

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية لعلوم البحر وتهيئة الساحل

Ecole Nationale Supérieure des Sciences

De la Mer et de l'Aménagement du Littoral



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU
DIPLOME D'INGENIEUR EN SCIENCES DE LA MER

Spécialité : Gestion et Protection du Littoral

Sujet :

Etude de la circulation marine dans
le bassin ouest algérien

Présenté par :

Azzouz Lyna

Soutenu devant les jurys suivant :

Mr. Boulahdid, M

Professeur
(ENSSMAL)

Président

Mr. Belkessa, R

Professeur
(ENSSMAL)

Promoteur

Mr. Bachouch, S

Docteur
(CNRDPA)

Copromoteur

Mme. Amarouche, N

MCB
(ENSSMaL)

Examinatrice

Année Universitaire : 2021-2022

Ma considération va à Mr Belkessa pour sa patience et pour avoir bien voulu encadrer ce travail, malgré les circonstances difficiles...

Je remercie également Mr Bachouch de m'avoir accueilli au CNRDPA et d'avoir répondu à mes questions.

Mes plus vifs remerciements vont à Mr Boulahdid d'avoir accepté la présidence de ce jury.

Ma profonde gratitude à Mme Amarouche pour avoir bien voulu examiner ce travail.

Liste des figures

Figure 1: Carte de la Mer Méditerranée. (Encyclopædia Universalis France, 2022)	12
Figure 2: Aperçu schématique des phases de convection (Houpert, 2013)	14
Figure 3: Schéma de circulation des masses d'eau (MAW-WIW) dans le bassin méditerranéen ouest, [Millot 1999].....	15
Figure 4: Schéma de circulation des masses d'eau (LIW-TDW) dans le bassin méditerranéen ouest. [Millot 1999].....	16
Figure 5: Schéma de circulation des masses d'eau (TDW-WMDW) dans le bassin méditerranéen ouest, [Millot 1999]	17
Figure 6: Carte empirique des principaux vents régionaux soufflant en Méditerranée occidentale. (De Barniaudy, 2010- modifié)....	22
Figure 7: L'hélice d'Ekman [1].....	23
Figure 8: Le vent géostrophique (Jeandel et Roy- Barman, 2011).....	24
Figure 9: Schéma expliquant la formation d'upwelling et de downwelling [2]	26
Figure 10: Ecoulement des eaux de surface dans la mer d'Alboran et le long de la côte algérienne (Arnone et al., 1990).	26
Figure 11: Processus d'ouverture du bassin algérien (B. Bouyahiaoui et al. 2015)	29
Figure 12: Carte du bassin algérien (A : région Ouest ; B : région Centre ; C : région Est) (Hemida,2005).	30
Figure 13: Carte du bassin ouest algérien	33
Figure 14: Température de surface annuelle de l'année 2009.....	45
Figure 15 : Température de surface annuelle de l'année 2010.....	45
Figure 16 : Température de surface annuelle de l'année 2011.....	45
Figure 17: Température de surface de l'année 2012.....	46
Figure 18: Température de surface de l'année 2013.....	46
Figure 19: Température de surface de l'année 2014.....	48
Figure 20: Température de surface de l'année 2015.....	48
Figure 21: Température de surface de l'année 2016.....	49
Figure 22: Température de surface de l'année 2017.....	49
Figure 23: Température de surface de l'année 2018.....	50
Figure 24: Température de surface de l'année 2019.....	50
Figure 25: Salinité de surface de l'année 2009.....	51
Figure 26 : Salinité de surface de l'année de 2010.....	51
Figure 27: Salinité de surface de l'année 2011.....	52
Figure 28: Salinité de surface de l'année 2012.....	52
Figure 29: Salinité de surface de l'année 2013.....	52
Figure 30: Salinité de surface de l'année 2014.....	53
Figure 31: Salinité de surface de l'année 2015.....	54
Figure 32: Salinité de surface de l'année 2016.....	54
Figure 33: Salinité de surface de l'année 2017.....	55
Figure 34 : Salinité de surface de l'année 2018.....	55
Figure 35: Salinité de surface de l'année 2019.....	56

Liste des abréviations

MAW	Modified Atlantic Water.
AW	Atlantic Water.
LIW	Levantine Intermediate Water.
WIW	Western Intermediate Water.
TDW	Tyrrhenian Deep Water.
WMDW	Western Mediterranean Deep Water.
AES	Algerian Eddies.
SST	Sea Surface Tempertaure
SSS	Sea Surface Salinity
AC	Algerian Current
CEMES	Copernicus Marine Environment Monitoring Service

Table des matières

Introduction générale.....	7
Chapitre 1 : Descriptif de la Méditerranée	11
1.1. Masse d'eau et circulation en Méditerranée occidentale	13
1.1.1. Masse d'eau	13
1.1.2. Pré-conditionnement.....	14
1.1.3. Mélange vertical.....	14
1.1.4. La ré-stratification	14
1.2. Circulation générale.....	15
1.2.1. Circulation de surface.....	15
1.2.2. Circulation intermédiaire	16
1.2.3. Circulation profonde	17
1.3. Les facteurs hydrodynamiques	18
1.3.1. Température	18
1.3.3. La distribution de la température en profondeur	20
1.3.4. Salinité	20
1.3.5. Le courant.....	21
1.3.6. Le vent	22
1.4. Circulation océanique.....	23
1.4.1. Circulation superficielle.....	23
1.4.2. Le courant géostrophique	24
1.4.3. Les phénomènes d'upwelling et de Cascading.....	24
1.5. Circulation à l'échelle du sous-bassin.....	25
1.6. Circulation dans le bassin ouest algérien	26
Chapitre 2 : Description de la zone d'étude.....	28
2.1. Contexte géodynamique du bassin algérien	28
2.2. Description de la zone d'étude.....	30
2.2.1. La côte algérienne	30
2.2.2. La situation géographique	30
2.2.3. La marge continentale algérienne.....	31
2.3. La situation géographique de la zone d'étude	32
Chapitre 3 : Matériels et méthode	37
3.1. Présentation de la base de données utilisée et méthode d'exploitation	37
3.2. Principe de mesure et de modélisation des données de CEMES	38
3.3. Méthodologie adapté pour l'extraction des données.....	38
3.4. Traitement des données sur ArcGIS :.....	39
ArcGIS :	39

3.4.1. Organigramme de l'application ArcGIS :.....	40
.....	40
.....	40
.....	40
Chapitre 4 : Résultats et discussion	45
4.1. Etude horizontale de la distribution interannuel des températures en surface (-1m) de la décennie (2009/2019)	45
4.2. Etude horizontale de la distribution interannuelle des salinités entre 2009 et 2019 en surface (-1 m).....	51
Discussion	57
Conclusion.....	62
Références bibliographiques	67
Sites web	72

Introduction générale

Depuis l'antiquité, pour ne citer que la période à partir de laquelle on commence à disposer de sources écrites, documentées, la Méditerranée a été constamment scrutée, décrite et observée par des savants et des scientifiques de tous bords.

A partir de ce savoir, qui s'est considérablement enrichi et spécialisé au fil du temps et des progrès techniques et technologiques réalisés durant les époques modernes, on connaît mieux l'histoire naturelle de cette mer, les évolutions et les grands changements qu'elle continue de subir depuis des siècles, notamment sous l'effet des activités anthropiques.

Grâce à ces connaissances, on dispose également de repères et de marqueurs scientifiques qui montrent que, si l'environnement marin et littoral méditerranéen a été constamment modifié, le rythme de ce phénomène s'est aujourd'hui accéléré.

Les menaces sur l'équilibre de cet environnement et sur la biodiversité sont devenues plus nombreuses. Elles sont également plus inquiétantes dans le contexte du réchauffement climatique désormais avéré et sous la pression combinée de facteurs puissamment dégradants et destructeurs comme les pollutions industrielle et domestique, l'urbanisation effrénée et la bétonisation des côtes, la poussée démographique et le tourisme de masse. Les incidences, elles, sont écologiques mais aussi économiques.

Car en dépit de sa taille réduite (0.8 % de la surface de l'océan global et 0.3 % de son volume), la Méditerranée abrite entre 4 et 18% des espèces marines connues dans le monde pour 0.8% de la surface des océans mondiaux¹, Elle est à l'origine de 20% de la production marine du monde ; et elle est au cœur d'une zone économique importante où la population devrait dépasser les 570 millions d'individus d'ici 2030. L'intérêt pour son écosystème et les moyens de le préserver sont donc cruciaux tant sur le plan scientifique que sur celui du développement.

Dans son 5ème rapport, en 2014, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), a ainsi alerté sur le fait que le bassin méditerranéen est un « hot spot » du changement climatique. Il se réchauffe plus vite et les températures devraient augmenter de 2 à 3°C à l'horizon 2050 et de 3 à 5°C à l'horizon 2100, selon ses experts (GIEC, 2014). Ces scientifiques annoncent un bouleversement qui se traduira entre autres par une diminution des précipitations estivales de 35 % sur la rive sud et de 25 % sur la rive nord d'ici la fin du siècle.

¹ La mer Méditerranée : une richesse unique en déclin rapide | WWF France. (Consulté le 10 juin 2021).

Dans son 6ème rapport, publié en février 2022, le GIEC, reprend, huit ans après, dans un chapitre distinct et entièrement consacré à la Méditerranée, la même prévision d'une baisse importante des précipitations, en particulier dans les pays du Maghreb. Les autres principaux impacts que le groupe prévoit également sont l'acidification des eaux marines, l'augmentation de la température de la mer (+0,29 à +0,44 °C par décennie) et une élévation du niveau de la mer (jusqu'à +1 m en moyenne en 2100 dans le pire scénario) (**GIEC,2022**). L'écosystème méditerranéen qui abrite des espèces endémiques subira alors des dommages plus graves à moins d'une intervention collective des Etats et des sociétés pour en limiter l'ampleur, suivant les marges de manœuvre qui, selon les scientifiques, existent encore pour quelques décennies.

Contexte et problématique

C'est partant un peu de ce constat que la Méditerranée est un système dynamique complexe, vital mais en péril, que nous avons tenté d'aborder par notre travail de Mémoire descriptif le thème de la circulation des masses d'eau dans sa partie sud-occidentale et plus spécifiquement dans le bassin ouest-algérien. Cela, avec l'idée, non exploitée ici, que le mouvement de ces masses d'eau peut lui aussi être affecté par les effluents urbains et les rejets polluants dont souffre la Méditerranée. De manière schématique, on peut le décrire de la façon suivante : l'eau atlantique, peu salée, pénètre en surface par le détroit de Gibraltar. Au cours de son cheminement d'Ouest en Est, elle est transformée en eau méditerranéenne. Plus dense, celle-ci ressort à son tour par le fond du détroit de Gibraltar, avec un temps de renouvellement qui en moyenne varie de 50 à 100 ans (**Millot and Taupier-Letage, 2005**).

Son mouvement s'effectue suivant la géométrie du bassin occidental et oriental, eux-mêmes divisés en plusieurs petites mers Mer d'Alboran qui communique avec l'Atlantique via le détroit de Gibraltar, le sous bassin Algérien, le sous bassin Liguro Provençal et enfin entre le Bloc Sardo-Corse et la partie occidentale de la péninsule italienne, le sous bassin Tyrrhénien.

Il se fait suivant une géomorphologie sous-marine accidentée, composée de bassins d'effondrement profonds (fosse de Matapan) séparés par des seuils élevés notamment à l'ouest au niveau de Gibraltar.

Dans le bassin algéro-provençal, où se situe le croisement de l'eau atlantique et de l'eau méditerranéenne, la fraction algérienne (sous bassin algérien) est un élément clé pour comprendre les phénomènes hydrodynamiques en Méditerranée et en Méditerranée occidentale, les courants qui la caractérise, leur variabilité spatio-temporelle, ainsi que les valeurs de salinité. La partie occidentale du sous bassin algérien ou sous bassin ouest-algérien s'étend de Chlef à Tlemcen. Nous avons choisi d'étudier la partie plus restreinte d'Oran à Tlemcen. A l'aide des données recueillies sur cette zone, nous essayerons d'interpréter l'évolution des valeurs de température et de salinité en tant que traceurs hydrologiques entre 2009 et 2019. Il s'agit, pour nous, de comprendre comment les variations de ces paramètres physiques évoluent au cours d'une décennie.

Pour cela, le travail sera articulé autour de 3 parties :

- Un premier chapitre est consacré à une synthèse sur l'hydrologie de la Méditerranée occidentale en général et du bassin ouest algérien en particulier.
- Un second chapitre présentant la zone d'étude dans laquelle nous avons décrit les climatologies.
- Un troisième chapitre qui traite du matériels et méthodes dans lequel nous présentons les bases de données utilisées, les étapes suivies pour l'élaboration des climatologies.
- Un quatrième chapitre est consacré aux résultats et à leur interprétation

Chapitre 1 :

Descriptif de la Méditerranée

Chapitre 1 : Descriptif de la Méditerranée

Les études de la communauté géologique sur la formation de la Méditerranée s'accordent tous sur le fait que cette mer a fait son apparition il y a 50 à 60 millions d'années. Elle s'est formée de la lente dérive des continents et de la collision du bloc africain avec le bloc eurasien au niveau actuel du Détroit de Gibraltar. A la suite de la fermeture de toute communication avec l'Atlantique, elle a connu une période d'évaporation et formé un immense canyon recouvert de sel. Le mur qui la séparait de l'océan s'est à nouveau rompu il y a 5,5 millions d'années, libérant la voie à une masse d'eau au débit gigantesque pour donner au bassin méditerranéen l'aspect qu'on lui connaît aujourd'hui, celui d'une mer intercontinentale presque entièrement fermée située entre l'Europe, l'Afrique et l'Asie.

Dans sa structure actuelle, la Méditerranée est constituée de la juxtaposition de bassins profonds, bien séparés les uns des autres, et de marges continentales faiblement immergées. Elle couvre une surface de 2 510 000 km² et est entourée d'environ 46 000 km de côtes. Sa profondeur maximale est de 5124 mètres, sa profondeur moyenne est de 1370 mètres et de son volume est de 3,5 millions de m³ tandis que sa salinité moyenne est de 37,5 PSU . Située à une latitude qui la met au contact des climats tempérés et tropicaux, elle est ouverte à l'Ouest sur l'Atlantique par le détroit de Gibraltar (largeur 13 km) et très allongée vers l'Est entre les terres, communiquant avec la mer Noire par les Détroits du Bosphore et des Dardanelles, et la mer Rouge par le canal de Suez.

Elle est composée de deux bassins bien individualisés, l'un occidental et l'autre oriental, ayant pour ligne de séparation les hauts fonds situés entre la Sicile et la Tunisie ou ce qu'on appelle le seuil siculo-tunisien, qui est d'une étendue de 140 km entre le cap Bon et Marsala et d'une profondeur n'excédant pas 400m. Le bassin occidental est d'une superficie d'environ 0,85 million de km² et est constitué de plusieurs sous-bassins : il s'agit de la Mer d'Alboran qui communique avec l'Atlantique via le détroit de Gibraltar, le sous bassin Algérien, le sous bassin Liguro Provençal et enfin entre le Bloc Sardo-Corse et la partie occidentale de la péninsule italienne, le sous bassin Tyrrhénien. Le bassin oriental est d'une superficie de 1,65 million de km². On y distingue comme subdivisions la mer Ionienne, qui atteint les plus grandes profondeurs -5267 m au creux de la fosse Calypso et -5121 m pour la fosse de

Matapan en Grèce 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 en Libye.

La Méditerranée se caractérise par un climat tempéré avec des hivers doux et humides d'une moyenne de 5 °C, des étés chauds et secs 25 et 40 °C, un ensoleillement importants et de fréquents vents violents. Il est dit poétiquement « climat de l'olivier » en référence à son grand marqueur symbolique et à la place centrale qu'occupe cet arbre dans les cultures et les territoires méditerranéens. Son équilibre est cependant impacté par les variabilités et les perturbations résultant de ce qu'on appelle le forçage climatique provoqué par l'interaction de l'océan, l'atmosphère et l'activité humaine de plus en plus prépondérante. Ce forçage climatique affecte à son tour son régime hydrologique et ses caractéristiques biogéochimiques. Du point de vue hydrologique, la Méditerranée est une mer continentale à bilan négatif : l'évaporation y est très supérieure aux précipitations et aux apports fluviaux. Ses eaux méditerranéennes ont aussi une productivité inférieure à celle des eaux océaniques. Les excédents d'entrée d'eau atlantique par le détroit de Gibraltar, et d'eau de la mer Noire, par la mer de Marmara, permettent de couvrir un déficit annuel d'une tranche d'eau d'environ 1 mètre. Le bassin oriental reçoit une grande partie des apports atlantiques, qui font sentir leur influence au sud, tandis qu'au nord ce sont les eaux de l'Adriatique et de la mer Noire qui apportent une modification sensible par suite de leur plus faible salinité. Notre propos, ici, est de nous intéresser spécifiquement à la Méditerranée occidentale.

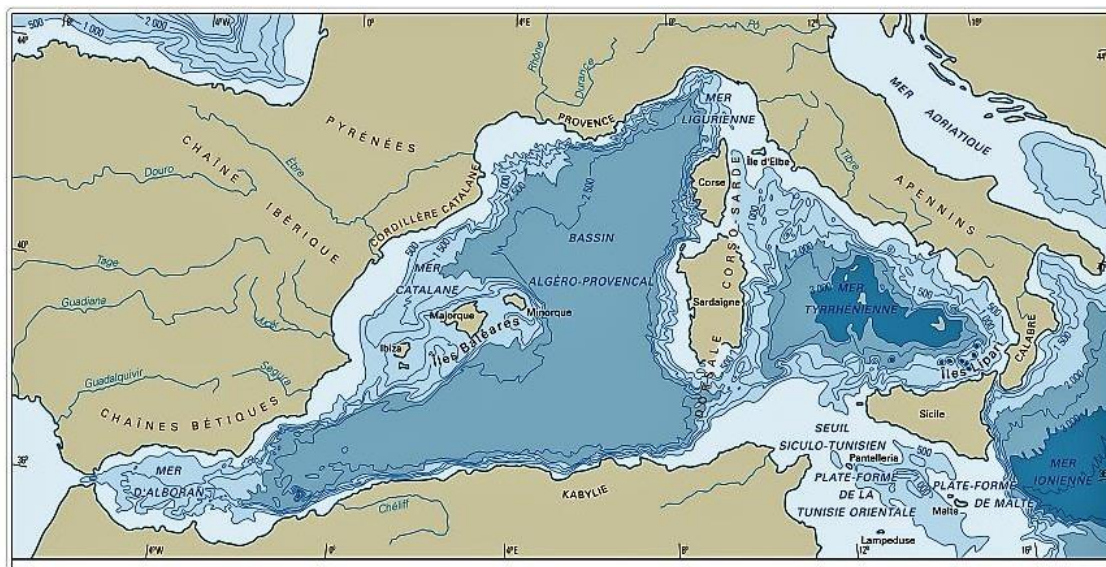


Figure 1: Carte de la Mer Méditerranée. (Encyclopædia Universalis France, 2022)[1]

1.1. Masse d'eau et circulation en Méditerranée occidentale

1.1.1. Masse d'eau

La Mer méditerranée se caractérise par un déficit en apport d'eau douce d'environ 1m par an, pour compenser cette insuffisance, des entrées d'eau ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) se produisent par le détroit de Gibraltar. Cette eau d'origine atlantique chaude et légère, suit un parcours en surface, allant jusqu'à 200 m de profondeur (**Millot, 1999**). Au cours de son trajet elle perd ses caractéristiques atlantiques d'origine ($T \sim 15-16^\circ\text{C}$, $S \sim 36-37$ et $\sigma \sim 26-27$). Soumise à l'action des forçages atmosphériques, mais aussi, par effet de mélange avec les eaux sous et sus-jacentes elle devient ainsi de l'eau atlantique modifiée (**MAW, Modified Atlantic Water**) ($S \sim 38-39$, $\sigma \sim 28-29$) et peut être identifiée comme un minimum de salinité en sub surface sous ~ 30 m de profondeur (**Malanotte-Rizzoli, 2001**).

En hiver, des masses d'airs très froids et secs sont amenées par de brefs épisodes de vents du nord, intenses, provoquant une très forte évaporation et un refroidissement des masses d'eaux superficielles, entraînant des mouvements de plongée importants.

Ce phénomène se passe dans des zones spécifiques, dans la partie nord des deux bassins, qui produisent chacune une masse d'eau caractéristique, à la fois des eaux intermédiaires et profondes :

- L'eau levantine intermédiaire (**LIW, Levantine Intermediate Water**), produite entre les îles de Rhodes, de Crète et de Chypre dans le bassin oriental méditerranéen à une profondeur 200-300 m, participe et est nécessaire à la formation de toutes les eaux profondes de la Méditerranée.
- Le chemin de retour de la LIW se fait vers l'ouest entre 200 et 600m de profondeur à travers le détroit Siculo-tunisien (14.2°C , $S \sim 38.75$). Elle atteint la mer Tyrrhénienne où sa salinité diminue à 38.6 PSU (**Schroeder et al., 2012**), se mélange ainsi avec d'autres eaux provenant du bassin oriental et forme l'eau dense tyrrhénienne (TDW, Tyrrhenian dense water) (12.85°C , $S \sim 38.46$).
- L'eau profonde en Méditerranée Occidentale se forme par convection hivernal au large du Golfe du Lion et s'étale en mer Ligure. Sous l'action de forçages atmosphérique

intenses, la MAW se densifie et se combine avec de la LIW, s'approfondissent fortement jusqu'au fond du bassin Ouest et forment l'eau profonde Occidentale (**WMDW, Western Mediterranean Deep Water**) (**12.8°C, S~38.45**) (**Millot, 1999**) qui est donc exclusive à la Méditerranée Nord- occidentale.

1.1.2. Pré-conditionnement

Premièrement, le gyre cyclonique inscrit dans la circulation générale cyclonique s'intensifie et piège la masse d'eau au centre, lors de la phase de préconditionnement. Cette masse d'eau est soumise de façon prolongée à la perte de flottabilité à la surface induite par le forçage thermohalin et se densifie, provoquant une remontée des isopycnes (**Loveday et al., 2012**) : le dôme isopycnal (**figure 2**).

1.1.3. Mélange vertical

Lors de la phase de mélange vertical, l'eau de surface piégée au centre du gyre et soumise à un forçage thermohalin intense devient plus dense que l'eau des couches inférieure. Cette instabilité de la colonne d'eau entraîne l'apparition de structures d'environ 1 km de diamètre, un ensemble de « plumes » (**Schott et al., 1996**) où l'écoulement est vers le bas, atteint typiquement 0,1 m/s, permettant le renouvellement des eaux profondes.

1.1.4. La ré-stratification

La ré-stratification de la zone de convection profonde commence dès que le mélange vertical intense cesse (**Houpert, 2013**).

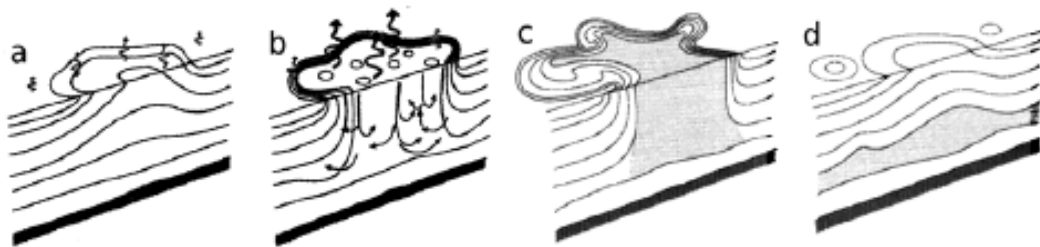


Figure 2: Aperçu schématique des phases de convection (Houpert, 2013)

Légende : Aperçu schématique des phases de convection : (a) dôme des isopycnes et érosion des couches superficielles ; (b) la perte de chaleur superficielle due au vent, approfondit la couche de mélange par le biais de structure appelées 'plumes' lors de mélange violent ; (c) instabilité barocline et activité méso/submésoscale stratifiant à nouveau la colonne d'eau ; (d) colonne d'eau stratifiée.

1.2. Circulation générale

1.2.1. Circulation de surface

En entrant dans la méditerranée, les eaux de surface atlantique, décrivent généralement deux gyres anticyclonique en mer d'Alboran orienté d'abord vers le nord-est (en raison de l'orientation du détroit) puis contraints par la force de Coriolis (**Durrieu de Madron et al., 2011**) se structure à 0° de longitude le long de la côte algérienne. Par le biais de processus diffusifs, l'eau atlantique sur son chemin vers l'est devient de l'eau atlantique modifiée (MAW) (**Malanotte-Rizzoli, 2001**). L'écoulement de la (MAW) peu dense génère la formation d'un courant connu pour être instable, nommé **Courant Algérien (AC)** d'un débit de ~ 1,7 Sv le long du talus continental algérien jusqu'au détroit de Sicile.

Les eaux de surface sont ainsi entraînées dans les forts méandres du courant algérien. Certaines se détachent de la pente algérienne s'exportant le long de la pente continentale sarde en conduisant à la formation du Courant Ouest Corse au nord-ouest de la Corse. Une partie de ces masses d'eau progresse le long du chenal de Sardaigne dans sa partie sud, continue à travers le détroit de Sicile, alimentant de deux tiers le bassin oriental Méditerranéen. L'autre tiers remonte en Mer Tyrrhénienne continue à s'écouler cycloniquement le long des côtes italiennes, devient le courant Est-Cors et fusionne au niveau du Golfe de Gène avec le courant Ouest Corse provenant du bassin algérien.

Cette fusion donne le Courant Nord, qui redescend le long des côtes françaises et espagnoles. Une branche de cette masse d'eau de surface bifurque vers le nord-est des Baléares tandis que le reste progresse jusqu'à la frontière Alboran-Algérie pour boucler la circulation cyclonique de l'eau atlantique modifiée (**Millot & Taupier-Letage, 2005**).

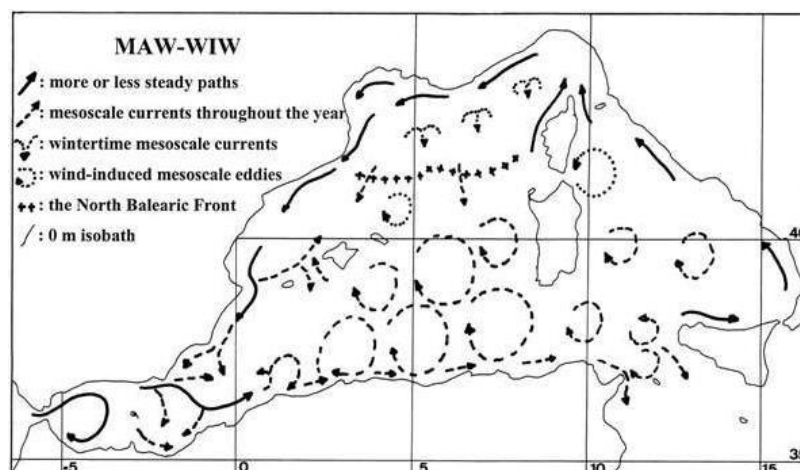


Figure 3: Schéma de circulation des masses d'eau (MAW-WIW) dans le bassin méditerranéen ouest, [Millot 1999]

1.2.2. Circulation intermédiaire

Formée dans le bassin Levantin en Méditerranée orientale par des processus similaires à ceux qui forment les eaux profondes, la circulation intermédiaire prend l'aspect d'un mouvement de retour des eaux vers l'Ouest.

L'eau levantine intermédiaire traverse le canal de Sicile sous l'eau atlantique modifiée pour atteindre le bassin Tyrrhénien en Méditerranée occidentale circulant le long des côtes Est et se divise en deux branches à la pointe Nord de la Corse.

Une branche entre directement dans la mer Ligure, tandis que la majeure partie poursuit son circuit cyclonique autour de la mer Tyrrhénienne vers le canal de Sardaigne. L'écoulement remonte alors vers le nord le long de la côte ouest de la Sardaigne et de la Corse fusionne avec la branche précédente et s'écoule successivement de façon anti-horaire autour de la mer des Baléares (**Malanotte-Rizzoli, 2001**).

En arrivant au détroit de Gibraltar, une partie de la LIW s'échappe vers l'Atlantique, l'autre, entraînée par l'eau de surface d'origine atlantique, venant de la mer d'Alboran rejoint les côtes africaines et le courant Algérien.

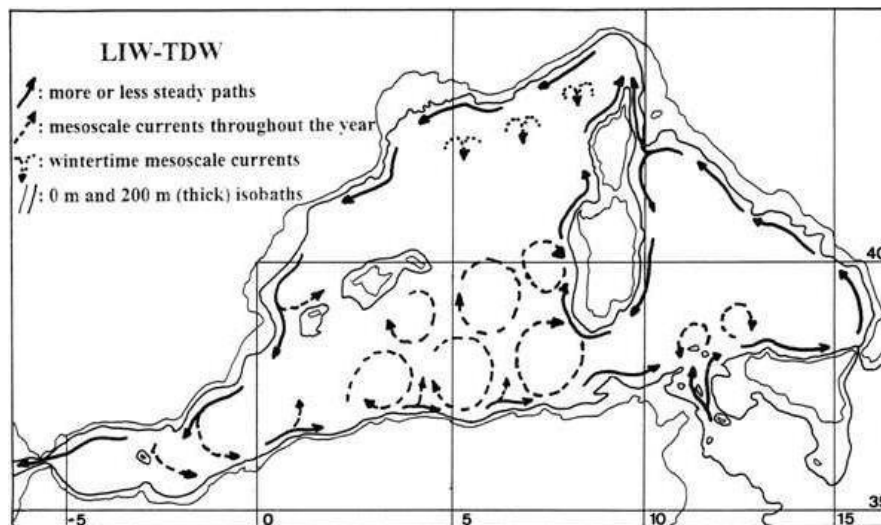


Figure 4: Schéma de circulation des masses d'eau (LIW-TDW) dans le bassin méditerranéen ouest. [Millot 1999].

1.2.3. Circulation profonde

L'eau Tyrrhénienne profonde (TDW) est formée en mer Tyrrhénienne et s'y écoule ensuite selon le même mouvement cyclonique. Une fois le chenal de Sardaigne franchi à l'est, la TDW continue le long du bloc Corse-Sardaigne à l'ouest pour arriver dans le Ligurien et le Provençal, (**Millot-Taupier Letage., 2005**), elle suit alors la circulation globale sous la LIW. Juste après les événements de convection profonde, l'eau profonde de la Méditerranée occidentale est emportée par le courant Nord. Une partie contourne le talus des Baléares, s'étend dans le bassin algérien et longe vers l'EST en suivant une circulation cyclonique dans tout le bassin. L'autre partie s'écoule en mer d'Alboran se mélangeant à la LIW (la moitié) sus-jacente (**Melanotte-Rozzoli, 2001**) et contribue à l'écoulement de Gibraltar dans l'Atlantique Nord.

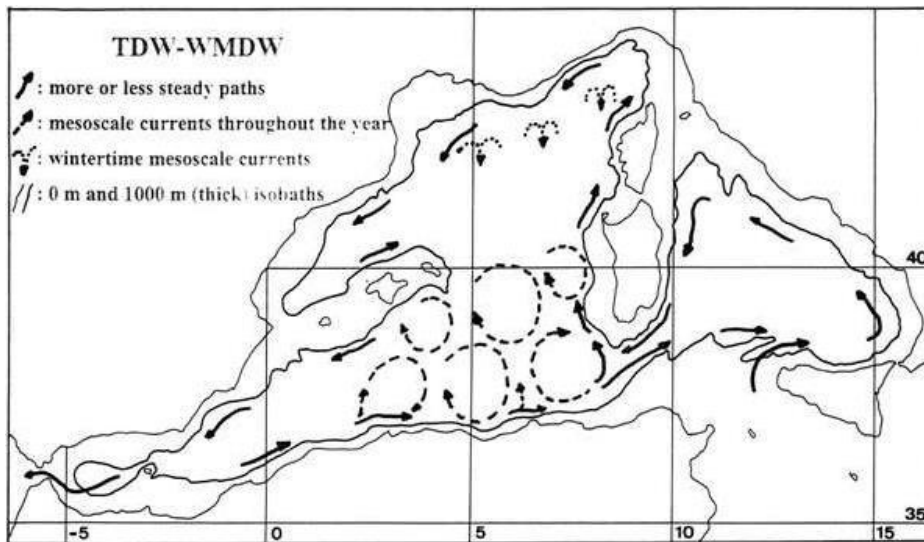


Figure 5: Schéma de circulation des masses d'eau (TDW-WMDW) dans le bassin méditerranéen ouest, [Millot 1999]

1.3. Les facteurs hydrodynamiques

Avant d'entamer le prochain chapitre, quelques notions de l'océanographie physique doivent être rappelées :

Les deux propriétés physiques les plus importantes de l'eau de mer sont sa température et sa salinité, qui de concert permettent d'identifier une masse d'eau particulière $\rho = \rho(p, T, S)$ avec la pression, ils permettent de déterminer la densité (Jeandel & Roy-Barman, 2011). La densité qui est fonction des trois paramètres cités est le paramètre fondamental pour l'étude de la dynamique des océans, les variations spatiales de la densité de l'eau de mer peuvent générer des courants océaniques. Finalement, la salinité et la température servent de « carte d'identité » aux différentes masses d'eau, d'en quantifier le mélange et d'en déduire une partie des courants marins, il est donc fondamental de les déterminer avec une grande précision. Ce qui nous emmène ensuite à aborder la circulation dite « thermohaline ». La circulation thermohaline est la circulation océanique engendrée par les différences de densité de l'eau de mer, provenant des écarts de température et de salinité des masses d'eau : sous l'effet des interactions avec l'atmosphère, notamment, l'eau qui est en surface peut devenir plus dense et plonger à des niveaux intermédiaires, voire jusqu'au fond. (Ce qui a été décrit dans le chapitre 1 : Circulation et masse d'eau). Les propriétés de la surface de la mer (température, salinité), sont alors dépendantes de son interaction locale avec l'atmosphère, générée en partie par la force mécanique d'entraînement du vent ou ce qu'on appelle mouvements horizontaux, mais aussi, en profondeur par les gradients de pression à l'intérieur du fluide océanique, engendrés par des différences de températures et salinités (mouvement verticaux). Cette dynamique océanique ou mécanisme 'thermohalin' (courant chauds en surface et courants de retour froids en profondeur) permet de répartir l'énergie thermique solaire accumulée sur place sous forme de chaleur dans les tropiques puis restituée à l'atmosphère et à l'espace dans les moyennes et hautes latitudes.

1.3.1. Température

La température représente la quantité de chaleur contenue dans une matière donnée (gaz, liquide ou solide). Ses unités sont le degré Celsius (°C), degré Fahrenheit (°F) ou le Kelvin (K). Dans la pratique, les instruments comme la CTD (pour Conductivity, Temperature, Depth) associent des capteurs électroniques mesurant la conductivité, la température de l'eau de mer ainsi que la

pression (afin de déterminer la profondeur). Reliée au bateau par un câble électro-porteur (Jeandel et Roy-Barman, 2011), elle permet de déterminer in situ la température et la salinité de l'eau de mer en fonction de la profondeur. Cette température in situ doit être corrigée de l'effet de la pression : quand on comprime l'eau de mer, sa température augmente. Pour comparer des températures mesurées à différentes profondeurs, on calcule la température potentielle (θ), c'est la température qu'aurait la masse d'eau si elle était ramenée à la surface sans échange de chaleur avec l'extérieur. La différence entre la température in situ et la température potentielle n'est notable que pour des profondeurs dépassant quelques centaines de mètres. Comme la compression réchauffe les fluides, la température potentielle est de ce fait toujours plus basse (de l'ordre de $0.1 \text{ }^\circ\text{C. km}^{-1}$) que la température in situ.

De même, les observations satellitaires peuvent aussi permettent de compléter les mesures in situ grâce à leur couverture globale et leur période de revisite de quelque jours, on peut en tirer des cartes plus homogènes et plus fréquentes.

1.3.2. La distribution de la température en surface

La connaissance de la température de surface est un élément essentiel dans l'échange d'énergie entre la mer et l'atmosphère. La quantité de vapeur d'eau relâchée ou absorbée par la mer dépend directement de sa température de surface.

Les transferts de chaleur se font par :

- Radiation : plus la température de surface est élevée, plus la mer radie de la chaleur et d'eau.
- Conduction : la surface de la mer est en moyenne plus chaude que l'air au-dessus, d'où perte par conduction.
- Evaporation : c'est le principal mécanisme par lequel la mer méditerranée perd de la chaleur. Les transferts d'eau se font par évaporation, condensation, précipitation et par échange de gaz et d'aérosols en cas de fort vent. (Daniault, 2005).

La répartition des températures de surface de la mer est cruciale dans certains phénomènes particuliers. Notons :

- Une augmentation significative de la température de surface peut diminuer la fréquence de formation d'eau dense dans les différents sites et en conséquence, ralentir la circulation thermohaline.

- Les variations de températures des eaux sortantes de la Méditerranée, à travers le détroit de Gibraltar, peuvent influencer la circulation générale dans l'Atlantique nord qui est l'endroit principal de formation d'eau profonde contrôlant la circulation thermohaline globale (Nacef et al., 2016).
- La température de surface de la mer est également importante pour la vie marine qui dépend de conditions bien précises pour subsister. Les poissons, le plancton, les mollusques, les algues ont tous une plage de températures qu'ils peuvent supporter.

1.3.3. La distribution de la température en profondeur

En mer les rayons du soleil frappant la surface sont absorbés par la couche d'eau superficielle sur une profondeur de 50 à 200 mètres. Le vent et les vagues font circuler cette eau, distribuant la chaleur à peu près uniforme sur les premières dizaines de mètres de profondeur, on y distingue ainsi la couche de mélange.

L'épaisseur de la couche de mélange peut varier de 20 à 60 m en été (Crépon et al., 1984) quand les eaux de surface sont très chaudes et peu salées, à plusieurs centaines de mètres en hiver, quand les eaux de surface se refroidissent et qu'elles sont brassées par des vents violents. Ce réchauffement des eaux de surface entraîne une stratification de la mer, on trouve alors des eaux chaudes et peu denses en surface et des eaux froides et plus denses en profondeur.

Dans une couche s'étendant sous la couche superficielle (de mélange), on rencontre une notable diminution de la température à immersion croissante : c'est la thermocline principale ou permanente (car elle varie fort peu en cours d'année). Aux moyennes latitudes, le réchauffement printanier et estival des eaux de surface crée une thermocline saisonnière (souvent présente à une profondeur de 50 à 100 m) qui est ensuite détruite par le mélange hivernal. Au-delà, le gradient thermique tend généralement vers zéro : ce sont les eaux profondes (Lacombe, 2010).

1.3.4. Salinité

La salinité représente en surface la quantité totale de sel dissous dans 1kg d'eau de mer. On l'évalue en mesurant la conductivité. Elle est sans unité mais souvent exprimée en (‰) ou en UPS : Unité Pratique de Salinité, qui équivaut approximativement à 1mg/g de sels.

La salinité varie au cours du temps en fonction des apports d'eau douce et des conditions

hydrodynamiques. Les apports d'eau douce par les cours d'eau ou les précipitations, ont tendance à diminuer la salinité, alors qu'à l'inverse, l'augmentation de la salinité est liée essentiellement à l'évaporation en surface et au mélange vertical dans les zones soumises à de forts vents. Dans les latitudes moyennes, un excès d'évaporation par rapport aux précipitations entraîne les eaux de surface étant plus salées que les eaux profondes (**Garreau ,2012**).

La stratification de la mer liée à une densité d'eau variable dans la colonne d'eau amène à la formation de pycnocline, c'est-à-dire un gradient fort des isopycnes, les lignes d'iso-densité. Lorsque cette pycnocline est contrôlée par la salinité, on parle d'halocline. Dans la majeure partie de l'océan, le mélange des eaux se fait principalement sur les isopycnes. Durant ce mélange isopycnal , la température et la salinité des eaux sont modifiées, mais pas la densité (**Jeandel et Roy-Barman, 2011**).L'effet de la salinité sur la densité de l'eau de mer joue pourtant un rôle très important dans la circulation thermohaline globale, en faisant plonger aux hautes latitudes les eaux plus salées apportée depuis les latitudes moyennes, lorsque celles-ci se refroidissent. Se forment ainsi aux hautes latitudes les eaux profondes qui remplissent ensuite tous les bassins abyssaux de la planète. Le taux de salinité en mer Méditerranée occidentale varie entre 37,5 à 38,5 PSU.

1.3.5. Le courant

Un courant marin est un déplacement d'eau de mer caractérisé par direction, sa vitesse et son débit. Les flux des courants océaniques sont mesurés en Sverdrup.

Les courants océaniques de surface sont généralement provoqués par le vent ; ils sont typiquement orientés dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère nord et dans le sens antihoraire dans l'hémisphère sud du fait de la répartition des vents. Dans les courants provoqués par les vents, l'effet de Coriolis se traduit par une déviation angulaire par rapport aux vents qui ont en sont à l'origine.

Les courants profonds sont produits par les gradients de température et de densité, eux- mêmes résultant en grande partie des différences d'énergie solaire reçue suivant la latitude. La circulation thermohaline, aussi qualifiée de « tapis roulant », concerne les courants profonds dans les bassins océaniques causés par les variations de densité. Les zones de courants ascendants (« remontées d'eau ou « upwellings ») et descendants sont des régions où des mouvements verticaux significatifs sont observés.

1.3.6. Le vent

Le bassin occidental de la Méditerranée occupe une situation de carrefour aérologique au sein du système climatique mondial. Les vents y sont en conséquence moins réguliers que dans d'autres espaces et on y observe une très grande variabilité du temps météorologique. Les caractéristiques orographiques de cet espace créent des conditions de circulation singulières ; les vents peuvent être particulièrement violents, changer rapidement de direction, tomber subitement. Les mouvements horizontaux peuvent donc être de nature très différente, qu'ils soient secs ou humides, froids ou chauds. Tous ces mouvements sont engendrés par une différence de pression atmosphérique. Cependant, les conditions de genèse auxquelles renvoient ces mouvements s'inscrivent à des échelles spatiales plus ou moins importantes. Ainsi se distinguent les flux (échelle globale) et des vents synoptiques de surface (échelle régionale) et des vents locaux. Dans notre cas, nous nous intéressons aux vents régionaux. On peut distinguer les vents froids, secs et saisonniers venus du secteur nord et ceux chauds et secs venus du secteur sud (Sahara). Les premiers affectent majoritairement la rive nord du bassin occidental alors que les seconds soufflent avant tout sur les rives sud de ce même bassin. On peut mentionner le sirocco d'Afrique du nord ou communément appelé Chergui en Algérie, qui est un vent chaud de secteur sud-est ou encore la Tramontane et le Mistral dans le Golfe du Lion, qui sont des vents du nord chargés d'air froid et sec (Barniaudy, 2010).



Figure 6 : Carte empirique des principaux vents régionaux soufflant en Méditerranée occidentale. (De Barniaudy, 2010- modifié)

1.4. Circulation océanique

1.4.1. Circulation superficielle

Les courants de surface sont le résultat d'une interaction entre l'océan et l'atmosphère. L'atmosphère exerce, par l'intermédiaire des vents une force d'entraînement mécanique sur les eaux de surface. Du fait du frottement du vent sur cette surface océanique, il va y avoir entraînement des molécules d'eau superficielles. Une fois en mouvement, ces molécules vont subir l'action de la force de Coriolis et être déviés vers la droite dans l'hémisphère Nord, vers la gauche dans l'hémisphère Sud. La pellicule de surface, ainsi mue, va à son tour, par frottement, entraîner la couche immédiatement sous-jacente, dans la direction de son mouvement (**Foucault, 2009**). Cette couche va elle aussi être déviée par la force de Coriolis, davantage que la pellicule de surface qui l'a entraînée, et ce processus va se poursuivre vers le bas à une certaine profondeur dite « profondeur de frottement » (**Petit et Orsenna, 2015**) à une direction du courant s'établissant à 180° de la direction initiale : « c'est l'hélice d'Ekman » la profondeur D est réglée par l'équation :

$$D = (7.6 W) / \sqrt{(\sin \varphi)}$$

W = vitesse du vent (m/s),

φ = latitude.

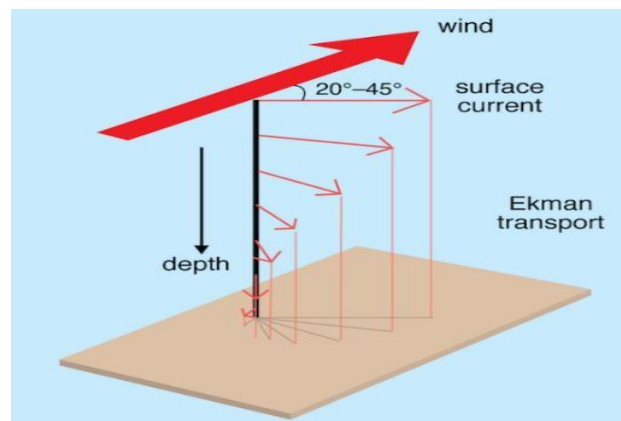


Figure 7:L'hélice d'Ekman [1]

Légende : Ce dessin schématise classiquement l'action de la force de Coriolis sur des masses d'eaux entraînées par le vent. Les mouvements de ces couches d'eau sont représentés par des flèches dirigées dans le sens du mouvement et qui sont d'autant plus longues que le mouvement est plus rapide. On voit que ces flèches forment une sorte d'escalier en colimaçon dont les marches sont de plus en plus courtes en allant vers le bas. C'est ce que l'on nomme spirale d'Ekman, le mouvement lui-même étant appelé transport d'Ekman. Un vent de surface peut donc, en définitive, engendrer à une certaine profondeur, un mouvement des masses d'eau dans le sens inverse du sien propre.

1.4.2. Le courant géostrophique

La présence de bosses et de creux à la surface de l'océan entraîne des variations horizontales de pression : à une profondeur donnée, la pression de l'eau est plus forte sous une bosse que sous un creux. L'eau est poussée depuis les hautes pressions vers les basses pressions. Mais, là encore, le mouvement est dévié par la force de Coriolis. Un équilibre s'établit entre les forces de pression et la force de Coriolis. La vitesse se trouve à 90° (à droite dans l'HN et à gauche dans l'HS) des forces de pressions, c'est-à-dire parallèle à la ligne d'égale pression. On parle d'équilibre géostrophique (**Jeandel et Roy-Barman, 2011**). L'intensité du vent géostrophique est proportionnelle au gradient de pression. Plus les lignes isobares sont rapprochées, plus il est important.

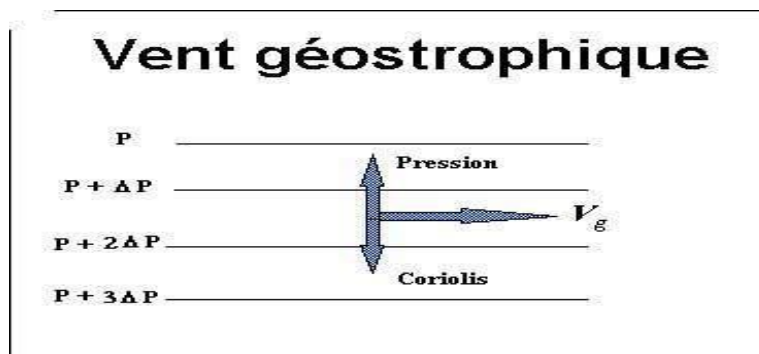


Figure 8: Le vent géostrophique (Jeandel et Roy- Barman, 2011)

1.4.3. Les phénomènes d'upwelling et de Cascading

L'upwelling est décrit par le processus par lequel des remontées en surface d'eaux profondes et froides. C'est un phénomène océanographique qui se produit lorsque de forts vents marins (généralement des vents saisonniers) poussent l'eau de surface des océans laissant ainsi un vide où peuvent remonter les eaux de fond et avec elle une quantité importante de nutriments.

Les zones les plus connues d'upwelling, sont des zones côtières où le vent dominant souffle parallèlement à une côte qui se trouve sur sa gauche : Maroc, Mauritanie, Sénégal... (**Doglioli, 2020**). Le phénomène opposé, le Cascading, Lorsque l'eau de surface d'une mer se refroidit suffisamment, comme c'est le cas en hiver au contact de l'atmosphère, elle se trouve alourdie et entame un mouvement de descente. Ce phénomène s'appelle le cascading ; il est très important car l'eau qui descend par accroissement de sa densité est très oxygénée ; elle renouvelle ainsi l'oxygène en profondeur. Ce cascading se produit, par exemple, en hiver en de nombreux endroits de la côte septentrionale de la Méditerranée occidentale.

1.5. Circulation à l'échelle du sous-bassin

La circulation océanique grande échelle a depuis longtemps, été décrite simplement grâce aux modèles classiques, qui proposent une vision stationnaire de l'écoulement des grands courants océaniques. Au fil des progrès techniques, ces modèles ont été complétés par des observations par satellites, qui ont permis de mettre en évidence une large gamme d'échelles spatiales et temporelles, notamment des variabilités à petites échelles ou des processus dits de méso échelle. A cette échelle (10-100 km) se déploient différents types de structures hydrodynamiques (panache de fleuve, tourbillon, upwelling, mélange vertical), l'activité de ces structures typique de méso échelle interagissent entre elles et génèrent à leur tour la formation de structures encore plus petites, dites de sous-méso échelle comprises entre 100 m et 10 km (filaments ou fronts) par étirement des masses d'eau.

La présence de (sous) méso échelle va alors influencer à une échelle locale, la dynamique côtière en favorisant les échanges côte-large, ce qui a un impact sur l'écologie ou encore la production biologique, à une échelle globale, ces mécanismes vont avoir un rôle dans la distribution de la température et de sel (puisque'il a été démontré que les AEs sont responsables de la diffusion de la LIW au large du bassin algérien) (**Escudier et al., 2016 ; Cotroneo et al., 2019**).

Dans le sud de la Méditerranée, les caractéristiques de méso échelle dominant (**Millot et Taupier-2005**), déclenchées par l'instabilité du courant Algérien, les tourbillons anticycloniques peuvent avoir un diamètre de 50 à 150 km (jusqu'à 250 km) et s'étendre verticalement sur plusieurs centaines à plusieurs milliers de mètres (jusqu'au fond 300 m) sur plusieurs mois.

1.6. Circulation dans le bassin ouest algérien

L'écoulement de l'eau atlantique modifiée le long de la côte algérienne forme un courant d'un débit de ~ 1.7 SV appelé 'Courant Algérien', étroit (30-50 km), profond (200-400 m) et présente une signature unique de salinité (36,5 PSU) (Arnone et al., 1990). A la côte près de 0° E, il devient plus large et moins profond en progressant vers l'Est. Ce courant est hautement instable et conduit parfois à la génération de méandres de quelques dizaines de kilomètres qui donnent naissance à des tourbillons appelés tourbillons algériens ("Algerian Eddies", Aes) (Millot et al., 1990).

Ces tourbillons anticycloniques aux vitesses intensifiées en surface ont un rayon variant de 50 km à 100 km. Comme ces événements sont grands et profonds, l'élargissement des plateaux tunisien et sarde les empêche de continuer à travers le Canal de Sardaigne (Doglioli, 2020) de sorte qu'ils se dissipent et relâche l'eau les composant dans l'eau ambiante. Certains AEs se séparent du courant qui les a générés et migrent vers le nord jusqu'à la limite du Front Nord Baléares, si leur durée de vie le permet, puis se propagent vers l'ouest en suivant les circulations générales des gyres cycloniques (Escudier et al., 2016) concernant l'ensemble du bassin algérien.

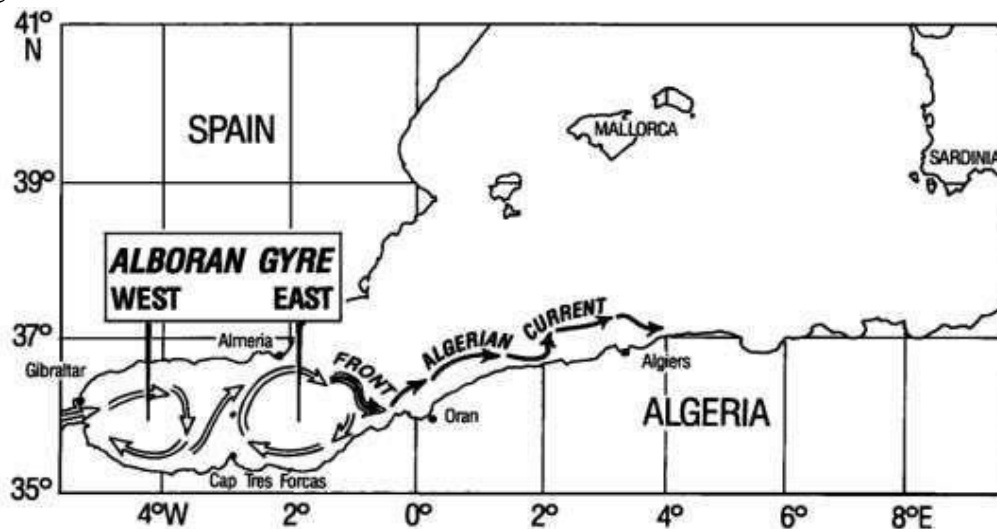


Figure 9: Ecoulement des eaux de surface dans la mer d'Alboran et le long de la côte algérienne (Arnone et al., 1990).

Légende : L'eau atlantique entrante dans la mer d'Alboran forme deux tourbillons (gyre) anticyclonique : le gyre Ouest et Est. La limite du tourbillon Est qui s'étend entre Almeria et Oran, appelée le front Almeria-Oran, sépare la MAW des eaux de surface plus denses et plus salées ($S > 37,6$ psu) des eaux qui sont plus au large du bassin occidental. Au voisinage d'Oran, le courant se divise en une composante d'ouest, qui poursuit sa boucle anticyclonique et en une composante d'est, qui forme un fort courant d'est le long de la côte algérienne (Courant Algérien) (Arnone et al., 1990).

Chapitre 2 :

Description de la zone d'étude

Chapitre 2 : Description de la zone d'étude

2.1. Contexte géodynamique du bassin algérien

Le bassin algérien est un domaine complexe dont la configuration résulte de l'interaction entre les phénomènes orogéniques et extensifs dans le contexte de la convergence Afrique-Eurasie.

De nombreux modèles d'évolution géodynamique de la Méditerranée Occidentale ont été proposés. Il est actuellement admis que la marge algérienne a subi divers changements depuis le Cénozoïque, la situation était la suivante ; collision entre deux masses continentales Afrique/Europe il s'agit d'une subduction continentale, la Téthys maghrébine coincé entre l'Eurasie qui va Sud-Est et l'Afrique qui remonte au nord est progressivement subduite sous le continent eurasiens.

La zone de distension liée à la subduction extensive fait que plusieurs blocs vont se détacher du continent européen et dériver vers le sud, aspirés par le retrait de la zone de subduction de la Téthys. Ce sont les blocs Co (Corse), S (Sardaigne), B (Baléares), Al (Alboran), K Pe (Kabylie, Monts Péloritains), Ca (Calabre). Un évènement important s'ensuit qui est l'ouverture du bassin Algéro-provençal c'est-à-dire du bassin en arrière arc de la subduction, l'ouverture du bassin océanique entraîne la dérive du domaine AlKaPeCa, les blocs Co (Corse) et S(Sardaigne) d'une part et KPe (Kabylie-Péloritains), Ca(Calabre) d'autre part, dérivent vers le Sud-Est, tandis qu'Al (Alboran) dérive vers le sud-ouest. Le bloc B (Baléares) ne bougera plus beaucoup, bloqué par une faille. Autre fait important est la formation d'un prisme d'accrétion (formé des unités de flysch) entre les Kabylie et la marge Africaines.

L'ouverture du bassin algérien se termine au moment où les Kabyle sont totalement accrétés à la plaque africaine indiquant la poursuite de la convergence entre les blocs AlKaPeCa et la marge Africaine³. Les fonds marins de la Mer Méditerranée se modifient encore aujourd'hui car les plaques africaines et eurasiennes se rapprochent à une vitesse d'environ 5 mm/an à la longitude d'Alger (**Domzig, 2006**).

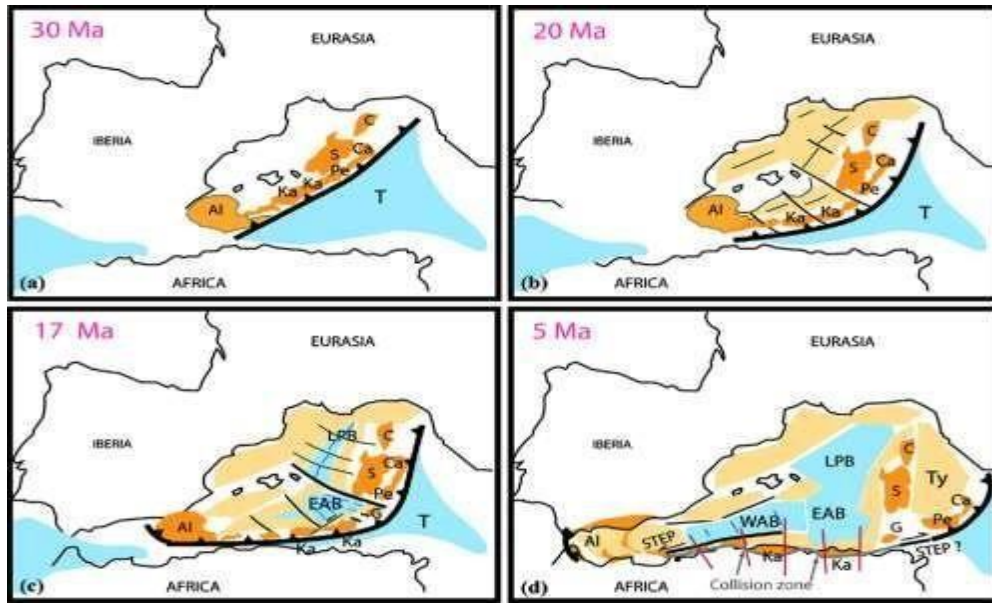


Figure 10: Processus d'ouverture du bassin algérien (B. Bouyahiaoui et al. 2015)

Légende : (a) 30 Ma. Le bloc AlKaPeCa forme l'avant-arc européen au sud du continent eurasién, le long de la zone de subduction téthysienne qui présente une forme linéaire, b) 20 Ma. En raison du processus de rollback⁴, les blocs AlKaPeCa et Corso-Sardaigne migrent vers le sud et le sud-est alors qu'une étape de rifting se produit en position d'arrière-arc à l'arrière de ces blocs, (c) 17 Ma. Alors que les blocs AlKaPeCa migrent vers le sud et le sud-est, l'avant-arc s'allonge le long de la zone de subduction qui devient encore plus arquée, Entre 17 et 15 Ma, la collision entre les blocs kabyles et le bord africain se produit. Après la collision, deux failles STEP peuvent se développer alors que la déchirure du slab⁵ se propage vers l'ouest le long de la marge ouest algérienne et sous le domaine d'Alboran, et vers l'est le long du bord sud du domaine tyrrhénien qui s'ouvre. (d) 5 Ma. Début de l'océanisation du bassin tyrrhénien. Al, Alboran ; Ca, Calabre ; C, Corse ; EAB, bassin algérien oriental ; G, île Galite ; Ka, Kabylie ; LPB, bassin Liguro Provençal ; Pe, Peloritani ; S, Sardaigne ; T, Téthys ; Ty, mer Tyrrhénienne ; WAB, bassin algérien occidental.

2.2. Description de la zone d'étude

2.2.1. La côte algérienne

2.2.2. La situation géographique

La côte algérienne est située dans la partie Sud du bassin méditerranéen occidental. Elle forme avec les côtes Baléares et Sarde le bassin algérien situé entre les latitudes 35° et 40° Nord et entre les longitudes de 2° Ouest à 7°45 Est.

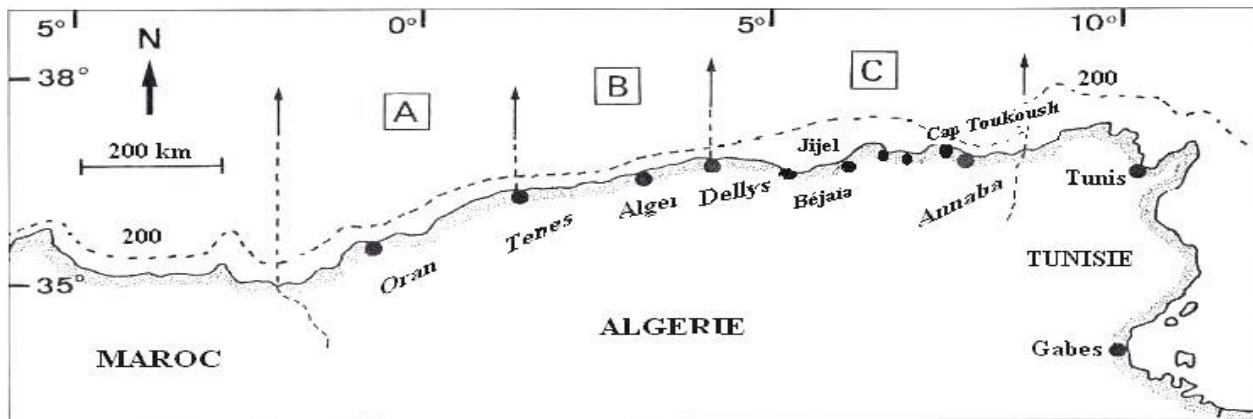


Figure 11: Carte du bassin algérien (A : région Ouest ; B : région Centre ; C : région Est) (Hemida,2005).

S'étendant sur 1622 km de Marsat Ben M'hidi (ex Port-Say, Tlemcen), à l'Ouest, au Cap Roux à l'Est (El Taraf), le littoral algérien se présente comme une côte rectiligne, peu découpé, ses sinuosités sont caractérisées par d'imposantes falaises qui forment une succession de baies et golfs plus ou moins ouverts séparés par des régions escarpées. Cette côte compte 31 oueds dont les plus importants sont les oueds Tafna, Chelif, Mazafran, EL Harrach, Soummam, Sebaou, Isser, El Kébir, Saf Saf, Seybouse². Deux oueds à débit important, se jettent en Méditerranée entre la ville d'Alger et Dellys et ils sont de l'Ouest à l'Est : l'oued Isser et l'oued Sébaou (Fernane, 2014).

² Ministère chargé de l'environnement PAP RAC/PAM, 2015. Stratégie nationale de gestion intégrée des zones côtières en Algérie (Appui PAM-MedPartnership, UNESCO). p94.

2.2.3. La marge continentale algérienne

Selon une thèse admise dans le sillage des travaux de J.Broucart (1960) montre qu'en règle générale, les terres émergées se prolongent en mer par une bordure sous-marine plus ou moins étendue, plus ou moins plate, appelée marge continentale ou encore précontinent (**Leclaire, 1972**).

La marge continentale algérienne c'est-à-dire la bande maritime de près de 20 kilomètres de largeur au-delà des côtes algérienne (**Chaouche et al., 2006**), correspond à la partie centrale de la bordure sud de la méditerranée occidentale. Elle occupe l'espace compris entre les marges tunisiennes à l'Est et marocaine à l'Ouest et s'étend sur environ 1200 km d'Est en Ouest. Entre la longitude 8°5' Est et 2°2' Ouest son orientation est sensiblement Est-Ouest depuis la frontière Algéro-tunisienne, jusqu'au méridien de Ténès. Au-delà vers l'Ouest, elle devient Nord-Est Sud- Ouest jusqu'à la frontière Algéro-marocaine³.

Le « précontinent de la Berbérie méditerranéenne » présente au centre devant l'Algérie un paysage sous-marin relativement peu étendue et très escarpée (**Leclaire, 1972**). Il est l'un des plus escarpés de la Méditerranée occidentale avec un bassin décrit comme étant une cuvette relativement plate, profonde de 2700 m en moyenne (**Domzig, 2006**). Ce plateau continental, avec ses 7 km de largeur moyenne, est l'un des plus étroits du bassin Ouest-méditerranéen qui apparaît comme fragmenté et discontinu en forme d'escaliers.

Dans certains cas, il disparaît pratiquement ou se réduit à une corniche sous-marine de moins d'un kilomètre de large notamment en face des massifs élevés tels que ceux de Kabylie, d'Alger, du Chenoua et de Ténès. En revanche face à des bassins néogènes, tels que la Mitidja et le bassin de Chelif et la Soummam, le plateau devient plus étendu et peut atteindre quelques dizaines de kilomètres. Cette disharmonie est due à deux aspects principaux :

- Il est étroit (plateau pratiquement inexistant-littoral rectiligne, à falaises), devant les massifs élevés.
- Il est plus large (plateau nettement différencié-littoral bas et échancré) au droit des dépressions comme c'est le cas des baies et des golfes.

Cette étroitesse et diversité caractérisent le précontinent algérien, les variations de déclivité de la pente continentale le singularisent encore davantage. C'est ainsi que dans le Golfe de Ghazaouet (anciennement Golfe de Nemours) l'abrupt est de 1° alors que près des massifs de Kabylie, il est d'environ 15 à 20°, ainsi le dénivelé moyen est proche de 3500 m sur une largeur

³ Notes de cours de Géologie, 2017

d'environ 20 à 30 km.

Cette pente continentale présente une orientation générale E-W avec cependant des indentations NE-SW (large d'Oran, frontière algéro-tunisienne) et NW-SE qui sont à l'origine de l'aspect des golfes sur le rivage algérien. (**Auzende, 1978**).

Le rebord de la plate-forme est entaillé par de nombreux vallées sous-marines ou canyons qui dissèquent la pente et débouchent vers -2000m , ces vallées prennent en effet naissance dans de véritables cirques de type torrentiel ou des ravins entaillent le rebord continental en dessinant la très classique patte d'oie (**Leclaire, 1972**), servant de voies de transits pour les sédiments favorisant ainsi l'évacuation des matériaux détritiques fournis par l'érosion, alimentant ainsi les éventails sédimentaires profonds (**Fernane, 2014**).

De plus, les canyons qui coupent la pente continentale fonctionnent comme des « pièges à sédiments » permettant à l'eau dense sur le plateau quelle que soit sa direction d'écoulement d'être capturée et d'atteindre de grandes profondeurs (**Doglioli,2020**).

Par ailleurs le glacis continental, zone de transition entre la pente continentale et la plaine abyssale généralement étroite (**Chaouche et al., 2006**) et est beaucoup plus large sur les marges continentales septentrionales que méridionales cela s'explique simplement par le fait que les fleuves susceptibles d'apporter des sédiments se trouvent au nord occidental, tandis que dans le nord de l'Afrique, les apports de sédiments sont très réduits (**Torrès,1995**).

2.3. La situation géographique de la zone d'étude

La zone d'étude se situe au sud de la Méditerranée occidentale, dans le bassin algérien à l'ouest d'Alger et au Sud-Est de la Mer d'Alboran, elle s'étend sur 317.9 km de Tlemcen à Chlef , comprise entre les coordonnées : Latitude : $36^{\circ}12'12.312''$ et altitude : $1^{\circ}16'5.05''$ à l'Est et à l'Ouest avec une Latitude de : $34^{\circ}52'54.44''$ et d'une altitude de $1^{\circ}19'0.16''$.

Dans cette région on voit les courbes de niveau du plateau continental s'écartées à partir de la limite ouest d'Oran se prolongeant vers l'extrême ouest, ce qui démontre l'élargissement du plateau continentale et la diminution de sa pente, le plateau atteint 80 km entre Ain-Témouchent et Tlemcen et représente la zone la plus large de la marge Algérienne, s'étendant sur une distance de 150 Km de la limite ouest d'Oran jusqu'à la frontière marocaine.

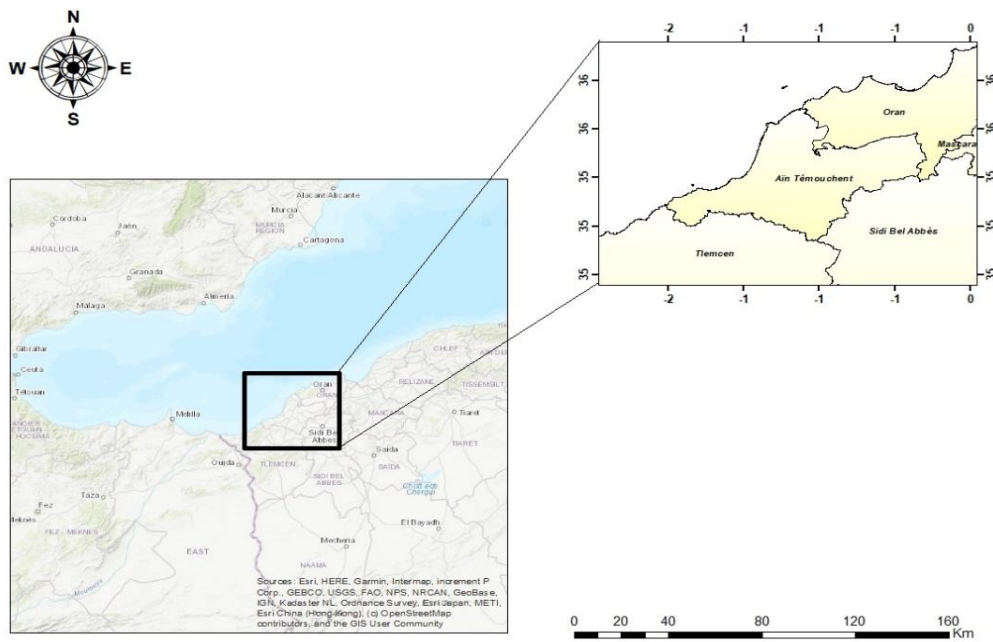


Figure 11: Carte du bassin ouest algérien

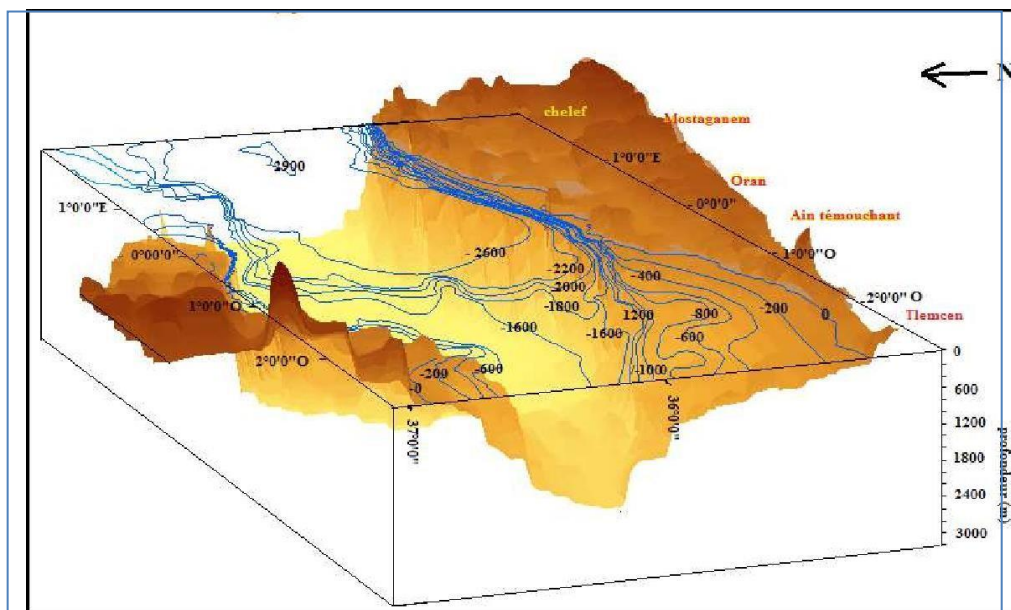


Figure 13 : Représentation 3D de la marge continentale algérienne et du promontoire Baléares, d'après les données GEBCO (vue en regardant vers l'est)

Légende : Dans cette région on voit les courbes de niveau du plateau continental s'écartées à partir de la limite ouest d'Oran se prolongeant vers l'extrême ouest, ce qui démontre l'élargissement du plateau continental et la diminution de sa pente, le plateau atteint 80 km entre Ain-Témouchent et Tlemcen et représente la zone la plus large de la marge Algérienne, s'étendant sur une distance de 150 Km de la limite ouest d'Oran jusqu'à la frontière marocaine.

Chapitre 3 :
Matériels et méthode

Chapitre 3 : Matériels et méthode

3.1. Présentation de la base de données utilisée et méthode d'exploitation

Afin de mettre en commun les nombreuses mesures de l'océan et de coordonner les multiples observations, différents réseaux et bases de données ont été mis en place. Les données qui seront présentées dans cette section et utilisées dans le cadre de ce travail de mémoire proviennent pour la plupart des sources de données Copernicus.

Copernicus est le programme d'observation de la Terre qui appartient à l'Union européenne. Il offre des services d'information basés sur les observations satellitaires, des prises de données in situ (hors espace) et le traitement par des modèles numériques. Il est mis en œuvre en partenariat avec les États membres, l'Agence Spatiale Européenne (ESA), l'Organisation Européenne pour l'Exploitation de Satellites Météorologiques (EUMETSAT), le Centre Européen Météorologique à Moyen Terme (CEPMET), les agences de l'UE et Mercator Ocean International.

Les composants du programme Copernicus :

- a) Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS)
- b) Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS)
- c) Copernicus Land Monitoring Service (CLMS)
- d) Copernicus Climate Change Service (C3S)

Dans ce projet d'étude, nous avons utilisé le volet CMEMS (Copernicus Marine Service ou Copernicus Marine Environment Monitoring Service) qui est la composante du programme Copernicus. Il fournit des informations régulières et systématiques faisant autorité sur l'état de l'océan bleu (physique), blanc (glace de mer) et vert (biogéochimique) à l'échelle mondiale et régionale. Il fournit des données essentielles qui soutiennent les initiatives scientifique internationales et peut contribuer à : la lutte contre la pollution, la protection marine, la sécurité et le routage maritimes, l'utilisation durable des ressources océaniques, le développement des ressources énergétiques marines renouvelables, le soutien à la croissance bleue, la surveillance du climat, les prévisions, etc.

3.2. Principe de mesure et de modélisation des données de CEMES

Le produit de réanalyse physique **Mediterranean Monitoring Forecasting Centre (Med MFC)** est généré par un système numérique composé d'un modèle hydrodynamique. Après avoir pris des mesures in-situ, le reste du travail sera exploité avec le programme fourni par NEMO

(Nucleous for European Modelling of the Ocean) pour calculer toutes les autres valeurs de la zone, sur une grille de résolution horizontale de $1/24^\circ$ (environ 4-5 km). Ce modèle repose sur un schéma d'assimilation de données variationnelles (OceanVAR) pour les profils verticaux de température, de salinité et des données satellitaires (Sea Level Anomaly along track). Les niveaux verticaux inégalement espacés sont au nombre de 141.

3.3. Méthodologie adapté pour l'extraction des données

Sur la plateforme CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service), nous avons choisi les **variables de température et salinité surfacique (1m)** de la méditerranée occidentale de la rive sud :

DOI:https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_MULTIYEAR_PHY_006_004_E3R1)

Pour l'ensemble des données, les champs sont des moyennes mensuelles sur le mois calendaire (du premier au dernier jour du mois). La moyenne est calculée à partir du premier mois à 00.00 UTC jusqu'au dernier jour du mois à 24 :00 UTC. La fréquence mensuelle représente la plus grande fenêtre temporelle mis à jour dans la base de données Copernicus. Après avoir confirmé la commande, le système informatique de la base de données génère automatiquement le fichier sous l'extension netCDF.

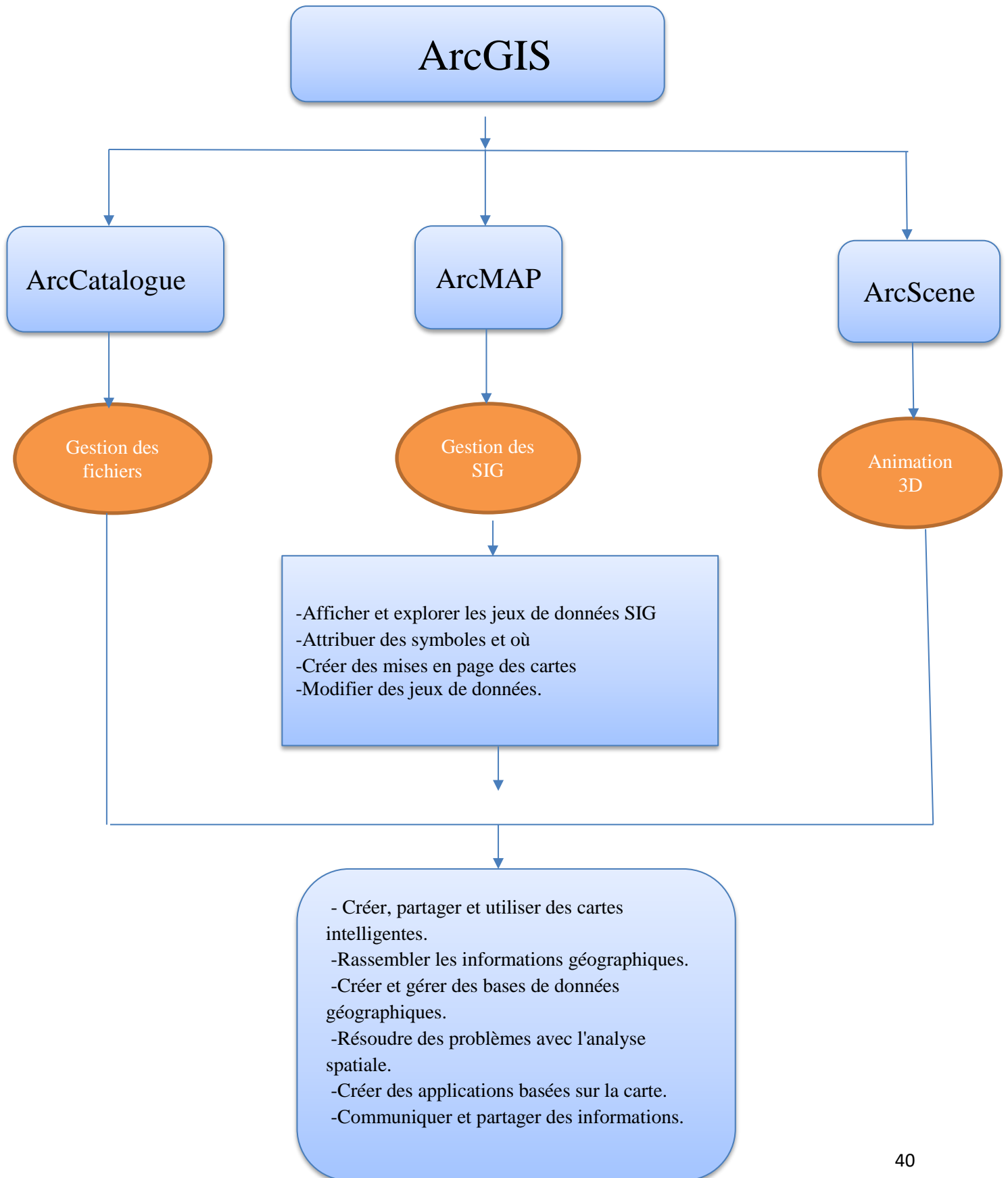
NetCDF (network Common Data Form) : est un format de fichier qui permet de stocker des données scientifiques multidimensionnelles (variables), telles que la température, la pression, la vitesse et la direction du vent. Chacune de ces variables peut s'afficher via une dimension (par exemple, le temps) dans ArcGIS en créant une couche ou une vue tabulaire à partir du fichier NetCDF. Plusieurs organisations et groupes de scientifiques de différents pays ont adopté NetCDF comme méthode standard pour représenter certaines données scientifiques. Le traitement s'effectue ensuite sur le logiciel ArcGIS 10.8 sous licence acquise par le Centre National de Recherche et Développement de la Pêche et d'Aquaculture (CNRDPA). Ce logiciel de cartographie sous-marine est composé de nombreuses extensions qui permettent entre autre de traiter les fichiers netCDF.

3.4. Traitement des données sur ArcGIS :

ArcGIS :

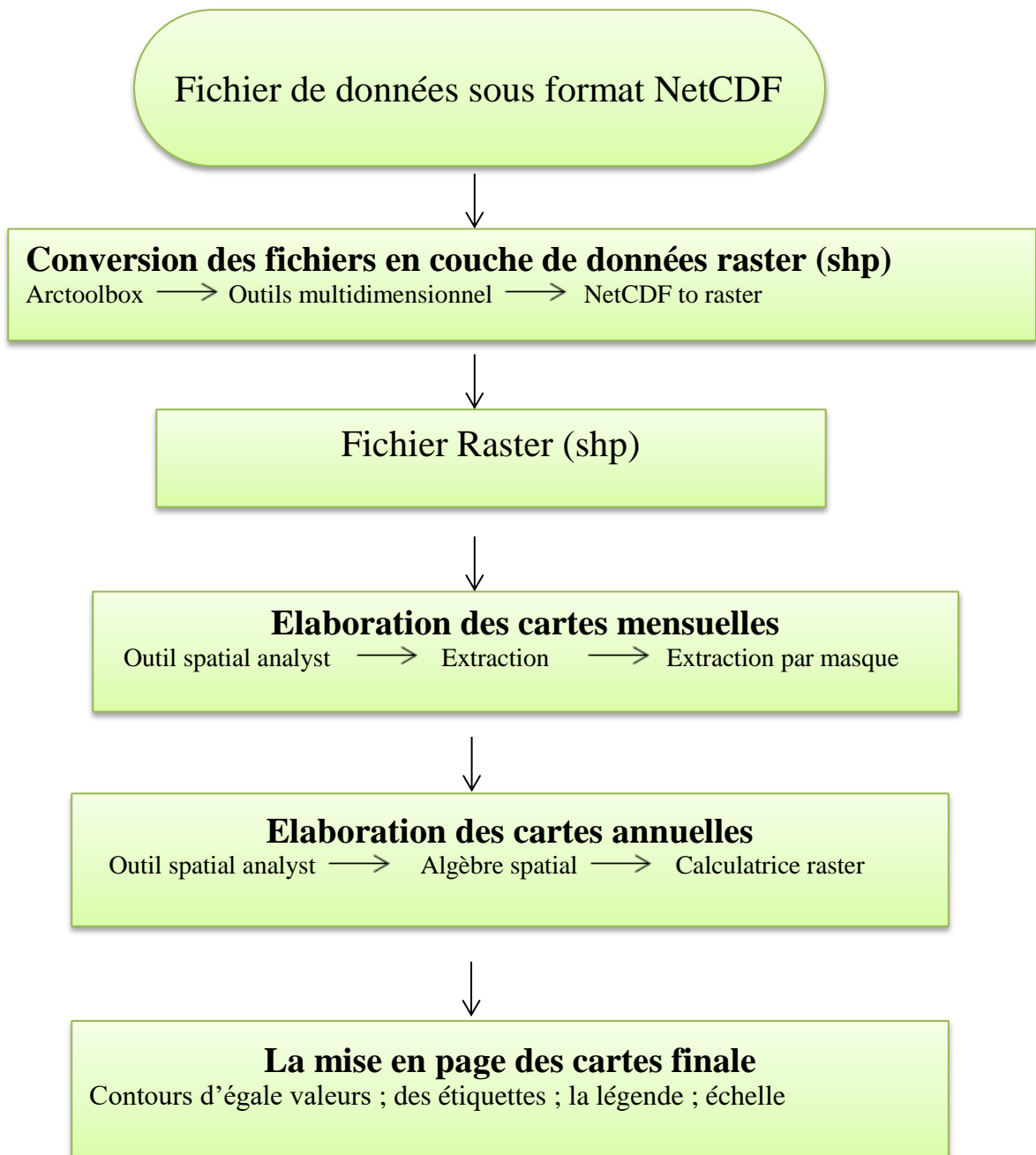
Est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde, ArcGIS est utilisé par des personnes du monde entier pour mettre les connaissances géographiques au service du gouvernement, des entreprises, de la science, de l'éducation et des médias. ArcGIS permet la publication des informations géographiques afin qu'elles puissent être accessibles et utilisables par quiconque. Le système est disponible partout au moyen de navigateurs Web, d'appareils mobiles tels que des smartphones et d'ordinateurs de bureau (Price, 2010).

3.4.1. Organigramme de l'application ArcGIS :



3.5. Méthode de travail sur ArcMAP :

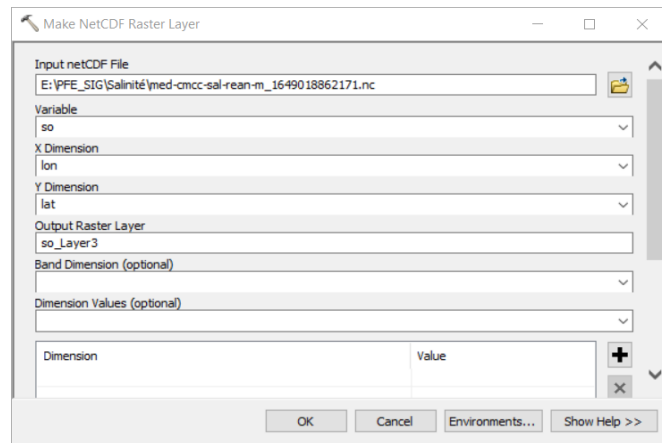
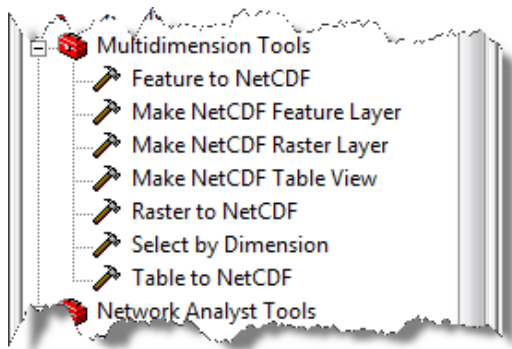
Après avoir extrait les données numériques sur la base de données Copernicus, nous procédons à leur traitement et visualisation sur le l'application ArcMap en suivant l'organisation de l'organigramme ci-dessous,



Les résultats de sorties sur le logiciel Arcgis sont les suivants :

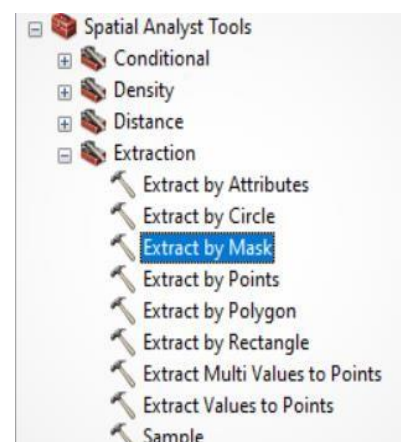
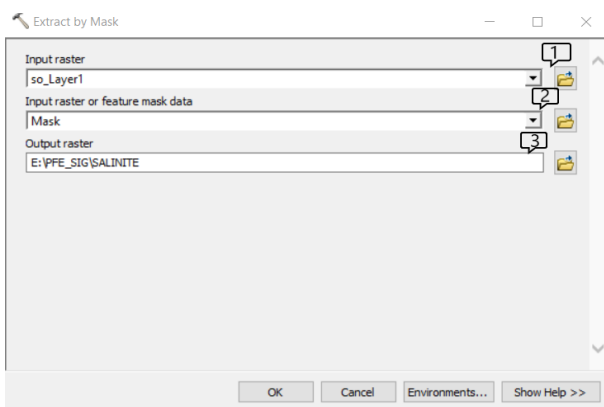
Etape 1 : Conversion d’extension des fichiers de données :

Dans cette étape nous avons converti le fichier des données de format (NetCDF) au format raster avec l’extension (shp), en utilisant l’option (générer une couche raster NetCDF) sur le module (Outils multidimensionnels) dans la barre des utiles (Arc toolbox). Au final nous obtenons des fichiers de température et de salinité à 1 m de surface pour la décennie de (2009/2019) avec des valeurs mensuelle.



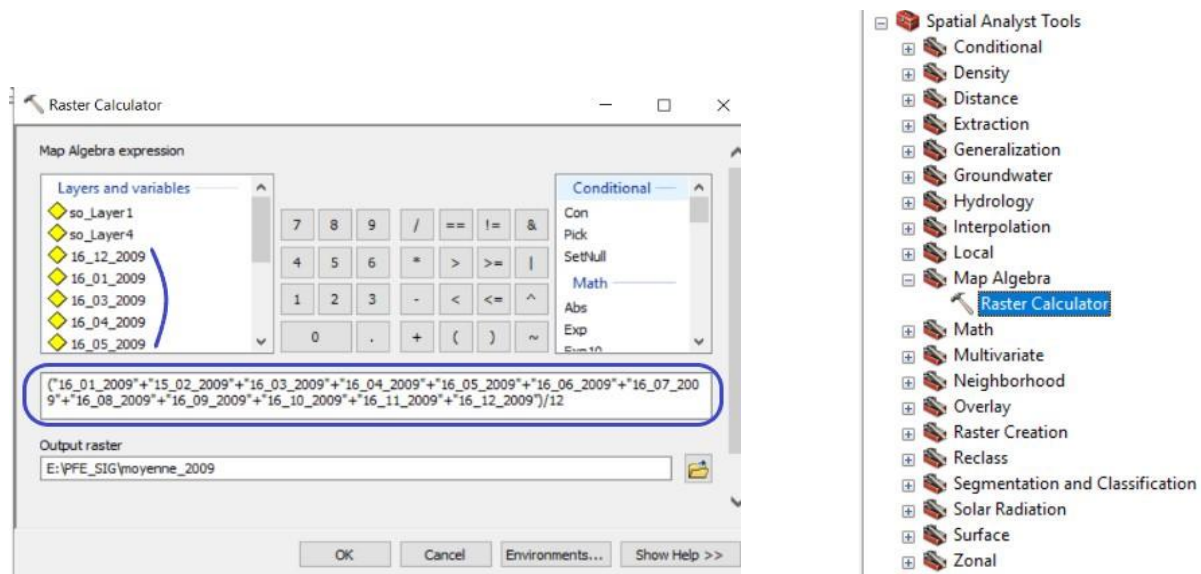
Etape 2 : extraction de données :

Dans cette étape nous avons extrait les données de notre zone d’étude avec des limites précise, Sur le module (Outil d’analyse spatial) dans Arc toolbox, nous avons utilisé l’outil (extraction parmasque), qui nous a permis d’avoir des cartes mensuelles sous format raster bien délimité .



Étape 3 : Elaboration des cartes annuelles :

L'option (calcul raster) sur le model (Algèbre spatial) nous a permis de faire des carte annuelles pour les deux variable, grâce au calcul de la moyenne de l'ensemble des cartes mensuelles de chaque année.

**Étape 4 : la mise en page des cartes :**

Dans cette dernière étape, on a mis en évidence les fichiers raster sous forme de cartes conformes au système international de cartographie, avec toutes la symbologie nécessaire, (contours d'égal valeurs, des étiquettes, la légende).

Chapitre 4 :

Résultats et discussion

Chapitre 4 : Résultats et discussion

4.1. Etude horizontale de la distribution interannuel des températures en surface (-1m) de la décennie (2009/2019)

Dans cette partie, nous avons élaboré des cartes de la distribution des températures et de la salinité en surface (-1m), sur ces cartes, nous allons essayer d'illustrer les variations enregistrées de ces deux paramètres, dans les eaux du bassin ouest algérien pour la décennie 2009-2010 ; les valeurs des températures ont été prises en (°C), et pour la salinité en (PSU). La température de surface de la mer (Sea Surface Temperature - SST - en anglais) correspond à la température de la couche d'eau proche de la surface et dont l'épaisseur, plus ou moins importante, est en général de l'ordre de quelques mètres.

Les figures ci-dessous montrent les valeurs des températures en surface, avec des variations interannuelle depuis 2009 jusqu'à 2019 :

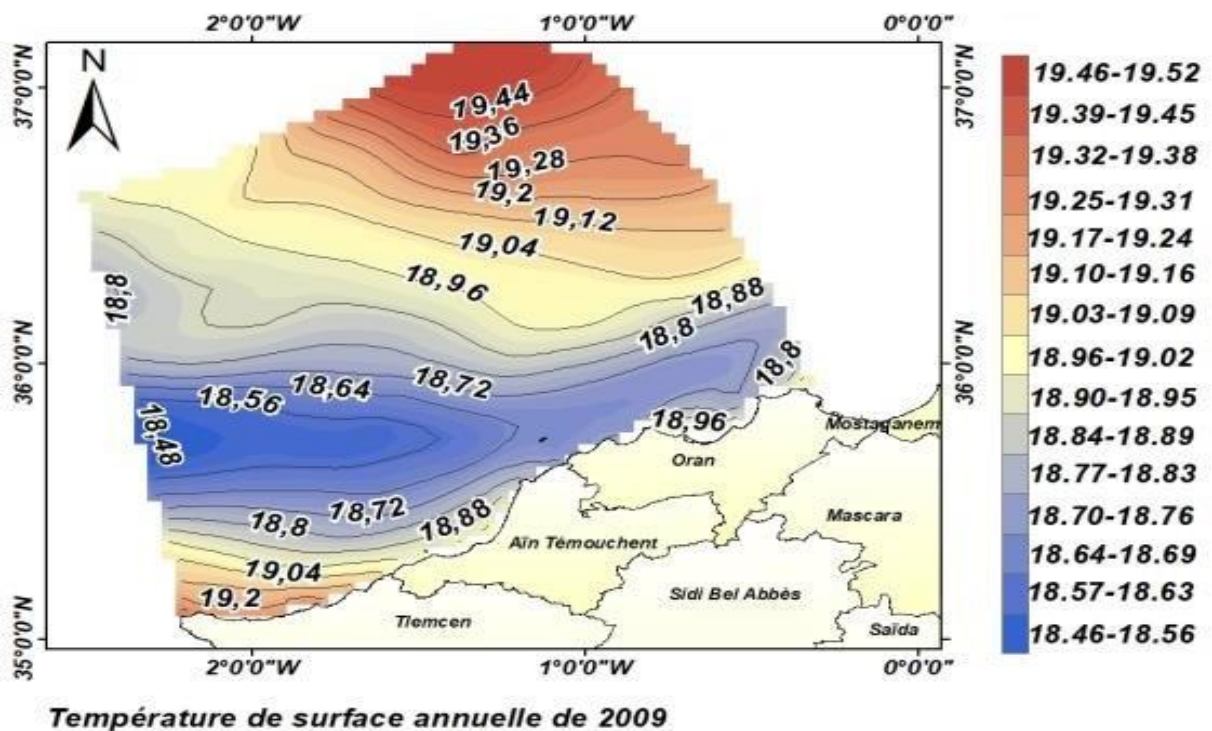
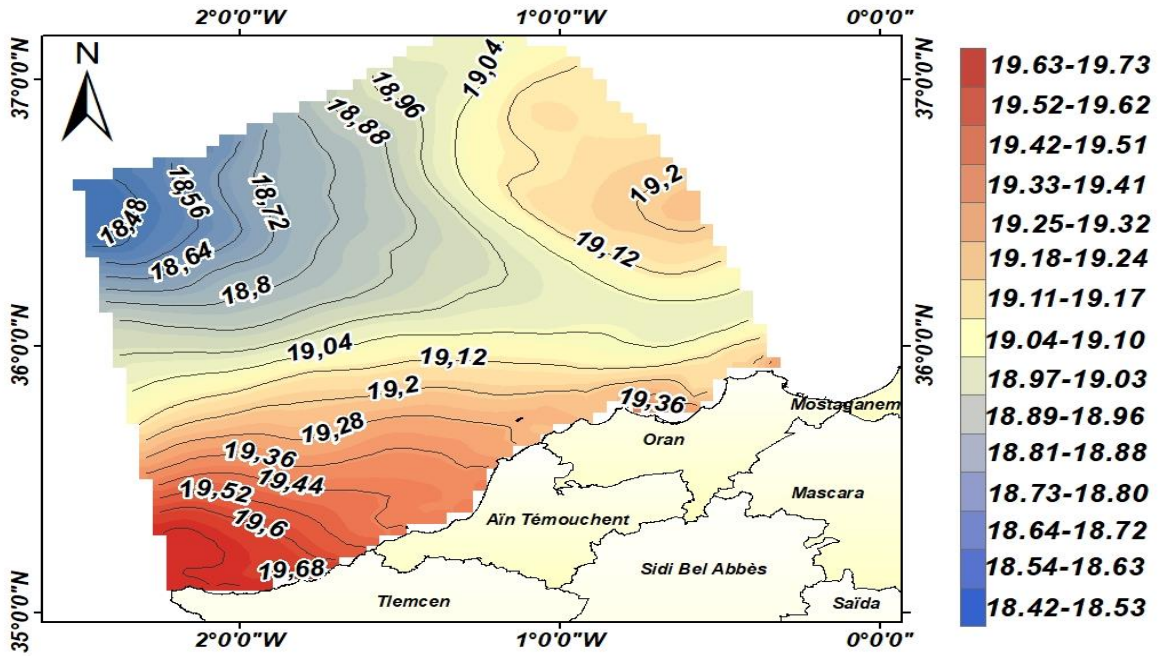
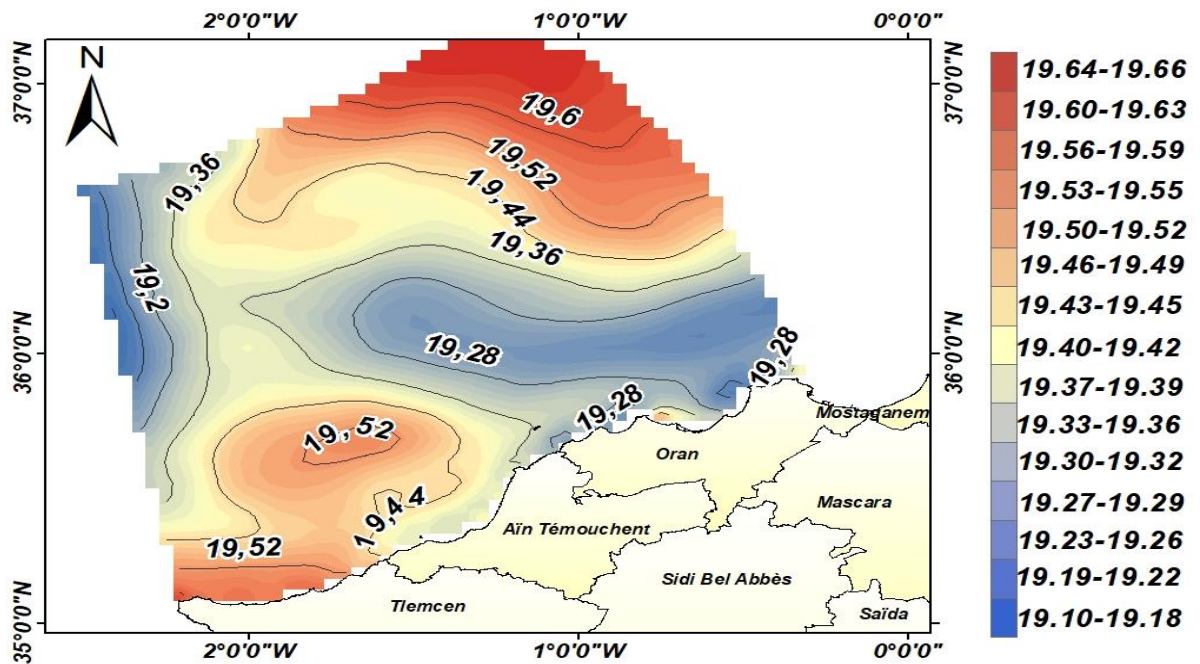


Figure 12 : Température de surface annuelle de l'année 2009



Température de surface annuelle de 2010

Figure 15 : Température de surface de l'année 2010



Température de surface annuelle de 2011

Figure 16 : Température de surface de l'année 2011

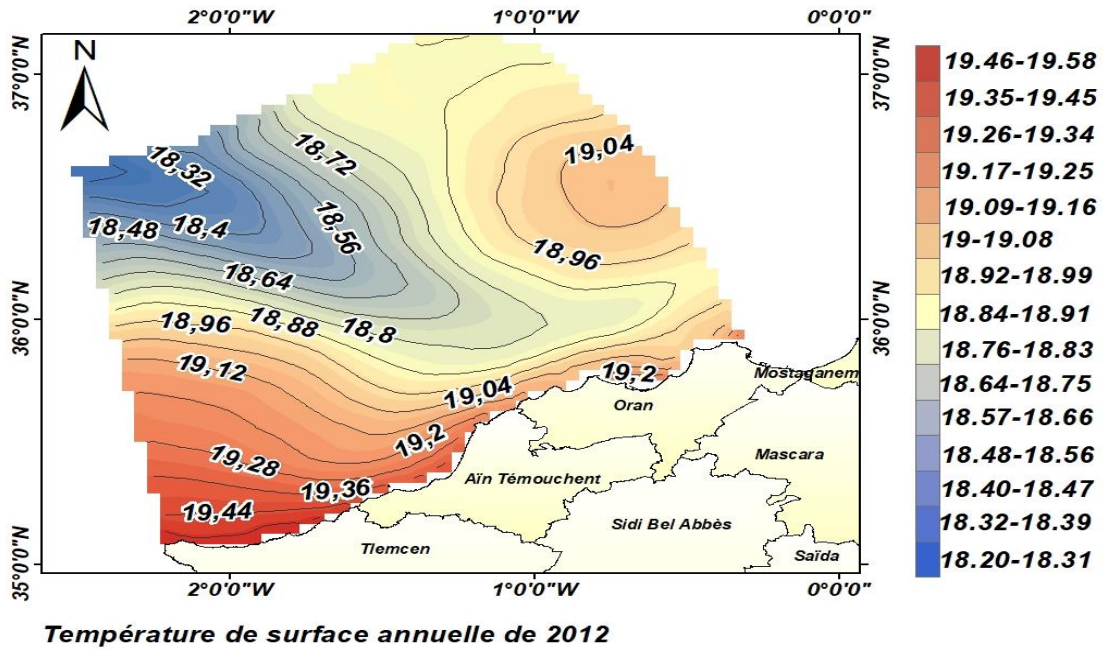


Figure 14: Température de surface de l'année 2012

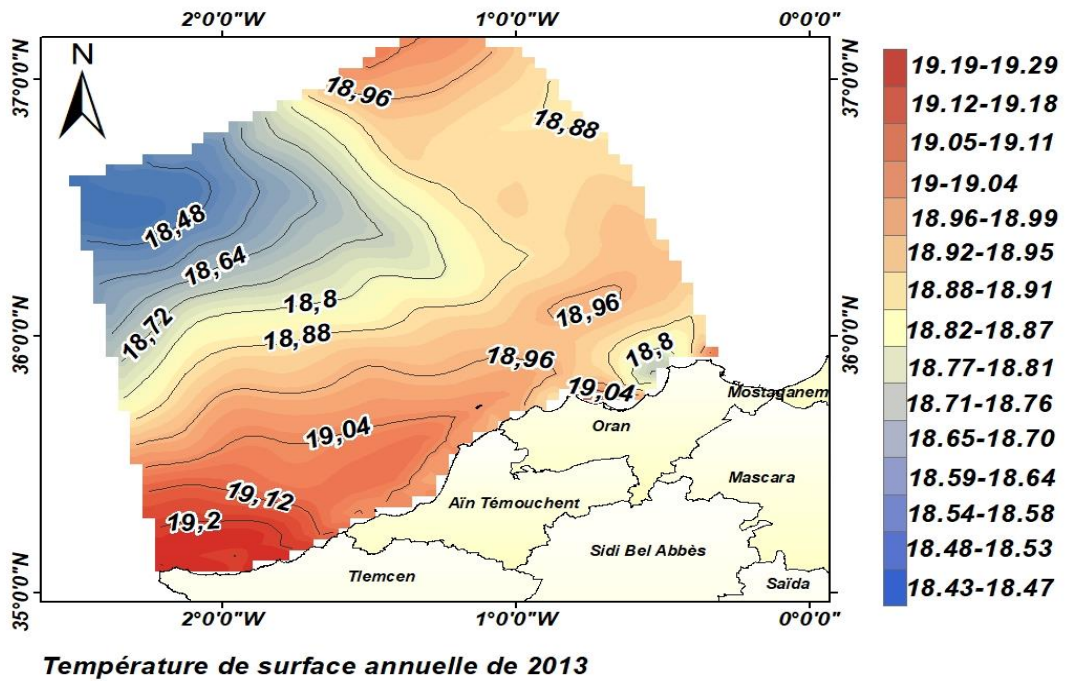


Figure 13: Température de surface de l'année 2013

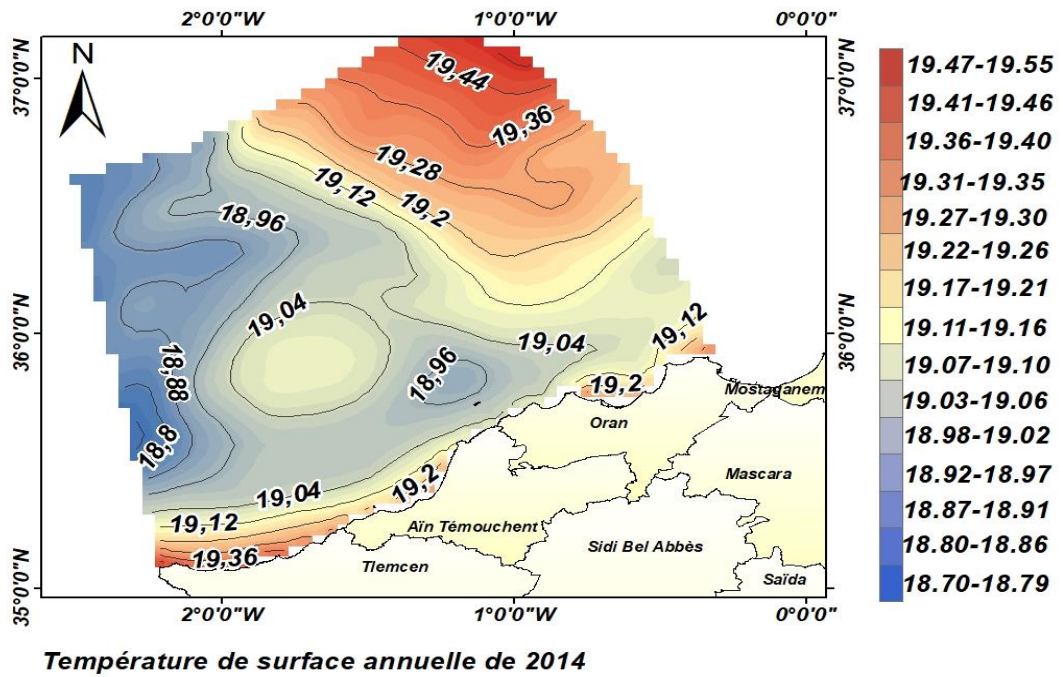


Figure 19: Température de surface de l'année 2014

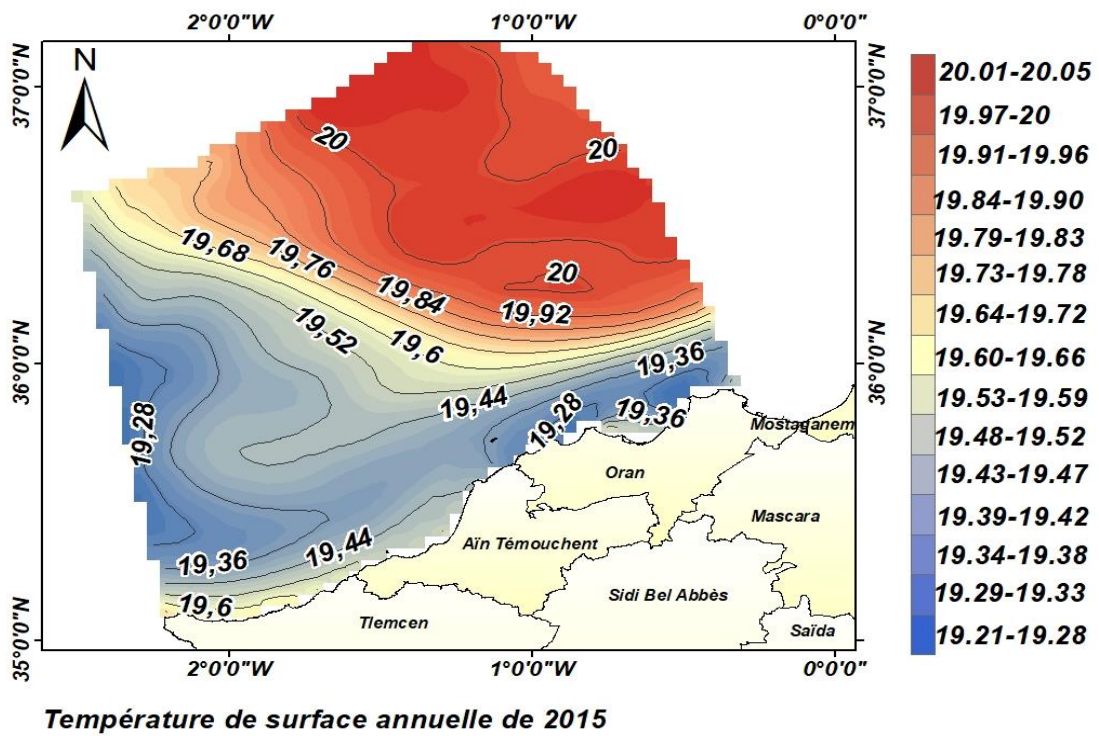
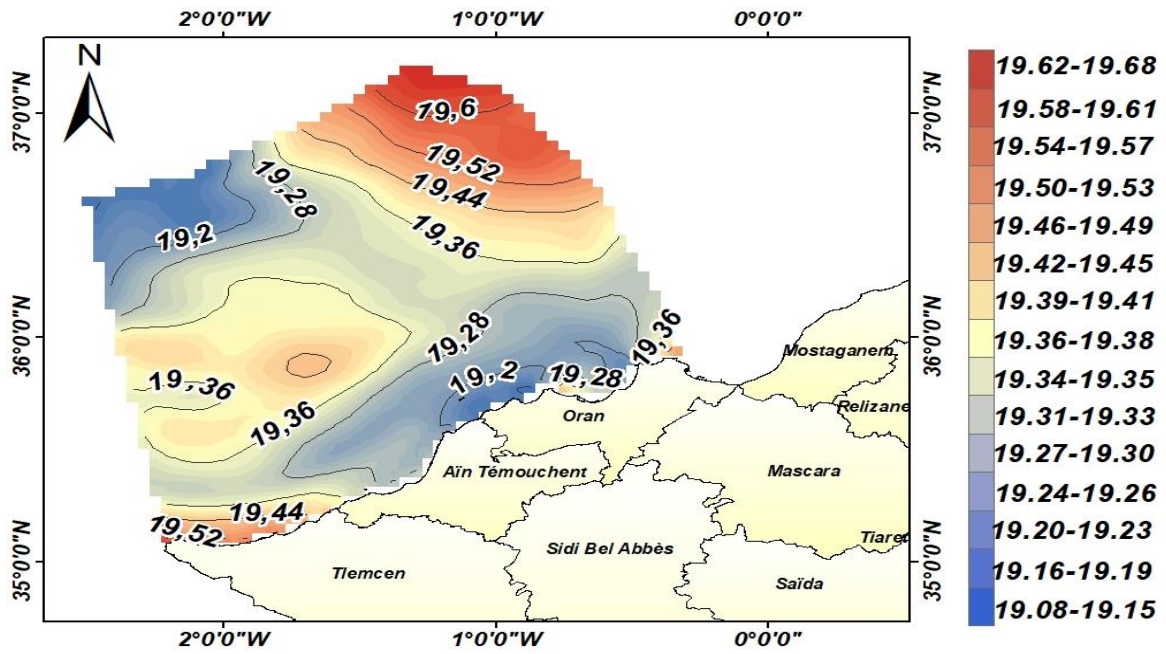
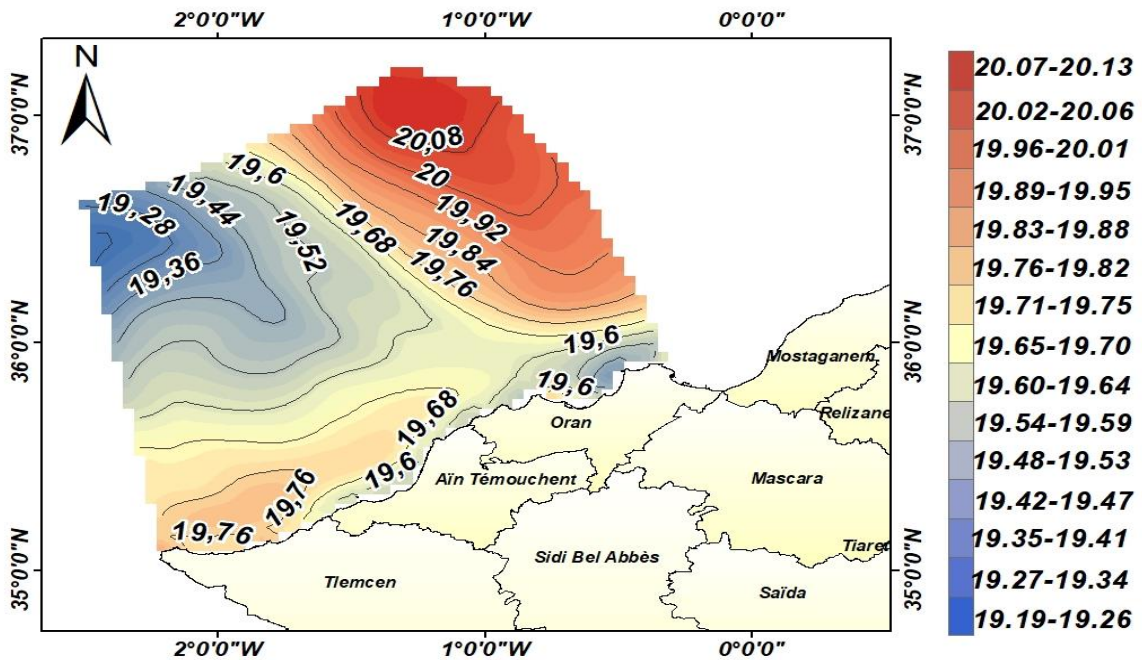


Figure 20: Température de surface de l'année 2015



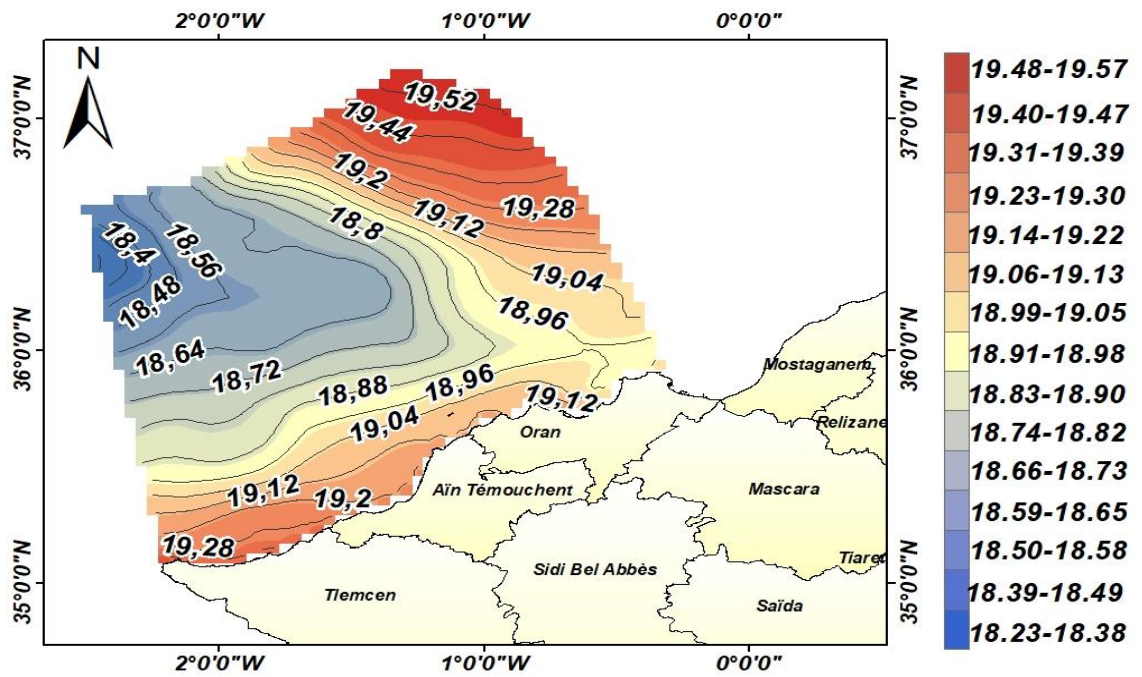
Température de surface annuelle de 2016

Figure 21: Température de surface de l'année 2016



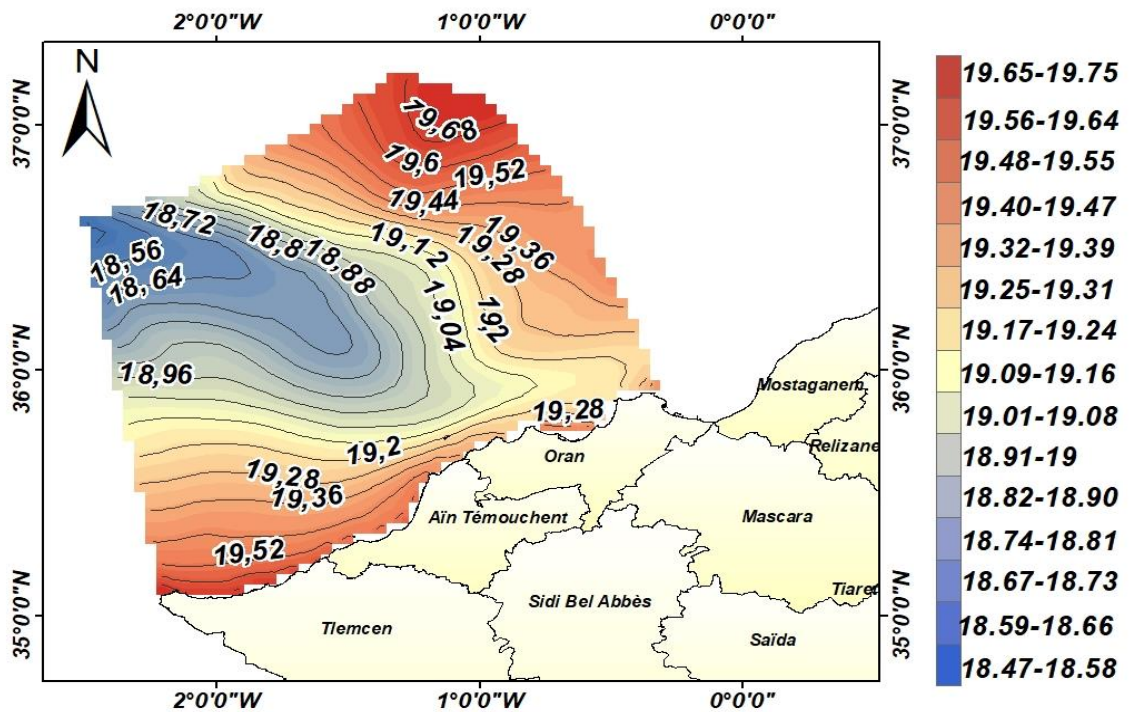
Température de surface annuelle de 2017

Figure 22: Température de surface de l'année 2017



Température de surface annuelle de 2018

Figure 23: Température de surface de l'année 2018



Température de surface annuelle de 2019

Figure 24: Température de surface de l'année 2019

4.2. Etude horizontale de la distribution interannuelle des salinités entre 2009 et 2019 en surface (-1 m) :

La salinité de surface de la mer (Sea Surface Salinity - SSS - en anglais), la salinité de la surface de la mer est intimement liée au cycle global de l'eau et à la quantité d'eau douce qui quitte et entre dans le bassin par évaporation et précipitations. La mesure de la salinité est un moyen de sonder plus en détail le cycle de l'eau. Les figures ci-dessous montre les valeurs des températures en surface, avec des variations interannuelle depuis 2009 jusqu'à 2019 :

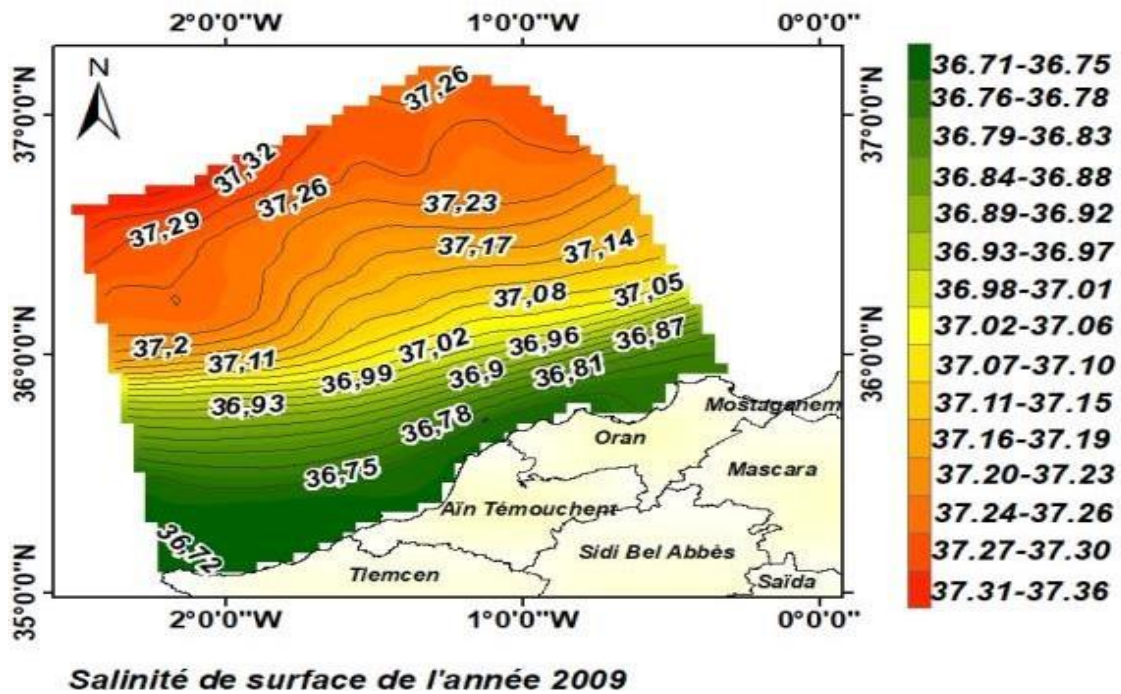
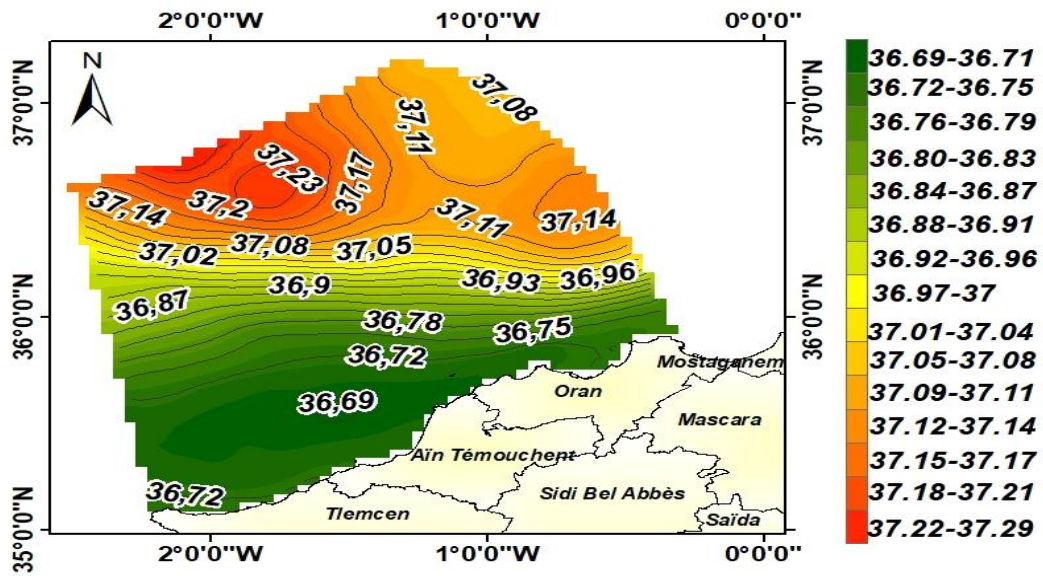
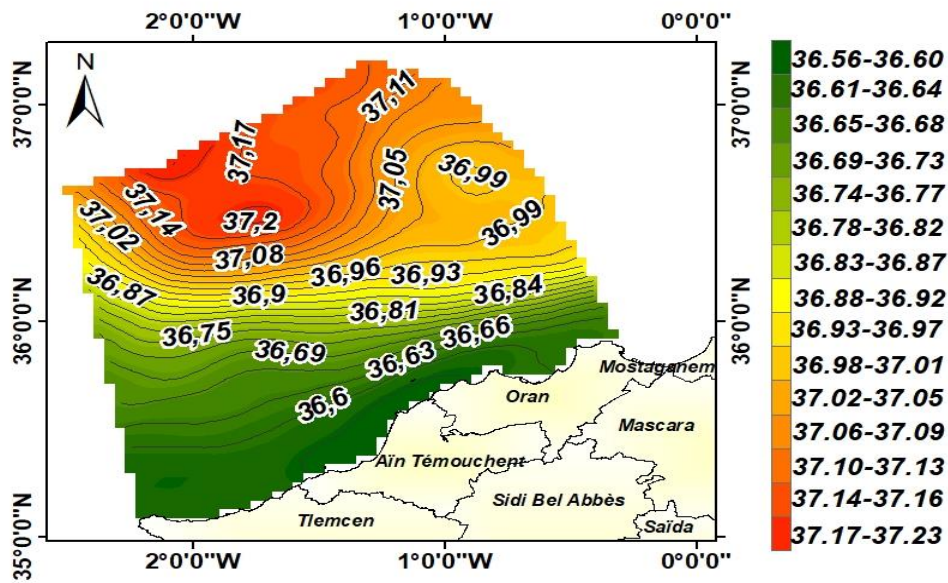


Figure 15 : Salinité de surface de l'année de 2009



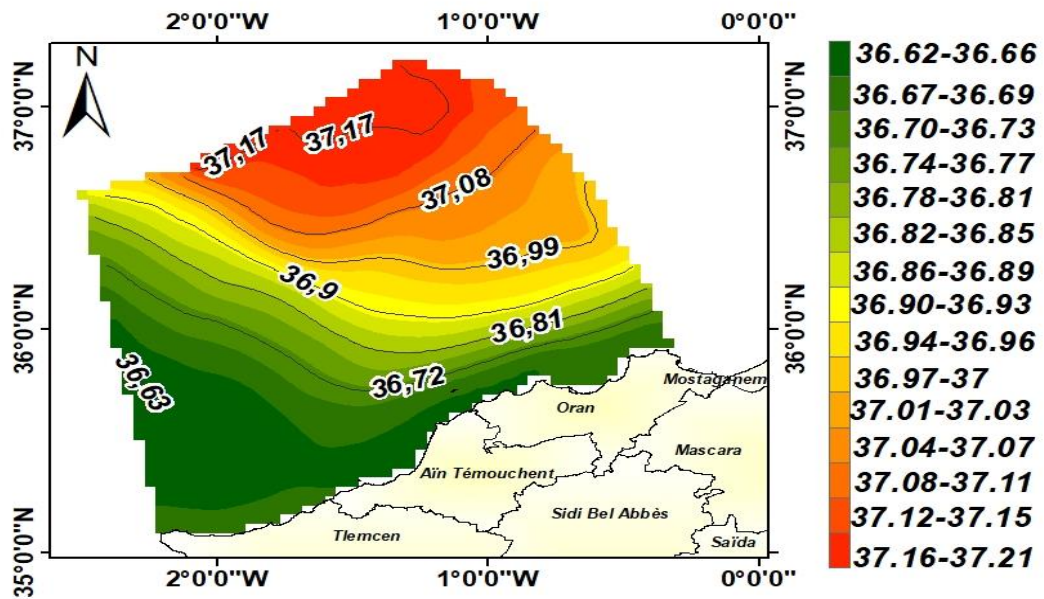
Salinité de surface de l'année 2010

Figure 26: Salinité de surface de l'année 2010



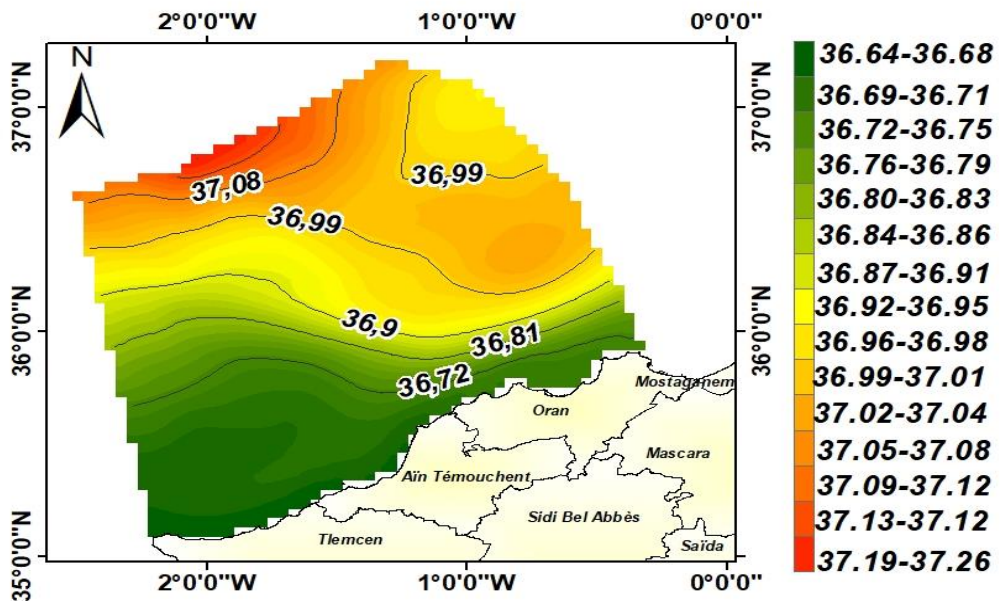
Salinité de surface de l'année 2011

Figure 27 : Salinité de surface de l'année 2011



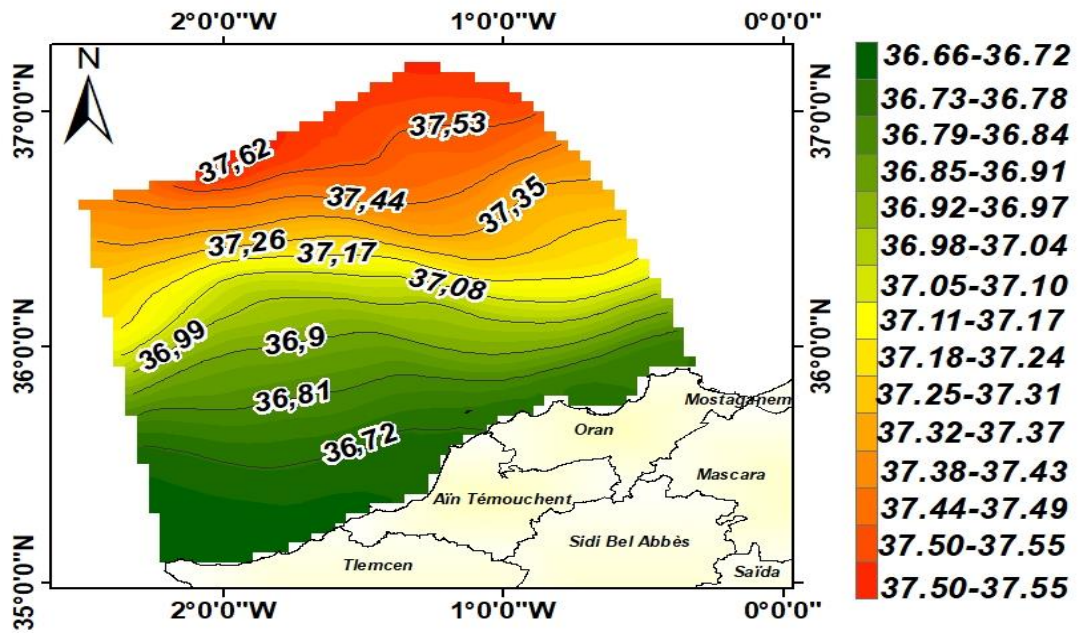
Salinité de surface de l'année 2012

Figure 16: Salinité de surface de l'année 2012



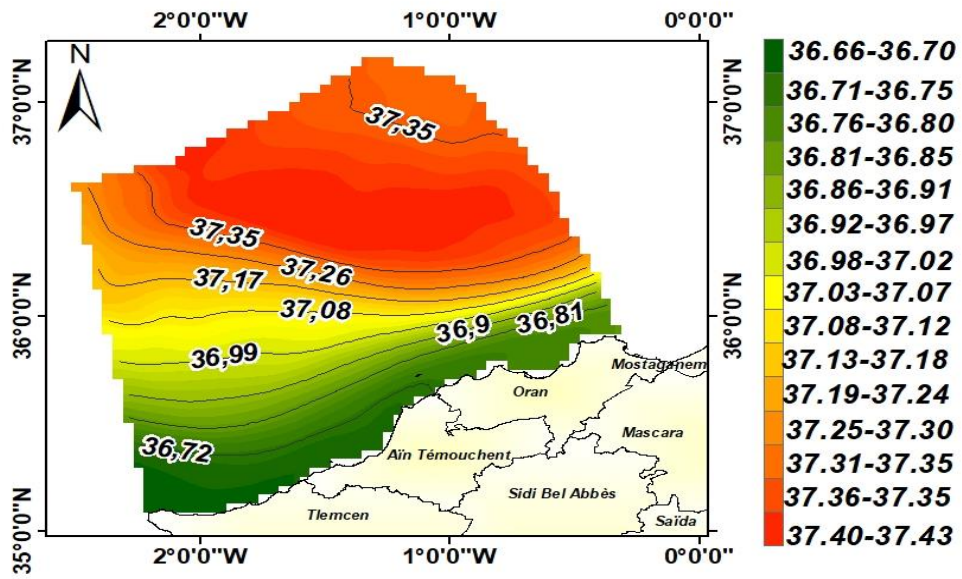
Salinité de surface de l'année 2013

Figure 29: Salinité de surface de l'année 2013



Salinité de surface de l'année 2014

Figure 30: Salinité de surface de l'année 2014



Salinité de surface de l'année 2015

Figure 31 : Salinité de surface de l'année 2015

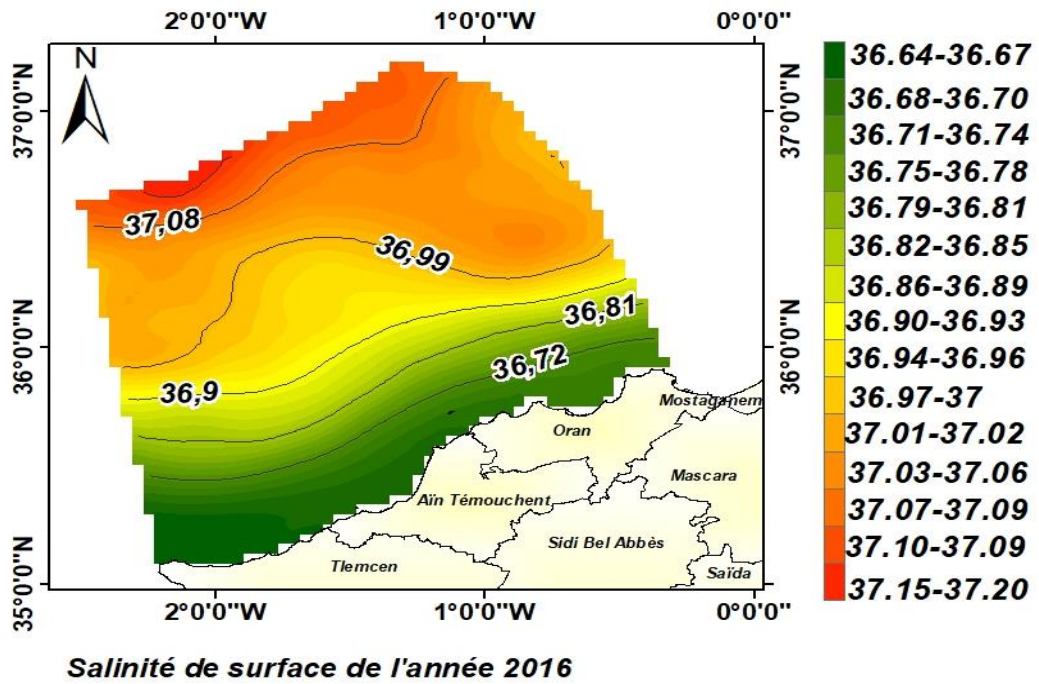


Figure 32: Salinité de surface de l'année 2016

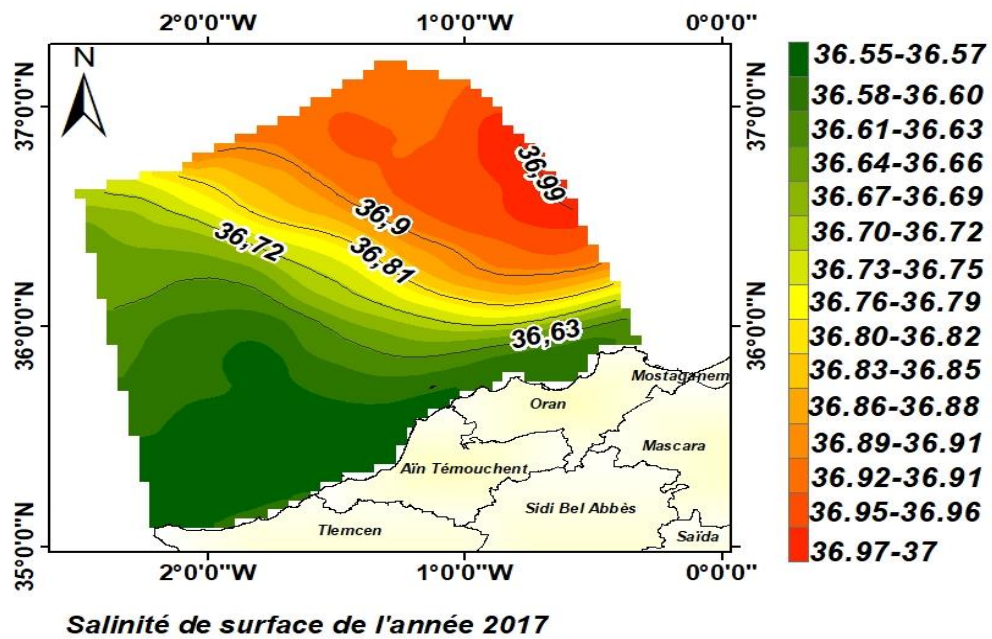
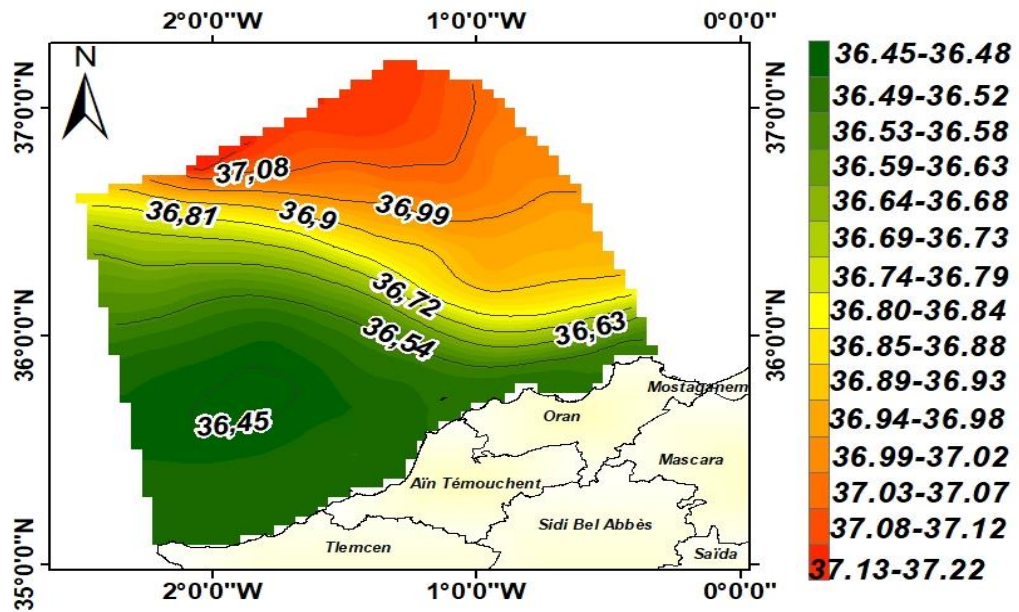
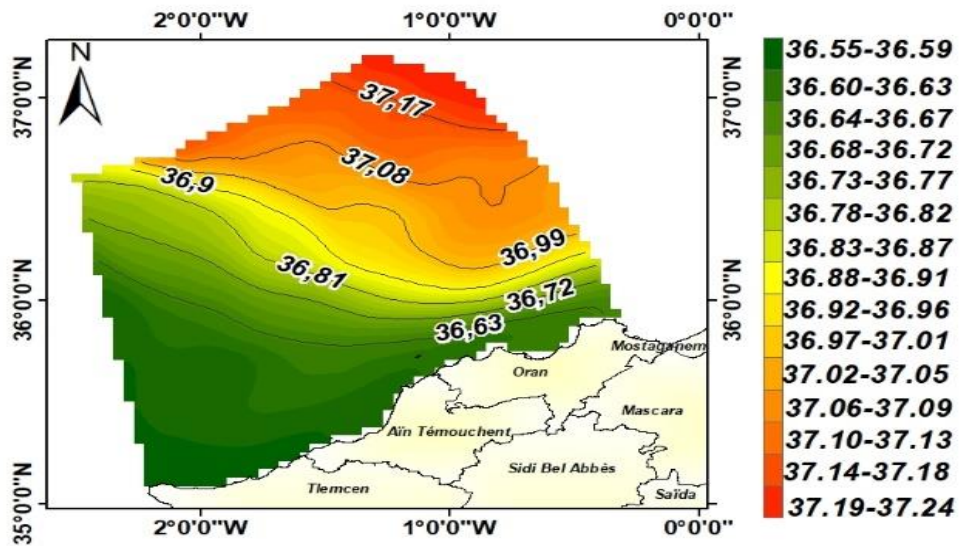


Figure 18 : Salinité de surface de l'année 2017



Salinité de surface de l'année 2018

Figure 34: Salinité de surface de l'année 2018



Salinité de surface de l'année 2019

Figure 35 : Salinité de surface de l'année 2019

Discussion

En 2009, les eaux atlantiques entrantes et fraîches (18.48°), glissent complètement sous forme d'une vaste ellipse qui atteint le littoral ouest algérien avec des températures entre 18.80° à l'est et 19.20° à l'ouest. Tandis que sur l'avancée du large les températures se réchauffent graduellement pour atteindre des variations entre [19.04° - 19.44°].

En 2010, on remarque que la languette fraîche de 2009 rebrousse vers le nord-ouest, de même pour les masses d'eau s'écoulant du nord-est dont le réchauffement s'est communiqué sur tout le secteur ouest algérien de Tlemcen à Oran avec des températures entre [19.68° - 19.36°] reflétant l'échange d'eau de surface dans le sous-bassin.

Cependant, l'eau du courant atlantique est présente tout le long de la côte algérienne et se distingue par une salinité inférieure à 37 respectivement pour l'année 2009 et 2010. Elle se charge en sel (**Alain et Furnestin, 1969**) en progressant vers le large comme le montre la variation du taux, plus faible devant Tlemcen-Oran : 36,72 et un peu plus élevé au large 36.99-37psu.

En 2011 on observe un lobe se détacher de la côte ouest et progresser vers l'est. Ceci explique sans doute la dynamique du bassin algérien qui est caractérisé par de grandes instabilités (**Isern- Fontanet et al., 2006**). Cette dynamique permet à l'eau atlantique transporté par le courant algérien de se déplacer vers la partie centrale du bassin et convergé vers une large languette d'eau, plus fraîche, saillie des côtes d'Oran (19.28°C) s'allongeant vers le nord-ouest des côtes occidentales.

La carte des isothermes de 2012 nous montre que l'eau atlantique est nettement plus froide au niveau des côtes occidentales, où on observe une languette d'eau relativement fraîche (18.32° - 18.72°) s'étendant vers le sud. En effet, les eaux sont plus chaudes sur la rive sud puisque l'eau atlantique (AW) entrante est continuellement modifiée en progressant dans la mer (**Millot et Taupier-Letage, 2005**), d'abord en raison des interactions avec l'atmosphère, mais aussi en raison du mélange avec l'eau atlantique plus ancienne restée à la surface ainsi qu'avec les eaux sous-jacentes. On note des températures entre 19.44° et 19.20° .

Le taux de salinité a sensiblement diminué sur toute la côte ouest, la valeur minimale est de 36.56-36.62 respectivement pour l'année 2011-2012, toutefois, au large on rencontre un lobe un peu plus salé (37.08 à 37.17), ce fort gradient des isohalines accuse un contraste entre les deux formations (sud-nord).

Il semble que le refroidissement du secteur septentrional déroulé en 2012 diminue en intensité en 2013 et s'est communiqué à la masse d'eau du bassin ouest algérien. On suppose qu'un certain mélange s'est effectué entre les masses d'eau relativement fraîches provenant du bassin nord et les masses d'eau de la rive sud suite au phénomène d'upwelling qui s'est possiblement produit en 2012. On relève alors des températures entre $[18.80^{\circ}-19.20^{\circ}]$ d'Oran à Tlemcen.

Pour l'année 2014, les températures ont sensiblement augmenté, on notera 19.12° aux côtes d'Oran et 19.36° à l'extrême ouest. Cependant entre ($2^{\circ}0'0''W-1^{\circ}0'0''W$) et ($35^{\circ}0'0''N$ et $36^{\circ}0'0''N$) deux lobes de taille réduite s'étendent au large de la côte sous forme d'isotherme concentrique pour atteindre respectivement une température de $18.86^{\circ}C$ et $19.04^{\circ}C$. Cela indique probablement et comme il a été souligné antérieurement que l'eau atlantique transportée par le courant algérien (CA) génère plusieurs tourbillons côtiers, qui se propagent en aval (**Aulicino et al.,2019**).

Aux abords des côtes ouest, les salinités montrent une tendance à la hausse correspondant aux périodes de refroidissement et une tendance à la baisse associée aux périodes de réchauffement (**Nacef et al.,2016**).

Il semble qu'en 2015 les eaux deviennent plus chaudes avec des températures qui avoisinent 19.36° à Oran et 19.60° à Tlemcen, tandis que vers le nord-est elles évoluent vers des températures allant jusqu'à 20° . Cependant en 2016 on observe un léger refroidissement à l'ouest de la côte algérienne où l'on note une température de 19.52° , plus à l'est, les températures restent quasiment fraîches et quasiment inchangées au niveau des côtes d'Oran avec une température de 19.36° . Concernant les salinités : l'isohaline des 37.00 qui parvient du nord-est représente certainement la ligne de partage entre les eaux d'influence atlantique et celles plus salées et qui continue à exercer sa poussée vers le SO (**Alain et Furnestin, 1969**).

Dans la carte des isothermes de 2017, les eaux de la côte ouest se réchauffent sensiblement et avoisinent des températures entre 19.76° et 19.61° . La température de surface moyenne de cette année se révèle la plus élevée ($19.68^{\circ}C$). De ce fait, on peut présumer à un coup de Sirocco provenant du sud de la Méditerranée (**Nacef et al., 2016**) et réchauffer les eaux de surface dans toute la région.

On peut supposer qu'en 2018 un autre phénomène d'upwelling a eu lieu provenant des côtes de la rive nord occidentale puisqu'on relève un rafraîchissement des eaux de la côte ouest

algérienne où l'on note des variations entre [19.12-19.29].

La carte des salinités de l'année 2017 nous montre une certaine diminution de la salinité avec un maximum au large (36.99) et un minimum dans l'Oranie (36.55), cette disposition montre nécessairement l'influence de l'eau atlantique sur toute la région du sous-bassin (**Alain et Furnestin, 1969**). Le courant principal continue à longer la côte ouest algérienne en 2018 avec un minimum halin de 36.45 psu.

A supposer que le refroidissement du secteur septentrional pendant l'année 2018 et qui diminue en intensité, s'est communiqué à la masse d'eau du bassin ouest algérien. Suite au mélange des masses d'eau, on relève alors des températures sensiblement élevées entre 19.28° à 19.70° d'est en ouest pour l'année de 2019. La distribution de la salinité reste quasiment la même, moins salée au sud et plus chargée au nord (**Alain et Furnestin, 1969**).

En s'appuyant sur les cartes de température/salinité, on constate l'influence du courant atlantique sur toute la partie du bassin ouest algérien. Au cours des dix années (2009-2019), les propriétés de l'eau de mer varient sur une gamme de valeurs moyennes de salinité entre (36.82-37.05) avec un écart type de 0.125 et de températures entre (18.93°C-19.15°C) avec un écart type de 0.3.

L'examen des cartes nous montre aussi que la température de surface la plus élevée a été enregistrée en 2017 pour une température et salinité de (19,68°C/ 36,72 PSU) et la plus basse en 2013 avec une T de (18,87°C) et d'une salinité de 36,88 PSU (**Annexe**).

Cependant aucune période n'est commune à une autre si bien que les variables température/salinité évoluent en fonction des différents stades de mélange, de position géographique et du temps de résidence, ce qui probablement confirme la singularité du courant atlantique à toute époque de l'année (**Cotroneo et al.,2016**) dans le bassin algérien et en Méditerranée occidentale en générale. Les cartes nous ont montré que cette eau d'influence atlantique est bien plus salée et moins chaude au nord et qui probablement est lié au phénomène d'upwelling, étant plus actif marqués par des remontés d'eau chargé en sel et plus chaude et moins salée au sud pouvant être expliqué par la présence d'eau atlantique ancienne qui a été sensiblement modifié au cours de son circuit et par une AW nouvellement entrante provenant de l'Atlantique.

Par conséquent le sous bassin algérien est une zone hautement instable et se caractérise par la présence de tourbillons, ces caractéristiques tourbillonnantes peuvent prendre la forme de

tourbillons à noyau chaud (masses d'eau chaude tournant dans des eaux méditerranéennes plus froides) ou à noyau froid (masses d'eau froide dans les tourbillons chauds) pouvant voyager pendant des mois ou même des années sur des centaines ou des milliers de kilomètres. Leur

genèse résulte d'un processus d'instabilités dans lequel le flux (courant algérien) est décomposé en caractéristiques à plus petites échelles, ces processus dits «de moyenne échelle» transportent de l'eau, de la chaleur mais également des nutriments, du sel et d'autres produits chimiques (Cochran et al., 2019) entraînant ainsi des changements dans la circulation de surface localement (mais aussi globalement). Lors des automnes 2014 et 2015 (Septembre 2014, Novembre 2014, Décembre 2014 et Octobre 2015), plusieurs méandres se sont formés et détachés du courant algérien générant à la fois des tourbillons côtiers et des filaments qui se sont répandus sur le bassin algérien. Un exemple clair en 2014 (carte des isothermes de 2014 ou l'on voit des anneaux s'étendant au large) peut être identifié où le (CA) développe un méandre qui crée un tourbillon anticyclonique intense (Aulicino et al., 2018) favorisant de ce fait la recirculation et la distribution des eaux atlantiques de surface dans tout le bassin algérien. D'ailleurs l'évolution temporelle de la circulation dans le Bassin Algérien durant les années 2012, 2013, 2014, 2015, montre une succession de tourbillons anticyclonique et cyclonique le long de ce Bassin Algérien (Bachouch, 2017), des tourbillons observables pendant toute l'année et d'autres périodiques qui apparaissent que dans certaines périodes de l'année.

De manière générale, nous pouvons dans ces conditions, distinguer globalement des cellules d'eau plus chaudes avec des salinités faibles qui laissent supposer que cette artère est en fait constituée de toute une série de tourbillons anticycloniques mais aussi des masses d'eau froides au nord avec des salinités élevées qui sont probablement dus à un phénomène d'upwelling. Cependant, les régions côtières sont vraisemblablement influencées par les pluies et l'apport d'eau douce qui peuvent localement baisser la salinité.

A cela, il ne faut pas négliger l'influence de la topographie (de la côte ouest dans notre étude singularisée par un plateau continental large et une pente douce) dans l'orientation des écoulements des masses d'eau.

Conclusion

Conclusion

La finalité de ce travail de Mémoire a été d'essayer de présenter les mécanismes hydrodynamiques qui régissent le bassin méditerranéen occidental en général ainsi qu'au niveau du bassin ouest algérien plus particulièrement grâce à la littérature scientifique qui est à disposition.

Nous avons passé en revue la genèse du bassin algérien et la topographie de la marge algérienne qui, compte tenu de sa morphologie à caractère accidenté à isobathes serrés à l'Est mais plus élargie en Oranie, joue assurément un rôle dans la circulation océanique.

Dans la partie pratique, nous avons exploité la base de données du service Copernicus afin d'établir des cartes de températures et de salinité de la couche superficielle couvrant la région Almería-Oran, en vue d'avoir une représentation générale de la dynamique des masses d'eau entre les deux rives.

Globalement, nous avons constaté que les températures de surface de la mer (SST) dans la région d'étude (côte ouest algérienne) sont plus chaudes et moins chargées en sel que les eaux du bassin de la rive nord. Le courant algérien est ainsi nettement plus identifiable par sa signature thermique plus chaude en surface que les eaux du large, ce courant est caractérisé par le déplacement des masses d'eau et donc leur mélange, ce qui attribue à la côte algérienne d'être particulièrement active. De plus la région Almeria-Oran est une région très instable par sa très forte activité hydrodynamique délimitée par le front Almeria-Oran qui varie selon les saisons et les conditions thermiques et qui peut affecter la SST/SSS (**Bachouch, 2017**), la fluctuation de la salinité reste cependant très homogène dans la zone d'étude (côte ouest algérienne) aux alentours de 37 psu.

Par ailleurs, les observations énoncées s'étalent sur une fenêtre temporelle de 10 ans, ce qui n'est donc évidemment pas suffisant pour se prononcer sur quelques éventuels changements dans le bassin ouest algérien puisque l'Organisation météorologique mondiale (OMM) (**Sakalli, 2017**) estime que la période classique pour définir le climat est d'environ trois décennies.

Quoi qu'il en soit, une tendance au réchauffement des eaux méditerranéennes a été signalée au cours des dernières décennies (**Sabatés et al., 2006**). L'augmentation de la température a été

Conclusion

observée à des niveaux intermédiaires (LIW), ainsi que dans les eaux profondes (WMDW). Depuis 1970 (**Sabatés et al., 2006**), la température a augmenté de 1.11°C ($0.04^{\circ}\text{C an}^{-1}$) en surface et de 0.7°C ($0.025^{\circ}\text{C an}^{-1}$) à 80 m de profondeur (**Salat & Pascual, 2002**). La tendance au réchauffement dans les eaux profondes (environ 2000 m) a été estimée entre $0.0016^{\circ}\text{C an}^{-1}$ (**Rohling et Bryden, 1992**) et $0.0035^{\circ}\text{C an}^{-1}$ (**Bethoux et Gentili, 1996**).

Le réchauffement de la mer Méditerranée est actuellement estimé à $0,24^{\circ}\text{C}$ par décennie sur la période 1986- 2015 (**Shaltout et Omsted, 2014**) et de $0,03^{\circ}\text{C}$ par an (environ $0,3^{\circ}\text{C}$ par décennie) dans l'étude de Nykjaer (2009). Des études récentes sur l'augmentation rapide de la température de surface de la mer au cours des derniers siècles montrent qu'elle continuera à augmenter de manière drastique à l'avenir (**Meissner et al., 2012 ; Collins et al., 2013 ; Mizuta et al., 2014**).

Dans le cadre du Programme Mondial de Recherche sur le Climat, un grand nombre de modèles de projections ont été utilisés, l'analyse de ces résultats montre une augmentation jusqu'à 4°C de la SST en moyenne mondiale d'ici 2100 (**Collins et al., 2013**). Dans cette étude, la SST prédite de la mer Méditerranée suggère qu'il y aura une augmentation de $3,5^{\circ}\text{C}$ au milieu du siècle et une augmentation de $5,8^{\circ}\text{C}$ à la fin du siècle. Cela signifie que la SST des mers intérieures comme la Méditerranée sera plus influencée par le changement climatique à l'avenir notamment sur les côtes africaines.

Il est certain que l'étude réalisée au cours de ce mémoire est insuffisante pour répondre aux questions scientifiques qui concernent l'ouest algérien, d'autres paramètres nécessitent d'être intégrés tels que la température de l'air. L'analyse des phénomènes de formation des tourbillons permettrait également de mieux comprendre l'évolution et le mélange des différentes masses d'eau au large. L'analyse des variabilités saisonnières serait aussi plus pertinente et précise en vue d'examiner l'évolution de la température et la salinité afin de mettre en évidence un schéma global en fonction de plusieurs saisons en réduisant la zone d'étude.

Cependant, le gros souci que nous avons rencontré est l'absence de données de la littérature pour comparer, interpréter les résultats de la SST/SSS correspondant au bassin algérien en général et ouest en particulier.

Annexe

Température surfacique annuelle de la décennie (2009-2019) en °Celsius

2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
18.93	19.07	19.41	18.90	18.87	19.09	19.66	19.35	19.68	18.93	19.16

Salinité surfacique annuelle de la décennie (2009-2019) en PSU

2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
37.05	36.93	36.876	36.871	36.88	37.07	37.13	36.91	36.729	36.721	36.82

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. **Allain, C., & Furnestin, J. (1969).** Hydrologie de la Méditerranée occidentale (secteur meridional et Golfe du Lion), en automne 1963 Campagne de la «Thalassa» du 12 octobre au 27 novembre. *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*, 33(1), 5-78.
2. **Arnone, R. A., Wiesenburg, D. A., & Saunders, K. D. (1990).** The origin and characteristics of the Algerian Current. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 95(C2), 1587-1598.
3. **Aulicino, G., Cotroneo, Y., Olmedo, E., Cesarano, C., Fusco, G., & Budillon, G. (2019).** In situ and satellite sea surface salinity in the algerian basin observed through ABACUS glider measurements and BEC SMOS regional products. *Remote Sensing*, 11(11), 1361.
4. **Aulicino, G., Cotroneo, Y., Ruiz, S., Román, A. S., Pascual, A., Fusco, G., ... & Budillon, G. (2018).** Monitoring the Algerian Basin through glider observations, satellite altimetry and numerical simulations along a SARAL/AltiKa track. *Journal of Marine Systems*, 179, 55-71.
5. **Auzende, J. M. (1978).** *Histoire tertiaire de la Méditerranée occidentale* (Doctoral dissertation, Université de Paris VII).
6. **Bachouch, S (2017),** Modélisation hydrodynamique et qualité des eaux et sédiments de la côte Centre algérienne. Thèse de doctorat en Pollution et Environnement Marin, Enssmal, 97p.
7. **Barniaudy, C. (2010, May).** Les modulations du vent dans les territoires de Méditerranée occidentale : dissolution et recomposition des frontières. In *Séminaire «Frontiere in-visibili : culture, letteratura, paesaggi fra Sardegna e Mediterraneo», Faculté d'Économie, de Science Politique et de Littérature de l'Université de Cagliari (Sardaigne, Italie).*
8. **Bethoux, J. P., & Gentili, B. (1996).** The Mediterranean Sea, coastal and deep-sea signatures of climatic and environmental changes. *Journal of Marine Systems*, 7, 383-394.
9. **Bouyahiaoui, B., Sage, F., Abtout, A., Klingelhoefer, F., Yelles-Chaouche, K., Schnürle, P., ... & Collot, J. Y. (2015).** Crustal structure of the eastern Algerian continental margin and adjacent deep basin: implications for late Cenozoic geodynamic evolution of the western Mediterranean. *Geophysical Journal International*, 201(3), 1912-1938.
10. **Cochran, J. K., Bokuniewicz, H. J., Yager, P. L., & Rhines, P. B. (2019).** *Encyclopedia of Ocean Sciences* (3^e éd.). Elsevier.

11. **Collins, M., Knutti, R., Arblaster, J., Dufresne, J. L., Fichet, T., Friedlingstein, P., ... & Booth, B. B. (2013).** Long-term climate change: projections, commitments and irreversibility. In *Climate Change 2013-The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1029-1136). Cambridge University Press.
12. **Cotroneo, Y., Aulicino, G., Ruiz, S., Pascual, A., Budillon, G., Fusco, G., & Tintoré, J. (2016).** Glider and satellite high resolution monitoring of a mesoscale eddy in the algerian basin: Effects on the mixed layer depth and biochemistry. *Journal of marine systems*, 162, 73-88.
13. **Cotroneo, Y., Aulicino, G., Ruiz, S., Sánchez Román, A., Torner Tomàs, M., Pascual, A., ... & Budillon, G. (2019).** Glider data collected during the Algerian basin circulation unmanned survey. *Earth System Science Data*, 11(1), 147-161.
14. **Crépon, M., Hua, B. L., Millot, C., & Wald, L. (1984).** Rapport IV. 2 Quelques aspects de la circulation de la mer Méditerranée occidentale. *Journées de l'hydraulique*, 18(4), 1-6.
15. **Daniault N. (2005),** Océanographie Physique pour l'École Navale. Cours en ligne, LPO Université de Bretagne Occidentale, Brest.
16. **Doglioli, A.M. (2020),** Notes sur la Circulation Générale en Méditerranée pour le cours d'Océanographie Générale, Université d'Aix-Marseille.
17. **Domzig, A. (2006).** Déformation active et récente, et structuration tectono-sédimentaire de la marge sous-marine algérienne. Thèse, Univ. de Bretagne Occidentale, pp. 42.
18. **Escudier, R., Renault, L., Pascual, A., Brasseur, P., Chelton, D., & Beuvier, J. (2016).** Eddy properties in the Western Mediterranean Sea from satellite altimetry and a numerical simulation. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 121(6), 3990-4006.
19. **Fernane, L. (2014).** Cartographie de l'aléa gravitaire sur la marge continentale sous-marine, de la région Algéroise (Alger- Dellys). Mémoire de fin d'étude, Enssmal, pp.101.
20. **FOUCAULT, A. (2009).** Climatologie et paléoclimatologie, DUNOD, Coll. *Sciences Sup.*

- 21. Garreau, P. (2012).** Variation spatio-temporelle de la température et de la salinité. Sous-région marine Méditerranée occidentale. Evaluation initiale DCSMM.
- 22. GIEC, 2014:** Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation et vulnérabilité Résumés, foire aux questions et encarts thématiques. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Publié sous la direction de **Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White**].
- 23. GIEC, 2022:** *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- 24. Group, T. M., de Madron, X. D., Guieu, C., Sempéré, R., Conan, P., Cossa, D., ... & Verney, R. (2011).** Marine ecosystems' responses to climatic and anthropogenic forcings in the Mediterranean. *Progress in Oceanography*, 91(2), 97-166.
- 25. Hemida, F. (2005).** *Les Sélaciens de la côte algérienne, biosystématique des requins et les raies* (Doctoral dissertation, Alger)
- 26. Houpert, L. (2013).** Contribution to the Study of Transfer Processes from the Surface to the Deep Ocean in the Mediterranean Sea using in situ Measurements. PhD thesis, Université de Perpignan Via Domitia.
- 27. Isern-Fontanet, J., García-Ladona, E., & Font, J. (2006).** Vortices of the Mediterranean Sea: An altimetric perspective. *Journal of physical oceanography*, 36(1), 87-103.
- 28. Lacombe, H. (1974).** Généralités sur les thermoclines, leur genèse et leur prévision Exposé introductif. *La Houille Blanche*, (7-8), 581-587.
- 29. LECLAIRE L. 1972,** *La sédimentation holocène sur le versant méridional du Bassin Algéro-Baléares (Précontinent algérien)*. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 391p. (Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle, Sér. C – Sciences de la Terre (1950-1992) ; 24).
- 30. Loveday, B. R., Swart, S., & Storkey, D. (2012).** Capturing convection in the northwest

Mediterranean Sea: Using underwater gliders to assess the performance of regional forecast models. *Underwater Technology*, 30(3), 135-149.

31. **Malanotte-Rizzoli, P. (2001).** Currents systems in the Mediterranean Sea.
32. **Meissner, A. M., MacLeod, C. D., Richard, P., Ridoux, V., & Pierce, G. (2012).** Feeding ecology of striped dolphins, *Stenella coeruleoalba*, in the north-western Mediterranean Sea based on stable isotope analyses. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 92(8), 1677-1687.
33. **Millot, C. (1999).** Circulation in the western Mediterranean Sea. *Journal of Marine Systems*, 20(1-4), 423-442.
34. **Millot, C., & Taupier-Letage, I. (2005).** Circulation in the Mediterranean sea. In *The Mediterranean Sea* (pp. 29-66). Springer, Berlin, Heidelberg.
35. **Millot, C., Taupier-Letage, I., & Benzohra, M. (1990).** The Algerian eddies. *Earth-ScienceReviews*, 27(3), 203-219.
36. **Ministère chargé de l'environnement -PAP RAC/PAM, 2015.** Stratégie nationale de gestion intégrée des zones côtières en Algérie.(Appui PAM-MedPartnership, UNESCO). 94 p.
37. **Mizuta, R., Arakawa, O., Ose, T., Kusunoki, S., Endo, H., & Kitoh, A. (2014).** Classification of CMIP5 future climate responses by the tropical sea surface temperature changes. *Sola*, 10, 167-171.
38. **Nacef, L., Bachari, N. E. I., Bouda, A., & Boubnia, R. (2016).** Variability and decadal evolution of temperature and salinity in the mediterranean sea surface. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 1(1), 20-29.
39. **Nykjaer, L. (2009).** Mediterranean Sea surface warming 1985–2006. *Climate Research*, 39(1), 11-17.
40. **Petit, M., Barlier, F., Bauer, P., Besancenot, J. P., Boe, J., Bonneville, A., ... & Orsenna, E. (2015).** Climate, the time for action.
41. **Price, M. H. (2010).** Mastering ArcGIS: McGraw-Hill New York, NY, USA.
42. **Puillat, I., Taupier-Letage, I., & Millot, C. (2002).** Algerian eddies lifetime can near 3 years. *Journal of Marine Systems*, 31(4), 245-259.

43. Rohling, E. J., & Bryden, H. L. (1992). Man-induced salinity and temperature increases in Western Mediterranean Deep Water. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 97(C7), 11191- 11198.
44. Roy-Barman, M., & Jeandel, C. (2011). *Géochimie Marine Circulation Océanique, Cycle Du Carbone et Changement Climatique* (pp. 362-pages). Vuibert Société géologique de France.
45. Sabatés, A. N. A., Martín, P., Lloret, J., & Raya, V. (2006). Sea warming and fish distribution: the case of the small pelagic fish, *Sardinella aurita*, in the western Mediterranean. *Global change biology*, 12(11), 2209-2219.
46. Sakalli, A. (2017). Sea surface temperature change in the Mediterranean Sea under climate change: a linear model for simulation of the sea surface temperature up to 2100.
47. Salat, J., & Pascual, J. (2002, April). The oceanographic and meteorological station at L'Estartit (NW Mediterranean). In *Tracking long-term hydrological change in the Mediterranean Sea. CIESM Workshop Series* (Vol. 16, pp. 29-32).
48. Schott, F., Visbeck, M., Send, U., Fischer, J., Stramma, L., and Desaubies, Y.(1996). Observation of deep convection in the Gulf of Lions, Northern Mediterranean, during the winter 1991/92. *Journal of Physical Oceanography*, 26:505–524.
49. Schroeder, K., Garcia-Lafuente, J., Josey, S. A., Artale, V., Nardelli, B. B., Carrillo, A., ... & Zodiatis, G. (2012). Circulation of the Mediterranean Sea and its variability. *The Climate of the Mediterranean Region: From the past to the future*, edited by: Lionello, P., Elsevier Insights, Amsterdam.
50. Shaltout, M., & Omstedt, A. (2014). Recent sea surface temperature trends and future scenarios for the Mediterranean Sea. *Oceanologia*, 56(3), 411-443.
51. Torrès, J. (1995). Analyse détaillée du transfert de sédiment du continent vers le bassin : le Quaternaire terminal au large du delta du Rhône (Méditerranée nord-occidentale) (Doctoral dissertation, Université de Bretagne Occidentale).
52. Yelles-Chaouche, A., Boudiaf, A., Djellit, H., & Bracene, R. (2006). La tectonique active de la région nord-algérienne. *Comptes Rendus Geoscience*, 338(1-2), 126-139.

Sites web

[0] : <https://manoa.hawaii.edu>.

[1] : <https://www.universalis.fr/media/CA072026/>

Résumé

La Méditerranée est un système dynamique complexe, vital mais en péril, dans son 6ème rapport, publié en février 2022, le GIEC a ainsi alerté sur le fait que le bassin méditerranéen est un « hot spot » du changement climatique. Il se réchauffe plus vite et les températures devraient augmenter de 2 à 3°C à l'horizon 2050 et de 3 à 5°C à l'horizon 2100. Ces scientifiques annoncent un bouleversement qui se traduira entre autres par une diminution des précipitations estivales de 35 % sur la rive sud et de 25 % sur la rive nord d'ici la fin du siècle. Les autres principaux impacts que le groupe prévoit également sont l'acidification des eaux marines et une élévation du niveau de la mer (jusqu'à +1 m en moyenne en 2100 dans le pire scénario) (GIEC,2022). L'écosystème méditerranéen qui abrite des espèces endémiques subira alors des dommages plus graves à moins d'une intervention collective des Etats et des sociétés pour en limiter l'ampleur, suivant les marges de manœuvre qui, selon les scientifiques, existent encore pour quelques décennies. Désormais, cette évolution climatique à venir constitue une préoccupation majeure pour l'Algérie et qui s'engage notamment à travers le Plan d'Action Climat (2019) et le Plan d'Action du Gouvernement (2020) contre le réchauffement climatique et dont l'engagement a été réitéré le 27 juin 2022 à Athènes : **Crise climatique et dialogue social pour une transition durable**. Nous avons tenté dans ce travail de mémoire d'aborder un descriptif et une synthèse sur le thème de la circulation des masses d'eau dans sa partie sud-occidentale et plus spécifiquement dans le bassin ouest algérien qui s'étend d'Oran à Tlemcen. La fraction algérienne (sous bassin ouest algérien) est un élément clé pour comprendre les phénomènes hydrodynamiques en Méditerranée et en Méditerranée occidentale, les courants qui la caractérise ainsi que leur variabilité spatio-temporelle. A l'aide des données recueillies sur cette zone, nous avons essayé d'interpréter l'évolution des valeurs de température et de salinité en tant que traceurs hydrologiques entre 2009 et 2019. Il s'agit, pour nous, de comprendre comment les variations de ces paramètres physiques évoluent au cours d'une décennie. Néanmoins Il est certain que l'étude réalisée au cours de ce mémoire est insuffisante pour répondre aux questions scientifiques qui concernent l'ouest algérien, d'autres paramètres nécessitent d'être intégrés.

Mots clés : Méditerranée, masses d'eau, circulation, bassin ouest algérien, température, salinité.

Abstract

The Mediterranean is a complex dynamic system, vital but at risk. In its 6th report, published in February 2022, the IPCC warned that the Mediterranean basin is a "hot spot" for climate change. It is warming faster and temperatures are expected to rise by 2 to 3°C by 2050 and 3 to 5°C by 2100. These scientists predict an upheaval that will result, among other things, in a 35% decrease in summer precipitation on the southern shore and a 25% decrease on the northern shore by the end of the century. The other main impacts that the group also predicts are the acidification of marine waters and a rise in sea level (up to +1 m on average in 2100 in the worst case scenario) (IPCC,2022). The Mediterranean ecosystem, which is home to endemic species, will then suffer more serious damage unless states and societies intervene collectively to limit the extent of the damage, according to scientists, who believe that there is still room for manoeuvre for a few decades. From now on, this future climate change is a major concern for Algeria, which is committed to combating global warming, notably through the Climate Action Plan (2019) and the

Government Action Plan (2020), and whose commitment was reiterated on 27 June 2022 in Athens: Climate crisis and social dialogue for a sustainable transition. In this thesis, we have attempted to describe and summarise the circulation of water masses in the south-western part of the country, and more specifically in the western Algerian basin which extends from Oran to Tlemcen. The Algerian fraction (western Algerian sub-basin) is a key element for understanding hydrodynamic phenomena in the Mediterranean and the western Mediterranean, the currents that characterise it and their spatio-temporal variability. Using the data collected in this area, we have tried to interpret the evolution of temperature and salinity values as hydrological tracers between 2009 and 2019. Our aim is to understand how the variations in these physical parameters evolve over a decade. Nevertheless, it is certain that the study carried out during this thesis is insufficient to answer the scientific questions that concern western Algeria; other parameters need to be integrated.

Key words: Mediterranean, water masses, circulation, western Algerian basin, temperature, salinity.

المخلص

البحر الأبيض المتوسط هو نظام ديناميكي معقد ، وحيوي ولكنه في خطر ، في تقريرها السادس ، الذي نُشر في فبراير 2022 ، حذرت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ من حقيقة أن حوض البحر الأبيض المتوسط هو "بقعة ساخنة" لتغير المناخ. إنه يسخن بشكل أسرع ومن المتوقع أن ترتفع درجات الحرارة بمقدار 2 إلى 3 درجات مئوية بحلول عام 2050 ومن 3 إلى 5 درجات مئوية بحلول عام 2100. أعلن هؤلاء العلماء عن حدوث اضطراب سيؤدي ، من بين أمور أخرى ، إلى انخفاض في هطول الأمطار في الصيف بمقدار 35 ٪ على الشاطئ الجنوبي و 25 ٪ على الشاطئ الشمالي بحلول نهاية القرن. الآثار الرئيسية الأخرى التي تتوقعها المجموعة أيضًا هي تبيض المياه البحرية وارتفاع مستوى سطح البحر (يصل إلى +1 متر في المتوسط في عام 2100 في السيناريو الأسوأ) (IPCC ، 2022). النظام البيئي للبحر الأبيض المتوسط ، الذي يعد موطنًا لأنواع المتوطنة ، سيعاني بعد ذلك من أضرار أكثر خطورة ما لم يكن هناك تدخل جماعي من قبل الدول والمجتمعات للحد من انتشاره ، وفقًا لمجال المناورة الذي سيظل ، وفقًا للعلماء ، موجودًا لبضعة عقود. .. من الآن فصاعدًا ، يعد هذا التغير المناخي المستقبلي مصدر قلق كبير للجزائر وهو ملتزم بشكل خاص من خلال خطة العمل المناخي (2019) وخطة العمل الحكومية (2020) ضد ظاهرة الاحتباس الحراري والتي تم التأكيد على التزامها في 27 يونيو 2022. في أثنينا: أزمة المناخ والحوار الاجتماعي من أجل انتقال مستدام. لقد حاولنا في هذه الأطروحة الاقتراب من وصف وتجميع حول موضوع دوران الكتل المائية في الجزء الجنوبي الغربي منها وبشكل أكثر تحديدًا في الحوض الغربي الجزائري الممتد من وهران إلى تلمسان. يعتبر الجزء الجزائري (الحوض الجزائري الغربي الفرعي) عنصرًا أساسيًا لفهم الظواهر الهيدروديناميكية في البحر الأبيض المتوسط وغرب البحر الأبيض المتوسط ، والتيارات التي تميزه بالإضافة إلى تنوعه المكاني والزمني. باستخدام البيانات التي تم جمعها في هذا المجال ، حاولنا تفسير تطور قيم درجة الحرارة والملوحة على أنها أدوات تتبع هيدرولوجية بين عامي 2009 و 2019. ومع ذلك ، فمن المؤكد أن الدراسة التي أجريت خلال هذه الأطروحة غير كافية للإجابة على الأسئلة العلمية المتعلقة بغرب الجزائر ، وهناك معايير أخرى بحاجة إلى التكامل..

الكلمات المفتاحية: البحر الأبيض المتوسط ، دوران المياه ، الحوض الغربي الجزائري ، درجة الحرارة ، الملوحة