

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

جامعة 20 اوت 1955- سكيكدة

UNIVERSITE 20 AOUT 1955- SKIKDA



Faculté des Sciences

Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire Présenté en Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Filière : Ecologie et environnement
Spécialité: Protection des écosystèmes
Intitulé :

**Hydrochimie et aptitude des eaux de l'Oued Guebli à
l'irrigation (région de SKIKDA)**

Présenté Par :

Amraoui Asma
Kebaili Imene

Fekrache Selsabile
Steili Naima

Membre de Jury:

Mr. Boudeffa Khaled (MCA)	President	Univ. 20 Août 1955– Skikda
Mrs. Fekrache Fadila (MCA)	Promoteur	Univ. 20 Août 1955– Skikda
Mrs. Laib Imene (MCA)	Examineur	Univ. 20 Août 1955– Skikda
Mrs. Cedah Sonia (Doctorante)	Promoteur	Univ. 20 Août 1955– Skikda

Année universitaire 2022/2023

Remerciements

*Nous remercions avant tout **DIEU** pour sa gratitude et son aide à accomplir ce travail.*

Nous tenons aussi à exprimer notre reconnaissance à :

*Notre encadrante **Dr. Fekrache Fadila** pour avoir accepté de nous encadrer, pour ses conseils et surtout pour sa compréhension.*

*A **Dr. Boudeffa Khaled** d'avoir accepté de présider le jury et de juger notre travail.*

*A **Dr. Laib Imene** d'avoir accepté d'être parmi le jury et d'examiner notre travail.*

*A **La doctorante Cedah Sonia** merci pour votre participation et l'intérêt que vous avez manifesté.*

Nous remercions également, l'ensemble du corps enseignant du département de SNV spécialement les enseignants de l'écologie et l'environnement, université 20 aout 1955-Skikda, qui ont contribué à notre formation de la première année à ce jour

Dédicace

*Avec l'aide de **DIEU** le tout puissant j'ai enfin achevé ce travail que je dédie
A ma très chère maman « **Fatiha** », la lumière de ma vie celle qui m'a donné
la vie, la source de l'amour et le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée
pour mon bonheur et ma réussite.*

*A mon très cher père « **Abd errahmane** », ce travail est le fruit de tes
sacrifices que tu as consenti pour mon éducation et ma formation.*

*A mon fiancé « **Issam** », qui m'a toujours soutenu et qui a fait tout son
possible pour m'aider.*

*A mes sœurs « **Raouda** », « **Randa** », « **Saoussane** », « **Takwa** », pour leur
soutient, encouragement et leur amour.*

A toute ma famille.

*A mon amie « **Ahlem** », qui me tient à cœur, merci pour tous les bons
moments qu'on a passés ensemble.*

*A mes chers amies « **Imene** », « **Amel** », « **Sabrina** », « **Ouissam** »*

*Mes camarades « **Imene** », « **Naima** » et « **Salsabile** ».*

A tous ce qui m'aiment et que j'aime.

« Asma »

Dédicace

*Avec l'aide de **DIEU** le tout puissant j'ai enfin achevé ce travail que je dédie
A mon père physiquement absent mais toujours présent dans mon cœur Merci
pour chaque goutte de sueur que tu as versée pour moi Paix à ton âme pure.
A Ma chère maman, tu mérites tous les dédicaces du monde merci pour tous
les sacrifices et les conseils que vous m'avez donnés grâce auxquels j'ai
atteint ce niveau.*

*A Mon frère **Bilal** mon premier soutien mon compagnon sur chemin et qui a
éclairé ma vie et m'a aidé dans mon parcours universitaire.*

Ce travail est le fruit de nos quatre efforts.

*A toute ma famille, mes sœurs et mes frères, tous ce qui m'ont aidé et
remonté le moral et qui étaient avec moi dans les moments difficiles.*

*A Mes amis et compagnons de vie, **Loubna, Riyane, Maissa, Ibtisam** et
Maissa. Merci pour toutes les belles journées passées ensemble.*

*A Mes camarades et compagnons de mémoire « **Imene** », « **Asma** » et
« **Salsabile** ».*

Merci à toutes et à tous.

Naima

Dédicace

*Avec l'aide de **DIEU** le tout puissant j'ai enfin achevé ce travail que je dédie
.A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de
joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que
dieu te garde dans son vaste paradis, à toi mon père « **Fekrache Mahmoud** »
que Dieu ait pitié de lui.*

*.A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon
cœur « **Bourabaïa Samia** », maman que j'adore.*

*.A mon chère frère « **Mounib** » qui a été toujours près de moi, et à
mon petit frère « **Mouhaiman** » et A mes chères sœurs « **Isrâa** »
et « **Razane.** »*

*.A mes amies, « **Ikram** », « **Asma** », « **Selma** », « **Sana** » et « **cheima** »
, vous êtes pour moi des sœurs et des amies, je vous souhaite une vie pleine de
santé et de bonheur.*

*.A mes collègue de mémoire « **Asma** », « **Imene** » et « **Naima** »*

*.A toutes les personnes qui ont été mon soutien dans les moments
difficiles, la famille «**BOURBAÏA**» mes oncles « **Ahmed** », « **Adel** »,
« **Mourad** », « **Louai** » et leurs « **femmes** », à toutes mes tantes merci pour
votre soutien et vos encouragements.*

Fekrache Selsabile

Dédicace

*Avec l'aide de **DIEU** le tout puissant j'ai enfin achevé ce travail que je dédie
A mes chers parents **Elhaine** et **Lahrache Khemissa** pour leur soutien moral
qu'ils m'ont apporté et les sacrifices émissent à mon égard durant mes
études.*

*A mon mari **Fethie** et ma deuxième famille.*

*A mes Sœurs **Madiha, Dounia, Nour elhouda, Sihame, Merime** et
frères **Hicham, Islem**.*

*A mes grand-mère **Boularassi Zeghouda** et **halas yemouna**.*

*A mon oncle **Ibrahim** et sa famille.*

*A toute la famille **Kebaili** et **Lahrache**.*

*A mes chères amies **Asma, Amel, Lamia, Faiza, Rayane, Wissam**.*

*A mes camarades **Asma, Naima, Selsabile**.*

Les personnes qui me connaissent et que je connais merci à toutes et à tous.

Imene

Remerciement**Dédicace****Liste des abréviations****Liste des figures****Liste des tableaux****Résumé****Abstract****ملخص**

Introduction.....	1
-------------------	---

Chapitre I : Hydrochimie et aptitude des eaux à l'irrigation

1. L'hydrochimie	3
2. L'irrigation	3
2.1. Techniques d'irrigation.....	3
2.1.1. L'irrigation gravitaire.....	3
2.1.2. L'irrigation par aspersion.....	4
2.1.3. L'irrigation localisée ou goutte à goutte.....	4
2.2. La qualité des eaux destinées à l'irrigation.....	4
2.3. Les normes des eaux destinées à l'irrigation.....	5

Chapitre II: Matériel et méthodes

1. Cadre de l'étude.....	7
2. Zone de l'étude.....	7
3. Echantillonnage.....	8
3.1. Méthode d'échantillonnage.....	9
3.2. Critères d'exclusion.....	10
4. Matériel utilisé	9
5. Analyse des paramètres physicochimiques.....	100
5.1. Potentiel d'hydrogène (pH).....	11
5.2. Conductivité électrique (CE).....	11
5.3. La demande biologique en oxygène (DBO ₅).....	11
5.4. Méthode volumétrique (titrimétrie).....	13
5.5. Méthode spectrophotomètre (spectrophotomètre UV).....	15
5.6. Méthode spectrophotomètre (spectrophotomètre à flamme).....	19

Chapitre III: résultats et discussion

1. Les parametres physicochimiques	21
1.1. Potentiel d'hydrogène (pH).....	21
1.2. Conductivité électrique(CE).....	21
1.3. Nitrate (NO_3^-).....	22
1.4. Nitrite (NO_2^-).....	23
1.5. Cuivre (Cu^{+2}).....	24
1.6. Calcium (Ca^{+2})	24
1.7. Magnésium (Mg^{+2}).....	24
1.8. Potassium (K^+).....	26
1.9. Sodium (Na^+).....	26
1.10. Azote totale (N_t).....	27
1.11. Chlorure (Cl^-).....	27
1.12. Sulfate (SO_4^{-2})	28
1.13. Phosphate (PO_4^{-3}).....	28
1.14. Fer (Fe^{+2})	29
1.15. Zinc (Zn^{+2}).....	30
1.16. Carbonates (CO_3^{-2}).....	31
1.17. Bicarbonates (HCO_3^-).....	31
1.18. Demande Biologique en Oxygène (DBO_5).....	32
1.19. Demande chimique en oxygène (DCO).....	33
2. Hydrochimie des eaux.....	33
2.1. Diagramme de piper	33
2.2. Diagramme de wilcox.....	34
2.3. Diagramme de Riverside.....	36
Conclusion.....	38
Références bibliographiques	

$\mu\text{S/cm}$: Micro siemens par centimètre

AgNO_3 : Nitrate d'argent

B.V: Bassin Versant

$^\circ\text{C}$: Degrés Celsius

Ca^{+2} : Calcium

CaSO_4 : Sulfate de calcium

CE: Conductivité électrique

Cl: Chlorure

Cm^2 : Centimètre carré

CO_2 : Dioxyde de carbone

CO_3^{-2} : Carbonates

CP2K: Complexe Pétrochimie 2 Skikda

Cu^{+2} : Cuivre

DBO₅: Demande Biologique en Oxygène (pendant 5 jours)

DCO: Demande Chimique en Oxygène

EDTA: Acide Ethylène Diamine Tetra-Acétique.

FAO: Food et Agriculture Organisation

Fe^{+2} : Fer

g/mol: Gramme par mole

H^+ : Hydrogène

H_2O : Monoxyde de dihydrogène

H_2PO_4 : Acide Ortho phosphorique

H_3PO_4 : Acide Phosphorique

HCL: Acide chlorhydrique

HCO_3^- : Bicarbonates

IAP: Institut Algérien du Pétrole

ISO: Internationale Organisation de Standardisation

K^+ : Potassium

$\text{K}_2\text{Cr}_4\text{O}$: Chromate de potassium

KCl: Chlorure de Potassium

KCN: Sel de Potassium

Km/h: Kilomètre par heure

Km^2 : Kilomètre carré

Mg^{+2} : Magnésium

ml: Millilitre

mm: Millimètre

MOS: Mondial Organisation de Santé

Na⁺: Sodium

NaCl: Chlorure de Sodium

NH₂O: Acide Sulfurique

NH₄⁺: Ammonium

nm: Nanomètre

NO₂⁻: Nitrite

NO₃⁻: Nitrate

N_t: Azote total

pH: potentiel d'Hydrogène

PO₄⁻³: Phosphate

SAR: Sodium Adsorption Ratio

SO₄⁻²: Sulfate

U.V: Ultraviolet

Zn⁺²: Zinc

Figure 01: Photo géographique du bassin versant de l'Oued Guebli

Figure 02: Localisation des points de prélèvement

Figure 03: Photo des points de prélèvements

Figure 04: La technique de prélèvement en mouvement U

Figure 05: Photo du pH-mètre / conductimètre

Figure 06: Les bouteilles d'incubation

Figure 07: Photo de l'appareil de titrage

Figure 08: Photo de spectrophotomètre UV-Visible

Figure 09: Différentes formes de l'azote dans les eaux

Figure 10: Photo de spectrophotomètre à flamme

Figure 11: La variation du pH dans les points étudiés

Figure 12: La variation de la CE dans les points étudiés

Figure 13: La variation du Nitrate dans les points étudiés

Figure 14: La variation des Nitrites dans les points étudiés

Figure 15: La variation du Cuivre dans les points étudiés

Figure 16: La variation du Calcium dans les points étudiés

Figure 17: La variation du Magnésium dans les points étudiés

Figure 18: La variation du Potassium dans les points étudiés

Figure 19: La variation du Sodium dans les points étudiés

Figure 20: La variation d'Azote dans les points étudiés

Figure 21: La variation des Chlorures dans les points étudiés

Figure 22: La variation du Sulfate dans les points étudiés

Figure 23: La variation du Phosphate dans les points étudiés

Figure 24: La variation du Fer dans les points étudiés

Figure 25: La variation du Zinc dans les points étudiés

Figure 26: La variation du Carbonate dans les points étudiés

Figure 27: La variation du Bicarbonate dans les points étudiés

Figure 28: La variation de la DBO₅ dans les points étudiés

Figure 29: La variation de la DCO dans les points étudiés

Figure 30: Diagramme de PIPER

Figure 31: Diagramme de WILCOX

Figure 32: Diagramme de RIVERSIDE

Tableau 01: Les normes concernant l'eau destinée à l'irrigation selon MOS.

Tableau 02: Les normes concernant l'eau destinées à l'irrigation selon FAO.

Tableau 03: Les Coordonnées géographiques des points de prélèvement

L'eau des plaines telles que les rivières, les vallées et les lacs est très importante dans notre vie quotidienne car elle est utilisée dans plusieurs domaines tels que l'industrie et l'agriculture (l'irrigation). Cependant, pour qu'elle soit apte à ces utilisations, l'eau doit répondre à certains critères qui détermineront sa conformité et sa qualité.

C'est pourquoi par cette étude, nous nous sommes fixés le but d'analyser l'eau provenant d'Oued Guebli afin de déterminer si elle est propice à la culture ou quels paramètres seraient en cause de sa non-conformité. Ceci aidera à connaître l'origine des potentiels polluants et à trouver des solutions pour y remédier.

Pour ce, diverses analyses physiques et chimiques ont été réalisées sur sept 7 stations qui comprennent la zone de Sidi Mezghich, El-Khanqa, cahwet ibeche, Kerkara Al-Maraya, guinguita et Tamalous, toutes versant dans Oued Guebli. Au total, 19 paramètres physiques et chimiques ont été mesurés et les résultats ont été comparés aux valeurs établies par les normes MOS et FAO concernant les eaux d'irrigation. Toutes les mesures résultantes n'étaient pas conformes à ces dernières ce qui nous laisse en déduire que l'eau de Oued Guebli n'est pas adaptée à l'irrigation et qu'il faut trouver des solutions à ce problème afin de protéger le consommateur.

Les mots clés : L'irrigation, Les paramètres physiques et chimiques, Oued Guebli, FAO, MOS

The water of plains such as rivers, valleys, and lakes is very important in our daily life as it is used in various fields such as industry and agriculture (irrigation). However, in order to be suitable for these uses, water must meet certain criteria that determine its compliance and quality.

Therefore, through this study, our goal was to analyze the water from Oued Guebli to determine if it is suitable for cultivation or which parameters could be responsible for its non-compliance. This will help to identify the source of potential pollutants and find solutions to address them.

For this purpose, various physical and chemical analyses were conducted at seven stations, including the areas of Sidi Mezghich, El-Khanqa, Cahwet Ibeche, Kerkara Al-Maraya, Guinguita, and Tamalous, all of which drain into Oued Guebli. In total, 19 physical and chemical parameters were measured, and the results were compared to the values established by MOS and FAO standards for irrigation waters. Not all of the resulting measurements were in compliance with these standards, leading us to conclude that the water from Oued Guebli is not suitable for irrigation, and solutions need to be found to address this problem in order to protect the consumer.

Key words: Irrigation, physical and chemical analyses, Ouadi Guebli, FAO, MOS

تعتبر مياه المسطحات كالأنهار و الوديان والبحيرات مهمة جدا في حياتنا اليومية حيث تستخدم في عدة مجالات كالصناعة والزراعة (الري). غير انها من أجل أن تكون مناسبة لهذه الاستخدامات، يجب أن تستوفي المياه معايير معينة تحدد مدى امتثالها وجودتها.

لذلك من خلال هذه الدراسة، كان هدفنا تحليل مياه واد قبلي لتحديد ما إذا كانت مناسبة للزراعة أو أي معايير قد تكون سبباً في عدم امتثالها. وسيساعد ذلك في معرفة مصدر الملوثات المحتملة وإيجاد حلول للتغلب عليها. لذا، تم إجراء تحاليل فيزيائية وكيميائية مختلفة على مستوى سبع محطات تشمل منطقة سيدي مزغيش والخنفة وقهوة عيش وكركرة و المراية و قنقطة و ثمالوس، والتي تصب جميعها في وادي قبلي. تم قياس 19 معلمة فيزيائية وكيميائية بالمجمل وتمت مقارنة النتائج بالقيم المحددة من طرف MOS و FAO لمياه الري. لم تكن جميع القياسات الناتجة متوافقة مع هذه المعايير، مما يدل على أن مياه وادي قبلي غير مناسبة للري، ويجب إيجاد حلول لهذه المشكلة لحماية المستهلك.

الكلمات المفتاحية: الري, تحاليل فيزيائية وكيميائية, واد قبلي FAO,MOS

L'eau, très présente sur notre terre est indispensable à tout être vivant. Elle a des propriétés physiques originales qui résultent de la composition de sa molécule et de la façon dont ces molécules se lient entre elles. En effet, composée d'hydrogène et d'oxygène sous la formule chimique d' H_2O , la recherche sur la structure de l'eau ouvre ainsi la voie à la chimie moderne. Son originalité ne s'arrête pas là, car sous l'effet de la température et l'action de la pression atmosphérique elle peut prendre une forme liquide, solide ou gazeuse (Boucenna., 2022).

L'eau liquide est souvent perçue comme une substance assez ordinaire car elle est transparente, inodore, insipide et se présente sur terre en grande quantité (Graini., 2011).

D'une manière générale, la qualité des eaux naturelles de surface peut résulter de contraintes naturelles et anthropiques, ainsi que de la gestion et l'économie de ces eaux. Ce sont là des facteurs à considérer pour améliorer ou même simplement conserver les sources d'eau sans les dégrader. L'activité anthropique reste la cause principale de la dégradation de la qualité des eaux naturelles (Bouras *et al.*, 2010).

Parmi ces activités L'agriculture est représenté le plus gros consommateur des ressources en eau. Ces ressources, suivant les régions dont elles proviennent, et leur contact éventuel avec des sources de pollution ont des caractéristiques très diversifiées. De plus, vu la diminution des apports en eau constatée depuis plusieurs décennies, les agriculteurs, notamment dans les régions continentales, s'intéressent à l'utilisation des eaux usées (Bouaroudj., 2011).

Cependant et ce malgré la valeur inestimable de l'eau, la qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés, de l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'exploitation irrationnelle des ressources en eau. Ces derniers modifient l'eau chimiquement la rendant par conséquent impropre aux usages souhaités (Belksier *et al.*, 2016).

La région de Skikda a toujours connu des problèmes liés à la qualité et à la quantité des eaux distribuées soit à l'alimentation en eau potable de la ville soit à l'irrigation. Cette situation est le résultat de l'accroissement de la population et l'extension du tissu industriel et des surfaces irriguées (Belhadj, 2011).

Cette industrialisation exponentielle et l'utilisation abusive de fertilisants et de pesticides ainsi que l'influence des gîtes métallifères de la région ont contribué à la détérioration de la qualité des eaux de surface du bassin versant d'oued guebli.

Ceci montre l'ampleur du problème et définit la raison de notre recherche qui a pour objectifs de:

- Déterminer si l'eau issue de Oued Guebli est apte à l'irrigation
 - Déterminer quel paramètre pourrait influencer cette aptitude pour aider à le contrer
- Notre étude est donc axée sur l'hydrochimie et l'aptitude des eaux d'oued Guebli à l'irrigation.

Le travail que nous présentons s'articule sur deux parties principales:

- La première partie essentiellement, théorique comporte un chapitre présent des généralités sur l'hydrochimie des eaux et l'irrigation.
- La deuxième partie de cette étude et intitulée partie expérimentale, est composée de deux chapitres ; dans le deuxième chapitre nous présentons les méthodes d'analyses effectuées et le dernier chapitre rassemble le résultat expérimental obtenu, suivis d'une discussion et interprétation.

Chapitre I:
Hydrochimie et aptitude des
eaux à l'irrigation

1. L'hydrochimie

C'est la science qui étudie la distribution et la circulation des composés chimiques des eaux en s'intéressant aux processus chimiques qui les affectent (Bligny et Hartemann., 2005). L'étude hydro-chimique donne des informations complémentaires à l'hydrogéologie, elle permet de comparer les eaux entre elles et trouver une solution pour les besoins d'alimentation (Décret exécutif n 04-196.,2004).

Elle se base sur l'interprétation des analyses chimiques des échantillons prélevés. Ces analyses feront objet de notre étude et porteront sur:

- Les éléments chimiques majeurs:

Les cations: Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ et k^+

Les anions: HCO_3^{-2} , SO_4^{-2} , NO , Cl^-

- Les paramètres physico-chimiques:

pH, conductivité (Schoeller., 1974).

2. L'irrigation

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production et permettre leur développement normal en cas de carence d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides et semi-arides (Bouaroudj., 2012)

2.1. Techniques d'irrigation

2.1.1. L'irrigation gravitaire

L'irrigation de surface (ou gravitaire) consiste à répartir l'eau directement sur la parcelle cultivée soit par ruissellement sur le sol dans des sillons (méthode d'irrigation à la raie), soit par nappe (on parle alors d'irrigation par planche ou calant) ou encore par submersion contrôlée (irrigation par bassin).

Etant le plus utilisé à travers le monde et peu coûteux, c'est le mode d'irrigation le plus ancien (et donc assez rudimentaire). Traditionnellement, les pertes par infiltration et la difficulté de contrôler les débits délivrés conduisent à un gaspillage d'eau et à un arrosage hétérogène.

A. L'irrigation par planche et par bassin: Ces techniques sont utilisées pour les cultures semées à plat telles que les céréales, le trèfle, la luzerne, les plantes fourragères etc.

B. L'irrigation à la raie: Cette technique est utilisée pour les cultures semées en billon telle que la betterave à sucre et la pomme de terre.

C. L'irrigation partielle de la rhizosphère: Le principe est d'irriguer uniquement la moitié de la racine de la plante, et ceci de manière alternée. Cela permet aussi de limiter l'augmentation de la salinité des sols pour l'irrigation au long terme (Amoura., 2022).

2.1.2. L'irrigation par aspersion

Ce système arrose les plantes grâce à une pluie artificielle; l'eau sous pression est amenée à la parcelle par des canalisations et l'aspersion est réalisée grâce à des asperseurs rotatifs que l'on appelle "sprinklers". Ce type d'irrigation convient à toutes les cultures et a l'avantage de s'adapter à presque tous les types de sols et presque tous les types de cultures. Son efficacité est de 80 %. Sur des petits périmètres où l'installation ne doit pas être déplacée, l'irrigation demande peu de main d'œuvre. L'investissement est très élevé. Néanmoins, ce type d'irrigation nécessite une formation préalable (Amoura., 2022).

2.1.3. L'irrigation localisée ou goutte à goutte

Dès les débuts de la culture irriguée, les agriculteurs et les professionnels de l'irrigation se sont mis à la recherche de technologies ayant pour but de rentabiliser davantage l'utilisation de l'eau dans l'agriculture. La percée de l'irrigation au goutte-à-goutte se fit d'abord aux Etats-Unis. L'initiative en est attribuée à M. Simcha Blass, qui mit au point des tuyaux poreux filtrants, de goutteurs Woodpecker (à museau), de goutteurs compensateurs de pression, de dispositifs anti-fuites, de mécanismes anti-siphon et de techniques de prévention du colmatage.

L'irrigation au goutte-à-goutte est une technologie d'irrigation moderne qui a modifié les techniques agronomiques et élargi les horizons de l'agriculture. Cette technique a amélioré l'efficacité de l'utilisation de l'eau en irrigation et amorcé le développement de la fertigation (distribution intégrée d'eau et d'engrais). Elle facilite l'application de l'eau et des éléments nutritifs aux cultures et leur adaptation aux variations des besoins tout au long de la saison agricole. Appliquée aux cultures abritées, elle combine les avantages de l'hydroponie (culture hors sol) et favorise l'amélioration de la surveillance, de l'automatisation et du contrôle de l'irrigation, ainsi que la diversification des technologies de filtrage (Amoura., 2022).

2.2. La qualité des eaux destinées à l'irrigation

L'agriculture représente le plus important consommateur des ressources en eau. Ces ressources, suivant les régions dont elles proviennent, et leur contact éventuel avec des sources de pollution, ont des caractéristiques très diversifiées. De plus, vu la diminution des apports en eau constatée depuis plusieurs décennies, les agriculteurs, notamment dans certaines régions, s'intéressent à l'utilisation des eaux usées et les eaux salées. C'est ainsi que

des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation ont été établies afin de :

- protéger le public et les ouvriers agricoles
- protéger les consommateurs des produits agricoles
- protéger les ressources en eau superficielle et souterraine et les sols
- protéger le matériel d'irrigation
- maintenir des rendements acceptables (Mecibah., 2017).

2.3. Les normes des eaux destinées à l'irrigation

Afin de protéger la santé publique, garantir la qualité des cultures, préserver l'environnement et faciliter le commerce international, L'OMS et la FAO ont mis au point des seuils pour garantir la qualité des eaux destinées à l'irrigation. Ces normes contribuent à promouvoir une utilisation durable de l'eau et à assurer la sécurité alimentaire pour les populations.

Tableaux 01 : Les normes concernant l'eau destinée à l'irrigation selon MOS (Journal Officiel de la République Algérienne., 2011).

Paramètre	Concentration maximale
pH	6,5 à 8,5
CE	< 3000
NO₂⁻	<1
DBO₅	30
DCO	120

Tableaux 02 : Les normes concernant l'eau destinée à l'irrigation selon la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture., 2003).

Paramètre	Concentration maximale
pH	6,5 à 8,5
Ca⁺²	400
Mg⁺²	60
Na⁺	220
K⁺	2
Cl⁻	165
CO₃⁻²	3
HCO₃⁻	610
SO₄⁻²	960
PO₄⁻³	2
NO₃⁻	10-30
Nt	10-30
DCO	120
Zn⁺²	2
Fe⁺²	5
Cu⁺²	0,20

Chapitre II :

Matériel et méthodes

1. Cadre de l'étude

Dans le cadre de l'obtention de résultats exploités dans ce thème, nous avons utilisé et analysé des échantillons prélevés in situ afin de permettre l'utilisation des protocoles pouvant déterminer le degré de la contamination et l'aptitude à l'irrigation.

2. Zone de l'étude

Le bassin versant de l'Oued Guebli est situé au Nord-Ouest de la Wilaya de Skikda. Ce bassin s'étend du 6° 23' au 6° 47' de longitude Est et du 36°35' au 36°58' de latitude Nord. Il couvre une superficie de 993 Km² et se trouve presque totalement inclut dans le territoire administratif de la wilaya de Skikda. Il est limité par les bassins versants:

- Au Nord par la mer Méditerranée.
- Au Sud et Sud-Ouest par le bassin versant d'Oued Rhumel.
- A l'Est par le B.V d'Oued Saf-Saf et le B.V d'Oued Bibi.
- Au Nord-Ouest par le B.V des côtières du Cap Bougaroun (Mecibah., 2017)

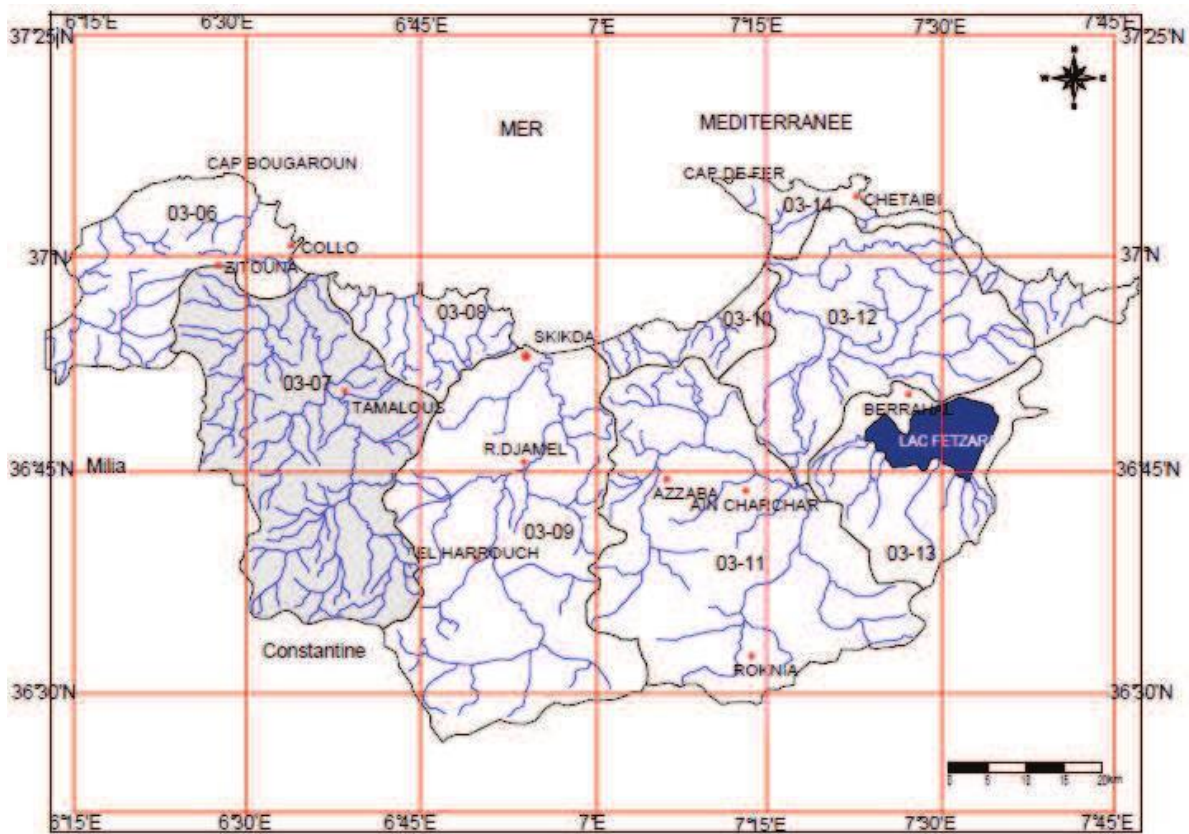


Figure 01 : Photo géographique du bassin versant de l'Oued Guebli (Mecibah., 2017)

3. Echantillonnage

Les prélèvements ont été effectués le 18 mars 2023 au niveau de sept points au niveau d'Oued Guebli. La température moyenne aux alentours de l'heure de prélèvement (10h du matin) était de 17°C, avec 0mm de précipitations, un pourcentage d'humidité de 80% et 4Km/h de vent. Les Coordonnées géographiques des points de prélèvement et leur désignation, sont figurées dans le tableau 03 et la figure 02.

Tableau 03. Les coordonnées géographiques des points de prélèvement

Points	Désignation	Coordonnée géographique	
		Latitude	Longitude
P1	Sidi Mezghiche	36°40.5559'N	006°42.7626'E
P2	El-Khanqa	36°40.5971'N	006°40.9984'E
P3	Guinguita	36°42.8420'N	006°38.9030'E
P4	Kahwet Ibeche	36°44.4865'N	006°39.3977'E
P5	El-Maraya	36°48.0523'N	006°39.8846'E
P6	Tamalous	36°49.7956'N	006°38.8423'E
P7	Kerkara	36°55.9330'N	006°34.6889'E

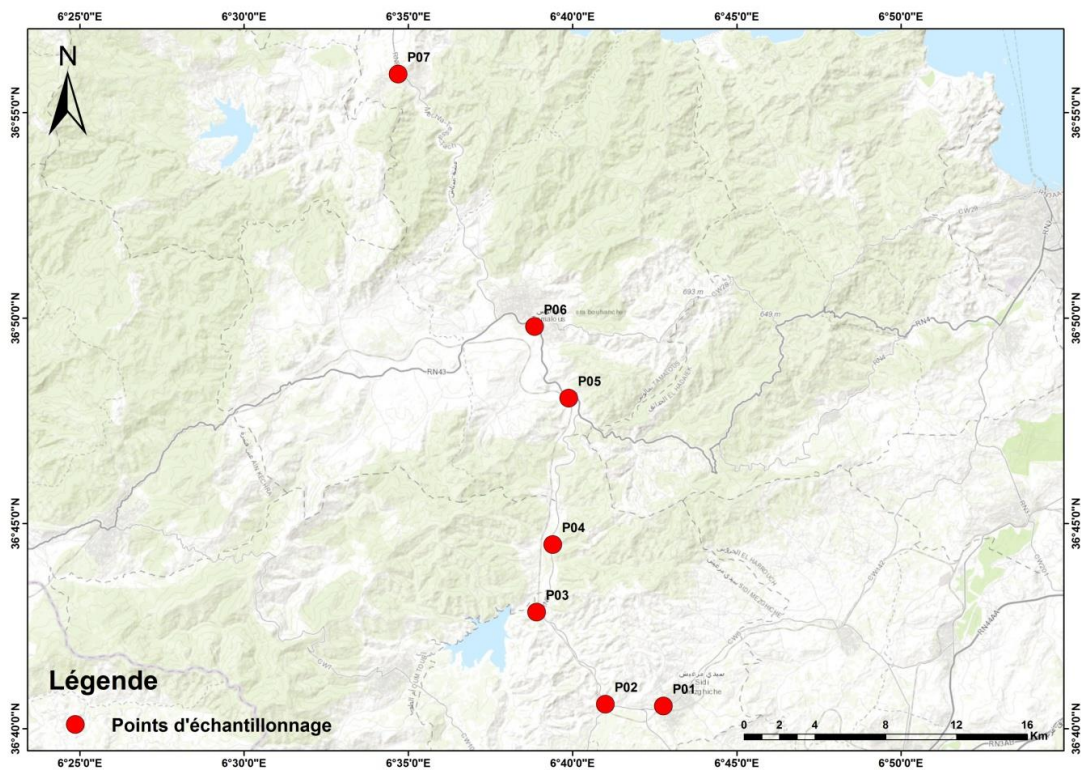


Figure 02: Localisation des points de prélèvement



Figure 03: Photo des points de prélèvements

3.1. Méthode d'échantillonnage

Pour chaque prélèvement, les bouteilles ont été rincées deux fois avec de l'eau issue de la station en question puis remplies jusqu'au bord en faisant attention à ce qu'il n'y ait aucune bulle d'air.

Transportés dans les plus brefs délais au laboratoire, les échantillons ont été conservés dans l'obscurité et à une température de 4°C dans un réfrigérateur jusqu'à analyse.

Le prélèvement se fait en immergeant une bouteille, l'ouverture vers le bas jusqu'à sous la surface de l'eau puis en la remontant en exécutant un mouvement en U (Rodier., 2009).



Figure 04: La technique de prélèvement en mouvement U (Silwia., 2017).

3.2 Critères d'exclusion

Par manque de moyens, le dosage de certains éléments n'a pas été réalisé pour tous les échantillons ;

Le dosage du cuivre pour les échantillons : 2, 4, 5 et 7

Le dosage des phosphates pour les échantillons : 1, 3 et 6

Le dosage du zinc pour les échantillons : 1, 3 et 6

La DCO pour les échantillons : 2, 4,5 et 7

4. Matériel utilisé

Nous avons utilisé la verrerie et les appareils présents dans le laboratoire de technique de l'unité (CP2K) et laboratoire de l'unité (IAP) dans la zone industrielle de Skikda (SONATRACH), pour une analyse physicochimique.

- Bécher.
- Fiole jaugée de 2 ml, 5ml
- Pipetes graduées.
- Entonnoir.
- Burette.
- pH-mètre / Conductimètre (WTW Multi 3430).
- Thermostat (Hach Lange LT 200).
- Spectrophotomètre UV (DR 6000 Hache Lange).
- La bouteille d'incubation (WTW Oxitop IS6).
- Appareil de titrage (Ceast).

5. Analyse des paramètres physicochimiques

Pour la mesure du pH et de la conductivité un pH-mètre et un conductimètre sont utilisés respectivement suivant le protocole déterminé par la norme ISO 10523 de 2008

- Le pH-mètre et le conductimètre sont tarés avec des solutions tampons de (4,7 et 9).
- L'électrode de chaque appareil est soigneusement lavée à l'eau distillée.
- L'électrode est immergée dans l'échantillon.
- La mesure est directement lue sur l'appareil.



Figure 05: Photo du pH-mètre / conductimètre.

5.1. potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH mesure la concentration en ions H^+ de l'eau et traduit ainsi la balance entre acides et bases sur une échelle logarithmique de 0 à 14. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. Ses valeurs se situent entre 6 et 8.5 dans les eaux naturelles (Chapman et Kimstach., 1996).

Le fonctionnement du pH-mètre est basé sur le rapport entre la concentration en ions H^+ et la différence de potentiel électrochimique qui s'établit dans l'électrode de verre.

5.2. Conductivité électrique (CE)

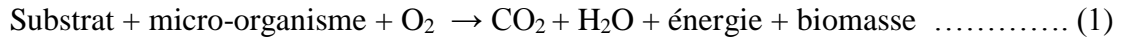
La conductivité est la propriété que possède l'eau à favoriser le passage d'un courant électrique. Elle fournit une indication précise sur la teneur en sels dissous (salinité de l'eau). La conductivité s'exprime en micro Siemens par centimètre. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau (Metahri., 2012).

Le principe de fonctionnement du conductimètre repose sur la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm dans lesquelles on fait passer (Rodier., 2009).

5.3. Demande biologique en oxygène (DBO₅)

La DBO_5 comme étant la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C dans l'ombre et pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablement ensemencé. Cinq jours sera le temps qui assure l'oxydation biologique d'une fraction de matière organique carbonée. Ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie (Metahri., 2012).

Elle se résume par la réaction chimique suivante :



Mode opératoire

- Rincer la bouteille d'incubation avec l'échantillon à analyser.
- Introduire 432 cm³ d'échantillon dans la bouteille.
- Ajouter deux gouttes de la solution tampon.
- Introduire le barreau magnétique dans la bouteille.
- Mettre quelques pastilles d'hydroxyde de potassium (KOH) dans le bouchon en plastique.
- Placer la bouteille dans son compartiment et visser la tête
- Régler le zéro sur la réglette.
- Après cinq jours d'incubation à 20 °C, lire directement sur la réglette la valeur de la DBO₅ (en mg O₂ /l).



Figure 06: les bouteilles d'incubation

5.4. Méthode volumétrie (titrimétrie)

Cette méthode d'analyse est basée sur la mesure exacte du volume de la solution du réactif, de la concentration et la préparation d'une solution titrée. L'analyse volumétrique à un grand intérêt pratique, elle possède un grand avantage en ce qui concerne la rapidité de l'exécution. C'est à dire à une technique où la concentration d'une solution inconnue est déduite de la mesure d'un certain volume d'une autre solution de concentration connue (Chevallier., 2007).

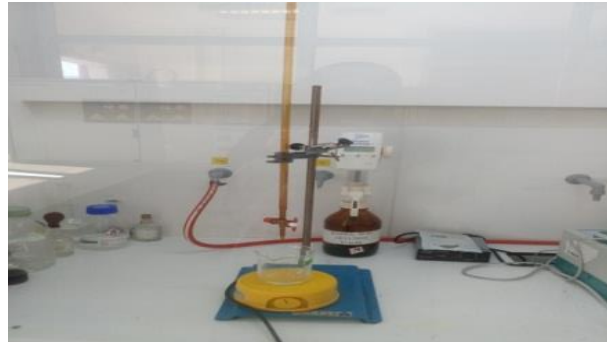


Figure 07: Photo de l'appareil de titrage.

5.4.1. Le dosage de magnésium (Mg^{+2})

C'est un élément qui accompagne souvent le calcium, il provient de la dissolution des dolomies, des calcaires dolomitique et des minéraux ferromagnésiens. La variation des concentrations du magnésium est presque similaire à celle du calcium (Rezaiki & Zaghad., 2019).

Sa détermination de fait par titrage molaire des ions magnésium avec une solution de sel disodique et de l'acide éthylènediaminetétracique. Le noir Erriochrome T, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium, est utilisé comme indicateur.

Mode opératoire

- Prélever 50 ml de l'échantillon d'eau et placer le dans un bicher.
- Ajouter 1ml de NH_4OH (6N).
- Puis ajouter 10 ml de NET.
- Titrer avec l'EDTA 0,02N jusqu'à l'apparition d'une couleur bleue cobalt.

Calculs

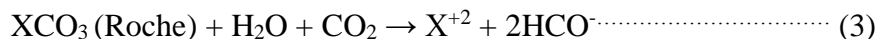
$$TH = V_2/2,5$$

$$Mg^{+2} \text{ (meq/l)} = TH-Ca^{+2} \text{ (meq/l)} \dots\dots\dots (2)$$

5.4.2. Dosage des carbonates (CO_3^{2-}) et bicarbonates (HCO_3^-)

Les bicarbonates (HCO_3^-)

Résultent de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique selon l'équation générale suivante:



Leur origine principale est la dissolution des roches carbonatées, ainsi leur concentration dans l'eau est fonction de la nature des terrains traversés, la température de l'eau et la concentration en CO_2 (Schoeller., 1974).

Le principe de détection du bicarbonate et du carbonate est basé sur leur capacité à agir en tant qu'agents tampons, c'est-à-dire qu'ils peuvent stabiliser le pH d'une solution en neutralisant les acides ou les bases présents. L'indicateur utilisé est la phénolphthaléine qui change de couleur à un pH spécifique, généralement dans la plage alcaline, ce qui correspond à la neutralisation des carbonates. La titration proprement dite est réalisée en ajoutant de l'acide sulfurique (H_2SO_4) qui va réagir avec les carbonates pour former du dioxyde de carbone (CO_2) gazeux et de l'eau (Bouaroudj., 2012).

Mode opératoire

- Prélever une aliquote de 10 ml de l'échantillon d'eau et la placer dans une capsule en porcelaine.
- Ajouter 2 gouttes de phénophtaléine. En présence des carbonates la couleur devient rouge claire.
- Titrer avec l'acide sulfurique à 0,02N jusqu'à ce que la couleur rouge disparaisse.
- Noter la quantité d'acide utilisé (X).
- Ajouter 2 gouttes de méthyle orange à la même solution, puis titrer avec toujours de l'acide sulfurique à 0,02N jusqu'à l'apparition de la couleur rose
- Noter la nouvelle lecture sur la burette (Y).

Calculs

$$\text{CO}_3^{2-} (\text{meq/l}) = \frac{2X \cdot \text{normalité de H}_2\text{SO}_4}{\text{Volume d'aliquote}} \times 1000 \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{HCO}_3^- (\text{meq/l}) = \frac{(Y-2X) \cdot \text{normalité de H}_2\text{SO}_4}{\text{Volume d'aliquote}} \times 1000 \dots\dots\dots (5)$$

5.4.3. Le Dosage du chlorure (Cl^-)

C'est un anion inorganique important aux concentrations variables dans l'eau. Généralement présent sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl) (Lakhili *et*

al., 2015). Il influence la flore et la faune aquatiques et la croissance des plantes (Daraoui *et al.*, 2013).

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium, la fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la truite rouge caractéristique du chromate d'argent (Rodier., 2009).

Mode opératoire:

-Prélever un aliquote de 10 ml de l'échantillon d'eau et la placer dans une capsule en porcelaine.

-Ajouter 5 gouttes de la solution de K_2CrO_4 .

-Titrer avec $AgNO_3$ 0,1 N jusqu'à l'apparition d'une couleur rouge brique.

-Effectuer un essai à blanc avec de l'eau distillée.

Calculs

V_2 : Le volume en ml de l'aliquote prélevé.

n : La lecture faite à la burette en ml pour l'échantillon.

n' : La lecture faite à la burette en ml pour l'essai à blanc.

$$Cl^- \text{ (meq/l)} = (n - n') (0,1/V_2) \times 100 \dots \dots \dots (6)$$

5.5. Méthode spectrophotomètre (spectrophotomètre UV)

La spectrophotométrie est une méthode d'analyse qui permet de déterminer l'absorbance d'une substance chimique en solution, c'est-à-dire sa capacité à absorber la lumière qui la traverse. L'absorbance d'une substance chimique dépend de la nature et de la concentration de cette substance ainsi que de la longueur d'onde à laquelle on l'étudie (Chevallier., 2007).

Nous avons utilisé cette technique pour le dosage des nitrites, des nitrates, du cuivre, du sulfate, l'azote, les phosphates, le fer, le zinc et la DCO. Le matériel utilisé est un spectrophotomètre UV-Visible, avec un trajet optique de 1 cm (cuve en quartz)



Figure 08 : Photo de spectrophotomètre UV-Visible

Mode opératoire

- Pipeter soigneusement un volume d'échantillon.
- Pipeter soigneusement un volume de la solution qui réagit avec le paramètre à doser
- Fermer la cuve et inverser quelques fois jusqu'à avoir une solution homogène.
- Après quelques minutes, nettoyer soigneusement l'extérieur de la cuve.
- Insérer la cuve dans le compartiment pour cuves.
- Sélectionner la longueur d'ondes requise et appuyer sur mesurer.

5.5.1. Nitrate (NO_3^-)

Les nitrates sont des composés chimiques naturellement présents dans l'environnement, notamment dans les eaux et dans les sols. Ces dernières décennies, des concentrations croissantes de nitrates ont été observées dans les eaux suite à des pollutions anthropiques, principalement d'origine agricole pratiques intensives, modes de culture et d'élevage avec épandage massif d'effluents, d'engrais, etc (Décret exécutif n 04-196 du 15 juillet., 2004).

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosnylate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique à une longueur d'onde de 415 nm (Rodier., 2009).

5.5.2. Nitrite (NO_2^-)

Considéré comme un élément toxique, les NO_2^- représentent la forme la moins stable dans le cycle de l'azote. Ils sont issus de la réduction de l'ammonium NH_4^+ . Leur origine est liée à l'agriculture et aux rejets urbains et industriels. Dans le cycle de l'azote, les nitrites sont considérés comme étant des ions intermédiaires entre les nitrates et l'azote ammoniacal, ce qui explique les faibles concentrations rencontrées en milieu aquatique qui sont de l'ordre de quelques micromoles (Aminot et Chassepied., 1983).

La plupart des méthodes d'analyse reposent sur la propriété que possède l'acide nitreux à fournir avec une amine aromatique (Acide sulfanilique) une réaction de diazotation. Le diazoïque réagissant, par copulation avec un dérivé aromatique (phénol ou amine), conduit à un complexe (Complexe jaune) susceptible d'un dosage spectrométrique à la longueur d'onde 435 nm (Franck., 2002).

5.5.3. Cuivre (Cu^{+2})

Le cuivre est un élément chimique de symbole Cu et de numéro atomique 29. Sa masse atomique est de 63,45 g/mol. Il est représenté par deux isotopes stables : Cu (69,17 %), Cu (30,83 %) (Nekrassov., 1962).

Le cuivre est présent naturellement dans la croûte terrestre, les océans, les lacs, les rivières sous différentes formes et concentrations. C'est un des rares métaux existant à l'état natif, cependant il est majoritairement présent sous la forme de minerais (INERIS., 2013).

Le cuivre a une absorption caractéristique dans le spectre visible autour de 480 nm.

5.5.4. Azote total (N_T)

L'azote est un élément essentiel pour tous les êtres vivants. Il intervient dans les constituants cellulaires (protéines, acides aminés, acides nucléiques, bases azotées, etc.) et joue un rôle déterminant dans les grandes réactions réalisées par les algues et les bactéries qui se trouvent dans les eaux naturelles. L'azote peut être présent dans l'eau sous quatre formes principales, qu'on peut schématiser par la figure suivante (Bacha., 2006).

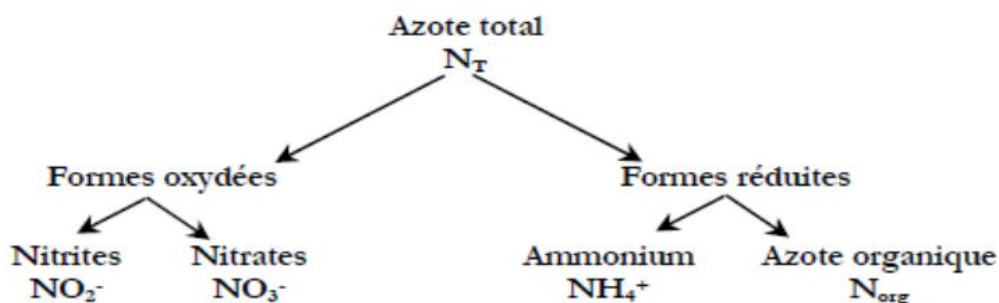


Figure 09 : Différentes formes de l'azote dans les eaux (Bacha., 2006).

La longueur d'onde spécifique utilisée pour mesurer l'azote par spectrophotomètre dépend de la méthode d'analyse et de la forme d'azote à doser ; pour l'azote ammoniacal (NH_4^+), la méthode de Nessler est utilisée. La réaction produit un complexe coloré qui peut être mesuré à une longueur d'onde d'environ 420-440 nm. Pour l'azote nitrique (NO_3^-), on emploie la méthode de salicylate. Cette méthode produit un composé coloré qui peut être mesuré à une longueur d'onde d'environ 410-420 nm.

5.5.5. Phosphate (PO_4^{-3})

L'ion phosphate ou orthophosphate est un anion poly atomique de formule chimique PO_4 et de masse moléculaire de 94,97 g/mol (AFNOR., 1990).

Les phosphates sont les oxydes de phosphore les plus connus, ce sont les sels de l'acide orthophosphorique H_3PO_4 . En fonction du pH du milieu, le phosphore peut exister sous forme de H_3PO_4 , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} ou PO_4^{-3} (Kilpimaa *et al.*, 2015).

Dans les eaux superficielles plus de 45% des phosphates proviennent des engrais, le reste provient des déchets humain et animal (Boukerma., 2011).

Les phosphates représentent 60 à 85% du phosphore total avec une concentration d'autant plus élevée que le temps de séjour dans le réseau de collecte est important. Une grande partie de ce flux polluant proviendrait du métabolisme humain (Deronzier et Choubert., 2004).

En milieu acide et en présences de molybdate d'ammonium, les ortho-phosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrométrique. Certaines formes organiques peuvent être hydrolysées au cours de l'établissement de la coloration et donner des ortho phosphates, le développement de la coloration est accéléré par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double d'antimoine et de potassium (Rodier., 2009)

5.5.6. Fer (Fe^{+2})

C'est un élément chimique de symbole Fe et de numéro atomique 26. Le noyau de l'atome de fer 56 est l'isotope le plus stable de tous les éléments chimiques, car il possède l'énergie de liaison par nucléon la plus élevée. Le fer est ferromagnétique : les moments magnétiques des atomes s'alignent sous l'influence d'un champ magnétique extérieur et conservent leur nouvelle orientation après la disparition de ce champ (Mahan., 1987).

Pour doser le fer ferreux (Fe^{+2}), on emploie la méthode de la 1,10-phénantroline. Le complexe formé entre le fer ferreux et la 1,10-phénantroline est orange et présente une absorbance maximale autour de 510 nm.

5.5.7. Zinc (Zn^{+2})

C'est un élément chimique de symbole Zn et de numéro atomique 30. Le zinc est un métal, moyennement réactif, qui se combine avec l'oxygène et d'autres non-métaux, et qui réagit avec des acides dilués en dégageant de l'hydrogène. L'état d'oxydation unique du zinc est +2 (appelé ion zincique), ainsi la géochimie du zinc est relativement peu complexe et l'on note un comportement chalcophile assez marqué par une association fréquente avec le soufre (Mahan., 1987).

La méthode utilisée pour doser le zinc et celle de la zincon, le complexe formé entre le zinc et la zincon (5-Br-PADAP) est violet et présente une absorbance maximale autour de 620 nm.

5.5.8. Sulfate (SO_4^{2-})

Les sources naturelles de sulfate sont l'eau de pluie et la dissolution des roches sédimentaires. Les évaporites comprennent le gypse (CaSO_4), ainsi que de la pyrite (FeS) et des roches plus rares Magma (galène, sphalérite, pyrite). Il peut également être d'origine anthropique suite à la combustion du charbon, du pétrole, l'utilisation d'engrais et de lessive (Barry., 1987).

Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum. Le précipité ainsi obtenu est stabilisé à l'aide d'une solution de "TWEEN 20" ou de polyvinylpyrrolidone. Les suspensions homogènes sont mesurées au spectromètre à la longueur d'onde de 450nm (Sahraoui., 2014).

5.6. Méthode spectrophotomètre (spectrophotomètre à flamme)

Le photomètre à flamme offre des possibilités nouvelles pour les dosages des métaux alcalins et alcalino-terreux. Il permet de doser dans de très bonnes conditions le sodium, le potassium et le calcium. Cette méthode physique d'analyse utilise la propriété qu'ont les atomes neutres d'absorber à une certaine longueur d'onde un quantum (Guenguen ., 1961)



Figure 10: Photo de spectrophotomètre à flamme.

Le mode opératoire

En se basant sur la norme ISO 21070 de 2019 spécifique au dosage du calcium, du sodium et du potassium par spectrométrie à flamme, le protocole stipule :

Préparation d'une solution étalon : des solutions standards à concentrations connues

Préparation de l'instrument : réglage des paramètres du spectromètre à flamme en fonction des éléments à doser.

- Etalonnage : en mesurant la concentration de chaque solution standard puis tracer la courbe d'étalonnage en plaçant les concentrations connues sur l'axe des x et les réponses de l'instrument sur l'axe des y.
- Dosage de l'échantillon : en aspirant l'échantillon dans une pipette appropriée et l'injecter dans la flamme de l'appareil puis lire la réponse de l'instrument et utiliser la courbe d'étalonnage pour déterminer la concentration d'ions calcium, sodium et potassium dans l'échantillon.

5.6.1. Calcium (Ca^{+2})

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature. Leur présence dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution des formations gypseuses ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) (Rezaiki et Zaghad., 2019).

La solution étalon utilisée pour le dosage du calcium par spectrométrie à flamme et le CaCl_2 .

5.6.2. Potassium (K^+)

Le potassium est un élément naturel indispensable à la croissance du vivant. Cependant sa présence en excès dans une eau (> 2 ou 3 mg/l) est un indice de pollution par des effluents agricoles ou d'industries agro-alimentaires qui en contiennent beaucoup (Boucenna., 2022).

La solution étalon utilisée pour le dosage du potassium par spectrométrie à flamme et le KCl .

5.6.3. Sodium (Na^+)

Le sodium est un élément dont les concentrations dans l'eau varient d'une région à l'autre. L'origine du sodium dans les eaux est liée principalement au lessivage des dépôts évaporites et ceci par des phénomènes d'évaporation et des échanges de base.

Les eaux très riches en sodium deviennent saumâtres, prennent un goût désagréable et ne peuvent pas être consommées (Sari., 2014).

La solution étalon utilisée pour le dosage du sodium par spectrométrie à flamme et le NaCl .

Chapitre III :

Résultats et discussion

1. Les paramètres physicochimiques

1.1. potentiel d'Hydrogène (pH)

Les valeurs de pH obtenues pour les 7 points oscillent entre 7,20 et 8,1. Ces résultats sont conformes à la norme FAO de 2003 (6,5-8,5).

Hormis le pH de l'eau issue de la troisième station qui se rapproche plus de la neutralité, les autres stations renferment une eau alcaline au pH basique.

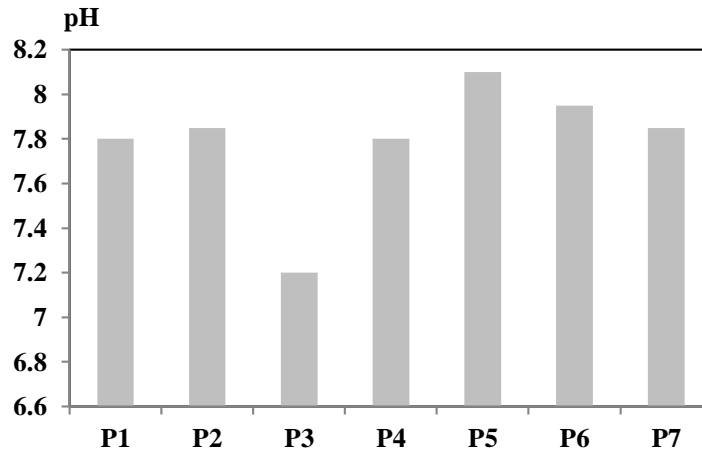


Figure 11 : La variation du pH dans les points étudiés.

1.2. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique enregistré dans les sept points et conforme à la norme MOS de 1998 qui stipule que les valeurs de la CE ne doivent pas dépasser les 3000 ($\mu\text{S}/\text{cm}$). La valeur maximale est détectée au niveau de P1 avec une valeur de 2500 ($\mu\text{S}/\text{cm}$), la mesure la plus basse est celle du point 4 dont la conductivité est de 1000 ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

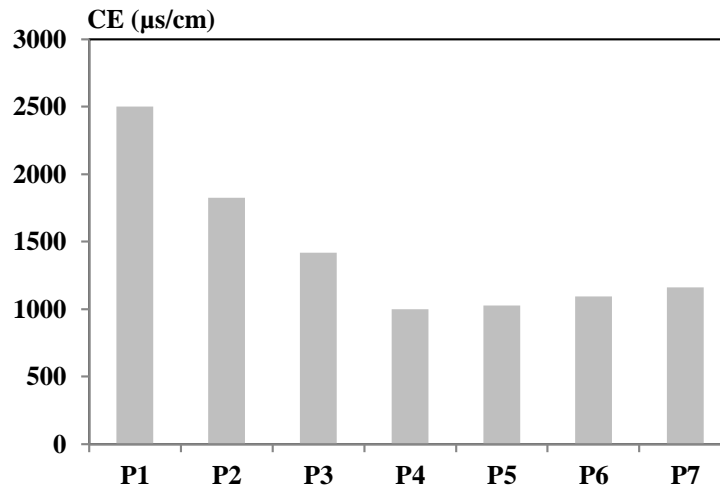


Figure 12 : La variation de la CE dans les points étudiés.

1.3. Nitrate (NO_3^-)

Les résultats des nitrates NO_3^- varient entre 1,04 et 5,45. La valeur minimale est observée au niveau du point P7 et la valeur maximale au niveau du point P3. Toutes ces mesures sont inférieures à la valeur minimale posée par la norme FAO de 2003 (10-30 mg/l).

Comme leur présence est liée à l'utilisation intensive d'engrais chimiques, les résultats obtenus peuvent témoigner que ce n'est pas le cas pour cette zone. Cependant, une concentration telle que celle-ci bien en dessous du seuil limite peut entrainant des carences nutritives chez les plantes entrainant une diminution globale de leur vigueur (Lawani *et al.*, 2017).

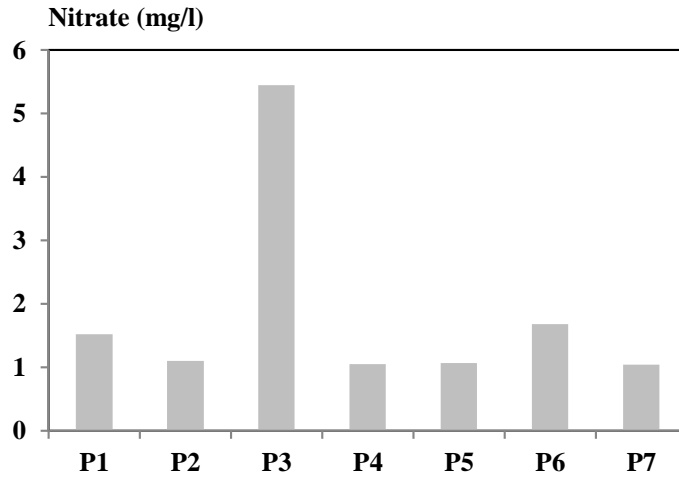


Figure 13 : La variation des Nitrates dans les points étudiés.

1.4. Nitrite (NO_2^-)

La teneur en nitrites varie entre 0,006 mg/l (P5) et 1,47 (P2). Toutes les mesures respectent les normes de MOS(1989) (<1 mg/l) mis à part le troisième point qui dépasse cette limite de 1,47 mg/l.

Il est à noter que des niveaux élevés de nitrites dans l'eau d'irrigation peuvent être toxiques pour les plantes. Ils peuvent également réagir avec certaines substances présentes dans le sol pour former des composés appelés nitrosamines qui sont cancérigènes (INIRIS., 2014).

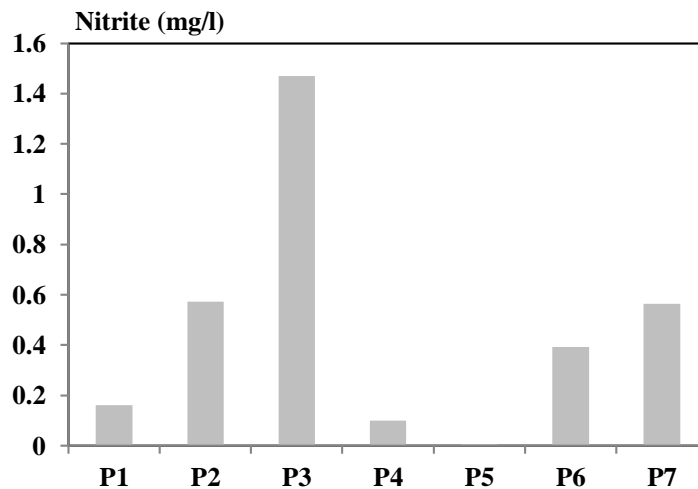


Figure 14 : La variation des Nitrites dans les points étudiés.

1.5. Cuivre (Cu^{+2})

Les valeurs du cuivre obtenues oscillent entre 0,036 mg/l enregistré au niveau du point P6 et 1,08 mg/l au niveau du point P1 le seul à dépasser la limite imposée par la FAO de (2003) (0,20 mg/l). Ceci peut être dû à l'érosion des conduites ou à l'activité industrielle. Cependant il est à souligner que sa présence n'est pas toxique.

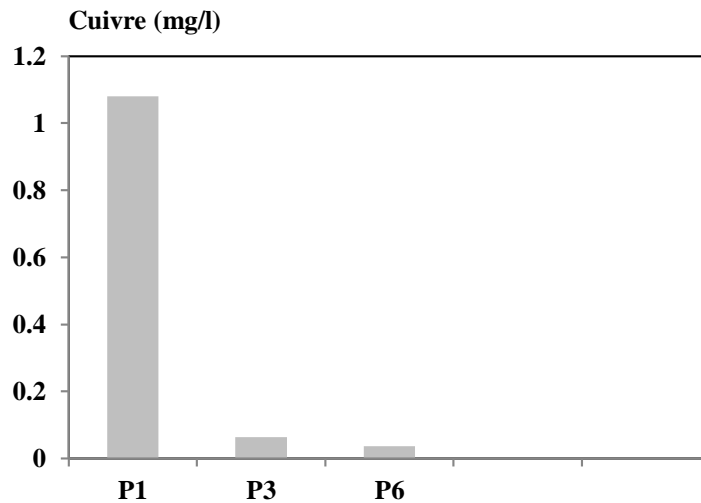


Figure 15 : La variation du Cuivre dans les points étudiés.

1.6. Calcium (Ca^{+2})

La variation du Ca^{+2} enregistré au cours de l'étude est marquée par un minimum de 7,03 mg/l pour le point P5 et un maximum de 10,04 mg/l pour les points P1, P2, P7. Ces teneurs en calcium des eaux étudiées sont conformes à la norme FAO(2003) (400mg/l).

La présence des ions Ca^{+2} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution des formations gypseuses (Sahraoui., 2014).

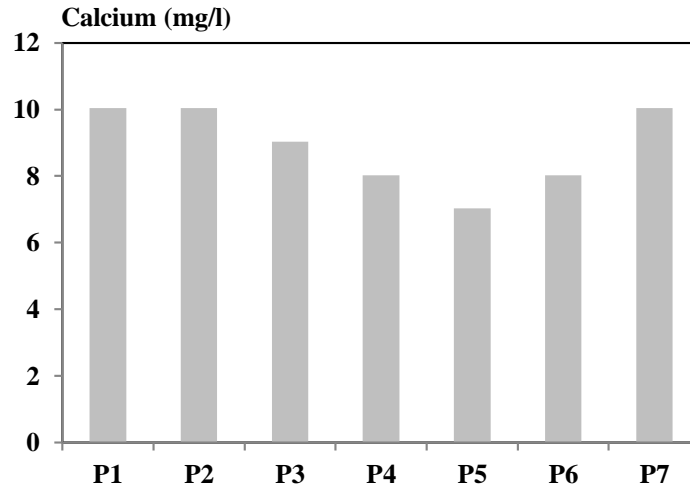


Figure 16 : La variation du Calcium dans les points étudiés.

1.7. Magnésium (Mg^{+2})

Les teneurs en magnésium montrent des valeurs très proches, elles varient entre la valeur maximale de 48,243 mg/l enregistrée au P1 et la valeur minimale de 30,866 mg/l enregistrée au niveau de P4. Les résultats sont conformes aux normes MOS de 1989 et FAO de 2003 (60 mg/l).

Tout comme le calcium, le magnésium provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (Sahraoui., 2014).

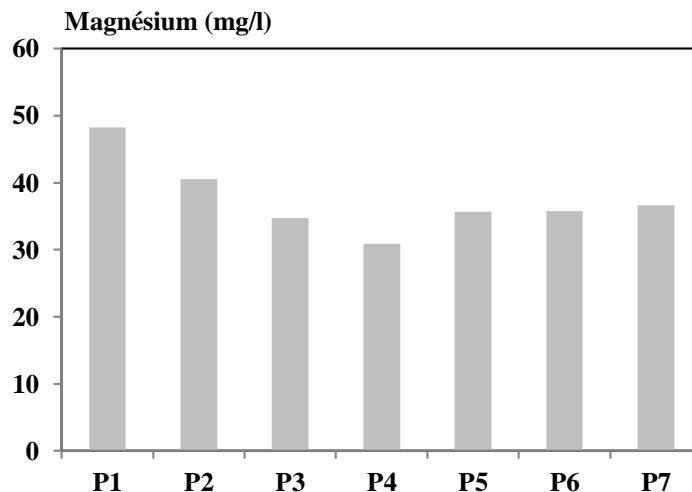


Figure 17 : La variation du Magnésium dans les points étudiés.

1.8. Potassium (K^+)

Les valeurs de potassium obtenues pour les 7 points oscillent entre 148,44 mg/l enregistrée au niveau des points P4, P6 et 1240,52 mg/l enregistrée au niveau du point P1. Ces teneurs dépassent largement la limite de 2 mg/l imposée par la norme FAO de (2003).

Bien que le potassium soit un élément nutritif essentiel pour les plantes, des concentrations excessives peuvent entraîner une toxicité. Un excès de potassium peut perturber l'équilibre osmotique des cellules végétales, entraînant des dommages au niveau des tissus et une diminution de la croissance. Il peut également augmenter la salinité des sols affectant ainsi la capacité des plantes à absorber l'eau, entraînant un stress hydrique et une diminution de la croissance des racines. Cela peut également endommager la structure du sol, réduire la perméabilité et entraîner une mauvaise rétention d'eau.

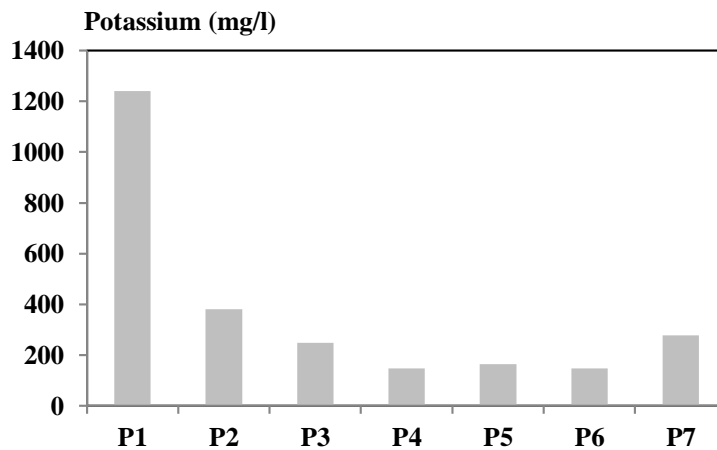


Figure 18 : La variation du Potassium dans les points étudiés.

1.9. Sodium (Na^+)

La teneur en sodium enregistrée dans les points P2, P3, P4, P5, P6, P7 sont conformes à la norme FAO de (2003) qui stipule que les valeurs de Na^+ ne doivent pas dépasser 220 mg/l. Ceci n'est pas le cas du premier point qui dépasse légèrement cette limite avec une valeur maximale de 231,38 mg/l. La mesure la plus basse est celle du point P6 avec une teneur de 78,46 mg/l.

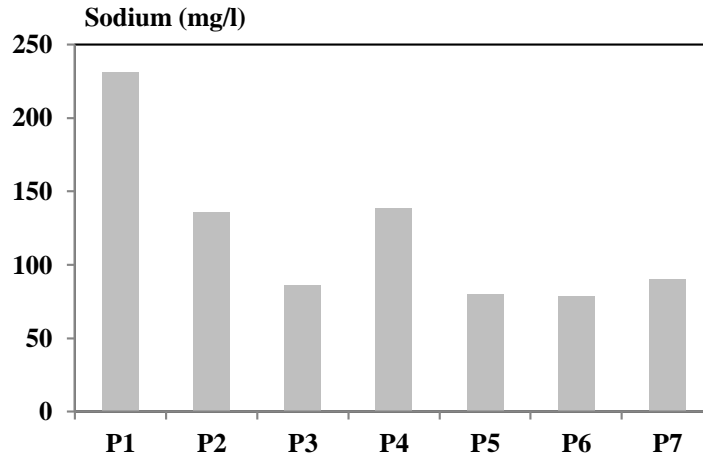


Figure 19 : La variation de Sodium dans les points étudiés

1.10. Azote total (N_t)

Les valeurs d'azote obtenues pour les 7 points oscillent entre 1,07 mg/l enregistrée au niveau des points P5 et 56,2mg/l enregistrée au niveau du point P1. Ce dernier est le seul à ne pas être conforme à la norme FAO (10-30 mg/l). Il peut provenir de l'hydrolyse des composés azotés des êtres vivants (urine) et du drainage des engrais utilisés dans l'agriculture intensive (podoska et Andraws., 1981).

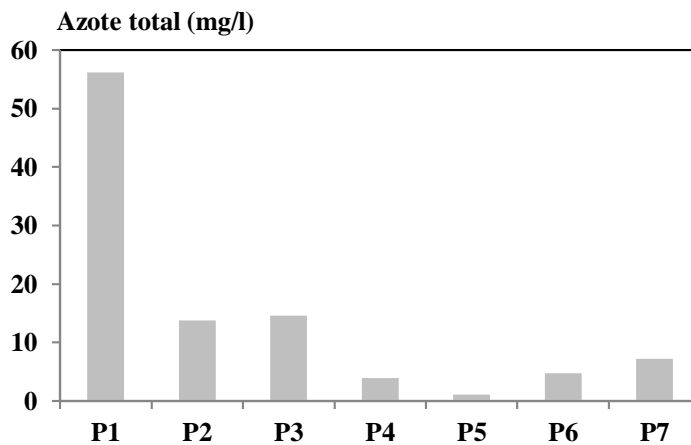


Figure 20: La variation d'Azote dans les points étudiés.

1.11. Chlorure (Cl⁻)

Les valeurs de ce paramètre montrent que les teneurs dans les points sont conformes les normes de FAO (165 mg/l), elles varient entre 10,635 mg/l au niveau de P3 et P4 et 28,362 mg/l au niveau de P1.

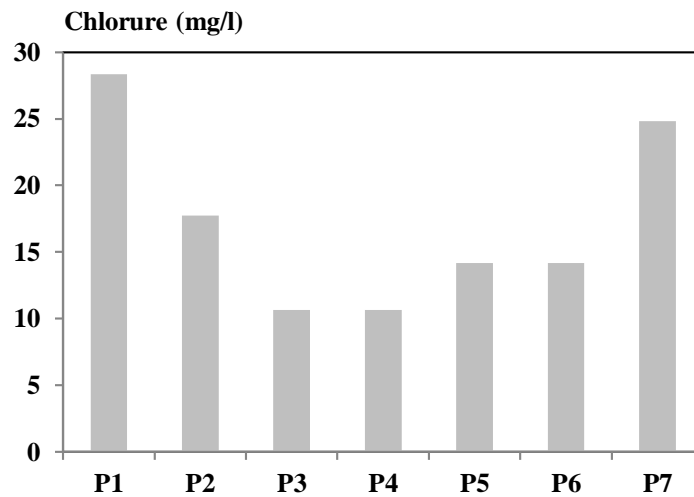


Figure 21 : La variation des Chlorures dans les points étudiés.

1.12. Sulfate (SO_4^{2-})

Les concentrations en Sulfate montrent des valeurs très proches entre les différents points de prélèvement. Elles varient entre 66 mg/l au niveau de P7 et 85 mg/l au niveau de P4. Les résultats sont conformes aux normes MOS(1989) et FAO(2003) (960 mg/l).

Leur présence dans les eaux est en général liée à la présence de gypse dans les sols. C'est un composé naturel qui correspond à la présence de soufre dans l'eau (Guettaf, 2015).

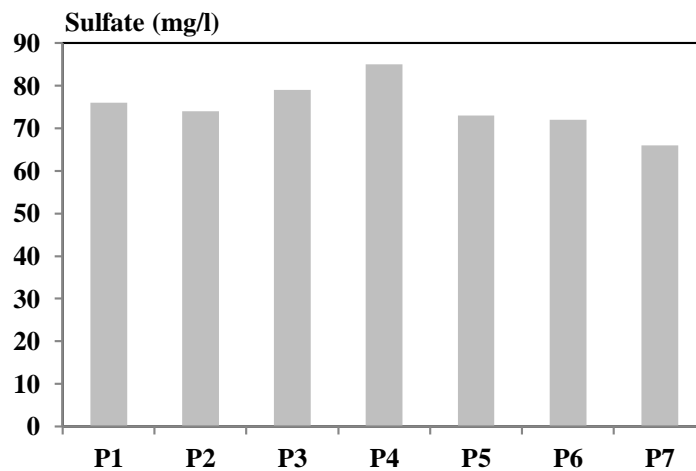


Figure 22: La variation du Sulfate dans les points étudiés.

1.13. Phosphate (PO_4^{3-})

Les concentrations du phosphate varient entre 0,19 et 4,33. La faible valeur provient du point P7 et La plus grande valeur provient du point P2. Ce dernier est le seul à ne pas être conforme à la norme FAO de 2003 (2 mg/l). En effet il la dépasse de presque le double.

Lorsque l'eau contenant des niveaux élevés de phosphate est utilisée pour l'irrigation, une partie de ce phosphate peut être lessivée dans les sols et les cours d'eau environnants. Cela peut entraîner une augmentation de la concentration de phosphate dans les écosystèmes aquatiques, favorisant la croissance excessive d'algues et d'autres organismes, ce qui peut conduire à l'eutrophisation et à la dégradation de la qualité de l'eau (ministre de l'environnement et du changements climatiques., 2020) .

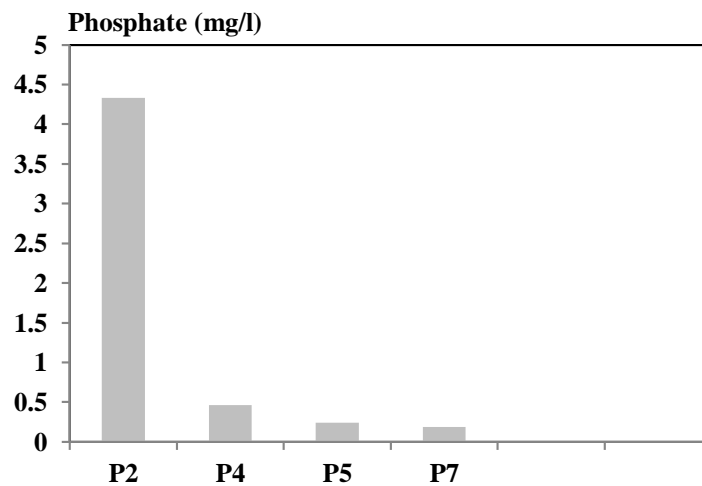


Figure 23 : La variation du Phosphate dans les points étudiés.

1.14. Fer (Fe^{+2})

Les valeurs de Fe obtenues pour les 7 points oscillent entre 0,027 mg/l enregistré au niveau de point P7 et 1,63 mg/l enregistré au niveau de point P1. Ces résultats sont dans la norme FAO de 2003 (5 mg/l).

Si l'eau d'irrigation est déficiente en fer, les plantes peuvent être confrontées à des carences en fer, ce qui peut entraîner des symptômes tels que le jaunissement des feuilles (chlorose) et une croissance réduite.

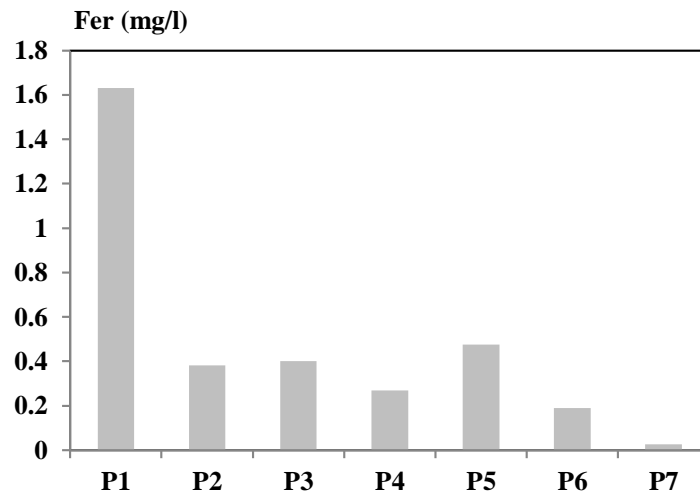


Figure 24 : La variation du Fer dans les points étudiés.

1.15. Zinc (Zn^{+2})

Les valeurs de Zn^{+2} obtenues pour les 4 points (P2, P4, P5, P7) varient entre 0,58 mg/l et 1,99 mg/l. Les concentrations minimales sont observées au niveau du point P5 et les concentrations maximales sont observées au niveau du point P7. Les résultats sont conformes à la norme FAO de 2003 (2 mg/l).

Il est peu toxique, puisque au niveau de traces c'est un oligo-élément utile à l'organisme (Guettaf., 2015).

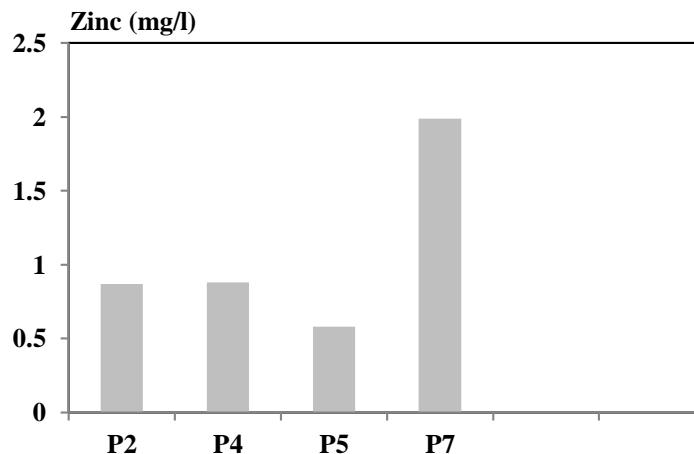


Figure 25 : La variation du Zinc dans les points étudiés.

1.16. Carbonates (CO_3^{2-})

Les teneurs en carbonates sont proches et similaires. Elles varient entre la valeur maximale de 24 mg/l enregistrée au niveau P1, P3, P4, P6, P7 et la valeur minimale de 12 mg/l enregistrée au niveau de P2, P5. Ces valeurs dépassent le seuil imposé par la norme FAO de 2003 (3 mg/l).

Les carbonates présents dans l'eau peuvent se déposer sous forme de dépôts de carbonate dans les systèmes d'irrigation, tels que les canalisations, les goutte-à-goutte et les émetteurs d'irrigation. Ces dépôts peuvent réduire l'efficacité de l'irrigation en obstruant les conduites et en limitant le débit d'eau. Présents dans l'eau d'irrigation, ils contribuent à son alcalinité, ce qui se traduit par un pH élevé. Un pH élevé peut affecter l'absorption des nutriments par les plantes, car certains éléments nutritifs peuvent devenir moins disponibles ou précipiter sous forme de dépôts solides. Cela peut entraîner des carences nutritionnelles chez les plantes et affecter leur croissance.

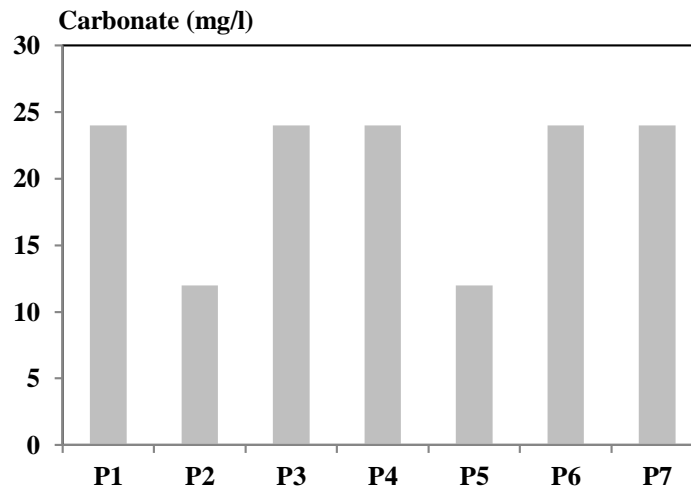


Figure 26 : La variation des Carbonates dans les points étudiés.

1.17. Bicarbonates (HCO_3^-)

Les concentrations en bicarbonates montrent des teneurs très variables. Elles varient entre la valeur maximale de 903 mg/l enregistrée au niveau P1 et la valeur minimale de 122 mg/l enregistrée au niveau de P4. Mis à part la teneur de P1 qui dépasse de 903 mg/l la limite imposée par la FAO qui est de 610 mg/l, tous les autres résultats sont conformes à cette dernière.

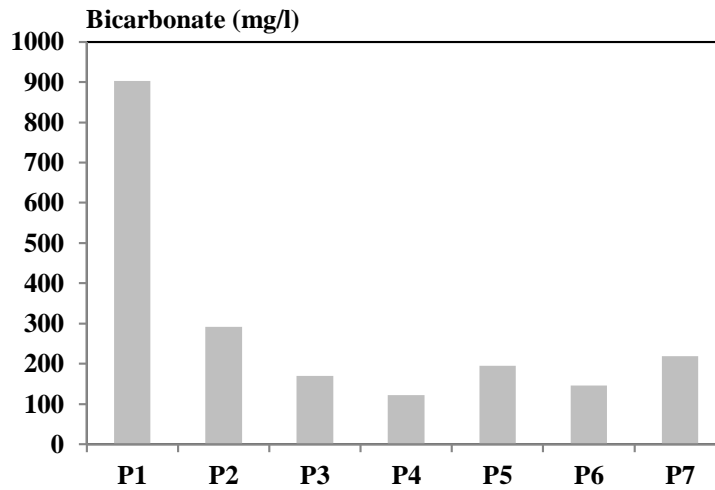


Figure 27 : La variation des Bicarbonates dans les points étudiés.

1.18. Demande Biologique en Oxygène (DBO₅)

Les valeurs de ce paramètre dans les eaux étudiées sont variables et oscillent entre 0 et 229 mg/l. La valeur la plus élevée enregistrée dans le point P2 qui dépasse de loin la limite 30 de l'OMS et la valeur la plus basse enregistrée dans les points P1, P4, P5.

Une demande biochimique en oxygène à 5 jours (DBO₅) élevée dans l'eau d'irrigation comme pour P2 et P7, peut indiquer la présence d'une grande quantité de matière organique dégradable dans l'eau.

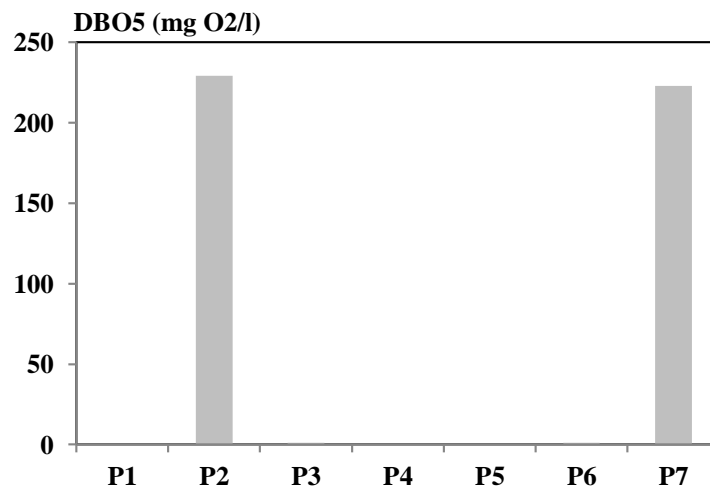


Figure 28 : La variation de la DBO₅ dans les points étudiés.

1.19. Demande Chimique en Oxygène (DCO)

Les valeurs de DCO obtenues pour les 3 points (P1, P3, P6) varient entre 57,6 mg/l et 175 mg/l. La concentration minimale est observée au niveau du point P6 et la concentration maximale au niveau du point P1. Ce dernier est le seul qui dépasse la norme MOS (1989) (120 mg/l).

Cette DCO adéquate indique que la quantité de matière organique présente dans l'eau est dans les limites acceptables. Cela contribue à maintenir la qualité de l'eau et à éviter la pollution due à une charge excessive de matière organique.

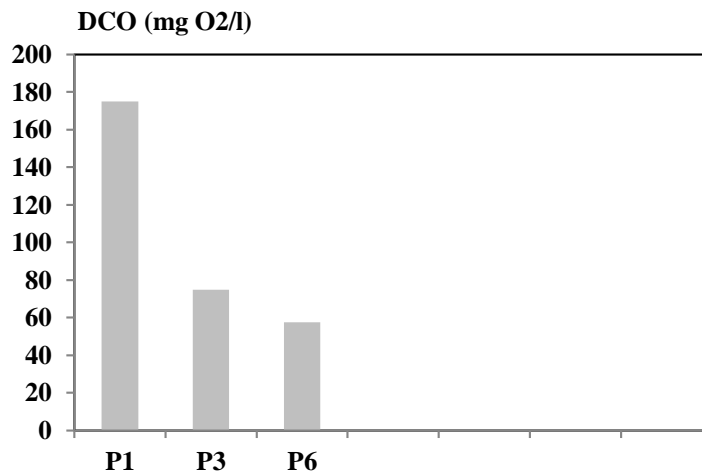


Figure 29 : La variation de la DCO dans les points étudiés.

2. Hydrochimie des eaux

2.1. Diagramme de piper

Les diagrammes de Piper sont couramment utilisées dans les représentations graphiques d'analyses des solutions; ils fournissent une information riche et pratique sur la description qualitative des eaux en permettant de visualiser les teneurs relatives en cations et anions exprimées en pourcentage, et aident à déterminer le faciès géochimique de l'eau en fonction des subdivisions dans chaque triangle.

Le losange contribue à différencier quatre grands groupes de faciès d'eau :

- Le groupe à faciès chloruré et/ou sulfaté calcique et/ou magnésien
- Le groupe chloruré et/ou sulfaté sodico-potassique
- Le groupe bicarbonaté et/ou carbonaté calcique et/ou magnésien
- Le groupe bicarbonaté et/ou carbonaté sodico-potassique (Gonzalez-Barrios., 1994)

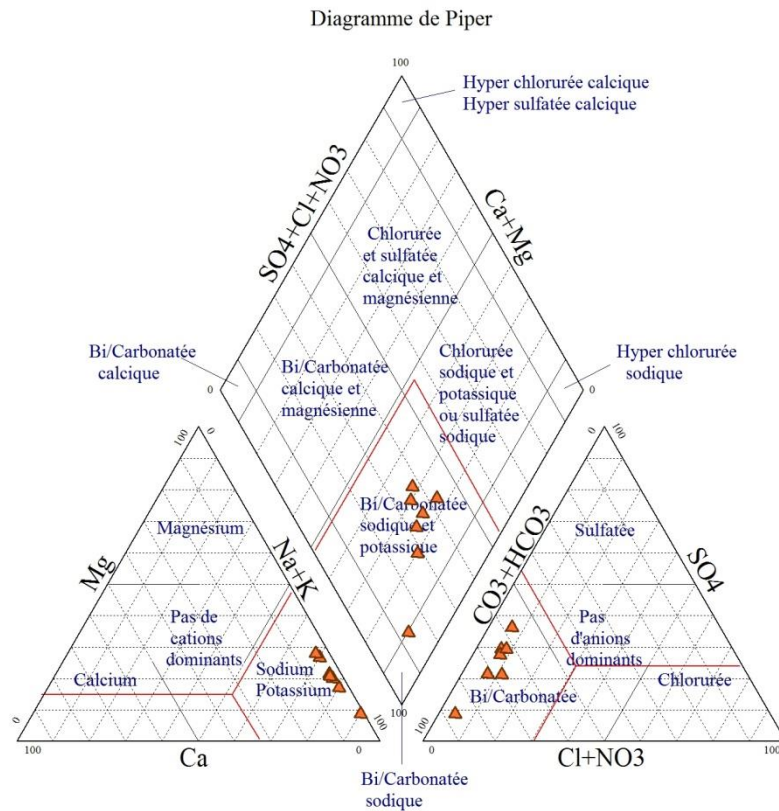


Figure 30 : Diagramme de PIPER

Le rapport des résultats de nos échantillons sur le diagramme de Piper (figures 30) indique que l'eau d'irrigation de Oued Guebli appartient à la famille de faciès Bicarbonatée sodique et potassique.

Cette prédominance bicarbonaté-sodique peut se justifier par des teneurs importante en bicarbonate et en sodium enregistrée dans les eaux du bassin versant (Rabilou *et al.*, 2018). Ce qui est surtout le cas pour P1.

2.2. Diagramme de wilcox

Les concentrations élevées de sodium contenu dans une eau limitent souvent son utilisation en irrigation, il est absorbé dans des sites d'échange de cations dans le sol et cause la dispersion des agrégats (Minhas *et al.*, 2007).

Ainsi, les pores se trouvent scellés et en conséquence, la perméabilité du sol est réduite, en particulier pour les sols argileux qui deviennent anaérobique, sodique ou compactés (Marlet et Job., 2006).

La classification de WILCOX, (1948), est fondée sur la conductivité électrique (CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$) en abscisse et la teneur en sodium dans l'eau qui est exprimée en pourcentage en ordonnées :

$$\text{Na (\%)} = \left[\frac{\text{Na} + \text{K}}{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K}} \right] \times 100 \dots \dots \dots (7)$$

A l'issue de la classification de Wilcox, cinq classes pourront être attribuées à une eau d'irrigation; excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise.

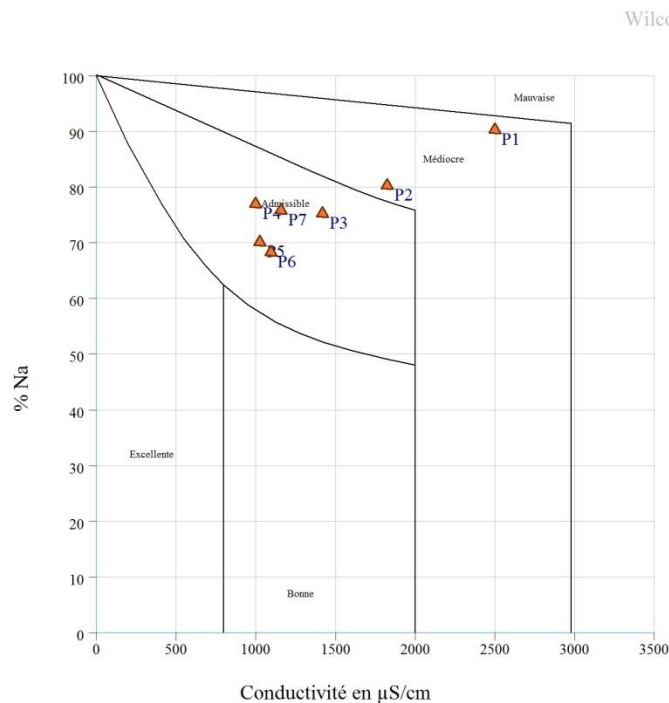


Figure 31 : Diagramme de WILCOX

Selon le diagramme de Wilcox et d'après la projection des valeurs de Na (%) et de CE, les eaux des points étudiées prennent les classes :

- Eau de qualité admissible pour les points P3, P4, P5, P6, P7. En générale, il s'agit d'une eau convenant à l'irrigation des cultures tolérante au sel sur des sols bien drainés. Cependant, l'évaluation de la salinité doit être contrôlée (Guettaf., 2015).
- Eau de qualité médiocre pour les points P1, P2. Elle concerne des eaux moyennement minéralisation, avec un risque de salinisation moyen et d'alcalisation faible (Gouaidia *et al.*, 2012).

2.3. Diagramme de Riverside

Les classes des eaux d'irrigation (C1S1,...C5S4) correspondent, dans le diagramme de Riverside au SAR (en ordonnées pour la lettre S) et à la conductivité (en abscisses pour la lettre C). Ainsi la classe C1S1 (coin bas à gauche) est considérée comme excellente car elle correspond à des valeurs minimales du SAR et de la conductivité; en revanche, la classe C5S4 (coin haut à droite) est la plus mauvaise, car les valeurs du SAR et de la conductivité sont à leur maximum (Bradai., 2017).

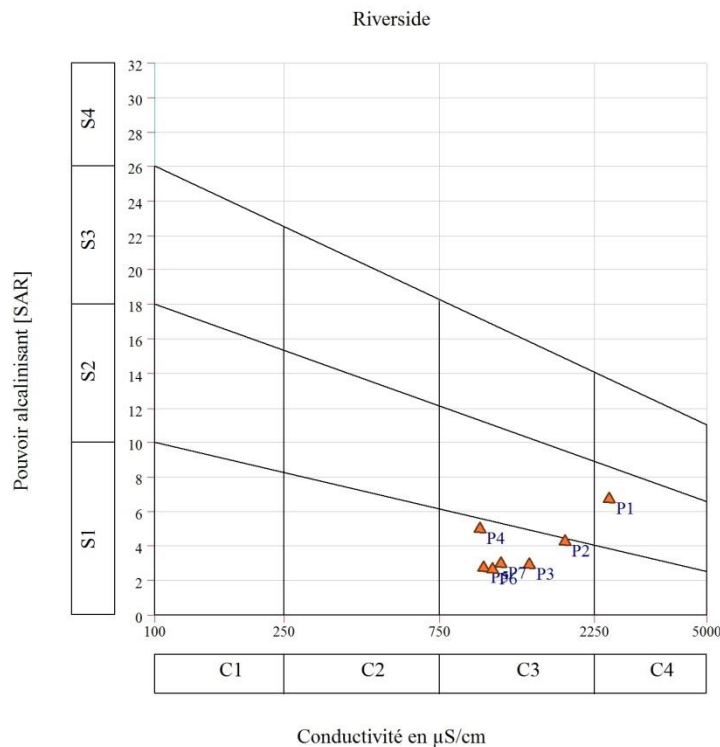


Figure 32 : Diagramme de RIVERSIDE

La projection des résultats d'analyse de nos eaux d'oued Guebli sur le diagramme de Riverside (CE et la valeur de SAR), montre que les eaux analysées sont situées dans les classes suivantes :

C3S1 pour les eaux des points P2, P3, P4, P5, P6, P7. Elle reflète une eau de qualité moyenne et à utiliser avec précaution (nécessité de drainage avec des doses de lessivage et /ou apport de gypse).

- eau convenant aux plantes qui présentent une bonne tolérance au sel
- sol bien aménagé (bon drainage)
- contrôle périodique de l'évolution de la salinité.

C4S2 pour les eaux de point P1. Elle reflète :

-eau ne convient pas à l'irrigation dans des conditions normales

-peut être utilisée si les espèces ont une très bonne tolérance à la salinité et le sol soit particulièrement bien drainé (Boumediou et Fekih., 2014).

Conclusion

A la lumière de cette étude menée sur sept points du bassin versant de Guebli (région de Skikda), et qui vise l'objectif de contribuer à la connaissance des propriétés physicochimiques des eaux d'irrigation de ce bassin versant, nous avons pu tirer les constatations suivantes: concernant les paramètres physiques, le pH est de basse alcalinité surtout au niveau de P3 qui se rapproche plus de la neutralité. Ceci n'affecte en aucun cas la qualité de l'eau pour l'irrigation et cela va de soit pour les résultats de conductivité enregistrés. Quant aux anions, l' HCO_3 , le CO_3 , le Cl et le SO_4 sont présents en quantité tolérée par les normes MOS de 1989 et FAO de 2003. Pour ce qui est de la teneur en cations, ils ne représentent également aucun problème de qualité, sauf le sodium fortement présent au niveau de P1 qui pose des problèmes pour l'irrigation et le potassium qui engendre des problèmes de toxicité. Les valeurs d'azote, de PO_4 et de la DCO sont dans les normes contrairement à la DBO_5 et la teneur en NO_3 qui ne leurs sont pas conformes. Suite à ces analyses physico-chimiques, l'eau de Oued Guebli a été classée dans la famille de faciès Bicarbonatée sodique et potassique en se référant au diagramme de Piper. Selon le diagramme de wilcox l'eau des points P3, P4, P5, P6, P7 est de qualité admissible, celle des points P1 et P2 est de qualité médiocre. On peut déduire que les eaux de cette région appartiennent à la classe C3S1 et C4S2; en générale, ce sont des eaux fortement salines pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés.

Comme récapitulation, à la fin de cette étude on peut dire que malgré le fait que nos eaux analysées présentent certaines propriétés recherchées, tels que le pH et les concentrations de certains cations et anions, elles présentent aussi des propriétés qui peuvent influencer négativement leur aptitude à l'irrigation si elles ne sont pas traitées, tel que le taux élevé de salinité.

Comme suggestion, on propose aux agriculteurs des zones étudiées l'installation des réseaux de drainage pour évacuer l'eau saline en dehors des sols cultivés. Il est recommandé aussi d'appliquer un bon lessivage du sol, ayant pour but de diminuer le taux élevé de sels.

Finalement, cette recherche mérite d'être poursuivie pour mieux caractériser et essayer d'améliorer les propriétés des eaux d'irrigation de la région étudiées.

Références

Bibliographiques

A

- Aminot A., Chaussapied M., 1983, Manuel des analyses chimiques en milieu marin, C.N.E.X.O.FRANCE, 395p.
- Amoura M., 2022, Contribution à l'analyse de la performance d'un système d'irrigation de cultures dans la région de Chlef, Thèse de Doctorat en sciences, Université Hassiba Benbouali de Chlef, 82p.

B

- BACHA M., 2006, Chloration de bases puriques et pyrimidiques en présence de sels minéraux, mémoire de magister en hydraulique, Université Mohamed Khider de Biskra.
- Barry GS., 1987, Sodium sulfate, Canadian minerals year book, Minerale resport, N°370, Division des ressources minérales, énergie, mines et ressources, Ottawa.
- Belksier MS., Chaab S., Abour F., Zeddouri A., Bouselsal B., Kechiched R., 2014, l'irrigation et le risque de pollution saline. Exemple des eaux de la nappe libre dans la région de Touggourt, *International Journal for Environment & Global Climate Change*, pp 32-39.
- Bligny JC., Hartemann P., 2005, Les eaux minérales naturelles et les eaux de sources : cadre réglementaire et technique, Article, Département « environnement et santé public », SERES, Faculté de médecine, France, 337 p.
- Bouaroudj S., 2011, Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation, Mémoire Magistère, Université de Constantine, 3p.
- Bouaroudj S., 2012, Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation, Mémoire de Magistère en Gestion des déchets évaluation et solution environnementales, Université Mentouri Constantine.
- Boukerma H., 2011, Synthèse et caractérisation structurale de phosphates métalliques a charpente organique, Mémoire de magistère en chimie, Université Mentouri de Constantine, Algérie.
- Bouras S., Maatoug M., Hellal B., Ayad N, 2010, Quantification de la pollution des sols par le plomb et le zinc émis par le trafic routier (cas de la ville de Sidi Bel Abbès, Algérie occidentale),11-17 p.
- Bousenna F., 2022, Cour d'hydrochimie et hydrogéochimie, Polycopie de cour Destiné aux étudiants/ 2 eme année Master Hydrogéologie, Université Elhadj Moussa Ag Akhamouk – Tamanrasset, 58 p.

- Bradai H., 2017, Evolution de la qualité géochimique des eaux souterraines utilisées dans l'irrigation et leur impact sur la dégradation des sols de la plaine du Bas –Chélif. Thèse de doctorat, Univ Hassiba Benbouali de Chlef, pp 18-86.

C

- Chapman D., Kimstach V., 1996, Selection of water quality variables, Water quality assessments : a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed, E & FN Spon, London.
- Chevallier H., 2007, L'eau un enjeu pour demain, livre, état des lieux et perspectives, Sang de la terre (éditeur), 352p.

D

- Daraouie A., Boukroute A., Kouddane NE., Berrichi A., 2013, Effet de la salinité sur la germination et la croissance in vitro du *Washingtonia filifera* L, Revue « nature et technologie », B-Sciences agronomiques et biologiques N°08, 32-38
- Décret exécutif n 04-196 du 15 juillet., 2004, Relatif à l'exploitation et la protection des eaux minérales naturelles et les eaux de sources, Journal Officiel de la République Algérienne 2004.
- Deronzier G., Choubert JM., 2004, traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration à boues activées, Document technique FNDAE 29, Edition Cemagref, Paris.

E

- Environnement et changement climatique Canada., 2020, indicateurs canadien de durabilité de l'environnement : concentrations de phosphore dans les eaux au large des cote des grands lacs, 12p.

F

- Franck R., 2002, Analyse des eaux, Aspects réglementaires et technique, Editions scérem CRDP AQUITAINE, BAURDEAUX, 165-239.

G

- Gonzalez-Barrios JL., 1994, Eaux d'irrigation et salinité des sols en zone aride mexicaine: Exemple dans la "Comarca Lagunera", Ed, I'ORSTOM, Paris, 117-271p.
- Gouaidia L., Guefaifia O., Boudoukha A., LaidHemila M., Martin C., 2012, Evaluation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sol : exemple de la plaine de Meskiana (Nord-Est Algérien), Article, Université de Tébessa, Algérie p 141-160 .

- Graini L., 2011, Contrôle de la pollution de l'eau par méthode acousto-optique, Mémoire magister, Université FERHAT ABBAS-SETIF, P106.
- Guettaf M., 2015, Caractérisation hydrochimique et évaluation des indicateurs de pollution dans l'environnement : cas de l'oued Seybouse et ses affluents dans le sousbassin de Guelma (Nord-Est Algérien), Thèse Doctorat, p 140.
- Institut National de l'Environnement Industriel et des Risque (INERIS)., 2013, Synthèse spécifique au secteur d'activité agroalimentaire, donnée technico économique sur les substances chimique en France-agence de l'eau, France.
- Institut National de l'Environnement Industriel et des Risque (INERIS)., 2014, Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : Nitrosamines, DRC-14-136881-01291A, 69 p.

K

- Kilpimaa S., Runtti H., Kangas T., Lassi U., 2015, physical activation of charbon residue from biomass gasification :novel sorbert for the removal of phosphates and nitrates from aqueous solution, journal of industrial and engineering chemistry N°21,1354-1364 pp.

L

- Lakhili F., Benabdelhadi M., Bouderkha N., Lahrach H., Lahrach A., 2015, Etude de la qualité physicochimique et de la contamination métallique des eaux de surface du bassin versant du Beht (maroc), Européen scientifique journal, N°11, 132-147
- Lawani RAN., Kelome NC., Agassounon Djikpo Tchibozo., Hounkpe JB., Adjagodo A., 2017, Effets des pratiques agricoles sur la pollution des eaux de surface en republique du benin, Article, Université d'Abomey-Calavi, pp. 173-190

M

- Mahan BH., 1987, Química, Curso Universitario, Fondo Educativo Interamericano SA.
- Marlet S., Job JO., 2006, Processus et gestion de la salinité des sols, In Tiercelin, J R, Traité d'irrigation, seconde édition, pp 797-822.
- Mecibah I., 2017, Les ressources en eau et gestion intégrée du bassin versant d'Oued Guebli (Nord-Est Algérien), Thèse de Doctorat en sciences, Université Badji Mokhtar Annaba, 268p.
- Metahri MS., 2012, Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes (cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou), thèse de Doctorat en agronomie, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 138p.

- Minhas PS., Dubey SK., Sharma DR., 2007, Effects of soil and paddy-wheat crops irrigated with waters containing residual alkalinity, *Soil Use Manage* (23), pp 254–261.

N

- Nekrassov B., 1969, chimie minérale EDMIR, Moscou.

P

- Poduska RA., Andrews JF., 1975, Dynamics of nitrification in the activated sludge process, 1599-1611 pp.

R

- Rodier J., Legube B., Merlet N., 2009, L'analyse de l'eau, 9ème édition. DUNOD (éditeur), Paris, France, 1579 p
- Rodier J., Legube B., Merlet N., 2009, L'analyse de l'eau, 9ème édition. RODIER, 2009, L'analyse de l'eau, 10e édition Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer.
- Rezaiki A., Zaghad L., 2019, Les eaux géothermales de la nappe du Continental Intercalaire de la région d'Oued Righ (SE Algérie) : problèmes et intérêt, Mémoire de Master en Science, Université de Jijel, 94p.

S

- Sari H., 2014, Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source « Attar » (Tlemcen), Mémoire de master, Université Tlemcen, 92p
- Schoeller H., 1974, les eaux souterraines, ED : Multon, 520 p.
- Silwia., 2017, Instruction d'échantillonnage pour les essais physiques et chimiques.
- Souley Moussa R., Malam Alma MM., Laouali MS., Natatou I., Habou I., 2018, Article, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger.
- Sahraoui H., 2014, Evolution géochimique des eaux de long du bassin versant de Ouad Zgrire (Région du Mزاب), Mémoire magistère en géologie, Université Kasdi Merbeah-Ouargla, 107p