



Université du 20 Août 1955 SKIKDA

Institut des sciences et techniques Appliquées (ISTA-SKIKDA)

Mémoire de fin de cycle en vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et Sécurité Industrielle

Spécialité : Sécurité des Procédés Pétrolières et Gazières

TITRE DE MEMOIRE

**Les impacts de la pollution de l'oued Safsaf sur la région de
Skikda**

Présenté et soutenu publiquement le : 30/06/2025

Par :

Youcef BOULAKOUR

Devant le jury :

Président :	Dr. EL-arkam MACHHOUD	U- 20 Août 1955. Skikda
Encadreur :	Dr. Zobida MARSA	U- 20 Août 1955. Skikda
Examineur :	Dr. Nadhir ABDERAHMANE	U- 20 Août 1955. Skikda
Examineur :	Dr. Nasima RAMDAN	U- 20 Août 1955. Skikda

2^{-ème} Promotion Juillet 2025



Université du 20 Août 1955
SKIKDA

Institut des sciences et techniques Appliquées
(ISTA-SKIKDA)

Mémoire de fin de cycle en vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et Sécurité Industrielle

Spécialité : Sécurité des Procédés Pétrolières et Gazières

TITRE DE MEMOIRE

**Les impacts de la pollution de l'oued Safsaf sur la région de
Skikda**

Présenté et soutenu publiquement le : 30 /0/2025

Par :

Youcef BOULAKOUR

Devant le jury :

Président :	Dr. EL-arkam MACHHOUD	U- 20 Août 1955. Skikda
Encadreur :	Dr. Zobida MARSALA	U- 20 Août 1955. Skikda
Examineur :	Dr. Nadhir ABDERAHMANE	U- 20 Août 1955. Skikda
Examineur :	Dr. Nasima RAMDAN	U- 20 Août 1955. Skikda

2^{-ème} Promotion juin 2025

DEDICACE

Je dédie humblement ce travail, fruit de longues heures d'efforts, de persévérance et de sacrifices, à tous ceux qui ont été la lumière sur mon chemin, le soutien silencieux dans les moments de doute, et la force tranquille qui m'a permis d'aller jusqu'au bout...

À mes parents bien-aimés,

Vous qui ne m'avez jamais refusé une prière sincère, un mot d'encouragement ou une présence rassurante. Vous avez porté le poids des années pour me voir réussir. Ce travail est avant tout le vôtre, car vous êtes la source de mon courage, de ma patience et de mes valeurs. Mille mercis ne suffiraient jamais à exprimer ce que je vous dois.

À mes frères,

Merci d'avoir toujours été là, discrets mais présents, prêts à tendre la main et à offrir un mot de soutien au moment où j'en avais le plus besoin. Votre présence m'a offert une stabilité précieuse et un réconfort inestimable.

À mes amis chers,

Compagnons de route dans ce long parcours, merci pour votre écoute, votre entraide, vos sourires spontanés et vos encouragements sincères. Vous avez été des piliers dans les moments les plus difficiles, et je vous en suis profondément reconnaissant(e).

À tous ceux qui, de près ou de loin, ont cru en moi, m'ont soutenu ou simplement souhaité du bien, je vous dédie ce travail avec une gratitude infinie et un profond respect.

REMERCIEMENTS

Louange à Dieu, Le Tout-Puissant, qui m'a guidé, soutenu et accordé la patience ainsi que la force nécessaire pour mener à bien ce modeste travail.

J'exprime ma profonde gratitude à mon encadrante, Madame la Docteure Marsa Zoubida, pour ses conseils avisés, son accompagnement constant et sa disponibilité tout au long de ce travail. Sa rigueur scientifique et son soutien ont été essentiels à la réalisation de ce mémoire.

Mes remerciements les plus sincères vont également à Monsieur Saleh Elalmi, mon encadrant de stage, pour son encadrement sur le terrain, sa bienveillance, ainsi que son appui technique et humain tout au long de la période de stage.

Je remercie également les membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en évaluant ce travail, ainsi que pour leurs remarques constructives.

Mes sincères remerciements s'adressent aussi à l'ensemble des enseignants de l'Institut des Sciences et Techniques Appliquées (ISTA), pour la qualité de leur enseignement et leurs efforts constants tout au long de mon parcours universitaire.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mes chers parents, pour leur patience, leurs prières, leurs encouragements et leur soutien inconditionnel durant toutes ces années.

Mes remerciements vont également à mes frères, pour leur présence, leur compréhension et leur appui dans les moments les plus difficiles.

Enfin, je remercie du fond du cœur mes amis fidèles, pour leur solidarité, leur entraide et leur motivation continue tout au long de ce parcours.

À vous tous, je dédie ce travail avec respect et gratitude.

Liste des Tableaux :

N°Figure	Nom de tableau	Page
Tableau 1	Les unités de la zone industrielle de SKIKDA (LABAR, 2009)	21
Tableau 2	Tableau récapitulatif de la qualité de diverses eaux douces (Desjardins, 1997)	36
Tableau 3	Concentration des différents ions d'une eau de mer (Desjardins, 1997)	37
Tableau 4	Origines et natures de différentes sources de pollution du milieu aquatique (Benkaddour, 2018)	41
Tableau 5	Maladies véhiculées par l'eau et ses agents (Opas, 1999)	45
Tableau 6	Classification des eaux selon leurs pH (Amrai et Boudissa, 2023)	51
Tableau 7	Résultats d'analyse physico-chimiques de l'eau d'oued Saf-Saf (LILOU)	66
Tableau 8	Résultats d'analyse physico-chimiques de l'eau d'oued Saf-Saf (POST 3)	67
Tableau 9	Classes de minéralisation d'après la conductivité électrique (Rodier et al, 2009)	72
Tableau 10	Résultats d'analyse microbiologiques de l'eau d'oued Saf-Saf (LILOU)	85
Tableau 11	Résultats d'analyse microbiologique de l'eau d'oued Saf-Saf (POST 3)	85
Tableau 12	Résultats d'analyse microbiologique de l'eau d'oued Saf-Saf (OUED ZIRAMNA)	85
Tableau 13	Résultats de l'analyse de la présence des Coliformes totaux (CT)	86
Tableau 14	Résultats de l'analyse de la présence des streptocoques fécaux	90

Liste des figures :

N°Figure	Nom du figure	Page
Figure 1	Situation géographique de la région de Skikda (Google earth).	6
Figure 2	Moyennes saisonnières de la pluviométrie dans la région de Skikda (2003-2012). (GUEDDAH, 2015)	8
Figure 3	Variation annuelle moyenne des températures saisonnières dans la région de Skikda (2003-2012). (GUEDDAH, 2015)	8
Figure 4	Variation saisonnière moyenne de l'humidité relative dans la région de Skikda (2003 -2012). (GUEDDAH, 2015)	9
Figure 5	Rose des vents dans le golfe de Skikda (LEM, 1996)	10
Figure 6	Carte des altitudes de la wilaya de Skikda (Benamira 2017)	11
Figure 7	Chevelu du réseau hydrographique de la région de Skikda. Source : (DPAT Skikda Etude monographique 2006)	13
Figure 8	Représentation de la zone côtière de la wilaya de Skikda (Gueddah 2015)	14
Figure 9	Répartition de la population par tranche d'âge. (ANIREF/Monographie de la wilaya de SKIKDA).	15
Figure 10	Photographie satellitaire montrant les 3 ports de Skikda (1, Port de pêche, 2. Ancien port, 3. Nouveau port) (Google earth).	16
Figure 11	Photographie satellitaire du port mixte (Google earth).	17
Figure 12	Photographie satellitaire montrant les infrastructures du nouveau	17
Figure 13	Représentation graphique de la production halieutique par type d'activité durant l'année 2007 (Direction de la pêche de Skikda, 2008) (GUEDDAH, 2015).	18
Figure 14	Plan de masse de la zone industrielle de Skikda (SONATRACH , 2010).	20
Figure 15	Les principaux Oueds de Bassin de Saf-Saf (CCIS Saf-Saf, 2017)	26
Figure 16	Carte de Situation Géographique du Bassin Versant de l'Oued Saf-Saf (Maou, 2011).	27
Figure 17	Principaux affluents de l'Oued Saf-Saf (Khelfaouietal., 2010).	28
Figure 18	Photographie montrant 2 points de rejet de la CTE de Skikda (cercles rouges) dans les eaux de l'oued Safsaf (GUEDDAH, 2015).	30
Figure 19	Photographie satellitaire du point de rejet du complexe GL1/K (Skikda) autour de l'embouchure de l'oued Safsaf (Google earth, 2014 modifié).	30
Figure 20	Schéma d'une molécule d'eau (ISO GOURDE)	33
Figure 21	Eaux de lac (ISO GOURDE)	35
Figure 22	Pollution des eaux (ISO GOURDE)	38
Figure 23	PH et température mètre (photo originale)	52
Figure 24	Turbidimètre (HACH 2100N) (photo originale).	52
Figure 25	Multi paramètres. (HACH SL1000) (Photo originale).	53
Figure 26	Titre alcalimétrique (Photo originale).	55
Figure 27	Dosage de TA et TAC (photo originale)	55
Figure 28	Détermination des titres alcalimétriques simple et complet (TA et TAC) par titrage (photo originale).	56
Figure 29	Dureté totale à la fin de titrage (photo originale).	57
Figure 30	Dureté totale avant le titrage (photo originale).	57
Figure 31	Dosage de la dureté totale de l'eau (photo originale).	57
Figure 32	Coloration de (Ca ²⁺) avant le titrage (photo originale).	58

Figure 33	Coloration de (Ca ²⁺) après le titrage (photo originale).	58
Figure 34	Coloration de Cl ⁻ à la fin de titrage (photo originale).	58
Figure 35	Coloration de Cl ⁻ avant le titrage (photo originale).	58
Figure 36	Filtration sur membrane (photo originale).	61
Figure 37	Test de confirmation (photo originale).	62
Figure 38	Test de confirmation (photo originale).	63
Figure 39	Histogramme représentatif des valeurs moyennes de PH.	69
Figure 40	Histogramme représentatif des valeurs moyennes de température.	71
Figure 41	Histogramme représentatif des valeurs moyennes de La conductivité électrique (CE).	72
Figure 42	Histogramme représentatif des valeurs moyennes de Solides dissous TDS	74
Figure 43	Histogramme représentatif des valeurs moyennes de Turbidité	75
Figure 44	Histogramme représentatif des valeurs moyennes de Dureté totale (THT)	77
Figure 45	Histogramme représentatif des valeurs moyennes de Titre alcalimétrique (TA)	78
Figure 46	Histogramme représentatif des valeurs moyennes de Titre alcalimétrique complet (TAC)	80
Figure 47	Histogramme représentatif des valeurs moyennes de chlorures (Cl ⁻)	81
Figure 48	Histogramme représentatif des valeurs moyennes de calcium (Ca ²⁺)	83
Figure 49	Histogramme représentatif des valeurs moyennes des Coliformes totaux (CT)	87
Figure 50	Résultat positif pour la présence des coliformes fécaux (photo originale)	88
Figure 51	Histogramme représentatif des valeurs moyennes des Coliformes fécaux (CF)	89
Figure 52	Histogramme représentatif des valeurs moyennes des Streptocoques fécaux (SF)	91
Figure 53	Résultat positif pour la présence d'Escherichia coli (E. Coli) (photo originale)	92
Figure 54	Histogramme représentatif des valeurs moyennes des Escherichia coli (E. Coli).	92

Liste des abréviations :

Abréviation	Définition
pH	Potentiel Hydrogène
CE	Conductivité Électrique
TDS	Total Dissolved Solids (Solides Dissous Totaux)
THT	Titre Hydrotimétrique Total (Dureté Totale)
TA	Titre Alcalimétrique
TAC	Titre Alcalimétrique Complet
Cl ⁻	Ion Chlorure
Ca ²⁺	Ion Calcium
CFU	Colony Forming Units (Unités Formant Colonie)
NTU	Nephelometric Turbidity Units (Unités Néphéométriques de Turbidité)
WHO	World Health Organization (Organisation Mondiale de la Santé)
NA	Norme Algérienne
E. coli	Escherichia coli
SF	Streptocoques Fécaux
CT	Coliformes Totaux
CF	Coliformes Fécaux
ADE	Algériennes des eaux
CaCO ₃	Carbonate de calcium
EDTA	Ethylène Diamine Tétra –Acétique
HCO ₃ ⁻	Bicarbonate
HCl	Acide chlorhydrique
H ₂ SO ₄	Acide sulfurique
JORA	Journal officiel de la république algérienne
KCl	Chlorure de potassium
Mg	Magnésium
NaOH	Hydroxyde de sodium
NH ₄ ⁺	Ammonium
NaCl	Chlorure de sodium
OH ⁻	Ion Hydroxyde
PO ₄ ³⁻	Phosphate
SO ₄ ²⁻	Sulfate
S	Source
T	Température
TH	Dureté totale
µS/cm	Microsiemens par centimètre
µm	Micromètre
C°	Degré Celsius
Cl	Chlorure
Ca	Calcium
CO ₃ ²⁻	Carbonate

Sommaire :

DÉDICACE

REMERCIEMENTS

Liste des Tableaux	I
Liste des figures.....	II
Liste des abréviations.....	III
Résumé.....	IV
Introduction Générale	1

CHAPITRE 1 :Présentation de la région d'étude

Introduction.....	5
1.Description de la région de Skikda :.....	5
2. Description de la zone industrielle de SKIKDA	20
2.Présentation de la zone d'étude	26
4. Oued Sefsef entre nature et industrie.....	29

Conclusion

Chapitre 2 :Généralités sur la Pollution des eaux

Introduction.....	33
1. Définition de l'eau	33
2. Ressources hydriques naturelles.....	34
3. Définition de la pollution.....	37
4. Les caractéristiques des eaux usées (industrielles, domestiques...).....	41
5. Maladies d'origine bactérienne.....	45
6. Les effets de la pollution de l'eau.....	46
Conclusion	47

Chapitre 3 :Matériels et Méthodes

Introduction.....	49
OBJECTIF :	49
Choix du site d'étude : Oued Safsaf – Wilaya de Skikda.....	50

1.Méthodes d'analyses	50
Conclusion :	64

Chapitre 4 :Résultats et discussion

1.Résultats des analyses physico-chimiques.....	66
2.Résultats sous forme de diagramme en barre des analyses physico-chimiques des eaux de surface du l'oued El safsaf :.....	69
3.Résultats des analyses microbiologiques.....	85
4.Interprétation et discussion des résultats.....	93
5.Analyse chronologique de l'évolution de la qualité de l'eau (d'Oued ziramna à Lilou)	96
6.Origine probable de la pollution et implications environnementales	97
7.Les impacts de la pollution de l'oued Saf-Saf sur la santé humaine, les milieux naturels et l'équilibre des écosystèmes	97
8.Solutions et recommandations.....	104
Conclusion Générale.....	110

La Bibliographie

Table des matières

Résumé

الملخص:

يعاني وادي الصفصاف بولاية سكيكدة من تدهور بيئي واضح نتيجة التصريفات الصناعية من المنطقة الصناعية، مدعومة بتأثيرات المياه المنزلية غير المعالجة والمخلفات الزراعية. وقد أظهرت التحاليل الفيزيائية، الكيميائية والميكروبيولوجية ارتفاعاً في مؤشرات مثل درجة الحرارة، التوصيلية الكهربائية، TDS، THT، العكارة، والكوليفورمات، خصوصاً بالقرب من النطاق الصناعي.

أكدت الدراسة وجود علاقة طردية بين نسبة التلوث والقرب من المنطقة الصناعية، مما يجعل المياه المحيطة بها غير صالحة لأي استخدام. وهو ما يعكس هشاشة بيئية متزايدة في منطقة ذات ثقل اقتصادي وطني.

الكلمات المفتاحية: وادي الصفصاف، سكيكدة، المنطقة الصناعية، التلوث، TDS، THT، درجة الحرارة، جودة المياه، الهشاشة البيئية.

Résumé :

L'oued Safsaf, situé dans la wilaya de Skikda, subit une dégradation écologique notable sous l'effet des rejets industriels de la zone industrielle, soutenus par les eaux usées domestiques et les résidus agricoles. Les analyses physico-chimiques et microbiologiques ont révélé des taux élevés de température, conductivité électrique, TDS, THT, turbidité, coliformes et Escherichia coli, surtout près des zones industrielles.

L'étude confirme une relation proportionnelle entre le taux de pollution et la proximité de la zone industrielle, rendant les eaux voisines impropres à tout usage. Ce constat met en évidence la fragilité environnementale d'une région pourtant économiquement stratégique.

Mots-clés : Oued Safsaf, Skikda, zone industrielle, pollution, TDS, THT, température, qualité des eaux, fragilité écologique.

Abstract:

Oued Safsaf, located in the Skikda province, is experiencing significant environmental degradation due to industrial discharges from the industrial zone, compounded by untreated domestic wastewater and agricultural runoff. Physico-chemical and microbiological analyses revealed high levels of temperature, electrical conductivity, TDS, THT, turbidity, and coliforms, especially near the industrial area.

The study confirmed a direct correlation between pollution levels and proximity to the industrial zone, rendering the surrounding waters unfit for any use. This highlights growing environmental vulnerability in a region of major national economic importance.

Keywords: Oued Safsaf, Skikda, industrial zone, pollution, TDS, THT, temperature, water quality, environmental vulnerability.

L'eau représente une ressource vitale et irremplaçable, tant pour la vie humaine que pour l'ensemble des êtres vivants. Elle joue un rôle fondamental dans la stabilité des écosystèmes et dans la régulation du climat, en raison de sa contribution essentielle au cycle hydrologique. Cependant, bien que le volume global d'eau sur Terre demeure stable, sa qualité connaît une dégradation constante, conséquence directe des activités anthropiques en perpétuelle expansion (**Gueddah, 2015**).

Les facteurs contribuant à cette détérioration sont nombreux : urbanisation croissante, augmentation démographique, industrialisation massive, usage excessif d'engrais et de pesticides, ainsi qu'un manque de sensibilisation environnementale. En tant que solvant universel, l'eau transporte les polluants sur de longues distances, amplifiant ainsi les effets du phénomène.

Les impacts de cette pollution sont visibles à travers la perte de biodiversité, la perturbation des écosystèmes aquatiques, l'apparition de maladies, voire l'extinction de certaines espèces, représentant un danger réel pour la santé publique et l'environnement. La pollution industrielle demeure la plus préoccupante, en raison de la complexité de ses effluents, sans pour autant négliger les rejets domestiques et agricoles (**Gueddah, 2015**).

Dans ce cadre, la wilaya de Skikda constitue un cas d'étude pertinent, du fait de son importante activité industrielle, de son urbanisation rapide et de son agriculture traditionnelle. Ces dynamiques influencent significativement la qualité des ressources en eau de surface, notamment celle de l'oued Saf-Saf, un cours d'eau permanent prenant naissance au sud de la commune d'El Harrouch et se jetant dans la mer Méditerranée après un parcours de 60 km (**Mezedjri, 2008**).

Ce bassin versant, d'une superficie de 1 165 km² et d'un débit annuel avoisinant 1 500 hm³, concentre divers types de polluants : déchets industriels liquides (provenant de la raffinerie, de la centrale thermique, du complexe gazier), eaux usées domestiques non traitées, et effluents agricoles contenant engrais et pesticides. L'oued Saf-Saf constitue ainsi un terrain d'étude idéal pour analyser les effets de l'activité humaine, en particulier industrielle, sur la qualité de l'eau (**Ben Rabeh, 2006**).

Ce mémoire vise à répondre à la problématique suivante : dans quelle mesure l'activité industrielle et urbaine influe-t-elle sur la qualité des eaux de l'oued Saf-Saf ? Quels sont les

indicateurs physico-chimiques, chimiques et microbiologiques reflétant cette dégradation ? Existe-t-il une corrélation entre la proximité des sources de pollution et le degré de contamination ?

Quatre hypothèses ont été formulées :

- d'une part, que l'activité industrielle entraîne une dégradation des propriétés chimiques de l'eau, par l'augmentation des sels, des métaux lourds et des composés organiques ;
- d'autre part, que l'activité urbaine, notamment les rejets d'eaux usées, génère une pollution microbiologique marquée par la présence d'*Escherichia coli* et de coliformes ;
- une troisième hypothèse suppose l'absence de relation nette entre la distance aux sources industrielles et le niveau de pollution ;
- enfin, une quatrième envisage que certains paramètres peuvent encore respecter les normes établies.

L'objectif général de cette recherche est d'évaluer la qualité des eaux de l'oued Saf-Saf et ses répercussions potentielles sur l'environnement et la santé dans la région de Skikda.

La méthodologie adoptée repose sur des prélèvements effectués en trois points : Ziramna, Lilou et Post 3, suivis d'analyses physico-chimiques et bactériologiques. Ces analyses ont été réalisées au laboratoire central de l'Algérienne des Eaux, situé à 6 km du chef-lieu de Skikda, dans l'ancien siège de l'entreprise CONDOTTE.

Les paramètres étudiés incluent : le pH, la température, la conductivité, la turbidité, le calcium, le magnésium (THT), les solides dissous (TDS), les chlorures, le TAC et le TA. L'analyse microbiologique a permis d'identifier les coliformes totaux, les coliformes fécaux, *Escherichia coli*, ainsi que les streptocoques fécaux.

Ce travail est structuré comme suit :

- un premier chapitre consacré à la présentation de la région étudiée ;
- un second chapitre traitant de la pollution de l'eau de manière générale ;
- un troisième détaillant les matériaux et méthodes utilisés ;

Et un dernier chapitre, Présente les résultats physico-chimiques et microbiologiques, identifie les sources de pollution et évalue leurs effets, tout en proposant des recommandations scientifiques.

CHAPITR 1 :

Présentation de la région d'étude

Introduction

La wilaya de Skikda est située au nord-est de l'Algérie. C'est une région côtière qui s'étend le long de la mer Méditerranée et se distingue par sa diversité géographique et naturelle, combinant mer, montagnes, forêts et plaines fertiles. Elle est bordée à l'est par la wilaya d'Annaba, à l'ouest par Jijel, et au sud par Constantine et Guelma. Son chef-lieu est la ville de Skikda, l'une des plus anciennes et importantes villes du pays.

Sur le plan économique, Skikda est l'une des wilayas industrielles les plus importantes d'Algérie. Elle abrite l'un des plus grands complexes pétrochimiques du pays, ainsi qu'un port commercial majeur parmi les plus actifs au niveau national. En plus de cela, elle possède un secteur agricole prospère grâce à la fertilité de ses terres, et un potentiel touristique considérable grâce à ses plages magnifiques et ses sites naturels attractifs.

Tous ces atouts font de la wilaya de Skikda une région stratégique, dotée de grandes potentialités dans plusieurs domaines, ce qui lui permet de se positionner comme un pôle économique et touristique majeur à l'échelle nationale.

1. Description de la région de Skikda

La wilaya de Skikda dispose d'un réseau important d'eaux de surface, notamment les oueds, influencés par le climat et les activités humaines telles que l'agriculture, l'industrie et l'urbanisation. La gestion de ces ressources est complexe en raison de la multiplicité des intervenants, ce qui nécessite une approche intégrée fondée sur la compréhension du milieu naturel, des activités socio-économiques et des sources potentielles de pollution (**Gueddah 2003**).

1.1. La situation géographique de la région de Skikda

La région de Skikda est située au Nord-est de l'Algérie, elle s'étend sur une superficie de 4137 km². Elle dispose de 130 km de côte, de la Marsa à l'Est jusqu'à Oued Zhor au fin fond du massif de Collo à l'Ouest. La région de Skikda se situe entre les 36°5' N et 36°15' Nord des latitudes, 7°15' et 7°30' Est des longitudes, Elle est limitée par :

- la mer méditerranée au Nord ;
- la wilaya d'Annaba à l'Est ;

- la wilaya de Guelma au Sud – Est ;
 - la wilaya de Jijel à l'Ouest ;
 - la wilaya de Mila au Sud –Ouest ;
 - la wilaya de Constantine au Sud



Figure 1: Situation géographique de la région de Skikda (Google earth).

1.2. Données océanographiques

1.2.1. Bathymétrie

La région de Skikda présente un plateau continental très varié. Il est tourmenté et parfois absent à l'ouest, vers la région du cap Bougaroune ; mais de plus en plus large et étendu à l'est, vers la région de la Marsa.

Plusieurs études effectuées dans la région de Skikda (ISTPM, 1982 ; Djabali, 1988 et LEM, 1996) ont toutes révélé l'aspect et la nature abrupte et accidentée des fonds longeant la ligne côtière et ce, sur plus de 0,5 Km à partir de la ligne de bordure, avec des profondeurs croissantes de 10 à 12 m. Plus au nord, règnent surtout des fonds sablo vaseux et les grandes profondeurs de 100 à 200 m n'apparaissent que vers les 4 à 7 miles nautiques au nord de la côte. (Mezedjri, 2008)

1.2.2. Hydrodynamisme

La circulation générale des eaux marines en méditerranée occidentale régit et

conditionne la distribution des facteurs biologiques, hydrologiques, chimiques, vaseux, etc.

D'après Millot (1987), cette circulation apparaît avec la pénétration de l'eau d'origine Atlantique modifiée (MAW). Cette eau entre dans le bassin algérien vers 0° sous forme d'une veine étroite de courant et longeant les côtes algériennes à l'est. Vers 1°E et 2°E elle devient instable et on note l'apparition de méandres puis des tourbillons cycloniques et anticycloniques, dérivant vers l'est à une vitesse de 10 Km/j.

Ces courants anticycloniques évoluent et atteignent des diamètres de 100 à 200 Km, associés « d'upwelling » avec toutes les conséquences, qu'engendre cette association sur la productivité biologique. Un ralentissement de la circulation est observé vers 5°E et 6°E. Par des phénomènes d'instabilité, les tourbillons s'éloignent des côtes algériennes durant une période de 1 à 2 mois pour revenir à l'ouest. Donc le bassin algérien constitue de ce fait un réservoir qui alimente le bassin nord de la Méditerranée occidentale (Millot, 1993).

Les instructions nautiques du golfe de Skikda renseignent sur l'existence d'un courant général dirigé vers l'est, pouvant atteindre 1 à 2,5 nœuds et d'un courant de 0,5 à 1,5 nœuds qui circulerait plus près de la côte. Il semble que ce courant ne pénètre pas dans le golfe de Skikda (LEM, 1996). (Mezedjri, 2008)

1.3. Données climatologiques

Par son climat typiquement méditerranéen, la wilaya de Skikda appartient au domaine bioclimatique humide et subhumide. Le climat est à variante douce ou tempérée au littoral et froid à l'intérieur. Les données enregistrées par les stations de l'Unité de l'Office National de la Météorologie (unité de Skikda) s'étalent sur une décennie de 2003 à 2012.

Skikda bénéficie d'une importante humidité et est considérée comme l'une des régions les plus pluvieuses d'Algérie (Fig. 2). (GUEDDAH, 2015)

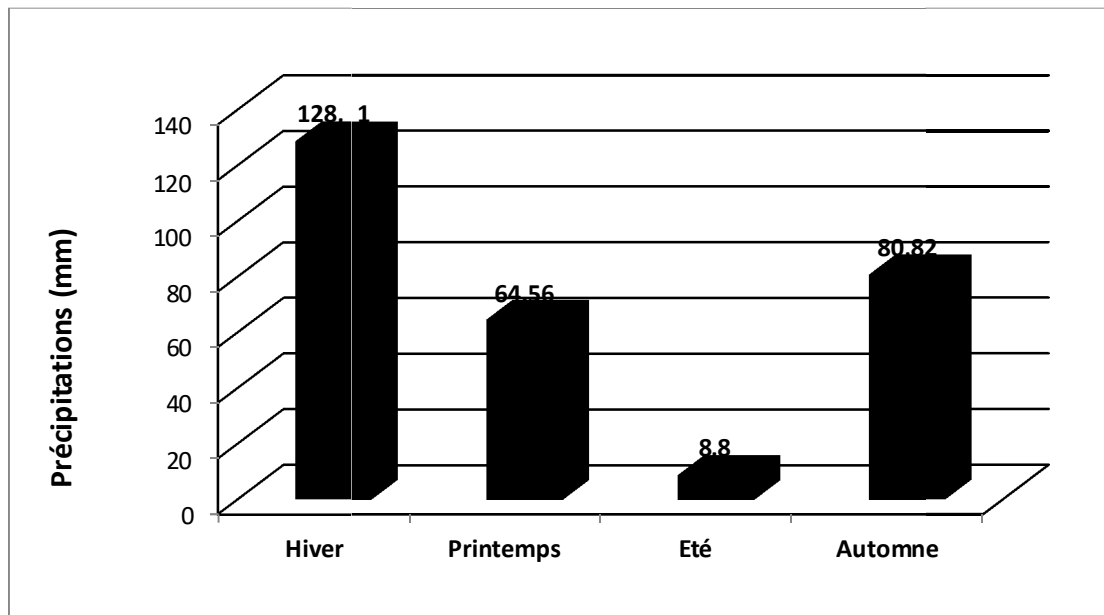


Figure 2: Moyennes saisonnières de la pluviométrie dans la région de Skikda (2003-2012). (GUEDDAH, 2015)

Le gradient décroissant des hauteurs de précipitations, passant de 128,61 mm à 8,8 mm, s'accompagne généralement d'un gradient croissant des températures moyennes annuelles. Les données enregistrées entre 2003 et 2012 indiquent une variation annuelle des températures, avec des moyennes maximales estivales atteignant 25,16 °C et des moyennes minimales hivernales avoisinant 12,92 °C (Fig. 3).

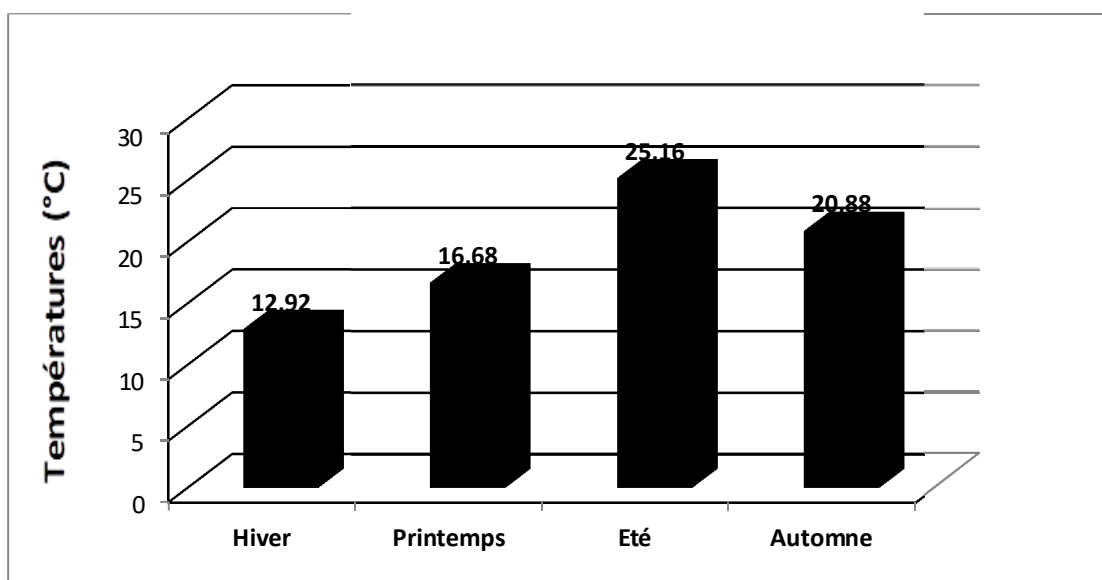


Figure 3: Variation annuelle moyenne des températures saisonnières dans la région de Skikda (2003-2012). (GUEDDAH, 2015)

En ce qui concerne l'hygrométrie, la région de Skikda se caractérise par une forte humidité. En effet, durant la période allant de 2003 à 2012, les valeurs saisonnières moyennes oscillent entre 69,63 % en automne et 72,96 % en hiver (Fig. 4) (GUEDDAH, 2015)

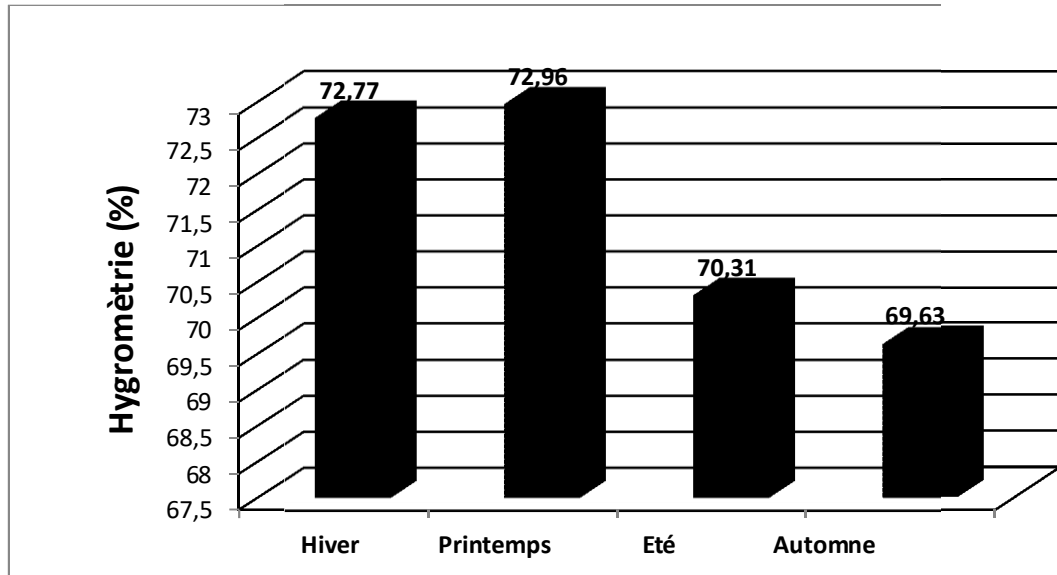


Figure 4: Variation saisonnière moyenne de l'humidité relative dans la région de Skikda (2003 -2012). (GUEDDAH, 2015)

1.3.1. Le vent

La répartition trimestrielle du régime des vents dans le golfe de Skikda révèle une variation saisonnière notable.

- Au cours des 1^{er}, 2^e et 4^e trimestres de l'année, les vents dominants proviennent majoritairement des secteurs ouest et nord-ouest. Une grande partie de ces vents souffle à une vitesse supérieure à 8 m/s (SSMO in LEM, 1996).
- En revanche, durant le 3^e trimestre (de juillet à septembre), les vents dominants changent de direction, venant principalement des secteurs est et nord-est, avec des vitesses généralement faibles (LEM, 1996) (fig. 5). (Mezedjri, 2008)

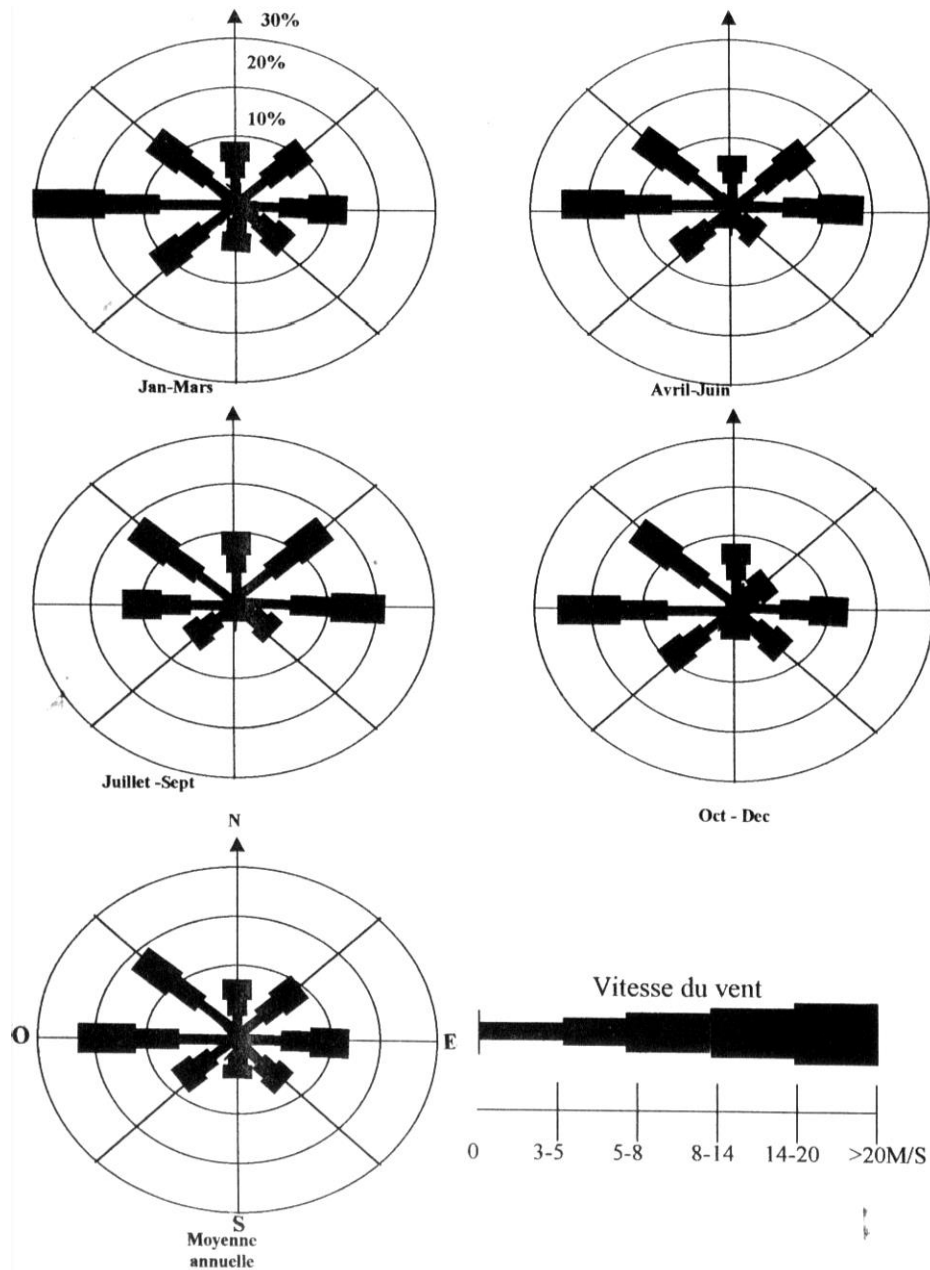


Figure 5 : Rose des vents dans le golfe de Skikda (LEM, 1996)

1.4. Données naturelles

1.4.1. Topographie

Le relief de la région de Skikda est particulièrement accidenté, notamment le long de la frange littorale ainsi que dans les massifs de Collo, Azzaba et La Marsa (Fig. 6). Ces zones montagneuses présentent des pentes abruptes et une forte variation altimétrique, influençant à la fois le régime hydrologique, l'occupation du sol et les dynamiques d'érosion

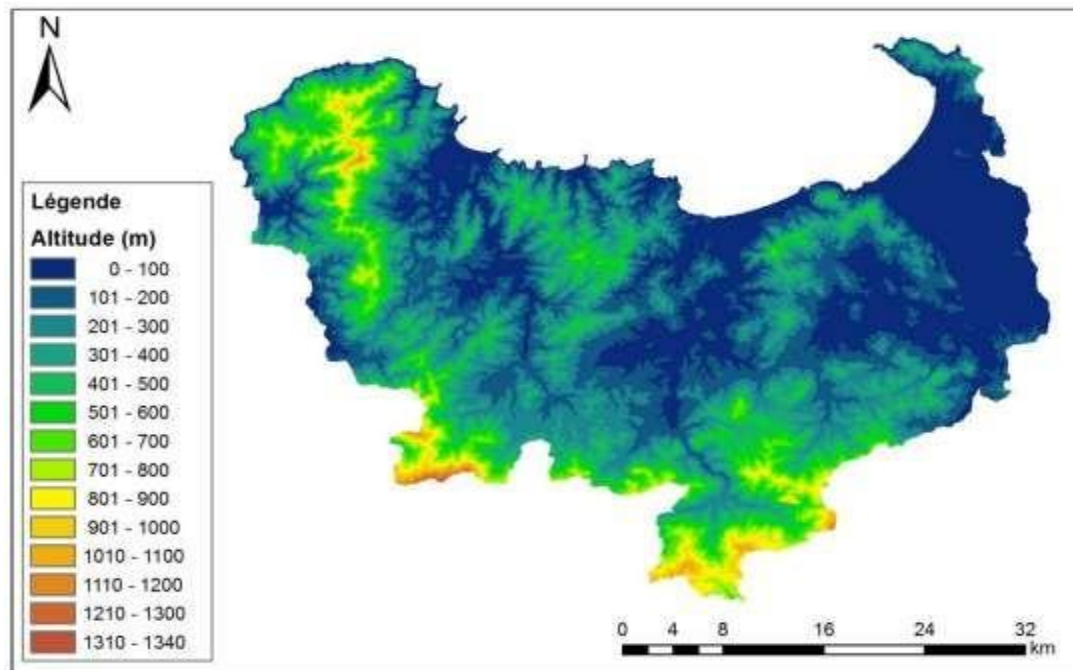


Figure 6: Carte des altitudes de la wilaya de Skikda (**Benamira 2017**)

On distingue différentes classes de pentes dans la wilaya de Skikda:

- Les pentes faibles (0 à 3 %) occupent principalement les plaines de l'ouest, notamment la plaine de Benazzouz, une partie de la ville de Skikda ainsi que sa plaine côtière. Elles couvrent environ 9 % du territoire.
- Les pentes moyennes (3 à 12 %) représentent 23 % de la superficie de la wilaya.
- Les pentes fortes (supérieures à 12 %) concernent 68 % de la superficie totale, correspondant principalement aux hauts piémonts montagneux (**Boukerzaza in Amieur, 2005**).

La topographie de la wilaya permet de distinguer trois grandes zones : les montagnes, les plaines et les piémonts.

1.4.2. Les montagnes

Les zones montagneuses représentent environ 60 % de la superficie totale de la wilaya. Le relief y est dominé par des massifs montagneux entrecoupés de basses terres : couloirs fluviaux, plaines côtières et bassins intérieurs (**Amieur, 2005**). Ces montagnes se répartissent en plusieurs ensembles structurés, formant l'ossature physique principale du territoire.

1.4.3. Les plaines

On distingue plusieurs plaines importantes dans la wilaya :

- La plaine de la vallée du Safsaf, orientée sud-est / nord-ouest, débute à El-Harrouch et s'étend jusqu'à la petite plaine de Skikda, en suivant le tracé de l'oued Safsaf (**Amiour, 2005**).
- Les plaines de la vallée de l'oued Guebli commencent à Oum Toub, s'élargissent au niveau de Tamalous, se rétrécissent en direction de Collo, où elles s'élargissent de nouveau.
- La plaine d'Azzaba, arrosée par l'oued El Kébir, s'étend d'Es-Sebt à Azzaba, puis jusqu'à Djendel, où elle présente un étranglement, pour enfin déboucher vers Aïn Charchar et Bekkouche Lakhdar (**Benamira, 2017**).

1.4.4. Les piémonts

Les piémonts se situent principalement dans les régions de El-Harrouch et Azzaba. Ces zones de transition entre les reliefs montagneux et les plaines jouent un rôle important dans la dynamique hydrologique et l'occupation du sol (**Brahimi et Halladj in Amiour, 2005**).

1.4.5. Hydrographie

La partie nord-est de la wilaya de Skikda dispose d'un réseau hydrographique dense, constitué de plusieurs oueds majeurs :

- Oued El Kébir,
- Oued Fendekh,
- Oued Maboul,
- Oued Magroune,
- Oued Aneb,
- Oued Dem El Bagraat,

- Oued Bou Djenane,

Ces cours d'eau forment le bassin versant occidental de l'oued El Kébir, complété par les sous-bassins versants de l'est de Skikda et de l'ouest d'Annaba, ainsi que par le bassin versant de Collo dans la partie occidentale (Boumezbeur, 2001).

Outre l'oued El Kébir, quatre grands oueds traversent la région :

- Oued Guebli,
- Oued Tamanart,
- Oued Damous,
- Oued Z'hour (Roubault, 1934).

Dans la localité d'Azzaba, l'alimentation de la nappe phréatique se fait à partir des formations numidiennes orientées nord-sud, suivant des gradients hydrauliques différenciés (B.E.G.A.S., 2002). Les eaux souterraines sont contenues dans des dépôts récents composés d'argiles limono-sableuses, de graviers et de galets, et présentent un niveau libre.

La plaine alluviale de Benazzouz est quant à elle traversée par l'oued El Kébir.

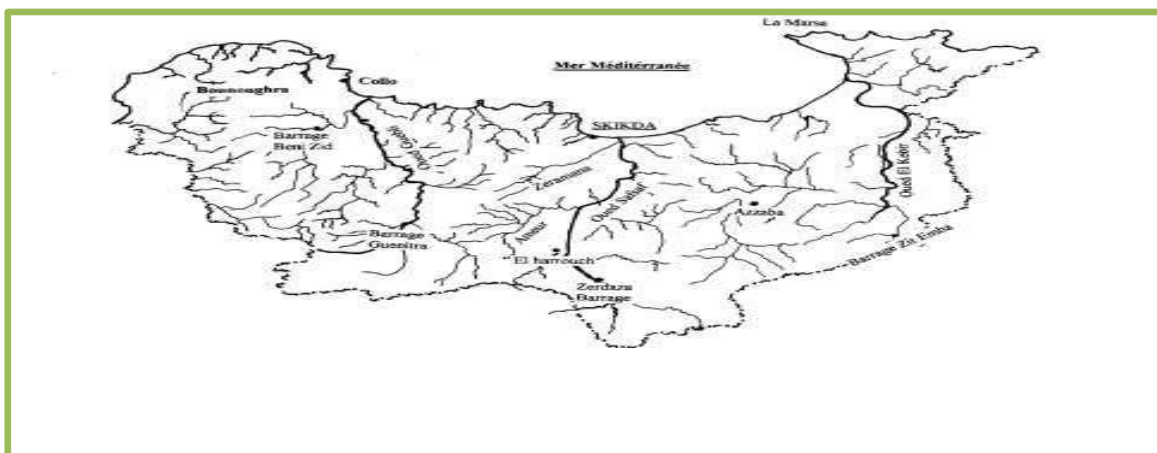


Figure 7: Chevelu du réseau hydrographique de la région de Skikda. Source : (DPAT Skikda Etude monographique 2006)

1.5. Zone côtière

S'étendant sur 130 km de côtes et couvrant une superficie maritime de 3 069 km², la zone côtière de la wilaya de Skikda se distingue par une grande diversité paysagère. Elle présente une succession de plages s'étendant de Tamanart, à l'ouest, jusqu'à El Marsa, à l'est, avec de vastes étendues de sable alternant avec des falaises rocheuses (Figure 8).

La façade maritime est dominée par un plateau continental, dont les deux tiers présentent un relief accidenté, influençant la dynamique sédimentaire, la biodiversité marine et les potentialités de développement portuaire et touristique.

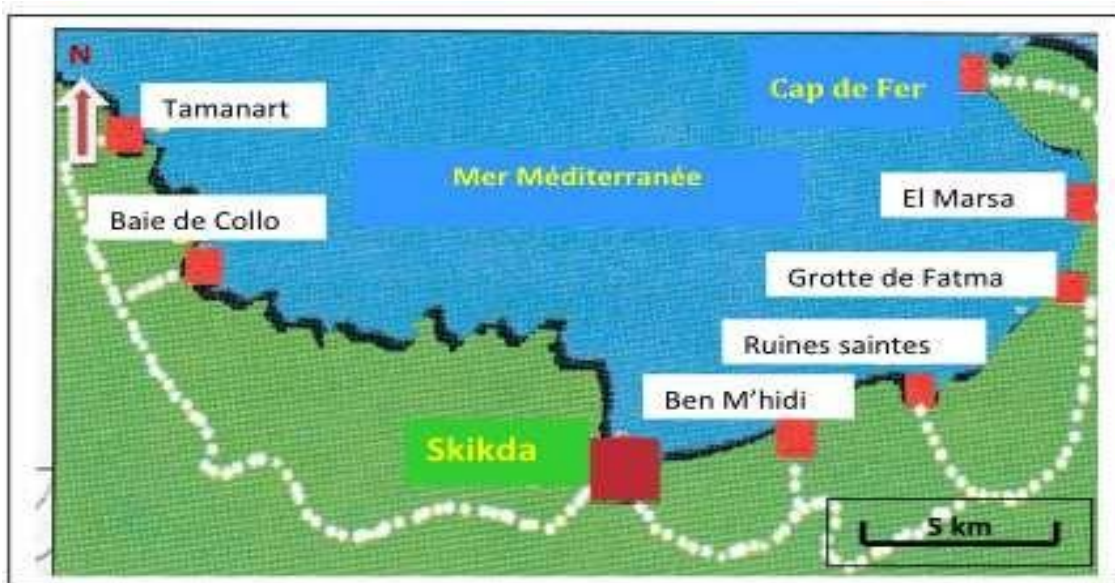


Figure 8: Représentation de la zone côtière de la wilaya de Skikda (Gueddah 2015)

La côte de Skikda peut être divisée en trois grandes zones géographiques :

- La zone ouest, qui s'étend de l'embouchure de l'oued Zhor jusqu'à Stora, se caractérise par un relief escarpé dominé par de hautes falaises rocheuses.
- La zone centrale comprend les côtes de Ben M'hidi, Les Platanes, Guerbes, ainsi que les falaises de Filfila. Elle présente une alternance de plages et de formations rocheuses.
- La zone est englobe les côtes de La Marsa et les falaises du Cap de Fer, zone particulièrement exposée aux vents et à l'érosion marine (Gueddah, 2015).

1.6. Milieu économique et social de la région d'étude

1.6.1. Démographie et population

La wilaya de Skikda compte actuellement environ 889 367 habitants, dont 70 % résident en zone urbaine, contre seulement 30 % en zone rurale. Depuis l'indépendance, la population de la région a connu une croissance significative, essentiellement liée au développement industriel, à l'urbanisation rapide et à la concentration des services dans les centres urbains.

Ce phénomène a entraîné une diminution progressive de la population rurale, en raison des migrations internes vers les villes, notamment vers Skikda, Azzaba, El Harrouch et Tamalous, à la recherche d'emplois et de meilleures conditions de vie (Naili, 2024)

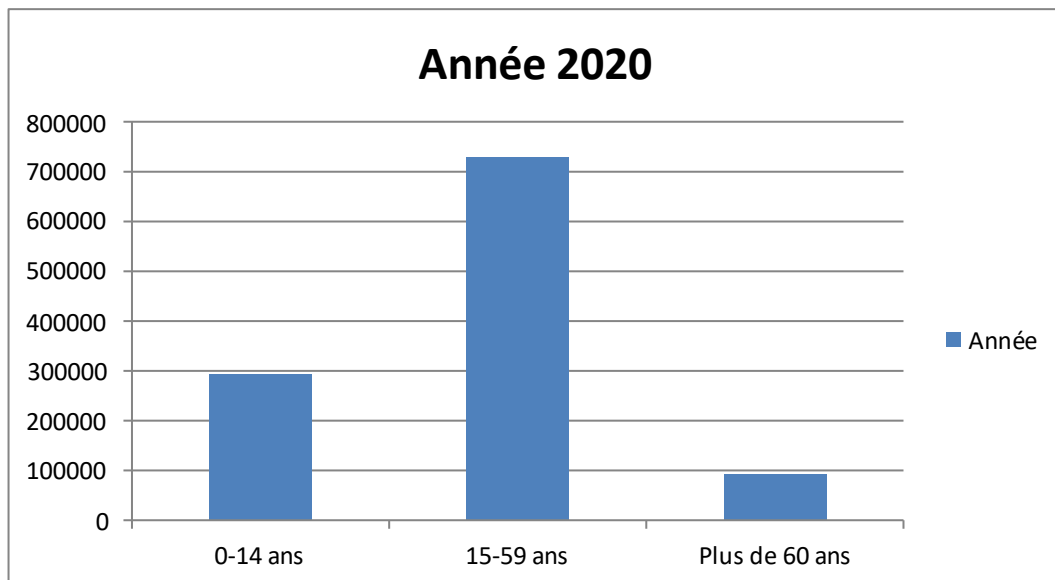


Figure 9: Répartition de la population par tranche d'âge. (ANIREF/Monographie de la wilaya de SKIKDA).

1.6.2. Situation économique

Grâce à sa situation géographique stratégique, la wilaya de Skikda bénéficie d'une activité économique dynamique et diversifiée. Cette vitalité est soutenue par un réseau de transport développé, comprenant notamment 331 km de routes nationales, facilitant les échanges inter-wilayas.

La wilaya est également connectée par voie ferrée aux wilayas voisines d'Annaba, Constantine et Jijel, ce qui renforce son rôle dans la circulation des biens et des personnes.

En raison de la présence d'un complexe industriel, Skikda se distingue par cinq ports : le port mixte, le port pétrochimique, le port de pêche à Stora, le port de pêche à La Marsa, et le port de pêche à Collo.

- Un nouveau port d'hydrocarbures, situé au niveau de la plate-forme pétrochimique de Skikda ;
- Un port mixte (hydrocarbures et marchandises), contribuant activement aux échanges nationaux et internationaux ;
- Un port de pêche à Stora, connu pour son activité halieutique ;
- Un port de pêche à La Marsa, dans la daïra de Ben Azzouz ;
- Un port de pêche à Collo, soutenant l'économie locale.



Figure 10: Photographie satellitaire montrant les 3 ports de Skikda (1, Port de pêche, 2. Ancien port, 3. Nouveau port) (Google earth).

1.6.2.1. Infrastructures portuaires

1.6.2.1.1. Port mixte (Ancien port)

Le port mixte, situé au chef-lieu de la ville de Skikda entre la longitude Est 6°54'30'' et la latitude Nord 36°53'20'' est doté à l'origine de 7 postes à quais, et il est spécialisé dans le traitement de marchandises diverses. Il a bénéficié de programmes d'aménagements

portuaires d'envergure et qui ont permis d'augmenter substantiellement ses capacités d'accueil. (Naili, 2024).



Figure 11: Photographie satellitaire du port mixte (Google earth).

1.6.2.1.2. Nouveau Port (Terminal pétrolier)

Se trouvant à l'Est de la ville de Skikda et au Nord-Ouest de la plate-forme industrielle, le nouveau port de Skikda se situe entre la longitude Est $6^{\circ}57'00''$ et la latitude Nord $36^{\circ}55'53''$, l'accès maritime se caractérise par une passe d'entrée de 250m de longueur et -18 m de profondeur. Ce port dispose d'un bassin de 59 ha et d'un cercle d'évitage de 550 m (Figure 12).



Figure 12: Photographie satellitaire montrant les infrastructures du nouveau port de Skikda (Google earth).

Le nouveau port de Skikda est le 2^{ème} port à hydrocarbures en Algérie, avec un trafic global d'environ 23.106 tonnes, il assure la livraison des produits d'hydrocarbures raffinés, gazeux, les aromatiques et de pétrole brut et dérivés, de la raffinerie de Skikda aux marchés national et international.

1.6.2.2. Pêche

Dans la wilaya de Skikda, la pêche constitue une activité économique importante. Cependant, comme dans la plupart des wilayas côtières, ce secteur reste souvent marginalisé. De ce fait, les ressources marines sont mal gérées et parfois sous-exploitées.

Les ressources halieutiques de la wilaya sont estimées à environ 19 200 tonnes, réparties entre 14 400 tonnes de petits pélagiques et 4 800 tonnes d'espèces démersales. Actuellement, le secteur de la pêche offre en moyenne 5 000 tonnes de poissons, dont plus de 70 % sont des poissons bleus, et génère environ 2 688 emplois (**Direction de la pêche de Skikda, 2008**).

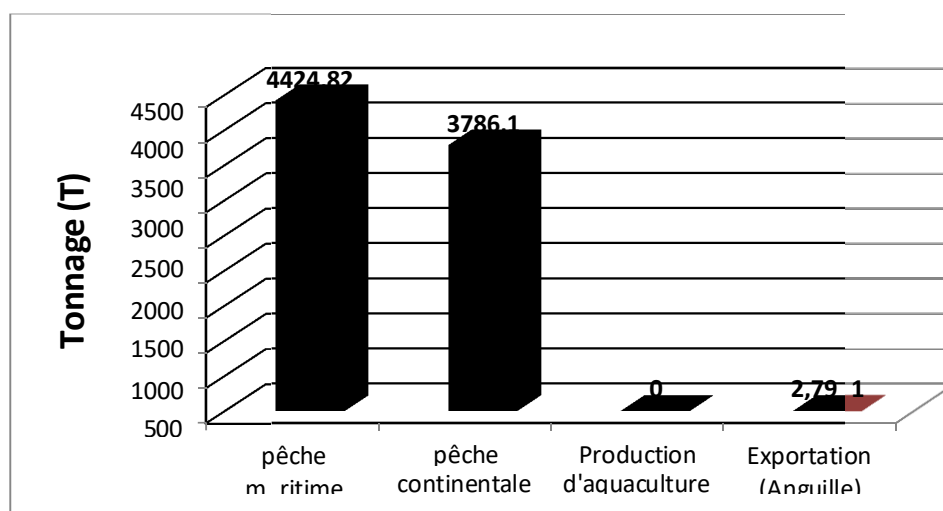


Figure 13: Représentation graphique de la production halieutique par type d'activité durant l'année 2007 (Direction de la pêche de Skikda, 2008) (**GUEDDAH, 2015**).

1.6.2.3. Agriculture

Les différentes strates végétales naturelles et culturales qui composent le territoire wilaya œuvrent pour le triptyque agro-sylvo-pastorale. En effet, avec une superficie agricole

totale (SAT) de 193 179 ha et une superficie agricole utile (SAU) de 131 879 ha dont 15300 ha en irrigué l'agriculture demeure, avec l'industrie, l'un des principaux secteurs d'activité de la wilaya de Skikda (**A.N.D.I., 2013**).

1.6.2.4. Production industrielle

La wilaya de Skikda, par sa vocation industrielle, est caractérisée par une activité industrielle très développée. L'intensité de cette activité, notamment dans le chef-lieu, résulte de la mise en œuvre d'une stratégie nationale de développement matérialisée par plusieurs plans successifs. Cette politique a permis à Skikda de devenir une plateforme privilégiée de valorisation de ses ressources en hydrocarbures.

Le secteur industriel est dominé par la pétrochimie, représentée principalement par :

- Le complexe des matières plastiques CP1/K ;
- Le complexe de raffinage RA1/K ;
- Le complexe de liquéfaction de gaz naturel GL1/K.

D'autres complexes économiques importants incluent :

- La cimenterie Hjar Essoud ;
- Le complexe mercuriel d'Azzaba ;
- L'Enamarbre.

À ces grandes unités s'ajoutent plusieurs unités de taille plus modeste, disséminées sur tout le territoire de la wilaya. Il s'agit notamment des unités de transformation et de fabrication de pâtes alimentaires, des conserveries, des carrières, ainsi que d'une unité d'emballage métallique et de récupération.

Toutefois, ce développement industriel s'accompagne d'une dégradation progressive des ressources naturelles, avec une détérioration de la qualité de l'eau et de l'air, pouvant constituer une menace pour la santé publique (**LABAR, 2009**)

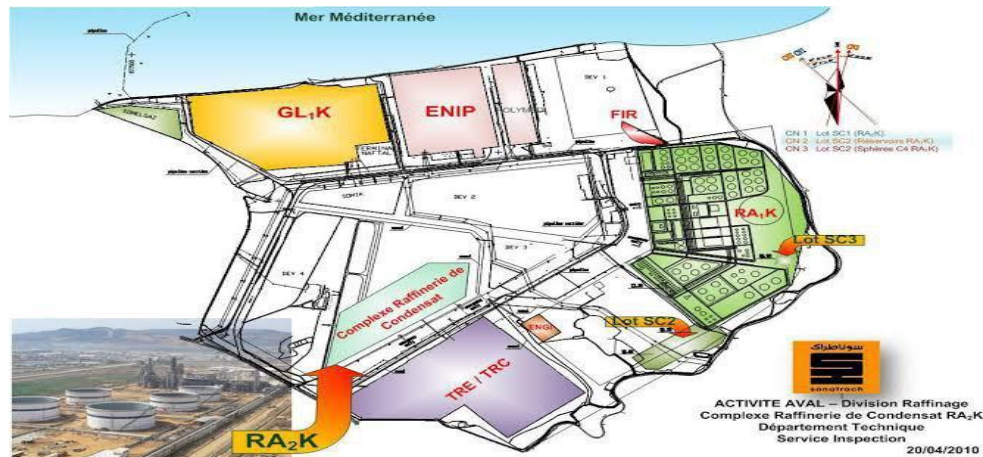


Figure 14: Plan de masse de la zone industrielle de Skikda (SONATRACH , 2010).

2. Description de la zone industrielle de SKIKDA

2.1. Description générale

La zone industrielle de Skikda a été créée par décret 84/35 du 3 mars 1984 relatif à l'administration des zones industrielles.

Elle est située à l'Est de la ville de Skikda à environ 4 km et s'étend sur une superficie de 1200 ha. Elle regroupe des unités industrielles dans le domaine des hydrocarbures (transport, raffinage et transformation). (LABAR, 2009)

Sa gestion est assurée par l'entreprise EGZIK qui s'étend sur 16 ha et emploie 220 personnes. La fonction de base de cette entreprise est la gestion de la plate-forme industrielle à savoir :

- l'intervention et la prévention contre les incendies ou autres accidents ;
- l'assainissement et l'aménagement des routes ;
- les opérations de désherbage.

La fonction « protection de l'environnement » est peu importante, en ce qui concerne :

- la gestion des déchets générés par les unités industrielles ;
- le contrôle des effluents liquides industriels.

Les unités de la zone industrielle de Skikda sont regroupées dans le tableau 1.

Tableau 1: Les unités de la zone industrielle de SKIKDA (LABAR, 2009)

UNITE	SUPERFICIE OCCUPEE (ha)
COMPLEX GL1/K	74.8
COMPLEX RA1/K	172.2
COMPLEX CP1/K	52
PEHD	40
UTE	95.7
CTE	9.8
ENGI	3.84
FIR	2.2
TOTAL	450.54 HA

2.2. Description détaillée des principales unités industrielles de la zone

2.2.1. Le Complexe Pétrochimique « CP1/K »

- **Localisation** : Zone industrielle
- **Superficie** : 52 hectares
- **Date de mise en service** : 1977
- **Activité principale** : Industries pétrochimiques et chimiques
- **Effectif** : 1 921 employés
- **Matière première** : Éthane, consommation annuelle de 150 000 tonnes

Unités principales du complexe :

- Unité d'éthylène

- Unité de chlore-soude
- Unité de mono chlorure de vinyle (VCM)
- Unité de polychlorure de vinyle (PVC)
- Unité de polyéthylène
- Unité des utilités

Produits fabriqués :

- Polychlorure de vinyle (PVC)
- Mono chlorure de vinyle (VCM)
- Polyéthylène
- Éthylène
- Chlore-soude
- Acide chlorhydrique
- Chlorite de sodium
- Eau distillée

Consommation en eau industrielle :

- **Eau de process** : 244 480,8 m³/j
- **Eau de refroidissement** : 157 800 m³/j

2.2.2. Le Complexe de Raffinage du Pétrole Brut (RA1/K)

- **Localisation** : Zone industrielle
- **Superficie** : 172,2 hectares
- **Date de mise en service** : 1980
- **Activité principale** : Raffinage du pétrole brut
- **Effectif** : 1 391 employés
- **Matière première** : Pétrole brut, consommation annuelle de 271 000 tonnes
- **Unités principales** :

- Deux unités de distillation atmosphérique
- Deux unités de traitement et séparation des gaz
- Une unité de reforming catalytique
- Une unité d'extraction de bitume routier
- Une unité de séparation du paraxylène

Produits fabriqués :

- Distillats de pétrole brut
- Carburants
- Aromatiques
- GPL (propane-butane)
- Bitumes

Consommation en eau industrielle :

- **Eau de process (alimentation des chaudières) :** 5 712 m³/j
- **Eau de refroidissement :** 336 000 m³/j

Procédé de fabrication :

Le pétrole brut en provenance de Hassi Messaoud est chauffé dans un four puis envoyé vers des colonnes de distillation atmosphérique où il est séparé en différentes fractions selon leurs points d'ébullition et densités.

2.2.3. Le Complexe de Gaz Naturel Liquéfié (GL1/K)

- **Localisation :** Zone industrielle
- **Superficie :** 74,8 hectares
- **Date de mise en service :** 1973
- **Activité principale :** Liquéfaction du gaz naturel
- **Effectif :** 1 310 employés

- **Matière première** : Gaz naturel

Produits fabriqués :

- Gaz naturel liquéfié
- Éthane
- Propane
- Butane
- Naphta

Consommation en eau industrielle :

- **Refroidissement** : 150 000 m³/j (eau de mer) + 15 000 m³/j (circuit fermé)
- **Eau de process** : 1 440 m³/j

Procédé de fabrication :

Le gaz naturel est refroidi progressivement jusqu'à atteindre la température de -162 °C à une pression de 1,2 bar. Le fluide frigorigène circule en circuit fermé. Le méthane est dirigé vers la liquéfaction, l'éthylène vers le complexe CP1/K, tandis que le propane et le butane sont traités dans l'unité GPL. (LABAR, 2009)

2.2.4. Division Transport des Hydrocarbures (ex : U.T.D)

- **Localisation** : Zone industrielle
- **Superficie** : 95,7 hectares
- **Date de mise en service** : 1972
- **Activité principale** : Transport du pétrole et du gaz naturel
- **Volumes transportés** :
- **Pétrole brut** : 15 000 m³/an
- **Gaz naturel** : 8 milliards de m³/an

Consommation en eau industrielle :

Eau de process : 75 m³/j

L'alimentation de la zone industrielle en hydrocarbures est assurée par les gisements de Hassi Messaoud (pétrole) et Hassi R'mel (gaz), via :

Gazoduc : capacité de 14 milliards m³/an, diamètre de 40 pouces, longueur de 573 km

Oléoduc : capacité de 30 milliards m³/an, diamètre de 54 pouces, longueur de 637 km

Cette division assure le transport des hydrocarbures vers les complexes RA1/K et GL1/K ou vers l'exportation.

2.2.5. Centrale Thermique Électrique (C.T.E)

- **Localisation** : Zone industrielle
- **Superficie** : 9,8 hectares
- **Date de mise en service** : 1975
- **Activité principale** : Production d'électricité
- **Effectif** : 172 employés
- **Matière première** : Gaz naturel, consommation de 5,10 Nm³/an
- **Production** : $1,3 \times 10^3$ kWh

Procédé de fabrication :

Le gaz naturel est utilisé pour chauffer de l'eau à 530 °C, produisant ainsi de la vapeur qui fait tourner une turbine à 3 000 tours/minute. Cette dernière entraîne un alternateur qui génère de l'électricité.

2.2.6. Entreprise de Production et de Distribution des Gaz Industriels (ENGI)

- **Localisation** : Zone industrielle
- **Superficie** : 3,84 hectares
- **Date de mise en service** : 1975
- **Activité principale** : Production de gaz industriels
- **Effectif** : 25 employés
- **Matières premières** : Hydrogène gazeux : 10 800 m³/j
- **Air ambiant** : 6 200 m³/j (LABAR, 2009)

2. Présentation de la zone d'étude

3.1. Situation du sous bassin de Skikda

Le bassin versant de l'oued Saf-Saf fait partie de la wilaya de Skikda. Il se situe au Nord-Est de l'Algérie. Faisant partie des bassins côtiers constantinois, il est limité au Sud par le cône d'El Kentour, l'Est par le cône de Bissy, au Nord par la mer méditerranéenne et enfin par le cône de Staiha à l'Ouest. Il s'étend sur une superficie d'environ 1200 Km² drainée par l'oued Saf-Saf d'une longueur d'environ 50 Km.

Les principaux Oueds sont permanents et prennent leur source à quelques kilomètres de la mer sont (CCIS Saf-Saf, 2017) :

- Oued El-Kebir à l'est ;
- Oued Saf-Saf au centre ;
- Oued Guebli à l'ouest ;
- Oued Z'hour à l'extrême Ouest



Figure 15: Les principaux Oueds de Bassin de Saf-Saf (CCIS Saf-Saf, 2017)



Figure 16: Carte de Situation Géographique du Bassin Versant de l'Oued Saf-Saf (Maou, 2011).

3.2. Situation géographique de l'Oued Saf-Saf

Se trouvant au centre du terrain d'étude, c'est le principal oued dans le bassin versant de Saf-Saf, il débute au Sud dans les monts de Constantine, de direction Nord-Sud sa longueur est de 53.19 km, ses principaux affluents sont l'Oued Zeramna, Oued Haddarat et Oued Ghebli. Le profil en long du cours d'eau principal montre qu'en amont, les pentes sont beaucoup plus élevées qu'à l'aval, elles sont de 11.3 m/km au niveau de l'oued Brahim et Bouadjeb, et de 2.3 m/km au environ d'El Harrouch (Ben Rabe, 2006). Saf-Saf est une rivière qui borde la (ZIK) par l'ouest sur une longueur de 6 km, sa largeur moyenne est d'environ vingt mètres avec un débit de 569m³/s (Mezedjrietal., 2008).

1.3.1. Principaux affluents de l'Oued Saf-Saf

– Oued Zeramna

Le sous-bassin versant de l'Oued Zeramna est situé au nord-ouest du bassin de l'Oued Saf-Saf. Ses coordonnées géographiques sont comprises entre 36° et 37° de latitude nord, et entre 6°30' et 7° de longitude est. Il est limité :

- Au nord par la mer Méditerranée
- Au sud par la commune d'El-Hadaeik

- À l'ouest par le Djebel Ksir-Sasi
- À l'est par l'Oued Saf-Saf ainsi que les communes de Hamadi Krouma et Hamrouch Hamoudi (**Boucenna, 2007**)

– Oued Ghebli

Le sous-bassin drainé par l'Oued Ghebli est assez étendu, caractérisé par une faible pente et des formations quaternaires peu perméables, ce qui favorise la présence fréquente de zones marécageuses. Long de 17,5 km, l'Oued Ghebli prend naissance dans la région de Mdjez Edchiche et se jette dans l'Oued Saf-Saf sous le nom d'Oued Aneur (**Ben Rabah, 2006**).

– Oued Haddarat

L'Oued Haddarat draine un bassin relativement étendu de 9,7 km² marqué par des pentes modérées. Il s'écoule du sud vers le nord en traversant principalement des terrains quaternaires, avec des sommets de koudiats recouverts de grès numidiens (**Ben Rabah, 2006**).

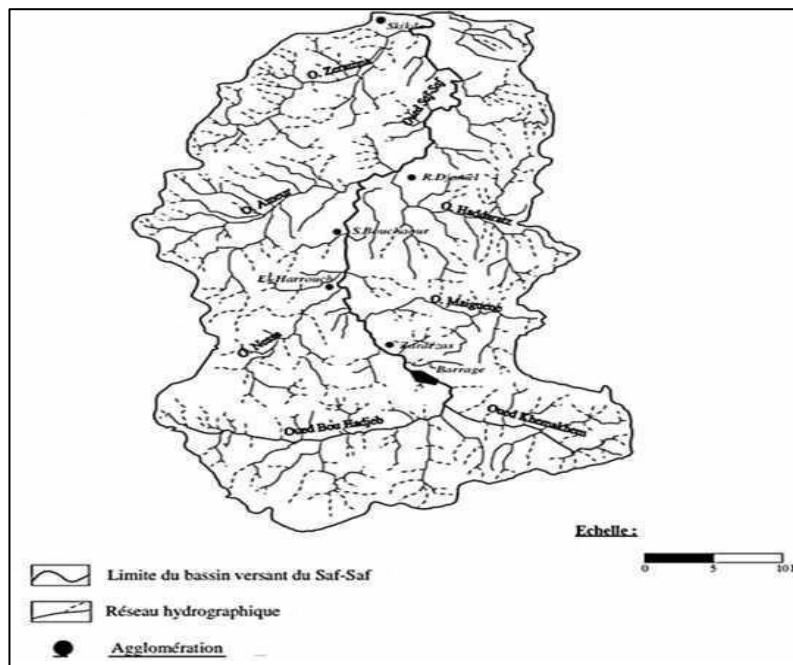


Figure 17: Principaux affluents de l'Oued Saf-Saf (**Khelfaoui et al., 2010**).

4. Oued Sefsef entre nature et industrie

Un regard sur l'interaction entre l'environnement et les installations industrielles :

L'Oued Sefsef est l'un des cours d'eau naturels qui traverse la zone d'activité industrielle du groupe Sonatrach, représentant un élément clé dans le paysage écologique local. Les eaux de l'oued passent à proximité des installations industrielles, ce qui en fait un point de convergence entre l'environnement naturel et les activités économiques cruciales.

Cette région joue un rôle double ; d'une part, les installations de Sonatrach sont l'un des piliers de l'économie nationale, et d'autre part, l'Oued Sefsef constitue un écosystème sensible qui peut être affecté par les rejets industriels ou les changements environnants.

Les images jointes illustrent cette interaction entre les éléments naturels et industriels, mettant en lumière l'importance de l'adoption de politiques environnementales efficaces pour protéger les ressources en eau de la pollution, en particulier dans des zones à forte densité industrielle. Elles ouvrent également la voie à des réflexions sur des solutions durables visant à équilibrer le développement économique et la préservation de l'environnement.

Cette interaction entre l'industrie et l'environnement met en lumière l'importance d'adopter des politiques environnementales efficaces pour protéger les ressources en eau de la pollution, notamment dans les zones à forte densité industrielle. Elle soulève également des questions sur les solutions durables permettant de concilier développement économique et préservation de l'environnement (**Hafsi A., 2023**).



Figure 18: Photographie montrant 2 points de rejet de la CTE de Skikda (cercles rouges) dans les eaux de l'oued Safsaf (GUEDDAH, 2015).



Figure 19: Photographie satellitaire du point de rejet du complexe GL1/K (Skikda) autour de l'embouchure de l'oued Safsaf (Google earth, 2014 modifié).

Conclusion

La wilaya de Skikda se distingue comme l'une des régions les plus importantes d'Algérie, grâce à son emplacement géographique stratégique sur la côte est du pays. Ce positionnement en fait un carrefour naturel entre l'Est et l'Ouest algérien, ainsi qu'un port maritime vital qui relie l'Algérie au reste du monde.

Par ailleurs, la richesse de sa diversité naturelle, associée à un climat modéré, offre un fort potentiel pour le développement de secteurs clés tels que l'agriculture et le tourisme. Sur

le plan économique, Skikda joue également un rôle central à travers ses infrastructures industrielles, notamment dans les domaines de l'énergie et de la pétrochimie, où elle occupe une place de premier plan.

L'ensemble de ces atouts confère à Skikda une position stratégique dans le processus de développement national, en faisant une wilaya dynamique et porteuse d'avenir pour l'Algérie.

Chapitre 2 :
Généralités sur la Pollution des eaux

Introduction

L'eau, ressource vitale et stratégique, est aujourd'hui confrontée à une dégradation alarmante de sa qualité, en grande partie due aux activités humaines. La pollution de l'eau, qu'elle soit d'origine agricole, industrielle ou domestique, constitue un phénomène complexe aux effets multiples : atteintes à la biodiversité aquatique, risques sanitaires pour les populations, perturbations des usages économiques (agriculture, pêche, tourisme) et pressions accrues sur les infrastructures de traitement.

Ce chapitre vise à explorer les principales sources de pollution de l'eau, à en analyser les mécanismes physiques, chimiques et biologiques, ainsi qu'à mettre en lumière les enjeux environnementaux et socio-économiques qui y sont liés. Il s'agit également de poser les bases nécessaires à la compréhension des politiques de gestion et des outils de remédiation qui seront abordés dans les chapitres suivants.

1. Définition de l'eau

L'eau est un composé chimique ubiquitaire sur la terre, essentiel pour tous les organismes vivants connus. L'eau se trouve en générale dans son état liquide et possède à température ambiante des propriétés uniques : c'est notamment un solvant efficace pour la plupart des corps solides trouvés sur terre .

L'eau est quelque fois désignée sous le nom de « solvant universel ».

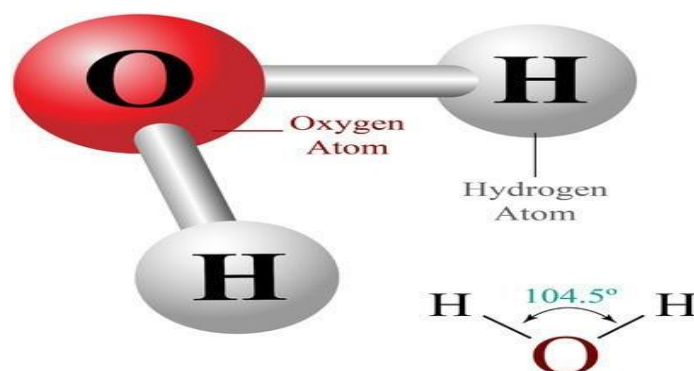


Figure 20 : Schéma d'une molécule d'eau (ISO GOURDE)

2. Ressources hydriques naturelles

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltration, nappe), des eaux de surface retenues ou en écoulement (barrages, lacs, rivières) et des eaux de mer et les eaux saumâtres :

2.1. Eaux souterraines

Du point de vue hydrogéologique les couches aquifères se divisent en :

- **Nappes phréatiques ou alluviales** : peu profondes et alimentées directement par les précipitations pluvieuses ou les écoulements d'eau en dessus.
- **Nappes captives** : plus profondes que les nappes phréatiques et séparées de la surface par une couche imperméable, l'alimentation de ces nappes est assurée par l'infiltration sur leurs bordures (**DEGREMONT, 1989**).

La nature du terrain sous lequel se trouvent ces eaux est un déterminant de leurs compositions chimiques, cependant elles sont appelées aussi les eaux propres car ils répondent en général aux normes de potabilité. Pourtant, ces eaux sont moins sensibles aux pollutions accidentelles, elles perdent totalement leur pureté originale dans le cas de contamination par des polluants.

Quand une eau souterraine contient une concentration en certains minéraux dépassant les normes de potabilité, mais elle représente des propriétés thérapeutiques on la distribue en bouteilles avec parfois un traitement bien défini, ces eaux sont dites eaux minérales (**DEGREMONT, 1989**).

2.2. Eaux de pluie

Se sont des eaux de bonne qualité pour l'alimentation humaine, saturées d'oxygène et d'azote et ne contiennent pas de sels, ni calcium ni magnésium, et donc très douces, ces eaux peuvent être contaminées en régions industrialisées par des poussières atmosphériques. La distribution des pluies dans le temps ainsi que les difficultés de captage font que peu de municipalités utilisent cette source d'eau (**Desjardins, 1997**).

2.3. Eaux de surface

Les eaux de surface sont des eaux qui circulent ou qui sont stockées à la surface des continents. Elles ont pour origine, soit des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit les eaux de ruissellement. Ce type d'eaux englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages,...).

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans aucun traitement (**BOEGLIN, 1988**).

Les eaux de surfaces ou aussi eaux superficielles sont réparties en trois catégories :

2.4. Eaux de rivière

L'amont d'une rivière est situé en région montagneuse où l'activité anthropique est faible et les industries pratiquement inexistantes (**Desjardins, 1997**).

La partie aval d'une rivière est généralement située en région où la population est dense, ces eaux sont de moins bonne qualité engendrées par les rejets industriels et urbains, le traitement de ces eaux est plus difficile qu'en amont.

2.5. Eaux de lac

Les lacs peuvent être considérés comme des bassins naturels de décantation dont la période de rétention est longue, les caractéristiques de ces eaux varient lentement au cours de l'année (**Desjardins, 1997**).



Figure 21: eaux de lac (**ISO GOURDE**)

Tableau 2: Tableau récapitulatif de la qualité de diverses eaux douces (Desjardins, 1997)

Eaux Paramètre	Eaux de surface		Eaux souterraines
	Eaux de rivière	Eaux de lacs	
Turbidité	Modérée à élevée	Faible (peut augmenter brusquement en printemps et automne à cause de variations de température qui provoque le renversement des eaux faute de changement de densité)	Presque nulle
Température	Froide (Due a la fonte des neiges et glaciers) Varie entre 5 et 10°C	Varie selon les saisons	Presque constante toute l'année (voisine de 12°)
Couleur	Indice de couleur faible à élevée	Elevée	-Faible -Liée aux matières en solution (acides humiques) Ou due à une précipitation (Fe-Mn)
Goût et odeur	Goût et odeur sont souvent fréquents		Rare (Sauf H ₂ S)
Dureté	Variable selon la region		Elevée si roche calcaire ou Calco-magnésienne
Salinité	Variable en fonction des terrains, précipitations et rejets		Sensiblement constante (nettement plus élevée que celle des eaux de surface de la même région.
CO ₂ Agressif	Absent		Présent (parfois en grandes quantités)
O ₂ dissous	Généralement au voisinage de la saturation (sauf eaux polluées)		Teneur faible ou nulle
Microorganismes et éléments vivants	Bactéries et certaines pathogènes, virus, planctons et poissons		Ferrobactéries et bactéries sulfatoréductrices
Caractère eutrophe	Accentué en cas de température élevée		Non
Micropolluants minéraux et organiques	Selon les rejets (activités minières, agricoles, ou des habitations)		Présents en fonctions des épandages agricoles ou rejets industrielles en surface

Solvants chlorés	Rarement presents	Peuvent être présents en cas de pollution de la nappe
------------------	-------------------	---

2.6. Eaux de mer

L'eau des mers et des océans représentent 96,5% des réserves d'eau qui se trouvent à la surface de la terre. Caractérisées par une salinité importante (30 à 40g/L), et des caractéristiques physico-chimiques très variables : Turbidité, matières en suspension, planctons, sable, température, pH. Source d'approvisionnement en eau brute, les eaux de mer sont caractérisées par une salinité élevée qui peut être éliminée par un procédé de dessalement (Distillation, déminéralisation, électrolyse, osmose inverse).

Tableau 3: Concentration des différents ions d'une eau de mer (Desjardins, 1997)

	Espèces		Concentration (g/L)
Cations	Calcium	Ca ²⁺	0,40
	Magnésium	Mg ²⁺	1,27
	Potassium	K ⁺	0,38
	Sodium	Na ⁺	10,56
	Strontium		0,013
Anions	Hydrogénocarbonates	HCO ₃ ⁻	0,14
	Sulfates	SO ₄ ²⁻	2,65
	Chlorures	Cl ⁻	18,98
	Fluorures	F ⁻	0,013
	Bromures	Br ⁻	0,065
	Acide borique	H ₃ BO ₃	0,0260
Salinité			34,5

3. Définition de la pollution

Elément essentiel pour toute existence et fondamental pour l'économie de l'humanité, mais élément dont les réserves ne peuvent augmenter, l'Eau ne doit pas être gaspillée. Les

pollutions, rupture avec l'équilibre naturel et avec les lois de la vie, sont un gaspillage du présent qui préfigure un vol pour l'avenir (BENGOUGA, 2010).

Le phénomène de pollution est lié aux origines de la vie et l'homme a éprouvé très tôt le souci de ne pas souiller l'eau (BENGOUGA, 2010).

3.1. Définition de la pollution de l'eau

La pollution de l'eau se définit comme une détérioration de la qualité de l'eau, résultant d'une modification défavorable et nocive des propriétés physico-chimiques et biologiques de cette dernière. D'après la loi n°3 du 19 juillet 2003, « la pollution des eaux, est l'introduction dans le milieu aquatique de toute substance susceptible de modifier les caractéristiques physiques, chimiques, et/ou biologiques de l'eau ». Une eau polluée est une eau altérée par les activités humaines suite à son usage dans le domaine domestique, industrielle ou agricole.



Figure 22 : Pollution des eaux (ISO GOURDE)

3.1.1. Origines de la pollution de l'eau

La pollution de l'eau permanente est liée aux rejets industriels, aux eaux usées d'origine urbaine, à l'emploi des pesticides et engrais dans l'agriculture. Selon W.Wesley Eckenfelder, (1982) la pollution de l'eau provient de quatre sources principales :

1. Les eaux usées domestiques ;
2. Les eaux usées industrielles ;
3. Le ruissellement dans les zones agricoles ;
4. Les eaux de pluie et de ruissellement dans les villes.

3.1.1.1. POLLUTION DOMESTIQUE : en provenance des habitations, elle est véhiculée par le réseau d'assainissement vers la station d'épuration. Les effluents domestiques sont un mélange d'eaux contenant des déjections humaines. Ces dernières contiennent des matières organiques dégradables et des matières minérales, soit sous forme dissoute ou en suspension **(BENGOUGA, 2010)**.

Les eaux usées domestiques se répartissent en :

- a) Eaux ménagères : ce sont les eaux de cuisine, de lessive et les eaux de toilettes. Elles sont chargées en matière grasse.
- b) Eaux de vannes : ce sont les eaux en provenance des sanitaires (WC). Elles sont chargées en matières azotées et germes fécaux.

3.1.1.2. POLLUTION INDUSTRIELLE : en provenance des industries, elle se caractérise par sa diversité suivant l'utilisation de l'eau.

Les eaux usées industrielles varient d'une industrie à une autre. Elles peuvent contenir des matières organiques, phosphorés, azotées, des solvants, des métaux lourds, hydrocarbures, etc. **(GHERARA, 2019)**.

3.1.1.3. POLLUTION AGRICOLE : elle résulte de l'élevage et de la culture des terres.

Les eaux usées d'origine agricole sont la cause potentielle des pollutions diffuses **(METAHRI, 2012)**

Cette pollution se caractérise par :

- De fortes teneurs en sels minéraux (azote, phosphore...) provenant d'engrais et des purins (élevage) ;
- Présence de produit chimique de traitement (pesticides, herbicides...) **(KRID, 2006)**

3.1.1.4. POLLUTION PLUVIALE : issue du ruissellement de l'eau de pluies. Les eaux pluviales constituent une source de pollution importante des cours d'eau, notamment en période orageuses. Elles sont en contact direct avec l'atmosphère et le sol, de ce fait elles se chargent d'impuretés et ruissellent vers les cours d'eau, ainsi causant leur contamination. **(DEHBI, 2015)**

3.1.2. Les différents types de la pollution de l'eau

Il existe de nombreux types de pollution qui affectent l'eau, notamment :

- **La pollution physique**

Les polluants physiques sont trois principes agent de pollution qui sont : la température, transport de matière solide en suspension, et la radioactivité

- **La température** : Plus la température de l'eau est élevée plus le besoin en oxygène est grand, plus la teneur en oxygène de l'eau est basse
- **Transport de matière solide en suspension** : Elle agit en augmentant la turbidité de l'eau qui réduit la pénétration de la lumière.
- **La radioactivité** : Libérée dans l'eau, elle peut provenir d'une radioactivité naturelle, ou d'une contamination liée à des retombées atmosphérique (explosions nucléaires), des champs rayonnements d'origine industrielle ou en fin des contaminations accidentelles de l'eau à partir des rejets des installations centrales nucléaire (**Attia, A, 2015**).
- **La pollution organique** : Elle concerne les microorganismes pathogènes présents dans l'eau comme les bactéries et les virus. Cette pollution bactériologique se caractérise par un taux élevé de coliformes fécaux. La pollution organique provient principalement des excréments, des ordures ménagères et des déchets végétaux.
- **La pollution chimique** : Elle concerne les nitrates et les phosphates contenus dans les pesticides, les médicaments humains et vétérinaires, les produits ménagers, la peinture, les métaux lourds (mercure, cadmium, plomb, arsenic...), les acides, ainsi que les hydrocarbures utilisés dans l'industrie (**Kennish, 2008**).
- **Pollution thermique** : La pollution thermique est l'augmentation ou la baisse de la température d'une masse d'eau naturelle causée par l'influence humaine.

La pollution thermique, contrairement à la pollution chimique, entraîne une modification des propriétés physiques de l'eau. Une cause fréquente de pollution thermique est l'utilisation de l'eau comme liquide de refroidissement par les centrales électriques et les fabricants industriels. Les températures élevées de l'eau diminuent les niveaux d'oxygène, ce qui peut tuer les poissons et modifier la composition de la chaîne alimentaire, réduire la biodiversité des espèces et favoriser l'invasion de nouvelles espèces thermophiles (**Kennish, 2008**).

Tableau 4: Origines et natures de différentes sources de pollution du milieu aquatique (Benkaddour, 2018).

<i>Type de pollution</i>	<i>Nature</i>	<i>Origines</i>
<i>Physique</i>	Rejets d'eau	Centrales thermiques, nucléaires
	M.E.S. (matières en suspension)	Rejets urbains, érosion des sols
<i>Chimique</i>	Matières organiques	Effluents domestiques, agricoles, Agroalimentaires
	Fertilisants (nitrate, phosphate)	Agriculture, lessives
	Métaux (Cd, Pb, Hg, Al, As...)	Industrie, agriculture, déchets
	Pesticides (insecticides, herbicides, fongicides)	Industrie, agriculture
	Organochlorés (PCB, solvants)	Industries
	Composés organiques de synthèse	Industries
	Détergents	Effluents domestiques
	Hydrocarbures	Industrie pétrolière, transports
<i>Biologique</i>	Bactérie, virus, champignons...	Effluents urbains, agricoles

4. Les caractéristiques des eaux usées (industrielles, domestiques...)

4.1. Les paramètres physiques-chimique de la qualité de l'eau

4.1.1. Température :

Elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz (en particulier O₂) dans l'eau ainsi que, la détermination du pH et la vitesse des réactions chimiques. La température agit aussi comme facteur physiologique sur le métabolisme de croissance des microorganismes vivants dans l'eau (Alain Botta, 2001).

4.1.2. La turbidité

La turbidité est inversement proportionnelle à la transparence de l'eau, elle est de loin le paramètre de pollution indiquant la présence de la matière organique ou minérale sous forme colloïdale en suspension dans les eaux usées. Elle varie suivant les matières en suspension (MES) présentes dans l'eau (J-P, et al., 2006).

4.1.3. Les matières en suspension (MES) : Exprimée en mg par litre. Ce sont les matières non dissoutes de diamètre supérieur à 1µm contenues dans l'eau. Dans le milieu récepteur, les MES peuvent entraîner des perturbations de l'écosystème par une diminution de la clarté de l'eau, limitant la photosynthèse végétale. De plus, ces MES peuvent être de nature organique et entraîner les nuisances associées aux molécules organiques (**Regsek F, 2002**).

4.1.4. Potentiel d'hydrogène (pH) : Sa valeur détermine un grand nombre d'équilibre physicochimique. La valeur de p_{3.2.3H} basse ou élevée altère la croissance des microorganismes existant dans l'eau (leur gamme de croissance est comprise entre 5 et 9) (**Mechati. F, 2006**).

4.1.5. Demande chimique en oxygène (DCO) : La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydable dans des conditions opératoires bien définies (**Rodier J, 2005**). Elle est d'autant plus élevée qu'il y'a des corps oxydables dans le milieu. L'oxygène affecte pratiquement la totalité des matières organiques biodégradables et non biodégradables. La DCO est mesuré en mg d'O₂/l (**Rodier J, 2005**)

DCO = 1.5 à 2 fois DBO pour les eaux usées urbaines ; }

DCO = 1 à 10 fois DBO pour l'ensemble des eaux résiduaire ; }

DCO > 2.5 fois DBO pour les eaux usées industrielles (**Suschka J, 1986**).

La relation empirique de la matière oxydable en fonction de la DBO₅ et la DCO est donnée par l'équation suivante : $MO = (2 DBO_5 + DCO) / 3$.

4.1.6. La demande biologique en oxygène (DBO₅) : La DBO₅ exprime la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C et à l'obscurité pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation par voie aérobie. Pour la mesure, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours ; c'est la DBO₅ (**Suschka J, 1986**).

4.1.7. La conductivité électrique (CE) : La conductivité d'une eau fournit une indication précise sur sa teneur en sels dissous (salinité de l'eau). Elle s'exprime en µSm/cm et elle est l'inverse de la résistivité qui s'exprime en ohm/cm. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau (**Desjardins, 1997**).

4.1.8. Les nitrates (N-NO_3^-) : Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau. Les bactéries nitrifiantes (nitrobacters) transforment les nitrites en nitrates. Les nitrates ne sont pas toxiques mais des teneurs élevées en nitrates provoquent une prolifération algale qui contribue à l'eutrophisation du milieu. Leur potentiel danger reste néanmoins relatif à leur réduction en nitrites (**MATHIEU et PIELTAIN, 2003**).

4.1.9. Les nitrites Les ions nitrites (NO_2^-) : sont un stade intermédiaire entre l'ammonium (NH_4^+) et les ions nitrate (NO_3^-). Les bactéries nitrifiantes (nitrosomonas) transforment l'ammonium en nitrites. Cette opération, qui nécessite une forte consommation d'oxygène est la nitrification. Les nitrites proviennent de la réduction bactérienne des nitrates appelée dénitrification. Les nitrites constituent un poison dangereux pour les organismes aquatiques, même à de très faibles concentrations. La toxicité augmente avec la température (**MATHIEU et PIELTAIN, 2003**).

4.1.10. chlorure Le chlorure (Cl^-) : est l'un des principaux anions inorganiques de l'eau salée et douce, généralement présente sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Il provient de la dissolution des sels naturels par le lessivage des terrains gypseux, marneux ou argileux ou bien par les activités humaines (rejets des eaux usées domestique et industrielles), le chlorure est utilisé comme un indicateur de pollution. Il a une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux (**Makhoukh, 2011**).

4.1.11. Dureté totale (THT) : La dureté totale de l'eau, appelée également titre hydrotimétrique total (THT), est une grandeur physico-chimique qui exprime la concentration totale des ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) dissous dans l'eau. Ces deux cations sont les principaux responsables du caractère « dur » ou « calcaire » de l'eau (**ONEDD 2023**).

4.1.12. Titre alcalimétrique (TA) : Le titre alcalimétrique (TA) correspond au volume d'un acide fort (habituellement HCl à $0,02 \text{ mol/L}$) nécessaire pour titrer 100 mL d'un échantillon d'eau jusqu'à la fin de réaction, détectée par l'indicateur phénolphthaléine au $\text{pH} \approx 8,2-8,3$, moment où le virage coloré s'achève. Cette mesure reflète la somme des ions hydroxydes (OH^-) ainsi que la moitié des ions carbonate (CO_3^{2-}) présents dans l'eau (**ONEDD 2023**).

4.1.13. Titre alcalimétrique complet (TAC) : Le Titre alcalimétrique complet (TAC) mesure la capacité totale d'alcalinité d'un échantillon d'eau, c'est-à-dire la quantité totale

d'ions basiques (OH^- , CO_3^{2-} et HCO_3^-) qu'il faut neutraliser avec un acide fort (souvent HCl à 0,02 mol/L), jusqu'au point final de titrage à $\text{pH} \approx 4,5$, repéré par un indicateur de type méthyl-orange ou héliantine (ONEDD 2023).

4.2. Les paramètres bactériologiques : Les micro-organismes qui se trouvent dans l'eau usée sont à l'origine du traitement biologique. Ils comprennent, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes. Parmi les éléments pathogènes les plus rencontrés, on cite (Pierre J, 1990) :

Les indicateurs microbiens On présente les germes indicateurs principaux, à savoir, les coliformes totaux, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux :

4.2.1. Les coliformes totaux (CT) : Ces coliformes sont des bâtonnets, anaérobie facultatif, gram (-) non sporulant (Halder JN., 2015). Ils sont capables de croître en présence de sels biliaires et fermentent le lactose en produisant de l'acide et du gaz en 48 heures à des températures de 35 à 37°C (Rodier, 1996). Ils regroupent les germes *Echrichia*, *Citrobacter*, *Klébsiella*, *Yersinia*, *Serratia*, *Rahnella*, et *Buttiauxella* (PNUE/OMS., 1977) ,(JOLY B., 2003).

4.2.2. Les coliformes fécaux (CF) : Ce sont des bâtonnets gram (-), aérobies et facultativement anaérobies, non sporulant, capables de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz à 36 et 44°C en moins de 24 heures. Ceux qui produisent de l'indole dans l'eau peptonée contenant du tryptophane à 44°C, sont souvent désignés sous le nom d'*Escherichia Coli* bien que le groupe comporte plusieurs souches différentes (*Citrobacter freudii*, *Entérobacter aerogenes*, *Klebsiella pneumoniae*...etc.) (PNUE/OMS., 1977) , (Rodier, 1996).

4.3. Les paramètres organoleptiques

4.3.1. Couleur

La couleur des eaux résiduaires est en général grise, signe de présence de matières organiques dissoutes, de MES, du fer ferrique précipité à l'état d'hydroxyde, du fer ferreux lié à des complexes organiques et de divers colloïdes (Mizi A, 2006).

4.3.2. Odeur

Les eaux résiduaires industrielles se caractérisent par une odeur. Toute odeur est pollution qui est due à la présence de matières organiques en décomposition (Mizi A, 2006)

5. Maladies d'origine bactérienne

L'eau contaminée constitue un vecteur majeur de diverses maladies infectieuses, notamment d'origine bactérienne, virale ou parasitaire. Le tableau suivant illustre les principales maladies hydriques ainsi que les agents pathogènes responsables de leur transmission (Opas, 1999).

Tableau 5: Maladies véhiculées par l'eau et ses agents (Opas, 1999).

Maladies	Agents pathogènes
D'origine bactérienne	Salmonelle typhique
la Typhoïde et la paratyphoïde La dysenterie bacillaire	Salmonelle parathyphique A et B Shigella sp
Le choléra la Gastro-entérite aiguë et la Diarrhée	Vibrio cholerae Escherichia coli Entérotoxique Campylobacter Yersinia enterocolitica Salmonelle
D'origine virale	Virus de l'hépatite A et E
L'hépatite A et E	Virus de la poliomyélite
La polio	Virus Norwalk
La Gastro-entérite aiguë et chronique	Rotavirus Enterovirus Adenovirus
D'origine parasitaire	Entamoeba histolytica
Dysenterie amibienne	Giardia lâmblia
Parasite gastro-entérite	Cryptosporidium

6. Les effets de la pollution de l'eau

6.1. Sur la santé humaine

Il existe une plus grande association entre la pollution et les problèmes de santé. Les micro-organismes pathogènes sont connus sous le nom d'agents pathogènes et ces agents pathogènes propagent la maladie directement parmi les humains.

Certains agents pathogènes sont présents dans le monde entier, certains se trouvent dans une zone bien définie (**Kamble, 2014**).

De nombreuses maladies d'origine hydrique se propagent d'homme à homme (**Halder JN., 2015**). Les fortes pluies et les inondations sont liées à des conditions météorologiques extrêmes et créent différentes maladies pour les pays développés et en développement (**Ahmad SM., 2014**). 10% de la population dépend d'aliments et de légumes cultivés dans de l'eau contaminée (**Corcoran E., 2010**). De nombreuses maladies infectieuses d'origine hydrique sont liées à la pollution fécale des sources d'eau et entraînent une voie d'infection fécale-orale (**Nel LH., 2009**) Les risques pour la santé associée à l'eau polluée comprennent différentes maladies telles que les maladies respiratoires, le cancer, les maladies diarrhéiques, les troubles neurologiques et les maladies cardiovasculaires (**Ullah S., 2014**). Les produits chimiques azotés sont responsables du cancer et du syndrome du bébé bleu (**Krishnan S., 2006**).

6.2. Sur l'environnement

→ **Dégradation des écosystèmes aquatiques** : La pollution de l'eau entraîne une diminution de la qualité de l'eau, ce qui peut avoir des effets néfastes sur les écosystèmes aquatiques. Cela peut se traduire par la disparition d'espèces, la destruction des habitats aquatiques et la diminution de la biodiversité (**Paul MJ., 2001**)

→ **Mortalité des poissons et autres organismes aquatiques** : Les polluants présents dans l'eau peuvent être toxiques pour les poissons et d'autres organismes aquatiques. L'exposition à des substances chimiques telles que les métaux lourds, les pesticides et les produits chimiques industriels peut entraîner la mort des poissons et perturber les populations d'organismes aquatiques (**Chapman PM., 2001**).

→ **Eutrophisation** : La pollution de l'eau par les nutriments, tels que les engrais agricoles et les eaux usées non nettoyées, peut entraîner une augmentation excessive de la croissance des algues et des plantes aquatiques. Cela conduit à un phénomène appelé eutrophisation, qui peut entraîner une diminution de l'oxygène dissous dans l'eau, la formation de zones mortes et la perturbation des écosystèmes aquatiques (**Smith, 2003**).

Conclusion

la pollution de l'eau constitue l'une des menaces environnementales les plus graves auxquelles l'humanité fait face aujourd'hui. Elle affecte non seulement les écosystèmes aquatiques, mais aussi la santé humaine, en raison de la contamination des sources d'eau potable par des substances chimiques, des déchets industriels, et des micro-organismes pathogènes.

La dégradation des ressources en eau entraîne des déséquilibres dans la biodiversité, la perte de la qualité de l'eau et perturbe les cycles de vie des espèces aquatiques.

Les conséquences à long terme de cette pollution incluent des maladies graves, la diminution de la disponibilité en eau potable et des impacts économiques majeurs sur les secteurs liés à l'eau, tels que l'agriculture et la pêche. Face à ces enjeux, il est impératif d'adopter des stratégies de prévention et de traitement de la pollution, ainsi que de promouvoir une gestion durable de l'eau à l'échelle mondiale. Il en va de notre avenir collectif et de la préservation de notre planète pour les générations futures.

Chapitre 3 : Matériels et Méthodes

Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons la méthodologie scientifique adoptée lors de la partie pratique de ce travail. Il s'agit de définir la stratégie de travail, de justifier le choix des outils et des équipements, et de décrire les différentes étapes réalisées à la fois sur le terrain et en laboratoire.

La démarche expérimentale a consisté en un prélèvement méthodique d'échantillons d'eau à partir de trois sites bien définis le long de l'Oued Saf-Saf : Oued Ziramna, Lilou et le point appelé « Post 3 ». Ces prélèvements ont été suivis d'une série d'analyses physico-chimiques et bactériologiques visant à évaluer les indicateurs de pollution selon des normes scientifiques reconnues.

Ce chapitre détaille également le protocole analytique suivi avec rigueur, en précisant les instruments et appareils de laboratoire utilisés à chaque étape du processus.

Les analyses physicochimiques et bactériologiques ont été réalisées au niveau de le laboratoire central d'Algérie des eaux qui se situe à 6 Km du chef-lieu de la wilaya de Skikda, il occupe l'ex siège CONDOTTE Entreprise réalisatrice du projet adduction et ouvrages des stockages de l'eau dessalée qui se trouve à ZIRAMNA.

OBJECTIF

Objectif général

Évaluer la qualité des eaux de l'oued Saf-Saf et estimer ses impacts potentiels sur l'environnement et la santé humaine dans la région de Skikda, à travers l'analyse de ses caractéristiques physiques, chimiques et bactériologiques.

Objectifs spécifiques

- Analyser les caractéristiques physiques, chimiques et bactériologiques des eaux de l'oued Saf-Saf, et détecter la présence de polluants toxiques ou d'agents bactériens pathogènes dans l'eau.
- Identifier les sources potentielles de pollution dans la région.
- Étudier les impacts sanitaires et environnementaux résultant de cette pollution.
- Proposer des mesures préventives et correctives contribuant à garantir la sécurité de l'eau et à préserver l'équilibre de l'écosystème.

Choix du site d'étude : Oued Safsaf – Wilaya de Skikda

Le choix de l'oued Safsaf comme site pour la réalisation des analyses et le prélèvement des échantillons repose sur plusieurs considérations scientifiques et pratiques. Cet oued constitue un cours d'eau important dans la wilaya de Skikda et se distingue par sa proximité géographique et la facilité d'accès, ce qui facilite les suivis réguliers sur le terrain. De plus, il traverse des zones résidentielles, agricoles et industrielles, ce qui l'expose à diverses sources potentielles de pollution, telles que les eaux usées domestiques, les rejets agricoles et les effluents industriels. Cette situation en fait un environnement pertinent pour l'étude de l'impact des activités humaines sur la qualité de l'eau et l'évaluation du niveau de pollution. Par ailleurs, l'oued Safsaf présente une diversité écologique naturelle permettant de comparer les variations des caractéristiques physiques, chimiques, bactériologiques et biologiques de l'eau, ce qui renforce l'intérêt scientifique de cette étude.

1. Méthodes d'analyses

Les paramètres analysés sont : le pH, température, la conductivité électrique, turbidité, le Calcium, Magnésium (THT), TDS, les Chlorures, TAC, TA.

L'analyse bactériologique a pour but de mettre en évidence les germes présents dans l'eau.

Les germes recherchés sont : les coliformes totaux, les coliformes fécaux, et l'identification d'*Escherichia coli*, La recherche et le dénombrement des streptocoques fécaux.

1.1. Les analyses physicochimiques

1.1.1. PH

➤ Mode opératoire

- Brancher le pH-mètre, le laisser se stabiliser pendant quelques minutes, installer les électrodes aux entrées correspondantes sur l'appareil.
- Etalonner l'appareil à l'aide d'une solution tampon. Ensuite rincer

l'électrode avec de l'eau distillée et avec l'échantillon à analyser.

- Amener l'échantillon d'eau à analyser à la température désirée.
- Plonger l'électrode dans l'échantillon à analyser et lire la valeur de pH directement.
- Après chaque détermination du pH, on retire l'électrode, on la rince et à la fin de l'expérience, on la laisse tremper dans l'eau distillée (**Tableau 6**)

Tableau 6: Classification des eaux selon leurs pH (**Amrai et boudissa, 2023**)

pH	Etat et type d'eau
pH < 5	Acidité forte → présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Près neutralité → majorité des eaux de surface
5.5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intensif



Figure 23 : PH et temperature mètre (photo originale)

1.1.2. La turbidité

➤ Mode opératoire

- Remplir la cuve avec l'eau à analyser.
- Enlever les gouttes d'eau et les traces des doigts avec un papier absorbant.
- Placer la cuve dans le puits de mesure et fermer le capot.
- Lire le premier résultat affiché sur le turbidimètre.



Figure 24: Turbidimètre (HACH 2100N) (photo originale).

1.1.3. Mesure de la Température, TDS, et la conductivité électrique

➤ Mode opératoire

- Brancher le multi paramètres.
- Etalonner l'appareil avec une solution tampon (pH=7).
- Rincer les sondes avec l'eau distillée.
- Remplir le bécher par l'eau à analyser.
- Prolonger les sondes dans l'échantillon.
- Laisser stabiliser puis, noter les résultats affichées sur le multi paramètres.
- La conductivité électrique est exprimée en $\mu\text{s}/\text{cm}$.
- La température est exprimée en ($^{\circ}\text{C}$).



Figure 25: Multi paramètres. (HACH SL1000) (Photo originale).

1.1.4. La dureté carbonatée

Ils permettent de connaître les quantités d'hydroxydes, de carbonates ou d'hydrogencarbonates alcalins ou alcalino terreux présents dans l'eau (Rodier et al., 2009).

1.1.4.1. Titre Alcalimétrique (TA)

Le TA permet de déterminer, en bloc, la teneur en hydroxydes et seulement la moitié de celle en carbonate.

1.1.4.2. Titre Alcalimétrique Complet (TAC)

Il assure la détermination de la teneur en hydrogencarbonates (HCO_3^-). L'alcalinité exprime la capacité de neutralisation des acides présents dans l'eau (Thomas, 1995). La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire, dolomie ... par des eaux chargées en gaz carbonique. Leurs concentrations dans les eaux naturelles dépendent essentiellement de la température ambiante, du pH de l'eau, de la concentration en gaz carbonique dissous et de la lithologie (Rodier et al., 2009).

L'alcalinité se mesure à l'aide d'une solution étalons en présence d'un indicateur coloré de $\text{pH}=8,3$ (Enrico Riboni).

Dosage du titre alcalimétrique (TA) et du titre alcalimétrique complet (TAC)

➤ Mode opératoire

- Introduire à l'aide d'une éprouvette graduée 100ml d'eau à analyser dans un bécher de 200ml.
- Ajouter 03 gouttes de phénolphaléine.
- Si une couleur rose est obtenue, on titre avec l'acide sulfurique jusqu'à la disparition de la couleur rose.
- Si la couleur reste transparente ; $\text{TA}=0$ ($\text{pH}<8,5$).
- On ajoute sur la solution précédente 02 gouttes de méthylorange.
- Titrer avec l'acide sulfurique goutte à goutte jusqu'à le virage de couleur orange brique.
- Noter le volume consommé.



Figure 26: Titre alcalimétrique (Photo originale).

➤ **Expression des résultats**

- $TA = V \times 10$ en mg/l (1)
- $TAC = (VTA + VTAC) \times 10$ en mg/l. (2)
- V : le volume de la chute burette.
-

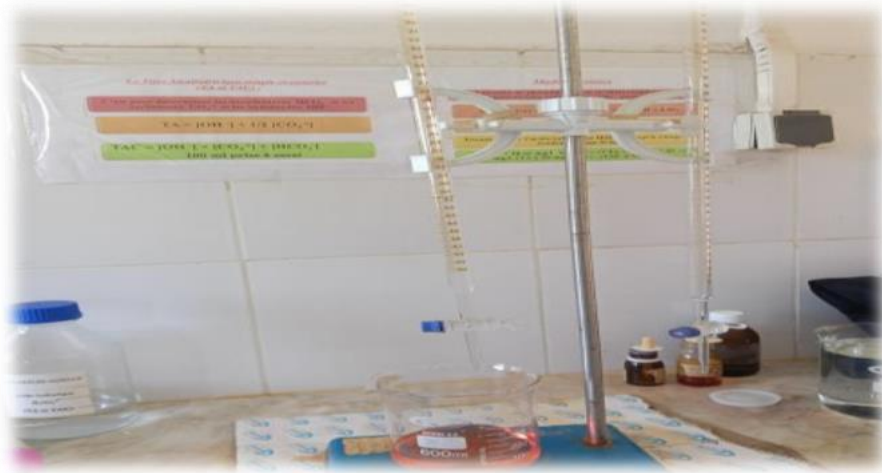


Figure 27: Dosage de TA et TAC (photo originale)

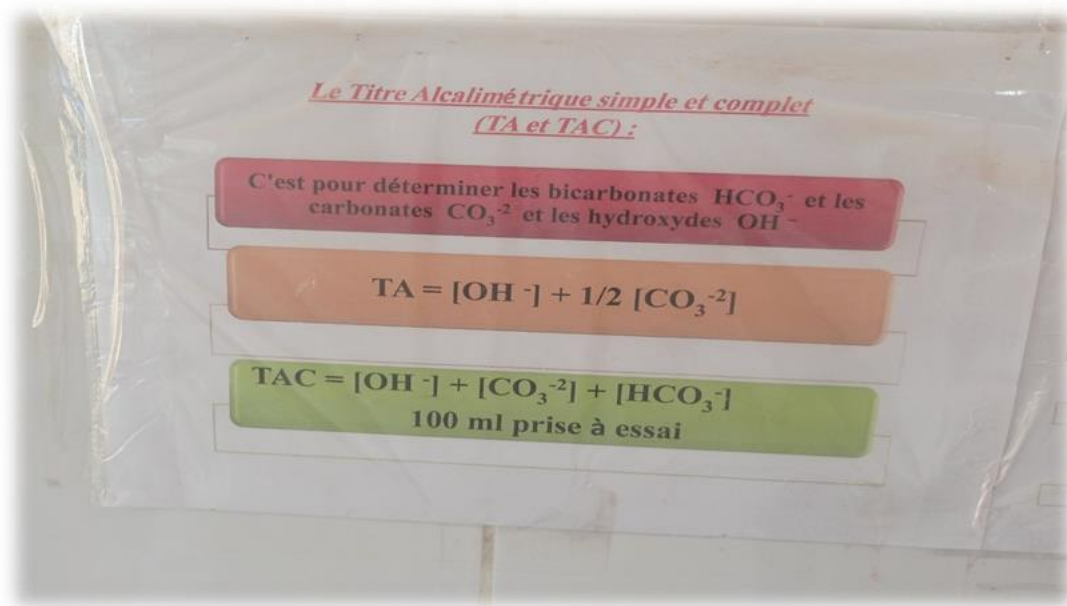


Figure 28 : Détermination des titres alcalimétriques simple et complet (TA et TAC) par titrage (photo originale).

1.1.5. Dosage du THT

➤ Mode opératoire

- Introduire 50 ml d'eau à analyser à l'aide d'une éprouvette graduée dans un bécher de 200ml.
- Ajouter 04 ml de solution tampon.
- Ajouter 03 goutte de mordant noir11.
- Titrer avec la solution EDTA goutte à goutte jusqu'à ce que la solution vire au bleu.

➤ Expression des résultats

- $\text{THT} = V \times 2 \times 10$ en mg/l. (3)
- $\text{THT} \leq 500 \text{mg/l}$.



Figure 30: Dureté totale avant le titrage (photo originale).



Figure 29: Dureté totale à la fin de titrage (photo originale).



Figure 31 : Dosage de la dureté totale de l'eau (photo originale).

1.1.6. Dosage du calcium Ca^{2+}

➤ Mode opératoire

- Prélever 50ml d'eau à analyser par une éprouvette graduée puis met dans une bécher de 200ml.
- Ajouter 02ml de solution d'hydroxyde de sodium NaOH.
- Additionner une petite quantité de Murexide HSN.
- Titrer par l'EDTA goutte à goutte jusqu'à virage de couleur mauve foncé.

➤ Expression des résultats

- $\text{Ca}^{2+} = v \times 10$ en mg/l. (4)



Figure 32: Coloration de (Ca^{2+}) avant le titrage (photo originale).



Figure 33 : Coloration de (Ca^{2+}) après le titrage (photo originale).

1.1.7. Dosage du Chlore Cl^-

➤ Mode opératoire

- Introduire à l'aide d'une éprouvette graduée 5ml d'échantillon dans un bécher de 50ml.
- On ajoute 02gouttes de chromate de potassium.
- Titrer goutte à goutte avec le Nitrate d'argent jusqu'à ce que la couleur vire au rouge brique.

➤ Expression des résultats

- $Cl^- = V \times 71$ en mg/l. avec 71 : la constante de conversion.



Figure 34 : Coloration de Cl^- à la fin de titrage (photo originale).



Figure 35: Coloration de Cl^- avant le titrage (photo originale).

1.2. Analyse bactériologique

Les bactéries sont des organismes vivants unicellulaires procaryotes, c'est-à-dire qu'elles ne possèdent ni noyau ni organites.

➤ Coliformes totaux (CT)

Les coliformes totaux sont un groupe de bactéries principalement non pathogènes, présentes naturellement dans l'intestin des humains et des animaux à sang chaud, mais aussi dans l'environnement (sol, eau, végétation).

La présence de coliformes totaux dans l'eau constitue un indicateur de contamination fécale potentielle ou de pollution organique.

Ils comprennent notamment les genres suivants :

- Escherichia coli
- Enterobacter
- Klebsiella
- Citrobacter

➤ Les Coliformes fécaux (CF)

Sont des bacilles à Gram négatifs aérobies ou anaérobies facultatifs non sporulés, ne possédant pas d'oxydase capables de se multiplier en présence de sels biliaries et capables de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz.

➤ Les Streptocoques fécaux (SF)

Ou entérocoques intestinaux qui se présentent sous forme de Gram positive, sphérique ou ovoïde formant des chaînettes ne possédant pas de catalase mais possédant l'antigène du groupe D.

➤ Escherichia coli (E. Coli)

Sont des coliformes thermo tolérants ayant la particularité de produire de l'indole qui est un composant cristallisant à partir des milieux confirmatifs. Les E. Coli ont les mêmes propriétés que les coliformes mais à 44° C.

1.2.1. Procédure de prélèvement d'un échantillon d'eau pour analyse bactériologique :

Le prélèvement d'un échantillon d'eau destiné à une analyse bactériologique doit suivre une procédure rigoureuse afin d'éviter toute contamination. Voici les étapes à respecter :

- **Stérilisation des flacons :**

Les flacons de prélèvement doivent être stérilisés à 180 °C pendant 2 heures dans un stérilisateur.

- **Ouverture du flacon :**

Le flacon ne doit être ouvert qu'au moment du prélèvement. Il est essentiel de ne pas toucher les parois internes du flacon ni l'intérieur du couvercle pour éviter toute contamination par l'air ou les mains.

- **Désinfection du robinet :**

Le bec du robinet, à l'intérieur comme à l'extérieur, doit être désinfecté à l'aide d'une lingette imbibée d'alcool ou flambé à la flamme.

- **Purge de l'eau :**

Laisser couler l'eau pendant une minute après la désinfection avant de procéder au prélèvement.

- **Remplissage du flacon :**

Le flacon doit être rempli en laissant un espace vide d'environ 2 cm entre la surface de l'eau et le bouchon, pour permettre une bonne homogénéisation.

- **Conservation de l'échantillon :**

L'échantillon doit être conservé à une température d'environ 4 °C entre le moment du prélèvement et son analyse au laboratoire.

1.2.2. Méthode de filtration sur membrane

➤ Principe

Cette méthode consiste à filtrer l'échantillon de l'eau sur une membrane filtre de

0,45 μ m qui retient les microorganismes.

cette membrane est incubée à 44 pendant 24 heures sur milieu tergitol 7 pour la recherche des coliformes fécaux et incubée 37 °C pendant 48 h pour la recherche des coliformes totaux.

Pour la recherche des streptocoques, la membrane filtre est incubée sur milieu de culture slanetz à 37°C pendant 24h.



Figure 36 : Filtration sur membrane (photo originale).

➤ Mode opératoire

- Allumer le bec bunsen et stériliser l'équipement de la rampe de filtration.
- A l'aide d'une pince stérile déposer une membrane filtre de porosité 0.45 μ m sur la membrane porteuse.
- Remplir l'entonnoir avec l'eau à analyser puis remettre le couvercle.
- Allumer la rampe de filtration et faire vider jusqu'à la filtration totale d'échantillon.
- Déposer la membrane filtre à l'aide d'une pince stérile sur les milieux de culture.
- Étiqueter les boîtes pétries avec la date, nome de source et l'heur de l'ensemencement.
- Incuber les boîtes pétries couvercle vers bas.
 - Pour les coliformes fécaux : à 44°C pendant 24h.
 - Pour les coliformes totaux : à 37°C pendant 48h.
 - Pour les streptocoques fécaux : à 37° pendant 24h.

1.2.2.1. Test de confirmation

1.2.2.1.1. Les coliformes fécaux (CF)

➤ **Méthode de détection**

- **Milieu utilisé**

Le milieu de culture BCPL, spécifique aux coliformes fécaux.

- **Étapes de la détection**

L'échantillon est réparti dans des tubes contenant le milieu BCPL à simple et double concentration. Les tubes sont ensuite incubés à 37°C pendant 48 heures. Après incubation, on observe un changement complet de couleur du milieu ainsi que la formation de gaz dans la cloche de Durham, ce qui indique la fermentation du lactose.

La présence de colonies jaunes ou jaune-orangé après incubation confirme la présence de coliformes fécaux. Trois de ces colonies sont ensuite repiquées à l'aide d'une pipette stérile, puisensemencées dans un bouillon tryptophane. Les tubes sont incubés dans une étuve à 44°C pendant 24 heures afin de confirmer l'identité des bactéries par leur capacité à produire de l'indole.



Figure 37: Test de confirmation (photo originale).

1.2.2.1.2. Escherichia coli (E. coli)

➤ Méthode de détection

- Milieu utilisé :

Un milieu de confirmation contenant du tryptophane pour la détection de L'indole, avec incubation à haute température (44°C), ce qui sélectionne les bactéries thermotolérantes.

- Étapes de la détection

Des colonies suspectes issues du test présomptif aux coliformes sont repiquées dans un bouillon tryptophane, puis incubées à 44°C pendant 24 heures. Après incubation, on ajoute le réactif de Kovacs.

- Résultat positif :

La formation d'un anneau rouge à la surface du milieu indique la production d'indole, caractéristique d'Escherichia coli. Ce test, combiné à la capacité de croître à 44°C, permet de différencier E. coli des autres coliformes.



Figure 38 : Test de confirmation (photo originale).

1.2.2.1.3. Pour les streptocoques fécaux (SF) :**➤ Méthode de détection****- Milieu utilisé :**

Le milieu de culture ROTHE, sélectif pour les streptocoques fécaux.

- Étapes de la détection :

L'échantillon est inoculé dans des tubes contenant le milieu ROTHE, puis incubé à 37°C pendant 24 heures. Après incubation, la turbidité du milieu accompagnée de la formation d'une pastille blanchâtre ou violette au fond du tube indique un résultat positif pour la présence de streptocoques fécaux.

Pour confirmation, des colonies caractéristiques peuvent être isolées et repiquées sur un autre milieu sélectif ou soumises à des tests biochimiques supplémentaires, notamment le test de la catalase (négatif) et la résistance à la bile, caractéristiques des entérocoques.

Conclusion :

Ce chapitre a présenté de manière détaillée les différents moyens matériels et méthodologiques adoptés dans le cadre de cette étude. Les approches physiques, chimiques et bactériologiques ont été choisies avec rigueur afin de garantir la fiabilité et la représentativité des résultats.

Cette méthodologie structurée constitue une base essentielle pour une analyse rigoureuse des données et une évaluation objective de la situation environnementale de la zone étudiée. Les résultats obtenus seront présentés et discutés dans les chapitres suivants afin de mieux comprendre les impacts potentiels de la pollution sur l'environnement, ainsi que sur la santé et la qualité de vie de l'individu.

Chapitre 4 :
Résultats et discussion

1. Résultats des analyses physico-chimiques

Les résultats des paramètres physico-chimiques de l'eau de l'oued Saf-Saf sont rassemblés dans les tableaux ci - dessus.

Tableau 7: Résultats d'analyse physico-chimiques de l'eau d'oued Saf-Saf (**LILOU**) :

Détermination	Résultat	Normes	Référence des normes
pH	9,1	6,5-8,5	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
Température	31°C	25-30°C	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
conductivité électrique	3200 µS/cm	180-1500 µS/cm	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
TDS (Solides dissous)	1602 mg/l	500-1000 mg/l	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
Turbidité	63,6 NTU	≤ 25 NTU	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
Dureté totale (THT)	94°F soit, en Ca Co ₃ : 940 mg/l	≤ 500 mg/l	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
Titre alcalimétrique (TA)	0 mg/l	40-120 mg/l	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
Titre alcalimétrique complet (TAC)	450 mg/l	TAC ≤ 150 mg/l	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
Teneur en chlorures (Cl)	720 mg/l	250-500 mg/l	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
Teneur en calcium (Ca²⁺)	600 mg/l	200 mg/l	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO

Tableau 8: Résultats d'analyse physico-chimiques de l'eau d'oued Saf-Saf (**POST 3**) :

Détermination	Résultat	Normes	Référence des normes
pH	8,5	6,5-8,5	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
Température	25,3°C	25-30°C	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
conductivité électrique	2400 µS/cm	180-1000 µS/cm	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
TDS (Solides dissous)	1205 mg/l	500-1000 mg/l	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
Turbidité	30,8 NTU	≤ 25 NTU	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
Dureté totale (THT)	74°F soit, en Ca Co3:740 mg/l	≤500 mg/l	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
Titre alcalimétrique (TA)	0 mg/l	40-120 mg/l	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
Titre alcalimétrique complet (TAC)	350 mg/l	TAC ≤ 150 mg/l	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
Teneur en chlorures (Cl)	700 mg/l	250-500 mg/l	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
Teneur en calcium (Ca²⁺)	550 mg/l	200 mg/l	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO

Tableau 9: Résultats d'analyse physico-chimiques de l'eau d'oued Saf-Saf (OUED ZIRAMNA) :

Détermination	Résultat	Normes	Référence des normes
pH	8	6,5-8,5	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
Température	22°C	25-30°C	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
conductivité électrique	910 µS/cm	180-1000 µS/cm	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
TDS (Solides dissous)	455 mg/l	500-1000 mg/l	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
Turbidité	40,6 NTU	≤ 25 NTU	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
Dureté totale (THT)	59°F soit, en Ca Co3: 590mg/l	≤500 mg/l	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
Titre alcalimétrique (TA)	0 mg/l	40-120 mg/l	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
Titre alcalimétrique complet (TAC)	210 mg/l	TAC ≤ 150 mg/l	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
Teneur en chlorures (Cl⁻)	640 mg/l	250-500 mg/l	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO
Teneur en calcium (Ca²⁺)	550 mg/l	200 mg/l	Normes algériennes (NA 6360 – 1992) / WHO

2. Résultats sous forme de diagramme en barre des analyses physico-chimiques des eaux de surface du l'oued El safsaf

2.1. Le PH

Le pH de l'eau reflète la concentration des ions hydrogène, ce qui influence la dissolution et la toxicité des métaux, affectant ainsi les organismes aquatiques. Les valeurs normales de pH varient entre 6,5 et 8,5 pour assurer une croissance saine de la flore et de la faune aquatiques. Un pH bas augmente la toxicité des métaux, tandis qu'un pH élevé favorise la stabilité des métaux dans les sédiments mais peut accroître la concentration d'ammonium, toxique pour les poissons (**Ben Kaddour, 2018**).

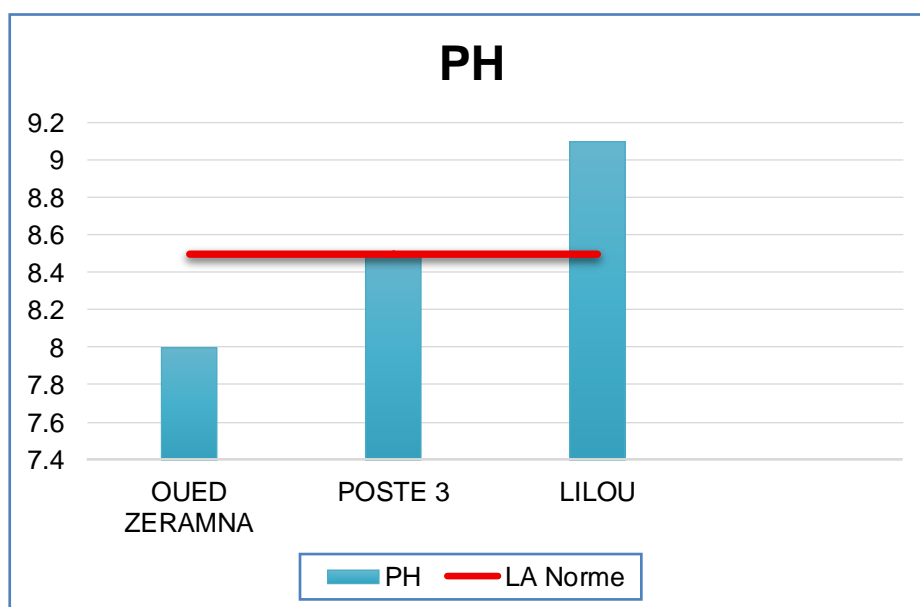


Figure 39 : Histogramme représentatif des valeurs moyennes de PH.

L'histogramme présente les valeurs moyennes de PH mesurées dans trois sites différents : OUED ZERAMNA, POSTE 3 et LILOU, comparées à la norme (LA Norme) représentée par une ligne rouge horizontale.

- Site "OUED ZERAMNA"

Le site "OUED ZERAMNA" a enregistré une valeur de pH d'environ 8,0, ce qui reste dans les limites autorisées et en dessous de la norme (LA Norme) fixée à 8,5. Cela indique que la qualité de l'eau à cet endroit est acceptable du point de vue du pH.

- Site "POSTE 3"

Au site "POSTE 3", la valeur du pH est d'environ 8,5, ce qui correspond exactement à la limite maximale autorisée. L'eau de ce site respecte donc encore les normes, mais une surveillance régulière est nécessaire pour éviter tout dépassement à l'avenir.

- Site "LILOU"

En revanche, le site "LILOU" a enregistré une valeur de pH élevée, atteignant environ 9,2, ce qui dépasse clairement la norme. Cette alcalinité élevée indique un problème de qualité de l'eau à cet endroit, nécessitant des mesures correctives urgentes.

2.2. La température

C'est l'un des facteurs écologiques les plus importants parmi tous ceux qui agissent sur les organismes aquatiques. Le rôle de la température n'est jamais négligeable. Il est décisif dans la distribution des espèces aussi bien par ses niveaux extrêmes que par ses variations diurnes ou saisonnières (**Koller, 2009**).

Elle agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous (**Makhouk et al. 2011**).

Par ailleurs, la température accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10 degrés Celsius (°C).

Changements brusques de température de plus de 3°C sont souvent des indicateurs de pollution ponctuelle ou générale (**Segbeaya, 2012**). Sa perturbation peut influencer la vie aquatique (pollution thermique). Elle joue un rôle important dans les processus bactériens comme la nitrification et la dénitrification (**Ben kaddour, 2018**).

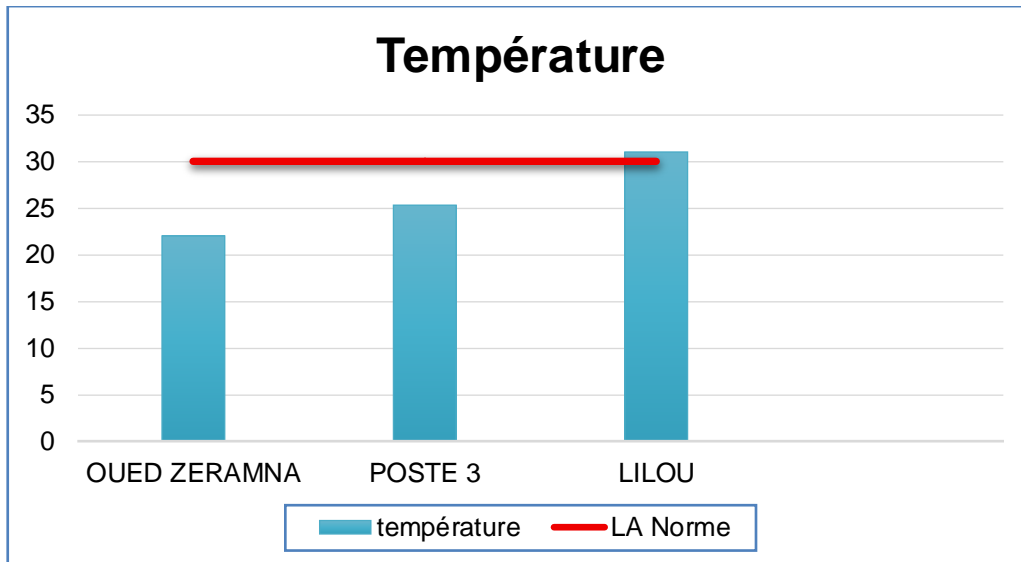


Figure 40 : Histogramme représentatif des valeurs moyennes de température.

L'histogramme présente les valeurs moyennes de température mesurées dans trois sites différents : OUED ZERAMNA, POSTE 3 et LILOU, comparées à la norme (LA Norme) représentée par une ligne rouge horizontale (environ 30°C).

- Site "OUED ZERAMNA"

La température moyenne enregistrée à ce site est d'environ 22°C, ce qui est nettement inférieur à la limite fixée par la norme. Cela indique que la qualité de l'eau, du point de vue de la température, est bonne et ne présente aucun risque pour l'écosystème aquatique à cet endroit.

- Site "POSTE 3"

La température moyenne mesurée est d'environ 25°C, toujours en dessous de la norme. Cela montre que l'eau de ce site reste conforme aux exigences réglementaires, bien que la température soit légèrement plus élevée que celle du site précédent. Ce léger écart pourrait être dû à des facteurs locaux comme une moindre couverture végétale ou des apports thermiques ponctuels.

- Site "LILOU"

Le site "LILOU" affiche la température la plus élevée, atteignant environ 30°C, ce qui correspond exactement à la limite maximale autorisée par la norme. Cette valeur élevée nécessite une vigilance particulière, car un dépassement pourrait avoir des conséquences négatives sur la qualité de l'eau et la vie aquatique (diminution de la solubilité de l'oxygène, prolifération de micro-organismes, etc.).

2.3. La conductivité électrique (CE)

La conductivité est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique (Segbeaya, 2012), elle constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation d'une eau où chaque ion agit par sa concentration et sa conductivité spécifique (Makhoukhet al. 2011).

Elle s'exprime généralement en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Ben kaddour, 2018).

Tableau 9: Classes de minéralisation d'après la conductivité électrique (Rodier et al, 2009).

Conductivité	Minéralisation
conductivité < 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$	très faible
100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ < conductivités < 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Faible
200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ < conductivités < 333 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Moyenne
333 $\mu\text{S}/\text{cm}$ < conductivités < 666 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Moyenne accentuée
666 $\mu\text{S}/\text{cm}$ < conductivités < 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Importante
conductivité > 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Elevée

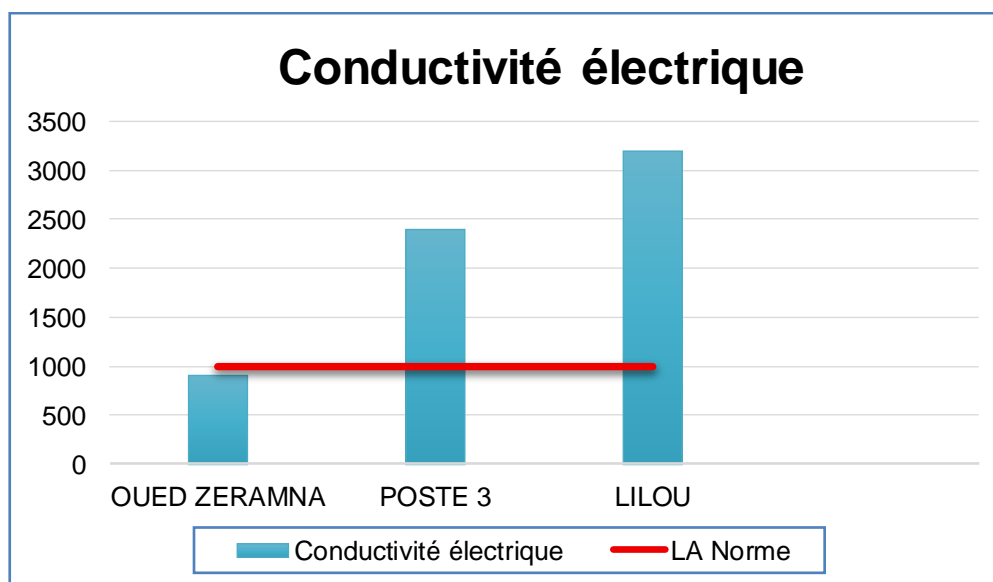


Figure 41 : Histogramme représentatif des valeurs moyennes de La conductivité électrique (CE).

L'historgramme présente les valeurs moyennes de CE mesurées dans trois sites différents: OUED ZERAMNA, POSTE 3 et LILOU, comparées à la norme (LA Norme)

représentée par une ligne rouge horizontale.

- Site "OUED ZERAMNA"

La conductivité électrique mesurée à ce site est de 910 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ce qui est inférieure à la norme fixée à 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cette valeur indique une faible concentration de sels dissous, traduisant une bonne qualité de l'eau sur le plan minéral et une absence de pollution significative par des substances dissoutes.

- Site "POSTE 3"

À ce site, la conductivité électrique atteint 2400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dépassant largement la norme. Cette élévation suggère une accumulation importante de sels dissous, probablement due à des apports anthropiques (rejets industriels ou agricoles) ou à des caractéristiques géologiques locales. Ce dépassement nécessite une surveillance accrue, car il peut impacter la potabilité et l'utilisation de l'eau.

- Site "LILOU"

Le site "LILOU" présente la valeur la plus élevée, avec 3200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, soit plus de trois fois la norme. Ce niveau indique une forte minéralisation de l'eau, ce qui peut résulter d'une pollution importante ou de conditions géologiques particulières. Une telle conductivité peut avoir des effets négatifs sur la faune et la flore aquatiques, ainsi que sur les usages domestiques et agricoles de l'eau.

2.4. TDS (Total Dissolved Solids)

Les solides dissous totaux (TDS – Total Dissolved Solids) désignent la somme de toutes les substances solides organiques et inorganiques dissoutes dans l'eau, suffisamment fines pour ne pas être retenues par une filtration standard ($\leq 2 \mu\text{m}$). Ces substances comprennent des sels minéraux (calcium, magnésium, sodium, potassium), des ions anioniques (chlorures, sulfates, nitrates, bicarbonates), ainsi que des matières organiques dissoutes (**Ben kaddour, 2018**).

Les TDS sont exprimés en mg/L. Selon les recommandations généralement admises :

Un TDS < 500 mg/L → eau douce et de bonne qualité.

Un TDS entre 500 et 1000 mg/L → eau modérément minéralisée, adaptée à l'irrigation ou à certains usages industriels, mais nécessitant un traitement pour la consommation humaine.

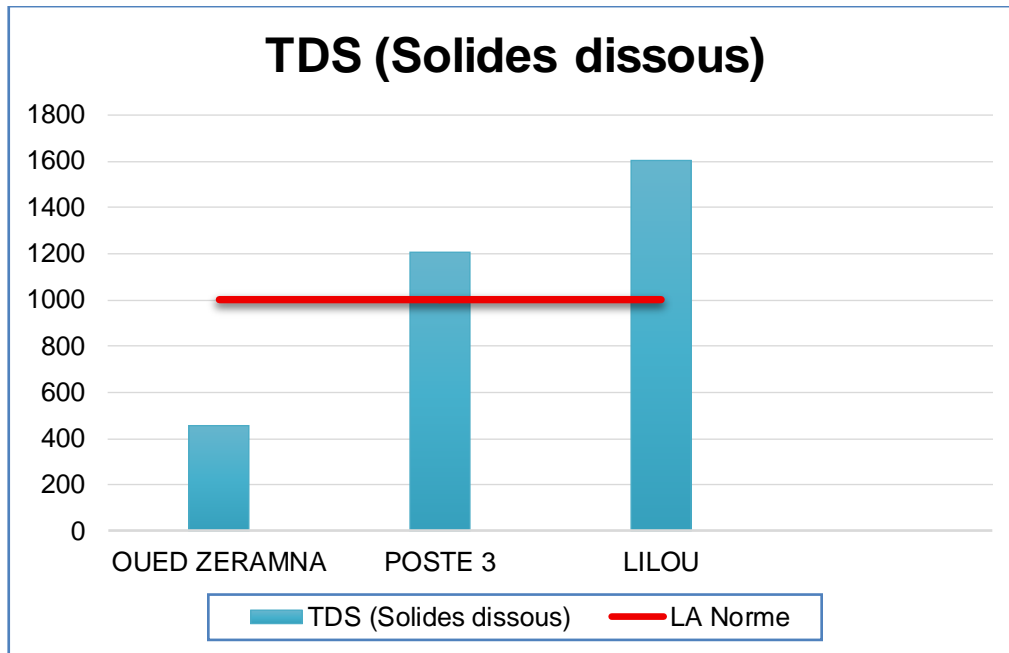


Figure 42 : Histogramme représentatif des valeurs moyennes de Solides dissous TDS

L'histogramme présente les valeurs moyennes de TDS mesurées dans trois sites différents: OUED ZERAMNA, POSTE 3 et LILOU, comparées à la norme (LA Norme) représentée par une ligne rouge horizontale.

- Site "OUED ZERAMNA"

La valeur du TDS à ce site est de 455 mg/L, bien inférieure à la norme fixée à 1000 mg/L, Cela indique une faible minéralisation de l'eau, traduisant une bonne qualité sur le plan minéral et l'absence d'accumulation significative de sels dissous. L'eau à ce niveau est adaptée à divers usages agricoles et industriels qui ne requièrent pas de spécifications strictes.

- Site "POSTE 3"

À ce site, le TDS atteint 1205 mg/L, dépassant la norme recommandée, Cette élévation du TDS est principalement due à une accumulation importante de sels dissous, souvent liée à des influences industrielles telles que le rejet d'effluents industriels ou d'autres activités humaines. Cette concentration élevée peut limiter certains usages agricoles, notamment pour les cultures sensibles à la salinité, et peut également affecter certains procédés industriels nécessitant une eau moins minéralisée.

- Site "LILOU"

Le site "LILOU" présente la valeur la plus élevée avec 1602 mg/L, Ce niveau très élevé de TDS indique une forte minéralisation, résultant probablement d'une pollution importante, notamment d'origine industrielle, ou de conditions géologiques particulières (présence de roches salines, évaporation accrue, etc.). Une telle concentration peut avoir des effets négatifs sur les sols et les cultures en cas d'irrigation, ainsi que sur certains équipements industriels.

2.5. Turbidité

La turbidité est une propriété optique de l'eau qui reflète sa capacité à diffuser ou à absorber la lumière incidente, plutôt qu'à la transmettre en ligne droite. Elle est causée par la présence de particules en suspension, telles que des sédiments, des matières organiques, des micro-organismes ou des précipités métalliques.

La turbidité est généralement mesurée en unités de turbidité néphélométrique (UTN), également appelées Nephelometric Turbidity Units (NTU) en anglais. Cette unité est basée sur la quantité de lumière diffusée à un angle de 90° par rapport à la source lumineuse incidente, selon la norme ISO 7027 (Segbeaya, 2012).

La mesure de la turbidité est essentielle dans le domaine de la qualité de l'eau, car elle permet d'évaluer la présence de particules susceptibles d'affecter la santé humaine et l'environnement.

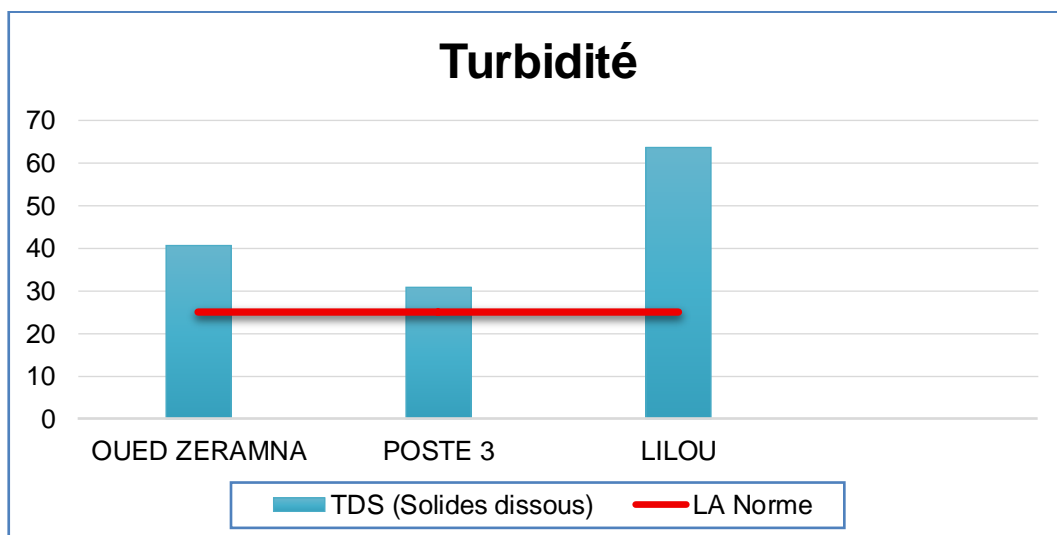


Figure 43 : Histogramme représentatif des valeurs moyennes de Turbidité

L'histogramme présente les valeurs moyennes de Turbidité mesurées dans trois sites

différents: OUED ZERAMNA, POSTE 3 et LILOU, comparées à la norme (LA Norme) représentée par une ligne rouge horizontale.

- Site "OUED ZERAMNA"

La turbidité mesurée à OUED ZERAMNA est d'environ 35 NTU, ce qui est légèrement au-dessus de la norme représentée par la ligne rouge (environ 25 NTU sur le graphique). Cette valeur indique une présence modérée de matières en suspension dans l'eau.

Une telle turbidité peut provenir de l'érosion des sols, du ruissellement ou d'apports organiques naturels. Bien que la valeur dépasse la norme, elle reste relativement modérée, ce qui signifie que l'eau présente à ce site n'est pas fortement trouble et pourrait convenir à certains usages après un traitement simple. Toutefois, pour l'alimentation en eau potable, un traitement supplémentaire serait nécessaire pour répondre aux exigences réglementaires.

- Site "POSTE 3"

Au niveau de POSTE 3, la turbidité est d'environ 25 NTU, soit très proche de la norme fixée. Cela traduit une eau relativement claire, avec peu de particules en suspension.

Cette situation suggère une moindre influence des sources de pollution ou une meilleure capacité d'autoépuration du milieu à ce niveau. L'eau de ce site est donc plus adaptée à la consommation humaine et à d'autres usages sensibles, sous réserve du respect des autres paramètres de qualité.

- Site "LILOU"

Le site LILOU affiche la valeur de turbidité la plus élevée, atteignant environ 60 NTU, soit plus du double de la norme. Cette forte turbidité signale une importante présence de matières en suspension, probablement liée à des apports massifs de polluants, à l'érosion ou à des rejets industriels et urbains. Une telle situation peut avoir des conséquences négatives sur la qualité de l'eau, la vie aquatique et les usages agricoles ou industriels, nécessitant des traitements avancés pour rendre l'eau conforme aux usages sensibles.

2.6. Dureté totale (THT)

La dureté totale de l'eau, appelée également titre hydrotimétrique total (THT), est une grandeur physico-chimique qui exprime la concentration totale des ions calcium (Ca^{2+}) et

magnésium (Mg^{2+}) dissous dans l'eau. Ces deux cations sont les principaux responsables du caractère « dur » ou « calcaire » de l'eau (Rodier J., 2009).

La dureté totale est généralement exprimée en degrés français (°f)

Elle peut également être exprimée en mmol/L ou en meq/L, en fonction des besoins analytiques.

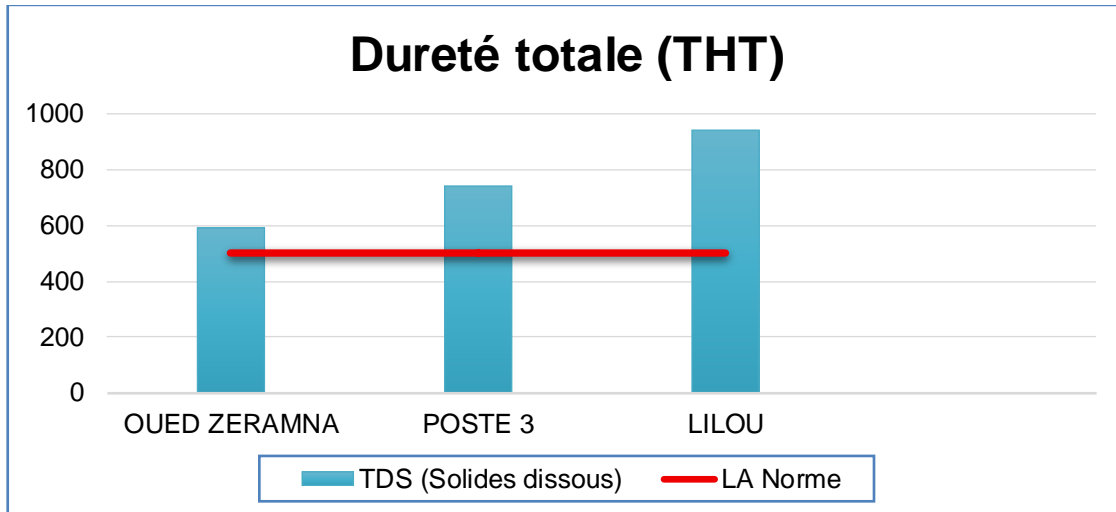


Figure 44 : Histogramme représentatif des valeurs moyennes de Dureté totale (THT)

L'histogramme présente les valeurs moyennes de THT mesurées dans trois sites différents : OUED ZERAMNA, POSTE 3 et LILOU, comparées à la norme (LA Norme) représentée par une ligne rouge horizontale.

- Site "OUED ZERAMNA"

La dureté totale mesurée à OUED ZERAMNA est d'environ 590 mg/L, ce qui dépasse la norme fixée (représentée par la ligne rouge à environ 500 mg/L). Cette valeur indique une eau relativement dure, principalement en raison de la présence de sels de calcium et de magnésium dissous. Bien que la valeur ne soit pas excessivement élevée, elle nécessite néanmoins un traitement pour la rendre conforme à la consommation humaine et pour éviter les dépôts de tartre dans les installations domestiques.

- Site "POSTE 3"

Au niveau de POSTE 3, la dureté totale atteint environ 740 mg/L, soit nettement au-dessus de la norme. Cette valeur traduit une eau très dure, ce qui peut entraîner des désagréments tels que l'entartrage des équipements et une altération du goût de l'eau. Un

adoucissement de l'eau est donc fortement recommandé avant toute utilisation domestique ou industrielle sensible.

- Site "LILOU"

Le site LILOU présente la valeur la plus élevée, avec une dureté totale d'environ 940 mg/L. Cette dureté très importante peut être due à des apports naturels (roches calcaires) ou à des sources de pollution. L'eau de ce site est inadaptée à la consommation humaine sans traitement avancé, et son utilisation peut causer des problèmes sérieux pour les appareils électroménagers et la santé, notamment chez les personnes sensibles.

2.7. Titre alcalimétrique (TA)

Le titre alcalimétrique (TA) correspond au volume d'un acide fort (habituellement HCl à 0,02 mol/L) nécessaire pour titrer 100 mL d'un échantillon d'eau jusqu'à la fin de réaction, détectée par l'indicateur phénolphthaléine au pH $\approx 8,2-8,3$, moment où le virage coloré s'achève.

Cette mesure reflète la somme des ions hydroxydes (OH^-) ainsi que la moitié des ions carbonate (CO_3^{2-}) présents dans l'eau (Boudia A. et Boualem A., 2017).

Le résultat est exprimé en degrés français ($^\circ\text{f}$ ou $^\circ\text{fH}$) :

$1^\circ\text{f} \approx 3,4 \text{ mg/L de OH}^-$

Ou $\approx 6,0 \text{ mg/L de CO}_3^{2-}$.

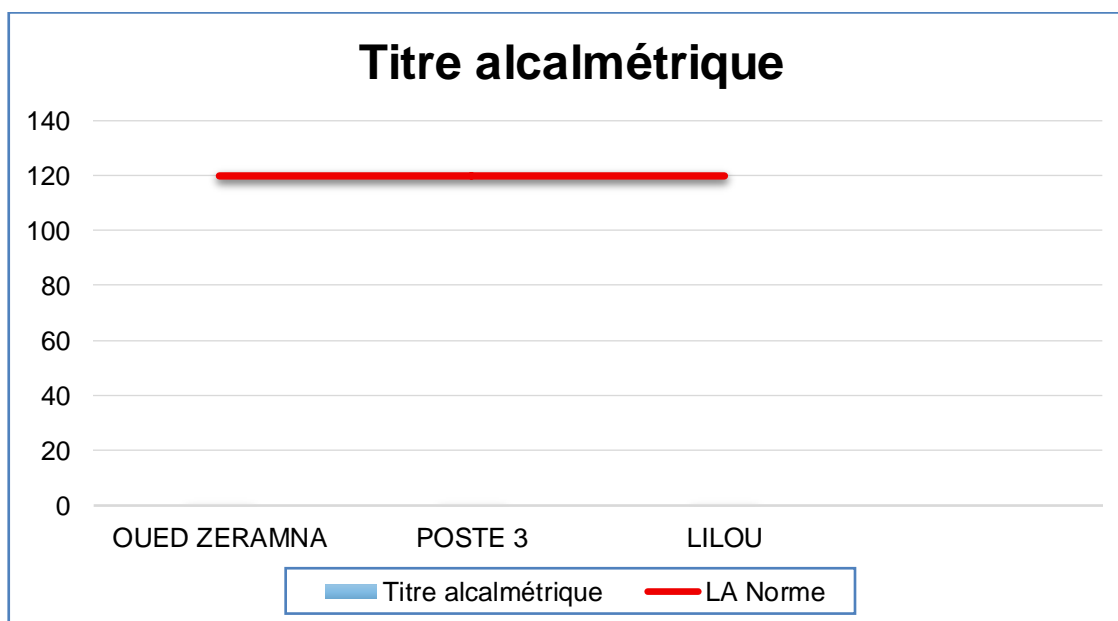


Figure 45 : Histogramme représentatif des valeurs moyennes de Titre alcalimétrique (TA)

L'histogramme présente les valeurs moyennes de TA mesurées dans trois sites différents: OUED ZERAMNA, POSTE 3 et LILOU, comparées à la norme (LA Norme) représentée par une ligne rouge horizontale.

- Site "OUED ZERAMNA"

Titre alcalimétrique (TA = 0 mg/l) : L'absence d'alcalinité libre rend l'eau chimiquement instable, sensible aux fluctuations de pH.

- Site "POSTE 3"

Titre alcalimétrique (TA = 0 mg/l) : Une absence d'alcalinité libre, ce qui rend l'eau plus sensible aux fluctuations du pH (déséquilibre chimique), ce qui peut entraîner des modifications des propriétés de l'eau et affecter négativement sa qualité et sa sécurité pour différents usages.

- Site "LILOU"

Titre alcalimétrique (TA = 0 mg/l) : Inexistant, ce qui indique une absence d'alcalinité libre, facteur de déséquilibre du pH.

2.8. Titre alcalimétrique complet (TAC)

Le Titre alcalimétrique complet (TAC) mesure la capacité totale d'alcalinité d'un échantillon d'eau, c'est-à-dire la quantité totale d'ions basiques (OH^- , CO_3^{2-} et HCO_3^-) qu'il faut neutraliser avec un acide fort (souvent HCl à 0,02 mol/L), jusqu'au point final de titrage à $\text{pH} \approx 4,5$, repéré par un indicateur de type méthyl-orange ou héliantine (**Boudia A. et Boualem A., 2017**).

Le TAC s'exprime en degrés français (°f ou °fH), où :

1 °f \approx 3,4 mg/L de,

Ou \approx 6,0 mg/L de,

Ou \approx 12,2 mg/L de.

Ces équivalences permettent de traduire le résultat d'un titrage en mg/L d'alcalinité totale.

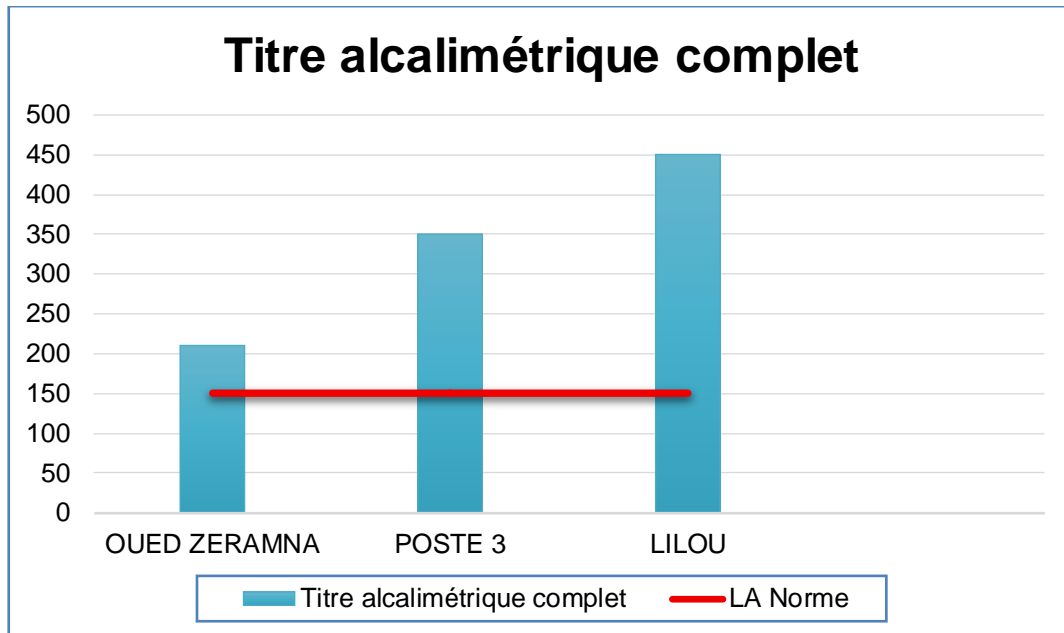


Figure 46 : Histogramme représentatif des valeurs moyennes de Titre alcalimétrique complet (TAC)

L'histogramme présente les valeurs moyennes de TAC mesurées dans trois sites différents : OUED ZERAMNA, POSTE 3 et LILOU, comparées à la norme (LA Norme) représentée par une ligne rouge horizontale.

- Site "OUED ZERAMNA"

La valeur mesurée du titre alcalimétrique complet à OUED ZERAMNA est de 210 mg/L, ce qui est supérieure à la norme (environ 150 mg/L, représentée par la ligne rouge).

Cette valeur indique une eau à alcalinité modérée à élevée. Cela signifie que l'eau possède une bonne capacité tampon contre les variations du pH, ce qui protège les installations contre la corrosion. Cependant, une alcalinité supérieure à la norme peut commencer à favoriser des dépôts de carbonate, surtout si d'autres paramètres (comme la dureté) sont également élevés.

- Site "POSTE 3"

Au niveau de POSTE 3, le titre alcalimétrique complet atteint 350 mg/L, dépassant largement la norme. Cette valeur traduit une alcalinité élevée, ce qui rend l'eau très résistante aux variations de pH. Toutefois, une telle alcalinité favorise la précipitation des sels (carbonates) dans les canalisations et équipements, pouvant entraîner des problèmes

d'entretien, de goût et d'efficacité des appareils électroménagers.

- Site "LILOU"

Le site LILOU présente la valeur la plus élevée, avec 450 mg/L. Cette alcalinité très importante peut résulter de la nature géologique du site (présence de roches riches en carbonates ou bicarbonates) ou de sources de pollution. Une telle eau risque fortement de provoquer des dépôts dans les installations, d'altérer le goût de l'eau et de la rendre inadaptée à la consommation humaine ou à certains usages industriels sans traitement spécifique pour réduire l'alcalinité.

2.9. Teneur en chlorures (Cl⁻)

Le chlorure (Cl⁻) est un ion négatif dérivé du chlore, couramment présent dans les eaux naturelles, notamment les eaux salées. Il constitue un indicateur important dans l'évaluation de la qualité de l'eau. Une concentration élevée peut résulter de pollutions d'origine domestique, industrielle ou agricole. Sa concentration est généralement mesurée en mg/L (milligrammes par litre) (Rodier J., 2009).

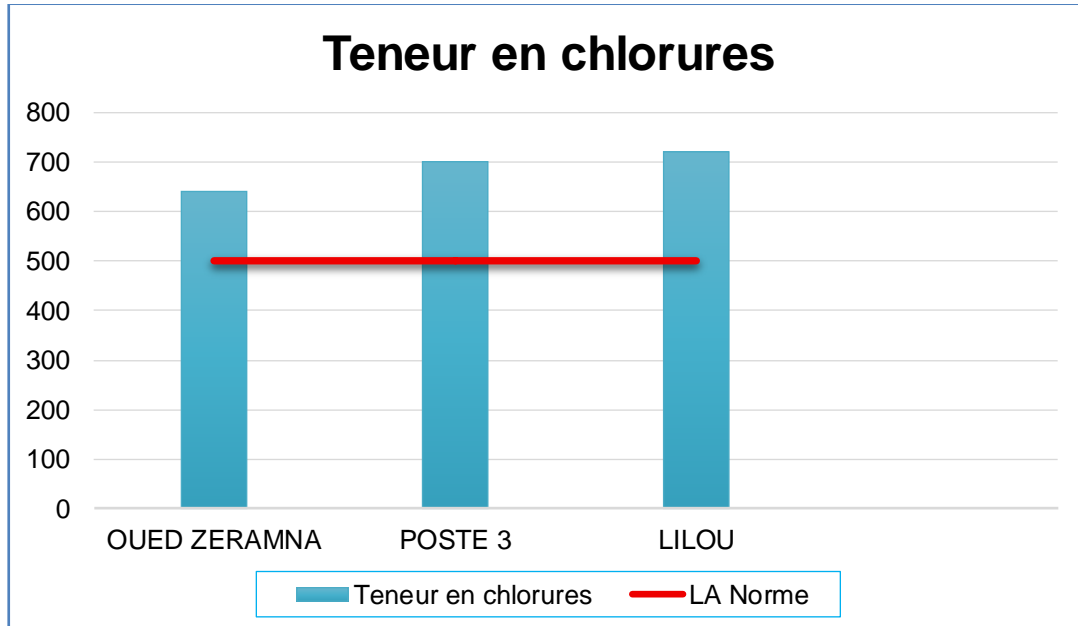


Figure 47 : Histogramme représentatif des valeurs moyennes de chlorures (Cl⁻)

L'histogramme présente les valeurs moyennes de chlorures (Cl⁻) mesurées dans trois sites différents : OUED ZERAMNA, POSTE 3 et LILOU, comparées à la norme (LA Norme) représentée par une ligne rouge horizontale.

- Site "OUED ZERAMNA"

Les résultats d'analyse montrent que la teneur en chlorures au niveau du site OUED ZERAMNA atteint 640 mg/L, ce qui dépasse largement la norme fixée à environ 450 mg/L (indiquée par la ligne rouge sur l'histogramme).

Cette élévation traduit une pollution importante, probablement due aux rejets industriels ou à d'autres sources riches en sels dissous. Un tel taux de chlorures affecte négativement la qualité de l'eau, provoque des problèmes de goût et augmente le risque de corrosion des canalisations. De plus, l'eau devient inadaptée à un usage domestique ou industriel sans traitement préalable.

- Site "POSTE 3"

Au niveau de POSTE 3, la concentration en chlorures atteint 700 mg/L, dépassant encore plus la norme. Cette persistance de valeurs élevées indique la présence d'une source de pollution importante ou des conditions environnementales similaires à celles du site OUED ZERAMNA. Un tel niveau de chlorures accroît les risques de corrosion des réseaux, nuit à la santé en cas de consommation prolongée, et favorise la formation de dépôts dans les appareils ménagers.

- Site "LILOU"

Le site LILOU enregistre la valeur la plus élevée de chlorures parmi les trois sites, avec 720 mg/L. Ce taux très élevé dépasse largement la limite recommandée, ce qui suggère la présence d'une source de pollution locale importante ou une particularité géologique du secteur. L'eau de ce site est fortement exposée aux risques de corrosion et devient impropre à la consommation humaine ou à un usage industriel sans traitement efficace. De plus, le goût de l'eau peut être altéré et les problèmes d'entartrage dans les équipements domestiques sont accentués.

2.10. Teneur en calcium (Ca^{2+})

Le calcium (Ca^{2+}) est un élément chimique appartenant aux métaux alcalino-terreux, présent dans la nature sous forme d'ions dissous dans l'eau. Il constitue un élément essentiel de l'environnement et sert d'indicateur de la dureté de l'eau. La concentration en calcium dans l'eau est généralement exprimée en mg/L (milligrammes par litre) ou en meq/L (milliequivalents par litre) (Rodier J., 2009).

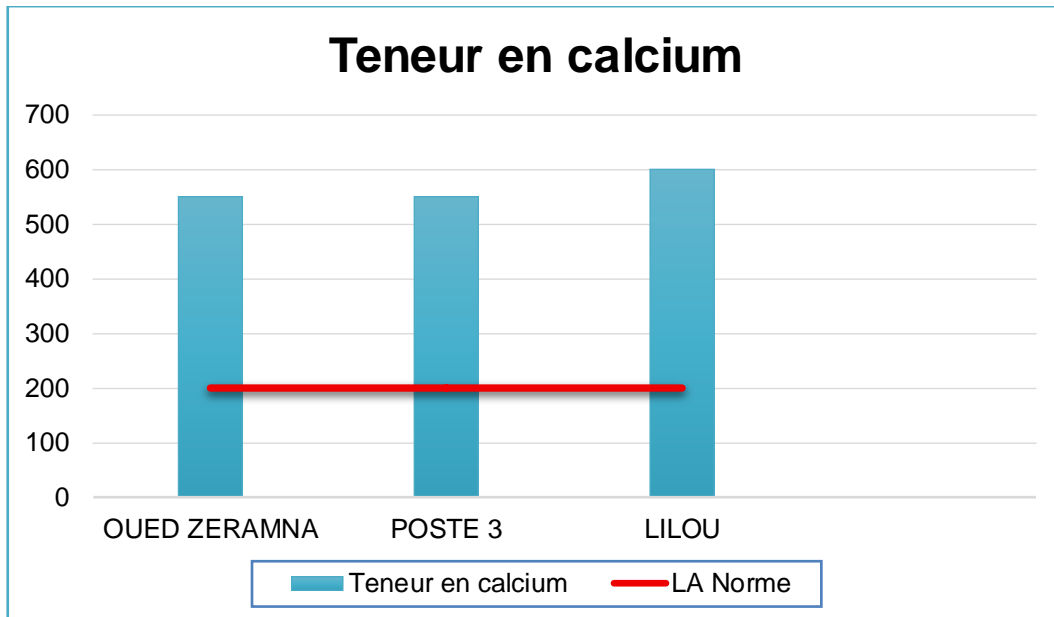


Figure 48 : Histogramme représentatif des valeurs moyennes de calcium (Ca^{2+})

L'histogramme présente les valeurs moyennes de calcium (Ca^{2+}) mesurées dans trois sites différents : OUED ZERAMNA, POSTE 3 et LILOU, comparées à la norme (LA Norme) représentée par une ligne rouge horizontale.

- Site "OUED ZERAMNA"

La concentration en calcium au niveau du site OUED ZERAMNA atteint environ 550 mg/L, ce qui dépasse largement la norme fixée à 200 mg/L (indiquée par la ligne rouge sur l'histogramme). Cette élévation s'explique principalement par la présence de nombreux rejets industriels dans la région, qui contribuent à l'enrichissement de l'eau en ions calcium. Une telle teneur entraîne une augmentation de la dureté de l'eau, provoquant des dépôts calcaires dans les canalisations et les appareils ménagers, ainsi qu'une altération du goût de l'eau.

- Site "POSTE 3"

Au niveau de POSTE 3, la concentration en calcium est également de l'ordre de 550 mg/L, dépassant elle aussi la norme recommandée. Cette persistance de valeurs élevées traduit l'influence des activités industrielles locales, qui rejettent des effluents riches en sels dissous, dont le calcium. L'eau devient alors inadaptée à la consommation sans traitement préalable et présente un risque accru de formation de tartre dans les installations domestiques et industrielles.

- Site "LILOU"

Le site LILOU enregistre la valeur la plus élevée de calcium parmi les trois sites, avec environ 600 mg/L. Ce taux très élevé suggère la présence de sources de pollution industrielle importantes ou des particularités géologiques locales favorisant la dissolution du calcium. L'eau de ce site est fortement exposée aux risques de précipitation du calcaire, ce qui rend son utilisation problématique sans traitement adapté.

3. Résultats des analyses microbiologiques

Les résultats des paramètres microbiologiques de l'eau de l'oued Saf-Saf sont rassemblés dans les tableaux ci - dessus.

Tableau 10 : Résultats d'analyse microbiologiques de l'eau d'oued Saf-Saf (**LILOU**) :

Paramètres	L'eau de lilou	Normes
Coliformes totaux/100ml	3000 CFU/ 100ml	<1000 CFU/ 100ml
Coliformes fécaux /100ml	2600 CFU/100ml	<1000 CFU/ 100ml
Streptocoques /100ml	Absence	<100 CFU/ 100ml
E.COL EN CFU /100ml	1900 CFU/100ml	<1000 CFU/ 100ml

Normes: journal officiel algérien du 02/01/2012 d'eau d'irrigation, OMS.

Tableau 11 : Résultats d'analyse microbiologique de l'eau d'oued Saf-Saf (**POST 3**) :

Paramètres	L'eau de post 3	Normes
Coliformes totaux/100ml	2500 CFU/ 100ml	<1000 CFU/ 100ml
Coliformes fécaux /100ml	2000 CFU/100m	<1000 CFU/ 100ml
Streptocoques /100ml	Absence	<1000 CFU/ 100ml
E.COL EN CFU /100ml	1600 CFU/ 100ml	<1000 CFU/ 100ml

Normes: journal officiel algérien du 02/01/2012 d'eau d'irrigation, OMS.

Tableau 12 : Résultats d'analyse microbiologique de l'eau d'oued Saf-Saf (**OUED ZIRAMNA**) :

Paramètres	L'eau de oued ziramna	Normes
Coliformes totaux/100ml	2300 CFU/ 100ml	<1000 CFU/ 100ml
Coliformes fécaux /100ml	2100 CFU/100m	<1000 CFU/ 100ml
Streptocoques /100ml	Absence	<1000 CFU/ 100ml
E.COL EN CFU /100ml	1700 CFU/ 100ml	<1000 CFU/ 100ml

Normes: journal officiel algérien du 02/01/2012 d'eau d'irrigation, OMS.

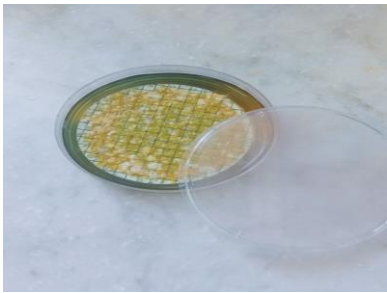
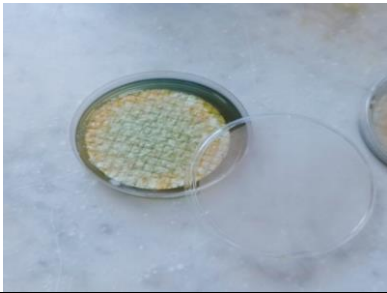

3.1. Résultats sous forme de diagramme en barre des analyses microbiologiques des eaux de surface du l'oued El safsaf :

3.1.1. Coliformes totaux (CT)

Les coliformes totaux sont un groupe de bactéries principalement non pathogènes, présentes naturellement dans l'intestin des humains et des animaux à sang chaud, mais aussi dans l'environnement (sol, eau, végétation).

La présence de coliformes totaux dans l'eau constitue un indicateur de contamination fécale potentielle ou de pollution organique.

Tableau 13 Résultats de l'analyse de la présence des Coliformes totaux (CT)

Lieu de l'échantillon	Résultat	Remarque
LILOU		Présence très importante de coliformes totaux dans l'échantillon de la zone LILOU
POST 3		Présence élevée de coliformes totaux détectée dans l'échantillon de la zone POST 3
OUED ZIRAMNA		Présence de coliformes totaux dans la zone Oued Ziramna.

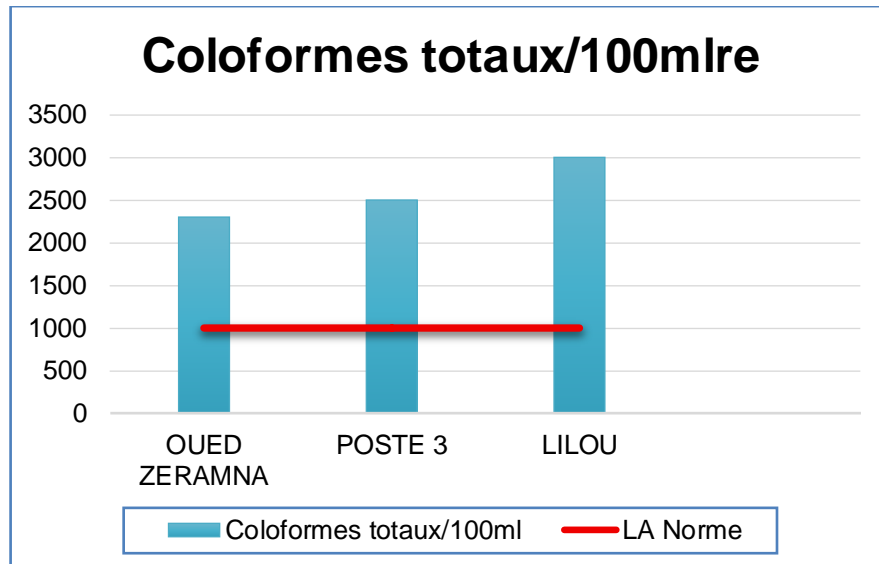


Figure 49 : Histogramme représentatif des valeurs moyennes des Coliformes totaux (CT)

L'histogramme présente les valeurs moyennes des Coliformes totaux (CT) mesurées dans trois sites différents : OUED ZERAMNA, POSTE 3 et LILOU, comparées à la norme (LA Norme) représentée par une ligne rouge horizontale.

- Site "OUED ZERAMNA"

Au niveau du site Oued Zeramna, la concentration en coliformes totaux atteint 2300 unités/100 ml, dépassant largement la norme de qualité. Cette contamination élevée s'explique principalement par les rejets industriels et domestiques dans la région, qui introduisent d'importantes quantités de matières organiques et de bactéries dans l'eau. Une telle situation rend l'eau impropre à la consommation sans traitement préalable et représente un risque sanitaire pour la population locale.

- Site "POSTE 3"

Au niveau de Poste 3, la concentration en coliformes totaux est de 2500 unités/100 ml, ce qui excède également la limite réglementaire. Cette pollution est essentiellement due aux rejets industriels et domestiques continus dans la zone, contribuant à une charge organique et bactérienne élevée dans l'eau. Ce niveau de contamination nécessite une surveillance régulière et un traitement efficace de l'eau avant tout usage domestique.

- Site "LILOU"

Le site Lilou enregistre la concentration la plus élevée en coliformes totaux, avec 3000 unités/100 ml. Cette valeur très importante résulte directement de rejets industriels et domestiques massifs dans la région, ce qui entraîne une pollution sévère de l'eau. L'eau de ce site est donc totalement impropre à la consommation humaine sans traitement avancé, et la persistance de cette situation peut engendrer des conséquences sanitaires et environnementales graves.

3.1.2. Les Coliformes fécaux (CF)

Sont des bacilles à Gram négatifs aérobies ou anaérobies facultatifs non sporulés, ne possédant pas d'oxydase capables de se multiplier en présence de sels biliaries et capables de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz.



Figure 50 : Résultat positif pour la présence des coliformes fécaux (photo originale)

La photo montre trois tubes à essai contenant du bouillon tryptophane, où l'on observe un trouble dans chaque échantillon. Cette turbidité indique la présence de coliformes fécaux, dont la croissance provoque l'opacification du milieu. Ce résultat confirme la contamination des échantillons, le trouble étant un critère classique utilisé en microbiologie pour détecter la pollution fécale dans l'eau ou les échantillons environnementaux.

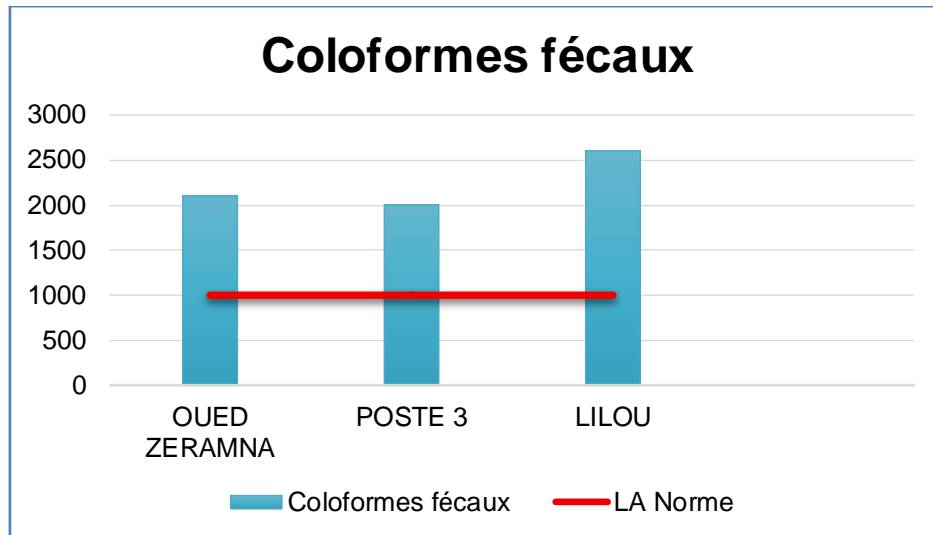


Figure 51 : Histogramme représentatif des valeurs moyennes des Coliformes fécaux (CF)

L'historgramme présente les valeurs moyennes des Coliformes fécaux (CF) mesurées dans trois sites différents : OUED ZERAMNA, POSTE 3 et LILOU, comparées à la norme (LA Norme) représentée par une ligne rouge horizontale.

- Site "OUED ZERAMNA"

Au niveau du site Oued Zeramna, la concentration en coliformes fécaux a atteint environ 2100 unités/100 ml, ce qui dépasse largement la norme réglementaire. Cette pollution est principalement due aux rejets domestiques et industriels non traités, exposant la population locale à des risques sanitaires et rendant l'eau impropre à la consommation sans traitement préalable.

- Site "POSTE 3"

Au poste 3, une concentration de 2000 unités/100 ml a été enregistrée, dépassant également la norme. Cette situation résulte du rejet continu d'eaux polluées, ce qui nécessite une surveillance et un traitement régulier de l'eau avant toute utilisation.

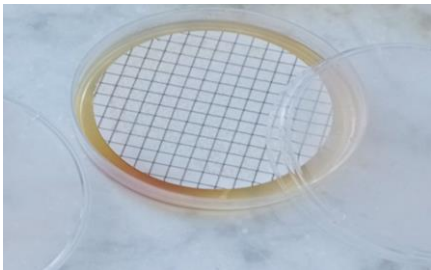
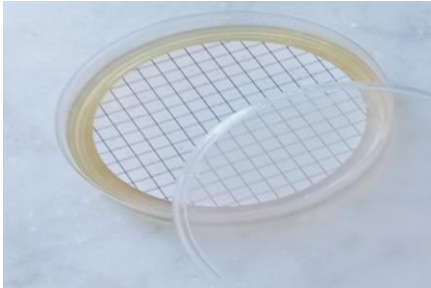
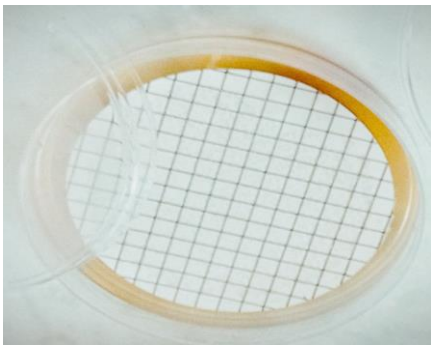
- Site "LILOU"

Au site Lilou, la concentration la plus élevée en coliformes fécaux a été relevée, atteignant 2600 unités/100 ml. Ce niveau très élevé reflète une pollution sévère due à des rejets massifs, rendant l'eau totalement impropre à la consommation humaine sans traitement avancé.

3.1.3. Les Streptocoques fécaux (SF)

Ou entérocoques intestinaux qui se présentent sous forme de Gram positive, sphérique ou ovoïde formant des chaînettes ne possédant pas de catalase mais possédant l'antigène du groupe D.

Tableau 14 : Résultats de l'analyse de la présence des streptocoques fécaux

Lieu de l'échantillon	Résultat	Remarque
LILOU		Absence des streptocoques fécaux
POST 3		Absence des streptocoques fécaux
OUED ZIRAMNA		Absence des streptocoques fécaux

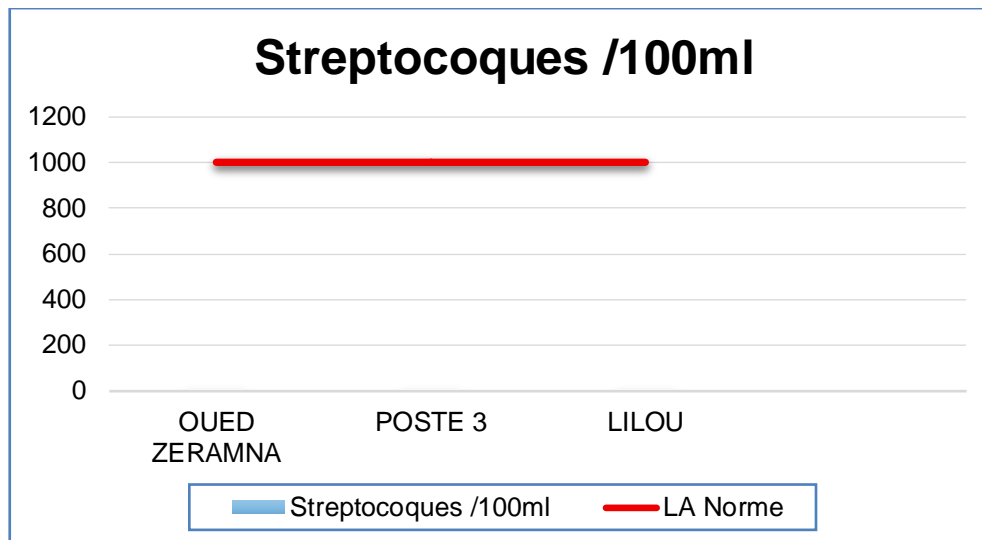


Figure 52 : Histogramme représentatif des valeurs moyennes des Streptocoques fécaux (SF)

L'histogramme présente les valeurs moyennes des Streptocoques fécaux (SF) mesurées dans trois sites différents : OUED ZERAMNA, POSTE 3 et LILOU, comparées à la norme (LA Norme) représentée par une ligne rouge horizontale.

- Site "OUED ZERAMNA"

L'absence de streptocoques fécaux ne permet pas d'écarter totalement le risque sanitaire, mais suggère fortement que la contamination pourrait être d'origine humaine récente ou bien intermittente.

- Site "POSTE 3"

L'absence de streptocoques fécaux, bien qu'en apparence positive, ne suffit pas à garantir totalement la potabilité ou la sécurité réelle de l'eau dans ce contexte.

- Site "LILOU"

L'absence de streptocoques fécaux peut être interprétée comme un simple indicateur secondaire non alarmant, mais cela ne compense pas, par ailleurs, les dépassements notés sur les autres paramètres.

3.1.4. Escherichia coli (E. Coli)

Sont des coliformes thermo tolérants ayant la particularité de produire de l'indole qui est un composant cristallisant à partir des milieux confirmatifs. Les E. Coli ont les mêmes

propriétés que les coliformes mais à 44° C.



Figure 53 : Résultat positif pour la présence d'Escherichia coli (E. Coli) (photo originale)

Sur la photo, on peut remarquer la présence d'un anneau rouge dans le bouillon tryptophane, ce qui constitue une preuve positive de la présence d'Escherichia coli. Cet anneau rouge résulte de la réaction à l'indole, produite par E. coli, qui réagit avec le réactif de Kovacs pour donner cette coloration caractéristique, confirmant ainsi la présence de cette bactérie dans l'échantillon.

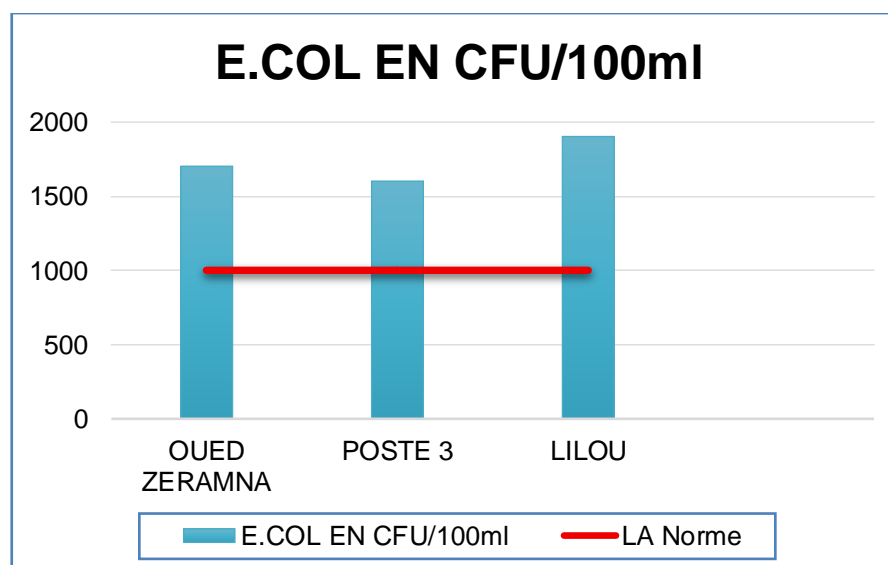


Figure 54 : Histogramme représentatif des valeurs moyennes des Escherichia coli (E. Coli).

L'histogramme présente les valeurs moyennes des Escherichia coli (E. Coli) mesurées dans trois sites différents : OUED ZERAMNA, POSTE 3 et LILOU, comparées à la norme (LA Norme) représentée par une ligne rouge horizontale.

- Site "OUED ZERAMNA"

La concentration d'Escherichia coli enregistrée à ce site est de 1700 UFC/100 ml, ce qui dépasse largement la norme réglementaire (ligne rouge sur l'histogramme). Cette élévation reflète une pollution évidente de l'eau, probablement due au rejet direct d'eaux domestiques ou industrielles non traitées dans l'oued. La persistance de cette situation entraîne une dégradation de la qualité de l'eau, la rendant impropre à la consommation humaine ou agricole sans traitement adéquat.

- Site "POSTE 3"

À la station 3, la concentration d'Escherichia coli est d'environ 1600 UFC/100 ml, ce qui est également supérieur à la norme réglementaire. Cela indique la présence d'une source de pollution continue dans la région, probablement due au rejet d'eaux usées ou de déchets issus d'activités humaines. Cette situation nécessite une surveillance régulière de l'eau et la mise en œuvre de procédures de traitement efficaces avant toute utilisation.

- Site "LILOU"

Au site de Lilou, la plus forte concentration d'Escherichia coli parmi les trois sites a été enregistrée, atteignant 1900 UFC/100 ml. Ce niveau très élevé reflète une pollution importante, probablement causée par des rejets massifs d'eaux contaminées ou l'absence d'infrastructures de traitement des eaux usées. Dans ce cas, l'eau devient totalement impropre à la consommation humaine ou à tout usage direct sans un traitement avancé et efficace.

4. Interprétation et discussion des résultats

- **Dégradation progressive de la qualité de l'eau**

Les résultats de l'analyse des paramètres physico-chimiques de trois échantillons prélevés dans le bassin versant de l'oued Saf-Saf (Oued Ziramna, Post 3, Lilou) montrent une dégradation progressive de la qualité de l'eau à mesure que l'on se rapproche de la zone industrielle.

- **Oued Ziramna**

Le pH est de 8,0, conforme aux normes, indiquant une eau légèrement basique et adaptée à divers usages.

La conductivité électrique est de 910 $\mu\text{S}/\text{cm}$, et les solides dissous totaux (TDS) sont à 455 mg/l, ce qui indique une minéralisation modérée.

La pollution est limitée, probablement d'origine agricole ou domestique.

Certains paramètres tels que la turbidité, la dureté, le titre alcalimétrique complet (TAC), les chlorures et le calcium dépassent les limites réglementaires, suggérant une pollution diffuse modérée.

- **Analyse microbiologique d'Oued Ziramna**

Les concentrations en coliformes totaux et fécaux dépassent largement les seuils recommandés, indiquant une contamination d'origine fécale.

La présence élevée d'*Escherichia coli* (*E. coli*) confirme une contamination récente et signale un risque élevé de présence de pathogènes.

L'absence de streptocoques fécaux ne permet pas d'écarter totalement le risque sanitaire, mais suggère que la contamination pourrait être récente ou intermittente.

- ✓ **Conclusion pour Oued Ziramna**

Les analyses physico-chimiques indiquent une pollution modérée de l'eau de l'Oued Ziramna, avec une augmentation de la turbidité, de la dureté et des chlorures, reflétant l'influence probable de sources agricoles ou domestiques. Les analyses microbiologiques révèlent une contamination bactérienne importante, notamment une forte présence d'*Escherichia coli*, signe d'une pollution fécale récente présentant un risque sanitaire élevé.

Cette pollution microbiologique est liée à la pollution chimique, car les matières organiques et les nutriments favorisent la prolifération bactérienne. Par conséquent, l'eau n'est pas potable sans traitement préalable et nécessite des mesures urgentes pour réduire la pollution et assurer sa sécurité.

- **Post 3 (avant la zone industrielle)**

La conductivité électrique est très élevée (2400 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et les solides dissous totaux atteignent 1602 mg/l, indiquant une minéralisation excessive.

On observe une augmentation significative de la dureté, des chlorures et du calcium.

La pollution est accrue, liée à des apports urbains, agricoles ou au drainage de sols contaminés, sans impact industriel direct.

- **Analyse microbiologique de Post 3**

Présence excessive de coliformes totaux et fécaux (2500 et 2000 UFC/100 ml respectivement), indiquant une pollution fécale probable due à des eaux usées non traitées ou à une infiltration d'eaux contaminées.

Le taux élevé d'E. Coli (1600 UFC/100 ml) confirme une pollution fécale récente, ce qui constitue un indicateur critique de risque sanitaire.

L'absence de streptocoques fécaux peut être considérée comme un indicateur secondaire non alarmant, mais ne compense pas les dépassements des autres paramètres.

- ✓ **Conclusion pour Post 3**

L'eau de Post 3 présente une minéralisation élevée et une pollution fécale importante, confirmée par la forte présence d'E. coli. Ces conditions rendent l'eau non conforme aux normes sanitaires et nécessitent une gestion urgente pour prévenir les risques pour la santé

- **Lilou (après la zone industrielle)**

Le pH est très élevé (9,1), indiquant une eau fortement basique susceptible de perturber la vie aquatique.

La turbidité est très élevée (63,6 NTU), la dureté extrême (940 mg/l CaCO₃), et le TAC très élevé (450 mg/l).

Les concentrations en chlorures (720 mg/l) et calcium (600 mg/l) dépassent largement les normes.

La conductivité électrique est très élevée (3200 µS/cm), témoignant d'un apport massif en ions dissous, probablement dû à des rejets industriels mal traités, notamment dans les secteurs de la pétrochimie et du raffinage.

- **Analyse microbiologique de Lilou**

Présence très élevée de coliformes totaux et fécaux, dépassant les limites réglementaires, indiquant une contamination fécale évidente due à des eaux usées domestiques ou industrielles non traitées.

Concentration élevée d'E. Coli (1900 UFC/100 ml), confirmant une pollution fécale récente et un risque sanitaire direct.

L'absence de streptocoques fécaux ne suffit pas à garantir la potabilité ou la sécurité de l'eau dans ce contexte.

✓ **Conclusion pour Lilou**

Les analyses de l'eau de Lilou révèlent une dégradation sévère de la qualité chimique et microbiologique, avec un pH élevé, une turbidité, une dureté et des concentrations élevées en chlorures et calcium, indiquant une forte pollution industrielle. Les analyses microbiologiques montrent une contamination fécale importante avec la présence d'Escherichia coli, représentant un risque sanitaire direct. Les eaux ne sont pas propres à l'usage humain sans un traitement urgent pour protéger la santé et l'environnement.

5. Analyse chronologique de l'évolution de la qualité de l'eau (d'Oued Ziramna à Lilou)

- **PH** : Tendance à la hausse (de 8,0 à Oued Ziramna à 9,1 à Lilou) : L'eau devient progressivement plus basique, ce qui peut nuire à la vie aquatique et reflète une augmentation de l'alcalinité due aux rejets industriels.
- **Température** : Augmentation progressive (de 22°C à Oued Ziramna à 31°C à Lilou) : Cette hausse peut être attribuée à l'influence des rejets industriels chauds ou à une moindre capacité de dilution près de Lilou.
- **Conductivité électrique et solides dissous totaux (TDS)** : Augmentation notable : Les valeurs faibles à Oued Ziramna augmentent fortement à Lilou, indiquant une concentration croissante en sels et minéraux, typique d'une pollution industrielle.
- **Turbidité** : Forte augmentation : La turbidité passe de niveaux modérés à Oued Ziramna à des niveaux très élevés à Lilou, reflétant une pollution persistante par des particules en suspension issues de rejets liquides non traités, de ruissellement contaminé ou d'érosion accrue.
- **Dureté, calcium, chlorures, titre alcalimétrique complet (TAC)** : Augmentation importante : Ces paramètres dépassent largement les normes à Lilou par rapport à Oued Ziramna, indiquant une pollution minérale stable et importante, probablement liée aux rejets industriels et à la géologie locale.

- **Titre alcalimétrique (TA) :** Constamment nul : L'absence de TA libre persiste aux deux sites, indiquant une instabilité chimique qui rend l'eau sensible aux variations de pH.

6. Origine probable de la pollution et implications environnementales

Une corrélation nette existe entre la proximité de la zone industrielle et la dégradation des paramètres physico-chimiques et microbiologiques de l'eau.

- La pollution est modérée en amont (Ziramna) et sévère en aval (Lilou), confirmant l'impact direct des rejets industriels insuffisamment traités ou non contrôlés.
- Les risques environnementaux comprennent la perturbation de l'écosystème aquatique, la diminution de la biodiversité, et l'impact sur les espèces sensibles aux variations du pH, de la turbidité et de la salinité.
- Les risques sanitaires concernent l'impropriété de l'eau à la consommation humaine même après un traitement simple, en raison de la dureté élevée, de la charge minérale importante et du risque de contamination chimique et microbiologique.
- Les risques agricoles et industriels incluent la salinisation des sols, la baisse de la productivité des cultures, ainsi que des problèmes d'entartrage et de corrosion des équipements.

La zone industrielle constitue un point critique de pollution dans le bassin versant de l'oued Saf-Saf. La qualité de l'eau se dégrade fortement en aval, nécessitant une surveillance continue, un traitement rigoureux des rejets à la source et des mesures de restauration des milieux naturels. Il est clair que plus on se rapproche de la zone industrielle, plus la pollution augmente.

7. Les impacts de la pollution de l'oued Saf-Saf sur la santé humaine, les milieux naturels et l'équilibre des écosystèmes

La pollution de l'oued Saf-Saf, due principalement aux rejets domestiques, industriels et agricoles non traités, représente une menace sérieuse pour la santé publique et l'environnement local. Cette dégradation de la qualité de l'eau affecte directement les populations riveraines exposées aux agents pathogènes et aux substances toxiques, mais elle compromet également les milieux naturels, notamment les sols et les cultures irriguées. À

plus long terme, cette pollution entraîne des déséquilibres au sein des écosystèmes aquatiques, menaçant la biodiversité et le fonctionnement écologique global du cours d'eau.

7.1. PH (> 8,5)

❖ Sur la santé humaine :

Effet cutané : Exposition répétée à une eau très alcaline provoquant irritation, sécheresse, rougeurs et possibles lésions cutanées légères.

Effet toxique systémique : L'alcalinité élevée augmente la perméabilité cutanée, facilitant l'absorption de substances toxiques (phénols), pouvant perturber l'équilibre hormonal à long terme.

Effet digestif (via les produits agricoles) : Consommation de légumes/fruits irrigués par cette eau pouvant irriter les muqueuses buccales et œsophagiennes, causant brûlures, difficultés à avaler, voire œsophagite alcaline.

❖ Sur les milieux naturels et l'équilibre des écosystèmes

- ✓ Réduction de la fertilité des sols par perturbation de l'absorption des nutriments essentiels.
- ✓ Modification de la composition et diversité microbienne, favorisant les espèces alcaliphiles, ce qui déséquilibre l'écosystème.
- ✓ Menace pour les espèces aquatiques sensibles à l'alcalinité, entraînant une diminution de la biodiversité.

7.2. Température (> 30 °C)

❖ Sur la santé humaine :

Effet cutané thermique : Exposition prolongée à une eau chaude provoquant dilatation des vaisseaux sanguins, rougeurs persistantes et risque accru de rash cutané.

Effet métabolique cutané : Augmentation de la transpiration et perte de minéraux essentiels, pouvant déséquilibrer l'hydratation corporelle.

Effet digestif (via les produits agricoles) : Favorise la prolifération de bactéries et champignons thermophiles sur les cultures, augmentant le risque d'intoxication alimentaire (nausées, vomissements, diarrhée).

❖ Sur les milieux naturels et l'équilibre des écosystèmes

- ✓ Accélération de la décomposition de la matière organique, épuisant l'oxygène dissous nécessaire aux organismes aquatiques.
- ✓ Perturbation des cycles de reproduction des organismes aquatiques, déséquilibrant les chaînes alimentaires.
- ✓ Promotion de l'eutrophisation par prolifération d'algues nuisibles, provoquant hypoxie et mortalité piscicole.

7.3. Conductivité électrique (> 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$)

❖ Sur la santé humaine :

Effet sensoriel : Sensation de picotement ou de brûlure au contact avec des plaies ou muqueuses buccales, liée aux variations ioniques.

Effet cellulaire cutané : Déséquilibre osmotique entraînant dessèchement cutané et spasmes musculaires localisés.

Effet digestif (via les produits agricoles) : Augmentation de la soif post-prandiale et aggravation de l'hypertension artérielle due à un apport excessif en sodium.

❖ Sur les milieux naturels et l'équilibre des écosystèmes

- ✓ Salinisation progressive des sols, réduisant leur capacité à soutenir les plantes sensibles.
- ✓ Inhibition de la croissance des plantes non tolérantes au sel, diminuant la diversité végétale.
- ✓ Modification de la diversité et de la répartition des microorganismes dans les sols et eaux, impactant les processus biochimiques.

7.4. Solides Dissous Totaux (TDS > 1000 mg/l)

❖ Sur la santé humaine :

Effet cutané : Les minéraux dissous se déposent sur la peau après évaporation, provoquant sécheresse, desquamation, rugosité et risque accru de fissures.

Effet sur les cheveux et le cuir chevelu : Accumulation de résidus minéraux rendant les cheveux ternes et rugueux, pouvant causer irritation, démangeaisons et pellicules.

Effet digestif (via produits agricoles) : Bioaccumulation possible de métaux lourds (ex. zinc, cuivre) dans les cultures, entraînant troubles digestifs chroniques comme indigestion, perte d'appétit ou diarrhée.

❖ **Sur les milieux naturels et l'équilibre des écosystèmes**

- ✓ Accélération de la dégradation de la structure du sol, réduisant sa capacité à retenir l'eau et les nutriments.
- ✓ Augmentation du risque d'accumulation de polluants et métaux lourds dans les plantes, affectant la sécurité alimentaire.
- ✓ Déséquilibre des éléments nutritifs dans le sol, perturbant l'écosystème agricole.

7.5. Turbidité (> 25 NTU)

❖ **Sur la santé humaine**

Effet mécanique/irritatif : Les particules en suspension peuvent provoquer des micro-blessures sur la peau et les muqueuses oculaires, augmentant le risque d'infections bactériennes secondaires.

Effet sur la barrière cutanée : Altération de la fonction protectrice de la peau, favorisant les infections cutanées profondes (furoncles, abcès).

Effet digestif (via produits agricoles) : Présence possible de pathogènes intestinaux (ex. amibes, giardia) dans les cultures, pouvant causer des infections intestinales sévères.

❖ **Sur les milieux naturels et l'équilibre des écosystèmes**

- ✓ Réduction de la pénétration de la lumière dans l'eau, nuisant à la photosynthèse des plantes aquatiques.
- ✓ Dépôt de sédiments sur les fonds, affectant les habitats benthiques.
- ✓ Risque accru d'inondations dû à l'accumulation de sédiments réduisant la capacité des lits fluviaux.

7.6. Dureté Totale (> 50 °F ou 500 mg/l CaCO₃)

❖ **Sur la santé humaine :**

Effet cutané allergique : Eau très dure favorisant sécheresse, aggravation d'eczéma et réactions allergiques localisées (rougeurs, démangeaisons).

Effet sur l'élasticité de la peau : Excès de calcium et magnésium altérant les fibres de collagène et d'élastine, accélérant le vieillissement cutané.

Effet digestif (via produits agricoles) : Consommation de produits irrigués par cette eau peut entraîner dépôt de sels dans le système digestif, provoquant troubles digestifs chroniques et constipation.

❖ **Sur les milieux naturels et l'équilibre des écosystèmes**

- ✓ Perturbation de l'équilibre calcique dans le sol, affectant la croissance de certaines plantes.
- ✓ Dépôt de sels sur les feuilles, réduisant l'efficacité photosynthétique et la productivité.
- ✓ Modification de la diversité et de la composition des micro-organismes du sol et de l'eau, impactant les processus biologiques.

7.7. Titre Alcalimétrique (TA > 120 mg/l)

❖ **Sur la santé humaine**

Effet Sur les muqueuses nasales : L'absence d'alcalinité libre réduit la capacité de l'eau à neutraliser les acides, ce qui peut irriter les muqueuses des sinus lors de l'inhalation ou du lavage du visage, provoquant sensations de brûlure ou de sécheresse.

Effet Sur les muqueuses buccales : Le rinçage avec une eau à TA nul peut causer picotements ou brûlures sur les lèvres et les gencives, surtout si les muqueuses sont sensibles ou lésées, en raison d'un déséquilibre ionique dans la bouche.

❖ **Sur les milieux naturels et l'équilibre des écosystèmes**

- ✓ **Instabilité chimique :** L'absence d'effet tampon rend l'eau vulnérable aux variations brusques du pH, nuisibles aux organismes sensibles.
- ✓ **Déséquilibre écologique :** Perturbation de l'équilibre acido-basique dans les sols et les eaux, affectant la croissance des plantes et des micro-organismes.

7.8. Titre Alcalimétrique Complet (TAC > 150 mg/l)

❖ **Sur la santé humaine**

Irritation cutanée et oculaire : L'eau fortement alcaline provoque sécheresse, rougeurs, démangeaisons et irritations lors du contact avec la peau et les yeux.

Troubles digestifs indirects : La consommation de produits agricoles irrigués avec cette eau peut entraîner des troubles digestifs dus à l'accumulation de sels alcalins dans les aliments.

Effet sur l'absorption minérale : L'alcalinité élevée peut perturber l'absorption des minéraux essentiels dans l'organisme.

❖ **Sur les milieux naturels et l'équilibre des écosystèmes**

- ✓ **Formation de dépôts calcaires (entartrage)** : Le TAC élevé favorise la précipitation de carbonates de calcium et magnésium, causant l'entartrage des canalisations et équipements.
- ✓ **Dégradation de la fertilité du sol** : L'accumulation de sels alcalins réduit la capacité du sol à retenir l'eau et les nutriments, affectant la croissance des plantes.
- ✓ **Modification des communautés microbiennes** : L'alcalinité excessive perturbe l'équilibre des micro-organismes du sol et de l'eau, ce qui peut nuire aux processus biologiques essentiels.

7.9. Chlorures (Cl⁻ > 500 mg/l)

❖ **Sur la santé humaine**

Irritation cutanée : Concentrations élevées provoquent dermatite de contact, surtout sur les zones sensibles ou fissurées, avec rougeurs, démangeaisons et sécheresse chronique.

Effets respiratoires : L'inhalation de vapeurs riches en chlorures peut irriter les muqueuses respiratoires supérieures, causant toux, congestion et difficultés respiratoires en cas d'exposition élevée.

Effets digestifs (via produits agricoles) : La consommation de légumes et fruits irrigués par une eau riche en chlorures augmente l'apport en sodium alimentaire, augmentant les risques d'hypertension et de troubles cardiaques, surtout chez les personnes vulnérables.

❖ **Sur les milieux naturels et l'équilibre des écosystèmes**

- ✓ **Salinisation des sols** : L'augmentation des chlorures accroît la salinité des sols, réduisant leur capacité à soutenir les plantes sensibles et dégradant les terres agricoles.
- ✓ **Toxicité pour la faune aquatique** : L'augmentation de la salinité de l'eau nuit aux organismes aquatiques et diminue la biodiversité.

- ✓ **Érosion et dégradation des habitats** : Accélération de l'érosion des sols et impact négatif sur la stabilité des habitats naturels.

7.10. Calcium (Ca^{2+}) > 200 mg/l)

❖ Sur la santé humaine

Système musculo-squelettique : Des concentrations élevées peuvent provoquer la calcification des tissus mous, conduisant à un durcissement des vaisseaux sanguins et à des douleurs articulaires chroniques.

Effets digestifs : La consommation de produits agricoles irrigués par une eau riche en calcium peut favoriser la formation de calculs rénaux et vésicaux, et entraver l'absorption d'autres minéraux essentiels comme le fer et le magnésium.

Effets cutanés : Peut provoquer des irritations locales, particulièrement chez les personnes à peau sensible, avec rougeurs et sécheresse aggravant les inflammations cutanées.

❖ Sur les milieux naturels et l'équilibre des écosystèmes

- ✓ **Croissance des plantes** : L'excès de calcium perturbe l'absorption d'autres éléments nutritifs, freinant la croissance de certaines plantes.
- ✓ **Propriétés du sol** : Augmente la dureté et modifie la structure physique du sol, affectant la perméabilité à l'eau et l'aération.
- ✓ **Micro-organismes du sol** : Influence la diversité et la composition des communautés microbiennes, modifiant les processus biochimiques essentiels.

7.11. Impacts microbiologiques (Coliformes totaux, coliformes fécaux, *Escherichia coli*, streptocoques)

❖ Sur la santé humaine

Maladies intestinales directes : La consommation de légumes et fruits irrigués avec ces eaux contaminées peut provoquer diarrhée aqueuse, crampes abdominales, nausées, vomissements, et infections intestinales chroniques.

Infections cutanées : Le contact avec l'eau contaminée ou les plantes irriguées peut causer des inflammations cutanées, démangeaisons et rougeurs, surtout en cas de plaies ou de peau sensible.

Infections respiratoires possibles : L'inhalation de brouillards ou vapeurs issus de ces eaux peut irriter les muqueuses respiratoires et provoquer une toux.

Risque de transmission de maladies : La présence de ces bactéries indique une contamination fécale grave, augmentant le risque de maladies telles que typhoïde, dysenterie et autres infections.

❖ **Sur les milieux naturels et l'équilibre des écosystèmes**

- ✓ **Dégradation de la qualité des cultures** : L'accumulation de microbes pathogènes dans les plantes menace la sécurité alimentaire et réduit la qualité des récoltes.
- ✓ **Contamination des sols et eaux** : Ces microbes polluent les sols et les nappes phréatiques, affectant la santé des plantes et des microorganismes bénéfiques.
- ✓ **Impact négatif sur la biodiversité** : La pollution microbienne perturbe l'équilibre des communautés microbiennes et les chaînes alimentaires dans les écosystèmes agricoles.

8. Solutions et recommandations

La vallée de Saf saf est considérée comme une ressource hydrique vitale qui fait face à d'importants défis en raison de la pollution croissante, résultant non seulement des diverses activités humaines mais aussi des activités industrielles intensives dans la région. Cette pollution affecte négativement la qualité de l'eau, l'environnement environnant et la santé des habitants, ce qui nécessite l'adoption de solutions et de recommandations efficaces pour réduire les sources de pollution et garantir la durabilité de l'environnement et des ressources en eau dans la vallée.

Pour remédier à cette situation, voici un ensemble de solutions et de recommandations :

	Actions	Calendrier	Responsables	Suivi
1. Application des techniques de production plus propre et réutilisation des eaux industrielles	<ul style="list-style-type: none"> • Équiper les usines de systèmes avancés de traitement des eaux (biologiques et chimiques). • Encourager le recyclage des eaux à l'intérieur des installations industrielles. • Remplacer les produits chimiques nocifs par des alternatives respectueuses de l'environnement. 	Mise en œuvre progressive sur 3 ans avec un soutien technique et financier.	<ul style="list-style-type: none"> • Ministère de l'Industrie. • Organismes de régulation industrielle. • entreprises industrielles. 	Rapports périodiques sur la qualité des eaux traitées et les taux de réutilisation.
2. Amélioration du traitement des eaux usées et contrôle des rejets	<ul style="list-style-type: none"> • Moderniser les stations d'épuration pour inclure un traitement avancé des polluants industriels et agricoles. • Installer des dispositifs de surveillance électronique pour suivre en temps réel la qualité des eaux rejetées. • Imposer des sanctions sévères aux contrevenants. 	Développement des stations sur 4 ans, avec installation des dispositifs de surveillance dès la première année.	<ul style="list-style-type: none"> • Ministère des Ressources en Eau. • municipalités • sociétés de gestion des eaux. 	Comités environnementaux et organismes de contrôle gouvernementaux.
3. Élaboration et mise en œuvre de réglementations strictes pour limiter la	<ul style="list-style-type: none"> • Actualiser la législation environnementale pour inclure des normes strictes sur les polluants. • Mettre en place 	Révision des lois durant la première année, application du système dans un délai	<ul style="list-style-type: none"> • Ministère de l'environnement. • autorités législatives. • organismes de contrôle. 	Rapports réguliers sur le respect et l'application des normes.

pollution	<p>un système de permis de rejet avec des conditions claires.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Créer des commissions spécialisées pour la surveillance et le suivi. 	de 2 ans.		
4. Gestion de l'utilisation des terres et protection des sources d'eau	<ul style="list-style-type: none"> • Délimiter des zones protégées autour des sources d'eau du bassin versant de l'Oued Saf Saf. • Promouvoir des pratiques agricoles durables en collaboration avec les agriculteurs. • Planter des ceintures végétales le long des berges pour réduire le ruissellement. 	Démarrage des actions dès la première année, achèvement prévu en 3 ans.	<ul style="list-style-type: none"> • Ministère de l'agriculture. • municipalités. • associations environnementales. 	Visites de terrain régulières et rapports d'évaluation.
5. Sensibilisation et éducation environnementale	<ul style="list-style-type: none"> • Organiser des ateliers et formations pour les ouvriers et agriculteurs. • Lancer des campagnes médiatiques via les réseaux sociaux et la radio. • Intégrer des modules environnementaux dans les programmes scolaires. 	Campagnes continues, début immédiat et renouvellement annuel.	<ul style="list-style-type: none"> • Ministère de l'Éducation. • ministère de l'environnement. • organisations de la société civile. 	Évaluation de l'impact des campagnes via des enquêtes et indicateurs comportementaux.

<p>6. Renforcement de la coopération public-privé</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Établir des partenariats entre le gouvernement et les entreprises pour des projets environnementaux. • Offrir des incitations financières et techniques aux entreprises écoresponsables. • Soutenir la recherche et l'innovation dans les technologies de traitement des eaux. 	<p>Lancement des initiatives dès la première année, extension sur 5 ans.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ministère de l'industrie. • ministère de l'environnement. • Organismes de régulation industrielle. 	<p>Rapports périodiques sur les projets réalisés et leurs impacts.</p>
<p>7. Évaluation et gestion des risques environnementaux</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Réaliser régulièrement des études d'impact environnemental. • Élaborer des plans d'urgence pour faire face aux incidents environnementaux. • Allouer des budgets pour le suivi et l'amélioration de la qualité de l'eau. 	<p>Lancement des initiatives dès la première année, extension sur 5 ans.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ministère de l'Environnement. • centres de recherche. • municipalités. 	<p>Rapports d'évaluation des impacts et plans d'urgence.</p>

La principale source de pollution de l'Oued Saf Saf est la zone industrielle de Skikda, où les usines rejettent leurs eaux usées partiellement ou non traitées directement dans l'oued, provoquant une accumulation de polluants organiques et de métaux lourds, dégradant ainsi la qualité de l'eau.

8.1. Solutions et technologies avancées pour le traitement et la gestion durable des eaux industrielles

Actions :

- Installation de systèmes avancés de traitement des eaux industrielles utilisant plusieurs techniques telles que le traitement biologique, la filtration membranaire (osmose inverse) et le traitement thermique pour recycler l'eau et réduire les polluants.
- Application de techniques de gestion de la saumure (brine management) pour réduire le volume de saumure généré par les opérations de dessalement et de traitement.
- Utilisation d'énergies renouvelables (comme l'énergie solaire) pour alimenter les stations de dessalement et de traitement, rendant les opérations plus durables.
- Développement de stations de dessalement d'eau de mer dans des zones stratégiques telles que Skikda pour fournir de l'eau industrielle et agricole de haute qualité.
- Intégration de systèmes de surveillance intelligents pour suivre la qualité des eaux industrielles et traiter les données en temps réel afin d'assurer le respect des normes.

Calendrier :

- Mise en œuvre de la première phase d'installation des systèmes de traitement sur 2 à 3 ans.
- Mise en service des nouvelles stations de dessalement à Skikda entre 2025 et 2030 dans le cadre d'un plan national.
- Mise à jour et extension des systèmes de surveillance intelligente dans les 1 à 2 ans suivant le démarrage des opérations.

Responsables :

- Ministère de l'Industrie, Ministère des Ressources en Eau, sociétés industrielles de gestion de l'eau, Organismes de régulation industrielle.

- Entreprises spécialisées dans les technologies de traitement de l'eau telles que IDE Technologies ainsi que des sociétés locales et internationales.
- Municipalités et autorités environnementales chargées du contrôle de conformité.

Suivi :

- Rapports périodiques sur la qualité des eaux traitées et les niveaux de réutilisation.
- Utilisation de systèmes de surveillance électronique connectés permettant un suivi direct et une analyse continue des données.
- Inspections régulières des autorités de contrôle pour garantir l'application des technologies et des normes.
- Évaluation périodique de l'impact environnemental des stations afin d'assurer la durabilité des opérations et de réduire les impacts environnementaux.

Ces solutions permettront de réduire efficacement la pollution industrielle dans l'Oued Saf Saf, de protéger l'environnement et la population locale, tout en assurant une gestion durable des ressources en eau dans la région de Skikda

La wilaya de Skikda est considérée comme une zone stratégique dans le nord-est de l'Algérie, caractérisée par une vaste façade maritime et un écosystème diversifié, ce qui en fait un pôle dynamique pour l'activité industrielle, notamment dans le secteur de la pétrochimie. Cependant, cette expansion industrielle, conjuguée à l'activité agricole et à la croissance urbaine rapide, a eu un impact lourd sur l'environnement local, en particulier sur les ressources en eaux superficielles.

L'oued Safsaf figure en tête de ces ressources, étant l'un des grands bassins hydriques côtiers de la région, jouant un rôle écologique fondamental. Pourtant, il subit une dégradation continue de la qualité de ses eaux, en raison des impacts directs des sources de pollution industrielle, agricole et urbaine, ce qui le rend vulnérable à des déséquilibres graves menaçant son équilibre naturel.

Dans ce contexte, un protocole analytique complet a été adopté, incluant le prélèvement d'échantillons en trois points principaux le long du cours de l'oued, soumis à des analyses physiques, chimiques et microbiologiques réalisées au laboratoire central de l'Algérienne des Eaux – unité de Skikda, situé au siège de l'ancienne société CONDOTTE dans la zone de Zaramna.

Les résultats des analyses ont révélé une dégradation complexe de la qualité de l'eau à mesure que l'on se rapproche de la zone industrielle. Sur le plan physique et chimique, une augmentation nette du pH, de la conductivité électrique (CE), des solides dissous totaux (TDS), de la turbidité, de la dureté totale (THT), du taux de calcium (Ca^{2+}), des chlorures (Cl^-) et de l'alcalinité totale (TAC) a été enregistrée, avec une absence d'alcalinité libre (TA libre), témoignant d'une concentration élevée en substances minérales et polluants industriels, engendrant un déséquilibre chimique notable des eaux.

Du point de vue microbiologique, une présence dense de coliformes totaux et fécaux, ainsi que d'*Escherichia coli*, a été détectée, indiquant une pollution fécale active et grave résultant du rejet non traité des eaux usées domestiques et industrielles, constituant un risque direct pour la santé publique.

Les données enregistrées confirment que la zone industrielle constitue un foyer critique de pollution dans le bassin hydrique de l'oued Safsaf, où les niveaux de dégradation environnementale les plus élevés sont observés aux points les plus proches.

Cette gradation environnementale révèle clairement une relation directe marquée : la gravité de la pollution des eaux augmente proportionnellement à la proximité de la zone industrielle, avec des indicateurs dépassant largement les seuils environnementaux admis.

Les mesures de terrain montrent que les eaux des zones adjacentes à la zone industrielle ont atteint des niveaux critiques de pollution, les rendant impropres à la consommation humaine, à l'usage industriel, voire agricole, en raison de leur dégradation chimique et biologique sévère. Cette réalité de terrain illustre la relation directe et manifeste entre les activités industrielles non réglementées et la dégradation rapide de la qualité des eaux de l'oued Safsaf, en plus des rejets humains non traités, reflétant une contradiction frappante entre la force économique nationale que représente cette région et sa vulnérabilité environnementale croissante, menaçant la stabilité écologique du système hydrique.

Face à cette situation environnementale préoccupante, il devient impératif d'adopter une gouvernance environnementale rigoureuse, reposant sur un suivi périodique efficace, un contrôle strict des sources de pollution, ainsi que la mise en œuvre de programmes de réhabilitation environnementale globaux et durables, visant à protéger l'oued Safsaf en tant que ressource vitale, pilier essentiel de l'équilibre écologique, garantissant sa pérennité au bénéfice des générations futures.

- Gueddah, D. (2003). Évaluation de la pollution industrielle et urbaine dans la région de Skikda : impact sur l'écosystème marin côtier [Mémoire de magistère, 145 p.]. Université Badji Mokhtar, Annaba.
- Mezedjri, A. (2008). Modélisation de l'impact de la pollution industrielle hydrique dans le golfe de Skikda (littoral Est algérien) [Thèse de doctorat ès sciences de la mer, 9 p.]. Université Badji Mokhtar, Annaba.
- Gueddah, D. (2015). Évaluation de la pollution industrielle et urbaine dans la région Est algérienne (Skikda) [Thèse de doctorat en sciences de la mer, 8 p.]. Université Badji Mokhtar, Annaba.
- Amiour, A. (2005). Les zones préférentielles de la mondialisation en Algérie : Exemple de Skikda [Mémoire de magistère, 156 p.]. Université Mentouri, Constantine.
- Benamira, F. (2017). Étude diachronique de l'évolution de la végétation forestière [Mémoire de magistère, 46 p.]. Université des Frères Mentouri, Constantine.
- Boumezbeur, A. (2001). Atlas des zones humides algériennes d'importance internationale (56 p.). Direction Générale des Forêts (D.G.F.), Alger.
- Roubault, M. (1934). La Kabylie de Collo : étude géologique (n° 10, 272 p.). Bulletin du Service de la Carte géologique de l'Algérie, Descriptions régionales.
- Naili, M. (2024). Impact des hydrocarbures sur la faune et la flore marines : cas de Skikda [Mémoire de master, 10 p.]. Université Frères Mentouri, Constantine.
- Agence Nationale de Développement de l'Investissement (A.N.D.I.). (2013). Rapport annuel.
- Direction de la Pêche de Skikda. (2008). Rapport institutionnel sur la production halieutique et le développement du secteur. Direction de la Pêche et des Ressources Halieutiques, Skikda.
- Labar, A. (2009). Évaluation de la pollution des eaux souterraines dans un milieu industriel : cas de la zone industrielle de Skikda, Nord-Est algérien [Thèse de doctorat, 9 p.]. Université Badji Mokhtar, Annaba.
- Ben Rabah, A. (2006). État actuel des ressources en eau dans la wilaya de Skikda (essai de synthèse) : bilan – perspective [Mémoire de magistère, 29–30 p.]. Université Badji Mokhtar, Annaba.
- Boucenna, N. (2007). Impact de la décharge publique sur la qualité des eaux souterraines : cas de Zef-Zef (Skikda) [Mémoire de magistère, 23–39 p.]. Université Badji Mokhtar, Annaba.
- Hafsi, A. (2023). Évaluation de la pollution dans un environnement industriel en utilisant des indices de pollution par les métaux lourds et des isotopes stables : étude de cas de la zone industrielle de Skikda, Nord-Est de l'Algérie. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 18(1), 33–55.

- DEGREMONT. (1989). Mémento technique de l'eau (Tome 1, pp. 5, 24–25). Techniques & Documentation, Paris.
- Desjardins, R. (1997). Le traitement des eaux (2e éd.). Éditions XYZ, Montréal.
- BOEGLIN, J.-C. (s.d.). Propriétés des eaux naturelles. Technique de l'ingénieur – Traité Environnement.
- BENGOUGA, K. (2010). Contribution à l'étude du rôle de la végétation dans l'épuration des eaux usées dans les régions arides [Thèse de doctorat]. Université Mohamed Khider Biskra.
- GHERARA, N. (2019). Étude des performances de la station d'épuration des eaux usées de la région Haoud Berkaoui [Thèse de doctorat]. Université Kasdi Merbah – Ouargla. <https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/handle/123456789/22254>
- METAHRI, M. S. (2012). Élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes [Thèse de doctorat]. Université Mouloud Mammeri.
- Krid, L., & Bouldjedri, M. (2006). Évaluation spatio-temporelle de la qualité physico-chimique des eaux du lac El-Kennar [Thèse de doctorat]. Université de Jijel.
- Dehbi, F. Z. (2015). Étude comparative des performances d'un lit bactérien à garnissage en pouzzolane de Beni Saf et d'un lit bactérien à garnissage plastique [Thèse de doctorat]. Université d'Aïn Témouchent.
- Attia, A., & Ghezali, L. (2015). Analyses physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage "Aïn Zada" [Mémoire de maîtrise]. Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi.
10. Kennish, M. J. (2008). Ecology of Estuaries: Anthropogenic Effects (pp. 415–417). CRC Press.
- Benkaddour, B. (2018). Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'oued Cheliff (Algérie) [Thèse de doctorat]. Université de Perpignan & Université de Mostaganem.
- Botta, A., & Bellon, L. (2001). Pollution de l'eau et santé humaine. Laboratoire de Biogénotoxicologie et Mutagenèse Environnementale, Université Euro-Méditerranée TEHYS.
- Duguet, J.-P., Bernazeau, F., Cléret, D., Gaid, A., Laplanche, A., Moles, J., Monteil, A., Riou, G., & Simon, P. (2006). Réglementation et traitement des eaux destinées à la consommation humaine (1re éd.). Paris : ASTEE.
- Regsek, F. (2002). Analyse des eaux : aspect réglementaire et techniques. CRDP Aquitaine.
- Mechati, F. (2006). Étude des paramètres physico-chimiques avant et après traitements des rejets liquides de la raffinerie de Skikda [Mémoire de maîtrise]. Université de Skikda, Faculté des Sciences.

- Rodier, J. (2005). L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eaux de mer (8e éd., pp. 1008–1043). DUNOD Technique.
17. Suschka, J., & Ferreira, E. (1986). Activated sludge respirometric measurements. *Water Research*, 20, 137–144.
- Mathieu, R., & Pieltain, E. (2003). Flow simulation in West Africa: Implementation of a space monthly hydrological modelling procedure. *Journal of Hydrology*, soumis.
- Makhoukh, M., Sbaa, M., Berrahou, A., & Van Clooster, M. (2011). Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (Maroc oriental). *LARHYSS Journal*, (9).
- ONEDD. (2023). Wilaya de Skikda. L'Observatoire national de l'environnement et du développement durable. <https://www.onedd.dz/wilaya-skikda>
- Pierre, J., Lienard, A., Héduit, A., & Duchene, P. (1990). Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites collectivités [Document technique]. Ministère de l'Environnement, France.
- Halder, J. N., & Islam, M. N. (2015). La pollution de l'eau et son impact sur la santé humaine. *Revue de l'environnement et de l'humain*, 2(1), 36–46.
- Rodier, J., et al. (1996). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer (8e éd., pp. 557–570, 968–1079). DUNOD.
- PNUE / OMS. (1977). Recommandations pour la surveillance sanitaire des zones côtières à usage récréatif et des zones conchylicoles. Bureau régional de l'OMS pour l'Europe, Copenhague, 168 p.
- Joly, B., & Reynaud, A. (2003). Entérobactéries : systématiques et méthodes d'analyses (356 p.). Paris : Édition technique et documentation.
- Mizi, A. (2006). Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de Béjaïa et valorisation des déchets oléicoles [Thèse de doctorat]. Université Badji Mokhtar.
- Kamble, S. M. (2014). Pollution de l'eau et problèmes de santé publique dans la ville de Kolhapur, dans le Maharashtra. *Revue internationale de publications scientifiques et de recherche*, 4(1), 1–6.
- Ahmad, S. M., Yusafzai, F., Bari, T., et al. (2014). Évaluation des métaux lourds dans les eaux de surface de la rivière PanjkoraDir Lower, KPK Pakistan. *Journal of Biology and Environmental Sciences*, 5, 144–152.
- Corcoran E., Nellemann C., Baker E., et al. (2010). L'eau malade ? Le rôle central de la gestion des eaux usées dans le développement durable. Une évaluation de réponse rapide, Programme des Nations Unies pour l'environnement.

- Nel, L. H., & Markotter, W. (2009). Maladies infectieuses d'origine hydrique nouvelles et émergentes. *Encyclopédie du système de support de vie*, 1:1-10.
- Ullah, S., Javed, M. W., Shafique, M., et al. (2014). Une approche intégrée pour l'évaluation de la qualité de l'eau potable à l'aide du SIG : Une étude de cas de Lower Dir. *Journal des sciences de la Terre himalayenne*, 47(2), 163–174.
- Krishnan, S., & Indu, R. (2006). Contamination des eaux souterraines en Inde : Discuter des processus physiques, de la santé et des dimensions socio-comportementales. IWMI-Tata Water Policy Research Program, Anand, Inde.
- Paul, M. J., & Meyer, J. L. (2001). Ruisseaux dans le paysage urbain. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 32(1), 333–365.
- Chapman, P. M., & Wang, F. Y. (2001). Évaluation de la contamination des sédiments dans les estuaires. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20(1), 3–22.
- Smith, V. H. (2003). L'eutrophisation des écosystèmes marins d'eau douce et côtiers est un problème mondial. *Environmental Science and Pollution Research*, 10(2), 126–139.
- Bouaroua, A. (2013). Diagnostic de fonctionnement de la station d'épuration de la base de vie de SONATRACH de Haoud Berkaoui et essai d'amélioration du rendement épuratoire par filtration sur sable local [Mémoire de maîtrise]. Université Saad Dahlab – Blida I.
- Ben kaddour, B. (2018). Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Cheliff (Algérie). [En ligne] Thèse de doctorat en Chimie. Perpignan: Université de Perpignan, 193 p. Format PDF. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01955103/document> (consulté le 10/04/2025).
- Koller, E. (2009). Traitement des pollutions industrielles : Eau, air, déchets, sols et boues, 2e édition. Paris: Dunod, 569p. ISBN 978-2-10-052104-3.
- Makhoukh, M., Sbaa, M., Berrahou, A., & Clooster Van M. (2011). Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (Maroc oriental). *Larhyss Journal*, no 09, 149-169 p.
- SegbeaYa, K. N. (2012). Evaluation de l'impact des déchets ménagers de la ville de Kara (Togo) sur la qualité de la rivière Kara. Thèse de doctorat en Chimie et Microbiologie de l'eau. Lomé : École doctorale, Science - Technique - Santé. 204p.

Table des matières

DÉDICACE

REMERCIEMENTS

Liste des Tableaux.....	I
Liste des figures.....	II
Liste des abréviations.....	III
Résumé.....	IV
Introduction Générale	1

CHAPITR 01 :Présentation de la région d'étude

Introduction.....	5
1.Description de la région de Skikda :	5
1.1. La situation géographique de la région de Skikda :	5
1.2. Données océanographiques.....	6
1.2.1. Bathymétrie :	6
1.2.2. Hydrodynamisme :	6
1.3. Données climatologiques	7
1.3.1. Le vent :.....	9
1.4. Données naturelles.....	10
1.4.1. Topographie :	10
1.4.2. Les montagnes :.....	11
1.4.3. Les plaines :.....	12
1.4.4. Les piémonts :	12
1.4.5. Hydrographie	12
1.5. Zone côtière	14
1.6. Milieu économique et social de la région d'étude	15
1.6.1. Démographie et population :	15
1.6.2. Situation économique :.....	15
2. Description de la zone industrielle de SKIKDA	20

2.1. Description générale :	20
2.2. Description détaillée des principales unités industrielles de la zone	21
2.2.1. Le Complexe Pétrochimique « CP1/K » :	21
2.2.2. Le Complexe de Raffinage du Pétrole Brut (RA1/K) :	22
2.2.3. Le Complexe de Gaz Naturel Liquéfié (GL1/K) :	23
2.2.4. Division Transport des Hydrocarbures (ex : U.T.D) :	24
2.2.5. Centrale Thermique Électrique (C.T.E) :	25
2.2.6. Entreprise de Production et de Distribution des Gaz Industriels (ENGI) :	25
2.Présentation de la zone d'étude	26
3.1. Situation du sous bassin de Skikda :	26
3.2. Situation géographique de l'Oued Saf-Saf	27
1.3.1. Principaux affluents de l'Oued Saf-Saf	27
4. Oued Sefsef entre nature et industrie	29
Conclusion	30
Chapitre 02 :Généralités sur la Pollution des eaux	
Introduction	33
1. Définition de l'eau	33
2. Ressources hydriques naturelles	34
2.1. Eaux souterraines	34
2.2. Eaux de pluie	34
2.3. Eaux de surface	35
2.4. Eaux de rivière	35
2.5. Eaux de lac	35
2.6. Eaux de mer	37
3. Définition de la pollution	37
3.1. Définition de la pollution de l'eau :	38
3.1.1. Origines de la pollution de l'eau :	38
3.1.1.4. POLLUTION PLUVIALE	39
3.1.2. Les différents types de la pollution de l'eau	39
4. Les caractéristiques des eaux usées (industrielles, domestiques...)	41
4.1. Les paramètres physiques-chimique de la qualité de l'eau	41
4.1.1. Température :	41
4.1.2. La turbidité :	41

4.1.3. Les matières en suspension (MES) :	42
4.1.4. Potentiel d'hydrogène (pH) :	42
4.1.5. Demande chimique en oxygène (DCO) :	42
4.1.6. La demande biologique en oxygène (DBO5) :	42
4.1.7. La conductivité électrique (CE) :	42
4.1.8. Les nitrates (N-NO ₃ ⁻) :	43
4.1.9. Les nitrites Les ions nitrites (NO ₂ ⁻) :	43
4.1.10. chlorure Le chlorure (Cl ⁻) :	43
4.1.11. Dureté totale (THT) :	43
4.1.12. Titre alcalimétrique (TA) :	43
4.1.13. Titre alcalimétrique complet (TAC).....	43
4.2. Les paramètres bactériologiques :	44
4.2.1. Les coliformes totaux (CT) :	44
4.2.2. Les coliformes fécaux (CF) :	44
4.3. Les paramètres organoleptiques :	44
4.3.1. Couleur :	44
4.3.2. Odeur :	45
5. Maladies d'origine bactérienne	45
6. Les effets de la pollution de l'eau	46
6.1. Sur la santé humaine	46
6.2. Sur l'environnement	46
Conclusion.....	47
Chapitre 03 :Matériels et Méthodes	
Introduction.....	49
OBJECTIF :	49
Choix du site d'étude : Oued Safsaf – Wilaya de Skikda	50
1.Méthodes d'analyses	50
1.1. Les analyses physicochimiques.....	50
1.1.1. PH.....	50
1.1.2. La turbidité	52
1.1.3. Mesure de la Température, TDS, et la conductivité électrique.....	53
1.1.4. La dureté carbonatée	54
1.1.5. Dosage du THT	56

1.1.6. Dosage du calcium Ca^{2+}	57
1.1.7. Dosage du Chlore Cl^-	58
1.2. Analyse bactériologique	59
1.2.1. Procédure de prélèvement d'un échantillon d'eau pour analyse bactériologique	60
1.2.2. Méthode de filtration sur membrane	60
Conclusion :	64

Chapitre 04 :Résultats et discussion

1.Résultats des analyses physico-chimiques	66
2.Résultats sous forme de diagramme en barre des analyses physico-chimiques des eaux de surface du l'oued El safsaf :	69
2.1. Le PH :	69
2.2. La température :	70
2.3. La conductivité électrique (CE) :	72
2.4. TDS (Total Dissolved Solids):	73
2.5. Turbidité :	75
2.6. Dureté totale (THT).....	76
2.7. Titre alcalimétrique (TA)	78
2.8. Titre alcalimétrique complet (TAC)	79
2.9. Teneur en chlorures (Cl^-).....	81
2.10. Teneur en calcium (Ca^{2+}).....	82
3.Résultats des analyses microbiologiques	85
3.1. Résultats sous forme de diagramme en barre des analyses microbiologiques des eaux de surface du l'oued El safsaf :	86
3.1.1. Coliformes totaux (CT)	86
3.1.2. Les Coliformes fécaux (CF).....	88
3.1.3. Les Streptocoques fécaux (SF).....	90
3.1.4. Escherichia coli (E. Coli)	91
4.Interprétation et discussion des résultats	93
5.Analyse chronologique de l'évolution de la qualité de l'eau (d'Oued ziramna à Lilou) .	96
6.Origine probable de la pollution et implications environnementales	97
7.Les impacts de la pollution de l'oued Saf-Saf sur la santé humaine, les milieux naturels et l'équilibre des écosystèmes	97

7.1.	PH (> 8,5)	98
7.2.	Température (> 30 °C).....	98
7.3.	Conductivité électrique (> 1500 µS/cm)	99
7.4.	Solides Dissous Totaux (TDS > 1000 mg/l).....	99
7.5.	Turbidité (> 25 NTU)	100
7.6.	Dureté Totale (> 50 °F ou 500 mg/l CaCO ₃)	100
7.7.	Titre Alcalimétrique (TA > 120 mg/l)	101
7.8.	Titre Alcalimétrique Complet (TAC > 150 mg/l)	101
7.9.	Chlorures (Cl ⁻ > 500 mg/l)	102
7.10.	Calcium (Ca ²⁺) > 200 mg/l)	103
7.11.	Impacts microbiologiques (Coliformes totaux, coliformes fécaux, Escherichia coli, streptocoques).....	103
8.	Solutions et recommandations.	104
8.1.	Solutions et technologies avancées pour le traitement et la gestion durable des eaux industrielles.....	108
	Conclusion Générale	110

La Bibliographie

Résumé

الملخص:

يعاني وادي الصفصاف بولاية سكيكدة من تدهور بيئي واضح نتيجة التصريفات الصناعية من المنطقة الصناعية، مدعومة بتأثيرات المياه المنزلية غير المعالجة والمخلفات الزراعية. وقد أظهرت التحاليل الفيزيائية، الكيميائية والميكروبيولوجية ارتفاعاً في مؤشرات مثل درجة الحرارة، التوصيلية الكهربائية، TDS، THT، العكارة، والكوليفورمات، خصوصاً بالقرب من النطاق الصناعي.

أكدت الدراسة وجود علاقة طردية بين نسبة التلوث والقرب من المنطقة الصناعية، مما يجعل المياه المحيطة بها غير صالحة لأي استخدام. وهو ما يعكس هشاشة بيئية متزايدة في منطقة ذات ثقل اقتصادي وطني.

الكلمات المفتاحية: وادي الصفصاف، سكيكدة، المنطقة الصناعية، التلوث، TDS، THT، درجة الحرارة، جودة المياه، الهشاشة البيئية.

Résumé :

L'oued Safsaf, situé dans la wilaya de Skikda, subit une dégradation écologique notable sous l'effet des rejets industriels de la zone industrielle, soutenus par les eaux usées domestiques et les résidus agricoles. Les analyses physico-chimiques et microbiologiques ont révélé des taux élevés de température, conductivité électrique, TDS, THT, turbidité, coliformes et Escherichia coli, surtout près des zones industrielles.

L'étude confirme une relation proportionnelle entre le taux de pollution et la proximité de la zone industrielle, rendant les eaux voisines impropres à tout usage. Ce constat met en évidence la fragilité environnementale d'une région pourtant économiquement stratégique.

Mots-clés : Oued Safsaf, Skikda, zone industrielle, pollution, TDS, THT, température, qualité des eaux, fragilité écologique.

Abstract:

Oued Safsaf, located in the Skikda province, is experiencing significant environmental degradation due to industrial discharges from the industrial zone, compounded by untreated domestic wastewater and agricultural runoff. Physico-chemical and microbiological analyses revealed high levels of temperature, electrical conductivity, TDS, THT, turbidity, and coliforms, especially near the industrial area.

The study confirmed a direct correlation between pollution levels and proximity to the industrial zone, rendering the surrounding waters unfit for any use. This highlights growing environmental vulnerability in a region of major national economic importance.

Keywords: Oued Safsaf, Skikda, industrial zone, pollution, TDS, THT, temperature, water quality, environmental vulnerability.