



Faculté des Sciences

Département des Sciences de la Mer

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister

Distribution des matières nutritives minérales et organiques dans les panaches littoraux (golfe d'Annaba) de l'estuaire de Mafrag

Option

ENVIRONNEMENT LITTORAL

Par : LEJDDEL Nadjemeddine

Directeur de Mémoire : M. OUNISSI Makhoul

Pr. U. ANNABA

Devant Le Jury :

Président: M. Derbal. F.

Mc U. Annaba

Examineur: M. Fréhi H.

Mc U. Annaba

Examineur: M. Drardja B.

Mc U. Annaba

Année 2009

Sommaire

Introduction	01
Chapitre I. Matériel et méthodes	
1. Caractères géographiques du golfe d'Annaba.....	04
2. Prélèvements et méthodes d'analyse chimiques.....	08
Chapitre II : Caractères hydrologique	
1. Variation de la température	10
2. Variation de la salinité	12
Chapitre III. Distribution des sels nutritifs et des matières organiques	
1. Distribution des sels nutritifs.....	13
1.1. Distribution de l'azote minéral.....	14
• L'azote ammoniacal (NH_4^+).....	14
• Les nitrates (NO_3).....	16
• Les nitrites (NO_2^-).....	18
• L'azote inorganique dissous (NID).....	20
1.2. Le phosphore.....	23
• Les phosphates (PO_4^{-3}).....	23
• Les polyphosphates (P_2O_5).....	26
• Le Phosphore organique (POD)	28
• Le phosphore total dissous.....	30
2. Distribution de la matière organique.....	32
2.1. Le carbone organique particulaire (COP).....	32
2.2. L'azote organique dissous (NOD).....	34
2.3. La biomasse phytoplanctonique chlorophyllienne (Chla).....	37
Discussion et conclusion.....	41
Références bibliographiques.....	45
Résumé en français.....	46
Résumé en anglais.	47
Résumé en arabe.....	48

Distribution des matières nutritives minérales et organiques dans les panaches littoraux (golfe d'Annaba) de l'estuaire de Mafrag

Auteur : Lejddel Nedjemeddine

Département des sciences de la mer, Faculté des sciences, Université Badji Mokhtar Annaba.

E- mail: lejddel.n-biomarine@hotmail.com

Résumé

L'objectif de cette étude est de déterminer le niveau d'enrichissement du littoral d'Annaba soumis aux apports de deux estuaires ayant un large bassin versant de 10 000 km². La distribution de la matière organique (NOD, POD, COP) et des éléments nutritifs (l'azote (NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻) le phosphore (PO₄³⁻, P₂O₅, Phosphore Total Dissous) a été étudié au cours d'un cycle annuel en 2007 à partir de 7 stations côtières différemment soumises aux panaches des estuaires. On considère que le golfe est notamment enrichi par les PO₄³⁻ dont la teneur moyenne atteint 2 µmoles. l⁻¹ alors que la fraction organique s'élève à 6 µmoles. l⁻¹. L'azote minéral dissous est assez abondant (6 µmoles. l⁻¹) et dominé par l'azote ammoniacal à 65%. Les teneurs en NOD sont anormalement élevées 60% de l'azote total traduisant la forte productivité biologique. Cette production s'exprime en effet par les fortes biomasses phytoplanctoniques atteignant en moyenne 5 mg. m⁻³ des que le COP dont les teneurs culminent en moyenne à 3 mg. l⁻¹. Les conditions d'eutrophie modérée régnant dans le golfe d'Annaba reviennent à l'abondance de la matière organique soutenue par les apports d'estuaires.

Mots Clés : Azote, Phosphore, environnement littoral, apports continentaux, golfe d'Annaba.

Avant propos

Ce travail a été réalisé au département des sciences de la mer (DSM)

Au terme de ces trois ans (et des poussières) passés dans le golfe d'Annaba au Laboratoire de l'Environnement littoral, je tiens à exprimer ici mes remerciements et ma plus profonde gratitude à tous ceux qui, par leur aide ou simplement la sympathie qu'ils m'ont témoignée, ont contribué à l'élaboration de ce travail. Pour m'aider dans ce travail, certains sont intervenus de multiples fois d'autres plus ponctuellement, je les en remercie en conséquence, et que les oubliés me pardonnent par avance.

Je tiens tout d'abord à remercier mon encadreur de thèse. Je suis très reconnaissant envers Mr Pr Ounissi Makhoul d'avoir suivi et guidé ce travail par ces conseils et ces remarques très impressionnantes Théoriques et pratiques , ces expériences, ces conseils et sa disponibilité ont aussi été des atouts considérables lors de la rédaction de ce manuscrit. je lui exprimer tout mes respects et ma gratitude et ma vif reconnaissance .

je remercier Mr Derbal Farid d'avoir accepté de présider ce jury et examiner mon travail avec les appréciations de ces recommandations pour une bonne raison d'amélioration scientifique .

Je remercie vivement Draredja Brahim et Fréhi Hocine d'avoir accepté d'être membres de ce jury en tant que rapporteurs. Leur lecture attentive de mon manuscrit et leurs remarques ont permis un débat animé tel que je l'avais espéré.

Je remercie sincèrement Madame Belbacha-khelifi-Touhami Meriem Charger de Cours qui ma toujours encourager pour assuré et soutenir un travail de qualité au cours des années de mon Cycle d'études je lui exprime toute ma gratitude.

Je remercier vivement Mr Haridi Ahcen Mettre assistant pour m'aider et améliorer ce travail par leur conseils remarquables et son soutien ponctuelle.

Je tiens a remercier toutes l'équipes du laboratoire d'Environnement littoral (Ziouche R , Mm Chetibi W, Belbacha S , Saker I ,ect) ancienne promos qu'ils nous a donner leur expérience partagés dans notre domaine scientifique .

Je tiens a remercier la promo d'étude (Kebabessa R, Benjdid R, Tazir K, Hadeb H, Fekrache F, Diaf A, Bouziane) pour les soutiens d'amitiés et la collaborations professionnelle .

Je remercie chaleureusement les enseignants qui m'ont donné la volonté et le courage de suivre mes études avec un âme et cœur plein de vitalité a ce travail.
Merci pour leur écoute concernant mes avancées scientifiques et mon avenir professionnel.

Je tiens aussi à remercier tous mes amis qui m'ont accompagnée sur ce long chemin d'études pour son soutien constant, ses conseils éclairés .

Merci enfin à mes parents surtout ma mère pour la confiance qu'ils m'ont toujours accordée, pour leurs encouragements et leur soutien de tous les instants. Merci à toute ma famille et surtout ma grande sœur, et en particulier à ma mère pour son admiration inconditionnelle

portée dans son grand coeur : tous m'ont donné tout le courage dont j'avais besoin pour avancer toujours plus loin.

Abstract

The purpose of this study is to determine the level of enrichment Coastal Annaba subject to inputs of two estuaries with a wide catchment area of 10 000 km². The distribution of organic matter (NOD, POD, COP) and nutrients (nitrogen (NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻) phosphorus (PO₄³⁻, P₂O₅, Total Dissolved Phosphorus) was studied during a annual cycle in 2007 from 7 coastal stations subject to different estuarine plumes. We consider that the Gulf is particularly enriched by PO₄³⁻ whose average content of 2 µmoles. l⁻¹ while the organic fraction is 6 µmoles. l⁻¹. Nitrogen dissolved mineral is abundant (6 µmoles. l⁻¹) and dominated by the ammoniacal nitrogen and 65% respectively. NOD levels are abnormally high 60% of the total nitrogen reflecting strong productivity biologique. This production is expressed in effect by the high phytoplankton biomasses reaching an average of 5 mg. m⁻³ of the COP whose peak levels averaged 3 mg. l⁻¹. The moderate eutrophic conditions prevailing in the Gulf of Annaba returned to the abundance of organic matter supported by inputs from estuaries.

Keywords: Nitrogen, Phosphorus, coastal environment, transfers continental, Gulf of Annaba.

الملخص

الغرض من هذه الدراسة هو تحديد مستوى تخصيب البيئة الساحلية لخليج عنابة الخاضعة لاثنتين من أهم مصبات الأنهار الواسعة ذات مساحة تقدر بـ 10 000 كيلومتر مربع. توزيع المواد العضوية (أزوت عضوي مذاب ، فسفور عضوي مذاب ، كربون عضوي جسيم ، والأملاح (النيتروجين ، NO_3^- ، NH_4^+) NO_2^-) الفوسفور (PO_4^{3-} ، P_2O_5)، مجموع الفسفور المذاب خلال دراسة الدورة السنوية لعام 2007 في المحطات الساحلية السبعة الخاضعة لمصبات القارية للأنهار المختلفة، ونحن نعتبر أن منطقة الخليج الساحلي بشكل خاص غنية بـ الفوسفات PO_4^{3-} حيث أن المتوسط السنوي يصل إلى 2 مول. L^{-1} بينما الجزء العضوي 6 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. الأزوت المعدني المذاب المتوفر بقيمة (6 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) ، والتي تمثل قيمة كلية 65 % من نشادر الأزوت. قيم اللأزوت العضوي المذاب عالية النسبة مقدرة بـ 60 % من اللأزوت الكلي . تؤكد على كثرة الانتاج البيولوجي المبين بوفرة الكتلة الحيوية للكائنات النباتية المجهرية الممثلة بقيمة متوسطة 5 مغ. L^{-3} وان قيمة الكربون العضوي الجسيمى ممثل بقيمة متوسطة 3 مغ. L^{-1} . خصائص تشبع منطقة خليج عنابة الساحلي راجع الى كثرة المواد العضوية المدعمة من قبل مداخل مصبات القارية للأنهار.

الكلمات المفاتيح : النيتروجين ، والفوسفور، والبيئة الساحلية ، مصبات القارية للأنهار ، خليج عنابة.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques géographiques des stations marines étudiées de mars 2007-février 2008. Distance aux embouchures : 1, 6 et 7 par rapport a Seybouse et le reste des stations par rapport a Mafrag.....	04
Tableau 2 : Résumé des méthodes d'analyse des éléments chimiques et biochimiques.	06
Tableau 3 : Valeurs de la température moyennes annuelle de surface et fond dans les différentes stations de golf d Annaba de mars 2007- février 2008.....	09
Tableau 4 : Valeurs moyennes, minimales et maximales de la salinité dans les eaux de surface et fond, dans le golfe d Annaba de mars 2007 -février 2008.....	11
Tableau 5 : Valeurs moyennes annuelles de l'ammonium ($\mu\text{moles. l}^{-1}$) dans le littoral d'Annaba pour la période mars 2007-février 2008.....	14
Tableau 6 : Valeurs moyennes annuelles des nitrates ($\mu\text{moles. l}^{-1}$) dans les stations étudiées du golfe d'Annaba pour la période mars 2007-février 2008.....	16
Tableau 7 : Valeurs moyennes annuelles des teneurs en NO_2^- ($\mu\text{moles. l}^{-1}$) enregistrées dans le golfe d'Annaba pour la période mars 2007-fevrier 2008.....	18
Tableau 8 : Valeurs moyennes annuelles de NID ($\mu\text{mole. l}^{-1}$) dans le golfe d'Annaba pour la période mars 2007-février 2008.....	20
Tableau 9 : Valeurs moyennes annuelles de la fraction des différentes formes d'azote inorganique dissous (NID) dans les stations étudiées du golfe d'Annaba pour la période mars 2007-février 2008.....	21
Tableau 10 : Valeurs moyennes annuelles de phosphore po_4 ($\mu\text{mole. l}^{-1}$), dans le golfe d'Annaba pour la période mars 2007-fevrier 2008.).....	23
Tableau 11 : Valeurs moyennes annuelles de rapport N/P dans le golfe d'Annaba pour la période mars 2007-fevrier 2008.....	24
Tableau 12 : Valeurs moyenne annuels des teneurs de carbone organique particulaire COP en (mg/l) dans le golfe d Annaba de mars 2007 - Février 2008.....	32
Tableau 13 : Valeurs moyennes annuelles ($\mu\text{moles. l}^{-1}$) des teneurs en azote organique dissous (NOD) dans le golfe d Annaba de mars 2007-février 2008.....	34
Tableau 14 : Valeurs moyennes annuelles ($\mu\text{moles. l}^{-1}$) de l'azote total dissous Nt (NOD+NID) et du rapport de la fraction organique à la fraction minérale (NOD/NID) dans le golfe d'Annaba au cours de la période mars 2007-février 2008.....	35
Tableau 15 : Valeurs moyenne annuelles en chlorophylle (a) en (mg. m^{-3}) dans le golfe d Annaba en mars2007-fevrier 2008.....	37
Tableau 16 : Valeurs moyennes annuelles des nutriments ($\mu\text{moles.l}^{-1}$) et de la Chla (mg .m^{-3}) dans différents sites méditerranéens.....	41

Listes des figures

Figure 1 : Carte du golfe d'Annaba montrant le positionnement des stations échantillonnées de mars 2007 -février 2008.....	04
Figure 2 : Variation de la température dans le golfe d Annaba de mars 2007 - février 2008.....	10
Figure 3 : Variations de la salinité dans le golfe d'Annaba de mars 2007- février 2008.....	12
Figure 4 : Variation des teneurs en NH_4^+ dans le littoral d'Annaba pour la période mars 2007-février 2008.....	15
Figure 5 : Les teneurs des nitrates NO_3^- ($\mu\text{moles. l}^{-1}$) dans le golfe d'Annaba pour la période mars 2007-février 2008.....	17
Figure 6 : Variation mensuelles des teneurs en NO_2^- ($\mu\text{moles. l}^{-1}$) dans le golfe d'Annaba pour la période mars 2007-février 2008.....	19
Figure 7 : Valeurs moyennes annuelles de la fraction des différentes formes d'azote inorganique dissous (NID) dans le golfe d'Annaba pour la période mars 2007-fevrier 2008.....	21
Figure 8 : Variation annuelles des teneurs de l'azote inorganique dissous NID ($\mu\text{moles. l}^{-1}$) dans le golfe d'Annaba pour la période mars 2007-fevrier 2008.....	22
Figure 9 : Variation annuelles des teneurs de phosphore ($\mu\text{moles. l}^{-1}$) dans le golfe d'Annaba pour la période mars 2007-fevrier 2008.....	25
Figure 10 : variations saisonnières des teneurs des polyphosphates P_2O_5 dans le littoral d'Annaba en 2007. ↓ : Pas de données.	27
Figure 11 : Variations saisonnières des teneurs des phosphores organiques dissoutes dans le littoral d'Annaba en 2007. ↓ : Pas de données.....	29
Figure 12 : Variations saisonnières des teneurs de Phosphore total (Pt) dans le littoral d'Annaba en 2007↓ : Pas de données	31
Figure 13 : Variations mensuelles de teneurs en carbone organique particulaire COP (mg/l) dans le golfe d Annaba de mars 2007-février 2008.....	33
Figure 14 : Variations mensuelles des teneurs de l'azote organique dissous (NOD) dans le golfe d'Annaba pour la période mars 2007–février 2008.....	36

Introduction

Le fonctionnement et l'hydrologie de la Méditerranée sont largement contrôlés par les conditions climatiques et en particulier les apports fluviaux. Ce bassin semi fermé enserré au milieu des continents à bilan hydrique négatif où l'apport par les rivières ne représente que $683 \text{ km}^3/\text{an}$ (Béthoux et Gentili, 1999). La méditerranée reçoit d'importantes charges de nutriments d'origine naturelle ou anthropique drainée par les eaux fluviales et véhiculées par voies atmosphérique (Margat, 2004). Pourtant les études biogéochimiques montrant la pauvreté de la Méditerranée en phosphore ne sont pas rares et l'on rapporte des valeurs de rapport N/P souvent supérieur aux valeurs normales de Redfield (Krom et al., 1991 ; Moutin & Raimbault, 2002 ; Mc Gill, 1961 ; Mc Gill, 1965, Raimbault et Coste, 1990 ; Béthoux et al., 1998). L'environnement côtier peut donc être hautement contrôlé par l'enrichissement en nutriment d'origine fluviale et estuarienne. La méditerranée connaît en conséquence, des modifications rapides de son chimisme directement lié aux apports issus des activités agricole, domestique et du tourisme (Turley, 1999 ; Béthoux et al., 2002). Les teneurs en phosphore et en nitrates en particulier ont rapidement augmenté dans les eaux profondes méditerranéennes et le rapport N/P a augmenté à raison de 3% par an dans la zone algéro- provençale (Béthoux et al., 2002).

Les sels nutritifs azotés (nitrates NO_3^- et l'ammonium NH_4^+) fournissent aux végétaux l'azote nécessaire à la synthèse des acides aminés et sont des constituants essentiels des protéines. Le phosphore aussi utilisé par les végétaux est sous forme de phosphate (PO_4^{3-}) pour la synthèse des molécules riches en énergie.

En dépit de ces perturbations, la relation directe entre les apports hydriques de nutriments fluviaux et de la productivité biologique des écosystèmes marins, est universellement bien établie (Deegan et al., 1986 ; Budgen et al., 1982 ; El-Sayed et van Gert ; 1995 ; Estrada, 1996 ; Tsai et al., 1997 ; Daskalov, 1999).

Les études écologiques du golfe d'Annaba sont très peu nombreuses et éparses dans le temps et dans l'espace. Les premières études ont concerné le plancton et son environnement physico-chimique (Fréhi, 1999 ; Ounissi et al., 1998 ; Ounissi et Fréhi, 1999). Plus récemment Fréhi (2007) étudia l'écologie des peuplements de Dinophycées

en relation avec les conditions environnementales. Ensuite Ziouch (2007) étudia les conditions chimiques du golfe en relations avec les panaches de l'estuaire du Mafrag. L'auteur en montra que le golfe bien que riche reste tributaire des apports de Mafrag où les teneurs en sels nutritifs sont deux fois plus abondants que dans le golfe et que la biomasse phytoplanctonique est 6 fois plus importante.

Cette étude est la première

Le présent travail s'attache à l'étude de la distribution des nutriments, des matières organiques particulaire et dissoute et de la biomasse phytoplanctonique.

L'objectif est de déterminer les conditions hydrologiques et le niveau d'enrichissement du littoral d'Annaba soumis aux apports de deux estuaires ayant un large bassin versant de 10 000 km².

Le mémoire est structuré en trois chapitres dont le premier chapitre expose le golfe d'Annaba et les méthodes d'analyse chimiques et biochimiques utilisées. Le deuxième chapitre traite les caractères hydrologiques. Le troisième chapitre donne la distribution des matières nutritives minérales et organiques. En fin le mémoire s'achève par une discussion des données.

CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODES

1. Caractères géographiques du golfe d'Annaba

Le golfe d'Annaba s'étend sur un large plateau continental allant jusqu'à 40km. Il est affecté par un courant permanent de direction Est et reçoit les apports à l'Est par l'estuaire du Mafrag et à l'Ouest par la Seybouse (Figure. 1) auxquels il faut ajouter les rejets urbains et industriels de la ville d'Annaba et les zones de Taref fortement urbanisées. Ces avantages océanographiques sont contrastés par les rejets domestiques et industriels provenant de la ville d'Annaba, qui sont fortement urbanisées avec près d'un million d'habitants. Si les influences naturelles (apports continentaux, courant permanent) ont pour effet le renouvellement hydrologique et la fertilisation du milieu (Fréhi, 1995 ; Ounissi et Fréhi, 1999 ; Gouiez, 2006 ; Ziouche, 2007 ; Aouissi, 2008), les rejets urbains et industriels ramènent à la côte Ouest des masses considérables de sels nutritifs et de matières organiques (Saker, 2007 ; Khammar, 2007 ; Aounallah, 2007 ; Laabed *et al.*, 2006, Ounissi *et al.*, 2007).

La zone Est du golfe n'est pas totalement épargnée de ces influences anthropiques, mais semble plutôt sous la dépendance des relations d'échanges avec l'estuaire du Mafrag. En effet, lors des périodes de crues, les panaches du Mafrag s'étendent sur plusieurs dizaines de kilomètres carrés entraînant d'importantes quantités de sédiments, de matières en suspension, de sels nutritifs et de divers contaminants terrestres.

En période d'ouverture de l'estuaire (Figure 1), la frange côtière est renouvelée et enrichit par les flux estuariens au gré d'une marée biquotidienne, permettant un échange de 20 millions de m³ par jour (Khélifi-Touhami *et al.*, 2006). En phase de fermeture de l'estuaire (qui dure selon la pluviométrie, quelques jours à quelques mois, Figure. 1), la côte n'est soumise qu'aux conditions atmosphériques et aux apports par les sources émergées du massif dunaire. En fait, l'estuaire du Mafrag est temporairement ouvert en hiver et au printemps sauf par année pluvieuse où il reste ouvert toute l'année. En 2007, l'estuaire s'est fermé durant 6 mois, de la fin juin jusqu'à la fin décembre.

Le golfe d'Annaba est battu par les vents Nord à Nord Ouest de la fin de l'automne jusqu'à la fin du printemps et par un vent d'Est en été. La côte sud-ouest,

particulièrement exposée aux vents du Nord, est sujette à de forts transports et accumulations sédimentaires.

Sur le plan économique, le golfe entretient des débarquements se comptant parmi les plus importants d'Algérie. Selon le Dr Derbal F. (com. pers., 25 avril 2007), la pêche s'articule sur les poissons pélagiques (Sardines à 80%).

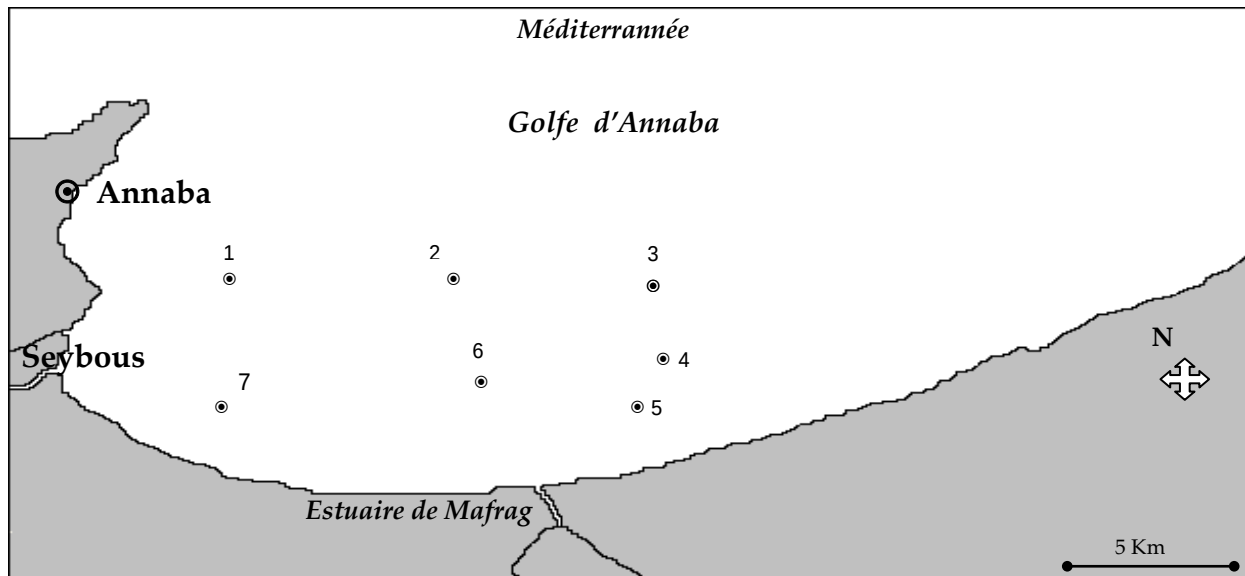


Figure 1 : Carte du golfe d'Annaba montrant le positionnement des stations échantillonnées de mars 2007 -février 2008.

Tableau 1 : Caractéristiques géographiques des stations marines étudiées de mars 2007-février 2008. Distance aux embouchures : 1, 6 et 7 par rapport à Seybouse et le reste des stations par rapport à Mafrag.

	Positionnement (latitude, longitude)	Profondeur (m)	Nature du fond (descriptive)	Distance aux embouchures (km)
Station 1	N36°54.939' E07°48.339'	27	vaseux	6
Station 2	N36°55.251' E07°53.391'	42	vaseux	9,4
Station 3	N36°54.411' E07°58.036'	40	vaseux	7
Station 4	N36°53.031' E07°58.380'	34	vaseux	4,8
Station 5	N36°51.925' E07°58.122'	19	Rocheux-vaseux	3
Station 6	N36°52.727' E07°53.602'	26	sableux	10,8
Station 7	N 36°51.856' E07°47.130'	06	Rocheux-vaseux	1, 2

2. Prélèvements et méthodes d'analyses chimiques

Dans le golfe d'Annaba, 7 stations ont été choisies de façon raisonnée. En raison de la circulation locale à l'intérieure du golfe (Ounissi *et al.*, 1998), les stations 1, 6 et 7 sont supposées plutôt balayées le courant portant Est et donc situées dans le parcours de Seybouse et les autres stations reçoivent différemment les panaches de l'estuaire du Mafrag. L'ensemble des stations couvre une aire côtière d'environ 100km² (Figure 1).

Le positionnement, la distance à l'embouchure, la profondeur et la nature du fond de l'ensemble de ces stations sont indiquées au tableau 1.

Les stations sont disposées approximativement selon trois radiales côte-large. La radiale Ouest devrait refléter le niveau d'extension Est des panaches de oued Seybouse mais devrait subir aussi les influences des courants résiduels Est et Sud-Est.

La radiale Ouest est supposée refléter l'extension Est des panaches du Mafrag.

Les paramètres de qualité générale des eaux tels que la salinité, la température les sels nutritifs (nitrates NO₃⁻, nitrites NO₂⁻, ammonium NH₄⁺, phosphates PO₄³⁻, NID : azote inorganique dissous) ; les matières organiques : azote organique dissous NOD, le carbone organique particulaire COP et la biomasse chlorophyllienne phytoplanctonique Chla.

Ces paramètres sont dosés sur des échantillons d'eaux de surface et de fond conformément au protocole d'analyse (Parsons *et al.*, 1989 ; Aminot et Chaussepied, 1983 ; Rodier, 1984 ; Lorenzen, 1967). Les différentes formes du phosphore (organique dissous POD, polyphosphates P₂O₅).

Les eaux de fond sont prélevées à l'aide d'une bouteille à renversement type Niskin. Les méthodes d'analyses de ces éléments chimiques et biochimiques sont succinctement résumées dans le tableau 2. La température et la salinité ont été relevées par un multiparamètre de type wtw197i.

L'étude de ces paramètres chimiques et biochimiques renseigne sur la qualité générale des eaux et sont toujours considérés dans les programmes de surveillance des environnements côtiers. Dans notre étude on insiste sur l'indication des caractères océanographiques fondamentaux tel que :

(I) masses d'eaux : température, salinité conjugués aux sels nutritifs

(II) niveau d'enrichissement : sels nutritifs et matières organiques provenant du continentale

(III) production biologique : matières organiques et biomasse phytoplanctonique.

Sur le plan pratique, ces paramètres océanographiques constituent des éléments clés dans la gestion intégrée du littoral et dans la compréhension des relations d'échange entre le continent et la mer.

Tableau 2 : Résumé des méthodes d'analyse des éléments chimiques et biochimiques.

Eléments	Méthodes	Références
Azote ammoniacal ($\text{NH}_3^+ + \text{NH}_4^+$)	Dosage spectrophotométrique ($\lambda = 630 \text{ nm}$)	Parsons <i>et al.</i> (1989)
Nitrates (NO_3^-)	Dosage spectrophotométrique ($\lambda = 543 \text{ nm}$)	Parsons <i>et al.</i> (1989)
Nitrites (NO_2^-)	Réduction des nitrates en nitrites et dosage spectrophotométrique des nitrites ($\lambda = 543 \text{ nm}$)	Parsons <i>et al.</i> (1989)
Phosphate (PO_4^{3-})	Dosage spectrophotométrique : ($\lambda = 885 \text{ nm}$)	Aminot et Chaussepied (1983)
Azote Organique Dissous (NOD)	Minéralisation en milieu basique et dosage indirecte de l'équivalent en nitrates Dosage spectrophotométrique : ($\lambda = 885 \text{ nm}$)	Parsons <i>et al.</i> (1989)
Carbone Organique Particulaire (COP)	Méthode titrimétrique : oxydation et dosage du carbone en équivalent glucose	Parsons <i>et al.</i> (1989)
Chlorophylle a (Chla)	Méthode spectrophotométrique de Lorenzen (1967)	Parsons <i>et al.</i> (1989)
Phosphore total dissous	Minéralisation en milieu acide et dosage spectrophotométrique des ions phosphates à $\lambda = 885 \text{ nm}$	Rodier, 1984
Polyphosphates	Minéralisation en milieu acide et dosage spectrophotométrique des ions phosphates à $\lambda = 885 \text{ nm}$	Rodier, 1984
Phosphore organique dissous	Obtenu par déduction : $\text{POD} = \text{Pt} - (\text{PO}_4 + \text{P}_2\text{O}_5)$	Rodier, 1984

Durant la période d'étude l'estuaire du Mafrag a connu deux évènements hydrauliques majeurs : fermeture de fin juin jusqu'à décembre 2007 et ouverture mars-juin 2007 et de décembre jusqu'à la fin de l'étude. Le débit à l'embouchure du Mafrag est fortement variable avec des valeurs extrêmes de $0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en période sèche jusqu'à $500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ lors des périodes de crues (Khélifi-Touhami *et al.*, 2006).

En outre, Oued Seybouse constitue une source d'apport très important de matières organique et minérales, par suite de l'activité intense agricole et d'industrielle sur son bassin versant maritime en particulier. Le débit de Seybouse est très variable selon la pluviométrie de l'année. La pluviométrie reçue par le bassin versant varie de 450-735 mm par an selon les sous bassins.

Le dosage des composants organiques et minéraux dissous du phosphore est précisé.

Phosphore total dissous

Réactifs

- Acide perchlorique $d=1,67$ ou acide sulfurique
- Acide ascorbique 5% (5g dans un 100 ml d'eau distillée).
- Acide chlorhydrique $d=1,16$.
- Le mélange-réactif : mélanger les réactifs ci-dessus dans les proportions suivantes
 - 50 ml de solution d'oxyde tartrate de potassium et d'antimoine (0.068g dans un 50ml d'eau distillée).
 - 100 ml de solution de molybdate d'ammonium (3g dans un 100ml d'eau distillée).
 - 250 ml d'acide sulfurique 2,5 moles.l⁻¹.
 - 100 ml de solution d'acide ascorbique (10,5g dans un 100ml d'eau distillée).
- Solution d'hydroxyde de sodium NaOH (40g dans un 500ml d'eau distillée).

Mode opératoire

- Introduire 50 ml d'eau dans une fiole (eau de mer ou eau résiduaire).
- Puis 3 ml acide perchlorique.
- Chauffer (apparition des fumées blanches).
- Placer un verre de montre.
- Chauffer 5 à 10 min.
- Retirer la fiole.
- Ajouter 1 ml d'acide ascorbique.
- Ajouter 3 ml acide chlorhydrique.
- Remettre sur la plaque.
- Laisser refroidir.
- Amener le PH à 7 avec NaOH (N).
- Ajuster le volume à 50 ml par l'eau distillée.
- Puis effectuer la détermination de phosphore total sur la solution ainsi obtenue selon la méthode suivante :
 - Mesurer 50 ml d'échantillon.
 - Ajouter 5 ml du mélange – réactif

Détermination des polyphosphates

Réactifs

- Solution d'acide sulfurique 20%(v/v)
- Le mélange-réactif
- Solution d'hydroxyde de sodium NaOH (40g dans un 500ml d'eau distillée).

Mode opératoire

- Prélever 50 ml d'eau (eau de mer ou eau résiduaire).
- Ajouter 5 ml d'acide sulfurique.

- Chauffer 30 min à ébullition.
- Laisser refroidir.
- Amener le PH à 2 avec NaOH.
- Ramener s'il faut le volume à 50 ml avec l'eau distillée.
- Puis effectuer la détermination des polyphosphates sur la solution ainsi obtenue selon la méthode suivante :

- Mesurer 50 ml d'échantillon.
- Ajouter 5 ml du mélange – réactif.
- Attendre 5 minutes et mesurer l'absorbance à 885 nm

Détermination du phosphore organique

Les composés phosphorés d'origine organique dans l'échantillon total et dans la phase soluble sont obtenus par différence entre le phosphore total et la somme du phosphore des orthophosphates et des polyphosphates : **POD = Pt – (PO₄ + P₂O₅)**

Chapitre II Caractères hydrologiques

1. Variation de la température

Durant le cycle annuel mars 2007-février 2008, la température moyenne de surface a évolué selon la station entre 19,53 et 22°C (Tableau 3 & figure 2). En profondeur les conditions thermiques changent et l'on note des valeurs moyennes bien plus faibles 18,87 et 20,20°C. Le minimum thermique 12°C est noté en mars et le maximum 27°C se rencontre en août. Les influences atmosphériques induisent un écart thermique de 15°C en profondeur et une valeur comparable en surface (Tableau 3). On peut constater que le minimum de température est enregistré dans la station la plus éloignée des influences continentales à la différence du maximum qui est observé à la station la plus avancée (Tableau 3 & figure 2). Il semble que les eaux les plus côtières sont plus réchauffées en raison des apports de rejets industriels. Cette constatation implique que les influences continentales ne se font pas sentir aux stations reculées vers le large comme les stations 2 et 3.

Tableau 3 : Valeurs de la température moyennes annuelle de surface et fond dans les différentes stations de golf d Annaba de mars 2007 -février2008.

	moyenne annuelle surface	moyenne annuelle fond	moyenne annuelle	maximum	minimum
Station 1	20,26	19,21	19,73	27,8	14,9
Station 2	19,53	18,87	19,20	26,2	11,9
Station 3	20,43	19,00	17,70	26,4	15,4
Station 4	20,40	19,34	19,87	26,9	15,3
Station 5	20,34	19,80	20,07	26,7	15,1
Station 6	20,42	19,45	19,93	26,7	15,3
Station 7	22,00	20,20	21,10	26,7	15,6

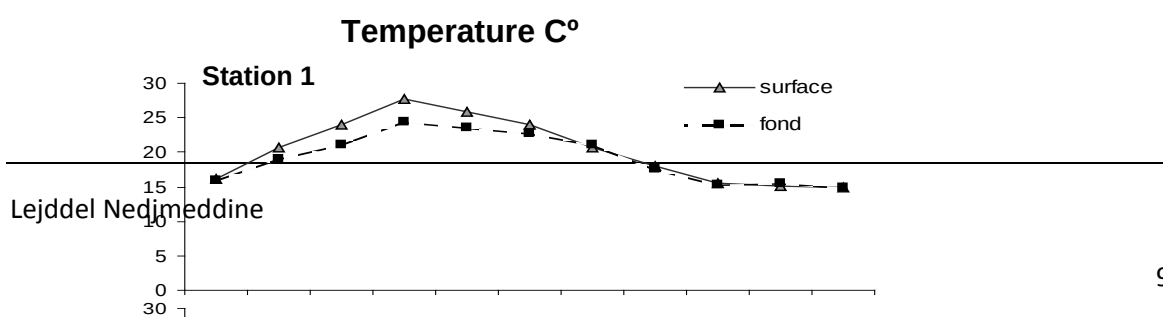


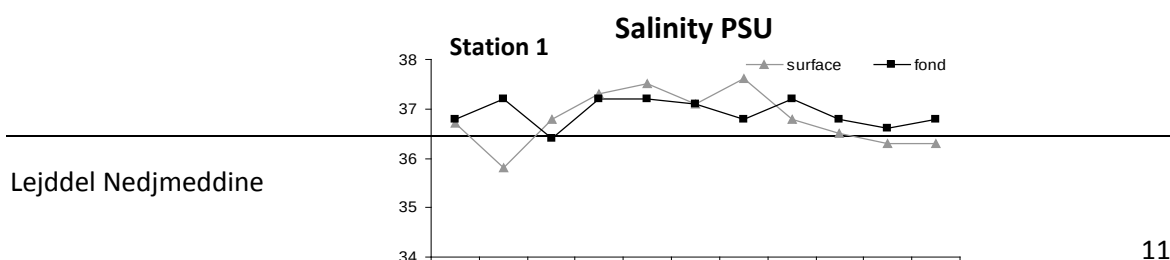
Figure 2 : Variation de la température dans le golfe d Annaba de mars 2007 - février 2008

2. Variation de la salinité

Dans le littoral récepteur, durant la période mars 2007-février 2008 la salinité a varié entre 29,7 et 37,6 psu avec une moyenne annuelle de 36,70 psu (Tableau 4). Sur la figure 3 on remarque qu'il n'y a pas une tendance claire entre les stations, sauf pour la station 7 où l'on enregistre toujours les plus faibles valeurs. On peut remarquer aussi la constance des valeurs au niveau des stations 2 et 3 (Tableau 4 & figure 3) soulignent leur isolement des apports terrestres. A l'opposé, la salinité reste faible durant la période humide mars juin à la station 7 et dans une moindre mesure aux stations 2, 4, 5 et 6 en raison de l'importance des apports à ce niveau géographique. Les salinités de surface sont toujours supérieures à celles du fond sauf ponctuellement en été en raison de la forte évaporation en surface ayant pour effet l'augmentation instantanée de la salinité. On note des valeurs moyennes très proches : 36,5 psu à la surface et 36,9 psu dans les eaux du fond (Figure 3 & tableau 4).

Tableau 4 : Valeurs moyennes, minimales et maximales de la salinité dans les eaux de surface et fond, dans le golfe d Annaba de mars 2007 -février 2008.

	moyenne annuelle surface	moyenne annuelle fond	moyenne annuelle	maximum	minimum
Station 1	36,80	36,90	36,85	37,60	35,80
Station 2	37,00	36,90	36,95	37,50	36,30
Station 3	37,00	36,90	36,95	37,50	36,50
Station 4	36,65	36,90	36,75	37,50	36,30
Station 5	36,50	36,90	36,65	37,50	36,50
Station 6	36,80	36,95	36,90	37,50	35,80
Station 7	35,00	36,75	35,90	37,20	29,70



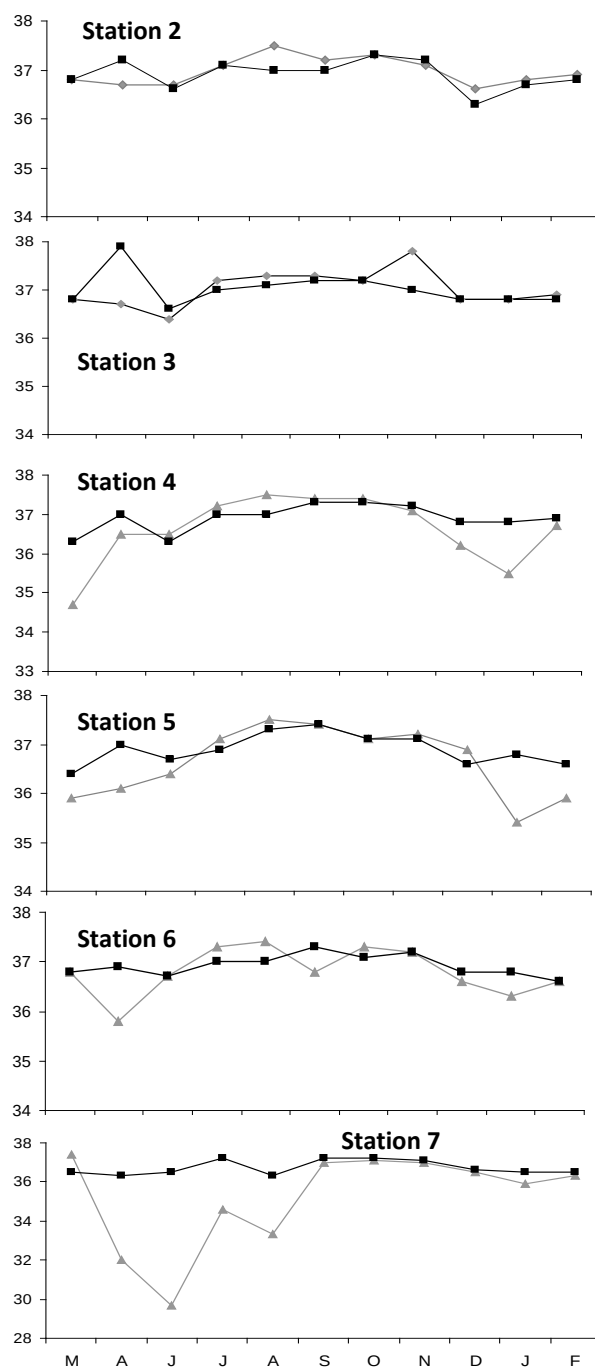


Figure 3 : Variations de la salinité dans le golfe d'Annaba de mars 2007- février 2008.

Chapitre III

Distribution des matières nutritives minérales et organiques

Chapitre III : Distribution des matières nutritives minérales et organiques

1. Distribution des sels nutritifs

1.1 Distribution de l'azote minéral

• *L'ammonium NH_4^+*

L'évolution des teneurs en NH_4^+ au cours de la période d'étude montre une très grande variabilité où les valeurs fluctuent entre 0,5 et 54 $\mu\text{moles. l}^{-1}$. La moyenne annuelle est élevée (3,3 en surface et 4 en profondeur) traduit une forte richesse des eaux côtières du golfe d'Annaba (Figure 4 et tableau 5). Les stations 4 et 5 plus directement soumises aux influences des apports de l'estuaire du Mafrag recèlent les plus fortes concentrations (5 et 3,6 $\mu\text{moles. l}^{-1}$ respectivement). Inversement les stations les plus reculées au large montrent des valeurs plus faibles de l'ordre de 2,5 $\mu\text{moles. l}^{-1}$. Ces constatations soulignent l'importance de l'enrichissement continental induit par les apports terrestres.

Outre les différences spatiales, on peut observer une distribution différentielle entre la surface et le fond à l'avantage des eaux profondes généralement plus chargées en NH_4^+ ammonium. On y enregistre 3,30 $\mu\text{moles. l}^{-1}$ en surface contre 4 $\mu\text{moles. l}^{-1}$ au fond. La supériorité des teneurs de fond peut être expliquées par l'échappement d'une partie du stock à la consommation phytoplanctonique auquel s'ajoute l'apport de la régénération directe zooplanctonique.

De plus les variations saisonnières sont peu marquées et ne montrent pas une tendance quelconque sauf une augmentation générale des valeurs en juin.

Tableau 5 : Valeurs moyennes des teneurs en ammonium NH_4^+ ($\mu\text{moles. l}^{-1}$) dans le littoral d'Annaba pour la période mars 2007-février 2008.

	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6	Station 7	moyenne
moyenne surface	2,83	2,67	2,37	5,08	3,55	3	3,3	3,26
moyenne fond	7,66	2,23	2,8	4,56	3,7	2,7	4	3,95
moyenne	5,3	2,45	2,6	4,82	3,6	2,85	3,7	3,61
minimum	0,94	0,7	0,46	0,5	0,7	0,6	1,9	
maximum	54,4	7,8	5,94	17,5	17,5	7,7	7,3	

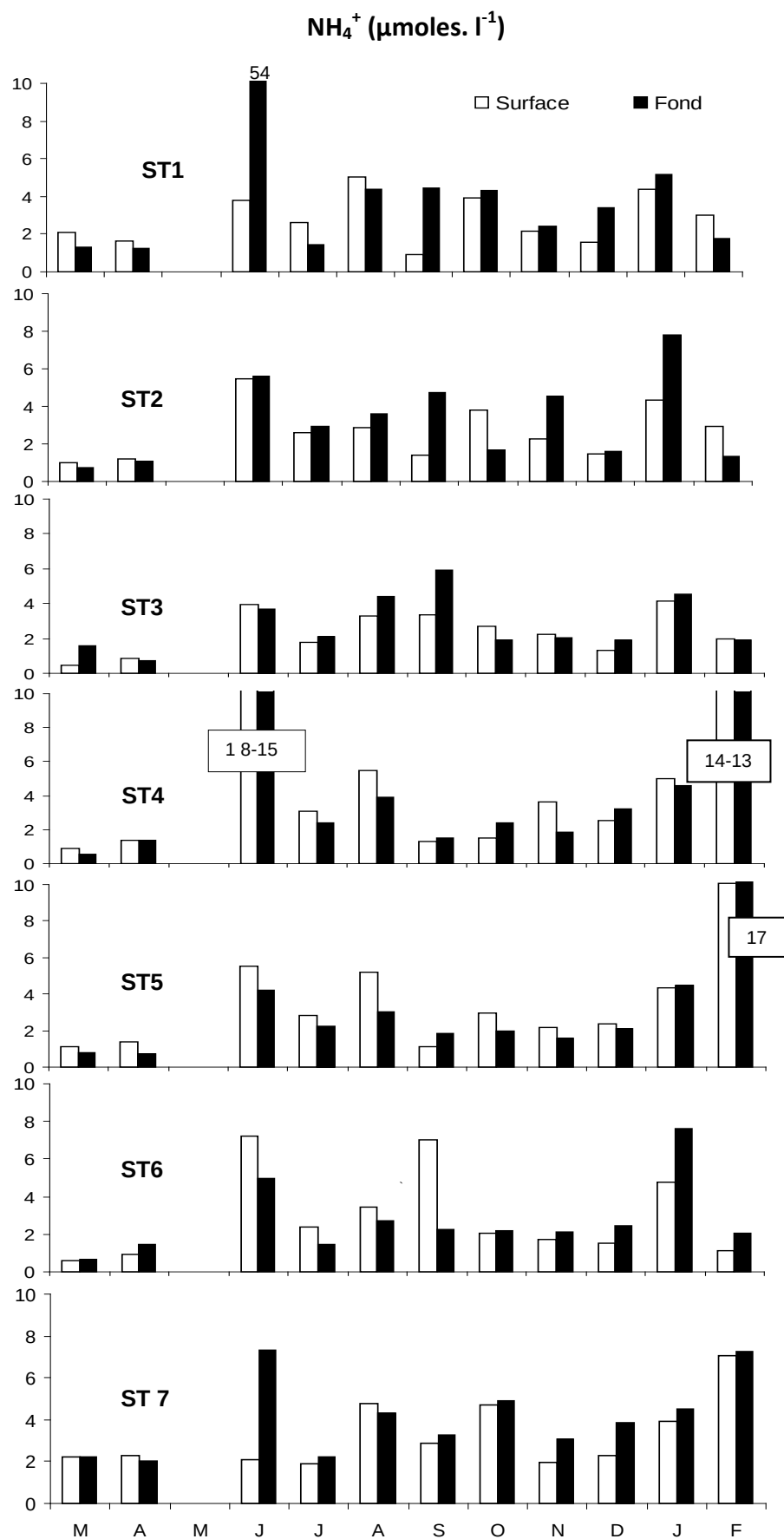


Figure 4 : Variations des teneurs en NH₄⁺ dans le littoral d'Annaba pour la période mars 2007-février 2008.

- **Les Nitrates NO_3^-**

Les teneurs des nitrates NO_3^- sont faibles au cours de l'année variant en moyenne entre 0,7 et 4 $\mu\text{moles. l}^{-1}$ avec une moyenne de l'ordre de 1 $\mu\text{moles. l}^{-1}$ (tableau 6 et figure 5). Cette forme de l'azote oxydé est trois fois moins importante que l'azote réduit ce qui souligne l'altération des conditions écologiques. Comme pour l'ammonium, les stations reculées vers le large accusent les faibles valeurs de l'ordre de 0,7 $\mu\text{moles. l}^{-1}$ à la différence des stations plus influencées par les extrusions continentales où les valeurs sont bien plus supérieures allant jusqu'à 4 $\mu\text{moles. l}^{-1}$ dans la station 7. De même, la répartition verticale ne montre pas de tendance à l'augmentation en profondeur mais plutôt une supériorité des valeurs de surface aux stations 1 et 7. La valeur maximale est notée à la station 7 en surface juin (19 $\mu\text{moles. l}^{-1}$) et en mars (17 $\mu\text{moles. l}^{-1}$) dans les eaux du fond. Il ne faut pas perdre de vue que cette station est directement influencée par les panache de Seybouse (figure 6). Le reste des stations semblent pareillement chargées que soit en surface ou au fond (tableau 6 & figure 5).

Sur le plan saisonnalité, c'est en période humide que les teneurs augmentent en particulier en janvier 2008 et avril 2007 par suite d'apports continentaux comme le témoigne l'abaissement de la salinité en avril. On constate en effet que les teneurs de nitrate sont 5 à 10 fois plus élevées en période humide d'hiver qu'en période sèche d'été.

Tableau 6 : Valeurs moyennes des nitrates ($\mu\text{moles. l}^{-1}$) dans les stations étudiées du golfe d'Annaba pour la période mars 2007-février 2008.

	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6	Station 7	moyenne
moyenne surface	1,64	0,71	0,62	0,91	1,12	1,45	4,12	1,51
moyenne fond	0,72	0,7	0,73	0,81	1,05	1,12	3,45	1,23
moyenne	1,18	0,71	0,68	0,86	1,08	1,29	3,78	1,37
minimum	0,13	0,26	0,15	0,27	0,34	0,21	0,26	
maximum	3,85	1,91	2,21	1,93	3,77	5,67	18,9	

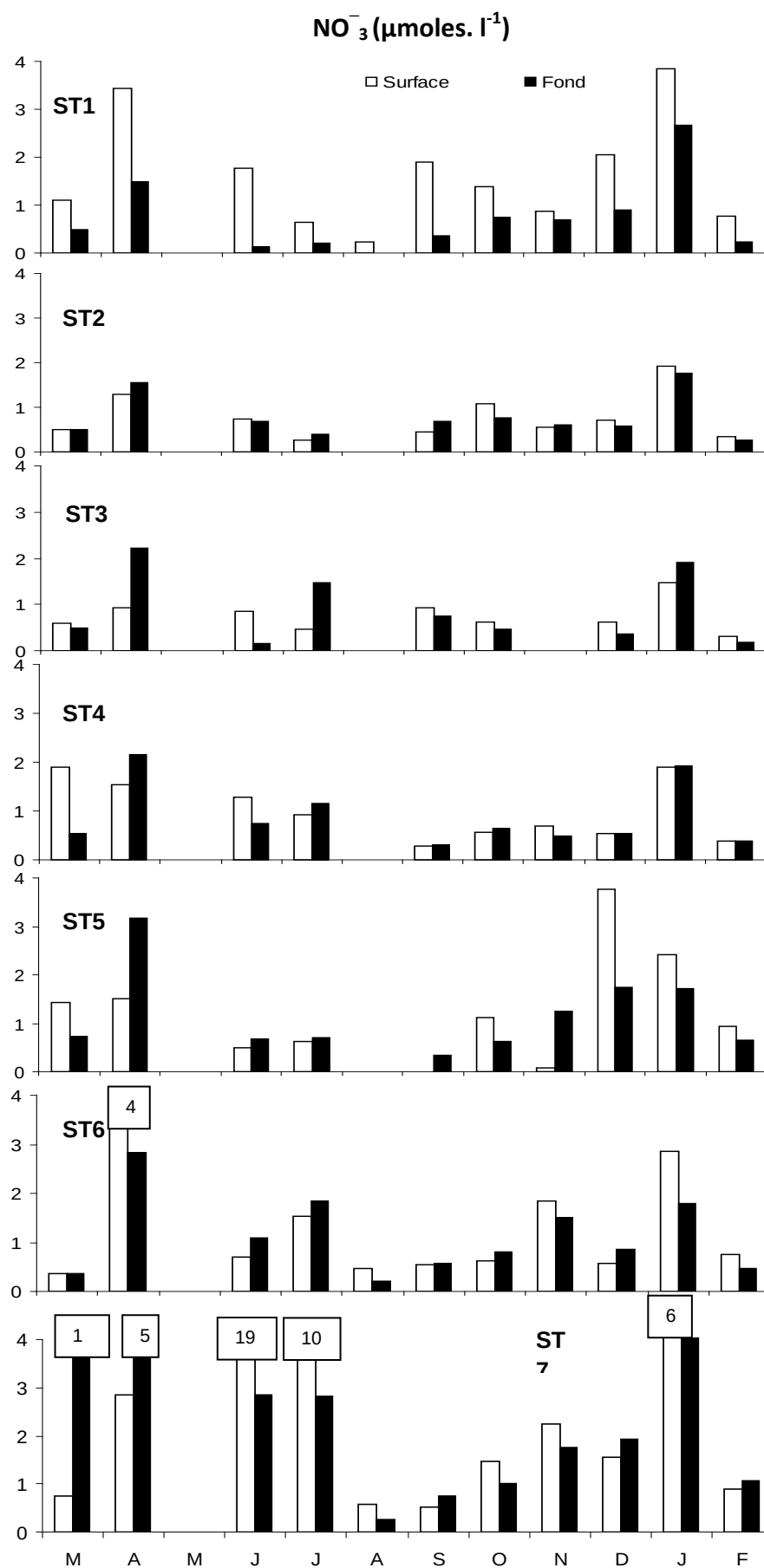


Figure 5 : Variations des teneurs en nitrates NO₃⁻ (μmoles. l⁻¹) dans le golfe d'Annaba pour la période mars 2007-février 2008.

• Les Nitrites NO_2^-

L'ion nitrite est une forme minoritaire de l'azote minéral dissous NID, sa fraction au sein du NID est de l'ordre de 10%. Dans le golfe d'Annaba la fraction des ions nitrites représente 9 à 11% et la valeur moyenne annuelle dans l'ensemble des stations a oscillé entre 0,40 et 4 $\mu\text{moles. l}^{-1}$ comme le montre le tableau 7. Les teneurs de surface sont cependant trois fois plus élevées que celles de profondeur (1,30 et 0,50 $\mu\text{moles. l}^{-1}$ respectivement). Dans l'espace, les stations les plus néritiques (3 & 4) paraissent les plus pauvres à l'opposé des stations côtières (5 et 7) sous l'influence des apports de Seybouse et de Mafrag (figure 6). La station 7 étant la plus riche en particulier au niveau de la surface avec des teneurs moyennes de 4 $\mu\text{moles. l}^{-1}$.

Les variations saisonnières suivent sensiblement celles des nitrates avec des pics en période humide (janvier et avril) et des minima en période sèche. On note les valeurs maximales de surface à la station 7 atteignant 6 $\mu\text{moles. l}^{-1}$ en juin et 3,5 $\mu\text{moles. l}^{-1}$ en août (figure 6).

Tableau 7: Valeurs moyennes des teneurs en NO_2^- ($\mu\text{moles. l}^{-1}$) enregistrées dans le golfe d'Annaba pour la période mars 2007-fevrier 2008.

	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6	Station 7	moyenne
moyenne surface	0,63	0,38	0,62	0,91	1,12	1,45	4,12	1,32
moyenne fond	0,76	0,38	0,39	0,41	0,51	0,5	1,01	0,56
moyenne	0,695	0,38	0,37	0,385	0,55	0,485	1,465	0,62
minimum	0,7	0,07	0,07	0,07	0,02	0,02	0,19	
maximum	2,42	1,8	1,81	2,14	1,95	2,49	5,55	

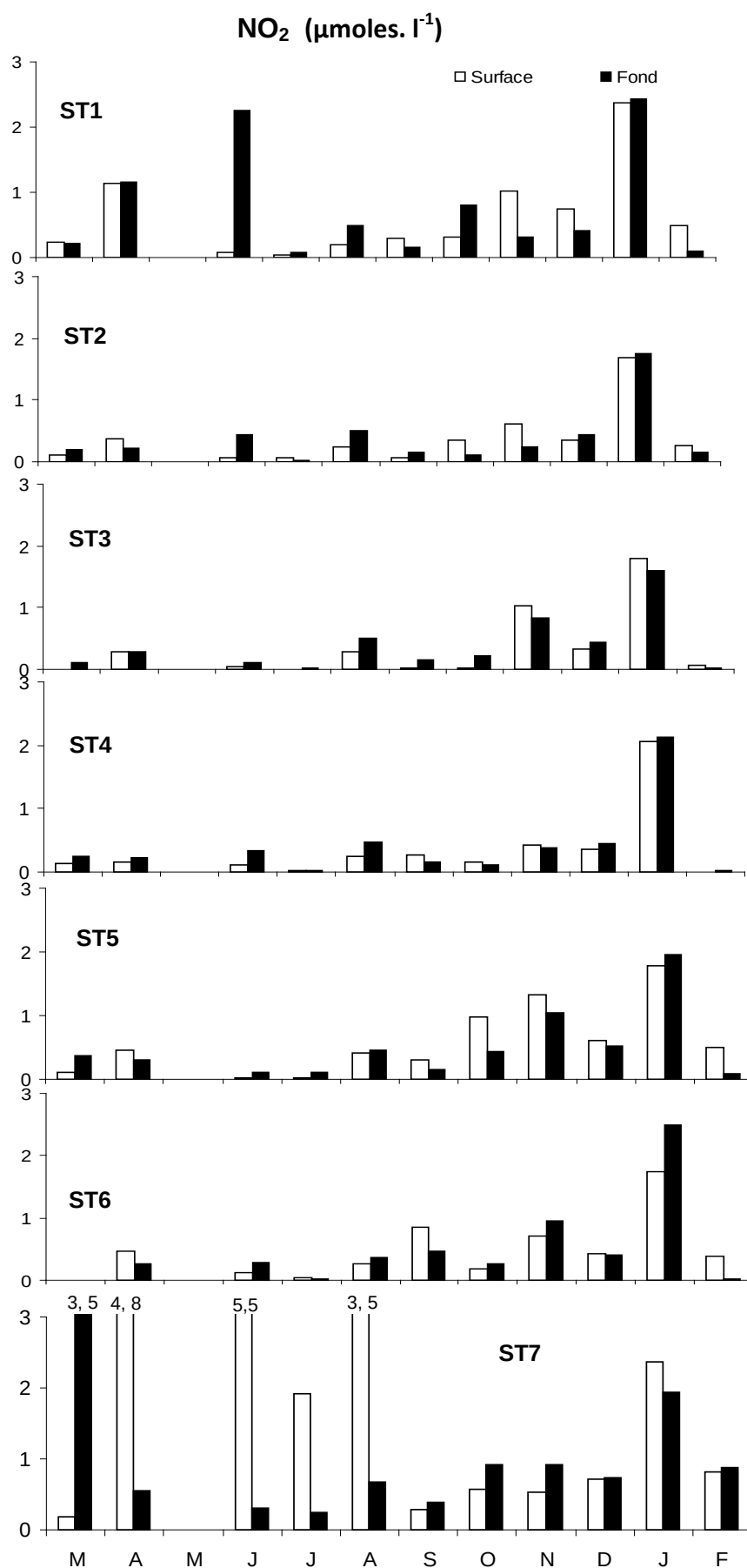


Figure 6 : Variations mensuelles des teneurs en NO₂⁻ (μmoles. l⁻¹) dans le golfe d'Annaba pour la période mars 2007-février 2008

- **L'azote inorganique dissous NID**

L'azote inorganique dissous NID représente la somme des ions $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$. Dans l'ensemble des stations étudiées les valeurs moyennes annuelles ont varié entre 4 et 9 $\mu\text{moles. l}^{-1}$, ce qui représente une faible richesse du milieu bien que sujet aux apports terrestres de deux grands bassins versants (10 000 km^2). Il semble que les processus de consommation emporte sur les apports ce qui affaiblit le stock du NID (figure 8 & tableau 8). La moyenne annuelle s'abaisse en effet à seulement 5 $\mu\text{moles. l}^{-1}$ avec une légère supériorité des valeurs de fond (5,9 $\mu\text{moles. l}^{-1}$) contre 5,4 $\mu\text{moles. l}^{-1}$ pour les eaux de surface.

D'un point de vue spatial, les valeurs les plus élevées sont généralement rencontrées aux stations les plus avancées comme les stations 4, 5 et 7 à la différence des stations reculées au large (2, 3).

La distribution saisonnière montre de valeurs plus élevées en période humide (12 $\mu\text{moles. l}^{-1}$ en janvier et 22 $\mu\text{moles. l}^{-1}$ en mars (figure 8). En saison sèche, on rencontre des valeurs un peu plus faibles.

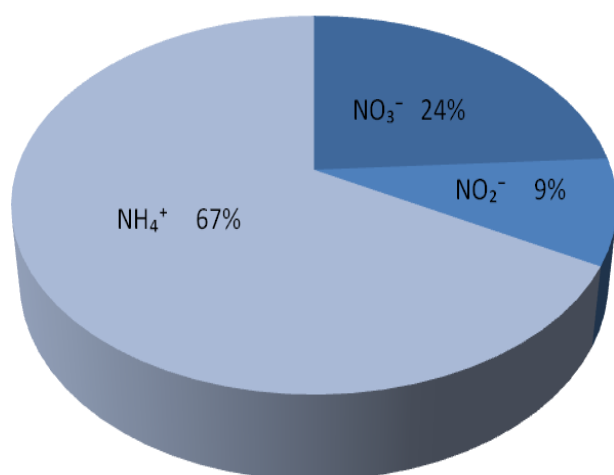
Au sein du NID, les ions ammonium dominant en moyenne à 63-67% alors que l'azote oxydé n'en représente que 37-33% dont les nitrites en occupent 10% (Tableau 9 & figure 7). C'est au niveau du fond que l'azote réduit est plus dominant en raison probablement de conditions réductrices régnant à l'interface eau-sédiment. L'intervention du zooplancton, à travers l'excrétion azotée, peut également expliquer une part de cette distribution verticale.

Tableau 8 : Valeurs moyennes de NID ($\mu\text{mole. l}^{-1}$) dans le golfe d'Annaba pour la période mars 2007-février 2008.

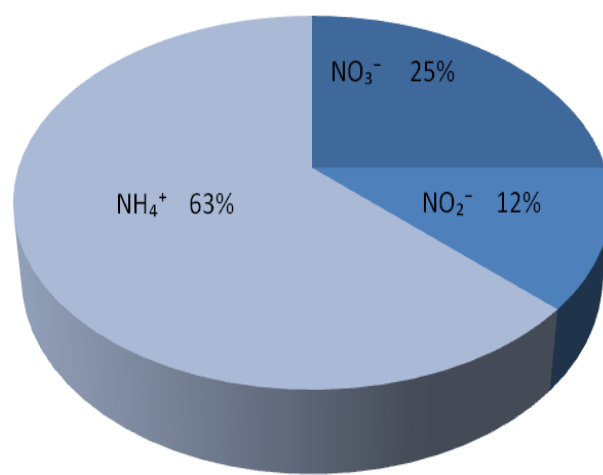
	Station1	Station2	Station3	Station4	Station5	Station6	Station7	moyenne
moyenne surface	5,09	3,80	3,3	6,34	5,24	4,90	9,32	5,43
moyenne fond	9,13	4,28	3,86	5,76	5,20	4,30	8,54	5,87
moyenne	7,11	4,04	3,58	6,05	5,22	4,60	8,93	5,65
minimum	1,70	1,40	1,06	1,30	1,40	0,93	3,15	
maximum	57	11,34	8,05	18,91	18,24	11,93	22,08	

Tableau 9 : Valeurs moyennes de la fraction (%) des différentes formes d'azote inorganique dissous (NID) dans les stations étudiées du golfe d'Annaba pour la période mars 2007-février 2008.

		Station1	Station2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6	Station 7	Moyenne
NH ₄	Surface	55,6	70,3	71,8	80,1	67,7	60,8	35	63
	Fond	83,9	52,1	72,3	79,2	71	63,3	47,9	67
NO ₃	Surface	32	19,7	17,6	14,2	21	29,6	44,4	25,5
	Fond	7,8	39	17,6	13,7	192	25,1	59,7	24
NO ₂	Surface	12,4	10	10,6	5,7	11,3	9,6	20,6	11,5
	Fond	8,3	8,9	10,1	7,1	9,8	11,6	11,8	9



Fraction des différentes formes de l'azote inorganique dissous dans les eaux de surface



Fraction des différentes formes de l'azote inorganique dissous dans les eaux de fond

Figure 7: Valeurs moyennes de la fraction des différentes formes d'azote inorganique dissous (NID) dans le golfe d'Annaba pour la période mars 2007-février 2008.

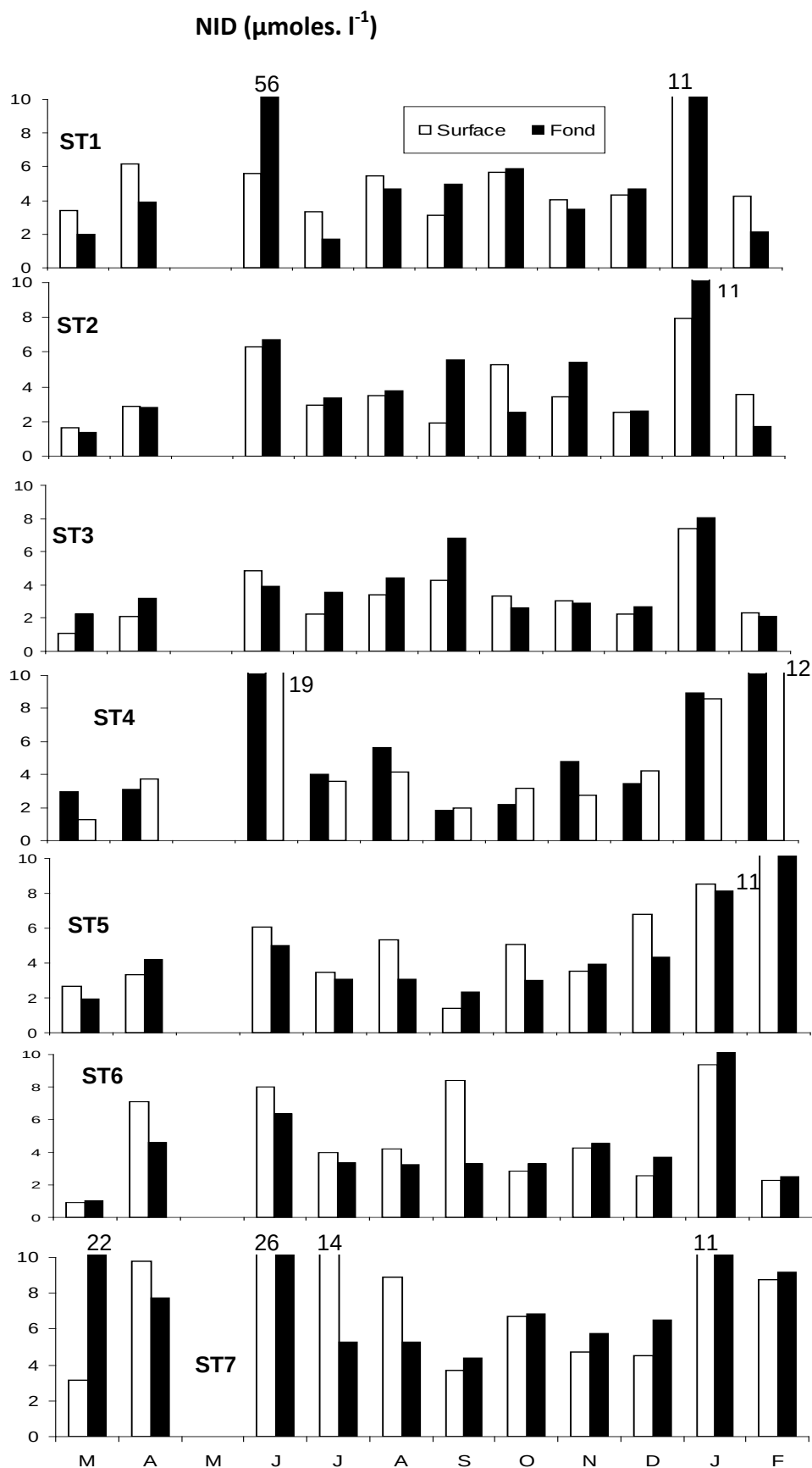


Figure 8 : Variations mensuelles des teneurs de l'azote inorganique dissous NID ($\mu\text{moles. l}^{-1}$) dans le golfe d'Annaba pour la période mars 2007-fevrier 2008.

1.2. Le phosphore

- **Les phosphates PO_4^{3-}**

Les ions orthophosphates sont présents en milieux aquatiques sous forme de $H_2PO_4^-$ à 90% et de HPO_4^{2-} à 10%. Ces fractions sont variables avec le pH mais dans les eaux marines souvent légèrement alcalines se sont les ions $H_2PO_4^-$ qui dominent. Dans le golfe d'Annaba, les teneurs sont considérées comme élevées atteignant en moyenne de 2 $\mu\text{moles. l}^{-1}$ comme le montrent la figure 9 & tableau 10. Dans l'ensemble du secteur étudié, les teneurs moyennes ont fluctué entre 1 et 3 $\mu\text{moles. l}^{-1}$ avec des valeurs maximales rencontrées aux stations les plus côtières sauf la station 2 présentant des valeurs anormalement élevées (2,24 $\mu\text{moles. l}^{-1}$). La distribution verticale ne montre pas de différences entre les valeurs du fond et celles de la surface et les teneurs sont sensiblement comparables (2 $\mu\text{moles. l}^{-1}$). Il faut noter qu'en raison du comportement fugace des ions phosphates passant sous forme solide (adsorption sur les matières en suspension) et imprévisiblement libérés (désorption), la forme libre dosable (Dissolved Reactive Phosphorus) reste souvent quelque peu entachée d'incertitudes. On peut remarquer cependant que la station 3 la plus éloignée est la moins riche.

Les variations saisonnières sont très peu marquées mais les valeurs accusent un maximum en été (juin et juillet) pour les stations avancées vers la côte. Cet enrichissement devrait être soutenu par les extrusions continentales d'origine urbaine. Cette richesse coïncide avec la saison touristique au cours de laquelle les rejets domestiques sont collectés et rejetés dans les bassins de décantation dans la zone Ouest de Sidi-Salem (les salines). Des valeurs élevées sont également notées en novembre par suite d'apports continentaux s'exprimant surtout au niveau des eaux de surface.

Tableau 10 : Valeurs moyennes annuelles de phosphore PO_4 ($\mu\text{mole. l}^{-1}$), dans le golfe d'Annaba pour la période mars 2007-fevrier 2008.

	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6	Station 7	moyenne
moyenne surface	2,38	2,24	1,47	1,98	2,14	1,39	1,98	1,94
moyenne fond	3,13	1,52	1,1	2,5	2,16	1,73	2,10	2,03
moyenne	2,75	1,88	1,29	2,8	2,15	1,56	2,04	2,07
minimum	0,19	0,09	0,14	0,30	0,09	0,19	0,65	
maximum	8, 12	9,29	5,4	9,09	11,22	8,77	5,37	

D'autre part, les besoins phytoplanctoniques en azote N et en phosphore P sont satisfaits avec un rapport molaire $N/P = [(NH_4^+ + NO_3^- + NO_2^-)/PO_4^{3-}]$ de l'ordre de 15/1. Dans les écosystèmes aquatiques, lorsque ce rapport s'écarte beaucoup de 15, on assiste à une limitation du développement des végétaux par l'azote pour les faibles valeurs et par le phosphore pour les fortes valeurs. Si toutefois ces deux éléments sont abondants mais avec une dominance de l'un ou de l'autre, il y aurait une sélection spécifique avantageant les taxons exigeant vis-à-vis de ces nutriments. De même, en dépit de la limitation phytoplanctonique, il y aurait une sélection biologique dans les conditions d'oligotrophie. Dans le secteur côtier étudié, ce rapport est de 8-9, laissant suggérer une forte abondance du phosphore comparativement à l'azote. Les eaux du fond paraissent un peu plus équilibrées ayant un rapport N/P de l'ordre de 9. Dans l'espace et dans le temps, il n'y a pas de différences notables sauf un meilleur équilibre au niveau de la station 2 plus éloignée du continent. Du fait aussi de l'abondance de l'azote, il n'y aurait pas de limitation pour les populations phytoplanctoniques.

Tableau 11 : Valeurs moyennes annuelles du rapport N/P dans le golfe d'Annaba pour la période mars 2007-fevrier 2008.

	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6	Station 7	moyenne
moyenne surface	6,24	13,8	6,28	6,8	9,51	7,61	6,98	8,17
moyenne fond	7,29	8,8	9,16	12,43	11,29	7,26	5,87	8,88
moyenne	6,77	11,3	9,36	9,6	10,4	7,44	6,43	8,76
minimum	0,27	0,21	0,56	0,22	0,54	0,4	0,8	
maximum	34,7	59	56,5	74,2	89,15	38,4	22,8	

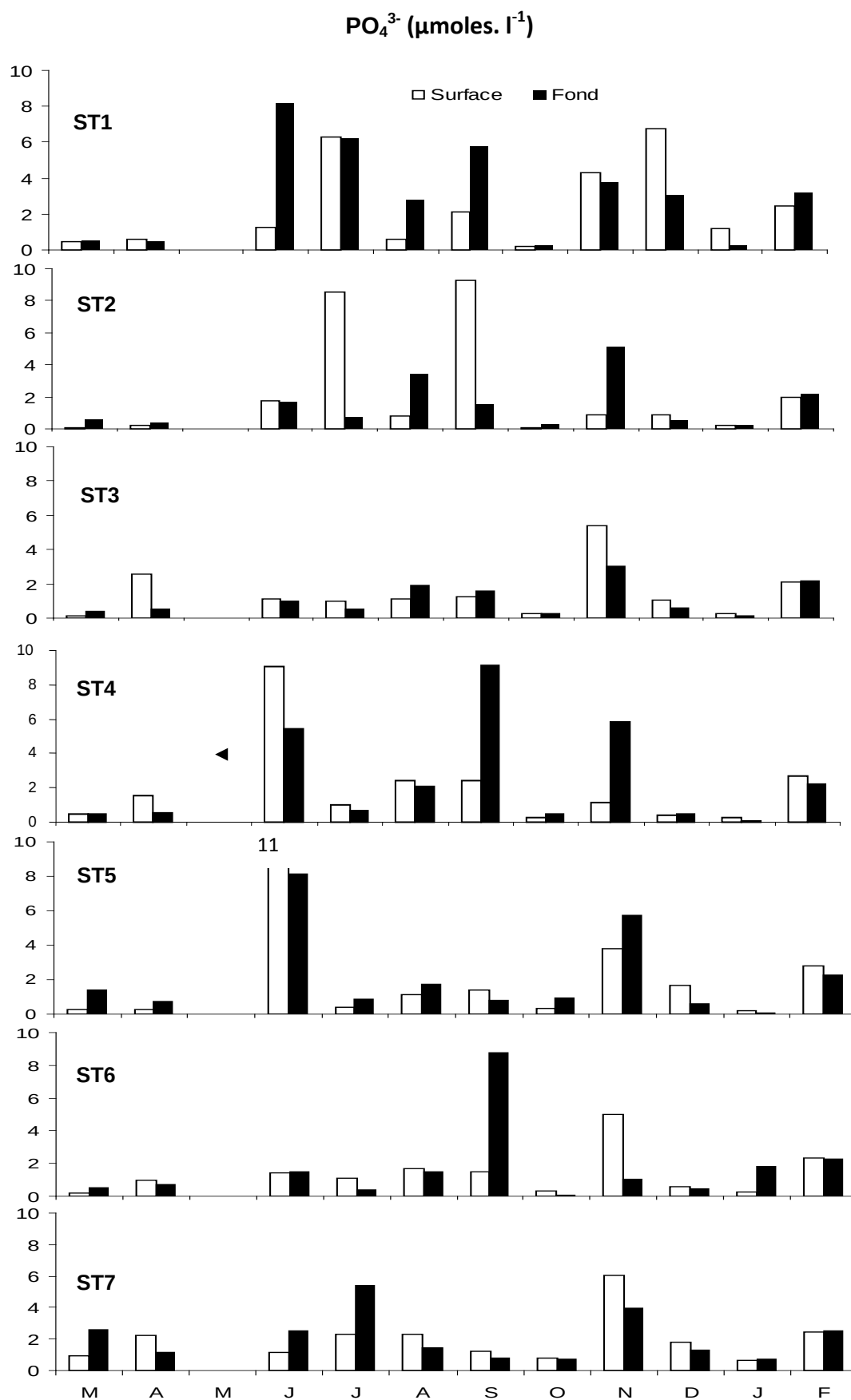


Figure 9 : Variations mensuelles des teneurs de phosphore ($\mu\text{moles. l}^{-1}$) dans le golfe d'Annaba pour la période mars 2007-fevrier 2008.

- ***Les polyphosphates (P_2O_5)***

En raison de leur origine continentale, l'essentiel des polyphosphates revient généralement aux apports d'origine agricole et domestique. On rencontre d'importantes quantités de P_2O_5 avec une moyenne annuelle en toute saison de $3,21 \mu\text{moles. l}^{-1}$. C'est en hiver que s'observent les valeurs les plus élevées restant de l'ordre $4,5 \mu\text{moles. l}^{-1}$.

A l'inverse en période d'été les valeurs chutent jusqu'à $2,30 \mu\text{moles. l}^{-1}$ (Figure 10), ce qui peut indiquer que l'origine des P_2O_5 est essentiellement d'origine domestique. On peut supposer que les teneurs d'été reviennent aux apports d'effluents urbains chargées en P_2O_5 , c'est pourquoi les eaux de surface sont très riches ($4 \mu\text{moles. l}^{-1}$) par apport à celles du fond ($2,41 \mu\text{moles. l}^{-1}$).

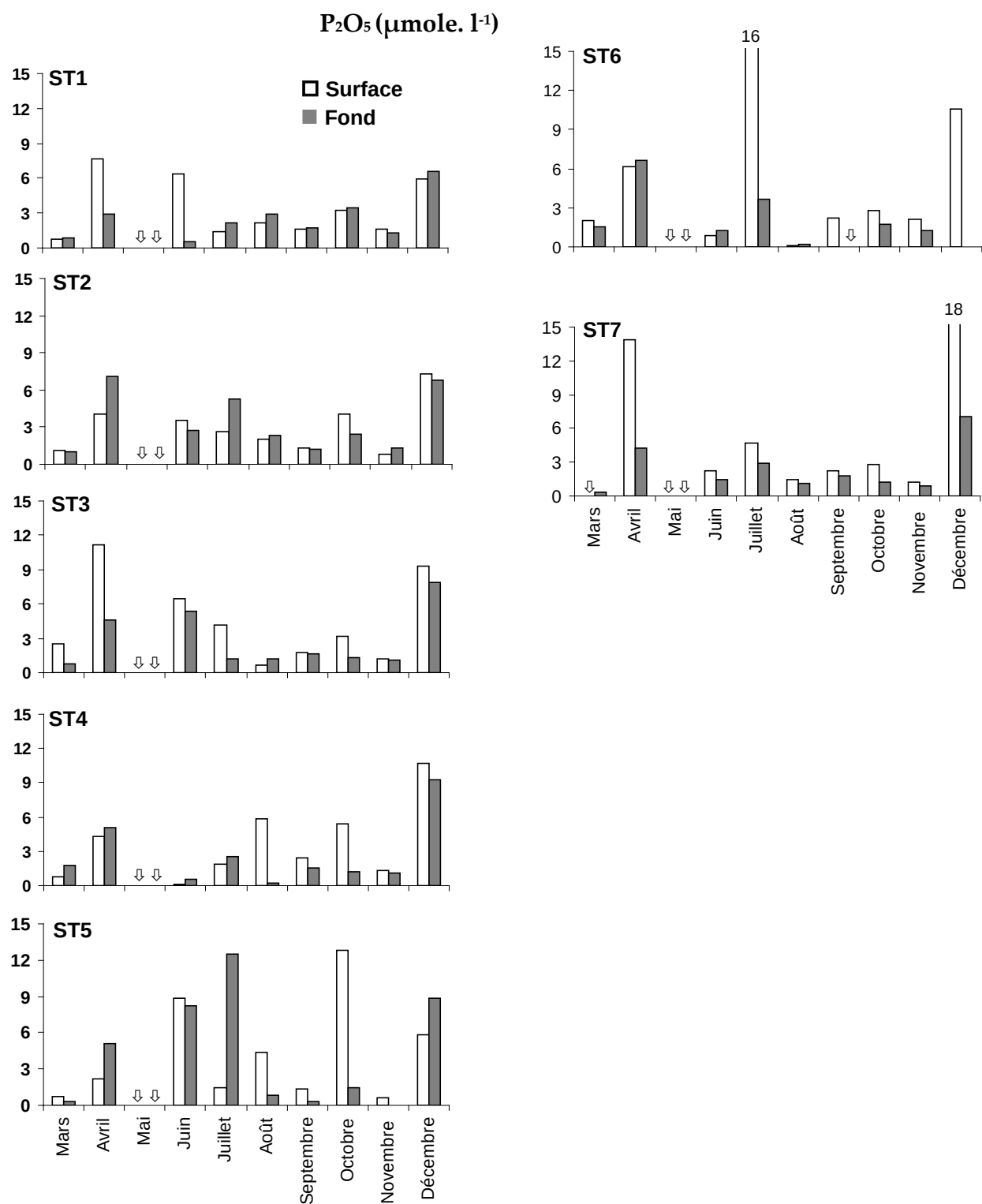


Figure10 : Variations saisonnières des teneurs en polyphosphates P₂O₅ dans le littoral d'Annaba en 2007.
 ↓ : Pas de données.

- **Phosphore organique (POD)**

Le stock du phosphore organique dissous POD est toujours important représentant une fraction de 47% à 71% du phosphore total selon la saison. Les valeurs du POD fluctuent pendant l'année avec une moyenne de 6,30 $\mu\text{moles. l}^{-1}$. Le maximum se rencontre en été de l'ordre de 7 $\mu\text{moles. l}^{-1}$. En période froide (hiver et printemps) les teneurs ne sont que de l'ordre de 5,30 $\mu\text{moles. l}^{-1}$. La supériorité des valeurs d'été est à relier avec l'activité biologique en particulier le plancton susceptible de libérer d'importante quantité en cette époque productive de l'année.

Très généralement les eaux du fond sont riches où les teneurs atteignent en moyenne 6,60 $\mu\text{moles. l}^{-1}$. A l'opposé, les eaux de surface paraissent un peu moins riches avec une moyenne de 6 $\mu\text{mole. l}^{-1}$ comme le montre la Figure 11.

De façon générale, il n'y a pas une tendance claire dans la distribution du phosphore organique mais on peut constater d'une part que la station 2, la plus reculée au large recèle les plus fortes teneurs et d'autre part la station 1 plus directement exposée aux apports urbains est la plus pauvre. Cette tendance atteste de l'origine endogène du POD.

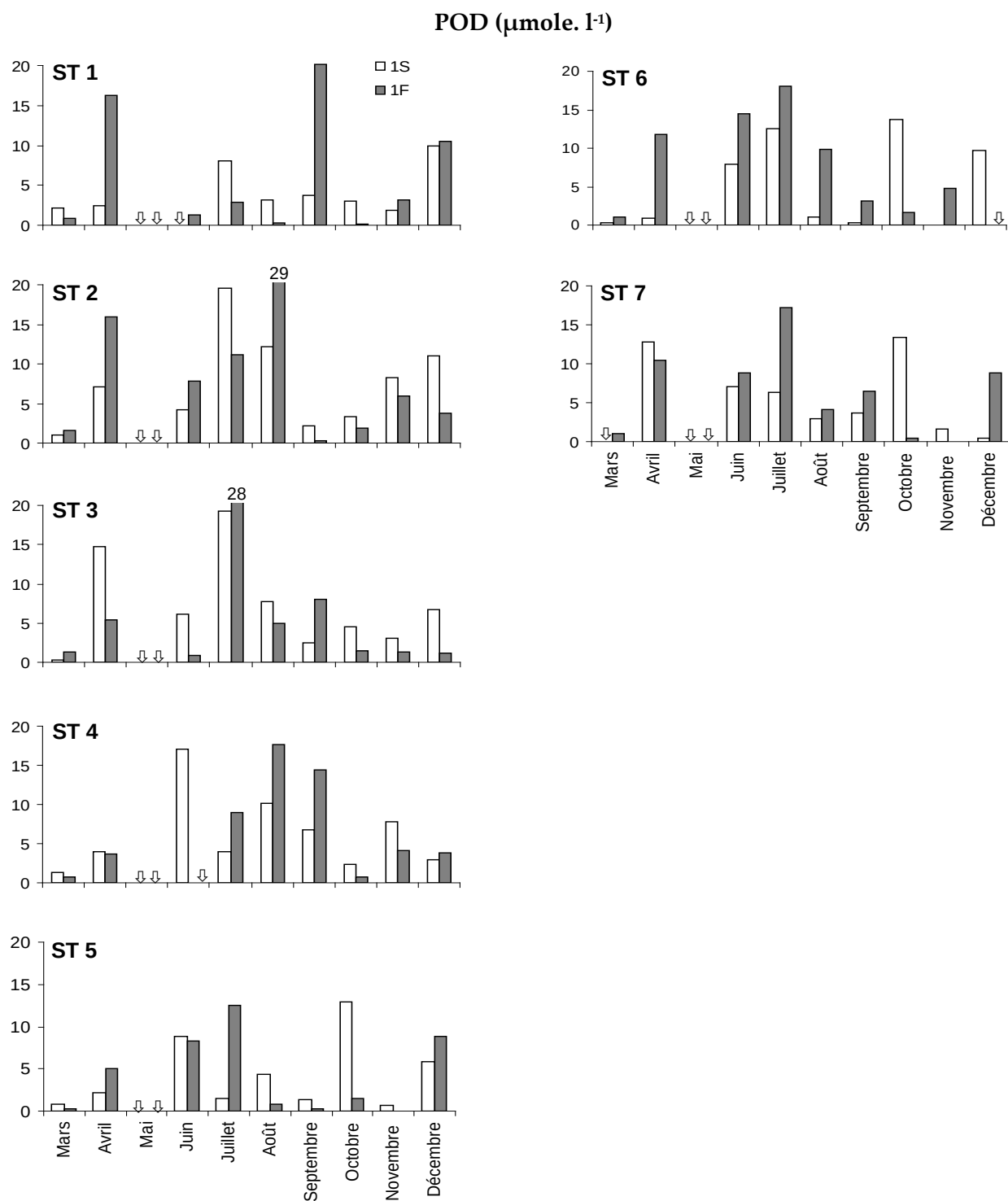


Figure 11 : Variations mensuelles des teneurs des phosphores organiques dissoutes dans le littoral d'Annaba en 2007. ↓ : Pas de données.

- ***Le phosphore total dissous***

Les teneurs en phosphore total dissous sont élevées en toute saison ($10,70 \mu\text{moles. l}^{-1}$ en moyenne) en particulier en période d'ouverture à l'estuaire par suite d'introductions continentales (Figure 12). Les stations les plus directement exposées aux apports de Seybouse (stations 6 & 7) paraissent plus riches avec par fois des valeurs exceptionnellement élevées.

Par ailleurs, il existe des différences entre les valeurs d'hiver et d'automne où les teneurs restent plus importants ($11,30 - 9,90 \mu\text{moles. l}^{-1}$). Les teneurs du fond sont en moyenne plus élevées que les eaux de surface avec des valeurs exceptionnelles dans les stations (1, 2, 6, Figure 12).

P total dissous ($\mu\text{mole. l}^{-1}$)

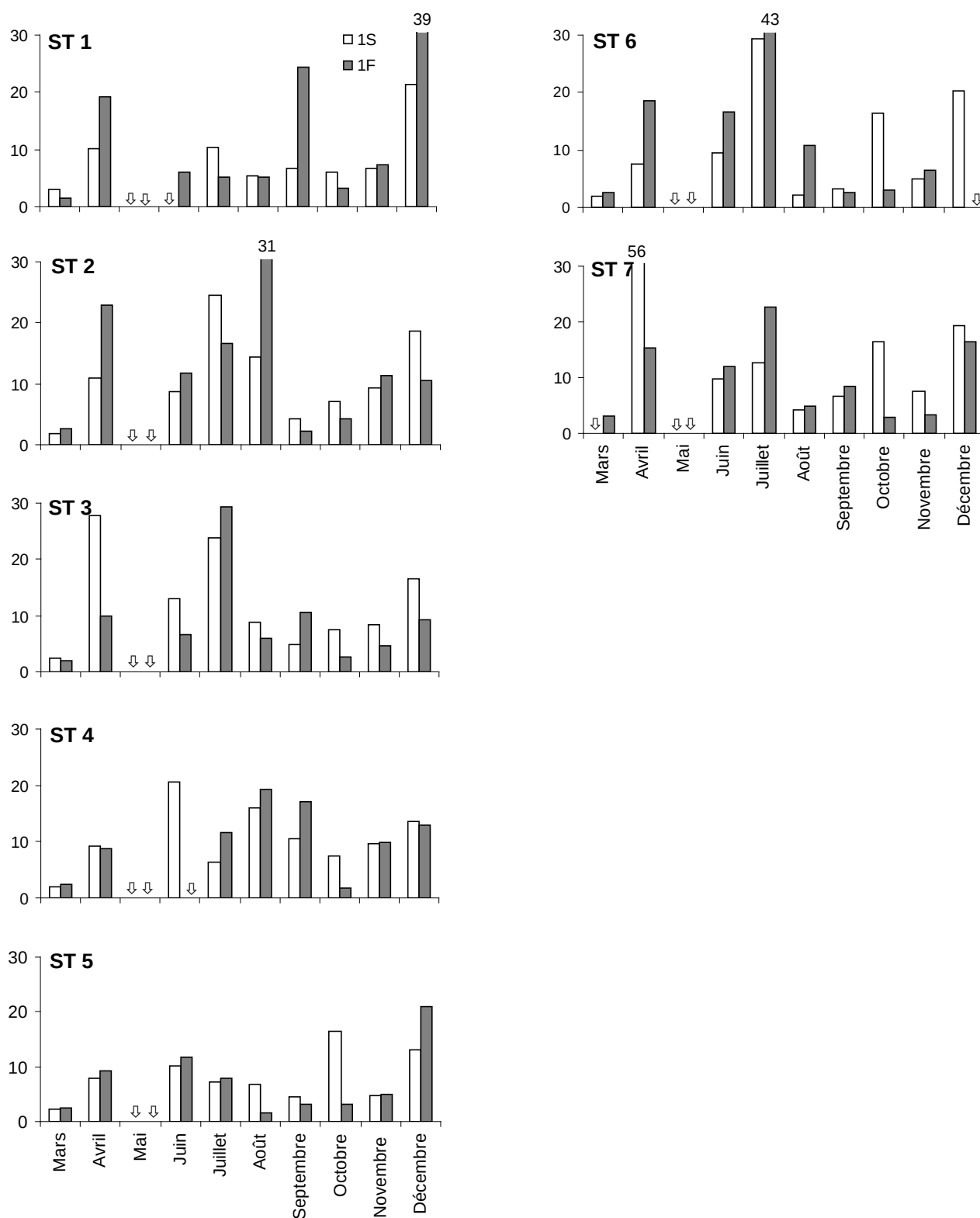


Figure 12 : Variations mensuelles des teneurs de phosphore total dans le littoral d'Annaba en 2007 ↓ : Pas de données.

2.1. Carbone organique particulaire COP

Les eaux côtières du golfe d'Annaba sont fortement chargées en carbone organique particulaire tout au long des saisons où les teneurs ont oscillé entre 0,7 et 15 mg/l avec une moyenne annuelle de 2,9 dans les eaux de surface et 3,4 mg/l dans les eaux de fond (tableau 12). Ces valeurs sont anormalement élevées comparées aux teneurs habituellement rencontrées en milieu côtier par suite de la méthode de prélèvement. En effet, l'eau d'analyse n'a pas été pré filtrée à 300µm afin d'éliminer la fraction grossière comportant le zooplancton comme le suggère la méthode de Le Corre (1983). Le COP analysé comprend donc la fraction zooplanctonique en plus de la fraction phytoplanctonique et détritique.

On constate que les eaux de fond sont toujours plus chargées que les eaux de surface en relation avec la distribution du plancton dans la colonne d'eau.

La distribution spatiale montre des valeurs plus élevées dans la station 5 (3,85 mg/l) et la station 7 (3,25 mg/l) les plus proches des panaches de l'estuaire du Mafrag et de Seybouse respectivement (Tableau 12 & figure 13). A l'opposé, les stations 2, 3 et 6 les plus éloignées des influences terrestres recèlent en moyennes les plus faibles valeurs (2,5-2,80 mg/l).

Les variations saisonnières sont assez marquées par de faibles teneurs en hiver et au printemps et de valeurs maximales en été et en automne (Figure 13). Cette tendance saisonnière est à relier à la production planctonique qui traduit un décalage de plusieurs mois par rapport aux fertilisations hivernale et printanière.

Tableau 12 : Valeurs moyennes des teneurs de carbone organique particulaire COP en (mg/l) dans le golfe d Annaba pour la période mars 2007 - février 2008.

	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6	Station 7	moyenne
moyenne surface	2,89	2,81	2,47	2,59	3,75	2,79	3,02	2,90
moyenne fond	3,24	3,24	3,21	3,43	3,96	2,91	3,49	3,40
moyenne	2,81	3,02	2,84	3,01	3,85	2,85	3,25	3,15
minimum	0,8	0,8	1,03	1	0,66	0,8	0,7	
maximum	5,94	6,4	5,6	5,76	15	5,8	6,8	

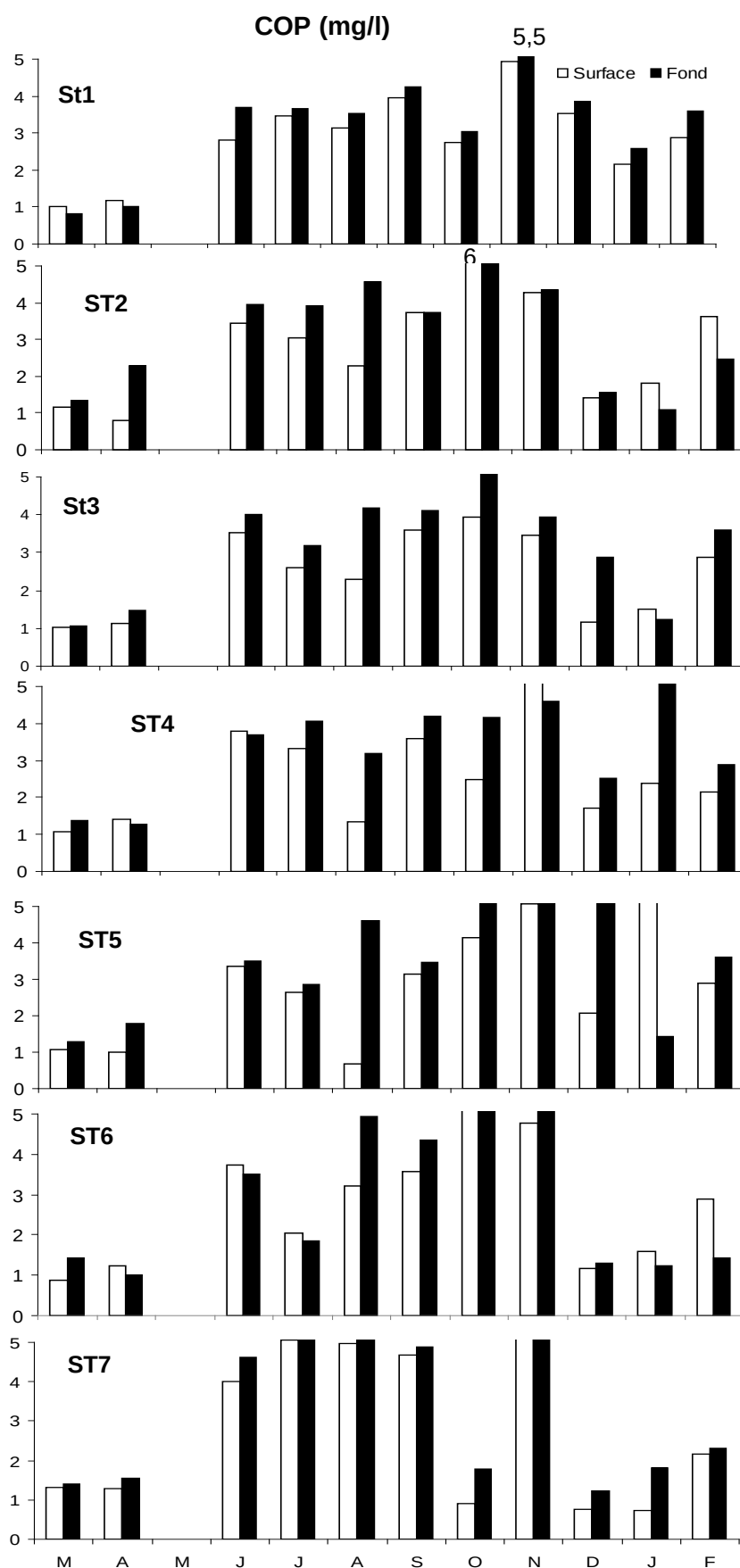


Figure 13 : Variations mensuelles de teneurs en carbone organique particulaire COP (mg/l) dans le golfe d'Annaba de mars 2007-février 2008.

2.2. Azote organique dissous NOD

La matière organique dissoute sous forme d'azote organique dissous (NOD) est considérablement abondante dans la cote d'Annaba où les teneurs moyennes sont de l'ordre de 9 $\mu\text{moles. l}^{-1}$ (Tableau 13). Sur le plan de la répartition verticale du NOD, comme pour la plupart des éléments chimiques, les eaux du fond sont plus riches (9,2 $\mu\text{moles. l}^{-1}$) que les eaux de surface (8,2 $\mu\text{moles. l}^{-1}$).

Par ailleurs, la répartition dans l'espace ne s'ordonne pas selon une tendance quelconque, une remarque cependant la richesse des eaux de surface de la station 7 proche des introduction continentales de Seybouse (Figure 14).

A l'échelle temporelle, on note que les plus faibles teneurs sont enregistrées en automne et un pic en juillet dans l'ensemble du secteur côtier étudié.

Si l'on tient compte des fractions inorganique (NID) et organique azotée (NOD), on peut évaluer la quantité d'azote total dissous ($\text{NOD} + \text{NID} = \text{Nt}$) dans les sites étudiés, comme le montre le tableau 13. En outre, le rapport NOD/NID, qui traduit quelque peu le rendement de conversion de la matière minérale en matière organique, est plus élevé dans les stations les plus reculées au large (stations, 2, 3 et 6). A l'inverse, des stations les plus côtières où le rapport de conversion NOD/NID est bien plus faible. Ces valeurs traduisent un meilleur rendement de conversion du stock minéral en matière organique pour les stations loin des influences continentales et inversement.

Tableau 13 : Valeurs moyennes ($\mu\text{moles. l}^{-1}$) des teneurs en azote organique dissous (NOD) dans le golfe d Annaba pour la période mars 2007-février 2008.

	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6	Station 7	moyenne
moyenne surface	6,71	12,49	6,05	6,69	6,86	9,26	11,18	8,19
moyenne fond	10,54	10,65	7,13	7,92	7,80	11,42	8,53	9,14
moyenne	8,62	10,60	6,59	7,30	7,32	10,34	9,85	8,66
minimum	0,11	0,36	0,29	0,44	0,11	5,65	0,48	
maximum	60,70	40,45	21,92	27,73	29,89	49,35	42,37	

Tableau 14 : Valeurs moyennes annuelles ($\mu\text{moles. l}^{-1}$) de l'azote total dissous Nt (NOD+NID) et du rapport de la fraction organique à la fraction minérale (NOD/NID) dans le golfe d'Annaba au cours de la période mars 2007-février 2008.

NOD/NID	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6	Station 7	moyenne
moyenne surface	1,60	3,49	2,56	1,56	1,64	3,09	1,61	2,22
moyenne fond	4,66	4,46	2,44	2,38	2,16	6,42	1,22	3,29
moyenne	3,13	3,98	2,50	1,97	1,9	4,76	1,41	2,80
minimum	0,00	0,14	0,19	0,03	0,02	0,21	0,04	
maximum	35,64	28,89	10,36	9,14	9,71	46,29	4,64	
(NOD+NID)	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6	Station 7	moyenne
moyenne surface	11,80	16,29	9,35	13,03	12,1	14,16	20,5	13,62
moyenne fond	19,67	14,93	10,99	13,68	13,00	15,72	17,07	15,01
moyenne	15,73	15,61	10,17	13,35	12,55	14,94	18,78	14,31
minimum	1,81	1,76	1,35	1,74	1,51	6,58	3,63	
maximum	117,7	51,79	29,97	46,64	48,13	61,28	64,45	

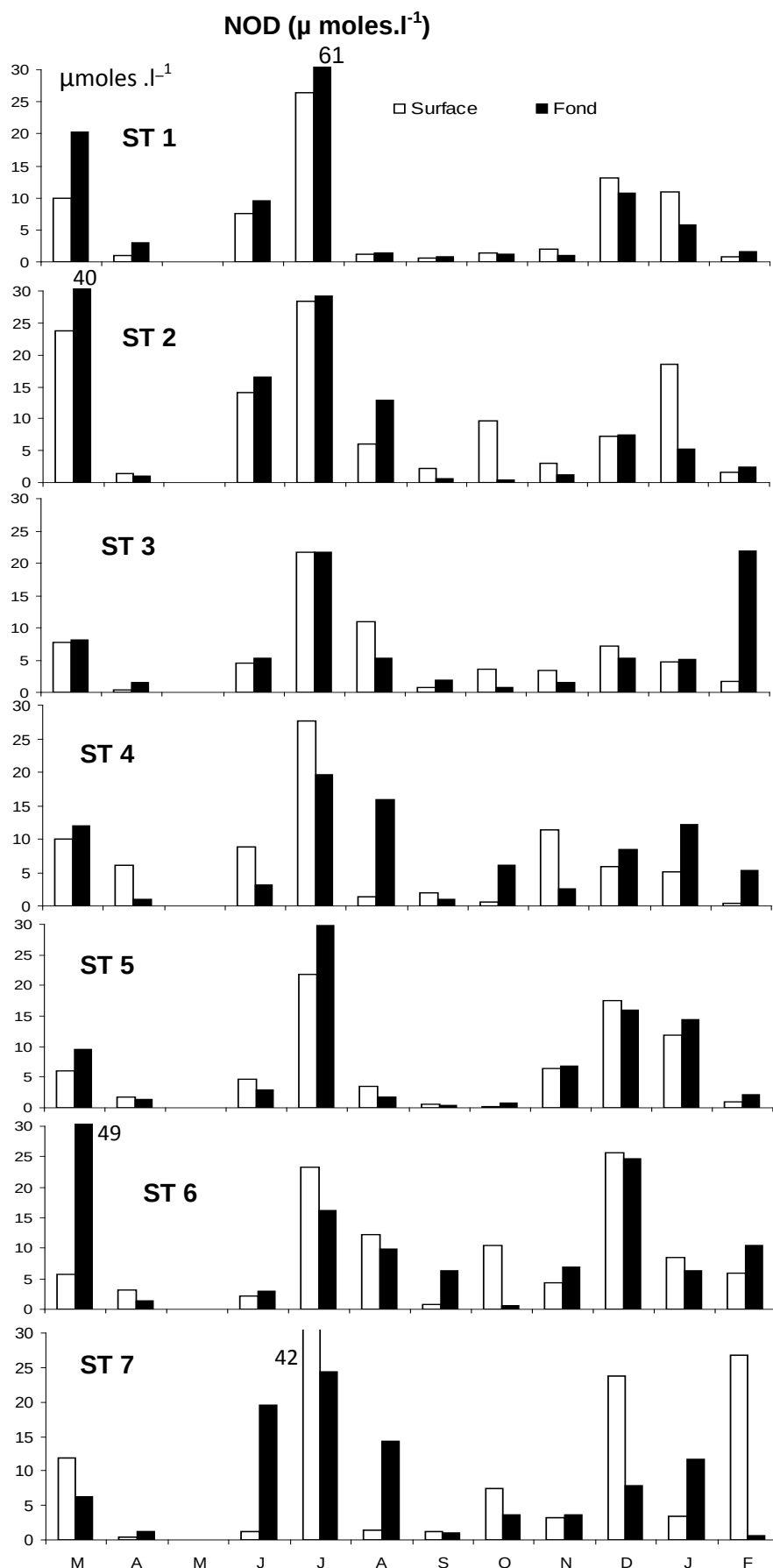


Figure 14 : Variations mensuelles des teneurs de l'azote organique dissous (NOD) dans le golfe d'Annaba pour la période mars 2007–février 2008.

3. Chlorophylle (a)

La biomasse chlorophyllienne (Chla) constitue un stock important tout au long des saisons avec des valeurs moyennes variant selon les 4 stations entre 3-6 mg Chla. m^{-3} (Tableau 15). Cette variabilité dans le golfe d'Annaba est liée au enrichissement par les apports anthropiques et les conditions physico chimiques du milieu. Cette importante production en mer est ligotée aux fortes fertilisations continentales. Dans la colonne d'eau, la biomasse moyenne en Chla des eaux de fond est souvent assez inférieurs (4mg Chla. m^{-3}) à celle des eaux du surface (5 mg Chla. m^{-3} , Tableau 15). Ces valeurs indiquent que les eaux du fond sont moins productives que les eaux de surface.

Tableau 15 : Valeurs moyennes annuelles des concentrations en chlorophylle a en (mg. m^{-3}) dans le golfe d'Annaba au cours de la période mars 2007-fevrier 2008.

	Station 1	Station 5	Station 6	Station 7	moyenne
moyenne surface	3,05	6,78	4,05	3,98	4,82
nombre d'échantillonnage	11	7	8	9	
moyenne fond	1,98	5,24	4,57	3,62	3,86
nombre d'échantillonnage	11	7	9	7	

DISCUSSION ET CONCLUSION

L'objectif de cette étude est de déterminer les conditions hydrologiques et le niveau d'enrichissement du littoral d'Annaba soumis aux apports de deux estuaires ayant un large bassin versant de 10 000 km². Les éléments nutritifs, l'azote et le phosphore jouent un rôle important dans le contrôle biologique des populations marines de Méditerranée (Fiala et al., 1976 ; Berland et al., 1980 ; Béthoux et Copin-MonteGut, 1988; Thingstad et Rassoulzadegan, 1995). La distribution des sels nutritifs azotés phosphorés dans le golfe d'Annaba montre des conditions de forts enrichissements au cours des saisons en particulier pour l'ammonium et les phosphates. Les teneurs moyennes de l'azote minéral sont de 6 $\mu\text{moles. l}^{-1}$ avec une fraction ammoniacale de 65 % tandis que la teneur moyenne en phosphate s'élève à 2 $\mu\text{moles. l}^{-1}$. La régénération directe par l'excrétion zooplanctonique en particulier peut expliquer cette richesse exagérée en ammonium. En fait, la régénération directe zootoplanctonique de l'azote peut assurer 80 % des besoins phytoplanctoniques (Jacques et Tréguer, 1986).

Outre l'origine interne, les rejets anthropiques et les apports fluviaux sont responsables de fertilisations importantes (Tableau 16) comme le montre les fortes valeurs des stations les plus côtières et des charges des estuaires (Mafrag et Seybouse).

Dans littoral d'Annaba, les concentrations du phosphore minéral sont toujours élevées et augmentent durant la période d'ouverture aux apports estuariens notamment pour les P_2O_5 . Le stock en phosphate est beaucoup plus important que dans le secteur ouest (Fréhi, 2007). De même, les teneurs en POD sont plus élevées dans le secteur Est (6,30 $\mu\text{moles. l}^{-1}$) que dans l'Ouest du golfe (2,10 $\mu\text{moles. l}^{-1}$) selon les données de Fréhi (2007). Le POD reste la forme dominante en particulier en période sèche (été-automne) où il constitue 70% du phosphore total. Dans le secteur Ouest (Fréhi, 2007), les concentrations de POD sont plus que deux fois plus élevées que les phosphates.

On rencontre en outre le maximum de P_2O_5 en période d'échange avec les estuaires, ce qui laisse à suggérer l'origine anthropique de cet élément. En effet, les stations 1 et 7 les plus directement soumises aux influences continentales en montrent les plus fortes concentrations.

Dans la colonne d'eau, les concentrations du fond sont en moyenne toujours plus élevées que celles de surface. Le stock du phosphore semble être entretenu donc par

les largages sédimentaires issus de la dégradation de la matière organique. Le faible rapport N/P ne dépassant pas 9 $\mu\text{moles. l}^{-1}$ en moyenne en été suggère l'effet des apports anthropiques enrichit en phosphates. L'enrichissement maximal en phosphate (5 $\mu\text{moles. l}^{-1}$) coïncide avec la saison touristique en été. Les processus très différents ont été proposés pour expliquer les rapports Nitrate:Phosphate typiques observés dans les eaux profondes.

La variation spatio-temporelle de l'azote organique dissous NOD, montre une valeur moyenne de 9 $\mu\text{moles.l}^{-1}$ qui peut correspondre à un apport considérable des estuaires Seybouse et Mafrag. Des valeurs plus élevées, sont rencontrées dans les stations 1, 7 surtout en été contrairement dans les autres stations. Il est curieux de pouvoir constater que les teneurs du NOD en 2002 (Fréhi, 2007) ne sont que de l'ordre de 2 ce qui représente seulement 6% de l'azote total dissous contrairement au phosphore où la fraction organique représente plus de 200% la fraction minérale.

Cependant que dans cette étude, la fraction d'azote minéral est inférieure à la forme organique, représentant 40% de l'azote total dissous. On comprend que la forme organique de l'azote et du phosphore serait essentiellement d'origine endogène. Le rapport NOD/NID passe en effet de 1 au printemps, 1,5 été, 0,75 en hiver et atteint un maximum en automne 3. Dans l'estuaire du Mafrag, ce rapport a fluctué seulement entre 1,5 et 24 selon les données de (Kebabssa, 2007), traduisant un gaspillage de la matière minérale dans ce type d'environnement très productif. L'excédent minéral étant en revanche transféré à la mer lors de la période d'ouverture pendant la saison humide (Kebabssa, 2007).

Dans le golfe d'Annaba, l'édification de la matière organique, autrement dit, la conversion de la matière minérale NID en matière organique particulaire COP (plancton) puis en matière organique dissoute NOD est plus efficace. La dégradation de la matière organique dissoute par les bactéries, surtout importante dans les stations côtières, pourrai fournir aux peuplements phytoplanctoniques un appoint en sels nutritifs. Finalement on considère que le littoral est moyennement eutrophe notamment en période de communication avec les estuaires, comparé à d'autres milieux marins semblables (Tableau 16).

Tableau 16 : Valeurs moyennes annuelles des nutriments ($\mu\text{moles.l}^{-1}$) et de la Chla ($\mu\text{g l}^{-1}$) dans différents sites méditerranéens.

Site	NH_4^+	NO_3^-	NO_2^-	NID	PO_4^{3-}	Chla	Référence
Méditerranée N-O	21,4	0,63	0,27	22,3	0,15		Lucea et al., 2002
Adriatique				14,6	0,15	2,7	Bernardi et al., 1990-1999
Baie de Izmir, Turquie	16,83	0,91	0,51	18			Bizsel., 1999
Baie de Tunis, Tunisie	3,7	0,5	0,15	4,45	0,25	0,2	Souissi et al., 2000.
Baie de Haïfa, Palestine	4-176	1-100			4-100	2-75	Kress et Herut, 1998
Baie de Biscay, Atlantique (France)	0,25-1	1-9		0,3-9	0,1-0,35		Herbland et al., 1998
Baies de Chine, Chine	0,7-3,5	0,5-6,5			0,17-3,5		Liu et al., 2009
Golfe Aqaba, Egypte	1,78	0,5	0,15	2,20	0,15		Abdel-Halim et al., 2004
Baie d'Annaba, secteur Ouest	14,4	12	0,8	27	6,8	6	Ounissi et al., 1998
Baie d'Annaba, secteur Ouest	25	4,5	0,65	30	0,8	7	Fréhi, 2007
Estuaire de Mafrag	13,5	7	1,25	21,25	4,5	8	Kebabessa, 2009
Estuaire de Seybouse	141,6	34,3	18,27	190	9		Aounallah, com. per.
Golfe d Annaba, Algérie	3,6	1,4	0,6	5,6	2	5 (2-8)	Présente étude

Sur le plan de biomasse phytoplanctonique, on considère que les valeurs enregistrées durant la période d'étude reflètent des conditions d'eutrophie où les biomasses évoluent en moyenne entre 2 et 8 mg. m^3 . Ces valeurs sont sensiblement comparables aux données de Fréhi (2007) et Ounissi et al. (1998) concernant une frange côtière du golfe d'Annaba.

Des études actuellement en cours devront permettre de mieux situer le niveau de trophie, le fonctionnement et les pressions anthropiques induites par les apports des estuaires Seybouse et Mafrag.

Références bibliographiques

Ahmed M. Abdel-Halim., A boel-Khair E. M., Fahmy M. A., Shridah M. A., 2007. Environmental assesement on the Aqaba gulf coastal waters; Egypt, *Journal of aquatic research*. 33 (1), 1-1.

Aminot A., Chausspied M., 1983. *Manuel des analyses chimiques en milieu marin*. 395p.

Aouissi M., 2008. Le zooplancton côtier du golfe d'Annaba soumis aux panaches de l'estuaire du mafrag. Mémoire de Magister, Université d'Annaba, 48p.

Aounallah O., 2007. Caractéristiques chimiques des apports de oued Seybouse au littoral d'Annaba sels nutritifs et matières organiques. Mémoire de magister, Université d'Annaba, 42p.

Berland B.R., Maestrini D.J., Maestrini S.Y., 1980. Azote ou phosphore? Considerations sur le paradoxe nutritionnel de la mer Méditerranée, *Oceanol. Acta*, 3,135-142.

Bernardi A. F., Berton A., Bastianini M., Socal G., Acri F., 2004. Phytoplankton succession in a coastal area of the NW Adriatic, over a 10-year sampling period (1990–1999). *Continental Shelf Research*, 24, 97–115.

Béthoux J. P., Morin P., Madec C.& Gentili B., 1992. Phosphorus and nitrogen behaviour in the Mediterranean Sea. *Deep-Sea Research*, 39, 1641-1654.

Béthoux J.P., Gentili B., 1999. Functioning of the Mediterranean Sea: past and present changes related to freshwater input and climate changes. *Journal of marine systems*, 20, 33–47.

Béthoux J.P., Copin-Monte'gut G., 1988. Phosphorus and Nitrogen in the Mediterranean sea: specificities and forecasting. *Oceanol, Acta*, 9, 75–78.

Béthoux J.P., Morin P., Chaumer C., Connan O., Gentilli B., Ruiz P.D.,1998. Nutrients in the Mediterranean sea, mass balance and statistical analysis of concentrations with respect to environmental change. *Marine Chemistry*, 63,155-169.

Béthoux J.P., Morin P., Rinz-pino D.P., 2002. Temporal trends in nutrients rations: chemical evidence of Mediterranean Ecosystem changes driven by human activity. *Deep-sea Research II*, 49, 2007-2016.

Bizsel N., Uslu O., 2000. Phosphate, nitrogen and iron enrichment in the polluted Izmir Bay, Aegean Sea. *Marine environmental research*, 49, 101-122.

Budgen G.L., Hargrave B.T., Sinclair M.M., Tang C.J., Therriault J.C. & Yeats, P.A., 1982. Freshwater runoff effects in the marine environment: the Gulf of St Lawrence example, Canadian Technical reports on Fisheries and Aquatic. *Sciences*, 1078, 1–89.

Deegan L.A., Day J.W., Gosselink J.G., Yáñez-Arancibia A., Soberón G. & Sánchez-Gil P., 1986. Relationships among physical characteristics, vegetation distribution and fisheries yield in Gulf of Mexico estuaries, *In: Estuarine Variability*, (ed.) Wolfe D.A. (New York, Academic Press).

Daskalov G., 1999. Relating fish recruitment to stock biomass and physical environment in the Black Sea using generalized additive models. *Fisheries Research*, 41, 1–23.

El-Sayed S.Z. & Gert L. van., 1995. The south-eastern Mediterranean ecosystem revisited: thirty years after the construction of the Aswan high dam, *Quarterdeck*, 3, 4–7.

Estrada M., 1996. Primary production in the north-western Mediterranean. *Scientia Marina*. 60, 55–64.

Fiala M., Cahet G., Jacques G., Neveux J., & Panouse M., (1976). Fertilization de communautés phytoplanctoniques. Cas d'un milieu oligotrophique: Méditerranée nord-occidentale. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 24, 151–163.

Fréhi H., 1995. Etude de la structure et du fonctionnement du système phytoplanctonique dans un écosystème marin côtier : Eutrophisation de la Baie d'Annaba. Thèse de magister, Université d'Annaba. Algérie, 160p.

Fréhi H., 2007. Hydrobiologie de la baie d Annaba étude descriptive des dinoflagellées et écologie des espèces nuisibles, Université d'Annaba, Algerie, 628 ,1-33.

Gouiez H., 2006. Apport en sels nutritifs et en Matières organiques oxydables au littoral d'Annaba par Oued Seybouse et l'estuaire de la Mafrag. Mémoire de Magister, Université d'Annaba, 30p.

Herbland A., Delmas D., Laborde P., Sautour S. and Artigas F., 1998. Phytoplankton spring bloom of the Gironde plume waters in the Bay of Biscay: early phosphorus limitation and food-web consequences, France. *Oceanologica acta*, 21, 279-291.

Jacques G., & Treguer P., 1986. Dynamics of nutrient and phytoplankton and cycles of carbon, nitrogen and silicon in the Southern Ocean: a review. *Polar Biology*, 12: 149-162.

Kebabessa R., 2009. Distribution des sels nutritifs et les matières organiques dans l'estuaire de Mafrag .Mémoire de magister, Université d Annaba, 46p.

Khammar H., 2007. Caractères chimiques des effluents urbains introduits au littoral d'Annaba. Mémoire de Magister, Université d'Annaba, 46p.

Khélifi-Touhami M., 1998. Composition et abondance du zooplancton dans les eaux côtières de l'Est algérien (Secteur eutrophie du golf d'Annaba et plateau continental d'El-kala). Thèse de magister, Université d'Annaba, 132p.

Khélifi-Touhami M., Ounissi M., Saker I., Haridi A., Djorfi S. and Abdenour C., 2006. The hydrology of the Mafrag estuary (Algeria): Transport of inorganic nitrogen and phosphorus to the adjacent coast. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 4, 340-346.

Kress N., and Herut B., 1998. Hypernutrification in the Oligotrophic Eastern Mediterranean: a Study in Haifa Bay (Palestine). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 46, 645–656,

Krom M. D., Kress N., & Brenner S., 1991. Phosphorus limitation of primary productivity in the eastern Mediterranean Sea. *Limnology and Oceanography*, 36, 424-432.

Laabed S., Gouiez H., Ounissi M., Saker I., Haridi A., Khélifi-Touhami M., & Abdenour C., 2006. Apport en sels nutritifs et en matières organiques au littoral d'Annaba par les effluents urbains et industriels. Actes 8^{ème} Congrès des Limnologues d'Expression Française, Hammamet, Tunisie, 17-21.

La Ferla R., Azzaro F., Azzaro M., Caruso G., Decembrinia F., Leonardia M., Maimone G., Monticellia L. S., Raffaa F., Santinellib C., Zacconea R., & Ribera d'Alcala M., 2005. Microbial contribution to carbon biogeochemistry in the Central Mediterranean Sea: Variability of activities and biomass. *Journal of marine systems*, 57, 146-166.

Le corre, P., 1976. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. 395p

Liu S. M., Hong G. H., Zhang X. W., Ye J., and Jiang X. L., 2009. Nutrient budgets for large Chinese estuaries and embayment . China, *Biogeosciences Discuss.*, 6, 391–435.

Lorenzen C.J., 1967. Determination of chlorophyll and pheopigments, spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.*, 12, 343-346.

Lucea, A., Duarte C.M., Agustí S., & Sondergaard M., 2003. Nutrient (N, P and Si) and carbon partitioning in the stratified NW Mediterranean. *Journal of Sea Research*. 49,157– 170.

Mc Gill D.A.,1961. A preliminary study of the oxygen and phosphate distribution in the Mediterranean Sea. *Deep Sea research*, 8 , 259-269.

Mc Gill D.A., 1965. The relative supplies of phosphate, nitrate and silicate in the Mediterranean Sea. *Comm. Int. Mer Medit.*, 18, 737-744.

Moutin T., & Raimbault P., 2002. Primary production, carbon export and nutrients availability in western and eastern Mediterranean Sea in early summer 1996 (MINOS cruise). *Journal of Marine Systems*, 33/34, 273-288.

Ounissi M., Frehi H., & Khelifi-Touhami M., 1998. Composition et abondance du zooplancton en situation d'eutrophisation dans un secteur côtier du golfe d'Annaba (Algérie). *Ann. Inst. océanogr.* 74 , 13-28.

Ounissi M., 2007. Devenir et incidences des flux de matières continentales enrichissantes et polluantes dans le littoral d'Annaba Algérie. Bilan final du projet de recherche ONEDD/MATE/05/04, 11p.

Ounissi M., & Fréhi H., 1999. Variabilité du microphytoplancton et des Tintinnides d'un secteur hautement eutrophe du golfe d'Annaba (Algérie). *Cah. Biol. Mar.* 40, 141-153.

Ounissi M., & Khelifi-Touhami M., 1999. Le zooplancton du plateau continental d'El Kala (Méditerranée sud-occidentale) : Composition et abondance en mai 1996. *Journal de recherche océanographique*, 24 ,5-11.

Parsons T.R., Maita Y., & Lalli C.M., 1989. *A manual of chemical and biological methods for sea water analysis*. Oxford: Pergamon Press. 173 pp.

Rodier J., 1984. *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer*. 1365 pp.

Raimbault P., & Coste B. , 1990. Very high values of nitrate:phosphate ratio (>30) in the subsurface layers of the western Mediterranean Sea. *Rapp. Comm. Int. Mer. Méditerranéenne* 32, C-18.

Saker I.E., 2007. Caractères chimiques des effluents industriels directs introduits au littoral d'Annaba. Mémoire de Magister, Université d'Annaba, 38p.

Souissi S., Daly Yahia-Kefi O. and M.N.Daly .y., 2000. Spatial characterization of nutrient dynamics in the Bay of Tunis using multivariate analyses consequences for phyto-and zooplankton distribution. *Journal of plankton research*, 11, 2039-2059.

Thingstad T.F., Rassoulzadegan F., 1995. Nutrient limitations, microbial food webs, and "biological C-pumps": suggested interactions in a P-limited Mediterranean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 117, 299– 306.

Tsai C.F., Chen P.Y., Chen C.P., Lee M.A., Shiah G.Y., & Lee K.T., 1997. Fluctuation in abundance of larval anchovy and environmental conditions in coastal waters off south-western Taiwan as associated with the El Niño southern oscillation. *Fisheries Oceanography*, 6, 238–249.

Turley C., 1999. The changing Mediterranean Sea—a sensitive ecosystem? *Prog. Oceanogr.*, 44, 387–400.

Ziouch O.R., 2007. Hydrologie et biogéochimie du complexe estuarien du Mafrag et de ses panaches littoraux. Mémoire de Magister, Université d'Annaba, 54p.