

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
جامعة عمار ثليجي بالأغواط
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT

كلية العلوم
FACULTE DES SCIENCES
قسم البيولوجيا
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : S.N.V
Filière : Sciences Biologiques
Option : Microbiologie

Thème

**Contribution à l'étude de la qualité physicochimique et microbiologique
des eaux d'irrigation dans la région de Laghouat**

Présentées par :

Hamini razika

Bouchra Geurgab

Devant le jury composé de :

Président : BEN NACER FAROUK (Pr Univ.Laghouat)

Encadreur : HAMIDA Lamine (MCB. CU AFLOU)

Examineur : CHAIBI Rachid (Pr Univ.Laghouat)

Année Universitaire :2024/2025

REMERCIEMENTS :

Après un long cheminement de recherche, d'efforts et de diligence, nous avons pu achever ce travail. Nous remercions Dieu Tout-Puissant pour les bienfaits qu'il nous a accordés, car Il est le Très-Haut et le Tout-Puissant.

Nous exprimons notre profonde gratitude et notre reconnaissance au professeur Amine H. pour son aide, ses conseils, son soutien moral, sa sympathie et, surtout, la confiance qu'il nous a témoignée tout au long de la réalisation de ce travail.

Nous adressons également nos sincères remerciements aux membres du jury pour avoir approuvé la relecture de ce travail.

Je n'oublie pas non plus à tous les enseignants qui jai m'ont accompagnés au cours de années d'études à l'Université Amar Telidgi - Laghouat.

DÉDICACE

Je dédie ce travail :

**Au printemps qui ne se lasse pas de donner, à celle qui a tissé son bonheur
avec les fils tissés de son cœur, à ma chère maman.**

**À ceux qui se sont efforcés et ont été malheureux de jouir du confort et du
contentement, qui n'ont rien retenu pour me pousser sur le chemin du
succès, mon cher père.**

**À mon soutien et compagnon dans cette vie..... mon cher
mari**

**À mon compagnon qui m'a rejoint pour accomplir cet humble
travail...Razika**

**Et à toute ma famille, à la famille de mon mari et à mes amies, chaima,
Riham et Fatima.**

A tous ceux qui m'ont soutenu

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin

Bouchra

Dédicace

Tout d'abord, je rends grâce à Dieu qui m'a guidée et facilitée le chemin vers la réussite.

Ensuite...

Je suis très fière de moi-même et de tout ce que j'ai pu accomplir malgré les difficultés.

À mes chers parents,

Merci pour votre soutien, vos prières et votre amour inconditionnel. Vous êtes la plus grande bénédiction de ma vie.

À ma sœur Aya,

Complice de mon cœur, lumière de mon chemin... Tu occupes une place que seul Dieu peut mesurer.

À mes frères Mohamed et Islam,

Mon pilier dans la vie, mon réconfort dans les moments difficiles... Votre présence a toujours été une force pour moi.

Enfin,

Merci à tous ceux qui m'ont aidée dans l'élaboration de ce mémoire,

Résumé

Ce travail porte sur l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits dans cinq localités rurales de la région de Laghouat Elkhneg, Tawenza, El Milagh, Ksar El Hiran et Nacer Ben Chohra. L'analyse des paramètres physico-chimiques a révélé des disparités marquées entre les sites, avec notamment Tawenza et El Milagh présentant des signes clairs de pollution minérale (nitrates, sulfates), tandis que Ksar El Hiran affiche une eau très calcaire. Sur le plan microbiologique, Elkhneg se distingue par une contamination fécale avérée, contrairement à Ksar El Hiran et Nacer Ben Chohra qui montrent une qualité bactériologique satisfaisante. Ces résultats soulignent l'influence des activités humaines (rejets domestiques, agriculture) sur la dégradation de la ressource en eau. L'étude recommande un suivi régulier, des mesures de traitement localisées et une sensibilisation des usagers pour assurer une meilleure sécurité sanitaire des eaux souterraines exploitées.

Mots clés : physico-chimique, bactériologique, pollution minérale, Laghouat

Abstract :

This study focuses on the physico-chemical and bacteriological quality of well water in five rural localities in the Laghouat region: Elkhneg, Tawenza, El Milagh, Ksar El Hiran, and Nacer Ben Chohra. The analysis of physico-chemical parameters revealed marked disparities between the sites, with Tawenza and El Milagh showing clear signs of mineral pollution (nitrates, sulfates), while Ksar El Hiran exhibited highly calcareous water. From a microbiological perspective, Elkhneg stood out due to confirmed fecal contamination, whereas Ksar El Hiran and Nacer Ben Chohra demonstrated satisfactory bacteriological quality. These results highlight the impact of human activities (domestic discharges, agriculture) on the degradation of groundwater resources. The study recommends regular monitoring, targeted treatment measures, and public awareness initiatives to ensure better sanitary safety of the exploited groundwater.

Keywords: physico-chemical, bacteriological, mineral pollution, Laghouat

Liste de tableaux

Tableau 1: Maladies à transmission de l'eau d'irrigation.	08
Tableau 2 : Journal officiel de l'Association de développement régional n° 41 du 15/07/2012.	09
Tableau 3: l'élément maximal dans l'eau d'irrigation.	11
Tableau 4. Moyennes mensuelles et annuelles des Températures de la station de Laghouat.(2010 à 2024.)	14
Tableau 5. Moyennes mensuelles et annuelles des précipitations du (2010 - 2024).	14
Tableau 6: Caractéristiques comparatives des sites d'étude	16
Tableau 7: Matériel utilisé pour l'étude de la qualité physicochimique.	18
Tableau 8 : Matériel utilisé pour l'étude de la qualité bactériologique.	20
Tableau 9: Variations des paramètres physicochimiques de l'eau dans quelques puits des sites prospectée.	24
Tableau 10: La présence des bactéries recensées par site	28
Tableau 11: Dénombrement des flores bactériennes par échantillon.	29

Liste des Figures

Figure 1 : Carte de la wilaya de Laghouat	13
Figure 2 : Diagramme ombrothermique de Gaussen de la région de Laghouat.....	15
Figure 3 : Détermination des germes totaux.....	21
Figure 4 : Test de présomption des Streptocoques fécaux.....	23
Figure 5 : Variations des paramètres physicochimiques de l'eau des sites prospectée.....	9
Figure 6 : Qualité bactériologique de l'ensemble des échantillons d'eau collectés.....	27
Figure 7 : Evaluation de la contamination globale de l'eau étudiée.....	30
Figure 8 : Dénombrement des germes totaux des échantillons d'eau.....	31
Figure 9 Dénombrement des coliformes fécaux	32
Figure 10 : Dénombrement des coliformes totaux	33

Sommaire

Résumé	I
Remerciment	II
Dédicaces.....	III
Liste des tableaux	IV
Liste des figures	V
Introduction.....	1
CHAPITRE I : PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE	
I.1. Généralités sur l'eau d'irrigation et la qualité microbiologique	1
I.2. L'eau d'irrigation	2
I.3. Paramètres physico-chimiques de l'eau d'irrigation	3
3.1. Conductivité, salinité, TDS	3
3.2. pH	4
3.3. Nutriments et contaminants	4
I.4. Qualité microbiologique de l'eau d'irrigation	5
4.1. Germes indicateurs	5
4.2. Risques sanitaires	6
4.3. Normes de qualité	7
I.5. Qualité microbiologique de l'eau d'irrigation (doublet)	8
I.6. Les ressources des eaux d'irrigation	8
6.1. Les eaux de surface	8
a. Eaux courantes	9
b. Eaux stagnantes	9
c. Les lacs	10
6.2. Les eaux souterraines	11
I.7. Le risque de l'eau d'irrigation	12
7.1. Risques liés au sodium	12
7.2. Risques liés aux chlorures	13
I.8. Maladies à transmission hydrique via l'irrigation	14
I.9. Les normes algériennes de l'eau d'irrigation	15
9.1. Normes physico-chimiques et toxiques	15
9.2. Normes de l'OMS et de la FAO	16
Chapitre II : Matériels et Méthodes	
II.1. Présentation de la région d'étude	17
II.2. Considérations bioclimatiques	18
2.1. Le climat	18
2.2. Synthèse climatique	19
II.3. Description des sites de l'étude	20

- Elkhneg	.....20
- Nacer Ben Chohra	.....20
- Tawenza	.....21
- El Milagh	.....21
- Ksar El Hiran	.....21
II.4. Méthodologie	.....22
4.1. Méthode de prélèvement de l'eau	.....22
4.2. Analyses physico-chimiques	.....23
4.2.1. Matériel utilisé	.....23
4.3. Méthode d'analyse bactériologique	.....24
4.3.1. Transport et conservation au laboratoire	.....24
4.3.2. Matériel utilisé	.....25
4.3.3. Méthode d'analyse des germes totaux	.....26
4.3.4. Recherche et dénombrement des coliformes	.....27
a. Test de présomption	.....27
b. Test de confirmation	.....28
4.3.5. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux	.....29
a. Test de présomption	.....29
b. Test de confirmation	.....30
Chapitre III : Résultats et Discussion	
III.1. Conductivité, Minéralisation, TDS et Salinité	.....31
III.2. pH et Température	.....32
III.3. Turbidité	.....32
III.4. Ions majeurs, éléments traces et nutriments	.....33
III.5. Résultats de la qualité bactériologique des échantillons d'eau des puits collectés	.....34
III.5.1. Présence des bactéries recensées par site	.....34
III.5.2. Analyses bactériologiques détaillées	.....35
III.5.2.1. Germes totaux à 22°C	.....35
III.5.2.2. Coliformes fécaux	.....36
III.5.2.3. Coliformes totaux	.....36
Conclusion	.....37
Référence bibliographique	

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'eau constitue un élément fondamental pour la survie et la continuité de la vie sur Terre. Elle représente l'une des ressources naturelles les plus précieuses offertes par Dieu à l'humanité. En tant que solvant universel, elle est largement utilisée en raison de sa disponibilité, de son faible coût et de son rôle essentiel, notamment en agriculture, où elle représente souvent le principal facteur limitant de la production.

Cependant, les ressources en eau sont soumises à de nombreuses pressions : rareté, irrégularité temporelle, mauvaise répartition spatiale, et vulnérabilité élevée à la pollution et à la sécheresse (Boukhari, 2008). Les eaux souterraines, en particulier, représentent environ 97 % des réserves mondiales d'eau douce liquide, et selon Merzoug et al. (2010), entre 75 et 90 % de la population mondiale en dépend pour ses besoins en eau potable (Bosca, 2002).

Les changements climatiques accentuent cette pression sur les ressources hydriques, notamment par l'imprévisibilité des précipitations, la fonte des glaciers, la montée du niveau des mers et la fréquence accrue des inondations et des sécheresses (ONU-Eau, 2020). Par ailleurs, l'eau peut constituer un vecteur important de micro-organismes pathogènes (Bengarnia, 2016), ce qui soulève des enjeux majeurs de santé publique.

L'irrigation, en particulier dans les zones arides et semi-arides, est un moyen artificiel de compenser les déficits pluviométriques et d'assurer la croissance des cultures (El-Asslouj et al., 2007). Toutefois, qu'elle soit d'origine superficielle ou souterraine, l'eau d'irrigation n'est jamais pure, et sa teneur en sels dissous peut affecter la fertilité des sols et la productivité agricole (Kadi, 1997). Selon l'AFO (2001), 35 à 40 % de la production alimentaire mondiale provient de seulement 15 % des terres arables irriguées, d'où l'importance cruciale du contrôle de la qualité de l'eau pour préserver à la fois la santé humaine et les écosystèmes agricoles (Roux, 1987).

La région de Laghouat, avec son climat aride, sa faible pluviométrie et son potentiel agricole limité, n'échappe pas à ces problématiques.

L'objectif de ce travail est de contribuer à l'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux d'irrigation (eau des puits de la wilaya de Laghouat, afin de mieux comprendre les risques associés et de proposer des recommandations pour une gestion durable de cette ressource stratégique.

Synthèse bibliographique

I.1 Généralités sur l'eau d'irrigation et la qualité microbiologique de l'eau

L'eau constitue une ressource naturelle indispensable à la vie sur Terre. En agriculture, elle joue un rôle fondamental dans le développement des cultures, en particulier dans les régions arides et semi-arides. L'irrigation est l'une des pratiques agricoles majeures permettant de pallier les déficits hydriques et d'assurer une production stable. Toutefois, la qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est un facteur critique qui peut impacter la santé humaine, la sécurité alimentaire et la durabilité des sols (Roux, 1987).

I.2. L'eau d'irrigation

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 2001), environ 35 à 40 % de la production alimentaire mondiale est issue de terres irriguées, qui ne représentent que 15 % des terres arables. Cette statistique souligne l'importance stratégique de l'irrigation. Elle permet d'intensifier la production agricole, de sécuriser les récoltes et de valoriser des terres autrement improductives, en particulier dans les régions sujettes à la sécheresse (El-Asslouj et al., 2007). L'irrigation joue aussi un rôle de stabilisateur social et économique en milieu rural.

I.3. Paramètres physico-chimiques de l'eau d'irrigation

3.1 Conductivité, salinité, TDS

La conductivité électrique est un indicateur de la concentration totale en sels dissous dans l'eau. Une eau ayant une conductivité supérieure à 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ est généralement considérée comme salée et peut entraîner une salinisation des sols. Les Total Dissolved Solids (TDS) reflètent également cette charge saline. Une salinité excessive altère la structure des sols, réduit l'infiltration de l'eau et provoque un stress osmotique pour les plantes (Kadi, 1997).

3.2 pH

Le pH influence fortement la biodisponibilité des éléments nutritifs dans le sol. Un pH neutre à légèrement alcalin (6,5 à 8,5) est considéré comme optimal pour la majorité des cultures. Un pH trop acide ou trop alcalin peut entraîner la précipitation de certains éléments nutritifs essentiels, comme le phosphore, rendant ces derniers inaccessibles aux plantes (FAO, 2001).

3.3 Nutriments et contaminants

Les concentrations en nitrates, ammonium, phosphates et sulfates sont surveillées car elles peuvent indiquer des apports excessifs issus d'activités agricoles ou domestiques. Les nitrates ($> 50 \text{ mg/l}$) sont particulièrement

préoccupants, car ils peuvent être toxiques pour les cultures et les consommateurs (Bengarnia, 2016). Une concentration élevée en phosphates peut entraîner l'eutrophisation des sols et altérer la microflore.

I.4. Qualité microbiologique de l'eau d'irrigation

4.1 Germes indicateurs

L'évaluation de la qualité microbiologique de l'eau d'irrigation repose principalement sur la recherche de micro-organismes indicateurs de contamination. Les germes totaux à 22 °C **permettent** d'évaluer la charge microbienne globale. Une concentration élevée de germes indique une contamination environnementale et peut être révélatrice d'un apport en matières organiques. **Les** coliformes totaux sont utilisés comme indicateurs de pollution organique, tandis que **les** coliformes fécaux, et plus précisément *Escherichia coli*, sont des marqueurs fiables de pollution d'origine fécale (OMS, 2017). Ces derniers proviennent généralement de rejets d'eaux usées, d'excréments d'animaux ou de ruissellements agricoles.

L'analyse microbiologique inclut également les **streptocoques fécaux** et parfois les entérocoques, qui renforcent le diagnostic d'une contamination fécale récente. La présence persistante de ces germes peut compromettre la salubrité de produits agricoles, en particulier ceux destinés à être consommés crus.

4.2 Risques sanitaires

L'utilisation d'une eau microbiologiquement contaminée pour l'irrigation est un vecteur de transmission **de** pathogènes entériques aux végétaux, notamment dans le cas de cultures à contact direct avec l'eau (salades, herbes aromatiques, fraises). Cette transmission indirecte constitue une voie d'infection pour l'Homme, notamment à travers la consommation de produits mal lavés ou crus. Des épidémies de salmonellose, shigellose, et infections à *E. coli* ont été associées à l'irrigation avec de l'eau contaminée (ONU-Eau, 2020). Ce risque est particulièrement préoccupant dans les régions rurales où les traitements d'eau sont peu fréquents.

Les populations à risque (enfants, personnes âgées, immunodéprimés) sont particulièrement vulnérables à ces infections, qui peuvent provoquer des troubles gastro-intestinaux sévères. Au-delà des conséquences sanitaires, une contamination peut également engendrer des pertes économiques importantes pour les producteurs agricoles, en raison de la destruction de récoltes, des restrictions sanitaires ou du rejet de produits à l'exportation.

4.3 Normes de qualité

Afin de limiter les risques sanitaires, plusieurs organismes ont établi des normes de qualité microbiologique de l'eau d'irrigation. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2017) recommande que l'eau destinée à l'irrigation de cultures consommées crues contienne moins de 100 unités formant colonie (UFC) de coliformes

totaux par 100 ml. **Pour les coliformes fécaux**, la tolérance est encore plus stricte : ils doivent être absents dans les échantillons analysés.

Ces recommandations sont soutenues par le Codex Alimentarius, qui sert de base pour les législations internationales, ainsi que par la **FAO (2011)** qui propose des lignes directrices spécifiques pour l'usage des eaux usées traitées. De plus, certains pays ont adopté des normes encore plus rigoureuses, imposant l'analyse de germes spécifiques tels que *Listeria monocytogenes* ou *Salmonella spp.*, en fonction de l'usage agricole envisagé.

Il est également recommandé de coupler ces analyses à une évaluation du risque sanitaire, prenant en compte le type de culture, le mode d'irrigation (aspersion ou goutte à goutte), et la période entre l'irrigation et la récolte. Ce cadre d'évaluation intégré permet une meilleure gestion des risques microbiologiques tout au long de la chaîne alimentaire.

I.5. Qualité microbiologique de l'eau d'irrigation

4.1 Germes indicateurs

L'évaluation de la qualité microbiologique de l'eau d'irrigation repose principalement sur la recherche de micro-organismes indicateurs de contamination. Les germes totaux à 22 °C permettent d'évaluer la charge microbienne globale. Une concentration élevée de germes indique une contamination environnementale et peut être révélatrice d'un apport en matières organiques. Les coliformes totaux sont utilisés comme indicateurs de pollution organique, tandis que les coliformes fécaux, et plus précisément *Escherichia coli*, sont des marqueurs fiables de pollution d'origine fécale (OMS, 2017). Ces derniers proviennent généralement de rejets d'eaux usées, d'excréments d'animaux ou de ruissellements agricoles.

L'analyse microbiologique inclut également les streptocoques fécaux et parfois les entérocoques, qui renforcent le diagnostic d'une contamination fécale récente. La présence persistante de ces germes peut compromettre la salubrité de produits agricoles, en particulier ceux destinés à être consommés crus.

4.2 Risques sanitaires

L'utilisation d'une eau microbiologiquement contaminée pour l'irrigation est un vecteur de transmission de pathogènes entériques aux végétaux, notamment dans le cas de cultures à contact direct avec l'eau (salades, herbes aromatiques, fraises). Cette transmission indirecte constitue une voie d'infection pour l'Homme, notamment à travers la consommation de produits mal lavés ou crus. Des épidémies de **salmonellose**, **shigellose**, et infections à *E. coli* ont été associées à l'irrigation avec de l'eau contaminée (ONU-Eau, 2020). Ce risque est particulièrement préoccupant dans les régions rurales où les traitements d'eau sont peu fréquents.

Les populations à risque (enfants, personnes âgées, immunodéprimés) sont particulièrement vulnérables à ces infections, qui peuvent provoquer des troubles gastro-intestinaux sévères. Au-delà des conséquences sanitaires, une contamination peut également engendrer des pertes économiques importantes pour les producteurs agricoles, en raison de la destruction de récoltes, des restrictions sanitaires ou du rejet de produits à l'exportation.

4.3 Normes de qualité

Afin de limiter les risques sanitaires, plusieurs organismes ont établi des normes de qualité microbiologique de l'eau d'irrigation. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2017) recommande que l'eau destinée à l'irrigation de cultures consommées crues contienne moins de 100 unités formant colonie (UFC) de coliformes totaux par 100 ml. Pour les coliformes fécaux, la tolérance est encore plus stricte : ils doivent être absents dans les échantillons analysés.

Ces recommandations sont soutenues par le Codex Alimentarius, qui sert de base pour les législations internationales, ainsi que par la FAO (2011) qui propose des lignes directrices spécifiques pour l'usage des eaux usées traitées. De plus, certains pays ont adopté des normes encore plus rigoureuses, imposant l'analyse de germes spécifiques tels que *Listeria monocytogenes* ou *Salmonella spp.*, en fonction de l'usage agricole envisagé.

Il est également recommandé de coupler ces analyses à une évaluation du risque sanitaire, prenant en compte le type de culture, le mode d'irrigation (aspersion ou goutte à goutte), et la période entre l'irrigation et la récolte. Ce cadre d'évaluation intégré permet une meilleure gestion des risques microbiologiques tout au long de la chaîne alimentaire.

I.6. Les ressources des eaux l'irrigation :

6.1. Les eaux de surface :

Les eaux de surface proviennent surtout des pluies, et sont constitué d'un mélange d'eau de ruissèlement et d'eau souterraines, l'eau de pluie qui ne pénètre pas le sol reste à sa surface, elle peut donc s'écouler et former les cours d'eau ou rester stockée lorsqu'un obstacle s'oppose à l'écoulement se qui forme les lacs, les mares, et les étangs.

(Ramdani *et Afifi* ; 2022)

6.1.1. Types des eaux de surface

a. Eaux courantes :

Selon Genin *et al.* (2003). Regrouper toutes les eaux « en mouvement » : sources, torrents, ruisseaux, ruisseaux, ruisseaux, et elles forment un vaste réseau hydrographique qui débouche sur la mer. Ce sont

des milieux ouverts en échange constant avec les systèmes qu'ils traversent

b. Eaux stagnantes :

Caractérisée par un courant de vitesse nulle ou quasi nulle, elles désignent de milieu aquatique dont les eaux se renouvelant lentement ; elle constitue l'ensemble des écosystèmes lentiques (**Ramade, 1998**). Selon **Grosclaude(1999)** Les eaux stagnantes sont situées aux points bas des grilles hydrographiques, non seulement recevant la pollution, mais aussi l'accumulant et la détournant. L'eau qui passe en même temps effectue cette accumulation et cela déplace l'eau qui stagne favorise Sédimentation des particules en suspension et limite l'oxygénation à son minimum admissible par diffusion, éliminant rapidement l'oxygène des eaux profondes.

c. Les lacs :

Selon la (**Terchi, 2014**) Ce sont des volumes d'eau libre superficiel remplissant une dépression naturelle ou Artificielle, sans connexion directe avec les océans et dans lequel le déplacement de l'eau n'est pas unidimensionnel, l'accumulation d'eau douce ou salées dans la cuvette lacustre résulte de la contre pente qui retient l'eau, cette rétention est due soit à un creux de l'écorce terrestre, soit à un barrage naturel ou artificiel.

6.2.Les eaux souterraines

Selon **Ramdani et Afifi (2022)** L'eau souterraine est une eau qui s'accumule sous terre. Elle provient principalement de l'infiltration des eaux superficielles ; accessoirement de la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique dans les cavités karstiques ou dans les pores du sol. Des hypothèses font intervenir aussi la condensation des gaz émis par le magma, l'infiltration des eaux marines, la diagénèse ou transformation des roche meubles en roche compactes par expulsion de l'eau.les eaux résiduelles se sont accumulées dans d'anciens bassins au cours d'ères géologique révolues. Elles formeraient les eaux profondes. Les eaux résiduaires peuvent exister dans les espaces entre les particules libres de la terre et les roches, ou dans les fissures et les crevasses des roches. Les différents types de roches et de terre peuvent contenir différents montants d'eau. La zone des aturation est la partie de la terre et des roches qui est saturée avec de l'eau. Le haut de cette zones adurée est appelé la nappe phréatique

I.7.Le risque de l'eau d'irrigation :

7.1.Risques liés au sodium

La toxicité due au sodium n'est pas aussi facilement identifiable que celle relative au chlore, mais certains cas ont permis de mettre en évidence très clairement des concentrations excessives de sodium dans l'eau (Na ou SAR élevé). (Abdelhafidi, 2005 et Benarfa, 2005).

Selon Abdelhafidi, 2005 et Berkani et al, (2005), les symptômes caractéristiques sont la brûlure foliaire, et la nécrose des tissus situés sur le bord des feuilles. Une teneur en sodium dans le tissu foliaire supérieur

à 0.25 – 0.50% (sur la base du poids sec) est souvent en arboriculture d'une toxicité par le sodium.

D'autres problèmes, pour les récoltes, provoquées par un excès de Na, sont la formation de lit de croute de graines, une saturation temporaire la surface du sol, un ph élevé et une possibilité accrue de présence de maladies, des herbes, d'érosion des sols, de manque d'oxygène et de disponibilité nutritive insatisfaisante.

7.2.Risques liés aux chlorures

Selon la (Nancy, 1997) Lorsqu'il est présent dans l'eau d'irrigation, cet élément (chlorure) contribue à augmenter la concentration de sels solubles. Les concentrations de 250 à 400 ppm sont considérées comme indésirables pour l'irrigation des plantes sensibles aux sels. Heureusement, les sels de chlorure sont rapidement solubles. Ils peuvent donc être lavés dans les sols bien drainés.

I.8.Maladies à transmission d'eau d'irrigation :

Le **Tableau (1)** affirme qu'un risque microbiologique d'origine hydrique (ou risque infectieux) correspond à la présence de microorganismes pathogènes ou potentiellement pathogènes (opportunistes) en quantité supérieure au seuil d'infection fixé par L'OMS.

Tableau 1: Maladies à transmission de l'eau d'irrigation

Nom des maladies	Définition	les symptômes
<i>Cholera</i>	selon Tourab (2013) et Oussama et Khaled (2018) . C'est une maladie à transmission or fécale due par <i>Vibrio cholerae</i> qui libère une exotoxine thermolabile et entraîne une hypersécrétion d'eau. est un Maladie contagieuse d'origine bactérienne qui provoque des infections intestinales aiguës .Cette maladie est causée par <i>Vibrion cholera</i>	diarrhées fréquentes, vomissements incontrôlables, soif intense et une déshydratation rapide. Cette maladie peut entraîner la mort dans 80% des cas graves non traités. Le cholera conduit à une perte d'eau de 8 à 10L/j
	des salmonelles (<i>salmonella typhus</i> et <i>paratyphus</i>), peuvent à partir de l'intestin envahir les tissus de l'hôte	élevée, une céphalée, diarrhée, douleurs abdominales abattement extérieur (<i>le typhus</i>)

<i>Shigellose</i>	Selon la Jacquinet et al. (2018) La <i>shigellose</i> est provoquée par des bactéries du genre <i>Shigella</i> , des bactéries immobiles à gram négatif, capables de produire des toxines.	Les <i>shigelles</i> sont responsables de toute une variété de signes cliniques allant de la diarrhée aqueuse légère, jusqu'à la dysenterie sévère. Elles sont résistantes aux effets destructeurs des acides facilite la propagation digestive infraliminale de la bactérie. (Ntembue ,2013)
-------------------	---	--

I.9. Les normes algériennes de l'eau irrigation :

9.1. Les normes physico-chimiques et les éléments toxiques de l'eau d'irrigation :

Les normes physico-chimique et éléments toxiques :

Selon le Journal Officiel de la République Algérienne Populaire et Démocratique n°41 (15/07/2012), certains paramètres physiques et concentrations d'éléments toxiques sont résumés dans le tableau suivant

Tableau 2 : Journal officiel de l'Association de développement régional n° 41 du 15/07/2012

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	ds/m	0.2
	= 0 - 3 CE		0.3
3 - 6		0.5	
6 - 12		1.3	

	12 - 20 20 - 40		3
Chimiques	DBO5	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
Eléments toxiques (*)	Aluminium	mg/l	20.0
	Arsenic	mg/l	2.0
	Béryllium	mg/l	0.5
	Bore	mg/l	2.0
	Cadmium	mg/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	0.002
	Phénols	mg/l	2.5
	Plomb	mg/l	0.01
	Lithium	mg/l	2.0
	Manganèse	mg/l	1.0
	Mercure	mg/l	15.0
	Molybdène	mg/l	0.002
	Nickel	mg/l	2.5
	Sélénium	mg/l	0.01
	Vanadium	mg/l	2.0
Zinc	mg/	1.0	

9.2. Les normes de l'OMS et FAO

Selon la (F.A.O ; 2003) la concentration maximale des paramètres chimiques de l'eau d'irrigation sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 3: l'élément maximal dans l'eau d'irrigation :

Paramètre	Concentration en (mg/l)
Ph	6,5 à 8,5
Conductivité électrique ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	<3000*
DBO5	30*
DCO	120*
MES	30*
Température ($^{\circ}\text{C}$)	35 **
Ca ²⁺	400**
Mg ²⁺	60**
Na ⁺	220**
Hco ₃ ⁻	610**
Cl ⁻	1065**
So ₄ ²⁻	960**
Co ₃ ²⁻	3**
No ₃ ²⁻	10-30**
No ₂ ⁻	<1*
NH ₄	5**
Po ₄	2**
K ⁺	2**
Fe ²⁺	5**
Zn	2**
Pb	0,05**

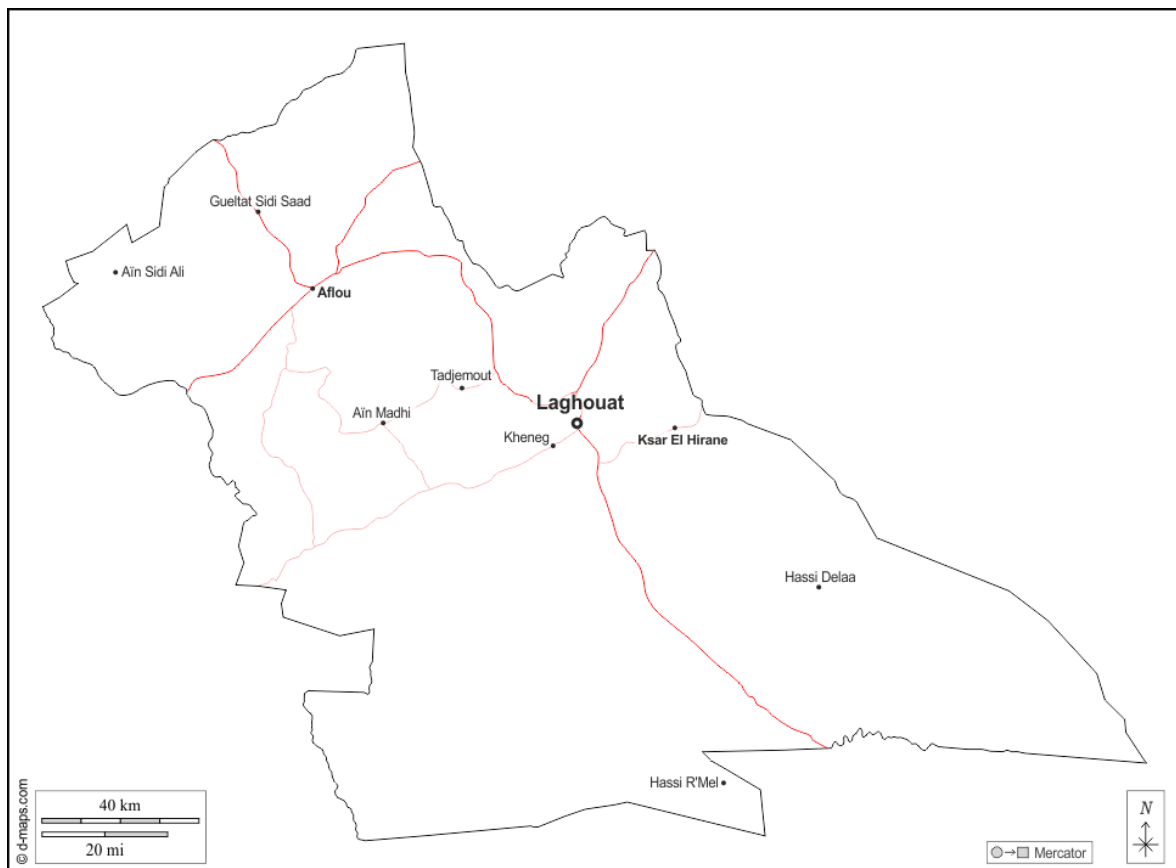
Source : *OMS(1989), **FAO(2003)

Matériels et Méthodes

II .Présentation de la région d'étude

La wilaya de Laghouat est située au cœur du pays à 400 km au sud de la capitale Alger, la wilaya s'étend sur une superficie de 25.052 km². Située à plus de 750 mètres d'altitude sur les hauts plateaux, la wilaya de Laghouat est traversée par la chaîne de l'Atlas Saharien avec des sommets qui dépassent les 2.000 mètres ("Djebel AMOUR" 2.200 mètres).

Laghouat est limitée au Nord et à l'Est par la Wilaya de Djelfa, au Nord-Ouest par les Wilayas de Tiaret et El Bayad et au Sud par la wilaya de Ghardaïa.



Source : CDF, (2025).

Figure 1 : Carte de la wilaya de Laghouat.

II .2.Considération bioclimatique:

2.1.Le climat:

Pour caractériser l'état climatique de la région d'étude et mettre en évidence les impacts probables de ces facteurs sur la bio écologie des organismes vivants, on a pris en considération les observations homogènes sur une période de 12 ans (du 2010 à 2024) recueillies au niveau de la station météorologique d'El kheneg (**Onm, 2025**).

- **Température:**

La température est l'un des éléments importants pour la caractérisation du climat. Nous constatons que les températures les plus basses sont enregistrées durant le mois de janvier avec une température de 7.91 °C. Le mois de juillet devient plus chaud avec une moyenne de 32.25°C.

Tableau 4. Moyennes mensuelles et annuelles des Températures de la station de Laghouat.(2010 à 2024.)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	M(°C)
M(°C)	7,91	9,56	13,73	17,12	22,37	27,17	32,25	30	25,01	19,5	12,51	8,78	18,82

Source : ONM, (2024).

- **Les Précipitations:**

A partir des données enregistrées sur une période de 12ans (2010-2024) ; Les précipitations moyennes annuelles sont d'environ 168,95 mm Les mois septembre et et octobre sont les plus pluvieux avec des moyennes de 27,48 et 27,63 mm respectivement. On enregistre une valeur faible au mois de juillet avec 5,56 mm.

Tableau 5. Moyennes mensuelles et annuelles des précipitations du (2010 -2024).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Cumul
P (mm)	10,62	7,42	12,52	22,92	10,09	8,93	5,56	13,53	27,48	27,63	10,94	11,31	168,95

Source : ONM, (2024).

2.2.Synthèse climatique:

- **Diagrammes Ombrothermiques:**

Le diagramme ombrothermique permet de représenter les éléments du climat d'une région du point de vue précipitations et températures pendant une période donnée et permet également de préciser les périodes sèches et humides (**Dajoz, 1985**).

D'après (**Dajoz, 1975**), la sécheresse s'établit lorsque la pluviosité mensuelle (**P**) exprimée en mm est inférieure au double de la température moyenne exprimée en degrés Celsius (**P (mm) < 2T (°C)**).

Le diagramme ombrothermique de la région de Laghouat (Fig.5 ») pour la période allant de 2008 jusqu'à 2020, fait apparaître une seule période sèche s'étalant sur les 12 mois de l'année.

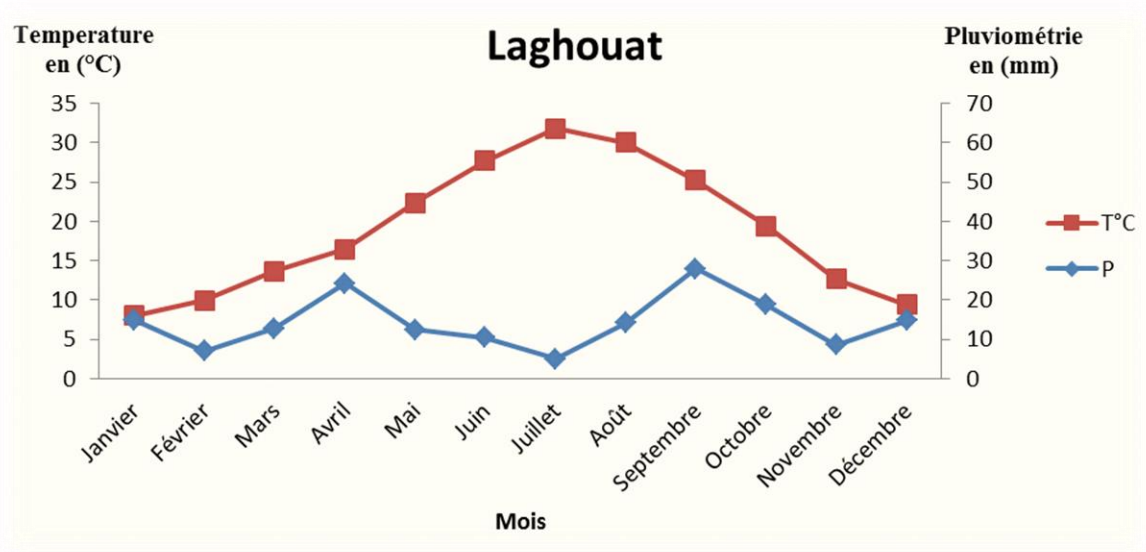


Figure 2: Diagramme ombrothermique de Gausson de la région de Laghouat.

II .3.Description des Sites de l'étude

Elkhneg

Situé en périphérie de l'oasis de Laghouat, ce site est marqué par un élevage pastoral extensif. L'eau est prélevée à partir de puits traditionnels, souvent de faible profondeur et sensibles à la contamination microbiologique.

Nacer

Ben

Chohra

Zone d'agriculture irriguée, principalement céréalière et arboricole. Les eaux souterraines sont utilisées de manière régulière et présentent une minéralisation modérée, avec une pérennité de la ressource hydrique.

Tawenza

Région agricole sèche soumise à une forte évaporation. Les eaux sont très minéralisées (conductivité très élevée), indiquant une salinité importante due à des apports géologiques ou à l'usage intensif d'engrais.

ElMilagh

En bordure de piémont saharien, ce site présente des affleurements de roches évaporitiques. L'eau des puits est riche en sulfates, ce qui influence les propriétés physico-chimiques globales, notamment la turbidité

KsarElHiran

Oasis mixte agricole et d'élevage. Les eaux présentent une dureté calcaire élevée, avec des concentrations de calcium très supérieures aux normes, résultat d'une influence géologique marquée.

Tableau 6: Caractéristiques comparatives des sites d'étude

Site	Type d'activité dominante	Qualité des eaux	Spécificités géochimiques principales
Elkhneg	Pastoralisme	Moyenne à médiocre (risque microbien)	Contaminations ponctuelles ; puits traditionnels
Nacer Ben Chohra	Agriculture irriguée	Bonne à moyenne	Eaux souterraines modérément minéralisées

Site	Type d'activité dominante	Qualité des eaux	Spécificités géochimiques principales
Tawenza	Agriculture contraignante	Mauvaise (très salée)	Conductivité > 25 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; forte salinité
El Milagh	Agriculture de piémont	Moyenne à élevée	Sulfates élevés liés à la géologie (roches gypseuses)
Ksar El Hiran	Mixte : agriculture + élevage	Moyenne (très calcaire)	Dureté très élevée ; calcium > 1700 mg/l

II .4.Méthodologie :

4 .1.Méthode de prélèvement de l'eau

Le prélèvement consiste à réaliser un échantillon représentatif d'une colonne d'eau, d'un litre et demi d'eau brute de surface dans une bouteille en plastique

4.2.Analyses physico-chimiques






En vue de la caractérisation de la qualité de l'eau de 7 sites prospectés, nous nous sommes intéressés à sept paramètres physico-chimiques. Il s'agit de : la température, le pH, la conductivité électrique, la TDS, la salinité, Résidu sec (RS) ; les nitrites, les nitrates et Bicarbonate (Hco_3)... Ces paramètres ont été étudiés au niveau du laboratoire de l'Algérienne des Eaux (Laghouat). Les détails concernant tous ces paramètres sont notés dans le tableau ci-dessous.

4.2.1/Matériel utilise :

Pour l'étude de la qualité physicochimique

- **Matériel utilisé** les matériel utilisée présentée dans le tableau 07

Tableau 7: Matériel utilisé pour l'étude de la qualité physicochimique.

Appareillages	Photo
Conductimètre (Portable Parallèle Analyzer multiple paramètre) (HACH COMPANY)	
pH- mètre	
Turbidimètre	
Spectrophotomètre UV/Visible	
photométrie flamme	

Balance analytique.



4.3..Méthode Analyse bactériologique :

Selon **Rodier (2005)** L'analyse bactériologie a pour but la recherche et les dénombrements des germes existants dans les échantillons d'eau à analyser. Il faut signaler qu'un examen bactériologique ne peut être interprété que s'il est effectué sur un échantillon correctement prélevé dans un récipient stérile, selon un mode opératoire précis évitant toutes les contaminations accidentelles, correctement transporté au laboratoire et conservé et analysé sans délai ou après une courte durée de conservation dans des conditions satisfaisantes.

Les bactéries présentes dans l'eau d'irrigation varient et diffèrent, ce qui détermine sa qualité. Par conséquent, nous effectuons de nombreuses analyses complètes de l'eau d'irrigation, des recherches et dénombrements pour déterminer la qualité microbiologique de l'eau selon les bactéries :

Germe totaux ,Coliforme totaux,Coliforme fécaux ;Streptocoques fécaux

4.3.1.Transport et conservation au laboratoire

Afin d'éviter que le taux initial en germes des eaux ne risque de subir des modifications dans le flacon, toutes les analyses sont effectuées le plus rapidement possible. L'évolution est difficile à prévoir et dépend de nombreux facteurs. A cet effet, la circulaire du 21 janvier 1960, relative aux méthodes d'analyses bactériologiques des eaux d'alimentation spécifie que «si la durée du transport dépasse 1 heure, et si la température extérieure est supérieure à 10°C, les prélèvements seront transportés dans des glacières dont la température doit être comprise entre 4 à 6 °C. Même dans de telles conditions, l'analyse bactériologique doit débuter dans un délai maximal de 8 heures, après le recueil des échantillons. Si

exceptionnellement l'analyse doit être reportée, il faut entreposer les échantillons à 4 °C (RODIER *et al.* 2005). Après prélèvement, les échantillons sont transportés aseptiquement à la température de 4°C dans des isothermes à l'obscurité pour assurer une conservation satisfaisante (LARPENT, 1997)

4.3.2. Matériel utilisé :

Pour l'étude de la qualité bactériologique, nous avons utilisé l'appareillage, les milieux de cultures et les produits (**Tab08.**)

Tableau 8 : Matériel utilisé pour l'étude de la qualité bactériologique.

Appareillages	Les milieu de culture	Les réactifs et les colorant utilisées	Autres materiel
-Autoclave. -Etuve. -Réfrigérateur. - Bain maries	Bouillon (BCPL) - Bouillon Roth -Gélose Tryptone Extrait de levure (TGEA) -Bouillon Ethyle Violet-Azide de sodium Litsky (EVA Litsky), - Gélose Viande de foie (VF) -milieu de Schubert	-L'alcool. -Réactifs de kovacs. -Sulfite de sodium. - Eau physiologie stérile - eau distillée stérile	-Bec bunsen. - Boite de pétri stérile. -Etiquette. -Micropipette. -Tubes à d'essai Sterile. - Glacier. - le cloche de Durham

4.3.3 .Méthode d'analyse :

4.3.3 .Détermination des germes totaux

Mode opératoire

- A partir de l'eau à analyser, porter 1 ml de manière aseptique dans deux boîtes de Pétri vides en double, numérotées et préparées à cet effet,
- Ajouter ensuite 19 ml de gélose TGEA fondue et refroidie à 45 ± 2 °C, puis faire un mouvement circulaire de va-et-vient dans la figure 8 pour mélanger l'inoculum avec la gélose, laisser la boîte se solidifier sur la pailleuse, puis ajouter la deuxième couche environ

5 ml de même d'agar. Les tablettes seront divisées en deux séries distinctes:

- La première série sera incubée pendant 24 heures à 22 °C.
- La deuxième série sera incubée pendant 24 heures à 37°C.

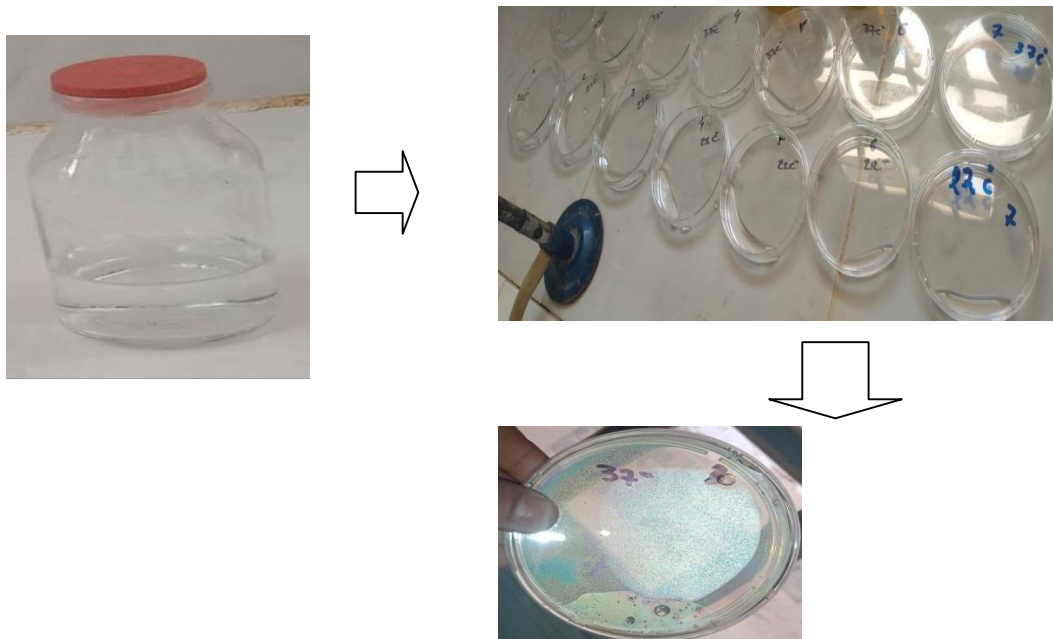


Figure 3 Détermination des germes totaux

4.3.4. Recherche dénombrement des coliformes totaux et fécaux :

- Les coliformes totaux désignent les bacilles à Gram négatif Bactéries aérobies ou anaérobies facultatifs qui ne forment pas de spores manquent d'enzymes oxydas et peuvent se reproduire en présence de sels biliaires et est capable de fermenter le lactose et de produire des acides et des gaz en 24 heures à 37 °C.
- Les coliformes fécaux ont les mêmes propriétés que les coliformes totaux, mais à 44°C.
- *Escherichia. Coli* est un coliforme fécal ayant la spécificité de produire de l'indole à partir du tryptophane présent dans le milieu à 44 °C.
- La technique utilisée pour la recherche et le dénombrement dans le laboratoire est la **NPP** (*Nombre le Plus Probable*), dans un milieu liquide sur *BCPL* « Le bouillon lactose au pourpre de bromocrésol »
- La Technique en milieu liquide sur *BCPL*, fait appel à deux tests consécutifs à savoir :
 - **Le test de présomption** ; réservé à la recherche des *coliformes totaux*

- **Le test de confirmation** ; encore appelé test de *MAC KENZIE* et réservé à la recherche des *Coliformes fécaux* à partir des tubes positifs du test de présomption. (RODIER 2009).

a. Test de présomption :

Ensemencement :

- Prendre de fois 10 ml de l'eau d'analyse dans 2 tubes contenant 10 ml BCPL D/C muni d'une cloche de Durham.
- prendre de fois 1 ml de l'eau d'analyse dans 2 tubes contenant 10 ml BCPL S/C muni d'une cloche de Durham.
- prendre de fois 0.1ml de l'eau d'analyse dans 2 tubes contenant 10 ml BCPL S/C muni d'une cloche de Durham.
- et le milieu et l'inoculum doivent être soigneusement mélangés .secouez le tube pour dégagement les gaz existant autour le cloche de Durham
- L'incubation à 37°C pendant 24 h.
- Un tube montrant à la fois
- Dégagement de gaz (supérieur à 1/10 de la hauteur de la cloche).
- Perturbation microbienne avec jaunissement du milieu BCPL (c'est un indicateur de la fermentation du lactose présent dans le milieu). Ces deux caractéristiques témoignent de la fermentation du lactose selon les conditions d'opérateurs.
- Les lectures : par le tableau de nombre le plus probable (NPP) du tableau de Mac Grady pour des échantillons de 100 ml.
- **B Test de confirmation**

Le test de confirmation ou test de Marc Kenzi est : utilisé pour la recherche des coliformes fécaux surtout la présence d'*Escherichia Coli*.

- Prendre les tubes de BCPL positifs repiquage 3 gouttes dans un tube contient du milieu de Schubert muni d'une cloche de Durham

- l'incubation à 37°C pendant 24 h.
- Après l'incubation, on note la présence de gaz autour la cloche
- Ajouter 2à 3 goutte de Kovacs par tube l'interaction indole positive (un anneau rouge en surface), présence Escherichia Coli.
- La lecture le nombre d'E. coli par la table du NPP.

4.3.5. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux :

a. Test de présomption :

Prendre de fois 10 ml de l'eau d'analyse dans 2 tubes contenant 10 ml milieu de Roth D/C. prendre de fois 1 ml de l'eau d'analyse dans 2 tubes contenant 10 ml milieu de Roth S/C. prendre de fois 0.1ml de l'eau d'analyse dans 2 tubes contenant 10 ml milieu de Roth S/Cet le milieu et l'inoculum doivent être soigneusement mélangés.

L'incubation à 37°C pendant 24 h.

Les lectures : par le tableau de nombre le plus probable (NPP) du tableau de Mac Grady pour des échantillons de 100 ml.

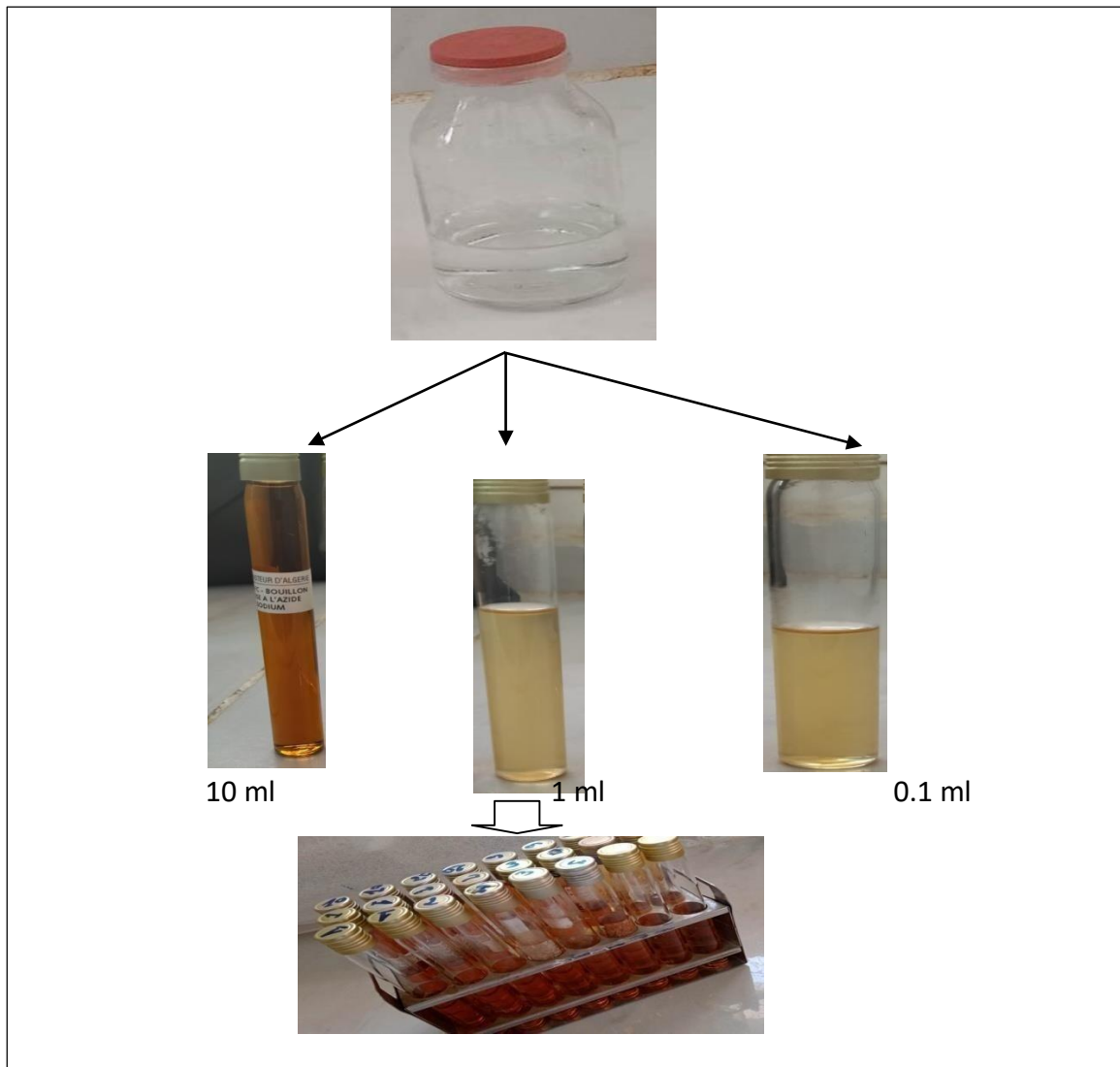


Figure 5: Test de présomption des Streptocoques fécaux

b. Test de confirmation :

Le test de confirmation ou test de Marc Kenzi est : utilisé pour la recherche des Streptocoques fécaux .

- Prendre les tubes de Roth positifs repiquage 3 gouttes dans un tube contient du milieu de EVALitsky mélange bien le milieu.
- l'incubation à 37°C pendant 24 h.

Résultats et DESCUSSION

III .Résultats et Discussion

Pour évaluer la qualité physico-chimique de l'eau des puits dans notre zone d'étude, nous avons relevé les valeurs de plusieurs paramètres essentiels, offrant ainsi un aperçu représentatif de l'état de cette ressource. La diversité typologique des sites explorés a permis de mettre en évidence d'éventuelles variations spatiales, révélant des différences notables entre les points d'échantillonnage. L'analyse des données physico-chimiques de cinq sites révèle des variabilités importantes

Tableau 9: Variations des paramètres physicochimiques de l'eau dans quelques puits des sites prospectée.

	Elkhne	Nacer	Tawen	El	Ksar
	eg	ben	za	mila	el
		chohra		gh	hiran
Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	4550	1690	4679	4677	1309
Minéralisation (mg/l).	3451	1282	1969	3548	993
TDS	2381	847	1322	2450	650
Salinité (mg/l).	2,3	0,8	1,3	2,4	0,6
T°	12,1	12	12,3	12,3	12,6
PH	7,66	7,64	8,17	7,39	7,81
Turbidité (NTU)	0,559	0,178	0,198	0,61	0,447
Calcium (mg/l)	152,3	320,62	264,5	268,	1727,
Sulfate (mg/l)	307,0	361,3	360,33	429,	226,7
bicarbonate	210,8	210,7	158,1	210,	158,1
nitrate (mg/l)	32,8	20,4	54,3	25,9	18,6

Ammonium (mg/l)	0,1	0,12	0,08	0,11	0,09
phosphates (mg/l)	0,46	0,54	0,21	0,04	0,01
Nitrites (mg/l)	0	0,01	0,01	0,01	0
Sodium (mg/l)	25,5	13	11	38,6	17,2
Potassium (mg/l)	3,7	1,4	3	1,9	1,1

III .1. Conductivité, Minéralisation, TDS et Salinité

- Tawenza affiche une conductivité très élevée (4679 $\mu\text{S}/\text{cm}$), traduisant une forte minéralisation (1969 mg/l), malgré un TDS et une salinité modérés (1,3 mg/l). Cela indique probablement une eau fortement chargée en ions dissous, d'origine géologique.
- Elkhneg et El Milagh ont également des valeurs élevées ($\approx 4500 \mu\text{S}/\text{cm}$), suggérant une salinité plus importante et une eau dure.
- Ksar el Hiran 2 est le site le moins minéralisé, avec des valeurs de conductivité et TDS relativement faibles.

III .2 pH et Température

- Tous les sites ont un pH légèrement alcalin ($\approx 7,4 - 8,2$), ce qui est compatible avec une eau calcaire riche en bicarbonates.
- Les températures sont similaires ($\sim 12 - 12,6 \text{ }^\circ\text{C}$), ce qui suggère un échantillonnage homogène sur le plan temporel.

III .3. Turbidité

- El Milagh (0,611 NTU) et Elkhneg (0,559 NTU) ont une turbidité relativement plus élevée, possiblement liée à des matières en suspension, matières organiques ou argileuses.

Ions majeurs

- Calcium est particulièrement élevé à Ksar el Hiran 2 (1727 mg/l), indiquant une forte dureté calcaire, bien au-delà des normes OMS.
- Sulfates culminent à El Milagh (429 mg/l), traduisant potentiellement un lessivage de roches évaporitiques ou une pollution industrielle.
- Bicarbonates sont homogènes à ~210 mg/l sauf à Tawenza (158 mg/l), qui pourrait être plus influencé par d'autres anions.

III.4.Éléments traces et nutriments

- Nitrates sont très élevés à Tawenza (54,3 mg/l), indiquant une probable pollution d'origine agricole ou domestique.
- Ammonium et nitrites restent faibles dans l'ensemble, suggérant peu de contamination fraîche par les rejets organiques.
- Phosphates sont légèrement élevés à Elnacer ben ch (0,54 mg/l) et Elkhneg (0,46 mg/l), pouvant traduire des apports anthropiques (engrais ou eaux usées).
- Sodium atteint un maximum à El Milagh (38,6 mg/l), ce qui peut refléter une salinisation progressive ou un lessivage naturel.
- Potassium reste faible dans tous les sites.

Tawenza et El Milagh montrent des signes de pollution organique et minérale avancée.

Elkhneg présente des caractéristiques intermédiaires, mais avec des traces de phosphates et nitrates.

Ksar el Hiran est moins chargé globalement, mais très riche en calcium.

Elnacer ben ch présente une minéralisation modérée, avec des apports possibles en phosphates.

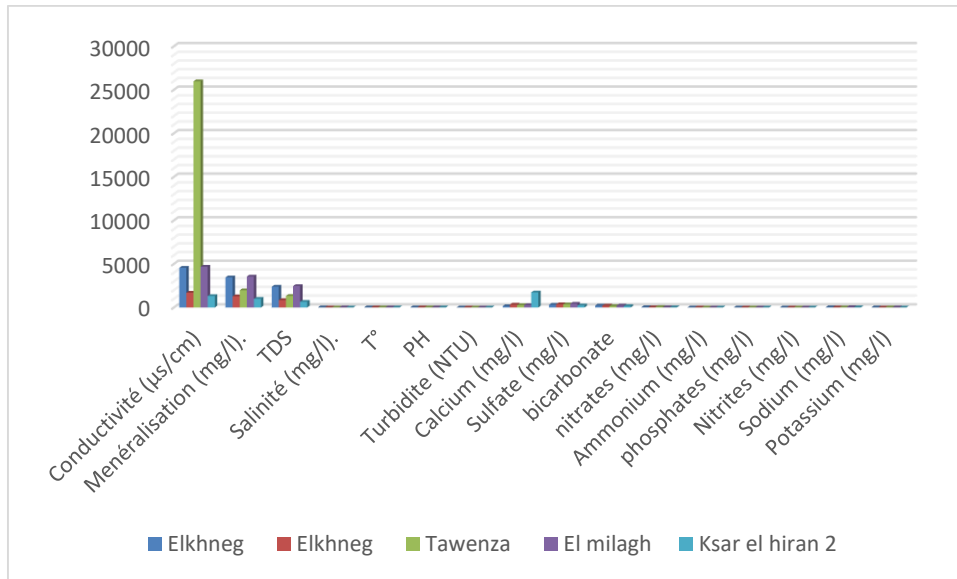


Figure 6 Variations des paramètres physicochimiques de l’eau des sites prospectée.

III.5.Résultats de la qualité bactériologique des échantillons d’eaux des puits collectés

Les résultats présentés dans la figure (7) montrent qu’environ 60 % des eaux de puits sont de bonne qualité bactériologique. Tandis que, 40 % des puits de mauvaise qualité bactériologique donc ne peuvent servir à la consommation humaine.

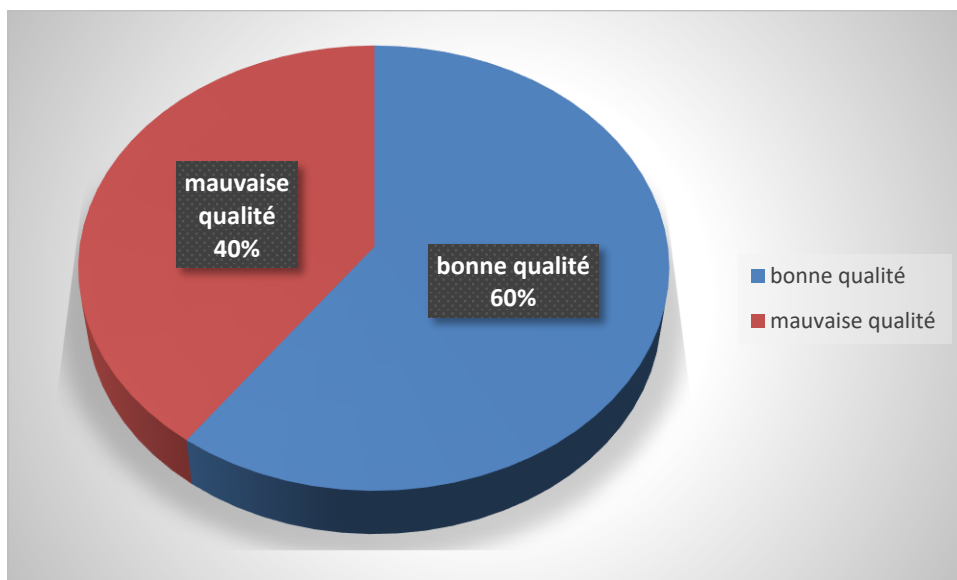


Figure 7 : Qualité bactériologique de l’ensemble des échantillons d’eau collectés

III.5.1.La présence des bactéries recensées par site :

Les résultats de l'isolement des bactéries sur les échantillons d'eau pour 5 puits a permis de déterminer s'il y avait ou non des souches bactériennes au niveau de déférente puits. Nous notons que sur les 5 puits prospectés sont infectées et présentent des niveaux différents d'infection

Tableau 10: La présence des bactéries recensées par site

Paramètre de bactérie	Elkhneg	Tawen za	El milagh	Ksar el hiran	Nacerben chohra
germe totaux (UFC /100 ml)	-	+	+	+	+
Coliformes totaux à (UFC /100 ml)	+	+	-	-	-
Coliformes fécaux à (UFC /100 ml)	+	+	-	-	-

III.5.2Analyses bactériologiques

Evaluation de la contamination globale des échantillons de l'eau étudiés par les germes recherchés L'évaluation de la contamination globale de l'eau, par les différents germes dénombrés (flores aérobie mésophile totale (germe totaux), Coliformes totaux et fécaux, Streptocoques, consignés dans le tableau.

Tableau 11: Dénombrement des flores bactériennes par échantillon

	Elkhneg	Tawenza	El milagh	Ksar el hiran	Nacerb en chohra	Elkhneg
<i>germe totaux</i> à 22°C	0	102	23	24	40	30
Coliformes totaux à (UFC /100 ml)	30	26	0	0	0	14
Coliformes fécaux à (UFC /100 ml)	13	0	0	0	0	0
<i>Streptocoques fécaux</i> à 37°C	0	0	0	0	0	0

D'après le tableau 11 et la figure 8, le germe total (flore aérobie mésophile totale) est la flore prédominante pour tous les échantillons avec une valeur de contamination maximale de 102 UFC/ml, dans la région Tawenza.

Germes totaux à 22°C (UFC/100 ml)

Tawenza (102) → Au-dessus du seuil acceptable (100 UFC/100 ml) → contamination environnementale significative.

Elkhneg (30), El Milagh (23), Ksar (24), Nacer Ben Chohra (40) → valeurs modérées, mais inférieures au seuil.

Elkhneg (0) (1^{re} mesure) → eau claire du point de vue environnemental.

Coliformes totaux (UFC/100 ml)

- Elkhneg (30) → très au-dessus du seuil tolérable (0 UFC/100 ml selon OMS) → contamination biologique probable.
- Tawenza (26), El Milagh (16), Elkhneg bis (14) → non conformes.
- Ksar et Nacer Ben Chohra : aucune contamination détectée.

Coliformes fécaux (UFC/100 ml)

Seul Elkhneg (13) → présence de contamination fécale directe (eau non potable).

Tous les autres sites : absence de coliformes fécaux.

Streptocoques fécaux

Tous les sites : valeurs nulles → absence apparente de contamination fécale humaine ou animale.

Elkhneg est non conforme en raison de coliformes fécaux → eau impropre à la consommation.

Tawenza présente une flore microbienne importante, sans trace fécale → nécessite traitement.

Ksar El Hiran et Nacer Ben Chohra sont conformes aux normes de potabilité.

Suivi et désinfection recommandés pour tous les autres sites.

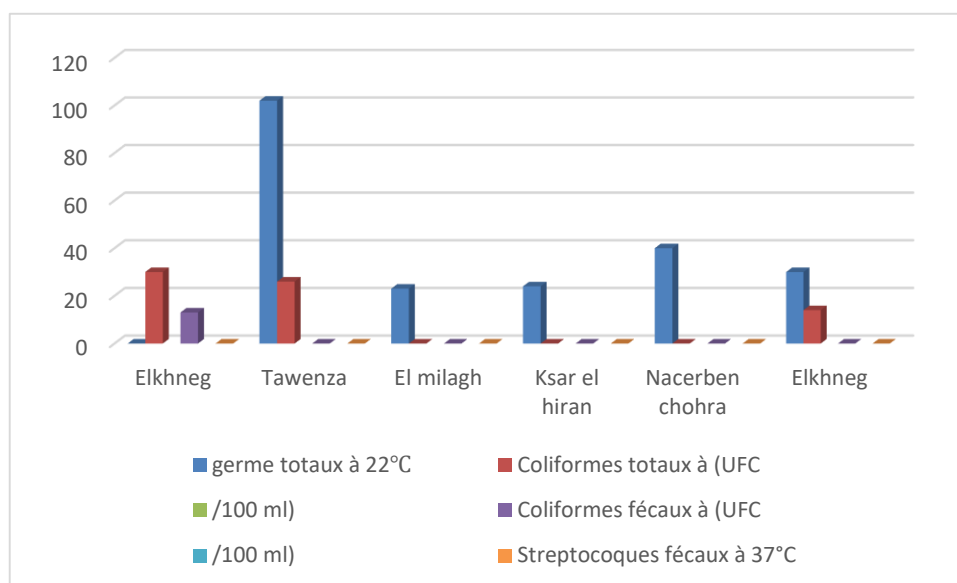


Figure 8: Evaluation de la contamination globale de l'eau étudiée

III.5.2.1 Germes totaux :

Les résultats relatifs aux germes totaux à 22 °C révèlent une charge microbienne variable selon les sites. **Tawenza** enregistre la valeur la plus élevée avec **102 UFC/100 ml**, suggérant une activité microbienne importante, potentiellement liée à des apports organiques ou à une stagnation de l'eau favorable à la prolifération bactérienne. Les autres sites présentent des charges

plus modérées : **Nacerben** (40), **Chohra** (30), **Ksar El Hiran** (24) et **El Milagh** (23). En revanche, Elkhneg montre une absence totale de germes totaux à 22 °C, ce qui peut refléter une meilleure qualité de l'eau ou des conditions environnementales moins favorables à la croissance microbienne à cette température. Ces données soulignent la nécessité d'un suivi microbiologique **régulier** dans les sites à forte charge, notamment Tawenza, pour prévenir tout risque sanitaire lié à la consommation ou à l'usage de cette eau.

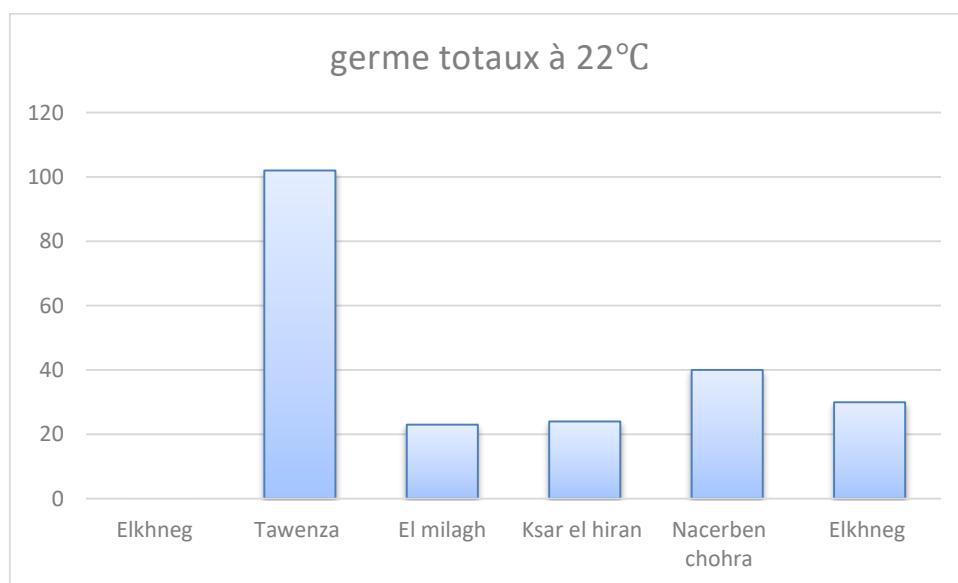


Figure 9 : Dénombrement des germes totaux des échantillons d'eau

III.5.2.2 coliformes fécaux

Les résultats montrent que la contamination par les coliformes fécaux est exclusivement détectée à Elkhneg avec une concentration de **13 UFC/100 ml**, tandis que tous les autres sites (Tawenza, El Milagh, Ksar El Hiran, Nacerben, Chohra) présentent une absence totale de **coliformes fécaux**. Cette présence à Elkhneg indique une pollution fécale directe, probablement liée à des rejets d'eaux usées non traitées, à une infiltration de matières organiques animales ou humaines, ou à une mauvaise gestion des ressources hydriques. L'absence de contamination dans les autres sites suggère une meilleure protection des points **d'eau**, ou un éloignement des sources de pollution. Cette situation met en évidence la **nécessité** d'une intervention ciblée à Elkhneg pour éviter les risques sanitaires liés à la consommation d'eau contaminée.

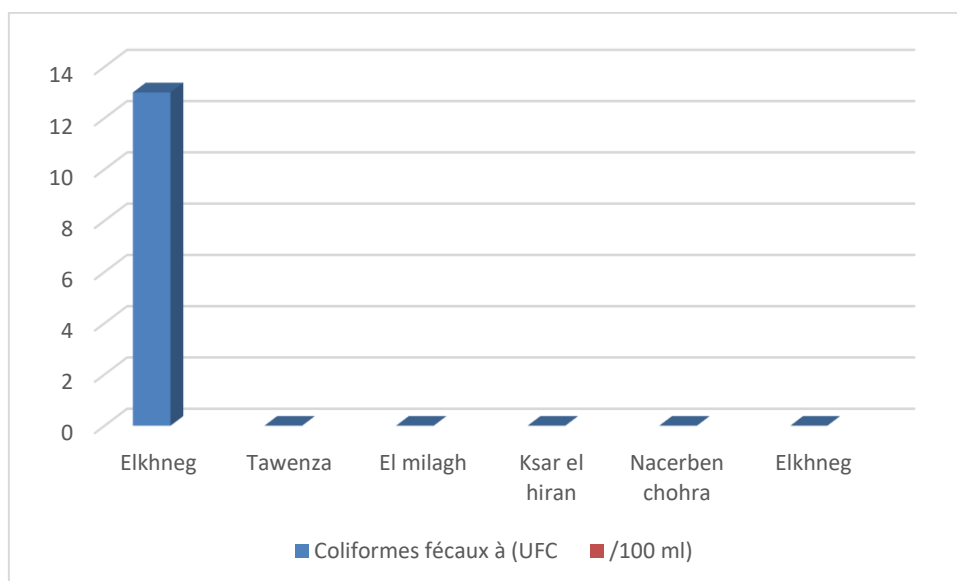


Figure 10 : Dénombrement des coliformes fécaux

III.5.2.3.coliformes totaux

Les résultats relatifs à la contamination en coliformes totaux (exprimés en UFC/100 ml) montrent une variabilité marquée entre les sites étudiés. Les stations de **Elkhneg** et **Tawenza** présentent les niveaux les plus élevés de contamination, avec respectivement **30** et **26 UFC/100 ml**, indiquant une probable pollution d'origine fécale ou une mauvaise qualité hygiénique de l'eau. En revanche, **El Milagh**, **Ksar El Hiran**, et **Nacerben** ne présentent aucune trace de coliformes totaux, ce qui suggère une meilleure qualité de l'eau ou une source moins exposée à la contamination. **Chohra** montre une contamination modérée (14 UFC/100 ml), ce qui reste préoccupant mais moins alarmant comparé aux deux premiers sites. Ces disparités pourraient s'expliquer par des différences dans la gestion des eaux usées, l'utilisation des sols environnants, ou encore la proximité de sources de pollution.

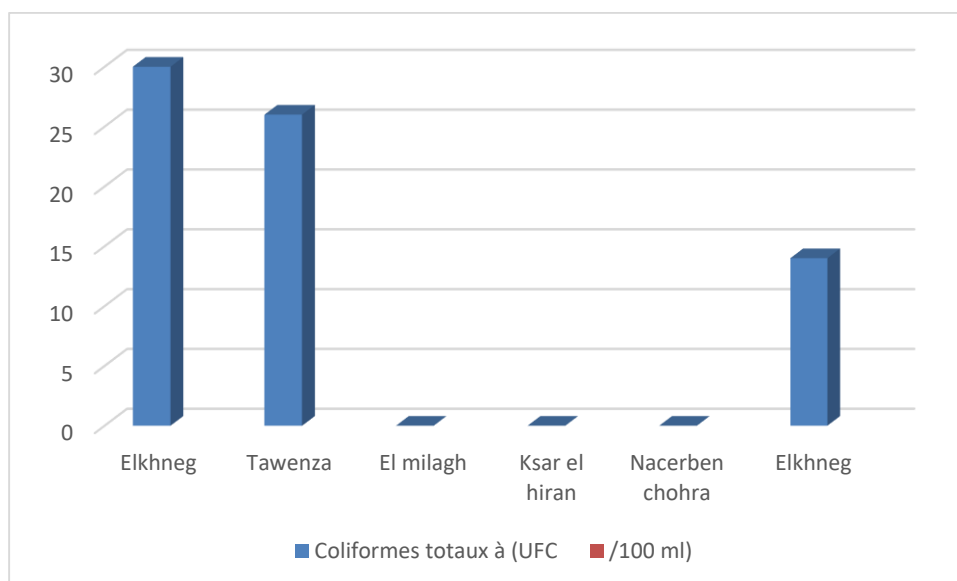


Figure 10 : Dénombrement des coliformes totaux

Conclusion

L'étude menée sur la qualité des eaux de puits dans plusieurs localités de la région (Elkhneg, Tawenza, El Milagh, Ksar El Hiran et Nacer Ben Chohra) a permis de dresser un état des lieux à la fois physico-chimique et bactériologique de cette ressource vitale. Les résultats révèlent une forte hétérogénéité entre les sites, avec certains, comme Ksar El Hiran, affichant une composition calcaire marquée (très forte teneur en calcium), tandis que d'autres, comme Tawenza et El Milagh, montrent des signes évidents de pollution minérale et organique (nitrates élevés, conductivité importante, germes totaux en excès). Du point de vue bactériologique, Elkhneg est le site le plus préoccupant, avec des contaminations par coliformes totaux et fécaux, le rendant impropre à la consommation sans traitement préalable. En revanche, les sites de Ksar El Hiran et Nacer Ben Chohra présentent une eau globalement conforme aux normes, tant sur le plan chimique que microbiologique. Ces résultats mettent en évidence l'impact possible des activités humaines (agriculture, rejet d'eaux usées, gestion des sols) sur la qualité de l'eau souterraine.

Perspectives

- Surveillance régulière : Il est impératif d'établir un programme de suivi périodique de la qualité de l'eau pour prévenir toute dégradation future et réagir rapidement en cas de contamination.
- Mise en place de traitements appropriés : Des systèmes de filtration, désinfection (UV, chloration) ou dénitrification devraient être envisagés dans les zones à risque (Elkhneg, Tawenza).
- Sensibilisation des populations locales : Des campagnes d'information devraient être menées afin d'encourager les bonnes pratiques agricoles et l'utilisation responsable des puits.
- Élargissement de l'étude : Il serait pertinent d'étendre cette investigation à d'autres localités avoisinantes pour établir une carte régionale de vulnérabilité hydrique.
- Approfondissement des analyses : Des études complémentaires, incluant la recherche de métaux lourds, de pesticides ou d'agents pathogènes spécifiques, permettraient d'obtenir un diagnostic encore plus complet.

Références bibliographiques

REFERANCE BIBLIOGRAPHIQUES

- **A. Beyragued, A. Boudiaf, 2017.** Contribution à la connaissance de la qualité des eaux souterraines de la basse vallée de la Soummam-Bejaia. Mémoire de fin d'études, Master en Hydraulique urbaine, Université de M'sila.
- **Abdeselem A., 1999.** Suive De La Qualité Microbiologique Et Physicochimique
- **Adnane. F, 2015.** Etude de la qualité des eaux de surface destinées à l'irrigation : cas de barrage de Dahmouni, Wilaya de Tiaret
- **Alloune. M et Gouader .Y ,2013 .**Contrôle de qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de la régionde Bordj Bou Aréridj . Université Mohamed El Bachir El-Ibrahimi – Bordj
- **Aouissi .L et Merabti. W 2019.** Eau: Étude Physico-Chimique et Bactériologique Et Développement d'un Système de Traitement (membrane à Base de Charbon Actif. Université 8 Mai 1945 Guelma
- **Barhoumi-Andreani, Y.,Gaudremeau, J., Gerbe, B., Khamsing, F., & Rabatel, Y. 2004.**
- Bengarnia, K. (2016). Microbiologie de l'eau et risques sanitaires.
- **Bensalah Y et Benzitoune R. (2021) :** Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines brutes dans la wilaya de Constantine.Mémoire du Diplôme de Master. Université des Frères Mentouri Constantine 1
- **Bensouiah, R. (2022).** Trajectoires socio-économique et spatiale de l'agropastoralisme dans la région de Djebel Amour. VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement.
- **Bernard C., 2007.** Introduction à l'étude de la médecine expérimentale, Edition
- **Bertrand G., 2008.** Utiliser L'eau De Pluie, Editions Eyrolles, 130 p Bibliobazaar
- **Bliefert et al, (2001).** Chimie de l'environnement air, eau, sole, déchets. Edition de Boeck.
- **Boeglin J-C. (2001) :** Propriétés des eaux naturelles. Technique de l'ingénieur, traité environnement, G 1110.

- **Boeglin Jean-Claude.** Propriétés des eaux naturelles. Technique de l'ingénieur, traité environnement, G1 110.
- **Bontoux J., 1993.** Introduction à l'étude des eaux douces, eau naturelles, eaux usées, eaux de boisson, Ed : Tec & Doc eavoisiesier, paris, 169p
- **Bordet J. (2007).** L'eau dans son environnement rural. Edition Johanet.Paris.309p
- **Bosca C.2002.** Ground water law and administration of sustainable development, Mediterranean Magazine. Science Training and Technology (2), pp .13-17.
- **Bouchareb B., 2012.**suivi des actions de lutte contre la désertification ;étude expérimentale dans la commune de Hadj Mécheri.(W.Laghouat),Mémoire de Magistère Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene d'Alger.99p.
- **Chaden M. H. (2014).** Evaluation de la qualité de l'eau du bassin supérieur de la rivière du Litani, Liban : approche hydrogéochimique. Thèse de doctorat en géosciences. Université de Lorraine. Pp99.
- **Cie, 2012.**Centre d'Information sur l'Eau. L'essentiel sur le cycle de l'eau de la nature a la nature en passant par chez vous. Paris.
- **Ciffqe, 2011.** Conseil Interministériel Fédéral de Formation sur la Qualité de l'Eau. *Qualité de l'eau 101: Introduction aux microsystemes d'approvisionnement eneau potable.* Manuel version 1.1, Canada.
- **Custodio E, 1983.** Hidrologia subterranea, Omega (Éditeur), Barcelone, Espagne, 2 tomes, 2 350 p
- **Dajoz r., 2003 .**Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 615 p.
- De Trois Serres Alimentant De La Région De Tlemcen, Mémoire d'ingénieur institutde biologie, université de Tlemcen., pp 2-18
- **Degremont. 2005 :** «Mémento technique de l'eau », Deuxième édition Tom1,. P 39-50
- **Desjardins R. 1997.** Le traitement des eaux, Edition de l'école polytechnique de Montréal, 2éme édition, Québec, Canada, PP : 46-112.
- *Eau ressources et menaces*,Chutes d'Iguaçu-Argentine.

- **EL asslouj J., E kholtei S., EL amrani N et Hilali A., 2007-** Analyse de la qualité physico- chimique des eaux souterraines de la communauté des Mzamza, au voisinage des eaux usées. Afrique SCIENCE 03(1), Pp : 109-122.
- **El Haissoufi H., Berrada S., Merzouki M., Aabouch M., Bennani L., Benlemlih M., Idir M., Zanibou A., Bennis Y., El Oualilalami A.2011.** Pollution des eaux de puits de certains Quartiers de la ville de Fès, Maroc, Rev. Microbiol. Ind. San et Environn (5): pp. 3768.
- El-Asslouj, S., et al. (2007). Techniques d'irrigation en zones arides.
- FAO (2001). L'irrigation dans le monde – Bilan et perspectives.
- FAO (2011). Lignes directrices pour la réutilisation des eaux usées traitées.
- Faune et des Parcs, Guide pour l'évaluation de la qualité bactériologique de l'eau en lac, Québec. Direction du suivi de l'état de l'environnement.
- **Frontier S., Pichod-vial d., Le pretre A., Davoult D., Luczak ch., 2004** : Ecosystème, structure, fonctionnement, évolution. 3eme édition. Dunod. Paris, 549 p.
- **H. Abdelatif, A. Khezzari, (2020).** *Etude de données physicochimiques des eaux de Boussaâda. Mémoire de fin d'études, Master en Hydraulique urbaine, Université de M'sila.* **Hadef. Dj et Hasni. M. 2017.** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de l'Oued de Boutane région de Khemis-Miliana W. Ain Defla.
- **Kadi, A. 1997.** La gestion de l'eau en Algérie. *Hydrological sciences journal*, 42(2), 191-197.
- Kadi, S. (1997). Effets des sels dissous sur les sols cultivés.
- **Kalkoul. I ,2020.** Contribution à l'étude de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau des plages de la ville de Jijl (Cas des plages Kotama et Bini Belaid).Abdel Hafid Boussouf Mila.
- **Kholtei S., A. BouzidI, M. Bonin, M. Fekhaoui, R. Anane, K. Sbai et E. Creppy E 2003.** Contamination des eaux souterraines de la plaine de Berrechid dans la région de la Chaouia au Maroc par les métaux lourds dans les eaux usées : effets de la pluviométrie. Vecteur Environ., 36, 68-80.
- **Lebres E. A., Mouffok F., 2008.** Le cours national d'hygiène et de

microbiologie des eaux de boisson. Laboratoires bactériologiques alimentaires et des eaux. Institut Pasteur d'Algérie, Alger, P53.

- **Mddefp, 2013.** Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la
- **Nguengar N. 2011** .Accès à l'eau potable et à l'assainissement ; quels enjeux pour la santé dans les quartiers précaires. Etude appliquée au quartier Gamkallé de la commune IV de Niamey au Niger. Mém. Master. Univ. Abdou Moumouni de Niamey, Niger
- OMS (2017). Directives pour la qualité de l'eau utilisée en agriculture.
- ONU-Eau (2020). L'eau et le changement climatique.
- **Oulzemirli M A 2017** .Apport de l'intégration des panneaux photovoltaïques au bilan énergétique d'une habitation bioclimatique. Cas d'étude - logements collectif à Laghouat Université Mohamed Kheider-Biskra
- **Ounoki S et Achour S., 2014.** Évaluation de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux usées brutes et épurées de la ville d'Ouargla. Possibilité de leur valorisation en irrigation
- **Perry J., 1984.** Microbiologie: cours et question de révision. Edition Dunod. Paris
- **Plummer N L., J.F. Busby, R.W. Lee et B.B. Hanshaw 1990.** Geochemical modeling of the Madison aquifer in part of Montana, Wyoming and South Dakota. Water Resour. Res., 26, 1981-2014.
- **Ramdani .A et Afifi .S ,2022.** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux utilisée en irrigation et leur impact sur le sol Cas de la ferme BOURIACHI (bouchegouf Nord Est Algérien). Université 8 Mai 1945 Guelma.
- Roux, D. (1987). Le contrôle de la qualité de l'eau. Ed. Masson.