

الجمهورية الشعبية الديمقراطية الجزائرية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة العليا الوطنية لعلوم البحر وتهيئة الساحل

Ecole 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 et master

SPECIALITE : Ingénierie de l'Environnement Marin et Côtier

Thème

L'utilisation des données in-situ pour l'évaluation des produits CMEMS (physiques et biogéochimiques) dans le bassin Algérien.

Présenté par :

MEHIDI Houria

TAIBI Nor El Houda

Soutenu le 06/11/2020, devant le jury suivant :

Mme BENZOUAI Sihem	MAA (ENSSMAL)	Présidente
Mr ZERROUKI Mohamed	MAA (ENSSMAL)	Promoteur
Mme KERAGHEL Mehdi	MCB (ENSSMAL)	Examinatrice
Mme MOKHBI-SOUKANE Dahbia	MCB (ENSSMAL)	Examinatrice

Promotion : 2020/2021

Remerciements

Nos remerciements vont tout d'abord à monsieur ZERROUKI Mohamed pour nous avoir donné l'opportunité de réaliser ce mémoire et son soutien tout au long de ces trois années. Toujours à l'écoute, il sut nous guider tout en sachant nous laisser prendre des initiatives, encadrer le mémoire n'a pas toujours été facile mais Mr ZERROUKI a été là pour nous aider à prendre du recul voir réorienter nos recherches quand il le fallait.

Nous tenons à remercier Mme BENZOUAI Siham de nous avoir fait le grand honneur d'accepter la présidence du jury, qu'elle trouve ici l'expression de notre profond respect.

Nos profonds remerciements aux valeureux membres du jury Mme MOKHBI-SOUKANE Dahbia et Mme KERAGHEL Mehdiya pour avoir aimablement pris le temps d'examiner notre travail.

Nous souhaitons également remercier le service maritime Copernicus de l'Union européenne pour son apport scientifique.

Un grand merci à tous ceux qu'on a rencontré au cours de ce mémoire et qui ont fait de ces années une belle histoire. Je pense bien surtout aux collègues qui pour la plupart, sont devenus des amis.

Merci particulièrement à Mr TAIBI Med pour son soutien et son aide dans la correction de ce mémoire.

Avant de conclure, nous remercions amplement tous ceux qui ont contribué de près comme de loin à la réalisation de ce travail et à tous ceux que nous avons oublié de citer.

Merci à tous.

Dédicace

Je dédie ce travail

*A mes chers parents **MEHIDI Rachid, BELHADJ Fatima***

Grâce à vous j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité.

J'oublierai tout sauf cette douce marque que vous avez laissée dans mon cœur

A mes frères et mes sœurs pour leur soutien

*A **Houda** la personne la plus gentille que j'ai connue de tout ma vie. Sans toi, je n'aurais pas pu continuer ce travail. Merci d'être là si près de moi, portant toutes mes humeurs pendant cette période*

Rappeler-vous toujours que vous êtes une personne qui mérite toujours le meilleur

A tous ceux qui m'ont donné la force quand je me sens faible, donner un peu de son temps.

A tous ceux qui m'ont montré mes défauts dans l'espoir de les corriger

*À **Nardjes, DJihane, Abir, Ouarda, Rania***

Houria.

Dédicace

A mes chers parents

*Tous les mots ne sauraient exprimer mon amour et ma gratitude pour vous, sans vous
je ne serais pas la personne que je suis aujourd'hui.*

*A mon frère **Ammar** pour son soutien continu*

*A ma chère partenaire **Houria***

*Merci d'avoir géré toutes folies, sans toi je n'aurais rien accompli dans cette phase de
ma vie.*

*A ceux qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotions lors de la réalisation de
ce mémoire surtout mes chers amis **Djihane, Maha, Hiba, Yahia et Sissa.***

Nor El Houda

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction	1
I. Généralités	4
I.1 L'historique de la modélisation de la circulation océanique	4
I.2 Copernicus	5
I.3 Nucleus for European Modelling of the Ocean NEMO	7
I.4 Produits CMEMS	8
I.4.1 Système global (GLB).....	8
I.4.2 Système Ibérique Biscaye Irlande (IBI)	11
I.4.3 Système physique Méditerranée (MED)	14
II. Matériel et méthodes.....	17
II.1 La zone d'étude	17
II.1.1 Circulation de surface.....	19
II.1.2 Les masses d'eau.....	20
II.1.3 Dynamique à méso-échelle	20
II.2 Les étapes de l'acquisition des données	24
II.2.1 Le téléchargement des données CTD (Sea data net).....	24
II.2.2 Le téléchargement des données CMEMC	25
II.3 Traitement des données	27
II.3.1 Les statistiques	29
III. Résultats et discussion	33
III.1 Comparaison entre les données in-situ CTD et les données CMEMS	33
III.2 La comparaison entre les trois produits.....	35

III.3 La comparaison entre les zones côtières et hauturières	37
Conclusion	46
Bibliographie	48
Annexe	54
Résumé	65

Liste des figures

Figure 1: Étendue du domaine de service IBI utilisé pour fournir le produit biogéochimique pluriannuel IBI à l'utilisateur de CMEMS (magenta) et le domaine complet du modèle natif, utilisé pour exécuter la simulation IBI (noir).	13
Figure 2: Carte représente la zone d'étude.	18
Figure 3: Différentes zones du Méditerrané occidental selon Manca et al. (2004)	18
Figure 4 : Une vue d'ensemble de la Méditerranée occidentale selon Escudier (2015).....	19
Figure 5: Capture montre le remplissage des champs des données Sea data net	24
Figure 6 : Capture montre le sectionnement du type d'instrument.....	25
Figure 7: Capture qui montre le sectionnement du la limite géographique.	26
Figure 8: Capture qui montre le sectionnement du la limite de profondeur et le choix des paramètres.	27
Figure 9: Schéma récapitulatif de l'étape de fusionnement des données.	29
Figure 11: La distribution de Chlorophylle en fonction de la profondeur pour le produit IBI36	
Figure 10: La distribution de Chlorophylle en fonction de la profondeur pour le produit GLB	36
Figure 12 : Les coefficients de corrélation de la température, salinité, oxygène, chlorophylle par rapport au produit GLB.	38
Figure 13 : Les coefficients de corrélation de la température, salinité, oxygène, chlorophylle par rapport au produit IBI.....	39
Figure 14: Les coefficients de corrélation de la température, salinité, oxygène, chlorophylle par rapport au produit MED.	40
Figure 15: La racine de l'erreur quadratique moyenne de la température par rapport aux produits GLB, IBI, MED.....	41
Figure 16 : La racine de l'erreur quadratique moyenne de la salinité par rapport aux produits GLB, IBI, MED.....	42
Figure 17 : La racine de l'erreur quadratique moyenne de l'oxygène par rapport aux produits GLB et IBI.....	43
Figure 18 : La racine de l'erreur quadratique moyenne de la chlorophylle par rapport aux produits GLB, IBI, MED.....	44

Liste des tableaux

Tableau 1: les produits CMEMS utilisés et leurs paramètres.	25
Tableau 2 : Arrondissements des produits CMEMS.....	28
Tableau 3: La comparaison des corrélations, la racine de l'erreur quadratique moyenne et l'écart type de température, salinité, oxygène et chlorophylle entre les données CTD calculées et les données référenciés du manuels CMEMS.	33
Tableau 4 : Corrélation, RMSD, écart type des températures, salinité et Chlorophylle pour les 3 produits CMEMS.....	35

Liste des abréviations

ASM : Application de l'incrément d'analyse

AW : Atlantic water

C3S : Service Copernicus sur le changement climatique

CAMS : Service de surveillance de l'atmosphère Copernicus

CEMS : Service Copernicus de gestion des d'urgence

CEPMMT : Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme

Chlr : Chlorophylle

CLMS : Service Copernicus de surveillance des terres

CMCC : Centre euro-méditerranéen sur le changement climatique

CMEMS : Copernicus marin environmental monitoring system

CTD : Conductivité température profondeur

DCM : Deep chloro max

E : Est

ESA : Agence spatiale européenne

EUMETSAT : Organisation européenne pour l'exploitation de satellites météorologiques

GLB : Produit global physique et biogéochimique

HRZ : High-resolution zoom

IBI : Iberian Biscay Irland, : Produit ibérique biscaye irlande physique et biogéochimique

IDE : Integrate developement environment

IRG : Global intermediate-resolution

lat : Latitude

LIM : Louvain-la-Neuve Sea Ice Model

LIW : Levantine Intermediate Water

long : Longitude

m : Metre

MDT : topographie dynamique moyenne

MED : Produit méditerranée physique

MMed : Mer Méditerranée

N : Nord

NEMO : Nucleus for European Modelling of the Ocean

O₂ Oygène dissous

OBS : Opérateur d'observation
OPA : Océan Parallélisé
PSU : Practical salinity unit
S : Salinité
SAM : Systeme d'Assimilation Mercator
SLA : Sea level anomaly
SST : température de surface de la mer
Sv : Sverdrup
T : Température
TAM : Modèles linéaire tangent et adjoint
TOP : Tracer in the Ocean Paradigm
W : West
WAG : Western Alboran Gyre
WIW : eaux intermédiaires occidentales
WMDW : Western Mediterranean deep water
WMed : Méditerranée occidentale
WOA13a : World Ocean Atlas 2013

Introduction

Introduction

Les océans fournissent des services essentiels à la société. Ils régulent le climat, fournissent de la nourriture et de l'énergie, et de nombreuses activités économiques dépendent de nos mers et de nos océans, mais nos océans et nos écosystèmes marins subissent les effets du changement climatique ainsi que d'autres pressions d'origine humaine. Plus que jamais, il est nécessaire de surveiller en permanence les océans.

Pour cela la recherche scientifique et la collecte de données sont aujourd'hui essentielles pour mieux connaître et protéger l'océan. Cette collecte est d'habitude effectuée par la réalisation d'une campagne océanographique sur mer qui sert à mesurer et analyser les paramètres physiques et biogéochimiques parmi lesquelles la température, la salinité, l'oxygène et la chlorophylle.

Généralement il est difficile de réaliser une campagne en mer dans de bonnes conditions à cause de plusieurs facteurs comme :

- l'aspect organisationnel qui inclut la préparation de la campagne, les autorisations de travaux et les relations avec les observateurs des pays étrangers.
- une sortie en mer dépend toujours des conditions météorologiques.
- la longue recherche soutient un financement avant, pendant et après la campagne.
- les conditions de travail à bord qui varient d'un navire à l'autre.

Dans le cadre de la recherche, les scientifiques ont développés des solutions alternatives pour avoir des données à distance par la création de programmes et de systèmes d'observations.

Copernicus marin environmental monitoring system (le service Copernicus de surveillance de l'environnement marin) CMEMS a été mis en place pour répondre à ces besoins. Il fournit une surveillance unique de l'océan mondial et des mers européennes, basée sur des observations et des modèles satellitaires et in situ.

CMEMS surveille les conditions marines passées (sur les 30 dernières années) et actuelles et fournit des prévisions à court terme. Mercator Océan a été chargé par l'union européen de mettre en œuvre ce service. L'organisation est basée sur un partenariat européen avec plus de 60 centres opérationnels et de recherche marine en Europe qui sont impliqués dans le service et son évolution. **(Le Traon, 2017).**

La question se pose sur le degré de la fiabilité et justesse de ces informations fournies par ce système, pour cela plusieurs recherche ont été effectués pour valider les données du système avec la comparaison par rapport aux données in-situ, Barceló-Llull (**Barceló-Llull, et al., 2018**) ont réalisé une évaluation d'un produit CMEMS global avec des données in-situ CTD dans l'océan Atlantique près des îles Canaries, ainsi que le travail de (**Aulicino, et al., 2021**) qui ont travaillé sur des données gliders du programmes ABACUS.

Les études précédemment mentionnées prennent en considération les données issues d'une seule campagne avec une étendue géographique et une période réduites.

Dans notre étude, nous nous intéressons aux données in-situ CTD (température, salinité, oxygène et chlorophylle), collectées à partir de 31 campagnes océanographiques réparties sur la partie occidentale de la Méditerranée sur une période de 24 ans (1993 – 2017) et les comparants avec les mêmes paramètres donnés par les produits CMEMS.

Ce document est réparti sur quatre parties :

- La première section décrit les informations basiques sur la modélisation de la circulation océanique, ainsi que le système Copernicus et ses produits.
- La deuxième section est dédiée à la zone d'étude et la méthode de traitement des données.
- La troisième partie regroupe les résultats obtenus et leur discussion.
- Enfin une conclusion générale.

Généralités

I. Généralités

I.1 L'historique de la modélisation de la circulation océanique

La modélisation numérique de la circulation océanique est une discipline très jeune puisqu'elle s'est essentiellement développée au cours de la seconde moitié du XXe siècle, bénéficiant de façon continue des progrès en matière d'outils de calcul automatique et s'appuyant, surtout au début, sur les développements de la prévision numérique du temps en météorologie. En effet les équations qui décrivent le comportement de l'océan et de l'atmosphère sont très similaires **(Doglioli, 2020)**.

La construction d'un modèle numérique d'atmosphère et d'océan comprend deux étapes distinctes : la première consiste à établir une modélisation, alors que la seconde, dite « numérisation », consiste à remplacer les équations portant sur des variables continues par des équations portant sur des variables discrètes (discrétisation) et dont les solutions sont obtenues au moyen d'un algorithme approprié. Les résultats d'une prévision numérique dépendent donc des propriétés générales des solutions des équations, qui relèvent de la météorologie dynamique, ainsi que des effets des modèles numériques adoptés, qui doivent être examinés de façon détaillée.

La mise en œuvre de l'algorithme implique la disponibilité d'un outil de calcul qui soit suffisamment puissant, tout en restant simple d'utilisation. C'est la raison pour laquelle les progrès de la prévision numérique du temps ont été étroitement liés au fantastique développement des ordinateurs, depuis leur naissance à la fin de la deuxième guerre mondiale **(Coiffier, 2000)**.

L'histoire de la modélisation en météorologie commence avec L. F. Richardson, qui tenta le premier de prévoir un état ultérieur de l'atmosphère à partir d'observations de l'état actuel et des équations de la dynamique des fluides.

Richardson réalisa sa première prévision alors qu'il se trouvait en Europe pendant la première guerre mondiale. Le résultat fut désastreux: une prévision d'un changement de pression de surface de 145 hPa en 6 heures, complètement impossible. Richardson publia cependant ce résultat dans un livre plein d'intuitions, qui fut hélas longtemps ignoré compte tenu de la mauvaise qualité de la première application numérique.

Lynch a récemment refait le calcul de Richardson en utilisant les mêmes données de base (et un ordinateur!); il a montré que l'erreur de prévision était due à la combinaison de la mauvaise

qualité des données et de l'existence dans l'atmosphère de modes rapides (les ondes de gravité). Aujourd'hui, les données qui servent à la prévision météo sont filtrées par une procédure que l'on appelle "initialisation" pour contrôler la dérivée temporelle des modes rapides au démarrage du modèle. En appliquant cette procédure aux données de Richardson, P.Lynch trouve des résultats tout à fait réalistes (<http://www.maths.tcd.ie/~plynch/>).

Dans les années 30 et 40, des progrès essentiels furent accomplis d'une part en analyse numérique et d'autre part dans la compréhension de la dynamique des grandes échelles atmosphériques (introduction par Rossby du système d'équations quasi-géostrophiques). Ces progrès ont rendu possible le succès de la première prévision météorologique numérique effectuée en 1950 par Charney, Fjortoft et Von Neumann à l'aide de l'ordinateur ENIAC installé à l'université de Princeton. La prévision fut réalisée en intégrant dans le temps l'équation quasigéostrophique de la vorticité barotrope, afin de représenter l'évolution du champ de pression à 500 millibars (**Tréguier, 2002**).

Le premier modèle océanique de circulation générale, utilisant les équations primitives, a été écrit en 1969 par K. Bryan (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, à l'université de Princeton). Du fait des possibilités limitées des ordinateurs, les premières simulations ont porté sur des portions de bassins océaniques uniquement. Comme l'étude du courant Antarctique Circumpolaire dans une géométrie idéalisée. La résolution du modèle était de l'ordre de 1° de latitude et de longitude et le nombre de nœuds de maillage 20 x 30 x 8 niveaux. Puis les premières simulations de l'océan mondial à faible résolution ont été réalisées. Le modèle de K. Bryan était remarquable à bien des égards, et presque tous les modèles utilisés actuellement dans le cadre de la prévision climatique sont basés sur les mêmes équations, et le même type d'approximations en différences finies respectant des propriétés essentielles de conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie. Un "petit-fils" du modèle de Bryan est actuellement utilisé pour calculer la circulation de l'océan mondial sur un maillage de 3600 x 2440 x 45 nœuds (**Tréguier, 2002**).

I.2 Copernicus

Copernicus est le programme d'observation de la Terre de l'Union européenne qui étudie notre planète et son environnement au profit de tous les citoyens européens. Il offre des services d'information qui s'appuient sur des données satellitaires d'observation de la Terre et des données in situ (non spatiales).

La Commission européenne gère le programme, il est mis en œuvre en partenariat avec les États membres, l'Agence spatiale européenne (ESA), l'Organisation européenne pour l'exploitation

de satellites météorologiques (EUMETSAT), le Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMET), les agences de l'UE et Mercator Océan. (Copernicus, 2020)

Le programme Copernicus est servi par un ensemble de satellites dédiés (la famille Sentinel) et de missions contributives (satellites commerciaux et publics existants). Les satellites Sentinel sont spécifiquement conçus pour répondre aux besoins des services d'information Copernicus et de leurs utilisateurs. Depuis le lancement du satellite Sentinel-1A en 2014, l'Union européenne a lancé un processus visant à mettre en orbite une constellation complète de près de 20 satellites avant 2030.

Aujourd'hui, sept satellites Sentinel sont en orbite, de quatre types différents. Les satellites Copernicus, ainsi que des capteurs de mesure terrestres, aériens et maritimes, fournissent de grandes quantités de données mondiales. Les services Copernicus transforment la richesse des données satellitaires et in situ en informations opportunes et exploitables en les traitant et en l'analysant.

Ces services fournissent des ensembles de données et des séries chronologiques comparables et consultables, ce qui permet de suivre les tendances et les changements. Les modèles sont examinés et utilisés pour créer de meilleures prévisions, par exemple, de l'océan et l'atmosphère. Les cartes sont dérivées de l'imagerie, les caractéristiques et les anomalies sont identifiées et des informations statistiques sont extraites. Ces activités à valeur ajoutée sont rationalisées par le biais de six flux thématiques de services Copernicus: le service de surveillance de l'atmosphère Copernicus (CAMS), le service Copernicus de surveillance de l'environnement marin (CMEMS), le service Copernicus de surveillance des terres (CLMS), le Service Copernicus sur le changement climatique (C3S), le service Copernicus de gestion des urgences (CEMS) et le service de sécurité Copernicus.

Les services d'information, ainsi que les données dont ils sont dérivés sont accessibles sur une base complète, libre et ouverte pour tout le monde. Ces données et informations sont utilisées par les prestataires de services, les autorités publiques et les organisations internationales pour améliorer la qualité de vie des citoyens d'Europe et du monde entier, pour surveiller et atténuer le changement climatique, et pour préserver notre environnement fragile.

Le service Copernicus de surveillance de l'environnement marin (CMEMS) fournit régulièrement et systématiquement des informations sur l'état physique et biogéochimique, la

variabilité et la dynamique de l'océan et des écosystèmes marins pour l'océan mondial et les mers régionales européennes.

Les observations et les prévisions produites par le service soutiennent toutes les applications marines, notamment

- la sécurité maritime ;
- les ressources marines ;
- l'environnement côtier et marin ;
- la météo, les prévisions saisonnières et le climat.

CMEMS contribue en particulier à la protection et à la gestion durable des ressources vivantes, du milieu marin et de la biodiversité, l'économie bleue ou au suivi des impacts du changement climatique sur les l'océan. Le service publie chaque année un rapport sur l'état de l'océan (Copernicus, 2019).

I.3 Nucleus for European Modelling of the Ocean NEMO

Nucleus for European Modelling of the Ocean NEMO (www.nemo-ocean.eu/) est un cadre communautaire pan-européen de modélisation de l'océan détenu et maintenu par un consortium d'instituts dont le Centre euro-méditerranéen sur le changement climatique (CMCC). Il est utilisé dans une grande variété d'applications dont les principaux objectifs sont la recherche océanographique et climatique, les prévisions océaniques opérationnelles et les prévisions météorologiques saisonnières.

Le système se compose de trois moteurs principaux :

- OPA (Océan Parallélisé), l'océan bleu, pour modéliser la dynamique de l'océan.
- LIM (Louvain-la-Neuve Sea Ice Model), l'océan blanc, pour la modélisation de la thermodynamique et de la dynamique des glaces de mer.
- TOP (Tracer in the Ocean Paradigm), l'océan vert, pour la modélisation de la biogéochimie marine.

NEMO comprend également le paquet AGRIF pour le raffinement adaptatif de la grille et les composants d'assimilation (modèles linéaire tangent et adjoint TAM, opérateur d'observation OBS, et application de l'incrément d'analyse ASM).

NEMO peut également être interfacé avec un certain nombre d'autres composants tels que des modèles atmosphériques ou des modèles alternatifs de glace de mer et de biogéochimie, pour permettre la modélisation du système terrestre. Les moteurs sont imbriqués dans des environnements, qui comprennent, par exemple, des configurations de référence, des outils de pré- et post-traitement, une interface avec d'autres composants du système terrestre et la documentation du système. NEMO est disponible sous forme de code source et d'accord de la licence libre. Le système NEMO évolue par l'amélioration des moteurs existants ou la création de nouveaux, l'ajout de nouveaux composants provenant d'autres modèles et leur interface avec NEMO, et l'amélioration et la généralisation de l'environnement. Ces évolutions sont pilotées par un plan de travail annuel élaboré au sein du Consortium NEMO.

Toutes les recherches du CMCC sur le climat et l'océan sont basées sur le modèle de circulation générale océanique OPA. Il s'agit d'un modèle de circulation générale océanique aux différences finies, hydrostatique, à équation primitive, avec une surface de mer libre et une équation d'état non linéaire. OPA décrit la distribution des variables dans une grille d'Arakawa C en 3D centrée sur les points de traçage. Les variables pronostiques (directement résolues par les équations du modèle) sont la température, la salinité, la hauteur de la surface de la mer et les champs de vitesse en 3D.

I.4 Produits CMEMS

Les systèmes Mercator de surveillance et de prévision des océans sont exploités en routine et en temps réel depuis début 2001. Ils ont été régulièrement mis à niveau en augmentant leur complexité, en élargissant la couverture géographique de régionale à mondiale, et en améliorant les modèles et les schémas d'assimilation (**Lellouche, et al., 2013**).

Dans le cadre du service Copernicus de surveillance de l'environnement marin (CMEMS) et depuis le 19 octobre 2016, Mercator a fourni des services quotidiens en temps réel (analyses hebdomadaires et prévisions quotidiennes à 10 jours). La composante modèle est la plate-forme Nucleus for European Modelling of the Ocean (NEMO) pilotée en surface par les analyses et prévisions atmosphériques (**Lellouche, et al., 2018**).

I.4.1 Système global (GLB)

I.4.1.1 Système Global Ocean Physics Reanalysis

En raison du coût élevé des calculs, les principales avancées scientifiques sont d'abord mises en œuvre et testées avec un système global de résolution intermédiaire à $1/4^\circ$ avec 50 niveaux

verticaux (ci-après dénommé IRG/ global intermediate-resolution). La haute résolution est maintenue pour l'Atlantique et la Méditerranée en imbriquant un zoom haute résolution à $1/12^\circ$ (ci-après dénommé HRZ/ high-resolution zoom) (**Lellouche, et al., 2013**).

Le système de surveillance et de prévision Mercator Océan est basé sur la plateforme de modélisation océanique NEMO (Nucleus for European Modelling of the Ocean) (Nucleus pour la modélisation européenne de l'océan) et sur le système d'assimilation de données SAM (Systeme d'Assimilation Mercator) système d'assimilation de données. Il est utilisé avec plusieurs configurations couvrant différentes zones géographiques avec diverses résolutions horizontales et verticales. La principale configuration visée est un système global à haute résolution avec un espacement de grille horizontal de $1/12^\circ$ et 50 niveaux verticaux (**Lellouche, et al., 2013**).

Les données sont assimilées au moyen d'un filtre de Kalman d'ordre réduit, dérivé d'un filtre SEEK (**Brasseur, et al., 2006**), avec une décomposition modale multivariée tridimensionnelle de l'erreur de fond 3-D et une assimilation sur 7 jours. Il inclut une estimation adaptative de l'erreur et un algorithme de localisation. Ce système d'assimilation de données est appelé SAM (Système d'Assimilation Mercator).

La covariance des erreurs de fond est basée sur les statistiques d'une collection d'anomalies tridimensionnelles de l'état de l'océan. Les anomalies sont calculées à partir d'une longue expérience numérique par rapport à une moyenne courante afin d'estimer l'erreur d'échelle de 7 jours sur l'état de l'océan à une période donnée de l'année (**Lellouche, et al., 2018**).

Le schéma 3-DVar fournit une correction pour les biais à grande échelle évoluant lentement dans la température et la salinité.

Les données altimétriques, la température de surface de la mer fournie par les satellites et les profils verticaux in situ de température et de salinité sont assimilés conjointement afin d'estimer les conditions initiales pour la prévision numérique de l'océan. En plus du contrôle de qualité effectué par les producteurs de données, le système effectue un contrôle de qualité adéquat des profils verticaux de température et de salinité afin de minimiser le risque que des profils observés erronés soient assimilés dans le modèle (**Lellouche, et al., 2013**).

Le produit évalué dans ce document est référencé comme suit : GLOBAL-REANALYSIS-PHY-001-030 pour le produit du système Global Ocean Physics Reanalysis.

Le but de la réanalyse globale de l'océan CMEMS est de fournir une simulation globale de l'océan à résolution ($1/12^\circ$), couvrant la période récente durant laquelle des données altimétriques sont disponibles (période commençant avec le lancement des satellites TOPEX POSEIDON et ERS-1 au début des années 90), décrivant l'évolution spatio-temporelle des variables suivantes :

- hauteur de la surface de la mer au-dessus du géoïde
- température potentielle de l'eau de mer
- salinité de l'eau de mer
- vitesse de l'eau de mer en x
- vitesse de l'eau de mer en y
- fraction de la surface de la glace de mer
- épaisseur de la glace de mer
- vitesse de la glace de mer en x
- vitesse de la glace de mer en y

Ces réanalyses sont construites pour être aussi proches que possible des observations (c'est-à-dire réalistes) et en accord avec la physique du modèle. Elles couvrent "l'ère altimétrique" (à savoir du 1er janvier 1993 au 31 décembre 2019 pour GLOBAL-REANALYSIS-PHY-001-030). Les produits numériques disponibles pour les utilisateurs sont des moyennes journalières et des moyennes mensuelles décrivant l'océan de la surface au fond (5900 m) (**Drévilion, et al., 2021**).

1.4.1.2 Global biogéochimique :

Le produit de prévision biogéochimie mondiale également appelé GLOBAL_REANALYSIS_BIO_001_029. Il s'agit d'un produit pluriannuel qui s'étend de l'année 1993 à l'année 2018.

Il consiste en des champs de moyennes quotidiennes et mensuelles de plusieurs variables biogéochimiques (nitrate, phosphate, silicate, fer, oxygène dissous, chlorophylle, biomasse phytoplanctonique, production primaire, pH, pression partielle de surface du dioxyde de carbone) à une résolution horizontale de $1/4^\circ$ sur l'océan mondial (**Perruche, et al., 2019**).

I.4.2 Système Ibérique Biscaye Irlande (IBI)

I.4.2.1 IBI physique :

Le système opérationnel d'analyse et de prévision océanique Ibérique Biscaye Irlande (IBI) fournit une mise à jour quotidienne d'une prévision hydrodynamique à 5 jours, y compris les processus à haute fréquence d'une importance capitale pour caractériser les processus marins à l'échelle régionale (c'est-à-dire le forçage des marées, les surtensions et le forçage atmosphérique à haute fréquence, les apports d'eau douce des rivières, etc.). Une mise à jour hebdomadaire de l'analyse IBI est également fournie sous forme de meilleures estimations historiques de l'IBI.

Ce produit comprend des champs moyens mensuels, journaliers et horaires, tous livrés dans une grille régulière avec une résolution horizontale de $1/12^\circ$ ($0,0833^\circ$ lat x $0,0833^\circ$ long) avec 50 niveaux de la surface au fond, pour les variables suivantes :

- hauteur de la surface de la mer au-dessus du niveau de la mer
- salinité de l'eau de mer
- température potentielle de l'eau de mer
- vitesse de l'eau de mer vers l'est
- vitesse de l'eau de mer vers le nord
- vitesse barotrope de la mer à l'est
- vitesse barotrope de l'eau de mer vers le nord
- température potentielle de l'eau de mer au fond de la mer
- épaisseur de la couche mélangée de l'océan définie par le θ sigma. (Levier, et al., 2020)

L'unité de production CMEMS IBI MFC (dirigée par Nologin en coordination avec Puertos del Estado et avec le soutien en termes de ressources de supercalculateurs de CESGA) est responsable de la génération et de la livraison du produit.

Le système est basé sur l'application d'un modèle NEMO (à résolution eddy¹-resolving) exécuté à une résolution horizontale de $1/12^\circ$ depuis le 01/01/1993, alimenté par des forçages météorologiques et océanographiques à haute fréquence. Le système d'assimilation de données (Mercator Ocean assimilation system SAM2) permet de contraindre le modèle de manière

¹ **Eddy** : Mouvement circulaire des masses d'eaux.

multivariée avec la température de surface de la mer, avec toutes les anomalies de niveau de la mer par les satellites disponibles, et avec les observations in situ.

L'évaluation de la qualité est un élément clé du service CMEMS. En ce sens, avant toute nouvelle version opérationnelle, le centre de surveillance et de prévision IBI du CMEMS (IBI-MFC) procède à une qualification du futur système IBI proposé avant que cette nouvelle version du système de modélisation ne devienne pleinement opérationnelle.

Cette phase de qualification est basée sur l'évaluation scientifique des produits IBI, en mesurant la qualité de toute nouvelle version mise à jour du système de prévision IBI et en évaluant ses produits avec les précédentes versions opérationnelles IBI pour quantifier les valeurs ajoutées potentielles associées aux nouveautés, ainsi que pour vérifier l'existence d'une non-régression en termes de qualité par rapport aux précédentes solutions IBI.

En même temps que cette phase de qualification pré-opérationnelle, le MFC IBI effectue une validation exhaustive des produits opérationnels générés par le système opérationnel IBI. Cette phase de validation opérationnelle est basée sur un contrôle de routine de la qualité des produits de prévision océanique IBI sur une base quotidienne, mensuelle, saisonnière et annuelle. La qualité du système de prévision océanique IBI et de ses produits opérationnels est évaluée régulièrement depuis l'année 2011 grâce à l'outil NARVAL (**Lorente, 2012, et Sotillo, 2015**) et également en mode "hors ligne" par l'équipe de validation MFC de l'IBI d'avril 2011 à aujourd'hui.

Les données altimétriques, les profils verticaux de température et de salinité in situ et la température de surface de la mer par satellite sont assimilés pour estimer les conditions initiales de la prévision numérique de l'océan (**Levier, et al., 2020**).

I.4.2.2 IBI BIOGEOCHIMIQUE

Le produit IBI-MFC pluriannuel IBI_MULTIYEAR_BGC_005_003 comprend les moyennes journalières et mensuelles en 3D des nitrates, des phosphates, de l'ammonium, du fer, du silicate, de la profondeur euphotique, de l'oxygène dissous, de la concentration de chlorophylle, de la biomasse phytoplanctonique, de la productivité primaire, de la pression partielle de surface du dioxyde de carbone, du carbone inorganique dissous et du pH. Le produit pluriannuel couvre la période 01/1993 - 12/2019. Mais l'évaluation est menée de 01/1993 à 12/2018 (McGovern, et al., 2020).

Le produit est fourni par deux ensembles de données différents : cmems_mod_ibi_bgc_my_0.083deg-3D_P1D-m et cmems_mod_ibi_bgc_my_0.083deg-3D_P1M-m.

Les deux jeux de données fournissent des informations IBI quotidiennes et mensuelles pluriannuelles à une résolution de $1/12^\circ$, couvrant le

domaine de service IBI (figure 1). Ce domaine de service IBI couvre la zone où l'IBI-MFC a la responsabilité de fournir des prévisions et des informations pluriannuelles.

Cependant, l'application du modèle biogéochimique utilisée pour générer le produit biogéochimique pluriannuel IBI du CMEMS s'étend plus loin.

Le modèle biogéochimique PISCES v2 (Aumont, 2015), qui fait partie de la plateforme de modélisation NEMO 3.6, est un modèle de complexité intermédiaire. Il considère 24 variables pronostiques. Il existe cinq nutriments limitant pour la croissance du phytoplancton : nitrate, ammonium, phosphate, silicate et fer. Le phosphate, le nitrate et l'ammonium sont liés par un rapport Redfield constant C/N/P (122/16/1) (Takahashi, 1985) dans tous les compartiments organiques de PISCES.

PISCES est couplé à NEMO-OPA via le composant TOP qui gère les équations d'advection/diffusion des traceurs passifs mais aussi les termes de sources et de puits dus à la

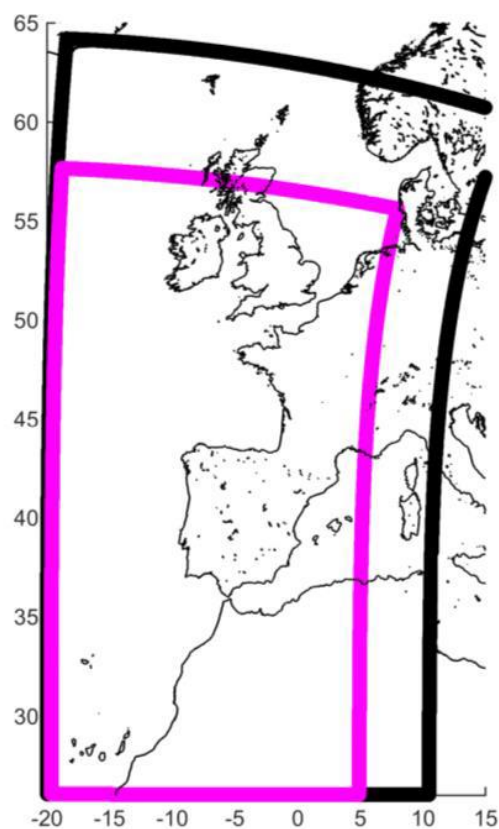


Figure 1: Étendue du domaine de service IBI utilisé pour fournir le produit biogéochimique pluriannuel IBI à l'utilisateur de CMEMS (magenta) et le domaine complet du modèle natif, utilisé pour exécuter la simulation IBI (noir).

biogéochimie. Pour cette configuration régionale, la physique et la biogéochimie fonctionnent simultanément (couplage "on-line"), avec la même résolution horizontale de $1/12^\circ$.

La simulation a commencé le 1er janvier 1993 jusqu'en décembre 2019. Le modèle biogéochimique est initialisé avec une climatologie mensuelle construite à partir du Global Ocean Analysis Product (GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_BIO_001_028) à une résolution horizontale de $1/4^\circ$ pour le même mois de départ. La climatologie est construite en utilisant les années 2010 à 2015. Les conditions aux limites ouvertes proviennent de cette même climatologie sur une base mensuelle (McGovern, et al., 2020).

I.4.3 Système physique Méditerranée (MED)

MEDSEA_MULTIYEAR_PHY_006_004 le produit Physical Mediterranean Sea Multiyear comprend deux jeux de données : une série temporelle de réanalyse couvrant la période de 1987 à un an avant le présent et un jeu de données INTERIM couvrant la période du dernier jour de la réanalyse à un mois avant le présent.

Le système pluriannuel utilise le modèle NEMO pour la partie modélisation de l'océan et assimile les profils de température et de salinité in-situ ainsi que les traces altimétriques des satellites avec le schéma OceanVar 3DVar et est implémenté dans la mer Méditerranée au $1/24^\circ$ (~4.5 km) sur 141 niveaux verticaux. Le système de réanalyse est forcé par des champs de forçage atmosphérique horaires et assimile des données retraitées.

Le jeu de données de réanalyse sera étendu deux fois par an, couvrant la période de 1987 à 1 an (ou 1,5 an selon la disponibilité des données retraitées) avant le présent. Le jeu de données INTERIM est initialisé avec le dernier jour disponible de Reanalysis et étendu chaque mois jusqu'à 1,5 mois avant le présent.

Il est à noter que les périodes de validation des deux jeux de données sont différentes : le jeu de données reanalysées est validé sur la période 1987 à 2019, alors que la compétence du jeu de données INTERIM est évaluée sur la période janvier à novembre 2020.

Le système de réanalyse physique méditerranéen repose sur trois composantes principales :

1. le modèle océanique : il s'agit d'un modèle hydrodynamique, fourni par Nucleus for European Modelling of the Ocean (NEMO v3.6) ;
2. schéma d'assimilation de données : il s'agit d'un schéma d'assimilation de données variationnel (OceanVar) pour les profils de température et de salinité et les données satellitaires d'anomalie de niveau de la mer le long de la trajectoire ;

3. données assimilées : il s'agit de profils de température et de salinité in-situ et de données satellitaires d'anomalies de hauteur de mer le long de la trajectoire. (Escudier, et al., 2021).

Matériel et méthodes

II. Matériel et méthodes

Dans ce chapitre nous avons abordé la définition de la zone d'étude et ces propriétés océaniques ensuite la méthodologie de travail pour l'évaluation des produits CMEMS.

II.1 La zone d'étude

La mer Méditerranée est une mer presque fermée située entre 5°W et 36°E en longitude et 30°N et 46°N en latitude, avec une superficie totale de 3.000.000 km² (**Escudier, 2015**). Elle sépare l'Europe du continent africain, elle se divise en deux principaux bassins : la Méditerranée Occidentale et la Méditerranée Orientale. Le bassin occidental est lui-même relativement compartimenté, on y distingue généralement six bassins, dans le cas de notre étude on se concentre sur : la mer d'Alboran, le bassin Algérien et la mer des Baléares (figure 2) (figure 3). Cinq principales grandes îles délimitent les six bassins : les trois îles Baléares à l'ouest et la Corse et la Sardaigne à l'Est. La Méditerranée Occidentale n'est pas une mer très profonde (~2600 m au maximum) et comporte de vastes zones peu profondes dont le Golfe du Lion est l'exemple le plus évident. Elle est reliée à l'ouest à l'océan Atlantique par le détroit de Gibraltar (~14 km de large et ~300m de profondeur) et à l'est à la Méditerranée Orientale par le détroit de Sicile (~150 km de large et ~400 m de profondeur). Ces détroits étant peu profonds, la profondeur des échanges est donc restreinte.

La Méditerranée est caractérisée par un climat aride. Il en découle que les apports en eau douce (précipitations, ruissèlement, fleuves) et les apports de la mer Noire ne suffisent pas à compenser les pertes par évaporation (**Bryden, et al., 1994**). Ce déficit est compensé par des échanges d'eau à Gibraltar. Le flux d'eau au niveau du Déroit est la somme d'un flux d'eaux Atlantiques plutôt chaudes et peu salées (~0.78 Sv sachant que 1Sv = 10⁶ m³/s) entrant en surface et d'un flux plus faible d'eaux Méditerranéennes plutôt froides et salées sortant en profondeur (~0.67 Sv) (**Bryden, et al., 1994**) (**Tsimplis & Bryden, 2000**) (**Criado-Aldeanueva, et al., 2012**). La Méditerranée est un bassin de concentration. Son bilan de chaleur montre qu'elle est également un bassin qui globalement perd de la chaleur.

Selon Bethoux (**Bethoux, et al., 1999**), la mer Méditerranée est comparable à un océan miniature. En effet, elle fait intervenir dans un espace relativement réduit des processus hydrodynamiques similaires à ceux liés au fonctionnement d'un océan global, impliquant des échelles spatiales et temporelles variables. La circulation globale à grande échelle est quasiment stationnaire, alors que la formation d'eaux denses dans le bassin Nord Occidental fait appel à

des processus à l'échelle du kilomètre pendant quelques heures. Entre ces deux bornes, l'ensemble du spectre est représenté avec des variabilités temporelles différentes.

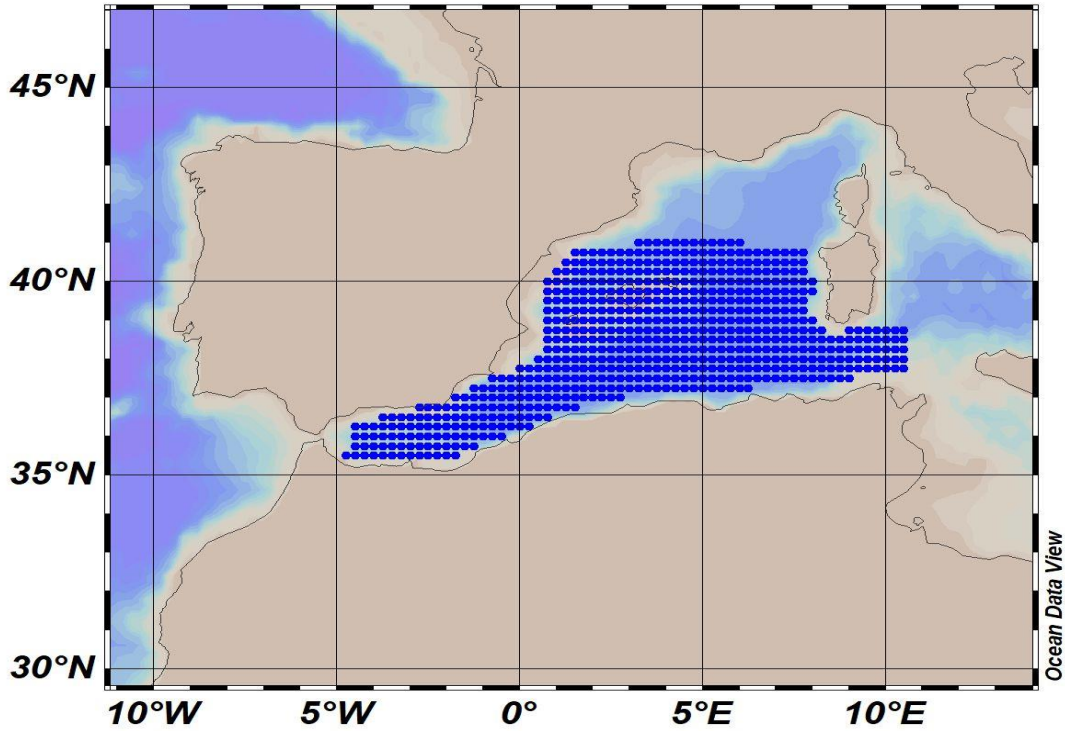


Figure 2: Carte représente la zone d'étude.

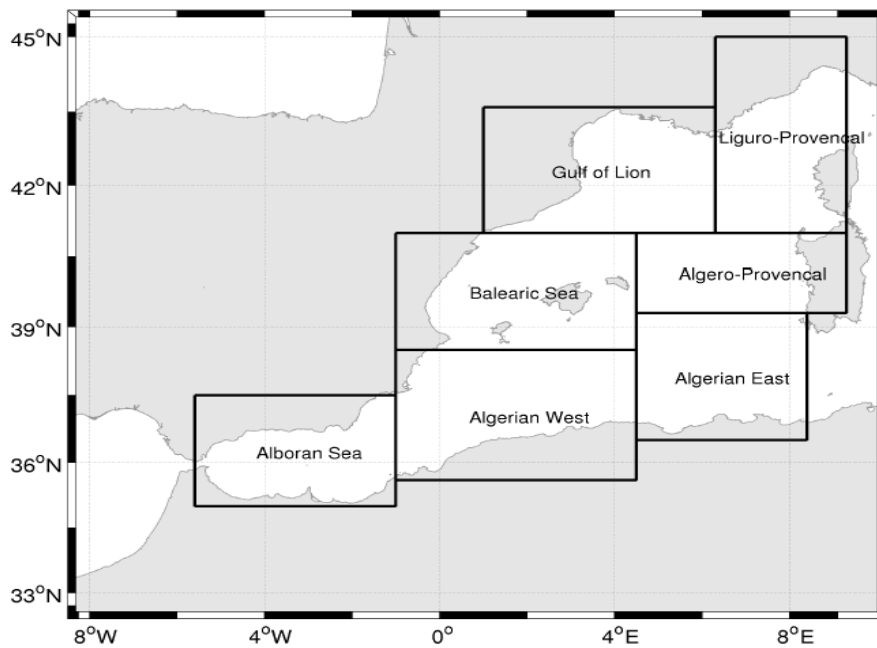


Figure 3: Différentes zones du Méditerrané occidental selon Manca et al. (2004)

II.1.1 Circulation de surface

La circulation générale de surface du bassin occidental est principalement déterminée par le forçage du vent dans l'équilibre de Sverdrup (Pinardi, 1993) (Molcard, 2002).

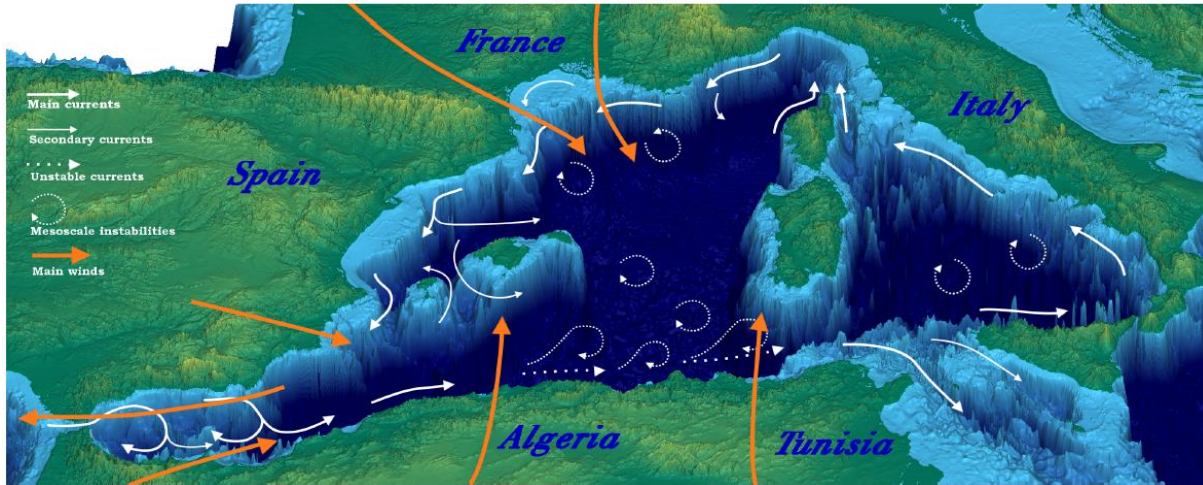


Figure 4 : Une vue d'ensemble de la Méditerranée occidentale selon Escudier (2015)

La figure 4 illustre cette situation qui a été décrite par (Milot, 1999). Le jet atlantique entre dans le bassin méditerranéen depuis le détroit de Gibraltar pour compenser la perte d'eau due à la forte évaporation induite par le vent.

Ce fort courant serpente à travers les gyres d'Alboran, le gyre d'Alboran occidental quasi permanent et le gyre d'Alboran oriental intermittent. Il devient alors le courant algérien, relativement étroit, Il longe d'abord la côte mais devient moins marqué et moins étroit au fur et à mesure qu'il se progresse vers l'est. Ceci est dû aux instabilités baroclines qui provoquent des méandres et, finalement, des tourbillons qui se détachent du courant principal (Olita, et al., 2011).

Dans la partie nord du bassin, le courant principal est le courant Nord qui se dirige vers l'ouest en longeant la côte française dans le bassin Ligurien Provençal, le golfe du Lion, puis la côte espagnole dans la mer des Baléares. Il est plus fort et plus proche de la côte en hiver alors qu'il est plus faible et plus large en été en raison de ses méandres (Conan & Millot, 1995) (Birol, et al., 2010). Le courant se divise ensuite en deux branches, l'une revenant le long de la côte nord des Baléares (Ruiz, et al., 2009) (Mason & Pascual, 2013) et l'autre vers le sud à travers le canal d'Ibiza (Pinot, et al., 2002).

Cette description de la circulation générale de surface est en accord avec la topographie dynamique moyenne (MDT) synthétique dérivée par **(Rio, et al., 2014)** qui a été obtenue en combinant des profils hydrologiques, des résultats de modèles, des observations altimétriques et des vitesses de bouées dérivantes.

Les modèles de circulation globale se sont avérés capables de reproduire correctement cette circulation, comme l'ont montré Vidal-Vijande *et al* (**Vidal-Vijande, et al., 2012**), mais ils n'ont pas la résolution nécessaire pour reproduire les caractéristiques à méso-échelle.

II.1.2 Les masses d'eau

Il existe plusieurs masses d'eau plus caractéristiques dans la mer Méditerranée (**Nielsen, 1912**). Elle possède plusieurs sites de convection où, en hiver, des vents froids et secs évaporent des eaux déjà plus denses et créent un mélange vertical plus ou moins profond qui génère des eaux denses.

Lorsque les conditions ne sont pas suffisantes pour déclencher la convection profonde, le refroidissement induit néanmoins un mélange de la couche de surface avec les LIW de haute salinité qui forment les eaux intermédiaires occidentales (WIW), à la fois plus fraîches et plus froides que les LIW (Levantine Intermediate Water) et donc placées au-dessus d'elles (**Send, et al., 1999**). Cette masse d'eau, décrite pour la première fois par (**Salat & Font, 1987**), est advectée vers le sud par des tourbillons d'eau modaux dans le courant du nord (Pinot, et al., 2002). Dans une étude récente Juza *et al* (**Juza, et al., 2013**) ont décrit la formation et la propagation des WIW en utilisant une modèle haute résolution du méditerrané occidental (WMed). Ils ont montré que cette masse d'eau peut se propager vers le sud dans la mer d'Alboran où elle est détectée comme un minimum de température potentielle.

II.1.3 Dynamique à méso-échelle

En Méditerranée occidentale, l'activité mésoéchelle est présente bien que plutôt inhomogène, les petites caractéristiques de méso-échelle sont difficiles à observer, mais les plus grandes, comme les gyres d'Alboran ou les tourbillons d'Algérie, ont été étudiées de manière approfondie, d'abord par des campagnes hydrographiques à bord de navires, puis à l'aide de satellites ou de véhicules autonomes (gliders). Le développement d'ensembles de données à plus haute résolution ou à meilleure couverture spatiale et temporelle a permis d'améliorer régulièrement notre connaissance de la mésoéchelle dans la région WMed. Cependant, la plupart des connaissances que nous avons de la méso-échelle dans la région proviennent

d'études ou de simulations localisées qui décrivent des tourbillons spécifiques ou des modèles à basse résolution qui ne peuvent résoudre que les plus grands tourbillons.

II.1.3.1 La mer d'Alboran

Les eaux Atlantiques qui passent par le détroit de Gibraltar forment deux grands gyres anticycloniques à l'entrée de la mer Méditerranée ((**Vazquez-Cuervo, et al., 1996**) (**Viudez, et al., 1996**) (**Allen, et al., 2001**)). Même si ces structures étaient connues depuis relativement longtemps, les données satellitaires plus récentes ont permis de mieux comprendre la dynamique de ces gyres de méso-échelle.

En utilisant de nombreuses données in-situ ainsi que la température de surface de la mer (SST) provenant de satellites, Viudez, Tintoré et Haney (**Viudez, et al., 1996**) ont fait la première description précise des gyres. Ensuite, avec plus de données in-situ (mouillages, courantomètres, marégraphes) et plus de SST par satellite, Vargas-Yanez *et al* (**Vargas-Yanez, et al., 2002**) ont décrit deux régimes différents pour la circulation dans le bassin, un avec seulement le WAG (Western Alboran Gyre) en hiver-printemps et un avec les deux gyres en été-automne. Cette étude a été complétée par Renault *et al* (**Renault, et al., 2012**) qui ont étudié la variabilité annuelle et interannuelle des gyres à partir de cartes altimétriques. Les mesures effectuées par les navires ont permis à Allen *et al* (**Allen, et al., 2001**) de caractériser l'hydrographie et les vitesses verticales dans ces gyres.

En utilisant une combinaison de données in-situ, de SST provenant de satellites et d'altimétrie par satellite, Flexas *et al* (**Flexas, et al., 2006**) ont découvert une migration du WAG et ont discuté certaines hypothèses pour sa migration. En juillet 2008, une expérience décrite par Ruiz *et al* (**Ruiz, et al., 2009**) impliquant une nouvelle technologie de planeur qui a aidé à calibrer les données altimétriques dans l'est de la mer d'Alboran a été utilisée pour évaluer les vitesses verticales dans les gyres. En combinant les données hydrographiques haute résolution du planeur et l'altimétrie satellitaire, ils ont pu estimer les échanges verticaux à environ 1 m par jour dans les gyres.

Récemment, Peliz *et al* (**Peliz, et al., 2012**) ont réalisé une simulation réaliste à haute résolution (2 km) du bassin et l'ont utilisée pour étudier la dynamique à méso-échelle (**Peliz, et al., 2013**). Ils ont confirmé les deux modes décrits par Renault *et al* (**Renault, et al., 2012**) et ont examiné la migration du WAG et son impact sur la transition entre les deux régimes. Une étude sur les tourbillons de méso-échelle dans cette région a également été menée et a montré que les tourbillons générés étaient petits (rayon moyen de 13 km), de courte durée (moins de 3

semaines), plus susceptibles d'être des cyclones et qu'ils étaient générés de préférence lorsque les deux gyres n'étaient pas présents. Les tourbillons sont générés principalement par des instabilités du jet et de forts courants le long de la côte et dans le détroit de Gibraltar.

II.1.3.2 Bassin algérien

Le bassin algérien est situé au sud du bassin méditerranéen, le long de la côte algérienne, et peut être séparé en deux parties, l'une occidentale et l'autre orientale. Dans cette région, le courant algérien est très instable et la circulation est dominée par de forts et grands tourbillons de méso-échelle (**Olita, et al., 2011**). Ces tourbillons de méso-échelle, connus sous le nom de tourbillons algériens, ont été observés depuis les années 1970 et ont été décrits à partir de données in-situ provenant de croisières océanographiques (**Benzohra & Millot, 1995**) ou de bouées dérivantes (**Font, et al., 1998**). Le lancement de satellites d'observation de la terre a permis une observation plus facile de ces structures ainsi que la possibilité de les suivre à l'aide d'images infrarouges satellitaires (**Millot, 1985**) ou altimétriques (**Ayoub, et al., 1998**). La combinaison de ces ensembles de données avec d'autres capteurs tels que bouées dérivantes (**Salas, et al., 2002**) (**Font, et al., 2004**) a montré la fiabilité des capteurs satellites et leur potentiel pour décrire ces grands tourbillons de méso-échelle. Leur influence sur la biologie a également été étudiée à l'aide de données de croisière (**Moran, et al., 2001**). Avec une étendue qui peut atteindre 1000 m comme observé par Ruiz *et al* (**Ruiz, et al., 2002**), ces caractéristiques ont des diamètres d'environ 100-200 km et leur durée de vie varie de plusieurs mois à 3 ans (**Puillat, et al., 2002**).

Les tourbillons algériens suivent généralement le courant principal vers l'est d'où ils tirent leur énergie, jusqu'à ce qu'ils se détachent de la côte et dérivent vers le nord où ils arrivent finalement au centre du bassin. Là, ils ont tendance à aller vers l'ouest et peuvent retourner dans le courant algérien et ainsi faire une boucle (**Puillat, et al., 2002**). Lorsque les tourbillons se détachent de la côte algérienne, ils transportent les propriétés de la masse d'eau vers le nord plutôt que vers l'est par le courant.

Les tourbillons de méso-échelle algériens sont généralement générés par l'instabilité barocline (**Millot, 1985**), (**Beckers & Nihoul, 1992**).

II.1.3.3 La mer des Baléares

Dans la mer des Baléares, la circulation générale (**Font, et al., 1988**) est composée du courant du nord qui suit la côte catalane et se sépare ensuite en deux branches, l'une passant par le canal d'Ibiza (**Pinot, et al., 2002**) et l'autre recirculant dans le courant des Baléares, qui se dirige vers

l'est le long de la côte nord des îles Baléares (**Mason & Pascual, 2013**). Cette circulation est modulée par une activité de méso-échelle qui, au début, a été sous-estimée (**La Violette, et al., 1990**) mais qui s'est ensuite avérée être similaire au courant algérien (**Garcia, et al., 1994**).

Dans le courant des Baléares, de nombreuses études ont montré l'existence de structures de méso-échelle en analysant des données satellitaires, des bouées dérivantes, des croisières océanographiques ou des gliders (**Pinot, et al., 1995**); (**Ruiz, et al., 2009**).

En particulier, Pascual *et al* (2002) ont utilisé les données SST des satellites ainsi que la SLA de l'altimétrie pour déduire la formation, la vie et le déclin d'un fort anticyclone au nord de Mallorca qui a bloqué la circulation habituelle dans la mer des Baléares. Un tourbillon anticyclonique plus petit a également été trouvé dans cette zone par Pascual (**Pascual, 2010**) en 2009 lors d'une expérience multi-capteurs. Plus récemment, Amores, et al (2013) ont utilisé un mouillage pour décrire les caractéristiques d'un tourbillon apparaissant dans la mer des Baléares. La taille de ces tourbillons varie entre 15 km (**Pascual, 2010**) (**Amores, et al., 2013**) et 100 km (**Pascual, 2010**).

L'hypothèse de la formation de ces tourbillons est due aux instabilités du courant des Baléares, à la formation d'un méandre puis d'un tourbillon acohérent (**Amores, et al., 2013**) pour les plus petits tourbillons.

II.2 Les étapes de l'acquisition des données

II.2.1 Le téléchargement des données CTD (Sea data net)

Sea Data Net est une infrastructure de données marines distribuée pour la gestion de jeux de données importants et diversifiés provenant de l'observation in situ des mers et des océans. Des centres de données professionnels, actifs dans la collecte de données, constituent un réseau paneuropéen fournissant des bases de données intégrées en ligne de qualité standardisée.

(<https://cdi.seadatanet.org/search>)

- Les données in-situ conductivité, température et profondeur CTD (conductivity Temperature Depth), chlorophylle et oxygène ont été téléchargées à partir de la plateforme Sea data net en format texte.
 1. Création d'un compte Sea Data Net.
 2. Remplissage des champs nécessaires par rapport l'objectif de la recherche (la zone géographique, les paramètres, ...) (figure 5)

The screenshot shows the 'NEW SEARCH' interface of the Sea Data Net website. It features a top navigation bar with 'NEW SEARCH', 'SEARCH', and 'RESET' buttons. The main form is divided into several sections:

- Geographic search:** Includes a globe icon, a latitude field (40), a longitude field (-5), a depth field (10), and a depth field (35). A checkbox labeled 'Search within bounding box' is checked.
- Sea regions:** A search box and a list of regions with checkboxes: Asian mainland, Atlantic Ocean, Baltic Sea, European mainland, Indian Ocean, Mediterranean Region, Pacific Ocean, and South China and Eastern Archipelagic Seas.
- Date search:** Fields for 'From' and 'To' in 'yyyymmdd' format.
- Parameters:** A dropdown menu for 'Search Discipline (P08)' with options: Human activities, Marine geology, Physical oceanography (checked), and Terrestrial. Below this, a list shows 'Biological oceanography' and 'Physical oceanography' with 'X' marks.

Red arrows point to the 'Geographic search' and 'Parameters' sections.

Figure 5: Capture qui montre le remplissage des champs des données Sea data net

3. Spécification du type de l'instrument utilisé pour l'acquisition des données dans ce cas nous avons choisi CTD (figure 6)

The screenshot shows the SeaDataNet search interface. On the left, there are filters for 'MEASURING AREA TYPE' (point: 6093) and 'INSTRUMENT TYPE' (highlighted in red). The 'INSTRUMENT TYPE' filter includes: discrete water samplers (2946), CTD (2137), water temperature sensor (540), salinity sensor (165), satellite tracking system (96), and sediment dredges (95). Below it is the 'PLATFORM TYPE' filter. The main search results table has columns: Dataset name, Country originator, Start date, and Instrument / gear type. It lists 31 CTD datasets from Spain, with start dates ranging from 20100324 to 20100427.

Figure 6 : Capture qui montre le sectionnement du type d'instrument.

- Pour l'objectif de notre étude les données CTD in situ comprennent 31 campagnes de 1993 à 2017. (Voir annexe 3 pour le tableau des campagnes et les paramètres analysés pour chacune).

II.2.2 Le téléchargement des données CMEMC

- Pour accéder à la plate-forme CMEMS il faut d'abord Créer un compte, par la suite choisir le produit qui correspond à votre étude, dans notre cas nous avons choisi 5 produits CMEMS (tableau 1) qui couvrent notre zone et période d'étude.

Tableau 1: les produits CMEMS utilisés et leurs paramètres.

Produit	Résolution spatiale	Niveaux verticaux	Résolution temporelle	Assimilation des données	Période	Paramètres
GLOBAL-REANALYSIS-PHY-001-030	1/12°	50	Quotidienne	SAM	1993-2019	T, S
GLOBAL_REANALYSIS_BIO_001_029	1/4°	75	Quotidienne	non	1993-2019	O ₂ , Chlr

IBI_MULTIYEAR_PHY_005_002	1/12°	50	Quotidienne	Mercator Ocean SAM2	1993-2019	T, S
IBI_MULTIYEAR_BGC_005_003	1/12°	50	Quotidienne	non	1993-2019	O ₂ , Chl _r
MEDSEA_MULTIYEAR_P_HY_006_004	1/24°	141	Quotidienne	OceanVar 3DVar	1987-2021	T, S

- Pour le téléchargement des données CMEMS, il faut juste introduire les limites géographiques correspondant à chaque campagne (figure 7), et limiter la profondeur dans notre cas 100 m, et choisir les paramètres (figure 8).

The screenshot shows the Copernicus Marine Service web interface. At the top, there are logos for the European Union, Copernicus, and Copernicus Marine Service, along with navigation links: Home, Access Data, User Corner, and Contact Us. A 'BETA' badge and user icons are also present.

The main content area has two radio buttons: 'Whole available region' (unselected) and 'Sub-region extraction' (selected). Below these are four input fields for geographical coordinates: North (N) set to 40, West (W) set to -5, East (E) set to 10, and South (S) set to 35. A satellite-style map of the Mediterranean region is centered between these coordinates. A 'Reset geographical selection' button is located at the bottom right of this section.

Below the geographical selection is a 'Time range' section. It includes a note '(Default = Last date available)' and a checkbox for 'Select all dates' which is unchecked. There are two date pickers: 'Start date' and 'End date', both set to '2019-12-31 12:00:00'.

Figure 7: Capture qui montre le sectionnement de la limite géographique.

The screenshot shows the Copernicus Marine Service web interface. At the top, there are logos for the European Union, Copernicus, and Copernicus Marine Service. Navigation links include Home, Access Data, User Corner, and Contact Us. A BETA badge and user profile icons are also visible.

The main content area is divided into two sections:

- Depth:** (Default = Surface depth)
 - Select all depths
 - Start depth: 0.4940
 - End depth: 109.7293
- Variables:** (Default = All variables)

<input type="checkbox"/>	Name	Description	Standard name	Units
<input type="checkbox"/>	bottomT	Sea floor potential temperature	sea_water_potential_temperature_at_sea_floor	degrees_C
<input type="checkbox"/>	mlotst	Density ocean mixed layer thickness	ocean_mixed_layer_thickness_defined_by_sigma_theta	m
<input type="checkbox"/>	siconc	Ice concentration	sea_ice_area_fraction	1
<input type="checkbox"/>	sithick	Sea ice thickness	sea_ice_thickness	m
<input checked="" type="checkbox"/>	so	Salinity	sea_water_salinity	1e-3
<input checked="" type="checkbox"/>	thetao	Temperature	sea_water_potential_temperature	degrees_C
<input type="checkbox"/>	uo	Eastward velocity	eastward_sea_water_velocity	m s-1

Figure 8 : Capture qui montre le sectionnement de la limite de profondeur et le choix des paramètres.

II.3 Traitement des données

- Les données in-situ CTD sont en format texte, donc nous pouvons les introduire facilement dans l'Excel et les trier dans un ordre spécifique et supprimer les cellules vides pour obtenir notre base des données.
- Nous avons effectué un arrondissement des stations des données in situ par rapport à la grille des stations géographiques proposées par chaque produit CMEMS par la fonction **arrondi au multiple** disponible sur Excel. Les multiples ont été choisis par rapport la résolution spatiale de chaque produit pour la longitude x et la latitude y (tableau 2).
- Pour la profondeur z le multiple est de 1 pour avoir des données à chaque mètre (tableau 2).

Tableau 2 : Arrondissements des produits CMEMS.

Produit	Multiple	
	x et y	Z
Global	1/12	1
Global biogéochimique	¼	1
IBI	1/12	1
Méditerranée	1/24	1

- Pour les données CMEMS nous avons utilisé la version 4.7.10 d’Ocean Data View (ODV) pour visualiser les données téléchargées et les transformer du format NetCDF vers un format plus accessible par l’Excel (format texte), ODV est un logiciel d'exploration, d'analyse et de visualisation interactive de données océanographiques et autres données géoréférencées de profil, de séries temporelles, de trajectoires ou de séquences.
- Les données CMEMS ont été organisées et triées selon la même ordre que les données CTD.
- Concernant l’arrondissement des données, il a été effectué seulement pour la profondeur z avec un multiple de 1 pour avoir des données à chaque mètre.
- Après avoir préparé toutes les données traitées in situ et CMEMS, on procède à l’exécution d’un script pour la fusion de ces deux données en fonction de longitude x, latitude y, profondeur z et temps t (voir Annexe 5 pour le script R). Où il attribue à chaque donnée in-situ une donnée CMEMS (figure 9).

R est un langage et un environnement pour le calcul statistique et les graphiques. R fournit une grande variété de techniques statistiques (modélisation linéaire et non linéaire, tests statistiques classiques, analyse de séries chronologiques, classification, regroupement, ...) et graphiques, et il est hautement extensible.

RStudio est un environnement de développement intégré (IDE) pour R. Il comprend une console, un éditeur de mise en évidence de la syntaxe qui prend en charge l'exécution directe du code, ainsi que des outils de traçage, d'historique, de débogage et de gestion de l'espace de travail.

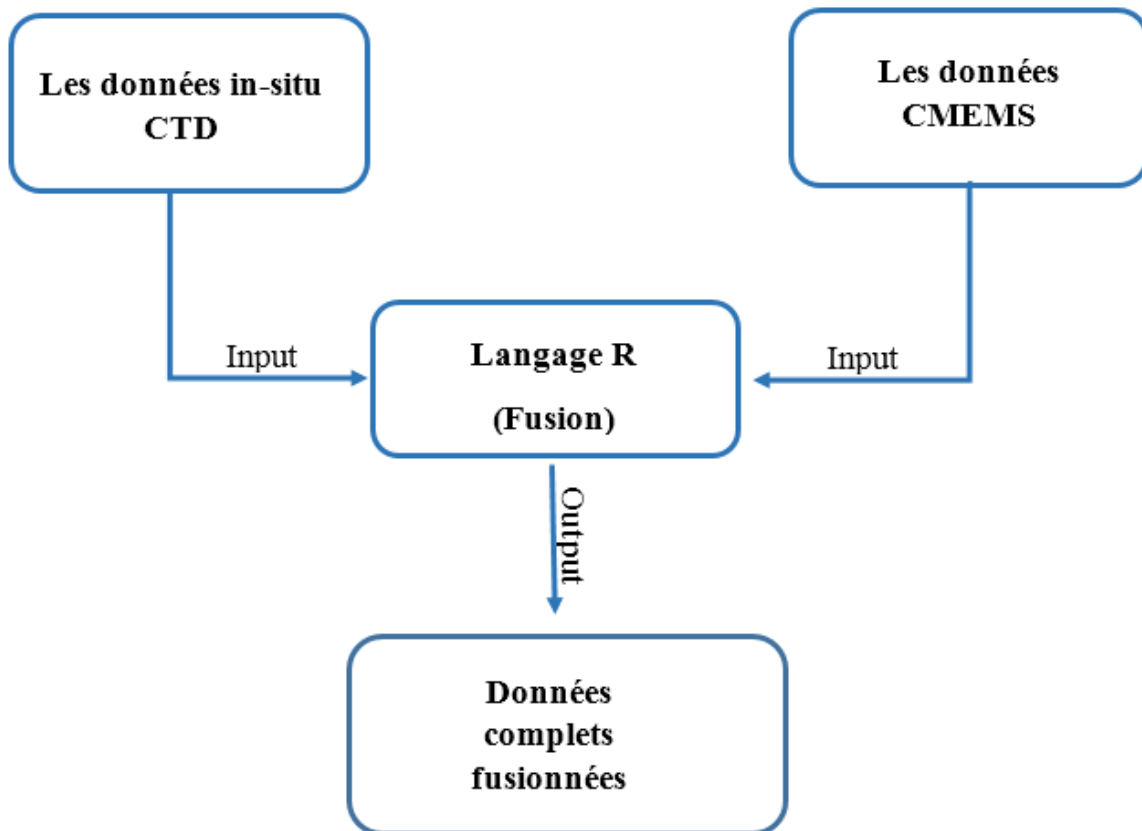


Figure 9: Schéma récapitulatif de l'étape de fusionnement des données.

II.3.1 Les statistiques

- Pour l'évaluation des données CMEMS nous avons procédé à un calcul des statistiques du coefficient de corrélation, la racine de l'erreur quadratique moyenne (RMSD) et l'écart type pour chaque paramètre mesuré et pour chacune des campagnes on utilisant un script R, le nombre des points utilisé pour les calculs est de 101450 données (annexe 4).
- Ensuite nous avons regroupé toutes les données selon les produits pour avoir des statistiques totaux pour chaque paramètre (température, salinité, oxygène et chlorophylle).
- Finalement nous avons séparé les campagnes côtières et hauturières pour le recalcul des statistiques.

II.3.1.1 Coefficient de corrélation

Le coefficient de corrélation est la mesure spécifique qui quantifie la force de la relation linéaire entre deux variables d'une analyse de corrélation. Le coefficient est noté r dans un rapport de corrélation.

La formule compare la distance de chaque point de données à la moyenne et donne une mesure de l'intensité et du sens de la relation linéaire entre deux variables. C'est ce que l'on entend par les corrélations concernent les relations linéaires.

Le coefficient de corrélation r est une valeur sans unité comprise entre -1 et 1.

- Plus r est proche de zéro, plus la relation linéaire est faible.
- Les valeurs positives de r indiquent une corrélation positive lorsque les valeurs des deux variables tendent à augmenter ensemble.
- Les valeurs négatives de r indiquent une corrélation négative lorsque les valeurs d'une variable tend à augmenter et que les valeurs de l'autre variable diminuent.
- Les valeurs 1 et -1 représentent chacune les corrélations « parfaites », positive et négative respectivement. Deux variables présentant une corrélation parfaite évoluent ensemble à une vitesse fixe. On dit que la relation est linéaire.
- La formule de corrélation de Pearson :

$$r = \frac{\sum(x_i - x_{\text{moyenne}})(y_i - y_{\text{moyenne}})}{\sqrt{\sum(x_i - x_{\text{moyenne}})^2 * \sum(y_i - y_{\text{moyenne}})^2}}$$

Où les X et les Y sont des variables.

II.3.1.2 La racine de l'erreur quadratique moyenne RMSD

La racine de l'erreur quadratique moyenne (REQM) ou racine de l'écart quadratique moyen (en anglais, *rootmean square deviation RMSD*) est une mesure fréquemment utilisée des différences entre les valeurs (valeurs d'échantillon ou de population) prédites par un modèle ou estimateur et les valeurs observées (ou vraies valeurs).

La RMSD est toujours positive et une valeur de 0 (presque jamais atteinte en pratique) indiquerait un ajustement parfait aux données. En général, une valeur de RMSD plus petite indique une meilleure précision qu'une valeur de RMSD plus élevée.

En effet, le RMSD consiste souvent à comparer des valeurs théoriques avec des valeurs observées pour voir à quel point le modèle théorique représente bien la réalité.

- La REQM d'un estimateur X par rapport à un paramètre estimé Y est définie comme la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne :

$$\text{REQM} = \sqrt{EQM(X)} = \sqrt{E((X - Y)^2)}.$$

II.3.1.3 L'écart type

En mathématiques, l'**écart type** est une quantité réelle positive, éventuellement infinie, utilisée dans le domaine des probabilités pour caractériser la répartition d'une variable aléatoire autour de sa moyenne.

Plus l'écart type est faible, plus la population est homogène.

La formule de l'écart type :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_{moyenne})^2}{N}}$$

Avec x_i : la variable et N : le nombre totale des points.

Résultats et discussion

III. Résultats et discussion

III.1 Comparaison entre les données in-situ CTD et les données CMEMS

Tableau 3: La comparaison des corrélations, la racine de l'erreur quadratique moyenne et l'écart type de température, salinité, oxygène et chlorophylle entre les données CTD calculées et les données référenciés du manuels CMEMS.

Produit	Paramètre	Corrélation		RMSD		Ecart type	
GLB	T (°C)	Calculé	0,951	Calculé	1,026	Calculé	3,185
		Référencié	//	Référencié	0,400^	Référencié	//
	S(PSU)	Calculé	0,817	Calculé	0,487	Calculé	0,626
		Référencié	//	Référencié	0,200^	Référencié	//
	O ₂ (µmol/l)	Calculé	0,329	Calculé	32,673	Calculé	34,202
		Référencié	//	Référencié	//	Référencié	//
Chlr (mg/m ⁻³)	Calculé	0,201	Calculé	0,286	Calculé	0,283	
	Référencié	//	Référencié	0,371*	Référencié	//	
IBI	T (°C)	Calculé	0,944	Calculé	1,067	Calculé	3,166
		Référencié	//	Référencié	0,700*	Référencié	//
	S(PSU)	Calculé	0,821	Calculé	0,501	Calculé	0,676
		Référencié	//	Référencié	0,200	Référencié	//
	O ₂ (µmol/l)	Calculé	0,086	Calculé	35,079	Calculé	27,858
		Référencié	0,940^	Référencié	8,150^	Référencié	19,490^
Chlr (mg/m ⁻³)	Calculé	0,356	Calculé	0,373	Calculé	1,961	
	Référencié	0,720*	Référencié	0,440*	Référencié	0,600*	
MED	T (°C)	Calculé	0,948	Calculé	0,851	Calculé	2,124
		Référencié	//	Référencié	0,300*	Référencié	//
	S(PSU)	Calculé	0,857	Calculé	0,361	Calculé	0,613
		Référencié	//	Référencié	0,180*	Référencié	//

T : Température

S : Salinité

O₂ : Oxygène dissous

Chlr : Chlorophylle

Calculé : les coefficients calculés par rapport aux données in-situ CTD

Référencié : les coefficients donnés par les manuels CMEMS dans lesquels :

* : Donnée comparée par rapport aux données satellitaires

^ : Donnée comparée par rapport aux données climatologiques

// : Pas de donnée

Les coefficients de corrélation calculés sont entre 0,8 à 0,9 pour la température et la salinité qui représentent une très bonne corrélation avec les trois modèles, par contre pour les paramètres oxygène et chlorophylle la corrélation entre les données in-situ et chacun des deux modèles (IBI et GLB) est faible avec des valeurs de coefficient toujours inférieures à 0,33 (tableau 3).

Pour le modèle IBI, le manuel d'utilisation fourni par CMEMS (CMEMS-IBI-QUID-005-003) indique un coefficient de corrélation de 0,7 pour la chlorophylle calculée à partir des données satellitaires. Dans notre cas, les données modèle sont comparées à des données in-situ sur toute la couche euphotique nous trouvons $r = 0,3$. Cette diminution de la relation de corrélation peut être expliquée par la forte variabilité de la chlorophylle sur la couche euphotique qui est marquée par un Deep Chloro Max (DCM) entre 50m et 80m.

Pour l'oxygène le manuel IBI donne un coefficient de corrélation de 0,94. Ce calcul est basé sur des données de la Climatologie **WOA13a**² (World Ocean Atlas 2013) sur des données de toute la colonne d'eau jusqu'au fond où la variation du gradient d'oxygénation est moins notable. Pour seulement la zone euphotique, sur laquelle nos calculs de corrélation sont basés, il n'y a pas de corrélation entre les données CTD in-situ et les données modèles.

La racine de l'erreur quadratique moyenne RMSD calculée des paramètres température, salinité et l'oxygène est supérieure à la RMSD référencée, où on a trouvé une RMSD de température supérieure à 0,8°C dans les trois produits GLB, IBI et MED, supérieure à 0,3 PSU pour la salinité et de l'ordre de 32 $\mu\text{mol/l}$ pour l'oxygène.

Par contre pour la chlorophylle on a trouvé presque le même RMSD calculée et référencée donnée par rapport aux données satellitaires de la surface de la mer.

Pour tous les paramètres, on a trouvé des écarts types supérieurs à RMSD, ce qui signifie que l'erreur est inférieure à la variabilité de nos données de température, salinité et chlorophylle.

² **WOA13a** : est un ensemble de champs climatologiques moyens, maillés, de variables océanographiques basés sur des mesures in situ provenant d'une grande variété de sources.

Sauf pour le paramètre oxygène du produit IBI où l'écart type est inférieur à la RMSD, ce qui signifie que le model ne représente pas vraiment la réalité. Ceci est de plus confirmé par la valeur 0,086 du coefficient de corrélation.

III.2 La comparaison entre les trois produits

Pour la comparaison entre les trois produits on a choisi des campagnes (voir annexe 7 pour la liste des campagnes) où il y a un nombre de point semblables à fin d'effectuer notre calcul des coefficients pour les paramètres température, salinité, chlorophylle, malheureusement pour le cas de l'oxygène, il n'y a pas assez de données.

Tableau 4 : Corrélation, RMSD, écart type des températures, salinité et Chlorophylle pour les 3 produits CMEMS.

Les produits	Les paramètres	Corrélation (r)	RMSD	Ecart type
GLB	T (°C)	0,913	1,132	2,583
	S(PSU)	0,793	0,526	0,730
	Chlr (mg/m ³)	0,252	0,285	0,279
IBI	T (°C)	0,921	1,060	2,567
	S(PSU)	0,851	0,454	0,717
	Chlr (mg/m ³)	0,500	0,344	0,273
MED	T (°C)	0,906	1,057	2,484
	S(PSU)	0,813	0,444	0,734

Le tableau 4 montre que la température et la salinité des 3 produits donnent une bonne corrélation, remarquons que le produit IBI donne une meilleure corrélation que celles des autres deux produits.

Pour ces paramètres on a trouvé des écarts types supérieurs à RMSD qui signifie que l'erreur est inférieure à la variabilité de nos données pour les 3 produits, mais on remarque que le produit IBI et MED donnent une RMSD légèrement plus petite que GLB.

Concernant la chlorophylle, le produit GLB donne une faible corrélation de 0,2 avec une erreur plus petite 0,285 mg/m³ comparé par rapport à 0,5 et 0,344 mg/m³ pour IBI. Cela signifie que malgré que les données in-situ et les données CMEMS ne sont pas corrélées le produit GLB en terme d'exactitude est meilleure que IBI. L'écart type et la RMSD de la chlorophylle sont très

proches, ce qui veut dire que les deux produits GLB et IBI ne peuvent pas présenter la variabilité de chlorophylle dans la réalité.

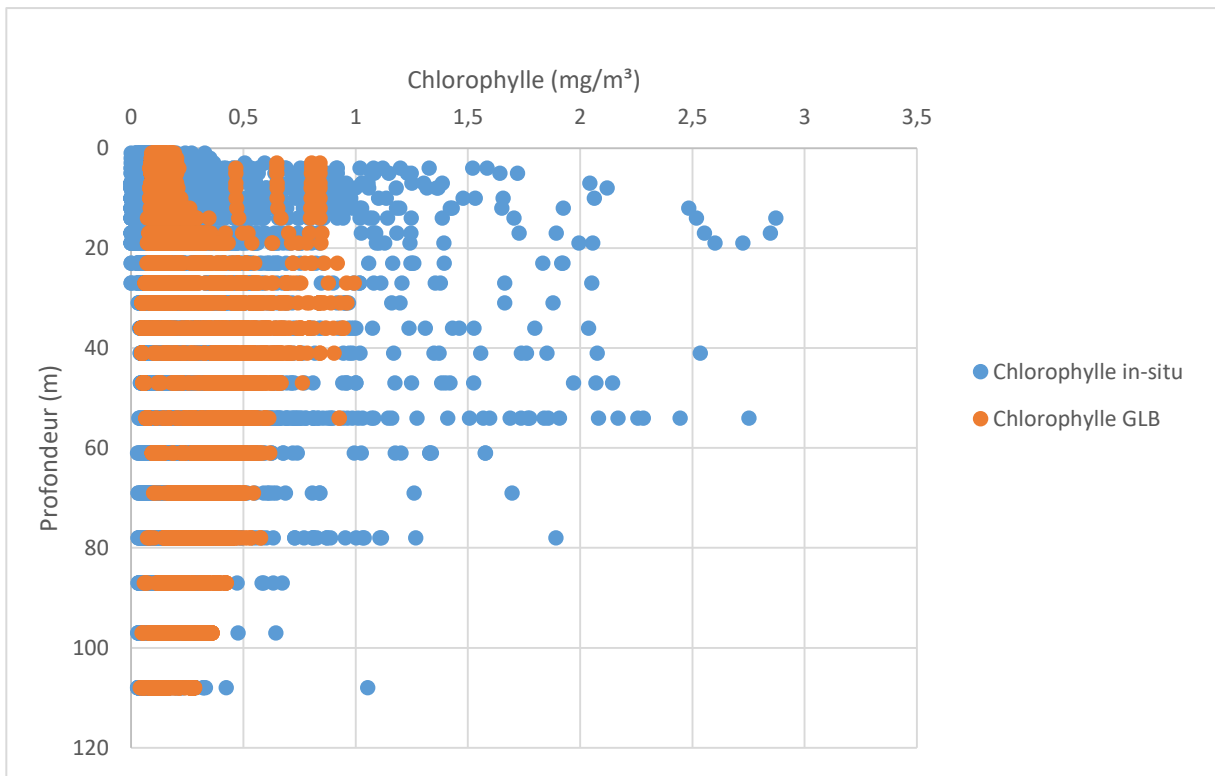


Figure 11: La distribution de Chlorophylle en fonction de la profondeur pour le produit GLB

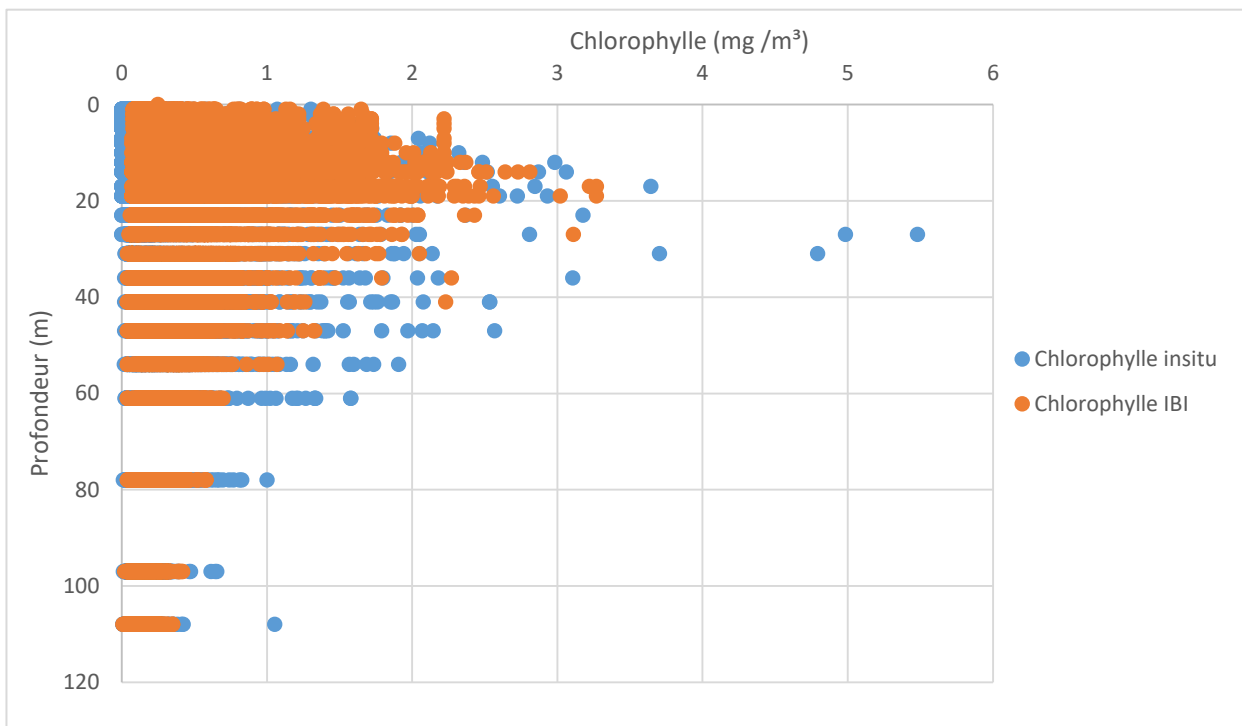


Figure 10: La distribution de Chlorophylle en fonction de la profondeur pour le produit IBI

Parmi les modèles analysés, IBI fournit généralement des meilleurs résultats en termes de valeurs de concentration de chlorophylle (figure 11). En particulier, il reproduit bien le schéma des maxima locaux de concentration de chlorophylle (deep Chloro max DCM) le long de la couche euphotique, mais pour le modèles GLB cette concentration maximale n'est pas vraiment marquée (figure 10), bien que IBI est un modèle régional et dans le cas de notre étude les données qu'on a utilisé pour ce produit couvre la partie ouest de la méditerranée où il n'y a plus de circulation océanique surtout au niveau de la mer d'Alboran avec la présence des eddies permanents.

Les travaux de Aulicino *et al* (Aulicino, et al., 2021) ont aussi démontré cela ils ont en général trouvé que les simulations quotidiennes de l'IBI présentent une corrélation linéaire plus élevée avec les données in situ des ($r \approx 0.6$) que celles de GLB. Les produits IBI reproduisent également mieux le schéma des maxima locaux de concentration de chlorophylle à travers le bassin algérien. Néanmoins, ils sous-estiment largement les mesures de chlorophylle et présentent des différences significatives qui limitent leur capacité à reproduire sa concentration dans les couches supérieures de l'océan.

III.3 La comparaison entre les zones côtières et hauturières

Pour cette partie, nous avons séparé les campagnes en fonction de la profondeur du fond en deux catégories :

- 100-200 m campagnes côtières
- >200 m campagne hauturière

Et nous avons recalculé le coefficient de corrélation et la racine de l'erreur quadratique moyenne RMSD pour les campagnes strictement côtières et les campagnes strictement hauturières, et on a évité de prendre en considération les campagnes mixtes où se trouvent des profondeurs côtières et hauturières pour avoir des résultats représentatifs pour chaque zone.

Les données in-situ disponibles pour les campagnes côtières sont : (EUBAL1, Medgoos2, Medgoos3, Medgoos4), et les campagnes hauturières sont : (64PE217, 64PE314, 64PE367, 64PE389, BIOMEGA, GYROSCOP, Medgoos10, MTPII-MATER/ELISA2 OCT97, MTPII-MATER/HESP APR98, MTPII-MATER/MINOS MAY96, NORBAL1, PEACTIME, Somba, WB14). Ces données sont comparées aux produits GLB et MED.

Alors que pour le produit IBI, une seule campagne est disponible pour la zone côtière : (EUBAL1). Pour la zone hauturière les campagnes sont : (64PE217, 64PE314, 64PE367, 64PE389, PEACTIME, Somba, WB14).

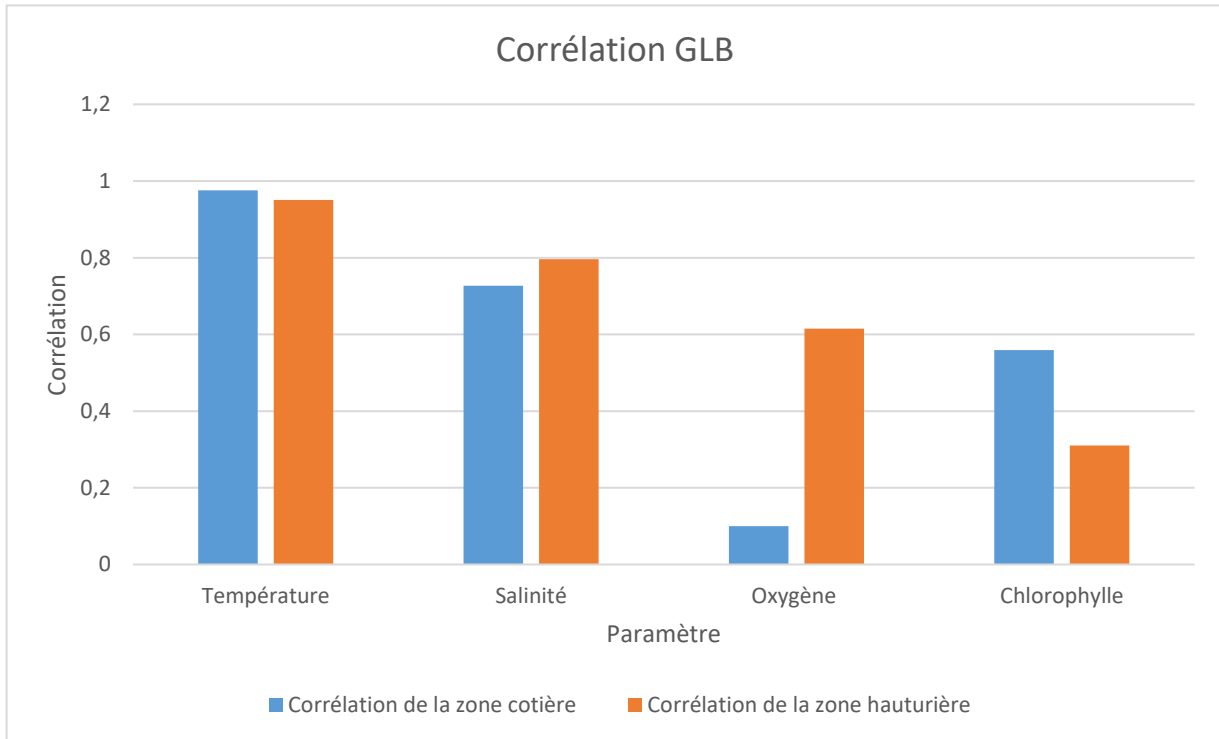


Figure 12 : Les coefficients de corrélation de la température, salinité, oxygène, chlorophylle par rapport au produit GLB.

Le produit GLB présente une bonne corrélation pour la température $> 0,9$ pour les deux zones côtière et hauturière. Pour la salinité la corrélation est moins forte que celle de la température $> 0,7$ (figure 12).

Par contre pour l'oxygène on voit que dans les zones côtières il n'y a pas de corrélation entre les données ($r < 0,2$). Dans les zones hauturières, la corrélation est beaucoup plus faible (0,6) que celle de la température et de la salinité, ce résultat signifie qu'il n'y a pas de corrélation entre l'oxygène mesuré in-situ et l'oxygène donné par GLB.

Pour le cas de la chlorophylle, la corrélation est toujours faible pour les deux zones mais pour les zones côtières le modèle semble donner un meilleur résultat.

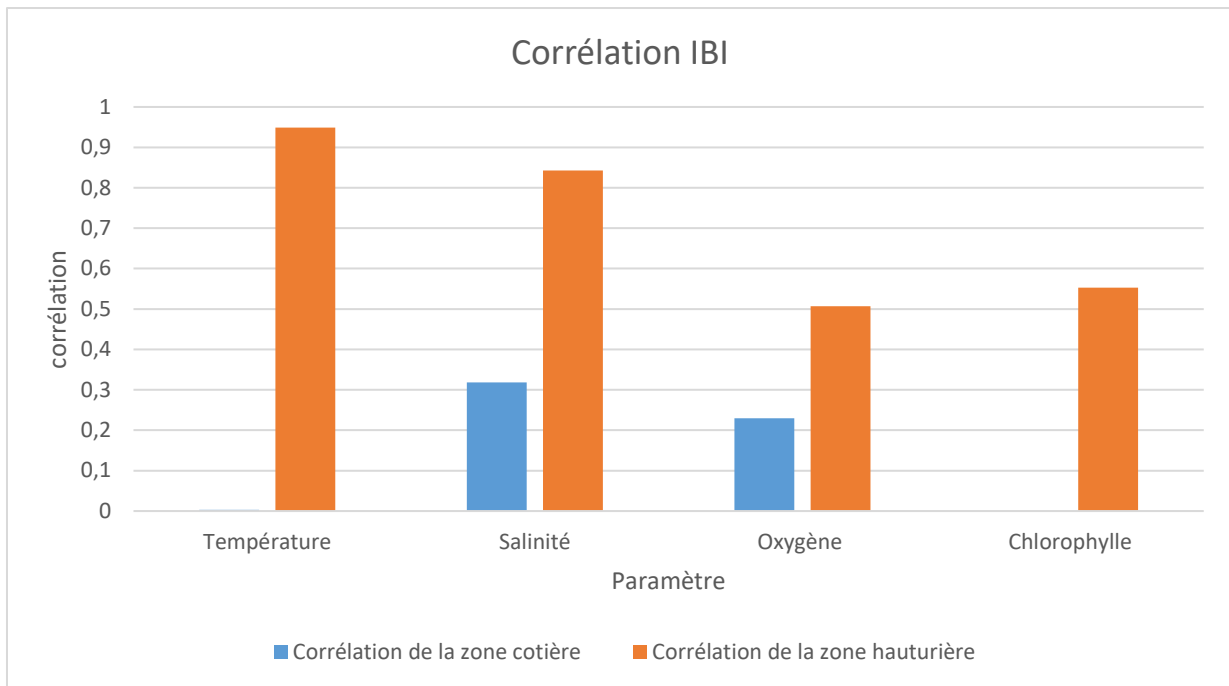


Figure 13 : Les coefficients de corrélation de la température, salinité, oxygène, chlorophylle par rapport au produit IBI.

Malheureusement, par rapport au produit IBI il y a une seule campagne côtière (EUBAL1) qui présente une très faible corrélation à l'exception de la chlorophylle où il n'a pas des données in-situ (figure 13).

Pour le cas de l'IBI, nous avons remarqués une meilleure corrélation pour tous les paramètres dans les zones hauturières.

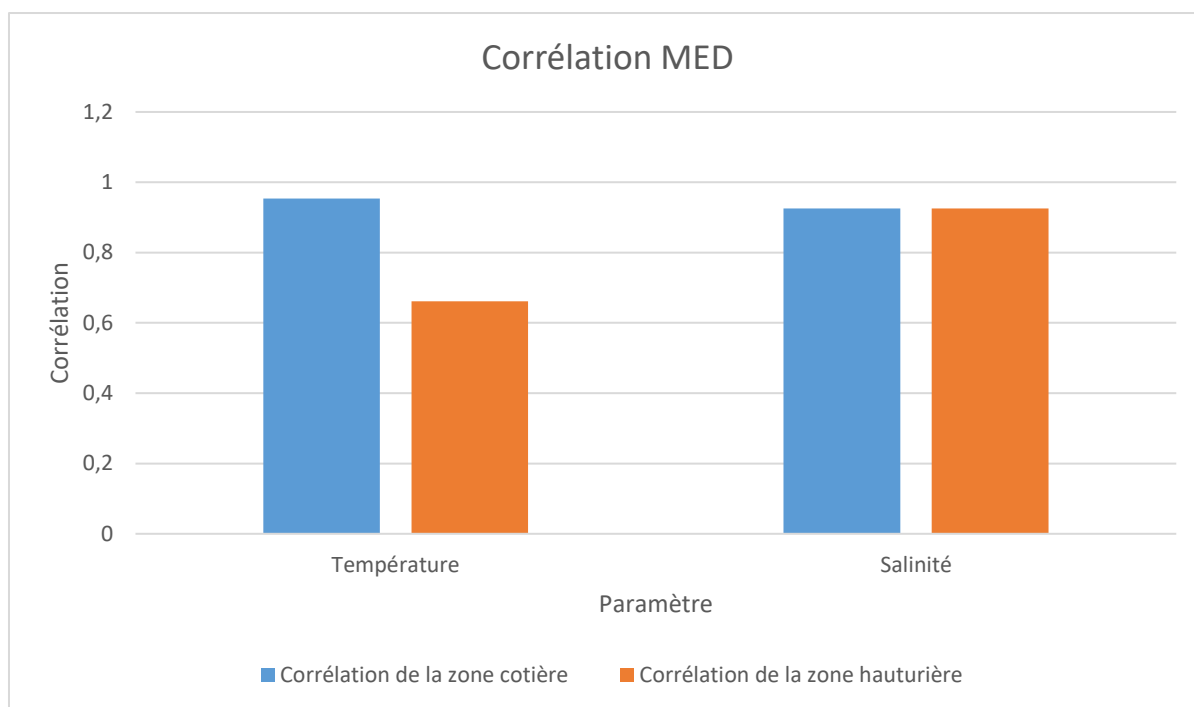


Figure 14: Les coefficients de corrélation de la température, salinité, oxygène, chlorophylle par rapport au produit MED.

Contrairement aux deux produits précédents, le modèle MED présente une très forte corrélation entre la salinité in-situ et la salinité du modèle pour les deux zones côtières et hauturières (corrélation > 0,8).

Mais pour le paramètre température, la corrélation MED dans la zone hauturière est moins forte que celle de la zone côtière (figure 14).

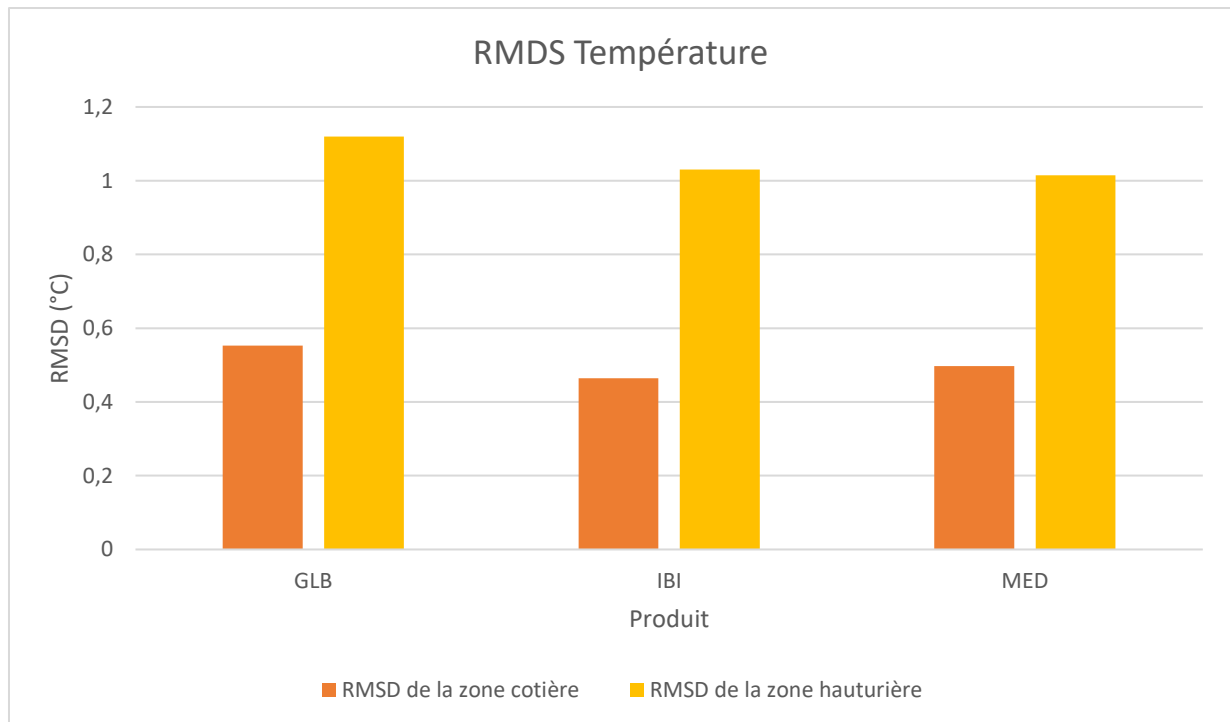


Figure 15: La racine de l'erreur quadratique moyenne de la température par rapport aux produits GLB, IBI, MED.

L'erreur de la température dans les zones côtières est faible de 50% par rapport au RMSD hauturier pour tous les trois produits utilisés, ce qui indique que le modèle est plus exact dans les zones côtières contrairement au large où l'erreur est plus importante (figure 15).

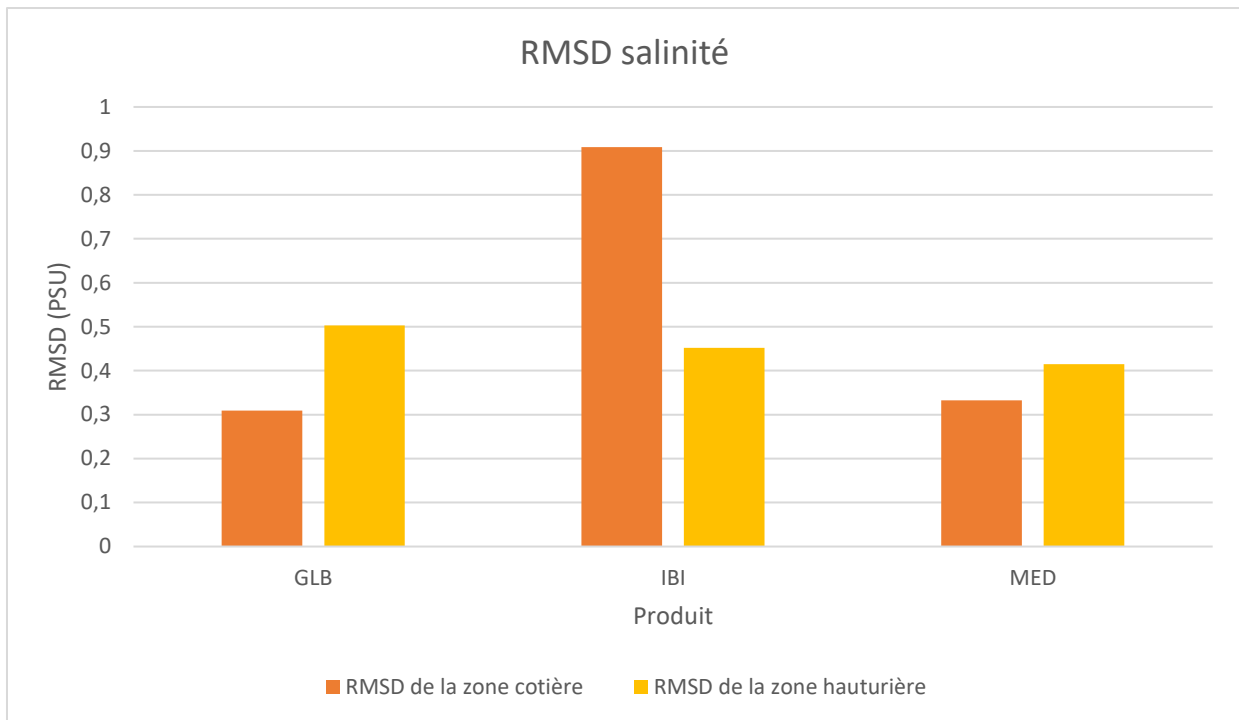


Figure 16 : La racine de l'erreur quadratique moyenne de la salinité par rapport aux produits GLB, IBI, MED.

Pour le paramètre salinité les deux produits GLB et MED indiquent une meilleure précision dans les zones côtières qu'aux zones hauturières, mais pour l'IBI on remarque le contraire qui peut être dû au fait qu'on a une seule campagne côtière pour IBI (figure 16).

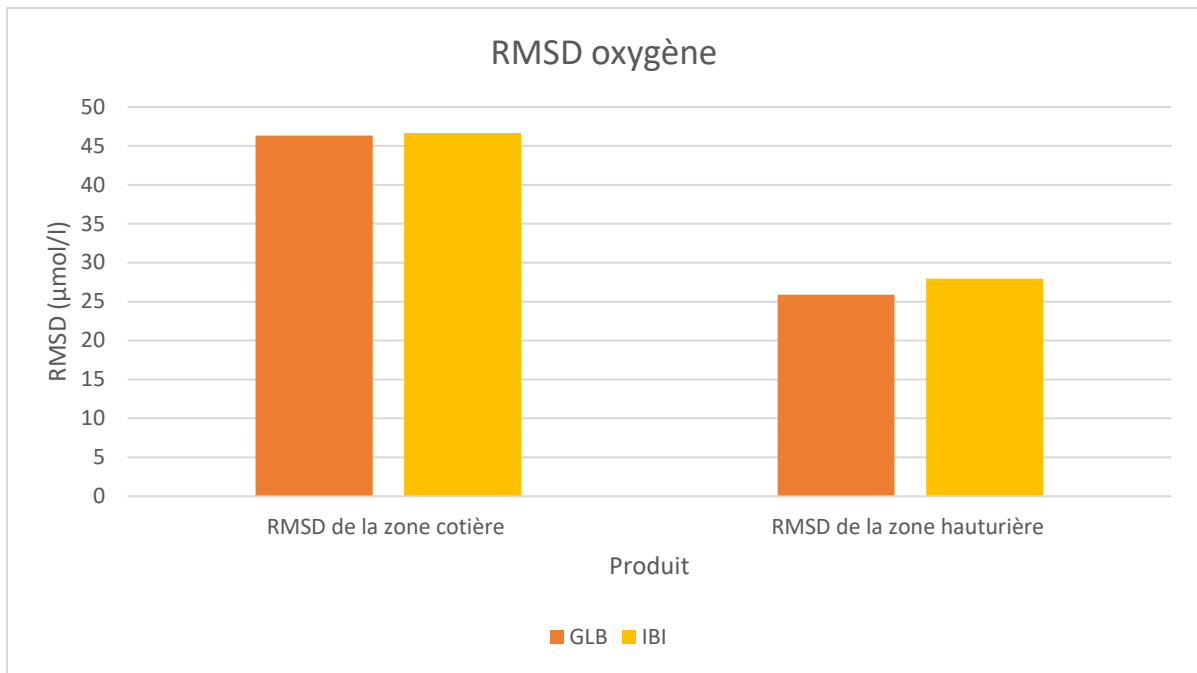


Figure 17 : La racine de l'erreur quadratique moyenne de l'oxygène par rapport aux produits GLB et IBI.

Les deux produits IBI et GLB montrent une erreur très importante pour l'oxygène que ce soit dans le côtier où le hauturier, mais elle est moins significative dans les zones hauturières (figure 17).

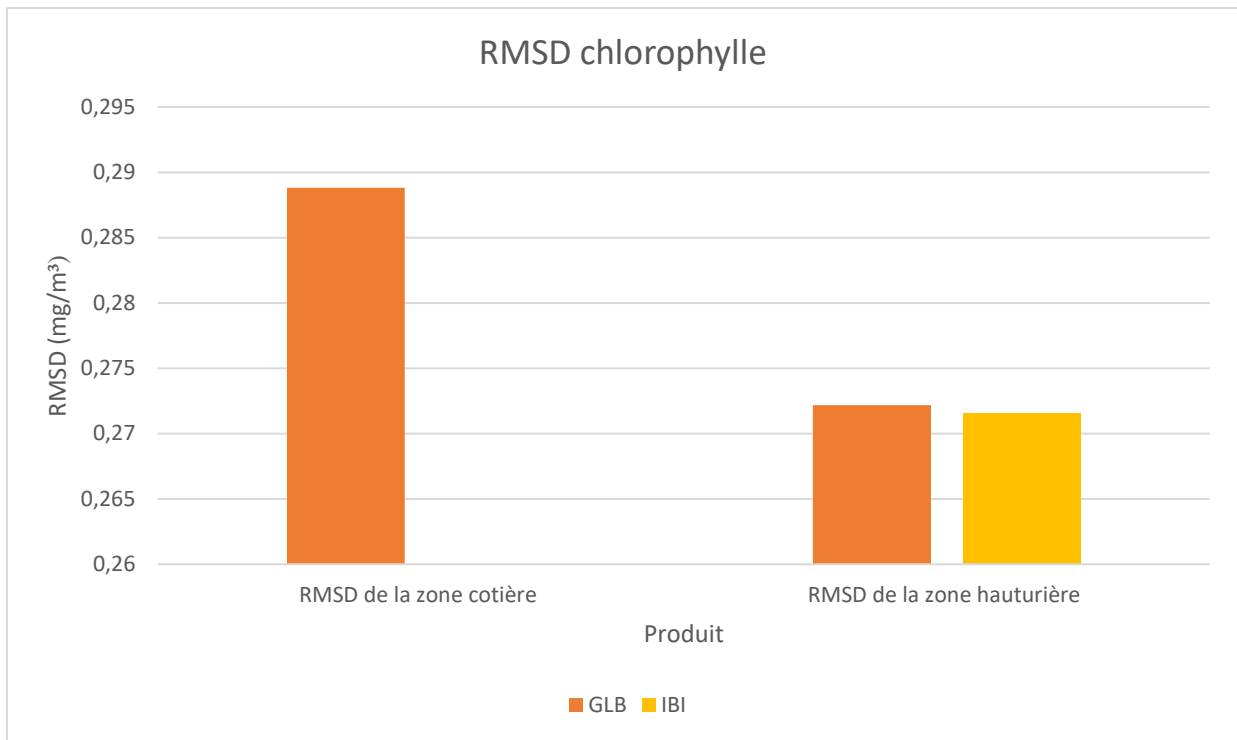


Figure 18 : La racine de l'erreur quadratique moyenne de la chlorophylle par rapport aux produits GLB, IBI, MED.

La comparaison du paramètre chlorophylle de cette partie est faite juste pour le produit GLB à cause du manque des données IBI côtières.

On remarque que RMSD hauturier de la chlorophylle est moins important d'environ 60% que celui observé dans la côte (figure 18).

Conclusion

Conclusion

Ce mémoire a pour aspiration d'évaluer les produits CMEMS pour les paramètres physiques et biogéochimiques par l'utilisation des données in-situ CTD dans le bassin algérien et la mer d'Alboran. La procédure suivie comprend la collecte des données CTD pour la création d'une base de données et pour la comparer avec les produits CMEMS.

Cette étude suit une approche statistique pour évaluer et déterminer la corrélation et la fiabilité des produits CMEMS en prenant en compte 31 campagnes océanographiques distribuées sur la Méditerranée occidentale sud pendant une période de 24 ans.

Les résultats montrent que le produit IBI donne la meilleure corrélation pour les paramètres température, salinité et chlorophylle des données globales; le produit GLB présente une RMSD plus réduite pour la chlorophylle que celle d'IBI sauf que le produit IBI reproduit bien le schéma de DCM alors que la DCM du GLB n'est pas vraiment marquée.

Lorsqu'on sépare les campagnes par zones selon la profondeur du fond, nous trouvons que le produit MED donne la meilleure RMSD pour tous les paramètres physiques dans les deux zones côtière et hauturière, alors que pour la salinité dans la zone côtière le produit GLB présente plus d'exactitude. Concernant la corrélation GLB présente mieux la réalité des variations de température et salinité.

Ce travail nous a permis de connaître si nous intéressons de travailler sur les paramètres température et salinité et que l'exactitude de ces données est plus important, nous recommandons l'utilisation du produit MED, par contre si on travaille sur la chlorophylle le produit IBI est plus recommandé bien qu'il ne couvre pas toute la mer Méditerranée juste la partie occidentale.

Cependant, cette étude a ses limitations et des difficultés qui influencent sur la précision des résultats notamment :

- Le nombre réduit des données côtières pour le produit IBI.
- L'absence des données biogéochimiques quotidiennes pour le produit Med, les modèles MED existants maintenant ne donnent qu'une moyenne mensuelle que nous ne pouvons pas comparer avec les données biogéochimiques quotidiennes des produits GLB et IBI.
- Données biogéochimiques in-situ limitées pour le cas du paramètre oxygène.

- Les données CTD téléchargées à partir de Sea data net sont désordonnées et il est nécessaire d'établir des normes pour faciliter l'organisation et la création des bases de données.

Il été souhaitable d'ajouter une évaluation des produits d'élévation de la hauteur de la surface de la mer SSH et de la circulation océanique pour voir l'influence de l'existence des eddies sur le calcul des produits, malheureusement c'était impossible de le faire à cause des limitations de temps.

Ce travail peut être complété et poursuivi dans ces différents aspects par l'évaluation de différents produits et paramètres en mer Méditerranée et dans d'autres régions du monde.

Bibliographie

- Allen, J., Smeed, D., et al. (2001).** Mesoscale subduction at the almeria{oran front: Part 1: Ageostrophic flow. *Journal of Marine Systems*, p.p.263-285.
- Amores, A., Monserrat, S., et al. (2013).** Vertical structure and temporal evolution of an anticyclonic eddy in the balearic sea (western mediterranean). *Journal of Geophysical Research: Oceans*, p.p. 2097-2106.
- Aulicino, G., Cesarano, C., et al. (2021).** On the use of ABACUS high resolution glider observations for the assessment of phytoplankton ocean biomass from CMEMS model products.
- Aumont, O. C. (2015).** PISCES-v2: an ocean biogeochemical model for carbon and ecosystem studies. *Geosci.Model Dev.*,p.8.
- Ayoub, N., Le Traon, P.Y., & De Mey, P. (1998).** A description of the mediterranean surface variable circulation from combined ers-1 and topex/poseidon altimetric data. *Journal of Marine Systemstopex/poseidon altimetric data. Journal of Marine Systems*, p.p. 3-40.
- Barceló-Llull, B., Pascual, A., & Mason, E. (2018).** Comparing a Multivariate Global Ocean State Estimate With High-Resolution in Situ Data: An Anticyclonic Intrathermocline Eddy Near the Canary Islands. doi:10.3389/fmars.2018.00066
- Beckers, J.M., & Nihoul, J. C. (1992).** Model of the algerian current's instability. *Journal of marine systems*, p.p.441-451.
- Benzohra, M., & Millot, C. (1995).** Hydrodynamics of an open sea algerian eddy. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, p.p.1831-1847.
- Bethoux, J., Gentili, B.,et al. (1999).** The Mediterranean sea: a minature ocean of climatic and environmental studies and a key for the climatic functioning of the North Atlantic. *International Confrence on Progress in Oceanography of the Mediterranean Sea*, Rome, p.p. 131-146.
- Birol, F., Cancet, M., & Estournel, C. (2010).** Aspects of the seasonal variability of the northern current (NW mediterranean sea) observed by altimetry. *Journal of Marine Systemes*, p.p.297-311.

Brasseur, P., Bahurel, P., et al. (2006). Data assimilation for marine monitoring and prediction: The MERCATOR operational assimilation systems and the MERSEA developments. *Q. J. Roy. Meteor. Soc.* doi:<https://doi.org/10.1256/qj.05.142-2006>

Bryden, H., Candela, J., & Kinder, T. (1994). Exchange through the strait of Gibraltar. *Progress in Oceanography*, p.p.201-248.

Coiffier, J. (2000). Un demi-siècle de prévision numérique du temps.

Conan, P., & Millot, C. (1995). Variability of the northern current off Marseilles western mediterranean sea, from february to june 1992. *Oceanologica Acta*, p.p.193-205.

Copernicus. (2019). Brochure_Copernicus_2019. [en ligne]. [Consulté le juin 24, 2020]. disponible sur: https://www.copernicus.eu/sites/default/files/Brochure_Copernicus_2019%20updated_0.pdf

Copernicus. (2020). about-copernicus. [en ligne]. [Consulté le juin 24, 2020]. disponible sur: <http://www.copernicus.eu/en/about-copernicus>

Criado-Aldeanueva, F., Javier Soto-Navarro, F., & Garcia-Lafuente, J. (2012). Seasonal and interannual variability of surface heat and freshwater fluxes in the Mediterranean Sea : budgets and exchange through the Strait of Gibraltar. *International Journal Of Climatology*, p.p.286-302.

Doglioli, A. (2020). Notes sur la circulation générale en Méditerranée pour le cours d'océanographie générale. Marseille, France.

Drévilhon, M., Lellouche, J.-M., et al. (2021). Quality Information Document.

Escudier, R. (2015). Mesoscale eddies in the western Mediterranean Sea : characterization and understanding from satellite observations and model simulations.. Earth Sciences. (tel-01172378). doi: NNT :2015GREAU003

Escudier, R., Clementi, E., et al. (2021). QUID for MED MFC Products.

Flexas, M., Gomis, D., et al. (2006). In situ and satellite observations of the eastward migration of the western alboran sea gyre. *Progress in Oceanography*, p.p.486-509.

Font, J., Isern-Fontanet, J., & De Jesus Salas, J. (2004). Tracking a big anticyclonic eddy in the western mediterranean sea. *Scientia Marina*, p.p.331-342.

Font, J., Millot, C., et al. (1998). The drift of modified atlantic water from the alboran sea to the eastern mediterranean. *Scientia marina*, p.p.211-216.

Font, J., Salat, J., & Tintoré, J. (1988). Permanent features of the circulation in the catalan sea. *Oceanologica Acta*, p.p.51-57.

Garcia, M., Millot, C., Font, J., et al. (1994). Surface circulation variability in the balearic basin. *Journal of Geophysical Research:Oceans (1978-2012)*, p.p.3285-3296.

Juza, M., Renault, L., Ruiz, S., et al. (2013). Origin and pathways of winter intermediate water in the northwestern mediterranean sea using observations and numerical simulation. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, p.p.6621-6633.

La Violette, P. E., Tintoré, J., & Font, J. (1990). The surface circulation of the balearic sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans (1978-2012)*, p.p.1559-1568.

Le Traon, P.Y. (2017). The Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS). *EGU General Assembly Confrence Abstracts*.

Lellouche, J.M., Drévilion, M., Régnier, C., et al. (2013). Evaluation of global monitoring and forecasting systems at Mercator Océan. *Ocean Sci.* doi:<https://doi.org/10.5194/os-9-57-2013>

Lellouche, J.M., Greiner, E., et al. (2018). Recent updates to the Copernicus Marine Service global ocean monitoring and forecasting realtime 1=12° high-resolution system. *Ocean Sci.* doi:<https://doi.org/10.5194/os-14-1093-2018>

Levier, B., Lorente, P., et al. (2020). Quality information document.

Lorente, P., Levier, B., et al. (2012). The IBI-MFC NARVAL: Products,operational status and progress. *MyOCean Science Days*.Humburg,Germany, p.p. 19-21.

Marshall, J., & Schott, F. (1999). Open-ocean convection: Observations,theory, and models. *Reviews of Geophysics*, p.p.1-64.

Marullo, S., Santoleri, R., & Bignami, F. (1994). The surface characteristics of the tyrrhenian sea: Historical satellite data analysis. *Coastal and Estuarine Studies*, p.p.135-154.

Mason, E., & Pascual, A. (2013). Multiscale variability in the balearic sea: An altimetric perspective. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, p.p.3007-3015.

- McGovern, J., Dabrowski, T., et al. (2020).** QUID for IBI Biochemical Multi-Year Product.
- Millot, C. (1985).** Some features of the algerian current. *Journal of Geo-physical Research: Oceans (1978-2012)*, p.p.7169-7176.
- Millot, C. (1987).** Circulation in the western mediterranean sea. *Oceanologica Acta*, p.p.143-149.
- Millot, C. (1999).** Circulation in the western mediterranean sea. *Journal of Marine Systems*, p.p.423-442.
- Molcard, A.P. (2002).** Wind driven general circulation of the mediterranean sea simulated with a spectral element ocean model Dynamics of Atmospheres and Ocean, p.p.97-130.
- Moran, X.A., Taupier-Letage, I., et al. (2001).** Physical-biological coupling in the algerian basin (sw mediterranean): in instabilities on the biomass and production of phytoplankton and bacterioplankton. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, p.p.405-437.
- Nielsen, J.N. (1912).** *Hydrographic of the mediterranean and adjacent waters*. Report of the Danish Oceanographic Expedition 1908-1910 to the Mediterranean and Adjacent Waters.
- Olita, A., Ribotti, A., et al. (2011).** Sal-chlorophyll-a variability and convariability in the algero-provençal basin (1997-2007) through combined use of eof and wavelet analysis of satellite datta. *Ocean dynamics*, p.p.89-102.
- Pascual, A. (2010).** Combining new and conventional sensors to study the balearic current. *Sea Technology*, p.p.32-36.
- Pascual, A., Nardelli, B., et al. (2002).** A case of an intense anticyclonic eddy in the balearic sea (western mediterranean). *Journal of Geophysical Research*.
- Peliz, A., Boutov, D., et al. (2013).** The alboran sea mesoscale in a long term high resolution simulation: Statistical analysis. *Ocean Modelling*.
- Peliz, A., Boutov, D., et al. (2012).** The gulf of cadiz-alboran sea sub-basin: Model setup, exchange and seasonal variability. *Ocean Modelling*.
- Perruche, C., Szczypta, et al. (2019).** QUID for Global Ocean Biogeochemistry Hindcast.

Pinardi, N. (1993). Baroclinic wind adjustment processes in the mediterranean sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*.

Pinot, J.M., Lopez-Jurado, J., & Riera, M. (2002). The canales experiment (1996-1998). interannual, seasonal, and mesoscale variability of the circulation in the balearic channels. *Progress in Oceanography*, p.p.335-370.

Pinot, J.M., Tintoré, J., & Gomis, D. (1995). Multivariate analysis of the surface circulation in the balearic sea. *Progress in Oceanography*, p.p.343-376.

Puillat, I., Taupier-Letage, I., & Millot, C. (2002). Algerian eddies lifetime can near 3 years. *Journal of Marine Systems*, p.p.245-259.

Renault, L., Oguz, T., et al. (2012). Surface circulation in the alboran sea (western mediterranean) inferred from remotely sensed data. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, p.p.1978-2012.

Rinaldi, E., & Nardelli, B. B. (2010). Lagrangian and Eulerian observations of the surface circulation in the tyrrhenian sea. *Journal of Geophysical Research*, p.115. doi:115(C4):C04024.

Rio, M.H., Pascual, A., et al. (2014). Computation of a new mean dynamic topography for the mediterranean sea from model outputs, altimeter measurements and oceanographic in-situ data. *Ocean Science Discussion*, p.p.655-692.

Robinson, A., Golnaraghi, M., et al. (1991). The eastern mediterranean general circulation: features, structure and variability. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, p.p.215-240.

Ruiz, S., Font, J., et al. (2002). Deep structure of an open sea eddy in the algerian basin. *Journal of Marine Systems*, p.p.179-195.

Ruiz, S., Pascual, A., et al. (2009). Mesoscale dynamics of the balearic front, integrating glider, ship and satellite data. *Journal of Marine Systems*, p.p.3-16.

Ruiz, S., Pascual, A., et al. (2009). Vertical motion in the upper ocean from glider and altimetry data. *Geophysical Research Letters*.

Salas, J., Millot, C., et al. (2002). Analysis of mesoscale phenomena in the algerian basin observed with drifting buoys and infrared images. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, p.p.245-266.

Salat, J., & Font, J. (1987). *Water mass structure near and offshore the catalan coast during the winters of 1982 and 1983.* (Vol. V). In *Annales geophysicae*. Series B. Terrestrial and planetary physics.

Send, U., Font, J., et al. (1999). Recent advances in observing the physical oceanography of the western mediterranean sea. *Progress in Oceanography*, p.p.37-64.

Send, U., Mertens, C., et al. (1996). Recent observation indicates convection'role in deep water circulation. 61-65. *Eos, Transactions American Geophysical Union*.

Sotillo, M.G., Cailleau, S., et al. (2015). The MyOcean IBI Ocean Forecast and Reanalysis Systems: operational products and roadmap to the future Copernicus Service. *Journal of Operational Oceanography*.

Takahashi, T. B. (1985). Redfield ratio based on chemical data from isopycnal surfaces. *J. Geophys. Res.*

Testor, P., Béranger, K., & Mortier, L. (2005). Modeling the deep eddy field in the southwestern mediterranean: The life cycle of sardinian eddies. *Geophysical research letters*.

Tréguier, A.M. (2002). Modélisation pour l'océanographie physique. *Annals Mathématique BlaisePascal*, Tome 9, p.p.345-361.

Tsimplis, M., & Bryden, H. (2000). Estimation of the transports through the Strait of Gibraltar. *Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers*, p.p.2219-2242.

Vargas-Yanez, M., Plaza, F., et al. (2002). About the seasonal variability of the alboran sea circulation. *Journal of Marine Systems*, p.p.229-248.

Vazquez-Cuervo, J., Font, J., & Martinez-Benjamin, J. J. (1996). Observations on the circulation in the alboran sea using ersi altimetry and sea surface temperature data. *Journal of Physical Oceanography*.

Vidal-Vijande, E., Pascual, A., et al. (2012). Multiparametric analysis and validation in the western mediterranean of three global ogcm hindcasts. *Scientia Marina*, p.p.147-164.

Viudez, A., Tintoré, J., & Haney, R. L. (1996). Circulation in the alboransea as determined by quasi-synoptic hydrographic observations. part i:Three-dimensional structure of the two anticyclonic gyres. *Journal of Physical Oceanography*, p.p.684-705.

Annexe

Annexe 1

La modélisation

La modélisation est la représentation d'un système par un autre, plus facile à appréhender. Il peut s'agir d'un système mathématique ou physique, le modèle sera alors numérique ou analogique.

Annexe 2

Filtre de Kalman

En statistique et en théorie du contrôle, le filtre de Kalman est un algorithme qui utilise une série de mesures observées dans le temps et produit des estimations de variables inconnues qui tendent à être plus précises que celles basées sur une seule mesure, en estimant une distribution de probabilité conjointe sur les variables pour chaque période.

Le filtre porte le nom de Rudolf E. Kalman, qui a été l'un des principaux développeurs de sa théorie.

Le filtre de Kalman a de nombreuses applications technologiques. Une application courante est le guidage, la navigation et le contrôle de véhicules, en particulier d'avions, d'engins spatiaux et de navires positionnés de manière dynamique.

Le filtre SEEK (Singular Evolutive Extended Kalman) est une évolution de filtre Kalman où il prend en compte à la fois les versions linéarisées des opérateurs pour une application à un système non linéaire (Extended) et une réduction d'ordre (Singular Evolutive).

Au lieu de travailler sur l'espace d'état de dimension trop élevée, le filtre SEEK travaille avec des matrices de dimensions plus petites, représentées par des vecteurs décrivant les modes dominants du système. Généralement on ne conserve que quelques dizaines de modes propres, ce qui réduit considérablement le rang des matrices, et permet d'envisager une mise en œuvre numérique.

Annexe 3

Tableau 1 : Liste des campagnes utilisées et leurs paramètres (T, S, FLU, O), coordonnées géographiques, période de réalisation et leurs emplacements (côtiers ou hauturiers).

<u>Cruise</u>	<u>Temps</u>	<u>Paramètre</u>	<u>Max long</u>	<u>Min long</u>	<u>Max lat</u>	<u>Min lat</u>	<u>Côtière/ hauturière</u>
64PE217	2003-09-22 à 8-10-2003	T, S, FLU	2.83 E	1.91 E	37.93 N	37.6 N	H 2317- 2745m
64PE314	9-11-2009 à 22-11-2009	T, S, FLU	5.47 E	0.87 E	39.60 N	37.52 N	H 1179- 2784m
64PE367	5-4-2013 10-4-2013	T, S, FLU	-3.32 E	-3.42 E	36.46 N	36.40 N	H 885.4- 909.3m
64PE389	7-6-2014 à 9-6-2014	T, S, FLU	-3.512 E	-3.5 E	36.41 N	36.4 N	H 911-916.2m
BIOMEGA	9-10-2003 à 23-10-2003	T, S, FLU	-2.11 E	-4.01 E	36.30 N	35.49 N	H 205-1911m
Ecomalaga	18-02-1996	T, S, FLU	-4.06 E	-4.74 E	36.73 N	36.35 N	/ 25-540 m

	à							
	01-02-							
	2006							
EMTEC-	19-10-	T, O, S,	6.01 E	5.01 E	37.99 N	36.99 N	H	
ME51	2001	FLU,					2664-	
	à						2804m	
	20-10-							
	2001							
EUBAL 1	27-02-	T, O, S	2.74 E	2.54 E	39.55 N	39.71 N	C	
	2002						12-300m	
	à							
	12-3-							
	2002							
GYROSC	8-9-	T, S, FLU,	8.94 E	7.66 E	38.61 N	37.78 N	H	
OP	2004	O						
	à							
	9-9-							
	2004							
ICTIO.AL	2-7-	T, S, FLU	-4.06 E	-4.90 E	36.67 N	36.04 N	/	
BORAN-	1996						78-1206m	
CADIZ	à							
0796	14-7-							
	1996							
ICTIO-	8-7-	T, S, FLU,	-2.03 E	-4.95 E	36.78 N	35.18 N	/	
ALB93	1993	O					70-1500m	
	à							
	26-7-							
	1993							
Medgoos2	23-3-	T, S, FLU,	8.49 E	7.49 E	41.25 N	38.25 N	C	
	2001	O					24-2786m	
	à							

	27-03- 2001							
Medgoos3	11-9- 2001 à 15-9- 2001	T, S, FLU, O	8.50 E	7.50 E	40.12 N	38.24 N	C	15-2556m
Medgoos4	10-5- 2002 à 18-5- 2002	T, S, FLU, O	9.01 E	7.49 E	41 N	38.24 N	C	15-2845m
Medgoos5	01-11- 2002 à 14-11- 2002	T, S, FLU, O	9.01 E	7.5 E	39.95 N	37.76 N	/	18-2808m
Medgoos6	4-1- 2003 à 14-4- 2003	T, S, FLU, O	9.17 E	7.39 E	40.01 N	38.11 N	/	53-2730m
Medgoos7	16-1- 2004 à 24-1- 2004	T, S, FLU, O	8.48 E	7.49 E	41.25 N	39.24 N	/	18-2823m
Medgoos9	06-10- 2004 à 23-10- 2004	T, S, FLU, O	9.86 E	0.23 E	42.35 N	35.94 N	/	74-3552m

Medgoos10	6-1- 2005 à 31-5- 2005	T, FLU, O	9.63 E	0.88 E	43.02 N	35.80 N	H 445-3500m
MEDIPRO D V	1-6- 1986 à 24-6- 1986	T, O, S, silicate, nitrate, nitrite, phosphate	4.89 E	0.37 E	39.77 N	36.38 N	//
MPH- MED93	2-7- 1993 à 8-7- 1993	T, S, FLU	1.11 E	-0.25 E	39.98 N	38.88 N	//
MTPII- MATER/C NL MAY96	14-5- 1996 à 17-5- 1996	T, O, S	2.4 E	0.14 E	39.52 N	38.87 N	/ 35-1370m
MTPII- MATER/E LISA2 OCT97	26-10- 1997 12h- 21h	T, S, FLU, O	6.58 E	6.23 E	37.93 N	37.73 N	H
MTPII- MATER/H ESP APR98	7-5- 1998 à 15-5- 1998	T, S, FLU, O	-1.55 E	-4.47 E	36.58 N	35.49 N	H 238-2150m
MTPII- MATER/M INOS MAY96	25-5- 1996 à	T, S, FLU	6.19 E	6.07 E	39.24 N	37.99 N	H 2790- 2803m

	28-5- 1996							
MTPHII- MATER/W BMATER MAY97	13-5- 1997 8h-19h	T, S, FLU	-2.99 E	-3.03E	36.64 N	35.50 N	/	53-1041m
MTPHII- MATER/W BMATER OCT97	28-10- 1997 à 9-11- 1997	T, S, FLU	-3.01 E	-4.74 E	36.42 N	35.51 N	/	128-1002m
NORBAL 1	27-3- 2000 à 1-4- 2000	T, O, S	7.04 E	4.99 E	40 N	39.74 N	H	2656-2798m
OMEGA-1	1-10- 1996 à 14-10- 1996	T, S, FLU	-3.80 E	-4.91 E	36.47 N	35.744 N	/	100-1507m
PEACETI ME	14-5- 2017 à 9-6- 2017	T, S, FLU	7.97 E	1.56 E	39.13 N	37.45 N	H	
SOMBA	17-8- 2014 à 8-9- 2014	silicate, nitrate, nitrite, phosph ate	9.44 E	-0.71 E	39.76 N	36.54 N	H	
WB14	13-4- 2014 TO	T, O, S	0.09 E	-0.94 E	39.22 N	36.04 N	H	315-2803m

21-4-

2014

T : Température

C : Campagne côtière

S : Salinité

H : Campagne hauturière

FLU : Fluorescence

/ : Campagne mixte

O : Oxygène

// : Pas de données

Max long : maximum longitude

Max lat : maximum latitude

Min long : minimum longitude

Min lat : minimum latitude

Annexe 4

Tableau 2 : Représentation des nombres des points pour les cinq produits.

Produit	GLB physique	GLB biogéochimique	IBI physique	IBI biogéochimique	MED
Nombre de points	22704	23592	10429	16591	28134

Annexe 5

Script R

Paramètres physiques :

```
d.complet<- merge(OMEGA_1in, cmemsibiOMEGA1, by=c("x","y","z","time"))
```

```
View(d.complet)
```

```
head(d.complet)
```

```
write.csv2(d.complet,file="OMEGA1complet")
```

```
st<-c(cor(d.complet$PotentielTemperature,d.complet$thetao),rms(d.complet$PotentielTemperature,d.complet$thetao),cor(d.complet$Salinity,d.complet$so),rms(d.complet$Salinity,d.complet$so))
```

```
View(st)
```

```
write.csv2(st,file='stOMEGA1')
```

Paramètres biologiques :

```
d.completbio<- merge(WB14inBIO, cmemsglbbioWB14, by=c("x","y","z","time"))
```

```
View(d.completbio)
```

```
head(d.completbio)
```

```
write.csv2(d.completbio,file="WB14BIOcomplet2")
```

```
stbio<-c(cor(d.complet$O2umol/l,d.complet$o2mmol.m-3),rms(d.complet$O2umol/l,d.complet$o2mmol.m-3),cor(d.complet$fluorescence,d.complet$chlmg.m-3),rms(d.complet$fluorescence,d.complet$chlmg.m-3))
```

```
View(stbio)
```

```
write.csv2(stbio,file="stWB14BIO2")
```

Annexe 6

Deep Chloro Max :

Le maximum chlorophyllien profond (DCM), également appelé maximum chlorophyllien de subsurface, est la région située sous la surface de l'eau où la concentration de chlorophylle est maximale. Un DCM n'est pas toujours présent - il y a parfois plus de chlorophylle à la surface qu'à toute autre profondeur - mais c'est une caractéristique commune de la plupart des écosystèmes aquatiques, en particulier dans les régions de forte stratification thermique. La profondeur, l'épaisseur, l'intensité, la composition et la persistance des DCM varient considérablement. Le DCM existe généralement à la même profondeur que la nutricline, la région de l'océan où le plus grand changement dans la concentration de nutriments se produit avec la profondeur.

Annexe 7

Tableau 3: La corrélation, RMSD de température et nombres des points pour les 5 campagnes utilisées dans la comparaison des trois produits CMEMS

Cruise	Temps	Cor MED	RMSD MED	N pts MED	Cor IBI	RMSD IBI	N pts IBI	Cor GLB	RMSD GLB	N pts GLB
<u>MTPH-MATER/CNL</u>	01/05/1996	0,901	0,801	795,000	0,681	0,195	714,000	0,910	0,784	744,000
<u>MTPH-MATER/HESP</u>	01/05/1998	0,827	0,740	1449,000	0,881	0,355	1339,000	0,882	0,641	1340,000
<u>BIOMEGA</u>	01/10/2003	0,882	1,233	4184,000	0,548	0,486	3458,000	0,876	1,384	3459,000
<u>WB14</u>	01/04/2014	0,913	0,507	534,000	0,714	0,688	509,000	0,909	0,586	496,000
<u>64PE389</u>	01/06/2014	0,936	0,874	72,000	0,917	0,330	63,000	0,954	0,552	63,000

Tableau 4 : La corrélation, RMSD de salinité et nombre des points pour les 5 campagnes utilisées dans la comparaison des trois produits CMEMS.

Cruise	Temps	Cor GLB	RMSD GLB	N pts GLB	Cor IBI	RMSD IBI	N pts IBI	Cor MED	RMSD MED	N pts MED
<u>ICTIO-ALB93</u>	01/07/1993	0,827	0,449	1142,000	0,788	0,558	1149,000	0,834	0,377	450,000
<u>MTPH-MATER/CNL</u>	01/05/1996	0,738	0,142	744,000	0,681	0,195	714,000	0,606	0,200	795,000
<u>MTPH-MATER/HESP</u>	01/05/1998	0,822	0,406	1340,000	0,881	0,355	1339,000	0,636	0,571	1449,000
<u>BIOMEGA</u>	01/10/2003	0,301	0,586	3459,000	0,548	0,486	3458,000	0,493	0,445	4184,000
<u>WB14</u>	01/04/2014	0,727	0,728	496,000	0,714	0,688	509,000	0,625	0,258	534,000

Tableau 5: La corrélation, RMSD de chlorophylle et nombre des points pour les 7 campagnes utilisées dans la comparaison des trois produits CMEMS.

Cruise	Temps	cor IBI	RMSD IBI	N pts IBI	Cor GLB	RMSD GLB	N pts GLB
<u>ICTIO-ALB93</u>	01/07/1993	0,912	1,344	1149,000	0,273	0,219	1149,000
<u>MPH-MED93</u>	01/07/1993	0,992	0,656	222,000	0,389	0,530	206,000
<u>MTPII-MATER/CNL</u>	01/05/1996	0,895	0,825	714,000	0,643	0,154	732,000
<u>64PE217</u>	01/09/2003	0,562	0,116	1183,000	0,011	0,166	1291,000
<u>BIOMEGA</u>	01/10/2003	0,585	0,200	3458,000	0,045	0,274	3822,000
<u>64PE367</u>	01/04/2013	0,443	0,925	83,000	0,533	0,320	91,000
<u>64PE389</u>	01/06/2014	0,075	0,376	63,000	0,013	0,438	69,000

Résumé

Dans le cadre de la recherche les scientifiques développent des solutions alternatives pour avoir des données sur les mers et les océans (des paramètres physiques et biogéochimiques) en temps réel et à distance par création des programmes et des systèmes d'observations, parmi ces systèmes on trouve le service Copernicus de surveillance de l'environnement marin (CMEMS) qui fournit des produits océanographiques globales et régionales pour les utilisateurs.

Notre étude est réalisée dans le but de contrôler le degré de la fiabilité et justesse de ces informations fournis par ce système, avec la comparaison des données in-situ CTD suit une approche statistique (détermination de la corrélation, l'erreur RMSD et l'écart type).

Le produit régional IBI donne une meilleure corrélation représentant la réalité que les produits GLB et MED, en termes d'exactitude le produit MED est le meilleur.

Mots clés : CMEMS, Données CTD, Sea data net, Paramètres physicochimiques et biogéochimiques.

Abstract

In the framework of research scientists are developing alternative solutions to obtaine oceanographic data on the seas and oceans (physical and biogeochemical) in real time and remotely through the creation of programs and observation systems, such as the Copernicus Marine Environmental Monitoring Service (CMEMS) which provides global and regional oceanographic products for users.

Our study is carried out in order to evaluate the degree of reliability and accuracy of this information provided by this system, with the comparison of in-situ data CTD following a statistical approach (determination of correlation, RMSD and standard deviation).

The regional product IBI gives a better correlation representing the reality than the products GLB and MED, in term of accuracy the MED product is the best.

Keywords: CMEMS, CTD data, Sea data net, Physicochemical and biogeochemical parameters.

المخلص

كجزء من البحث العلمي، يعمل العلماء على تطوير حلول بديلة للحصول على بيانات عن البحر والمحيطات (المعلومات الفيزيائية والبيوجيوكيميائية) في الوقت الفعلي وعن بعد من خلال انشاء برامج وأنظمة مراقبة، ومن بين هذه الأنظمة نجد خدمة مراقبة البيئة البحرية Copernicus (CMEMS) التي توفر المنتوجات الاوقيانوغرافية العالمية والإقليمية للمستخدمين.

تمت دراستنا بهدف التحكم في درجة صحة وموثوقية هذه المعلومات التي يوفرها هذا النظام، مع مقارنتها ببيانات CTD والقيام بمجموعة من الإحصاءات (الانحراف المعياري وتحديد الارتباط).

يعطي المنتج الإقليمي IBI ارتباطا أفضل ويمثل الواقع بشكل أحسن من بقيت المنتجات MED و GLB ، اما من حيث الدقة فان المنتج MED هو الأفضل.

الكلمات المفتاحية: CMEMS ، بيانات CTD ، شبكة بيانات البحر ، المعلومات الفيزيائية والبيوجيوكيميائية.