

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



N° Ref :

Centre Universitaire Abdelhafid BOUSSOUF-Mila

Institut des Sciences et de la
Technologie Département des
Sciences de la Nature et de la Vie

**Mémoire préparé En vue de l'obtention du
diplôme de**

Master

Domaine : Sciences de la
Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : Protection des Écosystèmes

Thème :

**Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation
des oueds dans la région de Mila, nord-est de
l'Algérie.**

Préparé par : BOUCHEBOURA Manal

DJOUADI Racha

Devant le jury composé de :

Président: BOUNAMOUS Azzedine Professeur

Examineur: BOUNAB Nourhane Amani (MCB)

Encadreur: BOUAROUDJ Sara (MCB)

Centre universitaire de Mila.

Centre universitaire de Mila.

Centre universitaire de Mila.

Année Universitaire : 2022/2023

REMERCIEMENT

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il a nous donné durant toutes des longues années d'étude afin que nous puissions arriver là.

*D'abord, on tient à remercier tout particulièrement notre encadrant le **Docteur BOUAROUDJ Sara** pour son conseils et sacrifices afin de donner le meilleur et pour son suivi durant la période de préparation de notre mémoire de fin d'étude.*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury **Pr. BOUNAMOUS Azzedine** et **Dr. BOUNAB Nourhane Amani** pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Nous remercions aussi tous les membres de laboratoire du Ferdjioua. Nous adressons mes sincères remerciements à tous les enseignants du département des sciences de la nature et de vie et surtout **Dr. HAMIDA Bahaeddine**.*

Ce mémoire n'aurait jamais pu voir le jour sans le soutien actif des membres de notre famille, surtout nos parents qu'ils nous ont toujours encouragé moralement et matériellement et à qui on tient à les remercier.

Enfin on tient à exprimer vivement nos remerciement avec une profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation , car une mémoire ne peut pas être le fruit d'une seule personne.

Merci

Manal

Racha

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

- ❖ *Mon père : Nour eddine.*
- ❖ *Ma chère mère : Yamina.*
- ❖ *Mon chère frère : Karim.*
- ❖ *Mes chères sœurs : Farah et Kanza .*
- ❖ *A tous mes oncles et tantes ,cousines de la famille
BOUCHEBOURA et FAKRAOUI.*
- ❖ *Les jeunes enfants :baraeddine,Ramzi,Yasmine,
Djouri,Assil,Soudjoud ,
Ayham,Anis,Raid,Iyad ,Ishak et Ali.*
- ❖ *Mes collègues :*
Marwa,Racha ,Roumaissa,Yousra,Iman,Nadjla .
- ❖ *Mes très chères amies :*
*Kawther,Asma,Chaima ,Abir,Khaoula,Yasmine ,Ha
nnan.*
- ❖ *Merci à toutes les personnes qui nous ont aidés de
près ou de loin dans la réalisation de ce Mémoire.*

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

- ❖ *Mon père : Youcef.*
- ❖ *Ma chère mère : Salima.*
- ❖ *Mon chère frère : Shemse eddine.*
- ❖ *Mes chères sœurs : Nawel , Fadila et Nessrine .*
- ❖ *A tous mes oncles et tantes , cousines de la famille
DJOUADI et GOUMRI.*
- ❖ *Les jeunes enfants : Mehdi, Hadjer, Assil,
Hidaya, Aridj, Retaj, djad.*
- ❖ *Mes collègues : Afef, Ichrak, Marwa, Manal , Amel,
Yassmine .*
- ❖ *Mes très chères amies : Kenza et Kaouther .*
- ❖ *Merci à toutes les personnes qui nous ont aidés de
près ou de loin dans la réalisation de ce Mémoire.*

Résumé

Afin de préserver les ressources d'eau et de développer l'eau d'irrigation pour une agriculture durable, cette étude vise à évaluer la qualité physique et chimique de l'eau des vallées destinées à l'irrigation dans le nord-est de la wilaya de Mila. Au cours de cette étude, nous avons suivi un ensemble d'indicateurs physiques et chimiques (T°, pH, CE, bicarbonate, chlore, phosphate, azote, calcium, magnésium, sodium, potassium, nitrate) pour l'eau d'irrigation dans 6 stations, à partir de décembre 2022 jusqu'à avril 2023 le long de deux Oueds (Endja et Rhumel). Les résultats obtenus ont montré le faciès chimique de l'eau qui est chloruré sulfaté et calcique magnésienne. Les eaux sont de nature alcaline, allant de 6,5 à 8,4 ; contient une grande quantité de bicarbonate (171.94mg/l) et de chlore (329.03mg/l). Quant aux valeurs de CE, les eaux sont salines à très salines (3.17mS/cm). Le diagramme de Richard nous montre deux catégories : C4 S1 est de qualité médiocre à mauvaise et C5 S2 est de qualité mauvaise pour l'irrigation. Quant au diagramme de Wilcox, il nous montre que les eaux des deux Oueds sont impropres à l'irrigation.

L'étude conclue que la pratique de l'irrigation est effectuée au hasard sans aucune étude préalable pour évaluer la qualité de l'eau et leurs impacts sur les sols à long terme, donc des mesures de protection et des directives strictes sont nécessaires pour minimiser les impacts négatifs de l'irrigation par ces eaux dans la zone d'étude.

Mots-clés : Eau d'irrigation, Agriculture durable, Oueds, qualité des eaux.

Abstract

In order to preserve water resources and develop irrigation water for sustainable agriculture, this study aims to assess the physical and chemical quality of water in valleys used for irrigation in the north-east of the Mila wilaya. During this study, we monitored a set of physical (T° , pH, EC) and chemical (bicarbonate, chlorine, phosphate, nitrogen, calcium, magnesium, sodium, potassium, nitrate) indicators for irrigation water at 6 stations, from December 2022 to April 2023 along two Oueds (Endja and Rhumel). The results showed that the water's chemical facies is chloride-sulfate and calcium-magnesium. The water is alkaline in nature, ranging from 6.5 to 8.4, and contains high levels of bicarbonate (171.94mg/l) and chlorine (329.03mg/l). As for EC values, the waters are saline to very saline (3.17mS/cm). The Richard diagram shows two categories: C4 S1 is of poor to bad quality and C5 S2 is of poor quality for irrigation. The Wilcox diagram shows that the water in both valleys is unsuitable for irrigation.

The study concludes that the practice of irrigation is carried out haphazardly without any prior study to assess water quality and its impact on soils in the long term, so strict protective measures and guidelines are needed to minimize the negative impacts of irrigation with these waters in the study area.

Key words : Irrigation water, Sustainable agriculture, Oueds, Water quality.

من اجل الحفاظ على الموارد المائية وتطوير مياه الري بهدف الزراعة المستدامة، تهدف هذه الدراسة إلى تقييم النوعية الفيزيائية و الكيميائية للمياه في الوديان المخصصة للري في شمال شرق ولاية ميله . خلال هذه الدراسة، اتبعنا مجموعة من المؤشرات الفيزيائية (درجة الحموضة والناقلية و الحرارة) و الكيميائية(بيكربونات ، الكلور، الفوسفات ،كالسيوم، مغنيزيوم، صوديوم، بوتاسيوم، نترات) لمياه الري في 6 محطات، من ديسمبر 2022 إلى غاية شهر أبريل 2023، في كل من واد النجاء و واد الرمال . اظهرت النتائج التي تم الحصول عليها النوعية الكيميائية للماء وهي كلوريد كبريتات ومغنسيوم كالسيوم. المياه قلوية بطبيعتها وتتراوح من 6,5 الى 8,4 كما يحتوي على كمية كبيرة البيكربونات (171.94ملغ/لتر) والكلور(ملغ/لتر329.03)، أما بالنسبة لقيم الناقلية الكهربائية فالمياه مالحة الى شديدة الملوحة (ميلي سيمنز/سنتيمتر3.17).يوضح لنا مخطط ريتشارد فنيتين:

C4S1 من سيئ الى رديء الجودة و C5S2 ذات جودة رديئة .

اما بالنسبة الى مخطط ويلكوكس فبين لنا ان المياه في الوديان غير صالحة للري اظهرت هذه الدراسة ان الري يتم بشكل عشوائي دون اي دراسة مسبقة لتقييم جودة المياه وتأثيراتها على التربة على المدى الطويل، وبالتالي فان الاجراءات الوقائية الصارمة والمبادئ التوجيهية الصارمة ضرورية لتقليل الاثار السلبية للري من خلال هذه المياه في منطقة الدراسة .

الكلمات المفتاحية: مياه الري ، الزراعة المستدامة ، الوديان ، جودة المياه.

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Résumé

Abstract

الملخص

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction 1

Chapitre I : Synthèse bibliographique

2. Synthèse bibliographique..... 4

2.1. Composition des eaux des oueds 4

2.1.1. Microorganismes..... 4

2.1.2. Potentiel hydrogène (pH) 5

2.1.3. Conductivité électrique(CE) 5

2.1.4. Total des solides dissous (TDS)..... 5

2.1.5. L'azote 6

2.1.6. Phosphore (PO₄)..... 8

2.1.7. Calcium 8

2.1.8. Magnésium..... 9

2.1.9. Sodium 9

2.1.10. Potassium 9

2.1.11. chlorure (Cl⁻) 9

2.1.12. Sulfate (SO₄⁻²) 9

2.1.13. Les Bicarbonates 10

2.1.14. 2.1.14. Les éléments traces métalliques (ETM) 10

Sommaire

2.2. Risques associés à l'utilisation des eaux polluées en irrigation.....	11
2.2.1. Risque sanitaire	11
2.2.2. Effets sur le sol.....	11
2.2.3. Effets sur les cultures	13
2.3. L'utilisation des eaux des oueds dans l'irrigation	13
2.3.1. Bilan mondial.....	13
2.3.2. Les différentes réglementations et normes des eaux d'irrigation.....	14
2.4. Aspect législatif	22
2.5. L'irrigation en Algérie.....	22
2.5.1. Des grands périmètres irrigués (GPI).....	22
2.5.2. De la « Petite et Moyenne Hydraulique » ou PMH	23
2.5.3. Contraintes au développement de l'irrigation en Algérie	24

Chapitre II : Matériel et méthode

3. Matériels et méthodes.....	28
3.1. Présentation de la région d'étude	28
3.1.1. Présentation de la Wilaya de Mila	28
3.1.2. Présentation de bassin versant d'oued Kébir-Rhumel	29
3.1.3. Barrage Béni Haroun	30
3.1.4. Principaux oueds du bassin de Kebir-Rhumel	31
3.2. Contexte climatique	33
3.2.1. Précipitations.....	33
3.2.2. Température	33
3.2.3. Vent.....	34
3.2.4. Humidité	34
3.2.5. Les sources de Contamination	34
3.3. L'Echantillonnage	35
3.3.1. L'échantillonnage de l'eau	35

Sommaire

3.4. Protocoles D'analyses	36
3.4.1. Mesure in situ.....	36
3.4.2. Mesure au laboratoire.....	37
3.5. Méthodes	40
3.5.1. L'Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation.....	40
3.6. Les diagrammes	41
3.6.1. Diagramme de Piper.....	41
3.6.2. Diagramme de Richards Riverside.....	42
3.6.3. Diagramme de Wilcox	43
3.7. Analyses Statistiques	44

Chapitre III : Résultats et discussion

4. Résultats et discussions	46
4.1. Eaux d'irrigation.....	46
4.1.1. Variation spatiotemporelle des paramètres physicochimique des eaux d'irrigation d'oued Endja et oued Rhumel	46
4.1.1.1. PH.....	48
4.1.1.2. La conductivité électrique (CE)	49
4.1.1.3. Chlorures	50
4.1.1.4. Bicarbonates	51
4.1.1.5. Sulfates	52
4.1.1.6. Les nitrates	53
4.1.1.7. Sodium Adsorption Ratio (SAR).....	54
4.1.1.8. Calcium	55
4.1.1.9. Magnésium	55
4.1.1.10. Sodium	56
4.1.1.11. Potassium	57
4.1.2. Les indices de la qualité de l'eau	57

Sommaire

4.1.2.1. Diagramme de Piper	57
4.1.2.2. Diagramme de Wilcox.....	58
4.1.2.3. Diagramme de Richards Riverside.....	59
4.1.3. Corrélations entre les mesures physico-chimiques et les éléments minéraux majeurs des eaux d'irrigation d'Oued Rhumel et Oued Endja	61
Conclusion.....	64
Références Bibliographiques.....	76

Liste des tableaux

Tableau n°	Titre	Page
1	Recommandations microbiologiques de l’OMS (1989) pour le traitement des eaux usées destinées à l’irrigation	14
2	Recommandations de l’USEPA concernant la réutilisation des eaux usées	16
3	Directives pour l'évaluation de la qualité d'une eau d'irrigation d'après la FAO	18
4	Concentrations maximales recommandées (CMR) dans l’eau d’irrigation de quelques métaux et métalloïdes sélectionnés	20
5	Superficies des GPI équipées, irrigables et irriguées par grande région.	23
6	Répartition territoriale des superficies de PMH selon le mode d’irrigation	24
7	Journal officielle de R.A.D.P No41 le 15/07/2012	25
8	Directives pour l'évaluation de la qualité d'une eau d'irrigation d'après la FAO	40
9	Critères de classification de l’eau de culture selon la classification de Wilcox Eau	42
10	Différentes classifications et différents types de qualité de l’eau selon la classification de Wilcox	43
11	Variations spatiales des Paramètres physicochimiques des eaux d'irrigation d’oued Endja et oued Rhumel à Mila, au nord-est de l'Algérie	46

Liste des figures

Figure n°	Titre	Page
1	Cycle d'azote	8
2	Carte d'Hydrologie de la wilaya de Mila	29
3	Situation géographique de Bassin versant Kébir-Rhumel	30
4	Situation du barrage Beni Haroun dans le Bassin du Kébir-Rhumel	31
5	Lac de retenue de Beni Haroun	31
6	Carte topographique représente le trajet d'oued Endja	32
7	Localisation des oueds Endja et Rhumel par rapport au Barrage Béni Haroun	33
8	Stations de prélèvements de l'eau d'Oued Rhumel	35
9	Stations de prélèvements de l'eau de Oued Endja	36
10	Multi-paramètres (WTW 3051) et pH-mètre (Mettler Toledo).	36
11	L'ajout de l'indicateur coloré (Bromocrésol)	37
12	L'ajout des chlorures de baryum	38
13	Chromate de potassium	38
14	Nitrate (photo Originale)	39
15	Spectrophotomètre à flamme.	39
16	Diagramme de Piper	42
17	Diagramme de Richard Riverside	43
18	Diagramme Wilcox	44
19	Variations spatio-temporelles du pH des eaux d'oued Endja et oued Rhumel.	48

Liste des figures

20	Variations spatio-temporelles de la conductivité électrique des eaux d'oued Endja et oued Rhumel .	49
21	Variations spatio-temporelle des teneurs en chlorures des eaux d'oued Endja et oued Rhumel .	50
22	Variations spatio-temporelle des teneurs en bicarbonates des eaux d'oued Endja et oued Rhumel .	51
23	Variations spatio-temporelle des teneurs en sulfates des eaux d'oued Endja et oued Rhumel .	52
24	Variations spatio-temporelle des teneurs en nitrates des eaux d'oued Endja et oued Rhumel.	53
25	Variations spatio-temporelle des teneurs en SAR des eaux d'oued Endja et oued Rhumel	54
26	Variations spatio-temporelle des teneurs en calcium des eaux d'oued Endja et oued Rhumel	55
27	Variations spatio-temporelle des teneurs en magnésium des eaux d'oued Endja et oued Rhumel.	55
28	Variations spatio-temporelle des teneurs en sodium des eaux d'oued Endja et oued Rhumel.	56
29	Variations spatio-temporelle des teneurs en potassium des eaux d'oued Endja et oued Rhumel.	57
30	Diagramme de piper des eaux d'irrigation d'oued Endja et oued Rhumel	58
31	Diagramme de Wilcox des eaux d'irrigation d'oued Endja et oued Rhumel.	59
32	Diagramme de Richards Riverside des eaux d'irrigation d'oued Endja et oued Rhumel.	60

Liste des abréviations

ABH : Agence de bassins hydrauliques.

ABH, C.S.M : Agence de bassins hydraulique constantinois-Seybouse-Mellegue.

ANDI : Agence national de développement de l'investissement.

Avr : Avril.

CE : Conductivité électrique.

Ca : calcium.

Cl : chlore.

Déc : décembre.

Et : écarte type.

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

Fév : Février.

Fig : Figure.

Jan : Janvier.

JORA : Journal officiel de la république.

HCO₃⁻ : Bicarbonate.

K : potassium.

Mar : Mars.

Max : Maximum.

Mg: Magnésium.

Mini : minimum.

Moy : Moyenne.

mS/cm : milli siemens par centimètre.

Na : Sodium.

NO₃ : Nitrates.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

Liste des abréviations

ONM : office national de la météorologie.

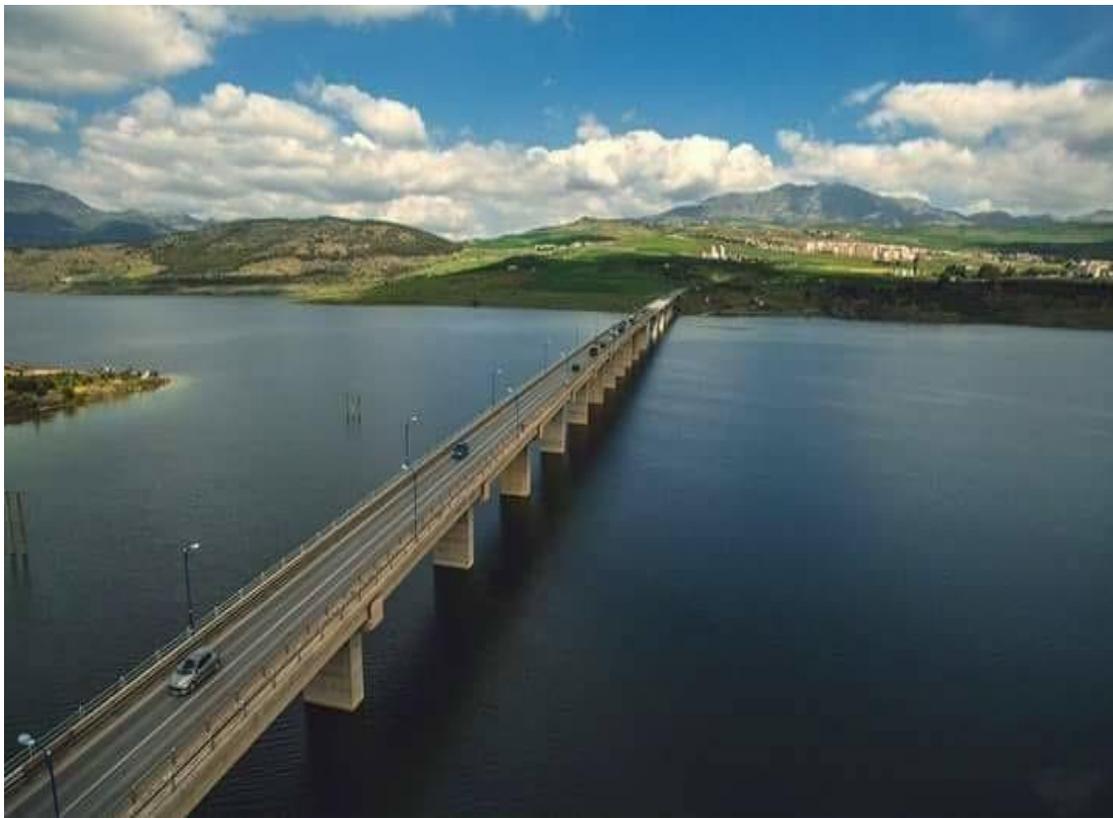
pH : Potentiel Hydrométrique.

SAR : Sodium Adsorption Ratio.

SO₄⁻² : sulfate.

T° : Température.

INTRODUCTION



Introduction :

La qualité des eaux de surface est influencée par des processus naturels. Processus d'altération et transport de sédiments impliquant des activités anthropiques développement urbain, expansion des pratiques industrielles et agricole. Les ruisseaux qui traversent les villes reçoivent de grandes quantités d'eau Polluants émis par les industries, les ménages, les eaux usées, et agricole (**Qadir et al., 2007**).

Plusieurs options ont été retenues pour répondre à la demande croissante de population, comme le dessalement de l'eau de mer, l'utilisation des eaux usées, eau de mauvaise qualité et salinité élevée. Les eaux usées ont également la possibilité d'être utilisé dans l'irrigation afin de préserver les ressources en eau de bonne qualité pour la potabilisation (**FAO, 2003**).

La qualité de l'eau d'irrigation affecte directement la qualité du sol et plantes cultivées. La mauvaise qualité nuit à la productivité des cultures, la santé publique des consommateurs et des agriculteurs qui sont en contact direct avec l'eau d'irrigation (**Listkas et al., 2010; Muthanna, 2011**).

L'eau d'irrigation, qu'elle provienne de rivières ou de sources ou qu'elle soit pompée dans les nappes phréatiques, n'est pas pure ; elle contient des sels dissous qui, selon leur concentration, peuvent affecter le sol et les cultures. Il est donc important d'adapter les pratiques agricoles à l'eau disponible, sachant que le comportement variera selon la nature du sel en question. Par conséquent, la composition chimique de l'eau doit être examinée en termes de son effet sur la terre et les plantes (**Landreau et al, 1977**).

L'agriculture en Algérie représente le secteur le plus important en termes de consommation d'eau, mobilisant plus de 50 % des ressources en eau disponibles (**Dekhil, 1991**). Actuellement, la superficie irriguée dans ce pays s'élève à environ 712 000 hectares, dont 200 000 hectares situés dans les régions sahariennes, sur une superficie agricole utile totale de 8 265 259 hectares, soit près de 8,6 % de la surface agricole utile (SAU) (**Messahel et al., 2005**).

La pollution hydrique est un phénomène courant en Algérie vu l'évolution socioéconomique du pays qui compte 17 bassins versants alimentés à la fois par des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables (**Chaoui et al.,2013**).

Le barrage de Béni Haroun est un ouvrage très important dans la région de Mila et dans tout l'Est algérien en terme de volume d'eau qu'il est capable de stocker (environ un milliard

de m³), Pour assurer l'alimentation en eau potable et l'irrigation des cinq provinces adjacentes (**Chebbah et Kabour,2018**).

L'oued-Rhumel est le plus important passant par la ville de Constantine, tandis que l'Oued-Endja est situé à l'est de l'Algérie et occupe la partie occidentale du grand bassin versant du Kébir-Rhumel passant par la ville de Mila. Les parties amont de ces sites sont situées dans des zones montagneuses à faible densité de population et à industrie quasi inexistante. D'autre part, l'aval est situé dans des zones densément peuplées, développées sur le plan agricole et plus ou moins industrielles, de sorte que la qualité de l'eau est généralement moins bonne et plus difficile à gérer que l'amont (**Mebarki, 2005**).

L'utilisation des eaux brutes des oueds pour l'irrigation dans la région de Mila est une pratique réelle. Ainsi, le recours à ces eaux soulève de nombreux problèmes sanitaires et environnementaux. Le souci qui nécessite une réponse claire réside dans le pouvoir de ces eaux à être toujours utilisées pour l'irrigation.

Afin d'étudier cette question de près, nous avons étudié les vallées de la Wilaya de Mila, à savoir d'oued Endja et oued Rhumel, car ce sont deux rivières très importantes, car elles alimentent le bassin de Béni Haroun, et qui ont fait l'objet d'études antérieures en raison de leur association avec la pollution.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la qualité des eaux d'irrigation aux niveaux des oueds (Rhumel et Endja) pendant 5 mois.

La méthodologie adaptée dans ce travail est la suivante :

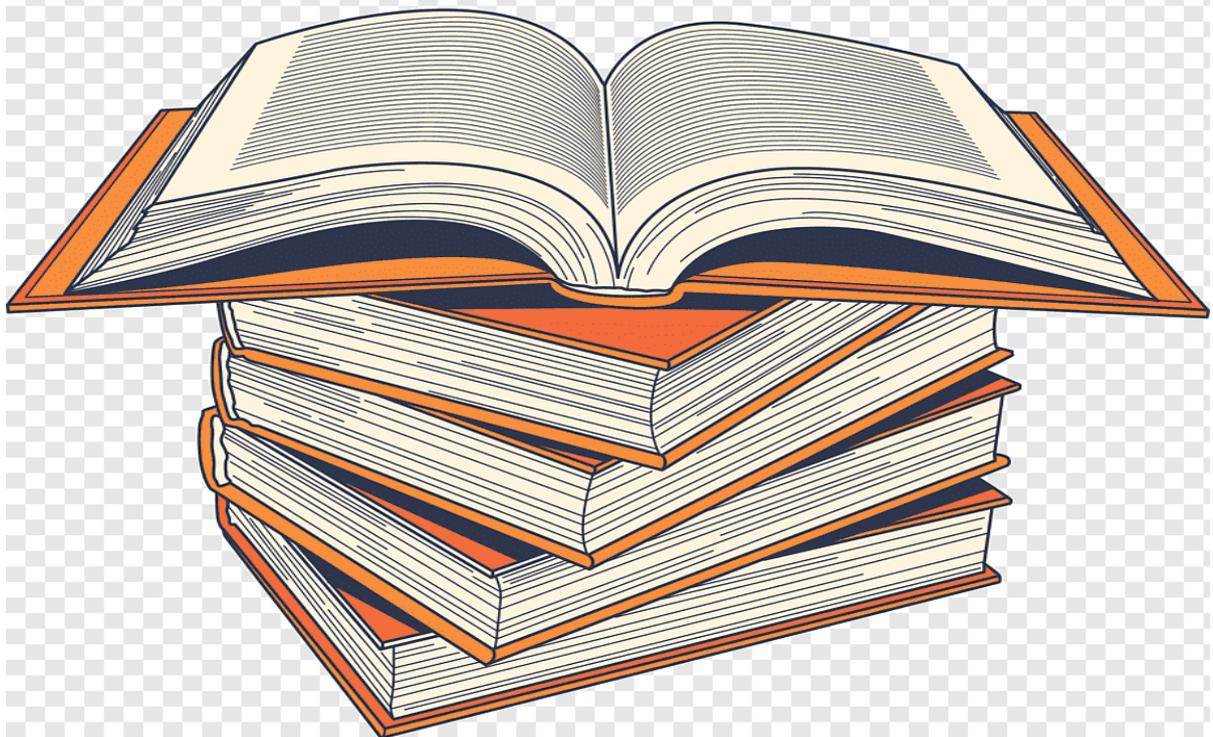
- Le premier chapitre : été consacré à une synthèse bibliographique sur la composition des eaux des oueds, et les risques à l'utilisation des eaux polluées en irrigation.
- Le deuxième chapitre : représente une description de la région d'étude, les sites de prélèvements des échantillons d'eaux et les méthodes d'analyses physicochimiques qu'on a suivies.
- Le troisième chapitre : aborde les résultats et leurs discussions.

En fin on termine par une conclusion et des recommandations.

Chapitre I

Synthèse Bibliographique

23 APRIL 2017



2. Synthèse bibliographique

L'eau de surface est l'eau qui circule ou est stockée à la surface des continents. Elles proviennent soit des eaux souterraines, dont la présence constitue une source d'eau, soit des eaux de ruissellement (rivières, barrages, mares, marigots).

Ils se caractérisent par une interface eau-air en mouvement constant et des vitesses de circulation considérables (Ayad, 2017).

De plus, ces eaux de surface doivent subir plusieurs étapes de traitement avant de pouvoir être utilisées pour la consommation et l'usage domestique. Ils ne peuvent pas être utilisés sans traitement. De plus, pour envisager l'approvisionnement de la population à partir des eaux de surface, il faut éviter les conditions propices à l'érosion des sols, l'insalubrité et les pollutions accidentelles et chroniques (Ayad, 2017).

Sources D'eau De Surface Parmi les eaux de surface, on peut citer :

- Les fleuves, les rivières, les lacs, les ruisseaux, les cours d'eau.
- Les eaux de ruissellement (eaux de pluies).
- Les réservoirs.
- Les lacs de barrage.
- Les mers et les océans.
- Les eaux côtières.
- Les zones humides ou eaux de transitions, c'est-à-dire toutes les masses d'eau situées à proximité des embouchures de rivières ou de fleuves (estuaires, vasières, marais côtiers, lagunes, mares, bordures de lacs...) (CIE, 2005).

2.1. Composition des eaux des oueds

2.1.1. Microorganismes

La présence de micro-organismes dans les eaux peut avoir plusieurs origines. Alors que certaines souches existent à l'état naturel, d'autres s'infiltrent dans le sol à partir de matières organiques provenant de fosses septiques, de décharges, d'épandages agricoles ou de réseaux d'égouts.

Cependant, leur développement est limité par les conditions anaérobies généralement rencontrées dans les environnements. Il convient de noter que les aquifères de type karstique

Sont plus vulnérables à la contamination microbienne car leur capacité d'épuration est souvent faible ou inexistante.

Actuellement, l'eau de source répond à toutes les exigences réglementaires et de qualité sanitaire et peut être bue sans restriction (**Laziri, 2009**).

Les bactéries indicatrices de contamination fécale ont été dénombrées selon la technique (**Rodier, 1984**) : coliformes totaux (CT), coliformes fécaux (CF), streptocoques fécaux (SF) et *Clostridium perfringens* (CP). Le nombre et la variété des micro-organismes pathogènes pouvant existés dans les eaux sont nombreux. Leur présence est toujours associée à une contamination fécale de l'eau et leur durée de vie dans l'eau est parfois courte.

2.1.2. Potentiel hydrogène (pH)

Le pH de l'eau est une indication de sa tendance à être acide ou alcaline, il est fonction de l'activité des ions hydrogènes H^+ présents dans cette eau. Dans les eaux naturelles cette activité est due à des différentes causes en particulier l'ionisation de l'acide carbonique et de ses sels (**Rodier, 2009**). Les valeurs limites du pH sont comprises entre 6,5 et 9 (**JORA, 2011**). Au-dessous de ce seuil l'eau est dite « agressive », elle a un effet corrosif sur les canalisations et peut mener à la dissolution de certains métaux toxiques tels que le plomb des conduites (**Savary, 2010 ; Bouziani, 2000**).

2.1.3. Conductivité électrique(CE)

La conductivité est une mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique et donc une mesure indirecte de la teneur de l'eau en ions. Ainsi, plus l'eau contient des ions comme le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^+), le potassium (K^+), le bicarbonate (HCO_3^-), le sulfate (SO_4^{2-}) et le chlorure (Cl^-), plus elle est capable de conduire un courant électrique et plus la conductivité mesurée est élevée (**Rodier, 2009**).

2.1.4. Total des solides dissous (TDS)

La détermination des solides dissoutes ou total des solides dissous (TDS) dans l'eau n'a pas de base fondée sur la santé. Leur présence dans l'eau favorise la corrosion et l'incrustation. À teneur élevée, ils sont répréhensibles pour les consommateurs car ils entraînent un goût désagréable à l'eau. Se référant à ce paramètre, une eau est réputée bonne quand sa teneur en TDS est inférieure à 600 mg/l (**WHO, 2011**).

2.1.5. L'azote

L'azote en milieu aquatique existe sous trois formes : azote inorganique dissous (NID), azote organique dissous (NOD), particulaire organique et détritique. Le NID est formé par l'ammonium (NH_4), les nitrates (NO_3) et nitrites (NO_2). L'azote organique dissous (NOD) est composé essentiellement de l'urée, les acides aminés dissous libres, les acides aminés dissous complexes, les protéines, les acides nucléiques et leurs dérivés, les enzymes et les acides humiques (**Le Gal, 1989**). En milieu aquatique, le NOD provient du métabolisme des microorganismes, de la lyse des cellules, de la décomposition de la matière organique et des eaux de pluie (**Meybeck, 1982**). Il est utilisé par les bactéries comme source d'azote et régénéré sous forme minérale (NID) assimilables par les végétaux. Au sein du NID, l'azote ammoniacal (NH_4) dans les eaux superficielles provient principalement des rejets domestiques et agricoles, et dans une moindre mesure des rejets industriels. En milieu faiblement oxygéné l' NH_4 domine par suite de la réduction des nitrates. Les conditions de réductions et d'hypoxie sont le signe d'une pollution. Les nitrates proviennent souvent de la nitrification de l'azote organique, des terrains drainés par les eaux superficielles, des engrais chimiques issus de rejets agricoles, de collectivités, de certaines industries et de zones d'élevage.

Les nitrites présentent souvent de faibles teneurs dans les eaux naturelles, représentant une fraction du NID de l'ordre de 10% (**Aminot et Chausspied, 1983**). Soit qu'ils proviennent d'une oxydation incomplète de l'ammonium (la nitrification n'étant pas conduite à son terme), soit d'une réduction de nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant ou minéralisation. L'azote nitrique et ammoniacal des eaux de pluie participe aussi à augmenter les quantités dans les eaux superficielles.

Les formes assimilables pour les producteurs primaires comme le phytoplancton et d'autres organismes photosynthétiques sont les NO_3 , NH_4 mais aussi le NOD. Cependant, l'ammonium est la forme préférentielle pour le phytoplancton car énergétiquement moins coûteux et directement convertit en acides aminés à l'aide de l'enzyme glutamate déshydrogénase (**Bougis, 1974**). Or l'assimilation des NO_3 nécessite leurs conversion en NO_2 puis NH_4 ce qui exige l'intervention de deux enzymes (nitrate réductase et nitrite réductase).

2.1.5.1. Formes azotées

L'azote ammoniacal, les nitrites et les nitrates sont différentes formes azotées susceptibles de se trouver dans les eaux d'un oued et pouvant être un critère de pollution.

- **Ammonium (NH₄)**

Le cation NH₄ est produit par réaction acido-basique de l'eau et de façon générale de tout acide avec l'ammoniac NH₃. En revanche, en milieu basique à pH supérieur à 9,2, le NH₃ se dégage dans l'atmosphère (**Ramade, 2000**). L'azote ammoniacal assez souvent rencontré dans les eaux, traduit un processus de dégradation incomplète de la matière organique. Il peut avoir diverses origines dont la plus grande part de l'azote des eaux superficielles provient de la décomposition des matières organiques contenues dans les débris végétaux des algues, plantes ou herbes du lit ou des berges à l'oued. Les urines humaines ou animales contiennent de grandes quantités d'urée qui induisent la présence d'azote ammoniacal en quantité relativement importante.

A ces origines s'ajoutent un certain nombre d'industries responsables d'une augmentation de la teneur des eaux en azote ammoniacal telles les industries chimiques et les industries de textiles (**Afri-Mehennaoui, 1998**).

L'ammoniac stimule les poussées planctoniques. Il est toxique pour les poissons, surtout en milieu alcalin, sous forme de gaz qui diffuse facilement à travers les membranes. En milieu oxydant, l'ammoniac se transforme en nitrites puis en nitrates, ce qui induit une consommation d'oxygène.

- **Nitrites (NO₂)**

Les nitrites se forment lorsque les conditions sont réductrices. Ce sont des molécules intermédiaires qui apparaissent dans la dénitrification de l'ion nitrate sous l'action de bactéries telles les *pseudomonas*, ou bien elles dérivent de l'oxydation de l'ammoniac (NH₄).

- **Nitrates (NO₃)**

Sels minéraux de l'acide nitrique, les nitrates sont des éléments minéraux nutritifs tant pour les organismes autotrophes terrestres qu'aquatiques (**Ramade, 1998**). Ils constituent le stade final de l'oxydation biologique de toutes les formes d'azotes (azote organique, ammoniacale, nitrites...).

La présence naturelle des nitrates dans les eaux est liée en grande partie au lessivage des sols constituant le bassin versant ; la nature des zones de drainage joue donc un rôle essentiel dans leur présence, tandis que la pollution par les nitrates est due à la minéralisation de matière organique, à l'utilisation abusive des engrais azotés, aux résidus animaux, fumiers, purins, aux eaux usées domestiques et éventuellement aux effluents des stations d'épuration.

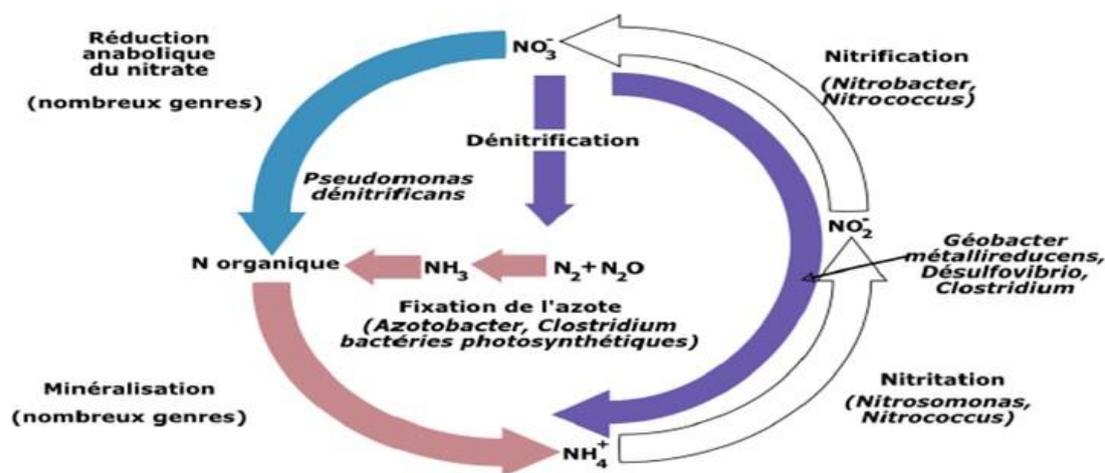


Figure 1: cycle d'azote

2.1.6. Phosphore (PO_4)

Le phosphore est un composant essentiel de la matière vivante puisqu'on le rencontre sous nombreuses formes et jouant un rôle clés dans le métabolisme des organismes vivants (**Monaghan et Ruttenberg, 1999**) : phospho-sucre, adénosine, acides nucléiques (ADN et ARN), phospholipides, phosphorâtes, réactifs biochimiques intermédiaires (phosphocréatinine, phsphoenolpyruvate). La présence d'éléments phosphorés dans l'eau est liée à la nature des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique. Le phosphore présent dans les cours d'eau peut être subdivisé en fraction dissoute ($< 0,45\mu m$) inorganique formée par les ortho-phosphates et poly-phosphates inorganiques et une fraction organique à l'état colloïdal. La fraction particulaire ($\geq 0,45\mu m$) comprend le phosphore organique particulaire, phosphore inorganique particulaire apatitique ou non apatitique. Seul le phosphore inorganique directement ou indirectement assimilable par les algues joue un rôle dans la productivité aquatique. Le phosphate inorganique comprend principalement les ortho phosphates (PO_4) assimilés par les plantes (**Meybeck, 1982**).

2.1.7. Calcium

Le calcium est un métal alcalino-terreux très répandu dans la nature, notamment dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Composant principal de la dureté de l'eau, le calcium est généralement l'élément principal de l'eau potable. Son contenu varie essentiellement selon la nature du terrain traversé. Il existe principalement à l'état de bicarbonate, et une petite quantité existe sous forme de sulfate et de chlore (**Rodier, 1976**).

2.1.8. Magnésium

Le magnésium est l'un des éléments les plus communs trouvés dans la nature ; il représente environ 2,1 % de la croûte terrestre. La plupart de ses sels sont extrêmement solubles dans l'eau, même les carbonates peuvent se dissoudre jusqu'à 300 mg/l à 20°C. La teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées (calcaire, dolomie, Jurassique ou Trias moyen). Les valeurs les plus basses ont été relevées dans la plupart des eaux de l'ancienne parcelle. Le magnésium est un composant important de la durée de l'eau, il dépasse rarement 15mg/l. Il existe sous forme de carbonate et de bicarbonate (**Rodier, 1976**).

2.1.9. Sodium

Les cations sodium (Na^+) sont très abondants sur Terre. Il existe dans les roches cristallines et sédimentaires (sable, argile, évaporite). L'halite (évaporite de Na Cl) est du sel de cuisine. Il est très soluble dans l'eau. D'autre part, le sodium n'est généralement pas très élevé dans les roches carbonatées.

Notons que les argiles peuvent être saturées en ions Na^{2+} , par le processus d'échange de bases (**Rodier, 1976**).

2.1.10. Potassium

Il provient de l'altération des formations silicatées (gneiss, schistes), des argiles potassiques, de certains rejets industriels et de la dissolution des engrais chimiques (NPK). Sa présence à peu près constante dans les eaux naturelles ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/l (**Rodier et al., 2005**).

2.1.11. Chlorure (Cl^-)

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

2.1.12. Sulfate (SO_4^{2-})

Les sulfates sont des composés naturels des eaux. Ils sont liés aux cations majeurs tels que le calcium, le potassium et le sodium. Ils proviennent de certains minéraux en particulier du gypse ou apparaissent à partir de l'oxydation des minéraux sulfureux. Les teneurs en sulfates

Des eaux naturelles sont variables de 5 à 200 mg/l. Les eaux usées de nombreuses industries peuvent également contenir des sulfates (**Rodier, 1984**).

2.1.13. Les Bicarbonates

Elles proviennent de la dissolution des roches carbonatées en fonction de la tension en CO₂, de la température, le pH de l'eau et la nature lithologique des terrains traversés.

Les valeurs de la concentration de HCO₃ sont faibles, elles sont comprises entre 140 mg/l et 200 mg/l (**Rodier, 2009**).

2.1.14. Les éléments traces métalliques (ETM)

Les éléments traces métalliques (ETM) sont des éléments naturellement présents dans les sols dont certains sont indispensables aux plantes (**Muller, 1971**). Les plus connus pour leur dangerosité par rapport aux organismes vivants sont le plomb (Pb), le mercure (Hg), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le nickel (Ni), le zinc (Zn), l'arsenic (As). Ces éléments sont très intéressants à étudier vue leur impact écologique et biologique. Toutefois, ils présentent des risques pour l'homme ainsi que pour l'environnement s'ils dépassent certains seuils (**Muller, 1981**). Ces éléments peuvent être d'origine naturelle : altération des roches, émissions volcaniques..., ou anthropiques : activités minières et métallurgiques (**Iavazzo et al., 2012**), agricoles (**Hayzoun, 2014**), urbaines.

Les ETM sont présents dans les milieux aquatiques par le biais du ruissellement de l'eau et du lessivage des sols, ils peuvent être sous formes dissoute, colloïdale et particulaire. Leurs transferts dépendent des paramètres physicochimiques des milieux ainsi que de leur degré de mobilité, on distingue les groupes suivants (**Cui et al., 2014**) :

- Les éléments très mobiles (As, Sb, Mo, Cd)
- Les éléments modérément mobiles (U, Co, Cu, Ni)
- Les éléments « non-mobiles » (Zn, Cr, V, Th, Pb)
- Les éléments les plus immobiles (Zr, Ti, Ta)

2.2. Risques associés à l'utilisation des eaux polluées en irrigation.

L'eau compte tenu de ses propriétés physico-chimiques, est trop souvent utilisée comme un vecteur d'évacuation de déchets ; ainsi polluée, elle devient alors un vecteur de pollution.

2.2.1. Risque sanitaire

D'un point de vue sanitaire, la plus grande menace de l'utilisation des pollués, notamment les eaux usées sont la présence des microorganismes pathogènes. Les Virus, les bactéries et les parasites peuvent être présents dans l'eau usée brute à des concentrations élevées et y survivre pendant de longues périodes (**Pescod, 1992**).

L'épandage des eaux pollués sur des cultures, surtout consommées crues, peut occasionner une contamination microbiologique de ces dernières est favoriser l'introduction d'organismes pathogènes dans la chaîne alimentaire (**Ndiaye, 2009**)

2.2.2. Effets sur le sol

Pour les agriculteurs Ces impacts sont d'importance particulière, puisqu'ils peuvent réduire la productivité, la fertilité et le rendement de leurs terres. Le sol doit rester à un bon niveau de fertilité chimique et physique, afin de permettre une utilisation durable à long terme et une agriculture rentable. Selon FAO (2003) Les problèmes prévus au niveau du sol sont :

- L'accumulation de nutriments ;
- La salinisation ;
- L'alcalinité et la réduction de la perméabilité du sol ;
- L'accumulation d'éléments potentiellement toxiques.

2.2.2.1. Risque de salinité

La salinisation est l'accumulation des sels hydrosoluble dans le sol. Les sels se dissolvent et se déplacent avec l'eau. La salinité peut entraîner des effets nocifs conséquents en raison de la fixation du sodium des sels de chlorures de sodium par les colloïdes du sol. Le sodium exerce alors une action néfaste sur la végétation, de façon indirecte, en dégradant les propriétés physiques du sol (**Rouabhia et Djabil, 2010**), L'accroissement de la salinité des sols est peut-être l'effet négatif sur l'environnement le plus important de l'utilisation d'eaux usées en agriculture, car si cette salinisation n'est pas maîtrisée. Celle-ci peut influencer sur la productivité du sol de quatre façons (**OMS, 2012**) :

- Elle modifie la pression osmotique au niveau des racines en raison de la forte concentration de sel.
- Elle entraîne une toxicité ionique particulière (ions sodium, bore ou chlorure).
- Elle peut perturber l'absorption des nutriments essentiels (potassium et nitrates, par exemple) par les végétaux, en raison de l'antagonisme avec les ions sodium, chlorure et sulfates.
- Elle peut détruire la structure du sol en provoquant sa dispersion et le bouchage des pores.

2.2.2.2. Risques liés au sodium

Les processus d'alcalinisation et de sodisation ont été longtemps considérés comme un même phénomène. Le terme de sol sodique a finalement été retenu. Il est défini comme « un sol non salin, contenant suffisamment de sodium échangeable pour entraîner des dommages sur la production agricole et la structure du sol de manière générale » (**FAO, 2003**).

Les risques de sodisation et/ou d'alcalinisation sont généralement évalués au moyen de deux paramètres : l'ESP le pourcentage de sodium échangeable du sol ou (Exchangeable Sodium Percentage), SAR (Sodium Adsorption Ratio), qui caractérise le risque sodique lié à une teneur excessive en sodium (facteur de dispersion) dans la solution par rapport aux concentrations en calcium et magnésium (agents de floculation) (**Sumner, 1993**).

Le terme alcalinisation est désormais employé pour caractériser l'augmentation du pH du sol. Souvent associé à la sodisation, l'alcalinisation peut se produire sur des sols au demeurant sodiques, tout comme les deux phénomènes peuvent se manifester simultanément

2.2.2.3. Risques liés aux métaux lourds

Les métaux ont, de façon générale, des effets toxiques sur les êtres vivants, plus ou moins importants. Certains sont cependant des éléments indispensables pour les êtres vivants comme le cuivre, le sélénium, le zinc. Le cadmium, le mercure et le plomb n'ont pas de telles fonctions et sont toxiques à très faibles doses. Au-delà d'une certaine concentration, la plupart des métaux deviennent toxiques (**Cuniasse et Glasse, 2020**).

Selon Kara (2021), La toxicité des métaux lourds est due à leur non dégradabilité, leur toxicité à faible concentration, leur tendance à s'accumuler dans les organismes vivants et à se concentrer le long des chaînes trophiques.

En général, Les oligoéléments sont immobilisés dans les couches supérieures du sol, par adsorption et échanges d'ions. Cette accumulation peut avoir pour conséquence des risques pour le développement des plantes, la santé de l'homme et des animaux. Les éléments traces qui présentent les risques les plus notables sont : cuivre (Cu), le cadmium (Cd), le Molybdène (Mo) et le zinc (Zn). Le nickel, le cuivre et le zinc sont phyto-toxiques (**Kechit et Nekiche, 2020**).

2.2.3. Effets sur les cultures

Dans les périphéries des villes, Les agriculteurs trouvent dans les eaux usées brutes une ressource riche en nutriments : azote, phosphore, matière organique. Une agriculture relativement intensive et diversifiée se développe, les besoins en terres sont réduits, et, par une valorisation optimale de l'eau et des nutriments, les agriculteurs réduisent leur consommation. Pour nombreux agriculteurs Les eaux usées brutes sont la seule source de fertilisation (**Condom et Declecq, 2015**).

2.2.3.1. Phytotoxicité

Au-delà de l'effet global de certains constituants de l'eau usée sur les cultures irriguées comme la salinité, l'eau usée peut potentiellement créer une toxicité due à une concentration élevée de certains éléments comme le bore et quelques métaux lourds. Les nécroses sur les feuilles identifient des symptômes de toxicité au bore chez les cultures sensibles de bore. Les aspects de toxicité sont discutés plus en détail en relation avec l'utilisation des boues résiduaires en agriculture (**FAO, 2003**).

2.2.3.2. Accumulation des métaux dans les plantes

La contamination chimique est liée aux éléments traces. La seule voie de contamination préoccupante pour ces oligoéléments est la consommation de cultures, dans lesquelles ils s'accumulent. L'accumulation de micropolluants chez les plantes est plus problématique, bien que certains de ces micropolluants soient intéressants comme facteurs de croissance des plantes. Le compromis entre le risque sanitaire et l'intérêt agronomique doit être trouvé (**Baumont et al., 2004**).

2.3. L'utilisation des eaux des oueds dans l'irrigation

2.3.1. Bilan mondial

Environ 70% des ressources en eau de la planète, y compris la totalité de l'eau souterraine et redirigée des rivières, sont utilisés pour l'irrigation agricole. La réutilisation des

eaux usées traitées pour l'irrigation agricole et paysagère réduit à la fois la quantité d'eau à extraire des ressources naturelles, les sources d'eau et le rejet incontrôlé des eaux usées dans l'environnement (Pedrero et al., 2010).

2.3.2. Les différentes réglementations et normes des eaux d'irrigation

2.3.2.1. Les recommandations microbiologiques de l'OMS

Les recommandations de l'OMS (2000), sont les seules à l'échelle internationale (Tableau 1). Elles ne concernent que l'usage agricole et sont ciblées sur des paramètres exclusivement microbiologiques. Elles sont source d'inspiration pour de nombreux pays à travers le monde (Lazarova et Brissaud, 2005).

Cette approche a fixé la norme « œufs d'helminthes » à 0.1 œuf/l (Blumenthal et al.,2000). Les normes d'usage agricole concernent uniquement les quantités de microorganismes. Les protozoaires ne sont pas inclus directement car il est considéré qu'ils sont éliminés en même proportion que les helminthes. Les virus ne sont pas considérés non plus, leur présence étant difficile à détecter lors des contrôles de routine (Baumont et al., 2004). Ces normes sont destinées à une utilisation internationale, et sont donc adaptées aux pays en voie de développement (Tamrabet et al., 2009).

Tableau 1 : Recommandations microbiologiques de l'OMS (1989) pour le traitement des eaux usées destinées à l'irrigation (Blumenthal et al .,2000).

Catégorie	Conditions de réutilisation	Groupe exposé	Nématodes intestinaux (Nombre d'œufs par litre - moyenne arithmétique)	Coliformes intestinaux (Nombre par 100 ml - moyenne géométrique)	Procédé de traitement susceptible d'assurer la qualité microbiologique voulue

A	Irrigation de cultures destinées à être consommées crues des Terrains de sport, des jardins publics	Ouvriers agricoles, Consommateurs ,public	≤1	≤1000	Une série de bassins de stabilisation conçus de manière à obtenir la qualité microbiologique voulue ou tout autre procédé de traitement équivalent
B	Irrigation des cultures céréalières, industrielles et fourragères des pâturages et des plantations d'arbres	Ouvriers agricoles	≤1	Aucune norme n'est recommandée	Rétention en Bassins de stabilisation pendant 8-10 jours ou tout autre procédé d'élimination des helminthes et des coliformes intestinaux
C	Irrigation localisée des cultures de la catégorie B, si les ouvriers agricoles et le public ne sont pas exposés	Néant	Sans objet	Sans objet	Traitement préalable en fonction de la technique d'irrigation, mais au moins sédimentation primaire

* Dans certains cas il faut tenir compte des conditions locales épidémiologiques, socio-culturelles et environnementales et modifier les directives en conséquence.

* Espèces d'helminthes (*Ascaris trichuris* et *Ankylostomes*).

* Une directive plus stricte (≤ 200 coliformes intestinaux par 100 ml) est justifiée pour les Pelouses avec lesquelles le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.

* Dans le cas des arbres fruitiers l'irrigation doit cesser deux semaines avant la cueillette et les fruits tombés ne doivent jamais être ramassés. Il faut éviter l'irrigation par aspersion.

2.3.2.2. Les recommandations microbiologiques de l'USEPA

L'USEPA (United States Environmental Protection Agency) a publié en 1992 ses propres recommandations sur la réutilisation des eaux usées traitées intitulées "Guidelines for Water Reuse" (Tableau 2). Contrairement à l'OMS, ces recommandations ne sont pas basées sur des études épidémiologiques ni sur une estimation du risque, mais sur un objectif de zéro pathogène dans les eaux réutilisées. Ces normes microbiologiques sont donc beaucoup plus strictes (Belaid et al., 2010).

Les normes microbiologiques sont donc beaucoup plus strictes. Dans les normes de l'USEPA, plusieurs paramètres sont pris en compte : le pH, la DBO, la turbidité ou les MES et microbiologiquement seul le coliforme fécal permet de juger la qualité de l'eau (Tamrabet et al., 2009).

Tableau 2 : Recommandations de l'USEPA concernant la réutilisation des eaux usées (Tamrabet et al., 2009).

Type d'utilisation	Qualité de l'eau exigé	Traitement
Utilisations urbaines, cultures crues, bassins récréatifs	<p>pH=6-9 ; DBO\leq10 mg/L</p> <p>NTU\leq2 ; 0 coliforme/100 ml ; Cl₂ résiduel 1 mg/L.</p> <p>pH=6-9 ; DBO\leq10 mg/L</p> <p>NTU\leq2 ; 0 coliforme/100ml</p> <p>Cl₂ résiduel 1 mg/L</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Secondaire ▪ Filtration ▪ Désinfection

<p>Irrigation de zones d'accès restreint, cultures vivrières transformées, cultures non alimentaires, bassins esthétiques, utilisations de construction, refroidissement industriel, réutilisation environnementale</p>	<p>pH= 6–9 ≤ 30 mg/L DBO ≤ 30 mg/L TDS ≤ 200 coliforme/100 ml 1mg/L Cl₂ résiduel</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Secondaire ▪ Désinfection
<p>Recharge des eaux souterraines des aquifères non potables par épandage</p>	<p>Spécifique au site et dépendant de l'utilisation</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Spécifique au site et dépendant de l'utilisation ▪ Primaire (minimum)
<p>Recharge des eaux souterraines des aquifères non potables par injection</p>	<p>Spécifique au site et dépendant de l'utilisation</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Spécifique au site et dépendant de l'utilisation ▪ Secondaire (minimum)
<p>Recharge des eaux souterraines des aquifères potables par épandage</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Spécifique au site • Répondre aux normes d'eau potable après percolation 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Secondaire Désinfection ▪ peut nécessiter la filtration
<p>Alimentation en eau souterraine des aquifères potables par injection, augmentation des apports en surface</p>	<ul style="list-style-type: none"> • pH =6.5 -8.5 • ≤ 2NTU • 0 coliforme fécaux/100 ml • 1 mg/l Cl₂ résiduel • Respecter les normes relatives à l'eau potable 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Secondaire Filtration Désinfection ▪ Traitement avancé des eaux usées

2.3.2.3. Les recommandations physicochimiques de la FAO

La FAO établit en 1976 des directives concernant la qualité physicochimique et d'éléments traces métalliques de l'eau d'irrigation dans lesquelles l'accent était mis sur l'influence à long terme de la qualité de l'eau, sur la production agricole, sur les conditions du sol et les techniques culturales (Ayers et Westcot, 1994). Ces directives générales sont présentées dans les tableaux 3 et 4.

Tableau 3 : Directives pour l'évaluation de la qualité d'une eau d'irrigation d'après la FAO (Ayers et Westcot, 1994).

Problèmes potentiels en irrigation	Unités	Restriction pour l'irrigation		
		PP	PC	PG
CE	mS/m	<0.7	0.7-3.0	>3.0
TDS	mg/l	<450	450-2000	>2000
Infiltration : SAR = 0-3 et CE =	mS/m	>0.7	0.7-0.2	<0.2
SAR = 3-6 et CE =		>1.2	1.3-0.3	<0.3
SAR = 6-12 et CE =		>1.9	1.9-0.5	<0.5
SAR = 12-20 et CE =		>2.9	2.9-1.3	<1.3
SAR = 20-40 et CE =		>5.0	5.0-2.9	<2.9

Toxicité de certains ions (affectent les cultures sensibles)				
Sodium : Irrigation de surface	SAR	3	3-9	>9
Sodium : Irrigation par aspersion	méq/l	<3	>3	
Chlore : Irrigation de surface	méq/l	<4	4-10	>10
Chlore : Irrigation par aspersion	méq/l	<3	>3	
Bore	mg/l	<0.7	0.7-3.0	>3.0
Effets divers				
Azote (NO ₃ -N)	mg/l	<5	5-30	>30
Bicarbonate (HCO ₃)	méq/l	<1.5	1.5-8.5	>8.5
pH		Zone normale : 6.5-8.4		
SAR : ratio d'absorption du sodium				
PP : pas de problèmes ; PC : problèmes croissants ; PG : problèmes grave				

Tableau 4 : Concentrations maximales recommandées (CMR) dans l'eau d'irrigation de quelques métaux et métalloïdes sélectionnés (Pescod, 1992).

Élément	CMR mg /l	Remarques
Aluminium	5,00	Peut bloquer la productivité dans les sols acides (pH 5,5), mais des sols plus alcalins au pH 7,0 précipiteront les ions et élimineront toute toxicité.
Arsenic	0,10	La toxicité pour les plantes varie énormément, allant de 12 mg par litre pour le fourrage au Soudan à moins de 0,05 mg par litre pour le riz.
Béryllium	0,10	La toxicité pour les plantes varie énormément, allant de 5 mg par litre pour le chou vert à 0,5 mg par litre pour les haricots nains
Cadmium	0,01	Toxique à des concentrations aussi faibles que 0,1 mg par litre dans la solution nutritive pour les haricots, les betteraves et les navets. On recommande des limites prudentes.
Chrome	0,10	Généralement pas reconnu comme élément essentiel de la croissance végétale.
Cobalt	0,05	Toxique pour les plants de tomates à 0,1 mg par litre dans la solution nutritive. Il a tendance à être inactivé par les sols neutres et alcalins.
Cuivre	0,20	Toxique pour un certain nombre de plantes de 0,1 à 1,0 mg par litre dans la solution nutritive.
Fer	5	Non toxique pour les plantes dans des sols aérés, mais peut contribuer à l'acidification des sols et à la perte de disponibilité du phosphore et du molybdène.
Lithium	2,5	Toléré par la plupart des cultures jusqu'à 5mg par

		litre. Mobile dans le sol. Toxique pour les agrumes à de faibles concentrations avec une limite recommandée de 0,075 mg par litre.
Manganèse	0,2	Toxique pour un certain nombre de cultures, de quelques dixièmes à quelques mg par litre dans les sols acides.
Molybdène	0,01	Non toxique pour les plantes à des concentrations normales dans le sol et l'eau.
Nickel	0,2	Toxique pour certain nombre de plantes, de 0,5 à 1,0 mg par litre ; toxicité réduite à un pH neutre ou alcalin.
Plomb	5	Peut inhiber la croissance des cellules végétales à des concentrations très élevées.
Sélénium	0,02	Toxique pour les plantes à de faibles concentrations et toxique pour le bétail. Si le fourrage est cultivé sur des sols présentant des niveaux relativement élevés de sélénium.
Zinc	2	Toxique pour de nombreuses plantes à des niveaux très variés de concentrations, cette toxicité est réduite à pH 6,0 et dans des sols à texture fine ou organiques.

La concentration maximale repose sur un taux d'épandage de l'eau qui respecte les bonnes pratiques d'irrigation (10000 m³/ha/an). Si le taux d'épandage de l'eau dépasse de beaucoup ce chiffre, les concentrations maximales devraient être ajustées en conséquence. Il n'y a pas lieu de faire un ajustement pour des taux d'application inférieurs à 10000 m³/ha/an. Les valeurs données concernent l'eau utilisée à long terme dans un site.

2.4. Aspect législatif

Le décret exécutif n° 07-149 de 20 mai 2007 publié dans le Journal Officiel (JO) de la République Algérienne n° 35, 23 mai 2007, fixe les modalités d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation sous forme de concession ainsi que le cahier des charges- type y afférent (JO, 2007). Ce décret règle tous les processus d'utilisation des eaux usées épurées par les stations d'épurations, par une demande adressée par un concessionnaire au Wali (premier responsable de la Wilaya ou département) de la région, cette demande comporte une convention avec la station d'épuration qui fournit les eaux usées épurées. Le contrôle technique, la gestion des périmètres irrigués et le contrôle sanitaire ainsi que la qualité de l'eau épurée et des produits agricoles est assurée par les directions territoriales de chaque wilaya sous tutelle de différents ministères : ressources en eau, agriculture, santé, environnement et commerce (**Hannachi et al., 2013**).

2.5. L'irrigation en Algérie

L'Algérie compte 17 bassins-versants. Les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables. Il est à noter que ces ressources sont très variables notamment celles qui proviennent des nappes tributaires des aléas climatiques (**Kadi, 1997**). Globalement, la superficie irriguée actuellement est de l'ordre de 420.000 ha dont 100.000 ha dans les régions sahariennes et ce, sur une superficie agricole utile de 8.666.715 ha soit près de 5% de la surface agricole utile (SAU) (**Messahel et al. 2003**). Les 320.000 ha irrigués dans le Nord du pays (soit 4,6% de la SAU) se répartissent en deux ensembles nettement différenciés à la fois par la taille des aménagements et par le mode de gestion, il s'agit :

2.5.1. Des grands périmètres irrigués (GPI) :

Relevant de l'Etat gérés par l'Office National des Irrigations et du Drainage. Ces périmètres sont irrigués à partir de barrages pour la plupart et de forages dans le Nord du pays (tableau 5). Dans le Sud l'irrigation des périmètres est assurée à partir de forages profonds dans les grandes nappes souterraines de l'albien. Leur superficie totale équipée actuelle est de l'ordre de 200.000 ha. La surface irrigable représente environ 150.000 ha (nettement inférieure à la surface équipée en raison des pertes occasionnées par la dégradation des sols). La surface effectivement irriguée est de l'ordre de 40.000 ha seulement. Des programmes de remise en état et de rénovation des systèmes de distribution sont en cours pour accroître cette surface. Les cultures pratiquées dans les GPI (en 2008) sont en grande partie l'arboriculture

(64,6 % des surfaces irriguées), le maraîchage (28,5 %), des cultures industrielles (6,1 %) et le reste céréales et fourrages. Il y a lieu de remarquer le faible développement des cultures industrielles malgré la vocation des GPI pour ces spéculations, probablement dû à l'absence de valorisation par les filières de transformation. Faiblesse également de la production des cultures fourragères (**Benblidia, 2011**)

Tableau 05 : Superficies des GPI équipées, irrigables et irriguées par grande région. (Benblidia, 2011)

Régions	Superficies équipées (ha)	Superficies irrigables (ha)	Superficies irriguées (ha)	Proportions équipées %	Irrigables/ équipées %	Irriguées/ équipées %
Oranie	28.930	13.500	9459,50	15,2	46,7	32,7
Chélif	75.438	61.383	11513,54	39,6	81,4	15,3
Algérois	440.88	34.963	3717.11	23,1	79,3	8,4
Constantinois	34.612	30.446	8460,42	18,1	88,0	24,4
Sahara	7660	6939	6772	4,0	90,6	88,4
Total	190.728	147.231	39922,57	100	77,2	20,9

2.5.2. De la « Petite et Moyenne Hydraulique » ou PMH :

Il s'agit d'exploitations petites et moyennes constituées de petits périmètres et aires d'irrigation qui se sont remarquablement développés depuis une dizaine d'années à l'initiative de l'Administration et surtout, à l'initiative de producteurs privés. La PMH englobe toutes les formes de développement de l'irrigation autres que celles délimitées dans le cadre des GPI dont la gestion relève de l'ONID (Tableau 06).

Tableau 06 : Répartition territoriale des superficies de PMH selon le mode d'irrigation

Région	SAU Irriguée(ha)	%Gravitaire	%Aspersion	%Localisé	% Citernage
Nord	221.200	62	22	15	0.9
Hauts Plateaux	258.482	64	16	20	04
Sud	216.482	70	7	23	0.0

2.5.3. Contraintes au développement de l'irrigation en Algérie

En Algérie, le développement de l'irrigation a été freiné par de nombreuses contraintes, si l'on considère que seul 45% du potentiel irrigable est actuellement irrigué. La principale raison de la stagnation constatée reste cependant l'orientation donnée par l'état jusqu'au début des années 80 à des secteurs considérés plus prioritaires que l'agriculture, tels l'industrie, l'énergie, etc.

En 1980, les infrastructures d'irrigation existantes n'étaient plus en mesure de fournir de l'eau d'irrigation avec une garantie acceptable pour les raisons suivantes :

- La construction des barrages se faisait à un rythme très lent.
- Les ressources en eau disponibles étaient attribuées, en priorités, aux eaux potables et industrielles.
- Le manque d'entretien et des déficiences de l'exploitation des infrastructures diminuaient l'efficacité des réseaux, qui ont parfois dû abandonnés.
- L'absence de système d'assainissement et de drainage, jointe au manque de lessivage des sols, ont conduit à des graves problèmes de salinisation (LOCIF, 2003).

D'après le journal officiel de la république Algérienne démocratique et populaire No 41 (15/07/2012) certain paramètre physique et les concentrations des éléments toxiques sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 07 : Journal officielle de R.A.D.P No41 le 15/07/2012

Paramètres		UNITE	Concentration maximale admissible
Physique	pH	-	6,5≤pH≤8,5
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration de SAR = 0-3 CE=	ds/m	0.2
	3 à 6		0.3
	6 à 12		0.5
12 à 20	1.3		
20 à 40	3		
Chimique	DBO ₅	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	Chlorure (Cl)	mg/l	10
	Azote (NO ₃ -N)	mg/l	30
	Bicarbonate (HCO ₃)	mg/l	8.5
El	Aluminium	mg/l	20
	Arsenic	mg/l	2
	Béryllium	mg/l	0.5
	Bore	mg/l	2
	Cadmium	mg/l	0.05

Chrome	mg/l	1
Cobalt	mg/l	5
Cuivre	mg/l	5
Cyanures	mg/l	0.5
Fluor	mg/l	15
Fer	mg/l	20
Phénols	mg/l	0.002
Plomb	mg/l	10
Lithium	mg/l	2.5
Manganèse	mg/l	10
Mercure	mg/l	0.01
Molybdène	mg/l	0.05
Nickel	mg/l	2
Sélénium	mg/l	0.02
Vanadium	mg/l	1
Zinc	mg/l	10

(*) pour type de sols à texture fine, neutre ou alcalin,

Chapitre II

Matériel et méthodes



3. Matériels et méthodes

3.1. Présentation de la région d'étude

3.1.1. Présentation de la Wilaya de Mila

La wilaya de Mila se compose de 32 communes s'étend sur une superficie de 3478.4 km² et elle compte 779 300 habitants. Son territoire est constitué par plusieurs entités géographiques : les massifs telliens, les bassins intra-telliens, les collines et les Hautes Plaines (**Soukehal et Cherrad, 2011**).

Mila est limité par 6 wilayas:

- Au Nord-Ouest par la Wilaya de Jijel;
- Au Nord-Est par la Wilaya de Skikda;
- A l'Est par la Wilaya de Constantine;
- A l'Ouest par la Wilaya de Sétif;
- Au Sud-Est par la Wilaya d'Oum-El Bouaghi et Batna (**ANDI, 2013**).

La wilaya de Mila est parcourue au nord par un réseau hydrographique dense, constitué de petits cours d'eau alimentant les oueds : Qued-Bousselah, Oued El-Maleh, Oued El-Kebir et Oued-Rhumel qui déversent leurs eaux dans le barrage de Béni Haroun. Quant au sud de la Wilaya, il est marqué par sa richesse en ressources hydriques souterraines selon le Ministère des Ressource en eau (**MRE, 2018**).

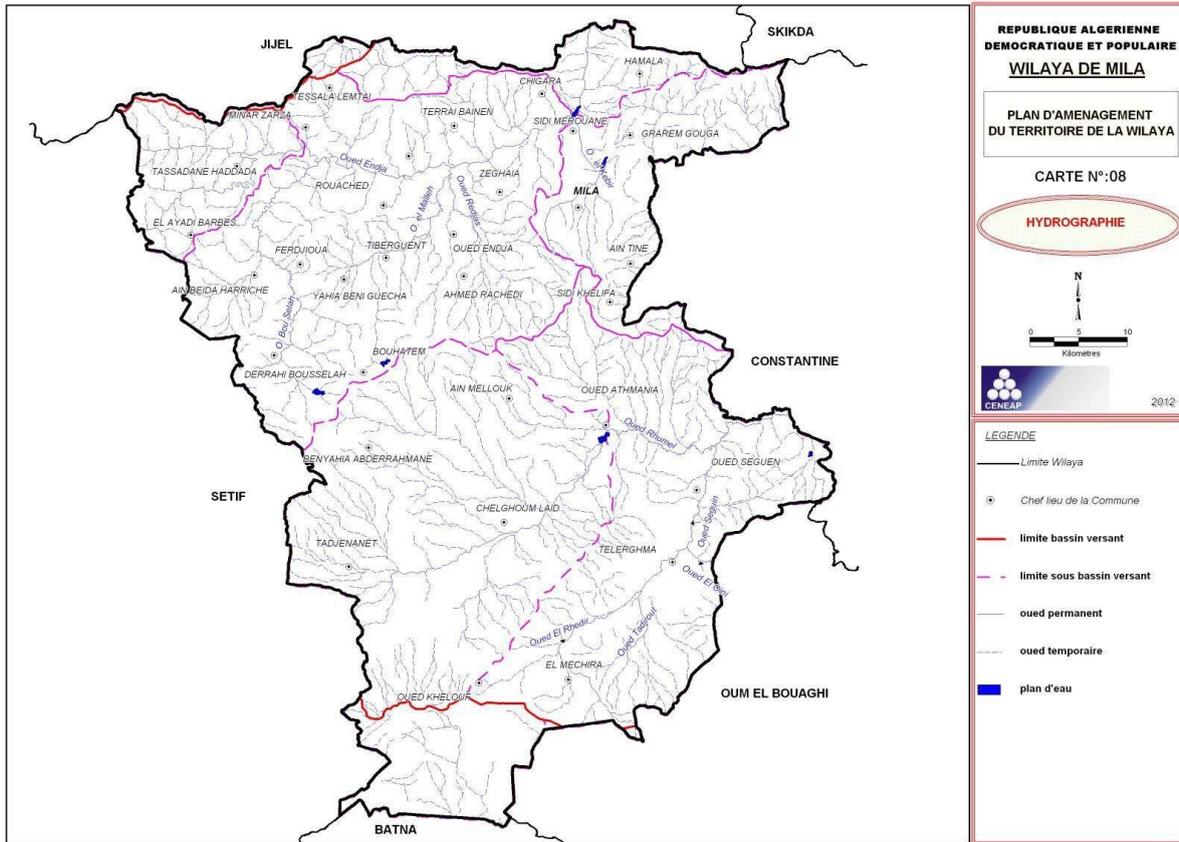


Figure 2 : Carte d’Hydrologie de la wilaya de Mila

3.1.2. Présentation de bassin versant d’oued Kébir-Rhumel

Le bassin Kébir-Rhumel est situé à l’Est de l’Algérie. Il est bordé au Sud par les hauts plateaux telliens, à l’Ouest par la montagne de la petite Kabylie, au Nord par la frontière de partage des eaux que forme l’Atlas Tellien, et à l’Est par le bassin du Seybouse. (Marouf, 2012)

Le bassin versant Kébir-Rhumel centre à 36" de latitude Nord et à 7" de longitude est l’un des plus importants et grands bassins d’Algérie, s’étendant sur une superficie de 8815 Km². Il se compose de 7 sous-bassins hydrographiques et possède une façade maritime d’environ 7 Km² (ABH, 2009).

Le bassin de l’Oued Kébir est situé en grande partie sur le versant méridional du bombement tellien. Il représente à ce titre une zone intermédiaire entre le domaine tellien à très forte influence méditerranéenne au nord et le domaine des hautes plaines à forte influence continentale au Sud. Cette entité hydrographique est composée de quatre sous bassins versant (Kerdoud, 2006).

Il est limité naturellement par :

- Au Nord par les deux bassins côtiers Constantinois Ouest et Centre ;
- Au Sud, le bassin des hauts plateaux constantinois ;
- À l'Ouest les bassins de l'algérois-Hodna -Soummam et à l'Est le bassin de la Seybouse.

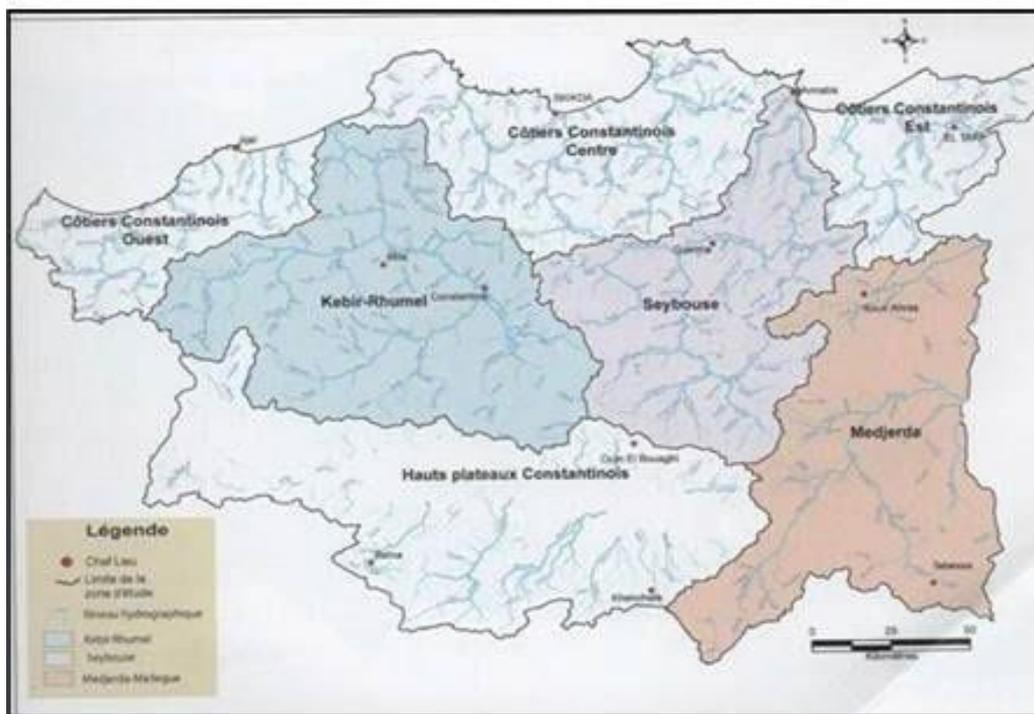


Figure 3 : Situation géographique de Bassin versant Kébir-Rhumel (ANRH, 1993).

3.1.3. Barrage Béni Haroun

Le barrage Béni Haroun, situé à une quarantaine de km au Nord de Constantine, contrôle les eaux du bassin de l'oued Kébir-Rhumel. Il est le plus grand barrage du pays, érigé dans la région bien arrosée du Tell oriental, au Sud de laquelle se situent de grands centres urbains (Constantine, Batna, Khenchela...) et de vastes terres irrigables.

(Hautes Plaines semi-arides) Qui ne peuvent être satisfaites par les ressources locales et bénéficient du transfert des eaux du barrage (Djeddi et al, 2018).

Figure 4: Situation du barrage Beni Haroun dans le Bassin du Kébir-Rhumel (d'après Mebarki, 2005)

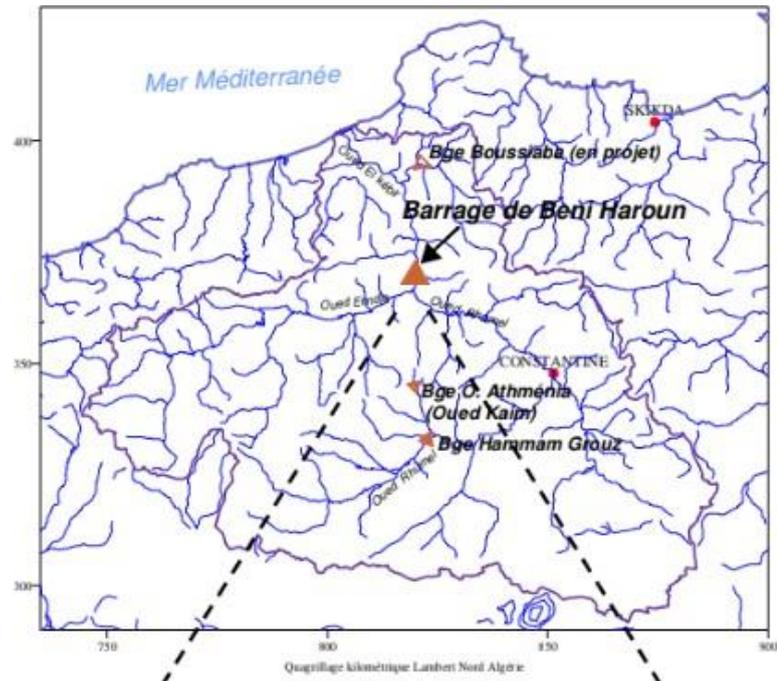


Figure 5: Lac de retenue de Beni Haroun (image satellitaire Google Earth, 2002)



3.1.4. Principaux oueds du bassin de Kébir-Rhumel

Le bassin de Kébir-Rhumel présente un chevelu hydrographique très dense, totalisant un réseau de plus de 4200 km. (Mebarki, 1982) Oued Kébir-Rhumel résulte de la jonction de deux grands oueds Oued Rhumel et Oued Endja (Tourki, 2019).

3.1.4.1. Oued Endja

D'un linéaire de 15 Km, il naît à la confluence de l'oued El Kébir et de l'oued Redjas. Son lit possède une forme lithologique très intéressante du point de vue hydrogéologique ce qui explique le réseau hydrologique dense du barrage Béni-Haroun (Melghit, 2009).

L'oued Endja est formé à l'amont par la confluence de l'oued Dehamcha et de l'Oued Menaâ. Le premier prend sa source au seuil des hautes plaines au Nord d'El Eulma alors que le second prend sa source aux environs d'Ain El Kebira dans les massifs de la petite Kabylie.

Durant son parcours, l'oued Endja ne reçoit pas d'affluents importants sur sa rive gauche, mais sur sa rive droite, il collecte les eaux des oueds Rarama (ou Djemila) ainsi que ceux de Bou Selah, de Redjas et d'El Melah (**Sahli, 2012**).

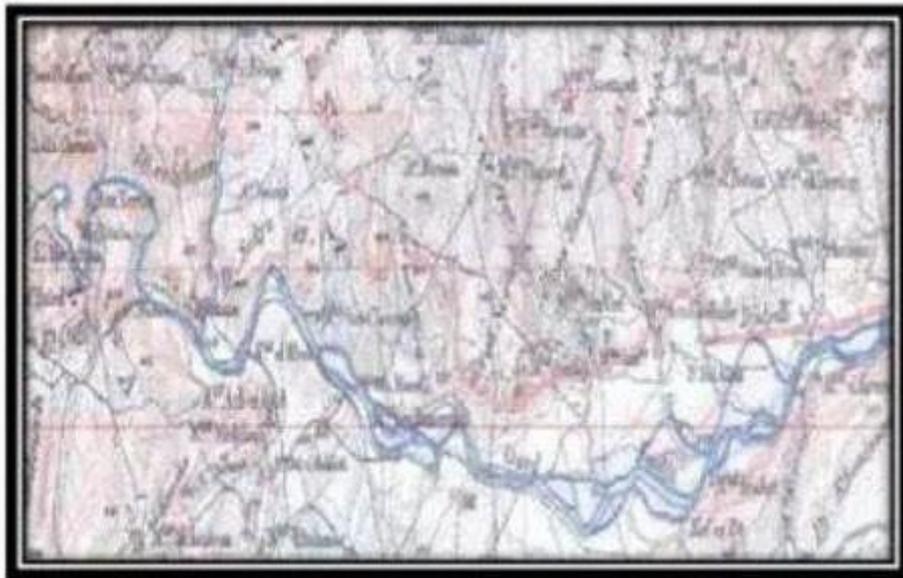


Figure 6 : Carte topographique représente le trajet d'oued Endja (**Agence Hydraulique deMila**).

3.1.4.2. Oued Rhumel

D'un linéaire de plus de 123 Km, c'est l'oued le plus important du Kébir Rhumel. Il prend naissance dans les hautes plaines Sétifiennes, entaille les gorges de Constantine jusqu'à la confluence de l'Oued Endja et prend ensuite le nom d'El Kébir. Il draine, suivant une orientation Sud-Ouest Nord-Est, les sous-bassins semi-arides des Hautes Plaines (Tadjenanet, Chelghoum Laid) puis franchissent le rocher de Constantine en s'encaissant profondément (200 m de dénivellation) dans des gorges calcaires. Ensuite, il s'écoule en direction Nord- Ouest et plus au Nord, aux environs de Sidi Merouane, il conflue avec l'Oued Endja qui draine la partie occidentale du bassin. Durant tout ce parcours, l'oued Rhumel reçoit quelques affluents importants, entre autres les oueds Dekri, Athmania, Seguen, Boumerzoug, Smendou et Ktone (**Mebarki, 1982**).

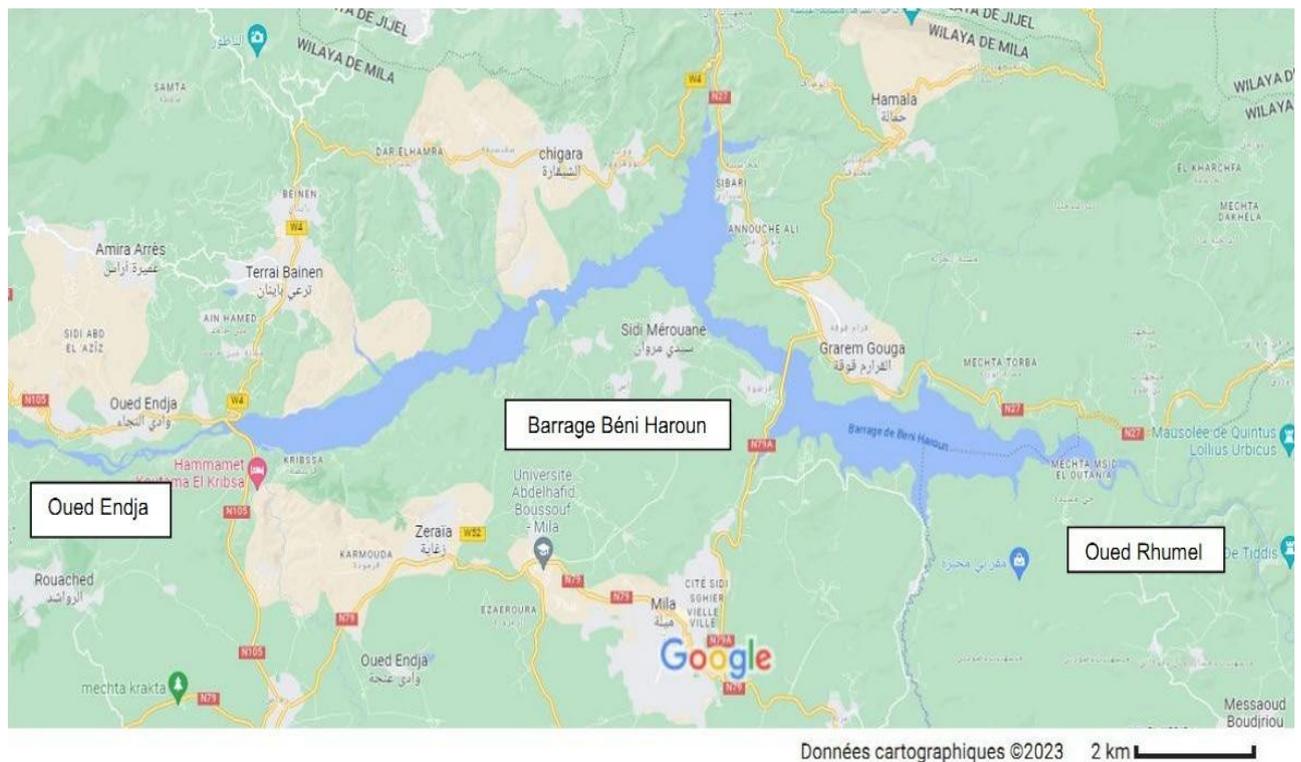


Figure 7 : Localisation des oueds Endja et Rhumel par rapport au Barrage Béni Haroun

3.2. Contexte climatique

Le climat varie légèrement du Nord au Sud, passant d'un domaine subhumide à un domaine semi-aride, mais d'une manière générale, c'est le climat méditerranéen qui y règne : humide et tempéré, caractérisé par un hiver doux et un été chaud, avec d'assez riches ressources hydriques d'origine différentes (pluie, grêle neige) (Ounissi et Bouchareb, 2013).

3.2.1. Précipitations

Les précipitations constituent un facteur climatique très important qui conditionne l'écoulement saisonnier et influence directement sur le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes aquifères (ONM, 2017).

3.2.2. Température

La température est le degré de la chaleur ou le froid qui règne dans un lieu ou dans l'atmosphère. On mesure la température (en degré Celsius) à l'aide d'un thermomètre enregistreur placé à 1,5 m du sol à l'ombre et à l'abri du vent. La température de l'air varie selon les moments de la journée, l'altitude et les saisons. Elle est l'un des facteurs ayant une

Grande influence sur le climat et sur le bilan hydrique car elle conditionne l'évaporation et l'évapotranspiration (**Druex, 1980**).

3.2.3. Vent

Le vent est un facteur climatique très important, car il joue un rôle fondamental dans le transport, la propagation et la dissémination des polluants de différentes tailles vu ses caractéristiques de direction et de force (**Melghit, 2009**).

3.2.4. Humidité

L'humidité est un paramètre très important pour l'étude des pertes par évaporation dans un barrage (**Groga, 2012**).

3.2.5. Les sources de Contamination

3.2.5.1. Agriculture

Le bassin d'oued Kébir-Rhumel se caractérise par une agriculture mixte traditionnelle (irrigation gravitaire) et moderne (irrigation par canaux d'aspersion), tout dépend du type de culture. La superficie actuellement irriguée dans le bassin est de 2679 hectares consommant un volume annuel de 27,65 hm. Les principales activités des périmètres irrigués sont essentiellement les cultures maraichères et l'arboriculture (**Mebarki, 1982**).

L'influence de l'agriculture sur les oueds du bassin versant Kébir-Rhumel se manifeste surtout par l'utilisation des engrais chimiques dont les principaux sont : les nitrates d'ammonium (33%) et les phosphates (45%). Sans aucun doute les engrais augmentent le rendement agricole en améliorant la croissance mais des très fortes doses conduit automatiquement à une pollution excessive des sols et par conséquent des eaux ou les concentrations en nitrates, phosphates et leurs dérivés sont élevées (**Melghit, 2009**).

3.2.5.2. Unités industrielles

Les unités industrielles du bassin sont réparties en plusieurs zones concentrées autour des grandes agglomérations (Constantine, Chelghoum Laid, El Khroub, Hamma Bouziane et Mila). Parmi les industries caractéristiques du bassin plusieurs d'entre elles sont alimentées par leurs propres forages ou leurs propres puits lesquels pour la plupart ne subissent aucun contrôle concernant la chimie de l'eau (**ABH, CSM, 2002**).

3.3. L'Echantillonnage

3.3.1. L'échantillonnage de l'eau

- Prélèvement des échantillons d'eau

Le prélèvement d'échantillons d'eau est une opération délicate qui doit être homogène, représentative et obtenue sans altérer les propriétés physico-chimiques de l'eau. Des échantillons d'eau pour analyse physico-chimique ont été prélevés dans des bouteilles en plastique de 1,5 L.

Les échantillons d'eau sont transportés dans des glacières isothermes à basse température afin de ne pas altérer les propriétés physico-chimiques de cette eau. Des échantillons d'eau ont été envoyés au Laboratoire de microbiologie pédagogique, où ils ont ensuite subi une analyse physicochimique.



Figure 8 : stations de prélèvements de l'eau d'Oued Rhumel



Figure 9 : stations de prélèvements de l'eau d'Oued Endja

3.4. Protocoles D'analyses

3.4.1. Mesure in situ

Trois paramètres physico-chimiques (T° , **pH**, **CE**) ont été mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide de multi-paramètre WTW 3051, Le pH-mètre (Mettler Toledo) a été utilisé pour mesurer in situ le potentiel redox (Figure 10).



Figure 10: Multi-paramètres (WTW 3051) et pH-mètre (Mettler Toledo).

3.4.2. Mesure au laboratoire

3.4.2.1. Dosage des anions

➤ Bicarbonates

Le dosage des HCO_3^- se fait par acidimétrie à l'aide d'une solution d'acide sulfurique H_2SO_4 à 0.02N en présence de l'indicateur coloré le vert de Bromocrésol et phénolphtaléine dans la solution des carbonates.



Figure 11 : l'ajout de l'indicateur coloré (Bromocrésol)

➤ Les Sulfates

Les sulfates sont précipités sous forme de sulfates de baryum par le chlorure de baryum. (Méthode turbidimétrique) :



Le précipité ainsi obtenu, très fin, est stabilisé par la gélatine. On effectue sur le trouble ainsi obtenu une mesure turbidimétrique à la longueur d'onde 495 nm à l'aide d'un spectrophotomètre de marque Jenway.



Figure 12 : l'ajout des chlorures de baryum

➤ **Les chlorures**

Le dosage des ions Cl^- se fait par une solution titrée de nitrate d'argent (AgNO_3 , 0.02N) en présence de chromate de potassium (KCrO_7), les chlorures vont se précipiter sous forme de chlorure d'argent (AgCl).



Figure 13 : Chromate de potassium

➤ **Nitrate**

Le dosage des nitrates impose que la mesure soit réalisée dans les plus courts délais après le prélèvement car le NO_2^- peut rapidement être réduit. Les mesures de l'absorbance en

VIS à 415 nm a été réalisées à l'aide d'un spectrophotomètre de marque Jenway. Modèle 6315 avec un trajet optique de 1 cm (cuve en quartz).



Figure 14 : Nitrate (photo Originale)

➤ **Dosage des cations Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ et calcul du SAR_{aj} .**

Le dosage des cations déterminé directement par spectrophotométrie de flamme. Les valeurs trouvées nous permettent de calculer le SAR_{aj} il est calculé à partir de la formule ci-dessous (Zhang et al., 2012):

$$\text{SAR (még/l)} = \text{Na}^+ / ((\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}) / 2)^{0.5}$$



Figure 15 : spectrophotomètre à flamme.

3.5. Méthodes

3.5.1. L'Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation :

La méthodologie qu'on a suivie pour évaluer la qualité des eaux d'irrigation qui parvient des oueds est basée sur la comparaison de nos résultats avec une série de directives ou valeurs "guides" FAO (1976) qui a pour objectif de prévenir et de résoudre au niveau du champ du cultivateur les problèmes d'ordre général rencontrés en irrigation en matière de perméabilité et de toxicité spécifique par certains ions.

Les directives (**Tableau 8**) devraient aider à situer les effets de la qualité de l'eau dans la perspective des autres facteurs influant sur la production agricole et permettre à l'homme de terrain de juger si l'eau utilisée convient ou non à l'irrigation (**FAO, 2003**).

Tableau 8 : Directives pour l'évaluation de la qualité d'une eau d'irrigation d'après la FAO (**Ayers et Westcot, 1994**).

Problèmes potentiels en irrigation	Unités	Restriction pour l'irrigation		
		PP	PC	PG
CE	mS/m	<0.7	0.7-3.0	>3.0
TDS	mg/l	<450	450-2000	>2000
Infiltration : SAR = 0-3 et CE =	mS/m	>0.7	0.7-0.2	<0.2
SAR = 3-6 et CE =		>1.2	1.3-0.3	<0.3
SAR = 6-12 et CE =		>1.9	1.9-0.5	<0.5
SAR = 12-20 et CE =		>2.9	2.9-1.3	<1.3
SAR = 20-40 et CE =		>5.0	5.0-2.9	<2.9
Toxicité de certains ions (affectent les cultures sensibles)				
Sodium : Irrigation de surface	SAR	3	3-9	>9
Sodium : Irrigation par aspersion	még/l	<3	>3	

Chlore : Irrigation de surface	méq/l	<4	4-10	>10
Chlore : Irrigation par aspersion	méq/l	<3	>3	
Bore	mg/l	<0.7	0.7-3.0	>3.0
Effets divers				
Azote (NO ₃ -N)	mg/l	<5	5-30	>30
Bicarbonate (HCO ₃)	méq/l	<1.5	1.5-8.5	>8.5
pH		Zone normale : 6.5-8.4		
SAR : ratio d'absorption du sodium				
PP : pas de problèmes ; PC : problèmes croissants ; PG : problèmes grave				

3.6. Les diagrammes

Les composantes hydro-chimiques globales de l'eau d'irrigation sont expliquées avec les diagrammes graphiques le report des différents paramètres et indices sur les diagrammes permet une interprétation qui conduira à localiser le type d'eau. Le logiciel (hydro chimiques, Rockwork version de salinité, 16 et Aquachem 2014.2) était utilisé pour tracer ces diagrammes.

3.6.1. Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper (**Figure 16**) est le plus utilisé pour évaluer l'évolution hydro chimiques de l'eau (**Bouderbala, 2015**), dans ce diagramme les concentrations des anions principaux (Cl, SO, et HCO₃) et cations (Ca⁺², Na⁺ K⁺, et Mg) sont tracés en deux triangles, qui étaient alors prévu plus loin dans un champ diamanté et l'inférence est tirée pour la composition chimique de l'eau (**Piper, 1944**).

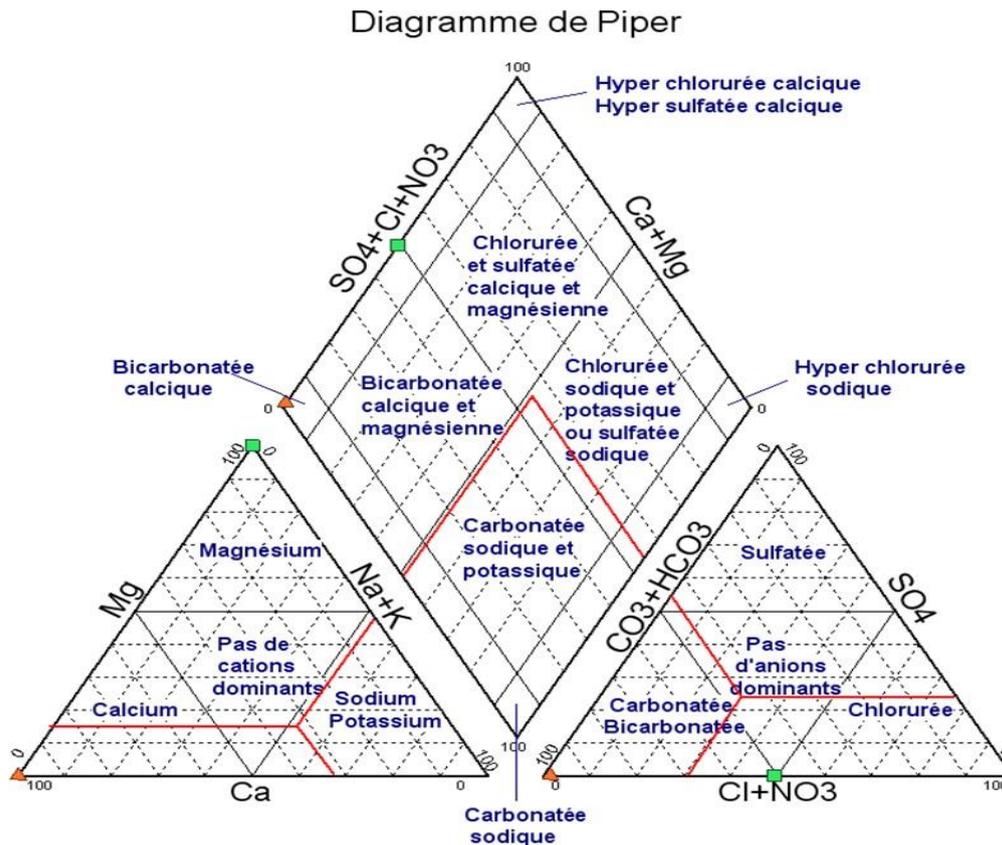


Figure 16 : Diagramme de Piper

3.6.2. Diagramme de Richards Riverside

Dans cette classification de Richards Riverside (Figure 17), deux facteurs sont pris en compte : la $CE_{\mu S/cm}$ et le pourcentage du sodium (SAR) qui sont convertis en quatre sections (tableau 9) que le résultat global est l'émergence des 16 groupes (tableau 10).

Tableau 9 : Critères de classification de l'eau de culture selon la classification de Wilcox Eau (Salarian et al., 2015)

Qualité de l'eau	CE	Classes	SAR	Catégorie
Excellente	<250	C1	<10	S1
Bonne	250-750	C2	10-18	S2
Moyenne	750-2250	C3	18-26	S3
Inappropriée	<2250	C4	>26	S4

Tableau 10 : Différentes classifications et différents types de qualité de l'eau selon la classification de Wilcox (Salarian et al., 2015).

Catégorie d'eau	Qualité de l'eau	Irrigation
C1S1.	Eau douce	Complètement inoffensif
C1S2,C2S2,C2S1.	Peu salé	Presque approprié
C1S3, C2S3, C3S1, C3S2, C3S3.	Salé	Application des mesures nécessaires
C1S4, C2S4, C3S4, C4S4, C4S3, C4S2,C4S1.	Très salé	Domageable pour l'agriculture

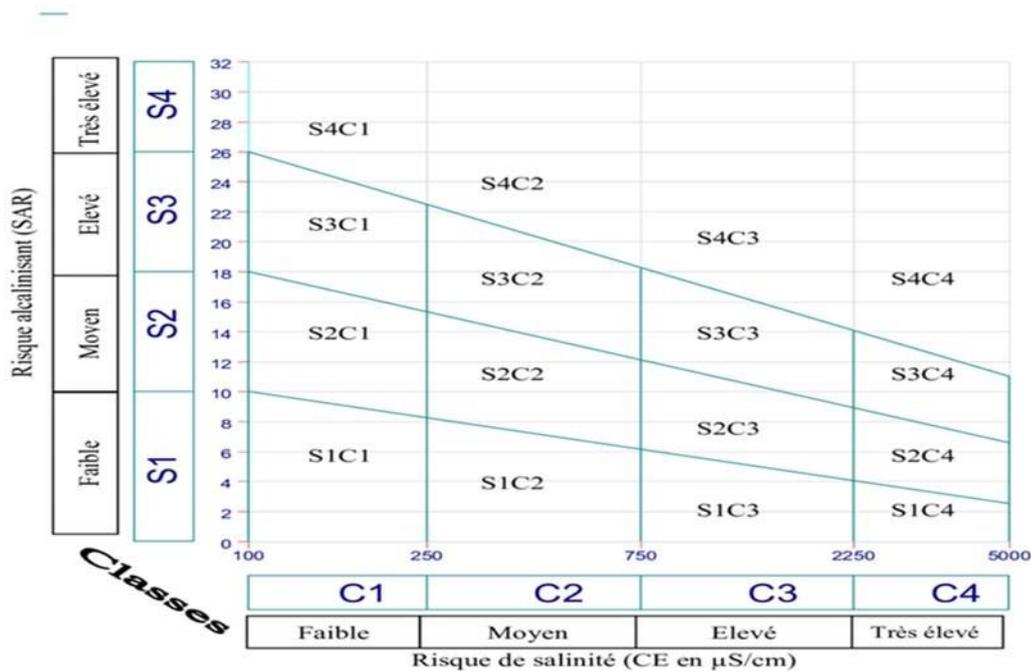


Figure 17 : Diagramme de Richard Riverside

3.6.3. Diagramme de Wilcox

Dans le diagramme de Wilcox (**Figure 18**) les valeurs du Na% sont reportées par rapport à CE (µS/cm) du diagramme de salinité (Vyas et Jethoo, 2015).

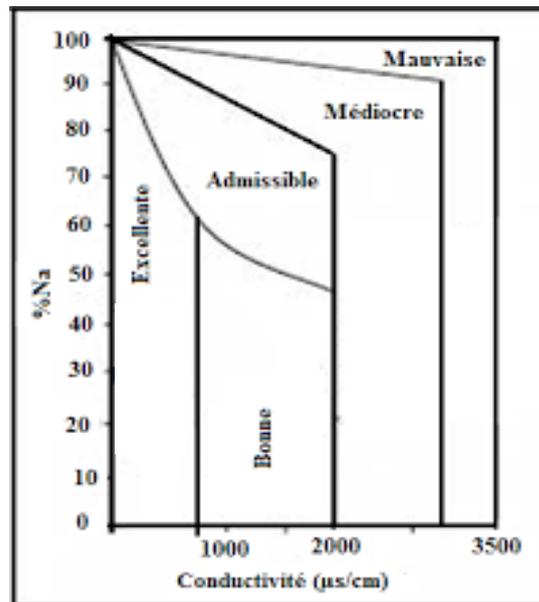


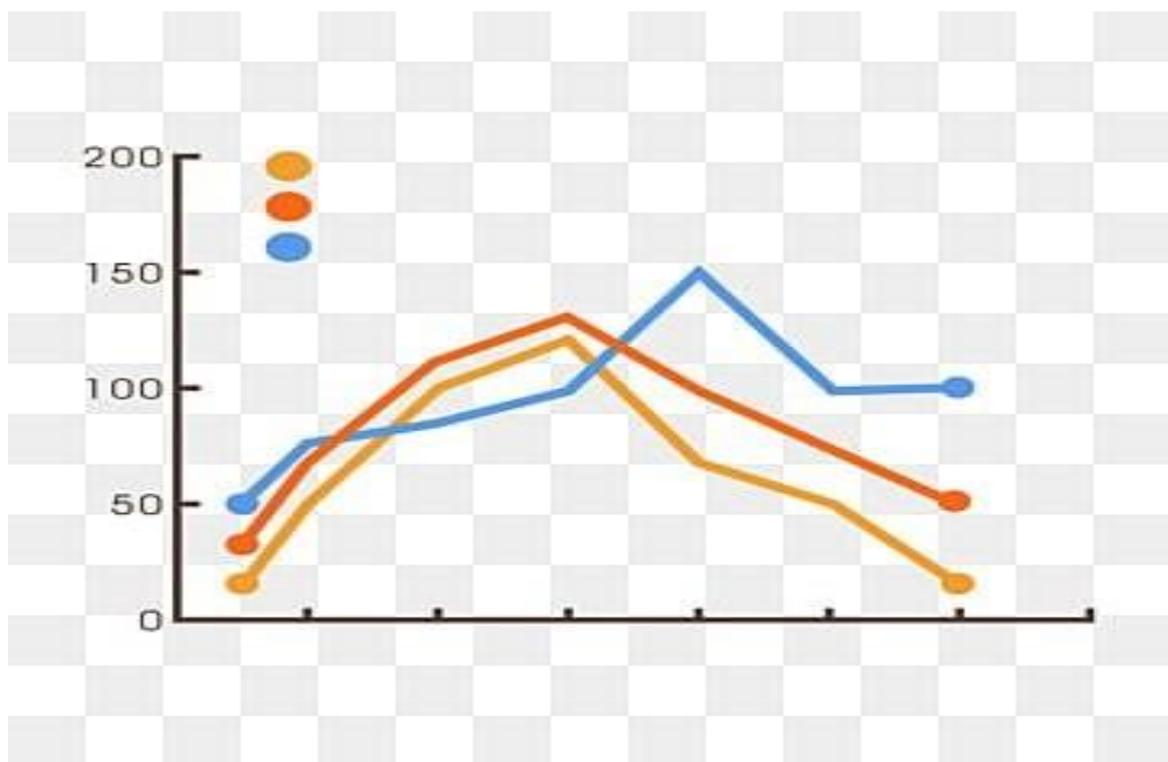
Figure 18 : Diagramme Wilcoxon

3.7. Analyses Statistiques

Pour le traitement des résultats nous avons utilisé la corrélation entre les variables.

Chapitre III

Résultat et discussion



4. Résultats et discussions

4.1. Eaux d'irrigation

4.1.1. Variation spatiotemporelle des paramètres physicochimique des eaux d'irrigation d'oued Endja et oued Rhumel.

Les résultats des analyses physicochimiques des eaux d'oued Endja et oued Rhumel à Mila sont représentés dans le tableau 11.

Tableau 11 : Variations spatiales des Paramètres physicochimiques des eaux d'irrigation d'oued Endja et oued Rhumel à Mila, au nord-est de l'Algérie (Moy (Moyenne) \pm Et (écart type), Min (Minimum), Max (Maximum), n=3(nombre de répétition).

Stations	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Paramètres	Moy \pm Et [Min-Max]	Moy \pm Et [Min-Max]	Moy \pm Et [Min-Max]	Moy \pm Et [Min-Max]	Moy \pm Et [Min-Max]	Moy \pm Et [Min-Max]
pH	7,66 \pm 0,54 [6,96 – 8,4]	7,62 \pm 0,43 [6,98–8,17]	7,70 \pm 0,48 [6,9–8,37]	7,55 \pm 0,45 [6,81-8,09]	7,62 \pm 0,33 [7,03–7,97]	8,09 \pm 0,42 [6,98– 8,3]
CE (mS/cm)	6,47 \pm 0,39 [1,42– 11,64]	2,44 \pm 0,88 [1,02–3,07]	2,40 \pm 0,9 [1,03–3,06]	2,46 \pm 0,87 [1,06–3,08]	2,36 \pm 0,85 [1,05– 3,06]	2,88 \pm 0,82 [1,17–3,08]
Cl⁻ (mg/l)	761,56 \pm 353,36 [167,1–1203]	245,21 \pm 64,93 [120–337,2]	257,13 \pm 58,68 [127,2– 307,4]	235,3 \pm 79,74 [100–402,7]	230,42 \pm 78,6 [109,2– 410,7]	244,61 \pm 98,72 [98,72– 134,9]
HCO₃⁻ (mg/l)	239,1 \pm 73,98 [142,5– 406,3]	159,18 \pm 22,6 [113,7–177,2]	146,7 \pm 18,72 [110,3– 167,2]	158,81 \pm 32,39 [112,4– 219,6]	155,77 \pm 32,72 [110,12– 225,3]	172,12 \pm 20,1 [123,22– 195,2]

(Suite du Tableau 11)

Stations	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Paramètres	Moy±Ecart type [Min-Max]	Moy±Ecart type[Min-Max]	Moy±Ecart type [Min-Max]	Moy±Ecart type [Min- Max]	Moy±Ecart type [Min-Max]	Moy±Ecart type [Min-Max]
NO₃ (mg/l)	17,12± 1,56 [0,4– 6,05]	12,98 ±0,58 [0,66– 2,3]	12,6±0,55 [0,74– 2,3]	15,82 ±1,71 [0,65–6]	16± 1,72 [0,51–6,3]	12,61±1,67 [0,35–6]
SO₄⁻² (mg/l)	236,8±88,99 [69– 352]	150,88±34,23 [106– 217,3]	150,72±31,2 [120,8-214,9]	355,2±182,9 [64– 627]	392,22±162,6 [111– 635]	266,2±147,8 [107– 641]
Na⁺ (mg/l)	417,8 ±172,4 [141 – 552]	105,6± 7,6 [92,7 –121,2]	104,2± 7,71 [90,3 –118,2]	110,6 ± 12,3 [86 –122]	108,46± 12,79 [89 – 135]	105,8±13,45 [79,3–132]
K⁺ (mg/l)	7,16±1,43 [4– 8,3]	5,46±0,43 [4,7– 6,1]	5,28±0,44 [4,5–6]	5,72±0,49 [5–6,4]	5,52±0,55 [4,9–6,8]	5,45±0,64 [4,5–6,7]
Ca⁺² (mg/l)	286,74±84,3 [110,3– 373,1]	335,05±100,66 [112,3–406,4]	327,33±92,75 [117,2– 402,2]	285,2±120,9 [90,7– 444,48]	266,77±112,6 [91,3– 416,43]	340,20±120,4 [91,4–401,2]
Mg⁺² (mg/l)	123,57±45,37 [36,8–187,4]	138,88± 45 [32–189,5]	133,18±39,82 [33,5–160,6]	139,25±52,67 [33,2– 168,6]	108,31±36,56 [40,7–150,8]	180,24±70,16 [37,1–237,9]
SAR (meq/l)	5,05±1,75 [2–6,9]	1,24±0,4 [1–2,57]	1,23±0,4 [1–2,45]	1,37±0,5 [1,2–2,75]	1,47±0,5 [1,2–2,92]	1,15±0,6 [1–2,91]

4.1.1.1. PH

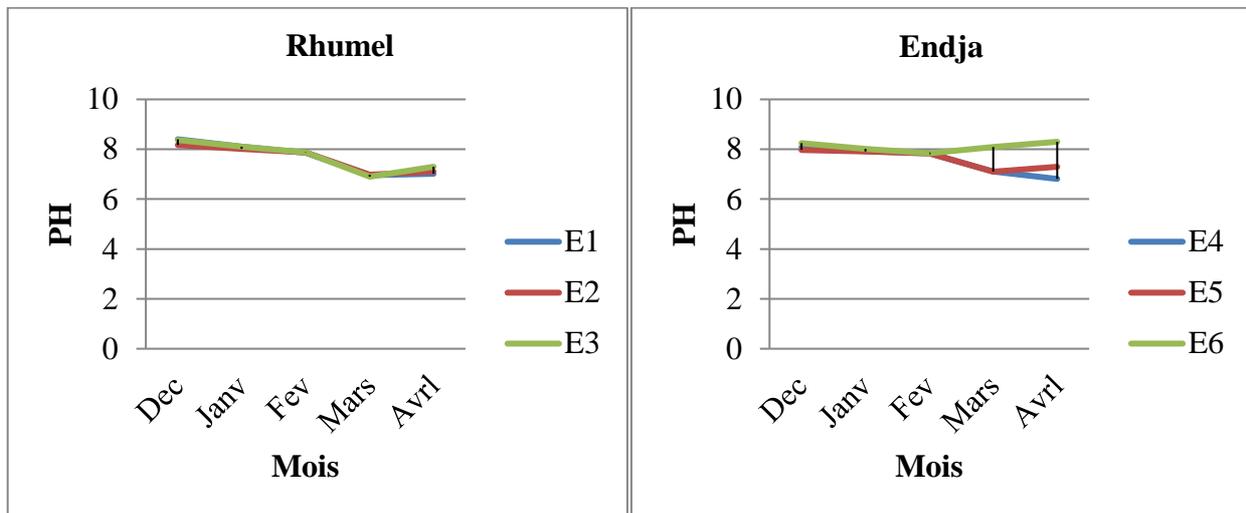


Figure 19 : Variations spatio-temporelles du pH des eaux d'oued Endja et oued Rhumel.

Le pH est un paramètre qui mesure le degré d'acidité ou d'alcalinité des écosystèmes aquatiques. Un pH compris entre 6 et 9 permet un développement à peu près correct de la faune et de la flore aquatique (Sahli, 2012).

Dans les stations d'oued Rhumel : le PH des eaux est faiblement alcalin. Il varie entre 6,9 et 8,4 la valeur la plus élevée est obtenus au mois de décembre et la plus faible est enregistrées Au mois d'avril.

Dans les stations d'oued Endja : le PH des eaux est moins alcalin que celui d'oued Rhumel.

Les valeurs varient entre 6,81 et 8,24. la plus élevée est relevée au mois de décembre et la plus faible est enregistrées au mois d'avril.

La FAO recommande que le pH des eaux d'irrigation soit entre 6,5 et 8,4 la solubilité de la plupart des microéléments soit optimal dans cet intervalle, un pH plus bas que dans la plage habituelle peut entraîner une corrosion accélérée du système d'irrigation (Roy et al., 2015).

Un pH élevé de l'eau d'irrigation est associé à des concentrations élevées de carbonate, bicarbonates et sodium qui peuvent modifier la croissance des plantes par micronutriments (Ashraf et al., 2017).

Lorsque le pH de l'eau d'irrigation dépasse (8,2), le problème du sodium augmente également. Il affecte la performance et la persistance de certains herbicides, réduit l'efficacité de certains engrais azotés et l'irrigation à long terme avec de l'eau à pH élevé augmente le pH

du sol (Hopkins et al., 2007).

Le pH moyen des eaux d'irrigation du eaux d'oued Endja et oued Rhumel est neutre à légèrement alcalin, il suit les normes de la FAO pour les eaux d'irrigation, ce qui reflète clairement l'influence de la nature géologique du bassin versant sur la composition chimique des eaux. En effet le bassin versant drainer est formé essentiellement par des roches sédimentaires et calcaires Ces résultats corroborent ceux rapportés dans l'étude de Djeddi et al. (2018) et Kherief Nacereddine et al. (2018).

4.1.1.2. La conductivité électrique (CE)

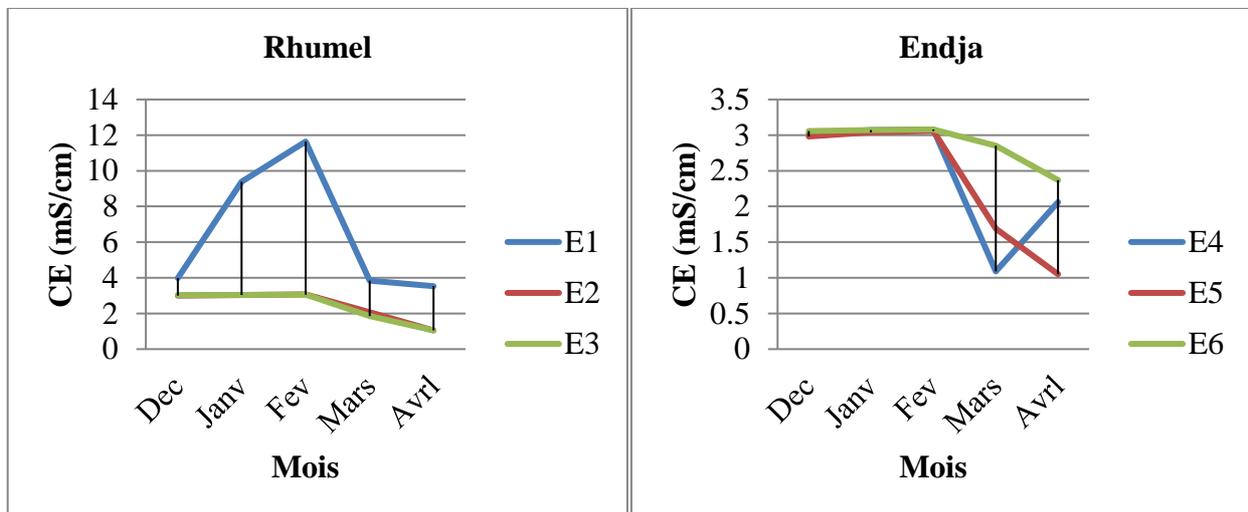


Figure 20 : Variations spatio-temporelles de la conductivité électrique des eaux d'oued Endja et oued Rhumel.

La conductivité représente l'un des moyens de valider les analyses physicochimiques de l'eau. En effet, des mesures contrastées d'un milieu permettent de mettre en évidence l'existence de pollution, des zones de mélange ou d'infiltration (Ghazali et Zaid ; 2013).

Les stations d'oued Rhumel enregistre des valeurs de conductivité élevé surtout pour la station E1 dont la valeur maximale atteigne 11 ,64 mS/cm.

Alors que la CE des stations d'oued Endja, varient de 1 mS/cm à 3 mS/cm dans la période de décembre à février, elle été quasi constante à 3 mS/cm dans toutes les stations pour les deux premiers mois, puis elle décroît dans la période de février à avril jusqu'à la valeur la plus faible qui est estimée de 1,05 mS/cm à la station E5 sauf à la station E4, ou elle augmente au mois d'avril.

Selon Les recommandations de la FAO (1976) la conductivité des stations d'oued Endja sont comprise entre 0,7 et 3 mS/cm, donc ils sont classées dans la catégorie PC alors que celle

D'oued Rhumel les eaux sont classées dans la catégorie PG ($CE > 3\text{mS/cm}$).

4.1.1.3. Chlorures

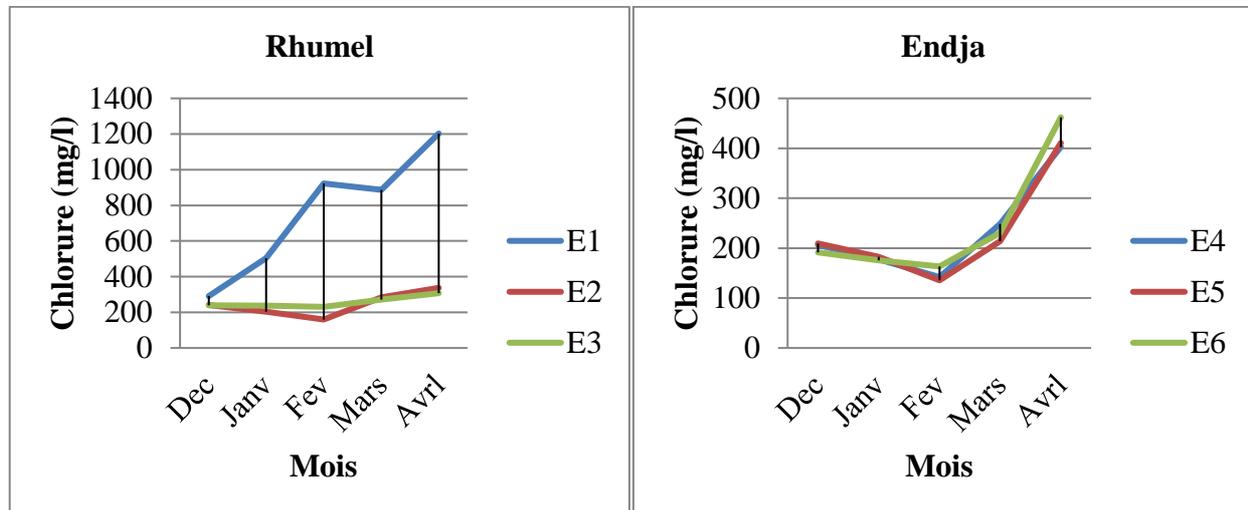


Figure 21 : Variations spatio-temporelle des teneurs en chlorures des eaux d'oued Endja et oued Rhumel.

L'analyse des résultats des chlorures d'oued Rhumel (Figure 21) montre que les concentrations oscillent entre 100 mg/l en E2 au mois d'février et 1203 mg/l en E1 au mois d'avril.

Alors que celle d'oued Endja diminuent dans les trois stations, et atteignent la valeur la plus basse estimée à 135,5 mg/l, puis augmentent jusqu'à atteindre la valeur 462mg/l en avril dans E6.

Les chlorures peuvent causer des dommages lorsque des niveaux excessifs de chlorure sont présents dans l'eau d'irrigation, en particulier par pulvérisation (Couture, 2006).

Le Cl est généralement absorbé par les racines, mais lors de l'irrigation par aspersion, lorsque les feuilles sont mouillées, le Cl peut également pénétrer directement dans la plante par les feuilles. Surtout pendant les périodes de haute température et de faible humidité. Cela accélère le taux d'accumulation de chlore et peut être une source majeure de toxicité (Lazarova et Bahri, 2005; Lauzon et al., 2008).

La comparaison des résultats des chlores des deux oueds avec les recommandations de la FAO montre quels sont supérieur à 135,5 mg/l, dépassant le seuil tolérable pour le mode d'irrigation par aspersion donc on est dans la classe PC (Ayers et Westcot, 1994).

4.1.1.4. Bicarbonates

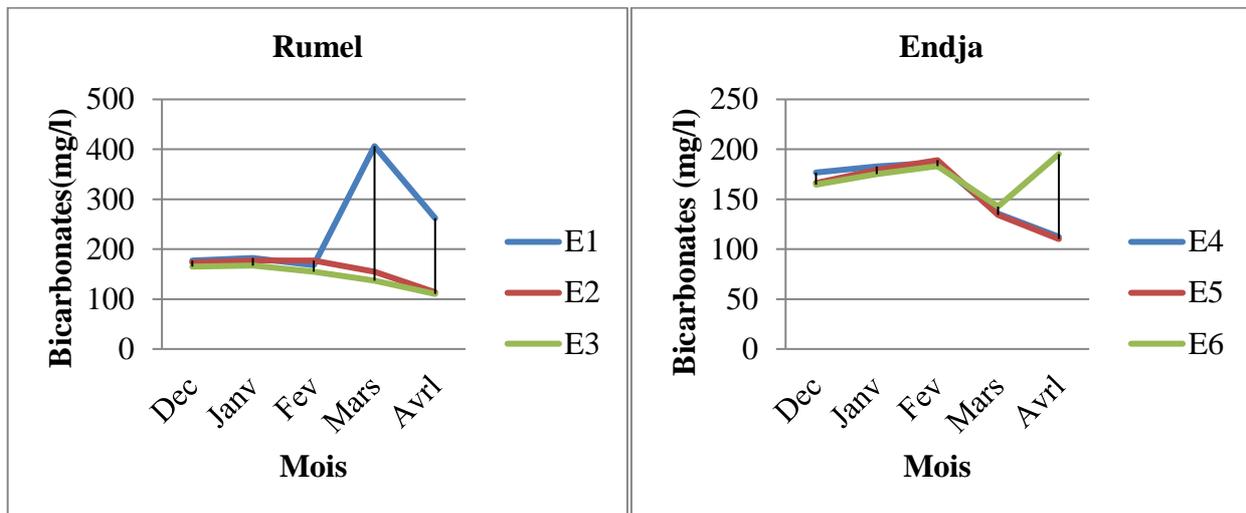


Figure 22 : Variations spatio-temporelle des teneurs en bicarbonates des eaux d'oued Endja et oued Rhumel.

Les teneurs en bicarbonates (Figure 22) déterminées sur l'ensemble des points d'eaux analysés varient entre un minimum de 110,12 mg/l et un maximum de 406,3 mg/l.

Les teneurs en bicarbonates d'oued Rhumel se localise dans un intervalle de 100 à 200 mg/l sauf pour la station E1 (406 mg/l) au mois de mars.

Les teneurs en bicarbonates d'oued Endja, augmentent dans les stations E4, E5 et E6 de décembre à février, puis diminuent de février à avril dans les stations E4 et E5, atteignant la valeur la plus basse estimée à 110,12 mg/l sauf pour la station E6, qui augmente à avril, atteignant la valeur la plus élevée de 195,2 mg/l.

Selon les directives de la FAO (1976) si les teneurs de bicarbonates dépassent 90 mg/l, ce qui est notre cas pour tous les prélèvements donc sont classée dans la catégorie PC

Les bicarbonates résultent de la dissolution des roches calcaires, et à la dissolution des formations carbonatées (Cipolin, Calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique. De grandes quantités de bicarbonate (>180-240 mg/L) augmentent le pH du sol et, combinées au carbonate, affectent sa perméabilité (Ingram, 2014 ; Lazarova et Bahri, 2005).

4.1.1.5. Sulfates

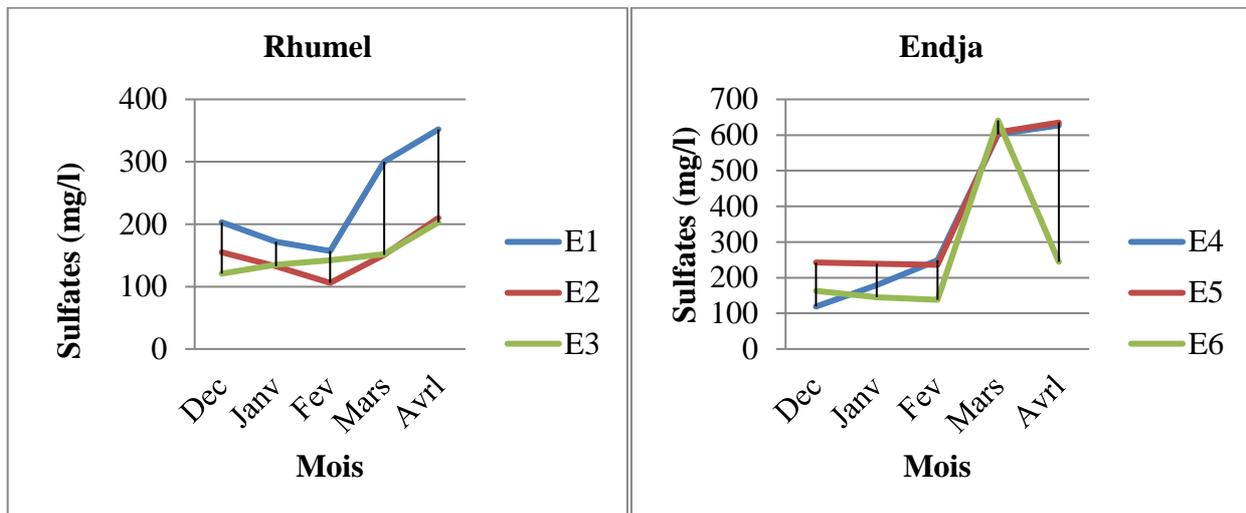


Figure 23 : Variations spatio-temporelle des teneurs en sulfates des eaux d'oued Endja et oued Rhumel.

Les teneurs de sulfate d'oued Rhumel dans la période de décembre à février varient entre 100 mg/l à 200 mg/l , elles augmentent de février à avril jusqu'à atteindre 352 mg/l à E1.

Les valeurs des sulfate d'oued Endja sont différentes au début, elles augmentent avec un pourcentage plus important dans la station E4 de décembre à février, puis elles augmentent dans les trois stations, et montent jusqu'à la valeur la plus élevée estimée à 641mg/l dans E6 en mars, et enfin diminuer seulement pour la stations E6 et atteindre une valeur de 244mg/l en avril.

Même s'il n'y a aucune recommandation des sulfates pour l'eau d'irrigation, certains auteurs tels que **Doucet (2006)** soulève quelques problématiques associées à la présence ou l'absence des sulfates dans les eaux d'irrigation.

Les sulfates sont présents dans les eaux de surface sous forme de SO_4^{2-} , les principales sources de sulfate dans les eaux sont la dissolution des roches sulfatées (le gypse), la pyrite (Fe S) et des roches volcaniques magmatiques (**Abboudi et al.,2014**).

4.1.1.6. Les nitrates

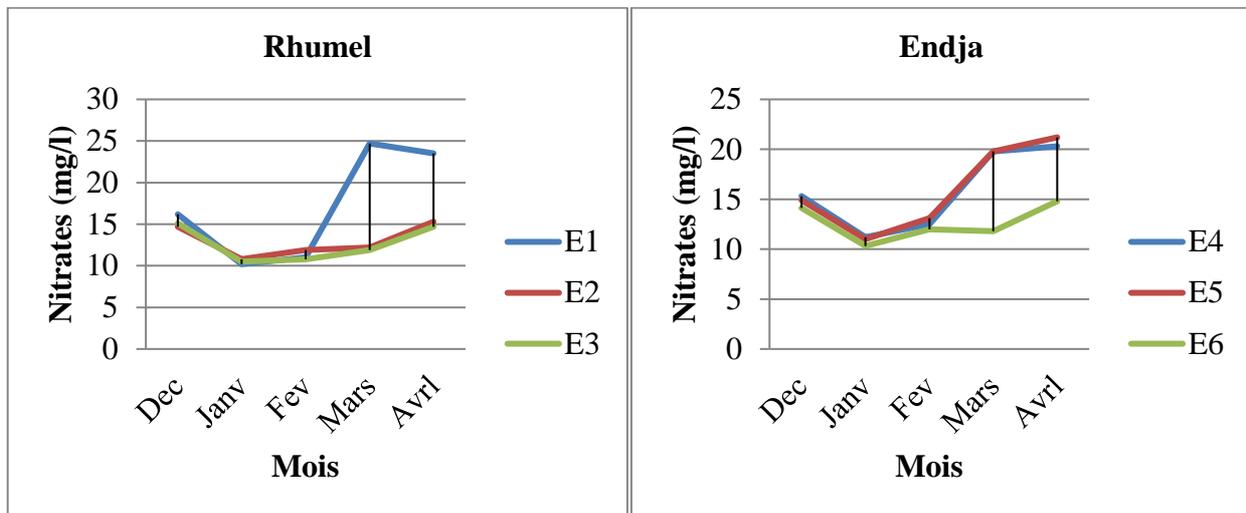


Figure 24 : Variations spatio-temporelle des teneurs en nitrates des eaux d'oued Endja et oued Rhumel.

Les teneurs de nitrates d'oued Rhumel diminuent et varient de 10mg/l à 16mg/l au cours des trois premiers mois et augmentent dans la période de février à avril pour atteindre une concentration maximale d'environ 25mg/l a E1.

Alors que celles d'oued Endja varient entre 10mg/l à 15mg/l au trois premiers mois, puis augmentent progressivement vers le mois d'avril jusqu'à atteindre la valeur la plus élevée à la station E5 est de 21,2 mg/l

En général, les eaux de surface ne sont pas chargées en nitrates à plus de 10 mg/l (OMS, 1989).

Selon les directives de la FAO (1976) on a des problèmes croissants avec les nitrates lorsque leurs valeurs dépassent 5mg/l et des problèmes graves s'il dépasse 30 mg/l.

Donc dans notre étude on est dans la classe de PC pour les eaux des oued Rhumel et oued Endja.

Les nitrates NO_3^- représentent l'une des formes d'azote que l'on trouve dans les eaux superficielles et souterraines, résultent de la décomposition naturelle, par des microorganismes, de matière organique azotée telle que les protéines végétales, animales et les excréments animaux (Kherief Nacereddine et al., 2018).

4.1.1.7. Sodium Adsorption Ratio (SAR)

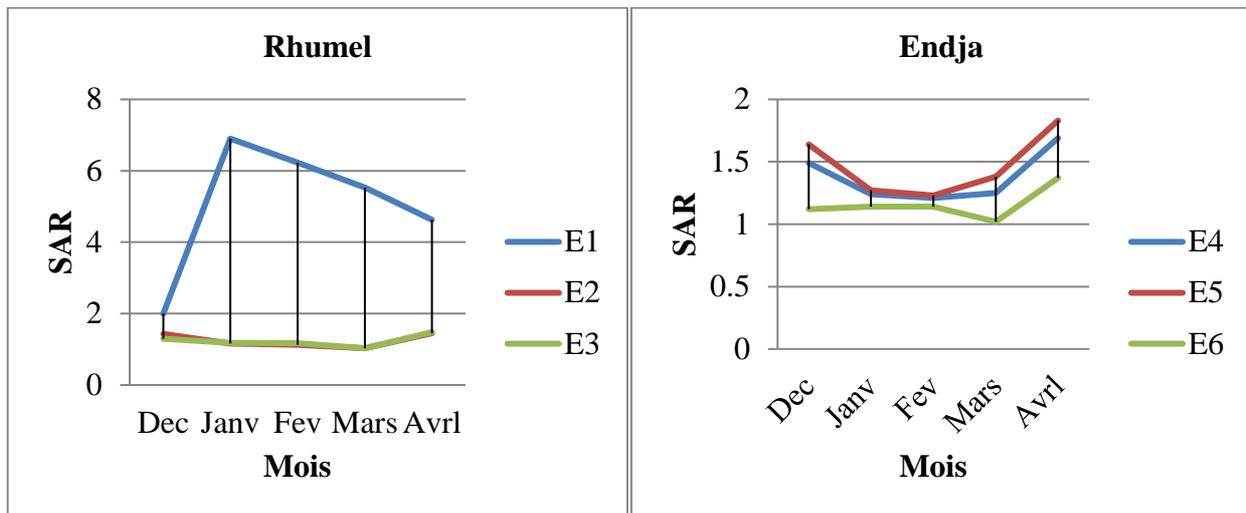


Figure 25 : Variations spatio-temporelle des teneurs en SAR des eaux d'oued Endja et oued Rhumel

Le SAR se définit en termes de la concentration relative de sodium (Na) par rapport à la somme du calcium (Ca) et des ions magnésium (Mg) dans un échantillon (Lee, 2012).

Les teneurs de SAR d'oued Rhumel dans toutes les stations varient entre 1mg/l et 2mg/l, sauf la station E1augmente de décembre (2 meq/l) à janvier (6,9 meq/l) puis décroît de janvier à avril jusqu'à atteindre une valeur de 4,68meq/l.

Les valeurs de SAR d'oued Endja décroissent de décembre à janvier, se stabilise entre janvier et mars, puis s'élève jusqu'à atteindre la valeur maximale de 1,83mg/l dans la station E5.

Selon les directives de la FAO (1976) Les valeur de SAR dans oued Endja est inférieur à 3, donc le cas PP, alors que dans le cas d'oued Rhumel les valeurs sont supérieure à 3, on les classe dans la catégorie PC.

Le sodium affecte également directement la salinité totale de l'eau et peut être toxique pour les cultures sensibles, par exemple : carottes, haricots, fraises, framboises, oignons. Des niveaux de sodium modérés à élevés défolieront les plantes sensibles si l'eau passe par le système d'arrosage et est pauvre en calcium et en magnésium (Murtaza et al., 2010).

4.1.1.8. Calcium

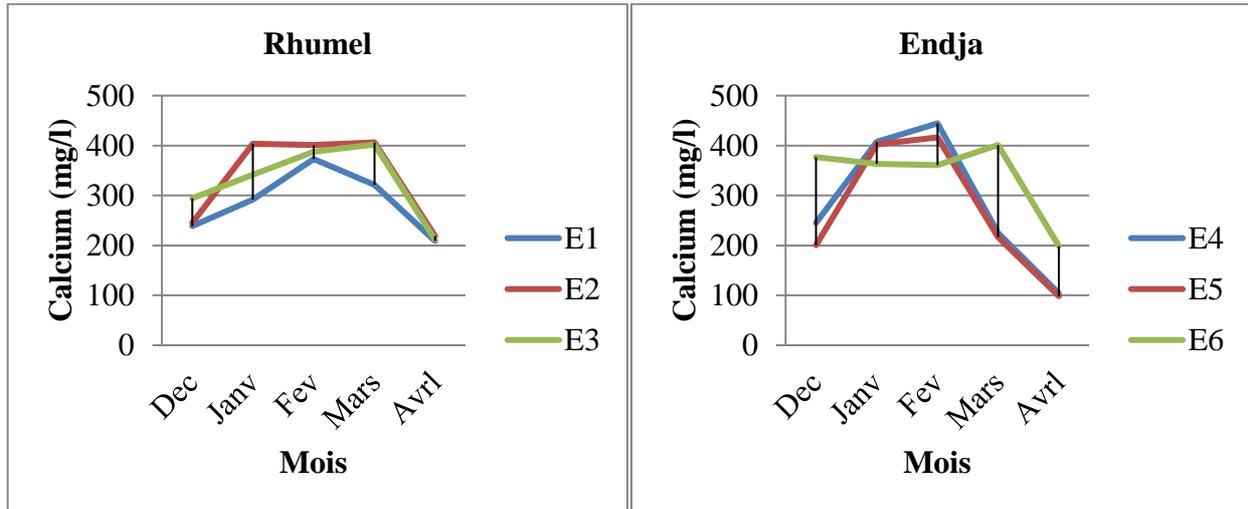


Figure 26 : Variations spatio-temporelle des teneurs en calcium des eaux d’oued Endja et oued Rhumel

Le calcium est un métal alcalino-terreux largement présent dans la nature et notamment dans le calcaire sous forme de carbonates.

Dans les stations d’oued Rhumel, les valeurs de calcium augmentent de décembre à février dans les trois stations jusqu’à atteindre 406,4mg/l dans E2, puis les valeurs diminuent de février à avril dans toutes les stations jusqu’à atteindre 208,7 mg/l dans E1 en avril.

Dans la station d’oued Endja, les concentrations en calcium des stations E4 et E5 augmentent à février jusqu’à 444,48 mg/l (E4) ; alors que le maximum de la station E6 est 401,2mg/l ; toutes les concentrations de Ca⁺² diminuent au mois d’avril jusqu’ à atteindre une valeur minimale de 98,5 mg/l à la station E4.

4.1.1.9. Magnésium

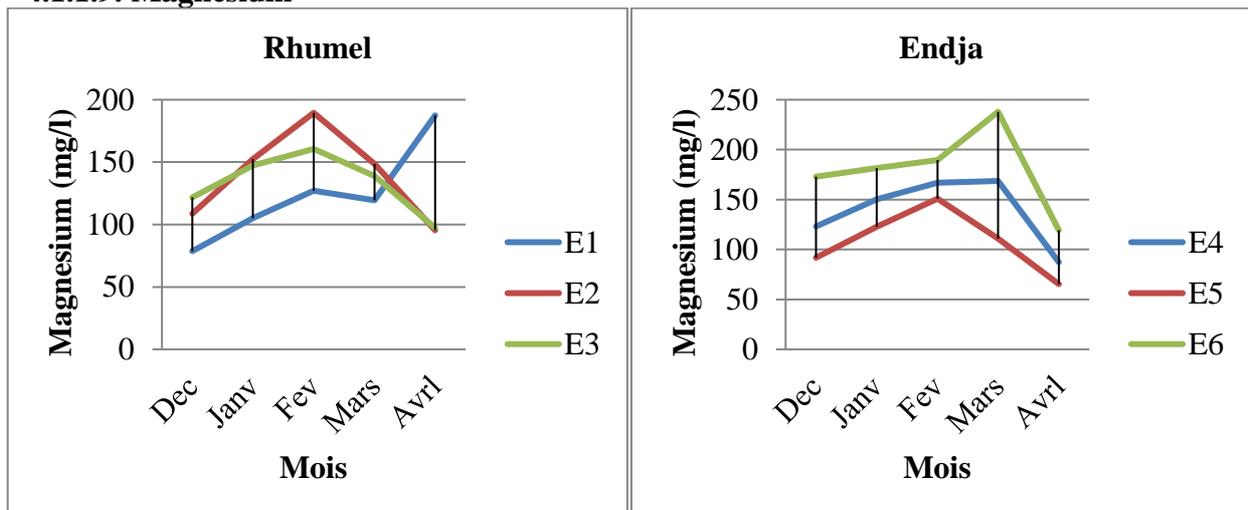


Figure 27 : Variations spatio-temporelle des teneurs en magnésium des eaux d’oued Endja et oued Rhumel.

C'est l'élément le plus courant dans la nature (Rodier, 1996). Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (Magnésite et dolomites) (Debieche, 2002).

Les teneurs de magnésium d'oued Rhumel varient entre 60mg/l à 200mg/l, avec un maximum de 189,5mg/l dans la station E2 à février.

Dans les stations d'oued Endja les valeurs de magnésium augmentent de décembre à février dans toutes les stations, puis diminuent dans les station E4 et E5, alors que dans la station E6, la concentration de Mg^{+2} augmente jusqu'à la valeur la plus élevée de 237,9 mg/l a février, puis diminuent dans toutes les stations en avril.

4.1.1.10. Sodium

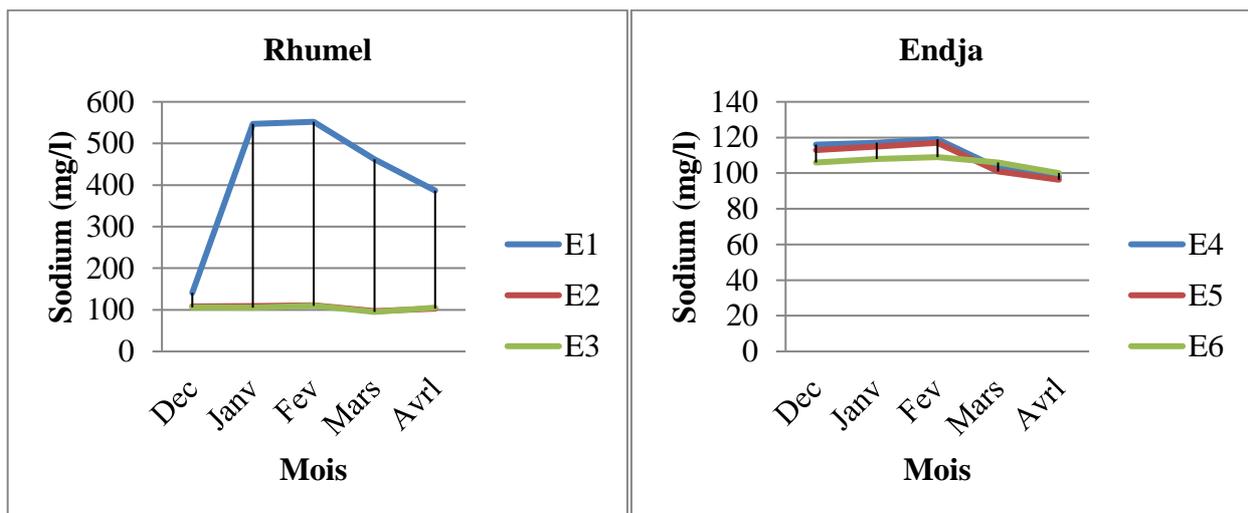


Figure 28 : Variations spatio-temporelle des teneurs en sodium des eaux d'oued Endja et oued Rhumel.

Le sodium est l'un des principaux constituants de la croûte terrestre (2,83 %). Ça existe dans toutes les eaux en raison de sa très grande solubilité.

Dans les stations d'oued Rhumel, les valeurs de Na^+ des E2 et E3 sont quasi constantes et varient de 95mg/l à 111mg/l, quant à la station E1, elles augmentent à 552 mg/l au mois de janvier, puis diminuent à avril.

Dans les stations d'oued Endja, dans la période de décembre à février, les concentrations de Na^+ augmente à février dans toutes les stations puis atteint son maximum a120 dans E4 ; ensuite diminué à avril, atteignant la valeur la plus basse, qui est estimée à 96,3 mg/l (E5).

4.1.1.11. Potassium

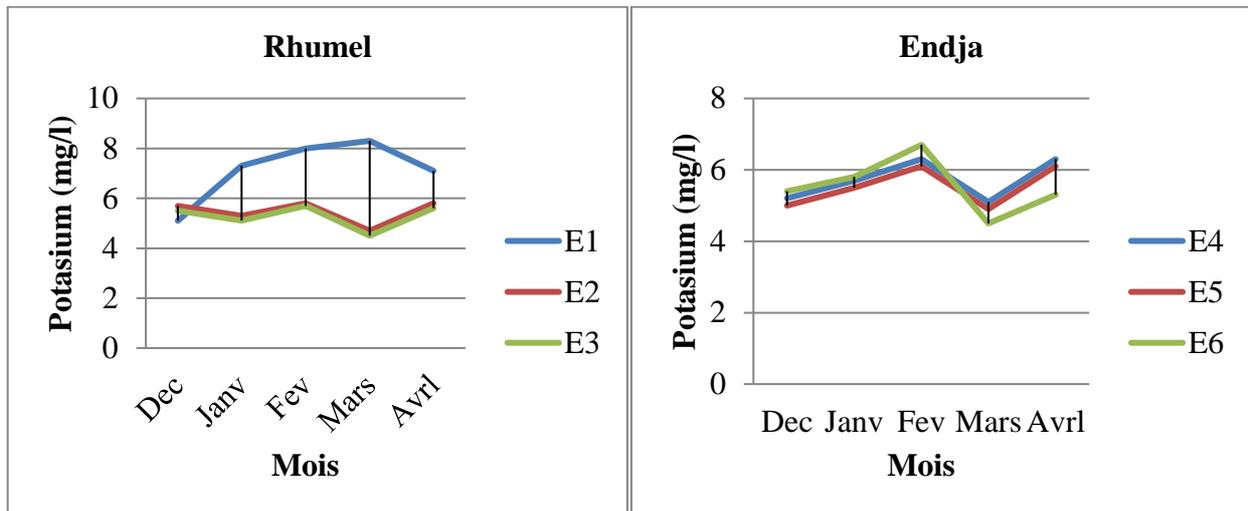


Figure 29 : Variations spatio-temporelle des teneurs en potassium des eaux d’oued Endja etoued Rhumel.

Le potassium est l'un des principaux ions alcalins de l'eau. Il se présente sous la forme Chlorures, sulfates et carbonates en quantités variables.

Pour les stations d’oued Rhumel, la valeur la plus élevée de K⁺ dans les trois stations est de 8,3 mg/l (E1), elle a été enregistrée en mars, tandis que la valeur le plus bas été noté dans la station E2, estimée à 4,7mg/l dans le même mois.

Alors que dans les stations d’oued Endja les concentrations de potassium augmentent à février jusqu’à atteindre la valeur la plus élevée estimée à 6,7 mg/l (E6), puis diminuent à mars jusqu’à atteindre la valeur la plus basse estimée à 4,5 mg/l (E6), puis les trois stations augmentation à avril.

4.1.2. Les indices de la qualité de l'eau

4.1.2.1. Diagramme de Piper

L’ordre de dominance des cations dans les eaux a été Ca > Na > Mg > K, alors que pour les Anions il été Cl > SO₄ > HCO₃ > NO₃.

Pour déterminer les aspects chimiques des eau d'irrigation d’Oued Rhumel et Endja, les concentrations des éléments majeurs de ces eaux ont été reportées sur le diagramme de piper (1944).

La projection des points représentatifs sur le losange nous permet de déterminer le

faciès chimique dominant des eaux qui est : chloruré sulfaté et calcique magnésienne (Figure30).

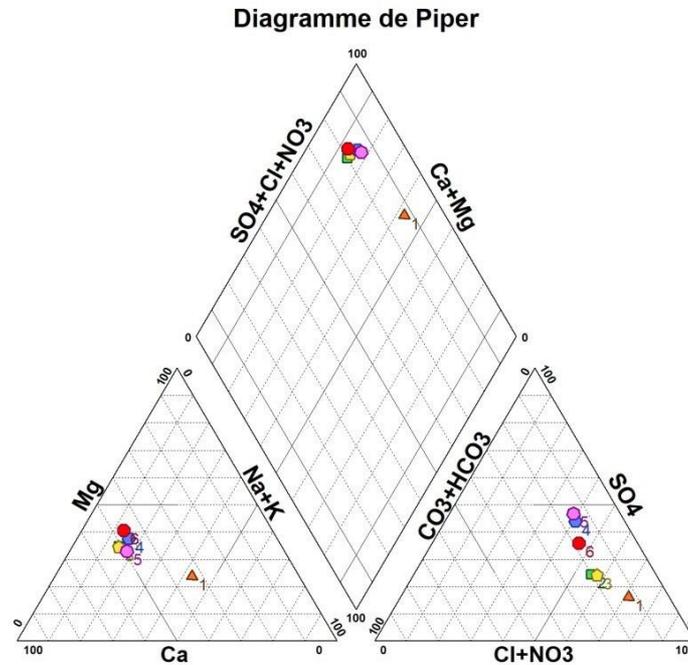


Figure 30 : Diagramme de piper des eaux d'irrigation d'oued Endja et oued Rhumel

4.1.2.2. Diagramme de Wilcox

Une directive a été établie par l'USDA laboratoire de salinité dans Freeze et Cherry (1979) pour déterminer la pertinence de l'eau pour l'irrigation en fonction des CE. Selon cette dernière les eaux des stations

Sont tous supérieurs à 2250 ($\mu\text{s}/\text{cm}$) donc ils sont classés dans la classe C4 : Déconseillés pour l'irrigation à cause de leurs salinités très élevé

En projetant les six stations de la région d'études sur le diagramme de Wilcox, pour classer les eaux d'irrigation selon CE et Na % les échantillons des eaux des oueds sont médiocres pour les stations (E2, E3, E4, E5, E6) et mauvaise pour E1.

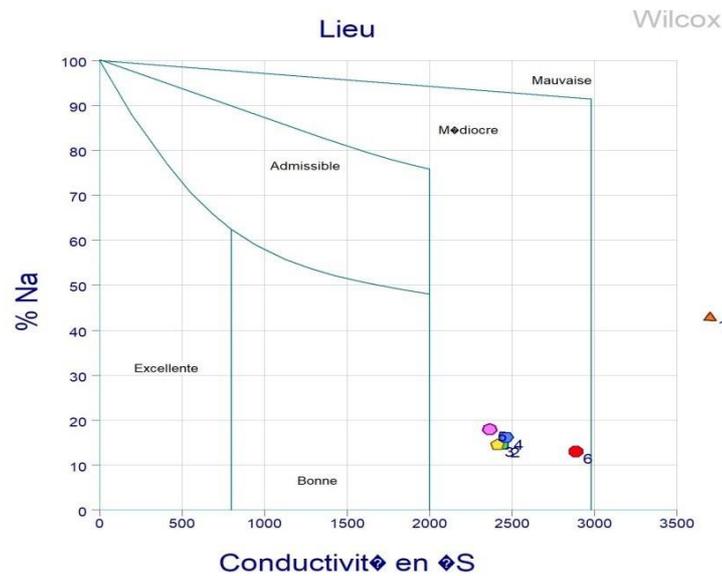


Figure 31 : Diagramme de Wilcox des eaux d'irrigation d'oued Endja et oued Rhumel.

4.1.2.3. Diagramme de Richards Riverside

Au United States Salinity Laboratory (USSL), en utilisant le diagramme de Richards (1954) qui a divisé la pertinence de l'eau d'irrigation en quatre catégories : C1 (faible salinité), C2 (salinité modérée), C3 (salinité élevée), C4 (salinité très élevée) et C5 (faible). Basé sur le risque de sodium S1 (faible), S2 (modéré), S3 (élevé) et S4 (très élevé) (**Brindha et al., 2014**).

Les eaux de la station E1 sont classées dans la catégorie C5 et S2, alors que celle des eaux des stations E2, E3, E4, E5 et E6 sont classées dans la catégorie C4 et S1.

C4 S1 : qualité médiocre à mauvaise, à utiliser avec précaution pour les sols lourds et les plantes sensibles. L'emploi pour les sols légers et bien drainés nécessite une dose de lessivage et/ou apport de gypse.

C5 S2 : Correspond salinité très élevé avec un taux d'adsorption de sodium (SAR) moyen, déconseillée pour l'irrigation.

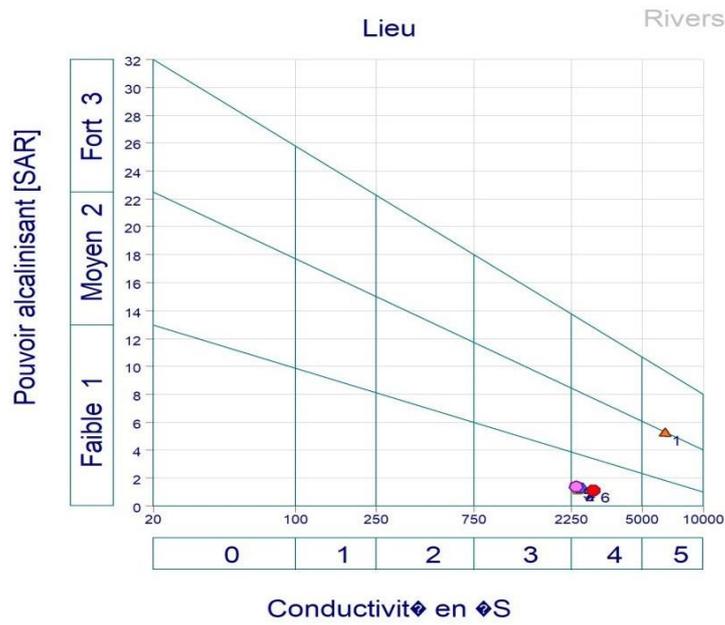


Figure 32 : Diagramme de Richards Riverside des eaux d’irrigation d’oued Endja et oued Rhumel.

4.1.3. Corrélations entre les mesures physico-chimiques et les éléments minéraux majeurs des eaux d'irrigation d'Oued Rhumel et Oued Endja :

	<i>T</i>	<i>Ph</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na</i>	<i>K</i>	<i>CL</i>	<i>HCO3</i>	<i>SO4</i>	<i>NO3</i>	<i>SAR</i>	<i>CE</i>
T	1,00											
Ph	-0,56	1,00										
Ca	-0,70	0,29	1,00									
Mg	-0,34	0,14	0,65	1,00								
Na	0,15	-0,08	0,02	-0,07	1,00							
K	0,26	-0,15	-0,04	-0,09	0,81	1,00						
CL	0,52	-0,35	-0,28	-0,10	0,80	0,69	1,00					
HCO3	0,32	0,00	0,20	0,16	0,54	0,58	0,53	1,00				
SO4	0,60	-0,47	-0,51	-0,07	-0,08	-0,07	0,13	-0,20	1,00			
NO3	0,01	-0,33	0,08	-0,07	0,60	0,63	0,40	0,05	0,23	1,00		
SAR	0,23	-0,11	-0,12	-0,19	0,99	0,80	0,81	0,51	-0,02	0,58	1,00	
CE	-0,31	0,40	0,25	0,02	0,82	0,62	0,44	0,28	-0,32	0,53	0,78	1,00

* la T° est liée négativement au pH ($r=-56$) et Ca ($r=-70$), et positivement au SO₄ ($r=0,60$).

*Le Ca est liée positivement aux teneurs en Mg ($r=0,65$).

Le calcium est l'une des substances les plus abondantes dans l'eau naturelle et provient de la lixiviation de roches minérales riches en calcium comme la pierre calcaire ou la minéralisation de la matière organique par des bactéries (Seth et al. 2014). Généralement, le calcium et le magnésium maintiennent un état d'équilibre dans la plupart des eaux (Ravikumar et al., 2011).

* Le Na est liée positivement aux teneurs en CE ($r= 0,82$), K ($r= 0,81$), Cl ($r= 0,80$), HCO₃ ($r= 0,54$), SAR ($r= 0,99$).

* Le K est lié positivement aux teneurs en CE ($r=0,62$), Cl ($r= 0,69$), HCO₃($r= 0,58$), SAR ($r= 0,80$). NO₃ ($r= 0,63$).

* Le CL est lié positivement aux teneurs en HCO₃($r=0,53$), SAR ($r= 0,81$).

* Les HCO₃ sont lié positivement aux teneurs en SAR ($r= 0,51$).

* Les NO₃ sont lié positivement aux teneurs en SAR ($r= 0,58$), CE ($r= 0, 53$).

* la CE est lié positivement aux teneurs en SAR ($r=0,78$).

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium, magnésium, Sodium, potassium, chlorures, les sulfates et les bicarbonates (**couture, 2006**).

Les concentrations ioniques de Na, HCO₃ sont les indicateurs du sodium, La variation de Na, Cl, K, HCO₃ est dérivée de la réaction d'altération naturelle (**Zhang et al. 2012a**), le K se Comporte de manière similaire au Na (**Jalali et al., 2008**).

SAR est une mesure de la tendance de l'eau d'irrigation à provoquer le remplacement des ions de calcium (Ca) attachés aux minéraux argileux du sol par des ions de sodium (Na).

Conclusion



L'évaluation de la qualité de l'eau d'irrigation dans les oueds est une question très importante pour la santé humaine, l'environnement ainsi que l'agriculture.

Les oueds sont des cours d'eau saisonniers ou permanents qui recueillent les eaux de pluie et de ruissellement de faible altitude avant de se jeter dans les rivières, ces oueds sont souvent utilisés pour irriguer les cultures et constituent donc une importante source d'eau pour l'irrigation.

Les résultats des analyses physiques et chimiques d'oued Rhumel et oued Endja ont conduit aux conclusions suivantes :

Les Oueds montre un PH neutre à légèrement alcalin, et une grande quantité de bicarbonate et de chlore, et selon la conductivité électrique l'eau des vallées est salée à très salée.

La quantité moyenne de sulfate a été estimée à (258,67mg/l) tandis que l'indice de SAR a été estimée à (1,92 meq/l).

Les quantités des éléments minéraux sont motionné successivement : calcium(298,55mg/l), potassium (5,78mg/l), sodium(158,47mg/l), magnésium (137,24mg/l), et la quantité de nitrates a été estimée à (14,52mg/l), ils sont conformes aux norme de la FAO pour la qualité des eaux destiné à l'irrigation.

Grâce au diagramme de piper on a déterminé le facies chimique de l'eau des oueds qui est chloruré sulfaté et calcique magnésienne avec un ordre de dominance des cations $Ca > Na > Mg > K$.

L'eau ne convient pas à l'irrigation, selon le diagramme de Richards Riverside et Wilcox.

En résumé, l'évaluation de la qualité de l'eau d'irrigation des oueds est nécessaire pour assurer la sécurité des agriculteurs, des consommateurs et de l'environnement.

Des tests réguliers des niveaux de polluants dans l'eau d'irrigation des oueds sont nécessaires pour déterminer sa qualité et prendre les mesures appropriées pour l'améliorer si nécessaire.

Référence bibliographique



Références Bibliographiques

A

- **Abboudi A, Tabyaoui H, El Hamichi F, Benaabidate L, Lahrach A. (2014).** Etude de la qualité physico- chimique et contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Guigou, Maroc. *Européen Scientific Journal*, 10 (23), 84-94.
- **A.B.H.-C.S.M (2009)** .Les cahiers de l'AgenceN°12, Qualité des eaux superficielles dans les bassins du Kebir-Rhumel, de la Seybouse et de la Medjerda- Mellegue 2004-2007, Agence de bassin hydrographique Constantinoise- Seybouse- Mellegue, Constantine.
- **Afri-Mehannaoui,(1998).** Contribution à l'étude physico-chimique et biologique de l'oued Kébir-Rhumel et de ses principaux affluents. Mémoire de magistère en Ecologie. Université Mentouri, Constantine. P 238.
- **Agence du bassin hydrographique constantinois-seybousse-mellegue, (2002).**Cahiers de l'A.B.H-C.S.M.n°05,32p.
- **Ashraf M., M.E. Safdar, S.M. Shahzad, A. Aziz, M.A. Piracaha, M. Suleman and M.B. Ahmad. (2017).** Challenges and opportunities for using wastewater in agriculture: a review. *J. Appl. Agric. Biotechnol.*, 2(2): 1-20.
- **Aminot, A., Chausspiéd, M., (1983).** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. 395p.
- **A.N.R.H., (1993).** Agence Nationale des Ressources Hydriques. Annales pluviométriques.
- **ANDI,(2013).**Agence nationale de Développement de l'investissement.
- **Ayad, W., (2017).** Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'El-Harroch (Wilaya de Skikda), Thèse doctorat en microbiologie appliquée, Université Badji Mokhtar-Annaba, p3-4.
- **Ayers, R.S.,Westcot, D.W., (1994).** Water quality for agriculture—FAO irrigation and drainage paper 29 Rev.1. Food and Agriculture Organization of the United Nation — FAO, Rome, Italy.

B

- **Baumont S., Camard J.P., Lefranc A. & Franconi A., (2004).** Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Observatoire Régional de Santé d'Île-de-France.
- **Belaid, N., Neel, C., Kallel, M., Ayoub, T., Ayadi, A., Baudu, M. (2010).** Effects of treated wastewater irrigation on soil salinity and sodicity in Sfax (Tunisia): a case study. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 23(2), 133-146.
- **BENBLIDIA, (2011).** L'efficience d'utilisation de l'eau et approche économique. Etude nationale. Algérie. Version finale. Plan bleu. Centre d'activités Régionales. PNUE/PAM , Sophia Antipolis, France, 24p.
- **Blumenthal U.J., Mara D.D., Peasey A., Ruiz-Palacios G., Stott R. (2000),** Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. *Bull. World Health Organ.*, 78(9): 1104-16.
- **Bouderbala, A. (2015).** Assessment of groundwater quality and its suitability for agricultural uses in the Nador Plain, north of Algeria. *Water Quality, Exposure and Health*, 7(4), 445-457.
- **Bougis, P., (1974).** Ecologies du plankton marine, Tome I le phytoplancton. Masson & Cite, Paris, 192p.
- **Bouziyani, M.,(2000).** L'eau de la pénurie aux maladies, edition ibn khaldoun, 247p.
- **Brindha, K., Neena Vaman, K., Srinivasan, M., Sathis Babu, L. Elango. (2014).** Identification of Surface Water-Groundwater Interaction by Hydrogeochemical Indicators and Assessing Its Suitability for Drinking and Irrigational Purposes in Chennai, Southern India. *Applied Water Science*: 159–74.

C

- **Chabbah L. et Kabour A., (2018).** Impact de la retenue d'un barrage sur le régime Climatique local : cas de Béni Haroun (est Algérien). *Larhyss Journal*, ISSN 11123680, n°33: 51-69.

Références Bibliographiques

- **Chaoui,w.,Bousnoubra,H.,Benhamza,M.,Bouchami,T.(2013)** .Etude de la pollution des oueds sybouse et mellah(Région de L'Est Algérien),Rev.sci.technol., synthèse 26:50-56.
- **CIE, 2005.** Centre d'information sur l'eau.www.Cieau.com. (Mai 2022)
- **Condom N. & Declecq R., (2015).** Réutilisation des eaux usées pour l'irrigation agricole en zone péri-urbaine de pays en développement : pratiques, défis et solutions opérationnelles. Condom, Agriculture dans le Delta du Nil, Egypte. 63 p.
- **Couture, I. (2006).** Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro-irrigation. In *Colloque sur l'irrigation, L'eau, Source de Qualité et de Rendement, 13p.*
- **Cui, J ; Zang, S ; Zhai, D., (2014)** . Potential ecological risk of heavy metals and metalloid in the sediments of Wuyuer river basin, Heilongjiang province, China. *Ecotoxicology* ;589.600.
- **Cuniasse B. & Glass T., (2020).** Métaux lourds. Rapport Secten, Citepa. 167- 208 pp.

D

- **Debieche, T. H. (2002).** Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle : application à la basse plaine de la Seybouse Nord-Est algérien ; Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté, France.
- **Dekhil, Saad. (1991).** L'eau et Le Développement de L'irrigation En Algérie. MEDIT W 1-2/91.
- **Djeddi, H., Kherief Nacereddine, S., Keddari, D., Afri-Mehennaoui, F. Z. (2018).** Teneurs des éléments traces métalliques Cu, Zn et Pb des sédiments du barrage Béni Haroun (Nord-Est de l'Algérie). *European Scientific Journal*,15, 7431.
- **Doucet, R., (2006).** Le climat et les sols agricoles. La science agricole, Les éditions Berger, 443 p.
- **Dreux,p,1980.**précis d'écologie.presse université France.Paris.Pp231,229,1260.

F

- **FAO. (1976).** Water Quality for Agriculture, R. S. Ayers and D. W. Westcot Irrigation

Références Bibliographiques

and Drainage Paper 29, FAO, Rome.

- **FAO (2003).** L'irrigation avec les eaux usées traitées. Manuel d'utilisation. Bureau Régional pour le Proche Orient et l'Afrique du Nord. Caire, Egypte, 6 p.
- **FAO, (2003).** L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. 73 p.
- **Freeze, RA., Cherry ,JA. (1979).** Groundwater. Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, 604.

G

- **Gazali, D et Zaid,A (2013).** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain salama-Jerri (région de Meknès,Maroc).Larhyss Journal, ISSN 1112-3680,n°12,pp.25-36.
- **Groga,N.,(2012)** structure , fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (côte d'Ivoire).Thèse de doctorat en écologie fonctionnelle . université de Toulouse.35,38,89,93p

H

- **Hannachi, A., Gharzouli, R., Tabet, Y. D. (2014).** Gestion et valorisation des eaux usées en Algérie. *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2602-7828*, (19).
- **Hayzoun, H., (2014).** Caractérisation et quantification de la charge polluante anthropique et industrielle dans le bassin du Sebou. Thèse de Doctorat. Université de Toulon (France), 175 p.
- **Hopkins, Bryan G., Donald, A Horneck., Robert, G Stevens., Jason, W Ellsworth., Dan, M Sullivan., (2007).** Managing Irrigation Water Quality for crop production in the Pacific Northwest. A Pacific Northwest Extension publication Oregon State University, University of Idaho, Washington State University.24p.

I

- **Iavazzo, P ; Ducci, D; Adamo, P., (2012).**et al. Impact of past mining activity on the quality of water and soil in the High Moulouya Valley (Morocco). *Water, Air, & Soil Pollution.* ;223:573–589.

Références Bibliographiques

- **Ingram, Dewayne L. (2014).** Understanding Irrigation Water Test Results and Their Implications on Nursery and Greenhouse Crop Management. University of Kentucky college of agriculture, *food and environment*, lexington, ky, (2): 1–6.

J

- **Jalali, M., Merikhpour, H., Kaledhonkar, M. J., Van Der Zee, S. E. a T. M. (2008).** Effects of wastewater irrigation on soil sodicity and nutrient leaching in calcareous soils. *Agricultural Water Management*, 95, 143–153.
- **Journal Officiel de la République Algérienne (JORA), (2011).** Décret exécutif n 11-125 du 17 RabieEthani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif, qualité de l'eau de consommation humaine, Imprimerie Officielle, Les Vergers: BirMourad Raïs, Alger, Algérie, PP: 7-25.

K

- **Kara K., (2021).** Pollution des sols et agrosystèmes M1, Chapitre II : Pollution des sols. 20 p.
- **KADI A (1997).** La gestion de l'eau en Algérie. *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, 42(2) April 1997 191
- **Kechit Z. & Nekiche F., (2020).** Valorisation des eaux usées épurées en agriculture : Impacts sur le sol et la plante. Mémoire, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Faculté des sciences Biologiques et Agronomiques, Département d'Agronomie. 37p.
- **Kerdoud S., (2006).** Le bassin versant de Beni Haroun eau et pollution. Présenté pour l'obtention du Diplôme de magister ; Université Mentouri- Constantine. 7-31p
- **Kherief Nacereddine, S., Djeddi, H., Benayache, Y., Afri-Mehennaoui, F. Z. (2018).** Dynamique des éléments nutritifs et du phytoplancton dans le Barrage BéniHaroun dans l'est algérien. *European Scientific Journal*12, 7431.
- **Kherief Nacereddine S., (2019).** Etude de l'évolution de la qualité écologique des eaux et inventaire de la microflore aquatique du barrage de Béni Haroun. Thèse de Doctorat en science. Université des Frères Mentouri constantine 1 .164p.

L

- **Landreau, A, Monition, L. (1977).** Nouvelle évaluation de la qualité de l'eau pour l'irrigation. Publication de Département hydrogéologie. Orléans, p8.
- **Lauzon, Jean-Marc., Nathalie Fagnan., Annie Morin., Daniel Blanchette. (2008).** Étude Sur La Qualité De L'Eau Des Étangs De Fermes Et Des Cours D'Eau Utilisée Pour Fins D'Irrigation Dans La Zone De Production Maraîchère Des Mrc Les Maskoutains, Rouville Et Brome-Missisquoi – Montérégie Est. *Centre D'expertise En Analyse Environnementale Du Québec* .108.
- **Laziri, f., (2009).** Thèse de doctorat, Calculs urinaire marocains : Epidémiologie et exploration par l'analyse morpho-constitutionnelle ;p 181, 2009.
- **Lazarova V., Brissaud F. (2005).** Intérêt, bénéfices et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France. *L'eau l'industrie Nuisances*. 299:43–53.
- **Lazarova, Valentina, and Akiça Bahri. (2005).** *New York Water Reuse for Irrigation*. CRC PRESS.
- **Le Gal, Y., (1989).** Biochimie marine. Ed Masson, Paris, 222 p.
- **Lee Teang Shui. (2012).** water quality, soil and managing irrigation of crops. InTech. 1-254p.
- **Listkas, V.D., V.G. Aschonitis, and V.Z. Antonopulos. (2010).** Water Quality in irrigation and Drainage Networks of Thessalonski Plain in Greece Related to Land Use, Water Management, and Agroecosystem Protection. *Environ. Monit. Assess.* 163:347-359.
- **LOUCIF SEIAD N., (2003).** Les ressources en eau et leur utilisation dans le secteur agricole en Algérie, H.T.E, n° 125, 94-100pp.

M

- **Marouf, N., (2012).** Etude de la Qualité des Eaux et de Transport Solide dans le Barrage de Beni-Haroun (Mila), Son Impact sur l'Environnement de la Région .Thèse de Doctorat
.Université Mohamed Khider – Biskra, 61p
- **Mebarki A., (1982).** Le bassin du Kébir-Rhumel Algérie. Hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau, Thèse doctorat de 3ème cycle, Université de Nancy II, 304p.
- **Mebarki , A, (2005),** « Hydrologie des bassins de l'Est algérien : ressources en eau, aménagement et environnement », Thèse de Doctorat d'Etat, Université « Mentouri De Constantine », p. 360.
- **Melghit M., (2009).**qualité physico-chimique, pollution organique et métallique des compartiments eau / sédiments de l'oued rhumel, et des barrages hammam grouz et béni haroun. mémoire de magister. universitémentouri, constantine, 132p.
- **MESSAHEL1 M; BENHAFID M.S ET CHERIF M (2003).** Efficience des systèmes d'irrigation en Algérie.
- **Messahel, M., Benhafid, M. S., Hocine, M. O. (2005).** Efficience des systèmes d'irrigation en Algérie. In *Production scientifique-Publications. of the 2nd WASAMED Workshop on Irrigation Systems Performance* (61-78).
- **Meybeck, M., (1982).** Carbon, nitrogen, phosphorus transport by World Rivers. Am. J. Sci., 282: 401-450.
- **Monaghan, E; J., Ruttenberg, K.C., (1999).** Dissolved organic phosphorus in the coastal ocean: Reassessment of available methods and seasonal phosphorus profiles from the Eel River Shelf. *Limnol. Oceanogr*; 44(7): 1702-1714.
- **MRE (2018).** Ministère des Ressource en Eau, Algérie.
- **Muller, G., (1971).** Schwermetalle in den sedimenten des Rheins-Veränderungen seit. *Umschau.* 1979;79:778–783.
- **Muller, G., (1981).** Die Schwesmentallbelastung der sediment des neckars und seiner Nebenflusse: eine Bestandsaufnahme. *Chemical Zeiting.*;157–164.

Références Bibliographiques

- **Murtaza, G., Ghafoor, A., Qadir, M., Owens, G., Aziz, M.A., Zia, M.H., Saifullah, (2010).** Disposal and use of sewage on agricultural lands in Pakistan: a review. *Pedosphere* .20, 23–34.
- **Muthanna, M. N. (2011).** Quality assessment of Tigris river by using water quality index for irrigation purpose. *European Journal of Scientific Research*, 57(1), 15-28.
- **McCornick, P., (2007).** Agricultural use of marginal-quality water: opportunities and challenges. In: Molden, D. (Ed.), *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. Earthscan, London, UK.

N

- **Nalco, (1983).** Manuel De L'eau. 14^{ème} Edition, Tec-Doc-Lavoisier, Paris, France, 452 p.
- **Ndiaye M. L., (2009).** Impacts sanitaires des eaux d'arrosage de l'agriculture urbaine de Dakar (Sénégal). Thèse de doctorat. Université de Genève, faculté des sciences. 101 p.

O

- **ONM, (2017).** office nationale de météorologie de constantine, station d'Ain EL Bay, 2017.
- **OMS (1989)** L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture : recommandations à avisées sanitaires. Organisation Mondiale de la Santé. Série de rapports techniques n° 778. OMS. Genève.
- **OMS, (2012).** L'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères, volume II : utilisation des eaux usées en agriculture. Organisation mondiale de la Santé. 225p.
- **Ounissi, M., Bouchareb, N. (2013).** Nutrient distribution and fluxes from three Mediterranean coastal rivers (NE Algeria) under large damming. *Comptes Rendus Geoscience*, 345(2), 81-92.

Références Bibliographiques

P

- **Pedrero, F., Kalavrouziotis, J., Alarcón, J.J., Koukoulakis, P., Asano, T., (2010).** Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture—review of some practices in Spain and Greece. *Agric Water Manag.* 97, 1233–1241.
- **Piper, A. M. (1944).** A graphic procedure in the geochemical interpretation of wateranalyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 25(6), 914-928.
- **Pescod M. D., (1992).** Wastewater treatment and use in agriculture. Food and agricultureorganization, Rome.

Q

- **Qadir, M., Wichelns, D., Raschid, L.R., Minhas, P.S., Drechsel, P., Bahri, A., McCornick, P., (2007).** Agricultural use of marginal-quality water: opportunities and challenges. In: Molden, D. (Ed.), *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture.* Earthscan, London, UK.

R

- **Ramade, F.,(1998).** Dictionnaire encyclopédique fondamentale. Ed. Edi science internationale. Paris; France.
- **Ramade, F., (2000).** Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Edi science international,Paris, 689p.
- **Rodier , J.,(1976).** l'analyse de l'eau ; eaux naturelles ; eaux résiduaire ; eaux de mer ;édition dunod, 8^{ème} édition ; pages (945 à1075).
- **Rodier, J., (1984).** L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer.Edition Dunod Paris.
- **Rodier, J., (1984).** L'analyse de l'eau. Dunod, Paris, France, 1365p.
- **Rodier J., (1996).** L'analyse de l'eau. Eaux Naturelles, Eaux Résiduelles, Eaux De Mer.8ème ED. Dunod. 1383 p.
- **Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Champsaur H. Rodi L., (2005).** L'analyse De L'eau Eaux Naturelles, Eaux Résiduelles, Eaux De Mer. 8ème Ed. Dunod.1383 p.

Références Bibliographiques

- **Rodier, J., (2009).** L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 9^{ème} édition, Dunod, Paris, France, 1600p.
- **Rouabhia A.E.K., Djabri L (2010).** L'irrigation et le risque de pollution saline. Exemple des eaux souterraines de l'aquifère miocène de la plaine d'El Ma El Abiod. Larhyss Journal, 8 : 55-67.
- **Roy, K., Ansari, M. S., Karim, M. R., Das, R., Mallick, B., Gain, A. K. (2015).** Irrigation water quality assessment and identification of river pollution sources in Bangladesh: Implications in policy and management. J Water Resour Hydro Eng, 4(4), 303-17.

S

- **Sahli L., (2012).** Etude du comportement de quelques espèces floristiques et faunistiques des écosystèmes aquatiques vis-à-vis des éléments traces métalliques par des bioessais. Thèse de doctorat. Université Mentouri de Constantine. pp30-36.
- **Salarian, M., Najafi, M., Hosseini, S. V., Heydari, M. (2015).** Classification of Zayandehrud river basin water quality regarding agriculture, drinking, and industrial usage. American Research Journal of Civil and Structural Engineering, 1(1). pp. 47.
- **Soukehal, B., Cherrad, S. E. (2011).** Les ressources en eau dans la wilaya de Mila : mobilisation, consommation et comportement de ménages. Sciences & Technologie. D, Sciences de la terre, (34), 19-25.
- **Savary, P., (2010).** Guide des analyses de la qualité de l'eau, territoriale édition, Voiron, PP : 10-179.
- **Seth, Richa., Manindra Mohan., Prashant Singh., Rakesh Singh., Rajendra Dobhal., Krishna Pal Singh., Sanjay Gupta. (2014).** Water Quality Evaluation of Himalayan Rivers of Kumaun Region, Uttarakhand, India. *Applied Water Science*. 11p.
- **Sumner M.E., (1993).** Sodic soils: new perspectives. *Austr. J. Soil Res.* 683-750.

Références Bibliographiques

T

- **Tamrabet, L., Bouzerzour, H., Kribaa, M., Makhoul, M. (2009).** The effect of sewage sludge application on durum wheat (*Triticum durum*). *International Journal of Agriculture and Biology*, 11(6), 741-745.
- **Tourki, M., (2019).** Modélisation du transfert des flux hydro-sédimentaires et cartographie des zones à risque d'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued Kébir-Rhumel. Thèse de doctorat en Hydrologie.

V

- **Vyas,A., Jethoo, A.S. (2015).** Diversification in Measurement Methods for Determination of Irrigation Water Quality Parameters. *Aquat. Procedia*,4, 1220-1226.

W

- **World Health Organization, (2011).** Guidelines for drinking-water quality, Third edition incorporating the first and second addenda, volume 1,668p.

Z

- **Zhang, Bing. Xianfang Song a, Yinghua Zhang, Dongmei Han, Changyuan Tang, Yilei Yu, Ying Ma (2012).** Hydrochemical Characteristics and Water Quality Assessment of Surface Water and Groundwater in Songnen Plain, Northeast China. *Water Research*. 46(8).2737–48.