

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



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

OPTION : ENVIRONNEMENT

Thème :

*Contribution à l'étude du cycle annuel des flux air-mer en
CO₂ et l'évaluation de l'état de l'eutrophisation dans la baie
de BOUISMAIL*

Présenté par:

- Mlle AKLOUCHE Yasmine
- Mlle BOURAIB Lydia

Soutenu le 21 septembre 2023 devant le jury suivant :

F.Louanchi	Professeur (ENSSMAL)	Présidente du jury
M.Keraghel	Maitre de conférence A (ENSSMAL)	Examinatrice
M.Zerrouki	Maitre Assistant B (ENSSMAL)	Promoteur
S.Amnouche	Doctorante (ENSSMAL)	Co-promotrice

Promotion : 2023

Remerciements

S'il faut beaucoup de motivation, de rigueur et d'enthousiasme pour mener à bien ce mémoire, alors, ce travail de recherche a eu besoin de la contribution de plusieurs personnes, qu'on tient à remercier !

On voudrait tout d'abord adresser nos sincères remerciements aux membres du jury pour le grand honneur qu'ils nous font en acceptant de juger ce travail, pour leur présence, pour leur lecture attentive ainsi que pour les remarques qu'ils nous adresseront lors de cette soutenance afin de l'améliorer.

Un grand Merci à monsieur **M. ZERROUKI** notre promoteur et mademoiselle **S. AMNOUCHE** notre Co-promotrice pour leur accueil, le temps passé ensemble et le partage de leurs connaissances. Grâce aussi à leur confiance on a pu accomplir totalement notre mission, et surtout leurs judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion. Ils furent d'une aide très précieuse dans les moments les plus délicats.

Nos sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et ont accepté de nous rencontrer et de répondre à nos questions durant nos recherches, en particulier madame **F. BACHARI**, madame **R. HARID** et monsieur **H. OTMANI**.

Merci à l'administration de l'école, les ingénieurs des laboratoires de Delly brahim et de Sidi fredj ainsi qu'aux conseillers de la bibliothèque, qui ne liront sans doute pas ce mémoire mais qui nous ont aidé à apporter leurs réflexions sur notre plan de mémoire et qui nous ont fourni toutes les documentations nécessaires.

Enfin, on remercie tous ceux qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce modeste travail.

Nous espérons que votre confiance que vous nous accordez et que ce mémoire est à la hauteur de vos espérances.

Dédicace

A mon défunt grand-père,

A ma très chère mère,

A mon père,

A mes sœurs Sarah et Lyna,

A mon frère Rezki,

A toute ma famille,

A mes sœurs de cœur Maroua, Imene et Yasmine,

A mon binôme Lydia,

A mes Chats,

A moi-même.

Yasmine

Dédicace

***A mes chers parents ce travail est un hommage à votre amour
et votre confiance en moi.***

A mon frère Ravah et ma sœur Alicia

A mes amie Alaa, Maroua et lynda

A mon défunte amie foufa

A mon binôme yasmine

Lydia

Liste des figures

<i>FIGURE 1 : POMPE PHYSIQUE DU CARBONE (“L’OCEAN, PUIFS DE CARBONE (PLATEFORME OCEAN & CLIMAT,2016).....</i>	<i>6</i>
<i>FIGURE 02: POMPE BIOLOGIQUE DU CARBONE (“L’OCEAN, PUIFS DE CARBONE - PLATEFORME OCEAN & CLIMAT,” 2016).....</i>	<i>7</i>
<i>FIGURE 03: PROCESSUS D’ACIDIFICATION DE L’OCEAN ET CONSTANTE D’EQUILIBRE. (FIGUEROLA ET AL., 2021 MODIFIE).....</i>	<i>8</i>
<i>FIGURE 04: REPARTITION DES DIFFERENTES ESPECES DE CID EN FONCTION DU PH MARIN. PHT : PH MESURE SUR L’ECHELLE TOTALE (NOISSETTE, 2013)</i>	<i>10</i>
<i>FIGURE 05: LES EMISSIONS MONDIALES DE CO₂ D’ORIGINE FOSSILE ONT AUGMENTE REGULIEREMENT AU COURS DES DERNIERES DECENNIES ET DEVRAIENT A NOUVEAU CROITRE EN 2022.</i>	<i>12</i>
<i>FIGURE 06: ÉVOLUTION DE LA TEMPERATURE A LA SURFACE DE LA TERRE PAR RAPPORT AUX NIVEAUX DE 1900-2100, EN °C. (IPCC, 2023)</i>	<i>13</i>
<i>FIGURE 07: L’EUTROPHISATION, POUR TOUS LES TYPES DE MASSES D’EAU DE SURFACE D’APRES CLAUSSEN ET AL. 2009</i>	<i>14</i>
<i>FIGURE 8 : IMAGE SATELLITAIRE DE LA BAIE DE BOU ISMAIL EXTRAITE DE GOOGLE EARTH PRO... ..</i>	<i>22</i>
<i>FIGURE 9 : PRECIPITATIONS MOYENNES (1991-2020)</i>	<i>23</i>
<i>FIGURE 10 : TEMPERATURE DE LA MER MOYENNES (1991-2020).....</i>	<i>24</i>
<i>FIGURE 11 : IMAGE SATELLITAIRE DU POINT DE PRELEVEMENT EXTRAITE DE GOOGLE EARTH PRO28</i>	
<i>FIGURE 12 : L’EMBARCATION “OCTOPUS” (PAR AKLOUCHE ET BOURAIB).....</i>	<i>28</i>
<i>FIGURE 13 : BOUTEILLE NISKIN (PAR AKLOUCHE ET BOURAIB)</i>	<i>29</i>
<i>FIGURE 14 : ÉCHANTILLONS DE L’O₂ (PAR AKLOUCHE ET BOURAIB)</i>	<i>32</i>
<i>FIGURE 15 : TITREUR AUTOMATIQUE (PAR AKLOUCHE ET BOURAIB).....</i>	<i>36</i>
<i>FIGURE 16 : ÉCHANTILLONS ET CUVE DE SEDIMENTATION DE PHYTOPLANCTON (PAR AKLOUCHE ET BOURAIB).....</i>	<i>37</i>
<i>FIGURE 17 : RAMPE A FILTRATION ET FILTRE APRES LA FILTRATION DE LA CHLOROPHYLLE A (PAR AKLOUCHE ET BOURAIB)</i>	<i>39</i>
<i>FIGURE 18 : DISTRIBUTION VERTICALE DE LA SALINITE DURANT LA PERIODE FEVRIER-JUILLET 2023 AU NIVEAU DE NOTRE POINT DE PRELEVEMENT</i>	<i>43</i>
<i>FIGURE 19 : DISTRIBUTION VERTICALE DE LA TEMPERATURE DURANT LA PERIODE FEVRIER-JUILLET 2023 AU NIVEAU DE NOTRE POINT DE PRELEVEMENT</i>	<i>43</i>
<i>FIGURE 20 : CUMULS DE PRECIPITATION ET TEMPERATURE MOYENNE (JANVIER-JUILLET 2023)... ..</i>	<i>44</i>
<i>FIGURE 21 : DISTRIBUTION VERTICALE DE LA SATURATION DE L’O₂ DURANT LA PERIODE FEVRIER-JUILLET 2023 AU NIVEAU DE NOTRE POINT DE PRELEVEMENT.....</i>	<i>44</i>

<i>FIGURE 22 : VARIATIONS DES TENEURS D' OXYGENE POUR LA PERIODE HIVERNALE-PRINTANIERE EN FONCTION DE LA PROFONDEUR.....</i>	<i>45</i>
<i>FIGURE 23 : VARIATIONS DES TENEURS D' OXYGENE POUR LA PERIODE HIVERNALE-PRINTANIERE EN FONCTION DE LA PROFONDEUR.....</i>	<i>45</i>
<i>FIGURE 24 : VARIATIONS DES CONCENTRATIONS DE LA CHLOROPHYLLE-DURANT LES MOIS DE NOTRE ETUDE EN FONCTION DE LA PROFONDEUR</i>	<i>46</i>
<i>FIGURE 25 : DISTRIBUTION VERTICALE DU pH DURANT LA PERIODE FEVRIER-JUILLET 2023 AU NIVEAU DE NOTRE POINT DE PRELEVEMENT</i>	<i>46</i>
<i>FIGURE 26 : DISTRIBUTION VERTICALE DE L'ALCALINITE TOTALE DURANT LA PERIODE FEVRIER-JUILLET 2023 AU NIVEAU DE NOTRE POINT DE PRELEVEMENT.....</i>	<i>46</i>
<i>FIGURE 27 : DISTRIBUTION VERTICALE DE L'ALCALINITE TOTALE POUR DIFFERENTES SAISONS.....</i>	<i>47</i>
<i>FIGURE 28 : DISTRIBUTION VERTICALE DU PCO₂ DURANT LA PERIODE FEVRIER-JUILLET 2023 AU NIVEAU DE NOTRE POINT DE PRELEVEMENT</i>	<i>48</i>
<i>FIGURE 29 : DISTRIBUTION VERTICALE DE PCO₂ EN FONCTION DES SAISONS.....</i>	<i>49</i>
<i>FIGURE 30 : VARIATION DES FLUX AIR-MER DANS LA BAIE DE BOUISMAIL (FEVRIER-JUILLET 2023)</i>	<i>50</i>
<i>FIGURE 31 : CONCENTRATION DU PHYTOPLANCTON SELON LEURS EFFET DURANT LA PERIODE D'ETUDE.....</i>	<i>51</i>
<i>FIGURE 32 : PSEUDONITSCHIA SP</i>	<i>52</i>
<i>FIGURE 33 : COOLIA MONOTIS.....</i>	<i>52</i>
<i>FIGURE 34 : CONCENTRATION DU PHYTOPLANCTON SELON LEURS GROUPE DURANT LA PERIODE D'ETUDE.....</i>	<i>52</i>
<i>FIGURE 35 : COMPARAISON DE L'ETAT DE SATURATION DE L' O₂ ET PCO₂ DANS LA BAIE DE BOUISMAIL (FEVRIER-JUILLET 2023)</i>	<i>53</i>

Liste des tableaux

<i>TABLEAU 1 : LES PARAMETRES DESTINES A L'ANALYSE ET LE NOMBRE TOTAL DES ECHANTILLONS</i>	<i>27</i>
<i>TABLEAU 2 : DATES ET CONDITIONS METEOROLOGIQUES DES SORTIES DE PRELEVEMENT</i>	<i>29</i>
<i>TABLEAU 3 : LES RESULTATS OBTENUS DES PARAMETRES MESURES DANS LA BAIE DE BOU ISMAIL ..</i>	<i>42</i>
<i>TABLEAU 4 : GRILLE D'EVALUATION DE L'EUTROPHISATION (MENESGUEN ET AL., 2001).....</i>	<i>55</i>
<i>TABLEAU 5: TEMPS DE SEDIMENTATION POUR DES ECHANTILLONS D'EAU DE MER CONSERVE DANS DU LOGOL</i>	<i>V</i>
<i>TABLEAU 6 : DENSITE DES GENRES PHYTOPLANCTONIQUES ET LEURS EFFET IDENTIFIES DURANT NOTRE ETUDE.....</i>	<i>V</i>

Liste des abréviations

ENSSMAL : Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral

NBS: National Bureau of Standard

SWS : Sea Water Scale

GIEC : Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

CRM: Certified Reference Material

ODV: Ocean Data View

MAW: Modified Atlantic Water

CO₂: dioxyde de carbone

PH : Potentiel Hydrogène

AT/ TA : Alcalinité total

TCO₂ :Carbone Inorganique total

pCO₂ : Pression partielle de CO₂

DIC/CID : Carbone inorganique dissous

OD : oxygène dissous

Sommaire

Introduction.....	2
1 . GÉNÉRALITÉS	4
1.1 Cycle du Carbone :	5
1.1.1 La pompe physique :	6
1.1.2 La pompe biologique :	7
1.1.3 Le système des carbonates :	7
1.1.3.1 Le PH :	8
1.1.3.2 Alcalinité totale (A_T) :	9
1.1.3.3 Carbone Inorganique Total (DIC) :	10
1.1.3.4 Pression partielle du CO_2 (PCO_2) :	11
1.1.4 Flux de CO_2 à l'interface air-mer :	11
1.2 Changement climatique et acidification des océans :	11
1.2.1 Changement climatique et acidification en Méditerranée :	13
1.3 Eutrophisation :	14
1.3.1 Définition de l'eutrophisation :	14
1.3.2 L'eutrophisation en Méditerranée :	15
1.3.3 Manifestation de l'eutrophisation :	15
1.3.4 Indicateurs de l'eutrophisation :	15
1.3.4.1 Oxygène dissous :	16
1.3.4.2 Sels nutritifs :	16
1.3.4.3 Chlorophylle a :	18
1.3.4.4 Phytoplancton:	18
2 . ZONE D'ÉTUDES	20
2.1 Présentation de la zone d'étude :	21
2.2 Réseau Hydrographique :	22
2.3 Climatologie :	23
2.3.1 Précipitations moyennes :	23
2.3.2 Température de la mer :	24
2.4 Source potentiel de pollution :	24

3	. MATÉRIELS ET MÉTHODES.....	26
3.1	Conditionnement du matériels et mesure in-situ :	27
3.2	Sorties en mer :	28
3.3	Matériel de Prélèvements :	29
3.4	Echantillonnage et conservation :	29
3.5	Mesure des paramètres physicochimiques et biologiques :	30
3.5.1	Mesure de l'Oxygène dissous :	30
3.5.1.1	Principe de la méthode :	30
3.5.1.2	Analyse au laboratoire :	31
3.5.2	Mesure de pH :	32
3.5.2.1	Principe de la méthode :	32
3.5.2.2	Analyse au laboratoire :	33
3.5.3	Mesures de l'alcalinité totale :	35
3.5.3.1	Principe de la méthode :	35
3.5.3.2	Analyse au laboratoire :	35
3.5.4	Mesures de la température et de la salinité	36
3.5.5	Macro algues :	36
3.5.6	Etude du phytoplancton :	37
3.5.6.1	Principe de la méthode :	37
3.5.6.2	Analyse au laboratoire :	37
3.5.7	Chlorophylle a :	38
3.5.7.1	Principe de la méthode :	38
3.5.7.2	Analyse au laboratoire :	38
3.5.8	Flux total de dioxyde de carbone :	39
3.5.9	Sels nutritifs :	40
4	. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS.....	41
4.1	Température et salinité :	43
4.2	Oxygène et chlorophylle a :	44
4.3	Alcalinité et pH :	46
4.4	PCO₂ et flux air-mer en CO₂ :	48
	50	
4.5	Phytoplancton :	50
4.6	Variations CO₂ et OD (pCO₂ versus OD) :	53

4.7 Synthèse de l'ensemble des indicateurs d'eutrophisation :	54
Conclusion	57
Bibliographies	60
Annexes	ii

Introduction

Introduction

Les océans jouent un rôle crucial en tant que régulateurs essentiels du climat et réservoirs de carbone. Cependant, ils sont aujourd'hui confrontés à des défis majeurs tels que le réchauffement climatique et l'acidification. Ces phénomènes ont des répercussions profondes à l'échelle mondiale, affectant les écosystèmes marins et perturbant les cycles biogéochimiques.

La Méditerranée, en tant que mer semi-fermée, est parmi les zones marines les plus impactées au monde, elle est particulièrement vulnérable aux pressions environnementales qui l'affectent de manière significative, telles que les variations climatiques, la pollution et l'eutrophisation. Cette vulnérabilité a des répercussions directes sur les régions côtières, y compris l'Algérie. Dans ce contexte, la baie de Bou-Ismaïl joue un rôle clé en tant qu'écosystème côtier de grande importance, ce qui justifie l'étude approfondie de ses caractéristiques biogéochimiques et de son état écologique.

Le réchauffement climatique est principalement attribué à l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre, notamment le dioxyde de carbone (CO_2), dans l'atmosphère. Une conséquence directe de cette hausse des émissions de CO_2 est l'acidification des océans, qui se produit lorsque le CO_2 est dissous dans l'eau de mer. Cette acidification a des effets dévastateurs sur les organismes marins, notamment le phytoplancton qui est sensible à des changements de pH.

Notre étude revêt une importance particulière car elle se concentre sur un sujet peu exploré en Algérie et les recherches en cours à l'ENSSMAL, débutées en 2011, contribuent à son avancement.

L'importance de cette recherche réside dans sa capacité à approfondir les connaissances existantes sur ces phénomènes environnementaux. En collectant des données de terrain et en effectuant des analyses au laboratoire grâce à des méthodes de mesure précises nous visons à estimer les flux air-mer en CO_2 et à évaluer l'état de l'eutrophisation dans la baie de Bou-Ismaïl sur différentes saisons.

Les résultats obtenus contribueront à une meilleure compréhension des interactions entre les processus climatiques, les cycles biogéochimiques et les écosystèmes marins côtiers. Ces connaissances sont essentielles pour évaluer l'impact environnemental de ces phénomènes.

Le présent manuscrit est structuré de la manière suivante :

- **Généralité** : expose en détail le contexte de l'étude, en mettant en lumière les enjeux et les motivations qui ont conduit à cette recherche.
- **Zone d'étude** : nous nous concentrons sur la description complète de notre zone d'étude, la baie de Bou Ismail, en fournissant des informations essentielles sur son environnement, sa géographie et ses caractéristiques distinctives.
- **Matériels et méthodes** : est dédié à la présentation des protocoles utilisés sur le terrain ainsi qu'au laboratoire, en détaillant le matériel et les méthodes d'analyse employés pour recueillir et étudier les échantillons.
- **Résultats et discussions** : les résultats obtenus sont présentés et interprétés en détail dans cette partie, permettant ainsi d'éclairer les principales découvertes de notre recherche.
- **Conclusion** : le manuscrit se conclut par un chapitre dédié aux conclusions tirées de cette étude, ainsi que par des perspectives prometteuses pour d'éventuels travaux futurs.

1. Généralités

Généralités

Ce chapitre vise à établir le cadre et l'importance de l'étude sur la contribution au cycle annuel des flux air-mer en CO₂ et l'évaluation de l'état de l'eutrophisation. Cette section offre une vue d'ensemble du contexte global et des enjeux associés à ces domaines de recherche.

Cette connaissance approfondie des flux air-mer en CO₂ est essentielle pour évaluer l'état actuel du système climatique et anticiper ses évolutions futures. Les océans, en tant que réservoirs naturels de carbone, ont la capacité d'absorber une partie du CO₂ atmosphérique, ce qui atténue temporairement son impact sur le climat. Cependant, cette absorption accrue de CO₂ a des conséquences sur les propriétés chimiques de l'eau de mer, entraînant une acidification des océans qui affecte les organismes marins et les écosystèmes.

Parallèlement, il est tout aussi important d'évaluer l'état de l'eutrophisation dans les écosystèmes marins. L'eutrophisation résulte généralement de l'apport excessif de nutriments d'origine humaine, tels que les nitrates et les phosphates, dans les eaux côtières. Cela peut entraîner une prolifération d'algues nuisibles, une réduction de l'oxygène dissous dans l'eau et des perturbations majeures de l'équilibre écologique.

En combinant l'étude des flux air-mer en CO₂ et l'évaluation de l'eutrophisation, cette recherche contribuera à une meilleure compréhension des interactions complexes entre l'atmosphère, l'océan et les écosystèmes côtiers. Elle fournira des informations précieuses pour la prise de décision et la mise en place de mesures de gestion durables visant à atténuer les effets néfastes des activités humaines sur l'environnement marin.

1.1 Cycle du Carbone :

L'océan contient cinquante fois plus de CO₂ que l'atmosphère et seize fois plus que la biosphère continentale, c'est donc l'océan qui régule le cycle du carbone à la surface de la terre (**Roy-Barman and Jeandel, 2011**). La méditerranée, a été identifiée comme étant une importante zone de stockage du carbone anthropique (**Palmiéri et al., 2014**).

Les échanges air-mer de CO₂ sont contrôlés par des processus physiques et biologiques, nommés respectivement « pompe physique ou de solubilité » et « pompe biologique » de carbone :

1.1.1 La pompe physique :

La pompe physico-chimique, ou pompe de solubilité, décrit les processus inhérents à la solubilité et à la circulation océanique qui permettent l'établissement d'un gradient vertical de carbone inorganique dans l'océan, elle limite l'accumulation de CO₂ de l'atmosphère. Le principal moteur de cette pompe est la température, qui influence la solubilité du CO₂ (Gac, 2021; Wimart-Rousseau, 2021).

Selon Pagès (2020), la méditerranée est capable d'absorber une grande quantité de CO₂ en profondeur grâce à son intense circulation thermohaline.

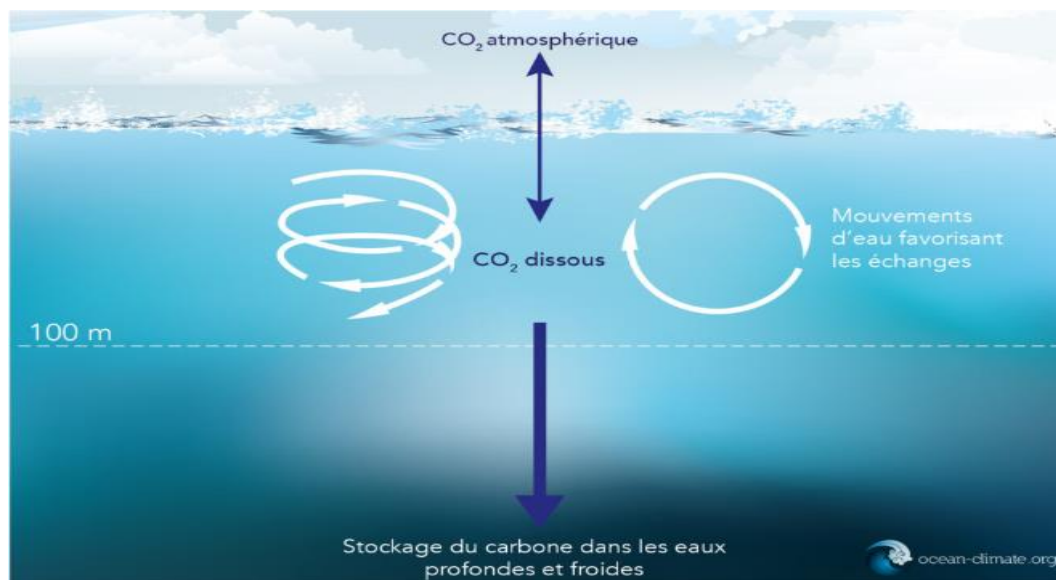


Figure 1 : Pompe physique du carbone (Plateforme Océan & Climat,2016)

1.1.2 La pompe biologique :

La pompe biologique dans l'océan constitue donc une part importante des échanges de CO_2 . Elle se divise en deux principaux flux de la couche euphotique à l'océan profond. D'une part la formation et le transport de matière organique résultant de la photosynthèse (Détailé dans la partie eutrophisation), et d'autre part la chute des particules carbonatées produites par les organismes calcifiants (présence de CaCO_3 dans leurs squelettes, coquilles...) : Le CO_2 dissous réagit avec H_2O pour former l'espèce H_2CO_3 , celle-ci étant instable, elle se dissocie en ions bicarbonates HCO_3^- et carbonates CO_3^{2-} , avec l'émission de l'ion H^+ . Les ions carbonates réagissent ensuite avec les ions Ca^{2+} pour précipiter en carbonate de calcium qui peut être assimilés par la plupart des organismes benthiques et planctoniques calcifiants (Gac, 2021)

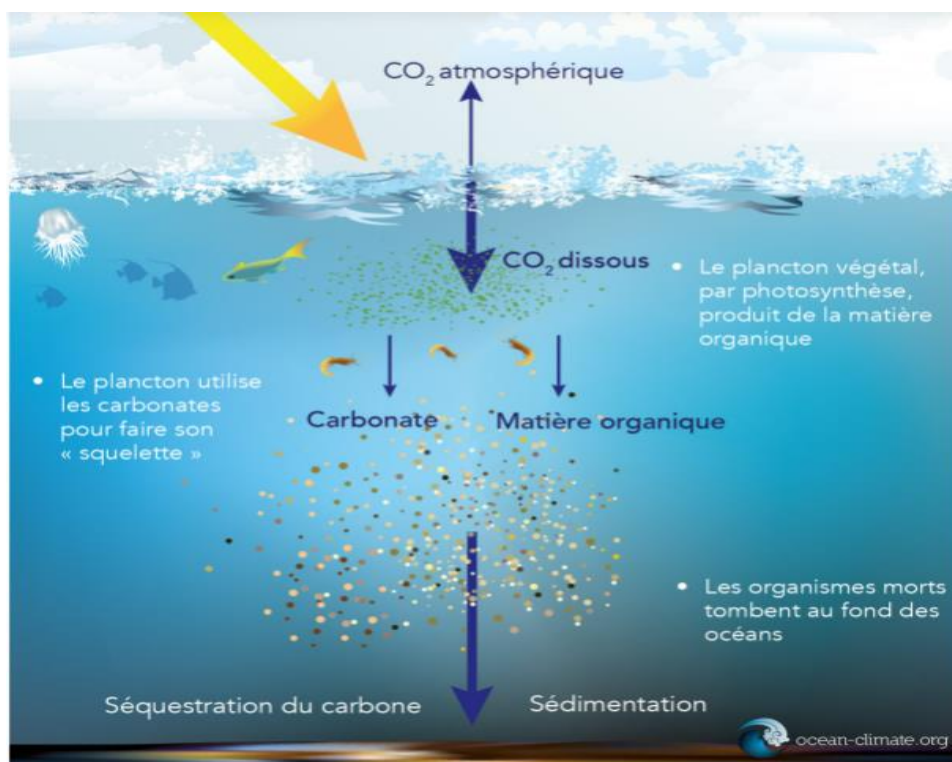


Figure 02: Pompe biologique du carbone (Plateforme Océan & Climat, 2016)

1.1.3 Le système des carbonates :

Les transferts de gaz entre l'océan et l'atmosphère comportent différents aspects (Roy-Barman and Jeandel, 2011) :

- ❖ Un aspect dynamique avec le renouvellement de l'eau de surface et son transfert en profondeur ;
- ❖ Un aspect thermodynamique avec les différences de pression partielle du CO₂ entre l'océan et l'atmosphère ;
- ❖ Un aspect cinétique avec les transferts de gaz à l'interface océan-atmosphère.

Le CO₂ dissous réagit avec l'eau pour former les ions bicarbonate et carbonate. Ces réactions sont régies par une série d'équilibres chimiques décrits ci-dessous.

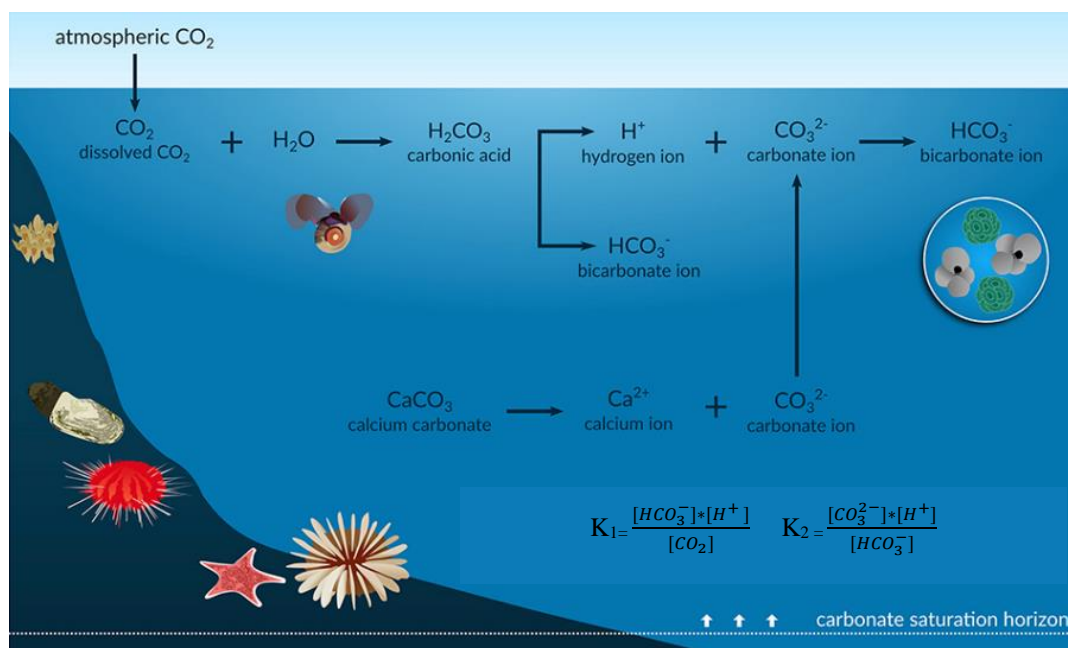


Figure 03: Processus d'acidification de l'océan et constante d'équilibre. (Figuerola et al., 2021 modifié)

Pour estimer le système des carbonates dans l'eau de mer, quatre indicateurs sont communément mesurés : le log négatif de la concentration en ions hydrogène (pH), l'alcalinité totale (Total Alkalinity, TA), le carbone inorganique dissous (Dissolved Inorganic Carbon, DIC) et la pression partielle de CO₂ (pCO₂), (Millero, 2007)

1.1.3.1 Le PH :

Le pH, potentiel hydrogène, mesure l'activité des protons en solution (**Wimart-Rousseau, 2021**). Dans l'eau de mer, le pH est gouverné essentiellement par le système des carbonates. Il est compris, généralement, entre 7,9 et 8,4 (**Pilson, 2012**). Une addition de CO₂ dans l'eau de mer par transfert de CO₂ atmosphérique, par respiration ou par oxydation de la matière organique, favorise la formation des acides carboniques, des ions d'hydrogène et des ions

bicarbonates et provoque ainsi une diminution de pH. Inversement, une diminution de CO₂ entraîne une augmentation de pH et donc un déplacement de l'équilibre en faveur des carbonates (**Hassoun, 2014**).

Le pH mesure l'activité des protons en solution (**Roy-Barman and Jeandel, 2011**) :

$$\text{pH} = -\log (\text{H}_3\text{O}^+)$$

Le pH de la solution est défini selon la méthode opérationnelle qui sert à le mesurer. Il est déterminé à partir de la mesure de deux forces électromotrices (E), par rapport à une électrode de référence dans une cellule, dans laquelle la première mesure X se fait dans une solution standard S (donc de pH connu), puis dans la solution à tester (l'échantillon de mer). Le pH de la solution inconnue X est lié au pH de la solution standard S, par l'expression (**Dickson, 1993**):

$$\text{pH}_x = \text{pH}_s - (E_x - E_s) / (RT \ln (10)/F)$$

Le pH mesuré dépend des solutions étalons de référence choisie pour le définir. Selon (**Bates, 1973** ; (Millero, 1986) l'échelle NBS (National Bureau of Standard) est utilisée pour la chimie des solutions aqueuses diluées dans l'eau douce, mais n'est pas recommandée pour les mesures dans l'eau de mer. Basée sur des tampons de faible force ionique (tampons NBS) et de composition éloignée du milieu marin, elle engendre des différences entre les potentiels de jonction liquide pour l'eau de mer et pour les tampons (**Dickson, 1984**) .

Dans l'eau de mer est une solution de forte force ionique, les nombreuses interactions ioniques rendent difficile l'utilisation de ces principes. En effet, L'échelle de l'eau de mer ("SWS, Sea Water Scale" (**Dickson and Millero, 1987**) est utilisé ; elle considère, en plus des protons libres, les protons associés aux sulfates et aux fluorures présents dans le milieu tel que :

$$\text{pH}_{\text{SW S}} = -\log [\text{H}^+]_{\text{SW S}} = -\log ([\text{H}^+]_{\text{F}} + [\text{HSO}_4^-] + [\text{HF}^-])$$

1.1.3.2 Alcalinité totale (A_T) :

L'alcalinité totale est utilisée depuis longtemps pour évaluer le pouvoir tampon des systèmes aquatiques (**Hunt et al., 2011**) ,elle a été définie par Dickson (**1981**) comme " le nombre de moles d'ions hydrogène équivalent à l'excès d'accepteurs de protons (bases conjuguées des acides faibles avec une constante de dissociation $K \leq 10^{-4,5}$ à 25 °C et à une

force ionique nulle) par rapport aux donneurs de protons (acides avec $K > 10^{-4,5}$) dans un échantillon d'eau de mer d'un kilogramme". Dans l'eau de mer, AT correspond donc à **(Roy-Barman and Jeandel, 2011)** :

$$AT = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{B(OH)}_4^-] - [\text{H}^+]$$

D'après Wimart-Rousseau, (2021) la mesure de la capacité d'une solution à capter les protons, est à 98 % régie par les ions carbonates et bicarbonates dans l'eau de mer.

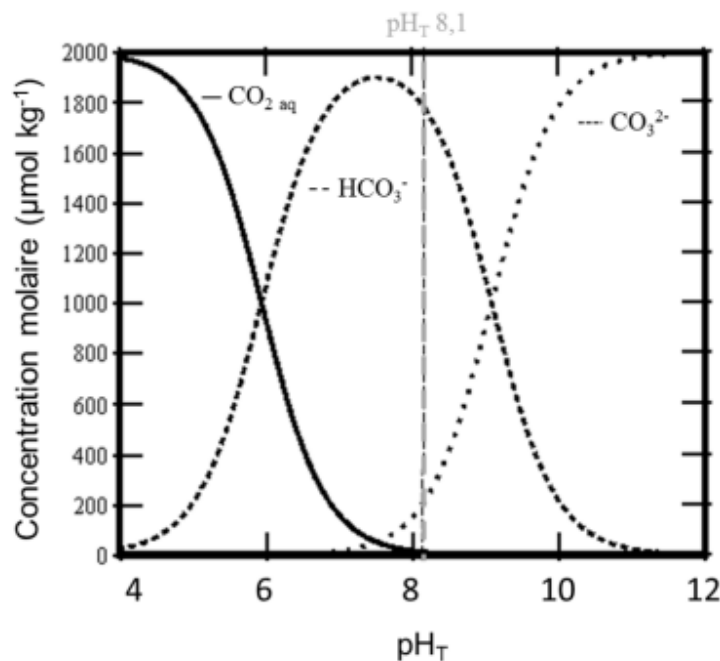


Figure 04: Répartition des différentes espèces de CID en fonction du pH marin. pH_T : pH mesuré sur l'échelle totale (Noiset, 2013)

1.1.3.3 Carbone Inorganique Total (DIC) :

Le carbone inorganique dissous total, désigné sous le terme de Carbone Total (CT) est une grandeur conservative correspondant à la somme des concentrations des espèces aqueuses du système des carbonates qui sont HCO₃⁻, CO₃²⁻ et CO₂ ; **(Roy-Barman and Jeandel, 2011)**:

$$DIC = \text{CO}_2 + \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$$

Les proportions relatives de ses espèces sont relativement bien connues, le DIC est constitué d'environ 90 % d'ions de HCO₃⁻, 9 % de CO₃²⁻ et 1 % de CO₂ **(Gemayel, 2015)**.

1.1.3.4 Pression partielle du CO₂ (PCO₂) :

La pression partielle de CO₂ (pCO₂) dans un échantillon d'eau de mer se réfère à la pression partielle du CO₂ dans la phase gazeuse qui est en équilibre avec celle-ci (**Wimart-Rousseau, 2021**). La pression partielle d'un gaz est définie telle que (**Roy-Barman and Jeandel, 2011**):

$$p\text{CO}_2 = [\text{CO}_2]/\alpha_{\text{CO}_2}$$

Où α_{CO_2} est la solubilité de CO₂

La combinaison de 2 des paramètres cités précédemment, de la température, de la salinité sont utilisés comme paramètre de la spéciation chimique du CO₂ (**Pierrot et al., 2011**) pour calculer le pCO₂, ainsi que d'autres paramètres des carbonates. Les différentes combinaisons de paramètres mesurés (DIC/TA, pH/TA...) font différer l'écart types des résultats du pCO₂ (**Millero, 2007**).

1.1.4 Flux de CO₂ à l'interface air-mer :

Les échanges de carbone entre les réservoirs sont appelés des flux. Chaque réservoir peut être une source : il relâche du carbone, ou un puits : il absorbe du carbone (**Gac, 2021**), ces échanges étant contrôlés par des processus physico-chimiques et biologiques.

Par convention, le flux net de CO₂ vers l'océan est exprimé en valeur négative, par l'équation suivante (**Wanninkhof, 2014**) :

$$F = K * K_0 * (p\text{CO}_{2w} - p\text{CO}_{2atm})$$

Avec k : la vitesse de transfert du gaz à l'interface air –mer ; K₀ : la solubilité du CO₂ ; pCO_{2w} : la pression partielle en CO₂ à la surface de l'eau ; pCO_{2atm} : la pression partielle en CO₂ dans l'air.

Un flux positif indique une pCO₂ océanique supérieure à la pCO₂ atmosphérique : le réservoir océanique sera "source" pour l'atmosphère. Inversement, un flux négatif indique une pCO₂ océanique inférieure à la pCO₂ atmosphérique : le réservoir océanique sera "puits" pour l'atmosphère (**Wimart-Rousseau, 2021**)

1.2 Changement climatique et acidification des océans :

L'histoire de la terre est régie par des fluctuations climatiques à différentes échelles, conduites par des forçages naturels tels que l'activité solaire, l'activité volcanique, etc.

Ce qu'aujourd'hui la communauté scientifique appelle « changement climatique » est attribué à un dérèglement du système atmosphérique associé à l'activité humaine, et notamment à un réchauffement planétaire de l'atmosphère et de l'océan (Louis, 2015)

Les activités anthropiques sont responsables d'une augmentation des gaz à effet de serre (IPCC, 2021), tel que la vapeur d'eau (H₂O), protoxyde d'azote (N₂O), méthane (CH₄), Chlorofluorocarbures (CFCs) et principalement le dioxyde de carbone CO₂, qui s'accumulent dans l'atmosphère. Cette augmentation est due aux émissions des combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz) (Jackson et al., 2022 figure 5)

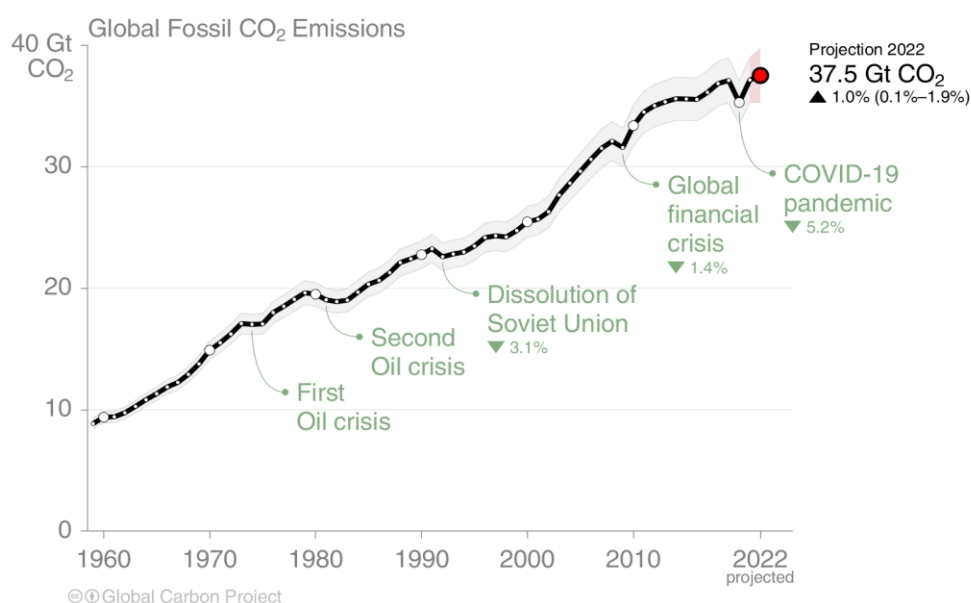


Figure 05: Les émissions mondiales de CO₂ d'origine fossile ont augmenté régulièrement au cours des dernières décennies et devraient à nouveau croître en 2022.

La concentration mondiale des gaz à effet de serre a continué d'augmenter, atteignant environ 419 ppm (parties par million) en août 2023, (US Department of Commerce) un niveau jamais atteint au cours des deux derniers millions d'années, les températures à la surface du globe ont déjà augmenté de 1,1 °C et cette augmentation est plus importante sur les terres (1,59 °C) que sur les mers (0,88 °C). (IPCC, 2023 figure 06)

Évolution de la température à la surface de la Terre par rapport aux niveaux de 1850-1900, en °C

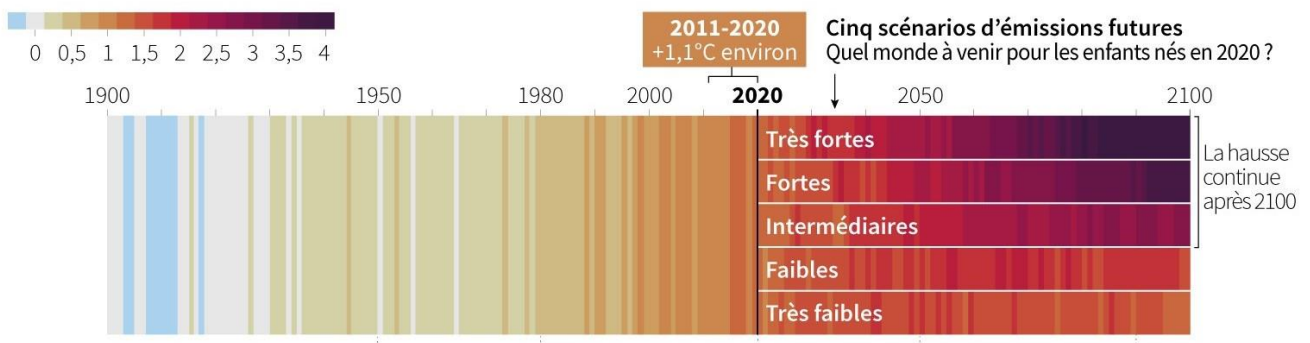


Figure 06: Evolution de la température à la surface de la terre par rapport aux niveaux de 1900-2100, en °C. (IPCC, 2023)

Au cours des dernières décennies, l'océan a ralenti le rythme du changement climatique anthropique en absorbant près de 30 % des émissions anthropiques de CO₂ (OCÉAN ET CLIMAT, 2019) La chimie de l'océan est affectée par la dissolution du CO₂ dans l'eau de mer, qui entraîne des modifications notamment une diminution du pH océanique de surface de 0,1 et d'ici 2100, le pH des eaux de surface devrait encore diminuer de 0,3-0,4 (Wimart-Rousseau, 2021, ("Acidification des océans," n.d.) Il s'agit de l'acidification des océans.

1.2.1 Changement climatique et acidification en Méditerranée :

La mer Méditerranée semi-fermée, elle ne couvre que <0,8% de la surface de l'océan mondial et comprend <0,3% de son volume, mais elle abrite une quantité inhabituelle de biodiversité pour une mer tempérée. (Hilmi et al., 2014; Mangos et al., 2010)

Elle est identifiée comme l'une des régions les plus réactives et vulnérables au monde vis-à-vis aux impacts du réchauffement climatique. (IPCC, 2021) La température de l'eau en mer Méditerranée devrait augmenter entre + 1,8°C et + 3,5°C d'ici 2100 (*Rapport sur l'état de l'environnement et du développement en Méditerranée (RED) 2020, 2021*) et l'élévation du niveau de la mer d'ici 2100 vont de 30 à 40 cm et environ 60 % de cette augmentation serait due à la dilatation thermique de l'eau de mer. (*Rapport 2017 sur la qualité de la Méditerranée*)

Les effets escomptés de ce réchauffement et la baisse de la pluviométrie entraîneront : le développement de milieux propices à la propagation des espèces invasives venues de la Mer

Rouge ; la diminution des apports en eau douce qui seront aussi plus chargés en polluants ; le réchauffement de l'eau et la hausse de la salinité ne seront pas uniformes, ni sur tout le bassin, ni à toute profondeur. Ces modifications pourront entraîner une modification de la circulation des courants.

L'acidification est une pression anthropique supplémentaire sur les écosystèmes de la mer Méditerranée, les premières estimations des changements anthropogéniques du pH de surface à partir de modèles régionaux à haute résolution de la mer Méditerranée confirment que, le changement moyen du pH de surface (de 1800 à 2001) reste indiscernable de ceux des eaux de surface typiques de l'océan mondial, et présente une faible variabilité spatiale à la surface de cette mer semi-fermée. (Hilmi et al., 2014; Palmiéri et al., 2014)

1.3 Eutrophisation :

1.3.1 Définition de l'eutrophisation :

L'eutrophisation des écosystèmes aquatiques est une succession de processus biologiques enclenchés en réponse à un apport excessif de nutriments (essentiellement le phosphore et l'azote). Elle se traduit par des réponses complexes de l'ensemble des écosystèmes aquatiques d'eau douce, saumâtre ou salée. Elle peut être progressive ou brutale. Les effets les plus notables sont des proliférations de producteurs primaires (plantes aquatiques, algues, cyanobactéries), des phénomènes de toxicité ou d'anoxie (absence d'oxygène), des pertes de biodiversité. (Gilles Pinay et al., 2018)

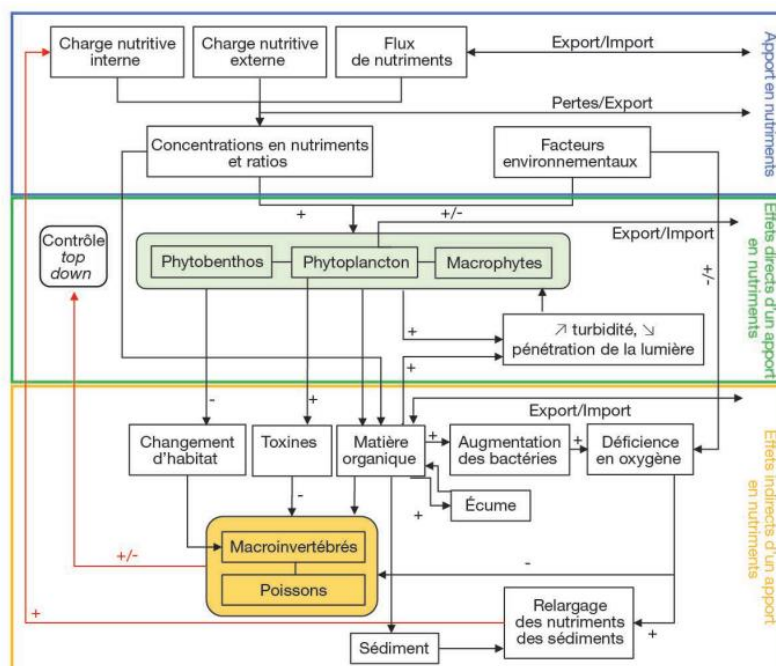


Figure 07: L'eutrophisation, pour tous les types de masses d'eau de surface d'après Claussen et al. 2009

1.3.2 L'eutrophisation en Méditerranée :

En Méditerranée, les problèmes d'eutrophisation sont moins importants, cette région est dite Low Nutrient (en particulier le phosphore) Low Chlorophyll (LNLC). (Louis, 2015; Pagès et al., 2020)

Les eaux situées au large des côtes méditerranéennes ont été caractérisées comme étant oligotrophes à ultraoligotrophes avec une tendance croissante à l'oligotrophie en allant vers l'est. La mer Méditerranée orientale reste la zone la plus oligotrophe de l'ensemble du bassin méditerranéen et la plus grande étendue d'eau au monde ayant une concentration limitée en phosphore. Par rapport à la Méditerranée orientale, la Méditerranée occidentale a un apport en éléments nutritifs et une productivité primaire relativement élevés. (Rapport 2017 sur la qualité de la Méditerranée)

Les principales zones côtières de la Méditerranée historiquement reconnues comme étant influencées par des apports naturels et/ou anthropiques d'éléments nutritifs sont la mer d'Alboran, le golfe du Lion, le golfe de Gabès, l'Adriatique, le nord de la mer Égée et la Méditerranée du sud-est.

Actuellement, seuls quelques pays méditerranéens ont développé une approche périphérique pour évaluer l'état de l'eutrophisation et n'ont encore convenu d'aucun critère d'évaluation général pour la région méditerranéenne pour les concentrations des nutriments clés dans la colonne d'eau. Depuis 1999, le Programme Pollution du PNUE/PAM (MEDPOL) a un système de suivi basé sur les données fournies par les quelques pays méditerranéens, y compris celles concernant les nutriments.

1.3.3 Manifestation de l'eutrophisation :

On peut observer deux phénomènes liés à l'eutrophisation, la prolifération de macro algues « marées vertes » qui peuvent être nocives, et les blooms phytoplanctoniques notamment au printemps dans les zones littorales peu profondes, et atteindre un enrichissement massif en nutriments.

1.3.4 Indicateurs de l'eutrophisation :

Les variables généralement utilisées pour évaluer le degré de l'eutrophisation sont : l'oxygène dissous, la quantité des apports en éléments nutritifs et la production primaire, la chlorophylle a et le phytoplancton.

1.3.4.1 Oxygène dissous :

L'oxygène dissous est la quantité d'oxygène gazeux O_2 dissous dans l'eau. L'oxygène pénètre dans l'eau par absorption directe de l'atmosphère, par déplacement rapide ou comme déchet de la photosynthèse des plantes. La température et le volume d'eau en mouvement affectent les niveaux d'oxygène dissous. Il est d'une grande importance pour la vie dans le milieu aquatique.

Sa concentration est un paramètre utilisé pour mesurer la qualité du milieu marin. Elle est liée à des paramètres physico-chimiques et à l'activité biologique,

- Les échanges à l'interface air-mer.
- Diffusion et mélange au sein de la masse d'eau.
- Utilisation dans les réactions d'oxydation chimique (naturelles ou anthropiques).
- Utilisation par les organismes aquatiques pour la respiration (ce qui inclut au sens large la dégradation bactérienne des matières organiques) et pour la nitrification.
- Respiration et photosynthèse.

Cependant l'eutrophisation peut entraîner indirectement une baisse des niveaux d'oxygène dissous et crée des conditions défavorables pour la vie aquatique.

L'importance de ces processus permet soit :

- Sa saturation dans les zones eutrophes du à l'accroissement important du phytoplancton ou de macro algues.
- Sa sous-saturation dans les zones riches en matières carbonées du à l'oxydation de la matière organique, nitrification de l'azote ammoniacal. (**Aminot, A and Chaussepied, M, 1983**)

1.3.4.2 Sels nutritifs :

Les nutriments (azote, phosphore, silicium...) constituent les éléments nutritifs à la base de la production primaire. En milieu naturel, les concentrations en nutriment sont souvent maximales à la fin de l'hiver par le lessivage des bassins versants et une faible activité phytoplanctonique. Puis ils sont consommés lors du développement du phytoplancton au cours du printemps au moment de la remontée des températures et de l'ensoleillement. Il arrive que ces concentrations remontent à la fin de l'été avant l'observation d'un second pic d'activité phytoplanctonique au début de l'automne. (**Chevé Julien and Lejolivet Aurore, 2022**)

Les sels nutritifs dans l'eau de mer ont principalement deux types de sources :

- Externe : qui regroupe tous les apports continentaux déversant en mer.
- Interne : ce sont les flux verticaux et leur régénération à partir de la matière organique issue de la photosynthèse, qui est effectuée par les organismes autotrophes dans la couche euphotique. **(Levitus et al., 1993)**.

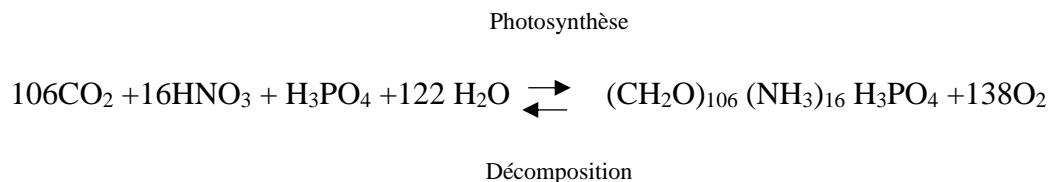
Il est essentiel de contrôler et de réduire les sources de sels nutritifs entrant dans les plans d'eau car leur excès peut entraîner une eutrophisation du milieu.

1.3.4.2.1 Le rapport de Redfield (N/P) :

L'excès de nutriments est un facteur majeur d'eutrophisation, le phosphore étant le nutriment essentiel, suivi de l'azote, du carbone, des oligo-éléments, etc... **(Huang and Cheng, 2016)**

Le phosphore et l'azote dans les masses d'eau naturelles sont les facteurs critiques pour la production de biomasse de plancton. **(Belouz K, 2019)** La biomasse maximale des algues est déterminée par l'apport en nutriments et la disponibilité de la lumière. Quand un nutriment essentiel à la croissance des plantes aquatiques devient indisponible, la croissance des algues devient limitée par ce nutriment. **(Robertson, 1997)**

Selon Redfield, la photosynthèse (ou la décomposition) du plancton produit (ou consomme) 138 moles de O₂ par mole de P, selon le bilan réactionnel :



L'azote et le phosphore sont absorbés par les algues dans un rapport approximativement constant de 16 atomes d'azote par 1 atome de phosphore, la comparaison de ce rapport à celui des mêmes éléments dans le milieu a souvent été utilisée pour évaluer l'élément potentiellement limitant :

Un rapport N/P supérieur à 16 dans l'eau indiquerait un excès d'azote, donc une limitation potentielle par le phosphore,

- Un rapport inférieur à 16 indiquerait une limitation par l'azote.

- Une telle comparaison doit être effectuée avec la plus grande circonspection car elle fait l'impasse sur les processus mis en jeu et leur importance relative en fonction de l'écosystème considéré. **(Aminot and Kérouel, 2004)**

1.3.4.3 Chlorophylle a :

La chlorophylle est un pigment indispensable à la photosynthèse des algues. Le dosage de ce composé sert donc à estimer la biomasse phytoplanctonique du milieu marin. Il est sensible à la lumière et à la température et peut être dégradé en présence d'acide **(Protocole national chlorophylle,2023)**.

Les concentrations en chlorophylle sont considérées comme un critère d'évaluation du niveau d'eutrophisation en zone côtière ou estuaire car sa concentration constitue une des réponses du milieu aux apports de nutriments.

1.3.4.4 Phytoplancton:

Le phytoplancton constitue l'ensemble des cyanobactéries et micro algues (végétaux microscopiques) présentes dans les eaux de surface et qui dérivent au gré des courants. Méconnu car invisible à l'œil nu, le phytoplancton est pourtant le poumon de notre planète. Grâce à la photosynthèse, il produit plus de la moitié de l'oxygène terrestre et consomme la moitié du dioxyde de carbone. Le phytoplancton est indispensable à la vie marine car il se trouve également à la base de la chaîne alimentaire océanique.

Du printemps à l'automne, il est possible d'apercevoir le long des côtes ou au large, des efflorescences de phytoplancton (ou blooms en anglais). Ce phénomène, qui se manifeste par une apparence inhabituelle de l'eau de mer (coloration de l'eau, présence abondante de mousse, mortalités massives de poissons), résulte d'une prolifération et d'une concentration élevée en micro algues lorsque les conditions environnementales sont favorables.

Par ailleurs, certaines espèces de phytoplancton peuvent produire des phycotoxines, par conséquent ces molécules peuvent être toxiques pour l'homme ou toxique pour l'environnement. **(Chevé Julien and Lejolivet Aurore, 2022)**

En résumé le phytoplancton a besoin de nutriments pour se développer et peut être un indicateur des apports de nutriments. Cependant, une croissance excessive du phytoplancton peut entraîner une eutrophisation et des modifications de l'écosystème aquatique. **(Flynn et al,**

2015) Donc ces organismes sont essentiels pour comprendre la santé des océans, la dynamique des écosystèmes et les cycles biogéochimiques mondiaux.

2. Zone d'études

Zone d'études

Ce chapitre présente une vue d'ensemble de la baie de Bou-Ismaïl, cette section donne un aperçu du contexte géographique et des caractéristiques de la zone pour explorer les questions de recherche et les objectifs de notre projet de fin d'étude.

Cette zone d'étude est un choix idéal pour mener des recherches sur les flux air-mer en CO₂ et l'évaluation de l'état de l'eutrophisation en raison de son accessibilité, à la fois géographique et opérationnelle. Géographiquement, elle est située à proximité des ports et des zones côtières facilement accessibles. En termes d'opérabilité, l'accès à cette zone est facilité par la présence de voies de navigation adéquates, permettant aux embarcations de rejoindre les sites d'échantillonnage sans difficulté. De plus, son plateau continental relativement réduit permet d'atteindre aisément des profondeurs de 100 mètres, De plus, le site est influencé à la fois par les apports anthropiques, ce qui indique une influence humaine sur le milieu environnant et par l'hydrodynamisme (le courant algérien), ce qui contribue à sa nature dynamique. Enfin, la situation géographique du site est avantageuse car il est situé à proximité de zones où des données historiques sont disponibles, ce qui renforce le potentiel d'analyse comparative et de compréhension globale.

2.1 Présentation de la zone d'étude :

La Baie de Bou Ismaïl, occupe la partie ouest du littoral Algérois elle s'étend de la pointe de Cap Caxine (Ras Acrata) à l'Est de Sidi-Fredj (2°55' E et 36°48' N) et Mont Chenoua à l'Ouest (2°25' E et 36°38'N), elle est délimitée par la mer Méditerranée au Nord et la plaine de la Mitidja au Sud. L'ouverture de la baie de Bou-Ismaïl est d'environ 40 Km, et s'oriente du Sud-Ouest à Nord-Est comme le montre la figure 08.

Elle peut être divisé en quatre zone géographiques d'Est à l'Ouest : la baie d'El Djamila, le secteur Sidi Fredj-Oued Mazafran, une côte rocheuse (Ouest de Tipaza) et la baie de Chenoua.



Figure 8 : Carte de la baie de Bou Ismail réalisé avec ArcGis par Aklouche et Bouraib

2.2 Réseau Hydrographique :

Le réseau hydrographique est essentiel pour comprendre la circulation de l'eau, le transport des sédiments et les processus écologiques dans la baie. Il joue un rôle important dans le façonnement de l'environnement côtier de la baie et dans l'interaction entre les écosystèmes d'eau douce et les écosystèmes marins.

La baie de Bou-Ismaïl est caractérisée par son réseau hydrographique, qui comprend plusieurs éléments contribuant à l'écoulement de l'eau et aux schémas de drainage dans la région, elle est le réceptacle d'oueds à régime irrégulier : Béni-messous, Mazafran, et Nador.

- **Oued Beni-messous** : descend du massif de Bouzaréah et débauche sur les plages des Dunes et d'El Djamila, il est généralement à sec pendant la majeure partie de l'année, mais pendant les périodes de précipitations, il peut connaître des débits relativement importants mais la charge polluante s'en trouve diminué sous l'effet de la dilution.
- **Oued Mazafran** : Il s'agit d'un oued très important qui prend sa source dans les montagnes du Djurdjura et traverse la région de Bou-Ismaïl pour finalement atteindre la mer entre Zéralda et Douaouda. Il joue un rôle crucial dans la formation de

l'hydrologie de la baie en apportant de l'eau douce et en influençant le transport des sédiments, il est une grande source de pollution.

L'intensité de son débit peut varier en fonction de la saison et des précipitations locales. Trois autres petits oueds, Bou-Roumi, Chiffa et Djer, sont interconnectés avec lui.

→ **Oued Nador** : Traversant la partie ouest de la région, l'oued collecte et transporte tous les apports solides provenant du massif du Chenoua, notamment des Oueds Bouyersen, Bouardoun et Meurad. Il se déverse dans la Baie de Chenoua.

2.3 Climatologie :

Nous avons utilisé dans notre travail les données qui proviennent du site climatsetvoyages.com (voir annexe) La moyenne des données est calculée de 1991 à 2020.

2.3.1 Précipitations moyennes :

Les précipitations totalisent 600 millimètres par an : elles sont donc à un niveau intermédiaire. Au mois le moins pluvieux (juillet) elles s'élèvent à 5 mm, dans les mois les plus pluvieux (novembre, décembre) elles s'élèvent à 90 mm.

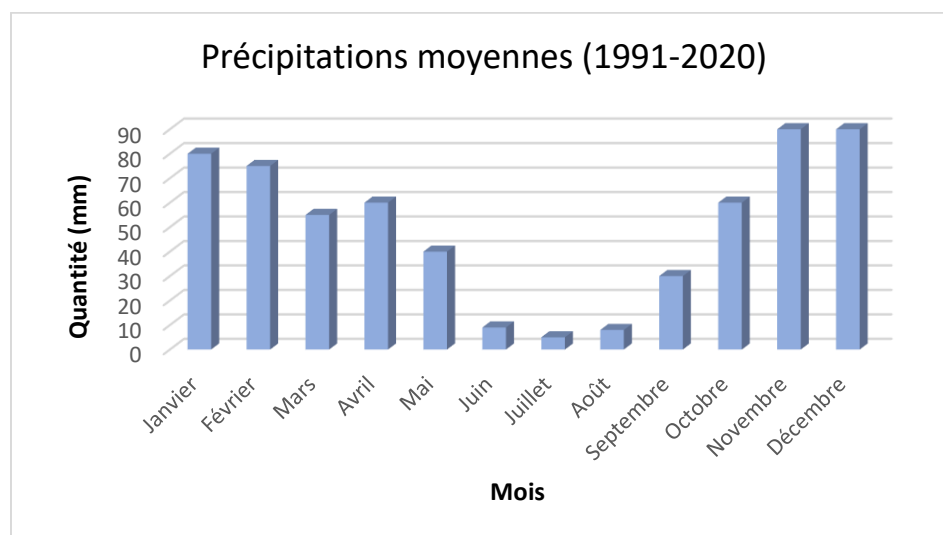


Figure 9 : Précipitations moyennes (1991-2020)

2.3.2 Température de la mer :

La température moyenne de la mer entre 1991 et 2020 est de 19,6 °C par an.

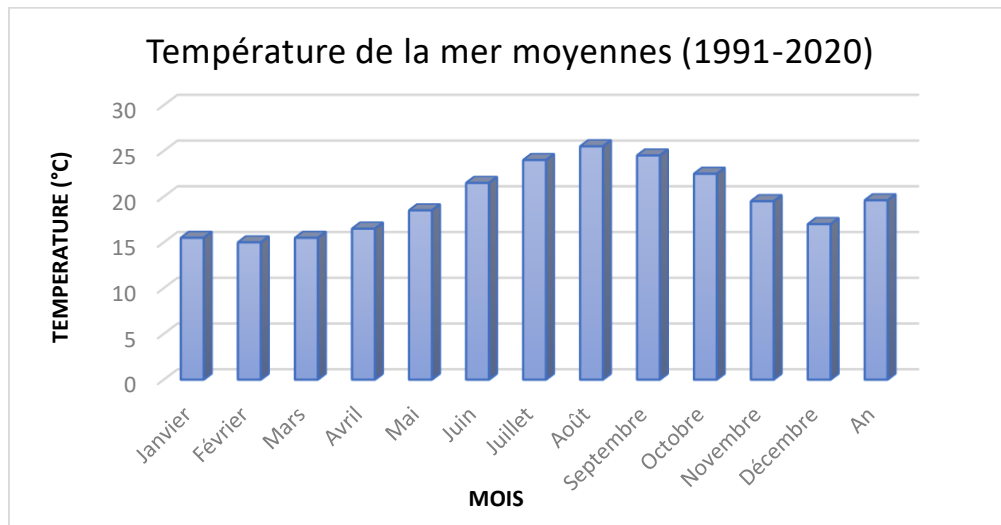


Figure 10 : Température de la mer moyennes (1991-2020)

2.4 Source potentiel de pollution :

La baie de Bou Ismail est l'une des régions les plus polluées d'Algérie, les différentes sources de pollution dans cette baie peuvent être résumées comme suit :

- Les rejets domestiques : Les villes et les stations touristiques situées dans la frange côtière de la région rejettent des eaux usées domestiques non traitées directement dans la mer.
- Les oueds : Les oueds, qui sont des cours d'eau asséchés, traversent les centres urbains et transportent les eaux usées provenant des terres agricoles, ainsi que les effluents urbains et industriels, jusqu'à la mer (mazafran, beni messous et nador)
- Ruissellement agricole : le ruissellement provenant des activités agricoles, telles que l'utilisation d'engrais et de pesticides, peut se retrouver dans la baie, contribuant potentiellement à la pollution de l'eau.
- Effluents industriels : Les installations industrielles situées à proximité de la baie de Bou-Ismaïl peuvent déverser directement dans la mer des eaux usées non traitées ou partiellement traitées contenant divers polluants. Comme par exemple : DAEL : Une entreprise spécialisée dans la production de matériel électrique ou Hippocampe : fabricant de céramique.

Zone d'études

- Déchets solides : L'élimination inadéquate des déchets solides, y compris les plastiques et autres matériaux non biodégradables, peut entraîner une pollution marine par les déchets et le ruissellement.

Ces sources de pollution peuvent avoir des effets néfastes sur l'écosystème marin et la qualité de l'eau de la baie de Bou-Ismaïl.

3. Matériels et méthodes

Matériels et méthodes

Ce chapitre donne un aperçu complet de l'approche et des techniques de recherche employées pour atteindre les objectifs de notre travail et répondre aux questions posées dans cette étude. Cette section décrit le matériel utilisé, les procédures expérimentales menées et les méthodes analytiques employées pour collecter et analyser les données. En détaillant la méthodologie de manière transparente et reproductible, cette section vise à établir la rigueur scientifique et la fiabilité des résultats de recherche présentés dans le chapitre suivant. Grâce à une méthodologie systématique et bien définie, cette étude vise à fournir une base solide pour tirer des conclusions significatives.

3.1 Conditionnement du matériels et mesure in-situ :

Avant chaque sortie en mer, tous les flacons sont rincés avec de l'eau de robinet, puis avec de l'eau acidulée à base d'acide chlorhydrique à 0,1N, ensuite ils sont rincés avec l'eau distillée, séchés à l'étuve à 35°C ensuite ils sont numérotés et gardés à l'abri de la lumière, évitant toute contamination.

Tableau 1: les paramètres destinés à l'analyse et le nombre total des échantillons

Paramètres	Nombres			
	d'échantillons au total	Matériel	Bouchage	Volume
Températures	Mesurée in situ	-	-	-
Salinité	Mesurée in situ	-	-	-
Oxygène dissous	30	Flacon en verre transparent a col rodé	Bouchon à doigt en verre	≈280ml
Alcalinité	30	Flacon en verre transparent	Plastique, à vis	≈500ml
Ph	30	Flacon en verre transparent	Plastique, à vis	≈100ml
Sels nutritifs	30	Plastique	Plastique, à vis	≈300ml
Chlorophylle a	30	Plastique	Plastique, à vis	≈2 l
Phytoplancton	30	Plastique	Plastique, à vis	≈300ml

3.2 Sorties en mer :

Les sorties en mer ont été une occasion inestimable d'observer et de documenter directement l'environnement marin, ce qui a permis de recueillir des données de première main qui contribuent de manière significative aux résultats et aux conclusions de cette recherche. Elles ont constitué un élément essentiel de la méthodologie. Elles ont consisté à naviguer à travers la mer de Ain Benian pour arriver à notre point de prélèvement qui se situe à $36^{\circ}49'30''\text{N}$ $2^{\circ}51'45''\text{E}$ (figure 11)

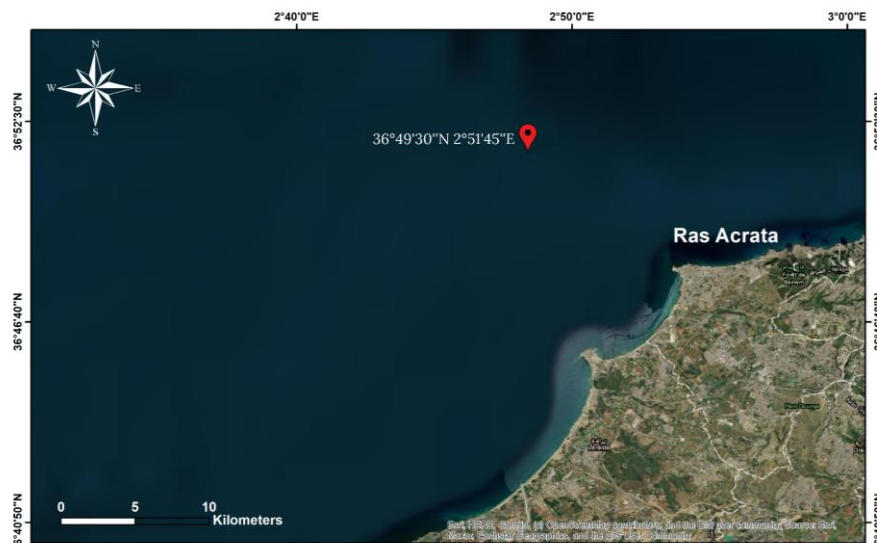


Figure 11 : Carte du point de prélèvement réalisé avec ArcGis par Aklouche et Bouraib

Nos sorties en mer ont été effectués au bord de l'embarcation « OCTOPUS » (figure 12)



Figure 12 : l'embarcation 'OCTOPUS' (par Aklouche et Bouraib)

Tableau 2 : Dates et conditions météorologiques des sorties de prélèvement

Sorties	Date	Temps	Temp max	Temp min	Etat de la mer
1	19 février 2023	Ensoleillée	20°C	13°C	Assez calme avec de faible vagues
2	20 mars 2023	Ensoleillée	16°C	9°C	Calme
3	26 avril 2023	Ensoleillée	25°C	18°C	Très calme
4	11 juin 2023	Chaude	29°C	21°C	Assez calme
5	10 juillet 2023	Très chaude	45°C	28°C	Assez calme avec un peu de houle

3.3 Matériel de Prélèvements :

Lors des sorties en mer, les échantillons d'eau de mer ont été récoltés à plusieurs niveaux de profondeur (1m, 5m, 10m, 25m, 50m, 75m), à l'aide d'une bouteille de prélèvement de type Niskin d'une capacité de 5l pourvues d'un lest et d'un messenger pour qu'elle se ferme à distance à la profondeur visée.

Une fois la bouteille de prélèvements Niskin est remontées à bord, on évite toute ouverture avant l'échantillonnage des gaz, on rince trois fois nos flacons avec l'eau de mer à analyser, puis on remplit de façon à éviter tout risque de contamination.



Figure 13 : Bouteille Niskin (par Aklouche et Bouraib)

3.4 Echantillonnage et conservation :

L'ordre d'échantillonnage suivant a été respecté, afin d'éviter toute contamination par les gaz atmosphériques : oxygène dissous, alcalinité, pH, température et salinité, sels nutritifs, phytoplancton et enfin chlorophylle a.

Pour l'échantillonnage de l'oxygène dissous, l'alcalinité et le pH, après rinçage des flacons avec l'eau de mer à analyser, on introduit le tuyau de la bouteille Niskin dans le fonds des flacons et on remplit en laissant déborder une fois et sans arrêter l'écoulement, ensuite on retire le tuyau et, rajouter les fixateurs immédiatement sans générer des bulles d'air.

Pour fixer l'oxygène dissous, avec une seringue on ajoute 2ml du réactif 1 (chlorure de manganèse, $MnCl_2$) et 2ml du réactif 2 (solution basique d'iodure, NaI), ensuite on ferme le flacon sans emprisonner de l'air, on agite et on laisse reposer à l'abri de la lumière.

Pour l'alcalinité et le pH, on ajoute avec une micropipette 10 μ ml de solution de chlorure de mercure saturée ($HgCl_2$) pour inhiber toute activité biologique. Les flacons de pH et d'alcalinité sont immédiatement mis dans la glacière à l'abri de la lumière et au frais.

Nos échantillons de pH et alcalinité ont été conservés après la sortie au froid à 4°C jusqu'au jour de la mesure.

Pour l'échantillonnage des sels nutritifs et de la chlorophylle a, il se fait par simple remplissage des flacons en plastique (flacons opaques pour la chlorophylle a) et ils sont directement placés dans la glacière, ensuite les échantillons des sels nutritifs ont été conservés au congélateur jusqu'au jour de la mesure et ceux de la chlorophylle a ont été filtrés le jour même de la sortie.

Et pour l'échantillonnage du phytoplancton, on remplit les flacons en plastique opaque (\approx 250ml), on ajoute environ 9 gouttes de Lugol pour stopper toute activité biologique et conservés à l'abri de la lumière.

3.5 Mesure des paramètres physicochimiques et biologiques :

3.5.1 Mesure de l'Oxygène dissous :

Nous avons effectué le dosage de l'oxygène dissous manuellement avec une burette graduée de 25 ml en suivant le protocole de Winkler.

3.5.1.1 Principe de la méthode :

La concentration en oxygène dissous est un paramètre utilisé pour mesurer la qualité du milieu marin. Sa concentration est liée à des paramètres physico-chimiques et à l'activité biologique, il est d'une grande importance pour la vie dans le milieu aquatique.

La méthode de Winkler a été retenue comme référence universelle pour le dosage de l'oxygène, elle a été optimisée par Carpenter (1965) et Carritt et Carpenter (1966), (**Aminot et Kérouel, 2004**), elle est conçue pour isoler l'échantillon de l'air et fixer l'oxygène dissous aussi rapidement que possible par réaction avec un précipité d'hydroxyde de manganèse formé dans l'échantillon, grâce à une succession de réactions on obtient une solution d'iode, facilement dosable avec le thiosulfate, de concentration relatif à celle de l'oxygène déjà présent.

3.5.1.2 Analyse au laboratoire :

3.5.1.2.1 Détermination du blanc chimique et du titre de la solution de thiosulfate :

D'après les valeurs du potentiel redox des couples $S_4O_6^{2-} / S_2O_3^{2-}$ ($E^0 = +0,09\text{mV}$) et O_2/H_2O ($E^0 = +1,229\text{mV}$), il apparaît que la solution de thiosulfate puisse également réagir avec l'oxygène et donc être instable dans le temps puisqu'elle est en contact avec l'air donc avant chaque série de dosages il est impératif d'établir un contrôle de la qualité de cette solution de dosage (thiosulfate).

- Mesurer 100ml d'eau distillé dans un bécher, mettre sur un agitateur automatique avec un barreau-magnétique ajouter 1ml du réactif 3 (Solutions d'acide sulfurique H_2SO_4) attendre 10 secondes puis ajouter 1ml du réactif 2 (Solution basique d'iodure de sodium NaI) attendre 10 secondes et ajouter 1ml de solution de KIO_3 (potassium iodate à 0,1N) la solution vire au jaune, et titrer avec le thiosulfate. **(Voir annexe 01 pour la préparation des réactifs)**

- Au point du virage de couleur la solution redevient transparente, noter le volume équivalent 1 (Ve_{q1}), ajouter à nouveau 1 ml de solution de KIO_3 (0,1N) et titrer avec le thiosulfate. Au point du virage, noter le volume équivalent 2 (Ve_{q2}).

Remarque : ce dosage est effectué sans ajouter le réactif 1 (Solution de $MnCl_2$) pour éviter la formation d'un précipité de manganèse (**Aminot et Kérrouel, 2004**).

- Faire ce test quatre fois.

Estimation du blanc est faite par la moyenne de plusieurs tests réalisés (\bar{B}) selon l'équation suivante :

$$\bar{B} = Ve_{q1} - Ve_{q2}$$

La concentration de thiosulfate est estimée comme suit :

$$N_{thio}(\text{mol. l}^{-1}) = \frac{N(KIO_3) * V(KIO_3)}{\bar{v}(thio) - \bar{B}}$$

- \bar{V}_{thio} : volume moyen de thiosulfate (ml). (Obtenu par la moyenne des volumes de thiosulfate Ve_{q1} ajouté dans chaque test).
- V_{KIO_3} : volume de KIO_3 utilisé pour la standardisation (ml).
- N_{KIO_3} : concentration de KIO_3 (mol/l).
- N_{thio} : concentration de thiosulfate (mol/l).

- \bar{B} : blanc chimique (ml).

3.5.1.2.2 Dosage des échantillons :

Le dosage de l'oxygène dissous a été effectué dans les flacons de prélèvement pour minimiser le contact de l'échantillon avec l'air.

-Ajouter très rapidement 3 ml du réactif 3(Acide sulfurique) dans le flacon d'oxygène, mettre le barreau magnétique délicatement, et activer l'agitation, puis titrer avec la solution de thiosulfate, en surveillant le point de virage de couleur et noter le volume équivalent.

La concentration de l'oxygène dissous est déterminée comme suit :

$$[\text{O}_2] (\text{mol.l}^{-1}) = \frac{Nt \times (V_{\text{thio}} - \bar{B})}{(V_f - V) \times 4}$$

- Nt : titre du thiosulfate (mol/l).
- V_{thio} : volume de thiosulfate consommé par l'échantillon pour la titration (ml).
- \bar{B} : blanc chimique (ml)
- V_f : volume du flacon d'échantillonnage (ml) (**annexe 01**)
- V : volume de réactifs introduits ($R1 + R2$) (ml).



Figure 14 : Échantillons de l'O₂ (par Aklouche et Bouraib)

3.5.2 Mesure de pH :

3.5.2.1 Principe de la méthode :

Le pH mesure l'activité des protons en solution :

$$\text{pH} = - \log (\text{H}_3\text{O}^+)$$

Où $(H^+) = \gamma_{H^+} [H_3O^+]$, γ_{H^+} étant le coefficient d'activité du proton. Comme il est impossible de mesurer l'activité d'un ion unique, le pH de la solution est défini selon la méthode opérationnelle qui sert à le mesurer. Il est déterminé à partir de la mesure de deux forces électromotrices (E), par rapport à une électrode de référence dans une cellule du type :

Électrode de référence | Solution de KCl | Solution X | électrode de verre

Dans laquelle la première mesure X se fait dans une solution standard S (donc de pH connu), puis dans la solution à tester (l'échantillon de mer).

3.5.2.2 Analyse au laboratoire :

3.5.2.2.1 Etalonnage de l'appareil

Avant chaque mesure de pH, il est nécessaire d'effectuer un étalonnage de l'appareil avec deux solutions étalons à pH connu, pH = 4 et pH = 7.

L'étalonnage est utilisé pour obtenir la pente de la réponse de l'électrode de verre. Étant donné que le potentiel de référence de l'électrode de verre change avec la température, il est important que la température de l'étalon et de l'échantillon soient identiques.

La mesure du pH en milieu marin est complexe due à la grande force ionique de l'eau de mer ($\approx 0,7$ mv), il en résulte une variation du potentiel de jonction lorsqu'on passe d'un électrolyte dilué à un concentré comme l'eau de mer. Les mesures de pH ne sont donc correctes que si la solution de pH inconnu ne diffère pas trop de la solution étalon du point de vue ionique. Pour cela, un étalonnage secondaire est nécessaire à l'aide d'une solution étalon TRIS à salinité connue proche de celle des échantillons selon Dickson (1994). Étant donné de la non disponibilité du TRIS commercial, nous avons utilisé la solution CRM (Certified Reference Material) de DICKSON (BATCH 131) dont on connaît les valeurs de TCO₂, salinité et d'AT et autres. **(Voir annexe 02)**

3.5.2.2.2 Qualité d'électrode :

La qualité de l'électrode est calculée par l'équation suivante :

$$\text{Qualité d'électrode} = \frac{\text{Pente calculée}}{\text{Pente théorique}} \times 100$$

- La pente calculée : est la différence de potentiel affichée par le pH-mètre vers la fin de l'étalonnage ($\Delta E / \Delta pH$).

- La ponte théorique de Nerst est égale à $2,3RT/F$ avec :
 - R : constante des gazes parfaits, $R=8,3143 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$,
 - T : température (Kelvin),
 - F : constante de faraday, $F= 96 487 \text{ C.mol}^{-1}$.

La valeur de la qualité de l'électrode doit être comprise entre 99.7% et 100.3% pour l'exploitée dans les mesures de pH dans l'eau de mer.

-Dans notre cas la qualité de l'électrode du pH-mètre utilisée est de 100,3%, donc l'électrode est de très bonne qualité.

3.5.2.2.3 Mesure de pH :

Le pH est un paramètre qui est influencé par la température, il est donc important que les échantillons et le CRM (Certified Reference Material) doivent être à la même température, et ce en les mettant dans un bain thermostaté à 20°C (c'est environ la température ambiante de la pièce) environ une heure.

La mesure se fait comme suit :

-Plonger l'électrode du pH-mètre dans la solution étalon à pH=4 puis pH=7, rincer avec de l'eau distillée et essuyer l'électrode entre les deux mesures.

-Insérer l'électrode de pH dans la solution CRM et laisser l'électrode de pH dans cette solution (CRM) pendant une trentaine de minutes pour qu'il se stabilise, noter la différence de potentiel ainsi que la température et le pH.

- Introduire l'électrode de pH, sans rinçage (juste en essuyant), dans les échantillons, noter la différence de potentiel ainsi que la température et le pH.

La valeur de pH des échantillons est calculée par rapport au CRM d'après la formule de NERNST :

$$\text{pH (x)} = \text{pH(s)} + \frac{E_S - E_X}{R \cdot T \cdot \ln(10) / F}$$

- pH (x) : pH mesuré de l'échantillon.
- pH (s) : pH du CRM. Ce dernier est calculé à partir des valeurs connues du TCO₂, salinité et d'AT du CRM par la macro Excel CO2SYS, version 2.1.
- E(S) : Différence de potentiel mesurée pour le CRM en (V).
- E(X) : Différence de potentiel mesurée pour l'échantillon de l'eau de mer en (V).

- R : Constante des gaz parfait, $R=8.3143 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$.
- T : Température en Kelvin.
- F : Constante de faraday ($96\,487 \text{ C.mol}^{-1}$).

3.5.3 Mesures de l'alcalinité totale :

3.5.3.1 Principe de la méthode :

C'est une méthode chimique et potentiométrique basée essentiellement sur le dosage direct d'une quantité connue d'eau de mer qui est considérée comme une base faible, placée dans une cellule ouverte où elle est titrée avec une solution d'un acide fort (HCl 0.1N).

La progression du titrage est contrôlée à l'aide d'une électrode de verre / électrode de référence cellule pH jusqu'à l'obtention d'un pH égal à 3. Le volume équivalent correspond au maximum de la pente de dosage. L'alcalinité totale est calculée à partir du volume équivalent de titrant.

3.5.3.2 Analyse au laboratoire :

3.5.3.2.1 Etalonnage de la mesure de l'alcalinité :

Afin de corriger les mesures d'alcalinité, on a utilisé les standards CRM (matériaux de référence certifiés) pour la mesure du système des carbonates, dans notre cas nous disposons du BATCH 131 (**annexe 02**) dont l'alcalinité est égale à $2241.35 \pm 1.11 \mu\text{mol.kg}^{-1}$.

Pour chaque sortie nous avons effectué trois tests d'alcalinité pour un flacon de standard CRM, L'alcalinité de ce standard a été mesurée en suivant les mêmes procédures que celle suivies pour nos échantillons.

Les valeurs d'alcalinité sont corrigées par un facteur de correction du rapport CRM vrai / CRM mesuré

Le dosage :

Le dosage se fait à l'aide d'un titreur automatique

- Peser le bécher vide et noter son poids ensuite peser environ 50g de notre échantillon et transvaser dans un bécher d'environ 100 ml.
- Introduire un barreau magnétique, une électrode pH.
- Pré titrage avec 0,9ml d'acide.
- Commencer le titrage et noter le V_{eq} à la fin du dosage.



Figure 15 : Titreur automatique (par Aklouche et Bouraib)

La formule d'alcalinité s'écrit comme suit :

$$AT = \frac{V_{eq} * C}{m} \times 10^6$$

- AT : l'alcalinité totale [$\mu\text{mol/kg}$]
- C : concentration du titrant (HCl) [mol/l]
- m : poids de l'échantillon [g]
- V_{eq} : volume d'acide correspondant au point équivalent en [ml]

3.5.4 Mesures de la température et de la salinité

Ces mesures sont faites par un conductimètre de terrain (WTW) qui affiche en même temps la température et la salinité avec une précision sur la température de $0,1^\circ\text{C}$ et une précision sur la salinité de 1,3. Ce conductimètre est muni d'une sonde que nous plongeons dans l'eau prélevée dans la bouteille après l'échantillonnage pour l'oxygène, l'alcalinité et le pH.

Cependant, il est important de noter que, pour la salinité, nous avons également effectué des mesures au laboratoire. Cela a été nécessaire car les résultats obtenus in situ n'étaient pas fiables du au manque de précision de l'appareillage utilisé.

3.5.5 Macro algues :

En ce qui concerne les macroalgues, il convient de noter qu'elles n'ont pas été observées visuellement à notre point de prélèvement lors de nos sorties en mer. Cette absence de

macroalgues peut s'expliquer en partie par la position géographique de notre site d'échantillonnage, situé au large, où la détection des macroalgues est plus difficile.

3.5.6 Etude du phytoplancton :

3.5.6.1 Principe de la méthode :

Les échantillons prélevés sont traités conformément à la norme NF EN 15.204 de 2006 ; (Méthode Utermöhl).

3.5.6.2 Analyse au laboratoire :

3.5.6.2.1 Dosage à blanc :

Après nettoyage des cuves de sédimentation on les remplit avec de l'eau distillée et on les passe au microscope inversé pour s'assurer qu'il n'y a pas d'espèces. (ANNEXE)

3.5.6.2.2 Sédimentation :

Cette étape permet la sédimentation des cellules de phytoplancton, qui peuvent ensuite être observées et dénombrées au microscope inversé.

Elle consiste à :

- Agiter délicatement le flacon contenant l'échantillon (30 tours) afin de remettre en suspension les espèces dans le flacon.
- Puis, verser un volume de l'échantillon dans une chambre de sédimentation qu'on referme avec une plaque de verre (en évitant de piéger des bulles d'air).
- Laisser l'échantillon se sédimenter pendant le temps adéquat (le temps va dépendre du volume de la cuve de sédimentation (**voir annexe 03**) ; dans notre cas 24 pour un volume de 25 ml.



Figure 16 : Échantillons et cuve de sédimentation de phytoplancton (par Aklouche et Bouraib)

3.5.6.2.3 Lecture :

Une fois la sédimentation terminée on passe à la lecture des échantillons sous microscope inversé ou on dénombre et on identifie les cellules phytoplanctoniques à l'aide de clés d'identification. La biomasse est ensuite déterminée en multipliant le nombre de cellules par le volume de la chambre de décantation.

Remarque : la lecture du phytoplancton a été faite environ 1 mois après les prélèvements.

3.5.7 Chlorophylle a :

Dans cette partie, nous allons estimer la concentration de la chlorophylle a en suivant la méthode spectrophotométrique selon **Aminot et Kérouel (2004)**.

3.5.7.1 Principe de la méthode :

La chlorophylle est un pigment indispensable à la photosynthèse des algues. Le dosage de ce composé sert donc à estimer la biomasse phytoplanctonique du milieu marin. Cette mesure repose sur leurs caractéristiques spectroscopiques (Absorption de la lumière) contenue dans les cellules (**Aminot et Kérouel, 2004**). Le principe de base de la méthode est de mesurer l'absorbance de la chlorophylle à une longueur d'onde spécifique dans un solvant approprié. Voici les étapes clés du calcul de la chlorophylle.

3.5.7.2 Analyse au laboratoire :

L'analyse de la chlorophylle nécessite une protection contre la lumière permanente pendant toutes les étapes du protocole analytique en raison de la sensibilité à la lumière de ces pigments.

- Filtration et extraction : l'eau de mer à été filtrer le jour même de la sortie en mer, les échantillons de 2L sont filtrés sur des disques filtrants en fibres de verre (de type Wattman GF/C, diamètre 47 mm) à l'aide d'une rampe à filtration sous vide, ensuite récupérer le filtre avec 2 pincettes et l'introduire dans un tube rempli de 10ml d'acétone à 90 %, couvrir le tube ,puis broyer délicatement le filtre à l'aide d'une tige en verre et conserver dans le réfrigérateur à l'obscurité pendant 24 heures.
- Centrifugation : une fois l'extraction terminée, placer les tubes dans la centrifugeuse pendant 5 minutes à 3000 tours/minutes puis les sortir de la centrifugeuse et essayer par un léger mouvement de faire tomber les résidus de filtre collés aux parois du tube, centrifuger à nouveau pendant 10 minutes à 3000 tours/minutes, transférer le surnageant à l'aide d'une seringue dans une cuve de mesure spectrophotométrique en veillant à ne pas prendre de filtre.
- Mesures des absorbances : sont faites à l'aide d'un spectrophotomètre aux longueurs d'ondes suivantes : 665nm et 750nm avant et après acidification avec l'ajout de 10µl d'acide chlorhydrique (0,3N).

La concentration de la chlorophylle a été calculée selon l'équation suivante :

$$[\text{Chlorophylle a}] (\mu\text{g/l}) = 27,7 (A_{na\ 665} - A_{a\ 665}) *(v/V.l)$$

V : volume d'eau filtrée (l).

v : volume de solvant d'extraction (ml).

l : longueur du trajet optique de la cuve de mesure (cm).

$A_{na\ 665}$: absorbance nette corrigée (avant acidification).

$A_a\ 665$: absorbance nette corrigée (après acidification)

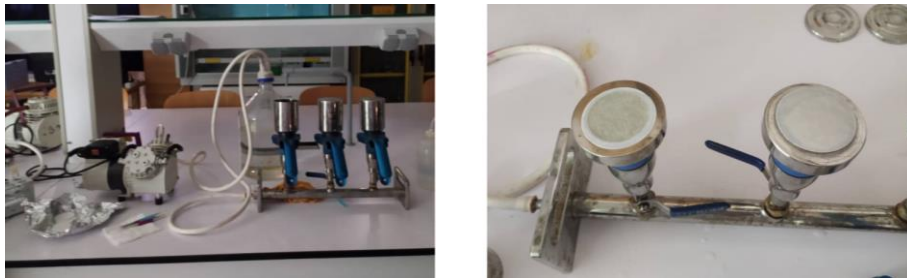


Figure 17 : Rampe a filtration et filtre apres la filtration de la chlorophylle a (par Aklouche et Bouraib)

3.5.8 Flux total de dioxyde de carbone :

Le flux total du dioxyde de carbone à l'interface air-mer a été calculé à partir de la relation suivante :

$$F_{CO_2} = K_T * 0,24 * \rho * \alpha_{CO_2} * \Delta pCO_2$$

Où F_{CO_2} est le flux air-mer du dioxyde de carbone en $mmol.m^{-2}.j^{-1}$. ; ρ la densité de l'eau de mer en $kg/l.$, α_{CO_2} est le coefficient de solubilité du CO_2 à la température et la salinité des eaux de surface en $\mu mol/kg/\mu atm$ (Wiess 1974) ; K_T est la vitesse de transfert de gaz en $cm.h^{-1}$ calculée selon Wanninkhof (2014). Le K_T a été paramétré comme une fonction de la vitesse moyenne mensuelle du vent (u) et du nombre de Schmidt (Sc), selon l'équation suivant :

$$K_T = 0,251 * u^2 \sqrt{\frac{660}{Sc}}$$

Les vitesses du vent ont été obtenues à partir du site web (<https://www.meteoart.com/>)

Les valeurs positives de F_{CO_2} indiquent le rejet de CO_2 par les eaux de surface, tandis que les valeurs négatives indiquent l'absorption de CO_2 par les eaux de surface.

3.5.9 Sels nutritifs :

Nous avons prélevé des échantillons de sels nutritifs au cours des cinq sorties en mer, et nous les avons analysés au laboratoire de Sidi Fredj à l'aide de l'appareil SKALAR de l'ENSSMAL. Malheureusement, les résultats des tests de qualité ont été négatifs. Si on prend le cas des nitrites et nitrates, plus de 80 % des valeurs mesurées sont inférieures à la limite de détection de 0,05 $\mu\text{mol/l}$. Pour les autres paramètres le test de gradient est excessif.

4. Résultats et discussions

Résultats et discussion

Ce chapitre constitue le cœur de ce mémoire de fin d'étude, il est dédié à la présentation et à l'interprétation des données recueillies tout au long de cette recherche.

Dans cette section, nous examinerons en détail les résultats obtenus à partir de nos mesures et analyses. Nous présenterons les données relatives aux flux air-mer de CO₂, mettant en évidence les variations saisonnières et les facteurs environnementaux qui influencent ces flux. Nous explorerons également les données relatives à l'état de l'eutrophisation dans la baie, en évaluant les paramètres indicateurs clés tels que la biomasse phytoplanctonique et la qualité de l'eau.

En somme, cette section fournira une analyse approfondie des données collectées et contribuera à répondre aux objectifs de notre recherche. Elle permettra d'approfondir notre compréhension des flux air-mer de CO₂ et de l'eutrophisation dans la baie de Bou-Ismaïl, en mettant en évidence leur importance environnementale et leur impact potentiel sur les écosystèmes marins.

Les résultats des mesures des paramètres physico-chimiques, obtenus lors des cinq sorties sur terrain dans la baie de Bou Ismaïl, sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les valeurs sont exprimées sous forme de valeurs moyennes et d'extrêmes, permettant ainsi d'avoir une vue globale des variations observées au cours des différentes sorties.

Tableau 3 : Les résultats obtenus des paramètres mesurés dans la baie de Bou Ismaïl

Paramètres	T	S	O ₂	pH	AT	TCO ₂	pCO ₂
Unité	°C	psu	μmol.kg-1		μmol.kg-1	μmol/kgSW	μatm
Moyenne	17,93	36,32	275,04	8,10	2 508,64	2 209,59	381,99
Maximum	26,00	37,10	326,03	8,23	2 608,71	2 402,10	556,10
Minimum	15,50	34,70	227,21	7,96	2 465,14	2 020,70	243,10
Ecart-type	2,31	0,56	20,31	0,07	25,42	67,37	63,72

4.1 Température et salinité :

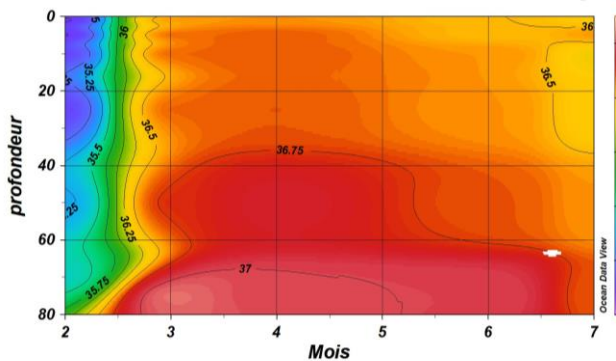


Figure 18 : Distribution verticale de la salinité durant la période février-juillet 2023 au niveau de notre point de prélèvement

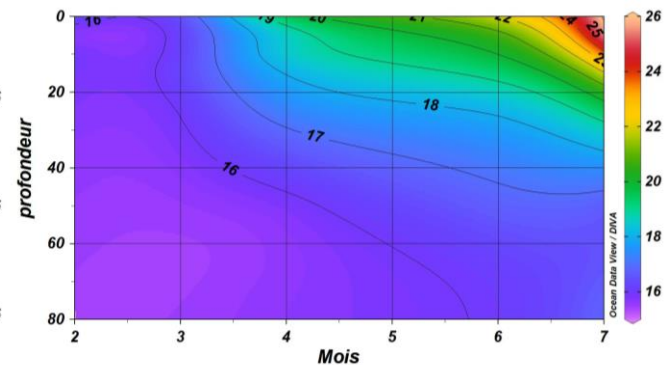


Figure 19 : Distribution verticale de la température durant la période février-juillet 2023 au niveau de notre point de prélèvement

- Selon la figure 19 les valeurs de température observée in situ révèlent une variabilité allant de 15,5 à 26°C, avec une moyenne s'établissant à 18,36°C. Au cours du mois de février, il est notable qu'aucune stratification thermique n'est présente ; la colonne d'eau est bien mélangée sur toute sa profondeur. En revanche, à mesure que nous progressons vers les mois d'été, une stratification de la colonne d'eau se dessine caractérisée par une température de surface atteignant jusqu'à 26°C en mois de juillet, et d'après **Benzohra et Millot (1995)** l'eau Atlantique subit un mélange intense dès qu'elle passe par le détroit de Gibraltar, de sorte qu'elle est ensuite reconnue comme l'Eau Atlantique Modifiée (MAW). Lorsqu'elle pénètre dans le Bassin Algérien, elle forme grossièrement une couche superficielle d'environ 150 mètres d'épaisseur, affichant une large gamme de températures potentielles, de 15 à 23°C en surface et de 13,5 à 14,0°C en profondeur, ce qui correspond avec nos résultats.

Et en comparant ces observations aux températures moyennes de l'eau de mer enregistrées entre 1991 et 2020 (**climatsetvoyages.com**), les valeurs obtenues in situ sont cohérentes avec les tendances historiques de l'Algérie.

- Concernant la salinité qui est représentée dans la figure 18, nous observons un gradient croissant en allant de la surface vers le fond, avec une valeur moyenne de 36,7 durant les mois de mars, avril, juin et juillet, selon **Benzohra et Millot (1995)** la salinité de MAW dans le bassin Algérien varie de 36,5 à 38,0 ce qui s'accorde avec nos résultats, en revanche le mois de février se distingue par une exception notable,

affichant la valeur la plus basse de toute la colonne d'eau, à savoir 34,7. Cette variation peut vraisemblablement être attribuée aux précipitations abondantes qui ont eu lieu tout le mois avant notre sortie d'échantillonnage (**figure 20**).

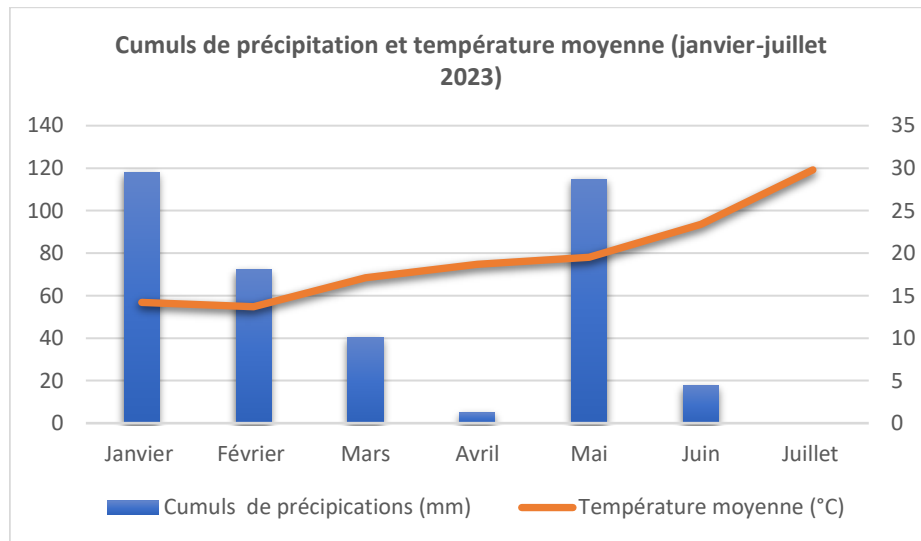


Figure 20 : Cumuls de précipitation et température moyenne (janvier-juillet 2023)

4.2 Oxygène et chlorophylle a :

D'après la figure 21 nous constatons qu'au cours des mois de février, mars et avril, une sursaturation en oxygène est manifestée, atteignant son pic en février à la surface avec une valeur de saturation de 130%. En revanche, pendant les mois de juin et de juillet, on remarque l'installation d'une sous-saturation à des profondeurs dépassant les 50 mètres, accompagné d'une sursaturation en surface.

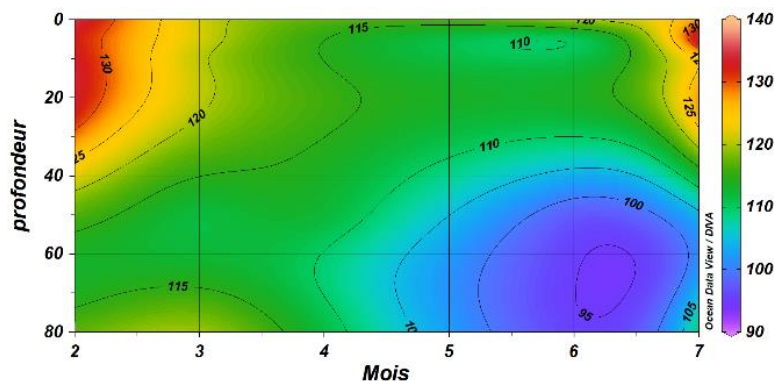


Figure 21 : Distribution verticale de la saturation de l'O₂ durant la période février-juillet 2023 au niveau de notre point de prélèvement

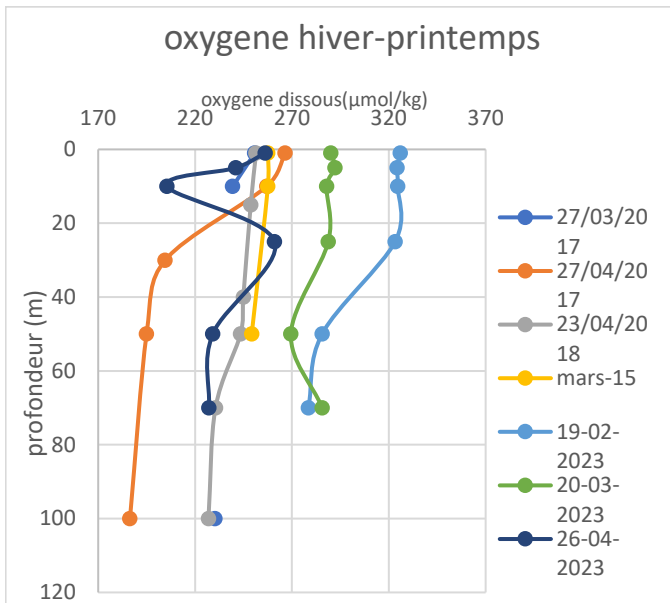


Figure 23 : Variations des teneurs d'oxygène pour la période hivernale-printanière en fonction de la profondeur

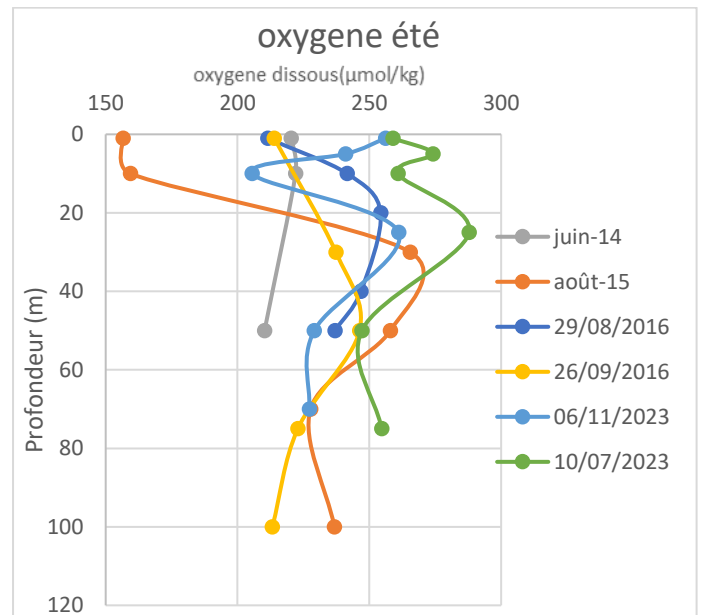


Figure 22 : Variations des teneurs d'oxygène pour la période estivale en fonction de la profondeur

Si on compare les valeurs des teneurs en oxygène mesurées durant différentes années et différentes saisons, on observe que durant les périodes hivernales-printanières toute la colonne d'eau est bien oxygénée avec une faible variation entre surface et fond. On suppose que cette oxygénation s'explique en partie par les mélanges verticales de plus, les températures de l'air et des eaux superficielles pendant cette période favorisent la solubilité de l'oxygène, contribuant ainsi à ces niveaux élevés d'oxygène dissous dans l'eau. Cette situation est illustrée dans la Figure 22 .

Cependant, pendant les périodes estivales, la figure 23, nous observons une diminution des niveaux d'oxygène dissous en surface, Cela peut s'expliquer par l'élévation de la température, qui réduit les flux d'échange d'oxygène entre l'air et la mer, on remarque aussi un maximum d'O₂ dans les profondeurs de 30 à 50m qu'on suppose qu'il liée avec l'activité photosynthétiques et une diminution des teneurs en profondeur.

En ce qui concerne la chlorophylle a (**figure 24**), le mois d'avril se distingue par une colonne d'eau notablement riche en chlorophylle a, avec une valeur max en surface de 4,29µg/L. Cependant, pour les autres mois, les niveaux de chlorophylle ont demeuré relativement faibles, ne dépassant pas la valeur de 0,6µg/L. Ces constatations s'alignent de manière

cohérente avec les résultats du Service d'Observation en Milieu Littoral (SOMLIT) à la station de Marseille, où les concentrations de la chlorophylle-a obtenues pour les années 2022 et 2023 s'accorde avec nos résultats, avec un max de productivité au mois d'Avril pour l'année courante et 2022 et une concentration qui ne dépassent pas 0,99 μ g/L pour le reste des mois.

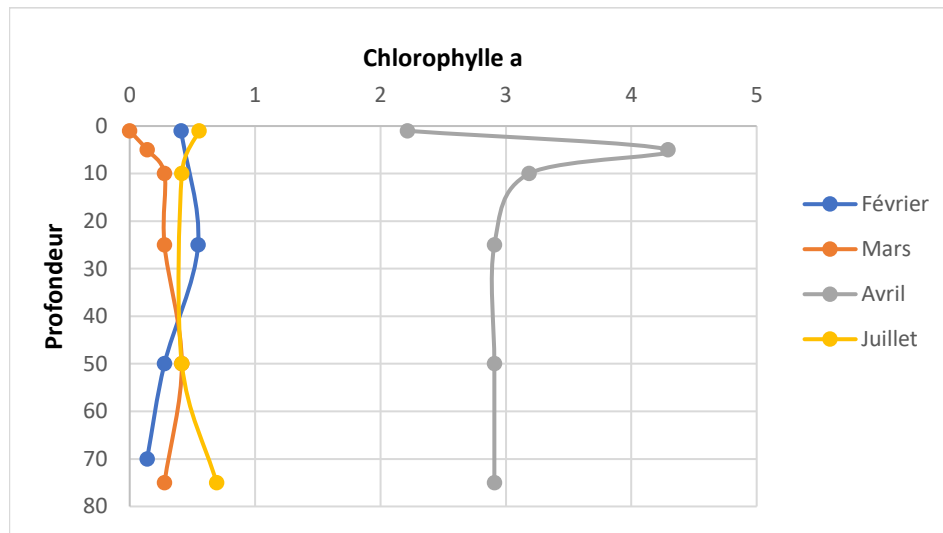


Figure 24 : Variations des concentrations de la chlorophylle-a durant les mois de notre étude en fonction de la profondeur

4.3 Alcalinité et pH :

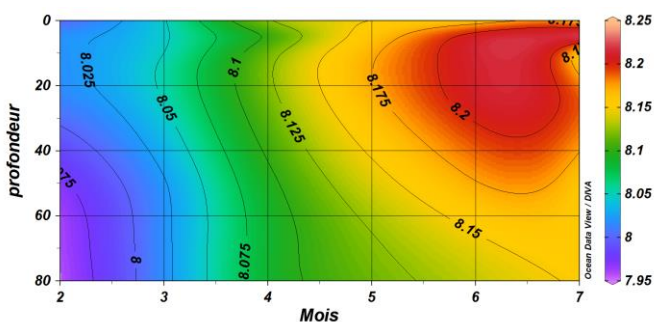


Figure 25 : Distribution verticale du pH durant la période février-juillet 2023 au niveau de notre point de prélèvement

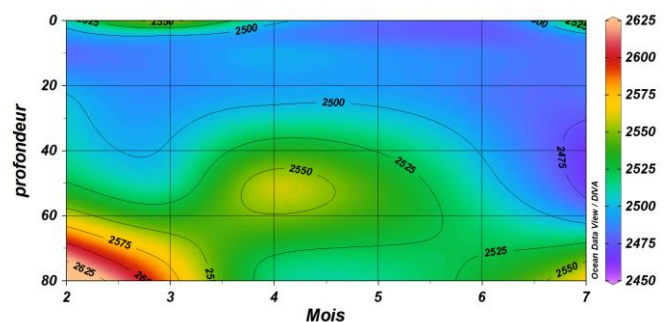


Figure 26 : Distribution verticale de l'alcalinité totale durant la période février-juillet 2023 au niveau de notre point de prélèvement

- Les valeurs de pH les plus basses sont constatées au mois de février (figure 25), affichant une moyenne d'environ 7,99. Cependant, à mesure que la température de l'eau augmente pendant la période estivale, une augmentation du pH est observée, avec

une moyenne d'environ 8,15. Cette tendance est accompagnée par l'établissement d'un gradient de pH faible en profondeur, on suppose que cette augmentation du pH est due à la consommation du CO₂ en surface résultant du processus de photosynthèse.

Ces valeurs sont proches des résultats obtenus durant la campagne océanographique SOMBA 2014 (Keraghel et al,2020) qui a recouvert tout le bassin algérien, les valeurs de pH dans les eaux de surface (0-150m) varie entre 7,97 et 8,17.

En comparant les résultats du Service d'Observation en Milieu Littoral (SOMLIT) à la station de Marseille avec nos résultats on constate que dans les deux stations le pH augmente en allant des périodes hivernales vers les périodes estivale (de février jusqu'à juillet) allant d'environ 7,93 jusqu'à 8,016 dans les eaux de surface.

- En ce qui concerne l'Alcalinité (**figure 26**), un gradient croissant de valeurs d'alcalinité est observé en fonction de la profondeur, allant en moyenne d'environ 2465 $\mu\text{mol/kg}$ en surface à environ 2575 $\mu\text{mol/kg}$ en profondeur. Cette tendance est particulièrement marquée en hiver, où les valeurs d'Alcalinité atteignent leur maximum en profondeur, avec une valeur de 2706,0174 $\mu\text{mol/kg}$ qui sont supérieures aux valeurs d'AT dans les eaux de surface (0-150m) de la campagne océanographique SOMBA 2014 (Keraghel et al,2020), varie entre 2400 et 2600 $\mu\text{mol/kg}$ ce qui s'accorde avec nos résultats.

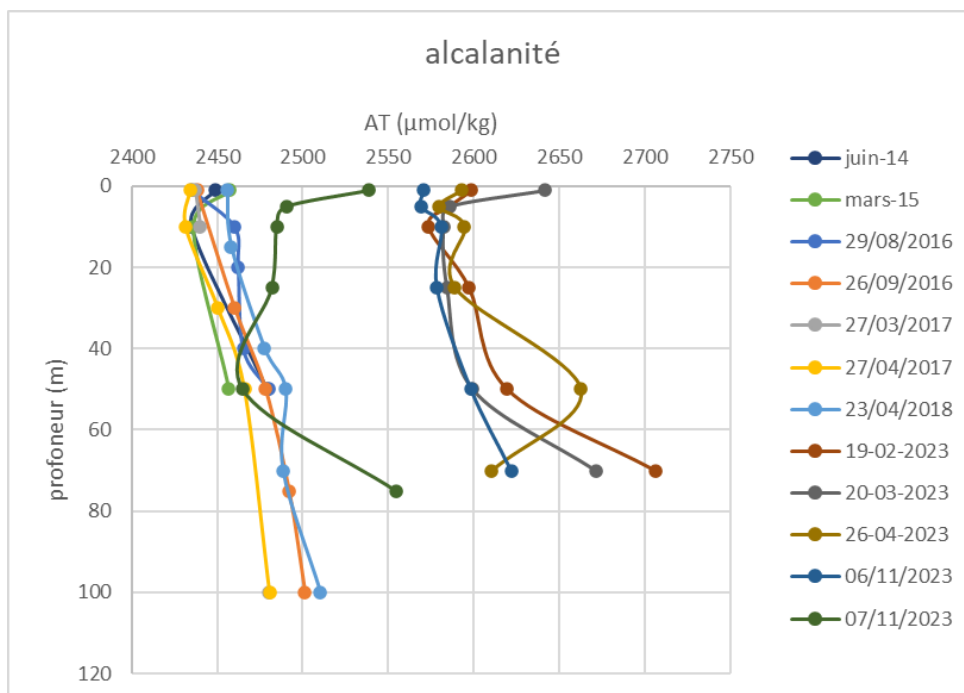


Figure 27 : Distribution verticale de l'Alcalinité totale pour différentes saisons

Si on compare les valeurs d'alcalinité obtenues pour différentes années et différentes saisons (figure 27), on observe généralement une légère diminution de l'alcalinité dans les premiers 10 mètres. Cette variation peut être attribuée à divers facteurs physiques, tels que la salinité et les précipitations apports côtiers avec une augmentation en fonction de la profondeur.

En revanche, lorsque nous comparons l'année 2023 aux années précédentes, on observe une nette augmentation de l'alcalinité, les eaux du bassin méditerranéen présentent des valeurs d'alcalinité plus élevées que le reste des eaux du globe. Dans le bassin méditerranéen, l'alcalinité totale varie entre 2500 et 2650 $\mu\text{mol.kg}^{-1}$ (Álvarez et al., 2014 ; Hassoun et al., 2015) , ces variations des concentrations en AT étant essentiellement liées aux variations de salinité (Wimart-Rousseau, 2021)

4.4 pCO_2 et flux air-mer en CO_2 :

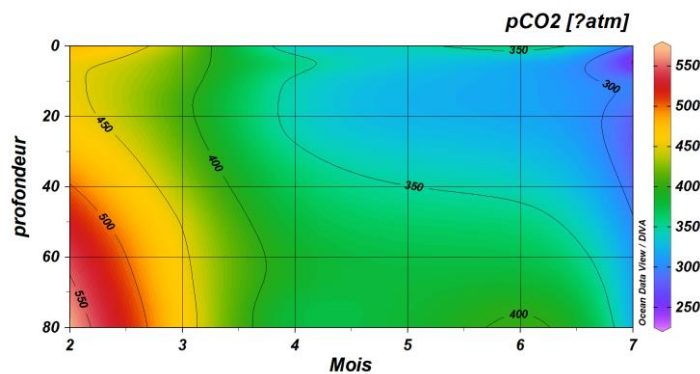


Figure 28 : Distribution verticale du pCO_2 durant la période février-juillet 2023 au niveau de notre point de prélèvement

D'après la figure 28 nous constatons des valeurs plus élevées en période hivernale avec une valeur max de 550 μatm en profondeur et plus on avance vers la période estivale le pCO_2 diminue atteignant une valeur min de 243 μatm .

Ces résultats s'accordent avec les résultats de la campagne océanographique SOMBA 2014 (Keraghel et al,2020), où le pCO_2 varie entre 294 et 502 μatm .

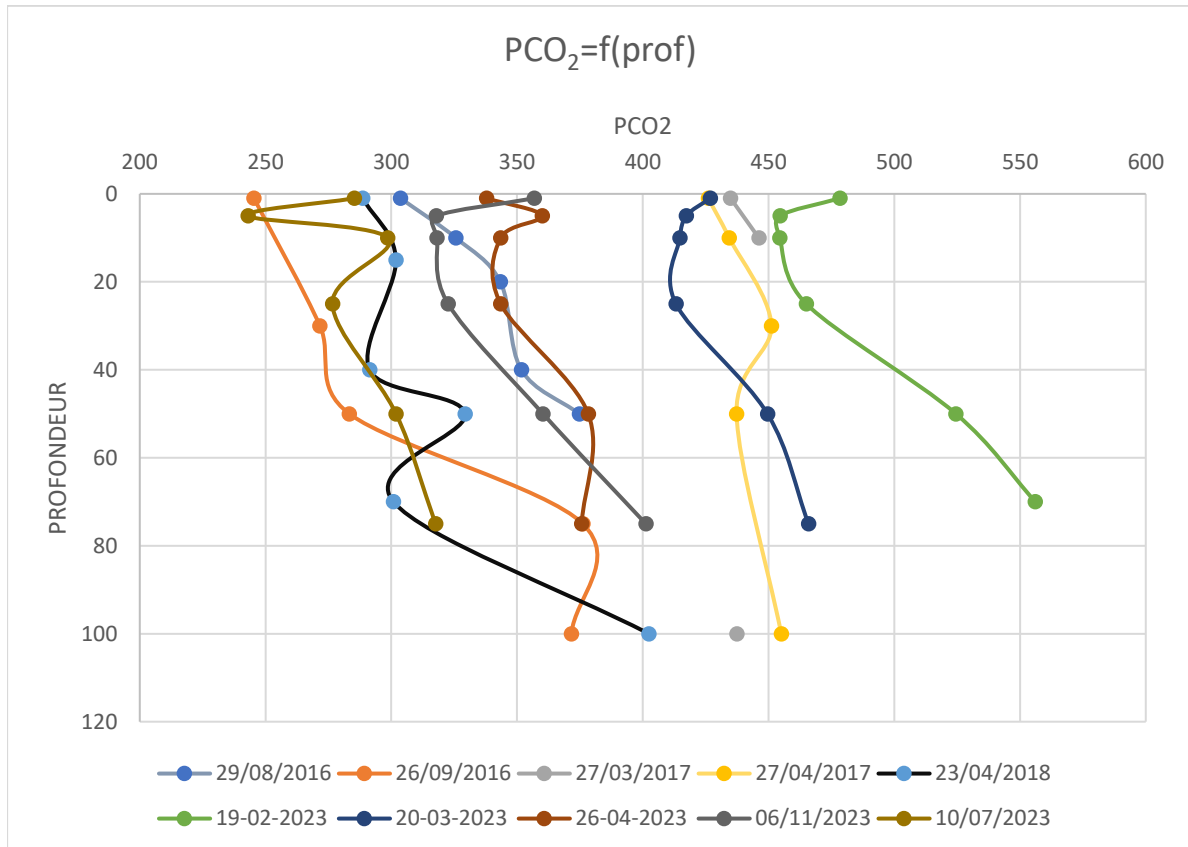


Figure 29 : distribution verticale de pCO₂ en fonction des saisons

Si on fait une comparaison de toutes les données enregistrées dans la baie de Bou Ismail depuis 2016 (figure 29) dans une station à 100m de profondeur entre les deux périodes, à savoir l'hiver et le printemps d'un côté, et l'été de l'autre côté, nous remarquons une tendance intéressante. Les niveaux de pCO₂ sont les plus élevés pendant l'hiver et le printemps, tandis que pendant la période estivale, malgré l'augmentation de la température, les niveaux de pCO₂ sont plus faibles.

Cette observation suggère que les eaux au large de la baie de Bou-Ismaïl agissent comme une source de CO₂ pour l'atmosphère pendant les mois d'hiver et de printemps. Cependant, pendant la période estivale, cette source de CO₂ se transforme en un important puits de carbone.

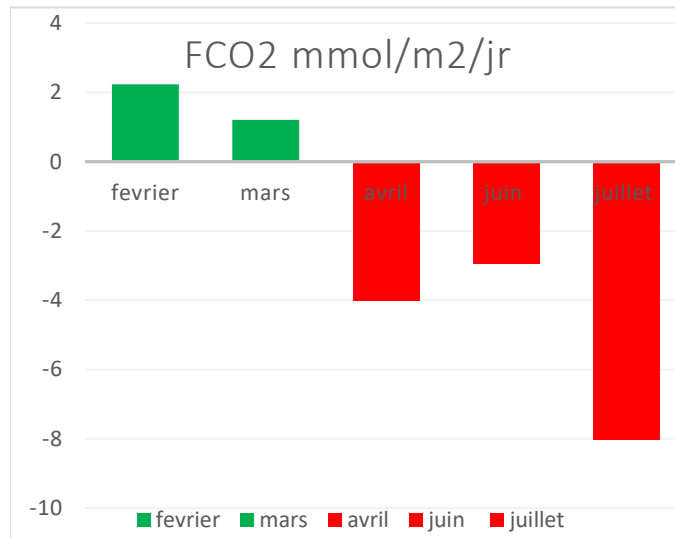


Figure 30 : Variation des flux air-mer dans la baie de BouIsmail (février-juillet 2023)

Nos observations (figure 30) révèlent un flux de CO₂ sortant vers l'atmosphère pendant la période hivernale dans notre zone d'étude. En revanche, notre zone d'étude agit comme un puits de carbone au printemps et en été, atteignant son pic en juillet avec une valeur de 8 mmol/m²/j, cette tendance est observé durent tous les travaux réalisé dans les eaux du large de la baie de bouaismail (voir figure 29)

4.5 Phytoplancton :

Dans cette partie, un total de 30 échantillons ont été prélevés sur 6 niveaux de profondeurs différents durant 5 mois à savoir (Février, Mars, Avril, Juin et Juillet).

Les données d'identification ont montré la présence de 3 groupes d'espèces selon leurs effets, les espèces à bloom non toxiques, les espèces à bloom toxiques et les espèces sans effet représenté dans la figure 31.

L'histogramme suivant donne un aperçu des fluctuations de chaque groupe, observées durant chaque mois :

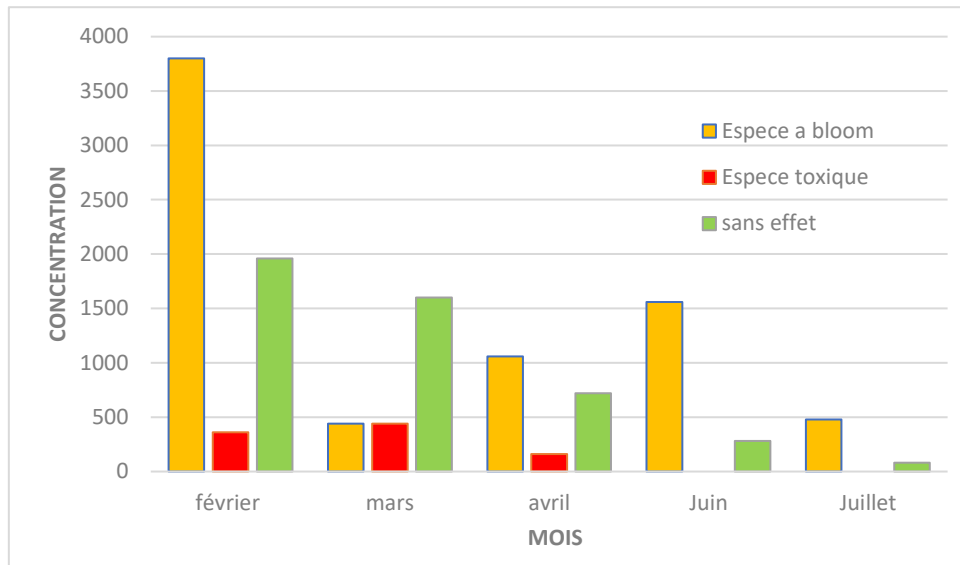


Figure 31 : Concentration du phytoplancton selon leur effet durant la période d'étude

Bien qu'il existe des fluctuations au niveau des concentrations du phytoplancton durant tous les mois, cependant la concentration reste faible dans toutes les stations (ne dépassant pas les 4000 C/L), ce qui élimine la présence de prolifération ou de bloom dans notre station.

Les mois Février, Mars et Avril ont connu une concentration plus importante que les mois de juin et juillet ceci peut être expliqué par le faible taux de précipitation en été ce qui induit un faible taux d'apport terrigène donc un faible apport en sel nutritif.

On a aussi pu observer la présence des deux espèces toxiques *Coolia monotis* (figure 33) et *Pseudonitschia sp* (figure 32) durant les mois de février, mars et avril cependant leurs concentrations sont faibles et pas nuisibles.

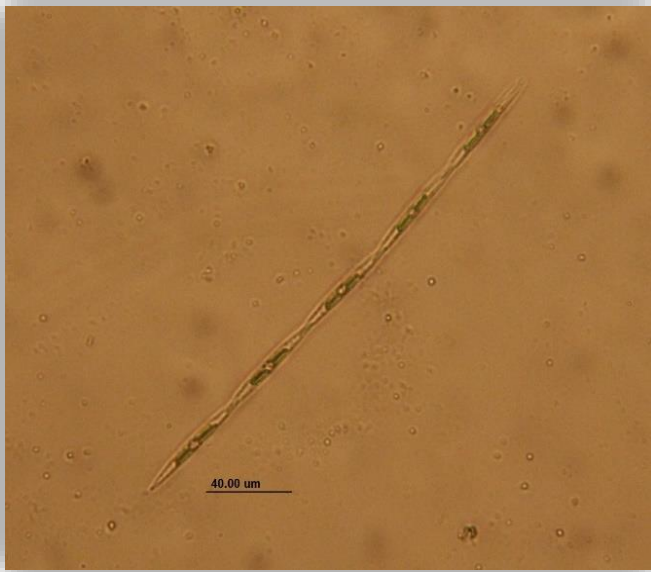


Figure 32 : *Pseudonitschia sp*



Figure 33 : *Coolia monotis*

L'histogramme suivant donne un aperçu de la composition du phytoplancton selon leurs genres :

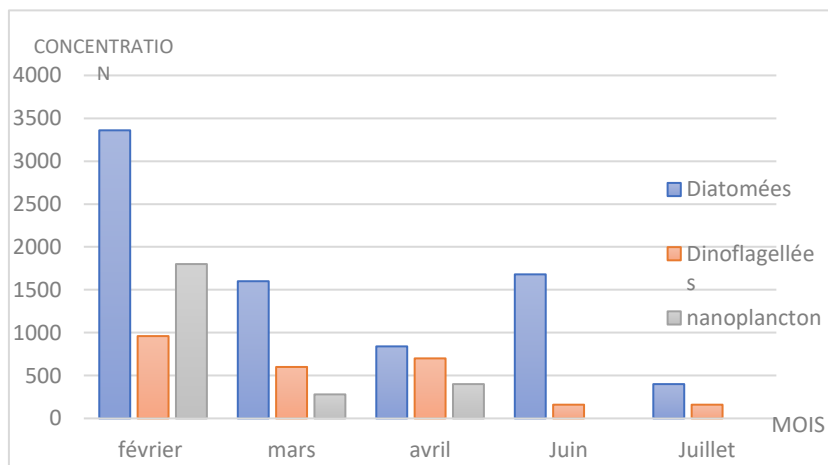


Figure 34 : Concentration du phytoplancton selon ses groupe durant la période d'étude

D'après l'observation de la figure 34, on distingue 3 groupes de phytoplancton ; Les diatomées, les dinoflagellés et les nanoplanctons. La concentration des diatomées a largement prédominé tout au long de la période d'étude, et elle est plus importante durant le mois de février par rapport au mois de Juillet ceci peut être expliquer par les préférences de ce groupe qu'on retrouve le plus durant la période froide.

-Nous avons remarqué que tous les mois, les dix premiers mètres de profondeur (1m,5m,10m) sont marqué par la présence de phytoplancton, contrairement aux eaux plus profondes (50m, 75m) particulièrement à 75m où les deux mois de juin et juillet n'ont pas été marquée par la présence d'espèce avec la baisse de la saturation de l'O₂ durant ces 2 mois atteignant 95% (voir annexe 03 et figure 21), ceci peut être expliqué par le fait que la photosynthèse diminue avec la profondeur où par l'installation de la thermocline.

4.6 Variations CO₂ et OD (pCO₂ versus OD) :

Une comparaison entre les distributions des gaz dissous biologiquement réactifs, comme le CO₂ et l'OD (Oxygène dissous), peut apporter des informations utiles sur les processus physiques (thermiques) et biologiques contrôlant leurs concentrations (Richey et al., 1988). Sous l'effet de la T, les variations de la solubilité des gaz se produisent dans la même direction pour le CO₂ et l'OD, alors que la production biologique et la respiration affectent le CO₂ et l'OD dans des directions opposées. l'état de saturation (pourcentage de saturation) du CO₂ et de l'OD par l'approche de Carrillo et al (2004), par rapport à l'atmosphère, ont été comparés, afin de déterminer l'importance relative des effets de la température (réchauffement ou refroidissement) et de l'activité biologique (photosynthèse ou respiration) dans les eaux de surface pour notre point d'échantillonnage (figure 35).

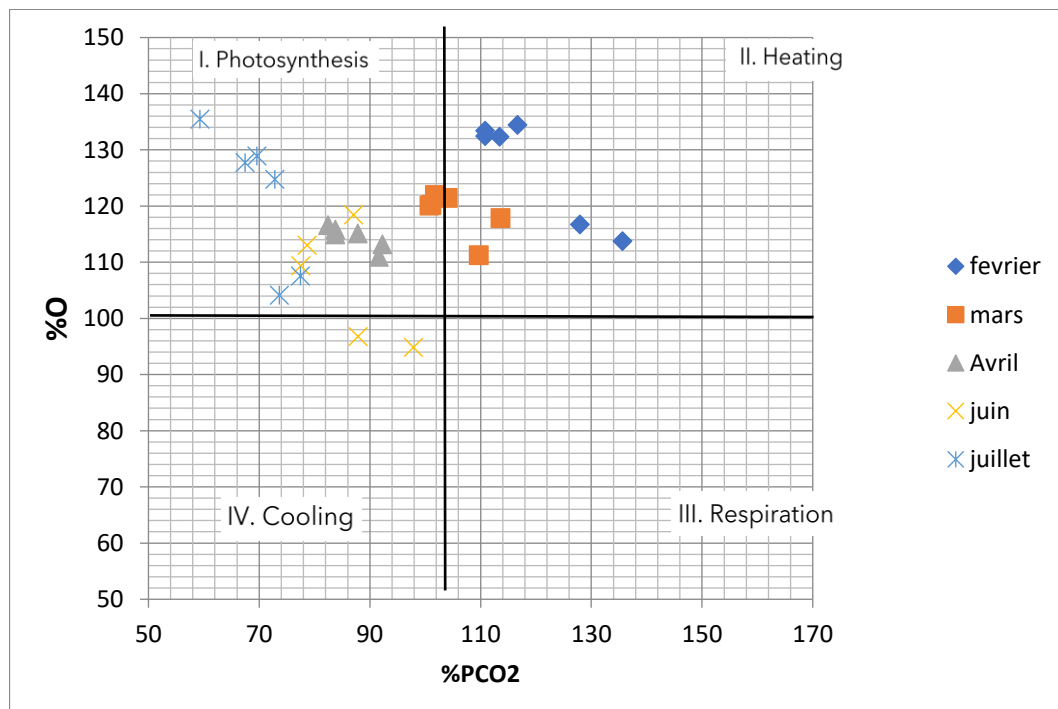


Figure 35 : Comparaison de l'état de saturation de l'O₂ et pCO₂ dans la baie de BouIsmaïl (février-juillet 2023)

Durant notre durée d'étude on remarque que les mois d'avril, juin et juillet sont sous l'effet de la dominance de la photosynthèse, pour les mois de février et mars, la figure suppose que les concentrations des deux gaz l'O₂ et CO₂ sont principalement modifier par le faite du réchauffement de la masse d'eau, or que durant ces 2 mois nous avons observé les températures les plus faible, nous supposons que durant cette période la concentration des deux gaz CO₂ et O₂ est dominé par d'autres facteurs tel que les flux air-mer, les mélanges verticale e les apports terrestres qui augmentent significativement la concentration du CO₂.

En résumé on propose le schéma suivant par rapport à notre zone d'étude :

-La période hivernale avec un mélange important, une sur saturation en O₂ de toute la colonne d'eau et le site se comporte comme source de CO₂ pour l'atmosphère.

-La période printanière après l'intensification de l'activité photosynthétique le pH des eaux augmente qui s'accompagne avec la diminution de pression partielle de CO₂, transformant la région vers un puit de CO₂ pour l'atmosphère.

-Durant la période estivale malgré la diminution de l'activité photosynthétique, notre zone d'étude joue toujours le rôle d'un puit de CO₂ et on observe une stratification thermique de la colonne d'eau, avec des eaux légèrement sous saturé en O₂ en profondeur.

4.7 Synthèse de l'ensemble des indicateurs d'eutrophisation :

Les pays Européens n'ont pas établi à ce jour de définition précise dur terme

“eutrophisation” dans les eaux marines, les différents seuils présentés par plusieurs pays du nord de l'Europe et par les par les états unis (**Ménesguen et al., 2001**) ont servi à proposer une grille d'évaluation (**tableau 4**), dans cette section nous allons comparer les résultats obtenus durant toute notre étude pour évaluer l'état de l'eutrophisation de la zone.

Résultats et discussion

Tableau 4 : Grille d'évaluation de l'eutrophisation (Ménésquen et al., 2001)

		Résultats de notre étude	Aucun symptôme D'eutrophisation	Risque d'eutrophisation	État d'eutrophisation marquée
Chlorophylle a	Valeur max	4,293µg/L	< 10 µg/L	Entre 10 et 20 µg/L	> à 20 µg/L
	Valeur moy. Période productive	3,069µg/L	< 5 µg/L	Entre 5 et 10 µg/L	> à 10 µg/L
	Nombre de blooms	Aucun	3-4 blooms printaniers d'intensité décroissante suivis d'une période productive estivale limitée	Période productive très étendue dans le temps	Nombreux blooms de période brève et d'intensité anarchique
Phytoplancton	Toxique	Présence très faible d'espèces toxiques	Absence d'espèces toxiques	Présence d'espèces toxiques sans toxicité des coquillages	Présence d'espèces toxiques avec toxicité des coquillages
	Eaux colorées	La concentration ne dépassent pas 4000 cell/L	Concentration < 100 000 cell/L d'espèces susceptibles de générer des eaux colorées	Présence d'eaux colorées sans impacts environnementaux ou économiques	Présence d'eaux colorées provoquant des impacts environnementaux ou économiques
Macroalgues		Absence	Absence	Présence sans nuisance	Nuisance nécessitant un ramassage intensif
O ₂	Fond < 70 %	Nos résultats sont > 90%	Aucune mesure < 70 % (soit environ < 5 mg/L)	Quelques mesures comprises entre 25% et 70 % (soit entre 2 et 5 mg/L)	Mesures < 25 % (soit 2 mg/L)
	Surface > 150 %	Nos résultats sont < 130%	Seulement 1 ou 2 valeurs > 150 % en période productive	Entre 2 valeurs et 50 % des valeurs > 150 % en période productive	Plus de 50 % des valeurs > 150 % en période productive
Richesse en sels nutritifs		/	Limitation de plus de 4 semaines de la production par plusieurs sels	Limitation ponctuelle de la production par au moins un sel	Recharge continue du système d'un ou plusieurs sels à des concentrations proches des teneurs hivernales

Résultats et discussion

Notre zone d'étude se caractérise par une biomasse chlorophyllienne relativement faible atteignant une valeur maximale de 4,29 $\mu\text{g/l}$ en période printanière et ne dépassant pas 0,6 $\mu\text{g/l}$ le reste des mois, ce qui reste très loin des seuils mentionnés dans la grille d'évaluation (**tableau 4**), En effet la mer méditerranée est dite "Low Nutrient et Low Chlorophyl" (**Louis, 2015; Pagès et al., 2020**).

En ce qui concerne le phytoplancton, nous avons observés la présence des espèces toxiques en très faible quantité durant les périodes hivernale et printanière par contre nous n'avons pas analysées la toxicité des coquillages. Quant aux concentrations des espèces susceptibles de générer des blooms, elles ne dépassent pas 4000 cell/L, qui est très faible comparé au seuil mentionné dans le **tableau 4**. Pour les macro algues comme il a déjà été mentionné nous les avons pas aperçus durant nos sorties due à la position géographique du point de prélèvement.

A propos de la saturation de l'O₂, aucune mesure est inférieure à 95% dans les eaux de fonds et des valeurs qui ne dépassent pas 130% dans les eaux de surface durant toute la période d'étude, par conséquent elles ne dépassent pas le seuil noter sur la grille.

- En se référant à cette grille et aux données obtenues au cours de notre étude, il est intéressant de noter que malgré le déversement de la majeure partie des eaux usées domestiques dans le milieu marin sans traitement préalable, nous n'avons pas observé d'eutrophisation pendant la période d'étude, on suppose que c'est dû à la bonne circulation des eaux dans notre région.

Conclusion

Conclusion

Au terme de cette recherche consacrée à l'étude du cycle annuel des flux air-mer de CO₂, en analysant la répartition de différents paramètres physico-chimiques (dont la température, la salinité, le pH, l'oxygène dissous, l'alcalinité totale, la chlorophylle et le phytoplancton), et en évaluant l'état d'eutrophisation de notre site d'étude, nous avons obtenu des résultats et des informations significatives.

En conclusion, notre étude revêt une importance capitale dans le contexte environnemental de l'Algérie. En nous penchant sur les flux air-mer de CO₂ et l'état d'eutrophisation dans la baie de Bou-Ismaïl, nous avons apporté une contribution significative à la compréhension de ces phénomènes peu explorés dans notre région. Grâce à une collecte méticuleuse et répétitives de données sur le terrain et à des analyses de laboratoire précises, nous avons pu élaborer un schéma de cette zone côtière sur les périodes hivernale, printanière et estivale.

En résumé on propose le schéma suivant par rapport à notre zone d'étude :

- La période hivernale est caractérisée par un mélange vertical important, avec une sur saturation en O₂ de toute la colonne d'eau et le site se comporte comme source de CO₂ pour l'atmosphère.
- Après La période printanière ou l'activité photosynthétique est la plus intense, nous observons une augmentation de pH des eaux qui s'accompagne avec la diminution de pression partielle de CO₂, ce qui transforme la région vers un puits de CO₂ pour l'atmosphère.
- Durant la période estivale malgré la diminution de l'activité photosynthétique, notre zone d'étude joue toujours le rôle d'un puit de CO₂ et on observe une stratification thermique de la colonne d'eau, avec des eaux légèrement sous saturées en O₂ en profondeur.
- De plus, malgré les apports d'eaux usées domestiques non traitées dans notre baie, aucune eutrophisation n'a été observée au cours de la période d'étude.

Perspectives et recommandations :

Dans le cadre des perspectives futures, une continuité de cette étude approfondie sur les processus qui influencent la variabilité saisonnière du pCO₂ dans la baie de Bou-Ismaïl est une nécessité pour comprendre le cycle annuel.

- Augmenter la fréquence d'échantillonnages.
- Améliorer le protocole des mesures des sels nutritifs a l'Enssmal et participer à des tests d'inter calibration.
- Acquérir et étalonnage des capteurs in situ de température et salinité.
- Acquérir a l'Enssmal du lugol spécifique a la fixation du phytoplancton.
- Développer la mesure de la chlorophylle a par HPLC.
- Amélioration les conditions de travail au labo et mettre à disposition du matériel spécifique au suivi.
- Mettre à disposition une embarcation confortable pour la réalisation des sorties terrains.

Bibliographie

Bibliographie

- Álvarez, M et al. (2014).** *The CO₂ system in the Mediterranean Sea : a basinwide perspective.* , Vol. 10, n°1, p.p 69-92.
- Aminot, A et Chaussepied, M. (1983).** *Manuel des analyses chimiques en milieu marin.* Paris: CNEXO.
- Aminot, A et Kérouel, R. (2004).** *Hydrologie des Ecosystèmes Marins : Paramètres et Analyses.* France : Ifremer.
- Bates, R G.(1973).** *Determination of pH, theory and practice.* Wiley. 1973, p. 479.
- Belouz K. (2019).** *Modélisation de l'eutrophisation des eaux de surface. Thèse de doctorat . sciences agronomiques .* Alger:USTHB.
- Benzohra, M et Millot, C. (1995).** *Characteristics and circulation of the surface and intermediate water masses off Algeria.* Elsevier Science. Pergamon, Vol. 42,n° 10.
- Carrillo, C, et al. (2004).** *Processes regulating oxygen and carbon dioxide in surface waters west of the Antarctic Peninsula, Mar. Chem., Vol 84, p.p 161–179,*
- Chevé,J et al, (2022).** *SUPPORT : SUivi de l'eutroPhisation du PORT de Saint-Malo – année 1 -.* Ifremer
- Climats du monde (2020) .** *Températures, précipitations, conditions météo prédominantes.* [En ligne]. [Consulté le 04/03/2023]. Disponible sur le site web : <https://www.climatsetvoyages.com/climat/algerie>
- Dickson , A G. (1981).** *An exact definition of total alkalinity and a procedure for the estimation of alkalinity and total inorganic carbon from titration data.* Deep-Sea Research. Pergamon Press, 1981, Vol. 28A, 6, p.p 609-623.
- Dickson , A G.(1984).** *pH scales and proton-transfer reactions in saline media such as sea water,* Vol. 48, n° 11, p.p 2299-2308
- Dickson , A G et Millero, F J. (1987).** *A comparison of the equilibrium constants for the dissociation of carbonic acid in seawater media.* Deep-Sea Research. Pergamon Press, 1987, Vol. 34, n° 10. p.p 1733-1743
- Flynn. J et al. (2015).** *Ocean acidification with (de)eutrophication will alter future phytoplankton growth and succession,* Vol.282 , n° 1804 , p.p 2014-2604
- Figuerola et al. (2021).** *A Review and Meta-Analysis of Potential Impacts of Ocean Acidification on Marine Calcifiers From the Southern Ocean,* Vol.8, p.p 584-445
- Hassoun, A et al. (2015).** *Modeling of the Total Alkalinity and the60 Total Inorganic Carbon in the Mediterranean Sea.* Vol.4, p.p 24-32.

Bibliographie

Gac, J.-P. (2021). *Etude multi-échelles des échanges air-mer de CO₂ et de l'acidification océanique en Manche Occidentale. Thèse de doctorat .Chimie marine .France :Université de Sorbone*

Gemayel, E.(2015). *Contribution à l'estimation des paramètres du système des carbonates en Mer Méditerranée . Thèse de doctorat .Océanologie .France : Université de Perpignan.*

Global Monitoring Laboratory (2023) .*Carbon Cycle Greenhouse Gases .[En ligne].[Consulté le 12/08/2023]. Disponible sur le site web :*
<https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>

Hassoun, A.E.R.(2014). *Analyse et modélisation de l'acidification en mer Méditerranée. Thèse de doctorat .Océanologie . France :Université de Perpignan.*

Hilmi, N et al .(2014) . *Exposure of Mediterranean Countries to Ocean Acidification, Vol. 6, n° 6 , p.p 1719-1744.*

Hunt et al. (2010). *Contribution of non-carbonate anions to total alkalinity and overestimation of pCO₂ in New England and New Brunswick rivers, Vol. 8, n° 10.p.p 3069-3076*

Huang, T., Cheng, Y. (2016). *Water pollution and water quality control of selected Chinese reservoir basins .The handbook of environmental chemistry / founded by Otto Hutzinger. Eds.-in-chief: Damià Barceló. Cham Heidelberg. Springer,p 514*

Infoclimat(2023) .[En ligne] .[Consulté le 01/09/2023]. Disponible sur le site web :
<https://www.infoclimat.fr/>

Isabelle Billy(2023) . *Détermination de la chlorophylle a par fluorimétrie . [En ligne] .[Consulté le 09/05/2023]. Disponible sur le site web : <https://www.somlit.fr/wp-content/uploads/2023/01/12-Protocole-national-chlorophylle-2023.pdf>*

Jackson et al.(2022) .*Global fossil carbon emissions rebound near pre-COVID-19 levels ,Vol.17 , n° 3 , p.p01-31*

Keraghel et al. (2020). *Carbonate system properties and anthropogenic carbon inventory in the Algerian Basin during SOMBA cruise (2014): Acidification estimate Vol. 221, p.p 103-783*

Lee et al (2023). *GIEC, 2023 : Changement climatique 2023 : Rapport de synthèse. Contribution des groupes de travail I, II et III au sixième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat .[En ligne] .[Consulté le 07/04/2023]. Disponible sur le site web : <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>*

Levitus, S.et al, (1993). *Distribution of nitrate, phosphate and silicate in the world oceans, Vol. 31 , p.p 245-273*

Bibliographie

- Louis, J. (2015).** *Comportement des éléments biogéochimiques en Méditerranée à l'interface air-mer dans un contexte de changement climatique. Thèse de doctorat .Océanographie . France :Université Pierre et Marie Curie.*
- Ménesguen et al.(2001).** *L'eutrophisation des eaux marines et saumâtres en Europe, en particulier en France.*
- Millero, F.J.(1986).** *The pH of estuarine waters.vol. 31, n° 04, p.p 839-847*
- Millero, F J.(2007).** *The Marine Inorganic Carbon Cycle, Vol. 107, n° 2 p.p 308-341*
- Mangos, A et al. (2010).** *The economic value of sustainable benefits rendered by the Mediterranean marine ecosystems, Blue plan papers. Plan bleu, Valbonne , Vol. , n° 8.*
- Noisette.(2013).** *Impacts de l'acidification des océans sur les organismes benthiques calcifiants des milieux côtiers tempérés.*
- OCÉAN ET CLIMAT, (2019).** *RAPPORT D'ACTIVITE 2019 .[En ligne].[Consulté le 17/05/2023]. Disponible sur le site web : www.ocean-climate.org*
- ODV. 2015.** *Ocean Data View . Germany : R. Schlitzer, 2015.*
- Pagès, R .(2020).** *Étude de l'impact du changement climatique et des apports terrigènes en éléments nutritifs sur le fonctionnement biogéochimique de la mer Méditerranée à l'aide de la modélisation couplée physique/biogéochimie. Thèse de doctorat .Océanographie .France : Aix-Marseille Université.*
- Palmiéri, J.(2014).** *Simulated anthropogenic CO2 storage and acidification of the Mediterranean Sea .vol. 12, n° 03, p.p 781-802*
- Piers Forster et al (2021).** *Changement climatique 2021 : la base des sciences physiques .*
[En ligne].[Consulté le 07/04/2023]. Disponible sur le site web :
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Pierrot et al.(2011).** *MS Excel Program Developed for CO2 System Calculations,*
- Pilson, M. (2013).** *An introduction to the chemistry of the sea. New York : Cambridge*
- Pinay,G et al,(2018).** *L'eutrophisation : Manifestations, causes,conséquences et prédictibilité. p.p 1-176*
- Pinay et al (2018) .** *L'eutrophisation .Paris :Quae*
- Plateforme Océan & Climat,(2016) .** *L'océan, puits de carbone .[En ligne].[Consulté le 15/02/2023]. Disponible sur le site web : <https://ocean-climate.org/sensibilisation/locean-puits-de-carbone/>*

Bibliographie

(Rapport sur l'état de l'environnement et du développement en Méditerranée (RED) 2020, 2021). [En ligne] .[Consulté le 09/05/2023]. Disponible sur le site web : <https://planbleu.org/soed/>

Rapport sur la qualité de la Méditerranée ,(2017). [En ligne] .[Consulté le 09/05/2023]. Disponible sur le site web : <https://www.unep.org/unepmap/fr/resources/quality-status-report-mediterranean-med-qsr-2017>

Richey et al. (1988). *Biogenic gases and the oxidation and reduction of carbon in Amazon River and floodplain waters.* Vol. 33,n°4, p.p 551-561

Robertson, A, (1997). *Limiting Nutrient Workshop. Land and Water Resources Research and Development Coporation, Canberra, Australia*

Roscoff, A. Michel(2013). *Mieux connaître les microalgues .* [En ligne] .[Consulté le 09/05/2023]. Disponible sur le site web : <https://www.phenomer.org/Mieux-connaître-les-microalgues>

Roy-Barman, M et Jeandel, C. (2011). *Géochimie Marine: Circulation Océanique, Cycle de Carbone et Changement Climatique.* Paris : Vuibert, 2011.

SOMLIT :Service d'Observation en Milieu Littoral (2023) .[En ligne] .[Consulté le 13/09/2023]. Disponible sur le site web : <https://www.somlit.fr/>

Wanninkhof, R. (2014). *Relationship between wind speed and gas exchange over the ocean revisited: Gas exchange and wind speed over the ocean,* Vol. 12, n° 6 , p.p 351-362

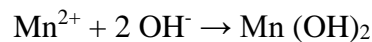
Weiss, R F. (1974). *Carbon dioxide in water and seawater: the solubility of a non-ideal gas,* Vol. 2,n°3, p.p 203-215.

Wimart-Rousseau, C.(2021). *Dynamiques saisonnière et pluriannuelle du système des carbonates dans les eaux de surface en mer Méditerranée. Thèse de doctorat.* Océanographie.France : Aix-Marseille Université.

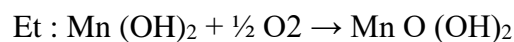
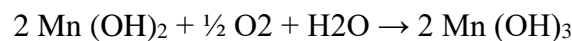
Annexes

Annexe 01 : Oxygène dissous**Réaction chimique d'Oxygène**

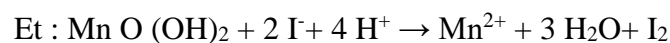
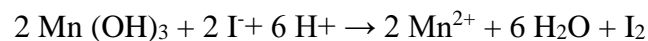
On ajoute à l'eau de mer une solution de manganèse II que l'on précipite par une base forte :



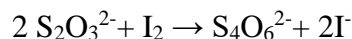
Une réaction en milieu hétérogène entre le précipité ainsi formé et l'oxygène dissous fait passer le métal à des degrés d'oxydation supérieurs (III et IV) :



Lorsque la réaction est terminée le milieu est acidifié (redissolution du précipité) ; la solution contenant des ions iodure (ayant été introduits avec la base forte), il y a formation d'iode avec retour du manganèse au degré d'oxydation II :



L'iode libéré est dosé par le thiosulfate :



Il faut deux moles de thiosulfate pour doser une mole d'iode elle-même libérée par ½ mole d'oxygène. Donc 4 moles de thiosulfate pour une mole d'oxygène.

Réactifs d'oxygène

- Réactif 1 : Solution de MnCl_2 :
 - Dissoudre 600g de $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ de 98 % de pureté dans 600ml d'eau distillée et ajuster à 1l.
- Réactif 2 : Solution basique d'iodure de Na, Pour un demi litre de solution :
 - Dissoudre 300g de NaI dans "150ml" d'eau distillé.
 - Dissoudre 160g de NaOH dans 150ml d'eau distillé en refroidissant.
 - Utiliser un agitateur automatique et un barreau-magnétique pour bien dissoudre les solides dans l'eau distillée, ensuite mélanger les 2 solutions en versant rapidement la solution de NaOH dans la solution de NaI.

- Réactif 3 : Solutions d'acide sulfurique H₂SO₄ :
-Diluer 145ml d'H₂SO₄ dans 500ml d'eau distillé en refroidissant.
- Préparation du titrant : solution de thiosulfate (0,02 N) :
-Dissoudre 4,96g (4,9610g) de Na₂S₂O₃,5 H₂O dans 1 litre d'eau distillée.
- Solution étalon d'iodate de potassium KIO₃ (0,1N) :
-Dissoudre 0,3567g (0,3568g) de KIO₃ dans 100ml d'eau distillé.

Préparation des flacons :

Les flacons pour les échantillons d'oxygène dissous sont préalablement lavés et peser de la manière suivante :

- numéroter chaque flacon ainsi que son bouchon.
- Laver les flacons à l'eau de robinet, puis à l'eau acidulée à deux reprises, et les rincer abondamment à l'eau distillée, puis les sécher à l'étuve pendant 24 h.
- Retirer les de l'étuve et les laisser revenir à température ambiante avant de les boucher.
- Peser les flacons vides après les avoir bien essuyé avec un papier absorbant non pelucheux, pour avoir le (P1).
- Les remplir d'eau distillée et les boucher sans emprisonner de bulle d'air, puis les essuyer parfaitement avec un papier absorbant non pelucheux.
- Peser, et recommencer l'opération de remplissage et de pesée pour avoir le (P2).

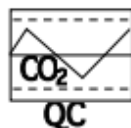
Le calcul du volume des flacons d'O₂ pour chaque pesée est fait d'après la relation :

$$V \text{ (ml)} = (P2 \text{ (g)} - P1 \text{ (g)}) / \rho_t \text{ (g.cm}^{-3} \text{)}$$

- V : volume du flacon d'oxygène (ml).
- P1 : le poids du flacon vide avec le bouchon (g).
- P2 : le poids du flacon rempli avec le bouchon (g).
- ρ_t : la masse volumique de l'eau distillée à la température t (°C).

Annexe 02 : pH et Alcalinité

Préparation du titrant HCl : Le dosage de l'alcalinité se fait par l'acide fort (HCl). Pour préparer HCl à 0.1 N : diluer 8,25ml d'HCl pure à 37% dans un litre d'eau distillée.



<http://andrew.ucsd.edu/co2qc/>

University of California, San Diego
Scripps Institution of Oceanography
Marine Physical Laboratory
9500 Gilman Drive
La Jolla, CA 92093-0244

Certificate of Analysis

Reference material for oceanic CO₂ measurements

Batch 131 (Bottled on June 28, 2013)

This reference material consists of natural sea water sterilized by a combination of filtration, ultra-violet radiation and addition of mercuric chloride.

Analysis Results

The various procedures used for these analyses are detailed overleaf.

Salinity	33.621	
Total dissolved inorganic carbon		2028.99 ± 0.65 μmol·kg ⁻¹ (9; 9)
Total alkalinity		2241.35 ± 1.11 μmol·kg ⁻¹ (30; 15)
Phosphate	0.47 μmol·kg ⁻¹	
Silicate	3.8 μmol·kg ⁻¹	
Nitrite	0.0 μmol·kg ⁻¹	
Nitrate	0.63 μmol·kg ⁻¹	

The cited uncertainties represent the standard deviation. Figures in parentheses are the number of analyses made (total number of analyses; number of separate bottles analysed). The nutrient levels may have changed on storage, their stability has not been examined. CO₂ analyses were performed over a period of time to confirm that the batch is stable.

The 95% confidence limits for the certified analyses are thus:

Total dissolved inorganic carbon	2028.99 ± 0.50 μmol·kg ⁻¹
Total alkalinity	2241.35 ± 0.41 μmol·kg ⁻¹

STORAGE: The bottles should be stored out of direct sunlight, and preferably at or below room temperature (25 °C). They should not be allowed to freeze!

Andrew Dickson

Andrew G. Dickson
September 20, 2013

Annexe 03 : Phytoplancton

Tableau 5: Temps de sédimentation pour des échantillons d'eau de mer conservé dans du logol

Volume de la chambre (ml)	Hauteur de la chambre (cm)	Temps de sédimentation (h)
2	1	3
10	2	8
25	5	12
50	10	24
100	20	48

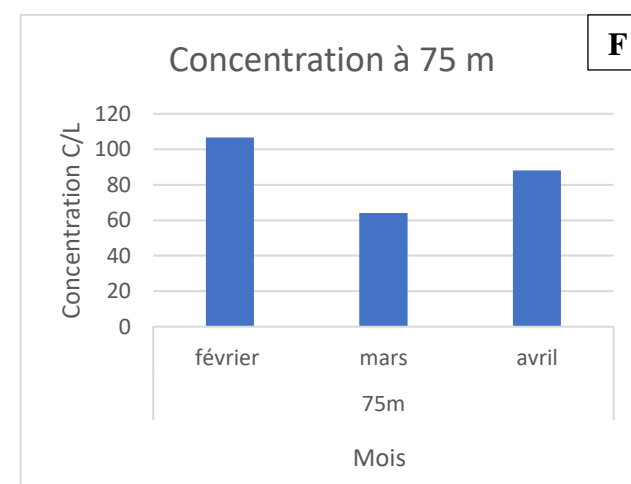
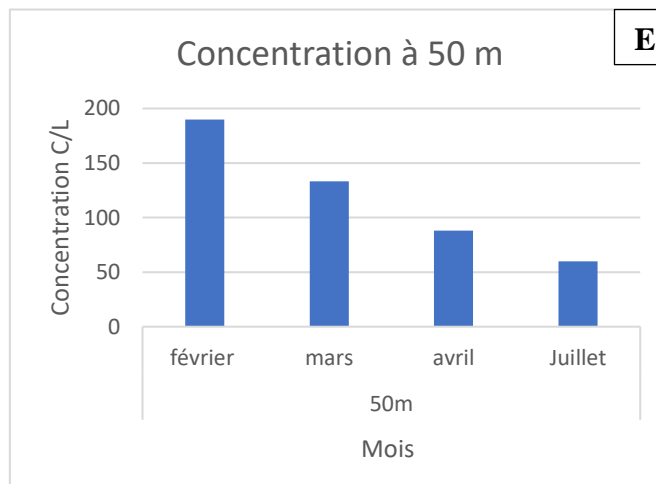
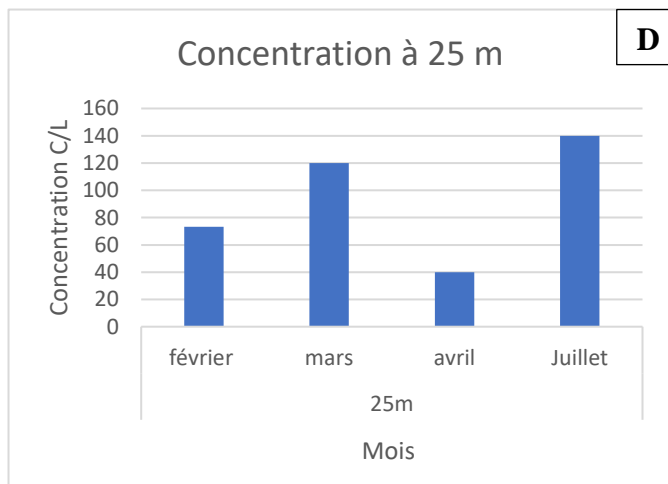
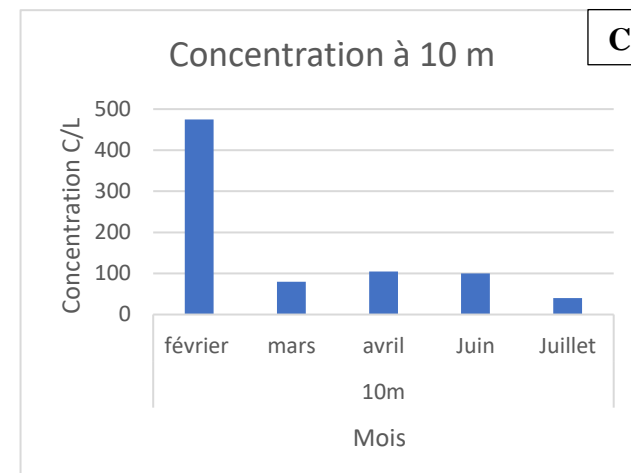
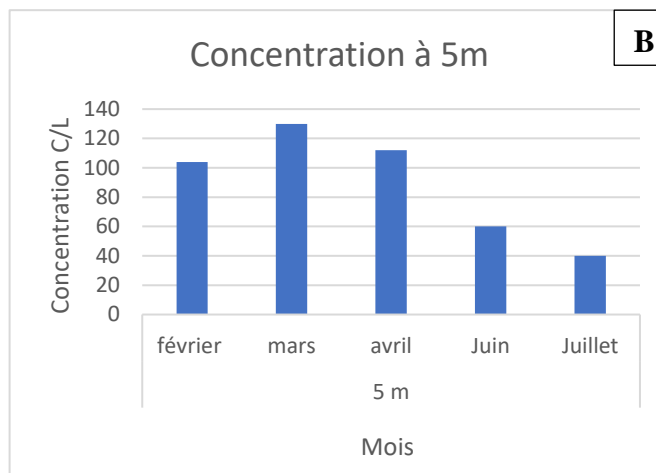
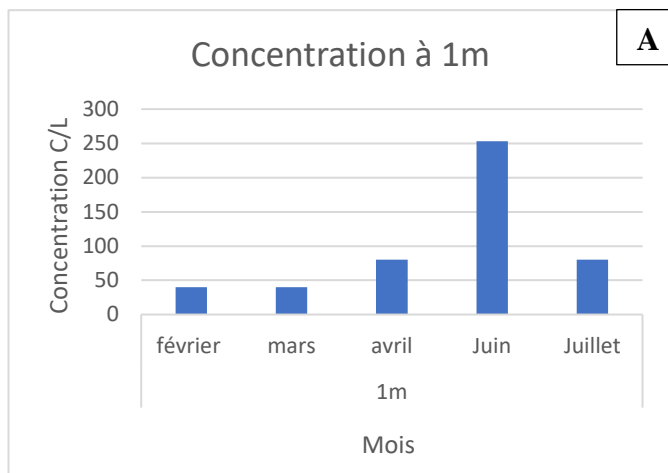
Tableau 6 : Densité des genres phytoplanctoniques et leurs effet identifiés durant notre étude

Date	Mois	Profondeur	Espèces	Concentration	Groupe	Effet de l'espèce
19/02/2023	février	1m	<i>D.pennées sp</i>	40	Diatomées	Sans Effet
19/02/2023	février	1m	<i>Ceratium sp</i>	40	Dinoflagellées	Espece a Bloom
19/02/2023	février	1m	<i>Dinoflagellès nue</i>	40	Dinoflagellées	Espece a Bloom
19/02/2023	février	1m	<i>Prorocentrum sp</i>	40	Dinoflagellées	Espece a Bloom
19/02/2023	février	1m	<i>Rhizosolenia sp</i>	40	Diatomées	Espece a Bloom
19/02/2023	février	1m	<i>Oxytoxum sp</i>	40	Dinoflagellées	Sans Effet
19/02/2023	février	1m	<i>Protopeudinium sp</i>	40	Dinoflagellées	Espece a Bloom
19/02/2023	février	5 m	<i>D.pennées sp</i>	80	Diatomées	Sans Effet
19/02/2023	février	5 m	<i>Dinoflagellès nue</i>	80	Dinoflagellées	Espece a Bloom
19/02/2023	février	5 m	<i>Eutreptiella sp</i>	280	nanoplancton	Espece a Bloom
19/02/2023	février	5 m	<i>Ceratium fuscus</i>	40	Dinoflagellées	Espece a Bloom
19/02/2023	février	5 m	<i>Prorocentrum sp</i>	40	Dinoflagellées	Espece a Bloom
19/02/2023	février	10m	<i>Eutreptiella sp</i>	1040	nanoplancton	Espece a Bloom
19/02/2023	février	10m	<i>Dinoflagellès nue</i>	240	Dinoflagellées	Espece a Bloom
19/02/2023	février	10m	<i>D.pennées sp</i>	600	Diatomées	Sans Effet
19/02/2023	février	10m	<i>Pseudonitzschia sp</i>	360	Diatomées	Espece toxique
19/02/2023	février	10m	<i>Leptocylindrus sp</i>	880	Diatomées	Espece a Bloom
19/02/2023	février	10m	<i>Cylindrotecha sp</i>	40	Diatomées	Espece a Bloom
19/02/2023	février	10m	<i>Scriptiella sp</i>	40	Dinoflagellées	Espece a Bloom
19/02/2023	février	10m	<i>Nitzschia sp</i>	600	Diatomées	Sans Effet
19/02/2023	février	25m	<i>Eutreptiella sp</i>	80	nanoplancton	Espece a Bloom
19/02/2023	février	25m	<i>Dinoflagellès nue</i>	40	Dinoflagellées	Espece a Bloom
19/02/2023	février	25m	<i>Leptocylindrus sp</i>	80	Diatomées	Espece a Bloom
19/02/2023	février	25m	<i>Scriptiella sp</i>	120	Dinoflagellées	Espece a Bloom

19/02/2023	février	25m	Coccolithophore sp	40	nanoplancton	Espece a Bloom
19/02/2023	février	25m	<i>Dinoflagellès à thèque</i>	80	Dinoflagellées	Espece a Bloom
19/02/2023	février	50m	<i>Eutreptiella sp</i>	280	nanoplancton	Espece a Bloom
19/02/2023	février	50m	<i>Dinoflagellès nue</i>	80	Dinoflagellées	Espece a Bloom
19/02/2023	février	50m	<i>Rhizosolenia sp</i>	40	Diatomées	Espece a Bloom
19/02/2023	février	50m	<i>D.pennées sp</i>	360	Diatomées	Sans Effet
19/02/2023	février	75m	<i>Eutreptiella sp</i>	80	nanoplancton	Espece a Bloom
19/02/2023	février	75m	<i>D.pennées sp</i>	200	Diatomées	Sans Effet
19/02/2023	février	75m	<i>D.centrique</i>	40	Diatomées	Sans Effet
20/03/2023	mars	1m	<i>D.pennées sp</i>	40	Diatomées	Sans Effet
20/03/2023	mars	5 m	<i>D.pennées sp</i>	200	Diatomées	Sans Effet
20/03/2023	mars	5 m	<i>Nitzschia sp</i>	80	Diatomées	Sans Effet
20/03/2023	mars	5 m	<i>D.centrique</i>	80	Diatomées	Sans Effet
20/03/2023	mars	5 m	<i>Coolia sp</i>	160	Dinoflagellées	Espece toxique
20/03/2023	mars	10m	<i>D.pennées sp</i>	120	Diatomées	Sans Effet
20/03/2023	mars	10m	<i>D.centrique</i>	80	Diatomées	Sans Effet
20/03/2023	mars	10m	<i>Dinoflagellès à thèque</i>	40	Dinoflagellées	Espece a Bloom
20/03/2023	mars	10m	<i>Eutreptiella sp</i>	80	nanoplancton	Espece a Bloom
20/03/2023	mars	25m	<i>D.pennées sp</i>	160	Diatomées	Sans Effet
20/03/2023	mars	25m	<i>D.centrique</i>	80	Diatomées	Sans Effet
20/03/2023	mars	25m	<i>Coolia sp</i>	160	Dinoflagellées	Espece toxique
20/03/2023	mars	25m	<i>Eutreptiella sp</i>	80	nanoplancton	Espece a Bloom
20/03/2023	mars	50m	<i>D.pennées sp</i>	160	Diatomées	Sans Effet
20/03/2023	mars	50m	<i>D.centrique</i>	360	Diatomées	Sans Effet
20/03/2023	mars	50m	<i>Coolia sp</i>	120	Dinoflagellées	Espece toxique
20/03/2023	mars	50m	<i>Eutreptiella sp</i>	80	nanoplancton	Espece a Bloom
20/03/2023	mars	50m	<i>Dinoflagellès à thèque</i>	40	Dinoflagellées	Espece a Bloom
20/03/2023	mars	50m	<i>Dinoflagellès sp</i>	40	Dinoflagellées	Espece a Bloom
20/03/2023	mars	75m	<i>D.pennées sp</i>	120	Diatomées	Sans Effet
20/03/2023	mars	75m	<i>D.centrique</i>	80	Diatomées	Sans Effet
20/03/2023	mars	75m	Coccolithophore sp	40	nanoplancton	Espece a Bloom
20/03/2023	mars	75m	<i>Protopeudinium sp</i>	40	Dinoflagellées	Espece a Bloom
20/03/2023	mars	75m	Dictyocha sp	40	Diatomées	Sans Effet
26/04/2023	avril	1m	<i>Prorocentrum sp</i>	80	Dinoflagellées	Espece a Bloom
26/04/2023	avril	1m	<i>D.pennées sp</i>	120	Diatomées	Sans Effet
26/04/2023	avril	1m	<i>Eutreptiella sp</i>	40	nanoplancton	Espece a Bloom
26/04/2023	avril	5 m	<i>Prorocentrum sp</i>	200	Dinoflagellées	Espece a Bloom
26/04/2023	avril	5 m	<i>D.pennées sp</i>	160	Diatomées	Sans Effet
26/04/2023	avril	5 m	<i>Eutreptiella sp</i>	80	nanoplancton	Espece a Bloom
26/04/2023	avril	5 m	<i>D.centrique</i>	40	Diatomées	Sans Effet
26/04/2023	avril	5 m	<i>Coolia sp</i>	80	Dinoflagellées	Espece toxique
26/04/2023	avril	10m	<i>Prorocentrum sp</i>	140	Dinoflagellées	Espece a Bloom
26/04/2023	avril	10m	<i>D.pennées sp</i>	200	Diatomées	Sans Effet
26/04/2023	avril	10m	<i>Dinoflagellès nue</i>	40	Dinoflagellées	Espece a Bloom

26/04/2023	avril	10m	Espèces non identifiée	40		
26/04/2023	avril	25m	<i>Prorocentrum sp</i>	40	Dinoflagellées	Espece a Bloom
26/04/2023	avril	25m	<i>D.pennées sp</i>	40	Diatomées	Sans Effet
26/04/2023	avril	50m	<i>Eutreptiella sp</i>	200	nanoplancton	Espece a Bloom
26/04/2023	avril	50m	<i>D.centrique</i>	80	Diatomées	Sans Effet
26/04/2023	avril	50m	<i>Coolia sp</i>	80	Dinoflagellées	Espece toxique
26/04/2023	avril	50m	<i>Prorocentrum sp</i>	40	Dinoflagellées	Espece a Bloom
26/04/2023	avril	50m	<i>Rhizosolenia sp</i>	40	Diatomées	Espece a Bloom
26/04/2023	avril	75m	<i>Eutreptiella sp</i>	80	nanoplancton	Espece a Bloom
26/04/2023	avril	75m	<i>Rhizosolenia sp</i>	80	Diatomées	Espece a Bloom
26/04/2023	avril	75m	<i>Nitzschia sp</i>	80	Diatomées	Sans Effet
26/04/2023	avril	75m	Espèces non identifiée	160		
26/04/2023	avril	75m	Espèces non identifiée	40		
11/06/2023	Juin	1m	<i>Leptocylindrus sp</i>	880	Diatomées	Espece a Bloom
11/06/2023	Juin	1m	Gymnodinium sp	80	Dinoflagellées	Espece a Bloom
11/06/2023	Juin	1m	Chaetoceros spp	160	Diatomées	Espece a Bloom
11/06/2023	Juin	1m	Prorocentrum sp	80	Dinoflagellées	Espece a Bloom
11/06/2023	Juin	1m	Guinardia sp	200	Diatomées	Espece a Bloom
11/06/2023	Juin	1m	<i>D.pennées sp</i>	120	Diatomées	Sans Effet
11/06/2023	Juin	5 m	<i>D.pennées sp</i>	40	Diatomées	Sans Effet
11/06/2023	Juin	5 m	<i>Leptocylindrus sp</i>	80	Diatomées	Espece a Bloom
11/06/2023	Juin	10m	<i>D.pennées sp</i>	120	Diatomées	Sans Effet
11/06/2023	Juin	10m	<i>Leptocylindrus sp</i>	80	Diatomées	Espece a Bloom
10/07/2023	Juillet	1m	<i>Dinoflagellès nue</i>	80	Dinoflagellées	Espece a Bloom
10/07/2023	Juillet	5 m	<i>Dinoflagellès nue</i>	40	Dinoflagellées	Espece a Bloom
10/07/2023	Juillet	10m	<i>D.centrique</i>	40	Diatomées	Sans Effet
10/07/2023	Juillet	25m	Scriptiella sp	40	Dinoflagellées	Espece a Bloom
10/07/2023	Juillet	25m	Skletonema sp	240	Diatomées	Espece a Bloom
10/07/2023	Juillet	50m	<i>D.centrique</i>	40	Diatomées	Sans Effet
10/07/2023	Juillet	50m	Chaetoceros spp	80	Diatomées	Espece a Bloom

L'évolution des phytoplanctons au niveau des 6 profondeurs durant la période d'étude



Résumé

Cette étude se consacre à l'analyse des cycles annuels des flux air-mer de CO₂ et de l'état d'eutrophisation dans la baie de Bou-Ismaïl, en Algérie. À travers une collecte méticuleuse de données physico-chimiques, y compris la température, la salinité, le pH, l'oxygène dissous, l'alcalinité totale, la chlorophylle et le phytoplancton, cette recherche apporte une contribution significative à la compréhension de ces phénomènes.

Les principales conclusions de cette étude sont les suivantes :

En hiver, la baie de Bou-Ismaïl agit comme une source de CO₂ pour l'atmosphère, caractérisée par un important mélange vertical et une sur-saturation en oxygène dans toute la colonne d'eau.

Au printemps, l'intensification de l'activité photosynthétique entraîne une augmentation du pH de l'eau et une diminution de la pression partielle de CO₂, transformant ainsi la région en un puits de CO₂ pour l'atmosphère.

En été, malgré la diminution de l'activité photosynthétique, la baie continue de jouer un rôle de puits de CO₂, avec une stratification thermique de la colonne d'eau et des eaux légèrement sous-saturées en oxygène en profondeur.

Malgré le déversement d'eaux usées domestiques non traitées dans la baie, aucune eutrophisation n'a été observée au cours de la période d'étude. Ces résultats revêtent une importance capitale dans le contexte environnemental de l'Algérie et contribuent à une meilleure compréhension des cycles biogéochimiques et des impacts potentiels du changement climatique sur cette région côtière.

Abstract

This study focuses on analyzing the annual cycles of air-sea CO₂ fluxes and the eutrophication state in Bou-Ismaïl Bay, Algeria. Through meticulous collection of physico-chemical data, including temperature, salinity, pH, dissolved oxygen, total alkalinity, chlorophyll, and phytoplankton, this research makes a significant contribution to the understanding of these phenomena.

The main conclusions of this study are as follows:

- During winter, Bou-Ismaïl Bay acts as a source of CO₂ to the atmosphere, characterized by significant vertical mixing and oversaturation of oxygen throughout the water column.
- In spring, the intensification of photosynthetic activity leads to an increase in water pH and a decrease in partial pressure of CO₂, thus transforming the region into a CO₂ sink for the atmosphere.
- In summer, despite reduced photosynthetic activity, the bay continues to serve as a CO₂ sink, featuring thermal stratification of the water column and slightly undersaturated oxygen levels in the deeper layers.
- Despite the discharge of untreated domestic wastewater into the bay, no eutrophication was observed during the study period, these findings are of paramount importance in the environmental context of Algeria and contribute to a better understanding of biogeochemical cycles and potential impacts of climate change on this coastal region.

ملخص

تركز هذه الدراسة على تحليل دورات الانتقال السنوية لغاز ثاني أكسيد الكربون بين الهواء والبحر وحالة التنوع البيئي في خليج بو إسماعيل في الجزائر. من خلال جمع دقيق للبيانات الفيزيائية والكيميائية، بما في ذلك درجة الحرارة، والملوحة، والأكسجين المذاب، والقلوية الكلية، والكلوروفيل، والفيثوبلانكتون، تقدم هذه البحث مساهمة (pH) ودرجة الحموضة كبيرة في فهم هذه الظواهر

:وتتضمن الاستنتاجات الرئيسية لهذه الدراسة ما يلي

- خلال فصل الشتاء، يعمل خليج بو إسماعيل كمصدر لغاز ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي، ويتميز بالخلط - الرأسى الكبير وفرط التشبع بالأكسجين في جميع أعماق المياه
- في فصل الربيع، يؤدي تكثيف النشاط الضوئي إلى زيادة في درجة حموضة المياه وانخفاض في الضغط الجزئي لغاز ثاني أكسيد الكربون، مما يحول المنطقة إلى مصدر لامتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي
- في الصيف، على الرغم من تقليل النشاط الضوئي، يستمر الخليج في أداء دور المصدر لغاز ثاني أكسيد الكربون، مع - تدرج حراري في عمق العمود المائي ومستويات أكسجين تحت الإشباع بشكل طفيف في الطبقات العميقة
- على الرغم من تصريف مياه الصرف الصحي الغير معالجة في الخليج، لم يتم مشاهدة أي ظاهرة تنوع بيئي خلال فترة - الدراسة

تعتبر هذه النتائج أمرًا بالغ الأهمية في السياق البيئي للجزائر وتساهم في فهم أفضل لدورات الانتقال البيئي والتأثيرات المحتملة لتغير المناخ على هذه المنطقة الساحلية