



DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MER ET DE L'AQUACULTURE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

BENZAÏT Souheyla

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN HYDROBIOLOGIE MARINE ET CONTINENTALE

Spécialité: Ressources Halieutiques

THÈME

*Analyse microbiologique de l'eau de mer au niveau du
point de rejet de la station d'épuration - STEP - de
Salamandre, Mostaganem.*

Soutenue le 24/06/2026

DEVANT LE JURY

Président	Dr. BELBACHIR Nor-Eddine	MCA	U. Mostaganem
Encadreur	Dr. BENZAÏT Hocine	MCB	U. Mostaganem
Examineur	Dr BEKADA. Djamel Eddine	MCA	U. Mostaganem

Année universitaire 2025/2026

Remerciement

Avant tout, je rends grâce à Dieu, le Tout-Puissant, pour m'avoir accordé la santé, la force, la patience et la persévérance nécessaires à l'accomplissement de ce travail.

J'adresse mes plus sincères remerciements à ma famille pour son soutien indéfectible, ses encouragements constants et sa confiance tout au long de mon parcours universitaire. Leur présence et leur appui ont constitué une source de motivation essentielle dans la réalisation de ce mémoire.

Tout d'abord, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Dr. BENZAIT Hocine, Maître de conférences classe B à l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, pour avoir accepté d'encadrer ce travail. Je le remercie sincèrement pour sa disponibilité, sa patience, son soutien constant ainsi que pour ses précieux conseils scientifiques tout au long de la réalisation de ce mémoire de Master.

Je remercie également le Dr. BELBACHIR Nor-eddine ; Maitre conférence A, d'avoir accepté de présider la soutenance.

Je remercie également le Dr BEKADA. Djamel Eddine Maitre-Assistant A, d'avoir accepté l'examinasson de ce travail.

Je tiens à rendre un vibrant hommage à Mme BENMESSAOUD Nadjet, à Monsieur KIES, M, chef de station de la direction de pêche et de l'aquaculture de la wilaya de Mostaganem et à la Direction de l'office national de l'assainissement de la wilaya de Mostaganem pour leur accompagnement, leur collaboration et les facilités accordées durant la réalisation de ce travail.

Avec mes remerciements les plus sincères je remercie les ingénieurs de laboratoire d'analyse d'eau de l'ADE de Mostaganem

Enfin, je tiens à exprimer mes sincères remerciements à tous mes amis pour leurs encouragements.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail,

*À mon cher époux, **HAOULI. M**, dont l'amour, le soutien indéfectible, la patience et les encouragements constants m'ont accompagnée tout au long de ce parcours académique. Dans les moments de doute comme dans les instants de réussite, tu as toujours été une source de force, de confiance et de motivation. Sans ton appui précieux, l'aboutissement de ce travail n'aurait pas été le même.*

*À mes très chers parents, **BENZAÏT. A** et **BEHIH. F**, à qui je dois tout. Merci pour les sacrifices consentis, les valeurs transmises, l'affection inestimable et le soutien permanent dont vous m'avez entourée tout au long de ma vie. Que Dieu, le Tout-Puissant, vous accorde santé, bonheur et longue vie.*

*À mes adorables enfants, **Lina, Amani et Fahd**, qui ont illuminé mon quotidien par leur amour et leur tendresse. Vous avez été ma plus belle source d'inspiration et de courage durant cette aventure. Votre compréhension, votre patience et vos sourires ont été pour moi un véritable moteur pour persévérer et atteindre cet objectif.*

*À mes chers frères, **Mohamed, Abdelilah et Farouk**, pour leur affection, leurs encouragements et leur présence constante.*

*À mes chères sœurs, **Nassima et Manel**, pour leur soutien, leur bienveillance et les précieux moments de partage.*

*À ma chère belle-mère, **LATAB. K**, pour son soutien et ses encouragements.*

*À toute la famille **BENZAÏT** et à toute la famille **HAOULI**, pour leur affection, leurs prières et leur soutien tout au long de mon parcours.*

À toutes les personnes qui m'ont accompagnée, encouragée et soutenue au cours de cette expérience, je témoigne ma profonde reconnaissance et ma sincère gratitude.

Que cette dédicace soit l'expression de mon respect, de mon affection et de ma reconnaissance envers chacun d'entre vous.

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Introduction générale

Chapitre I : Pollution marine

I.	Définition de la pollution.....	5
II.	Historique de la pollution	5
III.	Définition de la pollution marine	6
IV.	Classification de la pollution.....	7
IV.1.	Selon la source.....	7
IV.2.	Selon la nature.....	10
V.	Formes de pollutions	17
V.1.	Pollution ponctuelle	17
V.2.	Pollution diffuse	17
V.3.	Pollution permanente ou chronique.....	18
V.4.	Pollution périodique	18
V.5.	Pollution accidentelle ou aiguë.....	18
VI.	Impact de la pollution sur l'environnement et la santé humaine.....	18
VI.1.	Les mortalités liées aux altérations de la physico-chimie.....	18
VI.2.	L'eutrophisation des milieux	18
VI.3.	Effets toxiques sur les êtres vivants.....	19
VI.4.	La contamination microbiologique des êtres vivants	19
VI.5.	Les perturbations endocriniennes	21
VII.	Facteurs influençant la survie des microorganismes en milieu marin	21
VII.1.	Facteurs physico-chimiques.....	21
VII.2.	Facteurs biologiques	22

Chapitre II : Rejet des eaux usées

I.	Classification des rejets des eaux usées.....	25
I.1.	Les rejets industriels.....	25
I.2.	Les rejets domestiques.....	25
I.3.	Les eaux pluviales et de ruissellement.....	26
I.4.	Les eaux d'origine agricole.....	26
II.	Caractéristiques des eaux usées	27

II.1.	Paramètres organoleptiques	27
II.2.	Paramètres physiques.....	27
II.3.	Paramètres chimiques	28
II.4.	Les paramètres bactériologiques	31
III.	Traitement des eaux usées	39
III.1.	Les prétraitements	40
III.2.	Traitement primaire (physico-chimique)	41
III.3.	Traitement secondaire ou traitement biologique	42
IV.	Les normes de rejet des eaux usées.....	47
IV.1.	Réglementation relative au rejet des eaux usées et eaux de baignade :	47

Chapitre III : Matériels et Méthodes

I.	Présentation de la Wilaya de Mostaganem	56
II.	Description des conditions climatiques et hydrodynamiques.....	57
II.1.	Contexte océanographique et hydrodynamisme	57
II.2.	Contexte climatique	61
III.	Détermination des paramètres physico-chimiques et mode Opératoire	72
III.1.	Détermination de la température (T)	72
III.2.	Détermination du pH.....	73
III.3.	Détermination de la conductivité.....	73
III.4.	Détermination de la Salinité.....	73
III.5.	Mesure de la Turbidité	75
IV.	Préparation des dilutions.....	76
IV.1.	Détermination des germes totaux	77
IV.2.	Détermination des Coliformes Totaux	78
IV.3.	Technique de filtration sur membrane.....	79
IV.4.	Détermination des coliformes fécaux (<i>Escherichia Coli</i>)	80
IV.5.	Détermination des <i>Streptocoques</i> fécaux	82
IV.6.	Détermination des <i>Clostridium</i> Sulfito- Réducteurs.....	83

Chapitre IV : Résultats et discussion

I.	Analyses Physico-chimiques	87
I.1.	Variation de la température de l'eau de mer.....	87
I.2.	La variation de pH de l'eau de mer :	88
I.3.	La variation de la conductivité de l'eau de mer :	88
I.4.	La variation de la salinité de l'eau de mer	89
I.5.	La variation de la turbidité de l'eau de mer	90

II. Résultats des analyses microbiologiques	90
II.1. Les germes totaux	91
II.2. Coliformes totaux	92
II.3. Coliformes fécaux	93
II.4. <i>Streptocoques</i> fécaux	95
II.5. <i>Clostridium</i> sulfito -réducteur	96
III. Discussion des résultats.....	98
<i>Conclusion générale</i>.....	101
<i>Références bibliographiques</i>.....	104

Liste des figures

Figure 1 : Les différents types de pollution marine	7
Figure 2 : Sources et cheminements de la pollution marine	8
Figure 3 : La bioaccumulation des produits chimiques organochlorés tels que le PCB	12
Figure 4 : Pollution par les hydrocarbures : Marée noire	13
Figure 5 : Pollution plastique	15
Figure 6 : Les paramètres physiques, chimiques et biologiques influençant sur la survie des germes en milieu marin)	23
Figure 7 : Le principe de fonctionnement d'une station d'épuration à boue activée	40
Figure 8 : Carte de situation géographique de la wilaya de Mostaganem	56
Figure 9 : Circulation de l'eau atlantique modifiée d'après.	58
Figure 10 : Etage bioclimatique de l'Ouest d'Algérie	61
Figure 11 : Carte de l'évapotranspiration de la région de Mostaganem	62
Figure 12 : Carte pluviométrique de la région de Mostaganem	63
Figure 13 : Courbe des précipitations moyennes de la région de Mostaganem durant l'année 2025 – 2026.....	64
Figure 14 : fiche technique dès la STEP de Salamandre.....	66
Figure 15 : Image satellitaire de la zone d'étude.....	67
Figure 16 : Zone d'étude	67
Figure 17: Les points de prélèvements	69
Figure 18 : Photo représente les échantillons et leur transport dans la glacière	70
Figure 19 : Présentation du matériel utilisés	72
Figure 20 : Différents mesures effectués par l'appareil multi paramètre	74
Figure 21 : Présentation d'un turbidimètre	75
Figure 22 : Recherche et dénombrement des germes totaux	78
Figure 23 : Présentation de l'appareil de filtration sur membrane au niveau de laboratoire d'analyse	78
Figure 24 : Recherche et dénombrement des coliformes totaux.....	80
Figure 25 : Protocole d'identification des coliformes fécaux (<i>Escherichia Coli</i>).....	81
Figure 26 : Protocole de dénombrement des <i>Streptocoques</i> fécaux	83
Figure 27 : Protocole de dénombrement des <i>Clostridium</i> Sulfito- Réducteurs	84
Figure 28: Présentation graphique en barres de la variation de la température (C°) de l'eau de mer au niveau de la station.....	87
Figure 29 : Présentation graphique en barres de la variation du pH de l'eau de mer au niveau de la station d'étude	88
Figure 30 : présentation graphique en barres de la variation de la conductivité (ms/cm) de l'eau de mer au niveau de la station	88
Figure 31 : Présentation graphique en barres de la variation de la salinité de l'eau de mer au niveau de la station d'étude.....	89

Figure 32 : Présentation graphique en barres de la variation de turbidité de l'eau de mer au niveau de la station.....	90
Figure 33 : Présentation et dénombrement des colonies bactériennes sur milieux de cultures	90
Figure 34 : Observation des colonies de germes totaux sur milieu de culture TGEA.....	91
Figure 35 : Présentation graphique en barres de la concentration bactérienne des germes totaux dans l'eau de mer au niveau de la station d'étude	91
Figure 36 : Présentation des colonies de coliformes totaux sur la membrane.....	92
Figure 38 : Présentation graphique en barres de la concentration bactérienne des coliformes totaux dans l'eau de mer au niveau de la station d'étude	93
Figure 39 : Colonies de coliformes fécaux	94
Figure 40 : Test 1 sur tubes de Schubert	94
Figure 42 : Présentation graphique en barres de la concentration bactérienne des coliformes fécaux dans l'eau de mer au niveau de la station d'étude	95
Figure 45 : Présentation graphique en barres de la concentration bactérienne des <i>Streptocoque</i> fécaux dans l'eau de mer au niveau de la station d'étude Pour les trois sites.....	96
Figure 48 : Présentation graphique en barres de la concentration bactérienne des <i>Streptocoque</i> fécaux dans l'eau de mer au niveau de la station d'étude.....	97

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les différentes infections transmissibles par l'eau	20
Tableau 2 : Les virus dans les eaux usées	31
Tableau 3 : Les bactéries pathogènes dans les eaux usées.....	33
Tableau 4 : Principaux protozoaires présents dans les eaux usées.....	37
Tableau 5 : Les parasites pathogènes dans les eaux usées Source :	38
Tableau 6 : Valeurs limites de certains paramètres des rejets industriels (Décret exécutif n° 93-160 du Juillet 1993).....	47
Tableau 7 : Qualité requise des eaux de baignade (J.O.R.A.D.P,1993)	48
Tableau 8 : Normes Algériennes de rejets des effluents liquides industriels (Le Décret exécutif n° 06-141 avril 2006).....	48
Tableau 9 : Valeurs limites maximales de la teneur en substances nocives des eaux usées autres que domestiques au moment de leur déversement dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration (Décret exécutif n° 09-209 juin 2009)	49
Tableau 10 : Recommandations physico-chimiques pour la réutilisation des eaux usées en agriculture (Journal officiel de la république Algérienne, 2012).....	51
Tableau 11 : Recommandations microbiologiques pour la réutilisation des eaux usées en agriculture (Journal officiel de la république Algérienne, 2012).....	52
Tableau 12 : Doses minimales d'infection pour quelques bactéries et parasites (OMS, 2013).53	53
Tableau 13 : Indice de la qualité de l'eau de baignade (germe/ml) (OMS, 1977)	53
Tableau 14 : Normes définies par l'arrêté du 22 juin 2007.....	54
Tableau 15 : Précipitations moyennes mensuelles à Mostaganem 2020 – 2026	64
Tableau 16 : Présentation des points de prélèvement au niveau de la Station d'Etude	68
Tableau 17 : Nature et période du prélèvement.....	71
Tableau 18 : Récapitulatif des analyses bactériologiques effectuées.....	85

Résumé

Le présent travail s'inscrit dans le cadre de l'évaluation de la qualité microbiologique couplée à l'analyse de quelques paramètres physico-chimiques au niveau de l'exutoire de la station d'épuration de salamandre (côté ouest de Mostaganem). Trois prélèvements ont été réalisés sur une période de trois mois, à partir de Mars jusqu'au mois de mai.

Les résultats obtenus montrent une forte concentration bactérienne au niveau du point de rejet, associée à une diminution progressive en particulier 100 mètres vers le large durant la période d'échantillonnage, influencées par plusieurs facteurs, cependant la contamination semble liée à l'absence de traitement tertiaire.

L'action thermique de l'ensoleillement, s'avère être un facteur clé de l'activité métabolique des microorganismes et contribue potentiellement à leur multiplication, en particulier en présence des conditions favorables

Les paramètres physico-chimiques révèlent une faible salinité et conductivité associées à une turbidité élevée à proximité du rejet. Une interaction étroite est mise en évidence au cours des analyses entre les conditions environnementales et la charge bactérienne.

Mots-clés : Station d'épuration, écologie côtière, analyse microbiologie, facteur abiotique.

Abstract

The present study is part of the evaluation of microbiological quality coupled with the analysis of certain physicochemical parameters at the outfall of the Salamandre wastewater treatment plant (western side of Mostaganem). Three sampling campaigns were carried out over a period of three months, from March to May.

The results obtained show a high bacterial concentration at the discharge point, associated with a gradual decrease, particularly 100 meters offshore, during the sampling period. This distribution is influenced by several factors; however, the contamination appears to be related to the absence of tertiary treatment.

The thermal effect of solar radiation proves to be a key factor in the metabolic activity of microorganisms and potentially contributes to their proliferation, particularly under favorable conditions.

The physicochemical parameters reveal low salinity and conductivity associated with high turbidity near the discharge point. A close interaction between environmental conditions and bacterial load was highlighted during the analyses.

Keywords: Wastewater treatment plant, coastal ecology, microbiological analysis, abiotic factor.

الملخص

تندرج هذه الدراسة في إطار تقييم الجودة الميكروبيولوجية مقترنةً بتحليل بعض المعايير الفيزيائية والكيميائية على مستوى مصب محطة معالجة المياه المستعملة بالسلامندر (الجهة الغربية لولاية مستغانم). وقد أُجريت ثلاث عمليات أخذ عينات على مدى ثلاثة أشهر، من شهر مارس إلى شهر ماي.

أظهرت النتائج المتحصل عليها تركيزًا بكتيريًا مرتفعًا على مستوى نقطة الطرح، مصحوبًا بانخفاض تدريجي، خاصة على بعد 100 متر نحو عرض البحر خلال فترة أخذ العينات. وتتأثر هذه الوضعية بعدة عوامل، غير أن التلوث يبدو مرتبطًا بغياب المعالجة الثلاثية.

ويُعد التأثير الحراري للإشعاع الشمسي عاملاً رئيسيًا في النشاط الأيضي للكائنات الحية الدقيقة، ويساهم بشكل محتمل في تكاثرها، خاصة في ظل الظروف الملائمة.

كما كشفت المعايير الفيزيائية والكيميائية عن انخفاض الملوحة والموصلية الكهربائية مقترنًا بارتفاع العكارة بالقرب من نقطة الطرح. وقد أظهرت التحاليل وجود تفاعل وثيق بين الظروف البيئية والحمل البكتيري.

الكلمات المفتاحية: محطة معالجة المياه المستعملة، البيئة الساحلية، التحليل الميكروبيولوجي، عامل لأحيائي

Introduction générale

La gestion des ressources aquatiques au sein des écosystèmes côtiers algériens constitue l'un des enjeux écologiques majeurs, en effet les activités anthropiques (l'urbanisations, rejets des eaux usées. Tourisme ... Ex) contribuent inlassablement à la dégradation de la qualité des eaux marines.

Parmi les compartiments les plus vulnérables aux pressions anthropiques, La structure fonctionnelle de la zone photique qui occupe une place écologique riche en biodiversités marines. La dynamique entre l'interface continentale et la zone côtière concentre une urbanisation importante marquée par une forte densité de population et de la multiplicité des activités humaines qui s'y développent.

La mer Méditerranée est une mer semi-fermée caractérisée par un faible renouvellement des masses d'eau, ce qui favorise l'accumulation des polluants d'origine continentale (UNEP/MAP, 2020).

Ce pendant la partie Est du milieu marin, est fréquemment exposée aux rejets urbains et industriels, les traitements au préalable des rejets via les stations d'épuration vers les exutoires côtiers. N'exclut pas l'introduction de la composante invisible dans l'écosystème marins d'origine fécale susceptibles d'altérer la qualité sanitaire des eaux (EEA, 2023).

Selon l'Organisation des Nations Unies, plus de 80 % des eaux usées générées à l'échelle mondiale sont rejetées dans l'environnement sans traitement adéquat, entraînant une dégradation progressive des écosystèmes aquatiques (UNESCO, 2024).

La contamination microbiologique des eaux côtières est principalement liée à la présence des bactéries indicatrices telles que les coliformes totaux, *Escherichia coli* et certain genre de *Clostridium*.

Plus récemment, Taleb et al. (2007) ont utilisé la moule *Mytilus galloprovincialis* comme bioindicateur pour évaluer la pollution du littoral occidental algérien, confirmant l'existence d'une pression anthropique considérable sur l'écosystème marin de la région

Dans le même sens les microorganismes ont été standardisés et retenus autant que descripteurs de pollution permettent d'évaluer le niveau de risque sanitaire pour les usages récréatifs et balnéaires (OMS, 2021). Leur présence dans le milieu marin traduit généralement une contamination d'origine humaine ou animale (Boehm et Sassoubre, 2014).

Ainsi de nombreuses études ont montré que les rejets d'eaux usées urbaines, après traitement, peuvent entraîner une contamination microbiologique, (Hassen et *al.*, 2022).

En Europe méditerranéenne, plusieurs études ont mis en évidence un gradient de contamination autour des zones de rejet des eaux usées, associée à des concentrations élevées en *E. coli* et Entérocoques à proximité des points de rejets, suivies d'une diminution progressive à mesure que l'on s'éloigne du littoral vers le large l'éloignement (EEA, 2023).

En Algérie, plusieurs études ont été consacrées à l'évaluation de la qualité des eaux côtières et l'impact des rejets urbains sur le milieu marin. Dans ce sens plusieurs travaux ont été également réalisés dans la partie Est du littoral algérien, Annaba, (Hidouci et *al.*, 2019). Boumerdès et Skikda (Benslimane, 2019). Dans la région d'Arzew, Bakalem (1980) avait déjà signalé les effets potentiels des rejets urbains et industriels sur les écosystèmes marins du golfe d'Arzew, mettant en évidence la sensibilité du littoral ouest algérien à la pollution marine.

Par ailleurs la région de Mostaganem et Oran ont fait l'objet d'une vulnérabilité écosystémique face aux rejets d'eaux usées Remili et Kerfouf (2013) témoignant ainsi une dégradation de la qualité des eaux marines côtières.

En plus des activités anthropiques le long de la côte de Mostaganem, les analystes de certains caractéristiques physico-chimiques des eaux côtières ont été fortement influencées par apports du bassin versant du Chéliff (Kies et Kerfouf, 2014), il est également marqué que la température, la salinité, l'hydrodynamisme et l'ensoleillement, agit sur la dynamique de dispersion de la composante dans le milieu marin (Menna, M. et *al.*, 2021)

Ce présent travail est structuré en quatre chapitres principaux :

Le premier chapitre est consacré à une synthèse bibliographique portant sur la pollution marine, et les impacts écosystémiques marine des zones côtières.

Le deuxième chapitre reflète la lumière sur les sources des effluents d'origines urbains et industriels et, aux caractéristiques des eaux usées ainsi qu'aux effets des rejets sur la qualité des eaux côtières et sur les organismes marins.

Le troisième chapitre présente la partie matériel et les méthodes. Il comprend la description de site ainsi que des données fiables en matière de climatologie de la région, issues des sources officielles. Ce chapitre expose également la stratégie d'échantillonnage associée aux différentes

étapes d'analyse microbiologique. L'évaluation des paramètres physico-chimiques des eaux de mer, ont été exprimé de ce contexte.

Le Chapitre quatre, englobe l'interprétation des résultats obtenus ainsi que la discussion.

Chapitre I :

Pollution marine

I. Définition de la pollution

La pollution est définie comme l'introduction dans l'environnement de substances ou d'énergies susceptibles d'altérer les écosystèmes, de perturber les équilibres naturels et d'affecter les organismes vivants (Ramade, 2005).

II. Historique de la pollution

Depuis des millénaires, les activités humaines ont provoqué des pollutions localisées des eaux superficielles et des nappes phréatiques, principalement par des bactéries pathogènes et des matières organiques issues des déchets domestiques. Ces pollutions restent encore aujourd'hui une cause majeure de maladies dans de nombreux pays en développement, avec des pathologies telles que la salmonellose, l'hépatite virale ou le choléra (UNEP, 2020).

Au XIX^e siècle, l'industrialisation a intensifié les besoins énergétiques, d'abord satisfaits par le charbon, puis par le pétrole. L'exploitation et l'utilisation de ces combustibles fossiles ont entraîné des pollutions multiples de l'air, de l'eau et des sols, dès l'extraction jusqu'à l'usage final.

Avec l'avènement de la civilisation technologique moderne, de nouvelles sources de pollution sont apparues, notamment liées au développement de la chimie organique de synthèse et, à partir des années 1960, à l'énergie nucléaire. L'urbanisation rapide des pays industrialisés a accentué ces problèmes, concentrant les activités industrielles et l'habitat, et multipliant ainsi les sources de contamination et les nuisances environnementales.

Aujourd'hui, les chimistes connaissent plus de vingt-deux millions de molécules et en créent environ 4000 nouvelles chaque jour. Parmi les 4300 médicaments existants, 23 nouveaux principes actifs sont commercialisés chaque année. La combinaison de ces substances peut provoquer ce que l'on appelle « l'effet cocktail », dont les impacts sur la santé et l'environnement nécessitent une évaluation rigoureuse et la définition de seuils de concentration sûrs (OMS, 2022).

La principale difficulté pour la protection de l'environnement réside donc dans l'évaluation de l'effet réel de toutes ces substances produites pour améliorer notre confort de vie, et dans la mise en place de méthodes permettant de limiter leurs impacts négatifs (OMS, 2022).

III. Définition de la pollution marine

La pollution marine désigne l'introduction de substances nocives dans les mers et les océans à la suite des activités humaines. Ces polluants parviennent au milieu marin par différents vecteurs, notamment les cours d'eau, le ruissellement, le transport atmosphérique ainsi que les rejets directs en mer (VINCENT, 2006).

Cette pollution entraîne une dégradation des conditions de vie des organismes aquatiques et perturbe l'équilibre des écosystèmes. Elle peut également compromettre la qualité des ressources en eau et engendrer des risques de pénurie (Taux, 2004).

Plus généralement, la pollution des milieux aquatiques correspond à toute modification défavorable du milieu naturel d'origine anthropique, affectant la composition physico-chimique, les flux d'énergie et la biodiversité, avec des répercussions sur l'environnement et la santé humaine (Ramade, 2002).

Selon l'Organisation mondiale de la santé, elle inclut toute altération des caractéristiques de l'eau ou introduction de substances susceptibles de nuire à la santé publique, aux usages de l'eau et aux écosystèmes aquatiques.

IV. Classification de la pollution

La pollution peut être classée selon deux critères principaux : l'origine des rejets et la nature des polluants introduits dans le milieu naturel (Islam, M. S., & Tanaka, M. (2004).

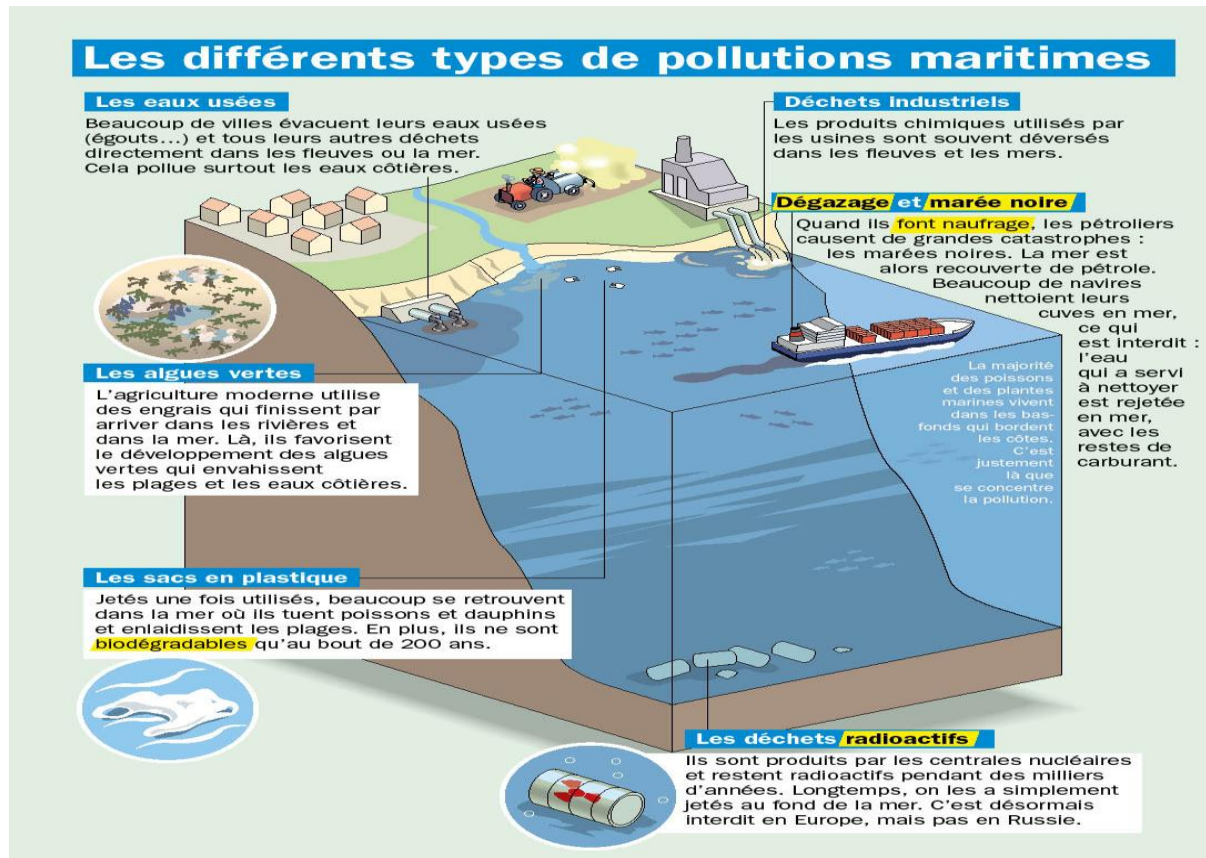


Figure 1 : Les différents types de pollution marine (Play Bac presse ,2023)

IV.1. Selon la source

La majorité des substances polluantes rejetées dans l'environnement finissent par atteindre le milieu marin. Ces apports s'effectuent par l'intermédiaire des cours d'eau, du ruissellement des eaux de surface ou du transport atmosphérique, mais également par des rejets directs en mer provenant d'activités urbaines, agricoles ou industrielles. Les zones côtières présentent toutefois une capacité limitée de dispersion et d'auto-épuration, ce qui favorise l'accumulation des polluants et accentue leurs impacts sur les écosystèmes marins. Par ailleurs, au-delà des pollutions accidentelles spectaculaires, la pollution chronique issue de sources multiples constitue une problématique majeure et continue pour le milieu marin (Marchand, 2002).

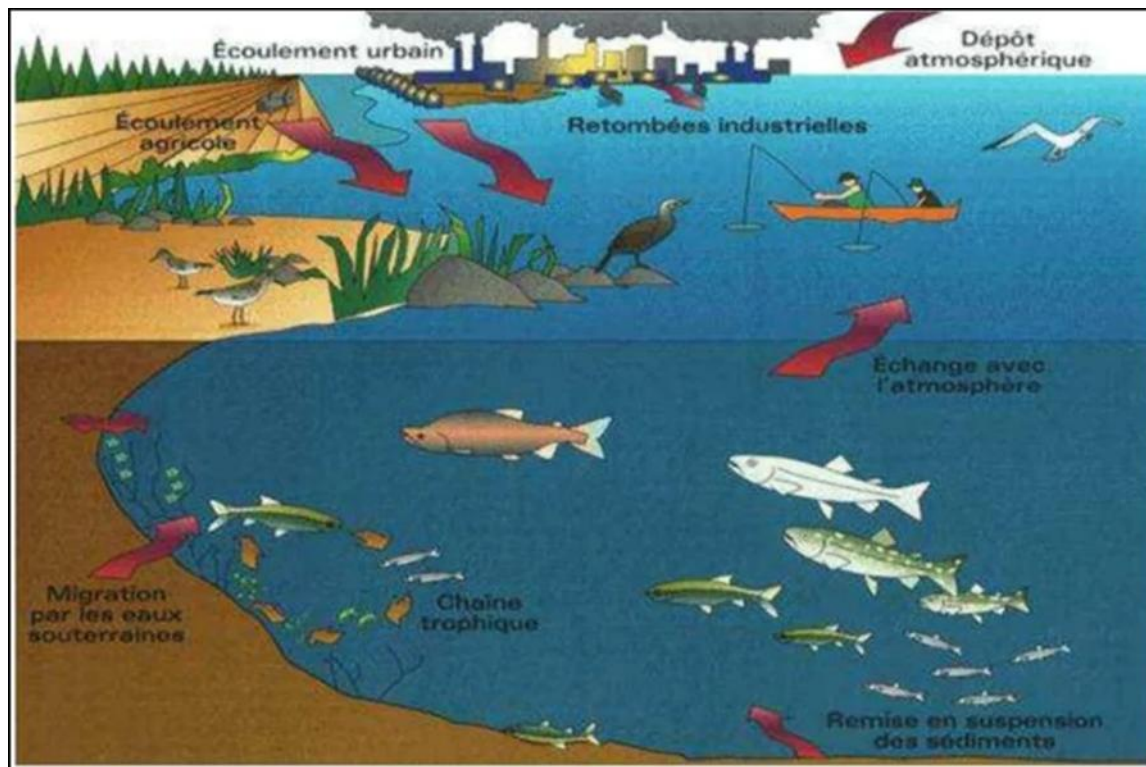


Figure 2 : Sources et cheminements de la pollution marine (USEPA, 2006)

IV.1.1. Agricole

La pollution agricole constitue une menace importante pour les écosystèmes marins, même lorsqu'elle se produit loin des zones côtières. Elle résulte principalement du transport de polluants par les cours d'eau et le ruissellement provenant des terres agricoles. Ces apports introduisent dans le milieu marin divers contaminants tels que les pesticides, les engrais riches en nutriments (azote et phosphore) et les résidus de médicaments vétérinaires. L'accumulation de ces substances peut entraîner une eutrophisation des eaux, une prolifération excessive d'algues et une diminution de l'oxygène dissous, affectant ainsi la faune et la flore marines. Par ailleurs, certains contaminants chimiques, notamment les métaux lourds, les dioxines et les microplastiques, peuvent perturber les fonctions biologiques des organismes aquatiques, en particulier le système endocrinien et la reproduction. L'ensemble de ces impacts influence également les ressources halieutiques et la qualité des produits de la mer (FAO, 2020 ; UNEP, 2021).

IV.1.2. Industrielle

Les activités industrielles représentent une source majeure de pollution marine, notamment dans les zones côtières fortement urbanisées. Les rejets industriels, les effluents non traités et les déversements accidentels d'hydrocarbures issus des installations portuaires, des plateformes pétrolières et des complexes industriels contribuent à la dégradation du milieu marin. L'expansion des zones industrielles à proximité des littoraux accentue l'accumulation des polluants et leurs effets sur les écosystèmes voisins. De plus, certaines infrastructures telles que les centrales énergétiques et les installations offshore génèrent une pollution sonore sous-marine susceptible de perturber les organismes marins. L'ensemble de ces pressions peut entraîner une diminution de la biodiversité, une dégradation des habitats aquatiques et une réduction de la production halieutique. La mise en place de systèmes efficaces de traitement des eaux usées industrielles et de stratégies de gestion environnementale constitue ainsi un élément essentiel pour limiter ces impacts (UNESCO, 2020 ; OMS, 2022).

IV.1.3. Domestique (urbaine)

La pollution domestique, également appelée pollution urbaine, résulte principalement des eaux usées issues des activités quotidiennes des ménages. Ces eaux proviennent notamment des toilettes, des cuisines, des salles de bain et des opérations de nettoyage domestique. Elles contiennent une grande variété de substances polluantes telles que des matières organiques, des microorganismes pathogènes, des savons, des lessives, des détergents et des produits désinfectants comme l'eau de Javel.

Ces effluents peuvent également renfermer des composés chimiques tels que le chlore, les phosphates, les tensioactifs ainsi que des métaux lourds provenant des conduites anciennes, notamment le plomb. Lorsqu'elles ne sont pas correctement traitées, ces eaux usées sont rejetées dans les milieux naturels, puis transportées par les réseaux hydrographiques vers les zones côtières. Elles contribuent alors à la dégradation de la qualité de l'eau, à l'eutrophisation, à la diminution de l'oxygène dissous et à la prolifération de microorganismes pathogènes, ce qui peut perturber les écosystèmes aquatiques et représenter un risque pour la santé humaine (Bensalem, 2003).

IV.2. Selon la nature

Les substances polluantes appartiennent à différentes classes, mais peuvent produire des effets similaires sur le milieu aquatique.

IV.2.1. Polluants conservatifs

Les polluants conservatifs sont des substances qui persistent durablement dans le milieu marin sans subir de dégradation significative. Ils incluent notamment les métaux lourds, les PCB et le DDT.

IV.2.1.1. Pollution par les métaux lourds

Les métaux lourds figurent parmi les polluants chimiques les plus dangereux. Leur présence dans le milieu marin est principalement liée aux rejets industriels mal contrôlés ainsi qu'aux contaminations accidentelles. Ces éléments représentent une menace importante pour les écosystèmes marins et la santé humaine.

Certains métaux lourds sont responsables de maladies graves. À titre d'exemple, la maladie de Minamata survenue au Japon a entraîné l'intoxication d'environ 2000 personnes. Les études épidémiologiques ont montré que cette intoxication était due à la bioaccumulation du mercure dans les chaînes trophiques marines. D'autres affections ont également été identifiées, telles que la maladie d'Hoff associée à l'arsenic et la maladie d'Itai-Itai provoquée par le cadmium.

Par ailleurs, plusieurs métaux présentent des effets néfastes sur les organismes marins. Le zinc et le cuivre, par exemple, peuvent entraîner le verdissement des huîtres à des concentrations respectives de 0,1 ppm et 0,01 ppm. De plus, des éléments tels que le chrome, le cuivre, le mercure, le nickel, le plomb et le zinc exercent une action toxique ou inhibitrice sur la croissance des algues. Le cuivre agit notamment comme un algicide à des concentrations supérieures à 0,1 mg/L (DAJOZ et *al.*, 1977).

IV.2.1.2. Pollution par les pesticides

Les pesticides sont définis comme des substances ou préparations utilisées pour éliminer les organismes nuisibles à l'homme, de manière directe ou indirecte. Selon leur cible, ils sont classés en acaricides, nématocides, fongicides et herbicides.

On distingue principalement trois grandes catégories de pesticides : les organochlorés, les organophosphorés et les herbicides. Leur utilisation présente des risques importants, car ils perturbent les équilibres biologiques, affectent les chaînes alimentaires et contribuent à la dégradation des milieux marins.

La contamination du milieu marin par les pesticides peut avoir plusieurs origines. Elle est souvent liée aux rejets industriels, notamment des usines situées à proximité des fleuves ou des zones côtières (RAMADE, 1982). Le lessivage des sols agricoles et le ruissellement contribuent également au transport de ces substances vers le littoral. Par ailleurs, les pesticides peuvent être transportés par voie atmosphérique avant d'être déposés dans les eaux marines lors des précipitations.

Certaines espèces marines sont particulièrement sensibles à ces polluants. Le phytoplancton, par exemple, peut être affecté par le DDT à des concentrations très faibles (de l'ordre de 10 ppb), ce qui entraîne une diminution de la photosynthèse. De même, des organismes comme les crabes et les crevettes peuvent être éliminés à des concentrations inférieures à 0,2 ppb (DAJOZ, 1977).

Ainsi, la poursuite de cette pollution pourrait entraîner une baisse de la productivité des océans et, par conséquent, une diminution des ressources alimentaires disponibles pour l'homme (DAJOZ, 1977).

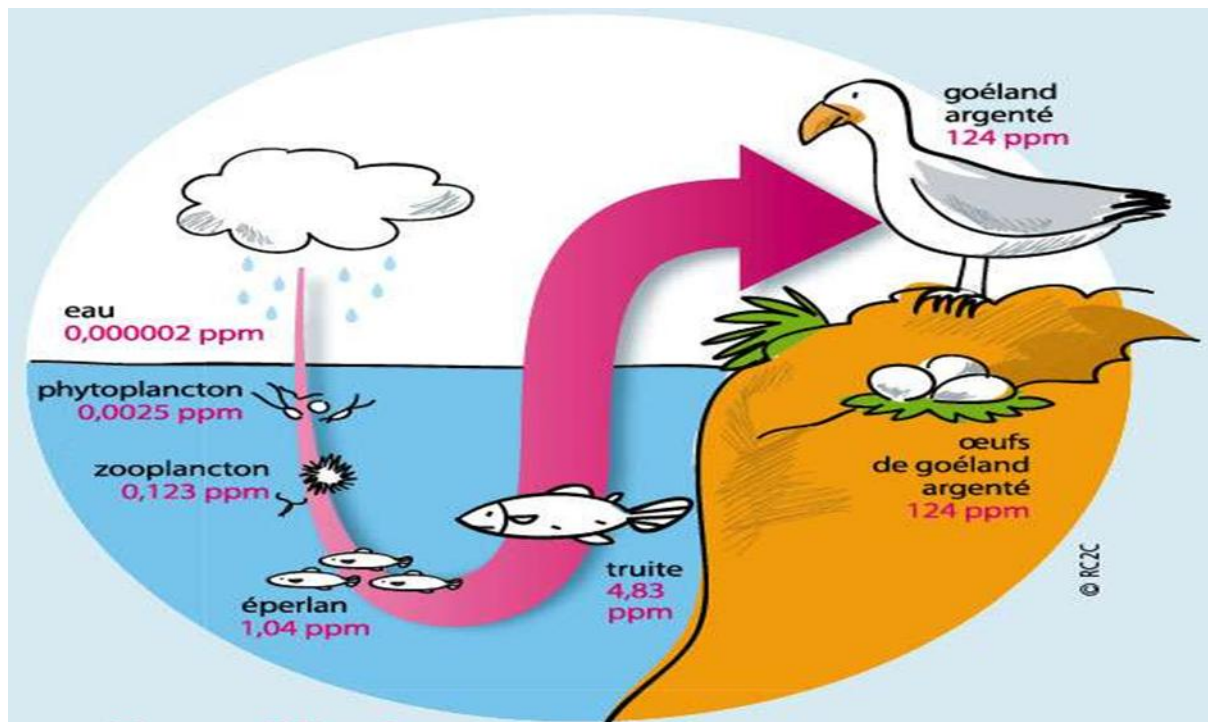


Figure 3 : La bioaccumulation des produits chimiques organochlorés tels que le PCB (USEPA.2006)

Schéma illustre la concentration des PCB à chaque étape de la chaîne trophique aquatique des Grands Lacs (en parties par million, ppm). La plupart des taux sont observés dans les œufs d'oiseaux piscivores tels que les goélands argentés. (USEPA. 2006).

IV.2.2. Polluants chimiques non conservatifs

IV.2.2.1. Pollution par les hydrocarbures

Les hydrocarbures, constituants principaux du pétrole brut, sont des composés chimiques formés essentiellement de carbone et d'hydrogène. Toutefois, le pétrole brut et ses dérivés contiennent également d'autres substances organiques et inorganiques.

La pollution par les hydrocarbures constitue l'une des formes les plus répandues de pollution marine. Elle résulte de diverses sources, notamment les opérations de chargement et de déchargement des navires, les accidents maritimes tels que les collisions et les échouements, ainsi que les rejets intentionnels appelés « déballastage » des pétroliers (REMILI et KERFOUF,2010).

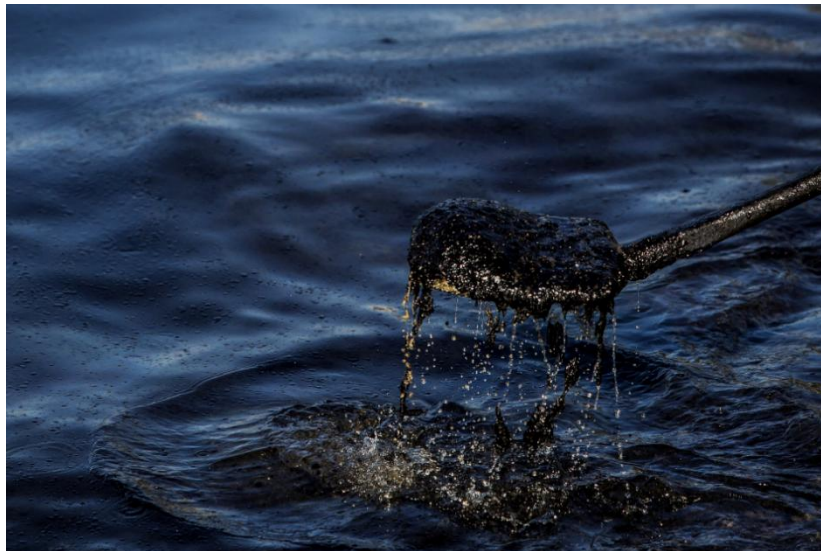


Figure 4 : Pollution par les hydrocarbures : Marée noire (RTL, 2019)

IV.2.2.2. Pollution par les détergents

Au cours des dernières années, l'utilisation des détergents a connu une augmentation significative, aussi bien dans le domaine domestique que dans les activités industrielles.

La présence de ces substances dans le milieu aquatique peut avoir plusieurs origines. Elle peut être d'origine industrielle, notamment liée à la fabrication de détergents, aux activités de blanchisserie ou encore au nettoyage des équipements. Elle peut également être d'origine agricole, résultant du lessivage des sols par les eaux pluviales, entraînant avec elles des agents mouillants utilisés dans la composition des insecticides et des germicides. Enfin, une origine urbaine est également à considérer, en raison de l'utilisation domestique des détergents et de leur emploi dans le nettoyage des établissements publics tels que les hôpitaux, les maternités ou les stations de dessalement.

Ces composés, particulièrement nocifs pour le milieu marin, sont acheminés vers la mer par différents vecteurs, notamment les cours d'eau côtiers, les réseaux d'assainissement ou encore par des déversements directs, en particulier lors des marées noires où ils sont utilisés pour favoriser l'émulsification des hydrocarbures Scott, M. J., & Jones, M. N. (2000)

Parmi les effets néfastes des détergents sur le milieu marin, on peut citer la formation de mousses en surface, lesquelles entravent les échanges gazeux entre l'atmosphère et l'eau. Cette situation perturbe ainsi les mécanismes naturels d'autoépuration du milieu marin (PERSSON *et al.*, 1976).

IV.2.3. La pollution thermique

La pollution thermique correspond à la modification anormale de la température des milieux aquatiques due principalement aux activités industrielles et énergétiques qui utilisent l'eau pour le refroidissement des machines ou pour la production d'électricité à partir de la vapeur. Après utilisation, cette eau est rejetée dans le milieu naturel à une température généralement plus élevée que celle du milieu récepteur, même après un refroidissement partiel durant son acheminement. Cette augmentation de température perturbe l'équilibre thermique naturel de l'écosystème aquatique, diminue la solubilité de l'oxygène dissous, affecte le métabolisme, la croissance et la reproduction des organismes aquatiques, et peut favoriser le développement excessif de certains micro-organismes et algues, entraînant ainsi une dégradation de la qualité de l'eau et du milieu récepteur (Taghezout, 2015).

IV.2.4. La pollution radioactive

La pollution radioactive résulte de l'introduction de substances radioactives dans l'environnement aquatique, principalement à la suite des rejets provenant des installations nucléaires, des centrales de production d'énergie nucléaire et des usines de traitement des déchets radioactifs. Ces éléments radioactifs peuvent contaminer l'eau, les sédiments et les organismes vivants, persister longtemps dans le milieu et s'accumuler le long de la chaîne alimentaire. Cette contamination représente un risque pour les écosystèmes aquatiques ainsi que pour la santé humaine, en raison des effets toxiques et des rayonnements ionisants susceptibles d'endommager les cellules et de provoquer diverses perturbations biologiques (Baudin et *al.*, 1991).

IV.2.5. Pollution nucléaire

La pollution nucléaire est liée aux activités associées à la production d'énergie nucléaire et au traitement des combustibles usés. Elle résulte principalement des rejets provenant des centrales nucléaires, des installations de retraitement, du transport de combustibles ainsi que du stockage des déchets nucléaires. L'importance de cette pollution augmente avec la demande croissante en énergie et le développement de nouvelles installations nucléaires. Les contaminants issus de ces activités peuvent atteindre les milieux aquatiques et affecter les organismes vivants en provoquant des perturbations biologiques, des anomalies de développement et des troubles de reproduction. Chez l'être humain, l'exposition à ces contaminants peut entraîner divers effets sur la santé, notamment des atteintes cellulaires, des perturbations du développement et des

risques accrus lors d'expositions importantes, en particulier pour les populations les plus sensibles (Larousse Médical, 2003).

IV.2.6. La pollution plastique

Les plastiques ne contaminent pas seulement les côtes. En effet, ils affectent toute la faune marine. Les animaux se coincent dans les plus grands déchets et confondent les petits fragments de plastique avec de la nourriture, ce qui peut provoquer leur intoxication et leur coûter la vie. Les humains ingèrent eux aussi ce plastique qui se retrouve dans la chaîne alimentaire. Cependant, les conséquences que cela entraîne ne sont toujours pas clairement connues. En plus de cela, les déchets marins provoquent des pertes économiques pour les secteurs qui dépendent de la mer et pour la production en général (PE, 2018).



Figure 5 : Pollution plastique (source ; Européen Union-EP, 2018)

IV.2.7. La pollution physique

La pollution physique correspond aux modifications des caractéristiques physiques du milieu aquatique, susceptibles d'altérer la qualité de l'eau et de perturber les écosystèmes. Elle est généralement liée aux activités humaines qui influencent directement l'état physique de l'eau sans nécessairement introduire de substances toxiques. Ces modifications peuvent affecter les propriétés naturelles de l'eau et avoir des conséquences sur les organismes aquatiques.

Parmi les principaux facteurs responsables de la pollution physique figurent notamment la température, dont l'augmentation peut être liée aux rejets d'eaux chaudes provenant d'activités

industrielles ou de centrales énergétiques. Cette élévation thermique modifie la solubilité de l'oxygène dissous et perturbe le métabolisme des organismes aquatiques (Chartier, 1974).

D'autres paramètres interviennent également, tels que le pH, qui traduit l'acidité ou l'alcalinité de l'eau, ainsi que la conductivité électrique, indicatrice de la concentration en sels dissous. La pollution physique comprend aussi l'augmentation des solides totaux dissous (TDS), qui peut résulter des apports de matières minérales ou organiques. La présence de particules en suspension, de mousses ou encore l'augmentation de la turbidité modifient la transparence de l'eau, réduisent la pénétration de la lumière et affectent les processus biologiques comme la photosynthèse.

Par ailleurs, les changements de l'indice de réfraction de l'eau, causés par la présence de substances dissoutes ou de matières en suspension, constituent également une forme de perturbation physique du milieu aquatique. L'ensemble de ces modifications peut entraîner un déséquilibre des habitats aquatiques, affecter la croissance des organismes vivants et perturber le fonctionnement global des écosystèmes (Ibeh, O. O., et Umeham, S. N. (2018).

IV.2.8. La pollution microbiologique

La pollution microbiologique correspond à la contamination de l'eau par des micro-organismes pathogènes tels que les bactéries, les virus, les parasites et les champignons. Ces contaminants proviennent de diverses sources, notamment les rejets d'eaux usées domestiques, les effluents hospitaliers, les activités agricoles ainsi que les déversements provenant des structures sanitaires, qui constituent l'une des sources les plus importantes de ce type de pollution (El Ouali et *al.*, 2010).

Les micro-organismes présents dans les milieux aquatiques sont facilement transportés par l'écoulement des eaux superficielles ou souterraines. Leur dispersion favorise la propagation de maladies hydriques telles que le choléra, la fièvre typhoïde et d'autres infections gastro-intestinales. Même en l'absence de symptômes immédiats, la consommation d'une eau contaminée peut représenter un risque pour la santé humaine, car elle expose les consommateurs à diverses bactéries susceptibles de provoquer des infections lorsque les conditions deviennent favorables ou lorsque le système immunitaire est affaibli.

L'eau contaminée constitue également un milieu favorable au développement de bactéries et de virus pathogènes, ce qui peut la rendre impropre à l'usage domestique, à la consommation directe ou indirecte par les aliments, ainsi qu'aux activités récréatives telles que la baignade. La transmission des agents pathogènes se fait principalement par la voie féco-orale, notamment par l'ingestion d'eau contaminée, la consommation d'aliments lavés avec cette eau ou par contact direct lors d'activités aquatiques (Saab et *al.*, 2007).

IV.2.9. Pollution par des espèces marines étrangères au milieu

C'est une forme de pollution biologique due à l'introduction accidentelle ou intentionnelle d'espèces exotiques qui perturbent l'équilibre naturel des populations et des communautés marines. Ces espèces invasives, souvent transportées par les eaux de ballast des navires, peuvent propager des algues toxiques ou concurrencer les espèces natives pour les ressources et l'espace, entraînant leur déclin, voire leur disparition.

V. Formes de pollutions

Selon leur origine et les modes de transfert des polluants vers les milieux aquatiques, plusieurs formes de pollution peuvent être distinguées (Rodier et *al.*, 2016).

V.1. Pollution ponctuelle

La pollution ponctuelle est généralement associée à des sources clairement identifiées, telles que les rejets domestiques ou industriels. Ce type de pollution peut être maîtrisé et réduit grâce à des traitements appropriés, notamment au niveau des stations d'épuration (Rodier et *al.*, 2016).

V.2. Pollution diffuse

La pollution diffuse résulte principalement de l'utilisation de pesticides et d'engrais en agriculture. Elle affecte l'ensemble d'un bassin versant et se caractérise par un transfert progressif des polluants vers les milieux aquatiques. Ce type de pollution est difficile à traiter après dispersion et nécessite des actions préventives à la source, notamment par la réduction de l'utilisation des substances polluantes (Rodier et *al.*, 2016).

V.3. Pollution permanente ou chronique

La pollution chronique correspond à une contamination continue et durable du milieu, généralement liée aux rejets domestiques provenant des grandes agglomérations. Elle constitue la forme de pollution la plus répandue (Rodier *et al.*, 2016).

V.4. Pollution périodique

La pollution périodique apparaît de manière intermittente, souvent en relation avec des variations saisonnières. Elle est notamment associée à l'augmentation des rejets durant les périodes touristiques ou lors des épisodes de crues (Rodier *et al.*, 2016).

V.5. Pollution accidentelle ou aiguë

La pollution accidentelle, également appelée pollution aiguë, résulte de déversements soudains et massifs de substances toxiques. Elle peut être d'origine industrielle, agricole ou liée au lessivage des sols en milieu urbain (Rodier *et al.*, 2016).

VI. Impact de la pollution sur l'environnement et la santé humaine

Le rejet des eaux usées dans les milieux aquatiques sans traitement préalable constitue une source majeure de dégradation environnementale et représente un risque important pour la santé des êtres vivants ainsi que pour l'équilibre des écosystèmes.

VI.1. Les mortalités liées aux altérations de la physico-chimie

Les altérations physico-chimiques du milieu aquatique (température, salinité, pH) peuvent devenir toxiques au-delà de certains seuils et entraîner des mortalités d'organismes. L'oxygène dissous est un facteur essentiel : sa diminution provoque des d'hypoxie, voire d'anoxie, souvent liées à la dégradation de matières organiques ou à l'eutrophisation. Ces phénomènes entraînent une baisse de la biodiversité, affectant particulièrement les poissons. Par ailleurs, certains organismes sont sensibles à d'autres paramètres, comme la salinité, limitant leur survie dans des conditions défavorables. (OFB, 2024)

VI.2. L'eutrophisation des milieux

L'eutrophisation est l'ensemble des symptômes que présente un écosystème aquatique à la suite d'un apport excessif de nutriments - en particulier le phosphore et l'azote - d'origine humaine.

Cet apport favorise une prolifération rapide des algues et du phytoplancton. Leur décomposition consomme l'oxygène dissous, entraînant des phénomènes d'hypoxie voire d'anoxie. Ce processus perturbe l'équilibre des écosystèmes marins, provoque des mortalités d'organismes et peut conduire à la formation de zones mortes. (OFB, 2024)

VI.3. Effets toxiques sur les êtres vivants

Les substances polluantes deviennent toxiques au-delà d'un certain seuil lorsqu'elles pénètrent dans les organismes. La toxicité peut être aiguë, provoquant des effets rapides voire des mortalités, ou chronique, liée à une exposition prolongée à faibles doses, entraînant des maladies, des troubles physiologiques et des perturbations de la reproduction.

De plus, certains polluants non biodégradables s'accumulent dans la chaîne alimentaire, ce qui peut entraîner des effets toxiques importants chez les espèces situées au sommet de celle-ci. (OFB, 2024)

VI.4. La contamination microbiologique des êtres vivants

La contamination microbiologique est la présence de micro-organismes pathogènes (bactéries, virus, parasites) dans l'eau, principalement due aux rejets d'eaux usées non traitées. Elle peut aussi provenir de matières organiques ou de milieux stagnants favorisant les cyanobactéries toxiques.

Ces agents peuvent provoquer des maladies et se transmettre à l'homme par ingestion d'eau contaminée, contact ou consommation de produits marins. La surveillance de la qualité de l'eau est donc essentielle pour protéger la santé. (OFB, 2024)

Les maladies d'origine hydrique peuvent être regroupées en quatre grandes catégories :

- Les maladies transmises par l'eau, causées par des agents pathogènes tels que les parasites, les bactéries et les virus ;
- Les infections cutanées et oculaires liées à l'insuffisance d'eau ;
- Les maladies provoquées par des organismes aquatiques invertébrés ;

- Les maladies transmises par des insectes se développant à proximité des milieux aquatiques. (WHO, 2013),

Environ 4 milliards de cas de diarrhée sont enregistrés chaque année, en plus de millions d'autres affections, en raison du manque d'accès à une eau potable. La diarrhée est responsable d'environ 1,7 million de décès annuels, touchant principalement les enfants de moins de cinq ans. (WHO, 2013),

En outre, la santé humaine est fortement impactée par les maladies liées à l'eau ainsi que par la pollution résultant des rejets de substances chimiques issues des activités humaines. D'après l'UNICEF, près de 60 % de la mortalité infantile dans le monde est attribuée à des maladies infectieuses ou parasitaires, majoritairement associées à la contamination de l'eau (Rouamba et al., 2017 ; Benkaddour, 2018).

Tableau 1 : Les différentes infections transmissibles par l'eau (Rodier, 2009)

Classification	Micro-organismes	Affections en relation avec l'eau
Bactéries.	Escherichia coli, entéropathogènes, entérotoxiques, entéroinvasifs	GE et syndromes cholériformes (I) Indicateur de contamination fécale
	Vibrio cholerae, Vibrio spp	GE et cholera(I) , infections cutanées
	Yersinia enterocolitica	GE (I)
Virus.	Hépatite A virus (HAV), Hépatite E virus (HEV)	Hépatites (I))
	Coronavirus, Rotavirus	GE (I)
	Adénovirus	GE (I), pharyngite, conjonctivite (C, piscines

Protozoaire.	Amibes : Naegleria, Entamoeba, Balantidium, Acanthamoeba	Amibiase (I kystes) Kératite (C, eau de lavage lentilles cornéennes)
	<i>Giardia lamblia</i> , <i>G. intestinalis</i>	GE giardiase (I Kyste)
	<i>Taenia saginata</i> , <i>Taenia solium</i>	Téniasis(I) irrigation par les eaux usées
Fungi	<i>Candida albicans</i>	Candidose (C, piscines)
	<i>Dermatophytes</i> , <i>Trichophyton</i> , <i>Microsporium</i>	Mycoses cutanées (C, eau de mer, sable)

VI.5. Les perturbations endocriniennes

Les perturbations endocriniennes sont causées par des substances chimiques capables d'interférer avec le système hormonal des organismes. Même à très faibles doses, elles peuvent modifier les fonctions biologiques, notamment la reproduction et le métabolisme.

Ces polluants affectent aussi bien les animaux que les végétaux et peuvent entraîner un déclin des populations et un déséquilibre des écosystèmes. (OFB, 2024)

VII. Facteurs influençant la survie des microorganismes en milieu marin

VII.1. Facteurs physico-chimiques

La survie des microorganismes en milieu marin est conditionnée par plusieurs paramètres physico-chimiques :

- **Température** : La diminution des populations bactériennes est généralement plus rapide lorsque la température de l'eau augmente. Ainsi, en période estivale, ce paramètre constitue un facteur déterminant de l'épuration naturelle des eaux (Mancini, 1978 ; Flint, 1987).
- **Adsorption** : Ce phénomène correspond à la fixation des substances polluantes et des microorganismes sur les particules en suspension, qu'elles soient organiques ou minérales. Les bactéries peuvent s'y fixer et suivre le devenir de ces particules, ce qui contribue à leur élimination du milieu aquatique. Ce processus peut concerner jusqu'à 90 à 95 % des bactéries et virus présents (Brisou et Denis, 1978).
- **Dilution** : Dès leur rejet dans l'eau de mer, les microorganismes subissent une forte dilution sous l'effet des courants, des marées et de la turbulence. Il a été estimé que 90

à 99 % des bactéries d'origine fécale disparaissent après 48 heures de suspension dans l'eau de mer, leur concentration diminuant rapidement avec la distance au point de rejet (Maurin, 1974).

- **pH** : La survie des coliformes fécaux est influencée par le pH du milieu. Les conditions alcalines entraînent une réduction significative de leur viabilité (Chedad et *al.*, 2007).
- **Lumière** : Les coliformes fécaux présents en milieu marin sont particulièrement sensibles au rayonnement solaire. L'effet bactéricide des rayons ultraviolets agit directement sur les cellules microbiennes. Cependant, une forte turbidité de l'eau limite la pénétration des UV et réduit leur efficacité (Chedad et *al.*, 2007).
- **Salinité** : La salinité représente un facteur de stress important pour les bactéries d'origine fécale introduites en milieu marin (Hughes, 2003). Les variations de salinité entre milieux empêchent souvent leur adaptation, ce qui entraîne une diminution de leur population (Maurin, 1974). Toutefois, la présence de particules organiques peut améliorer leur résistance à ce stress (Pommepuy et *al.*, 1991).

VII.2. Facteurs biologiques

Outre les paramètres physico-chimiques, plusieurs interactions biologiques interviennent dans la dynamique des microorganismes :

- **Prédation** : Elle peut être assurée par différents microorganismes, notamment les bactéries prédatrices telles que *Bdellovibrio*, qui attaquent les bactéries Gram négatif en s'y fixant pour les détruire. Les myxobactéries possèdent également la capacité de lyser d'autres bactéries et d'utiliser leurs composants comme source nutritive (Pelmont, 1993 ; Brisou et Denis, 1978).
- **Compétition interspécifique** : Les microorganismes autochtones, mieux adaptés à leur environnement, entrent en compétition avec les bactéries allochtones, ce qui limite la croissance de ces dernières (Flint, 1987).
- **Microphagie** : Certains organismes tels que les amibes, les flagellés, les ciliés, ainsi que les mollusques filtreurs, consomment de grandes quantités de microorganismes. Toutefois, les bactéries ingérées ne sont pas toujours totalement détruites (Brisou et Denis, 1978).
- **Bactériophages** : Très répandus dans l'environnement marin, ces virus infectent spécifiquement les bactéries et les cyanobactéries, entraînant leur destruction et participant ainsi à la régulation des populations microbiennes (Brisou et Denis, 1978).

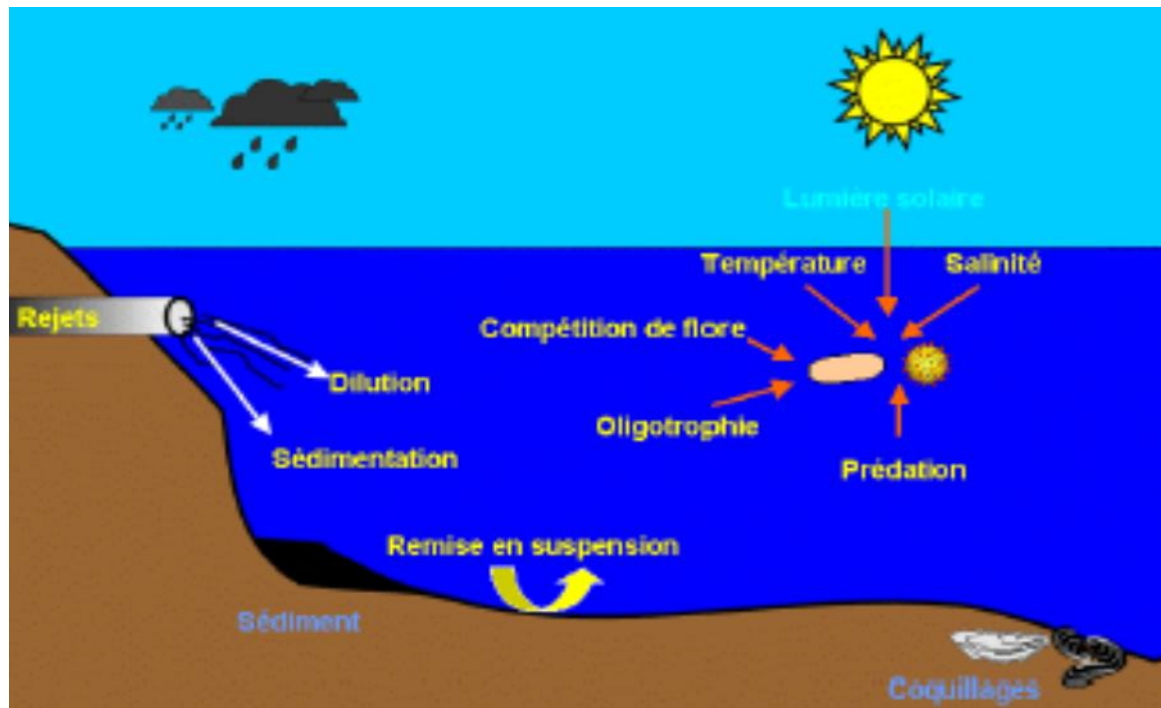


Figure 6 : Les paramètres physiques, chimiques et biologiques influençant sur la survie des germes en milieu marin (Laboratoire Environnement Ressources Poitou-Charentes, 2011)

Chapitre II :
Rejet des eaux usées

I. Classification des rejets des eaux usées

La composition des eaux usées varie en fonction de leur origine, c'est-à-dire de leur nature. On distingue généralement trois grandes catégories : les eaux usées domestiques, industrielles, pluviales et agricoles (Metcalf et Eddy, 2014).

I.1. Les rejets industriels

Leurs caractéristiques diffèrent selon le type d'industrie. Outre les matières organiques ainsi que les composés azotés et phosphorés, elles peuvent renfermer des substances toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques et des hydrocarbures (MRE, 2020).

Les principales formes de pollution associées aux rejets industriels comprennent : la pollution organique, les apports de matières en suspension, la pollution toxique (métaux lourds, hydrocarbures, composés organochlorés, pesticides), la pollution thermique due aux rejets d'eaux chaudes issues de certaines installations, ainsi que la pollution radioactive liée à des effluents contenant des substances radioactives (DRIRE, 2006 a ; DRIRE, 2006 b).

I.2. Les rejets domestiques

Les eaux usées domestiques proviennent des activités quotidiennes des habitations, telles que la lessive, la vaisselle, la préparation des aliments, ainsi que l'utilisation des toilettes et des douches. Selon Demers (2007), elles peuvent être subdivisées en deux catégories principales :

- Les eaux ménagères
- Les eaux de vannes

Elles sont riches en composés variés, comprenant des matières minérales, de la cellulose, des lipides, des protides, ainsi que des substances azotées telles que l'urée, l'acide urique et les acides aminés. Elles renferment également des acides gras, des alcools et des glucides (Badia Gondard F., 1996).

I.2.1. Les eaux ménagères (eaux grises)

Les eaux ménagères sont issues des douches, des bains et des éviers. Elles contiennent divers polluants tels que des détergents, des matières organiques, des solvants, des parfums, des agents blanchissants et des adoucissants. Les produits d'entretien domestiques regroupent une grande variété de composés chimiques, dont la persistance dans l'environnement peut varier de quelques heures à plusieurs années. Par ailleurs, certains produits potentiellement dangereux, comme les peintures, sont parfois rejetés de manière inappropriée dans les réseaux d'assainissement, contribuant ainsi à la pollution des eaux.

I.2.2. Les eaux de toilettes (eaux noires)

Les eaux de toilettes contiennent principalement des matières organiques issues des déjections humaines. Ces rejets constituent une source importante de pollution, notamment en raison de la présence de trois types majeurs de polluants : la charge organique biodégradable, les micro-organismes pathogènes (bactéries, virus, parasites) ainsi que les nutriments tels que l'azote et le phosphore, susceptibles de provoquer des phénomènes d'eutrophisation.

I.3. Les eaux pluviales et de ruissellement

Les eaux pluviales correspondent aux précipitations atmosphériques sous forme liquide, principalement la pluie. Elles englobent à la fois les eaux météoriques et celles qui ruissellent sur les surfaces urbaines telles que les voiries et les toitures. Une partie de ces eaux s'écoule en surface sous forme de ruissellement, tandis qu'une autre s'infiltre dans le sol pour alimenter les nappes souterraines (Valiron, 1990).

I.4. Les eaux d'origine agricole

Il s'agit d'eaux contaminées par des substances issues des activités agricoles. Dans le cadre d'une agriculture intensive et performante, l'utilisation de divers produits d'origine industrielle ou agricole peut engendrer des risques pour l'environnement, notamment pour la qualité des ressources en eau. Ces polluants proviennent principalement :

- des fertilisants (engrais minéraux commerciaux ou effluents d'élevage, produits ou non sur l'exploitation) ;

- des produits phytosanitaires tels que les herbicides, fongicides et insecticides (Grosclaude, 1999).

II. Caractéristiques des eaux usées

II.1. Paramètres organoleptiques

II.1.1. Couleur

Une eau parfaitement pure, observée en transmission sur plusieurs mètres de profondeur, présente une teinte bleu clair. Cela s'explique par la faible absorption des courtes longueurs d'onde, tandis que les longueurs d'onde plus élevées, notamment le rouge, sont rapidement absorbées (Rejsek, 2002).

La couleur d'une eau est qualifiée de *réelle* lorsqu'elle provient uniquement des substances dissoutes. En revanche, elle est dite *apparente* lorsque des particules en suspension contribuent également à la coloration (Rodier et al., 2005).

II.1.2. Odeur et saveur

La présence d'odeurs ou de goûts désagréables traduit généralement une contamination. Elle peut résulter du développement de micro-organismes ou de la présence de composés organochlorés. De manière générale, toute odeur est un indicateur de pollution ou de décomposition de matières organiques.

II.2. Paramètres physiques

II.2.1. Température (T)

La température constitue un paramètre fondamental à mesurer avec précision. Elle influence notamment la solubilité des gaz et des sels, la dissociation des composés dissous, la conductivité électrique ainsi que le pH. Elle peut également fournir des indications sur l'origine de l'eau et d'éventuels mélanges (Rodier et al., 2005).

II.2.2.2. Matières en suspension (MES)

Les MES correspondent à des particules solides présentes dans l'eau, généralement de taille supérieure à 10 μm (Rejsek, 2002). Leur maintien en suspension dépend des conditions d'écoulement, notamment d'une vitesse minimale d'environ 0,5 m/s.

II.2.2.3. Turbidité

La turbidité traduit le degré d'opacité d'un liquide, lié à la présence de particules non dissoutes. Elle est principalement due aux fines matières en suspension telles que les argiles, limons, silices ou micro-organismes. Une faible part peut également être attribuée aux substances colloïdales d'origine organique ou minérale (Rejsek, 2002).

II.2.2.4. Potentiel hydrogène (pH)

Le pH permet de caractériser l'acidité ou l'alcalinité d'une eau. Une eau légèrement acide présente un pH compris entre 6,5 et 7, tandis qu'une eau légèrement alcaline se situe entre 7,2 et 8,3 (MRE, 2022).

II.2.2.5. Conductivité électrique (CE)

La conductivité traduit la capacité de l'eau à conduire le courant électrique. Elle dépend de la présence et de la concentration des ions dissous, ainsi que de leur nature (Rejsek, 2002).

II.3. Paramètres chimiques**II.3.1. Oxygène dissous (OD)**

L'oxygène dissous est indispensable à la vie aquatique et aux réactions biologiques des écosystèmes. Sa solubilité dépend de plusieurs facteurs, notamment la température, la pression et la composition ionique du milieu. Il est généralement exprimé en mg O₂/L (Rejsek, 2002).

II.3.2. Demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO représente la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation chimique des substances présentes dans l'eau. Elle donne une estimation globale des matières oxydables, qu'elles soient d'origine organique ou minérale (Rodier, 2005).

II.3.3. Demande biochimique en oxygène (DBO)

La DBO permet d'évaluer la charge en matières biodégradables d'un milieu. Elle reflète la capacité d'auto-épuration et aide à déterminer les niveaux acceptables de pollution, notamment dans les traitements d'eaux usées (Rodier, 2005).

La DBO₅ correspond à la quantité d'oxygène consommée en cinq jours par les micro-organismes aérobies pour dégrader les matières présentes (Rejsek, 2002).

II.3.4. Résidu sec (RS)

Le résidu sec correspond à la fraction minérale obtenue après évaporation d'un litre d'eau à 180 °C (MRE, 2022).

II.3.5. Matière organique (MO)

La matière organique regroupe l'ensemble des substances issues des êtres vivants (vivants, morts ou déchets biologiques). Elle peut être présente naturellement en faible quantité ou provenir de rejets domestiques ou agricoles. Elle se retrouve sous forme dissoute ou particulaire, et sa quantification repose sur des méthodes normalisées (MRE, 2022).

II.3.6. Carbone organique total (COT)

Le COT est un indicateur de la quantité de matière organique dans l'eau, exprimé en mg/L. Dans les eaux de surface, il varie généralement entre 2 et 10 mg/L. On distingue également le carbone organique dissous (MRE, 2022).

II.3.7. Nutriments

Les nutriments, principalement l'azote et le phosphore, sont présents dans les eaux usées sous formes organiques et minérales. À des concentrations élevées, ils peuvent provoquer l'eutrophisation des milieux aquatiques. Leur contrôle est donc essentiel pour respecter les normes de rejet et assurer l'efficacité des traitements.

a. Le phosphore

Le phosphore se présente sous forme organique (d'origine biologique ou industrielle) et sous forme minérale, notamment les orthophosphates et polyphosphates issus des détergents et des engrais (MRE, 2022).

b. L'azote

L'azote existe sous différentes formes : ammonium (NH_4^+), nitrites (NO_2^-) et nitrates (NO_3^-). L'azote total comprend l'azote Kjeldahl (azote organique + azote ammoniacal) ainsi que les nitrites et nitrates.

Les transformations de l'azote impliquent des processus biologiques tels que la nitrification ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$) et la dénitrification (MRE, 2022).

c. Le potassium (K^+)

Le potassium est présent dans les effluents secondaires à des concentrations comprises entre 10 et 30 mg/L, ce qui permet de répondre partiellement aux besoins des végétaux (FABY et BRISSAUD, 1997).

Cependant, un excès de fertilisation potassique peut entraîner une fixation du potassium sous une forme difficilement échangeable, augmenter les pertes par drainage dans les sols légers et provoquer une consommation excessive par les cultures (FAO, 2002).

d. Le chlore et le sodium

Le chlore et le sodium proviennent de différentes sources :

- Naturelles, notamment l'eau de mer (27 g/L de NaCl) et les terrains salés ;
- Humaines, avec environ 10 à 15 g/L de NaCl rejetés quotidiennement dans les urines ;
- Industrielles, telles que les industries de la potasse, pétrolière, de galvanoplastie et agroalimentaire (GAUJOU, 1995).

Ces éléments peuvent également poser problème, en particulier en zone côtière, lorsque les réseaux d'assainissement drainent des eaux phréatiques saumâtres (FABY, 1997).

e. Métaux lourds

Les métaux lourds sont des éléments toxiques susceptibles d'inhiber l'activité microbienne et de perturber les procédés d'épuration biologique. Parmi les plus dangereux figurent le chrome VI, le plomb, le cadmium, le cuivre, le nickel, le zinc et l'aluminium. Ils peuvent se présenter sous forme ionique ou combinée et ont tendance à s'accumuler dans les boues (MRE, 2022).

II.4. Les paramètres bactériologiques

Les eaux usées renferment l'ensemble des micro-organismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est généralement associée à des agents pathogènes. Ces micro-organismes sont classés en quatre grands groupes selon leur taille croissante : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes (BAUMONT *et al.*, 2004).

II.4.1. Les virus

Les virus sont des agents infectieux de très petite taille, comprise entre 10 et 350 nm, et se reproduisent uniquement en infectant une cellule hôte dont ils détournent les mécanismes biologiques.

Contrairement aux bactéries, les virus ne font pas partie de la flore intestinale naturelle. Leur présence dans l'organisme peut être liée à une infection accidentelle ou, dans certains cas, à une introduction volontaire, comme lors de certaines vaccinations (par exemple contre la poliomyélite). La transmission se fait principalement par ingestion, bien que d'autres voies, telles que l'inhalation, puissent exister pour certains virus comme le Coronavirus (CSHPF, 1995).

Les virus entériques sont ceux qui se multiplient dans le tractus intestinal. Parmi les principaux virus entériques humains, on retrouve les entérovirus (tels que le poliovirus), les rotavirus, les rétrovirus, les adénovirus ainsi que le virus de l'hépatite A (ASANO, 1998).

Tableau 2 : Les virus dans les eaux usées Source : adapté d'Asano (1998) et du site Internet du ministère de la Santé du Canada (www.hc-sc.gc.ca).

Agent pathogène	Symptômes, maladie	Nombre pour un litre d'eau usée	Voies de contamination principales
Virus de l'hépatite A	hépatite A		Ingestion
Virus de l'hépatite E	hépatite E		Ingestion

Rotavirus	Vomissement, diarrhée	400 à 85000	Ingestion
Virus de Norwalk	Vomissement, diarrhée		Ingestion
Adénovirus	Maladie respiratoire, conjonctivite, vomissement, diarrhée		Ingestion
Astrovirus	Vomissement, diarrhée		Ingestion
Calicivirus	Vomissement, diarrhée		Ingestion
Coronavirus	Vomissement, diarrhée		Ingestion / inhalation
Réovirus	Affectation respiratoire bénigne et diarrhée		Ingestion
Entérovirus			
Poliovirus	Paralysie, méningite, fièvre	182 à 492000	Ingestion
Coxsackie A	Méningite, fièvre, pharyngite, maladie respiratoire		Ingestion
Coxsackie B	Myocardite, anomalie congénitale du cœur (si contamination pendant la grossesse), éruption cutanée, fièvre, méningite, maladie respiratoire		Ingestion
Echovirus	Méningite, encéphalite, maladie respiratoire, rash, diarrhée, fièvre		Ingestion
Entérovirus 68-71	Méningite, encéphalite, maladie respiratoire, conjonctivite hémorragique aiguë, fièvre		Ingestion

II.4.2. Les bactéries

Les bactéries sont des micro-organismes unicellulaires procaryotes, dépourvus de noyau, dont la taille varie généralement entre 0,1 et 10 μm . Elles sont largement répandues dans l'environnement, y compris dans les eaux usées. Parmi les genres fréquemment rencontrés figurent les *Salmonella*, qui regroupent de nombreux sérotypes, dont certains sont responsables de maladies telles que la fièvre typhoïde, les paratyphoïdes et diverses infections intestinales. Par ailleurs, certains micro-organismes sont utilisés comme indicateurs de contamination fécale afin d'évaluer la qualité microbiologique de l'eau. Parmi eux, les coliformes thermotolérants sont couramment employés (Djeddi et Rahmoune, 2007).

Tableau 3 : Les bactéries pathogènes dans les eaux usées (Asano 1998)

Agent pathogène	Symptômes, maladie	Mode(s) de contamination
<i>Salmonella</i>	Salmonellose	Ingestion
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Gastro entérite	Ingestion
<i>Leptospira spp.</i>	Leptospirose	Cutanée/Ingestion/Inhalation
<i>Legionella</i>	Légionellose	Inhalation
<i>Campylobacter jejuni</i>	Gastro entérite	Ingestion
<i>Listeria monocytogènes</i>	Listériose	ngestion
<i>Escherichia coli</i>	Syndrome Hémolytique et Urémique(SHU)	Ingestion
<i>Shigella</i>	Dysenterie bacillaire	Ingestion
<i>Salmonella Typhi</i>	Fièvre typhoïde	Ingestion
<i>Vibrio cholerae</i>	Choléra	Ingestion
<i>Mycobacterium</i>	Tuberculose	Ingestion

II.4.2. Indicateurs de contamination fécale

Les eaux usées urbaines présentent une forte charge bactérienne, estimée entre 10^6 et 10^7 bactéries pour 100 ml. Elles contiennent notamment environ 10^5 bactéries appartenant aux genres *Proteus* et aux entérobactéries, entre 10^3 et 10^4 streptocoques, ainsi que 10^2 à 10^3 clostridies. Quant aux bactéries pathogènes, leur concentration est de l'ordre de 10^4 germes par litre. Parmi les principaux indicateurs de contamination fécale, on distingue :

➤ **Les coliformes totaux :**

Ce groupe regroupe des bactéries à Gram négatif, capables de fermenter le lactose avec production de gaz. Elles sont oxydase négative, anaérobies facultatives, généralement non sporulées et considérées comme non pathogènes. Les genres les plus représentatifs sont *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter*, *Serratia* et *Klebsiella*. Toutefois, les classifications taxonomiques récentes indiquent que ce groupe est plus vaste et diversifié qu'initialement décrit (Hobeika, 2021).

➤ **Coliformes d'origine fécale :**

Appelés également coliformes thermotolérants, ils regroupent l'ensemble des coliformes capables de fermenter le lactose à une température élevée de $44,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Leur présence est fortement associée à une contamination d'origine fécale.

➤ ***Escherichia coli* :**

Escherichia coli est une bactérie normalement présente dans le tube digestif de l'homme et des animaux à sang chaud. Elle constitue un indicateur spécifique de pollution fécale, bien qu'elle puisse, dans certaines conditions particulières (notamment en milieux aquatiques tropicaux), survivre et se multiplier en dehors de l'hôte. Certaines souches pathogènes, telles que *E. coli* O157:H7, produisent des toxines responsables de troubles digestifs sévères, pouvant entraîner des complications graves, en particulier chez les enfants et les personnes âgées.

➤ **Streptocoques du groupe D :**

Ces bactéries, à Gram positif, se présentent sous forme sphérique ou ovoïde et s'organisent fréquemment en chaînettes. Elles sont non sporulées, dépourvues d'activité catalisique et

possèdent l'antigène du groupe D. Elles peuvent se développer en conditions aérobies à 44 °C et à un pH de 9,6, et ont la capacité d'hydrolyser l'esculine en présence de bile, conformément à la norme NF EN ISO 7899-2 (Hobeika, 2021).

➤ **Bactéries pathogènes :**

Les bactéries pathogènes d'origine fécale peuvent être recherchées afin de confirmer un risque sanitaire lié à l'eau. Leur détection est généralement réalisée en complément d'investigations épidémiologiques, notamment lors de la survenue de maladies infectieuses suspectées d'être d'origine hydrique (Hobeika, 2021).

➤ **Salmonelles :**

Les salmonelles sont des bacilles à Gram négatif, appartenant à la famille des *Enterobacteriaceae*. Ce sont des bactéries aéro-anaérobies facultatives, généralement mobiles grâce à des flagelles péritriches, et de type chimio-organotrophe. Elles sont systématiquement pathogènes et peuvent être à l'origine d'épidémies d'origine hydrique. Elles provoquent principalement deux types d'affections : les fièvres typhoïdes, encore fréquentes et parfois mortelles dans les pays en développement, et les gastro-entérites aiguës, pouvant entraîner des complications sévères (Hobeika, 2021).

➤ **Shigella :**

Les bactéries du genre *Shigella* sont des bacilles à Gram négatif, aéro-anaérobies facultatifs et oxydase négative. Elles fermentent le glucose, avec ou sans production de gaz. Ce genre comprend quatre espèces principales : *S. dysenteriae*, *S. flexneri*, *S. boydii* et *S. sonnei*. Leur réservoir est essentiellement le tube digestif de l'homme et des primates. Elles sont responsables d'infections intestinales parfois graves, notamment des dysenteries. À ce jour, il n'existe pas de vaccin universellement efficace contre ces bactéries (Ait Abdelouahab, 2008 ; Loucif et *al.*, 2020).

➤ **Clostridium sulfite-réducteurs :**

Les clostridium sulfite-réducteurs sont des bactéries sporulées caractérisées par une grande résistance aux conditions environnementales extrêmes, telles que la chaleur, les radiations et les rayonnements ultraviolets. Grâce à cette capacité de survie, ils persistent longtemps dans le

milieu. Leur détection dans l'eau est souvent utilisée comme indicateur de l'efficacité des procédés de traitement, notamment de la filtration (Alvarado et al, 2016).

II.4.3. Les protozoaires

Les protozoaires sont des micro-organismes unicellulaires possédant un noyau, plus complexes et de taille supérieure à celle des bactéries. La majorité des protozoaires pathogènes sont des parasites, se développant aux dépens de leur hôte.

Certains protozoaires sont capables de développer une forme de résistance au cours de leur cycle de vie (Baumont et al., 2004). Cette forme, appelée kyste, leur permet de survivre dans des conditions environnementales défavorables et d'être transportés par les eaux résiduaires. Ces structures sont particulièrement résistantes et peuvent persister dans le milieu pendant de longues périodes. En fonction des conditions environnementales, leur survie peut s'étendre sur plusieurs semaines, voire plusieurs années (Campos, 2008).

De nombreux protozoaires pathogènes ont été identifiés dans les eaux usées (Gennaccaro et al., 2003). Parmi les espèces présentant un intérêt sanitaire majeur figurent *Entamoeba histolytica*, agent de la dysenterie amibienne, *Giardia lamblia* et *Cryptosporidium parvum* (Toze, 1997 ; Toze, 2006).

Par ailleurs, une faible dose infectieuse suffit à provoquer une contamination : l'ingestion de 10 à 30 kystes peut déjà entraîner des troubles sanitaires (Campos, 2008).

Tableau 4 : Principaux protozoaires présents dans les eaux usées (Asano 1998)

Agent pathogène	Symptômes, maladie	Mode(s) de contamination
<i>Entamoeba histolytica</i>	Dysenterie amibienne	Ingestion
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiase	Ingestion
<i>Balantidium coli</i>	Dysenterie balantidienne	Ingestion
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Diarrhée, fièvre	Ingestion / Inhalation
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmose	Ingestion
<i>Cyclospora</i>	Diarrhée, légère fièvre	Ingestion
<i>Microsporidium</i>	Diarrhée	Ingestion
<i>Naegleria</i>	Méningite	Inhalation
<i>Enterocytozoon spp</i>	Diarrhée chronique, problèmes rénaux, musculaires, pulmonaires et oculaires	Ingestion

II.4.4. Les helminthes

Les helminthes sont des vers multicellulaires. Tout comme les protozoaires, ce sont en majorité des organismes parasites. Les œufs d'helminthes sont très résistants et peuvent notamment survivre plusieurs semaines voire plusieurs mois sur les sols ou les plantes cultivées. La concentration en œufs d'helminthes dans les eaux usées est de l'ordre de 10 à 10³ œufs/l (Faby & Brissaud, 1997). Parmi les espèces les plus courantes, on peut citer *Ascaris lumbricoides*, *Oxyuris vermicularis*, *Trichuris trichiura* et *Taenia saginata* (CSHPF, 1995).

Tableau 5 : Les parasites pathogènes dans les eaux usées Source : adapté d'Asano (1998) et du site Internet du ministère de la Santé du Canada (www.hc-sc.gc.ca)

Organisme	Symptômes, maladie	Nombre pour 1 litre	Voies de contamination principales
Protozoaires			
Entamoeba Histolitica	Dysenterie amibienne	4	Ingestion
Giardia lamblia	Diarrhée, malabsorption	125 à 100 000	Ingestion
Balantidium coli	Diarrhée bénigne, ulcère du colon	28-52	Ingestion
Cryptosporidium	Diarrhée	0,3 à 122	Ingestion
Toxoplasma Gondii	Toxoplasmose : ganglions, faible fièvre		Inhalation/ingestion
Cyclospora	Diarrhée, légère fièvre, perte de poids		Ingestion
Microsporidium	Diarrhée		Ingestion
Helminthes			
Ascaris	Ascaridiase : diarrhée, trouble nerveux	5 à 111	Ingestion
Ancylostoma	Anémie	6 à 118	Ingestion/Cutanée
Necator	Anémie		Cutanée
Taenia	Diarrhée, douleur musculaires		Ingestion de viande mal cuite

Trichuris	Diarrhée, abdominal	douleur	10 à 41	Ingestion
Toxocora	Fièvre, abdominal	douleur		Ingestion
Strongyloides	Diarrhée, abdominal, nausée	douleur		Cutanée
Hymenolepis	Nervosité, digestifs, anorexie	trouble		Ingestion

III. Traitement des eaux usées

Le traitement des eaux usées est réalisé au sein de stations d'épuration, conçues pour éliminer progressivement les différentes formes de pollution.

Ces installations comprennent généralement une étape de prétraitement destinée à retirer les éléments les plus grossiers. Cette phase débute par le dégrillage, qui permet de retenir les déchets solides de grande taille, puis se poursuit par des opérations de dessablage et de dégraissage, assurées par des procédés de décantation et/ou de flottation.

Elle est suivie d'un traitement primaire reposant principalement sur une décantation prolongée, visant à réduire la teneur en matières en suspension (MES). Par la suite, des traitements physico-chimiques et/ou biologiques sont mis en œuvre afin d'éliminer la matière organique dissoute et colloïdale. Ces étapes sont généralement complétées par une phase de clarification, correspondant à une nouvelle décantation permettant d'améliorer la qualité de l'eau traitée.

En fonction de la sensibilité du milieu récepteur, un traitement complémentaire peut être appliqué pour l'élimination des nutriments, notamment les nitrates et les phosphates. Par ailleurs, il existe des procédés dits extensifs, tels que le lagunage, qui reposent sur l'action combinée de mécanismes biologiques, physiques et naturels (MRE, 2022).

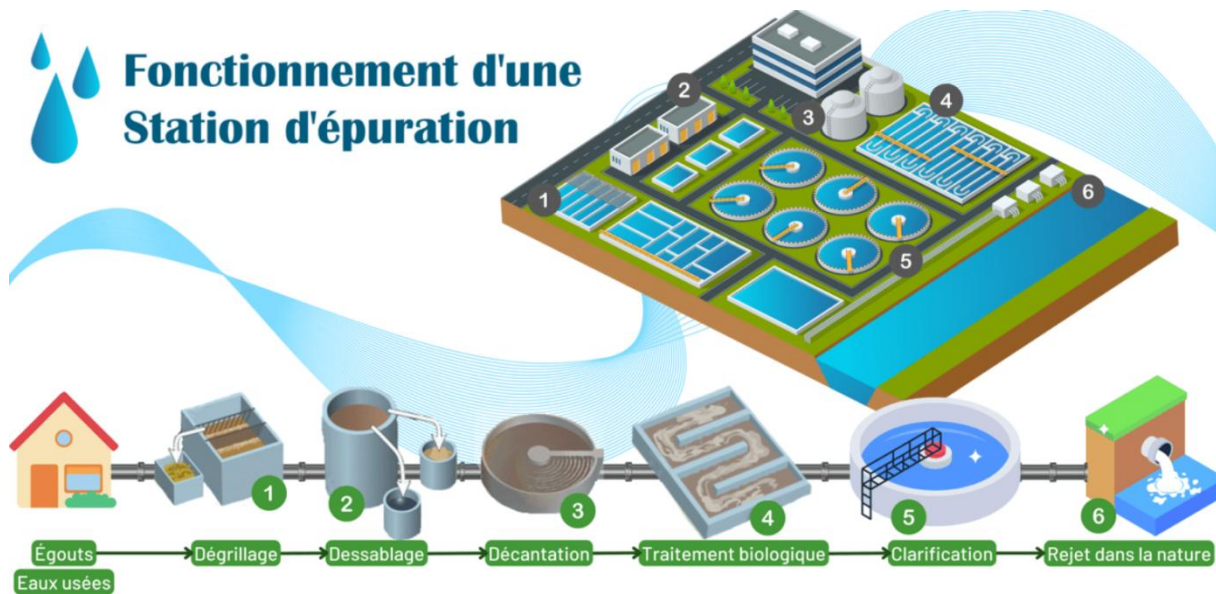


Figure 7 : Le principe de fonctionnement d'une station d'épuration à boue activée (SAS ORYX ELEVEN, France, 2022)

III.1. Les prétraitements

Avant d'entamer les étapes de traitement proprement dites, les eaux usées brutes subissent généralement une phase de prétraitement constituée d'opérations essentiellement physiques ou mécaniques. Cette étape vise à éliminer un maximum d'éléments susceptibles de perturber le fonctionnement des installations en aval, notamment en raison de leur taille ou de leur nature. Selon les caractéristiques des effluents et la configuration des ouvrages, le prétraitement peut inclure le dégrillage, le dessablage ainsi que le dégraissage-déshuilage (MRE, 2022).

III.1.1. Le dégrillage

Les eaux usées, qu'elles soient d'origine domestique ou industrielle, sont d'abord dirigées vers des grilles à barreaux ou des tamis rotatifs, dont l'espacement est variable. Ces dispositifs permettent de retenir les déchets volumineux susceptibles d'endommager les équipements ou d'obstruer les canalisations (Degremont, 2005).

Les résidus collectés au cours de cette opération sont appelés « refus de dégrillage » (Le Hyaric, 2009).

III.1.2.Dessablage

Le dessablage consiste à éliminer les particules minérales telles que les sables, graviers et autres matières lourdes présentes dans les eaux brutes. Cette opération permet d'éviter les dépôts dans les conduites et les ouvrages, tout en limitant les phénomènes d'usure et d'abrasion des équipements (Jarde, 2002).

III.1.3.Dégraissage – Déshuilage

Les graisses et les huiles, généralement moins denses que l'eau, proviennent de diverses sources telles que les habitations, les activités de restauration, les ateliers mécaniques ou encore les industries agroalimentaires.

Les procédés de dégraissage et de déshuilage reposent sur leur capacité à remonter à la surface par flottation, où elles sont ensuite récupérées à l'aide de dispositifs de raclage (Jarde, 2002). L'élimination de ces substances est essentielle afin d'éviter toute perturbation des traitements biologiques ultérieurs.

III.2. Traitement primaire (physico-chimique)

Le traitement primaire fait appel à des procédés physiques et physico-chimiques visant à réduire la charge polluante des eaux usées. Parmi ces procédés figurent principalement la décantation, la coagulation-floculation, la flottation et la filtration.

III.2.1.Décantation primaire

La décantation constitue une technique largement utilisée pour séparer les matières en suspension et certains colloïdes. Elle repose sur la sédimentation gravitaire des particules dont la densité est supérieure à celle de l'eau. Ce procédé est présent dans la majorité des stations de traitement (MRE, 2022).

III.2.2.Coagulation – Floculation

La coagulation-floculation est un procédé destiné à faciliter l'élimination des particules fines en suspension. Elle consiste à ajouter des réactifs chimiques (coagulants et floculants) qui favorisent l'agglomération des particules en floccs plus volumineux, facilitant ainsi leur décantation. L'efficacité de ces produits se mesure notamment par leur capacité à réduire la turbidité, la couleur et la matière organique.

III.2.3.Flottation

La flottation est une méthode de séparation basée sur la différence de densité entre l'eau et les particules à éliminer. Les matières plus légères sont entraînées vers la surface où elles s'accumulent, ce qui permet leur récupération et leur élimination.

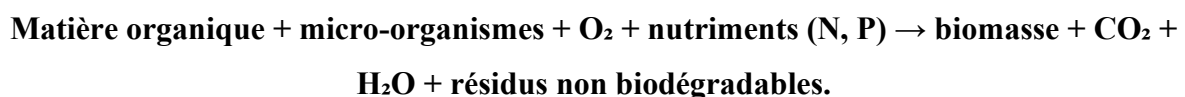
III.2.4.Filtration

La filtration est une opération de séparation qui consiste à faire passer un mélange liquide-solide à travers un milieu poreux, appelé filtre, capable de retenir les particules solides tout en laissant s'écouler le liquide.

Les technologies modernes utilisent des membranes de plus en plus fines, permettant d'éliminer non seulement les particules, mais aussi certaines molécules dissoutes et sels (Degremont, 2005).

III.3. Traitement secondaire ou traitement biologique

Les traitements biologiques reproduisent, de manière contrôlée, les mécanismes naturels d'autoépuration des milieux aquatiques. Ils permettent la dégradation de la pollution organique grâce à l'action des micro-organismes, en présence ou en absence d'oxygène. Ce processus transforme les matières dissoutes ou colloïdales en biomasse facilement séparée de l'eau.

Schématiquement :

Selon les conditions d'oxygénation, on distingue les procédés aérobies (en présence d'oxygène) et anaérobies (sans oxygène). La dégradation est assurée par des enzymes produites par les micro-organismes, permettant la transformation et l'assimilation des polluants. Ce type de traitement est particulièrement efficace pour réduire la pollution organique, mais aussi les composés azotés et phosphorés (Boeglin, 1998).

III.3.1.Types de traitements biologiques

On distingue deux grandes catégories : les procédés intensifs et les procédés extensifs.

III.3.1.1. Procédés intensifs

Ces techniques sont largement utilisées dans les stations d'épuration urbaines. Elles consistent à concentrer l'activité microbienne dans des installations compactes afin d'accélérer les réactions biologiques de dégradation de la pollution (Bongiovanni, 1998).

Les principaux procédés sont :

- Lits bactériens
- Bio filtres
- Disques biologiques
- Boues activées

III.3.1.1.1. Lits bactériens (filtres bactériens)

Ce procédé s'inspire de la filtration naturelle par le sol. L'eau prétraitée est répartie sur un matériau poreux servant de support aux micro-organismes. L'aération permet leur développement et la formation d'un biofilm qui dégrade la matière organique. Le rendement peut atteindre environ 80 % d'élimination de la DBO₅ (Bongiovanni, 1998).

III.3.1.1.2. Bio filtres

Le développement des procédés à cultures fixées sur support granulaire vise à assurer simultanément la dégradation biologique de la pollution grâce à la biomasse épuratrice et la clarification de l'effluent par filtration. Ce type de procédé ne nécessite pas d'étape finale de décantation.

L'installation se présente sous la forme d'un filtre composé de matériaux à granulométrie fine, permettant une filtration efficace. Au fil du fonctionnement, la croissance de la biomasse ainsi que la rétention des matières en suspension entraînent un colmatage progressif du lit filtrant (MRE, 2022).

III.3.1.1.3. Disques biologiques

Les disques biologiques sont constitués d'un ensemble de plaques circulaires en matière plastique, montées sur un axe horizontal et disposées de manière parallèle et régulière. Ces disques sont partiellement immergés (environ 40 %) dans un bassin contenant les eaux à traiter.

L'espace entre les disques, d'environ 2 cm, permet la circulation de l'eau et favorise les échanges avec l'air. La rotation du système assure un contact alterné entre la biomasse fixée sur les disques, l'eau usée et l'oxygène, ce qui permet la dégradation des polluants.

Ce procédé fonctionne selon un principe proche de celui des lits bactériens classiques (Bongiovanni, 1998).

III.3.1.1.4. Les boues activées

Le procédé des boues activées repose sur la mise en contact de l'eau usée avec une biomasse microbienne en suspension, en présence d'oxygène fourni par aération. Cette phase biologique est suivie d'une étape de séparation de la biomasse par décantation (clarification).

Ce système se distingue par une forte concentration en micro-organismes, nécessitant un apport important en oxygène ainsi qu'une agitation continue pour maintenir la biomasse en suspension. Dans un bassin aéré, les micro-organismes assurent l'épuration des polluants selon plusieurs mécanismes :

- Adsorption et absorption des substances polluantes sur les floccs biologiques ;
- Transformation de la DBO₅ en biomasse cellulaire par croissance bactérienne ;
- Oxydation de la matière organique en CO₂ et H₂O, produisant l'énergie nécessaire au métabolisme microbien.

Une part importante de la matière organique est ainsi oxydée, tandis qu'environ deux tiers sont convertis en boues excédentaires. Le traitement comprend donc deux étapes complémentaires : une phase biologique (dégradation de la pollution) et une phase physique (séparation des boues par décantation) (MRE, 2022).

III.3.1.2. Techniques extensives

Les procédés extensifs se caractérisent par une faible concentration en micro-organismes épurateurs et reposent largement sur des processus naturels. Le lagunage en est l'exemple principal (Jarde, 2002).

III.3.1.2.1. Le lagunage

Le lagunage est un procédé naturel de traitement des eaux usées combinant l'action des bactéries, des algues et de la lumière solaire. Il comprend généralement trois types de bassins :

- **Bassin anaérobie** : réduction de la charge organique en absence d'oxygène, pouvant générer des odeurs dues à des composés soufrés ;
- **Bassin facultatif** : développement d'algues qui produisent de l'oxygène et contribuent à la dégradation de la matière organique ;
- **Bassin de maturation** : élimination des micro-organismes pathogènes grâce aux rayons UV et à l'activité biologique des algues.

Ce procédé permet une réduction importante des bactéries (90 à 99 %) et peut atteindre une élimination totale des œufs d'helminthes sous conditions favorables. Il constitue une solution économique et simple à exploiter, mais nécessite une grande superficie et une durée de rétention élevée, généralement supérieure à 60 jours. Son efficacité dépend fortement des conditions climatiques et est plus faible en période froide (Asano, 1998 ; Faby et Brissaud, 1997).

III.3.2. Traitement tertiaire

Le traitement tertiaire regroupe l'ensemble des procédés complémentaires appliqués après les traitements primaire et secondaire. Il vise principalement l'élimination des nutriments (azote et phosphore) ainsi que des micro-organismes résiduels. Il devient indispensable lorsque les exigences du milieu récepteur sont strictes ou lorsque la réutilisation de l'eau est envisagée.

Ces traitements permettent d'améliorer la qualité finale de l'eau et comprennent principalement la dénitrification, la déphosphatation et la désinfection (MRE, 2022).

III.3.2.1. Élimination de l'azote

L'élimination de l'azote se déroule en trois étapes biologiques successives :

- **Ammonification** : transformation de l'azote organique en ammoniac/ammonium dans les boues activées ;
- **Nitrification** : oxydation de l'ammonium en nitrites puis nitrates par des bactéries aérobies (*Nitrosomonas* et *Nitrobacter*) ;
- **Dénitrification** : réduction des nitrates en azote gazeux (N_2) par des bactéries hétérotrophes en conditions anoxiques.

III.3.2.2. Élimination du phosphore (déphosphatation)

La déphosphatation peut être assurée par des procédés biologiques ou physico-chimiques. La voie biologique repose sur l'accumulation du phosphore dans la biomasse bactérienne des boues. Toutefois, son efficacité varie selon la charge organique et la présence de nitrates.

Dans les installations de grande capacité, cette méthode est souvent associée à un traitement physico-chimique afin d'atteindre les normes de rejet exigées (MRE, 2022).

III.3.2.3. Procédés de désinfection

La désinfection est indispensable lorsque les eaux traitées sont rejetées dans des milieux sensibles (zones de baignade, conchyliculture, etc.), car les traitements classiques ne suffisent pas à éliminer totalement la contamination microbiologique.

Deux principales techniques sont utilisées :

- **Chloration** : utilisation du chlore, puissant oxydant agissant sur les micro-organismes et les composés organiques. Son efficacité dépend fortement de la qualité du traitement en amont, et nécessite parfois une déchloration pour limiter les sous-produits toxiques.
- **Rayonnement ultraviolet (UV)** : destruction directe des micro-organismes par irradiation à l'aide de lampes à mercure. Cette méthode est simple, sans ajout de produits chimiques, mais son efficacité dépend de la qualité de l'eau et de l'entretien des lampes (MRE, 2022).

IV. Les normes de rejet des eaux usées

IV.1. Réglementation relative au rejet des eaux usées et eaux de baignade :

IV.1.1. Réglementation algérienne

La détermination des indicateurs de pollution constitue une étape fondamentale pour l'évaluation et le suivi de la qualité des eaux. À cet effet, il est indispensable de recourir à des méthodes analytiques normalisées afin de garantir la fiabilité des résultats. Les valeurs obtenues sont ensuite confrontées aux seuils réglementaires définis dans les décrets exécutifs publiés au Journal Officiel, notamment :

- ❖ Le décret exécutif n° 93-160 de juillet 1993, qui encadre les conditions de rejet des effluents liquides dans le milieu naturel. Ce texte précise que tout déversement d'effluents, en particulier ceux issus des activités industrielles, doit être soumis à une autorisation préalable délivrée par le ministère chargé de l'environnement. Cette autorisation détermine les exigences techniques à respecter pour assurer un rejet conforme (Tableau 6).

Tableau 6 : Valeurs limites de certains paramètres des rejets industriels (Décret exécutif n° 93-160 du Juillet 1993) (in BOUZIANI, 2002)

Paramètres	Valeur max (mg/l)	Paramètres	Valeur max (mg/l)
DBO5	40	Plomb	1
DCO	120	Cuivre	3
Phosphates	2	Zinc	5
Cyanures	0,1	Huiles et graisses	20
Aluminium	5	Hydrocarbures	20
Cadmium	0,2	Phénols	0,5
Chrome	0,1	Solvants organiques	20
Manganèse	1	Chlore actif	1,0
Mercure	0,01	PCB	0,001

Nickel	5	Détergents	2
--------	---	------------	---

- ❖ Décret exécutif n° 93-164 du 10 juillet 1993 (J.O.R.A.D.P., 1993), les eaux de baignade doivent satisfaire aux valeurs guides et aux valeurs limites fixées par la réglementation algérienne (Tableau 7).

Tableau 7 : Qualité requise des eaux de baignade (J.O.R.A.D.P.,1993)

Paramètre	Unité	Valeurs guide (UFC)	Valeurs limite (UFC)
Coliformes totaux	/100	500	10000
Coliformes fécaux	/100	100	2000
Streptocoques fécaux	/100	100	-
Salmonelle	1 L	0	0
Vibrations cholériques	/450 ML	0	0

- ❖ Le Décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427, correspondant au 19 avril 2006, définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels. Il fixe les normes des paramètres indicateurs de pollution (Tableau 8)

Tableau 8 : Normes Algériennes de rejets des effluents liquides industriels (Le Décret exécutif n° 06-141 avril 2006)

Paramètres	Unité	Valeurs limites	Tolérances aux valeurs limites anciennes installations
Température	C°	30	30
pH	-	6.5-8.5	6.5-8.5
MES	Mg/L	35	40

Azote kjeldahl	Mg/L	30	40
Phosphore total	Mg/L	10	15
DCO	Mg/L	120	130
DBO⁵	Mg/L	35	40
Aluminium	Mg/L	3	5
Substance toxique bioaccumulables	Mg/L	0.005	0.01
Cyanures	Mg/L	0.1	0.15
Fluors	Mg/L	15	20
Indice de phénols	Mg/L	0.3	0.5
Hydrocarbure totaux	Mg/L	10	15
Huile et graisses	Mg/L	20	30
Cadmium	Mg/L	0.2	0.25
Cuivre total	Mg/L	0.5	1
Mercure total	Mg/L	0.01	0.05
Plomb total	Mg/L	0.5	0.75
Chrome total	Mg/L	0.5	0.75
Etain total	Mg/L	2	2.5
Manganese	Mg/L	1	1.5
Nikel total	Mg/L	0.5	0.75
Zinc total	Mg/L	3	5
Fer	Mg/L	3	5
Composées organiques chlorés	Mg/L	5	7

- ❖ Décret exécutif n° 09-209 du 17 Joumada Ethania 1430 correspondant au 11 juin 2009 fixant les modalités d'octroi de l'autorisation de déversement des eaux usées autres que domestiques dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration (Tableau 9)

Tableau 9 : Valeurs limites maximales de la teneur en substances nocives des eaux usées autres que domestiques au moment de leur déversement dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration (Décret exécutif n° 09-209 juin 2009)

Paramètres	Valeurs limites maximales (mg/l)
Azote global	150

Aluminium	5
Argent	0.1
Arsenic	0.1
Bérylium	0.05
Cadmium	0.1
Chlore	3
Chrome trivalent	2
Chrome hexavalent	0.1
Chromates	2
Cuivre	1
Cobalt	2
Cyanure	0.1
DBO ⁵	500
DCO	1000
Etain	0.1
Fer	1
Fluorures	10
Hydrocarbures totaux	10
Matières en suspension	600
Magnesium	300
Mercure	0.01
Nickel	2
Nitrites	0.1
Phosphore total	50
Phénol	1
Plomb	0.5
Sulfures	1
Sulfates	400
Zinc et composés	2

*Température : inférieur ou égale à 30° C

* pH : compris entre 5.5 et 8.5

- ❖ Arrêté interministériel du 8 Safar 1433, correspondant au 2 janvier 2012, fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation. Il concerne la réutilisation des eaux usées épurées dans le secteur agricole (irrigation des cultures) (Tableau 10 et 11).

Tableau 10 : Recommandations physico-chimiques pour la réutilisation des eaux usées en agriculture (Journal officiel de la république Algérienne, 2012)

	Paramètres	Unité	concentration maximale admissible
Physique	pH	-	6 < pH < 8.5
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration le SAR=0-3CE	ds/m	0.2
	3-6		0.3
	6-12		0.5
	12-20		1.3
	20-40		3
Chimique	DBO5	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	Chlorure (Cl)	meq/l	10
	Azote (NO3-N)	mg/l	30
	Bicarbonates(HCO3)	meq/l	8.5
Eléments toxique (*)	Aluminium	mg/l	20.0
	Arsenic	mg/l	2.0
	Cadmium	mg/l	0.05
	Béryllium	mg/l	0.5
	Chrome	mg/l	1.0
	Cobalt	mg/l	5.0
	Cuivre	mg/l	5.0
	Bore	mg/l	2.0
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15.0
	Fer	mg/l	20.0
	Phénols	mg/l	0.002
	Plomb	mg/l	10.0

	Lithium	mg/l	2.5
	Manganèse	mg/l	10.0
	Mercure	mg/l	0.01
	Molybdène	mg/l	0.05
	Nickel	mg/l	2.0
	Sélénium	mg/l	0.02
	Vanadium	mg/l	1.0
	Zinc	mg/l	10.0

Tableau 11 : Recommandations microbiologiques pour la réutilisation des eaux usées en agriculture (Journal officiel de la république Algérienne, 2012)

Groupe des Cultures à irriguer	Critères de qualité microbiologiques	
	Nématodes (œufs / L) (moyenne arithmétique)	Coliformes Fécaux (CFU / 100 ml) (moyenne géométrique)
Irrigation non restrictive. Culture de produits pouvant être consommés crus.	Absence	< 100
Légumes qui ne sont consommés que cuits. Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire.	< 0.1	< 250
Arbres fruitiers (1). Cultures et arbustes fourragers (2). Cultures céréalières. Cultures industrielles (3). Arbres forestiers. Plantes florales et ornementales (4).	<1	Seuil recommandé <1000
Cultures du groupe précédent (CFU/100ml) utilisant l'irrigation localisée (5) (6).	Pas de norme recommandée	1000

(1) L'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la cueillette. Aucun fruit tombé ne doit être ramassé sur le sol. L'irrigation par aspersion est à éviter.

(2) Le pâturage direct est interdit et il est recommandé de cesser l'irrigation au moins une semaine avant la coupe.

- (3) Pour les cultures industrielles et arbres forestiers, des paramètres plus permissifs peuvent être adoptés.
- (4) Une directive plus stricte (<200 coliformes fécaux par 100 ml) est justifiée pour l'irrigation des parcs et des espaces verts avec lesquels le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.
- (5) Exige une technique d'irrigation limitant le mouillage des fruits et légumes.
- (6) A condition que les ouvriers agricoles et la population alentour maîtrisent la gestion de l'irrigation localisée et respectent les règles d'hygiène exigées. Aucune population alentour.

IV.1.2. Réglementation mondiale

Les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé

Selon l'OMS, les normes caractéristiques par la suppression de certains éléments contenus dans l'eau usée sont notées dans le (Tableau 12), (Traitement proposé pour répondre aux critères sanitaires applicables à la réutilisation des eaux usées selon l'OMS (2013).

Tableau 12 : Doses minimales d'infection pour quelques bactéries et parasites (OMS, 2013)

Organismes	Doses minimales d'infection
<i>Salmonella spp.</i>	10^4 - 10^7
<i>Shigella spp.</i>	10^1 - 10^2
<i>Escherichia coli</i>	10^6 - 10^8
<i>Escherichia coli</i> O157 : H 7	≤ 100
<i>Vibrio cholerae</i>	10^3
<i>Compylobacter jejuni</i>	Environ 500
<i>Giardia lamblia</i>	10^1 - 10^2
<i>Cryptosporidium</i>	10^1 kystes
<i>Entamoeba coli</i>	10^1 kystes
<i>Ascaris</i>	1-10 œufs
<i>Hepatitis a virus</i>	1-10 PFU

L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) a proposé des critères de salubrité des eaux de baignade fondés sur des seuils microbiologiques. Une classification de la qualité des eaux selon la concentration en germes est présentée dans le tableau suivant (Tableau 13).

Tableau 13 : Indice de la qualité de l'eau de baignade (germe/ml) (OMS, 1977)

Indice de la qualité de l'eau de baignade				
Paramètres	Classes			
	A Excellente	B Bonne	C Acceptable	D Mauvaise
Coliformes totaux	0 à 100	101 à 500	501 à 1000	1000 et +
Coliformes fécaux	0 à 20	21 à 100	101 à 199	200 +
Streptocoques fécaux	0 à 10	11 à 50	51 à 100	100 +

(Selon l'organisation mondiale de la santé 1977)

IV.1.3. Les normes françaises

En France, les normes relatives aux rejets des eaux usées urbaines sont définies par l'arrêté du 22 juin 2007, qui fixe les exigences applicables en matière de collecte, de traitement et de rejet des eaux usées. Ces normes visent à protéger le milieu naturel en imposant des valeurs limites pour les principaux paramètres de pollution. Elles sont résumées dans le tableau ci-après (MISE, 2009).

Tableau 14 : Normes définies par l'arrêté du 22 juin 2007 (MISE, 2009)

Paramètres (mg/l)	Concentration
DBO ₅	25
DCO	125
MES	35
Azote global	15
Phosphore total	2

Chapitre III : Matériels et Méthodes

I. Présentation de la Wilaya de Mostaganem

La wilaya de Mostaganem (figure 8) se localise dans le Nord-Ouest de l'Algérie occupant une superficie de 2269 km². Limitée au Nord par la Mer Méditerranée. A l'Est, par Chlef, le Sud par Relizane et l'Ouest par la wilaya d'Oran Mostaganem compte 32 communes dont dix communes sont côtières. Elle compte à fin 2021 une population de 922 405 Habitants avec une densité de 407 Hab/Km² (DPAT,2023)

La wilaya de Mostaganem dispose d'un potentiel socio-économique considérable, notamment grâce à ses importantes ressources marines. Les différentes zones de pêche réparties le long de son littoral font l'objet d'une gestion et d'un suivi par les autorités locales, dans le but d'assurer une exploitation durable des ressources halieutiques et de contribuer au développement économique de la région.

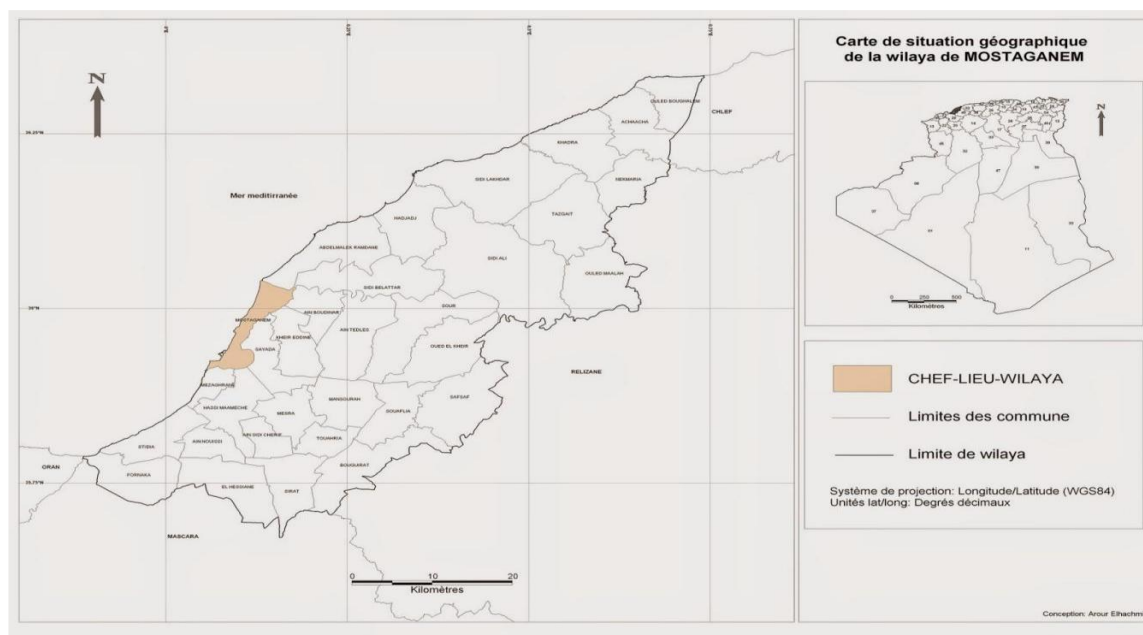


Figure 8 : Carte de situation géographique de la wilaya de Mostaganem

(Source : Elhachmi Arour ,2014).

II. Description des conditions climatiques et hydrodynamiques

II.1. Contexte océanographique et hydrodynamisme

II.1.1. Les courants

Le courant dominant au large de la région de Mostaganem est d'origine Atlantique. La mer Méditerranée est une mer semi-fermée reliée à l'océan Atlantique par le détroit de Gibraltar. En raison d'une évaporation supérieure aux précipitations et aux apports fluviaux, elle présente un déficit hydrique compensé principalement par l'entrée des eaux atlantiques, formant le courant Atlantique ou courant algérien (MILLOT, 1985).

La circulation des eaux méditerranéennes est caractérisée par :

- Un courant de surface circulant d'ouest en est ;
- Un courant profond circulant d'est en ouest (KERFOUF et *al*, 2007).

Le débit moyen des eaux atlantiques entrant en Méditerranée est estimé à environ 1 million de m³/s. Cette circulation est influencée par plusieurs facteurs tels que les vents, l'évaporation et la force de Coriolis (MILLOT et *al*, 1989). Le courant Atlantique pénètre sous forme d'une veine d'environ 50 km de largeur avec une vitesse dépassant 50 cm/s, puis longe les côtes algériennes en se rapprochant du littoral.

À proximité de Mostaganem, les eaux atlantiques circulent vers l'est à une profondeur de 100 à 200 m avec une vitesse moyenne de 0,6 nœuds. Plus à l'est, le courant se divise en deux branches : l'une poursuit sa trajectoire vers le détroit sicilo-tunisien tandis que l'autre remonte vers le bassin algéro-baléare et les côtes de la Sardaigne et de la Corse. Des contre-courants de faible vitesse apparaissent également dans les golfes et les baies (CAULET, 1972 ; MILLOT, 1987).

Les phénomènes d'upwelling générés par cette circulation favorisent la remontée d'eaux profondes riches en sels minéraux et éléments nutritifs, contribuant ainsi au développement du phytoplancton et du zooplancton. Ces remontées d'eaux jouent également un rôle important dans le transfert et la dispersion des polluants en milieu marin (AUBERT et *al*, 1982).



Figure 9 : Circulation de l'eau atlantique modifiée d'après (Millot, 1987).

- **Masses d'eaux de surface**

Les masses d'eaux de surface en Méditerranée sont principalement d'origine atlantique et pénètrent par le détroit de Gibraltar avant de longer les côtes algériennes. Ce courant, appelé courant algérien, s'étend sur environ 1200 km avec une largeur moyenne de 50 km, une salinité d'environ 36,25 ‰ et une température comprise entre 12 et 13 °C. Il traverse la mer d'Alboran sous forme de gyres anticycloniques et présente une forte instabilité générant des méandres et des courants secondaires (MILLOT, 2009).

Le courant Atlantique se divise ensuite en deux branches :

- Une branche se dirigeant vers le nord le long des côtes italiennes, françaises et espagnoles (courant liguro-provençal) avant de retourner vers l'Atlantique ;
- Une seconde branche se dirigeant vers la Méditerranée orientale via le détroit de Sicile (MILLOT, 2009).

En hiver, le refroidissement des eaux méditerranéennes augmente leur densité, provoquant leur plongée en profondeur et la formation d'eaux intermédiaires sur une épaisseur de 50 à 100 m. Ces eaux circulent le long des côtes algériennes sans direction est-ouest bien définie. Dans le

bassin algérien, les eaux levantines provenant du détroit de Sicile arrivent sous forme de poches transportées par des tourbillons de moyenne intensités issues des côtes sardes (MILLOT, 1987).

- **Eaux Intermédiaires Levantines**

Les eaux intermédiaires levantines se forment en hiver à la suite du refroidissement des eaux méditerranéennes, ce qui augmente leur densité et provoque leur plongée en profondeur. Elles constituent une couche intermédiaire de 50 à 100 m d'épaisseur circulant le long des côtes algériennes sans direction est-ouest bien définie. Dans le bassin algérien, ces eaux provenant du détroit de Sicile se présentent sous forme de poches transportées par des tourbillons de moyenne intensité provenant des côtes de la Sardaigne (MILLOT, 1987).

- **Eaux profondes**

Les eaux profondes méditerranéennes résultent du refroidissement hivernal des eaux superficielles et intermédiaires sous l'action des conditions atmosphériques. Elles sont caractérisées par une grande homogénéité dans l'ensemble du bassin méditerranéen, avec une température moyenne de 12,7 °C, une salinité d'environ 38,4 ‰ et une densité évaluée à 29,11 (MILLOT, 1985).

- **Le bassin de concentration**

La mer Méditerranée est considérée comme un bassin de concentration en raison d'une évaporation supérieure aux apports des précipitations et des fleuves. Les eaux atlantiques, moins salées, pénètrent en surface par le détroit de Gibraltar puis deviennent progressivement plus salées et plus denses sous l'effet de l'évaporation. Elles plongent ensuite à une profondeur intermédiaire avant de retourner vers l'océan Atlantique, permettant ainsi de maintenir l'équilibre hydrique et la salinité du bassin méditerranéen. Ce type de circulation est qualifié de mouvement lagunaire (MILLOT, 1987).

- **Le bassin de dilution**

Dans certaines régions méditerranéennes, comme la mer Noire ou la mer Rouge, les apports des précipitations et des fleuves dépassent les pertes dues à l'évaporation. Les eaux profondes y sont alors moins salées et moins denses, ce qui provoque leur remontée vers la surface afin

de rééquilibrer la salinité. Ce phénomène est appelé « bassin de dilution » et correspond à un mouvement de type estuarien (MILLOT, 1987).

II.1.2. Les houles

La houle représente un paramètre hydrodynamique fondamental dans la dynamique des milieux littoraux, où elle exerce une influence déterminante sur les processus sédimentaires, en particulier dans les zones de faibles profondeurs. Sa propagation, ainsi que sa direction, sont essentiellement contrôlées par le régime des vents dominants et par les conditions météorologiques régionales.

Sur le littoral de Mostaganem, la dynamique de la houle est étroitement liée à la variabilité saisonnière des vents. Durant la période estivale et au début de l'automne, les vents dominants de secteur Nord-Est génèrent généralement des houles de faible énergie. À l'inverse, en hiver et au printemps, les vents de secteur Nord-Ouest deviennent prépondérants et induisent des houles de plus forte énergie. Par ailleurs, les houles issues des secteurs Est et Nord-Ouest présentent des fréquences d'apparition globalement comparables, avec une légère dominance des houles de secteur Nord-Ouest, tandis que celles de secteurs Est et Nord-Est demeurent relativement moins fréquentes (In Chihebe, 2013).

D'un point de vue morpho dynamique, les houles de faible à moyenne énergie n'affectent significativement que la zone de déferlement. Elles interviennent principalement dans le tri granulométrique des sédiments, notamment les sables et les graviers, au niveau de la frange littorale, généralement jusqu'à des profondeurs proches de -10 m. Elles contribuent également aux processus de transport sédimentaire longitudinal par dérive littorale, ainsi qu'à la dispersion des particules fines.

En revanche, les houles de forte énergie peuvent exercer leur influence sur des profondeurs beaucoup plus importantes, pouvant atteindre 40 à 60 m, participant ainsi à la remise en suspension et à la redistribution des sédiments de fond. (Benzait, 2014)

II.1.3. La marée

En mer Méditerranée, le régime tidal est de faible amplitude, voire négligeable à l'échelle globale. Le marnage y est généralement de l'ordre du mètre, avec des variations saisonnières modérées.

Cette faiblesse des marées s'explique par la configuration semi-fermée du bassin méditerranéen, qui limite l'amplification des ondes de marée océaniques. Par ailleurs, l'équilibre hydrologique régional est fortement influencé par un bilan évaporation–apports continentaux déséquilibré, caractérisé par une évaporation élevée comparativement aux apports fluviaux et aux précipitations. Ce déséquilibre induit des fluctuations saisonnières du niveau marin, avec des niveaux relativement plus bas en période estivale, accompagnés d'une augmentation de la température de surface de l'eau. (Benzait,2014)

II.2. Contexte climatique

Le climat du bassin méditerranéen est un climat de transition entre une période de sécheresse et une période humide. Il est constitué de deux composantes : un été sec, très faiblement arrosé et sec biologiquement, ainsi qu'un hiver très frais et humide (Nedjraoui ,2011).

Selon l'ANAT (2006), l'Ouest algérien marque une dominance du domaine semi-aride et aride. Suivant la figure 10 la wilaya de Mostaganem, se situe dans un étage bioclimatique semi-aride.

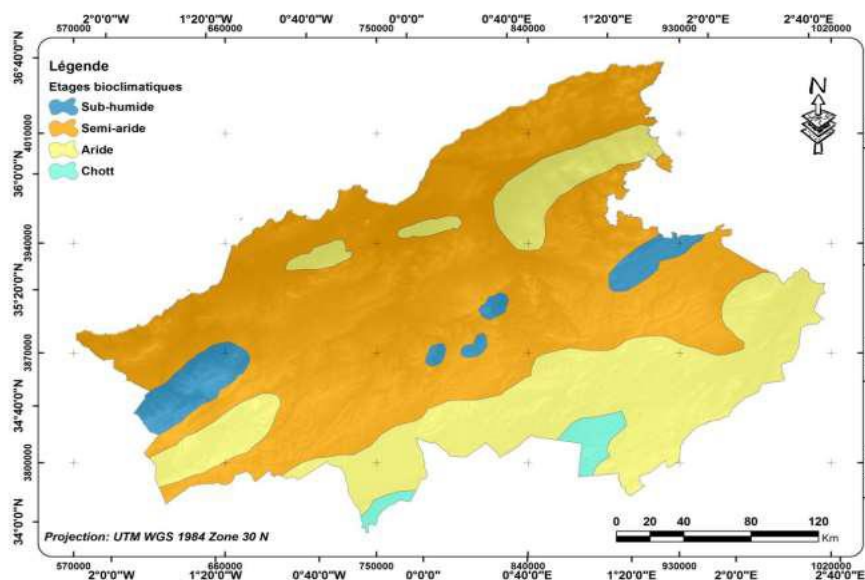


Figure 10 : Etage bioclimatique de l'Ouest d'Algérie (Fekir,2021)

II.2.1. Les Vents

Dans la région, les vents assez fréquents ont une vitesse allant généralement jusqu'à 70 km/h. Les vents dominants sont en général du Nord-ouest. Avec la nuance qu'en hiver ils sont de l'Ouest, froids chargés de pluie et en été ils sont du Sud venant de la plaine du Chélif surchauffée pendant les mois de juillet et d'août.

II.2.2. Températures

- Deux périodes nettement inégales se partagent le cycle climatique :
- Un semestre continental froid qui s'étend de novembre à mars
- Un semestre modéré à sec et chaud où la température moyenne est estimée à 27 degrés sous l'influence du régime marin. En période estivale sévère, les maxima absolus peuvent atteindre les 40 voire 45 degrés en temps de siroco (PDAU, 2012).
- La température sous l'influence de la mer ne s'abaisse jamais en dessous de 0 degré ce qui explique l'absence en tout temps de gelée et de verglas (PDAU, 2012).

II.2.3. L'évapotranspiration

La tranche d'eau évaporée annuellement est de 1255 mm.

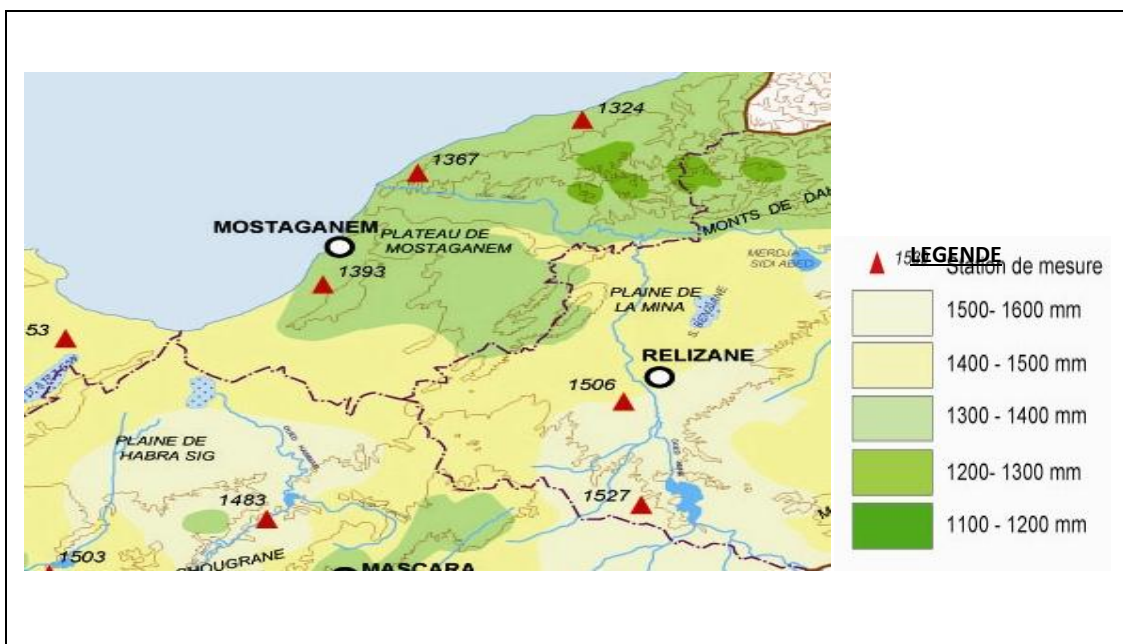


Figure 11 : Carte de l'évapotranspiration de la région de Mostaganem (ANRH, 2002)

Sur la carte pluviométrique élaborée par l'ANRH en 1993 (Figure 12), a relevé la quantité moyenne interannuelle pour le bassin du plateau de Mostaganem qui est de l'ordre de 380 mm (ANRH, 2022).

La courbe des précipitations moyennes de la région de Mostaganem durant l'année 2025 – 2026 (Figure 13), fait ressortir que le mois sec correspond au mois de Juillet et que le mois le plus humide correspond au mois de Décembre (DH, 2026)

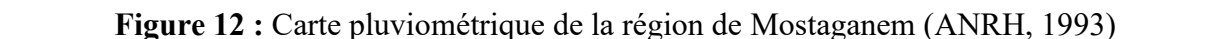
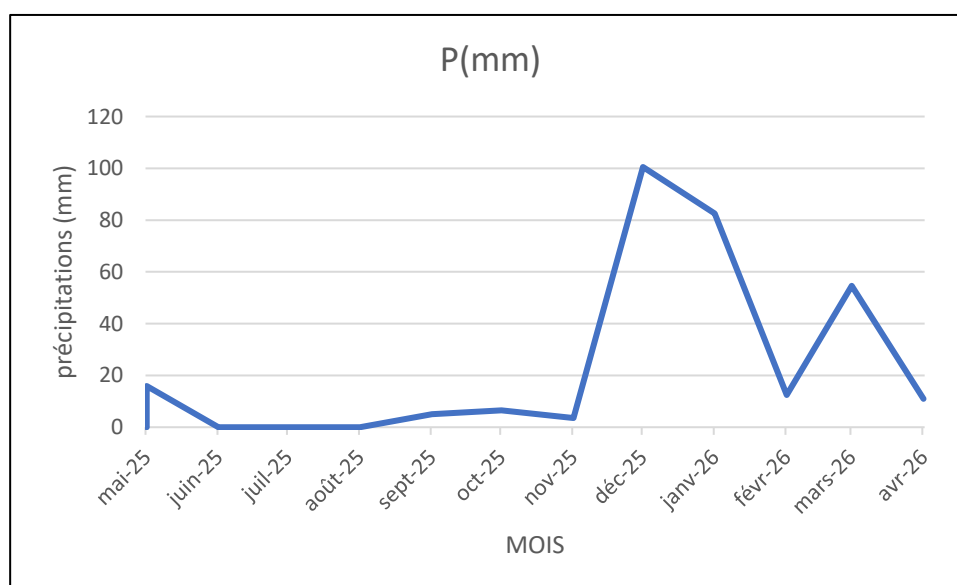


Tableau 15 : Précipitations moyennes mensuelles à Mostaganem 2020 – 2026 (DH, 2026)

	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total Année
2020- 2021	0	7,8	29,2	34,7	67,3	0,8	44,9	7,4	0	4	0	0	196,1
2021- 2022	7,8	17,9	90,8	20,5	6	7,7	77,9	63	59,7	4	0	0	355,3
2022- 2023	0	1	34,2	16,4	42,8	39	0	0	6,4	2	0	0	141,8
2023- 2024	37,9	7	3,6	13,1	10,5	9,9	21,5	21,3	0	0	0	0	124,8
2024- 2025	0	12,3	0	2,8	38,8	47,5	10,1	8	19,3	0	0	0	138,8
2025- 20206	5	6,5	3,6	100,5	82,5	12,5	54,6	11	15,9	/	/	/	/

**Figure 13** : Courbe des précipitations moyennes de la région de Mostaganem durant l'année 2025 – 2026 (DH,2026)

- **Description de la zone d'étude et contraintes anthropiques**

La wilaya de Mostaganem possède un potentiel touristique grâce à la diversité de ses plages, comprenant des reliefs montagneux, des cours d'eau, des plaines ainsi que des espaces forestiers. Elle bénéficie également d'un littoral remarquable, caractérisé par sa beauté paysagère et son attractivité, ce qui lui a permis d'enregistrer parmi les plus fortes affluences estivales à l'échelle nationale.

Par ailleurs, Mostaganem constitue un pôle culturel important ayant accueilli de nombreuses manifestations festives et culturelles. La population locale est reconnue pour son hospitalité et son attachement aux traditions et coutumes, contribuant ainsi au développement d'une offre touristique variée et compétitive adaptée à plusieurs formes de tourisme.

Face à ces atouts, plusieurs projets d'investissement ont été engagés afin d'améliorer les infrastructures et les prestations destinées aux visiteurs. Une grande partie de ces aménagements est implantée à proximité de notre zone d'étude et raccordée au réseau d'assainissement urbain, dont les eaux usées sont acheminées vers une station d'épuration d'une capacité de 350 000 équivalents-habitants (Figure 14).

Capacité :	350 000 équivalents-habitants
Débit initial :	56 000 m ³ /jour
Volume des eaux traitées :	8 millions de m ³ en 2025
Volume des boues extraites :	1 144 m ³
Rendement du traitement :	90 %
Taux annuel de capacité d'exploitation :	53 %
Superficie destinée à l'irrigation :	3 000 hectares
État :	Exploitée
Communes raccordées :	Mostaganem – Mazagran – Stidia – Hassi Mamèche – Sayada – Kheïr Eddine



Figure 14 : fiche technique dès la STEP de Salamandre (ONA Mostaganem ,2026)

Notre zone d'étude est située à environ 5 km à l'ouest de la wilaya de Mostaganem, aux coordonnées géographiques 35°54'N / 0°03'E. Sa proximité avec le port de pêche et de commerce, ainsi que la forte concentration d'habitations et la présence de plusieurs unités industrielles (notamment des industries laitières, de pâtes alimentaires et de produits cosmétiques), exercent une pression anthropique importante.

Les impacts environnementaux liés aux rejets liquides dans le milieu marin sont particulièrement perceptibles (Benhamidi, 2002). Sur le plan écologique, le milieu sous-marin de la zone d'étude présente plusieurs signes de dégradation environnementale, se traduisant notamment par une régression de la biodiversité marine. Selon Belbachir (2012), les herbiers de posidonie, considérés comme une espèce clé et pionnière, sont fortement détériorés au niveau de la côte de la Salamandre.

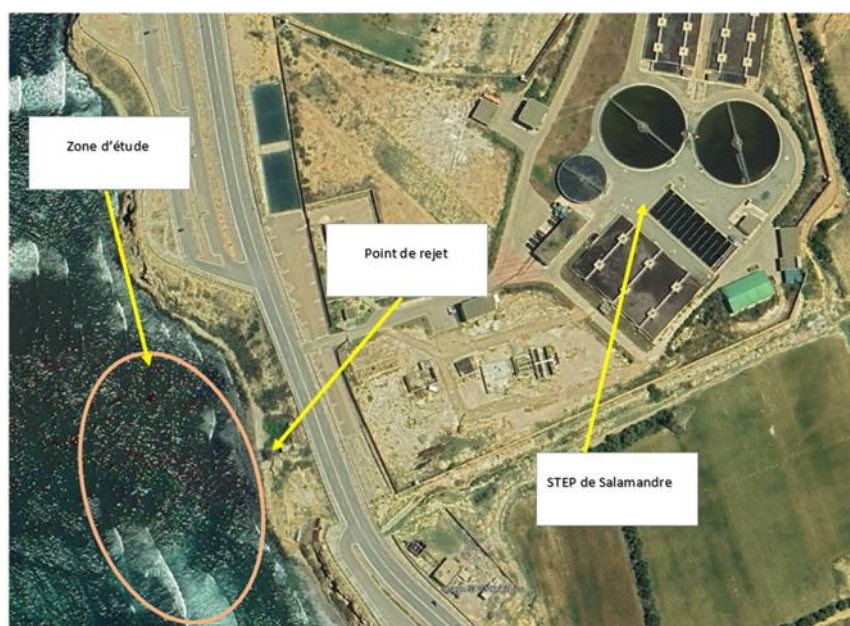


Figure 15 : Image satellitaire de la zone d'étude (google earth,).



Figure 16 : Zone d'étude (Benzait. S ,2026)

- **Stratégie de prélèvement :**

L'échantillonnage a été effectués au niveau de cinq points de prélèvements de la station d'étude (Figure 17). La stratégie de prélèvement a été élaborée pour couvrir un maximum d'étendu avec une distance de 100 m (superficie demi-cercle). Liechti, 2010 a évoqué un critère important dont il a considéré le choix de plusieurs points de prélèvement dans un plan d'eau. Les points d'échantillonnage retenus dans cette étude sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 16 : Présentation des points de prélèvement au niveau de la Station d'Etude

Points de prélèvement	Coordonnées	Caractéristique
Point 1	35°54'14.70"N 0°03'00.34"E	Point de contact
Point 2	35°54'16.32"N 0°03'00.34"E	50 m au nord du point de rejet
Point 3	35°54'18.00"N 0°03'00.34"E	100 m au nord du point de rejet
Point 4	35°54'14.70"N 0°03'04.32"E	100 m à l'est du point de rejet
Point 5	35°54'14.70"N 0°02'56.38"E	100 m à l'ouest du point de rejet



Figure 17: Les points de prélèvements (google earth)

- **Prélèvement des Echantillonnage :**

L'étape d'échantillonnage constitue une phase essentielle dans l'étude des eaux, car elle influence directement la fiabilité des résultats analytiques. Ainsi, des précautions rigoureuses doivent être respectées afin d'obtenir un échantillon représentatif et de minimiser les risques de contamination (Rodier, 2005).

Dans notre travail trois échantillonnages ont été réalisés au cours de trois mois (mars, avril et mai 2026) (Tableau 17). Les prélèvements ont été réalisés durant la même journée et à des horaires similaires, conformément aux recommandations (Breuil, 2003). Dans cette étude, l'échantillonnage s'est déroulé en matinée, entre 9 h et 12 h, afin de permettre une prise en charge rapide des analyses, garantir la fiabilité des résultats et éviter le stockage prolongé des échantillons.

Les échantillons ont été collectés à l'aide de flacons en verre Pyrex stériles, d'une capacité de 250 ml, munis de bouchons à vis. Ce matériel a été choisi pour limiter tout risque de contamination (Derwich et *al.*, 2008 ; Merzoug, 2009). La méthode de prélèvement utilisée est

simple : le flacon est tenu par sa base, introduit sous la surface de l'eau, puis son bouchon est retiré afin de permettre son remplissage. Une fois rempli, le flacon est immédiatement refermé. Afin de prévenir toute contamination, les flacons ne doivent être ouverts qu'au moment du prélèvement et doivent rester hermétiquement fermés jusqu'à l'analyse (Rejsek, 2002 ; Merzoug, 2009 ; Rodier, 2009).

Avant leur acheminement au laboratoire, ils ont été identifiés sur site par un étiquetage précis comportant :

- Le numéro de prélèvement,
- La date et l'heure,
- Le nom du point de prélèvement.

Les échantillons ont été transportés dans des glacières maintenues à une température de 4 °C (Figure 18). Une fois au laboratoire, des analyses physico-chimiques et bactériologiques ont été entamées.



Figure 18 : Photo représente les échantillons et leur transport dans la glacière

Tableau 17 : Nature et période du prélèvement.

Nature de prélèvement	Date de prélèvement	Heure de prélèvement	Etat de la mer	Climat et T°	Nature des travaux
L'eau de mer à côté du rejet de la STEP de Salamandre	26/03/2026	10h : 30m	Relativement calme	Ciel clair (après une intempérie) T :18,5°	Analyse physicochimique et bactériologique
	24/04/2026	09h :00m	Agitée	Ciel nuageux T :18°	
	26/05/2026	10h :00m	Calme	Ciel clair T :19,2°	

- **Appareillages et matériels employés :**

Tout matériel utilisé dans cette étude est représenté dans la figure suivant :

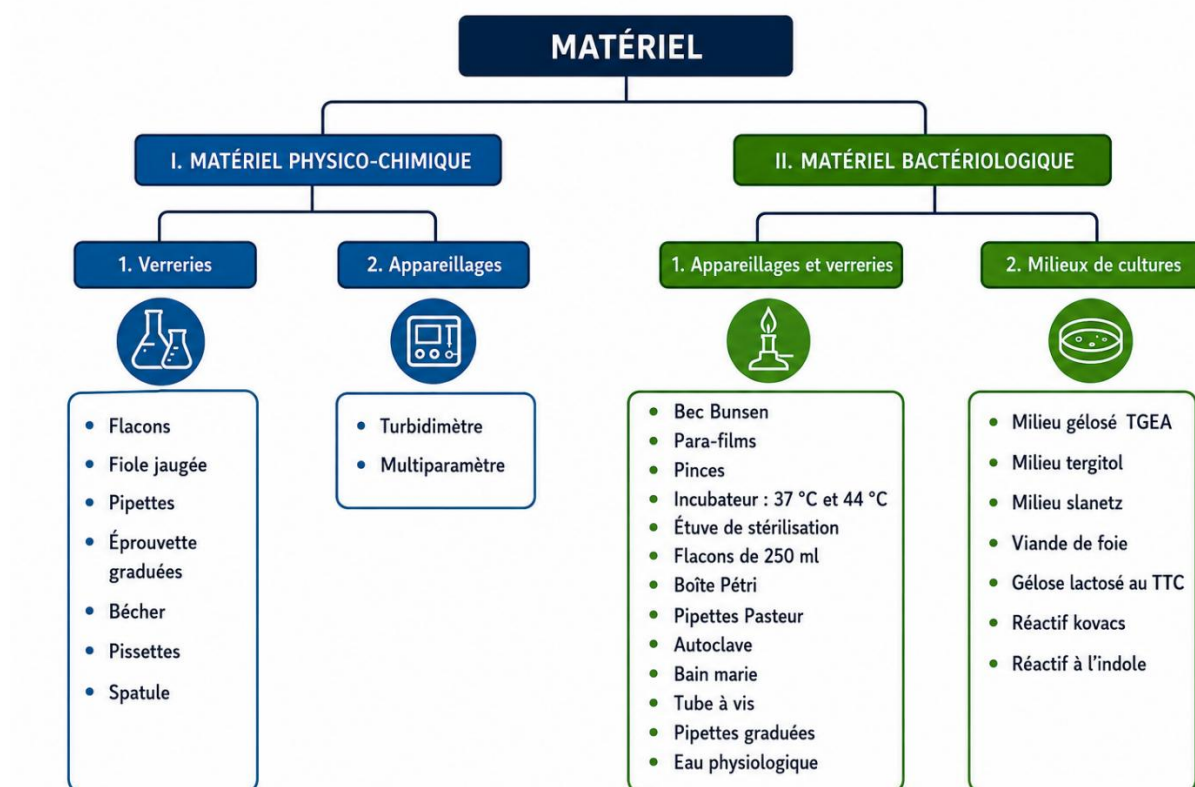


Figure 19 : Présentation du matériel utilisés

III. Détermination des paramètres physico-chimiques et mode Opérateur

Les analyses ont porté sur les principaux paramètres susceptibles de caractériser les eaux de mer en utilisant des procédures standard d'analyse de l'eau (Rodier et *al.*, 2016 ; Bouaroudj et *al.*, 2019). Des échantillons d'eau ont subi les mesures suivantes : température (T) en C°, Potentiel hydrogène(pH), conductivité électrique (CE) en ms/ cm, turbidité en NTU, salinité en g/l. Sachant que le paramètre de l'oxygène dissous OD n'as pas été évoqué suite à une panne de l'oxymètre.

III.1. Détermination de la température (T)

La température constitue l'un des principaux facteurs régissant la majorité des activités biologiques et écologiques des organismes vivants (Thiery, 1987). Elle influence plusieurs paramètres physico-chimiques de l'eau, notamment le pH, la densité, la viscosité ainsi que la solubilité des gaz, en particulier l'oxygène (O₂) et le dioxyde de carbone (CO₂). Elle intervient également dans le déroulement des réactions chimiques et biochimiques en milieu aquatique (Bremond et Perrodon, 1979).

III.2. Détermination du pH

Le pH constitue un paramètre écologique fondamental, au même titre que la température de l'eau, en raison de son étroite dépendance à plusieurs facteurs environnementaux. Il est influencé notamment par l'origine des eaux, la nature pétrographique des roches traversées, la température ainsi que les activités biologiques telles que l'assimilation chlorophyllienne et la respiration des organismes aquatiques (Nisbet et Verneaux, 1970). Par ailleurs, le pH renseigne sur l'état de stabilité et l'équilibre existant entre les différentes formes de l'acide carbonique présentes dans le milieu aquatique (Hutchinson, 1967).

III.3. Détermination de la conductivité

La conductivité électrique de l'eau correspond à sa capacité à conduire le courant électrique. Elle constitue une mesure indirecte de la teneur en ions dissous tels que Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- et NO_3^- , issus de la dissolution des sels minéraux dans l'eau (Al-Qawati et al., 2015).

Par ailleurs, la conductivité représente un paramètre essentiel dans la validation des analyses physico-chimiques des eaux. Les variations de conductivité observées au sein d'un milieu aquatique peuvent en effet révéler l'existence de sources de pollution ou de perturbations de la qualité de l'eau (Gazali et al., 2013).

III.4. Détermination de la Salinité

La salinité est une propriété de l'eau de mer qui est fondamental à l'étude du milieu (Aminot. A & Chaussepied. M. 1983) du fait qu'elle exerce une influence significative sur la densité de l'eau de mer, elle permet d'identifier les masses d'eaux d'origine différentes et de suivre leurs mélanges au large comme à la côte.

❖ Mode opératoire

Pour mesurer les différents paramètres cités au-dessous un multi paramètre a été utilisé (Figure 20). A l'état frais et une fois au laboratoire l'échantillonnage a subi les étapes suivantes :

- ✓ Rincer les sondes avec l'eau distillée.
- ✓ Plonger les sondes dans le bécher contenant l'échantillon.
- ✓ Agiter doucement pour éviter les bulles d'air.
- ✓ Attendre la stabilisation des valeurs (souvent 30 secondes à quelques minutes).



Figure 20 : Différents mesures effectués par l'appareil multi paramètre (Benzait, S .2026)

III.5. Mesure de la Turbidité

La turbidité permet de visualiser la qualité écologique de l'eau de mer en traduisant la présence des matières en suspension MES dans la colonne l'eau. En effet, une turbidité forte favorise la fixation des micro-organismes (Rejsek, 2002).

❖ Mode opératoire

La turbidité est mesurée au laboratoire à l'aide d'un turbidimètre de la marque « Hach » à cellule photo-électrique, par la méthode néphélométrique. Les résultats sont exprimés en unité de turbidité néphélométrique (NTU).

Pour cela on remplir une cuvette de mesure propre et bien essuyer avec du papier hygiénique avec l'échantillon à analyser bien homogénéiser et effectuer rapidement la mesure en utilisant un Turbidimètre, il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure. (Figure21)



Figure 21 : Présentation d'un turbidimètre (Benzait, S .2026)

- **Analyses des paramètres microbiologiques et mode opératoire**

Pour apporter en effet une dimension supplémentaire, les paramètres physico chimiques ont été complétés dans ce travail par une analyse microbiologique.

Les matières fécales sont la principale source de contamination des eaux. Afin de disposer d'une méthode simple et sensible, seuls les germes témoins de contamination fécale sont recherchés :

- ✓ Les germes totaux
- ✓ Les Coliformes totaux
- ✓ Escherichia Coli (E. Coli)
- ✓ Les Streptocoques fécaux
- ✓ Les Clostridium sulfito-réducteurs
- ✓

IV. Préparation des dilutions

Après avoir bien homogénéisé l'échantillon, des dilutions décimales successives (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4}) ont été réalisées conformément aux méthodes normalisées décrites par l'ISO 8199, 2018 ; Rodier et al, 2009), en utilisant l'eau afin d'obtenir des concentrations adaptées aux analyses microbiologiques.

- ✓ Prélever 10 ml d'eau à analyser (solution mère) à l'aide d'une pipette graduée et la porter dans le premier tube de la série contenant 90 ml de l'eau physiologique, pour obtenir la dilution 10^{-1} .
- ✓ Prélever 10 ml de la dilution 1/10 précédente et l'ajouter à un tube contenant 90 ml de l'eau physiologique, pour obtenir la dilution 10^{-2} .
- ✓ Répéter la même procédure pour les deux autres dilutions, afin d'obtenir quatre dilutions décimales. Pour chaque dilution, un volume de 100 ml est utilisé pour la filtration sur membrane en vue de la détermination des différentes bactéries.
- Le dénombrement des bactéries suit les exigences de la norme ISO 8199:2018 et Rodier et al (2009)
- Pour la méthode de l'ensemencement la formule est comme suite :

$$N = \frac{\sum C}{V \times d \times 1,1}$$

- N : nombre d'UFC dans l'échantillon initial ;
 - $\sum C$: somme des colonies comptées sur toutes les boîtes retenues ;
 - V : volumeensemencé ;
 - d : facteur de dilution de la première dilution retenue ;
- Pour la méthode de filtration sur membrane. Le nombre de germes a été calculé selon la formule :

$$N = \frac{C}{V \times d}$$

N : représente le nombre d'UFC dans l'échantillon initial,

C : le nombre de colonies comptées,

V : le volume filtré

d : le facteur de dilution recherchées.

IV.1. Détermination des germes totaux

La recherche des germes totaux, dites aussi germes banals, est considérée comme indicateur d'efficacité de traitement de désinfection.

➤ **Mode opératoire**

- Mètre un certain volume de milieu de culture TGEA dans une boîte pétrie.
- Prendre 1ml d'eau à analyser et faire étaler à la surface du milieu de culture.
- Faire une incubation à 37°C durant 24h.
- Les colonies qui se développent à la surface sont dénombrées (Rodier et *al*, 2009). (Figure 22)

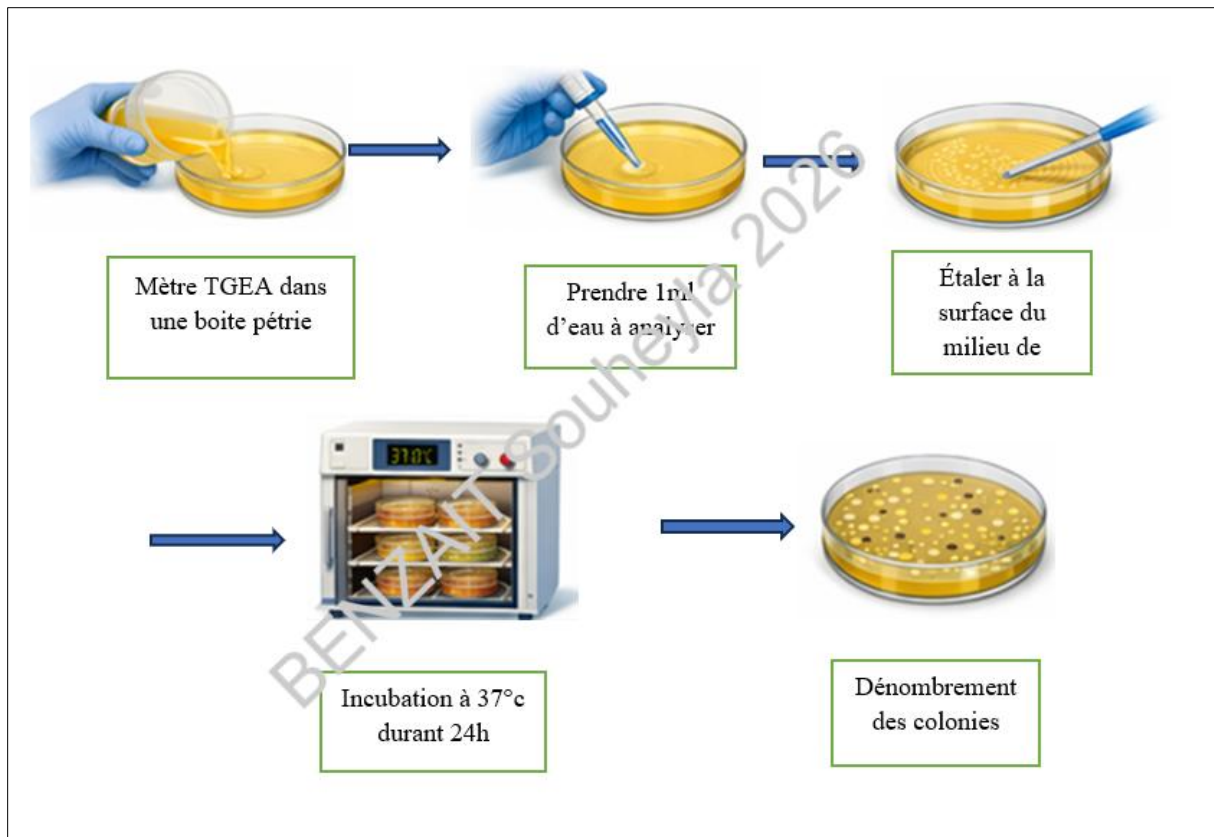


Figure 22 : Recherche et dénombrement des germes totaux

IV.2. Détermination des Coliformes Totaux

Dans notre étude nous avons opté pour la technique de filtration sur membrane (Rodier et *al*, 1996). (Figure, 23), pour estimer la charge bactérienne dans la zone d'étude. C'est la méthode la plus utilisée au laboratoire, pour sa facilité et sa reproductibilité.



Figure 23 : Présentation de l'appareil de filtration sur membrane au niveau de laboratoire d'analyse

IV.3. Technique de filtration sur membrane

La technique de filtration sur membrane débute par la mise en marche de la rampe de filtration et l'activation du système de stérilisation par rayonnement ultraviolet (UV) pendant environ 15 minutes afin d'assurer des conditions aseptiques de travail. Une membrane filtrante en ester de cellulose est ensuite placée sur le support de filtration à l'aide d'une pince stérile.

L'échantillon d'eau de mer, préalablement homogénéisé et éventuellement dilué, est versé dans l'entonnoir de filtration. Sous l'effet de l'aspiration, l'eau traverse la membrane qui retient les bactéries présentes dans l'échantillon. Après filtration complète du volume d'eau (100 ml), la membrane est retirée avec précaution à l'aide d'une pince stérile.

Enfin, la membrane est déposée sur un milieu de culture approprié au micro-organisme recherché, puis incubée dans des conditions adaptées afin de permettre le développement et le dénombrement des colonies bactériennes.

➤ **Mode opératoire (recherche des coliformes totaux) :**

- Faire une filtration membranaire d'un volume d'échantillon de 100 ml d'eau à analyser à travers une membrane de porosité 0.45 µm qui retient les micro-organismes.
- Mettre un certain volume de milieu de culture TTC dans une boîte pétri.
- Placer la membrane sur le milieu du TTC tergitol.
- Faire une incubation à 37°C durant 24h (Rodier et *al*, 2009).

➤ **1^{ère} Lecture**

Après incubation à 37°C durant 24h, des colonies se forment à la surface de la membrane.

➤ **Test confirmatif**

Pour effectuer une confirmation les colonies formées à la surface de la membrane sont repiquées dans un autre milieu liquide (VBL), les tubes de VBL seront ainsi incubés à 37°C durant 24h.

➤ **2^{ème} Lecture**

Après incubation à 37°C durant 24h, on observe une trouble de couleur et une présence du gaz dans la cloche de Durham. (Figure 24)

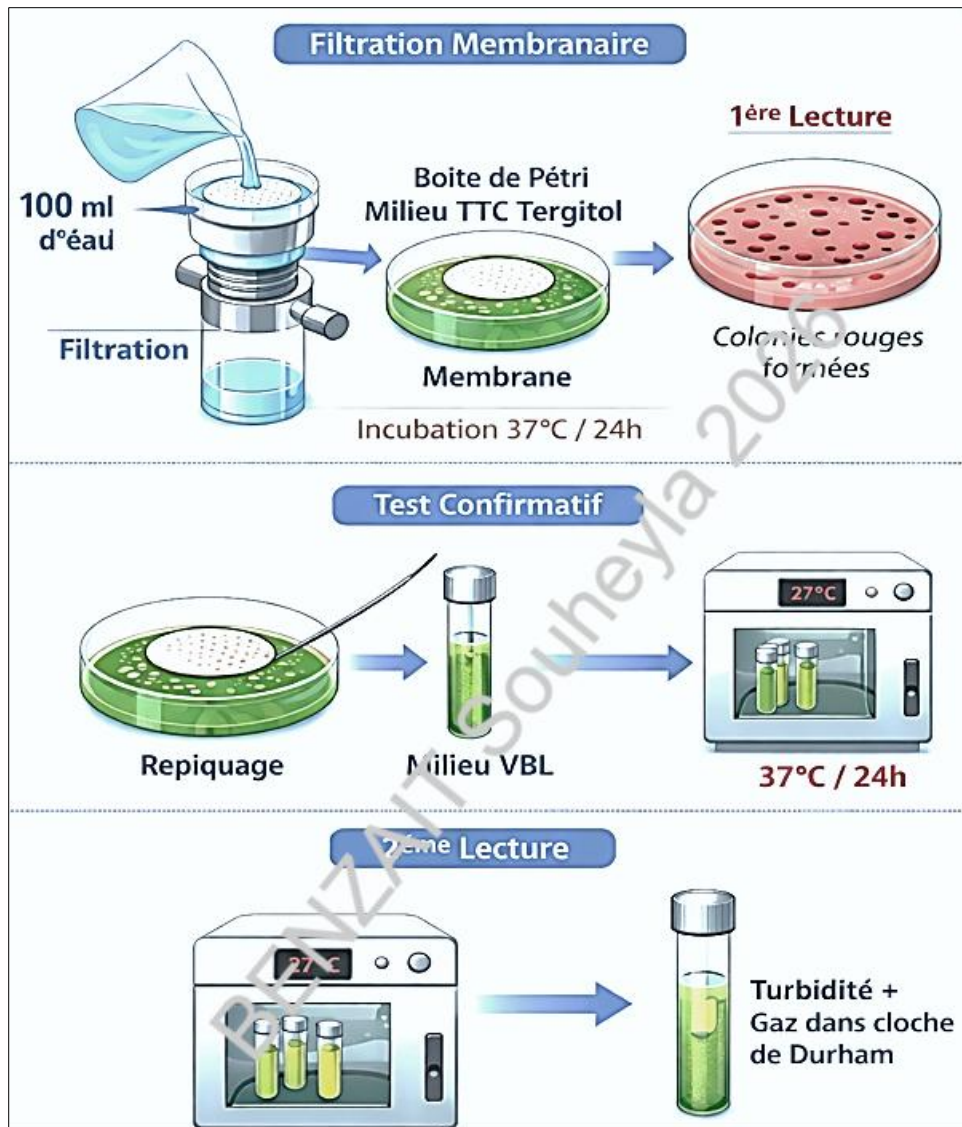


Figure 24 : Recherche et dénombrement des coliformes totaux

IV.4. Détermination des coliformes fécaux (*Escherichia Coli*)

Escherichia Coli fait partie du groupe des coliformes fécaux on la trouve dans les matières fécales des humaines et des animaux. Elle est capable de fermenter le lactose à 44°C.

➤ Mode opératoire

- Faire une filtration membranaire d'un volume d'échantillon de 100 ml d'eau à analyser à travers une membrane qui retient les micro-organismes.
- Mètre un certain volume de milieu de culture TTC dans une boîte pétri.
- Placer la membrane sur le milieu du TTC tergitol.
- Faire une incubation à 44°C durant 24h (Rodier et *al*, 2009).

➤ Lecture

Après incubation à 44°C durant 24h, des colonies se forment à la surface de la membrane.

➤ **Test confirmatif**

Pour effectuer une confirmation les colonies formées à la surface de la membrane sont repiquer dans un autre milieu liquide de Schubert, les tubes de Schubert seront ainsi incubés à 44°C durant 24h, une trouble de couleur et une présence du gaz dans la cloche de Durham sont observés.

➤ **2^{ème} test confirmatif**

Pour effectuer une deuxième confirmation on ajoute quelques gouttes du réactif KOVAC'S

➤ **2^{ème} lecture :**

Apparition d'un anneau rouge brique sur la surface du liquide. (Figure25)



Figure 25 : Protocole d'identification des coliformes fécaux (*Escherichia Coli*)

IV.5. Détermination des *Streptocoques fécaux*

Ces bactéries appartiennent à la famille des *Streptococcaceae*. Elles se présentent généralement sous forme de diplocoques ou de chaînettes et se développent de manière optimale à une température de 37 °C. Elles possèdent un métabolisme homofermentaire caractérisé par la production d'acide lactique sans dégagement de gaz. De plus, elles sont capables de se multiplier dans des milieux dont le pH peut atteindre 9,6, ce qui permet de les utiliser comme indicateurs de contamination par des organismes pathogènes présentant une résistance similaire aux pH élevés (PNUE/OMS, 1977).

❖ Mode opératoire

- ✓ Filtrer 100 ml de l'échantillon à travers une membrane de porosité 0,45 µm.
- ✓ Déposer ensuite la membrane sur une boîte de Pétri contenant le milieu de Slanetz et Bartley préalablement coulé et refroidi.
- ✓ Le milieu de Slanetz et Bartley constitue un support nutritif sélectif renfermant des substances inhibitrices favorisant le développement préférentiel des streptocoques fécaux.
- ✓ Incuber les boîtes à 37 °C pendant 24 heures (Rodier et *al.*, 2009).

❖ Lecture

Après incubation, les colonies caractéristiques apparaissent sous forme de colonies rouge-violet, qui sont ensuite dénombrées.

❖ Test confirmatif

- Transférer la membrane de la boîte contenant le milieu de Slanetz et Bartley vers une boîte de Pétri renfermant le milieu BEA (Bile Esculine Agar).
- Incuber à 37 °C pendant quelques heures.
- La présence d'un halo noir autour des colonies confirme la présence des streptocoques fécaux (Figure 26).



Figure 26 : Protocole de dénombrement des *Streptocoques* fécaux

IV.6. Détermination des *Clostridium* Sulfito- Réducteurs

Les bactéries anaérobies sulfito-réductrices (ASR) sont des bacilles Gram positifs, anaérobies stricts, isolée ou en chaînette, mobile réduisent le sulfite de sodium (Na_2SO_3) en sulfure qui en présence de Fe^{2+} donne FeS (sulfure de fer) de couleur noire (Bourgeois *et al.*, 1980).

❖ Mode opératoire

- ✓ Chauffer l'échantillon à 80 °C pendant 10 minutes, puis faire un choc thermique (refroidir) afin de détruire les formes végétatives

- ✓ Filtrer 100 ml de l'échantillon à travers une membrane de porosité 0,22 μm afin de retenir les spores bactériennes.
- ✓ Déposer la membrane à l'envers dans une boîte de Pétri.
- ✓ Recouvrir ensuite la membrane avec la gélose viande-foie additionnée de sulfite de sodium et d'alun de fer.
- ✓ Incuber à 37 °C en conditions d'anaérobiose, favorables au développement des *Clostridium* sulfito-réducteurs (Rodier et *al.*, 2009).

❖ Lecture

Après 24 heures d'incubation, les colonies caractéristiques des bactéries anaérobies sulfito-réductrices apparaissent sous forme de colonies entourées d'un halo noir. Le nombre de spores est ensuite exprimé pour 100 ml d'échantillon (Figure 27)

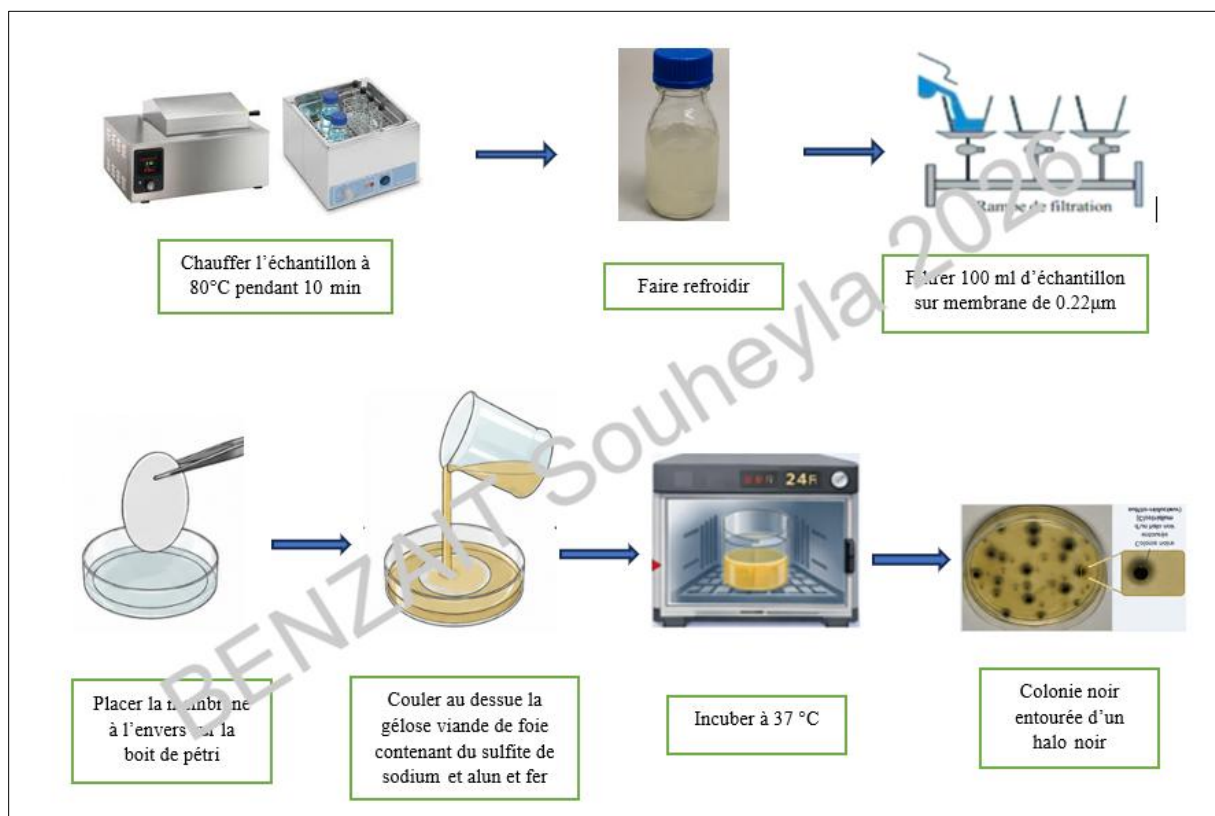


Figure 27 : Protocole de dénombrement des *Clostridium* Sulfito- Réducteurs

Le tableau suivant présente un récapitulatif détaillé de l'ensemble des analyses bactériologiques réalisées au cours de cette étude.

Tableau 18 : Récapitulatif des analyses bactériologiques effectuées

Germes	Technique	Volume d'échantillon	Milieu utilisé	T° incubation /24H	Milieu de confirmation
Germes totaux	Etalement en surface	1ml	TGEA	37	-
Coliformes totaux	Filtration Ø 0.45µm	100ml	TTC	37	VBL
Coliformes fécaux (E. coli)	Filtration Ø 0.45µm	100ml	TTC	44	Schubert + Kovax
<i>Streptocoques</i> fécaux	Filtration Ø 0.45µm	100ml	Gélose slanetz et bartley	37	Gélose BEA
<i>Clostridium</i> S/R	Filtration Ø 0.22µm	100ml	V.F	37	-

Chapitre IV : Résultats et discussion

I. Analyses Physico-chimiques

I.1. Variation de la température de l'eau de mer

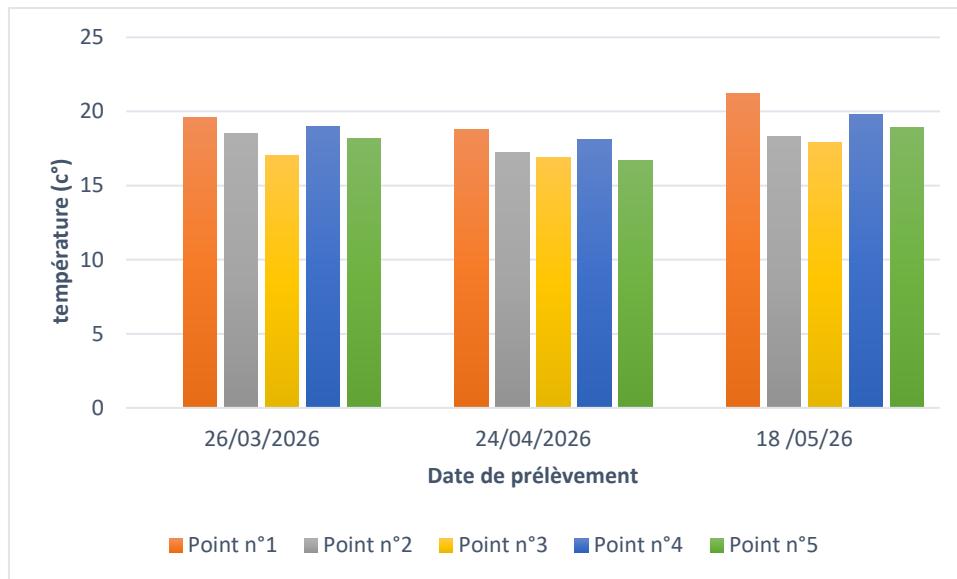


Figure 28: Présentation graphique en barres de la variation de la température (C°) de l'eau de mer au niveau de la station

Le mois de mai enregistre une élévation significative de la température, une valeur de 21.2 C° est enregistrée au niveau du point 1, cependant la température variée légèrement entre 18.8 et 19.6 C° au cours du mois de mars et avril. D'autre part une variation comprise entre 17.2 et 18.5 a été observée au point 2 au cours de la période d'étude. Au cours du mois d'avril le point 3 présente une température légèrement au-dessous de 17 C°. Cependant Le point 4 marque une température moyenne comprise entre 18.1, 19.8 C° au cours de l'investigation. Par ailleurs une légère variation a été observée au niveau de point 5 avec une température de 18.2 C° le mois de mars et 18.9 C° le mois de mai. Néanmoins une température de 16.2 C° a été enregistré le mois de mai au niveau de la station d'étude.

I.2. La variation de pH de l'eau de mer :

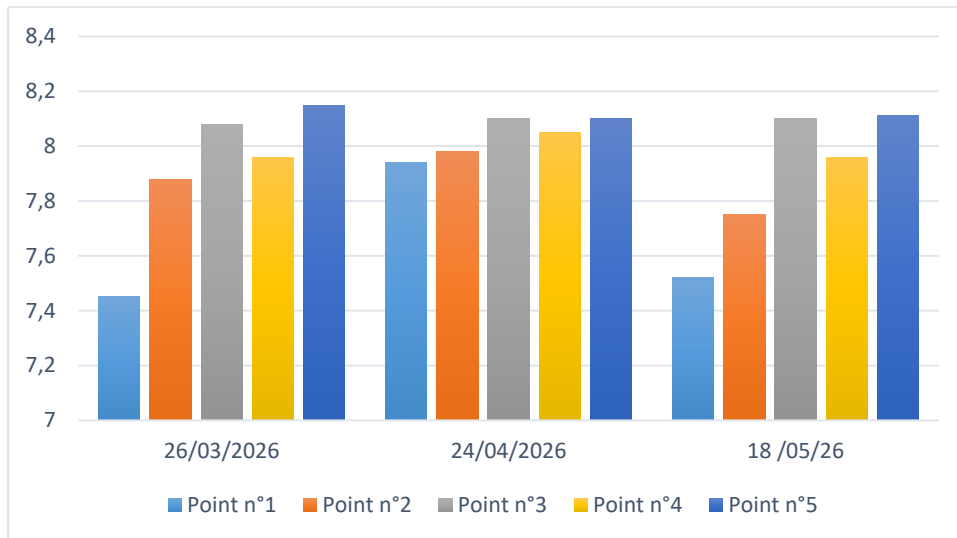


Figure 29 : Présentation graphique en barres de la variation du pH de l'eau de mer au niveau de la station d'étude

L'histogramme montre un pH fortement alcalin aux niveaux des point 3 et 5 varie entre 8.1 et 8.11 au cours de l'étude par contre le point 2 montrent des valeurs de pH légèrement basique au cours de l'analyse varie entre 7.75-7.98. Le point 1 décrit une valeur de 7.94 légèrement alcalin le mois d'avril d'autre part le point 4 enregistre une valeur de 8.05 le même mois.

I.3. La variation de la conductivité de l'eau de mer :

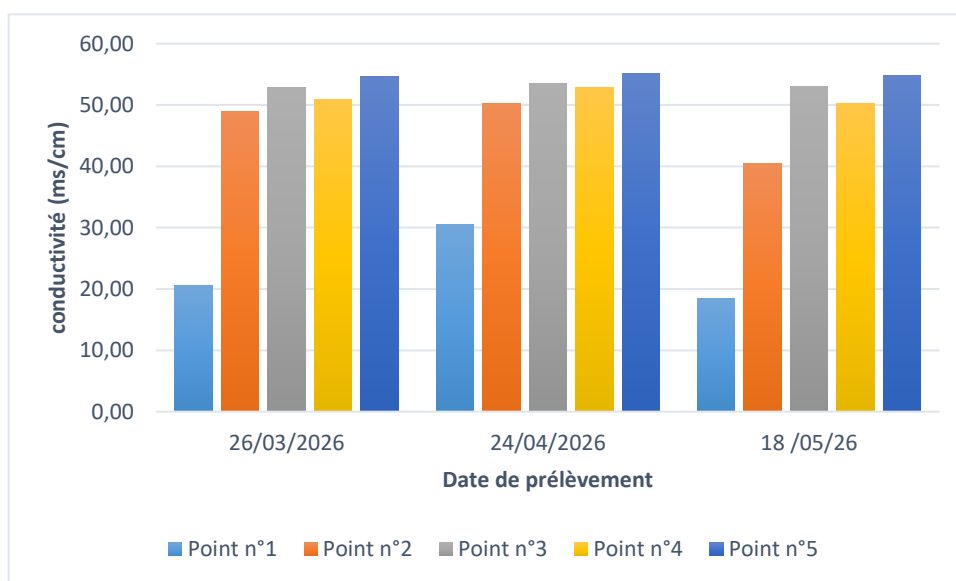


Figure 30 : présentation graphique en barres de la variation de la conductivité (ms/cm) de l'eau de mer au niveau de la station

L'aspect graphique des variations de la conductivité mis en avant une évolution des valeurs significatives du conductivité marine, pour le point 3 (52.85 ;53.58 ; 53.00 ms/cm), point 4 (50.98 ;52.88 ; 50.32 ms/cm) et point 5, (54.65, 55.12, 54.84 ms/cm) au cours de la période d'étude ce pendant le mois de mars et avril ont enregistré des valeurs de (48.92, 50.23 ms/cm) au niveau de point 2 suivi d'une baisse de conductivité le mois de mai d'une valeur de 40.50 ms/cm. Le mois de d'Avril enregistre une fluctuation relative d'une valeur de 30.53 ms/cm autour de point 1 de la station d'étude.

I.4. La variation de la salinité de l'eau de mer

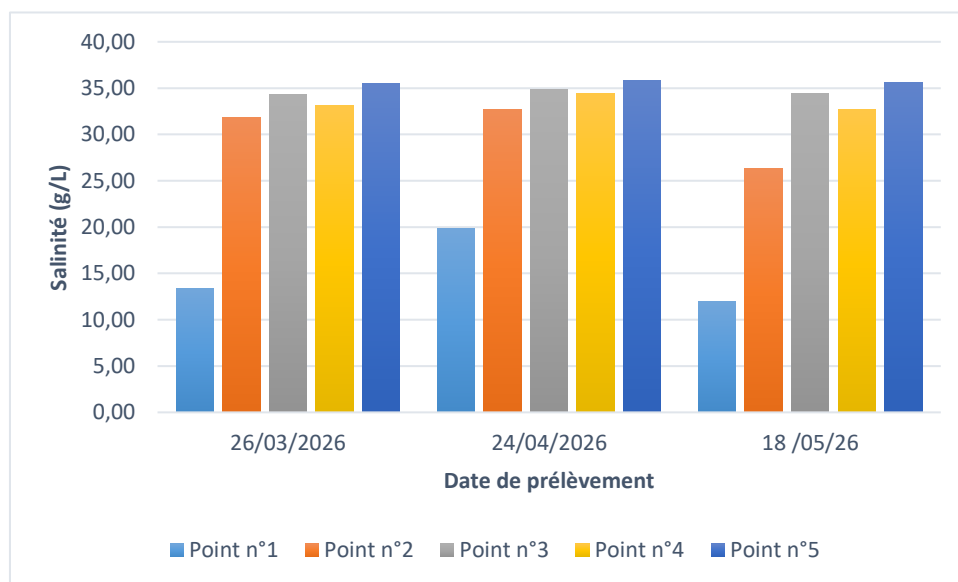


Figure 31 : Présentation graphique en barres de la variation de la salinité de l'eau de mer au niveau de la station d'étude

Les résultats d'analyses montrent des valeurs plus au moins stables, comprises entre (35.52 - 35.83) g/l au niveau du point 5, et (34.35 - 34.82 g/l) au niveau du point 3. Une chute significative de salinité a été observée au niveau du point 1 avec une valeur de 11.99 g/l au cours du mois de mai, suivi par un résultat de 13.35 g/l au cours du mois de mars. Le point 2 montre une salinité maximale de 32.65 g/l le mois d'avril et une valeur de 26.33 g/l le mois de mai.

I.5. La variation de la turbidité de l'eau de mer

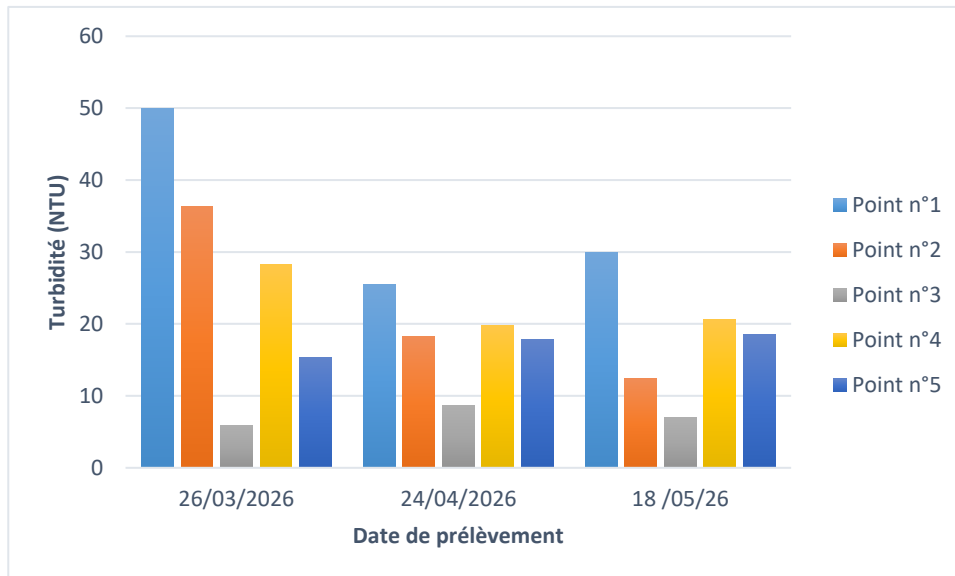


Figure 32 : Présentation graphique en barres de la variation de turbidité de l'eau de mer au niveau de la station

Une amplitude de variation significative était enregistrée au mois de mars avec une valeur de 50 NTU autour du point 1 ce pendant le point 3 montre la plus faible valeur, au cours du mois de Mai. Le point 2 montre une diminution progressive de la turbidité avec une valeur de 18,27 NTU. Le facteur de turbidité présente une régression progressive au niveau de la station d'étude.

II. Résultats des analyses microbiologiques

L'analyse de l'eau de mer par des contaminants d'origine fécale repose au premier lieu sur la méthode de dénombrement (figure 33)



Figure 33 : Présentation et dénombrement des colonies bactériennes sur milieux de cultures (photo : BEZAIT.S)

II.1. Les germes totaux

Les germes totaux se développent sur les milieux de cultures dédiés (Figure 34).

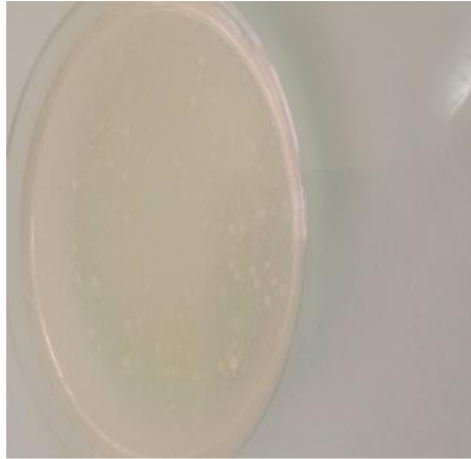


Figure 34 : Observation des colonies de germes totaux sur milieu de culture TGEA (photo : BEZAIT.S)

Les résultats obtenus sont présentés dans l'histogramme suivant :

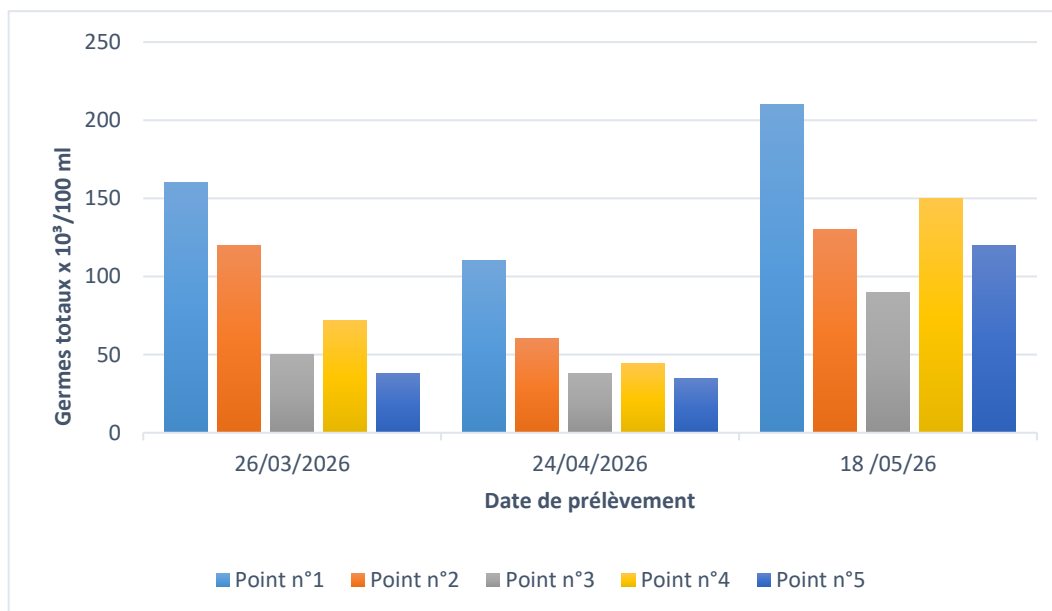


Figure 35 : Présentation graphique en barres de la concentration bactérienne des germes totaux dans l'eau de mer au niveau de la station d'étude

Il ressort de la partie dédiée aux analyses microbiologiques des germes totaux que la zone ciblée décèle une importante fluctuation dans le temps et au cours de la période d'étude entre les

différents points de prélèvements. Le point 1 enregistre les valeurs les plus élevées avec 16×10^4 , 11×10^4 et 21×10^4 UFC/100 ml, présentant un pic en moi de mai avec 21×10^4 UFC/100 ml. Le point 2 montre une fluctuation modérée (12×10^4 , 6×10^4 , 13×10^4 UFC/100 ml) avant de passer aux points 3 et 4 qui montrent une diminution progressive des concentrations. Le point 5 présente la valeur la plus faible en moi d'avril avec une valeur de 35×10^3 UFC/100 ml.

Globalement, le graphe met en évidence une contamination plus élevée au niveau des zones proches du rejet et une diminution vers les points éloignés.

II.2. Coliformes totaux

La détermination numérique des coliformes totaux (Figure 36) repose essentiellement sur la membrane filtrante suivi d'une confirmation biochimique sur milieu VBL. Le teste montre après une deuxième incubation (Figure 37), l'apparition d'un trouble du milieu associée à la production de gaz dans la cloche de Durham confirme ainsi la présence des bactéries ciblées.

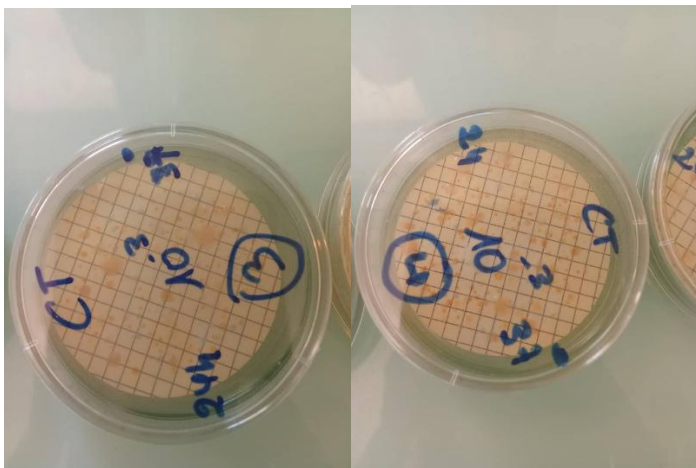


Figure 36 : Présentation des colonies de coliformes totaux sur la membrane (photo : BEZAIT.S)



Figure 37 : Test de confirmation sur tubes VBL (photo : BEZAIT.S)

Les résultats obtenus sont présentés dans l'histogramme ci-après :

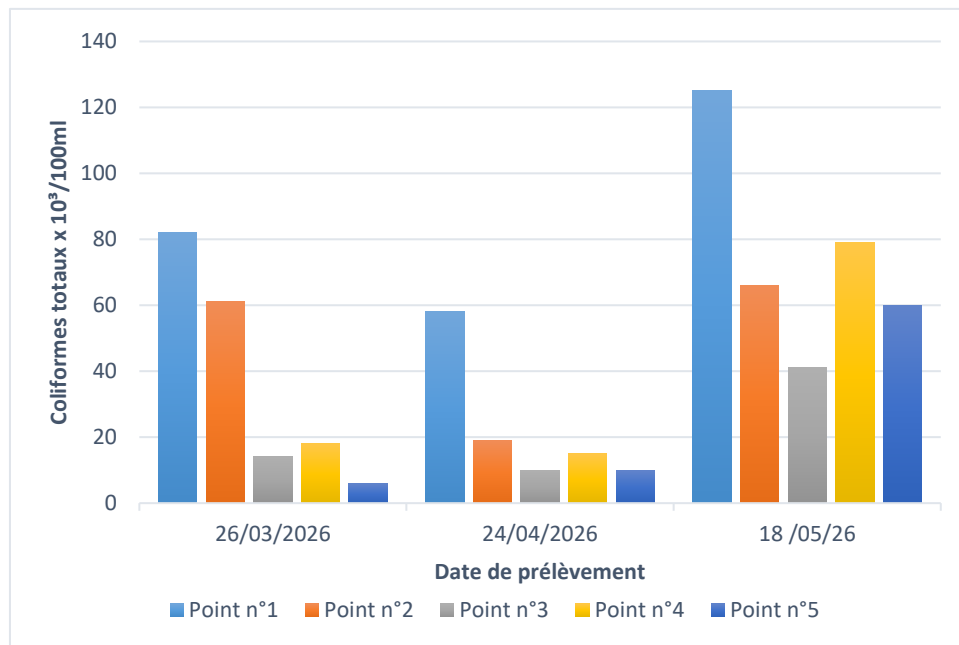


Figure 37 : Présentation graphique en barres de la concentration bactérienne des coliformes totaux dans l’eau de mer au niveau de la station d’étude

Le Graphe montre une forte variation spatiale et temporelle significative, avec des pics importants notamment au niveau de point n°1 avec une valeur de 125×10^3 UFC/100 ml, suivi par une diminution progressive pour les autres points de relevage. Par ailleurs, le point du prélèvement n°5 décèle une faible valeur de 6×10^3 UFC/100 ml.

II.3. Coliformes fécaux

Après incubation, les colonies développées sur la membrane filtrante (Figure 39) sont repiquées dans des tubes de Schubert pour confirmation. L’apparition d’un trouble du milieu et la production de gaz dans la cloche de Durham indique une réaction positive (Figure 40). Une seconde validation biochimique mis en évidence la présence d’*Escherichia coli* (Figure 41), en ajoutant quelques gouttes du réactif de Kovac’s ; l’apparition d’un anneau rouge brique confirme la présence de la bactérie

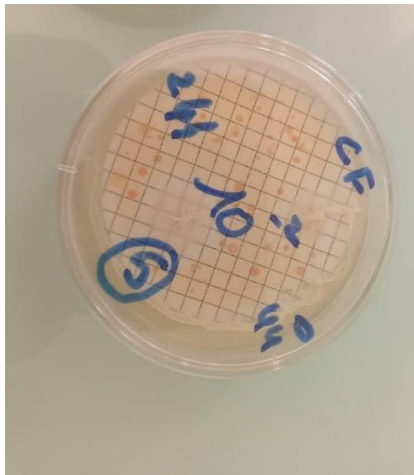


Figure 38 : Colonies de coliformes fécaux (Photo : BEZAIT.S)



Figure 39 : Test 1 sur tubes de Schubert (Photo : BEZAIT.S)



Figure 41 : 2^{ème} confirmation de la bactérie (E. Coli) avec réactif de Kovac's (Photo : BEZAIT.S)

L'histogramme au-dessous se caractérise par une forte fluctuation des concentrations en coliformes fécaux au cours de la période d'étude. Un pic est observé au point de prélèvement n°1 au cours du mois de mai avec une valeur enregistrée de $80 \times 10^2/100$ ml, cependant une diminution est observée au niveau de points 2 avec une valeur de $9 \times 10^2 /100$ ml et points 4 avec une valeur de $5 \times 10^2 /100$ ml.

Les points 3 et 5 montrent également des fluctuations au cours de la période d'investigation, bien que leurs valeurs demeurent globalement plus faibles. D'autre part, la valeur la plus basse se situe au niveau du point 5 au cours du mois de mars avec une concentration de $2 \times 10^2/100$ ml. L'aspect général, indique une forte variation et une importante dispersion des concentrations bactériennes

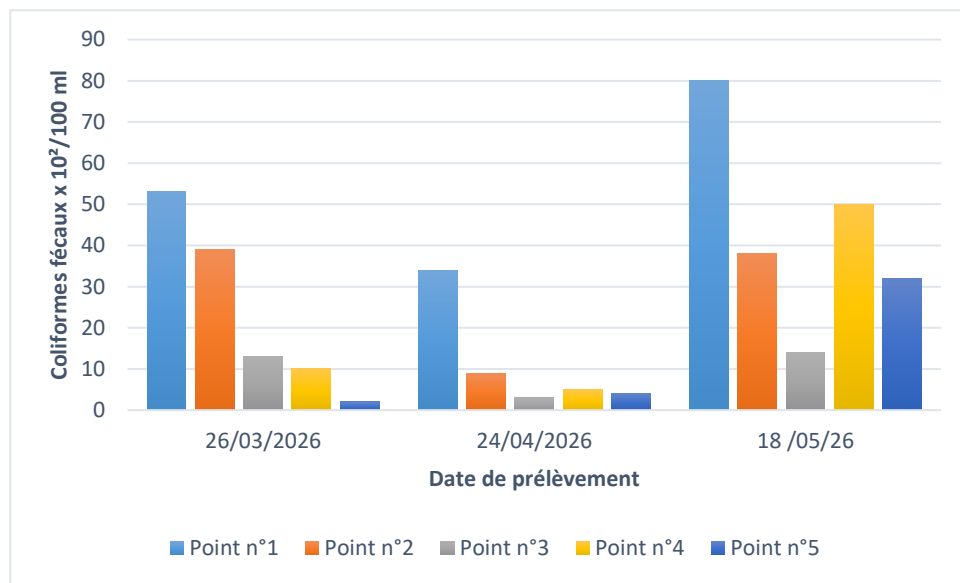


Figure 40 : Présentation graphique en barres de la concentration bactérienne des coliformes fécaux dans l'eau de mer au niveau de la station d'étude

II.4. Streptocoques fécaux

La mise en évidence de la bactérie s'appuie sur l'utilisation de la membrane filtrante (Figure 43). L'étape de confirmation se repose sur l'apparition d'un halo noir autour des colonies confirmant la présence des *streptocoques* fécaux (Figure 44).

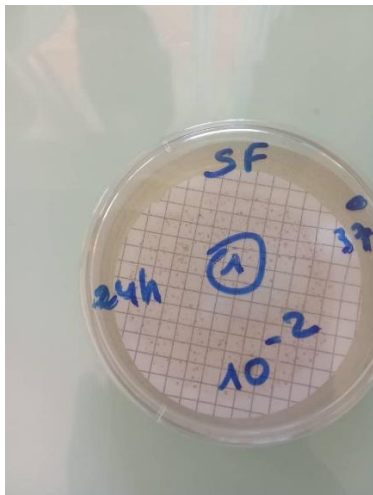


Figure 43 : Présentation des colonies de *Streptocoques* fécaux sur membrane filtrante (Photo : BEZAIT.S)

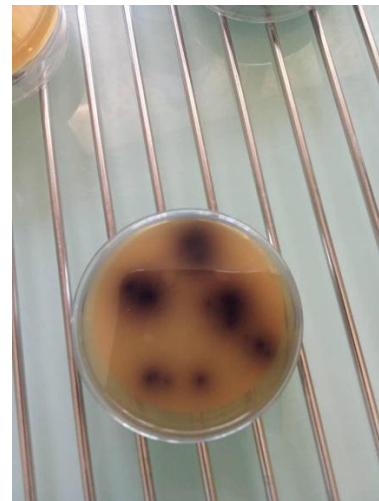


Figure 44 : Test de confirmation sur milieu BEA (Photo : BEZAIT.S)

Le figure d'histogramme en bas montre une dynamique variable des concentrations en *Streptocoques* fécaux, selon les points de prélèvement et les périodes d'échantillonnage. Les teneurs les plus importantes sont enregistrées au point 1, où un maximum de 50×10^2 UFC/100 ml est atteint en moi de mai. À l'inverse, les niveaux les plus faibles sont observés aux points 3 et 5 en moi d'avril avec une concentration de 1×10^2 UFC//100 ml. Les résultats mettent également en évidence un recul général des concentrations au cours du mois d'avril, suivi d'une hausse au cours du mois suivant.

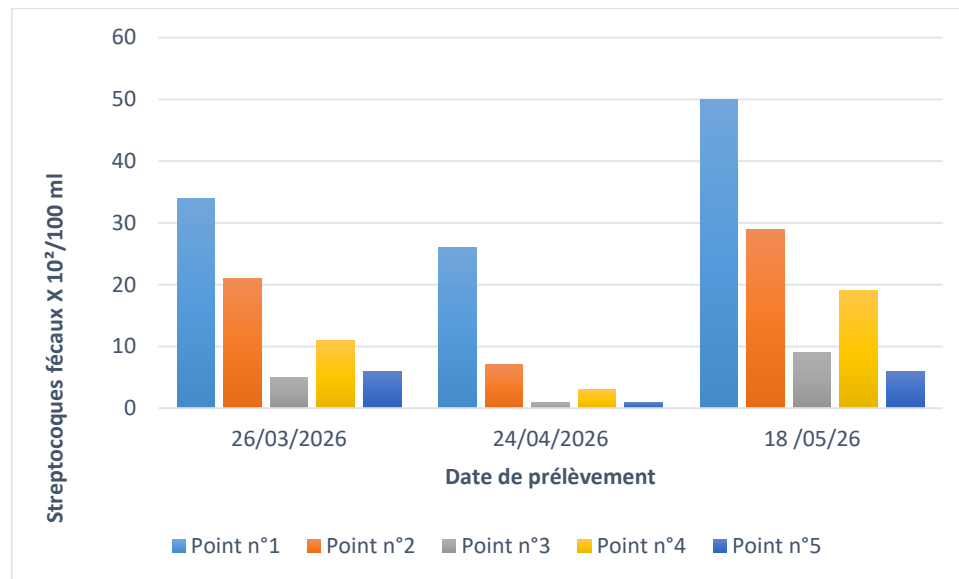


Figure 41 : Présentation graphique en barres de la concentration bactérienne des *Streptocoque* fécaux dans l'eau de mer au niveau de la station d'étude Pour les trois sites.

II.5. *Clostridium* sulfito -réducteur

Après traitement thermique (Figure 46), filtration et incubation en conditions d'anaérobiose, les *Clostridium* sulfito-réducteurs se développent sous forme de colonies caractéristiques (Figure 47).



Figure 46 : Présentation d'un bain mari et traitement thermique des échantillons (Photo : BEZAIT.S)



Figure 47 : Colonies de *Clostridium* sulfito réducteur sur membre filtrante (Photo : BEZAIT.S)

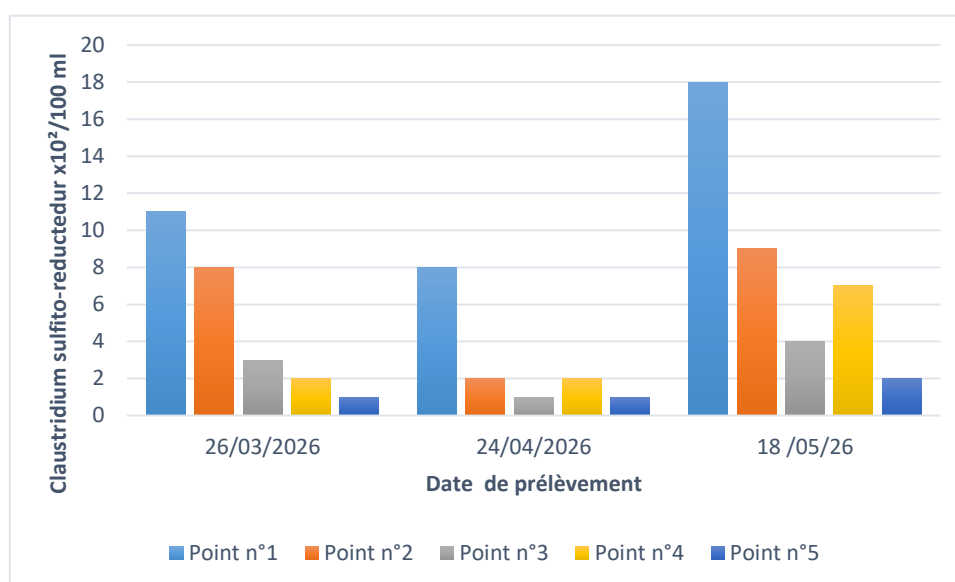


Figure 42 : Présentation graphique en barres de la concentration bactérienne des *Streptocoque* fécaux dans l'eau de mer au niveau de la station d'étude

Le graphe montre une variation des concentrations en *Clostridium* sulfito-réducteur entre les différents points de prélèvements le résultat mis en évidence une certaine dispersion au cours de la période d'étude. Le point n°1 enregistre la plus forte teneur de 18×10^2 UFC/100 ml le mois de Mai, suivi d'une diminution d'une valeur de 11×10^2 à 8×10^2 UFC/100 ml. Les points successives 2, 3, 4 et 5 montrent également une diminution ou des valeurs stables le mois d'avril.

III. Discussion des résultats

Dans ce travail, nous mettons en avant l'effet des rejets traités de la station d'épuration de la STEP de salamandre sur la qualité microbiologique et physico-chimique du milieu marin côtier de la partie Ouest de Mostaganem.

Les analyses obtenues, à courte échelle de trois mois de prélèvements, décèlent une variabilité hétérogène de la charge microbiologique, associée par une intensité prononcée au voisinage de l'exutoire de rejet. Par ailleurs les résultats obtenus aux niveaux des différents points de prélèvements à savoir un rayon de 100 mètres, révélant une nette diminution progressive de la composante microbiologique, probablement due aux effets de dispersions et de la dilution de milieu relativement profond, conjuguée aux apports anthropiques d'origine continentale et fluviales. Les affleurements rocheux présentent à une distance proche de point de rejet, forment l'effet d'une cuvette, retiennent souvent des poches d'eau de mer (Observation personnelle).

Cependant les paramètres physico-chimiques montrent un gradient net entre les différents points de prélèvements. L'effet de la température (T) comprise entre 16,7 - 21,2 °C, marqué au cours de la saison printanière sur le littoral méditerranéen est considérée comme un facteur limitant, combinée avec des apports d'eaux douces (pluie, ruissellement) et des eaux usées ; nos résultats corroborent avec les travaux de (Benhenda et Cherit 2020) au niveau de la région de Mostaganem et au niveau de littoral de Skikda (Badis. M et *al* 2024).

Le potentiel hydrique (pH) est un paramètre fondamental traduisant la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique. Il est directement lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates. Cet élément dépend de la diffusion du gaz carbonique à partir de l'atmosphère et du bilan des métabolismes respiratoires et photosynthétiques (Hutchinson, 1957) ainsi que l'influence des eaux usées. (Dussaut, 1966). Le pH est indissociable des valeurs de la température, de la salinité et du taux de CO₂ (Nisbet et Verneaux, 1970).

Les valeurs du pH obtenus compris entre 7,45 - 8,15, indiquant un milieu globalement alcalin d'autre part il enregistre une légère diminution à proximité du point de rejet. Cette baisse peut être liée à la minéralisation de la matière organique (MO) et à la production de dioxyde de

carbone lors des processus biologiques. Les travaux de Remili et Kerfoufe 2013 décrivent des résultats similaires au niveau de la partie Ouest de Mostaganem.

La salinité et la conductivité de l'eau de mer, montrent une forte corrélation évoluée dans le même sens. Les faibles valeurs enregistrées au point de prélèvement le plus proche du rejet témoignent d'un effet de dilution provoqué par les apports d'eaux usées et d'eaux pluviales, tandis que les points les plus éloignés retrouvent progressivement des caractéristiques proches de celles de l'eau de mer naturelle. Des résultats de la conductivité concordent à celle trouvés par Taleb. K et *al* à côté du rejet urbain de la région de Stidia en 2015 ; selon Foussard et Etcheber en 2011, le facteur de la conductivité varie très rapidement en fonction du cycle hydrologique en effet le paramètre de la température, dépendant des phénomènes climatiques

Les mesures de turbidités dans le cas de notre prospection, traduits probablement que le degré de la turbidité diminue au fur et à mesure des points des prélèvements éloignées suite à la dispersion et la précipitation de la matière en suspension.

Selon les travaux de Kerfouf et *al.* (2010) sur les eaux de baignade du golfe d'Oran soulignent que la proximité des rejets d'eaux usées constitue un facteur déterminant dans la dégradation de la qualité bactériologique des eaux côtières, ainsi l'analyse de la composante invisible, réalisées au niveau de la station d'étude mettent en évidence une contamination microbienne dont les concentrations les plus élevées ont été enregistrées au Point 1, avec des valeurs atteignant 21×10^4 UFC/100 ml pour les germes totaux, 125×10^3 UFC/100 ml pour les coliformes totaux, 80×10^2 UFC/100 ml pour les coliformes fécaux, 50×10^2 UFC/100 ml pour les streptocoques fécaux et 18×10^2 UFC/100 ml pour *Clostridium*. À l'inverse, les points plus éloignés du rejet présentent des concentrations plus faibles, suggérant un effet de dilution dans le milieu marin. Hidouci et *al.* (2019) ont souligné au niveau du littoral d'Annaba, que les stations les plus exposées aux rejets urbains présentaient des concentrations élevées de coliformes et d'autres indicateurs microbiologiques. Les travaux de Kerfouf et *al.* (2010) sur les eaux de baignade du golfe d'Oran soulignent également que la proximité des rejets d'eaux usées constitue un facteur déterminant dans la dégradation de la qualité bactériologique des eaux côtières.

Une approche microbiologique combinée aux paramètres physico-chimiques a été soulevée ; mettant en avant une forte interaction entre les facteurs abiotiques examinés et l'analyse microbiologiques. Les eaux peu profondes des traits de côtes présentent les plus

faibles valeurs de salinités et de la conductivité ainsi que des mesures élevées de la turbidité correspondent aux concentrations prononcées de la charge bactérienne.

Les particules en suspensions au niveau de la surface de l'eau offrent un refuge idéal pour le transport et la protection des microorganismes, prolongeant leur survie dans le milieu marin.

Autant que facteur limitant et indispensable, la température favorise l'activité métabolique des microorganismes et contribue à leur multiplication, en particulier dans des conditions nutritives d'origine anthropique. À l'inverse, les eaux les plus éloignées se caractérisent par une salinité ordinaire de 35 g/L et une conductivité supérieure à 50 ms/cm marquent un milieu équilibré.

Généralement le milieu marin est considéré fragile et vulnérable. Cette vulnérabilité environnementale ne dépend pas seulement de la charge polluante constante, mais est exacerbée par une synergie entre forçage hydrométéorologique et vulnérabilité infrastructurelle.

Nous supposons que le niveau élevé de contamination observé au niveau de la station d'étude a été fortement influencé par les épisodes de fortes pluies enregistrés durant la période d'échantillonnage. Ces conditions météorologiques ont probablement entraîné une surcharge hydraulique de la station d'épuration (STEP), dont la capacité de traitement a été dépassée. Dans de telles situations, l'excédent des eaux usées est évacué vers le milieu récepteur via l'évacuateur de crues sans bénéficier d'un traitement complet. Cette situation est d'autant plus préoccupante que la STEP reçoit les effluents de sept communes, ce qui accroît considérablement la charge hydraulique à traiter. Par ailleurs, il convient de souligner que la station dispose d'un projet de traitement tertiaire avancé, destiné à améliorer l'élimination des contaminants résiduels avant rejet. Toutefois, cette unité est encore en phase de réalisation et n'a pas encore été mise en service. Ce retard pourrait limiter l'efficacité globale du système d'assainissement et met en évidence la nécessité d'accélérer la mise en œuvre de cette technologie afin de renforcer la protection du milieu marin.

Parallèlement, la station de relevage de l'oued Aïn Safra, située à 4 km qui collecte les eaux usées du chef-lieu, a subi une panne partielle critique : sur 3 pompes de $4 \times 5000 \text{ m}^3/\text{j}$, seulement 1 pompe fonctionnait, ce qui a empêché le refoulement normal vers la STEP et favorisé des rejets locaux vers le milieu marin par un système de by-passe (ONA,2026).

Conclusion générale

La présente étude vise à évaluer la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux marines côtières de la région de Mostaganem, au voisinage de l'exutoire de rejet de la station d'épuration (STEP) de Salamandre.

Les analyses obtenues, à courte échelle de trois mois de prélèvements, décèlent une variabilité hétérogène de la charge microbiologique, caractérisée par des concentrations élevées en germes totaux, coliformes totaux, coliformes fécaux, *streptocoques* fécaux et *Clostridium* sulfito-réducteurs à proximité du point de rejet de la zone photique peu profonde.

Par ailleurs les résultats obtenus aux niveaux des différents points de prélèvements à savoir un rayon de 100 mètres, révélant une nette diminution progressive de la composante microbiologique, probablement due aux effets de dispersions et de la dilution du milieu marin, conjuguée aux apports anthropiques d'origine continentale et fluviales.

Les analyses physico-chimiques ont également révélé des variations significatives, en effet les faibles valeurs de salinité et de conductivité enregistrées à proximité du rejet, associées à une turbidité relativement élevée, témoignent de l'influence des apports fluviaux, terrigènes sur la qualité du milieu côtier. Les paramètres abiotiques constatées montrent une interaction écologique étroite est un facteur clé conditionnant la dynamique microbiologique, observée au niveau de la station d'étude.

L'action thermique de l'ensoleillement, modifie le biotope, favorise l'activité métabolique des microorganismes et contribue potentiellement à leur multiplication, en particulier en présence de conditions favorables

Les résultats obtenus suggèrent que les fortes concentrations bactériennes observées durant la période d'échantillonnage ont été influencées par les épisodes de fortes précipitations enregistrés au cours de la période d'étude. Ces événements ont probablement provoqué une surcharge hydraulique de la station d'épuration, entraînant un apport considérable d'effluents insuffisamment traités vers le milieu marin. Cette situation pourrait également être aggravée par des dysfonctionnements ponctuels des infrastructures d'assainissement, notamment au niveau de la station de relevage de l'oued Aïn Safra, ainsi que par l'absence actuelle du traitement tertiaire, encore en phase de réalisation.

Perspectives

Les investigations menées dans cette station d'étude la nécessitent la mise en place d'un réseau de surveillance adapté à la composante microbienne pathogène d'origine anthropique, notamment à proximité des zones de rejet.

Il est également recommandé d'améliorer les performances en matière d'ingénierie environnementale dans ce sens la mise en service du traitement tertiaire est cruciale au niveau de la station d'épuration.

En termes de la science participative, la contribution de citoyen dans la préservation des écosystèmes côtiers demeure indispensables

Références bibliographiques

A

- **Agence européenne pour l'environnement (EEA). (2023).** *Rapport européen sur la qualité des eaux de baignade*. EEA.
- **Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire (ANAT). (2006).** *Révision du Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) du groupement de Mostaganem : Rapport d'orientations et règlement*. ANAT.
- **Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH). (s.d.).** *Synthèse des ressources en eau et inventaire hydrogéologique de la région d'Oran* (Rapport technique). ANRH, Antenne d'Oran.
- **Ait Abdelouahab, S. (2008).** *Étude de la qualité microbiologique des eaux et des risques sanitaires liés à la contamination fécale* (Mémoire de magistère). Université d'Oran Es-Senia, Algérie.
- **Al-qawati, M., Azami Idrissi, Y., Alemad, A., Belhaili, I., Marc, I., Baichouti, F., El Kharrim, K. H., & Belghyti, D. (2015).** *Analyse et contrôle de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la région sidi allal Tazi-Gharb-Maroc*. International Journal of Innovation and Applied Studies, 11, 1-11.
- **Alvarado, A., Esteller, M. V., Quentin, E., & Expósito, J. L. (2016).** *Multi-criteria decision analysis and GIS approach for prioritization of drinking water utilities protection based on their vulnerability to contamination*. Water Resources Management, 30(4), 1549–1566.
- **Algérie. (1993).** *Décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993 réglementant les rejets d'effluents liquides industriels*. Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire, n° 46.
- **Algérie. (2006).** *Décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels*. Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire, n° 26.
- **Algérie. (2009).** *Décret exécutif n° 09-209 du 11 juin 2009 fixant les modalités d'octroi de l'autorisation de déversement des eaux usées autres que domestiques dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration*. Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire, n° 36.
- **Algérie. (2012).** *Arrêté interministériel du 2 janvier 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation*. Journal officiel de la République algérienne

démocratique et populaire, n° 41.

- **Aminot, A., & Chaussepied, M. (1983).** *Les propriétés physiques et chimiques des eaux marines*. Revue des sciences et techniques, 22(4), 45-57.
- **Arour, E. (2014).** *Monographie de la wilaya de Mostaganem : Découpage administratif de l'Algérie & Monographie*. daïra-mostaganem.
- **Asano, T. (1998).** *Wastewater Reclamation and Reuse* (Water Quality Management Library, Vol. 10). Technomic Publishing Co.
- **Aubert, M. (1982).** *Métaux lourds en Méditerranée : Campagnes océanographiques du C.E.R.B.O.M.* (Tome 3). CERBOM.

B

- **Badia Gondard, F. (1996).** *L'assainissement des eaux usées*. Editions de La Lettre du Cadre Territorial.
- **Badis, M., Bouamama, S., Djidja, N. E., & Tarfa, N. (2024).** Biosurveillance de la pollution marine du littoral de Skikda (Mémoire de Master, Filière Écologie et Environnement, spécialité Écologie des Milieux Naturels). Université 20 Août 1955 de Skikda, Algérie
- **Baudin, J.-P., et al. (1991).** *Études écotoxicologiques et radioécologiques en milieu aquatique* (bioaccumulation et transfert des contaminants). Annales de Limnologie / Environmental Pollution.
- **Baumont, S., Camard, J.-P., Lefranc, A., & Franconie, A. (2005).** *Réutilisation des eaux usées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France* (Rapport ORS). Observatoire Régional de la Santé.
- **Belbachir, N. (2018).** *Rôle des Holothuries aspidochiotes dans le fonctionnement du réseau trophique de l'écosystème à Posidonia oceanica (L.) Delile (1813) de la frange côtière de Mostaganem* (Thèse de doctorat). Université de Mostaganem, Algérie.
- **Benhamidi. (2002).** *Analyse microbiologique et physique-chimique des deux de rejets de complexe laitier de sidi Saada de Relizane et de l'unité de l'hydrolyse de Mostaganem* (Mémoire d'ingénieur d'état en agronomie). Université de Mostaganem, Algérie.
- **Benhenda, M., & Cherit, N. (2020).** Étude physicochimique et microbiologique de l'eau de mer au niveau des sites Sidi El Mansour, la crique de la Salamandre et Sidi Majdoube (Mémoire de Master en Hydrobiologie Marine et Continentale, spécialité Bioressource Marine). Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, Algérie.

- **Benkaddour, B. (2018).** *Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Chéliff (Algérie)* (Thèse de doctorat). Université de Perpignan, France.
- **Benslimane, A. (2019).** *Suivi physico-chimique et bactériologique des eaux épurées de la station d'épuration de Boumerdès* (Mémoire de fin d'études). Université de Boumerdès, Algérie.
- **Benzait, H. (2014).** *Contribution à l'évaluation de la biodiversité des Echinodermes de la région côtière de Mostaganem* (Mémoire de fin d'études). Université de Mostaganem, Algérie.
- **Boehm, A. B., & Sassoubre, L. M. (2014).** *Indicateurs entérocoques de la contamination fécale environnementale. Dans M. S. Gilmore, D. B. Clewell, Y. Ike, & N. Shankar (Éds.), Les entérocoques : des bactéries commensales aux principales causes d'infections résistantes aux antibiotiques.* Massachusetts Eye and Ear Infirmary.
- **Boeglin, J.-C. (1998).** *Traitements biologiques des eaux résiduaires.* Techniques de l'Ingénieur : Traité Génie des procédés, Article J3 942.
- **Bongiovanni, J.-M. (1998).** *Traitement des boues résiduaires par l'association en série d'une déshydratation mécanique et d'un séchage thermique* (Thèse de doctorat). Université de Pau et des Pays de l'Adour, France.
- **Bouaroudj, S., Menad, A., Bounamous, A., H. Ali-Khodja, Gherib, A., Weigel, D. E., & Chenchouni, H. (2019).** *Assessment of water quality at the largest dam in Algeria (Beni Haroun Dam) and effects of irrigation on soil characteristics of agricultural lands.* Chemosphere, 219, 76-88.
- **Boudjabi, S., Kribaa, M., & Chenchouni, H. (2019).** *Sewage sludge fertilization alleviates drought stress and improves physiological adaptation and yield performances in Durum Wheat (Triticum durum): a double-edged sword.* Journal of King Saud University - Science, 31(3), 336-344.
- **Bourgeois, C. M., & Leveau, J. Y. (1980).** *Techniques d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaires* (Tome 3). Apria.
- **Bouziani, M. (2002).** *L'eau de la pénurie aux maladies : enjeux et perspectives en Algérie.* Office des Publications Universitaires (OPU).
- **Bremond, R., & Perrodon, Z. (1979).** *Paramètres de la qualité des eaux* (2^e éd.). Ministère de l'Environnement, Direction de la prévention des pollutions.
- **Breuil. (2003).** *Analyse des résultats des mesures physico-chimiques et hydrobiologiques (I.B.G.N.) réalisées en 2003 sur le bassin versant du Lieutel* (Rapport d'analyse). Comité

du bassin hydrographique de la Mauldre et ses affluents.

- **Brisou, J. F., & Denis, F. A. (1978).** *Hygiène de l'environnement maritime*. Masson.

C

- **Campos, C. (2008).** *New perspectives on microbiological water control for wastewater reuse*. *Desalination*, 218(1-3), 34-42.
- **Caulet, J. (1972).** *Les sédiments organogènes du précontinent Algérien* (Mémoire du Muséum national d'histoire naturelle, Série C, Tome 25). Éditions du Muséum.
- **Chedad, K., & Assobhei, O. (2007).** *Étude de la survie des bactéries de contamination fécale (coliformes fécaux) dans les eaux de la zone ostréicole de la lagune de Oualidia* (Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Vie*, 29, 71–79.
- **Chiheb, M. (2013).** *La faisabilité technico-économique pour la réalisation d'une ferme aquacole* (Rapport aquapêche). DPRH Mostaganem.
- **Conseil supérieur d'hygiène publique de France (CSHPF). (1995).** *Recommandations sanitaires relatives à la désinfection des eaux usées urbaines*. Ministère de la Santé.

D

- **Dajoz, R. (1977).** *Introduction to Ecology*. Hodder and Stoughton.
- **Degrémont, J. (2005).** *Mémento technique de l'eau : Lexique technique de l'eau* (Tome 1). Lavoisier.
- **Derwich, E., Beziane, Z., Benaabidate, L., & Belghyti, D. (2008).** *Évaluation de la qualité des eaux de surface des Oueds Fès et Sebou utilisées en agriculture maraîchère au Maroc*. *Larhyss Journal*, 7, 47-58.
- **Djeddi (Bouatia), H., & Rahmoune, C. (2007).** *Utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines* (Mémoire de magistère). Université Mentouri Constantine 1, Algérie.
- **Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE). (2006a).** *Bilan de l'inspection des installations classées / environnement industriel régional*. Ministère de l'Écologie et du Développement durable.
- **Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE). (2006b).** *Rapport sur l'environnement industriel et les rejets des installations classées*. Ministère de l'Écologie et du Développement durable.

- **Dussart, B. (1966).** Limnologie : l'étude des eaux continentales. Paris : Gauthier-Villars

E

- **El Ouali, I., Hammouti, B., Aouniti, A., Ramli, Y., Azougagh, M., & Bouachrine, M. (2010).** *Thermodynamic characterisation of steel corrosion in HCl in the presence of 2-phenylthieno(3,2-b)quinoxaline.* Journal of Materials and Environmental Science, 1(1), 1–8.

F

- **Faby, J. A., & Brissaud, F. (1997).** *L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation.* Office International de l'Eau.
- **Fekir, Y. (2021).** *Étude et évaluation de la dégradation des ressources naturelles en Algérie occidentale par SIG et télédétection* (Thèse de doctorat). Université d'Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem.
- **Flint, K. P. (1987).** *The long-term survival of Escherichia coli in river water.* Journal of Applied Bacteriology, 63(3), 261–270.
- **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2002).** *The State of World Fisheries and Aquaculture 2002.* FAO.
- **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020).** *Sea-based Sources of Marine Litter: A Review of Current Knowledge and Assessment of Data Gaps.* FAO.
- **Foussard, V., & Etcheber, H. (2011).** Proposition d'une stratégie de surveillance des paramètres physico-chimiques pour les estuaires de la Seine, de la Loire et de la Gironde. CNRS / Projet scientifique sur les estuaires, France, 74 p.

G

- **Gennaccaro, A. L., Mc Laughlin, M. R., Quintero-Betancourt, W., Huffman, D. E., & Rose, J. B. (2003).** *Infectious Cryptosporidium parvum oocysts in final reclaimed effluent.* Applied and Environmental Microbiology, 69, 4983–4984.
- **Ghazali, D., & Zaid, A. (2013).** *Etude de la qualite physico-chimique et bactériologique*

des eaux de la source Ain Salama-Jerri (Région de Meknès – Maroc). Larhyss Journal, 12, 119-135.

- **Grosclaude, G. (1999a).** *L'eau milieu naturel et maîtrise* (Tome I). Éditions INRA.
- **Grosclaude, G. (1999b).** *L'eau usages et polluants* (Tome II). Éditions INRA.

H

- **Hassen, W., et al. (2022).** *Évaluation chimique et microbiologique des eaux usées rejetées le long du bassin méditerranéen*. Sustainability, 14(5), Article 2746.
- **Hidouci, S., Eddoud, O., & Djebbar, A. B. (2019).** Coastal water quality monitoring in Annaba (Eastern Algeria). Communication présentée au Forum de l'eau 2018, publiée dans les actes scientifiques, Algérie.
- **Hobeika, W., Gaschet, M., Ploy, M.-C., et al. (2021).** *Diversité du résistome et dissémination des bactéries pathogènes prioritaires résistantes aux antibiotiques de l'OMS dans les estuaires libanais*. Antibiotics, 11(3), Article 306.
- **Hutchinson, G. E. (1957).** A Treatise on Limnology. Volume I: Geography, Physics, and Chemistry. New York, NY: John Wiley & Sons.

I

- **Ibeh, O. O., & Umeham, S. N. (2018).** *Genotoxicity assessment of three industrial effluents using the Allium cepa bioassay*. African Journal of Environmental Science and Technology, 12(3), 115–122.
- **Ifremer – LER PC. (2011).** *Rapport d'activité / rapport de suivi du littoral – site Marennes-Oléron et pertuis charentais* (Contributions : J.-C. Piquet et al.). Ifremer, Unité LER-PC.
- **Islam, M. S., & Tanaka, M. (2004).** *Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management: a review and synthesis*. Marine Pollution Bulletin, 48(7–8), 624–649. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2003.12.004>

J

- **Jarde, E. (2002).** *Composition organique des boues résiduelles des stations d'épuration Lorraines : Caractérisation moléculaire et effets de la biodégradation* (Thèse de doctorat).

Université Nancy I, France.

K

- **Kerfouf, A., & Boutiba Zitouni, Z. (2007).** *Distribution of macrobenthos in the coastal waters in the Gulf of Oran* (Western Algeria). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10(6), 899-904.
- **Kies, F., & Kerfouf, A. (2014).** *Caractérisation physicochimique des eaux de surface de la côte ouest algérienne : baie de Mostaganem et estuaire du Cheliff*. *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research*, 2(4), 1-10.
- **Kerfouf, A., Benyahia, M., & Boutiba, Z. (2010).** La qualité bactériologique des eaux de baignade du golfe d'Oran (Algérie occidentale). *Revue de Microbiologie Industrielle, Sanitaire et Environnementale*, 4(1), 22-31.

M

- **Mancini, J. L. (1978).** *Numerical estimates of coliform mortality rates under various conditions*. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 50(11), 2477-2484.
- **Marchand, M. (2002).** *Chemical Spills at Sea: Case Studies*. Dans M. Fingas (Éd.), *The Handbook of Hazardous Materials Spills Technology*. McGraw-Hill.
- **Menna, M., Gerin, R., Notarstefano, G., Mauri, E., Bussani, A., Pacciaroni, M., & Poulain, P. M. (2021).** *On the Circulation and Thermohaline Properties of the Eastern Mediterranean Sea*. *Frontiers in Marine Science*, 8, Article 671469.
- **Merabet, S. (2010).** *Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes distribuées du barrage réservoir de Beni Haroun* (Mémoire de magister en chimie analytique). Université Mentouri de Constantine, Algérie.
- **Merzoug, S. (2009).** *Etude de la qualité microbiologique et physicochimique de l'eau de l'écosystème lacustre Garaet Hadj-Taher (Benazzouz, Wilaya Skikda)* (Mémoire de magister). Université 08 Mai 1945 de Guelma, Algérie.
- **Metcalf & Eddy. (2014).** *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th ed.). McGraw-Hill.
- **Millot, C. (1985).** *Some features of the Algerian current*. *Journal of Geophysical Research*, 90(C4), 7169-7176.
- **Millot, C. (1987a).** *Circulation in the Mediterranean*. *Oceanologica Acta*, 10(2), 143-149.
- **Millot, C. (1987b).** *The Algerian eddies*. *Earth-Science Reviews*, 27, 1-17.
- **Millot, C. (1989).** *La circulation générale en Méditerranée occidentale : aperçu de nos*

connaissances et projets d'études. Annales de géographie, 549, 497-515.

- **Millot, C. (1993).** *La circulation générale en Méditerranée occidentale*. Workshop sur la Circulation des eaux et pollution des côtes Méditerranéennes du Maghreb, INOC, 29-30.
- **Millot, C., & Taupier-Letage, I. (2005).** *Circulation in the Mediterranean Sea*. The Handbook of Environmental Chemistry, 5K, 29-66.
- **Ministère des Ressources en Eau. (2022).** *Rapport de situation sectoriel et orientations stratégiques du Plan National de l'Eau (PNE) (Rapport officiel)*. République Algérienne Démocratique et Populaire.
- **Mission Interservices de l'Eau (MISE). (2009).** *Guide d'application de l'arrêté du 22 juin 2007 relatif au traitement des eaux usées*. Ministère de l'Écologie.

N

- **Nedjraoui, D. (2011).** *L'effet du Changement Climatique sur l'élevage et la gestion durable des parcours dans les zones arides et semi-arides du Maghreb : Vulnérabilité des écosystèmes steppiques en Algérie*. Actes du colloque de l'Université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie.
- **Nisbet, M., & Verneaux, J. (1970).** Composantes chimiques des eaux courantes. Discussion et proposition de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. Annales de Limnologie, 6(2), 161–190.

O

- **Office français de la biodiversité (OFB). (2024).** *Rapport d'activité 2024*. Ministère de la Transition écologique.
- **Office National d'Assainissement (ONA). (s.d.).** *Monographie technique et rapport d'exploitation de la station d'épuration (STEP) de Mostaganem* (Document interne). Direction de zone de Mostaganem.
- **Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO). (2024).** *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau*. UNESCO.
- **Organisation mondiale de la Santé (OMS). (1977).** *Réutilisation des effluents : méthodes de traitement des eaux usées et mesures de protection de la santé publique* (Série de rapports techniques de l'OMS, n° 517). OMS.
- **Organisation mondiale de la Santé (OMS). (2021).** *Lignes directrices relatives à la sécurité sanitaire des eaux récréatives*. OMS.

- **Organisation mondiale de la Santé (OMS). (2022).** *Eau, assainissement et hygiène (WASH) : fiche d'information.* OMS.
- **Organisation internationale de normalisation. (2018).** *Qualité de l'eau — Exigences et lignes directrices générales pour les examens microbiologiques sur milieu de culture* (Norme ISO n° 8199 :2018).
- **Oucif, L., Bendjama, E., Gacemi-Kirane, D., et al. (2020).** *Antimicrobial resistance and genetic diversity of Enterobacteriaceae isolated from aquatic environments.* Environmental Science and Pollution Research, 27, 1–12.

P

- **Parlement européen (PE). (2018).** *Pollution marine : données, conséquences et nouvelles règles européennes* (Infographie officielle). PE.
- **Pelmont, J. (1993).** *Bactéries et environnement : adaptations physiologiques.* Presses Universitaires de Grenoble.
- **Persson, L., et al. (1976).** *A study on detergents: acute toxicity of anionic surfactants on aquatic organisms.* Annual Report, Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection, 57–69.
- **Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU). (2012).** *Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme de la commune de Sidi Ali* (Rapport d'approbation). Assemblée Populaire Communale (APC) de Sidi Ali / Direction de l'Urbanisme et de la Construction (DUC) de la Wilaya de Mostaganem.
- **PNUE / OMS. (1977).** *Recommandation pour la surveillance sanitaire des zones côtières à usage récréatif et des zones conchyliques.* Bureau régional de l'OMS pour l'Europe.
- **Programme des Nations Unies pour l'Environnement / Plan d'Action pour la Méditerranée (PNUE/PAM). (2020).** *Rapport sur l'état de l'environnement marin et côtier de la Méditerranée.* PNUE.
- **Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE). (2021).** *Rapport annuel 2020 du PNUE.* PNUE.

R

- **Ramade, F. (1982).** *Éléments d'écologie appliquée : Action de l'homme sur la biosphère.* McGraw-Hill.

- **Ramade, F. (2002).** *Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement (2^e éd.)*. Dunod.
- **Ramade, F. (2005).** *Éléments d'écologie : écologie appliquée*. Dunod.
- **Rejsek, F. (2002).** *Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques*. Centre Régional de Documentation Pédagogique d'Aquitaine (CRDP).
- **Remili, S., & Kerfouf, A. (2013).** *Évaluation de la qualité physico-chimique et du niveau de contamination métallique (Cd, Pb, Zn) des rejets d'eaux usées d'Oran et de Mostaganem*. *Physio-Géo*, 7, 165–182.
- **République Française. (2007).** *Arrêté du 22 juin 2007 relatif à la collecte, au transport et au traitement des eaux usées des agglomérations d'assainissement*. Journal officiel de la République française, 14 juillet 2007.
- **Rodier, J. (1996).** *L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer (8^e éd.)*. Dunod.
- **Rodier, J. (1999).** *L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer (8^e éd. Tirage corrigé)*. Dunod.
- **Rodier, J. (2005).** *L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer (8^e éd. Actualisée)*. Dunod.
- **Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2009).** *L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer (9^e éd.)*. Dunod.
- **Rodier, J., et al. (2005).** *Analyse de l'eau [Données analytiques et étalonnages]*. Dunod.
- **Rodier, J., et al. (2009).** *Méthodes d'analyse physico-chimique des eaux*. Dunod.
- **Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., & co-auteurs. (2012).** *L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer (9^e éd. Enrichie)*. Dunod.
- **Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2016).** *L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer (10^e éd.)*. Dunod.
- **Rodier, J., et al. (2016).** *Guide pratique de l'analyse de l'eau en laboratoire*. Dunod.
- **RTL. (2019).** *Pollution de l'environnement : État des lieux*. RTL Info.

S

- **Saab, M. A., et al. (2007).** *Effects of surfactants and environmental conditions on aquatic toxicity and surface tension behavior*. *Journal of Oleo Science*, 56(5), 237–243.
- **Scott, M. J., & Jones, M. N. (2000).** *The biodegradation of surfactants in the environment*. *Biochimica et Biophysica Acta*.

T

- **Taghezout, F. (2015).** *Impact environnemental des rejets des eaux usées sur le littoral ouest algérien* (Mémoire de magister). Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf (USTO-MB), Algérie.
- **Taleb, M. Z., & Boutiba, Z. (2007).** *La moule *Mytilus galloprovincialis* comme bioindicateur de la pollution marine : cas du port d'Oran*. Sciences & Technologie C, 25, 59-64.
- **Taleb, M. K., Tahraoui, F., & Kerfouf, A. (2015).** Impact of Anthropic Activity on a Coastal Environment of Ecological Interest: Stidia (Mostaganem – Algerian West). International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR), 21(1), 254–260.
- **Thiery, A. (1987).** *Les Crustacés Branchiopodes Anostraca, Notostraca et Conchostraca des milieux limniques temporaires (Dayas) au Maroc (Ph.D. Thesis)*. Université Aix-Marseille III, France.
- **Toze, S. (1999).** *PCR and the detection of microbial pathogens in water and wastewaters*. Water Research, 33, 3545–3556.
- **Toze, S. (2006).** *Reuse of effluent water-benefits and risks*. Agricultural Water Management, 80, 147-159.

U

- **United Nations Environment Programme (UNEP). (2021).** *From Pollution to Solution: A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution*. UNEP.
- **U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). (2006).** *National Recommended Water Quality Criteria*. Office of Water.

V

- **Valiron, F. (1990).** *Gestion des eaux : principes et structures*. Presses de l'École nationale des ponts et chaussées (ENPC) / Lavoisier.
- **Vincent, M. (2006).** *Étude d'expertise en Aquaculture - Environnement - Pêche – Pollution*. Saint-Maximin, France.

W

- **Wilaya de Mostaganem. (2023).** *Monographie de la wilaya de Mostaganem*. Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire (DPAT), Mostaganem, Algérie.
- **World Health Organization (WHO). (2013).** *Guidelines for Drinking-water Quality* (4th ed.). WHO.