

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

École Nationale Supérieure des Sciences de la mer et de l'Aménagement du Littoral



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME
D'INGÉNIEUR EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : ENVIRONNEMENT MARIN ET CÔTIER

Etude du réchauffement des eaux algériennes à partir des données *in situ* et satellitaires.

Présentée par :

❖ BENKHELIFA Sara

❖ DRIES Razika

Soutenu le 18/Octobre/2020 devant le jury suivant :

<i>Membre de jury</i>	<i>Grade</i>	<i>Affiliation</i>	<i>Qualité</i>
Mostefa BOULAHIDID	Professeur	ENSSMAL	Président
Siham BENZOUAI	M.A.A	ENSSMAL	Promotrice
Férial LOUANCHI	Professeur	ENSSMAL	Co-Promotrice
Mehdia KERAGHEL	M.A.A	ENSSMAL	Examinatrice
Nadia RABHI	M.C.B	USTHB	Examinatrice

Promotion : 2019-2020

Remerciements

Avant tout, nous remercierons le bon Dieu qui a illuminé notre chemin et qui nous a armés de force, de sagesse, et de bonne volonté pour achever ce modeste travail et ce cursus universitaire.

Ces quelques lignes ne vont jamais exprimer à la juste valeur notre reconnaissance à l'égard de notre promotrice Mme S.BENZOUAI pour l'aide qu'elle nous a offert durant la période de réalisation de ce travail et encore plus sa confiance et ses encouragements. Merci madame pour le temps que vous nous avez consacré, les conseils que vous nous avez prodigués, les vertus que vous nous avez inculquées.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre Co-promotrice Mme F. LOUANCHI pour son soutien. Nous sommes très sensibles au service que vous nous avez rendu. A tous les professeurs qui ont déployé leurs efforts pour nous assurer une formation complète et à toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé notre réflexion et ont accepté de nous rencontrer et répondre à nos questions. Nous tenons à remercier le président et les membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner et juger notre travail.

Nous remercions nos très chers parents, qui ont toujours été là pour nous, vous avez tout sacrifié pour vos enfants n'épargnant ni santé ni efforts. Vous nous avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Nous sommes redevables d'une éducation dont nous sommes fiers. Un grand merci à nos frères et sœurs qui étaient toujours à nos côtés. À vous qui nous avez soutenu et avez su être notre inspiration quand on avait des baisses de régime.

Enfin, nous remercions nos amis qui ont toujours été là pour nous, également nous adressons nos vives reconnaissances à tous les membres de l'« ENSSMAL».

Sommaire

Liste des figures.....	I
Listes des tableaux.....	III
Abréviations.....	IV
Introduction générale.....	6
Chapitre I. Généralités.....	3
I.1 Partie 1 : Généralités sur le climat et le réchauffement climatique.....	4
I.1.1 Climat.....	4
I.1.1.1 Système climatique.....	4
I.1.1.2 Forçage climatique et variation du climat sur le long terme.....	5
I.1.1 Réchauffement climatique-effet de serre.....	6
I.1.1.1 Impact du Réchauffement planétaire.....	7
I.1.1.1.1 Sur les océans.....	7
I.1.1.1.2 Autres impacts du réchauffement.....	9
I.1.2 Variables climatiques naturelles.....	10
I.1.2.1 ENSO.....	10
I.1.2.2 NAO.....	11
I.1.2.3 MOI.....	12
I.1.3 Évènement climatique extrême.....	13
I.2 Partie 2 : La Méditerranée.....	14
I.2.1 La Méditerranée.....	14
I.2.2 Circulation océanique en méditerranée.....	15
I.2.2.1 Circulation des eaux de la méditerranée occidentale.....	15
I.2.2.1.1 Circulation des eaux de surface.....	16
I.2.2.1.2 Circulation des eaux intermédiaires et profondes.....	17
I.2.3 Réchauffement des eaux méditerranéennes.....	18

I.2.4	Bassin algérien	18
I.3	Partie 3 : Présentation de la zone d'étude	18
I.3.1	Géographie de l'Algérie	18
I.3.2	Climat de l'Algérie septentrionale	19
Chapitre II. Matériels et méthodes		20
II.1	Matériels	21
II.1.1	Choix et localisation des régions	21
II.1.1.1	Température de surface de la mer	21
II.1.1.2	Précipitation	21
II.1.2	Données utilisées « acquisition des données ».....	22
II.1.2.1	TSM	22
II.1.2.2	Précipitations.....	22
II.1.2.3	Indices climatiques.....	23
II.1.3	Logiciels utilisées.....	24
II.2	Méthodes	24
II.2.1	Extraction et récupération des données.....	24
II.2.1.1	Extraction de la TSM moyenne	24
II.2.1.2	Précipitations.....	25
II.2.2	Méthodes de calcul statistique	25
II.2.3	Les tests statistiques	27
Chapitre III. Résultats et discussion		30
III.1	Variation de la TSM le long de la côte	31
III.1.1	Cycle annuel.....	31
III.1.2	Variation interannuelle.....	33
III.1.3	Variation saisonnière	34
III.1.4	Indice standardisé des TSM « IS TSM »	35
III.2	Variation des TSM et des précipitations en fonction des régions	35

III.2.1	Étude de la distribution des variables selon les régions.....	35
III.2.2	Cycle annuel régional	37
III.2.2.1	TSM.....	37
III.2.2.2	Précipitations	37
III.2.3	Variation interannuelle.....	39
III.2.4	Variation saisonnière	39
III.2.5	Étude des ruptures	45
III.2.5.1	TSM.....	45
III.2.5.2	Précipitations	45
III.2.6	Indice standardisé par région	46
III.2.6.1	Indice standardisé des TSM « ISTSM ».....	46
III.2.6.2	Indice standardisé des précipitations « ISP »	46
III.2.7	Etude de la régionalisation de la côte.....	49
III.3	Discussion.....	51
III.3.1	TSM	51
III.3.2	Précipitations.....	54
III.3.3	Indices globaux - les variables climatiques étudiées	55
III.3.3.1	NAO	56
III.3.3.2	ENSO : indicateur TSM	57
III.3.3.3	Oscillation méditerranéenne.....	58
III.3.3.3.1	WeMOI.....	58
III.3.3.3.2	MO.....	59
	Conclusion.....	62
	Références bibliographiques.....	65
	Annexes	72
	Annexe 1: Fiche technique du produit.....	73

Annexe 2: Statistiques descriptives des données de la pluviométrie et des températures de la surface de la mer dans le littoral algérien	73
Annexe 3: Diagrammes ombrothermique de bagnouls et gaussen.....	75
Annexe 4: Tests de rupture	76
Annexe 5: Test de corrélation de Spearman	78

Liste des figures

Figure 1 : Système climatique (OMM, 2011).	4
Figure 2 : Bilan radiatif de la terre (en Watts/m ²) lactualitechimique.org	7
Figure 3 : Les régions d'ENSO « https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/enso-tech.php ».	10
Figure 4 :Schéma impacts et conditions des deux phases NAO (Cassou, 2004).	12
Figure 5 : Les phases du WeMOI (L: dépression ; H: haute pression) (Climatology Group)	13
Figure 6 : Carte de la mer Méditerranée (Ayache, 2016).	15
Figure 7 : Circulation des eaux de surface en méditerranée (Millot et Taupier-Letage, 2005).	16
Figure 8 : Circulation des eaux intermédiaire et profonde dans la mer méditerranée (Millot et Taupier-Letage, 2005).....	17
Figure 9 : Carte géologique de l'Algérie (ANDI, 2015).	19
Figure 10 : Localisation des régions sur la zone d'étude.....	21
Figure 11 : Climatologie moyenne mensuelle de la TSM (°C) pour la période 1982-2018. Le trait discontinu représente la bathymétrie 1000m.	32
Figure 12 : Moyenne climatique mensuelle de Janvier à Décembre de la TSM entre 1982-2018.	33
Figure 13 : Variation interannuelle de la TSM (°C) pour 1982-2018.....	34
Figure 14 : Variation temporelle des saisons entre 1982-2018 le long de la côte algérienne. 34	
Figure 15 : Indice standardisé des TSM annuelles par apport à la moyenne climatique 1982- 2018.	35
Figure 16 : Comparaison des distributions des variables TSM (en bas) et cumul des pluies (en haut) selon les six régions /stations.	36
Figure 17 : Moyennes climatiques de la TSM (°C) de Janvier à Décembre pendant la période 1982-2018 aux différentes régions.	38
Figure 18 : Moyennes climatiques de la pluie (mm) de Janvier à Décembre pendant la période 1982-2018 aux différentes régions.	38
Figure 19 : TSM (A) et précipitation (B) mensuelles de la climatologie moyenne	38
Figure 20 : Variation interannuelle de la TSM (°C) dans les différentes régions sur l'axe temporelle 1982- 2018.	40

Figure 21 : Variation interannuelle des précipitations (mm) aux différentes stations (1982-2018).....	41
Figure 22 : Tendence des TSM (°C) annuelles et des pluies cumulées (mm) sur la période 1982-2018.....	42
Figure 23 : Variation temporelle des TSM saisonnières entre 1982-2018 le long de la côte algérienne.	43
Figure 24 : Variation temporelle des précipitations saisonnières entre 1982-2018 le long des eaux algériennes.	44
Figure 25 : Indices normalisés des TSM annuelles par apport à la moyenne climatique 1982-2018.....	47
Figure 26 : Variation interannuelle des indices de précipitations pendant la période 1982-2018 ainsi que leurs classifications.	48
Figure 27 : Cercle de corrélation des variables ISTSM (A) et ISP (B) et représentation des groupes.	50
Figure 28 : Distribution des années sur les deux axes F1 et F2 (A) pour les TSM, (B) pour la pluviométrie	50
Figure 29 : Anomalies de températures moyennes de l’atmosphère (up-magazine.info). En ligne bleue, la Méditerranée, en ligne verte, le niveau mondial.....	53
Figure 30 : Evolution démographique en Algérie pour la période 1950-2018 (http://www.fao.org/faostat/en/#data/OA).	54

Listes des tableaux

Tableau 1 : Localisation des stations météorologiques.....	22
Tableau 2 : Sources des données des indices climatiques.....	23
Tableau 3 : Classification de sévérité selon les valeurs SXI (Mckee et al., 1993; OMM, 2012)	27
Tableau 4 : Intervalle de variation des TSM régionales	40
Tableau 5 : Intervalles de variation des pluies régionales.....	41
Tableau 6 : Taux de variation temporelle des précipitations (1982-2018).	41
Tableau 7 : Coefficients de corrélation de la NAOI sur les stations (régions) de la côte algérienne.	56
Tableau 8 : Coefficients de corrélation de l'ENSOI sur les TSM des régions de la côte algérienne	57
Tableau 9 : Coefficients de corrélation du WeMOI sur les TSM annuelles des régions de la côte algérienne.....	58
Tableau 10 : Coefficients de corrélation du WeMOI sur les pluies saisonnières des régions de la côte algérienne.....	59
Tableau 11 : Coefficients de corrélation du MOI (Algérie-Caire) sur les TSM saisonnières des régions de la côte algérienne.	60
Tableau 12 : Coefficients de corrélation du MOI (Israël-Gibraltar) sur les pluies saisonnières des régions de la côte algérienne.....	61
Tableau 13 : Relation entre la TSM et la pluviométrie avec les indices globaux.....	63

Abréviations

A/ SON	: Automne/ Septembre- Octobre-Novembre
ANDI	: Agence Nationale de Développement de l'Investissement
AW	: <i>Atlantic water</i>
CCNUCC	: Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CMEMS	: <i>Copernicus Marine Environment Monitoring Service</i>
COP	: Conférence des Parties
CRU	: <i>Climatic Research Unit</i>
E / JJA	: Été / Juin- Juillet-Août
E / W / N	: Est / Ouest / Nord
ENSO	: El Nino Southern Oscillation
FAO	: <i>Food and Agriculture Organization</i>
GIEC	: Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
H / DJF	: Hiver /Décembre – Janvier - Février
IST (ISP) 4H	: Indice Standardisé de la Température (Précipitation) 4H (numéro de la région suivi de la saison)
LIW	: <i>Levantine Intermediate Water</i>
MAW	: <i>Modified Atlantic water</i>
MOI	: <i>Mediterranean Oscillation Index</i>
NAO	: <i>Oscillation Nord Atlantique</i>
NOAA	: <i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
OMM	: Organisation Météorologique Mondiale
ONERC	: Observation Nationale sur les Effets du Réchauffement Climatique
P/ MAM	: Printemps / Mars – Avril - MAI
POC	: Plateforme Océan et Climat
PSU	: <i>Practical Salinity Unit</i>
SLP	: <i>Sea Level Pressure</i>
SOI	: <i>Southern Oscillation Index</i>
TSM	: Température de Surface de la Mer
TSM (T) / S	: Température de surface de la mer / Salinité
UPM	Union Pour la Méditerranée
WeMOI	<i>Western Mediterranean Oscillation Index</i>

WSW : Eaux de Surface Occidentales

WWF : *World Wide Fund for Nature*

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

Notre planète est confrontée à de nombreux aléas climatiques et météorologiques : tempêtes, cyclones, inondations, mouvements de terrain, sécheresse etc. Leurs fréquences sont influencées par le changement climatique, l'un des problèmes majeurs du développement de l'ère industrielle à des échelles spatiales multiples.

Particulièrement la mer Méditerranée qui n'échappe pas à ce réchauffement planétaire, où l'on observe une augmentation des températures de ses eaux de surface et même les eaux profondes et intermédiaires (Bethoux et Gentili, 1996).

Selon une étude récente réalisée par Pastor et al. (2018) étudiant la répartition spatiale et la tendance des températures de surface de la mer du bassin méditerranéen (1982-2016), l'augmentation de la température est estimée à 0,03 °C/an. Le bassin Algérien fait partie de cet espace méditerranéen.

Sur les côtes Algériennes, un déficit de pluies variant de 20 % à 25 % a été constaté (Taïbi et al., 2013).

Ce travail a comme objectif principal d'étudier le réchauffement des eaux du plateau continental algérien en utilisant des données combinées ; satellitaires et in situ. Afin de répondre à cette problématique, deux objectifs secondaires ont été mis en œuvre :

1. Évaluer la variation spatio-temporelle de la pluviométrie et son influence sur le réchauffement des eaux algériennes ;
2. Analyser les relations qui peuvent exister entre la variation de ces deux variables et les principaux modes de la circulation atmosphérique : Oscillation Nord Atlantique, *El Nino Southern Oscillation*, Oscillation Méditerranéenne et Oscillation de la Méditerranée occidentale.

Le manuscrit s'articule en trois chapitres :

Le premier chapitre qui est une synthèse bibliographique des généralités, se divise en trois parties :

La première est un ensemble de généralités sur les différentes notions liées au climat et au réchauffement climatique ainsi que les variables climatiques naturelles pouvant avoir une influence sur le climat algérien. La seconde partie décrit la mer Méditerranée et la circulation océanique en particulier au niveau du bassin méditerranéen occidental. La troisième partie est

Introduction générale

consacrée à la présentation de la zone d'étude en termes de situation géographique, caractéristique et climat.

Le second chapitre se départage en deux parties principales : la première présente le découpage de la côte en régions, les stations météorologiques choisies pour réaliser cette étude ainsi que les données et les logiciels utilisés. La deuxième partie s'intéresse à la présentation des méthodes et des tests statistiques utilisés à savoir, l'indice standardisé (ISX), l'analyse en composantes principales (ACP) et les tests d'homogénéité et de tendance des séries temporelles.

Le troisième chapitre regroupe les résultats obtenus, argumentés par des interprétations et des discussions.

A la fin, une conclusion et des perspectives générales complètent cette contribution.

Chapitre I. Généralités

Chapitre I

I.1 Partie 1 : Généralités sur le climat et le réchauffement climatique

I.1.1 Climat

Le climat signifie en grec « inclinaison du ciel » et se définit comme une description statistique des conditions météo de type thermique et/ou cinétique (température, pluie, vent, courant océanique, humidité) dans une région donnée, sur une période donnée. On tient compte à la fois de la moyenne des différents facteurs (températures moyennes, par exemple) et de leurs variations (Joussaume, 2011; OMM, 2011).

L'étude des phénomènes climatiques et météorologiques dans différentes parties du globe est nommée la climatologie : l'étude du climat, de ses variations et de ses extrêmes ainsi que ses influences et ses impacts sur la santé, la sécurité et sur le bien-être (sociaux économique) (OMM, 2011).

L'étude du climat est multi et pluri disciplinaire rassemblant atmosphériciens, océanographes, géographes, glaciologues, géologues, écologues, biogéochimistes, etc. (Joussaume, 2011).

Le climat se définit sur une échelle temporelle d'environ 30 ans au minimum (OMM, 2012).

I.1.1.1 Système climatique

En effet, le climat résulte des interactions entre les différentes composantes du système climatique (atmosphère, océans, cryosphère par leurs réfléchissances et comme réservoir d'eau, biosphère, lithosphère), à travers des échanges d'eau, d'énergie « sous forme de chaleurs et d'humidité » et de carbone mais aussi des intra interactions entre ces composants (Figure 1) (Joussaume, 2011; POC, 2019).

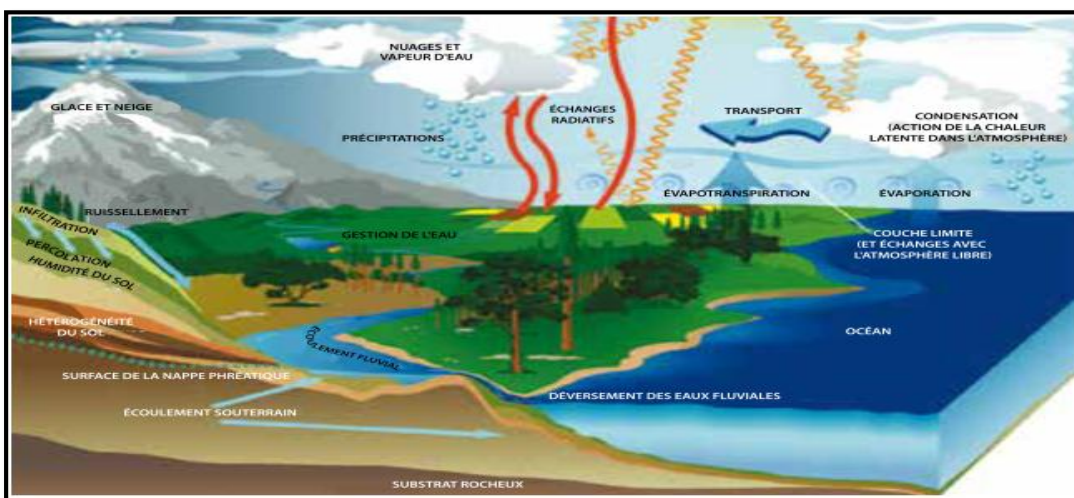


Figure 1 : Système climatique (OMM, 2011).

Chapitre I

I.1.1.2 Forçage climatique et variation du climat sur le long terme

La partie suivante est une synthèse effectuée à partir du livre de Durand (2007), du chapitre de Joussaume (2011) et du rapport POC (2019).

Les diverses techniques de mesure physique et chimique, le déploiement de systèmes d'observation et le développement de modèles numériques permettent d'identifier et d'étudier les mécanismes de fonctionnement du système climatique et la reconstitution du passé climatique.

Les cinq principaux facteurs qui agissent sur la variabilité des éléments du climat à l'échelle globale et locale sont présentés ci-dessous :

- 1. L'énergie reçue :** varie en fonction de la latitude et de la saison. Elle dépend de la luminosité du soleil, du cycle de Milankovitch (la distance terre –soleil et de l'orientation de l'axe de rotation de la terre), et aussi des particules et des poussières dans l'atmosphère qui réduisent la quantité d'énergie solaire atteignant la terre. Citons le cas de l'impact d'un astéroïde qui a percuté la péninsule du Yucatàn en Amérique centrale faisant entrer la terre dans une période glaciaire (Durand, 2007).
- 2. Les manifestations telluriques et océaniques :** les épanchements volcaniques « trapps », la dérive des continents résultant de la formation des calottes polaires et de la structuration des courants océaniques, le mouvement des dorsales océanique qui influe sur le niveau de la mer etc.
- 3. Les activités biologiques et la révolution industrielle :** il y a 1.6 milliard d'années, les algues bleues auraient modifié la composition de l'atmosphère en augmentant la concentration de l'oxygène en captant le carbone. Plus récemment, le développement industriel est à l'origine de rejets de grandes quantités de dioxyde de carbone principalement issues des hydrocarbures fossiles et de la déforestation.
- 4. La collision de la terre avec des objets de grande taille** venu de l'espace (météores, comètes...).
- 5. La circulation générale des masses d'air :** les éléments climatiques sont influencés par les facteurs géographiques locaux : la latitude, l'altitude, la présence d'étendue d'eau plus ou moins importante, la disposition et la caractéristique du relief, la végétation, mais aussi l'urbanisation.

Chapitre I

I.1.2 Réchauffement climatique-effet de serre

D'après les scientifiques du GIEC (Groupe International d'Experts sur le Climat), le réchauffement climatique par définition est l'augmentation de la température liée au développement de l'activité industrielle et notamment à l'effet de serre.

Dans le bilan radiatif terrestre stable, la terre reçoit un quart de l'irradiance solaire soit 342 W/m^2 absorbée par le système climatique et transformée en diverses formes d'énergie. D'autre part, 107 W/m^2 sont réfléchies par les nuages, les particules de l'atmosphère ou le sol. Une partie du reste (environ 235 W/m^2) est absorbée soit par l'atmosphère (67 W/m^2) soit par la surface (168 W/m^2). En se réchauffant sous l'effet du soleil, la terre émet à son tour un rayonnement infrarouge qui est en partie absorbé par les gaz à effet de serre. Cela sert à maintenir la température de la terre à $+15^\circ \text{ C}$ au lieu de -18° C s'il n'y avait pas d'effet de serre naturel (Figure 2) (Durand, 2007).

Néanmoins, ce bilan peut être modifié par trois grands paramètres : les particules ou aérosols, l'albédo et les gaz à effet de serre.

- A. Les particules ou aérosols** d'origine des éruptions volcaniques, les embruns océaniques et les activités anthropiques. Leur durée de vie est de quelques semaines voire quelque mois. Elles sont responsables de la réduction de l'énergie parvenant au sol et induit un forçage négatif de l'ordre de -1.5 W/m^2 (Durand, 2007).
- B. L'albédo** : agit à court terme et signifie la capacité d'une surface à réfléchir le rayonnement qu'elle reçoit. Il varie entre 0 (pour noir qui absorbe toute la lumière) et 1 (un miroir parfait). Le réchauffement fait baisser l'albédo.
- C. Gaz à effet de serre** dont le rôle a été identifié dès le 19^e siècle. Ce sont des gaz qui ont la capacité de piéger et d'absorber le rayonnement infrarouge émis par la terre. Au moment où la vapeur d'eau ne s'accumule pas longtemps, d'autre gaz à effet de serre reste dans l'atmosphère pendant quelques années à quelques siècles.

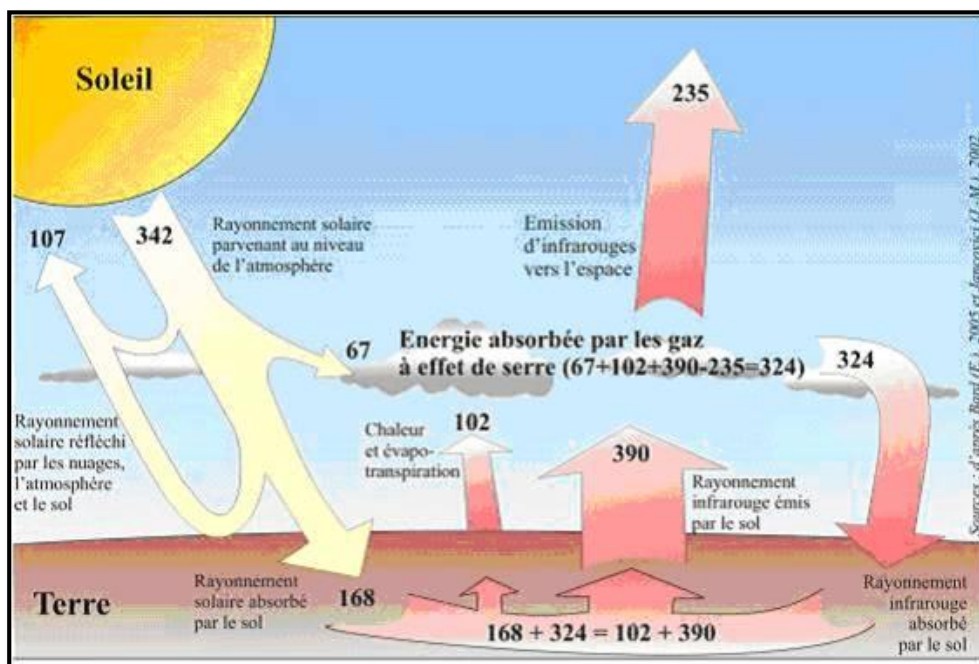


Figure 2: Bilan radiatif de la terre (en Watts/m²) *lactualitechimique.org*.

I.1.2.1 Impact du Réchauffement planétaire

I.1.2.1.1 Sur les océans

La notion de l'océan-réchauffement climatique n'a été prise en compte que dans les textes additionnels de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) à partir de la conférence des Nations unies sur les changements climatiques COP21 par la décision des membres de la Plateforme Océan Climat (POC). Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a publié son premier rapport consacré à l'océan « l'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique » le 24 septembre 2019.

1. Elévation du niveau de la mer

Le réchauffement climatique constitue une menace entraînant des effets et des impacts sur l'environnement comme il agit sur d'autres indices climatique. Il provoque le changement de volume des océans de 3mm/an qui représente environ 30 à 40 % de l'élévation observée du niveau de la mer (POC, 2019) par le fait de la dilatation de l'eau (WWF). Quand l'eau se réchauffe, ses molécules s'agitent et s'éloignent les unes des autres, par conséquence, le volume occupé est très important, ce qui provoquera l'érosion côtière, le recul du trait de côte et la destruction des zones littorales.

Cela se traduit parfois par trois risques : la disparition de terrains notamment la perte de plages à l'ouest d'Alger à Sidi Fredj, la plage de Bejaia, de Boumerdes et d'Oran, fragilisations et

Chapitre I

rupture par érosion des dunes et des digues et la sape d'ouvrages de protection par affouillement (Descroix et al., 2016).

Le niveau des océans a augmenté de 8,5 cm entre 1994 et 2018 (POC, 2019). Cette augmentation varie en fonction des régions et devrait encore grimper de 60 cm à plus de 1 mètre d'ici 2100 d'après les dernières conclusions du rapport du GIEC.

La pénétration plus importante de l'eau salée dans les estuaires, deltas et marais maritime, d'où salinisation des sols et des eaux souterraines, et le risque accru de submersion lors des fortes marées comptent parmi les principales conséquences du réchauffement climatique (Descroix et al., 2016; WWF).

2. L'acidification des océans

Le gaz à effet de serre anthropique CO₂ est dégagé dans l'atmosphère en quantité importante depuis la révolution industrielle. Un quart de ce CO₂ est absorbé par les océans selon deux processus: biologique « photosynthèse qui est lié à la production primaire » et physico-chimique « solubilité du CO₂ qui dépend de la température, l'excès du CO₂ dans l'atmosphère, courant marins et les mélanges verticaux de façon à ce que lorsque la température augmente la pénétration du CO₂ diminue » (POC, 2019).

Ce qui permet de réduire la quantité de CO₂ dans l'atmosphère mais provoque également des réactions chimiques qui réduisent le niveau de *pH* nommé acidification des eaux marines (Descroix et al., 2016; WWF).

Aujourd'hui, l'océan est 30 % plus acide qu'il y'a 250 ans (POC, 2019). Depuis plusieurs décennies, le *pH* des océans a tendance à diminuer : il se situerait aujourd'hui autour de 8,1, soit une baisse de 0,1. Il pourrait diminuer jusqu' à 7,8 d'ici 2100 (POC, 2019).

3. Désoxygénation des océans

La hausse de la température des océans diminue la solubilité de l'oxygène dans l'eau. L'oxygène dans les océans baisse avec un rythme de 2% par décennie jusqu'à 4% en périphérique de certaines zones depuis 1960 (POC, 2019).

4. Réchauffement des océans

Le réchauffement des océans implique une grande évaporation de l'eau qui contribue à accélérer le réchauffement du climat et également l'évaporation d'eau (POC, 2019).

I.1.2.1.2 Autres impacts du réchauffement

Outre l'acidification du milieu, nous avons la diminution des sels nutritifs et matières particulaires à cause du phénomène de stratification de la colonne d'eau. Par conséquent, cela cause un stress pour la biodiversité marine (Lotze et Worm, 2002; Nielsen, 2003) et une difficulté pour certaines espèces de survivre (déclin des coraux et organismes coquillers calcaires) hormis les espèces tolérantes. Ces stress, s'ils se produisent de manière régulière, peuvent conduire à des changements de la répartition géographique et peuvent modifier sensiblement l'aspect des paysages sous-marins.

Sous l'effet du réchauffement, l'eau s'évapore et les sels simples qui composent l'eau océanique demeurent dans l'océan formant des anomalies marines locales de la salinité plus une intensification du cycle de l'eau, c'est-à-dire plus d'évaporation, plus de précipitations et plus de ruissellement (Descroix et al., 2016; POC, 2019).

En Algérie, des inondations ont eu lieu dans la région centre (Bab El Oued, novembre 2001) et Est (El Tarf, février 2012) alors que la région Ouest fait face à des sécheresses plus ou moins sévères.

Le GIEC estime un ralentissement très probable de la circulation océanique au cours du XXI^e siècle avec une diminution significative des transports de chaleur vers les hautes latitudes et vers l'océan profond. Ceci va induire un refroidissement dans les régions de l'Atlantique nord (POC, 2019).

La dégradation biologique des épaves en bois qui se produit naturellement est accélérée avec le changement climatique, c'est ce qui s'est produit dans la mer Baltique avec la propagation des xylophages marins (UNESCO).

Aussi, la réduction de la surface des îles a également été constatée particulier de type corallienne du fait du blanchissement des coraux.

Chapitre I

I.1.3 Variables climatiques naturelles

I.1.3.1 ENSO

La partie suivante est une synthèse effectuée à partir de Capotondi et al., (2015) et la NOAA.

El Niño Southern Oscillation est une fluctuation et un phénomène couplé entre l'océan, à travers la température de la surface de la mer et l'atmosphère, à travers la pression atmosphérique de l'atmosphère sus-jacente de l'océan Pacifique équatorial.

El Niño est un phénomène naturel. Il se traduit par un courant côtier chaud dans le Pacifique tropical et se produit tous les 2 à 7 ans. Il a des impacts mondiaux d'une grande importance et sa phase froide opposée est dite La Niña. Ces deux conditions sont associées à la condition « Oscillation Australe ».

L'indice de l'oscillation australe (SOI) est défini comme la différence de pressions atmosphériques entre Tahiti et Darwin en Australie. L'oscillation australe engendre une circulation d'air de l'Est vers l'Ouest (Alizée Est), attirant des eaux de surface chaudes vers l'ouest et provoquant des précipitations en Australie et dans le Pacifique occidental. Les valeurs de SOI négative coïncident avec les conditions d'El-Niño et des périodes prolongées de valeurs de SOI positives coïncident avec des eaux océaniques anormalement froides (La Niña).

Lors de la période d'El-Niño, les Alizées Est s'affaiblissent, ce qui ralentit le courant océanique qui éloigne l'eau de surface de la côte ouest de l'Amérique du Sud et réduit la remontée d'eau froide et riche en nutriments de l'océan plus profond, aplatissant la thermocline et permettant à l'eau de surface chaude de se gonfler dans la partie orientale du bassin.

La surveillance des conditions ENSO se concentre principalement sur les anomalies de la température de la surface de la mer (TSM) dans 4 régions géographiques du Pacifique équatorial (Figure 3).

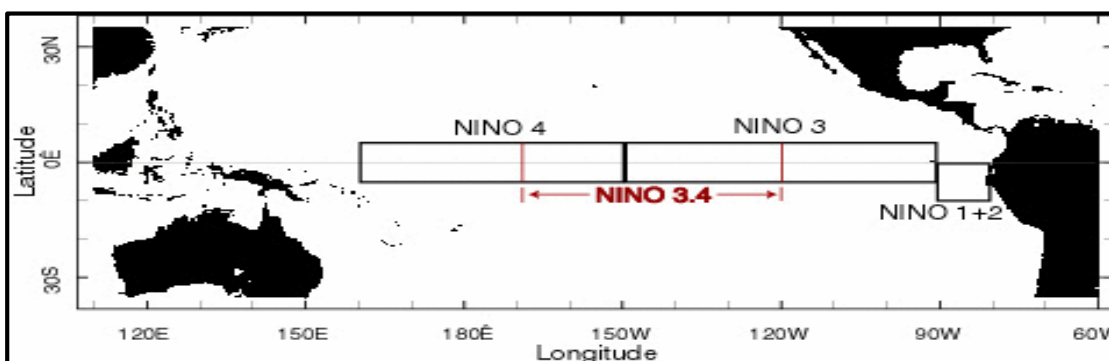


Figure 3: Les régions d'ENSO « <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/enso-tech.php> ».

Chapitre I

Niño-4 (5 ° N – 5 ° S, 160 ° E – 150 ° W)

Niño-3 (5 ° N – 5 ° S , 90 ° W – 150 ° W)

Niño-1 + 2 (SSTA moyen sur la région 0 ° – 10 ° S, 90 ° W – 80 ° W)

Niño 3,4 (5° N - 5°S, 170 °W - 120 °W)

I.1.3.2 NAO

La partie suivante est une synthèse effectuée à partir de Cassou (2004) et la NOAA.

Oscillation Nord Atlantique se quantifie par un indice nommé « Indice Nord Atlantique Oscillation » qui est défini comme la différence de pression atmosphérique au niveau de la mer (SLP) normalisée d'une station météorologique proche de l'anticyclone des Açores (Lisbonne ou Ponta ou Delgada ou Gibraltar, etc.) et celle d'une station proche de la dépression d'Islande (Reykjavik ou Stykkisholmur ou Akureyri, etc.). Le principal indice NAO qui est de la saison d'hiver se calcule comme la moyenne des mois de décembre, janvier et février :

$$\frac{1}{3} (NAO_{dec,y} - 1 + NAO_{jan,y} + NAO_{fev,y}) = NAO_{hiv,y} \dots (1)$$

Où y représente, l'année.

La phase positive de la NAO (NAO⁺) se produit lorsque la différence de la pression normalisée devient plus importante que la normale. Cette phase se traduit par un fort vent d'ouest qui se développe à travers la région de l'Atlantique Nord et qui souffle vers l'Est conduisant à des conditions de froid sur le nord-ouest de l'Atlantique et de la chaleur sur l'Europe, ainsi que des conditions humides qui s'étendent de l'Islande à la Scandinavie. Tandis que l'Afrique du Nord connaît des précipitations inférieures à la normale. Le jet-Stream s'intensifie et se prononce plus vers le Nord.

Inversement, La phase négative du NAO (NAO⁻) correspond à un faible gradient entre l'anticyclone des Açores et la dépression d'Islande. Cette phase connaît l'affaiblissement des vents d'Ouest et le jet-Stream est situé vers le sud accompagné des conditions humides et douces en Afrique du Nord (Figure 4).

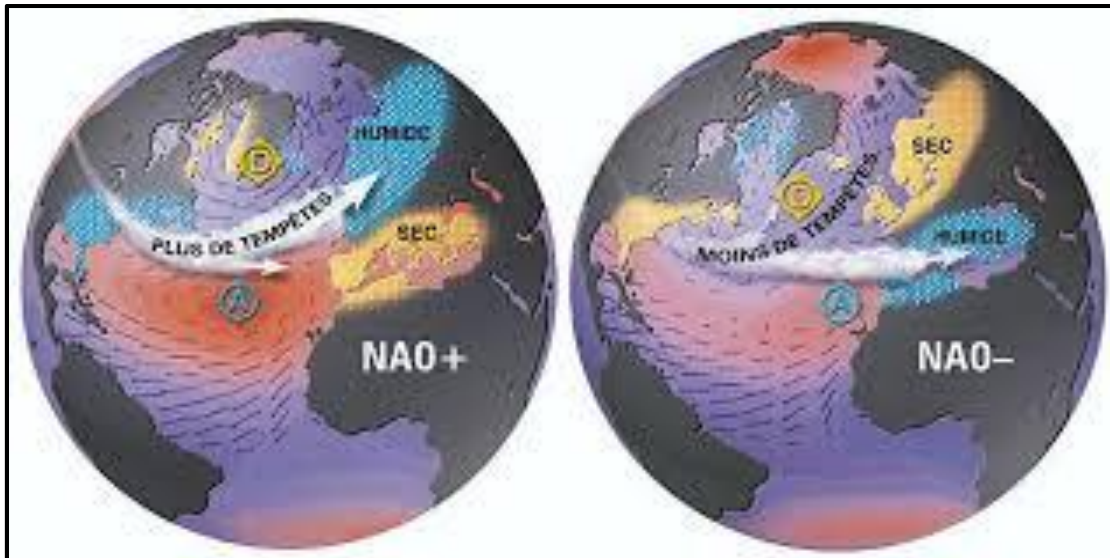


Figure 4 :Schéma impacts et conditions des deux phases NAO (Cassou, 2004).

I.1.3.3 MOI

L'oscillation Méditerranéenne est la différence de pression normalisée entre Alger (Algérie) (36.4° N , 3.1° E) et Le Caire (Egypte) (30.1° N , 31.4° E) selon Palutikof et al. (1996) et Conte et al. (1989). En 2003, Palutikof a suggéré une deuxième façon de calculer cet indice qui est la différence de SLP entre la frontière nord de Gibraltar (36.1° N , 5.3° W) et l'aéroport de Lod en Israël (32° N , 34.5° E) (CRU; Vicente-Serrano et al., 2009).

WeMOI est une télé-connection régionale atmosphérique qui peut avoir une influence dans le bassin méditerranéen. Martín - Vide et López - Bustins en 2006 (CRU) ont défini cette indice comme une structure dipolaire qui enregistre le gradient d'anomalie SLP entre l'anticyclone sur les Açores (Sud-Ouest de l'Espagne : Cadix ($36^{\circ}28' \text{ N}$ - $6^{\circ}12' \text{ W}$)) et la dépression sur la Ligurie (Italie : Padoue ($45^{\circ}24' \text{ N}$ - $11^{\circ}52' \text{ E}$)) (CRU; Vicente-Serrano et al., 2009) .

La phase positive du WeMOI montre un anticyclone dans la région du golfe de Cadix et une zone de basse pression au bord de la mer Ligure. Durant cette phase, les vents dominants dans la péninsule ibérique sont généralement de l'ouest et du nord-ouest, originaires de la région de l'Atlantique Nord. Ces vents, au moment d'atteindre le côté Est de la péninsule, ont traversé les zones continentales de la péninsule. Ils sont donc devenus secs et chauds (vents d'ouest) ou plus froids mais également secs (nord-ouest) (Figure 5).

La phase WeMOI négative montre un minimum dans le golfe de Cadix (pression faible) et un anticyclone en Europe centrale (pression élevée) (Figure 5).

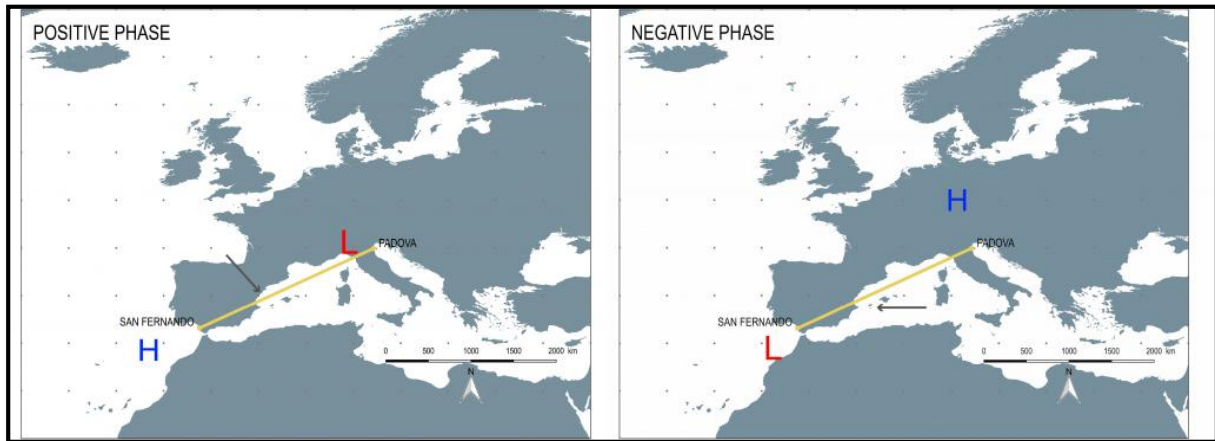


Figure 5 : Les phases du WeMOI (L: dépression ; H: haute pression) (Climatology Group) .

I.1.4 Évènement climatique extrême

Dans le cadre de l'étude du climat, on parle d'évènements ou bien du fait important qui sont de deux types :

1. Les évènements climatiques extrêmes : se concentre dans de vastes régions sur une longue durée, de quelques semaines à quelques mois. Ils se caractérisent par des systèmes météorologiques dominants (vague de chaleur, forte précipitation, sécheresse), comme ils peuvent être le résultat d'accumulation de plusieurs événements météorologiques (extrêmes ou non) ;
2. Les évènements plus localisés et relativement brefs de l'ordre de quelques heures par des modes de variabilité climatique (tempêtes, cyclones tropicaux et orages).

C'est une définition qui correspond à la définition des évènements météorologiques relevant de la géodynamique externe qui est en relation avec le changement climatique contrairement à celles relevant de la géodynamique interne tels que les séismes , tsunamis et éruption volcanique (Decamps, 2010; ONERC, 2018).

D'après le quatrième rapport annuel de GIEC (2007) : « un événement météorologique extrême est un événement rare en un lieu et à une époque de l'année. Les définitions de « rare » varient, mais un événement météorologique extrême est normalement aussi rare ou plus rare que le 10^e ou 90^e centile de la fonction de densité de probabilité observée [. . .] (Decamps, 2010). Il se produit sur des échelles de temps météorologiques, de quelques minutes, à plusieurs décennies (Perkins-Kirkpatrick et Pitman, 2018)

Un événement extrême est un événement inhabituel qui désigne à la fois les phénomènes météorologiques et les phénomènes climatiques (Decamps, 2010).

Chapitre I

- Les phénomènes climatiques extrêmes : terme général qui regroupe les phénomènes climatiques qui provoquent rafales de vents et précipitations sur des zones et des durées très variables. Ce sont des anomalies du climat où sont des phénomènes naturels qui ont un effet global et qui persistent longtemps, d'un mois au plus (le cas d'ENSO).
- Phénomènes météorologiques extrêmes : Ce sont des anomalies de la météorologie qui ont un effet local et qui persistent une journée.

Du point de vu des spécialistes de l'environnement, l'évolution des climats est définie par l'évolution de :

- La durée ou la persistance des extrêmes climatiques (Naveau et al., 2020);
- Intensité du phénomène : le dépassement d'un seuil bien choisi (Naveau et al., 2020).Ce seuil qui varie d'un lieu à un autre. est défini en fonction du besoin: projections, statistiques, assurance, social, économique... (ONERC, 2018) ;
- La rareté ou la fréquence d'occurrence du phénomène (Naveau et al., 2020);

Par contre, d'un point de vue socio-économique, ce sont les impacts, les conséquences et les dégâts qui sont importants (ONERC, 2018).

I.2 Partie 2 : La Méditerranée

I.2.1 La Méditerranée

La mer Méditerranéenne est semi fermée s'étendant sur une superficie d'environ 2,5 millions de km² avec un volume d'eau de 3,7 millions de km³. Elle se divise en deux bassins : occidental « 0,85 millions de km² » et oriental « 1,6 millions de km² » (Millot, 1989).

La Figure 6 montre l'étendue géographique du bassin méditerranéen, des sous-bassins ainsi que des principaux passages et détroits de la Méditerranée et les principales chaînes de montagnes ou zones de relief entourant la Méditerranée.



Figure 6 : Carte de la mer Méditerranée (Ayache, 2016).

I.2.2 Circulation océanique en méditerranée

La mer Méditerranée est caractérisée par une forte évaporation dépassant les précipitations et ruissellements des rivières dans la mer (Millot et Taupier-Letage, 2005) engendrant une concentration élevée en sel.

La différence de niveau entre la mer et l'océan conduit à des entrées d'eau Atlantique de surface par cascade moins salée que celle de la méditerranée (de salinité égale à 36) (Millot, 2009) par le détroit de Gibraltar (Millot, 1989) avec un écoulement de $10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ (Millot ET Taupier-Letage, 2005) pour compenser son déficit en eau (Millot, 2009).

Au cours de son parcours dans le bassin, elle devient plus salée et plus chaude (plus dense) par effet d'évaporation et de refroidissement. Cette eau circule dans les zones côtières Algérienne d'Ouest en Est pour ensuite se diviser en deux veines : la première remonte vers le Nord en un circuit cyclonique dans le bassin occidental, la deuxième traverse le détroit de Sicile vers le bassin oriental où la circulation est dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Après un temps de résidence de 50 à 100 ans de ces eaux dans l'ensemble de la mer, elles ressortent par le détroit de Gibraltar (Millot et Taupier-Letage, 2005).

I.2.2.1 Circulation des eaux de la méditerranée occidentale

La Méditerranée occidentale est composée de trois sous-bassins : la mer d'Alboran, le bassin Algéro-provençal et la mer Tyrrhénienne. Elle est caractérisée par la présence de trois masses d'eaux : eau de surface occidentale (0-150 m), eaux intermédiaires d'origine de la mer orientale (150-600m) et eaux profondes denses occidentales homogène (de 700 m au fond) (Rixen et al., 2005).

Chapitre I

I.2.2.1.1 Circulation des eaux de surface

L'eau Atlantique AW ($T = 15^{\circ}\text{-}16^{\circ}\text{ C}$, $S = 36\text{-}37$ et densités réduites de $26\text{-}27\text{ g/ml}$) (Millot et Taupier-Letage, 2005), entre dans la mer méditerranée par le détroit de Gibraltar. Cette eau se dirige vers le Nord-Est à cause de l'orientation des détroits puis elle décrit un premier gyre dans le sens des aiguilles d'une montre à l'Ouest de la mer d'Alboran, entre l'Espagne et le Maroc. Au niveau du bassin algérien, deux gyres permanents anticycloniques se produisent : gyre Ouest $37^{\circ}30'\text{N}$, $2^{\circ}30'\text{W}$ et Est $38^{\circ}30'\text{N}$, $6^{\circ}00'\text{E}$ (Millot, 2009).

L'eau Atlantique (AW), le long de son trajet se modifie en devenant plus chaude et plus salée selon la saison et se transforme en Eau Modifiée d'origine Atlantique (MAW) (Millot, 1989). Sa température varie entre 20 et 28°C et peut atteindre 13°C lorsque elle se refroidit (Millot et Taupier-Letage, 2005).

Cette dernière s'écoule vers l'Est en surface le long de la pente du versant continental africain, devient instable à partir de $1\text{-}2^{\circ}\text{E}$ et traverse le canal de la Sardaigne le long de la côte tunisienne en passant par le canal de Sicile jusqu'au bassin oriental. Une autre partie fait le tour du bassin Tyrrhénien suivant une trajectoire cyclonique le long de la Sicile et de la péninsule italienne afin de rejoindre la veine ouest-corse. Ce dernier continue à descendre en Ligurie, en Provence et en Catalogne, jusqu'à l'Algérie et l'entrée de l'Alboran où elle se referme (Millot et Taupier-Letage, 2005) voir Figure 7 .

La circulation des eaux de surface est régit par la force de Coriolis et la topographie sous-marine. (Millot, 1989; Millot et Taupier-Letage, 2005).

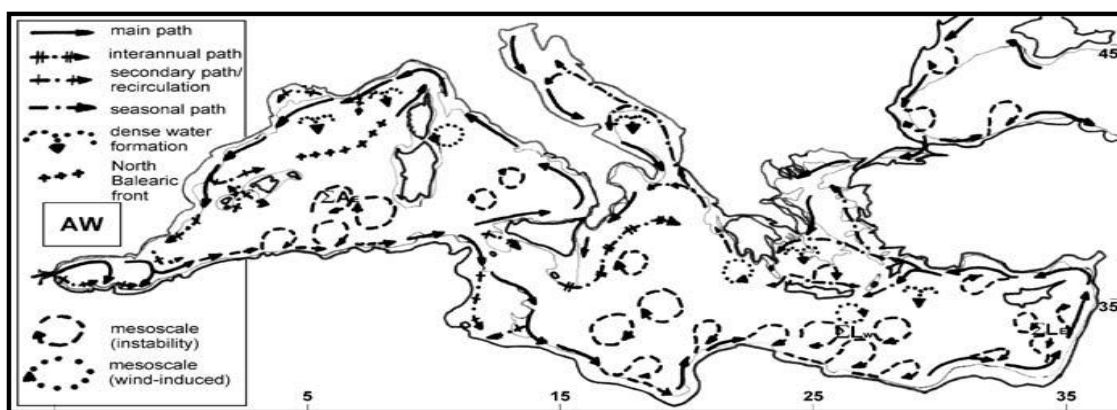


Figure 7 : Circulation des eaux de surface en méditerranée (Millot et Taupier-Letage, 2005).

Chapitre I

I.2.2.1.2 Circulation des eaux intermédiaires et profondes

Millot (1989) décrit la circulation des eaux méditerranéennes intermédiaires et profondes comme suit (Figure 8) :

Dans la partie nord du bassin Levantines, l'Eau Levantine Intermédiaire (LIW) formée en hiver par la convection rentre par le détroit de Sicile en Méditerranée occidentale en faisant le tour de la mer Tyrrhénienne, poursuivant un circuit cyclonique et longeant la côte Italienne. Une grande partie poursuit son écoulement cyclonique vers le canal de Sardaigne (200-600m) et l'autre partie franchit le canal de Corse. La LIW remonte les côtes Ouest de la Sardaigne et de la Corse et rejoint l'eau Levantine issue du canal de Corse, la veine longe ensuite la pente continentale de France et d'Espagne où une partie sort par le détroit de Gibraltar tandis que l'autre partie entraînée par l'eau surface AW, rejoint et suit les côtes Algériennes vers l'Est.

En méditerranée occidentale, la formation des eaux profondes a lieu en hiver dans le large du golfe du Lion et en mer de ligure où des vents nord-ouest violents, froids et secs «le mistral et la tramontane » soufflent en augmentant la densité des eaux atlantiques modifiées volumineux (supérieure en densité réduite à 29 g/l (Millot et Taupier-Letage, 2005).

Ces eaux commencent à se mélanger avec la LIW plus chaude et plus salée puis se plongent (LIW et MAW et se mélangent verticalement aux autres eaux plus denses plus anciennes) en formant «WMDW » composée respectivement de $\frac{3}{4}$ de MAW et $\frac{1}{4}$ de LIW avec des températures typiques [13,0-13,5°C], et des salinités typiques [38,0-38,5] et densités réduites [28,0-28,5] (Millot et Taupier-Letage, 2005).

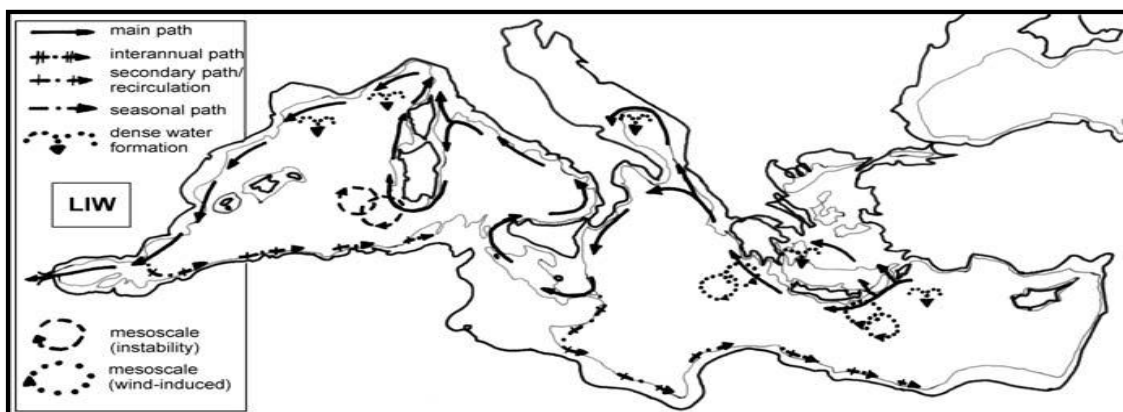


Figure 8 : Circulation des eaux intermédiaire et profonde dans la mer méditerranée (Millot et Taupier-Letage, 2005)

Chapitre I

I.2.3 Réchauffement des eaux méditerranéennes

Rixen et al. (2005) ont mis en évidence le réchauffement des différentes couches et masses d'eau qui composent la mer Méditerranée par l'étude de la climatologie méditerranéenne sur une période de 50 ans [1950-2000] en constatant une augmentation générale de la température et de la salinité. Ils ont trouvé une forte corrélation des anomalies de la température (au nord de la mer Méditerranée occidentale) avec celle de l'oscillation nord atlantique NAO, ce qui signifie que le climat du Nord atlantique a une influence importante sur la Méditerranée occidentale.

I.2.4 Bassin algérien

Le bassin algérien est une unité géographique parmi les cinq unités de la méditerranée occidentale soumis à l'influence directe du courant très turbulent qui longe les côtes algériennes (Millot, 1989). Il se situe entre 35°N à 40°N de latitude avec une longitude de 2°W à 7° 45'E, il est caractérisé par un courant dit algérien, mesurant environ 30 à 50 km de large et 200 à 400 m de profondeur près de la pente (Testor et al., 2005).

I.3 Partie 3 : Présentation de la zone d'étude

L'Algérie est située au centre du continent Nord-africain, possède un littoral d'environ 1622,48 Km dans le sud-ouest du bassin méditerranéen, principalement orienté vers le nord (du Sud-Ouest au Nord-Est) . la cote algérienne se caractérise par un plateau continental très étroit qui varie de 0,5 km à 50 km. le littoral algérien s'étend de 3°W à 9°E et de 35° à 40°N (Amarouche et al., 2020) de Oued Kiss (wilaya de Tlemcen) à Oued Souani Es Sebaa (wilaya d'El Tarf); avec une superficie marine de 27 998Km² (Geosciences Marines Algerie, 2019).

Elle présente une variété de formes morphologiques avec une majorité des rivages rocheux, parfois avec de hautes falaises, mais aussi sablonneux des plages et des dunes (Ali et al., 2009).

I.3.1 Géographie de l'Algérie

L'Algérie septentrionale, géographiquement au sens du relief, se décompose en deux massifs de montagnes à savoir (Figure 9) :

- l'Atlas tellien (en jaune) : Monts Blidéens , Monts de Chréa , Massif du Djurdjura , Massif de l'Ouarsenis et Massif des Babors séparées par des vallées parcourues de cours d'eau;
- et l'Atlas saharien(en bleu sombre) : Monts des Aurès et Monts du Hodna au sud a de nombreuses oasis.

Ces massifs sont parallèles à la côte méditerranéenne, installés le long du territoire longitudinale algérien. Ces deux chaînes se confondent à l'extrémité Est et s'éloignent au centre du pays jusqu'à l'Ouest où s'intercalent des hauts plateaux (en bleu clair) qui disposent de nombreux lacs (en hiver) et transformés en chott en été, comme les montre la Figure 9.

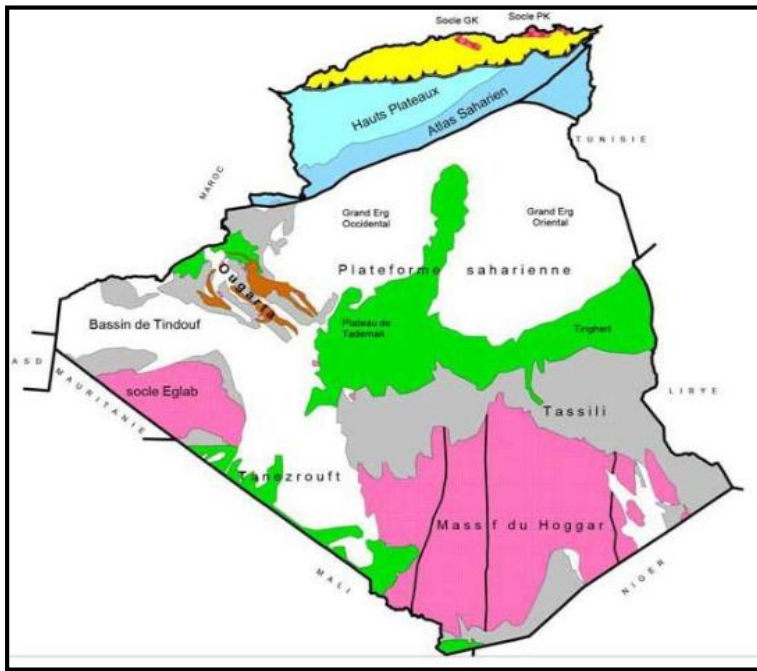


Figure 9 : Carte géologique de l'Algérie (ANDI, 2015).

I.3.2 Climat de l'Algérie septentrionale

La partie Nord de l'Algérie est soumise au climat méditerranéen tempéré à savoir : un été chaud et sec et un hiver froid et pluvieux (Peel et al., 2007) de température moyenne variant de 12, 8°C à 30°C (Sánchez-Arcilla A. et al., 2010; Shahin, 2007).

Des précipitations annuelles moyennes d'environ 100 mm caractérisent la région des Aurès et une moyenne ne dépassant pas 200 mm au niveau des hauts plateaux et l'Atlas saharien.

De fortes pluies sont enregistrées dans les villes du Nord de l'Algérie, des précipitations annuelles oscillent entre 21,1 mm et 176,8 mm pour Alger, Annaba, Skikda, Mostaganem et Constantine. D'autre part, une précipitation annuelle minimale de 15,2 mm et maximale de 111,6 mm sont enregistrées dans les villes d'Oran, Chleff, Saida, Djelfa, Batna, Tébessa, El Bayadh, Biskra, Tlemcen, Mascara, Bordj Bouriridj et Tiaret (Boudrissa et al., 2017).

Généralement, les régions situées le long de la côte ou à proximité reçoivent des précipitations durant 9 mois au moins, de septembre à mai. Les précipitations pour la période restante, de juin à août, sont limitées à quelques millimètres par mois (Shahin, 2007).

Chapitre II. Matériels et méthodes

Chapitre II.

II.1 Matériels

II.1.1 Choix et localisation des régions

II.1.1.1 Température de surface de la mer

Le présent travail est réalisé sur six régions des eaux du plateau et talus continental algérien (Benzouaï et al . 2018); deux régions à l'Ouest (1 et 2), deux au centre (3 et 4) et deux à l'Est (5 et 6). Délimitées au sud par la ligne de côte et au nord par la ligne bathymétrique 1000 m, les limites Ouest et Est définissent l'étendue des six régions météorologiques marines algériennes (Figure 10).

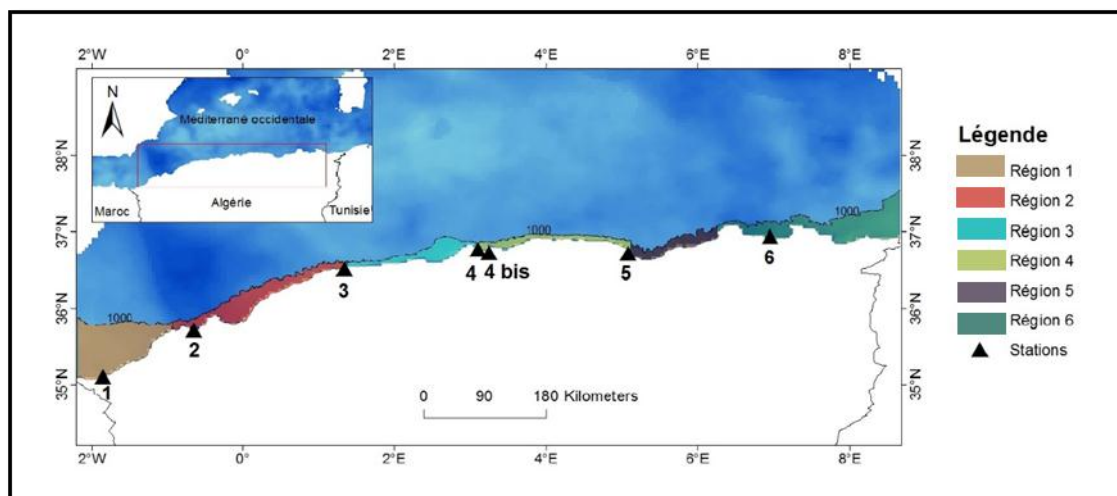


Figure 10 : Localisation des régions sur la zone d'étude

II.1.1.2 Précipitation

L'étude sur les précipitations couvre le même axe temporel que celui des TSM [1982-2018] et est réalisée sur six stations météorologiques côtières algériennes (Ghazaouet, Oran-Senia, Ténès, Alger-Darelbaida, Bejaia et Skikda) situées respectivement en stations 1, 2, 3, 4, 5 et 6.

Leurs coordonnées géographiques sont reportées dans le Tableau 1 et leurs localisations le long de la côte sont représentées sur la Figure 10.

Chapitre II.

Tableau 1 : Localisation des stations météorologique.

station	latitude	longitude	Altitude (m)
Ghazaouet	35°06' N	01° 51' W	82,9
Oran-senia	35°42' N	0°39' W	356
ténès	36°30' N	01°19.98 'E	17,98
Dar-el-baida	36°43.002' N	3° 15' E	24,07
Alger port	36°46.02' N	03°6'E	11,88
Bejaia	36°42.72' N	05° 4.2' E	9,144
Skikda	36°55.98' N	06°57' E	7,01

II.1.2 Données utilisées « acquisition des données »

II.1.2.1 TSM

Afin d'étudier la variabilité spatio-temporelle de la TSM, le long des eaux continentales algériennes, nous avons utilisé les données analysées provenant d'observations par satellite et in situ fournies par le service Copernicus de surveillance du milieu marin (*Copernicus Marine Environment Monitoring Service*, CMEMS) (marine.copernicus.eu) (voir Annexe 1).

Les données acquises se présentent sous forme d'un ensemble de fichiers dans le format NetCDF Climate and Forecast (CF) dans le système de coordonnées géographiques WGS84. Leur résolution spatiale est de 0,0417° correspondant à environ 4 km.

Trente-sept années de TSM journalières sans valeurs manquantes ont été acquises dans la période du 01 Janvier 1982 au 31 décembre 2018. Au total, 13514 images ont été exploitées.

Dans le cadre de notre étude, nous avons extrait les données couvrant uniquement la zone d'étude.

II.1.2.2 Précipitations

Les données des précipitations ont été récupérées de différentes sources (Météo Algérie, NOAA (*National oceanic and atmospheric administration*) et les données du projet GPCP (*Global Precipitation Climatology Project*) issues de la combinaison de données spatiales ou de modèle : <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.gpcp.html>) afin d'avoir une série temporelle complète.

Chapitre II.

II.1.2.3 Indices climatiques

De nombreuses études ont relié le forçage climatique en méditerranée aux variables climatiques naturel à savoir : MO (Criado-Aldeanueva et Soto-Navarro, 2013), NAO (Brandimarte et al., 2011; Corona et al., 2018; Taïbi et al., 2013), ENSO et WeMOI (Taïbi, 2015).

Le Tableau 2 résume les informations sur les indices climatiques utilisés dans ce travail. Les dates d'extraction des indices climatiques correspondent à la période d'étude 1982-2018.

Tableau 2 : Sources des données des indices climatiques

Indices climatiques	Périodes	Type de données	Sources
NAO	Janvier 1950- may 2020	Mensuelles	https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.nao.monthly.b5001.current.ascii.table
ENSO (TSM)	1950- 2020	MAM Saisonniers	https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/oni.ascii.txt
	Janvier 1951- may 2020	Mensuelles par région	https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices
MOI	01/01/1948 – 31/12/2018	Journalières	MOI (Algiers – Cairo) https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/moi/moi1.output.dat
	01/01/1948 – 31/12/2020	Journalières	MOI (Israel-Gibraltar) https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/moi/moi2.output.dat
	1821-2018	Mensuelles	WeMOI https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/moi/WebWeMOi-2019.txt

Chapitre II.

II.1.3 Logiciels utilisés

Le traitement des données a nécessité l'utilisation des logiciels suivants :

- **SNAP 7.0:** développé conjointement par Brockmann Consult, SkyWatch et C-S, la Plateforme des Applications Sentinel (*Sentinel Application Platform*) est un logiciel de bureau, libre au téléchargement, à la distribution et à la modification sous les termes de la GNU (General License Public). Il est dédié au traitement d'images, à la modélisation et à la visualisation des données de télédétection (<http://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>)
- **Arcgis version 10.6.1:** développé par ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), il est un logiciel de systèmes d'information géographique permettant de manipuler, gérer, visualiser, cartographier, interroger et analyser toutes les données disposant d'une composante spatiale.
- **Logiciel XLSTAT 2014:** logiciel permettant l'utilisation des techniques de statistiques, d'analyse des données et de modélisation utilisant l'Excel comme interface de récupération des données et d'affichage des résultats.
- **Khronostat 1.01 :** logiciel d'analyse statistique de séries chronologique, regroupe différents tests statistiques. Ces tests sont spécifiques à un changement de comportement de la variable dans la série temporelle (<http://www.hydrosciences.org>). Il est dédié à la détection de ruptures des séries statistiques, à savoir des séries de données pluviométriques, de température, de débit, etc. Il peut être utilisé dans le contexte des variations climatiques ou changements climatiques (<https://www.geograchid.com>).

II.2 Méthodes

La méthodologie développée pour étudier le réchauffement des eaux du plateau et talus continental algérien est basée sur le traitement des variables climatiques TSM et précipitations.

II.2.1 Extraction et récupération des données

II.2.1.1 Extraction de la TSM moyenne

Après acquisition, les TSM journalières sont traitées comme suite :

1. Conversion de l'unité Kelvin en degrés Celsius (équation 2) ;

$$\text{TSM (degrés Celsius)} = \text{TSM (Kelvin)} - 273,15 \dots (2)$$

Chapitre II.

2. Calcul des TSM moyennes mensuelles sur l'axe temporel (37 ans). Le résultat est un ensemble de données de 444 images.
3. Calcul de la climatologie moyenne de la TSM. Le résultat est un ensemble de données de 12 images ;
4. Extraction des statistiques (sous le logiciel SNAP) de la TSM pour chaque région en utilisant les masques adéquats ;
5. Organisation des données dans un classeur Excel afin de créer des séries continues commençant de Janvier à Décembre sur tout l'axe temporel 1982-2018.

II.2.1.2 Précipitations

Les données sont également organisées dans un classeur Excel.

II.2.2 Méthodes de calcul statistique

Calcul de la TSM moyenne annuelle

L'objectif est l'étude de la variabilité interannuelle de la TSM sur l'axe temporel.

La température de surface de la mer moyenne annuelle est la somme de la TSM moyenne des mois i divisée par le nombre de mois :

$$TA_j = \frac{\sum_{i=1}^{12} T_{ij}}{M} \dots (3)$$

Où : TA_j : TSM moyenne de l'année j (° C).

T_{ij} : TSM moyenne du mois i de l'année j (° C).

M : nombre de mois (12).

Calcul des cumuls

$$C_j = \sum_{i=1}^{12} P_{ij} \dots (4)$$

Avec : C_j : cumul annuel des pluies (mm).

P_{ij} : précipitation correspondant au mois i , de l'année j (mm).

Chapitre II.

✚ Calcul de la climatologie moyenne mensuelle

La variable moyenne mensuelle sur l'axe temporel [01 Janvier 1982 –31 Décembre 2018] pour chaque région a servi au calcul des indices standardisés. Le calcul s'effectue à l'aide de la formule suivante :

$$XC_i = \frac{\sum_{j=1}^N X_{ij}}{N} \dots (5)$$

Avec : XC_i : précipitation (mm) / TSM (°C) moyenne climatologique mensuelle.

X_{ij} : précipitation (mm) / TSM (°C) correspond à l'année j pendant le mois i.

N : nombre d'années

✚ Calcul des écarts types

Le calcul s'effectue comme suit :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (X_j - X)^2} \dots (6)$$

Où :

σ : écart-type

X_j : TSM (° C) ou pluviométrie (mm) moyenne pendant l'année j

X : TSM moyenne (° C) ou pluviométrie (mm) moyenne correspond à la longueur de la série.

N : longueur de la série.

✚ Calcul des indices standardisés

La méthode consiste à normaliser les relevés annuels et saisonniers des variables climatiques « températures de surface de la mer et précipitations » sur 37 ans, l'expression du calcul est la suivante :

$$ISX = \frac{(X_y - X_m)}{\sigma_c} \dots (7)$$

Avec : σ_c : écart-type climatologique sur l'échelle temporelle considérée.

X_m : Pluies (mm) / TSM (°C) moyenne de la série sur l'échelle temporelle considérée.

X_y : pluie (mm) /TSM (°C) moyenne de l'année j ou du mois i selon l'échelle temporelle considérée.

Chapitre II.

La classification de cet indice normalisé (Mckee et al., 1993) est indiquée dans le Tableau 3, ci-après.

Tableau 3 : Classification de sévérité selon les valeurs SXI (Mckee et al., 1993; OMM, 2012)

Valeurs d'ISP et IST	Classes pluies	Classes température
Plus de 2.0	Extrêmement humide	Extrêmement chaud
De 1.5 à 1.99	Très humide	Très chaud
De 1.0 à 1.49	Modérément humide	Modérément chaud
De -0.99 à 0.99	Proche de la normale	Proche de la normale
De 1.0 à -1.49	Modérément sèche	Modérément froid
De -1.5 à -1.99	Sévèrement sèche	Sévèrement froid
Moins de -2.0	Extrêmement sèche	Extrêmement froid

II.2.3 Les tests statistiques

Dans ce qui suit, nous définissons les tests statistiques et présentons ceux utilisés dans cette étude :

Principes des tests statistiques

Les tests statistiques ont le même principe qui consiste à énoncer deux hypothèses :

- Hypothèse nulle (H_0) : absence de différence ou de changement ;
- et une hypothèse alternative (H_1 ou H_a) : le test est bilatéral (il existe un temps t à partir duquel les variables changent de paramètre de position), unilatéral à gauche (il existe un temps t à partir duquel le paramètre de position des variables diminue), ou unilatéral à droite (il existe un temps t à partir duquel le paramètre de position des variables augmente).

La comparaison entre la p-value et le seuil alpha permet de prendre la décision et de répondre à la question de départ.

- **Valeur critique (alpha)**

La valeur critique ou le risque alpha est la valeur limite à partir de laquelle on pourra rejeter H_0 avec un seuil de significativité donné, généralement 5%.

Chapitre II.

• Valeur P (p-value)

Le p-value est la probabilité où le risque pris lorsque l'hypothèse H0 est rejetée. À partir de cette probabilité, le choix final d'une hypothèse se base sur la règle suivante :

Si $p \leq \alpha$: H0 est rejeté et H1 est acceptée.

Si $p > \alpha$: H1 est rejeté et H0 est acceptée.

✚ Test de tendance

Test de tendance « le test de Mann-Kendall » est effectué sur les séries temporelles (1982-2018) des cumuls de pluies et des températures de la surface de la mer moyennes à un niveau de signification de 5 %.

Le test de Mann-Kendall est non paramétrique dédié à vérifier l'existence d'une tendance dans la série temporelle. L'hypothèse nulle H0 indique qu'il n'y a pas de tendance alors que l'hypothèse alternative est qu'il existe une tendance (négative, non nulle ou positive).

✚ Courbe de tendance

Les courbes de tendance ont été calculées pour les précipitations cumulées et les températures de la surface de la mer moyennes au cours de la période 1982-2018.

✚ Analyse en composante principal ACP

L'objectif de l'ACP appliquée sur les TSM et les précipitations est de faire une régionalisation de ses variables dans la zone d'étude et de déterminer les années extrêmes (chaudes et froides, pluvieuses et sèches).

Cette méthode qui est largement utilisée dans l'analyse des données climatologiques, simplifie les données quantitatives complexes. Elle est utilisée pour analyser une diversité de champs, notamment les températures de surface de la mer, les régimes de températures et de précipitations à l'échelle régionale (OMM, 2011).

L'ACP est appliquée sur une matrice composée de lignes qui correspondent aux années (observations) et de colonnes représentant les valeurs des indices normalisés à l'échelle régionale (variables quantitatives). Ce traitement a été réalisé sur Xlstat.

Tests de corrélation

Le test de corrélation est effectué pour vérifier l'existence d'une dépendance entre les variables. Selon la distribution des données, il existe différents tests.

Chapitre II.

Le test de corrélation de Spearman est un test non paramétrique adapté pour les données qui ne suivent pas une distribution normale alors que le test de Pearson est utilisé pour les variables dont la distribution suit la loi normale.

Le coefficient de corrélation est noté « rho ». Sa valeur est comprise entre -1 et 1, et il mesure le niveau de relation monotone entre deux variables. Une corrélation de Spearman parfaite de +1 ou -1 est obtenue quand l'une des variables est une fonction monotone parfaite de l'autre.

La corrélation de Pearson entre les deux variables climatiques TSM et précipitations a été évaluée pour les six régions avec le logiciel Xlstat.

Test de Spearman a été appliqué pour l'analyse de forçage des indices climatiques. Les indices ISX ont été testés avec les 4 modes de la circulation atmosphérique : ENSO, NAO, MO et WeMO pour déterminer leurs relations et expliquer la variation des TSM et des précipitations.

Tests de détection des ruptures

Le choix des tests de détection des ruptures des séries temporelles est basé sur les tests retenus dans les études réalisées en Afrique dans les nombreux travaux notamment Lubès-Niel et al. (1998) et Taïbi et al. (2013).

Les deux variables abordées dans cette étude ont été soumises aux tests de rupture suivants : test de Pettitt, de Buishand ainsi que la segmentation d'Hubert appliqués à l'échelle annuelle et saisonnière à l'aide du logiciel Xlstat.

- **Le test de Pettitt** est un test non paramétrique ne nécessitant aucune hypothèse quant à la distribution des données. Il permet d'identifier le temps auquel se produit un changement (Pettitt, 1979).
- **Le test de Buishand** utilisé sur des variables suivant des distributions quelconques (Buishand, 1984).

Ces deux tests ont la capacité de détecter juste une seule rupture dans la série temporelle. L'hypothèse alternative indique un changement de la moyenne.

- **Le test Hubert** est un test d'homogénéité non paramétrique et permet de détecter plusieurs ruptures dans une série temporelle (Hubert et al, 1989).

Chapitre III. Résultats et discussion

Chapitre III

III.1 Variation de la TSM le long de la côte

III.1.1 Cycle annuel

La Figure 11 est la représentation cartographique du cycle annuel de la TSM dans les eaux côtières algériennes pour la période 1982-2018.

Les températures de la surface de la mer commencent à augmenter à partir du printemps jusqu'à atteindre des valeurs maximales en été (Août) puis diminuent en automne jusqu'à atteindre des valeurs minimales en hiver (Février et Mars).

Le régime hivernal s'étend du mois de Janvier à Mars suivi d'un régime transitoire « printemps » du mois d'Avril à Mai pour atteindre le régime d'été qui s'étend du mois de Juin à Septembre suivi d'un deuxième régime transitoire de l'automne où les températures diminuent jusqu'à ce que le mode hivernale soit bien établi afin de boucler le cycle annuel.

La distribution spatiale de la température de surface de la mer dans les eaux du plateau et talus continental algérien se distingue clairement pendant la période estivale par trois pattern : des températures élevées (environ 27°C) sont présentes dans deux régions [l'extrémité Ouest jusqu'à 0° et la deuxième région de 7°E jusqu'à l'extrémité Est en plus de la Baie de Béjaïa] ; tandis que les températures moins élevées (environ 25°C) distinguent la région entre 0° et 5°E. En outre, nous constatons une progression des eaux chaudes vers la côte aux mois de juillet et août et une régression au mois de septembre.

Au mois de Mars, les températures commencent à croître (environ 16°C) dans la partie Ouest (côte de Tlemcen et de Ain Témouchent). Les températures maximales sont enregistrées au mois d'Août (entre 26 et 27°C) particulièrement dans les régions Est et Ouest. Les températures minimales sont enregistrées au mois de février dans la baie de Béjaïa jusqu'à la frontière Est de l'Algérie avec la Tunisie et au mois de mars le long de la côte de Skikda vers El Kala.

L'analyse de la climatologie mensuelle moyenne couvrant le plateau et talus continental (Figure 12) confirme les résultats obtenus dans les cartes climatologiques (Figure 11) où les mois de Février et Mars sont marqués par les valeurs les plus basses de la TSM, tandis que les mois de Juillet, Août et septembre connaissent les valeurs les plus élevées.

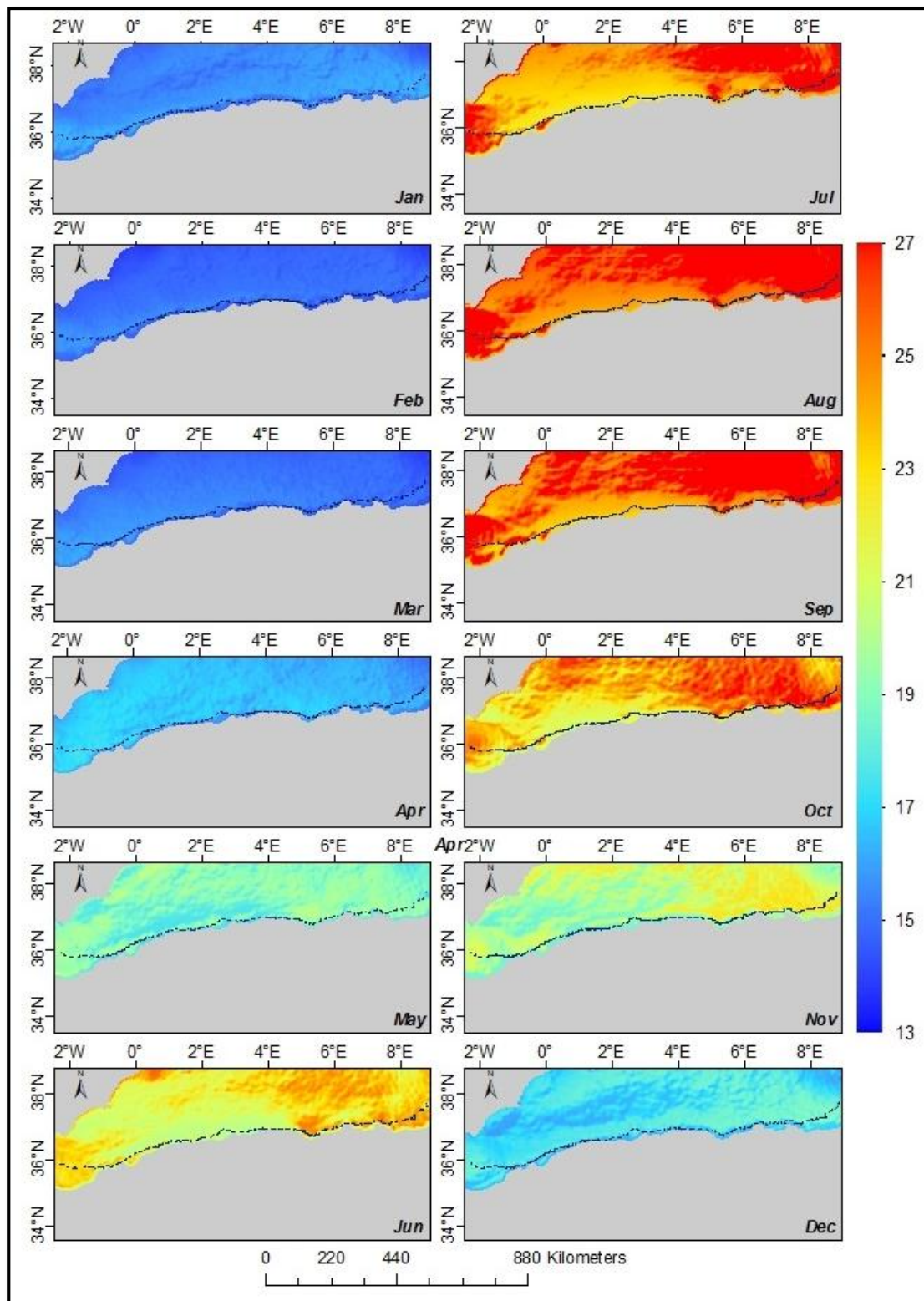


Figure 11 : Climatologie moyenne mensuelle de la TSM (°C) pour la période 1982-2018.

Le trait discontinu représente la bathymétrie 1000m.

Chapitre III

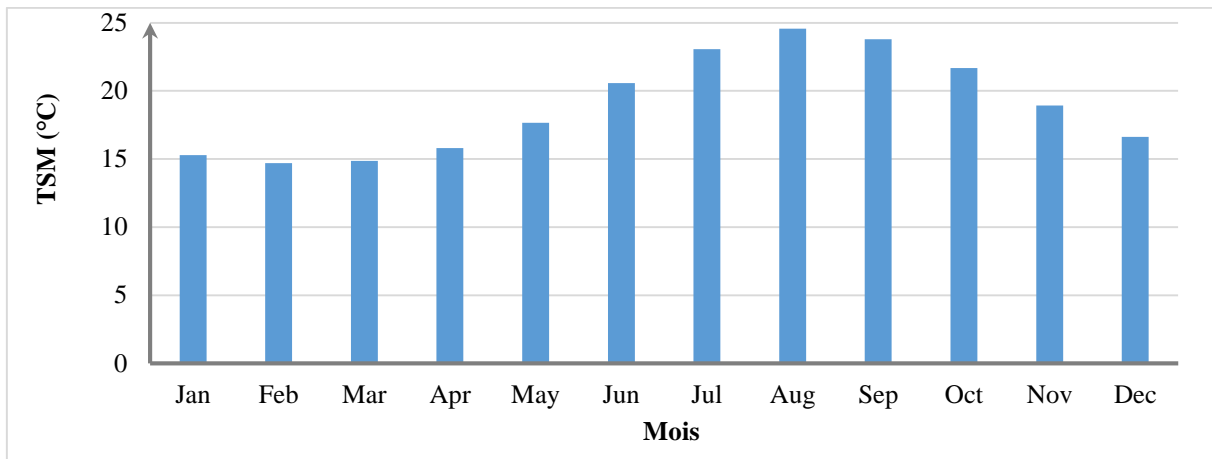


Figure 12: Moyenne climatique mensuelle de Janvier à Décembre de la TSM entre 1982-2018.

III.1.2 Variation interannuelle

La distribution temporelle des températures dans les eaux du plateau et talus continental algérien pendant la période 1982-2018 se distingue par 3 périodes différentes selon la segmentation d'Hubert (Figure 13) :

1. La période [1982-1986] où la température moyenne de la surface de la mer est de 18,32°C.
2. La période [1987-2002] marquée par une température moyenne de la surface de la mer plus ou moins stable autour de 18,84°C ;
3. La période [2003-2018] où des hausses de températures de la surface de la mer et des fluctuations sont enregistrées dans une gamme de TSM qui oscille entre 18,95 et 19,61°C avec une moyenne de 19,275 °C.

L'accélération du réchauffement des eaux du plateau et talus continental algérien a lieu à partir de l'année 1994 jusqu'à 2018 où les TSM oscillent entre 18,8°C et 19,6 °C (deviennent plus fréquentes et plus intenses).

Les résultats de l'analyse de la tendance linéaire pour la TSM de 1982 à 2018 montrent une tendance générale au réchauffement dans l'ensemble du plateau et talus qui est de 0,0306 °C/an (Figure 13). Au cours de cette période, la TSM s'est élevée de près de 1,8 °C.

Le test de Mann-Kendal a mis en évidence l'existence d'une tendance au réchauffement le long de la côte.

Chapitre III

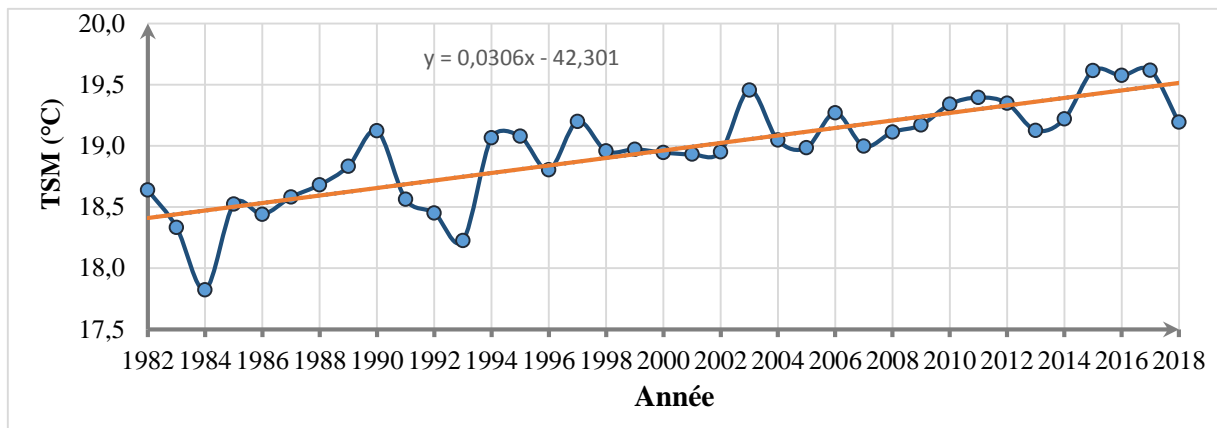


Figure 13: Variation interannuelle de la TSM (°C) pour 1982-2018.

III.1.3 Variation saisonnière

La Figure 14 montre la variation temporelle des saisons entre 1982 et 2018 le long de la côte algérienne. Les TSM des quatre saisons ont tendance à augmenter le long du plateau et talus. Nous observons une augmentation des TSM de la saison estivale selon trois périodes : la première à partir de l'année 1982 à 1988 (TSM moyenne égal à 21,69 °C) ; la deuxième à partir de l'année 1989 à 2002 avec une moyenne de 22,58 °C ; la troisième à partir de l'année 2003 à 2018 avec une moyenne de 23,35°C. S'agissant de l'hiver et du printemps, l'augmentation des TSM débute à partir de 1994 quant à l'automne, elle augmente un peu plus tardivement à partir des années 2009.

Le test non paramétrique de Mann-Kendal confirme l'existence d'une tendance saisonnière au réchauffement.

A l'échelle saisonnière, le taux de réchauffement des saisons DJF, MAM, SON et JJA est respectivement de 0,01, 0,02, 0,03 et 0,05 °C/an.

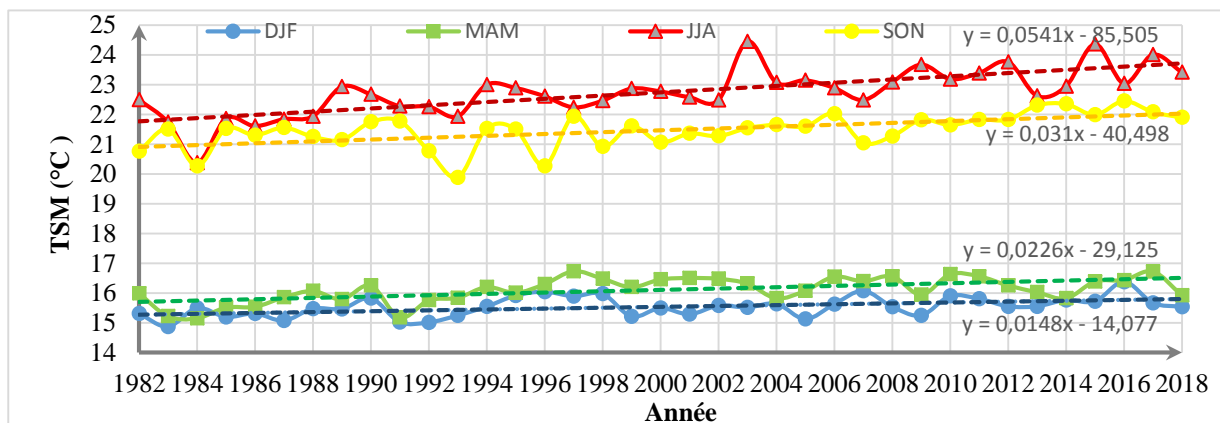


Figure 14 : Variation temporelle des saisons entre 1982-2018 le long de la côte algérienne.

Chapitre III

III.1.4 Indice standardisé des TSM « IS TSM »

La côte algérienne a été marquée par une période totalement froide qui s'étend de 1982-1993 à l'exception les cinq années 1982, 1987, 1988, 1989 et 1990 qui ont été proches de la normale à laquelle s'ajoute la période [1994-2009] où les ISTSM restent constants pendant [1998-2002]. La période chaude a lieu entre [2010-2018]. L'année la plus froide est 1984 et les trois ans les plus chaudes sont 2015, 2016 et 2017 avec des ISTSM respectifs de l'ordre de -2,8, 1,6, 1,5, 1,6 (Figure 15). On note une augmentation de l'intensité et la fréquence des événements chauds de TSM à partir de l'année 2003.

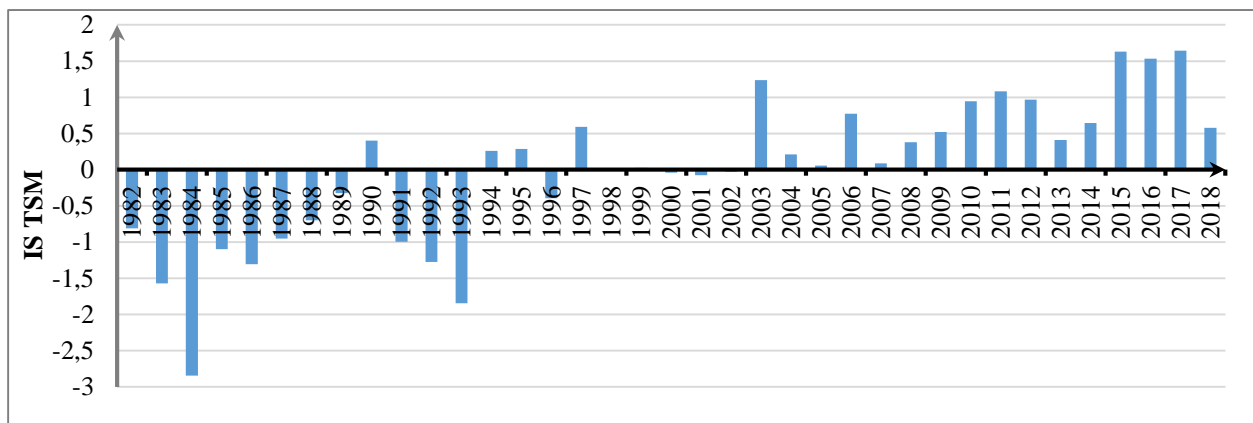


Figure 15: Indice standardisé des TSM annuelles par apport à la moyenne climatique 1982-2018.

III.2 Variation des TSM et des précipitations en fonction des régions

Dans le cadre de l'évaluation du réchauffement des eaux de la côte algérienne, de multiples analyses et tests ont été effectués.

III.2.1 Étude de la distribution des variables selon les régions

D'après la climatologie moyenne [1982-2018] des TSM des six régions, les régions Est, en particulier, 5 et 6 sont les plus chaudes comparativement aux régions occidentales et centrales de la côte algérienne (Figure 16 et Tableaux en annexe 2. 1 et 2).

En revanche, la climatologie moyenne [1982-2018] des précipitations indique une variation spatiale décroissante de l'Est vers l'Ouest. Le régime de l'Est est pluvieux et humide, celui de l'ouest est sec (Figure 16).

La médiane de la distribution des variables (TSM et cumul des pluies) n'est pas centrée dans les boîtes à moustaches (Figure 16).

Chapitre III

La médiane est inférieure à la moyenne pour la variable TSM, tandis qu'elle est supérieure pour la pluviométrie. La distribution est plus allongée vers les valeurs élevées des TSM et vers les valeurs faibles des pluies.

Cela signifie que, dans le littoral algérien, ces deux variables sont anti-corrélées de façon que lorsque les TSM augmentent, la pluviométrie diminue. Ceci est confirmé par le test de corrélation de Pearson (Tableau en annexe 2.3).

La Figure 16 montre la comparaison des distributions des variables TSM et des cumuls de pluies pour les six régions/stations. Une différence de TSM /précipitation entre les régions est observée. L'écart interquartile est plus étalé au niveau des régions orientales que les régions occidentales et la distribution est plus dissymétrique. Cette dernière est plus claire et remarquable pour la répartition des cumuls de pluies que celle de la variable TSM. Cela indique qu'il y'a un net gradient décroissant des pluies de l'Est vers l'Ouest qui n'est pas remarquable pour la variable de la TSM.

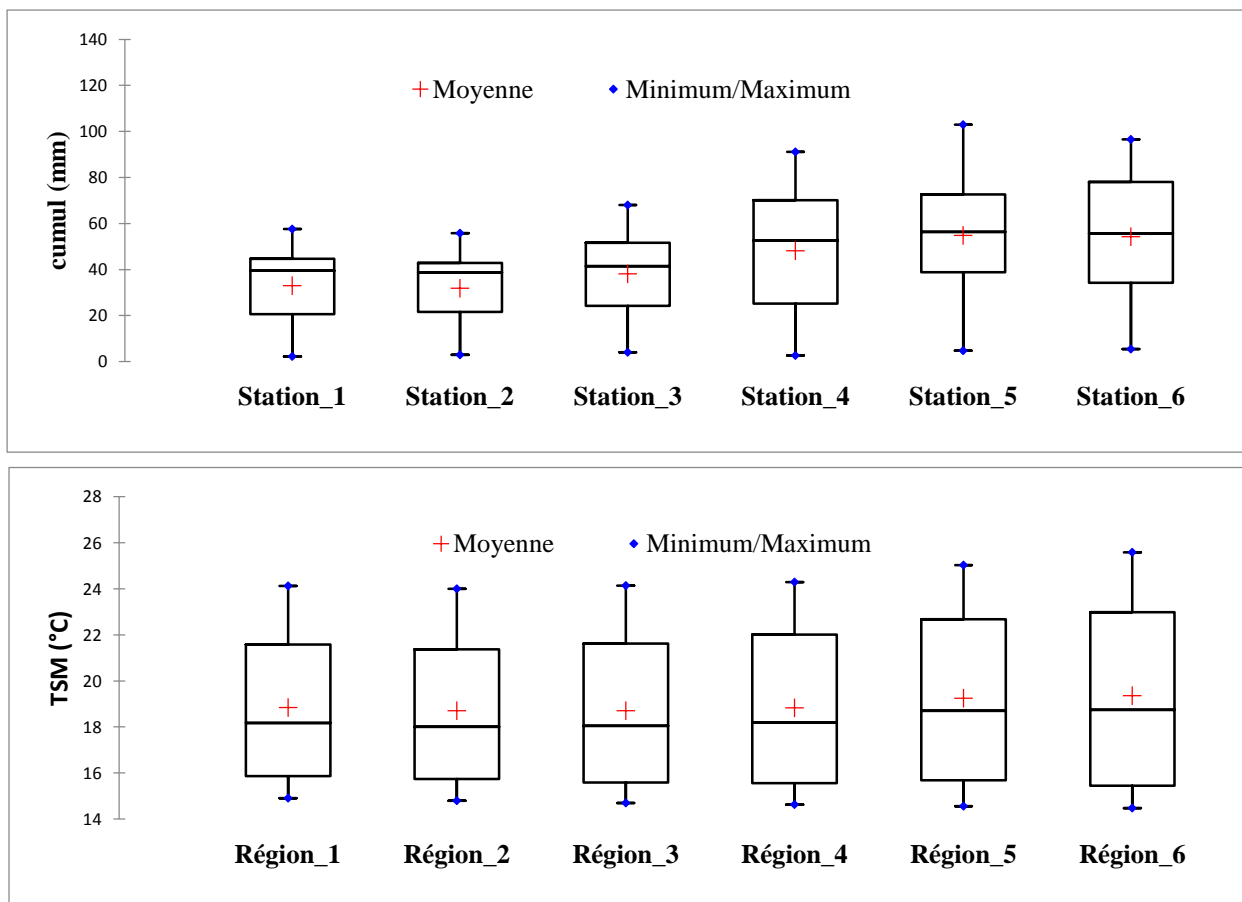


Figure 16: Comparaison des distributions des variables TSM (en bas) et cumul des pluies (en haut) selon les six régions /stations.

Chapitre III

III.2.2 Cycle annuel régional

III.2.2.1 TSM

La Figure 17 reflète le cycle annuel typique de la TSM dans les mers aux latitudes moyennes, avec des valeurs minimales en hiver (14,5°C en Février et Mars), une forte augmentation au printemps vers des valeurs maximales en été (environ 25,5°C au mois d’Août) et une diminution progressive en automne. Ces résultats sont concordants avec ceux de l’ACP (Figure 19) où le mois de Février est le plus froid et le mois d’Août, le plus chaud.

En comparant les moyennes climatiques mensuelles par région des TSM, nous observons que les températures moyennes des mois de Juin, juillet, Août, Septembre, Novembre et Décembre dans les régions 5 et 6 sont élevées par rapport au reste des régions. La région 6 a des températures plus élevées que celles de la région 5 (Figure 17).

Aux mois de Mai et Juin, les TSM sont élevées dans la région 5 et au mois d’Octobre dans la région 4 (Figure 17).

III.2.2.2 Précipitations

La Figure 18 reflète le cycle annuel typique de la pluviométrie dans les mers aux latitudes moyennes dans le sud de la Méditerranée avec des minimales en été (juillet avec une pluviométrie moyenne de 2.2 mm pour les six régions), une forte augmentation en automne vers les valeurs maximales en hiver (Novembre dans les régions 1, 2 et 4 ; Janvier dans la région 5 et Décembre dans les deux régions 3 et 6). Le printemps précède une diminution progressive vers les valeurs de l’été.

L’analyse du cycle des observations de l’ACP permet de confirmer et de bien voir que le mois le plus sec est le mois de juillet et les mois les plus humides sont : Novembre, Décembre et Janvier (Figure 19).

Sur les diagrammes Ombrothermique de bagnouls et gausson (Annexe 3), les mois d’Avril, Mai et Octobre, Novembre sont les périodes de transition alternative chaudes/sèches ou froides/humides d'une année à l'autre. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Taïbi et al. (2019).

Chapitre III

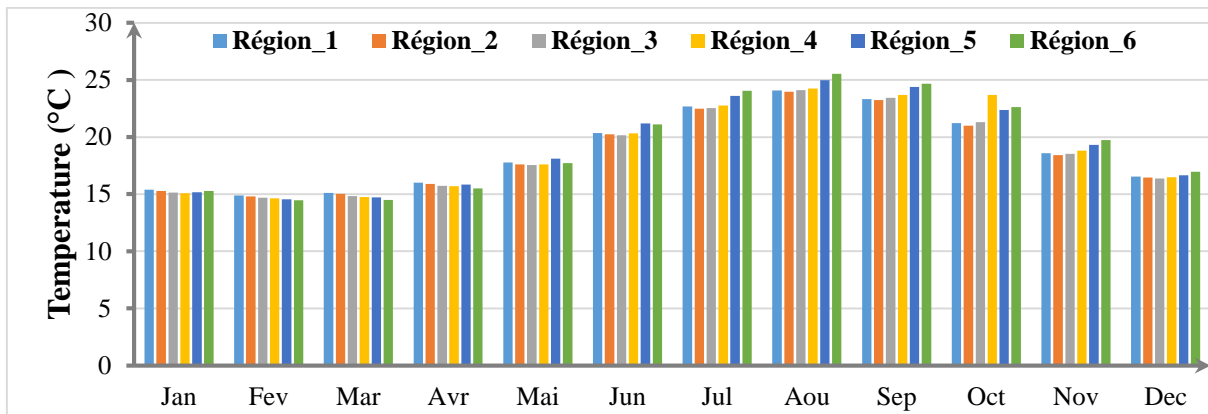


Figure 17 : Moyennes climatiques de la TSM (°C) de Janvier à Décembre pendant la période 1982-2018 aux différentes régions.

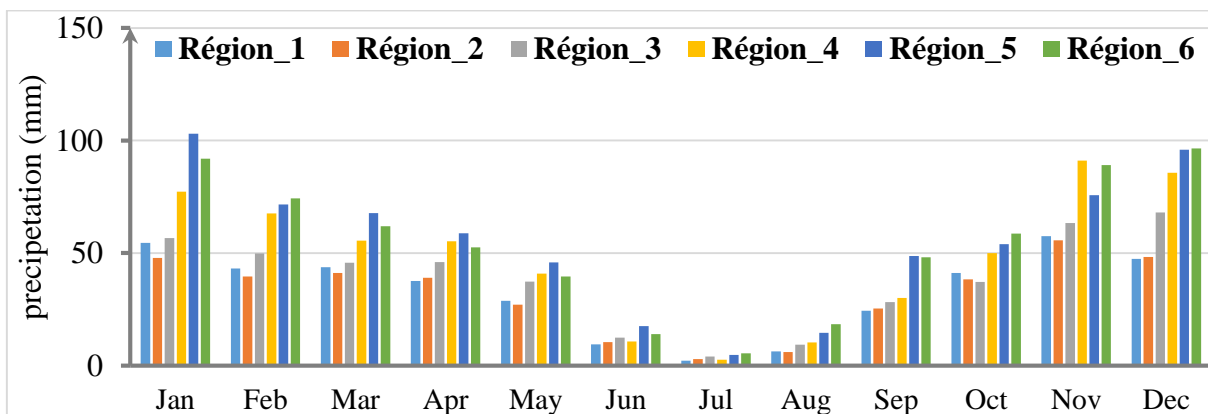


Figure 18 : Moyennes climatiques de la pluie (mm) de Janvier à Décembre pendant la période 1982-2018 aux différentes régions.

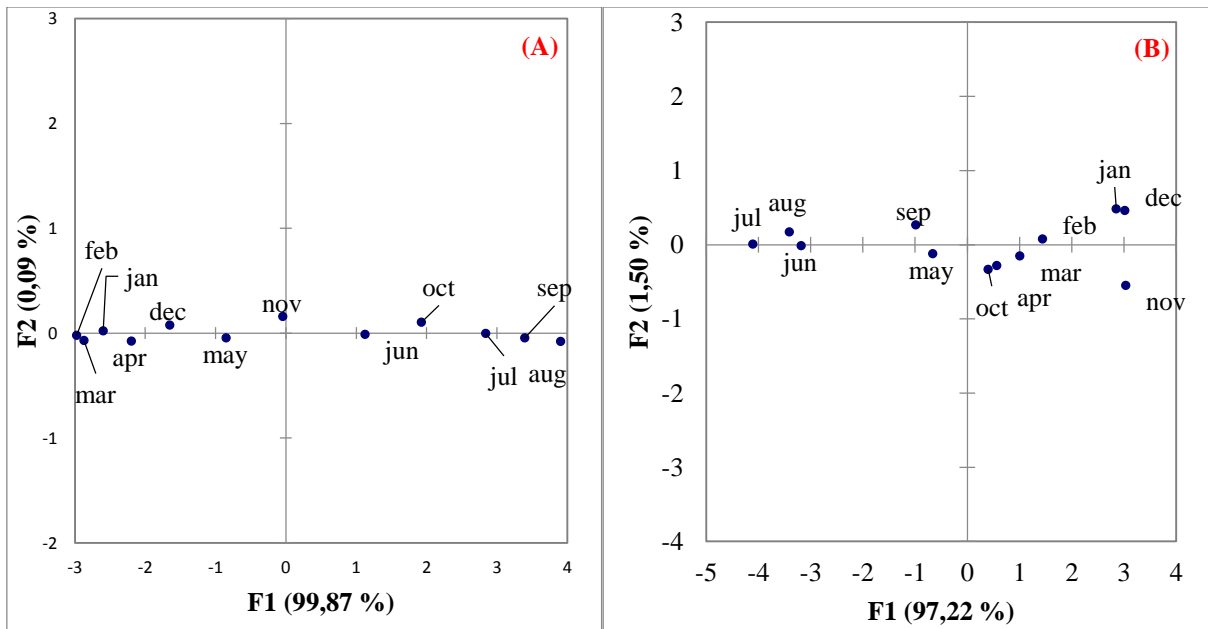


Figure 19 : TSM (A) et précipitation (B) mensuelles de la climatologie moyenne

Chapitre III

III.2.3 Variation interannuelle

La Figure 20 et le Tableau 4 montrent que le réchauffement n'est pas uniforme le long de la côte. Les deux régions Est (5 et 6) apparaissent avec une intensité de réchauffement plus élevée que le reste des régions. Cette intensité est particulièrement élevée dans la région 6.

Les six régions ont connu un changement de distribution des TSM au cours de la période 1982-2018, montrant des conditions plus chaudes, et présentant une tendance au réchauffement de l'ordre de $0,03^{\circ}\text{C}/\text{an}$ (Figure 22).

Le test de Man-kandel a confirmé que les TSM le long de la côte ont une tendance positive significative.

La variation temporelle de la pluviométrie du nord de l'Algérie montre deux tendances opposées le long de la côte (Figure 21) et se caractérise par une variation spatiale ascendante de l'Ouest vers l'Est (Tableau 5). La station 5 est en tête avec un minimum de précipitations de 262,8 mm et un maximum de 1108,2 alors qu'à l'Ouest la station 1 est la plus sèche avec un minimum de précipitations de 179,2 mm et un maximum de 533,7mm.

Cependant, les cumuls pluviométriques montrent une évolution vers des conditions plus sèches à la région 2 ($-0,7104 \text{ mm}/\text{an}$), plus ou moins moyenne vers des conditions humides aux stations 1 et 4 ($0,9701 \text{ mm}/\text{an}$ et $0,3323 \text{ mm}/\text{an}$) et une tendance vers des conditions très humides aux stations 6, 3 et 5 avec des tendances respectives de 1,418, 2,2949 et $3,1838 \text{ mm}/\text{an}$ (Figure 22).

Ainsi, on note que la station 5 présente une évolution plus importante aux conditions humides.

D'après le test de Man-Kandel, cette tendance des précipitations est non significative .

III.2.4 Variation saisonnière

La Figure 23 montre l'évolution saisonnière des TSM sur les six régions afin de voir leur variabilité sur l'axe temporelle de notre étude. Le taux de réchauffement présente une variation décroissante de la saison estivale (JJA) à la saison hivernale (DJF) dans toutes les régions. Ces dernières sont marquées par un taux maximal de $0,06^{\circ}\text{C}/\text{an}$ qui a lieu en été.

En revanche, les tendances et les taux de précipitations présentent une variabilité différente d'une station à une autre ainsi que d'une saison à une autre pour la période 1982-2018 (Figure 24 et Tableau 6) :

Chapitre III

- La station 4 est caractérisée par une tendance à la diminution des précipitations pendant les saisons DJF (10 %) et SON (3%) et à l'augmentation durant les saisons MAM (22%) et JJA (3%). Le contraire est observé dans la station 1 où les saisons montrent une tendance à l'augmentation des précipitations de 46% et 5% respectivement pour les saisons DJF et SON et à la diminution des taux de précipitations de 6% et 13% respectivement pour les saisons MAM et JJA.
- La station 2 se distingue par une tendance de 3% de diminution des précipitations pendant la saison SON et une augmentation des tendances pour les saisons DJF, JJA et MAM.
- Les stations 3 et 6 sont marquées par la hausse des taux de précipitations pour les trois saisons « DJF, SON et MAM » et une baisse à la saison JJA avec des taux différents.
- La station 5 présente une hausse des taux de précipitations dans toutes les saisons avec un taux maximal au printemps (49%) et un minimal de 4 % à la saison estivale.

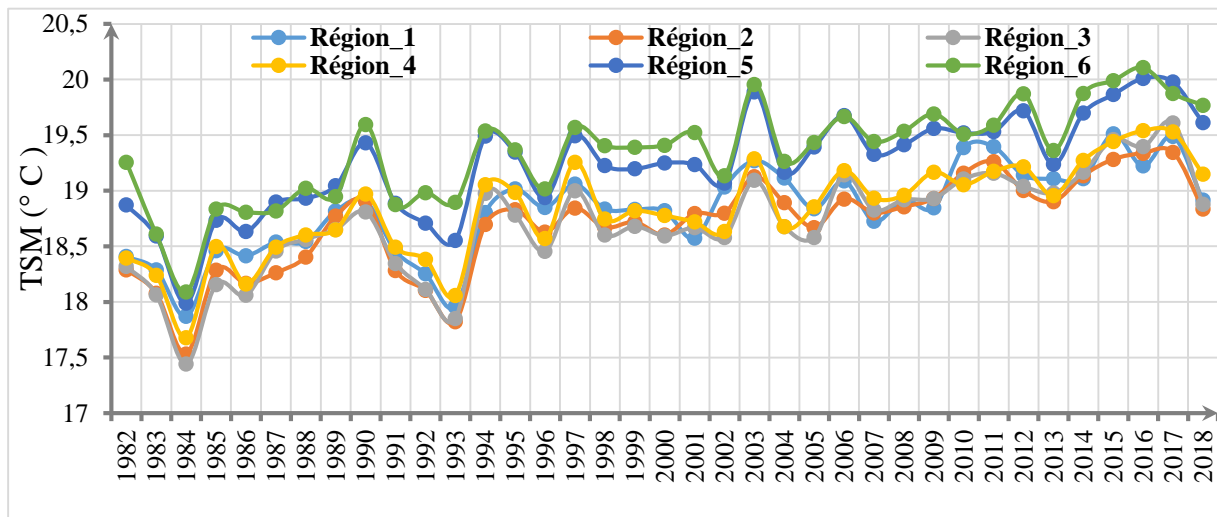


Figure 20 : Variation interannuelle de la TSM (°C) dans les différentes régions sur l'axe temporelle 1982- 2018.

Tableau 4 : Intervalle de variation des TSM régionales

Région	1	2	3	4	5	6
TSM min (°C)	17,9	17,5	17,4	17,7	18,0	18,1
TSM max (°C)	19,5	19,3	19,6	19,5	20,0	20,1

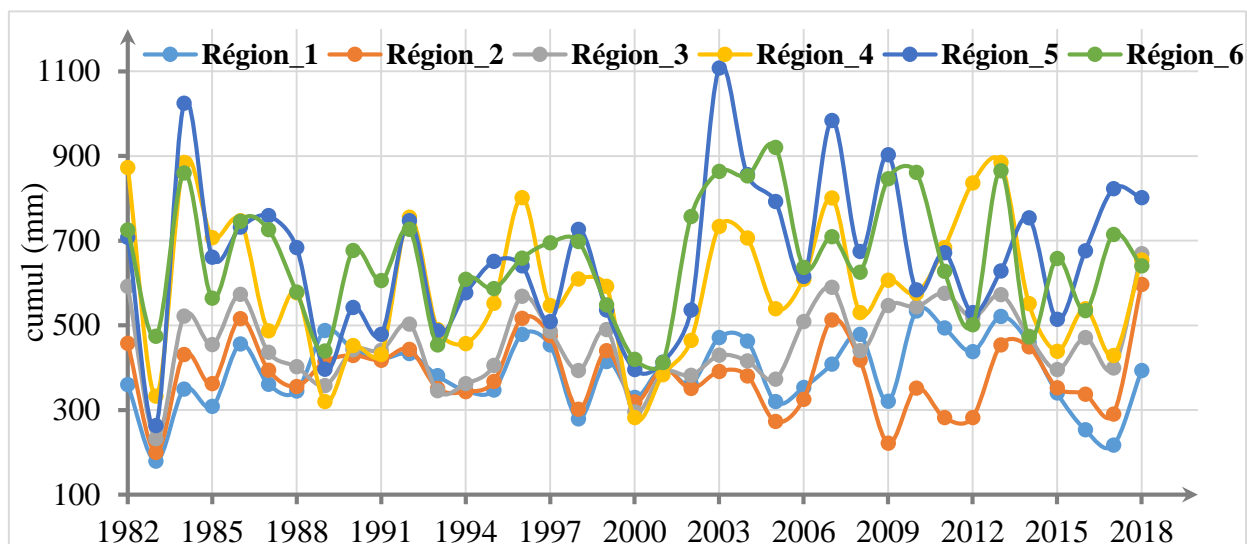


Figure 21 : Variation interannuelle des précipitations (mm) aux différentes stations (1982-2018).

Tableau 5 : Intervalles de variation des pluies régionales.

Station	1	2	3	4	5	6
min	179,2	199,7	232,4	282,0	262,8	412,1
max	533,7	596,7	668,9	884,9	1108,2	920,7

Tableau 6 : Taux de variation temporelle des précipitations (1982-2018).

Station	1	2	3	4	5	6
DJF	0,462	-0,097	0,357	-0,101	0,415	0,278
SON	0,047	0,028	0,138	-0,029	0,08	0,326
MAM	-0,055	-0,061	0,294	0,215	0,494	0,046
JJA	-0,13	-0,105	-0,024	0,026	0,039	-0,17

Chapitre III

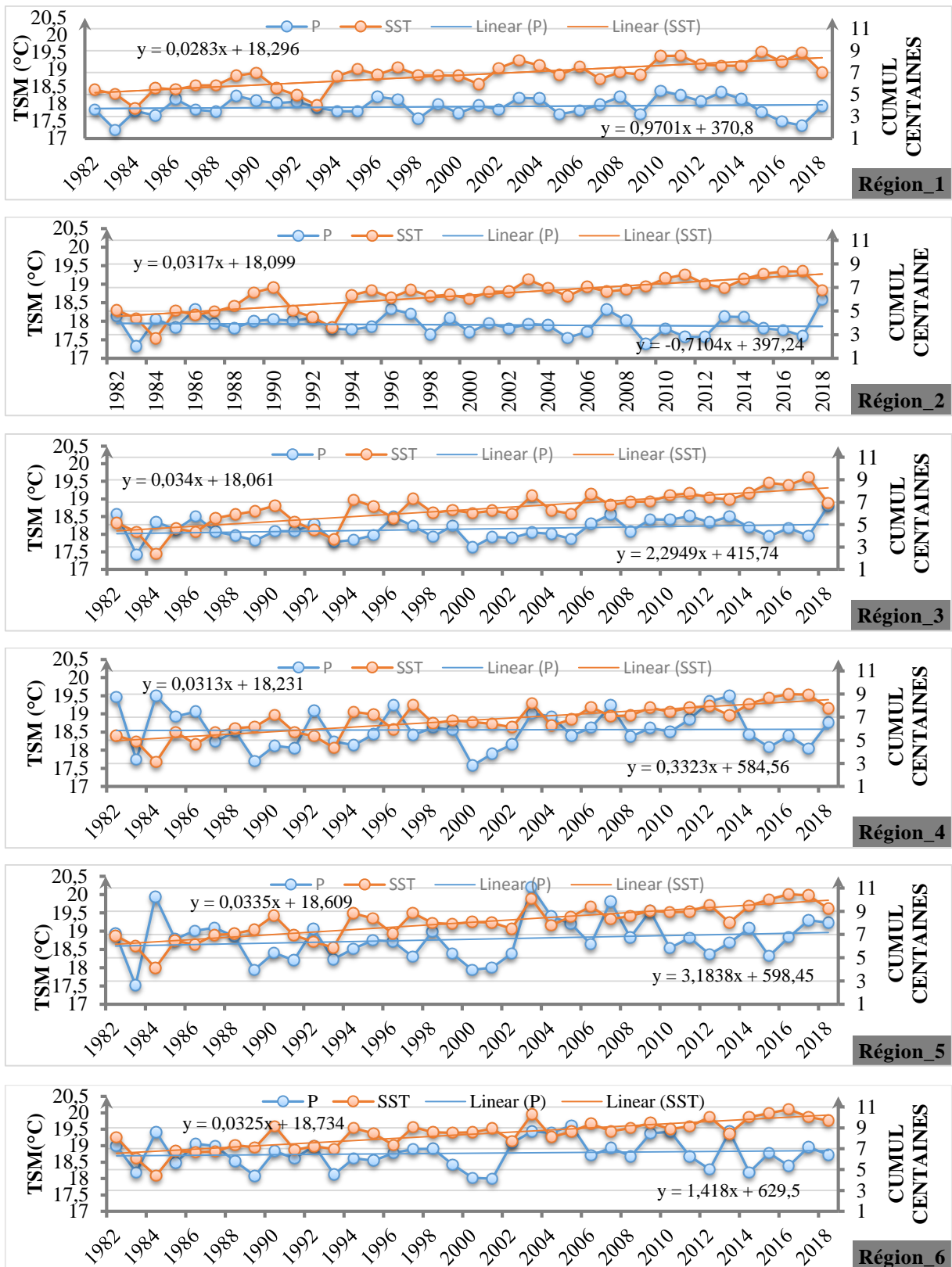


Figure 22 : Tendence des TSM (°C) annuelles et des pluies cumulées (mm) sur la période 1982-2018.

Chapitre III

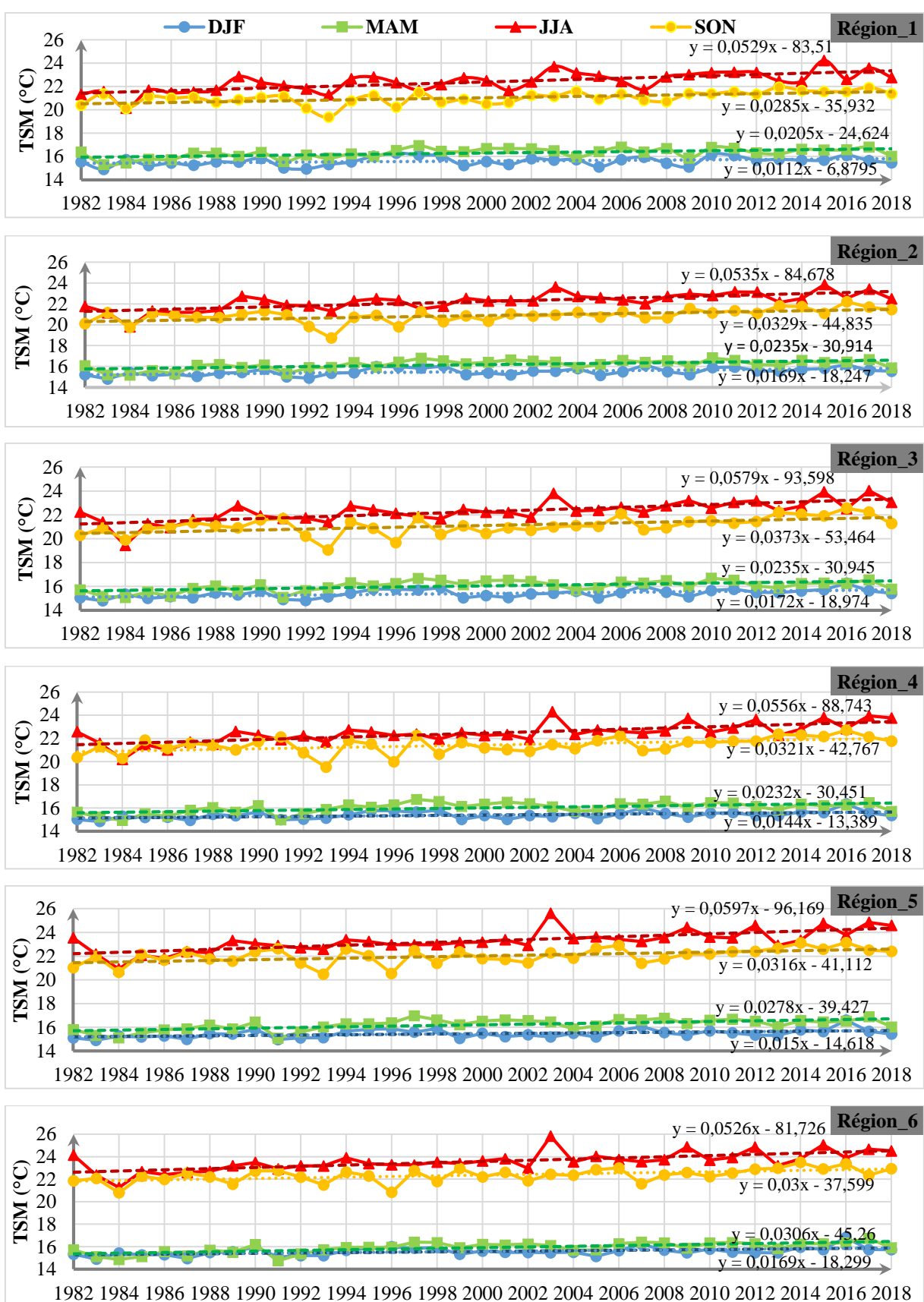


Figure 23 : Variation temporelle des TSM saisonnières entre 1982-2018 le long de la côte algérienne.

Chapitre III

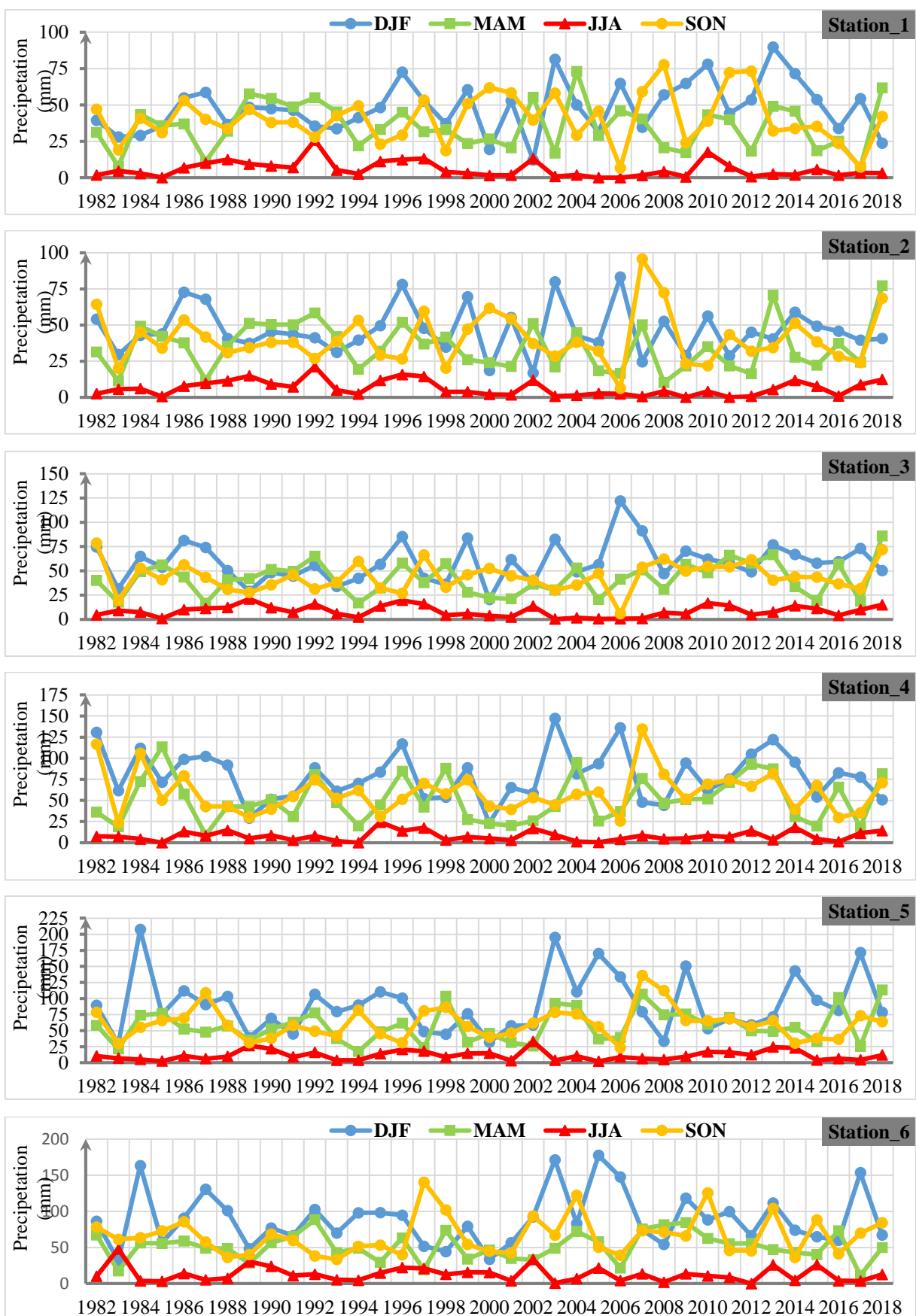


Figure 24 : Variation temporelle des précipitations saisonnières entre 1982-2018 le long des eaux algériennes.

III.2.5 Étude des ruptures

Les tableaux en annexe A.4 4 et 5 présentent l'année de rupture des séries chronologiques de l'évolution des TSM et des précipitations à l'échelle temporelle annuelle et saisonnière pour chaque région et station.

III.2.5.1 TSM

Les tests de Pettitt et de Buishand estiment qu'il existe un changement dans la série chronologique annuelle et saisonnière des TSM avec un changement dans la tendance au réchauffement qui apparaît en moyenne entre 1993 et 2001 pour les TSM annuelles et entre 1993 et 2008 pour les TSM saisonnières. Ce réchauffement, généralement, apparaît en premier lieu durant la saison hivernale puis au printemps suivi de l'été et de l'automne. Les détails sont rapportés dans les deux Tableaux A.4 4 et 5.

L'analyse de l'ensemble des séries à l'aide du test d'Hubert a permis d'estimer l'existence d'un changement dans la série chronologique annuelle des TSM. Le changement dans la tendance au réchauffement (augmentation de la TSM) connaît trois moyennes autrement dit deux ruptures, la première apparaît en moyenne en 1993, la deuxième apparaît entre 2008 et 2013. Néanmoins, ce réchauffement a d'abord lieu dans les régions occidentales puis touche les régions centrales suivies des régions orientales alors que les moyennes des TSM sont élevées à l'Est tout en décroissant vers des valeurs plus basses à l'Ouest.

III.2.5.2 Précipitations

La variation interannuelle des précipitations est stationnaire dans les stations 1, 2, 4 et 6 alors que la station 3 montre un changement (augmentation de la pluviométrie) à partir de l'année 2005.

Cependant, pour la station 5, le test de Pettitt désigne qu'il n'y a pas de rupture par contre le test de Buishand estime qu'il y'a un changement dans la série des précipitations qui a lieu à partir de 2002 (Tableau A.4 4).

D'autre part, le test d'Hubert a montré qu'il n'y a pas de changement dans la série temporelle au niveau des stations 1, 4 et 6 tandis que dans le reste des stations une rupture, correspondant à une augmentation de la pluviométrie, a été enregistrée en 2005 pour la station 3, en 2002 pour la station 5 et en 2017 pour la station 2 marquée par des pluies torrentielles (596,7 mm).

Chapitre III

A l'échelle temporelle saisonnière, le régime pluviométrique au nord de l'Algérie montre une distribution pluviométrique stable au centre et à l'Est tandis que l'Ouest (région 1 et 2) présente une variation non stationnaire qui désigne une baisse de la pluviométrie à la saison estivale à partir des années 1997-1998 (Tableau en annexe A4. 5).

III.2.6 Indice standardisé par région

III.2.6.1 Indice standardisé des TSM « ISTSM »

La Figure 25 montre l'évolution des indices annuels des TSM de 1982 à 2018 sur les six régions. Nous observons de plus en plus d'ISTSM positives de 1994 à 2010 dans les régions Ouest 1 et 2, à partir de 2003 dans les régions 3, 5 et 6, à partir de 2014 pour la région 4. Les ISTSM sont généralement négatifs (moins de -2) avant 1994 à l'exception de l'année 90 où il est positif.

La variation de l'ISTSM en 2018 est croissante entre les régions : l'ISTSM de l'année 2018 est plus faible dans la région 1 et croit de l'Ouest vers l'Est vers des intensités plus grandes jusqu'à la région 6.

III.2.6.2 Indice standardisé des précipitations « ISP »

L'analyse des indices de la pluviométrie montre que le nombre d'années où le climat est proche de la normale est prédominant dans les six stations. La classe extrêmement humide marque l'année 2018 dans les stations 2 et 3 et les années 2003 et 1984 dans la station 5. Cependant, les années extrêmement sèches sont observées dans les stations 5, 3 et 2 en 1983 ainsi que dans la station 1 en 1983 et 2017 (Figure 26).

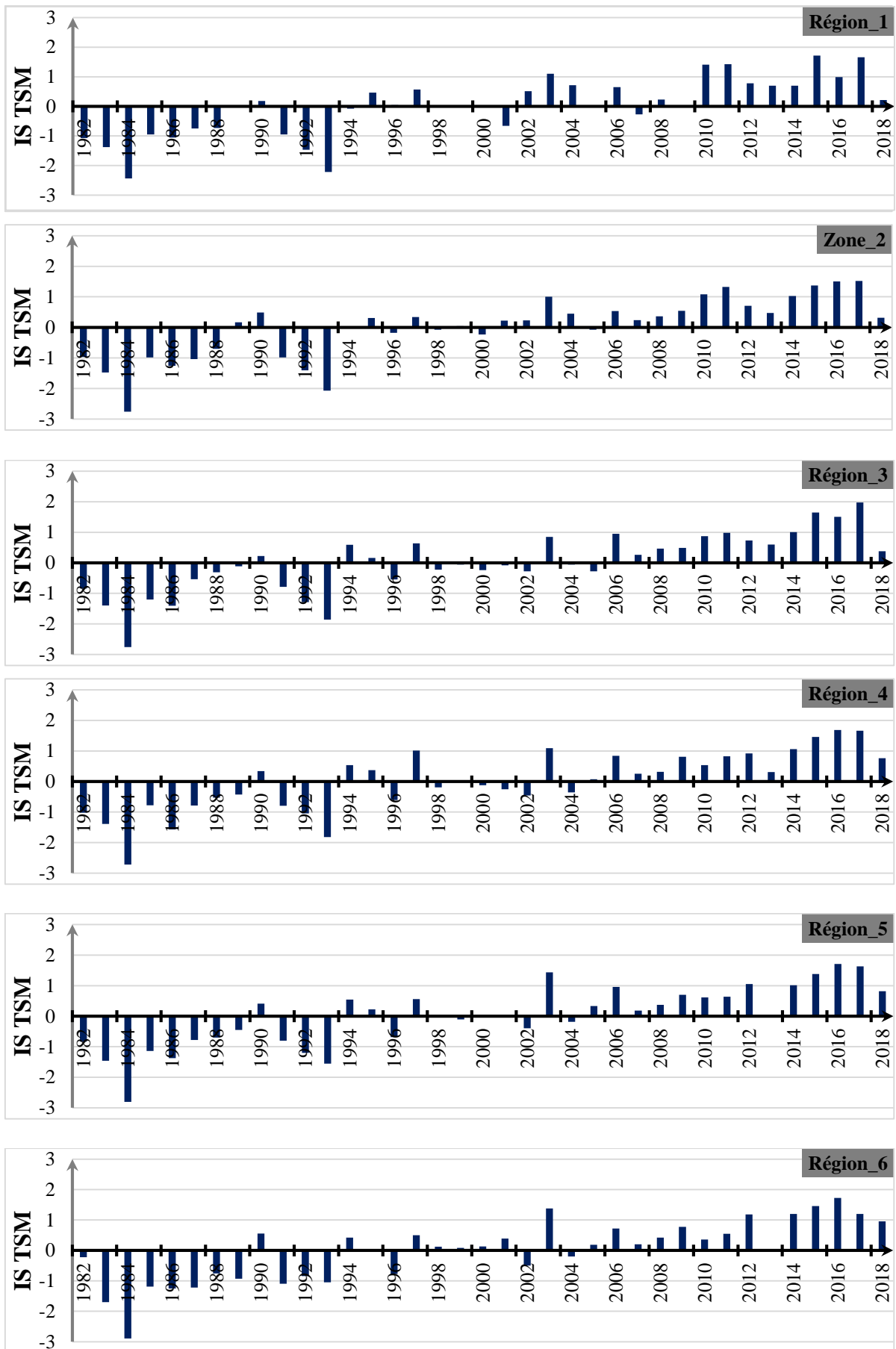


Figure 25 : Indices normalisés des TSM annuelles par rapport à la moyenne climatique 1982-2018.

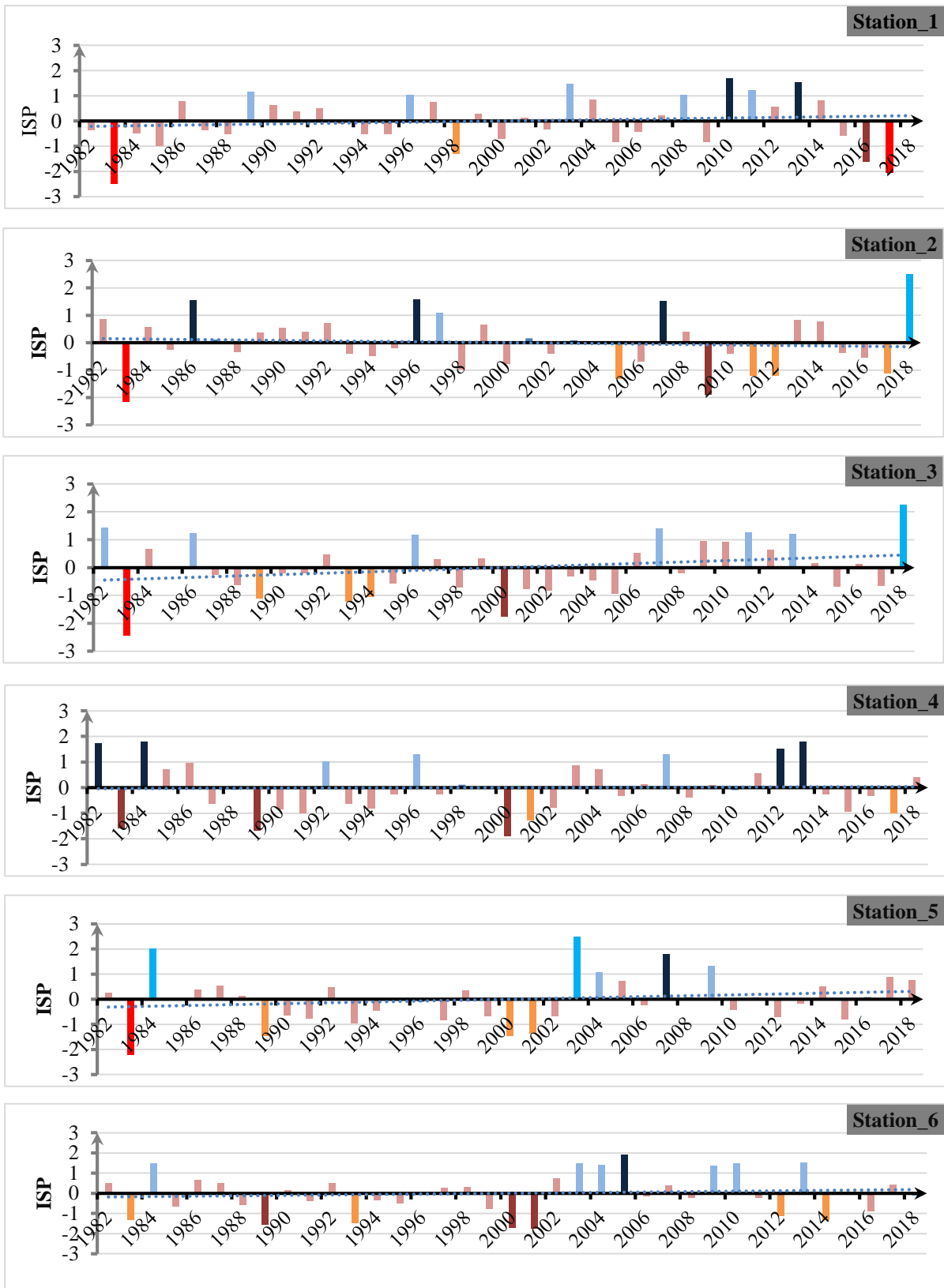


Figure 26 : Variation interannuelle des indices de précipitations pendant la période 1982-2018 ainsi que leurs classifications.

La ligne en pointillé présente la courbe de tendance interannuelle des indices.

III.2.7 Etude de la régionalisation de la côte

La régionalisation de la TSM et de la pluviométrie ainsi que la détection des années extrêmes (les plus chaudes/humides et les plus froides/sèches) a été réalisée par une analyse en composantes principales (ACP) où la matrice est constituée de lignes et de colonnes représentant respectivement les années de 1982 à 2018 et les ISX annuels régionaux.

Les cercles des variables qui sont les résultats de l'ACP mènent à conclure :

- Pour la TSM annuelle, l'existence de deux groupes de régions ayant les mêmes caractéristiques (groupe 1 et 2) (Figure 27.A). Les régions 1, 2 et 3 appartenant au premier groupe sont considérées froides alors que les régions 4, 5 et 6 du deuxième groupe sont considérées chaudes.
- Pour la pluviométrie annuelle (Figure 27.B), l'existence de trois groupes de stations ayant les mêmes caractéristiques : le premier groupe (en bleu) regroupe les stations sèches 1 et 2 situées dans la partie Ouest des eaux Algériennes, le deuxième groupe (en noir) est constitué des stations 3 et 4 considérées proches de la normale situées au centre et enfin, le troisième groupe comprend les stations 5 et 6 considérées humides et situées dans la partie Est.

L'ACP a permis de confirmer le découpage de la côte en deux parties distinctes en termes de variation et de distribution de la TSM annuelle.

L'ACP aussi permis de confirmer les résultats obtenus par l'analyse des ISX :

- La Figure 28.A qui correspond à la distribution des années de la TSM, montre l'existence des années opposées par rapport à l'axe F2 et également opposées en caractéristiques, l'année 1984 est extrêmement froide et les années (2015-2016-2017) sont extrêmement chaudes. Plus on s'approche de l'axe F2, plus les années deviennent normales.
- La Figure 28.B correspond à la distribution des années pour la pluviométrie. L'année 1983 apparaît comme une année extrêmement sèche à l'opposé d'un nombre élevé d'années : 2007, 2013, 1984, 2018 et d'autres appartenant à la classe humide.

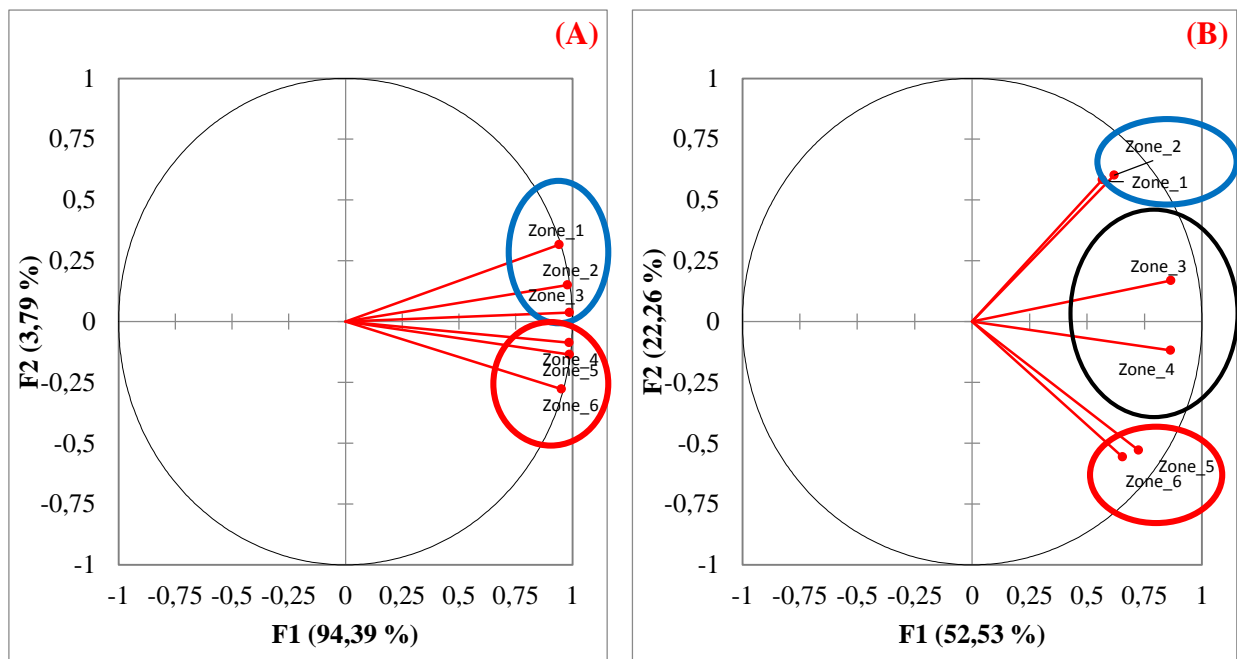


Figure 27: Cercle de corrélation des variables ISTSM (A) et ISP (B) et représentation des groupes.

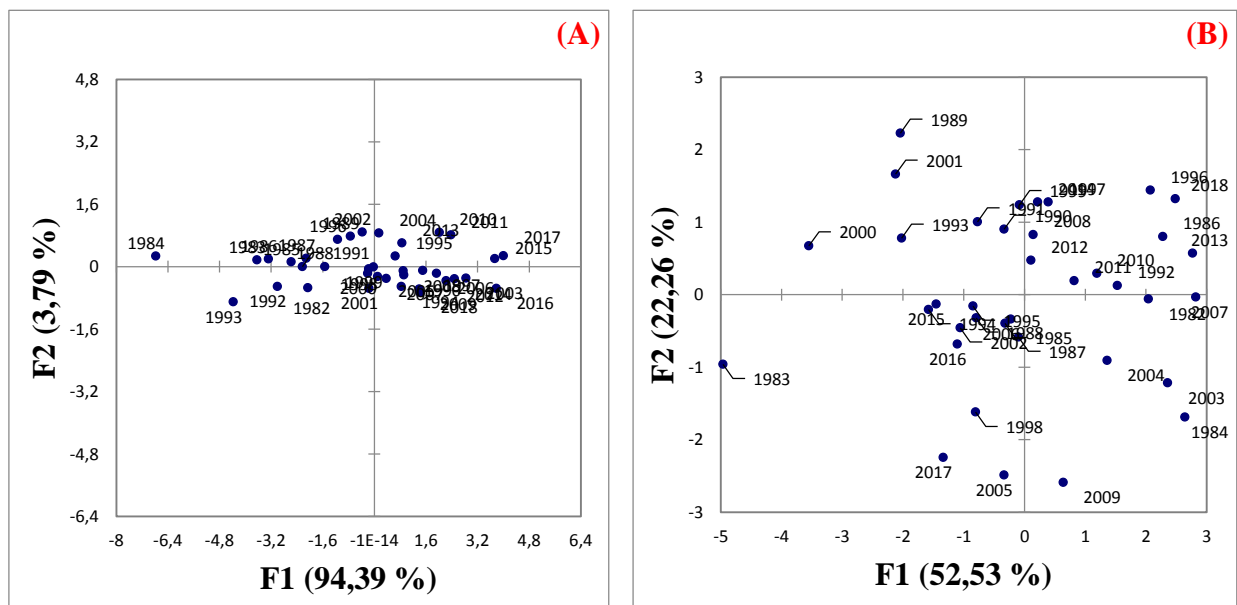


Figure 28 : Distribution des années sur les deux axes F1 et F2 (A) pour les TSM, (B) pour la pluviométrie

III.3 Discussion

III.3.1 TSM

L'étude du réchauffement des eaux du plateau et talus continental algérien subdivisé en 6 régions a été menée par l'analyse du cycle annuel et mensuel de la température de surface de la mer ainsi que des indices standardisés annuels à différentes échelles afin de détecter d'éventuels patterns liés à la situation géographique. Ceci, nous a permis d'aboutir aux principaux résultats suivants :

A l'échelle annuelle, deux régimes ont été révélés : le régime hivernal [Janvier-Mars] et le régime estival [Juin-Septembre].

La saison estivale présente une variabilité spatiale de la TSM marquée par des températures plus élevées enregistrées dans les extrémités Ouest et Est des côtes algériennes et moins élevées et homogènes dans la partie centrale.

Ces résultats correspondent partiellement à ceux trouvés par Pastor et al. (2018) dans l'étude de la TSM en Méditerranée durant la période 1982-2016 où la température est homogène dans le bassin algérien (le long de la côte) en hiver. Cependant, en été, deux régions ont été différenciées, la première comprend l'Est et le centre et la deuxième région est l'Ouest. Cette partielle concordance peut être due à la différence de l'échelle spatiale.

L'augmentation de la TSM est plus importante durant la période estivale (6%) qu'hivernale (1%). Ceci est identique à la conclusion de l'évaluation scientifique de l'UPM (2019) qui indique que les étés seront plus touchés par le réchauffement climatique que les hivers .

La situation géographique du bassin algérien aux latitudes moyennes et dans une mer semi fermée joue un rôle dans la distribution spatiale de la TSM. S'ajoute à cela la caractéristique de la circulation thermohaline (cas de la Méditerranée occidentale). Selon Millot (1989), elle présente un intérêt majeur et un facteur régissant la circulation dans le plateau continental et en zones côtières de manière à conditionner la distribution des caractéristiques hydrologiques, biologiques, chimiques, sédimentologiques et de pollution dans l'ensemble de la mer. Elle est aussi très turbulente le long de la côte du continent nord-africain (Millot, 1989, 2009; Testor et al., 2005).

D'après l'analyse des cartes climatologiques présentées dans notre étude et l'analyse de la circulation réalisée par Zemenzer (2012) et Ayache (2012), la répartition de la TSM à l'échelle locale est influencée par l'évolution de la circulation saisonnière dans le bassin algérien.

Chapitre III

En effet, dans la partie centrale de la côte algérienne à environ 1-2°E, le courant Algérien devient instable et des méandres se développent (Millot, 1989, 2009).

Lorsque la viscosité augmente, les tourbillons cycloniques formés durant la saison hivernale subissent un détournement.

Au fur et à mesure que leurs taille réduit, voir disparaît, les tourbillons anticycloniques (anticycloniques Ouest « 37°30'N ,2°30'W » et Est « 38°30'N,6°00'E » (Millot, 2009)) se développent en parallèle et se déplacent dans le bassin Algérien vers l'Est.

Ces deux gyres permanentes dominant la circulation de surface à l'intérieur du bassin et sont supposées stimuler la circulation des masses d'eau intermédiaires et profondes (0-300 m/1000 m/2800 m ; diamètre varie entre 100-300 km ; vitesse de surface 5 cm/s) (Testor et al., 2005). L'analyse des caractéristiques des eaux centrales des anticyclones montre nettement qu'elles sont plus chaudes [15 à 24°C] que celles qui les entourent (Ayache, 2012). Les différentes masses d'eau se mélangent à l'intérieur de ces deux gyres ce qui affecte les propriétés de l'eau d'après Béranger (2005).

L'analyse de la tendance au réchauffement pour la TSM de 1982-2018 montre une tendance générale au réchauffement pour l'ensemble des eaux algériennes avec un taux de 0,03 °C/an.

Ce résultat concorde avec les taux de réchauffement de la mer méditerranée occidentale rapportés par les auteurs Nykjaer (2009) qui est de $0,03 \pm 0,008$ °C/an pour la période 1985-2006, Skliris et al. (2011), 0,026 °C/an pour la période 1985-2008, Macias et al. (2013), une moyenne sur la Méditerranée de 0,0377 ° C/an pour la période 1985-2009 et Bethoux et Gentili (1996), un taux de 0,029 °C /an pour la période 1960-1988. Il correspond également au taux de réchauffement déclaré par UPM (2019) dans son premier rapport d'évaluation scientifique qui est de 0,03 °C/an.

La répartition spatiale de la TSM est influencée aussi par l'interaction air-mer et le mélange avec les eaux. Les eaux de surface occidentales sont soumises à des échanges de chaleur et d'eau avec l'océan Atlantique et l'atmosphère (Bethoux et Gentili, 1996).

Le réchauffement des eaux méditerranéenne concerne non seulement les eaux de surface mais également les eaux profondes (nouvellement formées) et intermédiaires qui sont des signes de l'évolution de la température dans la couche superficielle. Ainsi, le mélange de WSW avec l'IW plus chaude constitue une forte advection thermique pour la couche superficielle (Bethoux et Gentili, 1996).

Chapitre III

Dans le sud de la Méditerranée, les caractéristiques méso-échelles, dues au vent, affectent les eaux de surfaces (Testor et al., 2005). En été, un vent sec et chaud, le sirocco, souffle du Sahara en direction du nord, amenant des nuages de poussière et de sable vers les régions côtières.

La Figure 29 montre une augmentation des températures moyennes de l'air en Méditerranée. Ces températures annuelles moyennes sont aujourd'hui environ 1,5°C au-dessus des moyennes avant la révolution industrielle (1880-1899) et supérieures aux tendances mondiales en matière de réchauffement (+1,1°C) (UPM, 2019).

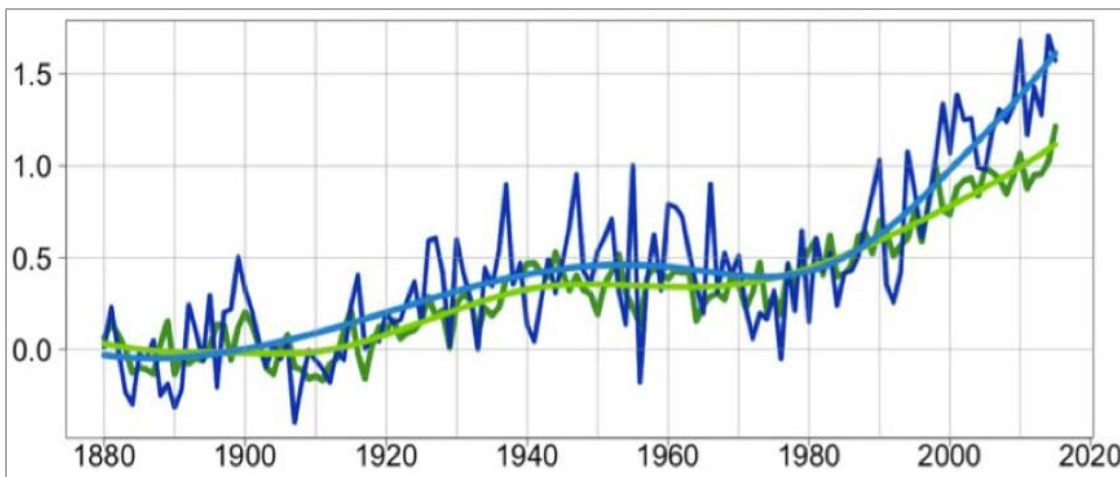


Figure 29 : Anomalies de températures moyennes de l'atmosphère (up-magazine.info). En ligne bleue, la Méditerranée, en ligne verte, le niveau mondial.

La tendance au réchauffement des eaux côtières algériennes est expliquée par l'accélération du réchauffement des eaux de surface et profondes méditerranéennes superposée au réchauffement anthropique (Macias et al., 2013).

Le résultat obtenu dans cette étude peut être comparé aux données socio-économiques de la côte algérienne.

- La démographie

La Figure 30 montre l'évolution de la population algérienne (1950-2018) où l'on observe une hausse du nombre d'habitants depuis 1950 puis une accélération de cette augmentation à lieu à partir des années 2000 jusqu'à 2018. Environ les deux tiers de la population algérienne sont concentrés sur le littoral qui représente 4% du territoire seulement (Kacemi, 2009).

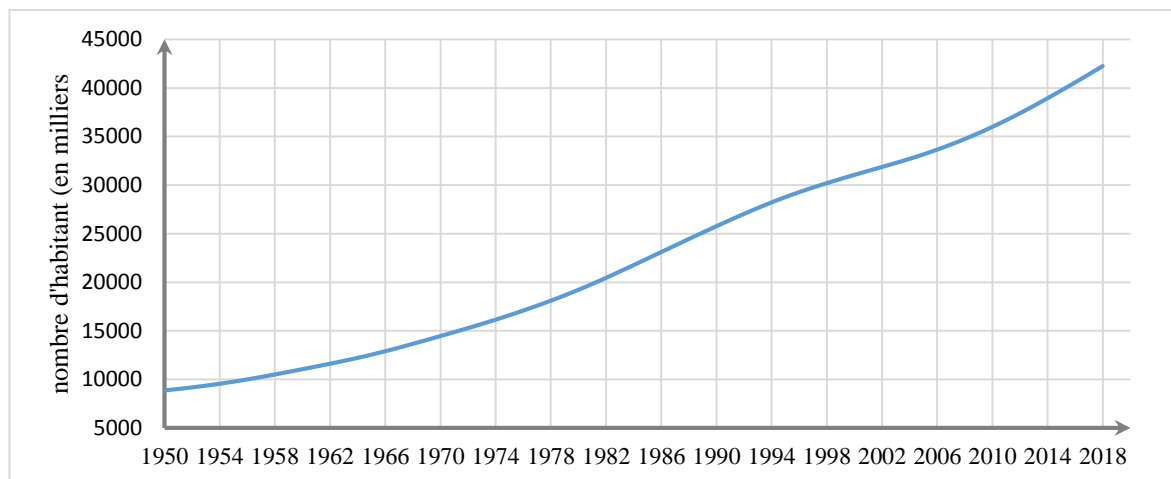


Figure 30 : Evolution démographique en Algérie pour la période 1950-2018 (<http://www.fao.org/faostat/en/#data/OA>).

L'accroissement rapide de la population exige une augmentation constante des investissements et un développement économique (tourismes, station de dessalement, ports, centrales électriques, etc.).

L'activité humaine tellurique et/ou marine engendre l'accumulation des gaz à l'effet de serre. La pollution du milieu marin résulte de rejet dans les rivières puis dans la mer et/ou des déversements directs dans ce dernier.

III.3.2 Précipitations

Le régime pluviométrique au Nord de l'Algérie présente une forte variabilité spatio-temporelle avec un gradient de pluies décroissant de l'Est (bien arrosé) vers l'Ouest (plus sec). Nous avons même enregistré une tendance à l'augmentation des pluies dans la série temporelle dans la partie Est et une tendance à la baisse dans la partie Ouest (station 2). Ces résultats confortent ceux de l'étude menée par Taïbi et al. (2013).

Par contre, une différence découle des résultats de la variation pluviométrique saisonnière. Dans cette étude, une diminution est observée principalement en été et au printemps tandis que dans l'étude de Taïbi et al. (2013), la baisse des pluies a lieu en hiver et au printemps pour la période [1936-2009].

L'analyse en composante principale a permis de mettre en évidence trois régions homogènes qui représentent un régime pluviométrique différent au cours de la période 1982-2018. Ce découpage concorde avec celui de Taïbi (2015) et Taïbi et al. (2013) où le littoral algérien a été découpé en 4 régions homogènes à savoir, l'Est, l'ouest, le centre et les hauts plateaux

Ouest. Cette légère différence peut être due au nombre de stations pluviométriques analysées (au total 94), la répartition spatiale de ces dernières, la période de l'étude (1940-2010) ou à la différence des données utilisées.

L'explication de la variabilité et la modification du régime pluviométrique du Nord de l'Algérie nécessite l'analyse de la circulation atmosphérique, advection des masses d'air et les caractéristiques du milieu afin d'établir une relation avec cette variation (Capot-Rey, 1946; Pedelaborde et Delannoy, 1958; Taïbi et al., 2019).

Le premier mécanisme des pluies en Algérie est la topographie :

- Le tell oriental est caractérisé par une allure très montagneuse et une surface réduite, des petites plaines littorales (Béjaïa, Djidjelli, Skikda, Annaba) et des oueds (Soummam, Rummel, el-Kebir, Seybouse). Ainsi, il est caractérisé par les grands sommets de plus de 2000 m (lala khdidha 2308 m, Djurdjura...). Des lames d'eau de 1 à 2 m tombent annuellement sur ces djebels, souvent sous forme de neige (LAROUSSE).
- Au centre, dans l'Algérois, le relief est peu élevé où les grand massifs sont près de 2000 m pas plus (LAROUSSE).
- Le Tell occidental présente des caractères relativement homogènes jusqu'aux environs d'Alger, caractérisé par des altitudes ne dépassant pas les 1500 m à l'exception de djebel de Tlemcen et de Saïda (LAROUSSE).

Par ailleurs, les montagnes de l'Atlas du Maroc jouent un rôle en réduisant considérablement les précipitations provenant de l'Atlantique vers le Nord de l'Algérie alors que le Nord-Est de l'Algérie est bien arrosé par les pluies en provenance de l'Europe (Taïbi et al., 2013, 2019).

III.3.3 Indices globaux - les variables climatiques étudiées

Le test de corrélation de Spearman a été opéré sur les indices globaux (NAO, ENSO, MO et WeMOI) et les variables climatiques (TSM et précipitation) sur les différentes stations et régions de la côte algérienne à l'échelle annuelle et saisonnière à un niveau de signification $\alpha = 0,05$.

III.3.3.1 NAO

Les tests de corrélation obtenus entre l'indice NAO et les ISP/ISTSM annuels des six stations / régions montrent que seule la pluviométrie de la station 2 est impactée et influencée par l'oscillation Nord Atlantique avec un coefficient de corrélation égale à + 0.337 et un p-value égal à 0.042 ce qui correspond à un niveau de signification de 95%. Cela signifie que la pluviométrie évolue dans le même sens, c'est-à-dire lorsque le NAO est positif, les pluies diminuent sur la côte et le contraire se produit lorsque le NAO est négatif.

Le Tableau 7 rapporte les coefficients de corrélation significatifs entre le NAO et les ISP /ISTSM à l'échelle saisonnière.

L'analyse de la corrélation entre le NAOI et les ISP saisonniers montre :

- Des liens positifs entre la pluviométrie printanière et le NAO estival dans les stations 1 et 2 ;
- Des liens positifs entre la pluviométrie estivale et le NAO estival dans les stations 2 et 6 ;
- L'évolution de la pluviométrie hivernale dans la station 2 est reliée négativement avec l'évolution printanière du NAO ;
- La pluviométrie automnale dans la région 2 est liée positivement avec le NAO automnal.

L'influence du NAO sur la variabilité des TSM à l'échelle annuelle est négligeable sur la côte algérienne. Cependant, à l'échelle saisonnière, le NAO estival joue un rôle sur les variabilités des TSM printanières des six régions aussi sur les TSM estivales de la région 5 et 6. Dans ces régions et pendant ces saisons, la TSM diminue lorsque l'indice du NAO est négatif et augmente au moment où le NAO est dans sa phase positif.

Tableau 7 : Coefficients de corrélation de la NAOI sur les stations (régions) de la côte algérienne.

pluviométrie								
	Variables	ISP1P	ISP2H	ISP2P	ISP2E	ISP2A	ISP6E	
NAOI	MAM	/	-0,342	/	/	/	/	
	JJA	0,345	/	0,424	0,503	/	0,392	
	SON	/	/	/	/	0,581	/	
P-value	MAM	/	0,039	/	/	/	/	
	JJA	0,037	/	0,009	0,002	/	0,017	
	SON	/	/	/	/	0,000	/	
TSM								
Variables	IST1P	IST2P	IST3P	IST4P	IST5P	IST5E	IST6P	IST6E
NAOJJA	-0,356	-0,381	-0,358	-0,381	-0,437	-0,382	-0,444	-0,396
P-value	0,031	0,021	0,03	0,021	0,007	0,02	0,006	0,016

III.3.3.2 ENSO : indicateur TSM

Les résultats significatifs (coefficients de corrélation) du test de Spearman expérimenté sur les indices d'ENSO et les indicateurs des TSM moyennes dans les différentes régions de la côte algérienne à un niveau de signification $\alpha=0,05$, sont présentés dans le Tableau 8. Ces résultats montrent que :

- L'évolution des TSM des régions NINO1+2 et NINO3 est dans le sens opposé de celle des TSM de la côte algérienne. Ce lien est d'environ de 80% et 40 % respectivement. Autrement dit, les TSM des eaux algériennes diminuent durant la phase d'El-Nino et augmentent pendant la phase La Niña ;
- Par contre, les TSM de la région NINO4 et celles des six régions de la côte algérienne évoluent dans le même sens (30%). Dans la phase positive de l'ENSO, les TSM augmentent et le contraire se produit durant la phase froide de l'ENSO.

Cependant, à l'échelle saisonnière, les résultats du test de corrélation entre l'ENSO et les TSM de la côte algérienne permettent de ne supposer aucune influence significative de l'ENSO sur les TSM des eaux algériennes.

Tableau 8 : Coefficients de corrélation de l'ENSOI sur les TSM des régions de la côte algérienne

(T : TSM).

	Variables	IST_R1	IST_R2	IST_R3	IST_R4	IST_R5	IST_R6
NINO	NINO1+2	-0,774	-0,774	-0,772	-0,778	-0,779	-0,794
	NINO3	-0,368	-0,370	-0,370	-0,380	-0,378	-0,406
	NINO4	0,281	0,286	0,291	0,288	0,291	0,292
P-value	NINO1+2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	NINO3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	NINO4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

III.3.3.3 Oscillation méditerranéenne

III.3.3.3.1 WeMOI

Test corrélation entre WeMOI et les ISP/ISTSM à l'échelle annuelle :

Les coefficients de corrélation de Spearman sont significatifs entre l'évolution du WeMOI et la variabilité des TSM. Ils évoluent dans deux sens opposés de l'ordre de 41 à 55% (Tableau 9).

Cela implique que la phase positive de cet indice climatique correspond à des températures relativement élevées dans la région.

En revanche, l'influence de cette oscillation est négligeable sur les précipitations annuelles de la côte algérienne.

Tableau 9 : Coefficients de corrélation du WeMOI sur les TSM annuelles des régions de la côte algérienne.

Variables	IST_R1	IST_R2	IST_R3	IST_R4	IST_R5	IST_R6
WeMOI	-0,553	-0,550	-0,546	-0,516	-0,515	-0,407
P-value	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,013

Les résultats significatifs du test de corrélation de Spearman entre le WeMOI et les ISTSM à l'échelle saisonnière sont montrés au (Tableau A5.6) :

- Les TSM hivernales dans le Nord-Ouest du littoral algérien sont influencées par la variation du WeMOI printanières. Or, ils évoluent dans deux sens opposés. Aussi, les TSM printanières qui caractérisent l'ensemble des régions à l'exception de la région 4 et 3 sont étroitement liées aux WeMOI printanières ;
- En été, le WeMOI printanier joue un rôle non négligeable sur les TSM des six régions. De plus, les TSM estivales des régions 3 et 4 sont liées négativement au WeMOI automnal ;
- En automne, les TSM dans les différentes régions (2, 3, 4 et 5) sont reliées négativement au WeMOI des deux saisons estivale et automnale. De plus, les TSM de la saison automnale de la région 6 sont liées négativement au WeMOI automnal ;
- Les WeMOI du printemps et de l'été sont bien anti-corrélés avec les TSM automnales de la région 1.

Cette anti-corrélation entre WeMOI et les ISTSM, à l'échelle saisonnière, est forte de l'ordre de 40 à 50%.

Concernant le lien entre l'WeMOI et les ISP saisonnières, il est considéré non négligeable, évolue dans le sens opposé, pour certaines régions (Tableau 10) :

- Le WeMOI de la saison d'été affecte la pluviométrie hivernale de la région 3 d'une intensité moyenne de 33 % . ;
- Ainsi, la pluviométrie hivernale des régions 5 et 6 est liée négativement à l'évolution du WeMOI printanier (35 et 33% respectivement).

Tableau 10 : Coefficients de corrélation du WeMOI sur les pluies saisonnières des régions de la côte algérienne.

	Variables	IPS3H	IPS5H	IPS6H
WeMOI	MAM	/	-0,354	-0,334
	JJA	-0,332	/	/
P-value	MAM	/	0,032	0,044
	JJA	0,045	/	/

III.3.3.3.2MO

Les précipitations et les TSM annuelles dans le littoral algérien ne sont pas significativement corrélées aux indices MOI (entre Alger et Caire / entre Israël et Gibraltar).

A l'échelle saisonnière, on note la présence de l'influence du MOI (Alger-Caire) des quatre saisons sur l'évolution des pluies le long de la côte algérienne à des périodes bien distinctes (Tableau A5. 7) :

- Le MOI (Alger-Caire) printanier est lié négativement aux pluies printanières caractérisant les stations 1, 2, 3 et 4 ;
- Le MOI (Alger-Caire) hivernal est lié négativement aux pluies hivernales caractérisant les stations 1, 2, 3 et 4 ;
- Le MOI (Alger-Caire) estival joue un rôle sur les pluies estivales des stations 1, 2, 3, 4 et 6. La relation est monotone et décroissante bien qu'une monotonie croissante entre le MOI (Alger-Caire) estival et la pluviométrie printanière est observée dans les stations 4, 5 et 6 ;
- Le MOI (Alger-Caire) automnal est lié négativement aux pluies automnales caractérisant la station 1.

Chapitre III

A propos des régimes des TSM saisonnières des eaux algériennes, la corrélation est significative entre le MOI (Alger-Caire) printanier et les TSM estivales de la région 6 ainsi que les TSM printanières des régions 2, 3, 5 et 6 avec une intensité variant entre 33 et 37% (Tableau 11).

Tableau 11 : Coefficients de corrélation du MOI (Algérie-Caire) sur les TSM saisonnières des régions de la côte algérienne.

Variables	ITS2P	ITS3P	ITS5P	ITS6P	ITS6E
MAM_alg	0,367	0,333	0,357	0,365	0,355
P-value	0,026	0,044	0,031	0,027	0,032

Le Tableau 12 reporte les valeurs les plus significatives des coefficients de corrélation entre le MOI (Israël-Gibraltar) et les IPS saisonniers.

- Le MOI DJF est lié négativement aux pluies hivernales des stations 1 et 2 par contre il est lié positivement aux pluies automnales de la station 4 ;
- Une corrélation négative a été obtenue entre le MOI MAM et la pluviométrie printanière dans les stations 1 et 3 ;
- Les pluies automnales (station 1) et printanières (station 4 et 6) évoluent dans le même sens de l'indice MO JJA. Aussi, ce dernier impacte négativement l'évolution des pluies estivales dans les régions 1, 2, 3 et 6 ;
- Le MOI SON est lié négativement aux pluies automnales de la station 1. Cette anti-corrélation entre le WeMOI et les ISTSM, à l'échelle saisonnière, est de l'ordre de 32 à 40 %.

Les coefficients de corrélation obtenus entre le MOI (Israël-Gibraltar) et les ISTSM saisonniers des six régions montrent que seule la TSM automnale des régions 1 et 2 est impactée et influencée par l'oscillation MOI (Israël-Gibraltar) estivale avec un R variant entre - 0,459 et - 0,326 et un p-value variant entre 0,005 et 0,050 à un niveau de signification $\alpha=0,05$.

Cela signifie que la TSM et le MOI évoluent dans deux sens opposés.

Tableau 12 : Coefficients de corrélation du MOI (Israël-Gibraltar) sur les pluies saisonnières des régions de la côte algérienne.

Variables	MOI(Israël-Gibraltar)				p-value			
	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON
IPS1H	-0,37	/	/	/	0,02	/	/	/
IPS1P	/	-0,32	/	/	/	0,05	/	/
IPS1E	/	/	-0,33	/	/	/	0,05	/
IPS1A	/	/	0,36	-0,37	/	/	0,03	0,03
IPS2H	-0,32	/	/	/	0,05	/	/	/
IPS2E	/	/	-0,41	/	/	/	0,01	/
IPS3P	/	-0,34	/	/	/	0,04	/	/
IPS3E	/	/	-0,37	/	/	/	0,02	/
IPS4P	/	/	0,40	/	/	/	0,01	/
IPS4A	0,34	/	/	/	0,04	/	/	/
IPS6P	/	/	0,38	/	/	/	0,02	/
IPS6E	/	/	-0,33	/	/	/	0,05	/

Conclusion

Conclusion

Conclusion

Ce travail a permis d'apporter des réponses aux questions posées précédemment liées à la compréhension de la variabilité spatio-temporelle de la température de surface de la mer et de la pluviométrie sur le littoral algérien par une analyse climatologique annuelle et saisonnière sur une période de 37 années à partir des données satellitaires et in situ des deux variables.

A l'échelle annuelle, la TSM présente une tendance au réchauffement de l'ordre de $0.03^{\circ}\text{C}/\text{an}$. La pluviométrie a baissé en moyenne de 71% à la station 2 alors qu'elle a augmenté entre 33% à 318 % aux autres stations.

A l'échelle saisonnière, les périodes d'été sont plus chaudes (avec un taux de réchauffement de $0.06^{\circ}\text{C}/\text{an}$) que les périodes d'hiver ($0.01^{\circ}\text{C}/\text{an}$).

La baisse des précipitations varie en fonction de la station et la saison entre 2% et 17%, tel que :

- Une diminution est observée principalement en été et au printemps ;
- Et une augmentation oscille entre 3% et 50%.

Le lien entre les TSM et les pluies et les variables globales est résumé sur le Tableau 13.

Tableau 13 : Relation entre la TSM et la pluviométrie avec les indices globaux.

	TSM		Précipitation	
	Annuelle	Saisonnière	Annuelle	Saisonnière
NAO		✗		✗
ENSO	✗			
WeMOI	✗	✗		✗
MOI (Algérie et cairo)		✗		✗
MOI (Israël-Gibraltar)		✗		✗

Le réchauffement des eaux algériennes n'est pas homogène raison pour laquelle nous recommandons la division de la côte algérienne en trois régions : Est, Ouest et Centre afin d'étudier les deux variables climatiques : Température de surface de la mer estivale (déduite de l'analyse de la cartographie du cycle annuel) et précipitations annuelles (à partir des résultats de l'ACP).

Pour l'étude de la TSM à l'échelle annuelle, nous recommandons la division de la côte algérienne en deux régions (résultats de l'ACP) : Est et Ouest.

Conclusion

La détection des changements dans la série temporelle de la pluviométrie nécessite une analyse temporelle qui dépasse 40 ans.

Les résultats de cette étude seront utiles dans :

- Le choix des matériaux à utiliser dans le milieu marin (construction maritime) ;
- Les plans de gestion environnementaux puisque les effets du réchauffement seront très divers et géographiquement inégaux ;
- La modélisation climatique;
- La prévision des taux de changement à venir ;
- La création de scénarios sur les impacts.

A l'avenir, il serait intéressant de ré analyser la pluviométrie en utilisant des séries temporelles plus longues (dépassant 40 années). Aussi, cette étude est une modeste contribution qui pourrait être approfondie par l'analyse d'autres indices du changement climatique en utilisant d'autres méthodes.

Références bibliographiques

References

- Ali, B., Ruellet, T., et Dauvin, J.-C. (2009).** Benthic Indices and Ecological Quality of shallow Algeria fine sand community. *Ecological Indicators - ECOL INDIC*, 9, 395-408. doi: 10.1016/j.ecolind.2008.05.008.
- Amarouche, K., Akpınar, A., Bachari, N. E. I., et Houma, F. (2020).** Wave energy resource assessment along the Algerian coast based on 39-year wave hindcast. *Renewable Energy*. doi: 10.1016/j.renene.2020.02.040.
- ANDI. (2015).** Potentiel Minéral de l'Algérie . presentation de l'ANDI , Direction Général des Mines , Ministere de l'Industrie et des Mines ,Algerie.
- Ayache, M. (2012).** Application du modèle ROMS dans le bassin Algérien.Aix.Marseille.Université et mio:p1-18.
- Ayache, M. (2016).** *Modélisation d'éléments traces (T, 3He, Nd, 14C) en mer Méditerranée pour l'étude des cycles biogéochimiques et de la circulation océanique.*
- Benzouai, S., Louanchi, F., et Smara, Y. (2018).** Phytoplankton initiation bloom magnitude in Algerian continental shelf waters using 11 years of ocean color observations,proc.SPIE 10784, *Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions* ,1078413.doi:10.1117/12.2325442.
- Bethoux, J. P., et Gentili, B. (1996).** The Mediterranean Sea , coastal and deep-sea signatures of climatic and environmental changes.*Journal of Marine Systemes*.7 :PP 383-394.
- Boudrissa, N., Cheraitia, H., et Halimi, L. (2017).** Modelling maximum daily yearly rainfall in northern Algeria using generalized extreme value distributions from 1936 to 2009: Modelling maximum rainfall in northern Algeria. *Meteorological Applications*, 24. doi: 10.1002/met.1610.
- Brandimarte, L., Di Baldassarre, G., Bruni, G., Odorico, P., et Montanari, A. (2011).** Relation Between the North-Atlantic Oscillation and Hydroclimatic Conditions in Mediterranean Areas. *Water Resour Manage*, 25, 1269-1279. doi: 10.1007/s11269-010-9742-5.
- Buishand, T. A. (1984).** Tests for detecting a shift in the mean of hydrological time series. *Journal of Hydrology*, vol. 73, n° 1, p. 51-69.DOI : 10.1016/0022-1694(84)90032-5.
- Capot-Rey, R. (1946).** Études récentes sur le climat de l'Afrique du nord et du sahara. *Annales de Géographie*. No. 297 : pp 39-48.

- Capotondi, A., Wittenberg, A. T., Newman, M., Di Lorenzo, E., Yu, J.-Y., Braconnot, P., . . . Yeh, S.-W. (2015).** Understanding ENSO Diversity. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(6), 921-938. doi: 10.1175/bams-d-13-00117.1.
- Cassou, C. (2004).** Du changement climatique aux régimes de temps : l'oscillation nord-atlantique. *Météorologie théorique. La Météorologie - n° 45*: pp 21-32.
- Corona, R., Montaldo, N., et Albertson, J. D. (2018).** On the Role of NAO-Driven Interannual Variability in Rainfall Seasonality on Water Resources and Hydrologic Design in a Typical Mediterranean Basin. *Journal of Hydrometeorology*, 19(3), 485-498. doi: 10.1175/jhm-d-17-0078.1.
- Criado-Aldeanueva, F., et Soto-Navarro, J. (2013).** The Mediterranean Oscillation Teleconnection Index: Station-Based versus Principal Component Paradigms. *Advances in Meteorology*, 2013, 1-10. doi: 10.1155/2013/738501.
- Decamps, H. (2010).** Evénements climatiques extrêmes Réduire les vulnérabilités des systèmes écologiques et sociaux. rapport sur la science et technologie N°29.
- Descroix, L., Dacosta, H., Sané, T., Cormier Salem, M., et Bodian, A. (2016).** Panorama des conséquences du Changement climatique, à travers la remontée du niveau océanique: érosion côtière et salinisation des eaux et des sols.
- Durand, F. (2007).** le réchauffement climatique en débat. *L 70652.france:Ellipses Edition Marketing S.A: 178 pp.*
- Geosciences Marines Algerie. (2019).** Délimitation du littoral algérien .Rapport du littoral 2019. Disponible sur Web <<http://geosciencesmarinesalgerie.com/2019/11/02/delimitation-du-littoral-algerien/>>.
- Hubert, P., Carbonnel, J. P., et Chaouche, A. (1989).** Segmentation des séries hydrométéorologiques ; application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'Ouest. *Journal of Hydrology*, vol. 110, n° 3-4, p. 349-367. DOI : 10.1016/0022-1694(89)90197-2.
- Joussaume, S. (2011).** 1. Le climat : un thème de recherche pluridisciplinaire. In Jeandel, C., et Mosseri, R. (Eds.), *Le climat à découvert*. CNRS Éditions. doi :10.4000/books.editions-cnrs.11322.
- Kacemi, M. (2009).** Protection du littoral en Algérie entre gestion et législation. Le cas du pôle industriel d'Arzew (Oran, Algérie). [Protection of Coastal Areas in Algeria: Between Management and Legislation]. *Droit et société*, 73(3), 687-701. doi: 10.3917/drs.073.0687.

Références bibliographiques

- Lotze, H., et Worm, B. (2002).** Complex interaction of ecological and climatic controls on macroalgal recruitment. *Limnology and Oceanography - LIMNOL OCEANOGR*, 47, 1734-1741. doi: 10.4319/lo.2002.47.6.1734.
- Lubès-Niel, H., Masson, J. M., Paturol, J. E., et Servat, E. (1998).** climatic variability and statistics .A simulation approach for estimating power and robustness of tests of stationarity.Rev.Sci.Eau. 3 : pp 383-408.
- Macías, D., Garcia-Gorriz, E., et Stips, A. (2013).** Understanding the Causes of Recent Warming of Mediterranean Waters. How Much Could Be Attributed to Climate Change? *PloS one*, 8, e81591. doi: 10.1371/journal.pone.0081591.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., et Kleist, J. (1993).** The relationship of drought frequency and duration to time scales.*Eighth Conference on Applied Climatology*.Anaheim ,california: pp 17-22.
- Millot, C. (1989).** La circulation générale en Méditerranée occidentale : Aperçu de nos connaissances et projets d'études.Annales de Géographie.N° 549: pp 497-515.
- Millot, C. (2009).** Another description of the Mediterranean Sea outflow. *Progress in Oceanography - PROG OCEANOGR*, 82, 101-124. doi: 10.1016/j.pocean.2009.04.016.
- Millot, C., et Taupier-Letage, I. (2005).** Circulation in theMediterranean Sea.*Hand Book of Environmental Chemistry*. Volume , 5 : pp 29-66.
- Naveau, P., Hannart, A., et Ribes, A. (2020).** Statistical Methods for Extreme Event Attribution in Climate Science. *Annual Review of Statistics and Its Application*, 7(1), 89-110. doi: 10.1146/annurev-statistics-031219-041314.
- Nielsen, K. J. (2003).** Nutrient loading and consumers: Agents of change in open-coast macrophyte assemblages. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(13), 7660. doi: 10.1073/pnas.0932534100.
- Nykjaer, L. (2009).** Mediterranean Sea surface warming 1985–2006.Clim Res 39:11-17. Disponible sur :<<<https://doi.org/10.3354/cr00794><https://doi.org/10.3354/cr00794>>>.
- OMM. (2011).** Guide des pratiques climatologiques.CH-1211 Genève 2, Suisse.OMM-N° 100.ISBN 978-92-63-20100-3.
- OMM. (2012).** Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé .CH-1211 Genève 2, Suisse.OMM-N° 1090.ISBN 978-92-63-21090-6.
- ONERC. (2018).** Les événements météorologiques extrêmes dans un contexte de changement climatique.Rapport de l'ONERC au Premier ministre et au Parlement, La Documentation française. Paris.

- Pastor, F., Valiente, J., et Palau, J. L. (2018).** Sea Surface Temperature in the Mediterranean: Trends and Spatial Patterns (1982–2016). *Pure Appl. Geophys.* Volume ,175 : pp 4017–4029. doi : <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1739-z>.
- Pédelaborde, P., et Delannoy, H. (1958).** Recherches sur les types de temps et le mécanisme des pluies en Algérie. In: *Annales de Géographie*, t. 67, n°361. pp. 216-244.
- Peel, M., Finlayson, B., et McMahon, T. (2007).** Updated World Map of the Koppen-Geiger Climate Classification. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 4. doi: 10.5194/hess-11-1633-2007.
- Perkins-Kirkpatrick, S., et Pitman, A. (2018).** Extreme events in the context of climate change. *Public Health Research et Practice*, 28. doi: 10.17061/phrp2841825.
- Pettitt, A. N. (1979).** A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, vol. 28, n° 2, p. 126-135. DOI : 10.2307/2346729.
- POC. (2019).** ocean and climate.Fiches scientifiques.pp 1-63.
- Rixen, M., Beckers, J.-M., Levitus, S., Antonov, J., Boyer, T., Maillard, C., . . . Zavatarelli, M. (2005).** The Western Mediterranean Deep Water: A proxy for climate change. *Geophysical Research Letters*, 32(12). doi: 10.1029/2005gl022702.
- Sánchez-Arcilla, A., Mössö, C., Sierra, J., Mestres, M., Harzallah, A., Senouci, M., et El Raey, M. (2010).** Climatic Drivers of Potential Hazards in Mediterranean Coasts. *Regional Environmental Change*, 11, 617-636. doi: 10.1007/s10113-010-0193-6.
- Shahin, M. (2007).** Climate of the Arab Region. In: *Water Resources and Hydrometeorology of the Arab Region*. Water Science and Technology Library, vol 59. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/1-4020-5414-9_3.
- Skirris, N., Sofianos, S., Gkanasos, T., Mantziafou, A., Vervatis, V., Axaopoulos, P., et Lascaratos, A. (2011).** Decadal scale variability of sea surface temperature in the Mediterranean Sea in relation to atmospheric variability. *Ocean Dyn.*, 62, 13-30. doi: 10.1007/s10236-011-0493-5.
- Taïbi, S. (2015).** Influence de la circulation atmosphérique générale sur les précipitations du Nord de l'Algérie. Résumé thèse –étendu.École Nationale Supérieure d'Hydraulique:pp 1-11.
- Taïbi, S., Meddi, M., Doudja, S.-G., et Mahe, G. (2013).** Evolution et régionalisation des précipitations au nord de l'Algérie (1936–2009). *IAHS Publ.*, 359, 191-197.

Références bibliographiques

- Taïbi, S., Meddi, M., et Mahe, G. (2019).** Seasonal rainfall variability in the southern Mediterranean border: Observations, regional model simulations and future climate projections. *Atmosfera*, 32(1), 39-54. doi: 10.20937/atm.2019.32.01.04.
- Testor, P., Send, U., Gascard, J. C., Millot, C., Taupier-Letage, I., et Béranger, K. (2005).** The mean circulation of the southwestern Mediterranean Sea: Algerian Gyres. *Journal of Geophysical Research*, 110. doi: 10.1029/2004jc002861.
- UPM. (2019).** La Méditerranée à l'agonie. Le rapport effrayant des experts convoqués par l'Union pour la Méditerranée. [consulte 22/04/2020] .Disponible sur : <<<https://up-magazine.info/planete/climat/28256-la-mediterranee-agonise/10>>>.
- Vicente-Serrano, S., Buegerias, S., Moreno, J., Kenawy, A., et Angulo-Martinez, M. (2009).** Daily atmospheric circulation events and extreme precipitation risk in Northeast Spain: the role of the North Atlantic Oscillation, Western Mediterranean Oscillation, and Mediterranean Oscillation. *Journal of Geophysical Research*, 114. doi: 10.1029/2008jd011492.
- Zemenzer, S. (2012).** Application du modèle ROMS dans la méditerranée occidentale « Circulation de LIW dans le bassin Algérien ». Projet d'analyse de données et modélisation. Université de la méditerranée: p.1-22.

Site web

Autres

- <https://www.geograchid.com>.
- <http://www.hydrosciences.org>.
- <http://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>.
- lactualitechimique.org.

Climatology Group

- <http://www.ub.edu/gc/en/wemo/>.

CMEMS : Copernicus Marine Environment Monitoring Service "marine.copernicus.eu".

CRU : Climatic Research Unit

- <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/moi/moi1.output.dat>
- <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/moi/moi2.output.dat>
- https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/moi/Web_WeMOi-2019.txt.

FAO: Food and Agriculture Organization.

- <http://www.fao.org/faostat/en/#data/OA>

GPCP: Global Precipitation Climatology Project.

- <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.gpcp.html>

LAROUSSE

- https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/Alg%C3%A9rie_g%C3%A9ographie_physique/185613.

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration

- <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/>
- <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.nao.monthly.b5001.current.ascii.table>
- <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/oni.ascii.txt>
- <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices>

UNESCO : Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture

- <http://www.unesco.org/new/fr/culture/themes/underwater-cultural-heritage/protection/threats/environmental-impact-and-climate-change/>.

WWF : World Wide Fund for Nature

- <https://wwf.be/fr/actualites/comment-le-changement-climatique-affecte-t-il-le-littoral-belge/>.

Annexes

Annexe 1: Fiche technique du produit

- **TSM_MED_TSM_L4_REP_OBSERVATIONS_010_021_a:** Mediterranean TSM Analysis L4, Reprocessed using Pathfinder L3S, 0.0417 deg daily.
- **Paramètre:** sea surface temperature.
- **Unité:** kelven (k).
- **Mission :** NetCDF-CF
- **Niveau L4 :** Daily gap-free maps (Des cartes quotidiennes sans lacunes).
- **Sources de donné :** [1981-2014] captures AVHRR_GAC ; [2015-2018] AATSR, SEVIRI, AVHRR, MODIS, VIIRS, SLSTR.
- **Plate-forme**
 - ✓ [1981-2014] NOAA [07, 09, 11, 14, 16, 17, 18, 19];
 - ✓ [2015-2018] Envisat, NOAA-18, MetOpA, Aqua, Terra, MSG1, MetOpB, NPP, Meteosat_11, Sentinel 3A.

Annexe 2: Statistiques descriptives des données de la pluviométrie et des températures de la surface de la mer dans le littoral algérien

Tableau 1 : Statistiques descriptives des TSM des six régions.

Statistique	Région 1	Région 2	Région 3	Région 4	Région 5	Région 6
Minimum	14,897	14,796	14,695	14,632	14,550	14,475
Maximum	24,127	24,005	24,145	24,288	25,035	25,587
1er Quartile	15,858	15,742	15,583	15,555	15,684	15,446
Médiane	18,177	18,004	18,042	18,205	18,701	18,736
3ème Quartile	21,576	21,367	21,627	22,007	22,681	22,982
Moyenne	18,833	18,701	18,706	18,826	19,247	19,352
Variance (n-1)	11,501	11,395	12,281	13,171	15,573	17,299
Ecart-type (n-1)	3,391	3,376	3,504	3,629	3,946	4,159

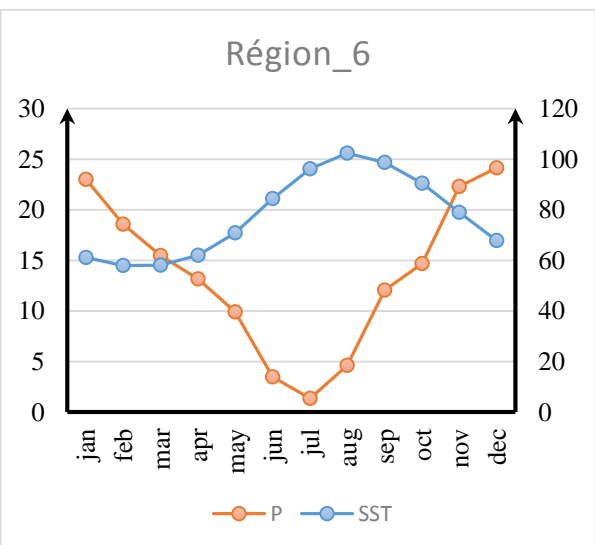
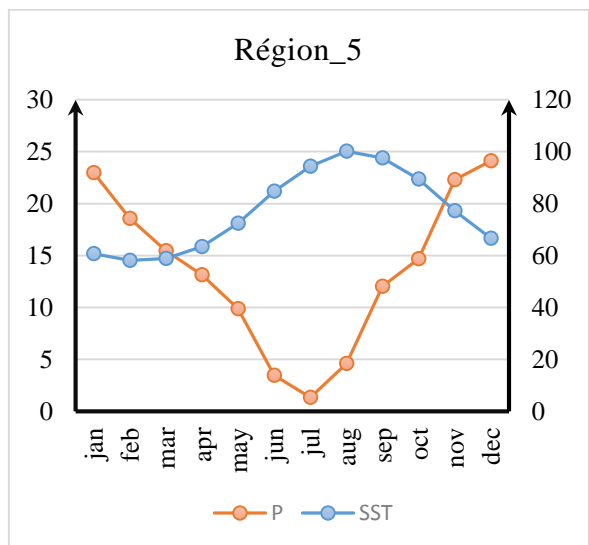
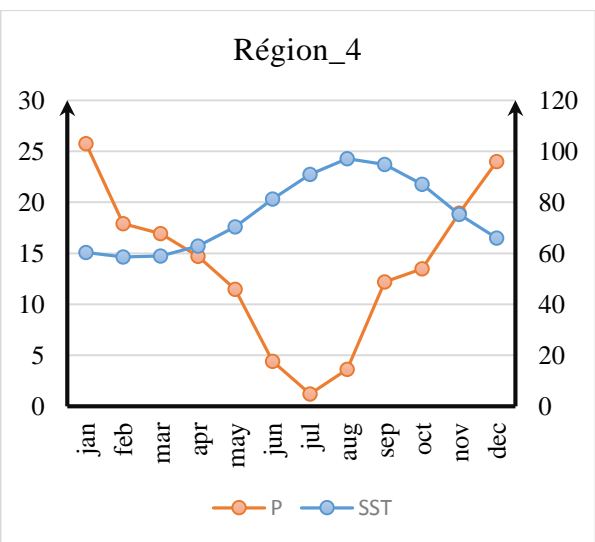
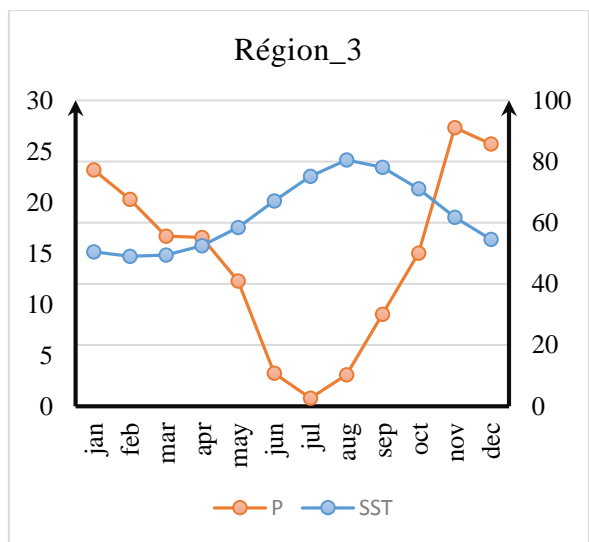
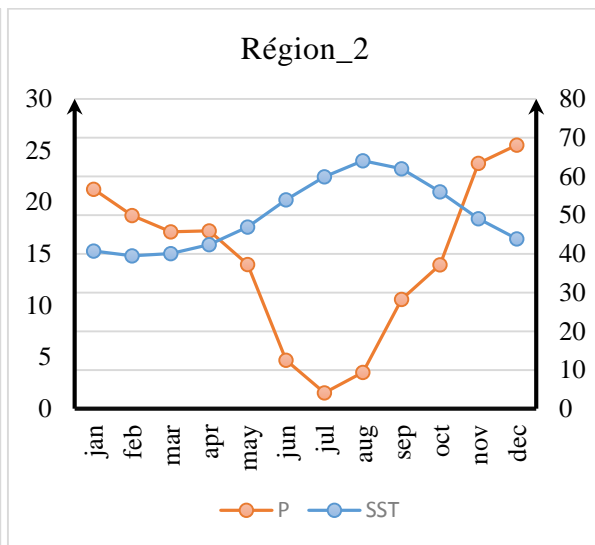
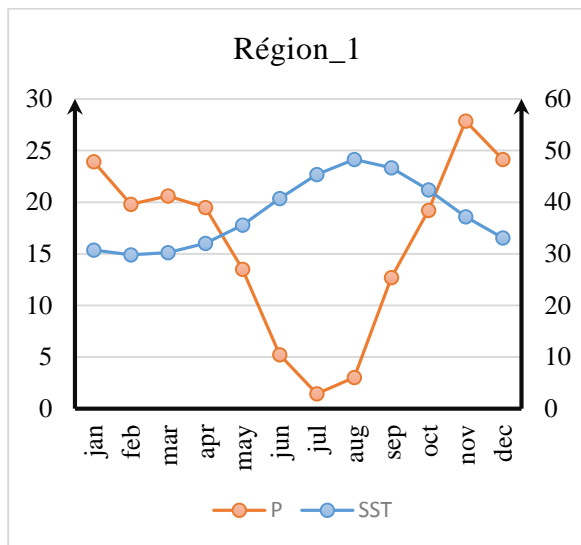
Tableau 2 : Statistiques descriptives des précipitations des six régions

Statistique	Région 1	Région 2	Région 3	Région 4	Région 5	Région 6
Minimum	2,201	2,908	4,075	2,679	4,774	5,437
Maximum	57,589	55,743	68,106	91,097	103,018	96,527
1er Quartile	20,644	21,643	24,296	25,243	38,841	34,296
Médiane	39,466	38,684	41,485	52,631	56,408	55,650
3ème Quartile	44,625	42,856	51,584	70,088	72,696	77,987
Moyenne	33,049	31,817	38,201	48,122	54,886	54,224
Variance (n-1)	353,615	305,747	443,912	897,385	959,379	950,381
Ecart-type (n-1)	18,805	17,486	21,069	29,956	30,974	30,828

Tableau 3 : Coefficients de corrélation de Pearson entre les précipitations mensuelles climatiques et les SST mensuelles moyennes des six régions (P: Pluie).

	Variables	P_S1	P_S2	P_S3	P_S4	P_S5	P_S6
R	TSM_R1	-0,737	-0,725	-0,768	-0,737	-0,756	-0,677
	TSM_R2	-0,737	-0,726	-0,768	-0,737	-0,754	-0,675
	TSM_R3	-0,720	-0,709	-0,754	-0,722	-0,742	-0,659
	TSM_R4	-0,706	-0,694	-0,741	-0,708	-0,733	-0,647
	TSM_R5	-0,716	-0,703	-0,750	-0,717	-0,744	-0,660
	TSM_R6	-0,692	-0,680	-0,725	-0,688	-0,718	-0,627
P-value	TSM_R1	0,006	0,008	0,004	0,006	0,004	0,016
	TSM_R2	0,006	0,008	0,004	0,006	0,005	0,016
	TSM_R3	0,008	0,010	0,005	0,008	0,006	0,020
	TSM_R4	0,010	0,012	0,006	0,010	0,007	0,023
	TSM_R5	0,009	0,011	0,005	0,009	0,006	0,020
	TSM_R6	0,013	0,015	0,008	0,013	0,009	0,029

Annexe 3: Diagrammes ombrothermique de bagnouls et gausсен



Annexe 4: Tests de rupture

Tableau 4 : Tests de rupture interannuelle (PR : pas de rupture).

variable		Test de Pettitt	Test de Buishand	Test d'Hubert
SST	Région 1	2001	1994	1993, 2009
	Région 2	2001	1994	1993, 2009
	Région 3	2002	2002	1993 , 2009
	Région 4	2002	1993	1993, 2008
	Région 5	2002	1993	1993, 2013
	Région 6	1996	1996	1993 , 2013
précipitation	Station 1	PR	PR	PR
	Station 2	PR	PR	2017
	Station 3	2005	2005	2005
	Station 4	PR	PR	PR
	Station 5	PR	2002	2002
	Station 6	PR	PR	PR

Annexe 5: Test de corrélation de Spearman

Tableau 6 : Coefficients de corrélation entre le WeMOI et l'ISTSM à l'échelle saisonnière .

	R			P-value		
	MAM	JJA	SON	MAM	JJA	SON
ITS1H	-0,407	/	/	0,013	/	/
ITS1P	-0,483	/	/	0,003	/	/
ITS1E	-0,433	/	/	0,008	/	/
ITS1A	-0,382	-0,490	/	0,020	0,002	/
ITS2H	-0,437		/	0,007	/	/
ITS2P	-0,417	/	/	0,011	/	/
ITS2E	-0,493	/	/	0,002	/	/
ITS2A	/	-0,416	-0,369	/	0,011	0,025
ITS3H	-0,387	/	/	0,019	/	/
ITS3E	-0,460	/	-0,359	0,005	/	0,030
ITS3A	/	-0,488	-0,410	/	0,002	0,012
ITS4E	-0,508	/	-0,387	0,002	/	0,018
ITS4A	/	-0,512	-0,422	/	0,001	0,010
ITS5P	-0,381	/	/	0,021	/	/
ITS5E	-0,541	/	/	0,001	/	/
ITS5A	/	-0,476	-0,413	/	0,003	0,012
ITS6P	-0,410	/	/	0,012	/	/
ITS6E	-0,473	/	/	0,003	/	/
ITS6A	/	/	-0,430	/	/	0,008

Annexes

Tableau 7 : Coefficients de corrélation entre le MOI (Algérie – Le Caire) et l’ISP à l’échelle saisonnière.

Variables	coefficients de régression				P-value			
	DJF_alg	MAM_alg	JJA_alg	SON_alg	DJF_alg	MAM_alg	JJA_alg	SON_alg
IPS1H	-0,58	/	/	/	0	/	/	/
IPS1P	/	-0,351	/	/	/	0,034	/	/
IPS1E	/	/	-0,508	/	/	/	0,002	/
IPS1A	/	/	/	-0,436	/	/	/	0,007
IPS2H	-0,501	/	/	/	0,002	/	/	/
IPS2P	/	-0,341	/	/	/	0,04	/	/
IPS2E	/	/	-0,556	/	/	/	0	/
IPS3H	-0,458	/	/	/	0,005	/	/	/
IPS3P	/	-0,391	/	/	/	0,017	/	/
IPS3E	/	/	-0,546	/	/	/	0,001	/
IPS4H	-0,362	/	/	/	0,028	/	/	/
IPS4P	/	-0,376	0,326	/	/	0,023	0,049	/
IPS4E	/	/	-0,46	/	/	/	0,005	/
IPS5P	/	/	0,331	/	/	/	0,046	/
IPS6P	/	/	0,43	/	/	/	0,008	/
IPS6E	/	/	-0,356	/	/	/	0,031	/

Résumé :

Le changement climatique est devenu une réalité clairement perceptible ; il est mesuré par les changements de température, des précipitations, du vent et d'autres indicateurs. Au cours des dernières décennies, des études ont montré que le climat se réchauffe dans le monde entier. L'Algérie, en tant que pays méditerranéen, subi aussi les changements climatiques à l'échelle atmosphérique, continentale et marine.

Dans ce contexte, cette étude porte sur l'évaluation du réchauffement des eaux algériennes par l'utilisation de données *in-situ* et satellitaires sur la période 1982-2018. Le lien entre l'évolution du réchauffement des eaux et du régime pluviométrique a été également investigué. En outre, les liens possibles entre ces deux variables climatiques et les quatre modes de la circulation atmosphérique ont été analysés. Pour cela, une analyse statistique approfondie des séries chronologiques des températures de surface de la mer (TSM) et des précipitations a été menée. Les principaux résultats constatés sont la hausse de la TSM d'environ 3%, la diminution de la pluviométrie en moyenne de 0,71 mm/an dans la région d'Oran et une augmentation de 33% à 318% dans le reste du littoral. Le taux du réchauffement varie avec les saisons, tels que les périodes d'été sont plus chaudes (0,06 ° C/an) que les périodes d'hiver (0,01 ° C/an). Les régions occidentales ont été affectées par le réchauffement avant celles de l'Est. Le réchauffement n'étant pas homogène, il est recommandé de diviser les eaux algériennes en trois régions pour l'étude de la TSM estivale et en deux régions pour l'étude de la TSM annuelle. Par ailleurs, une anti-corrélation a été détectée entre la pluviométrie et les TSM et un fort lien a été établi entre l'évolution des températures de surface de la mer et le mode ENSO.

Mots clés : température de surface de la mer, précipitation, réchauffement climatique, eaux algériennes, indices climatiques globaux.

Abstract:

Climate change has become a clearly perceptible reality; it is measured by changes in temperature, precipitation, wind and other indicators. In recent decades, studies have shown that the climate is getting warmer all over the world. Algeria, as a Mediterranean country, also faces to climate change at the atmospheric, continental and marine scales.

In this context, this study focuses on the assessment of the warming of Algerian waters through the use of in-situ and satellite data over the period 1982-2018. The link between the evolution of water warming and rainfall regime was also investigated. In addition, the possible links

Annexes

between these two climatic variables and the four modes of atmospheric circulation were examined. To this end, an extensive statistical analysis of the time series of sea surface temperatures (SST) and precipitation was conducted. The main results observed are an increase in SST of about 3%, a decrease in rainfall averaging 0.71 mm/year in the Oran region and an increase from 33% to 318% in the rest of the coastline. The rate of warming varies with the seasons, such that summer periods are warmer ($0.06^{\circ} \text{C/year}$) than winter periods ($0.01^{\circ} \text{C/year}$). The western regions were affected by warming before the eastern regions. As the warming is not homogeneous, it is recommended to divide the Algerian waters into three regions for the summer SST study and two regions for the annual SST study. Moreover, an anti-correlation was detected between rainfall and SST and a strong link was established between the evolution of sea surface temperatures and the ENSO mode.

Keywords: sea surface temperature, precipitation, global warming, Algerian sea water, global climate indices.

ملخص:

أصبح تغير المناخ حقيقة واضحة للعيان ؛ يتم قياسه من خلال التغيرات في درجة الحرارة وهطول الأمطار والرياح وغيرها من المؤشرات. على مدى العقود الماضية ، أظهرت الدراسات أن المناخ أخذ في الاحترار في جميع أنحاء العالم. الجزائر ، كبلد متوسطي ، عانت أيضًا من تغيرات مناخية على مستويات الغلاف الجوي والقاري والبحري.

في هذا السياق ، تركز هذه الدراسة على تقييم احترار المياه الجزائرية من خلال استخدام البيانات في الموقع وبيانات الأقمار الصناعية خلال الفترة 1982-2018. كما تم التحقيق في الصلة بين تطور ارتفاع درجة حرارة المياه ونظام هطول الأمطار. بالإضافة إلى ذلك ، تم تحليل الروابط المحتملة بين هذين المتغيرين المناخيين والمؤشرات الأربعة المناخية الجوية. لهذا الغرض ، تم إجراء تحليل إحصائي متعمق للسلسلة الزمنية لدرجات حرارة سطح البحر (TSM) وهطول الأمطار. النتائج الرئيسية التي لوحظت هي الزيادة في TSM بحوالي 3 ٪ ، وانخفاض هطول الأمطار بمعدل 0.71 ملم / سنة في منطقة وهران وزيادة من 33 ٪ إلى 318 ٪ في بقية الساحل. يختلف معدل الاحترار باختلاف الفصول ، بحيث تكون فترات الصيف أكثر دفئًا (0.06 درجة مئوية / سنة) من فترات الشتاء (0.01 درجة مئوية / سنة). وتأثرت المناطق الغربية بارتفاع درجات الحرارة قبل تلك الموجودة في الشرق. بما أن الاحترار ليس متجانسًا ، يوصى بتقسيم المياه الجزائرية إلى ثلاث مناطق لدراسة TSM الصيفي وإلى منطقتين لدراسة TSM السنوي. بالإضافة إلى ذلك ، تم اكتشاف ارتباط مضاد بين هطول الأمطار و SST وتم إنشاء رابط قوي بين تطور درجات حرارة سطح البحر ووضع ENSO.

الكلمات المفتاحية: درجة حرارة سطح البحر ، هطول الأمطار ، الاحترار الحراري ، المياه الجزائرية ، المؤشرات المناخية العالمية