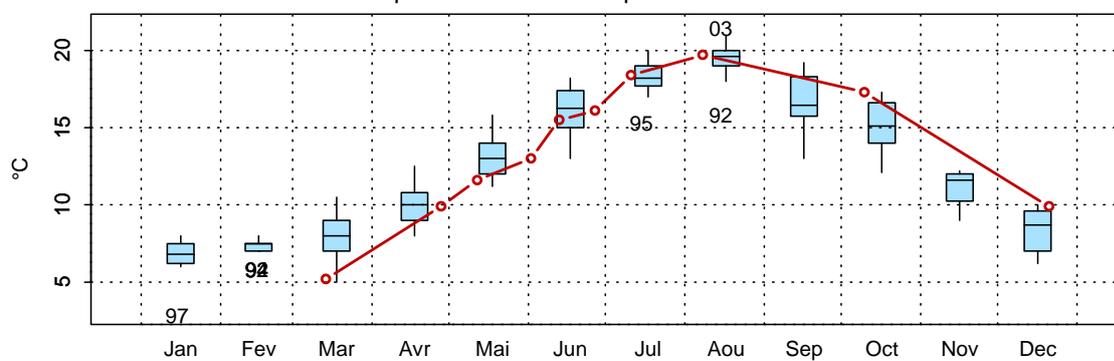


Figure 3.2.b. (suite) Évolution des variations saisonnières de température (°C)
sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006

2.3.2. Salinité

Bilan 2006

Pour des raisons d'accessibilité des moyens nautiques, les prélèvements sont réalisés à $PM \pm 2h$. Ainsi, la gamme de variation de la salinité mesurée est artificiellement faible pour un système estuarien. Les valeurs sont comprises entre 30,8 et 33,7 pour le point Bif (point estuarien), entre 31,5 et 33,6 pour le point Mimer, entre 32,5 et 34,1 pour le point Atso (point côtier), entre 32,8 et 34,6 pour le point Mer1 et entre 32,9 et 34,8 pour Mer2 (point du large).

On remarque une variation plus importante sur le point Bif (point le plus à l'intérieur de l'estuaire de la baie, le plus influencé par les apports en eau douce de la somme) avec une salinité de 30,8 au mois de juin (Figure 3.3. - Annexe 2).

Les fluctuations observées sont le reflet à la fois de conditions de prélèvements différents (marée) et de situation environnementales différentes (météorologie, courantologie) qui ne peuvent être appréhendés à cette échelle d'observation.

Le gradient côte-large entre les points Atso et Mer2 est compris entre 0,1 et 0,9 et le gradient côte-large entre les points Bif et Mer2 est compris entre 0,5 et 2,4 (Figure 3.3. - Annexe 2).

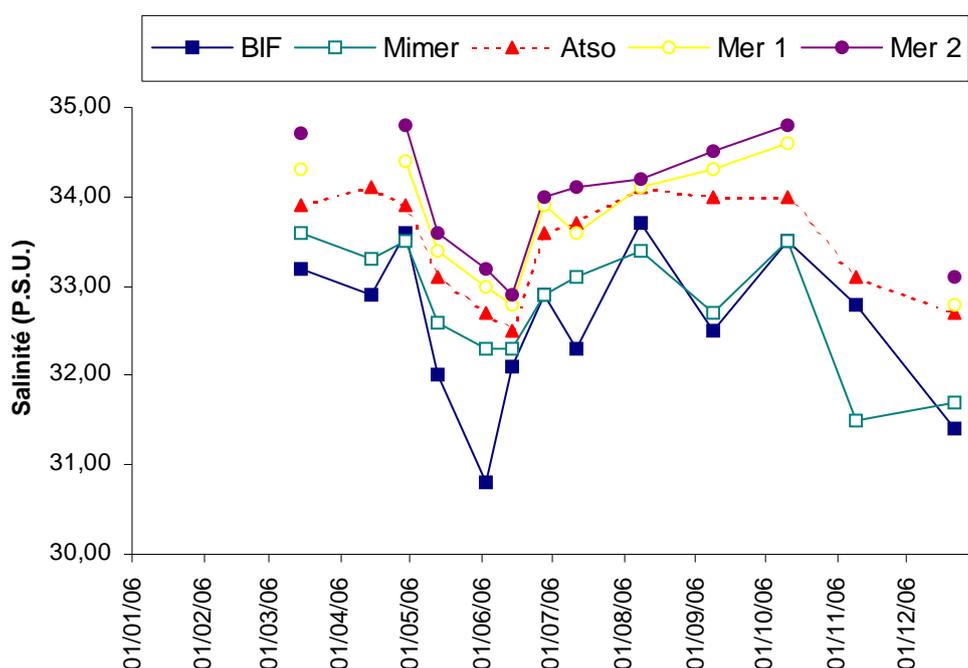


Figure 3.3. Évolution temporelle de la salinité (P.S.U.) sur la radiale de la Baie de Somme

2.3.3. Turbidité et matières en suspension

Bilan 2006

Les évolutions de turbidité et de concentration en matières en suspension sont comparables pour les points Bif, Mimer et Atso, et pour les points Mer1 et Mer2. Les points du large présentent une turbidité plus faible (comprise entre 0,7 et 6,5 N.T.U.) que les points côtiers et estuariens (entre 1,4 et 32,6 N.T.U.). Les évolutions en M.E.S. sont globalement les mêmes pour tous les points sauf pour le point Bif où les concentrations en M.E.S. restent relativement faibles tout au long de l'année. Deux pics de concentration en M.E.S. font leurs apparitions en avril (Mimer et Atso) et en octobre tout point confondus (sauf Bif) (Figures 3.4. - Figure 3.5. - Annexe 2).

Le gradient côte-large entre les points Atso et Mer2 pour la turbidité est négatif toute l'année (le large est moins turbide que la côte) et est compris entre -13,4 et -0,1 N.T.U. et entre -11,3 et 1,4 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ pour les M.E.S. (les concentrations en M.E.S. sont plus fortes à la côte qu'au large pour la majorité des prélèvements); celui entre Bif et Mer2 est également négatif toute l'année et est compris entre -15,7 et -1,5 N.T.U. pour la turbidité, et entre -16,3 et 4,5 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ pour les M.E.S. (Figure 3.4. - Figure 3.5. - Annexe 2).

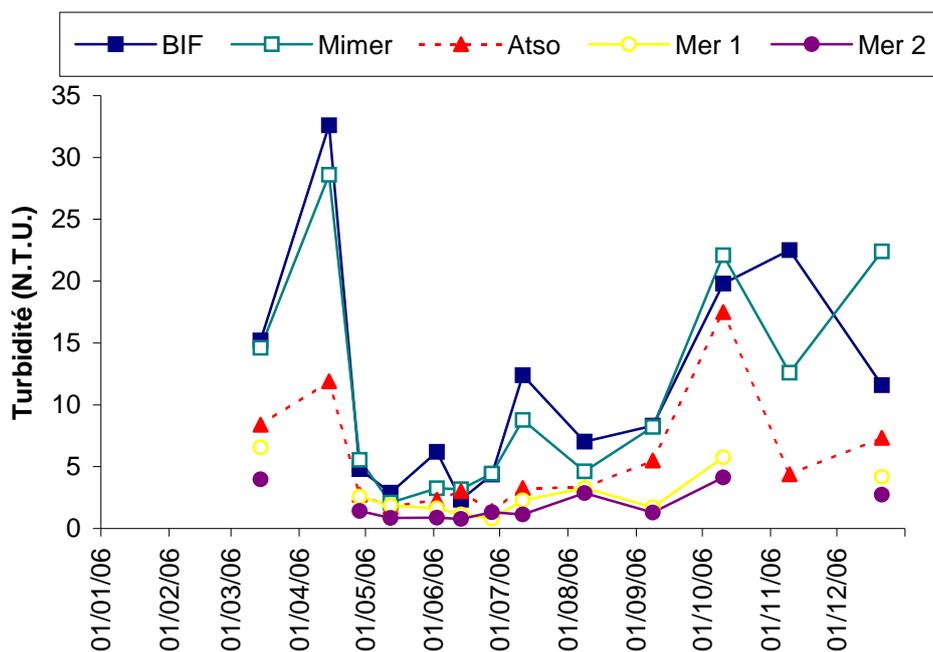


Figure 3.4. évolution temporelle de la turbidité (N.T.U.) sur la radiale de la Baie de Somme

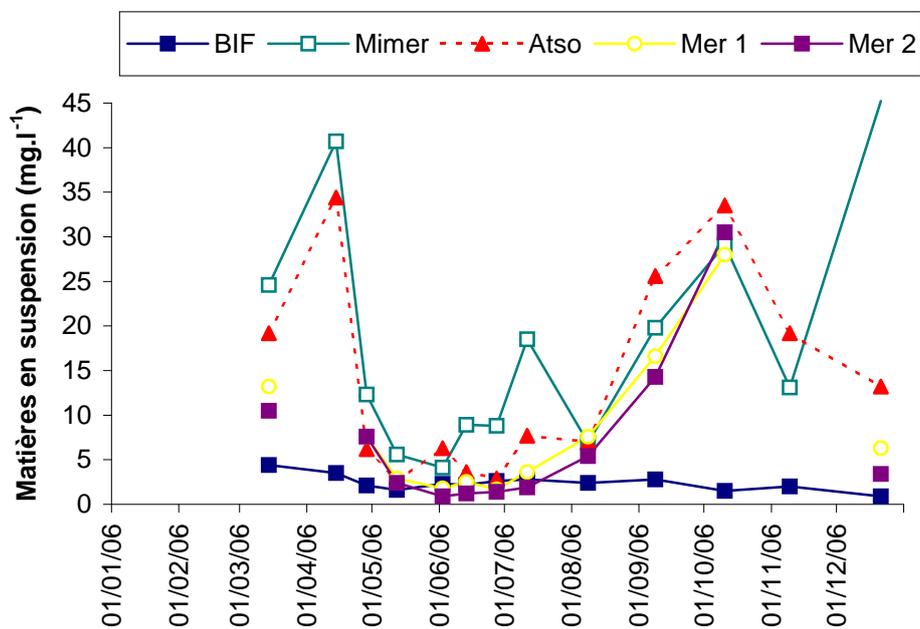


Figure 3.5. Évolution temporelle des matières en suspension (mg.l⁻¹) sur la radiale de la Baie de Somme

Évolution à long terme

Le cycle saisonnier de la turbidité présente des valeurs plus fortes en hiver qu'en été, elles sont aussi plus importantes aux points côtiers qu'aux points du large. Les valeurs de médianes de turbidité sont en baisse pour l'année 2006 :

- au point Bif (8,3 N.T.U. en 2006 contre 18,9 pour la période 1992-2006),
- au point Mimer (8,2 N.T.U. en 2006 contre 14,0 pour la période 1992-2006),
- au point Atso (3,3 N.T.U. en 2005 contre 7,15 pour la période 1992-2006),
- au point Mer1 (2,3 N.T.U. en 2005 contre 3,5 pour la période 1992-2006)
- au point Mer2 (1,3 N.T.U. en 2005 contre 2,5 pour la période 1992-2006).

Les années 1997, 1998 et 2001 sont des années exceptionnelles du point de vue des valeurs atteintes certains mois pour certains points (Figure 3.6).

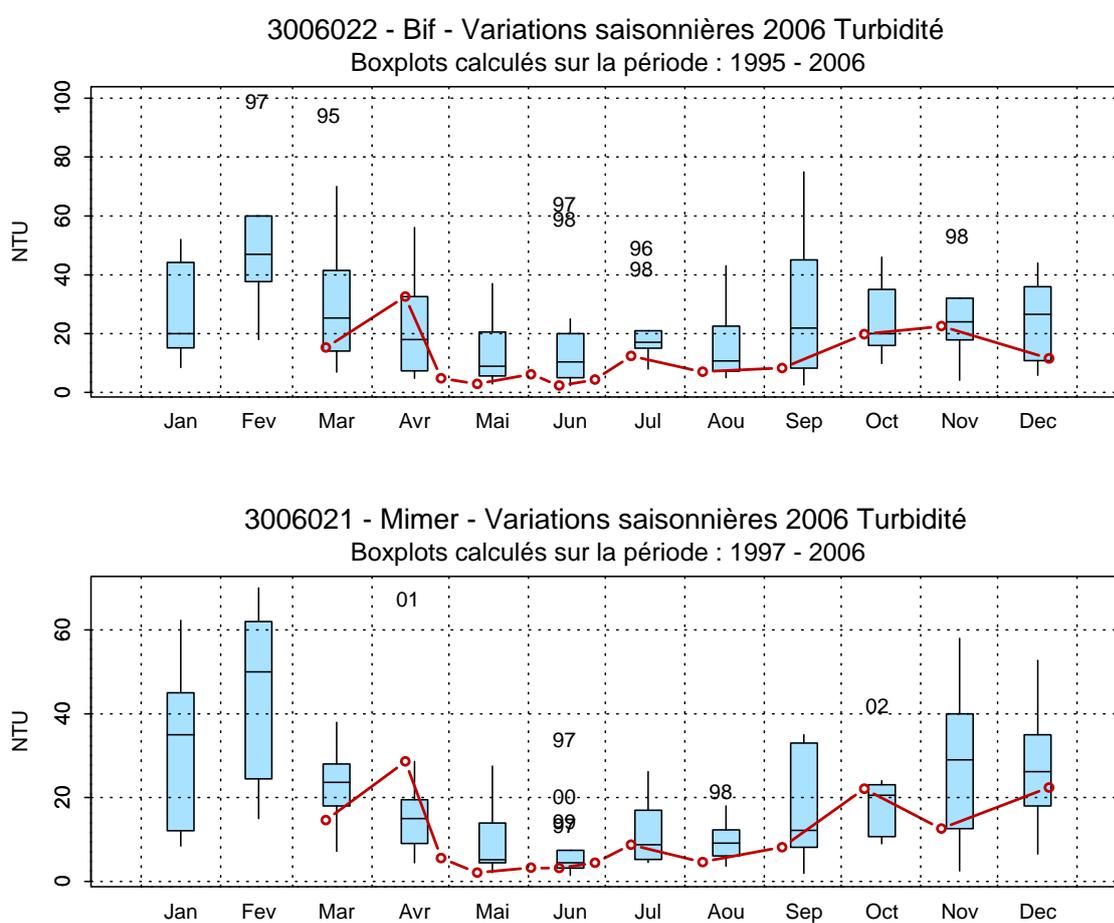


Figure 3.6. Évolution des variations saisonnières de turbidité (N.T.U.) sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006

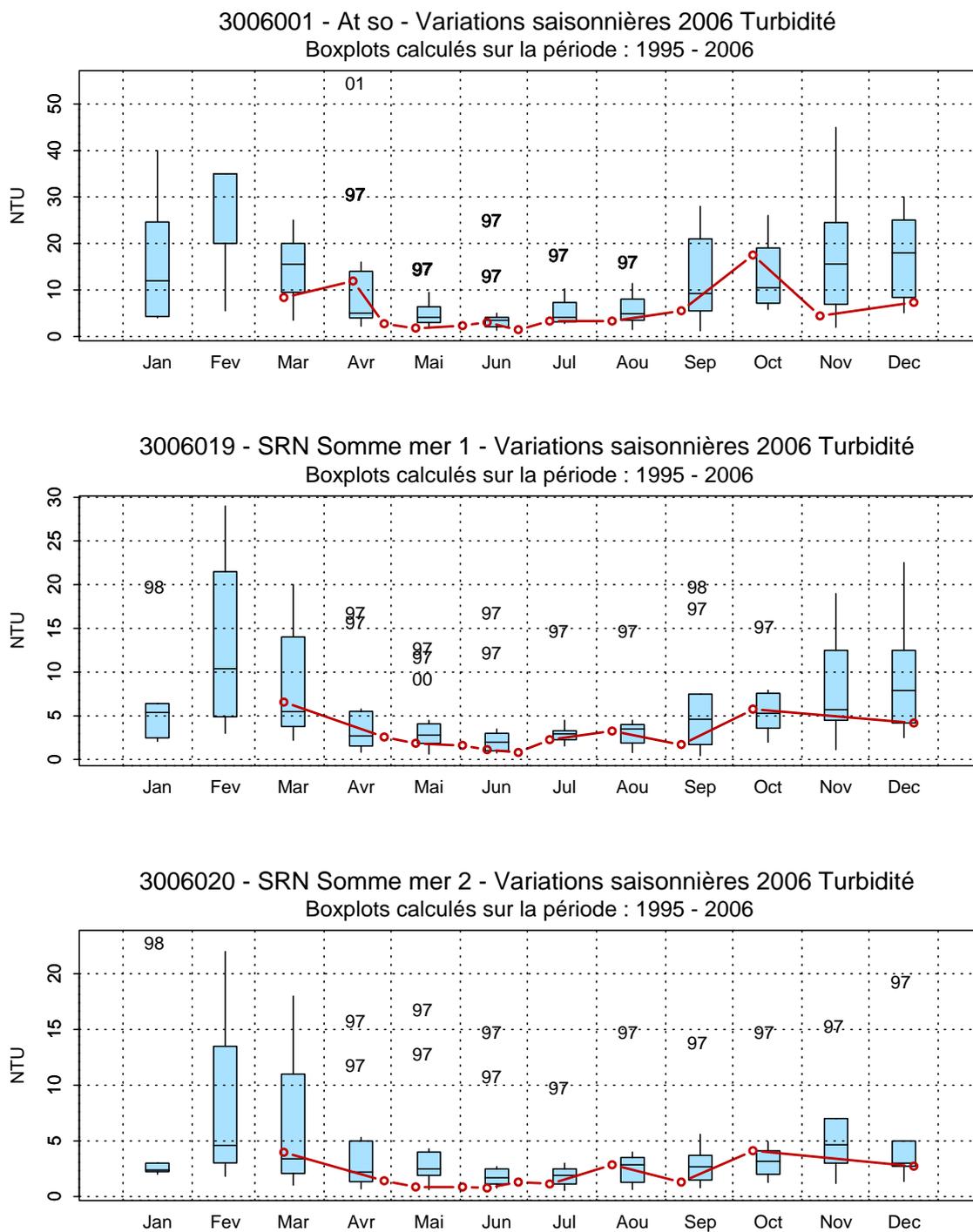


Figure 3.6. (suite) Évolution des variations saisonnières de turbidité(N.T.U.) sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006

Les cycles saisonniers sont marqués du point Bif à Mer2 ; la dispersion est plus importante au printemps et en hiver. On retrouve pour les M.E.S. une évolution similaire à celle de la turbidité : des valeurs élevées en hiver et plus faibles l'été.

Les valeurs médianes de M.E.S. en 2006 ont diminué par rapport aux valeurs médianes pour la période 1992-2006 aux points Bif (17,6 contre 40,4 mg·l⁻¹), Mimer (13,1 contre 18,7 mg·l⁻¹), Atso (7,7 contre 20 mg·l⁻¹), Mer1 (6,3 contre 12,3 mg·l⁻¹) et Mer2 (3,4 contre 9,7 mg·l⁻¹) (Figure 3.7.).

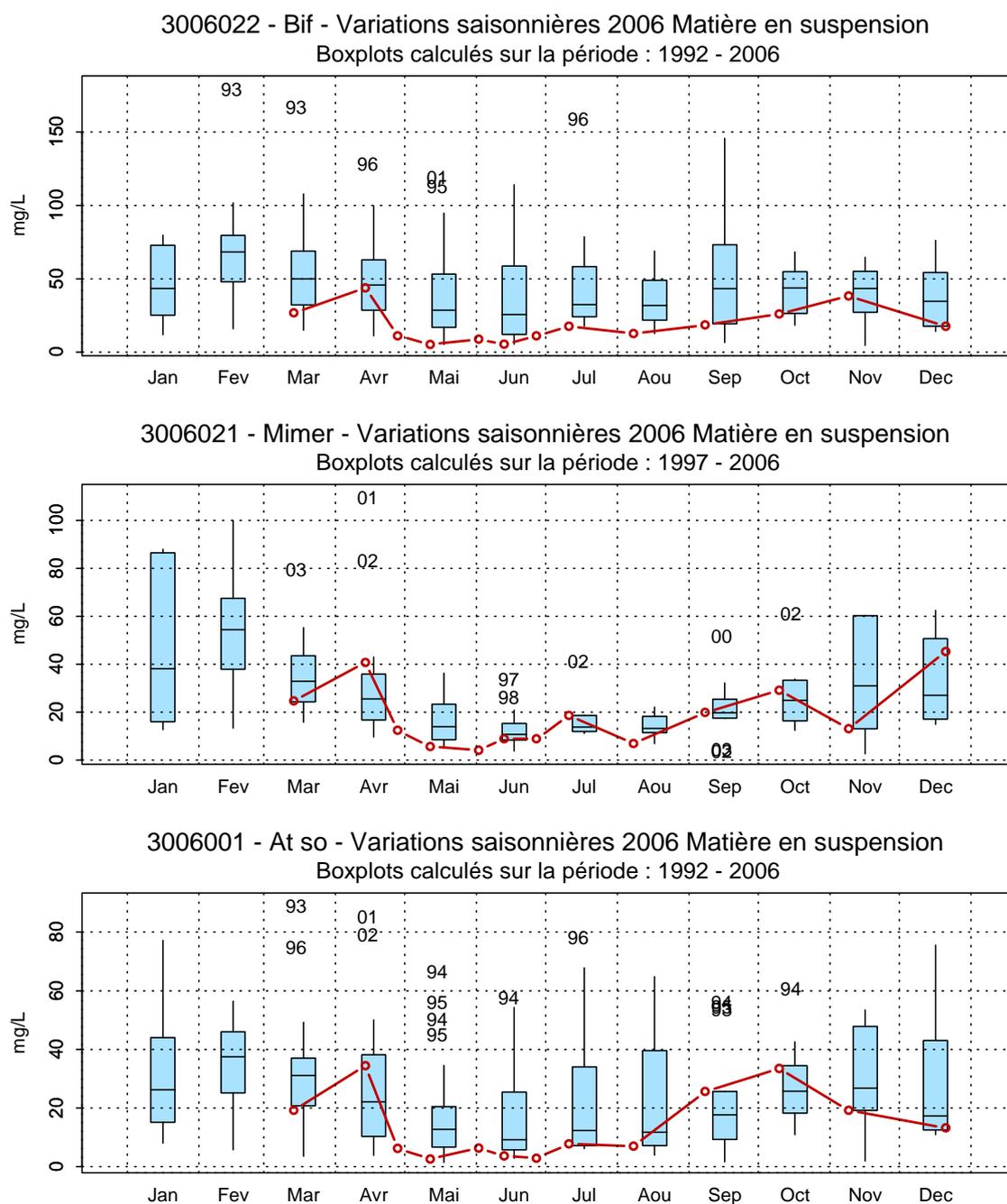
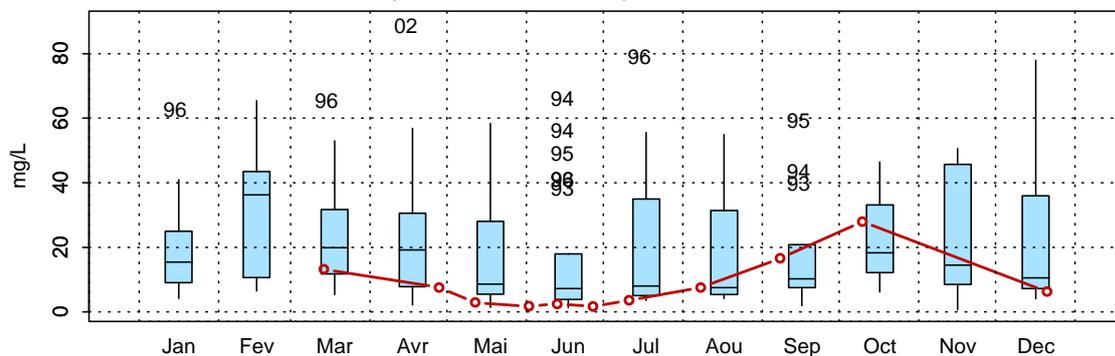


Figure 3.7. Évolution des variations saisonnières de matières en suspension (mg·l⁻¹) sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006

3006019 - SRN Somme mer 1 - Variations saisonnières 2006 Matière en suspension
Boxplots calculés sur la période : 1992 - 2006



3006020 - SRN Somme mer 2 - Variations saisonnières 2006 Matière en suspension
Boxplots calculés sur la période : 1992 - 2006

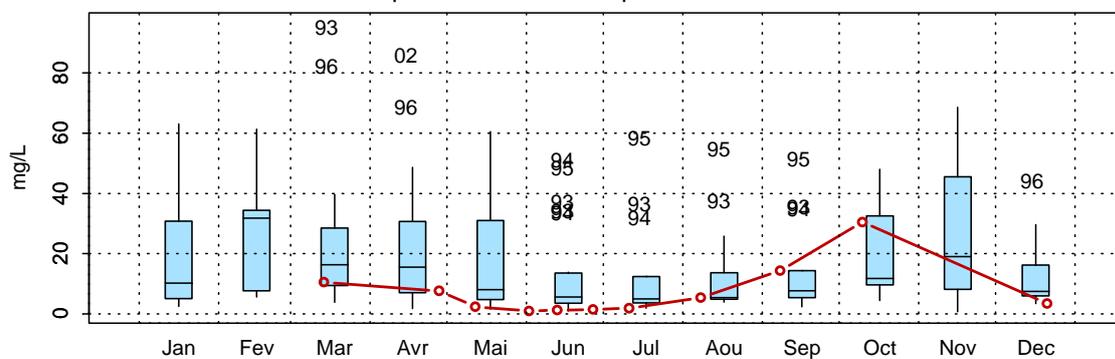


Figure 3.7. (suite) Évolution des variations saisonnières de matières en suspension ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)
sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006

2.3.4. Matière organique

Bilan 2006

Les teneurs en matière organique sont plus importantes en périodes printanière et estivale (de mai à juillet). Les points estuariens (Bif et Mimer) ont des valeurs comparables avec des maxima d'environ 40 % de matière organique dans les M.E.S. en juin. Le reste de l'année, les teneurs sont proches des minima (10 à 15 %). Les points situés plus au large présentent les mêmes variations mais avec des valeurs beaucoup plus importantes : jusqu'à 100 % en juin pour le point Mer2, 80 % pour Mer1. le reste de l'année, les valeurs obtenues sont proches de celles des points estuariens.

Le point Atso, comme on aurait pu s'y attendre, se trouve en terme de pourcentage de Matières Organiques dans les M.E.S., entre les points estuariens et les points situés au large (Figure 3.8. - Annexe 2).

Le gradient côte-large entre les points Atso et Mer2 est compris entre 0 % et 67 % ; celui entre Bif et Mer2 est compris entre 2 % et 74 % (Figure 3.8. - Annexe 2).

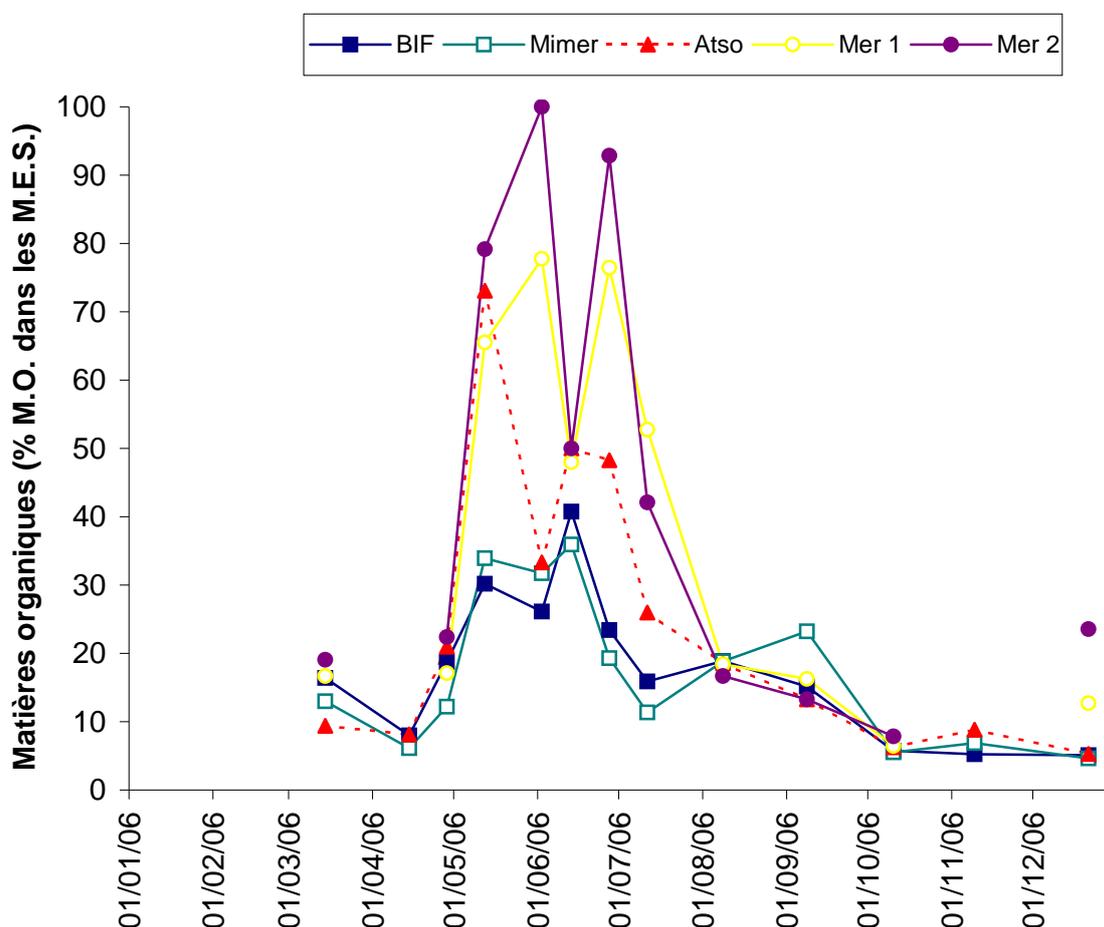


Figure 3.8. Évolution temporelle de la teneur en matière organique dans les matières en suspension (% de Matière organique dans les M.E.S.) sur la radiale de la Baie de Somme

Évolution à long terme

Les concentrations en M.E.S. organiques sont très faibles pour cette année 2006 comparé aux autres années (moins de 5 mg·l⁻¹ pour tous les points). La médiane de 2006 est de 2,3 mg·l⁻¹ au point côtier alors qu'elle est de 8,88 mg·l⁻¹ pour la période 1992-2006.

Les variations saisonnières sont peu marquées en 2006 (Figure 3.9.).

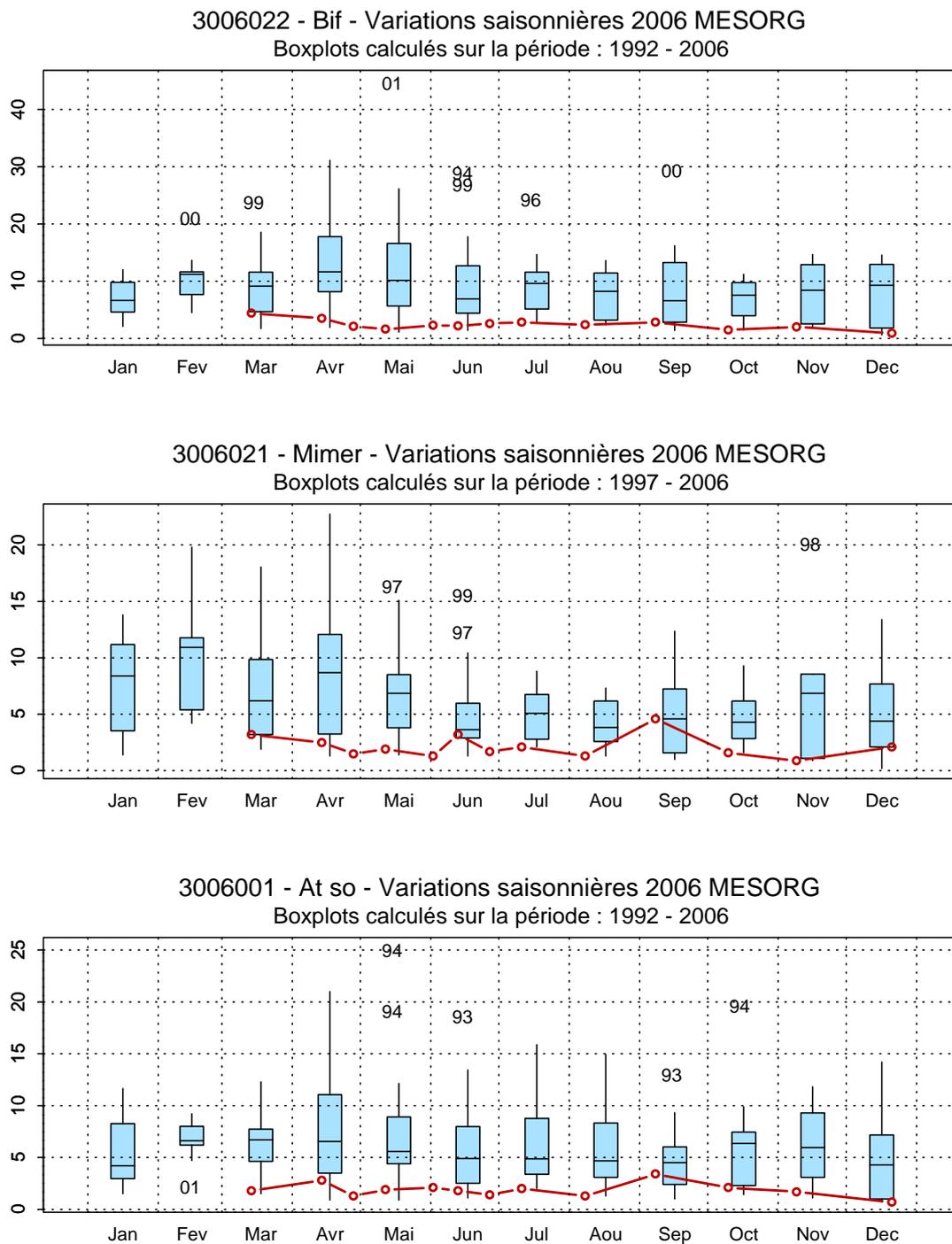
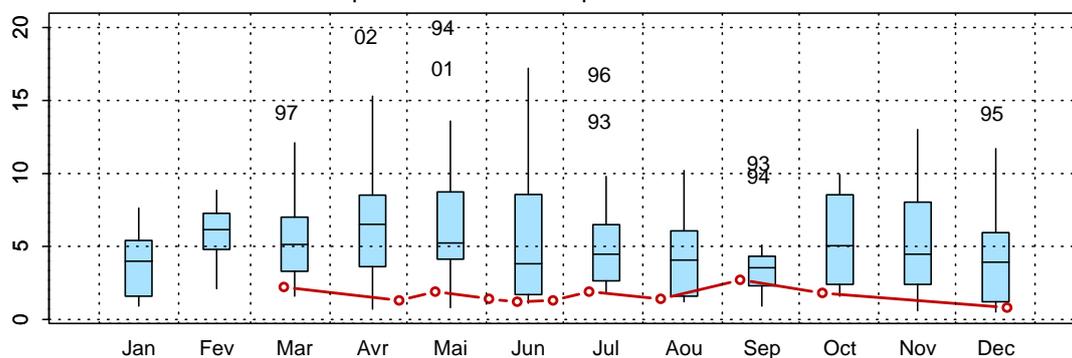


Figure 3.9. Évolution des variations saisonnières de M.E.S. organiques (mg·l⁻¹) sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006

3006019 - SRN Somme mer 1 - Variations saisonnières 2006 MESORG
Boxplots calculés sur la période : 1992 - 2006



3006020 - SRN Somme mer 2 - Variations saisonnières 2006 MESORG
Boxplots calculés sur la période : 1992 - 2006

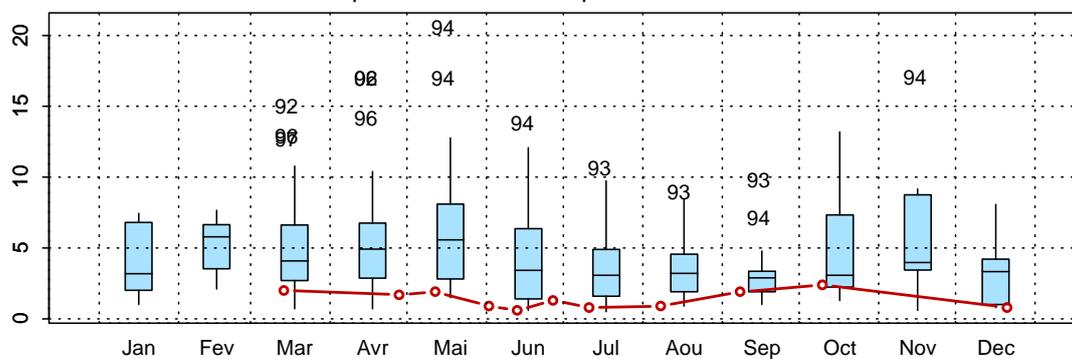


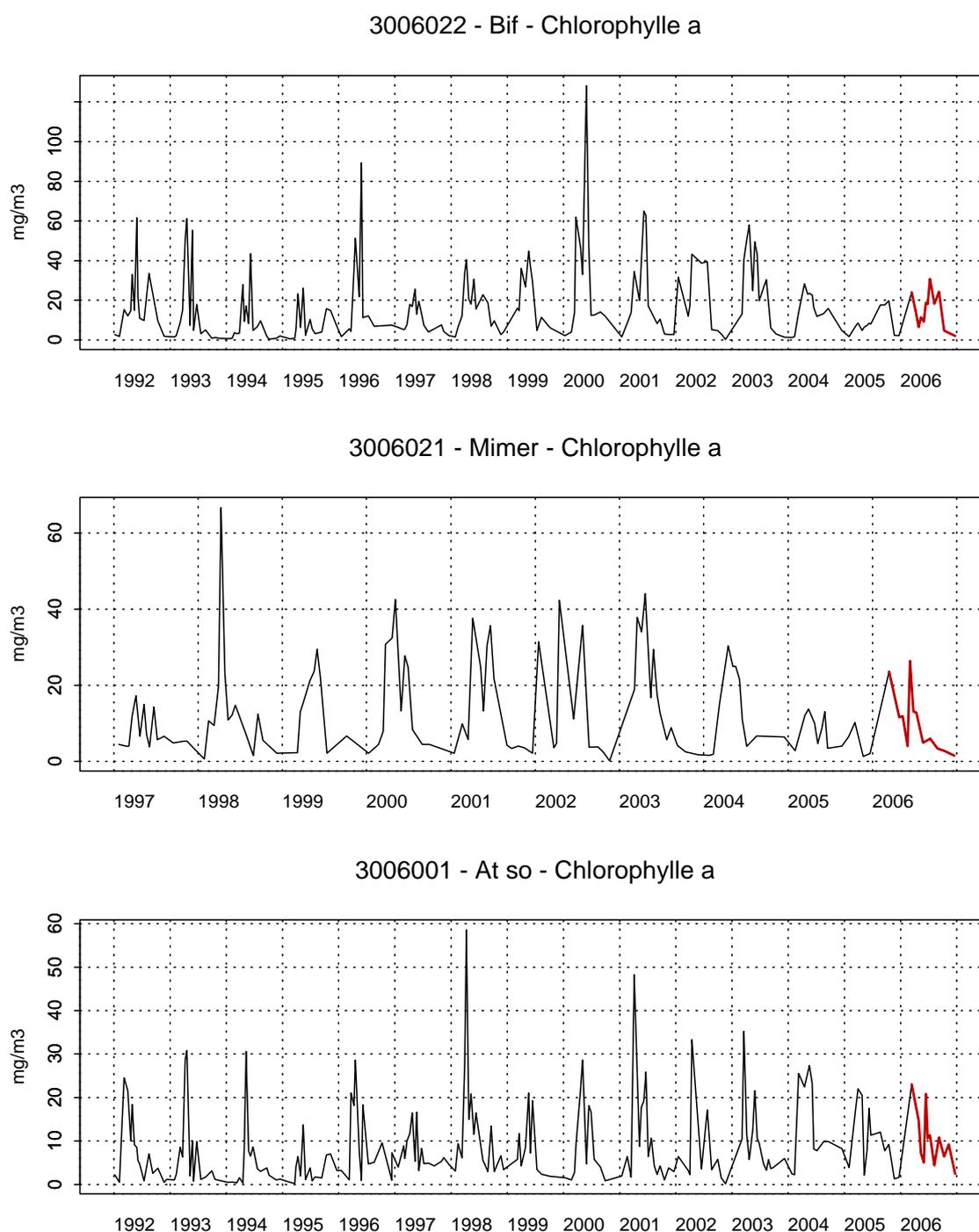
Figure 3.9. (suite) Évolution des variations saisonnières de M.E.S. organiques ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006

2.3.5. Chlorophylle a et sels nutritifs

Les graphiques de synthèse de ces paramètres pour l'année 2006 sont repris de la Figure 1.16. à la Figure 1.18. ceci afin de faciliter l'interprétation.

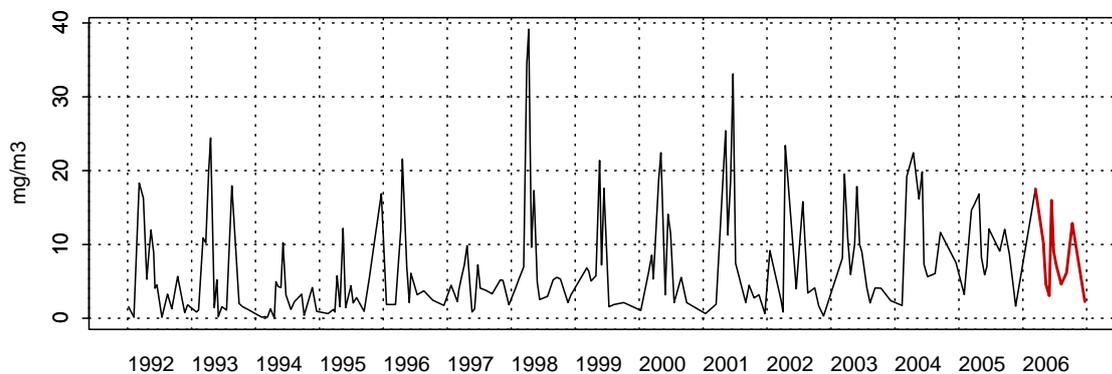
- chlorophylle a

L'année 2006 est comparable à l'année 2004 pour les points Bif et Mimer. Le schéma d'évolution de l'année 2006 est le même pour presque tous les points (Figure 3.10.a.).

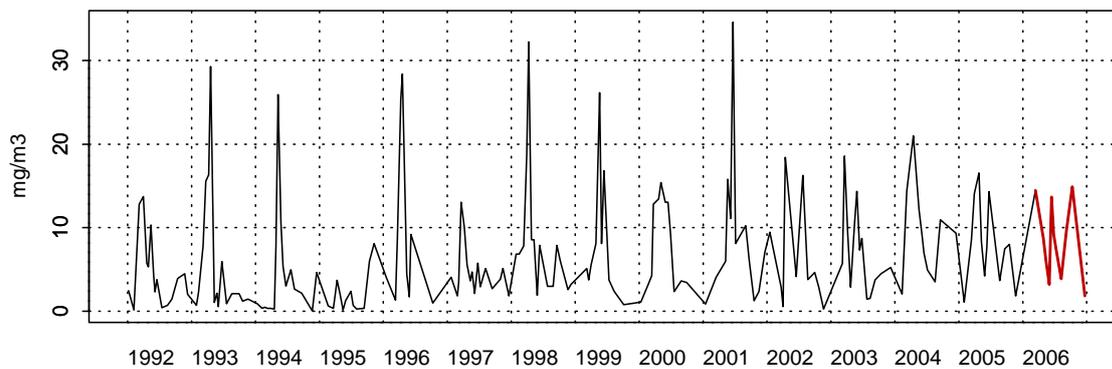


**Figure 3.10.a. Évolution de la chlorophylle a ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)
sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006**

3006019 - SRN Somme mer 1 - Chlorophylle a



3006020 - SRN Somme mer 2 - Chlorophylle a



**Figure 3.10.a. (suite) Évolution de la chlorophylle a ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)
sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006**

Généralement, la dispersion en chlorophylle *a* est importante au printemps et les concentrations y sont aussi plus hautes (un schéma similaire mais de moindre ampleur peut être observé en automne). En 2006, les variations saisonnières ne sont pas tout à fait cohérentes avec le schéma établi sur la période 1992-2006. Au point Bif, les concentrations augmentent progressivement d'avril à septembre. Ailleurs, les concentrations en chlorophylle *a* sont importantes en mars, juin et octobre, sauf pour le point Bif pour lequel ce sont les mois de mars, juillet et octobre qui décrochent les maxima. Le bloom automnal est particulièrement visible pour les points du large en 2006 mais pas pour ceux situés au niveau de l'estuaire (Figure 3.10.b.).

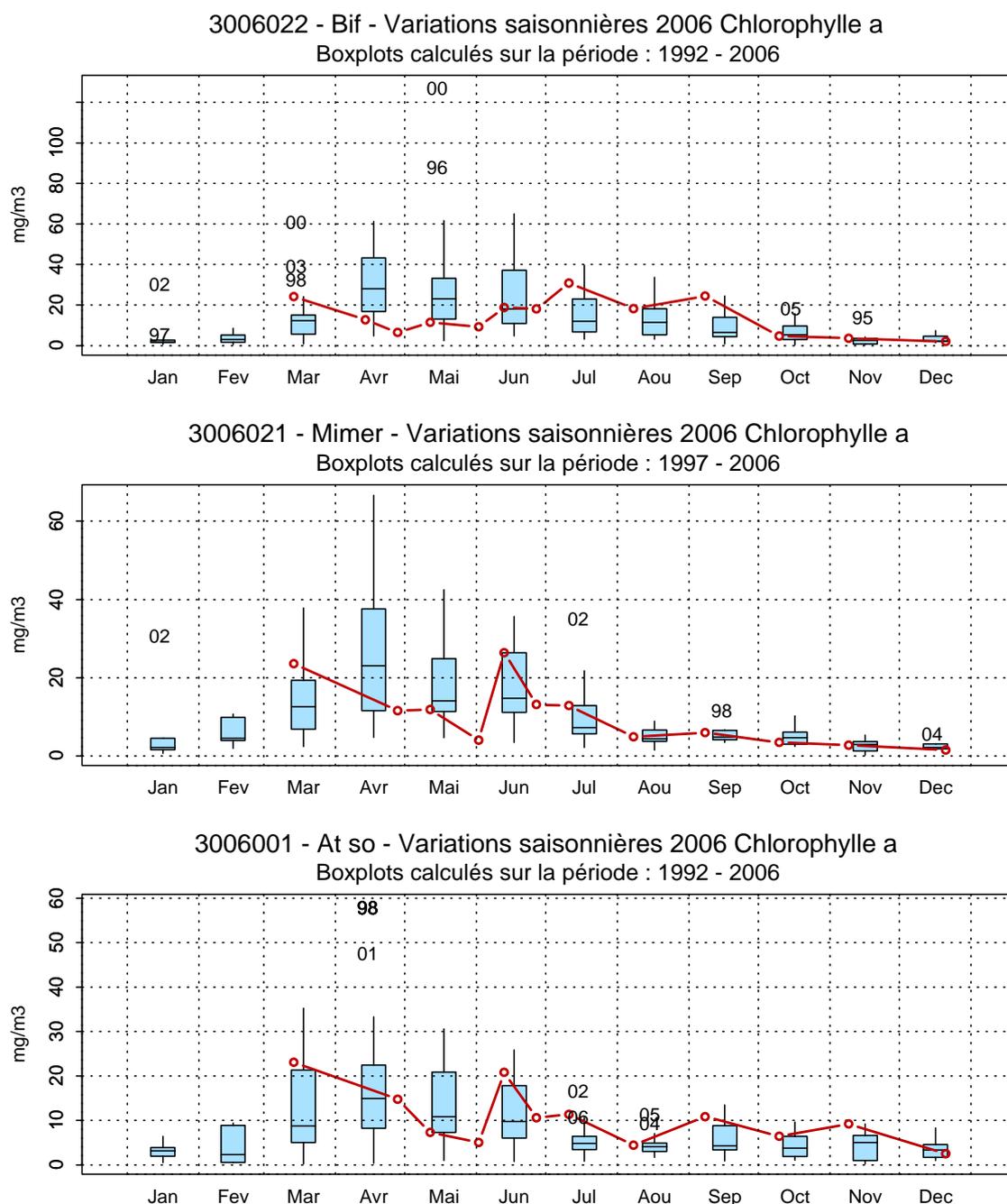


Figure 3.10.b. Évolution des variations saisonnières de chlorophylle *a* ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006

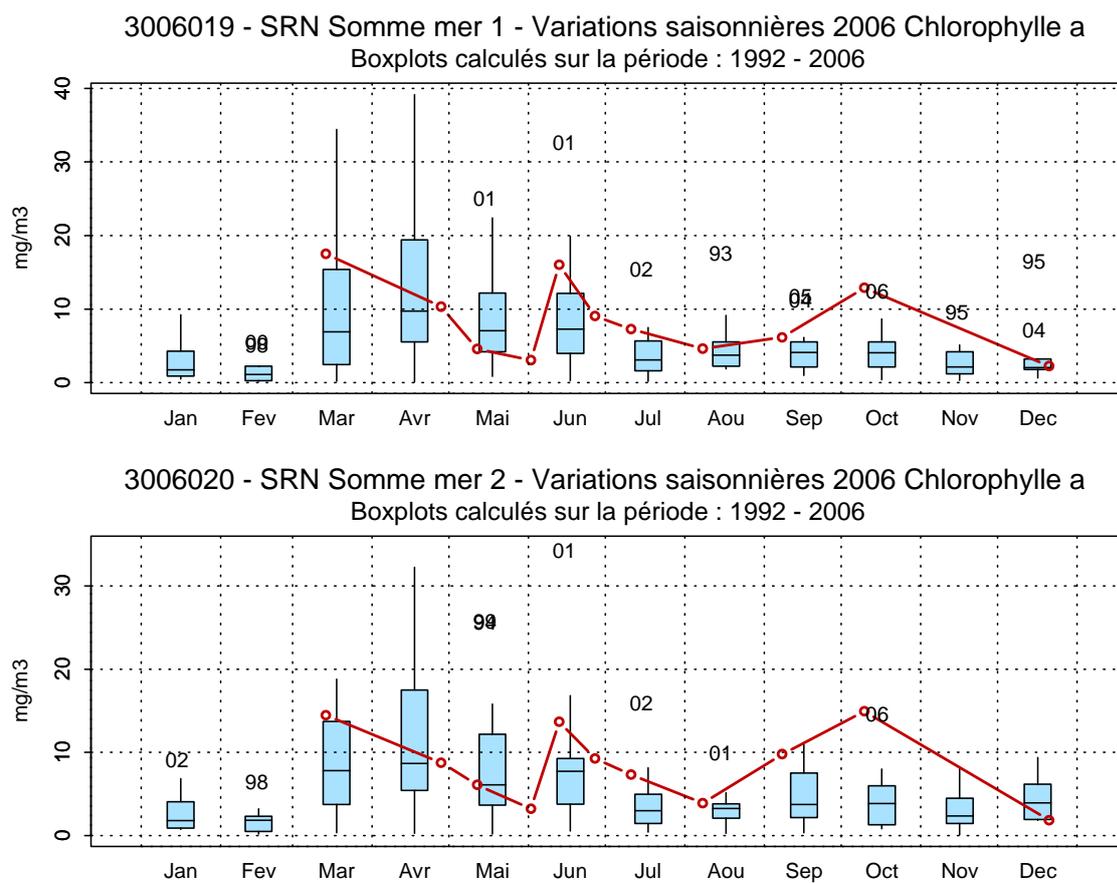
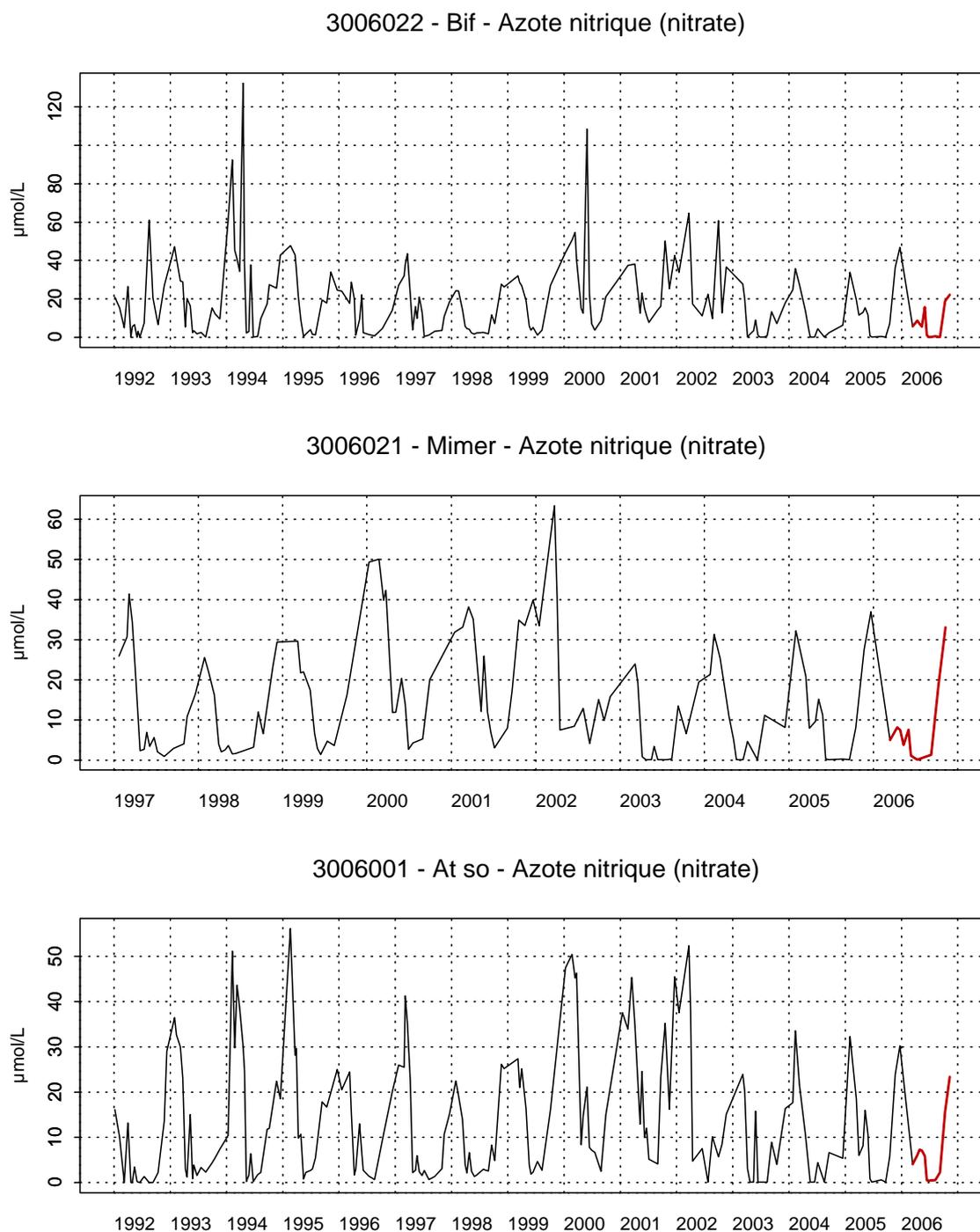


Figure 3.10.b. (suite) Évolution des variations saisonnières de chlorophylle a ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006

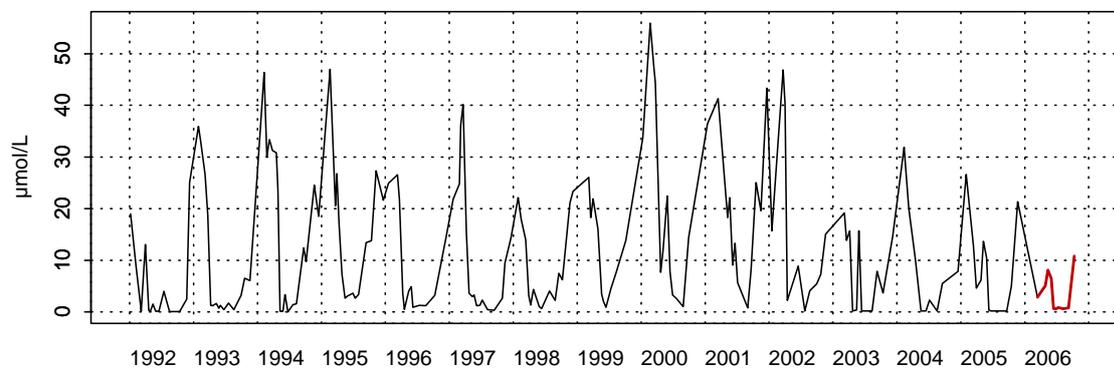
- Nitrate

Le cycle d'évolution saisonnière pour 2006 est moins marqué que les années précédentes mais il est conforme : des maxima en période hivernale et une forte chute de la concentration au début du printemps. Les concentrations les plus faibles sont atteintes en période estivale, puis au début de l'hiver le stock se reconstitue. Les médianes annuelles sont toutes inférieures aux médianes de la période 1992-2006. L'évolution globale de l'année 2006 est comparable à celle des années 1999, 2003 à 2005 (Figure 3.11.a.).

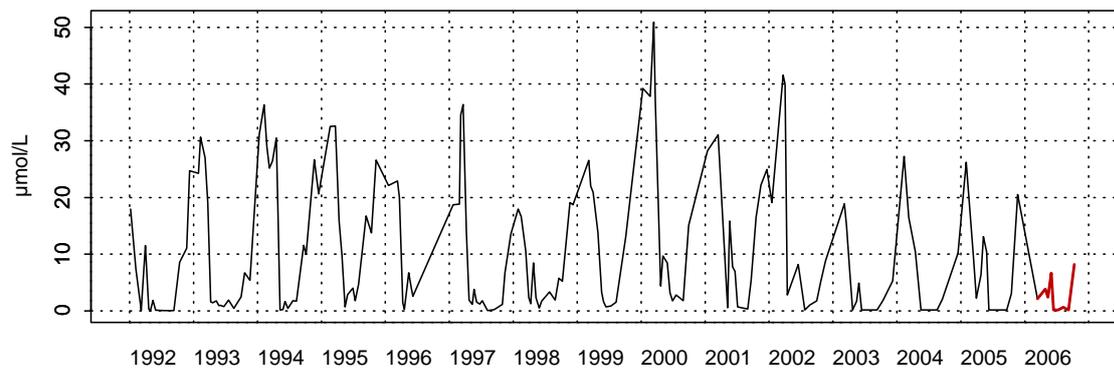


**Figure 3.11.a. Évolution des nitrates ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$)
sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006**

3006019 - SRN Somme mer 1 - Azote nitrique (nitrate)



3006020 - SRN Somme mer 2 - Azote nitrique (nitrate)



**Figure 3.11.a. (suite) Évolution des nitrates ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$)
sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006**

Les valeurs de 2006 sont globalement moins importantes, sauf pour les mois de mai, octobre et novembre. Les concentrations sont particulièrement faibles en mars quelque soit le point considéré. La phase de reconstitution du stock a commencé en septembre (Figure 3.11.b.).

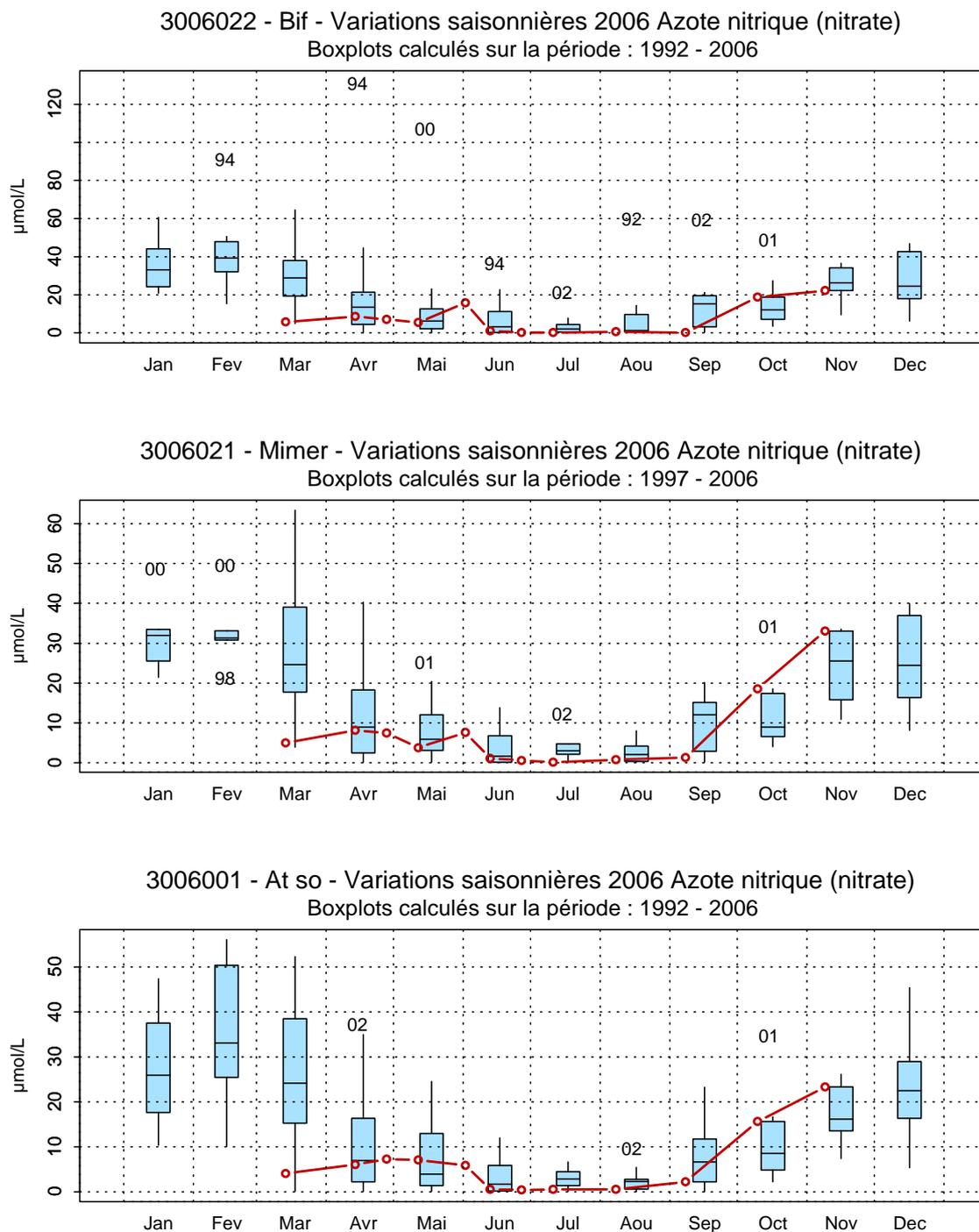
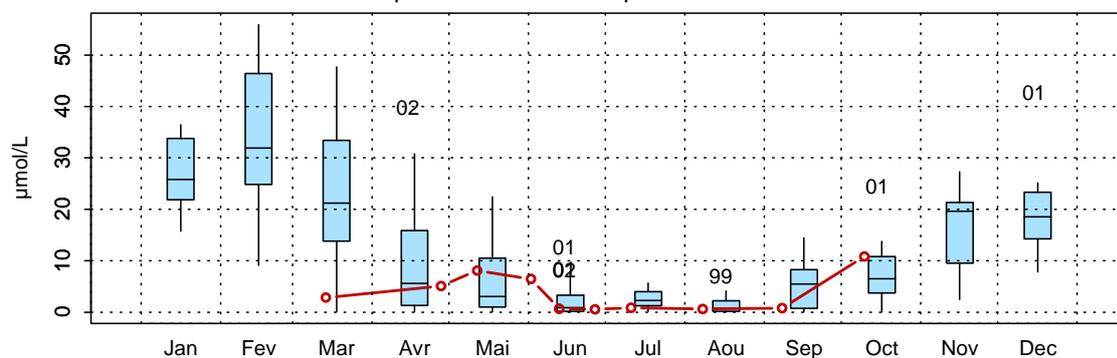
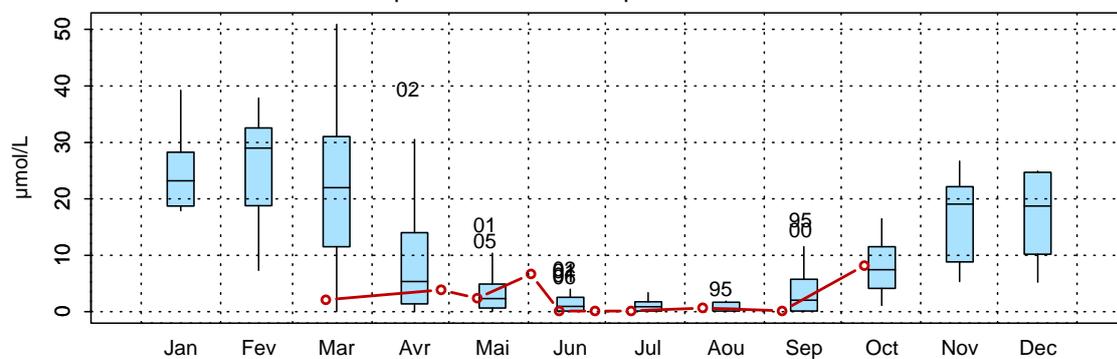


Figure 3.11.b. Évolution des variations saisonnières en nitrate ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006

3006019 - SRN Somme mer 1 - Variations saisonnières 2006 Azote nitrique (nitrate)
Boxplots calculés sur la période : 1992 - 2006



3006020 - SRN Somme mer 2 - Variations saisonnières 2006 Azote nitrique (nitrate)
Boxplots calculés sur la période : 1992 - 2006



**Figure 3.11.b. (suite) Évolution des variations saisonnières en nitrate ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$)
sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006**

- Nitrite

L'année 2006 est parmi les années où les concentrations en nitrite sont les plus faibles de la période 1992-2006. Les concentrations les plus faibles sont atteintes en période estivale, puis au début de l'hiver le stock se reconstitue (Figure 3.12.a.).

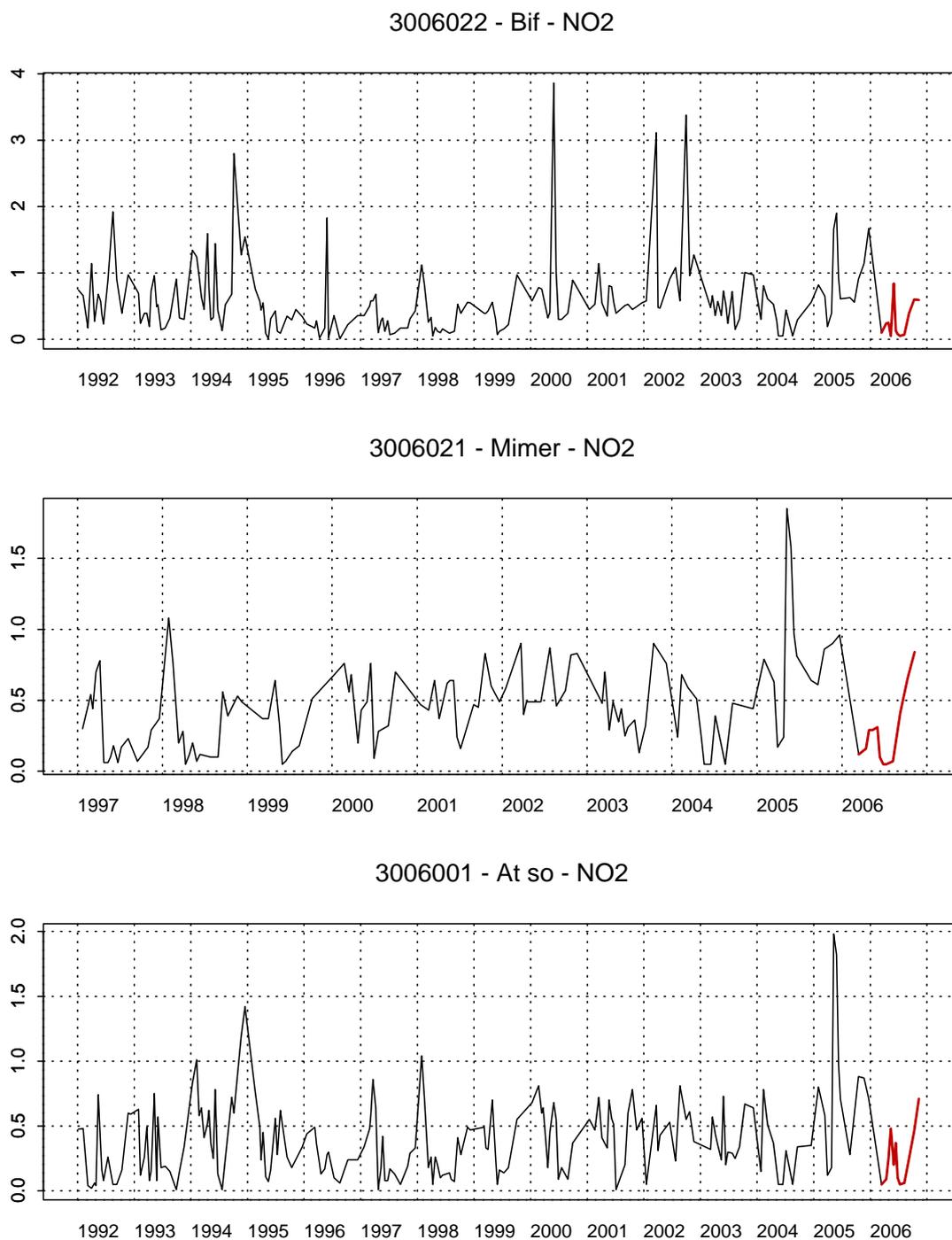
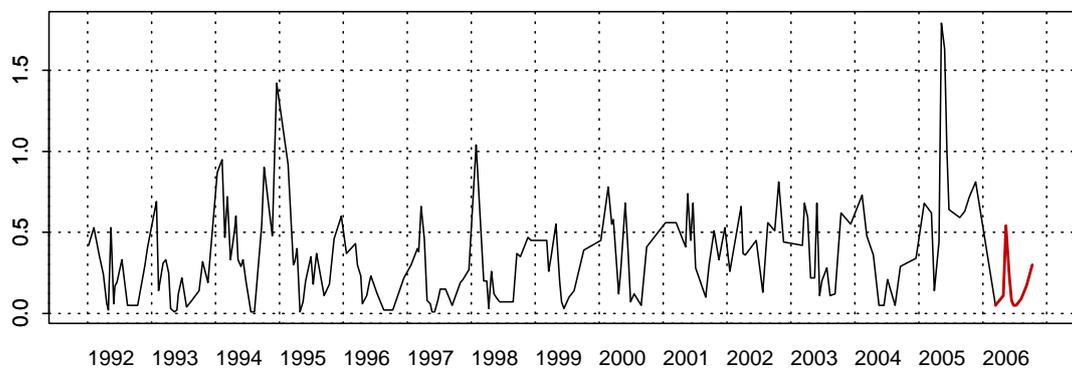
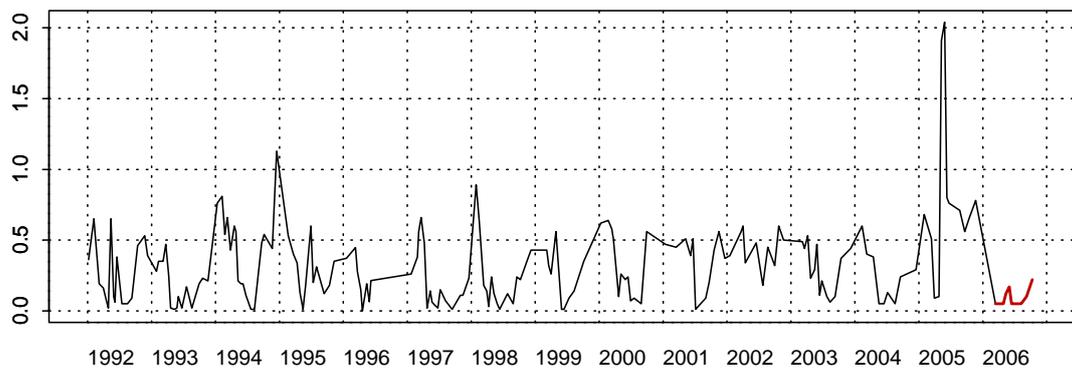


Figure 3.12.a. Évolution des nitrites ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006

3006019 - SRN Somme mer 1 - NO2



3006020 - SRN Somme mer 2 - NO2



**Figure 3.12.a. (suite) Évolution des nitrites ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$)
sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006**

Les concentrations en 2006 suivent le schéma classique des concentrations sur la période 1992-2006. On observe un pic vers le mois de mai, ainsi qu'une remontée des concentration pour la période hivernale. Les concentrations mesurées lors de l'été 2006 sont particulièrement faibles. Les années 1994, 1995, 2000, 2002 et 2005 sont des années exceptionnelles du point de vue des valeurs atteintes certains mois et pour certains points (Figure 3.12.b.).

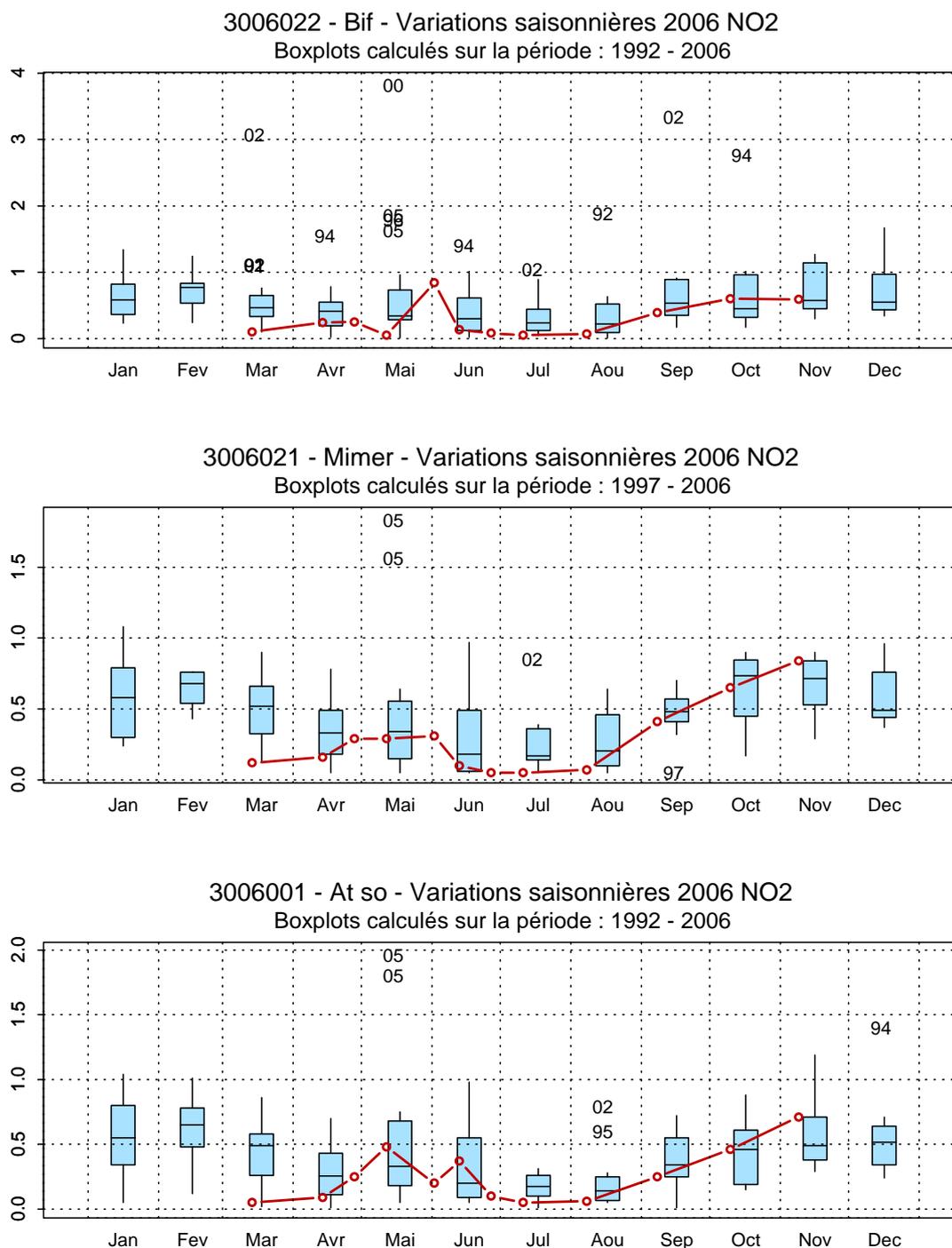
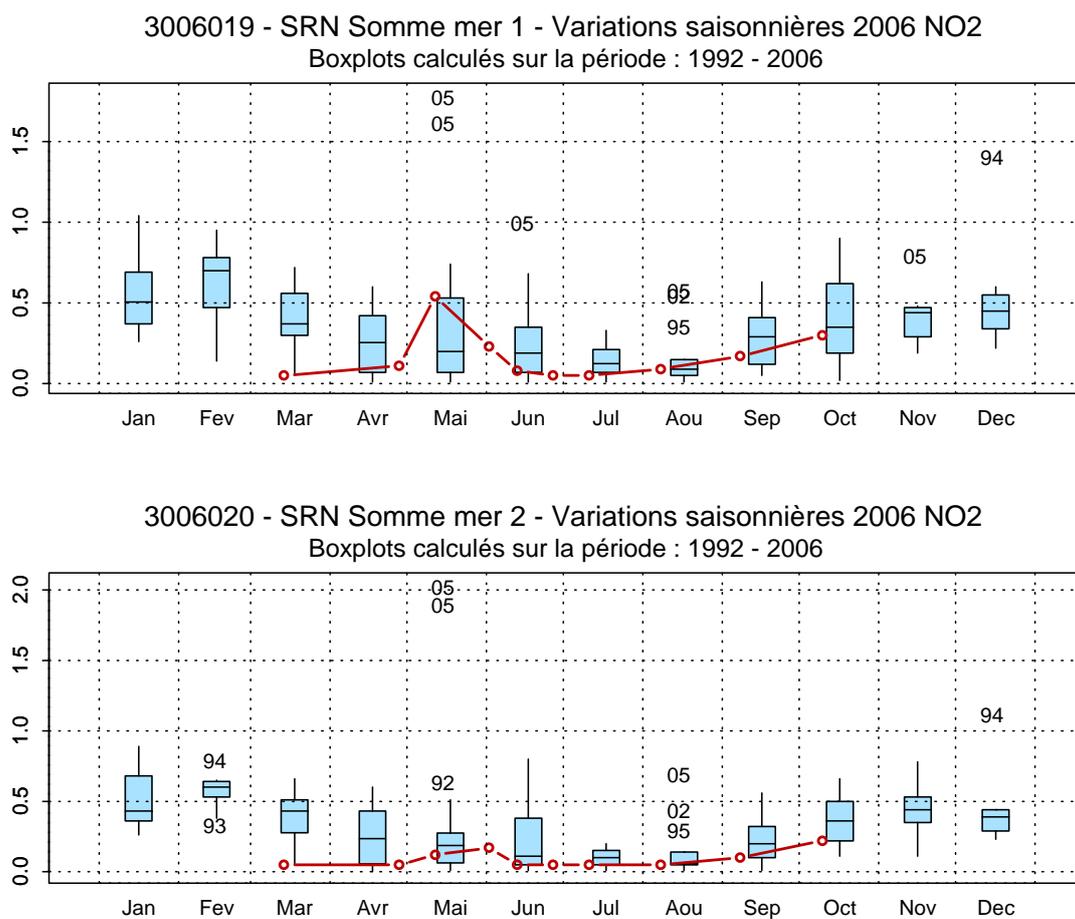


Figure 3.12.b. Évolution des variations saisonnières en nitrite ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006



**Figure 3.12.b. (suite) Évolution des variations saisonnières en nitrite ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$)
sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006**

- Ammonium

L'année 2006 présente un cycle de concentrations faibles en ammonium par rapport aux autres années de la période 1992-2006 mais nous observons bien le pic printanier ainsi que la reconstitution du stock hivernal pour les points estuarien mais pas pour les points du large (Figure 3.13.a.).

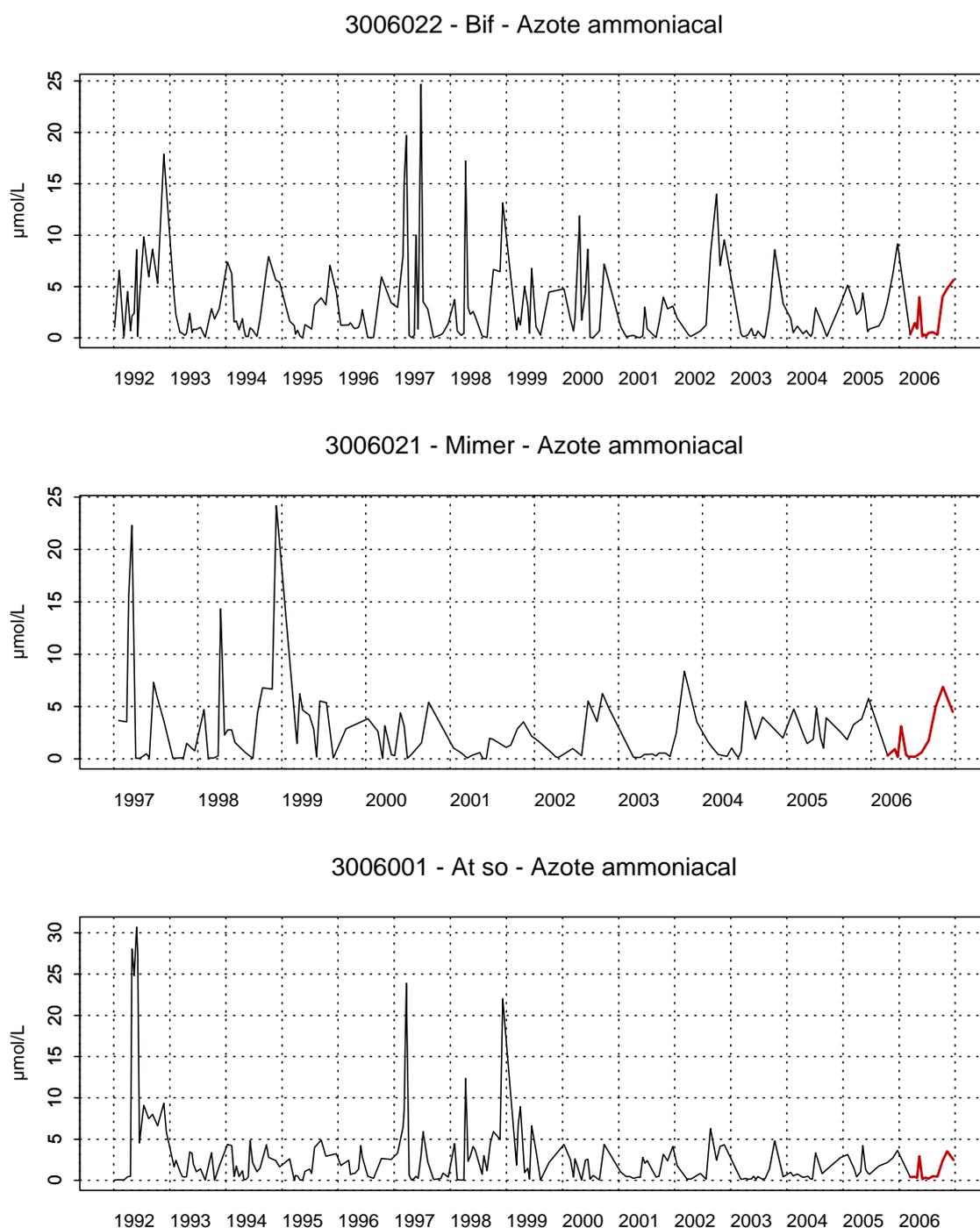
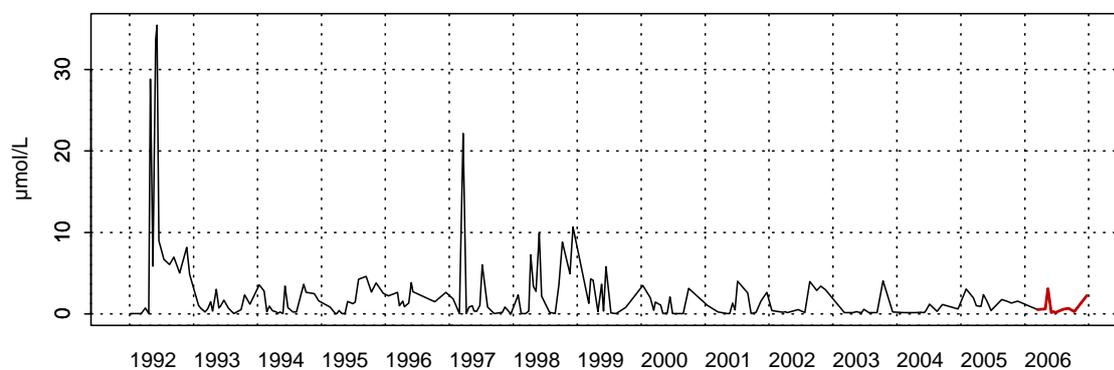
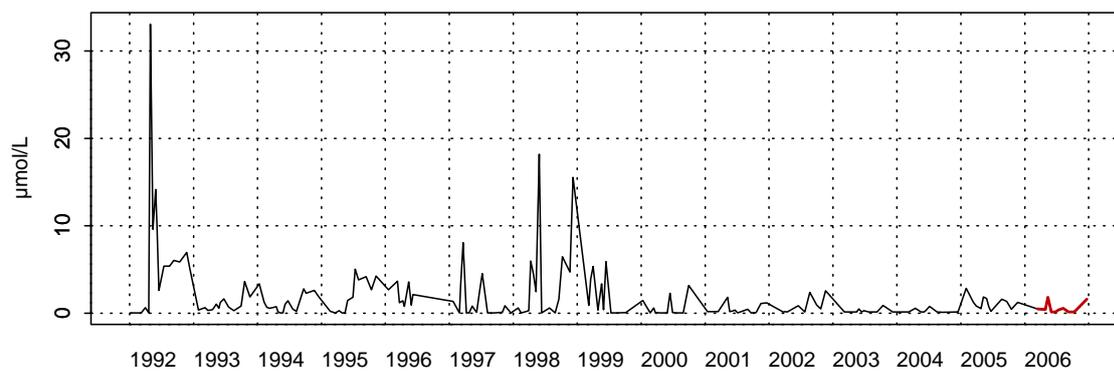


Figure 3.13.a. Évolution de l'ammonium ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006

3006019 - SRN Somme mer 1 - Azote ammoniacal



3006020 - SRN Somme mer 2 - Azote ammoniacal



**Figure 3.13.a. (suite) Évolution de l'ammonium ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$)
sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006**

Les médianes mensuelles de 2006 suivent globalement celle de la période 1992-2006, avec toutefois un pic d'azote ammoniacal au mois de mai pour les cinq points. Les années 1992, 1997, 1998, 2000 et 2002 sont exceptionnelles du point de vue des valeurs en ammonium atteintes lors de certains mois et pour certains points (Figure 3.13.b.).

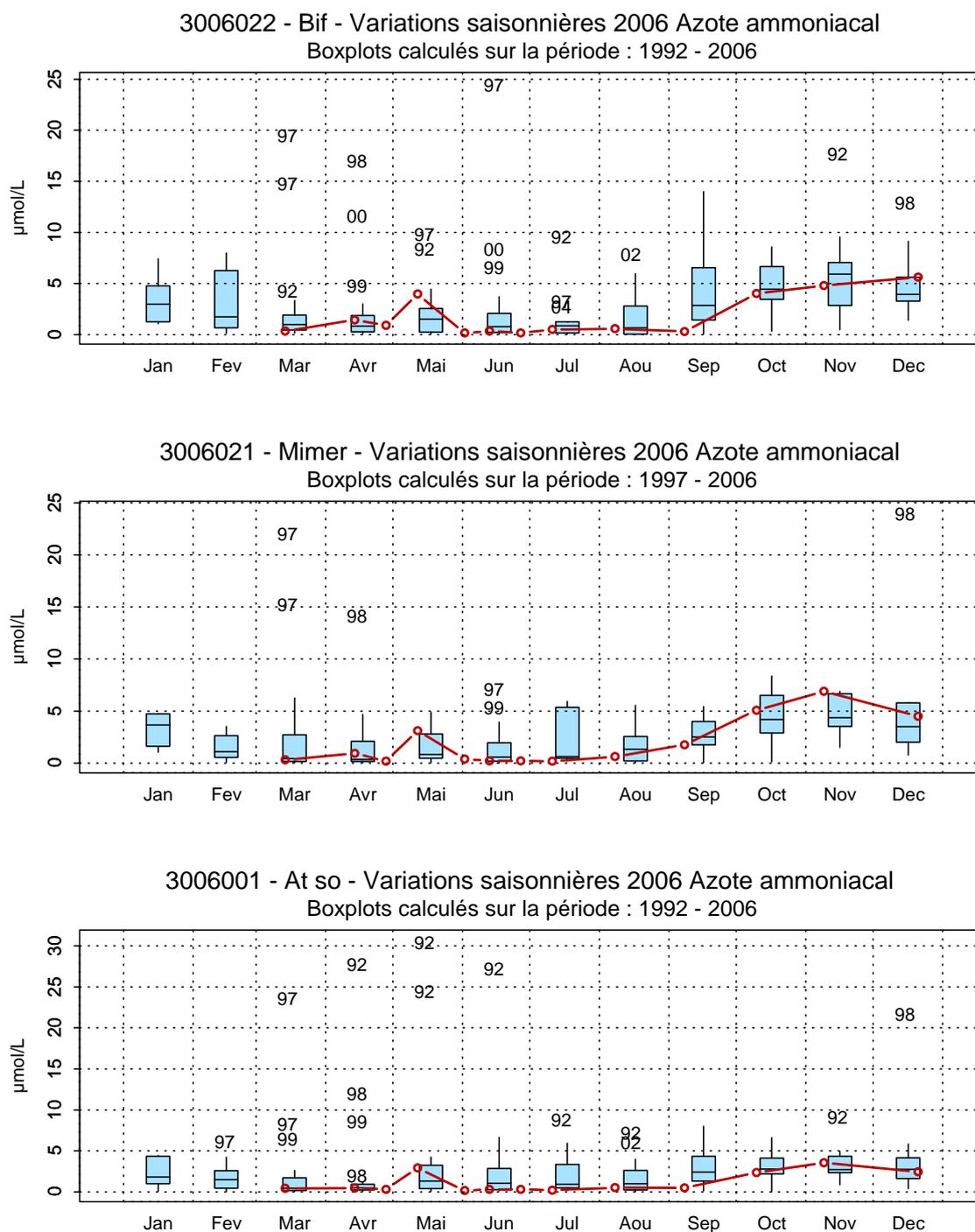
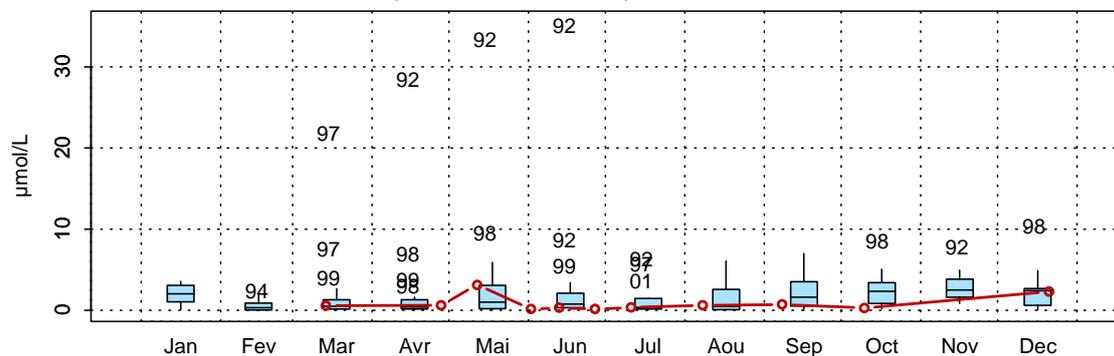


Figure 3.13.b. Évolution des variations saisonnières en ammonium ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006

3006019 - SRN Somme mer 1 - Variations saisonnières 2006 Azote ammoniacal
Boxplots calculés sur la période : 1992 - 2006



3006020 - SRN Somme mer 2 - Variations saisonnières 2006 Azote ammoniacal
Boxplots calculés sur la période : 1992 - 2006

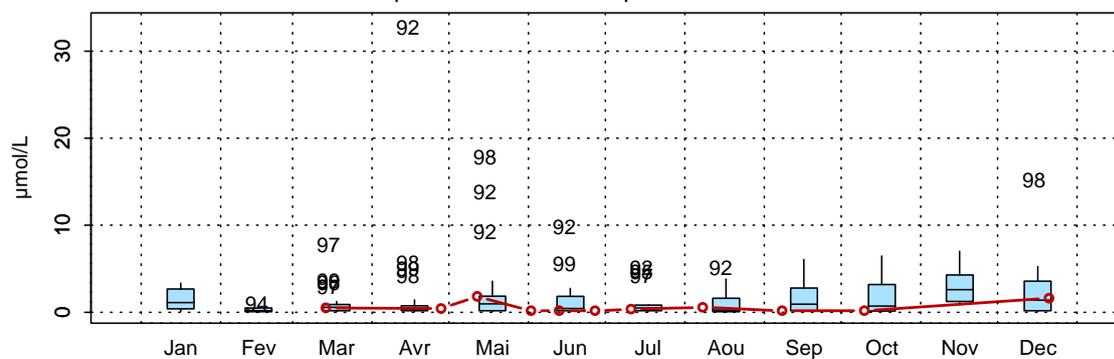
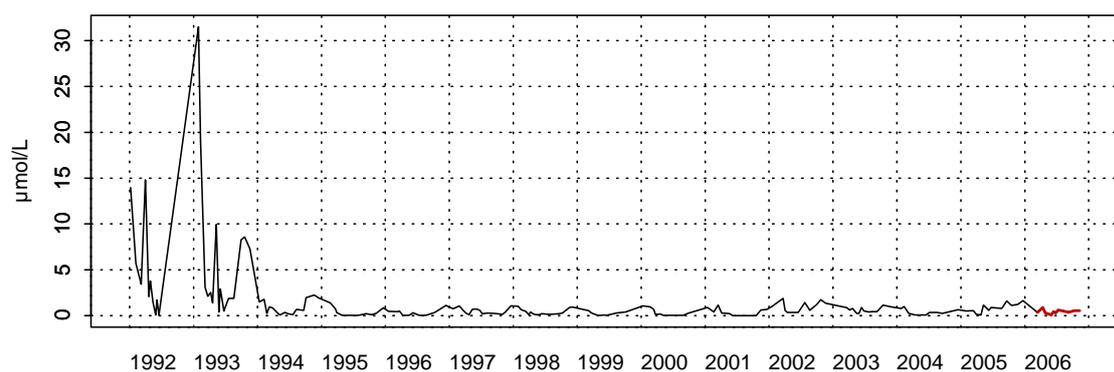


Figure 3.13.b. (suite) Évolution des variations saisonnières en ammonium ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$)
sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006

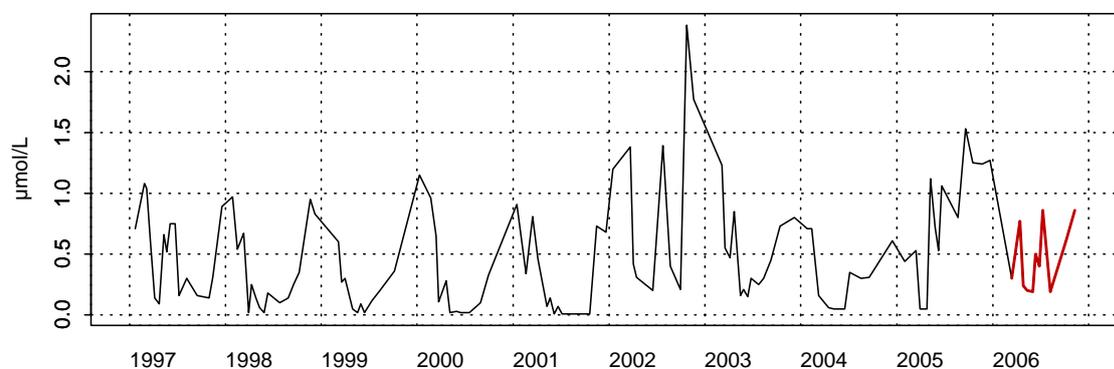
- Phosphate

Par comparaison aux autres années, 2006 est une année moyenne : en tous points les médianes de 2006 sont très proches de celles de la période 1992-2006 ($0,32 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ pour le point Bif contre $0,31 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$; $0,41 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ pour le point Mimer contre $0,31 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$; $0,32 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ pour le point Atso contre $0,31 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$; $0,22 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ pour le point Mer1 contre $0,23 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$; $0,29 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ pour le point Mer2 contre $0,22 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) (Figure 3.14.a.).

3006022 - Bif - Phosphate



3006021 - Mimer - Phosphate



3006001 - At so - Phosphate

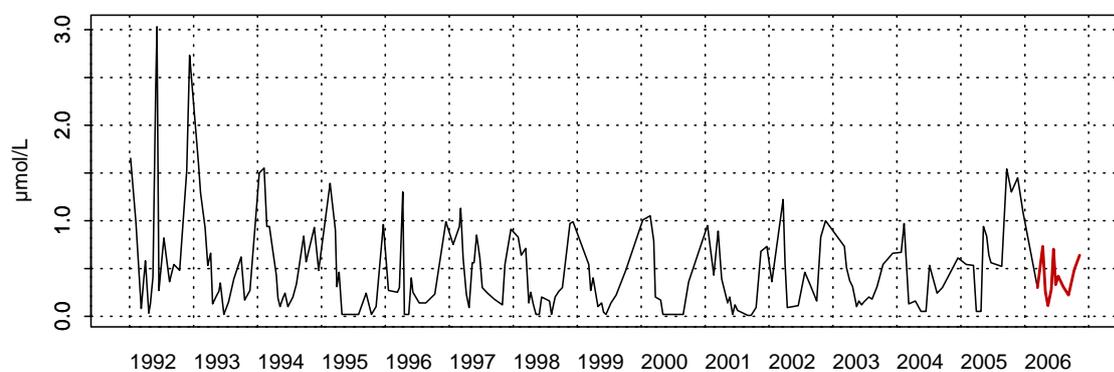
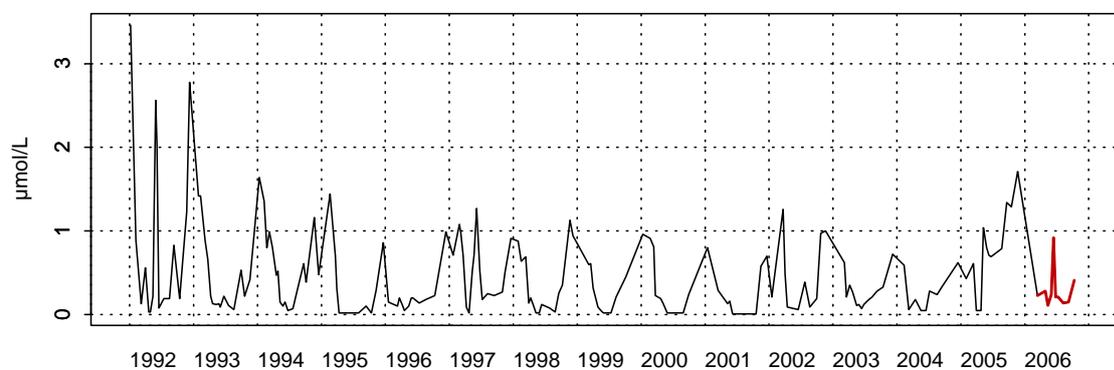
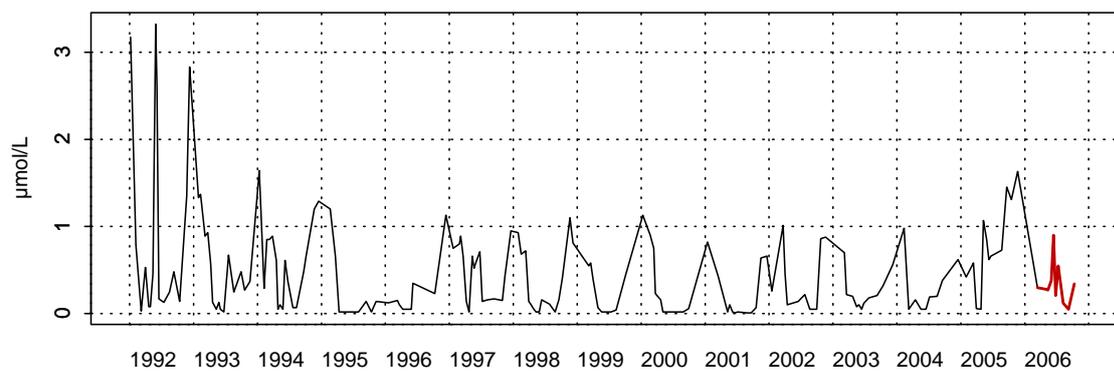


Figure 3.14.a. Évolution des phosphates ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006

3006019 - SRN Somme mer 1 - Phosphate



3006020 - SRN Somme mer 2 - Phosphate



**Figure 3.14.a. (suite) Évolution des phosphates ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$)
sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006**

Les variations saisonnières en phosphate pour la période 1992-2006 sont telles que les valeurs les plus élevées sont observées en hiver plutôt qu'en été. Les concentrations en phosphate suivent globalement la même évolution que ce qui a été enregistré pour la période 1992-2006 avec en plus un pic de concentration en été. Les années 1992, 1993, 2002 et 2005 ont été caractérisées par des concentrations particulièrement importantes lors de certains mois et pour certains points (Figure 3.14.b.).

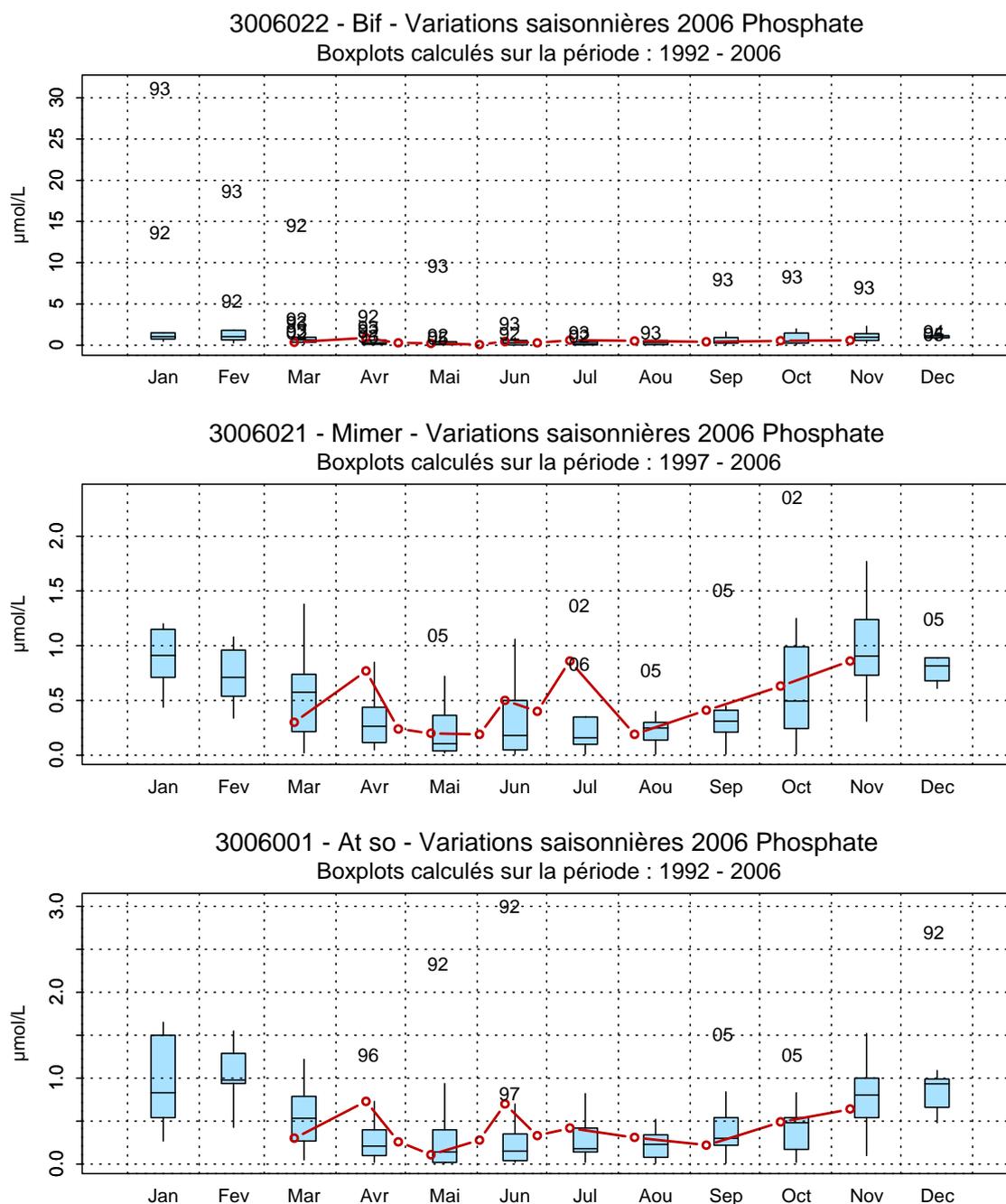
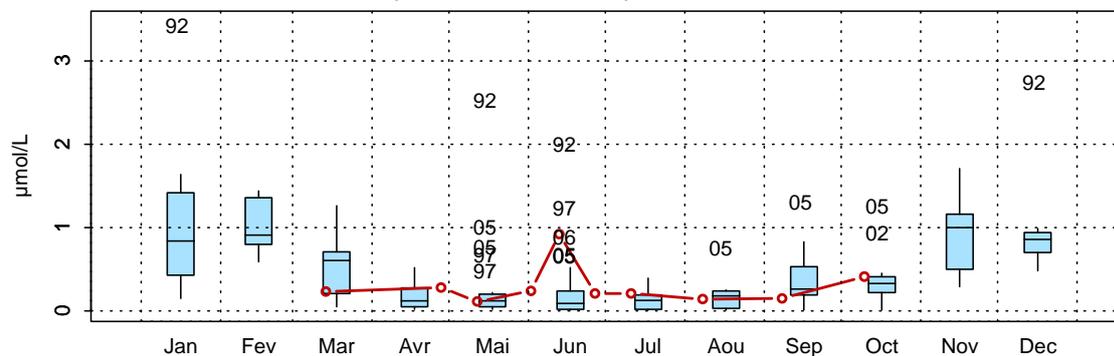


Figure 3.14.b. Évolution des variations saisonnières en phosphate ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006

3006019 - SRN Somme mer 1 - Variations saisonnières 2006 Phosphate
Boxplots calculés sur la période : 1992 - 2006



3006020 - SRN Somme mer 2 - Variations saisonnières 2006 Phosphate
Boxplots calculés sur la période : 1992 - 2006

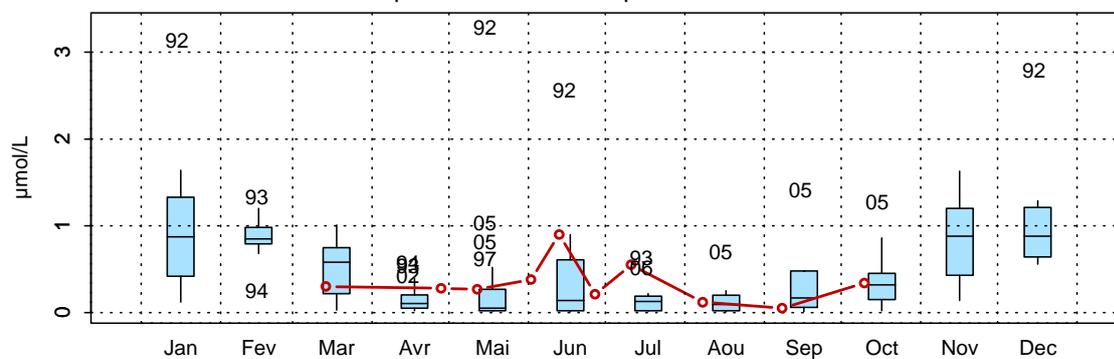
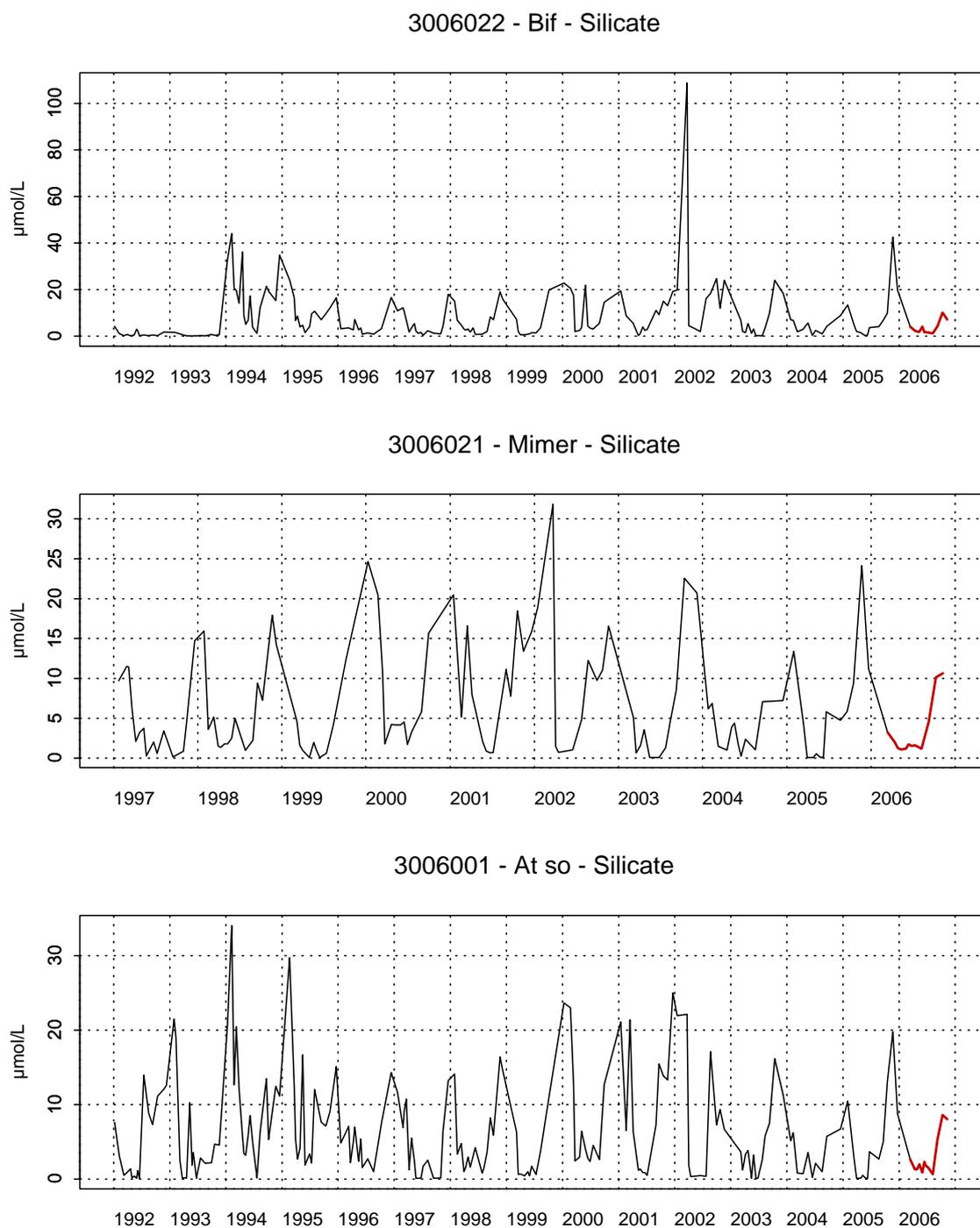


Figure 3.14.b. (suite) Évolution des variations saisonnières en phosphate ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$)
sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006

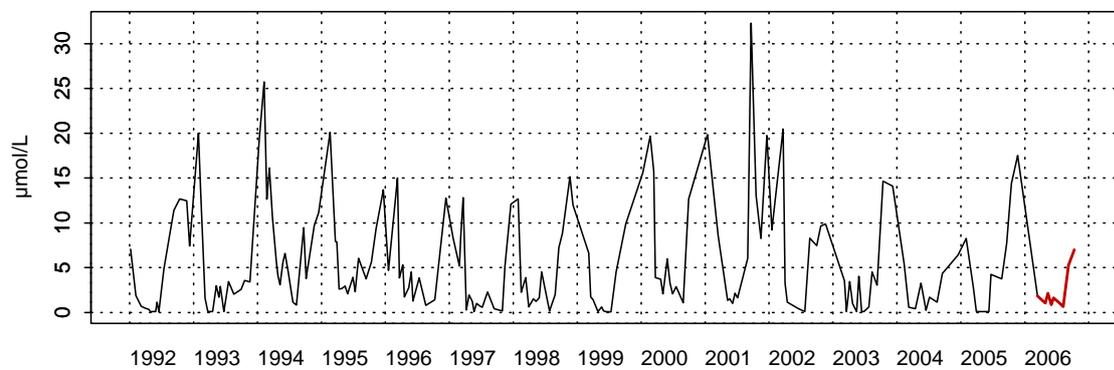
- Silicate

Le cycle 'classique' qui correspond à des maxima en période hivernale et des minima en période estivale est très peu visible à cause des données manquantes pour le mois de décembre. Les années 2002 (point Bif) et 2001 (points Mer1 et Mer2) sont des années remarquables (Figure 3.15.a.).

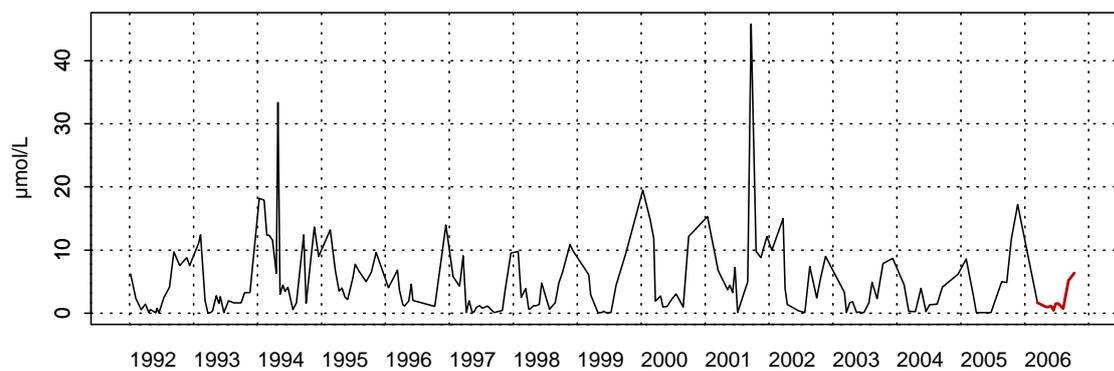


**Figure 3.15.a. Évolution des silicates ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$)
sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006**

3006019 - SRN Somme mer 1 - Silicate



3006020 - SRN Somme mer 2 - Silicate



**Figure 3.15.a. (suite) Évolution des silicates ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$)
sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006**

Le cycle saisonnier 2006 évolue en parallèle du schéma établi sur la période de 1992 à 2006 avec des concentrations faibles en période estivale et élevées en période hivernales. Les années 1992 à 1995 et 2000 à 2002 restent des années exceptionnelles du point de vue des concentrations atteintes à certains points pour certains mois (Figure 3.15.b).

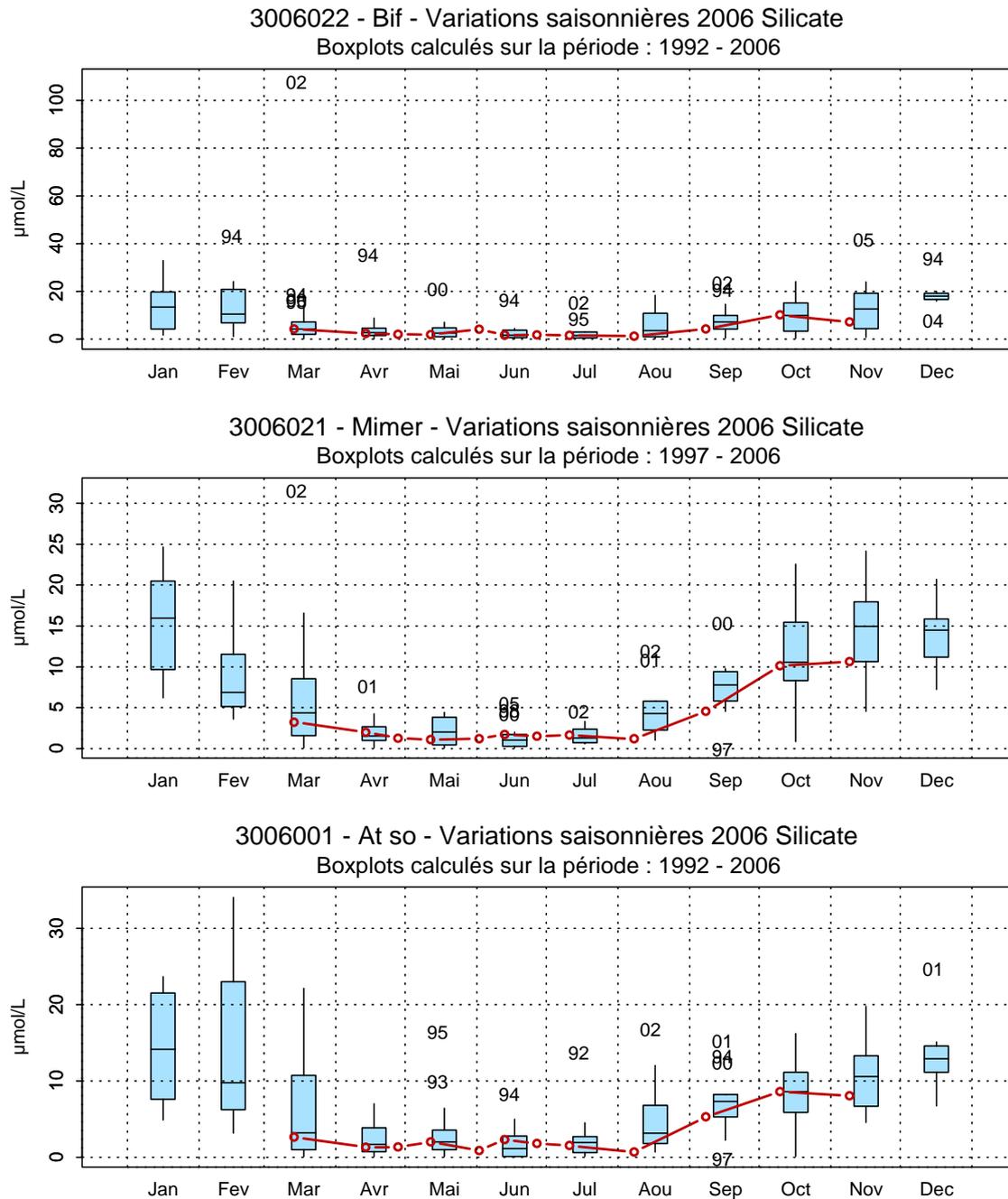


Figure 3.15.b. Évolution des variations saisonnières en silicate ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006

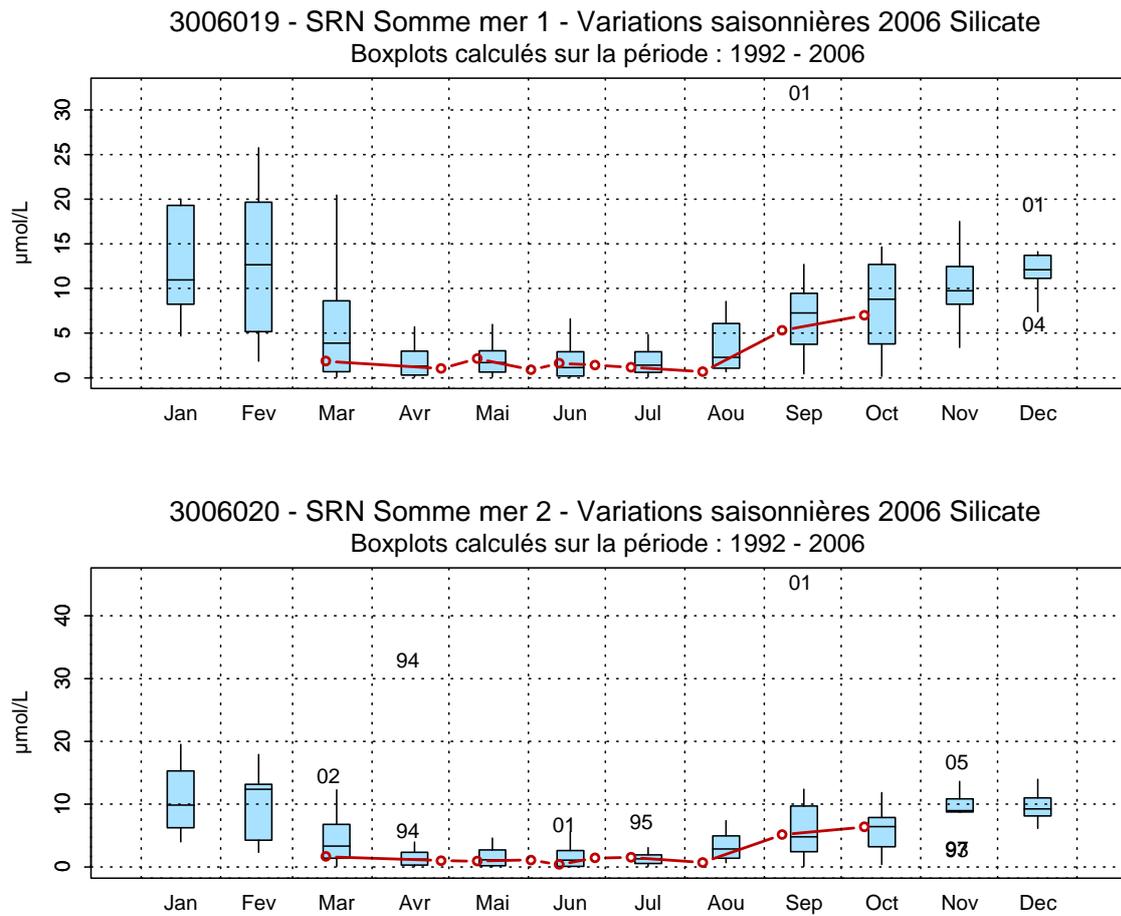


Figure 3.15.b. (suite) Évolution des variations saisonnières en silicate ($\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) sur la radiale de la Baie de Somme pour la période 1992-2006

Dynamique de la biomasse phytoplanctonique et des sels nutritifs en 2006

La radiale de la Baie de Somme possède une dynamique particulière, on assiste (en fonction des points de prélèvements) à des évolutions différentes de la biomasse phytoplanctonique et des sels nutritifs.

Au point Bif :

- (1) De mars à mai, il y a une chute de la concentration en chlorophylle *a*, ainsi qu'une baisse de la silice dans le milieu.
- (2) On assiste en mai à un pic de sels nutritifs (ammonium, nitrite, nitrate), qui est de suite utilisé par le phytoplancton (dominance *Asterionella glacialis*), ainsi de mai à juillet la concentration en chlorophylle *a* ne cesse d'augmenter pour atteindre son maximum le 11 juillet ($30,8 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$).
- (3) De juillet à décembre, la chlorophylle *a* chute puis disparaît peu à peu du milieu pour retrouver une concentration hivernale classique (moins de $5 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$), les sels nutritifs atteignent des concentrations maximales dans le milieu (nitrate : $23,4 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$, ammonium : $3,5 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) (Figure 3.16. - Annexe 2).

Aux points Mimer et Atso :

Le cycle ressemble à celui du point Bif avec un certain retard.

- (1) De mai à juin, la concentration en chlorophylle *a* diminue, en même temps qu'une légère augmentation du titre en nitrates et ions ammonium.
- (2) Ces sels nutritifs sont de suite utilisés, et permettent un développement maximum de la biomasse chlorophyllienne ($26,4 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ au point Mimer et $20,8 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ au point Atso de chlorophylle *a*).
- (3) La concentration en chlorophylle *a* chute jusqu'en août, puis continue de baisser lentement jusqu'à la fin de l'année pendant que le milieu se charge en sels nutritifs pour reconstituer le stock hivernal (maximum de nitrates : $33,1 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$, ammonium : $6,9 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$, nitrites : $0,8 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$, et silicates : $10,6 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) (Figure 3.17. & Figure 3.18. - Annexe 2).

Aux points Mer1 et Mer2 :

Les cycles des sels nutritifs sont similaires à ceux enregistrés aux points Mimer et Atso avec des concentrations inférieures. En revanche le bloom de juin laisse des valeurs de chlorophylle *a* importantes jusqu'en octobre aux points du large (Figures 3.18. à 3.20. - Annexe 2).

Pour faciliter la lecture des différentes phases, les échelles des ordonnées des graphiques ne sont pas les mêmes.

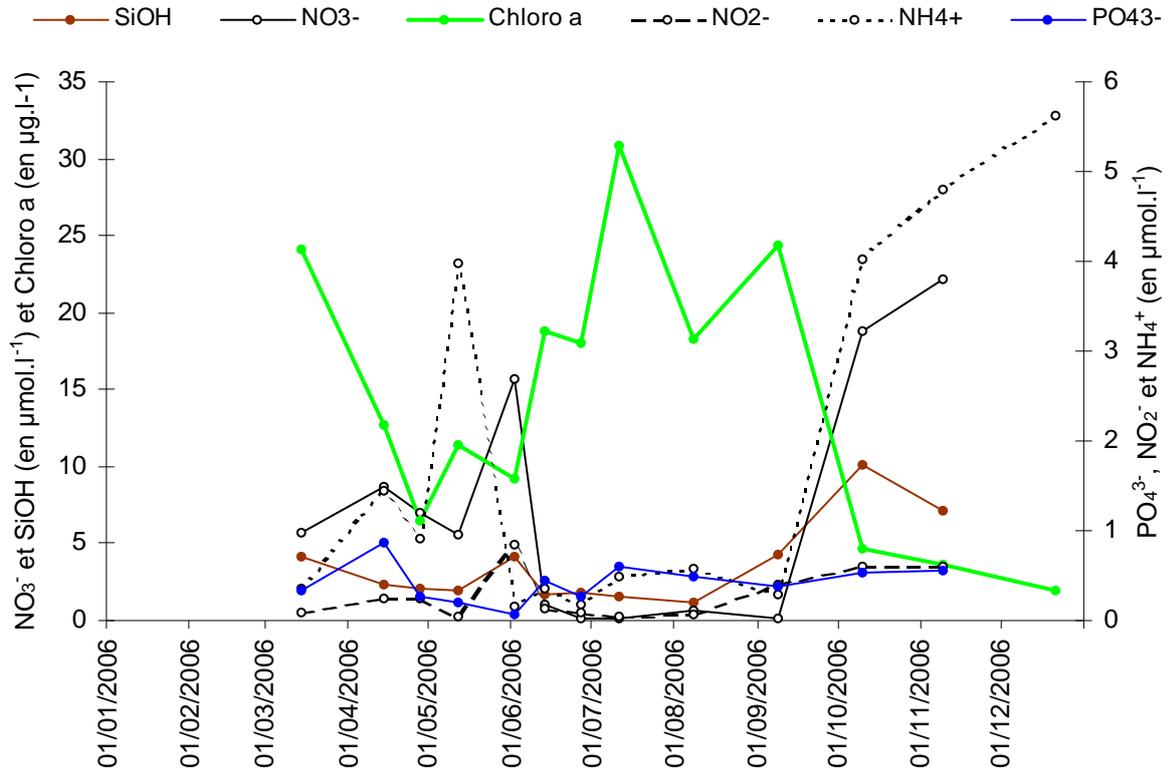


Figure 3.16. Évolution temporelle de la chlorophylle *a* et des sels nutritifs au point Bif de la radiale de la Baie de Somme

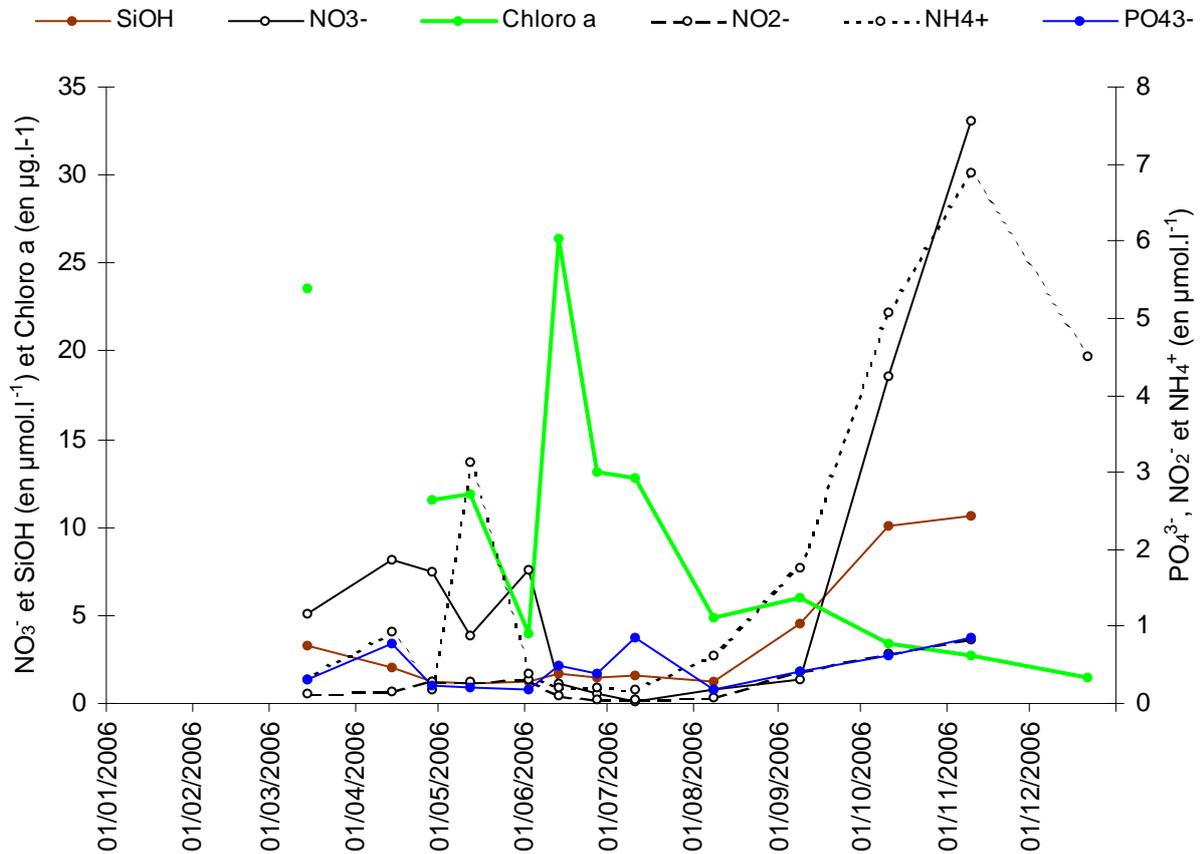


Figure 3.17. Évolution temporelle de la chlorophylle *a* et des sels nutritifs au point Mimer de la radiale de la Baie de Somme

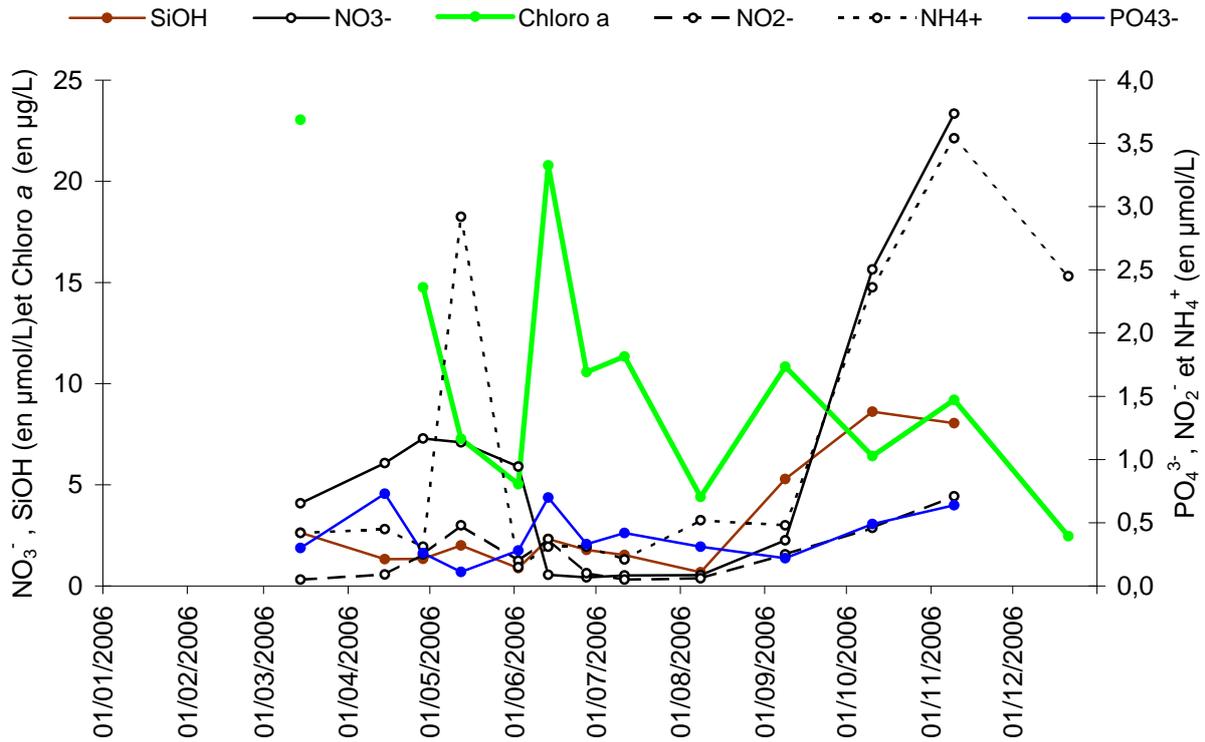


Figure 3.18. Évolution temporelle de la chlorophylle *a* et des sels nutritifs au point Atso de la radiale de la Baie de Somme

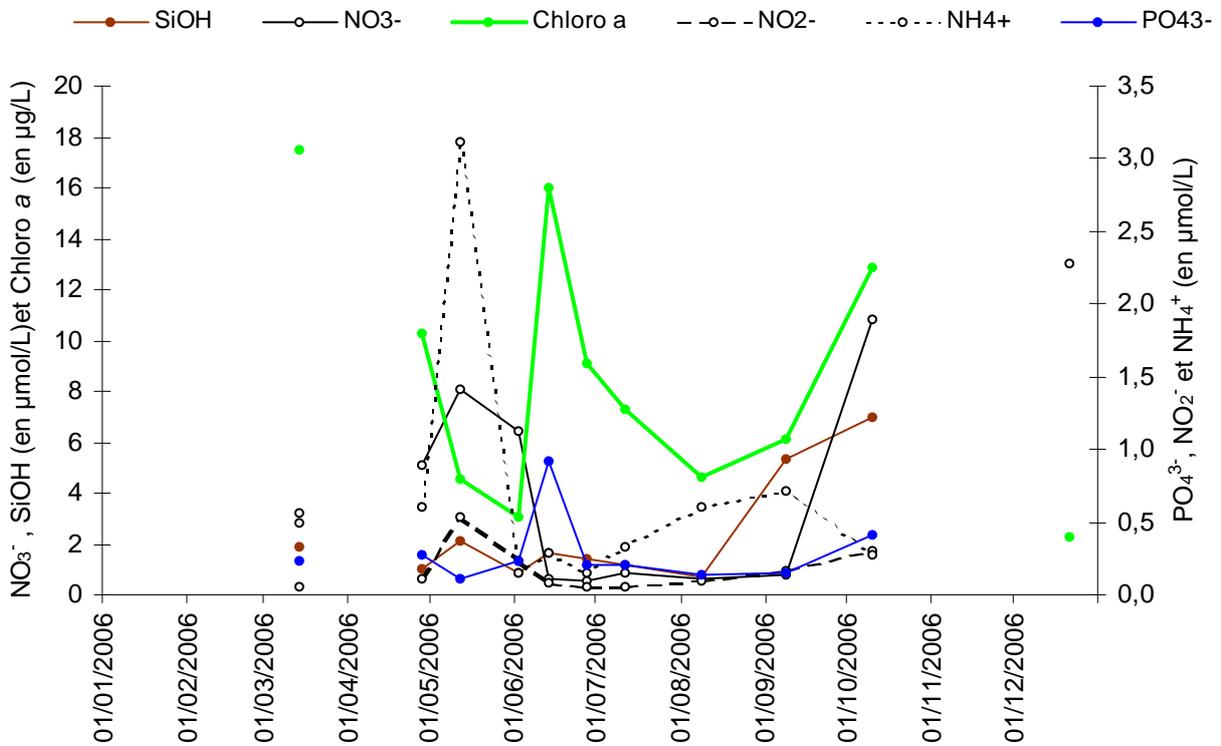


Figure 3.19. Évolution temporelle de la chlorophylle *a* et des sels nutritifs au point Mer1 de la radiale de la Baie de Somme

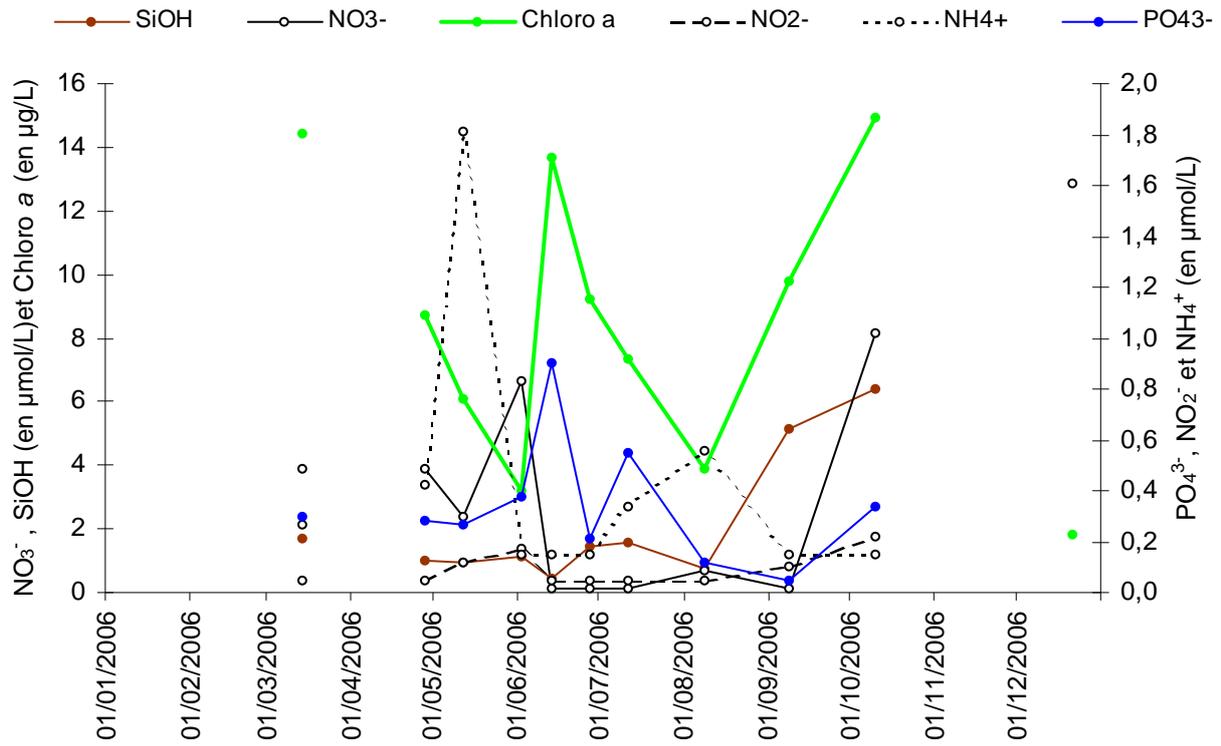


Figure 3.20. Évolution temporelle de la chlorophylle *a* et des sels nutritifs au point Mer2 de la radiale de la Baie de Somme

2.3.6. Phéopigments

Les résultats sont exprimés en pourcentage de chlorophylle *active*.

L'activité chlorophyllienne aux points Mer1 et Mer2 est relativement constante ; elle oscille entre 70 et 90 %. En revanche, l'activité chlorophyllienne des points côtiers et estuariens présente des variations plus marquées avec des maxima mi-mars (ceux-ci sont en relation avec l'augmentation de la turbidité mesurée pour cette période aux points Bif, Mimer et Atso) , mi-juin comparables aux valeurs observées au large alors que l'activité 'moyenne' est comprise entre 60 et 80 %. Les valeurs de décembre sont plus faibles (< 60 %) (Figure 3.21. - Annexe 2).

Le gradient côte-large entre les points Atso et Mer2 est compris entre 1 % et 17 % ; celui entre Bif et Mer2 est compris entre 2 % et 28 % (Figure 3.21. - Annexe 2).

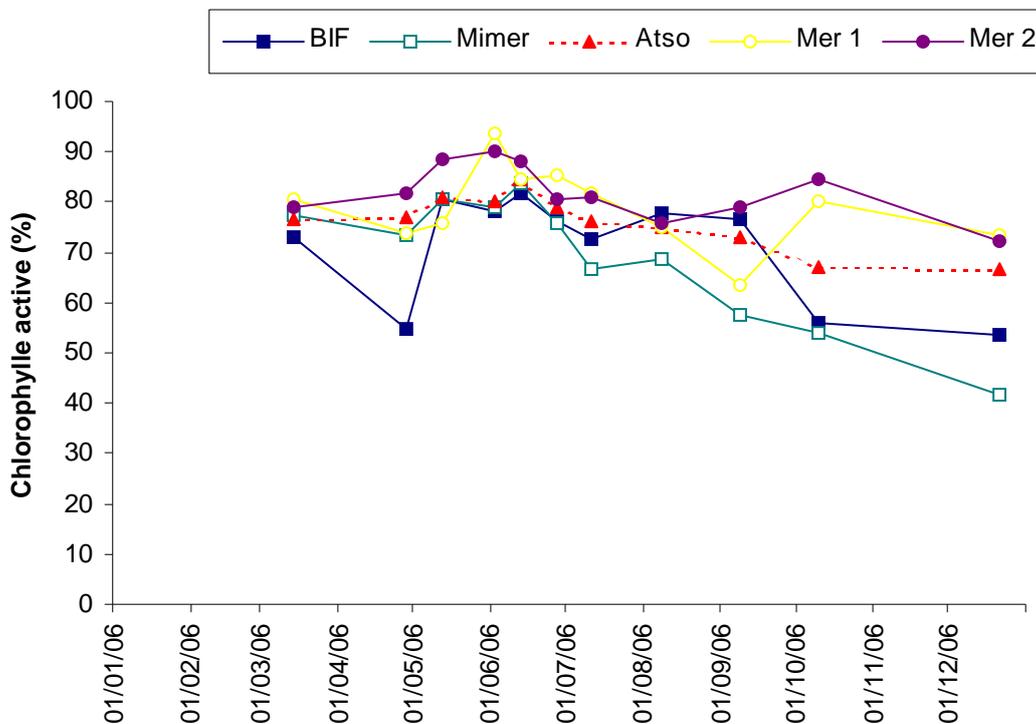


Figure 3.21. Évolution temporelle du pourcentage de chlorophylle *active* sur la radiale de la Baie de Somme

3. PHYTOPLANCTON

3.1. Introduction

Le phytoplancton est le premier maillon de la chaîne alimentaire. Il est important de suivre son évolution dans les eaux marines. Les observations régulières en un même lieu montrent des variations d'abondance de grande amplitude au cours de l'année. Chaque espèce a un cycle annuel qui lui est propre. On observe chaque année des blooms sans qu'il soit possible de prévoir la date et la durée du phénomène. Certaines espèces contiennent des toxines dangereuses pour l'homme, les coquillages ou les poissons. C'est 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. complète ce réseau.

Dans les zones de climat tempéré, la croissance du phytoplancton peut être limitée par deux types de facteurs : les facteurs physiques (température, éclairage, turbulence, turbidité des masses d'eau...) et les facteurs nutritionnels dont nous avons pu noter les variations dans le chapitre précédent. Au cours des périodes post-automnales, la température et surtout l'ensoleillement diminuent, limitant la croissance du phytoplancton. Ceci permet la reconstitution des stocks de sels nutritifs par la minéralisation de la matière organique qui est favorisée par les apports fluviaux. A la fin de l'hiver, l'abondance des sels nutritifs, l'allongement des jours, de l'ensoleillement et le réchauffement progressif de l'eau sont favorables au développement du phytoplancton. Dans le secteur côtier non soumis à des apports terrigènes significatifs, les sels nutritifs sont consommés par le phytoplancton, ce qui diminue leur concentration. 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.

Dans ce chapitre, nous allons nous intéresser aux variations d'abondance des espèces et à la densité spécifique de la communauté phytoplanctonique grâce à l'utilisation de deux indices écologiques.

3.2. Indices écologiques

3.2.1. 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. Les diatomées sont libellées en bleu foncé, les dinoflagellés en magenta, les cryptophycées en bleu vif, les prymnesiophycées en vert et les autres espèces en noir.

3.2.2. Indice de SHANNON

La diversité des éléments d'une communauté est une « qualité » qui s'impose d'emblée à l'analyse. En fait, la notion recouvre deux aspects :

- (1) le nombre de catégories d'éléments : nombre de taxons distincts ; on dénombre couramment les espèces (on parlera alors de *diversité spécifique*), dans d'autres cas les genres (*diversité générique*), etc.
- (2) la régularité : façon plus ou moins égale ou inégale selon laquelle les individus, pour un nombre de catégories (par exemple espèces) donné, se répartissent entre celles-ci.

La seconde notion est plus élaborée que le simple « nombre d'espèces ». Elle correspond cependant à l'intuition courante : si, parmi les espèces dénombrées, l'une d'entre elles (ou un très petit nombre) représente la plus grande partie des individus recensés, les autres étant beaucoup plus rares, on tend à dire que la communauté est « peu diversifiée ». Si au contraire on rencontre un grand nombre d'espèces moyennement abondantes, on tend à qualifier la communauté de « très diversifiée ».

L'indice de diversité, retenu ici pour caractériser la diversité spécifique, est l'indice de Shannon, noté H.

$$H = -\sum P_i \log_2(P_i)$$

avec P_i , la fréquence de l'espèce i dans l'échantillon, soit $P_i = (N_i / N)$

N_i est l'effectif de l'espèce i dans l'échantillon et N l'effectif total ($\sum N_i = N$).

L'indice de diversité donne une information synthétique sur la richesse spécifique et l'équilibre du peuplement considéré. Toutefois, il dépend à la fois du nombre d'espèces et de leurs abondances relatives, donc une faible valeur peut traduire deux situations différentes :

- quand le nombre d'espèces est faible,
- quand le nombre d'espèces est élevé, mais quelques espèces dominent.

Il est généralement admis que la diversité est faible lorsque l'indice de Shannon est proche de 0,5. On dit qu'elle est forte lorsque l'indice est voisin de 6.

3.2.3. Résultats

3.2.3.1. Dunkerque

L'évolution générale de l'abondance phytoplanctonique est comparable entre les 3 points de la radiale de Dunkerque. Les valeurs sont élevées en période estivale et printanière (maximum au point 4 avec plus de $10,34 \cdot 10^6$ cellules par litre le 14 mars 2006). L'abondance est faible en période hivernale, le minimum est observé le 30 novembre 2006 au point 3 ($8200 \text{ cell} \cdot \text{l}^{-1}$). D'une manière générale, l'abondance phytoplanctonique totale varie entre 5200 et $10349090 \text{ cell} \cdot \text{l}^{-1}$ au cours de la période 2002-2006. Ce maximum cellulaire est observé durant l'année 2006 (Figure 3.1.1.).

La proportion des taxons évolue au cours du cycle biologique. Les principales classes phytoplanctoniques échantillonnées sont celles des chlorophycées, des crysophycées, des cryptophycées, des diatomées, des dictyochophycées, des dinoflagellés, des euglénophycées, des prymnésiohycées. Les 10 taxons dominants la radiale de Dunkerque sont identifiés sur la figure 3.1.1.

Le règne des protistes¹ est également particulièrement représenté dans certains échantillons. Les diatomées, en période de non-prolifération de *Phaeocystis*, dominent le compartiment phytoplanctonique (Figure 3.1.1. & Tableau 3.1.) et représentent la plupart du temps plus de 85 % des taxons identifiés, ceci excepté pour le point 4 où on observe plusieurs prolifération de chlotophycées, de cryptophycées et de dinoflagellés qui limitent la dominance des diatomées dans le milieu.

La proportion des différents groupes est variable dans le temps et sur la radiale. Les diatomées sont dominantes lors de chaque prélèvement sauf le 14 mars (point 1 à point 4), le 29 mars (point 1 et point 3), le 25 avril (point 1 et point 3) où ce sont les prymnesiohycées qui le sont (plus de 90 % des taxons identifiés). Le 11 mai (point 4), ce sont les cryptophycées qui ont dominé le cortège phytoplanctonique avec 64 % de présence.

En 2006, le genre *Phaeocystis* est observé de janvier à avril (également en novembre au point 4). Son abondance est maximale en mars (plus de $9 \cdot 10^6$ cellules par litre).

Parmi les taxons potentiellement responsables de la production de phycotoxines², le genre *Alexandrium* (toxicité PSP) a été observé de mars à juillet, tous points confondus (max. $1754 \text{ cell} \cdot \text{l}^{-1}$ au point 1 le 09/08/2006). Le genre *Dinophysis* (toxicité DSP) a été observé une fois le 17/01/2006 au point côtier de la radiale de Dunkerque ($100 \text{ cell} \cdot \text{l}^{-1}$). L'espèce *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Toxicité ASP) est échantillonnée presque toute l'année. Ces épisodes se sont révélés sans conséquence (concentrations inférieures au seuil dit d'alerte ou absence de toxines dans les échantillons de coquillages selon les critères définis dans le cahier de prescription du réseau REPHY de l'Ifremer).

En 2006, l'indice de Shannon varie globalement entre 0,24 et 3,98 sur l'ensemble des points.

Le 14 avril, l'indice chute à 0,56 au point 1 en raison de la dominance de *Phaeocystis sp.*. L'indice est également faible le 29 mars et le 25 avril pour la même raison. Le 09 août, le cortège phytoplanctonique est dominé par *Rhizosolenia imbricata* et *Rhizosolenia styliformis* au point 3 de la radiale Dunkerquoise.

¹ Protiste : êtres vivant dont l'organisme est constitué par une seule cellule pendant la plus grande partie de son cycle reproductif, mais qui possède un noyau cellulaire nettement délimité. Ce sont des *eucaryotes*, auxquels on peut opposer les *procaryotes* (bactéries). On distingue 2 groupes : les *protozoaires*, dépourvus de chlorophylle et les *protophytes*, qui en possèdent.

² Informations complémentaires à l'adresse : <http://www.ifremer.fr/envlit/surveillance/rephy.htm>

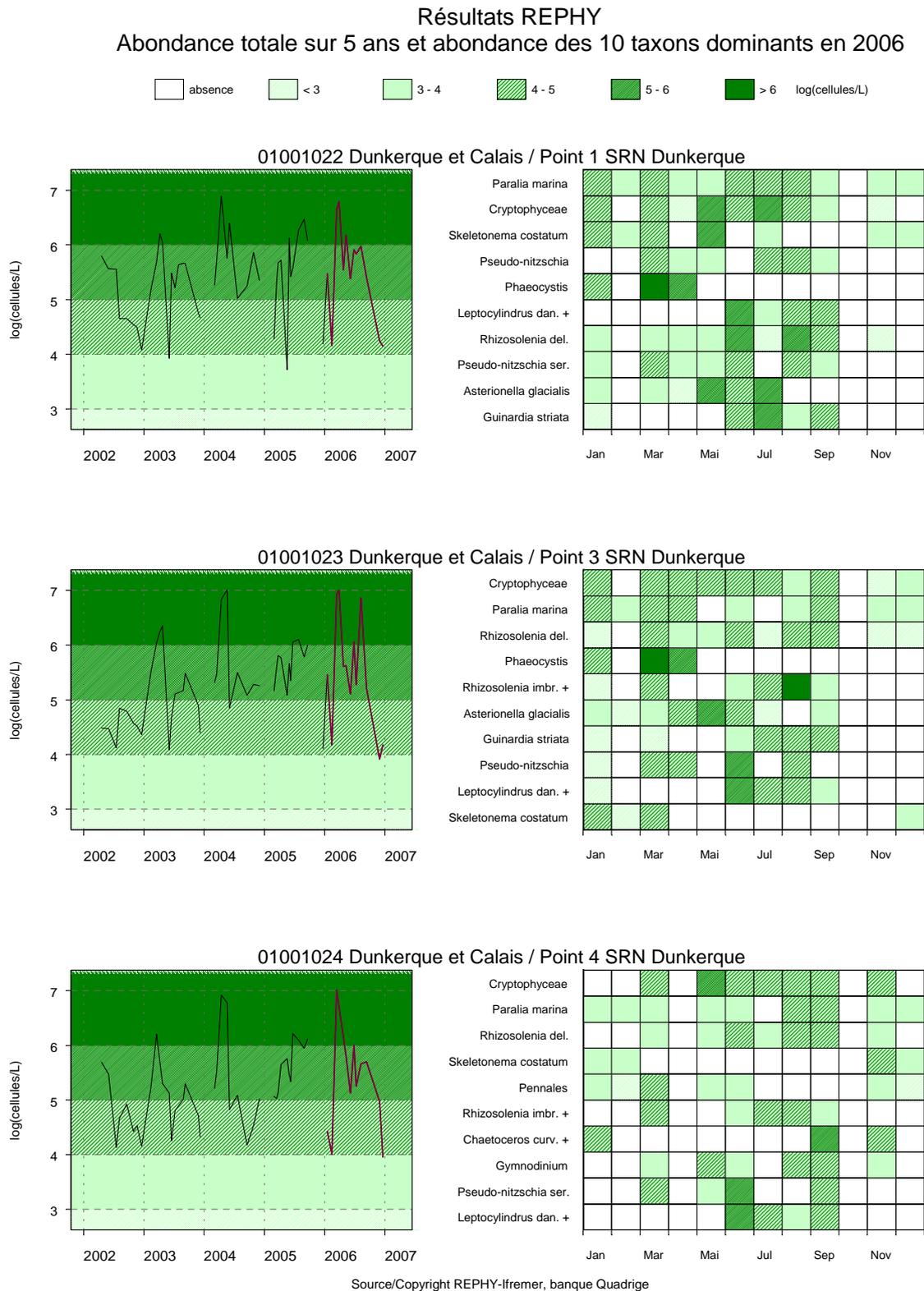


Figure 3.1.1. Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2002 et 2006 et classement des 10 taxons dominants (Indice de Sanders) par points et par mois pour la radiale de Dunkerque

Tableau 3.1. Correspondance entre les intitulés et la classe taxonomique pour la radiale de Dunkerque

REPHY - Taxons dominants - signification des libellés

Intitulé graphe	Intitulé Quadrigé	Classe
Cryptophyceae	<i>Cryptophyceae</i>	<i>Cryptophyceae</i>
Asterionella glacialis	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Chaetoceros curv. +	<i>Chaetoceros curvisetus + debilis + pseudocurvisetus</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Guinardia striata	<i>Guinardia striata</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Leptocylindrus dan. +	<i>Leptocylindrus danicus + curvatulus</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Paralia marina	<i>Paralia marina</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Pennales	Pennales	<i>Diatomophyceae</i>
Pseudo-nitzschia	<i>Pseudo-nitzschia</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Pseudo-nitzschia ser.	<i>Pseudo-nitzschia seriata</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Rhizosolenia del.	<i>Guinardia delicatula</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Rhizosolenia imbr. +	<i>Rhizosolenia imbricata + styliformis</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Skeletonema costatum	<i>Skeletonema costatum</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Gymnodinium	<i>Gymnodinium</i>	<i>Dinophyceae</i>
Phaeocystis	<i>Phaeocystis</i>	<i>Prymnesiophyceae</i>

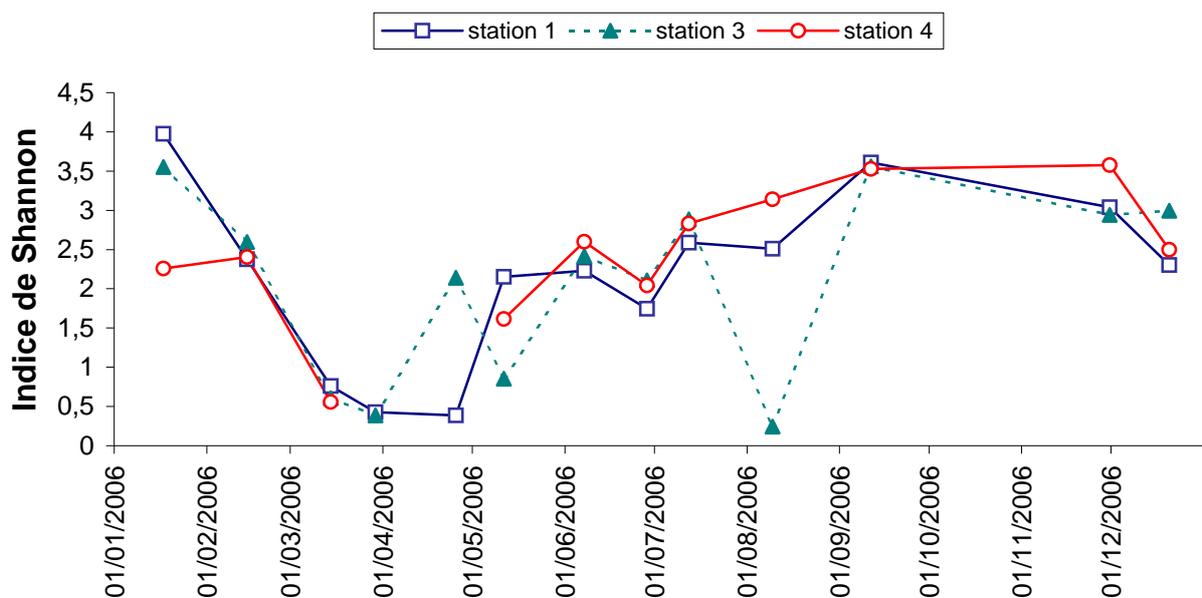


Figure 3.1.2. Évolution temporelle de l'indice de Shannon pour la radiale de Dunkerque

3.2.3.2. Boulogne-sur-Mer

L'évolution générale de l'abondance phytoplanctonique est comparable entre les 3 points de la radiale de Boulogne-sur-Mer. Les valeurs sont élevées en période estivale et printanière (maximum au point 1 avec plus de $12 \cdot 10^6$ cellules par litre le 13 mars 2006). L'abondance est faible en période hivernale, le minimum est observé le 28 novembre 2006 au point côtier ($10000 \text{ cell} \cdot \text{l}^{-1}$). D'une manière générale, l'abondance phytoplanctonique totale varie entre 100 et $12705290 \text{ cell} \cdot \text{l}^{-1}$ au cours de la période 2002-2006. Ce maximum cellulaire est observé durant l'année 2004 (Figure 3.2.1.).

La proportion des taxons évolue au cours du cycle biologique. Les principales classes phytoplanctoniques échantillonnées sont celles des chlorophycées, des cryptophycées, des diatomées, des dictyochophycées, des dinoflagellés, des euglénophycées, des prymnésiofycées. Les 10 taxons dominants la radiale de Boulogne-sur-Mer sont identifiés sur la figure 3.2.1.

Le règne des protistes² est également particulièrement représenté dans certains échantillons. Les diatomées, en période de non-prolifération de *Phaeocystis*, dominent le compartiment phytoplanctonique (Figure 3.2.1. & Tableau 3.2.) et représentent la plupart du temps plus de 85 % des taxons identifiés.

La proportion des différents groupes est variable dans le temps et sur la radiale. Les diatomées sont dominantes lors de chaque prélèvement sauf le 13 mars (point 1 à 3), le 03 avril (point 2 et point 3), le 12 avril (point 1 à 3) et le 26 avril (point 3) où ce sont les prymnesiofycées qui le sont (plus de 90 % des taxons identifiés). Les cryptophycées sont présentes en faibles quantités (moins de 3 % de l'abondance totale) sauf le 07 août au point 3.

En 2006, le genre *Phaeocystis* est observé de février à juin (également en novembre au point 2). Son abondance est maximale en mars (plus de $12 \cdot 10^6$ cellules par litre) et en avril.

Parmi les taxons potentiellement responsables de la production de phycotoxines², le genre *Alexandrium* (toxicité PSP) a été observé de mars à juillet, tous points confondus (max. $1754 \text{ cell} \cdot \text{l}^{-1}$ au point 1 le 10/7/2006). Le genre *Dinophysis* (toxicité DSP) a été observé dans un échantillon de juin ($100 \text{ cell} \cdot \text{l}^{-1}$) et *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Toxicité ASP) presque toute l'année. Ces épisodes se sont révélés sans conséquence (concentrations inférieures au seuil dit d'alerte ou absence de toxines dans les échantillons de coquillages selon les critères définis dans le cahier de prescription du réseau REPHY de l'Ifremer).

En 2006, l'indice de Shannon varie globalement entre 0,04 et 3,76 sur l'ensemble des points.

Le 13 mars, l'indice chute à 0,04 au point 1 en raison de la dominance de *Phaeocystis sp.*. L'indice est également faible le 3 et le 12 avril pour la même raison. Le 29 mai et le 12 juin, le cortège phytoplanctonique est dominé par *Pseudonitzschia seriata*.

² Protiste : êtres vivant dont l'organisme est constitué par une seule cellule pendant la plus grande partie de son cycle reproductif, mais qui possède un noyau cellulaire nettement délimité. Ce sont des *eucaryotes*, auxquels on peut opposer les *procaryotes* (bactéries). On distingue 2 groupes : les *protozoaires*, dépourvus de chlorophylle et les *protophytes*, qui en possèdent.

² Informations complémentaires à l'adresse : <http://www.ifremer.fr/envlit/surveillance/rephy.htm>

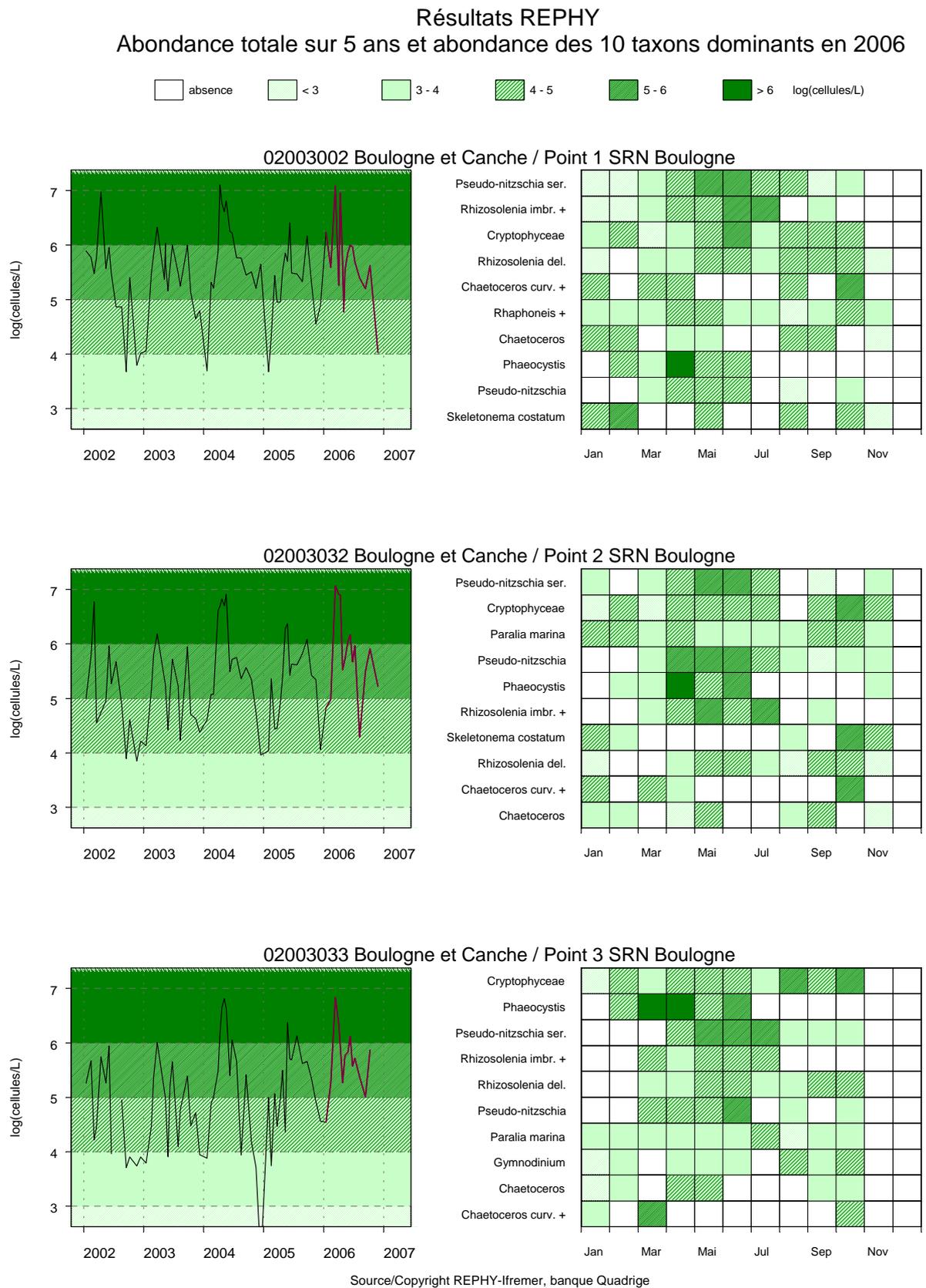


Tableau 3.2. Correspondance entre les intitulés et la classe taxonomique pour la radiale de Boulogne-sur-Mer

REPHY - Taxons dominants - signification des libellés

Intitulé graphe	Intitulé Quadrigé	Classe
Cryptophyceae	<i>Cryptophyceae</i>	<i>Cryptophyceae</i>
Chaetoceros	<i>Chaetoceros</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Chaetoceros curv. +	<i>Chaetoceros curvisetus + debilis + pseudocurvisetus</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Paralia marina	<i>Paralia marina</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Pseudo-nitzschia	<i>Pseudo-nitzschia</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Pseudo-nitzschia ser.	<i>Pseudo-nitzschia seriata</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Rhaphoneis +	<i>Rhaphoneis + Delphineis</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Rhizosolenia del.	<i>Guinardia delicatula</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Rhizosolenia imbr. +	<i>Rhizosolenia imbricata + styliformis</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Skeletonema costatum	<i>Skeletonema costatum</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Gymnodinium	<i>Gymnodinium</i>	<i>Dinophyceae</i>
Phaeocystis	<i>Phaeocystis</i>	<i>Prymnesiophyceae</i>

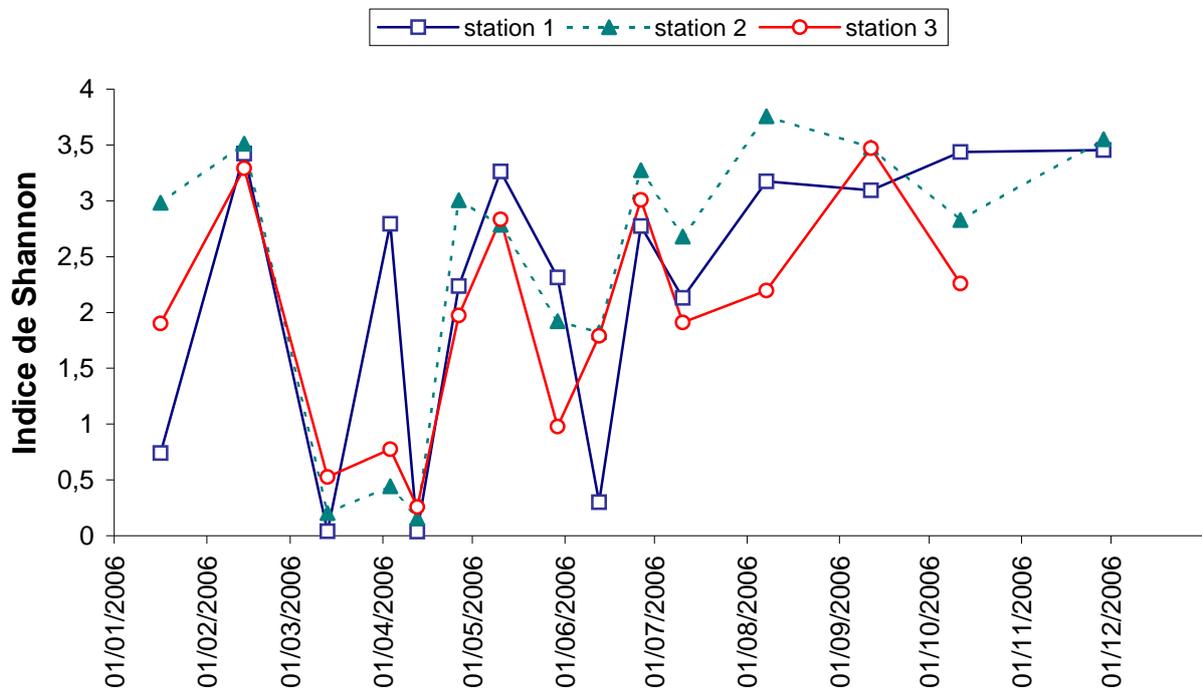


Figure 3.2.2. Évolution temporelle de l'indice de Shannon pour la radiale de Boulogne-sur-Mer

3.2.3.3. Baie de Somme

L'évolution générale de l'abondance phytoplanctonique est comparable entre les 5 points de la radiale de la Baie-de-Somme. Les valeurs sont élevées en période estivale et printanière (maximum au point Bif avec plus de $25 \cdot 10^6$ cellules par litre le 14 mars 2006). L'abondance est faible en période hivernale, le minimum est observé le 9 novembre 2006 au point Mimer ($12800 \text{ cell} \cdot \text{l}^{-1}$). D'une manière générale, l'abondance phytoplanctonique totale varie entre 3600 et $37889200 \text{ cell} \cdot \text{l}^{-1}$ au cours de la période 2002-2006. Ce maximum cellulaire est observé durant l'année 2003 (Figure 3.1.1.).

La proportion des taxons évolue au cours du cycle biologique. Les principales classes phytoplanctoniques échantillonnées sont celles des chlorophycées, des cryptophycées, des diatomées, des dictyochophycées, des dinoflagellés, des euglénophycées, des prymnésiofycées. Les 10 taxons dominants la radiale de la Baie-de-Somme sont identifiés sur la figure 3.1.1.

Le règne des protistes³ est également particulièrement représenté dans certains échantillons. Les diatomées, en période de non-prolifération de *Phaeocystis*, dominent le compartiment phytoplanctonique (Figure 3.1.1. & Tableau 3.1.) et représentent la plupart du temps plus de 85 % des taxons identifiés pour les points Bif, Mimer et Atso, entre 60 % et 70 % pour les points Mer1 et Mer2.

La proportion des différents groupes est variable dans le temps et sur la radiale. Les diatomées sont dominantes lors de chaque prélèvement sauf le 14 mars (pour tous points), le 28 avril (point Mimer, le 8 août (point Atso) où ce sont les prymnésiofycées qui le sont (plus de 80 % des taxons identifiés les 14 mars et 8 août, 46 % le 28 avril). Les cryptophycées sont très présentes le 28 avril au point Mimer, au point Mer1 et au point Mer2 (de 20 % à 60 % en s'éloignant de la côte).

En 2006, le genre *Phaeocystis* est observé de mars à juin (également en août au point Atso). Son abondance est maximale en mars au point Bif (plus de $23 \cdot 10^6$ cellules par litre).

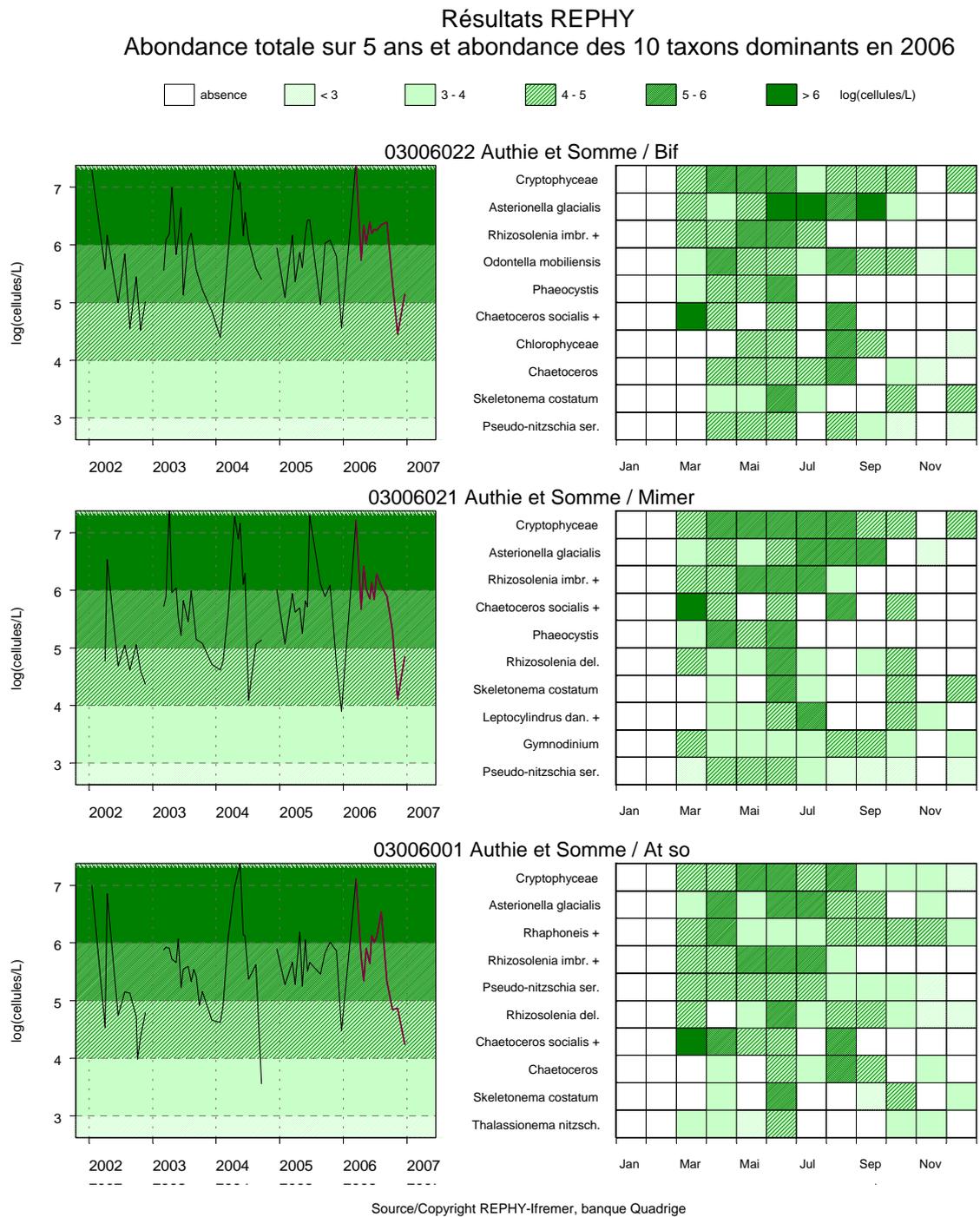
Parmi les taxons potentiellement responsables de la production de phycotoxines², le genre *Alexandrium* (toxicité PSP) a été observé épisodiquement (mai, juin, juillet, octobre) pour les points Bif, Atso, Mer1 (max. $1754 \text{ cell} \cdot \text{l}^{-1}$ au point Bif le 11/7/2006). Le genre *Dinophysis* (toxicité DSP) n'a pas été observé et *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Toxicité ASP) a été recensé toute l'année. Ces épisodes se sont révélés sans conséquence (concentrations inférieures au seuil dit d'alerte ou absence de toxines dans les échantillons de coquillages selon les critères définis dans le cahier de prescription du réseau REPHY de l'Ifremer).

En 2006, l'indice de Shannon varie globalement entre 0,30 et 4,07 sur l'ensemble des points.

Le 14 mars, l'indice chute à 0,41 au point 1 en raison de la dominance de *Phaeocystis sp.*. L'indice est également faible le 8 août aux points Mer1 et Mer2 en raison du développement accentué de Protistes.

³ Protiste : êtres vivant dont l'organisme est constitué par une seule cellule pendant la plus grande partie de son cycle reproductif, mais qui possède un noyau cellulaire nettement délimité. Ce sont des *eucaryotes*, auxquels on peut opposer les *procaryotes* (bactéries). On distingue 2 groupes : les *protozoaires*, dépourvus de chlorophylle et les *protophytes*, qui en possèdent.

² Informations complémentaires à l'adresse : <http://www.ifremer.fr/envlit/surveillance/rephy.htm>



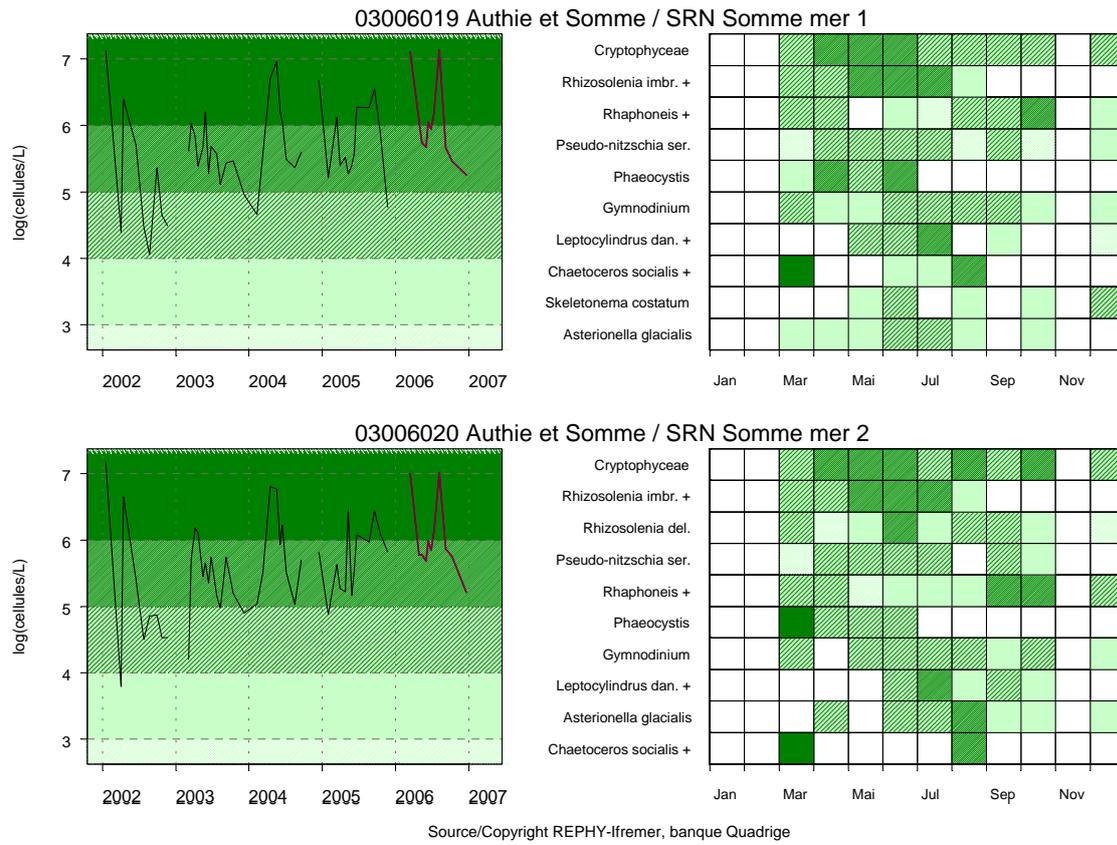


Figure 3.3.1.(suite) Évolution de l'abondance phytoplanctonique totale entre 2002 et 2006 et classement des 10 taxons dominants (Indice de Sanders) par points et par mois pour la radiale de la Baie de Somme

Tableau 3.3. Correspondance entre les intitulés et la classe taxonomique pour la radiale de la Baie de Somme

REPHY - Taxons dominants - signification des libellés

Intitulé graphe	Intitulé Quadrige	Classe
Chlorophyceae	<i>Chlorophyceae</i>	<i>Chlorophyceae</i>
Cryptophyceae	<i>Cryptophyceae</i>	<i>Cryptophyceae</i>
Asterionella glacialis	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Chaetoceros	<i>Chaetoceros</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Chaetoceros socialis +	<i>Chaetoceros socialis + radians</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Leptocylindrus dan. +	<i>Leptocylindrus danicus + curvatulus</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Odontella mobiliensis	<i>Odontella mobiliensis</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Pseudo-nitzschia ser.	<i>Pseudo-nitzschia seriata</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Rhaphoneis +	<i>Rhaphoneis + Delphineis</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Rhizosolenia del.	<i>Guinardia delicatula</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Rhizosolenia imbr. +	<i>Rhizosolenia imbricata + styliformis</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Skeletonema costatum	<i>Skeletonema costatum</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Thalassionema nitzsch.	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Diatomophyceae</i>
Gymnodinium	<i>Gymnodinium</i>	<i>Dinophyceae</i>
Phaeocystis	<i>Phaeocystis</i>	<i>Prymnesiophyceae</i>

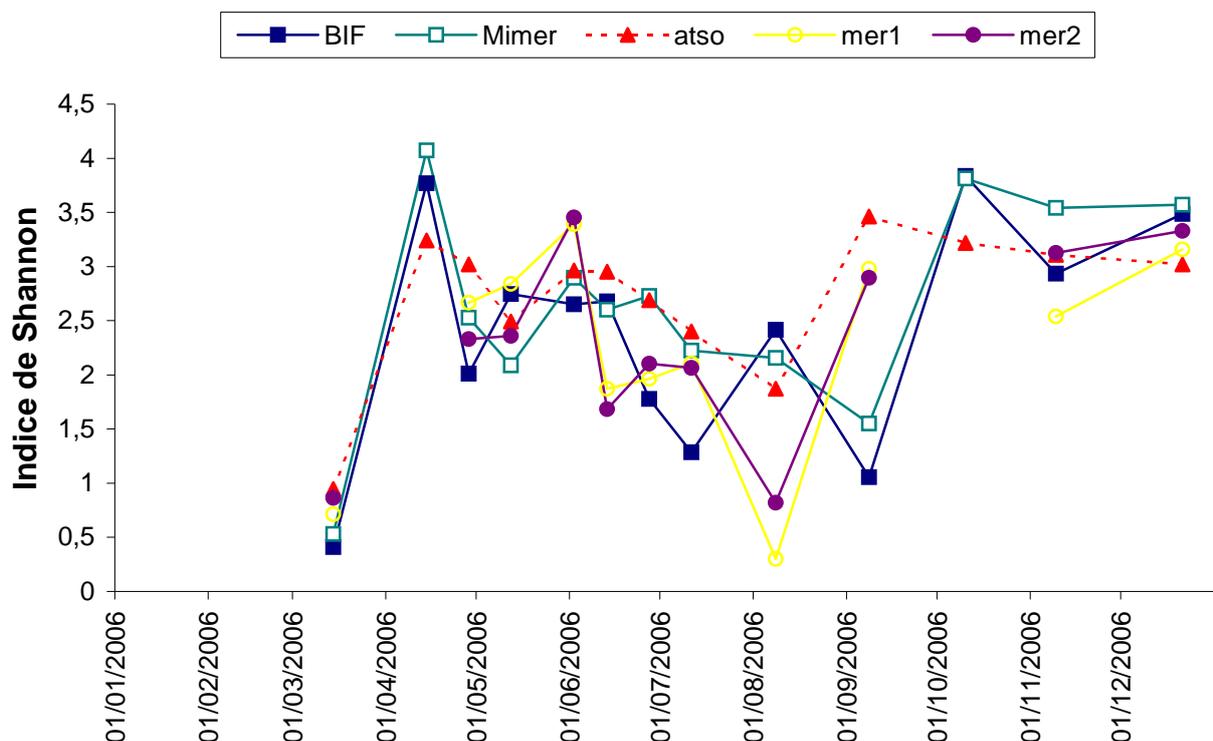


Figure 3.3.2. Évolution temporelle de l'indice de Shannon pour la radiale de la Baie de Somme

4. Discussion

4.1. Température et salinité

La température de l'eau dépend en grande partie de celle de l'air (Annexe 3), en effet, elles tendent à s'équilibrer. Cependant, les variations de température de l'eau sont moins accentuées que celles de l'air et elles sont plus importantes à la côte qu'au large (températures plus élevées en hiver et plus faibles en été au large), conséquences de la grande inertie thermique des masses d'eau. La température de l'eau est fortement influencée par les courants et les vents. Les températures maximales relevées en 2006 sont de 19,1 °C au point côtier de Boulogne-sur-Mer, puis 19,5 °C au point côtier de Dunkerque, vient ensuite le site de la Baie de Somme avec 20,1 °C au point Atso.

Les variations de salinité sont causées par l'évapotranspiration (en cas de forte chaleur ou de tempête) et par l'apport d'eau douce. La salinité est comprise entre 33,2 et 35,8 à Boulogne-sur-Mer, entre 32,5 et 35,4 à Dunkerque et entre 30,8 et 34,8 en Baie de Somme, tous points confondus. La Baie de Somme présente des salinités plus faibles en raison de l'influence de la Somme. Les vents et courants influencent beaucoup la salinité. L'échantillonnage en Baie de Somme est représentatif de la période PM ± 2 h et n'intègre donc pas par conséquent les faibles valeurs qui pourraient y être observées..

4.2. Turbidité, matières en suspension et matière organique

La turbidité résulte de la présence de particules minérales ou organiques en suspension d'une part, et d'organismes vivants d'autre part. Elle est maximale en hiver et minimale en été. Une augmentation de la turbidité est la conséquence de mouvements de l'eau par action des courants (corrélés au coefficient de marée) et du vent qui remettent en suspension les particules. Une turbidité élevée peut inhiber la production phytoplanctonique.

L'évolution de la matière organique présente dans les M.E.S. est liée au développement phytoplanctonique qui a lieu de façon plus intense dès le mois de février pour Boulogne-sur-Mer, au mois d'avril pour Dunkerque et mai pour la Baie de Somme.

En Baie de Somme, deux maxima de matière organique sont observés : en juin et en juillet. Le maximum du 13 juin se produit en même temps qu'un des maxima d'abondance du phytoplancton (entre $0,97 \cdot 10^6$ et $1,56 \cdot 10^6$ cell. \cdot l⁻¹, toutes stations confondues) (dominance de *Rhizosolenia delicatula*).

Le site de Dunkerque présente un maximum de matière organique en juin, (efflorescence phytoplanctonique à dominance *Rhizosolenia delicatula* variant de $0,12 \cdot 10^6$ à $0,24 \cdot 10^6$ cell. \cdot l⁻¹). Le mois d'août est également marqué par un pic important aux 3 points, (efflorescence à dominance *Rhizosolenia imbricata* et *Rhizosolenia styliformis* de 72550 cell. \cdot l⁻¹ au point 4 à $7,14 \cdot 10^6$ cell. \cdot l⁻¹ au point côtier) cependant cette augmentation de la concentration en matière organique ne correspond pas à un pic de chlorophylle *a*.

Boulogne-sur-Mer présente des maxima de matière organique de mars à mai, qui correspondent aux blooms printaniers et à la prolifération de *Phaeocystis* sp.. Un autre maximum est visible en juillet aux points 2 et 3, il correspond au développement de diatomées (*Leptocylindrus danicus* et *Rhizosolenia imbricata*) accompagnées de prymnésiophytes.

4.3. Nutriments

Les résultats obtenus pour les 3 radiales montrent des cycles de nutriments caractéristiques des eaux tempérées. Les concentrations des substances nutritives sont plus importantes à la fin de l'hiver car les prélèvements réalisés par le phytoplancton sont à leurs minima à cause du faible ensoleillement et de la faible température, alors que la minéralisation de la matière organique apportée par les bassins versants continue.

Au début du printemps, le stock hivernal est utilisé par le phytoplancton quand la lumière et la température sont suffisantes. Les apports de substances nutritives entraînent une augmentation et un allongement du bloom.

Durant l'été, la productivité phytoplanctonique est contrôlée par les substances nutritives issues de la minéralisation ou d'apports terrigènes. La période estivale présente de faibles concentrations mais dès l'automne, on observe la reconstitution du stock de nutriments en raison de l'absence de consommateurs et de l'augmentation des débits des rivières. Les concentrations sont plus élevées à la côte car la zone est sous l'influence des apports continentaux et du fleuve côtier au large de Boulogne-sur-Mer (masse d'eau côtière homogène et isolée du large, caractérisée par une dessalure et une turbidité d'origine fluviale) qui permet un maintien à la côte et une circulation résiduelle vers le nord-est de ces apports (Brylinski *et al.*, 1991).

Le retour à des concentrations en sels nutritifs élevées est plus ou moins rapide selon leur catégorie. Parmi les formes azotées, c'est l'azote ammoniacal qui réapparaît le premier, suivi des nitrates, puis des nitrites. Au printemps, l'azote ammoniacal disparaît le premier, puis ce sont les nitrites et enfin les nitrates. En effet, le phytoplancton absorbe préférentiellement l'ammonium, puis les nitrites, puis les nitrates. Ceci peut être expliqué par le cycle d'incorporation de l'azote organique particulaire (ou azote intracellulaire) à partir d'azote dissous (ions nitriques) :



Les concentrations les plus élevées en nitrate sont observées aux points côtiers de Dunkerque ($39,98 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) en février, au point Mimer de la Baie de Somme ($33,08 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) en novembre et enfin au point côtier de Boulogne-sur-Mer ($28,77 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) en février.

Les nitrites présentent des concentrations maximum de $1,12 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ en février au point côtier à Dunkerque, de $0,98 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ à Boulogne-sur-Mer en janvier au point 3, et de $0,84 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ en Baie de Somme en novembre au point Mimer.

En ce qui concerne l'azote ammoniacal, les valeurs maximales sont observées en novembre au point Mimer de la Baie de Somme ($6,89 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$), vient ensuite Boulogne-sur-Mer ($5,23 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) au point côtier en mai, puis Dunkerque ($2,85 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) en décembre au point côtier (Figure II.a. - Annexe 3).

Le phosphate, apporté principalement par les rejets domestiques, est un nutriment qui est rapidement absorbé dans les matières en suspension et les sédiments. Sa présence dans les échantillons s'explique par un relargage des phosphates et une remise en suspension des particules après une augmentation de débit des rivières ou lors d'épisodes de vents importants. Les apports résultent des processus de ruissellement et d'érosion qui peuvent survenir à n'importe quel moment de l'année.

Les valeurs maximales de phosphate sont de $1,85 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ en février au point côtier de Dunkerque, $1,43 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ en juin au point 3 de Boulogne-sur-Mer, et de $0,92 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ en juin au point Mer1 de la Baie de Somme.

Le cycle du silicate est aussi étroitement lié au développement du phytoplancton, en particulier des diatomées qui utilisent la silice pour former leur test (enveloppe siliceuse). Ainsi, généralement après le bloom de diatomées du début du printemps, les concentrations en silicate chutent puis un maximum apparaît en mai-juin avec la dissolution du silicate biogénique contenu dans les tests quand les diatomées meurent.

La région de Dunkerque présente les concentrations en silicate les plus importantes avec $12,64 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ au point côtier en février, suivi de la Baie de Somme en novembre au point Mimer avec $10,66 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ et puis Boulogne-sur-Mer avec $8,91 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ en novembre au point côtier.

4.4. Chlorophylle *a*, phéopigments et phytoplancton

Le fleuve côtier présent le long des côtes du Nord-Pas-de-Calais permet l'installation d'un écosystème côtier spécifique qui donne lieu à des développements biologiques propres (Brylinski *et al.*, 1991). Le développement phytoplanctonique de cette région est dû aux apports nutritifs principalement de la Somme mais aussi de la Canche, l'Authie (Hébert *et al.*, 2005) et dans une moindre mesure de la Slack, le Wimereux et la Liane (Hébert *et al.*, 2005) et des conditions hydrodynamiques favorables à des apports via les zones adjacentes.

Le cycle annuel de la biomasse phytoplanctonique est caractérisé par de faibles valeurs en hiver et en été. Une période de bloom est généralement observée de mars à juin, la production phytoplanctonique est à son maximum lorsque la lumière est suffisamment forte pour permettre une augmentation du taux d'accroissement suffisant pour compenser les pertes par dégradation ou prédation. Les populations sont alors peu diversifiées. Durant la période de juin à octobre, les concentrations en chlorophylle *a*, corrélées à l'évolution de la biomasse phytoplanctonique, sont peu élevées : les teneurs en substances nutritives sont en effet très basses, ce qui entraîne un vieillissement des cellules. La productivité est faible pendant l'hiver. Des blooms peuvent survenir en automne et en été. Ils sont fortement liés aux conditions de lumière et de température. Si les conditions le permettent, le bloom apparaît avec la restauration du stock de sels nutritifs.

Ce phénomène est observé principalement à la côte car cette zone reçoit les apports continentaux liés aux pluies fréquemment observées à cette période.

En Manche Orientale, l'efflorescence printanière peut-être caractérisée par la formation d'écume issue de la prolifération de *Phaeocystis sp.*, de la classe des prymnesiophycées. Cette espèce se développe sur le nitrate en excès restant après épuisement du silicate par le bloom printanier de diatomées, quand la température est suffisante (Gentilhomme *et al.*, 1998). *Phaeocystis sp.* présente plusieurs étapes de cycle de vie : forme libre, coloniale et flagellée quand les conditions de vie sont défavorables, la forme isolée alternant avec la forme coloniale pendant le bloom.

Il existe une forte compétitivité de *Phaeocystis sp.* sur les diatomées. Il est capable de synthétiser des enzymes qui reminéralisent le phosphore organique, ce qui correspond à un avantage compétitif majeur en cas de limitation par le phosphate (Veldhuis et Admiraal, 1987). De plus, cette espèce est capable de mettre en œuvre une stratégie de photoadaptation lorsque la turbidité est trop élevée.

Hors période de prolifération de *Phaeocystis sp.*, le phytoplancton comprend essentiellement des diatomées (environ 90 % de la flore totale). Les diatomées dominent dans les eaux turbulentes, riches en sels nutritifs et n'ont besoin que d'une faible intensité lumineuse, ce qui explique leur développement en hiver. Les éléments que requièrent les diatomées se trouvent essentiellement dans les zones côtières soumises aux apports terrigènes.

Différents type de diatomées se développent selon la saison , en début d'année, c'est un 1^{er} assemblage de diatomées composé d'espèces coloniales de petite taille (10–50µm) qui sont surtout présentes (*Thalassionema nitzschoides*, *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira sp.*, *Thalassiosira rotula*) ainsi que les cryptophycées (petits flagellés autotrophes) depuis l'année 2000.

Au cours du printemps, un 2^{ème} assemblage de diatomées : les espèces de grandes tailles (>100µm) de la famille des Rhizosolénaciées (*Guinardia delicatula*, *Guinardia striata*, *Rhizosolenia imbricata*) font leur apparition, suivie d'espèces de taille moyenne (50-100µm) (*Leptocylindrus spp.*), *Cerataulina sp.*, et d'espèces de petite taille (*Chaetoceros curvisetum*, *Chaetoceros debile*). Cet assemblage continue de proliférer pendant l'été, parallèlement a deux espèces de dinoflagellés *Gyrodinium sp.* *Gymnodinium sp.* et décroît en fin d'année. deux espèces de diatomées, *Chaetoceros sp.* et *Paralia sulcata*, semblent être présentes toute l'année (Guiselin N., 2005.)

L'utilisation des images satellites acquises par le capteurs MODIS permet d'obtenir grâce à l'algorithme OC5 (Gohin *et al.*, 2002) une représentation à méso-échelle de la concentration en chlorophylle *a*. Globalement, les concentrations en chlorophylle *a* et par conséquent la production phytoplanctonique sont plus importantes en Manche est qu'en Manche ouest. La biomasse phytoplanctonique est plus importante dans le détroit du Pas-de-Calais et en baie sud de la Mer du Nord dès le mois d'avril (Planche 1).

A la fin du mois d'avril, les concentrations sont très importantes en mer du Nord. En mai, les concentrations sont particulièrement importantes sur notre littoral et le long des côtes sud-est et est de l'Angleterre ainsi qu'en baie de Seine présentant des concentrations supérieures à 4 mg·m⁻³ (Planche 1).

En juin, la production se restreint à la zone côtière de la baie de Seine à la mer du Nord ainsi qu'à la côte est de l'Angleterre. Ce schéma est valable jusqu'au mois de septembre bien que les concentrations soient de moins en moins importantes. En octobre, les concentrations sont globalement inférieures à 4 mg·m⁻³.

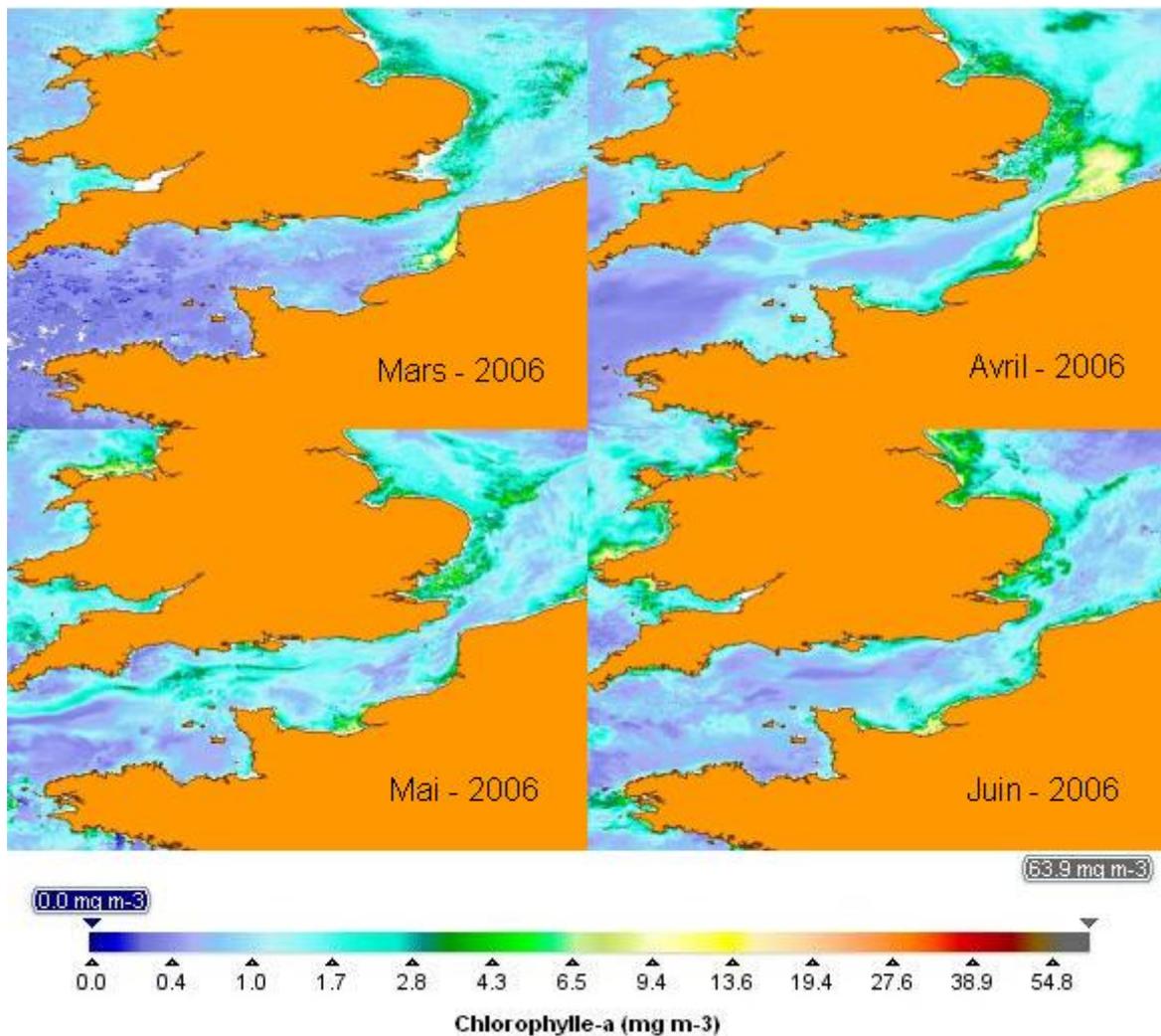


Planche 1 : Images MODIS OC5 IFR illustrant à grande échelle l'évolution spatiale des concentrations en chlorophylle a ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) de mars à juin 2006

Les concentrations en chlorophylle a sont beaucoup plus importantes en Baie de Somme où elles atteignent $30,79 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ au mois de juillet au point Bif. Les valeurs sont plus faibles pour Boulogne-sur-Mer et Dunkerque, où les apports fluviaux et la production phytoplanctonique sont moins importants, avec respectivement pour leurs points côtiers et au mois de mars $15,37 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ pour Boulogne-sur-Mer et $9,56 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ pour Dunkerque.

En Baie de Somme, le bloom est étalé dans le temps et différents taxons s'y succèdent : prolifération de la prymnesiophycée *Phaeocystis sp.* dès le mois de mars (environ 80 % de la flore totale pour tous les points confondus), puis dominance des diatomées à partir d'avril (sauf pour les point Mer1 et Mer2 qui sont dominés par des cryptophycées). Les protistes sont régulièrement échantillonnés ces dernières années.

Les maxima de chlorophylle a en juin sur la radiale de la Baie de Somme sont probablement liés à la présence de la diatomée *Asterionella glacialis*.

A Dunkerque, le développement phytoplanctonique est initié par un bloom de la prymnesiophycée *Phaeocystis sp.* Les valeurs maximales de chlorophylle a sont atteintes en mars et ce pic est lié à la présence de *Phaeocystis sp.* (plus de 90 % de la flore totale). Le pourcentage de chlorophylle active est plus important au moment du bloom. Un deuxième maximum se produit entre fin mai et début

juin à la côte avec une dominance des diatomées (*Asterionella glacialis* et *Skeletonema costatum* puis *Rhizosolenia delicatula*). Hors période de bloom, les diatomées dominent, accompagnées de quelques flagellés (dinoflagellés et cryptophycées) en période estivale.

Le site de Boulogne-sur-Mer est caractérisé par deux maximums de chlorophylle *a* en mars-avril et en mai-juin. Celui de mars est lié en premier lieu au bloom de la prymnesiophycée *Phaeocystis sp.*, qui représente plus de 90 % de la flore totale. Le maximum de mai-juin est lié à un bloom de la diatomée *Pseudonitzschia seriata*. Une légère augmentation de la concentration en chlorophylle *a* est observable au cours des mois août-septembre, et pourrait s'expliquer par la présence de *Rhizosolenia delicatula*. Les espèces préférentielles du site sont les diatomées et les flagellés (cryptophycées et dinoflagellés en période estivale) et *Phaeocystis sp.* au printemps.

CONCLUSIONS & PERSPECTIVES

L'année 2006 est caractérisée par un début de saison (fin d'hiver et printemps) particulièrement froid alors que la température estivale est supérieure à la « normale » établie sur la période 1992-2006.

Les concentrations en chlorophylle *a* correspondent à des valeurs intermédiaires entre les années à forte (maximum > 20 µg·l⁻¹ à la côte) et à faible concentration. Les valeurs les plus importantes sont relevées en mars à Dunkerque, en mars-avril et en août-septembre pour Boulogne-sur-Mer et lors du mois de juin en baie de Somme.

L'évolution saisonnière de la concentration en nitrate est classique et comparable pour les trois sites bien que les niveaux atteints soient différents. Il faut cependant noter que la concentration est particulièrement importante en février pour les radiales de Dunkerque et celle de Boulogne-sur-Mer.

Les concentrations en nitrite sont classiques par rapport aux valeurs médianes établies sur la période 1992-2006.

Les concentrations en phosphate sont supérieures à la « normale » pour la quasi totalité des points de prélèvement, surtout au mois de juin 2006 où les valeurs de concentrations obtenues sont parmi les plus élevées de la période 1992-2006 (Boulogne-sur-Mer et Baie de Somme)

Le schéma saisonnier du silicate est classique pour la Baie de Somme. Les concentrations sont particulièrement importantes en été pour Dunkerque et Boulogne-sur-Mer et supérieures à la « normale » en juin.

Le compartiment phytoplanctonique est caractérisé par une dominance des diatomées tout au long de l'année excepté au printemps où c'est la prymnesiophycée *Phaeocystis sp.* qui domine le cortège phytoplanctonique. On voit aussi apparaître par moment les cryptophycées de plus en plus nombreux ces dernières années. Les protistes sont particulièrement nombreux.

La série historique de données acquises dans le cadre du S.R.N. depuis 1992 en fait l'un des réseaux de référence indispensable à la compréhension des évolutions saisonnières et à long-terme de la « qualité » des eaux littorales du littoral Nord - Pas-de-Calais - Picardie.

Les données sont bancarisées dans la base QUADRIGE de l'Ifremer et sont mises à disposition à l'adresse suivante : <http://w3.ifremer.fr/envlit/surveillance/telechargement.htm>

Les données sont également utilisées pour la validation des modèles biogéochimiques type ECO-MARS 3D de l'Ifremer. Elles sont intégrées au serveur d'images satellites des projets ROSES et MARCOAST : <http://www.ifremer.fr/nausicaa/roses/index.htm>

Un travail spécifique sur la série de données hydrologiques et phytoplanctoniques du S.R.N. pour la période 1992-2004 (Guiselin, 2005) a déjà fait l'objet de communications scientifiques (Artigas *et al.*, 2005a,b ; Lefebvre *et al.*, 2007) et devraient aboutir à la rédaction d'une publication internationale.

Dans le contexte de la mise en œuvre 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. intègre le dispositif dit de Contrôle de Surveillance (Planche 2). La nouvelle Stratégie Marine Européenne (S.M.E.) 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. Ainsi, d'autres points du S.R.N. répondront également aux attentes de diagnostic et de surveillance préconisées par la S.M.E..

Dans le cadre de la seconde application de la Procédure Commune de la convention d'Oslo et de Paris (OSPAR - <http://www.ospar.org/>) engagée en 2007, les résultats du S.R.N. seront intégrées à la base de données utilisées pour définir le statut des masses d'eaux au regard de l'eutrophisation.



Planche 2 : Localisation des points d'échantillonnage pour le réseau de contrôle de surveillance de la Directive Cadre sur l'Eau (Points SRN : hydrologie, biologie et chimie)

La parution d'un arrêté préfectoral portant extensions des zones sensibles à l'eutrophisation pour le bassin Artois-Picardie (classement de la totalité des eaux de surface intérieures et littorales) dans le contexte de la directive européenne du 21 mai 1991 relative aux traitements des eaux résiduaires urbaines confirme l'intérêt de disposer d'un tel réseau afin d'être en mesure d'apprécier les évolutions des trois systèmes étudiés (chacun étant représentatif de conditions hydrodynamiques, biogéographiques, biogéochimiques et biologiques particulières) face aux politiques de gestion et d'aménagement mises en œuvre sur le littoral Nord - Pas-de-Calais - Picardie.

Depuis octobre 2004, une station de mesure automatisée à haute fréquence MAREL permettant des analyses des principales caractéristiques physico-chimiques et biologiques de l'eau de mer a été installée à l'extrémité de la digue Carnot à Boulogne-sur-Mer. Les données récoltées par ce système pourront venir compléter les points 1, 2 et 3 de la radiale de Boulogne-sur-Mer. La position de la station de mesures permet d'appréhender les phénomènes à haute fréquence générés en réponse aux

pressions anthropiques (phase de vidange de la rade de Boulogne/Mer) ou marine (phase de remplissage de la rade).

Les données sont accessibles via le site Ifremer : <http://www.ifremer.fr/difMarelCarnot/>

Par ailleurs, l'aspect vertical de la structure des masses d'eau est en cours de caractérisation grâce à la mise en œuvre de profils de sonde lors des campagnes de prélèvements. L'obtention de mesures de la température, salinité, fluorescence, turbidité et concentration en O₂ dissous devrait permettre d'étendre le raisonnement spatio-temporel 2D à une approche 3D qui pourra être intégrée dans les travaux en cours de modélisation du fonctionnement de l'écosystème Manche - Sud - Mer du Nord (Thèse 2002-2005 Vanhoutte-Brunier A. en cours de finalisation - Financement Ifremer/Région Nord Pas-de-Calais).

En 2007 l'échantillonnage ne portera que sur les points côtiers et du large des radiales de Boulogne-sur-Mer et de Dunkerque. Les cinq points de la radiale de la Baie de Somme sont maintenus.

BIBLIOGRAPHIE

- Aminot A. & M. Chaussepied, 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Centre National pour l'Exploitation des Océans : 395 pp.
- Aminot A. & R. Kérouel, 2004. Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. Éd. Ifremer, 336 p.
- Aminot A., Belin C., Chapelle A., Guillaud J.F., Joanny M., Lefebvre A., Menesguen A., Merceron A., Piriou J.Y., Souchu P., 2001. L'eutrophisation des eaux marines et saumâtres en Europe, en particulier en France. Rapport IFREMER DEL/EC/01.02 : 59 pp.
- Anonyme, 1985. The international system of units (SI) in oceanography. UNESCO Technical papers N° 45.
- Anonyme, 1986. Le littoral de la Région Nord Pas-de-Calais, Qualité du milieu marin. Rapport IFREMER n°3 : 149 pp.
- Anonyme, 1988. Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin, Dix années de surveillance, 1974-1984. Rapport IFREMER, vol. II : 229 pp.
- Anonyme, 1989. Groupe de travail pour l'étude de l'eutrophisation des cours d'eau et des eaux littorales de la Région Nord-Pas-de-Calais. Secrétariat d'Etat du Premier Ministre chargé de l'Environnement - Service de l'Eau Rapport 1989 : 74 pp.
- Anonyme, 1989. Le littoral de la Région Nord Pas-de-Calais, Apports à la mer. Rapport IFREMER n° 15 : 149 pp.
- Anonyme, 1990. Review of potentially harmful substances. Nutrients. United Nations Educational, Scientific and Organisation, Reports and studies n° 34 : 40 pp.
- Anonyme, 1991. Annuaire de la qualité des eaux de surface du département de la Somme.
- Anonyme, 1992. Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin ; Surveillance du milieu marin, Travaux du RNO, Inter comparaison 1992 pour la salinité et les sels nutritifs. Rapport IFREMER : 68 pp.
- Anonyme, 1993. North Sea subregion 4 & 9, Assessment Report. North Sea Task Force : 195 pp. et 153 pp.
- Artigas L.F., Guiselin N., Courcot L., Sazhin A., Jauzein C., Lizon F., Lefebvre A., Hebert P., M.J. Chrétiennot-Dinet, D. Purdie, C. Labry, 2005b. Phytoplankton spring blooms in coastal waters of the eastern English Channel : interannual and seasonal monitoring of species composition, biomasses and activities in coastal systems characterised by important *Phaeocystis globosa* outbursts. III International Plankton Symposium. Figueira da Foz, PT, 17-20/03/05
- Artigas L.F., Guiselin N., Courcot L., Sazhin A., Jauzein C., Lizon F., Lefebvre A., Hebert P., Gentilhomme V., Chétiennot-Dinet M.-J., Purdie D., 2005a. Seasonal and inter-annual variability of *Phaeocystis globosa* outbursts in the eastern English Channel and associated phytoplankton dynamics. SCOR-UNESCO working group « *Phaeocystis* » Final meeting, Groningen - NL, 30/08 au 03/09/09.
- Barbet F., 2005. L'eutrophisation sur le littoral Nord Pas-de-Calais Picardie : étude des tendances passées et perspectives d'évolution. Rapport IFREMER/RST.LER.BL/05.09, Laboratoire côtier de Boulogne-sur-Mer, 142 p.
- Barbier G., Arnal O., Delattre J.-M., Grossel H. & 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 Techniques de l'IFREMER, N° 3, 152 pp.
- Belin C., 2001. Cahier des procédures REPHY. Document de prescription. R. Int. IFREMER / DEL, 47 pp.
- Bendschneider, K. and Robinson, R.J., 1952. A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. *J. Mar. Res.* 11, 87-96. In : Aminot A. & M. Chaussepied, 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Centre National pour l'Exploitation des Océans, 119⁻¹²⁴.

- Bentley D, Lafite R., Morley N.H., James R., Statham P. & J.C.Guary, 1993. Flux de nutriments entre la Manche et la mer du Nord, situation actuelle et évolution depuis 10 ans. *Oceanol. Acta*, 16 (5-6) : 599-606.
- Brzezinski M.A., 1985. The Si:C:N ratio of marine diatoms: interspecific variability and the effect of some environmental variables. *J. Phycol.*, 21: 347-357.
- Brylinski J.M., 1993. *Ecohydrodynamique pélagique en Manche Orientale*, 30 pp.
- Brylinski J. M. & Y. Lagadeuc, 1990. L'interface eaux côtières / eaux du large dans le Pas de Calais (côte française): une zone frontale. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 311 (2): 535-540.
- Brylinski J.M., Lagadeuc Y., Gentilhomme V., Dupont J.P., Lafite R., Dupeuple P.A., Huault M.F., Auger Y., Puskaric E., Wartel M. & L. Cabioch, 1991. Le fleuve côtier : un phénomène hydrologique important en Manche Orientale. Exemple du Pas de Calais. *Oceanol. Acta*, 11 (Vol. spec.): 197-203.
- Billen G., Lancelot C. & M Meybeck, 1991. N, P, Si retention along the aquatic continuum from land to ocean. *In* : Mantoura R.F.C., Martin J.M. & R. Wollast (eds). *Toxic phytoplankton blooms in the sea*. Elsevier Science Publishers BV, Amsterdam, p. 203-209.
- COM, 2005a. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council, establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy. COM (2005), 505 final, SEC (2005), 1290, 31 pp.
- COM, 2005b. Communication from the Commission to the Council and the European parliament. Thematic strategy on the protection and conservation of the marine environment. COM (2005), 1290, 9 pp.
- COM, 2005c. Commission staff working document. Annex to the communication from the Commission to the Council and the European parliament. Thematic strategy on the protection and conservation of the marine environment and proposal for a directive of the European parliament and of the Council, establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy. COM (2005), 504 and 505 final, SEC (2005), 1290, 79 pp.
- Delinieres G., Hitier B., Olivesi R., Delesmont R., Morel M. & N. Loquet, 1996. Suivi Régional des Nutriments sur le littoral Nord Pas-de-Calais. Bilan de l'année 1995. Rapport IFREMER DEL : 49 pp.
- Frontier S., Pichod-Viale D., 1991. *Ecosystèmes : structure, fonctionnement, évolution*, 391 pp.
- Gentilhomme V. & F. Lizon, 1998. Seasonal cycle of nitrogen and phytoplankton biomass in a well-mixed coastal system (Eastern English Channel). *Hydrobiologia* 361 : 191-199.
- Gohin F., Druon J.N., and L. Lampert, 2002. A five channel chlorophyll algorithm applied to SeaWiFS data processed by SeaDAS in coastal waters. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 23 , 8, pp 1639-1661.
- Goidin L., Hitier B., Olivesi R., Delesmont R., Morel M. & N. Loquet, 1999. Suivi Régional des Nutriments sur le littoral Nord Pas-de-Calais. Bilan de l'année 1998. Rapport IFREMER DEL : 59 pp.
- Guiselin N., 2005. Successions d'espèces phytoplanctoniques en eaux côtières en Manche Orientale: analyse rétrospective des données des réseaux de surveillance 1992-2004 et bilan des suivis en cours. Ifremer/TMR.LER.BL/05.08-1^{er}laboratoire côtier de Boulogne-sur-Mer, 30 p. + Annexes.
- Hitier B., Olivesi R., Delesmont R. & M. Morel, 1994. Suivi Régional des Nutriments sur le littoral Nord Pas-de-Calais. Bilan de l'année 1993. Rapport IFREMER DEL : 66 pp.
- Hitier B., Olivesi R., Rybarczyk H., Delesmont R., Morel M. & N. Loquet, 1995. Suivi Régional des Nutriments sur le littoral Nord Pas-de-Calais. Bilan de l'année 1994. Rapport IFREMER DEL : 71 pp.
- Hitier B., Olivesi R., Rybarczyk H., Delesmont R., Morel M. & N. Loquet, 1996. Suivi Régional des Nutriments sur le littoral Nord Pas-de-Calais. Synthèse des résultats du suivi de 1992 à 1994. Rapport IFREMER DEL : 67 pp.

- Ifremer, laboratoire côtier de Boulogne-sur-Mer, 2002. Résultats de la Surveillance de la Qualité du Milieu Marin Littoral, Edition 2002, 43 p.
- Jickells T.D., 1998. Nutrient biogeochemistry of the coastal zone. *Science*, 281 : 217-222.
- Joanny M., 1993. Qualité du milieu marin littoral. Rapport IFREMER : 241 pp.
- Koroleff, F., 1969. Direct determination of ammonia in natural waters as indophenol blue. ICES, C.M. 1969/C : 9 Hydr. Comm. *In* : Aminot A. & M. Chaussepied, 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Centre National pour l'Exploitation des Océans, 107-118.
- Lancelot C., Keller M.D., Rousseau V., Smith W.O. & S. Mathot, 1998. Autecology of the marine haptophyte *Phaeocystis* sp.. NATO AS1 Series, vol. G41, Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms, Anderson D.M. & G.M. Hallegraeff (eds.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 69-84.
- Lefebvre A., 2004. Seasonal trends of the *Phaeocystis* sp. and nutrients dynamics in the eastern English Channel. *J. Rech. Oceanogr., JRO*, 28, fasc. 1 et 2, 57-61
- Lefebvre A., Libert A., 2004. Suivi Régional des Nutriments sur le littoral Nord Pas-de-Calais Picardie. Bilan de l'année 2003. Rapport IFREMER/DEL/BL/RST/04/04 : 92 p.
- Lefebvre A., Carton C., 2005. Suivi Régional des Nutriments sur le littoral Nord Pas-de-Calais Picardie. Bilan de l'année 2004. Rapport IFREMER/RST.LER.BL/05.05 : 130 p.
- Lefebvre A., Artigas L. F., Guiselin N. & F.Barbet Long-term changes on the phytoplankton communities, temporarily dominated by *Phaeocystis globosa* in relation with hydroclimatic conditions and eutrophication processes in the eastern English Channel and southern bight of the North Sea. Colloque de restitution finale du chantier PNEC Manche orientale – Le bloom de *Phaeocystis* : causes & consequences. Wimereux, 29-30 janvier 2007.
- Loquet N., Rybarczyk H. & B. Elkaim, 2000. Echanges de sels nutritifs entre la zone côtière et un système estuarien intertidal : la baie de Somme (Manche, France). *Oceanol. Acta*, 23 (1) : 47-64.
- Lorenzen C.J., 1967. Determination of chlorophyll and pheopigments : spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.*, 12 : 343-346.
- Meybeck M & R Helmer, 1989. The quality of rivers: from pristine stage to global pollution. *Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol.*, 75 : 283-309.
- Mirlicourtois M., Olivesi R., Jamet F., Rybarczyk. H & M. Morel, 1993. Suivi Régional des Nutriments sur le littoral Nord Pas-de-Calais. Bilan de l'année 1992. Rapport IFREMER DEL :115 pp.
- Mullin, J. B. and Riley, J. P., 1955. The spectrophotometric determination of silicate-silicon in natural waters with special reference to sea water. *Anal. Chim. Acta*, 12, 162-170. *In* : Aminot A. & M. Chaussepied, 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Centre National pour l'Exploitation des Océans, 143-150.
- Murphy, J. and Riley, J.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27, 31-36. *In* : Aminot A. & M. Chaussepied, 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Centre National pour l'Exploitation des Océans, 135-142.
- Officer C.B. & J.H. Ryther, 1980. The possible importance of silicon in marine eutrophication. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 3 : 83-91.
- Peta O., Hitier B., Olivesi R., Delesmont R., Morel M. & N. Loquet, 1998. Suivi Régional des Nutriments sur le littoral Nord Pas-de-Calais. Bilan de l'année 1997. Rapport IFREMER DEL : 59 pp.
- Redfield A.C., Ketchum B.H. & Richards F.A., 1963. The influence of organisms on the composition of seawater. *In* : Hill M.N. (ed), *The Sea*. John Wiley, New York., Vol. 2, p. 26-77.
- Rybarczyk H., 1992. Processus d'eutrophisation et ses conséquences sur les peuplements d'un écosystème estuarien : la Baie de Somme. Thèse de l'Université Paris VI : 171 pp.
- Quisthoudt C., Bentley D., Brylinski J.M., 1987. Discontinuité hydrobiologique dans le détroit du Pas-de-Calais. *J. Plankton Res.*, 9 (5) : 995-1002.

- Smayda T.J., 1990. Novel and nuisance phytoplankton blooms in the sea : evidence for a global epidemic. *In* : Granéli E. (ed). Toxic marine phytoplankton. Elsevier Science Publishing Co., New York, p. 29-40.
- Strickland, J. D. H. and Parsons, T. R., 1972. A practical handbook of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.* 167, 311 p. *In* : Aminot A. & M. Chaussepied, 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Centre National pour l'Exploitation des Océans, 143-150.
- Truffier S., Hitier B., Olivesi R., Rybarczyk H., Delesmont R. & M. Morel, 1997. Suivi Régional des Nutriments sur le littoral Nord Pas-de-Calais. Bilan de l'année 1996. Rapport IFREMER DEL : 62 pp.

ANNEXES

- P. 133-138 : Annexe 1** Calendrier des sorties et conditions de prélèvements
- P. 139-145 : Annexe 2** Données brutes des analyses physico-chimiques
- P. 146-149 : Annexe 3** Données météorologiques (Source : Météo-France)

Annexe 1

Calendrier des sorties et conditions de prélèvements

Dunkerque

Date	Point de Prélèvement	Heure de prélèvement	Horaire PM ou BM	Situation Marée	Coefficient
17/01/06	DK1	15h20	PM à 14h47	PM + 00h33	76
	DK3	15h00		PM + 00h13	
	DK4	14h40		PM - 00h07	
14/02/06	DK1	14h10	PM à 13h56	PM + 00h14	84
	DK3	14h45		PM + 00h49	
	DK4	15h15		PM + 01h19	
14/03/06	DK1	14h00	PM à 13h01	PM + 00h59	83
	DK3	13h30		PM + 00h29	
	DK4	13h05		PM + 00h04	
29/03/06	DK1	14h22	PM à 13h46	PM + 00h36	112
	DK3	14h55		PM + 01h09	
	DK4	NA		NA	
25/04/06	DK1	15h35	PM à 11h55	PM + 03h40	86
	DK3	14h55		PM + 03h00	
	DK4	NA		NA	
11/05/06	DK1	11h30	PM à 12h50	PM - 01h20	75
	DK3	11h10		PM - 01h40	
	DK4	10h43		PM - 02h07	
07/06/06	DK1	11h26	PM à 10h37	PM + 00h49	50
	DK3	11h05		PM + 00h28	
	DK4	10h44		PM + 00h07	
28/06/06	DK1	16h05	PM à 15h42	PM + 00h23	74
	DK3	15h35		PM - 00h07	
	DK4	15h10		PM - 00h32	
12/07/06	DK1	15h30	PM à 14h38	PM + 00h52	90
	DK3	15h15		PM + 00h37	
	DK4	14h55		PM + 00h17	
09/08/06	DK1	15h37	PM à 13h40	PM + 01h57	92
	DK3	15h25		PM + 01h45	
	DK4	13h00		PM - 00h40	
11/09/06	DK1	15h21	PM à 15h55	PM - 00h34	99
	DK3	15h04		PM - 00h51	
	DK4	14h45		PM - 01h10	
30/11/06	DK1	09h25	PM à 08h00	PM + 01h25	59
	DK3	10h10		PM + 02h10	
	DK4	09h55		PM + 01h55	
20/12/06	DK1	10h52	PM à 12h31	PM - 01h39	76
	DK3	11h20		PM - 01h11	
	DK4	11h47		PM - 00h44	

Boulogne-sur-Mer

Date	Point de Prélèvement	Heure de prélèvement	Horaire PM ou BM	Situation Marée	Coefficient
16/01/06	BL1	15h10	PM à 13h15	PM + 01h55	77
	BL2	15h00		PM + 01h45	
	BL3	14h35		PM + 01h20	
13/02/06	BL1	11h12	PM à 12h26	PM - 01h14	81
	BL2	11h00		PM - 01h26	
	BL3	10h35		PM - 01h49	
13/03/06	BL1	15h25	PM à 11h32	PM + 03h53	77
	BL2	15h10		PM + 03h38	
	BL3	14h40		PM + 03h08	
03/04/06	BL1	10h12	PM à 16h16	PM - 06h04	73
	BL2	10h00		PM - 06h16	
	BL3	09h38		PM - 06h38	
12/04/06	BL1	10h15	PM à 12h31	PM - 02h16	78
	BL2	10h00		PM - 02h31	
	BL3	09h30		PM - 03h01	
26/04/06	BL1	15h20	PM à 19h08	PM - 03h48	98
	BL2	15h05		PM - 04h03	
	BL3	14h34		PM - 04h34	
10/05/06	BL1	10h35	PM à 11h15	PM - 00h40	67
	BL2	10h25		PM - 00h50	
	BL3	10h00		PM - 01h15	
29/05/06	BL1	15h10	PM à 14h21	PM + 00h49	80
	BL2	15h00		PM + 00h59	
	BL3	14h35		PM + 00h14	
12/06/06	BL1	15h35	PM à 13h15	PM + 02h20	81
	BL2	15h08		PM + 01h53	
	BL3	14h39		PM + 01h24	
26/06/06	BL1	15h25	PM à 13h28	PM + 01h57	78
	BL2	15h10		PM + 01h42	
	BL3	14h38		PM + 01h10	
10/07/06	BL1	15h15	PM à 12h15	PM + 03h00	76
	BL2	15h00		PM + 02h45	
	BL3	14h40		PM + 02h25	
07/08/06	BL1	10h12	PM à 11h08	PM - 00h56	64
	BL2	09h55		PM - 01h17	
	BL3	09h40		PM - 01h32	
25/08/06	PORT BL	15h00	PM à 14h07	PM + 00h53	85

Date	Point de Prélèvement	Heure de prélèvement	Horaire PM ou BM	Situation Marée	Coefficient
11/09/06	BL1	16h00	PM à 15h19	PM + 00h41	99
	BL2	15h45		PM + 00h26	
	BL3	15h15		PM - 00h04	
11/10/06	BL1	10h08	PM à 15h29	PM - 05h21	86
	BL2	09h57		PM - 05h32	
	BL3	09h35		PM - 05h54	
28/11/06	BL1	09h45	PM à 04h42	PM + 05h03	50
	BL2	09h25		PM + 04h43	
	BL3	NA		NA	

Baie de Somme

Date	Point de Prélèvement	Heure de prélèvement	Horaire PM ou BM	Situation Marée	Coefficient
14/03/2006	Bif	12h05	PM à 12h20	PM - 00h15	82
	Mimer	11h52		PM - 00h28	
	Atso	11h00		PM - 01h20	
	ME1	11h15		PM - 01h05	
	ME2	11h25		PM - 00h55	
14/04/2006	Bif	14h10	PM à 14h47	PM - 00h37	87
	Mimer	13h50		PM - 00h57	
	Atso	13h20		PM - 01h27	
	ME1	NA		NA	
	ME2	NA		NA	
28/04/2006	Bif	13h45	PM à 14h31	PM - 00h46	104
	Mimer	13h10		PM - 01h21	
	Atso	12h20		PM - 02h11	
	ME1	12h37		PM - 01h54	
	ME2	12h50		PM - 01h41	
12/05/2006	Bif	12h32	PM à 13h42	PM - 01h10	78
	Mimer	12h16		PM - 01h28	
	Atso	11h36		PM - 02h06	
	ME1	11h46		PM - 01h56	
	ME2	11h57		PM - 04h45	
02/06/2006	Bif	17h15	PM à 18h23	PM - 01h08	48
	Mimer	17h00		PM - 01h23	
	Atso	16h20		PM - 02h03	
	ME1	16h33		PM - 01h50	
	ME2	16h45		PM - 01h38	
13/06/2006	Bif	14h10	PM à 15h15	PM - 01h05	82
	Mimer	13h50		PM - 01h25	
	Atso	13h10		PM - 02h05	
	ME1	13h23		PM - 01h52	
	ME2	13h34		PM - 01h41	
27/06/2006	Bif	14h20	PM à 15h23	PM - 01h03	77
	Mimer	14h05		PM - 01h18	
	Atso	13h26		PM - 01h57	
	ME1	13h40		PM - 01h43	
	ME2	13h50		PM - 01h33	

Date	Point de Prélèvement	Heure de prélèvement	Horaire PM ou BM	Situation Marée	Coefficient
11/07/2006	Bif	13h30	PM à 14h19	PM - 00h49	82
	Mimer	13h15		PM - 01h04	
	Atso	12h30		PM - 01h49	
	ME1	12h45		PM - 01h24	
	ME2	13h00		PM - 01h19	
08/08/2006	Bif	12h15	PM à 13h17	PM - 01h02	75
	Mimer	12h00		PM - 01h17	
	Atso	11h10		PM - 02h07	
	ME1	11h22		PM - 01h55	
	ME2	11h30		PM - 01h47	
08/09/2006	Bif	14h15	PM à 14h32	PM - 00h17	109
	Mimer	13h45		PM - 00h47	
	Atso	12h30		PM - 02h02	
	ME1	12h45		PM - 01h47	
	ME2	13h00		PM - 01h32	
10/10/2006	Bif	14h45	PM à 16h10	PM - 01h25	97
	Mimer	14h33		PM - 01h37	
	Atso	13h40		PM - 02h30	
	ME1	14h00		PM - 02h10	
	ME2	14h08		PM - 02h02	
09/11/2006	Bif	14h15	PM à 14h29	PM - 00h14	76
	Mimer	13h52		PM - 00h37	
	Atso	13h34		PM - 00h55	
	ME1	NA		NA	
	ME2	NA		NA	
21/12/2006	Bif	11h05	PM à 12h32	PM - 01h27	79
	Mimer	11h17		PM - 01h15	
	Atso	11h40		PM - 00h52	
	ME1	11h47		PM - 00h45	
	ME2	11h50		PM - 00h42	

Annexe 2

Données brutes des analyses physico-chimiques

Temp. : Température (°C)

Sali. : Salinité (P.S.U.)

Turb. : Turbidité (N.T.U.)

M.E.S. : Matières En Suspension (mg.l⁻¹)

M.E.S. Org. : Matière Organique dans les Matières En Suspension (ou Matière Organique Particulaire : MOP) (mg.l⁻¹)

Chloro. a : chlorophylle a (µg.l⁻¹)

Phéo. : Phéopigments (µg.l⁻¹)

NH₄⁺ : Ammonium (µmol.l⁻¹)

NO₂⁻ : Nitrite (µmol.l⁻¹)

NO₃⁻ : Nitrate (µmol.l⁻¹)

PO₄³⁻ : Phosphate (µmol.l⁻¹)

SiOH : Silicate (µmol.l⁻¹)

NA : donnée manquante ou sous le seuil de détection.

2006, Radiale de Dunkerque, Station 1

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiOH
Station 1	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹
17/01/06	6,7	34,1	9,16	16	1,4	1,61	2,78	2,02	0,74	20,38	1,01	5,68
14/02/06	4,6	32,3	25,9	37,2	3,1	2,66	3,16	2,91	1,12	39,98	1,85	12,64
14/03/06	5,5	33,3	26,5	35,6	3,2	9,56	9,58	1,36	0,05	7,79	1,07	5,58
29/03/06	6,5	34,6	7,11	24,2	4	3,91	18,3	0,15	0,05	2,18	0,42	2,24
25/04/06	10,0	35,3	1,24	8,8	1,9	NA	NA	0,22	0,05	2,25	0,33	1,5
11/05/06	12,1	33,9	5,26	10	2,3	8,87	2,27	0,15	0,06	1,1	0,05	1,02
07/06/06	12,9	34,0	1,27	2,3	1,2	9,16	1,1	0,66	0,05	2,24	0,37	4,82
28/06/06	17,1	34,1	3,28	3,4	0,9	4,9	1,2	0,15	0,05	0,15	0,37	1,43
12/07/06	18,9	34,5	3,94	9,7	1,7	4,27	1,55	0,32	0,05	0,74	0,39	1,26
09/08/06	19,5	35,0	4,27	6,8	1,9	4,57	1,22	0,2	0,06	0,51	0,45	0,48
11/09/06	18,6	34,8	3	5,2	2	3,23	0,53	0,21	0,05	0,15	0,22	4,09
30/11/06	12,3	33,9	6,72	8,8	1,4	0,87	0,96	2,64	0,37	15,65	0,59	8,64
20/12/06	9,8	33,1	4,72	5,5	0,8	1,08	0,34	2,95	NA	NA	NA	NA

2006, Radiale de Dunkerque, Station 3

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiOH
Station 3	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹
17/01/06	6,6	34,3	3,37	6,3	0,5	1,45	1,05	0,88	0,65	18	0,9	4,41
14/02/06	4,8	33,0	8,71	13	1,5	1,57	1,58	1,54	0,89	34,02	1,43	10
14/03/06	5,5	33,4	9,5	15,6	2	5,24	13,7	0,43	0,05	6,76	0,7	4,38
29/03/06	6,1	34,8	10	23,8	4,2	8,56	12	0,15	0,05	2,15	0,38	1,75
25/04/06	9,2	35,4	1,09	1,4	0,7	NA	NA	0,15	0,05	2,59	0,4	1,3
11/05/06	11,1	34,1	2,79	7,9	2,1	5,4	1,37	0,15	0,05	1,07	0,05	1,21
07/06/06	12,9	34,0	1,23	1,5	0,9	3,66	0,33	0,66	0,05	2,16	0,53	3,53
28/06/06	16,0	34,1	2,5	2,3	1	3,19	0,73	0,15	0,05	0,15	0,48	1,45
12/07/06	17,7	34,6	1,57	4,1	1,3	2,66	0,83	0,46	0,07	0,61	0,32	0,61
09/08/06	19,3	35,0	1,16	2,1	1,2	3,2	0,5	0,15	0,05	0,57	0,45	0,27
11/09/06	18,5	35,0	2,1	4,9	0,6	2,6	0,89	0,15	0,05	0,15	0,1	4,13
30/11/06	12,6	34,4	2,27	2,9	0,9	0,77	0,37	1,19	0,29	10,72	0,41	7,75
20/12/06	10,5	34,0	3,83	5,9	0,9	1,12	0,57	NA	NA	NA	NA	NA

2006, Radiale de Dunkerque, Station 4

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiOH
Station 4	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹
17/01/06	6,9	34,5	2,13	2,7	0,3	1,08	0,64	1,89	0,7	16,04	0,86	4,21
14/02/06	4,9	33,1	6,98	9,2	1,2	1,53	1,4	1,56	0,85	32,68	1,34	9,56
14/03/06	5,4	33,6	3,39	5,3	1,4	5,32	11,1	2,63	0,05	5,67	0,63	3,82
29/03/06	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
25/04/06	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
11/05/06	10,6	34,1	1,48	3,2	1,9	1,02	0,15	0,8	0,05	1,16	0,05	1,26
07/06/06	12,7	34,1	0,94	1	0,9	2,36	0,27	0,53	0,05	2,28	0,41	3,06
28/06/06	16,6	34,1	1,57	0,3	0,1	2,37	0,28	0,15	0,05	0,15	0,38	1,44
12/07/06	17,4	34,8	1,33	1,4	1,1	2,6	0,69	0,27	0,05	0,53	0,33	0,57
09/08/06	19,1	34,9	0,95	1,6	1,2	2,94	0,78	0,28	0,05	0,67	0,32	0,95
11/09/06	18,4	35,0	1,5	2	0,2	2,87	0,83	0,97	0,05	0,15	0,08	4,36
30/11/06	12,9	34,5	1,56	2,3	0,9	0,47	0,63	0,83	0,41	9,82	0,35	7,68
20/12/06	11,1	34,4	1,28	1,4	0,7	0,85	0,16	0,15	NA	NA	NA	NA

2006, Radiale de Boulogne, Station 1

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiOH
Station 1	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹
16/01/06	6,2	33,6	4,6	9,4	1,3	3,8	2,0	1,0	0,6	20,4	0,9	4,4
13/02/06	5,1	33,2	8,1	9,5	1,2	2,0	1,8	3,4	0,8	28,8	1,3	7,8
13/03/06	5,0	34,3	3,8	7,4	2,4	15,4	4,2	0,3	0,1	2,1	0,3	2,8
03/04/06	7,3	34,7	3,7	5,3	2,4	4,0	10,8	1,3	0,1	3,4	0,3	2,7
12/04/06	8,1	35,0	3,1	5,6	2,4	8,0	1,5	0,3	0,1	2,3	0,3	1,6
26/04/06	9,7	34,8	1,4	3,7	1,1	4,0	0,4	0,6	0,1	2,7	0,3	1,3
10/05/06	11,1	33,3	4,7	1,3	1,0	3,2	2,3	2,2	0,1	4,0	0,3	1,6
29/05/06	12,8	33,9	1,9	7,9	1,9	5,8	0,2	3,9	0,1	4,5	0,4	0,9
12/06/06	15,0	33,6	1,1	5,2	1,5	7,3	1,7	2,1	0,2	0,6	1,0	1,6
26/06/06	15,6	34,5	2,1	4,3	1,6	10,8	2,5	0,5	0,1	0,6	0,4	1,6
10/07/06	18,9	34,2	2,4	3,4	1,3	8,3	1,9	1,5	0,1	0,2	0,5	1,6
07/08/06	19,0	34,9	3,5	5,1	0,9	2,5	2,9	2,4	0,3	1,6	0,5	4,0
11/09/06	19,1	34,3	2,9	5,3	0,8	4,7	1,8	0,4	0,1	0,2	0,1	4,0
11/10/06	17,0	34,5	10,8	17,5	2,1	3,7	4,1	2,6	0,3	10,0	0,4	6,8
28/11/06	12,1	33,5	6,7	7,5	0,6	1,1	1,4	2,7	0,4	18,7	0,6	8,9

2006, Radiale de Boulogne, Station 2

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiOH
Station 2	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹
16/01/06	6,9	34,1	1,8	2,4	0,8	1,1	1,9	1,0	0,6	13,4	0,9	4,1
13/02/06	5,6	33,6	6,1	8,4	0,8	1,5	1,5	1,3	0,8	25,5	1,2	6,9
13/03/06	5,3	34,6	2,3	4,6	1,8	14,0	3,1	0,2	0,1	2,2	0,3	2,8
03/04/06	6,8	35,3	2,0	3,6	2,0	3,4	6,5	0,2	0,1	2,7	0,3	1,9
12/04/06	7,9	35,4	1,7	1,7	1,7	NA	NA	0,6	0,1	2,2	0,5	1,4
26/04/06	9,4	35,1	1,5	2,4	0,9	NA	NA	0,2	0,1	2,1	0,3	1,3
10/05/06	10,6	34,1	0,7	0,8	0,8	3,0	0,3	0,6	0,1	3,1	0,3	1,1
29/05/06	12,5	33,8	2,4	3,7	1,3	10,0	2,3	1,0	0,1	1,7	0,3	0,8
12/06/06	14,5	33,7	1,2	2,2	1,0	5,1	1,1	1,6	0,1	1,4	1,0	2,2
26/06/06	15,0	34,8	0,5	1,4	1,0	5,1	0,8	1,1	0,1	0,2	0,3	1,5
10/07/06	17,9	34,6	1,7	2,9	1,9	5,3	0,4	0,3	0,1	0,2	1,2	1,5
07/08/06	18,9	35,0	2,0	1,8	0,8	2,2	0,3	1,2	0,2	1,4	0,5	2,8
11/09/06	19,0	34,7	2,9	4,3	1,5	3,1	1,3	0,3	0,1	0,2	0,1	4,8
11/10/06	17,4	34,9	4,7	9,4	1,1	3,4	2,1	0,7	0,3	6,2	0,3	7,2
28/11/06	12,7	34,2	3,1	2,2	0,6	1,0	0,5	1,3	0,2	13,0	0,5	8,0

2006, Radiale de la Baie de Somme, Station BIF

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiOH
BIF	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹
14/03/06	4,80	33,20	15,20	26,80	4,40	24,10	8,83	0,35	0,10	5,75	0,34	4,20
14/04/06	9,30	32,90	32,60	43,90	3,50	12,71	4,10	1,44	0,24	8,65	0,87	2,39
28/04/06	10,80	33,60	4,79	11,20	2,10	6,44	5,34	0,91	0,25	7,04	0,26	2,01
12/05/06	13,20	32,00	2,88	5,30	1,60	11,46	2,80	3,97	0,05	5,54	0,20	1,90
02/06/06	14,40	30,80	6,20	8,80	2,30	9,24	2,55	0,15	0,84	15,73	0,06	4,14
13/06/06	17,50	32,10	2,33	5,40	2,20	18,74	4,16	0,36	0,13	1,05	0,44	1,65
27/06/06	17,00	32,90	4,36	11,10	2,60	18,07	5,63	0,17	0,08	0,15	0,27	1,77
11/07/06	19,70	32,30	12,40	17,60	2,80	30,79	11,53	0,50	0,05	0,15	0,60	1,57
08/08/06	20,00	33,70	7,02	12,70	2,40	18,26	5,27	0,58	0,07	0,59	0,50	1,22
08/09/06	NA	32,50	8,30	18,50	2,80	24,38	7,46	0,30	0,39	0,15	0,38	4,23
10/10/06	16,70	33,50	19,80	26,00	1,50	4,65	3,65	4,02	0,60	18,82	0,53	10,10
09/11/06	12,90	32,80	22,50	38,30	2,00	3,60	5,12	4,81	0,59	22,20	0,55	7,18
21/12/06	8,40	31,40	11,60	17,70	0,90	1,99	1,73	5,63	NA	NA	NA	NA

2006, Radiale de la Baie de Somme, Station MIMER

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiOH
MIMER	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹
14/03/06	5,00	33,60	14,60	24,60	3,20	23,60	6,88	0,32	0,12	5,05	0,30	3,24
14/04/06	9,20	33,30	28,60	40,70	2,50	NA	NA	0,94	0,16	8,19	0,77	2,01
28/04/06	10,90	33,50	5,56	12,30	1,50	11,57	4,19	0,18	0,29	7,47	0,24	1,29
12/05/06	12,60	32,60	2,10	5,60	1,90	11,87	2,87	3,12	0,29	3,81	0,20	1,09
02/06/06	13,30	32,30	3,25	4,10	1,30	4,01	1,07	0,40	0,31	7,59	0,19	1,22
13/06/06	16,90	32,30	3,17	8,90	3,20	26,39	5,07	0,20	0,10	1,13	0,50	1,73
27/06/06	17,10	32,90	4,45	8,80	1,70	13,12	4,21	0,22	0,05	0,60	0,40	1,51
11/07/06	19,30	33,10	8,78	18,50	2,10	12,84	6,44	0,18	0,05	0,15	0,86	1,64
08/08/06	19,90	33,40	4,63	6,90	1,30	4,90	2,23	0,62	0,07	0,76	0,19	1,19
08/09/06	NA	32,70	8,20	19,80	4,60	5,98	4,41	1,76	0,41	1,33	0,41	4,56
10/10/06	16,50	33,50	22,10	29,10	1,60	3,43	2,93	5,08	0,65	18,58	0,63	10,13
09/11/06	12,20	31,50	12,60	13,10	0,90	2,74	2,01	6,89	0,84	33,08	0,86	10,66
21/12/06	8,50	31,70	22,40	45,20	2,10	1,50	2,11	4,50	NA	NA	NA	NA

2006, Radiale de la Baie de Somme, Station ATSO

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiOH
ATSO	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹
14/03/06	5,10	33,90	8,39	19,20	1,80	23,05	7,12	0,42	0,05	4,08	0,30	2,64
14/04/06	8,90	34,10	11,90	34,40	2,80	NA	NA	0,45	0,09	6,08	0,73	1,32
28/04/06	10,50	33,90	2,73	6,20	1,30	14,76	4,42	0,31	0,25	7,29	0,26	1,34
12/05/06	12,00	33,10	1,76	2,60	1,90	7,28	1,71	2,92	0,48	7,11	0,11	2,01
02/06/06	13,00	32,70	2,32	6,30	2,10	5,03	1,26	0,15	0,20	5,91	0,28	0,88
13/06/06	16,30	32,50	3,01	3,60	1,80	20,79	3,84	0,31	0,37	0,56	0,70	2,32
27/06/06	16,60	33,60	1,41	2,90	1,40	10,58	2,83	0,31	0,10	0,42	0,33	1,79
11/07/06	18,60	33,70	3,28	7,70	2,00	11,34	3,52	0,21	0,05	0,52	0,42	1,53
08/08/06	20,10	34,10	3,30	7,00	1,30	4,40	1,46	0,52	0,06	0,54	0,31	0,68
08/09/06	NA	34,00	5,50	25,60	3,40	10,85	4,00	0,48	0,25	2,26	0,22	5,29
10/10/06	16,80	34,00	17,50	33,50	2,10	6,43	3,15	2,36	0,46	15,64	0,49	8,61
09/11/06	13,00	33,10	4,40	19,20	1,70	9,20	3,71	3,54	0,71	23,34	0,64	8,05
21/12/06	9,60	32,70	7,32	13,20	0,70	2,47	1,23	2,45	NA	NA	NA	NA

2006, Radiale de la Baie de Somme, Station MER 1

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiOH
MER 1	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹
14/03/06	5,20	34,30	6,56	13,20	2,20	17,51	4,25	0,56	0,05	2,81	0,23	1,85
14/04/06	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
28/04/06	10,30	34,40	2,57	7,60	1,30	10,31	3,68	0,61	0,11	5,08	0,28	1,04
12/05/06	12,00	33,40	1,86	2,90	1,90	4,57	1,45	3,12	0,54	8,07	0,11	2,14
02/06/06	13,00	33,00	1,62	1,80	1,40	3,07	0,21	0,15	0,23	6,44	0,24	0,88
13/06/06	15,90	32,80	1,14	2,50	1,20	16,02	2,92	0,29	0,08	0,65	0,92	1,62
27/06/06	16,20	33,90	0,81	1,70	1,30	9,06	1,56	0,15	0,05	0,54	0,21	1,42
11/07/06	19,10	33,60	2,28	3,60	1,90	7,26	1,61	0,33	0,05	0,84	0,21	1,18
08/08/06	19,80	34,10	3,27	7,60	1,40	4,63	1,55	0,60	0,09	0,60	0,14	0,67
08/09/06	NA	34,30	1,70	16,60	2,70	6,15	3,54	0,71	0,17	0,79	0,15	5,30
10/10/06	17,20	34,60	5,75	28,00	1,80	12,88	3,17	0,27	0,30	10,79	0,41	7,00
09/11/06	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
21/12/06	9,70	32,80	4,18	6,30	0,80	2,24	0,81	2,28	NA	NA	NA	NA

2006, Radiale de la Baie de Somme, Station MER 2

	Temp.	Sali.	Turb.	M.E.S.	M.E.S Org	Chloro a	Phéo.	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SiOH
MER 2	°C	P.S.U.	N.T.U.	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹	µmol.l ⁻¹
14/03/06	5,20	34,70	3,98	10,50	2,00	14,46	3,81	0,49	0,05	2,11	0,30	1,68
14/04/06	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
28/04/06	9,90	34,80	1,42	7,60	1,70	8,75	1,97	0,42	0,05	3,86	0,28	1,03
12/05/06	11,60	33,60	0,86	2,40	1,90	6,09	0,79	1,81	0,12	2,40	0,27	0,96
02/06/06	13,00	33,20	0,87	0,90	0,90	3,20	0,35	0,15	0,17	6,67	0,38	1,12
13/06/06	15,50	32,90	0,78	1,20	0,60	13,67	1,87	0,15	0,05	0,15	0,90	0,42
27/06/06	16,10	34,00	1,31	1,40	1,30	9,24	2,25	0,15	0,05	0,15	0,21	1,45
11/07/06	18,40	34,10	1,14	1,90	0,80	7,31	1,73	0,34	0,05	0,15	0,55	1,54
08/08/06	19,70	34,20	2,86	5,40	0,90	3,87	1,23	0,56	0,05	0,66	0,12	0,73
08/09/06	NA	34,50	1,30	14,30	1,90	9,76	2,59	0,15	0,10	0,15	0,05	5,16
10/10/06	17,30	34,80	4,12	30,50	2,40	14,92	2,77	0,15	0,22	8,17	0,34	6,38
09/11/06	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
21/12/06	9,90	33,10	2,73	3,40	0,80	1,83	0,70	1,61	NA	NA	NA	NA

Annexe 3

Données météorologiques
(Source : Météo-France)

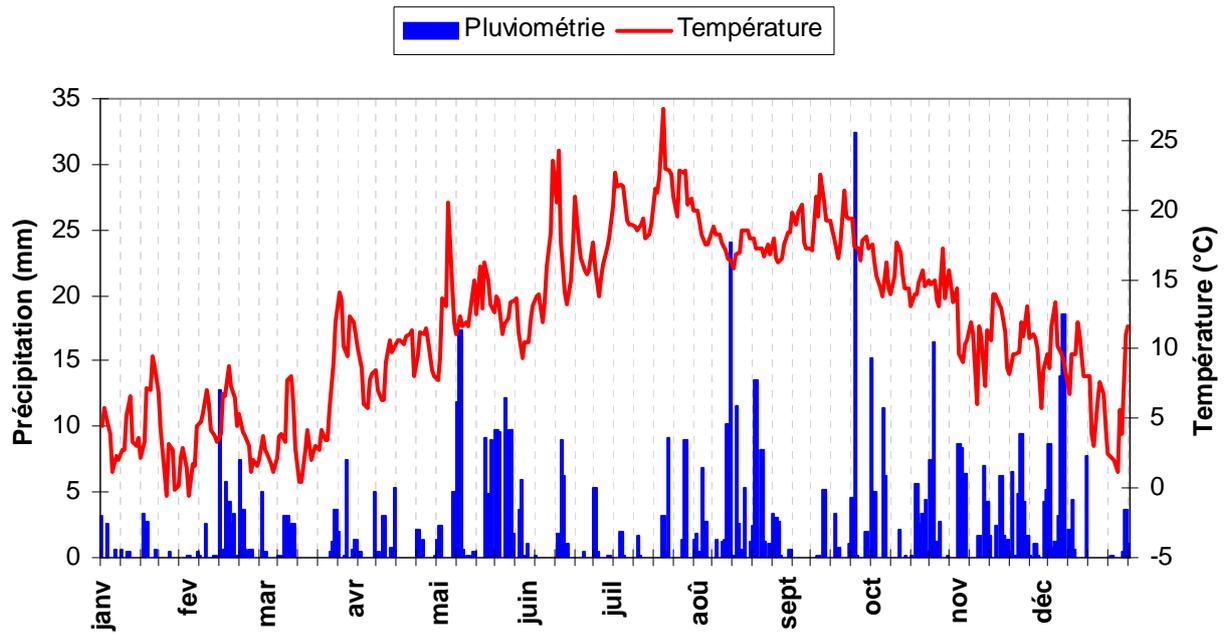


Figure I.a. Évolution des précipitations moyennes et des températures moyennes à Dunkerque en 2006

	Pluviométrie (mm)	Température (°C)
Minimum	0	-0,6
Maximum	32,4	27,3

Figure I.b. Minima et maxima des précipitations moyennes et des températures moyennes à Dunkerque en 2006

-Station Météo-France de Dunkerque-

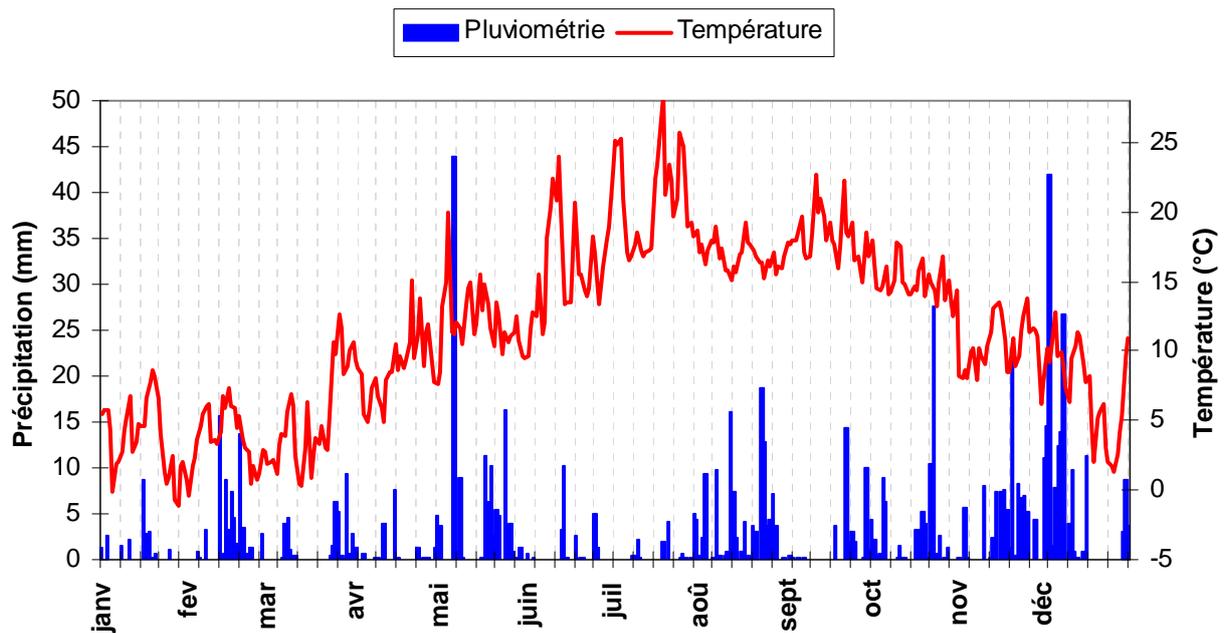


Figure II.a. Évolution des précipitations moyennes et des températures moyennes à Boulogne-sur-Mer en 2006

	Pluviométrie (mm)	Température (°C)
Minimum	0	-1,1
Maximum	44	28,5

Figure II.b. Minima et maxima des précipitations moyennes et des températures moyennes à Boulogne-sur-Mer en 2006

-Station Météo-France de Boulogne-sur-Mer-

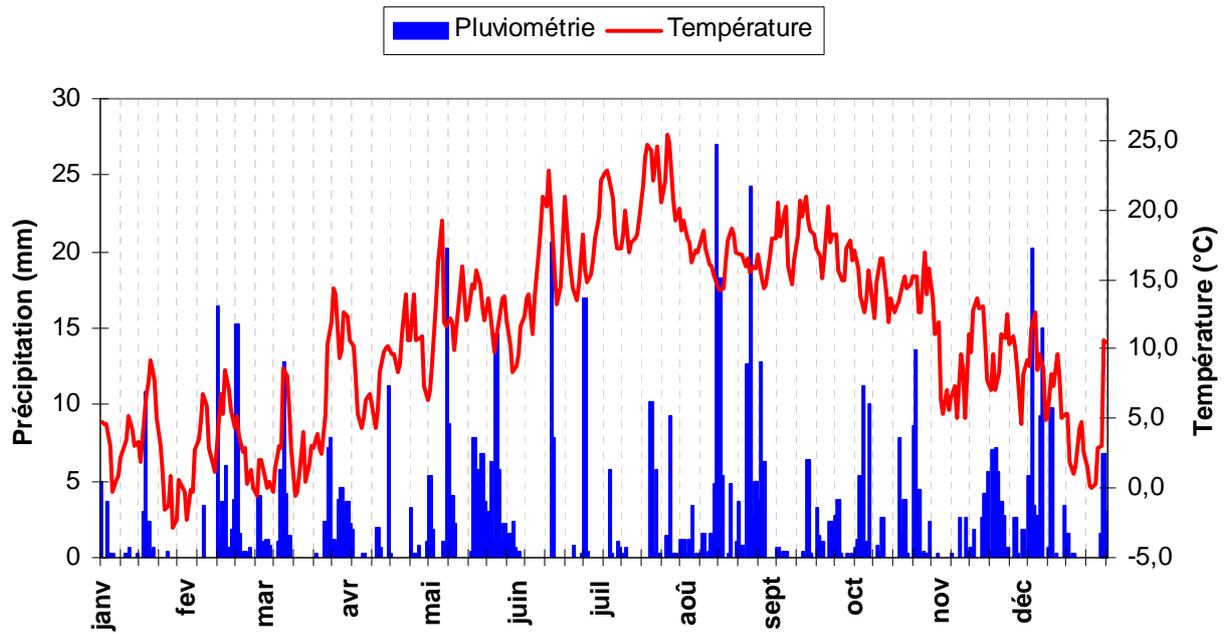


Figure III.a. Évolution des précipitations moyennes et des températures moyennes à Abbeville en 2006

	Pluviométrie (mm)	Température (°C)
Minimum	0	-2,9
Maximum	27	25,4

Figure III.b. Minima et maxima des précipitations moyennes et des températures moyennes à Abbeville en 2006

-Station Météo-France d'Abbeville-