

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

INSTITUT DES SCIENCES DE LA MER ET DE L'AMENAGEMENT DU LITTORAL

" I.S.M.A.L "

**Mémoire du projet de fin d'études pour
l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état**

en

Aménagement du littoral et protection de l'environnement

OPTION : CHIMIE MARINE

Thème

**ETUDE DE L'ETAT DE POLLUTION DE LA BAIE DE BOU-ISMAIL PAR
LES SELS NUTRITIFS ET LES METAUX LOURDS EN JUILLET 2002**

Présenté par :

-HADDOUCHE IDIR.

Le jury :

- M. BELKESSA. R.	I.S.M.A.L	Président.
- M. BOULAHDID. M.	I.S.M.A.L	Examinateur.
- M^{me}. KORICHI. H.	I.S.M.A.L	Examinatrice.
- M^{me}. LOUANCHI. F.	I.S.M.A.L	Promotrice.

-Promotion 2003-

SOMMAIRE :

INTRODUCTION

Chapitre 1 : Généralités

1. Caractéristiques hydrologiques et climatiques en Méditerranée occidentale	1
1. 1. Température et salinité.....	1
1. 1. Circulation des eaux dans le bassin occidental.....	1
1. 3. Climat moyen des côtes algériennes.....	1
2. Fertilité de la Méditerranée occidentale.....	3
2. 1. Les sels nutritifs.....	3
2. 1. 1. Origine et définition	3
2. 1. 2. Cycle biogéochimique des éléments nutritifs.....	5
2. 1. 3. Eutrophisation	5
2. 1. 4. Rapport N/P en Méditerranée.....	7
3. Les métaux lourds dans l'eau de mer et les sédiments marins.....	7
3. 1. Origine et définition.....	7
3. 2. Cycle biogéochimique	9
3. 3. Toxicité de certains métaux lourds.....	12
4. Description de la baie de Bou-Ismaïl.....	13
4. 1. Situation géographique.....	13
4. 2. Réseau hydrographique.....	13
4. 3. Houles.....	13
4. 4. Sédimentologie.....	15
4. 5. Conditions météorologiques en baie de Bou-Ismaïl.....	15
4. 5. 1. Les vents.....	15
4. 5. 2. Les températures de l'air et les précipitations.....	15
4. 6. Sources potentielles de pollution	17

Chapitre 2 : Matériels et Méthodes

1. Stratégie d'échantillonnage.....	18
2. Conditions météorologiques lors de la dernière décade de juin 2002.....	18
3. Méthodologie.....	20
3. 1. Travaux en mer.....	20
3. 1. 1. Nettoyage du matériel.....	20
3. 1. 2. Prélèvement d'eau de mer.....	20
3. 1. 3. Prélèvement du sédiment.....	21

3. 2. Travaux effectués au laboratoire.....	21
3. 2. 1. L'eau de mer.....	21
3. 2. 1. 1. Prétraitement et conservation des moyens de prélèvements.....	21
3. 2. 1. 2. La matière en suspension.....	21
3. 2. 1. 3. Les sels nutritifs.....	21
3. 2. 1. 4. Dosage de la M. E. S, M. O. P et M. I. P.....	21
3. 2. 1. 5. Méthode de mesure de la matière organique et la matière inorganique...	23
3. 2. 1. 6. Dosage de la chlorophylle.....	23
3. 2. 1. 7. Dosage du carbone organique.....	25
3. 2. 1. 8. Dosage des sels nutritifs.....	26
3. 2. 2. Le sédiment.....	31
3. 2. 2. 1. Traitement de la matière organique.....	31
3. 2. 2. 2. Traitement des échantillons destinés aux analyses des métaux lourds.....	31

Chapitre 3 : Résultats et Interprétations

1^{ère} partie : Analyse de la biogéochimie en baie de Bou-Ismaïl

1. Contexte hydrologique en juillet 2002.....	36
1. 1. Température.....	36
1. 2. Salinité.....	36
1. 3. Diagramme T. S.....	36
2. Contexte biogéochimique en juillet 2002.....	40
2. 1. Les sels nutritifs.....	40
2. 1. 1. Phosphates.....	40
2. 1. 2. Silicates.....	40
2. 1. 3. Nitrates, Nitrites, Ammonium.....	43
2. 1. 4. Comparaison des teneurs en sels nutritifs obtenues dans la baie de Bou-Ismaïl avec des données antérieures.....	43
2. 2. L'oxygène dissous et L' U. A. O.....	48
2. 2. 1. L'oxygène dissous.....	48
2. 2. 2. L' U. A. O.....	48
2. 3. La matière organique en baie de Bou-Ismaïl	52
2. 3. 1. M.E.S et M.O.....	52
2. 3. 2. La chlorophylle a et phaéophytine.....	55
2. 3. 3. L'azote organique total.....	55
2. 3. 4. Le phosphore organique total.....	58
2. 3. 5. Le carbone organique dissous.....	58
2. 3. 6. Le carbone organique particulaire.....	58

2^{ème} partie : Etude de l'eutrophisation en baie de Bou-Ismaïl

1. Analyse des rapports N/P.....	62
1. 1. Rapports NO_3^- - NO_2^- / PO_4^{3-}	62
1. 2. Rapports NOT/POT.....	62
1. 3. Diagrammes de corrélation COT/NOT et COT/POT de la baie de Bou-Ismaïl.....	64
1. 3. 1. Diagramme COT/NOT.....	64
1. 3. 2. Diagramme COT/POT.....	64
2. Sources de la M.E.S en baie de Bou-Ismaïl.....	64
2. 1. Corrélation M.E.S/POT.....	64
2. 2. Corrélation M.E.S/NOT.....	66
2. 3. Corrélation M.E.S/chlorophylle.....	66
2. 4. Corrélation M.E.S/COT.....	66

3^{ème} partie : Etude de la pollution par les métaux lourds des sédiments de la baie de Bou-Ismaïl

1. Résultats des mesures effectuées.....	68
1. 1. Cadmium (Cd).....	68
1. 2. Cuivre (Cu).....	68
1. 3. Manganèse (Mn).....	68
1. 4. Plomb (Pb).....	70
1. 5. Zinc (Zn).....	70
1. 6. Nickel (Ni).....	72
2. Comparaison des teneurs en métaux lourds obtenues dans la baie de Bou-Ismaïl avec des données antérieures.....	72
3. La corrélation entre les éléments métalliques et la matière organique du sédiment.....	72
4. Etat de la pollution des sédiments de la baie de Bou-Ismaïl en juillet 2002.....	76

Chapitre 4 : Conclusion Générale.....

77

Bibliographie.....

78

Annexes.....

83

introduction

Introduction :

La Méditerranée est une mer soumise à une forte pression humaine. En effet, ses eaux reçoivent d'une manière chronique des déchets domestiques, agricoles et industriels provenant des égouts, d'émissaires industriels directs ou indirects.

Dans le contexte de l'étude de la pollution inorganique en Méditerranée, le présent travail s'intéressera à la qualité des eaux et du sédiment de la baie de Bou-Ismaïl. Si nous nous sommes intéressés à cette baie, c'est parce que c'est une zone où la pêche et le tourisme estival sont développés. Ces deux activités économiques peuvent être sérieusement compromises s'il s'avérait que la baie fait l'objet d'une pollution massive.

En première partie, nous aborderons quelques généralités sur la pollution inorganique, et particulièrement en Méditerranée.

En deuxième partie, nous nous attacherons à décrire les protocoles et méthodes d'analyse sur le terrain aussi bien qu'au laboratoire.

Une troisième partie comprendra l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus tant en terme de données hydrologiques, que d'informations sur la fertilité des eaux de la baie ainsi que du taux de pollution par les métaux lourds des sédiments.

Enfin nous verrons une comparaison entre nos résultats et des résultats obtenus antérieurement sur le même site.

Chapitre 1 :

Généralités

1. CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES DE LA MEDITERRANEE OCCIDENTALE :

1.1. LA TEMPERATURE ET LA SALINITE :

La température est une grandeur physique importante pour l'identification des masses d'eaux et leur circulation car elle définit la densité. Elle influence les réactions chimiques et biochimiques. L'élévation de la température peut perturber le milieu, comme elle peut être un facteur d'accroissement de la productivité biologique, (GAUJOURS, 1995).

En période estivale la température de surface en Méditerranée (Golfe de Marseille) se trouve en moyenne de 20°C, (MINAS, 1968 ; in JACQUES et TREGUER, 1986). Sur les côtes algériennes, à la même saison, elle est d'environ 20 °C en surface, (BETHOUX et al, 1998).

La salinité est un traceur océanique conservatif qui nous permet de comprendre les mélanges des masses d'eaux, et qui caractérise également leur densité.

Elle est d'environ 38 psu en saison d'été dans la Méditerranée (Golfe de Marseille), (MINAS, 1968 ; in JACQUES et TREGUER, 1986), et d'environ 36.5 à 37.5 psu sur les côtes algériennes, (MILLOT et al, 1989).

1.2. CIRCULATION DANS LE BASSIN ALGERO-PROVENÇAL :

Le courant Atlantique pénètre en Méditerranée en passant par le détroit de Gibraltar, sous forme d'un flot formant des tourbillons dans la mer d'Alboran. Selon MILLOT et al, (1989), ce courant quitte la côte Espagnole près d'Almería et se dirige vers la côte algérienne jusqu'à Oran (1°W), où il porte le nom de courant algérien (Figure 1).

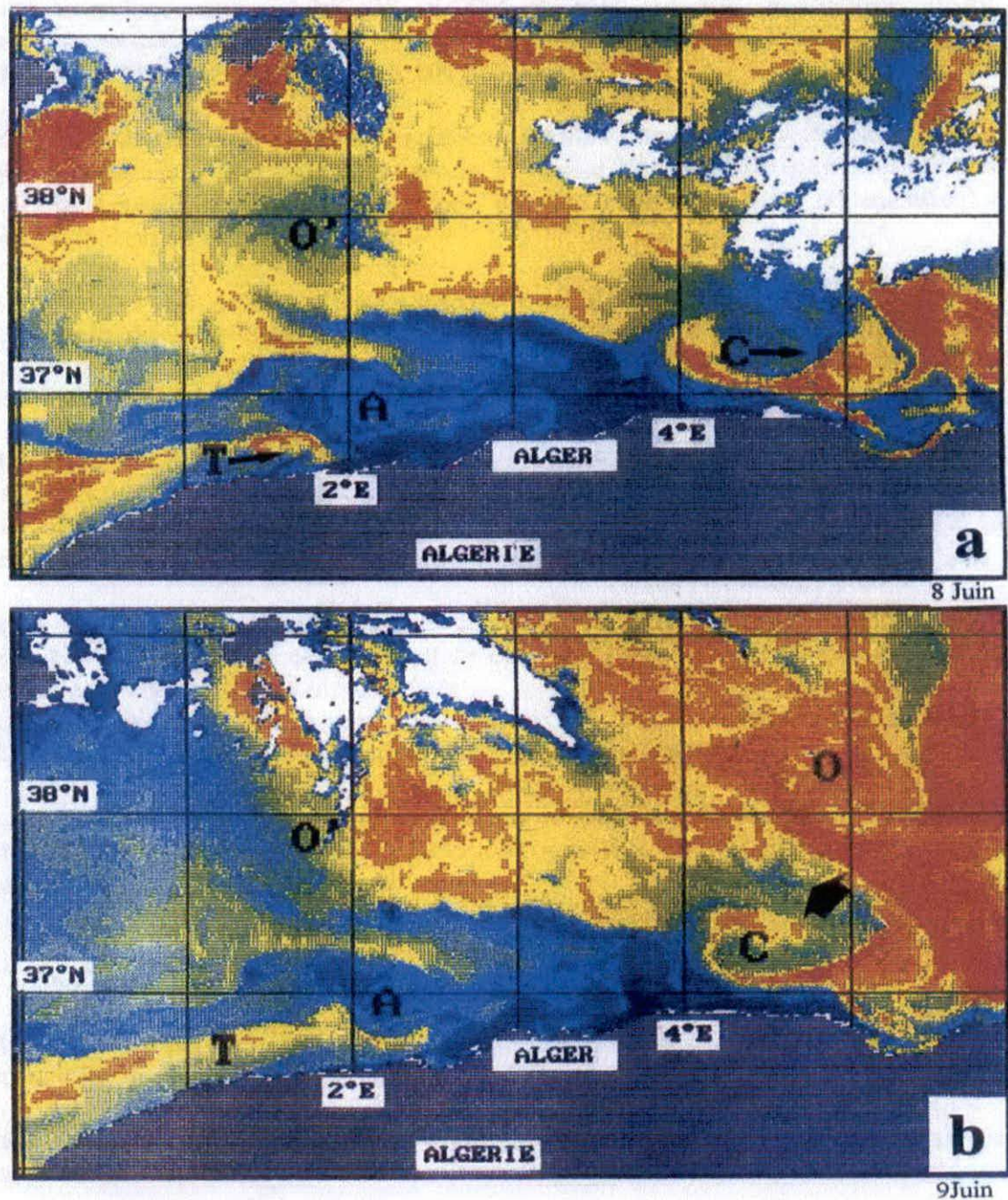
Le déplacement du courant algérien de l'Ouest vers l'Est engendre des tourbillons de 50 km de diamètre entre 1° et 2°E, qui sont cycloniques et anticycloniques, et des upwellings ou downwellings sont advectés le long de la côte.

Parfois, ces tourbillons causent des phénomènes secondaires, tels que l'entraînement des eaux, les structures en forme de champignons, des boucles cycloniques et des langues d'eaux froides côtières, (MILLOT et al, 1989).

1.3. CLIMAT MOYEN SUR LA COTE ALGERIENNE :

1.3.1. TEMPERATURE DE L'AIR :

Le tableau n° 1 montre le cycle annuel des températures obtenu sur une décennie (1980-1990).



Température d'eau superficielle ~ 17°C



Température d'eau superficielle ~ 20°C



T: Langue d'eau chaude superficielle.

A: Tourbillon anticyclonique.

C: Courant côtier cyclonique.

O', O: Structures méso-échelle.

Fig 1 Circulation générale des masses d'eaux dans le bassin Algéro-Provinçal de la Méditerranée. (BENZOHRRA et MILLOT, 1995a)

Tableau n° 1 : Moyennes mensuelles de la température de l'air dans le nord algérien (1980 à 1990), (ONM ; in LAZALI, 2003).

Mois	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
T(°C)	12.2	12.1	14.6	18.4	18.6	25.8	33.5	34	25.9	20.7	19.4	12.3

Ce tableau nous montre deux périodes dans l'année :

La période froide qui débute au mois de décembre jusqu'au mois de mars avec un minimum au mois de février de 12.1 °C.

La période chaude qui débute au mois d'avril jusqu'au mois de novembre avec un maximum au mois d'août de 34 °C.

1.3.1. LES PRECIPITATIONS :

Le tableau n° 2 montre le cycle annuel des précipitations obtenu sur une décennie (1980-1990).

Tableau n° 2 : Moyennes mensuelles des précipitations dans le nord algérien (1980 à 1990), (ONM ; in LAZALI, 2003).

Mois	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
P(mm)	68.2	61.6	39.5	26.7	20.5	8.1	6.0	4.7	17.1	30.2	30.5	46.9

Ce tableau nous montre une période des fortes précipitations du mois d'octobre au mois de mars avec un maximum de 68.2 mm au mois de janvier.

2. FERTILITE DE LA MEDITERRANEE OCCIDENTALE :

2.1. LES SELS NUTRITIFS :

2.1.1. ORIGINE ET DEFINITION :

Les sels nutritifs dans l'eau de mer peuvent provenir de deux sources principales :

-*Sources internes* : sont représentées par l'azote, le phosphore et le silicium provenant des sédiments (qui constituent une importante réserve de la matière organique et des sels nutritifs dans le cas des eaux peu profondes lorsque la matière organique n'a pas le temps de se minéraliser avant son dépôt) d'une part et les remontées d'eaux profondes qui sont enrichies en sels nutritifs d'autre part.

-*Sources externes* : sont représentées par les apports terrestres provenant des voies fluviales et directes d'une part, et les apports atmosphériques provenant des eaux de pluies d'autre part.

Cette dernière source n'existe pas pour le phosphore.

Les sels nutritifs dans l'eau de mer sont les espèces chimiques qui sont nécessaires au développement phytoplanctonique.

- **L'azote ammoniacal** : se trouve au pH de l'eau de mer sous formes d'ions ammoniums (NH_4^+), non toxique, (GAUJOUS, 1995).
Ses teneurs dans le milieu aquatique sont liées à la décomposition de la matière organique par les bactéries, ainsi qu'à l'excrétion animale et planctonique et la diffusion à partir des sédiments.
En général, les concentrations de NH_4^+ en milieu marin n'excèdent pas la $\mu\text{mol/l}$. Toutefois en milieu côtier, et du fait des rejets anthropiques (domestiques, agricoles), cette teneur peut atteindre des valeurs assez élevées.

- **Les nitrates** : La source interne de nitrates est l'oxydation biologique de l'azote organique, de l' NH_4^+ , et des nitrites, qui produit des nitrates en milieu aérobie, (RODIER, 1997).

Les nitrites : Proviennent de l'oxydation de l'ammonium et de la réduction des nitrates, c'est donc une forme intermédiaire des formes minérales de l'azote en mer. Ces concentrations connaissent des variations saisonnières, avec des valeurs maximales en hiver entre 0.5 et 1 $\mu\text{mole/l}$, et par le développement phytoplanctonique chutent à des valeurs très faibles en été, moins de 0.01 $\mu\text{mole/l}$, (AMINOT et CHAUSSEPIED, 1983).

Les phosphates : Sont présents dans les eaux par la décomposition de la matière organique.

Des teneurs supérieures à 0,5mg/l constitue un indice de pollution. Ils peuvent se trouver sous différentes formes oxydées, acides Méta (HPO_3), Hydro ($\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$) et Ortho (H_3PO_4), (RODIER, 1997).

Généralement c'est un facteur limitant de la production primaire en Méditerranée, (BETHOUX et al 1998). Ses concentrations n'excèdent pas 0.5 $\mu\text{mol/l}$ en Méditerranée.

Les silicates : Les composés siliceux entraînés à la mer par lessivage ou transport éolien, on le trouve dans l'eau de mer sous forme soluble ou sous forme de silice biogénique (coquilles siliceuses) essentiellement, (RODIER, 1997).

2.1.2. Cycle biogéochimiques des éléments nutritifs dans l'eau de mer :

Le phytoplancton assimile les sels nutritifs sous forme minérale (nitrate, nitrite, ammonium et phosphate), cette assimilation engendre de l'azote et du phosphore organique. (Fig.2).

Les bactéries hétérotrophes utilisent cette matière organique comme sources de nourriture et d'énergie, et la transforme en forme minérale. Plusieurs étapes se produisent :

-Transformation d'amines en NH_4^+ .

-Nitrosation de NH_4^+ en NO_2^- .

-Nitratisation de NO_2^- en NO_3^- .

Une partie de cette matière résiste à l'attaque bactérienne et chute en profondeur. Elle sera reminéralisée dans la colonne d'eau et sous l'action du mélange de masses d'eaux, pourra revenir en surface, (JACQUES et TREGUER, 1986).

La silice est captée par les diatomées pour fabriquer les testes siliceux, ceci engendre la silice biogénique qui est régénérée sous forme minérale plus lentement que l'azote et le phosphore.

2.1.3. Eutrophisation :

L'eutrophisation est l'enrichissement des eaux en sels nutritifs (phosphates, nitrates, nitrites, silicium....) et la matière organique. Cela provoque une croissance des végétaux et des proliférations algales.

Dans certaines régions de la Méditerranée l'eutrophisation provoque une forte turbidité avec un développement des espèces épiphytes qui absorbent la lumière, ce qui a causé dans plusieurs régions une disparition totale des herbiers à *Posidonia Oceanica*. Cette régression se localise particulièrement dans les environs des grandes villes (Marseille, Toulon, Nice) et les ensembles portuaires, (AUGIER et al, 1970 ; in LACAZE, 1996).

La dégradation des herbiers peut causer à terme une diminution en oxygène, et de même, la mortalité des poissons, ainsi que la libération de gaz corrosifs et autres substances telles que CO_2 , CH_4 , H_2S , ainsi que des toxines, (LACAZE, 1996).

L'hyperfertilisation des eaux marines en sels nutritifs provenant de diverses sources anthropiques engendrent des nuisances importantes et variables dans le milieu marin.

Si les concentrations de ces éléments nutritifs s'accroissent, elles peuvent atteindre un niveau irréversible surtout dans les milieux fermés ou semi-fermés comme c'est le cas de la Méditerranée. Les effets néfastes se manifestent par l'épuisement de l'oxygène, par sa consommation lors de la minéralisation de la matière organique, ainsi que la libération des sels nutritifs. Cette désoxygénation affecte toute la vie marine, (LACAZE, 1996).

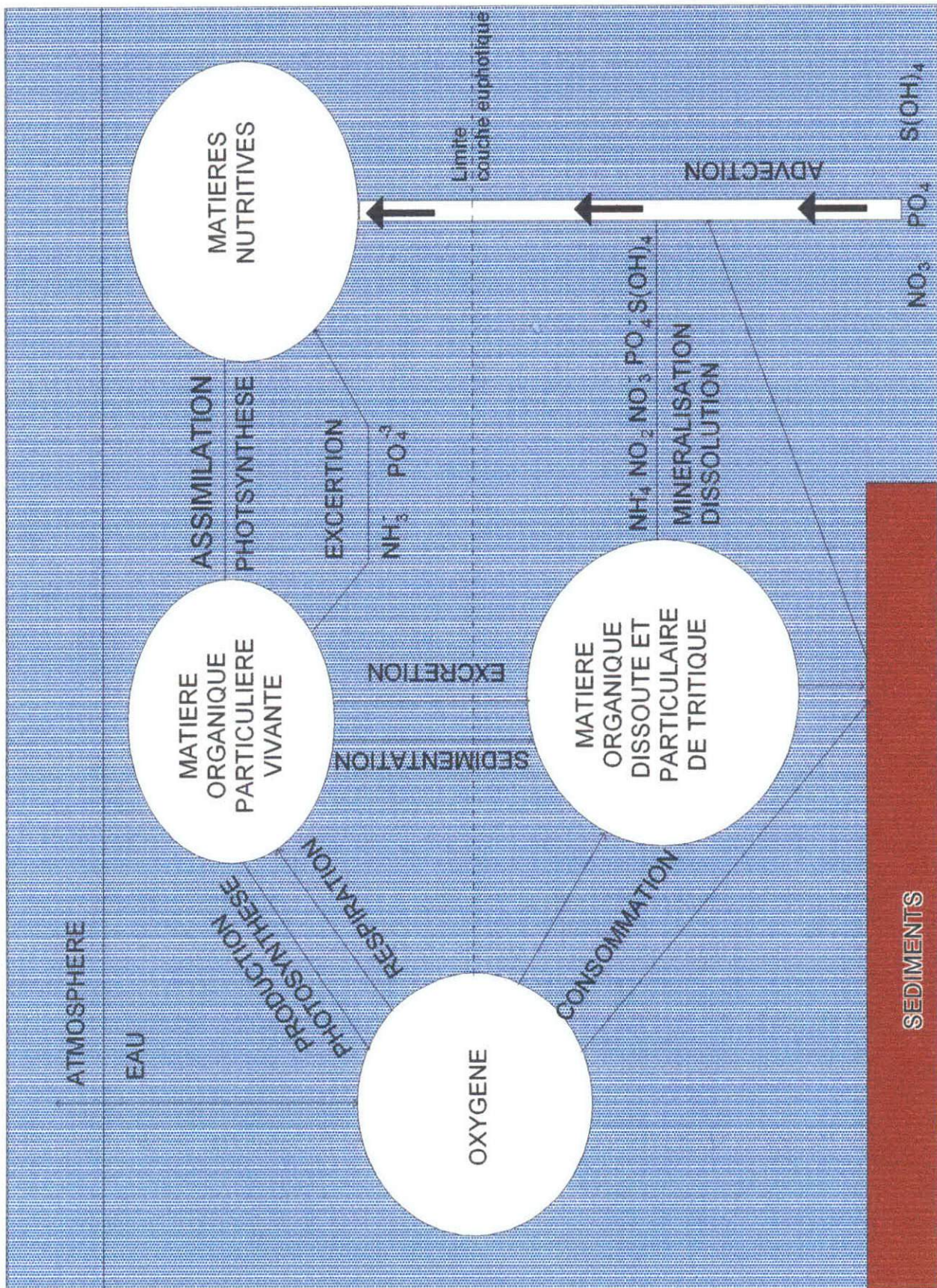


Fig 2: Circulation des sels nutritifs (d'après Jacques et Tréguer, 1986)

L'augmentation des sels nutritifs est à l'origine d'une prolifération algale qui peut avoir des effets négatifs sur le tourisme et la santé. On peut assister aussi à plusieurs blooms annuels et par conséquent à un effet négatif sur les espèces photosynthétiques du benthos, qui peut aller jusqu'à l'anoxie et une régression de l'herbier à posidonies dans les eaux Méditerranéennes, (LACAZE, 1996), avec des conséquences pour la pêche.

2.1.4. Le rapport N/P en Méditerranée :

En Méditerranée, nous avons un rapport N/P de l'ordre de 22 dans le bassin Est, et de 24 dans le bassin Ouest, dans les eaux profondes, (Figure 3). Ce rapport est de l'ordre de 16 dans l'océan mondial, relatif à la composition moyenne de la matière planctonique marine (REDFIELD et al, 1963).

Ce rapport peut varier avec la profondeur et en fonction des saisons, en accord avec la variation de l'activité biologique. Cette variation du N/P sera plus accentuée à proximité des côtes où les différents rejets interviennent sur la perturbation du milieu.

Selon LACAZE (1996), le rapport N/P est inférieur ou égal à 6 lorsque les rejets sont des eaux usées domestiques et aux environs de 10 lorsque les rejets proviennent du lessivage des terres agricoles.

3. LES METAUX LOURDS DANS LES SEDIMENTS MARIN :

3.1. Origine et définition :

-Origine naturelle :

- Lessivage des continents par les pluies et les eaux fluviales.
- La voie atmosphérique.
- Les activités hydrothermales et remobilisation du sédiment.

-Origine anthropique :

- Rejets industriels.
- Rejets urbains (domestiques).
- Les produits de l'agriculture (herbicides, pesticides....).

Les métaux lourds c'est l'ensemble des métaux et métalloïdes hormis les alcalins et les alcalino terreux. On les trouve dans le milieu marin à l'état ionique, complexé, sous forme colloïdale ou adsorbé sur la matière particulaire.

On distingue deux types de métaux :

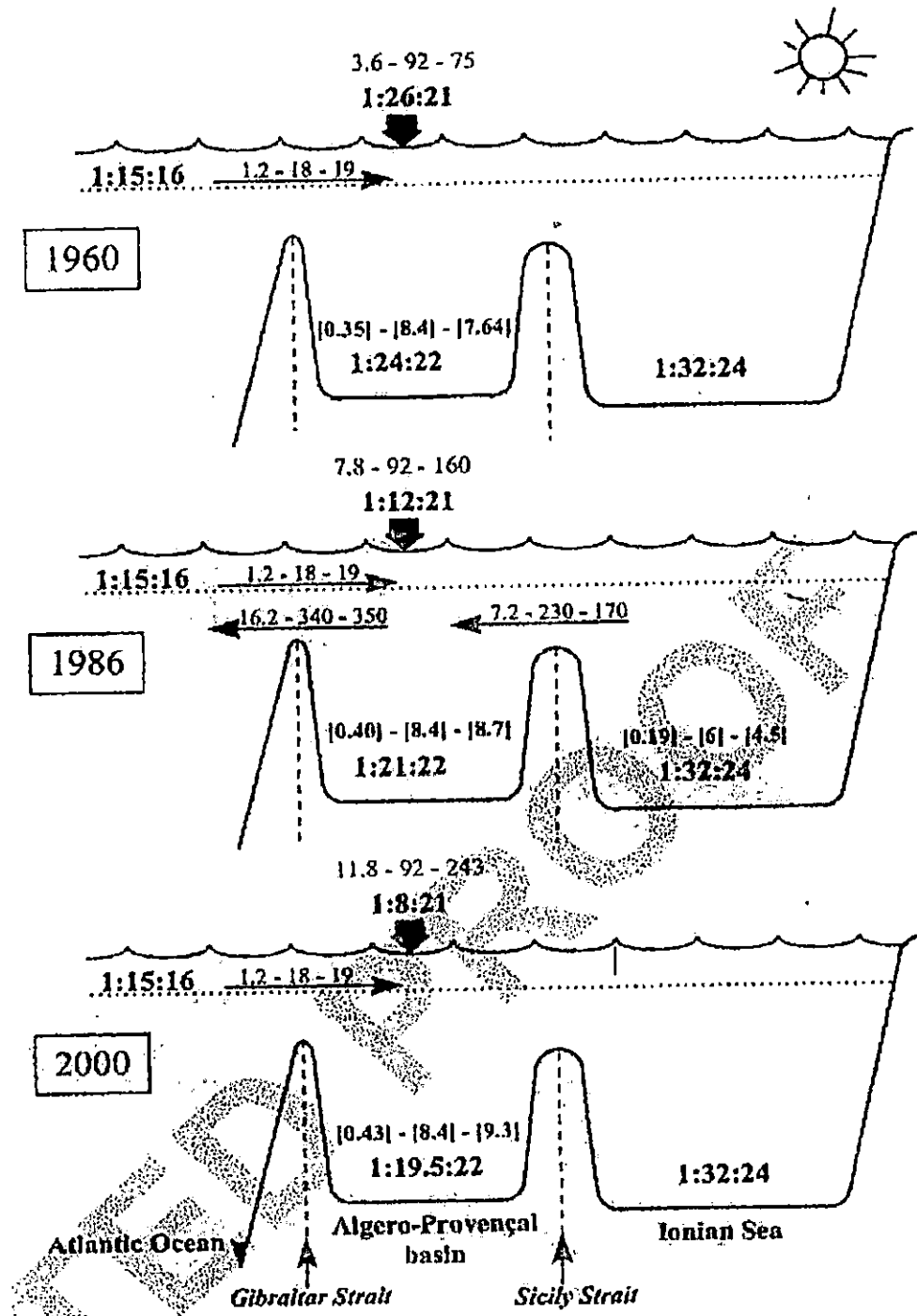


Figure 3 : Rapport N/P en Méditerranée (BETHOUX et al, 2001).

Métaux essentiels ou oligo-éléments :

Ce sont des métaux traces importants pour la vie, et se trouvent à faible concentration dans l'eau. Ils sont toxiques et mortels lorsque leur concentration est trop élevée. Ce sont : le fer, le cuivre, le molybdène, le vanadium, le sélénium, le zinc, le nickel et l'étain...

Métaux non essentiels :

Ce sont des métaux toxiques, et qui n'ont aucun rôle biologique, comme le plomb, le cadmium, l'arsenic et le mercure.

3.2. Cycle biogéochimiques des métaux lourds :

Les métaux lourds sont transportés en mer par plusieurs voies (atmosphère, rivières, différents rejets urbains, industriels...). (Fig4).

Ils seront ensuite absorbés ou fixés sur les organismes marins. Dans la couche euphotique, les métaux essentiels comme le Fe, Cu, Zn seront consommés par le phytoplancton sous forme minérale, lequel sera brouté à son tour par le zooplancton.

Dans la colonne d'eau la régénération des métaux sous forme dissoute se fera par reminéralisation de la matière organique. Une partie peut sédimenter.

Leur remontées en surface se fait par la dissolution ou désorption et la décomposition des matières organiques.

Absorption : la pénétration des métaux dans un organisme marin, soit par bioaccumulation le long de la chaîne trophique, soit par adsorption directe, (AMIARD, 1988).

Adsorption : les particules adsorbent les métaux, comme le phytoplancton et la matière organique. L'adsorption augmente lorsque la température augmente, (GLINKA, 1981).

La disponibilité des métaux dans les eaux marines dépend de l'adsorption et de l'abondance de la matière organique dissoute ou des particules fines, (PERES et al, 1976).

La matière organique est un facteur édaphique qui peut être complexé avec d'autres substances, et elle participe à plusieurs mécanismes physico-chimiques parmi les quels :

- La capacité de précipiter un certain type de minéraux (oxydes de fer et de manganèse, le zinc et d'autres minéraux), notamment lors de la floculation (CAUWET, 1985).
- Le rôle dans l'agrégation et le piégeage de ces éléments métalliques dans le sédiment (CAUWET, 1985 ; PERES et al, 1976).

Précipitation : elle se produit lorsque la concentration d'un métal est plus élevée que la solubilité du composé qui peut être formé entre le métal et un anion dans l'eau de mer. Par la suite le solide formé chute par gravité.

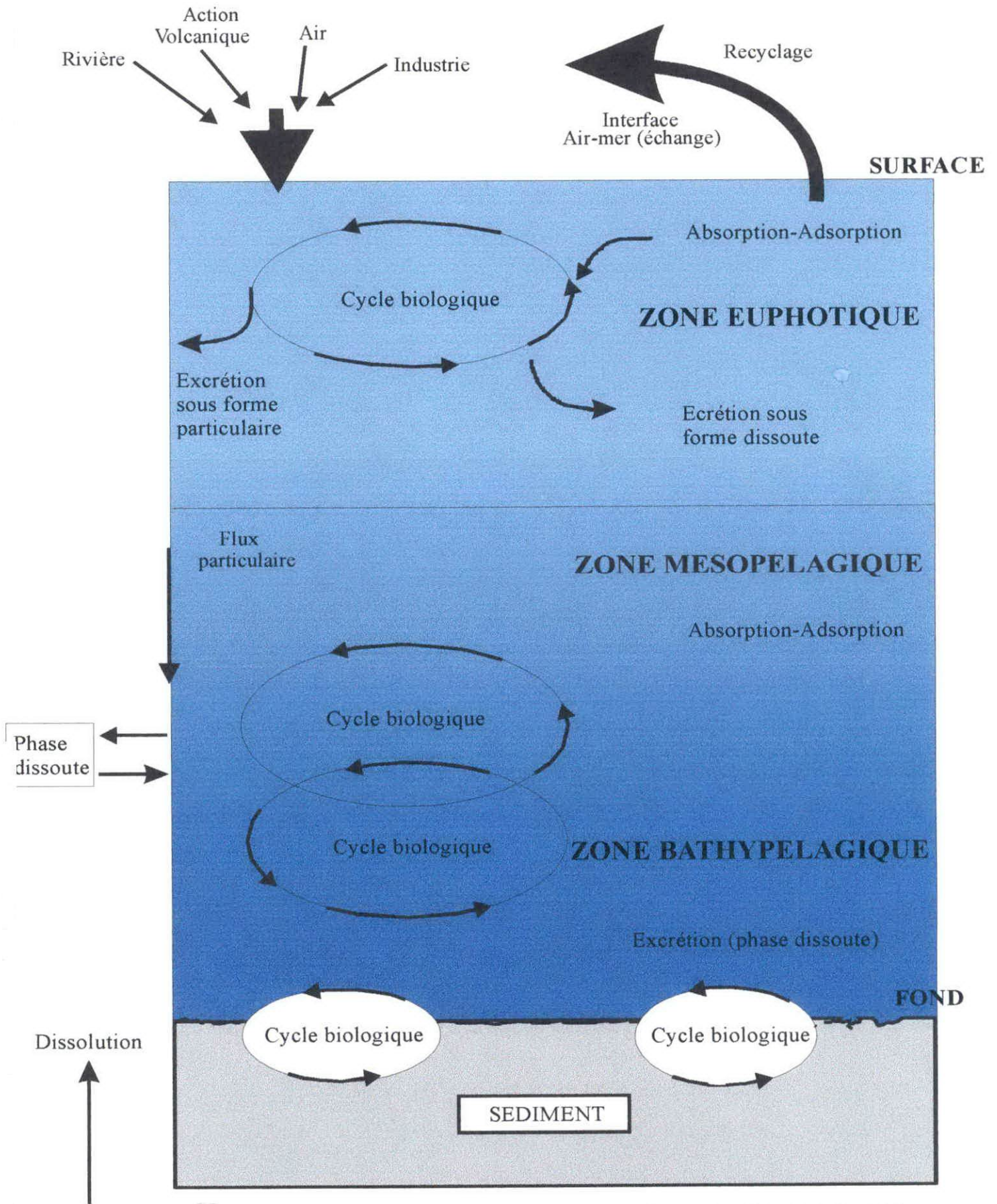


Figure 4 : Cycle biogéochimique des métaux lourds (P.N.U.E., 1986)

La sédimentation des métaux dépend de la profondeur d'eau. Dans les grandes profondeurs ils peuvent retourner en solution avant d'atteindre le fond.

Les métaux accumulés dans les sédiments, subissent une remise en suspension par la désorption. (O. M. S, 1979).

Généralement, la mobilisation des métaux fixés dans le sédiment se produit, soit par échange au niveau des eaux interstitielles dans le sédiment, qui est largement facilité lorsque les particules sédimentaires sont remises en suspension par suite de l'agitation des masses d'eaux, soit par l'activité des animaux fouisseurs qui favorisent les échanges chimiques entre l'eau et le sédiment.

Les activités des organismes marins dans le sédiment explique la bioturbation, qui se produit dans un mètre de profondeur de la surface de sédiment, et elle est plus importante dans les dix premiers centimètres (LIBES, 1992).

3.4. LA TOXICITE DES METAUX LOURDS ETUDIES DANS CE TRAVAIL :

Nous avons quelques concentrations toxiques pour les poissons et l'homme (Tableau n° 3).

Tableau n° 3 : La toxicité des métaux lourds étudiés sur l'homme et les poissons.

Concentrations Toxiques Métaux	Poissons	Hommes	Effets sur l'homme
Cadmium	0.01 mg/l	0.15 mg/l	effets aigus (troubles respiratoires), et effets chroniques qui ciblent les reins
Le cuivre	0.02 et 3 mg/l	-	effets chroniques, cible le foie, le cerveau, la cornée, la rate.
Le manganèse	40 mg/l	-	effets aigus (désorientation, perte de mémoire, anxiété) et des effets chroniques.
Le plomb	1,4 mg/l	3 à 4 mole/l	effets chroniques et aigus tel que l'anoxie, la pâleur, la réduction du pouls.
Le zinc	18 mg/l	une dose de 100 mg à 1g/j	des troubles physiologiques
Le nickel	-	-	des effets aigus et chroniques (asthme, rhinite, sinusite, perforation du septum nasal, un grand risque de cancer).
Références	(A.B.R.M.C, 1988).	(SEILER, 1994).	(SEILER, 1994).

4. DESCRIPTION DE LA BAIE DE BOU-ISMAIL :

4.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE :

La baie de Bou-Ismaïl se situe à l'Ouest d'Alger dans la wilaya de Tipaza. Elle s'étend de 2°25' à l'Ouest et à 2°55' à l'est. Son ouverture est d'environ 40 km. Elle couvre une surface de l'ordre de 350 km², (BRAIK, 1989).

La baie de Bou-Ismaïl est orientée du Sud-ouest à Nord-est, et est délimitée par Ras Acrata à l'est de Sidi-Fredj, et le mont Chenoua à l'ouest, la plaine de la Mitidja au sud et la mer Méditerranée au Nord (Figure 5).

Dans cette baie le plateau continental n'est pas large : la valeur extrême est rencontrée au niveau de l'oued Mazafran, soit environ de 7 milles, puis se rétrécit progressivement et atteint 1.5 milles en face de Sidi-Fredj, (BRAIK, 1989).

4.2. RESEAU HYDROGRAPHIQUE :

Il se compose principalement de trois oueds :

Oued Mazafran : il est formé par la réunion des oueds secondaires Chiffa, Djer et Roumi. L'oued débouche entre Zéralda et Douaouda. Son débit en saison estivale est quasiment nul (BRAIK, 1989).

Oued Nador : Il débouche sur une partie du Chenoua en regroupant quelques oueds secondaires Bouyersen, Bou-Haroun et Mersad. Son débit annuel est de 0.89 m³/s, (BRAIK, 1989).

Oued Beni-Messous : Il présente un faible débit par rapport aux oueds précédents, qui est estimé à 0.245 m³/s, (BRAIK, 1989). Cet oued traverse les communes de Beni-Messous et Chéraga d'une longueur de 11.5 km, ses eaux sont essentiellement des eaux usées domestiques et industrielles.

4.3. LES HOULES :

Les houles hivernales sont de direction Ouest et Nord-Ouest. Elles engendrent des courants de retour dès leurs arrivées perpendiculairement à la côte, ces courants prennent avec eux les sédiments côtiers vers le large, (KADARI, 1994).

Les houles estivales sont de direction Nord-Est, et entraînent une dérive littorale de l'Est vers le Sud-Ouest, dès leurs arrivées tangentiellement à la côte.

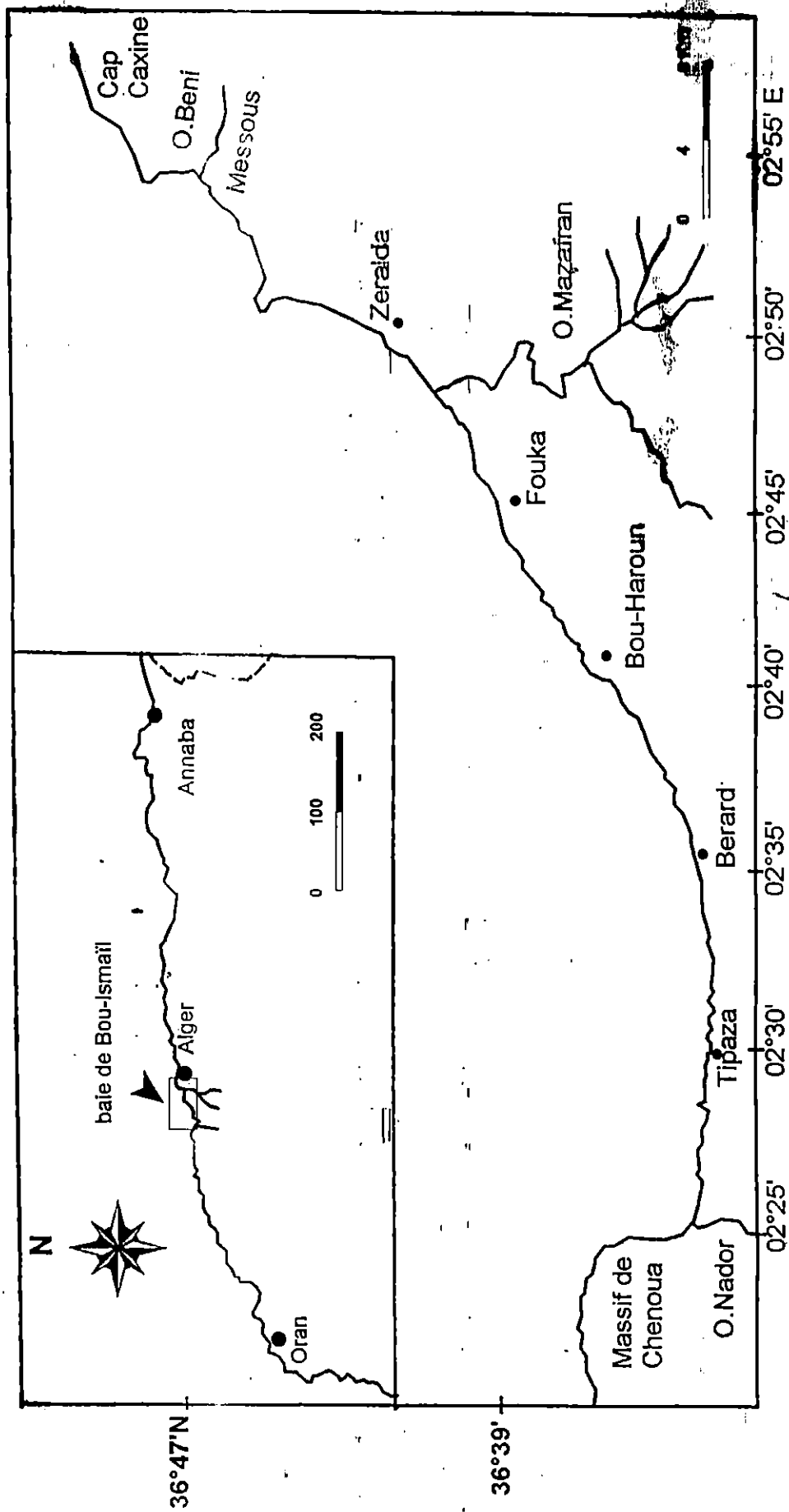


Figure 5 : Localisation de la baie de Bou-Ismaïl (BENAMIROUCHE et BACHA, 1999).

4.4. SEDIMENTOLOGIE :

On trouve entre Douaouda et Ras Acrata du sable fins très quartzeux d'origine terrigène et bioclastique, qui se chargent progressivement vers le large en matériel argileux détritique et passent successivement à des sables vaseux et des vases sableuses surtout à l'Est de la baie, pour donner des vasières qui prédominent dans la partie Ouest de la baie (DAGORNE, 1973) (Figure 6).

Entre Fouka et Bou-Ismaïl, le sable grossier prédomine, ainsi qu'au large du Mont Chenoua. Nous trouvons en face de Bou-Haroun les sédiments détritiques côtiers plus ou moins envasés aux environs de 20 à 30 m de profondeur. Par contre sur la partie de la baie d'El Djamila, on trouve plutôt du sable fin et moyen, ainsi que des vasières qui sont formées au niveau des emboûchures.

Les études faites par MURAOUR et HOLLANDS, (1951) et DURAND, (1952, 1958 ; *in* AOUIDAD, 1977), indiquent la présence d'une bordure rocheuse de Tipaza à Khemisti qui est constituée de gré calcaire. Sur le prolongement de la bordure, le sable se mêle à des algues calcaires et à des débris de coquilles de mollusques et de tests d'oursins.

4.5. CONDITIONS METEOROLOGIQUES DANS LA BAIE DE BOU-ISMAIL :

4.5.1. Les vents :

Dans la baie de Bou-Ismaïl les vents d'Ouest (Nord-Sud Ouest) d'une vitesse moyenne de 2m/s, prédominent du mois de novembre au mois d'avril.

Les vents d'Est (SSE, NNE) ont une vitesse moyenne supérieure à 2 m/s, ils prédominent entre le mois de mai et le mois d'octobre, et peuvent être très violents de 15 à 20 m/s durant 3 jours consécutifs, (MILLOT 1985 ; *in* KORICHI, 1988).

4.5.2. Températures de l'air et les précipitations :

Il existe deux périodes durant l'année en baie de Bou-Ismaïl :

- Période chaude (avril-octobre), elle se caractérise par des faibles précipitations et une moyenne thermique de 23°C.
- Période froide (novembre-mars), elle se caractérise par des précipitations ayant une moyenne saisonnière de 89.49 mm et une moyenne thermique de 15°C (KORICHI, 1988 ; KADARI, 1994).

4.6. LES SOURCES POTENTIELLES DE POLLUTION :

La baie de Bou-Ismaïl est une zone à vocation touristique et agricole ; pour cela elle est soumise principalement à une pollution de type domestique et agricole.

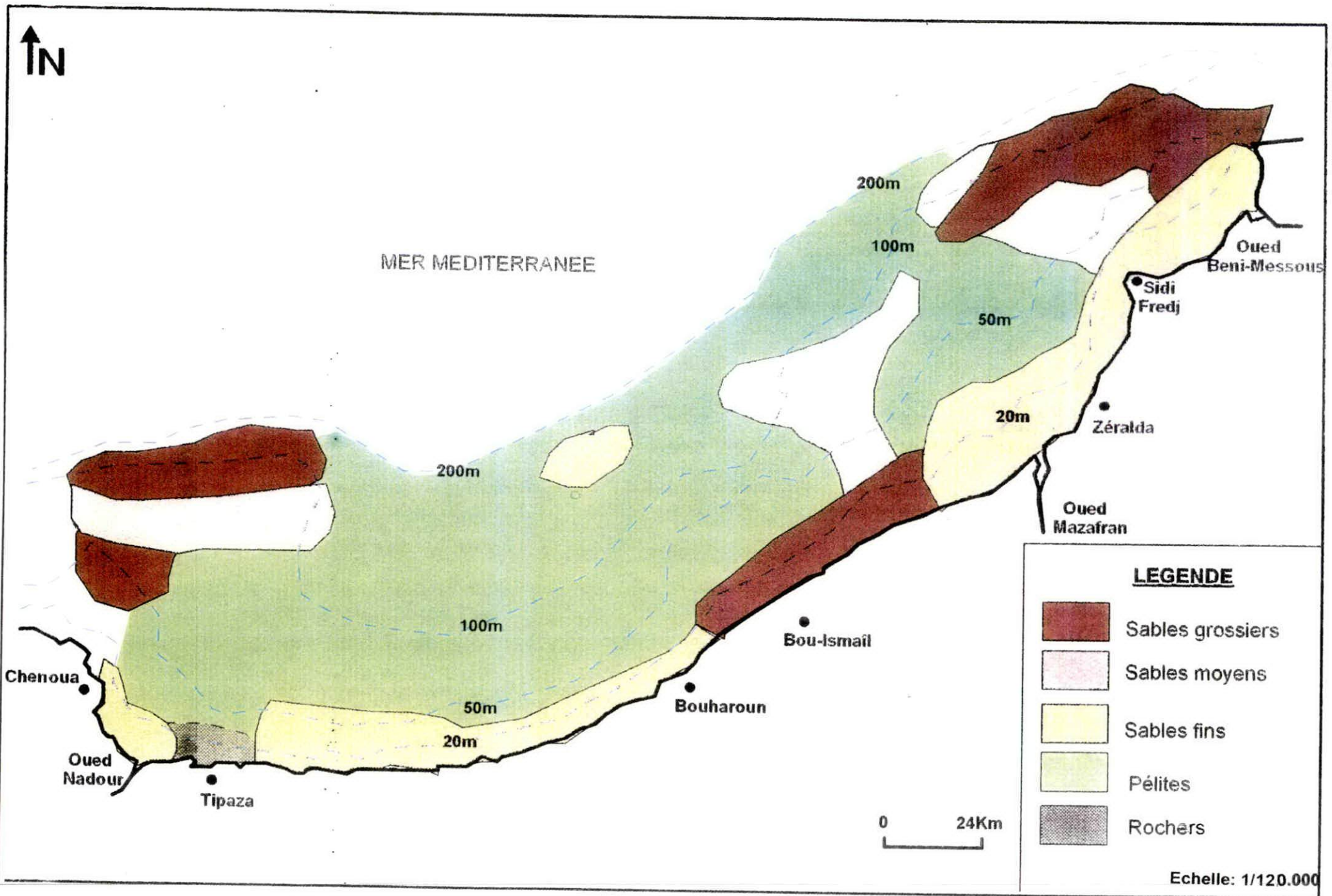


Figure 6 : Carte sédimentologique de la baie de Bou-Ismaïl (BOUKRITAOUI et BOUTOULI, 1989).

Les rejets d'eaux usées domestiques issues des agglomérations et des complexes touristiques sont importants, surtout en période estivale.

Les données statistiques de la population de la région de Bou-Ismaïl, pour l'année 1998 est de 540518 habitants (O.N.S, 2002).

Ainsi, une étude menée par les services de Secrétariat d'Etat aux Forêts et à la mise en valeur des terres (A.N.P.E, 1983 *in* OULD HOCINE et HEDROUGUE, 1993), a recensé 99 unités pour la fertilisation des sols, en utilisant des produits phyto-sanitaires tels que les organochlorés, engrais à base de nitrates, phosphates et potassium ou produits à base de cuivre. Les plus importantes activités économiques sources de pollution sont les suivantes :

- Base centrale logistique de Beni Mered (Rejets de cyanure, nickel et cuivre).
- Office National des Aliments de Bétails d'Attatba (ONAB).
- Unité de tissage.
- Finissage et teinturerie qui utilisent des produits chimiques tels que les colorants à base de métaux.

En ce qui concerne l'industrie, nous avons dans le tableau suivant les principales industries qui se trouvent dans la région de Bou-Ismaïl.

Tableau 4 : Principales industries dans la région de Bou-Ismaïl (Chambre de Commerce de la wilaya de Tipaza, 1991 *in* HADJAMMAR, 1993).

Industries textiles	Cuirs et peaux	Papeteries	Plastiques/caoutchouc et verre
Ain Benian (28)	Staoueli (01)	Fouka (01)	Ain Benian (03)
Douaouda (02)	Bou-Ismaïl (02)	Zéralda (01)	Staoueli (03)
Fouka (04)	Ain Benian (01)		Bou-Ismaïl (01)
Bou-Ismaïl (08)			Fouka (02)
Bouharoun (03)			

A ces sources de pollutions potentielles, il convient d'ajouter les rejets domestiques des zones urbanisées, des activités de la Thalassorapie de Sidi Fredj, et des zones portuaires les quels les égouts sont rejetés (port d'El Djamilia, de Sidi Fredj, de Bou-Haroun et de Tipaza), et sources de pollutions divers.

Chapitre 2 :
Matériels et Méthodes

1. STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE :

Quinze (15) stations ont été échantillonnées dans la baie de Bou-Ismaïl, au cours de la campagne du 15 au 18 juillet 2002 à bord d'une embarcation réservée aux travaux côtiers le navire "Baba Arroudj".

Neuf (09) stations sont situées sur les isobates de 20 et 30 m de profondeur, quatre (04) stations sur les isobates de 40 et 50 m, et deux (02) stations plus au large, sur l'isobate de 100m, (Figure 7).

Les stations (03) et (15) et (20) sont localisées à l'emboûchure des oueds Nador, Mazafran et Beni-Messous respectivement.

2. CONDITIONS METEOROLOGIQUES AU COURS DE LA DERNIERE DECADE DE JUIN 2002 :

2.1. température :

Durant la dernière décade du mois de juin 2002, la température moyenne de l'air était de 25.1°C. Les températures étaient sensiblement les mêmes lors de notre sortie.

Tableau n° 5 : Données de la température de la dernière décade du mois de juin dans la région algéroise (ONM, 2002).

Tx	Tn	Tmoy
30.7	19.4	25.1

Où :

Tx : température maximale moyenne en degrés celsius.

Tn : température minimale moyenne en degrés celsius.

Tmoy : température moyenne en degrés celsius.

2.2. Les précipitations :

Concernant cette dernière décade du mois de juin, nous avons l'absence totale de précipitations. Les prélèvements se sont effectués en l'absence de précipitations.

Tableau n° 6 : Données de pluviométrie de la dernière décade du mois de juin dans la région algéroise (ONM, 2002).

Tot	Max	N ₀₁	N1	Ecart	Bilan
nt	nt	0	0	-4	-100

Tot : quantité de précipitations exprimées en millimètres.

Nt : pas de précipitations.

Max : hauteur maximale des précipitations recueillis en 24 heures (mm).

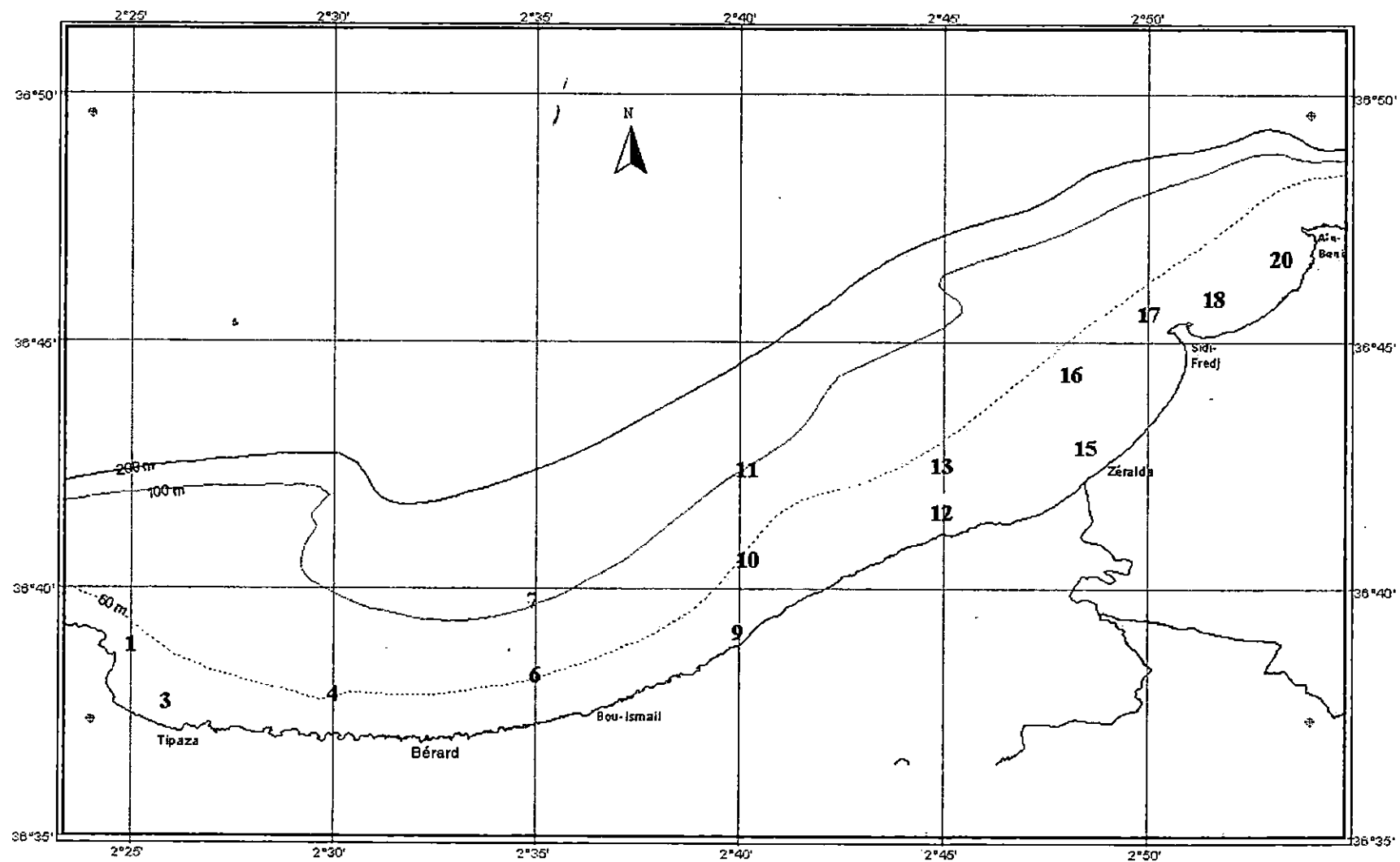


Figure 7 : Carte de localisation des stations de prélèvement dans la baie de Bou-Ismaïl.

No1 : nombre de jours avec précipitations supérieures à 1.0 mm.

N1 : nombre de jours avec des précipitations supérieures à 1mm.

Ecart : écart des précipitations par rapport à la normale.

Bilan : indice de bilan pluviométrique par rapport à la normale.

2.3. Les vents :

Les données concernant la vitesse moyenne des vents nous ont été fournies par le bulletin décadaire de la météorologie. Nos prélèvements ont été effectués par des vents forts provenant de l'Est. Les relevés météorologiques du bulletin décadaire ne montrent pas de jours où les vents ont été supérieurs à 16 m/s au cours de la dernière décade de juin 2002.

Tableau n° 7 : Données des vents fournies par le bulletin décadaire de météorologie dans la région algéroise (ONM, 2002).

Vents	
V moy	2.7
V fort	0

V moy : moyenne arithmétique décadaire (m/s).

V fort : nombre de jours de la décade avec des vents supérieurs ou égaux à 16m/s.

Cette décade était donc on conclusion typique de Juillet 2002.

3. METHODOLOGIE :

3.1. TRAVAUX EN MER :

3.1.1. NETTOYAGE DU MATERIEL AVANT LA SORTIE :

Pour éviter tout risque de contamination, on a nettoyé le matériel selon les étapes suivantes :

- Lavage avec de l'eau savonneuse.
- Rinçage avec l'eau du robinet.
- Rinçage avec l'eau acidulée à 10%.
- Enfin, le rinçage avec l'eau bi distillée 2 à 3 fois.

3.1.2. Prélèvement d'eau de mer :

Des échantillons d'eau de mer ont été récoltés à chaque station et à deux ou plusieurs niveaux de profondeur. Le positionnement exact de chaque station est relevé par un système G.P.S. Les prélèvements ont été effectués à l'aide des bouteilles de prélèvement de type "VAN DORM" de 2.8 litres de capacité. Ces échantillons sont destinés à l'analyse des paramètres suivants :

- Températures, salinité, oxygène dissous.
- Matière en suspension (M.E.S).

- La chlorophylle.
- Le carbone organique total et dissous.

La matière organique particulaire (M.O.P) et la matière inorganique particulaire (MIP).

Sels nutritifs : nitrates, nitrites, ammoniums, orthophosphates, silicates.

Des précautions particulières sont prises lors de la manipulation afin d'éviter toute contamination. Des bouteilles à clapets sont ouvertes juste avant leurs mises à l'eau et fermées aux profondeurs requises à l'aide d'un messenger qui coulisse le long du câble hydrographique auquel elles sont fixées.

3.1.3. Prélèvement du sédiment :

les prélèvements du sédiment sont effectués à l'aide d'une benne inoxydable "VAN VEEN", qui permet de prélever le sédiment sur une surface (1/10m²). Les échantillons sont recueillis directement dans des sachets en plastique doublés, bien fermés et étiquetés et mis ensuite en glacière (basse température) jusqu'au retour au laboratoire.

3.2. TRAVAUX EFFECTUES AU LABORATOIRE :

3.2.1. L'eau de mer :

3.2.1.1. Pré-traitement et conservation des moyens de prélèvements :

Afin d'assurer la qualité de l'échantillonnage et d'optimiser les résultats, les moyens de collecte (flacons, filtres etc...) ont subi un conditionnement rigoureux, de même que les conditions de conservation des échantillons ont été effectués conformément aux recommandations d'AMINOT et CHAUSSEPIED, (1983).

3.2.1.2. La matière en suspension :

Les filtres sont macérés dans un bain d'acide chlorhydrique (HCl à 0.5 N pendant 24 heures), puis rincés à l'eau distillée et séchés à l'étuve pendant deux heures à une température de 70°C. Ces filtres sont conservés dans un dessiccateur jusqu'à leur utilisation.

Les filtres utilisés pour la chlorophylle et le carbone organique dissous sont traités de la même façon.

3.2.1.3. Les sels nutritifs :

Les échantillons sont prélevés dans des flacons en polyéthylène d'une capacité de 250 ml (pour éviter la contamination des résultats de silicates de l'échantillon par le verre), préalablement rincés au laboratoire à l'eau acidulée (HCl à 10 %), puis à l'eau distillée et enfin

deux fois à l'eau de prélèvement juste avant leur remplissage. L'analyse étant différée, les échantillons d'eau de mer sont conservés par congélation à -20°C .

3.2.1.4. Dosage de la M.E.S, M.O.P et M.I.P :

Principe :

Le dosage de ces matières nécessite une filtration. Elle consiste à retenir sur un filtre toutes les particules supérieures à $0.45\ \mu\text{m}$. La teneur en matière en suspension est ainsi obtenue par la différence de poids du filtre avant et après la filtration, rapportée au volume d'eau filtrée.

Mode opératoire :

Après leur conditionnement, les filtres sont pesés (soit P_1 le poids du filtre vide). Le dispositif de filtration est composé essentiellement d'un erlenmeyer de grande capacité, d'une pompe à vide, d'un support filtre et d'un entonnoir gradué. Une fois le filtre placé, des volumes représentatifs ($>125\ \text{ml}$) sont homogénéisés par une forte agitation et filtrés avec des dépressions ne dépassant pas les $300\ \text{mm}$ de Hg (contrôlé à l'aide d'un manomètre, évitant ainsi toute déformation des mailles ou éclatement des cellules vivantes).

Une précaution particulière consiste à éliminer le sel en rinçant le filtre deux fois à formiate d'ammonium à $69\ \%$.

Les différentes filtrations sont séparées par des phases de rinçage à l'eau bidistillée du dispositif de filtration afin d'éviter une contamination entre les échantillons.

La mesure de la matière en suspension (M.E.S) s'exprime alors selon la relation suivante :

$$\text{M.E.S (mg/l)} = \frac{P_2 - P_1}{V}$$

Avec :

P_1 : poids du filtre avant la filtration (mg).

P_2 : poids du filtre après filtration (mg).

V : volume d'eau filtrée (l).

3.2.1.5. Méthode de mesure de la matière organique et inorganique :

Principe :

Cette méthode décrite par RODIER, (1984) consiste à sécher des filtres d'eau de mer dans une étuve à 70°C pendant 2 heures, puis à incinérer ces derniers dans un four à moufle à 550°C pendant 2 heures afin de brûler toute la matière organique.

Le calcul de la M.O.P se fait comme suit :

$$W = W1 - W2$$

W : poids de la matière organique (mg).

W1 : poids sec du filtre pesé pour la M.E.S (mg).

W2 : poids du filtre après incinération (mg).

Le pourcentage de la matière organique dans le filtre (% MOP), est calculé par la formule suivante :

$$\% \text{ M.O.P} = (W1 - W2 / W1) * 100$$

Enfin, la matière inorganique particulaire est obtenue par la différence entre le poids de la M.E.S et celui de la M.O.P.

3.2.1.6. Dosage de la chlorophylle :

Principe :

La fluorimétrie consiste à mesurer la fluorescence avant et après l'acidification d'un extrait de méthanol de la chlorophylle a.

Mode opératoire :

La filtration doit se faire sur la membrane filtrante en fibre de verre (whatman GF/C de 0,45 µm de porosité).

- La pression ne dépasse pas 0,2 bars, et la congélation est à -20°C. On place le filtre dans un tube contenant 10 ml de méthanol après la décongélation, puis on le laisse au réfrigérateur pendant 30 minutes. On centrifuge l'échantillon ensuite pendant 2 minutes.
- On mesure ensuite la fluorescence F_0 des tubes d'échantillons, et la fluorescence F_a après avoir ajouté 5ml de HCl à 0.5N, sur le spectrofluorimètre UV (marque HITACHI de type 650-10s).

Les concentrations en chlorophylle a et phéophytine sont données par les formules de LORENZEN, (1966) :

$$[\text{Chl a } (\mu\text{g/l})] = [(\text{Fo}-\text{Fa})/(\text{Ko}-\text{Ka})] * (\text{v/V})$$

$$[\text{Phéo}] (\mu\text{g/l}) = [\text{KoFa} - \text{KaFo} / \text{Ko}(\text{Ko}-\text{Ka})] * (\text{v/V})$$

Fo : fluorescence de l'échantillon avant l'acidification.

Fa : fluorescence de l'échantillon après acidification.

v : volume de l'extrait méthanol (ml).

V : volume d'eau de mer filtrée (ml) .

Ko : coefficient de l'étalonnage du fluorimètre pour la chlorophylle a.

Ka : coefficient de l'étalonnage du fluorimètre pour les phéopigments.

Etalonnage : On prépare à partir d'une solution mère de la chlorophylle, des solutions étalons de la chlorophylle a, en procédant à des dilutions de 0 à 2 mg/l dans le méthanol.

Tableau n° 8 : Les solutions étalon de la chlorophylle.

	Concentration ($\mu\text{g/l}$)	Fo	Fa
Méthanol	0	0	0
Standard 1	2	0.35	0.1
Standard 2	5	0.8	0.3
Standard 3	10	1.6	0.6
Standard 4	15	2.8	0.9
Standard 5	20	3.6	1.2

3.2.1.7. Dosage du carbone organique :

Principe :

l'appareil "Formacs^{LT} TOC analyser", est automatique, plus précis et facile pour la détermination du carbone organique total et le carbone organique dissous, ce dernier nécessite une filtration sur les filtres de 0.45 µm, l'eau récupérée à la fin de cette filtration sera utilisée pour son dosage.

Mode opératoire :

"Formacs^{LT} TOC analyser" nécessite l'utilisation d'une pompe péristaltique en mode continu dont les échantillons sont aspirés et mélangés avec les réactifs.

L'échantillon est prélevé puis mélangé dans la bobine avec l'acide sulfurique pour faire l'attaque chimique (oxydation chimique) et séparé par le gaz vecteur azote.

Après la séparation, l'échantillon sera rééchantillonné, et mélangé avec le réactif persulfate/tetraborate et l'air. Il passe ensuite dans un rayonnement UV. Ce processus oxyde le carbone organique en CO₂, qui sera envoyé (expulsé) dans la solution pour qu'il soit acidifié et séparé en unité moyenne dans le stripper. Le gaz vecteur transporte le CO₂ dans l'infrarouge de détection d'unité. L'absorbance du dioxyde de carbone est mesurée à 4,2 µm. Le signal détecteur sera ensuite transféré vers le PC pour les calculs en Windows soft 3 (SKALAR, 2000).

Les réactifs :

- Acide sulfurique à 0.03 N : diluer 0.84 ml d'acide sulfurique (96%) (H₂SO₄) dans 800 ml d'eau bidistillée, compléter jusqu'à 1000 ml.
- Acide sulfurique à 0.5 N : diluer 14 ml d'acide sulfurique dans 800 ml d'eau bidistillée, compléter à 1000 ml.
- Réactif de digestion : dissoudre 12g de persulfate de potassium (K₂O₈S₂) et 34g de tetraborate de sodium (Na₂B₄O₇,10H₂O) dans 800 ml d'eau bidistillée et compléter à 1000 ml.

Les standards :

Solution mère (solution de biphthalate de potassium de carbone) :

Dissoudre 2.045 g de biphthalate de potassium anhydre (C₈H₅KO₄) de carbone dans 800 ml d'eau bidistillée, ajuster cette solution avec l'acide sulfurique jusqu'à obtenir un pH entre 1 et 2, ensuite compléter à 1000 ml d'eau bidistillée, sachant que 1ml = 1ppm de carbone.

Etalonnage :

On prépare à partir des solutions mères de la solution étalon du carbone, des dilutions de 2 à 20 mg/kg dans l'eau bidistillé, (Figure 10).

3.2.1.8. Dosage des sels nutritifs :

La méthode utilisée pour le dosage des sels nutritifs (NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , SiO_2 et NH_4^+) est le dosage par colorimétrie à flux continu et automatisée sur l'appareil "SAN PLUS ANALYSER. S.F.A.S," selon les protocoles définis par SKALAR (1996).

La colométrie est basée sur la loi de Beer-Lambert qui est définie comme suit :

Lorsqu'un faisceau lumineux monochromatique traverse une substance d'épaisseur 'L', il sera soumis à des phénomènes: l'absorption et la transmission.

Les quantités de lumière absorbées (absorbance) et transmises (transmission) obéissent à la loi de Beer-Lambert.

$$A = L \ln I_0/I = \epsilon.L.C$$

I_0, I : intensités lumineuses incidente et émergente du milieu absorbant.

A : absorbance ou densité optique.

ϵ : coefficient d'extinction moléculaire.

L : trajet optique (épaisseur du milieu absorbant).

C : concentration du milieu absorbant.

Principes des dosages :

Le principe de dosage des sels nutritifs est basé sur une réaction de coloration. En effet ces sels réagissent dans certaines conditions ($T^\circ\text{C}$, pH, catalyseurs...) avec les réactifs spécifiques pour donner naissance à une coloration absorbant la lumière à une certaine longueur d'onde (λ).

L'absorption de l'énergie lumineuse dépend de l'intensité de la coloration, de même cette dernière est d'autant plus importante que la solution est concentrée en sel dosé.

Principe du dosage de l'azote ammoniacal :

En milieu alcalin ($8 < \text{pH} < 11.5$), l'ammonium dissous réagit sur l'hypochlorite pour former une monochloramine.

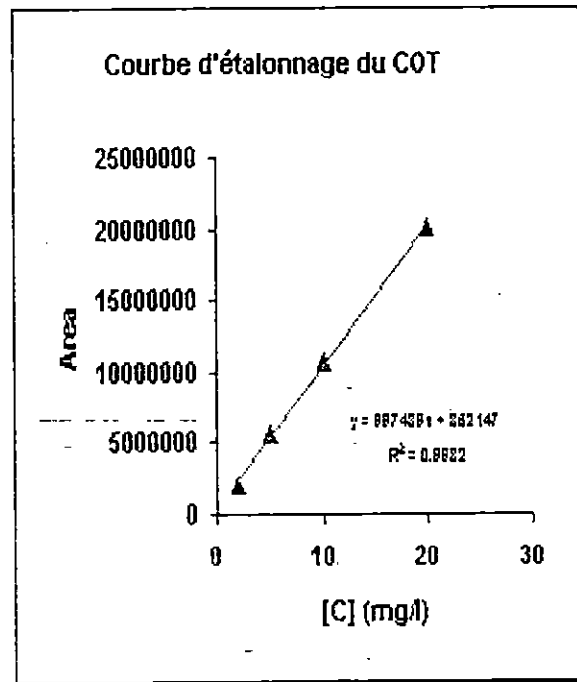
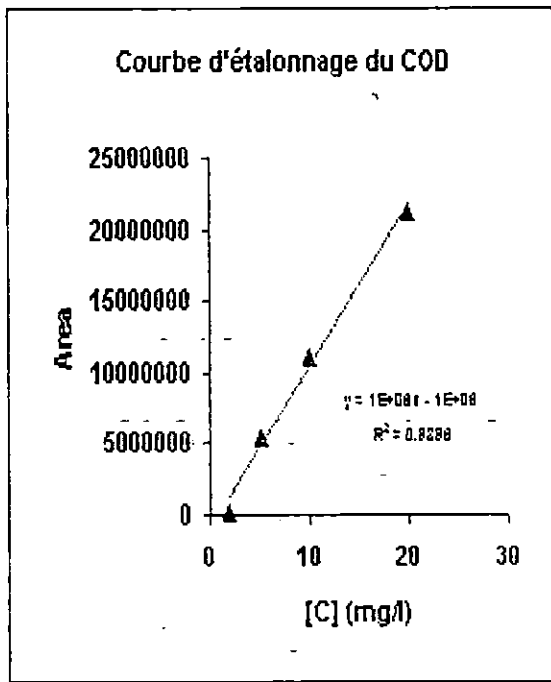
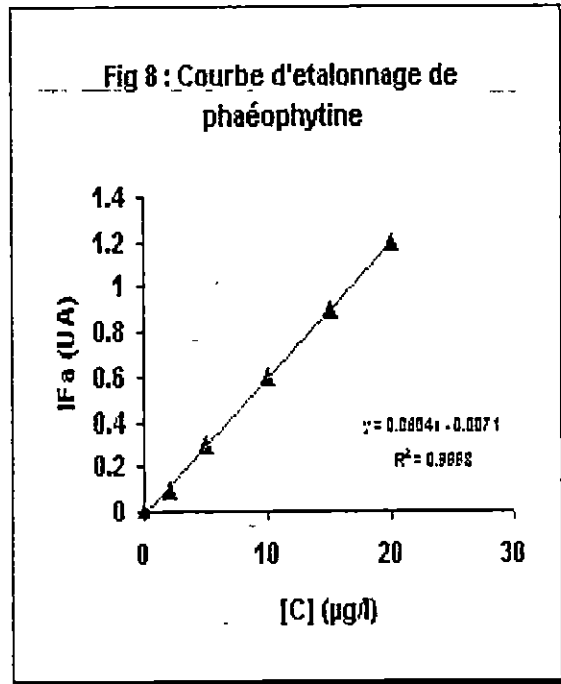
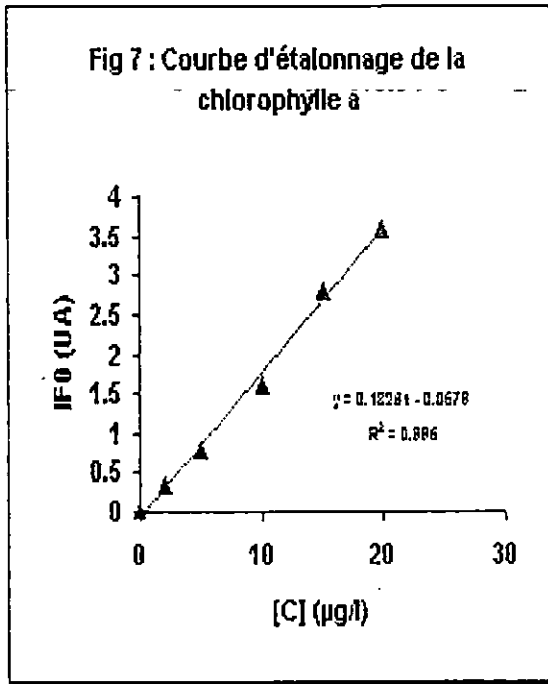


Figure 10 : Courbes d'étalonnage du COT et COD.

Ce composé, en présence de phénol et d'un excès d'hypochlorite (milieu oxydant) donne lieu à la formation d'un bleu d'indophénol. La réaction est catalysée par le nitroprussiate de sodium et le maximum d'absorption se fait à une longueur d'onde de 630 nm (SKALAR, 1996).

Principe du dosage des nitrates et des nitrites :

La méthode est basée sur la réduction des nitrates en nitrites par passage de l'échantillon sur colonne de cadmium traité au cuivre.

En effet, les nitrites forment un diazoïque par réaction avec la sulfanilamide en milieu acide $\text{pH} < 2$. ce composé formera ensuite en présence de N-naphtylethylenediamine un composé azoïque de couleur rose absorbant la lumière à 540 nm (SKALAR, 1996).

Le même principe est appliqué pour le NOT.

Principe du dosage des orthophosphates :

La méthode d'analyse est basée sur la réaction suivante : en présence d'antimoine tartrate de potassium à une température de 40°C (bain marie), les ions orthophosphates réagissent avec le molybdate d'ammonium pour former un complexe antimoine phosphomolybdique qui sera réduit par l'acide ascorbique.

Cette forme réduite, de coloration bleue a un maximum d'absorption à 880 nm.

Le même principe est appliqué pour le POT.

Principe du dosage des silicates :

Cette mesure est basée sur la formation d'un complexe silicomolybdique par la réaction des silicates avec le molybdate d'ammonium en milieu acide.

Ce complexe sera par la suite réduit par l'acide ascorbique en donnant naissance à un composé coloré en bleu absorbant à 810 nm. L'acide oxalique est ajouté pour éviter les interférences des phosphates.

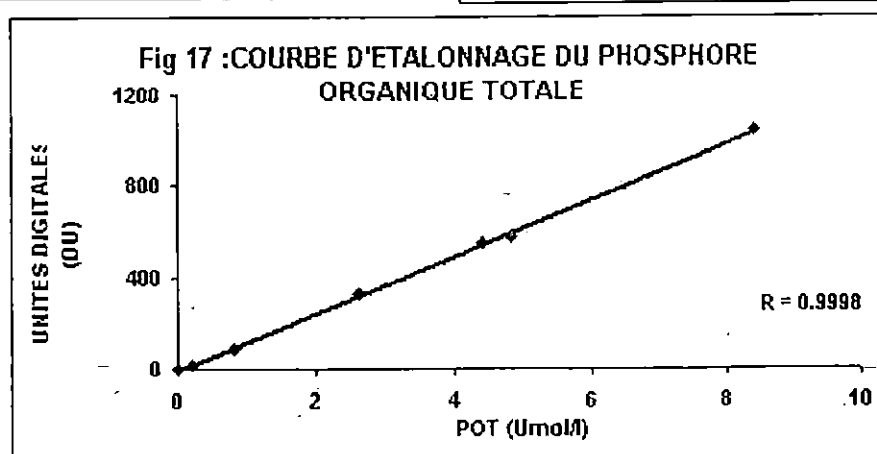
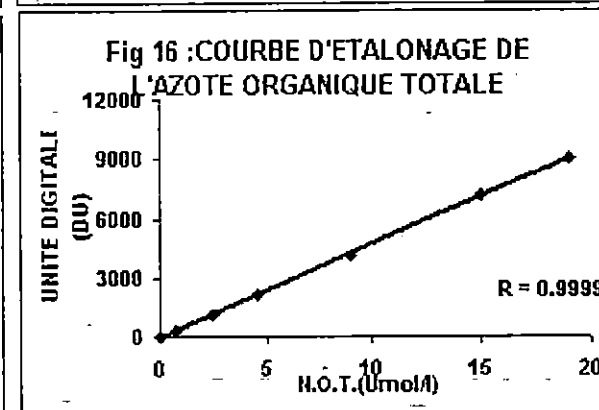
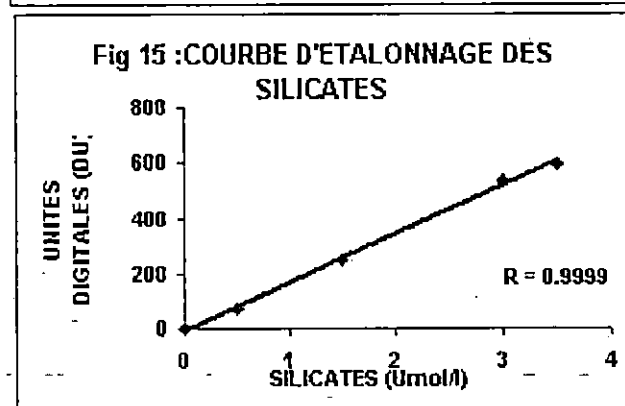
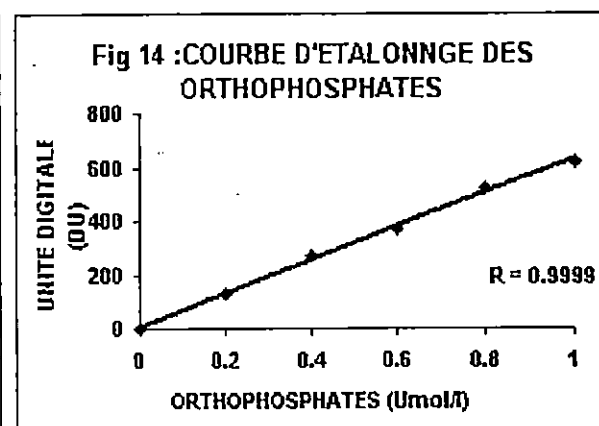
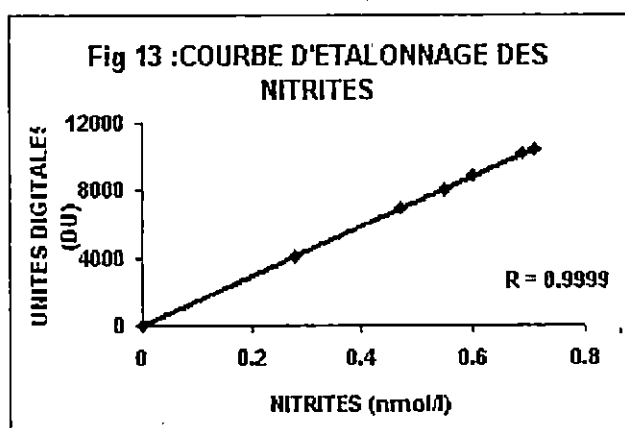
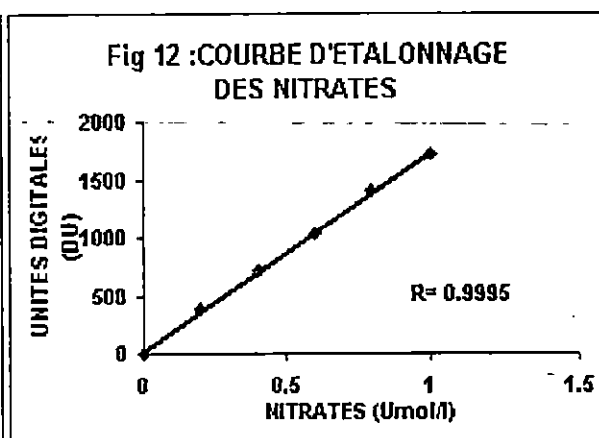
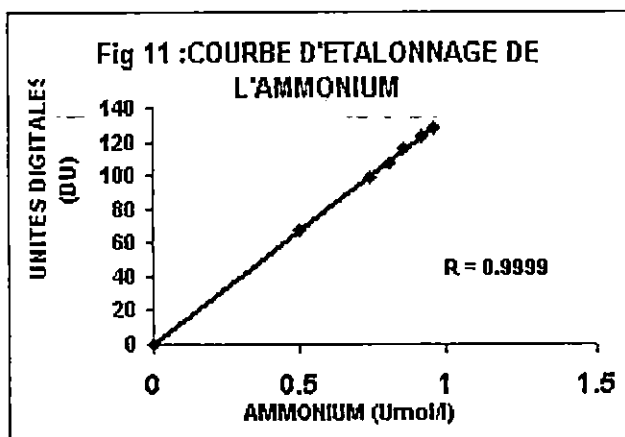
Le détail des réactifs et des préparations de solutions est donné en Annexe 1.

Etalonnage:

A partir des solutions étalon de ces sels nutritifs, on prépare des dilutions de différentes concentrations, selon le tableau suivant :

Tableau n° 9 : Les solutions étalons des sels nutritifs.

Concentration Standards	NO ₃ ($\mu\text{mol/l}$)	NO ₂ ($\mu\text{mol/l}$)	SiOH ₄ ($\mu\text{mol/l}$)	NH ₄ ($\mu\text{mol/l}$)	PO ₄ ($\mu\text{mol/l}$)	NOT ($\mu\text{mol/l}$)	POT ($\mu\text{mol/l}$)
Standard (1)	0,2	0,28	1	0,5	0,2	0,7	0,2
Standard (2)	0,4	0,47	2	0,74	0,4	2,5	0,8
Standard (3)	0,6	0,55	3	0,81	0,6	4,6	2,6
Standard (4)	0,8	0,6	4	0,86	0,8	9,6	4,4
Standard (5)	1	0,69	-	0,92	1	15	4,8
Standard (6)	-	0,71	-	0,96	-	19	8,4



3.2.2. Le sédiment :

3.2.2.1. Traitement de la matière organique :

C'est une méthode de perte au feu (RODIER, 1984). Après la décongélation du sédiment on le met à l'étuve. On le pèse ensuite dans les creusets (poids frais G_1).

On incinère ces creusets avec le sédiment à 600 C° pendant deux heures, et on aura le poids de la matière minérale (G_2).

Le pourcentage de la matière organique dans le sédiment sera calculer selon la formule suivante :

$$M.O(\%) = (G_1 - G_2) / G_1 * 100$$

3.2.2.2. Traitement des échantillons destinés aux analyses des métaux lourds :

La méthode appliquée est celle de CHARLOU et JOUANNY, (1983), qui s'effectue selon les étapes suivantes :

La lyophilisation : consiste à éliminer l'eau de mer dans les échantillons, à une température de -40°C et une pression de 0,1 pendant 48 heures.

Le broyage : après la lyophilisation, les échantillons sont broyés à l'aide d'un mortier en porcelaine, le but est de séparer les différentes fractions du sédiment suivant leur dimension.

Le taux d'humidité :

On pèse le sédiment frais dans un papier d'aluminium, on aura le poids initial (U_1). On met ensuite ces échantillons à l'étuve pendant 24 heures à 105°C. Après le séchage, les échantillons seront pesés une deuxième fois (U_2).

$$\text{TAUX D'HUMIDITÉ}(\%) = (U_1 - U_2) / U_1 * 100$$

La minéralisation :

Minéralisation à blanc :

Elle consiste à conditionner les godets en téflon et éliminer tous les contaminants, elle se fait en deux étapes :

1^{ère} étape :

On verse 2ml d'acide nitrique (HNO_3) dans chaque godet. On met ces godets sur la plaque chauffante à une température de 120°C pendant 2 heures. On rince 3 à 4 fois à l'eau bidistillée et on sèche à l'étuve.

2^{ème} étape :

C'est la même que la précédente, en remplaçant l'acide nitrique par l'acide chlorhydrique (HCl).

Minéralisation des échantillons :

On met dans chaque godet en téflon 0,25 g du sédiment lyophilisé, on utilise un godet pour l'échantillon d'intercalibration (SDM-2/TM, A.I.E.A), et un autre pour le blanc. On verse 2 ml de HNO₃ et 6ml de HCl dans chaque godet.

On laisse les godets pendant une nuit à une température ambiante.

On chauffe ensuite à une température de 120°C pendant 2^h30, puis on laisse refroidir. On verse enfin le contenu dans les godets de 50ml, et on ajuste par l'eau bidistillée jusqu'à atteindre 50ml.

La spectrophotométrie d'absorption Atomique (S.A.A) :

On a utilisé la spectrophotométrie d'absorption atomique (type 'HITACHI' Z-5000), qui est équipée :

- D'une flamme air, utilisé pour les métaux essentiels de forte concentration (Cu, Zn,...).
- D'un four à graphite, utilisé pour les métaux de faible concentration (Pb, Cd...).

Principe de la S.A.A :

Le métal passe de la forme ionique en solution à la forme atomique. Un faisceau lumineux (I_0) est émis par une lampe dont la cathode creuse est constituée par l'élément à doser. Le faisceau passe à travers le milieu contenant l'échantillon, qui sera ensuite absorbé, en réduisant ainsi le signal de la radiation spectrale.

La réduction est proportionnelle à la concentration de métal de l'échantillon. L'énergie lumineuse est transformée en énergie électrique, et l'absorbance sera mesurée par la loi de "BEER LAMBERT".

$$I = I_0 e^{-kcl} \iff DO = \ln I_0/I = KCL$$

I_0 = énergie incidente.

I = intensité de la radiation émergente.

K = coefficient d'extinction dans la solution de l'élément considéré.

C = concentration dans la solution de l'élément considéré.

L = longueur de la source d'atomisation.

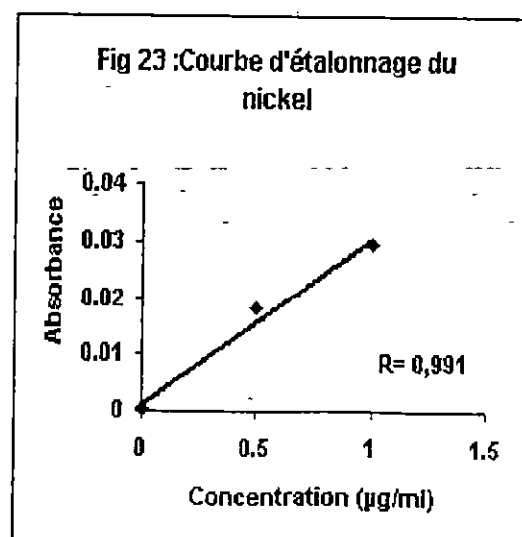
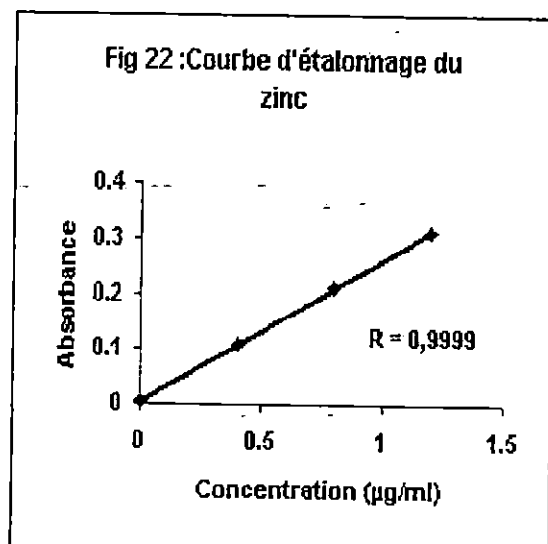
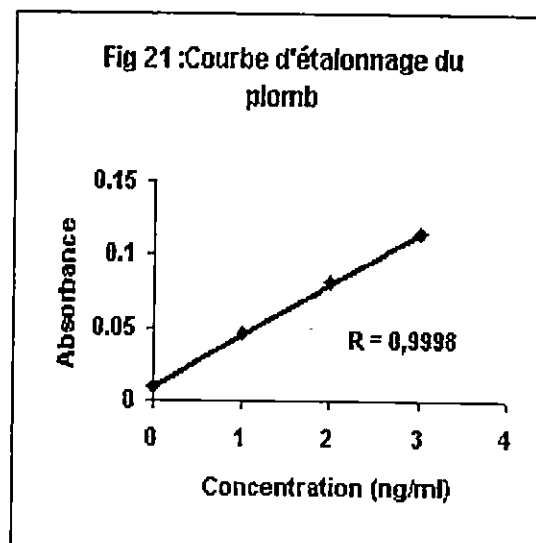
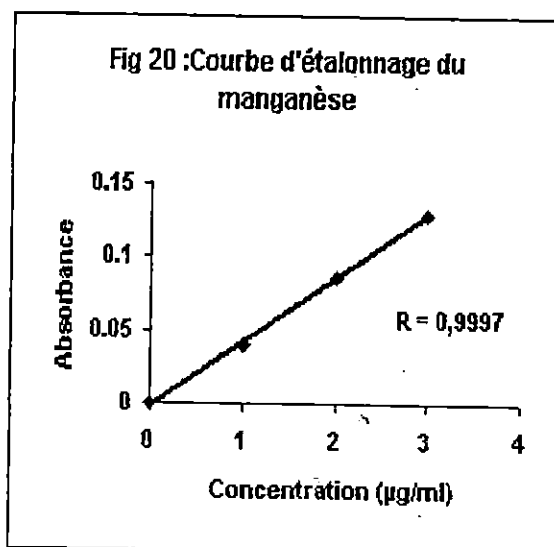
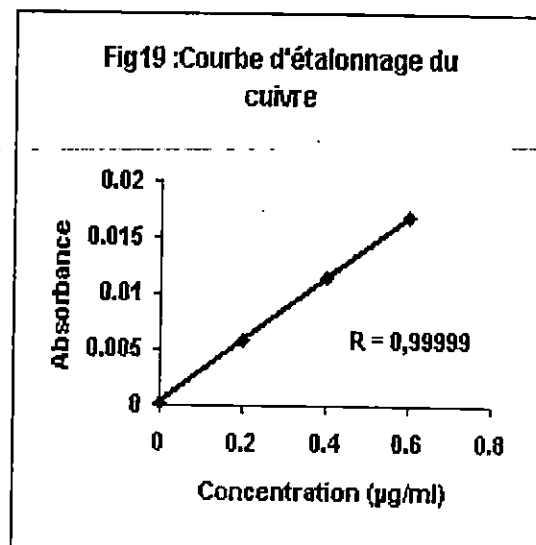
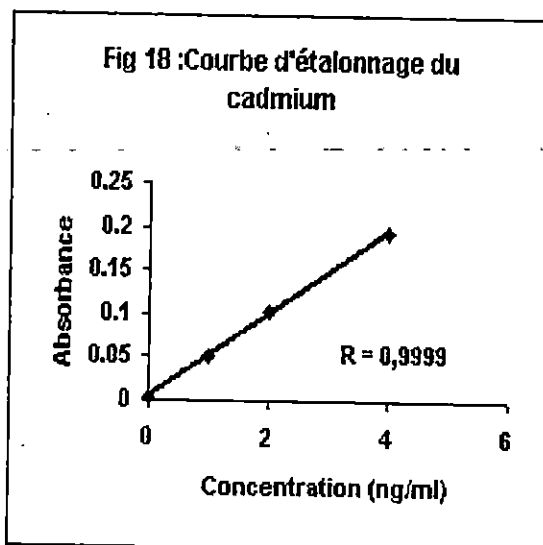
L'étalonnage :

Pour le dosage de chaque métal, on prépare à partir des solutions mères (1g/l) des gammes étalons avant l'analyse.

Tableau n° 10 : Les solutions étalons des métaux lourds.

Métal		Concentration					
		Cu (µg/ml)	Zn (µg/ml)	Cd (ng/ml)	Pb (ng/ml)	Mn (µg/ml)	Ni (µg/ml)
Standard 1	Conc	0	0	0	0	0	0
	Abs	0,0003	0,0045	0,0036	0,0093	0	0,0003
Standard 2	Conc	0,2	0,4	1,00	10,00	1,00	0,5
	Abs	0,0059	0,1078	0,0521	0,0457	0,0404	0,0181
Standard 3	Conc.	0,4	0,8	2,00	20,00	2,00	1,00
	Abs	0,0114	0,2131	0,1010	0,0808	0,0867	0,0293
Standard 4	Conc.	0,6	1,2	4,00	30,00	3,00	-
	ABS	0,0169	0,3119	0,1947	0,1146	0,1294	-

Les courbes d'étalonnage des métaux analysés sont données en figure 18 à 23.



EXPRESSION DES RESULTATS :

Le calcul des concentrations est donné par la formule suivante :

$$[C]_F = \frac{([C]_x - [C]_{\text{blanc}}) * V}{P}$$

[C]f = Concentration finale du métal dans quelques grammes du sédiment utilisé, exprimée en $\mu\text{g/g}$.

[C]x = Concentration lue sur la courbe d'étalonnage, exprimée en $\mu\text{g/ml}$.

[C]blanc = Concentration du blanc, exprimée en $\mu\text{g/ml}$.

V = Volume de dilution (50 ml).

P = Poids sec de l'échantillon minéralisé, exprimé en " g ".

ETAT DE POLLUTION :

L'indice de contamination (IC) est défini par la relation suivante :

$$IC = \frac{\text{Valeur observée}}{\text{Valeur supposée normale}}$$

A.B.R.M.C : Agence du Bassin Rhône Méditerranée Corse, sont les normes que nous avons adopté.

IC : permet d'interpréter le degré de pollution d'un site en métaux lourds.

Pour estimer l'état de pollution en métaux lourds d'un sédiment marin, on a recours à une comparaison avec des normes ou des concentrations dites normales.

Si $IC < 3$ c'est une zone normale

Si $3 < IC < 10$ c'est une zone polluée.

Si $IC > 10$ c'est une zone très polluée (risquée).

Chapitre 3 :
Résultats et Interprétations

1^{ère} partie : ANALYSE DE LA BIOGEOCHIMIE EN BAIE DE BOU-ISMAÏL :

1) CONTEXTE HYDROLOGIQUE EN JUILLET 2002 :

L'analyse hydrologique repose sur l'identification des masses d'eaux présentes en baie de Bou-Ismaïl en juillet 2002. Cette identification se base sur les paramètres température et salinité qui sont les traceurs des eaux types.

1.1. Température :

Dans la partie Ouest de la baie la température superficielle peut atteindre des valeurs élevées de 22 à 24°C qui correspondent à la saison d'échantillonnage. A l'Est de la baie l'eau superficielle est davantage mélangée par le vent d'Est avec l'eau sous-jacente d'une température inférieure et ne dépassent pas 20°C. (Figure 24).

La distribution thermique des eaux du fond suit celle de la surface, avec des valeurs à l'Ouest de l'ordre de 19 °C et un gradient Ouest-Est de l'ordre de 1 à 2 °C.

1.2. Salinité :

En surface, nous avons une augmentation de la salinité de la côte vers le large. Ces faibles salinités côtières pourraient être liées à l'influence des courants atlantique. (Figure 25).

Cette salinité décroît en allant verticalement vers le fond à l'ouest de la baie, et est presque homogène dans la partie centrale, ce qui peut être dû au phénomène du mélange. Par contre, nous avons une légère croissance de la surface vers le fond dans la partie Est de la baie.

Les variations de la salinité de la couche superficielle dépendent de l'intensité et du sens du courant profond, des pluies et de la stabilité. (NIVAL et al, 1975).

Nous remarquons ainsi que la partie centrale se caractérise par une salinité élevée par rapport à la partie Est et Ouest de la baie, ce qui pourrait être dû au résurgence côtière ($S \geq 37$ psu). (MILLOT, 1999).

1. 3. Le diagramme T-S :

On utilise le diagramme température-salinité pour identifier les différentes masses d'eaux présentes en un site océanique particulier car ce sont des traceurs hydrologiques conservatifs.

Le diagramme température -salinité laisse apparaître trois nuages de points traduisant ainsi la présence de trois masses d'eaux : (figure 26).

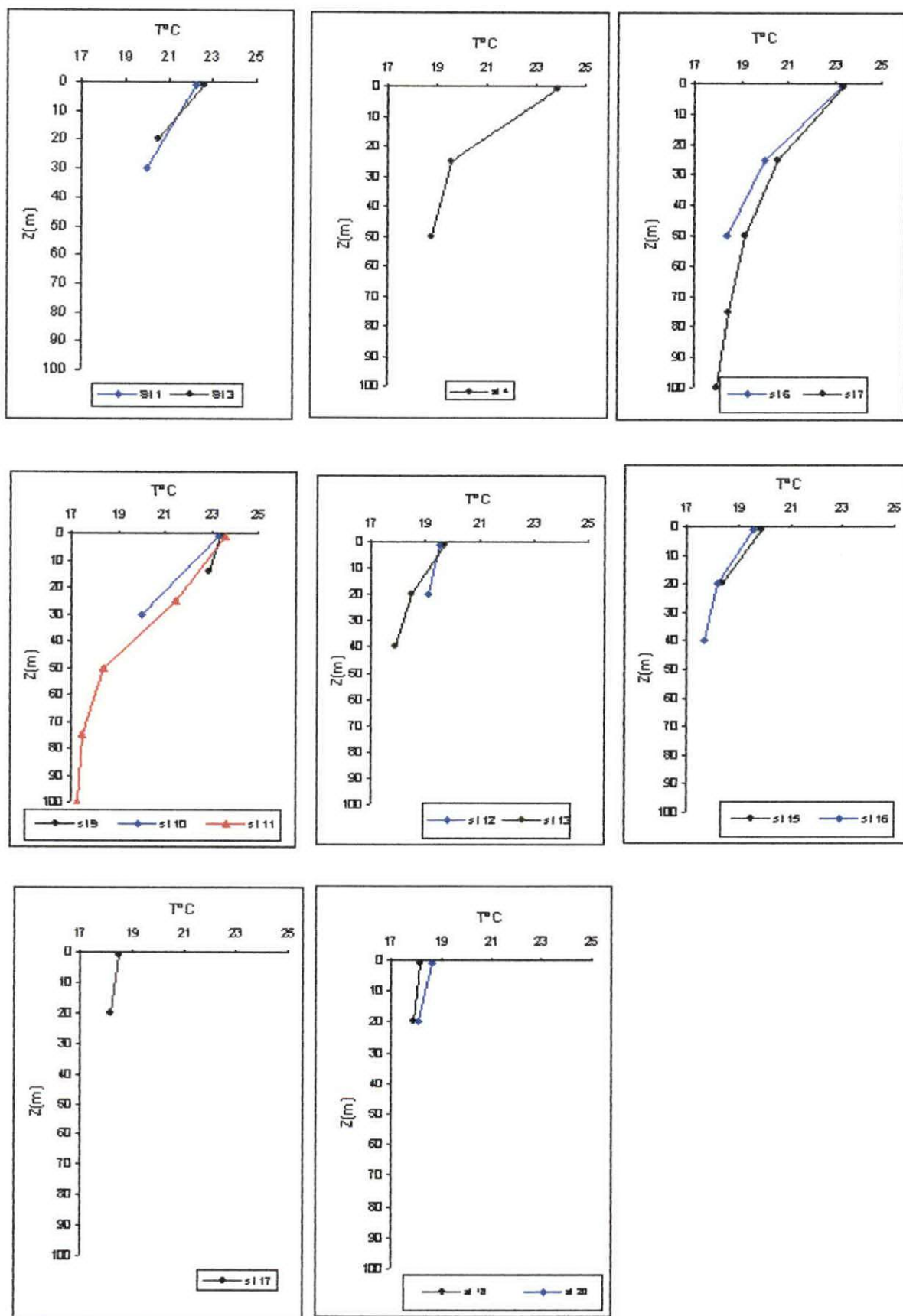


Figure 24 :Distribution verticale de la température de l'Ouest à l'Est et de la côte au large de la baie de Bou-Ismaïl.

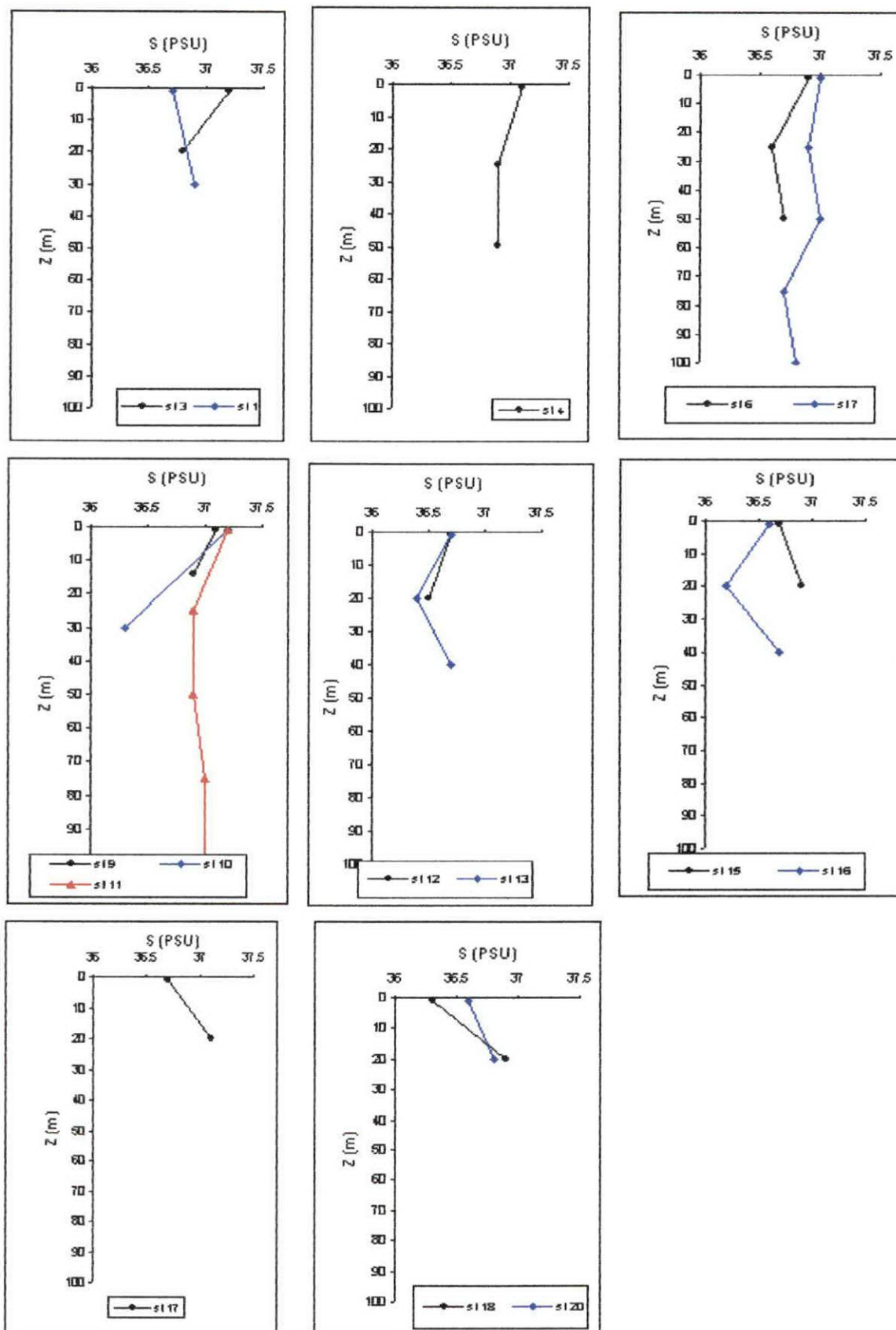
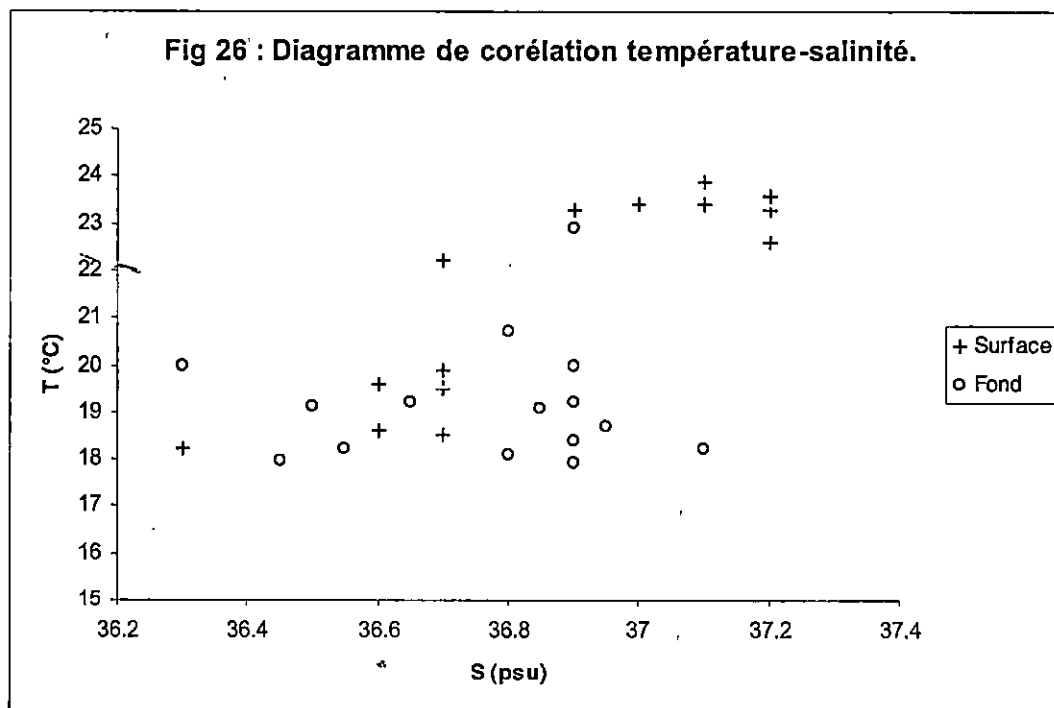


Figure 25 : Distribution verticale de la salinité de l'Ouest à l'Est et de la côte au large de la baie de Bou-Ismaïl.

La première masse d'eau représente une eau de surface chaude (température de 22°C à 24°C). A cette saison, le degré d'ensoleillement très fort que subit la côte algérienne (ONM, 2002) élève les températures de surface de la mer. Ces eaux sont également plus salées (salinité supérieur à 36.8 PSU), et reflètent typiquement les caractéristiques de l'eau Méditerranéenne, (JACQUES et TREGUER, 1986).

La deuxième masse d'eau présente des températures comprises entre 18 et 20 °C et des salinités entre 36,2 et 36,8, ce qui est typique des caractéristiques de l'eau modifiée Atlantique (M.A.W) laquelle se déplace d'ouest en est sur une épaisseur de 150 m (BENZOHRRA, 1993).

La troisième masse d'eau a également des températures comprises entre 18 et 20 °C et des salinités supérieures à 36,8 psu. Ce sont donc des eaux de subsurface méditerranéennes, provenant sans doute d'une résurgence côtière au centre de la baie.



2) CONTEXTE BIOGEOCHIMIQUE EN JUILLET 2002 :

2. 1. LES SELS NUTRITIFS :

2.1.1. Orthophosphates :

la distribution spatiale dans la baie de Bou-Ismaïl montre que les teneurs en PO_4^{3-} sont en moyenne plus élevées dans la partie Ouest de la baie où l'on trouve un maximum de $0,21 \mu\text{mole/l}$. Ces valeurs varient peu avec la profondeur. (Figure 27).

La station 11 présente un profil classique avec de faibles valeurs en surface et une augmentation régulière de la surface vers le fond.

D'une façon générale, les teneurs en PO_4^{3-} sont faibles, typiques de la Méditerranée en surface (inférieur à $0,3 \mu\text{mol/l}$), (BETHOUX et al, 1998).

De plus, à cette saison estivale, les sels nutritifs sont généralement épuisés par le bloom printanier et le manque de brassage (période de stratification) ne favorise pas l'enrichissement de la couche 0-100 m en sels nutritifs.

2.1.2. Silicates :

Les concentrations superficielles en silicates dépassent $3 \mu\text{mol/l}$ à une seule station (st 18). (Figure 28).

Au niveau des emboûchures des oueds, qui reçoivent pourtant directement l'apport continental, on ne trouve pas de valeurs particulièrement élevées. Pourtant les eaux douces sont très souvent plus riches en silicium que les eaux marines (AMINOT et CHAUSSEPIED, 1983).

Ces teneurs modérées au niveau des embouchures de notre baie seraient donc liées à de faibles débits des oueds à cette saison.

D'une façon générale, les concentrations en silicates trouvées en baie de Bou-Ismaïl sont conformes aux teneurs moyennes Méditerranéennes, (BETHOUX et al, 1998).

Le fait que ces teneurs soient maintenues après le bloom printanier suggère que la baie de Bou-Ismaïl n'est pas dominée par les diatomées en terme de phytoplancton, puisque ce sont les espèces consommatrices de silicates (ILLOUL, 1991). Cela peut s'expliquer aussi par l'interaction terre-eau (érosion côtière).

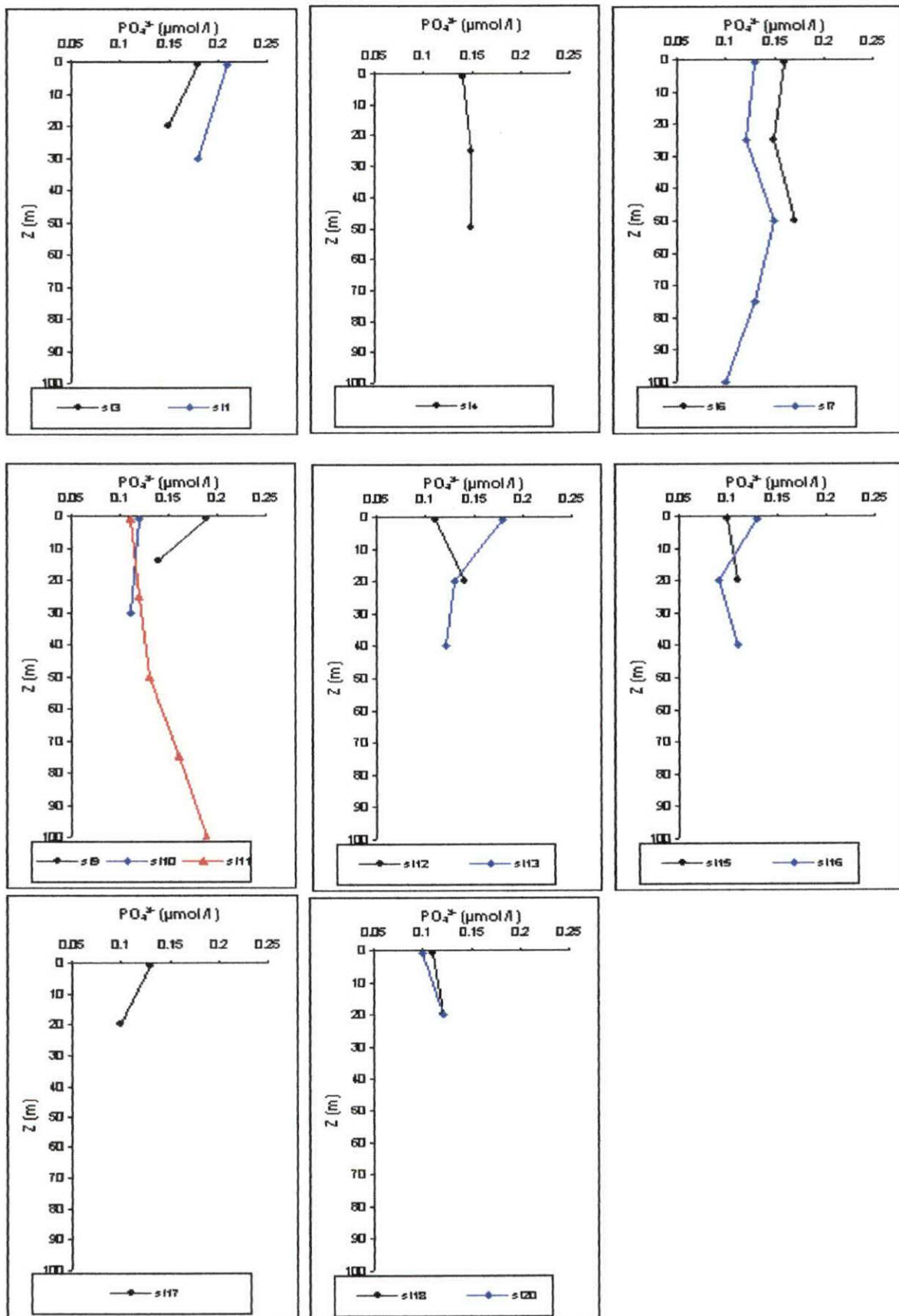


Figure 27 : Distribution verticale des orthophosphates de l'Ouest à l'Est et de la côte au large de la baie de Bou-Ismaïl.

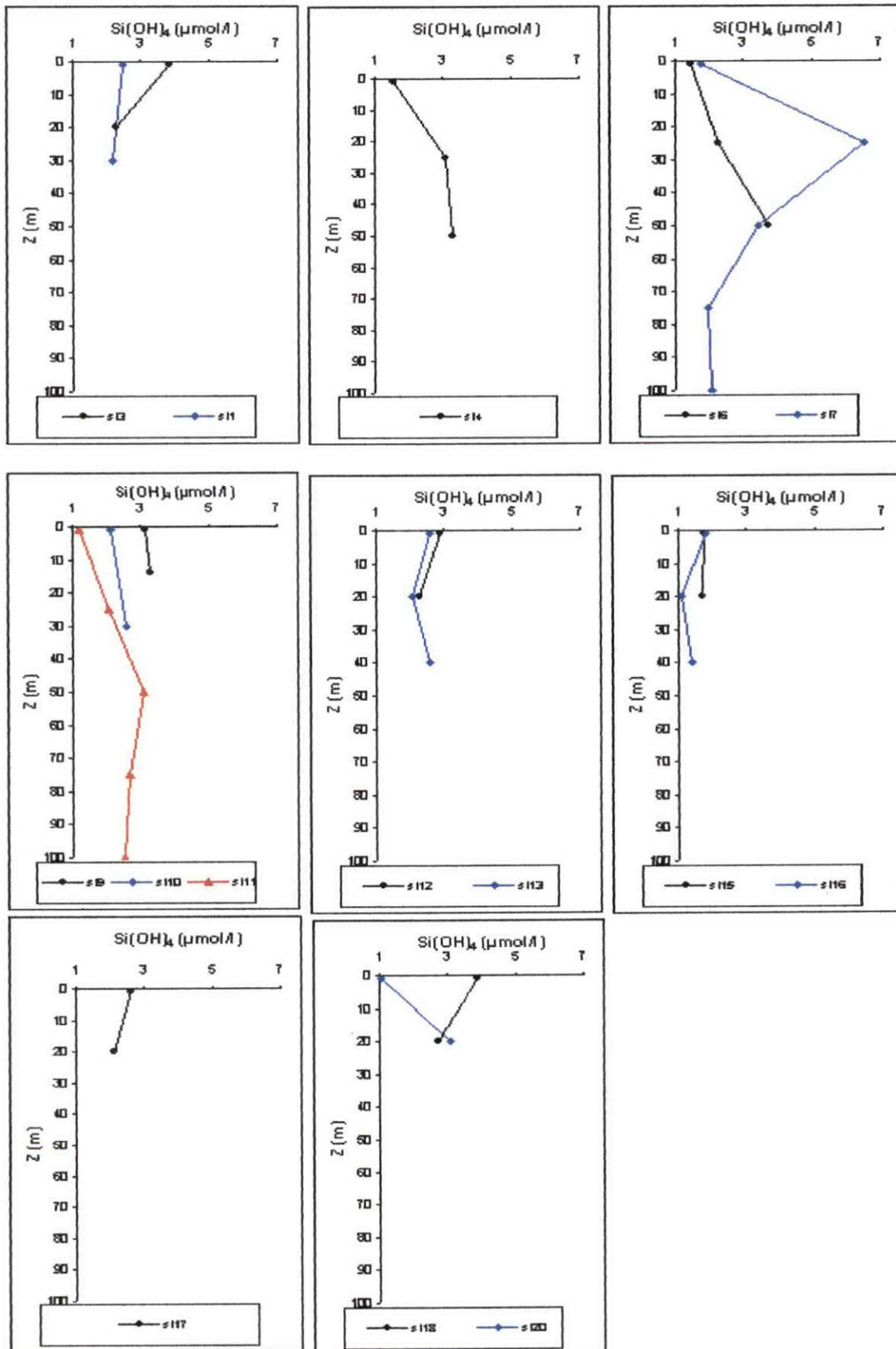


Figure 28 : Distribution verticale des silicates de l'Ouest à l'Est et de la côte au large de la baie de Bou-Ismaïl.

2.1.3. Nitrates, nitrites et ammonium :

La répartition spatiale des teneurs en nitrates dans la baie de Bou-Ismaïl est relativement homogène dans toute la zone prospectée, avec des valeurs faibles toujours inférieures à $0,3 \mu\text{mol/l}$ et proches les unes des autres. (Figure 29).

Les valeurs obtenues sont très faibles en nitrites, de l'ordre de quelques nmoles/l. La saison d'échantillonnage au mois de juillet en est la raison puisque les nitrites et les nitrates ont dû être consommées au cours du bloom printanier. (Figure 30).

Leurs répartition le long de la baie, montre des concentrations superficielles moins élevées par rapport à la profondeur, cela est conforme aux valeurs traditionnellement observées en Méditerranée à cette saison, (JACQUES et TREGUER, 1986).

Ces faibles teneurs sont probablement dues à l'épuisement des sels par l'activité biologique du bloom printanier.

Les concentrations superficielles en ammonium dans notre baie sont faibles et toujours inférieures à $0,45 \mu\text{mol/l}$. (Figure 31).

Les faibles valeurs des concentrations en forme inorganique de l'azote montrent que le processus de régénération par oxydation de la matière organique n'a pas encore démarré à cette saison.

2. 1. 4. Comparaison des teneurs en sels nutritifs obtenues dans la baie de Bou-Ismaïl avec des données antérieures :

Le tableau n° 11, nous montre les différentes teneurs en sels nutritifs dans la baie de Bou-Ismaïl obtenues au cours de notre campagne ou de campagnes antérieures.

Hormis les concentrations en Silicates qui sont similaires en 1996, 1998 et 2002, nous remarquons pour les autres sels des teneurs plus élevées en 1996 et 1998 qu'en 2002.

Cette différence est due à la saison d'échantillonnage.

D'une part, au mois de mai le bloom printanier est en cours et l'épuisement des sels nutritifs ne survient qu'en juin (ILLOUL, 1991).

D'autre part, le printemps est généralement pluvieux comparé à l'été, par conséquent les débits des oueds sont plus importants à cette saison là qu'en saison estivale. Les apports terrigènes de sels nutritifs doivent être plus élevées en Mai qu'en Juillet.

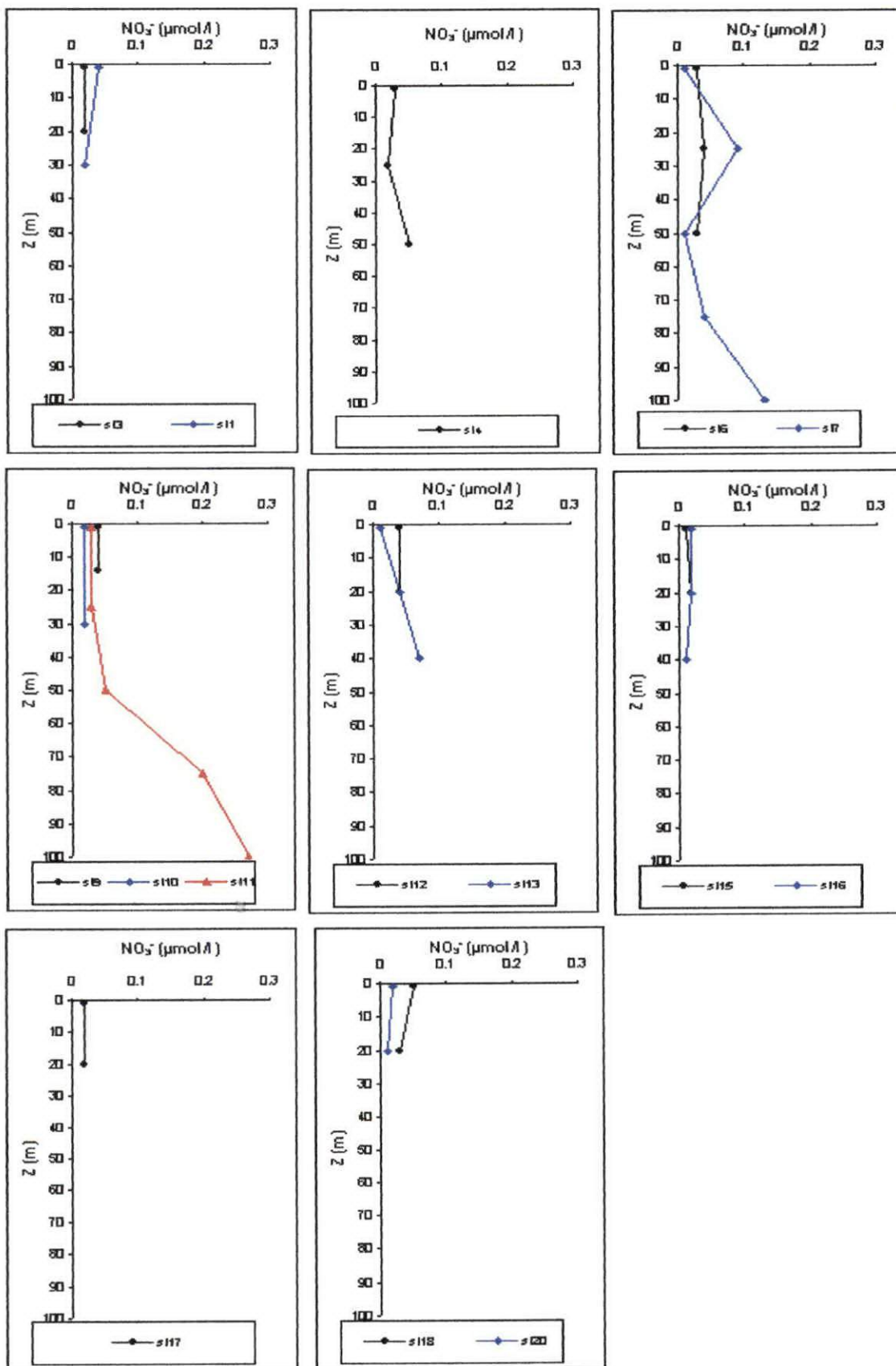


Figure 29 : Distribution verticale des nitrates de l'Ouest à l'Est et de la côte au large de la baie de Bou-Ismaïl.

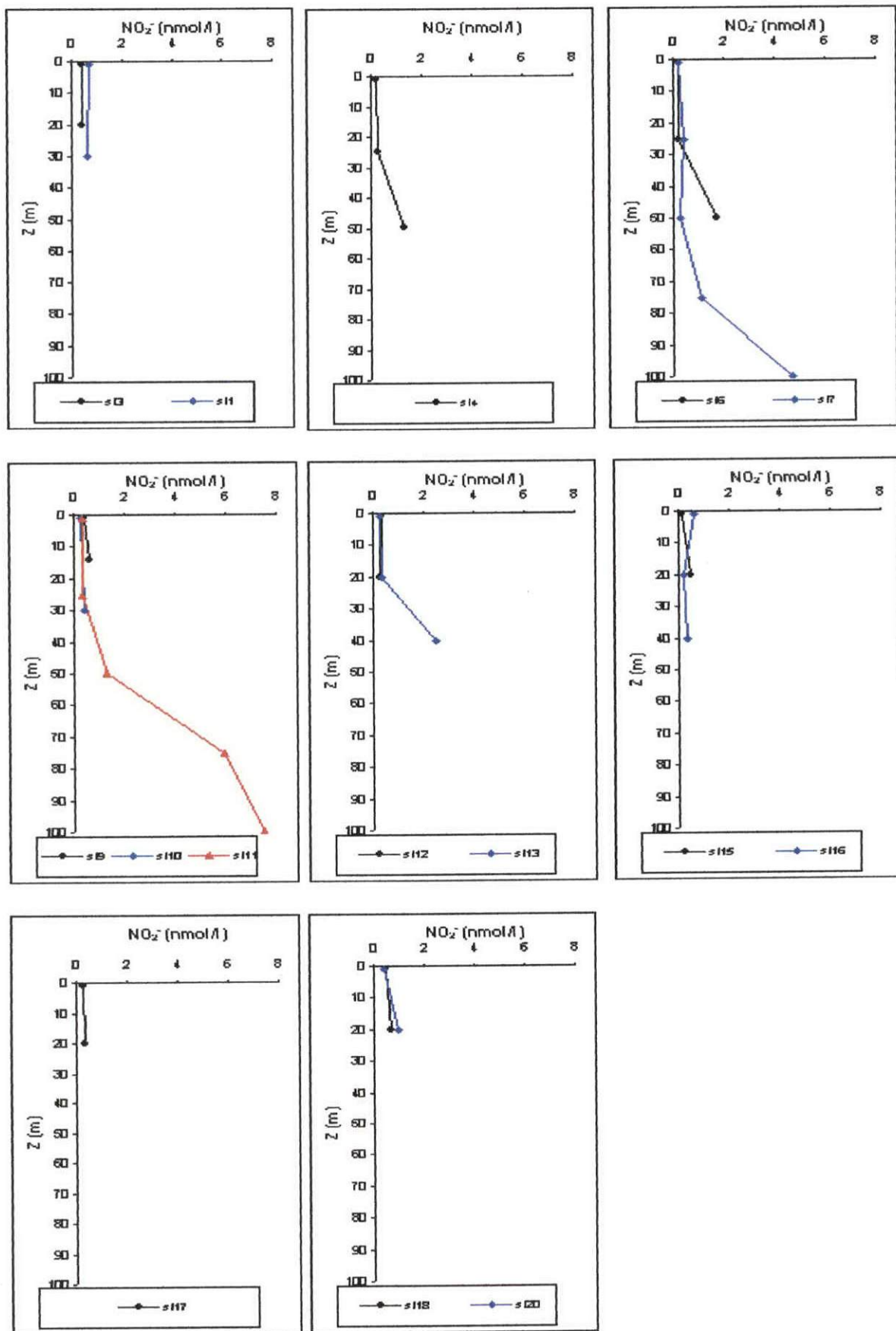


Figure 30 : Distribution verticale des nitrites de l'Ouest à l'Est et de la côte au large de la baie de Bou-Ismaïl.

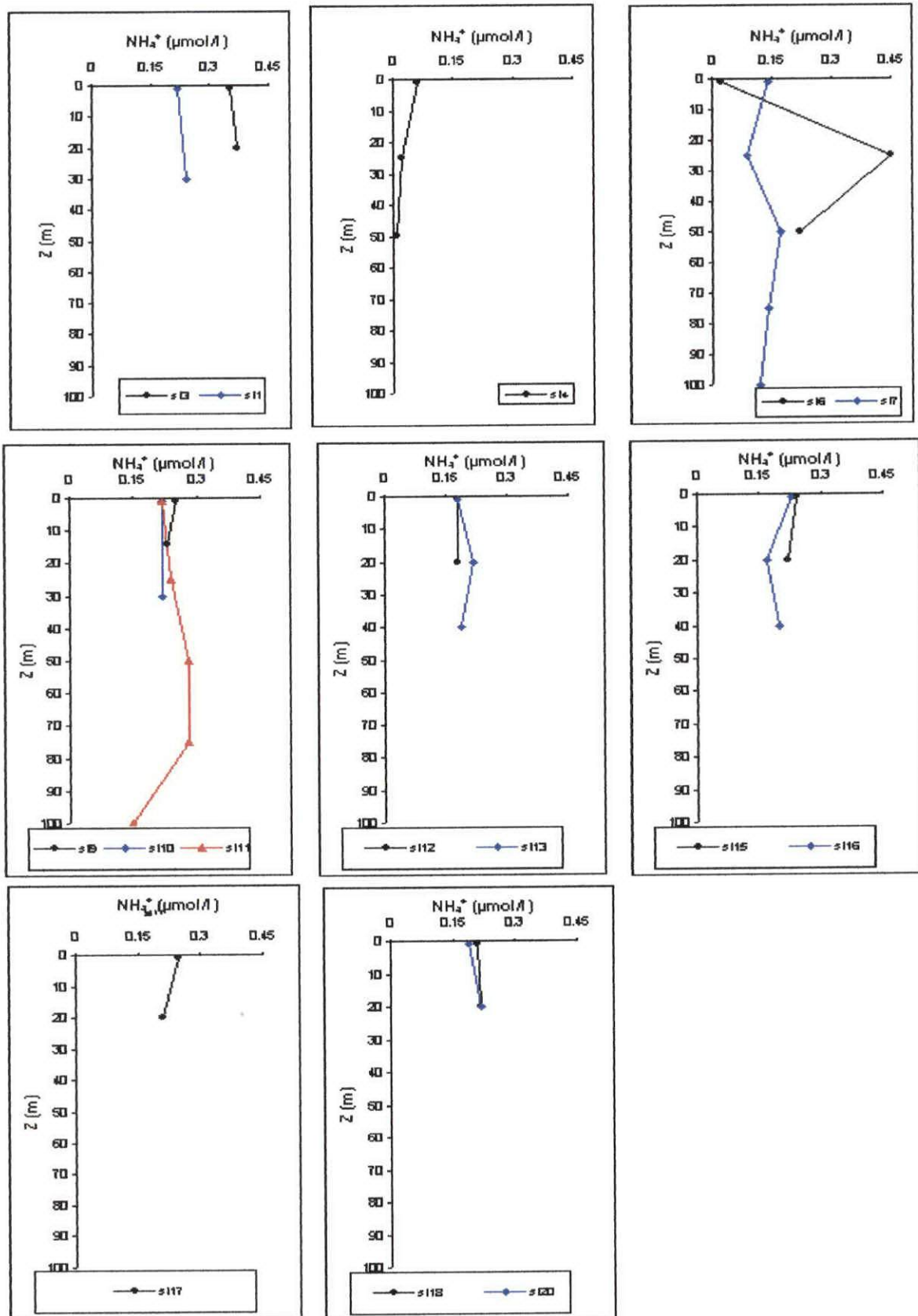


Figure 31 : Distribution verticale de l'ammonium de l'Ouest à l'Est et de la côte au large de la baie de Bou-Ismaïl.

Tableau n° 11 : Comparaison des teneurs en sels nutritifs avec celles obtenues antérieurement dans la baie de Bou-Ismaïl ($\mu\text{mol/l}$).

Concentration \ Années	mai 1996		mai 1998		juillet 2002	
	min	max	min	max	min	max
Nitrates	0.25	8.2	0.740	8.56	0.01	0.27
Nitrites	0.05	0.34	0.029	0.58	0.0002	0.0075
Ammonium	0.25	0.81			0.01	0.45
Orthophosphates	0.01	0.9	0.109	0.951	0.09	0.21
Silicates	0.74	8.1	0.110	4.13	1.04	6.53
Références	Brinis et Brahmia (1997)		Chaouch et Darbeida -2000		Présente étude (2003)	

2. 2. OXYGENE DISSOUS ET UAO :

2.2.1. L'OXYGENE DISSOUS :

C'est un facteur écologique essentiel, il permet la respiration des êtres vivants, il gouverne la majorité des processus biologiques et chimique des écosystèmes aquatiques. C'est donc un gaz très important pour la vie.

Dans l'eau de mer, les teneurs en oxygène dissous dépendent de trois facteurs :

- Facteurs physiques : température, échange air-mer, diffusion et mélange des masses d'eau.
- Facteurs chimiques : oxydations chimiques.
- Facteurs biologiques : photosynthèse et respiration.

Sa teneur dans l'eau de mer est riche en surface (où l'échange air-mer et la photosynthèse dominant) et pauvre dans les eaux profondes (où la respiration et l'oxydation de la matière organique dominant), (RODIER., 1997).

Les teneurs superficielles en oxygène dissous présentent une légère élévation de l'Ouest vers l'Est de la baie, et une diminution de la côte vers le large cela peut être lié au déferlement des vagues, on trouve le maximum de 574,92 $\mu\text{mol/l}$ à la station (15) en face de l'oued Mazafran, (Figure 32).

Ces concentrations superficielles diminuent légèrement avec la profondeur, et sont quasiment constantes à quelques stations (st 13, 16).

Les variations de l'oxygène de la surface vers le fond sont liées aux activités biologiques et la dynamique des eaux. Pour pouvoir séparer partiellement les effets dynamiques et biologiques, on a recours à l'utilisation apparente de l'oxygène définie ci-après.

2. 2. 2. L'UTILISATION APPARENTE DE L'OXYGENE (U.A.O) :

C'est une grandeur qui donne la quantité de l'oxygène utilisée pour oxyder la matière organique.

$$\text{U.A.O} = \text{CO}_2^* - \text{CO}_2$$

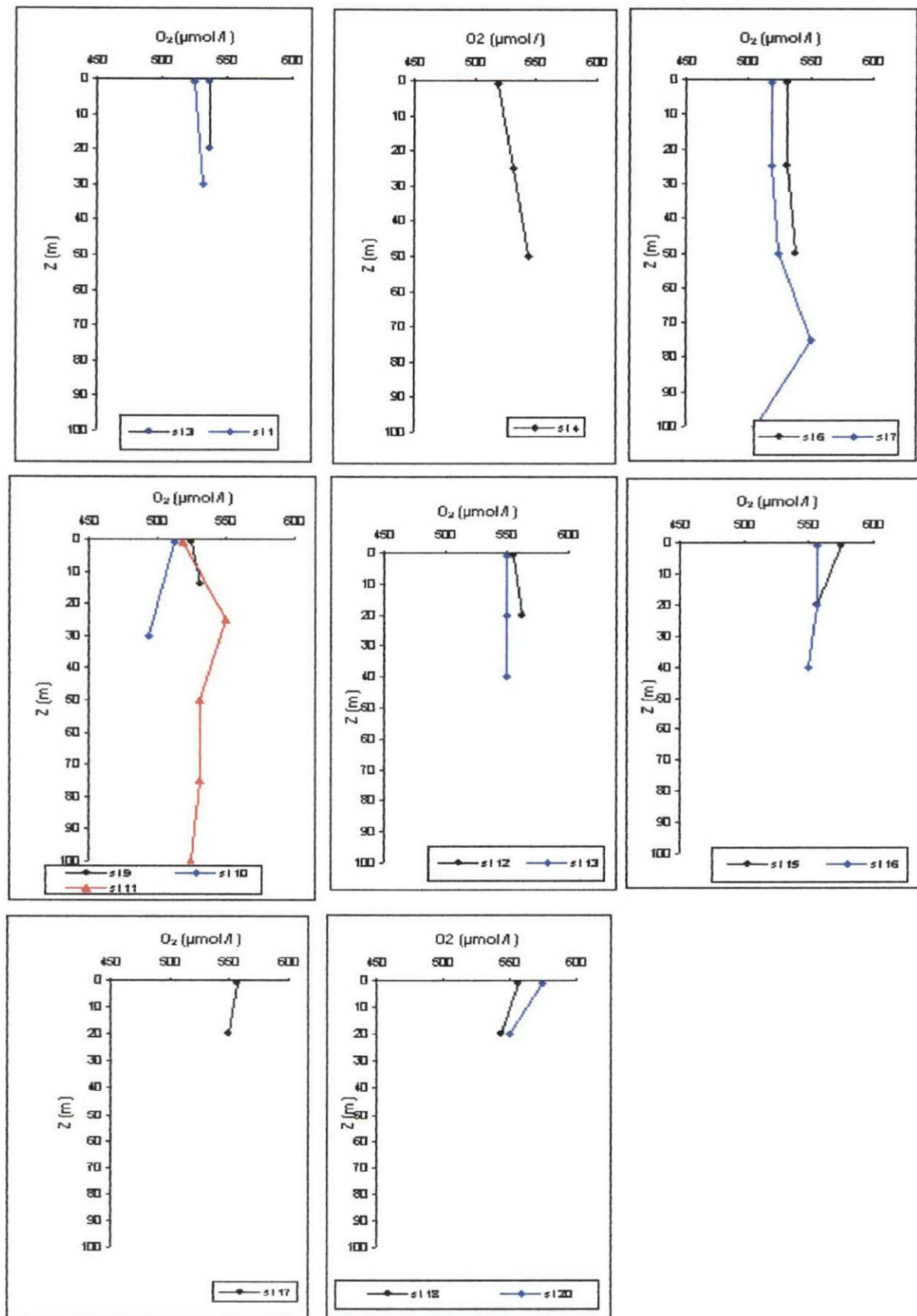


Figure 32 : Distribution verticale de l'oxygène de l'Ouest à l'Est et de la côte au large de la baie de Bou-Ismaïl.

CO_2 : Concentration de l'oxygène mesurée en $\mu\text{mole/l}$.

CO_2^* : La solubilité de l'oxygène (elle est calculée en fonction de la température en kelvin et la salinité selon le polynôme de WEISS, (1970 ; in AMINOT et CHAUSSEPIED, 1983).

$$\text{Ln CO}_2^* = A_1 + 100A_2/T + A_3\text{Ln } T/100 + A_4 T/100 + S (B_1 + B_2 T/100 + B_3 (T/100)^2)$$

T : température absolue de l'eau de mer en kelvin.

S : salinité de l'eau de mer en (psu).

$$A_1 = -173,4292.$$

$$A_2 = 249,6339.$$

$$A_3 = 143,3483.$$

$$A_4 = -21,8492.$$

$$B_1 = -0.033096.$$

$$B_2 = 0,014259.$$

$$B_3 = -0,0017.$$

Si l'U.A.O est positive, on aura une sous saturation des eaux en oxygène. Ce qui veut dire la dominance de la respiration des organismes et de l'oxydation de la matière organique au site considéré.

Dans le cas contraire, lorsque l'U.A.O est négative, cela indique une sursaturation avec la dominance de la photosynthèse et l'agitation des eaux au site considéré.

Au cour de la campagne de juillet 2002, nous observons une UAO négative à toutes les stations de la baie de Bou-Ismaïl, (Figure 33). Cela signifie une sur-saturation en oxygène dissous, et une forte dominance de la photosynthèse et de l'agitation des eaux. Les valeurs d'U.A.O varient de -35,9 à -117,4 $\mu\text{mol/l}$.

On peut expliquer cela par la saison d'échantillonnage qui est après le bloom printanier (ILLOUL, 1991), et qu'au cours de la saison estivale, les conditions météorologiques sont favorables à la stratification et une réduction de l'échange avec l'atmosphère par conséquent le dégazage est réduit.

D'une façon générale, l'U.A.O augmente avec la profondeur, ce qui indique que l' O_2 est partiellement utilisée à l'oxydation de la matière organique.

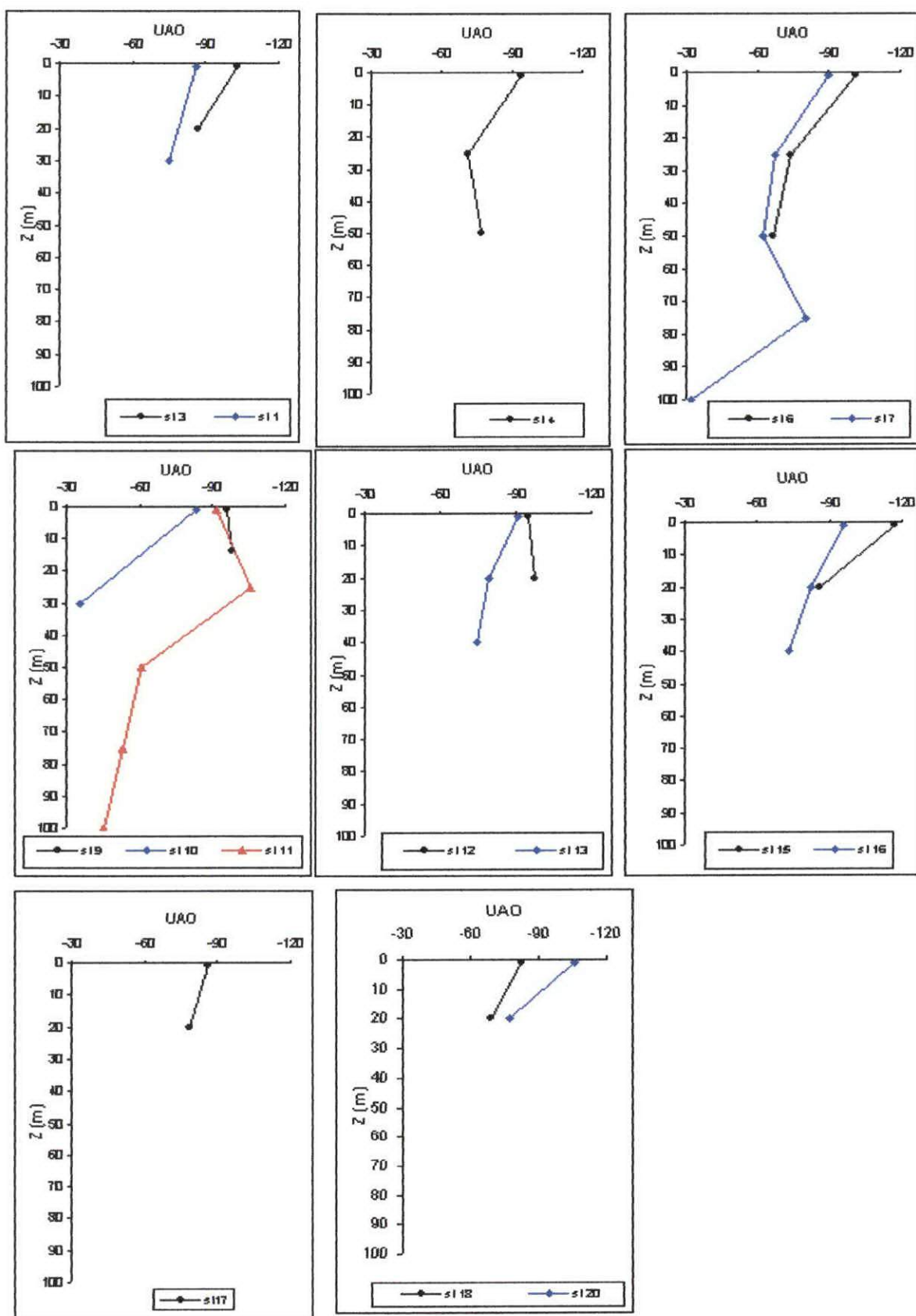


Figure 33 :Distribution verticale de l'UAO ($\mu\text{mol/l}$) de l'Ouest à l'Est et de la côte au large de la baie de Bou-Ismaïl.

Les valeurs très négatives d'U.A.O trouvées vers 80 et 100m aux stations 17 et 11, (-90 et -60 $\mu\text{mol/l}$) pourraient être indicatrices soit de maximum de photosynthèse en subsurface, soit de la photosynthèse des herbiers à posidonies.

2.3. La matière organique en baie de Bou-Ismaïl :

La matière organique présente dans un milieu donné peut être un indicateur de fertilité comme d'hyper-fertilisation, (LACAZE, 1996).

2.3.1. M.E.S et M.O :

La M.E.S est importante pour l'étude des milieux marins. Ces matières réduisent la transparence des eaux. Ce sont des matières minérales ou organiques, vivantes ou détritiques, qui se trouvent en faibles quantités dans les eaux profondes, (AMINOT et CHAUSSEPIED, 1983).

Elles ont un rôle important dans la fixation des bactéries, dans l'adsorption des métaux, et peuvent en plus être un indice de pollution.

Nous avons dans la baie de Bou-Ismaïl une répartition de la M.E.S qui montre une forte hétérogénéité spatiale et qui peut être régie par la nature du fond. (Figure 34).

En surface, les valeurs les plus élevées (59,2mg/l) sont retrouvées à l'extrême Ouest de la baie, cela s'accorde avec la présence d'un palier rocheux qui occupe toute la localité du Chenoua, et aussi peut être dû à l'érosion côtière qui semble se maintenir en raison de la nature lithologique de ces fonds, (voir carte sédimentologique).

Par contre, les faibles valeurs se localisent aux niveaux des emboûchures des oueds, cela peut s'expliquer par les vasières formées aux droits de l'emboûchure, qui constituent des lieux de sédimentation rapide des particules en raison des phénomènes de floculation qui surviennent à l'interface eau douce/eau de mer, (AIT KACI et al, 1979).

Les concentrations du fond sont presque semblables à celles de la surface.

L'élévation des teneurs en M.E.S pourrait être due à l'hydrodynamisme avec une remise en suspension des sédiments par les courants, (SLAWYK, 1980). Dans le cas de notre sortie, la mer était fortement agitée par le vent d'Est.

La répartition de la M.O dans la baie de Bou-Ismaïl est presque homogène entre 6 et 8%, sauf à quelques stations (au centre de la baie) où nous avons des valeurs inférieures à 6%. (Figure 35).

Cette matière organique diminue du fait des organismes hétérotrophes qui la transforment par son oxydation biochimique (minéralisation). Ces deux phénomènes sont liés à la teneur en oxygène dissous, nécessaire à la survie des organismes aérobies et aux réactions

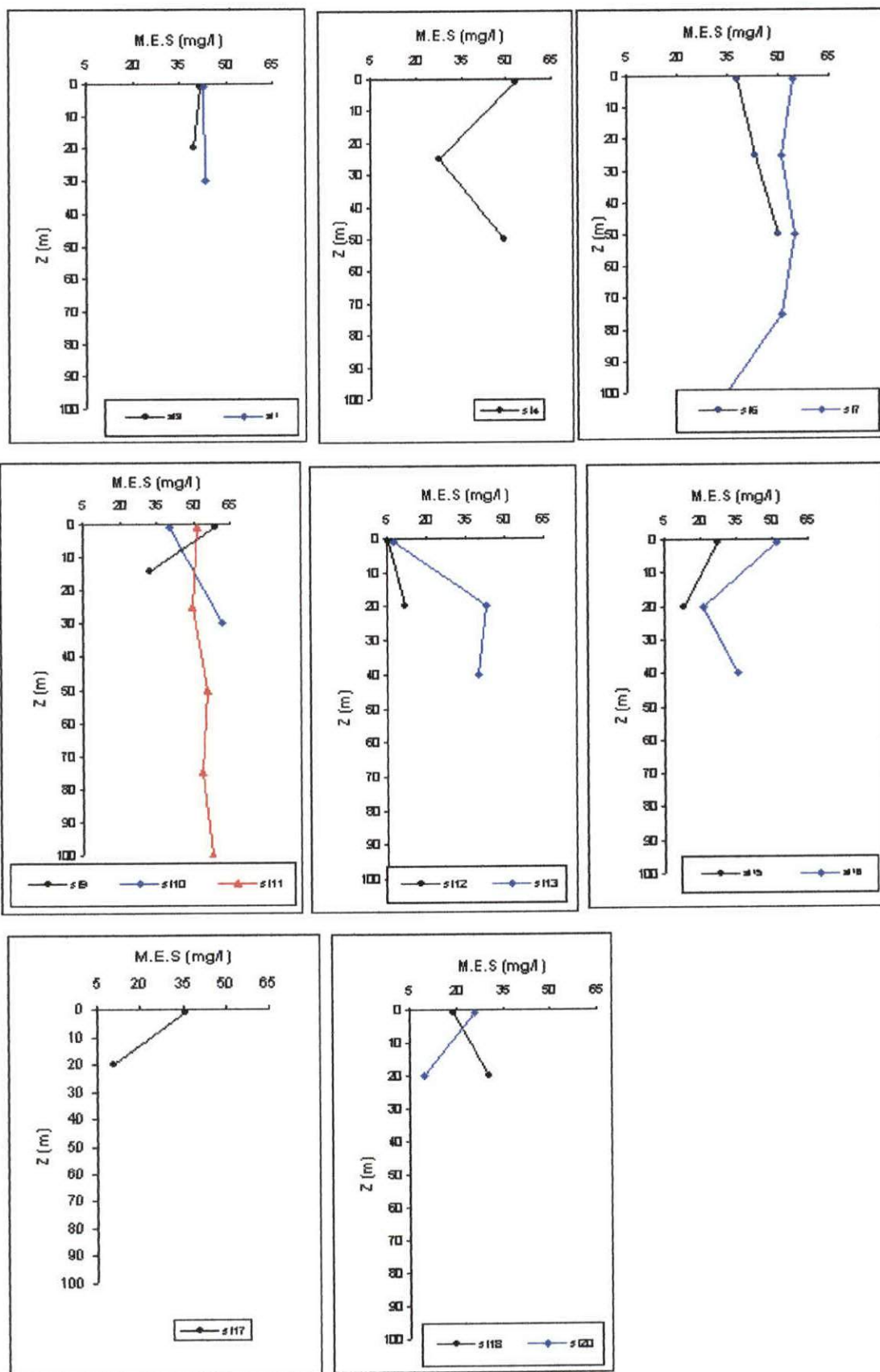


Figure 34 : Distribution verticale de la M.E.S de l'Ouest à l'Est et de la côte au large de la baie de Bou-Ismaïl.

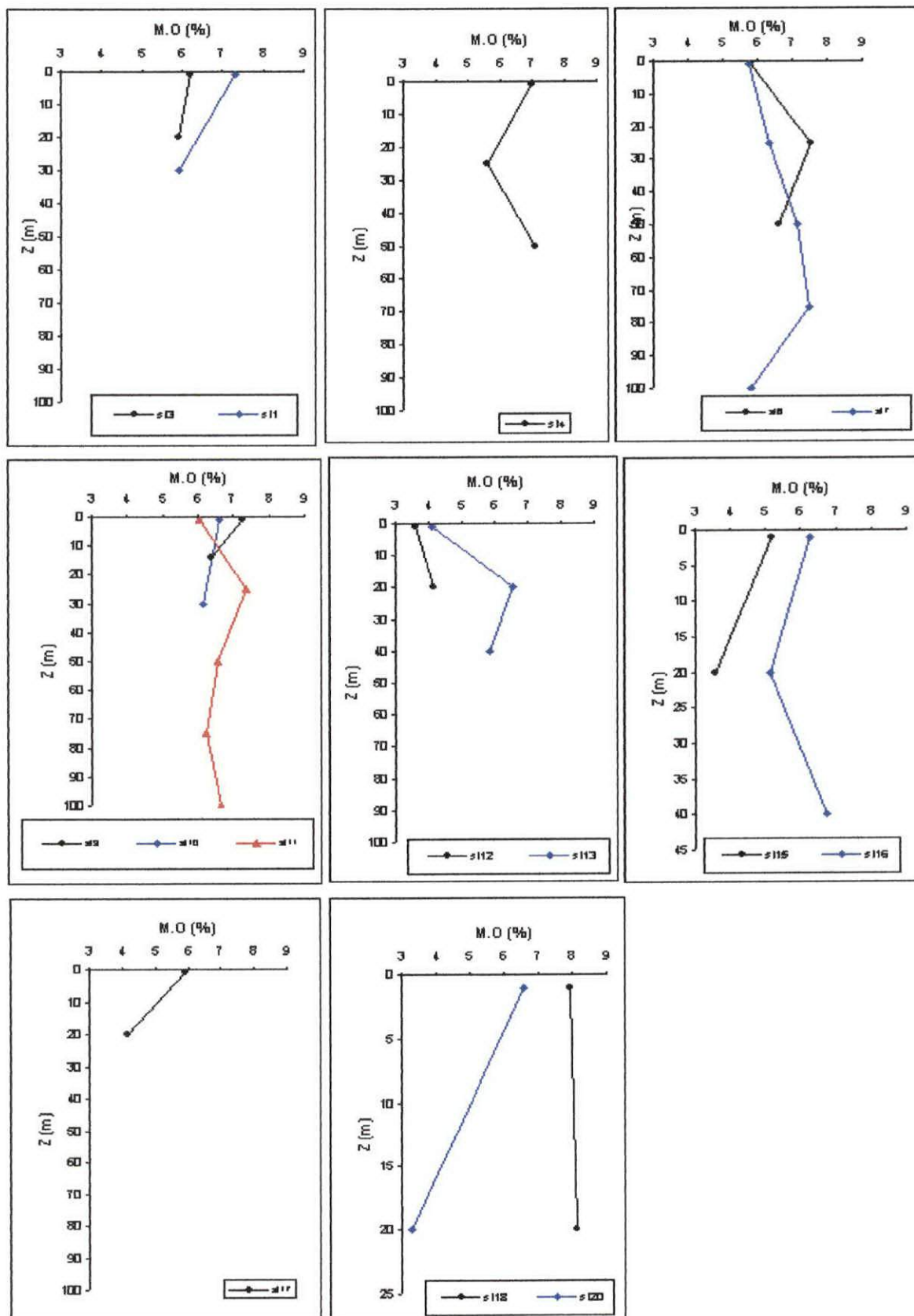


Figure 35 : Distribution verticale de la M.O. de l'Ouest à l'Est et de la côte au large de la baie de Bou-Ismaïl.

d'oxydation. (CAUWET, 1985). Or la baie de Bou-Ismaïl est en moyenne sursaturée en O₂ à cette saison.

2.3.2. LA CHLOROPHYLLE A ET LA PHAEOPHYTINE :

La chlorophylle est un paramètre essentiel pour l'estimation des biomasses d'organismes phytoplanctoniques, et pour celle de la production primaire.

La chlorophylle a est un pigment qui rend possible la photosynthèse pour les organismes autotrophes. La présence de la chlorophylle dans un milieu, est un indice de la fertilité de ces eaux, (AMINOT et CHAUSSEPIED, 1983).

Les dérivés chlorophylliens tels que la phaeophytine sont sensibles à la lumière, et à la présence de l'oxygène (LORENZEN, 1967 ; SAIJO, 1969 ; MORTH et YENTSCH, 1970 in JACQUES, 1978).

Les concentrations de chlorophylle a et de phaeophytine, trouvées lors de notre campagne sont particulièrement faibles comparativement à celles trouvées par Nival (1975) en Méditerranée. En effet, ces valeurs ne dépassent pas 146,34 ng/l. (Figure 36 et 37). L'oligotrophie méditerranéenne est ici encore démontrée.

Nous remarquons aussi des teneurs plus élevées en profondeur qu'à la surface à presque toutes les stations de la baie. On peut en déduire que le phytoplancton ne trouve pas assez de sels nutritifs à consommer en surface et par conséquent, se développe mieux en subsurface où la lumière n'est pas encore limitante.

La pression de broutage par le zooplancton pourrait être retenue pour expliquer cette faible biomasse. En effet, les blooms zooplanctoniques suivent ceux du phytoplancton avec un retard de l'ordre du mois.

2.3.3. L'Azote organique total: (NOT)

Les teneurs en NOT observés dans la baie de Bou-Ismaïl sont importantes. (Figure 38).

En surface les valeurs les plus élevées sont localisées dans la baie d'El Djamilia.

Ces fortes concentrations sont dues à la localisation de nos stations au niveau de la frange côtière, laquelle est continuellement exposée aux apports externes, et constitue ainsi un véritable réceptacle naturel à l'enrichissement organique (AMINOT et GUILLAUD, 1991).

L'excrétion du zooplancton consommant le phytoplancton est accélérée particulièrement à la fin du bloom printanier (COPIN-MONTEGUT, 1993), et peut être une source non négligeable de NOT.

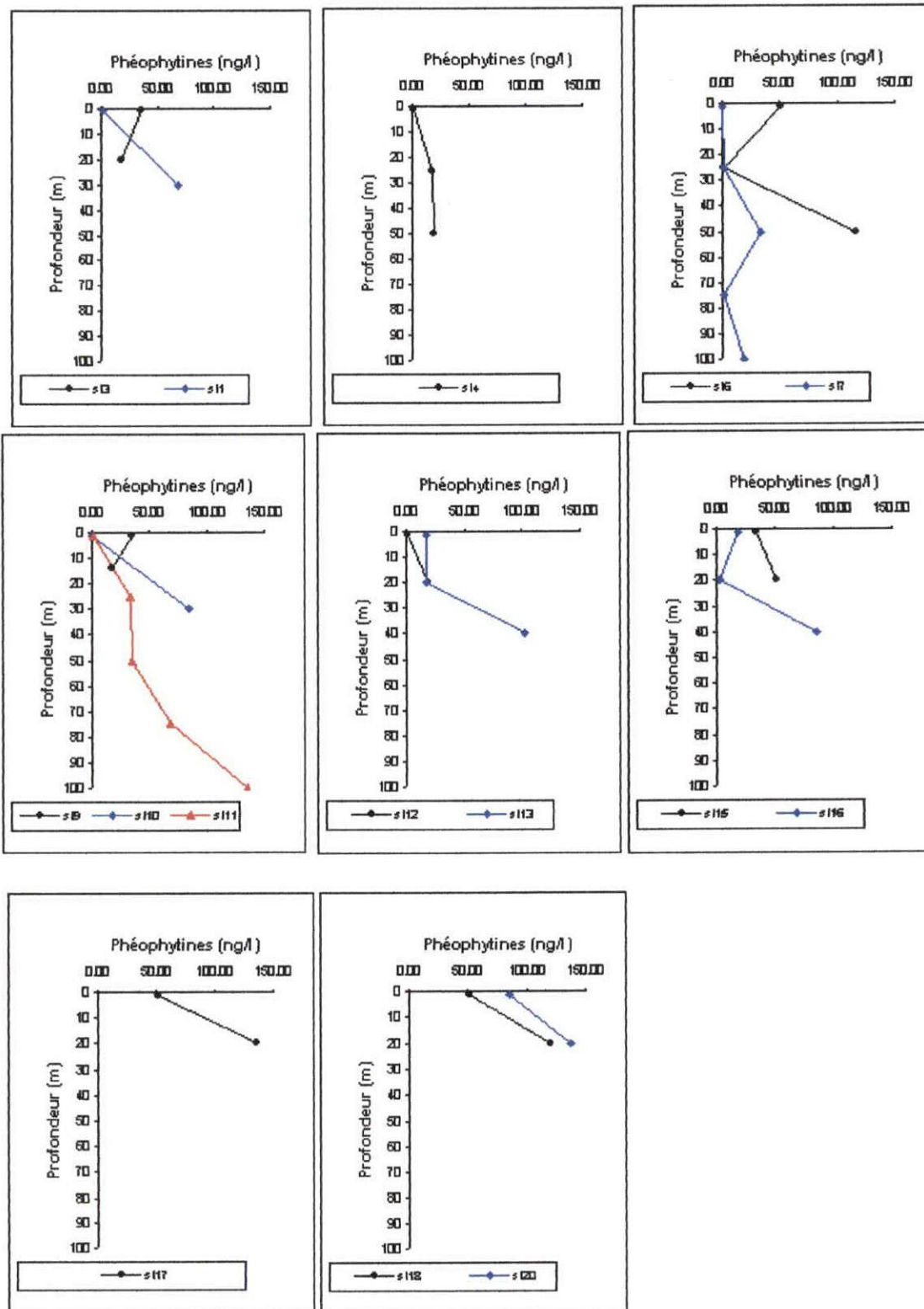


Figure 37 : Distribution verticale de la phéophytine de l'Ouest à l'Est et de la côte au large de la baie de Bou-Ismaïl.

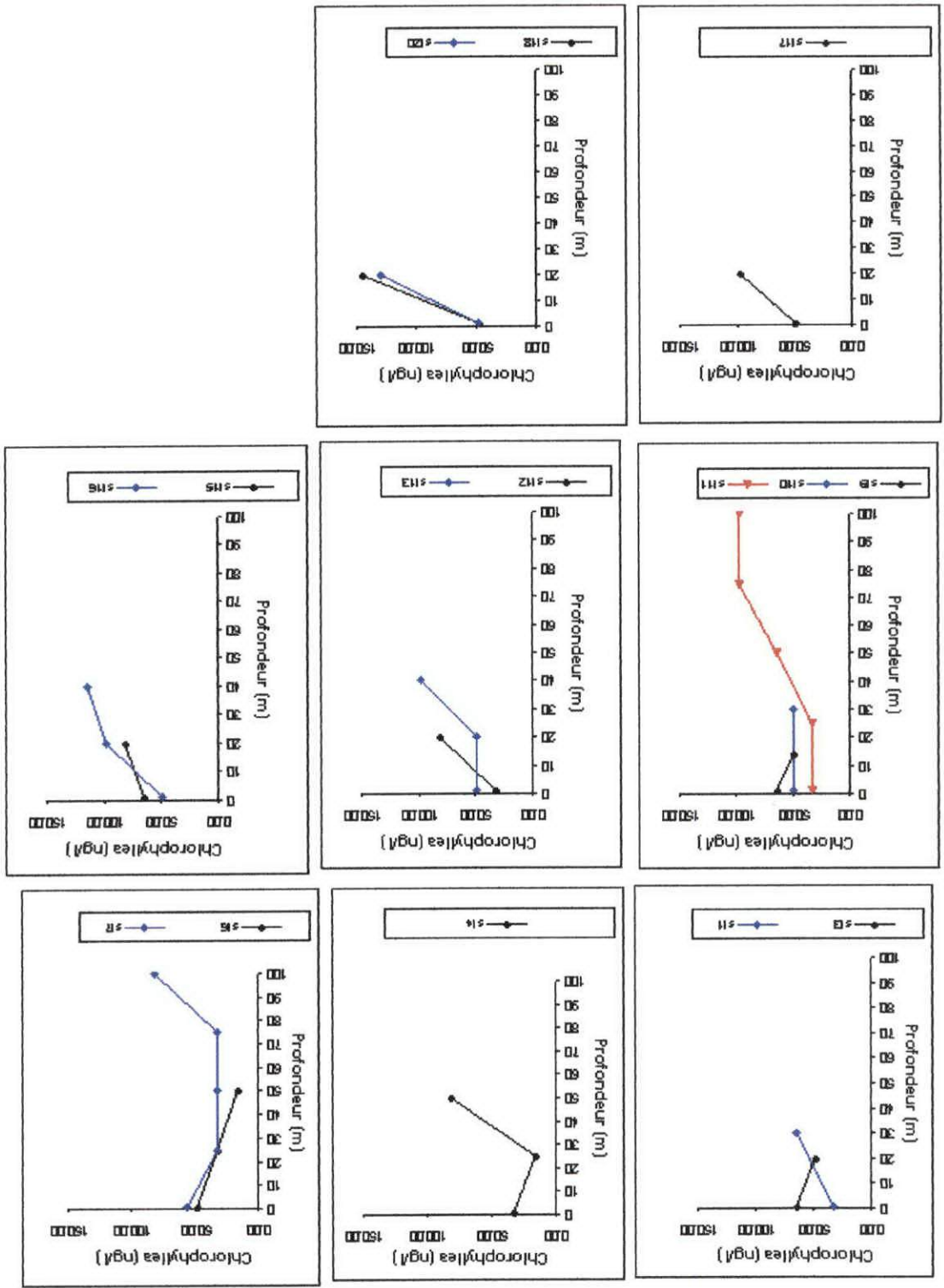


Figure 36 : Distribution verticale de la chlorophylle de l'Ouest à l'Est et de la côte au large de la baie de Bou-Ismaïl.

Les teneurs en NOT observées en juillet 2002 ont tendance à décroître avec la profondeur. Ceci pourrait être lié à leur consommation par les bactéries hétérotrophes à cette saison.

2.3.4. Le Phosphore organique total: (POT)

Dans toute la baie de Bou-Ismaïl les concentrations en POT varient entre 1 et 2 $\mu\text{mol/l}$ (Figure 39).

On observe une certaine constance des concentrations de POT avec la profondeur sauf à la station 11 où à 100m, un signal de reminéralisation est nettement perçu.

Il faut noter que la matière organique est fortement représentée dans la baie de Bou-Ismaïl. En effet les teneurs relevées dépassent largement les valeurs habituellement rencontrées en Méditerranée. Elles sont plus proches de celles retrouvées à des sites mésotrophes, (PUJO-PAY, 1995).

Cette richesse en matière organique constitue un potentiel nutritif considérable et une source en azote et phosphore non négligeable lorsque les formes minérales (en raison de leurs teneurs beaucoup plus faibles) ne peuvent satisfaire complètement les besoins des organismes marins en ces deux éléments.

2.3.5. Le carbone organique dissous: (COD)

Nous avons obtenu des valeurs superficielles dans la baie de Bou-Ismaïl, qui varient d'une station à l'autre. (Figure 40).

Le COD représente 40,27% du carbone organique total (COT), avec un maximum de 604,17 $\mu\text{mol/l}$ à la station (10) entre Khemisti et Bou-Haroun, ce qui peut s'expliquer par le processus d'excrétion et de biodégradation (JACQUES et TREGUER, 1986), et aussi par le lessivage des sols, car le COD est essentiellement apporté par le lessivage des sols (apport terrigène). (CAUWET, 1985; MARTIN et BARTH, 1990).

Le minimum se localise à la station (20) en face de l'oued Beni-Messous dont le débit est nul à la saison d'échantillonnage.

2.3.6. Le carbone organique particulaire: (COP)

Le COP occupe 59,73% du carbone organique total, avec un maximum de 720 $\mu\text{mol/l}$ à la station (13), (Figure 40). Le COP est plus élevé que le COD dans la baie. Ce qui peut s'interpréter soit comme un phénomène de floculation du COD en COP, soit comme une adsorption de la matière organique sur la matière en suspension, (CAUWET, 1985).

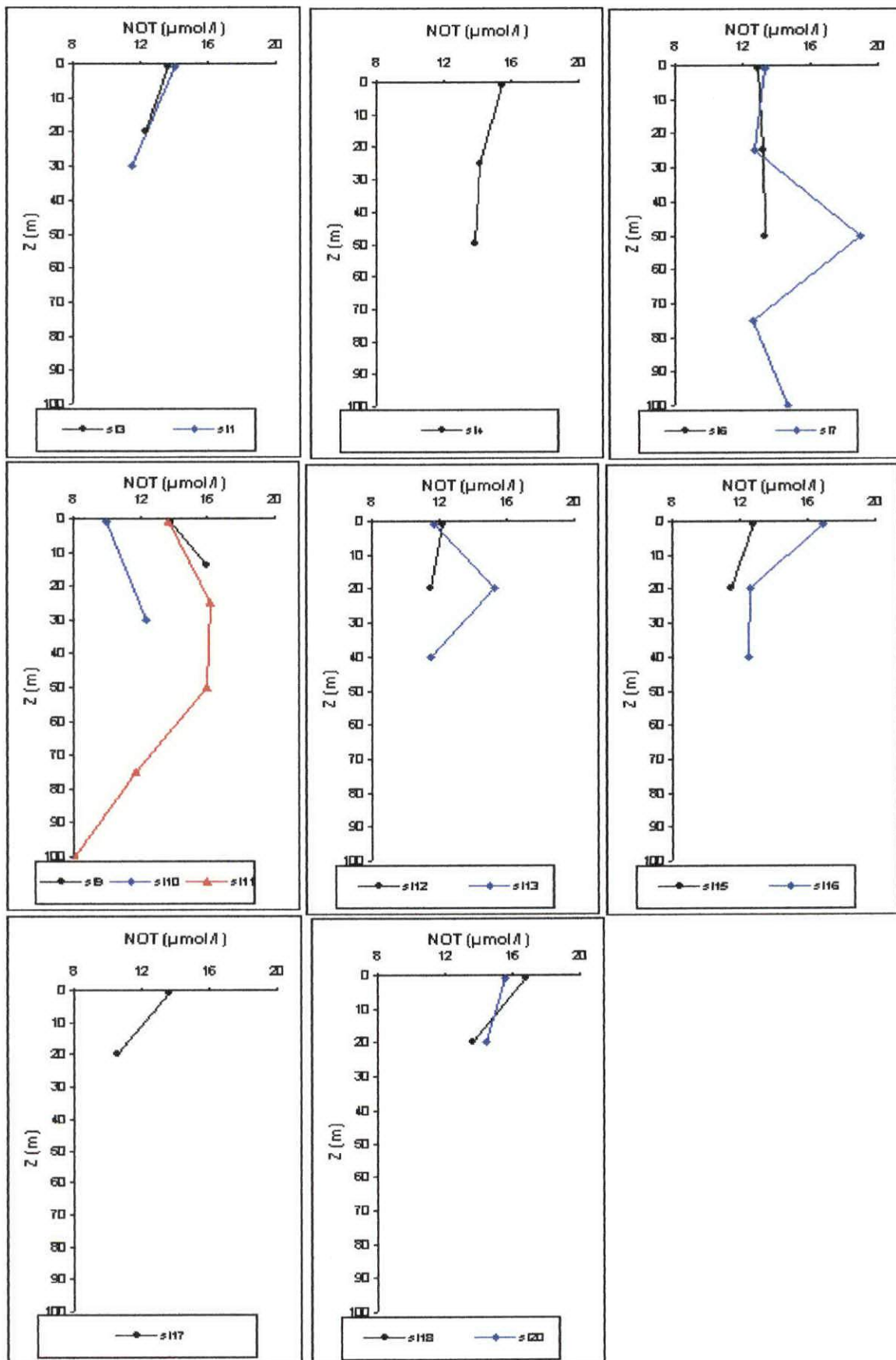


Figure 38 : Distribution verticale de NOT de l'Ouest à l'Est et de la côte au large de la baie de Bou-Ismaïl.

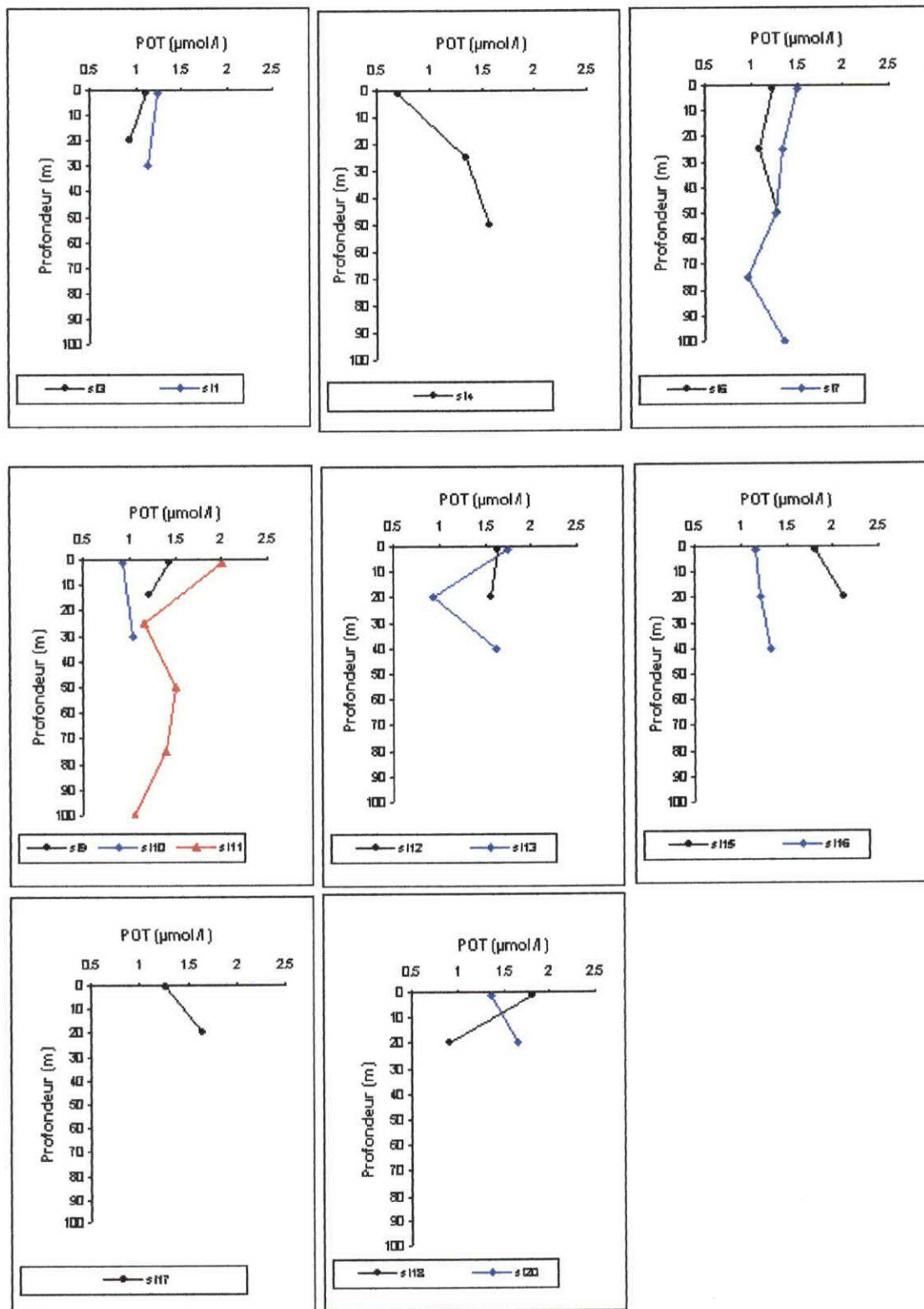


Figure 39 : Distribution verticale de POT de l'Ouest à l'Est et de la côte au large de la baie de Bou-Ismaïl.

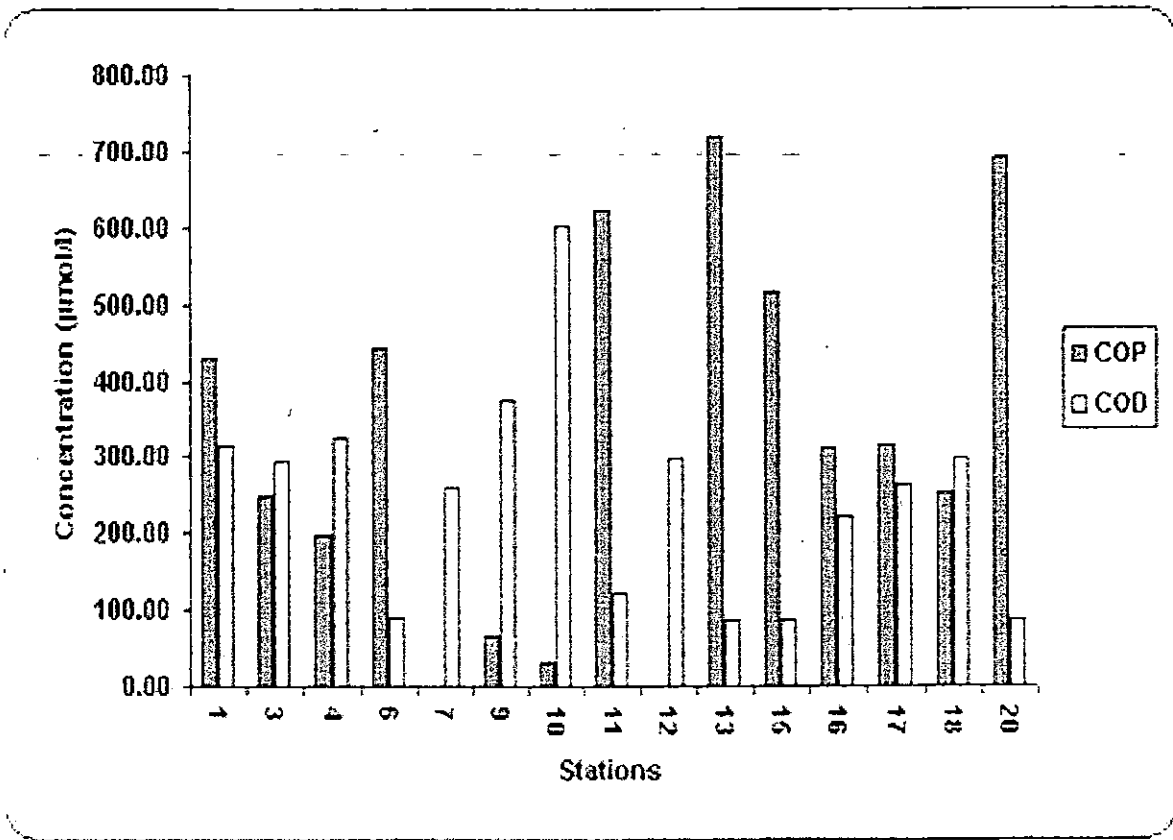


Figure 40 :Distribution spatiale du COD et le COP de l'Ouest à l'Est et de la côte au large de la baie de Bou-Ismaïl,

2^{ème} partie : ETUDE DE L'EUTROPHISATION EN BAIE DE BOU-ISMAIL :

1) Analyse des rapports N/P :

1. 1. Le diagramme de corrélation azote inorganique - phosphates ($\text{NO}_3^- - \text{NO}_2^- / \text{PO}_4^{3-}$) de la baie de Bou-Ismaïl :

Le diagramme $\text{NO}_3^- - \text{NO}_2^- / \text{PO}_4^{3-}$ montre une distribution dispersée, (Figure 41). Le rapport N/P est représenté par la pente de la droite (REDFIELD et al, 1963 in JACQUES et TREGUER, 1986). L'équation de régression trouvée est de :

$$\text{NO}_3^- - \text{NO}_2^- = 0,427 \text{ PO}_4^{3-} - 0,014. (r = 0,0574).$$

Lorsque les concentrations de NO_3^- et PO_4^{3-} présentent un rapport de 16 il y a dominance de la source interne pour ces sels nutritifs.

En revanche, notre rapport N/P est inférieur à 1, ce qui peut s'expliquer comme suit :

- Ou bien les concentrations de $\text{NO}_3^- - \text{NO}_2^-$ et PO_4^{3-} ont gardé le signal d'un rapport N/P relatif à des rejets domestiques ($\text{N/P} < 6$, LACAZE, 1996) souvent riches en polyphosphates. Mais cela ne peut être le cas, car les teneurs en sels nutritifs sont vraiment très faibles.
- Ou alors le rapport N/P est faible simplement parce que le bloom printanier a épuisé l'azote inorganique (ordonnée à l'origine < 0 ce qui implique un système en azote limitant). Ce qui semble plus être la configuration de nos observations en Juillet 2002.

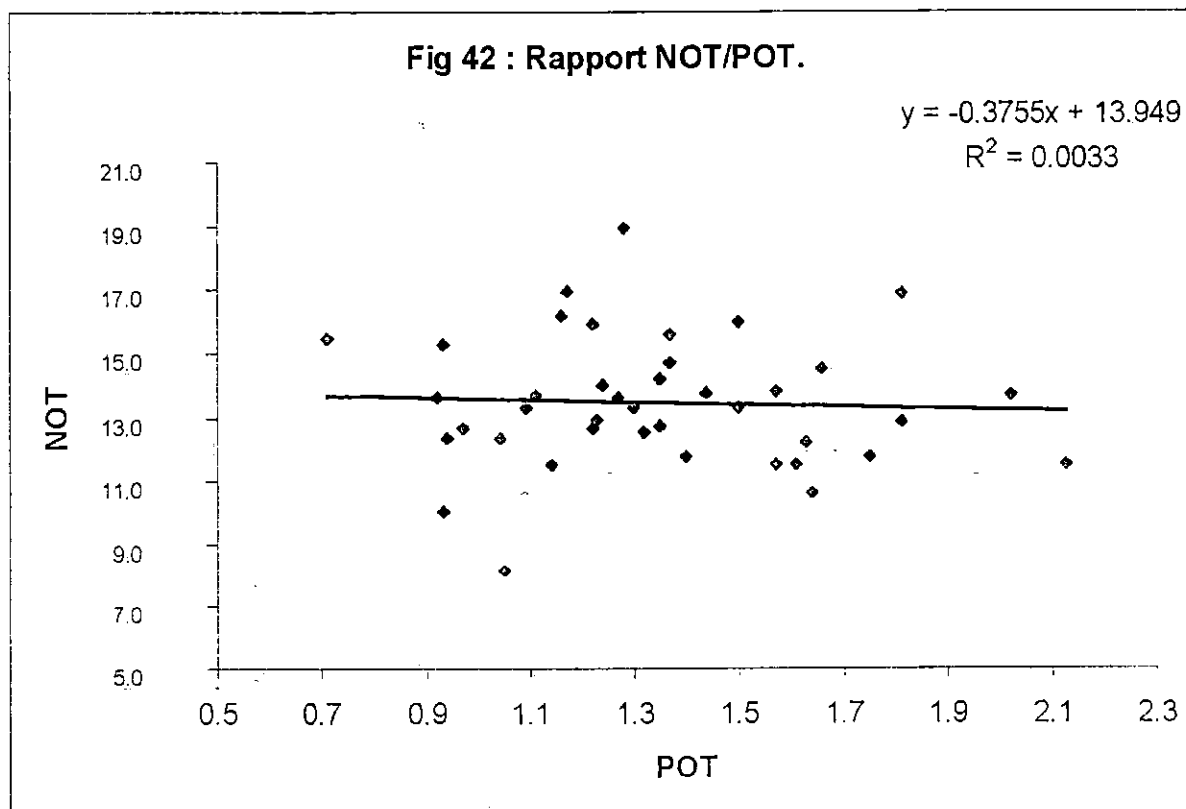
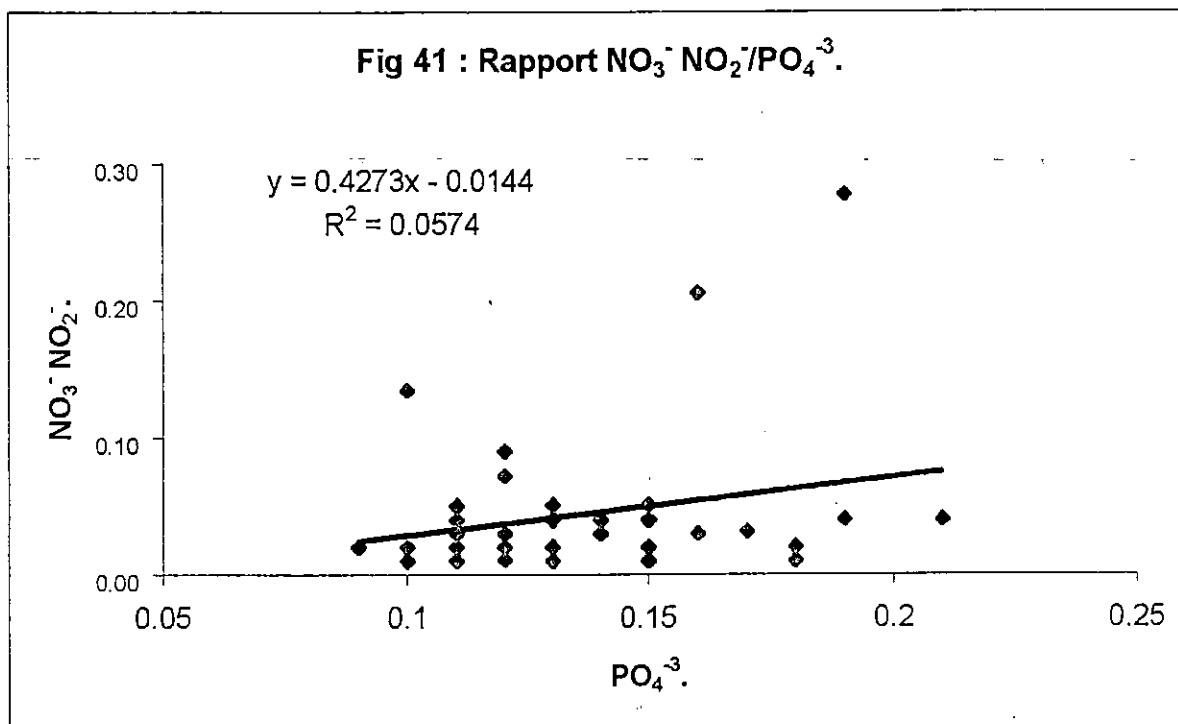
1. 2. Diagramme de corrélation NOT/POT de la baie de Bou-Ismaïl :

Le diagramme NOT/POT au niveau de la baie ne montre pas de corrélation entre ces deux paramètres, (Figure 42).

Le rapport NOT/POT calculé est de -0,37. Celui-ci est trouvé à partir de la pente de la droite de régression :

$$\text{NOT} = - 0,37\text{POT} + 13,94. (r = 0,0032).$$

Le coefficient de corrélation ($r = 0,0032$), montre que la relation n'est pas significative entre NOT et POT, et confirme donc une origine exogène de phosphore organique et de l'azote organique dans la baie. En effet, la M.O marine et particulièrement le plancton a un rapport N/P de 16 (REDFIELD et al, 1963 in JACQUES et TREGUER, 1986).



1. 3. Diagrammes de corrélation COT/NOT et COT/POT de la baie de Bou-Ismaïl :

1.3.1. Diagramme COT/NOT :

Le diagramme COT/NOT ne montre pas de corrélation entre ces deux paramètres (Figure 43).

Le rapport COT/NOT est de -14,77. Celui-ci est trouvé à partir de la pente de la droite de régression :

$$\text{COT} = -14,77 \text{ NOT} + 822,45. (r = 0,0623).$$

Le coefficient de corrélation ($r = 0,0623$), montre que la relation n'est pas significative entre le COT et le NOT ainsi que le rapport est différent de 6,625 (REDFIELD, 1963), donc le NOT est d'origine exogène. Il pourrait provenir du lessivage des terres agricoles de la baie au cours de la saison précédente.

1.3.1. Diagramme COT/POT :

Le diagramme COT/POT montre un coefficient de corrélation faible entre ces deux paramètres (Figure 44).

Cependant, le rapport COT/POT est de 113,03. Celui-ci est trouvé à partir de la pente de la droite de régression :

$$\text{COT} = 113,03 \text{ POT} + 461,5. (r = 0,1385).$$

Ce rapport ressemble à celui de (REDFIELD, 1963). Ceci suggérerait que le COT et le POT sont d'origine endogène.

Selon nos observations, l'enrichissement en sels nutritifs en baie de Bou-Ismaïl ne serait pas un phénomène direct mais indirect. En effet, des teneurs élevées en NOT d'origine exogène seraient responsables à terme (et après reminéralisation) d'une hyperfertilisation du milieu en azote. La baie de Bou-Ismaïl, serait donc eutrophisée indirectement par des rejets terrestres de la matière organique en excès.

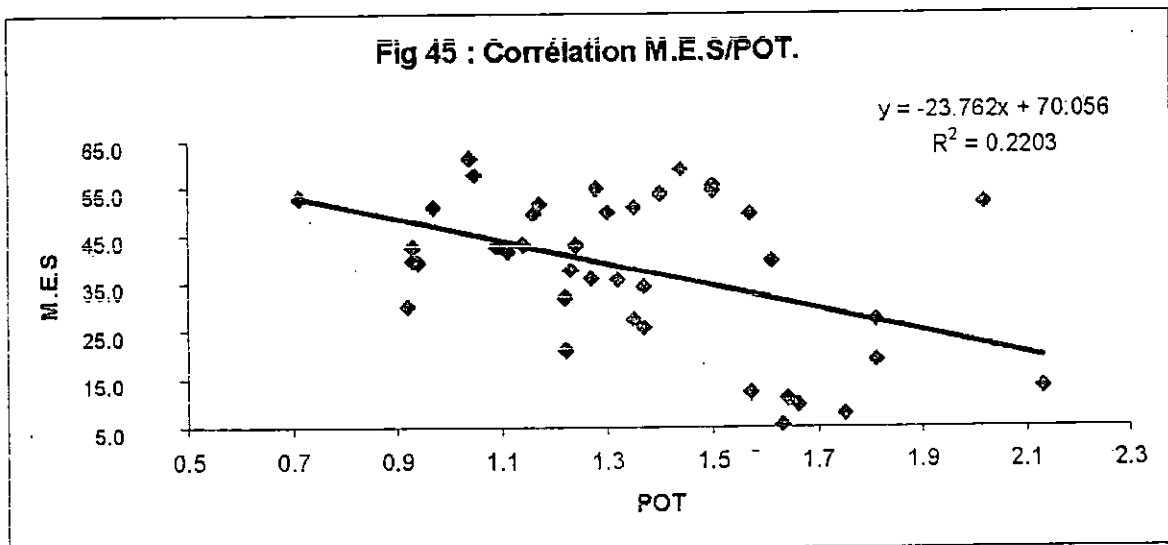
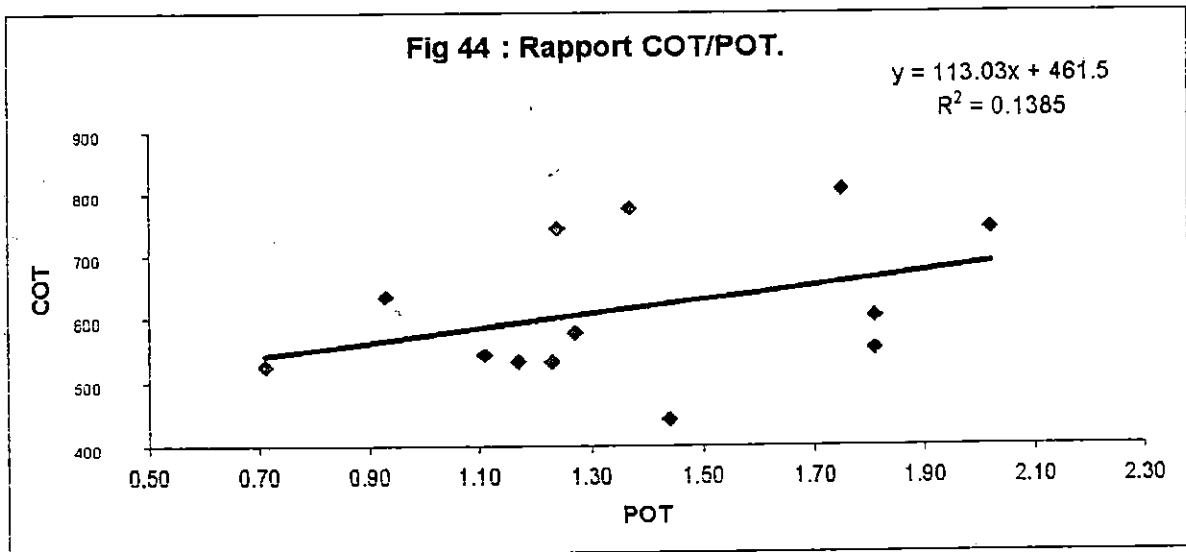
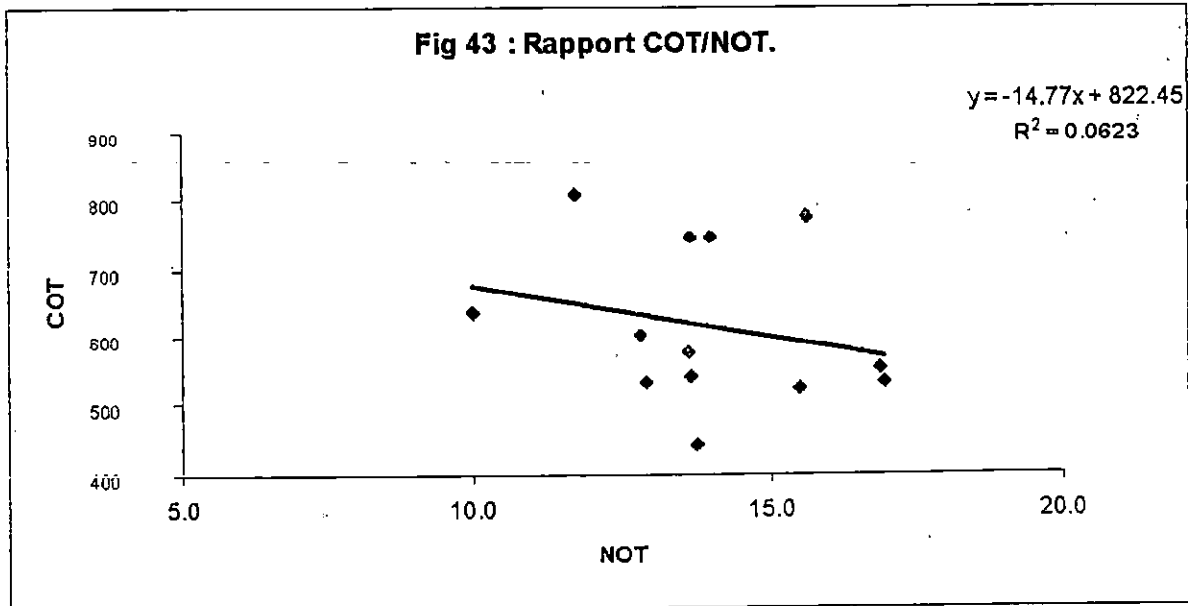
2) Source de la M.E.S en baie de Bou-Ismaïl :

La matière en suspension en baie de Bou-Ismaïl peut être identifiée comme principalement endogène ou exogène en analysant sa corrélation à divers paramètres :

2.1. Corrélation M.E.S/POT :

Le diagramme M.E.S/POT ne montre pas de corrélation entre ces deux paramètres (Figure-45).

Le rapport M.E.S/POT est de -23,76. Celui-ci est trouvé à partir de la pente de la droite de régression :



$$M.E.S = -23,76 POT + 70,156. (r = 0,2203).$$

Le coefficient de corrélation ($r = 0,2203$), montre que la relation n'est pas significative entre la M.E.S et le POT. Le POT et la M.E.S sont anti-corrélés, ils n'ont donc pas la même source.

2. 2 . Corrélation M.E.S/NOT :

Le diagramme M.E.S/NOT ne montre pas de corrélation significative ($r = 0,0273$) entre ces deux paramètres (Figure 46).

Le rapport M.E.S/NOT est de 1,2704. Celui-ci est trouvé à partir de la pente de la droite de régression :

$$M.E.S = 1,2704 NOT + 21,063. (r = 0,0273).$$

Le NOT et la M.E.S pourraient provenir de la même source.

2. 3 . Corrélation M.E.S/Chlorophylle :

Le diagramme M.E.S/Chl ne montre pas de corrélation entre ces deux paramètres (Figure-47).

Le rapport M.E.S/Chl est de -0,1462. Celui-ci est trouvé à partir de la pente de la droite de régression :

$$M.E.S = -0,1462 Chl + 47,09. (r = 0,078).$$

Le coefficient de corrélation ($r = 0,078$), montre que la relation n'est pas significative entre la M.E.S et la Chlorophylle et confirme donc que la M.E.S n'est pas issu du phytoplancton local.

2.4. Corrélation M.E.S/COT :

Le diagramme M.E.S/COT ne montre pas de corrélation entre ces deux paramètres (Figure- 48).

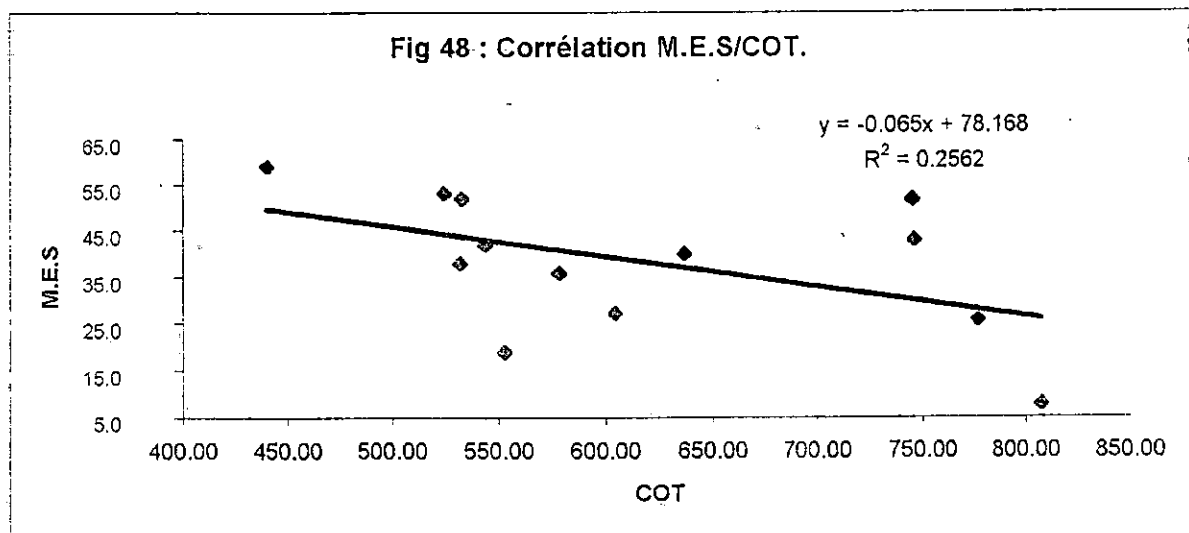
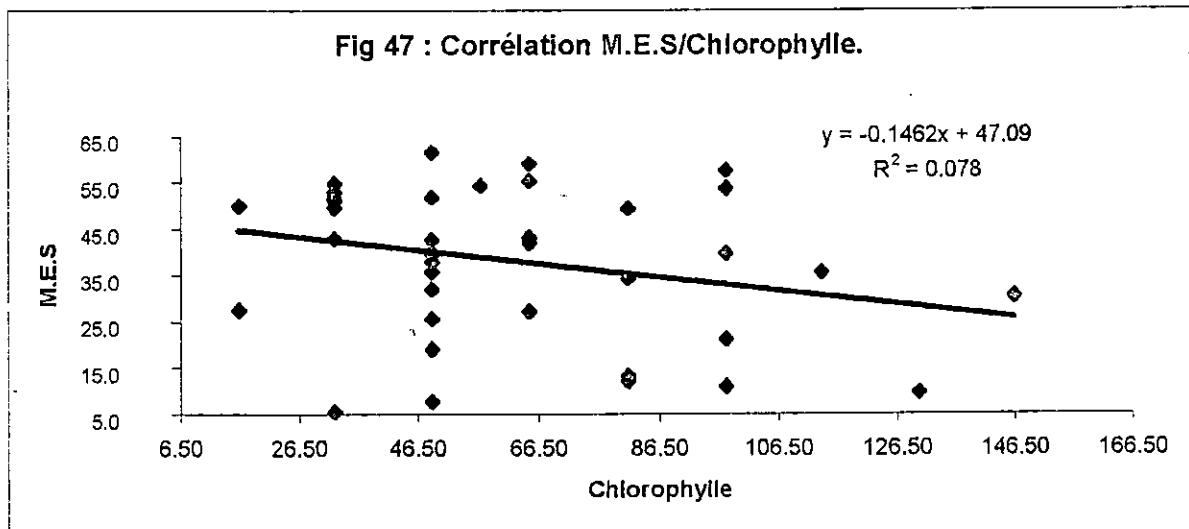
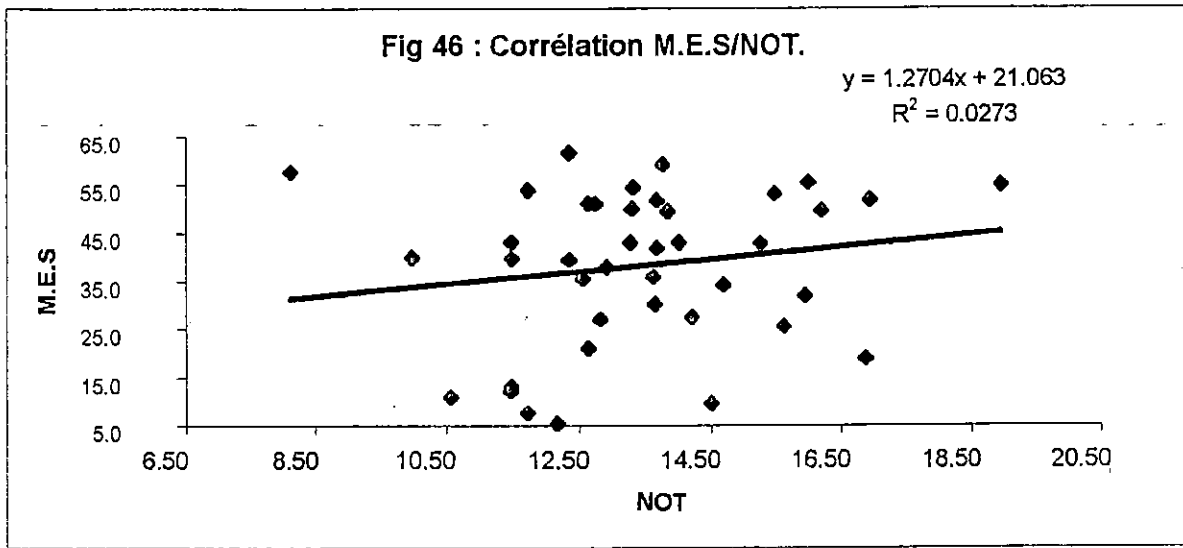
Le rapport M.E.S/COT est de -0,065. Celui-ci est trouvé à partir de la pente de la droite de régression :

$$M.E.S = -0,065 COT + 78,168. (r = 0,2203).$$

Le coefficient de corrélation ($r = 0,2203$), montre que la relation n'est pas significative entre la M.E.S et le COT comme on a vu précédemment.

En résumé de ces analyses de corrélations, il semblerait que le COT et le POT sont tous deux d'origine endogène alors que l'essentiel de la M.E.S et du NOT sont d'origine exogène.

Ces rapports sont comparables à ceux retrouvés par AROUR (2002) sur la côtes algérienne.



3^{ème} partie : ETUDE DE LA POLLUTION PAR LES METAUX LOURDS DANS LE SEDIMENT DE LA BAIE DE BOU-ISMAIL :

1) Résultats des mesures effectuées :

Cinq stations échantillonnées d'Ouest en Est de la baie.

1.1. Le cadmium : (Cd)

Les concentrations en cadmium dans la baie de Bou-Ismaïl varient entre 0,146 et 0,206 $\mu\text{g/g}$ (Figure 49). Les teneurs les plus élevées ont été trouvées près de l'emboûchure de l'oued Beni-Messous.

D'après Cossa et Lassus (1989) les acides fulviques et les matières humiques des rivières constituent d'excellents agents chélatants pour le cadmium. Ce métal peut aussi s'accumuler dans le sédiment sableux carbonaté (RAPINE et FERNEX, 1982). La carte sédimentologique de la baie de Bou-Ismaïl (Figure 7) montre que la zone d'embouchure est constituée de sables fins, ce qui pourrait expliquer les teneurs élevées de cadmium par rapport au reste de la baie.

1.2. Cuivre : (Cu)

Les teneurs en cuivre varient légèrement de 3,68 $\mu\text{g/g}$ à 15,37 $\mu\text{g/g}$ avec une moyenne de 4,56 $\mu\text{g/g}$ (Figure 50).

Une forte teneur en cuivre est notée à la station 11 située au large des ports de Khemisti et Bou-Haroun dont le fond est vaseux. Le cuivre peut s'accumuler dans des sédiments relativement riches en matière organique.

Dans les sédiments du faciès sableux, les fortes teneurs en cuivre ne sont dues qu'à l'exposition directe aux effluents d'origine industrielle (peinture antifouling), (SERICANO et al, 1982).

1.3. Manganèse : (Mn)

Ce métal évolue en concentration dans le sédiment de la baie de Bou-Ismaïl de 230,81 à 282 $\mu\text{g/g}$ (Figure 51).

Des teneurs assez élevées sont rencontrées dans les sédiments sableux de la baie de Bou-Ismaïl. Pourtant ce métal a généralement une grande affinité pour les argiles et la matière organique (FAGUET, 1982).

Fig 49 : La distribution de cadmium dans le sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl

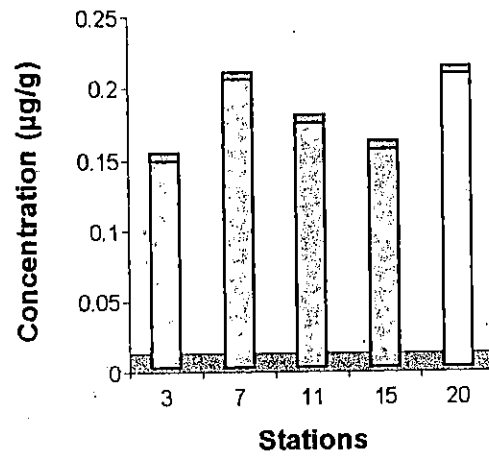
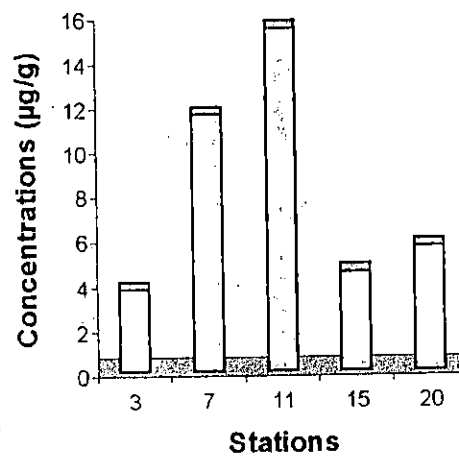


Fig 50 : La distribution du cuivre dans le sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl



Toutefois les teneurs les plus élevées se concentrent près des emboûchures de l'oued Mazafran et Beni-Messous qui sont influencés par les différents rejets et qui possèdent un fond sableux et du sable vaseux.

Ajouté à cela, une vigoureuse hydrodynamique due aux vents d'Est lors de notre campagne a pu favoriser la précipitation des oxydes de manganèse ainsi que le montre BURTON (1976).

1.4. Plomb : (Pb)

La concentration du plomb dans les sédiments superficiels de la baie varie de 5,19 à 14,43 $\mu\text{g/g}$ (Figure 52).

Ce métal a une distribution spatiale plus ou moins homogène avec des concentrations élevées au niveau des vases constituées essentiellement d'argile sur lesquelles le Pb peut s'adsorber.

La concentration la plus importante est cependant trouvée en station 11 qui présente un faciès sableux, alors qu'au niveau des emboûchures des oueds, pourtant recevant directement les apports continentaux, les mesures de Pb ne montrent pas de valeurs élevées.

1.5. Zinc : (Zn)

Il peut être supprimé par les précipitations dans le milieu marin sous forme d'hydroxydes en milieu alcalin. Il est très soluble à pH de 8,5 à 9.

Dans l'eau de mer Zn est sous forme d'hydroxyde, on trouve aussi les sels de zinc qui sont en grande partie insolubles, sauf ZnSO_4 qui est toxique pour la faune naturelle, (O.M.S, 1979). A pH proche de 8.1, la forme la plus dominante c'est ZnOH^+ , à pH proche de 7.8, la forme la plus dominante c'est l'ion Zn^{2+} , (RILEY, 1975).

Les concentrations en zinc varient de 64,08 $\mu\text{g/g}$ à 99,44 $\mu\text{g/g}$ (Figure 53), et présentent une moyenne de 80,19 $\mu\text{g/g}$.

Les argiles, les oxydes de fer et les acides humiques constituent le support le plus favorable au phénomène d'adsorption et de précipitation du zinc. (Faguet, 1982, Sholkvitz, 1976).

Comme pour le plomb, on trouve le maximum de Zn en station 11 sur un faciès sableux. Il est possible que cette zone reçoive des sédiments chargés en ces métaux par un transport hydrodynamique.

Fig 51 : La distribution du manganèse dans le sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl

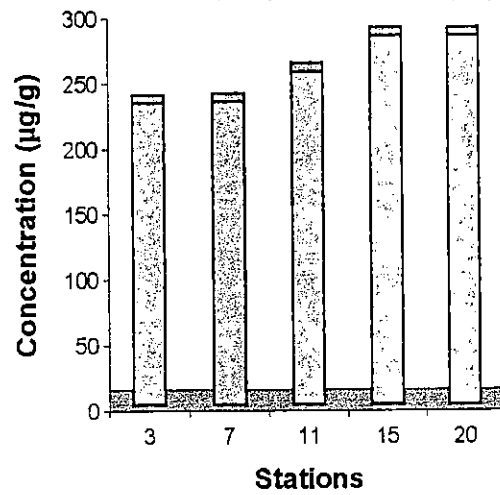
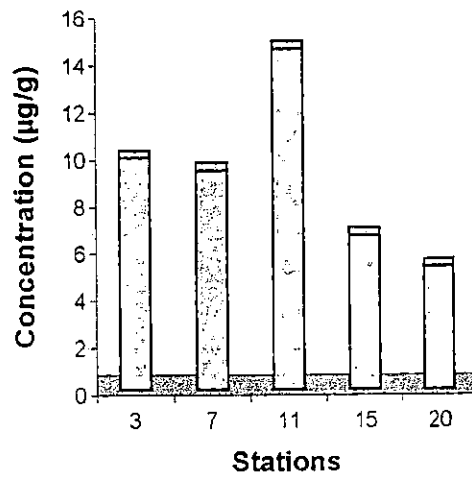


Fig 52 : La distribution du plomb dans le sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl



1.6. Nickel : (Ni)

On le trouve surtout dans les déchets provenant du traitement des métaux et les industries de placage.

La présence de ce métal est liée principalement aux activités humaines.

Généralement on le trouve en concentration de 0.1 à 0.5 $\mu\text{g/l}$ dans l'eau de mer, (RODIER, 1997).

Les teneurs en nickel dans les sédiments superficielles de la baie de Bou-Ismaïl varient de 25,88 à 50,92 $\mu\text{g/g}$ (Figure 54).

A l'exception de la station (3) près de l'oued Nador où on constate la valeur la plus faible, la répartition de ce métal est presque homogène. Il apparaît que la granulométrie des sédiments et la richesse en matière organique contrôlent la répartition de ce métal.

2) Comparaison des teneurs en métaux lourds obtenues dans la baie de Bou-Ismaïl avec des données antérieures :

a- Cadmium : Le cadmium similaire à l'année 1999, et en 1993 c'est le double dû à la période d'échantillonnage où il y avait plus d'apports par les oueds, (Figure 55).

b- Cuivre : Le cuivre a tendance à diminuer entre l'année 1993 et 2002 dans les sédiments. Il est possible que cet élément subisse en été plus de diagenèse qu'à autres saisons, il pourrait donc être remobilisé dans la colonne d'eau avec oxydation de la matière organique car c'est un métal essentiel capté par le phytoplancton pour ses processus métaboliques.

c- Zinc : Même chose que le cuivre, mais tendance moyenne similaire d'une année sur l'autre.

d- Plomb et Manganèse : Ils ont tous les deux des teneurs plus élevées en 1999. Cela est dû à la saison d'échantillonnage de cette année où en avaient plus d'apports par les oueds.

3) La corrélation entre métaux lourds des sédiments et la M.O du sédiment :

Le cycle biogéochimique des métaux lourds montre qu'il existe un rôle important de la M.E.S dans le transfert vertical et la sédimentation des métaux lourds, (LIBES, 1992).

En effet, la matière organique particulaire a tendance à être chargée légèrement négativement au pH de l'eau de mer et donc les cations métalliques s'adsorbent facilement sur la M.E.S si celle-ci est riche en M.O.

Hormis cette affinité électrique, certains métaux comme le fer, le cuivre, le zinc sont essentiels à la vie et sont incorporés aux tissus organique. Ils suivent alors un cycle biogéochimique proche de celui des sels nutritifs et on les appelle oligo-éléments.

Fig 53 : La distribution du zinc dans le sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl

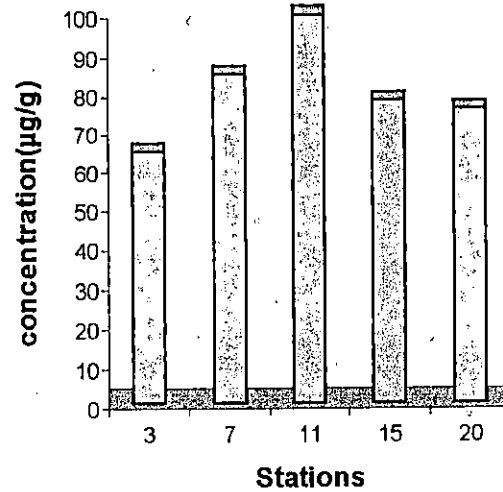
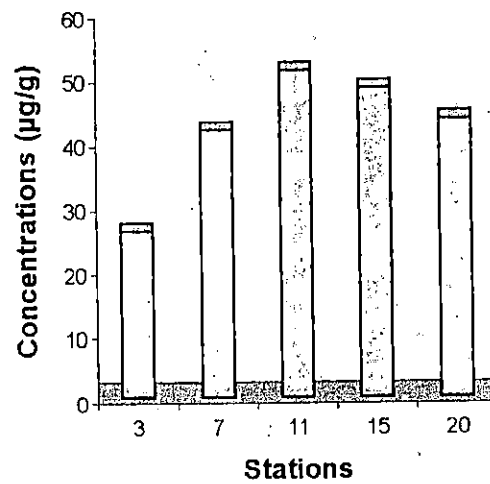


Fig 54 : La distribution du nickel dans le sédiment superficiel de la baie de Bou-Ismaïl



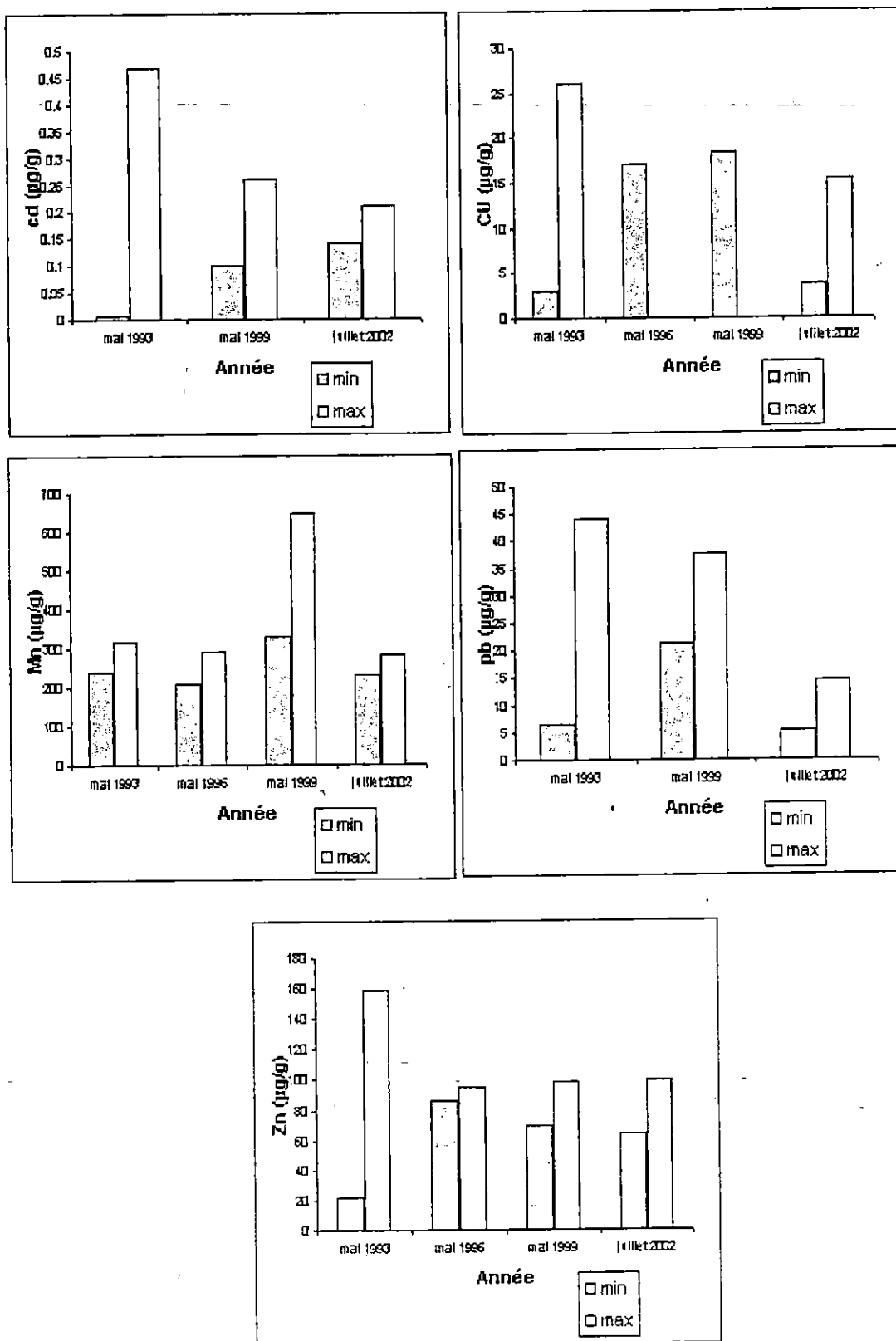


Figure 55 : Les histogrammes de comparaison des teneurs en métaux lourds avec celles obtenues antérieurement dans le sédiment de la baie de Bou-Ismaïl.

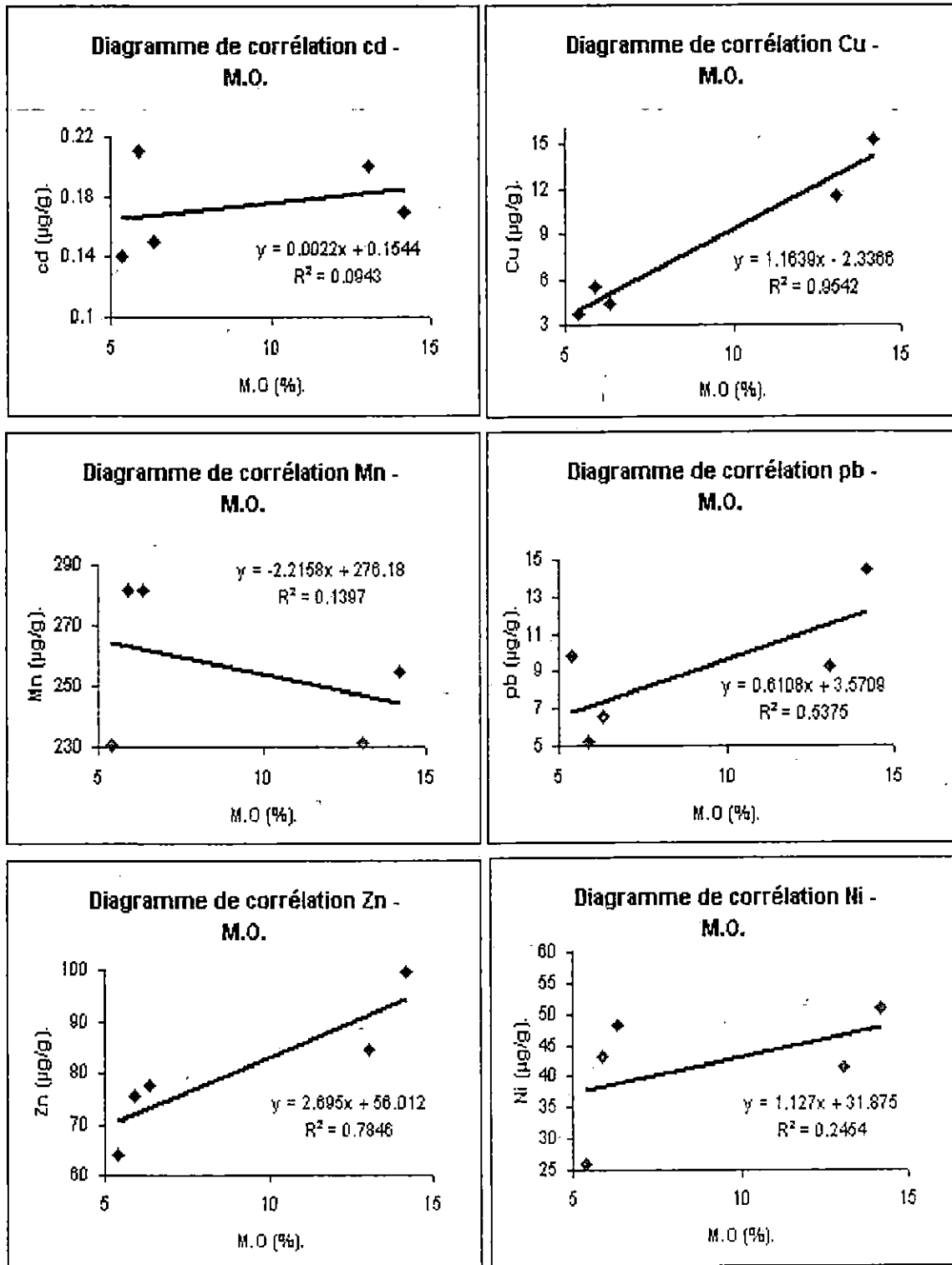


Figure 56 : Diagrammes de corrélations entre la matière organique et les métaux lourds dans le sédiment de la baie de Bou-Ismaïl.

L'étude des relations entre les teneurs en métal dans les sédiments de la baie de Bou-Ismaïl et la M.O de ce même sédiment montre que trois des métaux analysés présentent des corrélations significatives avec la M.O. Il s'agit du cuivre et du zinc, métaux essentiels à la vie, et du plomb, métal toxique (Figure 56).

Les autres métaux ne présentent pas de corrélation significative avec la M.O. Pour ce qui est du plomb, le mécanisme par lequel il peut être corrélé à la M.O doit être l'adsorption simple sur la M.E.S. Pour le zinc et le cuivre, en plus de l'adsorption, il doit y avoir incorporation dans la matrice biogénique par voie d'assimilation biologique.

4) Etat de la pollution des sédiments de la baie de Bou-Ismaïl :

Pour estimer l'état de pollution en métaux lourds d'un sédiment marin, on a recours à une comparaison avec des normes ou des concentrations dites normales.

Tableau n° 12 : les concentrations considérées comme normales (A.B.R.M. C. 1988).

Métaux	Cd	Cu	Mn	Pb	Zn	Ni
Concentrations normales $\mu\text{g/g}$	0,6	26	400	22	88	45

Tableau n°13 : Indice de contamination des éléments métalliques dans la baie Bou-Ismaïl :

Métaux	Variation de l'indice de contamination
Cd	0,25-0,35
Cu	0,14-0,59
Mn	0,58-0,71
Pb	0,23-0,66
Zn	0,72-1,13
Ni	0,58-1,13

Les teneurs trouvées dans les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl ne montrent pas d'état de contamination. En effet, les indices de contamination calculés (Tableau n°13) sont tous inférieurs à 3. Par conséquent, la baie de Bou-Ismaïl peut être considérée comme zone non polluée par les métaux lourds mesurés.

Chapitre 4 :
Conclusion

Conclusion générale :

Les données hydrologiques de la campagne de juillet 2002 reflètent bien la situation estivale :

La couche superficielle montre des valeurs de températures fortes de 17,3°C à 23,9°C et une stratification accusée sur l'isobathe de 100 m. Cette saison est caractérisée par la présence des eaux Méditerranéenne et celle de l'eau Atlantique modifiée.

Les teneurs en oxygène dissous sont en sursaturation dans toute la baie, alors que les sels nutritifs sont épuisés, excepté les concentrations de silicates. Cette situation estivale est donc classique d'une période suivant un bloom printanier. Les teneurs en M.E.S sont élevées dans la baie ainsi que les concentrations en diverses espèces organiques.

Nos résultats montrent qu'à cette saison, la baie est fertilisée de façon indirecte : il semblerait que ce soit de la matière organique exogène qui soit apportée à la baie.

Les teneurs en chlorophylle sont faibles comparativement à celles retrouvées par JACQUES et TREGUER, (1986) en mer de Ligurie, et par RAIMBAULT et al, (1993) en Méditerranée (Côte Algérienne). Ces faibles teneurs suggèrent que l'essentiel de la biomasse printanière a été consommée par le zooplancton.

Pour le sédiment nous avons comparé avec les normes proposées par l'Agence du Bassin Méditerranée (A.B.R.M.C) pour évaluer le degré de pollution, les indices de contaminations indiquent que la baie ne présente pas de pollution dans le sédiment.

Références

Bibliographiques

BIBLIOGRAPHIE :

A.B.R.M.C, 1988. Qualités de fleuve. Synthèse des connaissances. Agence' du Bassin de Rhône-Méditerranée-corse. Ministère de l'environnement, 251p.

AIT-KACI. A. D, PAUC. H et BENDALI. A, 1979. Influence des conditions hydrodynamiques sur la sédimentation de la baie de Bou-Ismaïl. Travaux de recherches du C. R. O. P, Rapp. N°7 : 20-28 p.

AMIARD. J. C, 1988. Réflexions sur l'estimation des flux d'éléments traces dans les organismes aquatiques. J. Rech. Océanogra. Vol. 13, Fasc. 1 et 2 (1988), 36-41.

AMINOT. A et CHAUSSEPIED. M, 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Edt. CNEXO, Brest, 395p.

AMINOT. A et GUILLAUD. J. F, 1991. Apport en matière organique et en sels nutritifs par les station d'épuration. La mer et les rejets urbains. Edt. Bendor, 13-15 juin 1990. IFREMER. Actes de colloque N° 11-26.

AOUIDAD. Z, 1997. Contribution à l'étude de la pollution par les métaux lourds dans les sédiments superficiels et les particules en suspension dans la baie de Bou-Ismaïl. Mémoire d'ingénieur d'état en aménagement du littoral et protection de l'environnement. Option, pollution marine. (I.S.M.A.L). 73p.

AROUR. F, 2002. La côte algérienne est-elle eutrophisée ? – Synthèse des données 1999 et 2000. Mémoire d'ingénieur d'état en océanographie. Option, chimie marine et pollution. (I.S.M.A.L). 103 p + Annexes.

BELHADJ. I, 2000. Etude de l'influence des facteurs climatiques sur les débarquements de trachurus (LINNEE, 1758) dans la baie de Bou-Ismaïl. Mémoire d'ingénieur d'état en science de la mer, option : Halieutique (I.S.M.A.L). P 91.

BENAMIROUCHE. S et BACHA. F, 1999. Contribution à l'étude de la pollution dans la baie de Bou-Ismaïl par les métaux lourds (Cu, Zn, Mn, Pb, Cd et Hg). Mémoire d'ingénieur en . Option, pollution marine. (I.S.M.A.L). 64 p.

BENZOHR. M, 1993. Les structures hydrodynamiques le long des côtes Algériennes. Edit. Chouikhi et al. In circulation des eaux et pollution des côtes Algériennes Méditerranéennes des pays du Maghreb. INOC, IZMIR, Turquie : 153-156.

BENZOHR. M et MILLOT. C, 1995a. Characteristics and circulation of the surface and intermediate water masses off Algeria. Deep-Sea Res. I, vol. 42, n° 10 : 1803-1830.

BETHOUX. J. P et COPIN-MONTEGUT. G, 1988. Phosphorus and Nitrogen in the Mediterranean sea : specificities and forecasting. Océanologica acta, n° spécial : 75-78.

BETHOUX. J. P, MORIN. P, CHAUMERY. C, CANNAN.O, GENTILI. B et RUIZ-PINO. D, 1998. Nutrients in the Mediterranean Sea, mass balance and statistical analysis of concentrations with respect to environmental change. Marine chemistry 63, p 115-169.

- BETHOUX. J. P, MORIN. P et RUIZ-PINO. D, 2001.** Temporal trends in nutrient ratios : chemical evidence of Mediterranean ecosystem changes driven by human activity. Deep-sea research II. 9p.
- BOUKRITAOU. S et BOUTOUILLI. T. S, 1989.** Baie de Bou-Ismaïl – Etudes des paramètres physiques et chimiques – Approches biosédimentaires. Mémoire d'ingénieur. (I.S.M.A.L). 92 p.
- BOULAHDID. M, 1987.** Analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer. Etude du mélange des masses d'eau et de l'oxydation de la matière organique dans l'Océan. Thèse " Doctorat en Géochimie Fondamentale". Université de Paris VII. 266p.
- BOYLE. E. A, CHPNICK. S. D et SPIVACK. A, 1985.** Trace metals enrichment in the Mediterranean sea : in RISO. R. D et LECORRE. P, 1995. Distribution verticale des métaux en mer d'Alboran : Enrichissement en métaux des eaux de surface (cas du cadmium). Rapp. Comm. Int. Mer Médit. 34, pp 69.
- BRAÏK. D. J, 1989.** Etude de la dynamique sédimentaire devant Bou-Ismaïl-Sédimentologie-Morphologie-Problèmes d'érosion du littoral-Aménagement. Thèse Magistrale en Géologie. U. S. T. H. B, 174 p.
- BRINIS. A et BRAHIMIA. A, 1997.** Caractéristiques hydrologiques et niveaux de fertilité des eaux de la baie de Bou-Ismaïl. Mémoire d'ingénieur d'état en biologie marine. Option : Chimie marine. I.S.M.A.L. Alger. 126p.
- BURTON. J. D, 1976.** Basic properties and processes in estuarine chemistry, in : estuarine chemistry. Ed. J. D BURTON and P. S. Liss, Londres.
- CAUWET. G, 1985.** Dynamique de la matière organique dans les milieux marin et poly halins : son rôle dans les processus géochimiques aux interfaces. Thèse de doctorat d'état en océanologie. P, 389.
- CHARLOU. J. L et JOUANNY. M, 1983.** Dosage du mercure et d'autres métaux (Pb, Zn, Cu, Cd, Ni, Cr, Mn) dans les sédiments marins par absorption atomique in CNEXO (1983), manuel des analyses chimiques en milieu marin. Edt, Aminot et Chaussepied M. Brest, p285-295.
- COPIN-MONTEGUT. G, 1996.** Chimie de l'eau de mer. Edt. Institut Océanographique, collection Synthèses, Paris. 319 p.
- COPIN MONTEGUT. G and AVRIL. B, 1993.** Vertical distribution and temporal variation of dissolved organic carbon in the North-Western Mediterranean Sea. Res. I, vol. 40, n° 10 : 1963-1972 p.
- COSSA. D, 1993.** Le plomb en milieu marin biogéochimie et écotoxicologie. IFREMER. 76p.
- COSSA. D et LASSUS. P, 1989.** Le cadmium en milieu marin biogéochimie et écotoxicologie. IFREMER. 111p.
- DAGORNE. A, 1973.** Sédimentologie et bionomie benthique en baie de Bou-Ismaïl. Pélagos. Bull. Inst. Océanogr. Alg, vol. 4, fasc-2 : 40-53.

DOMINIQUE. B, 1999. Fer et manganèse. Réactivités et recyclages. Programme Scientifique Sein-Aval. IFREMER, 39 p.

EDDALIA. N, 1990. Les sels nutritifs et la matière en suspension dans la baie d'Alger et le Golfe d'Arzew identification des masses d'eaux. Mémoire d'ingénieur d'état en halieutique. Option, Molysmologie et chimie marine.(I.S.M.A.L). 103p.

FAGUET. D, 1982. Influences des substances humiques sur les formes dissoutes et particulières de quelques métaux (Zn, Fe, Cu et Mn) dans les milieux marins et lagunaires. Thèse 3^{ème} cycle. Université de Perpignan, 129p.

GAUJOUS. D, paris, 1995. La pollution des milieux aquatiques. Ingénieur ISIM, edt. TEC. DOC, Paris. 217p.

GLINKA. N, 1981. Chimie générale. Tome I. Edt. Mir. Mosco. 383 p.

GULLAUD, JEAN, FRANÇOIS. D, 1991. Mer et rejets urbains. Edt. Bendor, 13-15 juin 1990. IFREMER. Actes des colloques N 11 : 27-34. 243p.

HADJAMMAR. S, 1993. Niveaux en hydrocarbures poly aromatiques des sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl (frange côtière). Mémoire de fin d'étude d'otention de D. E. U. A en sciences de la mer option Molysmologie. (I.S.M.A.L). 106 p.

HERBERT. et ALLEN, 1995. Metal contaminated aquatic sédiments. Edt. Ann Arbor Press. 292p.

ILLOUL. H, 1991. Contribution à l'étude qualitative, quantitative et structurale des populations phytoplanctoniques au large du cap caxine (Région Algéroise). Thèse de Magister en océanologie biologique. (I.S.M.A.L). 214 p.

IVANOFF. A, 1972. Propriétés physico-chimiques des eaux de mer. Librairie Vuibert. Tome I. 208 p.

JACQUES. G, 1978. Phytoplancton, biomasse, production numération et culture. Laboratoire Arago Université Pierre et Marie Curie 66650 Banyuls-sur-mer. 107p.

JACQUES. G et TREGUER. P, 1986. Ecosystèmes pélagiques marin. Collection d'écologie. 19^{ème}, edt. Masson, Paris. 243p.

KADARI MEZIANE. Y, 1994. Contribution à l'étude de l'impact de la pollution sur la distribution spatio-temporelle des peuplements phytobenthiques dans la baie de Bou-Ismaïl. Thèse Magister. (ENS), 226 p.

KORICHI. H. S, 1988. Contribution à l'étude biologique des deux espèces de saurels : Trachurus (LINNE, 1758) et Trachurus Mediterraneans (STEINDACHNER, 1868) et de la dynamique de Trachurus Trachurus en baie de Bou-Ismaïl (Alger). Thèse de Magister en sciences de la mer et de l'aménagement du littoral. Option : Halieutique. (I.S.M.A.L). P260.

LACAZE. J. C, 1996. L'eutrophisation des eaux marines et continentales. Edt. Ellipses. Marketing S. A, Paris (15^e). 191p.

LACAZE. J. C, 1986. la pollution des mers. Edt. Dominos Flammarion, Paris. 127p.

LACOMBE. H, 1971. Mouvements de la mer (courants, vagues, houles, marées). Edt : S. A. 8, place de l'océan, Paris 6. 93p.

LAZALI. Y, 2003. Quantité et qualité des sédiments à draguer dans le port de Sidi-Fredj et le port d'El-Djamila. Mémoire d'ingénieur d'état en aménagement du littoral. 88p.

LEWIN. J. C, 1961. The dissolution of silica from diatom walls. Géochim. Cosmochim. Acta. 21, 182p.

LORENZEN. C. J, 1966. A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll. Deep-Sea. Res, 13 : 223-227 p.

MARCHAND. M et KANTIN. R, 1995. Contaminants chimiques en milieux aquatiques. IFREMER. Centre de Brest et Cerdre-Brest. Edt : Institut Océanographique 195, rue saint-jacques-75005 Paris. Vol. 21-2. p 308-430.

MARTIN. J. M et BARTH. H, 1990. Water Pollution Research Report 20, 209-214 p.

MILLOT. C, TAUPIER-LETAGE. I, BENZOHR. M, 1989. The Algerian eddies. Elsevier science publishers B. V, 203-219 p.

MILLOT. C, 1999. Circulation in the western Mediterranean Sea. Journal of marine systems 20. P 423-442.

MAYZAUD. P et DALLOT. S, 1973. Respiration et excrétion azotée du zooplancton. I. Evolution des niveaux métaboliques de quelques espèces de la Méditerranée occidentale. Mar. Biol, vol. 19, n° 4 : 307-314 p.

NIVAL. P, MALARA. G et CHARRA. R, 1975. Evolution du plancton dans la baie de villefranche-sur-mer a la fin du printemps (mai et juin 1971). I-Hydrologie, sel nutritifs, chlorophylle. Vie milieu, vol. XXV, fase. 2, sér. B, pp, 231-260.

O. M. S (Organisation Mondiale de la Santé), 1979. Principes et directives applicables au déversement de déchets dans le milieu marin. 555p.

O. N. M (Office National de la Météorologie), 2002. Centre climatologique national BP 153 DAR EL BEIDA 16100 ALGER. ALGERIE.

O. N. S (Office National des Statistiques), 2002. Boulevard V Alger centre.

OULD HOCINE. B et HEDROUG. S, 1993. Contribution à l'étude de quelques métaux lourds présents dans les matières en suspension, l'herbier à posidonie et les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl. Mémoire d'ingénieur d'état en chimie industrielle. U.S.T.H.B, 115p.

PERES. J. M, BELLAN. G, RAMADE. F, ANCELEN. F. J, LELOURD. P. H, MICHEL. P, GAUTHRER. M, SOUDAN. F et BELLAN. S. D, 1976. La pollution des eaux marines. Edt : Gautier, 231p.

PNUE, 1986. Etudes biogéochimiques de certains polluants au large de la Méditerranée (MEDPOL VIII). MAP. Technical Report Series, n° 8. PNUE/AIEA/IOC, Athens, 33p.
POLLUTION DU RHÔNE, 1990. Projet mer Méditerranée, GREENPEACE. 62p.

PUJO-PAY. M, 1995. L'azote et le phosphore en milieu marin, importance des formes organiques en milieu océanique du large. Thèse de Doctorat, sp : Océanologie, université d'Aix-Marseille II, 164 p.

RAIMBAULT. P, COSTE. B, BOULAHIDJ. M, BOUDJELLAL. B, 1993. Origin of high phytoplankton concentration in deep chlorophyll maximum (DCM) in a frontal region of the south western Mediterranean sea (Algerian current). Vol. 40. N° 4. pp 791-804.

RAPIN. F et FERNEX. F, 1982. Teneurs en métaux lourds dans les sédiments des baies de Nice et de ville franche sur mer (Méditerranée, France) origine des contaminations. Rev. Int. Océanogr. Méd. Tomes L XIII-LXIV. Pp 85-95.

REDFIELD. A. C, KETCHUM. B. M et RICHARDS. F. A, 1963. The influence of organisms on the composition of sea water. The Sea, Hill. M. N. (Eds.), Vol. 2. New York, Interscience Press : 26-77 p.

RILEY. J. P. Ed, 1975. Chimical oceanography. 606-647 p.

RODIER. J, 1997. L'analyse de l'eau, (eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer). Edt :Dunod, Paris, 1996. 1383p.

RODIER. J, 1984. L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, 3^{ème} édition, DUNOD, 259 p.

SEILER. H. G, Sigel, A, Sigel. H, 1994. Hand book on metals in clinical and analytical chemistry. Edt. Marcel Dekker. Inc. University of Basel. New York. 751p.

SERICANO. J. L et PUCCI. A, 1982. Cu, cd and Zn in Blanca bay surface sediments. Marine pollution bultin, vol. 13, n° 12, 429-431 p.

SHRIVER. A, 2001. Chimie inorganique. Edt :Américaine par André pousse. 763p.

SHOLKOVITZ. E. R, 1976. The flocculation of dissolved organic and inorganic matter during the mixing of river water sea. Geochim. Acta, 40. P 831-845.

SHOLKOVITZ. E. R,1978. The flocculation of dissolved Fe, Mn, Al, Cu, Ni, Co and cd during estuaire mixing. Earth and planetary sciences letters, 41. pp 77-86.

SLAWYK. G, 1980. L'absorption de composés azotés par le phytoplancton marin : Rôle dans la production primaire. Relation avec la photosynthèse et les variables du milieu extra et intracellulaire. Docteur d'état en Sciences. Université d'Aix-Marseille II. 213 p + Annexes.

TREGOUBOFF, GREGOIRE, 1957. Manuel de planctonologie Méditerranéenne. 587p. Tome I.

Annexes

DOSAGE DES SELS NUTRITIFS :

1) DOSAGE DES NITRATES ET NITRITES :

Les réactifs :

solutions tampon :

Verser 50 g de NH_4Cl (chlorure d'ammonium) dans 800ml d'eau distillée, ajuster le pH à 8,2 avec la solution ammoniac (NH_4OH (25%)) \pm 1 ml, ajouter 5g d'hydroxyde de sodium (NaOH) agiter bien, compléter à 1000 ml par l'eau bidistillée, dissoudre 3ml de bridj 35 (30%). Elle peut être conservée 1 semaine à 4°C.

Réactif de coloration :

Dissoudre 150 ml d'acide orthophosphorique (H_3PO_4) 86%; dans 700 ml d'eau distillée, avec 10 g de sulfanilamide ($\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$) et 0,5 g de α -Naphthylethylène diamine dihydrochloride ($\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{Cl}_2\text{N}_2$), compléter à l'eau distillée jusqu'à 1000ml. Cette solution peut être conservée 2 semaines.

LES STANDARDS :

La solution mère :

Versez 0,6068 de nitrate de sodium (NaNO_3) dans 800ml d'eau bidistillée, compléter à 1000ml. La solution peut être conservée 4 semaines à 4°C.

La solution secondaire :

Verser 10ml de la solution mère et compléter à 100ml à l'eau bidistillée.

2) DOSAGE DES ORTOPHOSPHATES :

LES REACTIFS :

solution de molybdate d'ammonium :

Dissoudre 230mg d'antymonytartrate de potassium ($\text{K}(\text{sbo}) \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$), dans 800ml d'eau bidistillée, ajouter 69,94 ml d'acide sulfurique H_2SO_4 (97%) et 6g de molybdate d'ammonium ($(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), ajouter avec l'eau bidistillée à 1000ml.

solution d'acide ascorbique :

Dissoudre 11g d'acide ascorbique ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) dans 800ml d'eau bidistillée, ajouter 60ml d'acétone ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$) et compléter à l'eau bidistillée jusqu'à 1000ml.

Les standards :

Solution mère :

Dissoudre 0,4394 g de potassium d'hydrogène O-phosphate (KH_2PO_4) dans 800ml d'eau bidistillée, mélanger et compléter à 1000ml par l'eau bidistillée.

Solution secondaire :

Diluer 10ml de la solution mère jusqu'à 100ml par l'eau bidistillée.

3) DOSAGE DES SILICATES :

Les réactifs :

solution d'acide sulfurique :

Dissoudre 10ml d'acide sulfurique (H_2SO_4 (97%)) dans 990ml d'eau bidistillée. Cette solution peut être conservée 1 semaine à 4°C.

solution de molybdate d'ammonium :

dissoudre 20g de molybdate d'ammonium ($(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24}\text{H}_2\text{O}$) dans 800ml d'eau bidistillée, compléter à 1000ml. La solution peut être conservée 1 jour seulement.

solution d'acide oxalique :

Dissoudre 44g d'acide oxalique ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dans 800ml d'eau bidistillée, compléter à 1000ml.

La durée de la conservation de cette solution est d'un mois à 4°C.

solution d'acide ascorbique :

Dissoudre 40g d'acide ascorbique ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) dans 800ml d'eau bidistillée, ensuite compléter à 1000ml. La durée de conservation de cette solution est d'une semaine à 4°C.

Les standards :

Solution mère :

Dissoudre 1,0119g de meta silicate de sodium $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dans 1000ml d'eau bidistillée.

La durée de conservation de cette solution est d'un mois à 4°C.

solution secondaire :

Diluer 10ml de la solution mère jusqu'à 100ml par l'eau bidistillée.

L'AZOTE ORGANIQUE TOTAL (NOT) :

On utilise les mêmes réactifs et même solution mère que les nitrates.

LE PHOSPHORE ORGANIQUE TOTAL (POT) :

On utilise les mêmes réactifs et même solution mère que les phosphates.

Tableau n° 1 : Résultats des paramètres physico-chimiques, l'M.E.S et la M.O dans la baie de Bou-Ismaïl (juillet 2002).

Station	Prof (m)	T (°C)	Oxyg(mg/l)	Salinité(P,S,U)	M,E,S(mg/l)	M,O(%)	UAO(µmol/l)
1	1	22.2	8.4	36.7	43.08	7.32	-86.06
	30	20	8.5	36.9	43.23	5.91	-75.03
3	1	22.6	8.6	37.2	41.94	6.21	-102.92
	20	20.7	8.6	36.8	39.54	5.93	-86.82
4	1	23.9	8.3	37.1	53.15	7.02	-93.67
	25	19.6	8.5	36.9	27.58	5.6	-71.65
	50	18.8	8.7	36.9	49.55	7.09	-77.25
6	1	23.3	8.5	36.9	37.96	5.83	-101.23
	25	20	8.5	36.6	43.06	7.54	-74.23
	50	18.4	8.6	36.7	50.11	6.62	-66.91
7	1	23.4	8.3	37	54.47	5.74	-89.72
	25	20.6	8.3	36.9	51.1	6.31	-67.52
	50	19.2	8.4	37	54.93	7.12	-62.25
	75	18.5	8.8	36.7	51.17	7.48	-80.30
	100	18	8.1	36.8	34.32	5.79	-32.36
9	1	23.4	8.4	37.1	59.2	7.27	-96.22
	14	22.9	8.5	36.9	32	6.37	-98.20
10	1	23.3	8.2	37.2	40.04	6.63	-83.22
	30	20	7.9	36.3	61.68	6.16	-35.92
11	1	23.6	8.3	37.2	51.75	6.05	-91.71
	25	21.5	8.8	36.9	49.74	7.38	-106.05
	50	18.4	8.5	36.9	55.52	6.56	-61.22
	75	17.5	8.5	37	53.9	6.25	-53.39
	100	17.3	8.4	37	57.77	6.67	-45.30
12	1	19.5	8.9	36.7	5.61	3.59	-95.25
	20	19.1	9	36.5	12.18	4.14	-97.50
13	1	19.7	8.8	36.7	7.76	4.11	-90.71
	20	18.5	8.8	36.4	42.82	6.57	-79.45
	40	17.9	8.8	36.7	39.8	5.86	-74.92
15	1	19.9	9.2	36.7	27.2	5.16	-117.40
	20	18.4	8.9	36.9	13.3	3.56	-86.22
16	1	19.6	8.9	36.6	51.93	6.26	-95.83
	20	18.2	8.9	36.2	21.15	5.13	-82.46
	40	17.7	8.8	36.7	35.6	6.73	-73.10
17	1	18.5	8.9	36.7	35.92	5.92	-86.54
	20	18.2	8.8	37.1	10.98	4.16	-78.75
18	1	18.2	8.9	36.3	19.04	7.94	-82.74
	20	17.9	8.7	36.9	30.36	8.13	-69.24
20	1	18.6	9.2	36.6	25.66	6.6	-105.90
	20	18.1	8.8	36.8	9.65	3.3	-77.01

Tableau n° 2 : Résultats des sels nutritifs en $\mu\text{mol/l}$ dans la baie de Bou-Ismaïl (juillet 2002).

Station	NH_4^+	NO_2^- (nmol/l)	NO_3^-	PO_4^{3-}	SiOH_4	NT	PT	NOT	POT
1S	0,22	0,67	0,04	0,21	2,45	14,26	1,45	14,00	1,24
1F	0,24	0,6	0,02	0,18	2,18	11,74	1,32	11,48	1,14
3S	0,35	0,43	0,02	0,18	3,86	14,04	1,29	13,67	1,11
3F	0,37	0,39	0,02	0,15	2,28	12,74	1,09	12,35	0,94
4S	0,06	0,21	0,03	0,14	1,58	15,56	0,85	15,47	0,71
4(25m)	0,02	0,28	0,02	0,15	3,09	14,24	1,5	14,20	1,35
4F	0,01	1,33	0,05	0,15	3,27	13,89	1,72	13,83	1,57
6S	0,02	0,24	0,03	0,16	1,46	12,96	1,39	12,91	1,23
6I	0,45	0,2	0,04	0,15	2,28	13,76	1,24	13,27	1,09
6F	0,22	1,72	0,03	0,17	3,77	13,55	1,47	13,30	1,3
7S	0,14	0,19	0,01	0,13	1,76	13,46	1,63	13,31	1,5
7(25m)	0,09	0,4	0,09	0,12	6,53	12,92	1,47	12,73	1,35
7(50m)	0,17	0,26	0,01	0,15	3,42	19,13	1,43	18,95	1,28
7(75m)	0,14	1,1	0,04	0,13	1,97	12,81	1,1	12,63	0,97
7(100m)	0,12	4,72	0,13	0,1	2,05	14,93	1,47	14,68	1,37
9S	0,25	0,39	0,04	0,19	3,15	14,05	1,63	13,76	1,44
9F	0,23	0,63	0,04	0,14	3,27	16,21	1,36	15,94	1,22
10S	0,22	0,26	0,02	0,12	2,13	10,22	1,05	9,98	0,93
10F	0,22	0,38	0,02	0,11	2,56	12,59	1,15	12,35	1,04
11S	0,22	0,32	0,03	0,11	1,2	13,92	2,13	13,67	2,02
11(25m)	0,24	0,37	0,03	0,12	2,07	16,46	1,28	16,19	1,16
11(50m)	0,28	1,32	0,05	0,13	3,08	16,32	1,63	15,99	1,5
11(75m)	0,28	5,96	0,2	0,16	2,66	12,21	1,56	11,73	1,4
11(100m)	0,15	7,53	0,27	0,19	2,52	8,54	1,24	8,11	1,05
12S	0,18	0,35	0,04	0,11	2,88	12,39	1,74	12,17	1,63
12F	0,18	0,29	0,04	0,14	2,28	11,69	1,71	11,47	1,57
13S	0,18	0,25	0,01	0,18	2,57	11,91	1,93	11,71	1,75
13I	0,22	0,32	0,04	0,13	2,09	15,51	1,06	15,25	0,93
13F	0,19	2,45	0,07	0,12	2,56	11,75	1,73	11,49	1,61
15S	0,24	0,16	0,01	0,1	1,77	13,06	1,91	12,81	1,81
15F	0,22	0,45	0,02	0,11	1,71	11,72	2,24	11,48	2,13
16S	0,23	0,64	0,02	0,13	1,81	17,18	1,3	16,93	1,17
16I	0,17	0,24	0,02	0,09	1,08	12,82	1,31	12,63	1,22
16F	0,20	0,32	0,01	0,11	1,39	12,76	1,43	12,55	1,32
17S	0,25	0,3	0,02	0,13	2,64	13,88	1,4	13,60	1,27
17F	0,21	0,35	0,02	0,1	2,1	10,79	1,74	10,56	1,64
18S	0,21	0,49	0,05	0,11	3,89	17,13	1,92	16,87	1,81
18F	0,22	0,7	0,03	0,12	2,74	13,89	1,04	13,63	0,92
20S	0,19	0,41	0,02	0,1	1,04	15,82	1,47	15,61	1,37
20F	0,22	0,98	0,01	0,12	3,08	14,72	1,78	14,49	1,66

Tableau n° 3 : Résultats de la chlorophylle et le carbone organique dans la baie de Bou-Ismaïl (juillet 2002).

Stations	Prof (m)	Chla (ng/l)	Péophy (ng/l)	COT(mi/l)	COD(mi/l)
1	1	32.52	0.81	8.95	3.8
	30	65.04	68.29	-	-
3	1	65.04	34.96	6.52	3.53
	20	48.78	17.89	-	-
4	1	32.52	0.81	6.29	3.92
	25	16.26	17.07	-	-
	50	81.30	18.70	-	-
6	1	48.78	51.22	6.38	1.06
	25	32.52	0.81	-	-
	50	16.26	117.07	-	-
7	1	56.91	0.00	-	3.12
	25	32.52	0.81	-	-
	50	32.52	34.15	-	-
	75	32.52	0.81	-	-
	100	81.30	18.70	-	-
9	1	65.04	34.96	5.28	4.48
	14	48.78	17.89	-	-
10	1	48.78	0.00	7.64	7.25
	30	48.78	84.55	-	-
11	1	32.52	0.81	8.94	1.46
	25	32.52	34.15	-	-
	50	65.04	34.96	-	-
	75	97.56	69.11	-	-
	100	97.56	135.77	-	-
12	1	32.52	0.81	-	3.56
	20	81.30	18.70	-	-
13	1	48.78	17.89	9.69	1.05
	20	48.78	17.89	-	-
	40	97.56	102.44	-	-
15	1	65.04	34.96	7.25	1.05
	20	81.30	52.03	-	-
16	1	48.78	17.89	6.39	2.64
	20	97.56	2.44	-	-
	40	113.82	86.18	-	-
17	1	48.78	51.22	6.94	3.14
	20	97.56	135.77	-	-
18	1	48.78	51.22	6.63	3.58
	20	146.34	120.33	-	-
20	1	48.78	84.55	9.32	-
	20	130.08	136.59	-	-

Tableau n° 4 : Résultats des éléments métalliques en ($\mu\text{g/g}$) et la matière organique en (%) dans le sédiment de la baie de Bou-Ismaïl (juillet 2002).

Stations	Zn	Mn	Cu	Ni	cd	Pb	M.O
3	64.08	230.81	3.68	25.88	0.146	9.82	5.37
7	84.47	231.72	11.51	41.62	0.202	9.29	13.07
11	99.44	255.01	15.37	50.92	0.172	14.43	14.18
15	77.61	281.99	4.43	48.18	0.154	6.52	6.34
20	75.33	282	5.53	43.32	0.206	5.19	5.89