

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université 20 Août 1955 Skikda

Faculté des Sciences

Département des Sciences Agronomiques



**Filière :** Sciences Agronomiques

**Option :** Aménagement Hydro-Agricole

**Mémoire de fin d'étude :**

En vue de l'obtention du diplôme de Master  
en Sciences Agronomiques

**Thème :**

*Analyse de la variabilité spatio-temporelle de la qualité  
des eaux dans la basse plaine de l'oued Saf-Saf  
(Skikda, N-E Algérien)*

**Présenté par :**

**ZIGHED Djihen**

**Membre de Jury :**

BOUCENNA Nawel	(MAA)	Présidente	Université du 20 Août 1955 – Skikda
KHELFAOUI Hakim	(MCA)	Examineur	Université du 20 Août 1955 – Skikda
KHELFAOUI Fayçal	(MCA)	Promoteur	Ecole Supérieure ENSET – Skikda

**Année universitaire : 2023-2024**



## Résumé

La basse plaine de l'oued Saf-Saf, située dans le Nord-Est de l'Algérie, est une région à forte vocation agricole et industrielle, gravement menacée par diverses formes de pollution. Les eaux de surface y sont de plus en plus contaminées, principalement en raison de l'utilisation intensive d'engrais et de pesticides. Les eaux usées domestiques non traitées ajoutent une pollution microbiologique et organique importante. De plus, les activités industrielles aggravent la situation en déversant des eaux chargées en métaux lourds et hydrocarbures.

Pour mieux comprendre la variabilité spatio-temporelle de la qualité des eaux de l'oued Saf-Saf, nous avons analysé quarante-huit échantillons chimiques réalisés par l'ANRH en mai 2009. Les résultats montrent une prédominance de chlorures et de sulfates, avec des niveaux de salinité et de conductivité généralement bons, mais des concentrations élevées de chlorures signalant une dégradation de l'eau. Les niveaux de sodium sont préoccupants, tandis que les bicarbonates, le pH et les nitrates restent adaptés à l'irrigation. Plus en aval, la qualité de l'eau se détériore à cause des rejets domestiques et industriels, ce qui exacerbe la pollution.

Les analyses récentes effectuées entre 2020 et 2023 par la direction de l'environnement de la wilaya ont confirmé la dégradation de la qualité des eaux de l'oued Saf-Saf surtout à l'embouchure. Les concentrations de plusieurs paramètres essentiels, tels que la conductivité, la salinité, les matières en suspension (MES), le pH, la DBO<sub>5</sub>, la DCO, les nitrites et l'ammonium, dépassent largement les normes admissibles. Cette situation critique souligne l'urgence de mettre en place des mesures concrètes pour protéger cette ressource vitale, assurer la santé des populations locales, et promouvoir le développement durable de la région.

### Mots clés :

*Oued Saf-Saf, Pollution, vocation agricole, Irrigation, dégradation de qualité, normes, développement durable.*

## **Abstract**

The low plain of Oued Saf-Saf, located in northeastern Algeria, is a region with a strong agricultural and industrial focus, severely threatened by various forms of pollution. Surface waters are increasingly contaminated, primarily due to intensive use of fertilizers and pesticides. Untreated domestic wastewater introduces significant microbiological and organic pollution. Furthermore, industrial activities exacerbate the situation by discharging waters laden with heavy metals and hydrocarbons.

To better understand the spatio-temporal variability of water quality in Oued Saf-Saf, we analyzed forty-eight chemical samples conducted by ANRH in May 2009. Results indicate a predominance of chlorides and sulfates, with generally good levels of salinity and conductivity, but elevated chloride concentrations indicating water degradation. Sodium levels are concerning, while bicarbonates, pH, and nitrates remain suitable for irrigation. Further downstream, water quality deteriorates due to domestic and industrial effluents, exacerbating pollution.

Recent analyses conducted between 2020 and 2023 by the local environmental authority confirmed the degradation of water quality in Oued Saf-Saf, particularly at its mouth. Concentrations of several key parameters such as conductivity, salinity, suspended solids (MES), pH, DBO<sub>5</sub>, DCO, nitrites, and ammonium exceed permissible standards. This critical situation underscores the urgent need for concrete measures to protect this vital resource, safeguard the health of local populations, and promote sustainable development in the region.

### **Keywords:**

*Oued Saf-Saf, Pollution, agricultural focus, irrigation, water quality degradation, standards, sustainable development.*

## الملخص

السهل المنخفض لوادي صفصاف، الذي يقع شمال شرق الجزائر، هو منطقة ذات طابع زراعي وصناعي بامتياز، مهدد بشدة بأنواع مختلفة من التلوث. تتعرض المياه السطحية لتلوث متزايد، ويرجع ذلك أساسا إلى الاستخدام المكثف للأسمدة والمبيدات الحشرية. كما أن مياه الصرف الصحي المنزلية غير المعالجة تسبب تلوثا ميكروبيولوجيا وعضويا كبيرا. بالإضافة إلى ذلك، تؤدي الأنشطة الصناعية إلى تفاقم المشكلة عن طريق إلقاء المياه المحتوية على معادن ثقيلة ومحروقات.

لفهم التباين المكاني والزمني لنوعية المياه في وادي صفصاف بشكل أفضل، قمنا بدراسة تحاليل ثمانية وأربعين عينة كيميائية أخذتها الوكالة الوطنية للموارد المائية في ماي 2009. تظهر النتائج سيطرة الكلوريدات والكبريتات، مع مستويات ملوحة وناقلية جيدة بشكل عام، ولكن تركيزات عالية من الكلوريدات تشير إلى تدهور الماء. و تشير مستويات الصوديوم العالية مصدر قلق، بينما تظل البيكربونات ودرجة الحموضة والنترات مناسبة للري. في المنطقة السفلى لمجرى الواد، تتدهور جودة المياه بدرجة أكبر بسبب التصريفات المنزلية والصناعية، ولا سيما تلك الناتجة عن التجمعات والمنطقة الصناعية للبتروكيماويات، مما يؤدي إلى تفاقم التلوث.

أكدت التحليلات الأخيرة التي أجرتها مديرية البيئة في الولاية بين عامي 2020 و 2023 تدهور جودة مياه وادي الصفصاف، وخاصة عند المصب. تركيزات العديد من المعايير الأساسية، مثل الموصلية والملوحة والمواد الصلبة العالقة، ودرجة الحموضة،  $DBO_5$ ،  $DCO$ ، النترت والأمونيوم، تتجاوز إلى حد كبير المعايير المسموح بها. وتؤكد هذه الحالة الحرجة ضرورة اتخاذ تدابير ملموسة لحماية هذا المورد الحيوي، وضمان صحة السكان المحليين، وتعزيز التنمية المستدامة في المنطقة.

## الكلمات المفتاحية:

واد صفصاف، التلوث، الطابع الزراعي، الري، تدهور الجودة، المعايير، التنمية المستدامة.

# Remerciement

Avant toute chose, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Dieu Tout-Puissant pour m'avoir donné la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce mémoire. Sa guidance et ses bénédictions m'ont accompagné tout au long de ce parcours.

Je souhaite exprimer mon profond remerciement à mon directeur de mémoire le Docteur KHELFAOUI Fayçal, pour avoir accepté de diriger et de superviser ce travail, et pour m'avoir toujours prodigué des conseils précieux durant toute la période que j'ai passée sous sa direction, et qui ont mené à la finalisation de ce document. Je le remercie vivement pour ses qualités humaines de générosité et de tolérance, son entière disponibilité, sa patience, sa contribution hautement distinguée, ses suggestions pertinentes, ses orientations constructives, et surtout pour la confiance et la compréhension qu'il a toujours manifestées à mon égard

Un remerciement spécial est adressé à Monsieur Saadoune, à m'avoir encouragé tout au long de mes études.

Mes vifs remerciements vont également à Madame Boucenna Nawal et Monsieur Khelfaoui Hakim, pour l'honneur qu'ils m'ont fait pour avoir acceptés d'examiner et de juger ce travail.

**ZIGHED Djihen**

## ***DEDICACE***

À mes parents,

Pour votre amour inconditionnel, votre soutien sans faille et votre sagesse. Vous avez été mes premiers enseignants, mes guides et mes modèles. Ce mémoire est le fruit de votre dévouement et de vos sacrifices.

À mes sœurs, Salima et Manel, et à mon frère achref

Pour votre complicité, votre encouragement et votre présence constante. Vous avez toujours su trouver les mots pour me reconforter et me motiver.

À mon fiancé,

Pour ta patience ta compréhension et ton soutien indéfectible Tu as toujours cru en moi et m'as poussé à donner le meilleur de moi-même Ta présence à mes côtés m'a donné la force et le courage de surmonter chaque épreuve. Merci

À mes neveux, Alicia et Merouane ,

Pour la joie et l'innocence que vous apportez dans ma vie. Votre sourire et votre énergie sont une source inestimable de bonheur et de motivation.

À mes copines, Lamia et Hanine ,

Pour votre amitié sincère, votre soutien inconditionnel et votre présence précieuse. Vous avez toujours été là quand j'avais besoin de vous, m'offrant écoute, réconfort et encouragement. Votre amitié a été une source de force et de joie tout au long de ce parcours.

Ce mémoire est dédié à vous tous, avec toute ma gratitude et mon amour.

# Table des matières

Remerciement	
Dédicace	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale .....	1
<b>PREMIERE PARTIE : Synthèse Bibliographique</b>	
<b>Chapitre 1 : Aperçu sur les ressources hydriques</b>	
Introduction .....	2
1. Importance des ressources hydriques.....	2
2. Types de ressources hydriques .....	4
2.1. Eaux de surface.....	4
2.2. Eaux souterraines .....	4
2.2.1. Types de nappes .....	5
a. Nappes libres .....	5
b. Nappes captives .....	5
2.2.2. Principales caractéristiques des eaux souterraines .....	6
2.3. Eaux de mers et océans .....	8
3. Distribution géographique des ressources hydriques .....	8
3.1. Variabilité mondiale.....	8
3.2. Répartition mondiale des ressources en eau douce et du stress hydrique.....	8
3.3. Niveaux de dépendance par rapport aux ressources en eau.....	9
3.3.1. Premier niveau : pénurie hydrique .....	9
3.3.2. Deuxième niveau : stress hydrique .....	9
3.3.3. Troisième niveau : vulnérabilité hydrique .....	9
3.4. Disparité régionale.....	10
3.5. Facteurs influençant la répartition .....	10
3.5.1. Climat .....	10
3.5.2. Géographie .....	10
3.5.3. Activités humaines .....	10
3.5.4. Gestion des ressources .....	10
4. Principaux usages des ressources hydriques .....	11

4.1. L'alimentation en eau potable .....	12
4.2. Alimentation en eau d'irrigation .....	13
4.3. Alimentation en eau industrielle .....	13
5. L'eau en énergie hydroélectrique.....	14
6. Pressions et menaces sur les ressources hydriques.....	15
6.1. La pollution de l'eau .....	15
6.2. Les changements climatiques.....	16
6.3. La surexploitation des ressources hydriques .....	16
7. La gestion et conservation des ressources hydriques .....	17
7.1. La nouvelle politique de l'eau : vers une GIRE en Algérie .....	18
7.1.1. Les grands axes de la politique de l'eau de première génération.....	18
7.1.1.1. Le principe de l'unité .....	18
7.1.1.2. Le principe de la concertation .....	18
7.1.1.3. Le principe d'économie.....	19
7.1.1.4. Le principe d'écologie .....	19
7.1.1.5. Le principe d'universalité .....	19
7.1.2. Les points focaux de la politique de l'eau de seconde génération .....	20
7.2. Les objectifs de la nouvelle politique de l'eau.....	20
Conclusion .....	21

## **Chapitre II : Notions sur la qualité des eaux et la pollution**

1. Importance de l'évaluation de la qualité de l'eau.....	22
2. Les principaux indicateurs de la qualité de l'eau .....	22
2.1. Les paramètres physiques.....	23
2.1.1. La matière en suspension.....	23
2.1.2. La couleur.....	23
2.1.3. L'odeur .....	23
2.1.4. La température .....	23
2.1.5. La turbidité.....	24
2.1.6. La dureté.....	24
2.1.7. Le potentiel d'hydrogène (pH) .....	24
2.1.8. La conductivité électrique (CE).....	25
2.1.9. L'Alcalinité.....	25
2.2. Les paramètres chimiques.....	26

2.2.1. Les Chlorures (Cl <sup>-</sup> ).....	26
2.2.2. Les Sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ).....	26
2.2.3. Le Sodium (Na <sup>+</sup> ).....	26
2.2.4. Le Potassium (K <sup>+</sup> ).....	26
2.2.5. Les métaux lourds.....	27
2.3. Paramètres relatives à la pollution .....	27
2.3.1. Demande biochimique en oxygène (DBO).....	27
2.3.2. Demande chimique en oxygène (DCO).....	27
2.3.3. L'Azote ammoniacal (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) .....	28
2.3.4. Les Nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ).....	28
2.3.5. Les nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	28
2.3.6. Les phosphates (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> ).....	28
3. Évaluation de la qualité des eaux.....	29
3.1. Le système d'évaluation de la qualité (SEQ-Eau).....	29
3.2. Normes et classes de la qualité des eaux superficielles.....	29
4. Généralité sur la pollution des eaux.....	31
4.1. Définition de la pollution.....	31
4.2. Les origines de la pollution .....	31
4.2.1. La pollution domestique.....	31
4.2.2. La pollution industrielle.....	31
4.2.3. La pollution naturelle.....	32
4.2.4. La pollution agricole.....	32
4.2. Les catégories de pollution.....	33
4.2.1. La pollution physique.....	33
4.2.2. La pollution chimique.....	33
4.2.3. La pollution biologique.....	33
5. Normes et législations en matière de qualité de l'eau .....	33
5.1. Normes internationales.....	34
5.1.1. Organisation mondiale de la Santé (OMS).....	34
5.1.2. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).....	34
5.2. Normes algériennes.....	34
5.2.1. Cadre législatif et réglementaire.....	34
a. Loi n° 05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau.....	34

b.	Décret exécutif n° 11-125 du 22 mars 2011 fixant les normes de qualité de l'eau.....	35
	destinée à la consommation humaine.....	35
c.	Décret exécutif n° 93-184 du 27 juillet 1993 relatif aux conditions de prélèvement des	
	eaux usées et leur rejet dans le milieu récepteur.....	35
5.2.2.	Normes de qualité de l'eau.....	35
5.2.2.1.	Paramètres microbiologiques.....	35
5.2.2.2.	Paramètres chimiques.....	35
5.2.2.3.	Paramètres physiques.....	36
5.2.3.	Surveillance et application.....	36
a)	Agence nationale des ressources hydriques (ANRH).....	36
b)	Office national de l'assainissement (ONA).....	36
c)	Ministère des Ressources en Eau et de l'Environnement.....	36
Conclusion	.....	37

## **DEUXIEME PARTIE : Partie Expérimentale**

### **Chapitre III : Caractéristiques physiques et hydroclimatiques de la zone d'étude**

1.	Caractéristiques géographiques.....	38
1.1.	Situation géographique de Skikda.....	38
1.2.	Situation géographique de la zone d'étude.....	38
1.3.	Géomorphologie et relief.....	39
1.4.	Le couvert végétal.....	40
1.5.	Aperçu socio-économique.....	40
1.6.	Le Réseau hydrographique.....	41
2.	Caractéristiques géologiques .....	41
2.1.	Cadre géologique régionale.....	41
2.2.	Les ensembles géologiques.....	42
2.2.1.	Les formations quaternaires.....	42
a.	Les alluvions.....	42
b.	Les dunes anciennes.....	42
2.2.2.	Formations du tertiaire.....	42
2.2.3.	Formations métamorphiques des terrains primaires paléozoïques.....	43
2.3.	Contexte structural.....	43
3.	Caractéristiques hydro climatiques.....	44

3.1. Station de mesure .....	45
3.2. Les paramètres météorologiques déterminants.....	45
3.2.1. Les précipitations.....	45
a. Les précipitations mensuelles.....	45
b. Les précipitations saisonnières.....	47
c. Les précipitations annuelles.....	48
3.2.2. Les températures.....	49
3.2.3. L'humidité.....	50
3.2.4. Le vent.....	51
3.3. La relation entre les précipitations et la température : (Courbe de Gaussen).....	52
a. Période sèche.....	53
b. Période humide.....	53
3.4. Bilan hydrique.....	53
3.4.1. Calcul de l'ETP par la méthode de C.W. Thornthwaite .....	53
▪ Recharge des nappes .....	55
▪ Déficit agricole.....	55
▪ Épuisement des stocks.....	55
4. Hydrogéologie de la zone d'étude.....	56
4.1. Définition du système aquifère dans la basse plaine .....	56
4.1.1. Nappe superficielle.....	56
4.1.2. Nappe profonde .....	56
4.1.3. Coupe hydrogéologique.....	56
▪ Nappe superficielle.....	57
▪ Nappe profonde .....	57
Conclusion .....	58

## **Chapitre IV: Évolution spatiale et temporelle de la qualité des eaux et effets de la pollution**

Introduction.....	60
1. Diagnostic des sources de pollution de la basse vallée de l'oued Saf-Saf .....	60
1.1. Pollution urbaine .....	60
1.2. Pollution industrielle .....	61
1.3 La pollution agricole .....	63
2. Chimisme et la qualité des eaux dans la basse vallée du Saf-Saf.....	64

2.1. Caractérisation chimique des eaux de l'oued Saf-Saf dans la basse plaine Analyse des Données de Mai 2009.....	64
2.2. Résultats et discussions.....	66
2.2.1. Salinité.....	67
2.2.2. Conductivité électrique (CE).....	67
2.2.3. Les chlorures (Cl <sup>-</sup> ).....	68
2.2.4. Les Sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ).....	70
2.2.5. Sodium (Na <sup>+</sup> ).....	71
2.2.6. Les Bicarbonates (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	72
2.2.7. Le pH des eaux d'irrigations.....	73
2.2.8. Les Nitrates.....	75
2.3. Caractérisation chimique des eaux de de l'oued Saf-Saf à la basse plaine : (Période récente 2020-2023).....	76
2.4. Résultats et discussions.....	77
2.4.1. La conductivité.....	77
2.4.2. Les matières en suspension (MES).....	78
2.4.3. Demande biochimique en oxygène (DBO <sub>5</sub> ).....	79
2.4.4. Demande chimique en oxygène (DCO).....	80
2.4.5. Nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ).....	81
2.4.6. Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ).....	82
Conclusion .....	83
Conclusion générale .....	85

## Références bibliographiques.

# Liste des tableaux

Tableau I.1. Principales différences entre les eaux de Surface et les eaux Souterraines .....	7
Tableau II.1. Qualité de l'eau en fonction de la dureté.....	24
Tableau II.2 : Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique .....	25
Tableau II.3. Grille de la qualité des eaux superficielles.....	30
Tableau II.4. La classification de la qualité des cours d'eau en Algérie.....	30
Tableau III.1. Altitudes des Reliefs dans le bassin versant du Saf-Saf.....	40
Tableau III.2. Caractéristiques de la station utilisées dans l'étude.....	45
Tableau III.3. Précipitations moyennes mensuelles à la station de Skikda (1997-2019)....	46
Tableau III.4. Précipitations moyennes saisonnières à la station de Skikda (1997-2019)...	47
Tableau III.5. Précipitations moyennes annuelles à la station de Skikda (1997-2019).....	48
Tableau III.6. Températures moyennes mensuelles à la station de Skikda (1997-2019)....	49
Tableau III.7. Humidité moyenne mensuelle la station de Skikda (1997-2019).....	51
Tableau III.8. Valeur du vent moyen mensuel à la station de Skikda (1997-2019).....	52
Tableau III.9. Bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite de la station de Skikda (1997-2019).....	53
Tableau III.10. Estimation des éléments du bilan hydrique de la station de Skikda (1997-2019).....	56
Tableau IV.1. Superficies des unités industrielles du pôle des hydrocarbures .....	61
Tableau IV.2. Types de polluants et volumes d'eaux usées rejetés des unités de la zone industrielle pétrochimique de Skikda.....	62
Tableau IV.3. Désignation des points de prélèvements.....	65
Tableau IV.4. Classification des eaux selon la salinité.....	67
Tableau IV.5. Classification des eaux de surface selon la conductivité électrique.....	68
Tableau IV.6. Classification des eaux de surface selon les chlorures.....	69
Tableau IV.7. Classification des eaux de surface selon les sulfates.....	71
Tableau IV.8. Classification des eaux de surface selon le Sodium.....	71
Tableau IV.9. Classification des eaux de surface selon les bicarbonates.....	73
Tableau IV.10. Classification des eaux d'irrigation selon le pH .....	74
Tableau IV.11. Classification des eaux de surface selon les nitrates.....	75

## Liste des figures

Figure I.1. Le cycle de l'eau dans la nature.....	3
Figure I.2. Répartition mondiale des ressources en eau douce et des zones touchées par le stress hydrique.....	10
Figure I.3. Evolution de population et des prélèvements d'eau mondiaux de 1900 à 2010.....	13
Figure I.4. L'eau dans l'industrie.....	15
Figure I.5. Eau douce disponible sur Terre et sa consommation.....	16
Figure III.1. Situation géographique de la zone d'étude.....	39
Figure III.2. Extrait de carte géologique de la région de Skikda.....	44
Figure III.3. Distribution des précipitations mensuelles dans la zone d'étude (1997 – 2019)....	46
Figure III.4. Distribution des précipitations saisonnières dans la zone d'étude (1997-2019)....	47
Figure III.5. Distribution des précipitations annuelles dans la zone d'étude (1997-2019).....	48
Figure III.6. Températures moyennes mensuelles dans la zone d'étude (1997-2019). ....	50
Figure III.7. Humidité moyenne mensuelle en (%) à la station de Skikda (1997-2019).....	51
Figure III.8. Diagramme ombro-thermique dans la station de Skikda (1997-2019) .....	52
Figure III.9. Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite de la station de Skikda (1997-2019).....	55
Figure III.10. Coupe hydrogéologique dans la plaine de Skikda.....	57
Figure IV.1. Rejets des eaux usées urbaines dans la basse plaine du Saf-Saf.....	61
Figure IV.2. Schéma des différentes installations industrielles dans le pôle d'hydrocarbures de Skikda.....	62
Figure IV.3. Rejets d'eaux usées industrielles dans la basse vallée du Saf-Saf .....	62
Figure IV.4. Irrigation et agriculture intensive dans le périmètre du Saf-Saf.....	64
Figure IV.5. Carte d'inventaire des points de prélèvements en aval du bassin du Saf-Saf.....	66
Figure IV.6. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction de la salinité.....	67
Figure IV.7. Courbe de qualité des eaux de surface en fonction de la conductivité électrique...	68
Figure IV.8. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction des chlorures.....	70
Figure IV.9. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction des sulfates.....	71
Figure IV.10. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction du sodium.....	72
Figure IV.11. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction des bicarbonates.....	73

Figure IV.12. Courbe de la qualité des eaux d'irrigations en fonction du pH.....	74
Figure IV.13. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction des nitrates.....	76
Figure IV.14. Site de prélèvement ; embouchure de l'Oued Saf-Saf.....	76
Figure IV.15. Histogramme de variation de la conductivité des eaux de l'oued Saf-Saf à l'embouchure (2020-2023).....	77
Figure IV.16. Histogramme de variation des matières en suspension des eaux de l'oued Saf-Saf à l'embouchure (2020-2023).....	78
Figure IV.17. Histogramme de variation de la DBO <sub>5</sub> dans les eaux de l'oued Saf-Saf à l'embouchure (2020-2023).....	79
Figure IV.18. Histogramme de variation de la DCO dans les eaux de l'oued Saf-Saf à l'embouchure (2020-2023).....	80
Figure IV.19. Graphique de variation de la DCO dans les eaux de l'oued Saf-Saf à l'embouchure (2020-2023).....	81
Figure IV.20. Graphe de variation de l'ammonium (NH <sub>4</sub> ) dans les eaux de l'oued Saf-Saf à l'embouchure (2020-2023).....	82

## Liste des abréviations

**AEA** : Alimentation en Eau d'Agriculture

**AEI** : Alimentation en Eau Industrielle

**AEP** : Alimentation en Eau Potable

**ANRH** : Agence nationale des ressources hydriques

**C.I.EAU** : Centre d'Information sur l'eau.

**DEW** : Direction de l'Environnement de la Wilaya.

**DRE** : Direction des Ressources en Eau.

**FAO** : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

**GIRE** : Gestion intégrée des ressources en eau.

**Ha** : Hectare

**Irrig** : Irrigation

**g/l** : Gramme par litre

**Km** : Kilomètre

**LNHC** : Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction

**M** : Mètre

**mg/l** : Milligramme par litre

**NTU** : Unités de turbidité Néphélométrique

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé.

**ONA** : Office National d'Assainissement.

**P** : Précipitation

**ppm** : Partie par million

**T** : Température

**TDS** : Les solides dissous totaux

**°C** : Degré Celsius

**μS/cm** : Micro Siemens par centimètre



# *Introduction générale*

La pollution menace gravement l'eau, indispensable à la vie et au développement socio-économique. La basse plaine de l'oued Saf-Saf, une région agricole stratégique dans le Nord-Est de l'Algérie, est particulièrement affectée. Les eaux de surface de cette zone subissent une contamination croissante, largement attribuée à l'usage intensif d'engrais et de pesticides, qui contribue à l'augmentation des niveaux de nitrates et de phosphates.

En outre, les eaux usées domestiques non traitées introduisent une pollution microbiologique et organique importante. Les activités industrielles, notamment dans les secteurs agroalimentaire et chimique, aggravent la situation en déversant des eaux contenant des métaux lourds et des hydrocarbures.

Face à cette situation préoccupante, l'analyse de la variabilité spatiale et temporelle de la qualité des eaux de surface dans la basse plaine de l'oued Saf-Saf s'avère indispensable. Ce mémoire vise à apporter une contribution significative au diagnostic de la qualité des eaux de surface dans la région. En analysant la variabilité spatiale et temporelle de la qualité des eaux, cette étude vise à identifier les origines et les répercussions de la pollution, tout en proposant des solutions pratiques pour une gestion améliorée de cette ressource essentielle.

Notre étude est structurée de la manière suivante : La première partie consiste en une synthèse bibliographique qui offre un aperçu des ressources hydriques, ainsi que des concepts liés à la qualité de l'eau et à la pollution. La deuxième partie, plus pratique, est divisée en deux chapitres distincts : le chapitre 3 examine les caractéristiques physiques, géologiques et hydro-climatiques de la zone d'étude, tandis que le chapitre 4 se concentre sur le diagnostic de l'évolution spatiale et temporelle de la qualité des eaux et des impacts de la pollution. En conclusion, une synthèse générale résume les principaux résultats de notre recherche menée dans la basse plaine du Saf-Saf, assortie de recommandations.

Ce travail de recherche revêt une importance capitale pour la protection de l'environnement et le développement durable de la région. En effet, la préservation de la qualité des eaux est indispensable pour assurer la santé des populations, garantir la sécurité alimentaire et soutenir la pérennité des activités économiques locales.

Chapitre I :

*Généralités sur les ressources  
en eau*

## Introduction

Les ressources hydriques sont le fondement de la vie sur Terre, façonnant les paysages, alimentant les écosystèmes et soutenant les activités humaines depuis des millénaires. Dans ce chapitre, nous explorerons un aperçu complet des ressources hydriques, examinant leur importance, leur répartition géographique, leur utilisation actuelle et les défis auxquels elles sont confrontées. De la pluie qui tombe des cieux aux vastes océans qui couvrent notre planète, chaque goutte d'eau contribue à un équilibre délicat qui nécessite une gestion prudente et éclairée. Notre exploration nous conduira à travers les différentes formes d'eau présentes sur Terre, depuis les rivières tumultueuses jusqu'aux eaux souterraines cachées, en passant par les glaciers majestueux et les lacs sereins. En comprenant l'importance de ces ressources et les défis qu'elles rencontrent, nous serons mieux équipés pour protéger et préserver ce précieux héritage pour les générations futures.

### 1. Importance des ressources hydriques

L'eau est l'un des éléments essentiels au développement durable à cause de son importance dans la vie. Sans cet élément la vie serait impossible car c'est un facteur prépondérant pour toute activité socio-économique. Les ressources hydriques, qu'elles soient sous forme de lacs, de rivières, de nappes phréatiques ou d'océans, sont essentielles à de nombreux aspects de notre existence quotidienne, de l'approvisionnement en eau potable à l'agriculture, en passant par l'industrie et la préservation de l'écosystème, l'eau est presque omniprésente sur Terre et est essentielle à tous les êtres vivants connus. Le cycle de l'eau dans les différents compartiments terrestres est décrit par son cycle hydrologique, le cycle de l'eau (figure I.1).

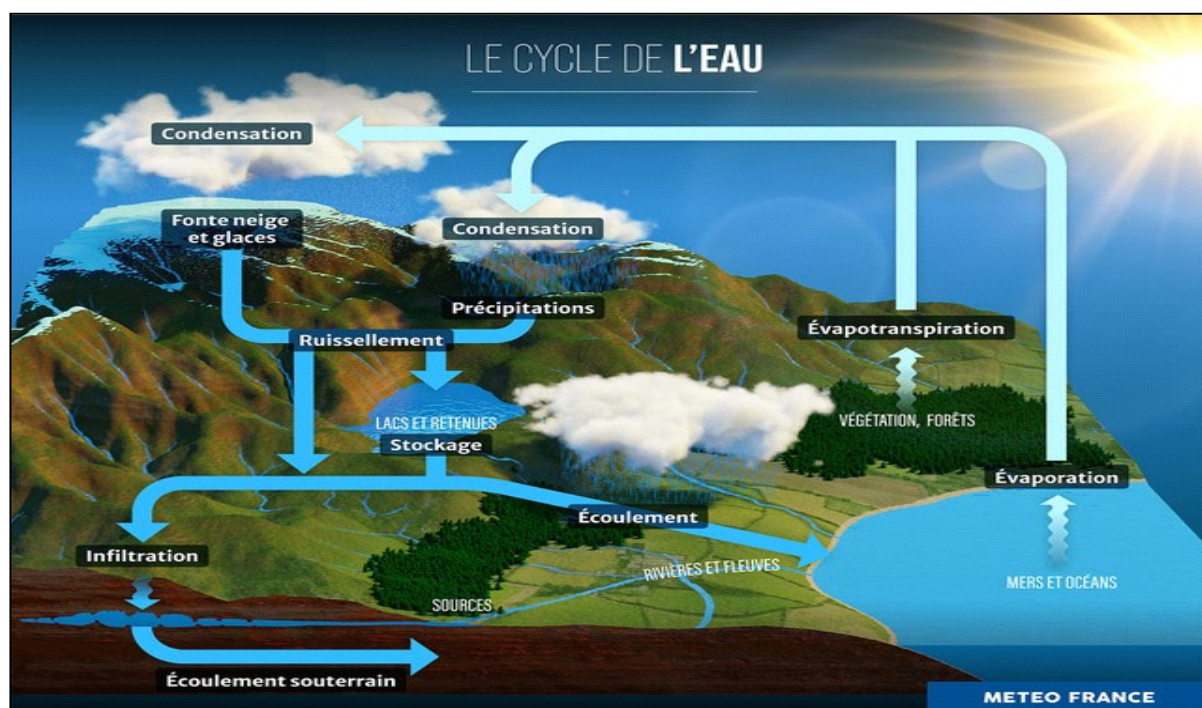


Figure I.1. Le cycle de l'eau dans la nature (<https://meteofrance.com/comprendre-la-meteo/actualites-et-dossiers/le-cycle-de-leau>).

L'eau sur terre se compose de 97,5 % d'eau salée, contenue dans les océans et de 2,5 % d'eau douce, contenue dans les lacs, rivières, glaciers, nappes phréatiques, etc. Et l'utilisation de l'eau douce par l'homme n'est possible qu'à hauteur de 0,7 % de la totalité des réserves d'eau.

L'eau douce se renouvelle en permanence par le cycle de l'eau. Elle passe de la mer à l'atmosphère, puis de la terre à la mer, en suivant un cycle qui se répète indéfiniment suivant plusieurs étapes :

- Évaporation et évapotranspiration : une partie des eaux de mer se transforme en vapeur d'eau sous l'action du soleil ainsi que l'eau des plantes et des animaux par évapotranspiration
- Condensation : des nuages se forment dans le ciel
- Précipitations : les nuages s'agrègent puis se transforment en eaux pluviales, neige ou grêle
- Infiltration : une partie des eaux pluviales s'infiltrent dans les nappes souterraines
- Ruissellement : une autre partie des eaux rejoint les eaux de surfaces : rivières, fleuves, lacs...

- Stagnation : l'eau est stockée dans les réservoirs naturels sur des périodes plus ou moins longues (ex : 8 jours de stagnation dans l'atmosphère, 17 ans dans les lacs, 2500 ans dans les océans...)

- Retour à la mer : l'eau des réservoirs naturels s'évapore sous l'action du soleil puis regagne la mer et les océans.

## 2. Types de ressources hydriques

Les ressources hydriques, qui comprennent toutes les formes d'eau disponibles sur la Terre, peuvent être classées en plusieurs types en fonction de leur origine, de leur emplacement et de leur utilisation. Voici quelques-uns des principaux types de ressources hydriques :

### 2.1. Eaux de surface

Est un terme qui fait généralement référence à l'eau qui n'est pas salée et ouverte aux fluctuations climatiques, et constitue le type d'eau douce et potable le moins abondant. (Khelfaoui.F., 2014)

- Rivières et Fleuves : Ecoulement d'eau se produisant à la surface de la terre.
- Lacs et Étangs : Étendue d'eau plus importante et souvent stationnaire.
- Systèmes de Lacs Lignes ou de Réservoirs : Lacs artificiels stockant une réserve d'eau produite par un barrage de prise d'eau ou de retenue de pollution.

Elles ne doivent être utilisées qu'avec beaucoup de prudence et, en tout état de cause, elles doivent subir un traitement particulier. (Bounihi Lamia, p4, 2017).

### 2.2. Eaux souterraines

On estime que les eaux souterraines fournissent 63% de la demande totale en eau dans la région du Nord (Atlas) et 96% de la demande en eau dans la région du Sud (Sahara) (FAO 2009). Le potentiel des eaux souterraines exploitables disponibles en Algérie a été estimé à 123 unités hydrogéologiques différentes par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH).

La plus grande partie des eaux de précipitation ruisselle à la surface des sols avant d'atteindre les lacs et les cours d'eau. Les sols sont toutefois rarement imperméables et une grande partie des eaux de pluie s'y infiltre. Une partie des eaux d'infiltration est absorbée par les couches superficielles du sol (eaux interstitielles) où elle alimentera les plantes (C.H.Ward & al,ty, Ground water quality, 1<sup>st</sup> ed, p 15. New York, 1976.)

Une autre partie gagne des couches plus profondes et s'arrête sur l'une imperméable au-dessus de laquelle elle s'étend pour constituer la nappe phréatique alimentant les sources. Des couches de sable et de graviers que ces eaux rencontrent sur leur chemin en retiennent les bactéries. Les eaux souterraines, lorsqu'elles ne sont pas captives (elles constituent alors les nappes phréatiques), circulent par gravité à travers les couches géologiques et réapparaissent en surface sous la forme de sources. Elles constituent d'importantes réserves souterraines dont le niveau est parfois assez élevé pour compenser la baisse saisonnière (étiage) des cours d'eau de surface. Les eaux d'infiltration traversent plusieurs couches géologiques où elles s'enrichissent des matières qu'elles dissolvent grâce aux agents chimiques qu'elles contiennent. La nappe phréatique est donc riche en éléments. Sa teneur en oxygène, dans la mesure où l'eau reste isolée de l'atmosphère, est cependant relativement faible. Les matières dissoutes n'entrent donc en combinaison avec cet élément qu'à leur arrivée à l'air libre.

Au total, les eaux souterraines fournissent environ 50% des disponibilités totales d'eau potable et 43% des disponibilités d'eau agricole pour l'irrigation. (FAO 2005).

### 2.2.1. Types de nappes

On distingue (02) deux types de nappes :

**a. Les nappes libres :** Les nappes libres sont les premières nappes rencontrées dans un sous-sol perméable. Elles comprennent la nappe phréatique peu profonde atteinte par les puits et forages de particuliers.

Du fait de cette perméabilité, ces aquifères superficiels sont directement alimentés par les pluies par infiltration. Elles possèdent des capacités de recharge rapides et les eaux y sont « jeunes » (actuelles à subactuelles). En revanche, cette perméabilité implique également que ces nappes soient particulièrement sensibles aux pollutions de surface.

**b. Les nappes captives :** Elles sont constituées à peu près des mêmes types de roche, mais sont recouvertes par une autre couche géologique imperméable qui confine l'eau. Celle-ci est alors sous pression et peut jaillir dans des forages dits artésiens. L'alimentation ne peut se faire que par des zones d'affleurement limitées ou des communications souterraines. Dans les déserts, ces nappes sont fossiles. Elles ne reçoivent plus d'alimentation et sont alors des mines d'eau épuisables non renouvelées. Les nappes captives sont souvent profondes, voire très profondes (1000 m et plus). On peut alors les exploiter pour la géothermie. (Bouguetit et Benhamida, 2015).

### 2.2.2. Principales caractéristiques des eaux souterraines

Les eaux souterraines se distinguent par des caractéristiques remarquables qui en font des ressources précieuses. Elles présentent une *contamination bactérienne généralement faible*, due à leur filtration naturelle par les sols et les roches. Leur *turbidité est également faible*, ce qui signifie qu'elles sont claires et limpides.

De plus, les eaux souterraines bénéficient d'une *température constante*, généralement fraîche et agréable, peu affectée par les variations saisonnières. Leur *indice de couleur est faible*, indiquant une faible présence de matières organiques. Elles présentent également un *débit constant*, garantissant un approvisionnement régulier en eau.

Cependant, il est important de noter que les eaux souterraines peuvent présenter une *dureté souvent élevée*, due à la dissolution des minéraux présents dans les roches. De plus, elles peuvent contenir des concentrations élevées de *fer et de manganèse*, nécessitant parfois un traitement avant leur consommation.

Tableau I.1. Les principales différences entre les eaux de Surface et les eaux Souterraines

CARACTÉRISTIQUES	EAUX DE SURFACE	EAUX SOUTERRAINES
Température	Variable suivant saisons.	Relativement constante.
Turbidité, MES	Variable parfois élevée.	Faible ou nulle.
Couleur	Liée surtout aux MES sauf dans les eaux très douces et acides.	Liée surtout aux matières en solution (acides humique).
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains, des précipitations.	Sensiblement constante en générale nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région.
Fe <sup>2+</sup> et Mn <sup>2+</sup>	Généralement absent, sauf en profondeur des pièces d'eaux en état d'eutrophisation.	Généralement présents.
CO <sub>2</sub> agressif	Généralement absent.	Souvent présent en grande quantité.
O <sub>2</sub> dissous	Le plus souvent au voisinage de la saturation. Absent dans le lac d'eaux très polluées.	Absent la plupart du temps.
H <sub>2</sub> S	Généralement présent.	Souvent présent.
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Présent seulement dans les eaux polluées.	Présent fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne.
Nitrates, Nitrites	Peu abondant en général.	Teneur souvent élevée.
Silice	Peu abondant en général.	Teneur souvent élevée.
Micropolluant minéraux et organique	Présent dans les eaux de pays développés, mais susceptible de disparaître rapidement après suppression de la source.	Généralement absents, mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps.
Eléments vivants	Bactéries (dont certaines pathogènes), virus, plancton (animal et végétal)	Ferrobactéries fréquents.

(Merouani M et Bouguedah A, 2013).

### 2.3. Eaux de mers et océans

Les mers et les océans constituent des énormes réservoirs d'eau. Elles représentent près de 97.4% du volume d'eau existant actuellement sur notre planète. Le reste est la part des eaux continentales (eaux souterraine et superficielles).

Les eaux de mers sont caractérisées par une grande salinité. Elles sont dénommées aussi « eaux saumâtres », ce qui rend leur utilisation difficile. Notamment leur coût très élevé pour leur traitement. (Aouissi L., et merabet W., p25).

### 3. Distribution géographique des ressources hydriques

« L'eau douce est un élément fondamental pour la survie de la vie sur terre et joue un rôle vital dans l'agriculture, l'industrie, la consommation humaine et la protection des écosystèmes. Cependant, sa répartition géographique est « très inégale, avec de grands écarts entre les différentes régions ». Comprendre cette diversité est essentiel pour relever efficacement les défis liés à l'eau auxquels le monde est confronté aujourd'hui. »

#### 3.1. Variabilité mondiale

Inégalités Nord-Sud : les pays du Nord ont tendance à disposer de ressources en eau douce par habitant plus élevées que les pays du Sud. Ceci est le résultat d'une combinaison de facteurs tels que le climat, la géographie et le développement économique.

Concentration régionale : Certaines régions du monde contiennent la plupart des ressources en eau douce. Par exemple, l'Amérique du Sud possède environ 28 % de l'eau douce renouvelable mondiale, tandis que l'Afrique et l'Asie en possèdent respectivement 12 % et 36 %.

Accès inégal : Même au sein d'une même zone, l'accès à l'eau douce peut varier considérablement. Dans les pays en développement, les populations rurales et marginalisées sont souvent les plus touchées par la pénurie d'eau.

#### 3.2. Répartition mondiale des ressources en eau douce et du stress hydrique

La distribution des ressources en eau douce à travers le monde est marquée par des disparités, où certaines régions bénéficient d'un surplus d'eau alors que d'autres font face à une pénurie sévère. Ces inégalités sont accentuées par les effets du changement climatique, qui altère les schémas de précipitations et aggrave la fréquence des périodes de sécheresse dans de multiples zones. (figure I. 2)

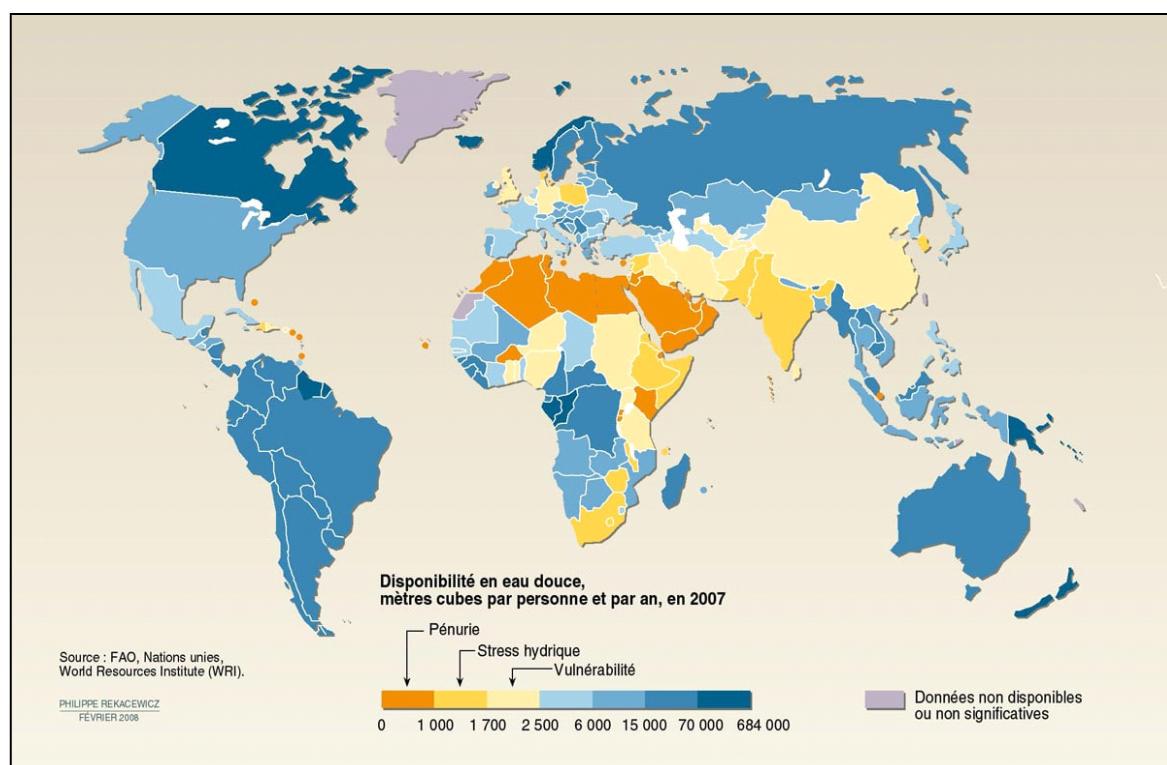


Figure I.2. Répartition mondiale des ressources en eau douce et des zones touchées par le stress hydrique. (<https://www.cicau.com/wp-content/uploads/2017/02/1.jpg>).

### 3.3. Niveaux de dépendance par rapport aux ressources en eau

On distingue trois niveaux de dépendances :

#### 3.3.1 1<sup>er</sup> niveau : pénurie hydrique

Les ressources sont inférieures à 1000 m<sup>3</sup> par habitant par an. Les pays arabes font face à une pénurie. L’Egypte et la Libye se trouvent dans une situation extrême avec moins de 500 m<sup>3</sup> par personne et par an.

Le Moyen Orient et l’Afrique du Nord totalisent 4,3% de la population mondiale et sont à disposition moins de 1% des ressources en eau douce renouvelable de la planète.

#### 3.3.2 2<sup>ème</sup> niveau : stress hydrique

Les ressources sont comprises entre 1000 et 1500 m<sup>3</sup> par habitant par an

#### 3.3.3 3<sup>ème</sup> niveau : vulnérabilité hydrique

Les ressources sont comprises entre 1500 et 2500 m<sup>3</sup> par habitant et par an.(C.I.EAU )

### 3.4. Disparités régionales

Concentration géographique : 10 pays concentrent 60 % des ressources mondiales en eau douce, réparties principalement dans les zones tropicales tempérées ou humides (Brésil, Russie, Canada, Chine, États-Unis...). Vingt pays, principalement situés en Afrique et au Moyen-Orient, ne possèdent que 5 % des ressources mondiales en eau douce et sont confrontés à de graves pressions d'eau, voire à des pénuries d'eau.

### 3.5. Facteurs influençant la répartition

#### 3.5.1. Climat

Les précipitations, température et évaporation sont les éléments qui forment le climat et qui influent sur la disponibilité des ressources hydriques.

#### 3.5.2. Géographie

Altitude : les régions montagneuses reçoivent souvent plus de pluies et sont à l'origine de plusieurs cours d'eau.

Relief : les basses terres permettent souvent la formation de nappes telluriques, tandis que les terrains en pente favorisent l'écoulement de l'eau.

Proximité aux océans : les régions proches des océans reçoivent l'influence des vents marins, ce qui influence la distribution de pluies dans la région.

Texture du sol : la perméabilité permet la recharge des nappes phréatiques et capacité du sol à retenir l'eau.

Végétation : Les types de végétation affectent l'évapotranspiration et l'absorption de l'eau, affectant donc la répartition de l'eau.

#### 3.5.3. Activités humaines

- Urbanisation : La croissance urbaine peut augmenter la demande d'eau.
- Agriculture : L'irrigation intensive peut affecter la répartition de l'eau.
- Industrie : Les besoins en eau de l'industrie peuvent également jouer un rôle.

#### 3.5.4. Gestion des ressources

Des politiques de gestion de l'eau, la construction de barrages et autres infrastructures et la réglementation des prélèvements signifient également qu'une d'eau peut être distribuée différemment.

- Variabilité climatique : les changements climatiques signifient que des changements dans les schémas de précipitations signifient que l'eau est disponible différemment.
- Utilisation inefficace de l'eau : les pratiques agricoles et industrielles inefficaces signifient que l'eau est perdue.

#### 4. Principaux usages des ressources hydriques

L'eau est une substance indispensable à la pérennité de tous les êtres vivants ayant besoin de leur ration quotidienne d'eau.

L'eau est également une ressource essentielle au développement des sociétés humaines qui se sont implantées au bord des cours d'eau. Grâce à ses propriétés exceptionnelles, l'eau est en effet nécessaire à toutes les activités humaines. Ses usages se sont d'ailleurs intensifiés et les volumes d'eau utilisés par l'homme ont décuplé depuis le début du XXe siècle (DeFrance, 1996).

Les utilisations de l'eau sont traditionnellement réparties entre plusieurs secteurs :

- Le secteur domestique comprend généralement des utilisations domestiques et municipales ainsi que l'utilisation commerciale et gouvernementale de l'eau.
- Le secteur industriel comprend généralement l'eau utilisée pour le refroidissement des centrales électriques et la production industrielle.
- Le secteur agricole comprend l'eau pour l'irrigation et l'élevage.
- Le secteur de l'énergie (compris la production d'électricité à partir de barrages et de centrales hydroélectriques et la production d'énergie primaire) est souvent inclus dans le secteur industriel dans les analyses de l'utilisation de l'eau ; gros utilisateur et consommateur, il peut faire d'autre-part l'objet d'un comptage séparé.
- Loisirs et tourisme : Navigation, sports nautiques, pêche, et autres activités récréatives
- Ecosystèmes aquatiques : Maintien de la vie dans les habitats aquatiques, y compris la faune et la flore.
- Assainissement : Élimination des déchets et traitement des eaux usées.
- Protection contre les incendies : Utilisation de l'eau pour éteindre les incendies et protéger les biens et les personnes.
- Construction : Utilisation de l'eau dans les processus de construction et de fabrication de matériaux de construction.
- Recherche scientifique : Utilisation de l'eau pour des expériences scientifiques et des études environnementales. Les différents usages de l'eau démontrent que les ressources

en eau sont cruciales dans de nombreuses activités de la vie quotidienne, de l'économie et de l'environnement.

#### 4.1. Alimentation en eau potable

L'accès à l'eau potable est un droit humain fondamental et une condition essentielle pour la santé et le bien-être des populations. Elle est indispensable pour la boisson, la cuisine, l'hygiène personnelle et le lavage des vêtements. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) recommande une consommation quotidienne minimale de 2 litres d'eau par personne pour maintenir une bonne santé.

Au-delà de la simple consommation, l'eau potable est un élément crucial pour la dignité humaine et la lutte contre les inégalités. L'accès à une eau salubre permet de prévenir de nombreuses maladies, d'améliorer la qualité de vie et de favoriser la scolarisation des enfants, en particulier dans les pays en développement.

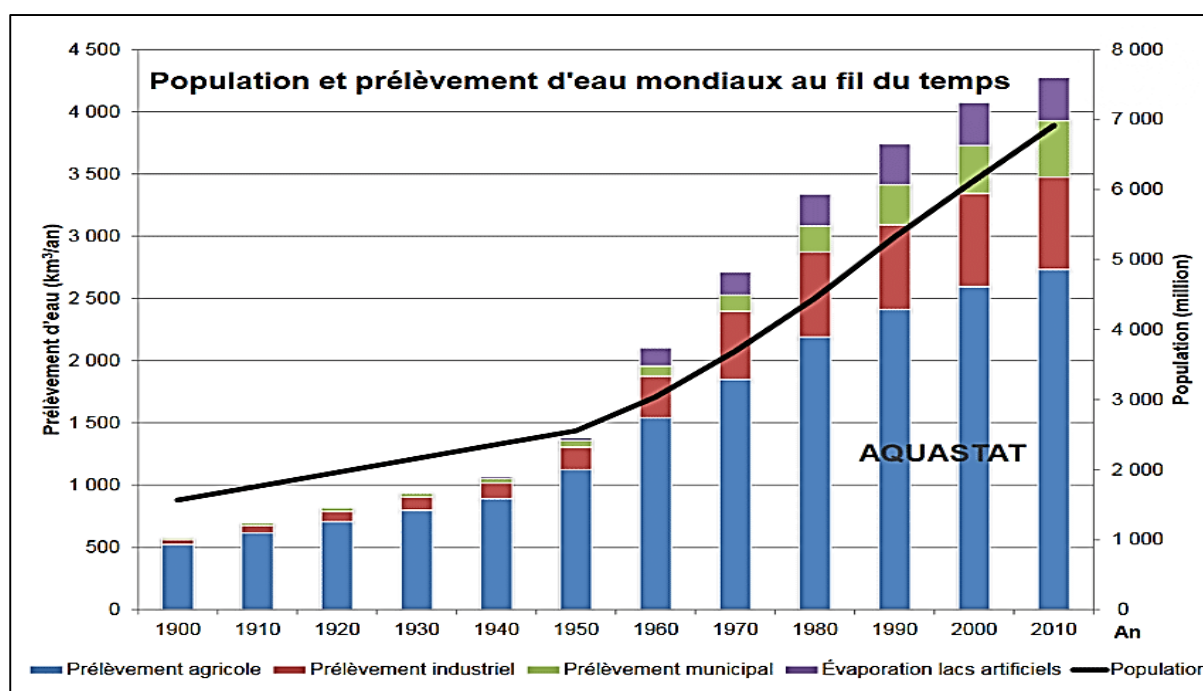


Figure I.3. Evolution de la population (million) et des prélèvements d'eau (km<sup>3</sup>/an) mondiaux de 1900 à 2010. ([www.fao.org/nr/water/aquastat/water\\_use/indexfra.stm](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/indexfra.stm))

## 4.2. Alimentation en eau d'irrigation

L'agriculture est l'activité humaine la plus consommatrice d'eau : elle représente en moyenne 70 % de la consommation mondiale. Elle varie selon les pays, les climats, les types de cultures, les techniques d'irrigation, etc. Avec l'intensification de la production agricole, l'usage de l'irrigation se répand et engendre des consommations d'eau croissantes. L'alimentation du bétail nécessite également un approvisionnement abondant en eau dans les régions d'élevage. (Merzoug A., 2022). L'irrigation des terres agricoles est essentielle pour la production alimentaire et la sécurité alimentaire mondiale. Elle permet de cultiver des denrées alimentaires essentielles pour nourrir une population croissante, estimée à 9,7 milliards d'individus en 2050. L'agriculture représente environ 70% des prélèvements d'eau douce dans le monde, soulignant son rôle crucial dans la lutte contre la faim et la malnutrition.

## 4.3. Alimentation en eau industrielle

L'eau intervient dans de nombreux processus industriels, tels que la fabrication de papier, de produits chimiques, de textiles, de produits pharmaceutiques et d'électricité. Elle est utilisée pour le refroidissement des machines, le transport des matières premières et le traitement des produits finis. La consommation d'eau par l'industrie représente environ 20 % de la consommation mondiale, bien que cette proportion varie selon les régions et les secteurs d'activité. Il est important de noter que toute l'eau utilisée dans les processus industriels n'est pas nécessairement consommée ; elle peut parfois être rejetée dans l'environnement après utilisation. Les industries de transformation sont généralement les plus grandes consommatrices d'eau. La qualité de l'eau requise dépend étroitement du type d'activité : les industries agroalimentaires exigent une eau de qualité potable, tandis que les secteurs électroniques, médical et biotechnologique nécessitent une eau d'une pureté extrême.



Figure I.4. L'eau dans l'industrie (<https://www.internationaltin.org/researchers-explore-new-cleanup-technologies-using-electro-generated-tin/>).

## 5- L'eau en énergie hydroélectrique

L'eau est une source d'énergie renouvelable précieuse et respectueuse de l'environnement. Les barrages hydroélectriques permettent de convertir l'énergie cinétique de l'eau en électricité, alimentant des millions de foyers et d'entreprises. L'énergie hydroélectrique représente environ 17% de la production mondiale d'électricité, contribuant à la lutte contre les changements climatiques et à la transition énergétique.

En plus de sa production d'électricité propre, l'énergie hydroélectrique offre de multiples avantages, tels que la régulation du débit des rivières, la protection contre les inondations et la création de réservoirs d'eau pour l'irrigation et l'approvisionnement en eau potable.

Elle peut aussi servir à produire de l'électricité:

- Une centrale hydroélectrique utilise l'énergie de la hauteur de chute et du débit d'un cours d'eau.
- Une centrale marémotrice utilise l'énergie des marées.
- Une hydrolienne utilise celle des courants marins.
- L'énergie des vagues peut aussi être exploitée. (Merzoug Abderrahmane 2022 p32).

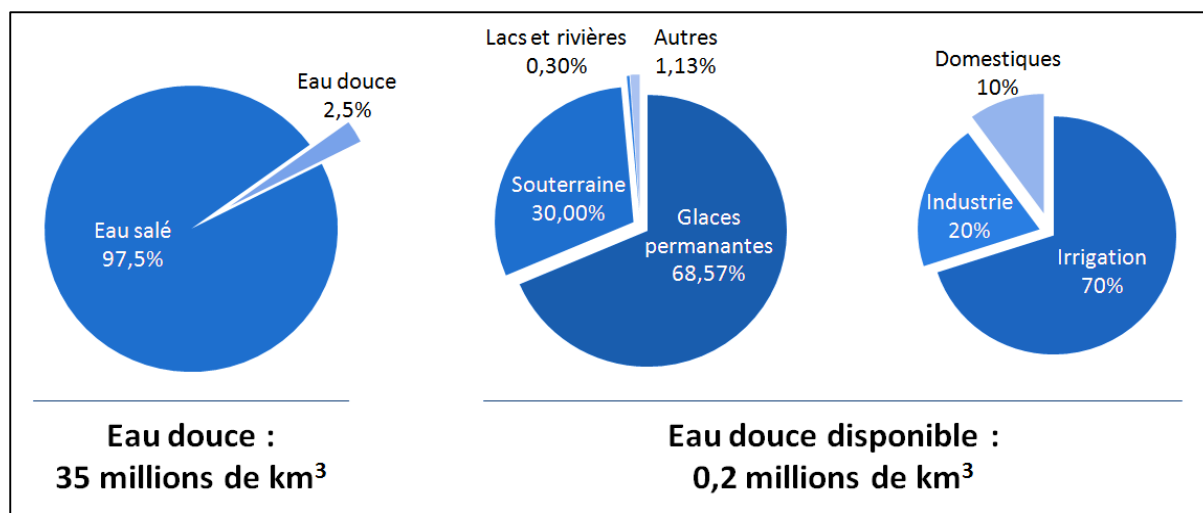


Figure I.5. Eau douce disponible sur Terre et sa consommation  
[\(https://reflexionserrantes.info/2014/03/22/serie-sur-leau-le-contexte-1-de-3/\)](https://reflexionserrantes.info/2014/03/22/serie-sur-leau-le-contexte-1-de-3/)

## 6. Pressions et menaces sur les ressources hydriques

Les pressions et menaces sur les ressources hydriques sont nombreuses et diverses, mettant en péril la disponibilité et la qualité de l'eau. La croissance démographique, l'urbanisation rapide et l'industrialisation ont entraîné une demande croissante en eau pour les besoins domestiques, agricoles et industriels. Cette demande accrue exerce une pression sur les ressources hydriques, souvent au-delà de leur capacité de renouvellement naturel.

### 6.1. La pollution de l'eau

Les activités humaines contaminent les ressources hydriques, les rendant impropres à la consommation et menaçant la biodiversité aquatique. Les sources de pollution comprennent :

- *Les rejets industriels non traités* : Les industries doivent impérativement traiter leurs eaux usées avant de les rejeter dans l'environnement pour limiter leur impact sur les écosystèmes aquatiques.
- *Les eaux usées domestiques non épurées* : L'investissement dans des infrastructures d'assainissement modernes et le traitement efficace des eaux usées sont essentiels pour protéger les ressources hydriques.
- *L'utilisation excessive de pesticides et d'engrais* : Des pratiques agricoles durables et une réduction de l'utilisation de produits chimiques sont nécessaires pour limiter la pollution des sols et des eaux.

- *Les déversements accidentels d'hydrocarbures* : Renforcer la prévention et la gestion des risques liés aux déversements accidentels est crucial pour protéger les ressources hydriques.

## 6.2. Les changements climatiques

Les changements climatiques ont un impact significatif sur les ressources hydriques, affectant leur disponibilité, leur qualité et leur répartition géographique. Les variations des températures et des précipitations altèrent les cycles hydrologiques, entraînant des phénomènes tels que la fonte des glaciers, la diminution des réserves d'eau souterraine et l'augmentation des événements climatiques extrêmes tels que les sécheresses et les inondations.

- *La fonte des glaciers*, résultant de l'élévation des températures, contribue à l'élévation du niveau de la mer et à l'approvisionnement en eau des régions en aval. Cependant, à long terme, cette fonte réduit les réserves d'eau disponibles, entraînant des pénuries d'eau dans les régions qui dépendent des glaciers pour leur approvisionnement en eau douce.
- *Les sécheresses*, de plus en plus fréquentes et sévères en raison des changements climatiques, réduisent les précipitations et augmentent l'évaporation, ce qui diminue les niveaux des rivières, des lacs et des nappes phréatiques. Cela entraîne des pénuries d'eau pour l'agriculture, l'approvisionnement en eau potable et l'industrie, mettant en danger la sécurité alimentaire et la santé humaine.
- *Les pluies intenses et d'inondations* augmentent le risque de contamination de l'eau par les eaux de ruissellement, les débris et les contaminants provenant des zones urbaines et industrielles. Ces inondations peuvent également endommager les infrastructures hydrauliques et les écosystèmes aquatiques, compromettant ainsi la qualité et la disponibilité de l'eau.

Pour faire face à ces défis, il est essentiel d'adopter des mesures d'adaptation et d'atténuation, telles que la gestion intégrée des ressources en eau, la conservation des écosystèmes naturels, l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau, la promotion de pratiques agricoles durables et la mise en œuvre d'infrastructures résilientes aux changements climatiques.

## 6.3. La surexploitation des ressources hydriques

Le prélèvement excessif des ressources hydriques dépasse parfois leur capacité de renouvellement naturel. Cela entraîne une baisse des nappes phréatiques, l'assèchement des

rivières et des lacs, et une salinisation des sols dans les zones côtières. Les causes de la surexploitation comprennent :

- *L'agriculture intensive* : L'irrigation agricole représente environ 70% des prélèvements d'eau douce dans le monde. Des pratiques agricoles durables, telles que l'irrigation au goutte-à-goutte et l'agroécologie, sont nécessaires pour réduire la consommation d'eau et préserver les ressources.
- *L'augmentation de la demande domestique* : L'accroissement démographique et l'élévation du niveau de vie augmentent la consommation d'eau potable pour les usages domestiques. Des mesures d'économie d'eau et d'accès à des infrastructures d'assainissement adéquates sont cruciales.
- *Le développement industriel* : Les industries gourmandes en eau, telles que la papeterie, la chimie et la production d'énergie, doivent adopter des technologies économes en eau et des systèmes de traitement des effluents performants, qui peut menacer la disponibilité future de l'eau.

## 7. Gestion et conservation des ressources hydriques

La gestion et la conservation des ressources hydriques sont cruciales eau sont essentielles pour garantir un approvisionnement en eau durable en eau. Voici quelques approches et pratiques clés :

la gestion intégrée ressource en eau : La gestion intégrée des ressources en eau est un concept empirique élaboré à partir d'expériences sur le terrain. Plusieurs de ses éléments existent déjà depuis plusieurs décennies (depuis la première conférence mondiale sur l'eau qui s'est tenue à Mar Del Plata en 1977), mais c'est à partir de l'Agenda 21 et du Sommet mondial pour le développement durable en 1992 à Rio de Janeiro que l'on s'est véritablement interrogé sur la dimension pratique de ce concept. La définition de la gestion intégrée des ressources en eau formulée par le Partenariat mondial pour l'eau fait désormais autorité. Elle établit que « la GIRE est un processus qui encourage la mise en valeur et la gestion coordonnées de l'eau, des terres et des ressources associées, en vue de maximiser le bien-être économique et social qui en résulte d'une manière équitable, sans compromettre la pérennité des écosystèmes vitaux ».

## **7.1. La nouvelle politique de l'eau : vers une GIRE en Algérie**

La disponibilité de l'eau en Algérie est marquée par deux phénomènes qui vont en parallèle, d'une part, une évolution inquiétante des indicateurs de rareté à cause notamment de la sécheresse qui a réduit les apports de quelque 35 % par rapport aux années 70 et, d'autre part, un accroissement démographique plus rapide que le renouvellement de l'eau ce qui fait que les dotations par habitant sont en baisse permanente. La pollution augmente suite à la surexploitation des nappes phréatiques et des conflits intersectoriels nécessitant des arbitrages difficiles à un coût social de plus en plus élevé. Cet état de fait a suscité un changement de regard vis-à-vis de l'eau. De fait, la politique de l'eau en Algérie est passée par deux étapes importantes : la première débute après les assises nationales de l'eau et l'amendement de la loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 portant le code des eaux et la seconde commence depuis la promulgation de la loi n°05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau.

### **7.1.1. Les grands axes de la politique de l'eau de première génération :**

La politique de l'eau de première génération commence à noter sens par la promulgation de l'ordonnance n° 96-13 du 15 juin 1996 qui définit les principes de mise en œuvre de la politique nationale de l'eau en tant que bien de la collectivité nationale. Celle-ci s'articule autour de cinq principes universellement admis et mondialement appliqués.

**7.1.1.1. Le principe de l'unité :** étant donné que l'eau est une propriété de l'État, il faut qu'il y ait unicité de l'action : « l'unicité de la ressource en eau, bien de la collectivité nationale, implique l'unicité dans la vision de sa mobilisation, de sa gestion, de son utilisation et de sa préservation » (ex-MEAT, 1995 p.6). Il en découle que la gestion de l'eau ne peut se faire indépendamment de la nature de la ressource (superficielle ou souterraine) avec une prise à la fois des aspects quantitatifs comme les aspects qualitatifs de la ressource en eau.

**7.1.1.2. Le principe de la concertation :** c'est parce que l'échange de l'information, la communication et la concertation relèvent dans un tel secteur d'une importance catégorique, ce principe offre une alternative afin de résoudre ou d'éviter les conflits entre les acteurs à intérêts contradictoires. L'ex-MEAT (1995) a proposé le cadre de concertation suivant :

- a) La création des comités régionaux de l'eau (CRE)
- b) Une réforme du cadre national de concertation incarnant alors dans le conseil national de l'eau pour permettre sa réactivation.

Les acteurs susceptibles de constituer le point focal de ce principe sont : les collectivités locales, des usagers (les associations d'usagers et des EPIC) et l'État (à travers les walis, les ministres ou toute autre personne concerné par le problème de l'eau).

**7.1.1.3. Le principe d'économie :** la rareté de l'eau en termes qualitatifs ou quantitatifs en fait un bien économique spécifique requérant une gestion économique, id est qu'il faut faire en sentir aux usagers. Cette démarche doit s'effectuer par des régimes incitatifs qui portent notamment sur des mesures institutionnelles et organisationnelles incitant à faire baisser la demande de l'eau, un recouvrement total de coûts de l'eau mobilisée, car l'utilisateur ne paie pas en fait l'eau en tant que telle mais doit payer le service de l'eau, par le biais d'une tarification juste, sélective, progressive et régionale et une gestion commerciale des entreprises de l'eau. Ceci contribue dans l'éradication du déficit de responsabilisation (OCDE, 2012 ; ex-MEAT, 1995)

**7.1.1.4. Le principe d'écologie :** le principe d'écologie s'intéresse à la rareté qualitative de l'eau qui pourrait porter atteinte à l'intégrité des écosystèmes ainsi que la protection de la santé publique. Il passe en revue des actions et la stratégie à mettre en place contre la pollution de l'eau et la lutte contre les maladies à transmission hydrique (MTH). La prise en charge des recommandations de ce principe ne peut se faire qu'à partir d'une concertation multisectorielle avec le ministère chargé de l'environnement et celui de la santé. Afin de l'appliquer de manière efficace, une panoplie des mesures sont prônées par l'ex-MEAT (1995) entre autres la réhabilitation des STEP, l'épuration des eaux usées et la protection de la qualité de l'eau.

**7.1.1.5. Le principe d'universalité :** « l'eau a aussi un caractère universel, parce qu'elle ne connaît pas de frontières : le cycle de l'eau traverse les limites géographiques, physiques, biologiques et bien sûr sectorielles » (ex-MEAT, 1995 p. 31). Bref, l'eau doit être l'affaire et la préoccupation de tous les usagers et les secteurs, selon ce principe nul n'est censé être dispensé dans l'adhésion à une démarche solidaire et participative de gestion de l'eau, commençant par les particuliers, en passant par le secteur industriel et agricole non pas parce que sont les gros préleveurs mais aussi des gros pollueurs. L'application de ce principe appelle à un changement des attitudes de consommation et une protection de l'eau.

Dès lors, nous pouvons considérer que les actions engagées entre 1995 et 2004 comme une période de réformes de première génération parce que les structures institutionnelles créées durant cette période ont servi de base pour une autre étape de la politique de l'eau en Algérie

et les textes réglementaires promulgués après 2005 bénéficient d'une nette amélioration de la vision du législateur.

### 7.1.2. Les points focaux de la politique de l'eau de seconde génération

La rénovation du soubassement réglementaire de la politique de l'eau de l'Algérie était une condition pour une harmonisation avec les changements vécus par le pays dans la dernière décennie. Celle-ci a eu lieu par l'entrée en vigueur de la loi n° 05-12 qui a abrogé le code de l'eau de 1983.

## 7.2. Les objectifs de la nouvelle politique de l'eau

La loi n°05-12 consiste, en premier lieu, à fixer les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau dans une perspective de propriété étatique de l'eau. Les objectifs principaux de la nouvelle politique sont :

- **Priorisation des besoins domestiques** : cet objectif a conduit maintes fois à pratiquer la politique de fermeture de l'eau « water closed policy », c'est-à-dire une fermeture des robinets de l'irrigation pour satisfaire la demande des villes (J. A. Allan, 1998 ; 1996). En vertu de cet objectif, l'approvisionnement en eau à travers la mobilisation et la distribution de l'eau en quantité suffisante et en qualité requise se fait en priorité pour les besoins de la population et de l'abreuvement du cheptel et pour couvrir la demande de l'agriculture, de l'industrie et des autres activités consommatrices d'eau.
- **La protection des ressources en eau** : elle découle du principe d'écologie, sa mise en œuvre passe par la collecte et l'épuration des eaux usées, une protection contre la pollution et une préservation de la salubrité publique.
- **La mobilisation des ressources non conventionnelles** : la faiblesse des potentialités naturelles de l'Algérie a incité les pouvoirs publics à déterminer les instruments de mobilisation et de valorisation des ressources non conventionnelles notamment les eaux usées épurées et le dessalement de l'eau de mer.
- **L'évaluation et la surveillance des ressources en eau** : il faut procéder à l'évaluation efficiente des ressources en eau (superficielle et souterraine), étant donné que l'information sur les ressources sert de substrat pour une quelconque politique de l'eau et aux décisions d'investissement, une surveillance de leur état quantitatif et qualitatif par des procédés préventifs, ainsi qu'une mise en place des actions de régulation des effets nuisibles de l'eau tout en préservant les écosystèmes aquatiques.

**Conclusion**

L'eau, source de vie et moteur du développement durable, est confrontée à des défis majeurs qui menacent sa disponibilité et sa qualité. La prise de conscience collective et l'adoption de pratiques durables sont essentielles à la protection de cette ressource importante pour les générations actuelles et futures. En promouvant la gestion intégrée des ressources en eau, en adoptant des modes de consommation responsables et en investissant dans des technologies innovantes, nous pouvons relever ces défis et assurer un avenir durable à l'eau, source de vie et de prospérité.

Chapitre II :

## Notions sur la qualité des eaux et la pollution

## **Introduction**

Ressource essentielle à notre santé et notre vie, la qualité de l'eau est aujourd'hui primordiale et surveillée de près. Elle joue un rôle déterminant dans l'équilibre de la température corporelle, alimente les cellules en substances nutritives et en oxygène par le biais du sang, évacue les déchets, est présente dans les sucs digestifs et dans d'autres fluides corporels, protège les organes et les tissus conjonctifs. Boire de l'eau de qualité n'est pas un luxe mais une nécessité.

Dépendant de la zone géographique, des réglementations nationales ou d'éléments et d'événements naturels, la qualité de l'eau peut considérablement varier, nous vous expliquons l'importance d'une eau de qualité et qu'elles sont les mesures mises en place.

### **1. Importance de l'évaluation de la qualité de l'eau**

La qualité de l'eau revêt une importance cruciale pour diverses raisons, touchant la santé, l'environnement, l'économie et les gouvernements. Pour la santé, une eau de bonne qualité est essentielle pour prévenir la propagation de bactéries, virus, parasites et produits chimiques nocifs, responsables de nombreuses maladies.

En ce qui concerne l'environnement, les écosystèmes aquatiques dépendent d'une eau propre et saine pour maintenir leur équilibre naturel. Une mauvaise qualité de l'eau peut perturber l'ensemble de la chaîne alimentaire, entraînant des conséquences écologiques significatives.

Sur le plan économique, de nombreuses industries, comme le tourisme et l'agriculture, dépendent de la qualité de l'eau. La négligence de cette ressource vitale pourrait avoir des répercussions négatives sur ces secteurs. Il est crucial que les gouvernements prennent des mesures pour minimiser la pollution de l'eau et assurer un traitement adéquat des eaux usées. Une gestion inadéquate de celles-ci peut conduire à leur introduction dans nos réseaux d'eau potable, posant ainsi un risque sérieux pour la santé publique.

### **2. Les principaux indicateurs de la qualité de l'eau**

Les indicateurs de qualité de l'eau jouent un rôle crucial dans l'évaluation et la garantie de la sécurité de l'eau pour la consommation humaine ainsi que la préservation des écosystèmes aquatiques. Ces indicateurs permettent de détecter et de mesurer la présence de divers contaminants et de substances bénéfiques dans l'eau, aidant ainsi à maintenir des normes de santé publique et environnementales.

## **2.1. Les paramètres physiques**

### **2.1.1. La matière en suspension**

Les matières en suspensions rencontrées dans les eaux sont très divers tant par leur nature que par leurs dimensions. Elles sont constituées par du quartz, des argiles, des sels minéraux insolubles et des particules organiques composées de microorganismes et de produits de dégradation animaux ou végétaux. (Chebli S., et Djemai K., 2016). La détermination des matières en suspension dans l'eau s'effectue par filtration ou par centrifugation.

### **2.1.2. La couleur**

La coloration d'une eau peut être soit d'origine naturelle ; (éléments métalliques, matières humiques, micro-organismes liés à un épisode d'eutrophisation ...etc.), soit associée à sa pollution (composés organiques colorés).

La coloration d'une eau est donc très souvent synonyme de la présence des composés dissous.

D'une manière plus simple, une estimation de la couleur peut être déduite de l'examen visuel de l'échantillon placé dans un récipient large et incolore. (Chebli S., et Djemai K., 2016).

### **2.1.3. L'odeur**

L'eau potable doit être inodore, non seulement au moment de prélèvement mais après 10 jours on va clos à la température de 26°C. Selon la réglementation française ne doit pas présentée une saveur désagréable. Dans l'eau, diverses molécules sont responsables des odeurs. Elles proviennent essentiellement de la dégradation des composés azotés ou soufrés : amines, ammoniacque, mercaptans, etc. Mais la molécule qui pose le plus de problème est généralement l'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S), qui possède une odeur caractéristique d'oeuf pourri. (Chebli S., et Djemai K., 2016).

### **2.1.4. La température**

La température de l'eau joue un rôle important en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz. Les vitesses des réactions chimiques et biochimiques sont accrues par la température d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10°C. Dès que l'on augmente la température de l'eau, l'activité métabolique des organismes aquatiques est alors accélérée. La valeur de ce paramètre est influencée par la température ambiante mais également par d'éventuels rejets d'eaux résiduaires chaudes (Rodier., 1984).

### 2.1.5. La turbidité

La turbidité de l'eau est liée à sa transparence. Elle donne une idée sur la teneur en matière en suspension. Les eaux troubles sont chargées de substances finement divisées (grains de silice, matière organique, limons...), Pour une bonne qualité de l'eau, il faut maintenir une turbidité inférieure à 5 NTU.

### 2.1.6. La dureté

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés. Elle correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) et  $\text{H}^+$ . Elle est souvent due aux ions  $\text{Ca}^{+2}$  et  $\text{Mg}^{+2}$  étant généralement les plus abondants. La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. (Chebli S., et Djemai K., 2016).

Tableau II.1. Qualité de l'eau en fonction de la dureté

Dureté (mg/l $\text{CaCO}_3$ )	Qualification de l'eau
0-30	Très douce
31-60	Douce
61-120	Moyennement douce
121-180	Dure
>180	Très dure

(Chebli S., et Djemai K., 2016)

### 2.1.7. Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH ou le potentiel d'hydrogène est le logarithme décimal de l'inverse de sa concentration en ions d'hydrogène ( $\text{H}^+$ ). Le pH conditionne un grand nombre d'équilibres physicochimiques, il est inférieur ou supérieur à 7 suivant que l'eau est acide ou basique. Il n'a pas de la signification hygiénique mais il représente une notion importante de la détermination de l'agressivité de l'eau et la précipitation des éléments dissous. Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés.

### 2.1.8. La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique d'eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup> de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Généralement l'on considère que la situation est particulière ou anormale au-delà de 2000 µS/cm et une conductivité de l'eau supérieure à 1500 µS/cm classe alors une eau comme difficilement utilisable dans les zones irriguées. Pour les usages industriels, l'interprétation des résultats doit se faire en fonction d'une analyse complète de l'eau retenons, pour le contrôle des rejets industriels, que la conductivité ne reflète qu'une minéralisation globale et que l'identification des éléments chimiques en cause est assez difficile (Rodier *et al.*, 2009).

Tableau II.2. Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique

Conductivité électrique	Taux de minéralisation
CE < 100 µs /cm	minéralisation très faible
100 < C.E < 200 µs /cm	minéralisation faible
200 < C.E < 333 µs / cm	minéralisation moyenne
333 < C.E < 666 µs / cm	Minéralisation moyenne accentée
666 < C.E < 1000 µs/ cm	Minéralisation importante
C.E > 1000 µs/cm	Minéralisation élevée

(Rodier *et al.*, 2009).

### 2.1.9. L'Alcalinité

Dans les eaux naturelles, de nombreux ions sont présents, la majorité d'entre eux sont inertes vis-à-vis du pH, c'est-à-dire que leurs concentrations ne sont pas modifiées lors de variations du pH et, à l'inverse, si leur concentration varie, le pH ne change pas. C'est le cas de Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> et, en absence de contact avec de la calcite ou de la dolomite, de Ca<sub>2</sub><sup>+</sup> et Mg<sub>2</sub><sup>+</sup>. En revanche les concentrations de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>-</sup>, mais aussi, par définition, H<sup>+</sup> et OH<sup>-</sup>, varient avec le pH. À l'inverse de l'acidité, l'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogencarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, de carbonates(CO<sub>3</sub><sup>-</sup>), d'ions hydroxydes (OH<sup>-</sup>) et d'une façon plus limitée, aux ions silicates (HSiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), phosphates (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) ou encore aux espèces moléculaires des acides faibles.

L'alcalinité dépend aussi des rejets urbains (phosphates, ammoniacale, matières organiques, etc.) ou industriels (apports acides ou basiques). L'alcalinité, doit être mesurée in situ. En effet, ce paramètre est très sensible aux conditions du milieu et susceptible de varier dans des proportions importantes. (Chebli S., et Djemai K., 2016).

## **2.2. Les paramètres chimiques**

### **2.2.1. Les Chlorures (Cl<sup>-</sup>)**

Les chlorures sont fréquents dans les réserves d'eaux douces à un taux de 10 mg/l à 100 mg/l. Une forte teneur en chlorures peut indiquer une pollution par des eaux usées (Nalco., 1983). Les chlorures (Cl<sup>-</sup>) doivent être particulièrement suivis Les teneurs en chlorures des eaux de surface sont extrêmement variées. Elles sont principalement liées à la nature des terrains traversés (Rodier., 1984).

### **2.2.2. Les Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>)**

Les sulfates sont des composés naturels des eaux. Ils sont liés aux cations majeurs tels que le calcium, le potassium et le sodium. Ils proviennent de certains minéraux, en particulier du gypse ou apparaissent à partir de l'oxydation des minéraux sulfureux (Bremond et al ., 1973 ;Rodier ,1984 ). Les teneurs en sulfates des eaux naturelles sont variables, de 5 à 200 mg/l. Les eaux usées de nombreuses industries peuvent également contenir des sulfates (Rodier., 1984).

### **2.2.3. Le Sodium (Na<sup>+</sup>)**

Le sodium est un élément dont la concentration dans l'eau varie d'une région à une autre. Il n'existe pas de danger dans l'absorption des quantités relativement importantes de sodium sauf pour les malades hypertendus. Pour les doses admissibles de sodium dans l'eau. Il faut qu'il ne dépasse pas 200 mg/l ; cependant les eaux trop chargées en sodium deviennent saumâtre et prennent un goût désagréable. (Chebli S., et Djemai K., 2016).

### **2.2.4. Le Potassium (K<sup>+</sup>)**

La teneur en potassium dans les eaux naturelles est de l'ordre de 10 à 15 mg/l. A cette concentration, le potassium ne présente pas d'inconvénients pour la santé des individus. Le seuil de perception gustative est variable suivant le consommateur, se situe aux environs de 340 mg/l pour les chlorures de potassium.

### 2.2.5. Les métaux lourds

Le suivi des concentrations en métaux lourds est crucial en raison de leur toxicité et de leur capacité à s'accumuler le long des chaînes alimentaires. Contrairement aux polluants organiques, les métaux ne peuvent pas être dégradés biologiquement ou chimiquement. Ils se dissolvent facilement dans une eau acide, mais précipitent et s'accumulent principalement dans la phase solide dans des eaux neutres ou basiques. L'analyse de ces solides permet de dresser un bilan global des déversements de métaux lourds. Ces métaux sont souvent indicatifs de certains types de pollution : la présence de cuivre et de nickel signale des rejets provenant des industries de traitement de surface des métaux, le chrome indique la présence d'une tannerie, le plomb est lié à des pollutions diffuses telles que les apports des transports routiers et les sites industriels, et le zinc provient des industries de galvanisation ou de préparation d'alliages comme le laiton et le bronze. Le zinc est également libéré lors du contact entre les eaux de ruissellement et les matériaux galvanisés, tels que les toitures métalliques. Le cadmium, quant à lui, peut être rejeté par des usines de galvanoplastie et des industries chimiques, notamment celles des textiles et des teintures.

## 2.3. Paramètres relatives à la pollution

### 2.3.1. Demande biochimique en oxygène (DBO)

DBO est considérée parmi les mesures globales qui permettent de caractériser les eaux résiduaires et les eaux de surface. La demande biochimique en oxygène en 5 jours ( $DBO_5$ ), à 20°C et à l'obscurité. Le rejet des matières organiques fermentescibles par un émissaire d'égout, par exemple, provoque immédiatement une déplétion de la teneur en oxygène dissous par dégradation sous l'action des bactéries aérobies, qui va s'atténuer dans le sens du courant (Ramade., 2002).

### 2.3.2. Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène nécessaire pour obtenir une oxydation complète des matières organiques et minérales présentes dans l'eau. Certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées par un excès de dichromate de potassium, en milieu acide en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure. L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de fer et d'ammonium (Rodier et al., 2005).

### 2.3.3. L'Azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )

L'azote ammoniacal est fréquent dans les eaux superficielles. Il a pour origine la matière organique végétale et animale des cours d'eau. La nitrification des ions ammonium se fait en milieu aérobie faible. En général, l'ammonium se transforme assez rapidement en nitrites et nitrates par oxydation bactérienne. (Brémond *et al.*, 1973).

L'ammonium en lui-même n'est pas nuisible. Lorsque le pH augmente, on retrouve de l'ammoniac, qui est un gaz soluble dans l'eau et toxique pour la vie aquatique. Des problèmes apparaissent à partir d'une concentration de 0,1 mg  $\text{NH}_3^+$  /l. (De Villers *et al.*, 2005).

### 2.3.4. Les Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )

Les nitrites constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés ; ils s'insèrent dans le cycle de l'azote entre l'ammoniac et les nitrates. Leur présence est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac, soit à la réduction des nitrates. Ils ne représentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrates (par voie chimique et bactérienne). Des concentrations élevées en nitrites, témoignent souvent de la présence de matières toxiques (De Villers *et al.*, 2005). Les nitrites sont surtout nuisibles pour les jeunes poissons. On considère que la situation est très critique à partir d'une concentration de plus de 3 mg  $\text{NO}_2^-$  / l.

### 2.3.5. Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

L'azote des nitrates, comme celui des nitrites et de l'ammoniac, est un des éléments nutritifs des plantes et à ce titre il a donné lieu, au même titre qu'au phosphore, à des études intensives sur le terrain. Les nitrates présents naturellement dans les eaux, proviennent en grande partie de ruissellement des eaux sur le sol constituant le bassin versant (Bremond *et al.*, 1973). Les eaux naturelles non polluées contiennent généralement peu de nitrates. Les nitrates présents dans l'eau peuvent provenir de sources indirectes ou directes (De Villers *et al.*, 2005). Dans les effluents riches en azote organique (protéines, acides aminés, urée...), Les molécules sont tout d'abord transformées en ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) qui est ensuite oxydé en nitrites puis en nitrates sous l'action de bactéries nitrifiantes. Ces processus d'oxydation, également appelés «nitrification », sont très sensibles à la présence de substances toxiques (métaux, pesticides) et aux faibles températures.

### 2.3.6. Les phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

Les phosphates peuvent être d'origine naturelle (produit de décomposition de la matière vivante, lessivage de minéraux) mais, à l'heure actuelle, leurs présences dans les eaux sont plutôt d'origine artificielle (engrais, polyphosphates des formulations détergentes, eaux traités aux phosphates, industrie chimique...) (Brmenond *et al.*, 1973). Le contenu en phosphore total comprend non seulement les orthophosphates mais également les polyphosphates et les phosphates organiques. L'eutrophisation peut se manifester à des concentrations relativement basses en phosphates ( $50 \mu\text{g/l}$ ) (De Villers *et al.*, 2005).

## 3. Évaluation de la qualité des eaux

Divers outils sont utilisés pour évaluer la qualité des cours d'eau. La qualité physico-chimique de l'eau est notamment évaluée à l'aide du Système d'Évaluation de la Qualité (SEQ-Eau).

### 3.1. Le système d'évaluation de la qualité (SEQ-Eau)

Le Système d'Évaluation de la Qualité de l'eau (SEQ-Eau) permet d'évaluer la qualité de l'eau et son aptitude à remplir certaines fonctions. Cette évaluation repose sur plusieurs paramètres physico-chimiques. Le SEQ-Eau offre un diagnostic précis de la qualité de l'eau et aide à définir les actions correctives nécessaires pour son amélioration en fonction des utilisations souhaitées .

### 3.2. Normes et classes de la qualité des eaux superficielles

La qualité des eaux superficielles varie considérablement dans le temps et dépend de divers facteurs. Pour obtenir une vision globale de l'état d'un cours d'eau et suivre son évolution, le SEQ (Système d'Évaluation de la Qualité des eaux superficielles) a mis en place un outil d'évaluation. Cet outil permet d'obtenir une image complète de la qualité des cours d'eau et de déterminer leur capacité à maintenir les équilibres biologiques et à satisfaire les différents usages. L'Agence de Bassin Hydrographique (ABH) s'inspire du SEQ pour classifier les eaux superficielles (voir tableaux II.3 et II.4). Cette classification repose sur une grille d'évaluation de la qualité des eaux superficielles.

Tableau II.3. Grille de la qualité des eaux superficielles.

Classe Paramètres	unité	Très bon	Bon	Passable	Mauvaie	Très mauvaise
O <sub>2</sub> dissous	mg/l d'o <sub>2</sub>	>7	5 à 7	3 à 5	< 3	0
DCO	mg/l 'o <sub>2</sub>	20	30	40	80	>80
DBO <sub>5</sub>	mg/l 'o <sub>2</sub>	3	6	10	25	>25
NH <sup>4+</sup>	mg/l	0.5	1.5	2.8	4	>4
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	2	10	25	50	>50
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/l	0.1	0.5	1	2	> 2
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0.03	0.3	0.5	1	>1
Conductivité	µs/cm	180- 2500	120- 3000	60-3500	0-4000	>4000

(ABH, 2009)

Tableau II.4. La classification de la qualité des cours d'eau en Algérie.

Classe	Très bonne	Bonne	Passable	Mauvaise	Très mauvaise
Qualité Chimique	Eau exempte de pollution	Eau de qualité moindre pouvant satisfaire tous les usages	Eau de qualité médiocre, suffisante pour les usages peu exigeants	Eau polluée, inapte à la vie biologique	Eau très polluée inapte à tous les usages, pouvant constituer une menace pour la santé publique et l'environnement
Biologie	Tous les Taxons	Taxons sensibles absents	Taxons absents nombreux	Diversité faible	Diversité très Faible
Eau potable	Acceptable	Traitement simple	traitement classique	traitement complexe	Inapte

(ABH, 2009)

## **4. Généralité sur la pollution des eaux**

### **4.1. Définition de la pollution**

La pollution désigne la présence de substances qui altèrent la composition ou l'état de l'eau. Selon l'OMS, la pollution est définie comme toute modification des propriétés physiques, chimiques ou biologiques de l'eau, ou tout rejet de substances liquides, gazeuses ou solides, qui crée une nuisance ou rend l'eau dangereuse. Cette définition englobe les impacts potentiels sur la santé, la sécurité et le bien-être public, ainsi que sur les utilisations domestiques, commerciales, industrielles, agricoles, récréatives et autres de l'eau. La pollution affecte également la faune sauvage et aquatique, compromettant ainsi l'équilibre des écosystèmes naturels.

Selon Gaujous (1995), la pollution résulte de l'introduction de substances dans un milieu, conduisant à son altération. Dans notre contexte, les milieux considérés sont les milieux aquatiques, tels que les oueds et les cours d'eau. La notion d'altération du milieu est essentielle. Un rejet n'est considéré comme polluant que s'il provoque une dégradation. Ainsi, deux rejets ayant des caractéristiques identiques peuvent être plus ou moins polluants en fonction du milieu récepteur. Par exemple, un rejet d'égout dans un lac de haute montagne n'aura pas le même impact que dans un grand fleuve ou en mer.

### **4.2. Les origines de la pollution**

Selon les origines des substances polluantes, quatre catégories de pollutions sont à distinguer

#### **4.2.1. La pollution domestique**

Elle provient des habitations et elle est, en général, véhiculée par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration. La pollution domestique se caractérise par la présence des germes fécaux, de fortes teneurs en matières organique, du sel minéral et des détergents.

Elle peut être responsable de l'altération des conditions de transparence et d'oxygénation de l'eau ainsi que du développement de l'eutrophisation dans les rivières. (Chebli S., et Djemai K., 2016).

#### **4.2.2. La pollution industrielle**

Elle émane des installations industrielles et se caractérise par la présence d'une vaste gamme de polluants, en fonction de l'utilisation de l'eau, notamment :

- Les hydrocarbures (dans les raffineries) ;
- Les métaux (dans le traitement de surface) ;

- Les acides, les bases et les produits chimiques (dans les industries chimiques) ;
- L'eau chaude (issu des circuits de refroidissement des centrales thermiques) ;
- Les matières radioactives (provenant des installations nucléaires et du traitement des déchets radioactifs).

Cette forme de pollution peut avoir un effet toxique sur les organismes vivants en raison de l'accumulation de certains éléments dans la chaîne alimentaire, tels que les métaux et les pesticides.

#### **4.2.3. La pollution naturelle**

Certains experts avancent que divers phénomènes naturels contribuent également à la pollution, en particulier les éruptions volcaniques. Cette forme de pollution résulte de processus géologiques ou atmosphériques inhérents à la planète, tels que les éruptions volcaniques, les émissions de gaz naturels, ou encore les tempêtes de poussière. Ces événements peuvent libérer dans l'environnement des substances nocives telles que le dioxyde de soufre, les particules fines ou encore des métaux lourds, qui peuvent avoir des effets néfastes sur la santé humaine et sur les écosystèmes environnants. Bien que ces phénomènes soient naturels, leur impact sur l'environnement peut être significatif, nécessitant une surveillance et une gestion appropriées pour minimiser les risques pour la santé publique et l'écosystème.

#### **4.2.4. La pollution agricole**

La pollution agricole provient des exploitations agricoles ainsi que des zones de culture, et se distingue par des concentrations élevées en sels minéraux tels que le nitrate, le phosphore et le potassium, ainsi que par la présence de produits chimiques issus des traitements, tels que les pesticides et les engrais.

Cette forme de pollution est souvent associée aux pratiques agricoles intensives, où l'utilisation excessive d'engrais et de pesticides peut entraîner un ruissellement des substances chimiques vers les cours d'eau et les nappes phréatiques, provoquant ainsi une dégradation de la qualité de l'eau et des sols. Les excès de nutriments provenant des fertilisants peuvent également entraîner des phénomènes d'eutrophisation, favorisant la prolifération d'algues et la diminution de l'oxygène dissous dans les milieux aquatiques, ce qui peut avoir des effets néfastes sur la vie aquatique.

La gestion durable des pratiques agricoles, telles que la rotation des cultures, la réduction de l'utilisation des pesticides et des engrais chimiques, ainsi que la mise en place de techniques de conservation des sols, sont des stratégies essentielles pour atténuer les impacts de la pollution agricole sur l'environnement et la santé humaine.

#### **4.2. Les catégories de pollution**

La classification de la pollution peut s'opérer selon différents critères. En fonction du type de polluant impliqué, elle peut être regroupée en trois grandes catégories : la pollution physique, la pollution chimique et la pollution biologique.

##### **4.2.1. La pollution physique**

La pollution physique concerne les altérations de la structure physique du milieu par divers facteurs. Elle englobe la pollution mécanique, qui résulte de l'introduction d'effluents solides dans l'environnement, la pollution thermique, qui se manifeste par l'élévation de la température de l'eau due aux activités industrielles, et la pollution nucléaire, qui résulte des retombées de radioéléments issus des explosions d'armes nucléaires, des résidus des installations atomiques et des accidents nucléaires.

##### **4.2.2. La pollution chimique**

La pollution chimique résulte du rejet de substances chimiques par les industries, apportant ainsi d'importantes quantités de composés chimiques, dont certains sont non dégradables, dans l'environnement.

##### **4.2.3. La pollution biologique**

La pollution biologique se caractérise par la présence et la prolifération de micro-organismes tels que les bactéries, les virus, les parasites et les champignons dans les milieux naturels. Ces organismes peuvent altérer la qualité de l'eau, de l'air et des sols, et représenter un risque pour la santé publique et les écosystèmes.

#### **5. Normes et législations en matière de qualité de l'eau**

La qualité de l'eau est un enjeu crucial pour la santé publique, l'environnement et le développement économique. Pour garantir que l'eau reste propre et sûre, de nombreuses normes et législations ont été mises en place à l'échelle nationale et internationale. Ces régulations définissent des critères spécifiques concernant les niveaux admissibles de divers contaminants, la

protection des ressources en eau et les obligations des différents acteurs impliqués dans la gestion de l'eau.

Les normes de qualité de l'eau sont surveillées par des organismes gouvernementaux, des agences environnementales et des laboratoires spécialisés. Les résultats des tests sont comparés aux normes établies, et des actions sont entreprises si les niveaux de contaminants dépassent les seuils permis. Ces actions peuvent inclure des avis de non-consommation, des améliorations des infrastructures de traitement de l'eau et des sanctions contre les pollueurs.

## **5.1. Normes internationales**

### **5.1.1. Organisation mondiale de la Santé (OMS)**

L'OMS établit des lignes directrices internationales sur la qualité de l'eau potable, qui fournissent des critères et des valeurs seuils pour de nombreux contaminants chimiques, microbiologiques et radiologiques. Ces directives servent de référence pour de nombreux pays dans l'élaboration de leurs propres normes nationales.

### **5.1.2. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)**

La FAO propose des recommandations concernant la qualité de l'eau utilisée dans l'agriculture et l'irrigation, en tenant compte des concentrations de sels, de métaux lourds, et d'autres contaminants susceptibles d'affecter les cultures et les sols.

## **5.2. Normes algériennes**

En Algérie, la qualité de l'eau est régie par un cadre législatif et réglementaire spécifique visant à protéger les ressources en eau et à assurer la santé publique. Le gouvernement algérien a mis en place diverses lois et règlements pour encadrer la gestion et la protection des ressources en eau, en s'inspirant des standards internationaux.

### **5.2.1. Cadre législatif et réglementaire**

#### **a. Loi n° 05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau**

Cette loi constitue le principal texte régissant la gestion et la protection des ressources en eau en Algérie. Elle vise à assurer une gestion intégrée et durable des ressources en eau, en tenant compte des besoins de la population, de l'agriculture, de l'industrie et de l'environnement.

La loi établit des principes de gestion durable, de préservation des ressources et de protection contre la pollution. Elle prévoit également des mesures pour la lutte contre les pollutions accidentelles et chroniques.

**b. Décret exécutif n° 11-125 du 22 mars 2011 fixant les normes de qualité de l'eau destinée à la consommation humaine**

Ce décret définit les critères de qualité que doit respecter l'eau potable en Algérie. Il fixe les seuils admissibles pour divers contaminants chimiques, physiques et biologiques dans l'eau destinée à la consommation humaine.

Les paramètres surveillés incluent les bactéries coliformes, les nitrates, les métaux lourds, les pesticides, et d'autres substances potentiellement nocives.

**c. Décret exécutif n° 93-184 du 27 juillet 1993 relatif aux conditions de prélèvement des eaux usées et leur rejet dans le milieu récepteur**

Ce décret régit les conditions de collecte, de traitement et de rejet des eaux usées. Il vise à protéger les milieux naturels contre les impacts négatifs des rejets d'eaux usées domestiques, industrielles et agricoles.

Il établit des normes pour les effluents rejetés dans l'environnement, en spécifiant les seuils maximaux de divers polluants.

### **5.2.2. Normes de qualité de l'eau**

Les normes algériennes de qualité de l'eau potable s'alignent généralement sur les recommandations de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) et de la Directive européenne sur l'eau potable. Voici quelques paramètres clés :

#### **5.2.2.1. Paramètres microbiologiques**

- Coliformes totaux : 0/100 mL
- Coliformes fécaux : 0/100 mL
- Escherichia coli : 0/100 mL

#### **5.2.2.2. Paramètres chimiques**

- Nitrates :  $\leq 50$  mg/L
- Nitrites :  $\leq 0,1$  mg/L
- Plomb :  $\leq 10$   $\mu$ g/L

- Mercure :  $\leq 1 \mu\text{g/L}$
- Cadmium :  $\leq 5 \mu\text{g/L}$
- Pesticides :  $\leq 0,1 \mu\text{g/L}$  (pour chaque pesticide individuel)

### 5.2.2.3. Paramètres physiques

- Turbidité :  $\leq 1 \text{ NTU}$
- Couleur :  $\leq 15 \text{ mg/L Pt/Co}$
- Odeur et goût : acceptables pour le consommateur

### 5.2.3. Surveillance et application

La surveillance de la qualité de l'eau en Algérie est assurée par plusieurs organismes, dont :

**a. Agence nationale des ressources hydriques (ANRH)**

L'ANRH est chargée de surveiller et de gérer les ressources en eau, y compris la qualité des eaux souterraines et des eaux de surface.

**b. Office national de l'assainissement (ONA)**

L'ONA supervise la collecte et le traitement des eaux usées, en veillant au respect des normes de rejet.

**c. Ministère des Ressources en Eau et de l'Environnement**

Ce ministère coordonne les politiques de gestion des ressources en eau et assure l'application des lois et règlements en matière de qualité de l'eau.

Les normes et législations en matière de qualité de l'eau en Algérie visent à protéger les ressources en eau et à assurer la sécurité de l'eau potable pour les citoyens. Le cadre législatif s'inspire des standards internationaux tout en étant adapté aux spécificités locales. Pour atteindre ces objectifs, une coopération étroite entre les différentes parties prenantes et un investissement continu dans les infrastructures et les technologies de traitement de l'eau sont essentiels.

### Conclusion

À la lumière des informations présentées dans ce chapitre sur la qualité de l'eau et la pollution, il est évident que la qualité de l'eau est cruciale pour la santé humaine et l'environnement. Les liens étroits entre ces éléments soulignent l'importance de surveiller et de maintenir une qualité de l'eau optimale. Les paramètres de qualité de l'eau, qu'ils soient physiques, chimiques ou biologiques, jouent un rôle essentiel dans l'évaluation de la qualité de l'eau. Ces paramètres fournissent des

informations précieuses sur l'état de l'eau et permettent d'identifier les sources potentielles de pollution.

Les sources de pollution de l'eau sont variées, allant des activités anthropiques telles que les rejets industriels et les eaux usées domestiques, aux événements naturels tels que les événements climatiques extrêmes et les éruptions volcaniques. La gestion efficace de ces sources de pollution nécessite une approche intégrée et des stratégies de prévention appropriées.

La surveillance de la qualité de l'eau est un aspect crucial de la gestion des ressources en eau. Des méthodes de surveillance variées, allant de l'échantillonnage et des analyses de laboratoire aux technologies de surveillance en temps réel, sont utilisées pour évaluer et suivre la qualité de l'eau. Ces efforts sont soutenus par des normes et des législations internationales et nationales visant à protéger et à préserver les ressources en eau.

Chapitre III :

*Caractéristiques physiques et  
hydro-climatiques de la zone d'étude*

## Introduction

L'interaction complexe entre les activités humaines et l'environnement est devenue une préoccupation majeure, surtout dans les régions soumises à une urbanisation et une industrialisation rapides. La basse plaine du Saf-Saf, situé en aval du bassin, illustre parfaitement cette dynamique interaction. Ce chapitre propose une analyse de la caractérisation environnementale de cette région, en examinant ses aspects géographiques, climatiques, hydrologiques, et socio-économiques. De plus, il identifie et évalue les principales sources de pollution, qu'elles soient domestiques, agricoles ou industrielles, qui menacent l'équilibre des écosystèmes dans la région. En explorant les interactions entre ces sources de pollution et l'environnement, ce chapitre vise à fournir une compréhension claire des impacts actuels et potentiels sur la qualité de l'eau, la biodiversité des sols et la santé humaine. Cette analyse est essentielle pour formuler des stratégies de gestion durable et de protection de l'environnement adaptées aux défis spécifiques de la plaine de l'Oued Saf-Saf.

### 1. Caractéristiques géographiques

#### 1.1. Situation géographique de Skikda

La région de Skikda fait partie des bassins côtiers Constantinois au Nord-Est de l'Algérie, qui s'étendant sur une superficie de 4137 km<sup>2</sup>. Elle compte une population d'environ 1 115 380 habitants (<https://www.populationdata.net/pays/algerie/divisions>), soit une densité de 271 ha/Km<sup>2</sup>.

La wilaya de Skikda est située au Nord Est de l'Algérie. Au Sud sa limite naturelle (chaîne numidienne) se confond avec sa limite administrative (wilaya de Constantine), au Nord la wilaya de Skikda est limitée par la mer méditerranée, à l'Est par le massif de l'Edough (wilaya d'Annaba) et à l'Ouest par la wilaya de Jijel. (Saadali R, 2007)

#### 1.2. Situation géographique de la zone d'étude

Occupant la partie aval du bassin versant du Saf-Saf, le site d'étude est un terrain pratiquement plat, limité au Sud par la région de Beni Bechir et Ramdane Djamel, à l'Est par le côtel de Bissy, au Nord par la mer méditerranéenne et enfin par le côtel de Staiha à l'Ouest. (fig.III.1).

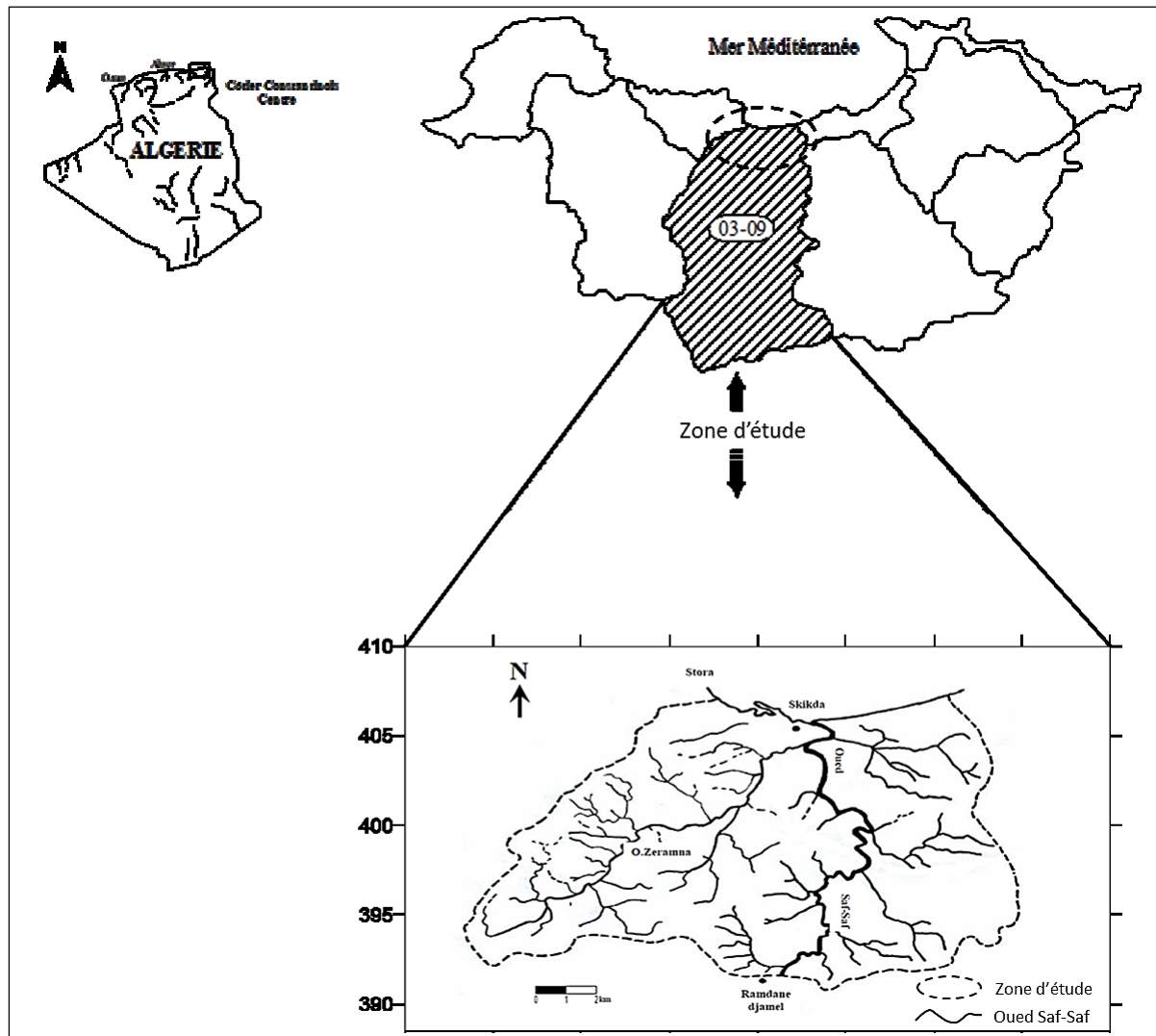


Figure III.1. Situation géographique de la zone d'étude

### 1.3. Géomorphologie et relief

Autour de la région de Skikda se trouvent quelques reliefs :

- Djebel El Alia et Djebel Filfila à altitudes variant entre 400 et 600 m.
- La chaîne numidique ou Dorsale de l'Atlas tellien, barrière physique Est-Ouest, composée de plusieurs massifs dont le Kef Sidi Driss culminant à 1364m. La partie septentrionale de la chaîne numidique prend une orientation Sud-Ouest, Nord-Est ; les altitudes diminuent et atteignent 620m à Kef Msouna et 600m au Kef Sebergoud. (Zeghaba N., 2011).

Tableau III.1. Altitudes des Reliefs dans le bassin versant du Saf-Saf.

Nom du Relief	Altitude (m)	Nom du Relief	Altitude (m)
Djebel Bousatour	410	Kef Serrak	530
Djebel El-Ghédir	698	Kef M'souna	620
Kef Sebargoud	600	Djebel El Alia	659
Djebel Messiquene	353	Djebel Mekdoua	474
Djebel Soubouyou	<b>225</b>	Djebel Goudi	319

(Khelfaoui F., 2008)

#### 1.4. Le couvert végétal

La végétation de la région appartient au type méditerranéen et se compose de plantes annuelles et vivaces. Les massifs forestiers de Skikda, Filfila et El Hadaiek sont principalement constitués de chêne-liège. Le maquis couvre une superficie de 1 678 hectares, tandis que la forêt, située au nord-ouest, s'étend sur 193,5 hectares dans la commune de Skikda, avec des plantations d'eucalyptus et de pin maritime.

Les vergers occupent 341,25 hectares au sud-est, avec une répartition par espèces. Le chêne-liège (*Quercus suber*) est l'essence dominante, associée au chêne zen (*Quercus faginea*), généralement trouvé à une altitude supérieure à 300 mètres. Le pin maritime (*Pinus pinaster*), une espèce subspontanée, colonise d'importantes surfaces. Les essences secondaires comprennent *Quercus afares*, *Cerasus avium*, *Populus alba*, *Salix pedicella*, *Ulmus compestis*, formant de petites forêts galeries le long des oueds. L'eucalyptus se trouve dans de petites plantations, avec la présence d'*Olea europea*, *Juglans regia*, *Ficus carola*.

La végétation arbustive se développe bien sous le couvert arborescent, comprenant principalement des familles telles que Ericaceae, Papilionaceae, Myrtaceae. La végétation herbacée est abondante et variée dans la clairière. (Zennir W, 2018).

#### 1.5. Aperçu socio-économique

La wilaya de Skikda regroupe 38 communes, dont la majorité en zones montagneuses, les agglomérations se concentrent autour des communes situées dans les plaines telles que : Skikda, Azzaba et El Harrouch.

La basse plaine du bassin du Saf-Saf occupe la partie centrale de la wilaya, six communes appartiennent à cette basse plaine ; Skikda, Bouchetata, El Hadaeïk , Hamadi Hrouma, Beni Béchir et Ramdane Djamel.

### **1.6. Le Réseau hydrographique**

La basse plaine du Saf-Saf est caractérisée par un réseau hydrologique dense. Il prend sa source dans les pentes abruptes des montagnes Bouchetata et atteint El-Hadaïek avec une légère pente, près de l'embouchure de la rivière, où il se jette dans le canal Saf-Saf, avec son cours vers le sud-ouest, le nord-est. Il s'incurve légèrement en aval pour devenir ouest-est à travers la ville de Skikda jusqu'à son entrée avec le canal Saf-Saf. Le principal affluent est le canal Amida formé par la réunion du canal Chebiouz, du canal Dar Loubia et du canal Frira (qui traverse toute la partie méridionale de la ligne de partage). Les canaux Temar et Naaouedj, alimentés par la partie orientale du bassin, et enfin le canal El Ouahach traversent partiellement Skikda, marquant limite nord du bassin.

## **2. Caractéristiques géologiques**

L'analyse de l'environnement géologique est fondamentale à l'étude hydrogéologique. La géologie permet d'identifier les matériaux et les structures des formations susceptibles de conduire l'eau des précipitations en profondeur. Elle permet aussi de déterminer le type d'aquifère.

### **2.1. Cadre géologique régionale**

La géologie de l'Algérie septentrionale a été affectée par deux grandes périodes tectoniques en relation avec l'orogène Alpin ; il s'agit de la période Mésozoïque à Miocène inférieur et la période Mio-Plio-Quaternaire. Du point de vue géologique au sens régional, l'Algérie du Nord comprend trois ensembles qui sont :

- Le domaine des massifs primaires Kabyles.
- Le domaine tellien.
- Le domaine prés saharien composé :
  - Des hauts plateaux.
  - De l'Atlas saharien.

Notre secteur d'étude fait partie de l'ensemble géologique des massifs primaires kabyles. Il est séparé des bassins d'El Harouch, Salah Bouchaour, Emdjaz-Ed-Chich et Ramdane Djamel par une ligne de relief de direction NE-SW.

## 2.2. Les ensembles géologiques

De point de vue environnement géologique, la zone d'étude se présente complexe du fait qu'elle comprend deux ensembles de terrains géologiques différents : d'origine métamorphique et d'origine sédimentaires.

### 2.2.1. Les formations quaternaires

Elles sont représentées par des alluvions et des dunes anciennes.

#### *a- Les alluvions*

On distingue trois types différents :

- Les alluvions actuelles : représentées par des sables, des limons du lit moyen de l'Oued Saf-Saf et Zeramna et des sables des plages.
- Alluvions récentes : constituées de limons et de galets.
- Alluvions anciennes des vallées, d'âge Pléistocène : ce sont des terrasses de limons, de cailloux roulés pouvant atteindre une épaisseur égale à 20m.

#### *b. Les dunes anciennes*

Les dunes anciennes se trouvent au Nord-Est de la plaine de Skikda, le long de la côte.

Elles sont constituées par trois niveaux :

- Le niveau inférieur, qui atteint une élévation de 40 à 50 m, contient les alluvions récentes du Saf-Saf.
- Le niveau moyen, qui atteint 80 m, contient les alluvions anciennes.
- Le niveau supérieur développé sur les schistes paléozoïques. Ceci s'observe dans la forêt du Djebel El Alia dans la partie Nord-Est du secteur d'étude.

### 2.2.2. Formations du tertiaire

Elles sont représentées par :

- Les grès Numidien : ce sont des grès jaunâtres à grains fins. Ils présentent à divers niveaux des minces lits argilo sableux. Ce faciès gréseux prédominant au centre du secteur d'étude au niveau de Dj Tefifera.
- Grès et poudingues : les poudingues sont formées de cailloux roulés, de micaschistes, de gneiss et surtout de quartz filoniens qui s'intercalent les assises gréseuses ou argileuses.

L'épaisseur de l'ensemble varie de 10 à 50m, il est bien développé au niveau de Dj Soubouyou.

### 2.2.3. Formations métamorphiques des terrains primaires paléozoïques

Elles sont représentées par :

- *Schistes et Phyllades* : gris bleuâtres, argileux ou satinés, recoupés de nombreux filonnets, souvent lenticulaires de quartz laiteux. Ces roches forment une grande partie de Dj Soubouyou et Dj Alia, trouvées au centre, à l'Est et à l'Ouest de Skikda.
- Schistes granulitisés (gneiss) : ils présentent la texture des gneiss glanduleux, mais ils sont liés aux schistes dont ils se distinguent par la présence de nombreux cristaux de feldspath. Cette formation se trouve au niveau de Dj Alia au Nord-Est de secteur d'étude.
- *Micaschistes granulitisés* : gneiss schisteux alternant parfois avec des micaschistes, ils forment un passage du vrais gneiss ou micaschistes, ils se trouvent à l'Ouest de secteur d'étude au niveau du Dj Messiquène.
- *Schistes micacés* : c'est le passage des schistes argileux aux micaschistes et gneiss schisteux. Cette formation se trouve dans la partie Nord-Ouest de secteur d'étude vers la vallée de Zeramna.

### 2.3. Contexte structural

La tectonique joue tout autant un rôle très important du fait que les fissures et les accidents favorisent l'infiltration des eaux ; dans certains cas, les failles élargies par processus de dissolution, servent de conduits et drainent les eaux souterraines comme c'est le cas des aquifères karstiques. D'après Raoult 1974 des phases tectoniques les plus importantes sont :

- Les mouvements tectoniques précoces (Crétacé Paléocène). La dorsale Kabyle (Dj El Ghedir) est affectée par de nombreuses failles durant le Jurassique et le Néocomien (Barrémien). L'action de ces mouvements s'étend au niveau de la dorsale médiane (DJ Bou Abed).
  - La sous zone de Tingoute a été fortement tectonisée ; pendant le Dracono-Cénomanién, une partie de la dorsale externe est charriée sur la série de El Ghedir.
  - La phase fini-Lutétienne (Lutétien supérieur – Priabonien de Dj Tingout et Dj El Ghedir). Cette phase est caractérisée par une tectonique tangentielle qui poste Paléogène
- La phase fini-Oligocène et Miocène : elle est caractérisée par de nombreuses fissures et failles. Cette phase est responsable de l'accident d' El Kantour et de la position structurale de la série de Filfila.

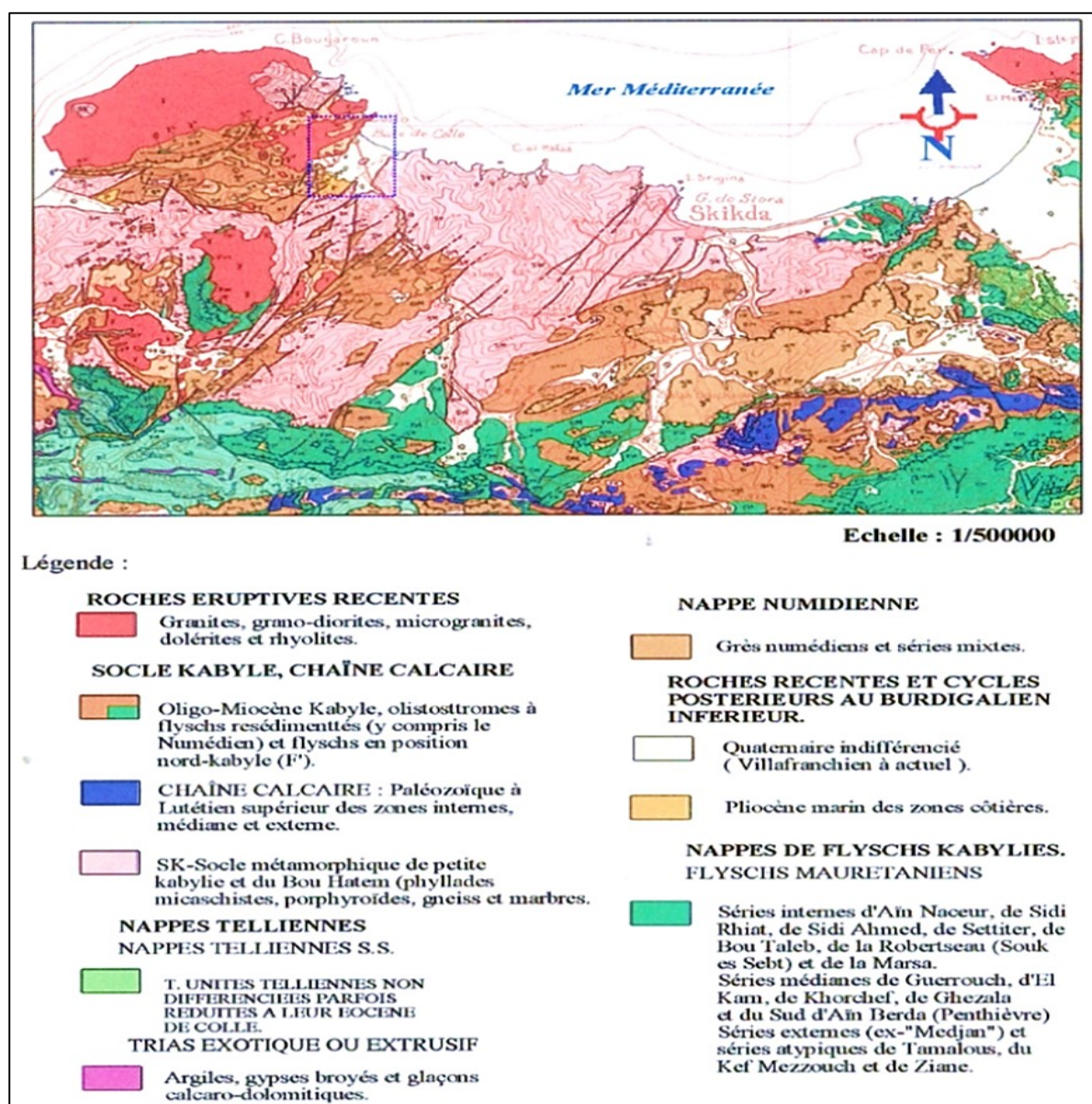


Figure III.2. Extrait de carte géologique de la région de Skikda. (Khelfaoui.F., 2014).

### 3. Caractéristiques hydro climatiques

Les facteurs climatiques tels que les précipitations, la température, l'évapotranspiration et l'humidité jouent un rôle crucial dans le comportement hydrologique des bassins versants. Les variations de température et d'humidité entraînent des dilatations et contractions des roches, causées par l'alternance de gel et de dégel ou par les variations de la teneur en eau. L'objectif de cette étude hydroclimatique est de comprendre les paramètres suivants : précipitation, évaporation, infiltration et ruissellement. En exploitant les données météorologiques

disponibles et en utilisant la méthode la plus appropriée à la région, cette étude vise à établir un bilan hydrique précis. (Ghomrani NH, et Medjrab N., 2021)

### 3.1. Station de mesure

L'étude climatologique repose sur l'analyse des données météorologiques enregistrées à la station de Skikda (nouveau port). Cette étude hydroclimatique couvre une période de 22 cycles hydrogéologiques allant de 1997 à 2019. Les coordonnées de cette station sont présentées dans le tableau (III.2) (Ghomrani N.H., et Medjrab N., 2021)

Tableau III.2. Caractéristiques de la station utilisées dans l'étude.

Station	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Période d'observation
SKIKDA	6°54 E	36°53 N	1.3	1997 -2019

(Ghomrani NH, et Medjrab N., 2021)

### 3.2. Les paramètres météorologiques déterminants

#### 3.2.1. Les précipitations

Elle représente à la totalité de lame d'eau recueillie par pluviométrie, quel que soit l'origine de cette eau : pluie, neige, grêle ou autre forme de condensation qui tombe sur un bassin versant elle constitue donc l'élément fondamental du bilan hydrologie. D'après le rapport de la direction de l'environnement la wilaya de Skikda est l'une de région les plus arrosée d'Algérie, la pluviométrie annuelle enregistre est très fort les pluies sont généralement torrentielles ces précipitations sont hivernales et lieu entre novembre et février.

#### a. Les précipitations mensuelles

La répartition géographique des précipitations dans la région se caractérise par une décroissance générale du nord vers le sud et de l'est vers l'ouest. Cette variation implique que la pluviométrie diminue progressivement à mesure que l'on s'éloigne des zones côtières et orientales. Pour une station donnée, la pluie enregistrée sur une période définie permet de calculer la hauteur des précipitations mensuelles pour chaque mois de l'année. Les mois de juillet et août sont particulièrement secs, présentant les niveaux de précipitations les plus bas. Les données pluviométriques, représentées dans le tableau ci-dessus, couvrent une période de 22 ans. Ces informations sont essentielles pour comprendre les tendances saisonnières et annuelles des précipitations dans la région, et pour élaborer des stratégies de gestion des ressources en eau.

Tableau III.3. Précipitations moyennes mensuelles à la station de Skikda (1997-2019).

Mo is	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moye nne annue lle
P (m m)	49. 71	67. 05	115. 45	130. 46	121. 46	104. 83	72. 07	47. 78	39. 14	13, 44	2,1 7	13. 78	<b>777.3</b>

(Ghomrani NH, et Medjrab N., 2021)

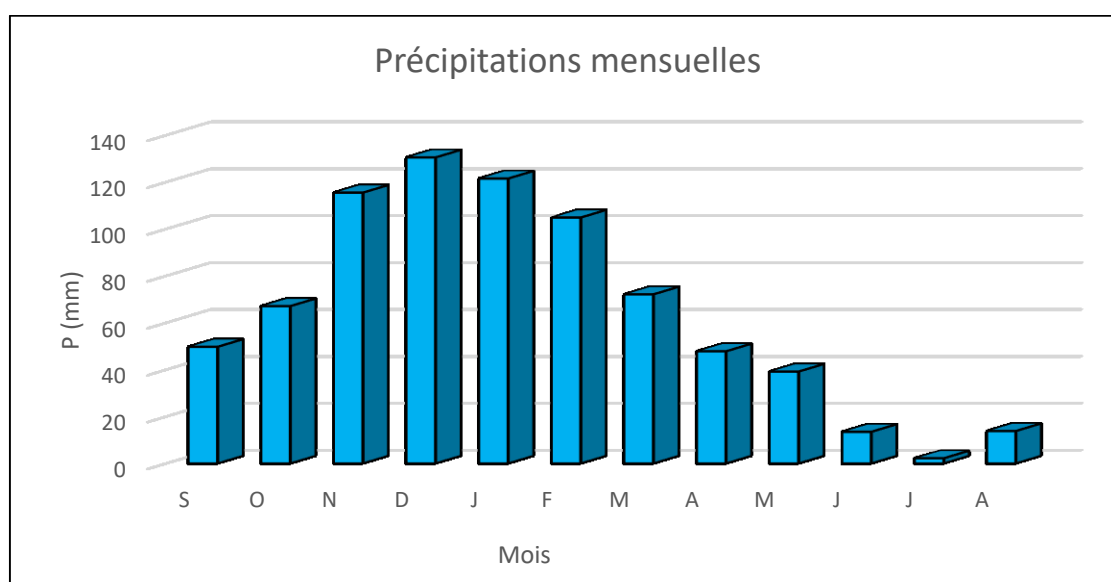


Figure III.3. Distribution des précipitations mensuelles dans la zone d'étude (1997 – 2019).

D'après les résultats du tableau et de l'histogramme sur les précipitations moyennes mensuelles couvrant une période de 22 ans (1997-2019), on observe les tendances suivantes :

- Les précipitations atteignent leur maximum au mois de décembre, avec une moyenne de 130,46 mm.
- Les précipitations atteignent leur minimum au mois de juillet, avec une moyenne de 2,17 mm.

Ces données mettent en évidence une saisonnalité marquée des précipitations, avec des mois hivernaux beaucoup plus arrosés que les mois estivaux.

### b. Les précipitations saisonnières

L'étude des précipitations saisonnières permet de mieux comprendre la répartition de la lame d'eau précipitée au cours de l'année et selon les quatre saisons : automne, hiver, printemps et été. Cette analyse saisonnière est essentielle pour identifier les périodes de fortes précipitations ainsi que les saisons plus sèches, ce qui est crucial pour la gestion des ressources en eau et la planification agricole.

Les moyennes de précipitations pour chaque saison sont présentées dans le tableau, offrant une vue d'ensemble claire de la variabilité des précipitations tout au long de l'année.

Tableau III.4. Précipitations moyennes saisonnières à la station de Skikda (1997-2019).

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne annuelle
	Automne			Hiver			Printemps			Eté			
P (mm)	232,21			356,75			158,99			29,39			<b>777,34</b>
P (%)	29,87			45,89			20,45			3,79			100%

(Ghomrani NH, et Medjrab N., 2021)

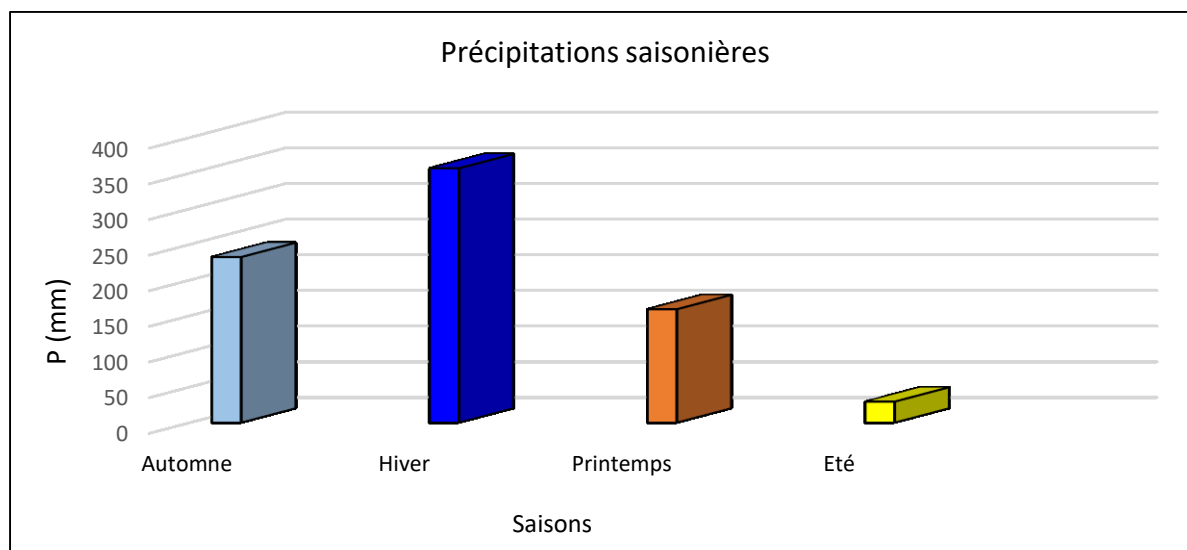


Figure III.4. Distribution des précipitations saisonnières dans la zone d'étude (1997-2019).

Selon les données de précipitations saisonnières de la série chronologique 1997-2019, l'hiver se distingue comme la saison la plus pluvieuse, avec une précipitation moyenne de 356,75 mm, représentant 45,90 % de la précipitation totale annuelle. À l'opposé, l'été est la saison la plus sèche, enregistrant une précipitation moyenne de seulement 29,35 mm, soit 3,77 % de la précipitation totale annuelle.

Ces informations sont cruciales pour comprendre les tendances climatiques de la région, influençant ainsi la gestion des ressources en eau et la planification des activités agricoles.

### c. Les précipitations annuelles

L'étude des précipitations annuelles à la station de Skikda révèle une grande variabilité interannuelle, une caractéristique typique du climat méditerranéen. Cette variabilité des précipitations, influencée par divers facteurs climatiques, souligne l'importance de surveiller et de comprendre les tendances pluviométriques pour une gestion efficace des ressources en eau.

Tableau III.5. Précipitations moyennes annuelles à la station de Skikda (1997-2019).

Année	Total	Année	Total
1997-1998	1032.3	2008-2009	594.1
1998-1999	690.4	2009-2010	1156.7
1999-2000	684	2010-2011	853.2
2000-2001	537.7	2011-2012	760
2001-2002	578.8	2012-2013	723.3
2002-2003	1120	2013-2014	1024.4
2003-2004	841.5	2014-2015	672.1
2004-2005	1198.4	2015-2016	746.4
2005-2006	593.5	2016-2017	528.8
2006-2007	659.7	2017-2018	718.7
2007-2008	710.1	2018-2019	772.02

(Ghomrani NH, et Medjrab N., 2021)

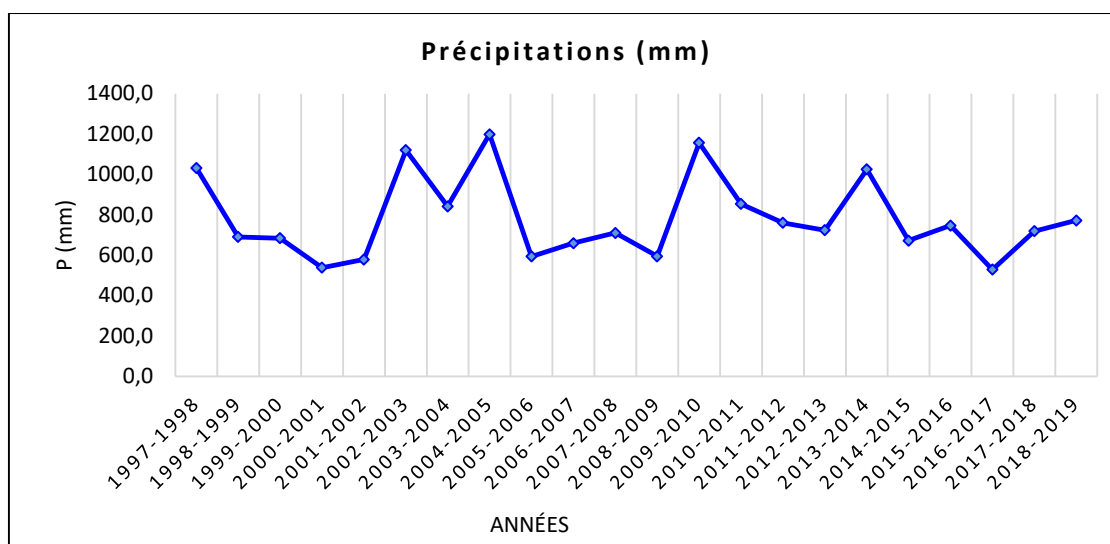


Figure III.5. Distribution des précipitations annuelles dans la zone d'étude (1997-2019).

Selon les données du tableau et l'histogramme, les observations suivantes peuvent être faites :

- L'année la plus pluvieuse est 2004-2005 avec une précipitation de 1198.4 mm.
- L'année avec les précipitations les plus basses est 2016-2017 avec une précipitation de 528.8 mm.

Ces variations soulignent l'importante fluctuation des précipitations annuelles, typique du climat méditerranéen de la région.

### 3.2.2. Les températures

La température exerce une influence significative sur le bilan hydrique en raison de son incidence sur le déficit d'écoulement. Nous disposons de données sur les températures moyennes mensuelles provenant de la station représentative du bassin, ce qui nous permettra d'analyser plus en détail cette relation cruciale entre la température et le bilan hydrique.

Tableau III.6. Températures moyennes mensuelles en (°C) à la station de Skikda (1997-2019)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars.	Avr.	Mai.	Jun.	Juil.	Aout.	Moy-
T (°C)	24,35	21,6	16,8	14,1	12,4	13,0	14,6	17,0	19,5	23,1	25,0	26,8	19,02

(Ghomrani NH, et Medjrab N., 2021)

Les températures enregistrées reflètent bien le climat méditerranéen de la région avec une moyenne de 19,02 °C.

- La température moyenne mensuelle la plus basse est enregistrée en janvier, avec une valeur de 12,37°C.
- La température moyenne mensuelle la plus élevée est enregistrée en août, atteignant 26,81°C, faisant de ce mois le plus chaud de l'année.

Selon la courbe de température, on observe une baisse des températures de septembre à janvier, suivie d'une augmentation progressive, culminant en août.

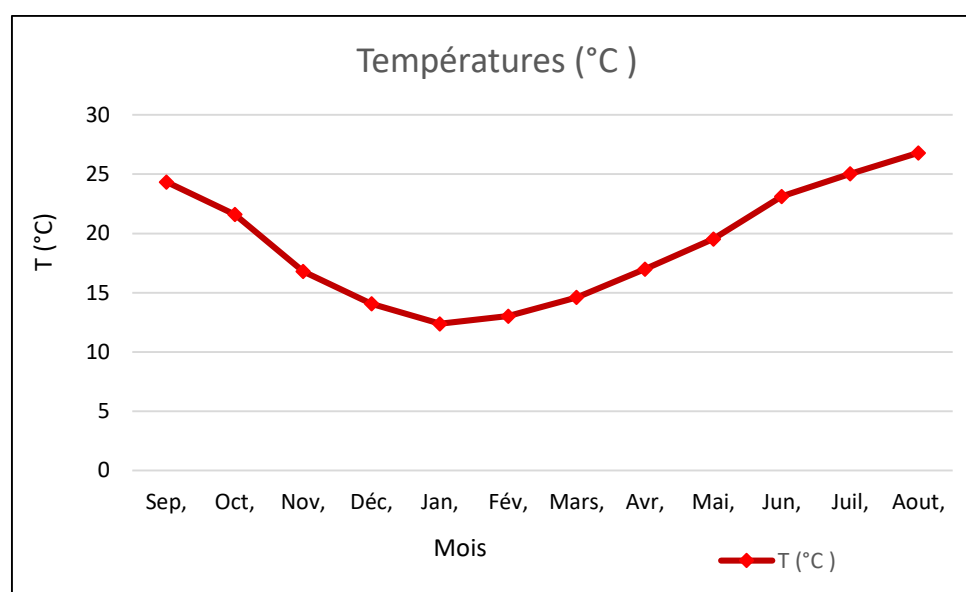


Figure III.6. Températures moyennes mensuelles dans la zone d'étude (1997-2019).

### 3.2.3. L'humidité

L'humidité relative de l'air est le rapport, exprimé en pourcentage, de la pression de vapeur d'eau actuelle à la pression de vapeur maximale possible à une température donnée. Cette humidité est étroitement liée à la température et très sensible à ses variations : elle diminue lorsque la température augmente et augmente lorsque la température baisse.

L'évolution moyenne mensuelle de l'humidité relative, calculée à la station de Skikda pour la période d'observation de 1997 à 2019, est mentionnée dans le tableau.

Tableau III.7. Humidité moyenne mensuelle en (%) à la station de Skikda (1997-2019)

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars.	Avr.	Mai.	Jun.	Juil.	Aout.	Moy-
Humidité (%)	71,3	70,5	71,0	72,7	74,3	71,7	71,8	71,8	72,9	71,7	71,2	70,0	<b>71,8</b>

(Ghomrani NH, et Medjrab N., 2021)

D'après le tableau, on observe que les moyennes mensuelles d'humidité relative sont élevées en raison de l'humidité provenant de la mer, avec des valeurs relativement homogènes tout au long de l'année. Le maximum est enregistré en hiver, en janvier, avec une humidité relative de 74,31%, tandis que le minimum est enregistré en août, avec une humidité de 70%.

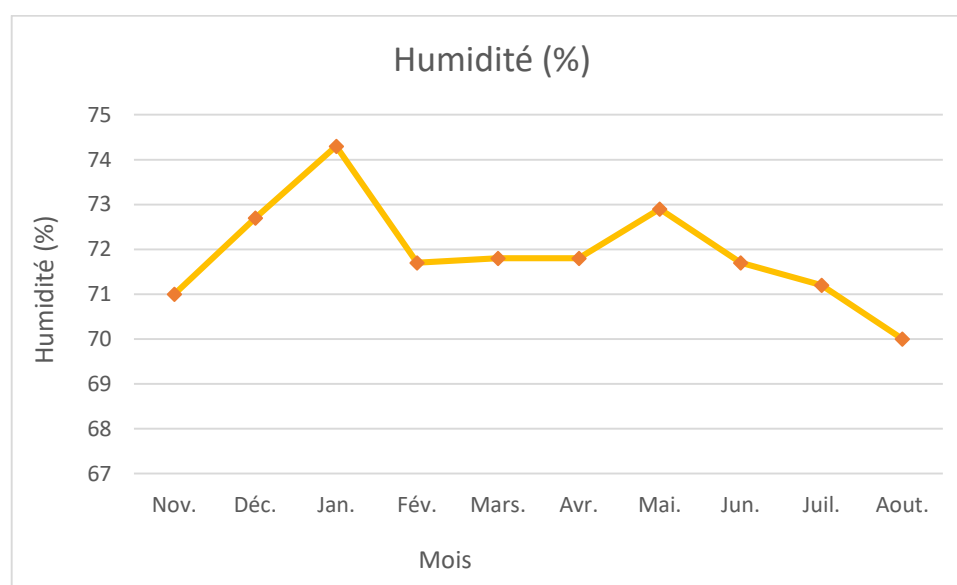


Figure. III.7. Humidité moyenne mensuelle en (%) à la station de Skikda (1997-2019)

### 3.2.4. Le vent

Le vent est un facteur climatique qui influence le régime pluvieux et l'évapotranspiration. L'évolution des vitesses moyennes du vent sur une période de 22 ans, de 1997 à 2019, a été étudiée à partir des données de la station de Skikda. Les résultats de cette étude sont représentés dans le tableau ci-dessus.

Tableau III.8. Valeur du vent moyen mensuel en (m/s) à la station de Skikda (1997-2019)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jun	Juil	Aout	Moy
Vent (m/s)	3,05	3,08	3,44	3,69	3,63	3,64	3,41	3,18	2,95	3,01	2,99	3,25	<b>3,28</b>

(Ghomrani NH, et Medjrab N., 2021)

D'après les résultats du tableau, on constate que la fréquence des vitesses de vent atteint son maximum en hiver, en décembre, avec une vitesse de 3,69 m/s. En revanche, le minimum est enregistré en juin, avec une vitesse de 2,95 m/s, et la moyenne annuelle des vitesses de vent est de 3,28 m/s.

### 3.3. La relation entre les précipitations et la température : (Courbe de Gaussen)

La courbe de Gaussen est utilisée pour déterminer les périodes humides et sèches. Le mois sec, selon Gaussen, est défini par une somme de précipitations égale ou inférieure au double de la température ( $P \leq 2T$ ), tandis que le mois humide a une somme de précipitations égale au double de la température ( $P = 2T$ ).

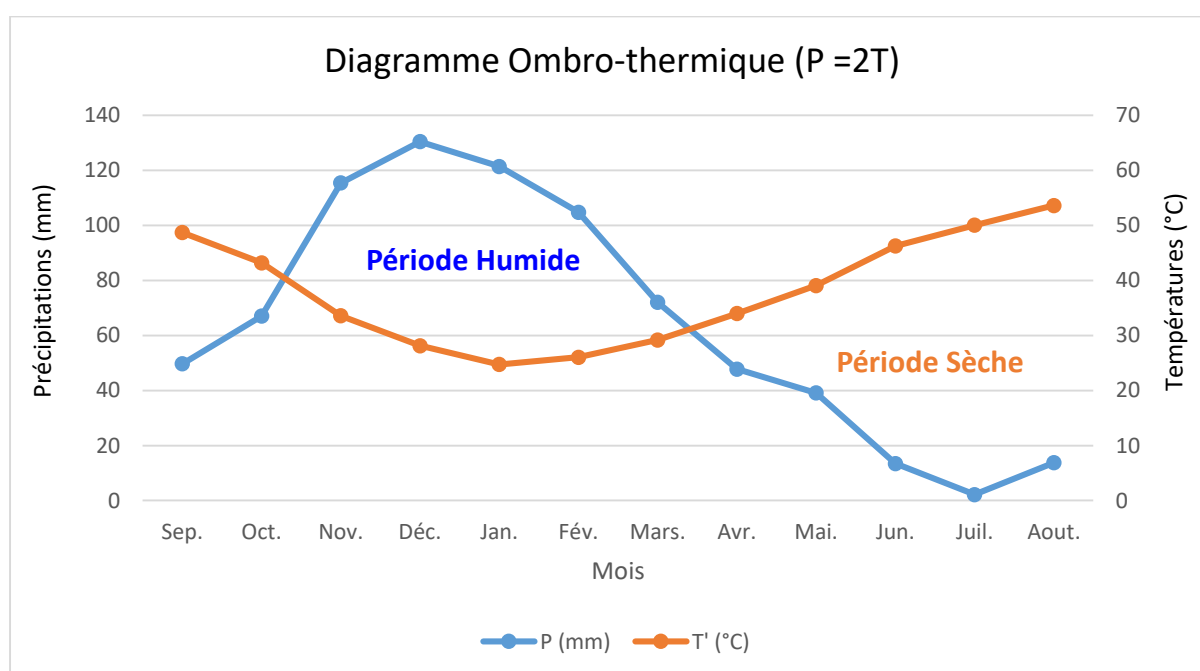


Figure III.8. Diagramme ombro-thermique dans la station de Skikda (1997-2019)

. (Ghomrani NH, et Medjrab N., 2021).

D'après le diagramme ombro-thermique, on observe une saison sèche, suivie d'une période humide :

- a) **Période sèche** : La saison sèche s'étend du début du mois d'Avril jusqu'au mois d'Octobre. Durant cette période, les précipitations sont relativement faibles, atteignant un minimum en juillet. Cela correspond également à une période où les températures sont élevées, avec un pic en Août.
- b) **Période humide** : La période humide s'étend de la fin du mois d'Octobre jusqu'à début de Mai. Pendant ces mois, les précipitations sont significativement plus élevées, avec un maximum observé en décembre et janvier. Durant cette période, les températures sont plus basses, particulièrement en janvier et février.

Il est intéressant de noter l'inversement des tendances entre les températures et les précipitations. Lorsque les températures augmentent, les précipitations diminuent, et vice versa. Cela est typique des climats méditerranéens où les étés sont chauds et secs, et les hivers sont doux et humides.

### 3.4. Bilan hydrique

L'analyse du bilan hydrique du bassin du Saf-Saf apporte un élément de preuve supplémentaire de sa tendance sub-humide. Ce bilan vise à évaluer la répartition des précipitations reçues par le bassin versant entre ses différentes composantes : l'écoulement, l'infiltration et l'évapotranspiration. Parmi ces composantes, l'évapotranspiration joue un rôle prépondérant, car elle conditionne la présence ou l'absence d'écoulement.

#### 3.4.1. Calcul de l'ETP par la méthode de C.W. Thornthwaite

La formule de calcul de l'évapotranspiration potentielle selon C.W. Thornthwaite tient compte de l'indice thermique et de la température moyenne mensuelle.

Vu les caractéristiques intermédiaires du climat méditerranéen, cette formule est applicable dans le bassin du Saf-Saf. La méthode de Thornthwaite permet à partir des données de base (précipitations (mm), température (°C), le coefficient thermique mensuel (k), et l'indice thermique mensuel (I) de calculer l'évapotranspiration potentielle ETP selon la relation suivante :

$$ETP = 16 \left( 10 \frac{t}{I} \right)^a .k$$

où :

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.5} \quad \text{et} \quad I = \sum_1^{12} i \quad \text{et} \quad a = 0,016 \cdot I + 0,5$$

Avec :

ETP : Evapotranspiration potentielle du mois considéré en mm.

T : Température moyenne mensuelle du mois considéré en °c.

i : indice thermique mensuelle.

I : Indice thermique annuel.

Cette méthode est basée sur la notion de réserve facilement utilisable (RFU), et nous admettons que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (RFU) qui pourrait reprise par l'ETP. (RFU max = 100mm).

Les résultats obtenus sont représentés pour la période 1997-2019 sur le tableau ci-dessus

Tableau III.9. Bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite de la station de Skikda (1997-2019)

Mois Param	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Jn	Jt	A	Total
<b>P (mm)</b>	49,71	67,05	115,45	130,46	121,46	104,83	72,07	47,78	39,14	13,44	2,17	13,78	<b>777,3</b>
<b>T (c°)</b>	24,35	21,6	16,8	14,1	12,4	13,0	14,6	17,0	19,5	23,1	25,0	26,8	<b>18,5</b>
<b>I</b>	10,74	8,97	6,15	4,72	3,89	4,20	4,98	6,26	7,72	9,94	11,87	12,41	<b>I=91,85</b>
<b>K</b>	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	/
<b>ETP (mm)</b>	112,34	83,5	43,71	31,05	24,76	26,74	40,57	59,11	85,03	119,58	153,94	152,14	<b>932,47</b>
<b>ETR (mm)</b>	49,71	67,05	43,71	31,05	24,76	26,74	40,57	47,78	39,14	56,48	2,17	13,78	<b>442,94</b>
<b>RFU</b>	0	0	1,74	100	100	100	100	88,67	43,04	0	0	0	/
<b>Excédent</b>	0	0	0	71,15	96,7	78,09	31,5	0	0	0	0	0	<b>277,44</b>
<b>Déficit A</b>	62,63	16,45	0	0	0	0	0	11,33	45,89	63,1	151,77	138,36	<b>489,53</b>

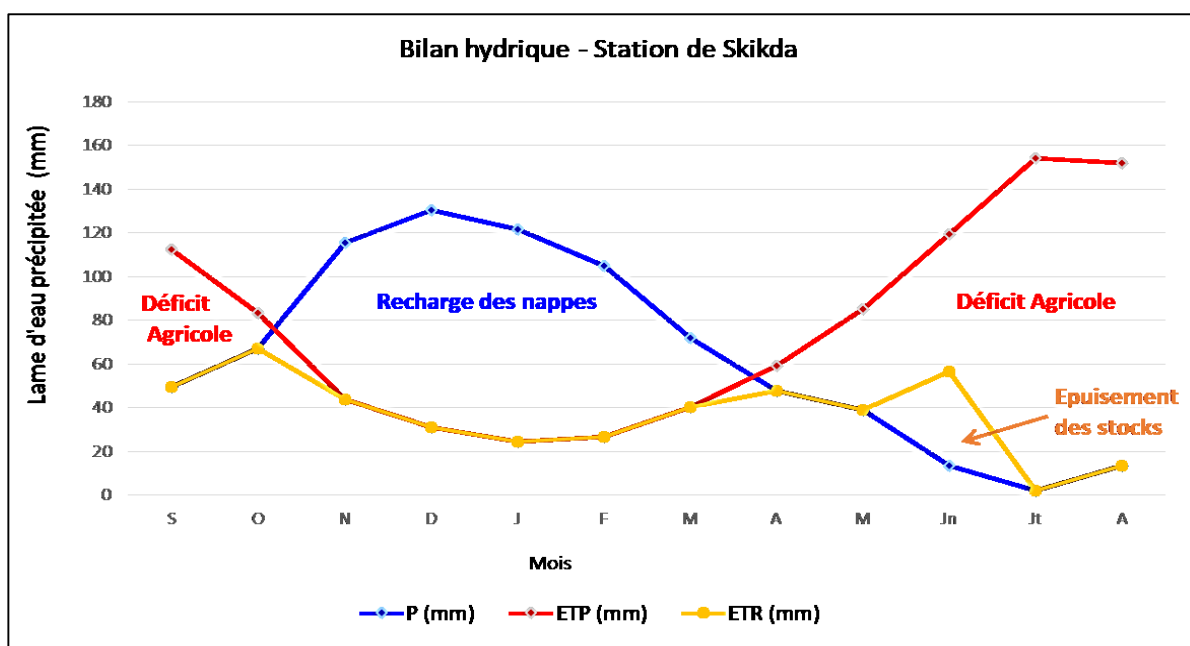


Figure III.9. Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite de la station de Skikda (1997-2019).

La représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de Thornthwaite de la station de Skikda montre que l'évapotranspiration maximale a été observée pendant le mois de juillet pour une valeur de 153,94 mm, ce qui produit un déficit agricole de 151,77 mm, nécessitant une irrigation pour les zones de culture. Cependant, durant les mois d'octobre jusqu'à avril on remarque une recharge de la nappe. Lorsque celle-ci dépasse la RFU, le surplus d'eau va partir vers le ruissellement superficiel.

Voici les différentes phases et tendances observées dans le graphique :

- **Recharge des nappes** : Principalement entre octobre et avril, lorsque les précipitations excèdent l'évapotranspiration.
- **Déficit agricole** : Marqué durant les mois de mai à août, où les précipitations sont insuffisantes pour répondre à l'évapotranspiration potentielle.
- **Épuisement des stocks** : Observé durant les mois d'été, avec une demande en eau surpassant largement l'eau disponible, entraînant un stress hydrique important pour l'agriculture.

Tableau III.10. Estimation des éléments du bilan hydrique de la station de Skikda  
(1997-2019)

Station	P(mm)	ETR (mm)	I(mm)	R+I (mm)
Skikda	777.3	442.92	154.32	334.36

Le bilan hydrique de la région de Skikda révèle une saisonnalité marquée avec des périodes de recharge hydrique et des périodes de déficit, influençant fortement les ressources en eau disponibles pour l'agriculture et les nappes phréatiques.

#### 4. Hydrogéologie de la zone d'étude

##### 4.1. Définition du système aquifère dans la basse plaine

Le système aquifère de la nappe de Skikda est constitué de deux types principaux de nappes, déterminés par les structures et unités géologiques présentes dans la région :

- Nappe superficielle sableuse.
- Nappe profonde graveleuse.

##### 4.1.1. Nappe superficielle

La nappe superficielle est contenue dans les sables quaternaires, avec une épaisseur variant de 8 à 30 mètres. Elle est en contact direct avec la surface et repose sur un substratum marneux imperméable, qui devient semi-perméable au sud en raison de la présence de roches argilo-sableuses. Cette nappe est alimentée par les précipitations atmosphériques ainsi que par les crues des oueds Saf-Saf et Zeramna. (Medjani F., 2007).

##### 4.1.2. Nappe profonde

La nappe profonde est largement répandue dans la zone d'étude et est contenue dans les graviers du Quaternaire. Elle est entourée par des formations métamorphiques (schistes et phyllades) sur tous les côtés, exceptés au nord où elle est limitée par la mer Méditerranée. Le substratum de cette nappe est constitué de marnes, et son toit est marneux à l'ouest, devenant semi-perméable vers l'est avec une formation composée d'argile sableuse. Cette nappe est alimentée par les précipitations, le drainage provenant de la nappe superficielle, et les oueds Saf-Saf et Zeramna dans la partie ouest. (Medjani F., 2007).

### 4.1.3. Coupe hydrogéologique

Pour mieux comprendre le système aquifère, une coupe hydrogéologique traversant la majeure partie des forages existants a été réalisée à partir des colonnes stratigraphiques des nouveaux forages (2005) et des sondages carottés effectués par le Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction (LNHC).

Cette coupe, orientée Nord-Est/Sud-Ouest, révèle que le système aquifère de la plaine de Skikda est essentiellement constitué de deux nappes d'importance inégale :

- **Nappe superficielle** : Constituée de sable dunaire au nord, avec une lithologie formée d'alluvions récentes composées de sable argileux et de quelques lentilles de sables au sud. Des couches limono-argileuses sont également présentes. Son épaisseur est d'environ 30 mètres au nord et 12 mètres au sud.
- **Nappe profonde** : Composée principalement de graviers et de sables fins ou grossiers, avec une épaisseur variant de 18 à 35 mètres. Cette nappe repose sur un substratum imperméable marneux.

Les deux nappes sont séparées par une couche épaisse plus ou moins imperméable composée de marne, dont l'épaisseur varie de 10 mètres au nord à 40 mètres au sud.

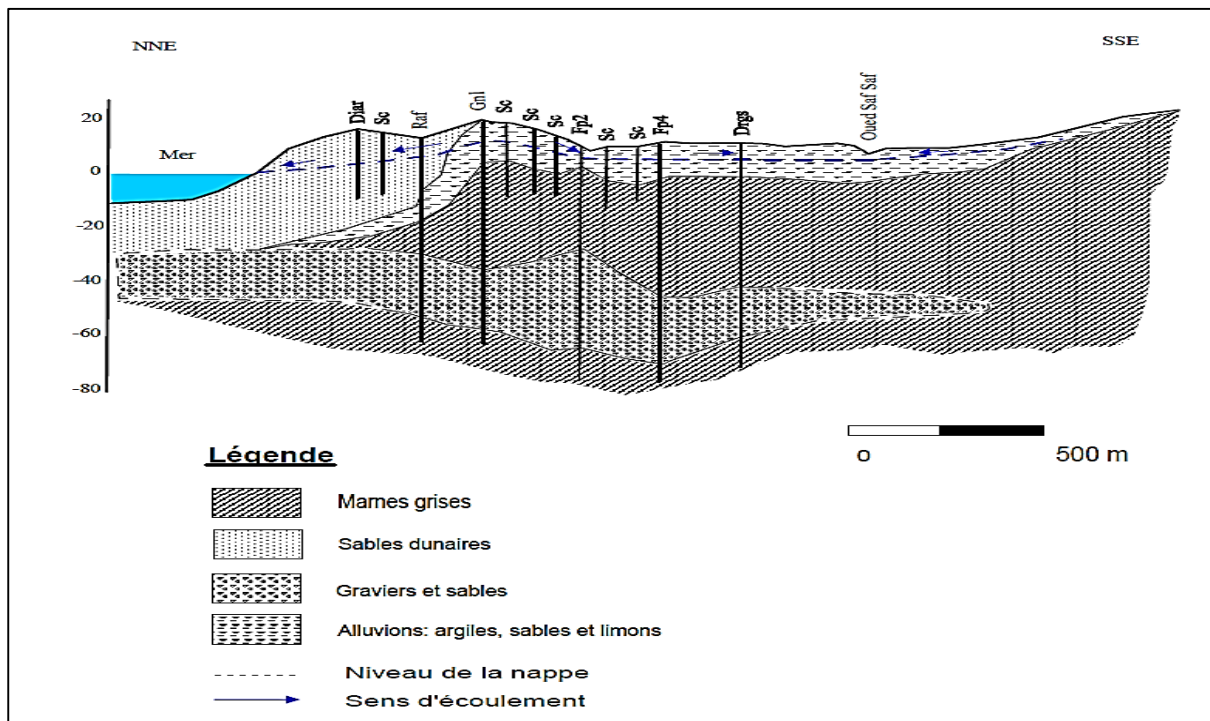


Figure III.10. Coupe hydrogéologique dans la plaine de Skikda. (Medjani F., 2007)

## Conclusion

Dans cette étude, nous avons analysé divers facteurs et paramètres climatologiques en nous appuyant sur des données collectées sur une période de 22 ans (1997-2019) pour la station de Skikda. Les principales variables étudiées comprennent les précipitations et les températures.

Les résultats montrent que :

- Précipitations : La région reçoit un total annuel moyen de 777,3 mm de précipitations.
- Température : La température moyenne mensuelle est de 19,02°C.
- Évapotranspiration Potentielle (ETP) : L'évapotranspiration potentielle totale est de 932,47 mm.
- Évapotranspiration Réelle (ETR) : L'évapotranspiration réelle cumulée est de 442,92 mm.
- Ruissellement : Le ruissellement total est de 180,04 mm.
- Infiltration : Le total des infiltrations est de 154,32 mm.

Ces données indiquent que la région de Skikda présente une tendance sub-humide, avec une répartition spécifique des précipitations et des températures tout au long de l'année, influençant les processus hydriques tels que l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration. Ces informations sont essentielles pour la gestion des ressources en eau et pour comprendre les dynamiques hydrologiques de la région.

Du point de vue hydrologique, la zone d'étude est traversée par deux oueds principaux qui jouent un rôle crucial dans le réseau hydrographique de la région.

- Oued Saf-Saf : Constituant le principal cours d'eau du bassin versant de Saf-Saf, cet oued prend naissance dans les monts de Constantine au sud et s'écoule vers le nord. Avec une longueur de 53,19 km. L'Oued Saf-Saf est essentiel non seulement pour l'irrigation agricole mais aussi pour l'alimentation des nappes phréatiques locales. Sa gestion est donc cruciale pour préserver la qualité de l'eau et prévenir les risques de pollution.
- Oued Zeramna : Affluent important de l'Oued Saf-Saf, l'Oued Zeramna émerge des zones montagneuses de Bouchtata. Avec une longueur de 15,5 km, il contribue de manière significative au débit de l'Oued Saf-Saf. La confluence de ces deux oueds renforce la dynamique hydrologique de la région, mais pose également des défis en termes de gestion des ressources en eau, notamment en ce qui concerne la prévention des inondations et la maîtrise de la pollution.

Ces deux oueds forment un réseau hydrologique complexe et interdépendant, dont la gestion intégrée est essentielle pour assurer un approvisionnement en eau durable et de qualité pour les

activités agricoles, industrielles et domestiques dans la région. Leur préservation passe par une compréhension approfondie des interactions entre les eaux de surface et les eaux souterraines, ainsi que par la mise en œuvre de mesures de protection efficaces contre les diverses sources de pollution.

Le système aquifère de la zone côtière de Skikda se compose de deux aquifères distincts : l'un profond et captif, et l'autre superficiel et libre. La nappe du cordon dunaire, limitée à une bande littorale de sables dunaires, a une épaisseur d'environ 35 mètres et est alimentée directement par les eaux de pluie efficaces. La nappe des alluvions récentes, à texture argilo-sableuse, argilo-limoneuse ou sablo-argileuse, avec quelques lentilles de sables, est de faible épaisseur, de l'ordre de 12 mètres. L'aquifère profond est constitué de graviers hétérogènes et de sables fins à grossiers, avec une épaisseur variant de 18 à 35 mètres. Son toit est imperméable, composé de marnes grises compactes, ou semi-perméable, formé de marnes graveleuses ou de marnes sableuses.

Chapitre IV :

*Évolution spatiale et temporelle de la  
qualité des eaux et effets de la pollution*

## Introduction

Les ressources en eau dans la basse vallée du Saf-Saf sont particulièrement menacées par les pollutions provenant des pratiques industrielles et agricoles intensives, ainsi que par la pollution domestique. La pression exercée par les différents usagers exacerbe cette situation, entraînant une dégradation constante de la qualité de l'eau.

Face à l'ampleur et à l'expansion continue de ces problèmes, il est impératif de mettre en place des stratégies efficaces pour protéger et préserver les ressources en eau. Cela nécessite une approche intégrée et coordonnée impliquant tous les secteurs d'activité, afin de garantir un environnement sain et durable pour les générations futures.

### 1. Diagnostic des sources de pollution de la basse vallée de l'oued Saf-Saf

Dans cette section de l'étude, nous aborderons une évaluation quantitative des pollutions, basée sur les données fournies par deux institutions clés :

- l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) de Constantine.
- La Direction de l'Environnement (DEW) de la Wilaya de Skikda.

La basse vallée de l'Oued Saf-Saf et l'Oued Zeramna sont d'une importance capitale, couvrant ensemble la moitié de la superficie de la commune de Skikda. Cette zone revêt une importance particulière en raison de son impact significatif sur la qualité environnementale locale.

L'analyse quantitative des données permettra de mieux comprendre les niveaux de pollution actuels, les sources potentielles de contaminants et les implications pour la gestion durable des ressources en eau dans cette zone vulnérable.

#### 1.1. La pollution urbaine

Dans la basse vallée de l'Oued Saf-Saf, on distingue deux types de systèmes d'assainissement ; unitaire et séparatif. Les eaux usées et les eaux pluviales de la partie nord de la zone d'étude sont rejetées en mer, la majorité des points de rejet étant situés dans le port. En revanche, la partie sud dirige ses rejets vers les oueds et vers la galerie de Mouader. Il existe également plusieurs rejets individuels dans cette région.

Ces eaux usées ne subissent aucun traitement. Il est important de noter que la population de cette zone dépasse les 200 000 habitants (selon le recensement RGPH de 2022) la population était de 240 204 habitants). Conformément à la loi n° 02-02 du 05 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral, article 22, il est obligatoire d'implanter une station d'épuration pour traiter les eaux usées de cette population. L'enquête sur le terrain a permis de recenser 12 points de rejet.



Rejet collecteur principal de la ville de Skikda

Rejet collecteur principal de la ville de Skikda

Figure IV.1. Rejets des eaux usées urbaines dans la basse plaine du Saf-Saf.

## 1.2. La pollution industrielle

La pollution industrielle est particulièrement marquée en aval de la basse plaine, dans la ville de Skikda, en raison de la présence du pôle hydrocarbure couvrant une superficie d'environ 1200 hectares. Chaque unité de production est censée rejeter ses eaux usées industrielles vers une sous-station de traitement, où elles doivent subir une neutralisation avant d'être évacuées vers l'oued Saf-Saf. Ces eaux, souvent chargées en hydrocarbures, devraient également passer par une décantation, mais ce n'est généralement pas le cas. En réalité, ces eaux ne subissent aucun traitement adéquat et sont déversées directement dans l'oued Saf-Saf ou en mer.

Par exemple, le complexe de gaz naturel liquéfié (GL1/K) rejette ses eaux résiduaires dans l'oued Saf-Saf avec des teneurs élevées en phénols, atteignant 5,6 mg/l (la norme admise en Algérie étant de 0,5 mg/l). Ces eaux contiennent également des produits hautement toxiques comme la Morpholine et la Monoéthanolamine (MEA).

De plus, les effluents de la Centrale Thermique d'Électricité (CTE) sont chargés de polluants bactériologiques et organiques, et sont caractérisés par une température élevée, entraînant une pollution thermique qui épuise l'oxygène dissous dans l'eau. (Khelfaoui F., 2008).

Tableau IV.1. Superficies des unités industrielles implantées sur le pôle des hydrocarbures.

Unités	Complexe GL1/K	Complexe RA1/K	Complexe CPI/K	CTE	ENG I	UTE + GCB	PEHD + laboratoire	FIR	EGZIK	SOMIK
Superficie occupée (Ha)	111.59	186.58	52	10.21	3.84	103	46	3.7	6.7	7.96

(Zeghaba N., 2011)

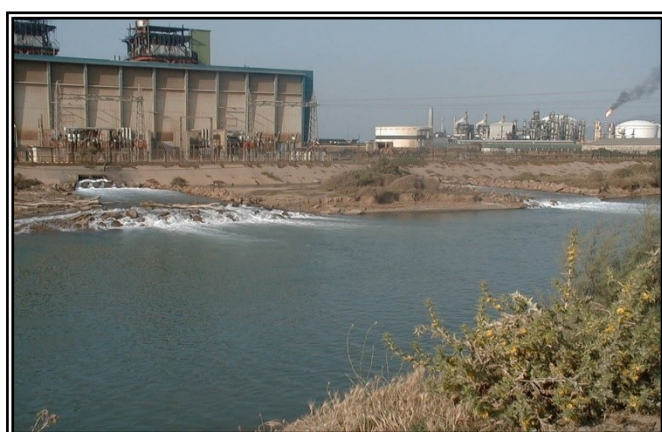


Figure IV.2. Schéma des différentes installations industrielles dans le pôle d'hydrocarbures de Skikda. (Zeghaba N., 2011).

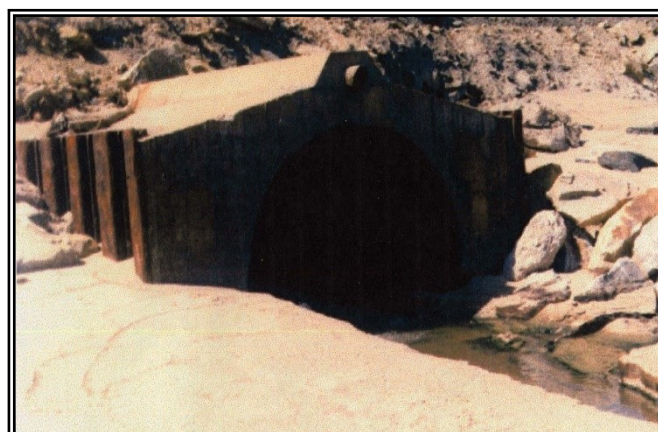
Tableau IV.2. Types de polluants et volumes d'eaux usées rejetés de quelques unités de la zone industrielle pétrochimique de Skikda.

Unités	Type de produit	Type de polluant	Eau rejetée (m <sup>3</sup> /j)	Milieu récepteur
RA1/K	Raffinage des produits pétrochimiques	Hydrocarbure, boues, Produits chimiques	2162	Oued Marhoum, Oued Saf-Saf
GL1/K	Liquéfaction du gaz naturel	Phénols, Morpholine, Monoethanolamine.	980	Oued Saf-Saf
CP1/K	Matières plastiques	Mercure, produits chlores, acides, bases	1421	La mer
CTE	Production d'électricité	Soude solide, sulfates, fer	136	Oued Saf-Saf La mer

Source. DEW de Skikda.2024



Rejets de la CTE dans l'oued Saf-Saf



Rejets du CP1/K dans la mer

Figure IV.3. Rejets d'eaux usées industrielles dans la basse plaine du Saf-Saf. (Khelfaoui F., 2008)

L'insuffisance, voire l'absence totale de stations d'épuration et de traitement à la sortie de ces centres et zones d'activités industrielles, met en évidence l'ampleur de la catastrophe qui menace les ressources en eau superficielles et souterraines. Pour promouvoir une politique de concertation avec le secteur industriel, le ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement a encouragé plusieurs industries à signer des engagements pour mettre en œuvre des actions de contrôle et de surveillance de la pollution industrielle.

Ces engagements visent à instaurer des pratiques plus durables et responsables, permettant ainsi de réduire les impacts environnementaux négatifs et de protéger les ressources en eau.

Ainsi, le recours aux codes des eaux demeure un outil réglementaire incontournable pour établir une législation efficace, équilibrant les besoins environnementaux et le développement industriel. L'application du principe "pollueur-payeur" en est un élément clé, assurant que les industries responsables de la pollution prennent en charge les coûts liés à la prévention, la réduction et la réparation des dommages environnementaux.

### **1.3. La pollution agricole**

Le recours à l'agriculture intensive dans la basse vallée du Saf-Saf, notamment dans le secteur I du périmètre irrigué, s'est accéléré durant les années 1990 avec le développement de l'irrigation. La libéralisation du secteur agricole a permis aux agriculteurs d'accéder plus facilement aux engrais et produits chimiques de traitement des cultures pour augmenter leur production, soutenue par des incitations financières des programmes de développement agricole mis en œuvre par l'État.

Cependant, cette utilisation d'engrais et de produits chimiques n'est pas toujours contrôlée, entraînant souvent une surutilisation. Ces substances se retrouvent dans les eaux superficielles et souterraines par ruissellement et infiltration, dégradant ainsi la qualité de l'eau et la rendant, à terme, impropre à la consommation.



Figure IV.4. Irrigation et agriculture intensive dans le périmètre du Saf-Saf.  
(Khelfaoui F., 2008).

## 2. Chimisme et la qualité des eaux dans le basse vallée du Saf-Saf

Les cours d'eau jouent le rôle de récepteurs et de transport des différents rejets urbains, industriels et agricoles. La charge de pollution est plus ou moins importante quand le phénomène d'auto-épuration ne suffit plus.

L'oued Saf-Saf représente le principal cours d'eau dans le bassin, la qualité de ses eaux varie de dans l'espace de l'amont vers l'aval et dans le temps suivant les saisons (hautes et basses eaux).

### 2.1. Caractérisation chimique des eaux de l'oued Saf-Saf dans la basse plaine : Analyse des Données de Mai 2009

Dans le but de bien appréhender la variation spatio-temporelle de la qualité des eaux de l'oued Saf-Saf on a pris en considération les résultats des analyses chimiques de quarante-huit (48) échantillons effectuées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) de Constantine. Les analyses ont été effectuées en 2009. (Mois de mai).

Tableau IV.3. Désignation des points de prélèvements

Points	X(m)	Y(m)	Points	X(m)	Y(m)	Points	X(m)	Y(m)
1	877,299	405,811	17	877,853	403,324	33	878,872	401,786
2	877,442	405,771	18	877,912	403,091	34	878,970	401,647
3	877,719	405,643	19	877,724	402,829	35	879,114	401,534
4	877,927	405,608	20	877,690	402,631	36	879,198	401,449
5	878,110	405,554	21	877,705	402,468	37	879,302	401,311
6	878,273	405,222	22	877,853	402,374	38	879,440	401,217
7	878,184	405,049	23	878,036	402,394	39	879,480	401,009
8	877,789	404,985	24	878,159	402,305	40	879,455	400,846
9	877,606	405,074	25	878,214	402,127	41	879,509	400,658
10	877,423	405,049	26	878,258	401,959	42	879,539	400,465
11	878,100	404,792	27	878,239	401,652	43	879,564	400,218
12	878,036	404,674	28	878,313	401,425	44	879,638	399,991
13	877,972	404,550	29	878,436	401,524	45	879,519	399,872
14	877,892	404,105	30	878,506	401,637	46	879,356	399,921
15	877,843	403,872	31	878,590	401,825	47	879,218	400,030
16	877,833	403,546	32	878,753	401,894	48	879,089	400,035

(Source : Khelifaoui F., 2014)

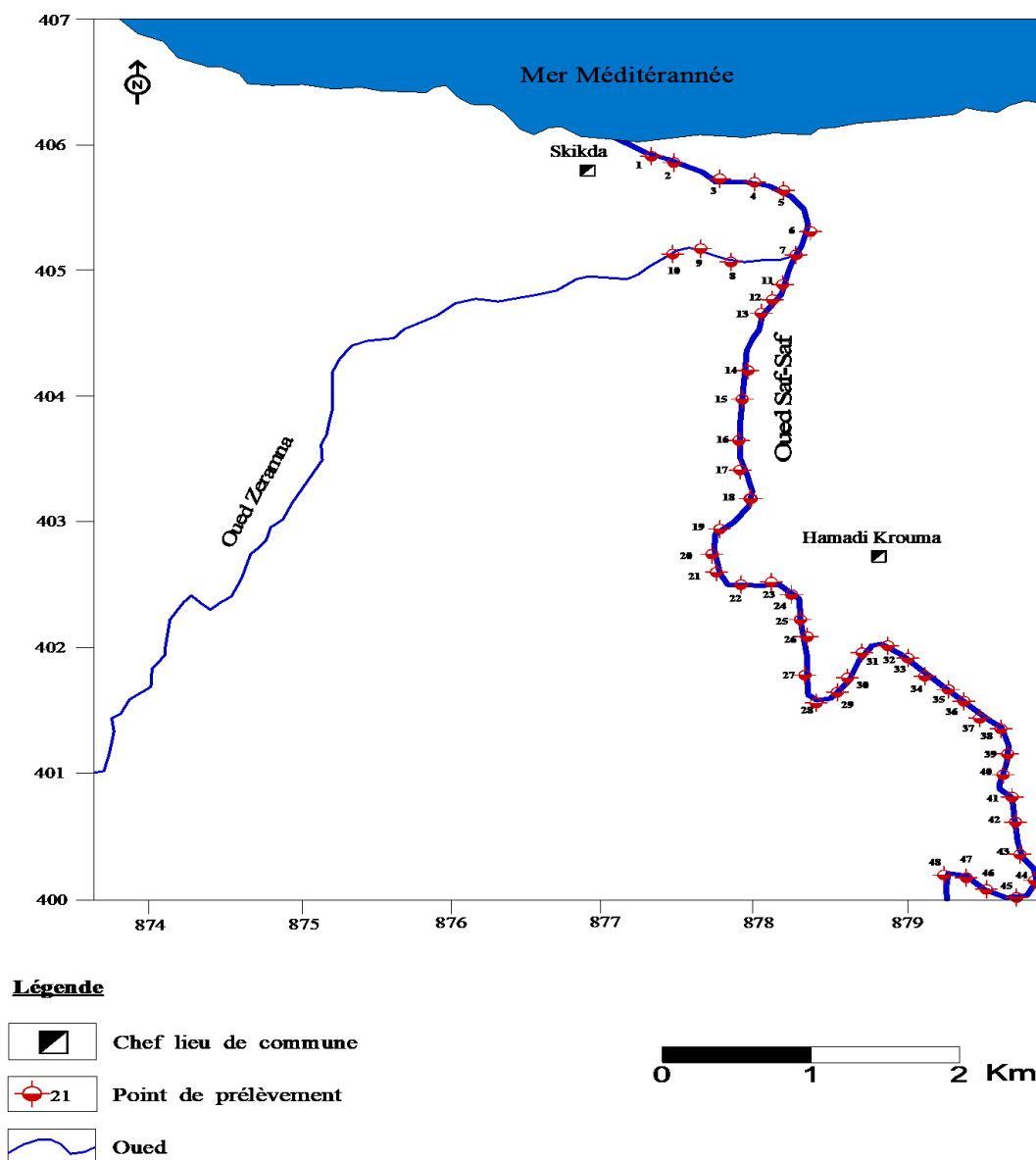


Figure IV.5. Carte d'inventaire des points de prélèvements en aval du bassin du Saf-Saf. (Khelifaoui F., 2014).

## 2.2. Résultats et discussions

Huit principaux critères sont pris en considération pour évaluer la qualité des eaux d'irrigation.

- Salinité : contenu total en sel soluble.
- Sodium : proportion relative des cations sodium ( $\text{Na}^+$ ) par rapport aux autres.
- Alcalinité et dureté : concentration en anions carbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) en relation avec la concentration en calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et en magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ).
- Concentration en éléments qui peuvent être toxiques.

- Le pH de l'eau d'irrigation.

Afin d'étudier de manière approfondie la variabilité spatiale de la qualité des eaux de l'oued Saf-Saf, nous avons segmenté le cours d'eau ainsi que les points de prélèvement en trois secteurs distincts :

- La partie aval de la basse vallée, comprenant les points de 1 à 13.
- Le centre de la basse vallée, englobant les points de 14 à 28.
- L'amont de la basse vallée, couvrant les points de 29 à 48.

Cette division permet une analyse précise et ciblée des caractéristiques de l'eau tout au long de l'oued Saf-Saf, en tenant compte des spécificités locales et des éventuelles variations dans la qualité de l'eau à différentes sections du cours d'eau.

### 2.2.1. Salinité

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), de magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), de sodium ( $\text{Na}^+$ ), les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ), les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) et les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires.

Tableau IV.4. Classification des eaux selon la salinité

Salinité TDS (mg/l)	Type d'eau	Points correspondants
0-7680	Bonne	34
>7680	Mauvaise	14

La figure IV.6 et le tableau IV.4 montrent que la majeure partie des points analysés (amont et centre de la basse plaine) les eaux de surface sont des eaux bonnes pour l'irrigation. Cependant la partie avale, présente des eaux de mauvaise qualité en matière de salinité.

La salinité élevée peut être expliquée par plusieurs facteurs, notamment la proximité de la mer, la présence de sols salés, l'accumulation de sels issus des pratiques agricoles, ainsi que la remontée d'eaux souterraines salines vers la surface. Cette concentration excessive de sels dans l'eau risque de rendre l'eau impropre à l'irrigation, entraînant des effets négatifs sur la croissance des cultures et augmentant le risque de salinisation des sols.

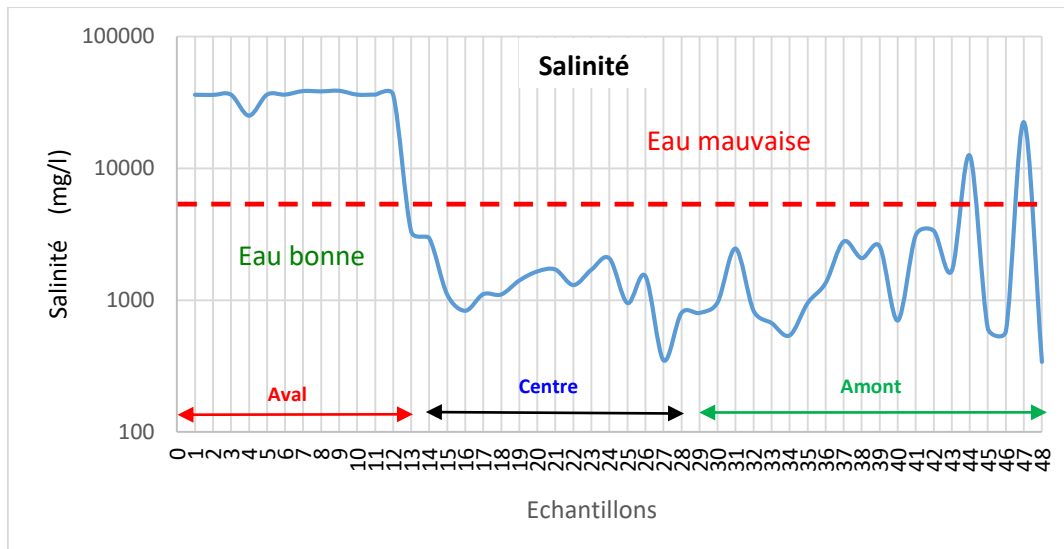


Figure IV.6. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction de la salinité

### 2.2.2. Conductivité électrique (CE)

Par rapport aux valeurs des conductivités électriques mesurées, le tableau IV.5 montre les deux classes qui caractérisent les eaux d'irrigation en fonction de la conductivité électrique.

Tableau IV.5. Classification des eaux de surface selon la conductivité électrique

Conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Type d'eau	Points correspondants
0-12000	Bonne	36
>12000	Mauvaise	12

D'après la figure IV.7 et le tableau IV.5, en analysant la conductivité électrique, deux classes se distinguent clairement. La première classe, représentant la majorité des points (36 points), correspond aux eaux de bonne qualité et couvre la partie amont et le centre de la basse plaine. En revanche, la deuxième classe concerne les points où la conductivité électrique dépasse les 12000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , principalement situés dans la partie aval de la basse plaine.

Cette augmentation significative de la conductivité électrique dans la partie aval peut être influencée par plusieurs facteurs, notamment la proximité de la mer Méditerranée. Les eaux côtières peuvent être sujettes à une intrusion d'eau de mer salée, ce qui augmente la conductivité électrique de manière notable. De plus, d'autres facteurs comme la présence de sols salés,

l'accumulation de sels issus des pratiques agricoles et les eaux souterraines salines peuvent contribuer à cette augmentation.

Cette différence dans la conductivité électrique entre les différentes zones de la basse plaine souligne l'impact de la géographie locale et des pratiques environnementales sur la qualité des eaux.

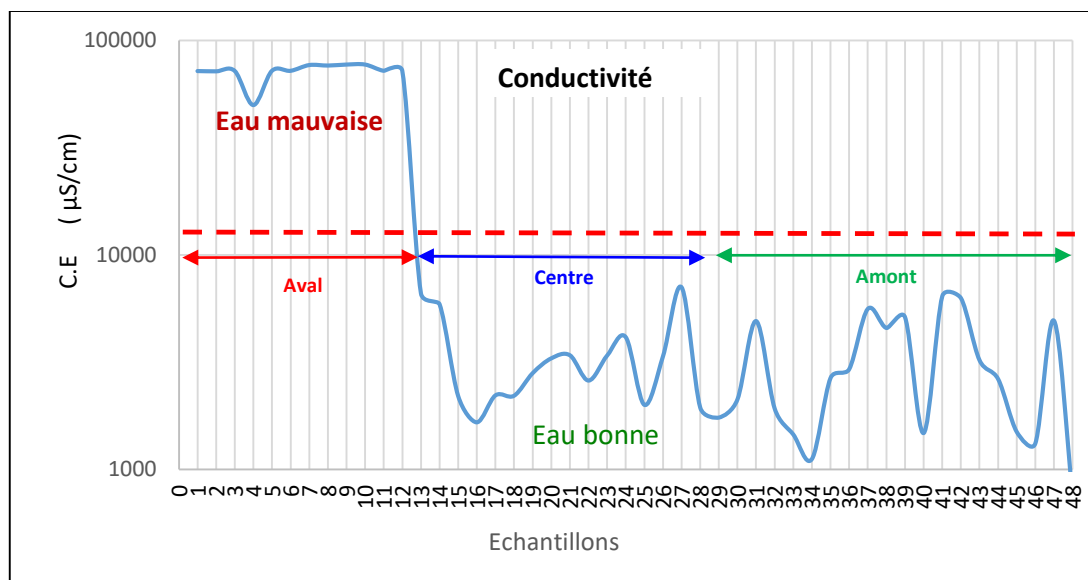


Figure IV.7. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction de la conductivité électrique.

### 2.2.3. Les chlorures (Cl<sup>-</sup>)

Les teneurs en chlorures sont importantes au niveau de la majorité des points analysés parce qu'ils reçoivent tous les rejets des eaux usées.

Tableau IV.6. Classification des eaux de surface selon les chlorures

Chlorures (mg/l)	Type d'eau	Points correspondants
0-350	Bonne	18
>350	Mauvaise	30

Pour les chlorures (Cl<sup>-</sup>), l'analyse montre que la majorité des points étudiés (30 points) présentent une qualité d'eau jugée médiocre, concentrée principalement dans la partie aval. Dans cette zone, les concentrations en chlorures dépassent 350 mg/l, comme illustré sur la

figure IV.8. En revanche, les points où la qualité de l'eau est considérée comme bonne sont répartis entre la partie amont et le centre de la zone étudiée.

Cette répartition des niveaux de chlorures reflète probablement l'influence de différentes sources et processus environnementaux. Dans la partie aval, la concentration élevée en chlorures pourrait résulter de divers facteurs tels que l'influence des eaux saumâtres issues de la mer, les pratiques agricoles intensives ou encore la dégradation des sols. En comparaison, les niveaux plus bas observés dans la partie amont et le centre indiquent probablement une moindre influence de ces facteurs, permettant ainsi de maintenir des niveaux de chlorures plus favorables pour les usages agricoles et environnementaux.

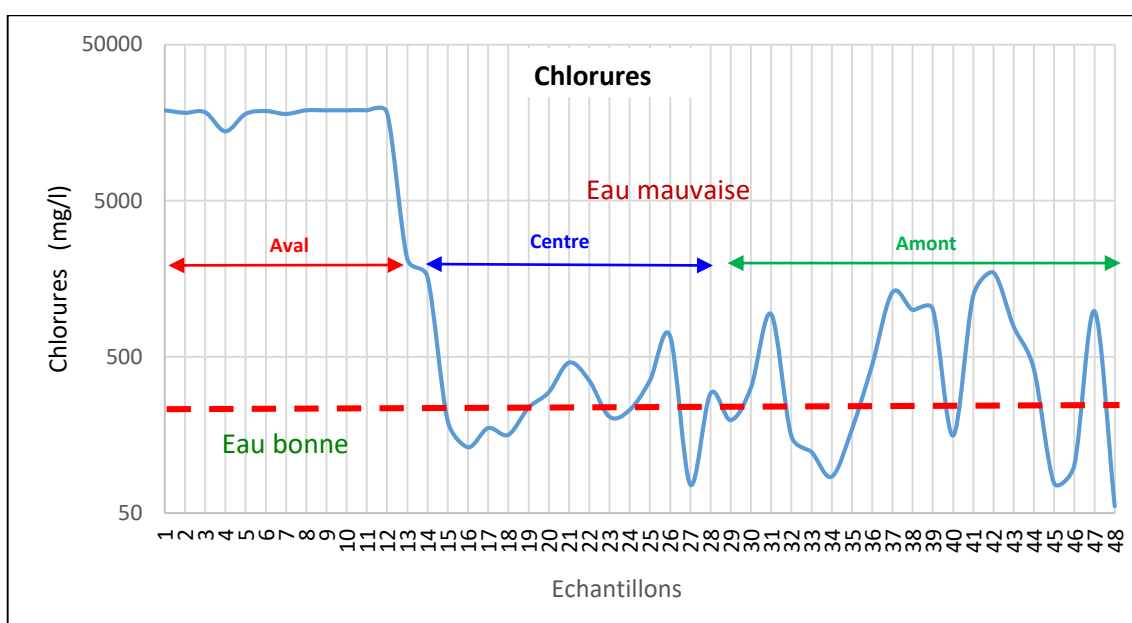


Figure IV.8. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction des chlorures

#### 2.2.4. Les Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

La figure IV.9 qui présente les concentrations de sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), révèle deux classes distinctes. La première classe, représentant les eaux de bonne qualité, est constituée par la majorité des points (29 points) et concerne principalement la partie amont et centrale de la zone d'étude. En revanche, la deuxième classe regroupe les eaux de mauvaise qualité, situées principalement dans la partie avale. Notamment, un pic exceptionnel de 4575,4 mg/l a été enregistré au point 8, dépassant largement la norme fixée à 250 mg/l. Quelques points situés en amont affichent également des concentrations élevées, ce qui pourrait être attribué à des sources spécifiques de contamination ou à des conditions géologiques particulières.

Cette répartition des niveaux de sulfates met en évidence les disparités géographiques de la qualité de l'eau dans la zone d'étude, nécessitant une attention particulière pour les secteurs les plus affectés afin de protéger la santé des écosystèmes et des populations locales.

Tableau IV.7. Classification des eaux de surface selon les sulfates

Les Sulfates (mg/l)	Type d'eaux	Points correspondants
0-250	Bonne	29
>250	Mauvaise	19

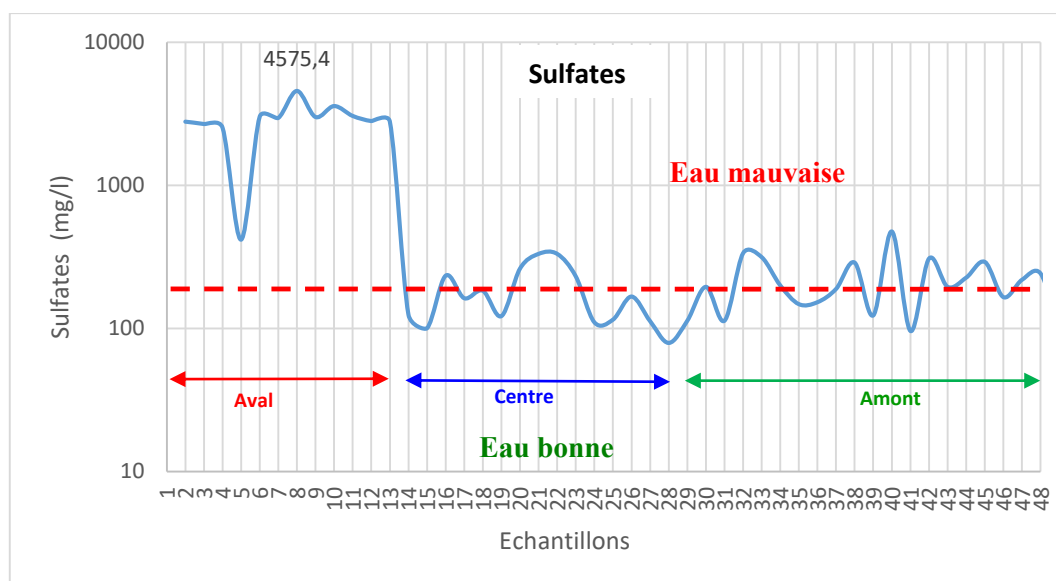


Figure IV.9. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction des sulfates.

### 2.2.5. Sodium ( $\text{Na}^+$ )

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans les eaux d'irrigations. Cet élément ayant plusieurs origines, à savoir, l'altération des roches et du sol, les intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation.

Tableau IV.8. Classification des eaux de surface selon le Sodium

Sodium (mg/l)	Type d'eau	Points correspondants
0-69	Bonne	06
>69	Mauvaise	42

Le graphique indique que, pour le sodium, la majorité des points analysés des eaux de surface appartiennent à la classe de mauvaise qualité (42 points, soit 87,5 % du total). Un pic de 11190 mg/l est observé au point 8, dépassant largement la norme fixée par l'OMS à 69 mg/l, et se concentrant dans la partie aval de la zone d'étude. Les autres points, bien que répartis sur le reste de la zone d'étude, affichent des valeurs inférieures à 1000 mg/l, mais restent néanmoins supérieures aux normes recommandées.

Cette distribution indique que la partie aval est particulièrement affectée par des niveaux élevés de sodium, probablement en raison de l'influence de la proximité de la mer, ce qui favorise l'intrusion d'eau salée. De plus, d'autres facteurs anthropiques, tels que les rejets industriels et agricoles, peuvent contribuer à cette contamination.

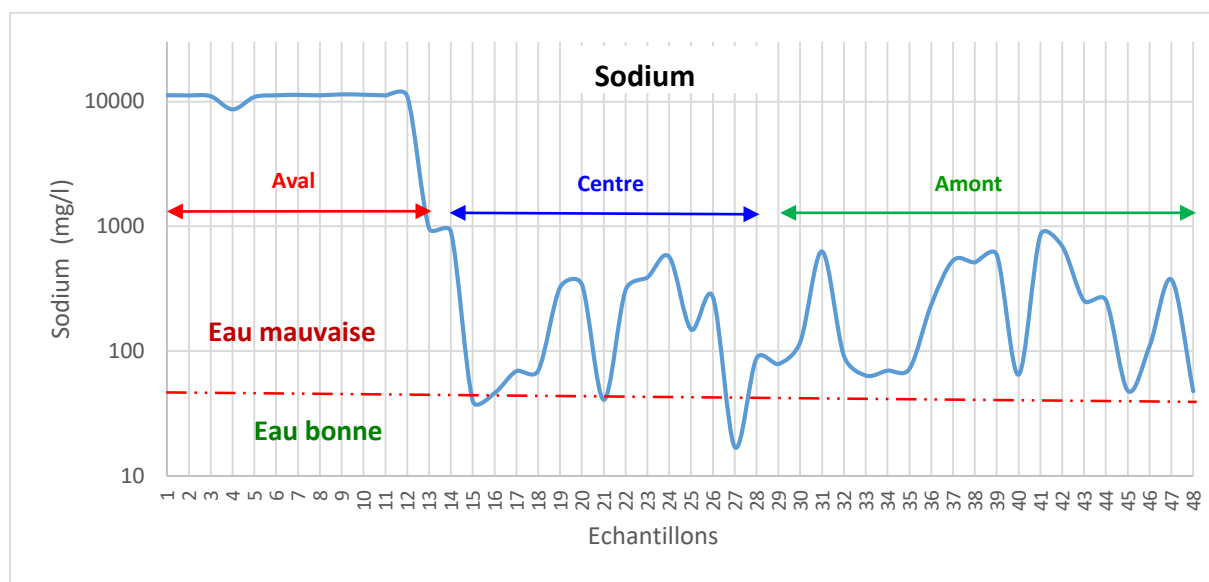


Figure IV.10. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction du sodium.

### 2.2.6. Les Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )

Les teneurs des bicarbonates et suivant leurs normes, nous donne les deux classes de ces eaux pour l'irrigation (tableau IV.9).

Tableau IV.9. Classification des eaux de surface selon les bicarbonates

Bicarbonates (mg/l)	Type d'eau	Points correspondants
0-518	Bonne	40
>518	Mauvaise	08

Le graphique révèle que, pour les bicarbonates, la majorité des points d'échantillonnage des eaux de surface appartiennent à la classe de bonne qualité, représentant 83 % des prélèvements répartis sur l'ensemble de la zone d'étude. Cependant, seuls 8 points dépassent la norme recommandée par l'OMS, fixée à 518 mg/l, avec un pic notable de 2240,95 mg/l au point 43. Cette anomalie peut probablement s'expliquer par des facteurs géologiques locaux, tels que la dissolution de roches carbonatées riches en bicarbonates, ou par des influences anthropiques comme les rejets industriels et agricoles.

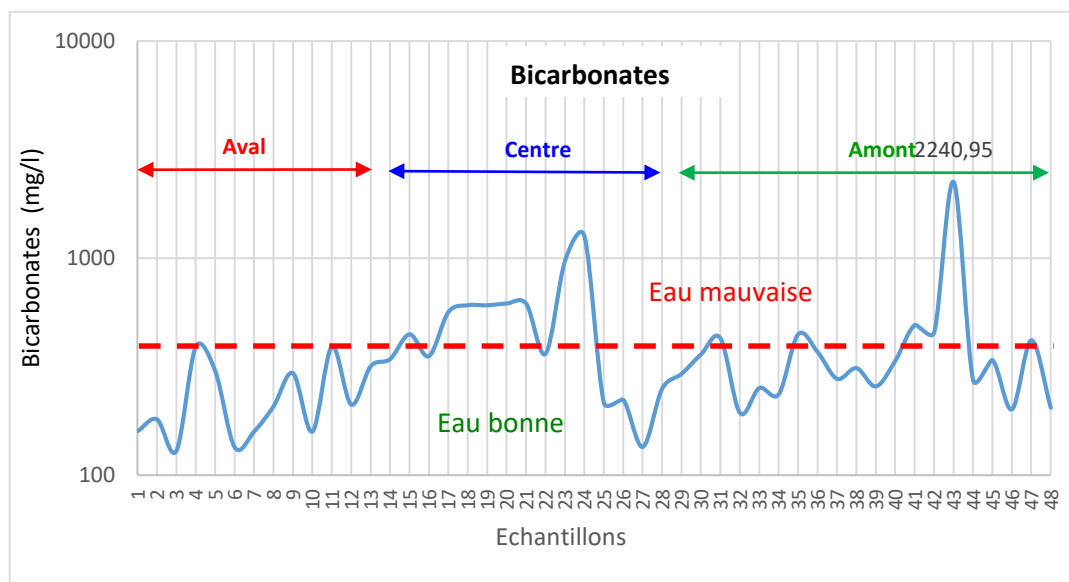


Figure IV.11. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction des bicarbonates

### 2.2.7. Le pH des eaux d'irrigations

Le pH joue un rôle crucial dans la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans les eaux d'irrigation. Idéalement, la valeur de pH devrait se situer entre 6,5 et 8,4 pour assurer une solubilité optimale des micro-éléments. Ces conditions pH favorables permettent une meilleure absorption des nutriments essentiels par les plantes, contribuant ainsi à une efficacité accrue de l'irrigation agricole.

Tableau IV.10. Classification des eaux d'irrigation selon le pH

pH	Type d'eau	Points correspondantes
6,5-8,4	Bonne	39
>8,4	Mauvaise	09

La figure IV.12 et le tableau IV.10 mettent en évidence que les eaux de l'oued Saf-Saf sont légèrement alcalines. Le pH varie principalement entre 6,5 et 8,4, indiquant une bonne qualité des eaux le long de l'oued, à quelques exceptions près dans la partie aval de la basse plaine, où le pH dépasse les normes admissibles.

Ces résultats révèlent une légère variation des valeurs de pH, reflétant clairement l'influence de la géologie du bassin versant sur la composition chimique des eaux.

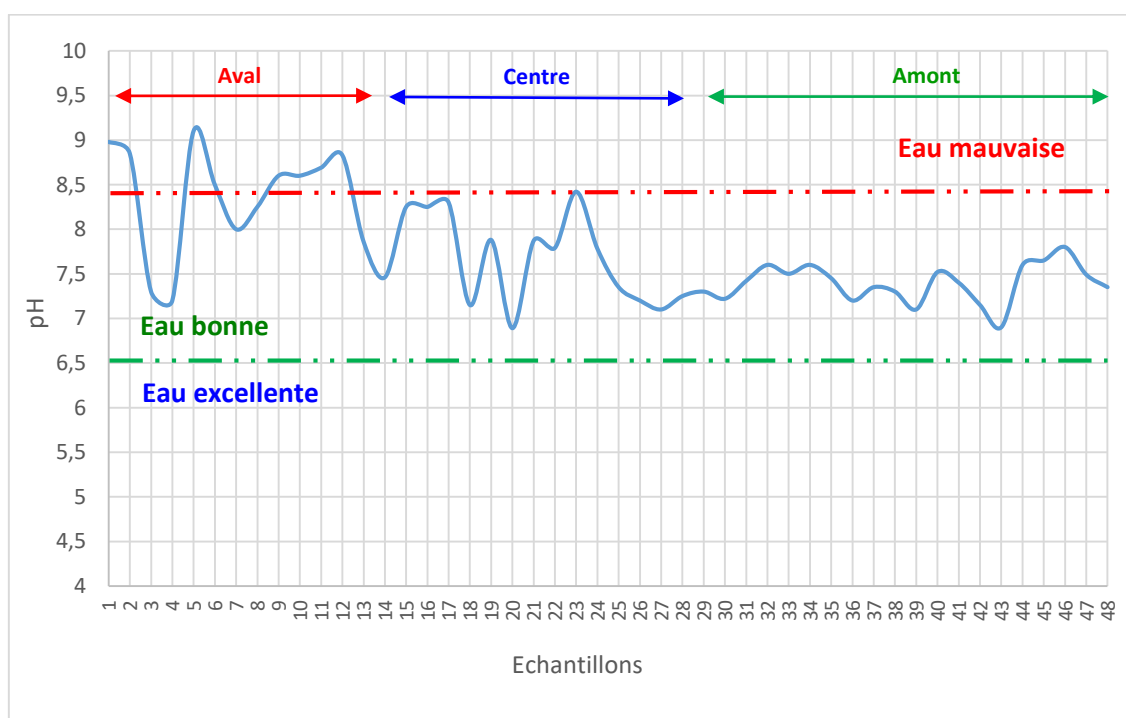


Figure IV.12. Courbe de la qualité des eaux d'irrigations en fonction du pH

### 2.2.8. Les Nitrates

Les nitrates proviennent principalement de sources agricoles telles que les engrais azotés. En présence de phosphore, ils peuvent contribuer à l'eutrophisation des eaux. Ces composés sont souvent issus non seulement de l'utilisation d'engrais, mais aussi des déchets industriels et domestiques. Le tableau IV.11 présente la classification des eaux de surface de la région d'étude selon les normes applicables à cet élément.

Tableau IV.11. Classification des eaux de surface selon les nitrates

<b>Nitrate (mg/l)</b>	<b>Type d'eau</b>	<b>Points correspondants</b>
0-30	Bonne	42
>30	Mauvaise	06

La figure IV.13 met en évidence que la grande majorité des échantillons de eaux de l'oued Saf-Saf de la basse vallée présentent des niveaux de nitrates conformes aux normes de bonne qualité (42 points sur un total de 48 prélèvements). Cependant, il est important de noter que six points analysés sont classés comme présentant une qualité d'eau médiocre.

Cette variation peut être attribuée à plusieurs facteurs potentiels. Tout d'abord, les pratiques agricoles intensives dans certaines zones pourraient contribuer à des niveaux élevés de nitrates, notamment l'utilisation d'engrais azotés. De plus, le ruissellement des eaux pluviales et l'infiltration des eaux usées agricoles peuvent également influencer les concentrations de nitrates dans les cours d'eau.

Bien que la majorité des prélèvements indiquent une bonne qualité des eaux en termes de nitrates, la présence de points présentant des niveaux plus élevés souligne l'importance de la vigilance continue et de l'action préventive pour protéger et préserver la qualité des ressources en eau de l'oued Saf-Saf.

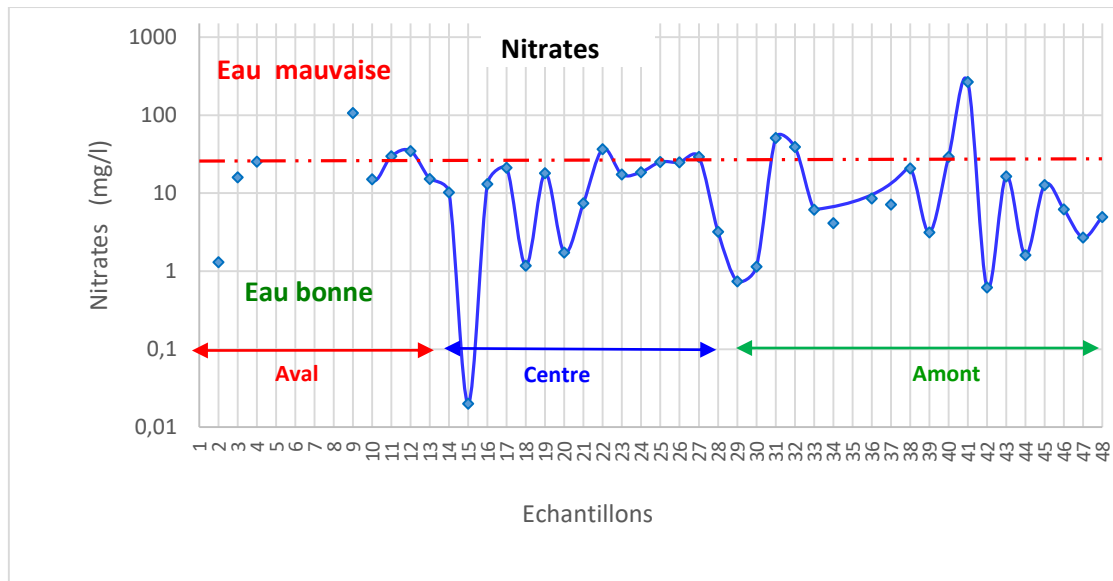


Figure IV.13. Courbe de la qualité des eaux de surface en fonction des nitrates

### 2.3. Caractérisation chimique des eaux de de l'oued Saf-Saf à la basse plaine : (Période récente 2020-2023)

Pour approfondir l'analyse de la variation spatio-temporelle de la qualité des eaux de l'oued Saf-Saf et compenser le manque de données fournies par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) de Constantine, nous avons utilisé les données collectées par la Direction de l'Environnement de la Wilaya (DEW) de Skikda. Ces informations, couvrant la période de 2020 à 2023, concernent le suivi de la qualité des eaux en aval de la Basse Plaine, spécifiquement au niveau de l'embouchure de l'oued.



Figure IV.14. Site de prélèvement ; embouchure de l'Oued Saf-Saf.

## 2.4. Résultats et discussions

### 2.4.1. La conductivité

L'histogramme représente la variation de la conductivité (en  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) des eaux de l'oued Saf-Saf à l'embouchure sur la période de 2020 à 2023. La conductivité des eaux de l'oued Saf-Saf a connu une stabilité au cours de la période étudiée avec des valeurs qui varient entre 1010 et 1100 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ), elles sont toujours supérieures aux valeurs limites admissibles (250  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ).

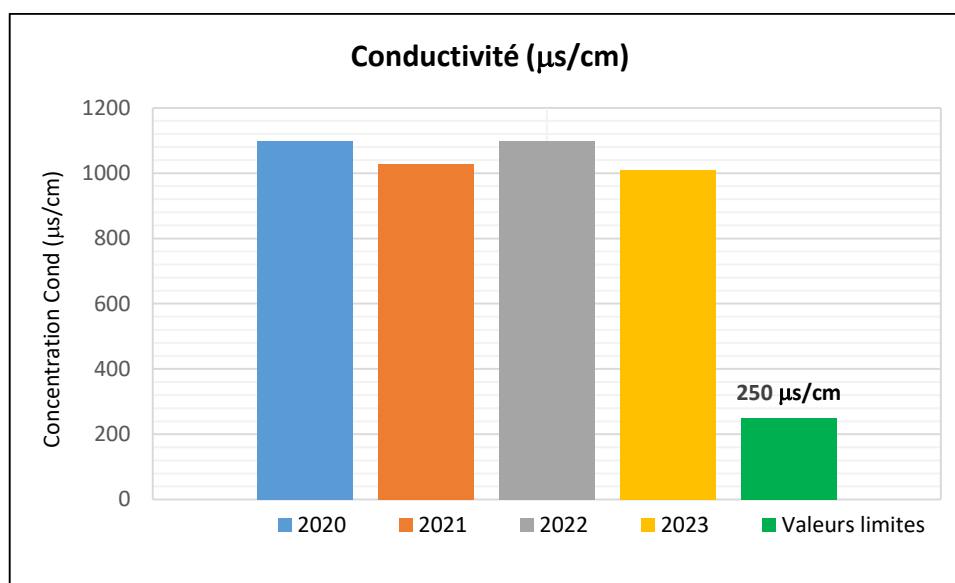


Figure IV.15. Histogramme de variation de la conductivité des eaux de l'oued Saf-Saf à l'embouchure (2020-2023).

Les valeurs élevées de la conductivité des eaux de l'oued Saf-Saf est un indicateur d'une dégradation de la qualité de l'eau. Cette dégradation peut être due à divers facteurs, tels que :

- Rejets d'eaux usées non traitées ou mal traitées en provenance des activités domestiques, industrielles ou agricoles.
- Lessivage des sols par les engrais chimiques et les pesticides.
- Infiltration d'eaux salines provenant de l'intrusion marine ou de l'exploitation des eaux souterraines.

Le fait que la conductivité des eaux de l'oued Saf-Saf dépasse les normes de l'OMS pour les eaux de surface soulève des préoccupations concernant l'utilisation de cette eau. Cette eau ne peut plus être considérée comme potable et son utilisation pour l'irrigation des cultures ou l'abreuvement du bétail peut avoir des impacts négatifs sur l'environnement et la santé humaine.

### 2.4.2. Les matières en suspension (MES)

Dans les eaux superficielles, les MES peuvent provenir soit des effets de l'érosion naturelle du bassin versant suite à de violentes précipitations, soit des rejets d'eaux résiduares urbaines ou industrielles. Leurs effets sur les caractéristiques physico-chimiques de l'eau sont très néfastes. En effet, elles peuvent empêcher la pénétration de la lumière, diminué l'oxygène dissous et limiter alors le développement de la vie aquatique (Rodier, 1996).

Les valeurs de MES sont représentées par la figure IV.16. La plus forte teneur est enregistrée au 2021 avec 130 mg/l et la valeur la plus faible est de 10 mg/l enregistrée en 2023.

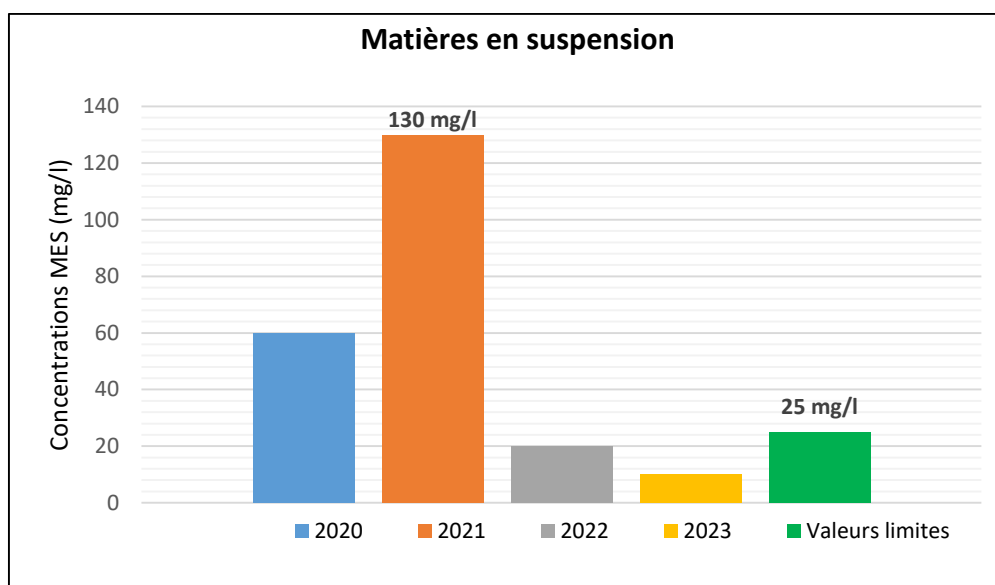


Figure IV.16. Histogramme de variation des matières en suspension des eaux de l'oued Saf-Saf à l'embouchure (2020-2023).

L'histogramme des concentrations en MES (Matières en Suspension) dans les eaux de l'oued Saf-Saf révèle une évolution temporelle complexe sur la période d'étude (2020-2023). Après une augmentation notable des concentrations en MES au cours des années 2020 et 2021, culminant avec un pic de 130 mg/L en 2021, une tendance baissière s'est observée en 2022 et 2023. Bien que cette baisse soit encourageante, il est important de souligner que les concentrations en MES restent supérieures aux valeurs limites admissibles par l'OMS pour les eaux de surface (25 mg/L) sur l'ensemble de la période étudiée.

L'augmentation des concentrations en MES observée en 2020 et 2021 peut être attribuée à une combinaison de facteurs, tels que l'accroissement des activités agricoles, industrielles et

urbaines dans le bassin versant de l'oued Saf-Saf a probablement entraîné une augmentation des apports en MES, notamment par le biais de l'érosion des sols, du ruissellement de surface et des rejets d'eaux usées non traitées ou mal traitées.

Malgré la tendance baissière observée en 2022 et 2023, le dépassement constant des valeurs limites admissibles pour les MES souligne la nécessité de poursuivre les efforts de gestion et de surveillance de la qualité de l'eau dans l'oued Saf-Saf.

### 2.4.3. Demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)

La DBO<sub>5</sub> exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation biologique de la matière organique d'une eau. Elle est sensiblement proportionnelle à la teneur de l'eau en matière organique biodégradable et donc à la quantité de micro-organismes et inversement proportionnelle à la teneur en oxygène dissous. Elle dépend entre autre de la nature des matières organiques dissoutes, de la présence ou de l'absence d'éléments inhibiteurs de la flore microbienne (métaux lourds, hydrocarbures, détergents...).

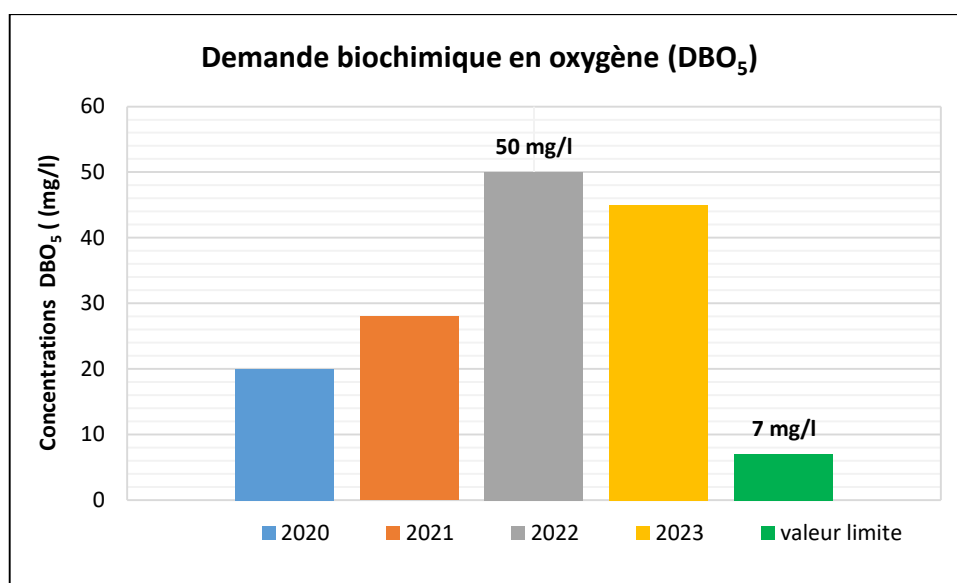


Figure IV.17. Histogramme de variation de la DBO<sub>5</sub> dans les eaux de l'oued Saf-Saf à l'embouchure (2020-2023).

Le graphique ci-dessus montre l'évolution des concentrations de DBO<sub>5</sub> dans l'oued Saf-Saf. En 2020, la concentration de DBO<sub>5</sub> était d'environ 25 mg/L, augmentant légèrement à 28 mg/L en 2021. En 2022, un pic significatif de 50 mg/L a été atteint, suivi d'une légère diminution à 45

mg/L en 2023. Ces concentrations restent nettement supérieures à la valeur limite fixée à 7 mg/L pour toutes les années présentées (2020-2023).

Les concentrations élevées de DBO<sub>5</sub> indiquent une forte charge organique dans l'eau, ce qui signifie une pollution organique significative. Des concentrations aussi élevées peuvent réduire les niveaux d'oxygène dissous dans l'eau, affectant la faune et la flore aquatiques.

La DBO<sub>5</sub> élevée peut provoquer des conditions anoxiques, nuisant aux organismes aquatiques et perturbant l'équilibre écologique de l'oued Saf-Saf.

Le graphe montre une situation préoccupante avec des concentrations de DBO<sub>5</sub> bien au-dessus de la valeur limite. Il est crucial de prendre des mesures correctives immédiates pour améliorer la qualité de l'eau de l'oued Saf-Saf et protéger les écosystèmes aquatiques locaux.

#### 2.4.4. Demande chimique en oxygène (DCO)

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) est un paramètre crucial pour évaluer la qualité de l'eau, représentant la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques et inorganiques présentes dans l'eau. Ce paramètre est essentiel pour déterminer la pollution globale de l'eau par des substances oxydables. (Barkat K., 2016).

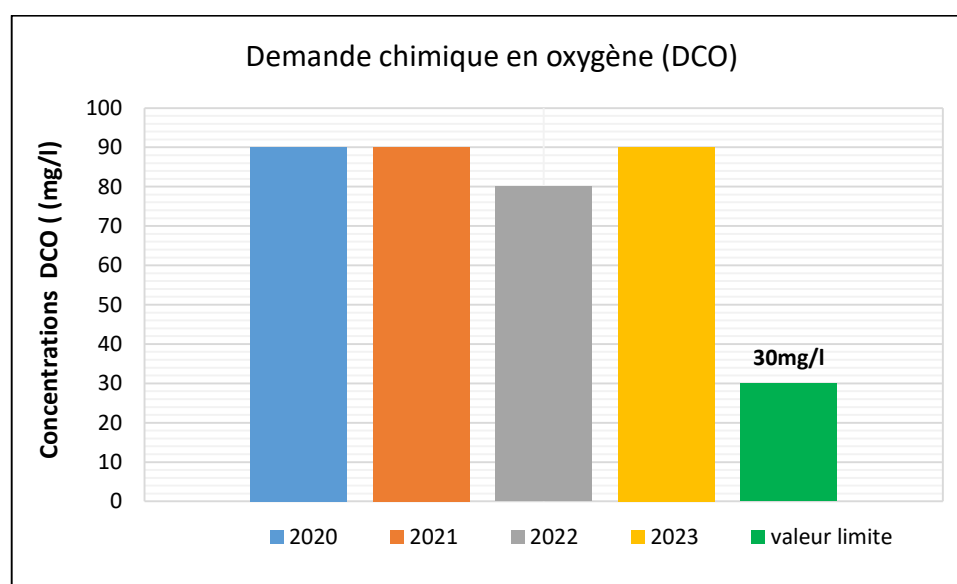


Figure IV.18. Histogramme de variation de la DCO dans les eaux de l'oued Saf-Saf à l'embouchure (2020-2023).

Le graphique ci-dessus présente les concentrations de la Demande Chimique en Oxygène (DCO) dans les eaux de l'oued Saf-Saf pour les années 2020 à 2023, comparées à une valeur limite fixée à 30 mg/L. En 2020, la concentration de DCO est d'environ 90,1 mg/L et reste stable à environ 90 mg/L en 2021. En 2022, une diminution à environ 80 mg/L est observée, suivie d'une augmentation à environ 90 mg/L en 2023. Toutes les années montrent des concentrations de DCO bien au-dessus de la valeur limite. Les concentrations élevées de DCO indiquent une forte charge de matières oxydables dans l'eau, signe de pollution chimique significative, et peuvent réduire les niveaux d'oxygène dissous, affectant négativement les organismes aquatiques et perturbant les écosystèmes locaux.

#### 2.4.5. Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )

Les nitrites sont des composés azotés présents dans l'eau qui résultent de l'oxydation partielle de l'ammoniac et de la réduction des nitrates. Ils sont des indicateurs importants de la qualité de l'eau car leur présence peut être le signe de pollution organique et de processus de nitrification incomplets.

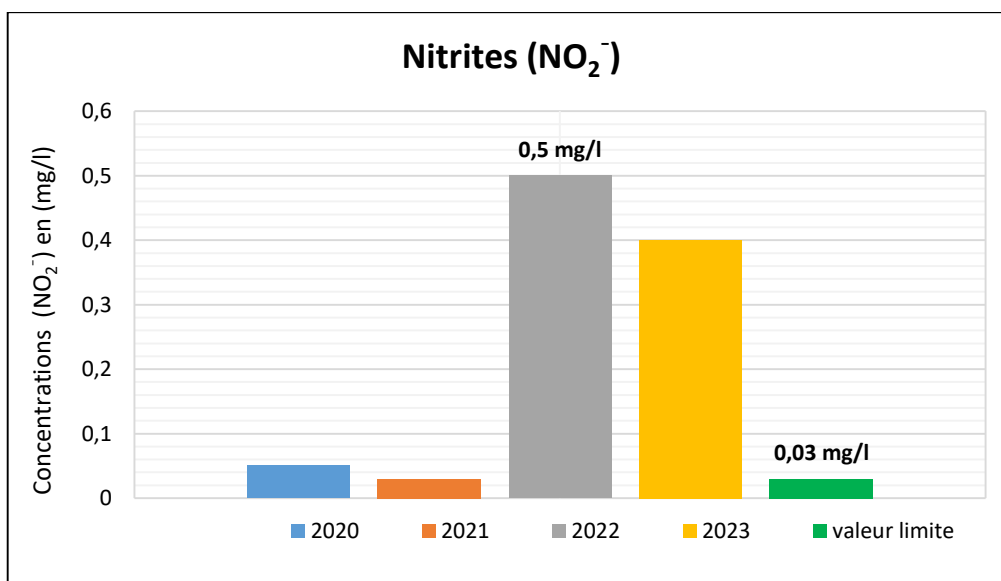


Figure IV.19. Graphique de variation de la DCO dans les eaux de l'oued Saf-Saf à l'embouchure (2020-2023).

L'évolution des concentrations de nitrites étudiée sur la période 2020-2023 révèle des variations marquées. Initialement faibles, entre 0,03 mg/L et 0,05 mg/L en 2020-2021, ces niveaux augmentent significativement en 2022, atteignant un pic de 0,5 mg/L, soit environ 16,7 fois la

valeur limite de 0,03 mg/L. En 2023, bien que les concentrations aient légèrement diminué, elles demeurent élevées à 0,4 mg/L, représentant environ 13,3 fois la valeur limite. Ces résultats soulignent une tendance inquiétante vers des concentrations de nitrites potentiellement préoccupantes pour la santé publique, nécessitant une attention continue et des mesures correctives appropriées.

#### 2.4.6. Ammonium (NH<sub>4</sub>)

L'azote ammoniacal dans les eaux superficielles résulte principalement de la décomposition de la matière organique végétale, animale et humaine présente dans les cours d'eau, ainsi que des rejets industriels provenant de secteurs comme l'agriculture et l'industrie manufacturière. La gestion de ces sources est essentielle pour contrôler les niveaux d'ammoniac dans les écosystèmes aquatiques et pour maintenir la qualité de l'eau dans les environnements naturels et urbains.

Les concentrations d'azote ammoniacal dans les eaux de l'oued Saf-Saf présentent une variabilité interannuelle marquée, comme le montre le graphique ci-dessous. La concentration moyenne observée, de 4,5 mg/L, dépasse la valeur limite admissible, avec un minimum de 1,8 mg/L enregistré en 2023 et un maximum de 7 mg/L atteint en 2022.

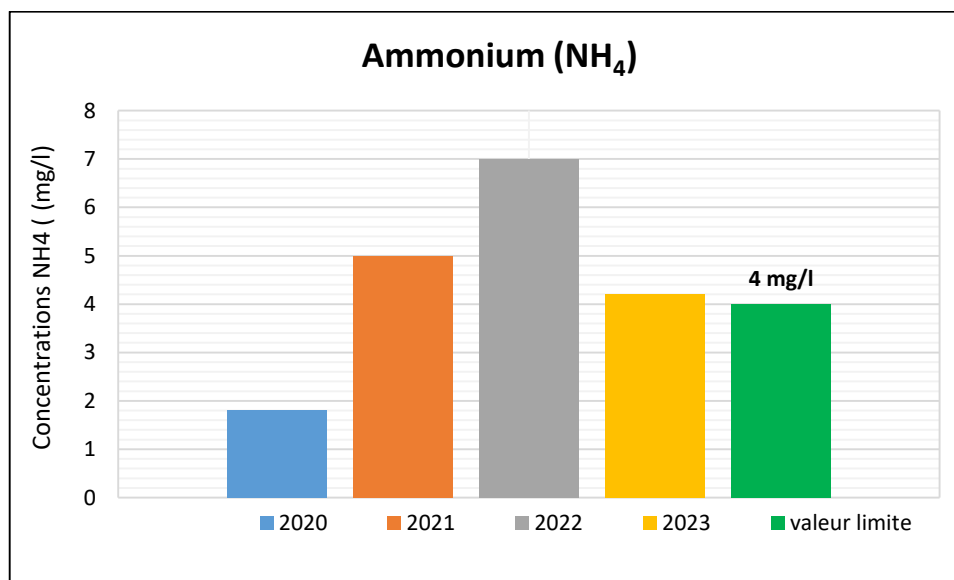


Figure IV.20. Graphe de variation de l'ammonium (NH<sub>4</sub>) dans les eaux de l'oued Saf-Saf à l'embouchure (2020-2023).

La variabilité des concentrations d'azote ammoniacal dans l'oued Saf-Saf peut être attribuée à plusieurs facteurs, notamment les activités agricoles, industrielles et domestiques peuvent générer des quantités importantes d'azote ammoniacal qui se retrouvent dans les eaux de surface par le biais des ruissellements, des rejets d'eaux usées et des infiltrations.

Les variations saisonnières de température et de précipitations peuvent également influencer les concentrations d'azote ammoniacal dans les cours d'eau.

Cette pollution peut avoir des impacts négatifs sur l'environnement aquatique et la qualité de l'eau d'irrigation. Il est nécessaire de mettre en œuvre des mesures concertées à différentes échelles pour réduire la pollution par l'azote ammoniacal et protéger les eaux de l'oued Saf-Saf.

### **Conclusion**

Pour approfondir notre compréhension de la variabilité spatio-temporelle de la qualité des eaux de l'oued Saf-Saf, nous avons examiné les résultats des analyses chimiques de quarante-huit échantillons réalisées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) de Constantine en mai 2009. Les eaux de surface de l'oued Saf-Saf se caractérisent principalement par un faciès chimique dominé par les chlorures et les sulfates. En ce qui concerne la salinité, les sulfates et la conductivité électrique, les eaux de surface étaient conformes aux normes de bonne qualité. Cependant, les concentrations élevées de chlorures indiquaient une dégradation de la qualité de l'eau.

Les normes pour le sodium ont révélé des niveaux préoccupants, tandis que les bicarbonates, le pH et les nitrates ont montré que les eaux de surface étaient adaptées à l'irrigation dans la région d'étude. Cependant, en aval, l'oued Saf-Saf subit une détérioration de sa qualité en raison des rejets domestiques des agglomérations d'El Harrouch, Salah Bouchaour, Ramdane Djamel, Beni Bachir et des rejets provenant partiellement de la ville de Skikda via l'oued Zeramna, qui se jette dans le Saf-Saf.

Les prélèvements de 2009 ont montré une demande chimique en oxygène (DCO) élevée de 139 mg/l, indiquant une pollution importante avec des caractéristiques d'eaux sombres et d'odeurs nauséabondes, principalement attribuables aux matières organiques. Les rejets de l'abattoir de Hamadi Krouma, avec une demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) de 93 mg/l, ont exacerbé la diminution de l'oxygène dissous.

En aval, dans la zone industrielle, l'oued Saf-Saf reçoit les rejets non traités des installations de la plateforme pétrochimique de Skikda et de la centrale thermique électrique (CTE).

Il est essentiel de noter que la majorité des paramètres analysés confirment des concentrations significativement plus élevées aux points situés en aval de la basse plaine du Saf-Saf (points 1 à 13), par rapport aux autres points répartis au centre et à l'amont de cette zone, en direction du sud de l'étude.

Cette observation s'explique probablement par l'intensification des activités anthropiques, telles que l'agriculture et l'industrie, dans la partie aval de la zone d'étude. Par exemple, les concentrations de nitrates et de phosphates, indicateurs de pollution agricole, sont nettement plus élevées dans les points en aval.

Une analyse récente de la qualité des eaux de l'oued Saf-Saf à l'embouchure pour la période de 2020 à 2023 a confirmé les résultats de 2009, montrant que les concentrations de nombreux paramètres analysés (conductivité, salinité, MES, pH, DBO<sub>5</sub>, DCO, nitrites et ammonium) dépassaient les valeurs limites admissibles. Cette dégradation est probablement due à l'agriculture intensive et aux rejets de la plateforme pétrochimique. Ces constats soulignent l'urgence de mesures efficaces pour préserver la qualité de cette ressource essentielle et protéger l'environnement local.



## *Conclusion générale*

L'interaction complexe entre les activités humaines et l'environnement est devenue une préoccupation majeure, en particulier dans les régions en proie à une agriculture intense et une industrialisation rapides. La basse plaine du Saf-Saf, située en aval du bassin, illustre parfaitement cette dynamique.

Dans cette étude, nous avons analysé divers facteurs et paramètres climatologiques en nous appuyant sur des données collectées sur une période de 22 ans (1997-2019) pour la station de Skikda. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 777,3 mm et la température mensuelle moyenne atteint les 19 °C. Hydrologiquement, la zone est traversée par l'Oued Saf-Saf, principal cours d'eau de 53,19 km essentiel pour l'irrigation et les nappes phréatiques, et par l'Oued Zeramna, affluent de 15,5 km. Le système aquifère de Skikda comprend une nappe superficielle libre et un aquifère profond captif, tous deux vulnérables à la pollution, soulignant l'importance de mesures de protection efficaces.


Les eaux de surface de cette région sont de plus en plus contaminées, principalement en raison de l'usage intensif d'engrais et de pesticides, qui augmentent les niveaux de nitrates et de phosphates. De plus, les eaux usées domestiques non traitées introduisent une pollution microbiologique et organique significative. Les activités industrielles, en particulier dans les secteurs agroalimentaire et chimique, aggravent la situation en déversant des eaux chargées de métaux lourds et d'hydrocarbures.

Face à cette situation préoccupante, l'analyse de la variabilité spatiale et temporelle de la qualité des eaux de surface dans la basse plaine de l'oued Saf-Saf s'avère indispensable. Ce mémoire vise à apporter une contribution significative au diagnostic de la qualité des eaux de surface de dans la région.

Les prélèvements de 2009 ont mis en évidence une demande chimique en oxygène (DCO) élevée de 139 mg/l, révélant une pollution notable caractérisée par des eaux sombres et des odeurs nauséabondes, principalement attribuables aux matières organiques. Les rejets de l'abattoir de Hamadi Krouma, avec une demande biologique en oxygène (DBO5) de 93 mg/l, ont exacerbé la diminution de l'oxygène dissous. En aval, dans la zone industrielle, l'oued Saf-Saf reçoit les rejets non traités des installations de la plateforme pétrochimique de Skikda et de la centrale thermique électrique (CTE).

Une récente analyse de la qualité des eaux à l'embouchure de l'oued Saf-Saf pour la période de 2020 à 2023 a confirmé les constatations de 2009, révélant des concentrations élevées de divers paramètres tels que la conductivité, la salinité, les matières en suspension (MES), le pH, la

DBO5, la DCO, les nitrites et l'ammonium, dépassant les normes acceptables. Cette détérioration est principalement imputable à l'intensification de l'agriculture et aux rejets provenant de la plateforme pétrochimique. Ces conclusions soulignent l'impérieuse nécessité d'adopter des mesures efficaces pour préserver cette ressource vitale et protéger l'environnement local, en particulier par la régulation des activités agricoles et industrielles dans la région.



*Références*  
*Bibliographiques*



14. **Gaham.O et Bouzidi. I 2020** : Etude de la prévision de la demande en eau et dimensionnement du réseau D'A.E.P DE L'Agglomération 1<sup>er</sup> Mai Annaba pour l'obtention du Diplôme de Master- Université BADJI MOKHTAR - Annaba p11,12,13
15. **Ghomrani Nour El Houda et Medjrab Nesrine (2021)** : Etude hydrogéologique du sous bassin versant Oued Zeramna (Skikda), Mémoire de Master, Université de Constantine, 65p.
16. **Khelfaoui Fayçal (2008)** : Ressources en eau et Gestion intégrée dans le bassin versant du Saf-Saf (Nord-Est algérien). Mémoire de Magister. Université d'Annaba. 129 p.
17. **Khelfaoui Fayçal (2014)** : Qualité et gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant du Saf-Saf (nord-est algérien). Thèse Doctorat en sciences. Université d'Annaba. 256 p.
18. **Medjani Fethi (2007)** : Ressources en eau, vulnérabilité et développement durable dans la plaine de SKIKDA (NE Algérien), Mémoire de Magister, Université d'Annaba, 87 p.
19. **Merzoug Abderrahmane (2022)** : Contribution à l'étude qualitative des eaux potables dans la région de Biskra, mémoire de Master. Université Mohamed Khider, Biskra. 32 P.
20. **Nalco., 1983** : Manuel de l'eau, Tec- Doc- Lavoisier, Paris.
21. **Office National des Statistique (ONS, 2022)** : Statistique du Recensement Général de la Population et de l'Habitat RGPH 2020).
22. **Ramade F., 2002** : Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement.
23. **Rodier J., (1976)** : L'analyse de l'eau. Eau naturelles, eau résiduaires, eau de mer. 5<sup>ème</sup> Ed. Dunod, Paris.
24. **Rodier J., (1984)** : L'analyse de l'eau, Eaux naturelles, Eaux résiduaires et Eaux de mer, 7<sup>ème</sup> édition. Ed. Dunod, Paris.
25. **Rodier J., Bazin C, Broutin J, Champsaur H et Rodi L., (2005)** : L'analyse de l'eau. Eaux naturelles. Eaux résiduaires. Eau de mer. 8<sup>ème</sup> Ed. Dunod. Paris, 1383 pp.
26. **Rodier J., 1996** : L'analyse de L'eau, Eaux naturelles, Eaux résiduaires, 8<sup>ème</sup> Edition, Dunod, Paris, p13-35 ;
27. **Rodier J., (2009)** : Analyse de l'eau. Eaux naturelles. Eaux résiduaires. Eau de mer. 9<sup>ème</sup> Ed. Dunod bordas, Paris. 1526 p.
28. **Saadali Riad (2007)** : Détermination des paramètres hydrodispersifs de la basse vallée de l'Oued Saf-Saf (W,Skikda), Mémoire de Magister, Université d'Annaba, 96p,
29. **Ward.C.H & al.ty 1976** :. C.H.Ward, W.Giger and P.L.MC Carty,Ground water quality, 1 st Edn, p 15. John WILEY & Sons,New York,1976.

**30. Zeghaba Nadjat (2011) :** Etude du chimisme des eaux souterraines et de surface de la basse vallée de l'Oued Saf-Saf w, Skikda (N E Algérien), Mémoire de Magister, Université d'Annaba, 132p.

**31. Zennir Walid (2018) :** Inventaire de la faune Diptérique et Lepidoptérique dans la région de Skikda. Mémoire de Master. Université de Tébessa.

**WEBOGRAPHIE :**

- <https://www.populationdata.net/pays/algerie/divisions>.
- <https://meteofrance.com/comprendre-la-meteo/actualites-et-dossiers/le-cycle-de-leau>.
- <https://www.cieau.com/wp-content/uploads/2017/02/1.jpg>.
- [www.fao.org/nr/water/aquastat/water\\_use/indexfra.stm](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/indexfra.stm).
- <https://www.internationaltin.org/researchers-explore-new-cleanup-technologies-using-electro-generated-tin/>
- <https://reflexionserrantes.info/2014/03/22/serie-sur-leau-le-contexte-1-de-3/>
- [\(https://www.populationdata.net/pays/algerie/divisions\),](https://www.populationdata.net/pays/algerie/divisions)

**Titre : Analyse de la variabilité spatio-temporelle de la qualité des eaux dans la basse plaine de l'oued Saf-Saf (Skikda, N-E Algérien)**

**Résumé :** La basse plaine de l'oued Saf-Saf, située dans le Nord-Est de l'Algérie, est une région à forte vocation agricole et industrielle, gravement menacée par diverses formes de pollution. Les eaux de surface y sont de plus en plus contaminées, principalement en raison de l'utilisation intensive d'engrais et de pesticides. Les eaux usées domestiques non traitées ajoutent une pollution microbiologique et organique importante. De plus, les activités industrielles aggravent la situation en déversant des eaux chargées en métaux lourds et hydrocarbures.

Pour mieux comprendre la variabilité spatio-temporelle de la qualité des eaux de l'oued Saf-Saf, nous avons analysé quarante-huit échantillons chimiques réalisés par l'ANRH en mai 2009. Les résultats montrent une prédominance de chlorures et de sulfates, avec des niveaux de salinité et de conductivité généralement bons, mais des concentrations élevées de chlorures signalant une dégradation de l'eau. Les niveaux de sodium sont préoccupants, tandis que les bicarbonates, le pH et les nitrates restent adaptés à l'irrigation. Plus en aval, la qualité de l'eau se détériore à cause des rejets domestiques et industriels, ce qui exacerbe la pollution.

Les analyses récentes effectuées entre 2020 et 2023 par la direction de l'environnement de la wilaya ont confirmé la dégradation de la qualité des eaux de l'oued Saf-Saf surtout à l'embouchure. Les concentrations de plusieurs paramètres essentiels, tels que la conductivité, la salinité, les matières en suspension (MES), le pH, la DBO<sub>5</sub>, la DCO, les nitrites et l'ammonium, dépassent largement les normes admissibles. Cette situation critique souligne l'urgence de mettre en place des mesures concrètes pour protéger cette ressource vitale, assurer la santé des populations locales, et promouvoir le développement durable de la région.

**Mots clés :**

*Oued Saf-Saf, Pollution, vocation agricole, Irrigation, dégradation de qualité, normes, développement durable.*

**ملخص**

السهل المنخفض لوادي صفصاف، الذي يقع شمال شرق الجزائر، هو منطقة ذات طابع زراعي وصناعي بامتياز، مهدد بشدة بأنواع مختلفة من التلوث. تتعرض المياه السطحية لتلوث متزايد، ويرجع ذلك أساساً إلى الاستخدام المكثف للأسمدة والمبيدات الحشرية. كما أن مياه الصرف الصحي المنزلية غير المعالجة تسبب تلوثاً ميكروبيولوجياً وعضوياً كبيراً. بالإضافة إلى ذلك، تؤدي الأنشطة الصناعية إلى تفاقم المشكلة عن طريق إلقاء المياه المحتوية على معادن ثقيلة ومخروقات.

لفهم التباين المكاني والزمني لنوعية المياه في وادي صفصاف بشكل أفضل، قمنا بدراسة تحاليل ثمانية وأربعين عينة كيميائية أخذتها الوكالة الوطنية للموارد المائية في ماي 2009. تظهر النتائج سيطرة الكلوريدات والكبريتات، مع مستويات ملوحة وناقيلية جيدة بشكل عام، ولكن تركيزات عالية من الكلوريدات تشير إلى تدهور الماء. وتشير مستويات الصوديوم العالية مصدر قلق، بينما تظل البيكربونات ودرجة الحموضة والنترات مناسبة للري. في المنطقة السفلى لمجرى الواد، تتدهور جودة المياه بدرجة أكبر بسبب التصريفات المنزلية والصناعية، ولا سيما تلك الناتجة عن التجمعات والمنطقة الصناعية للبتروكيماويات، مما يؤدي إلى تفاقم التلوث.

أكدت التحليلات الأخيرة التي أجرتها مديرية البيئة في الولاية بين عامي 2020 و 2023 تدهور جودة مياه وادي الصفصاف، وخاصة عند المصب. تركيزات العديد من المعايير الأساسية، مثل الموصلية والملوحة والمواد الصلبة العالقة، ودرجة الحموضة، DBO<sub>5</sub>، DCO، النترتيت والأمونيوم، تتجاوز إلى حد كبير المعايير المسموح بها. وتؤكد هذه الحالة الحرجة ضرورة اتخاذ تدابير ملموسة لحماية هذا المورد الحيوي، وضمان صحة السكان المحليين، وتعزيز التنمية المستدامة في المنطقة.

الكلمات المفتاحية:

واد صفصاف، التلوث، الطابع الزراعي، الري، تدهور الجودة، المعايير، التنمية المستدامة.