

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR
D'ETAT EN SCIENCES DE LA MER**

OPTION : Ingénierie de l'Environnement Marin et Côtier

Thème :

**Les conditions physicochimiques au large des côtes centrales
algériennes : contribution à l'étude des structures
hydrologiques**

Présenté par :

- **HANZAL ILHAM**
- **MAAFI YOUSRA**

Soutenu le 17/12/2020, Devant le jury suivant :

Mme LOUANCHI F.	Professeur	ENSSMAL	Présidente
Mr. INAL A.	M.R.B	CNRDPA	Promoteur
Mr. BOULAHIDID M.	Professeur	ENSSMAL	Co-promoteur
Mme KERAGHEL M.	M.A.A.	ENSSMAL	Examinatrice
Mr. BENHALIMA M.	M.A.A.	Centre Univ. de Tipaza	Examineur

Promotion : 2020

Remerciements

Nous remercions Allah tout puissant de nous avoir donné la volonté et le courage de mener à bien ce travail.

*Nous exprimons toute notre gratitude à notre promoteur **MR. Inal A.** d'avoir proposé ce thème, et de nous avoir encadrés durant ce travail.*

*Nous sommes redevables à **MR. Boulahdid M.** notre Co-promoteur parce que sans lui ce travail n'aurait pas vu le jour. Nous tenons à le remercier pour sa disponibilité, son aide et son encouragement durant cette période. Merci de nous avoir suivi et d'avoir enrichi nos connaissances. Nous ne saurons utiliser les mots justes pour lui exprimer toute notre gratitude, mais qu'il trouve dans ces quelques lignes une marque de respect.*

*Notre reconnaissance s'adresse à **Mme Louanchi F.** d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance. Nous la remercions pour la qualité de son enseignement qui était très utile pour l'enrichissement de nos connaissances, ainsi que pour ses conseils et orientations durant toute notre formation au sein de l'établissement.*

*Nous sommes honorés par la présence de **Mme Keraghel M.** parmi les membres de notre jury. Nous n'oublierons jamais les précieux conseils et encouragements qu'elle nous a prodigués en tant qu'enseignante très soucieuse du succès de ses étudiants.
Nous lui exprimons notre gratitude et notre remerciement.*

*C'est un grand plaisir pour nous de compter **Mr. Benhalima M.** parmi les membres du jury. Nous adressons nos sincères remerciements pour sa profonde gentillesse, sa générosité en tant qu'enseignant. Nous lui adressons toute notre reconnaissance d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Pour finir, nous adressons nos sincères remerciements à l'ensemble des enseignants et personnels de notre école supérieure **ENSSMAL** et du département d'environnement et le personnel de la bibliothèque qui nous a encadré durant notre cursus.*

Merci à vous

Dédicace

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, que je dédie ce mémoire :

A ma fierté ; mes parents ; Aucune dédicace, aucun mot ne pourrait exprimer à leur juste valeur, la gratitude et l'amour que je vous porte.

*A la femme la plus chère dans ma vie, ma raison d'être, ma raison de vivre **ma Mère**, qui m'a arrosé de tendresse et d'espoirs, à la source d'amour qui ma bénie par ces prières.*

*A l'homme de ma vie, l'épaule solide, mon premier exemple **mon Père**, qui m'a supporté et ma dirigé vers la gloire.*

*A mes chères sœurs « **Imen et Ines** » et mon frère « **Mohamed** » ainsi qu'à ma très chère grand-mère « **Khadija** », merci d'être toujours à mes côtés, par votre présence, par votre amour, pour donner du goût et du sens à notre vie de famille. Je vous dis que je vous aime beaucoup.*

A la mémoire de mon très cher grand-père maternel qu'il n'est plus de ce monde, qu'il repose en paix.

A mon binôme qui travaille toujours dans la bonne humeur, que je suis heureuse d'avoir rencontrée et avec qui j'ai passé des jours inoubliables, je lui souhaite tout le succès possible, ainsi qu'à tous les membres de sa famille.

*Je dédie ce travail aussi à mes deux chères amies « **Youssra et Chahinez** » que j'ai rencontré sur le chemin de la vie, avec qui je partage des souvenirs qui resteront immortels dans ma mémoire, Je vous aime et je vous souhaite plein de succès.*

** **Ilham** **

Dédicace

Je dédie ce modeste travail avec plein d'amour :

*A celui qui a éclairé ma vie et mon parcours, en signe d'amour et de tendresse, qui m'a tout donné et à qui je dois tout, cher **MAMA***

*A celui, grâce à qui, je suis venue au monde, et qui a fait de moi ce que je suis, n'épargnant aucun effort ni aucun sacrifice, pour mon avenir et mon bonheur que dieu le garde et j'espère que je ferai la fierté cher **PAPA***

*A mes chers frères **Housseem, Zaki, Rami** et **Ahmed** qui ont toujours été à mes côtés. Je vous dis merci de m'avoir soutenu, de m'avoir donné de la force et de l'envie de continuer à vivre. Je vous aime plus que tous dans le monde.*

A la mémoire de mon très cher grand-père maternel qu'il n'est plus de ce monde, qu'il repose en paix.

A la mémoire de mes très chères grand-mères, paternelles et maternelles qui me restent.

A mes tantes et mes oncles maternelles ; Mes cousins et cousines ;

*A mon binôme **Ilham** avec laquelle j'ai passé une merveilleuse année je lui souhaite un parcours plein de bonheur et de la réussite ainsi que sa famille.*

*A mes très chères amies **Jihane, Ilham, Hiba** et **Chahinez** source d'affection et tendresse.*

A tous les membres de la famille petits et grands.

Soussra

Liste des abréviations

CNRS	Centre National français de la Recherche Scientifique
ENSSMAL	Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et l'Aménagement du Littoral.
LIW	L'eau intermédiaire Levantine (Levantine Intermediate Water)
MAW	L'eau atlantique modifiée (Modified Atlantic Water)
PSU	Practical salinity unit
SOMBA-GE	Système d'Observation à la Mer du Bassin Algérien- Grande Echelle
ODV	Ocean Data View
LOCEAN	Laboratoire d'Océanographie et du Climat Expérimentations et Approches Numériques
MIO	Mediterranean Institute of Oceanography
MOOSE	Mediterranean Ocean Observing System on Environment
MERMEX	Marine Ecosystems Response in the Mediterranean Experiment
MEDIPROD	Mediterranean Production
SSS	Sea Surface Salinity
SST	Sea Surface Temperature
TDW	Tyrrhenian Deep Water
WIW	L'eau hivernale intermédiaire (Winter Intermediate Water)
WMDW	L'eau méditerranéenne profonde (Western Mediterranean Deep Water)

Liste des Figures

Figure 1 : Le cycle de l'azote dans l'eau de mer (le Gal et al., 1988).....	19
Figure 2 : Le cycle du phosphore dans l'eau de mer (Le Gal et al., 1988).....	21
Figure 3 : Cycle simplifié des éléments nutritifs. (Lacaze, 1996).....	22
Figure 4 : Carte d'identité de la Mer Méditerranée.	24
Figure 5 : Circulation générale de surface dans la mer méditerranée (d'après Millot and Taupier-Letage, 2005).....	27
Figure 6 : situation géographique du bassin Algérien.	29
Figure 7 : Situation géographique de la baie de Bou-Ismaïl.	31
Figure 8 : Situation géographique de la baie d'Alger.....	33
Figure 9 : Situation géographique de la baie de Zemmouri.....	34
Figure 10 : Localisation des stations de prélèvement dans le bassin Algérien pendant la campagne SOMBA-GE 2014.	38
Figure 11 : Localisation des stations de la campagne MEDIPROD V.....	39
Figure 12 : Localisation des stations de la campagne MEDIPROD VI.	40
Figure 13 : Présentation du logiciel Ocean Data View version 4.....	42
Figure 14 : Profil vertical global de la température potentielle.	45
Figure 15 : Profil vertical global de la salinité.	46
Figure 16 : Profil vertical global des nitrates.....	47
Figure 17 : Profil vertical global des phosphates.....	48
Figure 18 : Profil vertical global des silicates.	50
Figure 19 : Diagramme Température potentielle - Salinité (θ - S).....	51
Figure 20 : Diagramme Température potentielle-Salinité (θ - S).....	51
Figure 21 : Diagramme de corrélation Nitrates-Phosphates de SOMBA-GE.	52
Figure 22 : Diagramme de corrélation Nitrates-Phosphates de MEDIPROD-VI.....	52
Figure 23 : Diagramme de corrélation Nitrates-Phosphates de MEDIPROD V.	53
Figure 24 : Diagramme de corrélation global des Nitrates et Phosphates.	53

Figure 25 : Distribution verticale de la température le long de la section Est-Ouest, au large de la baie d'Alger.....	54
Figure 26 : Distribution verticale de la salinité le long de la section Est-Ouest, au large de la baie d'Alger.....	55
Figure 27 : Distribution verticale des nitrates le long de la section Est-Ouest, au large de la baie d'Alger.....	56
Figure 28 : Distribution verticale des phosphates le long de la section Est-Ouest, au large de la baie d'Alger.....	57
Figure 29 : Distribution verticale de la température le long de la section Nord-Sud, au large de la baie d'Alger.....	58
Figure 30 : Distribution verticale de la salinité le long de la section verticale Nord-Sud au large de la baie d'Alger.....	59
Figure 31 : Distribution verticale des nitrates le long de la section Nord-Sud au large de la baie d'Alger.....	60
Figure 32 : Distribution verticale des phosphates le long de la section Nord-Sud au large de la baie d'Alger.....	61

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les méthodes de mesures des paramètres physicochimiques pour les trois campagnes océanographiques.	41
Tableau 2 : les valeurs moyennes et extrêmes de la température potentielle pour les trois campagnes océanographiques.....	44
Tableau 3 : les valeurs moyennes et extrêmes de la salinité pour les trois campagnes océanographiques.....	45
Tableau 4 : les valeurs moyennes et extrêmes des Nitrates pour les trois campagnes océanographiques.....	47
Tableau 5 : les valeurs moyennes et extrêmes des phosphates pour les trois campagnes océanographiques.....	48
Tableau 6 : les valeurs moyennes et extrêmes des silicates pour les trois campagnes océanographiques.....	49

Table des matières

Remerciements.....	I
Dédicace.....	II
Dédicace.....	III
Liste des abréviations.....	IV
Liste des Figures.....	V
Liste des tableaux.....	VII
Introduction.....	14

Généralités

1. Notion de traceur océanique.....	16
1.1. Les traceurs océaniques conservatifs.....	16
1.2. Les traceurs océaniques non conservatifs.....	16
2. Descripteurs physico-chimiques du milieu marin.....	16
2.1. Température.....	16
2.1.1. Répartition horizontale à la surface de l'océan.....	17
2.1.2. Répartition verticale en profondeur dans l'océan.....	17
2.1.3. La thermocline.....	17
2.2. Salinité.....	17
2.2.1. Répartition horizontale à la surface de l'océan.....	18
2.2.2. Répartition verticale en profondeur dans l'océan.....	18
2.3. Les sels nutritifs.....	18
2.3.1. Notion des nutriments.....	18
2.3.2. Origine des sels nutritifs.....	18
2.3.2.1. Les sources internes.....	18
2.3.2.2. Les sources externes.....	19
2.3.3. Rôle des éléments nutritifs.....	19
2.3.4. Les différentes formes des sels nutritifs.....	19
2.3.4.1. L'azote ammoniacal.....	19
2.3.4.2. Nitrites.....	20
2.3.4.3. Nitrates.....	20
2.3.4.4. Phosphates.....	20
2.3.4.5. Silices.....	21
2.3.5. Le cycle biogéochimique des sels nutritifs.....	21

2.3.5.1. Processus du cycle	21
2.3.5.1.1. La photosynthèse.....	22
2.3.5.1.2. La minéralisation.....	22
2.3.5.1.3. L'excrétion	22
2.3.5.1.4. La nitrification.....	23
2.3.5.1.5. La dénitrification.....	23
2.3.5.2. Rapport de REDFIELD	23
3. La circulation océanique	24
3.1. Mer Méditerranéenne	24
3.2. Description de la Méditerranée occidentale	25
3.3. La circulation générale en Méditerranée occidentale	25

Zone d'étude

1. Le bassin Algérien.....	29
1.1. Situation géographique du bassin algérien	29
1.2. Hydrologie du bassin Algérien	29
1.3. Les masses d'eaux	30
2. Baie de Bou-Ismaïl.....	31
2.2. Climatologie	32
2.3. Les facteurs hydrodynamiques	32
2.3.1. Les houles.....	32
2.3.2. Les courants.....	32
3. La baie d'Alger.....	32
3.1. Situation géographique	32
3.2. Facteurs hydrodynamiques	33
3.3. Facteurs météorologiques	33
3.3.1. Les vents.....	33
3.3.2. La température	34
3.3.3. Pluviométrie	34
4. La baie de Zemmouri	34
4.1. Situation géographique	34
4.2. Facteurs météorologiques	35
4.2.1. La température.....	35
4.2.2. Les précipitations.....	35

4.2.3. Le vent	35
4.3. Facteurs hydrodynamiques	35
4.3.1. La houle	35

Matériel méthodes

1. Description des données utilisées.....	37
1.1. La campagne SOMBA-GE 2014.....	37
1.2. La campagne MEDIPROD V.....	39
1.3. La campagne MEDIPROD VI.....	39
2. Le logiciel de traitement des données (OCEAN DATA VIEW)	41
3. Diagramme Température potentielle - Salinité	42

Résultats et discussion

1. Analyse paramétrique.....	44
1.1. Variation de la température potentielle	44
1.2. Variation de la salinité.....	45
1.3. Variation des nitrates	46
1.4. Variation des phosphates	47
1.5. Variation des silicates	49
2. Analyse binaire.....	50
2.1. Diagramme $\theta - S$	50
2.2. Diagramme de corrélation Nitrates-Phosphates	52
3. Etudes des sections.....	54
3.1. La section verticale pour le transect (Est-Ouest).....	54
3.1.1. La température potentielle.....	54
3.1.2. La salinité	55
3.1.3. Les nitrates.....	56
3.1.4. Les phosphates.....	57
3.2. La section verticale pour le transect (Nord-Sud).....	58
3.2.1. La température potentielle.....	58
3.2.2. La salinité	59
3.2.3. Les nitrates.....	60
3.2.4. Les phosphates.....	61
Conclusion.....	63
Bibliographie.....	65

Introduction

Introduction

Au fil des années, le monde scientifique fait d'énormes efforts pour avoir les informations nécessaires à la compréhension de la structure, la dynamique et l'évolution des océans.

La mer Méditerranée est une mer intercontinentale presque entièrement fermée, comprise entre l'Europe méridionale, l'Afrique du Nord et l'Asie occidentale. Elle communique avec l'océan Atlantique par le détroit de Gibraltar et avec la mer Rouge par le canal de Suez. L'étranglement compris entre la Sicile et la Tunisie la divise en deux bassins : la Méditerranée occidentale, et la Méditerranée orientale. La grande partie de la Méditerranée occidentale du sud est occupée par le bassin Algérien qui représente une voie d'accès des eaux d'origine atlantique vers le bassin occidental.

La mer Méditerranée joue un rôle important dans la circulation océanique mondiale et constitue un engrenage de la machine thermique mondiale. En raison de la masse d'eau chaude et salée qu'elle libère dans l'océan Atlantique par le détroit de Gibraltar, elle impacte le contenu massique de l'Atlantique Nord et ainsi la circulation thermohaline globale. Elle est également une source de chaleur pour l'atmosphère et influence le climat régional (**Damien, 2015**).

La Méditerranée est caractérisée par une forte insuffisance biologique. On parle d'une mer oligotrophe (**Siokou-Frangou et al., 2010**). A toutes profondeurs, ses concentrations en nutriments sont très inférieures à celles que l'on observe dans l'océan mondial (**Coste et al., 1988**). Une autre caractéristique de cette mer est que le rapport N/P est voisin de 20 dans sa partie occidentale et d'environ 22 dans sa partie orientale (**Moutin et al., 2002**), alors qu'il n'est que de 15 à 16 pour l'océan mondial (**Redfield et al., 1963**).

Dans ce cadre, le présent travail a pour objectif de comprendre la distribution verticale de la température, de la salinité et des sels nutritifs au large de la côte Algéroise en période printanière et estivale. Dans ce contexte, nous avons travaillé sur des données acquises de trois campagnes océanographiques, SOMBA-GE, MEDIPROD V et MEDIPROD VI.

Le présent travail est organisé en quatre chapitres :

Dans le Premier chapitre « Généralités », nous parlerons de la notion des traceurs océaniques, les descripteurs physico-chimiques du milieu marin et de la circulation océanique en Méditerranée occidentale.

Dans le Deuxième chapitre « Zone d'étude », nous présentons une description générale du bassin algérien et des baies de Bou-Ismaïl, d'Alger et de Zemmouri.

Le Troisième chapitre « Matériel et méthodes », est dédié à la description des données extraites de trois campagnes océanographiques et du logiciel utilisé pour l'analyse et le traitement de ces données.

Le Quatrième chapitre « Résultats et Discussions », est consacré au traitement des données acquises dans la zone d'étude avec un essai de discussion et d'interprétation des différents résultats obtenus.

Le mémoire est clôturé par une conclusion générale.

Généralités

1. Notion de traceur 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 :

1.1. 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.

1.2. Les traceurs océaniques non conservatifs

Un traceur océanique non conservatif est un paramètre dont les variations de 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 dissous, pH, sels nutritifs...etc, et les traceurs non conservatifs radioactifs (^{14}C , ^{226}Ra , ...).

2. Descripteurs physico-chimiques du milieu marin

2.1. Température

La température est un facteur physique important du milieu, elle influe sur la densité de l'eau et joue un rôle primordial dans les phénomènes de stratification des mers (thermocline) (**Gaujous, 1995**).

La notion de température est reliée à la notion de chaud et de froid, qui sont des notions assez subjectives. Scientifiquement, on relie la température de la goutte d'eau de mer à la quantité de chaleur contenue dans cette goutte. La température, notée T, se mesure en degrés Celsius ($^{\circ}\text{C}$), degré Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) ou en Kelvin (K). Dans l'océan, les eaux sont principalement chauffées par le soleil.

Ce paramètre joue un rôle important dans la solubilité des gaz, dans la détermination du pH, et dans la connaissance de l'origine des eaux et des mélanges éventuels (**Rodier, 2005**).

La température de l'eau dépend d'une série de facteurs :

- La situation géographique, la saison et l'ensoleillement ;
- La profondeur (la température des profondeurs est généralement plus faible qu'en surface) ;
- La couleur de l'eau (une eau sombre absorbe plus fortement la chaleur) ;
- Le volume de l'eau (plus le volume est élevé moins importantes sont les fluctuations de température) (**Mahamat et Beskri, 2010**).

2.1.1. Répartition horizontale à la surface de l'océan

A l'échelle mondiale, ce sont les satellites qui ont récemment permis d'approfondir la connaissance de la température de surface, notée SST (Sea Surface Température). A la surface de l'océan, les eaux les plus froides se situent au niveau des pôles et les eaux les plus chaudes sont situées au niveau des régions équatoriales, là où l'intensité du chauffage solaire est maximum.

2.1.2. Répartition verticale en profondeur dans l'océan

Malgré l'atténuation progressive du rayonnement solaire avec la profondeur, on remarque que près de la surface, la température est souvent la même sur plusieurs dizaines, parfois centaines de mètres : on parle de **couche de mélange océanique** car c'est une couche en permanence agitée par le vent et mélangée grâce aux flux de chaleur et d'eau douce.

2.1.3. La thermocline

Les plans d'eau sont constitués de couches, déterminées par la température :

La couche superficielle supérieure est appelée la zone épipelagique, et est parfois appelée «peau de l'océan» ou «zone de lumière du soleil». Cette couche interagit avec le vent et les vagues, qui mélangent l'eau et distribuent la chaleur. À la base de cette couche se trouve la thermocline.

Une thermocline est la couche de transition entre l'eau mélangée plus chaude à la surface et l'eau profonde plus froide en dessous. Dans la thermocline, la température diminue rapidement de la température de la couche mélangée à la température de l'eau profonde beaucoup plus froide.

La couche profonde, qui s'étend jusqu'au fond, est caractérisée par des températures faibles et homogènes. Dans l'océan, la profondeur et la force de la thermocline varient d'une saison à l'autre et d'une année à l'autre. Elle est semi-permanente sous les tropiques, variable dans les régions tempérées (souvent les plus profondes en été) et peu profonde à inexistante dans les régions polaires, où la colonne d'eau est froide de la surface au fond (NOAA, 2019).

Les facteurs qui affectent la profondeur et l'épaisseur d'une thermocline sont : les variations météorologiques saisonnières, la latitude et les conditions environnementales locales, telles que les marées et les courants.

2.2. Salinité

La salinité est importante dans le milieu marin, par son influence sur la densité de l'eau de mer, elle permet de connaître la circulation océanique, d'identifier les masses d'eaux d'origines différentes et de suivre leurs mélanges au large comme à la côte ou dans les estuaires.

La salinité est une propriété de l'eau de mer qui est fondamentale à l'étude du milieu marin, elle forme avec la température deux descripteurs de base des masses d'eaux (bon traceur du mélange des eaux) (Aminot et Chausse-Pied, 1983).

La salinité moyenne des océans est de 34,71 milligrammes de sel par gramme d'eau. L'eau océanique est une solution chimique comportant de l'eau (H₂O) et un certain nombre de sels dissous, éléments majeurs et mineurs, de nutriments organiques et d'éléments en trace. Dix éléments chimiques, dits majeurs, représentent 99% des sels dissous. Ces éléments majeurs sont en proportions relatives remarquablement constantes. La salinité, notée S, se mesure sur une échelle de salinité (psu ; practical salinity unit) mais on peut aussi la mesurer en gramme par kilogramme (g.kg⁻¹), gramme par litre (g.L⁻¹) ou pour mille (‰).

2.2.1. Répartition horizontale à la surface de l'océan

A l'échelle mondiale, ce sont les satellites qui ont récemment amélioré la connaissance de la salinité de surface, notée SSS (Sea Surface Salinity). A la surface de l'océan, les zones les plus salées sont dans les zones où l'évaporation excède les précipitations (par exemple dans l'Océan Atlantique).

Les zones les moins salées sont situées dans les régions où les précipitations dominent : aux hautes latitudes sujettes à moins d'évaporation, et à l'équateur, où les précipitations sont intenses.

2.2.2. Répartition verticale en profondeur dans l'océan

En Méditerranée occidentale, au-dessous de 1000 mètres, il y a assez peu de variations et les valeurs restent comprises entre 38,5 et 39. On appelle **halocline** la zone de transition forte qui sépare les eaux les plus salées (en surface ou en profondeur) des eaux les moins salées (en surface ou en profondeur).

2.3. Les sels nutritifs

2.3.1. Notion des nutriments

Les éléments nutritifs (Azote, Phosphore et Silicium) sont des descripteurs hydrologiques indispensables à l'étude et à la caractérisation d'un écosystème marin. L'azote et le phosphore, qui sont nécessaires à la nutrition des organismes, ne représentent que 6% et 1% de la biomasse, respectivement (**Aminot et Kerouel, 2004**). Quant au silicium, ce dernier participe à la formation des coquilles siliceuses (les diatomées). Ces éléments chimiques sont à la base de la production primaire et forment un substrat chimique primordial pour le phytoplancton (**Bethoux, 1998**). Leur distribution est contrôlée par des processus physiques et biologiques (**Millero, 2013**).

2.3.2. Origine des sels nutritifs

Les sels nutritifs dissous dans le milieu marin ont diverses origines et peuvent être classés en deux sources principales (**Boulaïdid, 1987**) : sources internes et sources externes.

2.3.2.1. Les sources internes

C'est la régénération des sels nutritifs à partir de la matière organique produite par le plancton dans les eaux de surface. Cette origine, à elle seule, représente environ 97% de plus que la diffusion des sels nutritifs à partir des sédiments marins (**Boulaïdid, 1987**).

2.3.2.2. Les sources externes

Regroupent tous les apports continentaux qui sont transportés à la mer, soit par la voie éolienne ou par voie fluviatile. Ces derniers peuvent contenir des substances toxiques pour le milieu marin (**Boulaïdid, 1987**).

2.3.3. Rôle des éléments nutritifs

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**).

2.3.4. Les différentes formes des sels nutritifs

En milieu marin, les principaux éléments nutritifs sont ceux à base d'azote (NO_3^- , NO_2^- , et NH_4^+), de phosphore (PO_4^{3-}) et de silice (SiO^{2-}).

2.3.4.1. L'azote ammoniacal

L'azote ammoniacal est présent sous deux formes en solution, l'ammoniaque (NH_3) et l'ammonium (NH_4^+) dont les proportions dépendent du pH et de la température. L'azote ammoniacal provient des excréctions animales et de la décomposition bactérienne des composés organiques azotés. Il est utilisé par le phytoplancton comme source d'azote et oxydé par les bactéries nitrifiantes (fig. 1) (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

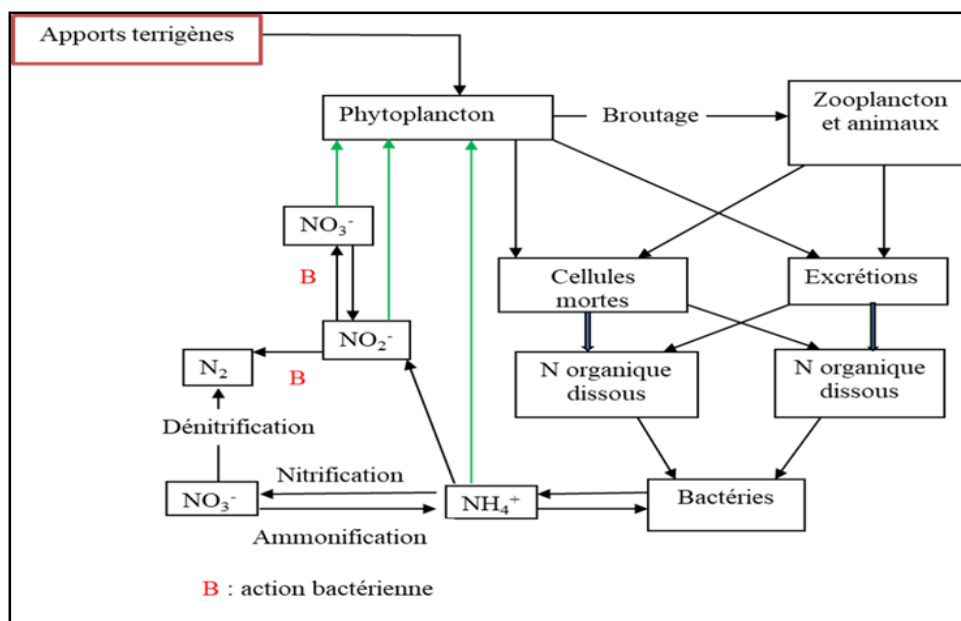
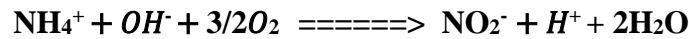


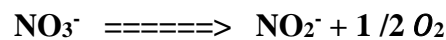
Figure 1 : Le cycle de l'azote dans l'eau de mer (le Gal et al., 1988).

2.3.4.2. Nitrites

Ce sont des composés intermédiaires du cycle de l'azote, situés entre l'azote ammoniacal et les ions nitrates, ils ont des concentrations pouvant atteindre quelques micromoles par litre (**Rodier et al., 2009**). Les nitrites résultent de l'oxydation de l'ammonium. Cette oxydation est opérée par des bactéries (*Le Nitrosomonas*) et s'appelle la nitrosation.



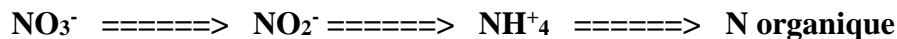
Les nitrites résultent aussi de la réduction des nitrates dans les milieux anoxiques ou pauvres en oxygène dissous, d'où leur faible concentration dans des eaux bien oxygénées (**Millero, 2013**). Cette réduction est opérée par des bactéries anaérobies, selon la réaction suivante :



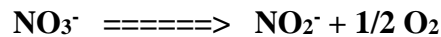
2.3.4.3. Nitrates

Les nitrates sont la forme la plus répandue, et la plus stable de l'azote dans l'océan. Ils représentent environ 65% du stock de l'azote (**Aminot, et al., 1983**).

Le nitrate absorbé par les algues est réduit selon le schéma réactionnel suivant (**Copin-Montégut, 1996**) :



La réduction des nitrates dans les milieux anoxiques ou pauvres en oxygène dissous. Cette réduction est opérée par des bactéries anaérobies, selon la réaction suivante :



Il entre dans le cycle de l'azote comme support principal de la croissance du phytoplancton leur concentration varie entre 0 $\mu\text{mol/l}$ à la surface et à plus de 45 $\mu\text{mol/l}$ dans les eaux profondes. Mais dans les estuaires, lorsque la salinité décroît par l'effet des apports terrigènes, leur concentration peut atteindre plusieurs centaines de micromoles par litre (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

2.3.4.4. Phosphates

Dans l'eau de mer, le phosphore existe sous forme organique et inorganique, dissous et particulaire (fig. 2).

Les Ortho-phosphates présentent la forme la plus abondante PO_4^{3-} (10%), HPO_4^- (90%) et (1%) de H_2PO_4 (**Aminot et Chaussepied, 1983**). A l'état d'équilibre elles se trouvent avec des teneurs assez faibles en surface (0 à 1 $\mu\text{mol/L}$) à cause de leur consommation par le phytoplancton (bloom printanier) (**Copin-Montégut, 1996**), et ces teneurs augmentent avec la profondeur au-dessous de la couche euphotique pour atteindre un maximum qui correspond au minimum de l'oxygène dissous, avec une légère fluctuation selon la région océanique.

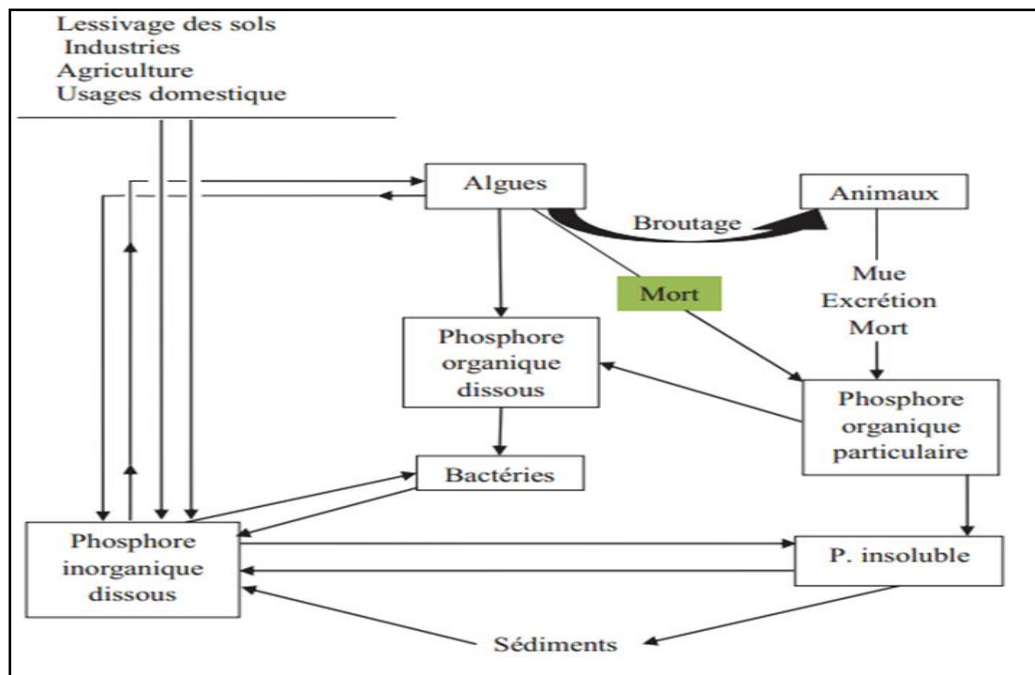


Figure 2 : Le cycle du phosphore dans l'eau de mer (Le Gal *et al.*, 1988).

2.3.4.5. Silices

L'élément nutritif silicium entre dans la composition des squelettes de certaines espèces phytoplanctoniques (Diatomées, Radiolaires...) (Aminot et Chausse-Pied, 1983). A pH moyen de l'eau de mer (~8.2), les formes majoritaires dissoutes dans l'eau de mer étant à 95 % sous les formes d'acide orthosilicique $\text{Si}(\text{OH})_4$, 5 % $\text{SiO}(\text{OH})_3^-$ (Aminot et Kérouel, 2004).

La distribution verticale de l'acide silicique diffère de celle du phosphore ou de l'azote. Les concentrations augmentent lentement avec la profondeur pour atteindre généralement leur maximum au fond (Guy, 2006). Les méthodes utilisées pour le dosage des sels nutritifs (NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , SiO_2 et NH_4^+) est le dosage par colorimétrie à flux continu et automatisé sur l'appareil « Auto Analyser San Plus » S.F.A.S troisième génération selon les protocoles définis par Skalar (1998).

2.3.5. Le cycle biogéochimique des sels nutritifs

2.3.5.1. Processus du cycle

Dans un écosystème naturel, les nutriments sont consommés sous forme minérale dissoute par les producteurs primaires (phytoplancton) intégrés dans la biomasse (assimilés).

Les nutriments organiques sont progressivement régénérés sous leur forme minérale originelle :

- Soit par le biais de leur ingestion puis de leur excrétion par les différents échelons des animaux de la chaîne alimentaire.
- Soit à la mort de la biomasse, par suite de la dégradation directe par les bactéries hétérotrophes.

C'est le cycle des éléments nutritifs (fig. 3), qui fonctionne grâce à plusieurs processus selon les conditions environnementales, peuvent se dérouler plus ou moins simultanément ou se succéder (Aminot et al., 2004).

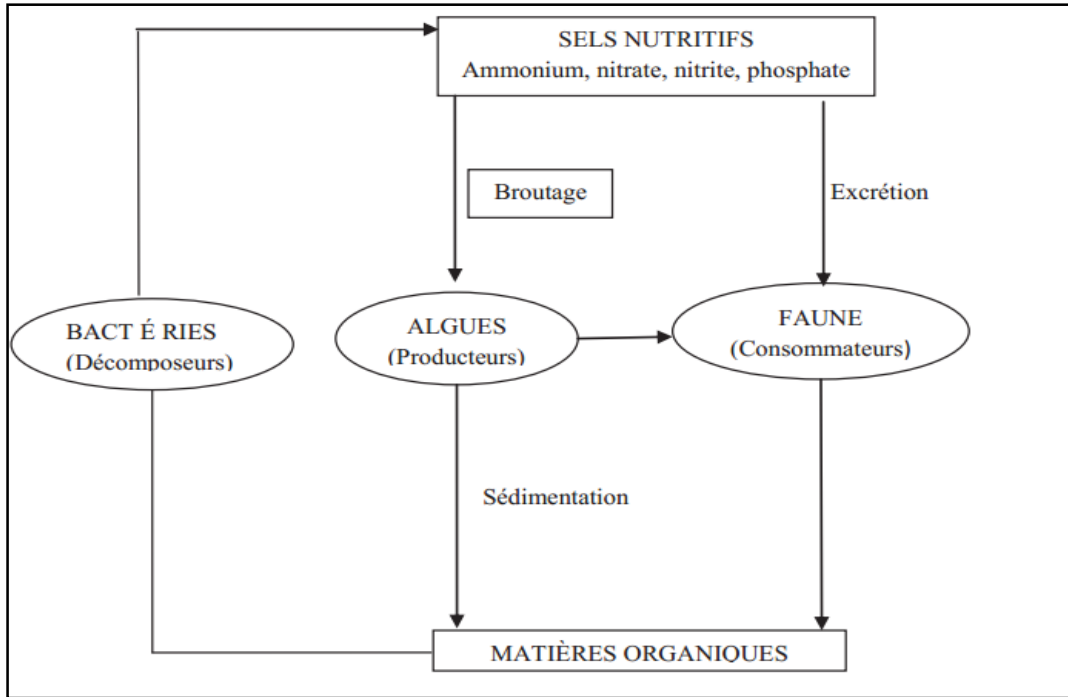
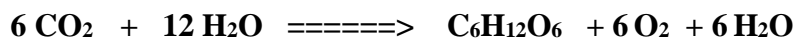


Figure 3 : Cycle simplifié des éléments nutritifs. (Lacaze, 1996).

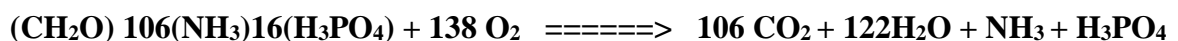
2.3.5.1.1. La photosynthèse

Les végétaux, phanérogames, macro-algues et phytoplanctons constituent l'élément de base de la vie marine. Les principaux facteurs nécessaires à leur développement sont l'énergie solaire et les sels minéraux. Les pigments contenus dans ces végétaux permettent, en effet, l'utilisation de l'énergie lumineuse pour assurer l'assimilation du carbone par le processus de photosynthèse qui constitue le principal mécanisme de production primaire de la biomasse dans le milieu marin. (Aminot et Kérouel, 2004).



2.3.5.1.2. La minéralisation

La minéralisation est globalement la réaction inverse de la photosynthèse aboutissant à la formation de nitrate et de phosphate. Elle consiste à la conversion de la matière organique dissoute (sécritée par les cellules ou libérée à leur mort) et de la matière organique particulaire détritique (excrétée par les organismes supérieurs ou constituée de débris de cellules mortes) en nutriments minéraux par les bactéries hétérotrophes (Aminot et Kérouel, 2004).



2.3.5.1.3. L'excrétion

L'excrétion et la sécrétion de nutriment sont considérées en dehors de la minéralisation bactérienne.

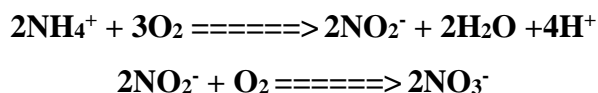
Un retour partiel des éléments nutritifs sous leur forme minérales, notamment (**Aminot et Kérouel, 2004**) :

- Ammonium et phosphate, qui sont excrétés par les micro-flagellés hétérotrophes, les ciliés et le zooplancton ;
- Des composés organiques solubles sont sécrétés par le phytoplancton vivant, les plus connus étant les acides aminés et les polysaccharides ;
- Les organismes zoo-planctoniques excrètent en outre du matériel organique particulière.

2.3.5.1.4. La nitrification

Dans les milieux où l'oxygène est présent, l'ammonium rejeté par la minéralisation est oxydé en nitrite puis nitrate par les bactéries nitrifiantes, la conversion d'ammonium en nitrite (nitritation) est réalisée par les bactéries *Nitrosomonas* et celle de nitrite en nitrate (nitratisation) par les bactéries *Nitrobacter* (**Aminot et Kerouel, 2004**).

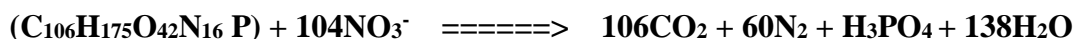
L'oxydation ultérieure de l'ammonium s'effectue selon les réactions suivantes :



2.3.5.1.5. La dénitrification

L'ammonification est la principale réaction d'oxydation de la matière organique, cette réaction utilise l'oxygène comme accepteur terminal d'électrons, ce qui implique que les organismes soient aérobies strictes (ce qui est le cas de la plupart des eucaryotes). Par contre, la plupart des bactéries s'avèrent très flexibles et sont capables d'utiliser une vaste gamme d'accepteurs d'électrons, comme le sulfate, le manganèse ou le fer. Pourtant, le premier accepteur d'électrons généralement utilisé par les bactéries marines est le nitrate dans un processus appelé la dénitrification, dont le rendement énergétique est largement supérieur à ceux des réactions utilisant d'autres oxydants. (**Aminot et Kérouel, 2004**).

La réaction de dénitrification hétérotrophe peut s'écrire :



La dénitrification intervient dans des eaux qui, pour des raisons hydrologiques sont dépourvues d'oxygène : mer Noire, mer d'Arabie,...etc. (**Aminot et al., 2004**).

Dans le micro-environnement, des déchets organiques servent de substrat à des colonies bactériennes surtout, dans les sédiments riches en matières organiques.

2.3.5.2. Rapport de REDFIELD

Le carbone, l'oxygène, l'azote et le phosphore représentent les principaux éléments constitutifs de la matière organique vivante.

Ils sont prélevés par les organismes autotrophes dans des proportions requises pour leur croissance. Leurs disponibilités dans le milieu marin sont telles qu'ils définissent un rapport élémentaire en relation avec les processus d'assimilation et de régénération « Rapports biogéochimiques de Redfield ». Après plusieurs travaux, **Redfield et al., (1963)** ont donné les rapports suivants par l'analyse de la composition chimique de la matière organique :

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

3. La circulation océanique

3.1. Mer Méditerranéenne

La mer Méditerranée est une mer intercontinentale presque entièrement fermée, située entre l'Europe, l'Afrique et l'Asie (fig. 4). Elle doit son nom au fait qu'elle est littéralement une « mer au milieu des terres », en latin mare medi terra. Sa longueur est de 3800 Km, sa largeur maximale est de 1600 Km et qui s'étend sur une superficie d'environ 2,5 millions de kilomètres carrés.

La Méditerranée est une mer profonde, sa profondeur moyenne est de 1500 mètres. Elle est divisée en deux grands bassins, l'un situé à l'Est appelé Méditerranée orientale et l'autre situé à l'Ouest appelé Méditerranée Occidentale.

La Méditerranée est caractérisée par un climat aride. Il en découle que les apports en eau douce (précipitations, ruissellement, fleuves) et les apports de la mer Noire ne suffisent pas à compenser les pertes par évaporation (**Bryden et al., 1994**). Ce déficit est compensé par des échanges d'eau avec l'océan Atlantique au niveau du détroit de Gibraltar.

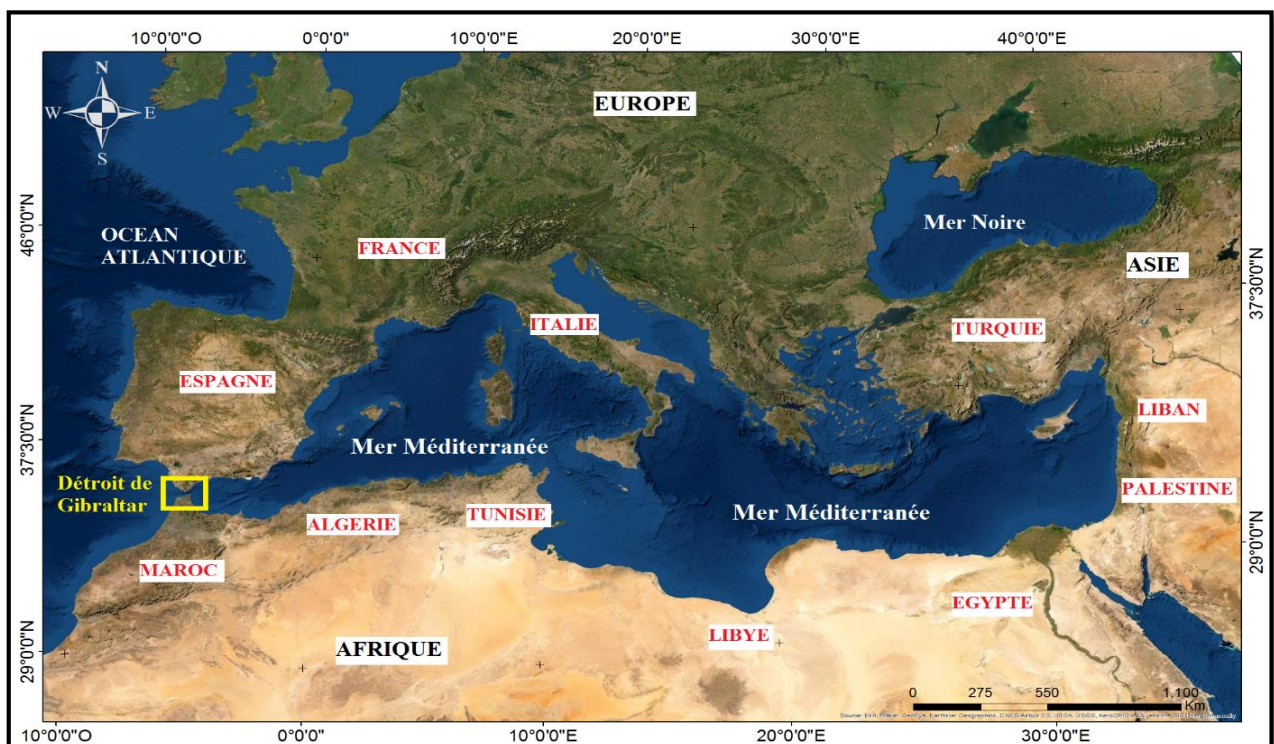


Figure 4 : Carte d'identité de la Mer Méditerranéenne.

3.2. Description de la Méditerranée occidentale

La mer Méditerranée occidentale s'étend sur environ 2000 km d'Est en Ouest entre le détroit de Gibraltar à 5° W et le détroit de Sicile situé au-delà de 10° E. Du Sud au Nord, elle est comprise entre 35 °N et 45 °N, soit une largeur maximale de 900 km entre la France et l'Algérie (Ngabol E., 2017). On y distingue généralement six bassins : la mer d'Alboran, le bassin Algérien, la mer des Baléares, le bassin Nord-occidental, la mer Ligure et la mer Tyrrhénienne. Cinq principales grandes îles délimitent ces bassins : les trois îles Baléares à l'Ouest et la Corse et la Sardaigne à l'Est.

La différence de densité entre le bassin Méditerranéen occidental d'une part et les bassins de l'océan Atlantique et de la Méditerranée orientale d'autre part est responsable des transports moyens au travers des détroits de Gibraltar et de Sicile et contribue au forçage de la circulation cyclonique des masses d'eaux superficielles et intermédiaires sur l'ensemble du bassin occidental (Lacombe et Tchernia, 1972 ; Millot, 1987, 1991).

C'est un des moteurs principaux de la circulation en Méditerranée dû au fait que les pertes d'eau douce par évaporation sont supérieures aux gains obtenus par précipitation, débit des fleuves et échange avec la mer Noire très peu salée. Dans le bassin Ouest, ce gain en salinité, conduit à une transformation de la masse d'eau Atlantique en une masse d'eau plus salée et plus dense, l'eau méditerranéenne. Le deuxième moteur responsable de la circulation et de la modification des masses d'eaux en Méditerranée occidentale est le vent (Ngabol E., 2017).

Il reste à noter que les courants de densité et vents n'entraînent pas l'ensemble de la colonne d'eau. La dynamique de la circulation est différente selon le lieu où l'on se trouve et la profondeur. Mais, d'une manière générale, la Méditerranée occidentale est caractérisée par 3 masses d'eau d'origine variée et de comportements spécifiques qui sont (Ngabol E., 2017) :

- L'eau Atlantique modifiée ou MAW (Modified Atlantic Water) : En surface
- L'eau Levantine intermédiaire ou LIW (Levantine Intermediate Water) : A mi-profondeur
- L'eau Méditerranéenne profonde ou WMDW (Western Mediterranean Deep Water) : Au fond

3.3. La circulation générale en Méditerranée occidentale

La MAW suit un parcours cyclonique dans le bassin occidental. Originnaire du détroit de Gibraltar, elle traverse la mer d'Alboran en longeant la côte Marocaine puis pénètre dans le bassin Algérien formant le courant côtier Algérien (Millot et al., 1997). Elle suit la côte Algérienne jusqu'au détroit de Sicile où elle se sépare en deux branches. Les deux tiers du courant entrent dans le bassin oriental alors que le reste s'engouffre en mer Tyrrhénienne (Sammari et al., 1999).

La MAW se dirige alors vers le Nord en suivant la côte italienne jusqu'au canal de Corse. Une partie rebrousse chemin, longe la Corse et la Sardaigne vers le sud, pénètre dans le bassin Algérien et remonte

vers le Nord formant le courant Ouest-Corse. Il fusionne en mer Ligure avec l'autre partie qui a traversé le canal de Corse. Le courant Nord se forme alors et suit les côtes italiennes, françaises puis espagnoles jusqu'en mer des Baléares (**Sammari et al., 1995 ; Alberola et al., 1995**). Une partie est alors déviée vers le Sud et s'écoule à l'Est de Minorque puis au Sud des îles Baléares, alors que l'autre partie forme le courant Catalan qui longe les côtes catalanes (**Pinot et al., 1995 ; Millot, 1999**). Une part de ce courant Catalan traverse le canal d'Ibiza et le reste remonte le long des îles pour couler dans le bassin Algérien (**Pinot and Ganachaud, 1999**). La circulation cyclonique de la MAW est bouclée à l'entrée du bassin Algérien.

La WIW s'écoule sous la MAW après sa formation et suit globalement la circulation des couches supérieures. On la retrouve dans toute la Méditerranée Occidentale (**Perkins and Pistek, 1990 ; Benzohra and Millot, 1995**) avec une assez grande variabilité.

La LIW entre en Méditerranée Occidentale par le détroit de Sicile. Elle décrit alors une circulation cyclonique en mer Tyrrhénienne à l'image de la MAW. La branche qui contourne la Sardaigne et la Corse est plus importante que celle qui traverse le canal de Corse (**Zavatarelli and Mellor, 1995 ; Millot, 1999**). Elle est ensuite canalisée en mer Ligure par le courant Nord jusqu'en mer des Baléares. La LIW passe alors le canal d'Ibiza pour une partie tandis que l'autre contourne les îles Baléares.

Selon **Pinot and Ganachaud (1999)**, le passage par le canal d'Ibiza serait régulièrement bloqué dynamiquement par une structure tourbillonnaire de WIW. Cette masse d'eau s'échappe ensuite de la Méditerranée par le Détroit de Gibraltar et rejoint l'Atlantique. Une partie recircule dans le bassin en rejoignant les côtes africaines et le courant Algérien.

La TDW est formée en mer Tyrrhénienne et s'y écoule ensuite cycloniquement. A cause de sa densité, elle ne franchit pas le seuil du canal de Corse mais une partie rejoint le bassin Algérien au Sud de la Sardaigne (**Bouzinac et al., 1999**). Elle suit alors la circulation globale sous la LIW.

La WMDW se forme en hiver au large du golfe du Lion et en mer Ligure, par la convection hivernale intense sous l'influence de vents froids et secs de secteur Nord et Nord-Ouest (le mistral et la tramontane) (**Millot, 1994 ; La Violette, 1994**). Ceux-ci entraînent l'évaporation des couches de surface de l'eau Atlantique modifiée et de l'eau Levantine et donc une augmentation de la densité des couches superficielles qui peut atteindre celle des couches les plus profondes (**Gascard, 1978**).

Ces eaux suivent une circulation générale cyclonique dans le bassin Ouest de la Méditerranée d'Est en Ouest, commençant par longer les îles Baléares jusqu'à atteindre la mer d'Alboran. A ce niveau, une partie traverse le détroit de Gibraltar et se retrouve en Atlantique, tandis que la plus grande partie retourne longer les côtes africaines d'Ouest en Est vers l'Italie, contournant la Sardaigne et la Corse et remonte vers les côtes françaises (**Millot, 1999**).

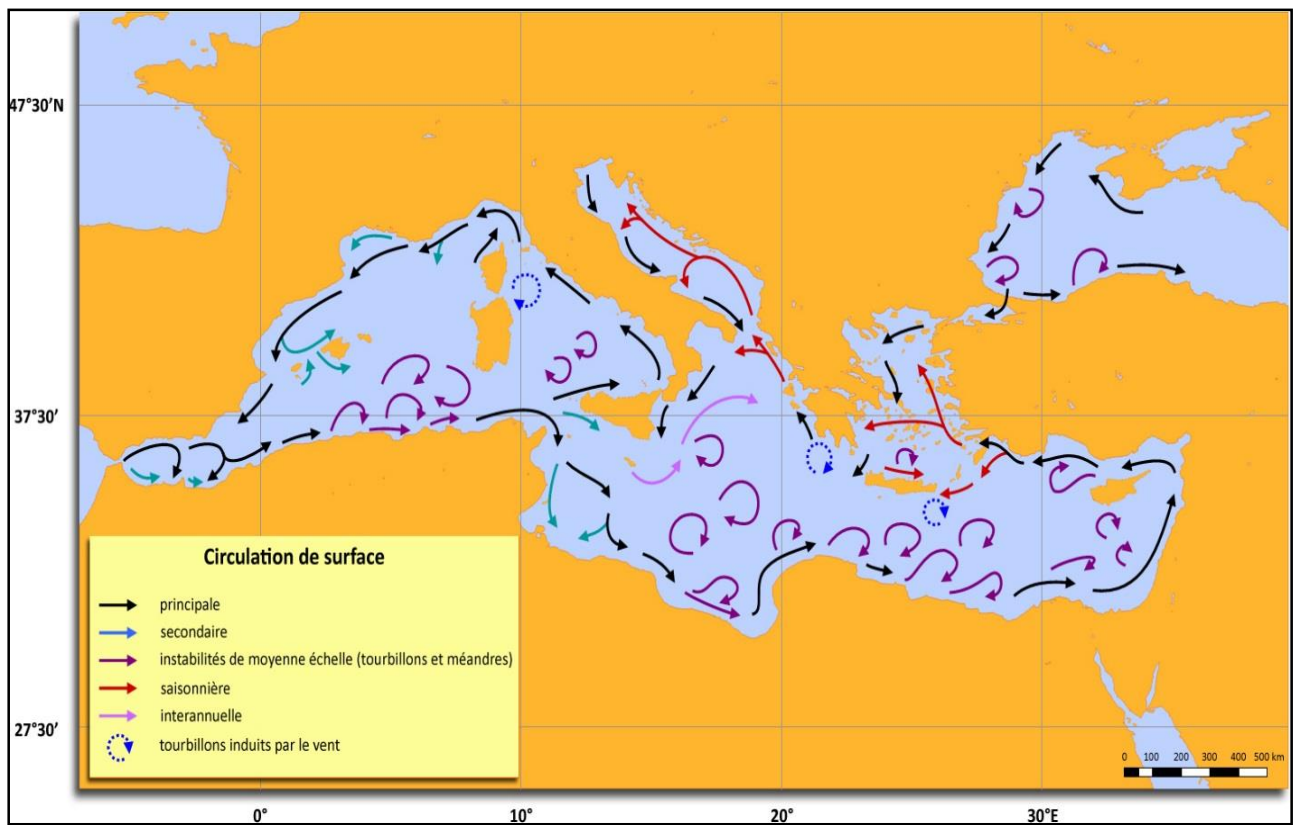


Figure 5 : Circulation générale de surface dans la mer méditerranée (d'après Millot and Taupier-Letage, 2005).

Zone D'étude

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 (fig. 6) (Benzohra et Millot, 1995).

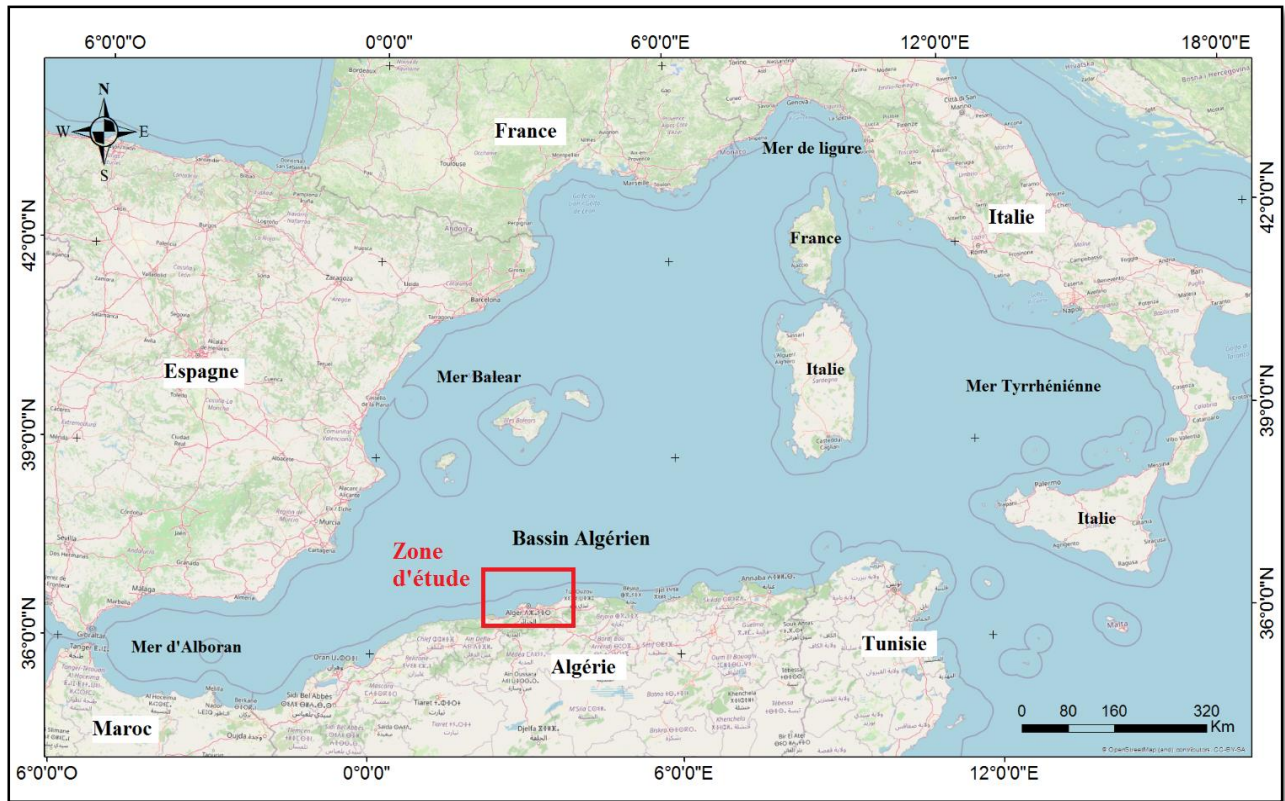


Figure 6 : situation géographique du bassin Algérien.

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 m 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'eaux. Cependant, ce courant forme, occasionnellement, de larges méandres qui ont des conséquences sur la circulation de ces masses d'eaux (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, il a été 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 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**).

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 θ -S (**Miller et al., 1970 ; Kats, 1972 ; Bryden et al., 1978 ; Lacombe et al., 1985 ; Gascard et Richez, 1985 ; Gibout, 1987 ; Picco, 1990 ; in Benzohra et Millot, 1995**) :

- **L'eau atlantique modifiée (Modified Atlantic Water ; MAW)** : il s'agit d'une eau d'origine océanique à faible salinité. Elle est modifiée par interaction avec les eaux méditerranéennes et avec l'atmosphère. La MAW constitue une couche superficielle de 150 m d'épaisseur environ. Sa température de surface et sa salinité varient respectivement de 15 à 23 °C et de 36.5 à 38.
- **L'eau hivernale intermédiaire (Winter Intermediate Water ; WIW)** : c'est la conséquence des convections hivernales dans le bassin nord occidental (mer Catalane, golfe du Lion). La WIW est comprise entre 150 et 250 m avec un minimum relatif de température allant de 12.65 à 13.20 °C et une salinité de 38.3 en moyenne.
- **L'eau intermédiaire Levantine (Levantine Intermediate Water ; LIW)** : elle est formée dans la Méditerranée orientale, se trouve sous la WIW. Elle est caractérisée par un maximum relatif de la température potentielle Θ_{\max} allant de 13,2 à 14,0 °C (à 300-400 m) et d'un maximum de salinité allant de 38,5 à 38,7 (à 400-500 m).

- **L'eau méditerranéenne profonde (Western Mediterranean Deep Water ; WMDW)** : L'eau profonde de la méditerranée occidentale, formée dans le nord du bassin, se trouve sous la LIW. La WMDW commence à être identifiable à partir de 600 à 700 m. Elle se caractérise par une température allant de 12,75 à 12,9 °C et une salinité de 38,42 à 38,47. La séparation entre la LIW et WMDW n'est pas facile en raison de leurs densités très similaires.

Millot et al., (1997) signalent que la MAW et la LIW sont les masses d'eau les plus importantes du circuit dynamique du bassin occidental, formant ainsi un véritable système de tapis roulant méditerranéen (mediterranean conveyor belt).

2. Baie de Bou-Ismaïl

2.1. Situation géographique

La baie de Bou-Ismaïl se situe dans la partie centrale du littoral algérien (fig. 7). Elle est délimitée à l'Ouest par le cap du Mont Chenoua [$36^{\circ}.37'54.13''N - 2^{\circ}24'13.42''E$] et elle s'étend jusqu'au cap Caxine (Ras Acrata) dans la baie d'El Djamilia, où elle est interrompue par la presqu'île de Sidi Fredj à l'Est [$36^{\circ}48'15.98''N - 2^{\circ}53'44.16''E$] ayant un plateau continental de 509 km².

Elle est très ouverte et fortement soumise aux influences du large. Son ouverture atteint les 47 km et est orientée du Sud-Ouest vers Nord-Est.

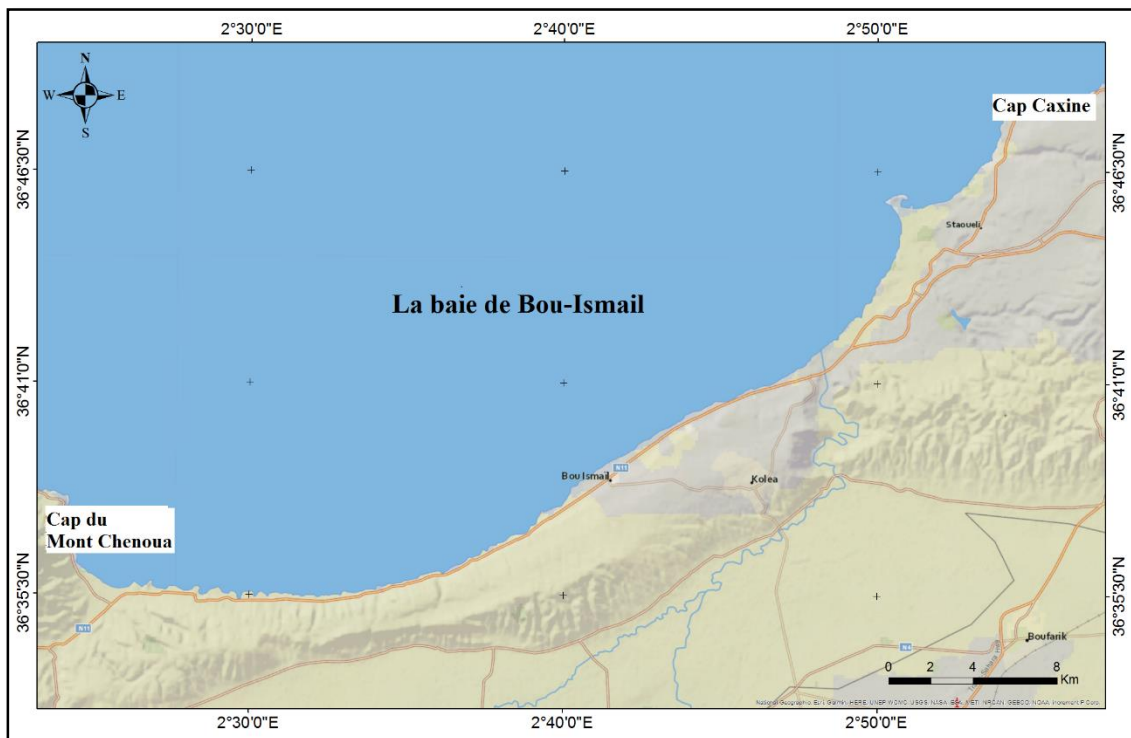


Figure 7 : Situation géographique de la baie de Bou-Ismaïl.

2.2. Climatologie

La baie de Bou-Ismaïl est caractérisée par un climat subhumide et une périodicité des vents. La période hivernale se caractérise par une baisse de la température à environ 16°C et une précipitation moyenne de 89,49mm, alors que la période estivale se caractérise par une température moyenne de 29 °C avec des précipitations très faibles et un pourcentage d'humidité toujours à 60%.

Les précipitations sur l'ensemble du territoire se présentent d'une manière assez diverse, d'une part par leurs causes, et d'autre part par les quantités recueillies. Elles diminuent d'Est en Ouest et du Nord au Sud (ONM, 2010).

2.3. Les facteurs hydrodynamiques

2.3.1. Les houles

D'une manière générale la houle est définie comme une oscillation de la partie superficielle du plan d'eau et dépend du régime des vents. (Kadari-Meziane, (1994) ; in Achiche K. et Larbi S. (2010))

Les houles dominantes dans la baie de Bou-Ismaïl sont de direction Ouest Nord-Ouest et Nord Est.

2.3.2. Les courants

La baie de Bou-Ismaïl est soumise à la dynamique du courant Algérien qui coule de l'ouest vers l'est par le détroit de Gibraltar. Il résulte d'un écoulement d'eau atlantique qui pénètre par le détroit de Gibraltar et pouvant atteindre une vitesse de l'ordre de 0,5 à 0,7 m/s, cet écoulement passe à quelques milles au large de côtes (Millot, 1987).

Ce courant provoque des remontées d'eau importantes à cause de ses tourbillons anticycloniques qui atteignent un diamètre de 100 à 200 km (même plus) avec des courants mobilisant une couche qui peut aller jusqu'à 200m de profondeur, phénomène qui se produit plusieurs fois par an sur une grande partie du bassin algérien (Millot et Taupier-Letage, 2005).

3. La baie d'Alger

3.1. Situation géographique

La baie d'Alger est située dans la partie centrale de la côte Algérienne (fig. 8). Elle s'inscrit en creux dans la plaine de Mitidja de forme semi-circulaire d'une superficie approximative de l'ordre de 180 Km², délimitée par deux caps, la Pointe-Pescade (Rais Hamidou) à l'Ouest et le cap Matifou (Bordj El-Bahri) à l'Est. Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée avec une longitude Est 03°.14'.50 à 03°.00'.40 et une latitude Nord 36°.49'.35 à 36°.49.50.

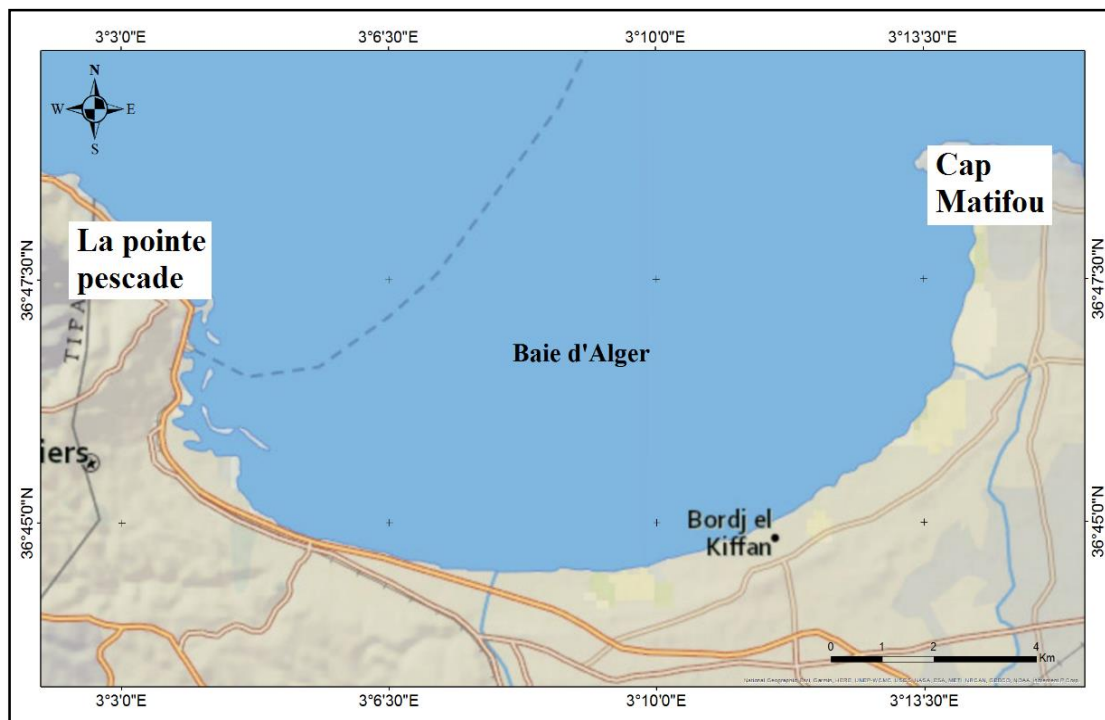


Figure 8 : Situation géographique de la baie d'Alger.

3.2. Facteurs hydrodynamiques

3.2.1. La houle

La houle de la baie d'Alger suit le régime des vents, qui est un régime saisonnier comme pour le reste de la marge algérienne (Leclaire, 1972). En hiver, les houles sont de direction W-NW (300 °) et en été elles sont de direction N-NE (20°-40).

3.3. Facteurs météorologiques

La zone d'étude connaît un climat méditerranéen caractérisé par une saison pluvieuse s'étalant de septembre à Mai et un été sec.

3.3.1. Les vents

Selon Maouche (1987), le régime et la vitesse des vents dans la région d'Alger sont caractérisés par :

- Des vents de secteur NE : qui sont les plus fréquents et mieux marqués en été, leur vitesse varie entre 1 et 30 nœuds.
- Des vents de secteur W-SW, bien représentés eux aussi, soufflent principalement en hiver, de 6 à 10 nœuds.
- Des vents de secteur S-SE : qui sont les moins représentés, ils sont marqués en automne et en hiver, leur vitesse est de 6 à 10 nœuds.

3.3.2. La température

La région algéroise en générale et celle de la baie d'Alger en particulier, selon **LEM (2006)**, se distingue par deux périodes dans le cycle saisonnier annuel :

- La première est chaude : elle s'étale de mai à octobre avec un maximum en Aout (39.2°C) ;
- La seconde est relativement froide : elle couvre les autres mois de l'année avec un minimum en février (3°C).

3.3.3. Pluviométrie

Les précipitations sur la région varient, on observe une croissance rapide de la pluviosité de septembre à décembre puis une décroissance plus lente jusqu'en juin et enfin des pluies quasiment nulles en juillet et en aout (**LEM., 2006**).

4. La baie de Zemmouri

4.1. Situation géographique

La baie de Zemmouri, s'étale sur un linéaire côtier d'environ 50 km (fig. 9). Elle se situe à l'Est de la baie d'Alger. Très largement ouverte vers le Nord, elle est limitée à l'Ouest par le cap Matifou et à l'Est par le cap Djinet ($36^{\circ} 53'$ Nord et $3^{\circ}45'$ Est). Il est à noter l'existence d'un promontoire rocheux d'environ 100 m le long du trait de côte (Rocher Noir).

Le littoral se caractérise par l'alternance des plages qui sont des accumulations de matériaux, comprenant sable fin, gravier, issue soit de l'érosion des roches par la mer, soit par le drainage des matériaux érodés en amont par les Oueds (**Ferrani et Chehaima, 1998**).



Figure 9 : Situation géographique de la baie de Zemmouri.

4.2. Facteurs météorologiques

Le site de Zemmouri est caractérisé par un climat de type Méditerranéen, caractérisé par une sécheresse estivale qui est relativement longue. Toutefois, il existe toujours un contraste entre la saison froide qui est humide et la saison chaude avec un été sec.

4.2.1. La température

La moyenne des minima (m) du mois le plus froid est de 5.9°C enregistré durant le mois de Janvier, la moyenne des maxima (M) du mois le plus chaud enregistré durant le mois d'Aout est de 31.8°C. **(Ferrani et Chehaima, 1998)**

4.2.2. Les précipitations

Faisant face aux vents humides, Zemmouri est très arrosée durant la saison hivernale, cependant les pluies sont irrégulières et relativement faibles pour le reste des saisons. **(Ferrani et Chehaima, 1998)**

4.2.3. Le vent

Cette baie est marquée par la prédominance des vents qui soufflent du Nord et du Nord-Est en été, et des vents du Sud-Ouest, d'Ouest et du Nord-Ouest en hiver **(ONM, 1984)**.

4.3. Facteurs hydrodynamiques

4.3.1. La houle

La baie de Zemmouri est soumise à l'action des houles de deux directions principales du vent :

- Les houles de Nord-Est sont les plus fréquentes surtout en période estivales ;
- Les houles de Nord-Ouest sont les plus actives sur les côtes.

Matériel et méthodes

1. Description des données utilisées

Les données utilisées sont des données extraites de trois campagnes océanographiques. Ce sont des stations sélectionnées par leur position géographique et qui se situent principalement en face de la zone d'étude : en face la baie de Bou-Ismaïl, la baie d'Alger et la baie de Zemmouri.

1.1. La campagne SOMBA-GE 2014

Dans le cadre d'une collaboration scientifique entre l'Ecole Nationale Supérieure algérienne des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (ENSSMAL), les organismes du Réseau Algérien des Sciences de la Mer et le Centre National français de la Recherche Scientifique (CNRS) a été lancée une campagne de travaux de recherches scientifiques marines à bord du navire océanographique Téthys II, pour l'étude de l'écosystème marin dans le Bassin Algérien.

Cette campagne océanographique SOMBA-GE-2014 (Système d'Observation à la Mer du Bassin Algérien), s'est déroulée du 16 août au 9 septembre 2014 assurée par une équipe scientifique franco-algérienne, notamment de l'MIO, le LOCEAN, l'ENSSMAL ... Cette équipe de recherche a mené tous les travaux de prélèvement, mesure et analyse à bord. Cependant, les échantillons destinés à l'analyse de certains paramètres ont été stockés à bord pour une analyse ultérieure à terre. C'est l'exemple des sels nutritifs et du système des carbonates.

Ce projet, le premier de ce type depuis plusieurs décennies, répond au besoin de développement et de coordination des observations marines récurrentes en Méditerranée pour la recherche fondamentale sur les écosystèmes marins mais aussi pour les acteurs économiques qui peuvent y trouver des applications opérationnelles.

La campagne SOMBA a suivi des transects côte-large et des parallèles au talus continental, afin de cartographier les deux gyres cycloniques décrivant ce bassin. Au total soixante-dix stations ont été effectuées sur quatre-vingt-sept stations prévues dans le programme initial (fig.10).

L'objectif principal est d'initier dans le bassin Algérien, une série temporelle à l'instar du programme MOOSE dans le bassin Nord Méditerranéen, pour les variables océaniques essentielles que sont profils (CTD, oxygène, fluorescence, turbidité, courants) et échantillons discrets (sels nutritifs, carbone inorganique, pigments) sur un réseau de stations surface-fond. Cette information de long-terme sera essentielle pour tous les projets scientifiques et les modèles développés dans le cadre de MERMEX ou d'autres programmes nationaux et internationaux.

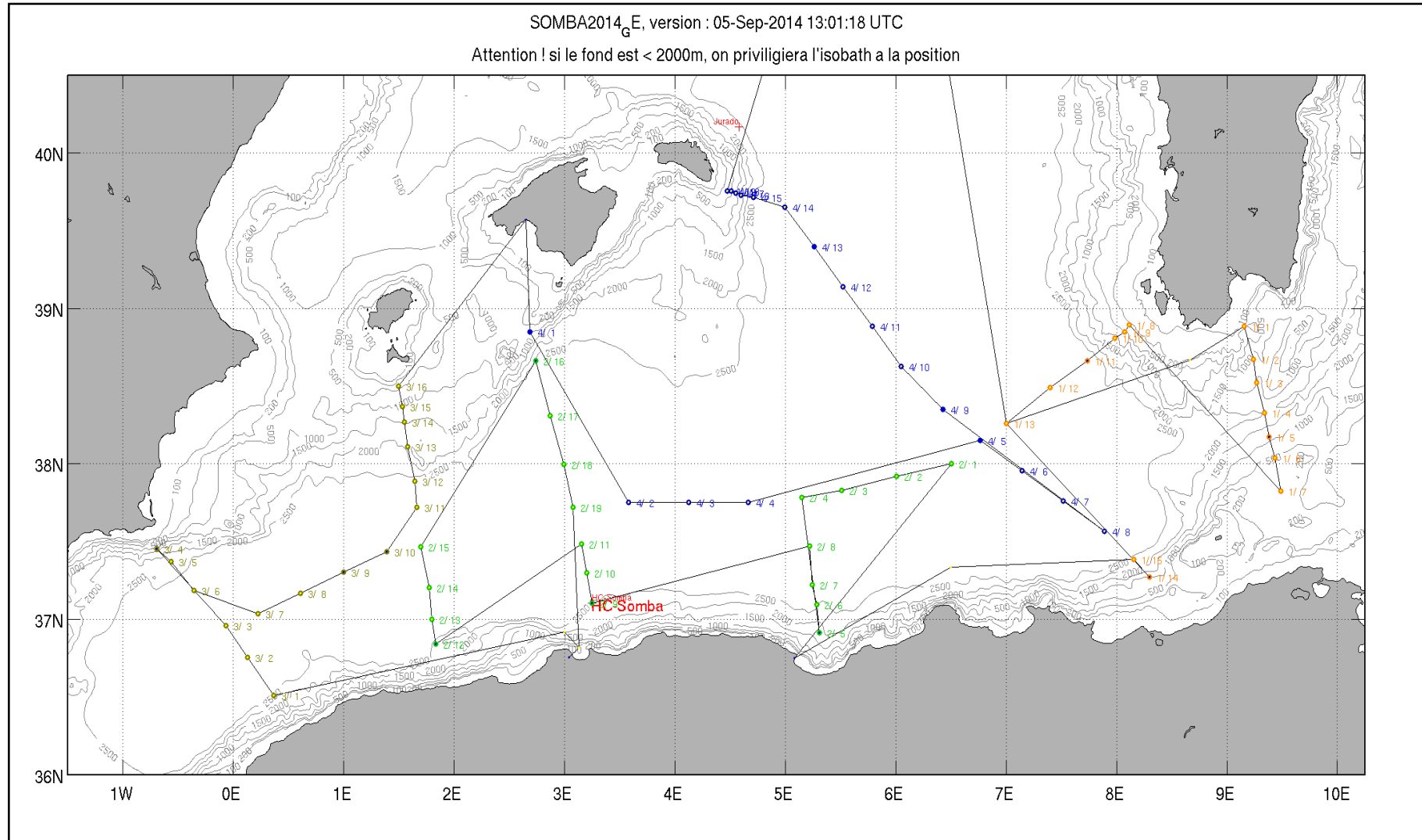


Figure 10 : Localisation des stations de prélèvement dans le bassin Algérien pendant la campagne SOMBA-GE 2014.

1.2. La campagne MEDIPROD V

La campagne MEDIPROD V fait partie d'une série de campagnes océanographiques qui rentrent dans le cadre de la réalisation du programme MEDiterranean PRODUCTION assuré par l'ex-Centre de Recherche en Océanologie de Marseille (COM, Université de Lyminé, Marseille, France). Elle s'est déroulée entre le 27 Mai et 26 juin 1986 au niveau du bassin Algérien et assurée conjointement par le N/O « Le Suroît » (CNRS, France) et le N/O M.S. Benyahia (ENSSMAL, Algérie). La zone étudiée s'étend entre 36°N et 40°N de latitude et entre 0°E et 5°E de longitude (fig. 11). Les objectifs de cette campagne sont les suivants :

- L'étude de la circulation générale en Méditerranée occidentale.
- L'étude de la stabilité des courants côtiers et de la dynamique des tourbillons associés.
- L'étude des relations entre la production pélagique et les structures hydrodynamiques occidentales de moyenne échelle.

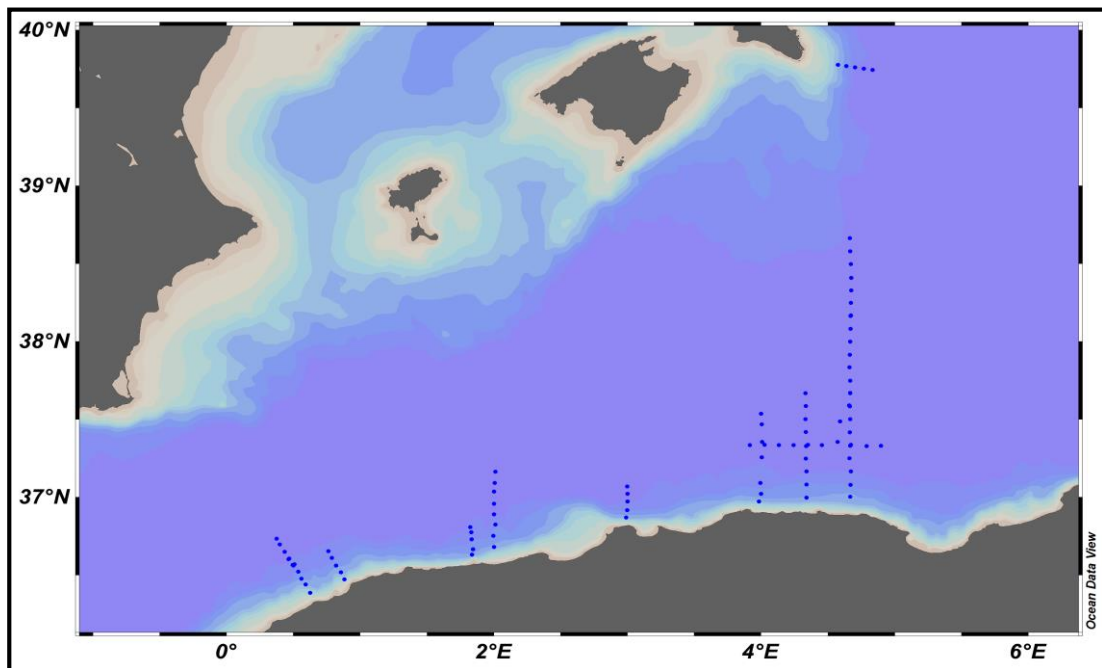


Figure 11 : Localisation des stations de la campagne MEDIPROD V.

1.3. La campagne MEDIPROD VI

MEDIPROD VI est la dernière campagne océanographique du programme ‘Mediterranean Production’. Elle a été assurée par une équipe scientifique multinationale à laquelle a participé une équipe algérienne. Son thème inclut :

- 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.

Ces travaux ont été réalisés à bord du navire océanographique « Jean Charcot » (CNRS, France). La zone prospectée s'étend entre 36°36'N et 40°N de latitude et entre 1° E et 5° E de longitude (fig. 12). Les prélèvements ont été effectués avec une rosette General Oceanics, munie de 12 bouteilles d'une capacité de 12 litres chacune. 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 (autoanalyseur-II) à bord du navire.

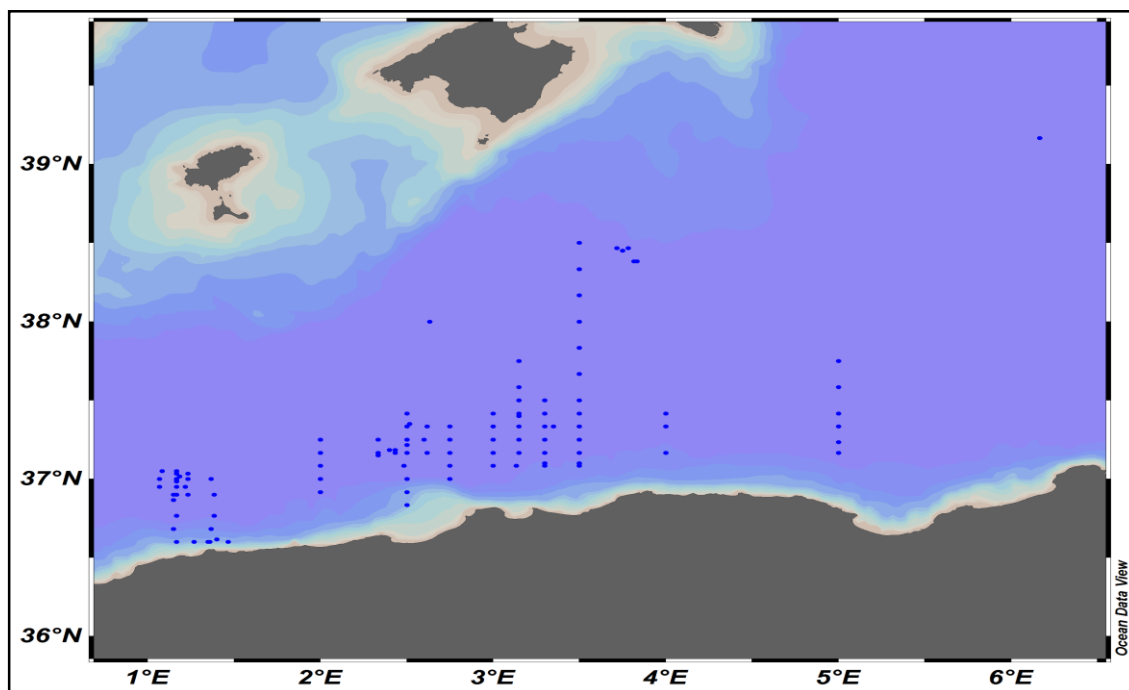


Figure 12 : Localisation des stations de la campagne MEDIPROD VI.

Tableau 1 : Les méthodes de mesures des paramètres physicochimiques pour les trois campagnes océanographiques.

Les campagnes					
SOMBA-GE		MEDIPROD V		MEDIPROD VI	
Paramètres	Méthode de mesure	Paramètres	Méthode de mesure	Paramètres	Méthode de mesure
T [°C]	Bathysonde composée d'une CTD-Rosette (SBE911+)	T [°C]	rosette était couplée à une bathysonde CTDO Sea Bird	T [°C]	rosette était couplée à une bathysonde CTDO Sea Bird
Salinité	Bathysonde composée d'une CTD-Rosette (SBE911+)	Salinité	rosette était couplée à une bathysonde CTDO Sea Bird	Salinité	rosette était couplée à une bathysonde CTDO Sea Bird
Les sels nutritifs [µmol/l]	colorimétrie automatique en utilisant un Auto Analyseur Technicon	Les sels nutritifs [µmol/l]	colorimétrie automatisée sur chaîne Technicon (autoanalyseur-II)	Les sels nutritifs [µmol/l]	colorimétrie automatisée sur chaîne Technicon (autoanalyseur-II)

2. Le logiciel de traitement des données (OCEAN DATA VIEW)

Ocean Data View (ODV) est un programme informatique pour l'analyse et la visualisation interactive de données océanographiques et autres données géoréférencées de profil, de trajectoire ou de séries chronologiques (fig. 13) (Schlitzer, R. 2015).

ODV permet aux utilisateurs de maintenir et d'analyser de très grands ensembles de données sur du matériel portable et peu coûteux (Schlitzer, R. 2015).

Différents types de sortie graphique peuvent être produits facilement, y compris des cartes de stations de haute qualité, des tracés généraux de propriété-propriété d'une ou plusieurs stations, des nuages de points de stations sélectionnées, des tracés de section le long de pistes de croisière arbitraires et des distributions de propriétés sur des iso surfaces générales (Schlitzer, R. 2015).

Les iso surfaces couramment utilisées sont des couches de profondeur, de densité ou de températures constantes. ODV prend en charge l'affichage des données scalaires et vectorielles par des points colorés, des valeurs de données numériques ou des flèches (Schlitzer, R. 2015).

De plus, ODV comprend trois algorithmes de grille différents qui calculent les champs sur des grilles générées automatiquement sur la base de données normalement distribuées de manière hétérogène. Les champs quadrillés peuvent être profilés et ombrés (Schlitzer, R. 2015).

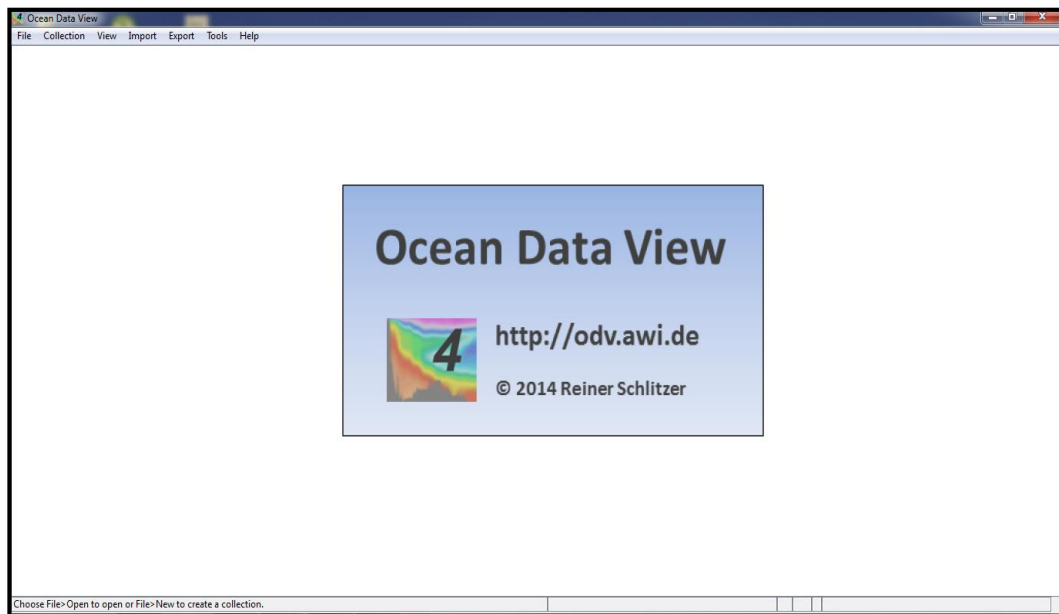


Figure 13 : Présentation du logiciel Ocean Data View version 4.

3. Diagramme Température potentielle - Salinité

Pour identifier les différentes masses d'eau à différentes profondeurs et pouvoir suivre leur évolution, les océanographes utilisent le diagramme Température Potentielle – Salinité (Θ -S). Ce diagramme confirme qu'une augmentation de la température (ou une diminution de la salinité) conduit à une diminution de la densité. A l'inverse, une baisse de température (ou une augmentation de la salinité) augmente la densité de l'eau de mer. Une fois une masse d'eau isolée de la surface, ses caractéristiques de température et de salinité sont conservatives et ne peuvent être modifiées que par mélange avec une autre masse d'eau de caractéristiques différentes.

Les diagrammes Θ -S sont donc très utiles pour identifier, à partir de leurs propriétés T et S, les masses d'eaux rencontrées par exemple à l'occasion d'un profil vertical collecté en mer. On peut connaître ainsi leur origine et déterminer si elles se sont mélangées avec des masses d'eaux voisines.

Résultats et Discussion

1. Analyse paramétrique

1.1. Variation de la température potentielle

Le tableau ci-dessous montre les valeurs maximales et minimales de la température potentielle avec la moyenne et l'écart-type pour les trois campagnes.

Les valeurs de la température de la campagne SOMBA-GE montrent des variations entre 26,2 °C (couche de surface) et 12,89 °C (couche profonde) avec une moyenne de 15,18±3,53°C.

Dans la campagne de MEDIPROD-VI, la température diminue progressivement suivant la pression ; un maximum de 23,5°C en surface et un minimum de 12,95°C sont observés à une pression de 2503 dBar, avec une moyenne de 15,25±2,43°C.

Dans la campagne de MEDIPROD- V, les valeurs de la température sont maximales en surface avec 17,2°C alors que les valeurs minimales sont enregistrées dans la couche profonde avec une valeur de 12,81°C, une moyenne de 14,10±1,35°C.

Tableau 2 : les valeurs moyennes et extrêmes de la température potentielle pour les trois campagnes océanographiques.

Paramètre	Température potentielle (°C)						
	SOMBA-GE		MEDIPROD-VI		MEDIPROD-V		Moyenne globale
Les campagnes	Pression (dBar)	valeur	Pression (dBar)	valeur	Pression (dBar)	valeur	
Maximum	10	26,211	surface	23,53	1	17,24	
Minimum	2828	12,898	2503	12,95	820	12,81	
Moyenne		15,185		15,28 8		14,101	14,858
Ecart -type		3,533		2,440		1,354	

La figure (14) montre la distribution verticale de la température selon un profil global assez caractéristique. Les températures diminuent progressivement en fonction de la pression. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées en surface entre (20°C et 26°C). Ces valeurs décroissent rapidement pour atteindre la valeur de 13°C qui marque la thermocline permanente à environ 200 m de profondeur (entre 50 et 300 dBar). Cette thermocline sépare la colonne d'eau en deux couches principales : une couche d'eau chaude en surface et une couche d'eau froide en profondeur.

Au-delà de cette profondeur, les valeurs de la température continuent à diminuer jusqu'à atteindre 12,9°C au fond. A partir de 1500 m de profondeur, on arrive à constater une légère différence de température entre les données de la campagne de MEDIPROD VI et de celles de SOMBA.

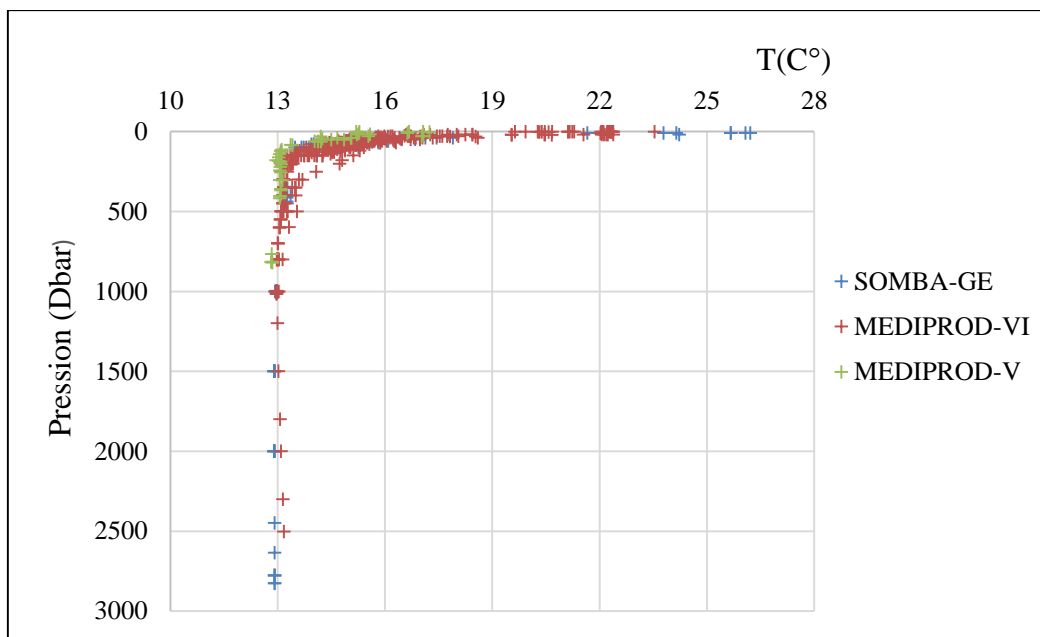


Figure 14 : Profil vertical global de la température potentielle.

1.2. Variation de la salinité

Le tableau ci-dessous montre les valeurs maximales et minimales de la Salinité avec la moyenne et l'écart-type pour les trois campagnes.

Durant la campagne SOMBA-GE les valeurs de la salinité présentent un minimum de 36,65 dans la couche superficielle. Contrairement dans la couche profonde, elles présentent un maximum de 38,56 avec une moyenne de 37,9 et un écart-type de 0,68.

Les valeurs de la salinité de la campagne MEDIPROD-VI montrent des variations entre 36,43 (couche de surface) et 38,56 (couche profonde) avec une moyenne de $36,43 \pm 0,72$.

Dans la campagne de MEDIPROD-V, les valeurs de la salinité sont maximales en surface avec 36,78 alors que les valeurs minimales sont enregistrées dans la couche profonde avec une valeur de 38,49, une moyenne de $37,9 \pm 0,61$. Le maximum de salinité de 38,56, caractérise l'eau Levantine Intermédiaire (LIW).

Tableau 3 : les valeurs moyennes et extrêmes de la salinité pour les trois campagnes océanographiques.

Paramètre	Salinité (PSU)						Moyenne globale
	SOMBA-GE		MEDIPROD-VI		MEDIPROD-V		
Les campagnes	Pression (dBar)	valeur	Pression (dBar)	valeur	Pression (dBar)	valeur	
Minimum	10	36,65	surface	36,43	1	36,78	
Maximum	2828	38,56	2503	38,562	820	38,495	
Moyenne		37,927		36,43		37,901	37,419
Ecart -type		0,682		0,723		0,616	

La figure 15 montre la distribution verticale de la salinité selon un profil global assez caractéristique. Les faibles valeurs sont enregistrées dans les couches superficielles entre (36,5 à 37,25) où on remarque l'existence de la MAW (Modified Atlantique Water), alors que les fortes valeurs sont enregistrées dans les couches profondes pour atteindre un maximum (38,5) qui correspondent à l'eau levantine intermédiaire. Une corrélation inverse est remarquée entre la température et la salinité. Au-delà du 500 m de la profondeur, on constate aisément un décalage entre les données de la campagne MEDIPROD VI et celle de SOMBA-GE.

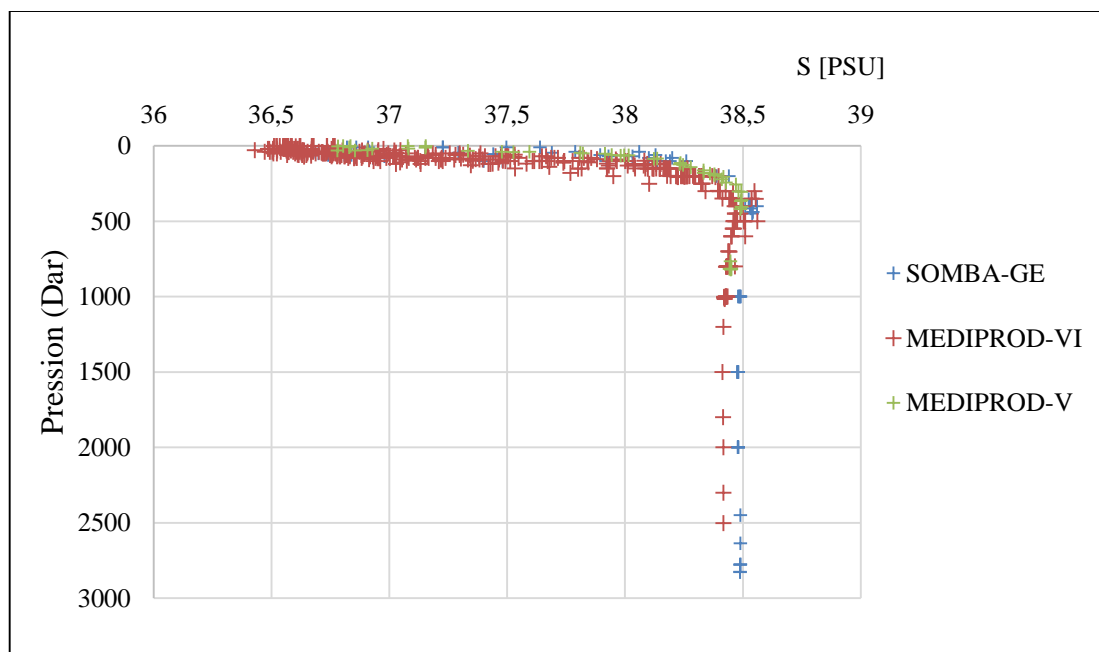


Figure 15 : Profil vertical global de la salinité.

1.3. Variation des nitrates

Le tableau ci-dessous montre les valeurs minimales et maximales des concentrations des nitrates en $\mu\text{mol/l}$ avec les moyennes et l'écart-type pour les trois campagnes.

Dans la campagne SOMBA-GE, les teneurs de nitrates sont comprises entre $0,007 \mu\text{mol/l}$ et $9,79 \mu\text{mol/l}$, avec une moyenne de $5,2 \pm 4,02 \mu\text{mol/l}$.

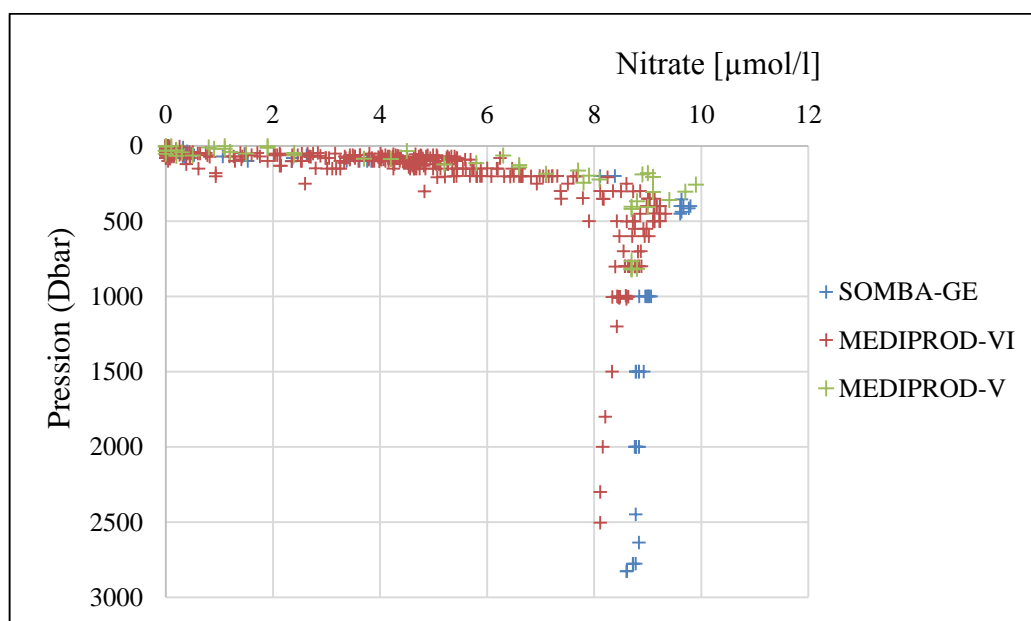
En ce qui concerne la campagne MEDIPROD-VI, les valeurs maximales et minimales mesurées sont respectivement de l'ordre de $9,33 \mu\text{mol/l}$ et de $0,01 \mu\text{mol/l}$ avec une moyenne de $3,76 \pm 3,14 \mu\text{mol/l}$.

La MEDIPROD-V est caractérisée par des valeurs entre $0,1 \mu\text{mol/l}$ et $9,9 \mu\text{mol/l}$ avec une moyenne de $4,86 \pm 3,68 \mu\text{mol/l}$.

Tableau 4 : les valeurs moyennes et extrêmes des Nitrates pour les trois campagnes océanographiques.

Paramètre	Nitrate ($\mu\text{mol/l}$)						
	SOMBA-GE		MEDIPROD-VI		MEDIPROD-V		Moyenne globale
Les campagnes	Pression (dBar)	valeur	Pression (dBar)	valeur	Pression (dBar)	valeur	
Minimum	10	0,007	surface	0,01	1	0,1	
Maximum	2828	9,797	2503	9,33	820	9,9	
Moyenne		5,21		3,76		4,86	4,61
Ecart -type		4,02		3,14		3,6988	

La figure 16 montre que les concentrations des nitrates sont très faibles dans la couche superficielle (entre 50 et 100 dBar) à cause de l'activité photosynthétique. Au-delà de cette couche, la concentration des nitrate augmente progressivement et rapidement avec la pression pour atteindre une valeur maximale de l'ordre de $10 \mu\text{mol/l}$ entre 300 et 500 de profondeur. Ce maximum local s'explique par la régénération des nitrates qui se fait en grande partie à ce niveau (niveau du minimum d'oxygène dissous). Dans la couche profonde, les concentrations se stabilisent entre 8 et $9 \mu\text{mol/l}$. En dessous de 1000 m de profondeur, on constate un décalage net entre les données de la campagne MEDIPROD VI et celles de SOMBA.

**Figure 16** : Profil vertical global des nitrates.

1.4. Variation des phosphates

Le tableau ci-dessous présente des statistiques descriptives des concentrations des phosphates en $\mu\text{mol/l}$.

D'après le tableau 5, les valeurs obtenues pour la campagne SOMBA-GE varient entre un maximum de $0,5 \mu\text{mol/l}$ dans la couche profonde et un minimum de $0,005 \mu\text{mol/l}$ dans la couche superficielle avec une moyenne de $0,246 \pm 0,19 \mu\text{mol/l}$.

Les valeurs enregistrées à la campagne MEDIPROD-VI varient quant-à-elle entre 0,01 et 0,44 $\mu\text{mol/l}$ avec une moyenne de $0,18 \pm 0,12 \mu\text{mol/l}$.

Concernant la MEDIPROD-V, les valeurs oscillent entre 0,03 et 0,45 $\mu\text{mol/l}$ avec une moyenne de $0,207 \pm 0,15 \mu\text{mol/l}$.

Tableau 5 : les valeurs moyennes et extrêmes des phosphates pour les trois campagnes océanographiques.

Paramètre	Phosphate ($\mu\text{mol/l}$)						Moyenne globale
	SOMBA-GE		MEDIPROD-VI		MEDIPROD-V		
Les campagnes	Pression (dBar)	valeur	Pression (dBar)	valeur	Pression (dBar)	valeur	
Minimum	10	0,005	Surface	0,01	1	0,03	
Maximum	2828	0,506	2503	0,44	820	0,45	
Moyenne		0,246		0,182		0,208	0,212
Ecart -type		0,194		0,128		0,155	

La figure 17 présente la distribution verticale des phosphates dans les trois campagnes. On remarque que la concentration des phosphates est faible dans la couche superficielle (entre 50 et 100 dBar) en raison de leur consommation par l'activité photosynthétique.

En profondeur, des teneurs plus importantes sont enregistrées à partir de 500 dBar pour atteindre un maximum de 0,5 $\mu\text{mol/l}$, en raison de leur régénération par l'oxydation de la matière organique à ce niveau. En dessous de 500 dBar les concentrations se stabilisent au voisinage de 0,4 $\mu\text{mol/l}$.

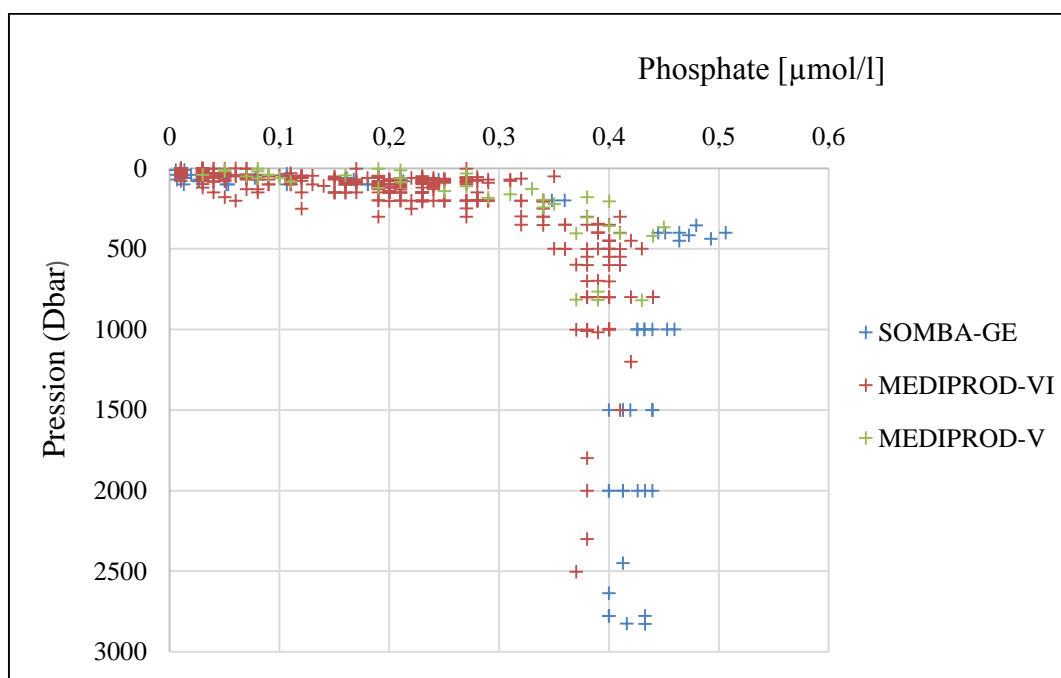


Figure 17 : Profil vertical global des phosphates.

1.5. Variation des silicates

Le tableau ci-dessous montre les valeurs maximales et minimales des concentrations en silicates ainsi que les moyennes et l'écart-type pour les trois campagnes.

Dans la campagne SOMBA-GE, Les concentrations des silicates varient entre un minimum 0,566 $\mu\text{mol/l}$ (dans la couche de la surface) et un maximum 10,67 $\mu\text{mol/l}$ (dans la couche profonde) avec une moyenne de $5,76 \pm 4,07$ $\mu\text{mol/l}$.

Dans la campagne MEDIPROD -VI, les teneurs en silicates varient entre 0,42 $\mu\text{mol/l}$ (la couche de surface) et 10,48 $\mu\text{mol/l}$ (la couche profonde), avec une moyenne de $2,95 \pm 2,33$ $\mu\text{mol/l}$.

Concernant la campagne MEDIPROD-V, les concentrations varient entre 0,5 $\mu\text{mol/l}$ et 9,9 $\mu\text{mol/l}$ avec une moyenne de $3,80 \pm 2,78$ $\mu\text{mol/l}$.

Tableau 6 : les valeurs moyennes et extrêmes des silicates pour les trois campagnes océanographiques.

Paramètre	Silicate ($\mu\text{mol/l}$)						
	SOMBA-GE		MEDIPROD-VI		MEDIPROD-V		Moyenne globale
Les campagnes	Pression (dBar)	valeur	Pression (dBar)	valeur	Pression (dBar)	valeur	
Minimum	10	0,56	surface	0,42	1	0,5	
Maximum	2828	10,67	2503	10,48	820	9,9	
Moyenne		5,765		2,95		3,80	4,17
Ecart -type		4,07		2,33		2,78	

La distribution verticale des silicates (fig.18) est sensiblement différente de celles des phosphates et des nitrates. Dans les eaux de surface, les silicates présentent une certaine concentration de l'ordre de 0,5 à 1 $\mu\text{mol/l}$. Leur concentration maximale est observée à une profondeur de l'ordre de 100 m. Elle ne coïncide pas avec celles des nitrates et des phosphates en raison de leur mode de régénération totalement différents. La régénération des silicates se fait par simple dissolution physicochimique de l'opale amorphe alors que celle des nitrates et des phosphates se fait par oxydation de la matière organique par des mécanismes bactériens.

Les concentrations des silicates observées varient entre une valeur minimale de 0,4 $\mu\text{mol/l}$ relevée en surface et un maximum de 10,7 $\mu\text{mol/l}$ au fond. A partir de 500 m et surtout 1000 m de profondeur, la concentration des silicates se stabilise entre environ 8 et 11 $\mu\text{mol/l}$. A partir de la profondeur de 500 m, on constate que le profil des silicates se différencie en deux parties distinctes : une partie du profil se stabilise à une concentration de l'ordre de 8 $\mu\text{mol/l}$ avec la profondeur et une autre partie qui se stabilise à une concentration largement supérieure au voisinage de 10 $\mu\text{mol/l}$ avec la profondeur.

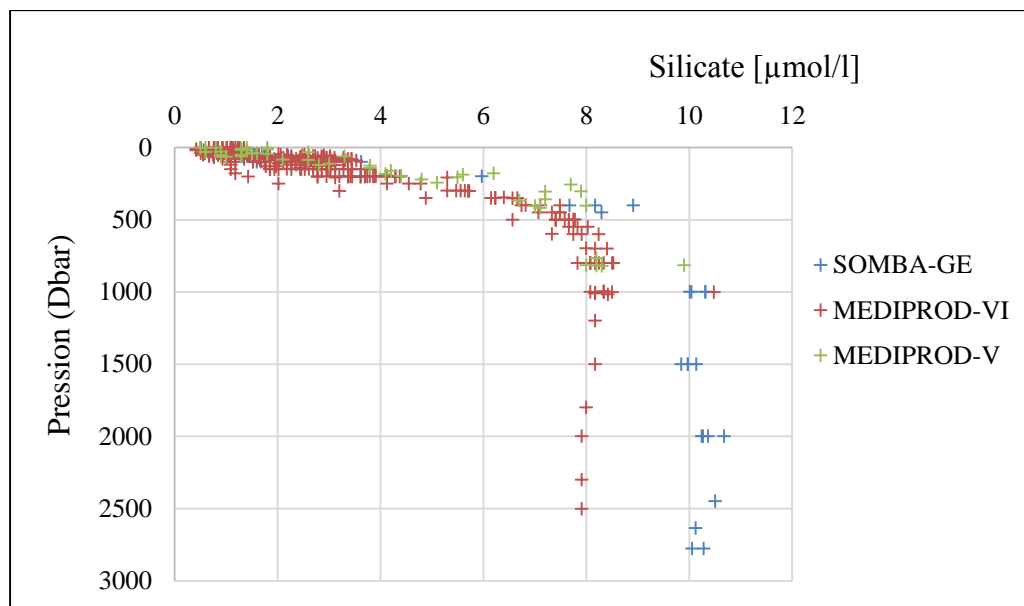


Figure 18 : Profil vertical global des silicates.

Remarque : A partir de 1000 m de profondeur, on remarque qu'il existe un décalage net entre la campagne SOMBA-GE (2014) et la campagne MEDIPROD VI (1990) dans tous les profils des paramètres cités auparavant, cela peut être expliqué qu'après 24 ans depuis que la campagne de MEDIPROD VI a été réalisée, les eaux ont subi une modification ou un changement. Cette modification est due à l'augmentation du réchauffement climatique qui influence sur la température de la surface, et à l'eutrophisation qui peut être expliqué par l'enrichissement des eaux en nutriments, presque essentiellement par le phosphore et l'azote, qui vont favoriser la croissance des végétaux pour induire des proliférations algales.

2. Analyse binaire

2.1. Diagramme $\theta - S$

L'analyse du diagramme Température potentielle - Salinité montre la relation qui existe entre ces deux paramètres et qui sert essentiellement à différencier et identifier les masses d'eaux en fonction de leurs caractéristiques physicochimiques.

Les figures 19 et 20 montrent le diagramme $\theta - S$ formé par les eaux représentées par les stations sectionnées pour cette étude, stations situées au large des baies de Zemmouri, Alger et Bou-Ismaïl.

Dans le bassin algérien, en fonction des caractéristiques physicochimiques des masses d'eau présentes et la littérature scientifique en rapport, on peut distinguer :

- **L'eau Atlantique Modifiée (MAW : Modified Atlantic Water) :** Elle se trouve dans la couche superficielle dont l'épaisseur ne dépasse généralement pas la profondeur de 200 dbar avec une température qui varie entre 14°C et 26°C et une salinité ≤ 38 .

- **L'eau Levantine Intermédiaire (LIW : Levantine Intermediate Water)** : Elle se trouve entre 300 et 600 dbar, en - dessous de la MAW. Cette eau est caractérisée par une température et une salinité allant de 14,10 °C et 38,75 au canal de Sicile à 13,25 °C et 38,50 au détroit de Gibraltar (**Guibout, 1987 ; in Millot 1989**).
- **L'eau profonde (WMDW : Western Mediterranean Deep Water)** : Elle se trouve sous la LIW à partir de 600 à 700 dbar. Elle est caractérisée par une température de l'ordre de 12,9°C et une salinité de l'ordre de 38,44.

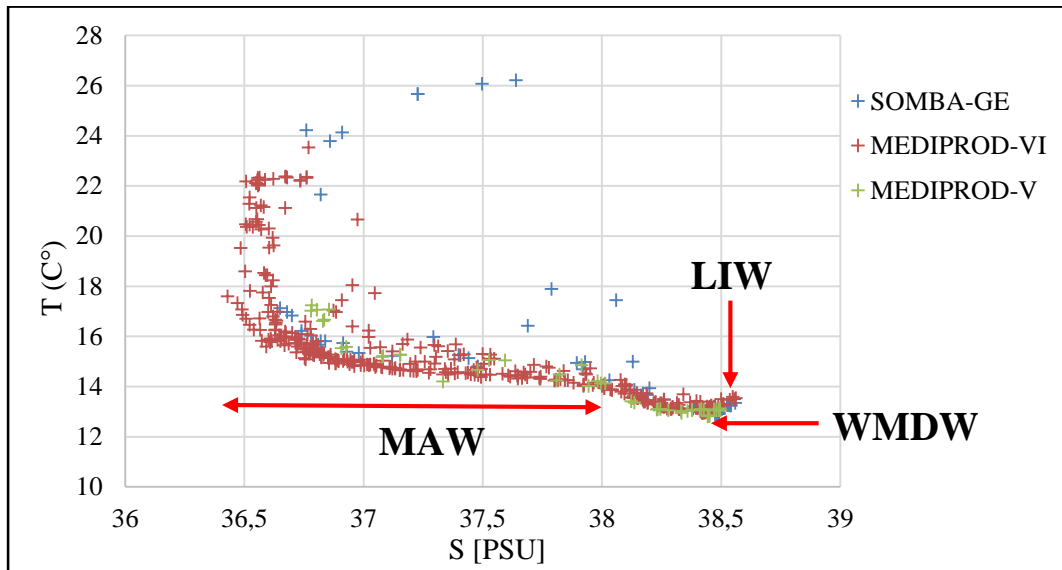


Figure 19 : Diagramme Température potentielle - Salinité (θ - S).

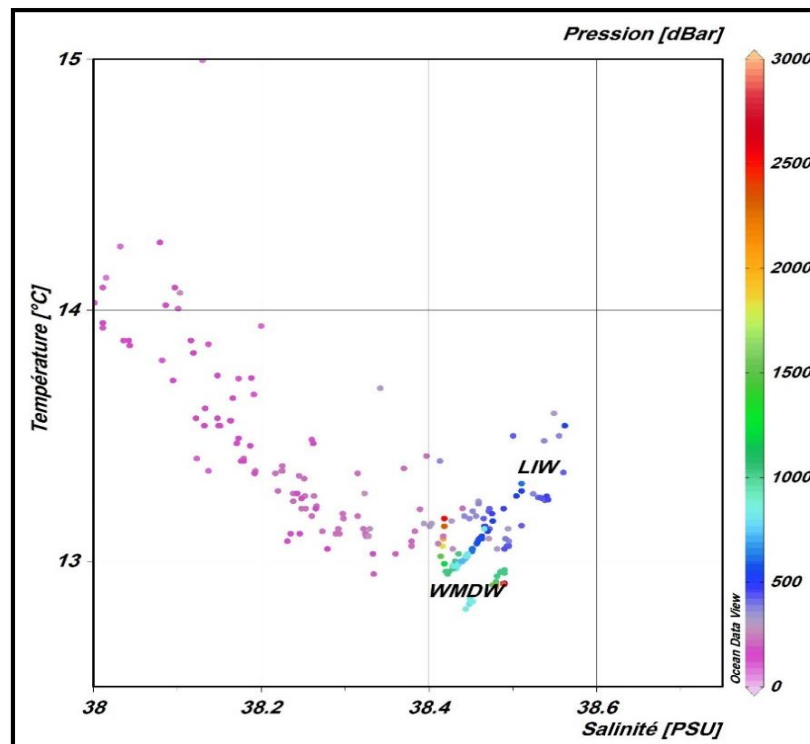


Figure 20 : Diagramme Température potentielle-Salinité (θ - S).

2.2. Diagramme de corrélation Nitrates-Phosphates

L'écosystème méditerranéen, en plus de sa pauvreté relative en éléments nutritifs, ses eaux sont caractérisées par des valeurs du rapport biochimique de Redfield N/P différentes de celles rapportées pour l'océan mondial. En effet, il se trouve avec une valeur assez élevée de l'ordre de $N/P = 21$ (Raimbault et al., 1990). Les figures suivantes (21, 22 et 23) montrent le diagramme de corrélation entre les nitrates et les phosphates des données des trois campagnes du bassin Algérien. Cette corrélation assez significative ($R^2 = 0,96$) permet d'estimer un rapport $N/P = 20$ dans la campagne SOMBA-GE, ($R^2 = 0,93$), un rapport $N/P = 23$ pour la campagne MEDIPROD-VI et ($R^2 = 0,94$) et un rapport $N/P = 22,5$ dans la campagne MEDIPROD-V.

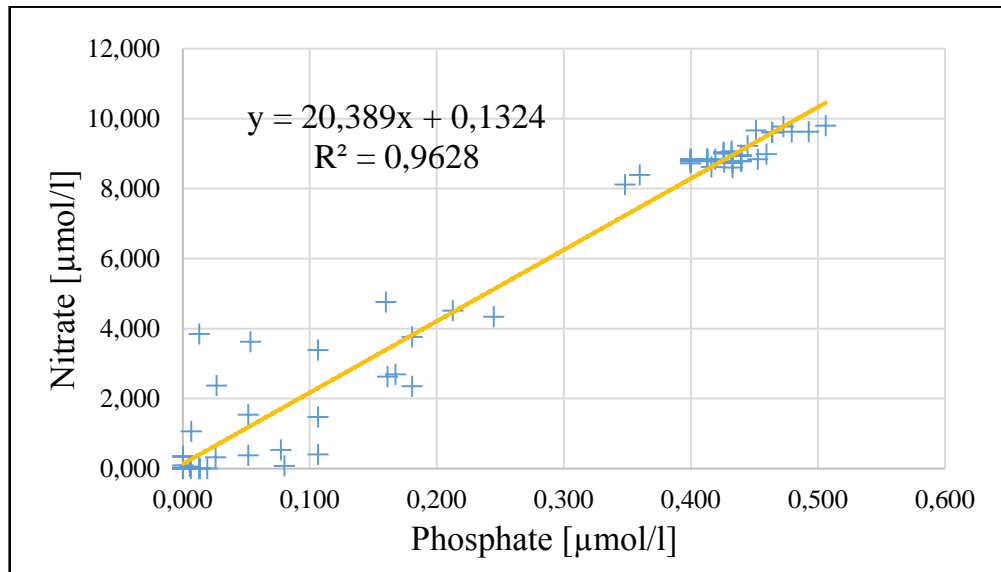


Figure 21 : Diagramme de corrélation Nitrates-Phosphates de SOMBA-GE.

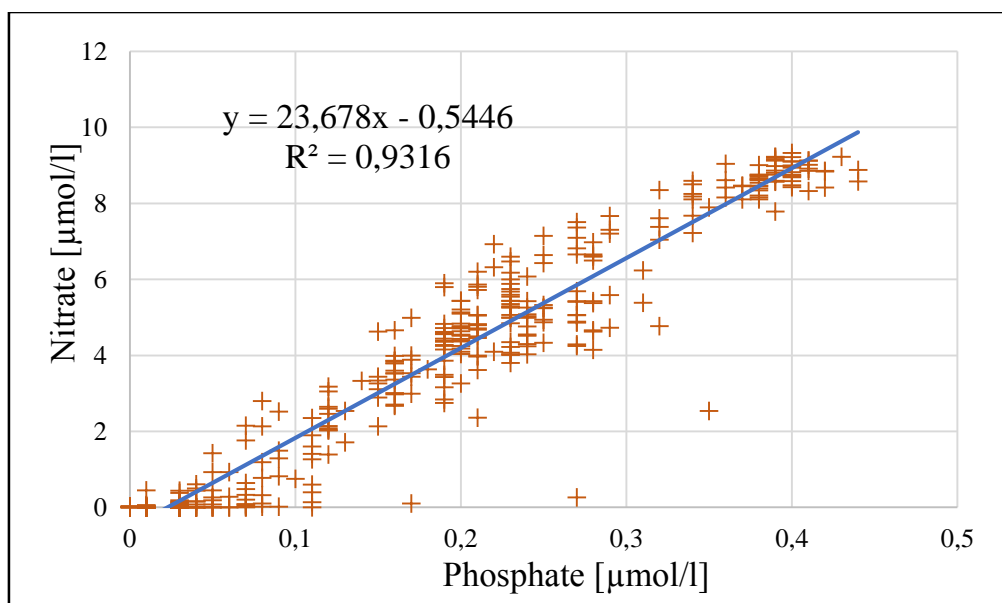


Figure 22 : Diagramme de corrélation Nitrates-Phosphates de MEDIPROD-VI.

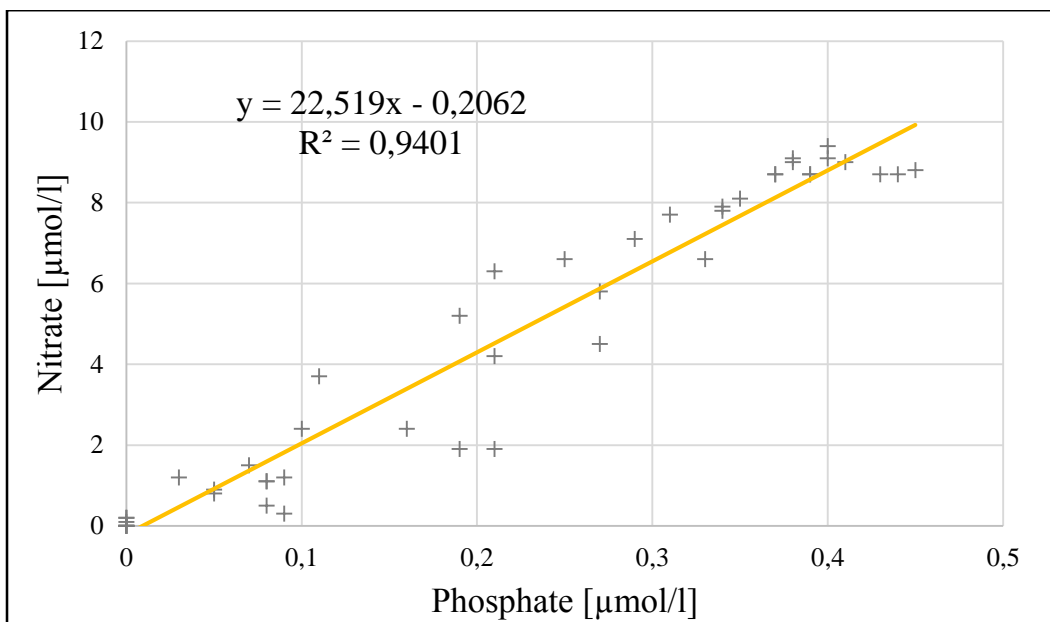


Figure 23 : Diagramme de corrélation Nitrates-Phosphates de MEDIPROD V.

Cependant, les trois campagnes ensemble donnent la corrélation montrée dans la figure 24 avec un rapport de 22,7 et coefficient de corrélation de 0,937. Ce rapport est assez moyen pour les trois campagnes et comparables à ceux ultérieurement estimés pour la mer Méditerranée.

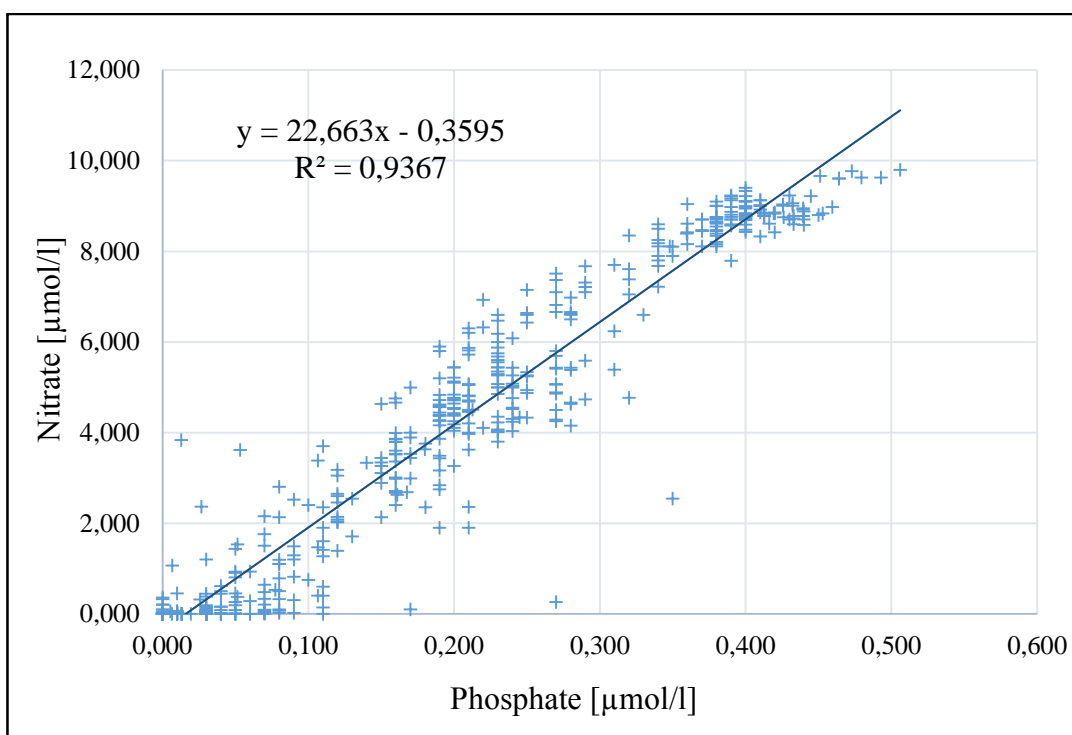


Figure 24 : Diagramme de corrélation global des Nitrates et Phosphates.

3. Etudes des sections

3.1. La section verticale pour le transect (Est-Ouest)

La section Est-Ouest a été réalisée en utilisant les données des stations des trois campagnes océanographiques (SOMBA-GE, MEDIPROD-V et MEDIPROD-VI). Un composite des données a été fait.

3.1.1. La température potentielle

La section verticale (fig. 25), réalisée pour le transect (Est-Ouest) au large de la baie d'Alger illustre une stratification normale de la température en surface et la stabilité de la thermocline autour de 25 à 50 m de profondeur. La couche d'eau relativement froide ($< 16^{\circ}\text{C}$) est légèrement plus épaisse à l'ouest qu'à l'est. A 50 m de profondeur, les valeurs de température diminuent pour atteindre 15°C . De même qu'à 125 m de profondeur la température reste au voisinage de 14°C . Au-delà de cette profondeur les valeurs de température décroissent pour atteindre un minimum autour de 12°C .

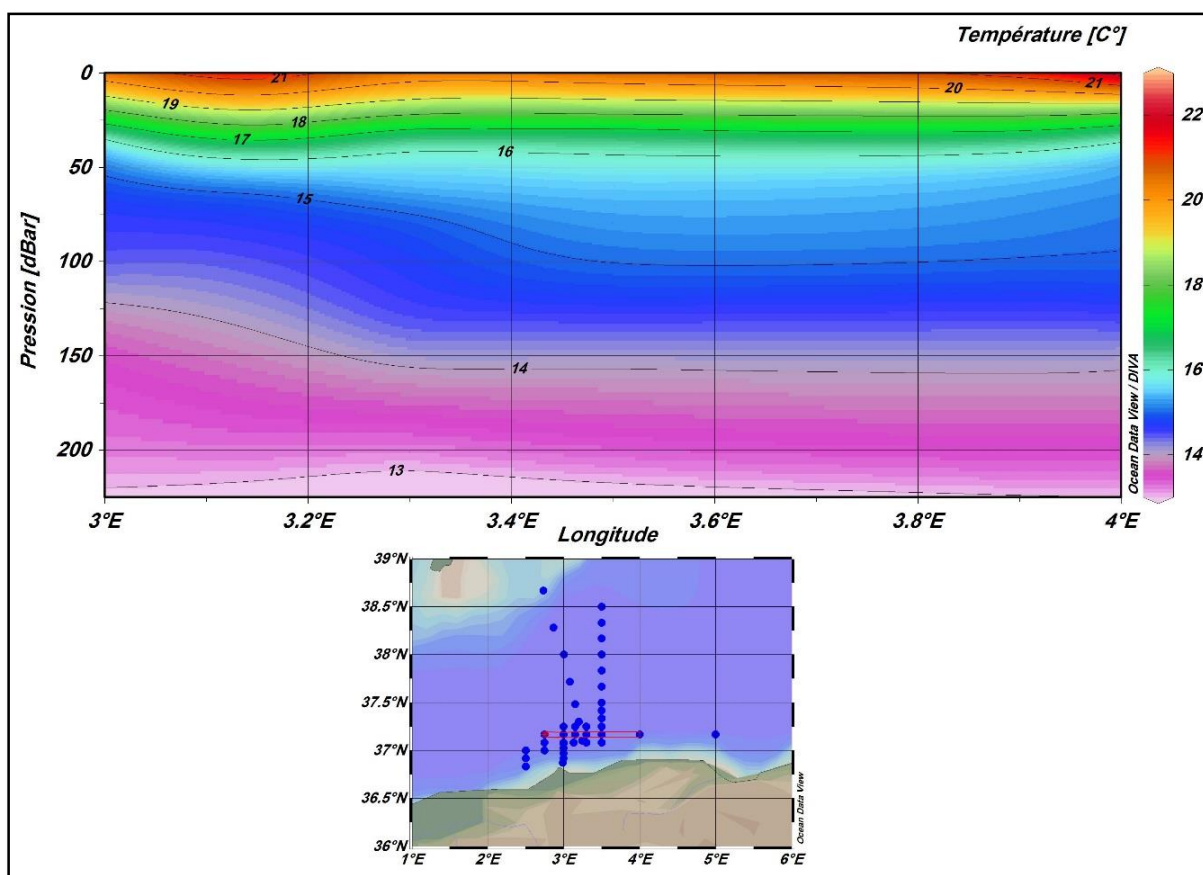


Figure 25 : Distribution verticale de la température le long de la section Est-Ouest, au large de la baie d'Alger.

3.1.2. La salinité

La salinité montre une stratification normale (fig. 26), presque identique à celle de la température. La couche d'eau relativement plus saline ($> 37,75$) est plus épaisse à l'ouest qu'à l'est grâce à l'existence de la masse d'eau MAW (Modified Atlantique Water). Les faibles valeurs de la salinité sont enregistrées toujours au niveau de la surface, notamment du côté ouest où on observe aisément une petite langue d'eau plus douce qui progresse vers l'Est. A environ 160-170 m de profondeur, du côté Est (130 du côté ouest), commence à apparaître les eaux les plus salées (> 38) ce qu'ils correspondent aux eaux levantines intermédiaires (LIW).

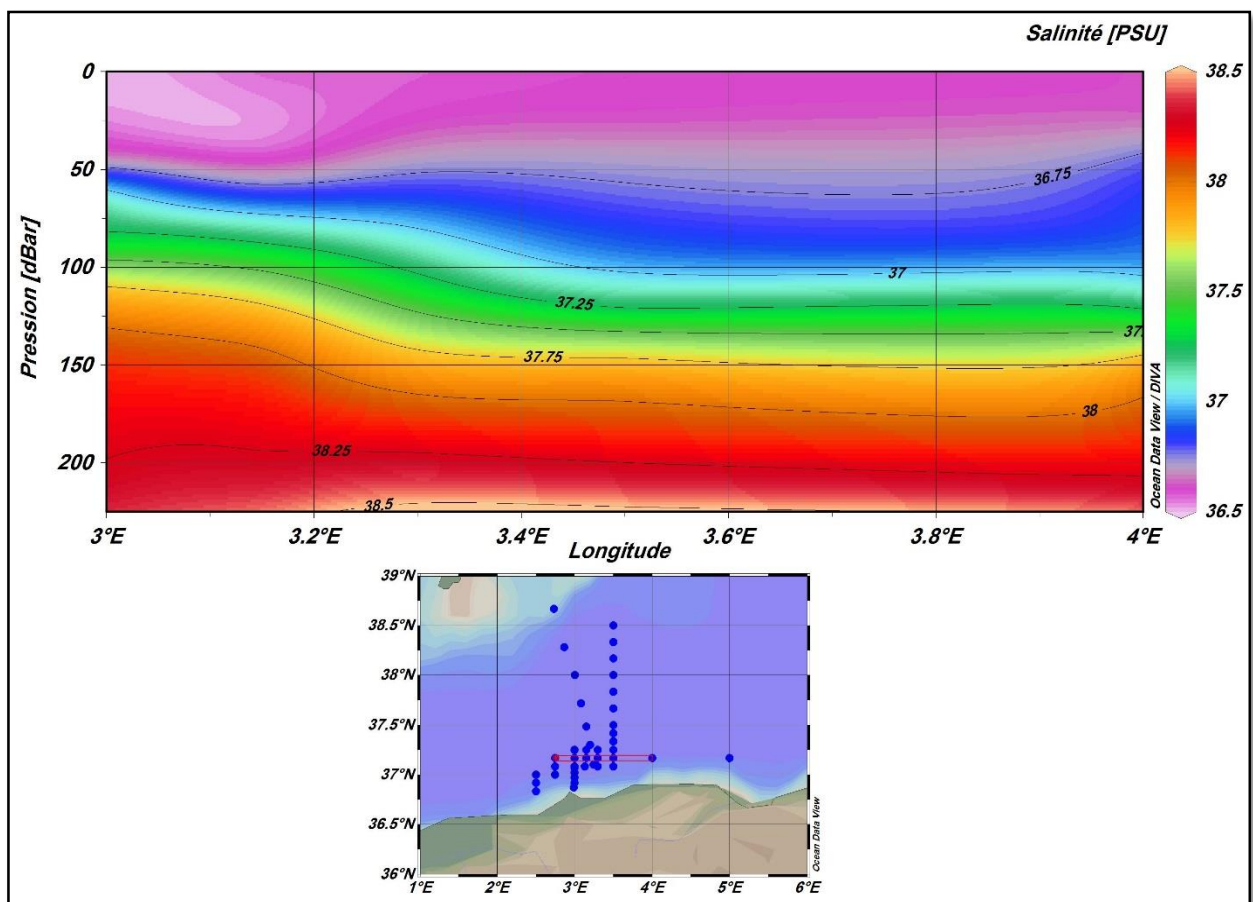


Figure 26 : Distribution verticale de la salinité le long de la section Est-Ouest, au large de la baie d'Alger.

3.1.3. Les nitrates

La distribution des nitrates le long de cette section Est-Ouest (fig. 27) montre aisément la couche épuisée des nitrates ($0 \mu\text{mol/l}$) formée par les eaux superficielles. Puis, la concentration augmente doucement pour atteindre les valeurs les plus élevées (de l'ordre de $9 \mu\text{mol/l}$) au niveau 300 m, où commence la couche riche en sel nutritifs. Du côté ouest on observe entre 50 et 100 m de profondeur de l'eau relativement riche en nitrates ($> 5 \mu\text{mol/l}$) qui progresse vers l'Est. Ceci correspond au même endroit où une langue d'eau relativement douce est observée. En dehors de ça, on observe une stratification assez normale des concentrations des nitrates avec la profondeur.

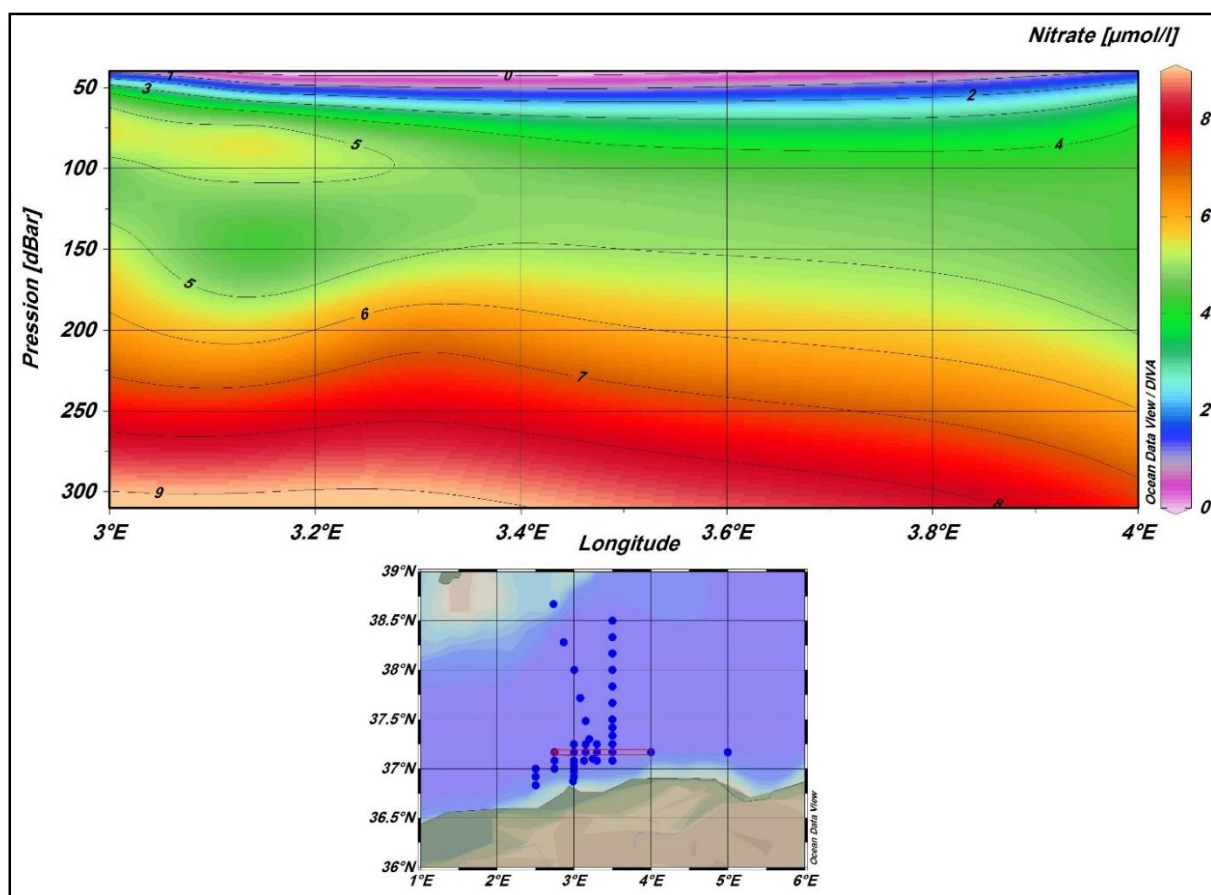


Figure 27 : Distribution verticale des nitrates le long de la section Est-Ouest, au large de la baie d'Alger.

3.1.4. Les phosphates

La distribution des phosphates fait observer la même couche de surface épuisée des nitrates ($0 \mu\text{mol/l}$) (fig. 28), mais dans le cas des phosphates, cette couche est plus épaisse (environ 10 à 20 m par endroit). Les basses valeurs des phosphates ($<0,2 \mu\text{mol/l}$) restent observées jusqu'à une profondeur de l'ordre de 180 m). Dans la partie ouest où l'isoline de $0,2 \mu\text{mol/l}$ est assez superficielle (50 m de profondeur), la configuration des lignes d'isoconcentrations forment une bosse et une petite remontée d'eau relativement riche en phosphates ($> 0,25 \mu\text{mol/l}$). Pour le reste, on observe une stratification plus ou moins normale en fonction de la profondeur pour atteindre un maximum de plus de $0,3 \mu\text{mol/l}$ à environ 320 m.

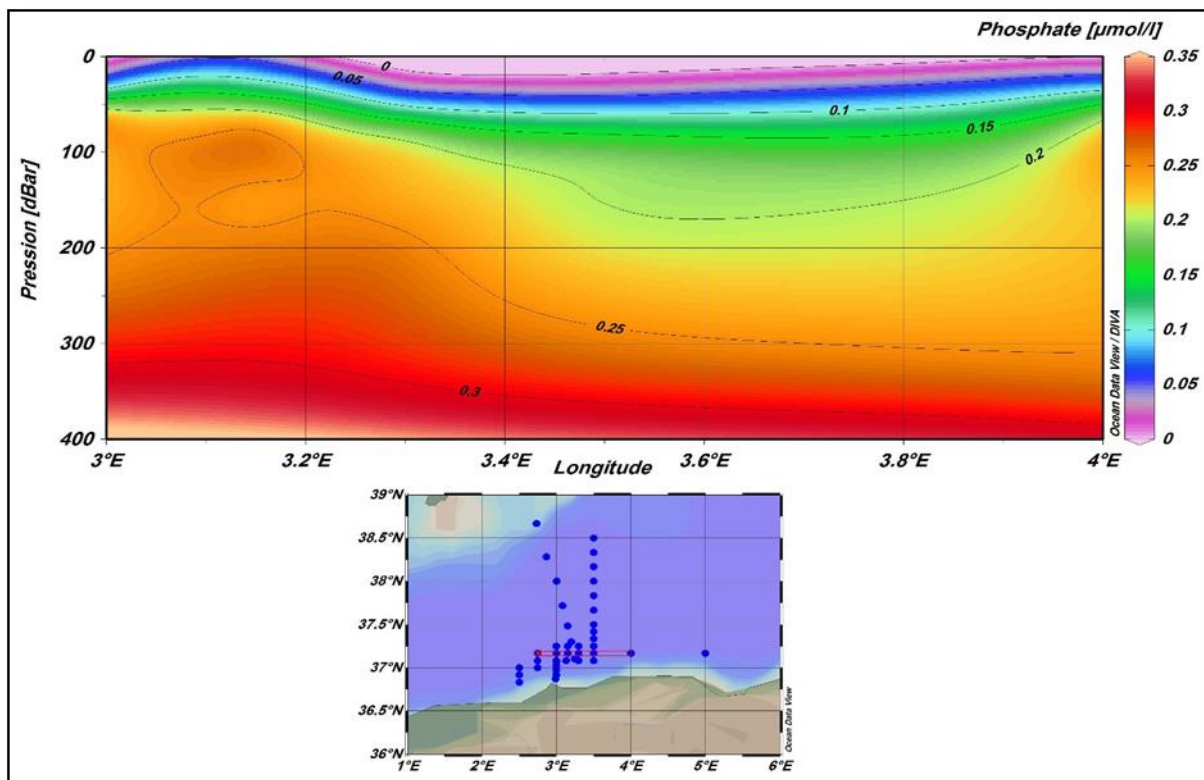


Figure 28 : Distribution verticale des phosphates le long de la section Est-Ouest, au large de la baie d'Alger.

3.2. La section verticale pour le transect (Nord-Sud)

La section Nord-Sud a été réalisée en utilisant les données de la campagne océanographique MEDIPROD-VI.

3.2.1. La température potentielle

La section verticale (fig. 29) réalisée pour les transects (Nord –Sud) en face de la baie d’Alger illustre une stratification stable au nord et au sud et perturbée au centre. En effet, les isothermes se resserrent vers la surface pour former une bosse et se dilatent en profondeur pour former un grand creux signalant probablement une plongée d’eau relativement chaude. On voit nettement que l’isotherme de 13°C s’enfonce d’une profondeur d’environ 600 dbar à une profondeur de l’ordre de 800 dbar. L’isotherme 12 °C, quand à lui, s’enfonce d’une profondeur de l’ordre de 850 dbar à une profondeur supérieure à 1000 dbar. Cette configuration est assez significative d’une plongée d’eau. Ce phénomène ne peut être qu’une structure hydrodynamique en fonctionnement qui peut correspondre à un petit tourbillon du genre anticyclonique (Ngabol, 2017).

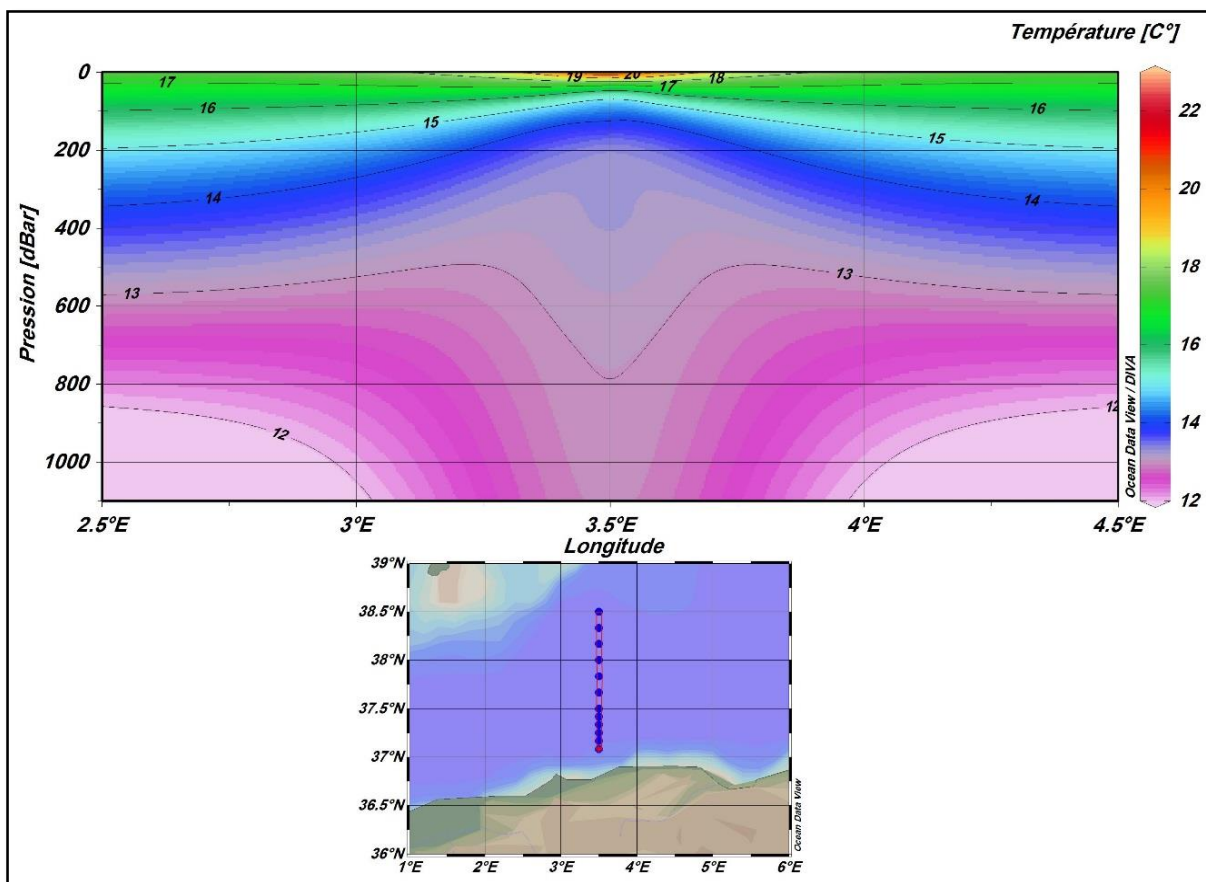


Figure 29 : Distribution verticale de la température le long de la section Nord-Sud, au large de la baie d’Alger.

3.2.2. La salinité

La configuration des isohalins montre un schéma identique à celui observé par la température potentielle (fig. 30). Les isohalins forment d'abord une bosse avec l'isohalins 38,25 et moins puis un grand creux avec l'isohalin de 38,5 qui correspondent à l'eau levantine intermédiaire. Comme pour la température, cette configuration peut renseigner sur une petite structure hydrodynamique en fonctionnement et qui peut être un petit tourbillon anticyclonique.

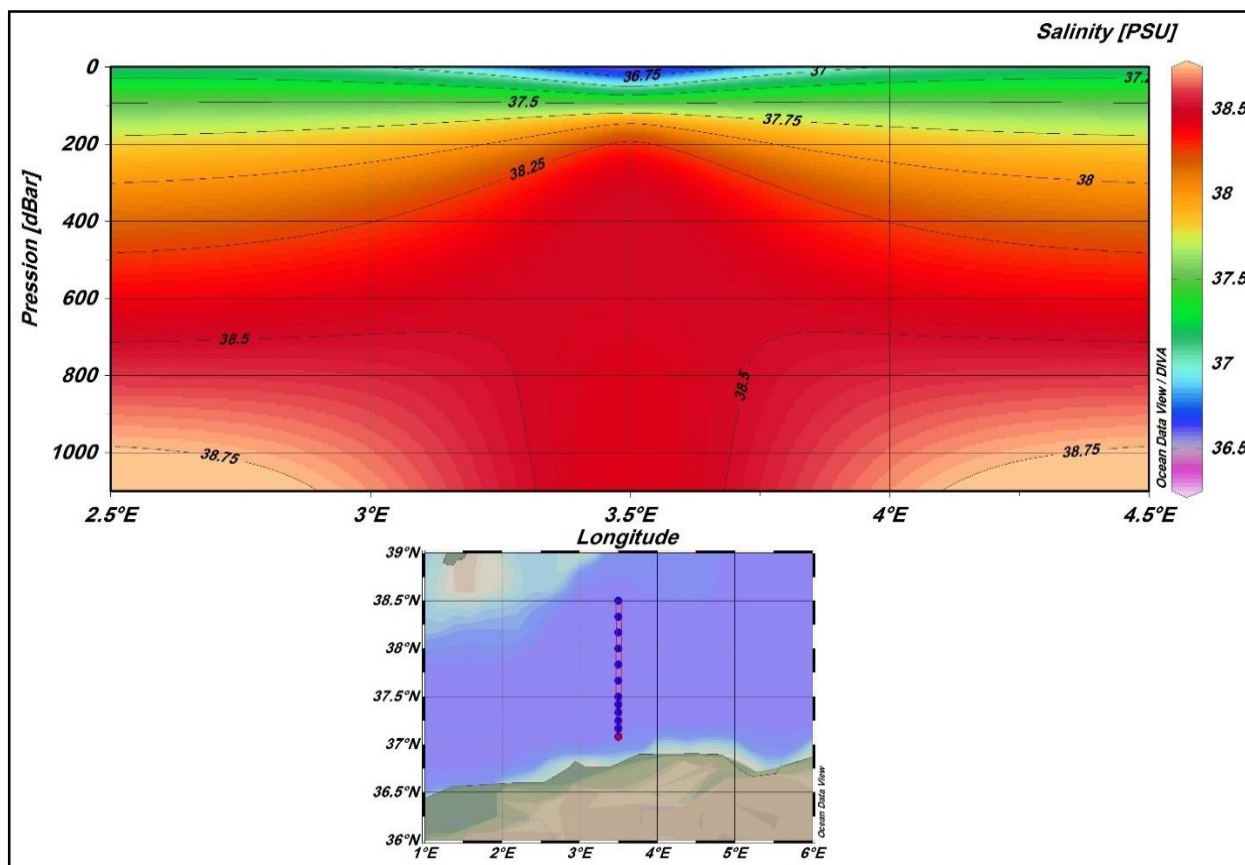


Figure 30 : Distribution verticale de la salinité le long de la section verticale Nord-Sud au large de la baie d'Alger.

3.2.3. Les nitrates

De son côté, la distribution des nitrates montre la même configuration observée par la température et la salinité et ne peut que confirmer l'existence d'une structure hydrodynamique formée par les eaux du courant algérien (Millot, 1987). La couche épuisée des nitrates devient minuscule juste au-dessus de la structure hydrodynamique observée.

Toutes les sections s'accordent sur une distribution assez serrée en surface montrant une stratification plus ou moins importante et une nitracline assez superficielle. En profondeur, entre 800 et 1000m, apparaissent les concentrations les plus élevées des nitrates (10 $\mu\text{mol/l}$) et définissent ainsi la couche riche en sels nutritifs (fig. 31).

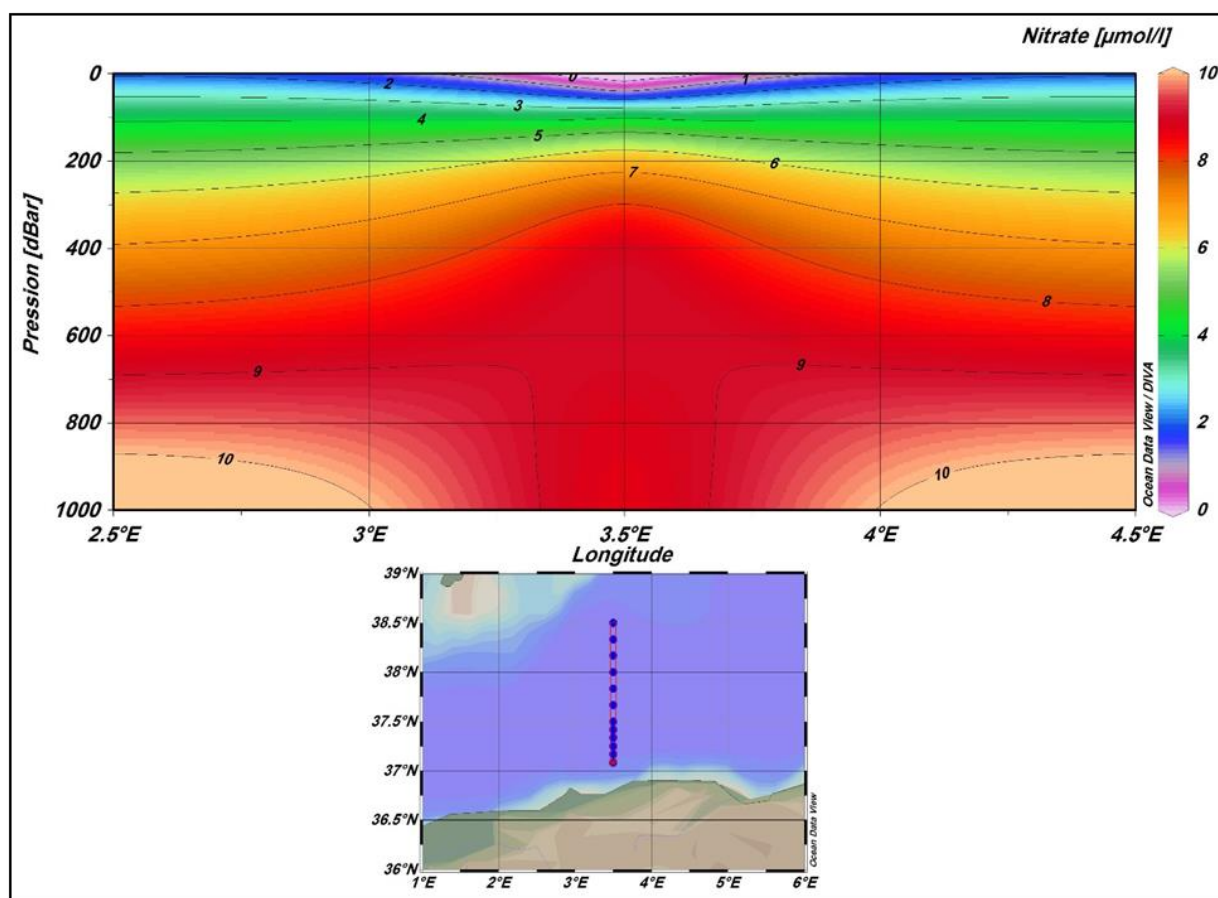


Figure 31 : Distribution verticale des nitrates le long de la section Nord-Sud au large de la baie d'Alger.

3.2.4. Les phosphates

Les phosphates montrent le même schéma observés par les autres paramètres et ne peuvent que corroborer l'existence d'une structure hydrodynamique à cet endroit (fig. 32). On observe aussi la minuscule couche de surface épuisée des sels nutritifs (nitrates et phosphates) et les isohalins qui renseignent sur une plongée d'eau.

Comme pour les nitrates, entre 600 et 1000 m de profondeur on observe la couche riche en sels nutritifs où les phosphates atteignent la concentration maximale de $0,45 \mu\text{mol/l}$.

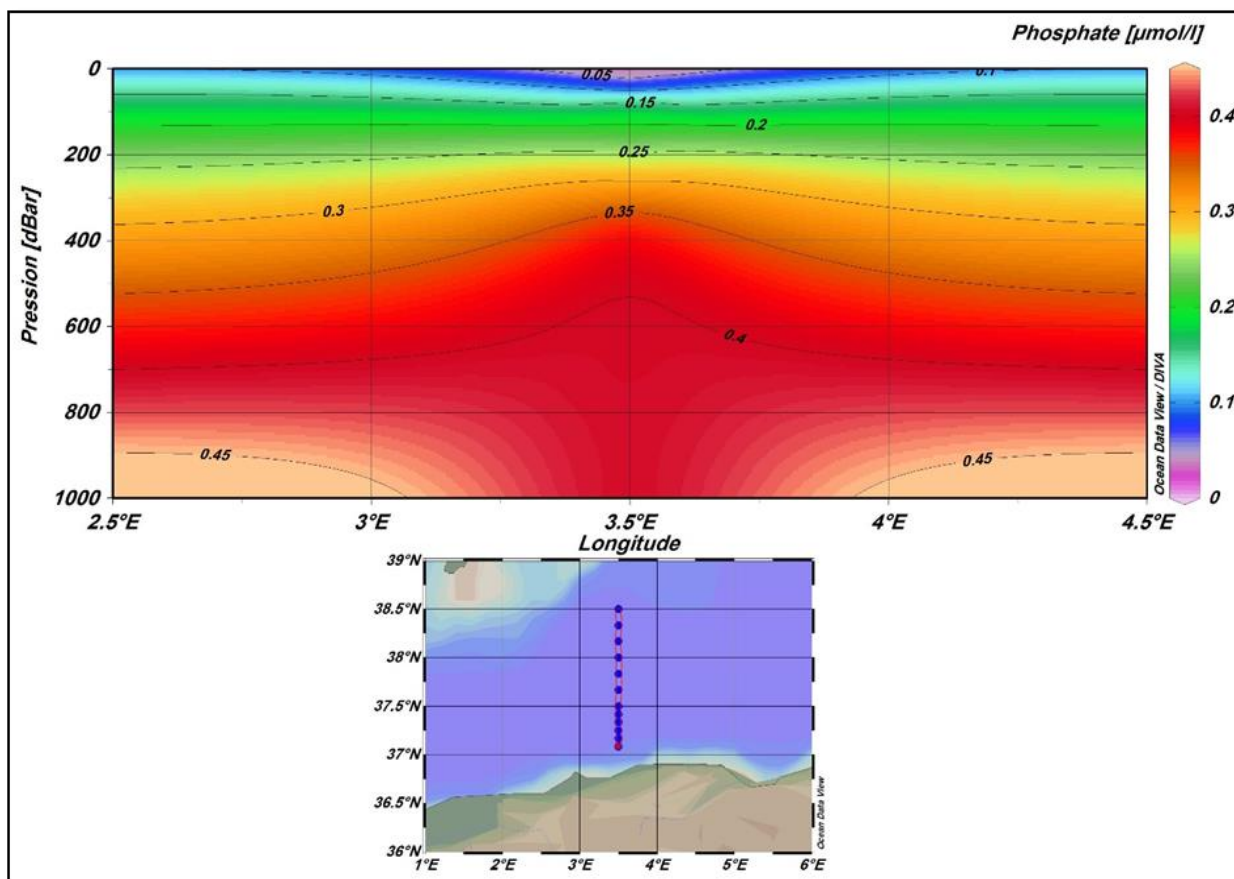


Figure 32 : Distribution verticale des phosphates le long de la section Nord-Sud au large de la baie d'Alger.

Conclusion

Conclusion

L'objectif principal de notre étude est de comprendre la distribution verticale de la température, salinité et des sels nutritifs au large de la côte Algéroise. Pour ce faire, on a traité des données expérimentales acquises au cours des trois campagnes océanographiques (SOMBA-GE, MEDIPROD V et MEDIPROD VI) durant la période printanière et estivale. Ces données nous ont permis de dresser des profils et des sections. Les résultats de ce mémoire sont synthétisés dans ce qui suit :

Au niveau du bassin algérien, la variation de la température et de la salinité montre une corrélation inverse entre ces deux paramètres. Les faibles valeurs de salinité sont enregistrées dans les couches superficielles où la température est la plus élevée, alors que les fortes valeurs sont enregistrées dans les couches profondes.

Les profils verticaux des concentrations des phosphates, des nitrates et des silicates montrent que leurs distributions augmentent avec la profondeur. Les concentrations de PO_4 et de NO_3 sont expliquées par une forte activité photosynthétique accompagnée par une consommation importante de sels nutritifs en surface, et une oxydation de la matière organique en profondeur. Tandis que les teneurs en SiO_2 ne sont pas épuisées par l'activité photosynthétique en surface comme pour les nitrates et les phosphates. Leur concentration maximale ne coïncide pas avec celles des nitrates et des phosphates en raison de leur mode de régénération totalement différent.

L'Analyse binaire de la température et de la salinité nous a permis de distinguer l'existence de trois masses d'eaux dans la zone d'étude :

- L'eau Atlantique Modifiée (MAW) : se trouve dans la couche superficielle dont l'épaisseur ne dépasse généralement pas les 200 dbar avec une température qui varie entre 14°C et 26°C et une salinité ≤ 38 .
- L'eau Levantine Intermédiaire (LIW) : se trouve entre 300 et 600 dbar, en dessous de la MAW. Elle est caractérisée par un maximum de salinité 38.5 et de température 13.5°C .
- L'eau profonde (WMDW) : se trouve sous la LIW à partir de 600 à 700 dbar. Elle est caractérisée par une température de l'ordre de $12,9^\circ\text{C}$ et une salinité de l'ordre de 38,44.

L'Analyse binaire des nitrates et des phosphates nous a permis d'estimer le Rapport de Redfield (rapport d'abondance) qui est égale à 22,7. Cette valeur est presque identique à celles déjà estimée pour la mer Méditerranée. Par contre, elle est largement différente de celle estimée par Redfield et autres pour l'océan mondial.

L'étude de la section verticale Nord-Sud a montré l'existence d'une petite structure hydrodynamique en fonctionnement qui peut être un petit tourbillon local du type anticyclonique généré probablement par le comportement du courant algérien et ses contre-courants. Il reste à déterminer ses caractéristiques ainsi que ses dimensions.

Bibliographie

Bibliographie

Achiche et Larbi. (2010). Impact des eaux usées et des embouchures des oueds sur la qualité des eaux de la baie de Bou-Ismaïl. Mémoire d'ingénieur. Alger : Dely brahim : ENSSMAL. 77 p.

Alberola, C., Millot, C., and Font, J. (1995). On the Seasonal and Mesoscale Variabilities of the Northern Current during the PRIMO-O Experiment in the Western Mediterranean-Sea. *Oceanologica Acta*, 18(2) : 163–192.

Aminot, A., et Chaussepied, M. (1983). Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Paris : CNEXO.

Aminot, A., et Kerouel, R. (2004). Hydrologie des écosystèmes marins : paramètres et analyses. France. Edition : Ifremer. 336 p.

Benhalima, M. (2016). Contribution à l'étude du cycle biogéochimique des sels nutritifs au niveau du bassin Algérien (données SOMBA-GE 2014).Mémoire de Magister ENSSMAL. 53 p.

Benzohra, M., et Millot, C., (1995). Characteristics and circulation of surface and intermediate water masses off Algeria. *Deep-Sea Research I*. Vol. 42, 10, 1803-1830.

Bethoux J.P., Morin P., Chaumery C., Connan O., Gentili B., Ruiz-Pino D., (1998). Nutrients in the Mediterranean Sea, mass balance and statistical analysis of concentrations with respect to environmental change. *Marine Chemistry*, Vol. 63, 155–169 p.

Bethoux, G. B. (1998). Arming and freshwater budget change in the Mediterranean since the 1940s heir possible relation to the greenhouse effect. *Geophysical Research Letters*. 25. 1023–1026 p.

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, France, 266 p.

Bouzinac, C., Font, J., and Millot, C. (1999). Hydrology and currents observed in the channel of Sardinia during the PRIMO-1 experiment from November 1993 to October 1994. *Journal of Marine Systems*, 20(1-4) : 333–355 p.

Bryden, H., Candela, J., and Kinder, T. (1994). Exchange through the strait of Gibraltar. *Progress in Oceanography*, 33(3) : 201–248.

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

Coste, B., Le Corre, P., Minas, H. J., et Morin, P. (1988). Les éléments nutritifs dans le bassin occidental de la Méditerranée. Bilan des échanges avec l'océan Atlantique à Gibraltar. *Oceanologica Acta*, p. 87-93.

Damien, P. (2015). Etude de la circulation océanique en Méditerranée Nord-Occidentale à l'aide d'un modèle numérique à haute résolution : influence de la submésoséchelle. Océanographie. Université Toulouse III Paul Sabatier, 10 p.

Doglioli, A. (2011). Notes du Cours Circulation Générale en Méditerranée, Centre d'Océanologie

ELISA (1997-1998). Mesoscale survey in the Algerian sub-basin (Western Mediterranean): hydrological data set of the cruises ELISA-1 (summer 1997) and ELISA-2 (fall 1997)

Ferrani, et Chehaima, L. (1998). Contribution à l'élaboration des données de base de la baie de Zemmouri et l'étude du site de Palm Beach (Baie de Bou-Ismaïl). Mémoire d'ingénieur, Alger: ISMAL, 127 p.

Gascard, J. (1978). Mediterranean DeepWater formation, baroclinic eddies and ocean eddies. Oceanologica Acta, 1 : 311–315.

Gaujous. (1995). La pollution des milieux aquatiques. Technique et documentation, 217 p.

Guibout, P., (1987). Atlas hydrologique de la Méditerranée, Lab. D'Océanographie Physique du Muséum, Paris, 174 p.

Guy. (2006). Ecologie du plancton. Edition : Paris, France, TEC & DOC, Lavoisier, 283 p.

Jacques, G., et Treguer, P. (1986). Ecosystème pélagique marin. Collection d'écologie Paris, France, Edition : Masson, 243 p.

Kadari-Méziane, Y. (1994). Contribution à l'étude de l'impact de la pollution sur la distribution spatio-temporelle des peuplements phyto benthiques dans la baie de Bou-Ismaïl (Algérie). Ph.D. dissertation, ENS, Alger.

La Violette, P., E. (1994). Overview of the major forcings and water masses of the Western Mediterranean sea. Seasonal and interannual variability of the Western Mediterranean sea. [éd] P.E La Violette. American Geophysical Union, p. 1-11.

Lacaze, J-C. (1996). La pollution des mers. France : DOMINOS Flammarion, 128 p.

Lacombe, H., et Tchernia, P. (1972). Caractères Hydrauliques et Circulation des Eaux en Méditerranée. The Mediterranean Sea: A Natural Sedimentation Laboratory (ed. DJ Stanley) ...

Le Gal, Y. (1988). Biochimie marine Paris, France. Edition: Masson, 285 p.

Leclaire. (1972). La sédimentation holocène sur le versant Méridional du bassin algéro-baléares (Précontinent algérien).. Tome XXIV., Paris, France: Éd. Muséum. 391 p.

- LEM. (2006).** Etude d'impact sur l'environnement du dragage des abords des quais du port d'Alger. Document non publié. Alger, Algérie. Laboratoire d'études maritime.
- Mahamat, B., et Beskri, A. (2010).** Caractéristique physico-chimique des eaux souterraines dans la plaine de Khemis Miliana, Mémoire fin d'étude. Université de Khemis Miliana. 5 p.
- Maouche, S. M. (1987).** mecanismes hydrosédimentaires en baie d'Alger. Grenoble, France.
- Millero, F. J. (2013).** Chemical Oceanography. New York : CRC Press. 290 p.
- Millot C., (1989).** La circulation générale en Méditerranée occidentale : Aperçu de nos connaissances et projets d'études. Annales de géographie , N° 549, p. 497-515
- Millot, C. (1985).** Some features of Algerian current. J. Geophys. Res., Vol.90N°7, 7169-7176.
- Millot, C. (1987).** Circulation in the mediterranean sea. *Oceanol Acta*.Vol. 10, 2, 143-149.
- Millot, C. (1991).** Mesoscale and Seasonal Variabilities of the Circulation in the Western Mediterranean. Dynamics of Atmospheres and Oceans,. Symp at the 14th General Assembly of the European Geophysical SOC - The Mediterranean Basin : A Case Study for General Circulation, Mesoscale Dynamics and Convection, Barcelona, Spain, Mar, 1989. 15(3-5): 179–214.
- Millot, C. (1994).** Models and data: a synergetic approach in the western Mediterranean sea. Ocean processes in climate dynamics: global and Mediterranean examples. Kluwer Academie, 407-425.
- Millot, C. (1999).** Circulation in the Western Mediterranean Sea. Journal of Marine Systems, 20(1-4) : 423–442.
- Millot, C., and Taupier-Letage, I. (2005).** Additional evidence of LIW entrainment across the Algerian subbasin by mesoscale eddies and not by a permanent westward flow. Progress in Oceanography, 66(2-4) : 231–250.
- Millot, C., Benzohra, M., et Taupier-Letage, I. (1997).** Circulation of Algeria inferred from the Medipro V current meters. Deep Sea Res. I, 44 (9-10) : 1467-1495.
- Millot, C., et Taupier-Letage, I. (2004).** Circulation in the Mediterranean Sea. The hand book of environmental chemistry, Vol. 1.
- Moutin, T., et Raimbault, P. (2002).** Primary production, carbon export and nutrients availability in western and eastern mediterranean sea in early summer 1996 (MINOS cruise). *Journal of Marine Systems*. Vol. 33-34, 0, 273-288.

- Ngabol, F. (2017).** Modélisation de la méditerranée occidentale avec ROMS : Cas du bassin algérien. *Mémoire de Master 1, Méditerranéen Institute of Oceanography, Université Aix-Marseille*. 25 p.
- O.N.M. (1984).** Recueil de perturbation atmosphérique extrême en Algérie. Journal de météorologie. Document non publié. Alger : *Office Nationale de la Météorologie*.
- ONM., (2010).** Le climat en Algérie (mise à jour du 21 avril 2010). Document non publié. Alger : *Office National de la Météorologie*.
- Perkins, H., and Pistek, P. (1990).** Circulation in the Algerian Basin during June 1986. *Journal Of Geophysical Research - Oceans*, 95(C2) : 1577–1585.
- Pinot, J., and Ganachaud, A. (1999).** The role of winter intermediate waters in the spring-summer circulation of the Balearic Sea - 1. Hydrography and inverse box modeling. *Journal Of Geophysical Research - Oceans*, 104(C12) : 29843–29864.
- Pinot, J-M., Tintore, J., and Gomis, D. (1995).** Multivariate analysis of the surface circulation in the Balearic Sea. *Progress in Oceanography*, 36(4) : 343–376.
- Puillat, I., Taupier-Letage, I., et Millot, C. (2002).** Algerian Eddies lifetime can near three years. *Journal of Marine Systems*, Vol. 31, 245– 259.
- Raimbault P., Besse M.G., Lochet F. et Nguyen T., (1990).** Methode d'analyse des sels nutritifs, Variabilite a moyenne echelle du Bassin Algerien, observations hydrologiques, biologiques et chimiques. Technical Report 11, COF/IFREMER, 12–69.
- Redfield, A. C., Ketchum, B. H., et Richards, F. A. (1963).** The influence of organisms on the composition of seawater. *The Sea*. Vol. 2, 26–77.
- Rodier, et al., (2009).** L'analyse de l'eau, Paris ,9ème édition : Dunod, 1579 p.
- Rodier, J. C. (2005).** L'analyse de l'eau. Belgique, 8ème édition ; Dunod. 564-944 p.
- Sammari, C., Millot, C., and Prieur, L. (1995).** Aspects of Time Seasonal and Mesoscale Variabilities of the Northern Current in the Western Mediterranean-Sea inferred from the PROLIG- 2 and PROS-S Experiments. *Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers*, 42(6): 893–917.
- Sammari, C., Millot, C., Taupier-Letage, I., Stefani, A., and Brahim, M. (1999).** Hydrological characteristics in the Tunisia-Sardinia-Sicily area during spring 1995. *Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers*, 46(10): 1671–1703.
- Schlitzer, R. (2015).** Data Analysis and Visualization with Ocean Data View, *CMOS Bulletin SCMO*, 43 (1), 9-13.

Siokou-Frangou, I., Christaki, U., Mazzocchi, M. G., Montresor, M., Ribera D'Alcala, M., Vaque, D., and Zingone, A. (2010). Plankton in the open mediterranean Sea: A review, *Biogeosciences*, 7(5), 1543–1586, doi: 10.5194/bg-7-1543-2010

Skalar Analytical., (1998). User manual San Plus. SA1050 RANDOM ACCESS AUTO SAMPLER, Numéro de la publication : 0101003 C, 23 p.

Zavatarelli, M., and Mellor, G. (1995). A Numerical Study of the Mediterranean-Sea Circulation. *Journal of Physical Oceanography*, 25(6, 2): 1384–1414.

Sites Web consultés:

www.seanoe.org

www.oceanservice.noaa.gov/facts/thermocline.html

www.observatoire-marin.com

https://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1989_num_98_549_20925#geo_00034010_1989_num_98_549_T1_0505_0000

Abstract

The main objective of this study is to understand the vertical distribution of temperature, salinity and nutrients in the Algerian basin during the spring and summer periods, using data acquired during three oceanographic cruises (SOMBA-GE, MEDIPROD V and MEDIPROD VI).

The variation in temperature shows a decreasing gradient from the surface (20 and 26 ° C) to the bottom (12.9 ° C). The low salinity values are recorded in the surface layers (36.5 and 37.25), while the high values are recorded in the deep layers (38.5).

Analysis of the Potential Temperature-Salinity diagram shows the relationship between these two parameters which is used to characterize and to identify water masses. There are essentially three water masses in the Algerian basin: Modified Atlantic Water (MAW), Levantine Intermediate Water (LIW) and Western Mediterranean Deep Water (WMDW).

The concentrations of phosphates, nitrates and silicates increase with depth. In the surface [PO₄] and [NO₃] are low or zero, due to photosynthetic activity which results in the consumption of nutrients. Beyond this layer, the concentrations of the latter increase to reach a maximum of around 0.5 μmol/l for phosphate and 10 μmol/l for nitrate between 300 and 500 m of depth. This increase is due to the regeneration process of these compounds by oxidation of organic matter. In deep water, their concentration stabilizes slightly at 0.4 μmol/l for phosphates and between 8 and 9 μmol / l for nitrates. While the SiO₂ contents vary between a minimum of 0.4 μmol/l measured at the surface and a maximum of 10.7 μmol/l at the bottom, because their mode of regeneration process is different from that of nitrates and phosphates. The regeneration of SiO₂ is done by a simple physicochemical dissolution of amorphous opal. The Nitrates-Phosphates correlation diagram allowed the estimation of the Redfield N/P ratio, which is equal to 22.7. This value is comparable to those already existing in literature.

The study of the North-South section allowed the observation of a small hydrodynamic structure in operation and which could be a small vortex generated by the behavior of the Algerian Current.

The key words : The Algerian basin, SOMBA-GE, MEDIPROD V, MEDIPROD VI, physicochemical parameters, nutrients, water masses.

Résumé

L'objectif principal de cette étude est de comprendre la distribution verticale de la température, salinité et des sels nutritifs dans le bassin algérien en période printanière et estivale, en utilisant des données acquises lors de trois campagnes océanographiques (SOMBA-GE, MEDIPROD V et MEDIPROD VI).

La variation de la température présente un gradient décroissant de la surface (20 et 26 °C) vers le fond (12,9°C). Les faibles valeurs de salinité sont enregistrées dans les couches superficielles (36,5 et 37,25), alors que les fortes valeurs sont enregistrées dans les couches profondes (38,5).

L'analyse du diagramme Température potentielle-Salinité montre la relation qui existe entre ces deux paramètres et qui sert à caractériser et identifier les masses d'eaux. Il existe essentiellement trois masses d'eaux dans le bassin algérien : L'eau Atlantique Modifiée (MAW), L'eau Levantine Intermédiaire (LIW) et L'eau profonde (WMDW).

Les concentrations des phosphates, des nitrates et des silicates augmentent avec la profondeur. En surface Les concentration des phosphates et des nitrates sont faibles ou nulles en raison de l'activité photosynthétique qui engendre une consommation ces nutriments. Au-delà de cette couche, les concentrations de ces derniers augmentent en fonction de la profondeur pour atteindre un maximum de l'ordre de 0,5 $\mu\text{mol/l}$ pour les phosphates et 10 $\mu\text{mol/l}$ pour les nitrates entre 300 et 500 m. Cette augmentation est due à la régénération de ces substances par l'oxydation de la matière organique. Dans les eaux profondes, leur concentration se stabilise légèrement à 0,4 $\mu\text{mol/l}$ pour les phosphates et entre 8 et 9 $\mu\text{mol/l}$ pour les nitrates. Tandis que les teneurs en SiO_2 varient entre un minimum de 0,4 $\mu\text{mol/l}$ relevé en surface et un maximum de 10,7 $\mu\text{mol/l}$ au fond, car leur mode de régénération est différent de celui des nitrates et des phosphates La régénération des silicates se fait par une simple dissolution physicochimique de l'opale amorphe. Le diagramme de corrélation Nitrates-Phosphates a permis d'estimer le rapport de Redfield N/P qui est égale à 22,7. Cette valeur est comparable à celles déjà existantes en littérature.

L'étude de la section Nord-Sud a permis l'observation d'une petite structure hydrodynamique en fonctionnement et qui peut être un petit tourbillon généré par le comportement du courant Algérien.

Les mots clés : Le bassin Algérien, SOMBA-GE, MEDIPROD V, MEDIPROD VI, paramètres physico-chimiques, sels nutritifs, masses d'eaux.