

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل
École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme
D'Ingénieur en Sciences de la Mer
Option : Ingénierie de l'environnement marin et côtier
Thème :

Analyse spatiale de la distribution du thon rouge *Thunnus thynnus* (Linnaeus, 1758) en interaction avec les facteurs environnementaux à l'aide de système d'information géographique (SIG) dans le bassin Algérien

Présenté par :

ALEMI Samira

ALEMI Rania

Soutenu le 04/07/2023, devant le jury composé de :

Mme. DAHMANI	M.C	ENSSMAL	Président
M. BOUGHRIRA A.	M.A	ENSSMAL	Examineur
M. FIRAD B.	M.A	ENSSMAL	Promoteur

Remerciement

*Tout d'abord, nous voudrions adresser nos remerciements les plus sincères à notre promoteur, **FIRAD Ben Yahia** . Sa guidance experte, ses conseils avisés et son soutien constant ont été d'une importance capitale tout au long de ce travail. Nous lui sommes reconnaissants pour sa disponibilité, sa patience et son engagement à nous encourager à atteindre les meilleurs résultats.*

*Nous tenons également à exprimer notre profonde gratitude à la présidente du jury, **DAHMANI** ainsi qu'à à Mr **BOUGHFIRA ABDELHAK** pour avoir bien voulu examiner notre travail. Leur évaluation, leurs commentaires. Nous les remercions pour leur temps précieux et pour leur intérêt porté à notre mémoire.*

Nous souhaitons également adresser nos remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire. Que ce soit par leur aide logistique, leur appui technique, leurs conseils ou leur support moral.

Enfin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance envers nos familles, nos amis et nos proches qui nous ont soutenus tout au long de notre formation. Leur encouragement constant, leur compréhension et leur motivation ont été des sources d'inspiration précieuses.

Dédicace

Nous dédions ce présent travail à nous.

*Nous exprimons notre gratitude d'avoir cru en nous-mêmes et en
nos capacités*

*Nous sommes reconnaissantes pour tous les moments que nous
avons traversés,*

Pour tous les obstacles que nous avons surmontés et

Pour tous les défis que nous avons accomplis.

A nos chers parents pour leur soutien et leurs encouragements,

A notre grande sœur Katia et notre frère Sofiane

A nos cousins Fetta ,Chrif et Aghiles

*A nos amis et copines votre présence joyeuse et à rendu ce
parcours plus agréable*

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS	3
1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	3
1.1. Situation géographique	3
1.2. Hydrologie	4
1.2.1. Les masses d'eaux.....	4
1.2.2. Circulation des eaux.....	5
2. DESCRIPTION DE L'ESPECE	7
2.1. Présentation de l'espèce	7
2.2. Systématique	7
2.3. Aire de répartition	8
2.3.1. Habitat	8
2.3.2. Migration	9
2.3.3. Structure de la population	10
2.4. Biologie	10
2.4.1. Maturité.....	10
2.4.2. Frai et reproduction.....	11
2.4.3. Croissance.....	11
2.4.4. Régime alimentaire	12
2.4.5. Recrutement.....	12
2.4.6. Principale réglementation de gestion	12
CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES	14
1. MATERIELS	14
1.1. Données	14
1.1. La collecte des données	14
1.2. Traitement des données.....	17
2. METHODES	19
2.1. Analyse temporelle	20
2.1.1. Statistique descriptive	20
2.1.2. L'analyse en composantes principales (ACP)	20
2.2. Analyse spatiale	20
2.2.1. L'interpolation spatiale	20
2.2.2. L'analyse de régression linéaire multiple	22

CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS.....	23
1. RESULTATS	23
<i>1.1. Analyse statistique</i>	<i>23</i>
<i>1.1.1. Statistique descriptive</i>	<i>23</i>
<i>1.1.2. L'analyse en composantes principales (ACP)</i>	<i>25</i>
<i>1.2. Analyse temporelle.....</i>	<i>27</i>
<i>1.3. Analyse spatiale</i>	<i>29</i>
1.3.1. Modélisation spatiale	37
3. DISCUSSIONS.....	40
CONCLUSION.....	42
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	44

LISTE DES FIGURES

Figure I. 1: Situation géographique de la zone d'étude.	3
Figure I. 2 : Carte du bassin algérien (A : région Ouest ; B : région Centre ; C : régionEst)	4
Figure I. 3 : Circulation d'eau modifiée origine atlantique (MAW Modified Atlantic Water)	5
Figure I. 4 : Circulation d'eau levantine intermédiaire (LIW Levantine Intermediate Water)	6
Figure I. 5 : circulation d'eau méditerranéenne profonde(MDW Mediterranean Deep Water).....	6
Figure I. 6 : Thon rouge, <i>Thunnus thynnus</i> (Linné, 1758) (Bruzzese and Rincé, 2019).	8
Figure I. 7: Carte montrant l'aire de répartition du thon rouge (bleu), les principales routes migratoires (flèches noires) et les principaux lieux de ponte (zones jaunes) résultant de données des pêcheries actuelles et historiques ainsi que d'informations relatives au marquage traditionnel et électronique. La ligne discontinue verticale représente la délimitation des stocks entre les deux unités actuelles de gestion de l'ICCAT (Fromentin and Powers, 2005).....	9
Figure II. 1: Schémas représentant les étapes de la collecte des données à partir de la base de données Copernicus Marine	15
Figure II. 2 : Schémas représentant les étapes de traitement des données à l'aide de QGIS	18
Figure II. 3: Interpolation par pondération par l'inverse de la distance (IDW) basée sur la distance pondérée d'un jeu de points.....	21
Figure III. 1: Diagramme Quantile-Quantile de la distribution des variables environnementaux.	24
Figure III. 2: Visualisation des données avec facteur.....	25
Figure III.3: Cercle de corrélation entre les variables.	26
Figure III. 4: Variation temporelle de deux décennies des paramètres biologique (poids et taille) en relation avec les facteurs environnementaux ; Chlorophylle (A), Température (B), Hauteur des vagues (C), NO3 (D), Vitesse de courant (E), Teneurs en oxygène (F), Salinité (G).....	28
Figure III. 5: Répartitions spatiales des paramètres étudiés le long de la cote Algérienne A : poids total du thon rouge ; C : longueur total-BFT, et représentation des histogrammes Raster associés à chaque carte : B : histogramme Raster du poids total, D : histogramme Raster de la longueur totale.....	29
Figure III. 6 : Répartitions spatiales des paramètres étudiés le long de la cote Algérienne, A : poids total du thon rouge ; C : teneur en chlorophylle a,et représentation des histogrammes Raster associés à chaque carte : B : histogramme Raster du poids total ; D : histogramme Raster de la chlorophylle.....	30

Figure III. 7: Répartitions spatiales des paramètres étudiés le long de la côte Algérienne, A : poids total du thon rouge ; C : température de surface et représentation des histogrammes Raster associés à chaque carte : B : histogramme Raster du poids total ; D : histogramme Raster de la température de surface.	31
Figure III. 8: Répartitions spatiales des paramètres étudiés le long de la côte Algérienne, A : poids total du thon rouge ; C : salinité de surface et représentation des histogrammes Raster associés à chaque carte : B : histogramme Raster du poids total ; D : histogramme Raster de la salinité de surface.	32
Figure III. 9: Répartitions spatiales des paramètres étudiés le long de la côte Algérienne, A : poids total du thon rouge ; C : Oxygène dissous et représentation des histogrammes Raster associés à chaque carte : B : histogramme Raster du poids total ; D : histogramme Raster de l'oxygène dissous	33
Figure III. 10: Répartitions spatiales des paramètres étudiés le long de la côte Algérienne A : poids total du thon rouge ; C : Hauteur de la Vague et représentation des histogrammes Raster associés à chaque carte : B : histogramme Raster du poids total ; D : histogramme Raster de la hauteur de la vague.....	34
Figure III. 11: Répartitions spatiales des paramètres étudiés le long de la côte Algérienne A : poids total du thon rouge ; C : vitesse du courant et représentation des histogrammes Raster associés à chaque carte : B : histogramme Raster du poids total ; D : histogramme Raster vitesse du courant.....	35
Figure III. 12: Répartitions spatiales des paramètres étudiés le long de la côte Algérienne, A : poids total du thon rouge ; C : teneur en NO ₃ , et représentation des histogrammes Raster associés à chaque carte : B : histogramme Raster du poids total, D: histogramme Raster de NO ₃	36
Figure III. 13: Répartitions spatiales dans le bassin algérien : (A) Abondance du thon rouge estimé en poids total (C) : résidus du modèle d'estimation ; et représentation des histogrammes Raster associés à chaque carte : B : histogramme Raster du poids estimé ; D : histogramme Raster des résidus.....	38

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1: Caractéristique des paramètres environnementaux.....	16
Tableau II.2: Valeurs des paramètres environnementaux obtenues après le traitement des données.....	19
Tableau III.3 : statistiques descriptifs.	23
Tableau III.4 : Valeurs propres.....	25
Tableau III.5 : Matrice de corrélation.....	26
Tableau III.7 : Les résultats l'analyse de régression linéaire multiple	37

ACRONYMS

BFT: Bluefin Tuna "thon rouge du Pacifique"

ICCAT: International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas

TAC : Total Allowable Catch (Quota De Capture Autorisé)

Abstract

Bluefin tuna is a migratory species of high economic value, and supports major fisheries around the world, particularly in the Mediterranean. It occupies an important place in the marine ecosystem, and its distribution is influenced by a number of environmental factors. Geographic information systems represent an innovative approach to spatializing information in the field of ecology in general, and marine ecology in particular.

Our study therefore aims to use GIS to assess the distribution of bluefin tuna in interaction with environmental factors in the Algerian basin over the two decades from 2000 to 2019.

Keywords: Bluefin Tuna (*Thunnus Thynnus*), Spatial Distribution, Environmental factors, SIG, Algerian basin

Résumé

Le thon rouge est une espèce migratrice de haute valeur économique d'ailleurs soutient d'importantes pêcheries dans le monde, en particulier dans la méditerranée. Il occupe une place importante dans l'écosystème marin, sa distribution est influencée par plusieurs facteurs environnementaux. Les systèmes d'information géographique constituent une approche innovante pour la spatialisation de l'information dans le domaine de l'écologie en général, en particulier dans le domaine marine

Notre étude vise donc à l'utilisation du SIG pour évaluer la distribution du thon rouge en interaction avec les facteurs environnementaux dans le bassin algérien durant les deux décennies, de 2000 à 2019.

Mots-clés : Thon rouge (*thunnus thynnus*), distribution spatiale, facteurs environnementaux, SIG, bassin algérien

ملخص

تعتبر التونة ذات الزعانف الزرقاء من الأنواع المهاجرة ذات القيمة الاقتصادية العالية وتدعم مصايد الأسماك المهمة في جميع أنحاء العالم ، لا سيما في البحر الأبيض المتوسط. تحتل مكانة مهمة في النظام البيئي البحري ، ويتأثر توزيعها بعدة عوامل بيئية. تشكل نظم المعلومات الجغرافية نهجًا مبتكرًا لتخصيص المعلومات في مجال البيئة بشكل عام ، ولا سيما في المجال البحري. لذلك تهدف دراستنا إلى استخدام نظم المعلومات الجغرافية لتقييم توزيع التونة ذات الزعانف الزرقاء بالتفاعل مع العوامل البيئية في الحوض الجزائري خلال العقدين من عام 2000 إلى عام 2019.

الكلمات الرئيسية : التونة الزرقاء الزعانف (*thunnus thynnus*) ، التوزيع المكاني، العوامل البيئية، نظم المعلومات الجغرافية، الحوض الجزائري

INTRODUCTION

Le thon rouge de l'Atlantique (*Thunnus thynnus*) est un grand poisson hautement migratoire qui soutient d'importantes pêcheries, capable de tolérer une large gamme de conditions environnementales dans les eaux tropicales et tempérées de l'océan Atlantique et de la mer Méditerranée (Arrizabalaga et al., 2015; Hansell et al., 2022).

L'analyse spatiale de la distribution des espèces marines et de ses relations avec les facteurs environnementaux revêt une importance capitale dans la compréhension des écosystèmes marins et la gestion des ressources halieutiques. Le thon rouge de l'Atlantique (BFT) a toujours connu des changements spectaculaires dans sa distribution spatiale (Fromentin et al., 2014).

Les variables environnementales biotiques et abiotiques affectent la distribution et l'abondance du thon (Arrizabalaga et al., 2015), tels que la température de l'eau, la salinité, la concentration en chlorophylle-a et les courants marins, peuvent influencer la présence et le comportement du thon rouge. L'utilisation des SIG permet de superposer ces variables environnementales avec les données de localisation et de capture du thon rouge, ce qui permet d'identifier les zones préférentielles, les routes migratoires et les habitats essentiels pour cette espèce. Cette approche spatiale offre des outils puissants pour l'évaluation des habitats critiques et la planification de mesures de gestion ciblées.

Cette étude vise donc à utiliser l'analyse spatiale et les SIG pour évaluer la distribution du thon rouge dans le bassin algérien durant les deux décennies de 2000 à 2019, et explorer les liens avec les facteurs environnementaux qui influencent sa distribution. Les résultats obtenus permettront de mieux comprendre le comportement et le déplacement de cette espèce et d'identifier les zones préférentielles pour chaque taille de spécimen. La problématique traitée dans ce sujet porte sur les facteurs déterminant de la distribution du thon rouge dans le bassin Algérien, comprendre des mécanismes déterminant la répartition spatiale de cette espèce. L'étude thon-environnement vise à quatre objectifs :

- Comprendre le comportement et la distribution du thon face à la variabilité des facteurs environnemental.
- Aider les scientifiques pour la gestion des stocks.
- Aider les pêcheurs à pêcher leurs quotas octroyés à courte terme.
- Aider l'autorité compétente à contrôler les pêcheurs.

Afin de résoudre la problématique et d'atteindre nos objectifs fixés, nous avons choisi un plan de travail comme suit : nous avons commencé par une introduction, ensuite premier chapitre établit les généralités d'une part, sur la description de la zone d'étude, d'autre part sur la description sur le thon rouge. Le deuxième chapitre qui porte le titre matériels et méthodes, qui se concentre sur le data base utilisée, ainsi que sur les méthodes d'analyse employées dans l'étude. Le dernier chapitre présente les résultats obtenus et une discussion approfondie sur ces résultats. Enfin en clôture notre étude par une conclusion.

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS

1. Présentation de La zone d'étude

1.1. Situation géographique

notre zone d'étude est situé dans le sud des eaux du bassin occidental de la Méditerranée d'une superficie de 198483,023 km². Elle s'étend entre les latitudes 35° et 40° Nord, et les longitudes 2° Ouest à 8° Est. Ce bassin est bordé à l'ouest par la mer d'Alboran, au nord-ouest par les îles Baléares, et au nord-est par la Sardaigne

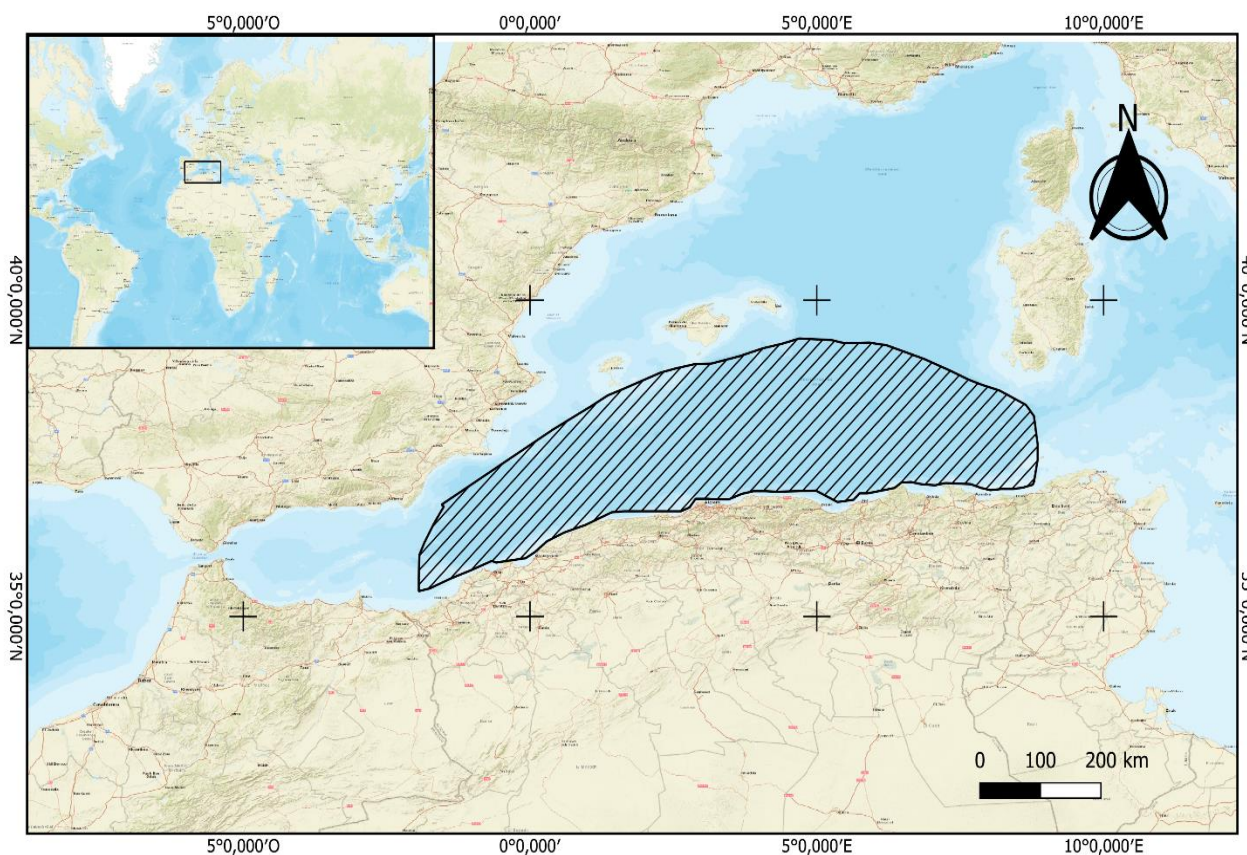


Figure I. 1: Situation géographique de la zone d'étude.

Selon (Hemida, 2005), L'Algérie possède une cote qui s'étend de 1280 km, Environ 10 millions d'hectares de zone maritime sous juridiction nationale sont disponibles pour les activités pêche,

Ainsi la côte peut se diviser en trois grands secteurs (Figure I .3) :

- **Le secteur occidental** : de la frontière algéro-marocaine à l'ouest jusqu'à Ténès à l'est.
- **Le secteur central** : de Ténès à Dellys.
- **Le secteur oriental** : de la zone de Dellys à l'Ouest jusqu'à la frontière algéro-tunisienne à l'Est.

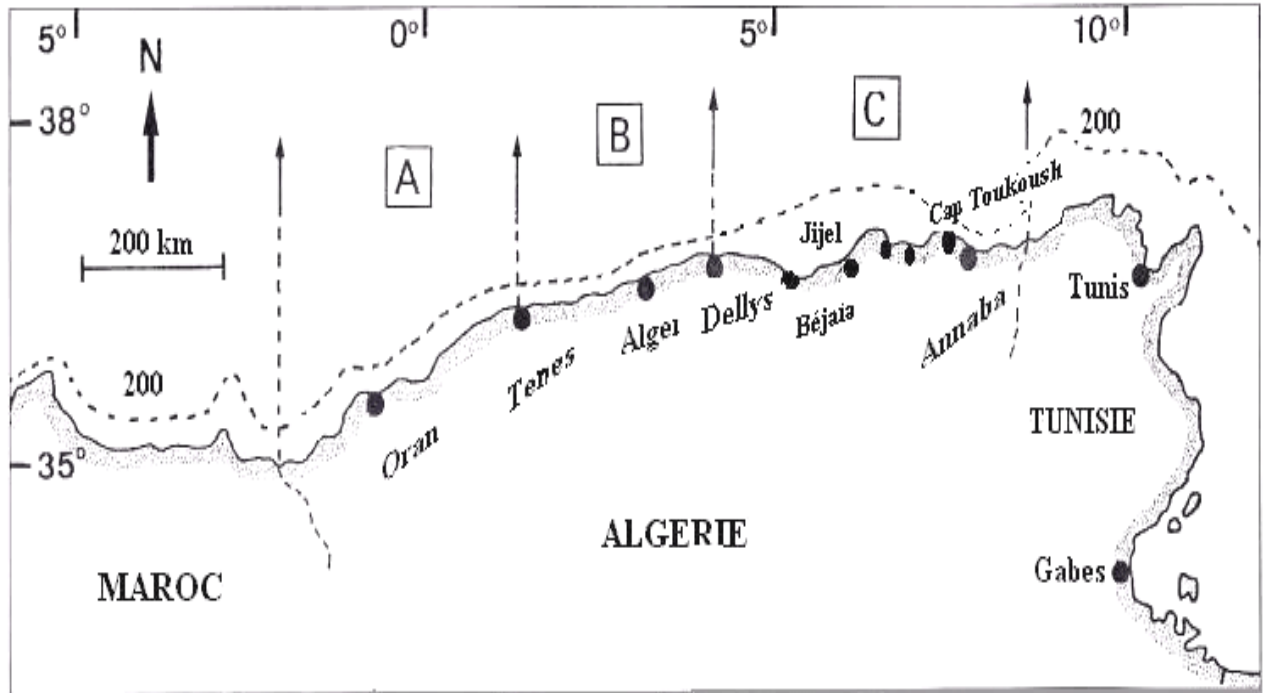


Figure I. 2 : Carte du bassin algérien (A : région Ouest ; B : région Centre ; C : région Est)

(Hemida, 2005)

1.2. Hydrologie

Dans l'aspect hydrologique, le plateau continental algérien baigne dans des eaux principales du bassin méditerranéen occidental. L'hydrologie de la Méditerranée occidentale dépend de l'importance du courant atlantique s'écoulant vers l'est à travers le détroit de Gibraltar. (Hemida, 2005).

1.2.1. Les masses d'eaux

Le bassin algérien caractérisé par quatre types de masse d'eaux (Benzohra and Millot, 1995) :

- L'eau atlantique modifiée (MAW) : une couche superficielle de 150-250 m d'épaisseur avec une température de surface de 15-23°C et de 13.5-14°C en profondeur
- L'eau intermédiaire d'hiver (WIW) : située sous la MAW (150-200m) caractérisée par une température potentielle de 12.65°C à 13.20°C
- L'eau levantine intermédiaire (LIW) : marquée par une température potentielle de 13.2°C à 14°C à 300-400m
- L'eau profonde (Western Mediterranean Deep Water ou WMDW) : est identifiée à partir de 600-700m avec une température de 12.75-12.90°C

1.2.2. Circulation des eaux

La Méditerranée fonctionne comme un modèle réduit d'océan : elle transforme l'eau légère de surface en eau dense et profonde sous l'effet des interactions avec l'atmosphère, assurant ainsi la circulation thermohaline.

La quantité d'eau évaporée de La mer méditerranée est plus importante que celle des apports par précipitation et ruissèlement. Ce déficit est compensé par un courant d'eau atlantique entrant par le détroit de Gibraltar. Les eaux atlantiques de surface se mélangent aux eaux superficielles et lors de leurs progressions vers l'est, ses caractéristiques vont être modifiées par l'interaction avec l'atmosphère et devient une eau atlantique modifiée (MAW). L'augmentation de densité qu'elle subit par évaporation et refroidissement, surtout en période hivernale, entraîne, dans certaines régions, des mouvements de plongée importants. En Méditerranée orientale, ce phénomène conduit à la formation de l'Eau Levantine Intermédiaire (LIW) qui s'écoule par le détroit de Sicile ; en Méditerranée occidentale, LIW participe avec MAW à la formation de l'Eau Profonde Méditerranéenne (MDW)(Millot, 1989).

Dans la mer d'Alboran, les eaux atlantiques modifiées (MAW) s'écoulent vers l'est selon un schéma de circulation anticyclonique permanent, tandis que vers l'ouest suivent un cycle plus variable, principalement anticyclonique. Une partie de ce tourbillon anticyclonique rejoint la côte algérienne près de 0°E (près d'Oran) et prend le nom de courant algérien(Millot, 1985). Ce courant est relativement profond et étroit (30-50 km de largeur), mais devient plus large lors de sa progression vers l'Est (Benzohra and Millot, 1995). Il loge la côte et devient instable à partir de 1-2°E. Les turbulences engendrent des tourbillons côtiers (50-100 km de diamètre) cycloniques et anticycloniques.

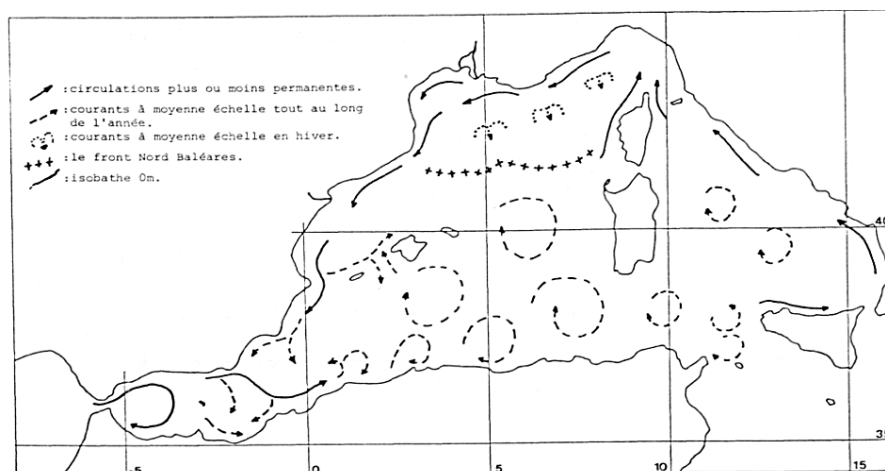


Figure I. 3 : Circulation d'eau modifiée origine atlantique (MAW Modified Atlantic Water)(Millot, 1989)

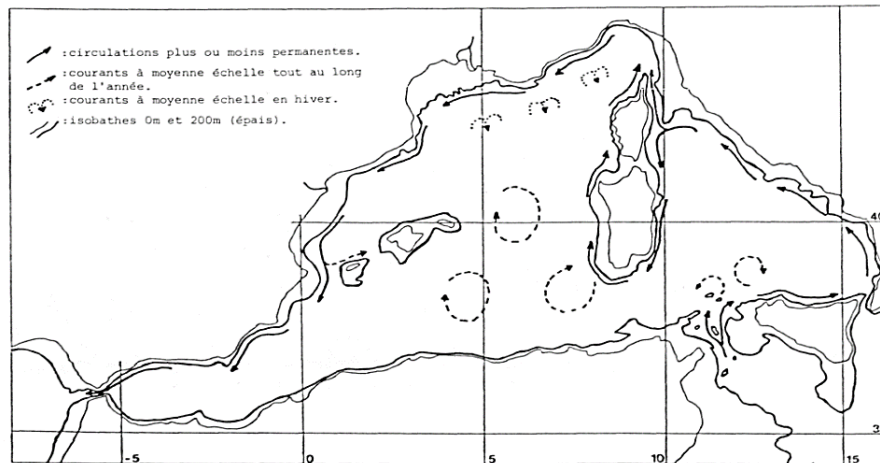


Figure I. 4 : Circulation d'eau levantine intermédiaire (LIW Levantine Intermediate Water) (Millot, 1989)

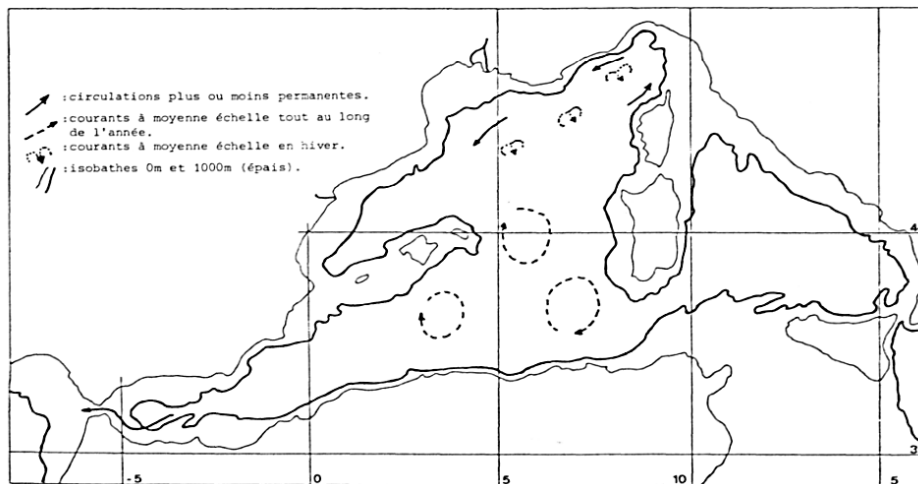


Figure I. 5 : circulation d'eau méditerranéenne profonde (MDW Mediterranean Deep Water) (Millot, 1989)

Le bassin algérien est caractérisé par la présence d'une zone particulière, entre 1° et 4° Est, résultant de l'affrontement de deux masses d'eau créant un front, l'une côtière d'origine atlantique, l'autre située plus au large. Cette zone frontale, située sur le bord Nord du courant algérien, se singularise par une richesse biologique se traduisant par de fortes concentrations de chlorophylle a (de l'ordre de 3 à 5 mg/l) largement supérieures à celles généralement rencontrées en Méditerranée (Haffersas, 1996).

2. Description de l'espèce

2.1. Présentation de l'espèce

Le Thon rouge de l'Atlantique, *Thunnus thynnus* (Linné, 1758) est une espèce pélagique évoluant dans l'Atlantique nord et la Méditerranée (Bruzzese and Rincé, 2019). Il est l'un des plus grand Téléostéens, d'où l'origine probable du nom « thon », que (Heldt, 1926), attribut au mot phénicien « thon » ou « than » désignant « les plus grands animaux aquatiques » (Ravier-Mailly and Fromentin, 2003). Il a un corps fusiforme allongé avec un front plus robuste. Sa taille maximale peut dépasser 4m de long. Son poids maximal officiel est de 726 kg, mais plusieurs pêcheries opèrent dans l'Atlantique Ouest et en Méditerranée ont signalé des poids allant jusqu'à 900 kg (FROMENTIN, 2006; Mather et al., 1995).

2.2. Systématique

Selon (Collette et al., 2001), Le thon rouge est classé comme suit :

- **Embranchement** : Chordés.
- **Sous-embranchement** : Vertébrés.
 - **Super-classe** : Gnathostomes.
 - **Classe** : Ostéichthyens.
 - **Sous-classe** : Actinoptérygiens.
 - **Ordre** : Perciformes.
 - **Sous-ordre** : Scombroïdes.
 - **Famille** : Scombridés.
 - **Genre** : *Thunnus*.
 - **Espèce** : *Thunnus thynnus* (Linné, 1758).

Noms communs :

- **Canada**: Bluefin tuna, Thon rouge.
- **France** : Thon rouge, Ton France, Auhopu.
- **Italie** : Tonno, Ton, Tunnu
- **Japon** : Kuromaguro.
- **Portugal** : Atun, Atunrabil.
- **Maroc** : Thone.
- **Espagne** : Atun, Atunrojo.
- **Tunisie** : Tounahmar.

- **Etats-Unis** : Bluefintuna.

(FROMENTIN, 2006).

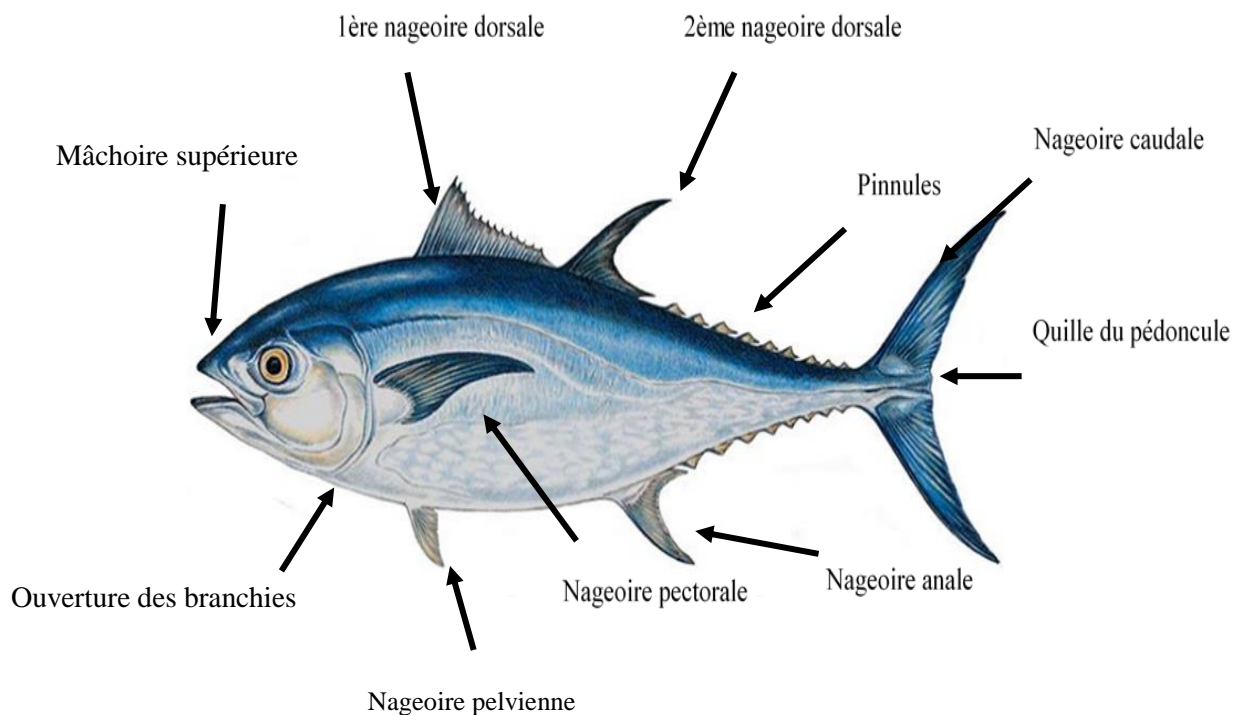


Figure I. 6 : *Thon rouge*, *Thunnus thynnus* (Linné, 1758) (Bruzzese and Rincé, 2019).

2.3. Aire de répartition

2.3.1. Habitat

Le thon rouge évolue dans un écosystème pélagique de tout l'atlantique Nord et ses mers adjacentes, principalement de la Méditerranée (FROMENTIN 2006), il est abondant vers le nord de l'Atlantique Est jusqu'au golfe de Gascogne, devient rare autour des îles britanniques, devenant occasionnel en Islande et sur les côtes de Norvège. On le trouve dans les eaux chaudes et tempérées de l'Atlantique, du Pacifique et de l'océan Indien (Quero et al., 1997).

Des travaux récents semblent converger vers le fait que le thon rouge juvénile et adulte fréquente et se regroupe le long des fronts océaniques (Humston et al., 2000; Royer et al., 2004). Il est probable que cette association est également liée à la recherche de nourriture, le thon rouge s'alimentant dans les abondantes concentrations de proies vertébrées et invertébrées qui peuplent ces zones.

2.3.2. Migration

Le thon rouge de l'Atlantique Nord se dirige vers la Méditerranée pour frayer en Sicile, puis repartait en suivant le même itinéraire (Farrugio, 1981; FROMENTIN, 2006)

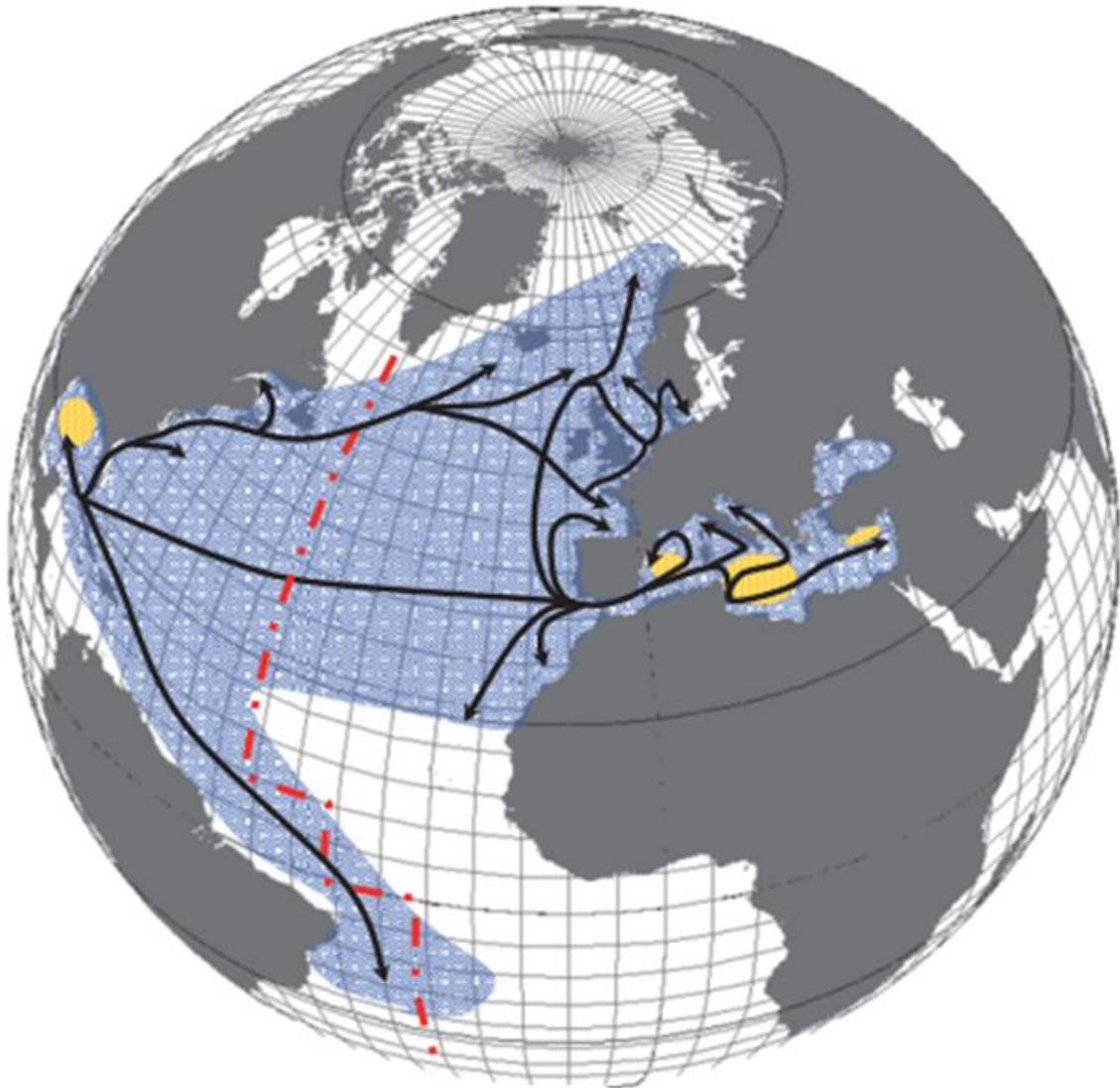


Figure I. 7: Carte montrant l'aire de répartition du thon rouge (bleu), les principales routes migratoires (flèches noires) et les principaux lieux de ponte (zones jaunes) résultant de données des pêcheries actuelles et historiques ainsi que d'informations relatives au marquage traditionnel et électronique. La ligne discontinue verticale représente la délimitation des stocks entre les deux unités actuelles de gestion de l'ICCAT (Fromentin and Powers, 2005)

La migration entre la Méditerranée et l'Atlantique Nord fut acceptée de façon définitive dans les années 60 et 70 en se fondant sur une longue série de recaptures de marques conventionnelles et a été reconfirmée depuis lors par de nombreuses observations (in Dawivedi, 1964 ; Farrogio, 1981 ; Ravier-Mailly, 2003 ; Fromentin, 2006).

La figure I.7, représente la migration du thon rouge. Cette espèce a un comportement de homing (retour au lieu de naissance), ce qui signifie que le thon rouge migre dans des zones spécifiques et bien définies pour frayer (Fromentin et Powers, 2005). Les principales routes migratoires (flèches noires) et les principaux lieux de ponte (zones jaunes). La ligne discontinue verticale (rouge) représente la délimitation des stocks entre les deux unités actuelles de gestion de l'ICCAT (ICCAT, modifiée d'après Fromentin & Powers 2005) (Fig.I.7).

Il y a deux stocks, les stocks de l'est et de l'ouest, représentés ici comme délimités par la ligne pointillée rouge, qui se trouve au méridien 45° dans l'hémisphère nord. Dans l'Atlantique Est, cette espèce est présente de la Norvège aux îles Canaries, en passant par la Méditerranée et la partie sud de la mer Noire, entre 80- 70 ° N et 20-10 ° N. Dans l'Atlantique Ouest, s'étend du Canada au Brésil, y compris le golfe du Mexique et la mer des Caraïbes, entre 60 et 50 ° N et l'équateur (*Programme régional d'observateurs (ROP-BFT) Formation sur le thon rouge 2022, 2022*).

2.3.3. Structure de la population

La compréhension du comportement migratoire du thon rouge est essentielle pour la gestion étant donné que la variabilité spatiale permet de définir les unités de gestion, les stocks et les délimitations. Pour l'instant, l'ICCAT administre le stock de thon rouge en deux unités spatiales séparées par le méridien 45° W (Figure I.7). Cette délimitation a été établie à l'origine pour des raisons de facilité de gestion (Fromentin and Powers, 2005), mais elle a été récemment critiquée dès lors que des données de marquage électronique ont permis d'observer des taux de migration transatlantique supérieurs à ce qu'on avait soupçonné au départ.

2.4. Biologie

2.4.1. Maturité

L'âge de la maturité sexuelle du thon rouge de l'Atlantique (*Thunnus thynnus*) est un point de référence pour l'évaluation et la gestion des stocks (Corriero *et al.*, 2020).

Les études précédentes ont montré que le thon rouge atteint sa maturité à 110-120 cm (25-30 kg) dans l'Atlantique Est et en mer Méditerranée, c'est-à-dire vers l'âge de 4 ans. Les poissons frayant

dans le Golfe du Mexique ont toujours une taille supérieure à 190 cm, ce qui correspondrait à un âge de 8 ans. Cette différence d'âge à maturité entre le thon rouge de l'Atlantique Ouest et de la Méditerranée a été utilisée comme argument de poids pour évoquer la séparation en deux stocks. Des thonidés voisines, comme le thon rouge du Pacifique (*Thunnus orientalis*) et le thon rouge du Sud (*Thunnus maccoyii*), atteignent leur maturité aussi tard que le thon rouge de l'Atlantique Ouest à partir de 8 à 12 ans selon les auteurs, (Caton, 1991; Schaefer, 2001).

2.4.2. Frai et reproduction

la fréquence du frai et la durée de la saison de frai, ainsi que la maturité sexuelle sont des traits clés de l'histoire de vie qui contribuent à déterminer la productivité et la résilience d'une population, et nécessitent une description précise dans l'évaluation des stocks (Brodziak et al., 2015; Lowerre-Barbieri et al., 2016; Maunder and Deriso, 2013).

Comme toutes les espèces de thonidés, le thon rouge est ovipare et itéropare (Schaefer 2001). Il présente un développement asynchrone des ovocytes et est un géniteur à ponte fractionnée (la fréquence de ponte est estimée à 1-2 jour en Méditerranée (Medina et al., 2002)). La production d'œufs dépend de l'âge ou de la taille une femelle de 5 ans produit en moyenne cinq millions d'œufs (de ~ 1 mm), tandis qu'une femelle de 15-20 ans peut porter jusqu'à 45 millions d'œufs (Rodríguez-Roda, 1967a). Il se reproduit dans une petite fenêtre spatio-temporelle au mois de juin dans des zones chaudes de la Méditerranée occidentale et du golfe du Mexique (Ferhani and Bensmail, 2017) .

Le thon rouge fraie lorsqu'il atteint des endroits spécifiques (Mather et al., 1995; Rodríguez-Roda, 1967b). Medina et al., (2002) ont montré que le temps qui sépare l'apparition du poisson migrateur dans le détroit de Gibraltar et la ponte dans la région des Baléares est court et ne dépasse pas quelques semaines. Ce développement gonadique rapide peut être lié à la hausse de température de l'eau. La ponte est fertilisée directement dans la colonne d'eau et la ponte se produit sans soin parental après une période d'incubation de 2 jours.

2.4.3. Croissance

La procédure de détermination de l'âge du thon rouge s'est fondée principalement sur le comptage des marques dans les structures osseuses, (FROMENTIN, 2006). Le comptage des anneaux sur les otolithes, des épines, des vertèbres et des écailles est en effet entravé par plusieurs sources d'erreur telles que la coalescence ou la disparition des premières marques ou, inversement, le marquage multiple dû aux modes de migration (COMPEAN-JIMENEZ et BARD 1980; COMPEAN-JIMENEZ et BARD 1983; CORT 1991; FARRUGIO 1981; MATHER, MASON, et JONES 1995).

La croissance des juvéniles est rapide pour un poisson téléostéen (environ 30 cm/an), mais légèrement plus lente que celle d'autres thonidés et istiophoridés (Fromentin and Fonteneau, 2001). Les poissons nés en juin mesurent environ 30-40 cm et pèsent environ 1 kg en octobre. Un an plus tard, ils atteignent près de 4 kg et 60 cm (Mather et al., 1995).

2.4.4. Régime alimentaire

Comme le font un grand nombre de poissons marins, les larves de thon rouge se nourrissent principalement de petit zooplancton, surtout des copépodes et des nauplii de copépodes (UOTANI et al. 1990). Comme la plupart des prédateurs, les juvéniles et adultes de thon rouge sont des chasseurs opportunistes. (Chase 2002) a cité la présence de plus de 20 espèces de poisson et d'environ 10 espèces d'invertébrés dans l'estomac du thon rouge. Son régime alimentaire peut également comprendre des méduses et des salpes, ainsi que des espèces démersales et sessiles telles que les poulpes, les crabes et les éponges. En général, les juvéniles s'alimentent surtout de crustacés, de poissons et de céphalopodes, tandis que les adultes se nourrissent principalement de poisson, surtout de hareng, anchois, lançons, sardine, sprat, tassergal et maquereau (Ortiz de zarate et cort 1986; eggleston et bochenek 1990) .

Selon Le contenu de l'estomac du thon rouge présente cependant la prédominance d'une ou de deux espèces proies telles que le hareng et le lançon dans l'Atlantique Ouest ou l'anchois dans l'Atlantique Est et la Méditerranée. Aucune relation claire n'a pu être établie entre les tailles des proies et du thon rouge ; le thon rouge de petite et de grande taille présente le même spectre de proie par taille . Chase, (2002) a signalé que les proies les plus grandes (de plus de 40 cm) ne sont consommées que par les thons rouges géants (> 230 cm).

2.4.5. Recrutement

Les larves de poisson (environ 3-4 mm) sont typiquement pélagiques et présentent un sac vitellin ainsi qu'une forme corporelle relativement peu développée. Le sac vitellin est absorbé en quelques jours. On ne sait pas grand-chose des effets de la structure par âge sur le stock reproducteur, de la condition des géniteurs, de la viabilité des recrues, mais des études récentes menées sur les poissons de fond ou des rochers ont montré que ce rapport peut être crucial pour les espèces de poisson qui ont une grande longévité (cardinale et arrhenius 2000a; marteinsdottir et begg 2002; berkeley, chapman, et sogard 2004; birkeland et dayton 2005).

2.4.6. Principale réglementation de gestion

En 1981, la Commission (ICCAT) Commission Internationale pour la Conservation des Thonidés de l'Atlantique, avait établi un « niveau de surveillance scientifique » pour le stock de l'Atlantique Ouest, c'est-à-dire, un TAC qui avait été négocié au sein de la Commission. L'objectif de cette

mesure était de fixer un niveau suffisamment bas pour amorcer le rétablissement du stock. En 1998, l'ICCAT adopta un programme de rétablissement pour l'Atlantique Ouest prévoyant que la biomasse des adultes, en présence d'une production maximale équilibrée, devait être atteinte en 2018 avec une probabilité égale ou supérieure à 50 %. Ce programme prévoit que le TAC pour ce stock devrait se situer à 2 500 tonnes (+/- 200 tonnes selon l'avis ultérieur du SCRS).

CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES

1. Matériels

1.1. Données

Notre étude se focalise sur l'analyse spatiale de la distribution du thon rouge *Thunnus thynnus* (Linnaeus, 1758) en relation avec les facteurs environnementaux. Afin d'accomplir cela, nous avons besoin de données environnementales et halieutiques. Nous avons sélectionné plusieurs paramètres environnementaux, tels que la salinité, la température, la chlorophylle, la vitesse du courant, l'oxygène dissous, la hauteur des vagues, ainsi que les concentrations en NO₃ et O₂. Le choix de ces paramètres environnementaux s'est basé sur des études ayant prouvé l'importance de ces facteurs dans la distribution de *T. thynnus* (Schick *et al.*, 2004; Damalas et Megalofonou, 2012; Fromentin *et al.*, 2014; Benyahia *et al.*, 2021). De plus, nous avons également collecté des données biologiques incluant le poids et la taille de l'espèce.

1.1. La collecte des données

Les données halieutiques sont obtenues auprès du Ministère de la Pêche et des Productions Halieutiques ainsi que de l'ICCAT (Commission Internationale pour la Conservation des Thonidés de l'Atlantique)

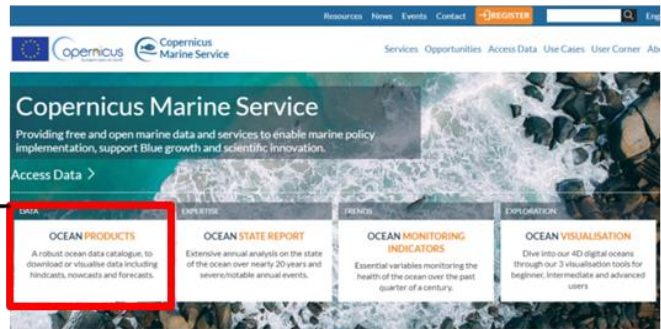
Les données environnementales sont collectées de manière rigoureuse à partir de la base de données Copernicus Marine. Il s'agit d'une plateforme de données océanographiques fournissant des informations sur l'état de l'océan et des mers de la Terre, utilise des observations satellitaires, des mesures in situ et des modèles numériques pour fournir des données sur des paramètres tels que la température de l'eau, la salinité, les courants océaniques, et bien d'autre encore.

La collecte des données s'effectue en respectant les étapes suivantes.

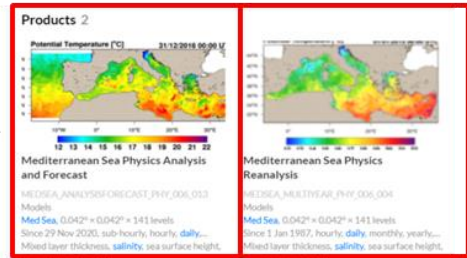
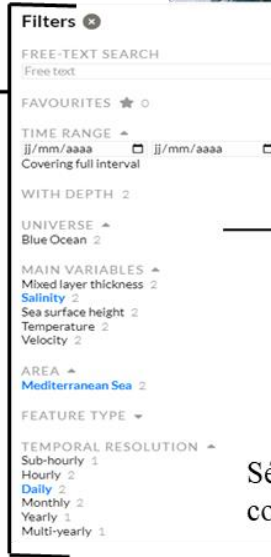
1. Accéder à la base des données Copernicus Marine service pour télécharger les produits océaniques
2. Choisir et sélectionner le type des données à traiter (zone et résolution temporelle)
3. Dans la fenêtre affichée, insérer les coordonnées de la zone d'étude (35.3647009°N, 2.072496602°O et 39.372954°S, 8.78663296°E)
4. Choisir la période (jour-mois-année)
5. Sélectionner la profondeur
6. Enfin cliquer sur « télécharger »

Étape 1

Accédez à la base de données en suivant ce chemin : Copernicus > Copernicus Marine Service > Access data > Ocean product), afin de télécharger les produits océaniques.



sélectionner avec précision la donnée à traiter en filtrant notamment par la surface (dans ce cas-ci, la Mer méditerranée) et la résolution temporelle



Sélectionner le résultat qui convient.

4_ Téléchargement de la donnée
Fichier format NetCDF
(Network Common Data Form)

1_ Insertion des coordonnées de la zone d'étude (35.3647009°N, 2.072496602°O et 39.372954°S, 8.78663296°E)

2_ La période (jour-mois-année)

3_ La profondeur

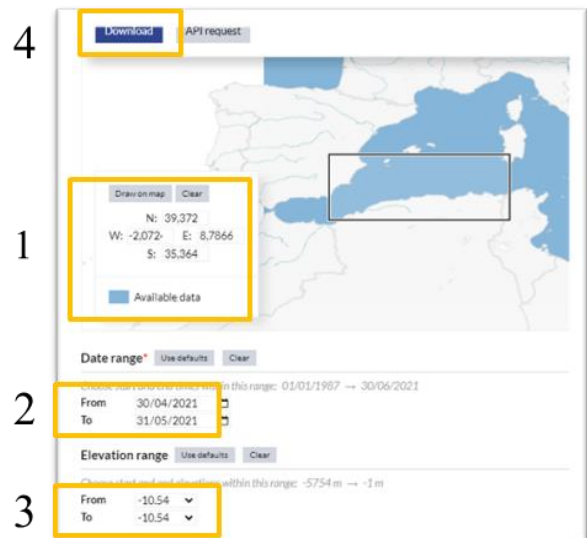


Figure II. 1: Schémas représentant les étapes de la collecte des données à partir de la base de données Copernicus Marine

Tableau II.1: Caractéristique des paramètres environnementaux.

	Salinité et T(2000-2021)	Salinité et T(2022)	Ammonium, Ph, O ₂ , Chl,PPN,NO ₃ ,PO ₄ (2000-2020)	Ammonium, Ph, O ₂ , Chl,PPN,NO ₃ ,PO ₄ (2021-2022)
Nom	Réanalyse physique de la mer Méditerranée	Analyse et prévision de la physique de la mer Méditerranée	Réanalyse biogéochimique de la mer Méditerranée	Analyse et prévision de la biogéochimie de la mer Méditerranée
Identifiant du produit	MEDSEA_MULTIYEAR_PHY_006_004	MEDSEA_ANALYSISFORECAST_PHY_006_013	MEDSEA_MULTIYEAR_BGC_006_008	MEDSEA_ANALYSISFORECAST_BGC_006_014
Sources	Modèles numériques	Modèles numériques	Modèles numériques	Modèles numériques
Extension spatiale	Mer Méditerranée Lat 30.18 ° à 45.98 ° Lon -6 ° à 36.3 °	Mer Méditerranée Lat 30.18 ° à 45.98 ° Lon -6 ° à 36.3 °	Mer Méditerranée Lat 30.18 ° à 45.98 ° Lon -5.54 ° à 36.3 °	Mer Méditerranée Lat 30.18 ° à 45.98 ° Lon -5.54 ° à 36.3 °
Résolution spatiale	0.042° × 0.042° 4.2km	0.042° × 0.042° 4.2km	0.042° × 0.042° 4.2km	0.042° × 0.042° 4.2km
Résolution temporelle	Quotidien	Quotidien	Quotidien	Quotidien
Niveau de traitement	Niveau 4	Niveau 4	Niveau 4	Niveau 4
Types de fonctionnalité	Grille	Grille	Grille	Grille
Projection	WGS 84 (EPSG 4326)	WGS 84 (EPSG 4326)	WGS 84 (EPSG 4326)	WGS 84 (EPSG 4326)
Assimilation de données		Profils TS in situ au niveau de la mer SST	Satellite Chlorophylle	Nutriments (O ₂ NP) Satellite Chlorophylle
Format	NetCDF-4	NetCDF-4	NetCDF-4	NetCDF-4
Centre d'origine	CMCC(Italie) The Euro-Mediterranean Center on Climate Change (CMCC)	CMCC(Italie)	OGS(Italie)	OGS(Italie)
Unité	T(°C)	T(°C)	Chl-a et ppn (mg/m ³) O ₂ +PO ₄ +NH ₄ +NO ₃ (mmol/m ³)	Chl-a et ppn (mg/m ³) O ₂ +PO ₄ +NH ₄ +NO ₃ (mmol/m ³)

1.2. Traitement des données

Après avoir téléchargé les données, la prochaine étape consiste à effectuer l'extraction des données en utilisant le logiciel **QGIS (Quantum Geographic Information System)**, un logiciel de système d'information géographique open-source qui permet la visualisation, l'analyse et la gestion de données géospatiales. Il est disponible gratuitement et peut être utilisé pour une variété de tâches telles que la cartographie, la géodésie, l'analyse spatiale et la création de modèle SIG. L'extraction des valeurs d'un paramètre environnemental est réalisée à des points choisis dans tout le bassin algérien de d'est en ouest. Chaque point est identifié par ses coordonnées de longitude et latitude ainsi qu'un (ID) 'identifiant attribué à chaque point'.

L'extraction des valeurs des paramètres est effectuée en suivant les étapes suivantes :

1. Lancez le logiciel QGIS. Dans la barre d'outils, cliquez sur l'option "Couche".
2. Importez les fichiers contenant les points et les paramètres environnementaux.

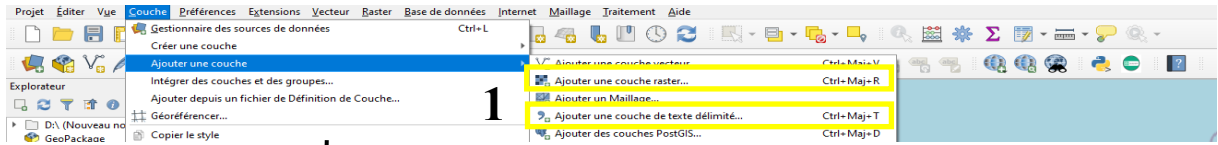
Couche > ajouter une couche de texte délimité >pour le fichier des points

Couche > ajouter une couche raster >pour les paramètres

3. Accédez à la boîte à outils en cliquant sur l'icône correspondante dans la fenêtre de traitement.
4. Sélectionnez l'option "Prélèvement des valeurs rasters vers ponctuels".
5. Dans la fenêtre qui apparaît, choisissez les données appropriées, notamment la couche source, la couche raster et l'emplacement des résultats

Étape 2

Ouvrir logiciel QGIS

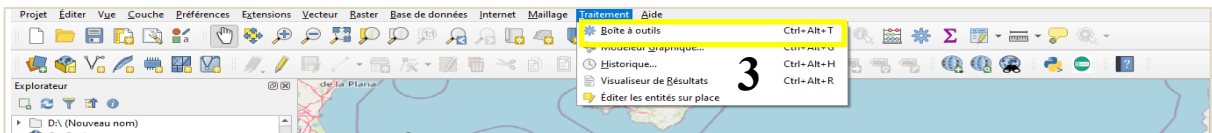
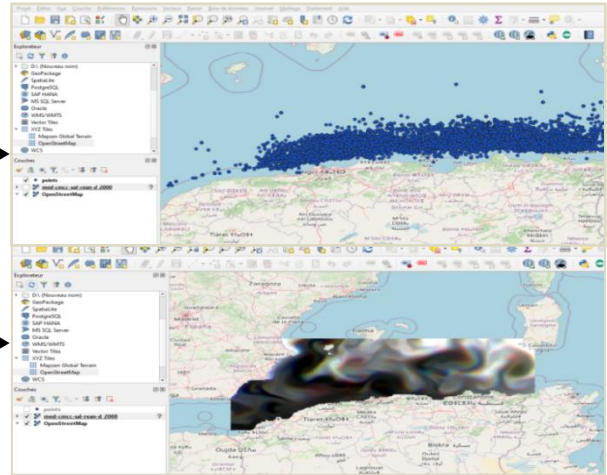


Importer le fichier des points géoréférencé (représenter par une couche vecteur)

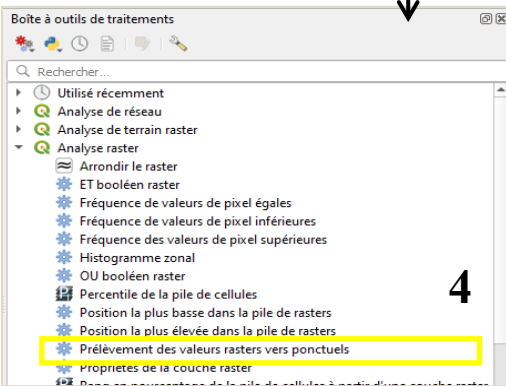
- Couche > ajouter une couche de texte délimité >

Les fichiers téléchargés des paramètres environnementales (représentés par une couche raster)

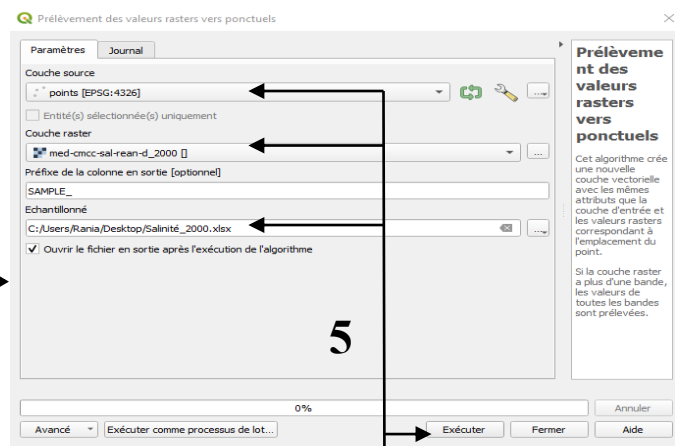
2



3



4



5

Fid	Espèce	LatY	LonX	Paramètres			
1	BFT	Y1	X1	T	S1
2	BFT	Y2	X2	T	S2
3	BFT	Y3	X2	T	S3
...

Sélectionner la couche source (points), la couche raster (exemple : salinité) et l'emplacement de fichier de sortie (format de fichier .xlsx) puis appuyer sur exécuter pour faire l'extraction des valeurs

Résultat de prélèvement des valeurs rasters vers ponctuels

Figure II. 2 : Schémas représentant les étapes de traitement des données à l'aide de QGIS

Tableau II.2: Valeurs des parametres environnementaux obtenues apres le traitement des données

Années	Lt	Wt	Chl a	NO3	O2	S	T	Crrtspd	Ht Vg
	(cm)	(kg)	(mg.m-3)	(mmol.m-3)	(mmol.m-3)	(PSU)	(c)	(m/s)	(m)
2000	185,5580	120,9889	0,1416	0,0169	236,9918	36,6672	18,8646	0,1756	1,1082
2001	181,7125	115,7632	0,1267	0,0212	238,2997	36,8033	18,3278	0,2662	1,0200
2002	170,9857	112,4506	0,1196	0,0224	238,8148	36,7066	18,5320	0,2012	1,2220
2003	179,3601	120,2930	0,1275	0,0191	238,7087	36,7591	18,4813	0,2345	1,0137
2004	172,2109	109,5399	0,1264	0,0242	243,1193	36,8908	17,2002	0,2227	1,0921
2005	251,0217	245,0915	0,1166	2,1492	235,1385	37,7635	19,8626	0,1568	0,8561
2006	162,9582	108,4145	0,1403	0,1121	237,1804	37,0817	18,9049	0,1948	1,0291
2007	164,4893	107,7751	0,1206	0,0200	235,7713	36,7920	18,9806	0,2936	1,3197
2008	156,2771	100,9867	0,1057	0,0257	237,1209	37,0355	18,5116	0,2192	1,2109
2009	147,1883	81,9906	0,1427	0,0190	240,2898	36,8895	18,5918	0,2635	0,9024
2010	251,3333	270,2500	0,1809	2,4533	236,1868	38,0396	20,6813	0,1175	0,4153
2011	254,8747	238,4059	0,1485	2,7437	229,1726	37,7364	21,2484	0,1518	0,5310
2012	229,2639	194,8750	0,4564	0,9072	237,5474	37,7739	20,9779	0,0804	0,4042
2013	241,8760	215,0155	0,2716	0,6364	234,4493	37,8007	19,7847	0,0972	0,7885
2014	212,9928	174,3978	0,3899	0,7068	233,8723	37,1747	20,5333	0,1719	0,3809
2015	224,8575	187,7453	0,4015	1,0572	234,4540	37,6555	22,0239	0,1294	0,4068
2016	227,6921	193,9173	1,3639	1,2881	251,4720	36,5535	18,7257	0,1178	0,4196
2017	225,1806	184,0761	0,4997	0,6736	237,2817	37,5260	19,4417	0,1076	0,3898
2018	225,4700	182,6017	0,3813	0,6624	239,6551	37,7572	19,5720	0,1330	0,7064
2019	179,6591	121,9099	0,3117	0,3859	248,8337	37,7572	19,5720	0,1330	0,7064

2. Méthodes

Les logiciels qui sont utilisés pour mener les analyses suivantes sont les suivants :

Logiciel	Version	Présentation de logiciel
Quantum GIS	3.28.1	Quantum GIS est un SIG libre au téléchargement, multiplateforme, il gère les formes raster et vecteur, ainsi que les bases de données. Caractérisé par : Sa gratuité, son interopérabilité (accepte plusieurs formats GRASS GIS, GEOTIFF, TIFF, JPG, etc.)
Microsoft Excel	2019	Excel est un logiciel de la suite bureautique Office de Microsoft et permet la création de tableaux, de calculs automatisés, de plannings, de graphiques et de bases de données.
XLSTAT	2018	XLSTAT est un logiciel statistique qui permet d'analyser des données à travers une gamme variée de techniques statistiques. Il peut également traiter des données multivariées et des analyses factorielles.
Origin Pro	2021	Origin est un logiciel de statistiques et de graphisme pour la recherche scientifique. Il est utilisé pour l'analyse de données, la modélisation statistique et la présentation graphique de résultats. Origin offre une variété d'outils d'analyse des données,

2.1. Analyse temporelle

2.1.1. Statistique descriptive

La statistique descriptive est une branche des statistiques qui vise à décrire et à résumer les caractéristiques clés d'un ensemble de données. Elle fournit des méthodes pour organiser, résumer et visualiser les données à travers des mesures telles que la moyenne, la médiane, l'écart-type, la variance, etc.

2.1.2. L'analyse en composantes principales (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) est une technique d'analyse multivariée qui permet de réduire la dimensionnalité d'un ensemble de données en trouvant les combinaisons linéaires des variables qui expliquent le plus de variance dans les données. En d'autres termes, l'ACP permet de transformer un grand nombre de variables en un nombre réduit de variable (appelées composantes principales) tout en conservant autant que possible d'information contenue dans les données d'origine. L'ACP est souvent utilisée pour explorer les relations entre les variables, pour visualiser les données dans un espace de dimension réduite.

2.2. Analyse spatiale

L'analyse spatiale est une méthode de traitement de l'information géographique qui permet d'extraire de nouvelles connaissances à partir des données spatiales d'origine. Pour effectuer cette analyse, on réalise deux étapes essentielles à l'aide de QGIS.

- L'interpolation spatiale
- L'analyse de régression multiple

2.2.1. L'interpolation spatiale

L'interpolation spatiale est une méthode utilisée pour estimer les valeurs de points inconnus en se basant sur des points avec des valeurs connues. Dans notre étude, nous utilisons la méthode suivante.

➤ **Pondération par l'Inverse de la Distance (IDW)**

Dans la méthode d'interpolation IDW, les points d'échantillons sont pondérés durant l'interpolation de telle sorte que l'influence d'un point par rapport à un autre décline avec la distance du point inconnu que vous voulez créer. La pondération est appliquée à un échantillon de points par le biais de l'utilisation d'un coefficient de pondération qui contrôle comment l'influence de la pondération diminuera quand la distance augmente. Plus le coefficient de pondération est grand, moins les points auront d'effet s'ils sont loin du point inconnu durant le processus

d'interpolation. Quand le coefficient augmente, la valeur du point inconnu s'approche de la valeur du point d'observation le plus proche.

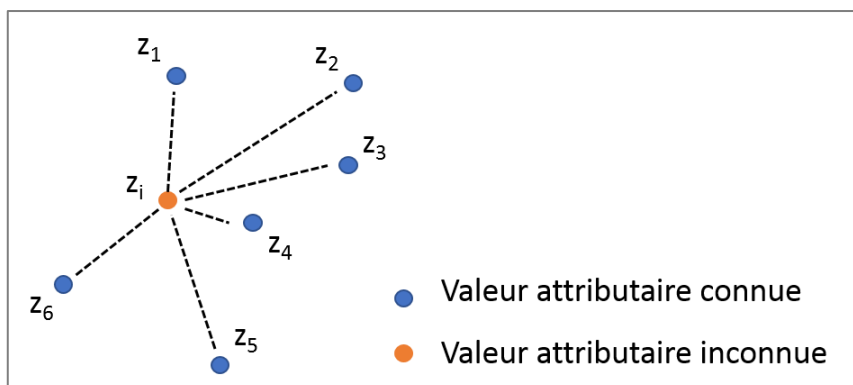
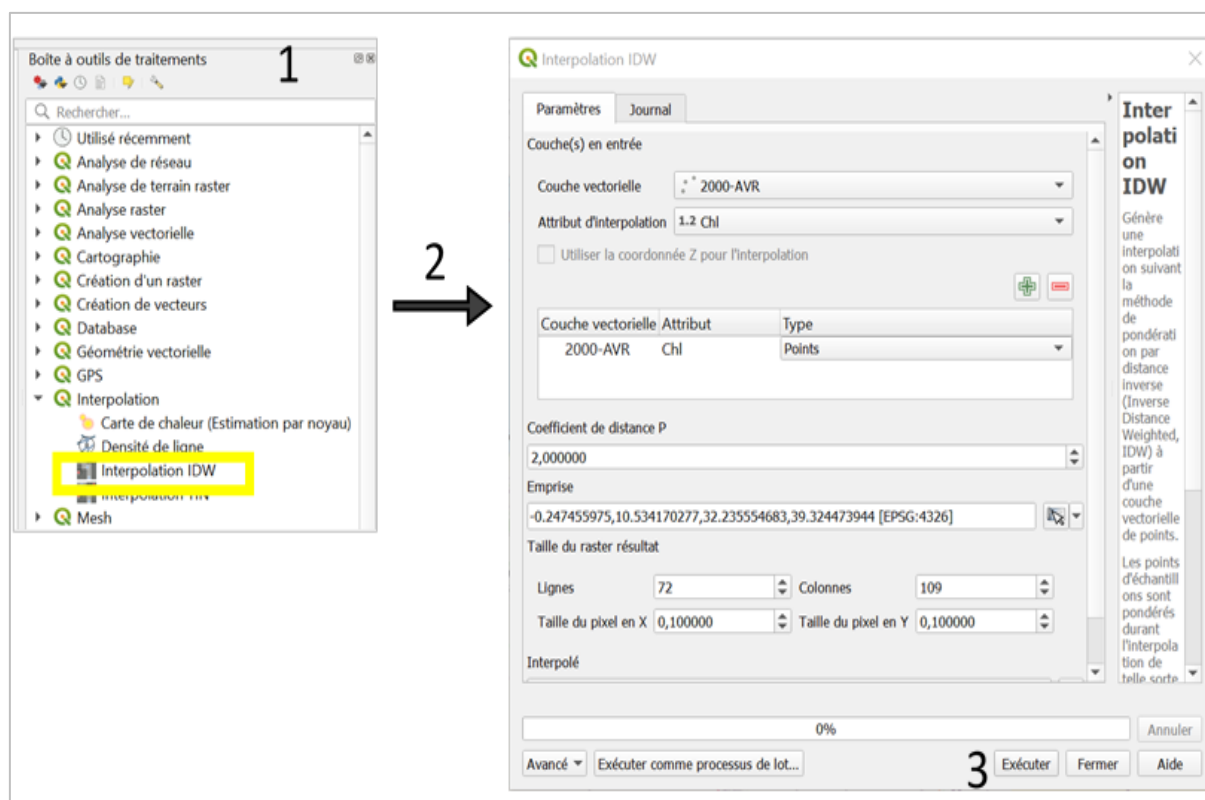


Figure II. 3: Interpolation par pondération par l'inverse de la distance (IDW) basée sur la distance pondérée d'un jeu de points

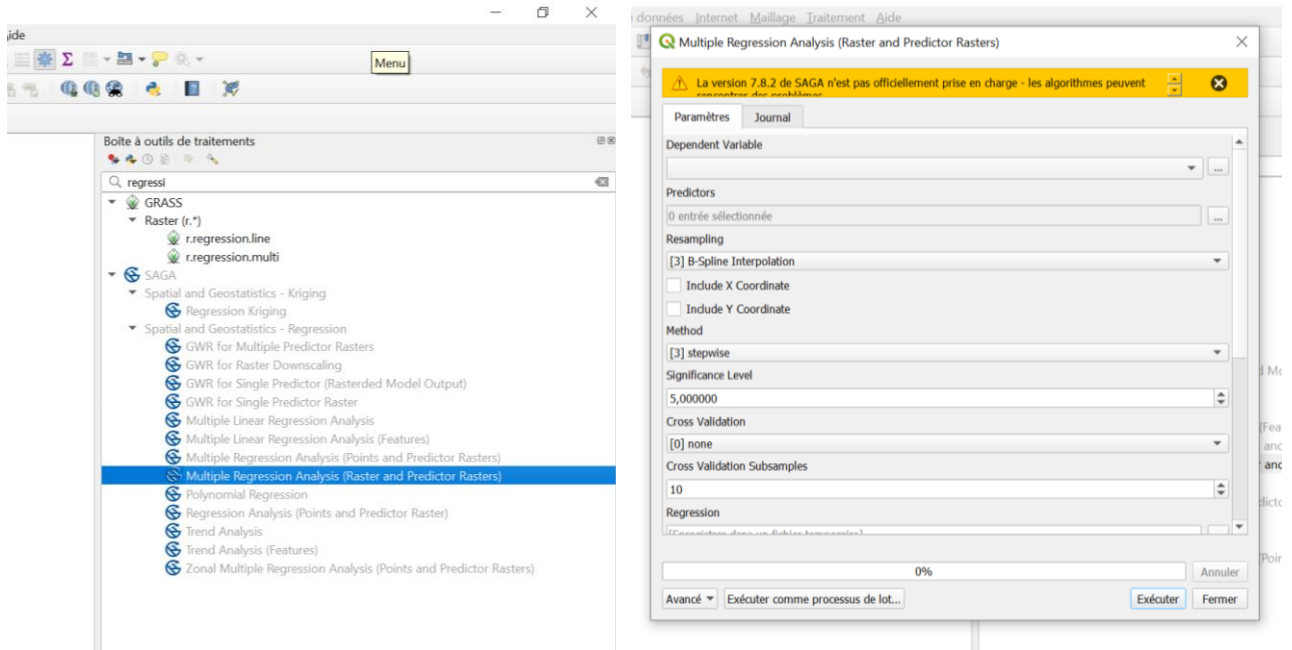


L'interpolation IDW se fait dans le logiciel QGIS comme suit :

1. Ouvrir le logiciel QGIS, accéder à la « boîte à outils de traitement » qui se trouve dans la fenêtre « traitement »
2. Dans la fenêtre apparait sélectionner la couche vectorielle, l'attribut d'interpolation (le paramètre ex : chlorophylle), l'emprise et la taille de raster (lignes et colonnes).
3. Cliquer sur « exécuter ».

2.2.2. L'analyse de régression linéaire multiple

L'analyse de régression multiple dans QGIS est une méthode statistique utilisée pour étudier la relation entre une variable dépendante continue et plusieurs variables indépendantes. Elle permet de modéliser et de prédire la valeur d'une variable cible en fonction de plusieurs autres variables explicatives.



CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

1. Résultats

Après avoir appliqué une analyse statistique et temporelle aux données, les résultats suivants ont été obtenus.

1.1. Analyse statistique

1.1.1. Statistique descriptive

Les statistiques descriptives jouent un rôle déterminant dans l'étude de la répartition du BFT en fonction des facteurs environnementaux. Cette technique permet de quantifier, analyser et résumer les variables étudiées, offrant ainsi des informations de la relation entre eux.

Tableau III.3 : statistiques descriptives.

Statistique	Lt	Wt	Chl a	N03	O2	S	T	Crrtspd	Ht Vg
Nb. D'observations	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Minimum	147,188	81,991	0,106	0,017	229,173	36,553	17,2	0,08	0,381
Maximum	254,875	270,25	1,364	2,744	251,472	38,04	22,024	0,294	1,32
1er Quartile	171,905	111,723	0,127	0,022	235,613	36,801	18,577	0,127	0,419
Médiane	199,275	148,154	0,146	0,511	237,231	37,128	19,211	0,164	0,822
3ème Quartile	228,085	194,157	0,383	0,945	239,025	37,757	20,03	0,22	1,045
Moyenne	202,248	159,324	0,284	0,697	238,218	37,258	19,441	0,173	0,796
Variance (n-1)	1259,236	3119,205	0,082	0,737	24,901	0,24	1,384	0,004	0,105
Ecart-type (n)	34,587	54,436	0,279	0,837	4,864	0,478	1,147	0,06	0,316
Coefficient de variation	0,171	0,342	0,983	1,2	0,02	0,013	0,059	0,345	0,397

Le tableau III.3 présente une synthèse des statistiques descriptives de neuf variables étudiées à savoir : le poids total, la longueur totale, la salinité, la température, l'oxygène dissous, la teneur en chlorophylle, la teneur en nitrate, la vitesse du courant, la hauteur des vagues de paramètres environnementaux relevées à plusieurs points le long de la côte algérienne, ainsi deux variables (poids et taille) représentant les paramètres biologiques de l'espèce de thon rouge (BFT).

Les Q-Q plots de la Figure III.1 illustrent la comparaison graphique entre les quantiles observés et les quantiles théoriques. Les points représentant chaque variable montrent une tendance linéaire approximative le long de la diagonale. Cette observation suggère que la distribution des données suit la loi normale.

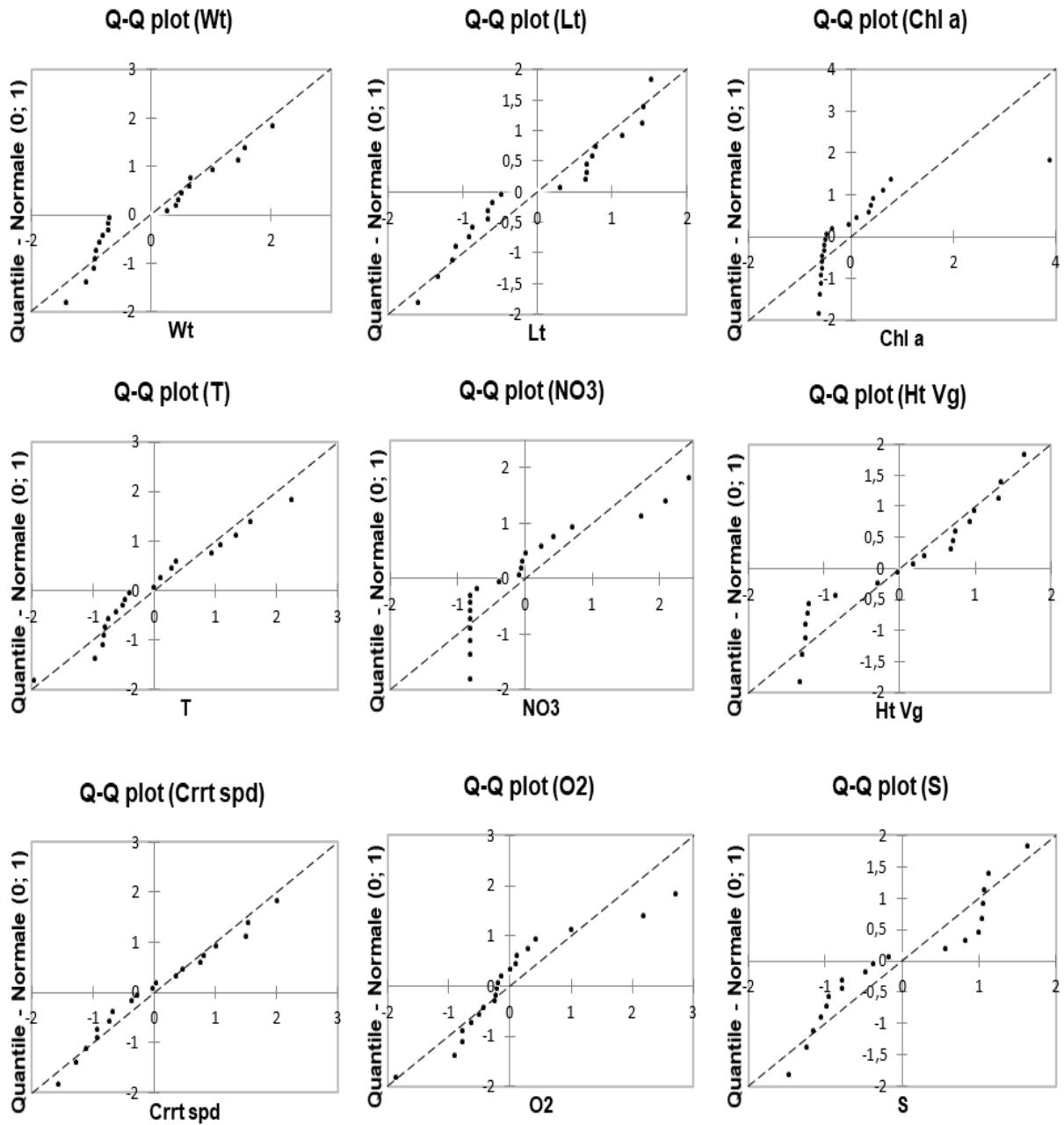


Figure III. 1: Diagramme Quantile-Quantile de la distribution des variables environnementaux.

1.1.2. L'analyse en composantes principales (ACP)

L'analyse en composantes principales nous a permis d'extraire de nombreuses informations intéressantes de l'ensemble de données collectées.

Cette technique statistique multivariée permet de réduire la dimensionnalité des données en identifiant les combinaisons linéaires les plus importantes parmi un ensemble de variables environnementales

Tableau III.4 : Valeurs propres.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
Valeur propre	5,581	1,880	0,556	0,473	0,264	0,122	0,073	0,040	0,011
Variabilité (%)	62,007	20,884	6,175	5,259	2,936	1,354	0,811	0,447	0,127
% cumulé	62,007	82,891	89,066	94,325	97,261	98,615	99,426	99,873	100,000

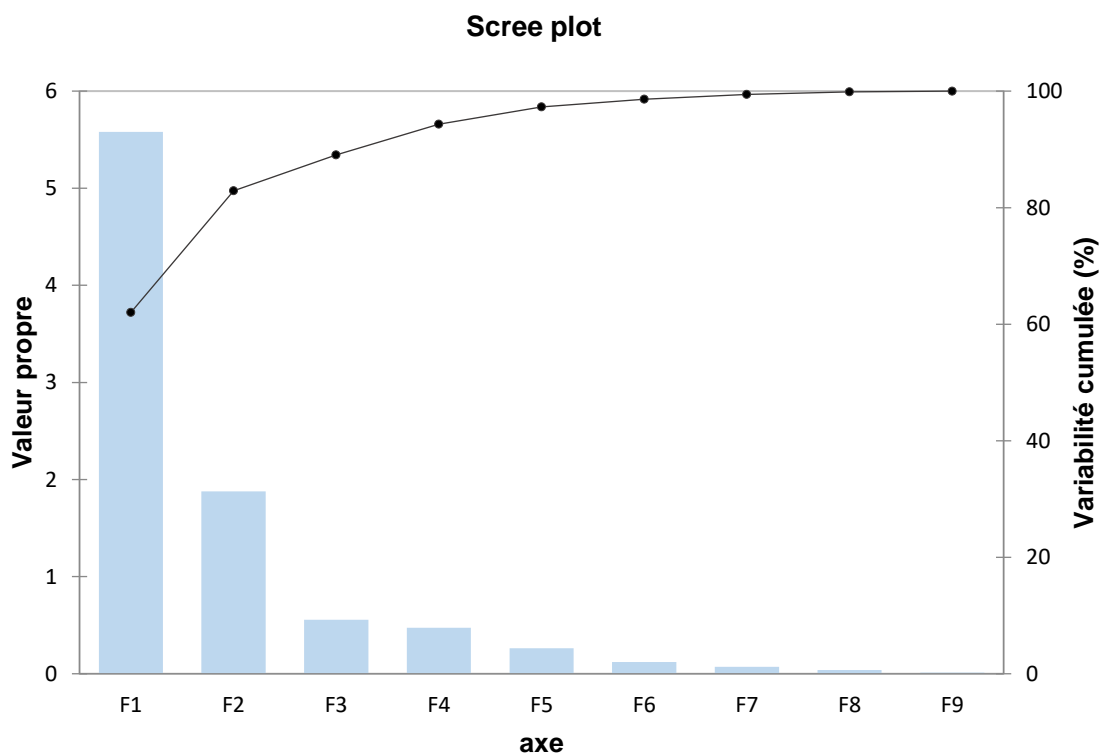


Figure III. 2:Visualisation des données avec facteur

D'après le tableau III.4 et la figure III.2 on a constaté que les deux premières composantes principales sont F1 et F2 car, elles représentent un pourcentage d'inertie de 62% et 20,88% respectivement. D'ailleurs les deux facteurs représentent le meilleur plan de représentation graphique avec un pourcentage d'inertie 82,89%.

Tableau III.5 : Matrice de corrélation.

	Lt	Wt	Chl a	NO3	O2	S	T	Crrtspd	Ht Vg
Lt	1	0,97914	0,35518	0,85647	-0,29861	0,70867	0,7083	-0,7807	-0,74908
Wt	0,97914	1	0,29257	0,91077	-0,32186	0,73489	0,7104	-0,74181	-0,72043
Chl a	0,35518	0,29257	1	0,20064	0,55999	-0,0657	0,12953	-0,50546	-0,58806
NO3	0,85647	0,91077	0,20064	1	-0,30734	0,64946	0,67769	-0,55708	-0,63777
O2	-0,29861	-0,32186	0,55999	-0,30734	1	-0,33249	-0,49578	-0,02886	0,01778
S	0,70867	0,73489	-0,0657	0,64946	-0,33249	1	0,73707	-0,69691	-0,5993
T	0,7083	0,7104	0,12953	0,67769	-0,49578	0,73707	1	-0,62332	-0,72821
Crrtspd	-0,7807	-0,74181	-0,50546	-0,55708	-0,02886	-0,69691	-0,62332	1	0,77615
Ht Vg	-0,74908	-0,72043	-0,58806	-0,63777	0,01778	-0,5993	-0,72821	0,77615	1

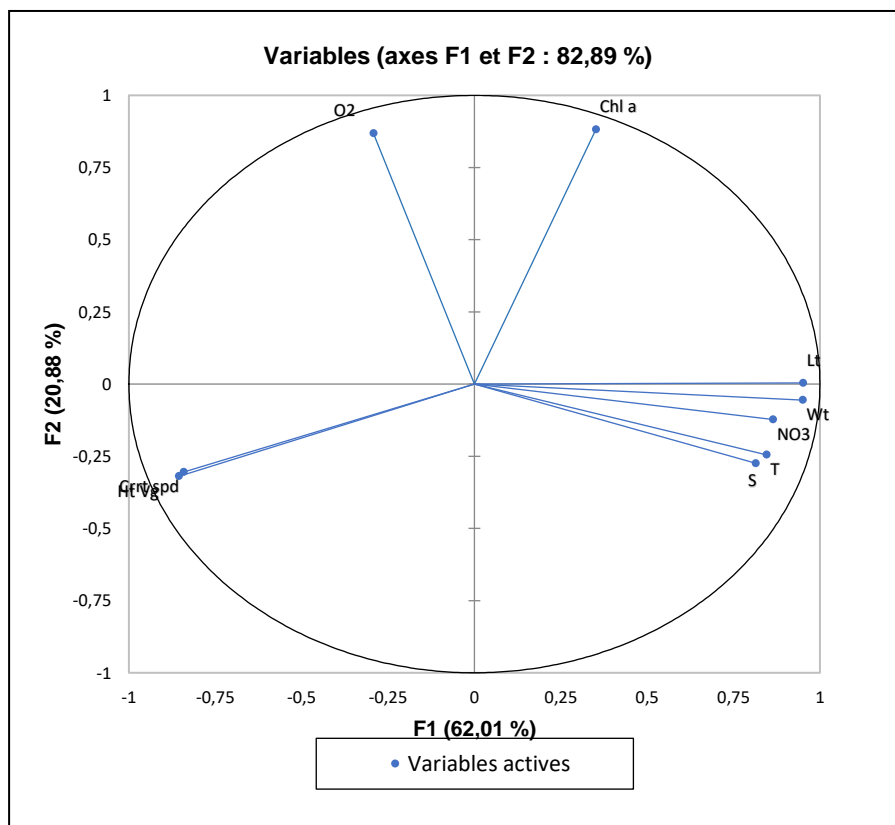


Figure III.3: Cercle de corrélation entre les variables.

La figure III.3 et le tableau III.5 expliquent la relation qui existe entre facteurs. En regardant le cercle de corrélation on remarque que certaines variables sont fortement corrélées.

La longueur totale (Lt) caractérise par une corrélation positive par rapport à son poids (Wt) avec un coefficient de corrélation $r=0.979$, ainsi qu'avec les trois paramètres suivants : température,

salinité et nitrates (NO₃) avec des coefficients de corrélation respectivement ($r=0.7083$, $r=0.7086$ et $r= 0.8564$). Ces résultats révèlent une corrélation peu significative entre la longueur totale et la concentration de *chl-a*, ainsi qu'avec la teneur en d'oxygène dissous (O₂) avec un coefficient de corrélation respectivement ($r=0,35518$, $r=-0,29861$). En revanche une forte corrélation opposée entre le poids totale et les deux paramètres environnementaux par rapport aux facteurs de la hauteur des vague (Ht) et la vitesse des courant (Crrtspd) avec un coefficient de corrélation $r= -0.749$ et $r= -0.78$.

1.2.Analyse temporelle

Les résultats de tableau III.1 révèle que les valeurs moyennes du poids et de la taille du thon rouge sont (159,53 Kg ; 202,24 cm) respectivement.

Les résultats de l'analyse temporelle figurant dans la Figure III.4 ont clairement montré une corrélation significative entre les paramètres de croissance du (*Thunnus thynnus*) avec les facteurs environnementaux durant la période d'étude. En particulier, en particulier avec les trois paramètres : la température, la salinité, et les niveaux de nitrate dans les graphes B,G et D de la figure III.4 respectivement.

Ces résultats indiquent que plus la température, la salinité et les niveaux de nitrate dans l'eau de mer sont élevés, plus la taille et le poids du thon rouge augmentent.

En outre, la hauteur significative des vagues (graphe C) et la vitesse des courants (graphe E) de la figure III.4 ont également été identifiées comme des facteurs influençant la croissance de l'espèce, mais dont le sens opposé. Cela signifie que des hauteurs significatives des vagues ainsi que les vitesses du courant importantes peuvent avoir un effet sur la croissance de l'espèce.

En revanche, nous avons constaté que l'oxygène dissous (graphe F) et la concentration en chlorophylle a (graphe A) ont une certain influence sur la croissance du thon rouge . Ces facteurs semblent avoir peu d'impact sur la taille et le poids de l'espèce.

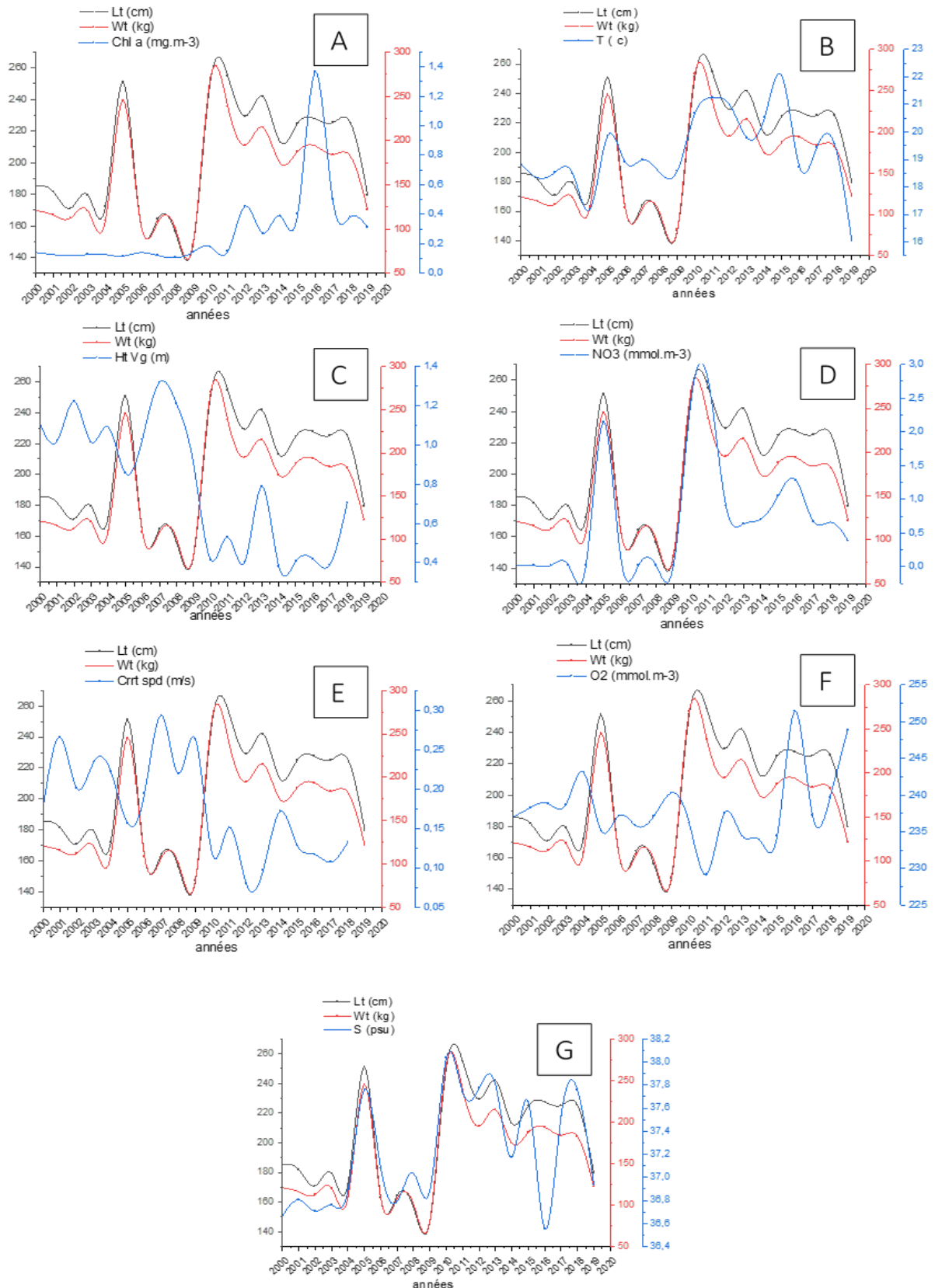


Figure III. 4: Variation temporelle de deux décennies des paramètres biologique (poids et taille) en relation avec les facteurs environnementaux ; Chlorophylle (A), Température (B), Hauteur des vagues (C), NO3 (D), Vitesse de courant (E), Teneurs en oxygène (F), Salinité (G).

1.3. Analyse spatiale

Cette partie illustre les résultats sur le plan spatiale dans notre zone d'étude, les résultats sont comme suit :

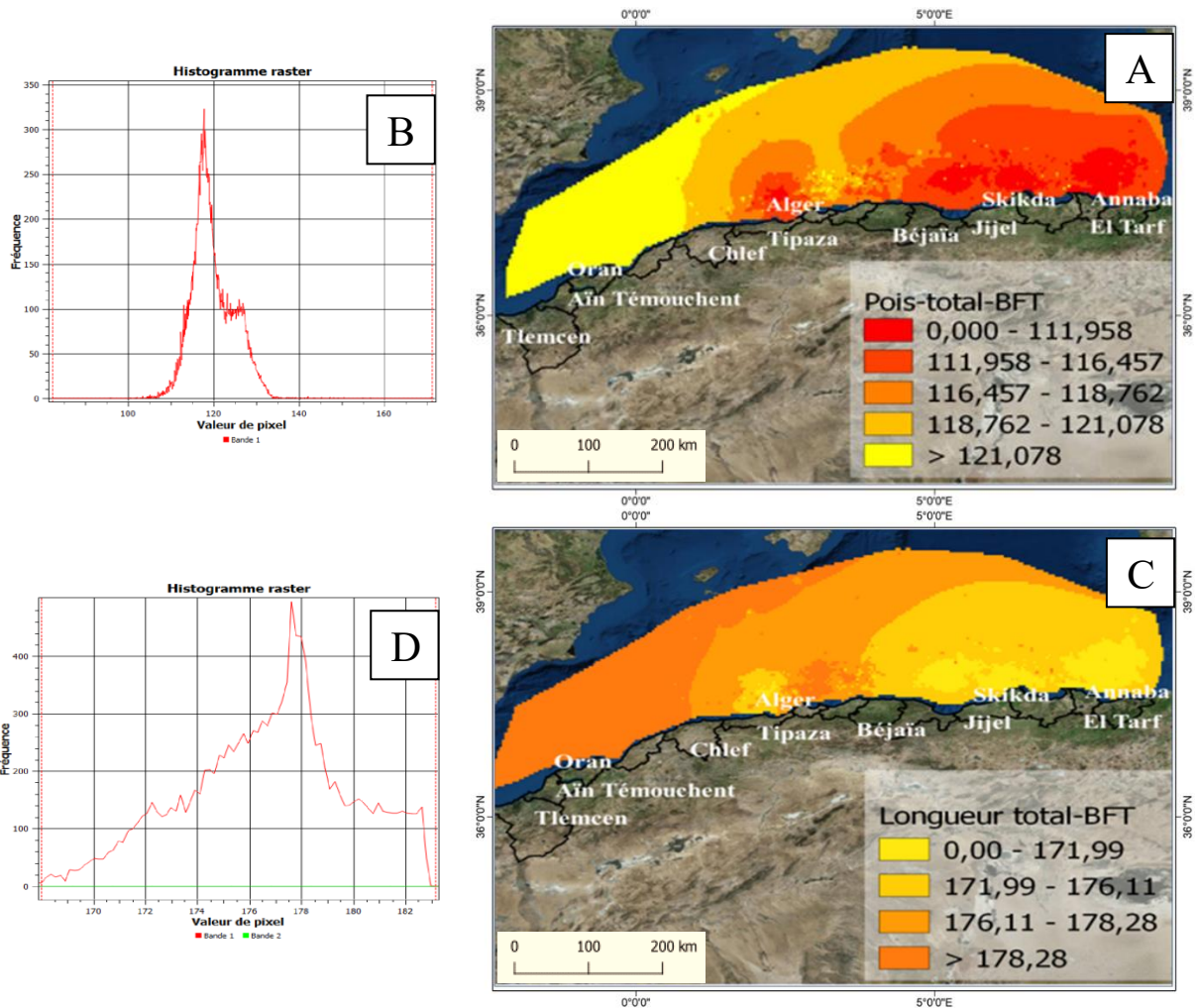


Figure III. 5: Répartitions spatiales des paramètres étudiés le long de la côte Algérienne A : poids total du thon rouge ; C : longueur total-BFT, et représentation des histogrammes Raster associés à chaque carte : B : histogramme Raster du poids total, D : histogramme Raster de la longueur totale.

L'histogramme raster B (Figure III. 5) représente les fréquences des pixels des poids totaux de thon rouge dans la zone d'étude. Nous pouvons déduire que la majorité de la zone d'étude occupé par des individus avec un poids total qui varié entre 101 à 171,1 kg, autour d'un pic de 117,42 kg. D'après la (Figure III. 5 A), les individus de thon qui ont un poids compris entre 82 et 116,45 kg fréquentent la zone centrale et orientale du bassin Algérien. Les individus pesants entre 118,45 et 121 kg se trouvent principalement dans la partie centrale du bassin, plus précisément en haute mer, tandis que les individus dont le poids est supérieur à 121 kg dominent la partie Ouest.

La Figure III. 5 C représente la longueur totale du thon rouge en cm et la (Figure III. 5.C) son histogramme raster associée, indique la fréquence en fonction des valeurs de la taille totale du thon rouge. Nous remarquons que l'intervalle s'étend de 169 cm à 181 cm, avec une valeur dominante de 177.5 cm ayant une fréquence plus élevée (Figure III. 5. D). D'autre part, l'analyse montre, que la plupart des individus mesurant moins de 176,11 cm se trouvent dans la partie est du bassin, tandis que ceux mesurant entre 176,11cm et 178,28 cm se situent dans la zone centrale (Figure III. 5. C). Quant aux individus qui dépassant (grands individus) les 178,28 cm, ils se localisent généralement dans la partie ouest du bassin algérien.

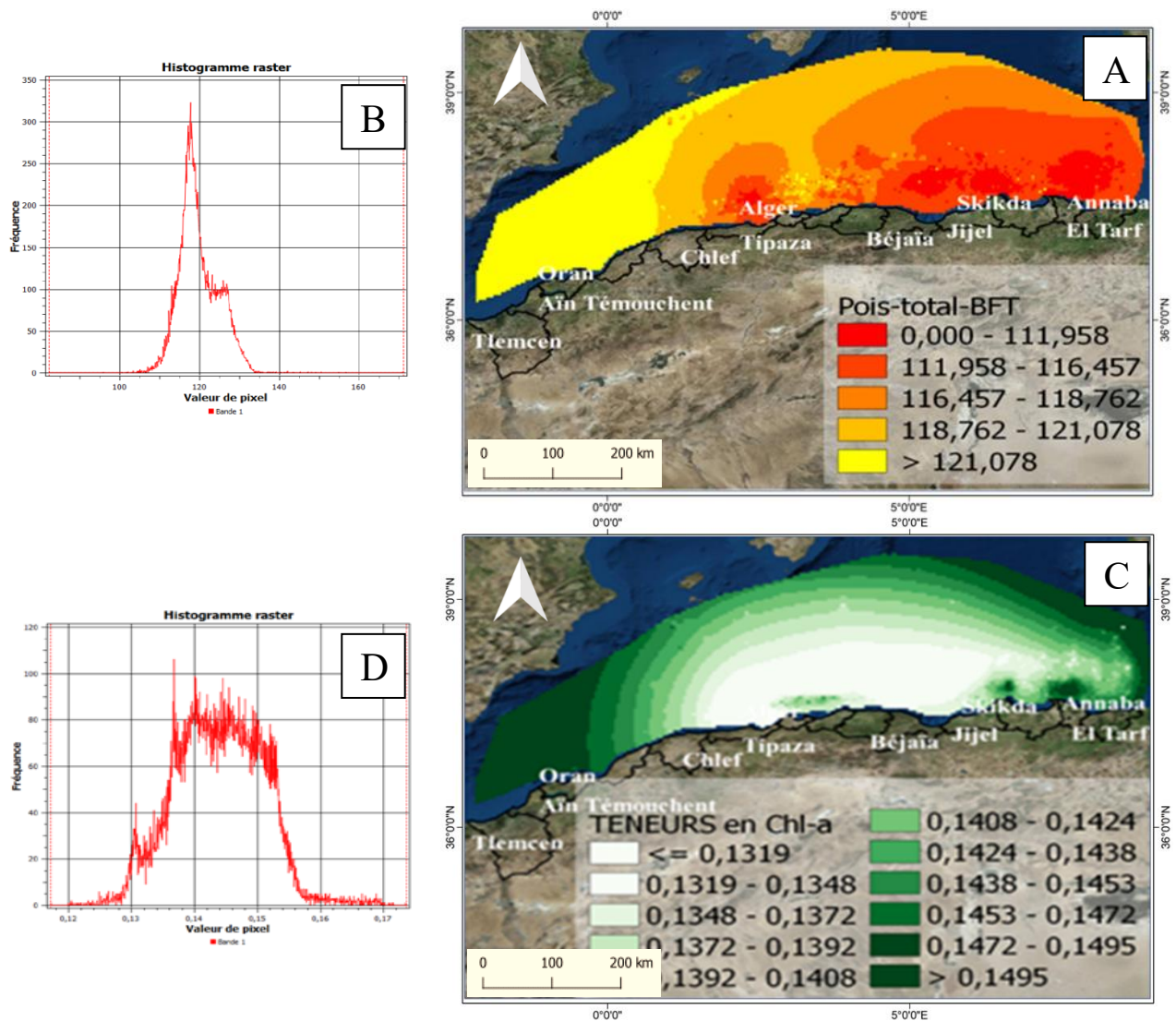
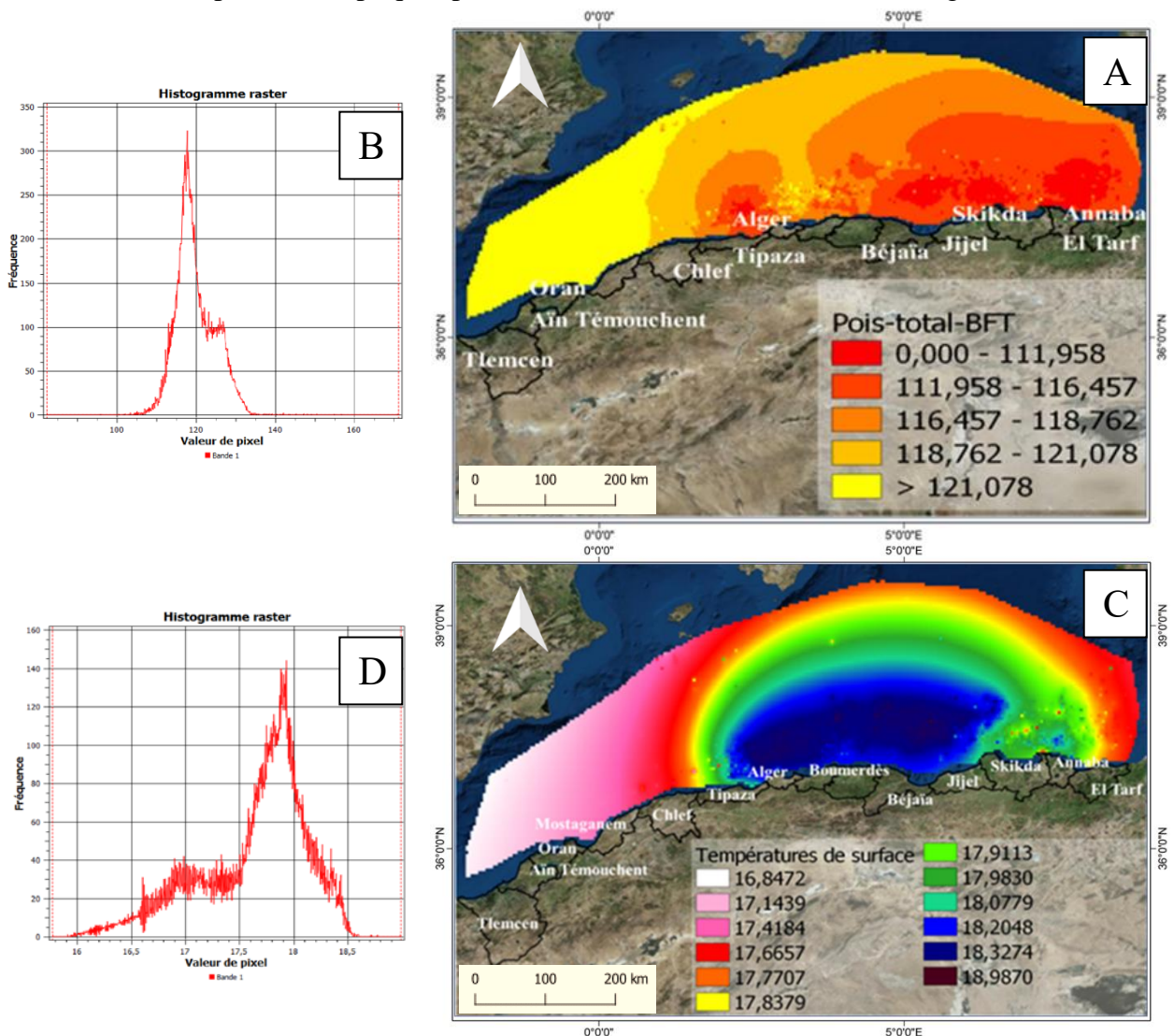


Figure III. 6 : Répartitions spatiales des paramètres étudiés le long de la côte Algérienne, A : poids total du thon rouge ; C : teneur en chlorophylle a, et représentation des histogrammes Raster associés à chaque carte : B : histogramme Raster du poids total ; D : histogramme Raster de la chlorophylle

En analysant, La distribution de la *chl-a* le long de la côte, nous pouvons déduire que les valeurs de la teneur en *chl-a* varient entre 0,12 mg/m³ et 0,17 mg/m³ (Figure III. 6 C, D). Les eaux de la

région Ouest présentent une teneur supérieure à $0,14 \text{ mg/m}^3$, tandis que les eaux de la région Est ont une concentration de *chl-a* inférieure à $0,13 \text{ mg/m}^3$. La Figure III. 6, mis en évidence que la répartition spatiale du poids totale et de la longueur totale du BFT est positivement corrélé avec la teneur en **Chlorophylle a**. Effectivement, les masses d’eau de la région centre et la région Est qui représente les teneurs en *chl-a* les plus faible ($\leq 0.137 \text{ mg/m}^3$) se trouve fréquenté par des individus qui ont le poids et la taille la plus faible (entre 82 Kg, et 118.45 cm respectivement) (tableau III.3). En revanche, la zone occidentale du bassin algérien, qui correspond à l’écorégion de la Mer d’Alboran, détient le record des poids ($>121.1 \text{ Kg}$) et des longueurs des BFT ($\geq 178.28 \text{ cm}$) analysés dans cette étude. Cette forte concentration des grands spécimens de BFT dans le bassin occidental peut-être expliquée par la forte teneur de la *Chl-a* ($>0.1495 \text{ mg/m}^3$)



D'après Figure III. 7. C représentant la distribution spatiale de la température de surface. Histogramme (Figure III. 7. D), Nous observons que les température dominantes qui varié entre 16.84 et 18.5°C autour d'un pic de 117,9°C. Les hautes valeurs de la température de surface remarquées dans les zones côtière des deux régions centre et Est par contre les valeurs de basses température de surface s'étale dans des masses d'eaux de la région Ouest et des masses d'eaux des hautes mers.

D'après ces résultats les BFT ayant un poids supérieur à 121 kg ont une préférence pour des eaux dont la température comprise entre 16,84°C et 17,14°C, tandis que ceux ayant un poids 82 a 118 Kg fréquentent plutôt les masses d'eaux où la température est comprise entre 17,66°C et 18°C.

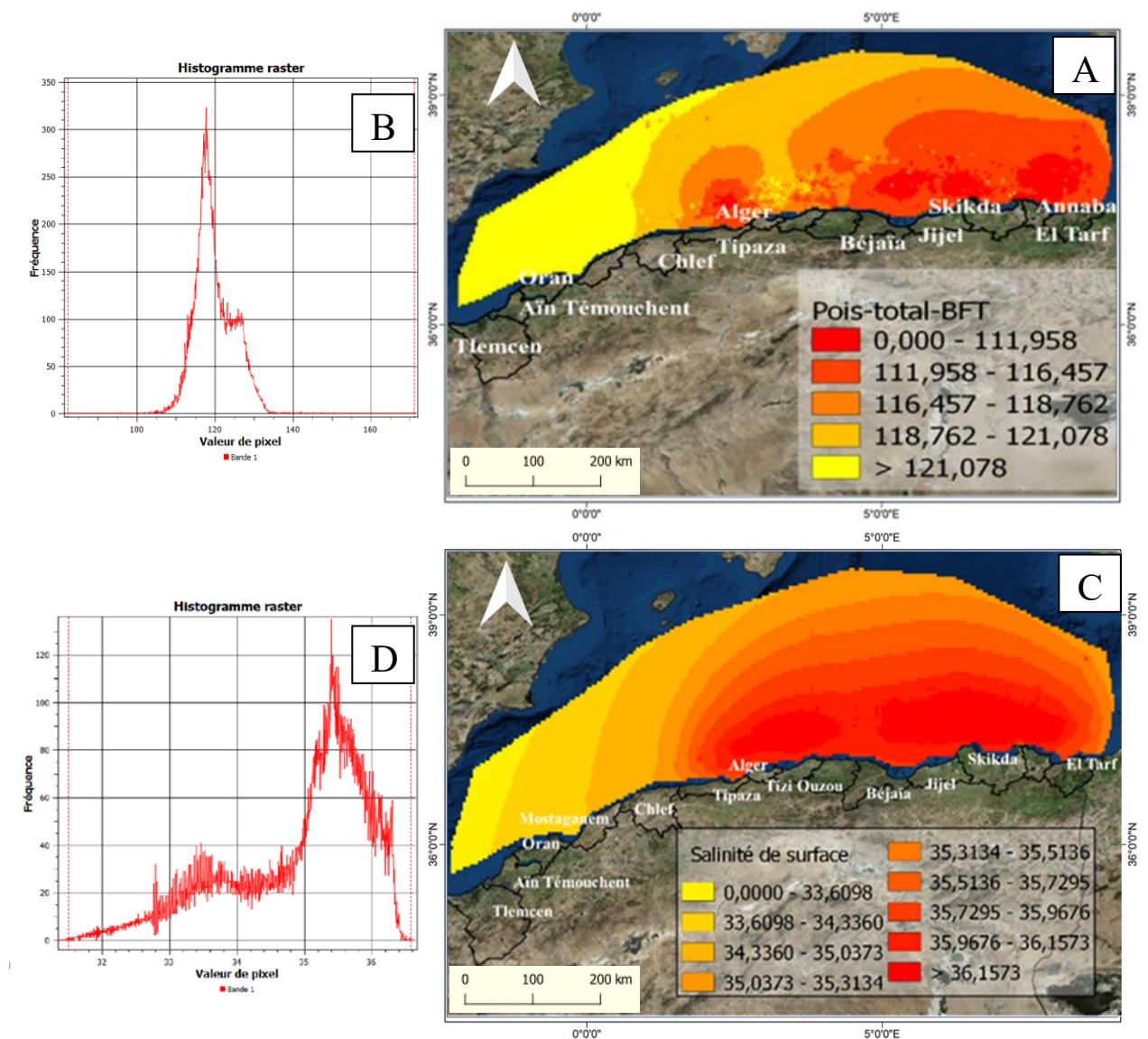


Figure III. 8: Répartitions spatiales des paramètres étudiés le long de la côte Algérienne, A : poids total du thon rouge ; C : salinité de surface et représentation des histogrammes Raster associés à chaque carte : B : histogramme Raster du poids total ; D : histogramme Raster de la salinité de surface.

La Figure III. 8 illustre la distribution spatiale de la salinité de surface le long de la côte. On peut Observer des valeurs dominantes de la salinité qui sont comprise entre 31.11 et 36.62 PSU autour d'un pic 35,4 PSU (Figure III. 8. D). Durant la période d'étude, les régions centrent et Est caractérisées par des masses d'eaux d'une salinité supérieure à 35.31 PSU, alors que les eaux de la région Ouest caractérisée par une salinité de 31.11PSU à 35.03 PSU, En comparant (la Figure III. 8.C) et la (Figure III. 8.A), on constate que les individus d'un poids qui varié entre 82 et 118Kg préfèrent les masses d'eaux caractérisé par une salinité supérieure à 35,3PSU, tandis que les grands individus ayant un poids supérieur à 121kg semblent préfèrent les masses eaux avec une salinité légèrement inférieure à 35,03PSU.

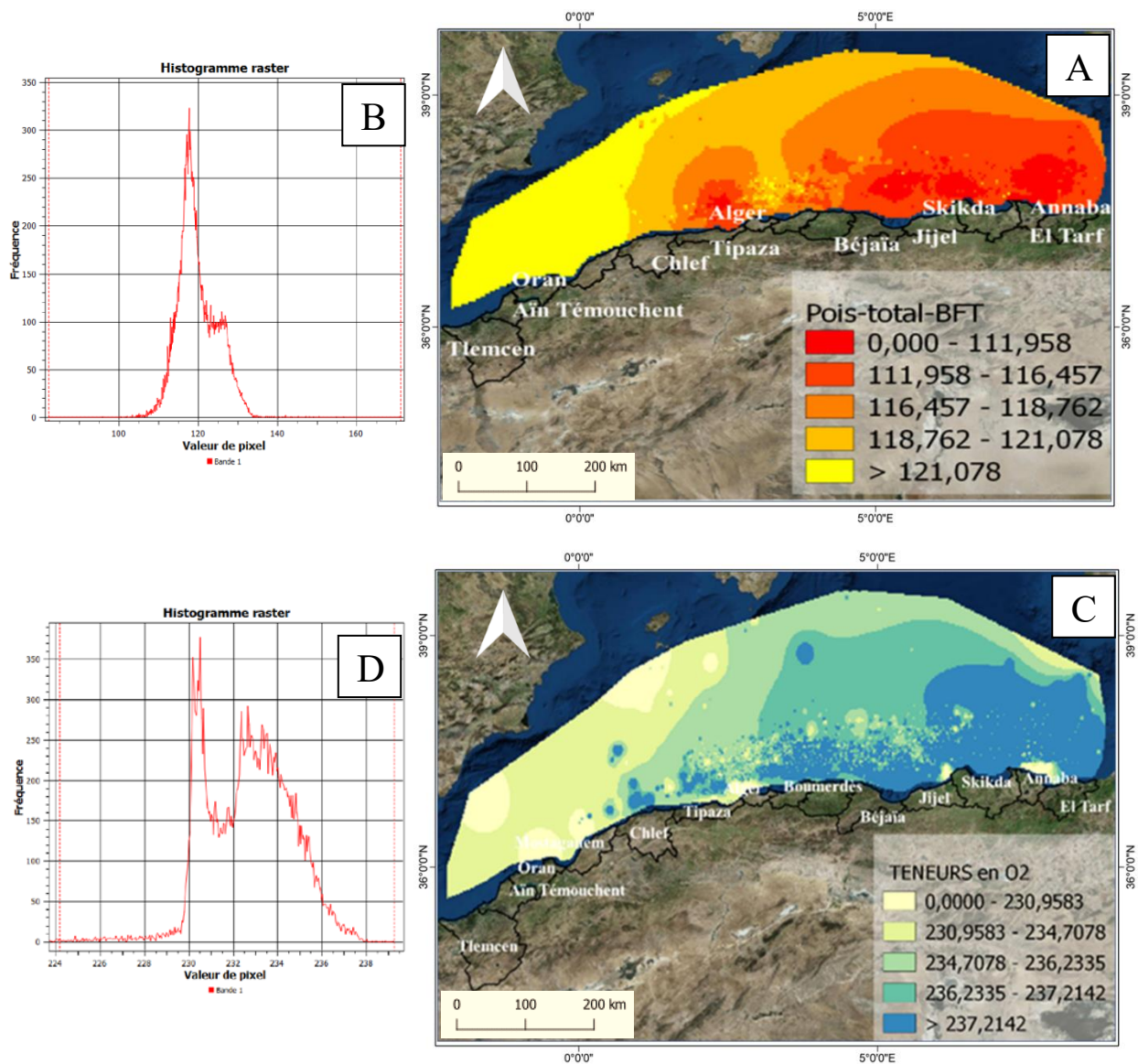


Figure III. 9: Répartitions spatiales des paramètres étudiés le long de la côte Algérienne, A : poids total du thon rouge ; C : Oxygène dissous et représentation des histogrammes Raster associés à chaque carte ; B : histogramme Raster du poids total ; D : histogramme Raster de l'oxygène dissous

La Figure III. 9.D représente une forte variabilité des teneurs en O₂ dans notre zone d'étude, Nous observons des valeurs dominantes dans cette zone qui varient entre 228 et 238 mmol.m⁻³ autour d'un pic de 230.5 mmol.m⁻³ (Figure III. 9. D). La carte C de la Figure III. 9 illustre la distribution de ces concentrations durant la période d'étude le long de la cote algérienne. On remarque que les concentrations en o₂ répartissent dans les deux régions centre et est caractérisée par les teneurs en O₂ supérieur à 234.7 mmol.m⁻³. En revanche dans la région ouest les masses d'eaux caractérisée des teneurs en O₂ inférieur à 234 mmol.m⁻³

En comparant les deux cartes A et C de la Figure III. 9, on peut dire que la répartition des individus d'un poids totales qui varie de 82 à 118 Kg coïncide avec les masses d'eaux caractérisée par une teneurs en O₂ supérieure 234.7 mmol.m⁻³ de les mêmes régions. Concernant les grands individus d'un poids total supérieurs à 121kg répartissent dans des eaux caractérisées par une teneur inférieur à 230.9 mmol.m⁻³

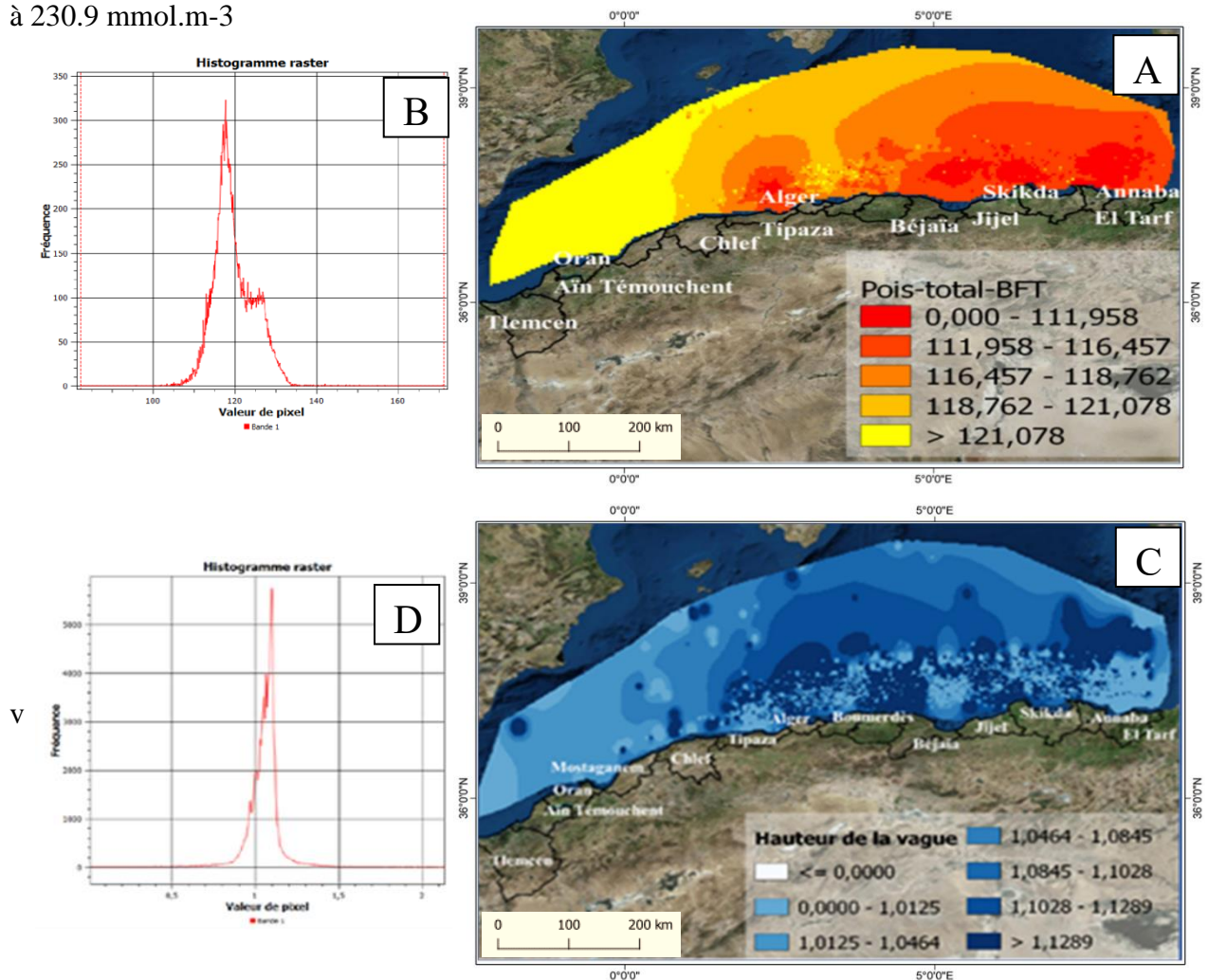


Figure III. 10: Répartitions spatiales des paramètres étudiés le long de la côte Algérienne A : poids total du thon rouge ; C : Hauteur de la Vague et représentation des histogrammes Raster associés à chaque carte : B : histogramme Raster du poids total ; D : histogramme Raster de la hauteur de la vague

La Figure III. 10.C représente la répartition spatiale des hauteurs significative des vagues le long de la côte algérienne durant la période d'étude. D'après l'histogramme associé (Figure III. 10. D), les valeurs dominantes de la hauteur des vagues varient dans l'intervalle de 0,75 m à 1,45 m autour d'un pique 1.1 m. La carte C montre la répartition spatiale de ces hauteurs significatives, on remarque que la région centre et est caractérisées par des eaux légèrement agitées avec une hauteur significative supérieur à 1.08 m, par contre la région ouest caractérisée par une faible agitation d'une hauteur significative inférieure à 1.08m.

En comparant la carte A et C de la figure III.10, on remarque les individus d'un poids total qui varie de 82 et 118 Kg préfèrent les eaux légèrement agitées avec une hauteur significative de la vague supérieur 1.08 m, tandis que les grands individus d'un poids supérieur à 121 kg réparties dans des eaux d'une hauteur significative du vague inférieur à 1.08 m

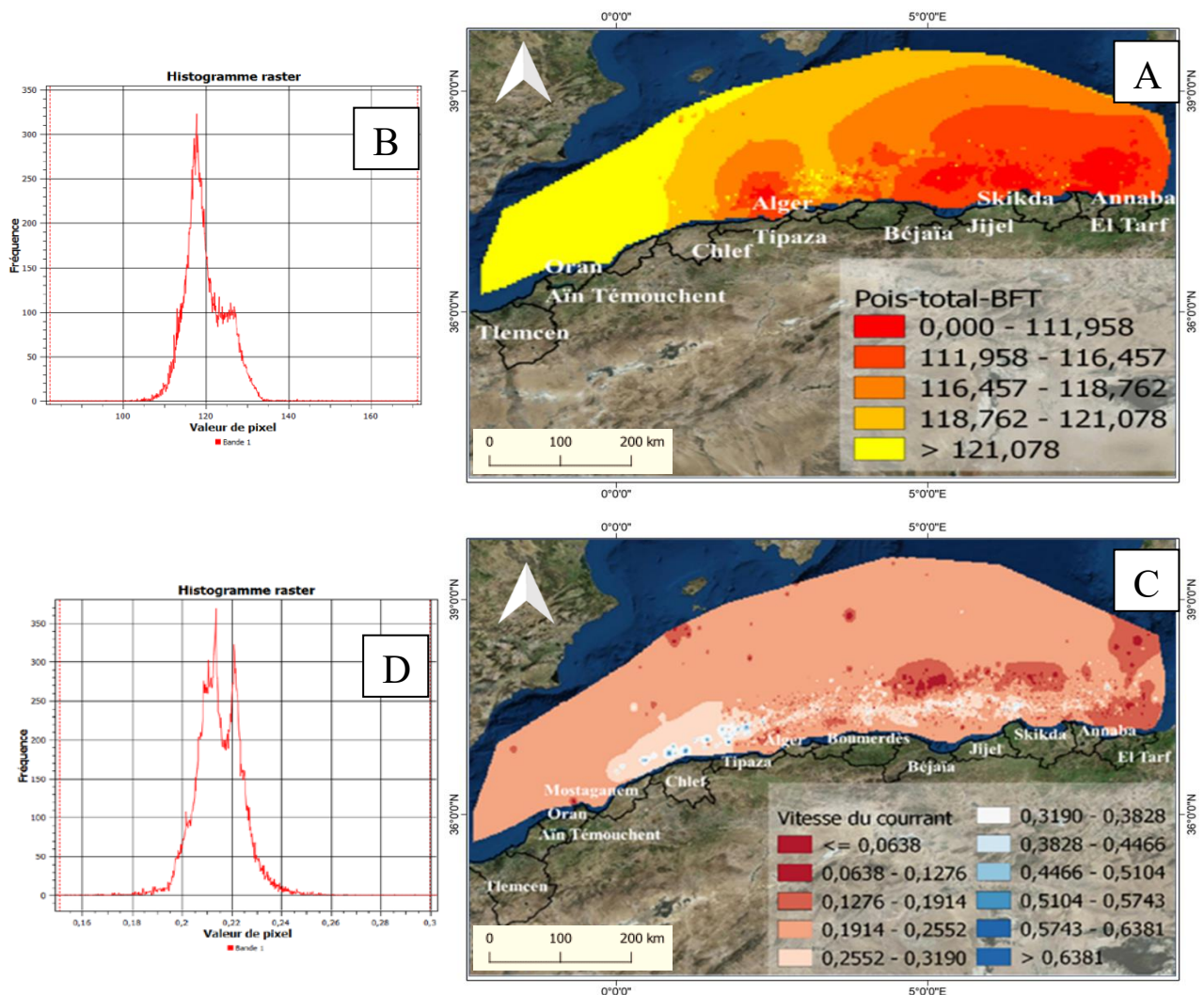


Figure III. 11: Répartitions spatiales des paramètres étudiés le long de la côte Algérienne A : poids total du thon rouge ; C : vitesse du courant et représentation des histogrammes Raster associés à chaque carte ; B : histogramme Raster du poids total ; D : histogramme Raster vitesse du courant.

La Figure III.11 représente la répartition spatiale de la vitesse du courant le long de la côte algérienne durant la période d'étude. D'après l'histogramme associé (Figure III. 11. D), les valeurs dominantes de la vitesse des courants varient dans l'intervalle de 0,18 m/s à 1,26 m/s autour d'un pique 0.205 m/s. La carte C montre la répartition spatiale de la vitesse de courant, on remarque que les régions du centre et Est proche de la cote caractérisée par une vitesse du courant inférieur à 0.19 m/s, par contre la plupart des eaux du bassin caractérisé par une vitesse de courant qui varie entre 0.19 et 0,25 m/s.

En comparant la carte A et C de la figure III.11, on remarque les individus d'un poids total qui varie de 82 et 116 Kg préfèrent les eaux avec une vitesse du courant inférieur à 0.19 m/s, tandis que les grands individus d'un poids supérieur à 116 kg réparties dans des eaux d'une vitesse du courant qui varie entre 0.19 et 025 m/s.

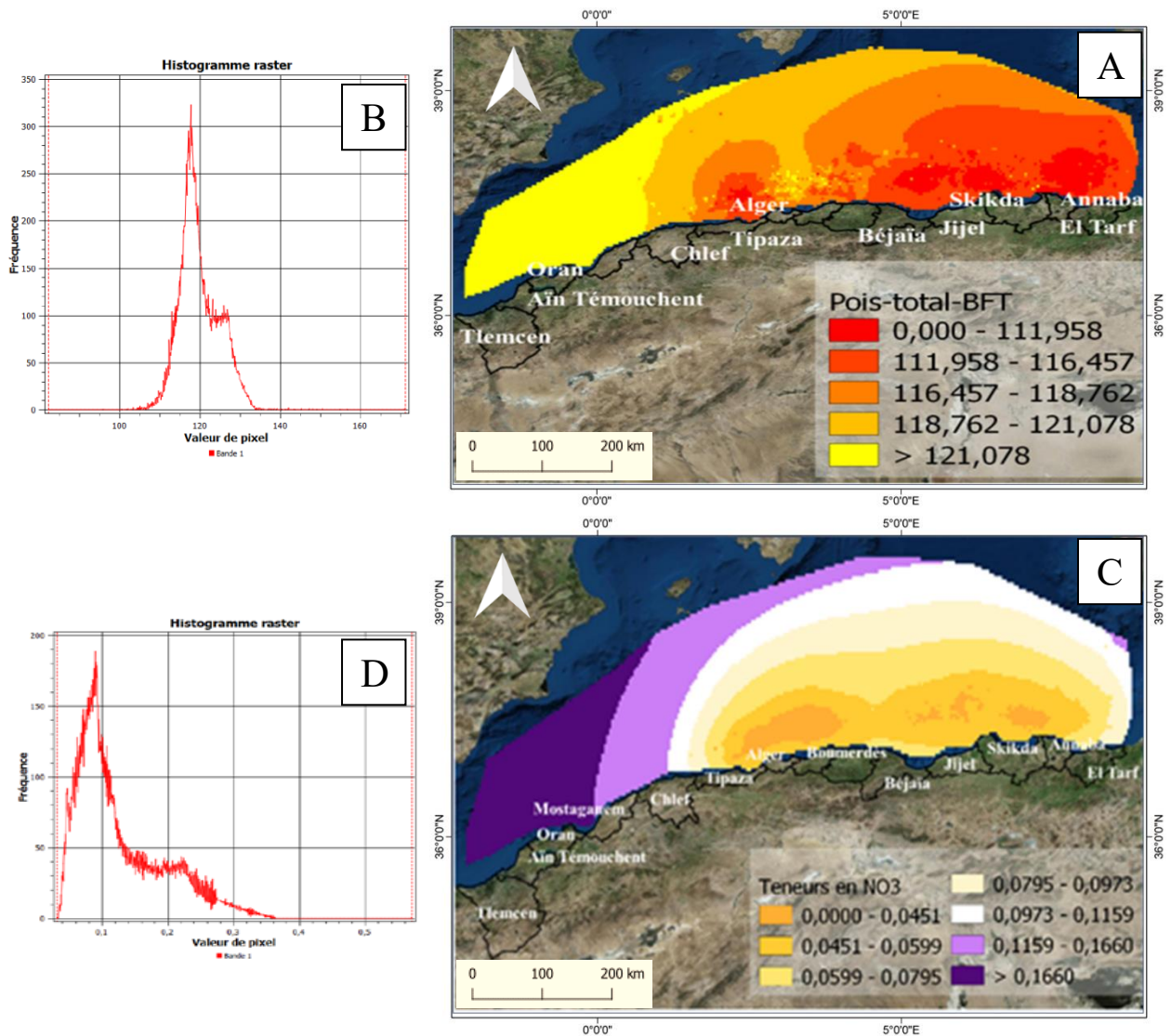


Figure III. 12: Répartitions spatiales des paramètres étudiés le long de la côte Algérienne, A : poids total du thon rouge ; C : teneur en NO3, et représentation des histogrammes Raster associés à chaque carte : B : histogramme Raster du poids total, D: histogramme Raster de NO3.

La Figure III.12 représente la répartition spatiale de la teneur en nitrate le long de la côte algérienne durant la période d'étude. D'après l'histogramme associé (Figure III. 12. D), il y a une variabilité des valeurs dominantes de la teneur en nitrate qui varié dans l'intervalle de 0,03 mg/m³ à 0.36 mg/m³ autour d'un pique 0.09 mg/m³. La carte C montre la répartition spatiale de la teneur en nitrate, on remarque que les concentrations en nitrate répartirent dans les deux régions centre et Est caractérisée par les teneurs inférieurs à 0.07 mg/m³. En revanche, dans la région ouest les masses d'eaux caractérisée par des teneurs en nitrate supérieur à 0.07 mg/m³

En comparant les deux cartes A et C de la Figure III.12, on peut dire que la répartition des individus d'un poids totales qui varie de 82 à 118 Kg coïncide avec les masses d'eaux caractérisée par une teneurs en nitrate inférieurs à 0.07 mg/m³ dans les mêmes régions. Concernant les grands individus d'un poids total supérieurs à 121kg répartissent dans des eaux caractérisées par une teneur en nitrate supérieur à 0.07 mg/m³

1.3.1. Modélisation spatiale

L'analyse de régression multiple spatiale nous a permis d'avoir un model linéaire multiple.

Tableau III.6 : Les résultats l'analyse de régression linéaire multiple

Multi-corrélation avec les résultats du modèle de régression			Coefficients d'estimation
n	13072	(Interception)	322,377
Rsquadj	0,869	Chl,a	95,971
MSE	1,533	Crrt_spd	-2,448
MAE	0,855	O2	0,004
F	10804,57	Ht_Vg	1,249
b0	322,377	NO3	-39,742
		S	-11,927
		dist_cot	-3,442
		T	11,640
		Z	11,640

R-carré ajusté : 0,869

Équation. 1 : Meilleur modèle d'analyse de régression linéaire multiple spatial,

$$Wt = chl_a * 95,971 - Crrt_spd * 2,448 + O2 * 0,004 + Ht_Vg * 1,249 - NO3 * 39,742 - S * 11,927 - dist_cot * 3,442 + T * 11,640 + 322,377$$

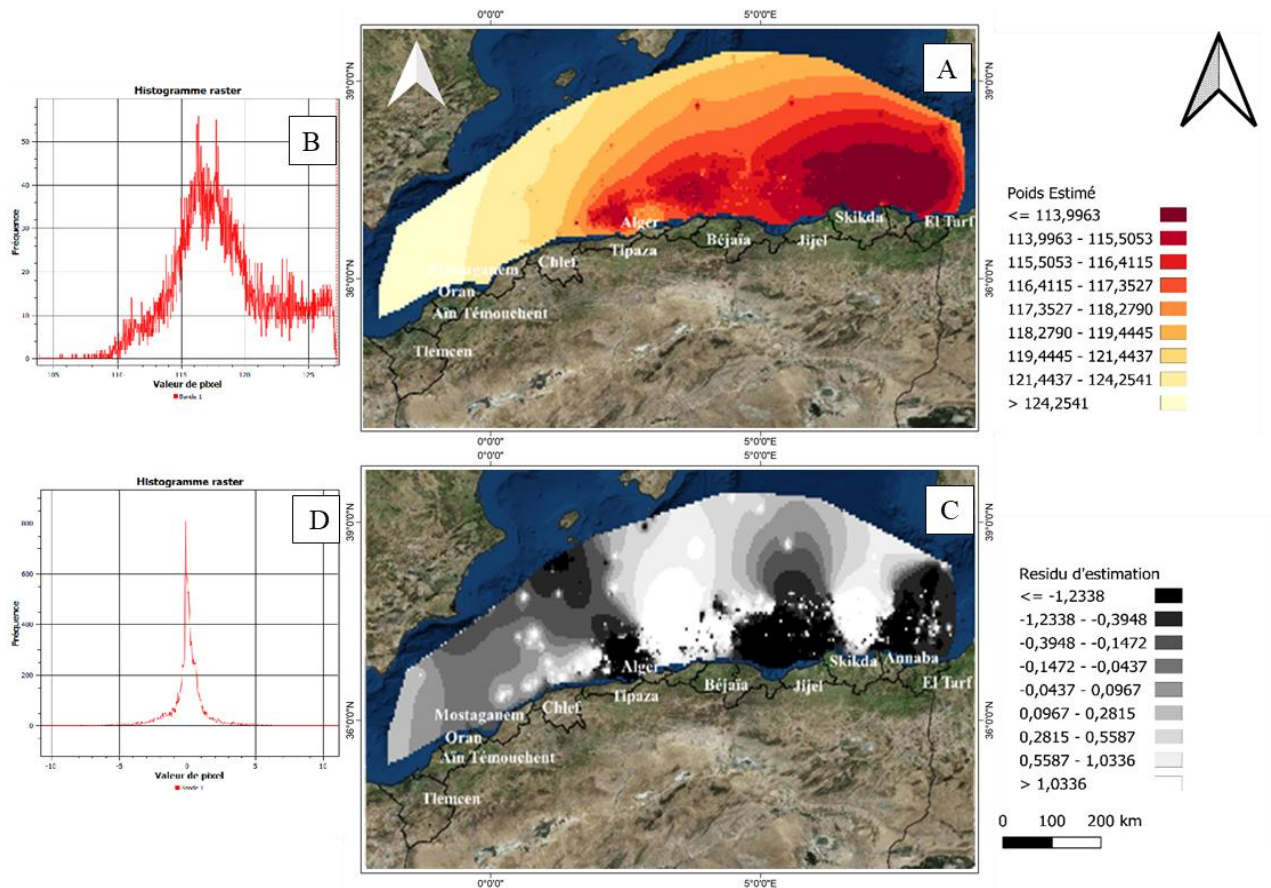


Figure III. 13: Répartitions spatiales dans le bassin algérien : (A) Abondance du thon rouge estimé en poids total (C) : résidus du model d'estimation ; et représentation des histogrammes Raster associés à chaque carte : B : histogramme Raster du poids estimé ; D : histogramme Raster des résidus.

Comparaison modèle-observations

Le premier aspect du travail d'évaluation du model est la comparaison entre les valeurs observées et calculées. Il existe de nombreuses façons de comparer les valeurs observées et calculées. Dans notre travail nous avons utilisés la méthode la plus courante. Et celle de calcul des erreurs de prédiction, appelée aussi les résidus, est la différence entre les valeurs calculées et les valeurs observées (c'est à dire, c'est l'erreur du modèle), la carte (c) de la (Figure III. 13) représente les résidus du model dans la zone d'étude, on perçoit deux types de résidus, l'un est dû à une faible sous-estimation (sont exprimés par des valeurs négatives), elles varient entre 0 et -26,325, ces valeurs représentées par des taches noirs, et l'autre est dû à une sur estimation, qui sont représentés par des valeurs positives, ces dernières symbolisés par des tache blanches dans la carte (c) de la (Figure III. 13). L'histogramme raster (D) de la (Figure III. 13) montre les fréquences en fonction des résidus du model dans la zone d'étude. En effet les fréquences représentatives correspondent

aux résidus qui varient entre (-1 et 1 kg). Pour évaluer la qualité des prédictions on a calculé l'erreur quadratique moyenne (MeanSquaredError MSE)(Frost, 2021) par l'équation suivante :

$$MSE = (1/N) \sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

Y : valeur observée

\hat{Y} : valeur estimée

MSE est un paramètre qui prend en compte l'erreur de toutes la population cible pour estimer la moyenne des erreurs quadratiques, donc il est de 1,533. Dans ce cas-là le model est très bon car la MSE est très petit, il est proche de zéro, cela signifie qu'il n'y a pas de grande différence entre les valeurs observées et les valeurs calculées, plus que ce paramètre est faible plus que la qualité de prédiction du model est bonne. Si on compare les résultats statistique raster du poids total estimé avec celle des valeurs observé (Tableau III.6). On remarque qu'il y a une forte proximité entre eux, la moyenne du poids observé et du poids estimé est (119.8kg ,118.39 kg) respectivement et de même pour l'écart type, elle est de (4.9 et 3.94 kg) respectivement. La distribution de ces valeurs autour de leurs moyennes est homogène soit pour les valeurs observées ou soit pour les valeurs estimées, car Le coefficient de variation est inférieur à 10 %, il est de (4.1 ; 3.3%) respectivement.

D'ailleurs le coefficient de détermination nous a confirmés cela par un pourcentage 86,9 % de qualité de prédiction. De même sur le plan spatial, on a constaté qu'il y a une forte concordance des valeurs du poids totaux observé et estimé le long de la côte algérienne, en comparant les deux cartes (A) de la (figure 8) et la carte (A) de la (Figure III. 13).

3. Discussions

En examinant les résultats spatio-temporels que nous avons obtenus, nous avons observé certaines relations entre les facteurs environnementaux et l'espèce de thon rouge étudiée, *Thunnus thynnus*.

Nous avons observé une corrélation entre les trois paramètres, chlorophylle, teneur en oxygène dissous avec le poids total du thon, exprimés par un coefficient de corrélation de 0,29 et -0,32 respectivement. La chlorophylle a est le premier maillant de la chaîne trophique et est un indicateur de la productivité primaire. Selon Chase (2002), une concentration élevée traduit une abondance de phytoplancton ainsi qu'une abondance de zooplancton, qui est une source de nourriture essentielle pour les espèces faisant partie du régime alimentaire du thon rouge, comme les clupéidés par exemple. Ces observations révèlent que cette espèce a des préférences spécifiques en termes de zones en fonction de sa taille. Les niveaux d'oxygène dissous peuvent jouer un rôle crucial dans la limitation de la distribution du thon rouge, étant donné que ce dernier est à la fois un grand prédateur et un migrateur. Ils ont besoin d'une quantité adéquate d'oxygène pour leur métabolisme et leurs déplacements. De tous les poissons osseux, le thon rouge de l'atlantique possède la plus grande surface d'échange branchiale (Hughes, 1984), est également un grand consommateur d'oxygène, semblable aux mammifères de taille égale et 3 à 4 fois plus grand que celui de la plupart des poissons actifs (Mrčelić *et al.*, 2020).

En comparant les résultats de la répartition spatio-temporelle des trois paramètres, température, salinité avec le poids total du thon rouge, on observe une certaine relation entre eux, d'ailleurs le coefficient de corrélation est de 0.71 et 0.73 respectivement, cela signifie que la distribution de cette espèce dépend fortement de la variation de la salinité. Selon (Würtz, 2010) le thon rouge est sensible aux conditions du milieu d'un côté, la salinité qui peut influencer sur son comportement à la recherche de nourriture ainsi que les sites de frai. En effet, Les conditions de salinité spécifiques semblent être préférées par les thons rouges lorsqu'ils choisissent ces sites appropriés sont de 36,9 à 37,7 UPS. D'autre côté, Le thon rouge a la capacité de résister à la variation de la température grâce à leur tolérance vis-à-vis des températures plus élevées (Nininahazwe and Sebari, 2020), les températures moyennes de l'eau rencontrées par les thons rouges variaient entre 16°C et 18.2°C (Walli *et al.*, 2009). Aussi se distingue par des performances de croissance exceptionnelles et une remarquable capacité d'adaptation, ce qui lui permet d'évoluer dans des zones géographiques présentant une température de l'eau variant de 10 à 27 °C (Bonnin, 2010).

Les nitrates ont été identifiés comme un paramètre ayant une forte influence sur la répartition spatiale et temporelle du thon rouge. Notre étude a révélé une corrélation significative de 0,91 entre les niveaux de nitrates et la distribution de cette espèce. Cette corrélation suggère que le thon,

en tant que prédateur de haut niveau dans la chaîne alimentaire marine, dépend de la disponibilité de ses proies, qui sont elles-mêmes influencées par les niveaux de nitrates. Par conséquent, les nitrates peuvent indirectement avoir un impact sur la proie du thon et par extension, sur sa distribution phytoplanctonique et influence la productivité biologique (Herbland and Le Bouteiller, 1983)

De même, il a été observé que la variation spatio-temporelle des paramètres, hauteur significative des vagues et la vitesse des courants marins ont une relation significative avec la variation de poids total et la taille du thon rouge, et donc fortement influencent sa distribution. Cette relation est présentée par un coefficient de corrélation de 0.74 et 0.78 respectivement.

Cela implique que, d'une part, ces prédateurs sont opportunistes et se nourrissent principalement de poissons plus petits, et les vagues génèrent des zones abondantes en nourriture, où les thons rouges ont tendance à se regrouper pour se nourrir. Ces zones peuvent être formées grâce aux vagues qui se brisent sur des structures sous-marines, aux courants qui créent des remous ou encore aux bancs de poissons attirés par les changements des conditions océaniques. La répartition des thons rouges en relation avec les vagues peut être également influencée par leur comportement de chasse. Les thons rouges peuvent utiliser les courants pour se déplacer plus rapidement ou pour économiser de l'énergie ("Dans le sillage des thons rouges," 2020).

D'autre part, Les courants peuvent également déplacer les bancs de poissons, créant des concentrations temporaires de proies dans certaines régions. Les thons rouges suivent alors ces déplacements pour optimiser leurs chances de se nourrir. Lorsque les courants sont rapides, ils peuvent entraîner une accumulation de nutriments et de plancton, attirant ainsi les petits poissons dont se nourrissent les thons rouges.

CONCLUSION

En conclusion, l'analyse spatio-temporelle de la distribution du thon rouge (*Thunnus thynnus*) en interaction avec les facteurs environnementaux à l'aide d'un système d'information géographique (SIG) dans le bassin algérien nous a permis de répondre à la problématique posée et d'atteindre les objectifs fixés en introduction.

Notre première contribution consiste à traiter la problématique d'influence des facteurs environnementaux sur la répartition du thon rouge dans le bassin algérien pour cela nous avons utilisé l'analyse spatiale pour but d'exploiter la base de données d'une façon optimale. Nous avons conclu que les gros et grands individus d'un poids moyen 118 kg et d'une taille moyenne 120 cm régie par plusieurs facteurs environnementaux à savoir la température, la salinité, teneur en chlorophylle a, teneur en nitrates, vitesse des courants, hauteur significative des vagues, teneur en oxygène dissous.

La deuxième contribution à traiter le comportement et la distribution de thon rouge face à la variabilité des facteurs environnementaux. Les fortes abondances du thon rouge sont présentes dans des masses d'eaux caractérisée par une variabilité physicochimique comme suit :

- D'une température qui varie entre 16.8472 °C et 17.9113 °C.
- D'une teneur en chlorophylle a qui varie entre 0.1408 mg/m³ et 0.1495 mg/m³.
- D'une salinité qui varie entre 33.6089 PSU et 35.51 PSU.
- D'une teneur en oxygène 230.9583 mmol/m³ et 236.2335 mmol/m³.
- D'une teneur de nitrates 0.973 mg/m³ et 0.1660 mg/m³.
- D'une hauteur significative des vagues 1.0125 m et 1.0845 m.
- D'une vitesse des courants qui varie entre 0.1940 m/s et 0.2552 m/s.

La troisième contribution basée sur l'analyse spatiale qui nous a permis de déterminer un modèle spatial de la distribution du thon rouge en fonction des facteurs déterminants avec un pourcentage de précision de 86,9 %.

Ces résultats sont d'une grande importance pour la gestion durable de cette espèce emblématique, car ils fournissent des informations essentielles pour préserver ses habitats et ses populations. Il est crucial de poursuivre nos connaissances sur l'écologie du thon rouge afin de mettre en place des mesures de conservation efficaces et d'assurer la survie à long terme de cette espèce dans les écosystèmes marins.

Les Systèmes d'Information Géographique constituent une approche innovante pour la spatialisation de l'information dans le secteur halieutique, en fournissant des outils et des méthodes

pour la collecte, l'analyse et la représentation des données géographiques pertinentes. Ces systèmes offrent une perspective précieuse pour la prise de décision en matière de gestion et de planification dans le secteur halieutique, en contribuant à une utilisation plus durable et efficace des ressources marines.

Dans une perspective future, la préservation du thon rouge nécessite une compréhension approfondie de son écosystème marin. Il est essentiel d'analyser plusieurs facteurs clés tels que les proies disponibles, les données météorologiques et les données sur la circulation océanique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Arrizabalaga, H., Dufour, F *et al.* (2015).** Global habitat preferences of commercially valuable tuna. *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr*, p.p. 113, 102–112.
- Benzohra, M et Millot, C. (1995).** Characteristics and circulation of surface and intermediate water masses off Algeria.
- BERKELEY, S.A., Chapman, C *et al.* (2004).** Maternal age as a determinant of larval growth and survival in a marine fish, *Sebastes melanops*. *Ecology* 85, p.p.1258–1264.
- BIRKELAND, C et Dayton, P.K. (2005).** The importance in fishery management of leaving the big ones. *Trends in Ecology & Evolution* 20, p.p. 356–358.
- Bonnin, A.-E., 2010. *Projet européen Selfdott : Aquaculture durable et domestication du thon rouge d'Atlantique.*
- Brodziak, J., Mangel, M *et al.* (2015).** Stock-recruitment resilience of North Pacific striped marlin based on reproductive ecology. *Fish. Res.* 166, p.p.140–150.
- Bruzzese, E et Rincé, M. (2019).** Prospection aérienne des reproducteurs de thon rouge (*Thunnus thynnus*) - Zone E – Malte-.
- Cardinale, M et Arrhenius. (2000).** The relationship between stock and recruitment: Are the assumptions valid? *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 196. <https://doi.org/10.3354/meps196305>
- Caton, A.E. (1991).** Review of aspects of southern bluefin tuna biology, population and fisheries, in: *World Meeting on Stock Assessment of Bluefin Tunas: Strengths and Weaknesses.* Inter-American Tropical Tuna Commission, p.p.181–350.
- Chase, B.C. (2002).** Differences in diet of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) at five seasonal feeding grounds on the New England continental shelf.
- Collette, B.B., Reeb, C *et al.* (2001).** Systematics of the tunas and mackerels (Scombridae). *Fish Physiol.* 19, p.p.1–33.
- Compeán-Jimenez, G et Bard, F.X. (1983).** Growth increments on dorsal spines of eastern Atlantic bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, and their possible relation to migration patterns. In: *Proc. Internat. Workshop on Age Determination of Oceanic Pelagic Fishes: Tunas, Billfishes, and Sharks.* NOAA Tech Rep NMFS 8, p.p.77–86.
- Compean-Jimenez, G et Bard, F.X. (1980).** Age and growth of East Atlantic bluefin tuna as determined by reading of fin rays cross section. *Collect Vol Sci Pap ICCAT* 9, p.p. 547–552.

- Corriero, A., Heinisch, G *et al.* (2020).** Review of Sexual Maturity in Atlantic Bluefin Tuna, *Thunnus thynnus* (Linnaeus, 1758). *Rev. Fish. Sci. Aquac.* 28, p.p.182–192. <https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1685456>
- Cort, J. (1991).** Age and growth of the bluefin tuna, *Thunnus thynnus* (L.) of the northeast Atlantic. *Col Vol Sci Pap ICCAT* 35, p.p. 213–230.
- Dans le sillage des thons rouges [WWW Document], 2020. . CNRS J. URL <https://lejournal.cnrs.fr/articles/dans-le-sillage-des-thon-rouges> (accessed 6.15.23).
- De la Serna, J., De Urbina, J.O *et al.* (2003).** Analysis of sex-ratio by length-class for bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in the western Mediterranean and eastern Atlantic. *Collect Vol Sci Pap ICCAT* 55, p.p.166–170.
- Eggleston, D et Bochenek, E. (1990).** Stomach Contents and Parasite Infestation of School Bluefin Tuna *Thunnus thynnus* Collected from. *Fish Bull* 88.
- Farrugio, H., (1981). Exploitation et dynamique des populations de thon rouge *Thunnus thynnus* (Linné, 1758) atlanto méditerranéennes.
- Fenech, A., De la Serna, J *et al.* (2003).** Sex-ratio by length-class of bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L.) caught by Maltese longliners. *Collect Vol Sci Pap ICCAT* 55, p.p.1145–1147.
- Ferhani, K., Bensmail, S. (2017).** STRUCTURES DE TAILLE DE THUNNUS THYNNUS CAPTURÉ PAR LES THONIERS ALGÉRIENS. *Collect Vol Sci Pap ICCAT* 73, 2002–2006.
- FROMENTIN, J.-M., 2006.** THON ROUGE DE L’ATLANTIQUE.
- Fromentin, J.-M., Fonteneau, A., (2001). Fishing effects and life history traits: a case study comparing tropical versus temperate tunas. *Fish. Res.* 53, p.p.133–150.
- Fromentin, J.M., Powers, J.E., (2005).** Atlantic bluefin tuna: population dynamics, ecology, fisheries and management. *Fish Fish.* 6, p.p. 281–306.
- Fromentin, J.-M., Reygondeau, G *et al.* (2014).** Oceanographic changes and exploitation drive the spatio-temporal dynamics of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). *Fish. Oceanogr.* 23, p.p.147–156.
- Frost, J., (2021).** Mean Squared Error (MSE). *Stat. Jim.* URL <https://statisticsbyjim.com/regression/mean-squared-error-mse/> (accessed 6.5.22).
- Haffersas, A., (1996).** Composition et distribution des peuplements de Copépodes pélagiques du bassin algérien en relation avec les structures hydrodynamiques (Campagne Médiproduct VI-Juin 1990). USTHB, Alger.

- Hansell, A.C., Becker, S.L *et al.* (2022).** Spatio-temporal dynamics of bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in US waters of the northwest Atlantic. *Fish. Res.* 255, p.p.106-460. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2022.106460>
- Hattour, A., (2003).** Analyse du sexe ratio par classe de taille du thon rouge (*Thunnus thynnus*) capturé par les senneurs tunisiens. *Collect Vol Sci Pap ICCAT* 55, p.p.224–231.
- Heldt, H., (1926).** Résumé de nos connaissances actuelles sur le thon rouge *Thunnus thynnus* L.
- Hemida, F., (2005).** Biosystématique des Requins et des Raies ;Ecologie, Reproduction et Exploitation de quelques populations capturées. Thèse de doctorat. Spécialité Halieutique. Alger :USTHB.
- Herbland, A., Le Bouteiller, A., (1983).** Dynamique du phytoplancton et matière organique particulaire dans la zone euphotique de l'Atlantique Equatorial. *Mar. Biol.* 72, p.p.265–278. <https://doi.org/10.1007/BF00396832>
- Hughes, G.M., (1984).** Measurement of gill area in fishes: practices and problems. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.* 64, p.p.637–655. <https://doi.org/10.1017/S0025315400030319>
- Humston, R., Ault, J.S *et al.* (2000).** Schooling and migration of large pelagic fishes relative to environmental cues. *Fish. Oceanogr.* 9, p.p.136–146.
- Lowerre-Barbieri, S.K., Walters Burnsed, S.L *et al.* (2016).** Assessing reproductive behavior important to fisheries management: a case study with red drum, *Sciaenops ocellatus*. *Ecol. Appl.* 26, p.p. 979–995.
- Marteinsdottir, G., Begg, G., (2002).** Essential relationships incorporating the influence of age, size and condition on variables required for estimation of reproductive potential in Atlantic cod *Gadus morhua*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 235, 235–256. <https://doi.org/10.3354/meps235235>
- Mather, F.J., Mason, J.M *et al.* (1995).** Historical document: life history and fisheries of Atlantic bluefin tuna.
- Maunder, M.N., Deriso, R.B., (2013).** A stock–recruitment model for highly fecund species based on temporal and spatial extent of spawning. *Fish. Res.* 146, p.p. 96–101.
- Medina, A., Abascal, F *et al.* (2002).** Stereological assessment of the reproductive status of female Atlantic northern bluefin tuna during migration to Mediterranean spawning grounds through the Strait of Gibraltar. *J. Fish Biol.* 60, p.p.203–217.
- Millot, C., (1989).** La circulation générale en Méditerranée occidentale : Aperçu de nos connaissances et projets d'études, in: *Annales de Géographie*, p.p. 497–515.
- Millot, C., (1985).** *Journal of Geophysical Research. Some Featur.* Algerian Curr.

- Mrčelić, G.J., Miletić, I *et al.* (2020).** THE PECULIARITIES AND FARMING CHALLENGES OF ATLANTIC BLUEFIN TUNA (*Thunnus thynnus*, L. 1758). *Croat. J. Fish.*
- Nininahazwe, F., Sebari, I., (2020).** Utilisation des Systèmes d'Informations Géographiques pour l'analyse spatio-temporelle des effets des changements climatiques sur la disponibilité des ressources halieutiques au Maroc. *Rev. Marocaine Sci. Agron. Vét.* 8.
- Ortiz de Zarate, V., Cort, J.L., (1986).** Stomach contents study of immature bluefin tuna in the Bay of Biscay. *ICES-CM H 26.*
- Programme régional d'observateurs (ROP-BFT) Formation sur le thon rouge 2022, 2022. . ICCAT, france.
- Quero, J.-C., Du Buit, M.H *et al.* (1997).** Les captures de poissons à affinités tropicales le long des côtes atlantiques européennes. *Ann. Société Sci. Nat. Charente-Marit.* 8, p.p.651–673.
- Ravier-Mailly, C., Fromentin, J.-M., (2003).** LONG-TERM FLUCTUATIONS IN BLUEFIN TUNA TRAP CATCHES: ARE THEY ENVIRONMENTALLY DRIVEN?
- Rodríguez-Roda, J., (1967)a.** Fecundidad del atún, *Thunnus thynnus* (L.), de la costa sudatlántica de España.
- Rodríguez-Roda, J., (1967)b.** Fecundidad del atún, *Thunnus thynnus* (L.), de la costa sudatlántica de España.
- Royer, F., Fromentin, J.-M *et al.* (2004).** Association between bluefin tuna schools and oceanic features in the western Mediterranean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 269, p.p.249–263.
- Schaefer, K.M., (2001).** Reproductive biology of tunas. *Fish Physiol.* 19, p.p. 225–270.
- Uotani, I., Saito, T *et al.* (1990).** Feeding habit of bluefin tuna *Thunnus thynnus* larvae in the Western North Pacific Ocean. *NIPPON SUISAN GAKKAISHI* 56, p.p.713–717. <https://doi.org/10.2331/suisan.56.713>
- Walli, A., Teo, S.L.H *et al.* (2009).** Seasonal Movements, Aggregations and Diving Behavior of Atlantic Bluefin Tuna (*Thunnus thynnus*) Revealed with Archival Tags. *PLOS ONE* 4, e6151. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006151>
- Würtz, M., (2010).** Mediterranean pelagic habitat : oceanographic and biological processes, an overview. IUCN.

