

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

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



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme
d'Ingénieur en Sciences de la Mer

Option : Environnement

Thème :

Etude de l'oxygène dissous et du régime de production primaire dans le
bassin algérien de la Méditerranée

Présenté par :

REHAMNIA MAKAREM

Soutenu le 22/10/2017 devant le jury composé de :

M. GRIMES S.	Maître de conférences. A	ENSSMAL	Président
Mme. BOUMAZA S.	Maître de conférences. B	ENSSMAL	Examinatrice
M. ZERROUKI M.	Maître assistant. B	ENSSMAL	Examinateur
Mme LOUANCHI F.	Professeur	ENSSMAL	Promotrice
Mme. KERAGHEL	Maître assistant. B	ENSSMAL	Copromotrice

Année universitaire 2017-2018



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
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



**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme
d'Ingénieur en Sciences de la Mer**

Option : Environnement

Thème :

**Etude de l'oxygène dissous et du régime de production primaire dans le
bassin algérien de la Méditerranée**

Présenté par :

REHAMNIA MAKAREM

Soutenu le 22/10/2017 devant le jury composé de :

M. GRIMES S.	Maître de conférences. A	ENSSMAL	Président
Mme. BOUMAZA S.	Maître de conférences. B	ENSSMAL	Examinatrice
M. ZERROUKI M.	Maître assistant. B	ENSSMAL	Examineur
Mme LOUANCHI F.	Professeur	ENSSMAL	Promotrice
Mme. KERAGHEL	Maître assistant. B	ENSSMAL	Copromotrice

Année universitaire 2017-2018

Remerciement

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

Tout d'abord, j'adresse mes sincères remerciements à ma promotrice, Melle.Louanchi.F de m'avoir fait confiance pour entreprendre ce travail et de lui avoir accordé un intérêt tout au long de son élaboration. Merci de m'avoir guidé, de m'avoir donné les moyens de mener à bien ce travail dans les meilleures conditions et surtout merci de m'avoir accordé la chance de travailler sous votre précieux nom.

J'exprime toute ma gratitude à Melle. Keraghel.M qui m'a aidée pendant tout ce travail, je la remercie chaleureusement pour le temps précieux qui m'a consacré toutes les fois que cela était nécessaire, merci infiniment.

C'est avec un grand plaisir que nous remercions Mr Grimes.S et Mr. Zerrouki.M et Mme.Boumaza.S Qui ont bien voulu faire partie de jury et qui nous ont fait l'honneur de participer à l'évaluation de ce modeste travail.

Je remercie également les bibliothécaires de l'école pour leur collaboration.

Dédicace

Tout d'abord, je remercie Allah le tout puissant pour m'avoir donné la Santé, le courage et la volonté, pour réaliser ce modeste travail.

C est avec ces mots simples mais débordant d'émotions que je dédie ce travail :

A mes chers parents

Ahmed et leyla

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquent pour exprimer ce que vous méritez pour tous les sacrifices que vous n'avez cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte. Puisse le bon Dieu, le tout puissant, vous préserver et vous accorder santé, longue vie et bonheur.

Ce travail est le fruit de vos sacrifices que vous consentis pour mon éducation et ma formation.

A mon chère Fateh pour son soutien et pour son amour qui me rend meilleur.

A mon seul et unique frère issam pour son amour que je lui présente ma gratitude d'y être à mes côtés toute ma vie.

A mes oncles adorables Farouk et kheirdine que j'aime le plus.

Je remercie vivement et profondément toutes personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire et en particulier mes amis avec qui j'ai passé des moments inoubliables. Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des frères, sœurs et des amis sur qui je peux compter. En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passé ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

A :Marwa Tabouche , Imen charef ,Sarra driouche et sa maman ,Yamina barigou ,Wissal Abdallah , Sally et sa fille adorable Mayare.

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction	11
1 Généralités.....	14
1.1 Circulation océanique en Méditerranée.....	14
1.2 La Méditerranée Occidentale.....	15
1.2.1 Météorologie de la Méditerranée occidentale	15
1.2.2 Circulation des eaux de la Méditerranée occidentale.....	16
1.2.3 Caractéristiques de la circulation des eaux dans le Bassin Algérien.....	18
1.3 Production Primaire en Méditerranée.....	19
1.3.1 Définitions générales.....	19
1.3.2 Indicateurs de la Production primaire	20
1.3.3 Facteurs indispensables à la production primaire	22
1.3.4 Concentrations des nutriments en Méditerranée Occidentale	23
1.3.5 Production primaire en Méditerranée et dans le bassin Algérien.....	24
2 Matériel et méthodes	27
2.1 Matériel.....	27
2.2 Méthodes	29
2.2.1 Calcul de la production primaire à partir de la chlorophylle.....	29
2.2.2 Calcul des flux d'oxygène.....	29
2.2.3 Indice de fertilité des mers (<i>f</i> -ratio).....	30
3 Résultats et discussions	33
3.1 Distribution verticale des paramètres physiques (S et T).....	33
3.1.1 Distribution verticale de la température	33
3.1.2 Distribution verticale de la salinité.....	33

3.2	Distribution des nitrates dans le bassin Algérien.....	40
3.3	Distribution de la chlorophylle dans le bassin Algérien.....	40
3.3.1	Par mois.....	40
3.3.2	Par profondeur.....	41
3.4	Flux d'oxygène.....	48
3.5	Production primaire.....	50
3.6	Production nouvelle et indice de fertilité.....	50
	Conclusion.....	53
	Bibliographie.....	55

Liste des figures

Figure 1: Bassins et sous- bassins de la mer Méditerranée (Millot et Taupier-Letage, 2005).....	14
Figure 2 : Circulation générale de surface dans la mer Méditerranée (Millot et Taupier-Letage, 2005).....	15
Figure 3: Circulation des Eaux Intermédiaires (LIW) en Méditerranée Occidentale (Millot, 1999).....	17
Figure 4: Circulation des Eaux Profondes TDW - WMDW en Méditerranée Occidentale (Millot, 1999)	18
Figure 5: Mise en évidence des gyres Ouest et Est du bassin Algérien dans les eaux intermédiaires et Profondes par les trajectoires des dérives de flotteurs ARGO (Testor et al., 2005)	19
Figure 6: Schéma indiquant les différents régimes de production de la Méditerranée (D'Ortenzio et Ribera d'Alcala, 2009)	25
Figure 7: Profils de Température selon les mois et les années dans la région OUEST	34
Figure 8: Profils de Température selon les mois et les années dans la région CENTRE.....	35
Figure 9 : Profils de Température selon les mois et les années dans la région EST	36
Figure 10 : Profils de salinité selon les mois et les années dans la région OUEST	37
Figure 11: Profils de salinité selon les mois et les années dans la région CENTRE	38
Figure 12: Profils de salinité selon les mois et les années dans la région EST	39
Figure 13: Profils de nitrates selon les mois et les années dans la région OUEST	42
Figure 14: : Profils de nitrates selon les mois et les années dans la région CENTRE	43
Figure 15: Profils de nitrates selon les mois et les années dans la région EST	44
Figure 16: Profils de chlorophylle selon les mois et les années dans la région Est	44
Figure 17 : Profils de chlorophylle selon les mois et les années dans la région centre.....	45
Figure 18: Profils de chlorophylle selon les mois et les années dans la région OUEST	46
Figure 19: Distribution de la chlorophylle à différentes profondeurs en fonction du temps dans les 3 régions du bassin Algérien	47
Figure 20 : Flux d'oxygène climatologique ; (A) région ouest ; (B) région centre ; (C) région Est	49
Figure 21: Production primaire intégrée sur la profondeur en fonction du temps ; (A) Ouest ; (B) Centre ; (C) Est.....	51

Liste des tableaux

Tableau 1 : Paramètres extraits de la base de données Medar/Medatlas (2002) avec leurs unités	28
Tableau 2 : Valeurs des coefficients de la formule de solubilité de l'oxygène.....	30
Tableau 3: Production communautaire nette saisonnière basée sur l'oxygène dissous dans le bassin Algérien.....	48
Tableau 4: Production primaire annuelle basée sur les données de chlorophylle du bassin Algérien	50
Tableau 5 : f -ratio, indice de fertilité dans les trois zones	50

Liste des abréviations

AW: Atlantic Waters

DCM: Deep Chlorophyll Maximum

GODAR: Global Ocean Data Archaeology and Rescue

LIW: Laventine intermediates waters

MAW: Mediterranean atlantic waters

NP : La production nouvelle

PP : La production primaire

PPB : la production Primaire Brute

PPN : La Production Primaire Nette

PR : La Production régénérée

PPT : La production primaire totale

SNO : Seasonal Net Outgassing

UAO : L'utilisation Apparente de l'Oxygène

WMDW : Western Mediterranean Deep Waters

ZMO : La zone de minimum d'oxygène

Généralités

Introduction

Introduction

Introduction

Le bassin Algérien qui fait l'objet de cette étude, est une région très importante de la Méditerranée car il représente une zone clé pour la circulation des eaux. Sa situation géographique ainsi que ses caractéristiques font de lui une zone particulièrement intéressante pour la compréhension du fonctionnement et l'évolution des équilibres biogéochimiques de cette mer.

La Méditerranée présente la particularité d'être l'une des régions océaniques où les concentrations en nutriments sont les plus faibles au monde ; d'où son nom de « mer oligotrophe » (e.g. Pujo-Pay et al., 2011). C'est aussi l'une des mers les plus étudiées, néanmoins, la question de la variabilité temporelle des nutriments a très peu été abordée, et reste assez méconnue souvent par manque de données. Ce n'est que récemment, après l'acquisition de bases de données à l'échelle de toute la Méditerranée (BOUM, M84/3) que des études ont été entreprises pour répondre à cette problématique (Huertas et al., 2012 ; Moutin et Prieur 2012).

Les nutriments, parce qu'ils contrôlent la production primaire océanique, et par conséquent une partie de la séquestration du carbone, exercent aussi une influence majeure sur le climat. Dans le contexte du réchauffement climatique, des modifications importantes des cycles biogéochimiques sont à prévoir (Malanotte-Rozzoli et al., 2014), et la Méditerranée, par sa configuration particulière, apparaît comme un site d'étude idéal. C'est un modèle océanique à échelle réduite, où les processus sont exacerbés et où la réponse de l'écosystème est particulièrement rapide (Béthoux et al., 1999; Siokou-Frangou et al., 2010).

Mieux comprendre la dynamique temporelle des nutriments en Méditerranée est donc un enjeu majeur, et a été, de ce fait, le point central de notre travail. Pour atteindre cet objectif, nous nous sommes intéressés à l'étude des variabilités spatiales et temporelles de l'oxygénation des eaux dans le bassin Algérien. En effet, les flux air-mer d'oxygène dissous peuvent renseigner sur l'évolution du régime de la productivité primaire dans les eaux de surface ainsi que sur la disponibilité des nutriments (Najjar et Keeling, 2000).

A travers ce mémoire, nous avons tenté d'aborder les points suivants :

- 1) L'analyse, à partir de données existantes, de l'état d'oxygénation du bassin Algérien sur une longue période de temps (environ 50 ans) ;
- 2) L'étude des processus responsables de la variabilité de la concentration de l'oxygène dissous dans les eaux de surface ;

Introduction

- 3) La quantification de la production primaire dérivée à partir des variations saisonnières du dégazage en oxygène ;
- 4) L'analyse de la désoxygénation sur différentes couches d'eaux du bassin Algérien.

Pour ce faire, ce mémoire a été subdivisé en trois parties :

- La première partie est consacrée à la présentation générale de notre zone d'étude (le bassin Algérien) avec une synthèse sur l'hydrologie du bassin. La production primaire est par la suite définie en mettant l'accent sur ses indicateurs (chlorophylle et oxygène) ainsi que sur les paramètres biogéochimiques qui l'influencent (sels nutritifs)
- La deuxième partie est dédiée à la présentation de la base de données utilisée, ainsi que les méthodes de calcul des différents paramètres en relation avec notre étude.
- La troisième partie est consacrée aux résultats obtenus et leur interprétation.

Une conclusion générale complétera cette contribution.

1 Généralités

Le bassin méditerranéen s'étend sur une superficie d'environ 2,5 millions de kilomètres carrés avec un volume de 3,7 millions de km³. Du détroit de Gibraltar jusqu'aux côtes libanaises, la distance approxime 3800 km d'est en ouest et 1000 km du nord au sud. La mer Méditerranéenne communique avec l'océan Atlantique par le détroit de Gibraltar d'une ouverture de 14 km à l'ouest, avec la mer Noire par les entrées des Dardanelles et avec la mer Rouge par le canal de Suez à l'est. Elle se divise en deux bassins occidental et oriental, séparés par des hauts fonds situés entre la Sicile et la Tunisie. Le premier bassin recouvre une superficie d'environ 0,85 million de km², tandis que le second recouvre environ 1,6 million de km² (Figure 1).

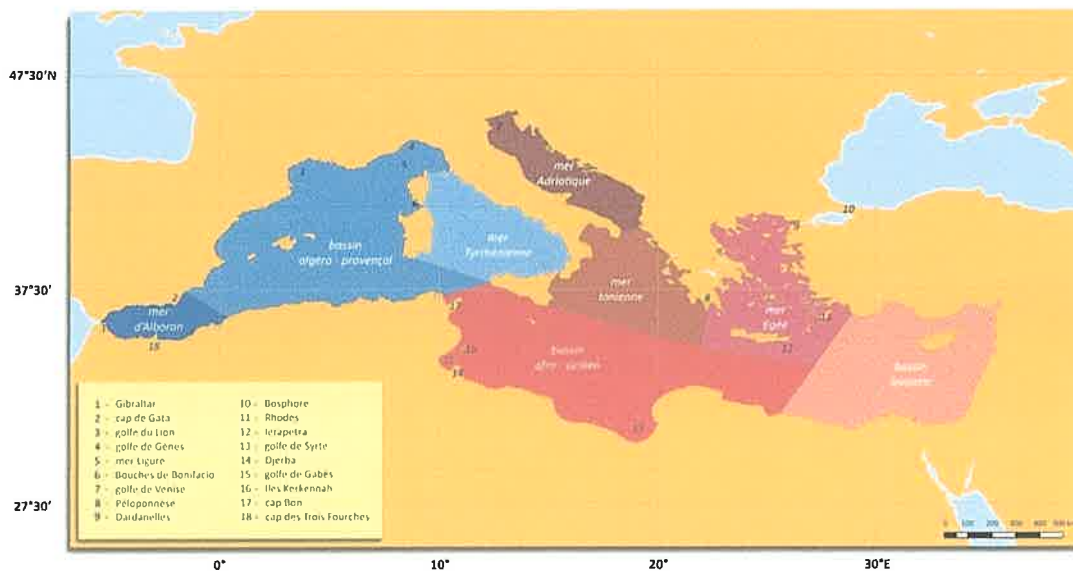


Figure 1: Bassins et sous- bassins de la mer Méditerranée (Millot et Taupier-Letage, 2005)

En Méditerranée occidentale, l'axe Corse-Sardaigne isole la mer Tyrrhénienne du reste du bassin. En Méditerranée orientale, on distingue la mer Ionienne, qui atteint les plus grandes profondeurs, et le bassin levantin, séparés par un goulet entre la plate-forme de la mer Égée limitée au sud par la Crète et les hauts fonds au large de la Cyrénaïque (Figure 1).

1.1 Circulation océanique en Méditerranée

Le bilan moyen d'évaporation – précipitation est déficitaire en Méditerranée. La Méditerranée perdrait une moyenne d'1 m d'eau par an. Cette perte est compensée par la pénétration d'eaux de surface Atlantiques au détroit de Gibraltar (Béthoux, 1980).

Très schématiquement, la circulation de surface en Méditerranée suit une boucle cyclonique. L'eau atlantique peu salée pénètre en surface par le détroit de Gibraltar. Au cours de son cheminement dans le bassin, elle est transformée en eau méditerranéenne plus dense par

Généralités

l'augmentation de sa salinité due à l'évaporation. Ces eaux ressortent à leur tour par le détroit de Gibraltar, avec un temps de renouvellement qui varie en moyenne entre 50 et 100 ans selon les bassins (Millot et Taupier-Letage, 2005).

Ces eaux atlantiques de surface circulent d'Ouest en Est dans le sud du bassin occidental pour ensuite se diviser en deux branches : Une partie remonte vers le Nord en un circuit cyclonique dans le bassin occidental, une deuxième partie franchit le détroit de Sicile et suit une boucle cyclonique dans l'ensemble du bassin oriental (Figure 2). Les courants de surface influencés par la météorologie et les saisons présentent des variabilités temporelles allant de la journée à la saison et suivent des trajectoires tortueuses. Ils peuvent former de grands tourbillons de quelques centaines de kilomètres, dont la durée de vie varie de quelques mois à quelques années (Millot et Taupier-Letage, 2005).

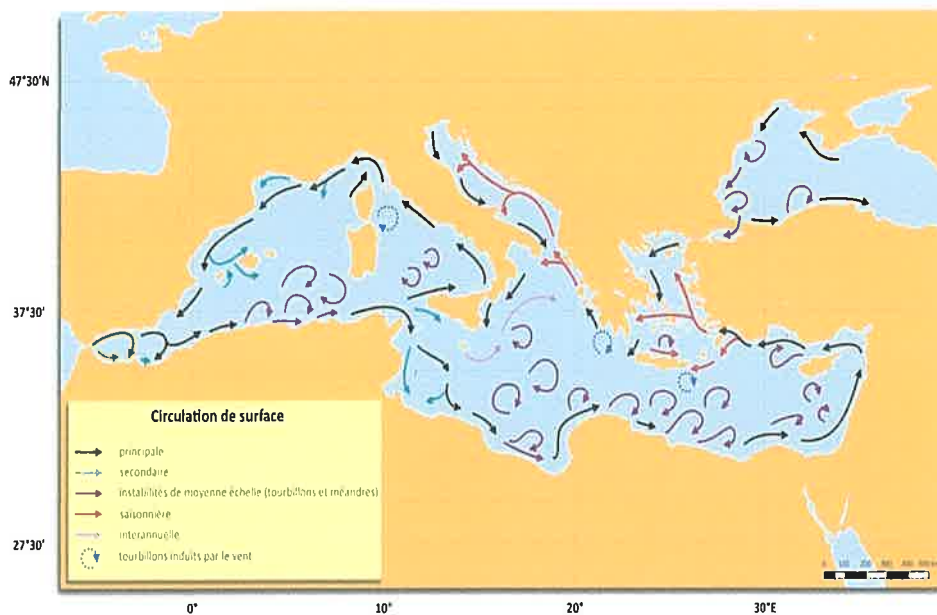


Figure 2 : Circulation générale de surface dans la mer Méditerranée (Millot et Taupier-Letage, 2005)

1.2 La Méditerranée Occidentale

La méditerranée occidentale est composée de trois sous-bassins principaux : la Mer d'Alboran, le Bassin Algéro-Provençal et la Mer Tyrrhénienne.

1.2.1 Météorologie de la Méditerranée occidentale

Le climat joue un grand rôle dans l'établissement des principales conditions régnant sur le bassin qui déterminent la circulation de surface et l'existence de mélanges verticaux.

Généralités

Le bassin Méditerranéen se situe au confluent de quatre masses d'air : l'anticyclone des Açores, les basses pressions d'Islande, les hautes pressions hivernales du nord de l'Europe et parfois, les basses pressions sahariennes. L'apparition de centres de basses pressions en été (causées par l'anticyclone des Açores et le réchauffement des surfaces continentales à l'est et au sud du bassin), fait que le bassin sud occidental est soumis à un régime de vents d'est. En hiver, à la bordure nord du bassin, les vents sont de secteur nord, secs et froids (Mistral et Tramontane) et affectent toute la colonne d'eau, dans le sous bassin liguro-provençal (Jacques et Tréguer, 1986).

1.2.2 Circulation des eaux de la Méditerranée occidentale

1.2.2.1 Circulation des eaux de surface

L'eau Atlantique (AW) est caractérisée par une température s'échelonnant de 15 à 16 °C, une salinité inférieure à 37 et une densité de 1,026-1,027. En progressant à l'intérieur de la mer, l'AW entrante est modifiée continuellement, d'où le nom de l'eau atlantique modifiée (MAW). La MAW circule vers l'est avec le développement d'instabilités barocliniques, de méandres et de tourbillons (Millot, 1987 ; Millot, 1994). À mesure qu'elle progresse, elle devient plus chaude et plus salée en se mélangeant avec les eaux de surface et les eaux sous-jacentes méditerranéennes ou à cause des interactions avec l'atmosphère.

En entrant par le détroit de Gibraltar, l'eau Atlantique est dirigée vers le nord à cause de l'orientation du détroit, puis elle décrit un gyre dans le sens des aiguilles d'une montre à l'ouest de la Mer d'Alboran, entre l'Espagne et le Maroc. Elle décrit, généralement, un deuxième gyre à l'est de cette même mer, entre l'Espagne et l'Algérie. Après le front Almeria-Oran, l'AW se restructure le long de la côte algérienne aux environs de 0°, notamment, à cause de la force de Coriolis, elle prend alors le nom de courant Algérien (Figure 2).

La MAW coule le long des côtes ouest de la Sardaigne et la Corse (Millot et Taupier-Letage, 2005), formant ainsi le Courant Ouest Corse (Albérola et al., 1995). Un tiers du flux de la MAW circule dans le sens inverse des aiguilles d'une montre autour de la Mer Tyrrhénienne en longeant la côte nord de la Sicile et les côtes italiennes et franchît ensuite le Canal de Corse en formant le Courant Est Corse. Ces deux courants fusionnent dans le golfe de Gênes pour donner naissance au courant nord dont la circulation est cyclonique et annuelle depuis la mer Ligure jusqu'à la mer Catalane, le long du talus continental des côtes italiennes, françaises et espagnoles (Albérola et al., 1995).

Généralités

1.2.2.2 Circulation des eaux intermédiaires et profondes

Lors de son cheminement vers l'est du bassin méditerranéen, l'eau se densifie par évaporation et sa salinité augmente. Par suite, dans le bassin Levantin, cette eau dense va plonger à un niveau intermédiaire et former les eaux levantines intermédiaires LIW. La LIW se forme à partir de la convection hivernale dans la partie nord de la Mer Levantine, le long de la pente des îles de l'Arc Crétois, de Rhodes à Crète et au Péloponnèse (Millot et Taupier-Letage, 2005). Elle est située, au départ, entre 150 et 400 m de profondeur et est caractérisée par une température comprise entre 15 et 16°C et une salinité de 39,1 à 39,2 (El-Gindy and El Din, 1986).

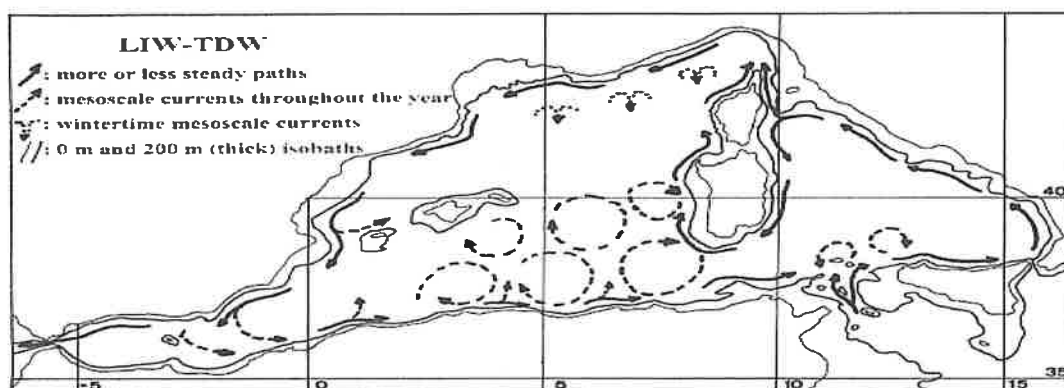


Figure 3: Circulation des Eaux Intermédiaires (LIW) en Méditerranée Occidentale (Millot, 1999)

Ces eaux circulent dans le bassin oriental de la Méditerranée puis passent dans le bassin occidental par le détroit de Gibraltar. La LIW tourne sur sa droite en mer Tyrrhénienne en poursuivant un circuit cyclonique et longe la côte Italienne, dont une partie franchit le canal de Corse et une majeure partie poursuit son écoulement cyclonique vers le canal de Sardaigne (200-600m) contournant les côtes ouest Sardes vers le Nord et suit une trajectoire cyclonique dans l'ensemble du bassin occidental (Figure 3).

Elle suit le talus continental le long des côtes Françaises et enfin des côtes Espagnoles, où une partie sort par le détroit de Gibraltar, tandis que l'autre est entraînée par l'eau de surface d'origine Atlantique, et suit les côtes Algériennes vers l'Est.

Cette masse d'eau est identifiée tout le long de son parcours par des maximums relatifs en température et en salinité ($T = 13,8^\circ$ et $S > 38,6$) (Conan, 1996).

L'eau profonde de Méditerranée Occidentale (WMDW) se forme en mer Ligure et au large du golfe du Lion (Millot, 1999). La WMDW représente la plus grande quantité d'eau profonde de l'ensemble de la Méditerranée occidentale. Sa formation est due à la convection hivernale

Généralités

intense sous l'influence de vents froids et secs de secteur nord et nord-ouest : le Mistral et la Tramontane, qui entraînent l'augmentation de la densité des couches superficielles de l'eau atlantique modifiée et de l'eau levantine lesquelles deviennent plus denses que les couches inférieures, plongent et se mélangent verticalement aux autres eaux.

Les eaux profondes du bassin Algérien sont constituées en grande partie par des WMDW (Western Mediterranean Deep Waters) homogènes qui proviennent de la convection profonde dans le Golfe du Lion, et suivent une circulation cyclonique entrant ainsi dans le bassin Algérien par l'Ouest (Figure 4).

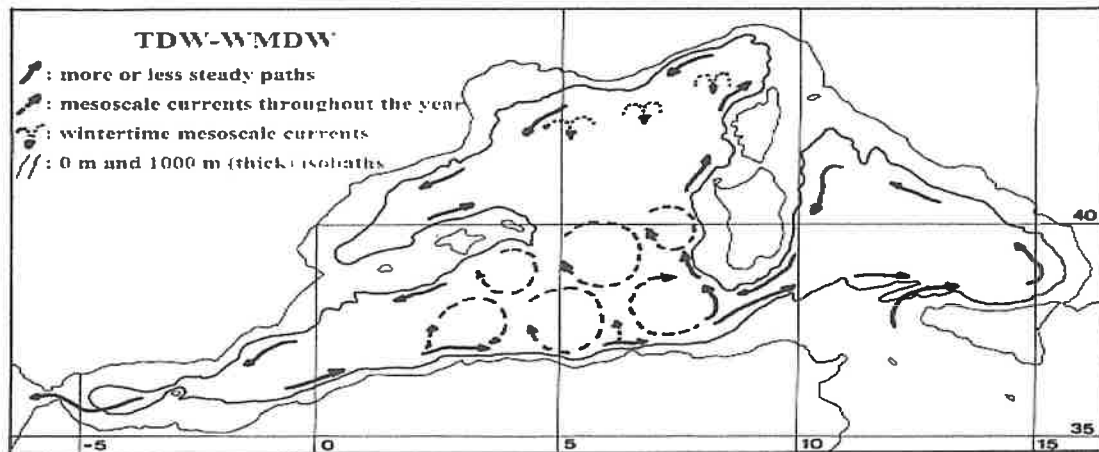


Figure 4: Circulation des Eaux Profondes TDW - WMDW en Méditerranée Occidentale (Millot, 1999)

1.2.3 Caractéristiques de la circulation des eaux dans le 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 Iles Baléares au nord-ouest et la Sardaigne au nord-est. Il est la zone de transit des eaux de surface de l'Atlantique qui pénètrent dans le détroit de Gibraltar et prennent le nom de « courant Algérien » à environ 0° après le front d'Almeria-Oran (Millot, 1985 ; Millot, 1990).

Le courant algérien est caractérisé par un développement de tourbillons anticycloniques, liés à des instabilités baroclines, dès la longitude de 1°E, qui se déplacent vers l'est et contribuent à mélanger les eaux atlantiques avec les eaux méditerranéennes de surface, plus chaudes et plus salées (Millot et Taupier-Letage, 2005).

Généralités

Testor et al. (2005) ont mis en évidence l'existence de deux gyres cycloniques dans les eaux intermédiaires et profondes du bassin Algérien, en analysant les trajectoires de dérive des flotteurs ARGO sur une longue période dans cette région. Ces Gyres Ouest et Est, sont centrés autour de (37°30' N, 2°30' E) et (38°30' N, 6°00' E), respectivement (Figure 5).

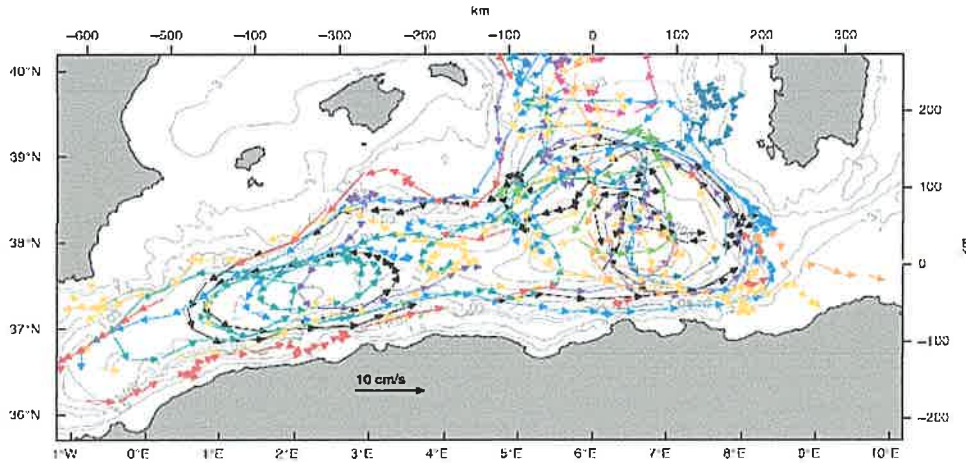


Figure 5: Mise en évidence des gyres Ouest et Est du bassin Algérien dans les eaux intermédiaires et Profondes par les trajectoires des dérives de flotteurs ARGO (Testor et al., 2005)

Bien que la plupart des structures tourbillonnaires anticycloniques en surface (qui sont liées à des instabilités baroclines) se déplacent selon une trajectoire cyclonique aussi bien à l'ouest qu'à l'est du bassin, il est difficile de mettre directement en évidence l'existence de ces gyres dans les eaux comprises entre 0 et 300 m où d'autres processus interviennent et masquent ce signal.

1.3 Production Primaire en Méditerranée

1.3.1 Définitions générales

1.3.1.1 Production primaire

La production primaire est synonyme de production autotrophe qui signifie la synthèse de matière organique à partir de matière minérale par l'activité d'organismes photosynthétiques ou chimio-synthétiques, en transformant l'énergie lumineuse en énergie chimique potentielle stockée dans les composants organiques des tissus du vivant (Frontier et Pichod-Viale, 1998), elle est quantifiée en masse de carbone par unité de surface et de temps.

La production primaire comprend deux types de production :

- **La Nouvelle production (NP)** est basée sur l'enrichissement de la couche euphorique en sels nutritifs par les continents ou les eaux profondes riches en nutriments (qui ont

pour source la reminéralisation de la matière organique qui a échappé à la chaîne trophique et chute en profondeur par gravité). C'est cette production qui nous permet d'apprécier la fertilité d'une région marine donnée par le calcul de l'indice de fertilité (Lacaze, 1996).

- **Production régénérée (PR)** : Dans cette production, les sels nutritifs utilisés sont ceux régénérés de la matière organique par reminéralisation via des bactéries au sein de la couche euphotique, (Lacaze, 1996). Elle est généralement associée à l'ammonium (Dugdale et Goering, 1967) et son importance reflète l'oligotrophie d'une zone océanique donnée.

1.3.1.2 Productivité Primaire Brute et Productivité Primaire Nette

La Production Primaire Nette (PPN) correspond donc à l'énergie accumulée par la plante par le biais de la photosynthèse moins l'énergie utilisée par la plante pour la respiration. En d'autres termes, la différence entre la Production Primaire Brute (PPB) et la Production Primaire Nette (PPN) correspond à l'énergie utilisée lors de la respiration cellulaire ($PPN = PPB - \text{respiration}$).

1.3.1.3 Modèle de Redfield

De façon générale, on observe une grande similitude entre les rapports d'abondance des éléments C, N, et P dans les différentes zones de l'océan et dans la composition des espèces planctoniques (Redfield, 1934 *In* Anderson, 1995). Pendant longtemps, il a été suggéré que la vie dans l'océan avait ajusté les concentrations en nutriments suivant ses besoins, mais aujourd'hui on considère plutôt que c'est la vie qui s'est adaptée aux rapports océaniques (Voss et al., 2013).

La valeur moyenne de ces rapports vaut (106:16:1) pour les éléments (C:N:P) (rapport de Redfield), et reflète les besoins métaboliques moyens d'une cellule vivante. Ce concept a depuis été étendu à d'autres éléments comme le silicium (Si). Ainsi, dans les environnements marins dominés par les organismes siliceux, les rapports molaires (C:Si:N:P) sont de l'ordre de (106:15:16:1).

1.3.2 Indicateurs de la Production primaire

1.3.2.1 Chlorophylle

La chlorophylle-a est le principal pigment photosynthétique des plantes. En convertissant l'énergie lumineuse en énergie chimique, elle permet la photosynthèse, c'est-à-dire la fixation de carbone induite par la lumière (la production primaire). Pour cette raison, la chlorophylle-a

Généralités

est mesurée en tant qu'indicateur de la biomasse des micro-algues. En effet, les concentrations de la chlorophylle sont un bon proxy de la production primaire (et Ribera d'Alcala (2009).

1.3.2.2 Production d'oxygène

La teneur en oxygène (moléculaire) dissous est un paramètre important qui gouverne la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques. La présence d'O₂ dans les océans est due à deux processus principaux :

- La dissolution de l'O₂ atmosphérique dans les eaux de surface, lesquelles sont entraînées en profondeur par la circulation thermohaline assurant ainsi la ventilation des mers et océans profonds.
- La production d'O₂ par la photosynthèse du phytoplancton (après assimilation de CO₂) qui se produit dans les eaux de surface sur une couche allant de 0 à environ 150 m de profondeur selon les régions.

La variabilité des concentrations en oxygène dissous est la résultante des facteurs physiques, chimiques et biologiques suivants :

- Echanges à l'interface air-océan : La dissolution de l'O₂ dans l'eau de mer dépend des température et salinité de celle-ci. Si les eaux sont chaudes, la dissolution est limitée, au contraire des eaux froides. L'échange air-mer se fait toujours dans le sens de la plus grande pression partielle d'O₂ vers la plus petite. Plus le vent est important et plus le régime est déferlant occasionnant des bullages, plus l'échange sera favorisé.
- Diffusion et mélange au sein de la masse d'eau.
- Utilisation dans les réactions d'oxydation chimique (naturelles ou anthropiques).
- Production et destruction de la matière organique marine (Modèle d'Anderson 1995) :
$$C_{106}H_{175}O_{42}N_{16}P + 150 O_2 \rightleftharpoons 106 CO_2 + 16 HNO_3 + H_3PO_4 + 78 H_2O$$

1.3.2.2.1 Profil vertical moyen de l'O₂ dissous dans l'eau de mer

En un lieu donné, les teneurs en oxygène dissous évoluent au rythme des fluctuations saisonnières de la température. Les eaux superficielles sont, en moyenne, légèrement sursaturées. Ces teneurs décroissent avec la profondeur (Louanchi et Najjar, 2001). La concentration d'oxygène dans les eaux profondes, complètement isolées de l'atmosphère locale, résulte d'un équilibre entre la consommation d'O₂ pour la dégradation de la matière organique en provenance de la surface et le renouvellement de l'oxygène essentiellement par la circulation à grande échelle. Il existe un minimum d'oxygène dans les eaux intermédiaires (où l'Utilisation Apparente de l'Oxygène, UAO, est importante). Ce minimum est attribué à deux faits (Copin-

Généralités

Montégut, 1996) : la plus grande partie de la pluie de la matière organique depuis la surface qui n'est pas recyclée dans la couche euphotique, se décompose en sédimentant à travers les couches intermédiaires, alors que les eaux profondes n'ont reçu qu'une partie. Les eaux intermédiaires sont isolées de l'atmosphère locale, ce qui est le cas aussi des eaux profondes, néanmoins, les LIW circulent moins vite que ces dernières et sont donc moins bien renouvelées.

1.3.2.2 Effet du réchauffement climatique sur l'oxygène dissous

Des eaux riches en oxygène sont généralement considérées comme des eaux « jeunes », c'est-à-dire qui sont passées récemment par la surface de l'océan. Lorsqu'elles s'éloignent de la surface, ces eaux « vieillissent » en perdant progressivement leur O₂ à cause de la respiration des organismes vivants. A l'heure actuelle, les océanographes s'intéressent aux régions à faible teneur en oxygène (zone de minimum d'oxygène ou ZMO) où la vie marine pourrait être en danger.

Par conséquence au réchauffement climatique, l'épaisseur de ces zones serait en augmentation dans certaines régions océaniques (surtout le Pacifique Est) (Keeling et al., 2010). En effet, la dissolution de l'O₂ dans l'eau de mer est d'autant plus faible que les eaux sont chaudes. Le réchauffement des océans entraîne donc une diminution de sa concentration dans les océans, ainsi qu'une stratification défavorisant la diffusion verticale.

1.3.3 Facteurs indispensables à la production primaire

1.3.3.1 Lumière et stratification

La lumière qui est un facteur indispensable à la photosynthèse limite la production primaire à la couche de surface euphotique. De plus, la stratification des eaux de surface dans les régions tempérées induit une barrière physique contre la remontée des eaux profondes riches en sels nutritifs.

1.3.3.2 Nutriments et oligo-éléments

Les nutriments essentiels (N, P et Si) et les oligo-éléments (tels que le fer, le cuivre, le zinc ...) sont indispensables à la production photosynthétique selon la réaction chimique de production de la matière organique marine proposée par Anderson (1995).

L'azote : L'azote est indispensable à tous les organismes. Son cycle dépend de ses nombreux degrés d'oxydation. La forme la plus abondante est le gaz N₂, inerte, qui compose 78% de l'atmosphère. Les formes réactives de l'azote sont définies comme étant liées aux éléments C,

Généralités

O et H. Les formes les plus abondantes d'azote dans l'eau sont : l'ammonium (NH_4^+), les nitrites (NO_2^-) et les nitrates (NO_3^-).

Le phosphore : Le phosphore se trouve originellement dans les roches qui composent le globe terrestre. Il arrive dans le milieu marin de plusieurs façons :

- Phosphore issus des sols, résultant de l'érosion éolienne et hydrique des roches contenant les minéraux primaires phosphatés.
- Phosphore provenant du lessivage de sols cultivés, qui s'y trouve sous forme adsorbé, minéral (de type apatite), et organique ou d'engrais excédentaire.
- Phosphore qui est contenu dans les effluents domestiques (en majorité détergents phosphatés, urines et selles).
- Remontées sources marines chaudes et volcanisme marin.

Le phosphore dans l'eau de mer se présente essentiellement sous forme minérale dissoute (Moutin, 2000). Certaines formes organiques peuvent aussi être assimilées par les organismes diazotrophes et les bactéries hétérotrophes en conditions de forte oligotrophie, mais ces processus restent encore mal connus (Dyhrman *et al.*, 2009).

Le phosphore est retrouvé dans l'eau de mer sous forme d'acide phosphorique (H_3PO_4) et d'ortho-phosphates (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}).

Le silicium : Le silicium dissous dans l'eau de mer (DISi, pour *dissolved inorganic silicium*) est présent sous différentes formes. L'acide ortho-silicique $\text{Si}(\text{OH})_4$, qui peut successivement former une série d'ions mono-silicate en solution aqueuse ($\text{SiO}(\text{OH})_3^-$, $\text{SiO}_2(\text{OH})_2^{2-}$, $\text{SiO}_3(\text{OH})^{3-}$, SiO_4^{4-}).

Le cycle océanique du Si est fortement tributaire de la biologie, par l'intermédiaire d'organismes à squelette siliceux, fabriquant de la silice particulaire, dite biogénique. Cela concerne essentiellement les tests des diatomées.

1.3.4 Concentrations des nutriments en Méditerranée Occidentale

Globalement, la Méditerranée est une mer pauvre en nutriments. Ceci est étroitement lié à la circulation des eaux méditerranéennes et à la pauvreté des apports.

Au niveau du détroit de Gibraltar, seule connexion entre la Méditerranée et l'océan mondial, les eaux atlantiques entrent en surface avec des concentrations en nutriments très faibles (de 0,05 à 0,2 μM pour P, de 1 à 4 μM pour N et autour de 1,2 μM pour Si (Coste *et al.*, 1988). Au cours de leur trajet d'ouest en est, ces eaux ne vont cesser de s'appauvrir à cause de la

Généralités

consommation du peu de nutriments disponibles par les organismes marins (Crise et al., 1999; Crispi et al., 2001). Il est estimé qu'au détroit de Sicile, la MAW est épuisée en N et P (Crise et al., 1999).

Les eaux de la LIW vont évoluer en nutriments de façon symétrique à ce qui est observé dans la MAW : elles vont s'enrichir en nutriments le long de leur trajet d'est en ouest. Une grande partie de la LIW traverse finalement le détroit de Gibraltar, exportant des quantités non négligeables de nutriments vers l'Atlantique. La perte nette de nutriments pour la Méditerranée est estimée à 10% pour N et P, et 50% pour Si à Gibraltar (Coste *et al.*, 1988).

Les eaux de surface sont presque toujours épuisées en NO_3^- et PO_4^{3-} . En ce qui concerne $\text{Si}(\text{OH})_4$, même si les concentrations sont aussi très faibles, elles sont en revanche, et comme dans l'océan mondial, rarement en dessous de la limite de détection (Krom *et al.*, 2014). Les $\text{Si}(\text{OH})_4$ dans les eaux de surface sont de l'ordre de $1 \mu\text{M}$, ce qui s'explique généralement par une très faible présence des diatomées (et par conséquent une faible consommation de Si).

L'épaisseur de la couche appauvrie en nutriments n'est pas la même dans tout le bassin. Elle s'approfondit d'ouest en est avec des valeurs pouvant dépasser les 100 m dans le sous bassin Levantin (Pujo-Pay *et al.*, 2011).

Au-dessous des nutriclines, les concentrations en nutriments augmentent ; conséquence des processus de reminéralisation. Dans les eaux intermédiaires et dans le bassin ouest, les concentrations sont de l'ordre de 6 à $10 \mu\text{M}$ pour les NO_3^- , et de l'ordre de 0,18 à $0,45 \mu\text{M}$ pour les PO_4^{3-} (Ribera d'Alcalà et al., 2003). Les concentrations en nutriments sont maximales autour de 800 à 1000 m de profondeur (Ribera d'Alcalà et al., 2003) et une diminution d'ouest en est des $[\text{NO}_3^-]$ et des $[\text{PO}_4^{3-}]$ est également observée à ces profondeurs.

1.3.5 Production primaire en Méditerranée et dans le bassin Algérien

Les récents travaux de D'Ortenzio et Ribera d'Alcala (2009) ont mis en évidence différents régimes de production primaire en Méditerranée en se basant sur les archives de chlorophylle issue d'observations satellitaires. Cette bio-régionalisation montre que le bassin Algérien suit un régime « no-bloom » (Figure 6), qui est caractérisé par une efflorescence hivernale dès le mois de novembre, qui croît avec le mélange hivernal ; celui-ci enrichit la couche de surface en sels nutritifs et n'entraîne pas de limitation par la lumière.

Généralités

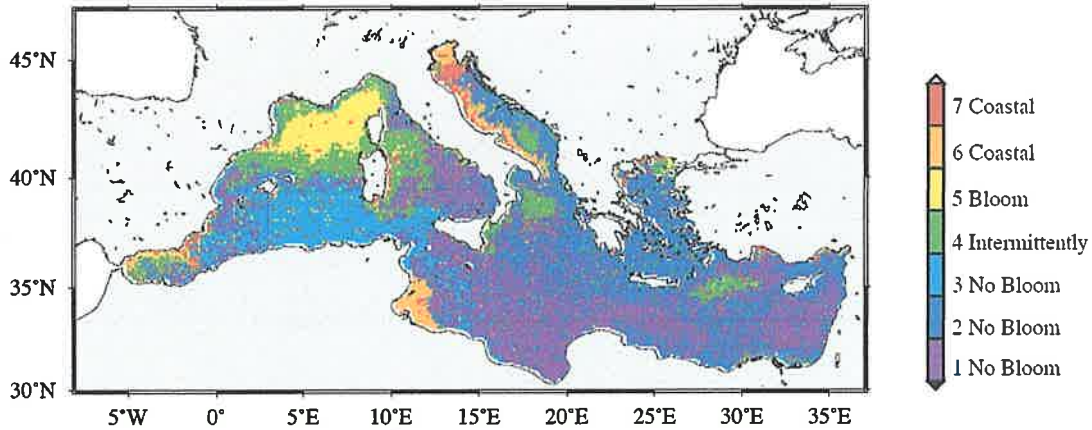


Figure 6: Schéma indiquant les différents régimes de production de la Méditerranée (D'Ortenzio et Ribera d'Alcala, 2009)

Les observations qui précèdent ne peuvent toutefois rendre compte de la productivité réelle des différents sous bassins méditerranéens. En effet, du fait de l'oligotrophie de la Méditerranée, le phytoplancton a tendance à se développer en sub-surface là où les nutriments sont disponibles (selon les régions, ce DCM « Deep Chlorophyll Maximum : Maximum profond de chlorophylle » se localise entre 50 et 120 m de profondeur).

Dans le bassin Algérien, le DCM a été notamment mis en évidence lors des campagnes MEDIPROD V (1986) et VI (1990). Raimbault et al. (1993) observent une langue d'eau très riche en chlorophylle longeant la côte algérienne à une distance d'environ 15 milles entre 1°O et 4°E. La biomasse chlorophyllienne, intégrée sur 100 mètres de profondeur, a pu atteindre 80 mg.m^{-3} , et les concentrations de chlorophylle ont pu atteindre la valeur de 6 mg.m^{-3} . Cette richesse en chlorophylle est comparable à celle des zones d'upwelling. Elle dépend en très grande part de l'existence de structures frontales générées par les tourbillons cycloniques et anticycloniques du bassin Algérien (Raimbault et al., 1993).

Matériel et Méthodes

2 Matériel et méthodes

Dans cette partie, est donné, un bref aperçu sur les données utilisées afin de réaliser ce travail ainsi que sur les méthodes de calcul des différents paramètres d'estimation de la production primaire à partir des concentrations d'oxygène de surface.

2.1 Matériel

Les données utilisées dans notre étude proviennent de la base de données Medar/Medatlas (2002). Il s'agit d'une compilation et d'une standardisation de données brutes collectées en Méditerranée par des groupes scientifiques des différents pays riverains de la Méditerranée et ce dans le cadre du programme : « Global Ocean Data Archaeology and Rescue (GODAR) ».

Chaque pays avait pour tâche de réaliser les opérations suivantes :

- Effectuer un inventaire de toutes les campagnes océanographiques nationales. Au besoin, compléter par des campagnes dans le cadre du projet.
- Numériser des données provenant de sources papier, qui n'avaient pas été numérisées plus tôt.
- Convertir toutes les données en format MEDATLAS en descriptif automatique (ASCII).
- Effectuer un contrôle de qualité préliminaire des données et des métadonnées selon les recommandations des experts du projet.
- Envoyer toutes les données nationales aux centres océanographiques régionaux.

Les tâches des centres régionaux étaient les suivantes :

- Contrôle de qualité final.
- Assembler les données dans une archive internationale.
- Elimination des données en double des archives internationales de données.
- Effectuer une analyse statistique de toutes les données.
- Diffuser les archives internationales et les résultats de l'analyse statistique pour tous les partenaires et utilisateurs.

Boudjakdji (2008) a réalisé une climatologie de ces données sur l'ensemble du bassin occidental de la Méditerranée en les moyennant sur des grilles régulières de 2°x2° pour chaque mois allant de Janvier 1950 à Décembre 1999, et pour chaque niveau de profondeur standard entre 0 et 2500 m.

Matériel et Méthodes

En correspondance avec le thème du mémoire, nous avons sélectionné l'ensemble des données disponibles sur les grilles de 2°x2° couvrant le bassin algérien de la Méditerranée et nous avons extrait deux séries de fichiers :

- Pour l'oxygène dissous, nous avons extrait l'ensemble des données disponibles à la surface seulement ainsi que les températures et salinités correspondantes et ce, pour chacune des grilles de 2°x2°.
- Pour la chlorophylle, nous avons extrait l'ensemble des données disponibles (y compris les paramètres hydrologiques et les nutriments, voir tableau 1) sur les profondeurs standards allant de 0 à 200 m de profondeur (Profondeurs standards : 0m, 5m, 10m, 20m, 30m, 50m, 75m, 100m, 125m, 150m, 175m, 200m).

Nous avons subdivisé le bassin algérien en 3 zones distinctes pour tenir compte des observations antérieures concernant la physique du système ou la biogéochimie.

Tableau 1 : Paramètres extraits de la base de données Medar/Medatlas (2002) avec leurs unités

CODE	NOM	Unité
TEMP	Température	Degré Celsius
PSAL	Salinité pratique	PSU
DOX1	Oxygène dissou	ml/l
NTRA	Concentration des nitrates (NO_3^-)	$\mu\text{mol/l}$
NTRI	Concentration des nitrites (NO_2^-)	$\mu\text{mol/l}$
NTRZ	Nitrate + Nitrite	$\mu\text{mol/l}$
PHOS	Concentration des phosphates (PO_4^{3-})	$\mu\text{mol/l}$
SLCA	Concentration des silicates (SiO_4^-)	$\mu\text{mol/l}$
CPHL	Chlorophylle-a totale	$\mu\text{g/l}$

Nous avons utilisé l'ensemble de ces données climatologiques pour caractériser les cycles annuels de production d'oxygène dans chacune de ces trois zones du bassin Algérien.

De plus, nous avons analysé les variations saisonnières et interannuelles des profils de chlorophylle en vue de caractériser le régime de production primaire dans le bassin Algérien pour les trois régions susmentionnées.

Matériel et Méthodes

2.2 Méthodes

2.2.1 Calcul de la production primaire à partir de la chlorophylle

La chlorophylle-a est l'indice de biomasse du phytoplancton le plus utilisé en océanographie. Le calcul de la production primaire (PP) s'est fait par l'application du modèle simple d'Eppley et al., (1979) In Falkowski et Wilson (1992).

$$PP (mg C m^{-2} j^{-1}) = 1,000 [Chl (mg m^{-3})]^{1/2} \dots (1)$$

Avec : [Chl] : La concentration moyenne pondérée de la chlorophylle calculée entre 0 et 200m

PP : production primaire en $mg C.m^{-2}.j^{-1}$

2.2.2 Calcul des flux d'oxygène

L'estimation du flux d'oxygène nous permet de déterminer le caractère source/puits pour l'atmosphère de l'O₂ dans le bassin Algérien.

Le calcul se fait par l'équation suivante :

$$F O_2 = 0,24 \times K (O_2 - O_2^*) \dots (2)$$

F O₂ : Flux d'oxygène en $mmol.m^{-2}.j^{-1}$

0,24 est le facteur de conversion de la vitesse d'échange K, du (cm.h⁻¹) au (m.j⁻¹)

K : est la vitesse d'échange (cm. h⁻¹). Il est calculé selon la formule de (Wanninkhof, 1992) :

$$K = 0,31 \times v^2 (Sct / 589)^{-1/2} \dots (3)$$

v : est la vitesse du vent dont la valeur est issue des climatologies mensuelles moyennes de l'ONM pour chaque année et chaque mois de (1950-1999).

Sct : est le nombre de Schmidt pour l'oxygène, il est calculé en fonction de la température T (donnée en °C) selon l'équation suivante :

$$Sct = 1857,3 - 108,69 \times T + 2,7714 \times T^2 - 0,26667 \times T^3 \dots (4)$$

O₂ et O₂* : sont respectivement la concentration de l'oxygène et sa solubilité en $\mu mol.l^{-1}$

O₂* représente la solubilité de l'oxygène calculées selon le polynôme de Weiss (1970) suivant :

$$\ln C^* = A_1 + A_2 (100/T) + A_3 \ln (T/100) + A_4 (T/100) + S [B_1 + B_2 (T/100) + B_3 (T/100)^2] \dots (5)$$

Avec :

C* : solubilité de l'oxygène en $\mu mol.l^{-1}$

Matériel et Méthodes

T : température de l'eau de mer en Kelvin :

$$T (K) = t (° C) + 273,15 \dots (6)$$

S : salinité de l'eau de mer.

Les coefficients sont donnés en tableau 2 :

Tableau 2 : Valeurs des coefficients de la formule de solubilité de l'oxygène

Coefficient	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	B ₁	B ₂	B ₃
Valeur	-173,9894	255,5907	146,4813	-22,2040	-0,037362	0,016504	-0,0020564

2.2.3 Détermination du Seasonal Net Outgassing (SNO)

Nous avons calculé les flux d'oxygène afin de déterminer le dégazage saisonnier net dû à la production planctonique, il est noté SNO (Seasonal Net Outgassing). Cela n'est possible que si le flux mensuel pour une région donnée est supérieur au flux annuel moyen de la même région. Nous nous sommes basés sur la méthode proposée par Najjar and Keeling (2000).

Le calcul est effectué selon la méthode suivante :

$$SNO (mmol.m^{-1}) = \Sigma F_x Nbj_x - F O_2 \text{ annuel moy} \dots (7)$$

Où :

$$F O_2 \text{ annuel moy} (mmol.m^{-2}.j^{-1}) = \Sigma \frac{FO_2 \text{ mensuel}}{12} \dots (8)$$

$$F_x Nbj_x = F_1 \times Nbj_1 + F_2 \times Nbj_2 + \dots + F_x \times Nbj_x \text{ pour } F_x > 0 \dots (9)$$

F_x : Flux du mois x

Nbj_x: nombre de jour du mois x

A partir du SNO, nous avons pu estimer la production nouvelle (NP) associée à l'O₂ selon la formule suivante :

$$NP_{O_2} (gC.m^{-2}.Période^{-1}) = SNO \times (106/150) \dots (10)$$

2.2.3 Indice de fertilité des mers (f-ratio)

L'estimation du f-ratio nous permet d'évaluer le taux de la production exportée et d'apprécier la fertilité d'une région donnée. Il correspond au rapport entre la nouvelle production (NP) et la production primaire totale (PPT) (Eppley and Peterson, 1979).

Matériel et Méthodes

$$f\text{-ratio} = NP/PPt \dots (11)$$

- si $f\text{-ratio} > 0,5$: le milieu est eutrophe.
- si $f\text{-ratio} < 0,2$: le milieu est oligotrophe.
- si $0,2 < f\text{-ratio} < 0,5$: le milieu est mésotrophe.

Résultats
et
discussions

3 Résultats et discussions

Cette partie englobe les principaux résultats de ce mémoire et leurs discussions.

3.1 Distribution verticale des paramètres physiques (S et T)

3.1.1 Distribution verticale de la température

Les cycles mensuels de la température sont présentés en figure (7, 8 et 9) pour les trois régions étudiées, selon la disponibilité des données. Globalement les cycles mensuels de la température pour les différentes années et à différentes profondeurs (Max 150 m), ont le même aspect pour les trois régions (est, centre, ouest) du bassin Algérien. Ils suivent la variation saisonnière de la température de l'air avec des minima en hiver (janvier, février) entre 11°C et 15°C et des maxima en été (Août) jusqu'à 28°C (figure 7, année 1992). La température diminue en fonction de la profondeur et devient plus constante à partir des 80 m en général.

En allant de l'ouest vers l'est on peut constater l'élévation de la température en surface.

3.1.2 Distribution verticale de la salinité

Les cycles mensuels de la salinité sont présentés en figures (10, 11 et 12) pour les trois régions étudiées, selon la disponibilité des données. La salinité de surface change d'une année à une autre pour le même mois mais avec des degrés peu prononcés, probablement en raison des conditions climatiques (précipitations). En général, la salinité diminue de l'hiver à l'été et augmentent légèrement en allant de l'ouest à l'est et en s'enfonçant dans la colonne d'eau, ce qui est tout à fait classique pour la salinité. L'élévation modérée en allant vers l'est peut être attribuée à l'entrée des AW peu salées à l'ouest. Cette augmentation est également notée sur presque toute la couche de surface (environ 125m), profondeur d'existence du courant Algérien dont les eaux sont connues pour se réchauffer et se charger en sels à cause du climat chaud et sec de la Méditerranée qui favorise l'évaporation (Bèthoux et al., 1998).

D'une manière générale, on peut dire que l'augmentation de la température et de la salinité en surface de l'ouest à l'Est reflète le changement des caractéristiques de l'AW dus au réchauffement du climat et à l'évaporation qui font que la température de l'eau augmente, ainsi que sa charge en sels (Béthouset al., 1998). Les profils de température et de salinité pour chaque mois sont en relation inverse de la surface à la profondeur, avec un faible gradient vertical des deux paramètres en période hivernale en raison du mélange hivernal vertical qui rend la thermocline moins marquée sur nos résultats en cette période et plus marquée en été à environ 10 m.

Résultats et discussions

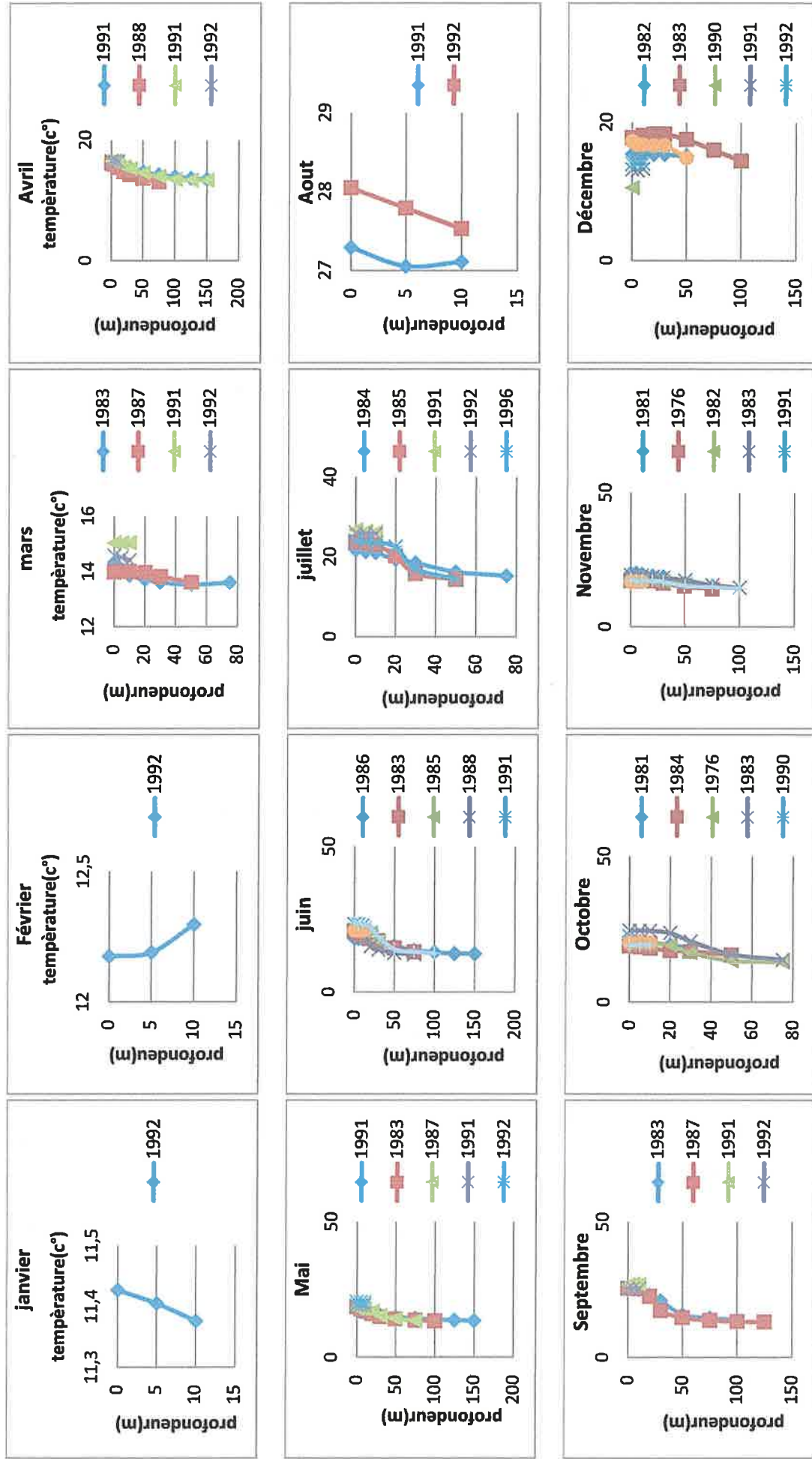


Figure 7: Profils de Température selon les mois et les années dans la région OUEST

Résultats et discussions

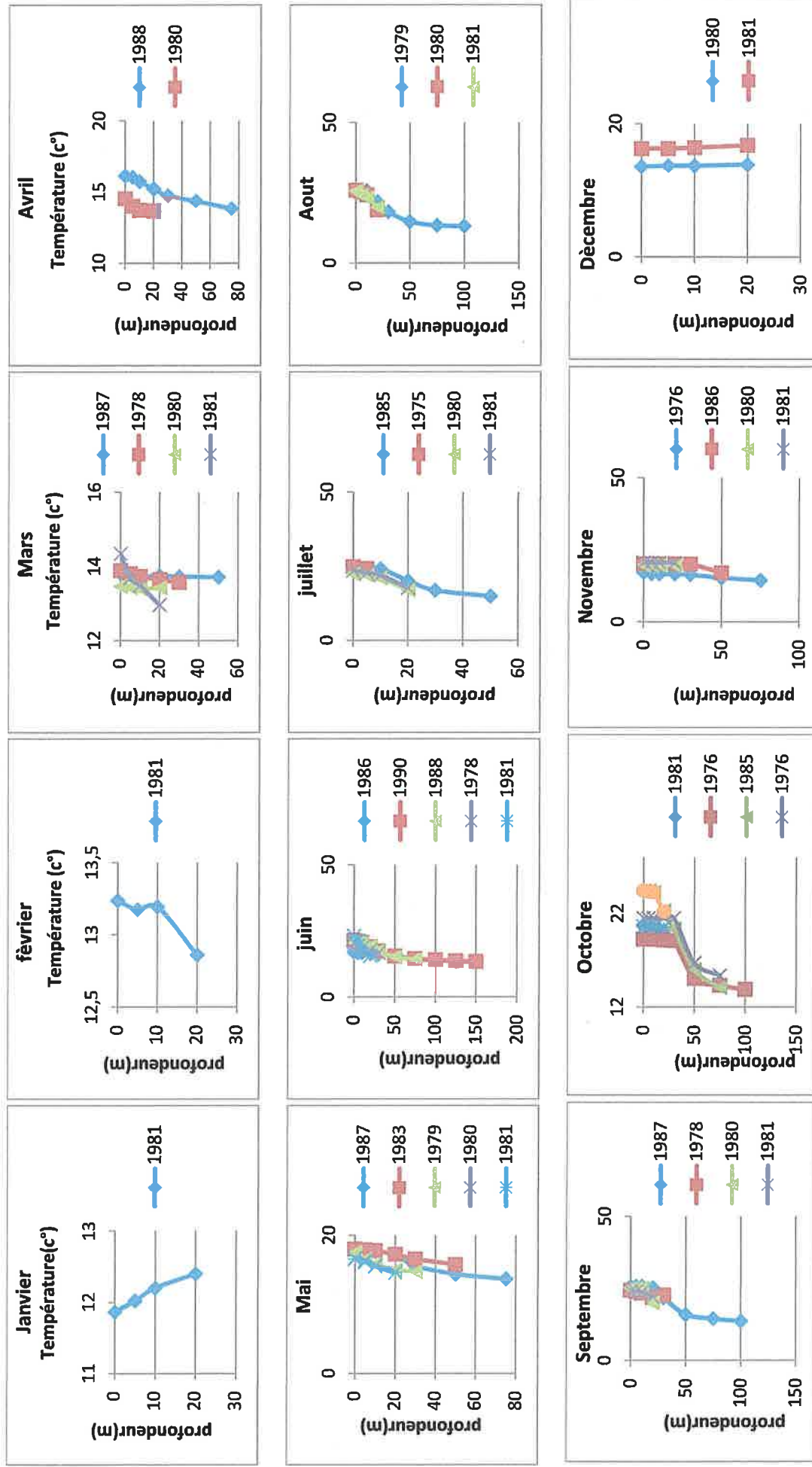


Figure 8: Profils de Température selon les mois et les années dans la région CENTRE

Résultats et discussions

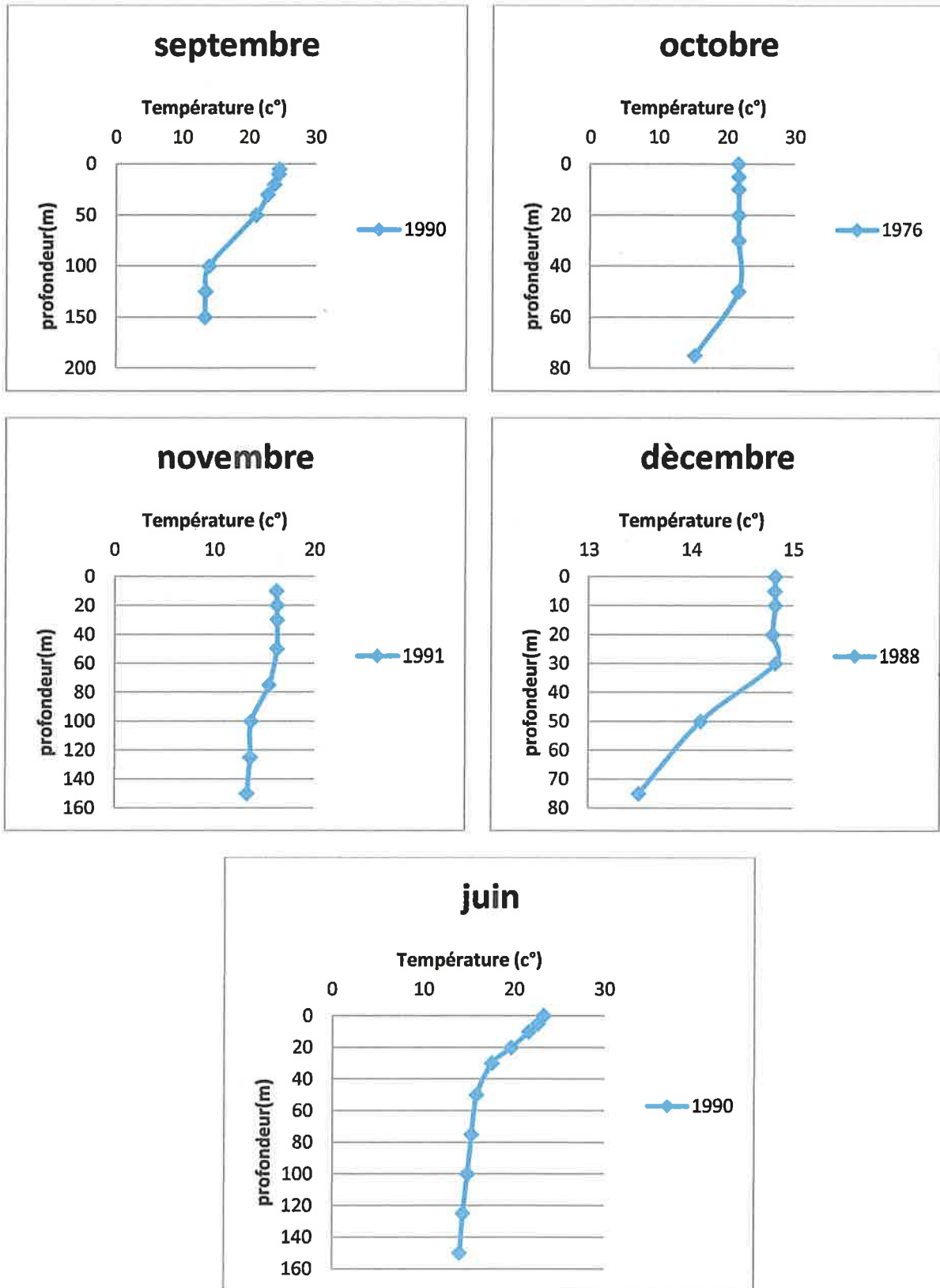


Figure 9 : Profils de Température selon les mois et les années dans la région EST

Résultats et discussions

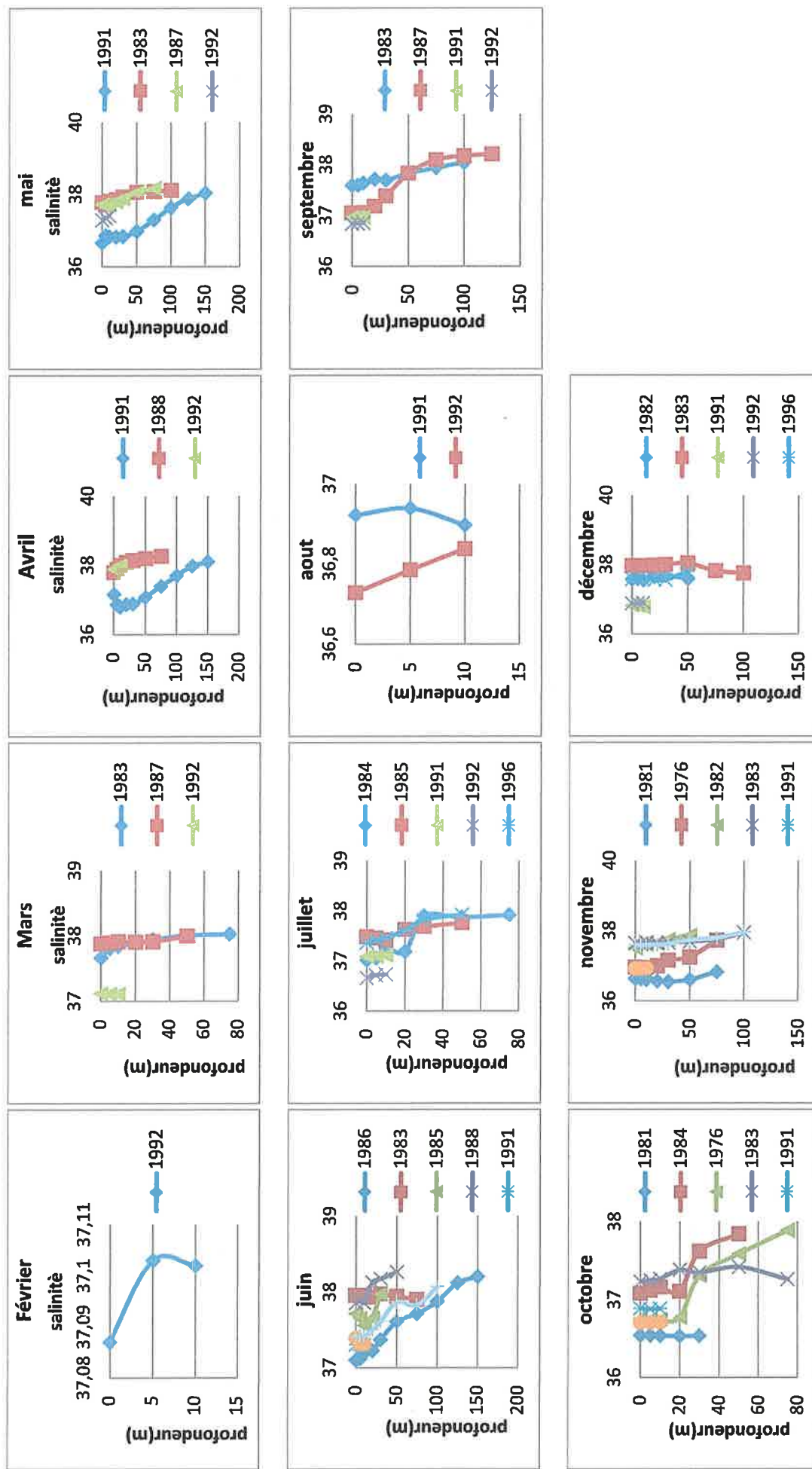


Figure 10 : Profils de salinité selon les mois et les années dans la région OUEST

Résultats et discussions

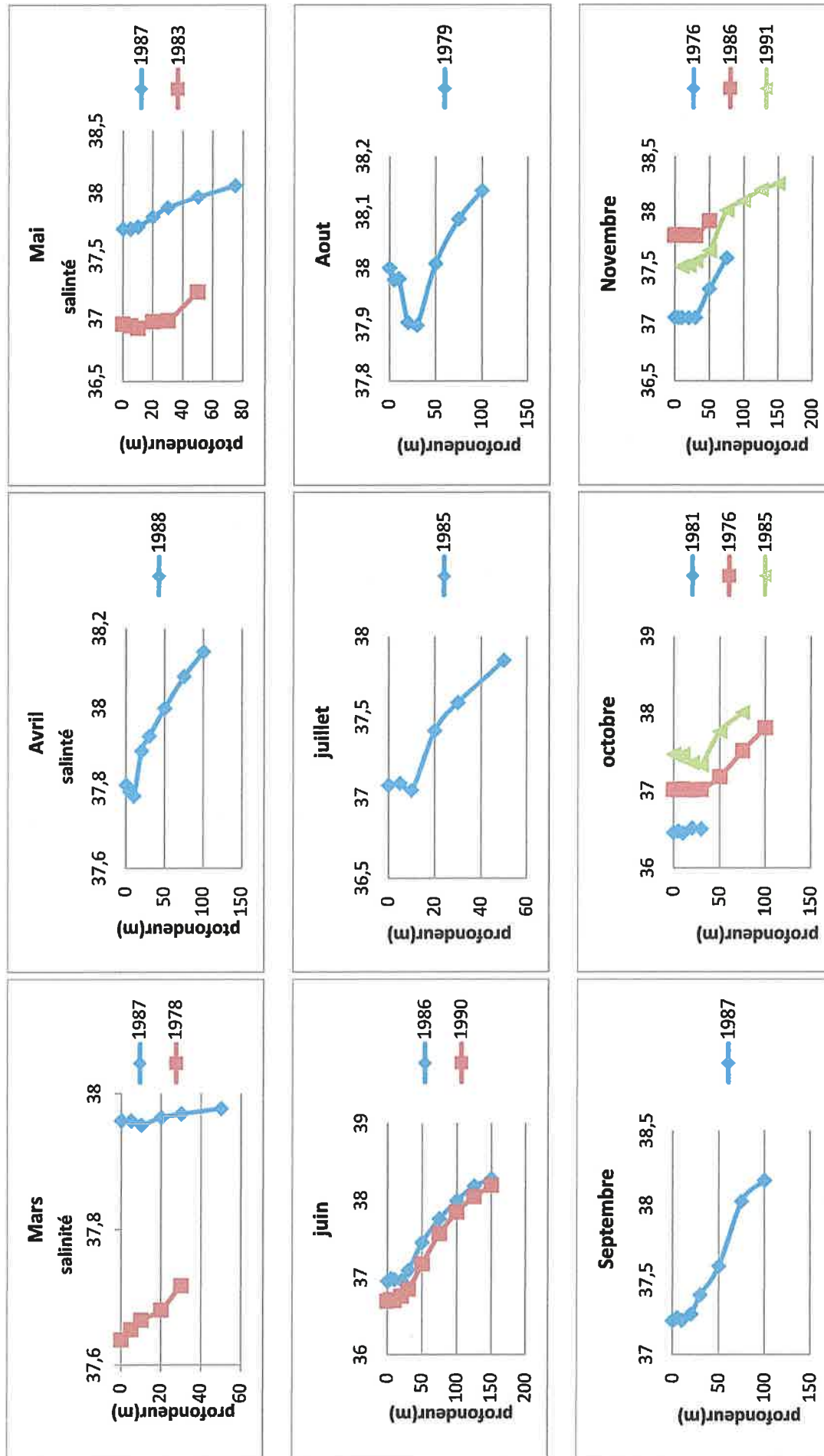


Figure 11: Profils de salinité selon les mois et les années dans la région CENTRE

Résultats et discussions

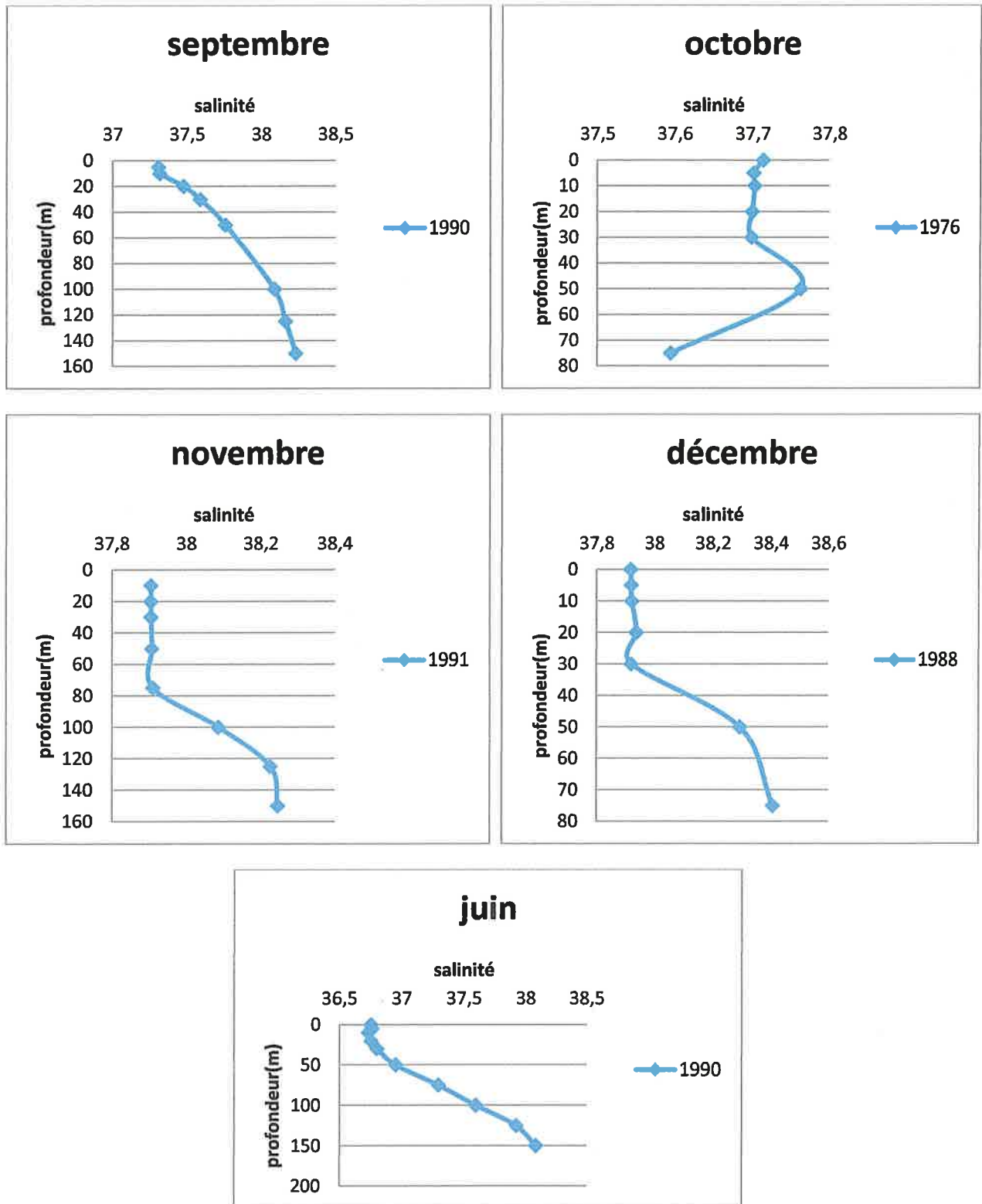


Figure 12: Profils de salinité selon les mois et les années dans la région EST

Résultats et discussions

3.2 Distribution des nitrates dans le bassin Algérien

Nous avons opté pour l'étude des nitrates puisque ces derniers sont les nutriments majoritairement présents en Méditerranée. De plus, les profils de distribution des sels nutritifs sont assez similaires. Les cycles mensuels des nitrates pour les trois régions sont présentés en figures (13, 14 et 15) selon la disponibilité des données. On observe une absence de nitrate dans la couche de surface, succédée par une augmentation rapide en sub-surface (la nitracline) (Pujo-Pay et al., 2011). En surface, les concentrations maximales des nitrates sont rencontrées en général en Novembre-Mars. Ces maxima hivernaux sont dus au mélange vertical qui favorise la remontée d'eau de sub-surface riche en sels nutritifs. Les concentrations diminuent progressivement au printemps car les nitrates sont consommés par le phytoplancton (photosynthèse), pour atteindre un minimum estival en Juin-Août, à la période de stratification maximale. On rencontre des pics de concentration maximale en pleine période estivale dans la région ouest (juin-juillet) pour l'année 1996 qui reflète la présence d'un bloom phytoplanctonique à cette période. La nitracline en période estivale est à environ 20 m. En profondeur, la concentration des nitrates est plus importante qu'en surface et atteint les 6 $\mu\text{mol/l}$. Ceci est lié à la reminéralisation de la matière organique, l'absence de lumière empêche le développement du phytoplancton et les nitrates produits par reminéralisation s'accumulent.

3.3 Distribution de la chlorophylle dans le bassin Algérien

La distribution de la chlorophylle dans le bassin Algérien va être abordée selon deux approches : la distribution par mois et par profondeur.

3.3.1 Par mois

Les profils de chlorophylle selon les mois et les années sont représentés pour chacune des trois régions sur les figures (16, 17 et 18). Nous remarquons des résultats hétérogènes entre les trois zones. A l'est, des concentrations minimales, qui varient entre 0,1 et 0,6 $\mu\text{mol/l}$, sont observées, néanmoins, le manque de données flagrant ne nous permet pas de confirmer ces résultats. En ce qui concerne la zone du centre, des concentrations fortes en chlorophylle sont notées durant toute l'année en moyenne (5 $\mu\text{mol/l}$), avec un maximum de l'ordre de 10 $\mu\text{mol/l}$ au mois de septembre, et une concentration minimale à différents mois, particulièrement dans les années 80 de (1981-1988) avec environ 0,1 $\mu\text{mol/l}$. Dans la partie ouest, des concentrations de chlorophylle très différentes de celles du centre sont observées avec des valeurs en moyenne entre 0,2 et 0,8 $\mu\text{mol/l}$ et des maxima qui peuvent aller jusqu'à 5 $\mu\text{mol/l}$ au moins de Novembre-décembre et des minima en période chaude (mai-juillet). Cette tendance, qui est commune avec

Résultats et discussions

les régions Centre et Est, peut être expliquée par la disponibilité des sels nutritifs en période froide avec un éclairage suffisant qui aurait permis la formation d'un bloom phytoplanctonique hivernal. Les minima de la période chaude pourraient être expliqués par la forte intensité de l'ensoleillement qui agit comme condition défavorable au développement du phytoplancton. Ajouté à cela, nous avons également l'influence du facteur de la stratification et du peu de disponibilité des nutriments en surface. L'augmentation de la biomasse du phytoplancton est également fortement couplée au forçage physique, ce qui induit localement des conditions favorables pour la croissance du phytoplancton (D'Ortenzio et Ribera d'Alcalá, 2009). Afin de mieux comprendre cela, nous allons, dans ce qui suit, analyser la distribution de la chlorophylle en fonction de la profondeur.

3.3.2 Par profondeur

Les profils de la distribution de la chlorophylle à différentes profondeurs en fonction du temps dans les trois régions du bassin Algérien sont présentés sur la figure 19. Sur les quatre profondeurs retenues, la chlorophylle se répartit d'une manière hétérogène entre les 3 zones : des maxima à 50 m de profondeur à l'Est, 0 et 30 m au centre, 0 m à l'ouest. Cette tendance peut être expliquée par un facteur physique « le vent » qui est considéré comme le facteur le plus pertinent pour induire l'accumulation de phytoplancton (D'Ortenzio et Ribera d'Alcalá, 2009). Le phytoplancton a besoin de lumière et de nutriments pour se développer. La lumière se trouve en surface et décroît en profondeur, tandis que les nutriments sont en concentration plus élevée en profondeur. Dans le cas où la colonne d'eau est stable en surface, il n'y a pas assez de nutriments pour que le phytoplancton se développe en profondeur, la lumière devient un facteur limitant. L'essentiel de la biomasse se trouve alors dans une couche intermédiaire optimale où il y a à la fois assez de lumière et de nutriments. Il se forme alors un maximum profond de chlorophylle d'où le pic de chlorophylle se trouve en dessous de la surface pour les régions de fort ensoleillement (Copin-Montégut, 1996 ; Lavigne et al., 2015). Ce maximum est observé vers 50 m dans le bassin Algérien. Dans le cas où la colonne d'eau est mélangée (par de forts coups de vent en période froide), tout ce qu'il y a dans la couche supérieure est alors mélangé et homogénéisé, le phytoplancton est mélangé dans toute la couche de mélange et la concentration en chlorophylle devient homogène au sein de cette couche. L'approfondissement de la couche de mélange permet l'approvisionnement de la surface en nutriments. Toutefois l'éclairage moyen reçu par le phytoplancton dans la couche de mélange n'est pas suffisant et le phytoplancton ne pourra utiliser les nutriments présents qu'au retour de conditions plus calmes (stratifiées), au printemps.

Résultats et discussions

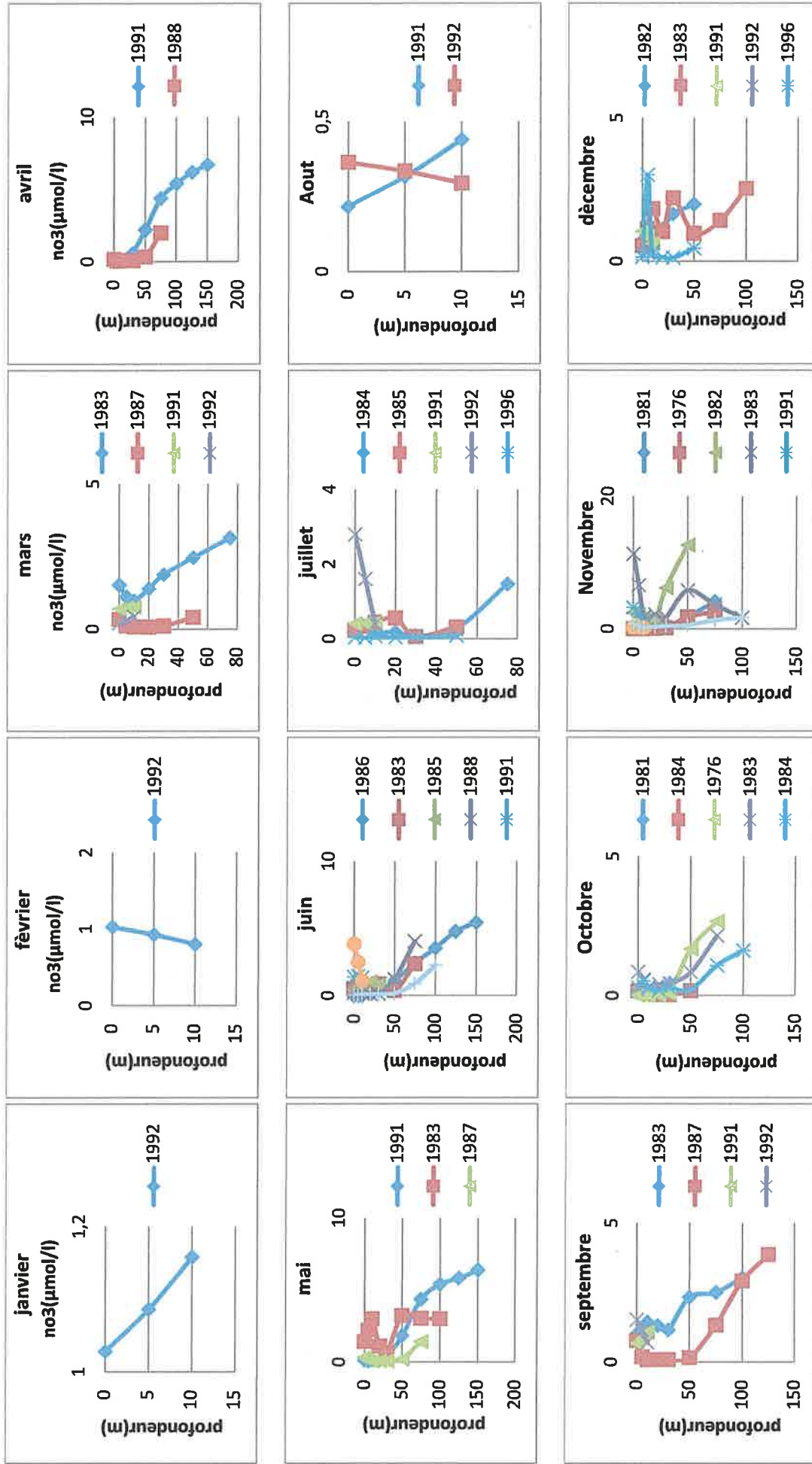


Figure 13: Profils de nitrates selon les mois et les années dans la région OUEST

Résultats et discussions

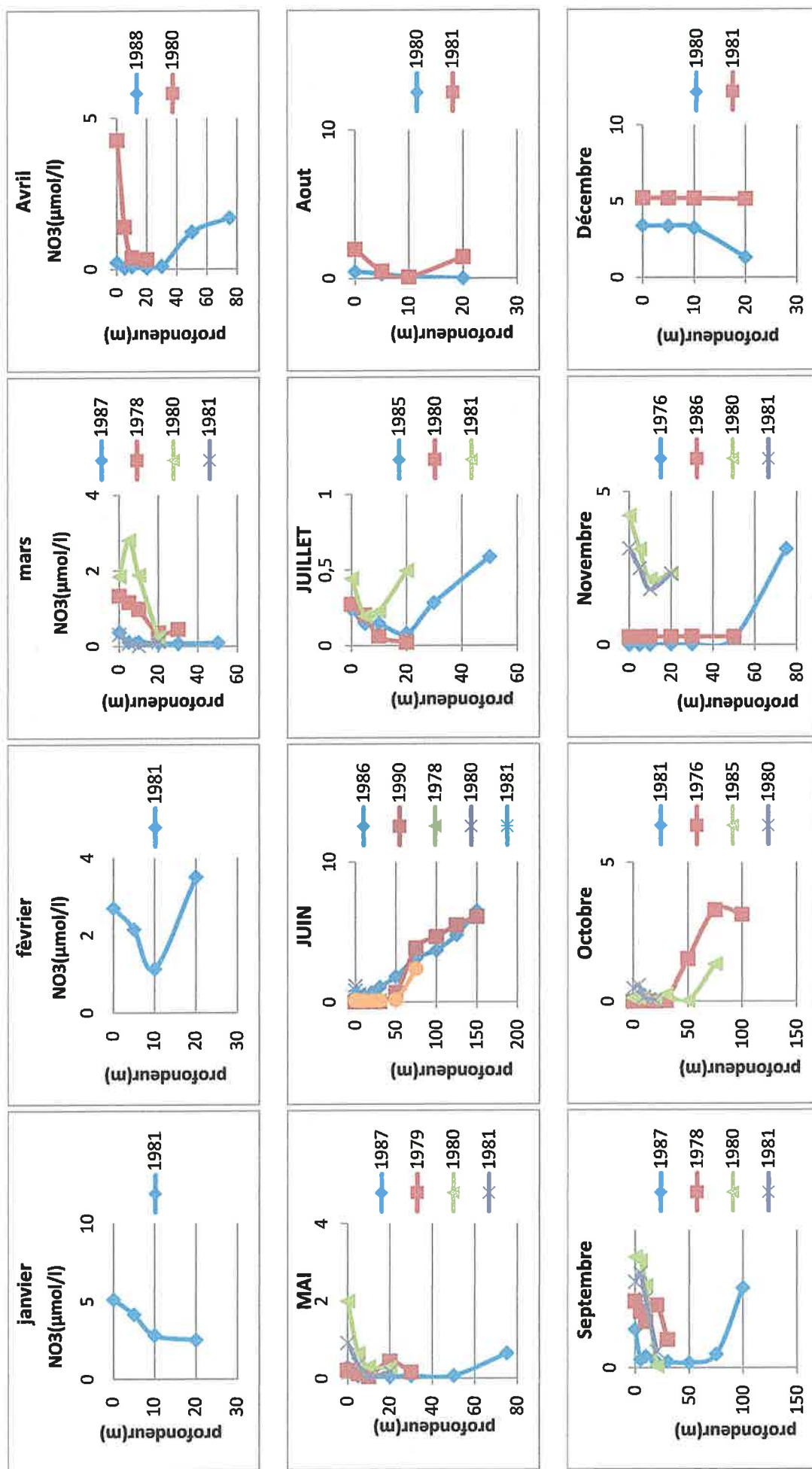


Figure 14: : Profils de nitrates selon les mois et les années dans la région CENTRE

Résultats et discussions

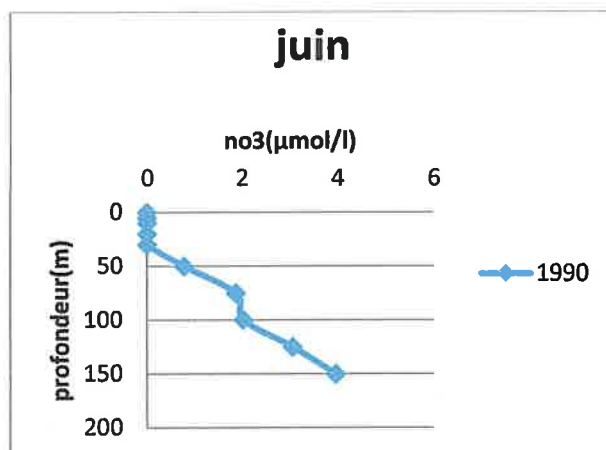


Figure 15: Profils de nitrates selon les mois et les années dans la région EST

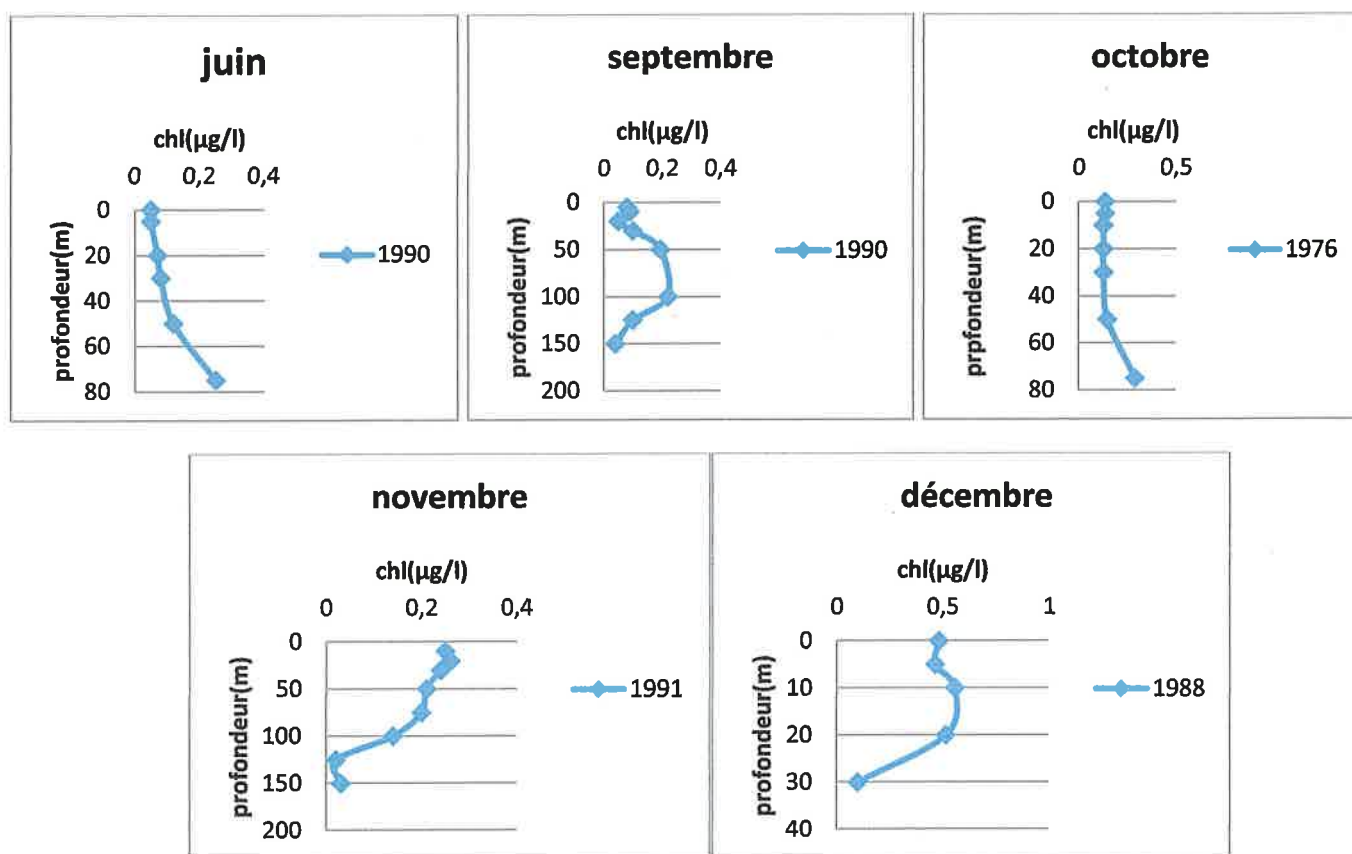


Figure 16: Profils de chlorophylle selon les mois et les années dans la région Est

Résultats et discussions

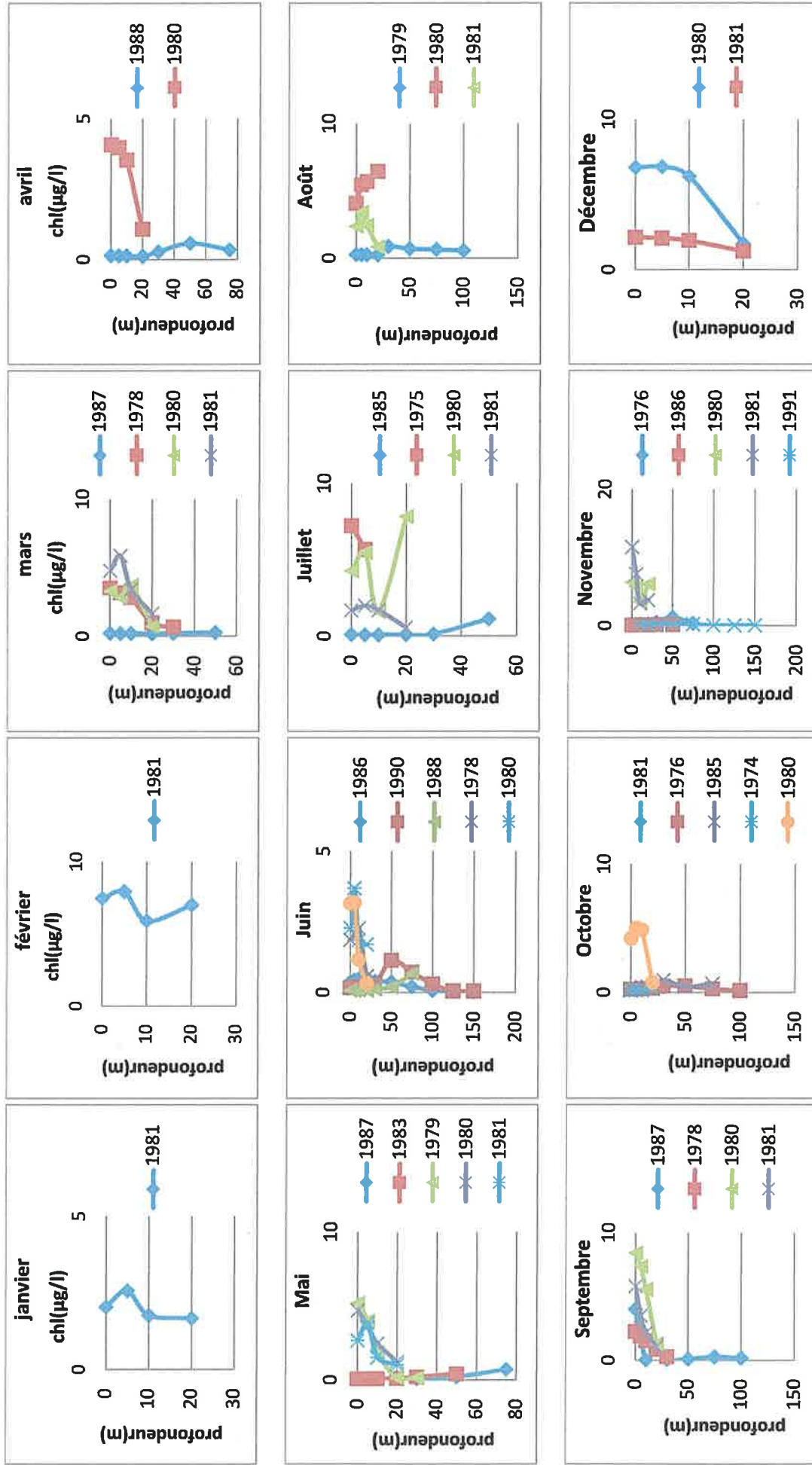


Figure 17 : Profils de chlorophylle selon les mois et les années dans la région centre

Résultats et discussions

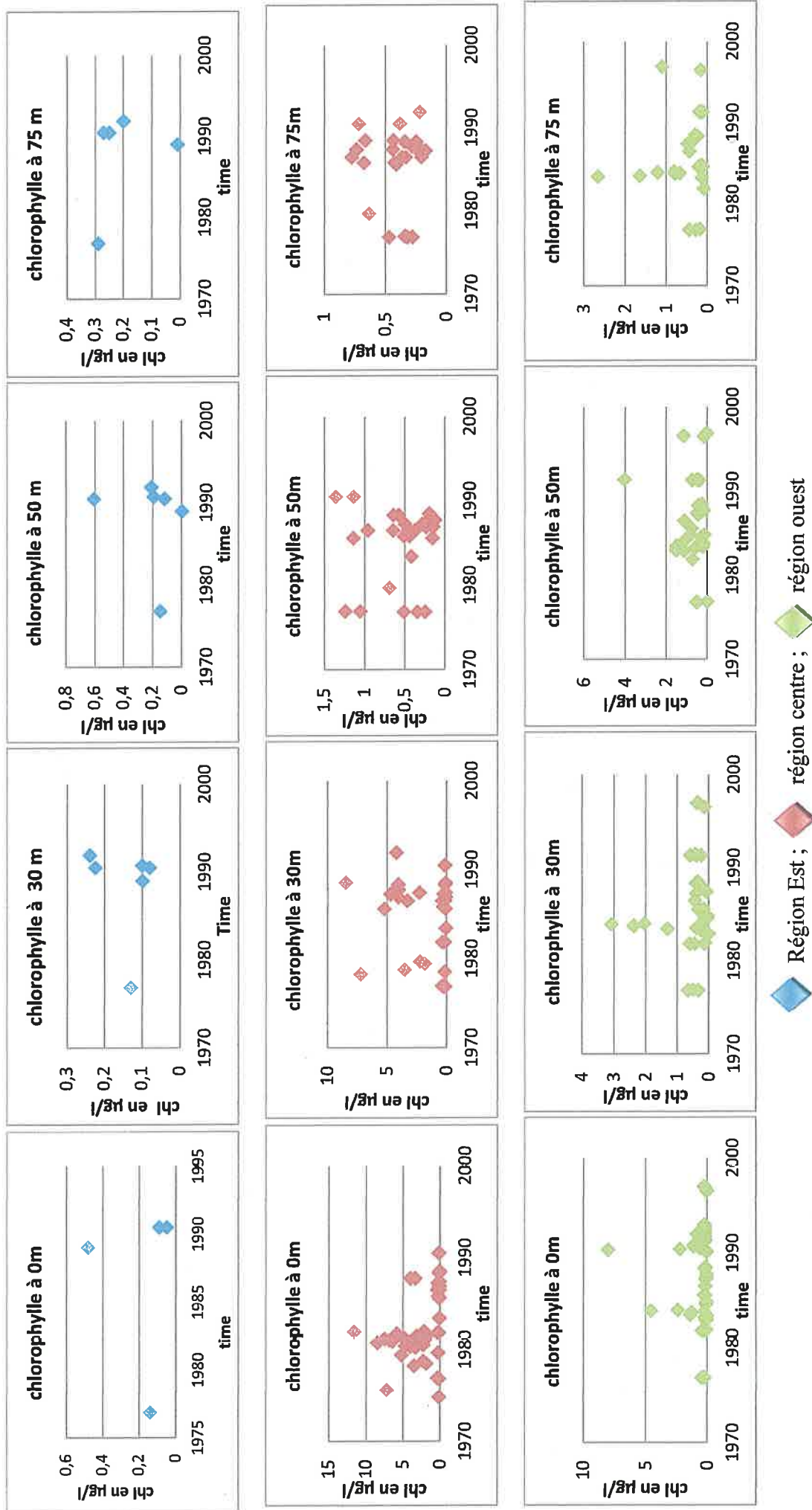


Figure 19: Distribution de la chlorophylle à différentes profondeurs en fonction du temps dans les 3 régions du bassin Algérien

Résultats et discussions

3.4 Flux d'oxygène

Les profils des flux d'oxygène climatologique pour les trois régions sont présentés sur la figure 20. La région de l'ouest présente un flux annuel moyen de $8,95 \text{ mol.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$ avec des valeurs différentes selon la période de l'année. Le flux mensuel est supérieur à la moyenne annuelle de janvier à avril ainsi qu'au mois d'août, avec des maxima qui peuvent aller jusqu'au $16,25 \text{ mol.m}^{-2}$ et $14,79 \text{ mol.m}^{-2}$ au mois de janvier et de février, respectivement.

La région du centre présente un flux annuel moyen beaucoup moins important que celui de la région ouest avec environ $2,25 \text{ mol.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$. Les flux mensuels sont supérieurs à la moyenne durant trois période différentes (février, aout et octobre), avec un maximum de $6,72 \text{ mol.m}^{-2}$ en octobre.

La région de l'Est présente un flux annuel moyen négatif de $-0,5 \text{ mol.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$. Les flux mensuels ne dépassent pas les $0,5 \text{ mol.m}^{-2}$ au mois d'Avril, Mai, Juillet et Aout.

Ces fluctuations des flux d'oxygène sont dominées en gros par l'oscillation été/hiver de la température. En hiver, les océans qui se refroidissent absorbent de l'oxygène, et ils en émettent en été lorsqu'ils se réchauffent. De plus, les maxima en hiver et en été reflètent l'action de la photosynthèse et du mélange hivernal intense qui contribue à l'apparition de sursaturation en oxygène dans le bassin, qui devient une source d'oxygène pour l'atmosphère à l'échelle annuel.

Dans les deux premières zones centre et l'ouest, la mer se comporte comme source d'oxygène avec un flux maximal sortant à l'ouest du bassin. Par contre, le flux annuel moyen négatif de l'est signifie que la zone est un puits d'oxygène.

Les flux mensuels supérieurs au flux annuel nous ont permis de calculer la production communautaire nette saisonnière associé à l'oxygène au centre et à l'ouest du bassin Algérien (tableau 3). On remarque que la production communautaire nette saisonnière totale dans la partie ouest est supérieure à celle du centre.

Tableau 3: Production communautaire nette saisonnière basée sur l'oxygène dissous dans le bassin Algérien

<u>Région</u>	<u>Ouest</u>	<u>centre</u>	<u>Est</u>
SNO	476,8311 ($\text{mol.m}^{-2}.\text{période}^{-1}$)	413,465 ($\text{mol.m}^{-2}.\text{période}^{-1}$)	-----
NPO	336,960658 (molC.m^{-2})	292,18193 (molC.m^{-2})	-----

Résultats et discussions

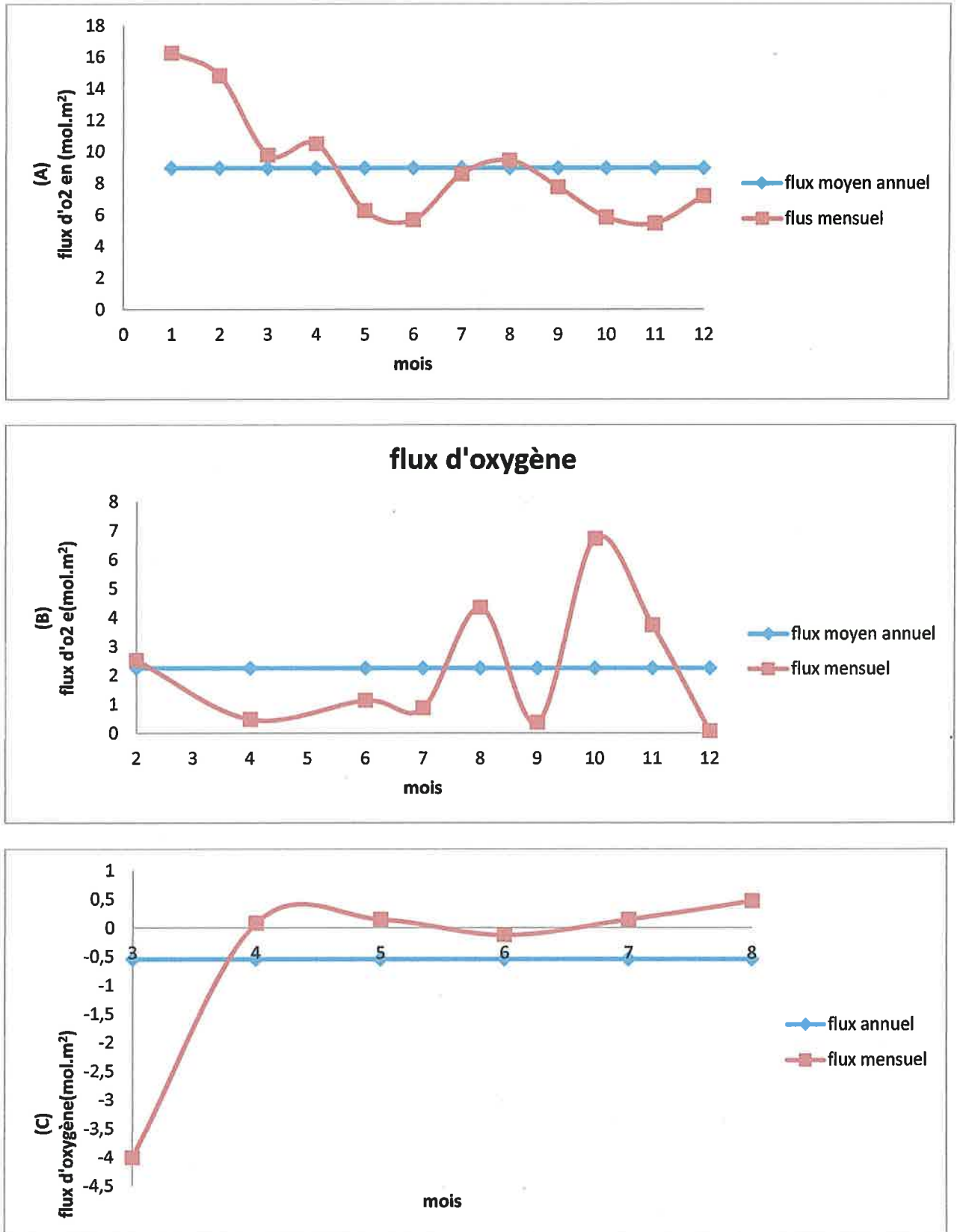


Figure 20 : Flux d'oxygène climatologique ; (A) région ouest ; (B) région centre ; (C) région Est

Résultats et discussions

3.5 Production primaire

Les résultats du calcul de la production primaire à partir des données de chlorophylle sont présentés sur le tableau 4. Ces valeurs nous indiquent une production primaire plus importante dans la partie centre et Occidentale du bassin Algérien qui dépasse $200 \text{ molC.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$ et qui tendent à diminuer d'Ouest en Est. Cela peut être expliqué par le fait que les eaux atlantiques entrantes sont relativement plus riches en sels nutritifs que les eaux méditerranéennes de surface (Huertas et al., 2009) qui ont tendance à devenir de plus en plus oligotrophe le long de leur parcours vers l'est (Pujo-pay et al., 2011). La circulation à méso-échelle représentée par les structures tourbillonnaires du courant algérien induisent également une remontée de sels nutritifs par des upwellings qui sont plus marqués dans la partie occidentale (Millot, 1999).

Tableau 4: Production primaire annuelle basée sur les données de chlorophylle du bassin Algérien

<u>Ouest</u>	<u>Centre</u>	<u>Est</u>
284,438077 ($\text{molC.m}^{-2}.\text{ans}^{-1}$)	275,698882 ($\text{molC.m}^{-2}.\text{ans}^{-1}$)	159,16442 ($\text{molC.m}^{-2}.\text{ans}^{-1}$)

3.6 Production nouvelle et indice de fertilité

À partir des résultats de la nouvelle production associée à l'oxygène, on a calculé *f*-ratio pour chaque région qui représente l'indice de fertilité d'une zone par rapport à l'autre (tableau 5). On constate que les deux zones Centre et Ouest sont de production **mésotrophe** et que la partie centrale est légèrement plus productive que l'ouest contrairement au sens de la production primaire qui tend à diminuer d'ouest en Est.

Tableau 5 : *f*-ratio, indice de fertilité dans les trois zones

<u>Ouest</u>	<u>Centre</u>	<u>Est</u>
F-ratio= 0,46845546	F-ratio= 0,48985006	-

Résultats et discussions

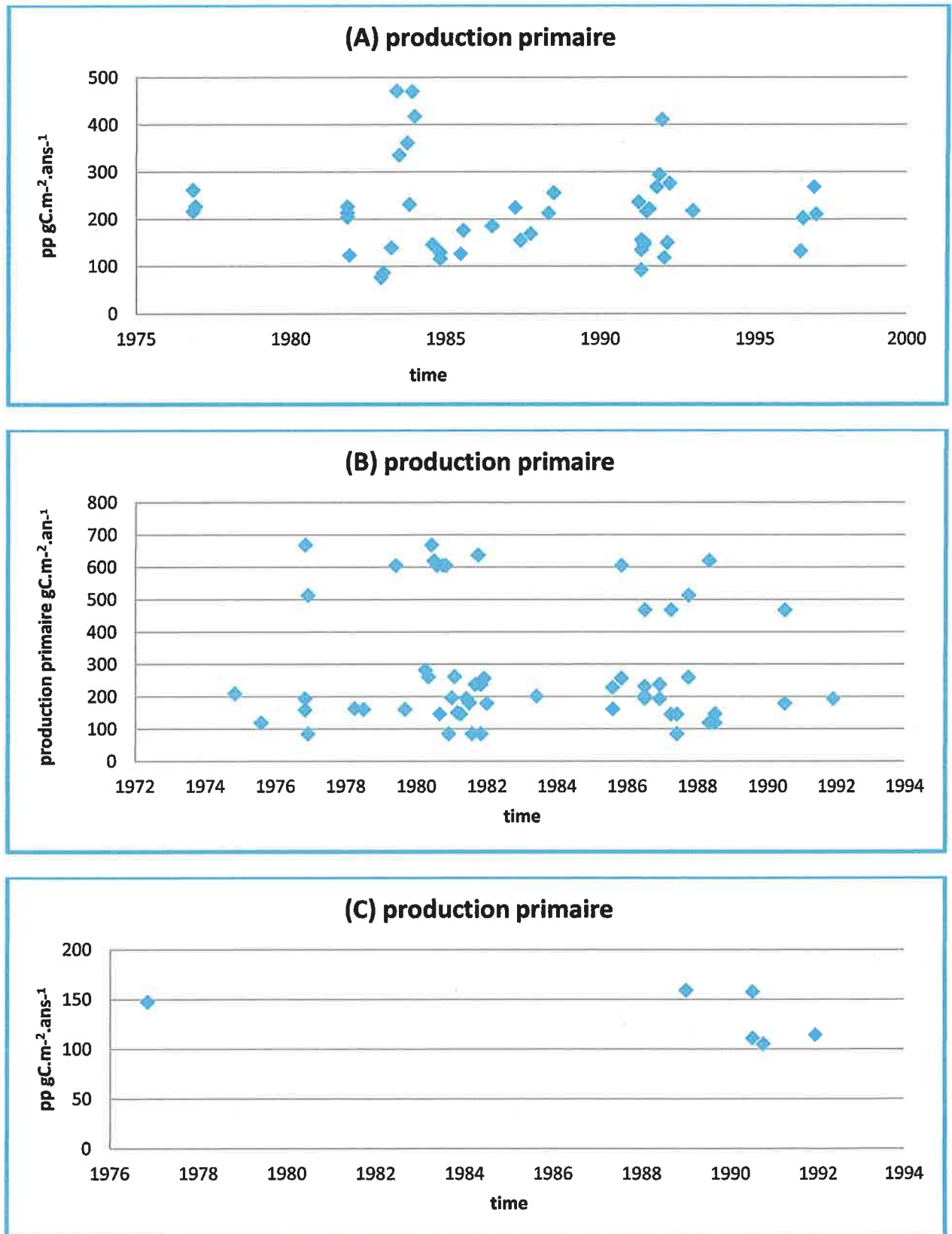


Figure 21: Production primaire intégrée sur la profondeur en fonction du temps ; (A) Ouest ; (B) Centre ; (C) Est

Conclusion

Conclusion

Conclusion

La base de données Medar/Medatlas 2002 nous a permis de reconstituer des climatologies mensuelles et annuelles de différents paramètres physiques et chimiques qui nous ont servi à étudier l'évolution de ces paramètres sur une période de 50 années et d'évaluer la productivité primaire par le suivi des concentrations d'oxygène dissous. L'analyse des résultats nous a mené aux conclusions suivantes :

- L'augmentation de la température et de la salinité de surface au cours des années d'ouest en est, reflète le changement des caractéristiques de l'eau atlantique entrante qui longe les côtes algériennes. Ceci est probablement dû au réchauffement climatique et à l'évaporation qui font que la température augmente et que l'eau se charge en sels.
- La distribution verticale de ces derniers paramètres (T et S) a mis en évidence différentes masses d'eau qui sont ; les eaux de surfaces sujettes à de fortes variations saisonnières, les eaux intermédiaires caractérisées par la présence des LIW avec une salinité élevée. Le fond est, quant à lui, occupé par des eaux profondes relativement moins salées et plus froides qui n'ont pas été abordées dans ce travail.
- Le cycle saisonnier des nitrates sur 150 m de profondeur montre un seul cycle de production avec des maxima de concentrations en surface et sub-surface en hiver.
- Les cycles annuels de chlorophylle dans le bassin Algérien montrent des maximums en hiver et en automne avec des fluctuations de concentrations entre les trois zones.
- Les flux d'oxygène annuels montrent que la partie occidentale possède le plus grand flux, ce qui pourrait être dû à la circulation à méso-échelle des tourbillons cycloniques et anticyclonique à l'ouest. Le flux maximal enregistré est de l'ordre de $16,25 \text{ mol.m}^{-2}$.
- La production primaire dans le bassin Algérien obtenue à partir des données de chlorophylle dépasse les $200 \text{ mol.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$ et tend à diminuer d'ouest en est indiquant par-là la mésotrophie du bassin par rapport au reste de la Méditerranée occidentale (confirmée par les résultats de l'indice de fertilité). Contrairement à cela, la productivité semble plutôt tendre à augmenter dans le sens inverse.

Il est intéressant de noter que les résultats obtenus peuvent être utilisés dans le forçage et/ou la validation des modèles de la biogéochimie dans le bassin Algérien. Il est nécessaire de signaler également le manque de données à l'est du bassin Algérien. Dans ce contexte, nous suggérons d'intégrer les données des campagnes BOUM (2008) et SOMBA (2014) afin de palier à cette lacune. Néanmoins, ces données restent assez récentes et ne permettront pas la reconstitution d'une série temporelle de la région Est du bassin Algérien.

Bibliographie

Bibliographie

ALBEROLA, C., MILLOT, C., & FONT, J. (1995). On the seasonal and mesoscale variabilities of the Northern current during the PRIMO 0 experiment in the western Mediterranean Sea. *Oceanologica Acta*, 18, 163-192.

ANDERSON, L. A. (1995). Note on the hydrogen and oxygen content of marine phytoplankton. Vol. 42, 9, pp. 1675-1680.

BETHOUX, J. (1980). Mean water fluxes across sections in the Mediterranean Sea, evaluated on the basis of water and salt budgets and of observed salinities. *Oceanologica Acta*, 3(1), 79-88.

BÉTHOUX, 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*. Elsevier Science B.V. Vol. 63, pp. 155-169.

BETHOUX, J.P., GENTILI, B., MORIN, P., NICOLAS, E., PIERRE, C., RUIZ-PINO, D. (1999). The Mediterranean Sea: a miniature ocean for climatic and environmental studies and a key for the climatic functioning of the North Atlantic. *Progress in Oceanography*. Elsevier Science Ltd. Vol. 44, pp. 131-146.

BOUDJAKDJI, M. (2008). *Etude du cycle biogéochimique du carbone dans le bassin algéro-provençal*. ENSSMAL. Mémoire de Magister.

CONAN, P., & LEVEAU, M. (1996). *Variabilité et bilan de la production primaire en zone côtière (Méditerranée nord occidentale ; entrée du golfe du Lion) en relation avec les systèmes biologique, chimique et hydrodynamique (Courant nord méditerranéen)*. Aix-Marseille 2. Retrieved from <http://www.theses.fr/1996AIX22064>

COPIN-MONTEGUT, C. (1996). *Chimie de l'eau de mer*. Paris: Collection "synthèses" Institut océanographique.

COSTE, B., CORRE, P. L., & MINAS, H. J. (1988). Re-evaluation of the nutrient exchanges in the strait of Gibraltar. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 35(5), 767-775. [https://doi.org/10.1016/0198-0149\(88\)90029-5](https://doi.org/10.1016/0198-0149(88)90029-5)

CRISE, A., ALLEN, J. I., BARETTA, J., CRISPI, G., MOSETTI, R., & SOLIDORO, C. (1999). The Mediterranean pelagic ecosystem response to physical forcing. *Progress in Oceanography*, 44(1), 219-243. [https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(99\)00027-0](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(99)00027-0)

CRISPI, G., MOSETTI, R., SOLIDORO, C., & CRISE, A. (2001). Nutrients cycling in Mediterranean basins: the role of the biological pump in the trophic regime. *Ecological Modelling*, 138(1), 101-114. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00396-3](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00396-3)

D'ORTENZIO, F., & RIBERA D'ALCAL, M. (2009). On the trophic regimes of the Mediterranean Sea: a satellite analysis. *Biogeosciences*, 6, 139-148.

Bibliographie

- DUGDALE, R. C., & GOERING, J. J. (1967). Uptake of New and Regenerated Forms of Nitrogen in Primary Productivity¹. *Limnology and Oceanography*, 12(2), 196–206. <https://doi.org/10.4319/lo.1967.12.2.0196>
- DYHRMAN, S. T., BENITEZ-NELSON, C. R., ORCHARD, E. D., HALEY, S. T., & PELLECHIA, P. J. (2009). A microbial source of phosphonates in oligotrophic marine systems. *Nature Geoscience*, 2(10), ngeo639. <https://doi.org/10.1038/ngeo639>
- EL-GENDY, A., & EL-DIN, S. (1986). Water masses and circulation patterns in the deep layers of the Eastern Mediterranean. *Oceanologica Acta*, 9,3, 239-248.
- EPPLEY, R. W., & PETERSON, B. J. (1979). Particulate organic matter flux and planktonic new production in the deep ocean. *Nature*, 282(5740), 677–680. <https://doi.org/10.1038/282677a0>
- FALKOWSKI, P. G., & WILSON, C. (1992). Phytoplankton productivity in the North Pacific ocean since 1900 and implications for absorption of anthropogenic CO₂. *Nature*, 358(6389), 741–743. <https://doi.org/10.1038/358741a0>
- FRONTIER, S., & PICHOD-VIALE, D. (1998). *Structure-Fonctionnement-Evolution*. (447, Trad.) Paris: DUNOD.
- HUERTAS, I. E., RIOS, A. F., GARCIA-LAFUENTE, J., NAVARRO, G., MAKAOUI, A., SANCHEZ-ROMAN, A., ... PEREZ, F. F. (2012). Atlantic forcing of the Mediterranean oligotrophy. *Global Biogeochemical Cycles*, 26(2), n/a–n/a. <https://doi.org/10.1029/2011GB004167>
- JACQUES, G. AND TREGUER, P. (1986). L'océan Antarctique. In: *Ecosystèmes Marins Pélagiques*. Masson Editions, Paris, 19: 101-165.
- KEELING R., KORTZINGER, A., & GRUBER, N. (2010). Ocean Deoxygenation in a Warming World. *The Annual Review of Marine Science*, 2, 199–229.
- KROM, M., KRESS, N., BERMAN-FRANK, I., & RAHAV, E. (2014). PAST, Present and Future Patterns in the Nutrient Chemistry of the Eastern Mediterranean. In *The Mediterranean Sea* (pp. 49–68). Springer, Dordrecht. Retrieved from https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-6704-1_4
- LACAZE, J. (1996). *L'eutrophisation des eaux marines et continentales : causes, manifestations, moyens et lutte*. Paris: Masson.
- LAVINGNE, H., D'ORTENZIO, F., RIIBERA D'ALCALA, M., CLAUSTRE, H., SAUZEDE, R., & GACIC, M. (2015). On the vertical distribution of the chlorophyll a concentration in the Mediterranean Sea: a basin-scale and seasonal approach. *Biogeosciences*, 12, 5021–5039.
- LOUANCHI, F., & NAJJAR, R. (2001). Annual cycles of nutrients and oxygen in the upper layers of the North Atlantic Ocean. *Deep-Sea Research II*, 48, 2155-2171.
- MALANOTTE-RIZZOLI, P., ARTALE, V., BORZELLI-EUSEBI, G. L., BRENNER, S., CRISE, A., GACIC, M., ... TRIANTAFYLLOU, G. (2014). Physical forcing and

Bibliographie

physical/biochemical variability of the Mediterranean Sea: a review of unresolved issues and directions for future research. *Ocean Science*, 10(3), 281–322. <https://doi.org/10.5194/os-10-281-2014>

MEDAR Group (2002) MEDATLAS/2002 database. Mediterranean and Black Sea database of temperature salinity and bio-chemical parameters. Climatological Atlas, IFREMER, 2002, 4 CDroms; IFREMER, NCMR-HNODC, IEO, SHOM, ICES (1997) MEDATLAS 1997 - Mediterranean Hydrological Atlas - A MAST Supporting Initiative (MAS2-CT93-0074), IFREMER, 12/1997, 3 CDroms. http://www.ifremer.fr/medar/cdrom_database.htm.

MILLOT, C. (1985). Some faetures of Algerian current. *Geophys.Res* , 90,C4, 7169-7176.

MILLOT, C. (1987). Circulation in the Western Mediterranean. *Oceanologiaca Acta* , 10, 143-149.

MILLOT, C. (1994). Models and data : a synergetic approach in the Western Mediterranean Sea.In processes in climate dynamics : global and mediterranean exemples. *KluwerAcademic Publichers* , 407-425.

MILLOT, C. (1999). Circulation in the Western Mediterranean. *Journal of marine systems* , 20, 423-442.

MILLOT, C., & TAUPIER-LETAGE, I. (2005). Circulation i he Mediterranean sea. *The hand book of environmental chemistry* , 1.

MILLOT, C., TAUPIER-LETAGE, I., BENZOHRA, M. (1990). The Algerian Eddies. *Earth-Sci. Rev.* 27, 203–219.

MOUTIN, T., & PRIEUR, L. (2012). Influence of anticyclonic eddies on the Biogeochemistry from the Oligotrophic to the Ultraoligotrophic Mediterranean (BOUM cruise). *Biogeosciences*, 9(10), 3827–3855. <https://doi.org/10.5194/bg-9-3827-2012>

MOUTIN, T. (2000). Cycle biogéochimique du phosphate: rôle dans le contrôle de la production planctonique et conséquence sur l'exportation du carbone de la couche éclairée vers l'océan profond, *Oceanis*, 36, 643–660

NAJJAR, R., & KEELING, R. (2000). Mean annual cycle of the air-sea oxygen flux : A global view. *Global biogeochemical cycles* , 14, 573-584.

PUJO-PAY, M., CONAN, P., ORIOL, L., CORNET-BARTHAUX, V., FALCO, C., GHIGLIONE, J.-F., ... PRIEUR, L. (2011). Integrated survey of elemental stoichiometry (C, N, P) from the western to eastern Mediterranean Sea. *Biogeosciences*, 8(4), 883–899. <https://doi.org/10.5194/bg-8-883-2011>

RAIMBAULT, P., COSTE, B., BOULAHIDID, M., & BOUDJELLAL, B. (1993). Origin of high phytoplankton concentration in deep chlorophyll maximum (DCM) in a frontal region of Sowthwestern Mediterranean Sea 5algerian Current). *Deep-Sea recheachl* , 40, 791-804.

RIBERA D'ALCALA, M., CIVITARESE, G., CONVERSANO, F., & LAVEZZA, R. (2003). Nutrient ratios and fluxes hint at overlooked processes in the Mediterranean Sea :

Bibliographie

Physical and Biochemical Evolution of the Eastern Mediterranean in the '90s (PBE). *Journal of Geophysical Research*, 108(C9), PBE7.1–PBE7.16.

SIKOU-FRANGO, I., CHRISTAKI, U., MAZZOCCHI, M. G., MONTRESOR, M., RIBERA D'ALCALA, M., VAQUE, D., & ZINGONE, A. (2010). Plankton in the open Mediterranean Sea: a review. *Biogeosciences*, 7(5), 1543–1586. <https://doi.org/10.5194/bg-7-1543-2010>

TESTOR, P., SEND, U., GASCARD, J.-C., MILLOT, C., TAUPIER-LETAGE, I., & BERANGER, K. (2005). The mean circulation of the southwestern Mediterranean Sea: Algerian Gyres. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 110(C11), C11017. <https://doi.org/10.1029/2004JC002861>

VOSS, I., SUNIL, B., SCHEIBE, R., & RAGHAVENDRA, A. S. (2013). Emerging concept for the role of photorespiration as an important part of abiotic stress response. *Plant Biology*, 15(4), 713–722. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2012.00710.x>

WANKINKHOF, R. (1992). Relationship between wind speed and gaz exchange over the ocean. *Journal of geophysical research*, 97, 7373-7382.

WEISS, R.F. (1970). Solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and sea water. Vol. 17, pp. 721-735.

Résumé :

Ce sujet s'inscrit dans le cadre de l'étude des variabilités spatiales et temporelles de l'oxygénation dans l'eau de mer. En effet, les flux air-mer de l'O₂ peuvent renseigner sur l'évolution du régime de P.P. dans les eaux de surface. Par ailleurs, un des risques du réchauffement planétaire serait le ralentissement de la circulation thermohaline et donc une baisse de l'oxygénation de l'océan intérieur. On utilisera les données d'oxygène en profondeur pour analyser une possible désoxygénation de la mer dans le bassin algérien , L'objectif est d'analyser à partir de données existantes l'état d'oxygénation du bassin algérien et sur une longue période de temps (environ 50 ans). Une analyse des processus responsables des variabilités de l'O₂ dissous dans les eaux de surface. La quantification des productions primaires dérivées des variations saisonnières du dégazage sera effectuée. Ces informations seront comparées aux profils de chlorophylle disponibles dont on tentera d'extraire une estimation directe de la production primaire.

This subject is part of the study of the spatial and temporal variability of oxygenation in seawater. In fact, the air-sea fluxes of O₂ can provide information on the evolution of the PP regime. in surface waters. In addition, one of the risks of global warming is the slowing down of the thermohaline circulation and therefore a drop in the oxygenation of the interior ocean. Deep oxygen data will be used to analyze a possible deoxygenation of the sea in the Algerian basin, The objective is to analyze from existing data the oxygenation status of the Algerian basin and over a long period of time (about 50 years old) An analysis of the processes responsible for the variability of O₂ dissolved in surface water. Quantification of primary productions derived from seasonal variations in degassing will be performed. This information will be compared to available chlorophyll profiles from which a direct estimate of primary production will be extracted.

هذا الموضوع جزء من دراسة التباين المكاني والزمني للأوكسجين في مياه البحر ، وفي الواقع ، يمكن أن توفر تدفقات الهواء إلى البحر من اكسجين معلومات عن تطور نظام الإنتاج الاولي في المياه السطحية. بالإضافة إلى ذلك ، يتمثل أحد مخاطر الاحتباس الحراري في تباطؤ تدفق المياه البحرية وبالتالي انخفاض الأوكسجين في المحيط الداخلي. سيتم استخدام بيانات الأوكسجين في العمق لتحليل انخفاض تركيز الأوكسجين للبحر في الحوض الجزائري ، على مدى فترة طويلة من الزمن. (حوالي 50 سنة) تحليل للعمليات المسؤولة عن تقلب O₂ المذاب في المياه السطحية. سيتم تنفيذ القياس الكمي للإنتاج الأولي المستمدة من التغيرات الموسمية في التفريغ. سنقارن هذه المعلومات بالبيانات المتاحة للكوروفيل التي سيتم منها استخلاص تقدير مباشر للإنتاج الأولي.