

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 :

*Valorisation des eaux usées épurées de la STEP de
Skikda pour améliorer l'irrigation dans le périmètre du
Saf-Saf (Skikda, N-E Algérien)*

Présenté par :

BOUHEDJA Amira

Membres de Jury :

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

Année universitaire : 2023-2024



Remerciements

Je remercie ALLAH le plus puissant de m'avoir guidée, aidée et donnée la force et la patience pour réaliser ce travail.

J'exprime mes vifs remerciements, mon respect et ma gratitude au Dr. KHELFAOUI Fayçal, Docteur en Hydrogéologie, Maître de Conférences classe A à l'ENSET de Skikda, pour son encadrement constant, son aide et son encouragement et ses conseils avisés durant la réalisation de ce travail.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance Dr. KHELFAOUI Hakim pour avoir accepté de présider le jury de mon soutenance.

Mes remerciements s'adressent à Mme. BOUCENNA Nawel qui bien voulu examiner ce mémoire.

Mes forts sentiments de gratitude sont adressés à Mr. LAIB chef département des sciences agronomiques et Mme OUDJANE Fayza, pour leurs encouragements et leurs conseils sans oublier tous les enseignants et les étudiants de Master hydro- agricole qui m'ont aide.

Je tiens à remercier Mr DAD directeur de l'ONA unité de Skikda et Mr. A. CHEBEL directeur de la STEP de SKIKDA et tous les fonctionnaires de l'ONA et de la STEP surtout Mr. BOULFOUL Nadir et tous ce qui m'ont aidé et facilité pour aboutir mon travail.

Je tiens à remercier aussi le directeur de la DRE de la Wilaya de Skikda et ses fonctionnaires sans exception sans oublier Mr M. SOLTANE chef service à l'ONID de Skikda et Mme F. DJEFEL.

Sans oublier Mr HAMZAOUI Rabie Directeur de la direction des Services Agricoles de la Wilaya de Skikda, pour son aide et son encouragement, sans oublier les fonctionnaires du DSA qui m'ont aidé.

Je remercie aussi Mr A. MAHFOUDI et Mr F. TACHI et Mr M. GHAMIT.

Je tiens à remercier chaleureusement mon mari Ahmed qui m'a encouragé.

Amira BOUHEDJA



DEDICACE

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail à :

Mon marié Ahmed pour son soutien constant et qui a veillé à ce que je ne manque de rien pour réussir ma thèse.

Mes enfants AYHEM ABDERRAHIM, ANES STRAJEDDINE et mon petit AMDJAD TAKIEDDINE.

Mes chers parents Allah yerhamhoum.

Tous les membres de la famille BOUHEDJA sans distinction.

Tous mes amies surtout Kawther, sana, Karima et yasmine.

Ceux qui me connaissent de près ou de loin.

Amira

Résumé

L'agriculture, qui constitue une pierre angulaire de notre économie, dépend de la disponibilité de ressources en eau suffisantes. La région du Saf-Saf, en raison de ses caractéristiques géographiques et climatiques, fait face à des défis majeurs pour assurer les ressources en eau nécessaires à l'irrigation des cultures.

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre étude, qui vise à explorer une approche novatrice et durable pour pallier les contraintes hydriques dans la région, en exploitant les eaux usées épurées générées par la station d'épuration de Skikda.

La zone d'étude, caractérisée par des précipitations annuelles moyennes de 770 mm et une température moyenne mensuelle de 19°C, montre une tendance sub-humide.

L'évaluation de la performance de la STEP de Skikda révèle une réduction générale des polluants, bien que certaines concentrations, notamment de phosphore total (PT), dépassent les normes de rejet. Cela souligne la nécessité d'améliorer les traitements pour garantir une qualité optimale des eaux épurées.

Par ailleurs, l'examen du périmètre d'irrigation du Saf-Saf a mis en évidence des défis majeurs liés à la gestion de l'eau, notamment la suspension de l'irrigation dans certaines zones, telles que le secteur 1, en raison de pénuries d'eau et d'infrastructures inadéquates. Face à ces défis, la réutilisation des eaux usées épurées de la STEP de Skikda apparaît comme une solution viable pour renforcer les ressources en eau disponibles pour l'irrigation.

La valorisation des eaux usées épurées de la STEP de Skikda constitue une opportunité majeure pour optimiser l'irrigation et soutenir le développement durable dans le périmètre du Saf-Saf.

***Mots clés** : Agriculture, ressources en eau, eau traitées, STEP Skikda, périmètre irrigué du Saf-Saf, développement durable.*

Abstract

Agriculture, a cornerstone of our economy, relies on the availability of adequate water resources. The Saf-Saf region, due to its geographical and climatic characteristics, faces significant challenges in securing the water resources needed for crop irrigation.

Our study aims to explore an innovative and sustainable approach to address the region's water constraints by utilizing treated wastewater generated by the Skikda wastewater treatment plant (WWTP).

The study area, characterized by an average annual rainfall of 770 mm and a monthly average temperature of 19°C, shows a sub-humid trend.

The performance evaluation of the Skikda WWTP reveals a general reduction in pollutants, although certain concentrations, particularly total phosphorus (TP), exceed discharge standards. This underscores the need for improved treatments to ensure optimal quality of treated water.

Furthermore, the examination of the Saf-Saf irrigation perimeter highlights major water management challenges, including the suspension of irrigation in certain areas, such as Sector 1, due to water shortages and inadequate infrastructure. In light of these challenges, the reuse of treated wastewater from the Skikda WWTP emerges as a viable solution to enhance the water resources available for irrigation.

The valorization of treated wastewater from the Skikda WWTP represents a significant opportunity to optimize irrigation and support sustainable development in the Saf-Saf region.

Keywords: *Agriculture, Water resources, Treated wastewater, Skikda WWTP, Saf-Saf irrigation perimeter. Sustainable development.*

ملخص

تعتمد الزراعة، التي تُعدّ ركيزة أساسية لاقتصادنا، على توفر موارد مائية كافية. تواجه منطقة الصفصاف، نظراً لخصائصها الجغرافية والمناخية، تحديات كبيرة في تأمين الموارد المائية اللازمة لري المحاصيل الزراعية.

في هذا السياق تأتي دراستنا، التي تهدف إلى استكشاف نهج مبتكر ومستدام للتغلب على مشاكل نقص المياه في المنطقة، من خلال الاستفادة من مياه الصرف الصحي المعالجة التي تنتجها محطة معالجة مياه الصرف الصحي في سكيكدة. تُظهر منطقة الدراسة، التي تتميز بمتوسط هطول سنوي يبلغ 770 ملم ومتوسط درجة حرارة شهرية تصل إلى 19°م، تؤكد المناخ شبه الرطب للمنطقة.

أظهر تقييم أداء محطة معالجة مياه الصرف الصحي في سكيكدة انخفاضاً عاماً في الملوثات، على الرغم من أن بعض التركيزات، وخاصة الفوسفور الكلي (PT)، تتجاوز المعايير المسموح بها للتصريف. يبرز هذا ضرورة تحسين المعالجة لضمان جودة مثالية للمياه.

علاوة على ذلك، أظهر فحص محيط السقي في الصفصاف تحديات كبيرة تتعلق بتسيير المياه، بما في ذلك توقيف الري في بعض المناطق، مثل القطاع 1، بسبب نقص المياه والبنية التحتية غير الملائمة. في مواجهة هذه التحديات، يبدو جلياً أن إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي في سكيكدة حلاً قابلاً للتطبيق لتعزيز موارد المياه المتاحة للري.

تمثل إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي في سكيكدة فرصة كبيرة لتحسين الري ودعم التنمية المستدامة في منطقة الصفصاف.

الكلمات المفتاحية: الزراعة، الموارد المائية، المياه المعالجة، محطة سكيكدة لتنقية المياه القذرة، محيط السقي الصفصاف، التنمية المستدامة.

Liste des figures

Chapitre I : Aperçu sur les ressources en eau conventionnelles et non conventionnelles

Figure 1.1. Classification des ressources en eau.....	4
Figure 1.2. Bassin versant.....	5
Figure 1.3. Stockage d'eau.....	6
Figure 1.4. Répartition des eaux superficielles en Algérie.....	8
Figure 1.5. Chaîne de traitement des eaux usées.....	13
Figure 1.6. Technique d'osmose et osmose inverse.....	15
Figure 1.7. Stratégie globale de développement des ressources hydrique.....	17

Chapitre II : Notions sur la réutilisation des eaux usées

Figure 2.1. Formes de réutilisation des eaux usées épurées dans le monde.....	22
Figure 2.2. La réutilisation des eaux usées épurées dans le cycle d'assainissement.....	22

Chapitre III : Caractéristiques climatiques et aspects techniques de la STEP de Skikda

Figure 3.1. Situation géographique de la wilaya de Skikda.....	34
Figure 3.2. Distribution des précipitations mensuelles dans la zone d'étude.....	36
Figure 3.3. Distribution des précipitations saisonnières dans la zone d'étude.....	37
Figure 3.4. Températures moyennes mensuelles dans la zone d'étude.....	38
Figure 3.5. Diagramme ombro-thermique dans la station de Skikda.....	39
Figure 3.6. Situation géographique de la STEP de Skikda.....	40
Figure 3.7. Schéma de fonctionnement des stations de relevage.....	45
Figure 3.8. Schéma des différentes étapes de traitement des eaux usées.....	46
Figure 3.9. Incubateur.....	47
Figure 3.10. Thermostat.....	48
Figure 3.11. Spectrophotomètre et l'hôte.....	48
Figure 3.12. Le pH Mètre.....	49
Figure 3.13. Oxymètre.....	50
Figure 3.14. Conductimètre à électrodes.....	51
Figure 3.15. Centrifugeuse.....	52
Figure 3.16. Etuve.....	52

Chapitre IV : Étude de l'efficacité de la STEP pour l'irrigation au périmètre du Saf-Saf

Figure 4.1. Variations moyennes mensuelles de la Matière en Suspension (MES) des eaux usées brutes et épurées de la STEP de Skikda (2017).....	57
--	----

Figure 4.2. Variations moyennes mensuelles de la DBO5 des eaux usées brutes et épurées de la STEP de Skikda (2017).....	58
Figure 4.3. Variations moyennes mensuelles de la DCO des eaux usées brutes et épurées de la STEP de Skikda (2017).....	60
Figure 4.4. Variations moyennes mensuelles des Nitrites (NO ₂ ⁻) dans les eaux usées brutes et épurées de la STEP de Skikda (2017).....	61
Figure 4.5. Variations moyennes mensuelles du Phosphate total (PT) dans les eaux usées brutes et épurées de la STEP de Skikda (2017).....	62
Figure 4.6. Architecture du périmètre Saf-Saf.....	65
Figure 4.7. Bilan des superficies irriguées du périmètre Saf-Saf. (ONID, 2023).....	68
Figure 4.8. Bilan des superficies irriguées par secteur (ONID, 2023).....	69
Figure 4.9. Bilan des volumes d'eau distribués sur périmètre Saf-Saf.....	70
Figure 4.10. Bilan des superficies irriguées par culture.....	71

Liste des tableaux

Chapitre I : Aperçu sur les ressources en eau conventionnelles et non conventionnelles

Tableau 1.1. Concentrations de polluants dans les eaux usées urbaines..... 10

Tableau 1.2. Caractéristiques des eaux usées..... 12

Chapitre II : Notions sur la réutilisation des eaux usées

Tableau 2.1. Normes de rejets pour l'irrigation (selon la Norme Algérienne NA 17683)..... 29

Tableau 2.2. Normes de réutilisation des eaux usées épurées (JORA 2012)..... 30

Chapitre III : Caractéristiques climatiques et aspects techniques de la STEP de Skikda

Tableau 3.1. Caractéristiques de la station utilisées dans l'étude..... 35

Tableau 3.2. Précipitations moyennes mensuelles à la station de Skikda..... 36

Tableau 3.3. Précipitations moyennes saisonnières à la station de Skikda..... 37

Tableau 3.4. Températures moyennes mensuelles à la station de Skikda..... 38

Tableau 3.5. Population aux différents horizons..... 41

Tableau 3.6. Les normes des paramètres de pollution retenues..... 42

Tableau 3.7. Concentration de l'effluent traité en matières polluantes..... 42

Tableau 3.8. Fiche technique de la STEP de Skikda..... 43

Tableau 3.9. Données sur les stations de relevage de la Wilaya de Skikda..... 44

Tableau 3.10. Volume et dosage de l'échantillon pour la DBO₅..... 47

Chapitre IV : Étude de l'efficacité de la STEP pour l'irrigation au périmètre du Saf-Saf

Tableau 4.1. Normes de rejets des effluents industriels et urbains de la STEP de Skikda..... 56

Tableau 4.2. Répartition du périmètre par localisation (selon INTESCA 1976)..... 64

Tableau 4.3. Répartition du périmètre par assolement (selon INTESCA 1976)..... 64

Tableau 4.4. Ressources et besoin en eau du périmètre..... 65

Tableau 4.5. Stations de pompage..... 66

Tableau 4.6. Réservoirs dans le périmètre du Saf-Saf..... 66

Tableau 4.7. Canalisation et équipements du périmètre..... 66

Tableau 4.8. Bilan d'irrigation..... 67

Tableau 4.9. Bilan agricole..... 70

Liste des abréviations

AEA : Alimentation en Eau d'Agriculture

AEI : Alimentation en Eau Industrielle

AEP : Alimentation en Eau Potable

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

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

STEP : Station d'Épuration

T : Température

TDS : Les solides dissous totaux

°C : Degré Celsius

µS/cm : Micro Siemens par centimètre

Table des matières

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Aperçu sur les ressources en eau conventionnelles et non conventionnelles	
Introduction.....	2
1. Importance de maitrise les ressources en eau pour une gestion durable.....	2
2. Classification des ressources en eau.....	3
3. Les ressources en eaux conventionnelles.....	4
3.1. Les eaux de surface.....	4
3.1.1. Bassin versant.....	5
3.1.2. Lacs, réservoirs et les cours d'eau.....	5
3.2. Les eaux souterraines.....	7
4. Les eaux de surface et souterraines en Algérie.....	7
4.1. Les eaux superficielles en Algérie.....	7
5. Ressources en eau non-conventionnelles.....	9
5.1. Les eaux usées.....	9
5.1.1. Origines des eaux usées.....	9
5.1.2. Caractéristiques des eaux usées.....	12
5.1.3. Traitement des eaux usées.....	13
5.1.4. Intérêts et contraintes de la réutilisation des eaux usées.....	14
5.2. Les eaux dessalées.....	14
5.2.1. Techniques de dessalement.....	14
5.2.2. Avantages et inconvénients des eaux dessalées.....	15

6. Contraintes d'exploitation des ressources en eau en Algérie.....	16
6.1. Contraintes démographiques et économiques.....	16
6.2. Contraintes géographiques et naturelles.....	16
6.3. Contraintes environnementales.....	16
6.4. Contraintes techniques et de gestion.....	16
7. Enjeux actuels et défis futurs de la disponibilité des ressources en eau.....	17
Conclusion.....	18

Chapitre II : Notions sur la réutilisation des eaux usées

Introduction.....	19
1. La crise mondiale de l'eau.....	19
2. Contexte de la crise de l'eau en Algérie.....	21
3. But et formes de réutilisation des eaux usées épurées.....	21
3.1. Réutilisation comme source d'eau potable.....	22
3.1.1. Réutilisation directe.....	23
3.1.2. Réutilisation indirecte.....	23
3.2. Réutilisation urbaine.....	23
3.3. Réutilisation et recyclage industriels.....	23
3.4. Réutilisation dans le secteur agricole.....	24
3.4.1. Avantages et inconvénients de réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation.....	24
3.4.2. Cadre réglementaire sur la réutilisation des eaux usées épurées.....	25
3.4.3. Les cultures à irriguer avec les eaux usées épurées.....	25
3.4.4. Mode d'irrigation utilisé avec les eaux usées épurées.....	26
3.4.5 Critères de qualité des eaux usées pour l'irrigation.....	26
4. Avantages et inconvénients de réutilisation des eaux usées épurées.....	27
4.1. Avantages.....	27
4.2. Inconvénients.....	27
5. Les principaux paramètres de pollution.....	28
5.1. Les paramètres physiques.....	28
5.2. Les paramètres chimiques.....	28

6. Norme de réutilisation des eaux usées.....	28
6.1. Normes Algériennes.....	29
6.2. Normes internationales.....	31
7. Risques liés à la réutilisation des eaux usées épurées.....	31
7.1. Risque microbiologique.....	31
7.2. Risque chimique.....	31
Conclusion.....	32

Chapitre III : Caractéristiques climatiques et aspects techniques de la STEP de Skikda

Introduction.....	33
1. Caractéristiques physiques et climatiques de la région de Skikda.....	33
2. Contexte socio-économique.....	34
3. Caractéristiques hydro-climatiques.....	34
3.1. Station de mesure.....	35
3.2. Les paramètres météorologiques déterminants.....	35
3.2.1. Les précipitations.....	35
3.2.2. Les températures.....	37
3.3. La relation entre les précipitations et la température : (Courbe de Gaussen).....	38
4. Présentation de la station d'épuration de Skikda.....	40
4.1. Objectif de traitement des eaux usées par la STEP de SKIKDA.....	40
4.2. Dimensionnement de la station d'épuration.....	41
4.3. Caractéristiques de la station d'épuration.....	42
5. Qualité des eaux traitées et possibilités de réutilisation.....	42
6. Fiche technique de la STEP de SKIKDA.....	42
7. Schéma de fonctionnement des stations de relevage.....	44
8. Les différentes étapes d'épuration au niveau de la STEP de Skikda.....	45
8.1. Prétraitement.....	45
8.2. Traitement primaire.....	45
8.3. Traitement secondaire.....	45
8.4. Traitement tertiaire.....	46

9. Méthodes d'analyses des eaux usées.....	46
9.1. Détermination de la demande biologique en oxygène (DBO5).....	46
9.2. Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO).....	48
9.3. Détermination du potentiel d'hydrogène pH.....	49
9.4. Mesure d'oxygène dissous dans l'eau.....	50
9.5. Détermination de la température.....	51
9.6. La conductivité électrique CE.....	51
9.7. Détermination des matières en suspension (MES).....	52
10. Enjeux et défis des infrastructures de traitement des eaux usées à Skikda.....	53
Conclusion.....	54
Chapitre IV : Étude de l'efficacité de la STEP pour l'irrigation au périmètre du Saf-Saf	
Introduction.....	55
1. Evolution des paramètres de pollution des eaux usées.....	55
1.1. Analyse des concentrations en MES.....	56
1.2. Analyse des concentrations en DBO5.....	58
1.3. Analyse des concentrations en DCO.....	59
1.5. Analyse des concentrations en Nitrites (NO ²⁻).....	61
1.6. Analyse des concentrations en Phosphate total (PT).....	62
1.7. Conclusion des analyses.....	63
2. Etat actuel de l'approvisionnement en eau dans le périmètre du Saf-Saf.....	64
2.1. Présentation du périmètre du Saf-Saf.....	64
2.1.1. Situation géographique.....	64
2.2. Ressources en eau du périmètre.....	65
2.3. Architecture du système d'irrigation au niveau du périmètre.....	65
2.3.1. Stations de pompage.....	66
2.3.2. Réservoirs.....	66
2.3.3. Canalisation et équipements du périmètre.....	66
2.4. Bilan des irrigations et bilan agricole.....	67
2.4.1. Souscription et irrigation.....	67
2.4.2. Evolution Bilan des superficies irriguées du périmètre Saf-Saf.....	68

2.4.3. Bilan des superficies irriguées dans le périmètre du Saf-Saf par secteur (2023)...	69
2.5. Volume d'eau distribué dans le périmètre irrigué du Saf-Saf (2016-2023).....	70
2.6. Cultures souscrites / Assolements réalisés.....	70
3. Contraintes de gestion du périmètre.....	71
3.1. Contraintes liées aux secteurs.....	71
3.2. Autres contraintes.....	72
4. Contexte et importance de la réutilisation des eaux usées épurées.....	72
4.1. Avantages de la réutilisation des eaux usées épurées.....	73
4.2. Aspects Techniques et Environnementaux.....	73
4.3. Mise en Œuvre et Recommandations.....	74
Conclusion.....	75
Conclusion Générale & recommandations.....	76
Références bibliographiques	

Introduction Générale

L'agriculture, en tant que pilier essentiel de notre économie, dépend largement de l'accès à des ressources hydriques adéquates. (Florence D. P., 2013). Dans ce contexte, la problématique de l'eau prend une importance cruciale, notamment dans les régions où les contraintes liées à sa disponibilité sont marquées. La région du Saf-Saf, par ses caractéristiques géographiques et climatiques, fait face à des défis majeurs en matière d'approvisionnement en eau pour l'irrigation agricole. (Taabni M., et Moulay-Driss E. J., 2012).

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre étude qui vise à explorer une approche novatrice et durable pour pallier les contraintes hydriques dans la région, en exploitant les eaux usées épurées générées par la station d'épuration de Skikda. (Bouchaala L., et al, 2017).

La STEP Skikda, en plus de sa mission fondamentale de traitement des eaux usées, pourrait devenir un acteur majeur dans la sécurisation de l'approvisionnement en eau pour l'agriculture du périmètre du Saf-Saf. Notre démarche s'articule autour de la valorisation de ces eaux épurées comme ressource alternative pour l'irrigation agricole, tout en contribuant à la préservation des ressources en eau conventionnelles.

Ce mémoire est organisé comme suit :

- La première partie propose une synthèse bibliographique offrant un aperçu des ressources en eau conventionnelles et non conventionnelles, ainsi que des concepts liés à la réutilisation des eaux usées.
- La deuxième partie, de nature plus pratique, est divisée en deux chapitres distincts. Le chapitre 3 examine les caractéristiques climatiques et les aspects techniques de la station d'épuration de Skikda, tandis que le chapitre 4 se concentre sur l'évaluation de l'efficacité de cette station pour l'irrigation du périmètre du Saf-Saf.

Enfin, une conclusion générale résume les principaux résultats de notre recherche menée dans la région et quelques recommandations.

En abordant cette thématique, nous visons à proposer des perspectives innovantes pour une gestion plus durable de l'eau en milieu agricole. Nous mettons particulièrement l'accent sur la valorisation des eaux usées épurées pour soutenir et améliorer les pratiques d'irrigation dans le périmètre du Saf-Saf.

Première partie :

PARTIE THÉORIQUE

Chapitre 1 :



Aperçu sur les ressources en eau conventionnelles et non conventionnelles



Introduction

L'eau demeure le principal constituant des êtres vivants et l'élément indispensable à toute forme de vie. Sans eau, aucun organisme, qu'il soit végétal ou animal, simple ou complexe, petit ou gros, ne peut vivre. L'eau est considérée comme un bien économique, sans cette ressource essentielle et unique, il n'y a ni vie humaine, ni écosystème, ni économie, ni développement.

L'eau est un élément vital pour assurer la survie dans l'urgence mais aussi pour le développement économique à moyen et long terme. Qu'elle soit potable ou dédiée à l'agriculture, l'eau est une ressource indispensable, au centre de tout.

En tant que source d'énergie, l'eau contribue considérablement à assurer la croissance verte, ce qui présuppose que l'économie refusera progressivement d'utiliser des sources d'énergie non renouvelables. Aujourd'hui, l'hydroélectricité représente environ 20 % de la production électrique mondiale.

Dans ce chapitre, nous examinerons la classification des ressources en eaux en détaillant leurs différentes formes, leurs utilisations spécifiques ainsi que les domaines d'intérêt associés. Nous explorerons comment ces ressources sont catégorisées et exploitées, mettant en lumière leur importance cruciale dans divers secteurs tels que l'approvisionnement en eau potable, l'agriculture, l'industrie et la préservation de l'environnement.

1. Importance de maitrise les ressources en eau pour une gestion durable

Le système juridique de l'eau et des infrastructures hydrauliques est profondément marqué par le caractère public des pays. Une bonne gestion intégrée et moderne des ressources en eau prend en considération les conditions suivantes :

- La définition du domaine public de l'eau,
- La planification des aménagements à différentes échéances,
- Le principe de la gestion intégrée des ressources en eau,
- Les ressources non conventionnelles,
- La mise en place d'Etablissements publics spécialisés dans les activités de l'eau ainsi que la formation des ressources humaines,
- Le Partenariat Public-Privé,

Dans l'ensemble, la mise à jour permanente garantit que la législation liée à l'eau répond à des besoins, des concepts émergents et les préoccupations croissantes sur la gestion écologiquement durable des ressources en eau.

L'Algérie a effectivement entrepris de profondes réformes socio-économiques. Des lois sont appliquées pour mettre en œuvre de nouveaux mécanismes de gestion économique prévue.

Les principales législations relatives à l'eau en Algérie sont contenues dans (Bureau d'Etude PROGRESS, 2016) :

- La Loi n° 83-03 du 05 février 1983, relative à la protection de l'environnement
- La Loi n° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable
- La Loi n° 04-20 du 25 décembre 2004, relative à la prévention des risques majeurs, et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable
- La Loi n°05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau.

2. Classification des ressources en eau

Selon la classification mondiale, les ressources en eau sont généralement catégorisées en deux types principaux : les ressources conventionnelles et non conventionnelles. Les ressources conventionnelles comprennent les eaux de surface comme les rivières, les lacs et les réservoirs, ainsi que les eaux souterraines accessibles par les puits et les forages. Ces sources sont captées directement ou naturellement, nécessitant parfois des aménagements pour leur exploitation durable.

En revanche, les ressources non conventionnelles désignent des approches plus innovantes et technologiques pour accéder à l'eau, telles que le dessalement de l'eau de mer, la réutilisation des eaux usées traitées ou la collecte des eaux de pluie. Ces méthodes nécessitent souvent des transformations ou des interventions techniques pour rendre l'eau utilisable à grande échelle.

La gestion intégrée de ces différentes formes de ressources en eau est essentielle pour répondre aux besoins croissants en eau à l'échelle mondiale tout en garantissant une utilisation durable et équitable des ressources disponibles.

On distingue comme eaux conventionnelles :

- Les eaux superficielles
- Les eaux souterraines

Et les eaux non-conventionnelles :

- Les eaux usées
- Les eaux dessalées

On résume la classification des ressources en eau dans l'organigramme suivant :

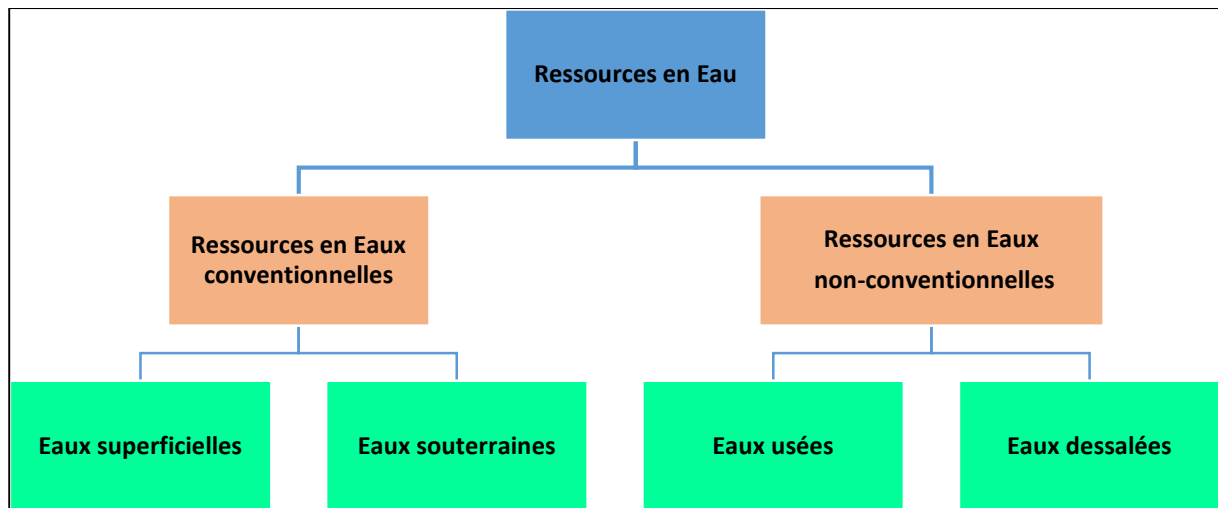


Figure 1.1. Classification des ressources en eau

3. Les ressources en eaux conventionnelles

Les "Ressources en Eaux conventionnelles" désignent les principales sources d'eau exploitées et régulièrement utilisées pour répondre aux besoins humains et industriels. Elles englobent les eaux de surface, comme les rivières et les lacs, ainsi que les eaux souterraines stockées dans les aquifères. La gestion efficace de ces ressources est cruciale pour assurer un approvisionnement durable en eau, vital pour la vie quotidienne, l'agriculture et le développement économique.

3.1. Les eaux de surface

Les eaux se trouvent à la surface ou proche de la surface du sol, s'appellent eaux superficielles ou eaux de surface (fr.wikipedia.org/wiki/Eau_de_surface). Elles sont constituées de l'ensemble des masses d'eau courantes ou stables, douces, saumâtres ou salées, des cours d'eau, des océans, des mers, des lacs et aussi des flux d'écoulement des eaux, arrivant de la pluie, de la fusion des neiges ou d'autres sources, appelées *eaux de ruissellement*. La zone de collecte des eaux de ruissellement s'appelle **un bassin versant**.

Les eaux superficielles sont caractérisées par :

- Une température varie en fonction du climat et des saisons ;
- Des matières en suspension variables selon la pluviométrie et la nature des terres de voisinage ;
- La composition en sels minéraux variable en fonction du terrain, de la pluviométrie et des rejets ;
- La richesse en oxygène et pauvreté en dioxyde de carbone.

3.1.1. Bassin versant

Le bassin versant montre, normalement, l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et de ses effets.

Plus exactement, le bassin versant qui peut être apprécié comme un " système ", est une surface élémentaire hydrologiquement fermée, c'est-à-dire qu'aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieur et que tous les suppléments de précipitations s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire.

Le bassin versant en une section droite d'un cours d'eau, est donc défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section. Il est entièrement caractérisé par son exutoire, à partir duquel nous pouvons tracer le point de départ et d'arrivée de la ligne de partage des eaux qui le délimite.

Généralement, la ligne de partage des eaux correspond à la ligne de crête. On parle alors de bassin versant topographique. (<https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/chapitre2.html>)

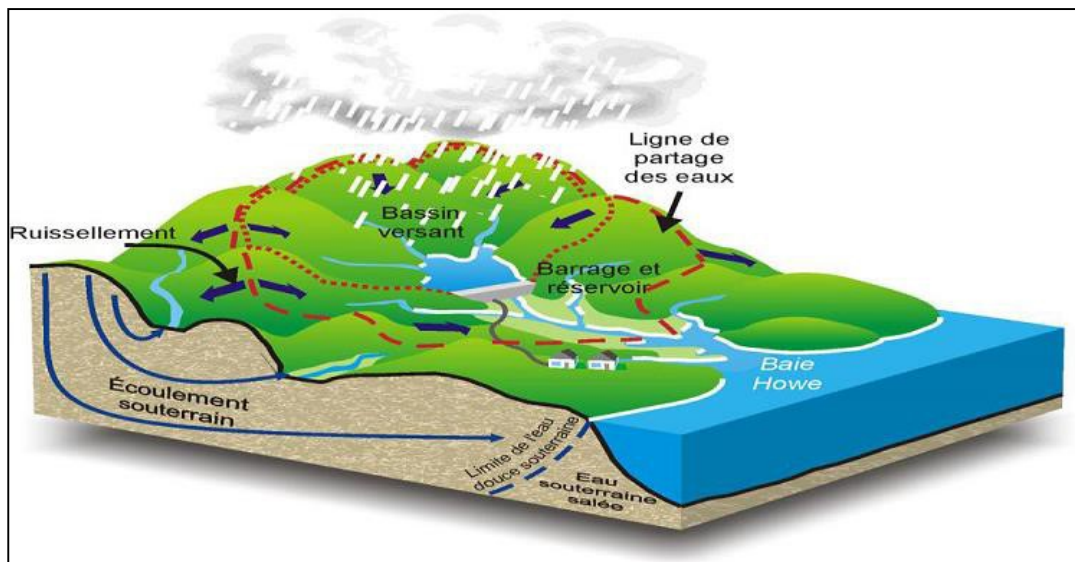


Figure 1.2. Bassin versant (www.mcan.gc.ca)

3.1.2. Lacs, réservoirs et les cours d'eau

Le stockage d'eau se présente sous différentes formes. On peut distinguer trois grands types de réservoirs : (<https://echo2.epfl.ch/e-drologie/resumes/chapitre6/resume6.pdf>)

- Les dépressions de la surface du sol dans lesquelles l'eau peut s'accumuler. C'est le stock d'eau de surface ;
- Le sol et le sous-sol dans lesquelles l'eau est emmagasinée. C'est le stock d'eau souterraine ;
- Les couvertures neigeuses et glaciaires qui constituent le stock d'eau sous forme solide.

La rétention de surface comprend toute l'eau accumulée sur, ou au-dessus du sol. Elle comprend l'eau interceptée par le couvert végétal, l'évaporation durant les précipitations et le stockage dans les dépressions du sol qui est le volume d'eau emmagasiné dans les petites dépressions du sol jusqu'à leur niveau de déversement.

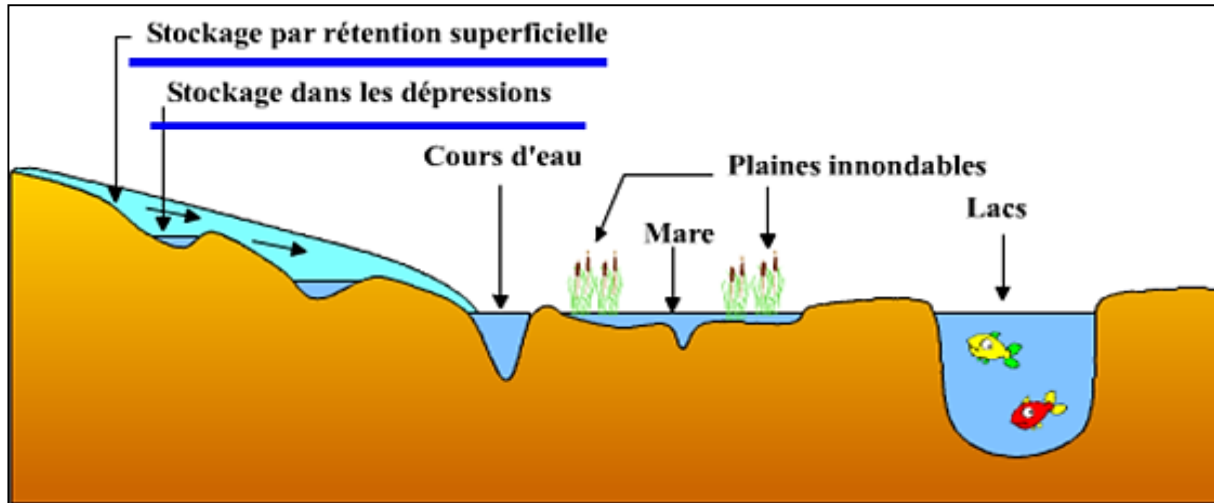


Figure 1.3. Stockage d'eau.

Toute l'eau captée dans les dépressions de surface, des plus petites, dues à la rugosité du sol, aux plus grandes plaines inondées, lacs, marais, est désignée comme stock d'eau de surface.

Les petites dépressions de surface qui se remplissent dès que l'intensité des précipitations est supérieure à la capacité d'absorption du sol.

Lors d'averses suffisamment importantes, ces dépressions sont comblées et le surplus prend part au ruissellement de surface.

Le volume total d'eau pouvant être retenu dans ces dépressions de surface est appelé capacité de rétention de surface.

Après l'averse, l'eau emmagasinée dans ces dépressions s'infiltre dans le sol, ou est utilisée par les végétaux ou encore s'évapore directement.

Ces dépressions ne sont que de petits réservoirs temporaires, qui peuvent agir comme tampons durant une averse sur un bassin versant.

Les lacs et les plaines inondées sont des réservoirs d'eau de surface, naturels ou artificiels, de volume et superficie pouvant être très importants.

Ils interviennent directement dans le bilan hydrologique par les échanges d'eau avec le sol (relations eau de surface-nappe), en favorisant l'évaporation à leur surface ou encore, en retardant l'écoulement en rivière par laminage.

3.2. Les eaux souterraines

Les eaux souterraines (J. Margat et L. Monition, 1971) tiennent une place primordiale parmi les ressources utilisées pour l'alimentation humaine (eau potable ou irrigation). Aussi leur conservation et leur protection constituent-elles un objectif essentiel des services publics responsables des problèmes d'eau dans tous les pays :

- Conservation des ressources visant à satisfaire en priorité l'utilisation noble qu'est la consommation humaine ;
- Protection de la qualité contre la pollution, tout particulièrement dans les périmètres d'appel des captages desservant des adductions d'eau potable ou d'irrigation.

Les eaux souterraines présentent généralement une bonne qualité à certaines exceptions près (zone côtières, contact avec des roches salifères). La filtration des eaux à travers les terrains poreux leur confère une saveur et une fraîcheur appréciables et offre une certaine garantie du point de vue bactériologique. Le débit des nappes souterraines présente une grande régularité par rapport à celui des rivières. Les réserves d'eau souterraine peuvent d'être importantes même si l'alimentation actuelle est faible ou nulle comme dans le cas de certaines nappes captives qui emmagasinent des milliards de mètres cubes d'eau douce.

Les nappes souterraines ont en général une grande extension horizontale ce qui les différencie du caractère linéaire des rivières. Elles se présentent comme un système naturel et original d'adduction qui facilite des prélèvements très dispersés.

4. Les eaux de surface et souterraines en Algérie

4.1. Les eaux superficielles en Algérie

La connaissance des ressources en eau superficielle en Algérie est basée sur :

- Un réseau pluviométrique constitué de 1 122 postes
- Un réseau hydrométrique constitué de 147 stations
- Un réseau climatologique constitué de 200 stations

De nombreuses études ont montré que les cours d'eau situés au Nord de l'Algérie se caractérisent par un régime hydrologique simple (alternance interannuelle de hautes et de basses eaux), traduisant ainsi la prépondérance d'un seul mode d'alimentation.

Le régime d'alimentation des cours d'eau en Algérie du Nord à climat méditerranéen est de type pluvial. Le maximum des débits est enregistré pendant la période hivernale et le début du printemps, et le minimum (période d'étiage) s'étend sur quatre à cinq mois pendant la période estivale et le début de l'automne. (Ladjal R., 2013)

Les eaux superficielles qui constituent les deux tiers des potentialités du pays sont caractérisées par une irrégularité dans la couverture. De plus leur répartition spatiale impose des transferts importants pour satisfaire les besoins des régions les moins pourvues.

Les eaux superficielles en Algérie se divisent en cinq régions principales :

- Oranie-Chott-Chergui
- Cheliff-Zahres
- Algérois-soummam-Hodna
- Constantinois-Seybouse-Mellègue
- Sahara



Figure 1.4. Répartition des eaux superficielles en Algérie (DRE, SKikda, 2024)

4.2. Les eaux souterraines en Algérie

Les ressources en eaux souterraines renouvelables disponibles dans les aquifères du nord du pays sont estimés à près de 2,5 milliards de m³. Elles sont réparties à travers 177 aquifères, et leur étude est basée sur un inventaire constitué de : (Bureau d'Etude PROGRESS, 2016)

- 9000 sources
- 23 000 forages
- 60 000 puits

Les différents aquifères recensés en Algérie se répartissent en 3 types principaux :

- Aquifères karstiques,
- Aquifères alluviaux,
- Bassins sédimentaires

Le Sahara septentrional recèle 02 grandes nappes aquifères fossiles (nappe du Complexe termine (CT) et nappe du Continental intercalaire (CI), dont les réserves sont immenses, mais dont les ressources ne sont pas renouvelables.

5. Ressources en eau non-conventionnelles

Afin d'augmenter les ressources en eau, une nouvelle stratégie mise en œuvre dans le monde, fait largement appel à des concepts émergents, à savoir :

- La réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation ;
- L'utilisation du dessalement de l'eau pour l'alimentation en eau potable.

5.1. Les eaux usées

5.1.1. Origines des eaux usées

Les eaux usées proviennent de trois sources principales :

a. Eaux usées urbaines

Les eaux usées urbaines sont en grande partie les eaux distribuées par les systèmes d'approvisionnement en eau potable polluées par les activités anthropiques.

Elles comprennent également les eaux de ruissellement, ces dernières étant constituées par l'ensemble des eaux pluviales, les eaux d'arrosage des voies publiques et des parcs de stationnement, les eaux de lavage des caniveaux, des marchés et des cours. Les eaux urbaines sont donc constituées par :

- Les eaux sanitaires provenant de l'activité humaine et domestique, les restes d'aliments, les déjections, les détergents, les savons et produits de nettoyage etc. ;
- Les eaux associées aux activités du centre de population telles que : centre commerciaux, hôpitaux, écoles, casernes, hôtels, bars, restaurants ;
- Les eaux résiduaires industrielles déversées dans des collecteurs urbains ;
- Les eaux résiduaires en provenance des centres d'élevage installés au sein des centres de population.

Les eaux usées urbaines contiennent des matières minérales et des matières organiques. Ces contaminants peuvent être quantifiés par le biais des mesures telles métaux lourds (cuivre, zinc, plomb, cadmium), matières en suspension totales (MEST), solides dissous totaux (SDT), les composés nitrogènes et phosphatés (N total, P total), les composés ammoniacaux (N-NH₄). Selon Lester (1987), les métaux sont présents dans de nombreux produits à usage domestique susceptibles d'être rejetés à l'égout tels que les cosmétiques, les onguents, les produits d'entretien, les médicaments, les peintures. Les eaux de nettoyage et notamment celles des vêtements seraient la principale source de métaux dans les eaux usées domestiques (Grommaire-Mertz, 1998). Ces auteurs donnent des concentrations moyennes métalliques dans les eaux usées strictement domestiques : 3 µg/l de cadmium, 150 µg/l de cuivre, 100 µg/l de plomb, 500 µg/l de zinc.

Les eaux noires (eaux des toilettes) sont les principales sources de composés azotés, phosphorés et ammoniacaux dans les eaux usées urbaines. Les eaux domestiques sont responsables de l'augmentation de la demande en oxygène, 60% pour les eaux de toilettes et 40 % pour les eaux grises (eaux de cuisine, de douche, de lessive) (Eriksson et al 2002 ; Gray et Becker, 2002 ; Dyer et al. 2003) Le tableau présente des concentrations moyennes en DCO, DBO5, et en métaux pour les eaux usées de temps sec à l'exutoire des réseaux unitaires.

Tableau 1.1. Concentrations de polluants dans les eaux usées urbaines

Paramètres	Concentrations
MES	100 à 500 mg/L
DCO	250 à 1000 mg/L
DBO5	100 à 400 mg/L
Cadmium	1 à 10 µg/L
Cuivre	83 à 100 µg/L
Plomb	5 à 78 µg/L
Zinc	100 à 570 µg/L

Source : (Grommaire-Mertz, 1998)

b. Eaux usées agricole

Les eaux usées agricoles proviennent principalement des drainages et des rejets des fermes. Elles sont souvent caractérisées par une concentration élevée en pesticides, utilisés pour protéger les cultures, ainsi qu'en engrais, nécessaires pour stimuler la croissance des plantes. Cette combinaison en fait des eaux riches en éléments nutritifs essentiels tels que l'azote, le phosphore et le potassium, qui sont essentiels à la fertilité des sols et à la santé des cultures.

L'importance de ces eaux réside dans leur potentiel fertilisant significatif, offrant une alternative écologique à l'utilisation d'engrais chimiques synthétiques. Lorsqu'elles sont correctement gérées et utilisées, elles peuvent contribuer à améliorer la structure du sol et à accroître la productivité agricole de manière durable. Cependant, leur gestion doit être soigneusement planifiée pour minimiser les risques de contamination environnementale et pour garantir qu'elles ne nuisent pas aux écosystèmes aquatiques voisins.

c. Eaux usées industrielles

Les eaux usées industrielles proviennent des divers processus de fabrication ou de transformation dans les usines. Elles sont souvent chargées de substances variées, qu'elles soient organiques, minérales, corrosives, ou colorées, et peuvent contenir des matières toxiques qui perturbent l'équilibre écologique des milieux récepteurs. Ces eaux comprennent :

- Les eaux de fabrication, qui varient selon le type spécifique d'industrie ;
- Les eaux utilisées pour le lavage des machines ;
- Les eaux de refroidissement, dont la quantité dépend du taux de recyclage pratiqué.

Les entreprises industrielles ont plusieurs options pour gérer leurs eaux usées :

- Elles peuvent déverser leurs effluents directement dans le réseau d'égouts, sous réserve d'avoir obtenu l'autorisation nécessaire de la commune ;
- Elles peuvent traiter complètement leurs effluents avant de les déverser dans le milieu naturel récepteur ;
- Elles peuvent prétraiter les eaux usées en usine avant de les rejeter dans le réseau d'égouts.

Le choix de la méthode dépend souvent de la réglementation locale, des caractéristiques spécifiques des effluents produits par l'industrie et des objectifs de durabilité et de protection de l'environnement de l'entreprise. Chaque approche nécessite une gestion attentive pour minimiser les impacts environnementaux et assurer la conformité aux normes réglementaires en vigueur.

5.1.2. Caractéristiques des eaux usées

Un nombre de conditions sont à réunir pour envisager une utilisation planifiée et contrôlée des eaux usées, Il s'agit avant tout de connaître les caractéristiques des eaux usées et les procédés d'épuration à appliquer.

Tableau 1.2. Caractéristiques des eaux usées

Caractéristiques	Sources
1. Caractéristiques physiques <i>a.</i> Couleur <i>b.</i> Odeur <i>c.</i> Solides <i>d.</i> Temperature	Rejets domestiques et industriels ; décomposition naturelle des matières organiques. Décomposition des eaux usées ; rejets industriels. Rejets domestiques et industriels, infiltration, érosion de sol. Rejets domestiques et industriels.
2. Caractéristiques chimiques (a) Organiques 1. Hydrates de carbone 2. Graisses, huiles 3. Pesticides 4. Phénol 5. Protéines 6. Agents tensioactifs 7. Autres (b) Inorganiques 1. Alcalinité 2. Chlorures 3. Métaux lourds 4. Azote 5. pH 6. Phosphore 7. Sulfure 8. Composés toxiques (c) Gaz 9. Sulfure d'hydrogène 10. Méthane 11. Oxygène	Rejets domestiques, commerciaux et industriels. Rejets commerciales et industrielles domestiques. Rejets agricoles. Rejets industriels. Rejets domestiques et commerciaux. Rejets domestiques et industriels. Décomposition naturelle des matières organiques. Rejets domestiques, alimentation en eau potable, infiltration d'eaux souterraines. Alimentation en eau potable, rejets domestiques, infiltration d'eaux souterraines, adoucissants. Rejets industriels. Rejets domestiques et agricoles. Rejets industriels. Rejets domestiques et industriels. Alimentation en eau potable, rejets domestiques et industriels. Rejets industriels. Décomposition des rejets domestiques. Décomposition des rejets domestiques. Alimentation en eaux potables, infiltration d'eau de surface.
3. Caractéristiques biologiques <i>a.</i> Animaux <i>b.</i> Plantes <i>c.</i> Parasites <i>d.</i> Virus	Tronçons à ciel ouvert et les installations de traitement. Tronçons à ciel ouvert et les installations de traitement. Rejets domestiques ; installations de traitement. Rejets domestiques.

(Source : Labbaci H., 2019)

5.1.3. Traitement des eaux usées

Les eaux usées traitées sont les eaux usées qui sont passées à travers une station d'épuration en vue d'atteindre certaines normes pour réduire leur degré de pollution ou de risque sanitaire.

Dans le cas où elles ne respectent pas ces normes, les eaux usées sont considérées au mieux comme partiellement traitées.

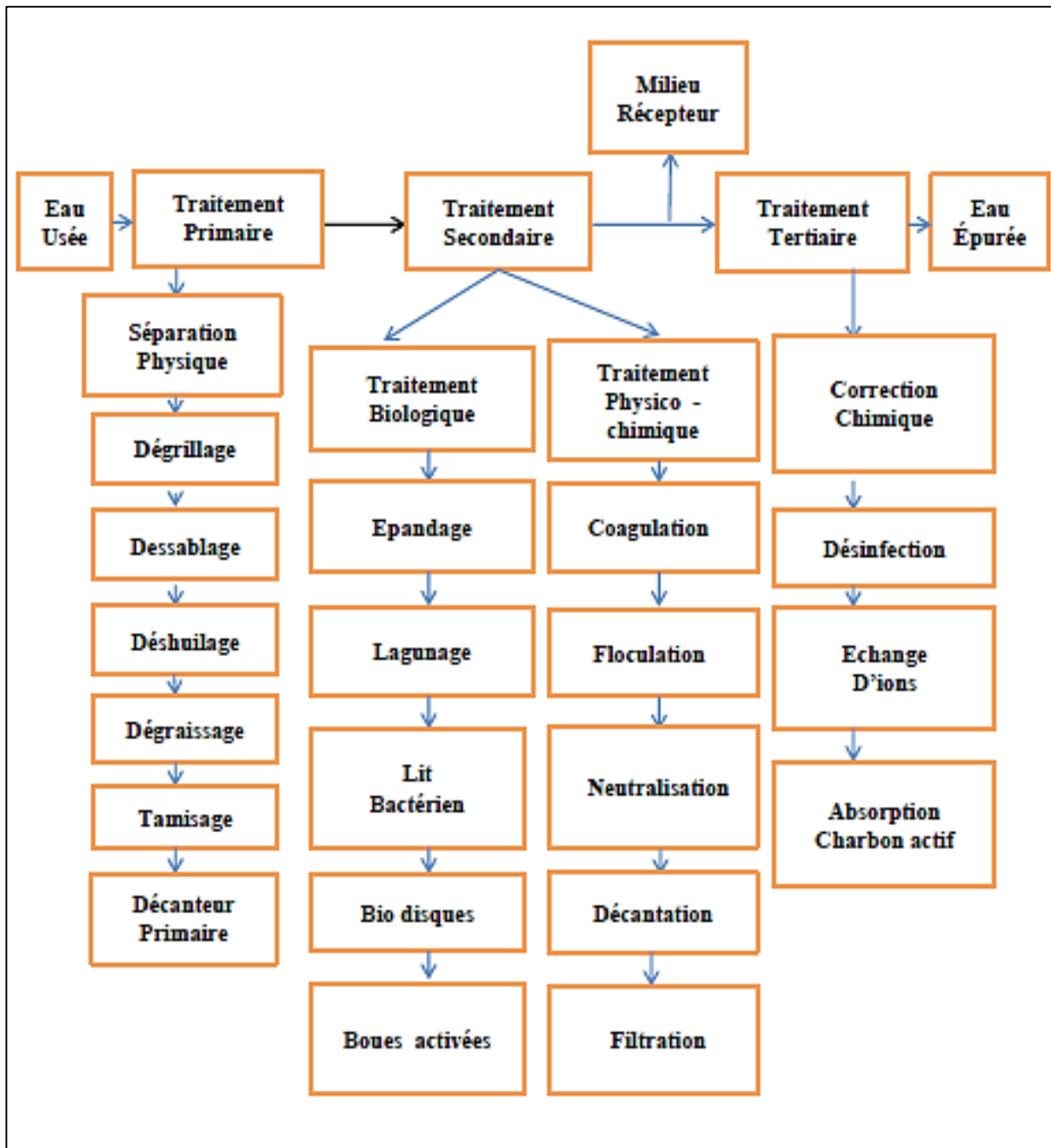


Figure 1.5. Chaîne de traitement des eaux usées. (Boussahoua N., 2015)

Les eaux usées récupérées ou recyclées sont des eaux usées traitées qui peuvent officiellement être utilisées dans des conditions contrôlées à des fins utiles, telle l'irrigation.

5.1.4. Intérêts et contraintes de la réutilisation des eaux usées

Dans un effort constant pour préserver l'environnement et la santé publique, notre pays intensifie ses efforts dans le domaine de l'assainissement et du traitement des eaux usées. Ceci se traduit

par la création et l'amélioration continues des stations d'épuration, avec un accent particulier sur la réutilisation de cette ressource précieuse. Il serait regrettable que cette eau ne soit pas valorisée chaque fois que cela est possible.

L'irrigation représente l'un des domaines les plus prometteurs pour cette réutilisation. En fournissant à l'agriculture une source d'eau renouvelable et de qualité, elle libère également un volume supplémentaire d'eau de bonne qualité pour d'autres usages prioritaires. De plus, elle offre une alternative aux rejets dans les milieux récepteurs qui peuvent avoir des capacités limitées d'absorption. Les eaux usées contiennent également des fertilisants tels que l'azote, le potassium et le phosphore, ce qui permet de réduire les coûts de fertilisation des sols.

L'utilisation des eaux usées contribue également à prévenir l'eutrophisation et à limiter la prolifération d'algues dans les écosystèmes clos comme les lacs et les étangs. Cependant, bien que cette ressource soit une source précieuse d'eau et de fertilisation, elle peut aussi être une source de pollution en raison de la présence d'éléments traces et de germes pathogènes, ainsi que d'une concentration élevée en azote, posant ainsi des risques potentiels pour la santé humaine.

5.2. Les eaux dessalées

La quantité d'eau douce dans le monde représente moins de 3% du volume totale d'eau disponible. L'accès à l'eau douce est très inégalitaire en fonction des régions du monde et les besoins en eau augmentent chaque année. L'ONU prévoit qu'un tiers de la population mondiale sera concernée par le stress hydrique, c'est-à-dire par une pénurie d'eau à l'horizon 2025. Dans de nombreuses régions du monde, les sources d'eau douce sont insuffisantes face à la croissance démographique et la production industrielle. Le dessalement d'eau de mer (dessalage ou désalinisation) est une solution. (www.ecoplage.fr/fr/enjeux/dessalement).

Le dessalement ou désalinisation est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce (potable ou pour l'irrigation) à partir d'une eau saumâtre ou salée (eau de mer).

5.2.1. Techniques de dessalement

a. La distillation thermique

C'est le premier procédé de dessalement, créé au 19^{ème} siècle, utilisé dans le monde. Cette technique consiste à mettre l'eau de mer en évaporation en le portant à ébullition pour séparer l'eau pure du sel et des autres composants. L'eau pure est ensuite reminéralisée pour la rendre potable.

b. La technique d'osmose inverse

C'est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous par des membranes semi-perméables sous l'action de la pression. C'est un système de purification de l'eau par un système

de filtrage très fin qui ne laisse passer que les molécules d'eau. L'osmose inverse est aujourd'hui la technique la plus utilisée car plus fiable et grâce à une plus faible consommation électrique, permettant des coûts très bas. Selon l'ONU, 84% des usines de dessalement opérationnelles dans le monde utilisent cette méthode.

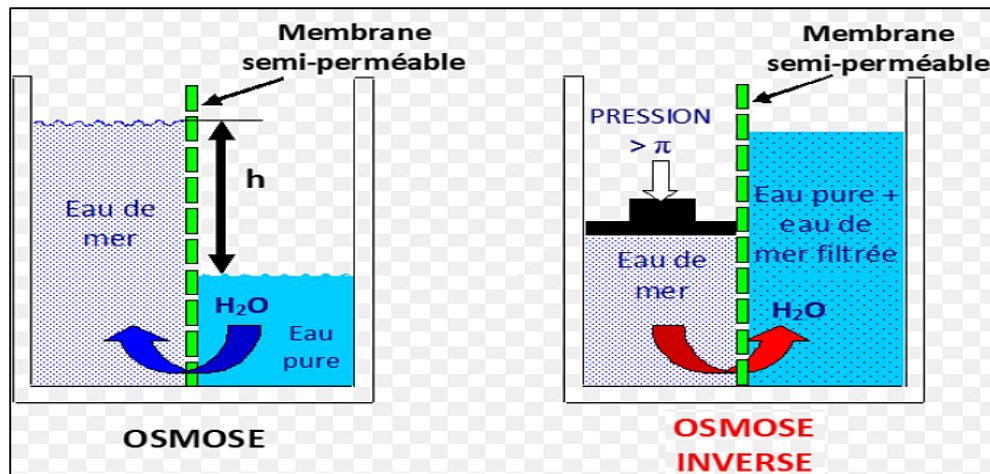


Figure 1.6. Technique d'osmose et osmose inverse.

D'autres techniques existent pour dessaler l'eau de mer mais elles sont principalement utilisées pour des petites unités. C'est le cas de la méthode de l'électrodialyse, de la condensation et de la congélation de l'eau de mer.

5.2.2. Avantages et inconvénients des eaux dessalées

Les eaux dessalées, obtenues par le processus de dessalement de l'eau de mer ou d'eau saumâtre, présentent à la fois des avantages et des inconvénients importants

a. Avantages

Dans le cadre d'une utilisation pour la consommation humaine, la désalinisation est aujourd'hui fiable et moins chère que le recyclage des eaux usées. Le dessalement est particulièrement rentable dans les régions développées et touristiques. Cette activité connaît une forte croissance du fait de son efficacité, sa fiabilité et sa rentabilité.

b. Inconvénients

- Le coût énergétique du dessalement est élevé ;
- Problème d'encrassement des crépines et unités de dessalement ;
- Problème d'érosion.

6. Contraintes d'exploitation des ressources en eau en Algérie

L'exploitation des ressources en eau en Algérie est confrontée à plusieurs contraintes significatives, notamment :

6.1. Contraintes démographiques et économiques

- Une croissance démographique accompagnée d'un développement économique et social du pays, a provoqué un accroissement considérable des besoins en eau potable, industrielle et agricole.
- Une utilisation irrationnelle de la ressource.

6.2. Contraintes géographiques et naturelles

- Une sécheresse récurrente ;
- Un développement industriel sans souci de la préservation des ressources naturelles ;
- Il est remarquable que les besoins en eau soient concentrés sur la bande littorale du pays, ce qui engendre des transferts de ressources en eau, assez coûteux financièrement, vers les régions intérieures du pays, notamment les Hauts Plateaux, pour équilibrer les déficits.

6.3. Contraintes environnementales

- Le taux de réutilisation des eaux épurées est très faible vu que les rejets domestiques, industriels et agricoles dépassent de loin les capacités des systèmes d'épuration. Donc, le volume des eaux non-traitées va polluer les nappes et les ressources superficielles.
- En plus de la pollution des nappes et des ressources superficielles, la pollution va atteindre les nappes souterraines par décantation dans les zones ayant un taux de perméabilité élevé.

6.4. Contraintes techniques et de gestion

- Un réseau d'alimentation devenu vétuste ;
- Un envasement des barrages important ;
- Une panne quasi générale des stations d'épuration ;
- Un système de gestion archaïque et un système de tarification qui ne répond plus aux enjeux actuels.

7. Enjeux actuels et défis futurs de la disponibilité des ressources en eau

Vu l'évolution des besoins démographiques, géographiques, climatiques et industriels en eau, les efforts techniques et technologiques déployés, pour avoir une disponibilité des ressources en eau, peuvent se traduire comme suit :

- Assurer la durabilité de la ressource en eau ;
- Mobilisation optimale de ressources conventionnelles et non conventionnelles ;
- Raccordement des agglomérations et des industriels aux réseaux d'assainissement ;
- Veiller sur la sécurité alimentaire en garantissant une meilleure qualité de l'eau d'irrigation ;
- Responsabiliser les services de gestion de l'eau pour les différentes filières AEP, assainissement et hydraulique agricole ;
- La lutte contre les fuites des différents réseaux ;
- Protéger les écosystèmes hydriques au moyen de la réhabilitation et l'extension des systèmes d'assainissement et d'épuration des eaux usées.
- La mise en œuvre des stratégies de développement durable :

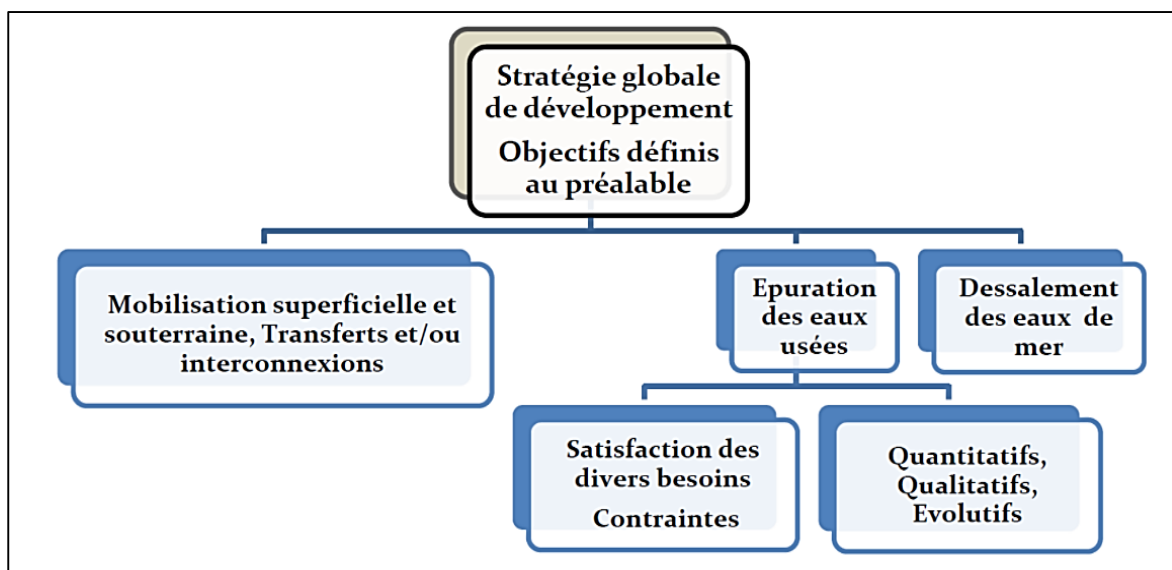


Figure 1.7. Stratégie globale de développement des ressources hydrique

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons discuté le rôle important de l'eau dans la vie humaine. L'eau existe administrativement sous les deux appellations conventionnelles et non conventionnelles.

Les eaux conventionnelles dites naturelles se captent soit à partir des zones superficielles (basins versant, lacs, rivières) stockés dans des barrages, soit à partir des nappes souterraines par des forages. Ces eaux sont destinées, après traitement, à l'AEP, l'AEI ou l'irrigation.

Vu qu'il y a, soit un manque, soit une pauvreté, dans les ressources naturelles dans certaines zones, l'opération de transformation et de traitement des ressources existantes est la solution, c'est ce qu'on appelle les ressources non conventionnelles. Les ressources existantes sont les eaux usées et les eaux salées ou saumâtres, elles sont utilisées aussi, après traitement, à l'AEP, l'AEI ou l'irrigation.

L'eau usée traitée est rejetée de nouveau dans les oueds, bien que les besoins en eau ne soient pas satisfaits. Il serait donc préférable de l'utiliser au moins pour l'irrigation, c'est l'objet du deuxième chapitre dans lequel on va étudier la faisabilité de la réutilisation des eaux usées.

Chapitre II :

**Notions sur la réutilisation
des eaux usées**

Introduction

L'équilibre entre la demande, l'utilisation de l'eau et le maintien de la qualité est un défi croissant de la gestion de l'eau, que ce soit à l'échelle mondiale ou nationale. Cette situation est considérée difficile dans les zones arides et semi-arides des pays en voie de développement où le taux de croissance démographique est élevé par rapport à la rareté dans la ressource en eau.

Le défi de gestion des ressources en eau est aussi demandé au niveau des régions où les ressources en eau sont limitées, en particulier pendant les périodes de sécheresse et de demande élevée, ainsi que dans les régions où la consommation d'eau à des fins agricoles est très élevée (dans certaines régions, il s'agit de 70 % de la consommation totale).

La réutilisation des eaux usées épurées est une solution dans un contexte de diminution de la consommation des ressources conventionnelles de l'eau. Donc, la réutilisation de l'eau sera l'intérêt que peut présenter ce chapitre.

Dans ce chapitre, nous allons discuter le but, les avantages et les inconvénients, les conditions de réutilisation des eaux usées épurées dans le domaine agricole et industriel, les risques rencontrés et les précautions de réutilisation.

1. La crise mondiale de l'eau

Selon le nouveau rapport, publié par l'UNESCO pour le compte d'ONU-Eau, à l'occasion de la journée mondiale de l'eau le 22/03/2024 :

- Plus de 1,4 milliard de personnes sont touchés par la sécheresse entre 2002 et 2021 ;
- En 2022, environ la moitié de la population mondiale a connu une grave pénurie d'eau pendant au moins une partie de l'année et un quart a été confronté à des niveaux extrêmement élevés de stress hydrique alors que plus de 80 % des réserves annuelles renouvelables d'eau douce soient utilisées ;
- 2,2 milliards de personnes n'ont toujours pas accès à des services d'eau potable gérés de manière sûre. Ce chiffre atteint 3,5 milliards de personnes s'agissant de l'accès aux services d'assainissement ;

L'objectif des Nations Unies de garantir cet accès à tous d'ici 2030 est donc très loin d'être atteint. Et il est même à craindre que les inégalités continuent de s'accroître dans ce domaine.

L'utilisation d'eau douce dans le monde a augmenté de près de 1 % par an, sous l'effet conjugué du développement socio-économique et de l'évolution consécutive des modes de consommation, notamment des régimes alimentaires. Alors que l'agriculture exploite environ 70 % des volumes d'eau douce prélevés, les usages industriels (environ 20 %) et domestique

(environ 10 %) constituent les principaux facteurs d'augmentation de la demande en eau, au fur et à mesure que les économies s'industrialisent, que les populations s'installent en ville et que les systèmes de distribution d'eau et d'assainissement s'élargissent. La croissance démographique, en revanche, a un impact moins marqué sur cette demande, étant donné que les endroits où la population augmente le plus rapidement sont souvent ceux où la consommation en eau par habitant est la plus faible.

Dans les pays à faible revenu, la mauvaise qualité de l'eau ambiante résulte principalement d'un traitement insuffisant des eaux usées tandis que dans les pays à revenu élevé, les eaux de ruissellement agricoles posent le problème le plus grave. Malheureusement, les données relatives à la qualité de l'eau restent rares à l'échelle mondiale. Ce constat vaut particulièrement pour nombre de pays parmi les moins développés en Asie et en Afrique, où les capacités de surveillance et de suivi sont les plus faibles. Dans toutes les régions du monde, on trouve des concentrations élevées d'antimicrobiens, dues au traitement insuffisant des eaux usées domestiques, à l'élevage et à l'aquaculture.

Selon l'organisation de normalisation internationale ISO : Les eaux usées traitées de façon adéquate sont des ressources idéales pour remplacer l'utilisation des ressources en eau conventionnelles pour l'agriculture. Les eaux usées traitées peuvent aider à la réhabilitation de terres, l'amélioration de la production agricole et la réduction des coûts liés à la fertilisation.

Une utilisation productive des eaux usées traitées d'un point de vue environnemental peut également offrir un moyen de prévention contre la dégradation écologique des sources d'eau. Outre l'agriculture, les eaux usées traitées peuvent être destinées à une réutilisation urbaine ou industrielle. (I. Zeghdana, C.H. Messous, K. Krouidri et A. Allal, 2023).

La réutilisation des eaux usées non traitées est pratiquée depuis des siècles dans le but de transférer les déchets humains hors des zones urbaines. De même, l'application des eaux usées domestiques à la terre est une pratique ancienne et courante, qui est passée par différentes étapes de développement conformément aux normes de qualité de l'eau. (I. Zeghdana, C.H. Messous, K. Krouidri et A. Allal, 2023).

La réutilisation des eaux usées a connu un développement rapide ces dernières années, avec une croissance des volumes de l'ordre de 10 à 29% par an en Europe (dans les régions côtières et ilienne de la France et de l'Italie et dans les pays très peuplés comme l'Angleterre et l'Allemagne), aux Etats Unis (dans le sud-ouest des États-Unis où s'appliquent des restrictions sévères concernant l'évacuation des eaux usées épurées, notamment en Floride) et en Chine, et jusqu'à 41% en Australie (I. ZEGHDANA, C.H. MESSOUS, K. KROUIDRI et A. ALLAL, 2023).

Dans les pays où il existe des disparités dans la répartition régionale des ressources en eau, le recyclage et la réutilisation de l'eau sont également très répandus. Bien que les précipitations annuelles atteignent en moyenne 1714 mm et que les barrages et réservoirs soient nombreux au Japon, des régions de ce pays connaissent des sécheresses fréquentes ; c'est pourquoi la réutilisation des eaux usées urbaines est devenue une pratique courante dans de nombreuses régions du Japon. (Y. BOUZIDI, 2020).

2. Contexte de la crise de l'eau en Algérie

L'Algérie est un pays au climat essentiellement aride à semi-aride où les précipitations sont faibles et irrégulières et les ressources hydriques très limitées.

Selon les déclarations du Ministère des Ressources en eau et de la sécurité hydrique en 2023. (I. Zeghdana, C.H. Messous, K. Krouidri et A. Allal, 2023).: l'Algérie possède 200 stations d'épuration des eaux usées avec une capacité de production de 500 millions de m³/an. Ce chiffre atteindra 1 milliard de m³/an d'ici 2032. Les eaux épurées sont réutilisées pour l'irrigation de 24.000 hectares de terres agricoles d'ici 2024 et atteindre, à l'horizon 2030, quelque 400.000 hectares, dont 16.000 hectares dans les Hauts-Plateaux.

3. But et formes de réutilisation des eaux usées épurées

Le principal objectif de la réutilisation des eaux usées va au-delà du simple renforcement des ressources hydriques existantes ; il englobe également une contribution essentielle à l'équilibre du cycle naturel de l'eau et à la préservation de l'environnement. Cette pratique organisée implique la récupération et le traitement des eaux usées pour leur donner une nouvelle utilité. En produisant des débits d'eau supplémentaires destinés à divers usages tels que l'irrigation agricole, l'approvisionnement en eau non potable, voire même en eau potable après un traitement approprié, la réutilisation des eaux usées aide à atténuer le stress sur les ressources en eau douce. Cela contribue également à réduire les prélèvements excessifs dans les sources conventionnelles comme les rivières et les nappes phréatiques, tout en minimisant les impacts environnementaux négatifs liés à la pollution et au rejet des eaux usées non traitées dans les écosystèmes naturels. Ainsi, la réutilisation des eaux usées représente une approche durable et innovante pour répondre aux besoins croissants en eau tout en préservant la qualité et la disponibilité des ressources hydriques pour les générations futures.

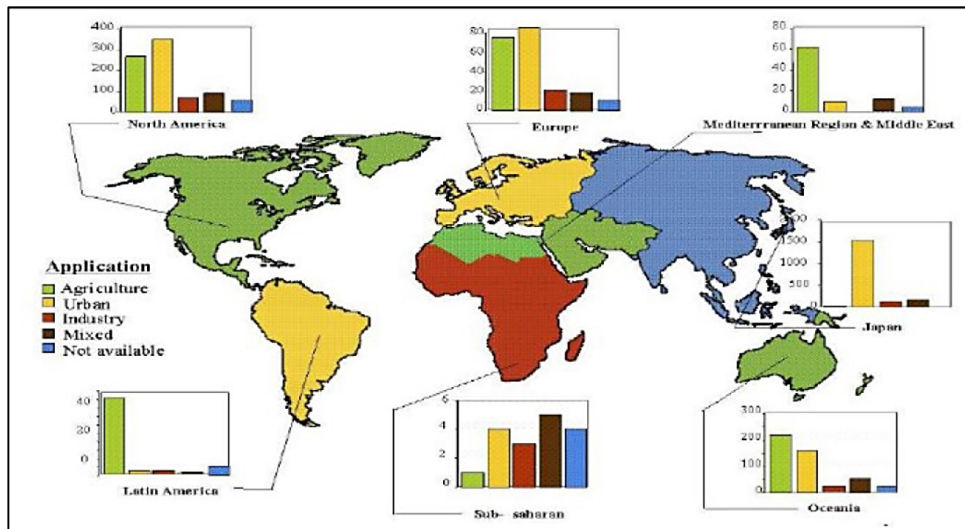


Figure 2.1. Formes de réutilisation des eaux usées épurées dans le monde (FAO-2010).

Selon l’aspect réglementaire et les besoins hydriques, l’eau épurée peut être réutilisée comme :

- Source d’eau potable qui peut être direct, après un traitement très avancé et sécurisé, ou indirect, après circulation dans un milieu naturel (oued, ruissellement, lac et rivières, ...)
- Source d’eau non potable dans les secteurs agricoles, industriels et urbains

3.1. Réutilisation comme source d’eau potable

La réutilisation comme source d’eau potable, soit récupérée directement à partir d’un système de stockage d’eau potable, soit récupérée indirectement par l’intermédiaire d’un milieu naturel :

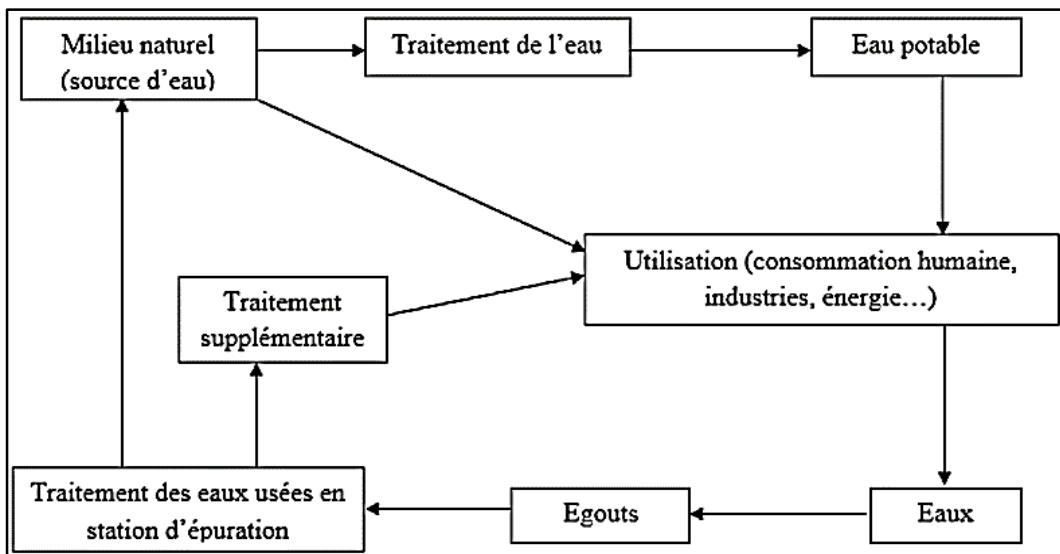


Figure 2.2. La réutilisation des eaux usées épurées dans le cycle d’assainissement

(D. DAHOU, N. MESSAI BELGACEM, 2022).

3.1.1. Réutilisation directe

La réutilisation est dite directe lorsque l'eau épurée est transférée, par canalisation (adduction), vers les stations de traitement d'eau potable, sans passer par le milieu naturel (cas de l'AEP de Windhoek, capitale de la Namibie).

Cette réutilisation est déconseillée car elle nécessite un traitement supplémentaire très avancé. Elle est applicable uniquement quand aucune autre solution n'est possible.

3.1.2. Réutilisation indirecte

La réutilisation est dite indirecte quand les eaux épurées sont rejetées dans un milieu naturel (cours d'eau ou une réserve souterraine) qui sert à l'alimentation d'une station de traitement d'eau potable.

Cette réutilisation est la solution optimale et extrême pour les eaux usées épurées. Elle a lieu particulièrement dans les zones arides ou semi-arides.

3.2. Réutilisation urbaine

Dans le tissu urbain, les eaux usées urbaines (contenant des matières fertilisantes) épurées peuvent être exploitées à des fins d'alimentation en eau non potable. On peut mentionner les exemples suivants :

- Irrigation des parcs, terrains de jeu et cours de récréation ;
- Alimentation des réseaux anti-incendie ;
- Alimentation des fontaines et bassins décoratifs ;
- Alimentation des chasses-d'eau des toilettes publics ;

3.3. Réutilisation et recyclage industriels

La réutilisation des eaux usées pour répondre aux besoins du secteur industriel a commencé dès les années 1940. Le secteur industriel est celui qui utilise le plus d'eau (Y. BOUZIDI,2020).

La réutilisation des eaux usées industriels et le recyclage interne est une opération technique et économique. La qualité de l'eau réutilisée dépend de l'industrie ou de la production industrielle.

Les activités industrielles qui utilisent les eaux usées et les eaux industrielles en grande quantité sont nombreuses et on peut citer :

- Les secteurs chimique, para chimique et pétrochimique ;
- Le secteur agro-alimentaire ;
- Le secteur des industries mécaniques, métallurgiques ;
- Les centrales thermiques et nucléaires ;

On peut aussi réutiliser de l'eau usée épurée dans certains secteurs de la construction et de l'industrie, citons :

- La fabrication du béton ;
- Le nettoyage de l'équipement ;
- L'alimentation des tours de refroidissement ;
- Le nettoyage des cheminées ;
- L'alimentation des chaudières et l'eau de fabrication.

3.4. Réutilisation dans le secteur agricole

La réutilisation des eaux usées dans l'agriculture est considérée comme l'une des solutions appliquées pour atténuer le problème de manque d'eau d'irrigation.

3.4.1. Avantages et inconvénients de réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation

a. Avantages

Cette ressource est une disposition fiable car elle offre les avantages :

- Une économie de la ressource conventionnelle ;
- Développement d'une nouvelle ressource en eau non conventionnelle ;
- Mobilisation d'une ressource potentielle et utilisable ;
- Utilisation des engrais naturels à faible coût, donc une économie de fertilisants ;
- Augmentation de la productivité des activités agricoles ;
- Réduction des impacts à l'environnement et protection des milieux récepteurs (Oueds, Littoral, Plans d'eau...) ;
- Irrigation des cultures ;
- Réalimentation des nappes souterraines ;

b. Inconvénients

- Cette réutilisation exige une qualité d'eau assez élevée ;
- Nécessite la prise de précautions pour la santé publique ;
- Obstacles psychologiques pour certains usagers de l'eau (agriculteur et consommateur).

3.4.2. Cadre réglementaire sur la réutilisation des eaux usées épurées

a. Lois

- La loi n° 05 - 12 du 04 août 2005, relative à l'eau, a institué, à travers ses articles 76 et 78, la concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation (JO n°60-année 2005).
- Le décret n° 07-149 du 20 mai 2007 fixe les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges y afférent (JO n°35 de l'année 2007).

- Arrêté interministériel du 02/01/2021, portant spécifications des eaux usées épurées,
- Arrêté interministériel portant liste des cultures à pratiquer avec les eaux usées épurées,
- Arrêté interministériel portant laboratoires des analyses des eaux usées épurées (N P).

b. Contrôle et responsabilités

Les services des ressources en eau sont responsables pour contrôler :

- La qualité des eaux usées épurées destinées à l'irrigation ;
- L'évolution de la qualité de l'eau des nappes souterraines ;

Les services de l'agriculture sont responsables pour :

- Un contrôle phytosanitaire des cultures irriguées par les eaux usées épurées ;
- L'évolution des caractéristiques des sols irriguées avec des eaux usées épurées.

Les services de la santé publique sont responsables pour :

- Assurer un contrôle régulier de la santé du personnel affecté à l'irrigation avec les eaux usées épurées.

3.4.3. Les cultures à irriguer avec les eaux usées épurées

L'utilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation agricole est une pratique de plus en plus adoptée dans le monde, permettant de conserver les ressources en eau douce et de valoriser les nutriments présents dans les eaux usées. Les cultures pouvant être irriguées avec ces eaux se divisent en trois grandes catégories :

a. Catégorie A

- Cultures non destinées à la consommation humaine (cultures industrielles, coton).
- Cultures séchées avant consommation.
- Légumes et fruits cultivés pour les conserves.

b. Catégorie B

- Fourrages verts.
- Fruits pour la consommation, mais qui n'entrent pas en contact avec l'eau usée épurée (Arboriculture).
- Légumes pour la consommation humaine, consommés après cuisson. (Pomme de terre, aubergine, betterave, etc...).
- Fruits et légumes pour la consommation humaine, dont la peau n'est pas mangée (melon, pastèques, etc...).

Pour cette catégorie, des règles d'hygiène doivent être respectées.

c. Catégorie C

- Les légumes en contact direct avec l'eau usée épurée à consommer crus (laitue, etc...) nécessitent épuration de qualité supérieure (avec restriction).

3.4.4. Mode d'irrigation utilisé avec les eaux usées épurées

Le mode d'irrigation constitue un élément essentiel pour respecter les règles sanitaires :

- L'irrigation gravitaire est à éviter ;
- L'irrigation par aspersion n'est pas recommandée pour les cultures irriguées, destinées à la consommation humaine ;
- L'irrigation localisée (en goutte à goutte) est la plus répandue à travers le monde, et reste la meilleure méthode vu son efficacité élevée et à sa localisation qui ne permet pas de contact avec les parties aériennes de la plante.

3.4.5 Critères de qualité des eaux usées pour l'irrigation

a. Salinité

Dans la plupart des pays, l'eau utilisée pour l'approvisionnement des collectivités est celle ayant la meilleure qualité disponible et elle est habituellement de faible salinité. Cependant, en conditions de pénurie en eau, la salinité peut être un problème.

b. Alcalinité

L'augmentation de l'alcalinité du sol, qui peut se produire avec l'eau usée traitée en cas de concentration élevée en Na, réduit la perméabilité du sol, particulièrement en surface, même si le lessivage a lieu.

4. Avantages et inconvénients de réutilisation des eaux usées épurées

4.1. Avantages

La réutilisation des eaux usées épurées représente plusieurs avantages :

- Diminution de l'impact sur le cycle naturel de l'eau ;
- Renforcement des ressources en eaux conventionnelles ;
- Réalimentation des nappes ;
- Utilisation des nutriments des eaux usées (Azote et Phosphore) ;
- Réduction de l'utilisation des fertilisants synthétiques ;
- Amélioration des propriétés fertilisantes du sol ;
- Réduction du coût de traitement : traitement tertiaire non nécessaire lors de l'irrigation (traitement par le sol) ;

- Préservation de l'environnement ;
- Bonne gestion de l'eau et économie de fertilisants ;
- Augmentation de rendement d'exploitation des ressources en eaux.

4.2. Inconvénients

Malgré les avantages cités précédemment, la réutilisation des eaux usées représente quelques inconvénients :

- Vu que la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation est limitée durant la période de croissance des cultures, on rencontre un problème dans le stockage des eaux usées produites en continu tout au long de l'année ;
- Présence des particules considérées toxiques pour certaines plantes ;
- Gravité potentielle sur la santé humaine par la dispersion de germes pathogènes et de substances chimiques ;
- Traitement très coûteux ;
- Influence du traitement sur l'environnement par la production de boues ;
- La présence de certaines substances dans les eaux usées à des concentrations élevées pouvant causer des dommages environnementaux.

5. Les principaux paramètres de pollution

5.1. Les paramètres physiques

- **Température** : La température est un paramètre essentiel à contrôler, en particulier en présence d'effluents industriels. Elle peut influencer la solubilité des sels, la concentration en oxygène dissous et l'activité microbienne.
- **pH** : Le pH joue un rôle crucial dans le traitement biologique des eaux. Pour une performance optimale, il doit se situer entre 6,5 et 8,5.
- **Conductivité** : La conductivité fournit une indication sur la salinité de l'eau. Les variations de salinité peuvent affecter le traitement biologique et la décantation.
- **Matières en suspension (MES)** : Les MES représentent les particules solides présentes dans l'eau et sont responsables d'une grande partie de la pollution, causant souvent des nuisances significatives.
- **Matières volatiles sèches (MVS)** : Les MVS constituent la fraction organique des matières en suspension, représentant environ 70 à 80 % des MES.

- **Couleur et odeur** : La couleur des eaux usées brutes est généralement due à la présence de matières organiques dissoutes ou colloïdales et de composés chimiques solubles colorés. L'odeur est souvent le résultat de la fermentation des matières organiques.

5.2. Les paramètres chimiques

- **Demande biologique en oxygène (DBO₅)** : La DBO₅ mesure la teneur en matière biodégradable dans l'eau.
- **Demande chimique en oxygène (DCO)** : La DCO évalue la quantité totale de matières organiques biodégradables et réfractaires dans l'eau.
- **Éléments toxiques** : La présence de métaux lourds (plomb, mercure, etc.) et de substances toxiques (comme les phénols) peut rendre les eaux usées toxiques, ces éléments étant évalués par des tests biologiques.
- **Nutriments (azote, phosphore)** : Le phosphore, présent sous forme de sels minéraux (orthophosphates et polyphosphates) provenant principalement des détergents, et sous forme organique provenant des matières fécales, constitue un nutriment important dans les eaux usées. (Boussahoua N., 2015).

6. Norme de réutilisation des eaux usées

Il existe plusieurs normes et réglementations relatives au sujet de la réutilisation des eaux usées traitées au niveau de diverses utilisations (I. ZEGHDANA, C.H. MESSOUS, K. KROUIDRI et A. ALLAL, 2023) :

6.1. Normes Algériennes

- Parmi les normes algériennes qui traitent le domaine de réutilisation des eaux usées traitées ou épurées et celle inscrite et apparaisse dans l'institut Algérien de Normalisation IANOR en 2012, sous le code NA **17683**, portant « **Réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles, municipales et industrielles - Spécifications physico-chimiques et biologiques** ».

Toutes les sections irriguées, à travers les réseaux d'eaux usées épurées, doivent être éloignées de plus de 100 mètres des routes, des habitations, des puits de surface et autres ouvrages destinés à l'alimentation en eau potable. Tout raccordement avec une canalisation transportant de l'eau potable est interdit.

Tableau 2.1. Normes de rejets pour l'irrigation (selon les Normes Algériennes N°17683)

Paramètres	Unité	Valeurs seuil
Température	°C	< 30
pH	-	6,5 à 8,5
Oxygène dissous	mgO ₂ /l	> 5
MES	mg/l	< 30
DBO ₅	mg/l	< 40
DCO	mg/l	< 90
Azote total	mg/l	< 50
Phosphore (PO ₄)	mg/l	< 02
Huile et graisse	mg/l	< 20

Source : (I. ZEGHDANA, C.H. MESSOUS, K. KROUIDRI et A. ALLAL, 2023)

Les paramètres physiques et chimiques des eaux usées épurées à utiliser pour l'irrigation doivent se conformer aux normes suivantes (A. BEN AISSA, 2017) :

Tableau 2.2. Normes de réutilisation des eaux usées épurées (JORA 2012)

Paramètres	Unité	Concentration maximale admissible	
Physiques	pH	-	$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration le SAR= o - 3 CE		0.2
	3 - 6		0.3
	6 - 12	ds/m	0.5
	12 - 20		1.3
20 - 40		3	
Chimiques	DBO ₅	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	Chlorure(Cl)	meq/l	10
	Azote (NO ₃ ^{-N})	mg/l	30
	Bicarbonate (HCO ₃)	meq/l	8.5
Éléments toxiques (*)	Aluminium	mg/l	20.0
	Arsenic	mg/l	2.0
	Béryllium	meq/l	0.5
	Bore	mg/l	2.0
	Cadmium	meq/l	0.05

Chrome	mg/l	1.0
Cobalt	mg/l	5.0
Cuivre	mg/l	5.0
Cyanures	mg/l	0.5
Fluor	mg/l	15.0
Fer	mg/l	20.0
Phénols	mg/l	0.002
Plomb	mg/l	10.0
Lithium	mg/l	2.5
Manganèse	mg/l	10.0
Mercure	mg/l	0.01
Molybdène	mg/l	0.05
Nickel	mg/l	2.0
Sélénium	mg/l	0.02
Vanadium	mg/l	1.0
Zinc	mg/l	10.0

Source : (A. Ben Aissa, 2017)

6.2. Normes internationales

- La norme **ISO 16075-1 : 2015**, contenant les lignes directrices pour l'utilisation des eaux usées traitées en irrigation – Partie 1 : Les bases d'un projet de réutilisation en irrigation, qui contient des lignes directrices pour l'ensemble des éléments d'un projet fondé sur l'utilisation des eaux usées traitées à des fins d'irrigation.
- La norme **ISO 16075-2 : 2015**, contenant les lignes directrices pour l'utilisation des eaux usées traitées en irrigation – Partie 2 : Développement du projet, qui couvre des questions telles que les critères relatifs à la conception et les spécifications concernant la qualité.
- La norme **ISO 16075-3 : 2015**, contenant les lignes directrices pour l'utilisation des eaux usées traitées en irrigation – Partie 3 : Éléments d'un projet de réutilisation en irrigation, qui couvre les éléments d'un projet nécessaires pour l'utilisation des eaux usées traitées à des fins d'irrigation.

7. Risques liés à la réutilisation des eaux usées épurées

La réutilisation des eaux usées peut avoir des effets négatifs sur la santé humaine et sur l'environnement. Ces effets sont :

- Insertion des produits chimiques dans le sol, l'eau et les plantes ;
- Le développement des microorganismes pathogènes (virus, bactéries et parasites).

7.1. Risque microbiologique

La plus grande inquiétude liée à la réutilisation des eaux usées, même traitées, est la propagation potentielle de maladies bactériennes.

Les déchets des personnes et des animaux infectés représentent la source principale des pathogènes présents dans les eaux usées. Donc, le degré d'infection des personnes dépend de la nature et de la concentration des microorganismes pathogènes des eaux usées épurées.

7.2. Risque chimique

L'accumulation des micropolluants dans les plantes cultivées provoque la contamination des personnes par consommation, quoique certains de ces micropolluants soient d'intérêt en tant que facteurs de croissance des végétaux.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons vu qu'à partir d'une eau usée traitée, il est possible d'obtenir toute une gamme d'eau avec différentes qualités pour un usage bien spécifié. Il est clair que les traitements qui existent peuvent réduire les concentrations des polluants sur toutes leurs formes, à des niveaux qui sont actuellement considérés non dangereux.

Nous avons vu aussi que l'agriculture puisse bénéficier des eaux usées épurées comme source d'irrigation avec l'application, bien sûre, de certaines précautions techniques et sanitaires pour avoir un bon produit agricole et une conservation de la qualité du sol.

Pour valider cette situation, nous allons vérifier et analyser la qualité de l'eau traitée à partir de la STEP de Skikda afin d'irriguer le périmètre du Saf-Saf, c'est l'objet du chapitre prochain.

Deuxième partie :

PARTIE PRATIQUE

Chapitre III :

**Caractéristiques climatiques et aspects
techniques de la STEP de Skikda**

Introduction

Dans le contexte de la valorisation des eaux usées épurées de la station d'épuration des eaux usées (STEP) de Skikda, il est crucial de comprendre les caractéristiques physiques et climatiques de la région du périmètre du Saf-Saf, située dans le nord-est de l'Algérie. Ce chapitre vise à offrir une vue d'ensemble des conditions environnementales qui influencent l'irrigation et la gestion des ressources hydriques dans cette zone.

Le périmètre du Saf-Saf se distingue par une géographie variée et un climat méditerranéen typique, marqué par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides. Ces conditions climatiques jouent un rôle déterminant dans les pratiques agricoles locales, notamment en matière d'irrigation. La compréhension de ces facteurs est essentielle pour évaluer le potentiel d'utilisation des eaux usées épurées dans l'agriculture, en tenant compte des exigences spécifiques des cultures locales et des besoins en eau.

Ce chapitre explorera en détail les caractéristiques géographiques, topographiques et climatiques de la région, en mettant en lumière les défis et les opportunités associés à l'utilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation. Il fournira également un cadre de référence pour les analyses ultérieures sur l'efficacité et la durabilité de cette pratique dans le contexte spécifique du Saf-Saf.

Ainsi, en établissant un cadre physique et climatique précis, nous pourrions mieux appréhender les dynamiques environnementales et proposer des solutions adaptées pour une gestion optimisée des ressources hydriques, contribuant ainsi à l'amélioration de l'irrigation et à la promotion d'une agriculture durable dans la région.

1. Caractéristiques physiques et climatiques de la région de Skikda

La région de Skikda fait partie des bassins côtiers constantinois au nord-est de l'Algérie, couvrant une superficie de 4 137 km². Elle abrite une population d'environ 1 115 380 habitants, soit une densité de 271 habitants par km² (ONS, 2020). Située au nord-est de l'Algérie, la wilaya de Skikda est délimitée au sud par la chaîne numidienne, qui coïncide avec la limite administrative de la wilaya de Constantine. Au nord, elle est bordée 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.

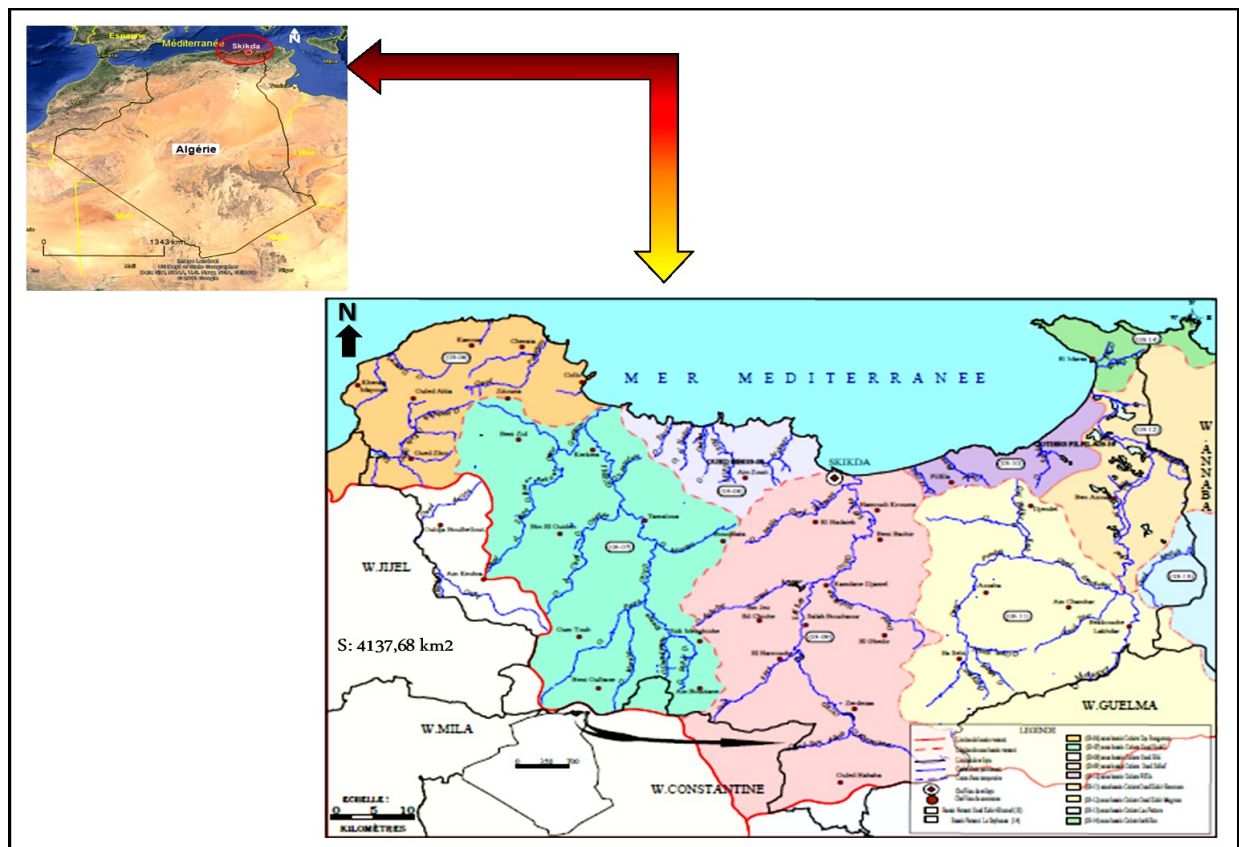


Figure 3.1. Situation géographique de la wilaya de Skikda. (Benrabah, 2006).

2. Contexte socio-économique

La wilaya de Skikda, composée de 38 communes, se caractérise par une majorité de zones montagneuses, avec des agglomérations concentrées principalement dans les plaines. Les communes situées dans les plaines, telles que Skikda, Azzaba et El Harrouch, sont les plus peuplées.

La basse plaine du bassin du Saf-Saf occupe la partie centrale de la wilaya, regroupant six communes : Skikda, Bouchetata, El Hadaeïk, Hamadi Hrouma, Beni Béchir et Ramdane Djamel. Ces communes bénéficient d'une situation géographique favorable, facilitant ainsi le développement socio-économique de la région.

3. Caractéristiques hydro-climatiques

Les facteurs climatiques tels que les précipitations, la température, l'évapotranspiration et l'humidité jouent un rôle primordial dans le comportement hydrologique des bassins versants. Les variations de température et d'humidité provoquent des expansions et contractions des roches, dues au gel-dégel alterné ou aux variations de la teneur en eau. L'objectif principal de cette étude hydro climatique est d'analyser les paramètres suivants : précipitations, évaporation, infiltration et ruissellement. En utilisant les données météorologiques disponibles et en appliquant les

méthodes appropriées à la région, cette étude vise à établir un bilan hydrique précis. (Ghomrani NH et Medjrab N., 2021).

3.1. Station de mesure

L'analyse climatologique repose sur les données enregistrées à la station météorologique de Skikda (nouveau port). Cette étude hydroclimatique couvre une période de 22 cycle hydrologique, s'étalant de (1996 /97-2018/19). Les coordonnées géographiques de cette station sont présentées dans le tableau 1 (Ghomrani N.H. et Medjrab N., 2021).

Tableau 3.1. 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	(1996 /97-2018/19)

(Ghomrani NH, et Medjrab N., 2021)

3.2. Les paramètres météorologiques déterminants

3.2.1. Les précipitations

La pluviométrie désigne l'ensemble des précipitations reçues sur un bassin versant, incluant pluie, neige, grêle et autres formes de condensation. Cet élément est fondamental pour établir le bilan hydrologique d'une région. Selon un rapport de la Direction de l'Environnement, la wilaya de Skikda est parmi les régions les plus arrosées d'Algérie, avec des précipitations annuelles très abondantes, principalement sous forme de pluies torrentielles concentrées durant les mois d'hiver, de novembre à février.

La distribution géographique des précipitations dans la région montre une diminution générale du nord vers le sud et de l'est vers l'ouest. Cette variation implique que les quantités de pluie diminuent progressivement à mesure que l'on s'éloigne des zones côtières et orientales.

a. Les précipitations mensuelles

La distribution géographique des précipitations dans la région montre une diminution générale du nord vers le sud et de l'est vers l'ouest. Cette variation implique que les quantités de pluie diminuent progressivement à mesure que l'on s'éloigne des zones côtières et orientales. Pour chaque station météorologique, les données enregistrées sur une période donnée permettent de calculer la hauteur des précipitations mensuelles pour chaque mois de l'année. Les mois de juillet et août sont particulièrement secs, enregistrant les niveaux de précipitations les plus bas de l'année.

Les données pluviométriques, présentées dans le tableau ci-dessus, couvrent une période de 22 ans. Ces informations sont cruciales pour analyser les variations saisonnières et annuelles des

précipitations dans la région, ainsi que pour élaborer des stratégies efficaces de gestion des ressources en eau.

Tableau 3.2. Précipitations moyennes mensuelles à la station de Skikda (1996 /97-2018/19).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne annuelle
P (mm)	49.71	67.05	115.45	130.46	121.46	104.83	72.07	47.78	39.14	13,44	2,17	13.78	777.3

(Ghomrani NH, et Medjrab N., 2021)

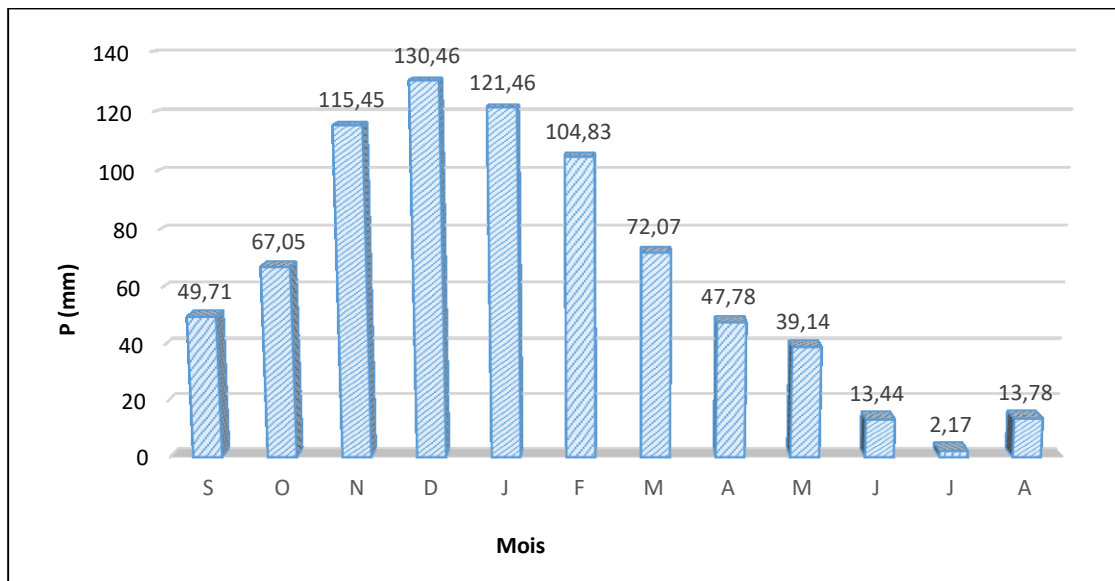


Figure 3.2. Distribution des précipitations mensuelles dans la zone d'étude (1996 /97-2018/19).

D'après les résultats du tableau et de l'histogramme des précipitations moyennes mensuelles sur une période de 22 ans (1996 /97-2018/19), plusieurs tendances se dégagent :

- Le mois de décembre présente le plus haut niveau de précipitations avec une moyenne de 130,46 mm.
- En revanche, le mois de juillet enregistre le minimum de précipitations avec une moyenne de seulement 2,17 mm.

Ces observations mettent en lumière une saisonnalité marquée des précipitations, avec des mois d'hiver nettement plus pluvieux que les mois d'été.

b. Les précipitations saisonnières

L'analyse des précipitations saisonnières permet d'étudier la répartition annuelle des précipitations selon les quatre saisons : automne, hiver, printemps et été. Cette analyse est

essentielle pour identifier les périodes de forte pluviosité ainsi que les saisons plus sèches, ce qui revêt une importance capitale pour la gestion des ressources en eau et la planification agricole. Les moyennes de précipitations pour chaque saison sont synthétisées dans le tableau, offrant ainsi une vue d'ensemble claire de la variabilité des précipitations tout au long de l'année.

Tableau 3.3. Précipitations moyennes saisonnières à la station de Skikda (1996 /97-2018/19).

	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			777,34
P (%)	29,87			45,89			20,45			3,79			100%

(Ghomrani NH, et Medjrab N., 2021)

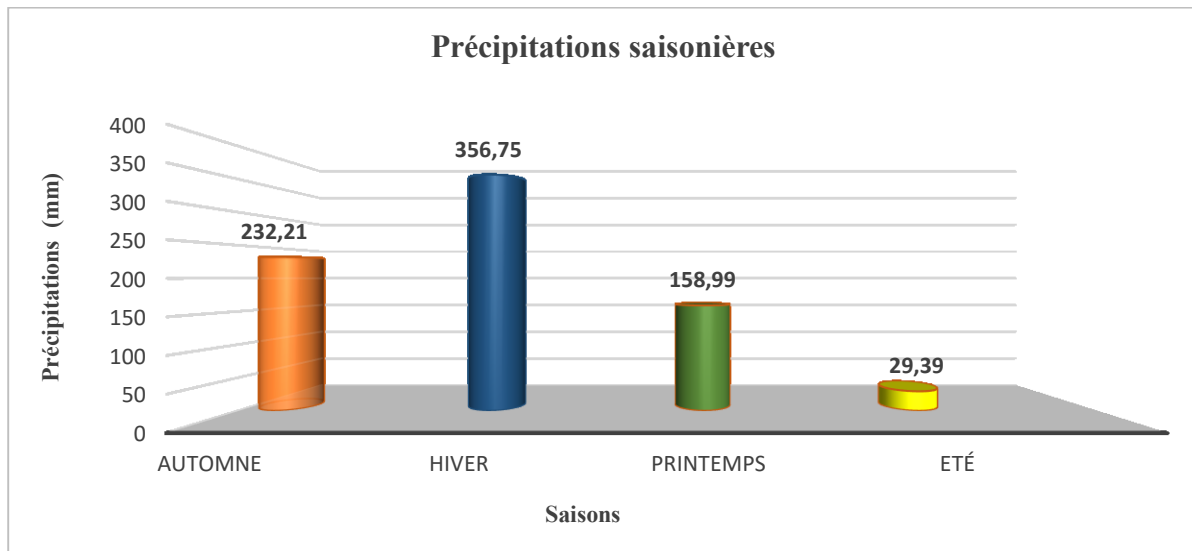


Figure 3.3. Distribution des précipitations saisonnières dans la zone d'étude (1996 /97-2018/19).

Les données de précipitations saisonnières de la série chronologique (1996/97-2018/19) révèlent que l'hiver se distingue comme la saison la plus pluvieuse, avec une moyenne de précipitation de 356,75 mm, ce qui représente 45,90 % de la précipitation totale annuelle. À l'inverse, l'été est la saison la plus sèche, avec une moyenne de seulement 29,35 mm de précipitations, soit 3,77 % de la précipitation totale annuelle.

Ces données revêtent une importance cruciale pour comprendre les tendances climatiques de la région. Elles influencent significativement la gestion des ressources en eau et la planification des

activités agricoles, en mettant en évidence les périodes de forte pluviosité et les périodes plus sèches de l'année.

3.2.2. Les températures

La température est un élément clé du bilan hydrique, influençant directement le déficit de ruissellement. Ce déficit représente la différence entre les précipitations et l'eau qui s'écoule effectivement sur le sol sous forme de ruissellement. Une température élevée favorise l'évapotranspiration, augmentant ainsi le déficit de ruissellement et réduisant la quantité d'eau disponible pour les rivières et les nappes phréatiques.

Tableau 3.4. Températures moyennes mensuelles à la station de Skikda (1996 /97-2018/19)

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 illustrent parfaitement le climat méditerranéen de la région, avec une moyenne annuelle de 19,02 °C.

En janvier, la température moyenne mensuelle atteint son minimum à 12,37 °C. En revanche, c'est en août que la température moyenne mensuelle est la plus élevée, culminant à 26,81 °C, ce qui en fait le mois le plus chaud de l'année.

L'évolution des températures montre une diminution progressive de septembre à janvier, suivie d'une augmentation continue qui atteint son maximum en août.

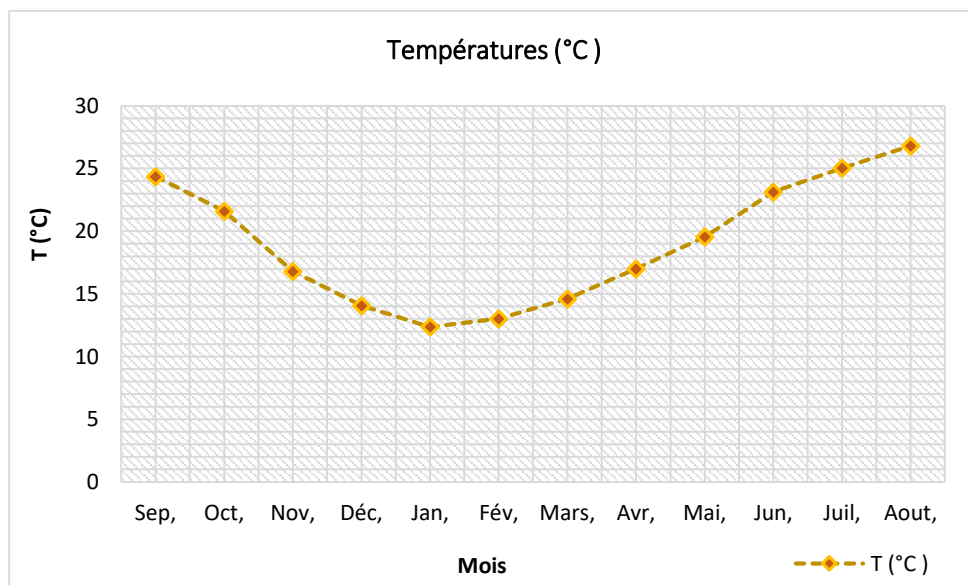


Figure 3.4. Températures moyennes mensuelles dans la zone d'étude (1996 /97-2018/19).

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 ($P = 2T$).

La courbe de Gaussen est un outil utilisé pour identifier les périodes humides et sèches en fonction des précipitations et des températures. Selon cette méthode :

- Une saison est considérée comme sèche si la somme des précipitations est égale ou inférieure au double de la température moyenne du mois ($P \leq 2T$).
- Une saison est considérée comme humide si la somme des précipitations est égale au double de la température moyenne du mois ($P = 2T$).

Cette relation permet de caractériser de manière précise les périodes de sécheresse et d'humidité au cours de l'année.

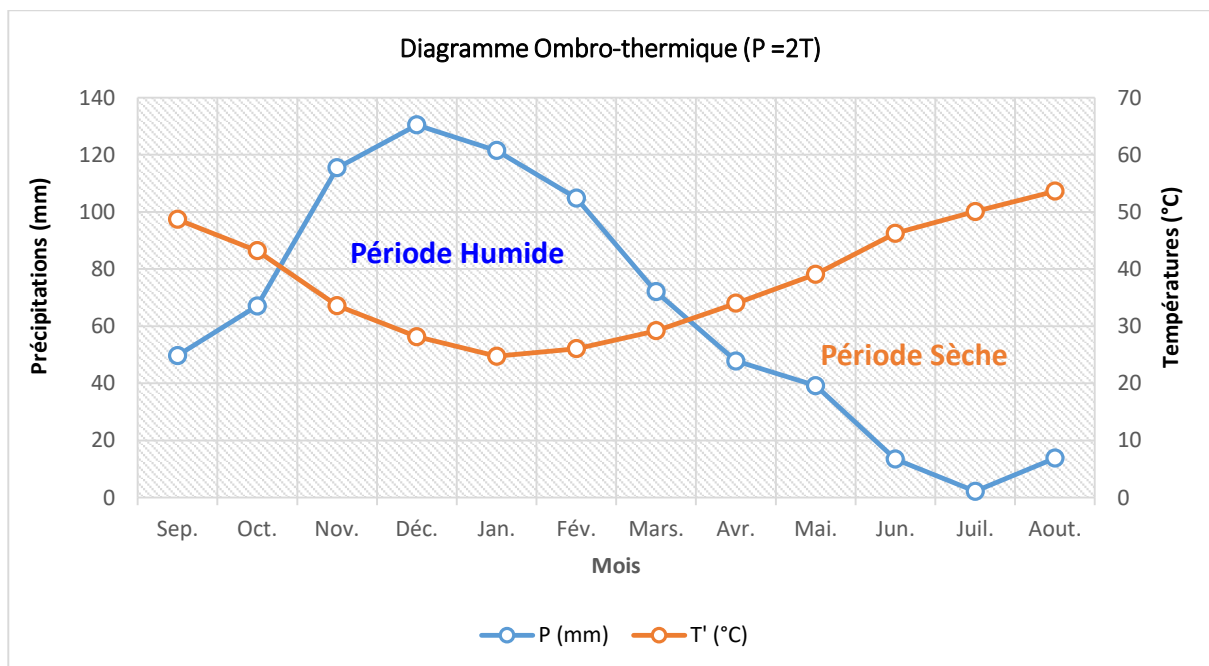


Figure 3.5. Diagramme ombro-thermique dans la station de Skikda (1996 /97-2018/19)

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. Selon le diagramme ombro-thermique, on observe une alternance entre une saison sèche et une période humide :

- *Période sèche* : La saison sèche s'étend d'avril à octobre. Durant cette période, les précipitations sont relativement faibles, atteignant un minimum en juillet. Cette période correspond également à des températures élevées, culminant en août.
- *Période humide* : La période humide s'étend de fin octobre au début d'avril. Pendant ces mois, les précipitations augmentent de manière significative, avec un maximum en décembre et janvier. Les températures sont plus basses pendant cette période, surtout en janvier et février.

Un aspect notable est l'inversement des tendances entre les températures et les précipitations. Les températures augmentent lorsque les précipitations diminuent, et à l'inverse, les précipitations augmentent lorsque les températures baissent. Ce schéma est caractéristique des climats méditerranéens, avec des étés chauds et secs et des hivers doux et pluvieux.

4. Présentation de la station d'épuration de Skikda

La station d'épuration de Skikda se situe au nord de la ville sur la route de la zone industrielle Hamrouch Hamoudi, Elle occupe une superficie globale de 11 Hectares.

Cette station est l'une des infrastructures de protection environnementale de la wilaya. Les travaux de construction ont été achevés et réceptionnés le 11 décembre 2011, date à laquelle l'exploitation a également commencé, pour une période initiale de deux ans. La station traite les eaux usées provenant de la ville de Skikda, ainsi que des localités de Hamadi Krouma, Ramdane Djamel et Béni Béchir, avec une capacité de traitement de 46 000 m³ par jour, soit environ 16,8 millions de mètres cubes par an.

Les eaux usées sont principalement acheminées par un collecteur de diamètre nominal DN 1000, alimenté par les stations de relevage gérées par l'Office National de l'Assainissement (ONA).

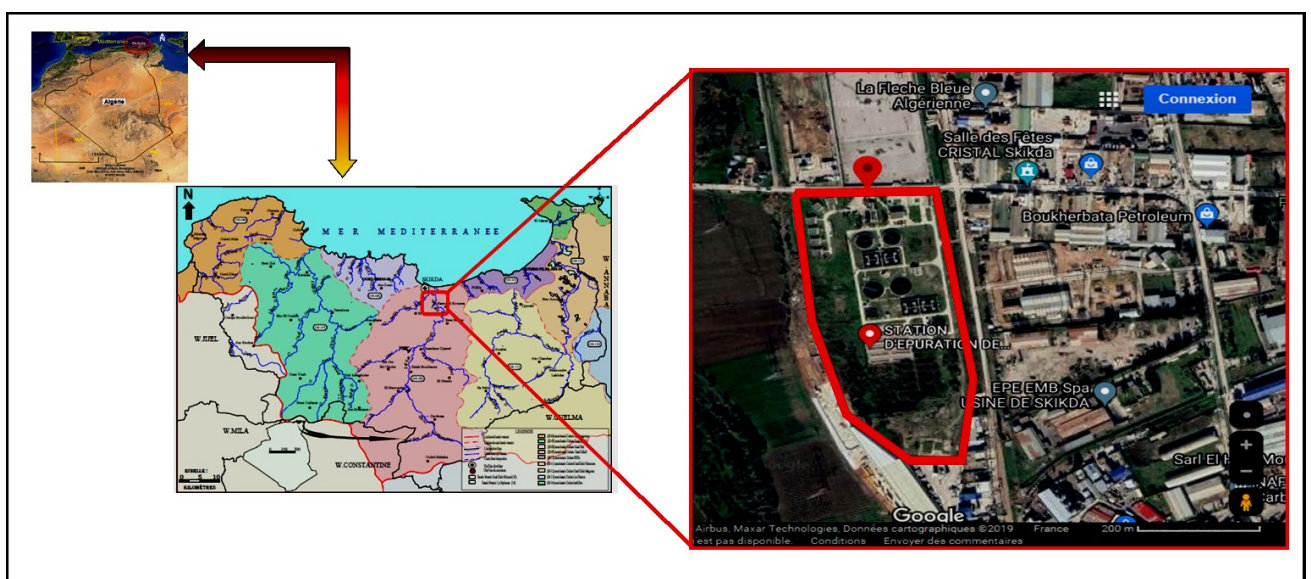


Figure 3.6. Situation géographique de la STEP de Skikda

4.1. Objectif de traitement des eaux usées par la STEP de SKIKDA

Le rôle principal de la station de traitement des eaux usées est de minimiser la charge polluante des eaux usées domestiques afin d'obtenir les eaux traitées compatible avec la qualité dans les normes idéales (OMS).

La station d'épuration permet de respecter l'environnement et de produire des boues qui seront utilisées comme substances fertilisantes en agriculture.

4.2. Dimensionnement de la station d'épuration

Le dimensionnement de la station d'épuration a été basé sur :

- **Type de réseau** : Unitaire.
- **Nature des eaux usées** : Eaux domestiques et pluviales.
- **Population** : Pour la détermination de la capacité de la station, nous avons adopté les données de la DHW de Skikda dont Le taux d'accroissement moyen considéré aux différents Horizons, est de 2.31 %. En appliquant la formule d'accroissement exponentiel :

$$P = P_0 (1 + T)^N$$

où :

P₀ : Population actuelle

T : Taux d'accroissement annuel

N : Nombre d'années

Tableau 3.5. Population aux différents horizons

ANNEES	POPULATION-Habitants
2002	194 090
2004	203 160
2006	212 655
2008	222 593
2013	249 518
2015	261 177
2018	279 700
2019	286161
2020	292 771
2023	313 533
2025	328 183

Source : Labbaci H., et Boumenkar T., 2019

4.3. Caractéristiques de la station d'épuration

La consommation en eau potable est calculée en se basant sur une dotation moyenne de 200 litres par jour par habitant, en tenant compte des ressources actuelles et futures en eau potable, ainsi que de la consommation totale de la population et des équipements. L'estimation du débit des eaux usées à épurer est effectuée en fonction du taux de canalisation et du taux de réduction des eaux usées. De plus, le nombre d'équipements par habitant est pris en compte pour une évaluation précise. La charge polluante, évaluée par deux paramètres de pollution que sont la demande biochimique en oxygène (DBO₅) et les matières en suspension (MES), joue un rôle crucial. Le réseau d'assainissement de la Wilaya de Skikda est de type séparatif, et la station de traitement est alimentée en eaux brutes par des stations de relevage situées sur le réseau.

Tableau 3.6. Les normes des paramètres de pollution retenues

Paramètres		Normes
DBO ₅	Demande biochimique en Oxygène	65 g/hab/j
DCO	Demande Chimique en Oxygène	DCO / DBO ₅ = 2.3
NTK	Azote Total Kjeldahl	DBO ₅ / NTK ≥ 6
MES	Matière en Suspension	75 g/hab/j

(Source : STEP SKIKDA)

5. Qualité des eaux traitées et possibilités de réutilisation

Les eaux usées traitées sont rejetées dans l'Oued Saf-Saf. La concentration de l'effluent traité en matières polluantes doit être inférieure aux valeurs suivant :

Tableau 3.7. Concentration de l'effluent traité en matières polluantes

Paramètre	Concentration maximal (mg/l)
MES	30 mg/l en moyen sur 24 heures
DBO ₅	30 mg/l en moyen sur 24 heures Ne dépasse pas 40 mg/l en 05 jours à 20°
DCO	90 mg/l en moyen sur 24 heures 120 mg/l en moyen sur 02 heures
NTK	40 mg/l en moyen sur 24 heures 50 mg/l en moyen sur 02 heures

(Source : Données STEP SKIKDA)

6. Fiche technique de la STEP de SKIKDA

La Station d'Épuration des Eaux Usées (STEP) de Skikda joue un rôle crucial dans la gestion des eaux usées de la wilaya de Skikda. En tant qu'infrastructure essentielle pour la protection de l'environnement et la santé publique. Cette fiche technique présente les principales

caractéristiques, les performances de traitement et les objectifs futurs de la station, mettant en lumière son importance pour le développement durable de la région.

Tableau 3.8. Fiche technique de la STEP de Skikda

Désignation	1 ^{ère} STEP
WILAYA	SKIKDA
ZONE	21 – SKIKDA -
UNITE	SKIKDA
NOM	STEP DE SKIKDA
Localisation de la STEP (commune) :	HAMMADI KROUMA
Date de mise en service :	Mai - 2014
Entreprise de réalisation :	GROUPEMENT E.T.P OTV- France - / GCGS – CHINE
GESTIONNAIRE :	ONA
Procède d'épuration :	Boue active (moyenne charge)
Lieu de rejet :	Oued el Saf Saf
Impact final (Protection)	Mer
Type de réseau	Unitaire
Nature des eaux brutes	Eaux domestiques et eaux pluviales
Capacité en (Eq/hab)	230 000
Débit nominal en (m3/j)	46 000
QUALITE DE L'EAU ENTRANTE (MES, DBO5 et DCO)	
MES :	138.5 mg/l
DBO ₅ :	183.5 mg/l
DCO :	290.66 mg/l
QUALITE DE L'EAU SORTANTE (MES, DBO₅ et DCO)	
MES :	9,225 mg/l
DBO ₅ :	33 mg/l
DCO :	47.15 mg/l

(Source : Bilan DRE SKIKDA, 2023)

7. Schéma de fonctionnement des stations de relevage

L'analyse des données du tableau révèle plusieurs observations importantes concernant le réseau d'assainissement de la Wilaya de Skikda. La région dispose d'un réseau dense de stations de relevage réparties sur l'ensemble du territoire. Les volumes d'eau refoulés par ces stations varient significativement, allant de 800 ML à 3200 ML par an, ce qui illustre les divers besoins en assainissement des différentes communes. Les longueurs des conduites de refoulement varient également, de 4,61 km à 68,67 km, en fonction de la distance entre les stations de relevage et les points de rejet final des eaux usées.

Tableau 3.9. Données sur les stations de relevage de la Wilaya de Skikda

Commune	Nom de station de relevage	Etat de fonctionnement des stations de relevages	Coordonnées (X, Y, Z)			Volume Refoulé m ³ /an	LONGUEUR DE CONDUITE DE REFOULEMENT (KM)
			X	Y	Z		
Skikda	SR MERDJ EDDIB	Génie Civil Des Bâtiments Dégradé Nécessite Réhabilitation	36,5202	6,5515	5,4	118800,00	MERDJ EDDIB vers principal 800ML
	SR MARINELLE	Fonctionnelle	36,5306	6,5407	4,61	71259,60	MARINELLE vers principal 4181 ML
	SR 700 logements	Fonctionnelle	36,5145	6,5419	7,62	22625,00	SR 700 lgts vers MERDJ EDDIB 1836 ML
	SR STORA	Fonctionnelle	36,5414	6,5246	2,05	22084,6	STORA vers MARINELLE 2340 ML
	SR Principale	Fonctionnelle	36,521	6,5602	4,62	240860,00	SR Principal vers STEP 3200 ML
	MOIDERE	Fonctionnelle	36,5216	6,5500	8,69	0	MOIDERE vers MERDJ EDDIB 700ML
	SR1 Ben MEHIDI	Fonctionnelle	36,531	6,5854	9,72	240637,00	SR1 Ben MEHIDI vers SR2 Ben MEHIDI 1300 ML
	SR2 Ben MEHIDI	Fonctionnelle	36,5319	6,5938	8,82	568265,00	SR2 Ben MEHIDI vers STEP FILFILA 1500ML
	SR1 BOUABAZ	Fonctionnelle	36,5219	6,5604	4,97	0	SR1 BOUABAZ vers SR2 BOUABAZ 480 ML
	SR2 BOUABAZ	Fonctionnelle	36,5247	6,5533	68,67	24825,00	SR2 BOUABAZ vers STEP Skikda 320 ML

(Source : ONA, 2024)

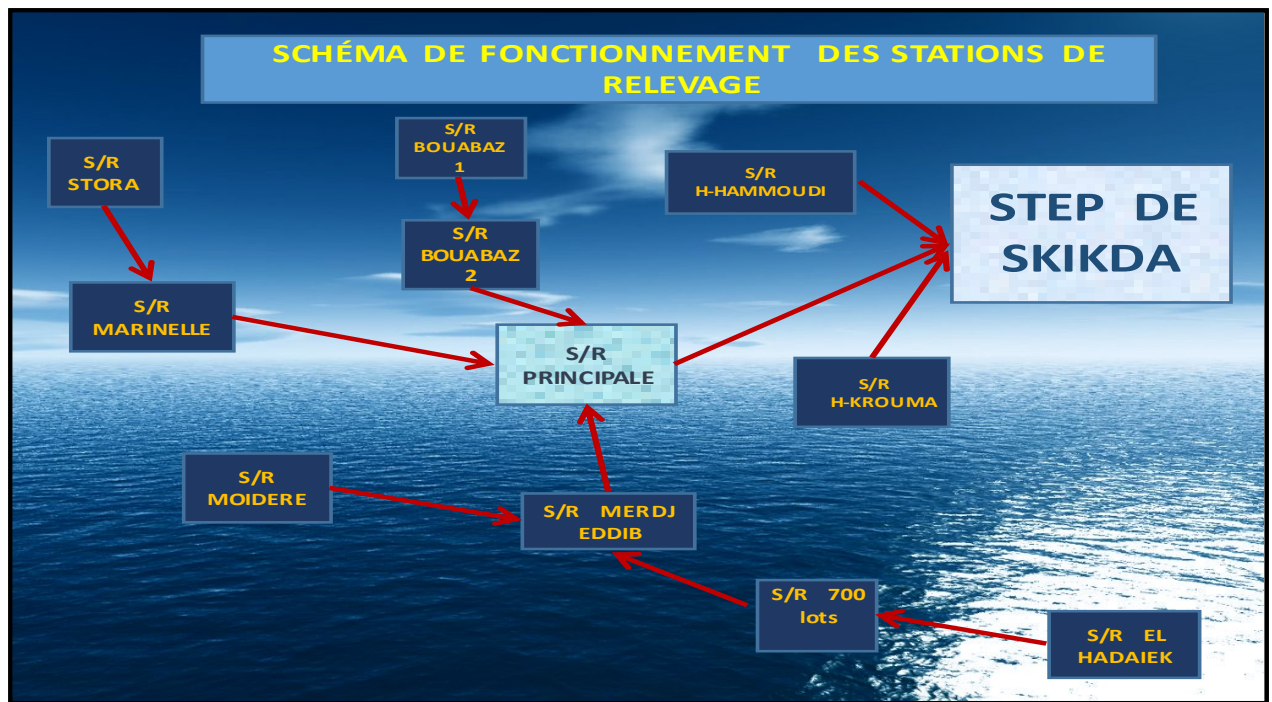


Figure 3.7. Schéma de fonctionnement des stations de relevage.

8. Les différentes étapes d'épuration au niveau de la STEP de Skikda

Le schéma présenté illustre les différentes étapes du traitement d'épuration des eaux usées dans la station d'épuration (STEP) de Skikda. Le principe adopté est celui d'une épuration biologique par boues activées à moyenne charge, visant à réduire la concentration de la demande biochimique en oxygène à cinq jours (DBO_5) à 30 mg/L, pour un rendement d'épuration de 91%.

8.1. Prétraitement

Le traitement commence par une étape de prétraitement, qui vise à éliminer les gros débris et les matières en suspension présentes dans les eaux usées brutes. Cette étape comprend généralement le dégrillage, le dessablage et le déshuilage.

8.2. Traitement primaire

Le traitement primaire suit le prétraitement et consiste en une sédimentation gravitaire des particules fines et des matières organiques. Cette étape permet d'éliminer environ 30 à 40% de la DBO_5 des eaux usées par coagulation, floculation, décantation ou filtration.

8.3. Traitement secondaire

Le traitement secondaire est l'étape clé du processus d'épuration biologique par boues activées. Il consiste à mettre en contact les eaux usées prétraitées avec des boues activées, qui sont des micro-organismes aérobies responsables de la dégradation de la matière organique. Ce processus se déroule dans des bassins d'aération, où les boues activées sont maintenues en suspension par un apport d'air constant.

8.4. Traitement tertiaire

Le traitement tertiaire, également connu sous le nom de traitement de finition, est une étape facultative qui peut être ajoutée pour améliorer davantage la qualité de l'eau rejetée. Cette étape peut inclure une filtration sur sable, une désinfection par UV ou par chloration, ou une élimination des nutriments tels que le phosphore et l'azote.

Le schéma de la STEP de Skikda présente un processus d'épuration biologique par boues activées à moyenne charge efficace pour réduire la pollution des eaux usées et protéger l'environnement. Le traitement primaire, secondaire et tertiaire, combinés à une gestion adéquate des boues, permet d'atteindre un rendement d'épuration de 91% et de respecter les normes de rejet en vigueur.

Les différentes étapes du traitement des eaux usées sont détaillées dans le schéma ci-dessous :

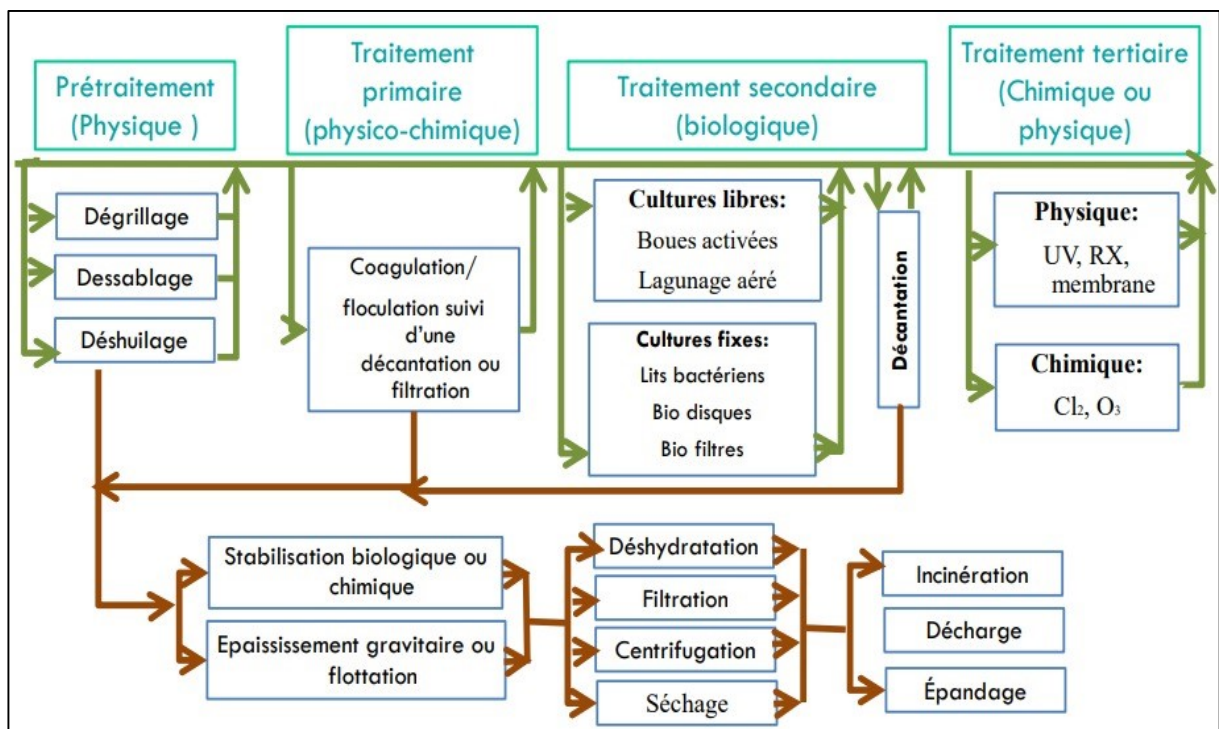


Figure 3.8. Schéma des différentes étapes de traitement des eaux usées (NOUAL M., 2021).

9. Méthodes d'analyses des eaux usées

9.1. Détermination de la demande biologique en oxygène (DBO₅)

La demande biologique en oxygène (DBO₅) est la quantité d'oxygène moléculaire dissous requise par les micro-organismes pour décomposer les matières organiques présentes dans l'eau par oxydation, selon des conditions spécifiques. Pour déterminer la DBO₅, on utilise plusieurs équipements, dont un DBO-mètre, un incubateur et des flacons colorés spécialement conçus pour cette mesure.

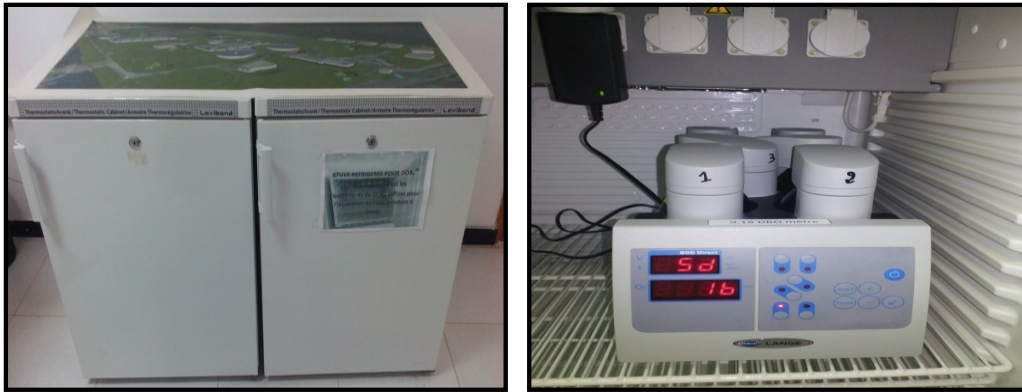


Figure 3.9. Incubateur

▪ Mode Opérateur

Pour évaluer la plage de mesure de l'échantillon à analyser et choisir le volume approprié selon le tableau 3.10, plusieurs étapes sont suivies. Tout d'abord, il est essentiel d'ajuster le pH de l'échantillon. Ensuite, le volume précis de l'échantillon est mesuré à l'aide d'un ballon de débordement et versé dans un flacon DBO à l'aide d'un entonnoir. Selon le tableau VI.1, l'inhibiteur de nitrification est ajouté à l'échantillon. Un barreau d'agitation est placé dans le flacon DBO pour homogénéiser la solution. Le joint caoutchouc est rempli avec 3 à 4 gouttes de solution KOH et inséré dans le flacon. Ensuite, la sonde DBO est vissée sur le flacon. L'échantillon est positionné sur le support à flacons et l'appareil est démarré. L'échantillon est incubé selon la norme DBO₅ à une température de 20°C. Ces étapes garantissent des conditions standardisées pour la mesure de l'oxygène dissous dans l'eau, assurant ainsi des résultats fiables et comparables.

Tableau 3.10. Volume et dosage de l'échantillon pour la DBO₅

Plage de mesure DBO (mg/l)	Volume d'échantillon	Dosage ATH
0-40	428	10 Gouttes
0-80	360	10 Gouttes
0-200	244	5 Gouttes
0-400	157	5 Gouttes
0-800	94	3 Gouttes
0-2000	56	3 Gouttes
0-4000	21.7	1 Goutte

(Source : ONA, 2024)

9.1. Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) représente la quantité d'oxygène, exprimée en milligrammes, nécessaire pour oxyder toutes les matières organiques présentes dans l'eau par voie chimique. C'est une mesure cruciale pour évaluer la pollution des effluents urbains. L'analyse de la DCO nécessite plusieurs équipements essentiels : un thermostat pour maintenir une température constante pendant la réaction chimique, un spectrophotomètre pour mesurer l'absorbance des échantillons à différentes longueurs d'onde, et une micropipette pour prélever avec précision les volumes nécessaires d'échantillon et de réactifs. Ces instruments permettent de quantifier de manière précise la pollution organique dans les eaux usées urbaines, facilitant ainsi le contrôle et la gestion de la qualité de l'eau.



Figure 3.10. Thermostat



Figure 3.11. Spectrophotomètre et l'hôte.

▪ Mode opératoire

a. Entrée :

Pour mesurer la Demande Chimique en Oxygène (DCO), commencez par ouvrir deux cuvettes de réaction, en versant 2 ml d'eau déminéralisée dans la première (cuvette étalon) et 2 ml d'échantillon dans la seconde (cuvette échantillon). Refermez bien les cuvettes et mélangez leur contenu avec précaution. Placez-les ensuite dans un réacteur thermique préchauffé à 150°C pendant 2 heures. Une fois chauffées, laissez-les refroidir jusqu'à environ 60°C, mélangez à nouveau, puis laissez-les refroidir à température ambiante. Pour mesurer, placez d'abord la cuvette étalon dans la chambre de mesure, appuyez sur ZÉRO, retirez-la et placez la cuvette échantillon. Appuyez sur TEST pour afficher le résultat en mg/l de DCO.

b. Sortie

Pour la mesure de la DCO en sortie, commencez par ouvrir deux cuvettes de réaction, versez 2 ml d'eau déminéralisée dans la première (cuvette étalon) et 2 ml d'échantillon dans la seconde (cuvette échantillon). Refermez les cuvettes, mélangez le contenu avec précaution et exposez-les à 150°C dans un réacteur thermique préchauffé pendant 2 heures. Après le chauffage, laissez-les refroidir jusqu'à 60°C, mélangez à nouveau, puis laissez refroidir à température ambiante. Placez la cuvette étalon dans la chambre de mesure, appuyez sur ZÉRO, retirez-la, puis placez la cuvette échantillon et appuyez sur TEST. Le résultat de la mesure s'affichera, indiquant la DCO en mg/l.

9.3. Détermination du potentiel d'hydrogène pH

Le pH est en relation avec la concentration des ions hydrogène $[H^+]$ présent dans l'eau ou les solutions, Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H^+ . Le pH doit être compris entre 6,5 et 8,5.

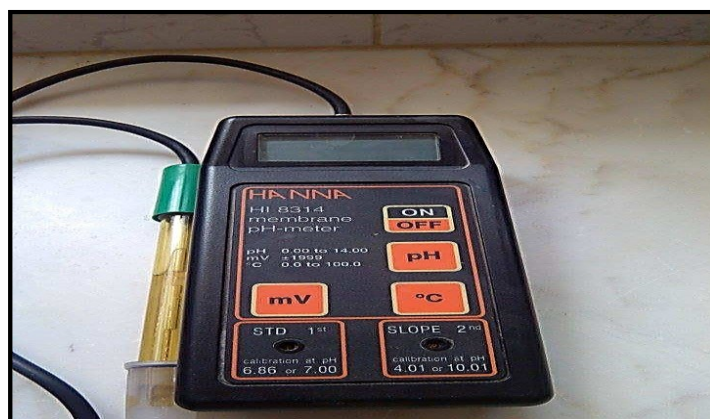


Figure 3.12. Le pH Mètre

Pour l'étalonnage du pH-mètre, commencez par allumer l'appareil et rincer l'électrode avec de l'eau distillée. Préparez une solution tampon de pH 7 dans un bécher, agitez-la bien, puis plongez

l'électrode dans la solution. Attendez que l'appareil se stabilise sur le standard 2. Ensuite, rincez l'électrode et répétez le processus avec des solutions tampons de pH 10 et pH 4, rinçant l'électrode abondamment à l'eau distillée entre chaque solution.

Pour le dosage de l'échantillon, prenez environ 100 ml d'eau à analyser et agitez bien la solution. Plongez l'électrode dans le bécher, laissez stabiliser, puis notez le pH.

9.4. Mesure d'oxygène dissous dans l'eau

L'oxygène toujours présente dans l'eau, Sa solubilité est en fonction de la température, de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité.

L'oxygène dissous conserve ses propriétés oxydantes, soit par une réaction purement chimique, soit par des phénomènes électrochimiques, d'où son importance dans le phénomène de corrosion. La teneur de l'oxygène dans l'eau dépasse rarement 10mg/l. elle est en fonction de l'origine de l'eau.



Figure 3.13. Oxymètre.

Pour mesurer la concentration en oxygène, commencez par allumer l'oxymètre et rincer l'électrode avec de l'eau distillée. Prélevez environ 100 ml d'eau à analyser, puis plongez l'électrode dans le bécher contenant l'échantillon. Laissez stabiliser un moment avant de noter la concentration d'oxygène.

9.5. Détermination de la température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision en effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout du gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH.

La température influence aussi directement la réaction de dissolution de l'oxygène dans l'eau c'est à dire plus l'eau est froide plus la dissolution est importante.

Les mesures de la température de l'eau sur le lieu de prélèvement de l'échantillon sont une partie intégrante du traitement des eaux.

La température est mesurée au même temps avec le pH par le pH Mètre.

9.6. La conductivité électrique CE

Toute eau est plus ou moins conductrice du courant électrique, elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions et de leur concentration.

La conductivité électrique d'une eau augmente avec la température, car la mobilité des ions augmente avec elle. Donc la conductivité s'agit de la capacité de l'eau à conduire le courant.

La mesure est basée sur le principe d'utilisation d'un appareil spécifique qu'on nomme ; conductimètre à électrodes.

L'appareillage utilisé comprend un conductimètre équipé d'électrodes et un récipient contenant l'eau à analyser.



Figure 3.14. Conductimètre à électrodes.

Le mode opératoire pour mesurer la conductivité électrique commence par le rinçage répété de l'électrode de l'appareil avec de l'eau distillée. Ensuite, l'électrode est immergée complètement dans le récipient contenant l'eau à examiner, et on laisse l'appareil stabiliser pendant un certain temps. Après la stabilisation, la conductivité de l'eau est enregistrée.

9.7. Détermination des matières en suspension (MES)

La détermination des MES dans les eaux usées se fait selon deux méthodes soit par filtration pour les eaux de faible charge (traitée) ou par centrifugation pour les eaux de forte charge (eaux brute). Les deux méthodes comporte le même principe et même mode opératoire sauf que la centrifugation utilise une appareille appelée centrifugeuse et des coupelles anoxie par contre la filtration basé sur une autre appareille s'appelle pompe à vide et utilise des filtres. Si pour ca nous avons expliqué une seule méthode utilisée, la filtration à pompe à vide.

Le principe de l'opération implique la filtration des matières en suspension à travers un disque en fibre de verre, suivie du séchage dans une étuve à 105°C pendant deux heures. Le matériel utilisé comprend du papier filtre, une rampe de filtration sous vide, une pompe à vide, une étuve réglée à 105°C, un dessiccateur, de la verrerie de laboratoire et une balance de précision.



Figure 3.15. Centrifugeuse



Figure 3.16. Etuve

▪ Mode opératoire

Le mode opératoire commence par humidifier le filtre avec de l'eau distillée. Ensuite, le filtre est placé sur des verres de montre et séché dans une étuve à 105°C pendant au moins deux heures.

Après le séchage, les filtres sont refroidis dans un dessiccateur ou à l'air libre près de la balance pour éviter toute contamination par la poussière. Ensuite, le filtre est pesé sur une balance de précision pour obtenir la masse initiale (m_0 en mg). Le filtre est ensuite placé dans le système de filtration où un volume donné de l'échantillon (par exemple 100 ml) est filtré, suivi d'un rinçage de l'éprouvette graduée avec environ 20 ml d'eau distillée. Le filtre est récupéré à l'aide de pinces et remis dans son verre de montre, puis placé à nouveau dans l'étuve à 105°C pendant 2 heures. Après cette étape, le filtre est retiré de l'étuve et laissé à température ambiante pour s'équilibrer. Enfin, le filtre est pesé à nouveau sur la balance de précision pour obtenir la masse finale (m_1 en mg).

Le calcul des matières en suspension (MES) est effectué selon la formule :

$$\text{MES (mg/l)} = (m_1 - m_0) * 1000 / V, \text{ où :}$$

m_0 : la masse du disque filtrant avant utilisation

m_1 : la masse du disque filtrant après utilisation (avec les MES)

V : le volume d'échantillons versé sur le filtre en ml.

10. Enjeux et défis des infrastructures de traitement des eaux usées à Skikda

Actuellement, dans la wilaya de Skikda, une station d'épuration des eaux usées est en cours de mise en œuvre pour l'agglomération urbaine de Filfila, située dans la municipalité de Filfila et desservant plusieurs municipalités, dont Filfila (Filfila centre, la nouvelle ville de Bouzaroura, Salah Chbel, la zone touristique de Filfila) et Skikda (Larbi ben Mhidi et la zone touristique de Skikda). La capacité de la station est d'environ 153 mille mètres cubes par an, soit environ 22 mille mètres cubes par jour, et la superficie allouée au projet comprend 2,665 hectares. Cette installation devrait entrer en service le 27 avril 2024, selon les instructions du ministre de l'Irrigation. L'eau filtrée de cette plante peut être utilisée pour l'irrigation agricole de plusieurs projets dans l'État, ce qui fait partie de la politique d'économie de l'eau.

Ces projets comprennent la STEP de Skikda, qui dessert l'irrigation agricole du secteur n° 01 d'une superficie de 1 500 hectares à partir du périmètre d'arrosage des saules,

Cependant, cette dernière s'affronte à des contraintes d'exploitation comprennent plusieurs problèmes :

- Le prétraitement est en panne en raison d'un automate défectueux ; il y a un manque de mesure de débit, le débitmètre à l'entrée numéro 1 n'est pas adapté aux conduites et le débitmètre numéro 2 manque d'étalonnage ;
- Il y a un problème d'arrivée massive de sable ;
- La charge des eaux brutes est faible ; la STEP est sous-alimentée en eau usée à cause de la vétusté de la station de relevage de Merdj Eddib, qui nécessite une réhabilitation.

- De plus, la pompe d'eau pluviale numéro 05 est à l'arrêt, ainsi que les quatre pompes d'eaux usées, et il y a un cisaillement de la conduite de refoulement.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons analysé divers facteurs et paramètres climatologiques en nous appuyant sur des données collectées sur une période de 22 ans (1996 /97-2018/19) 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.

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.

Outre, Nous avons examiné en détail la station d'épuration de Skikda, une infrastructure essentielle pour la gestion des eaux usées dans la région. Son principal objectif est de traiter efficacement les eaux usées afin de réduire la pollution et de favoriser leur réutilisation, notamment pour l'irrigation agricole. La station est dimensionnée pour traiter environ 22 000 mètres cubes d'eau par jour, occupant une superficie de 2,665 hectares. Elle possède des caractéristiques techniques avancées, assurant une épuration de haute qualité. Les eaux traitées répondent aux normes de qualité strictes, ce qui ouvre des possibilités de réutilisation en agriculture. La fiche technique de la station détaille ses capacités et équipements, tandis que le schéma de fonctionnement des stations de relevage illustre le processus de pompage et de transport des eaux usées. Les différentes étapes d'épuration comprennent le prétraitement, le traitement primaire, secondaire et tertiaire, chaque étape étant essentielle pour éliminer les polluants. Les méthodes d'analyse utilisées garantissent une surveillance constante de la qualité des eaux traitées. Cependant, la station doit faire face à des défis d'exploitation, notamment la maintenance des équipements et la gestion des infrastructures vieillissantes, pour continuer à fournir un service optimal et répondre aux besoins croissants en assainissement de la wilaya de Skikda.

Chapitre IV :

**Étude de l'efficacité de la STEP pour l'irrigation
du périmètre du Saf-Saf**

Introduction

L'agriculture est un secteur clé pour l'économie et la sécurité alimentaire en Algérie. Le périmètre du Saf-Saf, situé dans le Nord-Est algérien, est une région agricole importante qui dépend fortement des ressources en eau pour l'irrigation des cultures. Cependant, les ressources en eau douce deviennent de plus en plus limitées en raison des changements climatiques, de la croissance démographique et des besoins croissants en eau pour divers usages. Dans ce contexte, la réutilisation des eaux usées épurées apparaît comme une solution viable pour pallier le déficit hydrique et soutenir l'agriculture.

La station d'épuration des eaux usées (STEP) de Skikda joue un rôle crucial en traitant les eaux usées domestiques pour les rendre aptes à un usage agricole. L'utilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation présente plusieurs avantages, notamment la réduction de la pression sur les ressources en eau douce, l'apport de nutriments supplémentaires aux cultures, et la gestion durable des eaux usées. Cependant, cette pratique nécessite une évaluation rigoureuse pour assurer sa sécurité et son efficacité.

L'objectif principal de ce chapitre est de discuter les résultats des analyses physicochimiques des eaux usées de la station d'épuration de Skikda à l'entrée et à la sortie, partir du mois de Janvier jusqu'au mois de Décembre 2017, cela pour contrôler l'efficacité de l'élimination des matières polluantes et pour suivre le fonctionnement des différents ouvrages de la STEP.

Et Proposer des perspectives d'amélioration : Suggérer des stratégies et des technologies pour optimiser l'utilisation des eaux usées épurées, renforcer les capacités de la STEP, et assurer une gestion durable des ressources en eau dans le périmètre du Saf-Saf.

1. Evolution des paramètres de pollution des eaux usées

Les stations d'épuration doivent respecter des normes de rejet spécifiques pour divers polluants présents dans les eaux usées, tels que les matières carbonées, les matières azotées, le pH, et la conductivité. Les eaux usées collectées dans les réseaux urbains ou émises par les industries ne peuvent être rejetées dans un milieu récepteur naturel (rivière, lac, littoral marin, ou terrain d'épandage) qu'après avoir été traitées pour répondre à des normes fixées par voie réglementaire.

Le tableau suivant présente les différentes normes de rejet ainsi que les normes admises au niveau de la station d'épuration (STEP) de Skikda.

Tableau 4.1. Normes de rejets des effluents industriels et urbains de la STEP de Skikda

Paramètres	Unités	Normes (*)	méthodes
Température	°C	25	Multi-Paramètres
pH	/	6.5-9	
Conductivité	s/cmμ	2800	
Salinité	‰	/	
Oxygène dissous	%	30	
Matière en suspension(MES)	mg/	25	
Demande chimique en oxygène (DCO)	mg/l	30	ISO 6060:1989
Demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	mg/l	7	ISO5815-1:2003
Nitrites (NO ₂ ⁻)	mg/l	0.1	NF T 90-013
Ammonium	mg/l	4	

Source : DEW, ONEDD, 2017

(*) : Norme Algérienne Décret exécutif n° 11-219 du 10 Rajab 1432 correspondant au 12 juin 2011 fixant les objectifs de qualité des eaux superficielles et souterraines destinées à l'alimentation en eau des populations

1.1. Analyse des concentrations en MES

L'analyse des matières en suspension (MES) est essentielle pour évaluer la qualité des eaux usées et l'efficacité des stations d'épuration. Les MES, comprenant des particules organiques et inorganiques, indiquent le niveau de pollution. Un suivi rigoureux des MES permet d'assurer le respect des normes réglementaires et de détecter les variations saisonnières, les surcharges ou les inefficacités du traitement, afin d'améliorer continuellement la qualité des eaux traitées. Le graphe présente l'évolution des concentrations en Matières en Suspension (MES) dans les eaux usées brutes (E Brutes) et épurées de la Station d'Épuration des Eaux Usées (STEP) de Skikda durant l'année 2017. Les concentrations sont exprimées en milligrammes par litre (mg/L), et la norme de rejet est de 25 mg/L pour les MES. (Ferdj A.,2010).

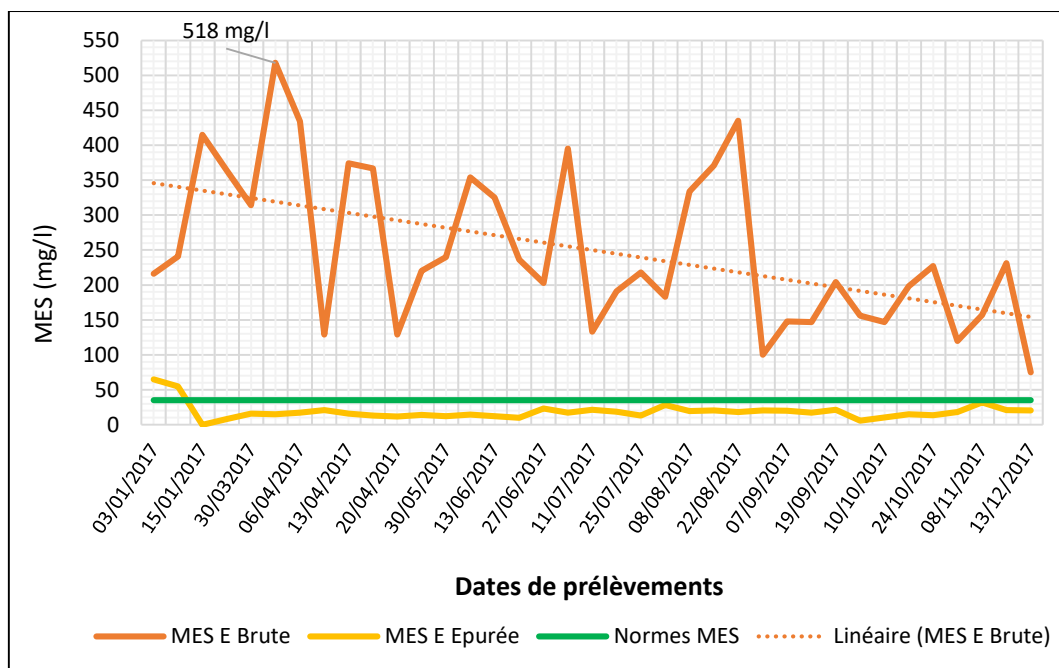


Figure 4.1. Variations moyennes mensuelles de la Matière en Suspension (MES) des eaux usées brutes et épurées de la STEP de Skikda (2017).

En analysant le graphique ci-dessus, on constate que :

- Eaux usées brutes

Les concentrations en MES dans les eaux usées brutes varient considérablement tout au long de l'année, avec des valeurs allant de 75 à 518 mg/L.

On observe une tendance générale à la baisse des concentrations en MES au cours de l'année, avec des pics en début d'année (janvier et mars) et une diminution progressive jusqu'en décembre. Cette évolution peut s'expliquer par plusieurs facteurs, tels que les variations saisonnières des précipitations, des activités agricoles et industrielles, ainsi que l'efficacité du système de collecte des eaux usées.

- Eaux usées épurées

Les concentrations en MES dans les eaux usées épurées sont nettement inférieures à celles des eaux usées brutes, indiquant l'efficacité du processus d'épuration.

Les valeurs de MES dans les eaux usées épurées se situent généralement entre 0 et 65 mg/L, respectant les normes de rejet en vigueur (sauf les deux premiers prélèvements). On observe une certaine variabilité des concentrations en MES épurées, mais les valeurs restent globalement stables tout au long de l'année. Cette stabilité reflète la performance constante de la STEP de Skikda en matière de traitement des eaux usées.

Le graphe met en évidence un écart important entre les concentrations en MES des eaux usées brutes et épurées. Cette différence confirme l'efficacité du processus d'épuration, qui permet de réduire considérablement la charge polluante des eaux usées avant leur rejet dans le milieu naturel.

La comparaison des concentrations en MES avec la norme de rejet de 35 mg/L révèle que les eaux usées brutes dépassent largement la norme tout au long de l'année. En revanche, les eaux usées épurées respectent la norme de rejet pour la quasi-totalité des prélèvements. On observe quelques dépassements de la norme, ce qui peut s'expliquer par des variations ponctuelles de l'efficacité du traitement ou par des surcharges accidentelles de la STEP.

1.2. Analyse des concentrations en DBO₅

L'analyse des concentrations en Demande Biologique en Oxygène à 5 jours (DBO₅) est cruciale pour évaluer la qualité des eaux usées et l'efficacité des stations d'épuration. La DBO₅ quantifie l'oxygène nécessaire pour la décomposition biologique des matières organiques sur cinq jours, aidant à déterminer l'impact des eaux usées sur les milieux récepteurs et à garantir le respect des normes environnementales.

Le graphe présente l'évolution des concentrations en Demande Biologique en Oxygène à 5 jours (DBO₅) dans les eaux usées brutes (E Brutes) et épurées de la Station d'Épuration des Eaux Usées (STEP) de Skikda durant la période de janvier à juin 2017.

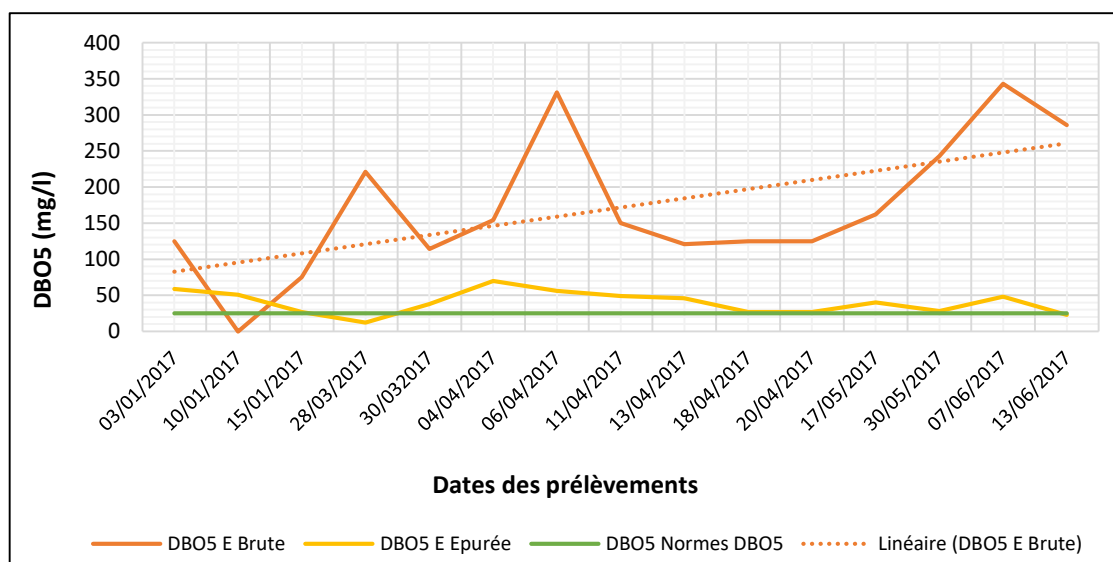


Figure 4.2. Variations moyennes mensuelles de la DBO₅ des eaux usées brutes et épurées de la STEP de Skikda (2017).

En analysant la figure ci-dessus, on constate que :

- Les eaux usées brutes (E Brutes)

Les concentrations en DBO₅ dans les eaux usées brutes varient considérablement tout au long de la période analysée, avec des valeurs allant de 75 mg/L à 343 mg/L.

On observe une tendance générale à la hausse des concentrations en DBO₅ au cours de la période, avec des pics en début d'année (janvier et février) et une augmentation progressive jusqu'en juin.

Cette évolution peut s'expliquer par plusieurs facteurs, tels que les variations saisonnières des précipitations, des activités agricoles et industrielles, ainsi que la composition des eaux usées domestiques.

- Les eaux usées épurées

Les concentrations en DBO₅ dans les eaux usées épurées sont nettement inférieures à celles des eaux usées brutes, indiquant l'efficacité du processus d'épuration. Les valeurs de DBO₅ dans les eaux usées épurées se situent généralement entre 20 mg/L et 50 mg/L, et dépassent les normes de rejets sur une grande période de l'observation (du janvier au juin 2017), cela est expliqué probablement à des Perturbations temporaires du processus de traitement : Le processus de traitement de la STEP peut subir des perturbations occasionnelles dues à des facteurs tels que des défaillances d'équipement, des pannes de courant ou des erreurs humaines. Ces perturbations peuvent réduire temporairement l'efficacité du processus de traitement et entraîner des niveaux élevés de DBO₅ dans les eaux usées traitées.

- Comparaison des concentrations en DBO₅ et respect des normes

Le graphe met en évidence un écart important entre les concentrations en DBO₅ des eaux usées brutes et épurées. Cette différence confirme l'efficacité du processus d'épuration, qui permet de réduire considérablement la charge polluante organique des eaux usées avant leur rejet dans le milieu naturel. La comparaison des concentrations en DBO₅ avec la norme de rejet de 25 mg/L révèle que les eaux usées brutes dépassent largement la norme tout au long de la période analysée. En revanche, les eaux usées épurées respectent plus ou moins la norme de rejet, avec des valeurs qui dépassent légèrement la norme.

1.3. Analyse des concentrations en DCO

L'analyse des concentrations en Demande Chimique en Oxygène (DCO) est un indicateur crucial pour évaluer la charge polluante des eaux usées et l'efficacité des stations d'épuration. La DCO mesure la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement les matières organiques et inorganiques présentes dans l'eau. Une concentration élevée en DCO signale une pollution importante qui peut nuire aux milieux récepteurs naturels. (Chadli B., 2017).

Le graphique fourni présente l'évolution des concentrations en Demande Chimique en Oxygène (DCO) dans les eaux usées brutes (E Brutes) et les eaux usées épurées de la Station d'Épuration des Eaux Usées (STEP) de Skikda entre janvier et juin 2017. Les concentrations sont exprimées en milligrammes par litre (mg/L) et comparées à la norme de DCO de 120 mg/L.

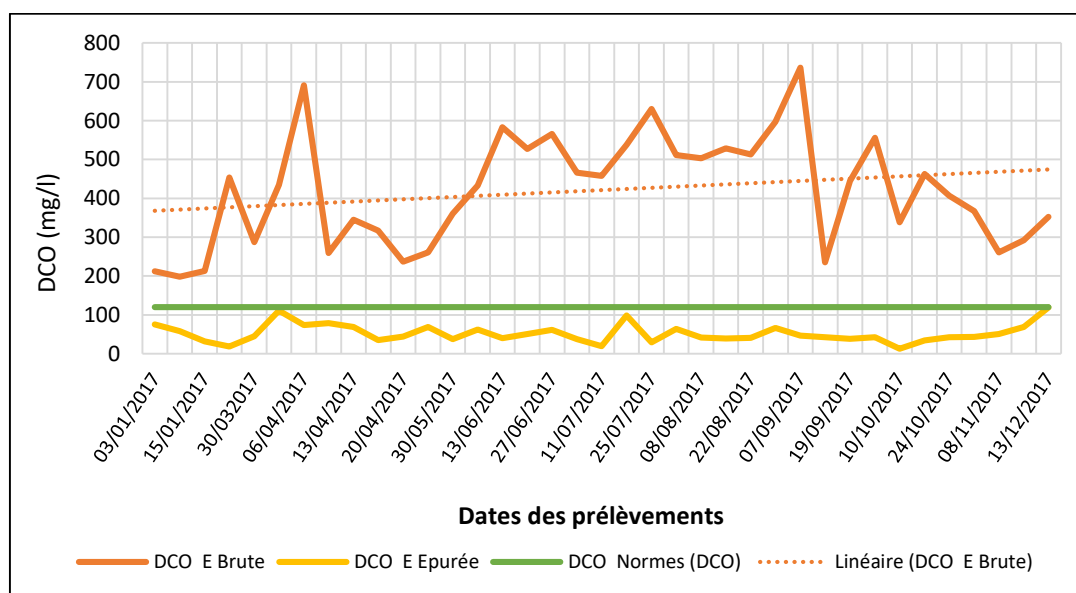


Figure 4.3. Variations moyennes mensuelles de la DCO des eaux usées brutes et épurées de la STEP de Skikda (2017).

En examinant la figure ci-dessus, il apparaît que :

- Les eaux usées brutes

Les concentrations en DCO varient de manière significative (de 198 à 736 mg/L) avec une tendance générale à la hausse.

Les pics de DCO observés en début d'année (juillet et septembre) peuvent s'expliquer par des facteurs tels que les variations saisonnières des précipitations, les activités agricoles et industrielles, et la composition des eaux usées domestiques.

- Les eaux usées épurées

Les concentrations en DCO des eaux usées épurées sont nettement inférieures à celles des eaux usées brutes, ce qui témoigne de l'efficacité du processus d'épuration.

Les valeurs de DCO se situent généralement entre 18 et 119 mg/L, respectant la norme de DCO de 120 mg/L.

On observe une certaine variabilité des concentrations en DCO épuré, mais les valeurs restent globalement stables tout au long de la période, reflétant la performance constante de la STEP de Skikda.

- Comparaison et respect des normes

Le graphique montre un écart significatif entre les concentrations en DCO des eaux usées brutes et épurées, attestant de l'efficacité du processus d'épuration. Les eaux usées brutes dépassent largement la norme de 120 mg/L tout au long de la période analysée, avec des valeurs au moins deux fois supérieures à cette limite. En revanche, les eaux usées épurées respectent presque toujours la norme, avec des concentrations inférieures à 120 mg/L.

1.5. Analyse des concentrations en Nitrites (NO₂⁻)

L'examen des concentrations de nitrites NO₂⁻ dans les eaux usées brutes et épurées revêt une importance capitale pour évaluer les répercussions environnementales des rejets et l'efficacité des systèmes de traitement des eaux usées. Le graphique présenté dans la Figure 4.5, illustrant les concentrations de nitrites (NO₂⁻) sur une période spécifique en 2017, révèle que :

- Les concentrations de nitrites (NO₂⁻) dans les eaux usées brutes montrent une variation significative au fil du temps étudié. En septembre, les concentrations atteignent des pics d'environ 0,987 mg/l, tandis qu'en octobre, elles chutent à des valeurs minimales autour de 0,005 mg/l. Cette fluctuation substantielle indique la présence de sources variables de nitrites dans les eaux usées brutes, potentiellement issues de diverses activités telles que domestiques, industrielles ou agricoles.

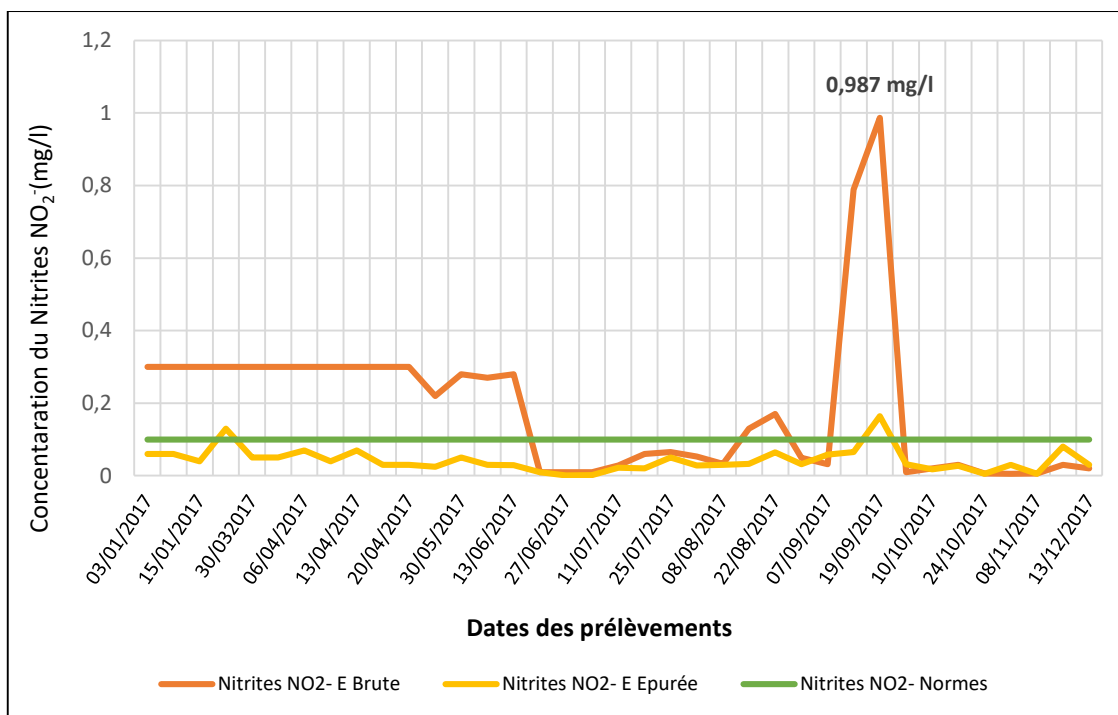


Figure 4.4. Variations moyennes mensuelles des Nitrites (NO_2^-) dans les eaux usées brutes et épurées de la STEP de Skikda (2017).

- Les concentrations de nitrites dans les eaux usées épurées sont généralement inférieures à celles des eaux usées brutes, ce qui indique une réduction des nitrites durant le processus d'épuration. Néanmoins, ces concentrations épurées présentent également une variabilité au cours de la période étudiée, avec des pics atteignant environ 0,164 mg/l en septembre. Cette fluctuation résiduelle des nitrites dans les eaux usées traitées peut être attribuée à une efficacité variable du traitement ou à la persistance de sources de nitrites en aval du système d'épuration.

- Comparaison avec les normes

Les concentrations de nitrites dans les eaux usées rejetées doivent respecter une norme de 0,01 mg/l. Cependant, l'analyse montre que les eaux usées brutes dépassent fréquemment cette limite, surtout en automne (septembre et octobre), suggérant une contribution significative à la pollution par les nitrites. En revanche, les concentrations de nitrites dans les eaux usées épurées sont généralement conformes aux normes, bien que parfois elles puissent les dépasser, ce qui souligne l'importance d'améliorer continuellement les processus d'épuration.

L'analyse des concentrations de nitrites dans les eaux usées brutes et épurées révèle plusieurs aspects cruciaux : les niveaux de nitrites dans les eaux usées brutes varient considérablement

et souvent dépassent les normes de rejet, indiquant une origine variable de la pollution par les nitrites. Bien que le traitement des eaux usées réduise généralement ces concentrations, elles peuvent parfois rester au-dessus des limites réglementaires. Une surveillance continue est donc indispensable pour évaluer l'efficacité du processus d'épuration et identifier les sources persistantes de pollution. Pour améliorer la qualité des rejets, des ajustements supplémentaires aux systèmes d'épuration sont nécessaires afin de réduire davantage les niveaux de nitrites.

1.6. Analyse des concentrations en Phosphate total (PT)

Le phosphate total (PT), également connu sous le nom de phosphore total (P_{tot}), est un paramètre important de la qualité de l'eau qui représente la somme de toutes les formes de phosphore présentes dans l'eau. Le PT est un polluant majeur des eaux usées, car il peut favoriser la prolifération d'algues nuisibles, perturber l'équilibre des écosystèmes aquatiques et contribuer à l'eutrophisation des lacs et rivières. (Khelif B., et Mekhloufi I., 2018).

La figure 4.5 représente le graphique de variation des concentrations du phosphate total (PT) dans La STEP de Skikda pour les eaux brutes et traitées.

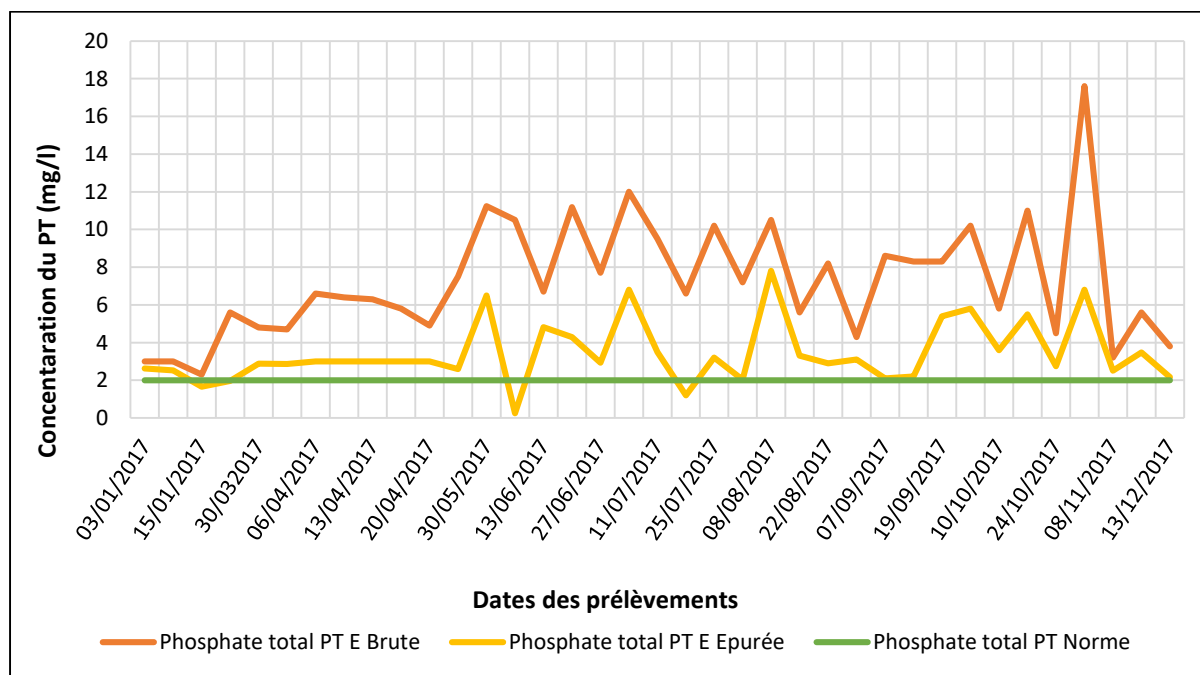


Figure 4.5. Variations moyennes mensuelles du Phosphate total (PT) dans les eaux usées brutes et épurées de la STEP de Skikda (2017).

Le graphique révèle que les concentrations de phosphore total (PT) dans les eaux usées brutes varient considérablement, oscillant entre 2,3 et 17,6 mg/L, dépassant souvent la norme admissible de 2 mg/L. Cela indique des sources importantes de pollution par le phosphate. En comparaison, les concentrations de PT dans les eaux usées traitées se situent entre 0,25 et 7,8 mg/L, indiquant une diminution significative des niveaux de phosphore total. Cependant, cette réduction reste insuffisante puisque les concentrations de PT dépassent encore fréquemment les normes, révélant l'inefficacité du procédé de déphosphatation à la STEP de Skikda.

Sur la base de l'analyse du graphique et pour améliorer l'épuration des eaux usées en matière de phosphates, il est recommandé de :

- Maintenir une surveillance continue de l'efficacité de la déphosphatation biologique dans cette station d'épuration.
- Optimiser les conditions environnementales dans les bassins de déphosphatation biologique pour favoriser l'activité des bactéries déphosphatantes.

En adoptant ces mesures, il est possible d'améliorer les performances de déphosphatation et de protéger les ressources en eau contre la pollution par le phosphore.

Conclusion

L'analyse des concentrations des différents paramètres étudiés (MES, DBO₅, DCO, NH₄, NO₂⁻ et PT) montre que les valeurs dans les eaux usées brutes varient considérablement et dépassent souvent les normes de rejet, signalant une pollution d'origine variable. Bien que le traitement des eaux usées réduise généralement ces concentrations, elles peuvent parfois rester au-dessus des limites réglementaires. Notamment, les concentrations de phosphore total (PT) dans les eaux usées brutes et épurées dépassent fréquemment les normes, soulignant l'inefficacité du procédé de déphosphatation à la STEP de Skikda.

2. Etat actuel de l'approvisionnement en eau dans le périmètre du Saf-Saf

En Algérie, la gestion des périmètres d'irrigation est assurée par l'Office National d'irrigation et de Drainage (ONID).

Selon ONID, dans la Wilaya de Skikda, il existe trois (03) périmètres d'irrigation :

- Périmètre de Saf-Saf (à proximité de l'oued Saf-Saf situé au centre de la Wilaya de Skikda depuis le Nord vers le Sud),
- Périmètre de Zit-Emba (Régions de l'Est de la Wilaya de Skikda),
- Périmètre de Collo (Régions de l'Ouest de la Wilaya de Skikda).

Nous avons vu précédemment que les eaux usées épurées peuvent être réutilisées comme source d'irrigation.

Comme objectifs, nous allons voir la possibilité d'irriguer un périmètre de la wilaya de Skikda par les eaux usées épurées au niveau de la STEP de Skikda à Hammadi Krouma. Le périmètre, à irriguer, le plus proche de ladite STEP est le périmètre du Saf-Saf.

Dans cette partie chapitre, nous allons décrire le périmètre de Saf-Saf en citant les ressources en eau disponibles, les besoins en eau agricole et les contraintes rencontrées.

2.1. Présentation du périmètre du Saf-Saf

2.1.1. Situation géographique

Le périmètre du Saf-Saf est situé dans la wilaya de Skikda, il couvre les communes de Skikda, Hammadi Krouma, Ramdane Djamel, Salah Bouchaour, Emdjez-Edchiche et EL-Harrouch, sur une superficie totale de 5654 ha.

L'étude agro-pédologique du périmètre Saf-Saf est réalisée par l'entreprise espagnole INTECSA en 1976. Ce périmètre a été réalisé par la même entreprise en Novembre 1981. (M. OTMANE, A. BOUHEDJA, L. SAAD DJABALLAH, 2005).

2.1.2. Répartition du périmètre

Le périmètre du Saf-Saf est réparti en quatre (04) secteurs :

Tableau 4.2. Répartition du périmètre par localisation (selon INTESCA 1976)

Secteurs	Superficie (ha)		Localisation	Mise en service (Exploitation)
	Equipé	Irrigable		
Secteur I	1720	1600	RAMDANE DJAMEL / SKIKDA	/
Secteur II	1591	1428	SALAH BOUCHAOUR	2004
Secteur III	1023	832	EL HARROUCH	1996
Secteur IV	1320	1240	EMDJEZ EDCHICHE	1991
Total	5654	5100		

Source : (Bilan Annuel ONID, 2023)

Tableau 4.3. Répartition du périmètre par assolement (selon INTESCA 1976)

Secteurs	Assolement				Superficie totale (ha)
	F Arbres Fruitiers	A Maraichage, Betterave, Coton, Vesce avoine	B Luzerne, Maraichage	C Mais grain, Luzerne et Maraichage	
Secteur I	724	467	180	349	1720
Secteur II	706	635	190	60	1591
Secteur III	98	691	129	105	1023
Secteur IV	143	792	/	385	1320
Total	1671	2585	499	899	5654

Source : (Bilan Annuel ONID, 2023)

2.2. Ressources en eau du périmètre

L'alimentation en eau d'irrigation du périmètre est assurée à partir des barrages de Guénitra et de Zardezas dont les besoins en eau sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau 4.4. Ressources et besoin en eau du périmètre

Barrage	Irrigation (Hm ³)				Total (Hm ³)
	Secteur I	Secteur II	Secteur III	Secteur IV	
Guénitra	/	7,50	/	8,15	15,65
Zardezas	10,50	2,10	5,40	/	18

Source : (Bilan Annuel ONID, 2023)

2.3. Architecture du système d'irrigation au niveau du périmètre

L'eau des deux barrages est refoulée à partir des stations de pompage vers les réservoirs de stockage au niveau de chaque secteur du périmètre puis la distribution par canalisation vers les zones à irriguer dont la gestion est assurée par l'ADE (Algérienne Des Eaux) et l'ONID.

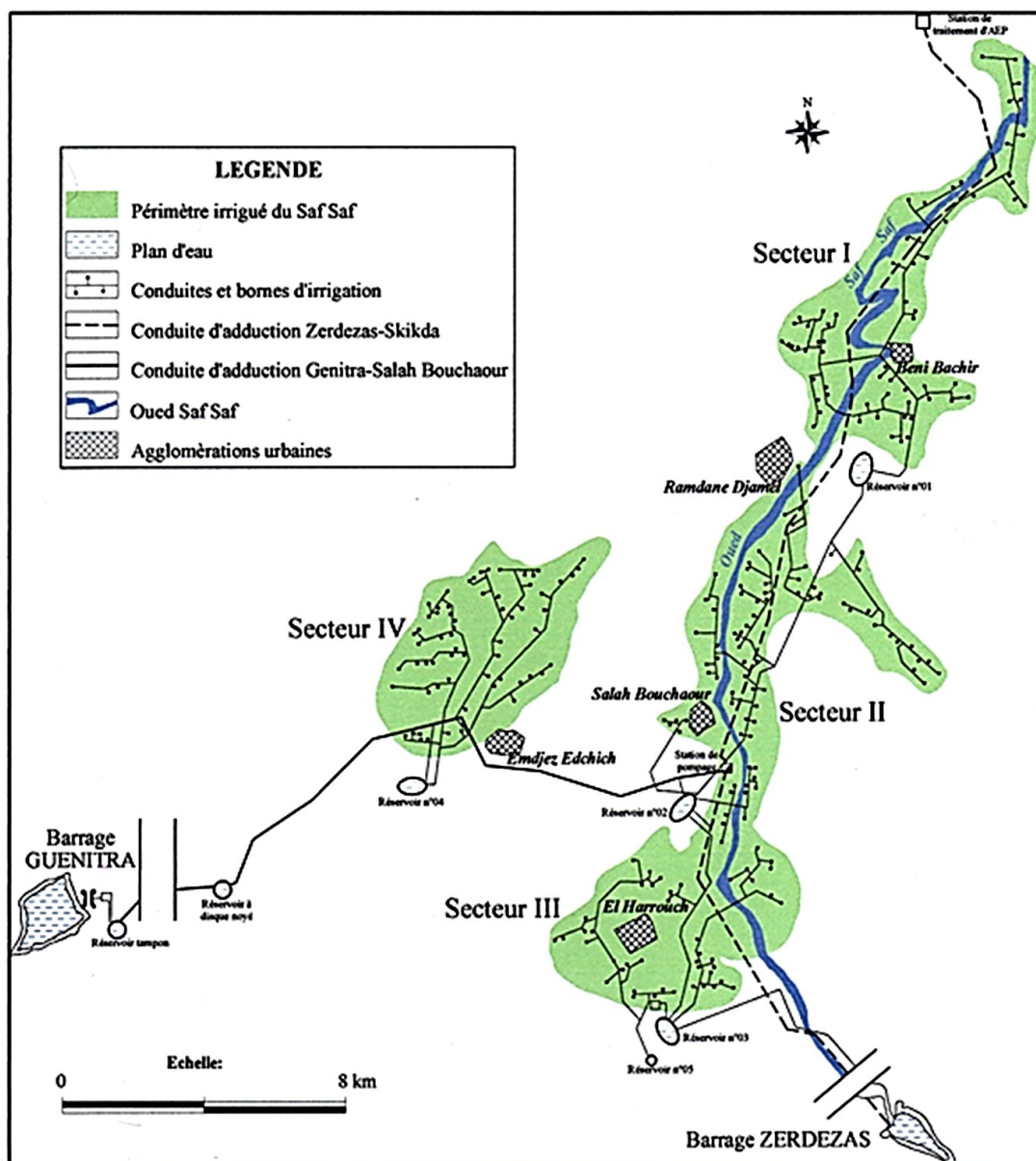


Figure 4.6. Architecture du périmètre Saf-Saf.

2.3.1. Stations de pompage

Tableau 4.5. Stations de pompage

Stations de pompage	Débit (m ³ /s)	Nombre de pompes	Gestion
Guénitra	2,22	4 + 1	Gérée par l'ADE
El Harrouch	1,28	2 + 1	Gérée par l'ONID

Source : (Bilan Annuel ONID, 2023)

La station de pompage de Guénitra alimente la ville de Skikda par l'eau brute (destinée à l'AEP) ainsi qu'en eau d'irrigation pour les secteurs II et IV.

La station de pompage d'El Harrouch, reçue l'eau gravitairement à partir du barrage de Zardezas, alimente la partie haute pression du secteur III.

Le secteur I est alimenté gravitairement à partir du barrage de ZARDEZAS.

2.3.2. Réservoirs

Tableau 4.6. Réservoirs dans le périmètre du Saf-Saf

Réservoirs	Capacité en (m ³)	Secteur à alimenter
Réservoir N° 1	30000	Secteur I : Skikda – Hammadi Krouma – Ramdane Djamel
Réservoir N° 2	29000	Secteur II : Salah Bouchaour
Réservoir N° 3	22000	Secteur III : El Harrouch
Réservoir N° 4	24000	Secteur IV : Emdjez Edchiche

Source : (Bilan Annuel ONID, 2023)

2.3.3. Canalisation et équipements du périmètre

L'eau, pompée à partir de la station de pompage de Guénitra, est distribuée vers les réservoirs 29000 m³ et 24000 m³ des deux secteurs II et IV respectivement via des conduites de diamètres 1250 mm et 1000 mm sur une longueur de 24000 ML (de la station de pompage jusqu'au la jonction de Salah Bouchaour).

L'alimentation en eau des deux réservoirs 30000 m³ et 22000 m³ correspondent aux secteurs I et III respectivement, est assurée gravitairement à partir du barrage de Zardezas via une conduite 600 mm jusqu'au la jonction de Salah Bouchaour et après une conduite de 800 mm jusqu'au Hammadi Krouma et Skikda.

Tableau 4.7. Canalisation et équipements du périmètre

	Conduite (ML)				Equipements hydromécaniques			
	Amiante Ciment	Fonte	Béton	Acier	Bornes	Ventouse	Vannes	Vidange
Secteur I	15907	9451	2940	5225	87	52	22	55
Secteur II	20330	10259	6472	5008	111	56	24	52
Secteur III	11385	8861	7339	1256	58	66	22	43
Secteur IV	15166	11449	922	294	101	60	24	60
Adduction Guénitra	/	/	18765	7445	/	41	08	10
Adduction Zardezas	/	/	2180	6545	/	19	03	19
Total	62788	40020	38618	25773	357	294	103	239

Source : (Bilan Annuel ONID, 2023)

2.4. Bilan des irrigations et bilan agricole

L'irrigation et l'agriculture sont des piliers essentiels pour le développement économique et la sécurité alimentaire de toute région. Dans le cadre du périmètre du Saf-Saf, une évaluation approfondie des bilans d'irrigation et agricole permet de mieux comprendre les défis et les opportunités liés à la gestion des ressources en eau et à la production agricole..

2.4.1. Souscription et irrigation

Tableau 4.8. Bilan d'irrigation

Année	Périmètre	Secteur	Superficie irriguée (ha)	Volume distribué (Hm ³)	Nombre des irrigants
2016	Saf-Saf	Secteur I	/	6.693	/
		Secteur II	378.42		/
		Secteur III	221.25		/
		Secteur IV	584.46		/
Total 2016			1184.13	6.693	/
2017	Saf-Saf	Secteur I	/	3.238	/
		Secteur II	283.43		245
		Secteur III	/		/
		Secteur IV	102.7		90
Total 2017			386.13	3.238	335
2018	Saf-Saf	Secteur I	/	3.706	/
		Secteur II	287.35		245
		Secteur III	/		/
		Secteur IV	252.64		187
Total 2018			539.99	3.706	432
2019	Saf-Saf	Secteur I	/	1.341	/
		Secteur II	288.25		60
		Secteur III	/		/
		Secteur IV	100.6		20
Total 2019			388.85	1.341	80
2020	Saf-Saf	Secteur I	/	0.354	/
		Secteur II	166.25		58
		Secteur III	/		/
		Secteur IV	127.25		95
Total 2020			293.50	0.354	153
2021	Saf-Saf	Secteur I	/	2.443	/
		Secteur II	169.03		177
		Secteur III	/		/
		Secteur IV	154.91		154
Total 2021			323.94	2.443	331
2022	Saf-Saf	Secteur I	/	4.976	/
		Secteur II	358.42		/
		Secteur III	/		/
		Secteur IV	362.69		/
Total 2022			721.11	4.976	/
2023	Saf-Saf	Secteur I	/	3.609	/
		Secteur II	285.93		273
		Secteur III	/		/
		Secteur IV	273.02		233
Total 2023			558.95	3.609	506

Source : (Bilan Annuel ONID, 2023)

2.4.2. Evolution Bilan des superficies irriguées du périmètre Saf-Saf

La surface irriguée dans le périmètre du Saf-Saf a connu une baisse remarquable au cours de la période étudiée, passant de 1184 ha en 2016 à 559 ha en 2023. Cela représente une diminution de 52,5 % en sept ans.

La baisse la plus importante a été observée entre 2020 et 2021, avec une chute de 26,5 %.

L'année 2023 a été marquée par la surface irriguée la plus basse de la période, avec seulement 559 ha.

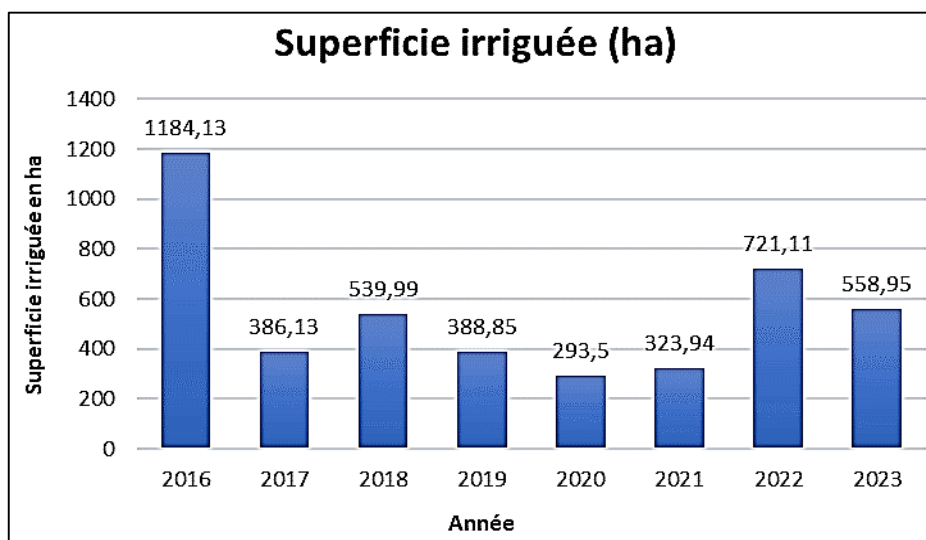


Figure 4.7. Bilan des superficies irriguées du périmètre Saf-Saf. (ONID, 2023).

Plusieurs facteurs peuvent expliquer la baisse de la surface irriguée dans le périmètre du Saf-Saf :

- *Manque d'eau* : La région du Saf-Saf est confrontée à une sécheresse persistante depuis plusieurs années. Cela a entraîné une diminution des ressources en eau disponibles pour l'irrigation, ce qui a contraint les agriculteurs à réduire leurs surfaces irriguées.
- *Changement climatique* : L'augmentation des températures et la diminution des précipitations, notamment pendant les périodes estivales, ont aggravé la situation de sécheresse dans la région.
- *Mauvaises pratiques d'irrigation* : L'utilisation de techniques d'irrigation inefficaces a contribué au gaspillage d'eau et à la dégradation des sols.

La baisse de la surface irriguée dans le périmètre du Saf-Saf est un problème complexe qui menace la sécurité alimentaire et le développement durable de la région. Il est important de prendre des mesures urgentes pour remédier à cette situation en mettant en place des stratégies

de gestion de l'eau durables et en encourageant l'adoption de pratiques agricoles respectueuses de l'environnement.

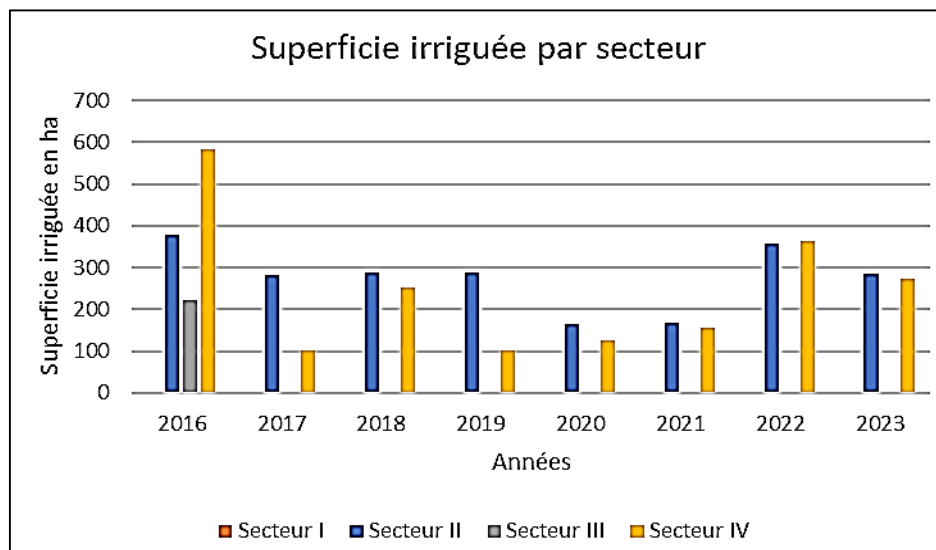


Figure 4.8. Bilan des superficies irriguées par secteur (ONID, 2023).

2.4.3. Bilan des superficies irriguées dans le périmètre du Saf-Saf par secteur (2023)

Le graphique représentant le bilan des superficies irriguées dans le périmètre du Saf-Saf par secteur du 2016 au 2023. On constate que :

- La surface irriguée totale dans le périmètre du Saf-Saf en 2023 est de 559 ha.
- Le secteur 1 est non opérationnel par manque d'eau.
- Les secteurs 2, 3 et 4 ont des surfaces irriguées respectives de 200 ha, 180 ha et 179 ha.
- Le secteur 2 est le secteur irrigué le plus important, suivi des secteurs 3 et 4.

La situation du secteur 1 est préoccupante car elle met en évidence les conséquences graves du manque d'eau dans le périmètre du Saf-Saf. La non-exploitation de ce secteur signifie une perte de production agricole et une source de revenus potentiels pour les agriculteurs locaux.

Les secteurs 2, 3 et 4, bien que fonctionnels, ont également connu une baisse de leurs surfaces irriguées par rapport aux années précédentes. Cela indique que la pénurie d'eau affecte l'ensemble du périmètre du Saf-Saf et que des mesures doivent être prises pour gérer efficacement les ressources en eau disponibles.

Le secteur 1 pourrait ne pas être exploité en raison de plusieurs facteurs, notamment le manque d'infrastructures d'irrigation adéquates comme les canaux et les systèmes de pompage et la priorité donnée à d'autres secteurs pour l'allocation des ressources en eau. Pour remédier à cette situation, il est recommandé de mener une étude approfondie pour évaluer les besoins en eau

de chaque secteur, d'investir dans l'amélioration des infrastructures d'irrigation, de mettre en place une gestion équitable de l'eau, de promouvoir des pratiques agricoles durables comme l'irrigation au goutte-à-goutte et la rotation des cultures.

Le recours aux ressources en eau non conventionnelles comme la réutilisation des eaux usées de la STEP de Skikda, peut aussi contribuer à l'approvisionnement de ce secteur.

En prenant ces mesures concrètes, il est possible de relancer l'activité agricole dans le secteur 1, contribuant ainsi à la sécurité alimentaire dans la région.

2.5. Volume d'eau distribué dans le périmètre irrigué du Saf-Saf (2016-2023)

Le graphique présenté montre l'évolution du volume d'eau distribué dans le périmètre irrigué du Saf-Saf entre 2016 et 2023.

Le volume d'eau distribué dans le périmètre du Saf-Saf a connu une baisse remarquable au cours de la période étudiée, passant de 6,693 Hm³ en 2016 à 3,609 Hm³ en 2023.

La baisse la plus importante a été observée entre 2019 et 2020, avec 0,354 Hm³ en 2020.

La baisse du volume d'eau distribué dans le périmètre du Saf-Saf a des conséquences importantes sur l'agriculture et les populations locales.

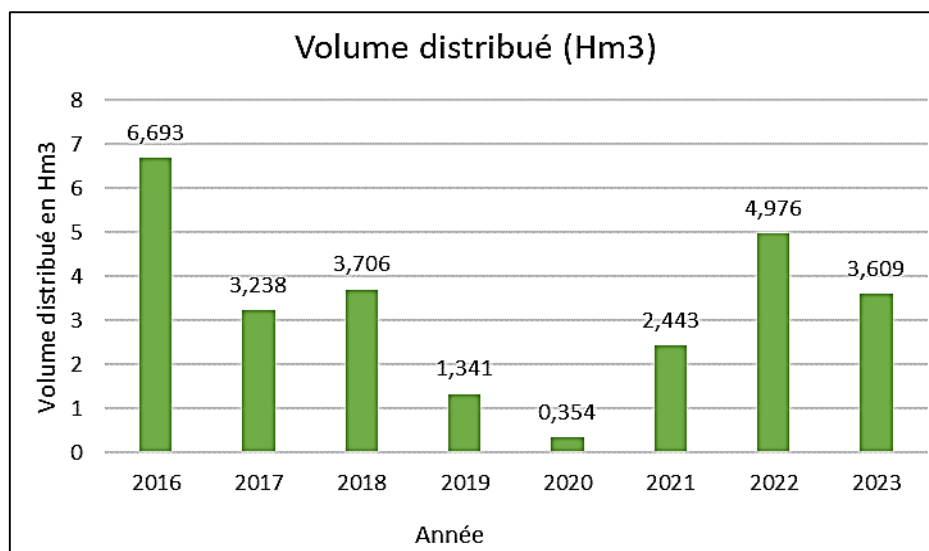


Figure 4.9. Bilan des volumes d'eau distribués sur périmètre Saf-Saf

2.6. Cultures souscrites / Assolements réalisés

Le tableau ci-dessous représente le bilan des superficies irriguées par culture dans le périmètre du Saf-Saf de 2016 à 2023. La surface irriguée totale dans le périmètre du Saf-Saf a connu une baisse constante au cours de la période étudiée, passant de 1184 ha en 2016 à 559 ha en 2023. Cela représente une diminution de 52,5 % en sept ans.

Toutes les cultures ont connu une baisse de leurs surfaces irriguées au cours de la période étudiée, à l'exception des arbres fruitiers, dont la surface irriguée a augmenté de 12,5 % entre 2016 et 2023.

Tableau 4.9. Bilan agricole

Année	Périmètre	Superficie irriguée par culture (ha)					Total
		Arboriculture	Fourrage	Maraîchage	Industrielle	Céréales	
2016	Saf-Saf	257.32	3.25	820.81	66	36.75	1184.13
2017	Saf-Saf	262.63	9	68.95	45.55	0	386.13
2018	Saf-Saf	252.99	1.25	263.15	21.6	1	539.99
2019	Saf-Saf	287.25	0	101.6	0	0	388.85
2020	Saf-Saf	146.5	0	147	0	0	293.5
2021	Saf-Saf	181.03	2.5	112.91	27.5	0	323.94
2022	Saf-Saf	330.54	6.25	292.38	65.24	26.7	721.11
2023	Saf-Saf	271.92	5	195.88	23.65	62.5	558.95

Source : (Bilan Annuel ONID, 2023)

Le graphique ci-dessous illustre les superficies irriguées par culture dans le périmètre du Saf-Saf. La culture la plus irriguée est le maraîchage, couvrant une surface de 2002,68 ha, suivie de près par l'arboriculture, qui occupe 1990,18 ha. Les cultures industrielles, les céréales et les fourrages ont des superficies irriguées plus modestes, avec respectivement 249,54 ha, 126,95 ha et 27,25 ha. Cette répartition des superficies irriguées met en évidence les priorités agricoles de la région, avec une nette prédominance pour le maraîchage et l'arboriculture, notamment les agrumes.

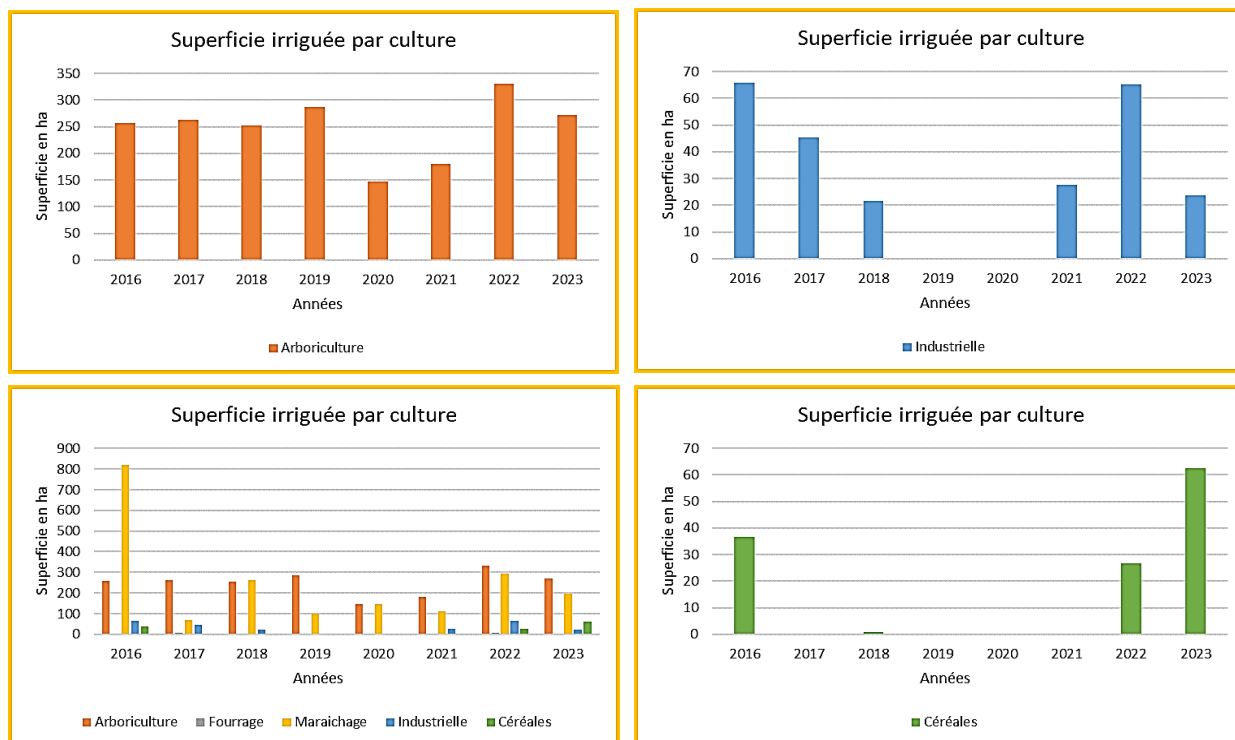


Figure 4.10. Bilan des superficies irriguées par culture

3. Contraintes de gestion du périmètre

La gestion efficace du périmètre irrigué du Saf-Saf est entravée par plusieurs contraintes. Ces défis, qui varient d'un secteur à l'autre, comprennent des problèmes d'infrastructure, de disponibilité en eau et de pratiques agricoles. Identifier et comprendre ces contraintes est crucial pour développer des stratégies de gestion durable et optimiser l'utilisation des ressources disponibles.

3.1. Contraintes liées aux secteurs

a. Secteur I : Skikda – Hammadi Krouma – Ramdane Djamel

Le secteur I est non opérationnel depuis 2009 en raison du manque d'eau provenant du barrage de Zardezas. De plus, la conduite mixte utilisée à la fois pour l'alimentation en eau potable (AEP) et l'irrigation est gérée par l'ADE (Algérienne des Eaux), compliquant la gestion et l'allocation de l'eau.

b. Secteur II : Salah Bouchaour

Ce secteur connaît une saison d'irrigation tardive et une irrigation en arrière-saison suspendue. De plus, certains irrigants réalisent des piquages illicites sur la conduite d'adduction principale de Skikda, également gérée par l'ADE, perturbant ainsi la distribution de l'eau.

c. Secteur III : El Harrouch

L'irrigation dans ce secteur est suspendue en raison d'un manque d'eau, principalement dû au déboisement autour du barrage de Zardezas. Depuis la saison 2013/2014, l'irrigation sur le tronçon haute pression est également suspendue à cause des constructions d'habitations illicites sur les canalisations, rendant impossible la réparation des fuites.

d. Secteur IV : Emdjez Edchiche

Ce secteur connaît également une saison d'irrigation tardive et une irrigation en arrière-saison suspendue, limitant ainsi la disponibilité de l'eau pour les cultures.

3.2. Autres contraintes

En plus des contraintes spécifiques à chaque secteur, il existe plusieurs problèmes généraux affectant l'ensemble du périmètre. Le réseau d'irrigation est vétuste, nécessitant des réparations urgentes. La dégradation totale des pistes entrave l'accès et la mobilité. Les travaux de l'autoroute Est-Ouest ont réduit les superficies cultivables, et les constructions à proximité des conduites d'irrigation posent des risques pour l'infrastructure. Enfin, les travaux de pénétrante ajoutent une autre couche de complexité à la gestion des ressources en eau.

Ces contraintes constituent des obstacles majeurs à la gestion efficace du périmètre du Saf-Saf et à la réalisation de son plein potentiel agricole. Pour surmonter ces défis, une approche intégrée et coordonnée est nécessaire, incluant la réhabilitation des infrastructures, une gestion plus stricte de l'eau, l'adoption de pratiques agricoles durables, et le recours à réutilisation des eaux usées traitées. Ces mesures permettront de garantir une utilisation optimale des ressources en eau et de soutenir le développement agricole dans la région.

4. Contexte et importance de la réutilisation des eaux usées épurées

La région de Skikda, comme beaucoup d'autres en Algérie, fait face à des défis significatifs en matière de gestion des ressources en eau. Le secteur 1, qui comprend Skikda, Hammadi Krouma et Ramdane Djamel, est particulièrement touché par le manque d'eau, rendant l'irrigation agricole difficile voire impossible depuis 2009. La STEP de Skikda, en traitant les eaux usées, produit une quantité substantielle d'eau épurée qui pourrait être valorisée pour l'irrigation.

4.1. Avantages de la réutilisation des eaux usées épurées

La réutilisation des eaux usées épurées présente plusieurs avantages significatifs pour la gestion des ressources en eau et le développement durable. En intégrant cette pratique, il est possible

de réduire la pression sur les ressources en eau douce, de diminuer la pollution environnementale et d'assurer une source d'eau fiable pour l'irrigation agricole. Voici quelques-uns des principaux avantages :

- Conservation des ressources en eau douces:

L'utilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation permet de réduire la pression sur les ressources en eau douce. En réorientant les eaux traitées vers des usages agricoles, il devient possible de réserver l'eau potable pour des usages domestiques et industriels essentiels. Cela est particulièrement pertinent dans des régions où l'eau est une ressource rare et précieuse.

- Réduction de la pollution :

La réutilisation des eaux épurées évite le rejet direct des eaux usées traitées dans les cours d'eau, ce qui contribue à la réduction de la pollution aquatique. En empêchant les effluents d'atteindre les plans d'eau naturels, on réduit les risques pour les écosystèmes aquatiques et on améliore la qualité de l'eau pour les autres usages.

- Disponibilité de l'eau pour l'irrigation :

Les eaux usées épurées offrent une source d'eau fiable pour l'irrigation, particulièrement en période de sécheresse ou de restrictions d'eau. Cette constance de l'approvisionnement en eau est cruciale pour maintenir la productivité agricole et assurer la sécurité alimentaire dans la région.

4.2. Aspects Techniques et Environnementaux

L'intégration des eaux usées épurées dans les systèmes d'irrigation nécessite une attention particulière aux aspects techniques et environnementaux. Ces considérations sont essentielles pour garantir la qualité de l'eau utilisée, la sécurité des cultures et la durabilité des pratiques agricoles.

- Qualité de l'eau épurée : Il est impératif que les eaux usées épurées respectent des normes de qualité strictes pour être utilisées en irrigation. La STEP (Station d'Épuration) de Skikda doit adopter des processus de traitement avancés, tels que l'ultrafiltration, l'ozonation et la désinfection UV, pour éliminer les contaminants potentiels, y compris les agents pathogènes, les métaux lourds et les composés organiques persistants, afin de garantir la sécurité des cultures et des consommateurs.

- Infrastructure de Distribution : La mise en place d'un réseau de distribution dédié est essentielle pour transporter efficacement l'eau épurée des STEP aux zones agricoles. Cela inclut la construction de canalisations robustes, de systèmes de pompage efficaces et de

réservoirs de stockage stratégiquement situés pour minimiser les pertes d'eau et optimiser la distribution.

- **Surveillance et Gestion** : Un système de surveillance rigoureux doit être mis en place pour garantir que la qualité de l'eau épurée reste conforme aux normes. Cela inclut des tests réguliers pour détecter toute variation dans les concentrations de contaminants. Une gestion efficace du réseau de distribution est également cruciale pour prévenir les fuites et les pertes d'eau, ainsi que pour assurer une distribution équitable aux agriculteurs.

4.3. Mise en Œuvre et Recommandations

Pour optimiser la réutilisation des eaux usées épurées et améliorer l'efficacité de l'irrigation dans le périmètre du Saf-Saf, plusieurs actions doivent être envisagées.

- **Études de faisabilité** : Avant de mettre en œuvre la réutilisation des eaux usées épurées, il est important de réaliser des études de faisabilité détaillées pour évaluer la viabilité technique, économique et environnementale du projet. Ces études doivent identifier les besoins en infrastructure, les coûts associés et les impacts environnementaux potentiels.

- **Collaboration et concertation** : La réussite de ce projet nécessite une collaboration étroite entre diverses parties prenantes, y compris les autorités locales, les gestionnaires de la STEP, les agriculteurs et les experts en gestion de l'eau. Une coordination efficace peut aider à surmonter les défis logistiques et à assurer une mise en œuvre harmonieuse.

- **Formation et sensibilisation** : Les agriculteurs et les techniciens doivent être formés sur les techniques d'irrigation utilisant les eaux usées épurées. Une sensibilisation accrue aux avantages et aux précautions liées à cette pratique est essentielle pour garantir une adoption généralisée et réussie.

- **Optimisation des processus de traitement** : Il est recommandé d'optimiser les processus de traitement dans la STEP pour assurer une épuration efficace et constante des eaux usées. L'adoption de technologies de pointe pour éliminer les nutriments et les contaminants résiduels peut améliorer la qualité de l'eau épurée et sa sécurité pour l'irrigation.

En adoptant ces mesures, la réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation dans le secteur 1 de Skikda peut devenir une stratégie viable et durable. Cela contribuera à la résilience hydrique de la région, à la promotion d'une agriculture plus durable et à la protection des ressources en eau.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié les résultats des analyses physicochimiques des eaux usées de la station d'épuration de Skikda, effectuées à l'entrée et à la sortie sur toute l'année 2017. L'objectif principal était d'évaluer l'efficacité de l'élimination des substances polluantes et de surveiller le bon fonctionnement des différentes installations de la STEP.

L'analyse des concentrations des paramètres tels que MES, DBO₅, DCO, NH₄, NO₂⁻ et PT, montre que les valeurs des eaux usées brutes varient considérablement et dépassent fréquemment les normes de rejet, indiquant une pollution d'origine diverse. Bien que le traitement des eaux usées par la station réduise généralement ces concentrations, elles peuvent parfois demeurer au-dessus des limites réglementaires. En particulier, les concentrations de phosphore total dans les eaux brutes et épurées excèdent fréquemment les normes, ce qui met en évidence l'inefficacité du processus de déphosphatation à la STEP de Skikda.

En outre, nous avons décrit l'étendue du périmètre d'irrigation du Saf-Saf, depuis l'approvisionnement en eau via les barrages de Guénitra et Zardezas jusqu'aux réservoirs de stockage, incluant les équipements et les canalisations installés dans chaque secteur. L'ONID a appliqué une gestion visant à répondre, dans la mesure du possible, aux besoins en eau des différents secteurs.

Les bilans d'irrigation de l'ONID pour les années 2016 à 2023 révèlent une suspension presque totale de l'irrigation dans le secteur III d'El Harrouch et une suspension complète dans le secteur I (Skikda et Ramdane Djamel). Cette situation est principalement due au manque d'eau au barrage de Zardezas, capable de satisfaire uniquement les besoins en eau de la partie basse d'El Harrouch. De plus, des piquages et des constructions illicites sur la conduite d'adduction principale qui achemine l'eau d'El Harrouch vers Skikda contribuent à cette suspension.

Pour améliorer durablement l'irrigation dans le périmètre du Saf-Saf, et compte tenu de la faisabilité de réutiliser les eaux traitées de la STEP de Skikda pour l'irrigation selon les analyses d'eau, nous proposons plusieurs solutions :

- Alimenter le secteur I par un système de pompage vers le réservoir N°1 d'une capacité de 30 000 m³. Ce projet nécessite une coordination entre l'ONA, l'ONID et la DRE (Direction des ressources en eau) de la wilaya de Skikda.
- Pour le secteur III, nous recommandons la construction de nouvelles STEP dans les agglomérations environnantes afin de récupérer, d'épurer et de réutiliser les eaux usées pour pallier au déficit en eau du barrage de Zardezas.



Conclusion Générale & Recommandations



Ce mémoire a exploré les différentes facettes de la gestion des eaux usées et leur potentiel de réutilisation pour l'irrigation agricole dans une région stratégique d'Algérie.

Dans un premier temps, une revue bibliographique a permis de mettre en lumière les enjeux liés aux ressources en eau, tant conventionnelles que non conventionnelles, ainsi que les concepts fondamentaux de la réutilisation des eaux usées. Ensuite, une étude approfondie des caractéristiques climatiques et techniques de la STEP de Skikda a été réalisée, suivie d'une analyse détaillée de l'efficacité de cette station pour l'irrigation du périmètre du Saf-Saf.

L'analyse des données climatologiques sur 22 ans a révélé une tendance sub-humide de la région de Skikda, avec des précipitations annuelles moyennes de 777 mm et une température moyenne mensuelle de 19°C. Ces conditions climatiques influencent directement la disponibilité et la gestion des ressources en eau dans la région.

L'évaluation des performances de la STEP de Skikda a montré que, bien que le traitement des eaux usées réduise généralement les concentrations de polluants, certains paramètres, notamment le phosphore total (PT), dépassent fréquemment les normes de rejet, indiquant des inefficacités dans le processus de déphosphatation. Cette observation souligne la nécessité d'améliorer les traitements spécifiques pour assurer une qualité optimale des eaux épurées, propices à une réutilisation sécurisée en irrigation.

Par ailleurs, l'examen du périmètre d'irrigation du Saf-Saf a mis en évidence des défis majeurs liés à la gestion de l'eau, notamment la suspension de l'irrigation dans certaines zones (le secteur I), en raison de pénuries d'eau et d'infrastructures inadéquates. Face à ces défis, la réutilisation des eaux usées épurées de la STEP de Skikda apparaît comme une solution viable pour renforcer les ressources en eau disponibles pour l'irrigation.

Recommandations

Pour optimiser l'utilisation des eaux usées épurées et améliorer l'irrigation dans le périmètre du Saf-Saf, les recommandations suivantes sont proposées :

1. Mise en place d'infrastructures de pompage et de distribution :

- Développer un système de pompage pour alimenter le secteur I avec des eaux usées traitées, nécessitant une collaboration entre l'ONA, l'ONID et la DRE de la wilaya de Skikda.
- Construire de nouvelles STEP dans les agglomérations proches du secteur III pour compenser le déficit en eau du barrage de Zardezas.

2. *Surveillance et gestion intégrée :*

- Mettre en place un système de surveillance rigoureux pour suivre en continu la qualité des eaux traitées et garantir leur sécurité pour l'irrigation.
- Encourager une gestion intégrée des ressources en eau, incluant les ressources en eau non conventionnelles, comme réutilisation des eaux usées.
- Développer des infrastructures de gestion de l'eau par la construction des barrages, des retenues d'eau.
- Promouvoir des techniques d'irrigation efficaces par l'adoption de techniques d'irrigation au goutte-à-goutte et d'autres techniques qui permettent d'optimiser l'utilisation de l'eau.

3. *Sensibilisation et formation :*

- Organiser des programmes de sensibilisation et de formation pour les agriculteurs sur les avantages et les techniques de réutilisation des eaux usées épurées en agriculture.
- Impliquer les communautés locales et les parties prenantes dans la gestion et la préservation des ressources en eau.
- Sensibiliser les agriculteurs aux enjeux de l'eau : Mettre en place des programmes de sensibilisation et de formation pour inciter les agriculteurs à adopter des pratiques d'irrigation responsables.

4. *Recherche et Innovation :*

- Encourager la recherche sur des technologies innovantes de traitement des eaux usées et leur application en milieu agricole.
- Explorer des solutions de gestion adaptatives face aux variations climatiques et aux besoins changeants en eau.

Ainsi, la valorisation des eaux usées épurées de la STEP de Skikda constitue une opportunité majeure pour optimiser l'irrigation et favoriser le développement durable dans le périmètre du Saf-Saf. Une gestion intégrée et innovante des ressources en eau est indispensable pour assurer la sécurité alimentaire, préserver l'environnement et améliorer le bien-être des communautés locales.

Références bibliographiques

1. **Benaïssa A., 2017** : Valorisation des eaux usées épurées dans l'irrigation. Mémoire de Master. Université KASDI MERBAH-Ouargla.
2. **Bouchaala L., Charchar N., et Gherib A. F., 2017** : Ressources hydriques: traitement et réutilisation des eaux usées en Algérie. *Algerian journal of arid environment*. 84-95p. ISSN 2170-1318.
3. **Boussahoua N., 2015** : Valorisation des eaux usées épurées en agriculture. Mémoire de Master. Université de Blida. 73 p.
4. **Bouzidi Y., 2020** : Réutilisation des Eaux Usées Epurées en Algérie. Mémoire de Master. Université de GUELMA.
5. **Bureau d'Etude PROGRESS, 2016** : Etude d'évaluation du secteur de l'eau en Algérie. Rapport d'étude du projet de coordination régionale pour une gestion durable des ressources en eau au Maghreb. 102 p.
6. **Chadli B., 2017** : Réutilisation des eaux usée épurées en irrigation cas de la STEP d'el bayadh. Mémoire de Master. Université de SAÏDA. 84p.
7. **Dahou D., Messai Belgacem N., 2022** : Etude de la possibilité d'utilisation des eaux usées épurées à fins agricoles (Cas de la Wilaya de Ghardaïa). Mémoire de Master. Université de Ghardaïa.
8. **DRE Skikda** : Bilan d'assainissement, 2023
9. **Dyer S.D., Peng C., McAvoy D.C., Fendinger N.J., Masscheleyn P., Castillo L.V., Lim J.M.U. (2003)** : The influence of untreated wastewater to aquatic communities in the Balatium River, the Philippines. *Chemosphere*, 52: 43-53.
10. **DEW, ONEDD, 2017** : Rapport de suivi de la qualité des eaux de surface dans la wilaya de Skikda. Direction del'Environnement de la Wilaya de Skikda, Observatoire National de Développement Durable.
11. **Eva Eriksson et al. 2002** : Characteristics of grey wastewater. *Urban Water Journal*. Volume 4, Issue 1, March 2002, Pages 85-104. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(01\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00064-4).
12. **Ferdi A., 2010** : Diagnostic concernant la possibilité de valorisation des sous-produits d'épuration : Cas de la STEP de Réghaia. Mémoire d'Ingénieur. Ecole Nationale Supérieure Polytechnique. 111p.
13. **Florence D. P., 2013** : La gestion et l'usage de l'eau en agriculture. Rapport du Conseil économique, social et environnemental. Editions Des Journaux Officiels. 75775 Paris Cedex. 81p.

14. **Ghomrani N. H., Medjrab N., 2021** : Etude hydrogéologique du sous bassin versant Oued Zeramna (Skikda). Mémoire de Master. Université de Constantine, 65 p.
15. **Gray S. R. and Becker N. S. C., 2002** : Contaminant Flows in Urban Residential Water System. *Urban Water*, Vol. 4, No. 4, pp. 331-346. [http://dx.doi.org/10.1016/S1462-0758\(02\)00033-X](http://dx.doi.org/10.1016/S1462-0758(02)00033-X).
16. **Gromaire-Mertz M.C., 1998** : La pollution des eaux pluviales urbaines en réseau d'assainissement unitaire. Thèse de l'école nationale des ponts et chaussées. 495p.
17. **JORA, 2012** : Journal Officiel De La République Algérienne, 2012. ANNEXE, spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation. N° 41, 18-21.
18. **Khelif B., et Mekhloufi I., 2018** : Valorisation des eaux usées épurées dans l'irrigation. Mémoire de Master ; Université de Ghardaia. 56 p.
19. **Ladjal R., 2013** : Problématique de la mobilisation et de la préservation des ressources hydriques dans le SERSOU (Bassin Cheliff Amont BOUGHZOUL). Mémoire de Magister. Université Abou Bekr Belkaid –Tlemcen, Algérie. 145 p.
20. **Labbaci H., Boumenkar T., 2019** : Analyse des anomalies et redimensionnement de la STEP de la Wilaya de Skikda. Mémoire de Master. Université d'Annaba. 89 p.
21. **Lester J. N., 1987** : Métaux lourds dans les procédés de traitement des eaux usées et des boues ; sources, analyses et législations. Edition CRS Press. Livre 175 p.
22. **Margat J., Monition L., 1971** : Les eaux souterraines - Gestion et protection. Rapport BRGM – Bureau de Recherche Géologique et Minières. Publication OMS. 44 p.
23. **NOUAL M. 2021** : Gestion technique et diagnostique des dysfonctionnements biologiques d'une STEP à boue activée,
24. **ONA** : Bilan annuel, 2023
25. **ONID** : Bilan annuel, 2023
26. **Otmane M., Bouhedja A., Saad Djaballah L., 2005** : Extension du périmètre d'irrigation Saf-Saf – Secteur III – EL HARROUCH. Mémoire d'ingénieur. Université de SKIKDA.
27. **STEP de Skikda** : Cahier de prescriptions techniques, 2015.
28. **Taabni M., et Moulay-Driss E. J., 2012** : Eau et changement climatique au Maghreb : quelles stratégies d'adaptation ? *Revue de géographie de Bordeaux Les Cahiers d'Outre-Mer*. p. 493-518. <https://doi.org/10.4000/com.6718>
29. **Zeghdana I., Messous C.H., Krouidri K. et Allal A., 2023** : Contribution à l'étude de la qualité Physico-chimique et bactériologique de l'eau épurée. Mémoire de Master. Université Echahid Hamma Lakhdar - El Oued.

Webographie

- www.fr.wikipedia.org/wiki/Eau_de_surface : Eaux de surface
- <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/chapitre2.html> : Bassin versant
- www.rncan.gc.ca : Ressources naturelles de CANADA.
- <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/resumes/chapitre6/resume6.pdf>
- www.ecoplage.fr/fr/enjeux/dessalement : Dessalement.

Titre : Valorisation des eaux usées épurées de la STEP de Skikda pour améliorer l'irrigation dans le périmètre du Saf-Saf (Skikda, N-E Algérien)

Résumé : L'agriculture, qui constitue une pierre angulaire de notre économie, dépend de la disponibilité de ressources en eau suffisantes. La région du Saf-Saf, en raison de ses caractéristiques géographiques et climatiques, fait face à des défis majeurs pour assurer les ressources en eau nécessaires à l'irrigation des cultures.

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre étude, qui vise à explorer une approche novatrice et durable pour pallier les contraintes hydriques dans la région, en exploitant les eaux usées épurées générées par la station d'épuration de Skikda.

La zone d'étude, caractérisée par des précipitations annuelles moyennes de 770 mm et une température moyenne mensuelle de 19°C, montre une tendance sub-humide.

L'évaluation de la performance de la STEP de Skikda révèle une réduction générale des polluants, bien que certaines concentrations, notamment de phosphore total (PT), dépassent les normes de rejet. Cela souligne la nécessité d'améliorer les traitements pour garantir une qualité optimale des eaux épurées.

Par ailleurs, l'examen du périmètre d'irrigation du Saf-Saf a mis en évidence des défis majeurs liés à la gestion de l'eau, notamment la suspension de l'irrigation dans certaines zones, telles que le secteur 1, en raison de pénuries d'eau et d'infrastructures inadéquates. Face à ces défis, la réutilisation des eaux usées épurées de la STEP de Skikda apparaît comme une solution viable pour renforcer les ressources en eau disponibles pour l'irrigation.

La valorisation des eaux usées épurées de la STEP de Skikda constitue une opportunité majeure pour optimiser l'irrigation et soutenir le développement durable dans le périmètre du Saf-Saf.

Mots clés :

Agriculture, ressources en eau, eau traitées, STEP Skikda, périmètre irrigué du Saf-Saf, développement durable.

ملخص

تعتمد الزراعة، التي تُعدّ ركيزة أساسية لاقتصادنا، على توفر موارد مائية كافية. تواجه منطقة الصفصاف، نظراً لخصائصها الجغرافية والمناخية، تحديات كبيرة في تأمين الموارد المائية اللازمة لري المحاصيل الزراعية.

في هذا السياق تأتي دراستنا، التي تهدف إلى استكشاف نهج مبتكر ومستدام للتغلب على مشاكل نقص المياه في المنطقة، من خلال الاستفادة من مياه الصرف الصحي المعالجة التي تنتجها محطة معالجة مياه الصرف الصحي في سكيكدة.

تُظهر منطقة الدراسة، التي تتميز بمتوسط هطول سنوي يبلغ 770 ملم ومتوسط درجة حرارة شهرية تصل إلى 19 م°، تؤكد المناخ شبه الرطب للمنطقة. أظهر تقييم أداء محطة معالجة مياه الصرف الصحي في سكيكدة انخفاضاً عاماً في الملوثات، على الرغم من أن بعض التركيزات، وخاصة الفوسفور الكلي (PT)، تتجاوز المعايير المسموح بها للتصريف. يبرز هذا ضرورة تحسين المعالجة لضمان جودة مثالية للمياه.

علاوة على ذلك، أظهر فحص محيط السقي في الصفصاف تحديات كبيرة تتعلق بتسيير المياه، بما في ذلك توقيف الري في بعض المناطق، مثل القطاع 1، بسبب نقص المياه والبنية التحتية غير الملائمة. في مواجهة هذه التحديات، يبدو جلياً أن إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي في سكيكدة حلاً قابلاً للتطبيق لتعزيز موارد المياه المتاحة للري.

تمثل إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي في سكيكدة فرصة كبيرة لتحسين الري ودعم التنمية المستدامة في منطقة الصفصاف.

الكلمات المفتاحية:

الزراعة، الموارد المائية، المياه المعالجة، محطة سكيكدة لتصفية المياه القذرة، محيط السقي الصفصاف، التنمية المستدامة.