

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المعهد الوطني لعلوم البحر و تهيئة الساحل

Institut National des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Mémoire de fin d'études

*Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat en Sciences de la Mer*

Option : *Environnement marin*

*Thème :*

*Variations spatiales des paramètres physico-chimiques et des sels nutritifs dans le golfe d'Annaba et au large de la baie d'Alger en période estivale.*

*Présenté par :*

**Mr. INAL Ahmed**

**Mr. BARECHE Bilal**

Soutenu le 22 juillet 2008 devant le jury :

Mme. BACHARI- HOUMA F.	Maître de conférence (ISMAL)	Présidente
Mr. DRICHE M.	Chargé de cours (ISMAL)	Examineur
Mr. LOURGUIOUI H.	Maître assistant (ISMAL)	Examineur
Mr. BOULAHIDID M.	Professeur (ISMAL)	Promoteur

« Promotion 2007-2008 »

## DEDICACES

A mes très chers parents.

A mes chers sœurs et mon frère.

A ma très chère fiancée

A tous mes amis.

A tous ce qui m'ont soutenu.

Je dédie ce modeste travail.

INAL. A.

---

A mes très chers parents.

A mes très chers sœurs et frères.

A tous mes amis.

A tous ce qui m'ont soutenu.

Je dédie ce modeste travail.

BARECHE. B.

# Remerciements

*Nous tenons à remercier en premier lieu la présidente M<sup>me</sup> HOUMA F. d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance.*

*Mr. LOURGUIOUI H. et Mr. DRICHE M. de nous avoir honoré de leurs présences et d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Nous s'adressons nos sincères remerciements à notre promoteur Mr BOULAHDI M. pour avoir dirigé ce travail et lui avoir accordé un intérêt tout au long de son élaboration.*

*Aussi, nous ne pouvons nous empêcher de remercier, et sans exception, tous nos collègues de notre promotion de fin d'étude, pour les encouragements et l'intérêt qu'ils ont montrés pour nous voir mener à terme de ce mémoire.*

*A l'ensemble des personnes de l'I.S.M.A.L, qui nous ont permis de réaliser cette étude dans les meilleures conditions de travail et dans une bonne ambiance*

*Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail et dont nous pouvons citer les noms qu'ils trouvent nos sincères remerciements.*

# SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
-------------------	---

## CHAPITRE I : GENERALITES

---

<b>1. Le bassin algérien.....</b>	<b>2</b>
1.1. Situation géographique du bassin algérien.....	2
1.2. Hydrologie du Bassin Algérien .....	2
1.3. Les masses d'eaux dans le bassin Algérien .....	3
<b>2. Notion de traceur océanique .....</b>	<b>3</b>
2.1. Les traceurs océaniques conservatifs.....	3
2.2. Les traceurs océaniques non conservatifs .....	3
<b>3. Les paramètres physico-chimiques .....</b>	<b>4</b>
3.1. La température .....	4
3.2. La salinité.....	4
3.3. Le potentiel hydrogène (pH).....	4
3.4. L'oxygène dissous .....	4
3.5. La densité .....	5
<b>4. Définition, source et rôle des sels nutritifs .....</b>	<b>5</b>
<b>5. Différentes formes des sels nutritifs .....</b>	<b>5</b>
5.1. L'azote.....	5
5.1.1. L'ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ).....	6
5.1.2. Les nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) .....	6
5.1.3. Les nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	6
5.2. Les Phosphates.....	6
5.3. La silice dissoute .....	7
<b>6. Origines des sels nutritifs .....</b>	<b>7</b>
6.1. Sources externes .....	7
6.2. Sources internes .....	7
<b>7. Distribution des sels nutritifs .....</b>	<b>7</b>
<b>8. Sels nutritifs et le rapport de Redfield .....</b>	<b>8</b>
<b>9. Production primaire .....</b>	<b>8</b>
9.1. La chlorophylle <i>a</i> .....	8
9.2. Les phaeopigments.....	8

## CHAPITRE II : PRESENTATION DES ZONES D'ETUDE

---

<b>1.</b>	<b>Le golfe d'Annaba.....</b>	<b>10</b>
1.1.	Situation géographique .....	10
1.2.	Facteurs climatiques .....	11
1.2.1.	Précipitation et Température .....	11
1.2.2.	Le vent .....	11
1.3.	Facteurs hydrologiques .....	11
1.3.1.	Les houles.....	11
1.3.2.	Les courants .....	11
1.4.	La sédimentologie .....	12
1.5.	La bathymétrie.....	12
1.6.	Le réseau hydrographique .....	12
1.7.	Choix et localisation des stations .....	13
<b>2.</b>	<b>Les eaux au large de la baie d'Alger .....</b>	<b>14</b>
2.1.	Situation géographique.....	14
2.2.	Données générales sur le bassin Algérien.....	14
2.2.1.	Les résultats de la campagne MEDIPROD V.....	14
2.2.2.	Le courant Algérien .....	16
2.2.3.	Description de la situation rencontrée pendant MEDIPROD VI.....	16

## CHAPITRE III : Matériels et méthodes

---

<b>1.</b>	<b>La première zone d'étude : le golfe d'Annaba.....</b>	<b>17</b>
1.1.	Travaux effectués en mer.....	17
1.1.1.	Prélèvement de l'eau de mer .....	17
1.1.2.	Mesure des paramètres physico-chimiques .....	18
1.1.3.	Mesure des sels nutritifs .....	18
1.1.3.1.	Prétraitement des échantillons et conservation des moyens de prélèvement .....	19
1.1.3.2.	Principe général de la colorimétrie .....	19
1.1.3.3.	Loi de BEER LAMBERT .....	19
<b>2.</b>	<b>La deuxième zone d'étude : les eaux du large de la baie d'Alger.....</b>	<b>20</b>
2.1.	La campagne MEDIPROD VI : thème et travaux en mer.....	20
2.1.1.	Mesure de la température et de la salinité.....	20
2.1.2.	Analyse des sels nutritifs .....	21
2.1.3.	Dosage de la chlorophylle <i>a</i> et des phaeopigments.....	22

## CHAPITRE IV : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

---

<b>A.</b>	<b>INTERPRETATIONS DES DONNEES DU GOLFE D'ANNABA</b> .....	<b>24</b>
<b>1.</b>	<b>Analyse paramétrique</b> .....	<b>24</b>
<b>1.1.</b>	Variations des paramètres physicochimiques.....	<b>24</b>
<b>1.2.</b>	Variations des sels nutritifs.....	<b>25</b>
<b>1.3.</b>	L'azote total .....	<b>27</b>
<b>1.4.</b>	Le phosphore total .....	<b>27</b>
<b>2.</b>	<b>Distribution spatiale et dynamique des masses d'eaux dans le golfe d'Annaba</b>	<b>27</b>
<b>2.1.</b>	Distribution horizontale.....	<b>27</b>
<b>2.1.1.</b>	Distribution horizontale en surface .....	<b>27</b>
<b>2.1.1.1.</b>	Distribution des paramètres physicochimiques.....	<b>27</b>
<b>2.1.1.2.</b>	Variations des sels nutritifs.....	<b>30</b>
<b>2.1.1.3.</b>	L'azote total .....	<b>32</b>
<b>2.1.1.4.</b>	Le phosphore total .....	<b>33</b>
<b>2.1.2.</b>	Distribution horizontale au fond .....	<b>34</b>
<b>2.1.2.1.</b>	Distribution des paramètres physicochimiques.....	<b>34</b>
<b>2.1.2.2.</b>	Distribution des sels nutritifs.....	<b>36</b>
<b>2.2.</b>	Distribution verticale .....	<b>38</b>
<b>2.2.1.</b>	Sections Ouest-Est .....	<b>39</b>
<b>2.2.2.</b>	Sections côte- large .....	<b>45</b>
<b>3.</b>	<b>Analyse binaire</b> .....	<b>51</b>
<b>3.1.</b>	Diagramme de corrélation température-salinité (T-S) .....	<b>51</b>
<b>3.2.</b>	Diagramme de corrélation nitrate- phosphate ( $\text{NO}_3^-/\text{PO}_4^{-3}$ ).....	<b>52</b>
	Conclusion	
<b>B.</b>	<b>INTERPRETATIONS DES DONNEES DU LARGE DE LA BAIE D'ALGER</b>	<b>54</b>
<b>1.</b>	<b>Analyse paramétrique</b> .....	<b>54</b>
<b>1.1.</b>	Variations des paramètres physicochimiques.....	<b>54</b>
<b>1.2.</b>	Variation des sels nutritifs.....	<b>55</b>
<b>1.3.</b>	La chlorophylle <i>a</i> et les phaeopigments.....	<b>56</b>
<b>2.</b>	<b>Distribution spatiale et dynamique des masses d'eaux au large de la baie d'Alger</b> .....	<b>56</b>
<b>2.1.</b>	Distribution horizontale.....	<b>56</b>
<b>2.1.1.</b>	Distribution horizontale des paramètres physicochimiques.....	<b>57</b>
<b>2.1.2.</b>	Distribution horizontale des sels nutritifs.....	<b>59</b>
<b>2.1.3.</b>	Distribution horizontale de la chlorophylle <i>a</i> et les phaeopigments.....	<b>62</b>

<b>2.2.</b>	Distribution verticale.....	<b>64</b>
<b>2.2.1.</b>	Distribution verticale des paramètres physicochimiques.....	<b>64</b>
<b>2.2.2.</b>	Distribution verticale des sels nutritifs.....	<b>66</b>
<b>2.2.3.</b>	La distribution verticale de la chlorophylle <i>a</i> et des phaeopigments.....	<b>68</b>
<b>3.</b>	<b>Analyse binaire</b> .....	<b>69</b>
<b>3.1.</b>	Digramme de corrélation température – salinité.....	<b>69</b>
<b>3.2.</b>	Le diagramme de corrélation nitrates/phosphates.....	<b>70</b>
	Conclusion	

<b>Conclusion générale</b> .....	<b>72</b>
----------------------------------	-----------

## **Références bibliographiques**

## **Annexes**

## LISTES DES FIGURES

<b>Figure 1</b> : Cycle global des sels nutritifs : production et minéralisation de la matière organique .....	9
<b>Figure 2</b> : Image satellitaire représente la situation géographique du golfe d'Annaba.....	10
<b>Figure 3</b> : Carte de positionnement des stations de prélèvement dans le golfe d'Annaba.....	13
<b>Figure 4</b> : carte représentant la localisation de la zone d'étude dans le bassin Algérien .....	14
<b>Figure 5</b> : représentation schématique de l'hydrodynamisme Algérien et des processus associés .....	17
<b>Figure 6</b> : la bouteille de prélèvement à clapets «Von Dorm» .....	18
<b>Figure 7</b> : un salinomètre de type BECKMAN INS Model R.S-10.....	19
<b>Figure 8</b> : L'Auto Analyser San Plus (SKALAR®1996).....	20
<b>Figure 9</b> : carte de la distribution horizontale de la température en surface du golfe d'Annaba .....	28
<b>Figure 10</b> : carte de la distribution horizontale de la salinité en surface du golfe d'Annaba..	29
<b>Figure 11</b> : carte de distribution horizontale l'oxygène dissous (ml/l) en surface du golfe d'Annaba. ....	29
<b>Figure 12</b> : Carte de distribution horizontale des nitrites ( $\mu\text{mol/l}$ ) en surface du golfe d'Annaba .....	30
<b>Figure 13</b> : Carte de distribution horizontale des nitrates ( $\mu\text{mol/l}$ ) en surface du golfe d'Annaba. ....	31
<b>Figure 14</b> : Carte de distribution horizontale de l'ammonium ( $\mu\text{mol/l}$ ) en surface du golfe d'Annaba .....	31
<b>Figure 15</b> : Carte de distribution horizontale des phosphates ( $\mu\text{mol/l}$ ) en surface du golfe d'Annaba. ....	32
<b>Figure 16</b> : Carte de distribution horizontale de l'azote totale ( $\mu\text{mol/l}$ ) en surface du golfe d'Annaba. ....	33
<b>Figure 17</b> : Carte de distribution horizontale du phosphore totale ( $\mu\text{mol/l}$ ) en surface du golfe d'Annaba .....	34
<b>Figure 18</b> : Carte de la distribution horizontale de la température au fond du golfe d'Annaba. ....	34
<b>Figure 19</b> : carte de la distribution horizontale de la salinité au fond du golfe d'Annaba. ....	35
<b>Figure 20</b> : carte de distribution horizontale l'oxygène dissous (ml/l) au fond du golfe d'Annaba .....	36
<b>Figure 21</b> : Carte de la distribution horizontale de l'ammonium au fond du golfe d'Annaba.	37
<b>Figure 22</b> : Carte de la distribution horizontale des nitrites au fond du golfe d'Annaba.....	37
<b>Figure 23</b> : Carte de la distribution horizontale des nitrates au fond du golfe d'Annaba .....	37
<b>Figure 24</b> : Carte de la distribution horizontale des phosphates au fond du golfe d'Annaba...	38
<b>Figure 25</b> : Positionnement des différentes coupes (Ouest-Est) et (côte-large) dans le golfe d'Annaba .....	39
<b>Figure 26</b> : Distribution verticale de la température le long de la section Ouest-Est (large)..	40
<b>Figure 27</b> : Distribution verticale de la salinité le long de la section Ouest-Est (large).....	40

<b>Figure 28</b> : Distribution verticale de l'oxygène dissous le long de la section Ouest-Est (large).....	40
<b>Figure 29</b> : Distribution verticale de l'ammonium le long de la section Ouest-Est (large). ...	41
<b>Figure 30</b> : Distribution verticale des nitrites le long de la section Ouest-Est (large). ....	41
<b>Figure 31</b> : Distribution verticale des nitrates le long de la section Ouest-Est (large).....	41
<b>Figure 32</b> : Distribution verticale des phosphates le long de la section Ouest-Est (large).....	42
<b>Figure 33</b> : Distribution verticale de la température le long de la section Ouest-Est (côte). ..	43
<b>Figure 34</b> : Distribution verticale de la salinité le long de la section Ouest-Est (côte).....	43
<b>Figure 35</b> : Distribution verticale de l'oxygène dissous dans la section Ouest-Est (côte).....	43
<b>Figure 36</b> : Distribution verticale de l'ammonium le long de la section Ouest-Est (côte).....	44
<b>Figure 37</b> : Distribution verticale des nitrites le long de la section Ouest-Est (côte).....	44
<b>Figure 38</b> : Distribution verticale des nitrates le long de la section Ouest-Est (côte). ....	44
<b>Figure 39</b> : Distribution verticale des phosphates le long de la section Ouest-Est (côte). ....	45
<b>Figure 40</b> : Distribution verticale de la température le long de la section côte -large (A). ....	45
<b>Figure 41</b> : Distribution verticale de la salinité le long de la section côte-large (A). ....	46
<b>Figure 42</b> : Distribution verticale de l'oxygène dissous le long de la section côte-large (A)...	46
<b>Figure 43</b> : Distribution verticale de l'ammonium le long de la section côte-large (A). ....	46
<b>Figure 44</b> : Distribution verticale des nitrites le long de la section côte-large (A).....	47
<b>Figure 45</b> : Distribution verticale des nitrates le long d la section côte-large (A). ....	47
<b>Figure 46</b> : Distribution verticale des phosphates le long de la section côte-large (A).....	47
<b>Figure 47</b> : Distribution verticale de la température le long de la section côte-large (B). ....	48
<b>Figure 48</b> : Distribution verticale de la salinité le long de la, section côte-large (B).....	49
<b>Figure 49</b> : Distribution verticale de l'oxygène dissous le long de la section côte-large (B)...	49
<b>Figure 50</b> : Distribution verticale de l'ammonium le long de la section côte-large (B)....	49
<b>Figure 51</b> : Distribution verticale des nitrites le long de la section côte-large (B)... ..	50
<b>Figure 52</b> : Distribution verticale des phosphates le long de la section côte-large (B).....	50
<b>Figure 53</b> : Distribution verticale des nitrates le long de la section côte -large (B).....	50
<b>Figure 54</b> : Diagramme de corrélation température/salinité (T-S).....	51
<b>Figure 55</b> : Diagramme de corrélation nitrates- phosphates... ..	52
<b>Figure 35</b> : Carte de distribution horizontale de la température en surface et à 100 m de profondeur dans les eaux du large de la baie d'Alger.....	57
<b>Figure 57</b> : Carte de distribution horizontale de la salinité en surface et à 100 m dans les eaux du large de la baie d'Alger... ..	58
<b>Figure 58</b> : Carte de distribution horizontale de l'oxygène dissous en surface et à 100 m de profondeur dans les eaux du large de la baie d'Alger... ..	59
<b>Figure 59</b> : Carte de distribution horizontale des phosphates en surface et à 100 m de profondeur dans les eaux du large de la baie d'Alger... ..	60
<b>Figure 60</b> : Carte de distribution horizontale des nitrates en surface et à 100 m dans les eaux du large de la baie d'Alger... ..	60
<b>Figure 61</b> : Carte de distribution horizontale des nitrites en surface et à 100 m dans les eaux du large de la baie d'Alger... ..	61

<b>Figure 62</b> : Carte de distribution horizontale des silicates en surface et à 100 m dans les eaux du large de la baie d'Alger...	62
<b>Figure 63</b> : Carte de distribution horizontale de la chlorophylle <i>a</i> en surface et à 100 m dans les eaux du large de la baie d'Alger...	63
<b>Figure 64</b> : Carte de distribution horizontale des phaeopigments en surface et à 100 m dans les eaux du large de la baie d'Alger...	63
<b>Figure 65</b> : Distribution verticale de la température de 0 à 200 m dans le radiale (A).....	64
<b>Figure 66</b> : Distribution verticale de la salinité de 0 à 200 m dans le radiale (A). ....	64
<b>Figure 67</b> : Distribution verticale de la densité de 0 à 200 m dans le radiale (A).....	65
<b>Figure 68</b> : Distribution verticale de l'oxygène dissous de 0 à 200 m dans le radiale (A)... ..	65
<b>Figure 69</b> : Distribution verticale des nitrates de 0 à 200 m dans le radiale (A).....	67
<b>Figure 70</b> : Distribution verticale des phosphates de 0 à 200 m dans le radiale (A).....	67
<b>Figure 71</b> : Distribution verticale des silicates de 0 à 200 m dans le radiale (A).....	67
<b>Figure 72</b> : Distribution verticale des nitrites de 0 à 200 m dans le radiale (A)... ..	67
<b>Figure 73</b> : Distribution verticale de la chlorophylle <i>a</i> de 0 à 200 m dans le radiale (A).....	68
<b>Figure 74</b> : Distribution verticale des phæopigments de 0 à 200 m dans le radiale (A)... ..	68
<b>Figure 75</b> : Diagramme de corrélation température- salinité au large de la baie d'Alger.....	69
<b>Figure 76</b> : Diagramme de corrélation nitrates/phosphates au large de la baie d'Alger.....	70



# ***INTRODUCTION***

L'étude du milieu marin actuellement est l'une des préoccupations majeures de toute la communauté scientifique. L'objectif est la compréhension du fonctionnement de ce milieu afin d'exploiter rationnellement ses ressources et les préserver.

La connaissance des phénomènes physiques, chimiques, hydrologiques et biologiques qui se déroulent dans le milieu marin passe impérativement par la mise en évidence des variations à l'échelle spatio-temporelles des différents descripteurs marins.

Dans ce cadre, le présent mémoire s'intéresse à l'étude des variations spatiales horizontales et verticales des paramètres physicochimiques et des sels nutritifs en période estivale dans les eaux marines de deux zones différentes : le golfe d'Annaba et le large de la baie d'Alger. Dans ce contexte, on a exploité les données acquises lors d'une campagne océanographique pluridisciplinaire réalisée en juillet 2000 à bord du N/O M.S. Benyahia dans le golfe d'Annaba. Pour les eaux au large de la baie d'Alger, nous avons exploité des données extraites de la campagne océanographique MEDIPROD VI, réalisé à bord du N/O J. Charcot en juin 1990.

Le présent travail est organisé en quatre chapitres :

- dans le premier chapitre, des rappels sur l'hydrologie du bassin Algérien, l'importance des paramètres physicochimiques, le rôle et la distribution des différentes formes des sels nutritifs ainsi que la notion de production primaire et sa méthode d'estimation sont exposés.
- dans le deuxième chapitre, une description générale des deux zones d'études est faite : à savoir le golfe d'Annaba et le large de la baie d'Alger.
- dans le troisième chapitre, le matériel utilisé pour les prélèvements des échantillons d'eau de mer ainsi que les méthodologies appliqués sur terrain et au laboratoire pour la mesure des paramètres physicochimiques et l'analyse des sels nutritifs sont décrites.
- le quatrième chapitre est consacré au traitement des données acquises dans les deux sites, à leur analyse, discussion et un essai d'interprétation. Ce traitement et cette analyse sont basés sur l'utilisation du logiciel Surfer8.

Enfin, une conclusion générale clôture ce travail.

*CHAPITRE I:*

*GÉNÉRALITÉS*

Dans ce chapitre nous abordons brièvement les notions de l'hydrologie de bassin algérien, paramètres physico-chimiques, sels nutritifs et production pélagique à fin d'avoir une idée sur les interactions qui existent entre ces éléments, le rôle de chaque élément, ainsi que l'utilisation de chaque'un dans l'étude du milieu marin.

## 1. Le bassin algérien

### 1.1. Situation géographique du bassin algérien

Le bassin algérien est localisé au Sud du bassin occidental méditerranéen à une latitude de 35° à 40° Nord pour une longitude de 2° Ouest à 7° 45 Est. Il est situé à l'Est de la Mer d'Alboran, entre l'Algérie au Sud, les îles Baléares au Nord Ouest et la Sardaigne au Nord est (**Benzohra et Millot, 1995**).

### 1.2. Hydrologie du Bassin Algérien

Le bassin algérien constitue une zone clé pour la circulation générale dans la Méditerranée occidentale (**Puillat et al. 2002**), un réservoir où l'eau d'origine atlantique s'accumule avant de s'écouler vers le Nord et vers l'Est (**Millot, 1985**).

Le courant algérien correspondant au flux de l'eau atlantique modifiée (MAW), le long du talus algérien où ses caractéristiques sont particulières, est initialement un courant côtier (aux alentours de 0°) de quelques dizaines de km de large et quelques centaines de km d'épaisseur. Ce courant est instable car il génère deux types de phénomènes à méso échelle observés entre environ 0° et 8°E. La plupart du temps, il engendre des séries de tourbillons relativement peu importants et peu profonds qui n'ont pas de conséquences significatives sur la circulation des masses d'eau. Cependant, ce courant forme, occasionnellement, de larges méandres qui ont des conséquences dramatiques sur la circulation de ces masses d'eau (**Millot et Taupier-letage, 2004**).

A proximité du canal de Sardaigne, quelques tourbillons se détachent de cette pente et se propagent le long de celle de Sardaigne. Il est supposé que les tourbillons suivent, ensuite, un circuit dans le sens des aiguilles d'une montre dans la partie orientale du bassin. Seuls les tourbillons anticycloniques peuvent se développer et atteindre un diamètre au dessus de 200 km avec une extension en profondeur. Par une étude interdisciplinaire au large de l'Algérie (ELISA, 1997-1998) et une étude d'une série d'images satellitaires NOAA/AVHRR pendant 3 ans, on a montré que la durée de vie de ces tourbillons peut atteindre 3 ans (**Puillat et al, 2002**). Aux frontières de ces tourbillons, le long des côtes africaines, apparaissent des panaches d'eau froide indicateurs de résurgence. Ces remontées ne dépendent pas, en priorité, du vent ni ne sont attachées à la topographie de la côte ou du fond, mais étroitement liées aux formations tourbillonnaires (**Jacques et Tréguer, 1986**).

En ce qui concerne l'eau intermédiaire levantine (LIW), une partie de celle-ci est arrachée de la veine principale, déjà décrite plus haut, par les tourbillons algériens à méso échelle. Puisque il y a souvent un de ceux-ci qui interagit avec la veine, des fragments sont presque constamment entraînés à l'intérieur des tourbillons, éventuellement à travers le bassin algérien centre. Les fragments sont finalement libérés dans le bassin central, ce qui est peut être dû à la disparition

des tourbillons. Ils peuvent être identifiés pendant longtemps et/ou loin vers l'Est, ce qui signifie que le mélange à l'intérieur du tourbillon est faible (**Millot et Taupier-Letage, 2004**)

La figure h (annexe 6) synthétise en générale cette circulation.

### 1.3. Les masses d'eaux

Dans le bassin algérien, quatre masses d'eaux ont été mises en évidence par divers auteurs sur la base de diagrammes  $\theta$ -S (**Benzohra et Millot, 1995**) :

- l'eau atlantique modifiée (MAW), représentée par une couche superficielle de 150 m à 200 m d'épaisseur identifiée par une température de surface de 15-23°C et de 13.5-14°C en profondeur, accompagnant une salinité de 36.5 à 38 psu ;
- l'eau intermédiaire d'hiver (WIW), se situe sous la MAW (150-200 m), elle est caractérisée par un minimum relatif de température potentielle de 12.65°C à 13.20°C ;
- l'eau levantine intermédiaire (LIW) marquée par un maximum relatif de température potentielle de 13.2°C à 14°C à 300-400 m, et un maximum de salinité (38.5-38.7 psu.) à 400-500 m ;
- l'eau profonde (Western Mediterranean Deep Water ou WMDW) est identifiée à partir de 600-700 m avec une température de 12.75-12.90°C et une salinité de 38.42-38.47 psu.

## 2. Notion de traceurs océanique

On appelle traceur océanique, tout paramètre physique ou chimique capable de décrire l'évolution de la masse d'eau ou d'un phénomène océanique quelconque. On distingue deux types de traceurs.

### 2.1. Les traceurs océaniques conservatifs

Un traceur océanique conservatif est un paramètre dont la variation de ses valeurs ne dépend que des phénomènes physiques tels que le transport, le mélange des eaux et la diffusion. La température, la salinité et la densité appartiennent à ce type de traceur.

### 2.2. Les traceurs océaniques non conservatifs

Un traceur océanique non conservatif est un paramètre dont les variations de leurs concentrations dans l'eau de mer dépendent à la fois des phénomènes physiques, chimiques, biologiques et de la désintégration radioactive (pour les éléments radioactifs).

Dans cette catégories, on distingue les traceurs non conservatifs stables : oxygène dissout, pH, sels nutritifs...etc, et les traceurs non conservatifs radioactifs ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ , ...)

### 3. Les paramètres physico-chimiques

Ces paramètres sont les caractéristiques spécifiques des eaux. Ils varient en fonction de plusieurs facteurs tels que la latitude, la longitude, des saisons et de la profondeur.

#### 3.1. La température

La température est un paramètre important pour l'identification des masses d'eau et de leur circulation. Elle contribue à la définition de la densité (**Gaujous, 1995**) et la détermination du taux de saturation des gaz. En surface, la température suit les variations climatiques atmosphériques, tandis qu'en profondeur, elle diminue progressivement (**Aminot, 1983**).

#### 3.2. La salinité

Dans le pratique océanographique, la salinité a été déduite, jusqu'en 1961, de la chlorinité puis progressivement à partir de cette date, de nouvelles techniques furent développées permettant de déterminer la salinité à partir de mesures de conductivité, de température et de pression. Depuis 1978, l'échelle pratique de salinité définit la salinité en termes de rapport de conductivité. (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

#### 3.3. Le potentiel hydrogène (pH)

Les variations du pH sont dues à plusieurs facteurs. Une forte production de l'oxygène suite à l'activité photosynthétique implique une diminution de la teneur de l'eau en CO<sub>2</sub>, en conséquence le pH augmente (**Lefebvre et al, 1993**).

Sa modification est due aussi à des facteurs physiques (échanges air-mer, la température, la pression) et chimique, des rejets industriels ou des apports d'eau continentale à pH acide. Le pH moyen de l'eau de mer est de 8.2, essentiellement fixé par l'équilibre du système des carbonates : CO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> (**Aminot, 1983**).

#### 3.4. L'oxygène dissous

L'oxygène dissous est un gaz important pour la vie marine, c'est l'un des gaz dissous les plus importants que renferme l'eau de mer sur le plan quantitatif. C'est un paramètre important du milieu marin car il gouverne la majorité des processus biologiques et chimiques des écosystèmes aquatiques (**Aminot, 1983**).

Ces concentrations augmentent avec l'activité photosynthétique. En revanche, elles sont faibles en profondeur, car l'oxygène est utilisé pour oxyder la matière organique (**Aminot, 1983**).

### 3.5. La densité

La densité est le paramètre fondamental pour l'étude dynamique des océans. De faibles variations horizontales de densité (causées par exemple par des différences de rayonnement solaire) peuvent produire des courants importants.

$$\text{La densité} = \frac{\text{masse } 1 \text{ m}^3 \text{ d'eau de mer}}{\text{masse } 1 \text{ m}^3 \text{ d'eau distillée à } 4^\circ\text{C}}$$

Pour des raisons pratiques, la densité est appelée aussi la masse volumique (en kg/m<sup>3</sup>).

### 4. Définition, rôle et source des sels nutritifs

Il a été mis en évidence que les éléments qui risquent, le plus, de limiter la photosynthèse sont l'azote, le phosphore et le silicium. De ce fait, ils sont appelés éléments nutritifs biolimitants. La richesse des eaux marines en ces éléments est signe de leur fertilité. Les organismes photosynthétisent leurs substrats à partir des éléments présents dans le milieu marin, essentiellement, sous leur forme oxydée : CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> et aussi Si (OH)<sub>4</sub> pour les organismes à tests siliciques (**Copin-Montégut, 1996**). Ils sont issus des continents par transport fluvial et éolien, des sédiments par diffusion et du volcanisme sous-marin, mais l'origine principale est interne et correspond aux flux verticaux et à leur régénération à partir de la matière organique issue de la photosynthèse effectuée par les organismes autotrophes dans la couche euphotique (**Levitus et al, 1993**).

Leur rôle en milieu marin réside dans le fait qu'ils forment un substrat chimique primordial pour le phytoplancton. Donc la richesse d'une eau marine en sels nutritifs reflète sa fertilité. Ce sont en outre des traceurs chimiques non conservatifs (gouvernés par les facteurs physiques, chimiques et biologiques) constituant un outil capital pour la caractérisation et l'identification des masses d'eau et la compréhension de certains phénomènes océaniques : circulation des eaux, production primaire marine, cycles biogéochimiques de certains éléments chimiques et autres, notamment, en Méditerranée (**Bethoux et al, 1998**).

### 5. Différentes formes des sels nutritifs

#### 5.1. L'azote

L'azote est un élément essentiel des structures vivantes, il est prélevé dans l'atmosphère par certaines bactéries capables de le fixer directement. Il existe sous trois formes essentielles selon le degré d'oxydation : nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), ainsi que l'urée au acide aminés. Ce sont les formes d'azote utilisables par le phytoplancton (**Copin-Montégut, 1996**).

### 5.1.1. L'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)

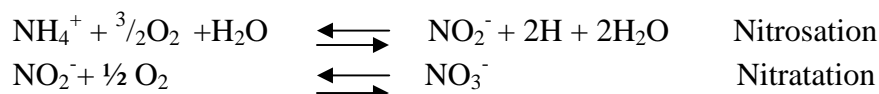
L'azote ammoniacal provient des excréments animaux et de la décomposition bactérienne des composés organiques azotés. Il est utilisé par le phytoplancton comme source et oxydé par les bactéries nitrifiantes. Dans les eaux marines, l'azote ammoniacal se trouve à des concentrations assez faibles. En effet, l'NH<sub>4</sub><sup>+</sup> est une forme transitoire qui s'oxyde en milieu oxygéné en nitrite puis en nitrates. Lorsque l'on se rapproche des émissaires urbains, les concentrations peuvent atteindre plusieurs centaines de micromoles par litre. L'ammonium devient dans ces conditions un bon traceur de pollution urbaine (Aminot, 1983).

### 5.1.2. Les nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)

Dans le cycle de l'azote, les nitrites, au même titre que l'ammonium, sont considérés comme étant des ions en état transitoire, ce qui explique les faibles concentrations rencontrées en milieu marin qui sont de l'ordre de zéro à quelques micromoles par litres d'azote nitreux. (Aminot, 1983).

Ces concentrations connaissent des variations saisonnières, en hiver, elles varient entre 0.5 et 1 µmol/l puis suite au développement du phytoplancton, chutent en été et peuvent atteindre des valeurs très faibles, moins de 0.01 µmol/l (Aminot, 1983).

Les nitrites proviennent de l'excrétion directe ou de l'oxydation des composés azotés excrétés, suivant les réactions ci-dessous :



### 5.1.3. Les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

Les ions nitrates sont les plus stables en solution aqueuse. Dans le cycle de l'azote ils sont considérés comme la forme principale. L'azote nitrique est issu de l'oxydation des nitrites par des bactéries (les nitrobacters). Dans les estuaires, lorsque la salinité décroît, l'effet des apports terrigènes devient important et la concentration peut atteindre, aux faibles salinités, plusieurs centaines de micromoles par litre. (Aminot, 1983).

## 5.2. Les phosphates

Le phosphore est un élément nutritif qui se trouve généralement en mer sous forme organique et inorganique, dissous et particulaire. Les orthophosphates sont la forme la plus abondante PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (10 %) et HPO<sub>4</sub><sup>-</sup> (90%) et (1%) de H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (Aminot, 1983). Les teneurs en orthophosphates sont normalement assez faibles en surface (0 à 1 µmol/l), elles augmentent avec la profondeur. Dans les estuaires, les concentrations des phosphates sont très élevés et peuvent atteindre plusieurs dizaines de µmoles par litre (Aminot, 1983).

### 5.3. La silice dissoute

Le silicium est un élément nutritif car il entre dans la composition des squelettes de certaines espèces phytoplanctoniques (diatomées, radiolaires...) (**Aminot, 1983**). A pH moyen de l'eau de mer ( $\approx 8.2$ ), le silicium dissous se trouve à 95 % sous les formes d'acide orthosilicium,  $\text{Si}(\text{OH})_4$ , 5 %  $\text{Si}(\text{OH})_3^-$  (**Aminot, 1983**).

## 6. Origines des sels nutritifs

Les sels nutritifs, dans l'eau de mer ont plusieurs origines qu'on peut regrouper en deux types de sources (externes et internes).

### 6.1. Sources externes

Regroupe tous les apports continentaux qui sont transférés à la mer, soit par la voie éolienne ou par la voie fluviale. L'apport prédominant des sources externes est celui fluviale (**Boulaiddid, 1987**). Par exemple pour le phosphore total, l'apport éolienne ( $1,35 \cdot 10^{12}$  gP/an **Suess 1979 in Boulaiddid, 1987**) ne représente que 8% de celui fluviale ( $18 \cdot 10^{12}$  gP/an **Lerman et al., 1975 in Boulaiddid, 1987**) alors que la source hydrothermale est négligeable (**Froelich et al., 1982 in Boulaiddid, 1987**).

### 6.2. Sources internes

La source interne est la plus importante, car elle seule représente environ 97% (**Boulaiddid, 1987**). Cette source est assurée par la régénération des sels nutritifs à partir du matériel biogénique présent dans l'eau de mer. Elle comprend donc toutes les réactions biogéochimiques et autres réactions (oxydation, dégradation de la matière organique) qui s'effectuent le long de la colonne d'eau de mer (**Jaques et Tréguer, 1986**). Dans une moindre mesure, les sels nutritifs peuvent être aussi rediffusés et régénérés à partir du sédiment marin (**Boulaiddid, 1987**).

## 7. Distribution des sels nutritifs

La distribution et le comportement des sels nutritifs dans le milieu marin dépendent des facteurs et processus physiques, chimiques et biologiques. La distribution des teneurs se trouve influencée par d'autres paramètres tels que la proximité des côtes, la profondeur, les blooms phytoplanctoniques. La distribution des sels nutritifs est caractérisée par une stratification au large avec des teneurs généralement faibles en surface, et qui augmentent progressivement avec la profondeur pour atteindre un maximum dans les eaux au niveau intermédiaires, généralement au niveau du minimum d'oxygène. Cette distribution est contrôlée par les phénomènes physiques et par l'activité biologique qui peut modifier la distribution (**Jacques et Tréguer, 1986**).

## 8. Sels nutritifs et le rapport de Redfield

L'assimilation phytoplanctonique et la régénération du carbone, de l'azote, du phosphore et de l'oxygène se font dans les proportions quasi constantes (**Copin-Montégut, 1996**). Une relation existe entre l'oxygène et les éléments biochimiques, cette relation est exprimée par les rapports biochimiques dit de Redfield (**Copin-Montégut, 1996**) :

$$\Delta C/\Delta N/\Delta P/\Delta O_2=1/16/106/-138$$

## 9. Production primaire

La production primaire est synonyme de production autotrophe qui signifie la synthèse de matière organique à partir de matière minérale par l'activité d'organismes photosynthétiques ou chimiosynthétiques, en transformant l'énergie lumineuse en énergie chimique potentielle stockée dans les composants organiques des tissus du vivant (**Frontier et Pichod-Viale, 1998**), elle est quantifiée en  $g(C).m^{-2}.j^{-1}$ .

### 9.1. La chlorophylle *a*

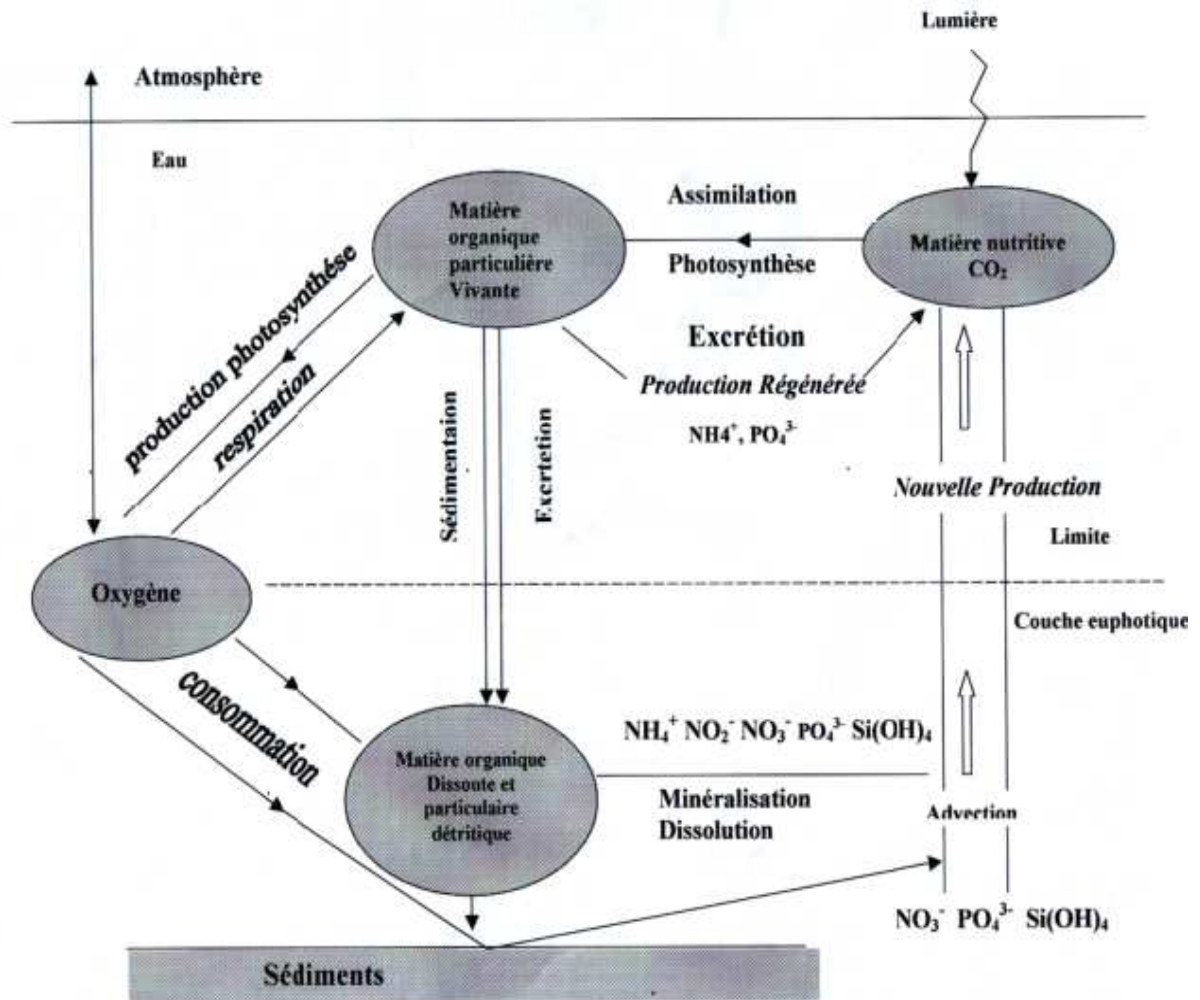
La chlorophylle *a* est le pigment photosynthétique principal du phytoplancton qui est considéré comme étant un bon indicateur de la santé de l'océan et de son niveau de productivité (**Aminot et Chaussepied, 1983**). La concentration de chlorophylle est utilisée pour l'estimation de la production primaire (**Eppley et Peterson, 1979**).

### 9.2. Les phaeopigments

Dans les milieux strictement marins, les phaeopigments résultent du broutage et de la dégradation de cellules et, par conséquent, ne sont pas physiologiquement actifs.

La mesure des phaeopigments est utilisée comme critère de l'état physiologique des populations phytoplanctoniques, plus la proportion de phaeopigments est élevée par rapport à la chlorophylle *a*, plus les cellules algales sont vieilles, dégradées ou broutées par le zooplancton.

Les phaeopigments sont rarement absentes dans les eaux côtières et toujours présentes en eaux estuariennes turbides. (**Aminot et Kérouel, 2004**).



**Fig.1 :** Cycle global des sels nutritifs : production et minéralisation de la matière organique. (Inspiré de Jacques et Tréguer, 1986).



*CHAPITRE II :*

***ZONES D'ÉTUDE***

Ce mémoire fait l'objet d'une étude physico-chimique des eaux marines de deux sites le premier est côtier formé par le golfe d'Annaba, l'autre est le large de la baie d'Alger.

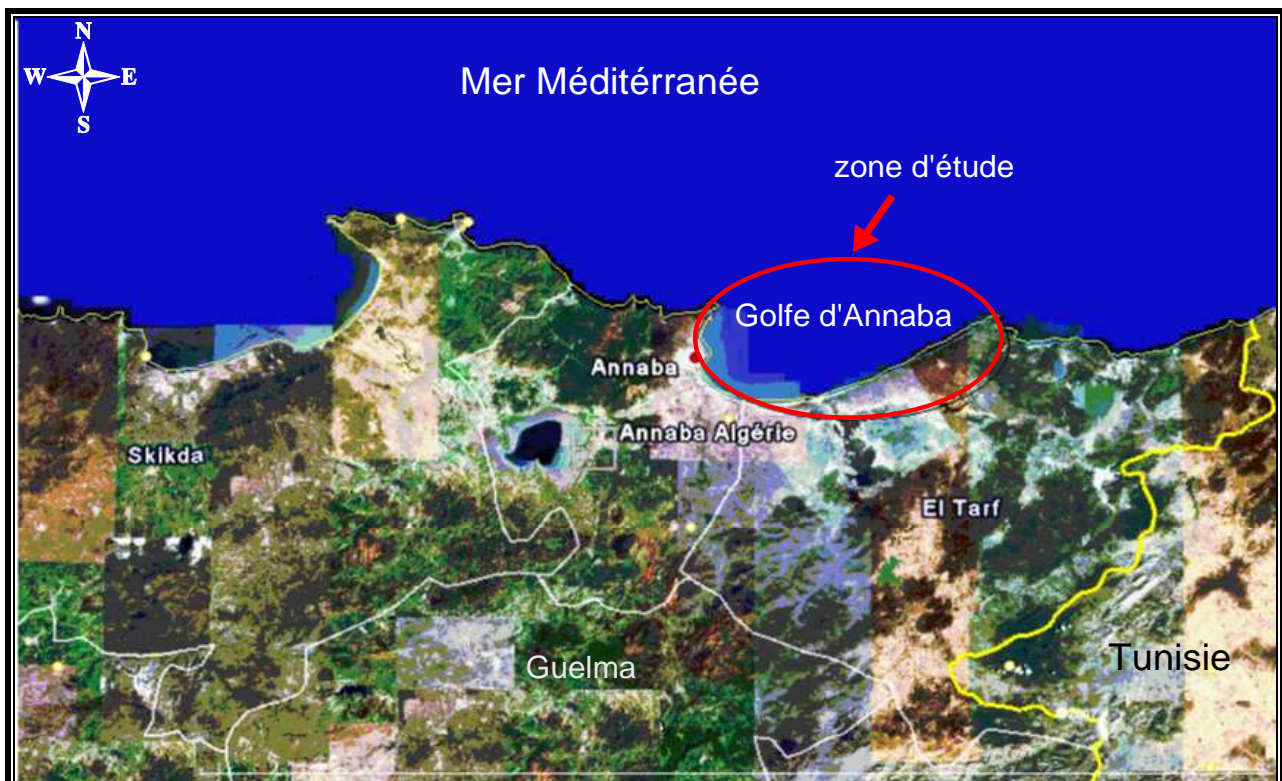
## 1. Le golfe d'Annaba

### 1.1. Situation géographique

Le golfe d'Annaba est situé dans le littoral Est Algérien. Il est limité à l'Est par le cap Rosa ( $8^{\circ} 15' E$  et  $36^{\circ} 58' N$ ) et à l'Ouest par le Cap de Garde ( $7^{\circ} 16' E$  et  $36^{\circ} 58' N$ ). La distance séparant les deux caps est d'environ 35 km avec une profondeur maximale de 65 m (LCHF, 1976, *in* Bedaira et Benchikh, 2003).

Le golfe d'Annaba se distingue essentiellement par l'existence de deux cônes de déjection (Oued Seybouse et Mafrag), évacuant des déchets domestiques, agricoles et industriels. Il est caractérisé par un plateau continental très étroit, avec un fond hétérogène surtout au voisinage des caps. C'est ainsi que la plate forme continentale avance jusqu'à environ 16 km seulement au large (Gruvel, 1926, *in* Attoum et Bouzid, 2001).

La baie d'Annaba est située dans la partie Ouest du golfe, elle est comprise entre le cap Garde et le port d'Annaba. Elle s'étend sur une bande côtière de 15 km (Labioud, 1986, *in* Bedaira et Benchikh, 2003).



Source : Google Earth.

Fig.2 : Image satellitaire représente la situation géographique du golfe d'Annaba.

## 1.2. Facteurs climatiques

### 1.2.1. Précipitation et Température

La région d'Annaba a un régime pluviométrique caractérisé par deux saisons :

- Une saison sèche, du mois de mai jusqu'au mois de septembre et représente 25 % de la pluviométrie moyenne annuelle
- Une saison humide allant d'octobre à avril représente 75 % de la pluviométrie moyenne annuelle (**Djabri, 1995**).

Notons que la pluviométrie moyenne à Annaba située entre 600 et 700 mm, (**Djabri, 1995**).

Les précipitations minimales ont une moyenne de 2,84 mm correspondant au mois de juillet. Pour la température, la valeur maximale est de 26°C au mois d'août alors que la valeur minimale est de 11,5°C au mois de février.

Le début de l'été est marqué par des hausses de températures saisonnières, mais ne dépasse pas 30°C (**ONM, 1993- 1998 in Ainouche et Zitouni, 2000**).

À partir de ces deux paramètres étudiés, il a été constaté que le climat de Annaba est méditerranéen à caractère sub- humide (**DGE, 1999 in Ainouche et Zitouni, 2000**).

Il est intéressant de citer qu'avant 20 jours de l'échantillonnage (05/07/2000), la précipitation est nulle et la température varie autour d'une moyenne de 25,4°C à Annaba (tableaux 1 et 2, Annexe 1), ce qui a des importantes répercussions sur les résultats d'analyses obtenus dans le golfe d'Annaba.

### 1.2.2. Le vent

Dans le golfe, les vents du secteur Nord-Ouest- Nord prédominent.

Annaba se trouve protégé de l'Ouest au Nord, Nord-ouest par le cap de Garde, en revanche, elle ne l'est pas pour les vents de secteur Nord-Est dont la ville et le port sont peu ou pas abrités (**LCHF, 1974 in Ainouche et Zitouni, 2000**).

## 1.3. Facteurs hydrologiques

### 1.3.1. Les houles

Dans le golfe d'Annaba, les houles sont frontales, leurs crêtes sont parallèles au rivage, créées sous l'action du vent, elles provoquent la mise en suspension du sédiment ainsi que les polluants (hydrocarbures, détergents...), favorisant leur dispersion (**METAP, 1993 in Ainouche et Zitouni R, 2000**).

### 1.3.2. Les courants

Des études faites par L.C.H.F (1974) montrent qu'en dehors du port d'Annaba les vitesses mesurées sont inférieures à 0.25 m/s et sont comprises entre 0.05 et 0.15 m/s en surface et en profondeur. Venant du cap du Garde, la circulation générale méditerranéenne se fait sentir, sa vitesse serait alors entre 0.5 et 1 m/s selon les saisons. Ce courant tend à se propager dans le golfe en se dirigeant vers le

Sud- Est avec une intensité moindre (environ 0.5 m/s), puis en direction de l'embouchure de l'oued Mafreg.

Ainsi, en l'absence de toutes autres causes génératrices de courants, des tourbillons lents se forment, les plus importants se trouvent au Sud et au Sud- Est du port.

Les courants principaux caractérisent le golfe d'Annaba (**Anonyme, 1976 in Attoum et Bouzid, 2001**).et qu'on les classe comme suit :

- courant Nord- Est et Est- Nord- Est : avec une fréquence de 30 % de l'année ;
- Courant Ouest- Nord- Ouest : avec une fréquence de 50 % de l'année ;
- Des houles de 1 à 2 mètres d'amplitude avec une fréquence de 20 % de l'année.

#### 1.4. La sédimentologie

Du point de vue sédimentologie, le golfe débute par du sable fin auquel succède une chaîne d'herbiers de posidonies, installée sur des substrats rocheux qui se continuent par des vases terrigènes molles mélangées à des sables ou à des débris de coquilles (**Maurin, 1961 in Attoum et Bouzid, 2001**).

Alors que des études du laboratoire central d'hydraulique Français, montrent que les vases pures ne se rencontrent que par des fonds à 20 m, et sont totalement absentes entre la côte et le fond de 13 m, les sables grossiers se trouvent sur les accumulations côtières des plages et s'étendent jusqu'aux fonds de 15 m, alors que les sables moyens bordent vers le large (**Anonyme, 1976 in Attoum et Bouzid, 2001**).

#### 1.5. La bathymétrie

La bathymétrie maximale entre les deux caps (de Garde et Rosa) limitant le golfe d'Annaba est estimée à 65 m. les isobathes -10 m et -20 m sont rapprochés de la côte ,les deux lignes s'éloignent l'une de l'autre et de la côte autour de Oued Seybouse jusqu'au port.

#### 1.6. Le réseau hydrographique

Au niveau du golfe d'Annaba deux débouchés d'oueds nous apparaissent importants du point de vue influence sur la sédimentation : Oued Seybouse et Oued Mafreg.

L'oued Seybouse prend naissance dans les monts de Guelma, son bassin versant est d'une superficie de 5488 km<sup>2</sup>.

L'oued Mafreg résulte de la fusion de deux grands oueds à 1.7 km de la mer :

- Oued El-Kebir avec un bassin versant de 665 km<sup>2</sup> ;
- Oued Bounamoussa avec un bassin versant de 575 km<sup>2</sup>.

Entre le port et Oued Seybouse, se déverse en mer un Oued secondaire appelé (Oued Boudjmaa) qui est un important canal de drainage pour la ville d'Annaba.

L'Oued Seybouse et Oued Mefragh ont fait l'objet d'observations poursuivies pendant plusieurs années (entre 1948 et 1973) dont nous possédons les relèves publiées dans l'annuaire hydrologique de

l'Algérie (région de Annaba). Ces deux Oueds se situent à l'Est de la baie d'Annaba à environ 2.5 et 18 km respectivement (Seybouse et Mafreg).

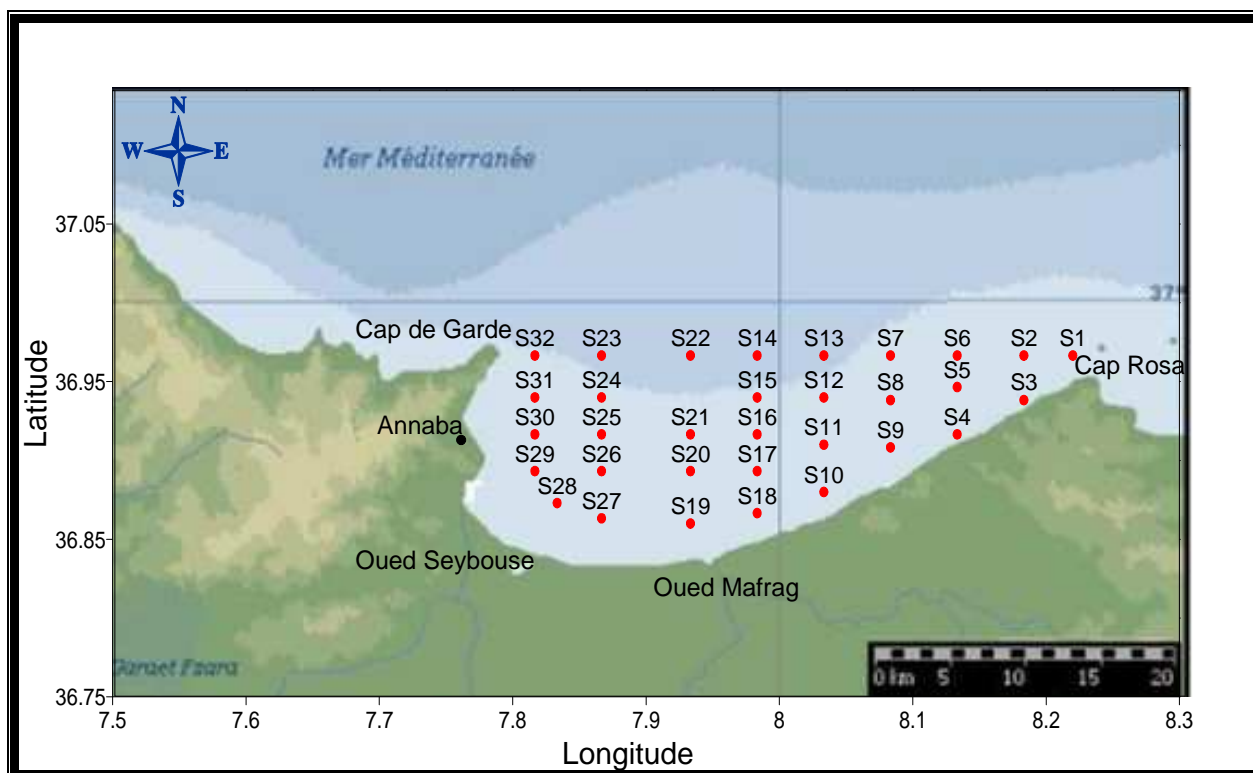
Le golfe d'Annaba recueille des déversements directs de plusieurs industries et les eaux usées de complexes urbains installés le long du littoral (annexe 3) de plus par le biais des deux Oueds Seybouse et Mafreg il reçoit les rejets industriels et urbains des wilayates environnantes.

Il faut savoir que les décharges de matières organiques provenant d'industries de type agro-alimentaire comme les laiteries, conserveries abattoirs, etc. sont mélangés aux effluents urbains des collectivités.

En fin les eaux de pluie ont une part non négligeable dans le transport des polluants et autres produits du milieu continental vers le milieu marin.

### 1.7. Choix et localisation des stations

A la suite d'une étude détaillée sur les éventuelles zones de concentration de l'activité humaine le long de la frange littorale ainsi que de ses vecteurs vers la mer (cours d'eaux, émissaires,...), 32 stations ont été sélectionnées et réparties de façon à pouvoir cerner tout le golfe et les processus qui s'y déroulent (fig.3), il faut noter l'absence des stations au proximité directe des deux oueds (Seybouse et Mafreg), le réseau d'échantillonnage a été établie en fonction de la profondeur, deux à trois niveaux de profondeur ont été échantillonnés pour chaque station.



Source : Google Map

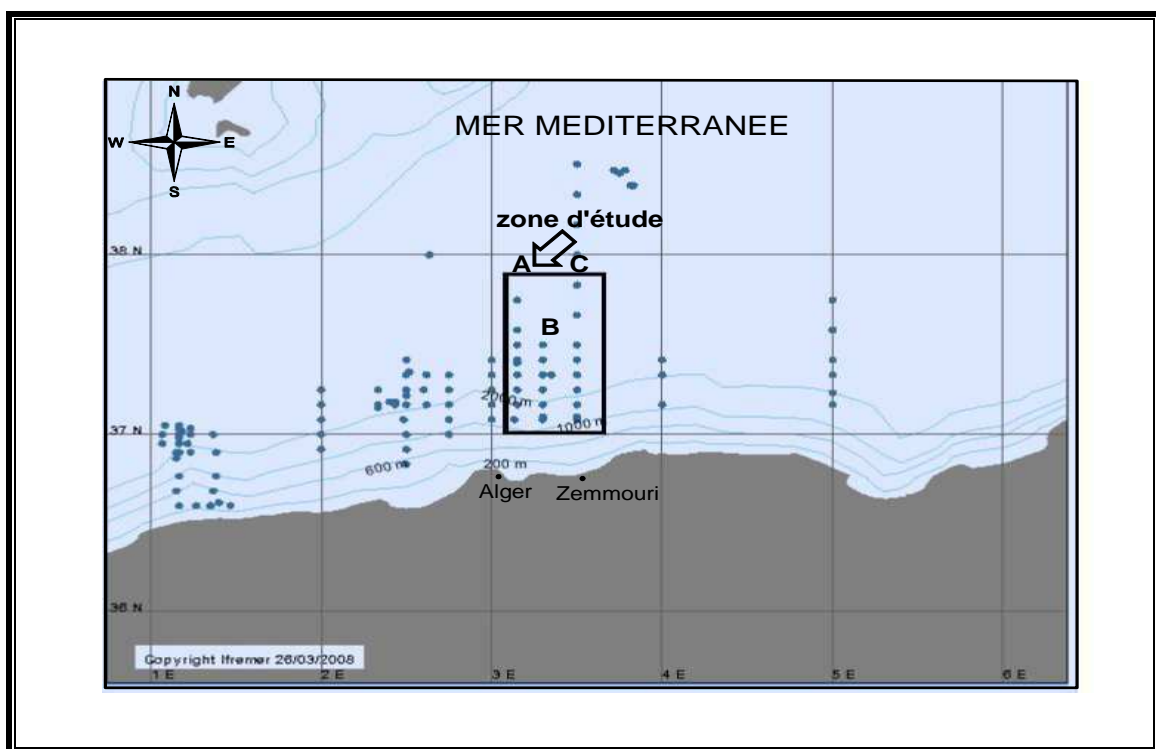
**Fig.3** : Carte de positionnement des stations de prélèvement dans le golfe d'Annaba.

## 2. Les eaux du large de la baie d'Alger

Dans cette zone d'étude, les stations qui s'y et leur données correspondantes sont extraites de la campagne MEDIPROD VI (juin 1990). L'objet est une étude supplémentaire pour pouvoir cerner les différents phénomènes et une comparaison avec les eaux côtières du golfe d'Annaba.

### 2.1. Situation géographique

Elle est située au large de la baie d'Alger pour les deux radiales A (9 stations) et B (7 stations) et au large de la baie de Zemmouri pour la radiale C (9 stations). Elle s'étend de 37°01' N à 37°83' N et de 3°15' E et 3°5' E (fig.4). Il est à noter que les radiales renferment des stations ayant des mêmes coordonnées mais leur étude est décalé dans le temps. Les métas donnés des stations sélectionnées pour cette étude sont consignés dans l'annexe 4.



Source : [www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)

**Fig.4** : carte représentant la localisation de la zone d'étude dans le bassin Algérien.

## 2.2. Données générales sur le bassin Algérien

### 2.2.1. Les résultats de la campagne MEDIPROD V (Raimbault et al. 1990 in Semmar, 1992)

Cette campagne a lieu du 27 Mai au 27 Juin 1986.

La dynamique des eaux (**Taupier-letage et Millot, 1988**) : Les résultats de MEDIPROD V ont mis en évidence la présence de phénomènes tourbillonnaires à proximité et au large des côtes Algériennes, ainsi que les upwellings qui leurs sont associés. Ces observations sont résumées ci dessous :

- à 1°50'E : Tourbillon anticyclonique
- à 3°00'E : Upwelling particulièrement intense
- à 4°00'E : Jeune tourbillon anticyclonique J1 ( $\Phi \approx 60$  Km) avec son upwelling associé, mouvement anticyclonique entraînant les eaux de remontée à recouper le radiale de résurgence ;
- à 4°40'E : Grand tourbillon anticyclonique V1 ( $\Phi \approx 80-100$  Km) ayant un rôle déterminant.

Petite tourbillon cyclonique au cadran Sud-Ouest de V1 et upwelling près de la côte.

La distribution générale des sels nutritifs: la distribution des sels nutritifs varie étroitement d'une zone à une autre. A ce propos on distingue :

- les zones d'upwelling, caractérisées par un enrichissement en sels nutritifs qui néanmoins reste insuffisant pour maintenir un développement phytoplanctonique important ;
- les zones subsuperficielles, déficitaires en sels nutritifs souvent localisées entre 80 et 100 m de profondeur. Les eaux relativement peu fertile de ces zones, auraient le caractère d'une superficielle préalablement appauvrie en sels nutritifs par les producteurs primaires, et qui aurait subit une convergence rapide ;
- la couche de maximum de phosphates et de nitrate, située entre 300 et 500 m de profondeur le long des cotes Algériennes entre 0 et 4°40'E. Elle s'atténue vers le large et disparaît au-delà de 38°N. Sa grande fertilité provient d'intenses processus de dégradation et de reminéralisation de la matière organique produite continuellement dans la couche euphotique lors de la production primaire. Cette couche de maximum de sels nutritifs compte parmi les problèmes majeurs qu'a soulevé MEDIPROD V.

a) Le rapport N/P: Ce rapport est généralement voisin de 21 à 22. Dans la zone côtière, il est soumis à des variations importantes sur le long de la colonne d'eau : couche de surface (16) ; interface eau Méditerranéenne- eau Atlantique (maximum 30) ; eau profonde Méditerranéenne (20 à 22). Le déficit en phosphore exprimé par le maximum 30 serait du à une minéralisation plus rapide de l'azote en bas de la couche euphotique. Le phosphore est cependant compensé par régénération en profondeur (**Boulaïdid, 1987**).

b) Distribution de chlorophylle *a* : dans les 30 premiers mètres, on observe généralement de faible concentrations en chlorophylle ( $<0,20 \mu\text{g/l}$ ) sur toute la zone étudiée à l'exception des zones d'upwellings ( $>0,5 \mu\text{g/l}$ ). Près de la côte, hors des zones d'upwellings, on observe un maximum subsuperficiel permanent entre 0 et 50 m de profondeur (1 à 4  $\mu\text{g/l}$ ). Un maximum de 8  $\mu\text{g/l}$  a été localisé à 4°40'E et semble être lié à un tourbillon cyclonique.

Au large, les concentrations de la chlorophylle sont à l'ordre de 1  $\mu\text{g/l}$  avec un maximum situé entre 80 et 100 m de profondeur.

L'étude d'un vieux tourbillon anticyclonique au large, a affirmé la présence d'une zone typiquement oligotrophe sur plus de 80 Km de diamètre, caractérisé par une couche superficielle (0 à 100 m) dépourvue de nitrate, de phosphate et pauvre en chlorophylle ( $<0,1 \mu\text{g/l}$ ).

Au voisinage de cette zone, la biomasse chlorophyllienne révèle cependant la présence de certaines zones étroites très riches en chlorophylle.

### 2.2.2. Le courant Algérien

L'eau Atlantique entre en Méditerranée par le détroit de Gibraltar sous forme d'un jet superficiel dirigé vers la mer d'Alboran. Ce jet sera plaqué contre les côtes Algériennes et recevra le non de courant Algérien. Epais de 150 à 200 m, ce courant est à caractère instable et coule parallèlement à la côte à partir de 0°. Il devient très turbulent vers 1 à 2°00'E où on voit apparaître des tourbillons cyclonique et anticyclonique avec des upwellings qui apparaissent à leurs frontières. Ayant un diamètre initial d'environ 50 km, les jeunes tourbillons anticycloniques se déplacent le long de la côte Algérienne à une vitesse de quelques km/j (**Taupier– letage et Millot, 1988**). Ils acquerront des diamètres de plus en plus large au fur et à mesure de leur progression vers l'Est. Ils finiront par quitter la côte en direction du large où leur diamètre ne cesse de s'agrandir jusqu'à leur disparition. Pendant leurs séjours, ces tourbillons possèdent un rôle déterminant dans le bassin Algérien.

Ils régissent la circulation de l'eau superficielle d'origine Atlantique à travers tout le bassin, faisant de celui-ci un lieu d'échanges intenses entre les eaux de caractéristiques différentes.

Ils sont aussi générateurs d'upwellings qui apportent les sels nutritifs à partir des couches profondes vers les eaux de surface et favorisent ainsi le développement du phytoplancton. Lorsque les sels nutritifs auront atteint la surface, leurs répartitions horizontales seront conditionnées par ces tourbillons. Enfin, ces dernières sont aussi responsable de l'apparition de phénomène secondaire tel que l'échange superficiel, par advection, entre le bassin Algérien et le bassin Liguro- provençale, ainsi que l'apparition de langues d'eau froide et de petits tourbillons cycloniques dont la taille demeure inchangée.

Ainsi, le bassin Algérien est une véritable zone tampon caractérisée par une variabilité spatio-temporelle très importante.

### 2.2.3. Description de la situation rencontrée pendant la campagne MEDIPROD VI

D'un point de vue dynamique, le mois de juin 1990 apparaît caractérisé par l'absence totale d'instabilité au sein du courant algérien. Les cartes thermiques reçues à bord en temps quasi-réel montrent une homothermie de la couche de surface confirmé par les mesures in situ. Les prospections côte- large réalisées entre 1 et 5° Est, avec un pas d'échantillonnage réduit, non pas révélé de structures tourbillonnaires. Seule une trace d'upwelling à été mise en évidence sur 1°10 E au niveau d'un gradient thermique repéré début juin sur les cartes transmises par Lannion.

Durant toute la période de la campagne Médiproduct VI, le courant d'origine atlantique semble former une bande continue le long des côtes algériennes ,non perturbée par des structures tourbillonnaires (**Raimbault et Marie- Claude,1991**).

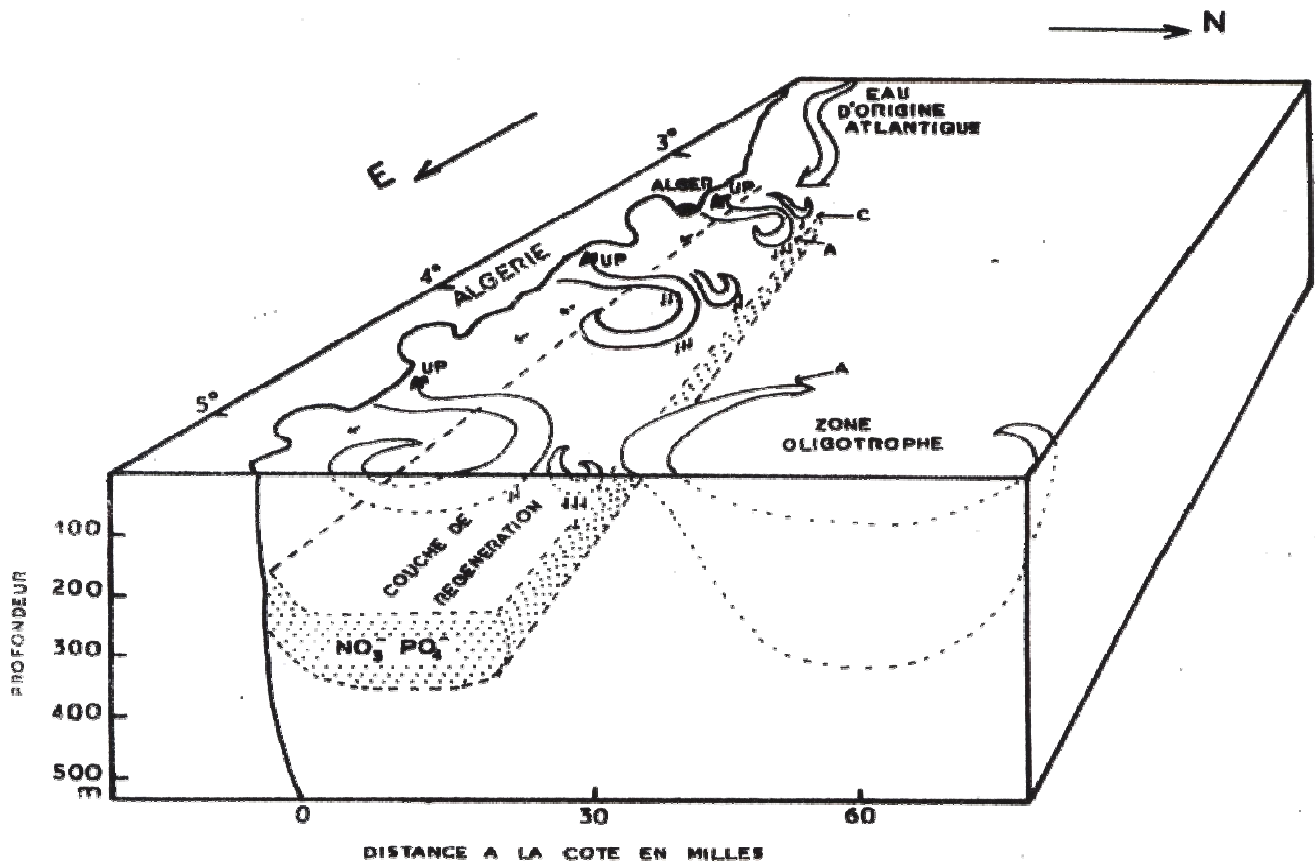


Fig. 5 : Représentation schématique de l'hydrodynamisme Algérien et des processus associés (Raimbault, 1988).

- A : Tourbillon anticyclonique.
- C : Tourbillon cyclonique.
- Up : Upwelling
- : Dérive Est du courant Algérien.
- ↓↓ : Chute de matière organique.
- ⊞ : Zone de maximum de nitrate et de phosphate.

*CHAPITRE III :*

***MATÉRIELS ET  
MÉTHODES***

## 1. La première zone d'étude : le golfe d'Annaba

### 1.1. Travaux effectués en mer

Les travaux en mer ont été réalisés à bord du navire océanographique M.S. Benyahia d'une mission pluridisciplinaire le 26 juin au 9 juillet 2000, par l'équipe de recherche hydrobiogéochimie pollution marine.

Au cours de cette campagne océanographie, les paramètres physico-chimiques (température, pH, oxygène) ont été mesurés au bord du navire, alors que les échantillons d'eau de mer destinés à la mesure des sels nutritifs et de la salinité ont été conservés pour l'analyse au laboratoire.

#### 1.1.1. Prélèvement de l'eau de mer

Au niveau de chaque station et à deux ou trois niveaux de profondeur, des échantillons d'eau de mer sont récoltés à l'aide des bouteilles de prélèvement de type "Van Dorm" (2,8 l) (fig.6) et qui serviront à l'analyse des paramètres (température, salinité, oxygène dissous, pH et sels nutritifs).

Des précautions particulières de propreté sont prises lors de la manipulation afin d'éviter toute contamination. Les bouteilles à clapets sont ouvertes juste avant leur mise 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. Le positionnement exact de chaque station est assuré par un système G.P.S (global positioning systems).

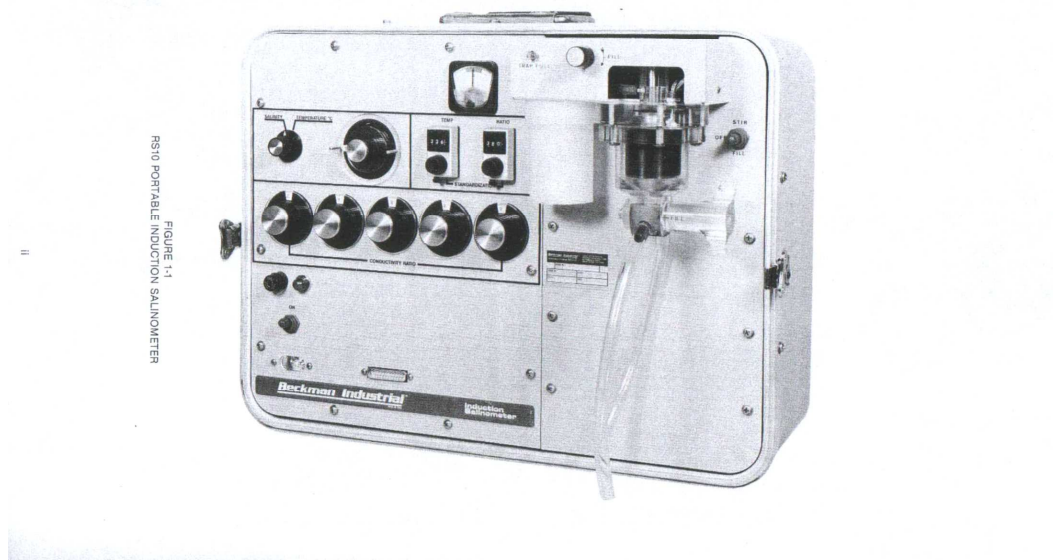


**Fig.6** : Bouteille de prélèvement à clapets de type "Von Dorm".

### 1.1.2. Mesure des paramètres physico-chimiques

Les mesures de l'oxygène dissous, exprimé en mg/l, et de la température en degré Celsius (°C) et le pH, ont été effectuées à bord du navire au cours de la campagne. Pour ces mesures une valise multiparamétrique de marque **W.T.W.multiline P4** été utilisé. De point de vue rapidité, cette méthode est la plus intéressante et la plus pratique avec une précision de  $\pm 0,5$  mg/l pour l'oxygène dissous et de  $\pm 0,1^\circ\text{C}$  pour la température.

Les mesures de la salinité ont été réalisées par la méthode conductimétrique grâce à un salinomètre à induction de marque «**BECKMAN INDUSTRIAL**» modèle R.S-10 dont la précision est de l'ordre de  $\pm 0,003$  psu. Il permet la mesure de la salinité dans la gamme 0-49 psu (fig.7).sa cellule peut contenir un volume de 50 ml.



**Fig.7** : un salinomètre de type BECKMAN INS Model R.S-10.

### 1.1.3. Mesures des sels nutritifs

La méthode utilisé pour le dosage des sels nutritifs ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , et  $\text{NH}_4^+$ ) est le dosage par colorimétrie à flux continu et automatisé sur l'appareil «**AUTO ANALYSER SAN PLUS**» (fig.8) selon les protocoles définit par le fabricant SKALAR®, 1996. le fonctionnement de l'appareil repose sur un principe dynamique simple, celui de l'analyse liquide en flux continu :

Une veine liquide progresse, par l'intermédiaire d'une pompe péristaltique, en continu, ce qui autorise une polyvalence et une grande souplesse. Les réactions chimiques s'effectuent dans cette veine en progression. L'analyse des échantillons est réalisée par séquence, ce qui permet une grande cadence de travail.



**Fig.8** : L'Auto Analyser San Plus (SKALAR® 1996)/[www.skalar.fr/pr\\_san.htm](http://www.skalar.fr/pr_san.htm)

### 1.1.3.1. Prétraitement des échantillons et conservation des moyens de prélèvement

Les échantillons d'eaux de mer sont prélevés dans des flacons en polyéthylène de couleur sombre (250 ml), préalablement rincé au laboratoire à l'eau acidulé (HCl à 5%), à l'eau distillé et en fin deux fois à l'eau de prélèvement juste avant leur remplissage, et échantillons d'eau de mer seront conservés par congélation (-20C°) (Aminot et Chaussepied, 1983).

### 1.1.3.2. Principe général de la colorimétrie

La méthode colorimétrique pour l'analyse des sels nutritifs est une méthode de dosage chimique basée sur une réaction de coloration pendant la quelle le mélange entre sels et réactifs spécifiques aboutit à une solution finale qui tend vers une coloration qui absorbe la lumière à une longueur d'onde donnée. Cette coloration est d'autant plus intense que la solution est plus concentrée. Le principe de la colorimétrie obéit à la loi de BERR-LAMBERT.

### 1.1.3.3. Loi de BEER- LAMBERT

Lorsqu'un faisceau de lumière monochromatique traverse une solution ou un milieu de longueur (L) une partie sera absorbée par la solution (absorbance) et l'autre partie sera transmise (transmittance) après avoir traversé cette même solution. La quantité de lumière absorbée par la solution, appelée absorbance (A) ou densité optique (D.O.), obéit à la loi de BEER LOMBERT qui s'exprime comme suit :

$$A = D.O = \log (I_0/I) = \xi L.C$$

Où:

$I_0$  et  $I$  : sont respectivement l'intensité lumineuse incidente et émergente du milieu absorbant.

$\xi$  : Le coefficient d'extinction molaire

$L$  : la longueur de la solution ou milieu traversée.

$C$  : La concentration de la solution absorbante.

## **2. La deuxième zone d'étude : les eaux au large de baie d'Alger**

### **2.1. La campagne MEDIPROD VI : thème et travaux en mer (Raimbault et Marie-Claude, 1991)**

MEDIPROD VI peut être considéré comme étant un prolongement direct de la campagne MDIPROD V. Son thème inclut :

- a) L'étude de la relation entre les structures de moyenne échelle engendrées par la dynamique du courant Algérien et les caractéristiques chimiques et biologiques qui en découlent.
- b) L'estimation des taux de productivité et de régénération et leurs conséquences pour l'ensemble du bassin Algérien.

Pour cela, des mesures chimiques et biologiques intensives ont été associées à une analyse hydrologique très fine.

Les travaux en mer se sont déroulés entre le 5 juin et le 2 juillet 1990 en raison de la présence d'un gradient thermique important pendant l'été qui permet de repérer facilement les tourbillons sur les cartes thermiques. Malheureusement les conditions météorologiques (présence continue des nuages) n'ont pas permis de détecter et de suivre les structures thermiques par les données satellitaires.

Ces travaux ont été réalisés à bord du navire océanographique J. Charcot. La zone prospectée s'étend latitudinalement entre 36°36'N et 40°00'N et longitudinalement entre 1°00' E et 5°00' E. Les prélèvements ont été effectués avec une rosette Général Océanics, munie de 12 bouteilles d'une capacité de 12 l. Cette rosette était couplée à une bathysonde CTDO Sea Bird et à une sonde fluorimétrique Sea Teach qui fournissaient des profils continus de température, de salinité, d'oxygène dissous et de fluorescence en fonction de la profondeur. Les limites de ces prélèvements varient suivant les stations, de 200 à 1000 m de profondeur. Dans les premiers 200 m, l'échantillonnage vertical a été maintenu très serré. Les sels nutritifs ont été analysés par la méthode colorimétrique automatisée sur chaîne Technicon à bord du navire.

#### **2.1.1. Mesure de la température et de la salinité**

Les données de température et de salinité ont été obtenues à partir d'une bathysonde SEBAIRD modèle SBE9-02B équipée d'un capteur de pression digiquartz et de capteur de conductivité, de température et d'oxygène dissous. Les profils de température, salinité, oxygène dissous et de fluorescence en fonction de la profondeur étaient visualisées en temps

réel. Ceci permettait de sélectionner les profondeurs de fermeture des bouteilles à la remontée de la sonde.

Les différents capteurs de la sonde ont été calibrés en décembre 1989 (6 mois avant la campagne) et en septembre 1990 (2 mois après la campagne). Les valeurs de température et de la salinité fournies dans les tableaux de données ont été calculées à partir des constantes d'étalonnage obtenues en septembre 1990.

Afin de vérifier la qualité des résultats fournis par la sonde, la salinité de 22 échantillons d'eau de mer a été mesurée (après un stockage de 2 mois) sur un salinomètre GUIDLINE G8400 au centre de Brest de l'Ifremer et 16 mesures de température ont été effectuées à l'aide d'un thermomètre à renversement placé sur une bouteille de la rosette.

Le nombre réduit de ces mesures ne permet pas d'effectuer une calibration *in situ* de la bathysonde, mais permet de vérifier d'une part la validité de l'étalonnage de septembre 1990 pour le calcul des valeurs de salinité et de température et d'autre part de vérifier la stabilité de la réponse des capteurs tout au long de la campagne.

Ecart moyenne de température entre la sonde et le thermomètre : +0,002 °C.

Ecart moyenne de salinité entre la sonde et le salinomètre : -0,008.

### 2.1.2. Analyse des sels nutritifs

Les quatre sels nutritifs, nitrites, nitrates, phosphates et silicates sont analysés simultanément par les méthodes désormais classiques de Bendschneider et Robinson (1952) pour les nitrites, Wood et *al.* (1967) pour les nitrates, Murphy et Riley (1962) pour les phosphates et de Mullin et Riley pour les silicates, automatisée sur un auto Analyseur Technicon selon les protocoles de Tréguer et le Corre (1975).

Les dosages des échantillons s'effectuent immédiatement après leur prélèvement dans des flacons en polyéthylène de 125 ml.

La calibration de chaque voie d'analyse est réalisée à chaque station à l'aide de 4 solutions standard couvrant la gamme des concentrations rencontrées dans les eaux méditerranéennes pour chaque élément. Ces solutions ont été préparées à partir de produits pré pesés et ont été comparées avec des solutions standard CSK WAKO (Sagami chemical Research Center). Le zéro est réglé sur chaque voie en analysant de l'eau déionisée Milli Q et une correction de l'effet de turbidité due à l'eau de mer est appliquée aux hauteurs de pic des échantillons pour le calcul des concentrations.

Les résultats des concentrations des sels nutritifs sont donnés en  $\mu\text{mol/l}$ .

Les précisions sont de  $\pm 0,02 \mu\text{M}$  pour les nitrites et les phosphates,  $\pm 0,05 \mu\text{M}$  pour les silicates,  $\pm 0,02$  et  $\pm 0,07$  pour les valeurs des nitrates respectivement inférieures et supérieures à  $5 \mu\text{M}$ . Les précisions données par les droites d'étalonnages (écart type des résidus de la droite de régression) sont très voisines :

$\pm 0,020 \mu\text{M}$  pour le nitrite entre 0 et  $1 \mu\text{M}$  ;

$\pm 0,074 \mu\text{M}$  pour le nitrate entre 0 et  $10 \mu\text{M}$  ;

$\pm 0,028 \mu\text{M}$  pour le phosphate entre 0 et  $1 \mu\text{M}$  ;

$\pm 0,087 \mu\text{M}$  pour le silicate entre 0 et  $10 \mu\text{M}$ .

Cette campagne a également été l'occasion de tester l'effet de la congélation sur les mesures de concentrations des nitrates et des phosphates. Des échantillons prélevés en duplicat ont été congelés à  $-20^{\circ}\text{C}$  dans des fioles à scintillation en polythène. L'analyse de ces échantillons a été effectuée au laboratoire 60 jours après la fin de la campagne selon les mêmes protocoles de dosage. Malgré la faible teneur en nitrates et phosphates des eaux méditerranéennes, il existe une parfaite correspondance entre les résultats obtenus en mer après analyse immédiate et ceux obtenus au laboratoire après 2 mois de congélation.

### 2.1.3. Dosage de la chlorophylle *a* et des phaeopigments

Les concentrations en chlorophylle *a* et en phaeopigments ont été déterminées selon la méthode fluorimétrie de yench Menzel (1963) adapté par Holm- Hansen et Reimann (1978) pour l'extraction des pigments à l'aide du méthanol. Le protocole utilisé au cours de la campagne Médipro VI a été précédemment décrit par Herbland et *al.* (1985) et Raimbault et *al.* (1988).

Les échantillons d'eau de mer (250 ml) prélevés sur les bouteilles de la rosette différents niveaux de la couche euphotique, sont filtrés sur un filtre en fibre de verre (filtre Whatman GF/F de diamètre 25 mm). La dépression utilisée pour la filtration est toujours inférieure à 100 mm Hg. Immédiatement après la filtration, le filtre est placé dans un tube de verre contenant 5 ml de méthanol pur. La teneur en eau résiduelle sur le filtre après filtration étant de  $0,19 \pm 0,02$  ml (test effectué sur 20 filtres), l'extraction s'effectue dans 5,2 ml de méthanol à 97%. Le tube bouché est ensuite placé à l'obscurité et la température de  $5^{\circ}\text{C}$  dans le réfrigérateur du bord, pour une période d'extraction de 30 minutes.

Après ce délai, la fluorescence des échantillons est mesurée sur un fluorimètre Turner Desings 10.005 R, équipé pour la détermination de la chlorophylle *a* (lampe F4T4 BL, filtre primaire Corning 5-60, filtre secondaire Corning 2-( $F_a$ ) avec 50  $\mu\text{l}$  d'acide chlorhydrique 0,5 N, afin d'estimer la part des phaeopigments. Les concentrations sont évaluées d'après les formules de Lorenzen (1966) :

$$\text{Chlorophylle } a = (F_0 - F_a / K_0 - K_a) \times (v/V)$$

$$\text{Phaeopigments } \mu\text{g/l} = (K_0 F_a - K_a F_0) / k_a (k_0 - k_a) \times (v/V)$$

$F_0$  : fluorescence avant acidification.

$F_a$  : fluorescence après acidification.

$v$  : volume d'extraction ;  $V$  = volume filtré.

$K_0$  : coefficient d'étalonnage du fluorimètre pour la chlorophylle *a*.

$K_a$  : coefficient d'étalonnage du fluorimètre pour la chlorophylle *a* acidifiée (= phaeopigments).



*CHAPITRE IV :*  
***RÉSULTATS ET***  
***INTERPRÉTATIONS***

Dans ce chapitre, pour mieux mettre en évidence les variations spatiales horizontales et verticales des paramètres physicochimiques et des sels nutritifs dans le golfe d'Annaba et au large de la baie d'Alger, on a traité les données des deux sites à l'aide du logiciel Surfer 8 (version 8.2.27.0).

## A. INTERPRETATIONS DES RESULTATS DU GOLFE D'ANNABA

### 1. Analyse paramétrique

Les données acquises dans le golfe d'Annaba sont résumées ci-dessous, sous forme de valeurs moyennes et extrêmes.

**Tableau I :** les valeurs moyennes et extrêmes des paramètres physicochimiques et des sels nutritifs dans le golfe d'Annaba.

paramètre	Temp.	Salinité	O2	pH	NH4	NO2	NO3	Ntot	PO4	Ptot
unité	(°C)	(psu)	(ml/l)		(μmol/l)					
<b>Max</b>	23,05	38,45	6,86	8,58	0,70	0,89	13,60	20,87	0,65	1,22
<b>Min</b>	17,80	36,55	3,50	8,29	0,00	0,00	0,25	2,26	0,02	0,05
<b>Moy</b>	21,49	37,31	5,00	8,42	0,21	0,30	3,48	6,18	0,22	0,21
<b>Ecart type</b>	1,33	0,38	0,82	0,05	0,14	0,18	2,47	3,04	0,16	0,19

#### 1.1. Variations des paramètres physicochimiques

##### a) La température

Les valeurs thermiques au niveau du golfe d'Annaba reflètent une situation typiquement de la période estivale. L'écart thermique est compris entre 17,8°C au niveau de la station 14 à 49 m de profondeur, et 23,05°C au niveau de la station 30 en surface, avec une moyenne de 21,49°C et un écart type de 1,33.

La couche superficielle, directement soumise à l'influence des conditions météorologiques, acquise les plus fortes valeurs avec une moyenne de 22,72°C et un écart type de 0,254. Son maximum est de 23,05°C au niveau de la station 30 en face le port d'Annaba dans la partie Ouest du golfe d'Annaba.

Les températures de la couche profonde, plus faibles, de moyenne de 20,45°C et un écart type de 0,92. Elles varient entre 17,8°C au niveau de la station 14 à 49 m de profondeur et de 21,85°C au niveau de la station 19 à 14 m de profondeur.

Entre ces deux couches apparaissent des eaux issues probablement de leurs mélanges, avec des températures intermédiaires.

**b) La salinité**

La salinité au niveau du golfe d'Annaba varie dans une large gamme entre 36,55 psu au niveau de la station 16 en surface située au centre du golfe, et 38,45 psu, au niveau de la station 14 à 49 m de profondeur, les deux stations ont la même longitude (7,9833), avec une moyenne de 37,31 psu, et un écart type de 0,38.

**c) Le pH**

Le pH au niveau du golfe d'Annaba varie étroitement autour d'une moyenne de 8,42, avec un maximum de 8,58 au niveau de la station 30 en surface et un minimum de 8,29 au niveau de la station 19 à 14 m de profondeur. En effet, on n'a pas observé de grande différence entre les valeurs de surface et celles du fond. Les deux minimums de pH en surface et en profondeur se localisent dans la station 19 située en face oued Mafrag, il faut signaler que les valeurs de pH dans l'ensemble du bassin sont supérieures à celui de l'eau de mer.

**d) L'oxygène dissous**

Concernant l'oxygène dissous au niveau du golfe, les résultats révèlent des fluctuations assez importantes. Ses valeurs varient de 3,5 à 6,86 ml/l, avec une moyenne de 4,99 ml/l. Ces variations sont dues à la variabilité des facteurs intervenants (photosynthèse, échange air-mer, mélange des masses d'eaux).

En surface le maximum est de 5,66 ml/l au niveau de la station 16 un peu loin de la côte et le minimum est de 3,5 au niveau de la station 9 près de la côte.

Les eaux de fond non directement soumises aux échanges avec l'atmosphère, semblent légèrement plus oxygénées que celles de la surface avec une moyenne de 5,45 ml/l et un maximum de 6,86 ml/l au niveau de la station 14 à 49 m de profondeur au large du golfe et un minimum de 4 ml/l au niveau de la station 22 à 25 m de profondeur.

Cette forte oxygénation des eaux profondes par rapport aux eaux de surface peut s'expliquer d'une part par la dynamique des eaux (turbulence) et d'autre part par l'installation des différentes formes d'algues et d'herbiers.

**1.2. Variations des sels nutritifs****a) Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )**

La teneur en ammonium varie entre 0 et 0,7  $\mu\text{mol/l}$  avec une moyenne de 0,21  $\mu\text{mol/l}$ . La valeur superficielle la plus élevée est observée dans la station 4 près de la côte, par contre le maximum en profondeur est observé au niveau de la station 14 à 25 m de profondeur au large du golfe.

Les fortes valeurs de l'ammonium sont situées au large du golfe c'est là où il y'a des excréments biologiques de l'ammonium par le zooplancton.

**b) Nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)**

L'azote nitreux dans ce golfe varie entre 0 et 0,89 µmol/l avec un écart type de 0,18 µmol/l. En surface le maximum est de 0,66 au niveau de la station 9 près de la côte, coïncidant avec le minimum de l'oxygène. Cette accumulation résulte probablement de l'oxydation de l'ammonium lors de la régénération biologique et /ou de l'importance de la charge en matière organique de ces eaux. Le minimum en surface est de 0 µmol/l au niveau de la station 10.

Concernant les eaux profondes on observe le maximum en nitrite au niveau de la station 3 à 22 m de profondeur et qu'est situé près de la côte, s'explique par l'importance de l'activité biologique dans cet endroit.

**c) Nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**

Les concentrations en nitrates dans le golfe d'Annaba laisse apparaître de fortes potentialités nutritives. Les valeurs relevées varient considérablement entre 0,25 µmol/l et 13,16 µmol/l avec un écart type très important de 2,47.

En surface, les valeurs de nitrates sont faibles par rapport au fond avec une moyenne de 2,22 µmol/l, à l'exception de certaines stations comme la station 4 qui présente la plus forte concentration dans le golfe d'Annaba et qui est situé près de la côte. Ceci peut être expliqué par la forte charge en engrais azotés en provenance des terres agricoles.

Par ailleurs, les concentrations augmentent rapidement avec la profondeur avec un maximum de 8,52 µmol/l au niveau de la station 13 à 49 m de profondeur au large du golfe.

**d) Les orthophosphates**

Les résultats obtenus pour les orthophosphates dans cette étude montre une large gamme de concentration de 0,02 à 0,65 µmol/l avec une moyenne de 0,217 µmol/l et un écart type de 0,162 µmol/l.

Comme pour les nitrates, des teneurs assez significatives en orthophosphates sont retrouvées en surface avec un maximum de 0,28 µmol/l au niveau de la station 8 située dans la partie Est du golfe. Ceci peut s'expliquer par la charge en engrais chimiques provenant des terres agricoles. La seconde valeur se trouve à la station 28 (0,25 µmol/l) située dans la partie Ouest du golfe près de oued Seybouse. Elle peut s'expliquer par les rejets urbains chargés en détergents anioniques transportés par ce dernier. Ce qui reflète typiquement la situation en méditerranée où 4/5<sup>ème</sup> des concentrations en orthophosphates sont issues des rejets telluriques (**Bethoux, 1980**).

Les teneurs en orthophosphates augmentent le long de la colonne d'eau pour atteindre un maximum de 0,65 µmol/l à 56 m de profondeur au niveau de la station 23 située au large dans la partie Ouest du golfe. Hormis les apports externes, les fortes valeurs du fond sont souvent interprétés comme le résultat de la décomposition de la matière organique produite en surface (**Bethoux, 1980**), ainsi que la diffusion à partir du sédiment marin ( **Tréguer et al., 1985**).

### 1.3. L'azote total

Les valeurs de l'azote total enregistrées en surface du golfe d'Annaba (fig.16) varient d'un minimum de 2,59  $\mu\text{mol/l}$  à la station 26 située dans la partie Ouest du golfe à un maximum de 8,93  $\mu\text{mol/l}$  au niveau de la station 5 située dans la partie Est du golfe.

Les valeurs de l'azote total augmentent en fonction de la profondeur dans l'ensemble du golfe à l'exception des stations 25, 27, 28 et 29 situées dans la partie Ouest du golfe en face l'Oued Seybouse où elles diminuent. Elles varient de 2,26  $\mu\text{mol/l}$  au niveau de la station 28 à 17 m de profondeur à 20,87  $\mu\text{mol/l}$  dans la station 4 à 13 m de profondeur.

### 1.4. Le phosphore total

Les valeurs du phosphore total en surface du golfe d'Annaba varient de 0,05  $\mu\text{mol/l}$  au niveau de la station 1 située à l'extrême Est du golfe et 0,23  $\mu\text{mol/l}$  au niveau de la station 8. Les valeurs du phosphore total augmentent avec la profondeur pour atteindre un maximum de 1,22  $\mu\text{mol/l}$  au niveau de la station 4 à 13 m de profondeur.

## 2. Distribution spatiale et dynamique des masses d'eaux dans le golfe d'Annaba

### 2.1. Distribution horizontale

L'établissement des cartes d'isoconcentration pour les différents paramètres physicochimiques et les sels nutritifs, permettra de voir la variation spatiale des concentrations, de distinguer plus ou moins les masses d'eaux et d'évoquer leurs sources et leurs évolutions dans l'espace.

D'une manière générale, les paramètres étudiés ne présentent pas une variation homogène et uniforme à l'échelle du golfe.

Ces paramètres manifestent des maxima, des minima et des valeurs intermédiaires réparties en zones ou en fronts bien distingués. Pour certains paramètres étudiés, on remarque bien une corrélation significative de leur distribution horizontale

#### 2.1.1. Distribution horizontale en surface

##### 2.1.1.1. Distribution des paramètres physicochimiques

###### a) La température

En ce qui concerne la température (Fig.9) on remarque qu'il y a trois zones de variation bien distinctes :

- La couleur rouge qui représente les températures les plus élevées de 22,85 à 23,05°C et qui s'étend de la partie Ouest du golfe jusqu'au centre du côté du large. Cette tache représente un front d'eau relativement chaude avec un maximum au niveau de la station 30 en face le port. Comme on peut observer aussi deux autres petites taches de couleur rouge au niveau de la station 8 et 12 presque dans la partie Est du golfe.

- Une deuxième tache de couleur verte définie par le minimum de température  $<22,55^{\circ}\text{C}$  et qui représente des fronts et des noyaux d'eau froide apparaissent sous forme de quatre taches séparées dans le golfe : trois à l'extrême Est et une au centre.
- Une troisième tache de couleur violette répartie sur l'ensemble du golfe et représente les températures intermédiaires ( $22,5$  à  $22,85^{\circ}\text{C}$ ). Elle est forcément le résultat du mélange des deux masses d'eaux chaude et froide ainsi que l'influence des eaux continentales de la localisation de cette tache près de la côte.

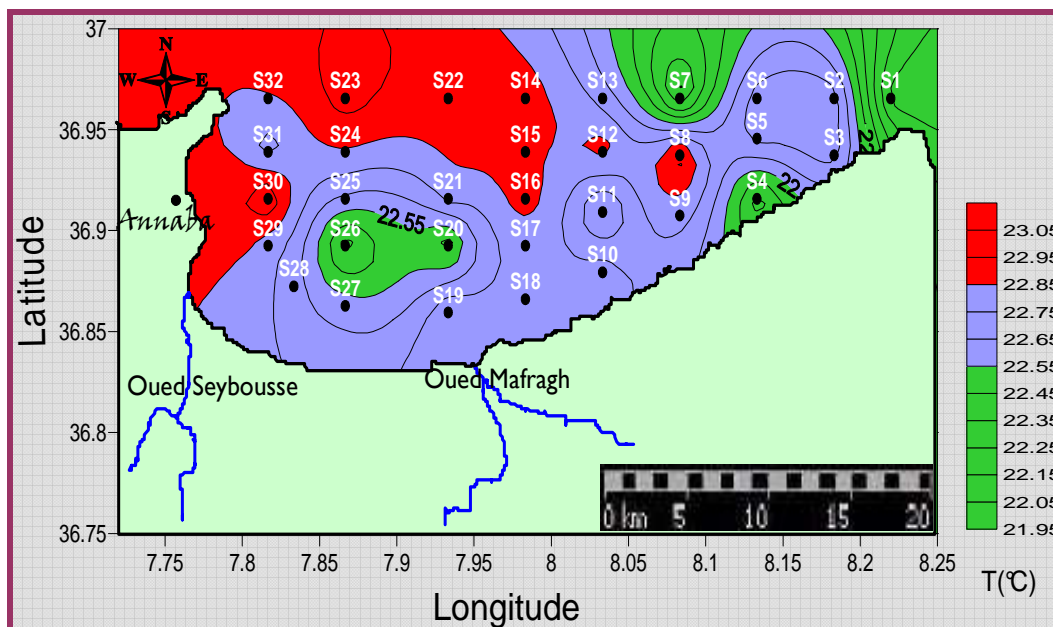


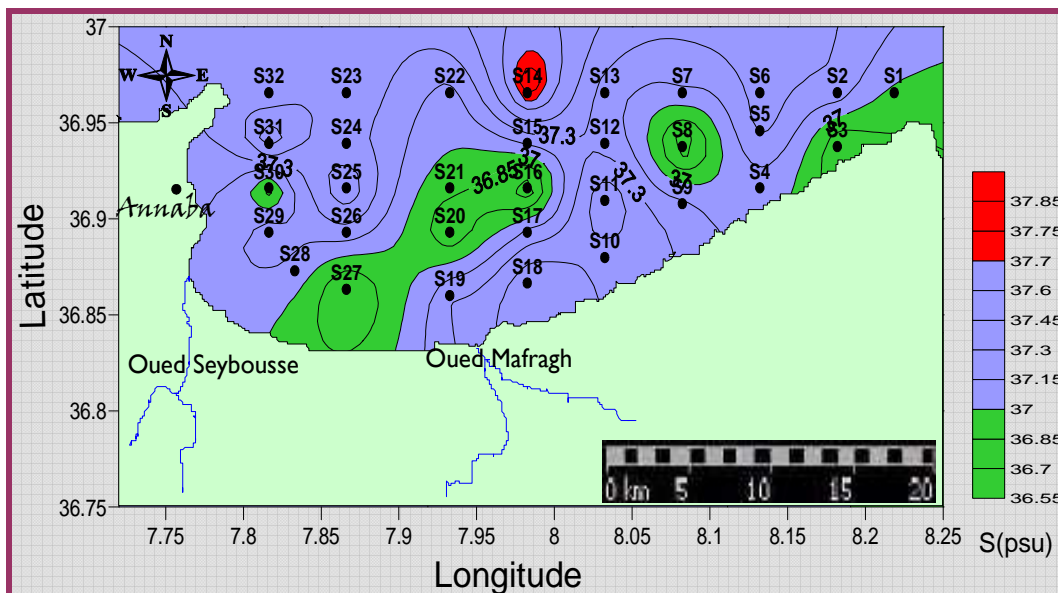
Fig.9 : Carte de la distribution horizontale de la température en surface du golfe d'Annaba.

### b) La salinité

Concernant la salinité (Fig.10), d'une manière générale, la configuration des isohalins permet de constater une décroissance de la cote vers le large. Cette configuration illustrée par trois couleurs permet aussi de voir :

- La couleur verte représente les faibles valeurs de la salinité ( $< 37$  psu) qui se manifeste en quatre zones de dimension variable réparties à travers le golfe. La plus grande tache se situe entre les deux Oueds Seybousse et Mafragh. Elle est en contact direct avec la côte. La plus petite se localise en face la ville d'Annaba et le port. Les faibles salinités de ces 4 taches sont dues, vraisemblablement, à l'adoucissement par les eaux douces continentales. Cet adoucissement, d'après la configuration des isohalins, peut avoir 2 à 3 origines continentales, seulement les eaux adoucies ont été séparées de leurs origines, à l'exception de celle à l'extrême Est.
- La deuxième couleur violette qui occupe presque la moitié de surface du golfe, représente des eaux ayant des gammes de salinités caractéristiques de l'eau atlantique modifiée.
- La troisième tache de couleur rouge occupe seulement la station 14, qui se situe au large et présente une salinité supérieure à  $37,7$  psu.

Elle peut évoquer l'empreinte de l'eau profonde en état avancé de mélange arrivée en surface par une faible résurgence côtière. L'examen de la distribution horizontale des sels nutritifs et de l'oxygène dissous confirme cette hypothèse.



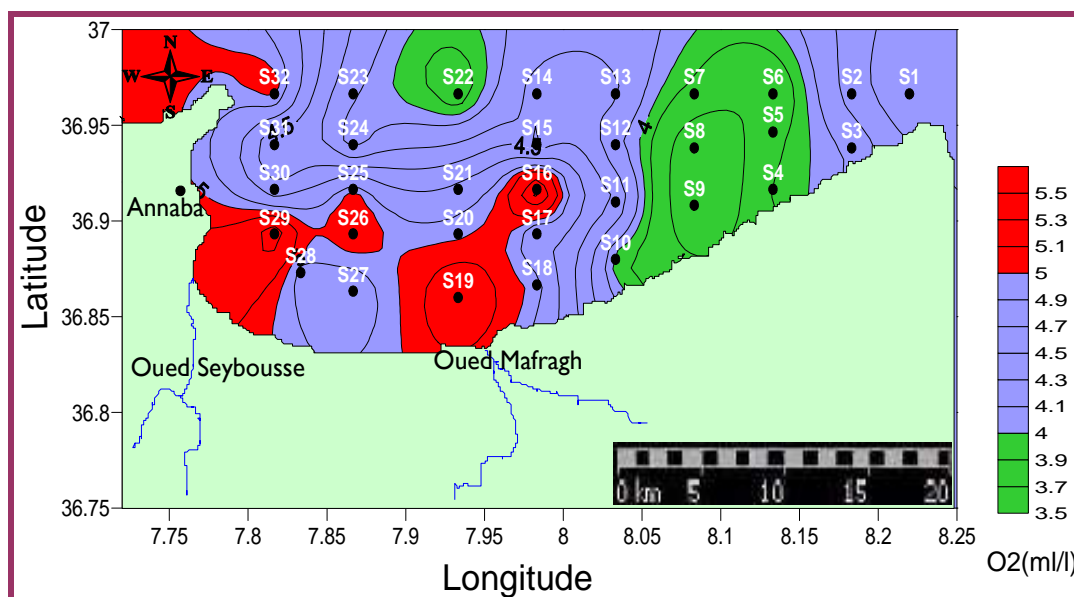
**Fig.10 :** Carte de la distribution horizontale de la salinité en surface du golfe d’Annaba.

**c) Oxygène dissous**

La distribution horizontale de l’oxygène dissous en surface du golfe d’Annaba (fig.11) montre que les fortes valeurs (couleur rouge) se localisent aux alentours des embouchures des deux Oueds : Seybousse et Mafragh. Ces fortes valeurs peuvent être expliquées par l’activité photosynthétique relativement importante qui fait produire de l’oxygène. Les faibles valeurs des sels nutritifs dans les mêmes endroits ne font que confirmer cette hypothèse.

Concernant les faibles valeurs (couleur verte), on les retrouvent dans la partie Est du golfe en occupant la surface des stations 4, 5, 6, 7, 8, et 9 sous forme d’une bande qui s’étend de la côte vers le large, en plus de la station 32 située au centre du golfe vers le large. Hormis la station 32, les faibles valeurs en oxygène dissous évoquent l’empreinte de l’eau profonde pauvre en oxygène qui arrive en surface par une faible résurgence côtière.

Le reste du golfe est occupé par des valeurs intermédiaires qui évoquent des eaux en état de mélange.



**Fig.11 :** carte de distribution horizontale l’oxygène dissous (ml/l) en surface du golfe d’Annaba.

### 2.1.1.2. Variations des sels nutritifs

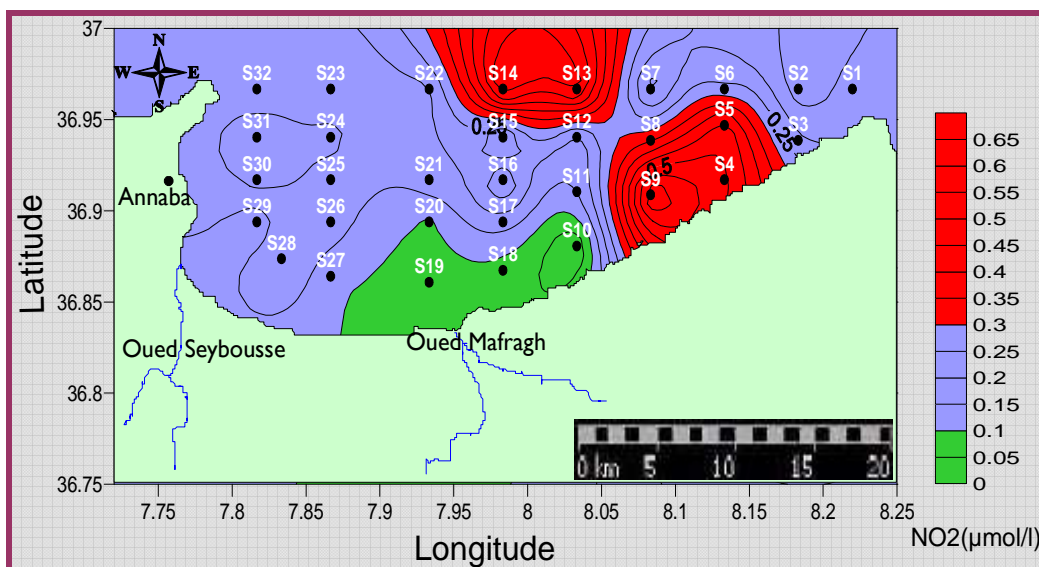
#### a) Les sels nutritifs azotés

La distribution horizontale des sels nutritifs azotés  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , et  $\text{NH}_4^+$  (Fig.12, 13 et 14) montre une grande similarité. En effet, les faibles valeurs (les taches vertes) se localisent généralement aux alentours de l'embouchure de Oued Mafragh pour l'ensemble des sels nutritifs azotés ainsi qu'aux alentours de Oued Seybousse et à l'extension du port pour les nitrates et l'ammonium. Ces faibles valeurs dans ces endroits peuvent être expliquées par l'importance de l'activité photosynthétique, ce qui peut être confirmé par les fortes valeurs de l'oxygène dissous dans ces mêmes zones (fig.11).

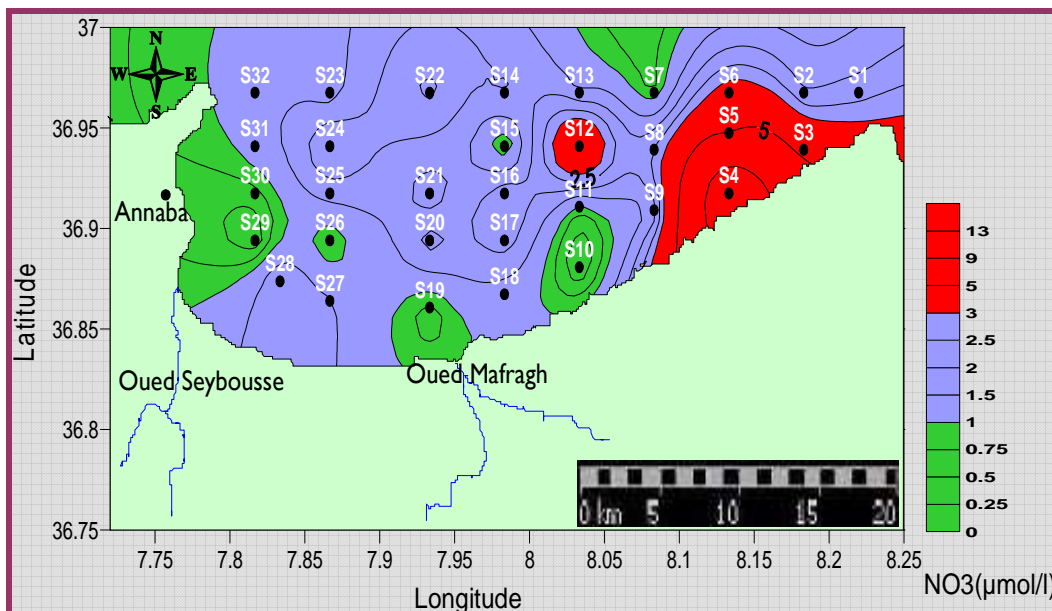
Ceci nous laisse supposer que ces zones présentent une activité photosynthétique assez significative (eutrophisation) en cette période de l'année et qui est due sans doute à l'importance de l'apport continental en sels nutritifs via les deux Oueds ainsi que la ville et le port d'Annaba.

Concernant les fortes valeurs (les taches rouges), elles se localisent généralement dans la partie Est entourant la station 4 située près de la côte comme elle s'étend aussi vers le large pour les nitrites (S13, S14). L'explication de ces fortes valeurs recensées dans cette zone peut être l'existence d'une résurgence côtière qui fait remonter les sels nutritifs régénérés dans la couche profonde et l'importance des excréments des microorganismes pour les nitrites et l'ammonium. L'examen de la distribution du fond des deux zones supporte cette hypothèse.

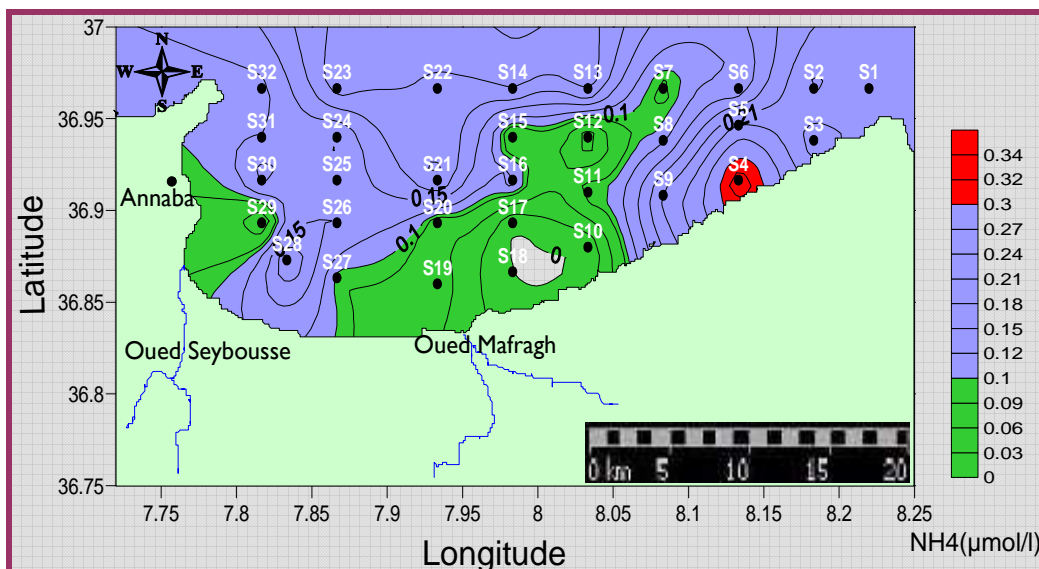
Le reste du golfe est considéré comme formé par des eaux ayant des valeurs dites intermédiaires et sont dans un état assez stabilisé par rapport aux processus de mélange et d'assimilation par l'activité biologique.



**Fig. 12:** Carte de distribution horizontale des nitrites ( $\mu\text{mol/l}$ ) en surface du golfe d'Annaba.



**Fig.13 :** Carte de distribution horizontale des nitrates ( $\mu\text{mol/l}$ ) en surface du golfe d’Annaba.

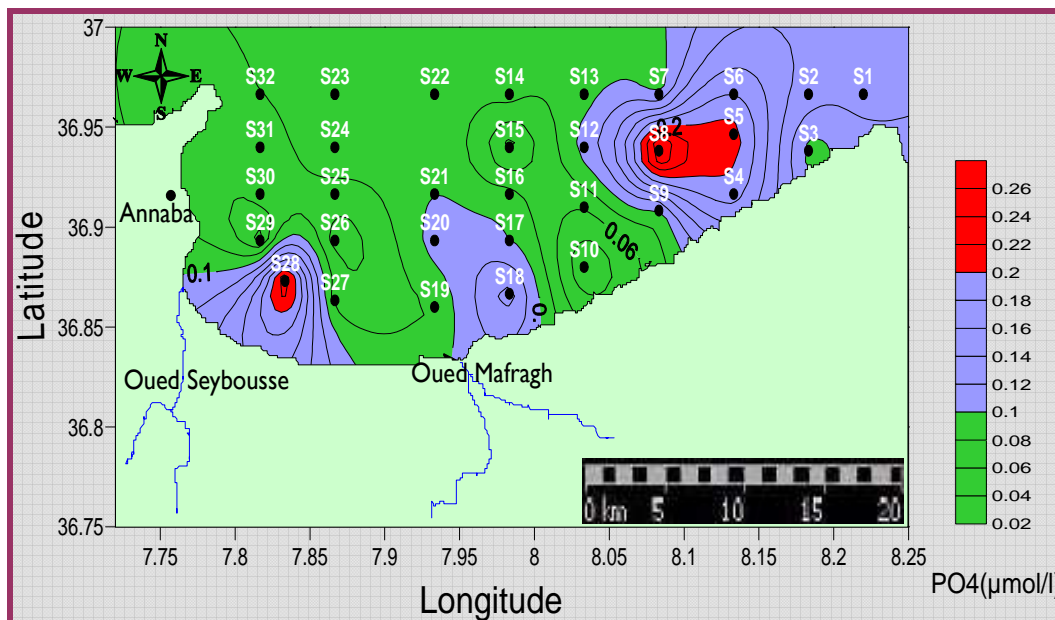


**Fig. 14:** Carte de distribution horizontale de l’ammonium ( $\mu\text{mol/l}$ ) en surface du golfe d’Annaba.

**b) Les phosphates**

La figure 15 montre la distribution des phosphates. À quelques différences près, nous observons presque la même distribution que les sels nutritifs azotés. En effet, les eaux de surface de la partie Ouest et centre du golfe présentent des concentrations faibles (la couleur verte,  $<0,1 \mu\text{mol/l}$ ) qui peut s’expliquer par l’importance de l’activité photosynthétique qui les épuise dans cette période de l’année au même titre que les sels nutritifs azotés. Concernant les fortes valeurs de phosphates (couleur rouge), elles sont recensés dans la partie Est, notamment la station (8). Elles coïncident avec les valeurs relativement fortes en sels azotés et les faibles valeurs de l’oxygène dissous. Ce qui peut confirmer l’hypothèse d’une résurgence côtière de faible importance. Les valeurs intermédiaires des phosphates sont rencontrées aux embouchures des oueds Seybousse et Mafreg et dans la partie ouest du golfe.

Ceci est certainement dû à des apports en phosphates relativement significatifs, respectivement, l'un, externe par les oueds et l'autre interne par résurgence côtière. La valeur au niveau de la station 28 ( $> 0,2 \mu\text{mol/l}$ ) témoigne des teneurs en phosphates relativement élevées rejetées par l'oued Seybousse et de l'importance des processus de leur décroissance qui doivent être le mélange des eaux de l'oued avec celles marines et l'assimilation phytoplanctonique.

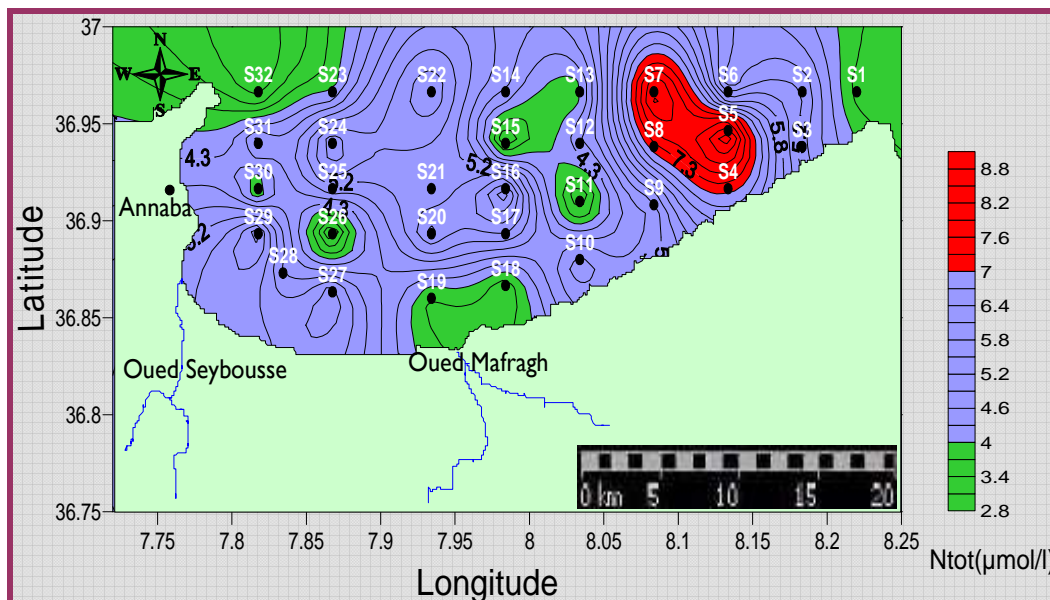


**Fig.15** : Carte de distribution horizontale des phosphates ( $\mu\text{mol/l}$ ) en surface du golfe d'Annaba.

### 2.1.1.3. L'azote total

La distribution de l'azote totale en surface du golfe d'Annaba (fig.16) manifeste des teneurs faibles (couleur verte) localisées au large des extrémités Est et Ouest du golfe, au centre et à l'embouchure de oued Mafragh. Ceci peut être expliqué par l'importance de l'activité photosynthétique pour ce dernier endroit qui, en effet, paraît être épuisé des formes minérales de l'azote totale (sels nutritifs azotés) et qui paraît aussi être confirmé par les fortes valeurs d'oxygène recensées au même endroit.

Des teneurs assez fortes en azote totale représentées sur la carte par la couleur rouge sont recensées dans la partie Est du golfe en occupant les stations 4, 5, 7 et 8 elles sont forcément le résultat de la résurgence côtière qui existe dans cette zone. Entre les maxima et les minima se trouvent des concentrations intermédiaires qui se répartissent partout dans les eaux de surface du golfe de l'Ouest vers l'Est, comme de la côte vers le large.



**Fig.16:** Carte de distribution horizontale de l'azote totale ( $\mu\text{mol/l}$ ) en surface du golfe d'Annaba.

#### 2.1.1.4. Le phosphore total

La distribution horizontale du phosphore total en surface du golfe d'Annaba (Fig.17) est quasiment identique à celle de l'azote total et serait expliquée par le même phénomène. L'importance de l'étendu de la zone de minimum en phosphore totale peut être due à un faible apport de l'oued Mafragh en phosphates par rapport à celui en nitrates.

Il est intéressant de citer que la contribution des nitrates dans l'azote totale et des phosphates dans le phosphore total sont respectivement d'environ 48% (fig. a) et 55% (fig. b) (annexe 3).

Le déplacement de la matière organique produite dans les eaux de surface du golfe d'Annaba sera mieux illustré si on a des données de la chlorophylle. Ce qui est sûr, c'est qu'elle n'atteigne pas les eaux du large, car la majeure partie de la matière organique produite ou importée dans ces zones ne serait pas exportée en dehors des plateaux continentaux vers les zones océaniques, mais serait consommée ou piégée sur place (**Peng et Broecker, 1984 ; Rowe et al., 1986 ; Nixon et al, 1996 in Jaques et Tréguer, 1986**).

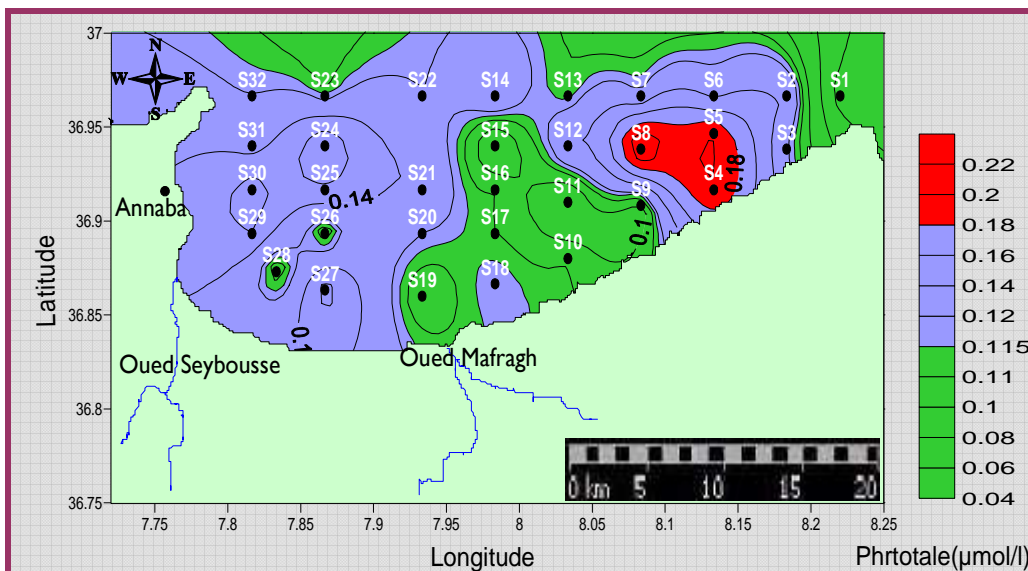


Fig.17 : Carte de distribution horizontale du phosphore totale ( $\mu\text{mol/l}$ ) en surface du golfe d'Annaba.

2.1.2. Distribution horizontale au fond

2.1.2.1. Distribution des paramètres physicochimiques

a) La température

La distribution horizontale de la température au fond du golfe d'Annaba (fig.18), montre, d'une manière générale, une décroissance de la côte vers le large. En effet, les températures les plus élevées ( $> 21^\circ\text{C}$ , couleur rouge) se localisent dans la partie Est et Ouest du golfe. Ceci peut s'expliquer par la profondeur relativement faible de ces zones côtières du golfe qui permet un réchauffement rapide de la colonne par l'insolation qui peut atteindre le fond.

Les températures les plus basses au fond du golfe d'Annaba se localisent vers le large en s'étendant un peu vers la côte dans la partie Est pour former un front qui arrive à atteindre la côte et, ainsi, sépare les eaux côtières relativement chaudes. Ainsi, la température des eaux profondes du golfe paraît en relation avec la profondeur des eaux.

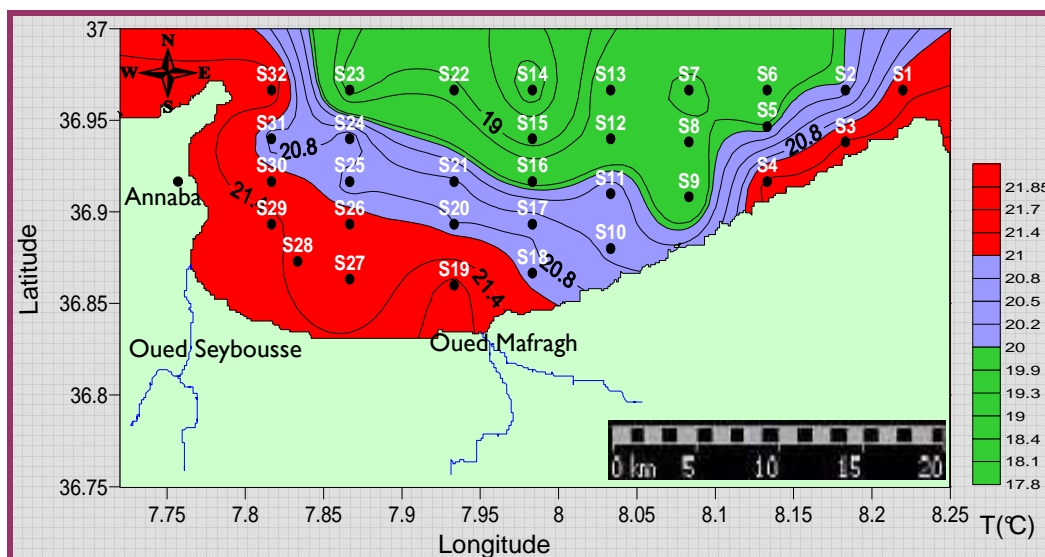
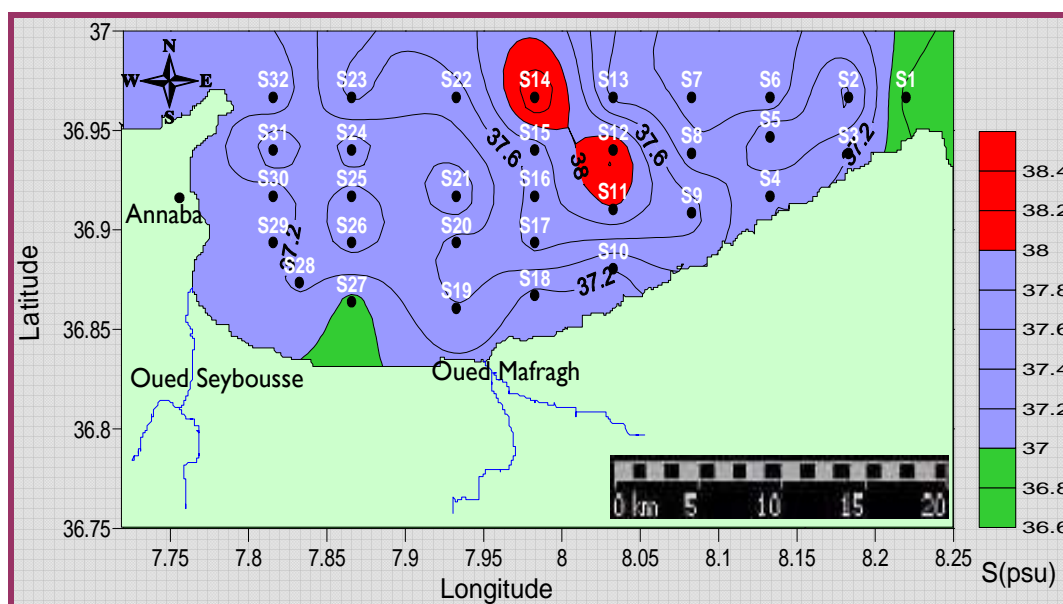


Fig.18 : Carte de la distribution horizontale de la température au fond du golfe d'Annaba.

### b) La salinité

La distribution des isohalins au fond du golfe montre que toutes les eaux ont la salinité caractéristique de l'eau atlantique modifiée.

Les salinités les plus élevées au fond du golfe ( $S > 38$ psu) sont représentés sur la carte par une couleur rouge et occupent le fond des stations 12 et 14 situées au large du golfe. Ces salinités forment, certainement, l'empreinte de l'eau profonde. Pour les faibles salinités de fond ( $S < 37$ psu) (la tache verte), au niveau de la station 27 (entre les embouchures des oued Seybousse et Mafragh) et la station 1 (à l'extrême Est du golfe) peuvent s'expliquer par un mélange significatif avec les eaux de surface et peut être aussi un adoucissement par apport d'eau continentale.

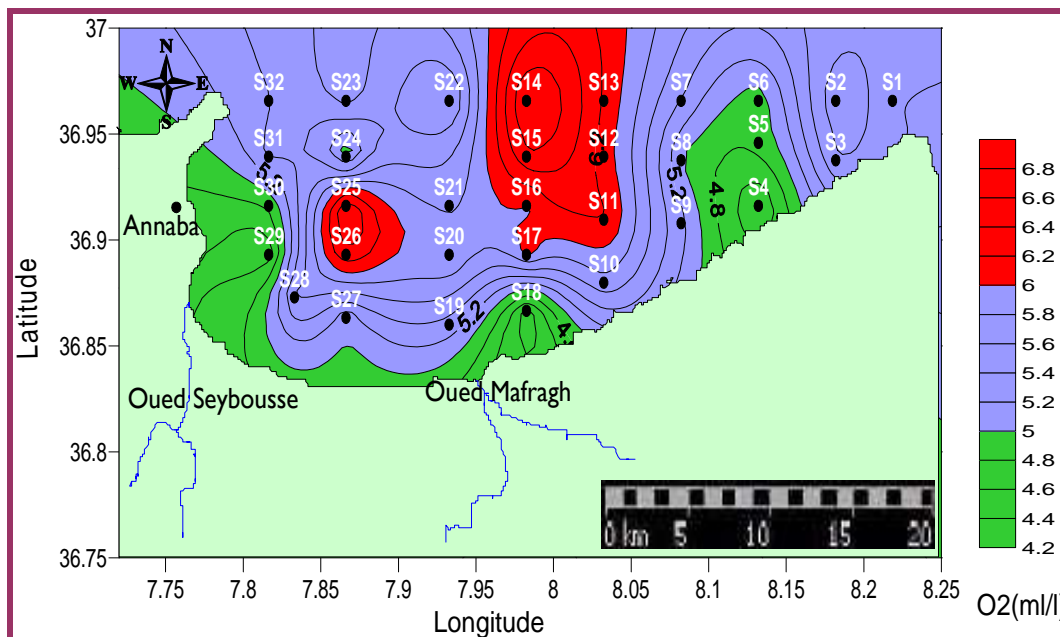


**Fig.19** : carte de la distribution horizontale de la salinité au fond du golfe d'Annaba.

### c) L'oxygène dissous

Le fond du golfe d'Annaba est caractérisé par une distribution hétérogène de l'oxygène dissous (fig.20), en effet les fortes valeurs apparaissent sous forme d'une bande au centre du golfe qui s'étend plus loin vers le large et d'un cercle localisé dans la partie Ouest du golfe en entourant le fond des stations 25 et 26. Ces fortes valeurs qui dépassent même celles recensées en surface indiquent une activité photosynthétique importante, ceci est dû à l'installation des herbiers de posidonie et des algues benthiques au fond de ces stations.

Concernant les faibles valeurs, elles entourent la côte du golfe de l'Ouest jusqu'au centre y compris le port d'Annaba et les embouchures des deux oueds, comme elles apparaissent sous forme d'une bande autour de la station 4. ces faibles valeurs sont le résultat de la régénération des sels nutritifs qui fait consommer l'oxygène dissous.



**Fig.20** : carte de distribution horizontale l'oxygène dissous (ml/l) au fond du golfe d'Annaba.

### 2.1.2.2. Distribution des sels nutritifs

#### a) Les sels nutritifs azotés

Les sels nutritifs azotés au fond du golfe d'Annaba montrent presque la même distribution. En effet, les fortes valeurs se localisent dans la partie Est en entourant la station 4 et s'étendent vers le large et jusqu'au centre du golfe pour les nitrates (fig.23) et l'ammonium (fig.21), s'explique par leurs régénération dans la partie Est confirmé par les faibles valeurs de l'oxygène dissous de la même zone (fig.20), pour les fortes valeurs d'ammonium recensés au centre du golfe, elles sont sans doute le résultat des excréments zooplanctoniques.

Les faibles valeurs se trouvent généralement dans la partie Ouest en entourant le port et l'embouchure de Oued Seybousse pour l'ensemble des sels nutritifs et elles entourent aussi l'embouchure de Oued Mafreg jusqu'au large pour les nitrites (fig.22), comme elles apparaissent sous forme d'une tache autour de la station 10 pour les nitrates, ces faibles valeurs sont dues à l'exportation de la matière organique produite dans ces zones par le courant de dérive littorale vers la partie Est du golfe où elle se dégrade, il est bien à noter qu'une partie de cette matière organique se dégrade aux alentours de Oued Mafreg avant de se transporter vers l'Est du golfe.

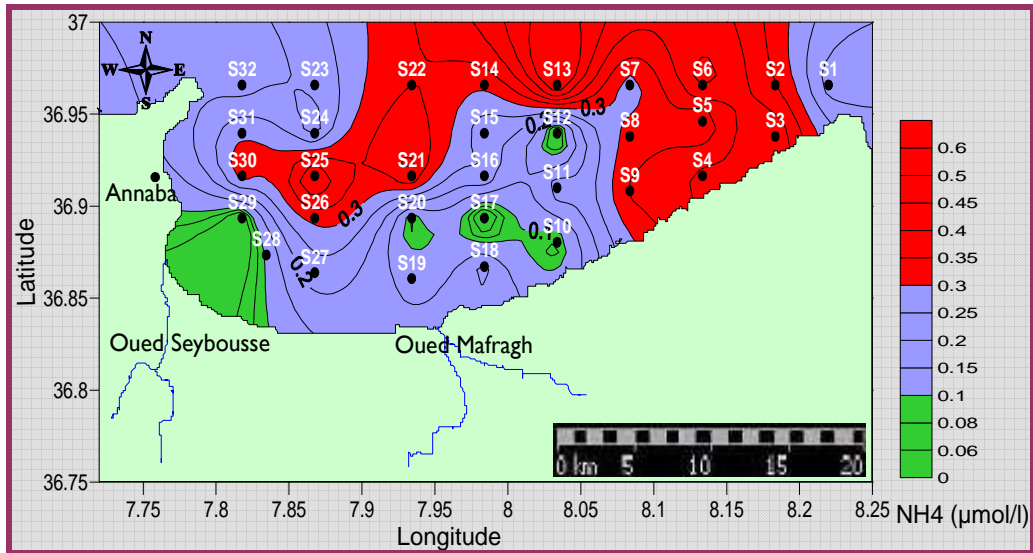


Fig.21 : Carte de la distribution horizontale de l'ammonium au fond du golfe d'Annaba.

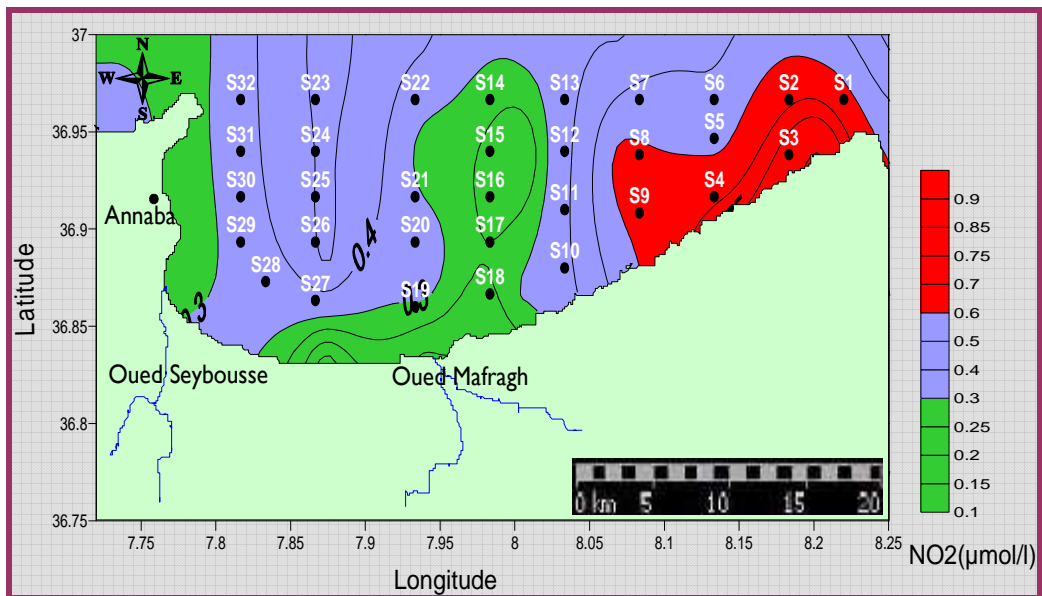


Fig.:22 : Carte de la distribution horizontale des nitrites au fond du golfe d'Annaba.

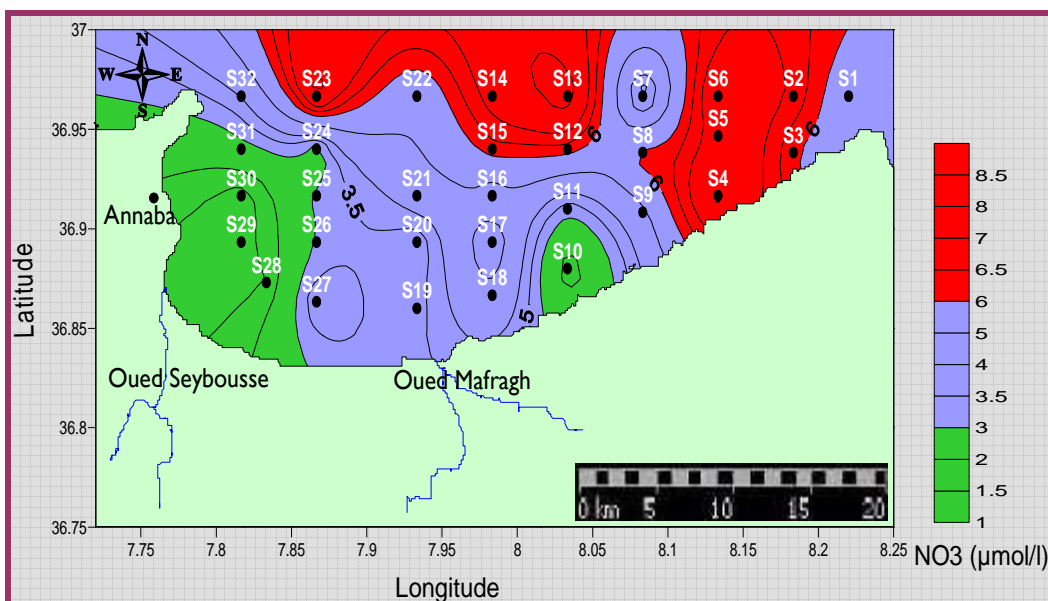
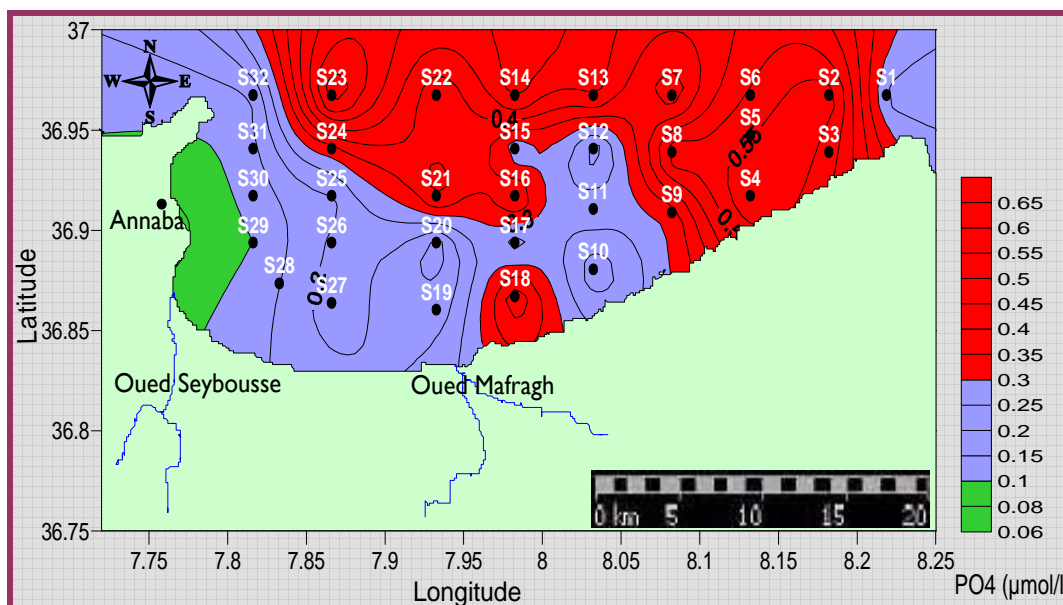


Fig.23 : Carte de la distribution horizontale des nitrates au fond du golfe d'Annaba.

## b) Les phosphates

La distribution horizontale des phosphates au fond du golfe d'Annaba (fig.24), montre une décroissance de l'Ouest vers l'Est, bien que sa distribution ressemble à celles des sels nutritifs azotés, ses fortes valeurs montrent une large extension en occupant toute la partie Est de la côte au large et jusqu'au centre du golfe vers le large, cet extension peut être expliquée par sa régénération rapide par rapport aux sels nutritifs azotés (nitrates), et sa remise en suspension qui est généralement plus tardive que les nitrates, ce qui peut être un autre facteur en plus des apports continentaux qui laissent que le rapport N/P dans le golfe d'Annaba est faible (fig.55).

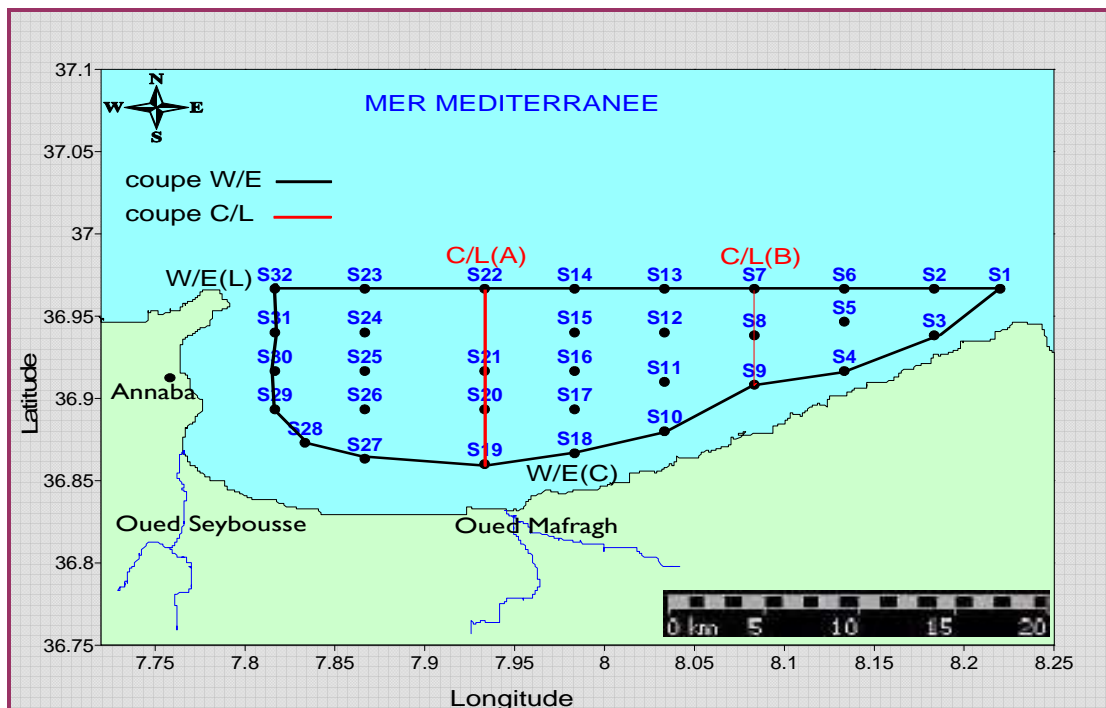
Pour les faibles valeurs on les retrouvent aux alentours de la côte Ouest du golfe malgré que les valeurs de l'oxygène dissous à la même zone (fig.20) qui sont faibles indiquent une régénération des phosphates, la seule explication de ce cas est l'exportation d'une partie de celles-ci soit par un courant du dérive littoral vers la partie Ouest du golfe, soit par un courant du retour vers le large, ce dernier est en fonction de la bathymétrie de cette zone.



**Fig.24** : Carte de la distribution horizontale des phosphates au fond du golfe d'Annaba.

### 2.2. Distribution verticale

Pour mieux comprendre la distribution horizontale en surface et au fond ainsi que les différents phénomènes qui régissent la circulation des eaux dans le golfe d'Annaba, des sections verticales dans le golfe ont été faites. En effet, deux coupes latitudinales (Oues-Est) et deux autres longitudinales (côte-large) ont été effectuées (fig.25). Le but est de voir la stratification des eaux et le comportement des différents paramètres le long de la colonne d'eau de mer dans le golfe d'Annaba. La finalité est de vérifier les phénomènes déjà observés à travers la distribution horizontale en surface et au fond et de découvrir d'autres s'ils existent.



**Fig.25** : Positionnement des différentes coupes (Ouest-Est) et (côte-large) dans le golfe d'Annaba.

### 2.2.1. Sections Ouest-Est

#### a) Description de la section Ouest-Est (large)

L'examen de la distribution verticale des paramètres physico-chimiques (température, salinité et oxygène dissous (fig.26, 27 et 28) et des sels nutritifs, (fig.29, 30, 31 et 32) dans la section Ouest - Est (large) montre une allure des isothermes, des isohalins et des lignes d'isoconcentration pour les autres paramètres qui paraît normale. Cette allure est semblable presque pour tous les paramètres notamment pour la température et les sels nutritifs. En effet, la température est le seul paramètre qui montre une décroissance nette de la surface vers le fond inversement aux autres paramètres qui montrent une croissance plus ou moins perturbée.

On signale l'existence d'une couche d'eau profonde d'une épaisseur faible en dessous de 40 m de profondeur caractérisée par un minimum de température, un maximum de salinité, de l'oxygène dissous et des sels nutritifs. Elle est sans doute l'empreinte de l'eau profonde qui a pour origine les eaux profondes du large. Cette eau a perdu ses caractéristiques au voisinage de la station 11 située un peu vers la côte. La richesse relative de cette couche d'eau en oxygène dissous, les nitrites et l'ammonium évoque un niveau où l'activité photosynthétique n'est pas négligeable.

De même, entre 20 et 30 m de profondeur, on observe une mince couche (ou poche d'eau) en biseau avec l'isotherme 20,8°C, l'isohalin 37,6 psu, un petit maximum d'oxygène dissous, ammonium, phosphates et des concentrations relativement élevées en nitrites et nitrates. Ces caractéristiques permettent d'évoquer une activité photosynthétique non négligeable. L'origine de cette couche ne peut être qu'un niveau plus profond du large qui a perdu ses caractéristiques. La distribution verticale des sels nutritifs le long de cette section reflète typiquement la situation qu'on peut rencontrer dans une colonne d'eau du large à cette période de l'année.

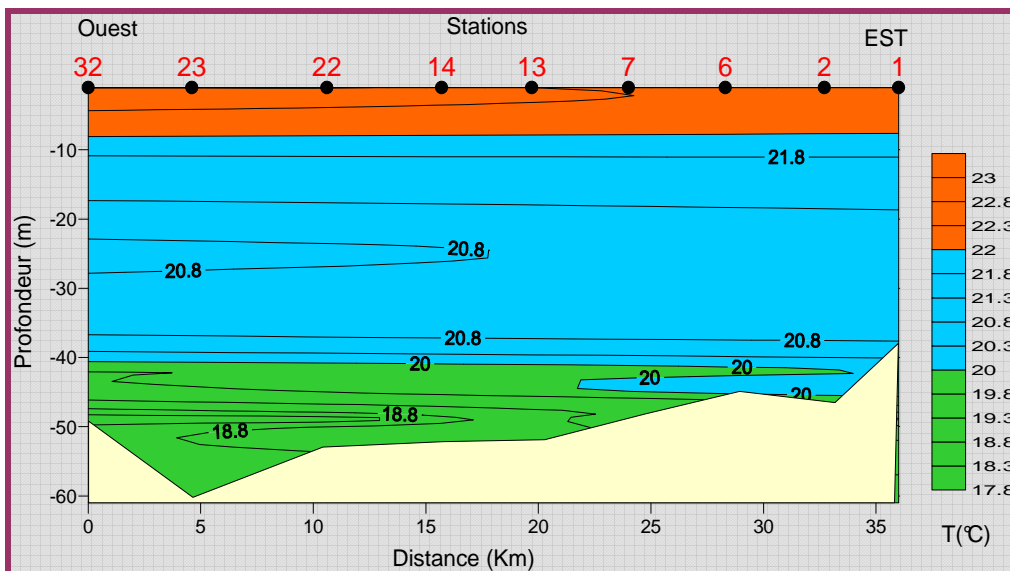


Fig.26 : Distribution verticale de la température le long de la section Ouest-Est (large).

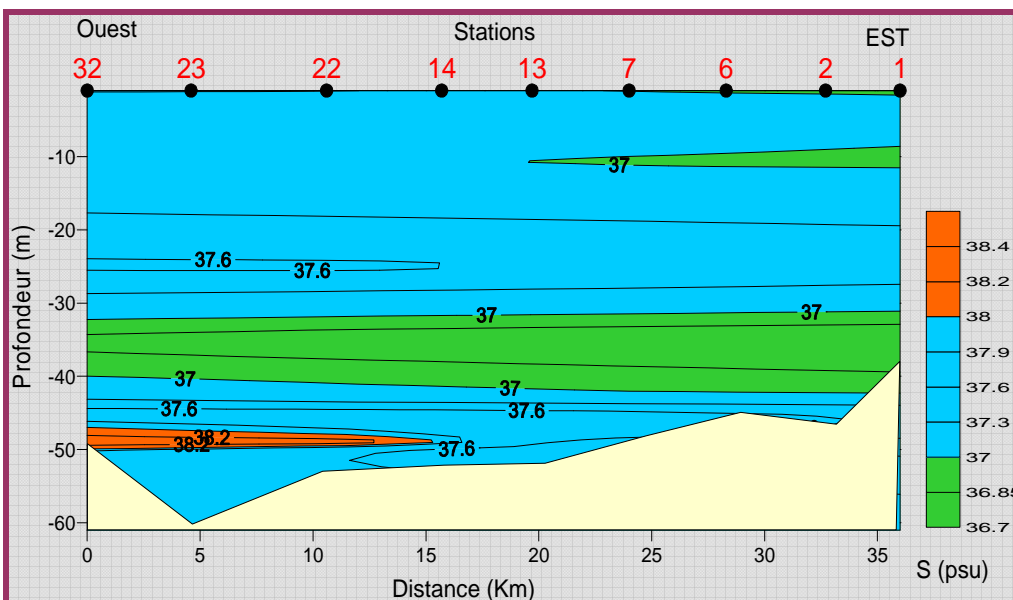


Fig.27: Distribution verticale de la salinité le long de la section Ouest-Est (large).

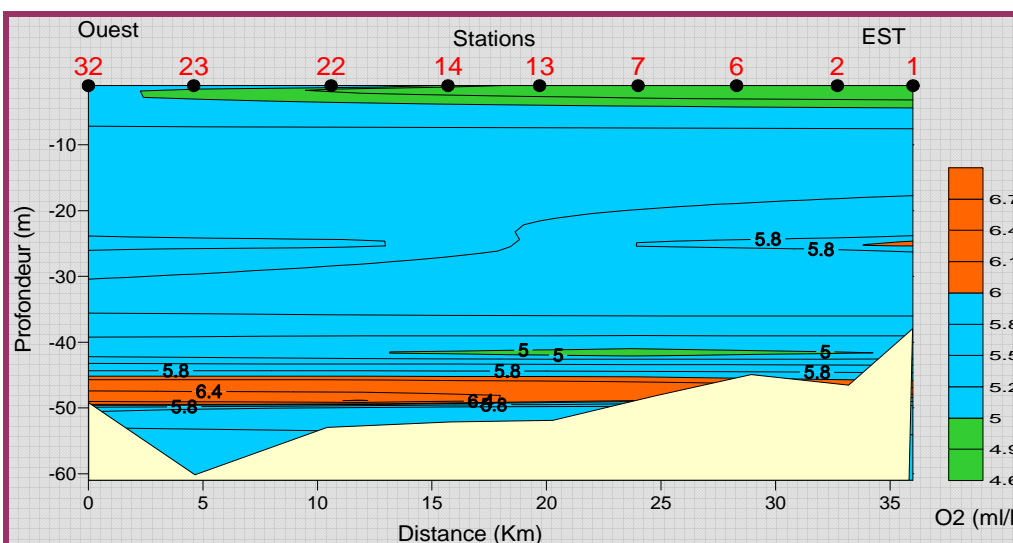


Fig.28 Distribution verticale de l'oxygène dissous le long de la section Ouest-Est (large).

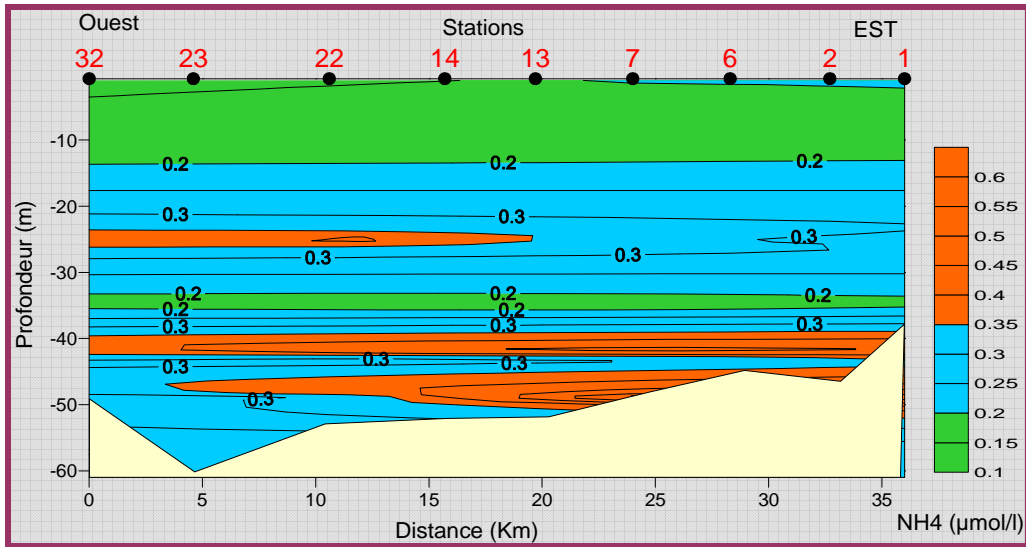


Fig.29: Distribution verticale de l'ammonium le long de la section Ouest-Est (large).

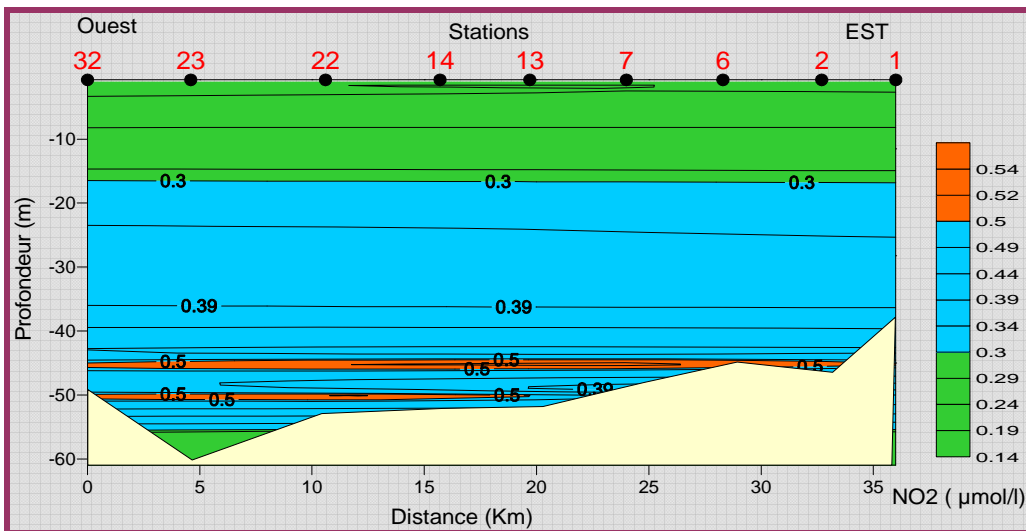


Fig.30 : Distribution verticale des nitrites le long de la section Ouest-Est (large).

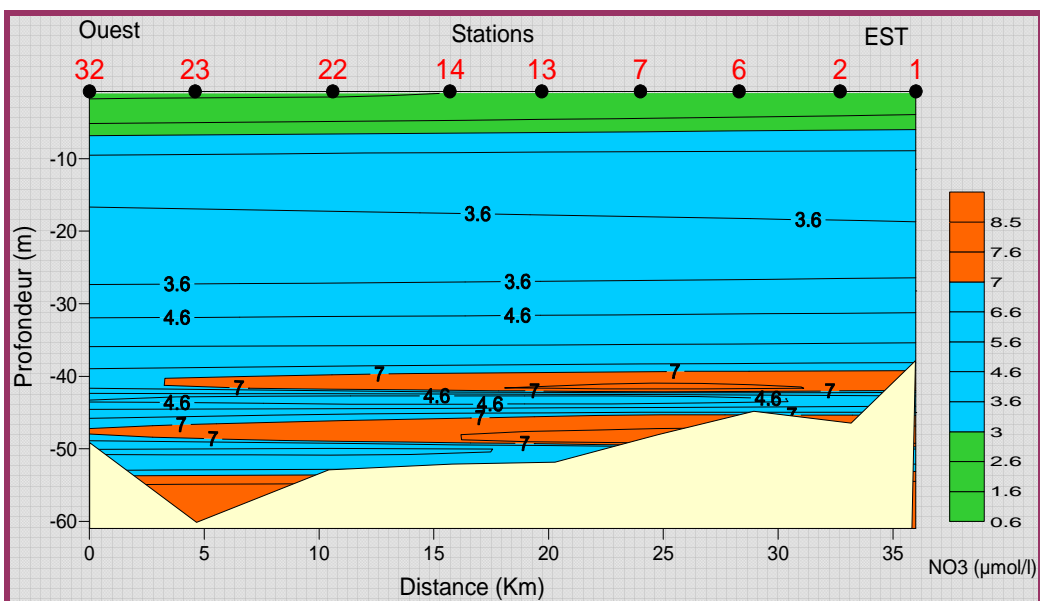
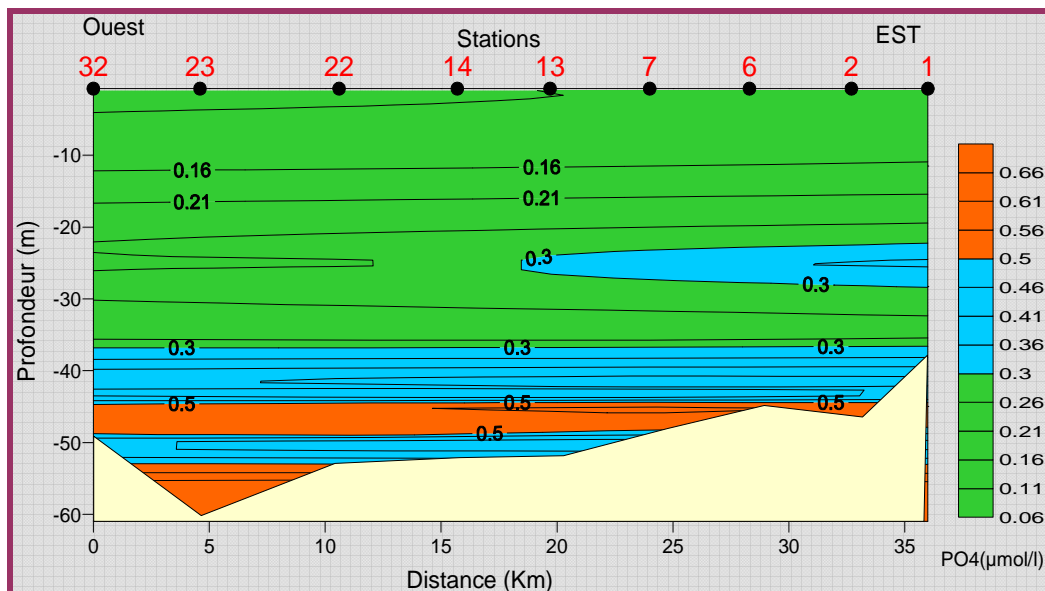


Fig.31 : Distribution verticale des nitrates le long de la section Ouest-Est (large).



**Fig.32 :** Distribution verticale des phosphates le long de la section Ouest-Est (large).

### b) Description de la section Ouest-Est (côte)

L'examen de cette section qui passe par tous les points qui sont proches de la côte fait bien ressortir l'influence de la côte et de sa bathymétrie sur la distribution verticale des différents paramètres. Bien que la température (fig.33) montre une décroissance de la surface vers le fond, les autres paramètres montrent une stratification plus ou moins perturbée. Malgré que l'explication diffère d'un paramètre à l'autre en titre d'exemple pour la salinité (fig.34), elle est due à l'influence des eaux continentales douces. L'influence de la profondeur qui est relativement faible ce qui permet un mélange rapide des eaux de surface avec celles du fond paraît comme un facteur important dans le contrôle de cette stratification. Ainsi on remarque l'existence des poches d'eaux où la profondeur dépasse les 20 mètres et où les paramètres montrent une stratification plus ou moins nette. Il faut bien signaler l'apparition d'une couche d'eau entre 10 et 20 m de profondeur le long de la côte du golfe d'Annaba caractérisée par un isotherme 21,8°C, un isohalin 37,2 psu, une concentration moyenne en d'oxygène dissous (fig.35) et un petit maximum des sels nutritifs (fig.36, 37, 36 et 39) peut s'expliquer par l'extension de la couche d'eau relativement observé dans la section du large entre 20 et 30 m de profondeur.

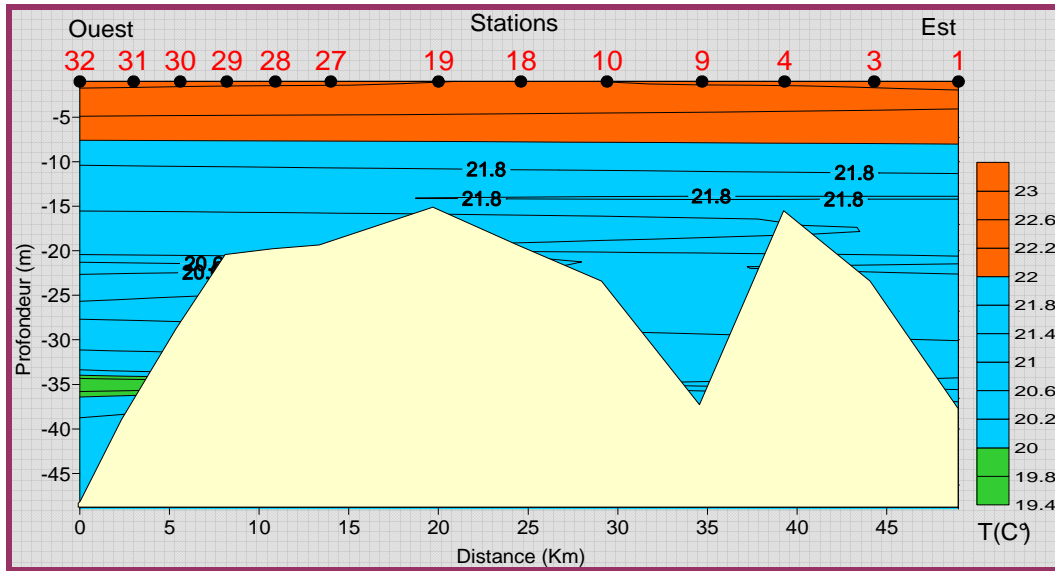


Fig.33 : Distribution verticale de la température le long de la section Ouest-Est (côte).

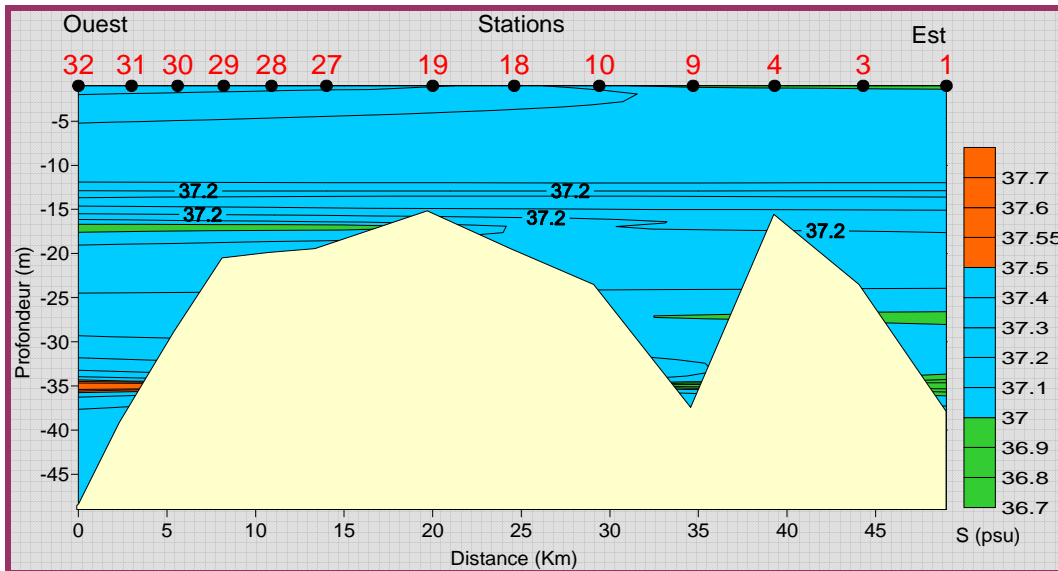


Fig.34 : Distribution verticale de la salinité le long de la section Ouest-Est (côte).

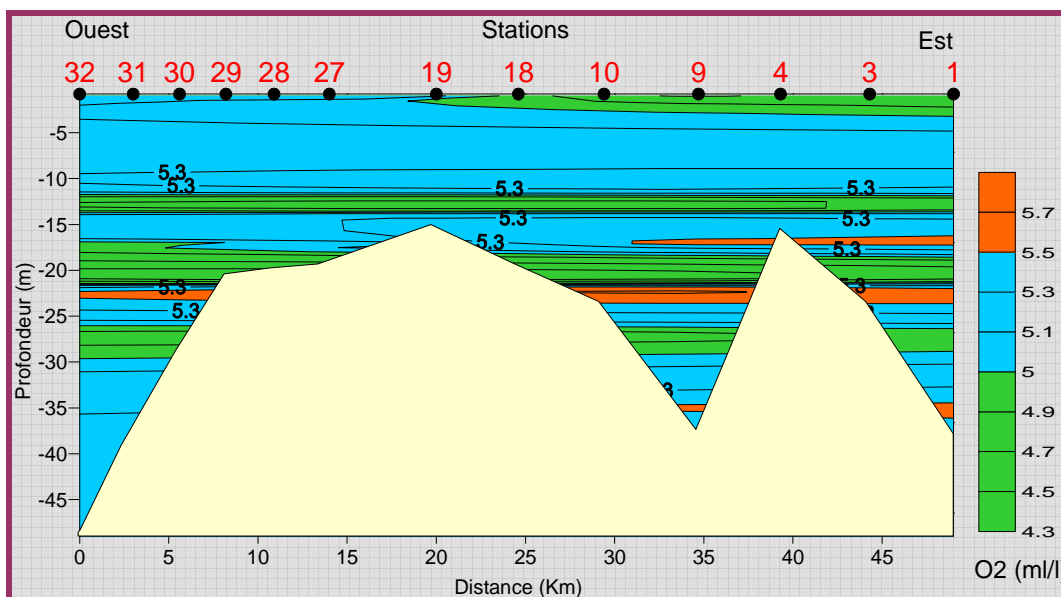


Fig.35 : Distribution verticale de l'oxygène dissous le long de la section Ouest-Est (côte).

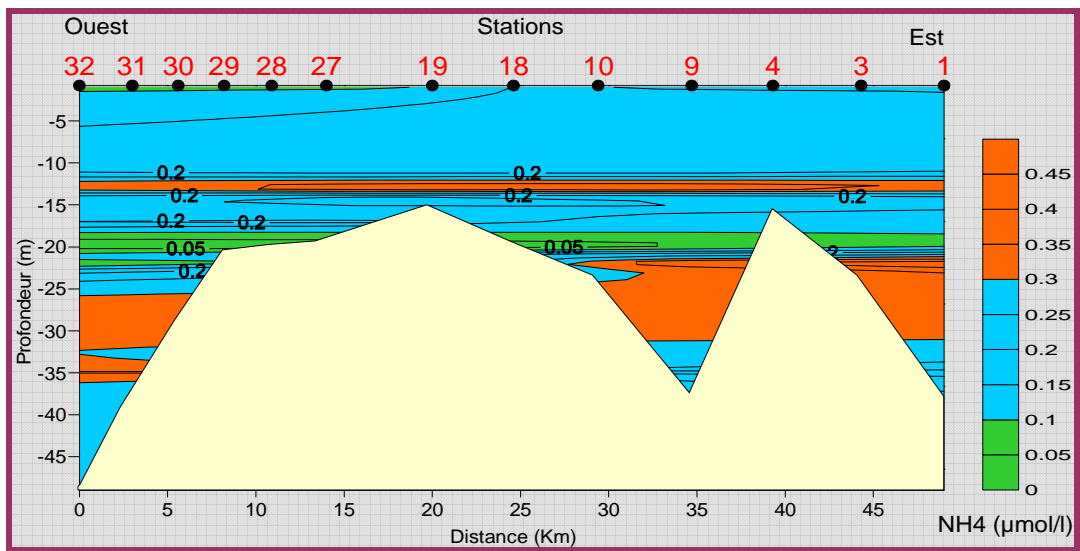


Fig.36 : Distribution verticale de l'ammonium le long de la section Ouest-Est (côte).

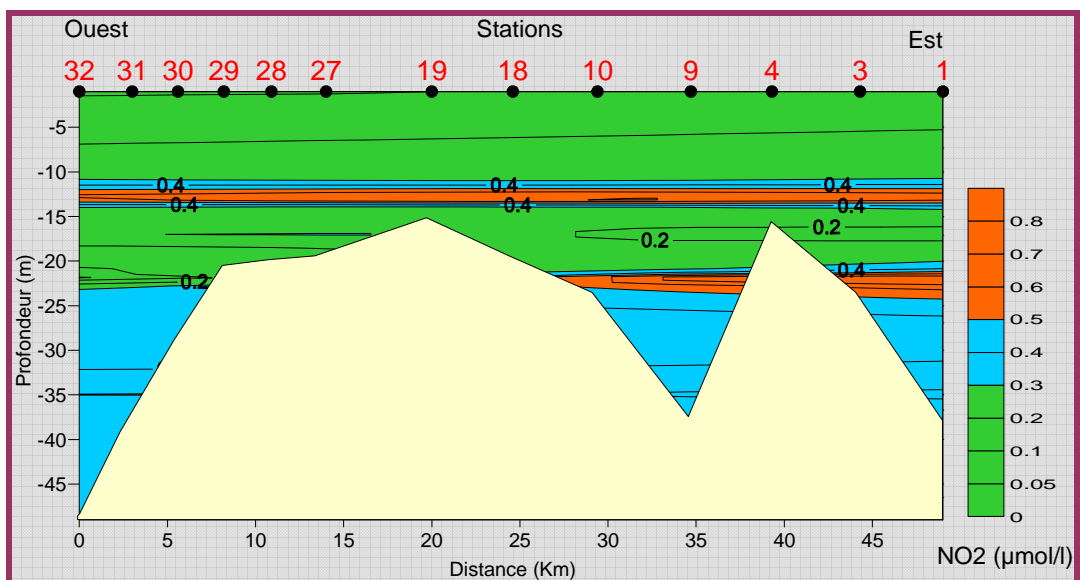


Fig.37: Distribution verticale des nitrites le long de la section Ouest-Est (côte).

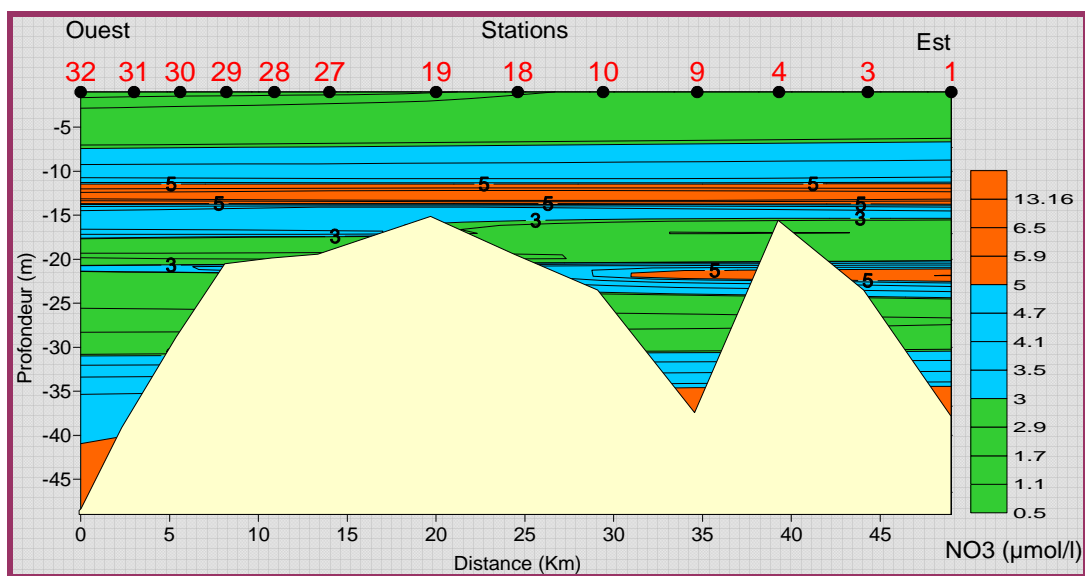


Fig.38: Distribution verticale des nitrates le long de la section Ouest-Est (côte).

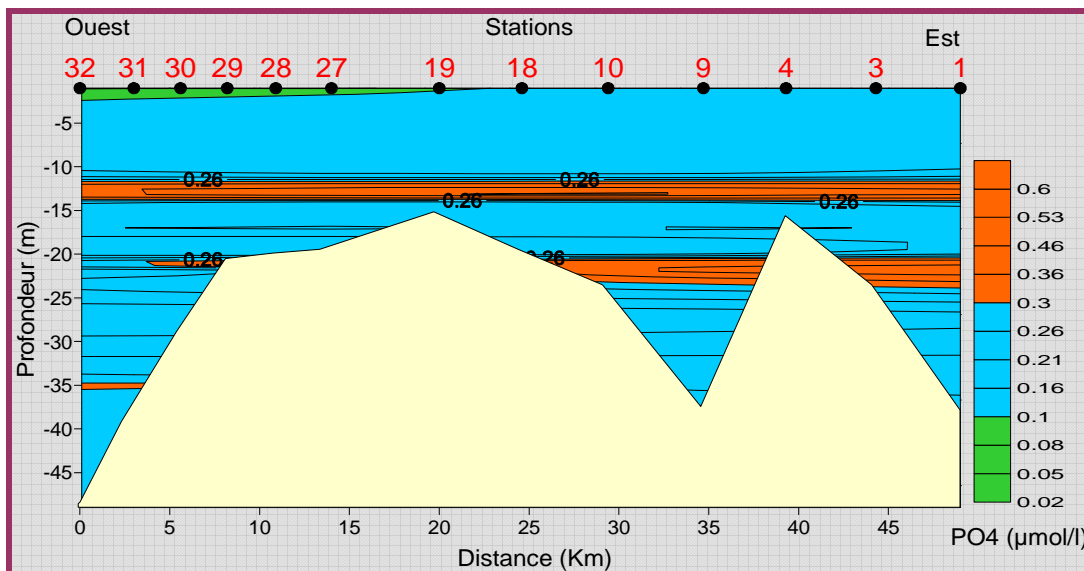


Fig.39 : Distribution verticale des phosphates le long de la section Ouest-Est (côte).

2.2.2. Sections côte- large

a) Description de la section côte-large (A)

Cette section qui se localise au centre du golfe d’Annaba en face Oued Mafreg et qui présente une profondeur croissante de la côte vers le large (de 15 à 50 m) et montre une distribution verticale bien stratifiée pour l’ensemble des paramètres. Cette stratification est plus claire pour la température (fig.40), les nitrates (fig.45) et les phosphates (fig.46). Cette section comporte une seule masse d’eau Atlantique modifié (MAW) légèrement adoucie par les eaux continentales, certainement celles de Oued Mafragh.

En dessous de 30 m de profondeur apparaît une couche d’eau caractérisée par un minimum de salinité, des concentrations relativement élevées en oxygène dissous, nitrites, ammonium, nitrates et phosphates. Cette couche serait probablement celle observée au niveau de la section du large à plus de 40 m de profondeur. Cette eau a gardé ses caractéristiques, sauf la salinité qui s’est adoucie, certainement par mélange avec les eaux côtières déjà adoucies par les cours d’eau à cet endroit.

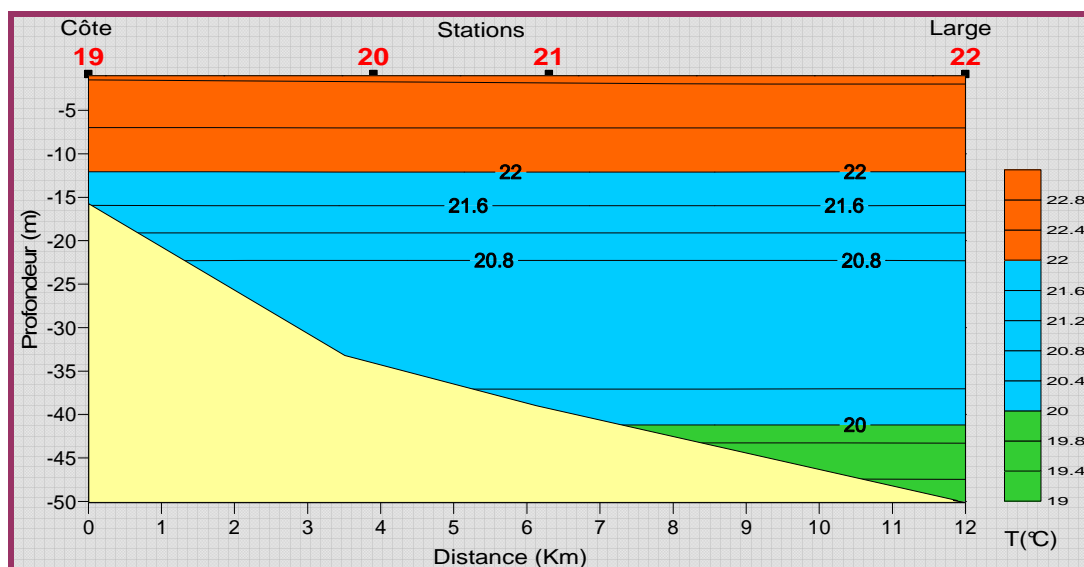


Fig.40 : Distribution verticale de la température le long de la section côte -large (A).

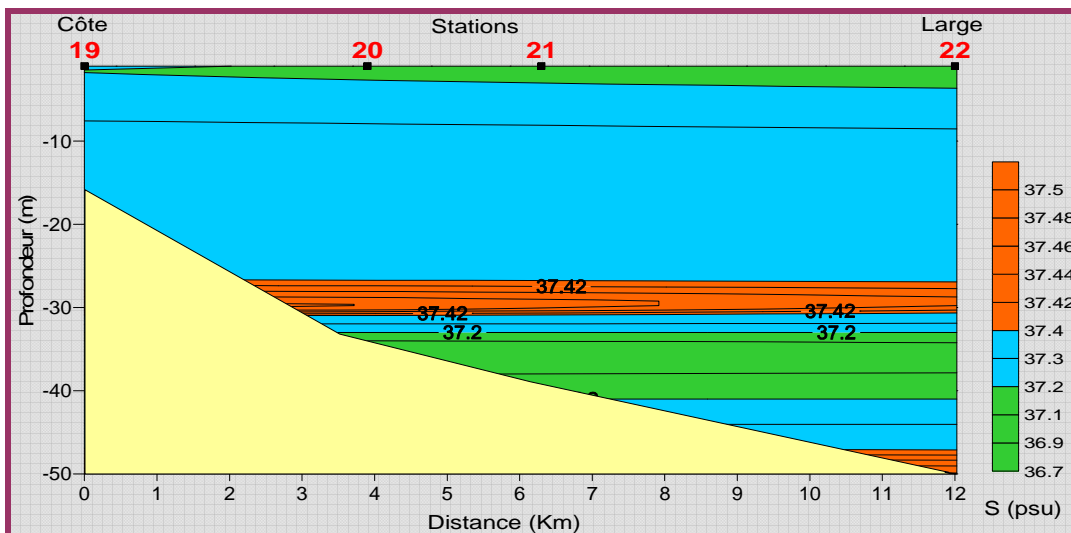


Fig.41 : Distribution verticale de la salinité le long de la section côte-large (A).

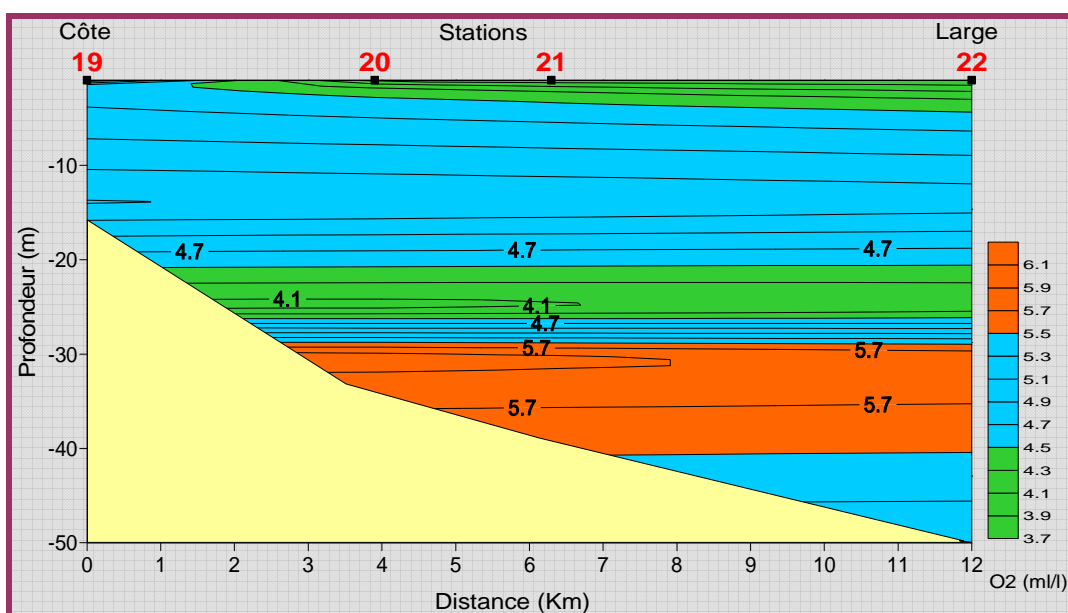


Fig.42: Distribution verticale de l'oxygène dissous le long de la section côte-large (A).

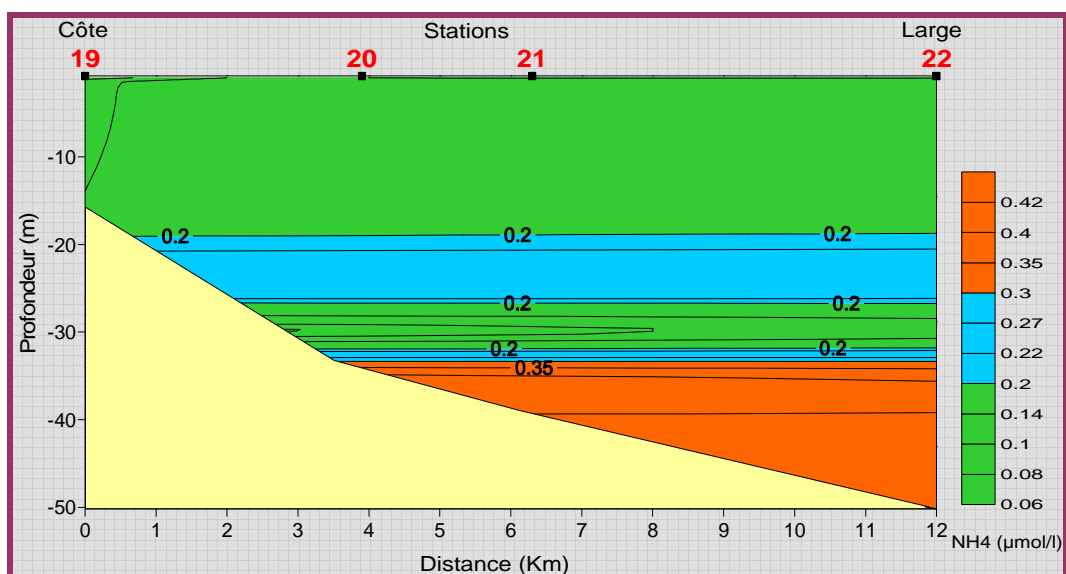


Fig.43: Distribution verticale de l'ammonium le long de la section côte-large (A).

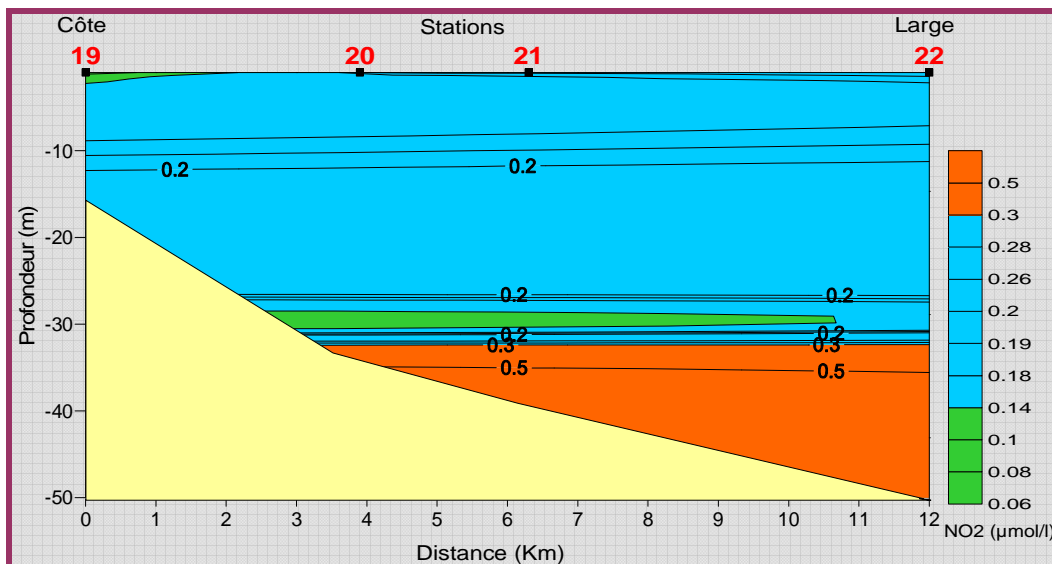


Fig.44 : Distribution verticale des nitrites le long de la section côte-large (A).

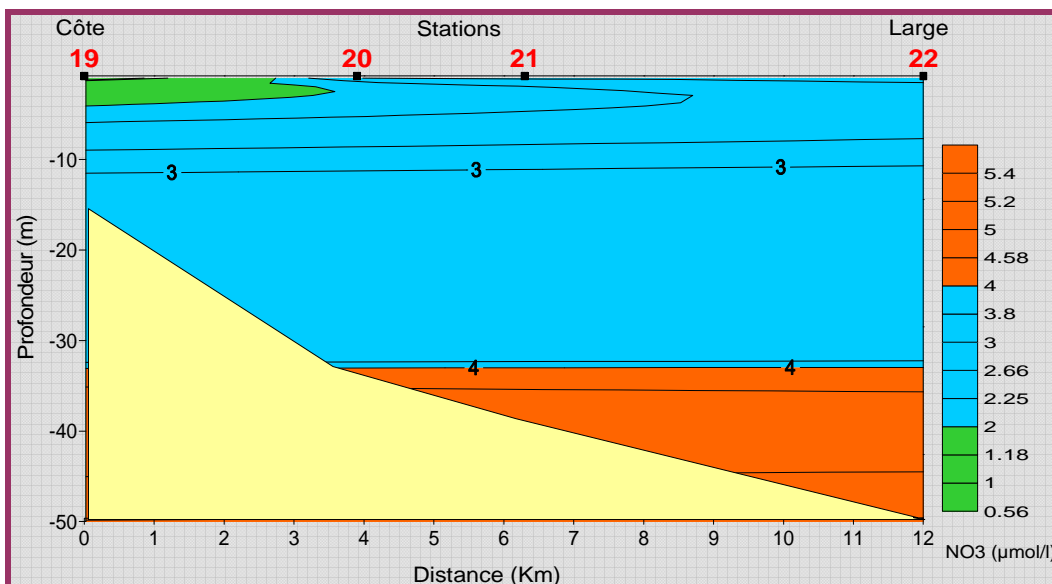


Fig.45 : Distribution verticale des nitrates le long d la section côte-large (A).

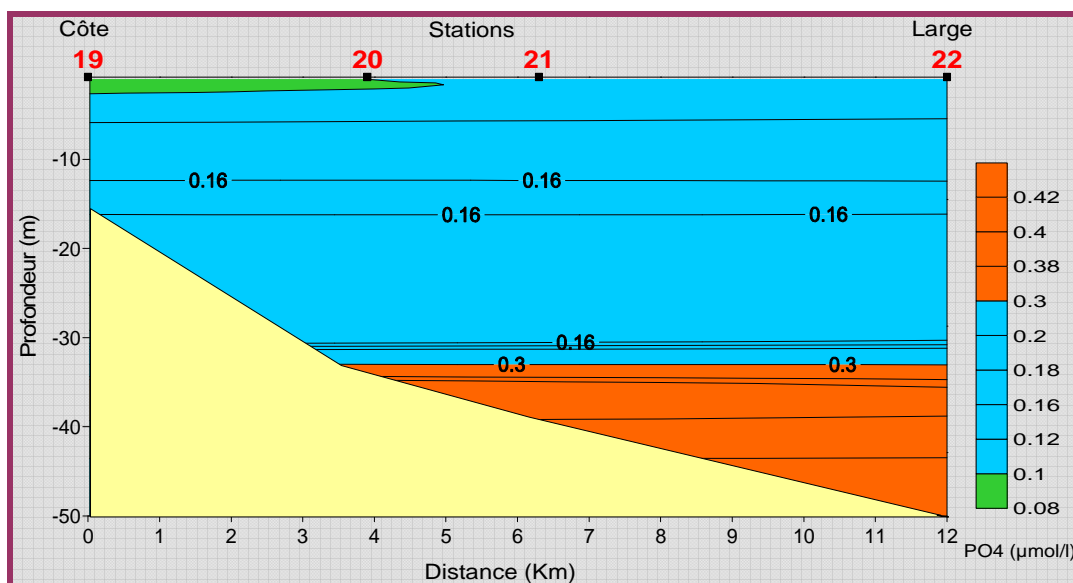


Fig.46: Distribution verticale des phosphates le long de la section côte-large (A).

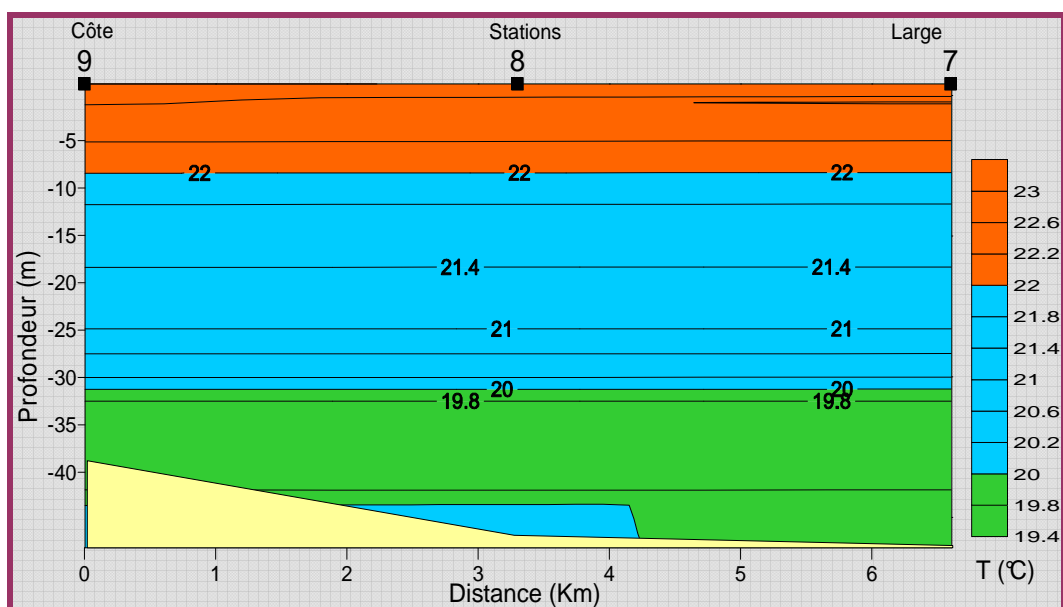
### b) Description de la section côte-large (B)

Au niveau de la section côte-large (B), la distribution verticale des paramètres physico-chimiques (fig.47, 48 et 49) est analogue à celle observée dans la section côte-large (A) sauf la salinité qui présente des anomalies dans sa stratification. La distribution des sels nutritifs (fig.50, 51, 52 et 53) présentent aussi des anomalies dans la stratification. Le fond des stations 7 et 8 montre des faibles valeurs en nitrates et nitrites et modérée en ammonium et phosphates. Ces faibles valeurs sont accompagnées de fortes valeurs en oxygène dissous. Ce qui peut être expliqué par l'activité photosynthétique due à l'installation des herbiers de posidonies et des algues benthiques dans cet endroit.

Du côté du large, en surface, dans la section des nitrites, on observe un front de faibles valeurs de nitrites qui se dirige vers la côte. Ceci peut être en relation avec le forcing des eaux oligotrophe de surface du large vers la côte.

La régénération par les microhétérotrophes, à elle seule, est suffisante pour satisfaire la majeure partie (92%) de la demande annuelle du phytoplancton en ammonium (**Le Corre et al,1996 in Raimbault et al,2004**). Lorsque les autres sources d'ammonium disponibles dans le système (excrétions des macro zooplancton, apports benthiques) sont prises en compte, la production totale d'ammonium excède l'utilisation par le phytoplancton. (**Le Corre et al,1996 in Raimbault et al,2004**) ce qui permet d'expliquer l'accumulation de l'ammonium dans la colonne d'eau observée à partir de 30 m de profondeur.

Il est important de citer que l'eau profonde ne se manifeste pas le long de cette section ce qui confirme que cette masse d'eau du large qui vient de l'Ouest perd ses caractéristiques de plus en plus qu'elle se dirige vers l'Est du golfe.



**Fig.47** : Distribution verticale de la température le long de la section côte-large (B).

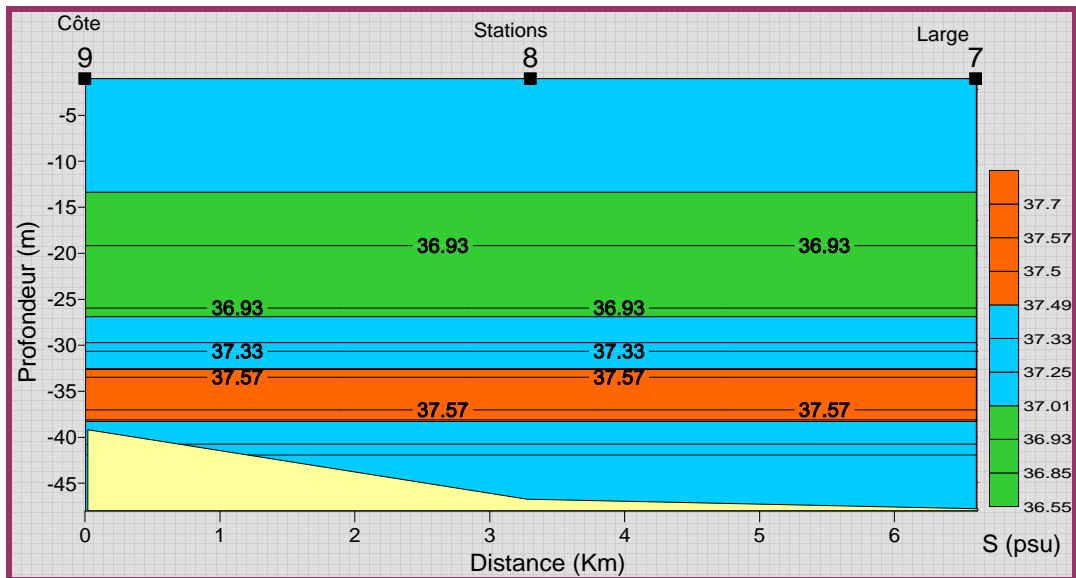


Fig.48 : Distribution verticale de la salinité le long de la, section côte-large (B)

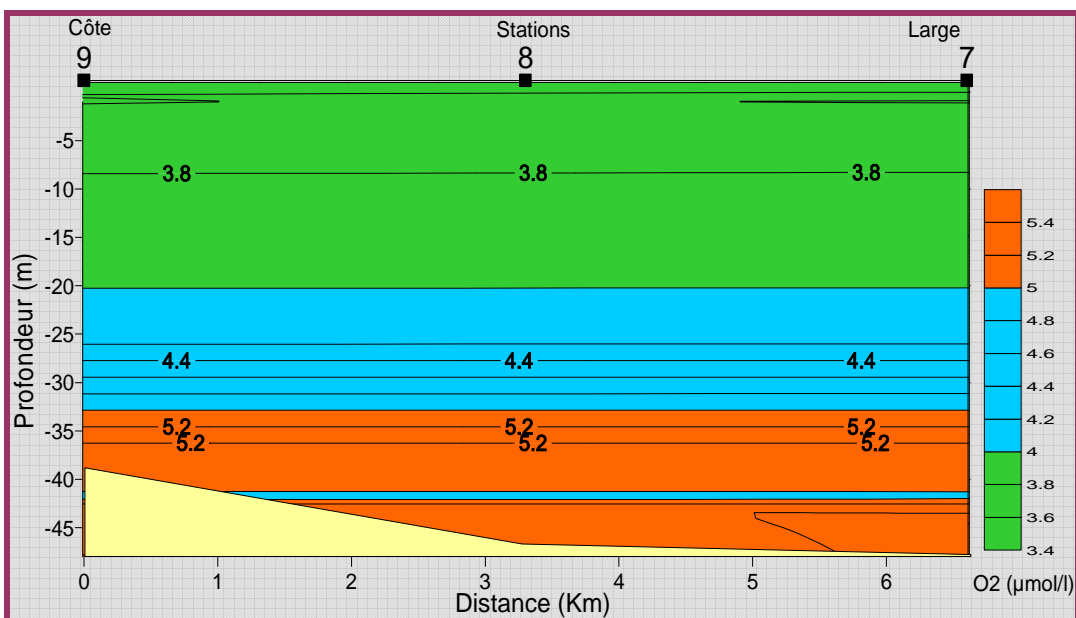


Fig.49 : Distribution verticale de l'oxygène dissous le long de la section côte-large (B).

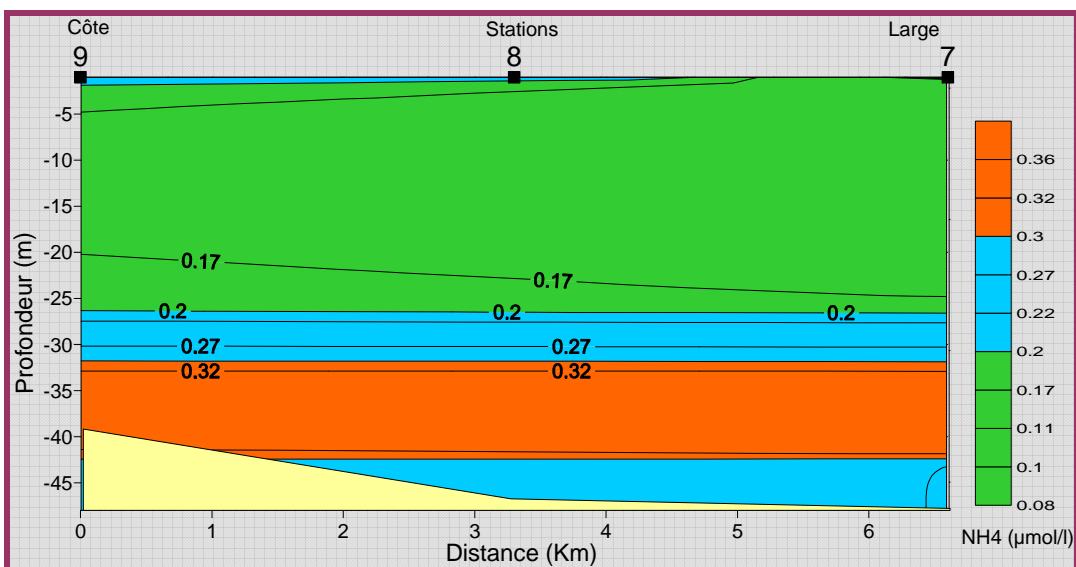


Fig.50 : Distribution verticale de l'ammonium le long de la section côte-large (B).

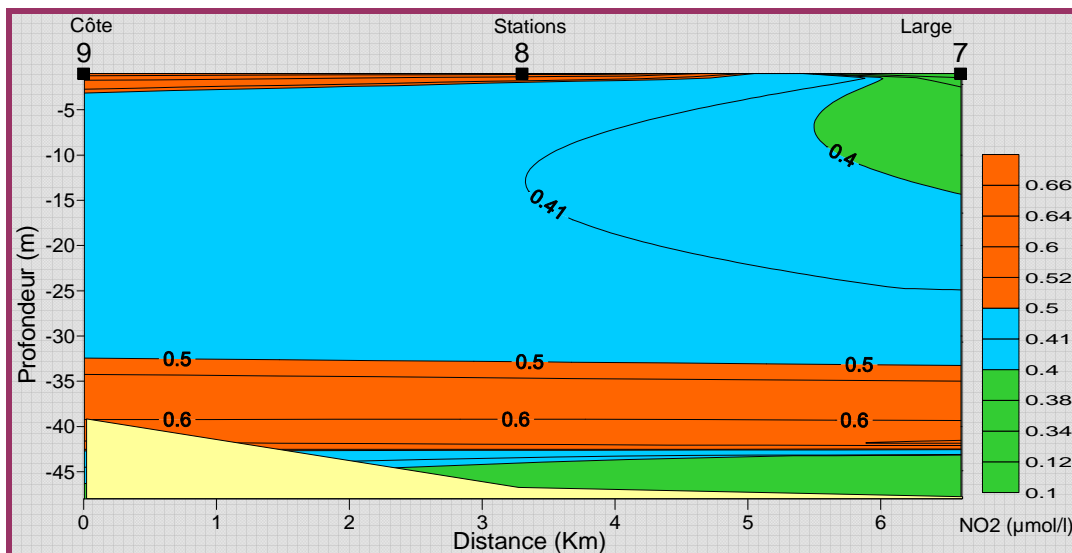


Fig.51: Distribution verticale des nitrites le long de la section côte-large (B).

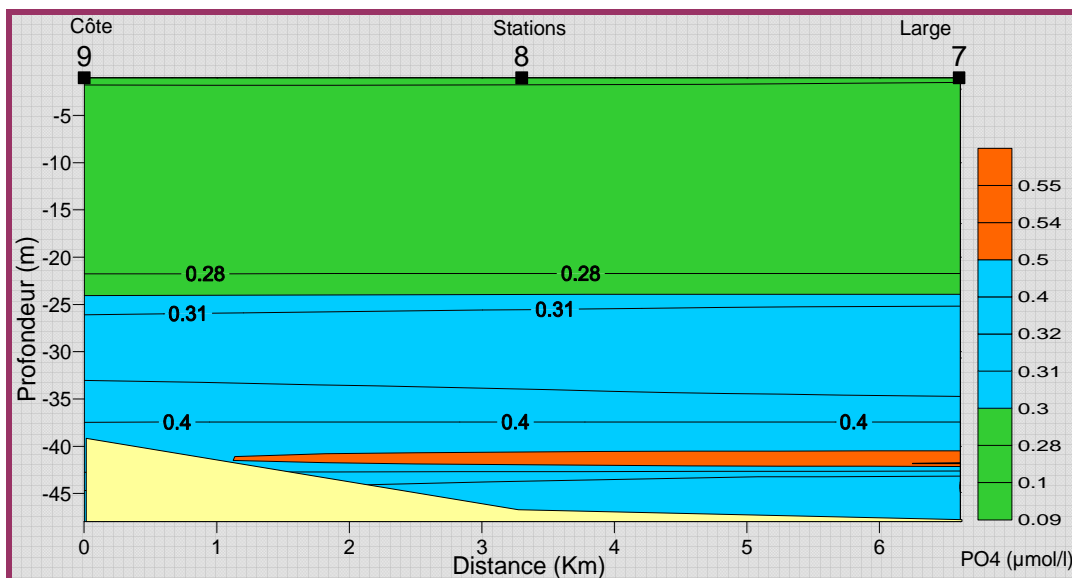


Fig.52: Distribution verticale des phosphates le long de la section côte-large (B).

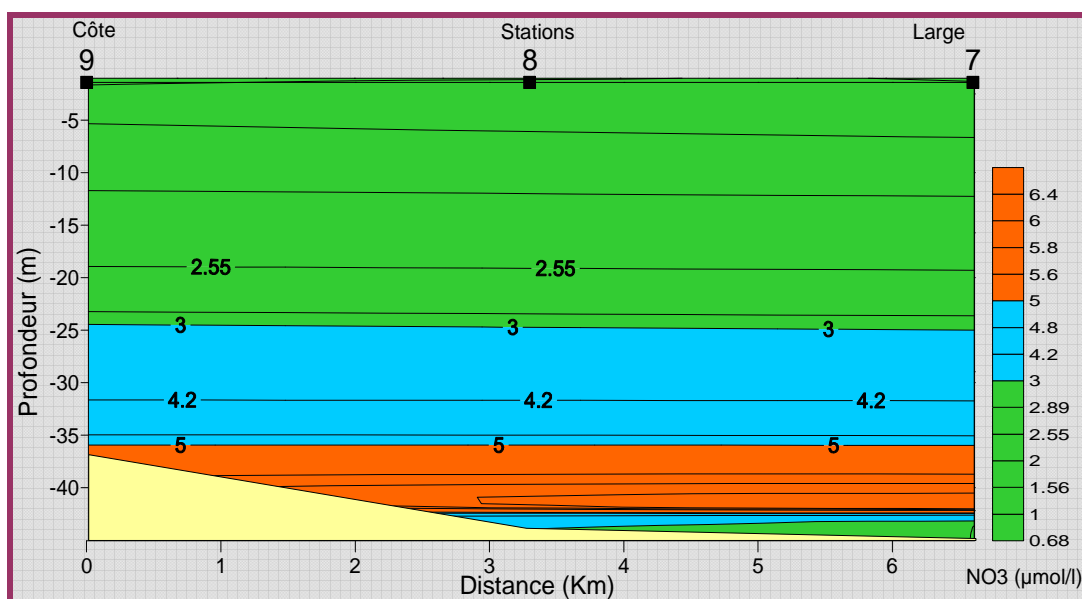


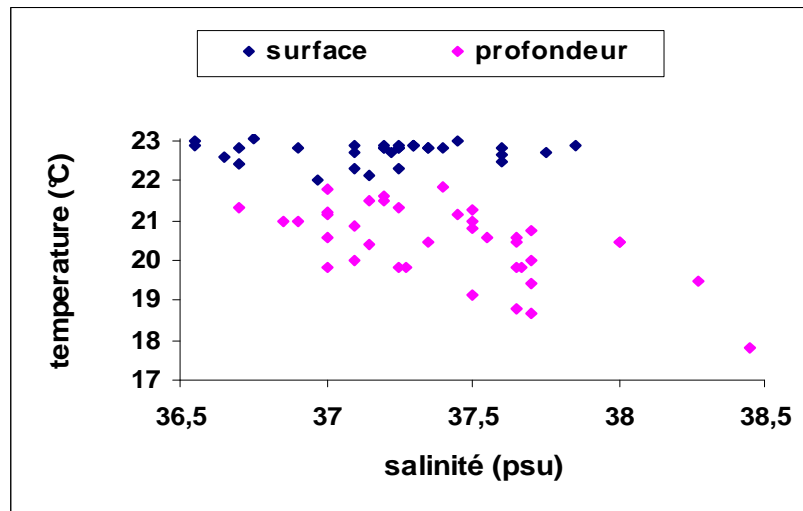
Fig.53: Distribution verticale des nitrates le long de la section côte -large (B).

### 3. Analyse binaire

L'analyse binaire est une méthode pour le traitement et l'étude des comportements d'un paramètre par rapport à l'autre dont l'objectif est la mise en évidence des relations et des dépendances qui peuvent exister entre ces paramètres.

#### 3.1. Diagramme de corrélation température-salinité (T-S)

Le diagramme température-salinité (fig.54) montre une relation très diffuse. Dans ce diagramme on peut distinguer deux principaux groupes de points plus ou moins distincts :



**Fig.54:** Diagramme de corrélation température/salinité (T-S)

- Le premier est formé par un grand nuage de points diffus. Ce nuage de point occupe toute la gamme des températures et des salinités relevées allant de 36,5 psu à environ 37,8 psu. Ce grand nuage de point forme, en effet, la grande masse d'eau de tout le golfe d'Annaba.

Il est assez diffus peut être subdivisé en deux autres sous groupe de points. L'un est formé des eaux de surface légèrement chaudes avec des températures supérieures à 22 °C. L'autre est formé par les eaux du golfe en profondeur et qui n'affleurent pas, leur température est inférieure à 22°C.

- Le deuxième nuage de points est formé uniquement de 4 points qui sont la station 14 (25 et 49m), la station 12 (45m) et la station 11 (35m). Ces eaux forment les traces d'une petite masse d'eau dont la caractéristique principale est la salinité élevée ( $S > 38$  psu). Cette caractéristique s'approche de celle de l'eau profonde (surtout au fond de la station 14). Cette masse d'eau ne se manifeste jamais en surface dans notre étude.

### 3.2. Diagramme de corrélation nitrate-phosphate ( $\text{NO}_3^-/\text{PO}_4^{3-}$ )

La corrélation entre les nitrates et les phosphates (fig.55) donne une distribution diffuse, mais linéaire et semble être significative ( $r^2 = 0,52$ ). L'examen des points trop dispersés par rapport à l'ensemble n'évoque pas de contraintes ou d'anomalies particulières. La droite de régression formée par l'ensemble des points est définie par l'équation suivante :

$$\text{NO}_3^- = 10,99 \text{ PO}_4^{3-} + 1,1 \quad (r^2 = 0,52).$$

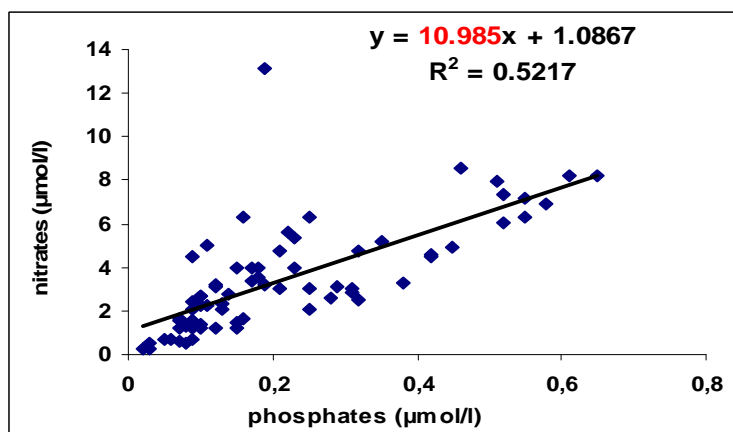


Fig.55: Diagramme de corrélation nitrates-phosphates.

Des variations du rapport nitrates-phosphates dissous peuvent être observées. Il est toujours faible dans les eaux littorales où il montre en outre une variation saisonnière (Riley et Chester, 1971, in Boulahdid, 1987).

Le rapport d'abondance entre les nitrates et les phosphates (N/P=10,99) est relativement faible par rapport à celui admis par Redfield et autres pour les eaux de surface à l'échelle globale de l'océan (Redfield et al, 1963 ; Minster et Boulahdid, 1987). Il est aussi relativement faible par rapport à celui trouvé Boulahdid et al., (2000) dans la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (N/P=16).

Cependant, ce rapport est largement supérieur à celui trouvé par Boulahdid et al., (2000) dans la baie d'Alger (N/P=1,6), à celui trouvé par Boulahdid et al., (2000) dans la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (N/P=2) et à celui trouvé par Lokmane (1993) dans la baie de Zemmouri (N/P=7).

Le faible rapport N/P dans le golfe d'Annaba peut être expliquée par la contribution continentale en phosphates par le lessivage des terres agricoles par les eaux de ruissellement, surtout dans la partie Est et aussi par les eaux usées déversées par les deux Oueds qui sont riches en phosphates. De même que la consommation des sels nutritifs par le phytoplancton peut être un autre facteur, car généralement, c'est l'azote nitrique qui s'épuise en premier lieu. D'autre part, nous savons aussi que ce rapport dans les eaux du large est de l'ordre de 22 (Raimbault et al, 1993). Donc le mélange, malgré faible, des eaux du large avec celles de la côte peut être un facteur supplémentaire intervenant dans l'explication de ce rapport trouvé dans le golfe.

## Conclusion

L'étude menée dans cette partie, notamment par les distributions horizontale et verticale (étude des sections) des paramètres physicochimiques et des sels nutritifs et par les diagrammes d'analyse binaire pour certains paramètres permet de faire ressortir les points suivants :

En terme de masse d'eau, le diagramme température et de salinité évoque :

- l'eau atlantique modifiée (MAW) qui occupe tout le golfe d'Annaba. le réchauffement important des eaux en surface fait distinguer celles-ci des eaux en profondeur légèrement plus fraîches. Cette grande masse d'eau se trouve légalement adoucie, par endroit, essentiellement par la contribution des apports continentaux en eaux douces.
- l'eau profonde qui se distingue aisément par sa forte salinité qui n'est représentée ici que par quelques points assez profonds du côté du large (fond des stations 11, 12 et 14).

Les eaux du golfe sont assez stables, surtout en cette période d'étude. En effet, les différentes sections montrent une stratification verticale assez stable le long de toute la colonne d'eau de mer. Le mélange des eaux est assez faible ou lent et s'effectue vraisemblablement horizontalement. En effet, on n'observe nulle part une stratification perturbée par des indices d'un mélange vertical. Le mélange entre les eaux du golfe et celles du large profondes s'opère lentement et horizontalement en suivant le fond marin. Ce dernier paraît être assez plat et sans morphologie qui peut perturber ou faire obstacle à cette dynamique horizontale.

L'activité biologique photosynthétique est plus ou moins importante à plusieurs niveaux de profondeurs, notamment en surface à proximité du port et de la ville et des embouchures des deux oueds. Cette activité est constatée aussi à certaine profondeur par des concentrations significativement élevées en ammonium, nitrites et oxygène dissous, notamment au sommet de la couche riche en nitrates et phosphates à environ 30 à 35 m de profondeur dans le centre du golfe et environ 45 m de profondeur du côté du large.

Certaines anomalies observées au niveau de la distribution verticale des sels nutritifs montrent, probablement, le rôle important du sédiment marin. En effet dans les sédiments marins côtiers, les communautés microbiennes jouent un rôle primordial dans l'oxydation et la minéralisation des composés organiques complexes ainsi que dans la régénération des nutriments indispensables à la production primaire dans la colonne d'eau (**Herbert et Nedwell, 1990 ; Carpenter et Capone, 1983 in Raimbault et al, 2004**).

## B. INTERPRETATIONS DES DONNEES DU LARGE DE LA BAIE D'ALGER

### 1. Analyse paramétrique

Les données acquises dans la zone d'étude sont résumées sous forme des valeurs moyennes et extrêmes à différents niveaux (de la surface jusqu'au 1000 m de profondeur) et présentées dans l'annexe 5.

#### 1.1. Variations des paramètres physicochimiques

##### a) La température

En début d'été, le profil thermique est remarquable. Ainsi, d'une manière générale, on peut observer en méditerranée :

- une couche homotherme de surface dont la température dépasse 20°C
- une couche profonde dont la température demeure proche de 13°C jusqu'au fond
- entre les deux une région de transition à fort gradient thermique ou thermocline (Jaques et Tréguer, 1986).

Les valeurs thermiques au niveau des eaux du large de la baie d'Alger reflètent une situation typiquement de la période estivale. L'écart thermique est compris entre 12,92°C au niveau de la station 48p (radiale B) à 800 m de profondeur et 22,31°C au niveau de la station 61s (radiale C) en surface, avec une moyenne de 15,08 °C et un écart type de 2,22 (annexe 5).

La couche superficielle directement soumise à l'influence des conditions météorologiques détient les plus fortes valeurs de températures avec un maximum de 22,31°C localisé au niveau de la station 61s situé plus loin vers le large.

Ces températures diminuées suivant des gradients thermiques différents d'une couche d'eau à l'autre. En effet, il est de l'ordre 0,15 °C/m entre 0 et 30 voire 50 m de profondeur (Semmar, 1992).

##### b) La salinité

La salinité au niveau du large de la baie d'Alger varie dans une large gamme entre 36,5 psu au niveau de la station 44s à 20 m de profondeur et de 38,57 psu au niveau de la station 61s à 352 m de profondeur qui s'explique sans doute par l'empreinte de l'eau intermédiaire Levantine avec une moyenne de 37,26°C et un écart type de 1,38 (annexe 5). En dépit de la situation de ces eaux au large de la baie d'Alger ces salinités restent en moyenne légèrement plus élevée que celles signalées dans la baie d'Alger (Boulaïdid et al, 1993).

##### c) L'oxygène dissous

Les données de l'oxygène dissous sont absentes dans presque toutes les stations de la zone étudiée. De ce fait, on s'est basé sur une seule série (station 54s de 0 à 200 m de profondeur) pour l'analyse de ce paramètre. Le maximum de concentration en oxygène dissous est observé à 30 m de profondeur, tandis que le minimum est à 200 m de profondeur.

En général la couche d'eau de 0 à 40 m de profondeur caractérisé par des concentrations importantes en oxygène (>5 ml/l) qui sont dues à l'échange air-mer et à la photosynthèse. Ces concentrations diminuent dans une couche de 30 à 70 m de profondeur s'explique par plusieurs phénomènes : la décroissance de l'échange air-mer, la baisse de l'activité photosynthétique et l'utilisation chimique et biologique de ce gaz (**Semmar, 1992**). En dessous de cette couche et jusqu'au 100 m de profondeur on assiste à une légère augmentation des ces concentrations avant de reprendre une allure décroissante jusqu'à un minimum de 4,47 ml/l à 200 m de profondeur.

## 1.2. Variation des sels nutritifs

### a) Les nitrates

Les valeurs des nitrates relevées dans les eaux du large de la baie d'Alger oscillent entre 0 et 9,33  $\mu\text{mol/l}$  avec une moyenne de 4,46  $\mu\text{mol/l}$  et un écart type important de l'ordre de 3,16.

La couche de surface d'une épaisseur de 30 à 40 m présente des concentrations presque nulles et peuvent s'expliquer par l'intensité de l'activité photosynthétique.

Au delà de cette couche les nitrates augmentent rapidement à l'exception des stations 39s et 41s, pour atteindre un maximum relatif aux environ de 70 à 80 m de profondeur, ce maximum varie d'une station à l'autre.

En dessous de cette couche relativement riche en nitrates les concentrations subissent une diminution rapide jusqu'à 100 m voire 150 m de profondeur. Elles sont ainsi réduites à moins de la moitié. Il s'agit probablement d'une couche relativement pauvre en sels nutritifs (**Semmar, 1992**). Cette couche est suivie par une autre dont les concentrations augmentent de façon importante jusqu'à 200 m de profondeur avant de se stabiliser à une concentration en moyenne de 9  $\mu\text{mol/l}$  au-delà de cette profondeur.

### b) Les phosphates

Les résultats obtenus pour les phosphates dans les eaux du large de la baie d'Alger (annexe 5) montrent une large gamme de concentrations de 0 à 0,55  $\mu\text{mol/l}$  avec une moyenne de 0,19  $\mu\text{mol/l}$  et un écart type relativement important de l'ordre de 0,13.

D'une manière générale et à quelques différences près les phosphates ont le même comportement que les nitrates (**Semmar, 1992**).

### c) Les silicates

Les valeurs des silicates enregistrées dans les eaux du large de la baie d'Alger (annexe 5) varient dans l'intervalle de 0,16 à 8,5  $\mu\text{mol/l}$  avec une moyenne 3,09  $\mu\text{mol/l}$  et un écart type important de l'ordre de 2,43.

Entre 0 et 50 m de profondeur, les concentrations de silicates (fig.71) varient autour de 1  $\mu\text{mol/l}$ . cette valeur moyenne à été précédemment signalée par MEDIPROD V (**Semmar, 1992**).

En dessous de cette profondeur, les silicates comme les autres sels nutritifs augmentent rapidement pour atteindre un maximum relatif à environ 70 à 80 m de profondeur.

#### d) Les nitrites

Les concentrations des nitrites (annexe 5) oscillent autour d'une moyenne de  $0,067 \mu\text{mol/l}$  avec des minima et des maxima qui se succèdent le long de la colonne d'eau. En générale elles présentent des concentrations très faibles qui n'atteignent guère  $0,05 \mu\text{mol/l}$  entre 0 et 30 voir 50 m de profondeur. A partir de ces profondeurs ces concentrations augmentent jusqu'à 50 voir 90 m de profondeur. En dessous de cette couche subsuperficielle, ces concentrations chutent rapidement jusqu'à une profondeur comprise entre 70 et 120 m.

Plus bas en profondeur, les concentrations demeurent relativement faibles et plus ou moins stables ( $0,03$  à  $0,05 \mu\text{mol/l}$ ) jusqu'à 200 m. (Semmar, 1992).

### 1.3. La chlorophylle *a* et les phaeopigments

#### a) La chlorophylle *a*

Les mesures de la chlorophylle *a* ont été effectuées entre 0 et 100 m de profondeur (annexe 5). Elles présentent des minimums relatifs ( $<0,1 \mu\text{g/l}$ ) à la limite inférieure de la zone euphotique et un maximum de  $8,32 \mu\text{g/l}$  à 50 m de profondeur dans la station 43s située au milieu du radiale C. Ce maximum correspond à la zone de maximum en oxygène dissous, due à l'intensité de l'activité photosynthétique. La moyenne est de  $0,66 \mu\text{mol/l}$  avec un écart type de 1,07.

#### b) Les phaeopigments

Comme la chlorophylle *a*, les mesures des phaeopigments ont été effectuées entre 0 et 100 m de profondeur (annexe 5). Ce paramètre peut nous renseigner sur la variabilité temporelle des masses d'eaux. Les mesures montrent un maximum de  $2,18 \mu\text{g/l}$  à 50 m de profondeur au niveau de la station 38s correspond toujours à la zone de maximum de l'oxygène dissous, et un minimum de  $0 \mu\text{g/l}$  en surface de la station 36s. La moyenne est de  $0,21 \mu\text{g/l}$  avec un écart type très important de l'ordre de 0,27.

Les variations horizontales et verticales de la chlorophylle *a* et des phaeopigments seront discutées plus loin.

## 2. Distribution spatiale et dynamique des masses d'eaux au large de la baie d'Alger

### 2.1. Distribution horizontale

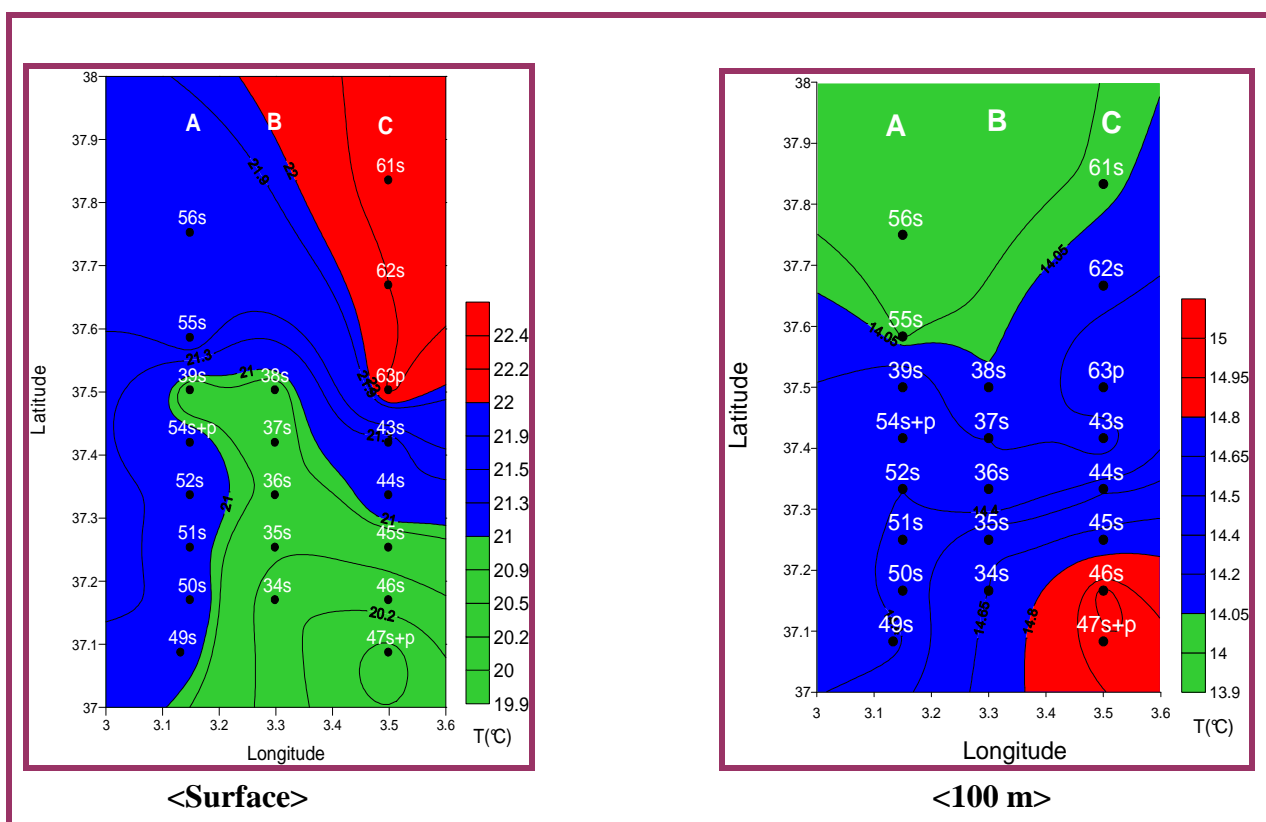
Les cartes des distributions horizontales des paramètres physicochimiques, des sels nutritifs, de la chlorophylle *a* et des phaeopigments pour les eaux du large de la baie d'Alger ont été établies pour deux niveaux de profondeur à la surface et à 100 m.

Pour mieux cerner les variations spatiales des différents paramètres et les différents phénomènes hydrologiques qui se déroulent dans cette couche d'eau on a réalisé une étude comparative entre les deux niveaux.

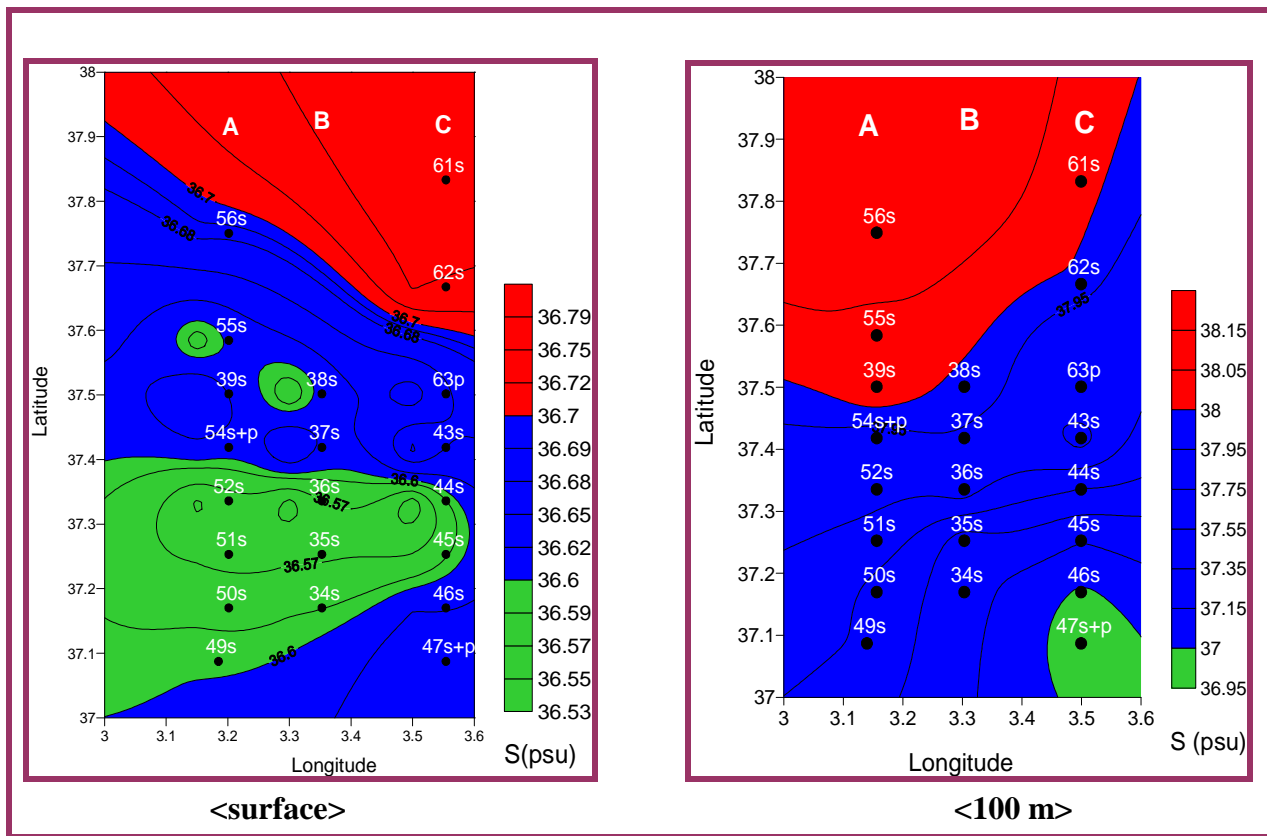
### 2.1.1. Distribution horizontale des paramètres physicochimiques

#### a) La température et la salinité

La distribution de la température (fig.56) et de la salinité (fig.57) en surface et à 100 m de profondeur dans les eaux du large de la baie d'Alger montre que les eaux de surface présentent des salinités caractéristiques de l'eau Atlantique modifiée (MAW). Une interprétation récente (Milot, 1985) fait du bassin Algérien un "réservoir" où l'eau superficielle d'origine Atlantique s'accumule avant de s'écouler vers le Nord et vers l'Est (Jaques et Tréguer, 1986). Bien que ces températures présentent une croissance de Sud vers le Nord de la zone d'étude et qui est bien manifesté dans le radiale C, cette croissance n'a pas de grande signification du fait qu'elle varie dans une petite gamme, A 100 m de profondeur des maximums de salinité coïncident avec des minimums en température dans les stations 55s, 56s (radiale A) et 61s (radiale C) situés plus loin vers le Nord. La localisation de cette masse d'eau avec ces caractéristiques à ce niveau peut renseigner sur une divergence de l'eau profonde. Ces eaux plus fraîches et salines sont localisées aussi à 60 voir 70 m de profondeur et qui se propagent vers l'Est sous forme d'une langue d'eau froide et saline, et affecte plus ou moins le radiale B à 40 et 50 m de profondeur (Semmar, 1992). Au Sud- Est de la zone d'étude et à ce niveau de profondeur apparaisse une tache d'eau relativement chaude et peu saline. Elle est sans doute l'empreinte d'une convergence à 40 voir 50 m de profondeur qui été déjà décrite par Semmar, (1992).



**Fig.56** : Carte de distribution horizontale de la température en surface et à 100 m de profondeur dans les eaux du large de la baie d'Alger.



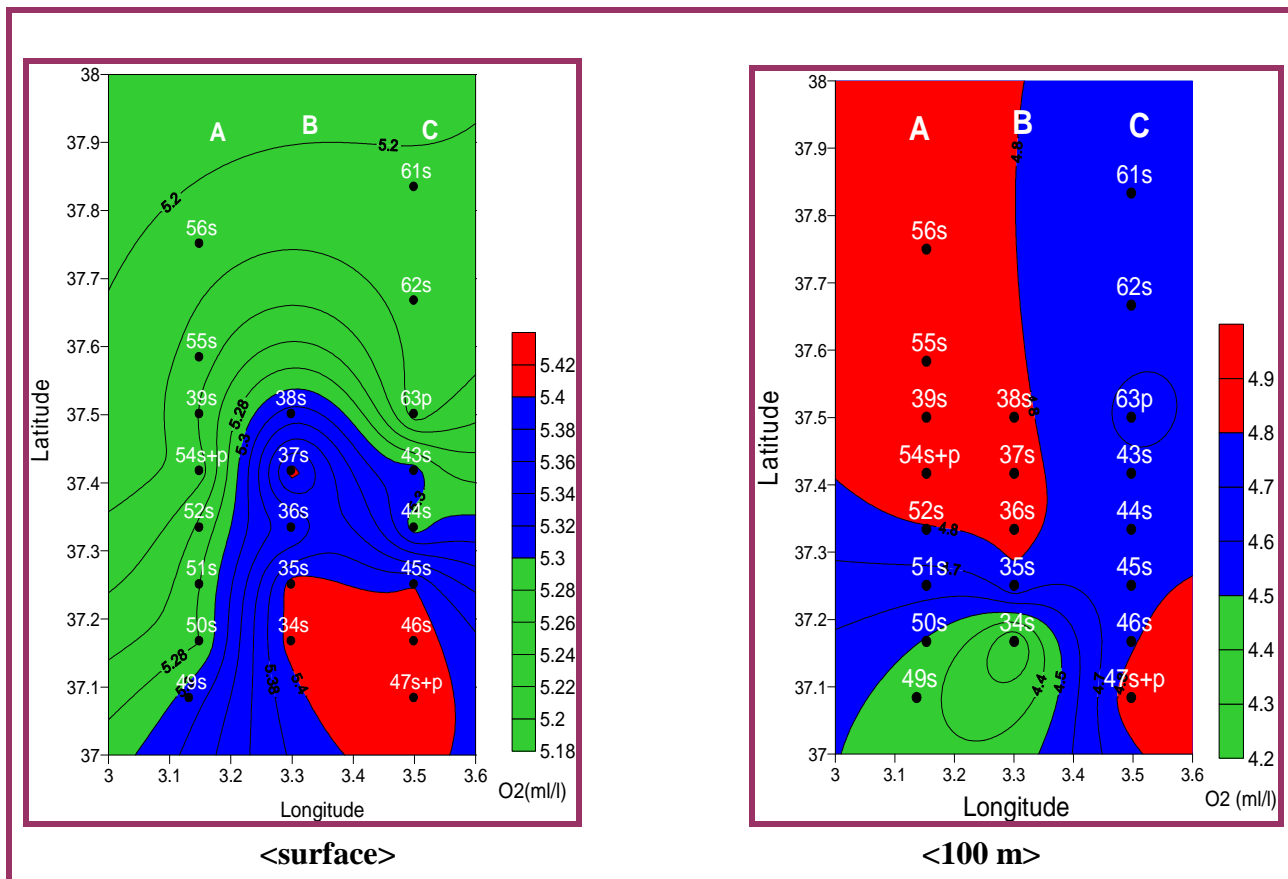
**Fig.57** : Carte de distribution horizontale de la salinité en surface et à 100 m dans les eaux du large de la baie d’Alger.

**b) L’oxygène dissous**

La distribution horizontale de l’oxygène dissous en surface et à 100 m de profondeur dans les eaux du large de la baie d’Alger est montrée dans la figure (58).

Les eaux de surface présentent en général des concentrations importantes en oxygène dissous dues à sa production par l’activité photosynthétique et à l’échange air- mer. Les fortes valeurs se localisent surtout au Sud-Est de la zone d’étude. Elles peuvent s’expliquer peut être par l’importance de la biomasse phytoplanctonique dans cet endroit.

Concernant les concentrations recensées à 100 m de profondeur elles sont en général faibles, et peuvent s’expliquer par l’absence de l’activité phytoplanctonique ainsi que par de la diminution de l’influence de l’échange avec l’atmosphère.



**Fig.58 :** Carte de distribution horizontale de l’oxygène dissous en surface et à 100 m de profondeur dans les eaux du large de la baie d’Alger.

**2.1.2. Distribution horizontale des sels nutritifs**

**a) Les phosphates et les nitrates**

Les cartes des distributions horizontales des phosphates et des nitrates en surface et à 100 m de profondeur dans les eaux du large de la baie d’Alger (fig.59, et fig.60) montrent que les différents sels ont presque la même répartition, la distribution horizontale des nitrates en surface traduit leur épuisement totale par le phytoplancton.

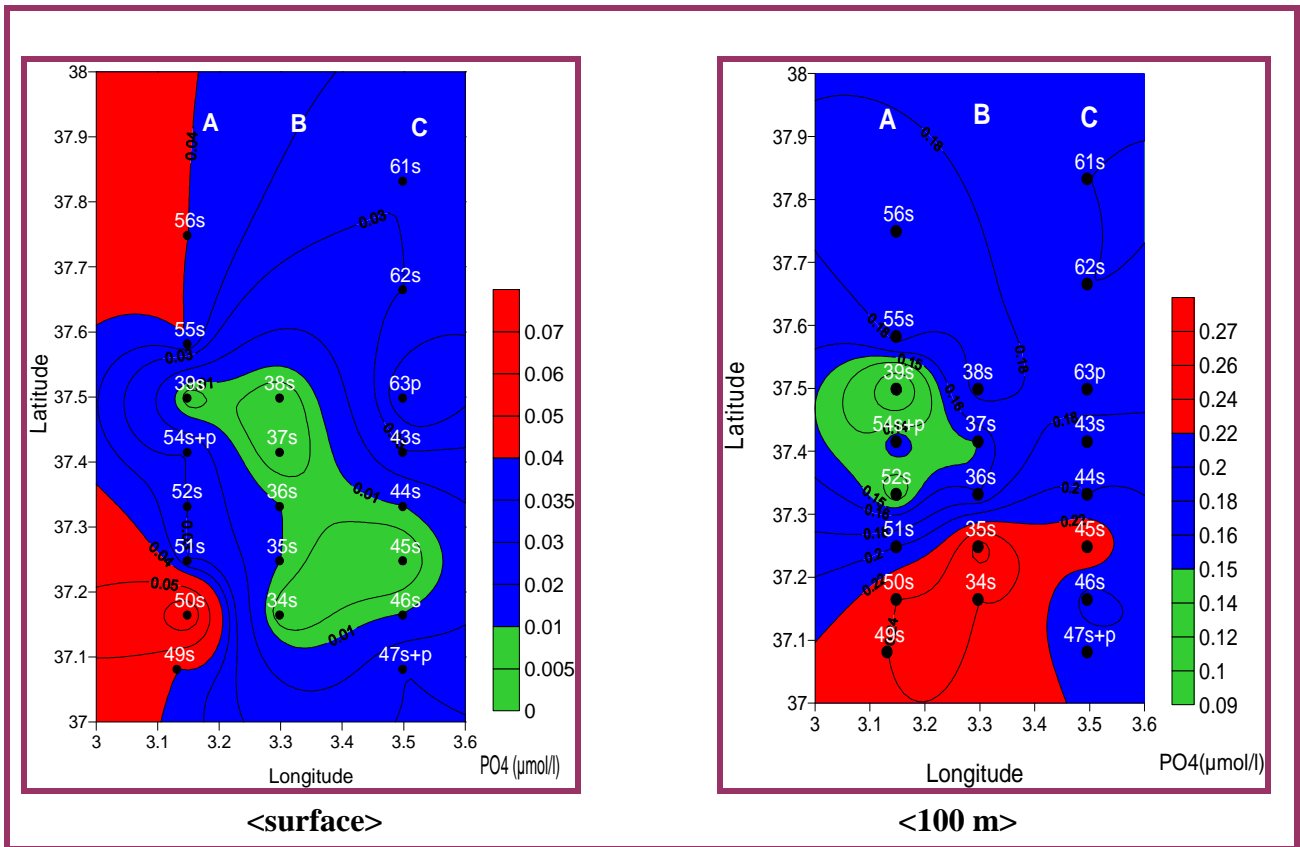
En effet, les concentrations des nitrates en surface sont très faibles voir nulles. Cependant à 100 m de profondeur les nitrates présentent des valeurs élevées.

Ces derniers excèdent les 4,8  $\mu\text{mol/l}$  au Sud de la zone d’étude coïncident avec le minimum d’oxygène dissous. Ces caractéristiques reflètent celles de l’eau d’origine profonde. Cependant, ceci n’est pas confirmé ni par la température ni par la salinité.

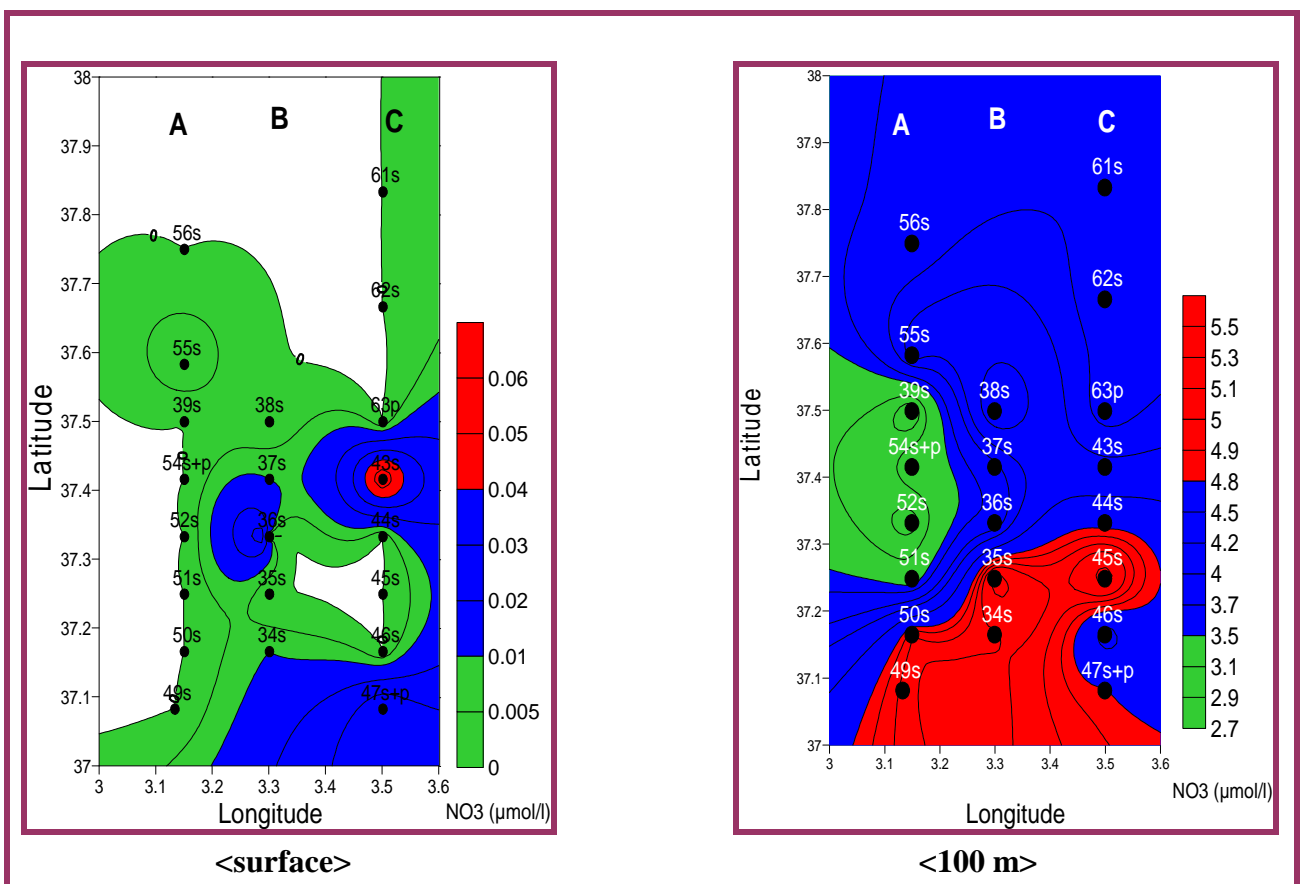
La distribution verticale (fig. 67 à 72) montre que c’est du à une poche d’eau relativement riche en chlorophylle et en nitrites. Dans ce cas on peut conclure que c’est une eau séparée de son origine et qui a eu un court séjour en surface. Dans son état actuel, cette poche d’eau converge probablement en profondeur. Ce processus peut être engendré par des perturbations dynamiques dues à l’instabilité du courant algérien.

La distribution décrite pour les nitrates reste valable pour les phosphates.

La couleur blanche qui apparaisse dans la figure 59, indique une simulation négative des concentrations par le logiciel.



**Fig.59 :** Carte de distribution horizontale des phosphates en surface et à 100 m de profondeur dans les eaux du large de la baie d’Alger.



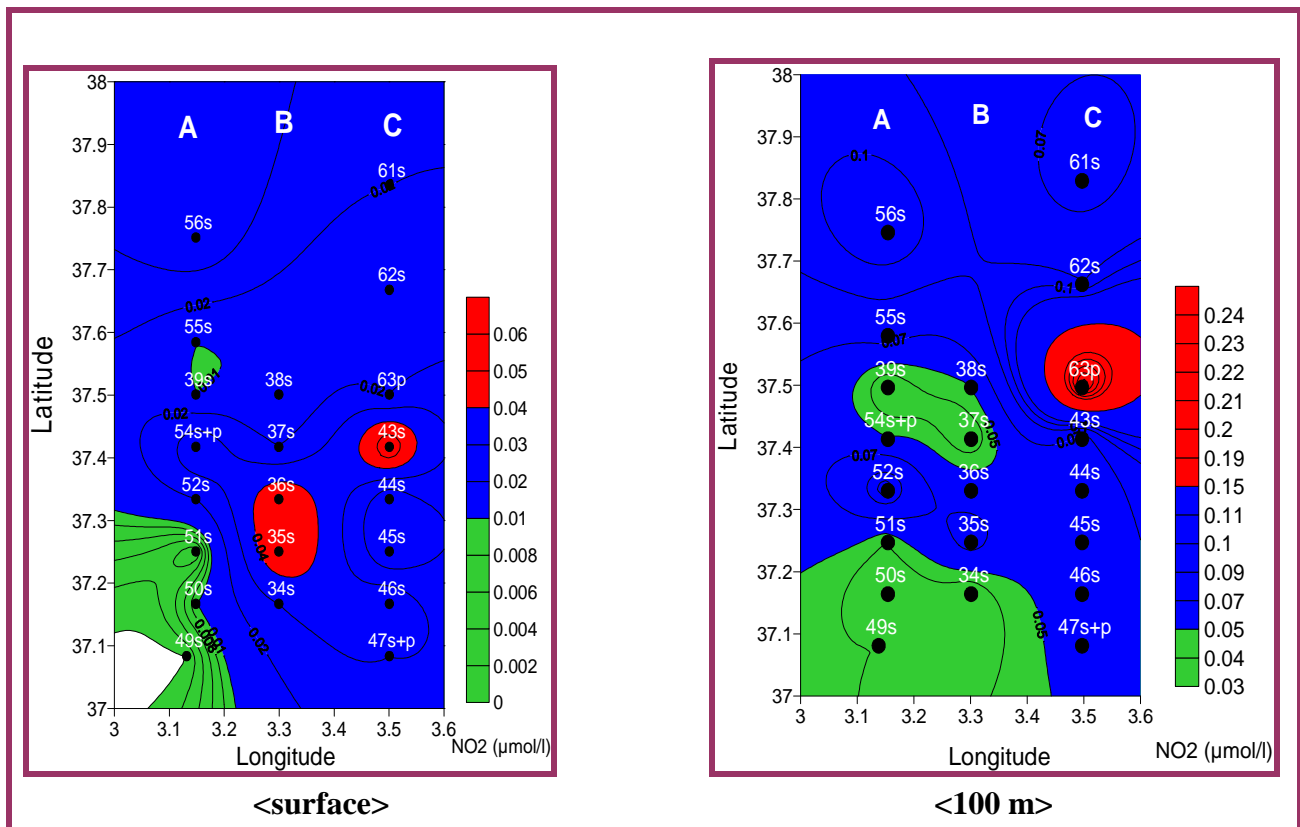
**Fig.60:** Carte de distribution horizontale des nitrates en surface et à 100 m dans les eaux du large de la baie d’Alger.

### b) Les nitrites

La distribution horizontale des nitrites en surface (fig.61) montre une certaine similarité avec la distribution des nitrates et des phosphates en surface. Par contre, à 100 m de profondeur, elle présente certaines anomalies par rapport à la distribution des autres sels nutritifs. Ces anomalies se manifestent par des très faibles concentrations dans la partie Sud-Ouest de la zone d'étude y a compris les stations (49s, 50s, 51s et 34s) et les stations (37s et 39s) au centre ouest de la zone d'étude. Ces faibles valeurs qui coïncident avec des maximums relatifs en d'autres sels nutritifs ne peuvent être expliquées que par une activité biologique (excrétion) hétérogène due à l'instabilité du courant Algérien dans cette zone.

Cependant ces concentrations sont relativement élevées au niveau de la station (63p) situé au centre de la radiale C et pourraient être le signe d'une abondance zooplanctonique importante.

En générale les concentrations des nitrites varient d'une station à une autre et marquent d'une manière générale les remontés et les chutes d'eau signalées par les autres sels (Semmar, 1992).

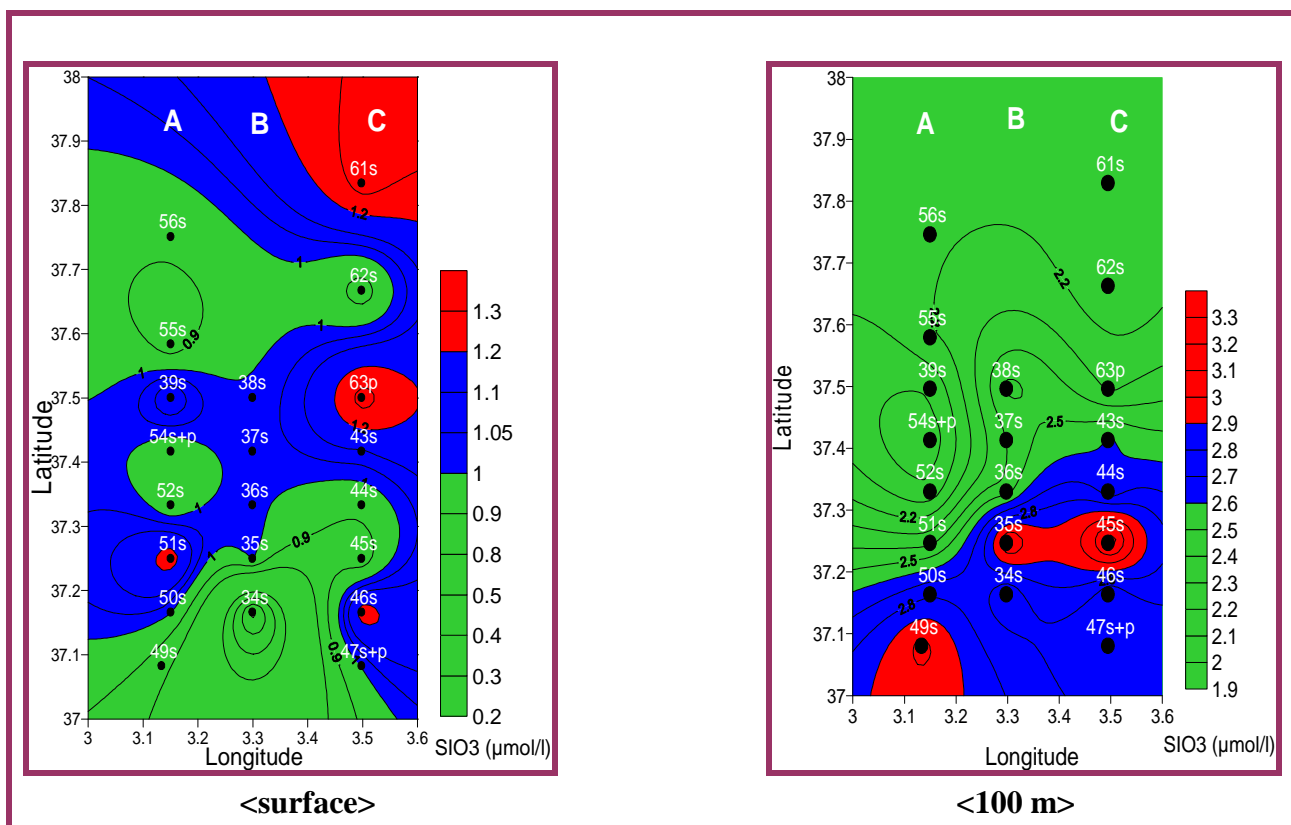


**Fig.61:** Carte de distribution horizontale des nitrites en surface et à 100 m dans les eaux du large de la baie d'Alger.

### c) Les silicates

La distribution des silicates en surface et à 100 m de profondeur (fig.62) dans les eaux du large de la baie d'Alger montre une certaine similarité avec celles des nitrates et des phosphates. En effet, elles présentent des valeurs relativement significatives en surface qui s'expliquent peut être par la faible biomasse phytoplanctonique qui les utilisent (diatomées, radiolaires). A 100 m de profondeur, elles montrent une légère augmentation qui décroît en allant du Sud-Ouest où se localise le maximum (49s) vers le Nord de la zone d'étude.

Ces valeurs élevées peuvent s'expliquer de la même manière que les nitrates et les phosphates et confirment l'évolution d'une poche d'eau par rapport à l'instabilité du courant algérien.

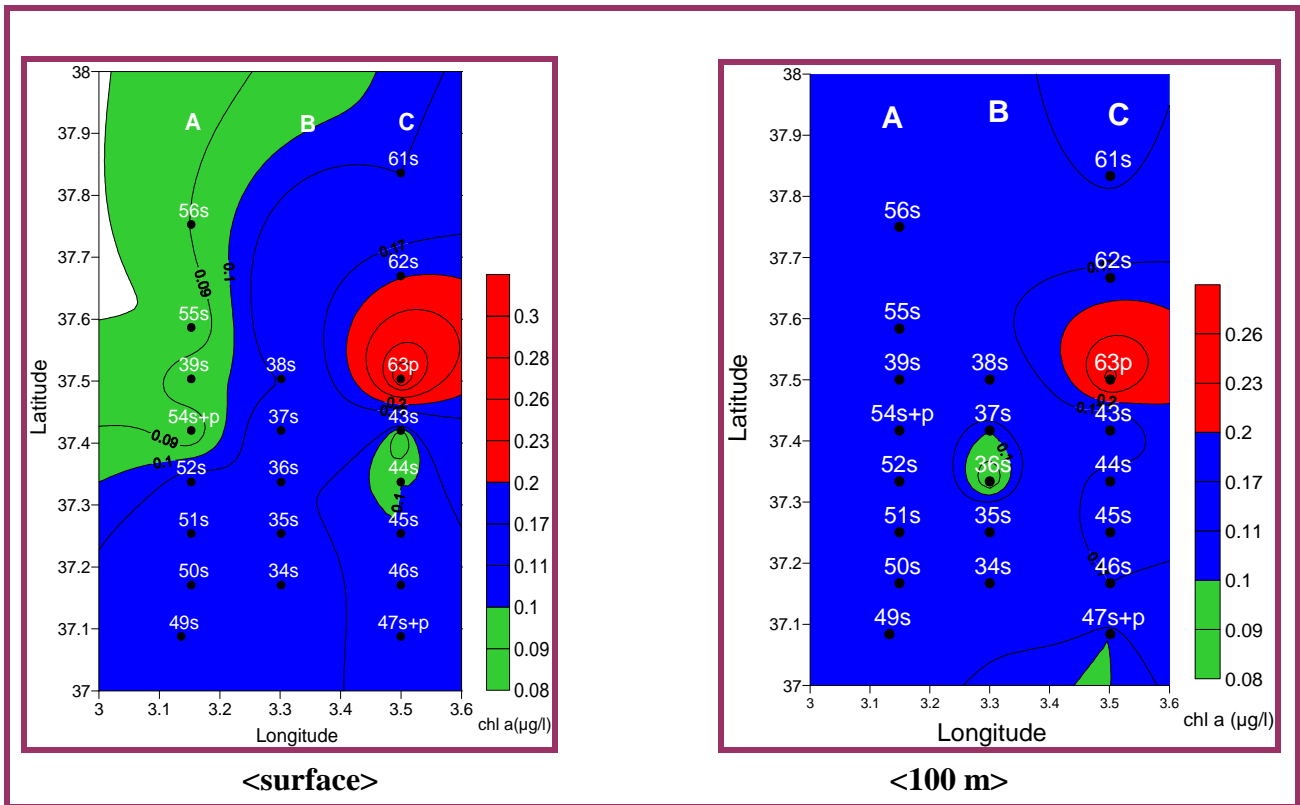


**Fig.62 :** Carte de distribution horizontale des silicates en surface et à 100 m dans les eaux du large de la baie d'Alger.

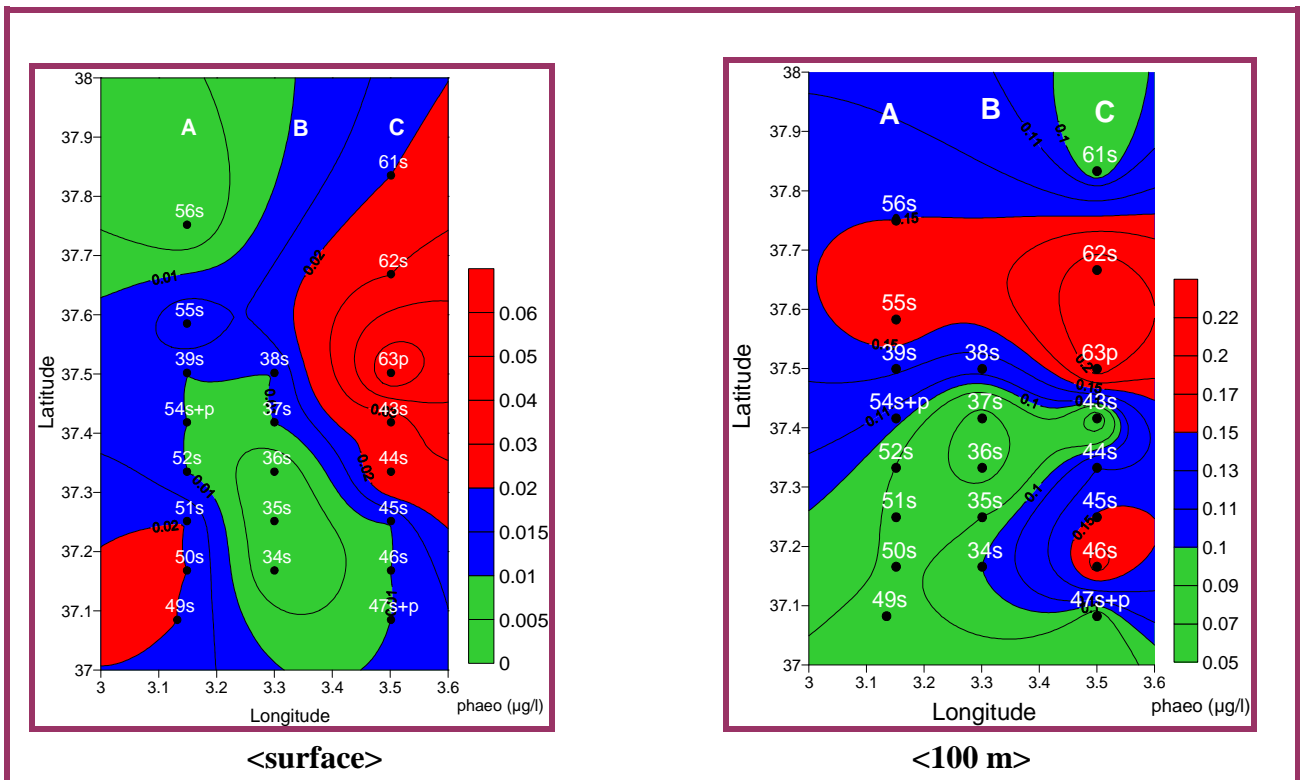
### 2.1.3. Distribution horizontale de la chlorophylle *a* et des phaeopigments

La distribution de la chlorophylle *a* et des phaeopigments en surface et à 100 m de profondeur dans les eaux du large de la baie d'Alger (fig.63, et Fig.64) montre qu'ils se répartissent presque d'une façon homogène le long de la zone d'étude. En effet, les fortes valeurs en chlorophylle *a* en surface se localise autour de la station (63s) qui comprend aussi les fortes valeurs en phaeopigments en s'étendant un peu vers le Nord et vers le Sud. Ces fortes concentrations coïncident avec des faibles valeurs en sels nutritifs dues à l'importance de l'activité photosynthétique. L'extension des fortes valeurs en phaeopigments peut être expliquées par la dégradation de la chlorophylle *a* et le faible renouvellement des eaux de surface dans cette zone. Les faibles valeurs se localisent au Nord-Ouest de la zone d'étude en occupant la moitié des stations du radiale A. Ceci s'expliquer par l'occupation de cette zone par une masse d'eau d'origine Atlantique qui a déjà épuisée en sels nutritifs. Pour les phaeopigments, les faibles valeurs peuvent s'expliquer par cette même masse d'eau pour presque l'ensemble des stations de la radiale B et quelques stations des radiales A et C.

Pour la couche d'eau à 100 m de profondeur, les fortes valeurs de la chlorophylle *a* se localisent toujours autour de la station 63p avec le mêmes ordre de grandeur ( $>0,2 \mu\text{g/l}$ ). L'explication réside peut être dans la convergence des eaux de surface riche en chlorophylle *a* et qui ne peut être que la poche d'eau décrite précédemment.



**Fig.63 :** Carte de distribution horizontale de la chlorophylle *a* en surface et à 100 m dans les eaux du large de la baie d’Alger.



**Fig.64 :** Carte de distribution horizontale des phaeopigments en surface et à 100 m dans les eaux du large de la baie d’Alger.

## 2.2. Distribution verticale

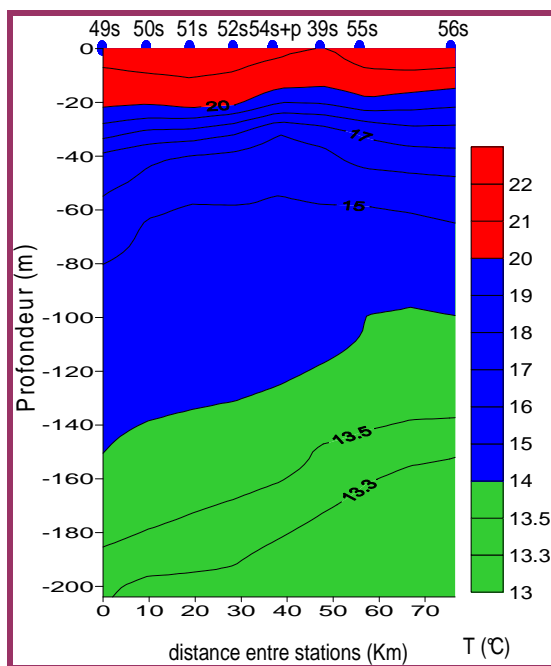
Pour mieux comprendre les variations verticales entre 0 et 200 m de profondeur des différents paramètres physicochimiques, des sels nutritifs et de la production primaire, on a établi une section au niveau du radiale A qui se situe directement en face la baie d'Alger, on note que le radiale B présente une grande analogie en terme de distribution verticale des différents paramètres **Semmar (1992)**. Cependant la radiale C il n'a pas été étudié.

### 2.2.1. Distribution verticale des paramètres physicochimiques

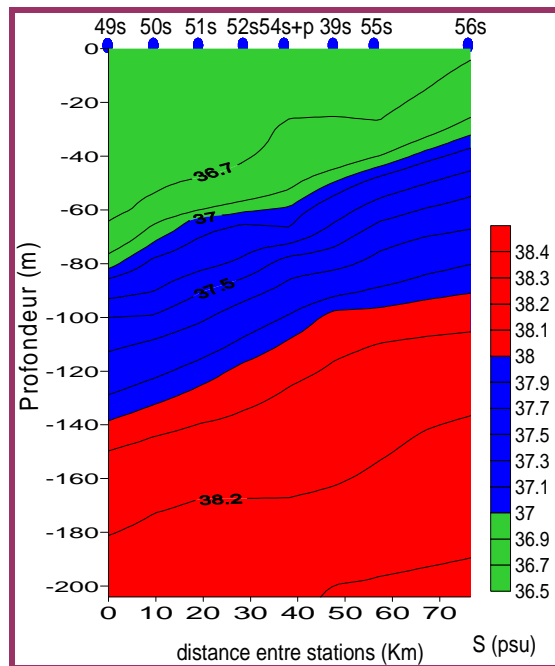
#### a) La température, salinité et la densité

La distribution verticale de la salinité et de la température de 0 à 200 m de profondeur au niveau du radiale A (Fig.65 Fig.66) montre que la température décroît en fonction de la profondeur avec un gradient variable, alors que la salinité et la densité se comportent inversement.

Les sections montrent une stratification légèrement perturbée. Cette stratification est inclinée vers le Sud (vers la côte), ce qui peut signifier que l'eau Atlantique, coincée vers la côte, engendre une sorte de pression qui affecte la stratification. Le gradient thermique, au niveau de la station 56s se trouve avec des valeurs maximales entre 20 et 60 m de profondeur, alors que celui halin, à la même station, sa valeur maximale est entre 0 et 110 m de profondeur. Cependant, pour celui de la densité (fig.67), la valeur maximale se trouve localisée entre 10 et 50 m de profondeur. Cette structure paraît normale, car les résultats de la campagne MEDIPROD VI n'évoquent aucune structure hydrodynamique dans le comportement du courant Algérien. En effet, ce dernier, se comportait comme un grand fleuve qui coule d'Ouest en Est.



**Fig.65** : Distribution verticale de la température de 0 à 200 m dans le radiale (A).



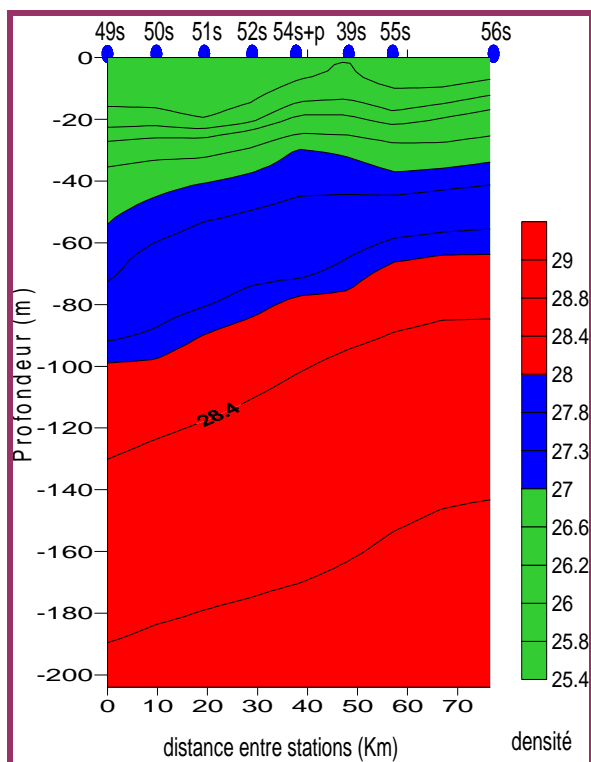
**Fig.66** : Distribution verticale de la salinité de 0 à 200 m dans le radiale (A).

**b) L'oxygène dissous**

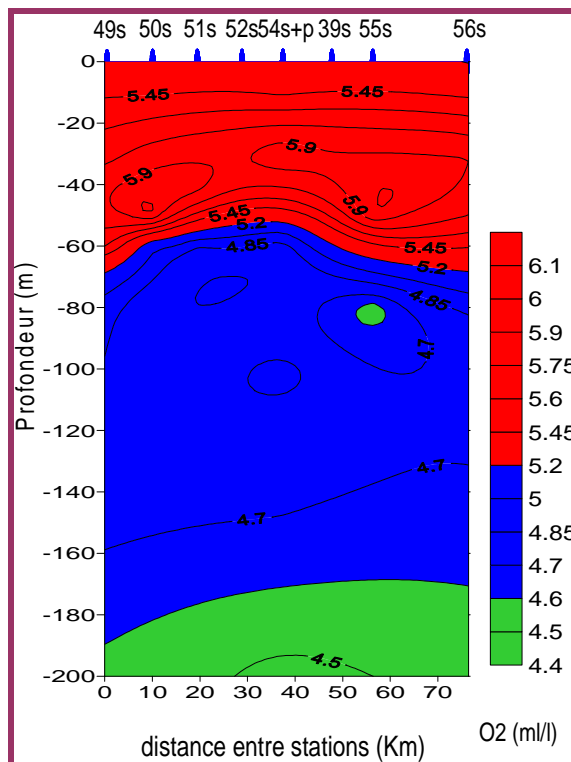
La carte de la distribution verticale de l'oxygène dissous de 0 à 200 m de profondeur dans le radiale A (Fig.68) montre une décroissance nette de la surface au fond. En effet les fortes concentrations occupent une couche d'eau d'environ 60 m d'épaisseur à partir de la surface. C'est la couche euphotique caractérisée par une activité photosynthétique importante qui fait consommer les sels nutritifs et produit l'oxygène dissous en plus de l'apport atmosphérique par saturation.

En dessous de cette zone de production biologique, on a des concentrations inférieures à environ 5ml/l. Dans les deux couches nous constatons certains maximums (5,9 ml/l dans la couche supérieure) et minimums (4,7 ml/l dans la couche inférieure). Les maximums dénotent l'importance de la supersaturation en oxygène dissous par l'activité biologique, alors que les minimums peuvent être en relation avec les perturbations dynamiques du courant algérien et l'isolement d'une poche d'eau comme mentionné plus haut.

Les faibles valeurs se trouvent en dessous de 180 m de profondeur et montre l'empreinte de l'eau profonde caractérisée par un minimum d'oxygène dissous et un maximum des sels nutritifs. La couche d'eau qui s'installe entre les deux couches celle de la surface et celle du fond caractérisé par des valeurs moyennes en oxygène dissous, elle peut être le résultat de leurs mélanges.



**Fig.67 :** Distribution verticale de la densité de 0 à 200 m dans le radiale (A).



**Fig.68 :** Distribution verticale de l'oxygène dissous de 0 à 200 m dans le radiale (A).

## 2.2.2. Distribution verticale des sels nutritifs

### a) Les nitrates, les phosphates et les silicates

Les cartes de distribution verticale des nitrates, des phosphates et des silicates de 0 à 200 m de profondeur au niveau du radiale A., (fig.69, fig.70, fig.71) montrent que ces sels ont le même comportement le long de la colonne d'eau. Cette distribution montre une augmentation progressive des teneurs en sels nutritifs en fonction de la profondeur. Juste au dessus de cette couche apparaît une poche d'eau avec un maximum de teneurs en sels nutritifs : nitrates (4,5 – 5  $\mu\text{mole/l}$ ), phosphates (0,25  $\mu\text{mole/l}$ ), silicates (0,6 – 3  $\mu\text{mole/l}$ ) et nitrites (0,16 – 0,22  $\mu\text{mole/l}$ ). L'examen des figures (71 et 72) montre aussi que cette poche d'eau a un maximum de chlorophylle (>3  $\mu\text{g/l}$ ) et un maximum en phaeopigments (>0,5  $\mu\text{g/l}$ ).

Ces caractéristiques accompagnées de celles de la température et de la salinité ne renseignent que sur une eau ayant eu un séjour assez court en surface ou à une faible profondeur qui lui a permis de consommer, en partie, ses sels nutritifs et s'enrichir en nitrites, chlorophylle et phaeopigments par l'activité biologique photosynthétique.

Les faibles valeurs forment dans une couche de surface qui s'étend jusqu'à 60 m de profondeur. Ces faibles valeurs sont dues à leurs consommations par le phytoplancton qui trouve les conditions favorables de la photosynthèse dans cette couche d'eau à cette période de l'année.

La limite inférieure de cette zone peut être la limite inférieure de la zone euphotique.

Cette zone de fortes valeurs se s'excède par des valeurs intermédiaires avant de trouver leurs maximums en deuxième fois en dessous d'environ 140 m de profondeur au Nord et d'environ 180 m au Sud, ceci est différent en fonction des sels nutritifs parce que l'assimilation des différentes formes des sels nutritifs se fait avec des rapports variants et variables. Ces fortes valeurs s'expliquent par l'empreinte de l'eau intermédiaire froide, saline, riche en sels nutritifs et pauvre en oxygène dissous.

### b) Les nitrites

La distribution verticale des nitrites de 0 à 200 m de profondeur au niveau du radiale A (fig.72) suit celle des autres sels nutritifs dans la couche euphotique (la couleur verte) et montre un maximum au même niveau de profondeur (80 m), tandis que ce maximum ne se manifeste pas dans la couche inférieure comme est le cas pour les autres sels nutritifs et montre à l'inverse des faibles valeurs en nitrites.

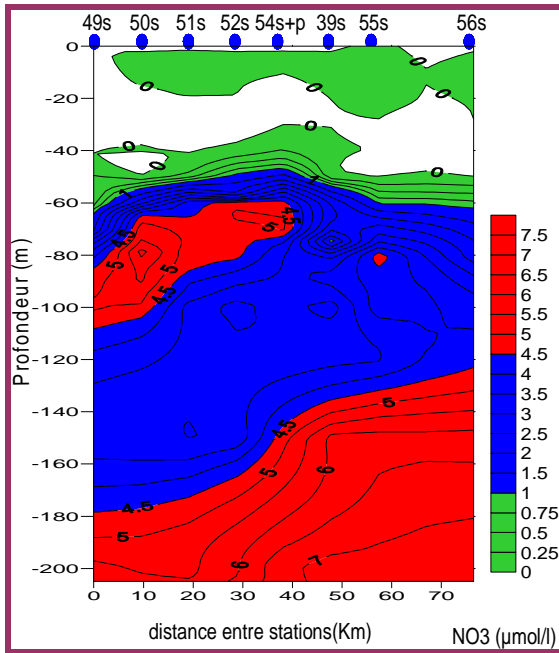


Fig.69 : Distribution verticale des nitrates de 0 à 200 m dans le radiale (A).

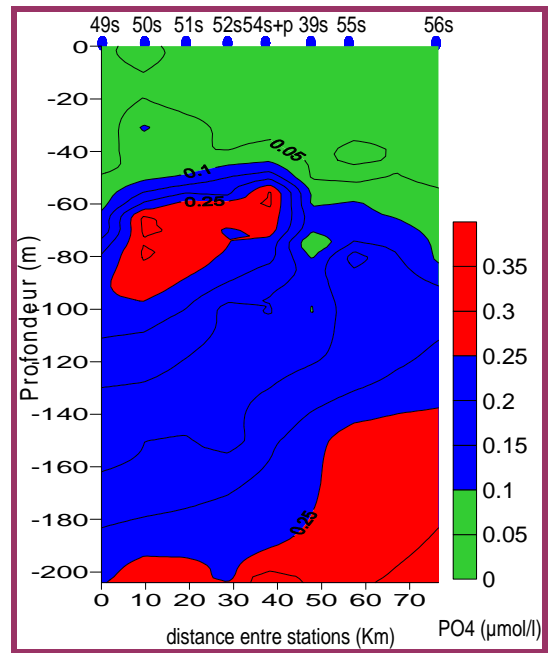


Fig.70 : Distribution verticale des phosphates de 0 à 200 m dans le radiale (A).

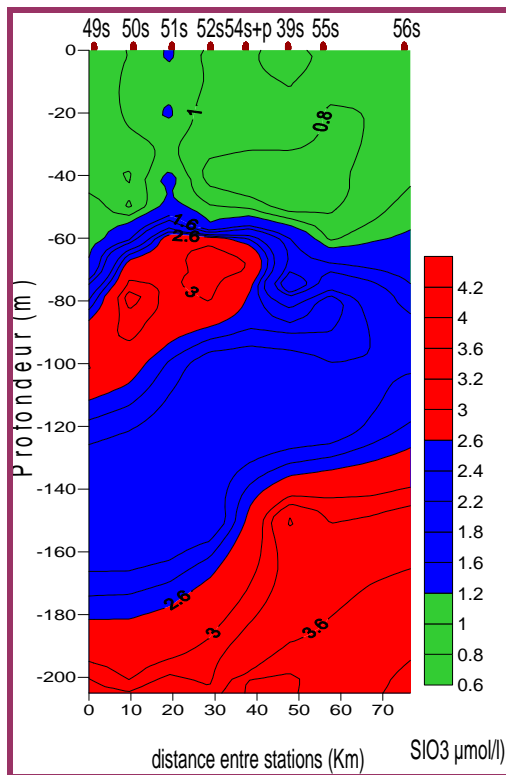


Fig.71 : Distribution verticale des silicates de 0 à 200 m dans le radiale (A).

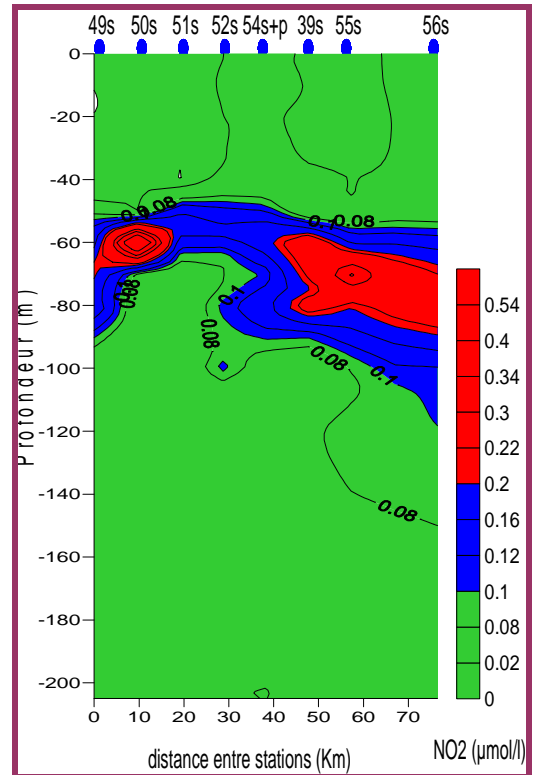


Fig.72 : Distribution verticale des nitrites de 0 à 200 m dans le radiale (A).

2.2.3. Distribution verticale de la chlorophylle *a* et des phaeopigments

Les distributions verticales de la chlorophylle *a* et des phaeopigments de 0 à 200 m de profondeur au niveau du radiale A (fig.73 fig.74) montrent une grande similarité. Elle se manifestent sous forme d'un noyau au voisinage de la profondeur d'environ 50 à 60 m des station 52s et 54s+p situées au centre de la radiale A. Elle sont caractérisées par des maximums en chlorophylle *a* et en phaeopigments.

La localisation des fortes valeurs dans cette zone et à ce niveau de profondeur peut être expliquée par le même phénomène à l'origine de la poche d'eau isolée au même endroit.

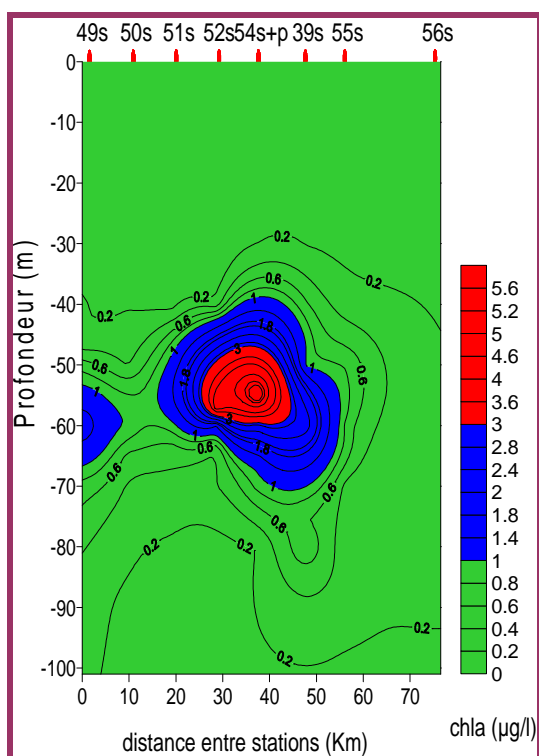


Fig.73 : Distribution verticale de la chlorophylle *a* de 0 à 200 m dans le radiale A.

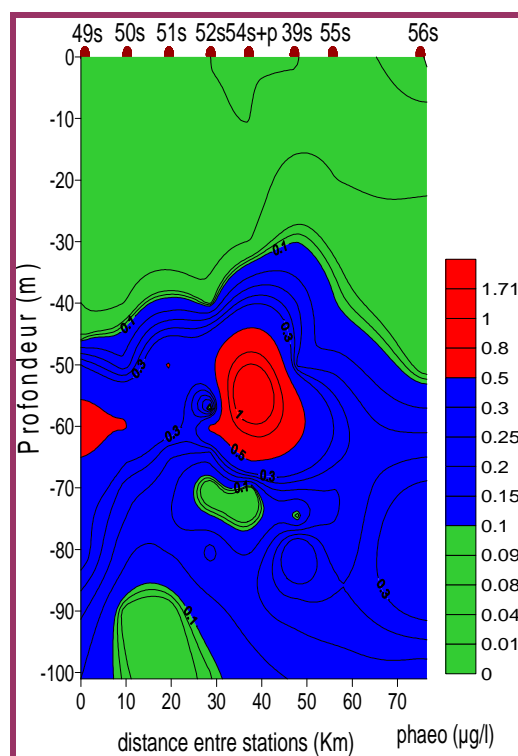


Fig.74 : Distribution verticale des phaeopigments de 0 à 200 m dans le radiale A.

### 3. Analyse binaire

Cette analyse comprend l'étude du diagramme Température-Salinité et l'estimation du rapport d'abondance Nitrates/Phosphates.

#### 3.1. Digramme de corrélation température - salinité

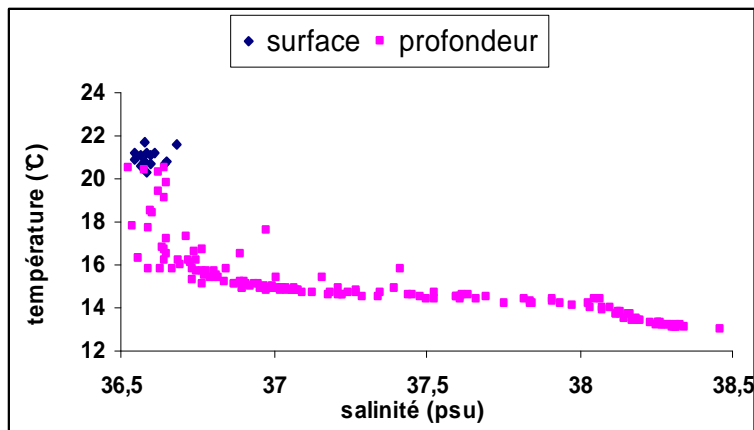


Fig.75: Diagramme de corrélation température –salinité au large de la baie d'Alger.

Le diagramme de corrélation T-S dans les eaux du large de la baie d'Alger (radiale A et B) entre 0 et 200 m de profondeur montre deux masses d'eaux plus ou moins distinctes :

- la première présente des salinités qui varient entre 36,5 et 38 psu et des températures qui varient entre 14 et 22°C. Elle reflète les caractéristiques de l'eau Atlantique modifiée (MAW). Cette masse d'eau se manifeste dans les eaux de surface comme dans les eaux profondes (<200 m).
- la deuxième présente des salinités entre 38 et 38,5psu et des températures <14°C. Elle reflète presque les caractéristiques de l'eau profonde (Western Mediterranean Deep Water ou WMDW).

Ces deux masses d'eaux se manifestent bien dans les diagrammes de corrélations T-S de chaque une des radiales A (fig. a) et B (fig. b) (annexe 6). Cependant, dans la radiale C (fig. c, annexe 6), on distingue la présence d'une troisième masse d'eau : il s'agit probablement de la limite supérieure de l'eau levantine intermédiaire (LIW).

### 3.2. Le diagramme de corrélation nitrates/phosphates

La corrélation entre les nitrates et les phosphates entre 0 et 200 m de profondeur au large de la baie d'Alger (radiales A et B) donne une distribution linéaire plus ou moins diffuse.

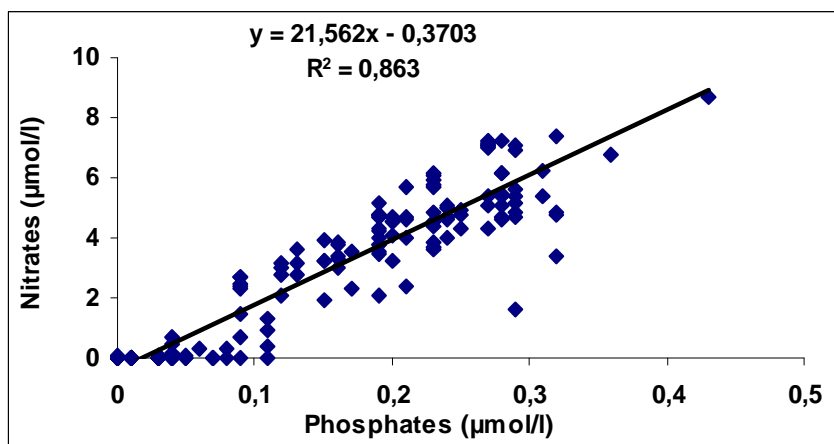


Fig.76 : Diagramme de corrélation nitrates/phosphates au large de la baie d'Alger.

Le rapport d'abondance estimé par régression linéaire est de 21,56. Cette valeur est en très bon accord avec celle estimée par **Raimbault et al., (1993)**. Cependant, il est largement supérieur à celle estimée pour l'océan global de surface (**Redfield et al., 1963 et Boulahdid 1987**) et celles estimées pour la baie d'Alger (**Boulahdid et al., 2003**) et la baie de Bou Ismail. (**Boulahdid et al., 2007**).

On note que ce rapport montre une légère croissance en fonction de la longitude en allant de l'Ouest vers l'Est.

En effet, il est de l'ordre de 21,15 dans le radiale A (fig. e), 22,31 dans le radiale B (fig. f) et 23,26 dans le radiale C (fig. g), (annexe 6).

Cette situation faite que le mélange des eaux de ces trois radiales nous a donné un rapport N/P de l'ordre de 22 (fig. d, annexe 6), équivalent à celui de la méditerranée occidentale (**Raimbault et al, 1993**).

## Conclusion

Les eaux du large de la baie d'Alger sont fortement affectées par une dynamique et une instabilité induite par le comportement du courant Algérien. Ce courant est responsable d'une hétérogénéité dynamique observée entre 0 et 200 m de profondeur et qui comprend diverses remontées et convergence d'eau. Cette dynamique est aussi génératrice d'un mélange horizontal plus ou moins important qui influe à son tour sur la distribution phytoplanctonique dans le site (**Semmar, 1992**).

Cependant, la distribution verticale des paramètres physicochimiques, des sels nutritifs, de la chlorophylle *a* et des phaeopigments entre 0 et 200 m de profondeur dans les eaux du large de la baie d'Alger nous a permis de mettre en évidence les différentes couches d'eaux qui occupent cette colonne d'eau et qui sont les suivantes :

- une couche de surface caractérisée par des minimums en sels nutritifs et un maximum en oxygène dissous d'une épaisseur d'environ 60 m, c'est la couche de production photosynthétique (zone euphotique) ;
- En dessous de celle-ci on constate l'existence d'une poche d'eau caractérisée par des maximums relatifs en sels nutritifs accompagnés de très légers minimum locaux en oxygène dissous et maximum en chlorophylle *a* qui s'est détachée de son origine profonde.
- Dans les strates inférieures de cette colonne d'eau et en dessous de 150 voir 180 m de profondeur, se trouve une couche d'eau riche en sels nutritifs et pauvre en oxygène dissous.

En dehors de la poche d'eau observée à la base de la couche euphotique, la stratification paraît normale. Cette poche d'eau reflète les perturbations de la stratification générée par le courant algérien et l'hétérogénéité dans la production et la répartition de la biomasse phytoplanctonique le long de la colonne d'eau au large de la baie d'Alger.

Le diagramme T-S des eaux du large de la baie d'Alger entre 0 et 200 m de profondeur montre la présence de deux masses d'eaux :

- l'eau Atlantique modifié (MAW) ;
- l'eau profonde (Western Mediterranean Deep Water ou WDMW).

Le rapport N/P au large de la baie d'Alger entre 0 et 200 m de profondeur est de l'ordre de 21.56 ce rapport est très proche de celui trouvé dans les eaux du large du bassin occidentale de la méditerranée qui est de l'ordre de 22 (**Raimbault et al, 1993**), mais il est largement supérieur à celui de l'eau Atlantique qui est de l'ordre de 16 (**Minster et Boulahdid, 1987**).



***CONCLUSION  
GÉNÉRALE***

Il est souvent difficile de conclure un mémoire, l'inachèvement étant un parfum courant dans le domaine de la recherche, à cause de nouveaux questionnements générés par les résultats obtenus. Nous essayons donc de dresser l'ensemble des conclusions que l'on peut tirer de notre travail.

Le golfe d'Annaba est un milieu plus ou moins ouvert au large et en même temps soumis à l'influence directe des apports continentaux. Cette caractéristique fait que les résultats des mesures et d'analyses des différents descripteurs en période estivale reflètent à la fois les caractéristiques des eaux du large et celles des eaux côtières. Ceci nous a permis de dresser une image plus ou moins claire sur les phénomènes physicochimiques et hydrologiques qui se déroulent au sein du golfe.

En effet, le golfe comporte deux masses d'eaux à savoir l'eau Atlantique modifié qui occupe toutes les eaux de surface jusqu'au fond et l'eau profonde qui se manifeste au fond de certaines stations (11,12 et 14) situées vers le large.

Les concentrations en sels nutritifs suggèrent un apport certain continental par les oueds et profond par la résurgence côtière observée. Elles évoquent aussi une activité photosynthétique importante. Cette activité se manifeste à plusieurs niveaux de profondeurs, notamment en surface à proximité du port et des embouchures des deux oueds. Elle arrive à assimiler presque totalement l'azote nitrique dans les eaux de surface. Nous savons, d'une manière générale, que ce dernier s'épuise en premier lieu par rapport aux phosphates. Ce processus, peut être, en partie, à l'origine de la valeur relativement faible du rapport  $N/P = 10.99$  estimé pour les eaux du golfe. Autrement, ce rapport évoque un apport de pollution par les phosphates.

La stratification des eaux du golfe d'Annaba suggère qu'elles sont assez stables, leur mélange est assez faible ou lent et s'effectue vraisemblablement horizontalement. Ceci peut exclure tout mélange vertical et suppose que la résurgence côtière observée au niveau de la station 4 serait le résultat d'une circulation des eaux en suivant la morphologie sous marine qui devrait être assez plate au niveau du golfe.

Les résultats des mesures et d'analyses des différents paramètres dans les eaux du large de la baie d'Alger entre 0 et 200m de profondeur révèlent une situation typique de la période estivale.

La distribution verticale des paramètres physicochimiques, des sels nutritifs, de la chlorophylle *a* ainsi que des phaeopigments entre 0 et 200 m de profondeur dans les eaux du large de la baie d'Alger nous a permis de mettre en évidence de deux principales couches d'eaux distinctes ainsi qu'une poche d'eau qui occupent cette colonne :

- une couche de surface caractérisée par des minimums en sels nutritifs et un maximum en oxygène dissous d'une épaisseur d'environ 60 m, c'est la couche de production ;

- En dessous de celle-ci on constate l'existence d'une poche d'eau caractérisée par des maximums relatifs en sels nutritifs accompagnés de très légers minimums locaux en oxygène dissous et maximum en chlorophylle a qui s'est détachée de son origine profonde.
- Dans les strates inférieures de cette colonne d'eau et en dessous de 150 voir 180 m de profondeur, se trouve une couche d'eau riche en sels nutritifs et pauvre en oxygène dissous.

En dehors de la poche d'eau observée à la base de la couche euphotique, la stratification paraît normale. Cette poche d'eau reflète les perturbations de la stratification générée par le courant algérien et l'hétérogénéité de la production et la répartition de la biomasse phytoplanctonique le long de la colonne d'eau au large de la baie d'Alger.

Cependant la distribution horizontale des différents paramètres en surface et à 100 m de profondeur fait bien montré un gradient longitudinal et latitudinal d'ordre croissant et décroissant en fonction des paramètres.

Ces distributions horizontales et verticales évoquent aussi deux situations de convergence qui situées respectivement dans le Sud Est de la zone d'étude et au centre du radiale C (station 63s).

Le rapport N/P au large de la baie d'Alger entre 0 et 200 m de profondeur est de l'ordre de 21.56 ce rapport est en très bon accord avec celui trouvé dans les eaux du large du bassin occidentale de la méditerranée qui est de l'ordre de 22 (**Raimbault et al, 1993**), Cependant, il est largement supérieur à celui estimé pour l'océan global de surface (**Redfield et al., (1963) et Boulahdid (1987)**).

L'étude des eaux du large de la baie d'Alger montre qu'elles sont fortement affectées par une dynamique et une instabilité générée par le courant Algérien.

L'étude comparative entre les eaux du golfe d'Annaba et celles du large de la baie d'Alger fait ressortir une remarque importante : les eaux des deux sites comportent les mêmes masses d'eaux à savoir l'eau atlantique modifiée (MAW) et l'eau profonde (WMDW). Cependant, les caractéristiques des eaux de ces deux zones présentent des différences importantes en raison de l'influence continentale sur les eaux du golfe.

Bien que l'étude menée à travers ce mémoire montre que les variations spatiales horizontales et verticales en période estivale des différents paramètres renseignent bien sur les phénomènes hydrologiques, physicochimiques et biologiques qui se déroulent dans la colonne d'eau, l'intégration de ces variations dans une échelle spatio-temporelle plus étendue permettra d'élucider mieux ces phénomènes.



***BIBLIOGRAPHIE***

**Ainouche N. et Zitouni R.Z., 2000.** Etudes des paramètres physico-chimiques et sels nutritifs dans le port d'Annaba. Contribution à l'étude de la pollution. *Mémoire DEUA, ISMAL, p5-8.*

**Aminot A. et Chaussepied M., 1983.** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Edt. CNEXO, Brest, 395p.

**Aminot A. et Kérouel R., 2004.** Hydrologie des écosystèmes marins, paramètres et analyses. Ed. Ifremer, 336p.

**Attoum D. et Bouzid S., 2001.** Contribution à l'étude hydrologique et sédimentologique d'un faciès à Donax dans la plage du Chatte (Golfe d'Annaba). *Mémoire DEUA, université d'Annaba, p4.*

**Bedaira A. et Benchikh N., 2003.** Estimation de la biomasse équilibrée de la sardinelle (*Sardinella aurita*, Valenciennes 1847) du golfe d'Annaba. *Mémoire d'ingénieur d'état ISMAL, 58p.*

**Benzohra M. et Millot C., 1995.** Characteristics and circulation of surface and intermediate water masses off Algeria. *Deep-sea research I. Vol. 42, 10, p1803-1830.*

**Bethoux J.P., 1980.** Le cycle du phosphore dans le bassin occidental de la mer méditerranée. *Modèle d'étude du devenir des rejets telluriques. V<sup>es</sup> journées. Etud. Pollution, Cagliari, C.E.S.M. (1976), p 997-1004.*

**Bethoux P., Morin P., Chaumery C., Connan O., Gentili B. et Ruiz-Pino D.P., 1998.** Nutrients in the Mediterranean Sea, mass balance and statistical analysis of concentrations with respect to environmental change. *Marine chemistry, Vol. 63, p155-169.*

**Boulahdid M., 1987.** Analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer. Etude du mélange des masses d'eaux et de l'oxydation de la matière organique dans l'océan. *Thèse de Doctorat, Université de Paris VI, 266p.*

**Boulahdid M., Eddalia N., Boudjellal B. Et Azzouz M., 1993.** Physicochimie de la baie d'Alger. *2<sup>ème</sup> congrès de la société algérienne de chimie. Zeralda (Algérie).*

**Boulahdid M., Eddalia N., Boudjellal B. et Azzouz M., 2003.** Les eaux de la baie d'Alger. Quelques aspects physicochimiques et environnementaux. *Annales de l'institut National Agronomique- El Harrach- Vol.24, N°1 et 2, p39-54.*

**Boulahdid M., Brimis A., Brahmia B., Boudjellal B., Eddalia N. et Oumadi A., 2007.** *7<sup>ème</sup> congrès maghrébine des sciences de la mer et 1<sup>er</sup> congrès de la zoologie et d'ichtyologie de 4 au 7 Novembre 2007. Eldjadida, Maroc.*

**Copin-Montégut G., 1996.** Chimie de l'eau de mer. *Collection «synthèse». Edit. Institut Océanographique de Paris, 290p-292p.*

**Djabri A., 1995.** Mécanisme de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse, origines (géologique, industriel, agricole et urbain). *Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar – Annaba, p9.*

- 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, ISMAL, 103p.*
- Eppley R.W. et Peterson B. J., 1979.** Particulate organic matter flux and planktonic new production in the deep ocean. *Nature, Vol. 282, p677-680.*
- Frontier S. et Pichod-Viale D., 1998.** Structure – Fonctionnement – Evolution. *DUNOD, Paris, 447 p.*
- Gaujous D., 1995.** La pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire. *Technique et documentation, 40-41 p*
- Hadouche I., 2002.** Etude de l'état de la pollution de la baie de Bou-Ismaïl par les sels nutritifs et les métaux lourds. *Mémoire d'ingénieur d'état. ISMAL, 83p.*
- Jacques G. et Tréguer, P., 1986.** Ecosystème pélagique marin. Collection d'écologie.19. *Edt. Masson. Paris, 243p.*
- Lefebvre Y. et al. , 1993.** Circuits eau de mer traitements et matériaux. Edition TECHNIP. Chambre syndicale de la recherche et de la production du gaz naturel. *Comité des techniciens, 393p.*
- Levitus S., Conkright M.E., Reid J.L., Najjar R.J. et Mantyla A., 1993.** Distribution of nitrate, phosphate and silicate in the world oceans. *Prog. Océanogr. Vol. 31, p245-273.*
- Lokmane D., 1993.** Caractéristiques physicochimiques des eaux de la baie de Zemmouri. *Mémoire. DEUA, ISMAL, 64p.*
- Millot C., 1985.** Some features of Algerian current. *J. Geophys. Res., Vol.90N°7, p7169-7176.*
- Millot C. et Taupier-letage I., 2004.** Circulation in the Mediterranean Sea. *The hand book of environmental chemistry, Vol. 1. in press.*
- Minster J.F. et Boulahdid M., 1987.** Redfield ratios a long isopycnal surfaces- a complementary study. *Deep Sea Res, Vol. 34, 12, p1981-2003.*
- Ouali N., 2006.** Evaluation des pollutions industrielle et urbaine dans la région d'Annaba : impact sur l'environnement marin côtier. *Thèse de Magister en Ecosystèmes côtiers et ressources vivantes. Université Badji Mokhtar –Annaba, p17.*
- Puillat I., Taupier-letage I. et Millot C., 2002.** Algerian Eddies lifetime can near three years. *Journal of Marine Systems, Vol. 31, p245– 259.*
- Raimbault P. et Marie-Claude Bonin., 1991.** Production pélagique de la méditerranée sud occidentale (courant Algérien), mesures hydrologiques, chimiques et biologiques. *Rapport préliminaire de la campagne Médiprod VI juin 1990, p3-14*
- Raimbault P., Conan P. et Coste B., 1993.** Le Phosphore en méditerranée occidentale. Donnée récente et pré – évaluation de l'évolution temporelle ou sein des eaux profondes. *Rapp. Comm. Int Mer Med, Vol 34. 68 p*

**Raimbault P. et al., 2004.** La biogéochimie marine. Séminaire de l'institut océanographique. *Oceanis .vol.n°4.2000, p 671, p688.*

**Redfield A.C., Ketchum B.H. et Richards F.A., 1963.** The influence of organisms on the composition of sea water .*In the sea .Vol 2. Edt.M. N.Hill. Intersciences. New York, p26-77.*

**Sekhara H., 2007.** Paramètres physicochimiques et sels nutritifs dans la baie de Jijel. *Mémoire d'ingénieur d'Etat. ISMAL, 55p.*

**Semmar N., 1992.** Reconnaissance des phénomènes hydrologiques et des caractéristiques chimiques au large de la baie d'Alger et au lac Mellah (El kalla) par les traceurs classiques. *Mémoire de Technicien Supérieur. ISMAL, 178p.*

**Taupier-letage I. et Millot C., 1988.** Surface circulation in the Algerian bassin during, 1984.Océanographie pélagiques méditerranéennes. *Edition H.J.MINAS et P.NIVAL, p79-85.*

**Tréguer P. Le Corre P. 1975.** Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer. (*Utilisation de l'auto analyseur II Technicon (2<sup>ème</sup> édition), laboratoire d'Océanographie. Chimique, p110.*

**Tréguer P., Delmas R. et le Jehan S., 1985.** Conservativité de la distribution des matières nutritives et organiques, dissoutes et particulaires, en écosystème marin et estuarien. *Macrotidal., Océanis, Vol. 11, Fasc.3, p169-180.*

#### **Sites Web consultés**

[www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)

[www.tutempo.net](http://www.tutempo.net)

[www.skalar.fr/pr\\_san.htm](http://www.skalar.fr/pr_san.htm)



***ANNEXES***

**Annexe 1****Tableau 1:** Données climatiques de la région d'Annaba, Juin 2000.

	T	TM	Tm	SLP	H	PP	VV	V	VM	Vg	RA	SN	TS	FG	
1	21.8	27.7	14.8	1020.9	69	0	11.6	10.4	22.2	-					+
2	21.4	25.7	13.8	1018.7	69	0	8.9	11.9	24.1	-					+
3	23.1	27.1	16.7	1016.0	79	0	10	9.8	25.9	-				o	+
4	23.3	30.1	16.6	1014.3	72	0	10.1	9.1	22.2	-					+
5	24.9	32.7	17.5	1013.9	67	0	10	13	22.2	-					+
6	22.6	26.6	17	1015.6	77	2.03	6.9	11.5	25.9	-	o				+
7	21.1	24.7	16.2	1018.2	61	4.06	10.8	15.7	22.2	-				o	+
8	20.6	24.7	16	1017.3	69	0	10.8	15.6	29.4	-					+
9	21.4	26.6	13.9	1013.6	76	0	10.8	12	31.3	-					+
10	21.3	33	16	1013.3	60	0	8.9	10.6	37	-				o	+
11	20.7	25.2	16.4	1016.9	57	0	11.1	19.1	37	-					+
12	19.6	24	15.6	1020.5	73	1.02	10.6	17.4	29.4	-	o				+
13	19.1	24	15.9	1022.4	78	0.76	10.5	8.7	22.2	-	o		o		+
14	19.7	24.3	15	1022.4	83	3.05	9	8.3	20.6	-	o		o		+
15	20.4	24.7	17	1021.1	79	0	9	11.5	27.8	-					+
16	21.4	25.6	15.7	1019.1	70	0	11.6	16.7	29.4	-					+
17	21.4	27.5	15.4	1019.7	73	0	11.4	10.4	22.2	-					+
18	22.6	27.2	14	1020.1	75	0	8.4	18.5	38.9	-				o	+
19	22.9	25.6	19.2	1018.1	71	0	11.3	18.3	29.4	-					+
20	22.8	27	16.5	1016.7	69	0	10.6	13.1	29.4	-					+
21	22.7	27.4	17.5	1016.8	81	0	7.6	13	25.9	-					+
22	23.1	25.6	18.9	1019.6	80	0	8.7	10.4	24.1	-					+
23	23	26.1	17.8	1019.1	84	0	7.1	12.8	24.1	-					+
24	23.4	25.9	19	1018.5	76	0	8.7	13.7	25.9	-					+
25	21.9	26	17.5	1017.6	77	0	8.4	11.3	25.9	-					+
26	22	26.6	16	1018.1	74	0	10	9.6	24.1	-					+
27	23.5	28.3	17.4	1017.7	76	0	11.3	11.7	22.2	-					+
28	25.7	33.3	19	1015.5	75	0	9.2	10.4	22.2	-					+
29	23.7	28.5	18.8	1016.3	78	0	7.1	13	29.4	-					+
30	22.9	29	16	1015.5	69	0	9.3	8.5	22.2	-					+
<b>Medias y Totales mensuales:</b>															
	22.1	27	16.6	1017.8	73.2	10.92	9.7	12.5	26.5		4	0	2	4	

Source : [www.tutiempo.net](http://www.tutiempo.net)

Tableau 2: Données climatiques de la région d'Annaba, Juillet 2000.

	T	TM	Tm	SLP	H	PP	VV	V	VM	Vg	RA	SN	TS	FG	
1	27.5	36	15.4	1012.7	59	0	11.1	10.4	20.6	-					+
2	31	44.4	19.1	1011.3	42	0	10	11.3	18.3	-					+
3	30.4	42.1	22.4	1010.5	53	0	9.2	10.7	27.8	-					+
4	27.8	34.6	19.5	1011.9	61	0	10.1	13.3	24.1	-					+
5	24.8	28.3	19.9	1015.6	81	0	9.5	9.3	25.9	-					+
6	26.3	33.3	19	1015.3	69	0	7.1	8.7	18.3	-				o	+
7	31.5	44.2	19.5	1012.5	34	0	10	12.8	29.4	-					+
8	24.9	28.8	18.5	1013.7	77	0	8.5	14.3	25.9	-					+
9	24.2	28	18.5	1016.7	72	0	10.6	9.8	22.2	-					+
10	25.3	31.6	19	1008.6	68	0	10.3	10.6	22.2	-					+
11	25.8	30.6	21.2	1007.8	61	0	10.1	17.2	37	-					+
12	23.3	28.9	18.6	1014.9	74	0	10.8	10.9	35.2	-					+
13	21.4	25.6	16	1020.2	71	0	10.5	12.6	25.9	-					+
14	20.9	26.5	14.4	1016.2	75	0	10.8	9.8	22.2	-					+
15	22.9	30.6	15.5	-	62	0	10.8	15.4	37	-					+
16	22.4	27.8	14.9	1013.0	68	0	10.9	11.7	25.9	-					+
17	23.7	29	18	1011.9	74	0	9.8	15	25.9	-					+
18	24.1	27	15.6	1014.0	81	0	7.9	12.6	22.2	-					+
19	24.1	28.5	17.5	1015.5	69	0	10.3	12.4	25.9	-					+
20	23.3	28.8	15.6	1014.5	62	0	10.8	11.9	32.4	-					+
21	24.5	29	17.2	1014.4	72	0	10.6	15.7	50.4	-					+
22	24.8	31.2	17	1015.0	68	0	10.8	11.7	33.5	-					+
23	30.8	39.5	19.9	1012.1	41	0	10.6	13.3	37	-					+
24	27.6	35	19.5	1011.6	55	0	10	15	27.8	-					+
25	24.4	28.8	19.6	1011.1	81	0	9.5	10.2	29.4	-					+
26	26	32	21.6	1011.9	75	0	9	13.1	33.5	-					+
27	25.3	30	19.9	1014.7	75	0	8.5	10.9	33.5	-					+
28	25.9	31	19.5	1014.2	74	0	9.2	13.7	31.3	-				o	+
29	25.3	29.4	19.5	1018.1	77	0	10.5	15.9	37	-					+
30	24.2	29.4	17.6	1020.0	64	0	10.5	16.3	33.5	-					+
31	23.2	29	16.6	1020.8	69	0	10.9	15.7	29.4	-					+
<b>Medias y Totales mensuales:</b>															
	25.4	31.6	18.3	1014	66.6	0	10	12.7	29.1		0	0	0	2	

Source : www.tutiempo.net

\* les valeurs en orange concernent le jour de prélèvement.

\* la valeur rouge montre la température moyenne au mois du Juillet.

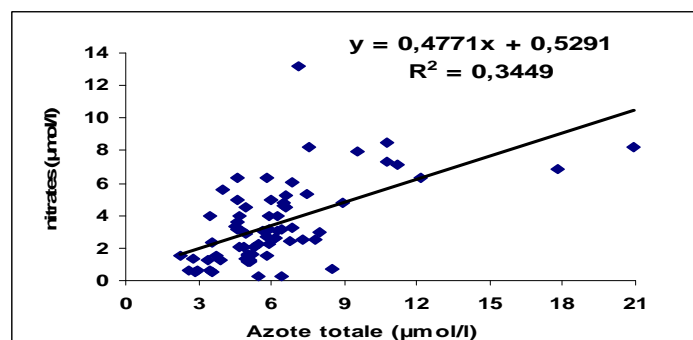
\* la valeur bleue montre la moyenne de la précipitation au mois du Juillet.

Column definitions:	
<b>T</b>	Mean temperature (°C)
<b>TM</b>	Maximum temperature (°C)
<b>Tm</b>	Minimum temperature (°C)
<b>SLP</b>	Mean sea level pressure (mb)
<b>H</b>	Mean humidity (%)
<b>PP</b>	Precipitation amount (mm)
<b>VV</b>	Mean visibility (Km)
<b>V</b>	Mean wind speed (Km/h)
<b>VM</b>	Maximum sustained wind speed (Km/h)
<b>Vg</b>	Maximum wind gust (Km/h)
<b>RA</b>	Indicator for occurrence of: Rain or Drizzle
<b>SN</b>	Indicator for occurrence of: Snow or Ice Pellets
<b>FG</b>	Indicator for occurrence of: Fog

**Annexe 2** : principales industries de la région d'Annaba déversant dans le golfe (Agence de bassin hydrologique d'Annaba) (1999).

Unité industrielle	Localisation	Nature des effluents liquides	Milieu Récepteur
<b>Asmidal</b>	El-Bouni	- Eaux des process (chargées de résidus chimiques) - Eaux de refroidissement	Mer
<b>EN- Ferphos</b>	Port commercial	Eaux usées domestiques	Mer
<b>E.N. Corps Gras</b>	Port commercial	-Eaux usées domestiques -Eaux usées industrielles	Mer
<b>O.N. Aliment du Bétail n°1</b>	Port commercial	-Eaux usées domestiques	Mer
<b>Orelait</b>	Lallelik (El-Bouni)	Eaux usées industrielles (lactosérum)	Oued Seybouse
<b>E.N.C.C</b>	Z.I. Pont Bouchet	Eaux de refroidissements	Oued Seybouse
<b>Ferrovial</b>	Lallelick (El-Bouni)	-Eaux usées domestiques -Eaux usées industrielles	Oued Seybouse
<b>Carreaux- Granito</b>	Z.I. Pont Bouchet	-Eaux usées industrielles (ponçage)	Oued Seybouse
<b>Hydro- canal</b>	Z.I. Pont Bouchet	Eaux usées domestiques	Oued Seybouse

### Annexe 3



**Fig. a** : Diagramme de corrélation nitrates / azote totale dans le golfe d'Annaba.

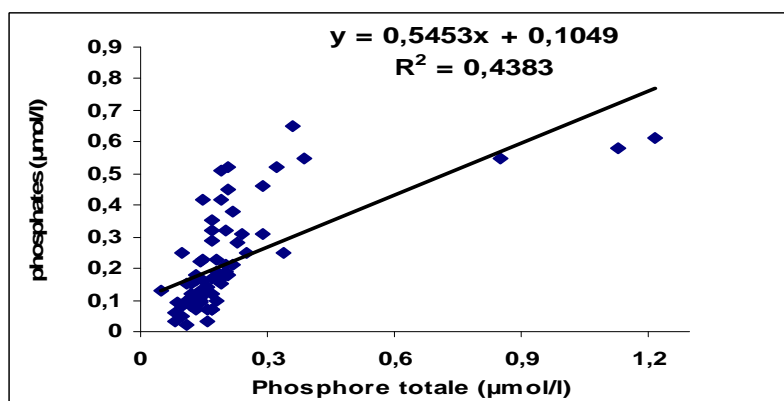


Fig. b : Diagramme de corrélation phosphates/phosphore totale dans le golfe d'Annaba.

**Annexe 4 :** Les positions géographiques et les temps de prélèvements relatifs de chaque station au large de la baie d'Alger.

	Stations	Date	Heure	Latitude	Longitude	Prof.(m)
<b>Radiale A</b>	56S	17-06-1990	17h 32	37.75	3.15	1002
	55S	17-06-1990	15h 23	37.5833	3.15	204
	39S	14-06-1990	23h 10	37.5	3.15	201
	54S+P	17-06-1990	4h 05	37.4166	3.15	1000
	52S	17-06-1990	00h 46	37.3333	3.15	202
	41S	15-06-1990	1h 47	37.3333	3.15	201
	51S	16-06-1990	23h 15	37.25	3.15	202
	50S	16-06-1990	21h 48	37.166	3.15	200
	49S	16-06-1990	18h 55	37.0833	3.13	200
<b>Radiale B</b>	38S	14-06-1990	20h 45	37.5	3.3	202
	37S	14-06-1990	18h 41	37.4166	3.3	200
	36S	14-06-1990	16h 44	37.3333	3.3	200
	42S+P	15-06-1990	4h 04	37.3333	3.3	1002
	35S	14-06-1999	14h 41	37.25	3.3	200
	34S	14-06-1990	13h 27	37.1666	3.3	201
	48P	16-06-1990	15h 40	37.01	3.3	2005
<b>Radiale C</b>	61P	21-06-1990	02h 02	37.8333	3.5	1002
	62P	21-06-1990	04h 30	37.6666	3.5	1010
	63P	21-06-1990	07h 12	37.5	3.5	1017
	43S	15-06-1990	17h 47	37.4166	3.5	199
	64S	21-06-1990	09h 10	37.4166	3.5	201
	44S	15-06-1990	19h 45	37.3333	3.5	200
	45S	15-06-1990	22h 10	37.25	3.5	200
	46S	16-06-1990	00h 35	37.1666	3.5	200
	47S+P	16-06-1990	4h 04	37.0833	3.5	1005

**Annexe 5** : les données des paramètres physicochimiques et des sels nutritifs des eaux du large de la baie d'Alger (MEDIPROD VI).

Radiale	Station	Prof (m)	Temp. (°C)	Salinité (psu)	densité	O2 (ml/l)	O/O	PO4 (µmol/l)	NO3 (µmol/l)	NO2 (µmol/l)	SIO3 (µmol/l)	CHLT (µg/l)	CHLA (µg/l)	PHAEO (µg/l)	
A	39s	2	20,7	36,647	25,831	/	/	0	0	0,01	1,18	0,11	0,1	0,01	
		20	19,09	36,641	26,271	/	/	0	0	0,01	1,01	0,15	0,13	0,06	
		30	16,74	36,77	26,936	/	/	0	0	0,01	0,84	0,23	0,19	0,1	
		40	15,73	36,807	27,201	/	/	0,03	0,04	0,03	0,67	0,72	0,63	0,2	
		50	15,42	37,01	27,428	/	/	0,04	0,02	0,03	0,67	1,02	0,94	0,18	
		60	14,92	37,21	27,695	/	/	0,09	2,41	0,28	1,6	2,9	2,62	0,59	
		75	14,73	37,528	27,983	/	/	0,04	0,67	0,19	1,18	0,63	0,6	0,07	
		80	14,58	37,639	28,102	/	/	0,09	2,73	0,26	2,02	0,97	0,77	0,44	
		89	14,34	37,84	28,31	/	/	0,13	3,59	0,11	2,44	0,49	0,38	0,23	
		100	14,36	38,048	28,466	/	/	0,09	2,67	0,03	2,02	/	/	/	
		150	13,44	38,171	28,76	/	/	0,23	6,17	0,08	3,7	/	/	/	
		201	13,11	38,306	28,934	/	/	0,27	7,23	0,06	4,13	/	/	/	
		49s		2	21,15	36,598	25,67	5,31	106	0,04	0	0	0,84	0,13	0,12
19	20,44			36,579	25,849	9,99	9,99	99,9	0,03	0	0	0,84	0,13	0,12	0,02
31	18,52			36,6	26,368	5,7	108,4	0,01	0,01	0,01	0,84	0,13	0,12	0,02	
40	16,79			36,638	26,823	/	/	/	0,03	0	0,01	0,93	0,24	0,22	0,04
46	16,46			36,648	26,909	/	/	/	0,03	0,06	0,01	1,01	0,28	0,24	0,09
50	16,23			36,645	26,96	/	/	/	0,06	0,28	0,07	1,18	0,84	0,7	0,3
60	15,81			36,632	27,048	5,62	101,4	0,08	0,32	0,13	1,01	1,96	1,66	0,65	
70	15,49			36,773	27,229	9,99	99,9	99,9	0,11	1,27	0,21	1,18	0,89	0,72	0,36
81	14,97			36,973	27,501	4,91	87,3	87,3	0,21	4	0,2	2,27	0,56	0,4	0,34
101	14,37			37,527	28,061	/	/	/	0,24	5,03	0,04	3,03	/	/	/
50s		150	14,01	38,104	28,586	/	/	0,12	3,18	0,04	1,85	/	/	/	
		200	13,33	38,263	28,854	/	/	0,23	5,68	0,04	3,2	/	/	/	
		2	21,22	36,586	25,642	5,28	105,5	105,5	0,07	0	0,01	1,01	0,13	0,13	0,02
		31	17,8	36,541	26,503	/	/	/	0,11	0	0,02	0,93	0,17	0,16	0,02
		40	16,26	36,557	26,885	/	/	/	0,08	0,02	0,02	0,76	0,2	0,19	0,04
		50	15,8	36,669	27,078	6,01	108,5	108,5	0,09	0,02	0,02	0,76	0,46	0,39	0,16
60	15,12	36,771	27,311	5,06	90,1	90,1	0,21	2,36	0,54	1,52	1,22	0,98	0,52		

	65	14,92	36,901	27,456	/	/	/	0,32	4,77	0,31	2,44	0,69	0,55	0,32
	70	14,81	36,978	27,54	/	/	/	0,31	5,39	0,07	2,95	0,49	0,38	0,23
	79	14,72	37,126	27,674	4,74	84	84	0,31	6,24	0,03	3,37	0,33	0,25	0,17
	90	14,54	37,292	27,842	/	/	/	0,29	5,59	0,03	3,12	0,19	0,16	0,07
	99	14,45	37,499	28,022	/	/	/	0,24	4,99	0,03	2,78	/	/	/
	150	13,82	38,137	28,652	/	/	/	0,15	3,26	0,03	1,85	/	/	/
	200	13,26	38,256	28,864	/	/	/	0,28	5,43	0,03	2,95	/	/	/
51s	1	21,11	36,568	25,658	5,28	105,3	105,3	0,03	0	0	1,26	0,12	0,12	0,02
	20	20,46	36,524	25,802	/	/	/	0,03	0	0	1,26	0,13	0,12	0,03
	41	15,82	36,59	27,013	5,94	107,2	107,2	0,05	0,01	0	1,35	0,27	0,21	0,14
	50	15,35	36,736	27,233	/	/	/	0,11	0,4	0,16	1,35	1,38	1,14	0,52
	60	14,91	36,899	27,457	4,86	86,3	86,3	0,27	4,29	0,13	2,86	1,08	0,91	0,37
	64	14,85	37,04	27,579	/	/	/	0,25	4,33	0,09	2,86	0,62	0,51	0,22
	70	14,75	37,096	27,645	/	/	/	0,29	4,73	0,04	2,86	0,45	0,37	0,17
	79	14,63	37,214	27,762	4,7	83,1	83,1	0,28	4,63	0,04	2,86	0,27	0,19	0,16
	90	14,46	37,483	28,008	/	/	/	0,24	4,03	0,04	2,69	0,19	0,16	0,06
	100	14,42	37,663	28,156	/	/	/	0,2	3,26	0,04	2,36	/	/	/
	151	13,73	38,166	28,694	/	/	/	0,16	3,01	0,04	1,94	/	/	/
	202	13,25	38,27	28,876	/	/	/	0,28	5,38	0,04	3,37	/	/	/
52s	2	21,24	36,547	25,606	/	/	/	0,03	0	0,02	0,93	0,11	0,12	0,01
	20	20,26	36,625	25,933	/	/	/	0,03	0	0,02	0,84	0,13	0,13	0,02
	40	99,99	99,999	99,999	/	/	/	0,05	0,08	0,03	0,67	0,31	0,28	0,07
	57	15,07	36,907	27,428	/	/	/	0,19	2,08	0,17	1,26	4,34	4,34	0,01
	60	14,91	36,983	27,522	/	/	/	0,28	4,72	0,14	2,78	1,66	1,4	0,57
	64	14,85	37,08	27,61	/	/	/	0,28	5,07	0,09	3,12	0,54	0,45	0,2
	70	14,65	37,185	27,735	/	/	/	0,24	4,68	0,08	3,12	0,43	0,4	0,05
	80	14,47	37,342	27,896	/	/	/	0,24	4,68	0,11	3,03	0,25	0,15	0,22
	100	14,4	37,817	28,279	/	/	/	0,13	2,8	0,11	2,02	0,19	0,15	0,09
	120	14,21	38,032	28,487	/	/	/	0,13	3,13	0,03	1,94	/	/	/
	150	13,75	38,16	28,685	/	/	/	0,12	3,03	0,03	1,85	/	/	/
	202	13,28	38,256	28,859	/	/	/	0,23	5,96	0,03	3,12	/	/	/
54s+p	1	21,18	36,614	25,674	5,23	104,4	104,4	0,03	0	0,04	0,93	0,09	0,08	0,01
	11	20,52	36,644	25,877	5,45	107,6	107,6	0,03	0	0,04	0,93	0,12	0,12	0,01

30	16,13	36,727	27,047	5,98	108,7	0,05	0	0,04	0,84	0,22	0,2	0,04
55	14,97	36,922	27,461	5,03	89,4	0,32	3,38	0,18	1,43	6,58	5,79	1,71
60	14,93	37,01	27,538	4,8	85,3	0,32	4,88	0,18	2,44	3,08	2,65	0,92
60	14,91	37,027	27,556	4,78	84,9	0,29	4,88	0,18	2,44	2,86	2,47	0,85
66	14,81	37,074	27,614	4,74	84,1	0,29	5,16	0,13	3,03	1,37	1,15	0,48
70	14,63	37,182	27,737	4,73	83,7	0,29	5,4	0,09	3,12	0,86	0,87	0,04
80	14,51	37,612	28,097	4,77	84,4	0,23	3,62	0,14	2,61	0,28	0,21	0,14
101	14,28	37,913	28,38	4,9	86,4	0,16	3,31	0,05	1,94	/	/	/
151	13,69	38,118	28,666	4,69	81,9	0,19	4,77	0,04	2,61	/	/	/
200	13,22	38,254	28,87	4,47	77,3	0,29	6,91	0,04	3,62	/	/	/
201	13,17	38,27	28,893	/	/	0,36	6,78	0,01	4,13	/	/	/
250	13,09	38,364	28,983	/	/	0,38	7,94	0,01	4,8	/	/	/
300	13,16	38,44	29,027	/	/	0,4	8,74	0,01	5,81	/	/	/
351	13,2	38,481	29,051	/	/	0,44	8,97	0,01	6,57	/	/	/
401	13,19	38,494	29,063	/	/	0,43	9,02	0,01	7,07	/	/	/
452	13,15	38,495	29,072	/	/	0,55	9,11	0,01	7,75	/	/	/
501	13,12	38,488	29,073	/	/	0,44	8,92	0,01	7,91	/	/	/
551	13,07	38,479	29,076	/	/	0,46	8,88	0,01	8	/	/	/
601	13,04	38,472	29,077	/	/	0,46	8,83	0,01	8,25	/	/	/
701	13	38,460	29,076	/	/	0,44	8,74	0,01	8,42	/	/	/
1000	12,95	38,439	29,07	/	/	0,43	8,46	0,01	8,5	/	/	/
55s	0	21,71	36,581	5,23	105,4	0,04	0,01	0,01	0,84	0,09	0,08	0,02
20	19,81	36,648	26,07	/	/	0,04	0,04	0,01	0,76	0,12	0,1	0,04
30	17,32	36,714	26,753	/	/	0,03	0	0,01	0,76	0,18	0,15	0,07
40	16,53	36,89	27,078	5,99	109,8	0,07	0	0,02	0,76	0,35	0,3	0,1
50	15,45	37,157	27,535	6	107,9	0,04	0	0,03	0,76	0,86	0,78	0,18
60	14,93	37,397	27,837	/	/	0,11	0,95	0,15	0,93	0,85	0,71	0,29
70	14,59	37,619	28,085	/	/	0,12	2,8	0,36	1,77	0,41	0,32	0,2
80	14,24	37,758	28,269	4,55	80,1	0,23	4,86	0,2	2,61	0,36	0,27	0,21
100	13,99	38,033	28,535	/	/	0,19	4,33	0,08	2,19	0,25	0,17	0,17
120	13,85	38,127	28,638	/	/	0,16	3,39	0,1	1,94	/	/	/
150	13,4	38,191	28,784	/	/	0,28	6,16	0,07	3,16	/	/	/
204	13,17	38,314	28,927	/	/	0,29	7,08	0,07	3,62	/	/	/
56s	2	21,57	36,685	5,21	104,8	0,04	0	0,04	0,92	0,09	0,09	0



	150	13,46	38,189	28,769	/	/	/	0,21	5,72	0,09	3,37	/	/	/
	200	13,17	38,333	28,942	/	/	/	0,27	7,1	0,08	4,13	/	/	/
36s	2	20,87	36,544	25,706	5,34	106	0,01	0	0	0,05	1,01	0,11	0,11	0
	19	19,43	36,624	26,152	/	/	0,03	0	0	0,07	1,01	0,15	0,15	0,01
	31	16,25	36,72	27,013	6,04	110	0,01	0	0	0,06	1,01	0,17	0,16	0,02
	40	15,41	36,819	27,283	/	/	0,01	0	0	0,06	0,76	0,29	0,27	0,06
	50	15,15	36,893	27,399	/	/	0,17	2,31	2,31	0,14	1,77	4,31	4,22	0,18
	60	14,81	37,062	27,605	4,91	87,1	0,24	4,63	4,63	0,15	2,78	1,15	1,02	0,29
	70	14,79	37,269	27,769	/	/	0,19	3,8	3,8	0,11	2,53	0,89	0,73	0,35
	80	14,56	37,443	27,955	4,75	84	0,21	4,71	4,71	0,07	2,95	0,33	0,25	0,17
	100	14,22	37,843	28,339	/	/	0,16	3,8	3,8	0,06	2,44	0,11	0,08	0,06
	120	14,38	38,071	28,48	/	/	0,09	2,45	2,45	0,06	1,77	/	/	/
	150	13,7	38,121	28,666	/	/	0,19	4,8	4,8	0,06	2,78	/	/	/
	200	13,18	38,295	28,911	/	/	0,27	7,02	7,02	0,06	4,21	/	/	/
37s	3	20,81	36,648	25,801	5,41	107,3	0	0,01	0,01	0,02	/	0,13	0,13	0,01
	20	16,56	36,743	26,958	/	/	0	0	0	0,02	/	0,19	0,18	0,03
	30	15,71	36,767	27,175	6,01	108,6	0,04	0,16	0,16	0,03	/	1,91	1,76	0,34
	40	15,39	36,809	27,28	/	/	0,04	0,1	0,1	0,05	/	2,11	1,92	0,41
	50	15,11	36,912	27,422	5,11	91,1	0,17	3,52	3,52	0,2	/	2,25	1,95	0,65
	60	14,86	37,071	27,601	/	/	0,21	4,62	4,62	0,19	/	0,96	0,78	0,4
	70	14,65	37,27	27,801	/	/	0,2	4,73	4,73	0,05	/	0,45	0,36	0,21
	80	14,39	37,61	28,122	4,73	83,5	0,19	4,72	4,72	0,04	/	0,23	0,17	0,13
	101	14,2	37,936	28,415	/	/	0,15	3,94	3,94	0,03	/	0,12	0,1	0,06
	120	13,89	38,073	28,588	/	/	0,19	5,19	5,19	0,03	/	/	/	/
	150	13,36	38,202	28,801	/	/	0,23	6,11	6,11	0,03	/	/	/	/
	200	13,09	38,311	28,942	/	/	0,27	7,15	7,15	0,03	/	/	/	/
38s	2	20,76	36,577	25,761	5,33	105,6	0	0	0	0,01	1,01	0,12	0,11	0,01
	20	17,24	36,653	26,958	/	/	0	0	0	0,01	0,84	0,16	0,16	0
	29	16,18	36,747	27,05	5,9	107,3	0	0	0	0,01	0,67	0,5	0,45	0,1
	40	15,84	36,845	27,205	/	/	0	0	0	0,02	0,67	0,57	0,51	0,14
	49	15,2	36,902	27,394	/	/	0,09	0,72	0,72	0,08	0,67	6,61	5,61	2,18
	54	14,97	36,994	27,517	4,97	88,4	0,19	3,99	3,99	0,14	1,94	2,73	2,41	0,69
	59	14,89	37,044	27,573	/	/	0,23	4,57	4,57	0,08	2,53	0,96	0,77	0,42



	801	12,92	38,441	29,078	4,51	77,6	0,37	8,3	0,02	8,34	/	/	/
	901	12,93	38,439	29,074	4,52	77,8	0,38	8,37	0,05	8,42	/	/	/
	1000	12,93	38,438	29,074	4,54	78,2	0,38	8,33	0,05	8,42	/	/	/
	1251	12,97	38,439	29,066	4,6	79,3	0,36	8,3	0,05	8,29	/	/	/
	1501	13	38,44	29,061	4,66	80,3	0,35	8,18	0,05	8,08	/	/	/
	1800	13,05	38,44	29,05	4,72	81,5	0,35	8,23	0,03	8,08	/	/	/
	2005	13,08	38,441	29,045	4,71	81,3	0,37	8,28	0,01	8,02	/	/	/
43s	2	21,11	36,688	25,75	5031	106	0,03	0,06	0,06	1,09	0,09	0,08	0,02
	20	16,58	36,773	26,976	/	/	0,03	0,04	0,05	0,93	0,19	0,16	0,07
	30	15,8	36,819	27,194	5,84	105,5	0,04	0	0,05	0,67	0,42	0,37	0,1
	46	15,53	37,046	27,431	/	/	0,11	0,14	0,09	0,67	3,62	3,18	0,94
	50	15,06	37,013	27,512	5,17	92,1	0,35	2,54	0,19	1,52	8,75	8,32	0,92
	60	14,68	37,298	27,816	/	/	0,24	4,76	0,1	2,61	1,28	1,15	0,3
	70	14,33	37,682	28,19	/	/	0,2	4,77	0,09	2,95	1,05	0,97	0,19
	80	14,25	37,874	28,356	4,84	85,3	0,16	3,79	0,07	2,61	0,23	0,18	0,1
	100	14,08	38,029	28,513	/	/	0,19	4,26	0,06	2,61	0,13	0,11	0,05
	120	13,71	38,113	28,657	/	/	0,24	5,26	0,06	3,03	/	/	/
	150	13,39	38,194	28,788	/	/	0,23	6,18	0,07	3,62	/	/	/
	199	13,1	38,307	28,937	/	/	0,34	7,22	0,07	4,29	/	/	/
44s	2	21,28	36,538	25,589	5,29	105,8	0,01	0	0,01	0,93	0,12	0,1	0,03
	20	17,07	36,507	26,655	/	/	0,03	0,19	0,05	1,18	0,57	0,48	0,19
	30	16,14	36,691	27,017	5,79	105,2	0,05	0,19	0,08	1,26	1,01	0,8	0,45
	46	15,31	36,788	27,282	/	/	0,19	2,84	0,31	2,02	1,4	1,17	0,51
	50	15	36,913	27,448	5,04	89,7	0,23	4,01	0,2	2,19	1,33	1,13	0,44
	60	14,85	37,006	27,553	/	/	0,27	5,06	0,1	2,69	1,18	1,01	0,37
	70	14,77	37,067	27,618	/	/	0,25	5,26	0,06	2,78	0,74	0,59	0,34
	80	14,7	37,139	27,689	4,79	84,8	0,23	5,29	0,06	3,03	0,6	0,47	0,29
	100	14,48	37,53	28,04	/	/	0,2	4,71	0,05	2,61	0,26	0,2	0,13
	119	14,02	37,94	28,457	/	/	0,19	4,72	0,04	2,61	/	/	/
	149	13,64	38,184	28,727	/	/	0,16	4,66	0,04	2,61	/	/	/
	200	13,17	38,278	28,899	/	/	/	/	/	/	/	/	/
45s	2	20,66	36,572	25,784	5,4	106,8	0	0	0,01	0,84	0,11	0,1	0,01
	30	16,71	36,581	26,798	5,86	107,6	0	0	0,01	0,84	0,18	0,18	0,02

C

41	15,99	36,685	27,047	/	/	0,01	0,02	0,01	0,84	0,47	0,42	0,11
45	15,72	36,731	27,145	/	/	0,01	0,04	0,04	1,01	0,89	0,84	0,09
50	15,58	36,741	21,184	5,65	101,6	0,07	0,48	0,14	1,09	1,12	0,92	0,44
60	15,28	36,834	27,324	/	/	0,18	3,63	0,18	1,85	0,77	0,65	0,27
70	15,06	36,904	27,421	/	/	0,21	4,5	0,09	2,69	0,35	0,26	0,2
81	14,97	36,967	27,496	/	/	0,21	4,8	0,06	2,78	0,27	0,21	0,14
91	14,83	37,071	27,608	4,9	87	0,23	5,26	0,06	3,28	0,19	0,15	0,1
100	14,7	37,149	27,697	/	/	0,24	5,43	0,06	3,28	/	/	/
150	13,85	38,061	28,587	/	/	0,17	4,99	0,06	2,95	/	/	/
200	13,32	38,269	28,861	/	/	0,19	5,9	0,05	3,7	/	/	/
3	20,29	36,62	25,921	/	/	0,01	0	0,04	1,26	0,1	0,1	0,01
20	18,43	36,614	26,401	/	/	0	0,03	0,05	1,09	0,25	0,23	0,04
30	16,62	36,653	26,875	/	/	0	0	0,06	1,09	0,37	0,36	0,01
40	16,14	36,718	27,037	/	/	0,01	0,02	0,06	1,01	0,45	0,38	0,16
50	15,86	36,749	27,126	/	/	0,03	0,08	0,13	0,84	0,69	0,59	0,23
60	15,51	36,775	27,226	/	/	0,12	2,46	0,19	1,43	0,72	0,62	0,21
70	15,3	36,809	27,3	/	/	0,17	3,53	0,09	1,77	0,57	0,42	0,33
80	15,27	36,879	27,361	/	/	0,16	3,36	0,12	1,85	0,44	0,33	0,25
100	15,02	36,979	27,494	/	/	0,19	4,37	0,06	2,61	0,25	0,17	0,18
121	14,73	37,15	27,691	/	/	0,23	5,27	0,05	3,12	/	/	/
150	14,07	37,941	28,447	/	/	0,15	4,63	0,04	2,44	/	/	/
200	13,35	38,242	28,834	/	/	0,19	5,8	0,04	2,78	/	/	/
2	19,92	36,636	26,032	5,41	105,6	0,03	0,04	0,03	1,01	0,1	0,1	0,01
21	19,53	36,621	26,123	5,51	106,8	0,03	0,05	0,03	0,84	0,15	0,14	0,03
31	16,98	36,656	26,791	5,93	109,5	0,01	0	0,03	0,76	0,22	0,2	0,04
50	15,89	36,735	27,108	5,98	108,2	0,03	0,01	0,04	0,59	0,59	0,57	0,04
50	15,89	36,735	27,108	5,94	107,4	0,03	0	0,04	0,51	0,56	0,53	0,07
60	15,44	36,805	27,265	5,34	95,8	0,11	1,6	0,27	1,05	0,74	0,61	0,28
70	15,33	36,85	27,325	5,08	90,9	0,15	3,34		1,64	0,41	0,29	0,27
81	15,15	36,868	27,379	4,92	87,8	0,19	4,37	0,09	2,11	0,31	0,27	0,1
100	14,99	36,951	27,479	4,88	86,8	0,21	4,81	0,06	2,61	0,14	0,1	0,08
120	14,87	37,046	27,579	4,81	85,4	0,21	5,05	0,06	2,69	/	/	/
151	14,23	37,818	28,317	4,64	81,7	0,21	4,68	0,06	2,46	/	/	/
201	13,35	38,211	28,81	4,52	78,4	0,22	6,32	0,06	3,41	/	/	/
46s												
47s+p												

	199	13,4	38,197	28,788	/	/	0,21	5,87	0,01	3,62	/	/	/	/
	251	13,26	38,341	28,929	/	/	0,22	6,93	0,01	4,13	/	/	/	/
	299	13,14	38,412	29,01	/	/	0,32	8,35	0,01	5,3	/	/	/	/
	350	13,19	38,47	29,044	/	/	0,36	9,04	0,02	6,23	/	/	/	/
	399	13,19	38,489	29,059	/	/	0,39	9,23	0,01	6,82	/	/	/	/
	450	13,13	38,484	29,068	/	/	0,4	9,33	0,01	7,49	/	/	/	/
	501	13,08	38,478	29,073	/	/	0,41	9,13	0,01	7,66	/	/	/	/
	550	13,08	38,481	29,076	/	/	0,41	8,92	0,01	7,66	/	/	/	/
	600	13,03	38,469	29,077	/	/	0,4	8,94	0,01	7,75	/	/	/	/
	699	12,99	38,458	29,077	/	/	0,39	8,87	0,01	8	/	/	/	/
	800	12,96	38,45	29,077	/	/	0,39	8,76	0,01	8,08	/	/	/	/
	1005	12,95	38,441	29,072	/	/	0,38	8,45	0,01	8,17	/	/	/	/
61s	2	22,31	36,779	25,483	/	/	0,03	0	0,02	1,35	0,1	0,11	0,02	0,02
	30	15,97	37,039	27,324	/	/	0,04	0	0,02	1,01	0,39	0,31	0,19	0,19
	51	14,99	37,274	27,729	/	/	0,12	2,02	0,11	1,52	2,51	2,18	0,83	0,83
	70	14,43	37,664	28,155	/	/	0,2	4,39	0,09	2,53	0,63	0,45	0,38	0,38
	80	14,27	37,824	28,313	/	/	0,19	4,39	0,09	2,53	0,36	0,27	0,2	0,2
	101	14,02	38,019	28,518	/	/	0,16	3,99	0,06	2,19	0,14	0,1	0,09	0,09
	150	13,46	38,28	28,84	/	/	0,23	5,88	0,06	3,37	0,02	0,01	0,01	0,01
	200	13,41	38,415	28,955	/	/	0,28	6,98	0,06	4,38	/	/	/	/
	352	13,49	38,573	29,061	/	/	0,34	8,18	0,06	6,57	/	/	/	/
	501	13,27	38,528	29,0n	/	/	0,36	8,61	0,06	1,58	/	/	/	/
	800	13,02	38,464	29,075	/	/	0,38	8,66	0,06	8,5	/	/	/	/
	1002	12,99	38,449	29,07	/	/	0,38	8,61	0,06	8,5	/	/	/	/
62s	2	22,2	36,752	25,494	/	/	0,03	0	0,01	0,84	0,21	0,2	0,03	0,03
	29	18,04	36,971	26,773	/	/	0,01	0	0,01	0,84	0,26	0,24	0,05	0,05
	50	15,56	37,088	27,456	/	/	0,01	0,02	0,01	0,84	0,41	0,36	0,12	0,12
	70	14,69	37,527	27,991	/	/	0,05	1,43	0,15	1,35	1,17	0,94	0,51	0,51
	79	14,58	37,717	28,162	/	/	0,12	3,05	0,17	2,11	0,83	0,59	0,53	0,53
	100	14,14	37,983	28,465	/	/	0,16	3,86	0,09	2,11	0,28	0,18	0,22	0,22
	149	13,34	38,21	28,811	/	/	0,23	6	0,03	3,12	0,02	0	0,04	0,04
	200	13,1	38,311	28,94	/	/	0,29	7,31	0,03	3,87	/	/	/	/
	345	13,17	38,474	29,052	/	/	0,39	7,79	0,03	6,4	/	/	/	/
	500	13,11	38,488	29,075	/	/	0,4	9,1	0,03	7,41	/	/	/	/

	800	12,97	38,451	29,075	/	/	0,39	8,81	0,03	8,17	/	/	/
	1010	12,95	38,44	29,071	/	/	0,38	8,47	0,03	8,17	/	/	/
63p	2	22,24	36,604	25,37	5,21	106	0,04	0	0,02	1,35	0,33	0,3	0,06
	30	17,52	36,622	26,634	5,87	109,5	0,04	0	0,02	1,09	0,21	0,2	0,04
	51	15,91	36,744	27,111	5,55	100,4	0,11	0,6	0,18	1,18	1,2	1,02	0,39
	70	15,14	36,868	27,382	5,02	89,5	0,28	4,15	0,13	2,53	0,74	0,59	0,35
	79	14,96	37,005	27,528	4,96	88,2	0,24	4,3	0,13	2,69	0,48	0,38	0,21
	100	14,39	37,76	28,238	4,67	82,5	0,17	3,89	0,24	2,27	0,37	0,27	0,22
	151	13,56	38,14	28,71	4,6	80,1	0,23	5,55	0,07	3,03	/	/	/
	201	13,21	38,284	28,896	4,54	78,5	0,28	6,68	0,07	3,7	/	/	/
	351	13,22	38,477	29,043	4,17	72,2	0,4	9	0,07	6,23	/	/	/
	499	13,15	38,494	29,071	4,2	72,7	0,43	9,23	0,07	7,75	/	/	/
	800	12,98	38,453	29,075	4,45	76,7	0,42	8,84	0,07	8,34	/	/	/
	1017	12,95	38,441	29,072	4,55	78,4	0,39	8,6	0,07	8,42	0	0,01	0,01

## Annexe 6

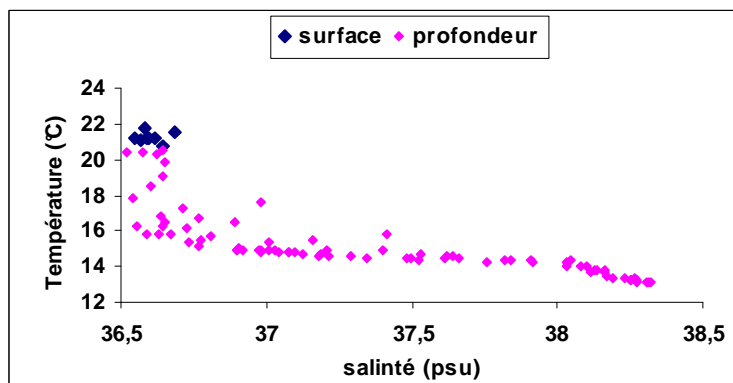


Fig. a : Diagramme de corrélation température- salinité au niveau du radiale A.

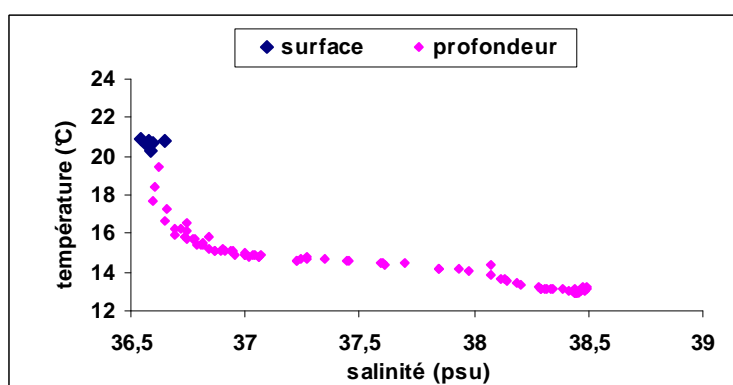


Fig. b : Diagramme de corrélation température- salinité au niveau du radiale B.

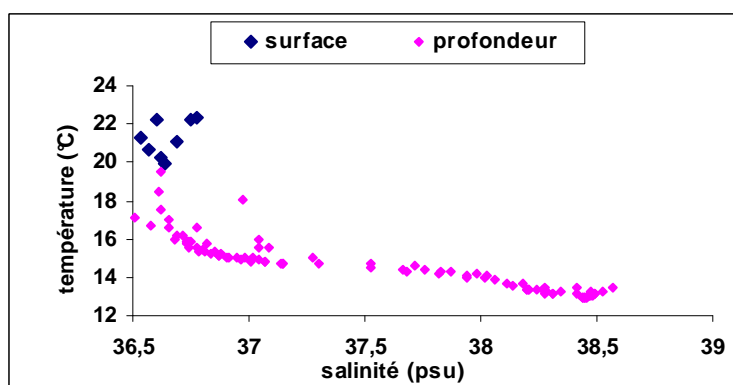


Fig. c : Diagramme de corrélation température- salinité au niveau du radiale C.

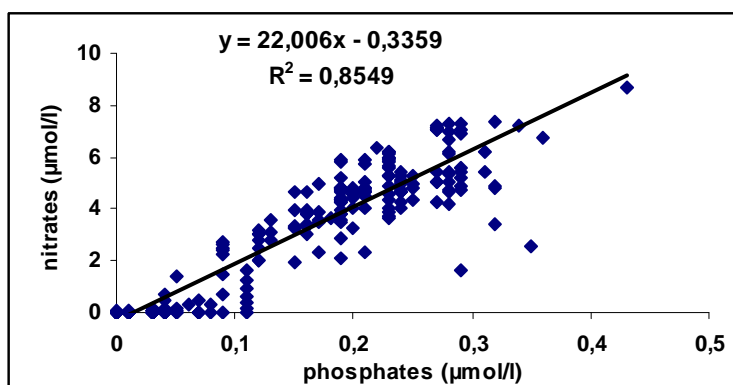


Fig. d : Diagramme de corrélation nitrates/phosphates de toute la zone d'étude.

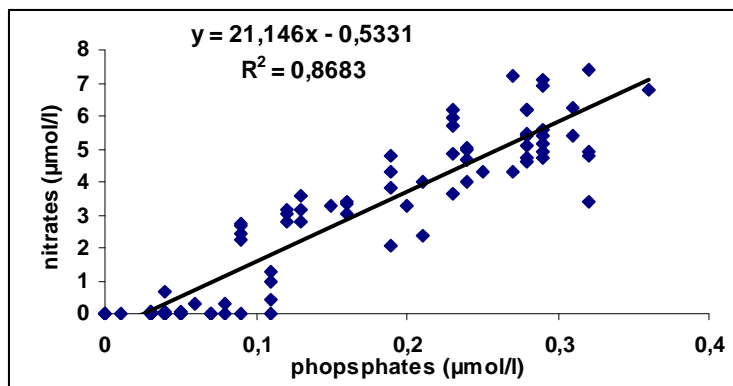


Fig. e : Digramme de corrélation nitrates/phosphates dans le radiale A.

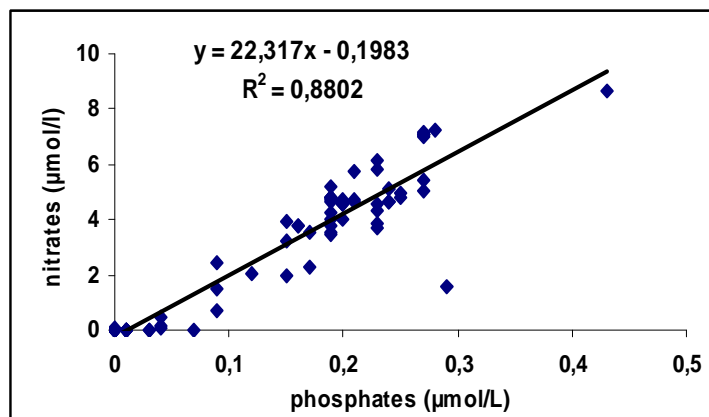


Fig. f : Digramme de corrélation nitrates/phosphates dans le radiale B.

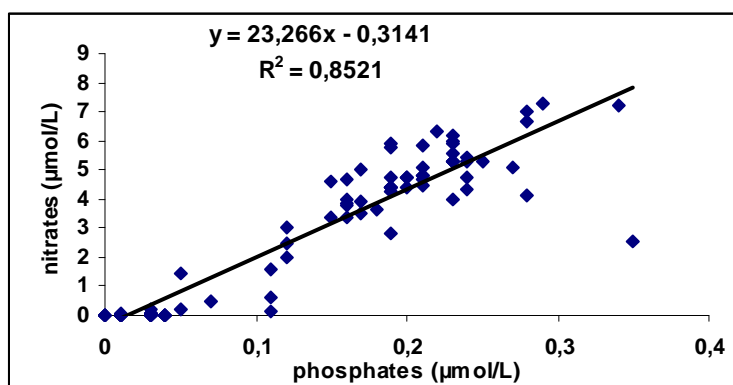


Fig. g : Digramme de corrélation nitrates/phosphates dans le radiale C.

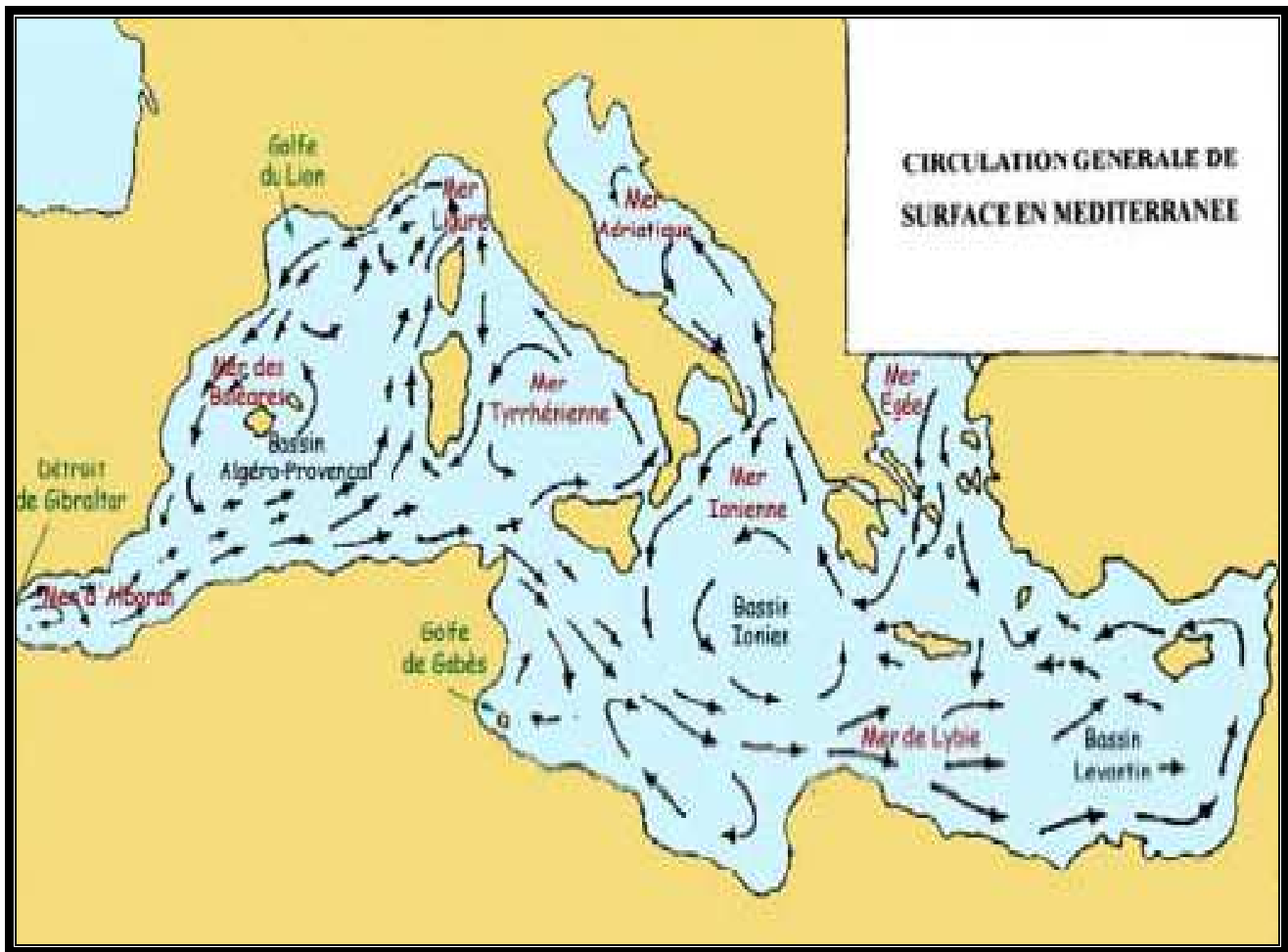


Fig. h : carte des courants de surface en méditerranée (Lacombe H. et Tchernia P.).