



DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MER ET DE L'AQUACULTURE

Mémoire de fin d'études

Présenté par

- Boudjenah Nourhane
- Boudraf Aicha

Pour l'obtention du diplôme de

Master en hydrobiologie marine et continentale

Spécialité: -Bioressources Marines

Thème

Étude physico-chimique pour la détermination des effluents
responsables de la pollution au niveau de l'Oued El Macta,
l'embouchure et l'eau de mer

Soutenue le 29/06/2026

Devant le Jury

Président : Dr Ben meddah missoum

MCB

Université Mostaganem

Encadreur : Mme Billami Malika

MAA

Université Mostaganem

Examineur : Dr Borsali Sofia

MCA

Université Mostaganem

Année universitaire 2025/2026

Table de matière

Remerciements	8
Dédicace.....	9
Résumé	10
Introduction Générale.....	13
CHAPITRE I : POLLUTION DU MILIEU MARIN	2
Introduction	3
I.1 Définition de la pollution	3
I.2 Les causes et les conséquences de la pollution marine.....	3
I.2.1 Les causes de la pollution marine	3
I.2.2 Les conséquences de la pollution marine.....	5
I.3 Classification de la pollution marine	6
I.3.1 Classification selon la source	6
I.3.2 Les types de pollution	8
Conclusion	37
CHAPITRE II : DESCRIPTION DE LA ZONE D'OUED EL MACTAA	38
Introduction	39
II.1 Description de la zone humide.....	39
II.2 Cadre géographique et administratif.....	42
II.3 Caractères géologiques.....	43
II.4 Embouchure d'Oued El Macta	46
Conclusion	47
CHAPITRE III :	48
ÉTUDE DES PARAMETRES	48
PHYSICO-CHIMIQUES.....	48
Introduction	49
III.1 Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer.....	49
III.1.1 Paramètres physico-chimiques.....	49
III.1.2 Paramètres de pollution	50
III.2 Matériels et méthodes	52
III.2.1 Localisation géographique des sites de prélèvement.....	52
III.2.2 Prélèvement des échantillons.....	53
III.2.3 Mode opératoire	58
Conclusion :	64

Chapitre IV : Résultats et Discussion	65
Introduction	66
Etude qualitatif :	66
1. Variation de pH dans trois sites (Oued, Embouchure, Mer)	66
2. Variation de température dans trois sites (Oued, Embouchure, Mer)	68
3. Variation de Conductivité dans trois sites (Oued, Embouchure, Mer)	69
4. Variation de Turbidité dans trois sites (Oued, Embouchure, Mer)	70
5. Variation de Nitrite dans trois sites (Oued, Embouchure, Mer)	72
6. Variation de Nitrate dans trois sites (Oued, Embouchure, Mer)	73
Conclusion :	75
Références	76

Liste des figures

Figure 1: la zone d'étude (Oued El Macta)	4
Figure 2: Effets sur l'écosystème marin.....	5
Figure 3: Schéma du transfert des nutriments agricoles vers les eaux réceptrices par ruissellement et infiltration souterraine.(ramade ;2007).....	7
Figure 4: Rejet des eaux usées industrielles et domestiques dans le milieu aquatique. source Clark, R. B. (2001).....	20
Figure 5: Schéma simplifié du transfert des substances organiques de synthèse source (Walker, C. H., Sibly, R. M., Hopkin, S. P., & Peakall, D. B. (2012).	22
Figure 6: Schéma global simplifié du cycle des métaux lourds source (Alloway, B. J. (2013)...	30
Figure 7: Opération de prélèvement des échantillons d'eau au niveau de la zone d'étude à l'aide d'un flacon stérile.....	34
Figure 8: La zone d'Oued El Macta (la Direction Générale des Forêts. (2014)	39
Figure 9: Localisation géographique de la zone d'étude (Oued El Mactaa, Nord-Ouest algérien)	40
Figure 10: Cadre géographique de la zone oued macta source (générale de forêt 2014).....	42
Figure 11: Vue du milieu humide de l'Oued El Macta montrant la végétation aquatique et les dépôts en surface de l'eau	Error! Bookmark not defined.
Figure 12: Prélèvement d'un échantillon d'eau au niveau de la zone d'étude (Oued El Macta) pour analyse physico-chimique.....	56
Figure 13: État hydrologique de l'oued le 26/02/2026 (absence d'écoulement)	57
Figure 14: État hydrologique de l'oued le 28/03/2026 (débit élevé)	57
Figure 15: État hydrologique de l'oued le 11/04/2026 (débit modéré).....	58
Figure 16: thermomètre numérique souces (boudjnaah nourhane et boudraf aicha 2026)	59
Figure 17: mesure de la qualité de l'eau avec un conductimètre .sources (boujnaah nourhane et boudraf aicha 2026).....	60
Figure 18: pH-mètre électronique ; source (boudjnaah noorhane et boudraf aicha 2026).....	61
Figure 19: appareil de Turbidimètre source (Boudjnaah nourhane et Boudraf aicha 2026).....	62
Figure 20: appareil spectrophotomètre source (boudjnah nourhane et boudraf aicha2026)	63
Figure 21: Histogramme de variation de Ph au niveau de l'oued ,l'eau de mer et embouchure...	67
Figure 22: Figure d'Histogramme de variation de température au niveau de mer et embouchure et oued	69
Figure 23: Histogramme de variation de conductivité	70
Figure 24: HISTOGRAMME DE VARIATION DE TURBIDITE.....	71

Figure 25: Histogramme de variation de nitrite	72
Figure 26: Histogramme de variation de nitrate au niveau de mer et embouchure et oued macta	73

Liste Des Tableaux

Table 1 : Tableau 1 un de variation de pH	66
Table 2 : Tableau 2 de variation de température	68
Table 3: Tableau 3 de variation de Conductivité	69
Table 4: Tableau 4 de variation de turbidité	71
Table 5 : Tableau 5 de variation de nitrite.....	72
Table 6 : Tableau 6 de variation de nitrate.....	73

Liste des abréviations

- pH : Potentiel Hydrogène
- CE : Conductivité Électrique
- T° : Température
- MES : Matières En Suspension
- DCO : Demande Chimique en Oxygène
- DBO5 : Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours
- OD : Oxygène Dissous
- NTU : Nephelometric Turbidity Unit (Unité de turbidité)
- NO₃⁻ : Nitrates
- NO₂⁻ : Nitrites
- NH₄⁺ : Ammonium
- PO₄³⁻ : Phosphates
- Cl⁻ : Chlorures
- SO₄²⁻ : Sulfates
- Ca²⁺ : Calcium
- Mg²⁺ : Magnésium
- Na⁺ : Sodium
- K⁺ : Potassium
- MET : Métaux lourds
- Hg : Mercure
- Pb : Plomb
- Cd : Cadmium
- Cu : Cuivre
- Zn : Zinc
- PCB : Polychlorobiphényles
- POP : Polluants Organiques Persistants
- OMS : Organisation Mondiale de la Santé
- PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le Tout-Puissant pour m'avoir accordé la force, la patience et le courage nécessaires pour mener à bien ce travail.

Je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance à mon encadreur pour son accompagnement, ses conseils pertinents et son soutien tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Mes remerciements s'adressent également à l'ensemble des enseignants de l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem pour la qualité de leur formation et les connaissances acquises durant mon parcours universitaire.

Je remercie également les responsables et le personnel de l'organisme d'accueil pour leur disponibilité, leur aide précieuse et leur contribution à la réalisation de cette étude.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À mes chers parents,

pour leur amour, leurs sacrifices et leur soutien indéfectible tout au long de mes études.

À ma famille,

pour leur encouragement et leur présence constante.

À mes amis(e),

pour leur soutien et leur aide.

À toutes les personnes qui me sont chères,

et à tous ceux qui ont contribué à ma réussite.

Je dédie également ce travail à tous les étudiants qui poursuivent leur chemin avec persévérance
et ambition.

Résumé

Cette étude a pour objectif d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux de l'Oued El Mactaa, de son embouchure et de la zone marine avoisinante, afin d'identifier les effluents responsables de la pollution.

L'analyse a porté sur plusieurs paramètres physico-chimiques, notamment le pH, la température, la conductivité, la turbidité, ainsi que les indicateurs de pollution organique tels que Les concentrations en nutriments (nitrates, nitrites) .

Les résultats obtenus révèlent une dégradation notable de la qualité de l'eau au niveau de l'oued, caractérisée par une forte charge en matière organique et en nutriments, due principalement aux rejets industriels, domestiques et agricoles. Au niveau de l'embouchure, une dilution partielle des polluants est observée en raison du mélange avec l'eau de mer. Toutefois, certains contaminants persistent et se propagent vers le milieu marin.

En conclusion, cette étude met en évidence l'impact significatif des effluents sur la qualité des eaux et souligne la nécessité de mettre en place des mesures de gestion et de traitement efficaces afin de protéger l'environnement aquatique et la santé publique. Cette étude est divisée en trois chapitre . le premier chapitre présente la pollution de milieu marin le deuxième chapitre présente le site d'étude oued EL Macta zone d'étude le troisième chapitre présenté les paramètre physico -chimique puit les matériel et méthodes ,et enfin les présentation des résultats et discussion ou nous avons trouvés .

Les mots clés : oued El macta ,l'embouchure , milieu marin, paramètres physico-chimique, zone humide.

Abstract

This study aims to assess the physico-chemical water quality of the Oued El Mactaa, its estuary, and the surrounding marine zone, in order to identify the effluents responsible for the pollution. The analysis focused on several physico-chemical parameters, including pH, temperature, conductivity, and turbidity, as well as organic pollution indicators such as nutrient concentrations (nitrates, nitrites).

The results reveal a significant degradation of water quality within the wadi, characterized by a high load of organic matter and nutrients, primarily due to industrial, domestic, and agricultural discharges. At the estuary, a partial dilution of pollutants is observed due to mixing with seawater. However, certain contaminants persist and propagate into the marine environment.

In conclusion, this study highlights the significant impact of effluents on water quality and underscores the need to implement effective management and treatment measures to protect the aquatic environment and public health. This study is divided into three chapters: the first chapter presents marine pollution; the second chapter presents the study site (Oued El Mactaa); and the third chapter presents the physico-chemical parameters, materials and methods, followed by the presentation of results and discussion, where we found [details of findings].

Keywords: Marine pollution, Oued Mactaa, marine environment, physico-chemical parameters, wetland.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الجودة الفيزيائية والكيميائية لمياه وادي المقطع، ومصبه، والمنطقة البحرية المجاورة، وذلك لتحديد الملوثات المسؤولة عن التلوث. شمل التحليل عدة معايير فيزيائية وكيميائية، بما في ذلك الأس الهيدروجيني (pH)، ودرجة الحرارة، والموصلية، والعكارة، بالإضافة إلى مؤشرات التلوث العضوي مثل تركيزات المغذيات (النترات والنترت).

كشفت النتائج المحصل عليها عن تدهور ملحوظ في جودة المياه على مستوى الوادي، يتميز بحمولة عالية من المواد العضوية والمغذيات، ويرجع ذلك أساساً إلى التصريفات الصناعية والمنزلية والزراعية. وعلى مستوى المصب، لوحظ تخفيف جزئي للملوثات بسبب الاختلاط مع مياه البحر. ومع ذلك، لا تزال بعض الملوثات قائمة وتنتشر نحو الوسط البحري.

في الختام، تسلط هذه الدراسة الضوء على التأثير الكبير للمخلفات على جودة المياه، وتؤكد على ضرورة وضع تدابير فعالة للإدارة والمعالجة من أجل حماية البيئة المائية والصحة العامة. تنقسم هذه الدراسة إلى ثلاثة فصول: الفصل الأول يقدم تلوث الوسط البحري، الفصل الثاني يعرض منطقة الدراسة (وادي المقطع)، والفصل الثالث يقدم المعايير الفيزيائية والكيميائية، والمواد وطرق العمل، وأخيراً عرض النتائج والمناقشة حيث توصلنا إلى [نتائج الدراسة].

الكلمات المفتاحية: تلوث بحري، وادي المقطع، وسط بحري، معايير فيزيائية وكيميائية، منطقة رطبة.

Introduction Générale

Introduction Générale

La pollution des eaux constitue un problème environnemental majeur lié au développement industriel, à l'urbanisation et aux activités agricoles. Les rejets non contrôlés d'effluents dans les milieux aquatiques entraînent une dégradation de la qualité de l'eau et perturbent les écosystèmes.

Dans ce contexte, l'Oued El Macta, situé dans l'Ouest algérien, est soumis à diverses sources de pollution, notamment les rejets industriels, les eaux usées domestiques et les apports agricoles. Ces effluents contiennent des substances organiques, des nutriments et parfois des éléments toxiques, susceptibles d'altérer les caractéristiques physico-chimiques de l'eau.

L'embouchure de cet oued représente une zone de transition entre le milieu continental et le milieu marin, où les polluants peuvent être partiellement dilués mais aussi transportés vers la mer. Ainsi, l'impact de cette pollution ne se limite pas uniquement à l'oued, mais s'étend également à l'environnement marin.

L'étude physico-chimique des eaux constitue un moyen essentiel pour évaluer leur qualité et identifier les sources de pollution. Elle repose sur l'analyse de différents paramètres tels que le pH, la conductivité, ainsi que les nutriments.

L'objectif de ce travail est d'évaluer la qualité des eaux de l'Oued El Macta, de son embouchure et de la zone marine avoisinante, afin de déterminer les effluents responsables de la pollution et d'apprécier leur impact sur le milieu aquatique.

CHAPITRE I : POLLUTION DU MILIEU MARIN

Introduction

Le milieu marin constitue un système écologique fondamental pour la planète, assurant des fonctions essentielles telles que la régulation du climat, la production d'oxygène et le maintien de la biodiversité (UNESCO, 2022). Toutefois, ce milieu est de plus en plus exposé aux pressions anthropiques liées à l'industrialisation, à l'urbanisation et aux activités agricoles (PNUE, 2021).

La pollution marine se manifeste par l'introduction de substances chimiques, biologiques ou physiques dans l'eau, entraînant une altération de sa qualité (Ramade, 2007). Cette dégradation affecte non seulement les organismes marins, mais également les activités humaines telles que la pêche, le tourisme et l'approvisionnement en eau (Clark, 2001).

Ce chapitre a pour objectif de présenter les bases théoriques de la pollution marine, en abordant sa définition, ses causes, ses conséquences et ses différentes classifications.

I.1 Définition de la pollution

La pollution est définie comme toute modification du milieu naturel résultant de l'introduction d'agents perturbateurs susceptibles de nuire aux écosystèmes (Ramade,françois 2007).

Dans le contexte marin, la pollution correspond à l'ensemble des contaminations affectant les eaux marines, les sédiments et les organismes vivants, sous l'effet d'activités humaines ou de phénomènes naturels (GESAMP 1989).

Elle peut être :

- **Chimique** (substances toxiques)
- **Biologique** (micro-organismes)
- **Physique** (déchets solides, chaleur)

I.2 Les causes et les conséquences de la pollution marine

I.2.1 Les causes de la pollution marine

La pollution marine provient de plusieurs sources interconnectées, souvent terrestres et maritimes. Ces sources introduisent des substances toxiques, des déchets solides et des polluants persistants dans le milieu marin.

1. Activités industrielles :

Les activités industrielles regroupent l'ensemble des processus de fabrication et de transformation des matières premières en produits finis. Ces activités génèrent souvent des rejets liquides et gazeux appelés effluents industriels. (Bensalem N, 2003)



Figure 1: la zone d'étude (Oued El Macta) source(la Direction Générale des Forêts. (2014).

2. Activités domestiques :

Les activités domestiques correspondent aux rejets provenant des habitations humaines (ménages, villes, quartiers) (PNUE, 2021).

3. Activités agricoles :

Les activités agricoles regroupent l'ensemble des pratiques liées à la culture des sols et à l'élevage des animaux. (FAO, 2020) Les pesticides utilisés en agriculture — qu'il s'agisse d'insecticides, d'herbicides ou de fongicides — représentent une source majeure de contamination pour les écosystèmes aquatiques. Ces substances, appliquées sur les cultures, ne restent pas confinées aux zones agricoles : elles se diffusent dans l'air, s'infiltrant dans les sols et rejoignent les eaux de drainage.(DEFrANCESCHIM ;1996).

4. Pollution pétrolière :

La pollution pétrolière est la contamination des eaux marines par les hydrocarbures issus du pétrole(IMO, 2019).

5. Déchets plastiques :

Les déchets plastiques sont des matériaux synthétiques non biodégradables rejetés dans l'environnement(PNUE, 2021).

I.2.2 Les conséquences de la pollution marine



Figure 2: Effet de eutrophisation sur écosystème marin (Clark, R. B. (2001).

Impacts écologiques :

- Disparition d'espèces
- Déséquilibre des écosystèmes

Dégradation des habitats Eutrophisation :

L'eutrophisation d'un milieu aquatique se manifeste à travers plusieurs signes visibles et mesurables. Sur le plan physique, l'eau prend souvent une teinte verdâtre à cause de la prolifération des algues, elle devient moins transparente et peut dégager une odeur désagréable liée à la décomposition de la matière organique. Sur le plan chimique, on observe une baisse de l'oxygène dissous, indispensable à la vie aquatique, ainsi qu'une augmentation des nutriments, notamment les nitrates et les phosphates. Enfin, sur le plan biologique, ces changements favorisent un déséquilibre des communautés aquatiques. L'ensemble de ces indicateurs permet

d'évaluer le degré de dégradation du milieu et de mesurer l'impact de l'eutrophisation sur l'écosystème

Excès de nutriments

Prolifération d'algues

Diminution de l'oxygène

Bioaccumulation :

Les polluants s'accumulent dans les organismes vivants et se transmettent dans la chaîne alimentaire (Clark, 2001).

Risques pour l'homme :

- Contamination des poissons
- Maladies liées aux toxins

I.3 Classification de la pollution marine**I.3.1 Classification selon la source**

La pollution marine est classée selon son origine, c'est-à-dire selon les activités responsables de son apparition dans le milieu marin (Clark, 2001).

Pollution agricole :

La pollution agricole est la contamination des eaux marines causée par les activités agricoles (FAO, 2020).

Causes :

- Engrais chimiques (nitrates, phosphates)
- Produits phytosanitaires (pesticides, herbicides)

Ces substances sont transportées par les eaux de pluie vers les rivières, puis atteignent la mer, ce qui provoque la dégradation de la qualité de l'eau (Ramade, 2007).

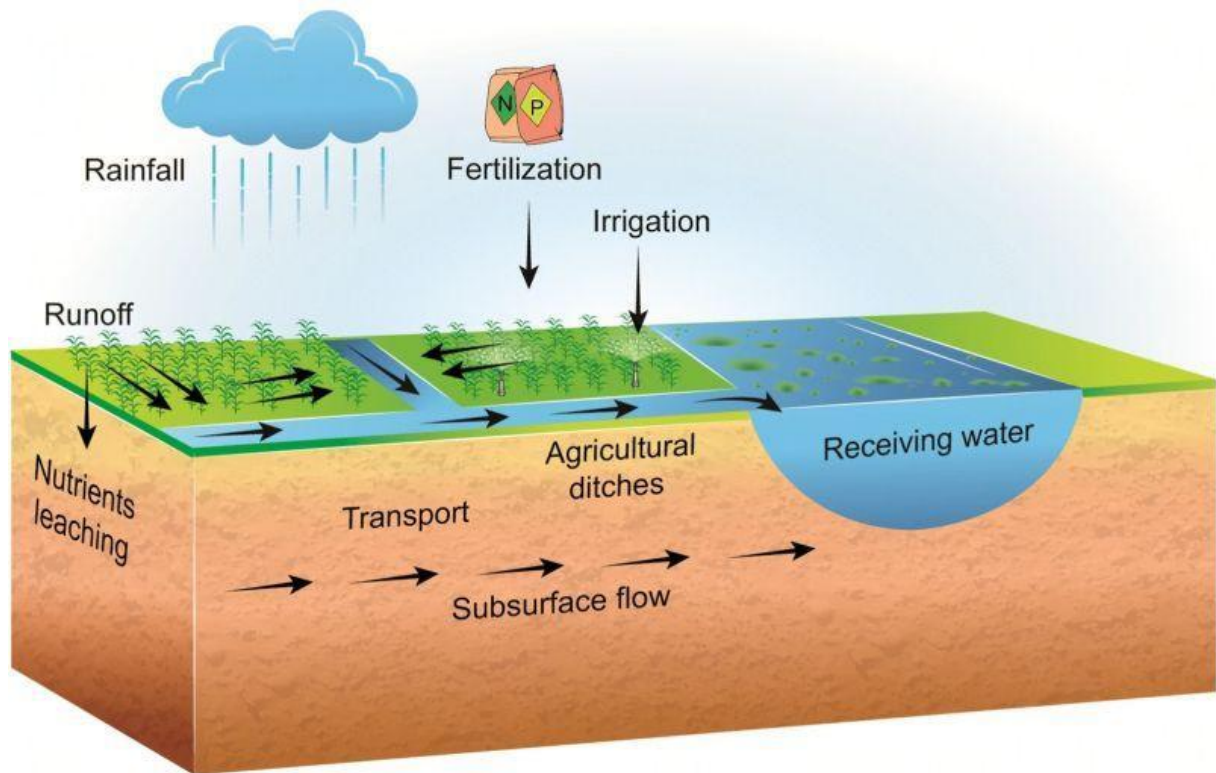


FIGURE 3: SCHEMA DU TRANSFERT DES NUTRIMENTS AGRICOLES VERS LES EAUX RECEPTRICES PAR RUISSELLEMENT ET INFILTRATION SOUTERRAINE.(RAMADE ;2007)

Pollution industrielle :

La pollution industrielle correspond aux rejets issus des usines et activités industrielles vers le milieu marin (Clark, 2001).

Causes :

- Métaux lourds (plomb, mercure, cadmium)
- Produits chimiques toxiques
- Hydrocarbures

Ces polluants sont dangereux car ils sont toxiques, persistants et peuvent s'accumuler dans les organismes marins (Ramade, 2007).

Pollution urbaine :

La pollution urbaine est la pollution provenant des activités des villes et zones urbaines (PNUE, 2021).

Causes :

- Eaux usées domestiques
- Déchets solides (plastiques, ordures ménagères)

Ces déchets et eaux usées sont souvent rejetés dans les réseaux d'assainissement ou directement dans les rivières, puis transportés vers la mer

I.3.2 Les types de pollution**I.3.2.1 Pollution chimique**

La pollution chimique est une forme spécifique de pollution résultant de l'introduction de substances chimiques dans un environnement aquatique à des concentrations anormales, entraînant des effets nocifs sur les organismes vivants et les processus écologiques (Alloway, 2013).

Elle représente l'un des types de pollution les plus dangereux en raison de :

- la diversité des composés chimiques impliqués
- leur toxicité élevée
- leur persistance dans l'environnement
- leur capacité à interagir entre eux (effet cocktail) (Ramade, 2007)

Sources de la pollution chimique :

Les principales sources sont :

Sources industrielles :

- rejets d'usines chimiques
- industries métallurgiques
- raffineries de pétrole

Sources agricoles :

- utilisation d'engrais chimiques
- pesticides et herbicides

Sources domestiques :

- détergents
- produits pharmaceutiques

Sources accidentelles :

- marées noires
- fuites chimiques

Ces différentes sources contribuent fortement à la contamination des eaux marines et des écosystèmes aquatiques (Clark, 2001).

Mécanismes d'action :

Les polluants chimiques agissent de différentes manières :

- altération des cellules
- perturbation des fonctions biologiques
- inhibition de la reproduction
- destruction des habitats naturels

I.3.2.2 Contamination chimique

La contamination chimique correspond à l'introduction et à la présence mesurable de substances chimiques étrangères dans un milieu naturel (eau, sol ou air), à des concentrations dépassant les niveaux naturels ou les seuils fixés par les normes environnementales (Alloway, 2013).

Contrairement à la pollution chimique qui représente un phénomène global, la contamination chimique constitue une manifestation concrète et observable de cette pollution. Elle se traduit par la présence effective de polluants pouvant être détectés, quantifiés et suivis dans le temps (Ramade, 2007).

Cette contamination peut être temporaire ou persistante, selon la nature des substances chimiques et les conditions environnementales. Certains polluants, comme les métaux lourds ou les composés organiques persistants, peuvent rester longtemps dans le milieu et s'y accumuler progressivement (Walker et al., 2012).

Elle est caractérisée par plusieurs processus fondamentaux :

- La détection des polluants : identification qualitative et quantitative des substances chimiques présentes dans le milieu.
- L'accumulation : concentration progressive des polluants dans l'eau, les sédiments ou les organismes vivants (bioaccumulation).
- L'interaction avec les organismes vivants : effets toxiques sur la faune, la flore et l'être humain (perturbations biologiques, maladies, mortalité).
- La propagation dans l'environnement : transport des polluants via les courants d'eau, les infiltrations ou les échanges atmosphériques (Alloway, 2013).

❖ Types de contamination chimique

Contamination ponctuelle :

La contamination ponctuelle provient d'une source unique, identifiable et localisée, ce qui facilite généralement son contrôle et sa gestion (Clark, 2001).

- Elle est souvent liée à des activités humaines spécifiques.
- Elle peut provoquer une pollution intense mais localisée.

Exemples :

- Rejets d'effluents industriels (usines chimiques, raffineries)
- Déversements accidentels de produits toxiques
- Fuites de réservoirs ou de canalisations

Contamination diffuse :

La contamination diffuse est causée par des sources multiples, dispersées et souvent difficiles à identifier individuellement (FAO, 2020).

- Elle est généralement liée à des activités étendues dans l'espace.
- Elle est plus difficile à contrôler car elle résulte de nombreux apports faibles mais continus.

Exemples :

- Ruissellement des eaux agricoles contenant engrais et pesticides
- Rejets domestiques non contrôlés

- Dépôts atmosphériques de polluants chimiques

❖ Facteurs influençant la contamination chimique

La contamination chimique dépend de plusieurs paramètres physico-chimiques et environnementaux (Walker et al., 2012) qui influencent le comportement des polluants dans le milieu :

La solubilité du polluant

- Détermine sa capacité à se dissoudre dans l'eau
- Plus un polluant est soluble, plus il se propage facilement

La température de l'eau

- Influence les réactions chimiques et la vitesse de dégradation des polluants
- Une température élevée peut accélérer certaines transformations chimiques

Le pH du milieu

- Affecte la forme chimique des polluants
- Peut augmenter ou diminuer leur toxicité

Les courants et la circulation de l'eau

- Favorisent la dispersion ou, au contraire, la concentration des polluants
- Influencent leur transport sur de longues distances

La nature du milieu (sédiments, matière organique)

- Certains polluants se fixent sur les particules solides
- Favorisent la bioaccumulation dans les chaînes alimentaires

Conséquences de la contamination chimique

La contamination chimique peut entraîner des effets graves :

- Dégradation de la qualité de l'eau
- Toxicité pour les organismes aquatiques
- Perturbation des écosystèmes

- Risques pour la santé humaine (maladies, intoxications)
- Bioaccumulation et biomagnification dans la chaîne alimentaire

I.3.2.2.1 Les substances chimiques

La contamination chimique des milieux aquatiques est principalement due à l'introduction de diverses substances issues des activités humaines, notamment industrielles, agricoles et domestiques (Alloway, 2013). Ces substances, une fois libérées dans l'environnement, peuvent subir des transformations physico-chimiques, se disperser ou s'accumuler dans les différents compartiments du milieu (eau, sédiments, organismes vivants).

Le danger de ces substances réside non seulement dans leur toxicité immédiate, mais également dans leur persistance, leur mobilité et leur capacité de bioaccumulation (Walker et al., 2012), ce qui entraîne des effets à long terme sur les écosystèmes et la santé humaine. Certaines d'entre elles peuvent également interagir entre elles, créant des effets combinés parfois plus dangereux que leurs effets individuels.

❖ Les métaux lourds

Les métaux lourds sont des éléments chimiques naturels présents en faibles quantités dans l'environnement, mais dont la concentration augmente considérablement en raison des activités humaines (Alloway, 2013) telles que l'industrie, l'exploitation minière, les rejets urbains et l'utilisation de certains produits chimiques.

Parmi les métaux lourds les plus dangereux figurent le mercure (Hg), le plomb (Pb) et le cadmium (Cd). Ces éléments sont particulièrement préoccupants en raison de leur caractère non biodégradable (Ramade, 2007), ce qui signifie qu'ils ne peuvent pas être décomposés par les processus naturels.

Comportement dans l'environnement :

- Ils peuvent se fixer sur les particules en suspension et s'accumuler dans les sédiments
- Ils peuvent être remobilisés en fonction des conditions du milieu (variation de pH, température)
- Ils pénètrent facilement dans les organismes vivants

Caractéristiques :

- Très grande persistance environnementale
- Bioaccumulation dans les tissus des organismes
- Biomagnification dans la chaîne alimentaire
- Toxicité élevée même à de très faibles concentrations

Effets sur la santé et l'environnement :

- Troubles neurologiques graves (notamment pour le mercure et le plomb)
- Atteintes des reins et du foie
- Effets cancérigènes pour certains métaux
- Perturbation de la reproduction des espèces aquatiques
- Mort des organismes et perte de biodiversité

❖ Les détergents

Les détergents sont des produits chimiques largement utilisés dans les activités domestiques et industrielles pour le nettoyage (PNUE, 2021). Leur efficacité repose sur la présence de tensioactifs, qui facilitent la dissolution des graisses dans l'eau.

Ces substances sont principalement rejetées dans les milieux aquatiques via les eaux usées, souvent sans traitement suffisant .

Comportement dans l'eau :

- Dissolution rapide dans l'eau
- Formation de mousse stable à la surface
- Interaction avec les matières organiques

Caractéristiques :

- Contiennent des agents tensioactifs et parfois des phosphates
- Peuvent être partiellement biodégradables ou non biodégradables
- Peuvent modifier les propriétés physico-chimiques de l'eau

Impacts environnementaux :

- Formation d'une couche de mousse limitant les échanges gazeux
- Réduction de la concentration en oxygène dissous
- Contribution au phénomène d'eutrophisation (prolifération d'algues)
- Toxicité pour les poissons, les algues et les micro-organismes (Clark, 2001)

Conséquences :

- Déséquilibre des écosystèmes aquatiques
- Mort de certaines espèces sensibles
- Dégradation de la qualité de l'eau potable

Les hydrocarbures :

Les hydrocarbures responsables de la pollution des eaux proviennent de diverses sources, notamment de l'industrie pétrolière et pétrochimique. Ils peuvent également être issus d'autres activités industrielles, telles que l'industrie sidérurgique. Par ailleurs, des déversements accidentels dans le milieu naturel peuvent survenir à la suite de fuites de réservoirs, d'accidents pétroliers majeurs ou encore d'opérations de forage en mer, entraînant ainsi des conséquences écologiques importantes (Bouziani, 2000).

Leur présence dans l'environnement est liée à des activités telles que le transport maritime, les industries pétrolières, les accidents (marées noires) et les rejets urbains (Clark, 2001).

Comportement dans le milieu aquatique :

- Ils flottent à la surface de l'eau en formant un film
- Certains composants peuvent se dissoudre partiellement
- D'autres se déposent dans les sédiments

Caractéristiques :

- Faible solubilité dans l'eau
- Grande stabilité chimique
- Forte persistance

Impacts :

- Formation d'un film empêchant l'oxygénation de l'eau
- Réduction de la pénétration de la lumière
- Perturbation de la photosynthèse des plantes aquatiques

Conséquences :

- Asphyxie des organismes aquatiques
- Mort des poissons et des invertébrés
- Contamination des oiseaux marins (plumes recouvertes de pétrole)
- Dégradation des zones côtières et marines (IMO, 2019)

❖ Les pesticides et herbicides

Les pesticides regroupent un ensemble de substances chimiques destinées à lutter contre les organismes nuisibles (insectes, champignons, parasites). Les herbicides, quant à eux, sont utilisés pour éliminer les plantes indésirables. (Brisaud et al ; 2009)

Leur utilisation intensive en agriculture constitue une source majeure de contamination des milieux naturels (Ramade, 2007).

Comportement dans l'environnement :

- Transportés par ruissellement vers les cours d'eau
- Infiltration dans les sols et les nappes phréatiques
- Accumulation dans les organismes vivants

Caractéristiques :

- Toxicité élevée
- Persistance variable selon les composés
- Capacité de dispersion importante

Impacts :

- Toxicité pour les espèces non ciblées (poissons, oiseaux, insectes utiles)
- Perturbation des équilibres biologiques

- Altération des cycles naturels

Conséquences :

- Réduction de la biodiversité
- Contamination de la chaîne alimentaire
- Risques pour la santé humaine (effets cancérigènes, perturbateurs endocriniens) (Ramade 2007)

Produit Toxiques et Biocides :

Les produits toxiques regroupent un large éventail de substances chimiques dangereuses susceptibles de provoquer des effets nocifs immédiats ou à long terme sur les organismes vivants (Walker et al., 2012).

Les biocides sont des substances ou des préparations destinées à détruire ou à contrôler les organismes nuisibles tels que les bactéries, les virus, les insectes et les champignons. (Bakess et lemaire, 2007)

Caractéristiques :

- Toxicité élevée
- Effets à court et long terme
- Large utilisation dans différents secteurs

Comportement :

- Diffusion rapide dans l'environnement
- Interaction avec les organismes vivants
- Possibilité d'accumulation

Impacts :

- Déséquilibre des écosystèmes
- Destruction d'espèces utiles
- Apparition de résistances chez certains organismes

Conséquences :

- Disparition d'espèces
- Perturbation des chaînes alimentaires
- Risques sanitaires pour l'homme (intoxication, maladies chroniques) (Alloway, 2013)

I.3.2.2.2 Les substances eutrophisantes

Les substances eutrophisantes sont des composés chimiques riches en nutriments essentiels, principalement l'azote (N) et le phosphore (P), qui favorisent le développement rapide des organismes végétaux aquatiques tels que les algues et les plantes aquatiques (FAO, 2020).

Dans des conditions naturelles, ces nutriments sont présents en faibles quantités et contribuent à l'équilibre biologique des écosystèmes aquatiques. Cependant, lorsque leur concentration augmente de manière excessive, souvent à cause des activités humaines, ils provoquent un phénomène appelé eutrophisation, caractérisé par une prolifération anormale et excessive de la biomasse végétale (Clark, 2001).

Les principales sources de ces substances sont :

- Les engrais agricoles (nitrates et phosphates)
- Les eaux usées domestiques riches en matières organiques et en détergents phosphatés
- Les rejets industriels
- Les effluents d'élevage
- Les dépôts atmosphériques d'azote

Processus détaillé de l'eutrophisation :

L'eutrophisation est un processus complexe qui se déroule en plusieurs étapes successives (Wetzel, 2001)

1. Apport excessif de nutriments

L'introduction massive de nitrates et de phosphates dans le milieu aquatique constitue la première étape (Smith 2009). Ces nutriments sont transportés vers les rivières, les lacs ou les zones côtières principalement par :

- Le ruissellement agricole
- L'infiltration dans les nappes phréatiques
- Les rejets directs d'eaux usées non traitées

Cette accumulation entraîne un enrichissement du milieu en éléments nutritifs, dépassant largement les besoins naturels des organismes aquatiques.

2. Prolifération des algues et des plantes aquatiques

L'abondance de nutriments stimule fortement la croissance des algues microscopiques (phytoplancton) et des plantes aquatiques. Ce phénomène est appelé bloom algal (floraison algale).

Caractéristiques :

- Multiplication rapide des algues
- Coloration de l'eau (verte, parfois brune ou rouge)
- Diminution de la transparence de l'eau (wetzell 2001)

Certaines espèces d'algues peuvent produire des toxines dangereuses pour les animaux et les êtres humains.

3. Réduction de la pénétration de la lumière

La forte densité d'algues à la surface de l'eau empêche la lumière de pénétrer en profondeur.

Conséquences :

- Diminution de la photosynthèse des plantes aquatiques profondes
- Mort progressive de la végétation subaquatique
- Déséquilibre de l'écosystème (PNUE, 2021)

4. Consommation de l'oxygène dissous

Lorsque les algues meurent, elles sont décomposées par des micro-organismes (bactéries). Ce processus de décomposition consomme une grande quantité d'oxygène dissous dans l'eau.

Résultat :

- Baisse importante du taux d'oxygène (hypoxie)

- Apparition de zones pauvres en oxygène

Dans les cas extrêmes, on observe des zones anoxiques (absence totale d'oxygène).

5. Mort des organismes aquatiques

Le manque d'oxygène entraîne la mort de nombreux organismes aquatiques, notamment :

- Les poissons
- Les crustacés
- Les invertébrés

Conséquences :

- Asphyxie des espèces aquatiques
- Disparition d'espèces sensibles
- Prolifération d'organismes résistants

Conséquences globales de l'eutrophisation :

L'eutrophisation a des impacts graves sur les milieux aquatiques et sur l'homme:

- Dégradation de la qualité de l'eau
- Diminution de la biodiversité
- Apparition de mauvaises odeurs
- Production de toxines par certaines algues
- Difficultés de traitement de l'eau potable
- Impacts économiques (pêche, tourisme)

Facteurs favorisant l'eutrophisation :

Plusieurs facteurs influencent l'intensité de ce phénomène :

- Température élevée
- Eau stagnante ou faible circulation
- Forte luminosité
- Apports continus en nutriments

I.3.2.2.3 Substances organiques de synthèse



FIGURE 4: REJET DES EAUX USEES INDUSTRIELLES ET DOMESTIQUES DANS LE MILIEU AQUATIQUE. SOURCE CLARK, R. B. (2001)

Les substances organiques de synthèse sont des composés chimiques fabriqués artificiellement par l'industrie chimique (Walker et al., 2012), contrairement aux substances naturelles présentes dans l'environnement (Alloway, 2013). Elles sont conçues pour répondre à des besoins spécifiques dans différents secteurs tels que l'agriculture, l'industrie, la pharmacie, la cosmétique ou encore les matériaux plastiques.

Ces substances se caractérisent par une structure moléculaire complexe et une grande diversité chimique, ce qui leur confère des propriétés particulières comme la résistance, la stabilité ou l'efficacité biologique.

Cependant, malgré leur utilité, elles constituent une source majeure de pollution environnementale en raison de trois propriétés principales :

- Stabilité chimique élevée : elles se dégradent très lentement dans l'environnement
- Toxicité variable : certaines sont fortement toxiques pour les organismes vivants
- Persistance environnementale : elles restent longtemps dans l'eau, le sol et les organismes

Origine des substances organiques de synthèse :

Ces substances proviennent principalement de :

- Industries chimiques (fabrication de plastiques, solvants, colorants)

- Agriculture intensive (pesticides, herbicides, fongicides)
- Activités domestiques (produits ménagers, détergents, cosmétiques)
- Industrie pharmaceutique (résidus de médicaments dans les eaux usées)
- Industrie pétrochimique (hydrocarbures et dérivés organiques)

Principales catégories :**1. Pesticides et herbicides**

Utilisés pour protéger les cultures contre les insectes et les mauvaises herbes. Ils peuvent cependant contaminer les sols et les eaux.(carvalho,F.P (2017)

2. Plastiques et microplastiques

Issus de la dégradation des déchets plastiques. Ils sont très persistants et s'accumulent dans les océans.(Barnes, D. K., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009)

3. Solvants organiques

Utilisés dans l'industrie (peintures, nettoyants). Ils sont souvent volatils et toxiques.(Lofrano, G., Meriç, S., Zengin, G. E., & Orhon, D. (2013)

4. Produits pharmaceutiques

Médicaments et résidus rejetés dans les eaux usées, pouvant perturber les écosystèmes aquatiques.

5. Perturbateurs endocriniens

Substances capables de modifier le fonctionnement hormonal des organismes vivants.

Propriétés environnementales :

Les substances organiques de synthèse présentent plusieurs caractéristiques problématiques :

- Faible biodégradabilité : elles se décomposent difficilement
- Bioaccumulation : accumulation dans les tissus des organismes vivants
- Biomagnification : augmentation de la concentration le long de la chaîne alimentaire
- Transport à longue distance : elles peuvent se disperser loin de leur source

Impacts sur l'environnement et la santé :

Sur les écosystèmes :

- Déséquilibre des chaînes alimentaires
- Mort des organismes aquatiques sensibles
- Diminution de la biodiversité
- Perturbation des habitats naturels (Ramade, 2007)

Sur la santé humaine :

- Troubles hormonaux (perturbateurs endocriniens)
- Risques de cancers pour certaines substances
- Effets neurologiques et immunitaires
- Contamination de l'eau potable et des aliments.

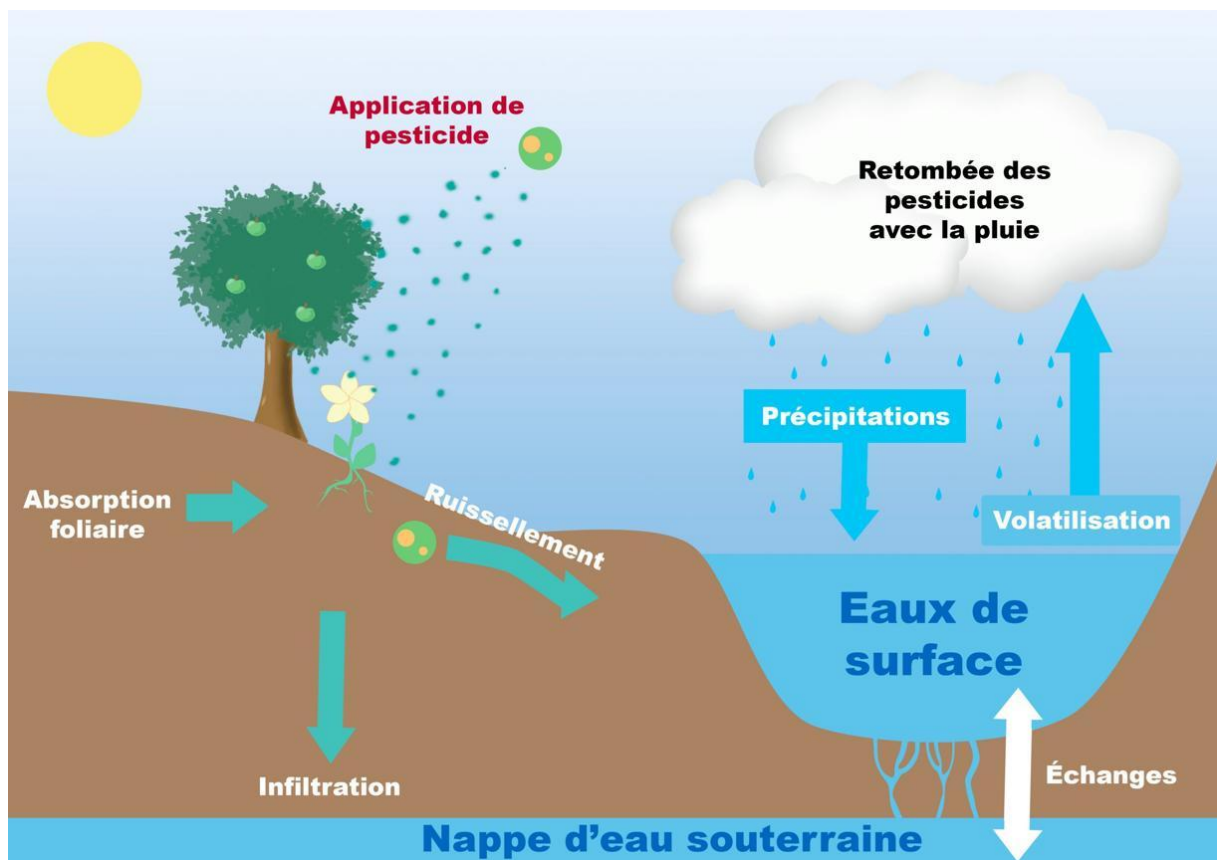


FIGURE 5: SCHEMA SIMPLIFIE DU TRANSFERT DES SUBSTANCES ORGANIQUES DE SYNTHESE
SOURCE (WALKER, C. H., SIBLY, R. M., HOPKIN, S. P., & PEAKALL, D. B. (2012).

Les substances organiques de synthèse suivent généralement le chemin suivant :

1. Source de pollution (industrie, agriculture, domestique)
2. Libération dans l'environnement (rejets directs ou indirects)
3. Transport par ruissellement, infiltration ou air
4. Accumulation dans les sols, sédiments et eaux
5. Intégration dans la chaîne alimentaire
6. Effets écologiques et sanitaires

Comportement dans le milieu aquatique :

Dans l'eau, ces substances peuvent :

- Se dissoudre partiellement
- Se fixer aux particules en suspension
- S'accumuler dans les sédiments
- Être absorbées par les organismes vivants

Certaines substances peuvent rester actives pendant plusieurs années, ce qui augmente leur impact à long terme.

I.3.2.2.4 Types de contamination chimique

La contamination chimique des milieux aquatiques ne se limite pas à la simple présence de polluants dans l'eau. Elle implique également des processus biologiques et physico-chimiques complexes qui déterminent le devenir des substances toxiques dans les organismes vivants et leur transfert dans les écosystèmes.

Ces processus expliquent pourquoi même de faibles concentrations de polluants dans l'eau peuvent devenir extrêmement dangereuses à long terme.

Les principaux mécanismes sont : la bioconcentration, la bioaccumulation, la bioamplification et la biotransformation (Walker et al., 2012).

1. La bioconcentration

La bioconcentration est un processus par lequel une substance chimique présente dans l'environnement (principalement dans l'eau) pénètre directement dans un organisme vivant et s'y accumule.

Ce phénomène se produit sans intervention de la chaîne alimentaire, uniquement par contact direct entre l'organisme et le milieu contaminé (Alloway, 2013).

Modes d'absorption :

- Absorption par les branchies chez les poissons
- Passage à travers la peau chez certains organismes aquatiques
- Ingestion accidentelle de particules contaminées

Caractéristiques :

- Dépend de la concentration du polluant dans l'eau
- Influence la solubilité et la nature chimique de la substance
- Plus le polluant est lipophile (soluble dans les graisses), plus il s'accumule

Exemple :

Un poisson vivant dans une eau contaminée par des métaux lourds absorbe progressivement ces substances directement par ses branchies. Boudou, A., & Ribeyre, F. (1997)

2. La bioaccumulation

La bioaccumulation correspond à l'accumulation progressive de substances toxiques dans un organisme vivant (Ramade, 2007) au cours du temps, provenant de plusieurs sources d'exposition.

Contrairement à la bioconcentration, elle prend en compte toutes les voies d'entrée :

- Eau contaminée
- Alimentation
- Contact avec les sédiments

Mécanisme :

Lorsque l'organisme absorbe une substance chimique plus rapidement qu'il ne peut l'éliminer, cette substance s'accumule dans ses tissus.

Caractéristiques :

- Processus lent et progressif
- Accumulation dans les tissus graisseux et organes vitaux
- Dépend de la durée d'exposition

Conséquences :

- Toxicité chronique
- Atteinte du système nerveux et immunitaire
- Perturbation du métabolisme

Exemple :

Un poisson accumule du mercure dans ses tissus tout au long de sa vie.

3. La bioamplification (biomagnification)

$$C_{n+1} > C_n$$

La bioamplification, également appelée biomagnification, est le processus par lequel la concentration d'un polluant augmente progressivement à chaque niveau de la chaîne alimentaire (Walker et al., 2012).

Autrement dit, plus on monte dans la chaîne alimentaire, plus la concentration du polluant devient élevée.

Mécanisme :

- Les petits organismes absorbent des faibles quantités de polluants
- Les prédateurs mangent plusieurs proies contaminées
- Les toxines s'accumulent et s'amplifient à chaque niveau trophique

Caractéristiques :

- Augmentation exponentielle de la concentration
- Très forte toxicité chez les prédateurs supérieurs
- Phénomène lié aux substances persistantes (métaux lourds, pesticides)

Exemple :

Plancton → petits poissons → gros poissons → oiseaux marins ou humains

La concentration de mercure augmente à chaque étape.

Conséquences :

- Intoxication des prédateurs
- Risques élevés pour l'homme via la consommation de poissons
- Déséquilibre de la chaîne alimentaire

4. La biotransformation

La biotransformation est le processus par lequel un organisme vivant modifie chimiquement une substance toxique absorbée afin de la rendre moins toxique ou plus facilement éliminable (Alloway, 2013).

Ce mécanisme se déroule principalement dans le foie, mais aussi dans d'autres organes.

Objectif :

- Détoxification de l'organisme
- Transformation des substances liposolubles en substances hydrosolubles

Étapes :**Phase 1 : transformation chimique**

- Oxydation
- Réduction
- Hydrolyse

Phase 2 : conjugaison

- Ajout de molécules pour faciliter l'élimination

Caractéristiques :

- Peut réduire la toxicité des substances
- Parfois, produit des métabolites encore plus toxiques
- Dépend de la capacité biologique de l'organisme

Exemple :

Certains pesticides sont transformés dans le foie en composés plus solubles, mais parfois plus dangereux.

I.3.2.2.5 Métaux lourds :

Les métaux lourds (tels que le mercure, le plomb, le cadmium ou l'arsenic) constituent des polluants particulièrement dangereux en raison de leur toxicité élevée, leur non-biodégradabilité et leur capacité à se déplacer dans différents compartiments de l'environnement. Leur comportement ne se limite pas à une simple présence dans l'eau, mais suit un cycle complexe impliquant plusieurs étapes successives qui assurent leur dispersion et leur accumulation dans les écosystèmes.

Le cycle des métaux lourds permet de comprendre comment ces substances passent de leur source initiale jusqu'aux organismes vivants, et pourquoi ils représentent un risque majeur pour la santé humaine et l'environnement (Alloway, 2013).

1. Émission des métaux lourds

L'émission représente la première étape du cycle. Elle correspond à la libération des métaux lourds dans l'environnement à partir de différentes sources naturelles et anthropiques.

Sources naturelles :

- Éruptions volcaniques
- Altération des roches
- Érosion des sols riches en minéraux

Sources anthropiques (principales) :

- Activités industrielles (sidérurgie, métallurgie, chimie)
- Exploitation minière
- Rejets des centrales thermiques
- Eaux usées domestiques et industrielles
- Utilisation de pesticides et engrais contaminés

Caractéristiques de l'émission :

- Souvent continue dans le temps

- Peut être ponctuelle (accident industriel) ou diffuse
- Introduction dans l'air, l'eau et le sol simultanément

2. Transport des métaux lourds

Une fois libérés, les métaux lourds sont transportés dans l'environnement par différents mécanismes physiques et chimiques. Boudou, A., & Ribeyre, F. (1997).

Modes de transport :

Transport atmosphérique :

- Dispersion sous forme de particules ou de vapeurs
- Retombées par pluie (dépôt humide) ou poussières (dépôt sec)

Transport hydrique :

- Transport par les rivières et les eaux de ruissellement
- Dissolution ou fixation sur les particules en suspension

Transport dans les sols :

- Migration lente vers les couches profondes
- Adsorption sur les particules argileuses et organiques

Facteurs influençant le transport :

- pH du milieu
- Température
- Présence de matière organique
- Courants d'eau et conditions climatiques

3. Accumulation des métaux lourds

L'accumulation correspond au stockage progressif des métaux lourds dans les différents compartiments de l'environnement.

Où s'accumulent-ils ?**Dans les sédiments :**

- Zone principale de stockage
- Fixation sur les particules fines
- Réservoir à long terme de pollution

Dans les sols :

- Accumulation progressive par infiltration
- Persistance pendant plusieurs décennies

Dans les organismes vivants :

- Bioaccumulation dans les tissus
- Concentration élevée dans le foie, les reins et les muscles

Caractéristiques :

- Processus lent mais continu
- Difficulté d'élimination naturelle

Risque de remobilisation en cas de changement de conditions environnementales (Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). "

4. Transfert alimentaire (chaîne trophique)

$$C_{\text{trophic level } n+1} > C_{\text{trophic level } n}$$

Le transfert alimentaire est une étape cruciale du cycle des métaux lourds. Il correspond à la transmission progressive des contaminants à travers la chaîne alimentaire, entraînant une augmentation de leur concentration (Walker et al., 2012) à chaque niveau trophique.

Mécanisme :

- Les micro-organismes et le phytoplancton absorbent les métaux lourds présents dans l'eau
- Les petits poissons consomment ces organismes contaminés
- Les grands poissons se nourrissent des petits poissons

Les prédateurs supérieurs (oiseaux, mammifères, humains) accumulent des concentrations très élevées Gray, J. S. (2002). "

Phénomène associé : biomagnification

- Augmentation de la concentration des métaux lourds à chaque niveau
- Les prédateurs supérieurs sont les plus exposés

Exemple :

Plancton → petits poissons → gros poissons → humain

Le mercure devient de plus en plus concentré à chaque étape. (Morel, F. M., Kraepiel, A. M., & Amyot, M. (1998).

Conséquences :

- Intoxication alimentaire
- Maladies neurologiques (cas du mercure)
- Risques graves pour la santé humaine
- Déséquilibre de la chaîne alimentaire

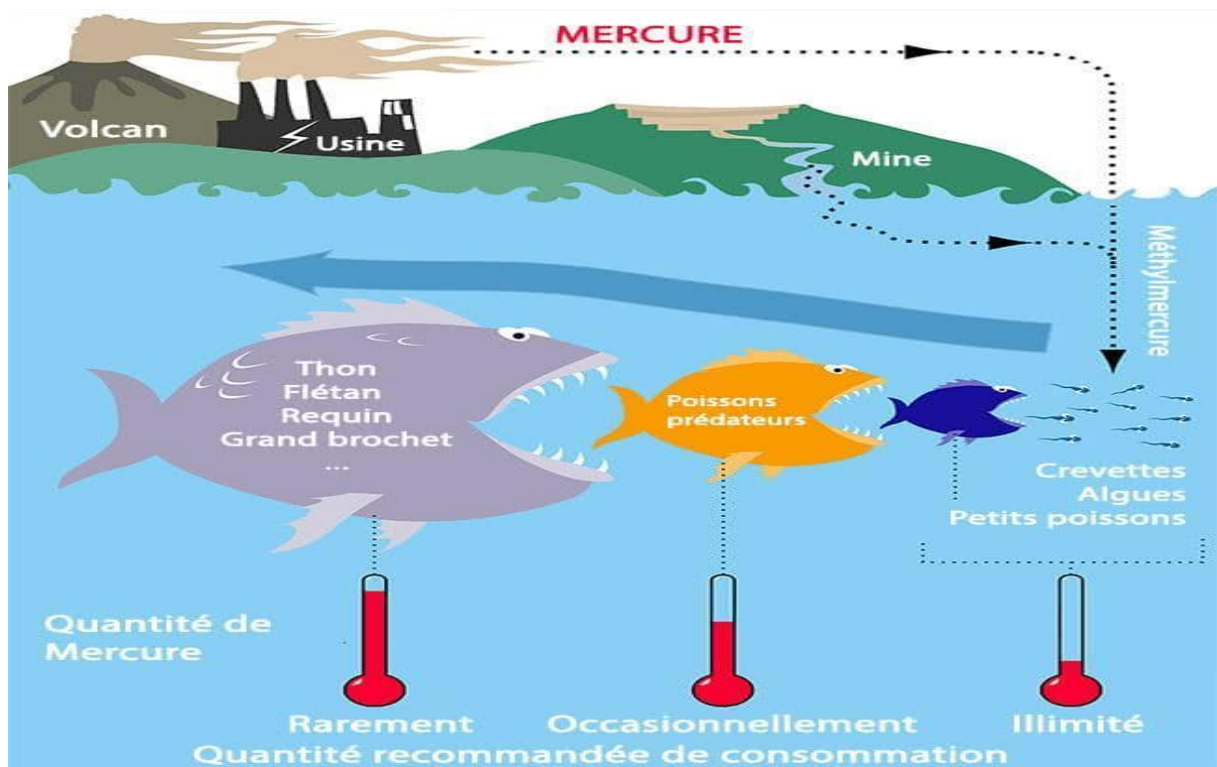


FIGURE 6: SCHEMA GLOBAL SIMPLIFIE DU CYCLE DES METAUX LOURDS SOURCE (ALLOWAY, B. J. (2013).

I.3.2.2.6 Les sels nutritifs

Les sels nutritifs sont des composés minéraux indispensables au développement et au bon fonctionnement des organismes vivants, en particulier dans les écosystèmes aquatiques. Ils jouent un rôle fondamental dans les processus biologiques tels que la croissance des plantes aquatiques (FAO, 2020), la photosynthèse et la production primaire.

Les principaux sels nutritifs présents dans les milieux aquatiques sont essentiellement :

- les nitrates (NO_3^-)
- les nitrites (NO_2^-)
- les ammoniums (NH_4^+)
- les phosphates (PO_4^{3-})
- et certains ions minéraux (potassium, calcium, magnésium)

Dans des conditions naturelles équilibrées, ces éléments sont présents en faibles concentrations, permettant un fonctionnement stable de l'écosystème. Cependant, lorsque leur concentration augmente de manière excessive à cause des activités humaines, ils deviennent des agents de pollution responsables de graves déséquilibres écologiques, notamment le phénomène d'eutrophisation. Lalli, C. M., & Parsons, T. R. (1997)

❖ Origine des sels nutritifs dans les milieux aquatiques

Les sels nutritifs proviennent de plusieurs sources, naturelles et anthropiques:

Sources naturelles :

- Décomposition de la matière organique (feuilles, animaux morts)
- Érosion des sols riches en minéraux
- Activité biologique des micro-organismes

Sources anthropiques (principales responsables de l'excès) :

- Utilisation intensive d'engrais agricoles riches en nitrates et phosphates
- Rejets d'eaux usées domestiques
- Détergents contenant des phosphates
- Effluents industriels

Élevage intensif (déjections animales riches en azote) Galloway, J. N., et al. (2008).

❖ Comportement des sels nutritifs dans l'environnement

Les sels nutritifs sont très solubles dans l'eau, ce qui facilite leur transport et leur diffusion dans les milieux aquatiques.

Ils peuvent :

- Être transportés par le ruissellement des eaux de pluie
- S'infiltrer dans les nappes phréatiques
- Se concentrer dans les rivières, lacs et zones côtières

Être rapidement assimilés par les algues et plantes aquatiques (Heathwaite, A. L., & Dils, R. M. (2000)

❖ Rôle écologique normal des sels nutritifs

Dans un écosystème équilibré, les sels nutritifs jouent un rôle essentiel :

- Ils permettent la croissance des végétaux aquatiques
- Ils participent à la production primaire (base de la chaîne alimentaire)
- Ils assurent le maintien de la biodiversité aquatique

Ils soutiennent les cycles biologiques naturels (cycle de l'azote et du phosphore) (Lalli, C. M., & Parsons, T. R. (1997).

❖ Excès de sels nutritifs et déséquilibre écologique

Lorsque la concentration en sels nutritifs devient trop élevée, l'écosystème entre dans un état de déséquilibre appelé eutrophisation.

Étapes du déséquilibre :

1. Enrichissement excessif du milieu

- Apport massif de nitrates et phosphates
- Déséquilibre du cycle naturel des nutriments

2. Prolifération des algues

- Développement rapide du phytoplancton

- Formation de couches épaisses d'algues à la surface de l'eau

3. Réduction de la lumière

- Blocage de la pénétration lumineuse
- Mort des plantes aquatiques profondes

4. Consommation de l'oxygène

- Décomposition des algues mortes
- Diminution de l'oxygène dissous

5. Dégradation de l'écosystème

- Mort des poissons et organismes aquatiques
- Apparition de zones mortes (anoxie)

❖ Impacts environnementaux des sels nutritifs en excès**Sur les milieux aquatiques :**

- Déséquilibre des chaînes alimentaires
- Perte de biodiversité
- Dégradation de la qualité de l'eau
- Prolifération d'algues toxiques (cyanobactéries)

Sur la santé humaine :

- Contamination de l'eau potable
- Risque de maladies (nitrates dans l'eau)
- Production de toxines dangereuses

Sur les activités économiques :

- Réduction de la pêche
- Dégradation des zones touristiques
- Augmentation des coûts de traitement de l'eau (PNUE, 2021)

I.3.2.3 Pollution biologique



FIGURE 7: OPERATION DE PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS D'EAU AU NIVEAU DE LA ZONE D'ETUDE A L'AIDE D'UN FLACON STERILE (MASON 2002).

La pollution biologique correspond à la présence et à la prolifération de micro-organismes pathogènes dans les milieux aquatiques (Mason, 2002). Ces micro-organismes peuvent être des bactéries, des virus, des protozoaires ou encore des parasites capables de provoquer des maladies chez l'homme et les animaux.

Cette forme de pollution est principalement liée aux rejets d'eaux usées domestiques, aux déchets d'élevage, ainsi qu'aux défaillances des systèmes d'assainissement (PNUE, 2021).

Caractéristiques :

- Présence de micro-organismes pathogènes
- Transmission par l'eau contaminée
- Risque sanitaire élevé
- Dépend fortement de l'hygiène et du traitement des eaux

Effets :

- Maladies hydriques (choléra, typhoïde, hépatite A)
- Contamination de l'eau potable
- Épidémies dans les zones mal assainies

I.3.2.4 Pollution organique

La pollution organique est causée par la présence excessive de matière organique biodégradable dans l'eau (Ramade, 2007), provenant principalement des rejets domestiques, agricoles et industriels.

Cette matière organique est décomposée par des micro-organismes, processus qui consomme une grande quantité d'oxygène dissous (Clark, 2001) dans l'eau.

Caractéristiques :

- Présence de matières organiques (déchets alimentaires, excréments, résidus végétaux)
- Forte activité bactérienne
- Consommation importante d'oxygène (DBO élevée)

Effets :

- Diminution de l'oxygène dissous
- Mort des poissons et organismes aquatiques
- Apparition de mauvaises odeurs
- Dégradation de la qualité de l'eau

I.3.2.5 Pollution physique

La pollution physique correspond à la modification des caractéristiques physiques de l'eau, notamment sa transparence, sa turbidité (Clark, 2001) et sa composition en matières solides en suspension.

Elle est généralement causée par les rejets de particules solides, l'érosion des sols et les activités humaines.

Caractéristiques :

- Présence de particules solides en suspension
- Augmentation de la turbidité
- Modification de la couleur de l'eau
- Réduction de la pénétration de la lumière

Effets :

- Diminution de la photosynthèse aquatique
- Perturbation des habitats des organismes
- Envasement des milieux aquatiques
- Réduction de la qualité de l'eau (Ramade, 2007)

I.3.2.6 Pollution thermique

La pollution thermique est due à l'augmentation anormale de la température des eaux naturelles, principalement causée par les rejets d'eaux chaudes provenant des centrales électriques (Walker et al., 2012) et des industries.

Caractéristiques :

- Augmentation de la température de l'eau
- Modification des propriétés physico-chimiques
- Diminution de la solubilité de l'oxygène

Effets :

- Réduction de l'oxygène dissous
- Stress thermique chez les organismes aquatiques
- Migration ou disparition des espèces sensibles
- Perturbation des écosystèmes (Clark, 2001)

I.3.2.7 Pollution nucléaire

La pollution nucléaire correspond à la présence de substances radioactives dans l'eau, l'air ou le sol (AIEA, 2020).. Elle est généralement liée aux activités nucléaires, aux accidents industriels ou à une mauvaise gestion des déchets radioactifs.

Caractéristiques :

- Présence d'isotopes radioactifs
- Rayonnements ionisants dangereux
- Persistance très longue dans l'environnement

Effets :

- Mutations génétiques
- Cancers et maladies graves
- Contamination durable des écosystèmes
- Effets à long terme sur la biodiversité

I.3.2.8 Pollution mécanique

La pollution mécanique est causée par l'accumulation de déchets solides dans les milieux aquatiques. Elle inclut principalement les plastiques (PNUE, 2021), les débris industriels, les objets flottants et les déchets urbains.

Caractéristiques :

- Présence visible de déchets solides
- Accumulation en surface ou sur les berges
- Dégradation lente des matériaux (surtout plastiques)

Effets :

- Obstruction des cours d'eau
- Mort des animaux par ingestion ou enchevêtrement
- Formation de microplastiques
- Dégradation esthétique des milieux naturels
- Perturbation des écosystèmes aquatiques (Clark, 2001)

Conclusion

La pollution du milieu marin est principalement causée par les activités humaines, notamment industrielles, agricoles et urbaines. Elle se manifeste par la présence de polluants chimiques, biologiques et physiques comme les métaux lourds, les hydrocarbures et les nutriments. Ces substances perturbent les écosystèmes marins à travers des phénomènes comme l'eutrophisation et la bioaccumulation. Elles entraînent des impacts graves tels que la perte de biodiversité, la dégradation de la qualité de l'eau et des risques pour la santé humaine.

CHAPITRE II : DESCRIPTION DE LA ZONE D'OUED EL MACTAA

Introduction

La zone d'Oued El Mactaa représente un écosystème naturel d'une grande importance écologique dans l'ouest algérien. Située à l'interface entre le domaine continental et le domaine marin, elle constitue un espace de transition caractérisé par une forte dynamique hydrologique et une richesse biologique remarquable. Cette zone humide est alimentée principalement par plusieurs oueds, dont les plus importants sont l'Oued Mecta et l'Oued Sig, qui drainent des bassins versants étendus et transportent des eaux chargées en sédiments et en éléments chimiques (Direction Générale des Forêts, 2014).

En raison de sa position stratégique à proximité de la mer Méditerranée et des zones industrielles importantes comme Arzew, Oued El Mactaa est soumis à des pressions environnementales croissantes. Les activités humaines, telles que l'agriculture intensive, l'urbanisation et les rejets industriels, contribuent à la dégradation progressive de la qualité de l'eau et des habitats naturels.

L'objectif de ce chapitre est de présenter une description détaillée de la zone d'étude, en mettant en évidence ses caractéristiques géographiques, géologiques, hydrologiques et biologiques, ainsi que son importance écologique et les menaces qui pèsent sur elle.



FIGURE 8: LA ZONE D'OUED EL MACTA (LA DIRECTION GENERALE DES FORETS. (2014)

II.1 Description de la zone humide

La zone humide d'Oued El Macta est caractérisée par une mosaïque d'écosystèmes comprenant des marais, des lagunes, des zones inondables et une embouchure ouverte sur la mer.

Ces milieux sont soumis à des variations saisonnières importantes liées aux précipitations, aux apports fluviaux et aux influences marines.

Les zones humides jouent un rôle fondamental dans l'équilibre environnemental. (BELHACHEMI.2015)

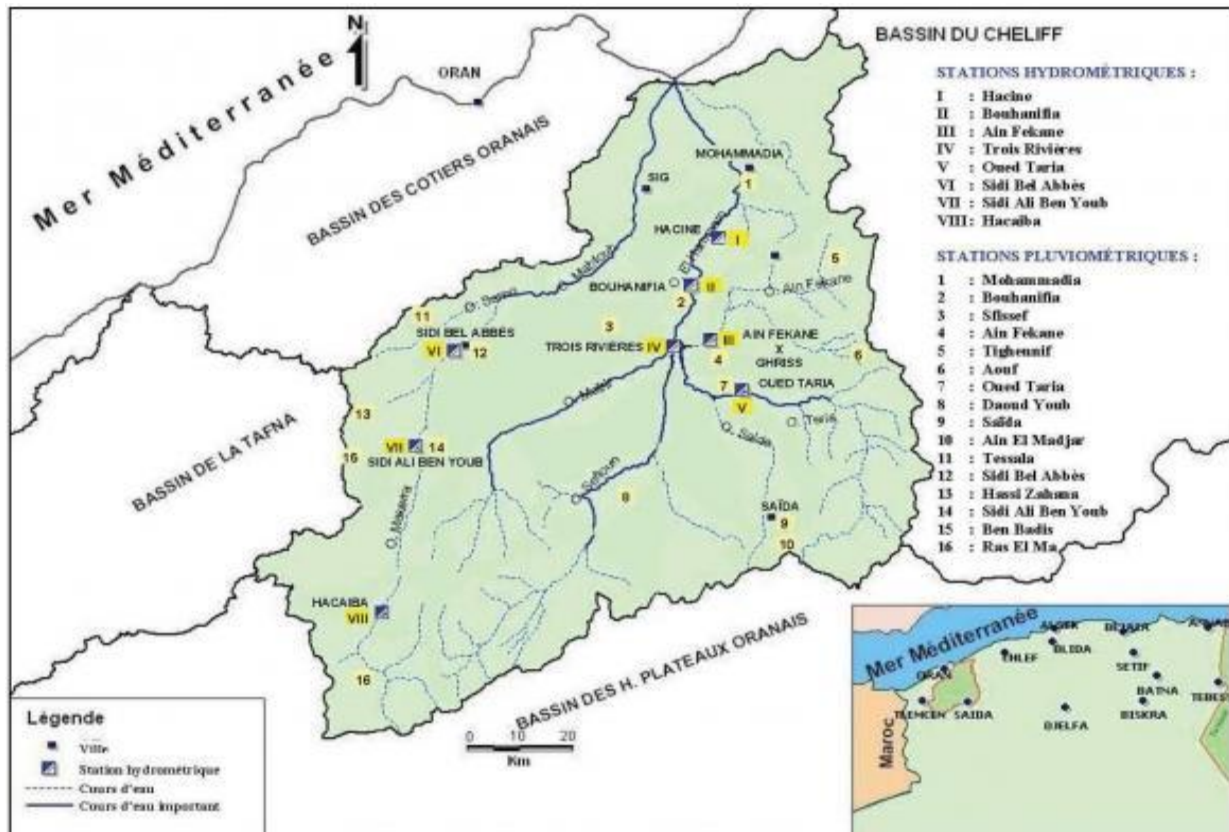


FIGURE 9: LOCALISATION DE LA ZONE HUMIDE MACTA (DAPRES GHODBANI T ET AMOKRANE K 2013)

Dans le cas d'Oued El Macta, elles assurent plusieurs fonctions écologiques essentielles :

- Régulation du régime hydrologique : elles absorbent les excès d'eau en période de crue et les restituent progressivement.
- Épuration naturelle : les plantes aquatiques et les micro-organismes contribuent à la filtration des polluants.
- Habitat biologique : elles offrent un refuge pour de nombreuses espèces animales et végétales.
- Protection contre l'érosion : elles stabilisent les sols et limitent les effets des courants.

Ces caractéristiques font de cette zone un écosystème fragile mais indispensable Source(tafer ;1993)

❖ Critères d'inscription

La zone d'Oued El Mactaa présente des caractéristiques qui répondent aux critères internationaux de classification des zones humides d'importance écologique, notamment ceux définis par la Convention de Ramsar (Direction Générale des Forêts, 2014).

Parmi ces critères, on peut citer :

- La présence d'une diversité biologique élevée, incluant des espèces rares ou menacées.
- Son rôle en tant que site d'accueil pour les oiseaux migrateurs, notamment pendant les périodes de migration entre l'Europe et l'Afrique.
- Son importance dans le cycle de reproduction de nombreuses espèces aquatiques.
- Sa contribution au maintien des équilibres écologiques régionaux.

Ces éléments justifient l'intérêt scientifique et environnemental de cette zone.

- Des étés chauds et secs
- Des hivers doux et relativement humides
- Des précipitations irrégulières

La proximité de la mer influence fortement les conditions climatiques, notamment en termes d'humidité et de salinité (Direction Générale des Forêts, 2014).

Le sol est principalement constitué de dépôts alluviaux riches en matières organiques, ce qui favorise le développement d'une végétation abondante. Cependant, ces sols peuvent également accumuler des polluants transportés par les eaux.

II.3 Caractères géologiques

La structure géologique de la région d'Oued El Mactaa est dominée par des formations sédimentaires récentes issues de dépôts alluviaux. Ces formations comprennent principalement :

- Des argiles
- Des limons
- Des sables fins

Ces matériaux sont transportés par les cours d'eau et déposés dans la plaine, formant des couches successives.

Les caractéristiques géologiques influencent directement :

- La perméabilité des sols
- La circulation des eaux souterraines
- La capacité de rétention des polluants

Les sols argileux, par exemple, ont une forte capacité à retenir les substances chimiques, ce qui peut entraîner une accumulation de polluants dans le milieu (Khelifi & Benaissa, 2019).

❖ La flore

La flore de la zone d'Oued El Mactaa est adaptée aux conditions particulières des zones humides et salines. On y trouve principalement des plantes halophytes capables de résister à des concentrations élevées en sel (Bensaoula & Houhamdi, 2018).

Parmi les espèces végétales dominantes :

- Les roseaux (Phragmites)
- Les joncs
- Les plantes aquatiques
- Les herbes salines

Cette végétation joue un rôle écologique majeur en contribuant à :

- L'oxygénation de l'eau
- La stabilisation des sols
- La filtration des polluants
- La protection des habitats

❖ **La faune**

La faune de cette région est particulièrement diversifiée en raison de la richesse des habitats disponibles (Bensaoula & Houhamdi, 2018). Elle comprend :

- Des espèces terrestres
- Des espèces aquatiques
- Des espèces semi-aquatiques

La diversité faunistique est un indicateur important de la qualité écologique du milieu.

❖ **Les mammifères**

Les mammifères présents dans la région sont principalement de petite taille et adaptés aux milieux humides. On peut citer :

- Les rongeurs
- Les petits carnivores
- Certains insectivores

Ces espèces jouent un rôle important dans la chaîne alimentaire et la régulation des populations.

❖ Les reptiles

Les reptiles sont bien représentés dans la zone en raison des conditions climatiques favorables. Ils comprennent :

- Des serpents
- Des lézards
- Des tortues

Ces espèces contribuent à l'équilibre écologique en contrôlant certaines populations d'insectes et de petits animaux.

❖ Les oiseaux

La zone d'Oued El Mactaa est reconnue comme un site important pour l'avifaune, notamment les oiseaux migrateurs. Elle constitue une halte essentielle pour de nombreuses espèces (Direction Générale des Forêts, 2014).

Parmi les oiseaux observés :

- Flamants roses
- Hérons
- Canards sauvages
- Limicoles

Ces oiseaux utilisent la zone pour :

- Se nourrir
- Se reproduire
- Se reposer pendant les migrations

❖ Les poissons

Les eaux de l'oued et de l'embouchure abritent plusieurs espèces de poissons adaptées à des conditions de salinité variables.

On distingue :

- Les poissons d'eau douce

- Les poissons d'eau saumâtre

Ces espèces sont importantes sur le plan écologique et économique.

II.4 Embouchure d'Oued El Macta

L'embouchure représente la zone où les eaux douces rencontrent la mer Méditerranée. Elle est caractérisée par une forte dynamique hydrologique et une variabilité importante de la salinité (Baba Ahmed & Taleb, 2016).

Cette zone est marquée par :

- Des échanges permanents entre eau douce et eau salée
- Une accumulation de sédiments
- Une biodiversité spécifique

Elle constitue un milieu sensible aux perturbations environnementales.

❖ Situation d'Oued El Mactaa

Situé entre Oran et Mostaganem, Oued El Mactaa occupe une position stratégique dans le réseau hydrographique régional. Il reçoit les apports de plusieurs bassins versants, ce qui en fait une zone de convergence hydrologique.

Cependant, cette position le rend également vulnérable à différentes sources de pollution :

- Rejets industriels
- Activités agricoles (engrais, pesticides)
- Eaux usées domestiques

Conclusion

La zone d'Oued El Mactaa constitue un écosystème complexe, riche et dynamique, caractérisé par une grande diversité biologique et des conditions naturelles spécifiques. Toutefois, elle est soumise à de nombreuses pressions anthropiques qui menacent son équilibre écologique.

Une meilleure compréhension de ses caractéristiques physiques, chimiques et biologiques est essentielle pour mettre en place des stratégies de gestion durable et de protection de cet environnement fragile.

CHAPITRE III :

ÉTUDE DES PARAMETRES

PHYSICO-CHIMIQUES

Introduction

L'eau constitue un élément fondamental pour la vie sur Terre et joue un rôle essentiel dans les équilibres écologiques et environnementaux. L'étude des caractéristiques physico-chimiques de l'eau, en particulier de l'eau de mer, permet de mieux comprendre les interactions entre les différents paramètres naturels et les activités humaines.

Les propriétés physico-chimiques sont des indicateurs essentiels pour évaluer la qualité de l'eau, détecter les anomalies et identifier les sources potentielles de pollution. Elles permettent également de suivre l'évolution temporelle et spatiale des milieux aquatiques.

Dans ce chapitre, nous présentons une étude détaillée des paramètres physico-chimiques ainsi que des principaux indicateurs de pollution utilisés pour caractériser l'état des eaux.

III.1 Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer

III.1.1 Paramètres physico-chimiques

- **Potentiel d'hydrogène (pH)**

Le pH exprime le degré d'acidité ou de basicité de l'eau. L'eau de mer est généralement légèrement alcaline, avec un pH compris entre 7,5 et 8,5 (Boyd, 2015).

Le pH influence :

- La solubilité des métaux lourds
- La toxicité des polluants
- Les réactions chimiques
- L'équilibre des organismes vivants

Une variation du pH peut indiquer :

- Une pollution chimique
- Une eutrophisation
- Une modification des conditions naturelles

- **Température**

La température est l'un des paramètres les plus influents dans les milieux aquatiques. Elle agit directement sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques de l'eau (Wetzel, 2001).

Elle influence notamment :

- La solubilité des gaz (diminution de l'oxygène dissous lorsque la température augmente)
- La densité de l'eau, ce qui conditionne les mouvements des masses d'eau
- La cinétique des réactions chimiques
- L'activité biologique des micro-organismes et des espèces marines

Dans le milieu marin, la température varie selon :

- Les saisons (plus élevée en été)
- La profondeur (diminution avec la profondeur)
- La latitude et la localisation géographique

Une élévation anormale de la température peut être liée à une pollution thermique (rejets industriels) et peut provoquer un stress écologique pour les organismes aquatiques.

• Conductivité électrique

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique, ce qui dépend directement de la concentration en ions dissous (Hem, 1985).

Elle est influencée par :

- La salinité
- La température
- La nature des ions présents

Une conductivité élevée indique une forte minéralisation de l'eau. Ce paramètre est souvent utilisé comme indicateur global de la qualité chimique de l'eau.

III.1.2 Paramètres de pollution

• Turbidité

La turbidité est une mesure optique qui traduit le degré de trouble de l'eau dû à la présence de particules en suspension (Chapman, 1996).

Causes de la turbidité :

- Forte concentration de MES

- Développement de micro-organismes
- Pollution organique et industrielle
- Remaniement des sédiments

Conséquences :

- Diminution de la pénétration lumineuse
- Réduction de la photosynthèse
- Perturbation des chaînes alimentaires
- Altération de l'habitat des espèces aquatiques

• Les sels nutritifs

○ Nitrites (NO_2^-)

Les nitrites sont des composés intermédiaires dans le cycle de l'azote.

Caractéristiques :

- Instables
- Très toxiques

Indication :

- Pollution en cours
- Mauvais traitement des eaux
- Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates représentent la forme finale de l'oxydation de l'azote.

Sources :

- Engrais agricoles
- Infiltration dans les eaux

Effets :

- Eutrophisation
- Déséquilibre écologique

• Oligo-éléments et métaux lourds

Les métaux lourds sont des éléments toxiques présents à faible concentration dans l'eau (Förstner & Wittmann, 2012).

Principaux métaux :

- Plomb (Pb)
- Mercure (Hg)
- Cadmium (Cd)

Caractéristiques :

- Toxicité élevée
- Non biodégradables
- Bioaccumulation dans la chaîne alimentaire

Impacts :

- Effets toxiques sur les organismes
- Risques pour la santé humaine
- Perturbation des écosystèmes

III.2 Matériels et méthodes

III.2.1 Localisation géographique des sites de prélèvement

La localisation géographique des sites de prélèvement constitue une étape essentielle dans toute étude environnementale, car elle conditionne la représentativité et la fiabilité des résultats obtenus. Dans le cadre de cette étude, les sites ont été choisis au niveau d'une zone côtière influencée à la fois par les apports continentaux (oueds, ruissellements) et les activités humaines (industrielles, urbaines et agricoles).

La zone étudiée se situe à proximité de l'embouchure d'un oued, ce qui en fait un milieu de transition entre les eaux douces et les eaux marines. Cette particularité engendre une variabilité importante des paramètres physico-chimiques, notamment en termes de salinité, de turbidité et de charge polluante.

III.2.2 Prélèvement des échantillons



FIGURE 11: VUE DU MILIEU HUMIDE DE L'OUED EL MACTA MONTRANT LA VEGETATION AQUATIQUE ET LES DEPOTS EN SURFACE DE L'EAU(BELHACHEMI,2015)

Choix des sites de prélèvement :

Les sites de prélèvement choisis afin de réaliser les analyses concernant les eaux de surface d'oued El Mactaa et de la mer .

Prélèvement :

Les échantillons d'eau ont été prélevés au niveau de trois stations : l'eau de mer, l'embouchure de l'Oued El Mactaa et l'Oued El Mactaa. Les prélèvements ont été effectués lors de trois campagnes réalisées les 26 février, 28 mars et 11 avril 2026. Les échantillons ont été collectés à une profondeur d'environ 30 cm dans des flacons en plastique préalablement rincés trois fois avec l'eau du site. Les conditions hydrologiques et climatiques observées au moment des prélèvements sont présentées dans le tableau correspondant. Les échantillons ont ensuite été conservés dans des glacières à 4 °C et transportés au laboratoire pour analyse.

Echantiollange

Les échantillons sont prélevés au niveau des trois sites :

1. L'eau de la mer
2. L'embouchure d'oued el Mactaa.
3. Profondeur d'oued el Mactaa.

Les échantillons sont transportés dans une glacière isotherme (4°C)

Les Sites	La Date	Heure	État de la mer	Climat	T (°C)
L'eau de la mer	Les prélèvements se font sur des dates suivantes : 26/02/2026 28/03/2026 11/04/2026	13 :02	Nuageux	Journée ensoleillée	15°C
L'embouchure d'Oued El Mactaa		14 :42	ensoleillé	Journée nuageuse	22°C
L'Oued El Mactaa		15 :06	nuageux	Journée ensoleillée	21°C

- Matériel utilisé

1. Verrerie et petit matériel :

- Bêchers (pour les prélèvements et les analyses).
- Fioles jaugées (pour la préparation des solutions).
- Entonnoirs.
- Pipettes.
- Burette (utilisée pour les dosages titrimétriques).
- Verres de montre.
- Flacons stériles (spécifiquement utilisés pour le prélèvement des échantillons d'eau sur le terrain).

2. Appareillages de mesure :

- pH-mètre électronique (pour la mesure du potentiel hydrogène).
- Conductimètre (pour mesurer la conductivité électrique).

- Turbidimètre (appareil utilisé pour mesurer la turbidité).
- Thermomètre numérique (pour la mesure de la température sur le terrain).
- Spectrophotomètre (appareil utilisé pour les analyses spectrophotométriques, comme pour les nitrites et nitrates).
- Balance électronique de précision (pour peser les réactifs nécessaires à la préparation des solutions).
- Étuve (utilisée généralement pour le séchage de la verrerie ou des échantillons).



FIGURE 12: PRELEVEMENT D'UN ECHANTILLON D'EAU AU NIVEAU DE LA ZONE D'ETUDE (OUED EL MACTA) POUR ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE.

Source : B. Nourhane et B. Aicha, 2025.



FIGURE 13: ÉTAT HYDROLOGIQUE DE L'OUED LE 26/02/2026 (ABSENCE D'ÉCOULEMENT)

Source : B. Nourhane et B. Aicha, 2025.



FIGURE 14: ÉTAT HYDROLOGIQUE DE L'OUED LE 28/03/2026 (DEBIT ELEVE)

Source : B. Nourhane et B. Aicha, 2025.



FIGURE 15: ÉTAT HYDROLOGIQUE DE L'OUED LE 11/04/2026 (DEBIT MODERE) SOURCE BOUDJNAAH NOURHANE ET BOUDRAF AICHA

III.2.3 Mode opératoire

Le mode opératoire regroupe l'ensemble des techniques et procédures utilisées pour la mesure et l'analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer. Afin de garantir la fiabilité et la reproductibilité des résultats, toutes les analyses ont été réalisées selon des méthodes normalisées reconnues (ISO, AFNOR), en respectant des conditions strictes de manipulation et de mesure (Apha, 2017).

Les analyses ont été effectuées directement dans laboratoire d'analyses de université lita

- Analyses physico-chimiques

1. Température

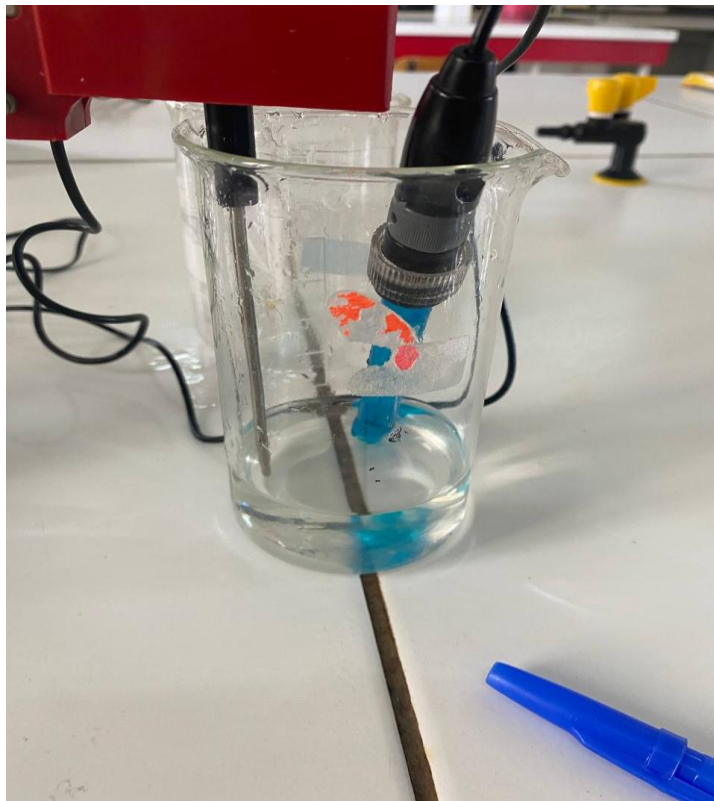


FIGURE 16: THERMOMETRE NUMERIQUE SOUCES (BOUDJNAAH NOURHANE ET BOUDRAF AICHA 2026)

La température a été mesurée directement sur le terrain afin d'éviter toute modification liée au transport des échantillons.

- Température : mesurée à l'aide d'un thermomètre immergé directement dans l'eau pendant quelques minutes jusqu'à stabilisation de la valeur.

2. Conductivité électrique



FIGURE 17: MESURE DE LA QUALITE DE L'EAU AVEC UN CONDUCTIMETRE .SOURCES (BOUJNAAH NOURHANE ET BOUDRAF AICHA 2026)

La conductivité électrique a été mesurée à l'aide d'un conductimètre équipé d'une sonde immergée dans l'échantillon.

Principe :

La conductivité dépend de la capacité de l'eau à transporter un courant électrique, elle-même liée à la concentration en ions dissous.

Procédure :

- Calibration de l'appareil avant utilisation
- Rinçage de la sonde avec l'eau à analyser
- Immersion de la sonde jusqu'à stabilisation

Importance :

- Indicateur global de minéralisation
- Permet de détecter une pollution chimique

3. pH

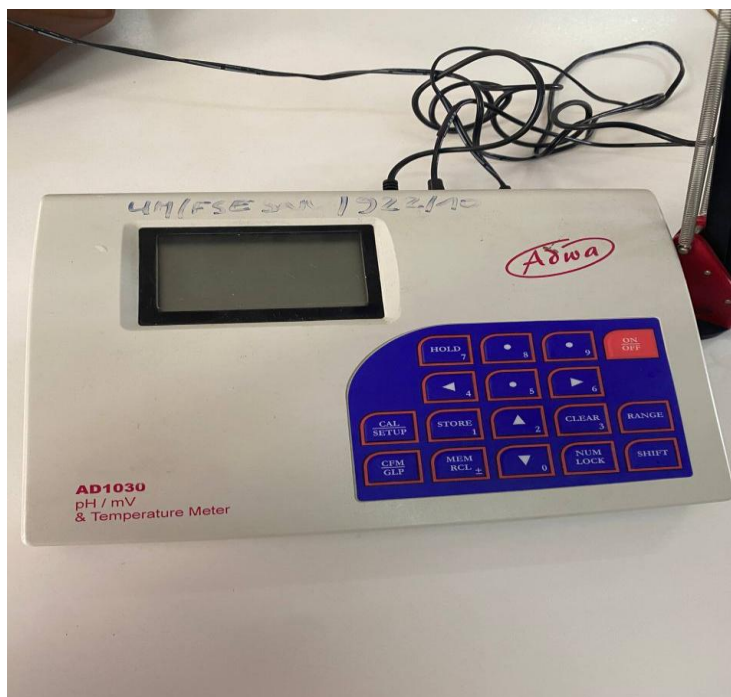


FIGURE 18: pH-METRE ELECTRONIQUE ; SOURCE (BOUDJNAAH NOORHANE ET BOUDRAF AICHA 2026)

Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre électronique.

Principe :

Le pH mesure l'activité des ions hydrogène (H^+) dans l'eau.

Procédure :

- Calibration avec des solutions tampons (pH 4, 7, 10)
- Rinçage de l'électrode
- Mesure directe dans l'échantillon

Importance :

- Indique l'acidité ou l'alcalinité
- Influence la toxicité des métaux
- Affecte les réactions biologiques

4. La turbidité :

Est un indice de la présence de particules en suspension dans l'eau. Elle est déterminée à l'aide d'un turbidimètre.

Mode opératoire :

- 1) Étalonnez le turbidimètre avec une solution standard de turbidité connue.
- 2) Préparez l'échantillon de liquide à tester.
- 3) Versez l'échantillon dans la cuve de mesure jusqu'au niveau.
- 4) Assurez-vous que la cuve est propre et exempte de rayures.
- 5) Allumez le turbidimètre et attendez qu'il se stabilise.
- 6) Placez la cuve de mesure dans le turbidimètre et fermez le couvercle.
- 7) Lancez la mesure en appuyant sur le bouton approprié.
- 8) Attendez que le turbidimètre affiche la valeur de la turbidité.
- 9) Enregistrez la valeur de la turbidité et répétez la mesure pour vérifier le résultat.
- 10) Nettoyez soigneusement la cuve de mesure après chaque utilisation pour éviter toute contamination croisée avec d'autres échantillons.



FIGURE 19: APPAREIL DE TURBIDIMETRE SOURCE (BOUDJNAAH NOURHANE ET BOUDRAF AICHA 2026)

Dosage de Nitrite NO₂ :**Principe :**

Les nitrites sont dosés à l'aide de la méthode spectrophotométrique (Rodier, J; 1978)

Réactifs :

- 1- Acide chlorhydrique dilué à 10 %.
- 2- Solution de sulfanilamide (1g de sulfanilamide et 100 ml de Acide chlorhydrique dilué à 10% .
- 3- Solution de di chlorhydrate N (1-naphtyl) – éthylène diamine à 0.1% .
- 4- Eau artificielle .
- 5- Solution mère étalon d'azote nitreux à 100 mg/l .
- 6- Solution fille étalon d'azote nitreux à 1 mg/l.

Mode opératoire :

- Introduire 50 ml de l'eau de mer à analyser dans une fiole jaugée.
- En suite ajouter 50 ml de L'eau artificielle et 1ml de Solution de sulfanilamide, agiter le tout vigoureusement et attendre 5 Minutes.
- ajouter 1 ml de Solution de di chlorhydrate N (1-naphtyl) –éthylène diamine à 0.1% laisser la Reposer pendant 5 minutes.
- Effectuer la lecture dans une longueur d'onde 534 nm dans une cuve de 5 Ou 10 cm.

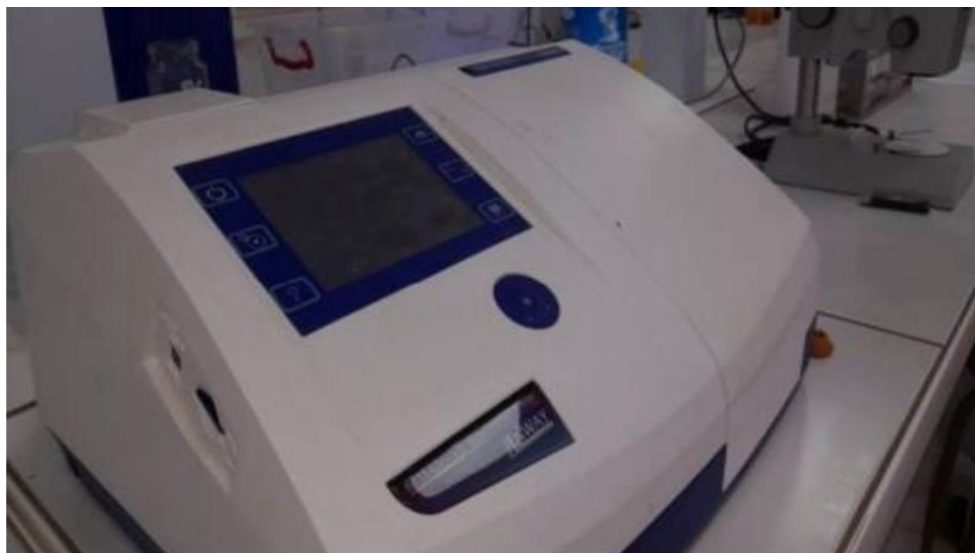


FIGURE 20: APPAREIL SPECTROPHOTOMETRE SOURCE (BOUDJNAH NOURHANE ET BOUDRAF AICHA2026)

Dosage des nitrates (NO_3^-) par la méthode au salicylate de sodium**Principe :**

Avec le salicylate de sodium en milieu acide pour former un composé jaune dont l'intensité Les nitrates réagissent est proportionnelle à la concentration en nitrates. La mesure est effectuée au spectrophotomètre à 415 nm (Rodier et al., 2009).

Mode opératoire :

Prélever 10 mL d'échantillon et ajouter 1 mL de salicylate de sodium. Après évaporation à sec à 80 °C, ajouter 2 mL d' H_2SO_4 et laisser reposer 10 minutes. Ajouter ensuite 15 mL d'eau distillée et 15 mL de la solution de tartrate double et NaOH. Après apparition de la coloration jaune, mesurer l'absorbance à 415 nm (Rodier et al., 2009).

Étalonnage :

Une solution mère de 1000 mg/L est préparée à partir de 722 mg de nitrate de potassium dissous dans 1 L d'eau distillée. Des solutions étalons de différentes concentrations (1, 2 et 5 mg/L) sont ensuite préparées et traitées selon le même protocole afin d'établir la courbe d'étalonnage (Rodier et al., 2009)

Conclusion :

Ce chapitre a permis de présenter de manière détaillée les principaux paramètres physico-chimiques utilisés pour l'évaluation de la qualité de l'eau de mer, ainsi que les méthodes analytiques mises en œuvre pour leur détermination.

Les techniques utilisées, combinant mesures in situ et analyses en laboratoire, garantissent des résultats fiables et représentatifs de l'état du milieu marin. Ces données constituent une base essentielle pour l'analyse et l'interprétation des résultats dans les chapitres suivants, notamment en ce qui concerne l'identification des sources de pollution et l'évaluation de leur impact sur l'écosystème.

Chapitre IV : Résultats et Discussion

Introduction

Ce chapitre présente les résultats obtenus à partir des analyses physico-chimiques réalisées sur les échantillons d'eau prélevés dans les différents sites de la zone d'étude (Mer, Embouchure et Oued) durant les mois de février, mars et avril. Les paramètres étudiés concernent principalement la conductivité électrique et le pH, qui constituent des indicateurs importants de la qualité des eaux et de leur état environnemental.

L'analyse de ces paramètres permet d'évaluer les variations spatiales et temporelles des caractéristiques physico-chimiques du milieu aquatique, ainsi que d'identifier les éventuelles influences des activités anthropiques et des conditions naturelles. Les résultats sont présentés sous forme de tableaux et d'histogrammes, puis interprétés afin de mieux comprendre le fonctionnement de l'écosystème étudié et l'impact potentiel des différentes sources de pollution.

Etude qualitatif :

1. Variation du pH dans trois sites (Oued, Embouchure, Mer)

Les résultats de la mesure du pH de l'oued, de l'embouchure et de l'eau de mer sont regroupés dans le tableau suivant :

1.1. Tableau de variation du pH

LE SITE	OUED			EMBOUCHURE			L'EAU DE MER		
PARAMETRE									
MOIS	FEVRIER	MARS	AVRIL	FEVRIER	MARS	AVRIL	FEVRIER	MARS	AVRIL
PH	7,87	8,10	8,34	7,74	7,91	8,25	7,72	7,84	8,21

TABLE 1 : REPRESENTE LA VARIATION DU PH DANS TROIS SITES

1.2. Histogramme de variation du Ph

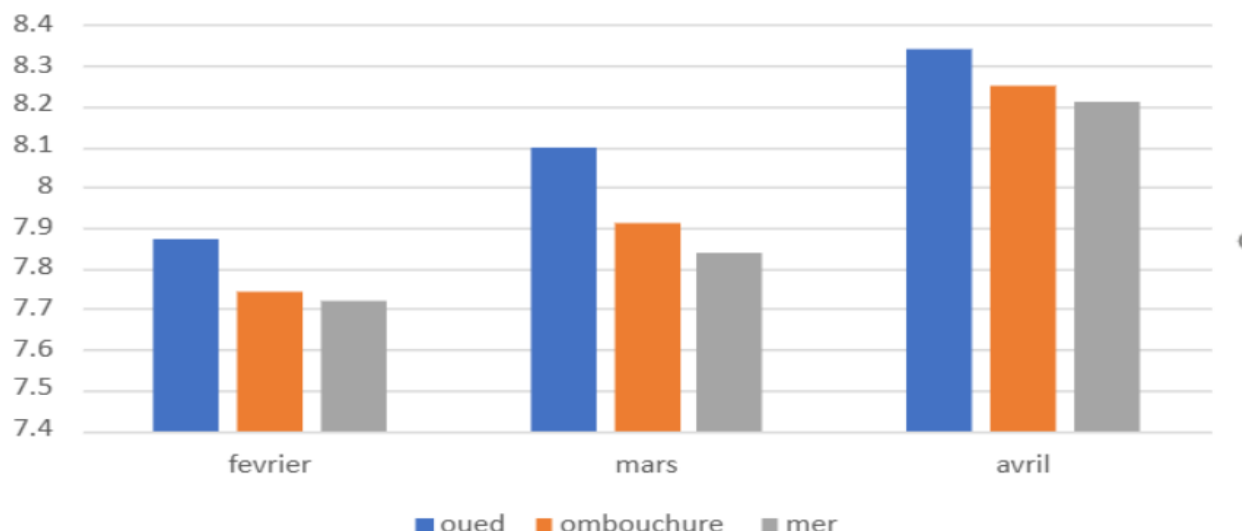


FIGURE 21: HISTOGRAMME DE VARIATION DU PH AU NIVEAU DE L'OUED, L'EAU DE MER ET EMOUCHURE

1.3. Interprétation de l'histogramme du pH :

Dans la représentation graphique ci-dessus, nous montre que les valeurs du pH se situent dans la fourchette de 7,72 et 8,34. Du mois de février au mois d'avril toutefois les valeurs révèlent une alcalinité de l'eau. On remarque que les valeurs de pH de l'oued sont légèrement supérieures à celles de l'embouchure et de l'eau de mer, avec un écart qui tend à se maintenir au cours des trois mois.

Les apports résultants des activités humaines, agglomérations, industrie et agriculture.

Les résultats montrent un pH alcalin au niveau de l'oued, de l'embouchure et de l'eau de mer. Du mois de Février à Avril le pH varie entre 7,72 et 8,34 au niveau des trois sites. Le changement climatique, la pluviométrie a un effet sur certains éléments qui se trouvent au niveau de l'oued.

Ceux-ci modifient le pH qui semble être alcalin et qui est très suggestif à la présence de microorganismes au niveau de l'oued vers l'eau de mer.

L'eau de mer est souvent influencée par de nombreux facteurs notamment les roches et le sol environnant, l'utilisation des produits chimiques qui y sont lavés ou déversé, les excréments d'animaux et les matières organiques en décomposition. Ceci implique que le pH des échantillons analysés est propice pour l'activité des microorganismes (Bobkki, 2016).

2. Variation de la température dans trois sites (Oued, Embouchure, Mer)

Les résultats de la mesure de la température de l'eau de mer et de l'embouchure d'oued el Mactaa Sont regroupés dans le tableau suivant :

2.1. Tableau de variation de température

LE SITE	OUED			EMBOUCHURE			L'EAU DE MER		
PARAMETRE									
MOIS	FEVRIER	MARS	AVRIL	FEVRIER	MARS	AVRIL	FEVRIER	MARS	AVRIL
TEMPERATURE (°C)	22,0	24,5	25,5	21,0	22,75	24,5	19,75	20,0	23,5

TABLE 2 :REPRESENTE VARIATION DE LA TEMPERATURE DANS TROIS SITES

2.2. Histogramme de variation de la température

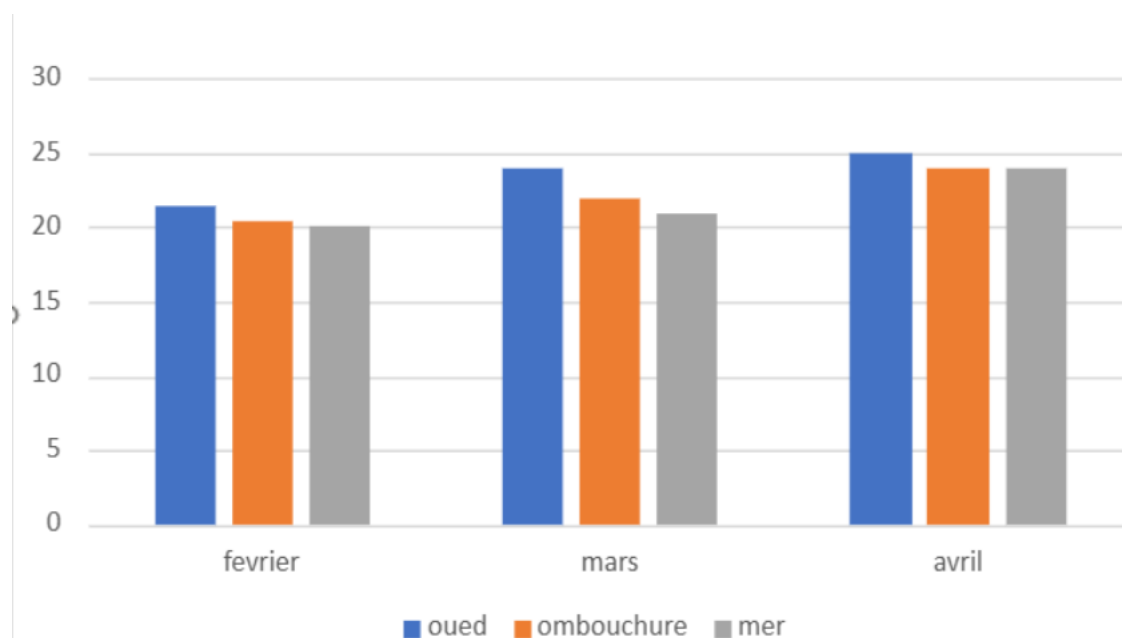


FIGURE 22: FIGURE D'HISTOGRAMME DE VARIATION DE TEMPERATURE AU NIVEAU DE MER ET EMBOUCHURE ET OUED

2.3. Interprétation de l'histogramme de la température:

Les températures relevées dans les sites d'étude (figure 22) sont très proches avec des valeurs comprises entre 19 et 25°C. Du mois de mars au mois de mai. D'après ces résultats on remarque que pour les trois prélèvements la température est saisonnière.

3. Variation de la Conductivité dans trois sites (Oued, Embouchure, Mer)

Les résultats de la mesure de la conductivité de l'eau de mer et de l'embouchure d'oued el Mactaa sont regroupés dans le tableau suivant :

3.1. Tableau de variation de la Conductivité

LE SITE	OUED (PROFONDEUR)			EMBOUCHURE			L'EAU DE MER		
PARAMETRE									
MOIS	FEVRIER	MARS	AVRIL	FEVRIER	MARS	AVRIL	FEVRIER	MARS	AVRIL
CONDUCTIVITE (MS/CM)	1610	1740	2280	1680	2150	2690	1910	2045	3180

TABLE 3: REPRESENTA LA VARIATION DE LA CONDUCTIVITE DANS TROIS SITES

3.2. Histogramme de variation de la Conductivité

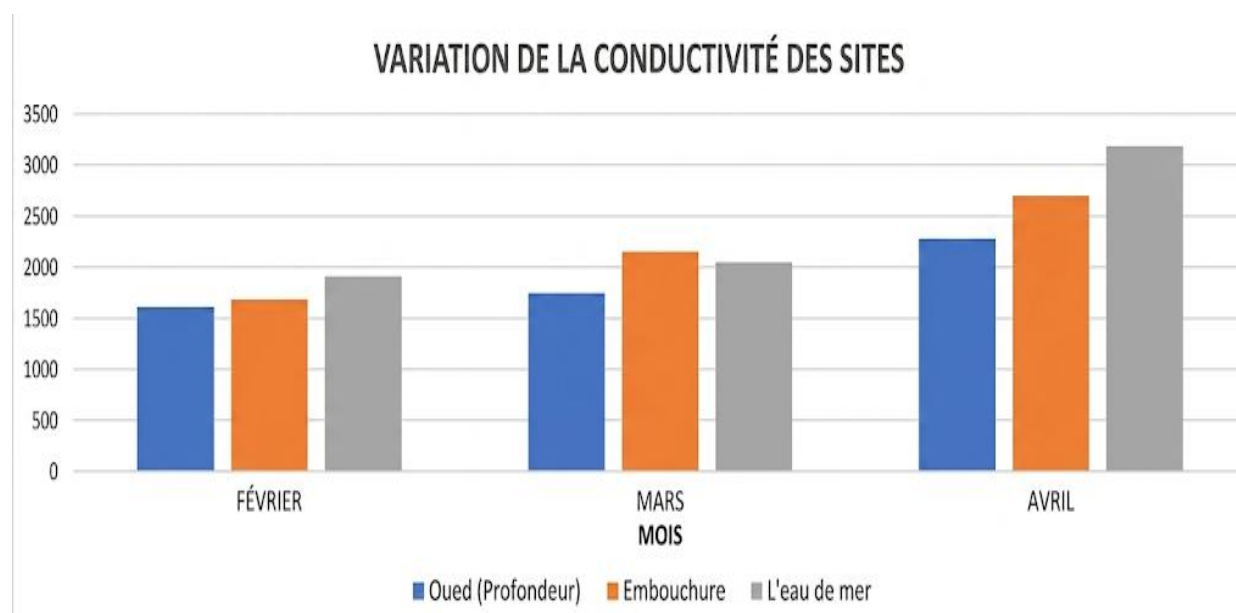


FIGURE 23: HISTOGRAMME DE VARIATION DE LA CONDUCTIVITE

3.3. Interprétation de l'histogramme de la conductivité:

La variation des valeurs de la conductivité au niveau de la mer et de l'embouchure d'oued el Mactaa.

Des teneurs élevées sont le signe d'une forte minéralisation ainsi la dilution des eaux par l'apport des eaux pluviales (Mandri et al., 2011), il s'y ajoute les rejets d'Oued El Macta vers l'eau de mer. Ces valeurs restent nettement supérieures.

L'augmentation de la conductivité dans l'eau de mer peut être due à l'augmentation de productivité des rejets accumulés au niveau de l'oued qui sont conduits vers l'eau de mer.

4. Variation de la Turbidité dans trois sites (Oued, Embouchure, Mer)

Les résultats de la mesure de la turbidité de l'oued, de l'embouchure et de l'eau de mer sont regroupés dans le tableau suivant :

4.1. Tableau de variation de la Turbidité

LE SITE	OUED			EMBOUCHURE			L'EAU DE MER		
PARAMETRE									
MOIS	FEVRIER	MARS	AVRIL	FEVRIER	MARS	AVRIL	FEVRIER	MARS	AVRIL
TURBIDITE (NTU)	20,10	22,00	25,80	22,40	24,50	29,10	0,85	1,60	2,45

TABLE 4: REPRESENTE LA VARIATION DE TURBIDITE DANS TROIS SITES

4.2. Histogramme de variation de la Turbidité

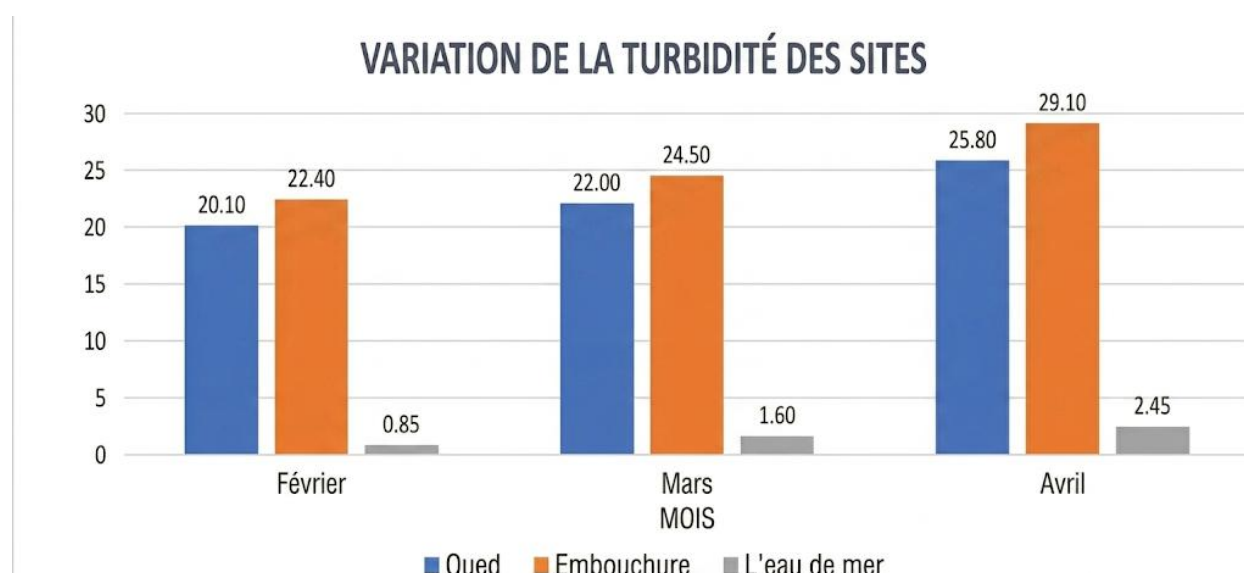


FIGURE 24: HISTOGRAMME DE VARIATION DE TURBIDITE

4.3. Interprétation de l'histogramme de la Turbidité:

Les valeurs de turbidité varient entre 0,85 et 29,10 NTU et montrent une augmentation progressive de février à avril sur les trois sites. Les niveaux les plus élevés sont enregistrés à l'embouchure, suivis de l'oued, tandis que l'eau de mer reste faible et stable ($< 2,5$ NTU). Cette différence s'explique par les apports en matières en suspension transportées par l'oued, qui s'accumulent à l'embouchure en raison du ralentissement du courant et du mélange avec les sédiments marins, alors que le milieu marin bénéficie d'une forte capacité de dilution. L'augmentation observée est également liée aux activités humaines (agriculture, industrie, agglomérations) et au ruissellement pluvial, qui favorisent l'entraînement de particules solides vers l'oued et l'embouchure.

5. Variation du Nitrite dans trois sites (Oued, Embouchure, Mer)

Les résultats de la mesure des nitrites de l'oued, de l'embouchure et de l'eau de mer sont regroupés dans le tableau suivant :

5.1. Tableau de variation de Nitrite

Le site	Oued			Embouchure			L'eau de mer		
Paramètre									
Mois	Février	Mars	Avril	Février	Mars	Avril	Février	Mars	Avril
Nitrites (mg/l)	0,13	0,90	0,75	0,06	0,83	0,60	0,05	0,65	0,27

TABLE 5 : REPRESENTE LA VARIATION DU NITRITE DANS TROIS SITES

5.2. Histogramme de variation du Nitrite

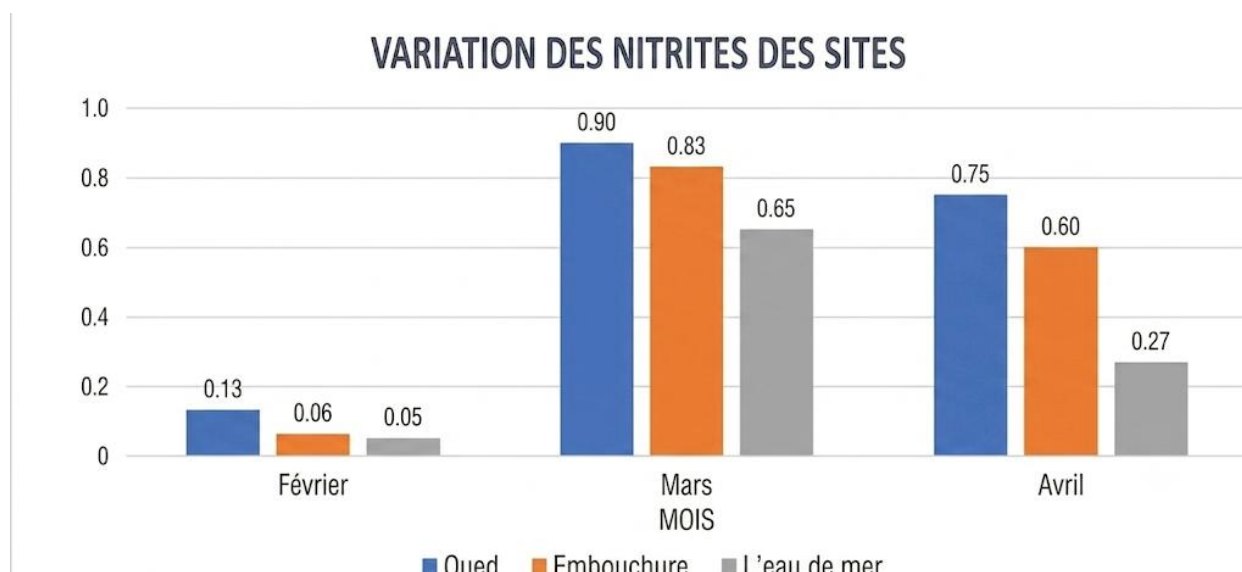


FIGURE 25: HISTOGRAMME DE VARIATION DU NITRITE

5.3. Interprétation de l'histogramme des nitrites :

Les concentrations de nitrites varient entre 0,05 et 0,90 mg/l. Leur évolution est non linéaire :

- Forte hausse en mars, suivie d'une baisse en avril, observée sur les trois sites.
- Les valeurs les plus élevées sont relevées dans l'oued, puis à l'embouchure, tandis que l'eau de mer reste la moins concentrée.

Cette évolution en pic traduit une pollution ponctuelle d'origine organique (rejets domestiques, agricoles) ou une nitrification incomplète de l'ammonium.

En mars, les fortes valeurs dans l'oued indiquent un apport massif de matière organique azotée, accentué par les précipitations. En avril, la baisse s'explique par la poursuite de la nitrification, transformant les nitrites en nitrates, plus stables. Les faibles concentrations en mer confirment l'effet de dilution.

6. Variation du Nitrate dans trois sites (Oued, Embouchure, Mer)

Les résultats de la mesure des nitrates de l'oued, de l'embouchure et de l'eau de mer sont regroupés dans le tableau suivant :

6.1. Tableau de variation du Nitrate

Le site	Oued			Embouchure			L'eau de mer		
Paramètre									
Mois	Février	Mars	Avril	Février	Mars	Avril	Février	Mars	Avril
Nitrates (mg/l)	2,30	5,66	4,60	2,10	5,02	3,90	2,05	4,06	3,01

TABLE 6 : REPRESENTE LA VARIATION DE NITRATE DANS TROIS SITES

6.2. Histogramme de variation du Nitrate

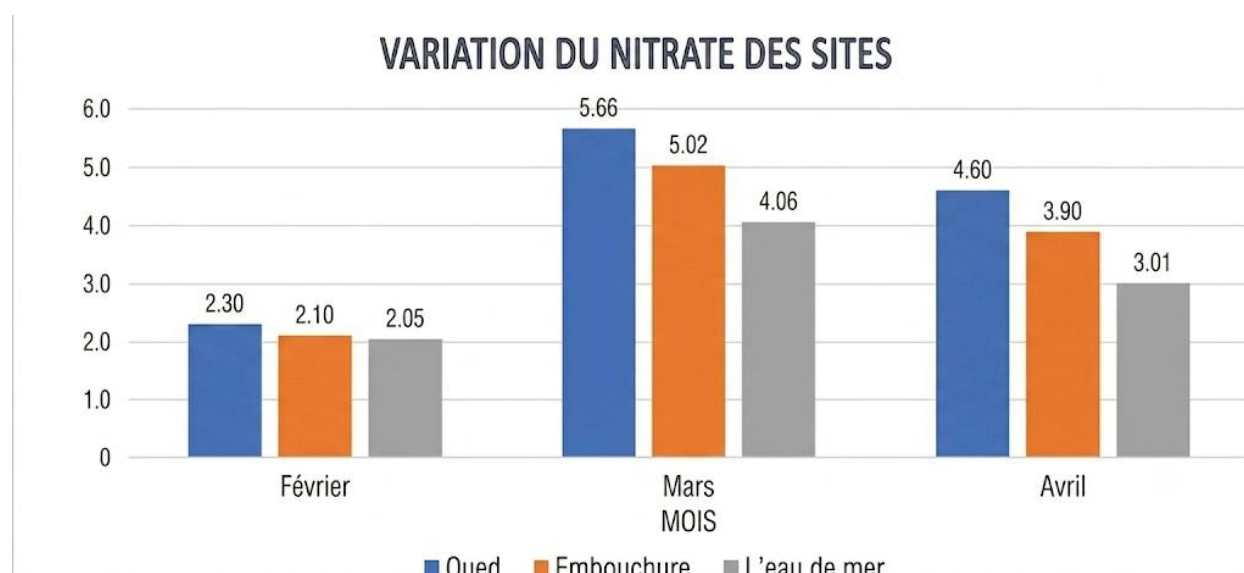


FIGURE 26: HISTOGRAMME DE VARIATION DU NITRATE AU NIVEAU DE MER ET EMBOUCHURE ET OUED MACTA

6.3. Interprétation de l'histogramme des Nitrate :

Les teneurs en NO_3 sont élevés au niveau de l'oued par rapport à l'eau de mer durant les Trois mois les nitrates ont pour origine une nitrification de l'azote organique du aux teneurs en nitrates des terrains traversés. Les eaux de pluies peuvent contenir des nitrates en provenance des oxydes d'azote et de l'ammoniaque présente dans l'atmosphère. Les nitrates ont une toxicité mais

à long terme car elle se transforme en nitrite. La probabilité d'avoir une eutrophisation en grande surface dans les sites est possible où ces concentrations augmentent donc on aura une prolifération d'algue et de phytoplanctons.

Conclusion :

L'analyse des paramètres physico-chimiques mesurés au niveau de l'Oued El Macta, de l'embouchure et de l'eau de mer a permis d'évaluer la qualité des eaux et de mettre en évidence les variations spatiales et temporelles observées durant la période d'étude. Les résultats obtenus montrent des différences significatives entre les sites, principalement en raison de leurs caractéristiques hydrologiques et de l'influence des apports continentaux et marins.

Les valeurs de la conductivité indiquent une forte minéralisation des eaux marines liée à leur salinité naturelle, tandis que les concentrations observées dans l'Oued et l'embouchure reflètent l'influence des eaux de ruissellement et des rejets d'origine anthropique. Les mesures du pH révèlent quant à elles une légère alcalinité qui favorise la présence de micro-organisme

L'étude des nitrates met en évidence des apports nutritifs plus importants au niveau de l'Oued, traduisant l'influence des activités agricoles, urbaines et des effluents rejetés dans le bassin versant. La diminution progressive des concentrations vers l'embouchure et l'eau de mer témoigne d'un phénomène de dilution des polluants au contact du milieu marin.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus montrent que la qualité des eaux étudiées reste fortement influencée par les conditions naturelles du milieu ainsi que par les activités humaines exercées dans la région. Cette étude constitue ainsi une contribution importante à la compréhension du fonctionnement de l'écosystème de l'Oued El Macta et fournit des informations utiles pour la surveillance environnementale et la gestion durable des ressources en eau.

Finalement pour diminuer la pollution permanente .On suggère .le développement d'un système d'assainissement pour les déchets qui sont emportés par L'oued des terres agricoles et des zones rurales ainsi les déchets provenant de la station de dessalement à proximité vers l'eau de mer

Références

Références

A

- **Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA).** (2020). *Nuclear Technology Review 2020*. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- **Alloway, B. J.** (2013). *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability* (3rd ed.). Springer, Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>
- **Aminot, A., & Chaussepied, M.** (1983). *Manuel des analyses chimiques en milieu marin*. CNEXO.
- **American Public Health Association (APHA).** (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). American Public Health Association.

B

- **Baba Ahmed, M., & Taleb, A.** (2016). Étude de la qualité des eaux superficielles dans l'ouest algérien. *Revue des Sciences de l'Eau*, 29(2), 115-128.
- **Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M.** (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1985–1998.
- **Bakès, J., & Lemaire, P.** (2007). *Écotoxicologie : évaluation des propriétés des substances chimiques*. Techniques de l'Ingénieur, Réf. SE1602.
- **Belhachemi, M.** (2015). *Étude physico-chimique de la qualité des eaux de l'oued El Macta et son impact sur le milieu marin*. Mémoire de fin d'études en Master, Département de Biologie, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, Algérie.
- **Bensaoula, F., & Houhamdi, M.** (2018). Biodiversité et fonctionnement écologique des zones humides algériennes. *Revue Ecologie-Environnement*, 14(1), 45-60.
- **Boudou, A., & Ribeyre, F.** (1997). Mercury in the food web: Accumulation and transfer mechanisms. *Environmental Health Perspectives*, 105(Suppl. 6), 1499–1508.
- **Boyd, C. E.** (2015). *Water Quality: An Introduction*. Springer.

C

- **Carvalho, F. P.** (2017). Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security*, 6(2), 48–60.
- **Chapman, D.** (1996). *Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring* (2nd ed.). UNESCO/WHO/UNEP.
- **Clark, R. B.** (2001). *Marine Pollution* (5th ed.). Oxford University Press, Oxford.

D

- **Direction Générale des Forêts.** (2014). *Fiche descriptive Ramsar : Zone humide de la Macta*. Ministère de l'Agriculture, Algérie.

Références

F

- **Food and Agriculture Organization (FAO).** (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020: Sustainability in Action*. FAO, Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- **Förstner, U., & Wittmann, G. T. W.** (2012). *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. Springer-Verlag.

G

- **Galloway, J. N., Aber, J. D., Erisman, J. W., Seitzinger, S. P., Howarth, R. W., Cowling, E. B., & Cosby, B. J.** (2008). Transformation of the nitrogen cycle: Recent trends, questions, and potential solutions. *Science*, 320(5878), 889–892.
- **Gray, J. S.** (2002). Biomagnification of plasticizers and biomagnification of heavy metals in the marine food chain. *Marine Pollution Bulletin*, 45(1–12), 46–52.

H

- **Heathwaite, A. L., & Dils, R. M.** (2000). Characterising phosphorus loss in surface and subsurface hydrological pathways. *Science of the Total Environment*, 251–252, 523–538.
- **Hem, J. D.** (1985). *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. United States Geological Survey.

I

- **International Maritime Organization (IMO).** (2019). *Marine Environment Protection Committee Report*. International Maritime Organization, London.

K

- **Khelifi, N., & Benaissa, M.** (2019). Évaluation de la pollution métallique dans les sédiments côtiers de l'ouest algérien. *European Scientific Journal*, 15(12), 235–248.

L

- **Lalli, C. M., & Parsons, T. R.** (1997). *Biological oceanography: An introduction* (2nd ed.). Elsevier.
- **Lofrano, G., Meriç, S., Zengin, G. E., & Orhon, D.** (2013). Chemical and biological treatment technologies for the removal of organic pollutants and toxicity in industrial wastewaters: A review. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 88(7), 1055–1066.

M

- **Manahan, S. E.** (2017). *Environmental Chemistry* (10th ed.). CRC Press.
- **Mason, C. F.** (2002). *Biology of Freshwater Pollution* (4th ed.). Pearson Education Limited.
- **Metcalf & Eddy.** (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

Références

- **Ministère des Ressources en Eau.** (2018). *Rapport national sur l'état des ressources en eau en Algérie*. Alger.
- **Morel, F. M. M., Kraepiel, A. M. L., & Amyot, M.** (1998). The chemical cycle and bioaccumulation of mercury in the marine environment. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29(1), 543–566.

P

- **Pesson, P.** (1976). *La pollution des eaux continentales*. Gauthier-Villars.
- **Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE).** (2021). *From Pollution to Solution: A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution*. United Nations Environment Programme, Nairobi.

R

- **Ramade, F.** (2007). *Introduction à l'écotoxicologie : Fondements et applications* (2e éd.). Lavoisier, Paris.
- **Ramade, F.** (2011). *Éléments d'écologie : Écologie appliquée*. Dunod.
- **Rejsek, F.** (2002). *Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques*. CRDP Aquitaine.
- **Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N.** (2009). *L'analyse de l'eau* (9e éd.). Dunod.

T

- **Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J.** (2012). Heavy metal toxicity and the environment. In A. Luch (Ed.), *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology* (pp. 133–164). Springer.

U

- **UNESCO.** (2022). *The United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater – Making the Invisible Visible*. UNESCO Publishing, Paris.
- **United Nations Environment Programme (UNEP).** (2021). *Marine Pollution Assessment Report*. United Nations Environment Programme.

W

- **Walker, C. H., Sibly, R. M., Hopkin, S. P., & Peakall, D. B.** (2012). *Principles of Ecotoxicology* (4th ed.). CRC Press, Boca Raton.
- **Wetzel, R. G.** (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems* (3rd ed.). Academic Press.

Références

Références des figures :

- **Figure 1. La zone d'étude (Oued El Mactaa)**

Source : Adapté de la Direction Générale des Forêts. (2014). *Fiche descriptive Ramsar : Zone humide de la Macta*. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Algérie.

- **Figure 2. Effets sur l'écosystème marin**

Source : Adapté de Clark, R. B. (2001). *Marine Pollution* (5th ed.). Oxford University Press.

- **Figure 3. Schéma du transfert des nutriments agricoles vers les eaux réceptrices par ruissellement et infiltration souterraine**

Source : Adapté de Food and Agriculture Organization (FAO). (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020*. FAO.

- **Figure 4. Rejet des eaux usées industrielles et domestiques dans le milieu aquatique**

Source : Adapté de Clark, R. B. (2001). *Marine Pollution* (5th ed.). Oxford University Press.

- **Figure 5. Schéma simplifié du transfert des substances organiques de synthèse**

Source : Adapté de Walker, C. H., Sibly, R. M., Hopkin, S. P., & Peakall, D. B. (2012). *Principles of Ecotoxicology* (4th ed.). CRC Press.

- **Figure 6. Schéma global simplifié du cycle des métaux lourds**

Source : Adapté de Alloway, B. J. (2013). *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability* (3rd ed.). Springer.

- **Figure 7. Opération de prélèvement des échantillons d'eau au niveau de la zone d'étude à l'aide d'un flacon stérile**

Source : Mason, C. F. (2002). *Biology of Freshwater Pollution* (4th ed.). Pearson Education Limited.

- **Figure 8. La zone d'Oued El Mactaa**

Source : Direction Générale des Forêts. (2014). *Fiche descriptive Ramsar : Zone humide de la Macta*. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Algérie.

- **Figure 9. localisation de la zone humide macta**

Source : Daprès ghodbani t et amokrane k 2013

