

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الجيلالي بونعاما - خميس مليانة

Université Djilali Bounaama - Khemis Miliana



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre

Département des Sciences Agronomiques

Spécialité : Aménagement Hydro-agricole

## MEMOIRE

de fin d'études présenté pour l'obtention du diplôme de **Master**

Thème

### Evaluation de la qualité des eaux des barrages de Boughzoul et Ladrat pour l'irrigation

Présenté par :

Boukhellou Nour El Houda

Moussaoui Fairouz

Évalué le 11 novembre 2020 par le jury composé de :

Mme Karahaçane .H

MAA Présidente

UDB- Khemis Miliana

M<sup>r</sup> Merouche .A

MCA Promoteur

UDB- Khemis Miliana

Mme Maten. C.N

MAA Examinatrice

UDB- Khemis Miliana

Année universitaire 2019/2020



# Remerciements

*Tout d'abord, je tiens à remercier **Allah**, le tout Puissant, de m'avoir donné la santé, la volonté et la patience pour mener à terme ma formation de Master.*

*Je remercie mon encadreur Monsieur **Merouche Abd El Kader** qui m'a fourni le sujet de ce mémoire et m'a guidée avec ses précieux Conseils et suggestions, et la confiance qu'il m'a témoignée tout au Long de travail.*

*A Madame le membre du jury Je remercie **Karahacane H** : qui nous'a fait l'honneur de bien vouloir accepter la présidence de ce mémoire, Qu'elle veuille bien trouver ici l'expression de notre déférence et de notre profonde gratitude.*

*Madame l'examinatrice **Maten Naziha** et, qu'elle veuille trouver ici l'expression d'amabilité de vouloir bien faire partie du jury de notre mémoire*

*Comme, nous remercions le personnel de **DRE** de Médéa surtout Monsieur **Brahim Belhouari Halim** et le personnel d'**ANRH** Soumaa Blida et Madame **khemisti Farida***

*Nous remercions aussi Mme **Bouaichi Ilhem** et Mr **Imessaoudane Yassine** et tout les enseignants de l'université Djillali Bounâama de Khemis Miliana.*



## *Dédicaces*

Avant tout, je remercie Dieu le tout puissant,

Qui m'a donné la force, la foi, et

La patience pour réaliser ce travail.

Ce projet fin d'étude est dédié

a mes chers parents **NAIMA** et **AHMED**

qui m'ont toujours poussé et motive dans mes études.

Sans eux, je n'aurais certainement pas fait d'études longues.

A Mon cher frère **Mohamed** et sa fiancée

**Nour El Houda** et sa famille

A mes chers frères: **Taib** , **Abed El Hak** et **Lokman**

A mes chers sœurs : **Romaissa** et **Fatima El Zahra**

Et tous la famille **BOUKHELLOU** et **LASSNOUNI**

A mon cher binôme **Fairouz**

Ames chers copines **Lila**, **Fairouz** et **Nadjia**

A tous camarades de la spécialité Aménagement Hydro-Agricole

**Nour El Houda**

## Dédicaces

Je remercie dieu le tout puissant de m'avoir donné la force et le courage de finir ce modeste travail que je dédie :

A Mon très cher Père Ahmed

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon estime et mon respect que j'aurai éternellement pour toi. Rien au monde ne vaut les efforts que tu as fournis, jour et nuit, pour mon éducation et mon bien être.

A Ma tendre Mère Fatiha

Qui est toujours étéune étoile de mon ciel et est illuminé mon chemin depuis ma naissance.

A mes meilleures sœurs :

Linda et ces enfant : Haytham et Racha

Zahra et ce fille : Ikram firdaws

A mes meilleurs frères : Djamel et Mohamed rafik .

A tous mes chères cousins et cousines les grande et les petits.

A ma binôme et avec qui j'ai élaboré ce modeste travail

**Nour El Houda** et sa famille.

A tous mes amies : Sara ,chaima,Radiya , et camarades de promotion

« M II Aménagement Hydro-Agricole » 2019-2020.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

**Fairouz**

## Résumé

La présente étude a pour but l'évaluation de la qualité physico-chimique de l'eau de surface des barrages de Boughzoul et Ladrat pour l'irrigation.

Les analyses de l'eau sont réalisées au niveau du laboratoire l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH) de Blida (Soumaâ) au cours de trois années successives. Les paramètres de qualité mesurés et calculés sont : la température, conductivité électrique, pH, taux des sels dissous, ratio du sodium adsorbé, PHc, ratio du sodium adsorbé ajusté, alcalinité résiduelle et indices de qualité spécifiques.

Les résultats montrent que l'eau du barrage de Boughzoul présente une salinité supérieure aux normes internationales comparativement à l'eau du barrage de Ladrat. Les eaux des deux barrages possèdent une alcalinité acceptable sans effet nocif sur la structure du sol. Le diagramme de Wilcox montre que la qualité de l'eau du barrage de Ladrat pour l'irrigation est excellente par rapport à celle du barrage de Boughzoul qui est entre médiocre à mauvaise.

**Mots clés :** Eau de surface, barrages, irrigation, paramètres de qualité, indices spécifiques.

## Abstract

The purpose of this study is to assess the water surface physico-chemical quality of Boughzoul and Ladrat dams for irrigation.

Water analyses are realized in the laboratory of the National Water Resources Agency (ANRH) of Blida (Soumaâ) over three successive years. Water analyses concern all cations and anions necessary for the water quality complete assessment. The measured and calculated quality parameters are: temperature, pH, electrical conductivity, total dissolved solids, sodium adsorption ratio, pHc, adjusted sodium adsorption ratio, residual sodium carbonate and specific indices.

The results show that the Boughzoul dam water has a higher salinity than international standards compared to Ladrat dam water. The waters of the two dams have an acceptable alkalinity without harmful effects on the soil structure.

The Wilcox diagram shows that the water quality of the Ladrat Dam for irrigation is excellent compared to that of the Boughzoul dam water which is between doubtful to unsuitable.

**Keywords:** surface water, dams, irrigation, quality parameters, specific indices.

## ملخص

الغرض من هذه الدراسة هو تقييم النوعية الفيزيائية والكيميائية للمياه السطحية لسدود بوغزول و العذرات للري التحاليل تمتع لى مستوى مخبر الوكالة الوطنية للمواد المائية بالبلدية (الصومعة). التحاليل تخص كل الشوارد الموجبة والسالبة الازمة لتقييم كامل لنوعية الماء.العناصر المقاسة و المحسوبة هي : درجة الحرارة، الناقلية الكهربائية، الكيون الهيدروجيني، نسبة الاملاح المذابة، PHC نسبة الصديوم المدمص، نسبة الصديوم المدمص المعدل، القاعدية الساكنة، مؤشرات نوعية محددة.التحاليل تخص كل الشوارد الموجبة والسالبة الازمة لتقييم كامل لنوعية الماء. العناصر المقاسة و المحسوبة هي : درجة الحرارة، الناقلية الكهربائية، الكيون الهيدروجيني، نسبة الاملاح المذابة، ، نسبة الصديوم المدمص، نسبة الصديوم المدمص المعدل، القاعدية الساكنة، مؤشرات نوعية محددة تظهر النتائج أن مياه سد بوغزول هي ذات ملوحة أعلى من المعايير الدولية مقارنة بمياه سد العذرات. مياه السدين لها قلووية مقبولة دون أن يكون لها أي أثر سلبي على بنية التربة. ويبين مخطط ويلكوكس أن نوعية المياه في سد العذرات للري ممتازة مقارنة بنوعية ماء سد بوغزول التي هي بين رديئة الى سيئة.

**الكلمات المفتاح:** الماء السطحية، السدود ، الري، معايير الجودة، مؤشرات محددة

# Liste des abréviations

°C : degré Celsius

**AEP** : Alimentation en Eau Potable

**Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>** : Sulfate d'argent

**ANBT** : Agence National des Barrages Transfert

**ANRH** : Agence National des Ressources Hydriques

**Ca<sup>2+</sup>** : Calcium.

**CaCO<sub>3</sub>** : Carbonate de calcium

**CE** : Conductivité électrique

**cm** : Centimètre

**DBO** : Demande Biochimique en Oxygène

**DCO** : Demande Chimique en Oxygène

**DRE** : Direction de Ressource en Eau

**ETP** : Evapotranspiration Potentielle

**ETM** : Evapotranspiration maximale

**FAO**: Food and Agriculture Organisation

**KC** : Coefficient cultural

**KR** : ratio de Kelly

**L** : Litre

**m** : mètre

**méq** : Milli équivalent

**MES**: matière en suspension

**Mg** : Milligramme

**Mg<sup>2+</sup>** : Magnésium

**MO** : Matière Organique

**MR** : Pourcentage de magnésium

**NaOH** : Soude

**NaCl** : Chlore de sodium

**NO<sub>2</sub><sup>-</sup>** : Nitrites

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : Nitrates.

**NTU** : néphélogétrie Turbidité Unit

**OH<sup>-</sup>** : Hydroxyle

**P** : pluie

**pH** : Potentiel Hydrogène

**pH<sub>c</sub>** : ph théorique calculé

**PI** : indice de perméabilité

**PS** : Salinité Potentielle

**RFU** : Réserve facilement utilisable

**RS** : Réserve de survie

**RU** : Réserve utile

**RSC**: Résiduel Sodium Carbonates

**SAR**: Pourcentage Sodium Adsorption

**SAR<sub>aj</sub>**: Pourcentage du sodium adsorbé ajusté

**SSP** : Pourcentage du sodium dissous

**T** : Température



# Liste des Figures

<b>Figure 01:</b> Courbe de rétention de l'eau par le sol.....	04
<b>Figure 02 :</b> Diagramme de Riverside.....	22
<b>Figure 03 :</b> Diagramme de wilcox.....	23
<b>Figure 04:</b> Repartition on pluviométrique mensuelle moyenne de la période (1990-2015).....	29
<b>Figure 05 :</b> Découpage administrative et présentation de la commune de Boughzoul et Sidi Naamane.....	30
<b>Figure 06:</b> Diagramme de Riverside pour l'eau du barrage Boughzoul et Ladrat.....	54
<b>Figure 06:</b> diagramme de wilcox pour l'eau du barrage Boughzoul et Ladrat.....	55

## Liste des tableaux

<b>Tableau01</b> : classification du potentiel hydrogène.....	10
<b>Tableau 02</b> : Classification de l'eau d'irrigation basée sur la concentration totale des sels, selon différentes sources.....	11
<b>Tableau 03</b> : Classification de l'eau d'irrigation en fonction de sa salinité.....	12
<b>Tableau 04</b> : Degré de restriction de l'eau pour l'irrigation en fonction de sa salinité.....	12
<b>Tableau 05</b> : Classification basée sur la conductivité électrique.....	13
<b>Tableau 06</b> : Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation.....	14
<b>Tableau07</b> : Catégories de classes.....	14
<b>Tableau 08</b> : Normes d'interprétation de la salinité potentielle.....	14
<b>Tableau09</b> : Classification en fonction du SAR.....	16
<b>Tableau10</b> : Evaluation de la qualité de l'eau d'irrigation.....	17
<b>Tableau11</b> : guide d'interprétation de qualité des eaux d'irrigation.....	17
<b>Tableau 12</b> : Normes d'interprétation du % Na.....	19
<b>Tableau13</b> : Classification de l'eau d'irrigation.....	21
<b>Tableau14</b> : Niveaux de toxicité des ions spécifiques (meq/l).....	24
<b>Tableau 15</b> : fluctuations pluviométriques enregistrées de la période (1990-2015).....	27
<b>Tableau 16</b> : Caractéristiques générales.....	30
<b>Tableau 17</b> : Barrages en exploitation dans la wilaya de Médéa.....	32

<b>Tableau 18 :</b> Petit barrage en exploitation.....	33
<b>Tableau 19:</b> Concentrations (meq/l) de l'eau du barrage de Boughzoul en principaux cations.....	40
<b>Tableau 20:</b> Concentrations (meq/) de l'eau du barrage de Ladrat en prancipaux cation .....	40
<b>Tableau 21:</b> Concentrations (meq/l) de l'eau du barrage de Boughzoul en principaux anions.....	41
<b>Tableau 22:</b> Concentrations (meq/) de l'eau du barrage de Ladrat en principaux anions.....	41
<b>Tableau 23:</b> Valeurs moyennes de la température de l'eau en °c des barrages de Boughzoul et Ladrat.....	42
<b>Tableau 24:</b> valeurs de pH de l'eau des barrages de Boughzoul et Ladrat.....	43
<b>Tableau 25 :</b> valeurs de la conductivité électrique (ds/m) de l'eau.....	44
<b>Tableau26 :</b> valeurs moyennes de la salinité potentielle des eaux des deux barrages en (meq/l).....	45
<b>Tableau27:</b> valeurs du sodium absorbé SAR.....	45
<b>Tableau 28 :</b> valeur de PHc.....	46
<b>Tableau 29 :</b> valeurs du sodium absorbé ajusté (SARaj).....	47
<b>Tableau 30 :</b> Valeurs moyennes de l'alcalinité résiduelle en (méq/l) des deux barrages	48
<b>Tableau 31 :</b> valeurs de sodium soluble en (meq/l).....	48
<b>Tableau 32 :</b> Valeurs de l'indice de kally en (meq/l) .....	49
<b>Tableau33 :</b> de l'indice de perméabilité en %.....	50
<b>Tableau 34:</b> Magnésium en%.....	51

<b>Tableau 35</b> : Valeurs moyennes du sodium en( <b>meq/l</b> ) des eaux des deux barrages.....	51
<b>Tableau 36</b> : Valeurs moyennes des chlorures en ( <b>meq/l</b> ) des eaux des deux barrages...	52
<b>Tableau 37</b> : Corrélations de Pearson des paramètres de qualité de l'eau du barrage de Boughzoul.....	55
<b>Tableau 38</b> : Corrélations de Pearson entre paramètres de qualité de l'eau du barrage de Ladrat.....	56

<b>Sommaire :</b>	<b>page</b>
<b>Introduction générale</b> .....	01
 <b>Chapitre I : Irrigation des cultures</b>	
Introduction.....	03
1.1 Rôle de l'eau dans la plante.....	03
1.2 Relations : eau-sol-plante.....	03
1.2.1 Courbe de rétention de l'eau par le sol.....	03
1.2.2 Réserves en eau dans le sol.....	04
1.2.2.1 Réserve utile.....	04
1.2.2.2 Réserve facilement utilisable.....	05
1.2.2.3 Réserve de survie.....	05
1.3 Sècheresse agricole et ressources en eau d'irrigation.....	05
1.3.1 Concept de la sécheresse.....	05
1.3.2 Types de sécheresse.....	06
1.3.3 Ressources en eau.....	06
1.3.3.1 Eaux conventionnelles.....	06
1.3.3.2 Eaux non conventionnelles.....	07
1.4 Estimation des besoins en eau des cultures.....	07
1.4.1 Evapotranspiration potentielle.....	07
1.4.2 Evapotranspiration maximale.....	07
Conclusion.....	08
 <b>Chapitre II Evaluation de la qualité de l'eau d'irrigation</b>	
Introduction.....	10
2.1 Paramètres et normes de qualité.....	10
2.1.1 Température de l'eau.....	10
2.1.2 Potentiel Hydrogène.....	10
2.1.3 Conductivité électrique.....	11
2.1.4 Salinité potentielle.....	14
2.1.5 Pourcentage du sodium adsorbé.....	15
2.1.6 Pourcentage du sodium adsorbé ajusté.....	17

2.1.7 Alcalinité résiduelle.....	19
2.2 Indices de qualité spécifique.....	19
2.2.1 Pourcentage du sodium.....	19
2.2.2 Pourcentage du sodium soluble.....	19
2.2.3 Indice de Kelly.....	20
2.2.4 Indice de perméabilité.....	20
2.2.5 Pourcentage du magnésium.....	21
2.3 Principaux diagrammes de classification de l'eau d'irrigation.....	21
2.3.1 Diagramme de Riverside.....	21
2.3.2 Diagramme de Wilcox.....	22
2.4 Eléments toxiques.....	23
Conclusion.....	24
<b>Chapitre III Matériels et méthodes</b>	
Introduction.....	26
3.1 Matériels.....	26
3.1.1 Présentation de la zone d'étude.....	26
3.1.1.1 Situation administrative.....	26
3.1.1.2 Pluviométrie de zone.....	27
3.1.2.2 .1 Fluctuation pluviométrique interannuelle.....	27
3.1.1.2.2 Répartition pluviométrique mensuelle.....	28
3.1.1.3 Site expérimental.....	28
3.1.1.3.1 Localisation des barrages.....	28
3.1.1.3.2 Caractéristiques générales.....	30
3.1.1.4 Ressources en eau de surface de la wilaya de Médéa.....	31
3.2 Méthodes d'étude.....	
3.2.1 Echantillonnage de l'eau.....	34
3.2.2 Mesure et calcul des paramètres de qualité.....	34
3.2.3 Analyses au laboratoire.....	35
3.2.3.1 Cations.....	35
3.2.3.2 Anions.....	35
3.2.3.3 Calcul des paramètres de qualité de l'eau d'irrigation.....	36

3.2.3.3.1 Taux de matière dissoute (TDS).....	36
3.2.3.3.2 Pourcentage Sodium Adsorbé.....	36
3.2.3.3.3 Pourcentage du sodium adsorbé ajusté (SARaj).....	37
3.2.3.3.4 Pourcentage du sodium dissous (SSP).....	37
3.2.3.3.5 Alcalinité résiduelle (RSC).....	38
3.2.3.3.6 Indice de Kelly (KR).....	38
3.2.3.3.7 Indice de perméabilité (PI).....	38
<b>Chapitre IV Résultats et discussion</b>	
Introduction.....	40
4.1 Evaluation de la qualité des eaux des barrages.....	40
4.1.1 Concentrations en principaux éléments chimiques.....	40
4.2 Détermination des paramètres de qualité des eaux.....	41
4.2.1 Température.....	41
4.2.2 Potentiel hydrogène (pH).....	42
4.2.3 Conductivité électrique (CE).....	43
4.2.4 Salinité potentielle (PS).....	44
4.2.5 Pourcentage du sodium adsorbé.....	45
4.2.6 Pourcentage du sodium adsorbé ajusté.....	46
4.2.7 Alcalinité résiduelle.....	47
4.2.8 Indices de qualité spécifique.....	48
4.2.8.1 Pourcentage du sodium soluble.....	48
4.2.8.2 Indice de Kelly.....	49
4.2.8.3 Indice de perméabilité.....	49
4.2.8.4 Pourcentage du magnésium.....	50
4.2.8.5 Eléments toxiques.....	51
4.2.8.6 Classification de l'eau d'irrigation.....	53
4.3 Liaisons entre paramètres de qualité des eaux d'irrigation.....	55
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>57</b>

## **Introduction générale**



L'eau est un élément vital pour la vie des plantes. Cependant le développement du secteur de l'agriculture dans la majorité des pays du monde afin de répondre aux besoins alimentaires des populations qui sont en accroissement exigent donc des volumes d'eau d'irrigation de plus en plus importants (**Lyla et al, 2015**). Ces exigences en eau d'irrigation par le système d'agriculture intensive sont devenues encore très importantes en présence d'une utilisation sectorielle concurrentielle très accrue d'une part et l'expansion du phénomène de la sécheresse d'autre part. En Algérie, presque la majorité des terres agricoles sont situées dans des zones à climat semi-aride et arides frappées fortement par la sécheresse agricole, traduite par une régression remarquable de la pluie qui a atteint environ 100 mm par an durant les dernières décennies en zone semi-aride tel que celle du haut Chélif (**Merouche, 2015**). Au même temps, ces conditions climatiques ont fait augmenter considérablement les besoins en eau des cultures à cause de l'augmentation de l'évapotranspiration potentielle. Devant cette situation difficile pour les utilisateurs de l'eau dans le secteur de l'agriculture, il est devenu nécessaire la mise en place d'un système d'alerte précoce à la sécheresse afin de diminuer ses risques climatiques (**Gharzouli, 2014**). Le recours à différentes sources d'eau pour répondre aux besoins en eau importants est la préoccupation majeure des exploitants agricoles (**Couture, 2004**).

En présence d'une diminution remarquable des volumes d'eau disponibles pour répondre aux besoins des différents secteurs, on assiste aussi à une dégradation de la qualité des eaux due principalement à une pollution générale de l'environnement et l'utilisation des produits chimiques. La demande en eau galopante du secteur agricole pour des fins d'irrigation en zone semi-arides et arides et la diminution de disponibilité de ressources suffisantes poussent les exploitants à faire recours à des eaux souterraines de moindre qualité pour compenser le déficit (**Quadir et al , 2001 ; Selvam, 2014**).

On doit tenir compte de la qualité de l'eau d'une manière régulière pour garantir son utilisation sans risque sur la structure du sol et la plante et par conséquent sans répercussions sur la santé humaine.

L'identification et l'estimation des paramètres essentiels qui influencent la qualité des ressources en eau contribuent à la mise en œuvre des politiques et stratégies (**Asadollahfardi et al ;2013**)

L'objectif de la présente étude est l'évaluation de la qualité des eaux des barrages de Boughzoul et Ladrat appartenant à la wilaya de Médéa et leur aptitude à l'irrigation en identifiant leurs impacts sur la plante et le sol.

Le mémoire est organisé en quatre chapitres et une conclusion générale à savoir ;

## **Chapitre I : Irrigation des cultures**

Le contenu de ce chapitre traite le rôle de l'eau dans la vie des plantes, ses relations avec le sol et son absorption par les racines des plantes. Il traite également le concept de la sécheresse et ses impacts sur l'agriculture.

## **Chapitre II : Evaluation de la qualité de l'eau d'irrigation**

Le contenu de ce chapitre traite les relations de calcul et d'interprétation des différents paramètres de qualité de l'eau d'irrigation.

## **Chapitre III : Matériels et méthodes**

Le contenu de ce chapitre traite la présentation de la zone d'étude et du site expérimental. Comme il présente les méthodes d'échantillonnage et d'analyse de l'eau adoptées. Puis on y trouve, les méthodes de calcul et d'interprétation des paramètres et indices de qualité de l'eau.

## **Chapitre IV : Résultats et discussions**

Ce chapitre est réservé à la présentation des résultats de calcul des valeurs obtenues des différents paramètres de qualité et leurs interprétations par rapport aux normes internationales.

## **Conclusion générale**

## **Chapitre I: Irrigation des cultures**

## Introduction

L'irrigation des cultures est indispensable pour combler les déficits en eau dans une région donnée. Préalablement, il est important de savoir les propriétés spécifiques de l'eau liées à son rôle naturel. La connaissance des relations entre l'eau, le sol et la plante est une première étape pour le calcul des doses d'eau à apporter en relation avec les besoins en eau estimés par les méthodes empiriques ou expérimentales. Ceci permet d'optimiser les apports en eau d'irrigation suivant les exigences des cultures.

### 1.1 Rôle de l'eau dans la plante

L'eau est un élément vital pour la vie des plantes, c'est un facteur indispensable pour le développement des végétaux. La nutrition des plantes dépend de la disponibilité de l'eau dans le sol (**Prat, 2004**). L'eau contribue à la dissolution des sels minéraux et organique dans le sol afin de les rendre assimilables par les racines des plantes. Ces processus exigent des conditions chimiques optimales de la solution du sol comme le pH qui dépend à son tour de la qualité physico-chimique de l'eau d'irrigation.

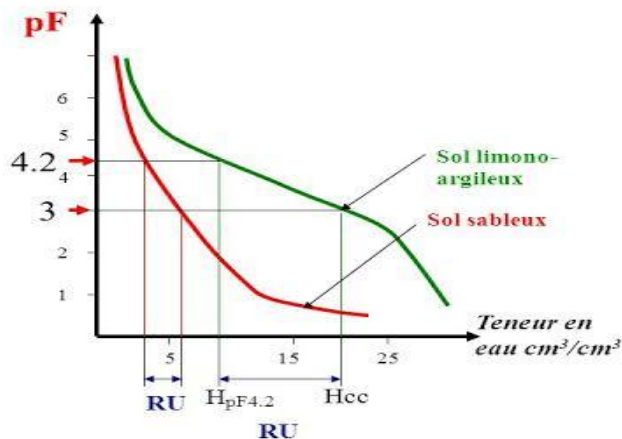
### 1.2 Relations eau-sol-plante

#### 1.2.1 Courbe de rétention de l'eau par le sol

L'eau est retenue dans le sol par un ensemble de force qui se traduit par un potentiel conditionnant ses mouvements et son absorption par les racines des plantes. Il s'agit des forces d'adsorption, d'hydrostatique, de capillarité et de pesanteur (**Ollier et Poirée ; 1981**)

A chaque quantité d'eau dans le sol correspond une résultante de force qui la retienne (**Figure 01**).

## LA COURBE DE RETENTION



Un sol limono-argileux retient plus d'eau qu'un sol sableux (porosité plus grossière)

La distribution des tailles des pores est plus homogène en sol argileux

Gamme d'eau utile :  $H_{pF4,2} \rightarrow H_{cc}$

*D'après Morel, 1989*

**Figure 01:** Courbe de rétention de l'eau par le sol

Les principaux niveaux d'humidité critiques du sol qui sont en relation avec les forces de rétention du sol d'une part et les forces d'absorption de la plante d'autre part sont : L'humidité à capacité au champ, l'humidité au point de flétrissement temporaire et permanent. Ces deux variables force et humidité se synthétisent dans la courbe de rétention de l'eau par le sol ou appelée pF. La variable pF exprime le logarithme décimal de la force de succion du sol exprimée en hauteur de pression. La teneur en eau d'un sol à capacité au champ correspond à une valeur de pF égale à 2.5 (Kramer et Boyer, 1995).

## 1.2.2 Réserves en eau dans le sol

### 1.2.2.1 Réserve utile

La réserve utile (RU) est définie comme étant la quantité d'eau utilisable par les plantes. Elle est comprise entre l'humidité à capacité au champ ( $H_{cc}$ ) ou de rétention et l'humidité au point de flétrissement permanent ( $H_{pf}$ ). Elle est calculée à l'aide de la relation suivante :

$$RU = (H_{cc} - H_{pf}) Da \times Z \quad (1.1)$$

Avec :

Da : densité apparente moyenne de la couche du sol considérée

Z : profondeur racinaire

Lorsque que la RU est épuisé, on est au point de flétrissement permanent. La RU peut être divisée en 2 parties : la RFU (Réserve Facilement Utilisable) ou confort hydrique et la RDU (réserve difficilement utilisable) qui engendre du stress hydrique (**Gendry, 2018**).

### 1.2.2.2 Reserve facilement utilisable

La réserve facilement utilisable correspond à la part de la réserve utile qu'une espèce peut extraire sans réduire sa transpiration, ni subir de stress hydrique ou limiter sa croissance. Elle représente en général de 40 à 80 % de la RU selon la profondeur du sol et les espèces cultivées (**Gendre, 2020**).

Selon **Duchaufour (2000)**, la RFU représente du 1/3 jusqu'à 2/3 de la RU suivant le type de sol. Elle est prise égale à 1/2 de la RU pour les sols à texture lourde et 2/3 de la RU pour les sols à texture légère.

### 1.2.2.3 Reserve de survie

La réserve de survie (RS), appelée parfois réserve difficilement utilisable, représente la différence entre la réserve utilisable (RU) et la réserve facilement utilisable (RFU).

$$RS = RU - RFU \quad (1.2)$$

## 1.3 Sècheresse agricole et ressources en eau d'irrigation

### 1.3.1 Concept de la sécheresse

La sécheresse est une période prolongée de temps sec qui dure plus longtemps que prévu ou qu'en temps normal, et qui entraîne des pertes mesurables comme des dommages aux cultures ou de pénuries d'approvisionnement d'eau.

La sécheresse n'est donc pas un phénomène physique ou climatique objectif. C'est aussi une notion relative qui reflète l'écart entre la disponibilité de l'eau et la demande en eau pour l'homme, son agriculture et son bétail et certains usages l'état « normal » de disponibilité de l'eau change selon les zones biogéographiques et les besoins réels ou ressentis des individus et des sociétés (**Kadik, 2010**).

### 1.3.2 Types de sécheresse

Selon **Kadik (2010)**, Les différents types de sécheresse et leurs effetsse présentent brièvement comme suit :

- **Sécheresse météorologique:** Elle implique une réduction de la pluviosité en moments non usuels.
- **Sécheresse édaphique:** Elle implique une affectation du sol et de sa capacité de production, conséquence de l'absence de pluies.
- **Sécheresse hydrologique:** Elle apparait lorsqu'il y a une réduction de la quantité d'eau disponible en superficie et au niveau du sous-sol, affectant les cours d'eau et les niveaux de barrages.
- **Socioéconomique :** Elle implique l'affectation des biens de consommation et donc toute l'économie de la région.

### 1.3.3Ressources en eau

#### 1.3.3.1 Eaux conventionnelles

##### ➤ **Les eaux superficielles**

Le volume d'eau terrestre sous forme solide, liquide et gazeuse est estimé à 1 384 120 000 km<sup>3</sup> dont seul 0,26% sont de l'eau douce directement exploitable. On estime qu'il y a théoriquement, l'eau douce suffisamment pour alimenter quelques 20 milliards d'habitants. Malheureusement elle n'est pas répartie de façon égale, comme en témoignent les vastes régions arides et semi-arides (**Kettab, 2000**).

L'Algérie est un pays semi-aride, voire Aride (200 à 400 mm) et les ressources en eau sont faibles, irrégulières, et localisées dans la bande côtière, l'apport total des précipitations serait de l'ordre 100 milliards de m<sup>3</sup> d'eau par an dont 12,4 milliards de m<sup>3</sup> en écoulements superficiels, et seuls 6 milliards de m<sup>3</sup> sont mobilisables en tenant compte des sites favorables techniquement (Hydrologie, topographie, géologie) (**Kettab,2000**).

##### ➤ **Les eaux souterraines**

Ces ressources sont évaluées à 1.8 milliards de m<sup>3</sup> dans le Nord de l'Algérie. Les potentialités du Sud sont estimées à 60000 milliards de m<sup>3</sup>.Ces dernières sont difficilement exploitables et renouvelables; et 4 à 5 milliards de m<sup>3</sup> sont exploitables annuellement (**Kettab,2000**).

### 1.3.3.2 Eaux non conventionnelles

#### ➤ Les eaux usées

Les réseaux d'assainissement totalisent 17000 km (11500 en milieu urbain et 5500 km en milieu rural) en 1994. Le taux de raccordement en milieu urbain est supérieur à 80%. Le volume rejeté annuellement est évalué à plus 600 millions de m<sup>3</sup>. Une cinquantaine de stations d'épuration ont été réalisées en Algérie avec une capacité de l'ordre de 4 millions habitants équivalents; à l'horizon 2000, le nombre serait porté à une soixantaine de stations avec une capacité de l'ordre de 5.2 millions équivalent habitants. Il est à noter que près de 95% de ces stations sont à réhabiliter.) (Kettab, 2000).

#### ➤ Les eaux saumâtres/salées

L'Algérie, pays méditerranéen, à 1200 km de côtes, ce qui laisse présager d'énormes possibilités. La quantité d'eau dessalée en Algérie est estimée à 60 millions m<sup>3</sup> (dans le monde arabe 4537 millions de m<sup>3</sup>) (Kettab, 2000).

## 1.4 Estimation des besoins en eau des cultures

### 1.4.1 Evapotranspiration potentielle

L'ETP (potentielle), appelée aussi ET réf, qui est l'évapotranspiration d'un couvert standard en alimentation hydrique non limitant (gazon irrigué - de fétuque, ray-grass ou autre en fonction du climat). Ce concept représente la demande en eau de l'air pour atteindre sa saturation. De plus en plus que l'air est sec de plus en plus que cette demande augmente. Elle varie en fonction de la variation des principaux paramètres climatiques tel que la température, le vent, le rayonnement, l'humidité de l'air ainsi que que la position géographique.

L'évapotranspiration potentielle est déterminée par le bilan énergétique de surface de ce couvert et peut être évaluée à partir des données climatiques (Amigues et al, 2006).

### 1.4.2 Evapotranspiration maximale

L'ETM (maximale), qui est définie pour un climat et une végétation donnés en conditions d'eau non limitée ; elle exprime donc la demande en eau exercée sur ce couvert végétal ; elle est inférieure à l'ETP tant que le couvert végétal n'est pas couvrant. Elle équivaut à l'ETP dès que la surface foliaire atteint 3 m<sup>2</sup> / m<sup>2</sup> au sol et peut même être



légèrement supérieure (de l'ordre de 10%) pour des végétations développées et irriguées (Amigues et al, 2006).

L'ETM est calculée par la formule :

$$ETM = kc \times ETP \quad (1.3)$$

### Conclusion :

L'irrigation des cultures d'une façon économique et efficace nécessite une bonne connaissance préalable des propriétés hydrodynamiques du sol d'une part et les besoins en eau plantes d'autre part. La détermination des besoins en eau des cultures pour des fins d'irrigation passe par une connaissance suffisante des conditions climatiques dans la région en question. Ceci sous entend donc une disponibilité de longues séries de données climatiques fiables, représentatives à pas de temps journalier.

D'autre part, une bonne évaluation des différentes ressources et potentialités hydriques du pays permet de bien répartir les quantités d'eau sur les différents secteurs d'une manière équitable dans un contexte concurrentiel tenant compte des priorités accordées à chaque secteur.

## **Chapitre II Évaluation de la qualité de l'eau d'irrigation**

## Introduction

L'évaluation de la qualité de l'eau d'irrigation sur le plan physico-chimique se fait sur la base de calcul et d'interprétation des paramètres de base et spécifiques lié à sa salinité ainsi que son alcalinité en faisant ressortir ses degrés d'impact sur la plante et le sol agricole simultanément.

## 2.1 Paramètres et normes de qualité

### 2.1.1 Température de l'eau

La température de l'eau d'irrigation agit sur la température du sol et par conséquent sur la germination et la croissance des plantes. Des températures très basses retardent énormément la germination des graines lors des semis et diminue la vitesse de croissance du cycle végétatif.

### 2.1.2 Potentiel d'Hydrogène

Le pH exprime de la concentration en ions hydrogène de la solution (H<sup>+</sup>).

Selon **Biase (2000)**, la classification du potentiel hydrogène est synthétisée dans le tableau 01.

**Tableau01:** Classification du potentiel hydrogène

pH $\leq$ 5	Fortement acide
5 < pH $\leq$ 6	Franchement acide
6 < pH $\leq$ 6,6	Légèrement acide
6,6 < pH $\leq$ 7,4	Neutre
7,4 < pH $\leq$ 7,8	Légèrement alcalin ou légèrement basique
pH > 7,8	Alcalin ou basique

Le pH Influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation. Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 5,5 et 6,5 afin de garantir une solubilité optimale de la plupart des micro-éléments. Le pH de l'eau peut être abaissé en faisant recours à l'utilisation des acides, principalement l'acide sulfurique à cause de sa grande popularité (**Couture, 2004**). Cependant l'intervalle du pH de l'eau acceptable pour l'irrigation est compris entre 6,5 et 8 (OMS, 2006), proche de l'intervalle de 6,5 à 8,4 (**Ayers et Wescot, 1985**).

### 2.1.3 Conductivité électrique

Les sels de calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), de magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), de Sodium ( $\text{Na}^+$ ), les chlorure ( $\text{Cl}^-$ ), les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) et les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) sont considérées comme les principaux sels responsables de la salinité de l'eau. Une solution très salée inhibe fortement principaux sels responsables de la salinité de l'eau et peut causer des brûlures racinaires (Couture, 2004). La salinité de l'eau peut s'exprimer soit par la qualité de matière dissoute (TDS) soit en conductivité électrique (CE).

La conductivité électrique est exprimée en milli siemens/centimètre (mS/cm). L'ancien nom de cette unité est le mho. Un mmho/cm est l'équivalent de 1 mS/cm qui est l'équivalent à l'unité internationale qui est le déci siemens par mètre (dS/m) et en moyenne, à 640 ppm de sel.

Il existe une relation d'égalité approximative ci-après entre TDS et la conductivité électrique si cette dernière est inférieure à 5 ds/m.

$$\text{TDS (mg/l)} = 640 \text{ CE (ds/m)} \quad (2.1)$$

Plusieurs auteurs ont donné une classification des eaux d'irrigation sur la base de différents intervalles de valeurs de la conductivité. Les classes sont au nombre de cinq (Tableau 02).

**Tableau 02 :** Classification de l'eau d'irrigation basée sur la concentration totale de sels, selon différentes sources.

Classes de salinité	US salinity laboratory de Riverside 1954	Thorn and Peterson 1954	Carter 1969	Ayers and Westcot 1985
	CE (dS/m)	CE (dS/m)	CE (dS/m)	CE (dS/m)
<b>C1</b>	0,1 – 0,25	< 0,25	< 0,4	< 0,75
<b>C2</b>	0,25 – 0,75	0,25 – 0,75	0,4 – 1,2	0,75 -1,5
<b>C3</b>	0,75 – 2,25	0,75 – 2,25	1,2 – 2,25	1,5 – 3,0
<b>C4</b>	>2,25	2,5 – 4,0	2,5 – 4,0	>3,0
<b>C5</b>		4,0 – 6,0		

(Ayers et Wescot,1985)

**C1** : satisfaisante pour toutes les cultures excepté les cultures très sensibles.

**C2** : généralement satisfaisante bien que quelques cultures sensibles seront affectées.

**C3** : satisfaisante pour la plupart des grandes cultures mais des conceptions de salinité vont se développer si le lessivage et le drainage ne sont pas adéquats.

**C4** : normalement non recommandée sauf si des cultures tolérantes sont cultivées, les lessivages et les drainages sont impératifs (**Ayers et Wescot, 1985**).

**Ayers et Westcot (1985)** ont proposé des classifications (tableau : 03 et 04) qui explicitent le niveau d'acceptation de l'eau pour une utilisation en irrigation, son degré de restriction en fonction de sa salinité exprimé par la conductivité électrique ou TDS.

**Tableau03** : Classification de l'eau d'irrigation en fonction de sa salinité.

Paramètre	Excellente	Bonne	Admissible	Mauvaise
<b>CE(ds/m)</b>	< 0.25	0.25 – 0.75	0.75 – 2.25	2.25 – 5
<b>TDS (mg/l)</b>	< 200	200 - 500	500 - 1500	1500 – 3000

**Tableau 04:** Degré de restriction de l'eau pour l'irrigation en fonction de sa salinité

CE (ds/m)	TDS (mg/l)	Degré de restriction
< 0.7	>450	Nul
0.7 – 3	450 – 2000	Léger à modéré
>3	>2000	Sévère

D'autres classifications de l'eau d'irrigation basées sur la conductivité électrique ainsi que son que l'évaluation de sa qualité pour l'irrigation (**Durand, 1958 ; Durand, 1960**) sont synthétisées dans les tableaux 05 et 06

**Tableau 05** : Classification basée sur la conductivité électrique

<b>Classe</b>	<b>Conductivité électrique (<math>\mu\text{mhos/cm}</math>)</b>	<b>Définition</b>
<b>C1</b>	<b><math>CE_{25} \leq 250</math></b>	eau faiblement saline utilisable pour l'irrigation de tous les sols sans précaution spéciales
<b>C2</b>	<b><math>250 &lt; CE_{25} \leq 700</math></b>	Eaux à salinité moyenne utilisable avec un lessivage modéré
<b>C3</b>	<b><math>750 &lt; CE_{25} \leq 2250</math></b>	Eaux à forte salinité inutilisables dans les sols à drainage insuffisant, les plantes cultivées devront être tolérantes aux sels
<b>C4</b>	<b><math>2250 &lt; CE_{25} \leq 5000</math></b>	Eaux très forte salinité ne convenant pas normalement pour l'irrigation dans certaines conditions elles peuvent être utilisées en mettant en œuvre des pratiques spéciales
<b>C5</b>	<b><math>5000 &lt; CE_{25} \leq 20000</math></b>	Eaux salinité exagérée, utilisé exceptionnellement pour certaines cultures.
<b>C6</b>	<b><math>CE_{25} &gt; 20\ 000</math></b>	Pour les $CE > 20\ 000 \mu\text{mhos/cm}$ toutes les eaux sont inutilisables sans traitement spécial

**Tableau 06:** Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation

Conductivité électrique (ds/m)	Concentration (g/l)	Appréciation
CE < 0.25	< 0.2	Non saline
0.25 < CE < 0.75	0.2 – 0.5	Salinité moyenne
0.75 < CE < 2.25	0.5 – 1.5	Forte salinité
2.25 < CE < 5	1.5 – 3	Très forte salinité
5 < CE < 20	3 – 7	Salinité excessive

Une classification explicite du degré de salinité (**Richard,1954**) est présentée dans le tableau 07.

**Tableau07 :** Catégories de classes.

Classe	CE ( $\mu\text{S} / \text{cm}$ )	Degré de salinité
<b>C1</b>	< 250	Basse Salinité
<b>C2</b>	250 – 750	Salinité modérée
<b>C3</b>	750 – 2250	Haute salinité
<b>C4</b>	>2250	Très haute salinité

### 2.1.4 Salinité potentielle

Selon **Durand (1958)** La salinité potentielle est calculée par la formule ci-après ; elle montre l'effet de la solubilité des sels sur la salinisation des sols, son interprétation est résumée dans le tableau 08.

$$PS = cl + \frac{SO_4^{2-}}{2} \quad (2.2)$$

**Tableau 08 :** Normes d'interprétation de la salinité potentielle

Salinité potentielle (SP)	Qualité de l'eau
< 5	Excellente à bonne
5 - 10	Bonne à nocive
>10	Nocive à insatisfaisante

### 2.1.5 Pourcentage du sodium adsorbé

La concentration de sodium dans l'eau d'irrigation est estimée par le ratio d'absorption du sodium (RAS). Le RAS décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux cations calcium et magnésium, qui eux, peuvent être tolérés en relativement grande quantité dans l'eau d'irrigation.

Voici la façon dont on calcule le RAS (le sodium, le calcium, et le magnésium sont exprimé en meq/L) (Couture, 2004).

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} \quad (2.3)$$

Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol ce qui rend un sol dur et compact lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau. La détérioration de la perméabilité des sols sableux est moins vite que celle des sols plus lourds lorsqu'ils sont irrigués avec une eau de forte teneur en sodium (Couture, 2004).

L'interprétation des classes d'eau en fonction de la teneur du sodium ainsi que l'évaluation de sa qualité en irrigation (Richard, 1954) sont représentée dans les tableaux 09 et 10.



**Tableau09:** Classification en fonction du SAR

Classe	SAR	Interprétation
<b>S1</b>	SAR<10 <b>Bas taux de sodium</b>	L'eau utilisables pour l'irrigation de presque de tous les sols.  Danger d'alcalinisation réduit, bien que certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées.
<b>S2</b>	10<SAR<18 <b>Taux moyen de sodium</b>	Le danger d'alcalinisation des sols est appréciable dans les sols à textures fins et à forte capacité d'échange, surtout dans la condition de faible lessivage. Eau utilisable sur les sols de textures grossière, ou sur les sols organiques ayant une bonne perméabilité.
<b>S3</b>	18<SAR<26 <b>Haut taux de sodium</b>	Eaux pouvant provoquer l'apparition d'une alcalinité dangereuse dans la plupart des sols, à l'exception des sols pauvres en argile. Emploi exigeant la mise en œuvre d'un aménagement spécial assurant un bon drainage et fort lessivage. L'addition de matière organique, d'amendements chimiques est souvent nécessaire.
<b>S4</b>	SAR >26 <b>Très haut taux de sodium</b>	Eaux souvent inutilisables pour l'irrigation, présentant un fort danger d'alcalinisation. Ces eaux sont utilisées pour l'irrigation, seulement si leur salinité permet l'addition de calcium ou si le sol en contient suffisamment.

**Tableau10 :** Evaluation de la qualité de l'eau d'irrigation

Classe	SAR (meq/l)	Taux de sodium	Qualité de l'eau
<b>S1</b>	<10	Faible	Excellente
<b>S2</b>	10 – 18	Moyen	Bonne
<b>S3</b>	18 – 26	Elevé	Douteuse
<b>S4</b>	>26	Très élevé	Inapproprié

### 2.1.6 Pourcentage du sodium adsorbé ajusté

Le SAR ajusté est un autre concept complémentaire défini à partir de taux d'adsorption du sodium et du résidu soda-carbonaté. Il tient compte de l'effet des carbonates / bicarbonates (**Landreau et Monition, 1977**). Il est calculé par la formule ci-après introduisant le paramètre PHc résidu soda-carbonaté. Il tient compte de l'effet des carbonates / bicarbonate (**Monition, 1969**) qui évalue la tendance de l'eau d'irrigation à dissoudre le calcaire du sol ou le faire précipité.

$$\text{SAR}_{\text{ajusté}} = \text{SAR} [1 + (8,4 - \text{PHc})] \quad (2.4)$$

$$\text{PHc} = (\text{PK}'_2 - \text{Pk}'_c) + \text{p}(\text{Ca} + \text{Mg}) + \text{pAlk} \quad (2.5)$$

Un guide d'interprétation de la qualité de l'eau d'irrigation montre l'effet combiné de la conductivité électrique ainsi que le SAR sur la perméabilité du sol ainsi que les toxicités spécifiques du sodium, chlore et le bore (**Ayers et Westcot, 1985**).

**Tableau11:** guide d'interprétation de qualité des eaux d'irrigation

Nature de problèmes	Unité	Degré de restriction d'utilisation		
		aucun	Faible et modéré	Sévère
<p><b>Salinité</b> (affecte la disponibilité en eau des cultures)<sup>2</sup></p> <p><b>CE<sub>w</sub></b></p> <p>Ou</p> <p><b>TDS</b></p> <p><b>Infiltration</b> :(affecte le taux d'infiltration de l'eau dans le sol. Evaluer en utilisant CE<sub>E</sub> ou SAR ensemble)<sup>3</sup></p> <p><b>SAR</b>= 0 – 3</p> <p>= 3 – 6</p>	<p>dS/cm</p> <p>Mg/l</p>	<p>&lt;0,7</p> <p>&lt;450</p>	<p>0,7 – 0,3</p> <p>450 – 2000</p>	<p>&gt;3,0</p> <p>&gt;2000</p>

=6 – 12		>0,7	0,7 – 0,2	<0,2
=12 – 20		>1,2	1,2 – 0,3	<0,3
=20 – 40		>1,9	1,9 – 0,5	<0,5
<b>Ions toxiques spécifiques</b> (affecte les cultures sensibles)		>2,9	2,9 – 1,3	<1,3
<b>Sodium (Na)<sup>4</sup></b>		>5,0	5,0 – 2,9	<2,9
irrigation de surface				
irrigation aspersion				
<b>Chlore (Cl)<sup>4</sup></b>				
irrigation de surface	SAR	<3	3 – 9	>9
irrigation aspersion	me/l	<3	>3	
<b>Bore (B)<sup>5</sup></b>				
<b>Miscellaneous</b> (affecte les cultures sensibles)	me/l	<4	4 – 10	>10
<b>Azote (No<sub>3</sub> - N)<sup>6</sup></b>	me/l	<3	>3	
<b>Bicarbonate (Hco<sub>3</sub><sup>-</sup>)</b>	mg/l	<0,7	0,7 – 3,0	>3,0
	mg/l	<5	5 – 30	>30
		<1,5	1,5 – 8,5	>8,5
<b>PH</b>	intervalle normal 6,5 - 8,4			

(Bulletin FAO n °29, 1985)

### 2.1.7 Alcalinité résiduelle

L'évaluation de l'alcalinité résiduelle de l'eau d'irrigation se fait à l'aide de la formule (Eaton, 1950) suivante. Elle montre l'effet de l'eau sur la structure du sol après irrigation.

$$\text{RSC} = [\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}] - [\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}] \quad (2.6)$$

Si :

$\text{RSC} < 1.25 \text{ meq/l}$ , l'eau est considérée bonne à l'irrigation

$1.25 < \text{RSC} < 2.25$ , l'eau est considérée admissible à l'irrigation

$\text{RSC} > 2.25 \text{ meq/l}$ , l'eau est considérée impropre à l'irrigation.

## 2.2 Indices de qualité spécifique

### 2.2.1 Pourcentage du sodium

Le pourcentage du sodium est donnée par la formule (Todd et Mays 1980) ci-dessous permet qualifier l'eau d'irrigation par rapport à l'effet du sodium sur les caractéristiques du sol.

$$\% \text{ Na} = \frac{\text{Na}^+ + \text{k}^+}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{k}^+} \times 100 \quad (2.7)$$

**Tableau 12** : Normes d'interprétation du % Na

% Na	Qualité de l'eau d'irrigation
< 20	Excellente
20 – 40	Bonne
40 – 60	Permissible
60 – 80	Inappropriée

(Wilcox, 1955)

### 2.2.2 Pourcentage du sodium soluble

Le pourcentage du sodium soluble, calculé avec la formule (**Todd et Mays 1980**) ci-dessous permet d'apprécier la qualité de l'eau d'irrigation par rapport à l'effet du sodium soluble sur les propriétés du sol.

$$SSP = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+} \times 100 \quad (2.8)$$

#### Normes d'interprétation

Quand :

**SSP <50**, l'eau est considérée bonne à l'irrigation.

**SSP >50**, l'eau est considérée mauvaise à l'irrigation.

### 2.2.3 Indice de Kelly

Le ratio de Kelly (KR) est calculé par la relation (**Kelly, 1963**) ci-dessous:

$$KR = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \quad (2.9)$$

#### Normes d'interprétation

Si :

**KR < 1**, l'eau est considérée bonne à l'irrigation

**KR >1**, l'eau est considérée impropre à l'irrigation

### 2.2.4 Indice de perméabilité

L'indice de perméabilité permet de montrer l'effet combiné des principaux cations avec les bicarbonates contenu dans l'eau d'irrigation sur la perméabilité du sol. Il est déterminé à l'aide de la relation (**Doneen, 1964**).

$$PI = \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+} \times 100 \quad (2.10)$$

Les concentrations sont exprimées en meq/l.

**Tableau13** : Classification de l'eau d'irrigation

IP (%)	Classe	Qualité de l'eau
Supérieur à 75%	I	Excellente
Entre 25% et 75%	II	Bonne
Inférieur à 25%	III	Inappropriée

(Doneen, 1964)

### 2.2.5 Pourcentage du magnésium

Le pourcentage du magnésium est un indice de qualité spécifique qui est donnée par la relation (Szabolcs et Darab 1964) suivante :

$$MR = \frac{Mg^{2+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \times 100 \quad (2.11)$$

Les concentrations sont exprimées en meq/l

#### Normes d'interprétation

Quand :

**MR > 50 %**, l'eau est considérée mauvaise à l'irrigation

**MR < 50 %**, l'eau est considérée bonne à l'irrigation

Selon **obiefuna (2011)**, au-delà de 50 %, l'eau devient alcaline et aura des effets néfastes sur la production des cultures.

## 2.3 Principaux diagrammes de classification de l'eau d'irrigation

### 2.3.1 Diagramme de Riverside

Le digramme de Riverside (**Richard, 1954**) est utilisé pour faire ressortir les classes auxquelles appartient l'eau d'irrigation (figure 01). Il permet de faire une première classification des eaux selon leur aptitude à l'irrigation. Si les eaux de la catégorie 1 peuvent être utilisées sur presque n'importe quel sol et pour n'importe quelle culture, celles des catégories 2 et 3 doivent être utilisées avec précaution, et celles de la catégorie 4 doivent pratiquement toujours être rejetées.

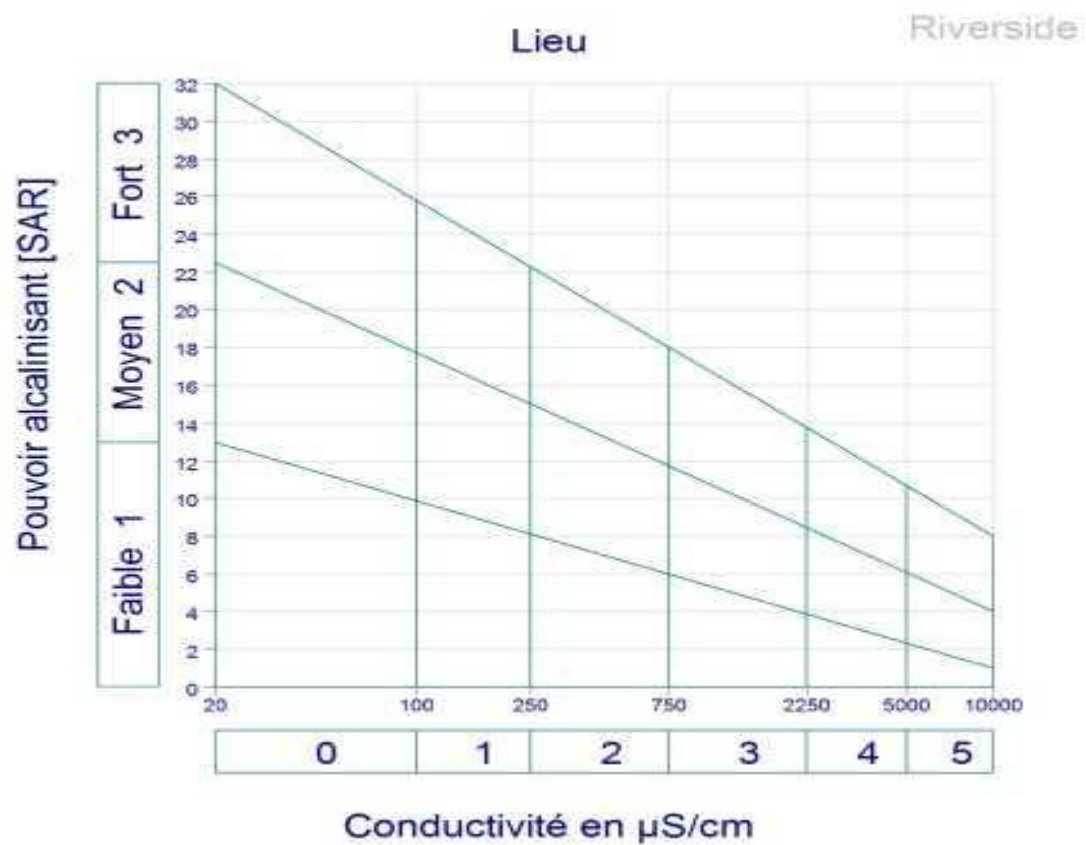


Figure 02: Diagramme de Riverside

### 2.3.2.2 Diagramme de Wilcox

Ce diagramme (Wilcox, 1955) est un outil pratique de classification de l'eau d'irrigation en différentes catégories (Figure 02) selon son aptitude à l'irrigation.

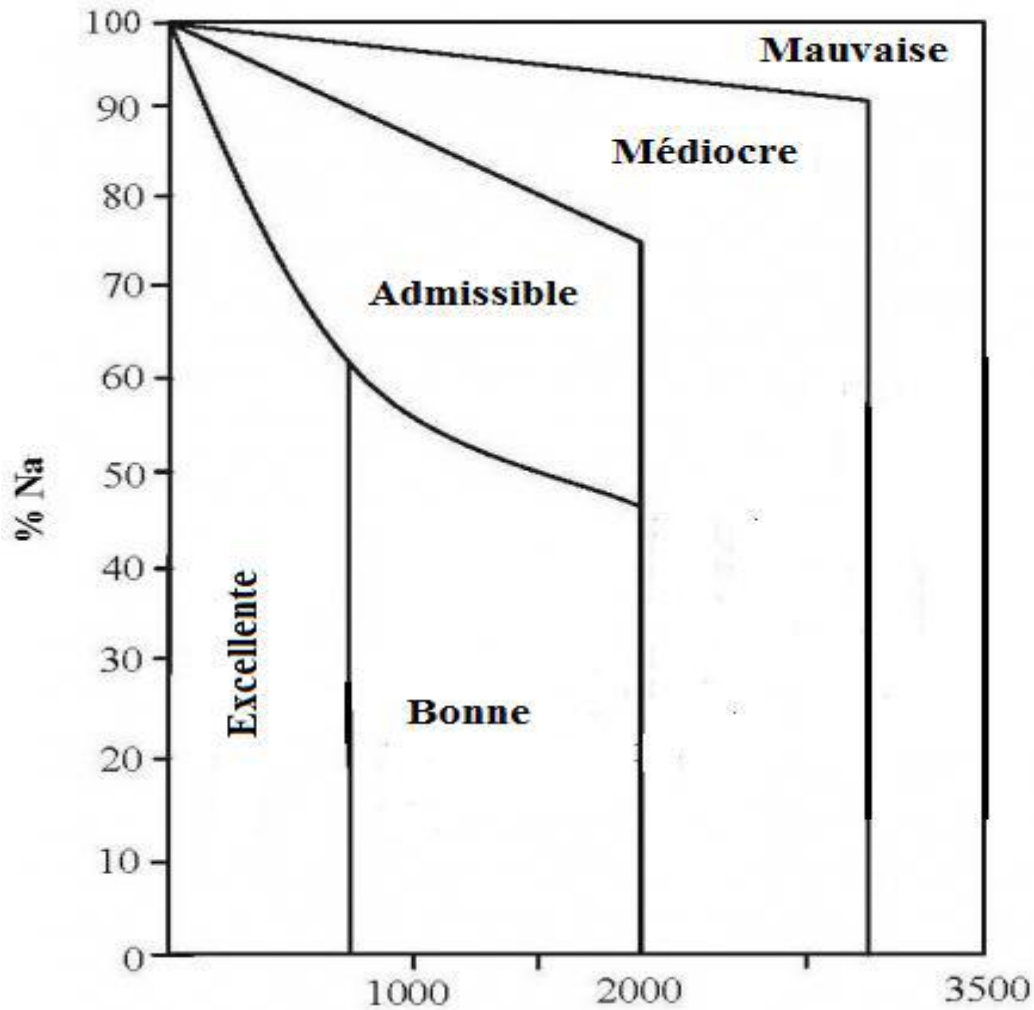


Figure 03 : Diagramme de wilcox

## 2.4 Eléments toxiques

Certains éléments de l'eau d'irrigation peuvent être directement toxiques à la culture. Le bore, les chlorures et le sodium constituent les principaux éléments potentiellement dangereux de l'eau. Ils peuvent être inactivés par des réactions chimiques ou bien s'accumuler dans le sol jusqu'à atteindre des niveaux de toxicité pour les plantes (Couture, 2006).

- Les excès de **bore** sont presque tout le temps associés à des puits très profonds caractérisés une forte salinité. Une eau d'irrigation contenant plus de 1 ppm de bore (B) devient toxique pour les cultures sensibles comme l'ail, l'oignon, les haricots et les fraises.
- Des concentrations élevées en **chlorures** en eau d'irrigation peuvent causer des dommages surtout en cas d'aspersion.



- Une eau d'irrigation chargée en **sodium** provoque une toxicité spécifique chez les cultures qui se manifeste par des brûlures au niveau des tissus et des bordures des feuilles. Pour parer à ce problème de toxicité, il est conseillé de fournir des amendements gypseux au sol.

Des niveaux de toxicité spécifiques (**Morris et Devitt ,1991**) sont présentés dans le tableau 14

**Tableau14:** Niveaux de toxicité des ions spécifiques (meq/l)

	<b>Nul</b>	<b>Leger à modéré</b>	<b>sévère</b>
<b>Bore</b>	< 1	1 – 3	>3
<b>Chlorure</b>	< 4	4 – 10	>10
<b>Sodium</b>	< 3	3 – 9	>9

## Conclusion

Une évaluation complète de la qualité de l'eau d'irrigation pour son utilisation sans risque sur la plante et le sol devait faire intervenir l'ensemble des paramètres cités dans ce chapitre. Ces paramètres concernent la qualité de l'eau sur le plan de la salinité, l'alcalinité et autres indices spécifiques complémentaires qui montrent en détail l'action de l'eau et ses répercussions sur le sol et la plante.

**Chapitre III**  
**Matériel et Méthode**

## Introduction

Une présentation de la zone d'étude au niveau du découpage administratif, répartition pluviométrique ainsi que les ressources en eau suivie de la méthodologie d'échantillonnage et d'analyse de l'eau des deux barrages de Boughzoul et Ladrat au laboratoire adoptées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques(ANRH) de Soumaâ est réalisée dans ce chapitre.

On y trouve également les méthodes d'évaluation de la qualité physicochimique liée à la salinité. L'alcalinité ainsi des indices spécifiques. Cette caractérisation est basée sur le calcul et interprétation des différents paramètres.

## 3.1 Matériels

### 3.1 .1 Présentation de la zone d'étude

#### 3.1.1.1 Situation administrative

La zone d'étude où sont situés les deux barrages de Boughzoul et Ladrat comporte les deux communes de Boughzoul et de Sidi Naamane.

La commune de Boughzoul est localisée dans la Daïra de Chahbounia au sud-ouest de la wilaya de Médéa à : 90 km de la ville de Médéa. 35 km au sud de Ksar El Boukhari.

30 km au nord d'Ain Oussara. Sa superficie est de 448 km<sup>2</sup> et d'une population 13.617 habitants en 2008. Elle se situe dans région des haut-plateaux à plus de 650 mètres d'altitude. Une grande partie de son territoire est occupée par le barrage qui porte son nom. Inauguré en 1935 dans lequel se jette l'oued Nahr-Ouassel et d'où démarre l'Oued Chlef.

La commune de **Sidi Naamane** est située dans le tell central entre l'Atlas Blidéen et les plaines de Beni Slimene à : environ 100 km au sud d'Alger. 48 km au sud-est de Médéa. Environ 32 km à l'Est de Berrouaghia. 72 km au sud-est de Blida et 115 km à l'Est de Ain Defla et 79 km à l'ouest de Bouira.

### 3.1.1.2 Pluviométrie de zone

#### 3.1.1.2 .1 Fluctuation pluviométrique interannuelle

Les fluctuations pluviométriques enregistrées durant la période (1990-2015) sont représentées dans le tableau 15.

**Tableau 15** : fluctuations pluviométriques enregistrées de la période (1990-2015).

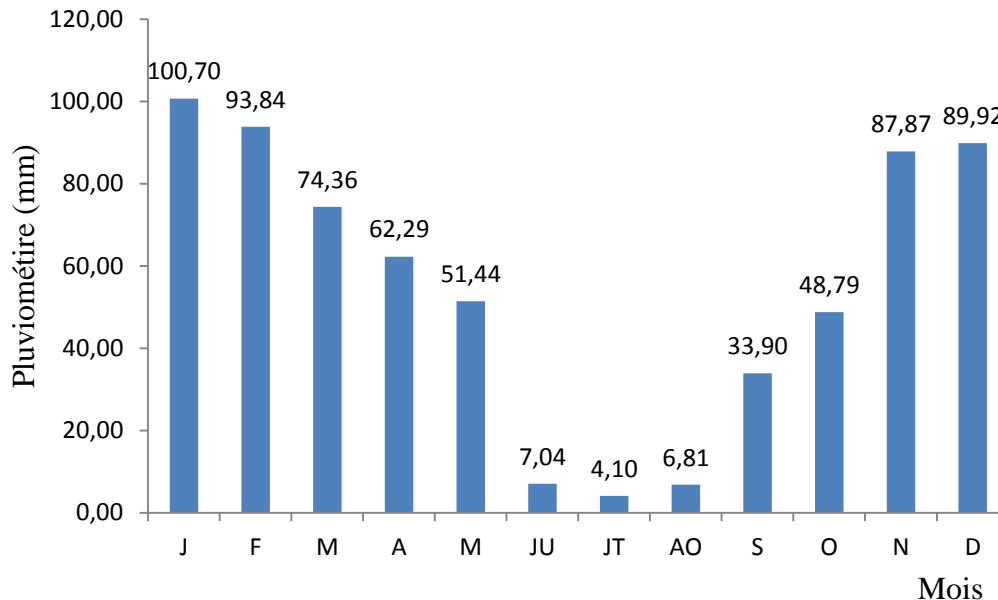
année	Pluviométrie (mm)	Année	Pluviométrie (mm)
1990	610,7	2003	778,5
1991	689	2004	479,1
1992	445,1	2005	762,7
1993	450,8	2006	817,4
1994	713,5	2007	604,6
1995	751,4	2008	835,2
1996	372	2009	687,1
1997	780,2	2010	833
1998	590,7	2011	812,5
1999	377,1	2012	681,7
2000	626,3	2013	562,2
2001	380,5	2014	902,9
2002	859,1	2015	784,3

Source ANRH de Médéa

On constate que les pluviométries inter-annuelles sont très irrégulières au cours de cette période qui ont atteint un maximum de 902,9 mm en 2014 et un minimum de 372 mm en 1996 faisant un écart très important de 530,9 mm. Ces valeurs extrêmes sont très éloignées de la pluviométrie moyenne enregistrée qui est de 661,06 mm. Ceci montre d'une part la nécessité et l'importance de faire recours à l'eau souterraine et à celle stockée et au niveau des barrages ainsi que même aux transferts d'eau vers à partir d'autre point d'eau pour combler les déficits aléatoires.

### 3.1.1.2.2 Répartition pluviométrique mensuelle

Les répartitions pluviométriques mensuelles moyennes en mm de la période (1990-2015) sont illustrées sur la **figure 04**



**Figure 04:** Répartitions pluviométrique mensuelle moyenne de la période (1990-2015)

On constate que durant les mois de printemps et d'été les pluies sont faibles. Elles sont insuffisantes pour répondre aux besoins des cultures exigeantes en eau tel que les cultures maraîchères d'où la nécessité de faire recours à l'irrigation.

### 3.1.1.3 Site expérimental

#### 3.1.1.3.1 Localisation des barrages

Les deux barrages de Boughzoul et Ladrat qui ont fait l'objet d'étude sont situés sur la carte de localisation avec toutes les communes administratives de la wilaya de Médéa (**figure 05**).

#### Coordonnées géographiques

##### ➤ Barrage de Boughzoul

Le barrage de Boughzoul est le principal ouvrage hydraulique dans la wilaya de Médéa, il est localisé à 80 km environ au sud-est de la wilaya de Médéa est à 7 km au Sud – Est de la ville de et 20 km de Boughzoul la ville k'sar Boukhari, Il a été construit en 1935 au

sein du bassin Dayet El karfa faisant partie des haut plateaux centraux en milieu steppique caractérisés par un climat semi-aride, Sa superficie est de 24500 ha, ses coordonnées géographiques sont :

### Barrage Boughzoul

Latitude : 35° 41' Nord

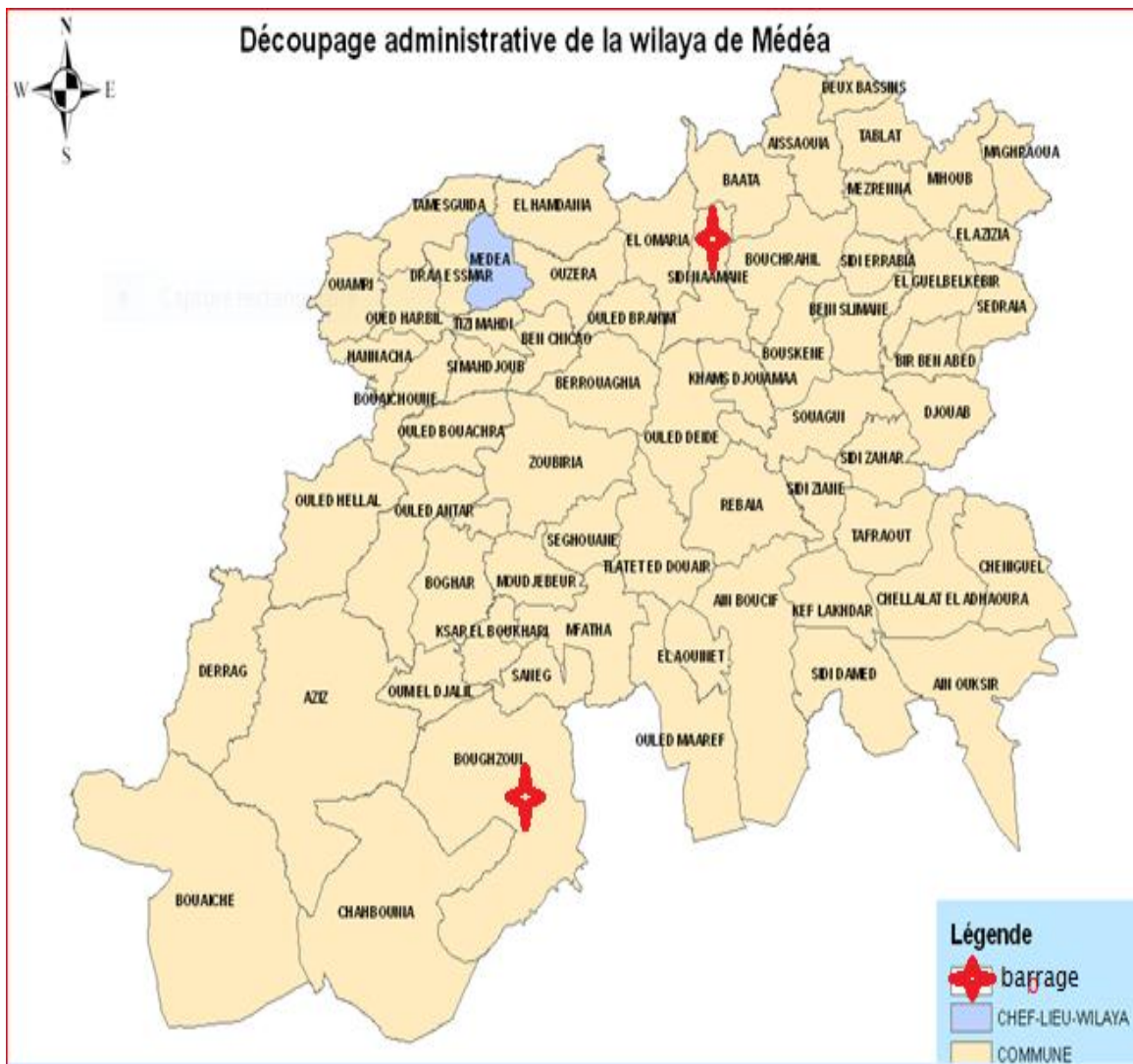
Longitude : 02° 47' Est

Latitude : 635 m

### Barrage Ladrat

Latitude : 36° 24' Nord

Longitude : 03° 06' Est



**Figure 05 :** Découpage administrative et présentation des communes De Boughzoul et Sidi Naamane

### 3.1.1.3.2 Caractéristiques générales

D'après la direction des ressources en eau de la wilaya de Médéa, les principales caractéristiques relatives aux deux barrages sont synthétisées dans le tableau 16.

**Tableau 16** : Caractéristiques générales

<b>Barrage</b> <b>Caractéristique</b>	<b>Barrage Boughzoul</b>	<b>Barrage Ladrat</b>
Oued d'Alimentation	l'oued Nahr-Ouassel et d'où démarre l'Oued Chlef	Ladrat et Adhame
Destination	C'est barrage de décantation et érecteur de crue il est destiné à transférer l'eau vers barrage Ghrib	L'irrigation
Aire de bassin versant	90,58 km <sup>2</sup>	73km <sup>2</sup>
Débit annuel moyenne de l'oued	/	175 m <sup>3</sup> /s
Débit instantané de la plus forte crue	/	695 m <sup>3</sup> /s
Envasement annuelle	/	200 t/m <sup>3</sup>
volume régularisé	/	4,7 Hm <sup>3</sup>
Capacité initiale	50Hm <sup>3</sup>	10 Hm <sup>3</sup>
Capacité actuel	20,27 Hm <sup>3</sup>	8,47 Hm <sup>3</sup>
Taux d'envasement	Encours de surélévation	10 %
Superficie irriguée	Transfert vers barrage Ghrib	480 ha en 2018-2019 750 ha en 2019-2020

### 3.1.1.4 Ressources en eau de surface de la wilaya de Médéa

#### ➤ Hydrographie

Ressources en eau superficielles = 60,29 Hm<sup>3</sup>

- Ressources en eau souterraines

- ✓ 355 forages d'un volume exploité = 17,60 Hm<sup>3</sup>
- ✓ 95 puits d'un volume exploité = 1,5 Hm<sup>3</sup>

#### ➤ Barrages avec Capacité :

1. Barrage Boughzoul capacité 50 Hm<sup>3</sup> écrêter les crues au niveau de barrage Ghrib situé à l'aval.
2. Barrage Ladrat à Sidi Naamane capacité 10 Hm<sup>3</sup> Pour l'irrigation des terres agricole.
3. Barrage Bani Slimane il aura une capacité totale de 28,7 Hm<sup>3</sup> destiné à l'irriguer environ 2000 hectares de terres agricoles.
  - ✓ 50 retenues collinaires d'une capacité totale de 3,827 Hm<sup>3</sup> destinées à l'irrigation
  - ✓ 22 Petits barrages d'une Capacité totale d'environ 22,17 Hm<sup>3</sup> (02 déclassés et 1 barrage envasé) destiné à l'irrigation et l'AEP

#### ➤ Transferts

- ✓ Alimentation en eau potable à partir du barrage de Ghrib avec un volume annuel estimé à 11 Hm<sup>3</sup>
- ✓ Un transfert des mérites de Birin, Djelfa avec un volume annuel de 6 Hm<sup>3</sup>
- ✓ Conversion du barrage Kodia d'Asdoun d'une taille annuelle de 72 Hm<sup>3</sup>

#### ➤ Principaux oueds

- ✓ Oued Cheliff
- ✓ Oued Yesser
- ✓ Oued Laham
- ✓ Oued Chiffa

#### ➤ Sources naturelle 235 Hm<sup>3</sup> d'un volume exploité 3,7 Hm<sup>3</sup>/an

#### ❖ Perspectives

- Réalisation d'un Barrage sur Oued Sidi Ali Commune d'Ouzera.
- Réalisation d'un Barrage sur Oued Boukmouri Commune d' Aziz.
- Réalisation d'un Barrage sur Oued Zerguine Commune de Meudjbeur.
- Réalisation d'un Barrage sur Oued El Khneg Commune de Sidi Ziane.

(Source DRE Médéa 2020)



➤ **Tableau 17:** Barrages en exploitation dans la wilaya de Médéa

Nom de l'ouvrage	Commune	Capacité totale initiale (Hm <sup>3</sup> )	Capacité totale actuelle (Hm <sup>3</sup> )	Hauteur (m)	Volume régularisé (Hm <sup>3</sup> )	Impact	Date d'achèvement (mise en eau)	Gestionnaire et exploitant (association d'irrigation)	observation
Ladrat	Sidi-Naamane	10	8,47	44	4,7	irrigation	1990	EL-FETH	Taux d'envasement 10%
Boughzoul	Chahbounia	50	20,270	/	/	écréteur de crue	1995	ANBT	En cours de surélévation
Oued malah (Béni-Slimane)	Souagui	28,7	/	66	6,9	Irrigation des terres agricoles de la plaine de Béni-Slimane	2018	ANBT	/
Ghrib	Djendel	280	185	/	/	AEP Médéa Berrouaghia et irrigation haut Chellif	1937	ANBT	Trèsensvasé =53%

(Source : DRE Médéa, 2020)

➤ **Tableau 18** : Petit barrage en exploitation

Nom de l'ouvrage	Commune	Superficie du B. V (Km <sup>2</sup> )	Hauteur (m)	Capacité totale (Hm <sup>3</sup> )	Impact	Date d'achèvement	état
Chabat Defla	Ouled Brahim	3,77	19,00	0,210	Irrigation	1984	En exploit
Chabet Drabine		3,50	17,00	0,170	Irrigation	1986	En exploit
Oued Ben Loulou	Bouskène	10,00	15,00	0,307	Irrigation	1984	déclassé
Oued Touila	Zobiria	32,25	21,00	2,300	Irrig+ AEP de Seghouine	1988	En exploit
Oued Ben Ziane		16,25	21,00	1,700		1997	En exploit
Oued Halleune		22,50	18,00	1,500	IRRIG+ AEP de Moudjebeur	1990	En exploit
Oued Aroua	Moudjebeur	43,85	20,00	1,400	Irrig+ AEP de Moudjebeur	2004	déclassé
Oued Kheneg Mellussa	Tletet Des Douairs	21,00	21,50	1,000	Irrig+ AEP de Tletat des Douairs	2004	En exploit
Oued R'hob	Rebaia	35,70	17,00	0,900	AEP de Rebaia	2004	En exploit
Oued El Hammam	Sedraia	36,70	23,00	3,000	AEP de ELAzizia Maghraoua.	2005	En exploit

					Mihoub Geulb El kebir		
Oued Maathma	Sidi Ziane	15,00	20,00	0,600	Irrigation	2005	En exploit
Oued Boulardjem	Djouab	12,20	18,15	0,555	Irrigation	1992	En exploit
Oued Mzssai	El Azizia	10,60	20,00	0,630	Irrigation	1990	ensasé
Oued Noual	Sanng	7,00	15,00	0,420	Irrigation	2004	En exploit
Oued Mezguid	Derrag	9,00	18,50	0,600	Irrig+ AEP de Derrag	2005	En exploit
Oued Bouslisset		10,00	20,00	0,900	AEP de kherbet siouf	2009	En exploit
Oued Fates	Sept Aziz	27,00	23,00	2,00	AEP de Oum Djellil	2007	En exploit
ChabetT'sania	Chellalet El Adaoura	13,00	22,00	2,00	Irrigation	2008	En exploit
Chabet Sfissifa	Ain Boucif	8,00	20,00	0,700	Irrigation	2009	En exploit
Oued Sdir	El Aouinet	6,21	15,00	0,45	Irrigation	2010	En exploit
Oued Arbia	Mesghana	15,00	22,00	0,625	Irrigation	2009	En exploit
Oued Boutaiba	Maghraoua	8,97	17,00	0,206	Irrigation	2015	En exploit

(Source :DRE Médéa, 2020)

## 3.2 Méthode des d'étude

### 3.2.1 Echantillonnage de l'eau

Les échantillons d'eau à partir des deux barrages sont effectués régulièrement chaque mois par l'agence nationale des ressources en eau (ANRH) dans le but d'analyse au niveau du laboratoire à Blida (Soumaâ). Les analyses portent sur les paramètres physico-chimiques. Les prélèvements sont réalisés manuellement à l'aide d'un préleveur attaché à une corde afin de fixer la profondeur de prélèvement. Les échantillons d'eau sont versés immédiatement dans des bouteilles en polyéthylène de volume d'un litre nettoyées préalablement avec de l'eau de barrage. Les échantillons sont transportés dans une glacière à 4°C pour éviter les effets externes sur les paramètres physiques et chimiques de l'eau. Les échantillons seront ensuite conservés au froid au sein d'un réfrigérateur au niveau du laboratoire jusqu'à la procédure aux analyses.

### 3.2.2 Mesure et calcul des paramètres de qualité

#### ➤ Température de l'eau

La mesure de la température de l'eau en °C a été réalisé in situ en utilisant un multi paramètre portable. La lecture de la valeur de la température est faite après une immersion de 10 minutes de la sonde à environ 5cm de profondeur.

#### ➤ Conductivité électriques (CE)

La conductivité électrique exprimée en est mesurée à l'aide d'un conductimètre de laboratoire. L'appareil est préalablement étalonné avec des solutions de chlorure de potassium. Après rinçage répété de la tête de la sonde avec de l'eau distillée, cette dernière est plongée dans le récipient contenant de l'eau de l'échantillon en question. La valeur lue est standardisée par la suite à la température de référence de 25°C.

#### ➤ Potentiel d'hydrogène (pH)

Le PH est mesuré à l'aide d'un PH mètre modèle (WTW ph315i/SET). L'électrode est plongée à environ de 8 à 10 cm de la surface dans l'eau contenu dans la bouteille

### 3.2.3 Analyses au laboratoire

Les analyses de l'eau au laboratoire sont effectuées selon la méthode de Rodier et al 2009. Les analyses ont portées sur plusieurs paramètres physico-chimiques. Nous citons ci-après uniquement ceux qui concernent la présente étude : les éléments suivants :

#### 3.2.3.1 Cations

##### ➤ Calcium (Ca)

Le calcium est dosé par la méthode titre métrique à l'EDTA basée sur la neutralisation d'un volume d'eau connue par un acide NaOH en présence d'un indicateur coloré le murexide, la solution prend une teinte rouge ( $\text{Ca}^+$ ). La valeur de la concentration du Calcium est exprimée en (mg/l).

##### ➤ Magnésium (Mg)

Les ions de magnésium sont dosés par complexométrie (E,D,T,A). L'indicateur coloré ajouté à la solution tampon est le NET. La solution prend une teinte rose ( $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ ). Les concentrations de l'élément échangeable du Magnésium ont déterminées par différence entre la dureté totale et calcique.

$$\text{Dureté Magnésienne (mg/l)} = [(\text{D.T}) - (\text{D.Ca})] \dots (\text{mg/l}) \quad (3.1)$$

##### ➤ Sodium ( $\text{Na}^+$ ) et Potassium ( $\text{k}^+$ )

Les analyses sont réalisées sur une solution étalon de  $\text{Na}^+$  et de  $\text{k}^+$  permettant d'effectuer une lecture de la valeur d'absorbance, Au débit de chaque mesure, une mise à zéro de l'écran est réalisée au moyen d'un échantillon d'eau distille, Le dosage du sodium et de potassium est déterminé directement par spectromètre à flamme, Les résultats sont exprimés en mg/l.

#### 3.2.3.2 Anions

##### ➤ Chlorures

Le dosage des chlorures est effectué par la méthode colorimétrique. En présence d'ions chlorures, le thiocyanate mercurique réagit par double décomposition.



Il se forme le chlorure mercurique insoluble et il y a libération d'ions sulfocyanure, qui en présence d'ions ferriques donne une coloration rouge intense, proportionnelle aux ions SCN et donc aux ions  $\text{Cl}^-$ . Les résultats sont exprimés en mg /l.

### ➤ Nitrates

Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) sont dosés par spectrophotométrie d'adsorption selon la méthode décrite par Rodier. Cette méthode est concrétisée par système de spectrophotométrie lié à un ordinateur permettant d'afficher les valeurs de concentration.

### ➤ Carbonates et bicarbonates

Le dosage des carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) se fait par acidimétrie à l'aide d'une solution d'acide sulfurique  $\text{H}_2\text{SO}_4$  à 0,02N en présence de l'indicateur coloré le vert de bromocrésol et phénolphtaléine dans la solution des carbonates.

## 3.2.3.2 Calcul des paramètres de qualité de l'eau d'irrigation

### 3.2.3.2.1 Taux de matière dissoute (TDS)

La salinité totale d'une eau correspond au total des cations et des anions présents, exprimés en mg/l. La TDS est calculée par la relation suivante convenant aux valeurs de conductivités électriques déterminés qui sont inférieures à 5 dS/m dans notre cas.

$$\text{TDS (mg/l)} = 640 \times \text{CE (ds/m)} \quad (3.3)$$

### 3.2.3.2.2 Pourcentage Sodium Adsorbé

Le pourcentage du sodium adsorbé (SAR) est un paramètre de qualité principal. Il exprime le rapport du sodium à la somme des cations: calcium et

magnésium. Il permet la classification de l'eau d'irrigation liée aux risques de sodium. Son calcul se fait à l'aide de la formule (**Richard, 1954**) suivante:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} \quad (3.4)$$

### 3.2.3.2.3 Pourcentage du sodium adsorbé ajusté (SAR<sub>aj</sub>)

Le SAR ajusté est un paramètre de qualité qui permet de tenir compte de la mise en équilibre de la solution avec la calcite. Le pourcentage du sodium adsorbé ajusté (SAR<sub>aj</sub>) est calculé à l'aide de la formule suivants: (U,S salinity laboratory).

$$SAR_{aj} = SAR [1 + (8,4 - PHc)] \quad (3.5)$$

Où :

Na, Ca et Mg sont exprimés en meq/l.

Le PHc est calculé à l'aide de la relation dessous

$$PHc = (pk'_2 - pk'_c) + p(Ca + Mg) + p(Alk) \quad (3.6)$$

(pk'<sub>2</sub>): log négative des 2 constantes de dissociation de l'eau

(pk'<sub>c</sub>): produit de solubilité de CaCO<sub>3</sub>

p (Ca + Mg): logarithme décimal des concentrations de la Somme des cations

p (Alk): logarithme décimal des concentrations de la somme des carbonates et bicarbonates.

Le PHc représente un PH théorique, calculé de l'eau d'irrigation en contact avec de la chaux et en équilibre avec le CO<sub>2</sub> du sol.

### 3.2.3.2.4 Pourcentage du sodium dissous (SSP)

Le Pourcentage du sodium soluble est donné par la formule suivante:

$$SSP = \frac{(Na^+)}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+)} \times 100 \quad (3.7)$$

### 3.2.3.2.5 Alcalinité résiduelle (RSC)

L'alcalinité résiduelle indique le pouvoir de l'eau à neutraliser les acides. Elle est calculée à l'aide de la formule (Eaton, 1950) suivante :

$$RSC = (CO_3^- + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad (3.8)$$

### 3.2.3.2.6 Indice de Kelly (KR)

L'indice de Kelly exprime le rapport sodium aux cations : calcium et magnésium. Il est calculé à l'aide de la formule suivante:

$$KR = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \quad (3.9)$$

### 3.2.3.2.7 Indice de perméabilité (PI)

L'indice de perméabilité est calculé à l'aide de la formule suivante:

$$PI = \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+} \times 100 \quad (3.10)$$



## **Chapitre IV Résultats et discussion**

## Introduction

Les résultats d'évaluation de l'aptitude physico-chimique des eaux des barrages de Boughzoul et Ladrat à l'irrigation des cultures ainsi que leur impact sur le sol est réalisée à travers la détermination de l'ensemble des paramètres de qualité et leurs interprétations en faisant référence aux normes internationales. Il s'agit donc de la température, pH, salinité, PHc, alcalinité et indices spécifiques de qualité avec les classifications de l'eau suivant Riverside et Wilcox.

### 4.1 Evaluation de la qualité des eaux des barrages

#### 4.1.1 Concentrations en principaux éléments chimiques

Les concentrations chimiques en principaux cations et anions des eaux des deux barrages sont représentées successivement dans les tableaux 19, 20, 21 et 22.

**Tableau 19:** Concentrations (mg/l) de l'eau du barrage de Boughzoul en principaux cations

année	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
<b>2016</b>	251,09	95,11	270,50	13,00
<b>2017</b>	173,35	100,19	339,20	8,76
<b>2018</b>	164,49	63,02	207,00	8,71
<b>moyenne de la période (2016-2018)</b>	<b>196,31</b>	<b>86,11</b>	<b>272,23</b>	<b>10,16</b>

**Tableau 20:** Concentrations (mg/l) de l'eau du barrage de Ladrat en principaux cations

année	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
<b>2017</b>	40,50	21,68	74,00	4,48
<b>2018</b>	55,99	25,58	74,50	6,41
<b>2019</b>	56,79	22,85	59,83	5,36
<b>Moyenne de la période (2017-2019)</b>	<b>51,09</b>	<b>23,37</b>	<b>69,44</b>	<b>5,41</b>

**Tableau 21:** Concentrations (mg/l) de l'eau du barrage de Boughzoul en principaux anions

année	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
<b>2016</b>	0,00	112,85	1,50	428,67	809,72
<b>2017</b>	0,00	103,70	2,06	390,60	835,60
<b>2018</b>	4,29	117,64	2,24	268,86	580,21
<b>moyenne de la période (2016-2018)</b>	<b>1,43</b>	<b>111,40</b>	<b>1,93</b>	<b>362,71</b>	<b>741,84</b>

**Tableau 22:** Concentrations (mg/l) de l'eau du barrage de Ladrat en principaux anions

année	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
<b>2017</b>	0	154,79	2,07	99,83	73,17
<b>2018</b>	0,00	205,88	3,92	101,92	81,17
<b>2019</b>	8,75	175,88	4,64	92,83	80,50
<b>moyenne de la période (2017-2019)</b>	<b>2,92</b>	<b>178,85</b>	<b>3,54</b>	<b>98,19</b>	<b>78,28</b>

## 4.2 Détermination des paramètres de qualité des eaux

### 4.2.1 Température

Les valeurs extrêmes minimales et maximales de La température de l'eau mesurées au niveau des barrages de Boughzoul et Ladrat en hiver et l'été sont représentées dans les tableaux 23 Les données mensuelles détaillées de l'année entière sont indiquées dans les tableaux 01 et 02 en annexe.

**Tableau 23** : Valeurs moyennes de la température de l'eau en °c des barrages de Boughzoul et Ladrat.

<b>Boughzoul</b>			<b>Ladrat</b>		
<b>Année</b>	<b>Minimum (hiver)</b>	<b>Maximum (été)</b>	<b>année</b>	<b>Minimum (hiver)</b>	<b>Maximum (été)</b>
<b>2016</b>	-	-	<b>2017</b>	7,9	27,8
<b>2017</b>	06,0	30,7	<b>2018</b>	8,6	29
<b>2018</b>	10,3	27	<b>2019</b>	11,0	30,0

Des écarts importants de température entre l'hiver et l'été allant jusqu'à 24° C sont enregistrés. On constate que la température de l'eau varie nettement en fonction des saisons. En effet les racines sont très sensibles aux basses et fortes températures. La température optimale qui aide les plantes à absorber de l'eau et les nutriments est proche de 20 °. Donc cette eau entrave partiellement la nutrition normale des plantes quand elle atteint ces valeurs extrêmes durant l'hiver et l'été.

#### **4.2.2 Potentiel d'hydrogène (pH):**

Ce paramètre joue un rôle important au niveau de l'équilibre physico-chimique de la solution du sol qui à son tour serait traduites par des répercussions sur la nutrition des plantes.

Les valeurs moyennes du pH de l'eau des deux barrages sont représentées dans le tableau 24.

**Tableau 24:** Valeurs de pH de l'eau des eaux des barrages de Boughzoul et Ladrat

<b>Boughzoul</b>		<b>Ladrat</b>	
<b>année</b>	<b>moyenne annuelle</b>	<b>année</b>	<b>moyenne annuelle</b>
<b>2016</b>	7,68	<b>2017</b>	7,97
<b>2017</b>	7,64	<b>2018</b>	8,14
<b>2018</b>	8,05	<b>2019</b>	8,23
<b>Moyenne de la période (2016-2018)</b>	<b>7,79</b>	<b>Moyenne de la période (2017-2019)</b>	<b>8,11</b>

Comparativement aux normes internationales ( **Ayers et westcot,1985**), les valeurs moyennes du pH de l'eau des deux barrages enregistrées sont acceptables et ne sortent pas de l'intervalle des normes 6.5- 8.4. Le pH de l'eau est pratiquement stable au cours des saisons avec une légère alcalinité.

La forme est la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation dépend fortement du pH.

On doit noter également qu'un pH inférieur à 5 ou supérieur à 8.5 affectent la croissance et la survie des micro-organismes (**Mara, 1980**).

Comparativement aux normes internationales (**Brunton et Ourimbah, 2011**), l'eau de ces deux barrages assure en plus l'efficacité de certains pesticides quand elle est utilisée dans les mélanges de pulvérisation à cause de son pH qui est situé dans l'intervalle 6 et 8.5.

#### **4.2.3 Conductivité électrique (CE) :**

La conductivité électrique est un paramètre principal permettant d'exprimer le degré de salinité de l'eau d'irrigation. Les valeurs moyennes de la conductivité électrique mesurées durant trois années successives sont représentées dans le tableau 25.

**Tableau 25** : Valeurs de la conductivité électrique de l'eau (ds/m)

<b>Boughzoul</b>		<b>Ladrat</b>	
<b>année</b>	<b>moyenne annuelle</b>	<b>année</b>	<b>moyenne annuelle</b>
<b>2016</b>	3,43	<b>2017</b>	0,71
<b>2017</b>	3,22	<b>2018</b>	0,79
<b>2018</b>	2,26	<b>2019</b>	0,73
<b>Moyenne de la période (2016-2018)</b>	<b>2,97</b>	<b>Moyenne de la période (2017-2019)</b>	<b>0,74</b>

Comparativement aux normes internationales (Ayers et wescott, 1985), au cours de la plupart des mois des années 2016 et 2017, la conductivité électrique de l'eau du barrage de Boughzoul est supérieure à la norme d'acceptation en irrigation qui est de 3 ds/m. Durant la saison printanière, en période d'irrigation, elle atteint des valeurs très élevées allant de jusqu'à 5,5 ds/m. A l'exception de l'année 2018 où ont été enregistré des valeurs très proche à la norme.

D'après Rodier et al (2005), la minéralisation de cette eau est élevée. Selon Richard (1954), elle appartient à la classe C4 d'un haut degré de salinité. Elle pose donc des problèmes graves immédiats concernant son absorption par les plantes à cause de l'élévation de la pression osmotique du sol.

Cependant la conductivité électrique de l'eau du barrage de Ladrat selon le même auteur est nettement inférieure à la norme, elle varie entre 0,71 et 0,79 avec une moyenne de 0,74. L'eau appartient à la classe C3 d'un degré de salinité modéré.

Elle ne pose donc aucun problème d'absorption de l'eau par la plante ainsi que pour la salinisation du sol à court et moyen terme.

#### **4.2.4 Salinité potentielle (PS)**

Les valeurs moyennes de la salinité potentielle des eaux des deux barrages, calculées sur une période de trois années sont résumées dans le tableau 26.

**Tableau 26** : Valeurs moyennes de la salinité potentielle des eaux des deux Barrages en (meq/l)

<b>Boughzoul</b>		<b>Ladrat</b>	
<b>année</b>	<b>Moyenne annuelle</b>	<b>année</b>	<b>moyenne annuelle</b>
2016	20,53	2017	3,58
2017	19,72	2018	3,72
2018	13,63	2019	3,46
<b>Moyenne de la période (2016-2019)</b>	<b>17,96</b>	<b>Moyenne de la période (2017-2019)</b>	<b>3,59</b>

Les Comparativement aux normes internationales (**Eaton, 1950**), les valeurs moyennes de la salinité potentielle de l'eau du barrage de Boughzoul sont supérieurs à 10 au cours des trois années de mesure, donc la qualité de l'eau est considérée nocive insatisfaisante.

Cependant les valeurs de la salinité potentielle obtenues au niveau de l'eau du barrage Ladrat sont inférieures à 5, selon le même auteur, on peut donc dire que la qualité de l'eau est considérée excellente à bonne pour l'irrigation.

#### 4.2.5 Pourcentage du sodium adsorbé

Les valeurs moyennes du SAR (Sodium Adsorption Ratio) calculées, exprimées en meq/l durant une période de trois années son pour les deux barrages Boughzoul et Ladrat sont représentées dans le tableau 27.

**Tableau 27** : Valeurs du sodium adsorbé SAR

<b>Boughzoul</b>		<b>Ladrat</b>	
<b>année</b>	<b>moyenne annuelle</b>	<b>année</b>	<b>moyenne annuelle</b>
<b>2016</b>	3,56	<b>2017</b>	2,35
<b>2017</b>	4,93	<b>2018</b>	2,11
<b>2018</b>	3,79	<b>2019</b>	1,74
<b>moyenne de la période (2016-2018)</b>	<b>4,09</b>	<b>moyenne de la période (2017-2019)</b>	<b>2,07</b>

$$\text{SAR}_{aj} = \text{SAR} [1 + (8,4 - \text{PHc})] \quad (4.1)$$

Comparativement aux normes internationales (**Richards,1954**), on constate que les valeurs du SAR sont inférieures à 10 dans les eaux des deux barrages, ce qui permet de dire que le taux de sodium contenu dans ces eaux est faible et ne pose donc pas de problème de sodicité et par conséquent n'a pas d'action néfaste sur la structure du sol et sa perméabilité

#### 4.2.6 Pourcentage du sodium adsorbé ajusté.

Les valeurs moyennes du PHc des eaux des deux barrages Boughzoul et Ladrat calculées sur une période de trois années sont synthétisées dans le tableau 28.

**Tableau 28** : valeur de PHc

<b>Boughzoul</b>		<b>Ladrat</b>	
<b>année</b>	<b>moyenne annuelle</b>	<b>Année</b>	<b>moyenne annuelle</b>
<b>2016</b>	7,21	<b>2017</b>	7,57
<b>2017</b>	7,34	<b>2018</b>	7,35
<b>2018</b>	7,27	<b>2019</b>	7,39
<b>moyenne de la période (2016-2018)</b>	<b>7,27</b>	<b>Moyenne de la période (2017-2019)</b>	<b>7.44</b>

Comparativement aux normes internationales (**Landreau et Monition, 1977**), on constate que l'ensemble des valeurs sont inférieures à 8,4, ce qui permet de dire que les eaux des deux barrages ont un effet positif sur la structure du sol car elles ont tendance à précipiter le calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ) dans le sol comparativement aux normes

Les valeurs moyennes du sodium absorbé ajusté ( $\text{SAR}_{aj}$ ) calculées sur une période de trois années sont représentées dans le tableau 29.



**Tableau 29** : Valeurs du sodium absorbé ajusté (SARaj)

<b>Boughzoul</b>		<b>Ladrat</b>	
<b>année</b>	<b>moyenne annuelle</b>	<b>année</b>	<b>moyenne annuelle</b>
<b>2016</b>	7,72	<b>2017</b>	4,28
<b>2017</b>	10,02	<b>2018</b>	4,29
<b>2018</b>	7,86	<b>2019</b>	3,41
<b>moyenne de la période (2016-2018)</b>	<b>8,53</b>	<b>moyenne de la période (2017-2019)</b>	<b>4,00</b>

Comparativement aux normes internationales (**Landreau et Monition, 1977**), il ressort que:

D'après la valeur moyenne calculée du SARaj de l qui est supérieure à 6, l'eau du barrage Boughzoul peut donc poser des problèmes qui furent parfois sévères sur la structure du sol comme en 2017.

Cependant, les toutes valeurs moyennes annuelles calculées du SARaj de l'eau du barrage Ladrat sont inférieures à 6, on peut donc dire que cette eau ne pose pas de problèmes sur la structure du sol.

#### **4.2.7 Alcalinité résiduelle**

Les résultats du paramètre qualitatif proposé pour compléter l'indication du risque d'alcalinisation lié aux carbonates et bicarbonates de l'eau est l'alcalinité résiduelle qui est appelée : (*Residual sodium carbonate*) sont synthétisés dans le tableau 30.

**Tableau 30** : Valeurs moyennes de l'alcalinité résiduelle en (méq/l) des deux barrages

<b>Boughzoul</b>		<b>Ladrat</b>	
<b>année</b>	<b>moyenne annuelle</b>	<b>année</b>	<b>moyenne annuelle</b>
<b>2016</b>	-18,63	<b>2017</b>	-1,29
<b>2017</b>	-15,32	<b>2018</b>	-1,56
<b>2018</b>	-11,40	<b>2019</b>	-1,57
<b>moyenne de la période (2016-2018)</b>	<b>-15,12</b>	<b>moyenne de la période (2017-2019)</b>	<b>-1,47</b>

Les valeurs obtenues sont inférieures à 1,25 meq/l donc la qualité des eaux des deux barrages est considérée bonne à l'irrigation.

## 4.2.8 Indices de qualité spécifique

### 4.2.8.1 Pourcentage du sodium soluble

Les résultats du pourcentage du sodium soluble(SSP) : soluble sodium pourcentage sont représentés dans le tableau 31.

**Tableau 31**: Valeurs de sodium soluble en (meq/l)

<b>Boughzoul</b>		<b>Ladrat</b>	
<b>année</b>	<b>moyenne annuelle</b>	<b>année</b>	<b>moyenne annuelle</b>
<b>2016</b>	33,08	<b>2017</b>	45,70
<b>2017</b>	44,31	<b>2018</b>	39,93
<b>2018</b>	41,62	<b>2019</b>	35,82
<b>Moyenne de la période (2016-2018)</b>	<b>39,67</b>	<b>moyenne de la période (2017-2019)</b>	<b>40,48</b>

Comparativement aux normes internationales (Todd et Mays, 1980), les valeurs moyennes obtenues au niveau eaux des deux barrages de Boughzoul et Ladrat sont

inférieures à 50, donc la qualité de ces eaux est considérée bonne à l'irrigation par rapport aux concentrations du pourcentage du sodium soluble.

#### 4.2.8.2 Indice de Kelly

Les valeurs moyennes du coefficient de Kelly pour les eaux des deux barrages sont représentées dans le tableau 32.

**Tableau 32** : Valeurs de l'indice de Kelly en (meq /l) des eaux des deux barrages

<b>Boughzoul</b>		<b>Ladrat</b>	
<b>année</b>	<b>moyenne annuelle</b>	<b>année</b>	<b>moyenne annuelle</b>
<b>2016</b>	0,54	<b>2017</b>	0,86
<b>2017</b>	0,86	<b>2018</b>	0,69
<b>2018</b>	0,84	<b>2019</b>	0,59
<b>Moyenne de la période (2016-2018)</b>	<b>0,75</b>	<b>moyenne de la période (2017-2019)</b>	<b>0,71</b>

Comparativement aux normes internationales (**Kelly, 1963**), les valeurs moyennes du coefficient de Kelly obtenues au niveau des eaux des deux barrages Boughzoul et Ladrat sont inférieures à 1 d'où la qualité de ces eaux est considérée bonne à l'irrigation.

#### 4.2.8.3 Indice de perméabilité

Les valeurs moyennes de l'indice de perméabilité (PI) *permeability Index* des eaux des deux barrages sont représentées dans le tableau 33.

**Tableau 33** : Indice de perméabilité des eaux en %

<b>Boughzoul</b>		<b>Ladrat</b>	
<b>année</b>	<b>moyenne annuelle</b>	<b>année</b>	<b>moyenne annuelle</b>
<b>2016</b>	37,66	<b>2017</b>	68,23
<b>2017</b>	49,28	<b>2018</b>	62,41
<b>2018</b>	47,75	<b>2019</b>	58,62
<b>Moyenne de la période (2016-2018)</b>	<b>44,90</b>	<b>moyenne de la période (2017-2019)</b>	<b>63,09</b>

La perméabilité du sol en irrigation joue un rôle essentiel dans la réalisation d'une irrigation efficiente en évitant les pertes d'eau en surface. Comparativement aux normes internationales (**Doneen, 1964**), les valeurs moyennes obtenues qui sont comprises entre 25% et 75 % permettent de dire que la qualité de eaux des deux barrages Boughzoul et Ladrat est considérée bonne pour l'irrigation et ne pose pas de problème sur la structure et par conséquent sur sa perméabilité.

#### **4.2.8.4 Pourcentage du magnésium**

Les résultats des valeurs moyennes du pourcentage du magnésium qui exprime le rapport de concentration entre le magnésium et le calcium pour les eaux des deux barrages sont représentés dans le tableau 34.

**Tableau 34** : Valeurs du pourcentage du magnésium des eaux

<b>Boughzoul</b>		<b>Ladrat</b>	
<b>année</b>	<b>moyenne annuelle</b>	<b>année</b>	<b>moyenne annuelle</b>
<b>2016</b>	38,03	<b>2017</b>	48,99
<b>2017</b>	46,10	<b>2018</b>	43,81
<b>2018</b>	40,35	<b>2019</b>	40,82
<b>Moyenne de la période (2016-2018)</b>	<b>41,49</b>	<b>moyenne de la période (2017-2019)</b>	<b>44,54</b>

Comparativement aux normes (Szabolcs et Darab, 1964), les valeurs moyennes du pourcentage du magnésium obtenues au niveau des eaux des deux barrages Boughzoul et Ladrat qui sont inférieures à 50 % permettent de dire donc que la qualité de ces eau est considérée bonne pour l'irrigation car l'état d'équilibre des eaux est bien maintenu

#### 4.2.8.5 Eléments toxiques

Les valeurs moyennes des concentrations en éléments toxiques ; sodium et chlorures des eaux des deux barrages obtenues sont représentées respectivement dans les tableaux 35 et 36.

**Tableau 35** : Valeurs moyennes du sodium en (meq/l) des eaux des des barrages

<b>Boughzoul</b>		<b>Ladrat</b>	
<b>année</b>	<b>moyenne annuelle</b>	<b>année</b>	<b>moyenne annuelle</b>
<b>2016</b>	11,76	<b>2017</b>	3,22
<b>2017</b>	14,75	<b>2018</b>	3,24
<b>2018</b>	9,00	<b>2019</b>	2,60
<b>Moyenne de la période (2016-2018)</b>	<b>11,84</b>	<b>moyenne de la période (2017-2019)</b>	<b>3,02</b>

Comparativement aux normes internationales (**Morris et Devit, 1991**), on note que l'eau du barrage de Boughzoul présente une toxicité spécifique sévère en sodium car sa concentration moyenne est supérieure à 9meq/l. L'irrigation avec cette eau peut provoquer des brûlures au niveau des tissus et des bordures.

Cependant que l'eau du barrage de Ladrat ne présente pas de toxicité car la concentration moyenne en sodium est nettement inférieures à 9.

**Tableau 36** Valeurs moyennes des chlorures en (meq/l) des eaux des deux barrages

<b>Boughzoul</b>		<b>Ladrat</b>	
<b>année</b>	<b>moyenne annuelle</b>	<b>année</b>	<b>moyenne annuelle</b>
<b>2016</b>	12,09	<b>2017</b>	2,82
<b>2017</b>	11,02	<b>2018</b>	2,87
<b>2018</b>	7,58	<b>2019</b>	2,62
<b>Moyenne de la période (2016-2018)</b>	<b>10,23</b>	<b>moyenne de la période (2017-2019)</b>	<b>2,77</b>

On remarque que les eaux du barrage de Boughzoul présente une toxicité spécifique sévère en chlorure car sa concentration moyenne est supérieure à 10 (**Morris et Devit, 1991**). La pratique donc de l'irrigation par aspersion à ce niveau elle pose des problèmes.

Ce pendant que les eaux du barrage de Ladrat ne présente qu'une légère toxicité car les concentrations en chlorure sont nettement inférieures à 4.

4.2.8.6 Classification de l'eau d'irrigation :

Riverside

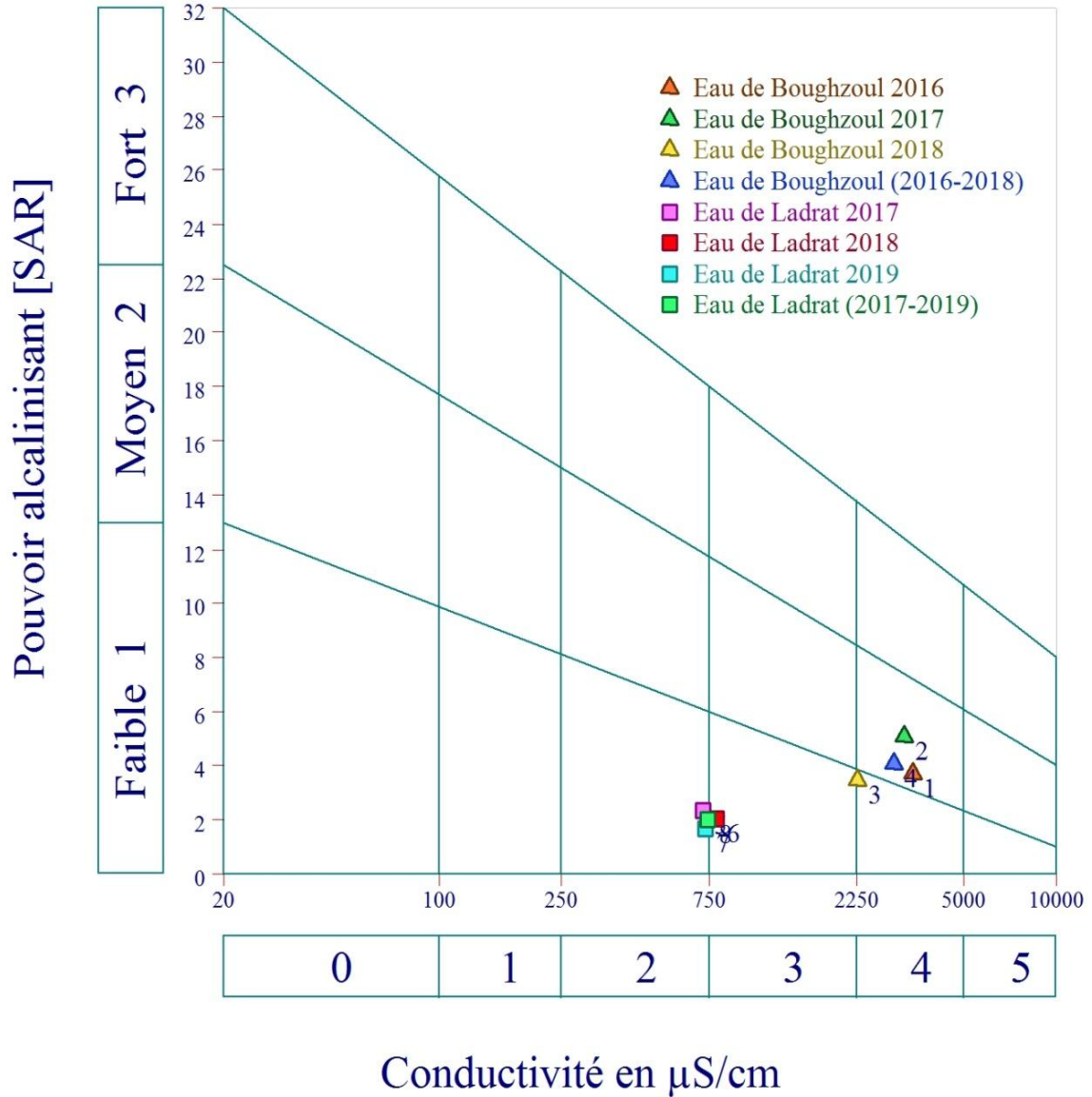
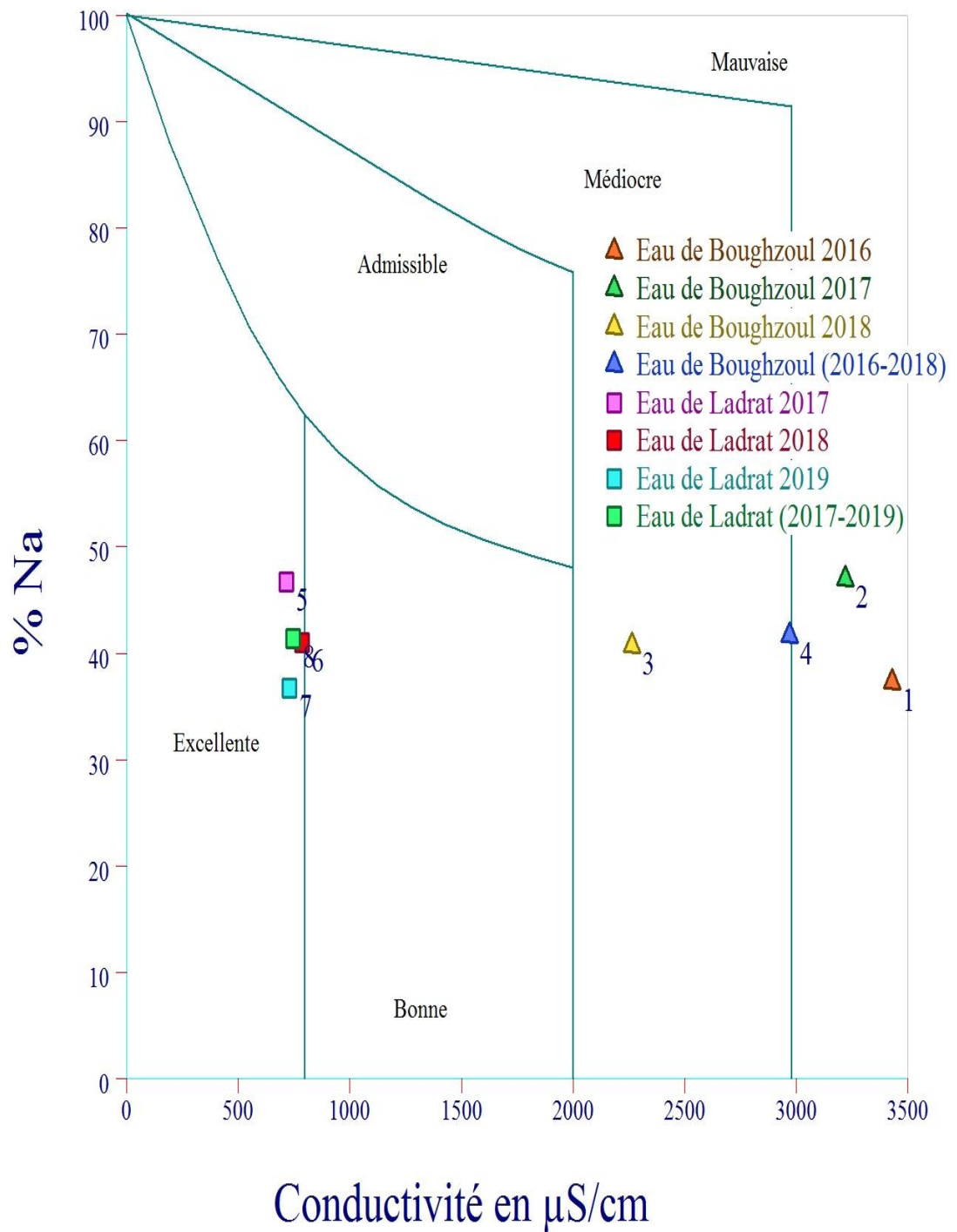


Figure 05 : Diagramme de Riverside de l'eau du barrage Boughzoul et Ladrat



**Figure 06 :** Diagramme de Wilcox de l'eau du barrage Boughzoul et Ladrat



Le diagramme de Riverside montre que l'eau du barrage du Boughzoul appartient à la classe C4, considérée impropre à l'irrigation comparativement à celle du barrage de Ladrat qui fluctue entre la classe C2 et C3, considérée de bonne qualité pour l'irrigation. La classification de Wilcox permet de synthétiser que l'aptitude qualitative de l'eau du barrage de Ladrat pour l'irrigation est excellente par rapport à celle du barrage de Boughzoul qui fluctuait entre une qualité médiocre à mauvaise pour l'irrigation.

### 4.3 Liaisons entre paramètres de qualité des eaux

Les liaisons linéaires entre l'ensemble des paramètres de qualité étudiés sont établies par les coefficients de corrélations de Pearson. Les résultats de calcul des coefficients de corrélations dans les tableaux 37 et 38 respectivement pour les eaux des deux barrages.

**Tableau 37** Corrélations de Pearson entre paramètres de qualité de l'eau du barrage de Boughzoul

	SAR	RSC	SSP	KR	PHc	SARaj	pH	TDS	PI
SAR	1								
RSC	-0,104	1							
SSP	0,874**	0,356	1						
KR	0,824**	0,406	0,958**	1					
PHc	0,538*	0,312	0,674**	0,755**	1				
SARaj	0,986**	-0,164	0,836**	0,750**	0,405	1			
pH	0,514*	-0,046	0,470*	0,487*	0,359	0,490*	1		
TDS	0,633**	-0,811**	0,227	0,138	0,023	0,682**	0,365	1	
PI	0,817**	0,461	0,990**	0,946**	0,636**	0,781**	0,441	0,124	1

\*\* . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral). \* . La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral)

**Tableau 38** Corrélations de Pearson entre paramètres de qualité de l'eau du barrage de Ladrat

	SAR	RSC	SSP	KR	PHc	SARaj	pH	TDS	PI
SAR	1								
RSC	-0,104	1							
SSP	0,874**	0,356	1						
KR	0,824**	0,406	0,958**	1					
PHc	0,538*	0,312	0,674**	0,755**	1				
SARaj	0,986**	-0,164	0,836**	0,750**	0,405	1			
pH	0,514*	-0,046	0,470*	0,487*	0,359	0,490*	1		
TDS	0,633**	-0,811**	0,227	0,138	0,023	0,682**	0,365	1	
PI	0,817**	0,461	0,990**	0,946**	0,636**	0,781**	0,441	0,124	1

\*\* . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral). \* . La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral)

On constate que pour les eaux des deux barrages Boughzoul et Ladrat, le SAR est au centre de ces relations, il est fortement corrélé aux principaux paramètres : RSC, SSP, PHC, SARaj, KR et PI. Il ressort également que le pourcentage du sodium soluble (SSP), l'indice de perméabilité (PI) et l'indice de Kelly (KR) sont significativement corrélés au seuil de 1 % à cause du rôle primordial que joue le sodium. Cela confirme donc que le sodium est un élément très déterminant dans l'évaluation de la qualité de l'eau d'irrigation et son impact sur la plante et la structure du sol et par conséquent sur sa perméabilité.

## Conclusion Générale

---

A l'issue de la présente étude, il ressort que la wilaya de Médéa à vocation agricole est caractérisée par un climat semi-aride où le recours à l'irrigation des cultures est indispensable à cause des insuffisances et fluctuations pluviométriques interannuelles qui aillent d'un minimum de 372 à un maximum de 902,9 mm. Les eaux des barrages constituent donc l'une des principales ressources à utiliser en irrigation pour parer aux déficits aléatoires.

Dans cette optique, la présente étude a été réalisée pour l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux des deux barrages de Boughzoul et Ladrat où a été retenu globalement que leurs eaux sont de qualité différentes relativement certains paramètres de qualité et comparables par rapport à d'autres.

Le pH de l'eau des deux barrages est dans les normes, il est pratiquement stable au cours des saisons avec une légère alcalinité favorisant une bonne disponibilité des nutriments aux plantes, sans affectation de la croissance et la survie des micro-organismes.

Sur le plan de la salinité, la conductivité électrique de l'eau du barrage de Boughzoul est supérieure à la norme internationale d'acceptation en irrigation qui est de 3 ds/m durant la plupart des mois de l'année comme parfois, elle atteint des valeurs extrêmes de 5,5 ds/m.

L'absorption de l'eau par la plante est inhibée à cause de l'élévation de la pression osmotique. Encore, cette eau accélère la salinisation du sol à court et moyen terme. Cependant, l'eau du barrage de Ladrat est caractérisée par une conductivité électrique très acceptable, inférieure à la norme, elle fluctue entre 0,71 et 0,79 avec une moyenne de 0,74. Elle n'entrave pas donc l'absorption de l'eau par les plantes comme elle ne présente pas de risque à la salinisation du sol à court et moyen terme. En plus, la qualité de l'eau du barrage de Boughzoul est considérée nocive à cause de sa salinité potentielle qui est supérieure aux normes admises. Cependant celle de l'eau du barrage de Ladrat est considérée excellente à cause de sa faible salinité potentielle.

Les différents indices de la qualité spécifique des eaux d'irrigation telle que le pourcentage du sodium soluble, l'indice de Kelly, l'indice de perméabilité, le pourcentage du magnésium montrent que la qualité des eaux des deux barrages est dans les limites d'acceptation.

Globalement, la classification de Wilcox permet de synthétiser que l'aptitude qualitative de l'eau du barrage de Ladrat pour l'irrigation est excellente par rapport à celle du barrage de Boughzoul qui fluctuait entre une qualité médiocre à mauvaise au cours des années précédentes

## Référence bibliographique

---

- Amigues J.P., P. Debaeke, B. Itier, G. Lemaire, B. Seguin, F. Tardieu, A. Thomas, (2006).** Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA (France), 72 p.
- Asadollahfardi, G., Hemati, A., Moradinejad, S., & Asadollahfardi, R. (2013).** Sodium adsorption ratio (sar) prediction of Thechalghazi river using artificial neural network (ann) Iran. *Current World Environment*, 8(2), 169–178.
- Ayres R.S and Westcot D.W. (1985)** " Water Quality for Agriculture" , irrigation and d Drainage paper No. 29, FAO, Rome , 174p.
- Bertrand R., (1981).**Sols salins et cultures irriguées avec des eaux salines. Ed. GERDAT – IRAT, 44P.
- Biase, D, (2000).** Guide des analyses en pédologie , technique et pratique, Ed INRA, Paris. Bremon. R., Vuichard. R., 1973 Paramètres de la qualité des eaux . ministre de protection de la nature et de l'environnement SPEPE , Paris. P179.
- Brunton, V. and Ourimbah, D.P.I. ,(2011)** Irrigation water quality fact sheet. Department of Primary Industries, a part of the Department of Trade and Investment,
- Couture I., (2004).** Analyse d'eau pour fin d'irrigation MAPAQ Montérégie-Est. AGRI-VISION 2003-2004. 8p.
- Couture, I . (2006),**Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro-irrigation. Centre colloque sur l'irrigation de référence en Agriculture et agroalimentaire du Québec. P12.
- Doneen L.D.(1964)** Notes on Water Quality in Agriculture. Water Science and Engineering , Paper 4001, Department of Water Sciences and Engineering , University of California, Davis.
- Duchauffour P. (2000)** Introduction à la science du sol. 331p.
- Durand J H. (1958)** les sols irrigables. Etude pédologique. S.E.S Alger ,198p .
- Durand J H. (1960)** Contribution a l'étude des sols irriguées. 11p.
- Eaton, F.M. (1950)** significance of carbonates in irrigation waters : *Soil Science*, 39, 123-133.
- FAO, (1985).** la qualité de l'eau dans l'irrigation .Bulletin n°29 de l'organisation mondiale pour l'Alimentation et L'Agriculture.
- Gendry M. (2018)** La réserve utile des sols solag. Bulletin sol et Agronomie des chambres d'Agriculture des pays de la Loire n°04 du 02/05/2018.
- Gendre S. (2020)** Seule une partie de l'eau contenue dans le sol est facilement exploité par les plantes. ( *ARVALIS-institut du végétal*).

## Référence bibliographique

---

**Gharzouli.M., (2014).** Investir dans le développement durable : La réutilisation des eaux usées épurées .ONA- Zone de Sétif .Unité d'assainissement de Sétifgrowers. 582p.

**Kadik b (2010).** LA Sècheresse et ses Conséquences surlesEcosystèmes Steppiques et Forestiers En Algérie.

*Atelier international sur la sècheresse : Analyse et stratégies d'adaptation, 21 et 22 novembre 2010, CRSTRA , Biskra, Algérie.*

**Kelley W.P.(1963)** Use of saline irrigation water. Soil Science, 95(4), 385-391.

**Kettab A ,(2000).**Les ressources en eau en Algérie: stratégies, enjeux et vision.

*Ecole Nationale Polytechnique (ENP) - Alger, Laboratoire de Recherche des Sciences de l'Eau (LRS-EAU) 10, Av. Hacène-Badi, B.P.182 El-harrach 16000 Alger, Alegria.*

**Kramer P.J., Boyer J.S. (1995)** Water relations of plants and soils. San Diego, Etats-Unis, Academic Press, 495 p.

**Layla M, Oscar CN, Theib O, Caldia R, (2015)** Rapport sur la sécurité alimentaire et la nutrition 151p

**Landreau A, Monition L ,(1977)** Nouvelle evaluation de la qualité de l'eau pour l'irrigation Rapport BRGM inédit 77 SGL 628 HYD.

**Mara D.,( 1980)** Sewage treatment in hotclimate. Ed. John Willey & sons

**Maynard. N. et G.J. Hochmuth, (1997).** Knott'sHandbook for Vegetable.

**Merouche.A(2015)**Besoins en eau et maîtrise de l'irrigation d'appoint du blé dur dans la vallée du chélif. Thèsedoctorat, ENSA , Alger, 115p

**Monition L. (1969)** Données sur l'utilisation des eaux selon leur qualité chimique. Rapport BRGM inedit 69 SGL 122 HYD.

**Morris,R. et Devitt, D. (1991)** Sampling and interpretation of landscape irrigation water. Fact Sheet 01 – 91 .University of Nevada, Reno, USA. 5p.

**Obiefuna G.I. and Sheriff A (2011)** Assessment of shallow ground water quality of pindigaGombe Area, Yola Area, NE, Nigeria for irrigation and domestic purposes. Research Journal of Environmental and Earth Sciences, 3, 131-141 .

**OllierC .H., PoiréeM .(1981)** Les réseaux d'irrigation-théorie, technique et économique des arrosages. Ed, Eyrolles, Prais, 503p.

**Paliwla K.V. (1972)** Irrigation with saline water, Monogram No. 2 (New series). IARI, New Delhi, 198p.

## Référence bibliographique

---

**Prats J.(2004).** Increasing crop productivity when water is scarce: from breeding to field management. In proceedings of the 4<sup>th</sup> International Crop Science Congress “ New directions for a diverse planet” Brisbane, Australia. 12p ,[www.regional.org-au/au/cs](http://www.regional.org-au/au/cs).

**Qadir M., Ghafoor A., Murtaza G. (2001):** Use of saline-sodic waters through phytoremediation of calcareous saline-sodic soils. *Agr. Water Manage.*, 50: 197–210

**Rodier J., Legube B., Merlet N. (2005)** L’analyse de l’eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Ed Dunod, Paris

**Richards L.A. (1954)** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, in *Agricultural Handbook 60* : Washington D.C., united States Department of Agriculture , 160p .

**Rhoades J.D, Kandiah A, Mashali A.M., (1992)** The use of saline waters for crop production. FAO. Irrigation and drainage paper 48. Rome. Italy

**Selvam, S. (2014).** Irrigational feasibility of groundwater and evaluation of hydrochemistry facies in the SIPCOT industrial area, South Tamilnadu, India: A GIS approach. *Water Quality, Exposure and Health, 1*, 1.<https://doi.org/10.1007/s12403-014-0146-2>.

**Szabolcs I., Darab C. (1964)** The influence of irrigation water of high sodium carbonate content on soils. In I .Szabolcs (Ed.) ,Proc 8<sup>th</sup> International congress Soil Science Sodic Soils , Res Inst Soil Sci Agric Chem Hungarian Acad Sci, ISSS Trans II, 802-812.

**Todd D. K., Mays L. (1980)** Groundwater Hydrology. (3a. ed.). New York: Wiley International Edition.

**UCCC (University of California Committee of Consultants).(1974).** Guidelines for Interpretations of water Quality for Irrigation. Technical Bulletin, University of California Committee of Consultants, California, USA 20-28 p.

**Wilcox L.V. (1955)** Classification and use of irrigation wasters :Washington D.C., United states Department of Agriculture, 19p.

## **Annexe**

### Annexe 01

Tableau 01: Valeurs de la température de l'eau de barrage Boughzoul en °C.

	J	F	M	A	M	JU	JT	AO	S	O	N	D
<b>2016</b>	/	/	/	26	20	18	/	/	/	19,8	14,5	/
<b>2017</b>	6	17,1	/	/	/	20	30,7	30,1	/	/	/	/
<b>2018</b>	/	/	/	17	22,6	24	27	/	/	19	15,4	10,3

### Annexe 02

Tableau 02: Valeurs de la température de l'eau de barrage Ladrat en °C

	J	F	M	A	M	JU	JT	AO	S	O	N	D
<b>2017</b>	7,9	12,7	15,0	24,6	20,8	27,0	27,8	27,5	27,2	19,1	14,8	10,1
<b>2018</b>	9,1	8,6	12,9	13,0	21,2	21,0	26,8	29,0	24,0	18,0	14,5	17,3
<b>2019</b>	11,3	12,1	13,0	20,0	20,0	28,0	30,0	25,0	27,0	19,0	13,0	11,0

### Annexe 03

Tableau 03 : Valeurs de pH de l'eau du barrage Boughzoul

	J	F	M	A	M	JU	JT	AO	S	O	N	D	moy
<b>2016</b>	/	/	/	8,00	7,60	8,30	/	/	/	7,90	7,20	7,10	<b>7,68</b>
<b>2017</b>	7,60	/	/	/	/	7,30	7,50	8,30	/	/	/	/	<b>7,64</b>
<b>2018</b>	/	/	/	7,80	8,40	8,30	8,00	/	/	7,84	8,12	7,87	<b>8,05</b>
<b>Moyenne de la période (2016-2018)</b>													<b>7,79</b>



#### Annexe 04

Tableau 04 : Valeurs de pH de l'eau d'irrigation de l'eau du barrage Ladrat

	J	F	M	A	M	JU	JT	AO	S	O	N	D	moy
<b>2017</b>	7,6	8,1	8,3	7,3	8,1	7,7	7,9	8,3	8,0	8,3	8,0	8,0	<b>7,97</b>
<b>2018</b>	8,0	8,2	8,3	8,3	8,3	8,3	8,0	8,3	8,2	8,3	7,6	7,9	<b>8,14</b>
<b>2019</b>	7,8	8,7	8,5	8,2	8,5	8,6	7,8	8,0	8,3	8,3	8,0	8,0	<b>8,23</b>
<b>Moyenne de la période (2017-2019)</b>													<b>8,11</b>

#### Annexe 05

Tableau 05 : valeurs de la conductivité électrique ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) de l'eau de barrage Boughzoul

	J	F	M	A	M	JU	JT	AO	S	O	N	D	moy
<b>2016</b>	/	/	/	4700	3600	5500	/	/	/	2254	1969	2550	<b>3428,83</b>
<b>2017</b>	2856	1635	/	/	/	2250	3350	6020	/	/	/	/	<b>3222,20</b>
<b>2018</b>	/	/	/	2020	1735	2241	3110	/	/	1925	2287	2540	<b>2265,43</b>
<b>Moyenne de la période (2016-2018)</b>													<b>2972,15</b>

#### Annexe 06

Tableau 06: valeurs de la conductivité électrique ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) de l'eau de barrage Ladrat

	J	F	M	A	M	JU	JT	AO	S	O	N	D	moy
<b>2017</b>	782	675	683	673	680	762	654	675	711	723	745	793	<b>713</b>
<b>2018</b>	790	808	817	718	782	733	824	780	792	798	793	810	<b>787,08</b>
<b>2019</b>	780	785	720	829	705	650	641	668	720	703	773	783	<b>729,75</b>
<b>Moyenne de la période (2017-2019)</b>													<b>743,28</b>

### Annexe 07

Tableau 07: Valeurs moyenne en meq/l des cations et des anions échangeables de l'eau du barrage Boughzoul

Année	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
2016	12,55	7,93	11,76	0,33
2017	8,67	8,35	14,75	0,22
2018	8,22	5,25	9,00	0,22
<b>Moyenne de la période(2016-2018)</b>	<b>9,82</b>	<b>7,18</b>	<b>11,84</b>	<b>0,26</b>

### Annexe 08

Tableau 08: Valeurs moyenne en meq/l des cations et des anions échangeable de l'eau du barrage Ladrat.

Année	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
2017	2,03	1,81	3,22	0,11
2018	2,80	2,13	3,24	0,16
2019	2,84	1,90	2,60	0,14
<b>Moyenne de la période (2017-2019)</b>	<b>2,55</b>	<b>1,95</b>	<b>3,02</b>	<b>0,14</b>

### Annexe 09

Tableau 09 : Valeurs de la salinité potentielle sont (mq/l) de l'eau du barrage Boughzoul.

	J	F	M	A	M	JU	JT	AO	S	O	N	D	Moy
2016	/	/	/	28,41	24,04	32,05	/	/	/	12,75	12,36	13,5	<b>20,53</b>
2017	15,94	9,74	/	/	/	12,90	20,58	39,46	/	/	/	/	<b>19,72</b>
2018	/	/	/	11,97	10,99	13,07	20,34	/	/	10,85	12,04	16,14	<b>13,63</b>
<b>Moyenne de la période (2016-2018)</b>													<b>17,96</b>

### Annexe10

Tableau 10 : Valeurs de la salinité potentielle sont (meq/l) de l'eau du barrage Ladrat.

	J	F	M	A	M	JU	JT	AO	S	O	N	D	moy
<b>2017</b>	4,18	2,68	2,84	2,90	3,24	3,52	3,67	4,03	3,84	3,83	3,50	4,70	<b>3,58</b>
<b>2018</b>	3,50	3,70	3,84	3,40	3,45	3,57	3,94	3,74	4,20	3,64	3,59	4,08	<b>3,72</b>
<b>2019</b>	3,88	3,70	3,37	3,87	3,15	2,77	3,47	3,83	3,55	3,21	3,15	3,53	<b>3,46</b>
<b>Moyenne de la période (2017-2019)</b>													<b>3,59</b>

### Annexe 11

Tableau 11: Valeurs du ratio sodium absorbé (SAR) de l'eau du barrage Boughzoul en méq/l

	J	F	M	A	M	JU	JT	AO	S	O	N	D	Moy
<b>2016</b>	/	/	/	5,74	5,46	5,27	/	/	/	2,05	1,48	1,35	<b>3,56</b>
<b>2017</b>	2,00	4,00	/	/	/	3,96	5,16	9,53	/	/	/	/	<b>4,93</b>
<b>2018</b>	/	/	/	5,04	6,40	4,14	4,36	/	/	2,78	1,71	2,09	<b>3,79</b>
<b>Moyenne de la période (2016-2018)</b>													<b>4,09</b>

### Annexe 12

Tableau12 :Valeurs du ratio du sodium absorbé (SAR) de l'eau du barrage Ladrat en méq/l

	J	F	M	A	M	JU	JT	AO	S	O	N	D	moy
<b>2017</b>	2,07	1,69	1,85	2,05	2,04	2,94	2,07	2,84	2,56	2,74	2,28	3,04	<b>2,35</b>
<b>2018</b>	2,78	2,50	2,15	2,42	2,93	2,29	2,30	1,49	1,82	1,62	1,84	1,19	<b>2,11</b>
<b>2019</b>	2,39	1,31	1,70	1,36	1,65	1,58	1,64	2,72	2,46	1,1	1,48	1,35	<b>1,74</b>
<b>Moyenne de la période (2017-2019)</b>													<b>2,07</b>

### Annexe 13

Tableau 13: Valeur de pHc de l'eau du barrage Boughzoul

	<b>J</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>JU</b>	<b>JT</b>	<b>AO</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>Moy</b>
<b>2016</b>	/	/	/	7,23	7,23	7,26	/	/	/	7,35	7,10	7,07	<b>7,21</b>
<b>2017</b>	7,20	7,43	/	/	/	7,26	7,41	7,40	/	/	/	/	<b>7,34</b>
<b>2018</b>	/	/	/	7,16	7,72	7,15	7,25	/	/	7,29	7,06	7,28	<b>7,27</b>
<b>Moyenne de la période (2016-2018)</b>													<b>7,27</b>

### Annexe 14

Tableau 14 : Valeur de pHc de l'eau du barrage Ladrat

	<b>J</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>JU</b>	<b>JT</b>	<b>AO</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>Moy</b>
<b>2017</b>	7,36	7,41	7,43	7,56	7,55	7,46	7,85	7,84	7,74	7,57	7,56	7,52	<b>7,57</b>
<b>2018</b>	7,40	7,42	7,33	7,40	7,39	7,37	7,57	7,28	7,38	7,17	7,27	7,19	<b>7,35</b>
<b>2019</b>	7,46	7,23	7,31	7,17	7,37	7,43	7,60	7,85	7,48	7,33	7,28	7,21	<b>7,39</b>
<b>Moyenne de la période (2017-2019)</b>													<b>7,44</b>

### Annexe 15

Tableau 15: Valeurs du sodium absorbé ajusté (SARaj) de l'eau barrage Boughzoul en meq/l

	<b>J</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>JU</b>	<b>JT</b>	<b>AO</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>Moy</b>
<b>2016</b>	/	/	/	12,45	11,84	11,29	/	/	/	4,21	3,4	3,14	<b>7,72</b>
<b>2017</b>	4,40	7,89	/	/	/	8,47	10,26	19,06	/	/	/	/	<b>10,02</b>
<b>2018</b>	/	/	/	11,29	10,76	9,32	9,37	/	/	5,87	4,0	4,42	<b>7,86</b>
<b>Moyenne de la période (2016-2018)</b>													<b>8,53</b>

## Annexe 16

Tableau 16 : Valeurs du sodium absorbé ajusté (SARaj) de l'eau du barrage Ladrat en meq/l

	J	F	M	A	M	JU	JT	AO	S	O	N	D	Moy
<b>2017</b>	4,22	3,37	3,64	3,78	3,78	5,71	3,21	4,43	4,25	5,01	4,20	5,72	<b>4,28</b>
<b>2018</b>	5,55	4,95	4,45	4,84	5,89	4,64	4,22	3,16	4,67	3,62	3,91	2,63	<b>4,29</b>
<b>2019</b>	4,63	2,84	3,55	3,02	3,35	3,12	2,95	4,22	4,72	2,46	3,15	2,96	<b>3,41</b>
<b>Moyenne de la période (2017-2019)</b>													<b>4,00</b>

## Annexe 17

Tableau 17: Valeurs de l'alcalinité résiduelle (RSC) de l'eau du barrage Boughzoul en meq/l

	J	F	M	A	M	JU	JT	AO	S	O	N	D	Moy
<b>2016</b>	/	/	/	-21,25	-18,30	- 25,0 3	/	/	/	- 14,2 3	- 15,3 1	- 17,6 7	<b>-18,63</b>
<b>2017</b>	-20,35	- 6,46	/	/	/	- 10,1 2	- 15,4 3	- 24,2 2	/	/	/	/	<b>-15,32</b>
<b>2018</b>	/	/	/	-7,21	-3,72	- 7,25	- 16,2 8	/	/	- 10,7 8	- 16,0 4	- 18,5 5	<b>-11,40</b>
<b>Moyenne de la période (2016-2018)</b>													<b>-15,12</b>

## Annexe 18

Tableau 18 : Valeurs de l'alcalinité résiduelle (RSC) de l'eau du barrage Ladrat en meq/l

	J	F	M	A	M	JU	JT	AO	S	O	N	D	Moy
<b>2017</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2,35	1,59	1,26	1,28	1,33	0,03	1,57	1,55	0,88	1,23	1,27	1,17	<b>1,29</b>
<b>2018</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,65	1,02	0,73	0,53	0,72	1,02	1,97	1,85	2,70	2,06	1,99	3,43	<b>1,56</b>
<b>2019</b>	-	-	-	-	-	-	-	--	-	-	-	-	-
	1,04	2,71	0,96	2,22	1,42	0,68	1,56	1,50	1,45	2,43	1,25	1,60	<b>1,57</b>
<b>Moyenne de la période (2017-2019)</b>													-
													<b>1,47</b>

## Annexe 19

Tableau 19 : Valeurs de sodium soluble (meq/l) de l'eau du barrage Boughzoul

	J	F	M	A	M	JU	JT	AO	S	O	N	D	Moy
<b>2016</b>	/	/	/	45,70	46,45	41,55	/	/	/	27,02	20,08	17,69	<b>33,08</b>
<b>2017</b>	23,13	49,76	/	/	/	44,56	47,12	56,95	/	/	/	/	<b>44,31</b>
<b>2018</b>	/	/	/	52,73	66,46	47,19	42,24	/	/	35,71	22,14	24,90	<b>41,62</b>
<b>Moyenne de la période (2016-2018)</b>													<b>39,67</b>

## Annexe 20

Tableau 20: Valeurs de sodium soluble (meq/l) de l'eau du barrage Ladrat

	<b>J</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>JU</b>	<b>JT</b>	<b>AO</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>Moy</b>
<b>2017</b>	38,71	35,84	38,78	42,76	42,44	52,55	45,55	53,09	51,20	50,04	45,39	52,10	<b>45,70</b>
<b>2018</b>	49,08	46,12	41,78	45,99	50,23	43,20	44,22	31,29	35,48	31,80	35,66	24,24	<b>39,93</b>
<b>2019</b>	45,65	27,05	35,66	27,76	35,05	36,10	37,21	52,24	45,91	26,49	31,95	28,76	<b>35,82</b>
<b>Moyenne de la période (2017-2019)</b>													<b>40,48</b>

## Annexe 21

Tableau 21 : Valeurs de l'indice de Kelly en meq /l de l'eau du barrage Boughzoul

	<b>J</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>JU</b>	<b>JT</b>	<b>AO</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>moy</b>
<b>2016</b>	/	/	/	0,84	0,87	0,71	/	/	/	0,37	0,25	0,22	<b>0,54</b>
<b>2017</b>	0,30	0,99	/	/	/	0,80	0,89	1,32	/	/	/	/	<b>0,86</b>
<b>2018</b>	/	/	/	1,12	1,98	0,89	0,73	/	/	0,56	0,28	0,33	<b>0,84</b>
<b>Moyenne de la période (2016-2018)</b>													<b>0,75</b>

## Annexe 22

Tableau 22: Valeurs de l'indice de Kelly en meq /l de l'eau barrage Ladrat

	J	F	M	A	M	JU	JT	AO	S	O	N	D	moy
<b>2017</b>	0,63	0,56	0,63	0,75	0,74	1,11	0,84	1,13	1,05	1,00	0,83	1,09	<b>0,86</b>
<b>2018</b>	0,96	0,86	0,72	0,85	1,01	0,76	0,79	0,46	0,55	0,47	0,55	0,32	<b>0,69</b>
<b>2019</b>	0,84	0,37	0,55	0,38	0,54	0,56	0,59	1,09	0,85	0,36	0,47	0,40	<b>0,59</b>
<b>Moyenne de la période (2017-2019)</b>													<b>0,71</b>

## Annexe 23

Tableau 23 : Valeurs de l'indice de perméabilité en % de l'eau barrage Boughzoul

	J	F	M	A	M	JU	JT	AO	S	O	N	D	Moy
<b>2016</b>	/	/	/	49,00	49,76	44,90	/	/	/	32,11	26,61	23,55	<b>37,66</b>
<b>2017</b>	27,73	57,79	/	/	/	51,03	50,73	59,14	/	/	/	/	<b>49,28</b>
<b>2018</b>	/	/	/	60,74	71,00	56,38	46,22	/	/	42,50	28,25	29,14	<b>47,75</b>
<b>Moyenne de la période (2016-2018)</b>													<b>44,90</b>

## Annexe 24

Tableau 25 : valeurs de l'indice de perméabilité en % de l'eau du barrage Ladrat

	J	F	M	A	M	JU	JT	AO	S	O	N	D	Moy
<b>2017</b>	58,4 9	60,0 4	63,7 0	66,6 8	66,1 8	77,6 7	67,2 9	71,9 3	74,9 1	71,2 0	68,3 1	72,3 8	<b>68,2 3</b>
<b>2018</b>	72,0 3	68,8 9	66,9 3	71,0 4	72,2 8	66,7 3	64,0 4	55,3 3	55,1 0	54,3 1	57,5 9	44,6 9	<b>62,4 1</b>
<b>2019</b>	68,9 6	47,3 9	60,3 1	50,9 8	58,1 0	54,3 0	61,9 0	71,7 3	67,2 7	49,9 4	58,3 1	54,2 0	<b>58,6 2</b>
<b>Moyenne de la période (2017-2019)</b>													<b>63,0 9</b>



## Annexe 25

Tableau 25: Pourcentage de Magnésium de l'eau du barrage Boughzoul en%

	<b>J</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>JU</b>	<b>JT</b>	<b>AO</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>Moy</b>
<b>2016</b>	/	/	/	59,1 4	49,2 4	41,4 1	/	/	/	57,1 4	13,0 0	8,24	<b>38,0 3</b>
<b>2017</b>	42, 86	35,0 0	/	/	/	40,5 8	49,8 0	62,2 6	/	/	/	/	<b>46,1 0</b>
<b>2018</b>	/	/	/	52,0 8	46,8 1	48,0 0	25,0 0	/	/	24,1 9	42,3 9	44,0 0	<b>40,3 5</b>
<b>Moyenne de la période (2016-2018)</b>													<b>41,49</b>

## Annexe 26

Tableau 26 : Pourcentage de Magnésium de l'eau du barrage Ladrat en%

	<b>J</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>JU</b>	<b>JT</b>	<b>AO</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>Moy</b>
<b>2017</b>	23, 53	24, 44	50,0 0	48,4 6	47,8 3	58,9 6	62,5 0	63,4 9	53,0 7	55,8 0	50,8 8	48, 94	<b>48,99</b>
<b>2018</b>	48, 19	44, 92	46,4 7	51,6 5	42,1 1	52,3 8	47,3 7	37,0 4	37,0 4	40,0 0	35,7 1	42, 86	<b>43,81</b>
<b>2019</b>	42, 86	37, 50	37,5 1	28,5 7	40,0 0	47,6 2	45,9 4	35,4 8	57,1 4	54,4 2	36,0 0	26, 79	<b>40,82</b>
<b>Moyenne de la période (2017-2019)</b>													<b>44,54</b>

## Annexe 27

Tableau 27 : Valeurs mensuelles en mg/l des éléments Physico-chimiques  
de l'eau du barrage de Boughzoul de l'année 2016

Mois	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	No <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	So <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)
4	190,00	165,00	450,00	20,00	689,00	0,00	862,00
5	201,00	117,00	395,00	13,00	560,00	2,88	791,00
6	322,58	136,77	450,00	16,00	730,00	1,70	1 100,00
10	131,87	105,49	131,00	9,00	147,00	0,98	826,00
11	301,10	27,00	100,00	10,00	215,00	1,06	604,30
12	360,00	19,40	97,00	10,00	231,01	2,39	675,00

## Annexe28

Tableau 28: Valeurs mensuelles en mg/l des éléments Physico-chimiques  
de l'eau du barrage de Boughzoul de l'année 2017

Mois	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	No <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	So <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)
1	252,63	113,68	153,00	1,00	254,00	0,10	842,00
2	106,12	34,29	186,00	0,80	201,00	10,10	391,00
6	144,00	59,00	224,00	11,00	208,00	0,00	675,00
7	168,00	100,00	343,00	14,00	382,00	0,00	941,00
8	196,00	194,00	790,00	17,00	908,00	0,10	1 329,00

## Annexe 29

Tableau 29 : Valeurs mensuelles en mg/l des éléments Physico-chimiques  
de l'eau du barrage de Boughzoul de l'année 2018

<b>Mois</b>	<b>Ca<sup>2+</sup> (mg/l)</b>	<b>Mg<sup>2+</sup> (mg/l)</b>	<b>Na<sup>+</sup> (mg/l)</b>	<b>K<sup>+</sup> (mg/l)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/l)</b>	<b>No<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	<b>So<sub>4</sub><sup>2-</sup> (mg/l)</b>
<b>4</b>	97,87	63,83	262,00	10,00	252,00	0,32	467,00
<b>5</b>	55,56	29,33	238,00	12,00	217,00	3,30	467,00
<b>6</b>	111,83	61,94	221,00	10,00	251,00	4,40	575,00
<b>7</b>	266,67	53,33	299,00	11,00	470,00	0,00	680,00
<b>10</b>	189,90	36,36	160,00	7,00	200,00	5,82	500,00
<b>11</b>	207,84	91,76	118,00	6,00	172,00	0,50	690,00
<b>12</b>	221,78	104,55	151,00	5,00	320,00	1,30	682,50

### Annexe 30

Tableau 30: Valeurs mensuelles en mg/l des éléments Physico-chimiques  
de l'eau du barrage de Ladrat de l'année 2017

Mois	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	No <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	So <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)
01	82,11	15,16	78,00	1,00	116,00	1,09	87,00
02	69,39	13,47	59,00	0,70	70,00	6,47	68,00
03	42,55	25,53	62,00	1,00	76,00	5,80	67,00
04	39,00	22,00	65,00	6,00	77,00	7,85	70,00
05	40,00	22,00	65,00	3,00	88,00	-0,01	73,00
06	29,00	25,00	90,00	7,00	99,00	-0,03	70,00
07	23,00	23,00	59,00	6,00	99,00	1,45	84,00
08	23,00	24,00	82,00	6,00	110,00	0,47	89,00
09	28,00	19,00	72,00	6,00	108,00	0,12	76,00
10	33,00	25,00	86,00	5,00	110,00	0,02	70,00
11	37,00	23,00	72,00	9,00	102,00	0,27	60,00
12	40,00	23,00	98,00	3,00	143,00	1,29	64,00

**Annexe 31:** Valeurs mensuelles en mg/l des éléments Physico-chimiques  
de l'eau du barrage de Ladrat de l'année 2018

<b>Mois</b>	<b>Mg<sup>2+</sup> (mg/l)</b>	<b>Na<sup>+</sup> (mg/l)</b>	<b>K<sup>+</sup> (mg/l)</b>	<b>Cl<sup>-</sup> (mg/l)</b>	<b>No<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	<b>So<sub>4</sub><sup>2-</sup> (mg/l)</b>	<b>So<sub>4</sub><sup>2-</sup> (mg/l)</b>
<b>01</b>	43,00	24,00	92,00	6,00	104,00	8,66	54,00
<b>02</b>	47,00	23,00	84,00	6,00	102,00	9,79	79,00
<b>03</b>	48,00	25,00	74,00	3,00	106,00	7,35	82,00
<b>04</b>	39,00	25,00	79,00	8,00	92,00	1,48	77,00
<b>05</b>	48,89	21,33	98,00	10,00	91,00	7,01	85,00
<b>06</b>	43,01	28,39	79,00	7,50	95,00	3,20	85,00
<b>07</b>	44,44	24,00	77,00	8,40	104,00	2,60	97,00
<b>08</b>	67,33	23,76	56,00	4,00	102,00	1,21	83,00
<b>09</b>	68,69	24,24	69,00	6,00	116,00	2,16	89,00
<b>10</b>	72,73	29,09	65,00	6,00	98,00	2,00	84,00
<b>11</b>	70,59	23,53	70,00	7,00	98,00	0,20	79,00
<b>12</b>	79,21	35,64	51,00	5,00	115,00	1,33	80,00

## Annexe 32

Tableau 32: Valeurs mensuelles en mg/l des éléments Physico-chimiques  
de l'eau du barrage de Ladrat de l'année 2019

Mois	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	No <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	So <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	So <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)
01	46,15	20,77	78,00	8,00	104,00	7,94	91,00
02	77,67	27,96	53,00	5,00	108,00	8,87	63,00
03	58,82	21,18	60,00	5,00	92,00	7,32	74,00
04	88,89	21,33	55,00	3,00	106,00	6,96	84,00
05	56,07	22,43	58,00	3,00	83,00	3,86	78,00
06	41,12	22,43	51,00	2,80	75,00	4,13	63,00
07	41,24	21,03	52,00	3,00	88,00	3,61	95,00
08	40,00	13,20	78,00	8,00	102,00	1,56	91,00
09	36,00	28,80	82,00	8,50	95,00	5,67	84,00
10	49,50	35,46	45,00	5,00	84,00	0,99	81,00
11	64,00	21,60	54,00	7,00	82,00	0,87	80,00
12	82,00	18,00	52,00	6,00	95,00	3,91	82,00