



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique
Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.
Département science de la nature et de la vie
Spécialité aménagement hydro agricole



Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

*Domaine Sciences de la Nature
et de la Vie*

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Aménagement hydro agricole

Thème

**Etude géochimique de la qualité des eaux d'irrigation
utilisées dans la ferme pilote LAABACHI EL HAMADIA
Bordj Bou Arreridj.**

Présenté par : LAIDI Sarah

SAADI Merièm

Devant le jury :

Président : M^r Ait Mechdal M. (Université de Bordj Bou Arreridj)

Encadrant : M^{me} Laoufi H. (Université de Bordj Bou Arreridj)

Examineur : M^{me} Bourahla A. (Université de Bordj Bou Arreridj)

Année universitaire 2020/2021

Remerciement

Avant tout, nous remercions ALLAH le tout puissant, De nous avoir accordé la force, le courage, la volonté et la patience pour mettre terme à ce travail.

Nous remercions également :

M^r Ait Mechdal M. *De nous avoir fait l'honneur de présider le jury de ce travail.*

Nous voudrions remercier du fond du cœur

M^{me} LAOUFI H. *d'avoir bien voulu nous encadrer, de son implication personnelle, son aide, ses conseils afin de réaliser ce travail.*

M^{me} BOURAHLA A. *d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail.*

Nos gratitudeles iront également à

Mr LAABACHI *propriétaire de la ferme pilote qui a fait l'objet de notre travail, pour son accueil chaleureux, et ses conseils judicieux.*

Nous remercions également toutes les personnes qui nous ont aidées, de près ou de loin dans la réalisation de ce modeste travail.

Merci.

ملخص

يعرف القطاع الزراعي في الجزائر حاليا وضعية صعبة. فمحدودية الإنتاج الزراعي لها ثقل كبير على الاقتصاد الوطني وهذا راجع أساسا الى نوعية الموارد المائية الموجهة للري الزراعي.

نتطرق من خلال هذه الدراسة الى معرفة جودة ونوعية المياه الجوفية والسطحية (حوض مائي) (مزرعة لعباشي الحمادية) من خلال دراسة الخصائص الجيوكيميائية للمياه الموجهة للري.

أكدت التحاليل الجيوكيميائية كفاءة المياه المدروسة للري.

الكلمات المفتاحية: الماء نوعية الري الزراعي جيوكيميائية مزرعة لعباشي الحمادية.

Résumé :

La situation de l'agriculture algérienne est très difficile ; la production agricole n'a que peu augmente et son poids sur l'économie a diminué considérablement, ceci est principalement dû à qualité des ressources destinées à l'irrigation agricole.

A travers cette étude, nous abordons la connaissance de la qualité géochimique des eaux du forage et du Bassin orienté vers l'irrigation.

Les analyses géochimiques ont confirmé l'efficacité de l'eau étudiée pour l'irrigation.

Les mots clés :

L'eau, la qualité, irrigation, l'efficacité, étude géochimique, la ferme pilote Laabachi-El Hamadia.

Abstract :

The situation of Algerian agriculture is very difficult; agricultural production has increased little and its weight on the economy has decreased considerably, this is mainly due to the quality of the resources intended for agricultural irrigation.

Through this study, we approach the knowledge of the geochemical quality of the water from the borehole and from the Basin oriented towards irrigation.

Geochemical analyses confirmed the effectiveness of the studied water for irrigation.

Table des matières

Résumé

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Liste des Abréviations

Introduction..... 1

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

Objectif de l'étude3

1. Situation géographique de la zone d'étude.....3

2. Localisation géographique du site expérimental..... 3

3.Climat.....4

4.Précipitations et températures.....4

Chapitre II : Matériels et méthodes

1.Qualité des eaux d'irrigation.....6

2.Travail de terrain.....6

2.1 Prélèvement des échantillons.....6

3. Analyses au laboratoire.....7

3.1 Le pH7

3.2 La conductivité électrique.....7

3.3 Les chlorures (Cl⁻)8

3.4 Les Sulfates (SO₄²⁻)8

3.5 Détermination de l'alcalinité.....8

3.6 Dosage de l'azote ammoniacal (NH₄⁺)8

3.7 Dosage des nitrites (NO₂⁻)9

3.8 Dosage des Nitrates (NO₃⁻)9

Traitement des données.....	9
-----------------------------	---

Chapitre III : Résultats et discussion

Interprétation des Résultats

1. Le pH	11
2. La conductivité	11
3. La Matière organique	11
4. L'O ₂ dissous	12
5. Les cations	12
5.1 Le Sodium (Na ⁺)	12
5.2 Le Calcium (Ca ²)	12
5.3 Le Magnésium (Mg ⁺²)	12
5.4 Le potassium (K ⁺)	13
5.5 L'Ammonium (NH ⁴⁺)	13
6. Les anions	13
6.1 Chlorure (Cl ⁻).....	13
6.2 Les sulfates (SO ₄ ⁻²)	13
6.3 Les Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	14
6.4 Les Nitrites (NO ₂ ⁻)	14
6.5 Les Nitrates (NO ₃ ⁻)	14
7. Diagramme de Piper	15
8. Diagramme de Schoeller-Berkaloff	16
9. Classification des eaux par la méthode de Wilcox	18
10. Sodium Absorption Ratio (SAR) (diagramme de Riverside)	21
11. Notion d'Indice de saturation (IS).....	24
Conclusion	26

Références bibliographiques

Annexe

Liste des figures

Figure 1. Localisation de la commune d'El Hamadia dans la wilaya de Bordj.....	3
Figure 2. Image satellitaire de la ferme pilote LAABACHI d'El Hamadia (2021).....	4
Figure.3 Présentation des données climatiques durant la période BBA (2019- 2020).....	5
Figure 4. Echantillons d'eau prélevé (bassin et Forage)	7
Figure 5. Représentation du faciès chimique des eaux sur le diagramme de piper.....	15
Figure 6. Présentation des eaux d'irrigation sur le Diagramme de Scholler-Berkaloff.....	17
Figure 7. Diagramme de Wilcox appliqué aux eaux de la ferme pilote LAABACHI El Hamadia.....	20
Figure 8. Diagramme du Riverside appliqué aux eaux de la ferme pilote LAABACHI El Hamadia.....	23

Liste des tableaux

Tableau I. Résultats analytiques des paramètres chimiques.....	10
Tableau II. Classification des eaux du Bassin, forage selon leurs faciès chimiques...	18
Tableau III IV. Valeurs des Na ⁺ %.....	19
Tableau IV. Classification des eaux en fonction du pourcentage du Sodium.....	21
Tableau V. Valeurs du S.A.R Calculées.....	21
Tableau VI. Classification des eaux destinées à l'irrigation d'après le S.A.R.....	22
Tableau VII. Evolution des indices de saturation des minéraux.....	24

Liste des abréviations

Ca^{2+} : Ion Calcium

$^{\circ}\text{C}$: Degré Celsius

$^{\circ}\text{F}$: Degré Français

Cl^- : Ions chlorures

HCO_3^- : Bicarbonates

IS: Indice de saturation

Mg/L : Milligramme par litre

Mg^{2+} : Ion magnésium

Na^+ : Ion sodium

meq/L : Milliéquivalent par litre

M : mètre

Mm : millimètre

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

OMS : Organisation Mondiale de Santé.

P : Précipitations

P_{moy} : Précipitations moyennes

pH : Potentiel d'Hydrogène.

r : Quantité en réaction en meq/L .

S.A.R. : Sodium Adsorption Ratio ou Pouvoir Alcalinisant.

T_{moy} : Température moyenne

CE : Conductivité électrique

K_{ps} : La constante du produit de solubilité

Dédicaces

Je dédie ce mémoire de master :

À l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir à toi mon père « Yazid » Ce travail et le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation le long de ces années.

À la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de Mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore « Samra ».

*À ma très chère tante que j'adore ma vie et ma joie « Houria » :
Affable, honorable , Tu représentes pour moi le symbole
de la bonté par excellence, la source de tendresse et
l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de
m'encourager et de prier pour moi.*

*À ma grand-mère C'est à la personne la plus idéale dans ce monde, que
je le dédie*

*C'est vrai qu'elle n'est pas avec nous pour récolter le fruit de ses
sacrifices, mais, elle reste toujours la plus présente, je t'aime « Ma »
que dieu te garde dans son
vaste paradis .*

*À mes tantes « LILIA », « Linda », « Nesma » et ma belle
copine « Zina » : vous étiez toujours présents pour les bons conseils.*

*À mon cher mari « Mohamed », mon soutien moral et source de joie et
de bonheur, qui a toujours aimé me voire réussir, que dieu te garde.*

À ma sœur Nada et mon frère Didin

À Ma belle-mère sabeh

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet
soit possible, je vous dis merci.*

Sarah Laidi

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents
Ma chère Mama « Souad » source d'amour et d'affection
leur soutien et pour encouragement.

A mon plus cher mari « Oussama »

A mon frère « Taki » et ma sœur « Hadjer » mon vrai
amour.

Je dédie ce travail à toute personne ayant contribué de
près ou loin à la réalisation de ce mémoire

Saadi Merièm

Introduction

L'existence de toute sorte de vie est liée principalement à la présence de l'eau. Cette dernière est essentielle à la survie et au bien-être de l'homme (constitue plus de 60% de son corps) et est indispensable au fonctionnement de nombreux secteurs de l'économie. **(Bensahla Tani et ziani kerarti, 2017)**

L'agriculture, de façon générale, est une grande consommatrice d'eau, qui dans les conditions arides et semi arides, vient souvent à manquer. Pour pallier à cet inconvénient, le meilleur moyen que les hommes aient trouvé jusqu'ici a été un appoint d'eau, à l'aide de procédés divers. C'est ce complément d'eau que l'on appelle irrigation. Mais, il arrive que la qualité de l'eau exigée ne soit pas toujours disponible. Dans le but de sauver voire d'améliorer leurs rendements, les exploitants agricoles se trouvent contraints à recourir à différentes sources d'eaux pour l'arrosage de leurs cultures. **(Bouaroudj Sara,2012)**

En Algérie, les eaux souterraines sont les principales sources pour l'alimentation et l'irrigation, la qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est essentielle pour le rendement des cultures et le maintien de la productivité du sol. Les pressions exercées sur les ressources en eau sont de plus en plus fortes, l'extension des terres agricoles irriguées et l'utilisation de techniques d'irrigation non économes, la diversification des produits agricoles, l'urbanisation, le développement industriel et le tourisme sont parmi les nombreux facteurs qui contribuent à augmenter la pression sur les ressources en eau, et sont aggravés par les effets incertains du changement climatique. Ce qui contraint véritablement à sa recherche, notamment, par l'exploitation des eaux souterraines et autres. Bien que cette difficulté soit préoccupante, il n'en demeure pas moins que la qualité de ces eaux présente, néanmoins, un intérêt majeur **(Senouci,2017)**

Introduction

Cette étude est articulée sur plusieurs chapitres :

Le premier chapitre traite des généralités sur la ferme pilote LAABACHI El Hamadia (présentation de la zone d'étude, une description géologique et hydrogéologique et traiterons quelques paramètres climatiques pour faire ressortir le type de climat régnant dans la région.

Dans le deuxième chapitre, nous traiterons Les matériels et méthodes utilisées et traitement des données.

Le troisième chapitre, résultats et discussion sera consacré à l'étude géochimique pour caractériser les eaux et leur aptitude à être utilisées pour l'irrigation.

Enfin, nous essayerons dans une conclusion générale de présenter les résultats trouvés pour en faire une synthèse qui servira peut être à émettre des recommandations

L'objectif de ce travail est de faire d'une part une évaluation géochimique de la qualité des eaux utilisées en irrigation dans la ferme pilote LAABACHI El Hamadia (wilaya de Bordj Bou Arreridj), et d'une autre part de réaliser une comparaison entre les eaux du forage et ces mêmes eaux après leurs séjours dans un bassin d'irrigation.

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

L'objectif de ce travail est de faire d'une part une évaluation géochimique de la qualité des eaux utilisées en irrigation dans la ferme pilote LAABACHI El Hamadia (wilaya de Bordj Bou Arreridj), et d'une autre part de réaliser une comparaison entre les eaux du forage et ces mêmes eaux après leurs séjours dans un bassin d'irrigation pour une semaine .

1. Situation géographique de la commune El Hamadia

El Hamadia est une commune de la wilaya de Bordj Bou Arreridj, elle est située à 6 km au sud du chef-lieu wilaya, au bord de la RN45 sur la route de M'sila (figure 1), Elle située entre Rabta et Al Ach au sud, Belimour au est, ksour au nord.

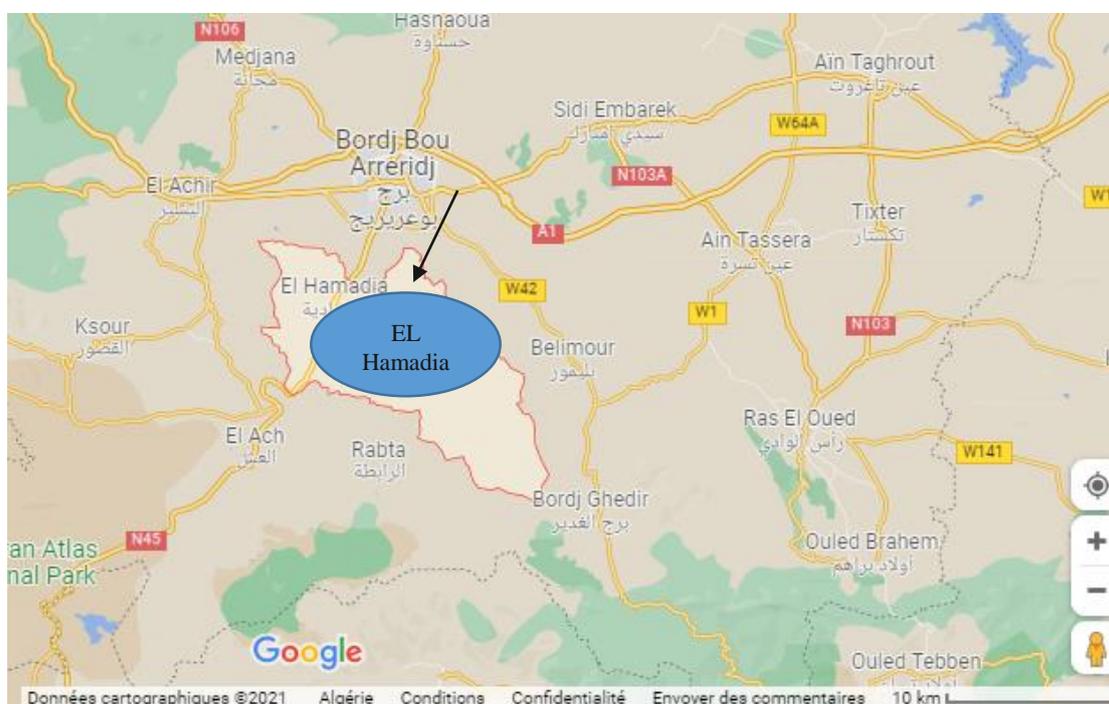


Figure 1. Localisation de la commune d'El Hamadia dans la wilaya de Bordj

2. Localisation géographique du site expérimental

L'étude a été réalisée dans la région d'El Oued Lakhdar (El Hamadia) dans la ferme pilote LAABACHI. Le site expérimental est situé entre 35° 58' 47" Nord de latitude, et de 4° 44'51" Est de longitude et à une altitude de 680 m par rapport au niveau de la mer (figure2).



(GoogleEarth,2021)

Figure 2. Image satellitaire de la ferme pilote LAABACHI d'El Hamadia

3. Climat

Le climat du site est de type méditerranéen, continental, semi-aride, caractérisé par un été très chaud avec vent dominant (SIROCCO), et automne chaud avec averse, et un hiver très froid avec fortes gelées tardives et froides (SOCIAL, 2015).

4. Précipitations et températures

Les données climatiques enregistrées par la station météorologique de Boumergued BBA durant la période 2019/2020, montre que Janvier est le mois le plus froid avec une température moyenne de 5.5°C. Juillet est le plus chaud avec une température de 26.1C°. Un cumul pluviométrique de 341.42mm la répartition de la pluviométrie est irrégulière, Septembre est le mois le plus pluvieux (40.33mm), et Juillet le mois le plus sec avec une pluviométrie de 8.4 mm Il apparait clairement que le climat dans la région d'étude est caractérisé par une grande variabilité intra et interannuelle.

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

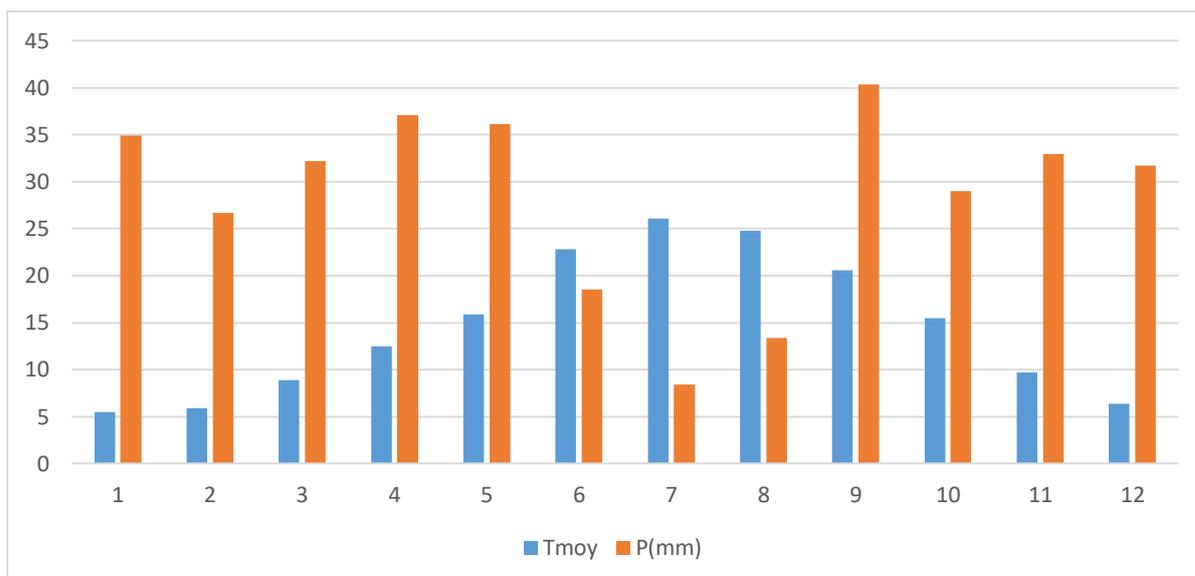


Figure.3 Présentation des données climatiques durant la période BBA (2019-2020).

1. Evaluation de la Qualité des eaux d'irrigation

Les eaux d'irrigation par leur composition peuvent avoir une influence sur le sol. Pour évaluer leur qualité cinq principaux critères ont été dégager (COUTURE, 2006 a) :

La Salinité : contenu total en sels solubles.

Le Sodium : proportion relative des cations sodium (Na^+) par rapport aux autres.

l' Alcalinité et dureté : concentration d'anions carbonate (CO_3^{2-}) et bicarbonate (HCO_3^-) en relation avec la concentration en calcium (Ca^{2+}) et en magnésium (Mg^{2+})

La Concentration en éléments qui peuvent être toxiques

Le pH : de l'eau d'irrigation .

2. Travail de terrain

2.1 Prélèvement des échantillons

Les prélèvements des eaux du bassin et du forage ont été effectués au mois d'avril 2021. Les échantillons ont été prélevés dans des bouteilles 500 ml de volume qui se ferment en verre borosilicate hermétiquement, ces bouteilles ont été lavées et séchées au préalable. Au moment de l'échantillonnage les bouteilles ont été rincées trois fois avec l'eau échenillage.

L'eau est prise à une profondeur de 15 à 30 cm de la surface du Bassin, en évitant toute pénétration de l'air.

Concernant le forage, l'échantillon a été prélevé directement de la source.



Figure 4. Echantillons d'eau prélevé (bassin et Forage)

Les échantillons ont été conservés à l'abri des rayonnements solaires dans une glacière munie de plaques eutectiques à une température de 4°C et transportés par voiture du site de prélèvement vers le laboratoire.

Les analyses concernant l'étude ont été effectuées au laboratoire de L'Algérienne Des Eaux de Ain zada wilaya de Bordj Bou Arreridj, les analyses physico-chimiques ont été effectuée immédiatement.

3. Analyses au laboratoire

3.1 Le pH

Le pH est Mesuré à l'aide d'un pH-mètre, préalablement étalonné à l'aide des pH étalons 7 et 4.

On utilise la valeur du pH pour établir l'état des équilibres de dissolution et ainsi connaître le caractère agressif ou incrustant de l'eau (particulièrement par les carbonates). Comme la variation de la pression des gaz (CO₂, O₂) modifie le pH, il est important de le mesurer directement lors de la prise d'échantillon.

3.2 La conductivité électrique (CE)

Chapitre II : Matériels et méthodes

Elle est mesurée à l'aide d'un conductimètre, les valeurs sont corrigées directement et exprimées à une température de 25°C.

3.3 Les chlorures (Cl⁻)

Ils ont été réalisées par la méthode volumétrique de Mohr où les chlorures sont totalement précipités par l'argent (AgCl₂). La fin de la titration est marquée par l'indicateur chromate (K₂CrO₄) qui forme un précipité rouge (Ag₂CrO₄) avec l'argent en excès.

3.4 Les Sulfates (SO₄²⁻)

Les sulfates sont précipités sous forme de sulfates de baryum par le chlorure de baryum.

(Méthode turbidimétrie) selon la formule suivante :



Le précipité ainsi obtenu, très fin, est stabilisé par la gélatine. On effectue sur le trouble ainsi obtenu une mesure turbidimétrie à la longueur d'onde 495 nm à l'aide d'un spectrophotomètre de marque Jenway. Modèle 6315 avec un trajet optique de 1 cm (cuve en quartz).

3.5 Détermination de l'alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bicarbonates, de carbonates.

La détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser, aux pH 8.3 et 4.3, le volume d'eau à analyser.

La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC).

3.6 Dosage de l'azote ammoniacal (NH₄⁺)

La détermination de l'azote ammoniacal (NH₄⁺) est obtenue par la méthode colorimétrique, la lecture du composant bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium est obtenue à une longueur d'onde d'environ 655 nm .

3.7 Dosage des nitrites (NO_2^-)

Les nitrites (NO_2^-) sont dosés suivant la méthode colorimétrique. Les nitrites réagissent avec le Sulfanilamide pour former un composé diazoïque qui, après copulation avec le N1 Naphtyléthylènediamine dichloride donne une coloration rose mesurée à une longueur d'onde de 543 nm.

3.8 Dosage des Nitrates (NO_3^-)

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosnylate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique. Le résultat est donné directement en mg/l à une longueur d'onde de 415 nm.

Traitement des données

Dans ce travail le logiciel Diagramme (Roland *SIMLER*) a été utilisé d'une part pour la réalisation des diagrammes (piper, Riverside, berkalo, wilcox), et d'une autre part dans le calcul des indices de saturation des minéraux susceptible de précipiter à savoir (la calcite, l'aragonite, la dolomite, le Gypse, l'anhydrite).

Chapitre III : Résultats et discussion

L'objectif de ce travail de faire d'une part une évaluation géochimique de la qualité des eaux utilisées en irrigation dans la ferme pilote LAABACHI El Hamadia (wilaya de Bordj Bou Arreridj), et d'une autre part de réaliser une comparaison entre les eaux du forage et ces mêmes eaux après leurs séjours dans un bassin d'irrigation.

Tableau I. Résultats analytiques des paramètres chimiques

Paramètres	Bassin	Forage	Normes selon OMS
pH	8.04	7.39	6.5 - 8.4
Conductivité (µS/cm)	1727	1805	2500
Potassium (mg/l)	5.30	3.75	<12
Calcium (mg/l)	43.2	36	<270
Chlorures (mg/l)	143.77	136.1	<250
Magnesium (mg/l)	34.56	29.37	<50
Sodium (mg/l)	83	89	<150
Bicarbonate (mg/l)	275	268	518
Ammonium (mg/l)	0.06	0.48	0.5
Sulfate (mg/l)	172	183	250
Nitrites (mg/l)	0.130	0.148	<0.1
Nitrates (mg/l)	28	27	<50
Matière organique (mg/l)	0.8	0.48	/
O ₂ dissous (mg/l)	6.31	5.05	5

Interprétation des Résultats

1. Le pH

Les résultats d'analyses présentés dans le tableau (I) montrent que le pH des eaux du bassin est de 8.04, les eaux du forage présentent un pH de 7.39, elles présentent un pH basique.

Ces valeurs sont dans les normes fixées par l'OMS ou le pH doit être entre 6.5 et 8.4.

Ces valeurs sont nettement à la norme fixée par l'OMS à 6.5 - 8.4, Le pH de ces eaux, est basique pour les deux sources (8.04 et 7.39).

D'après la classification selon le pH établi par **RADIER (2019)**, les eaux du bassin peuvent être classées comme alcaline avec une évaporation intense.

Les eaux du forage sont classées proches de la neutralité, elles se rapprochent plus aux eaux de surface qu'aux eaux de profondeur.

2. La conductivité électrique

D'après les résultats présentés dans le tableau (I) montrent que la conductivité des eaux du bassin est de 1727 μ S/cm, les eaux du forage présentent une conductivité de 1805 μ S/cm, ces valeurs sont nettement inférieures à la norme fixée par l'OMS à 2500 μ S/cm.

La conductivité électrique des eaux du forage est supérieure à la conductivité électrique du bassin.

3. La Matière organique

D'après les analyses dans le tableau (I) la teneur en matière organique des eaux du bassin est de 0.8 (mg/l), les eaux du forage présentent une matière organique de 0.48 (mg/l), il peut être remarqué que la matière organique est plus élevée dans le bassin, ceci peut être dû à la présence d'algues dans le bassin.

4. L'O₂ dissous

Les résultats d'analyses présentés tableau (I) montrent que l'O₂ dissous des eaux du bassin est de 6.31(mg/l), les eaux du forage présentent une valeur de 5.05 (mg/l).

Il peut être remarqué que l'O₂ dissous est plus élevé dans le bassin dû à l'exposition des eaux du bassin à l'air libre ce qui favorise leur oxygénation.

5. Les cations

5.1 Le sodium (Na⁺)

D'après les résultats obtenus (tableau I), la teneur en ion sodium des eaux du bassin est de 83 mg/l, les eaux du forage présentent une concentration de 89 mg/l. Ces valeurs sont nettement inférieures à la norme fixée par l'OMS à 150 mg/l.

La concentration en Na⁺ dans le forage est supérieur à cette observée dans le bassin.

5.2 Le calcium (Ca²⁺)

Les résultats d'analyse présentés dans le tableau (I) montrent que la concentration en calcium dans les eaux du bassin est de 43.2 mg/l, les eaux du forage présentent une concentration de 36 mg/l, les eaux ont une teneur inférieure à la concentration maximale admissible par l'OMS fixée à 270 mg/l.

La comparaison entre les deux eaux montre que les eaux du bassin sont plus concentrées en calcium que les eaux du forage.

5.3 Le Magnésium (Mg⁺²)

Les résultats d'analyses présentés dans le tableau (I) montrent que la teneur en Magnésium des eaux du bassin est de 34.56 mg/l, les eaux du forage présentent une concentration de 29.37 mg/l Ces valeurs sont inférieure à la norme fixée par l'OMS à 50 mg/l.

La comparaison entre les deux eaux montre que les eaux du bassin sont plus concentrées en magnésium que les eaux du forage.

5.4 Le potassium (K^+)

D'après les résultats présentés dans le tableau (I) montrent que le potassium des eaux du bassin est de 5.30 mg/l, les eaux du forage présentent une concentration de potassium de 3.75 mg/l, ces valeurs sont nettement à la norme fixée par l'OMS à <12.

La comparaison entre les deux eaux montre que les eaux du bassin sont plus concentrées en potassium que les eaux du forage.

5.5. L'Ammonium (NH_4^+)

Les résultats d'analyse présentés dans le tableau (I) montrent que les teneurs en Ammonium des eaux du bassin sont de 0.06 mg/l, les eaux du forage présentent une concentration de 0.48 mg/l, la concentration entre les deux sources est très remarquable, cette perte en ammonium peut être expliquée la transformation de l'ammonium en ammoniaque et perdu par volatilisation.

La comparaison entre les deux eaux montre que les eaux du forage sont plus concentrées en Ammonium que les eaux du bassin.

6. Les anions

6.1. Les Chlorure (Cl^-)

Les résultats d'analyse présentée dans le tableau (I) montrent que les teneurs en chlorures des eaux du bassin sont de 143.77 mg/l. Les eaux du forage présentent une concentration de 136.1 mg/l ces valeurs sont nettement inférieures à la norme fixée par l'OMS à 250 mg/l. Il peut être remarqué que les concentrations sont plus élevées dans le bassin, ceci peut être dû à la concentration des eaux par évaporation vu que le prélèvement a été effectué en forte chaleur, en plus du temps de séjour des eaux dans le bassin qui d'une durée de semaine.

6.2. Les sulfates (SO_4^{2-})

Les résultats d'analyse présentée dans le tableau (I) montrent que les teneurs en sulfates des eaux du bassin sont de 172 mg/l, les eaux du forage présentent une concentration de 183 mg/l.

Chapitre III : Résultats et discussion

La concentration en ions sulfates des eaux naturelles est très variable. La comparaison en sulfate dans le forage est supérieur à cette du bassin, et les deux valeurs sont inférieure à la norme fixée par l'OMS à 250 mg/l.

6.3. Les Bicarbonate (HCO_3^-)

Les résultats d'analyse dans le tableau (I) montrent que la présence des ions HCO_3^- dans les eaux du bassin est de 275 mg/l, les eaux du forage présentent une concentration de 268 mg/l. Les eaux ont une teneur inférieure à la concentration maximale admissible (OMS) qui est de 518 mg/l.

6.4. Les Nitrites (NO_2^-)

Les résultats d'analyse présentés dans le tableau (I) montrent que les teneurs en Nitrites (NO_2^-) des eaux du bassin sont de 0.130 mg/l, les eaux du forage présentent une concentration de 0.148 mg/l, ces valeurs sont légèrement supérieures à la norme fixée par l'OMS ce résultat peut être dû à une contamination.

La comparaison entre les deux eaux montre que les eaux du forage sont plus concentrées en nitrites que les eaux du bassin.

6.5. Les Nitrates (NO_3^-)

Les résultats d'analyse présentés dans le tableau (I) montrent que les teneurs en Nitrate des eaux du bassin sont de 28 mg/l, les eaux du forage présentent une concentration de 27 mg/l. Ces résultats sont inférieurs à la concentration maximale admissible (OMS) qui est de 50 mg/l.

La comparaison entre les deux eaux montre que les eaux du bassin sont plus concentrées en nitrates que les eaux du forage.

7. Diagramme de Piper (DUPONT ET JARDANI, 2012)

L'utilisation du diagramme de piper permet de préciser le faciès chimique des eaux et des solutions et de leur évaluation lorsque ces dernières se concentrent. Dans cette étude son utilisation vise à apprécier l'évaluation du faciès chimique lorsque les eaux d'irrigation passent du forage vers le bassin.

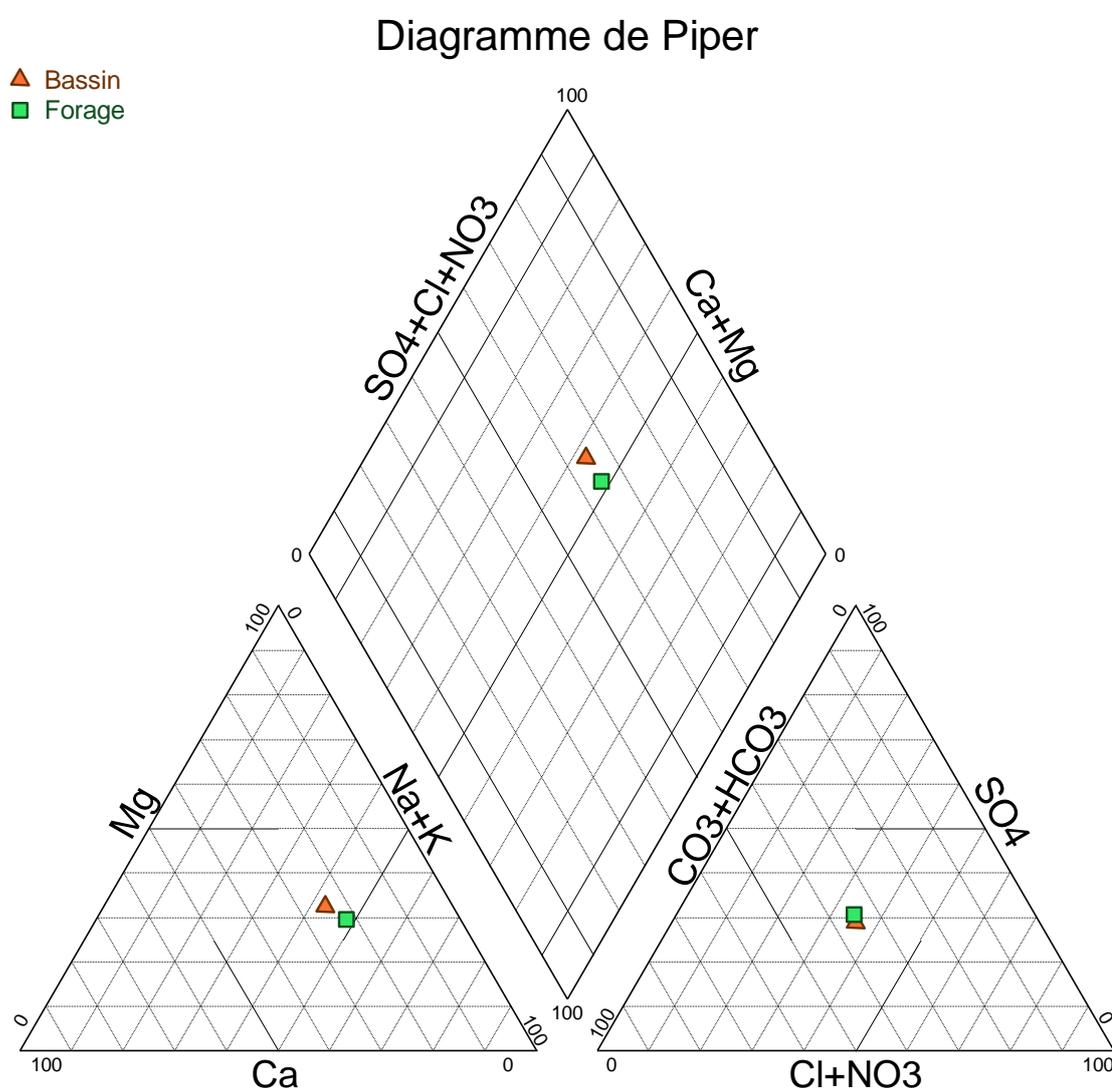


Figure 5. Représentation du faciès chimique des eaux sur le diagramme de piper.

D'après la disposition des points sur le diagramme de piper (figure 5) il peut être

Chapitre III : Résultats et discussion

remarqué que les deux points sont quasiment superposés, ce qui signifie qu'ils présentent le même faciès.

L'étude du triangle des cations montre que le faciès dominant est le sodique.

Concernant les anions les points sont disposés au milieu des deux compartiments ce qui signifie que le faciès est entre le bicarbonaté et de chlorure.

Le diagramme de piper n'a pas permis de faire une détermination précise du faciès chimique concernant les anions pour ceci le diagramme de Scholler-Berkaloff va être utilisé pour avoir plus de précision.

8. Diagramme de Schoeller-Berkaloff (DUPONT ET JARDANI, 2012)

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d'eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique.

La ligne brisée est formée en reliant tous les points qui représentent les différents éléments chimiques.

Un groupe d'eau de minéralisation variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence.

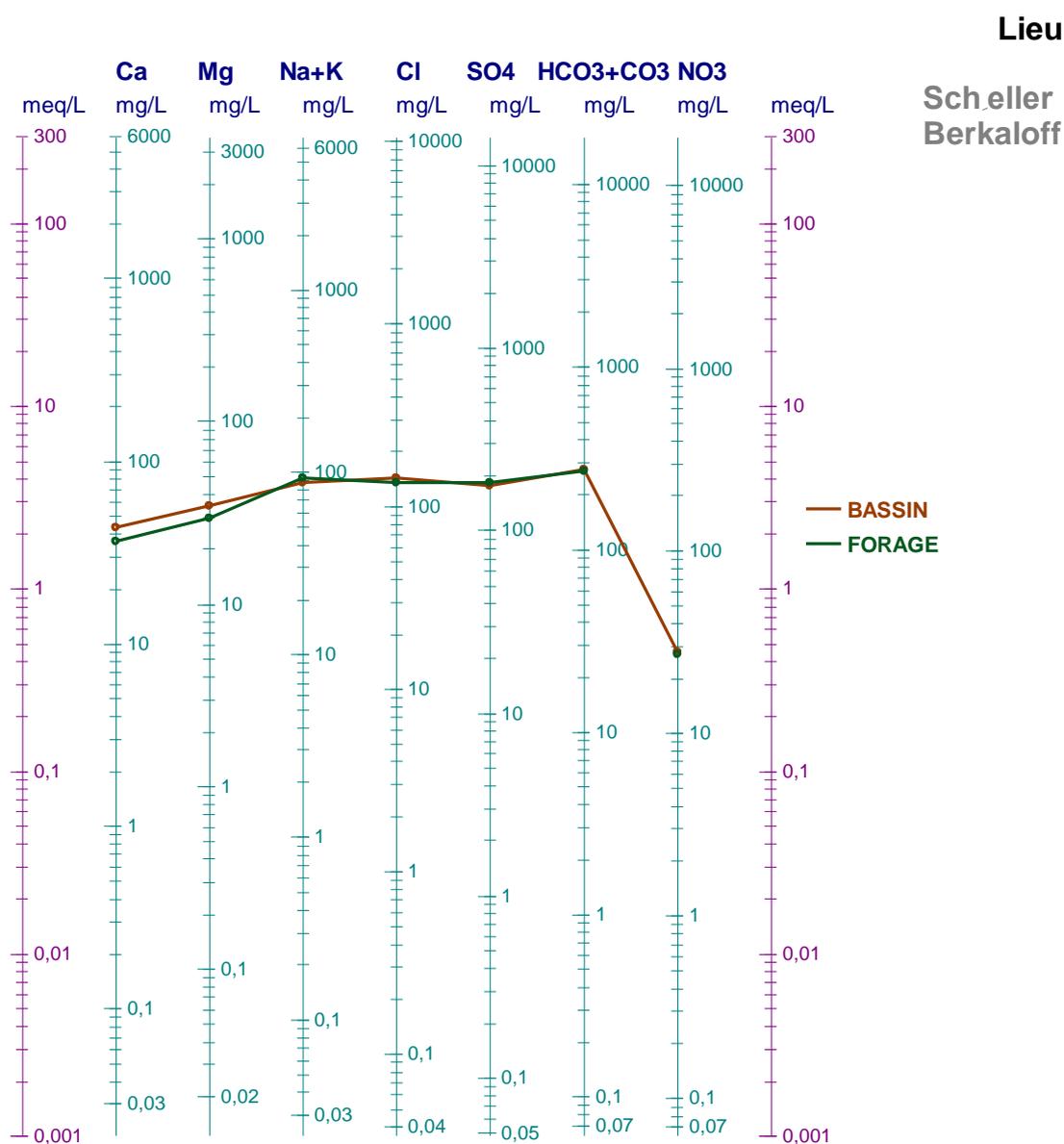


Figure 6. Présentation des eaux d’irrigation sur le Diagramme de Scholler-Berkaloff

L’étude du diagramme de Scholler-Berkaloff (figure6) montre que les deux graphes se superposent ce qui confirme que les deux eaux présentent le même faciès.

Concernant les cations, le cation le plus dominant est le Na^+K^+ et concernant les anions, l’anion le plus dominant est le bicarbonate ce qui donne un faciès bicarbonaté sodique.

Chapitre III : Résultats et discussion

Le diagramme de Scholler-Berkaloff a permis de trancher dans la détermination du faciès chimique.

Tableau II. Classification des eaux du Bassin, forage selon leurs faciès chimiques

Points d'eau	Cations	Anions	Faciès
Bassin - Forage	$K^+ > Mg^+ > Ca^+$	$HCO_3^- + Cl^- > r SO_4^{2-}$	Bicarbonaté Sodique

9. Classification des eaux par la méthode de Wilcox

Le sodium est un élément très important dans l'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation.

Un taux élevé en sodium dans le sol peut réduire d'une part au sol par l'augmentation de la conductivité électrique et la dégradation de la structure et d'une autre part à la plante en causant des problèmes de toxicité.

Le pourcentage de sodium est dans l'eau est utilisé dans l'évaluation de l'aptitude des eaux à l'irrigation. (WILCOX L.V., 1948, TIWARI T.N. ET MANZOOR A, 1988 IN Y. ALI BELHADJ & CHOUAKI, 2013).

Chapitre III : Résultats et discussion

Ce pourcentage peut être calculé par la relation suivante :

$$\%Na = \frac{Na + K}{Na + K + Ca + Mg} * 100$$

Avec : Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ (meq/L)

Tableau III. Valeurs des Na⁺%

	BASSIN		FORAGE	
	Cations mg/l	Cations meq/l	Cations mg/l	Cations meq/l
Na ⁺	83	3.6	89	3.86
Ca ⁺⁺	43.2	2.16	36	1.8
Mg ⁺⁺	34.56	2.85	29.37	2.42
K ⁺	5.30	0.13	3.75	0.09
Na ⁺ %	42.67%		48.46%	

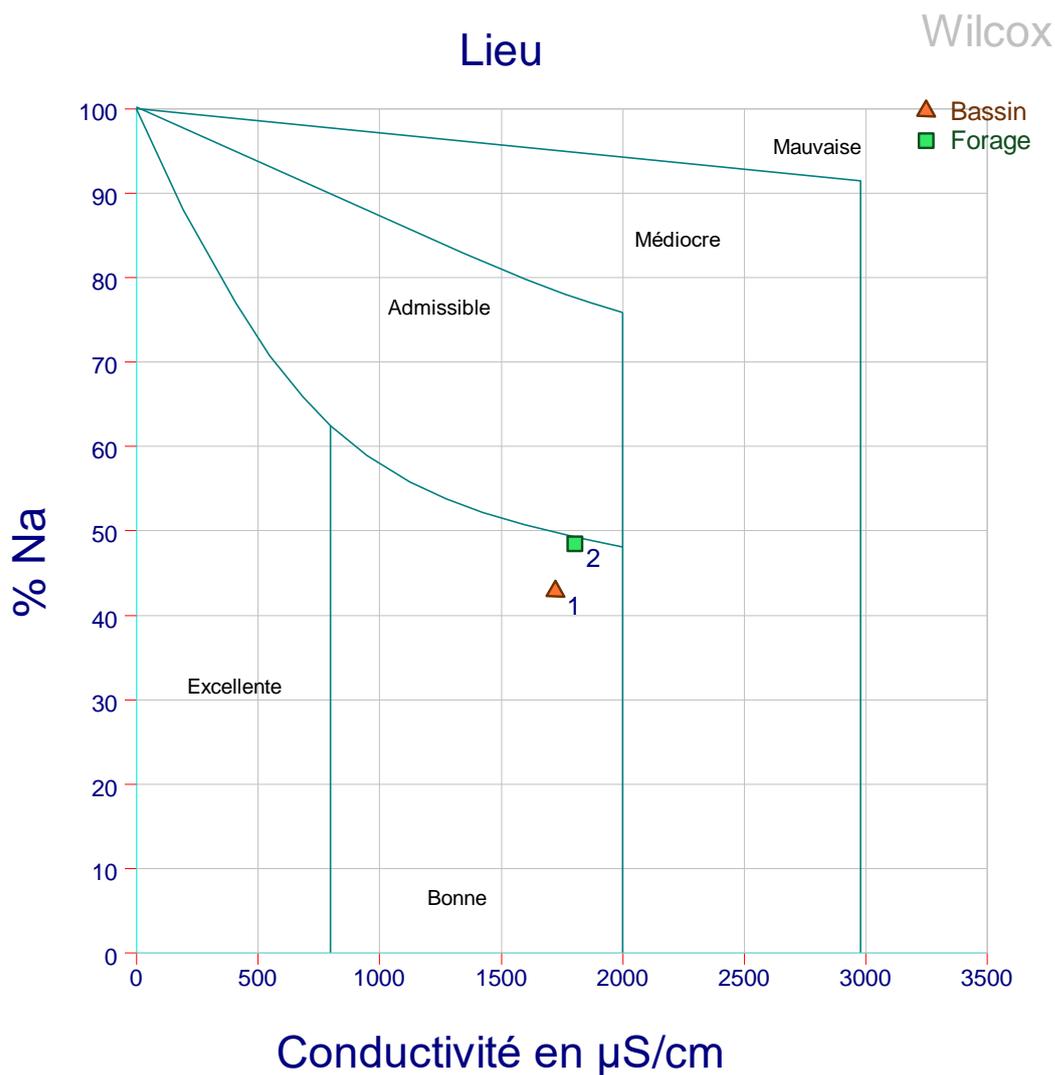


Figure 7 Diagramme de Wilcox appliqué aux eaux de la ferme pilote LAABACHI El Hamadia.

L'interprétation du diagramme (figure 7), il peut être constaté que les eaux du forage et du bassin sont de bonne qualité pour l'irrigation.

Tableau IV. Classification des eaux en fonction du pourcentage du Sodium

Paramètre	Classe 1 Très bonne	Classe 2 Bonne	Classe 3 Admissible	Classe 4 Médiocre	Classe 5 Mauvaise
%Na	<20	20 -40	40-60	60-80	>80
Point d'eau		bassin- forage			

(Bensahla Tani et ziani kerarti, 2017)

10. Sodium Absorption Ratio (SAR) (diagramme de Riverside) (USSL, 1954)

Le S.A.R (Sodium Alcalinité Ratio) est utilisé comme mesure pour estimer la convenance d'une eau à l'irrigation

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{Ca^{2+} + Mg^{2+}/2}}$$

Avec : Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺(meq/L).

Tableau V. Valeurs du S.A.R calculées

Nom du point d'eau	CE (µ/cm)	S.A.R
Bassin	1727	1.90
Forage	1805	2.22

(Bensahla Tani et ziani kerarti, 2017)

Les calculs du SAR sont exprimés dans les résultats du tableau

- SAR < 10 =>Eaux Excellentes.
- 10 ≤ SAR ≤ 18 =>Eaux Bonnes.
- 18 < SAR ≤ 26 =>Eaux convenables.
- SAR > 26 => Eaux Médiocres.

(Bensahla Tani et ziani kerarti, 2017)

Selon ces normes, la qualité des eaux du forage et du bassin Excellente.

Le report des valeurs du S.A.R en fonction de la conductivité (salinité-sodicité) (diagramme de Riverside) montre la présence d'une seule catégorie d'eaux.

Chapitre III : Résultats et discussion

Tableau VI. Classification des eaux destinées à l'irrigation d'après le S.A.R

Degré	Qualité	Classe	Etat d'utilisation
1	Excellente	C1-S2	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart du sol.
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel sur sols ayant une bonne perméabilité.
3	Admissible	C3-S1 C3-S2 C2-S3	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions. Sols très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.

(**Bensahla Tani et ziani kerarti, 2017**)

Les eaux appartiennent à la classe (C3-S1). Cette dernière exprime une qualité admissible.

En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, toutefois, il faudra contrôler la salinité.

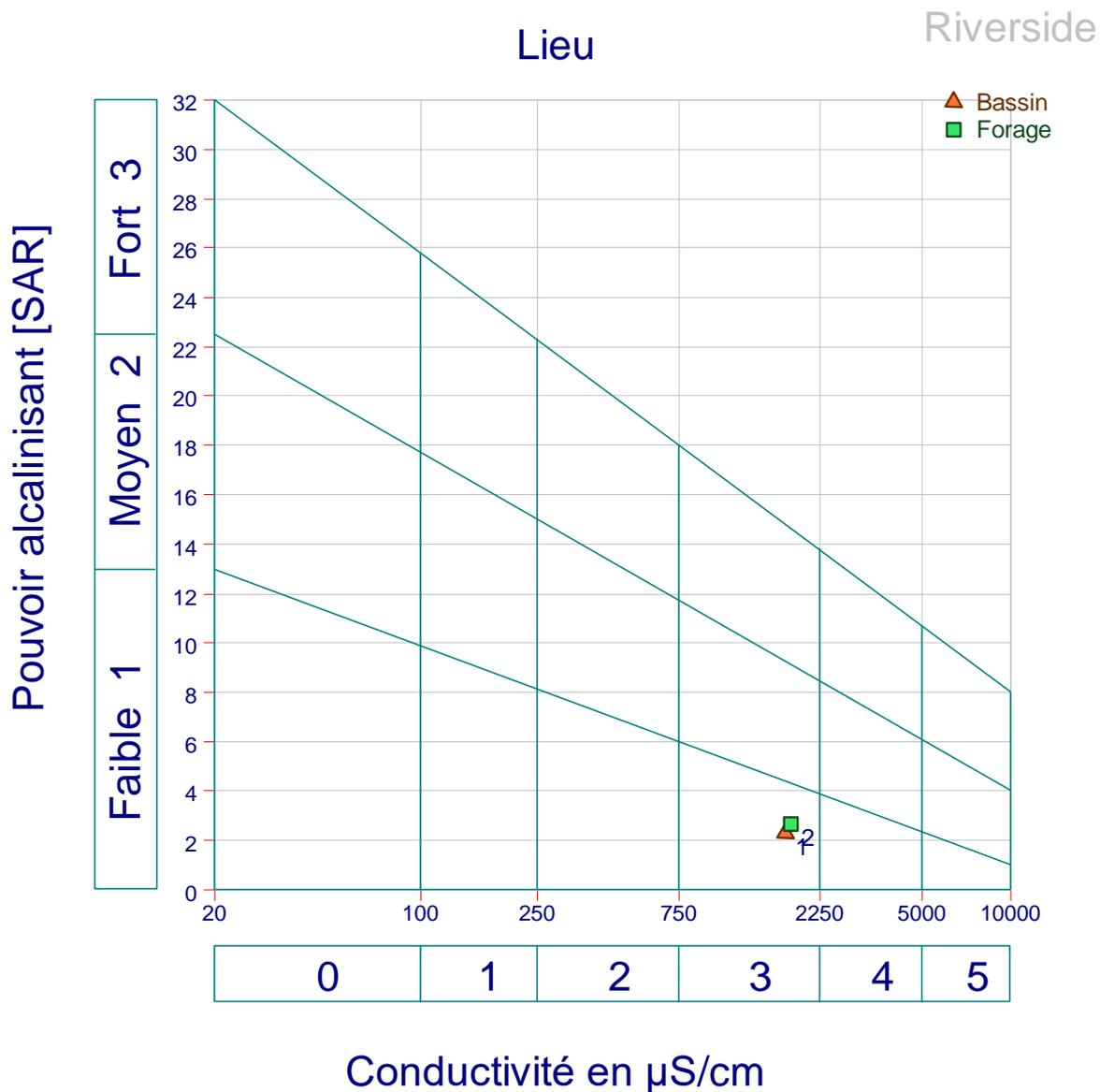


Figure 8. Diagramme du Riverside appliqué aux eaux de la ferme pilote LAABACHI El Hamadia

11. L'Indice de saturation (IS)

Lorsqu'un minéral est équilibré avec une solution, il existe une relation entre les activités des ions qui dans la composition du minéral. L'équation qui établit cette relation est celle de loi d'action de masse.

Le programme de calcul permet de déterminer l'activité des différentes espèces et la pression en CO₂ à partir des résultats d'analyses chimiques de la solution du sol et du pH déterminé au laboratoire (TARDY ET GAC, 1997 ; VALLES ET DE COCKBOME, 1992 ; MADE ET AL, 1994).

Le degré de saturation, de sous-saturation ou l'état d'équilibre d'une solution vis-à-vis d'un minéral n'est apprécié que si l'on peut comparer le produit de solubilité (Kps) au produit d'activité é ionique (Q ou PAI) des ions de référence dans la **solution** (DROUBI ET AL, 1976 ; DROUBI ET AL. , 1978 ; HAMMECKER, 1997) les cas suivantes sont possibles :

Log Q = log Q Kps : la solution est en équilibre avec la phase minérale.

Log Q < log Q Kps : la solution est sous-saturée (dissolution du minéral).

Log Q > log Q Kps : la solution est sursaturée (précipitation du minéral).

Tableau VII. Evolution des indices de saturation des minéraux

Nom	Is Calcite	Is Aragonite	Is Dolomite	Is Gypse	Is Anhydrite
Bassin	0.63	0.49	1.51	-1.47	-1.69
Forage	-0.11	-0.25	0.05		

Les résultats des tests de saturation (Tableau VII) montrent que dans le bassin Is calcite, Is Aragonite, Is dolomite son supérieure à 0, ceci montre que l'eau du bassin est sursaturée, vis-à-vis de ces trois minéraux.

Ce qui implique la précipitation de la calcite, aragonite, dolomite saturation, Is gypse et Is anhydrite sont inférieure à 0, ceci signifie que les eaux du bassin n'ont pas atinent la saturation vis-vis de ces minéraux.

Chapitre III : Résultats et discussion

Les résultats des calculs des tests de saturation (Tableau VII) montre que dans le forage Is calcite, Is Aragonite, son inférieure à 0, ceci montre que l'eau du forage est sous-saturée, vis-à-vis de ces deux minéraux. Is dolomite est supérieure à 0. Ce qui implique la précipitation du minéral, ceci signifie que les eaux du forage atinent la saturation vis-vis de ce minéral.

CONCLUSION

L'objectif de ce travail est de faire d'une part une évaluation géochimique de la qualité des eaux utilisées en irrigation dans la ferme pilote LAABACHI El Hamadia (wilaya de Bordj Bou Arreridj), et d'une autre part de réaliser une comparaison entre les eaux du forage et ces mêmes eaux après leurs séjours dans un bassin d'irrigation.

L'interprétation des données analytiques a montré que les eaux du bassin et du forage dans la ferme pilote LAABACHI El Hamadia, ont un pH basique pour les deux sources.

L'étude du bilan ionique a montré que les résultats des cations et les anions sont inférieurs à la norme fixée par l'OMS. Les cations analysés sont le sodium, le calcium, le magnésium, le potassium et l'ammonium, les anions sont les chlorures, les sulfates, les bicarbonates, les nitrates et les nitrites.

L'étude du faciès chimique d'après les diagrammes de piper et de Scholler-Berkaloff montre que le faciès des eaux du forage et du bassin est bicarbonaté sodique.

Le report des valeurs du S.A.R en fonction de la conductivité (salinité - sodicité) sur le diagramme de Riverside montre la présence d'une seule catégorie d'eau, la qualité des eaux du forage et du bassin est excellente.

D'après le diagramme Wilcox, il peut être constaté que les eaux du forage et du bassin sont de bonne qualité pour l'irrigation.

Les eaux du bassin de la ferme pilote LAABACHI El Hamadia sont sursaturée, vis-à-vis de ces trois minéraux (calcite, Aragonite, dolomite), et n'ont pas atteint la saturation vis-vis du gypse et de l'anhydrite.

Pour les eaux du forage sous-saturées vis-à-vis de la calcite et de l'aragonite et sur saturation de la dolomite.

D'une manière globale, les eaux sont bonnes à admissible pour l'irrigation.

Références bibliographiques

Bensahla Tani et ziani kerarti, 2017 : Jui-2017, Caractérisations, classification et statistique multivariable des eaux de l'aquifère alluvionnaire de la plaine d'Hennaya (NW algérien).

(**Bouaroudj Sara,2012**) : Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation .

SENOUCI, 2017 : Evaluation qualitative des eaux souterraines de la plaine d'Hennaya, à la consommation et à des fins d'irrigation (Nord- Ouest Algérien).Mem. Master. Univ.Tlemcen. P98

SOCIAL, 2015 : Le *climat social* de la classe et son évaluation au collège. The classroom *social* climate and its evaluation in middle school. Halim Bennacer. p. 461-478.

ONM BBA, 2020 : Retrouvez en direct la météo à Bordj Bou Arreridj heure par heure - Suivez la météo du jour et les prévisions météo à 10 jours à Bordj Bou Arreridj.

COUTURE,2006. (a) : Analyse d'eau pour fin d'irrigation MAPAQ Montérégie-Est AGRI-VISION 2003-2004. 8p

DUPONT ET JARDANI , 2012 : Jean-Paul *Dupont* a dirigé les 14 thèses suivantes :
... Soutenue en 2012 ... par Abderrahim *Jardani* sous la direction de Jean-Paul *Dupont* et de André Revil ...

WILCOX L.V., 1948, TIWARI T.N.ET MANZOOR A, 1988IN Y.ALI BELHADJ &CHOUAKI, 2013 : l'aptitude des eaux à l'irrigation (Wilcox L.V., 1948, Tiwari T.N.et Manzoor A, 1988in Y. Ali Belhadj &Chouaki, 2013). Ce pourcentage peut être calculé par ...

USSL,1954 : The US Salinity Laboratory staff (*USSL; 1954*) suggested an irrigation classification diagram (Fig. 2) based on EC and SAR. The *USSL* diagram best explains ...

TARDY ET GAC,1997 ; VALLES ET DE COCKBOME,1992 ; MADE ET AL,1994 : Note remise le 20 janvier 1997, acceptée après révision le 28 avril 1997 ... données sont celles de *Gac* (1980) et de *Cac* et *Tardy*.

TARDY ET GAC,1997 ; VALLES ET DE COCKBOME,1992 ; MADE ET AL,1994 : Note remise le 20 janvier 1997, acceptée après révision le 28 avril 1997 ... données sont celles de *Gac* (1980) et de *Cac* et *Tardy*.

(DROUBI ET AL,1976 ;DROUBI ET AL ,1978 ;HAMMECKER,1997 : de D Aunis · 1976 — *Droubi A.*, *Cheverry C.*, *Fritz B.* et *Tardy Y.* (1976) — Géochimie des eaux et des sels ... à l'étude géochimique des polders de la bordure nord du lac Tchad.

Annexe



Image d'un appareil de pH-mètre.



Image d'un appareil de Conductimètre



Image d'un appareil de Chlorométrie

Annexe

**Tableau Classification des eaux selon le pH
(RODIER. 2009)**

pH	Possibilités d'utilisation
pH<5	Acidité forte
pH=7	Neutralité (eau pure)
pH de 7 à 8	Neutralité rapprochée (eau de surface)
pH>8	Alcalinité, évaporation intense
pH de 5,5 à 8	Majorité des eaux souterraines

**Tableau La pluviosité et la température moyenne durant la campagne 2019/2020
(ONM BBA)**

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T Moy (°C)	5,5	5,9	8,9	12,5	15,9	22,8	26,1	24,8	20,6	15,5	9,7	6,4
P(mm)	34,95	26,7	32,18	37,09	36,16	18,54	8,4	13,38	40,33	29	32,96	31,73