

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Année 2019

Faculté des Sciences de la Terre

Département de Géologie

Thèse

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en sciences

Contribution à l'étude de l'évolution physico-chimique des sols sous irrigation. Cas du périmètre irrigué à l'aval de la confluence Mellah-Seybouse (W de Guelma).

OPTION
Hydrogéologie

Par
MAOU Amal

DIRECTEUR DE THESE : Pr MAHIA Mouhamed Univ. Badji Mokhtar-Annaba

DEVANT LE JURY :

Président : Mr DJORFI Saadane Pr Univ. Badji Mokhtar-Annaba

Examineurs :

Mr CHAAB Salah Pr Univ. Badji Mokhtar-Annaba

Mr BENMARCE Kadour MCA Univ. Université Ferhat Abbas1-Setif

Mr MAOUI Ammar Pr Univ. 08 Mai 1945-Guelma

Mr LABAR Sofiane Pr Univ. Chadeli Benjdid-ElTaref

Dédicace

A

- mes parents auxquels je dois beaucoup et je ne rendrais jamais assez,

- mon marie Farid Tir,

- ma fille Roaya et mon fils Wassim,

- mon futur bébé,

-mes frères et mes sœurs,

- ma grande famille,

- tous les gens que j'aime et qui m'aiment,

Je dédie ce travail.

Remerciements

A la fin de ce travail, je ne manque d'adresser mes sincères remerciements à mon Dieu, le grand créateur, qui m'a guidé dans mes pas pour arriver à ce niveau.

*Merci à mon directeur de thèse le docteur **Mahia Mouhamed** et mon co-directeur le docteur **Nafaa Keblouti**, qui m'ont confié ce travail et accompagné. Je leur suis reconnaissant de m'avoir formé, orienté et corrigé, merci profondément pour leurs conseils ainsi que pour leurs gentillesse.*

Nombreuses sont les personnes qui m'ont aidé à réaliser ce travail que je dois, avec plaisir, remercier vivement. Je voudrais également remercier les membres de jury, pour avoir bien voulu lire, commenter et débattre mon travail.

*Une partie cruciale de ce travail m'était facilitée grâce à l'aide de **Mr. Beloulou Laroussi** qu'il trouve ici l'expression de mon profond respect.*

*Je tiens aussi à remercier **Mr. Saadane Djorfi, Kahi Seliman, Benmarce Kadour, Salah CHAAB, Sayad Med Lamine, Benslama Mouhamed, Hadji Rihab, Bellouche Mouhamed Amokrane et Zahri Farid** de m'avoir toujours encouragé et m'aidé.*

Je voudrais également remercier mes enseignants au département de Géologie de l'Université d'Annaba et mes collègues au département de Géologie de l'Université de Sétif.

*Je ne peux jamais oublier de remercier mes amis avec lesquels j'ai partagé des merveilleux moments durant le cycle de formation, notamment : **Nadjette, Samah, Sonia, Zouleikha, Leila, Najet, Sabrina, Yacine, Samir.....***

Je remercie également tous les étudiants de la Post Graduation 'Ingénierie des Ressources en Eau'.

Je remercie toute personne, qui de près ou de loin a généreusement contribué à l'élaboration de ce modeste travail.

المخلص

في العقد الماضي، شهدت منطقة بوشقوف تطوراً كبيراً في الزراعة، وكان لها تأثير إيجابي على الاقتصاد الإقليمي بأكمله. ومع ذلك، فقد أدى هذا التطور إلى ارتفاع الطلب على المياه لتلبية احتياجات الزراعة، واللجوء إلى الري أصبح ضرورياً، لكن ولسوء الحظ لم يؤخذ هذا التطور في الحسبان لتأثيره على جودة المياه الجوفية والتربة. لقد غير الري على نطاق واسع بنية التربة، مما أدى في بعض الأحيان إلى انخفاض خصوبة التربة وتدهور النوعية من خلال عملية الملوحة، فضلاً عن تدهور المياه الجوفية من خلال التلوث. تتناول الدراسة جودة المياه السطحية والجوفية في مستجمع مياه سيبوس (متوسط سيبوس، منطقة بوشقوف)، وتأثير الري في زيادة نسبة الملوحة و نسبة الصوديوم في المحيط المسقي لمنطقة بوشقوف. الهدف من هذه الدراسة هو تقديم نموذج محاكاة لحركة الأملاح في التربة المرورية في منطقة بوشقوف، SMSS 2 هو نموذج بسيط يسمح أساساً بالتنبؤ بالملوحة / و الصوديوم لتربة معينة بعد الري. لفترة طويلة من الزمن، تم استخدامه وفقاً لمبدأ: محاكاة ري التربة المالحة بمياه غير مملحة ومحاكاة ري التربة غير المملحة بالمياه المالحة من مياه واد السيبوس وواد المالح.

الكلمات المفتاحية: بوشقوف. الري. التربة. الملوحة. نموذج محاكاة .

Résumé

Durant la dernière décennie, la région de Bouchegouf a connu un développement important en matière d'agriculture, avec un effet positif sur toute l'économie régionale

Néanmoins, ce développement a engendré une forte demande sur les eaux pour répondre aux besoins de l'agriculture. Le recours à l'irrigation est nécessaire, malheureusement ce développement n'a pas pris en compte son effet sur la qualité des eaux souterraines et du sol et aucune étude concernant la préservation et la protection de l'environnement n'a été prise en compte.

L'irrigation à grande échelle a modifié la structure des sols conduisant parfois à la baisse de leur fertilité et de la détérioration de leur qualité par le processus de salinisation, au même temps que la dégradation des eaux souterraines par contamination.

L'étude réalisée porte sur la qualité des eaux de surface et souterraines dans le bassin versant de la Seybouse (moyenne Seybouse, région de Bouchegouf), et l'impact de l'irrigation sur le devenir salin et sodique du sol de la région de bouchegouf.

L'objectif de cette étude est de présenter un modèle de simulation du mouvement des sels dans les sols irrigués de Bouchegouf. Le progiciel SMSS2 est un modèle simple permettant essentiellement la prévision de la salinité/sodicité d'un sol donné après sa mise en irrigation pendant une période prolongée dans le temps.

Mots clés : Bouchegouf ; irrigation ; sol ; salinité/sodicité ; model de simulation.

Abstract

In the last decade, the Bouchegouf region has experienced significant development in. Nevertheless, this development has generated a high demand on water to meet the needs of agriculture, the use of irrigation is necessary,-unfortunately this development has not taken into account are effect on the quality of groundwater and the ground.

Large-scale irrigation has altered the soil structure, sometimes leading to a decline in soil fertility and deterioration in quality through the salinization process, as well as the degradation of groundwater through contamination.

The study carried out concerns the quality of surface and groundwater in the Seybouse watershed (average Seybouse, Bouchegouf region), and the impact of irrigation on the salt and sodium evolution of the irrigated perimeter of the soil. Bouchegouf.

The aim of this study is to present a simulation model of the movement of salts in Bouchegouf irrigated soils; the SMSS2 software package is a simple model essentially allowing the prediction of the salinity / sodicity of a given soil after its irrigation.

For a prolonged period, it was used according to the principle: simulate saline soil irrigation with unsalted water and simulate unsalted soil irrigation with salt water from Seybouse and Mellah.

Key words : Bouchegouf ; irrigation ; ground ; salinity / sodicity ; simulation model.

TABLBE DES MATIÈRES

Page

Table des matièresI
Liste des figuresVI
Liste des tableauxXI
Introduction générale 1

**Chapitre I : PRÉSENTATION DU CADRE GÉNÉRAL DE LA ZONE
D'ÉTUDE**

I.1 : Situation géographique.....4
I.2 : Aperçu géomorphologique.....5
 I.2.1 : Zone de montagnes.....5
 I.2.2 : Présentation du bassin de la Seybouse (au niveau de Bouchegouf).....5
 I.2.3 : Réseau hydrographique.....5
 I.2.3.1 : Oued Seybouse.....5
 I.2.3.2 : Oued Mellah.....6
I.3 : Contexte socioéconomique.....7
I.3.1 : Les activités.....7
I.4 : La végétation.....7

Chapitre II : CARACTÉRISTIQUES GÉOLOGIQUES

II : Caractéristiques géologiques.....9
II.1 : Géologie régionale.....9
 II.1.1 : Le Trias.....9
 II.1.2 : Aquitanien.....9
 II.1.3 : Mio Pliocène.....9
 II.1.4 : Le Quaternaire.....9
 II.1.4.1 : Les alluvions anciennes.....9
 II.1.4.2 : Les alluvions récentes.....9
 II.1.4.2.1 : Alluvions de la basse terrasse.....9
 II.1.4.2.2 : Alluvions de la moyenne terrasse.....9
 II.1.4.2.3 : Alluvions de la haute terrasse.....9
II.2 : Etude litho-stratigraphique.....12
 II.2.1 : Miocène.....12
 II.2.2 : Quaternaire.....12
 II.2.3 : Mio-pliocène continental (post-nappe).....12
 II.2.4 : Les formations allochtones.....13
 II.2.4.1 : Nappe Numidienne.....13

II.2.4.2 : Nappe ultra-tellienne.....	14
II.2.5 : Complexe salifère du Nador.....	15
II.3 : La tectonique.....	15
II.4 : Conclusion.....	15

Chapitre III : HYDROGÉOLOGIE

III.1 : Introduction.....	17
III.2 : Identification de la nappe de Bouchegouf.....	18
III.3 : L'établissement des coupes hydrogéologiques.....	19
III.3.1 : Types de nappes.....	20
III.4 : Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère.....	21
III.4.1 : Introduction.....	21
III.4.2 : Les essais de pompage.....	22
III.4.2.1 : Transmissivité et perméabilité.....	22
III.5 : La piézométrie.....	22
III.5.1 : Inventaire des points d'eau.....	22
III.5.2 : Etablissement de la carte piézométrique.....	23
III.5.3 : Interprétation de la carte piézométrique.....	24
III.6. Conclusion.....	25

Chapitre IV : HYDROCLIMATOLOGIE

IV.1 : Introduction.....	26
IV.2 : Les facteurs climatiques.....	26
IV.2.1 : Les précipitations.....	26
IV.2.1.1 : Les précipitations mensuelles.....	26
IV.2.1.2 : Les précipitations annuelles.....	28
IV.2.2 : Coefficient pluviométrique.....	29
IV.2.3 : La température.....	32
IV.2.4. Diagramme ombrothermique.....	33
IV.2.5 : L'humidité.....	34
IV.2.6 : Le vent.....	34
IV.2.7 : Détermination du type du climat.....	34
IV.2.7.1 : Indice de Martonne (1926).....	34
IV.2.7.2 : Calcul de l'indice d'aridité mensuel.....	35
IV.2.7.3 : Indice d'humidité et classification climatique de l'FAO-UNESCO.....	36
IV.2.7.4 : Indice de Paul Moral.....	37
IV.2.7.5 : Récapitulation.....	37
IV.3 : Bilan d'eau.....	38

IV.3.1 : L'évapotranspiration.....	38
IV.3.1.1 : Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR).....	39
IV.3.1.2 : Estimation L'évapotranspiration potentielle (ETP).....	40
IV.3.2 : Formule de Thornthwaite (bilan d'eau).....	40
IV.3.2.1 : Représentation graphique du bilan hydrique.....	42
IV.3.2.2 : Interprétation du bilan hydrique.....	43
IV.3.3 : Le ruissellement.....	44
IV.3.4 : L'infiltration.....	45
IV.4 : Conclusion.....	46

Chapitre V : HYDROLOGIE ET PRÉSENTATION DU PÉRIMÈTRE IRRIGUÉ

V.1 : Introduction.....	48
V.2 : Bassin versant de la Seybouse.....	49
V.3 : Le réseau hydrographique.....	50
V.3.1 : Profil en long de l'oued Seybouse.....	51
V.3.2 : Les densités de drainage.....	52
V.3.3 : La dénivelée Spécifique (Ds).....	54
V.4 : Réseau Hydrométrique.....	54
V.4.1 : Etude des débits.....	55
V.4.2 : Débits moyens mensuels de l'Oued Mellah.....	55
V.4.3 : Débits moyens annuelles de l'Oued Mellah.....	56
V.4.4 : Coefficient moyen des débits.....	57
V.5 : L'Oued Seybouse avant et après la mise en eau du barrage Hammam D'Bagh.....	59
V.6 : Présentation du périmètre irrigué.....	60
V.6.1 : Introduction.....	60
V.6.2 : Les lâchées d'eau du barrage de Hammam Débagh.....	62
V.6.3 : Volume annuel d'eau pompé de l'Oued Seybouse.....	63
V.6.4 : L'évolution des superficies irriguées.....	64
V.6.5 : Le secteur irrigué de la plaine de Bouchegouf.....	65
V.7 : Les sols du périmètre.....	65
V.8 : Le principe de fonctionnement des installations.....	66
V.9 : Conclusion.....	67

Chapitre VI : CARACTÉRISTIQUES PHYSICOCHIMIQUES DES EAUX ET DES SOL

VI.1 : Introduction.....	68
VI.2 : Echantillonnage, matériels et méthodes d'analyse.....	68
VI.2.2 : Paramètres physico-chimiques.....	69
VI.2.3 : Analyse des éléments chimiques.....	70

VI.2.3.1 : La température de l'eau.....	70
VI.2.3.2 : Le potentiel d'Hydrogène pH.....	71
VI.2.3.3 : La conductivité électrique CE.....	71
VI.2.3.4 : L'Oxygène dissous O2.....	71
VI.2.3.5 : Potentiel d'oxydoréduction Eh.....	71
VI.2.3.6 : La Turbidité.....	72
VI.2.3.7 : La Dureté ou titre hydrotimétrique (TH).....	72
VI.2.3.8 : Les chlorures (Cl ⁻).....	72
VI.2.3.9 : Les matières en suspensions MES.....	72
VI.2.3.10 : Les Nitrates et les Nitrites.....	73
VI.2.3.11 : L'azote ammoniacal : (NH ₄ ⁺).....	73
VI.2.3.12 : Demande Chimique en Oxygène (DCO).....	74
VI.2.3.13 : Demande Biologique en Oxygène (DBO5).....	74
VI.2.3.14 : Les Ortho-phosphates (PO ₄ ³⁻).....	76
VI.2.3.15 : Les éléments traces métalliques (ETM).....	76
VI.3 : Traitement des résultats physicochimiques des eaux souterraines et de surfaces.....	76
VI.3.1 : Variation des paramètres mesurés in situ.....	76
VI.3.1.1 : La température.....	76
VI.3.1.2 : Le pH.....	78
VI.3.1.3 : La conductivité électrique.....	80
VI.3.2 : Variation des paramètres mesurés au laboratoire.....	82
VI.3.2.1 : Les cations.....	82
VI.3.2.1.1 : Le calcium (Ca ⁺⁺).....	82
VI.3.2.1.2 : Le magnésium (Mg ⁺⁺).....	84
VI.3.2.1.3 : Sodium (Na ⁺).....	86
VI.3.2.1.4 : Potassium (K ⁺).....	89
VI.3.2.2 : Les anions.....	90
VI.3.2.2.1 : Les Chlorures (Cl ⁻).....	90
VI.3.2.2.2 : Les bicarbonates (HCO ₃ ⁻).....	92
VI.3.2.2.3 : Les sulfates (SO ₄ ⁻²).....	94
VI.3.2.2.4 : Les nitrates (NO ₃ ⁻).....	96
VI.4 : Les faciès chimiques.....	98
VI.4.1 : Eaux souterraines.....	98
VI.4.2 : Eaux de surfaces.....	100
VI.5 : Qualité des eaux d'irrigation.....	100
VI.6 : Contamination des eaux de surface par les éléments en traces (ETM).....	101
VI.7 : Analyses chimiques du sol.....	102
VI.7.1 : Méthodologie.....	103
VI.7.1.1 : Technique d'échantillonnage.....	103
VI.7.1.2 : Mode opératoire.....	104
VI.7.1.2.1 : Méthode d'analyse.....	104
VI.7.1.2.2 : Extrait de pate saturée.....	104

VI.7.2 : Résultats et interprétations.....	105
VI.7.2.1 : Mesure du pH du sol.....	105
VI.7.2.2 : Conductivité électrique.....	106
VI.7.3 : Répartition des éléments majeurs du sol.....	107
VI.7.3.1 : les anions.....	107
VI.7.3.2 : Les cations.....	108
VI.7.3.3 : Le phosphore total.....	109
VI.7.3.3 : La matière organique.....	110
VI.7.3.4 : Le rapport C/N.....	111
VI.8 : Contamination des sols par les éléments en traces (ETM).....	111
VI.9 : Eaux d'irrigation-sol.....	113
VI.10 : Taux de sodium échangeable (Ex changeable Sodium Pourcentage) ESP.....	113
VI.11 : Interprétation statistique des résultats.....	115
VI.11.1 : Analyse en composantes principales (ACP).....	115
VI.11.1.1 : ACP des eaux de surface.....	115
VI.11.1.2 : ACP des sols.....	118
VI.12 : Conclusion.....	120

Chapitre VII : MODÉLISATION

VII : Modélisation de l'impact de l'irrigation sur le devenir salin et sodique des sols.....	121
VII.1 : Introduction.....	121
VII.2 : L'objectif d'étude.....	122
VII.3 : Présentation du modèle SMSS2.....	123
VII.4 : Utilisation du programme.....	126
VII.4 .1 : Les inputs.....	126
VII.4. 2 : Les outputs.....	128
VII.5 : Validation de modèle.....	129
VII.6 : Résultats de la simulation.....	131
VII.7 : Conclusion.....	137
Conclusion générale.....	138
Références bibliographiques.....	141
Annexe.....	147

Liste des figures

Figure n°1 : Situation géographique de la zone d'étude	4
Figure n°2 : le réseau hydrographique de la région d'étude	6
Figure n°3 : Carte de la population de la wilaya de Guelma (PMH 2013).....	7
Figure n°4 : Carte géologique de la région de Bouchegouf (Flandrin.M.J, 1930).....	10
Figure n°5 : Coupes Géologiques de la plaine de Bouchegouf (Chaoui.W, 2007).....	11
Figure n°6 : Les zones hydrogéologiques du bassin versant de la Seybouse à partir de Guelma.....	17
Figure n°7 : Coupe schématique illustrant la limitation de la zone non saturé et la zone saturé dans la plaine de Bouchegouf (Chaoui.W, 2007)	18
Figure n°8 : Coupe hydrogéologique de la région de Bouchegouf.....	20
Figure n°9 : Inventaire des points d'eaux sur la carte topographique.....	23
Figure n°10 : La carte piézométrique réalisée sur la région de Bouchegouf.....	24
Figure n°11 : Localisation des stations pluviométrique et précipitations annuelles moyennes de l'Est algérien (D'après étude ANRH GTZ, 2003données moyennes de 60 ans, période 01/09/1921 au 31/08/1960 et du 01/09/1968 au 31/08/1989).....	27
Figure n°12 : Variations des précipitations moyennes mensuelles(en mm) à la station de Bouchegouf (1980 /81-2011/12).....	28
Figure n°13 : Variations des précipitations annuelles (en mm) pour la station de Bouchegouf. (1980 /1981-2011 /2012).....	29
Figure n°14 : Carte des précipitations moyennes annuelles de la région de Bouchegouf.....	29
Figure n°15 : Les variations du coefficient pluviométrique à la station de Bouchegouf (1980/1981-2011/2012).....	31
Figure n°16 : Variations des températures moyennes mensuelles (°C) pour la station de Bouchegouf (1985/1986- 2007/2008).....	33
Figure n°17 : Digramme ombrothermique à la station de Bouchegouf.....	33
Figure n°18 : Représentation schématique du bilan évapotranspiration/alimentation de la nappe/ruissellement.....	38
Figure n°19 : Représentation graphique du bilan hydrique d'eau selon la méthode de Thorntwaite à la station de Bouchegouf (1980-2014).....	42

Liste des figures

Figure n°20 : Répartition des nombres de mois de l'année dans le bassin versant de la Seybouse (Mebarki et Laborde 2012).....	43
Figure n°21 : Déficit agricole en eau (RFU 100mm) (Mebarki et Laborde 2012).....	44
Figure n°22 : Confluence des Oueds Charef et Bouhamdane donnant la Seybouse.....	48
Figure n°23 : Ecoulement interannuels moyens d'après le modèle LOIEAU (période 1965-1995 in Mébarki 2005).....	50
Figure n°24 : Profil en long de l'Oued Seybouse (Ghachi, 1982).....	52
Figure n°25 : Variations mensuelles des débits (1985-2006).....	56
Figure n°26 : Variations annuelles des débits (1985/2006).....	57
Figure n°27 : Evolution des coefficients des débits moyens de l'Oued Mellah (1985-2006).....	59
Figure n°28 : Les cinq secteurs du périmètre irrigué de Guelma-Boucheougouf avec Leur besoin en eau.....	61
Figure n°29 : Schéma de fonctionnement hydraulique (O.N.I.D. 2010).....	62
Figure n°30 : Volumes affectés à l'irrigation à partir du barrage de Hammam Debagh (Source O.N.I.D, Mai 2012).....	63
Figure n°31 : Evolution des volumes d'eau consommés par année dans le périmètre de Guelma- Boucheougouf (d'après O.N.I.D. 2013).....	64
Figure n°32 : Evolution des superficies irriguées dans le périmètre de Guelma-Boucheougouf (d'après O.N.I.D. Guelma, Mai 2012).....	64
Figure n°33 : Superficies irriguées dans les secteurs du périmètre Guelma-Boucheougouf.....	65
Figure n°34 : Carte d'inventaire des points de prélèvement d'eau et du sol.....	69
Figure n°35a : Température des eaux souterraines de la nappe alluviale de Boucheougouf (basses eaux, Juin 2015).....	77
Figure n°35b : Température des eaux souterraines de la nappe alluviale de Boucheougouf (hautes eaux, Janvier 2015).....	78
Figure n°36a : pH des eaux souterraines de la nappe alluviale de Boucheougouf (basses eaux, Juin 2015).....	79

Figure n°36b : pH des eaux souterraines et de surface de de la nappe alluviale de Bouchegouf (hautes eaux, Janvier 2015).....	80
Figure n°37a : Conductivité des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (basses eaux, Juin 2015).....	81
Figure n°37b : Conductivité des eaux souterraines de de la nappe alluviale de Bouchegouf (hautes eaux, Janvier 2015).....	82
Figure n°38a : Teneur en calcium des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (basses eaux, Juin 2015).....	83
Figure n°38b : Teneur en calcium des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (hautes eaux, Janvier 2015).....	84
Figure n°39a : Teneur en magnésium des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (basses eaux, Juin 2015).....	85
Figure n°39b : Teneur en magnésium des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (hautes eaux, Janvier 2015).....	86
Figure n°40a : Teneur en sodium des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (basses eaux, Juin 2015).....	87
Figure n°40b : Teneur en sodium des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (hautes eaux, Janvier 2015).....	88
Figure n°41a : Teneur en potassium des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (basses eaux, Juin 2015).....	89
Figure n°41b : Teneur en potassium des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (hautes eaux, Janvier 2015).....	90
Figure n°42a : Teneur en chlorure des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (hautes eaux, juin 2015).....	91
Figure n°42b : Teneur en chlorure des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (hautes eaux, Janvier 2015).....	92
Figure n°43a : Teneur en bicarbonate des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (basses eaux, Juin 2015).....	93
Figure n°43b : Teneur en bicarbonate des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (basses eaux, Janvier 2015).....	94

Figure n°44a : Teneur en sulfate des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (basses eaux, Juin 2015).....	95
Figure n°44b : Teneur en sulfate des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (basses eaux, Janvier 2015).....	96
Figure n°45a : Teneur en nitrate des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (hautes eaux, Juin 2015).....	97
Figure n°45b : Teneur en nitrate des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (hautes eaux, Janvier 2015).....	98
Figure n°46a : Le faciès chimique des eaux souterraines d’après le diagramme de Piper (période basses eaux).....	99
Figure n°46b : Faciès chimique des eaux souterraines d’après le diagramme de Piper (période hautes eaux).....	99
Figure n°47 : Faciès chimique des eaux d’Oued Seybouse et Mellah d’après le diagramme de Piper.....	100
Figure n°48 : Variation des teneurs en ETM dans l’eau au niveau du site de prélèvement.....	102
Figure n°49 : Méthode de prélèvement des sols en diagonale.....	103
Figure n°50 : Variation du pH en fonction de la profondeur.....	105
Figure n°51 : Variation de la conductivité électrique de la pâte saturée du sol de Bouchegouf.....	107
Figure n°52 : Variation des concentrations moyennes des anions du sol dans la couche 0-40cm.....	108
Figure n°53 : Variation des concentrations moyennes des cations du sol dans la couche 0-40cm.....	109
Figure n°54 : Valeurs du phosphore (mécq/100g) total des sols de Bouchegouf.....	110
Figure n°55 : Valeurs de la matière organique (%) des sols du périmètre de Bouchegouf.....	110
Figure n°56 : Le rapport (C/N) des sols du périmètre de Bouchegouf.....	111
Figure n°57 : Variation des teneurs en ETM dans le sol du périmètre de Bouchegouf.....	112
Figure n°58 : Relation eau-sol dans le périmètre d’irrigation de Bouchegouf.....	113
Figure n°59 : Variation des Taux de sodium échangeable (ESP) du sol.....	114
Figure n°60 : ACP des analyses chimiques des eaux de surface selon les axes F1 et F2.....	116

Figure n°61 : ACP des analyses chimiques des eaux de surface selon les axes F1 et F3.....	117
Figure n°62 : ACP des analyses chimiques du sol selon les axes F1 et F2	118
Figure n°63 : ACP des analyses chimiques du sol selon les axes F1 et F3	119
Figure n°64 : Processus de dégradation de la qualité des sols suite à l'irrigation (Badraoui et al. 1997).....	122
Figure n°65 : Organigramme de simulation du processus de salinisation / sodification des sols suite à l'irrigation par le modèle SMSS2.....	123
Figure n°66 : Processus chimiques Inorganiques inclus dans le modèle.....	125
Figure n°67 : Ecran de saisie des paramètres de sélectivité et de volume d'eau d'irrigation....	126
Figure n°68 : Ecran de saisie des caractéristiques de l'eau d'irrigation	127
Figure n°69 : Ecran de saisie des données sur les caractéristiques chimiques initiales du profile.....	128
Figure n°70 : présentation tableau des résultats de la simulation	128
Figure n°71 : présentation graphique des résultats de la simulation	129
Figure n°72 : Simulation de l'irrigation du sol salé par l'eau de la nappe : évolution de la conductivité électrique.....	132
Figure n°73 : Simulation de l'irrigation du sol salé par l'eau de la nappe : évolution de l'ESP.....	133
Figure n°74 : Simulation de l'irrigation du sol salé par l'eau de la nappe : évolution du SAR.....	133
Figure n°75 : Simulation de l'irrigation du sol non salé par l'eau d'Oued Seybouse : évolution de la conductivité électrique.....	134
Figure n°76 : Simulation de l'irrigation du sol non salé par l'eau d'Oued Seybouse : évolution de l'ESP	134
Figure n°77 : Simulation de l'irrigation du sol non salé par l'eau d'Oued Seybouse : évolution du SAR.....	135
Figure n°78 : Simulation de l'irrigation du sol non salé par l'eau de Oued El Mellah: évolution de la conductivité électrique.....	135
Figure n°79 : Simulation de l'irrigation du sol non salé par l'eau de Oued El Mellah: évolution de l'ESP.....	136
Figure n°80 : Simulation de l'irrigation du sol non salé par l'eau de Oued El Mellah: évolution du SAR.....	136

Liste des tableaux

Tableau n°1 : Formations géologiques et intérêt hydrogéologique.....	12
Tableau n°2 : Caractéristiques dynamiques et type des nappes de la plaine alluviale de Bouchegouf.....	21
Tableau n°3 : Caractéristiques des forages implantés dans la région de Bouchegouf.....	21
Tableau n°4 : Paramètres hydrodynamiques de quelques forages dans la plaine de Bouchegouf.....	22
Tableau n°5 : Coordonnées géographiques de la station météorologique.....	26
Tableau n°6 : Précipitations moyenne mensuelle à la station de Bouchegouf (1980-81/2014-2015).....	27
Tableau n°7 : Précipitations annuelles (mm) et coefficients pluviométriques de la station de Bouchegouf (1980-81/2014-2015).....	30
Tableau n°8 : Températures moyennes mensuelles à la station de Bouchegouf (1988-81/2014-15).....	32
Tableau n°9 : Moyenne mensuelle de l'humidité relative à la station de Bouchegouf (en %) (1984/2013).....	34
Tableau n°10 : Moyenne mensuelle de la vitesse des vents en m/s à la station de Bouchegouf (1999-2008).....	34
Tableau n°11 : Valeur de l'indice d'aridité annuel à la station de Bouchegouf.....	35
Tableau n°12 : Indices d'aridité mensuels (I_M) à la station de Bouchegouf.....	36
Tableau n°13 : Classification des différentes formes d'aridité (Science et changements planétaires, 2005).....	36
Tableau n°14 : Comparaison des indices d'aridité pour la zone d'étude.....	37
Tableau n°15 : Valeurs de l'ETR (mm) par les trois méthodes.....	40
Tableau n°16 : Le bilan hydrique à la station de Bouchegouf d'après C. W.Thornthwaite (1955) pour la station de Bouchegouf.....	42
Tableau n°17 : Détermination des paramètres de la formule du bilan.....	45
Tableau n°18 : Paramètres morphométriques du bassin de la Seybouse (carte topographique 1/50000).....	49
Tableau n°19 : Les densités de drainage global permanent et temporaire (Ghachi, 1982).....	53
Tableau n°20 : Deuxième classification d'O.R.S.T.O.M pour différents reliefs.....	54

Tableau n°21 : Caractéristiques de quelques stations hydrométriques du bassin versant de la Seybouse Mirbeck (ANRH).....	55
Tableau n°22 : Les moyennes mensuelles des débits en m ³ /s dans la station hydrométrique de Bouchegouf (1985-2006).....	56
Tableau n°23 : Débits annuels observés à la station de Bouchegouf (1985-2006).....	57
Tableau n°24 : Le coefficient moyen des débits (1985-2006).....	58
Tableau n°25 : Les secteurs irrigués dans le périmètre Guelma-Bouchegouf (O.N.I.D, 2010)...	60
Tableau n°26 : Volumes d'eau pompés de l'Oued Seybouse pour les besoins en eau d'irrigation dans le périmètre Guelma-Bouchegouf (1996-2013) (Source : ONID 2013).....	63
Tableau n°27 : Variation de la température des eaux souterraines et de surfaces dans le périmètre de Bouchegouf.....	77
Tableau n°28 : Variation du pH des eaux souterraines et de surfaces dans la région de Bouchegouf.....	79
Tableau n°29 : Variation de la conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$) des eaux souterraines et de surfaces dans la région de Bouchegouf.....	81
Tableau n°30 : Variation du calcium (mg/l) des eaux souterraines et de surfaces dans la région de Bouchegouf.....	83
Tableau n°31 : Variation du magnésium (mg/l) des eaux souterraines et de surfaces dans la région de Bouchegouf.....	85
Tableau n°32 : Teneur en sodium (mg/l) des eaux souterraines et de surfaces dans la région de Bouchegouf.....	87
Tableau n°33 : Teneur en potassium des eaux souterraines et de surfaces dans le périmètre de Bouchegouf.....	89
Tableau n°34 : Teneur en chlorures des eaux souterraines et de surfaces dans le périmètre de Bouchegouf.....	91
Tableau n°35 : Teneur en bicarbonate des eaux souterraines et de surfaces dans le périmètre de Bouchegouf.....	93
Tableau n°36 : Teneur en sulfates des eaux souterraines et de surfaces dans le périmètre de Bouchegouf.....	95
Tableau n°37 : Teneur en nitrates des eaux souterraines et de surfaces dans le périmètre de Bouchegouf.....	97
Tableau n°38 : Les caractéristiques physico-chimiques des eaux d'irrigation du périmètre de Bouchegouf (Décembre 2013).....	101

Tableau n°39 : Evaluation des éléments traces métalliques de l'eau (en PPM) à l'aval de la confluence Mellah-Seybouse.....	102
Tableau n°40 : Classification des sols selon le (FAO) : soil bulletin 39,1988.....	106
Tableau n°41 : Intervalles des concentrations des anions.....	108
Tableau n°42 : Intervalles des concentrations des cations.....	109
Tableau n°43 : Evaluation des éléments traces métalliques (en ppm) dans le sol du périmètre de Bouchegouf.....	112
Tableau n°44 : Classification des sols en fonction de l'ESP et la conductivité électrique (Mermoud, 2006).....	114
Tableau n°45 : Taux de sodium échangeable ESP (%).....	114
Tableau n°46 : Composition des horizons du sol et de sa surface (sol salée).....	130
Tableau n°47 : Composition des horizons du sol et de sa surface (sol non salée).....	130
Tableau n°48 : Caractéristiques chimiques des eaux d'irrigation de la plaine de Bouchegouf (Juin 2015).....	130
Tableau n°49 a : Tableau des sorties du programme. Irrigation des sols salés avec l'eau de la nappe	131
Tableau n°49 b : Tableau des sorties du programme. Irrigation des sols non salés avec l'eau de l'Oued Seybouse	131
Tableau n°49 c : Tableau des sorties du programme. Irrigation des sols non salés avec l'eau de l'Oued Mellah.....	132

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction Générale

Introduction générale

Depuis la mise en service en 1996 du périmètre irrigué Guelma – Bouchegouf la problématique liée à la qualité des eaux d'irrigation à partir de l'Oued Seybouse reste posé avec acuité.

Faut-il ou non utiliser les eaux de cet oued pour l'irrigation ? Sachant que les eaux résiduaires industrielles, les eaux usées domestiques et les huiles de vidanges et autres sont déversées directement dans cet oued, sans aucun traitement préalable. Ceci d'une part d'autre part, une autre source de pollution est non le moindre est la pollution d'origine agricole (lessivage des engrais chimiques et des pesticides) (Hadjar, 1999).

L'accroissement rapide de la démographie ainsi que l'amélioration du niveau de vie des populations engendre un développement économique et social et nécessitent proportionnellement un accroissement des besoins en eau.

Une forte demande en eau d'irrigation est enregistrée. De ce fait, l'agriculture doit se contenter, d'une part, d'une quantité de plus en plus faible, et de l'autre, d'une eau de qualité décroissante. De même, lorsque des eaux de faible qualité sont utilisées pour l'irrigation, les règles générales de gestion doivent être modifiées. Dans ce cas, la salinité devient un facteur dont il faut tenir compte lors de l'élaboration des relations entre les besoins en eau et la production. Des ajustements des apports doivent être effectués afin de garantir la durabilité des systèmes de culture dans les zones irriguées. La salinité constitue l'une des principales contraintes responsables de la perte de rendement des cultures et de la détérioration du sol et du couvert végétal.

Globalement le monde perd en moyenne 10 hectares de terres cultivables par minute dont 3 ha (plus de 1.5 millions d'ha par an) à cause de la salinisation (Kovda, 1983). Aujourd'hui, on estime à près de 400 millions d'hectares les terres affectées par la salinisation (Bot, Nachtergaele and Young, 2000). En Afrique, près de 40 millions d'ha sont affectés par la salinisation, soit près de 2% de la surface totale. 80% la salinisation des terres est d'origine naturelle ; c'est une salinisation "primaire", due aux sels se formant lors de l'altération des roches ou des apports naturels externes. 20% des terres salinisées, soit près de 15 millions d'ha sur le continent Africain, ont une origine anthropique, on évoque alors de salinisation secondaire, induite par l'activité humaine, liée aux pratiques agricoles et en particulier à l'irrigation.

Introduction Générale

A cause de sa vocation et agricole et industrielle, la commune de Bouchegouf est devenue une très grande zone utilisatrice d'eau, d'où la qualité du sol ne cesse de se détériorer. Dans cette étude, nous avons essayé de faire le point sur l'état de la salinité du sol de la région.

Le but de notre étude est de voir l'impact des eaux d'irrigation sur les sols et sur les eaux souterraines de la nappe. Elle nécessite une étude multidisciplinaire à savoir la géologie, l'hydrogéologie la climatologie, L'hydrologie, la présentation du périmètre d'irrigation, les caractéristiques physicochimique de l'eau et de sol... etc. Un plan de travail a été adopté pour montrer l'impact de l'irrigation sur le devenir salin de la plaine de Bouchegouf. Ce travail a nécessité une approche en sept chapitres :

- Le premier chapitre présente une synthèse sur la situation géographique, la géomorphologie et les différentes activités socio-économiques dans la région d'étude.
- Le deuxième chapitre porte sur les caractéristiques géologiques ; détail du contexte géologique de la région de Bouchegouf, définir les différents accidents tectonique et voir la structure géologique.
- Le troisième chapitre : Etude hydrogéologique ; on a délimité les aquifères rencontrés dans la région ainsi que leurs caractéristiques hydrodynamiques, établi une carte piézométrique afin de déterminer les sens d'écoulement.
- Le quatrième chapitre : Caractéristiques hydro-climatologique, c'est l'étude détaillée des paramètres climatologiques et l'établissement du bilan hydrique pour mieux décèler la distribution des eaux pluviales à travers la région.
- Le cinquième chapitre est consacré pour l'écoulement des eaux de surface de la Seybouse et les phénomènes qui régissent cet écoulement notamment les variations du débit de l'Oued et ses caractéristiques à la station de Bouchegouf dans la première partie et à la reconnaissance du périmètre irrigué, pour avoir une idée sur l'évolution des volumes utilisées mensuellement et annuellement à l'irrigation à partir des eaux de l'Oued Seybouse, et les superficies irriguées en deuxième partie.
- Le sixième chapitre : Caractéristiques physicochimiques des eaux souterraines et du sol de la région ; partie essentielle qui étudie la caractérisation des différentes sources de pollution. Un prélèvement d'eau et du sol a été réalisé dans la région de Bouchegouf ; les échantillons prélevés d'eau et du sol ont été soumis à une série d'analyses physico-chimiques, réalisées au laboratoire (Département de biologie de L'université de Farhat Abbas-Sétif 1) et au

Introduction Générale

laboratoire privé Sidra (Fertial). L'ensemble des données nous a conduits à mieux évaluer la qualité de l'eau et du sol de la zone étudiée. Les données analytiques acquises dans le réseau de mesure de la zone d'étude ont été traitées par des logiciels informatiques (Surfer, Diagrammes).

- Le septième chapitre : Modélisation de l'impact de l'irrigation sur le devenir salin et sodique des sols ; dont la réalisation est tributaire d'un ensemble de données assez conséquent et qui ont été traitées dans les différents chapitres précédents. Ce dernier chapitre consiste à présenter un modèle de simulation du mouvement des sels dans les sols irrigués, réalisée par le progiciel SMSS2 afin d'évaluer les risques liés aux phénomènes de salinisation et de sodification provoquant une dégradation des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol de Bouchegouf.

Enfin, nous pouvons conclure, que le développement d'une agriculture durable économe en potentialités en eau avec de meilleurs rendements agricoles, passe impérativement par le traitement de la salinité et de la pollution au niveau de la plaine alluviale de Bouchegouf.

*CHAPITRE 1 : PRÉSENTATION DU CADRE
GÉNÉRALE*

I.1 : Situation géographique

La région d'étude se situe dans la partie Nord-Est de l'Algérie (**Fig. n°1**) ; elle appartient au bassin de la Seybouse à l'amont de celle-ci (la moyenne Seybouse) dans le territoire de la wilaya de Guelma.

Elle fait partie de la zone Est de la wilaya de Guelma. Elle est à 35 km du centre de la wilaya, à 52 km de la wilaya d'Annaba et à 42 km de la wilaya de Souk Ahras. Elle est située aussi à 560 km de la capitale Alger et à 82 km de la frontière Tunisienne.

Elle est entourée par Medjez Sfa, Oued Fragha et Djeballah Khemissi, Bouchegouf est située à 16 km au Nord-Ouest de Mechroha, la plus grande ville aux alentours. Située à 155 mètres d'altitude, la ville de Bouchegouf se limite par les coordonnées suivantes :

- 36° 24' 05'' et 36° 34' 00'' de latitude Nord
- 07° 38' 28'' et 07° 57' 28'' de longitude EST

La Daïra de Bouchegouf s'étale sur une superficie de 232 km².

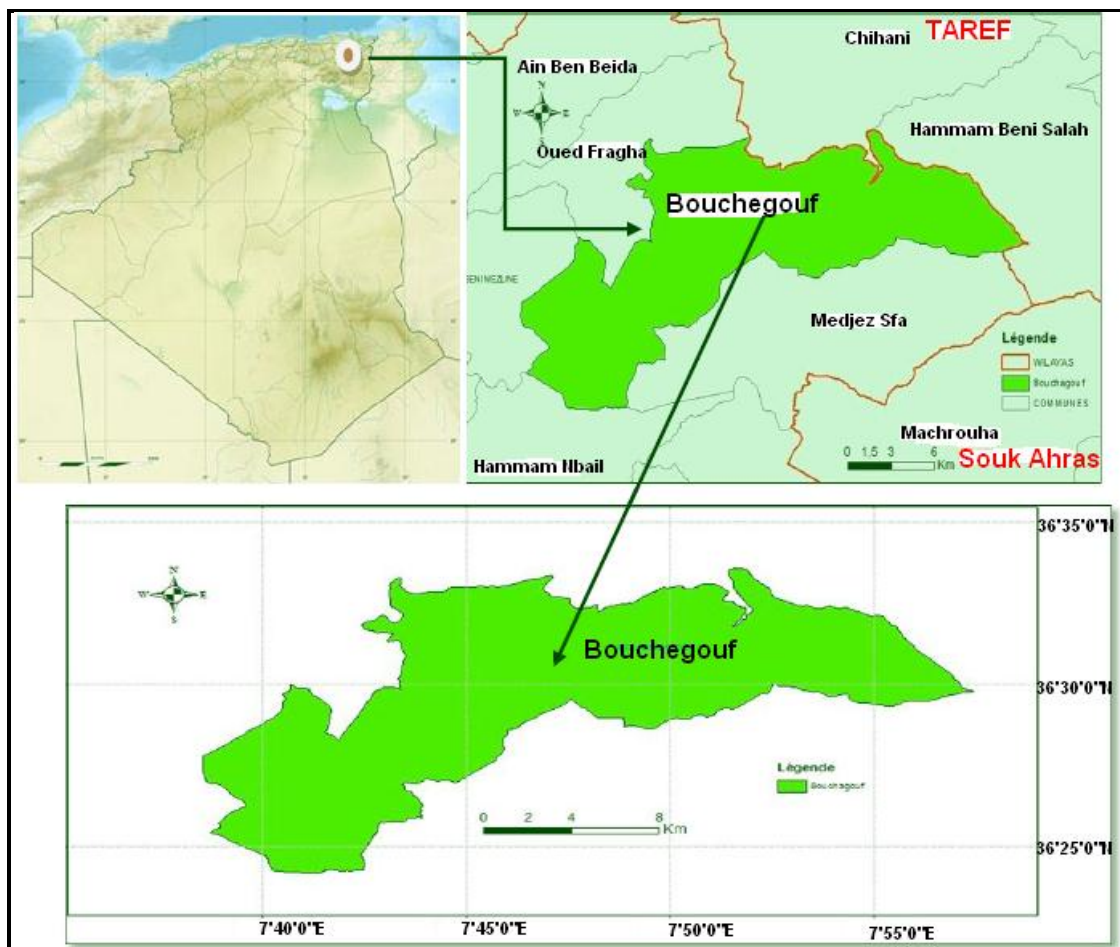


Figure n°1 : Situation géographique de la zone d'étude (Maou, 2019).

I.2 : Aperçu géomorphologique

I.2.1 : Zone de montagnes

La zone de Bouchegouf se caractérise par un relief fortement montagneux (près de 75%). Cette zone est traversée par l'Oued Seybouse dont les berges constituent les prolongements de la plaine de Guelma. Ses montagnes sont couvertes de massifs forestiers, notamment les forêts de Beni Salah et de Ain Ben Beida (une partie de Houara à l'Ouest). Son paysage se caractérise par de longs versants réguliers à pentes moyennes et quelques hautes surfaces à pentes plus faibles, outre quelques plaines moins importantes que celle de Guelma.

I.2.2 : Présentation du bassin de la Seybouse (au niveau de Bouchegouf)

La Seybouse, sur son parcours de 160 km à la mer, draine une superficie globale de 6471km² (A.Ghachi, 1982).

La plaine de Bouchegouf est séparée du bassin de Guelma par les gorges du Nador, la perméabilité importante des terrasses alluvionnaires est soutenue surtout par les apports

Induits des Oueds Mellah et Seybouse. Avant de se jeter dans la Seybouse, l'Oued Mellah draine une superficie de 552km², caractérisée par une morphologie très accidentée et une lithologie diversifiée de terrains avec une prédominance de Trias gypsifère qui se développe en diapir à Hammam N'bails au Sud à Nador et Bouchegouf au Nord (A.Ghachi, 1982).

I.2.3 : Réseau hydrographique

Du point de vue hydrologique, la plaine de Bouchegouf est traversée par deux Oueds ; dont l'Oued Seybouse du Nord au Sud et l'Oued Mellah, ce dernier longe la région du Sud-Ouest vers le Nord-Est. Il est l'affluent le plus important de l'Oued Seybouse (**Fig. n°2**).

I.2.3.1 : Oued Seybouse

Le bassin versant de la Seybouse couvre au total une superficie de 6741 km². De direction Sud-Nord, l'Oued Seybouse prend naissance dans les hautes plaines de Hecarta et Sellaoua. Vu les quantités importantes des précipitations d'hiver reçues par la chaîne numidienne, les nappes alluviales traversées par la Seybouse permettent de régulariser l'écoulement de cet Oued. A la sortie de cette dernière, la Seybouse pénètre dans la plaine d'Annaba en perdant sa torrencialité et en abandonnant une grande partie de sa charge solide où il trouve son embouchure dans la mer méditerranée au Nord.

I.2.3.2 : Oued Mellah

Le bassin versant de l'Oued Mellah se situe à l'Est de la moyenne Seybouse. Il constitue le quatrième sous bassin après ceux de : Cherf, Bouhamdane et celui de Guelma. L'Oued Mellah prend sa source à 1180 m d'altitude dans le Djbel Bardo au Sud-Ouest de djbel Zouara, Safiet

El-Alouet et Kef Aks par la réunion de l'Oued Sfa et l'Oued Ramen qu'il traverse suivant une orientation Sud- Ouest Nord- Est jusqu'à l'Oued Rirane. Durant son parcours, l'Oued Mellah reçoit quelques affluents importants, entre autres : l'Oued Zarin, Oued Rirane, Oued Chham, Oued El Hammam et Oued Bouzara. Le sous bassin de l'Oued Mellah couvre une superficie de 550 km².

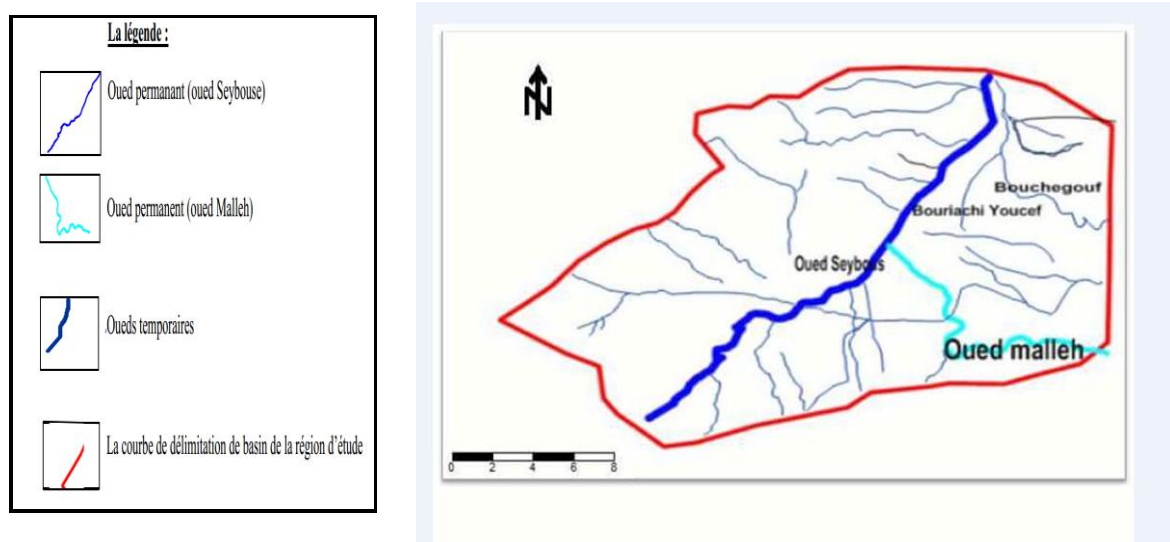
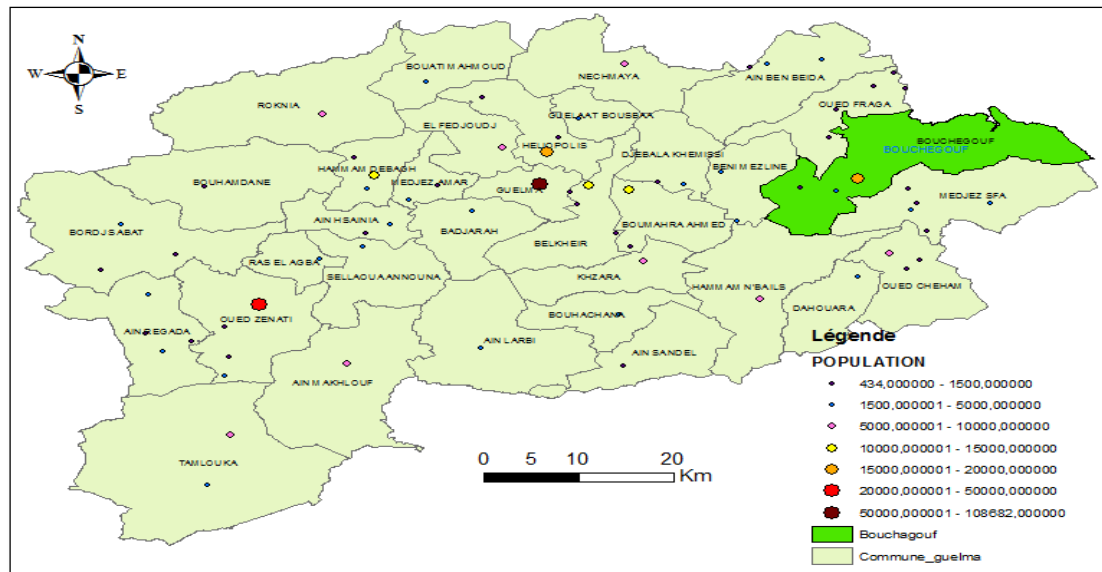


Figure n°2 : le réseau hydrographique de la région d'étude (Maou, 2019).

I.3 : Contexte socioéconomique

La Daïra de Bouche gouf dont la zone d'étude en fait partie s'étale sur une superficie de 232 km² avec 09 Communes réparties sur son territoire. En 2008, année du dernier Recensement général de la population et de l'habitat, la commune de Bouche gouf comptait 25 443 habitants, ce qui représente 5,2% de la population de la wilaya de Guelma. En 2013 la population de Bouche gouf s'est élevée à 27 331 habitants répartis sur le chef-lieu et trois agglomérations secondaires (Djesr Bouche gouf : 2 656, Soléa : 669 et Mechta Charef : 531) (**Fig. n°3**).

La densité de la commune est légèrement supérieure à celle de la wilaya de Guelma, elle est d'environ 141,20 habitants au Km² ce qui traduit par une densité relativement élevée.



**Figure n°3 : Carte de la population de la wilaya de Guelma
(étude d'inventaire PMH 2013).**

I.3.1 : Les activités

L'aspect socioéconomique de la commune de Bouchegouf est décrit dans cette partie, pour une meilleure connaissance sur les activités pratiquées dans la wilaya. L'agriculture occupe la grande partie avec une superficie de 10352 hectares (étude d'inventaire PMH 2013), elle est observée sur l'ensemble de la plaine, avec une très grande variété de cultures céréalières, maraîchères et arboricoles.

L'activité industrielle reste faible et elle est représentée simplement par les trois unités suivantes :

- unité de production de levure avec un Forage propre : Débit = 22 m³ /h et de 100 m de profondeur.
- unité de chaussures et habillements avec un Forage propre : Débit = 40 m³ /h et de 136 m de profondeur.
- et enfin unité de l'office national d'alimentation du bétail (ONAB) avec un Forage propre : Débit = 20 m³ /h et de 97 m de profondeur.

Les autres secteurs sont relativement faibles comme le commerce, le transport et le secteur des services. L'ensemble des rejets urbains et industriels se jette directement dans les oueds, essentiellement dans l'Oued Seybouse.

I.4 : La végétation

Le couvert végétal de la zone d'étude est relativement intense en raison des conditions hydrologiques et climatiques qui favorisent le développement de la végétation au cours des épisodes pluvieuses. Il occupe une superficie de 107.704 hectares avec un pourcentage de 28% de la superficie de la Daïra (DPAT, 2008).

La région est boisée surtout en altitude avec des vastes forêts comme celles de djebel Béni-Salah à Bouchegouf et Djebel Houara à Ain Ben Beida constituées essentiellement par le Chêne liège et le Chêne vert, qui représente l'essence dominante constituante des forêts naturelles, associé à des reboisements récents, on y trouve aussi les Oliviers, l'Eucalyptus, le Cyprés, le Chêne Zen et le Pin d'Alep, avec une richesse faunique variée en oiseaux, mammifères, insectes et reptiles.

*CHAPITRE 2 : CARACTÉRISTIQUES
GÉOLOGIQUES*

II.1 : Géologie régionale

D'après les travaux de Flandrin M. J ; 1930 et Chouabbi. A ; 1987, la géologie de la région de Bouchegouf se répartit du Trias au Quaternaire comme suit :

II.1.1 : Le Trias

Le trias est rencontré dans la région. Il est formé d'argile bariolée injectées de gypse, Cargneules jaunes et des bancs disloqués de calcaires dolomitiques bleus.

II.1.2 : Aquitanien

Les grès numidiens reposent sur des marnes argileuses grisâtres intercalés par place de petits bancs de grès à grains fins, on y rencontre aussi quelques niveaux marno- calcaires surmontés par des grès d'âge Aquitanien, développées dans la partie Est de la zone d'étude.

II.1.3 : Mio Pliocène

Représenté par des argiles gréseuses et des conglomérats rouges, ces dernières correspondent à des galets de grandes dimensions qui passent parfois à des grès fins.

II.1.4 : Le Quaternaire

Le Quaternaire occupe la région et correspond au faciès de terrasses ou l'on distingue :

II.1.4.1 : Les alluvions anciennes

Ce sont des éboulis mélangés parfois à des argiles numidiennes. Elles sont localisées tout le long du versant ouest du bassin.

II.1.4.2 : Les alluvions récentes

Le centre de la dépression de Bouchegouf est comblé par des alluvions déposés par l'Oued Seybouse et qui semble plus argileuses que celles de Guelma. Ils forment trois niveaux de terrasses (figure n°4, figure n°5 et tableau n°1) :

II.1.4.2.1 : Alluvions de la basse terrasse

Avec une épaisseur de 5 m, les alluvions de la basse terrasse constituant le lit de l'Oued et sont composés de cailloutis et de limons provenant de la fragmentation des conglomérats.

II.1.4.2.2 : Alluvions de la moyenne terrasse : (15 m d'épaisseur), cette unité retrouvée, en partie mineure sur l'Oued Mellah, s'épanouit dans la vallée de la Seybouse. Elle est représentée par des conglomérats, des cailloutis, des galets et des blocs de grès numidiens.

II.1.4.2.3 : Alluvions de la haute terrasse

Les alluvions de la haute terrasse ont une épaisseur de 150 m représentés par des argiles et des conglomérats.

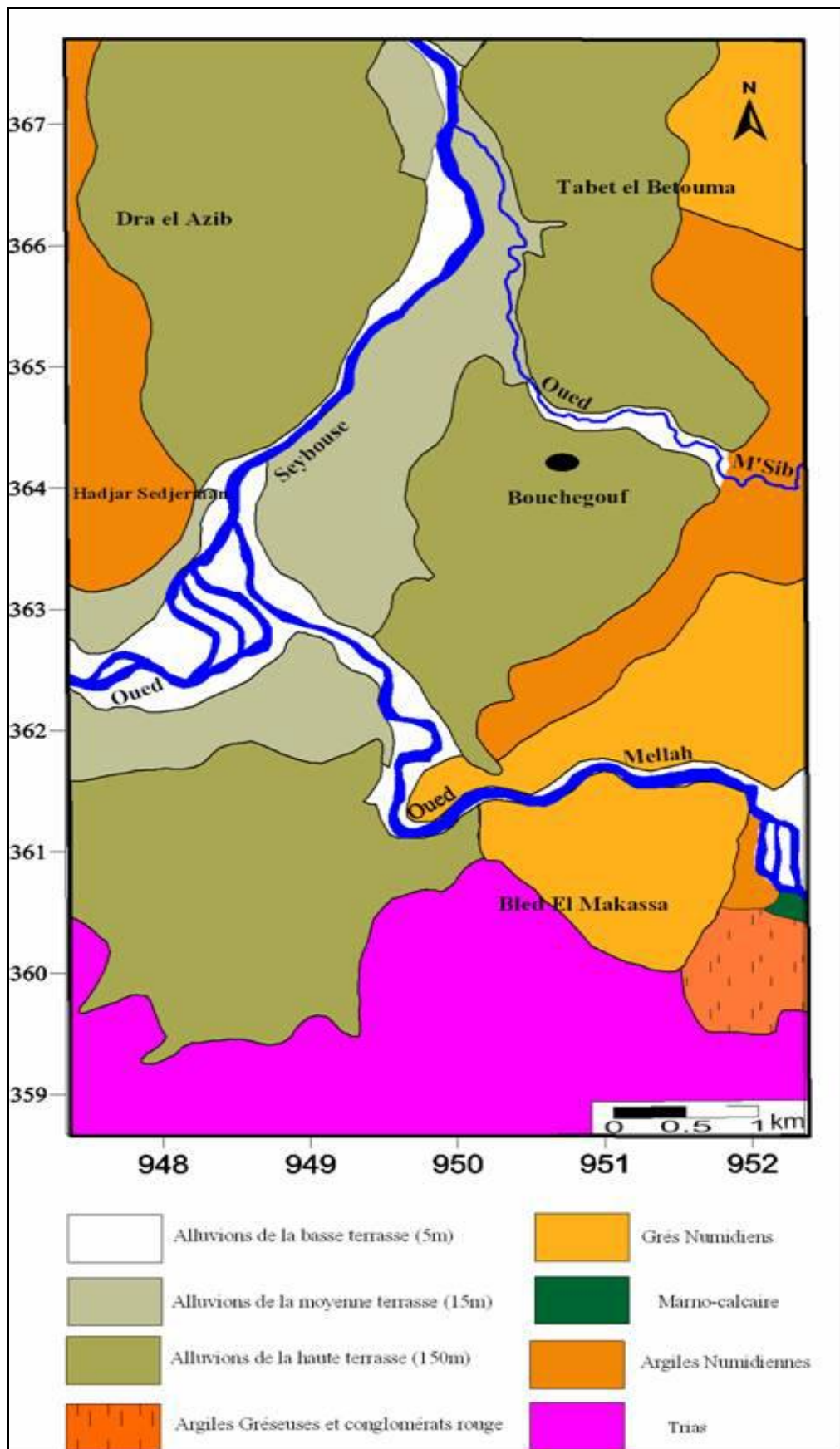


Figure n°4 : Carte géologique de la région de Bouchegouf (M. J. Flandrin 1930).

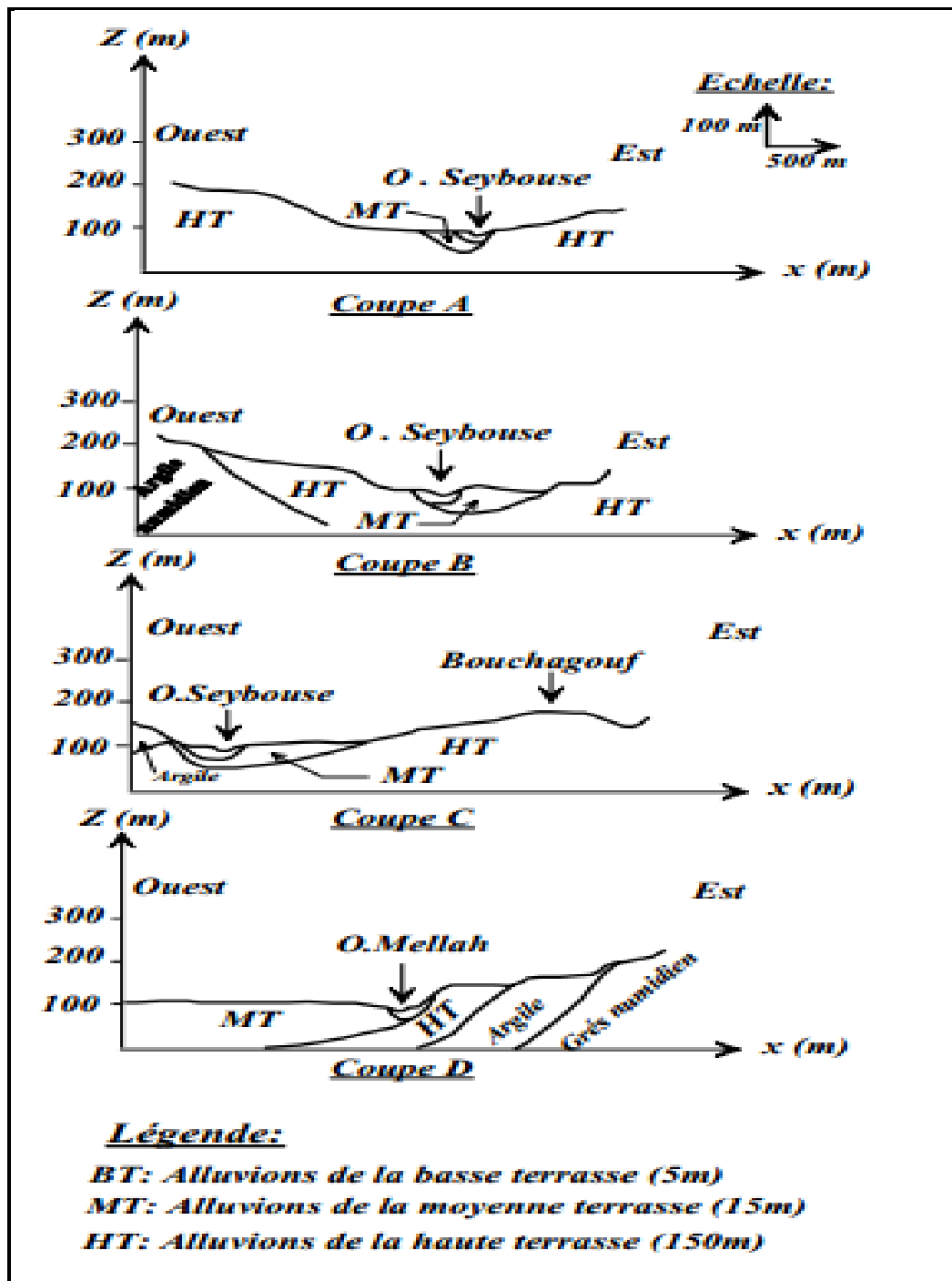


Figure n°5 : Coupes Géologiques de la plaine de Bouchegouf (Chaoui.W; 2007).

Tableau n°1 : Formations géologiques et intérêt hydrogéologique.

Lithologie	Epaisseur (m)	Age	Intérêt hydrogéologique	
			Perméabilité	Type de nappe
-Alluvions de la basse terrasse	5	Quaternaire	perméable	-nappe de la basse terrasse
- Alluvions de la moyenne terrasse	15			- nappe de la moyenne terrasse
- Alluvions de la haute terrasse	150			- nappe de la haute terrasse
- Grès numidiens		Aquitaniens	imperméable	
- Argiles sous numidiennes		Oligocène	imperméable	
- Calcaire dolomitique		Trias		

II.2 : Etude litho-stratigraphique

II.2.1 : Miocène

Le Miocène marin a été signalé pour la première fois en Algérie orientale par H. Coquant (Chouabbi.1987) et après plusieurs recherches faites par les géologues, trois séries Miocènes ont été distinguées dans l'Ouarsenis, le Chélif et plus au Sud dans le Hodna c'est :

- Miocène anté-nappe.
- Miocène charrié.
- Miocène post-nappe.

II.2.2 : Quaternaire

Le Quaternaire du bassin de la Seybouse comprend des formations variées, les unes d'origine marine (sable de plage), les autres révèlent de sédimentation continentale (dépôts alluvionnaires grès, terre rouge, dunes, éboulis, alluvions...).

II.2.3 : Mio-pliocène continental (post-nappe)

Après la phase tectonique de la fin du Miocène inférieur, responsable de la mise en place des nappes du tellien externe, la région a connu une phase de tectonique cassante post-nappe. L'érosion corrélative a modelé un relief complexe marqué par des zones hautes et par des bassins d'effondrements, tel celui de Guelma.

Des sédiments divers se sont accumulés dans ces bassins. Généralement ce sont des dépôts continentaux : argiles rouges, calcaires lacustres, couches à galets et argiles noires à gypses. Le bassin de la Seybouse- Guelma couvre tout le secteur compris entre les gorges du Nador à l'Est et la région de Medjez- Amar à l'Ouest en passant par la plaine de Guelma. Vers le Sud, il est limité par le Numidien de Ben Smih et le Trias du Nador N'Bails et enfin dans la partie Septentrionale par le Numidien de Houara.

II.2.4 : Les formations allochtones

Les formations Miocènes sont représentées par des grès très riches en glauconie et par des niveaux argilo- marneux.

II.2.4.1 : Nappe Numidienne

Le Numidien forme à l'Est du méridien d'Annaba un immense radeau qui s'étend de la région de Guelma jusqu'à Bizerte (Tunisie) sur près de 200 Kilomètres de long et sur une largeur moyenne de 30 à 40 Km. La nappe numidienne est caractérisée par la stratigraphie suivante :

- La série gréseuse
- Les argiles sous numidiennes.

a. La série gréseuse

Ce sont des grès en bancs décimétriques à métriques sur plus de 1000 mètres d'épaisseur, à grains hétérogènes. Dans la région de Constantine et en Kroumirie, ces bancs sont séparés par des niveaux argileux, parfois calcaireux datés de l'Aquitaniens.

b. Les argiles sous numidiennes

Elles sont de teintes vertes ou rouge violacé. En grande Kabylie, ces argiles ont fourni des associations pélagiques de l'Oligocène moyen à supérieur. A l'Oued Bou Hamdane et à l'Oued Cherf, ces argiles ont livré une association d'âge Oligocène moyen à supérieur.

Dans la région de Bouchegouf le Numidien forme les principaux reliefs. Il est caractérisé par un flysch gréseux constitué par les trois termes suivants :

- argiles vertes et rouges d'âge Oligocène,
- alternance d'argile et de gros blocs de grès souvent hétérométriques d'âge Aquitanien.
- argile, silexites et marnes correspondants au Burdigalien inférieur. Rencontrer au Nord, à l'Est en vas le présenter selon la carte ci-dessus (Fig. n°4).

II.2.4.2 : Nappe ultra-tellienne

La notion ultra-tellienne a été introduite en 1969 par Durand Delga (Chouabbi 1997) à Djebel Bou-sba (Nord de Guelma). Dans la région concernée par cette étude, une unité ultra Tellienne affleure à la station du Nador, une deuxième à Medjez-Sfa et à l'Est du village d'Ain Tahamamine. D'après les travaux des géologues une série stratigraphique a été reconstituée allant du barrémien jusqu'à l'Eocène moyen.

a. Paléocène- Eocène (Paléogène)

Les terrains du Paléocène-Eocène rangés dans la série ultra- tellienne affleurent au Nord-Est d'Ain Tahamamine. Ils reposent sur le Lutétien appartenant à la nappe tellienne d'Ain Tahamamine. Ce sont des marnes, verdâtres à noirâtres de 15 à 20 m d'épaisseur.

b. Crétacé supérieur

Le Crétacé supérieur affleure aux alentours de la station ferroviaire de Medjez- Sfa, au Djebel Rosfa et au Douar Sidi Ahmed Ben Mokrane. Il montre une sédimentation épaisse, riche en microfaune pélagique avec une dominante marneuse.

c. Crétacé inférieur

Ce sont les unités les plus internes du domaine tellien. Elles affleurent à 4 km au Sud-Est de Bouchegouf.

- Le Barremien correspond à une cinquantaine de mètres de marnes noires riches en ammonites pyriteuses.
- L'Aptien est représenté par des marnes de couleur bleu verdâtre, alternant avec des bancs décimétriques de calcaires bleutés.
- L'Albien est l'étage le plus puissant du Crétacé inférieur avec un passage continu au Cénomaniens. Il est constitué par des marnes noires à verdâtres et par des bancs de calcaires micritiques claires.

- Le Vraconien montre le même faciès que l'Albien et affleure surtout aux alentours de La station ferroviaire de Medjaz Sfa.

II.2.5 : Complexe salifère du Nador

Les formations triasiques de la région du Nador, Hammam N'Bails et de la Mechroha se présentent comme une association de cargneules, de dolomies, d'argiles rouges et gypses.

L'étude détaillée des contours montre que le Trias jalonne les contacts anormaux qui ont donné naissance au grand bassin molassique de Guelma. C'est le cas aussi, avec le bassin de la Macheroha et Ain Tahamamine.

II.3 : La tectonique

Notre région d'étude offre du point de vue tectonique une assez grande complexité sur toute son étendue. Elle a subi successivement les mouvements orogéniques tertiaires et en particulier les mouvements poste-Eocène moyens contemporains des mouvements Pyrénéens. En deuxième lieu on a les mouvements Alpines qui apparaissent avoir être d'assez faible importance et qui se sont étendus du Sud vers le Nord, où ils sont accentués permettant ainsi l'apparition des plis très aigus.

Les mouvements Pyrénéens se sont traduits surtout par des phénomènes de compression et de refoulement intenses et des plis qui sont en général déversés dans la direction Sud et Sud-Est. Ces plis sont souvent empilés. Quant aux alignements Nord-Sud, on va en mentionner un assez net jalonné par le dôme crétacé du Cheniour. La boutonnière Barrémienne de Guelma et celle de Djebel Bou-Sba, un autre nom moins important s'observe plus à l'Est et sa direction paraît être suffisamment indiquée par les affleurements triasiques du Nador. On se trouve donc en présence de deux systèmes de plis qui se recoupent orthogonalement, et c'est à ce niveau que se rencontrent les différents accidents minéralogiques si fréquents dans cette région tels que les sources thermales, minérales et les injections métallifères (Chouabbi.1997).

II.4 : Conclusion :

La géologie de la région est caractérisée par des formations allant du Trias passant par l'Aquitainien, le Miopliocène jusqu'au Quaternaire, formée par trois niveaux de terrasses (Alluvions de la basse terrasse, Alluvions de la moyenne, Alluvions de la haute terrasse).

La lithologie de cette région est marquée par la présence des trois formations principales :

- Formations perméables (dépôts alluvionnaires du Quaternaire) siège des nappes aquifères.
- Formations imperméables des grès numidiens (Aquitaniens), siège d'alimentation des nappes par les flancs.
- Formations imperméables (Argiles du Numidien), formant le substratum des aquifères.

CHAPITRE 3 : HYDROGÉOLOGIE

III.1 : Introduction :

L'étude hydrogéologique d'un bassin est nécessaire pour la détermination des différents aquifères existants et pour une meilleure connaissance des différentes formations qui les constituent.

La dépression de Bouchegouf est encadrée à l'Ouest et au Nord de grés, au Sud par des formations triasiques marneuses et gypseuses, au centre, elle est comblée par les alluvions déposées par la Seybouse et qui forment trois niveaux : haute ; moyenne et basse terrasse (**Fig. n°6**).

A la différence des alluvions anciennes de la haute terrasse celles de la basse renferment un important aquifère plus ou moins hétérogène horizontalement et à substratum généralement imperméable formé par des marnes.

Nous essayons dans ce chapitre de décrire d'une manière plus ou moins détaillée les principaux caractères géométriques et hydrodynamiques des différentes nappes contenues dans l'aquifère de Bouchegouf.

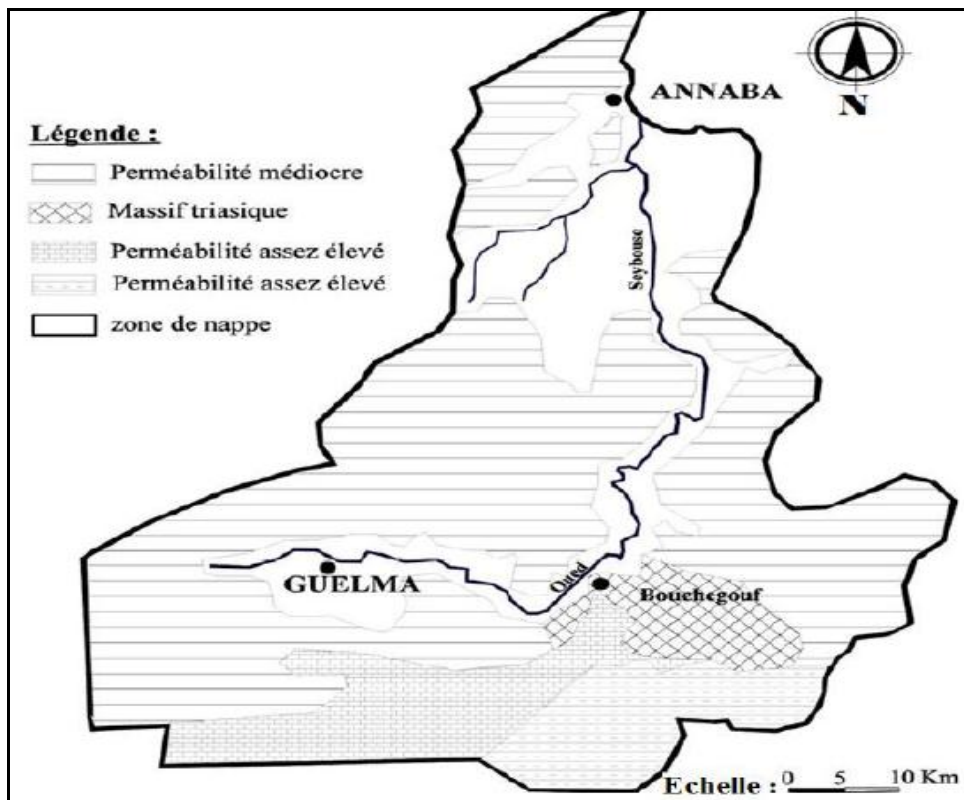


Figure n°6 : Les zones hydrogéologiques du bassin versant de la Seybouse à partir de Guelma (Ghachi, 1982 ; modifié en 2019).

III.2 : Identification de la nappe de Bouchegouf

La nappe alluvionnaire de Bouchegouf est partagée en deux zones ; au-dessous de la surface du sol, représentées schématiquement dans la figure n°7 d'après les colonnes stratigraphiques (Chaoui W.2007).

La première est la zone non saturée marquée par la présence d'une couche argileuse de 4 mètres d'épaisseur suivie par des galets et des graviers ou les trois phases constituent cette zone (liquide, solide et air).

La seconde est la zone saturée, système de deux phases : liquide (eau) et solide (formations alluvionnaires) d'épaisseur qui varie de 40 m à 150 m avec un niveau piézométrique de 11 m.

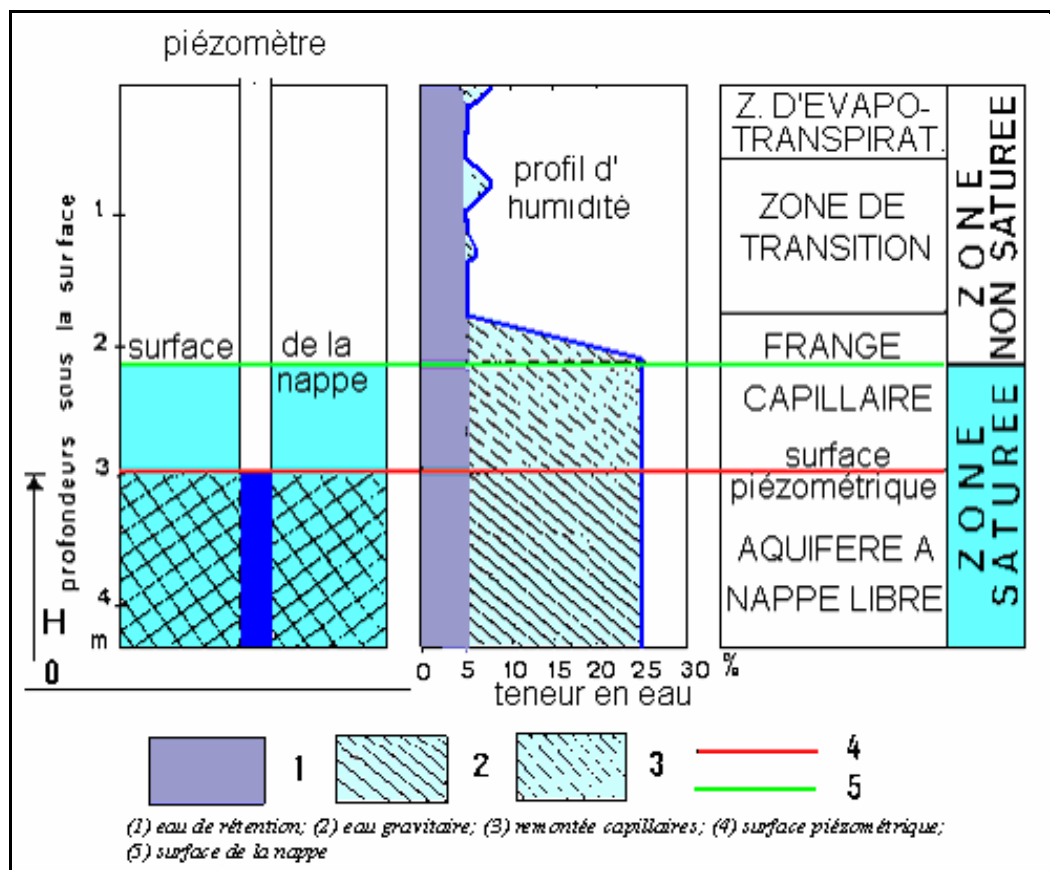


Figure n°7 : Coupe schématique illustrant la limitation de la zone non saturée et la zone saturée dans la plaine de Bouchegouf (Chaoui.W, 2007).

III.3 : L'établissement des coupes hydrogéologiques

L'étude d'une nappe nécessite l'établissement des coupes hydrogéologiques permettant de représenter la structure de l'aquifère et de préciser sa lithologie, sa géométrie et la configuration de sa surface piézométrique. L'espacement des forages qui la traversent ainsi que les conditions aux limites doivent être définis.

Une bonne réalisation de la coupe hydrogéologique permet une meilleure compréhension des différentes liaisons hydrauliques existantes entre les différentes formes des aquifères.

Dans le cas de la nappe alluviale de Bouchegouf, nous avons pu élaborer, à l'aide des données disponibles (carte piézométrique et logs stratigraphiques de forages), la coupe hydrogéologique représentée par la figure n°8. Cette coupe, longitudinale, traversant l'aquifère selon la direction SO- NE, donne les informations suivantes :

- L'aquifère est constitué de formations alluviales du Quaternaire, représentées essentiellement par des sables, grés et galets, le toit est formé d'argile imperméable et le substratum de marnes. On peut dire qu'il s'agit d'une seule nappe captive avec des passages de lentilles d'argile intermédiaires d'épaisseur différentes, l'absence de ces dernières permet la communication entre les nappes (Chaoui.W ,2007).
- Le forage BS4 découvre deux nappes captives d'égale épaisseur et de même lithologie, séparées par des lentilles d'argiles. Cependant les forages BS2, B1, B2 et B4 montrent que La nappe captive supérieure devient libre (voir fig. n°08 ci-dessous).
- Vers l'aval, les mêmes nappes captives, d'épaisseur 61 m pour la première et 83 m pour la deuxième, rencontrées au niveau du forage B1 sont rencontrées au niveau des forages B2 et B4, avec des épaisseurs différentes.
- Le niveau piézométrique diminue du Sud au Nord, le long de l'Oued Seybouse.

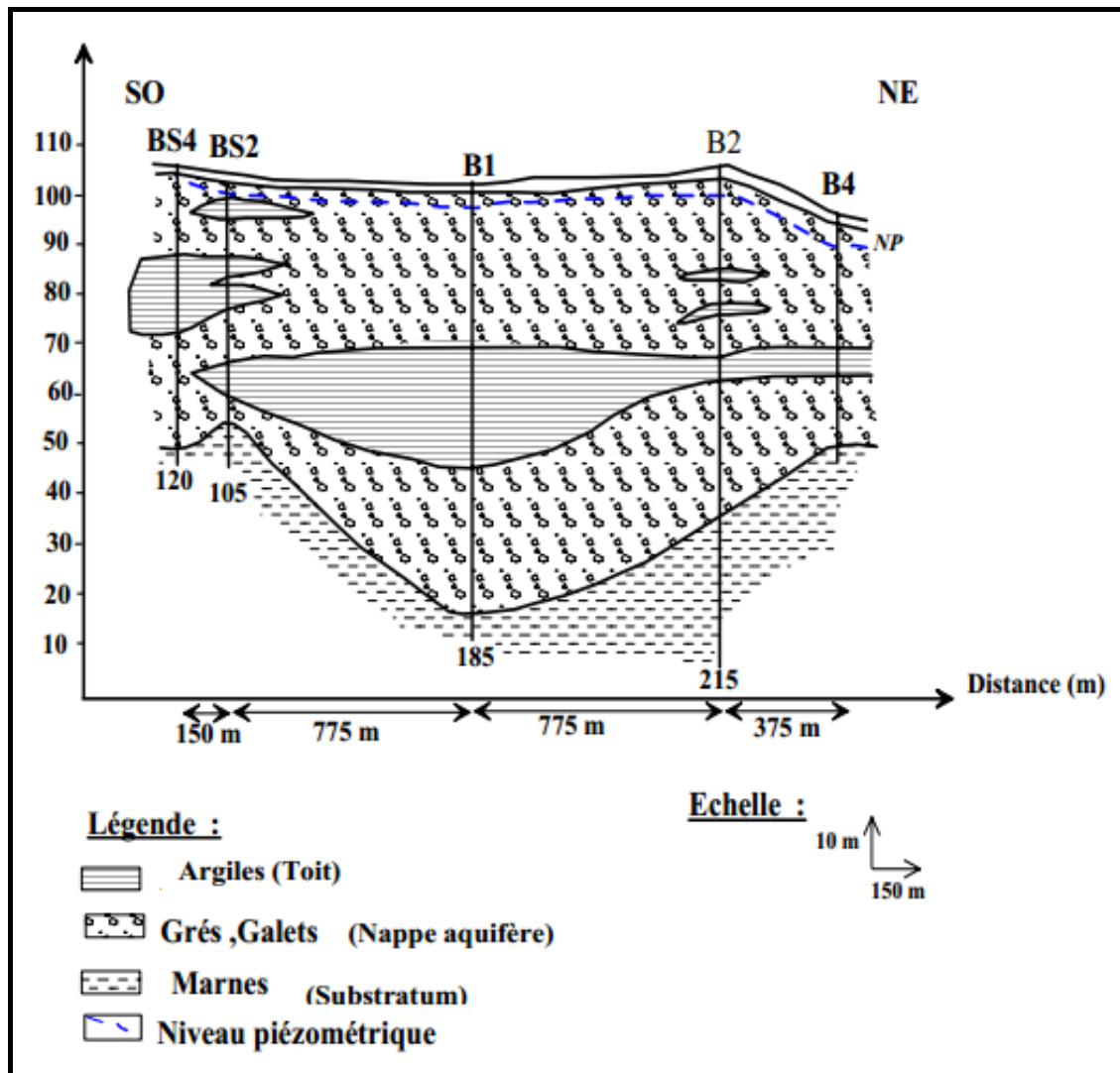


Figure n°8 : Coupe hydrogéologique de la plaine de Bouchegouf (Chaoui.W, 2007).

III.3.1 : Types de nappes

On peut résumer les différents types de nappe et les caractéristiques dynamiques, dans le tableau n°2.

La région est caractérisée par deux types de nappe essentielle :

- ✓ **Nappe du Quaternaire :** c'est un aquifère constitué essentiellement par des conglomérats, galets et des alluvions. Il est occupé presque le NE de la plaine de Bouchegouf.
- ✓ **Nappe du Plio-Quaternaire :** Elle est composée essentiellement de sables, de grès, de marnes et d'argiles. La nappe est par endroit captive (recouverte par

une couche d'argile du Quaternaire). Elle occupe presque le SO de la plaine de Bouchegouf.

Tableau n°2 : Caractéristiques dynamiques et type des nappes de la plaine alluviale de Bouchegouf.

N° de Sondage	Type des nappes	Prof du toit (m)	Prof du substratum (m)	Niveau statique (m)	Puissance des nappes (m)	Puissance totale (m)
BS2	-Nappe libre		12,00		5,00	63,00
	-Nappe captive	18,00	76,00	8,84	58,00	
B1	-Nappe libre		65,00		54,50	81,50
	-Nappe captive	132,00	150,00	10,56	27,00	
B2	-Nappe libre		58,00		42,30	110,30
	-Nappe captive	64 ,00	82,00	11,70	18,00	
	-Nappe libre		40,00		50,00	

III.4 : Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère

III.4.1 : Introduction

La détermination des paramètres hydrodynamiques permet l'évaluation de la capacité du réservoir aquifère et l'étude du comportement de la nappe durant son exploitation.

Les forages implantés dans la zone d'étude ont les caractéristiques suivantes (Tableau n°3) :

Tableau n°3 : Caractéristiques des forages implantés dans la région de Bouchegouf

Forages	X (Km)	Y (Km)	Z (m)	Débit mobilisable (l/s)	Débit exploitable (l/s)
B1	948,900	363,450	185	11,5	10
B2	949,800	364,850	215	17	10
BS1	948,350	362,900	100	22	10
BS2	948,100	362,000	100	75	10
BS3	950,400	365,480	136	40	10

III.4.2 : Les essais de pompage

III.4.2.1 : Transmissivité et perméabilité

Tous les essais par pompage ont été interprétés par l'approximation de Jacob. Les observations des résultats acquises lors des différentes études (Chaoui, 2007, Djabri, 1993), ont démontré que l'aquifère de Bouchegouf présente des caractéristiques hydrodynamiques plus ou moins bonnes.

Les valeurs des transmissivités ne sont pas assez homogènes, elles sont de l'ordre de 10^{-2} et descendent jusqu'à $10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$. On note de fortes valeurs au centre de la plaine; elles diminuent partout ailleurs (B2). Les perméabilités (K) sont de l'ordre de 10^{-2} , 10^{-3} et 10^{-5}m/s (Tableau n°4). Les faibles valeurs sont influencées par l'abondance de la trame argileuse et les épaisseurs mouillées importantes.

Tableau n°4 : Paramètres hydrodynamiques de quelques forages dans la plaine de Bouchegouf.

Point d'eau	Transmissivité (m^2/s)	Perméabilité (m/s)
B1	$0.70 \cdot 10^{-2}$	$0.24 \cdot 10^{-3}$
B2	$2.89 \cdot 10^{-2}$	$0.13 \cdot 10^{-5}$
BS1	$1.36 \cdot 10^{-2}$	$0.32 \cdot 10^{-3}$
BS2	$2.89 \cdot 10^{-4}$	$0.25 \cdot 10^{-3}$
BS3	$0.3 \cdot 10^{-2}$	$0.14 \cdot 10^{-2}$

III.5 : La piézométrie

On a établi une carte piézométrique de la période des basses eaux (Juin 2015) en parallèle avec la saison d'irrigation, pour avoir une idée sur la surface piézométrique (la morphologie et l'espacement des isopièzes), sur les sens d'écoulements souterrains, l'alimentation de la nappe, la sortie des eaux de la nappe souterraine dans la plaine, l'évolution des niveaux piézométriques, les gradients hydrauliques et les axes de drainages...etc.

III.5.1 : Inventaire des points d'eau

Dans la région d'étude nous avons pu recenser 19 puits et 08 forages dispersés dans et autour de la ville de Bouchegouf, et reportés sur la carte topographique au 1/50 000 (Fig. n°9).

D'après la carte d'inventaire des points d'eaux on constate que :

- Les points d'eaux dans la plaine de Bouchegouf se localisent à l'Ouest de la ville de Bouchegouf. La partie Est de la ville ne contient pas de points d'eau.
- La plupart des puits et des forages occupent la partie Nord, Nord-Est ou près de l'Oued Seybouse. Par contre sur la partie Sud nous remarquons une rareté des puits et des forages (terrains montagneux très accidentés).

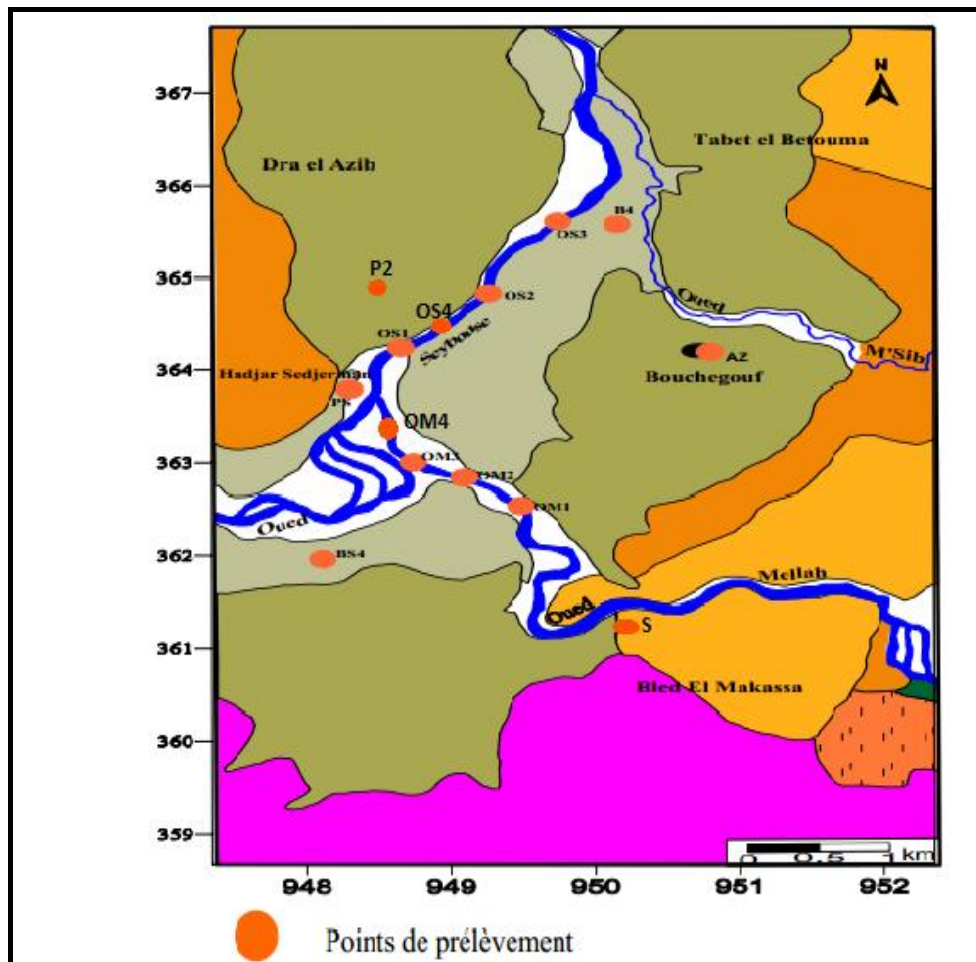


Figure n°9 : Carte d'inventaire des points de prélèvement d'eau.

III.5.2 : Etablissement de la carte piézométrique

Les cartes piézométriques sont les documents de base de l'analyse et de la schématisation des fonctions capacitive et conductrice du réservoir et du comportement hydrodynamique de l'aquifère. C'est la synthèse la plus importante d'une étude hydrogéologique (Castany.G, 1982).

Pour dessiner une carte piézométrique, il faut tracer les lignes isopièzes sur le fond topographique ou géologique. Cela demande une grande quantité de mesure piézométrique sur différents ouvrages et une bonne interprétation de l'aquifère par lecture de la carte topographique et géologique.

L'établissement de la carte isopièze est établi sur la base de l'implantation des points d'eaux avec les coordonnées correspondantes sur la carte topographique (1/50000).

III.5.3 : Interprétation de la carte piézométrique

La carte piézométrique dressée (**Fig. n°10**), nous a permis de faire quelques observations sur l'écoulement des eaux souterraines, l'alimentation de la nappe et l'évolution de la surface piézométrique dans l'espace.

- D'une manière générale les eaux de la nappe convergent vers l'Oued Seybouse, qui constitue l'exutoire naturel de cette nappe. Le niveau piézométrique de la nappe présente des cotes plus élevées au Sud par rapport au le Nord. Les cônes de dépression formés en aval sont dû au pompage intensif pour l'irrigation.
- L'axe d'écoulement général est de direction SW-NE c'est-à-dire de la nappe vers l'Oued Seybouse.

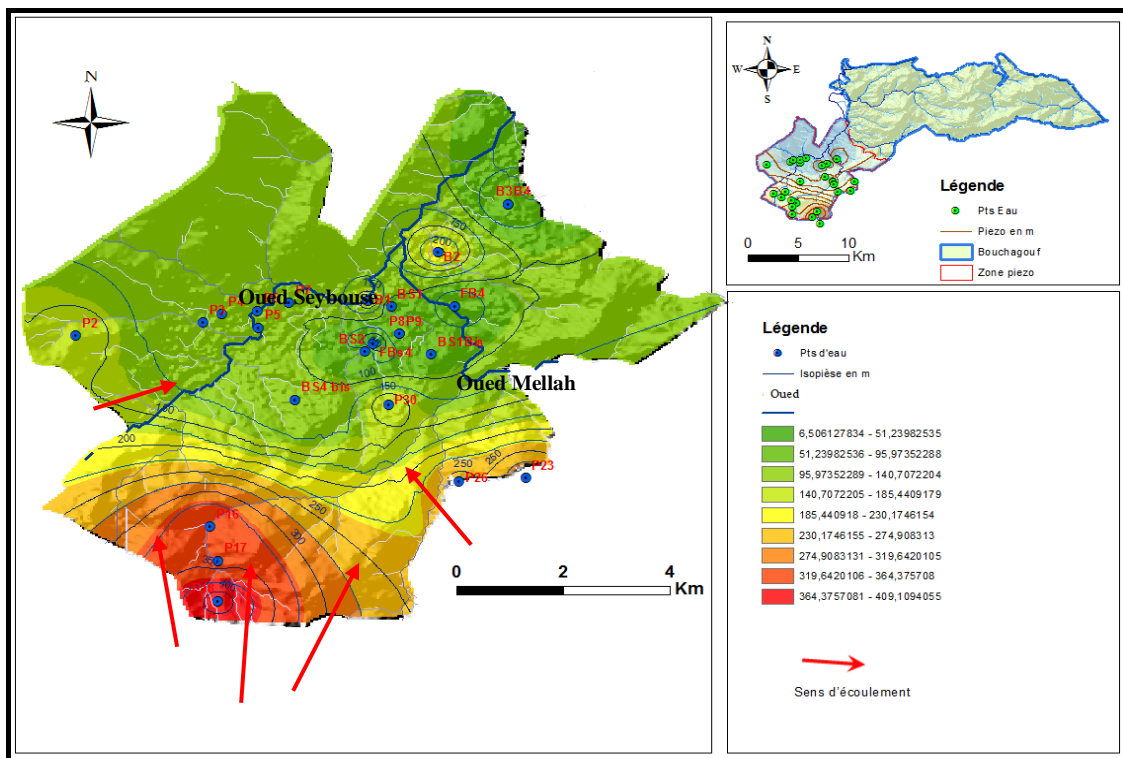


Figure n°10 : La carte piézométrique réalisée sur la nappe de Bouchegouf (Juin 2015).

III.6 : Conclusion

L'étude hydrogéologique a été abordée dans le but d'étudier la relation entre les eaux de surfaces et souterraines, l'interprétation de la carte piézométrique a été la dernière étape dans cette partie.

Dans la région de Bouchegouf l'étude hydrogéologique nous a permis de mettre en évidence l'existence d'un important réservoir d'eau souterrain contenu surtout dans les formations alluvionnaires (galets, graviers, sable avec parfois des intercalations argileuses). Cet aquifère est reparti en fait, en deux types de nappes :

Une nappe libre avec une puissance moyenne de 50 mètres avec une large extension latérale ; cette nappe repose sur un substratum argileux et elle est considérée comme étant la plus importante.

Une nappe captive moins importante que la première constituée de grès surmontés par des formations argileuses et reposantes sur un substratum marneux.

La Transmissivité moyenne de l'aquifère est de l'ordre de $5.6 \cdot 10^{-3}$ m²/s. La perméabilité, dont la valeur moyenne est de l'ordre de $2 \cdot 10^{-4}$ m/s, est fortement influencée par la granulométrie des formations aquifères.

D'après la carte piézométrique établie, l'écoulement des eaux souterraines se fait généralement du Sud vers le Nord, c'est-à-dire de la nappe vers l'Oued Seybouse, donc on peut conclure que la nappe draine l'Oued.

On peut constater que le centre de la région d'étude correspond à la zone de convergence de toutes les eaux de précipitations drainées par les eaux des Oueds Seybouse et Mellah, qui assurent l'essentiel de l'alimentation de nappes souterraines.

Récemment, par l'intensification agricole dans le périmètre irrigué, on a constaté que les eaux d'irrigation participent aussi à côté des eaux drainées en période de crue par quelques affluents de l'Oued Seybouse à enrichir les réserves en eaux de cette nappe.

CHAPITRE 4 : HYDROCLIMATOLOGIE

IV.1 : Introduction

Pour l'étude du mécanisme de la pollution des eaux souterraines, il est impératif d'étudier les données climatiques à fin de pouvoir déterminer les termes du bilan hydrologique, à savoir les précipitations, l'évapotranspiration, le ruissellement et surtout l'infiltration, car cette dernière est le facteur de l'alimentation des nappes aquifères, mais aussi un vecteur de pollution étant donné que les eaux infiltrées entraînent des polluants de différentes nature vers les eaux souterraines.

Pour la région d'étude, nous disposons des données climatiques pour une période de 35 ans (1980-81/2014-15) de la station de Bouchegouf qui est située dans la ferme de Youcef Bouriachie, le tableau qui suit, donne les caractéristiques géographiques et topographiques de cette station.

Tableau n°5 : Coordonnées géographiques de la station météorologique de Bouchegouf et période d'observation.

Station météorologique	Code Station	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Période d'Observation
Bouchegouf	140505	7°44 E	36°28 N	172	1980-2015

IV.2 : Les facteurs climatiques

IV.2.1 : Les précipitations

Les précipitations constituent une composante essentielle du cycle de l'eau. Elles permettent le renouvellement total ou partiel des nappes par le biais des infiltrations et elles conditionnent l'écoulement saisonnier et le régime des cours d'eaux. En général, quatre aspects sont discutés ; il s'agit du coefficient pluviométrique et des répartitions saisonnières, mensuelles et annuelles.

IV.2.1.1 : Les précipitations mensuelles

Les données des précipitations moyennes mensuelles pour la station de Bouchegouf (1980/1981-2014/2015) sont portées sur le tableau n°06 et la figure n°12.

Tableau n°6 : Précipitations moyennes mensuelles à la station de Bouchegouf.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Totale
P(mm)	35.4	40.21	59.39	90.10	88.6	59.32	54.29	61.76	45.32	12.59	3.12	11.20	561.4

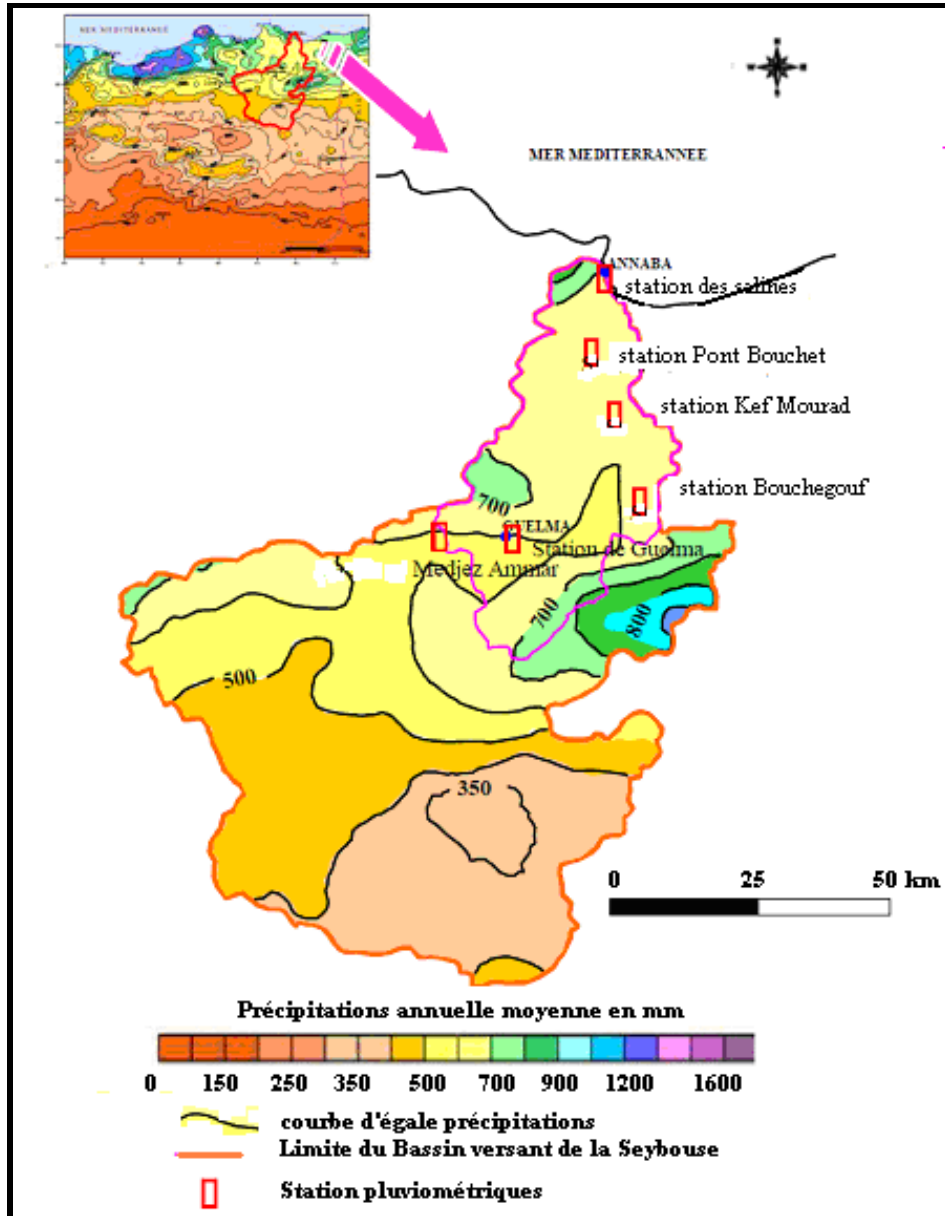


Figure n°11: Localisation des stations pluviométrique et précipitations annuelles moyennes de l'Est algérien (ANRH GTZ, 2003, modifié 2015, Sayad)

La distribution des précipitations moyennes mensuelles illustrée par la figure n°12, montre que :

- Le mois le plus pluvieux est celui de Décembre avec une précipitation moyenne mensuelle de 90.10 mm.
- Le mois le plus sec est celui de Juillet avec une précipitation moyenne mensuelle de 3,12 mm.
- La hauteur moyenne mensuelle est de 46.77 mm.

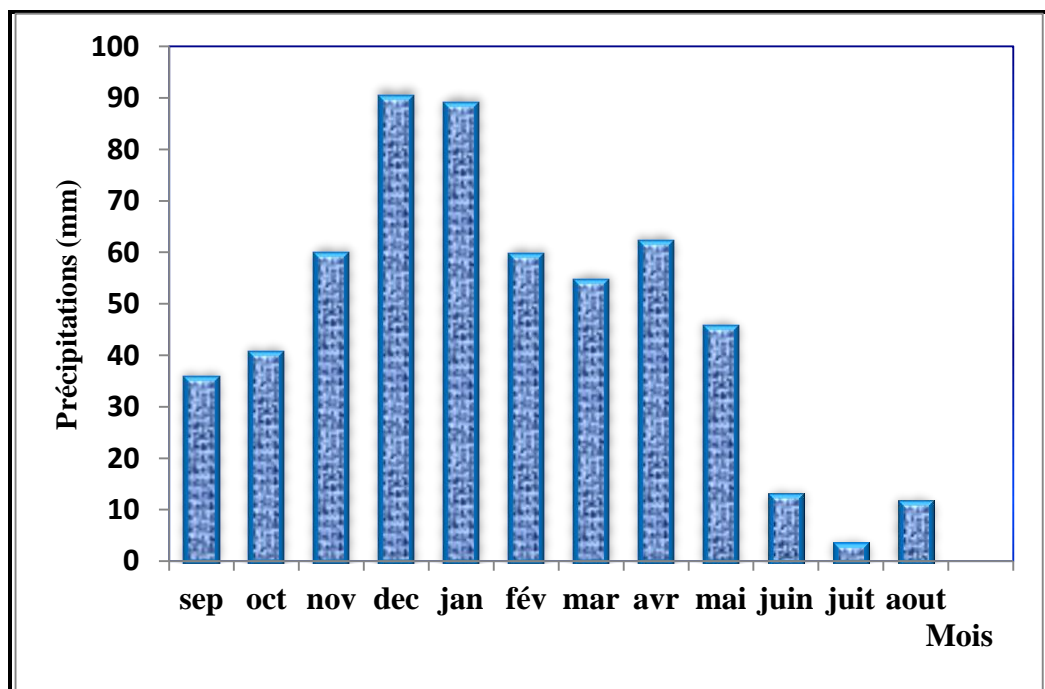


Figure n°12 : Variations des précipitations moyennes mensuelles (en mm) à la station de Bouchegouf (1980/2015).

IV.2.1.2 : Les précipitations annuelles

L'analyse de la courbe des variations interannuelles des précipitations sur une période de 35 ans (1980-2014) montre une grande différence entre l'année la plus arrosée (2002/2003) avec une précipitation de 884 mm et l'année la plus sèche (2001-2002) avec une précipitation de 294 mm (**Fig. n° 13**).

- La précipitation moyenne annuelle est de l'ordre de 540.38 mm.
- D'après la carte des précipitations (**Fig.n°14**) on constate une augmentation de la pluviométrie de l'Ouest vers l'Est.

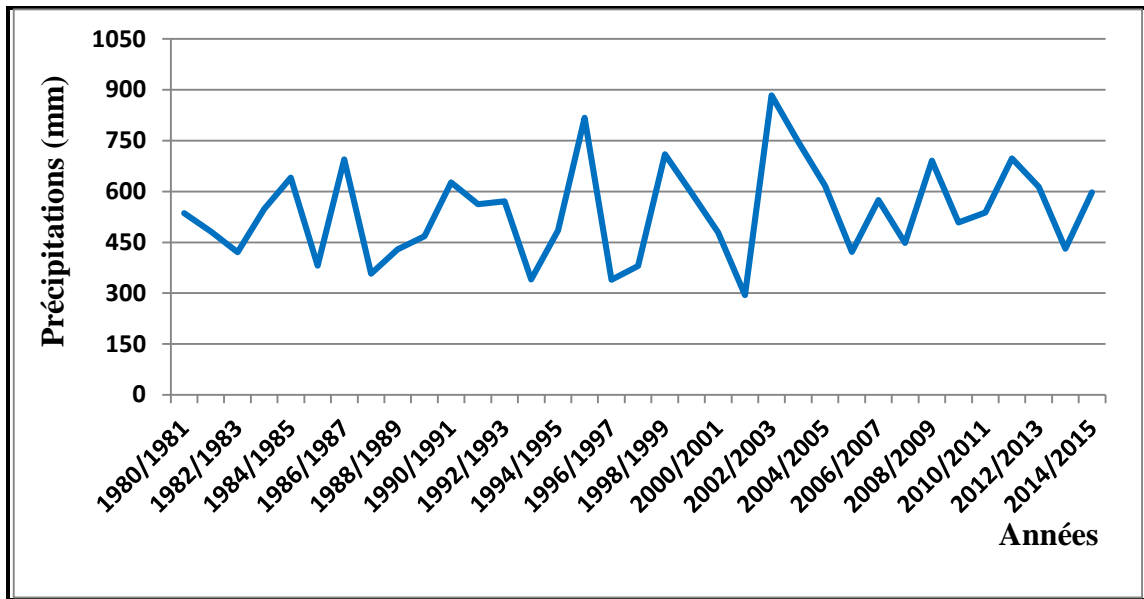


Figure n°13 : Variations des précipitations annuelles (en mm) pour la station de Bouchegouf (1980/2015).

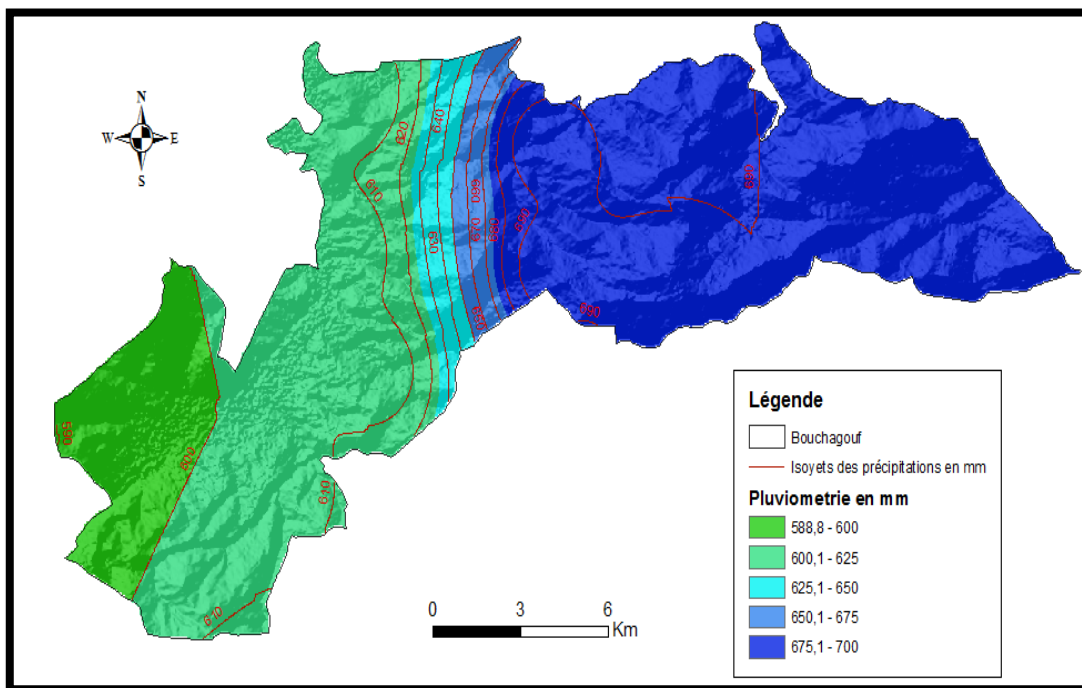


Figure n°14 : Carte des précipitations moyennes annuelles de la région de Bouchegouf (1980/2015).

IV.2.2 : Coefficient pluviométrique

La variabilité interannuelle des précipitations est exprimée par le coefficient pluviométrique (CP). Ce paramètre est très important dans la détermination des années

excédentaires et des années déficitaires. Il est obtenu par le rapport de la pluviométrie d'une année à la pluviométrie moyenne d'une série à une station donnée :

$$CP = \frac{P}{\bar{P}}$$

Avec :

CP : coefficient pluviométrique.

P : hauteur des pluies annuelles (mm).

\bar{P} : Moyenne annuelle pluviométrique (mm).

Nous avons deux cas : Si $CP > 1$: année excédentaire.

Si $CP < 1$: année déficitaire.

Remarque : la pluviométrie annuelle moyenne (\bar{P}) de la station de Bouchegouf est **540.83 mm**.

Tableau n°7 : Précipitations annuelles (mm) et coefficients pluviométriques de la station de Bouchegouf (1980-81/2014-2015).

Année	P (mm)	CP	Type de l'année
1980/1981	535,6	0,99	An. Défi
1981/1982	482,1	0,89	An. Défi
1982/1983	420,6	0,77	An. Défi
1983/1984	548	1,01	An. Exc
1984/1985	641,3	1,19	An. Exc
1985/1986	381,3	0,71	An. Défi
1986/1987	694,6	1,29	An. Exc
1987/1988	357,8	0,66	An. Défi
1988/1989	428,9	0,79	An. Défi
1989/1990	467,7	0,87	An. Défi
1990/1991	626,6	1,16	An. Exc
1991/1992	562,6	1,04	An. Exc
1992/1993	570,9	1,06	An. Exc
1993/1994	340,8	0,63	An. Défi
1994/1995	485,3	0,90	An. Défi
1995/1996	817,6	1,51	An. Exc
1996/1997	339,33	0,63	An. Défi

1997/1998	380,25	0,70	An. Défi
1998/1999	710,15	1,31	An. Exc
1999/2000	595,4	1,10	An. Exc
2000/2001	479,8	0,89	An. Défi
2001/2002	294	0,54	An. Défi
2002/2003	884	1,64	An. Exc
2003/2004	745,8	1,38	An. Exc
2004/2005	617,2	1,14	An. Exc
2005/2006	421,7	0,78	An. Défi
2006/2007	575,1	1,06	An. Exc
2007/2008	448	0,83	An. Défi
2008/2009	690,5	1,28	An. Exc
2009/2010	508,9	0,94	An. Défi
2010/2011	537,9	1,00	An. Exc
2011/2012	697,9	1,29	An. Exc
2012/2013	613,09	1,13	An. Exc
2013/2014	431,25	0,79	An. Déf
2014/2015	597,13	1,10	An. Exc

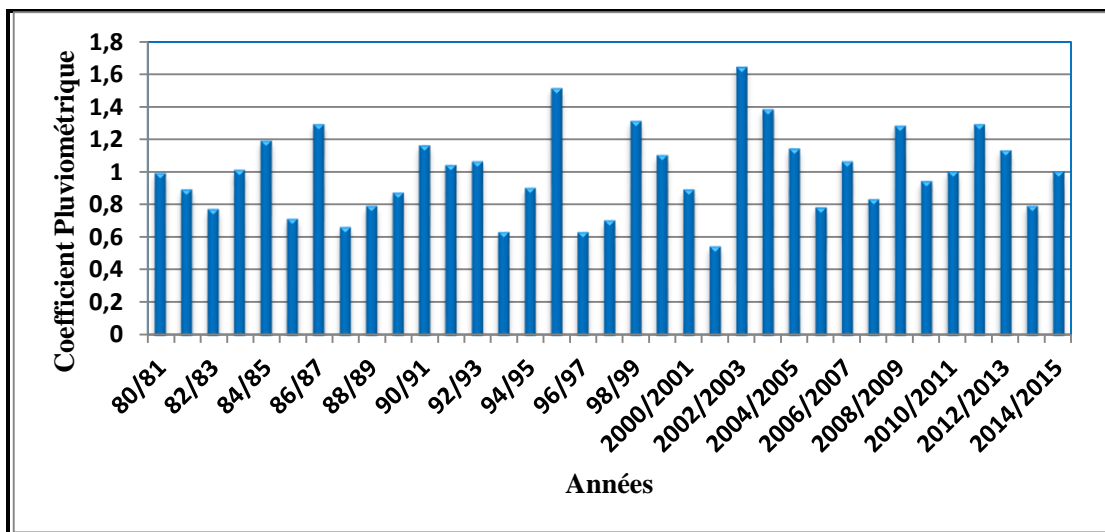


Figure n°15 : Les variations du coefficient pluviométrique à la station de Bouchegouf.

Le tableau n°7 et la figure n°15 montrent une évolution alternative entre les années déficitaire et excédentaire avec un maximum et un minimum de l'ordre de 800 mm (2002/2003: $P = 884$ mm) et 200 mm (2001/2002 : $P = 294$ mm) respectivement et une

limite de 600 mm qui différencier les années déficitaires ($P < 600$ mm) des années excédentaires ($P > 600$ mm).

IV.2.3 : La température

La température de l'air est un paramètre ayant une grande influence sur le bilan hydrologique, elle agit directement avec les autres facteurs météorologiques (précipitation, insolation, etc....) sur le climat d'une région. C'est par ces mesures qu'on essaye de montrer le rôle important de l'évapotranspiration sur l'écoulement et de déterminer les saisons. Elle constitue un facteur essentiel et déterminant dans l'étude de l'évaporation et l'évapotranspiration.

Les observations des températures extrêmes dont on dispose, sont prises au niveau de la station de Bouchegouf (Tableau n°8).

Tableau n°8 : Température moyenne mensuelle (°C) à la station de Bouchegouf.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy/an
T (°C)	24.56	20,72	14.93	11,45	09,94	11.00	12,7	14.92	18,85	24,52	28,62	30.26	18,50

A partir des données enregistrées à la station de Bouchegouf, la courbe représentative des variations de températures moyennes mensuelles sur une période de 35 années (1980-2014) montre deux saisons thermiques (Fig. n°16) :

- Les mois les plus froids sont les mois de Janvier et Février avec une minimale des températures de l'ordre 09.94°C et 11.00 °C respectivement.
- Les mois les plus chauds sont les mois de Juillet et d'Août avec une maximale des températures de 28.62 °C et 30.26 °C respectivement.
- La moyenne mensuelle est de 18.50°C.

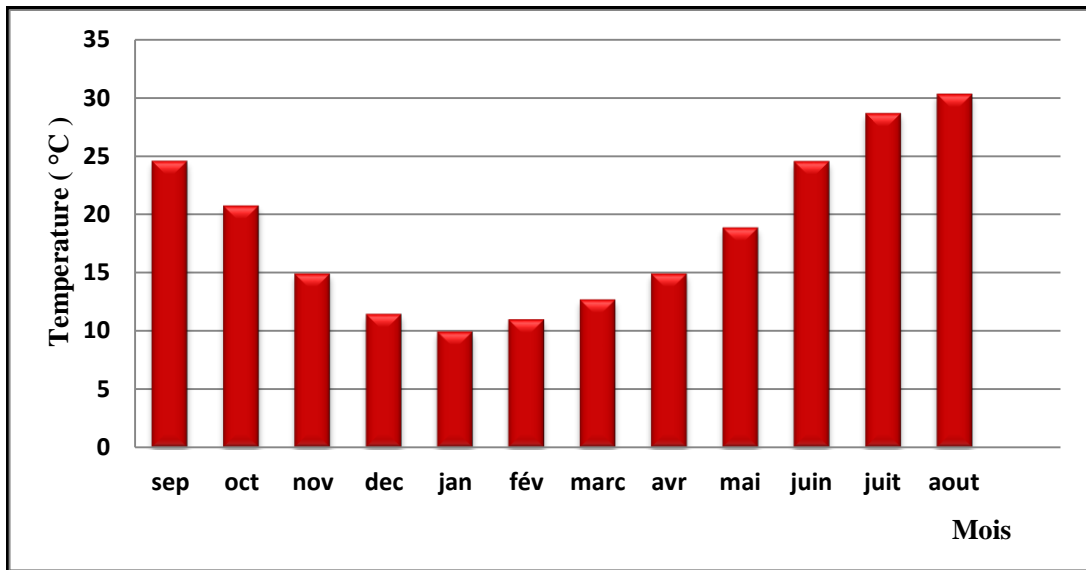


Figure n°16. Variations des températures moyennes mensuelles (°C) pour la station de Bouchegouf (1980/2015).

IV.2.4. Diagramme ombrothermique

D’après le diagramme ombrothermique (Fig. n°17), on distingue deux périodes :

- Une période humide caractérisée par des précipitations relativement élevées (90.10 mm), qui s’étale du début de mois d’Octobre jusqu’au mois d’Avril.
- Une période sèche qui s’étend du début du mois de Mai jusqu’au début du mois d’Octobre avec une température maximale de l’ordre 30.26°C au mois d’Aout.

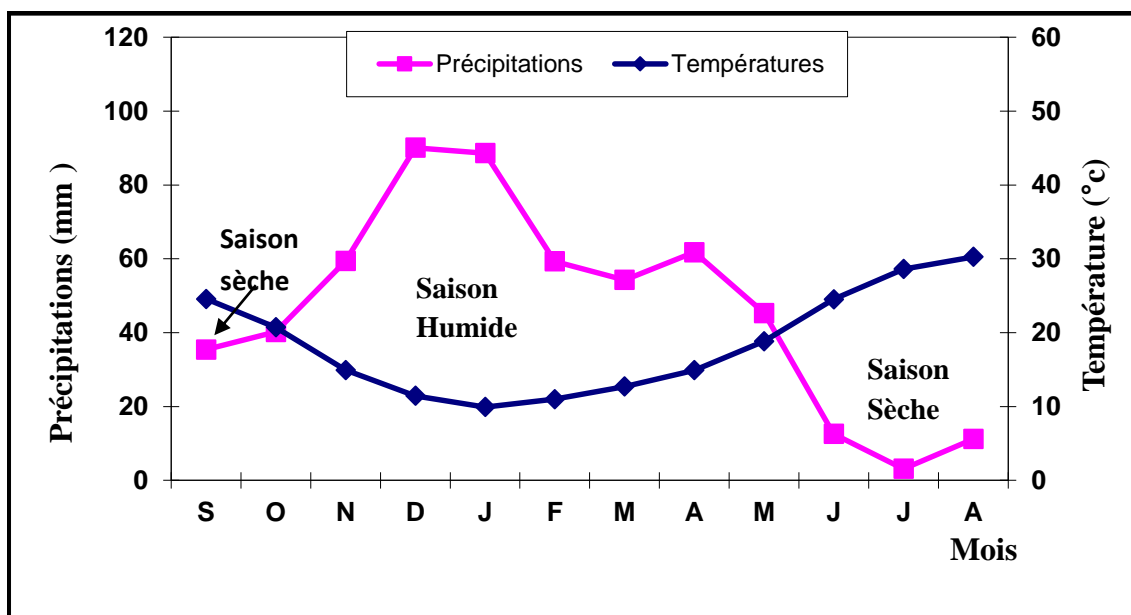


Figure n°17 : Diagramme ombrothermique à la station de Bouchegouf.

IV.2.5 : L'humidité

L'humidité relative de l'air correspond au rapport de la tension de vapeur réelle observée à la tension de vapeur saturante à la même température. Les moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air ne descendent guère au-dessous de 50%. L'humidité relative est en générale plus élevée pendant les mois les plus chauds ; en Juillet et Août (Tableau n°9).

Tableau n°9 : Moyenne mensuelle de l'humidité relative à la station de Bouchegouf (en %) (1984/2013).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
<i>Humidité relative(%)</i>	66,7	68,3	72,8	75	74,5	75,7	73	71,9	68,3	60,5	55,3	56,4

IV.2.6 : Le vent

La région de Bouchegouf est soumise à des vents de diverses directions. Les vents dominant du Nord-Ouest .avec une vitesse moyenne annuelle de 1.82 m/s, avec une vitesse maximale au mois de Février et minimale au mois d'Octobre respectivement de 1.99 m/s et de 1.43 m/s (Tableau n°10).

Tableau n°10 : Moyenne mensuelle de la vitesse des vents en m/s à la station de Bouchegouf (1999-2008).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Moy	1.72	1.43	1.77	1.94	1.8	1.99	1.96	1.74	1.82	1.96	1.92	1.80

IV.2.7 : Détermination du type du climat**IV.2.7.1 : Indice de Martonne (1926)**

La connaissance des caractéristiques et le type du climat basé sur l'indice d'aridité sont étudiés par la méthode qui est proposée par **De Martonne**. Cet indice est défini en fonction de la température et de la précipitation, et donner par la formule suivant :

$$A=P/(T+10)$$

Avec :

A : Indice d'aridité annuelle

P : Précipitations moyennes annuelles en mm.

T : Températures moyennes annuelles en °C.

Selon Martonne E. De : Pour

$30 < I_A < 55$: climat humide.

$20 < I_A < 30$: climat tempéré.

$10 < I_A < 20$: climat semi-aride.

$7.5 < I_A < 10$: climat steppique.

$5 < I_A < 7.5$: climat désertique.

$I_A < 5$: climat hyperaride.

L'application de cette formule, donne les résultats récapitulés dans le tableau n°11.

Tableau n°11 : Valeur de l'indice d'aridité annuel à la station de Bouchegouf

Station	P (mm)	T (°C)	I _A
Bouchegouf	561.4	18.50	19.69

Selon la valeur obtenue, nous pouvons affirmer que le climat de la région d'étude est de type semi-aride. Pour mieux préciser l'indice d'aridité avec la répartition saisonnière, nous avons calculé l'indice mensuel d'aridité.

IV.2.7.2 : Calcul de l'indice d'aridité mensuel de Martonne (IDM)

Afin de préciser les liens de l'indice d'aridité avec la répartition saisonnière, un indice d'aridité mensuel de Martonne a été défini par la relation suivante :

$$I = \frac{12.P}{T^{\circ} + 10}$$

Avec :

P : Précipitations moyennes mensuelles en mm.

T° : Températures moyennes mensuelles en °C.

I_m : Indice d'aridité mensuelle.

Cette équation définit l'évolution des conditions climatiques au cours de l'année d'observation. Les résultats obtenus sont représentés dans le Tableau ci-dessous.

Tableau n°12 : Indices d'aridité mensuels (I_M) à la station de Boucheouf.

Mois	P (mm)	T (°C)	I _M	Etage bioclimatique
Septembre	35,4	24,56	12,29	climat semi-aride
Octobre	40,21	20,72	15,71	climat semi-aride
Novembre	59,39	14,93	28,59	climat tempéré.
Décembre	90,1	11,45	50,41	climat humide.
Janvier	88,6	9,94	53,32	climat humide.
Février	59,32	11	33,90	climat humide.
Mars	54,29	12,7	28,70	climat tempéré.
Avril	61,76	14,92	29,74	climat tempéré.
Mai	45,32	18,85	18,85	climat semi-aride
Juin	12,59	24,52	4,38	climat hyperaride.
Juillet	3,12	28,62	0,97	climat hyperaride.
Aout	11,2	30,26	3,34	climat hyperaride.

IV.2.7.3 : Indice d'humidité et classification climatique de l'FAO-UNESCO

Selon le critère quantitatif de différenciation des zones sèches, l'indice d'humidité, utilisé par la FAO et l'UNESCO (1977), est un critère de délimitation des régions arides et semi-arides, à partir du rapport de la hauteur moyenne des précipitations annuelles et l'évapotranspiration potentielle annuelle d'après la formule de Howard Penman (1948), selon la relation suivante :

$$I_h = P/ETP$$

Ainsi, plusieurs zones ont été délimitées suivant ces catégories (**Tab. n°13**).

Tableau n°13 : Classification des différentes formes d'aridité (Science et changements planétaires, 2005).

Zone	I _h
Hyperaride	< 0.03
Aride	0.03 – 0.2
Semi-aride	0.2 – 0.5

Subhumide	0.5 - 0.75
------------------	------------

Pour la station de Bouchegouf (P = 561.4 mm et ETP = 955.53 mm) l'indice obtenu est de 0.58 ce qui traduit un climat subhumide.

IV.2.7.4 : Indice de Paul Moral

Cet indice est calculé à partir de la hauteur annuelle des précipitations (mm) et les températures moyennes annuelles (°C). La valeur de l'indice permet de dire :

- Si $IM < 1$ on a climat sec.
- Si $IM > 1$ on a climat humide.

$$IM = \frac{P}{(T^2 - 10T + 200)}$$

P = 561.4 mm

T = 18.50°C

où **IM=1.57**

La valeur de l'Indice de Paul Moral (IM=1.75) peut qualifier le climat de la région de Bouchegouf de sub-humide.

IV.2.7.5 : Récapitulation

Il paraît de ce qui a précédé que selon les trois paramètres utilisés ; Température, précipitation et l'évapotranspiration potentielle dans le calcul des différents indices climatiques que les trois méthodes employées ont qualifié le climat de la région de Bouchegouf comme étant sub-humide (**Tableau n°14**).

Tableau n°14 : Comparaison des indices d'aridité pour la zone d'étude.

Zone d'étude	Indice	Valeur de l'indice	Type de climat
Bouchegouf	d'aridité de DE Martonne	$I_A = 21.66$ $10 < I_A < 20$	Semi-aride
	d'humidité climatique	$I_h = 0.58$ $0.5 < I_h < 0.75$	Sub-humide
	de Paul Moral	$IM = 1.57$ $IM > 1$	Sub-humide.

IV.3 : Bilan d'eau

L'établissement du bilan hydrique pour un lieu et une période donnée se fait par la comparaison entre les apports et les pertes en eau dans ce lieu et pour cette période. Les apports d'eau sont effectués par les précipitations ; les pertes sont essentiellement dues à la combinaison de l'évaporation et la transpiration, que l'on désigne sous le terme d'évapotranspiration.

Le bilan hydrique (**Fig. n°18**) englobe l'étude des paramètres suivants :

- L'évapotranspiration.
- Les écoulements de surface ou ruissellement.
- L'infiltration.

IV.3.1 : L'évapotranspiration

L'évapotranspiration est le terme le plus important du bilan hydrologique après les précipitations. L'évapotranspiration englobe l'ensemble de deux phénomènes :

- L'évaporation : c'est l'ensemble des phénomènes qui transforme l'eau en vapeur par un processus spécifiquement physique ; le principale facteur régissant l'évaporation est la radiation solaire.
- La transpiration : la transpiration est un phénomène biologique lié à la couverture végétale ; à son de développement et à sa nature.

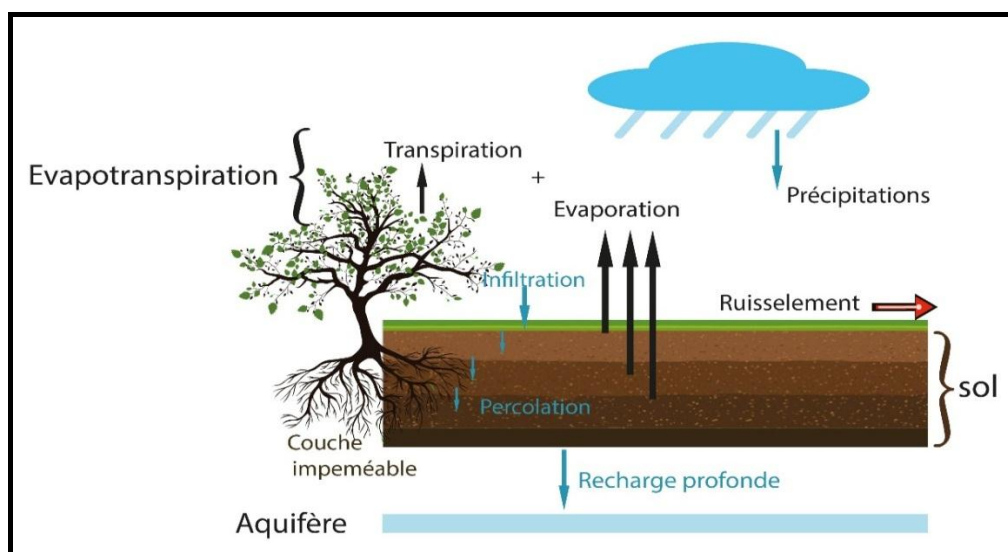


Figure n°18 : Représentation schématique du bilan évapotranspiration/alimentation de la nappe/ruissellement.

IV.3.1.1 : Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)

L'évapotranspiration réelle correspond à la somme des quantités de vapeur d'eau évaporées par le sol et par les plantes quand le sol est à une certaine humidité et les plantes à un stade de développement physiologique et sanitaire spécifique. L'ETR peut être déterminé par plusieurs formules :

a/ Formule de L. Turc (1954) : Elle permet d'évaluer directement l'ETR annuelle à partir de la hauteur annuelle de la pluie et de la température moyenne annuelle :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Avec :

ETR : évapotranspiration réelle en mm/an.

P : hauteur annuelle de pluie en mm.

L : pouvoir évaporant : c'est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque P devient grand.

$$L = 300 + 25t + 0.05t^3.$$

t : température annuelle en °C.

On a pour la station de Bouchegouf : P = 561.4 mm ; t = 18,50°C.

$$L = 300 + 25(18.50) + 0.05 (18.50)^3 = 1079.08$$

$$ETR = \frac{561.4}{\sqrt{0.9 + \frac{(561.4)^2}{(1079.08)^2}}}$$

ETR = 518.9 mm selon la formule de Turc.

b/ Formule de M. Coutagne : **ETR = P - λ P²**

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14 T}$$

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle en mm.

P : Précipitation moyenne annuelle en mm.

T : température moyenne annuelle en °C.

Cette formule n'est valable que si la quantité des précipitations répond à la condition suivante :

$$\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$$

La valeur de l'ETR par la méthode de Coutagne est illustrée dans le tableau n°15.

La comparaison permet de choisir la méthode appropriée et spécifique pour la région d'étude.

Les formules de Turc et de Coutagne présentent des résultats assez proches. Cependant la formule de Thornthwaite apparaît la plus convenable, et a été souvent utilisée avec succès dans ces régions, en plus elle prend en considération le coefficient de correction.

Tableau n°15 : Valeurs de l'ETR (mm) par les trois méthodes.

Station / Méthodes	Turc	Coutagne	Thornthwaite (RFU 100 mm)
Bouchegouf	518.9	470	416.35

IV.3.1.2 : Estimation L'évapotranspiration potentielle ETP : (ou évapotranspiration de référence) :

C'est la quantité maximale d'eau susceptible d'être perdue en phase vapeur, sous un climat donné, par un couvert végétal continu spécifié (gazon) bien alimenté en eau et pour un végétal sain en pleine croissance. Elle comprend donc l'évaporation de l'eau du sol et la transpiration du couvert végétal pendant le temps considéré pour un terrain donné.

Plusieurs formules permettent d'évaluer l'ETP à partir de différentes mesures climatologiques.

IV.3.2 : Formule de Thornthwaite (bilan d'eau)

La formule de C.W. Thornthwaite (1948), qui utilise la température de l'air et la latitude de la station est donnée par l'expression suivante :

$$ETP = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a K$$

Avec :

ETP : évapotranspiration potentielle du mois (en mm).

T : température moyenne mensuelle de la période (en °C).

I : indice thermique annuel qui représente la somme des indices mensuels (i) :

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{Avec : } i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.5}$$

$$a = \left(\frac{1.6}{100} \right) I + 0.5$$

K : coefficient d'ajustement mensuel lié à la latitude.

a = l'exposant climatique donné par la formule.

Les valeurs obtenues sont corrigées par un coefficient de correction k qui dépend de la latitude du bassin.

La méthode du bilan d'eau selon C.W. Thornthwaite (1955) est basée sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (RFU). On admet que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (RFU), cette eau peut être reprise par l'évaporation par l'intermédiaire des plantes. Pour notre cas, la région de Bouchegouf, on prend RFU = 100 mm.

La satisfaction de l'ETP est prioritaire sur l'écoulement, c'est-à-dire avant qu'il y ait écoulement il faut satisfaire ce qu'on appelle le pouvoir évaporant (ETP = ETR). Par ailleurs le remplissage de la RFU est également prioritaire sur l'écoulement.

On établit ainsi un bilan à l'échelle mensuelle à partir de la pluie du mois, de l'ETP et de RFU. Les résultats sont montrés dans le tableau n°16.

Tableau n°16 : Le bilan hydrique selon C. W. Thornthwaite (1955).

paramètres mois	P (mm)	T (°C)	I	K	ETP (mm)	ETR (mm)	EX (mm)	DA (mm)	RFU (mm)	BH
S	35,4	24,56	11.1	1,03	114,4	35,4	0,0	79,0	0,0	-79,0
O	40,2	20,72	8.6	0,97	77,1	40,2	0,0	36,9	0,0	-36,9
N	59,4	14.93	5.2	0,86	35,8	35,8	0,0	0,0	23,5	23,5
D	90,1	11,45	3.5	0,81	20,0	20,0	0,0	0,0	93,6	70,1
J	88,6	9.94	2,8	0,87	16,3	16,3	66,0	0,0	100,0	72,3
F	59,3	11	3,3	0,85	19,4	19,4	39,9	0,0	100,0	39,9
M	54,3	12.7	4,1	1,03	31,2	31,2	23,1	0,0	100,0	23,1
A	61,8	14.92	5,2	1,1	45,8	45,8	16,0	0,0	100,0	16,0
M	45,3	18.85	7,5	1,21	79,8	79,8	0,0	0,0	65,5	-34,5
J	12,6	24.52	11.1	1,22	135,1	78,1	0,0	56,9	0,0	-122,5
J	3,1	28.62	14.00	1,24	186,1	3,1	0,0	183,0	0,0	-183,0
A	11,2	30.26	15.3	1,16	194,3	11,2	0,0	183,1	0,0	-183,1
Total	561,3	18,5	91.7	/	955,3	416,4	144,9	538,9	/	-394,0

IV.3.2.2 : Représentation graphique du bilan hydrique

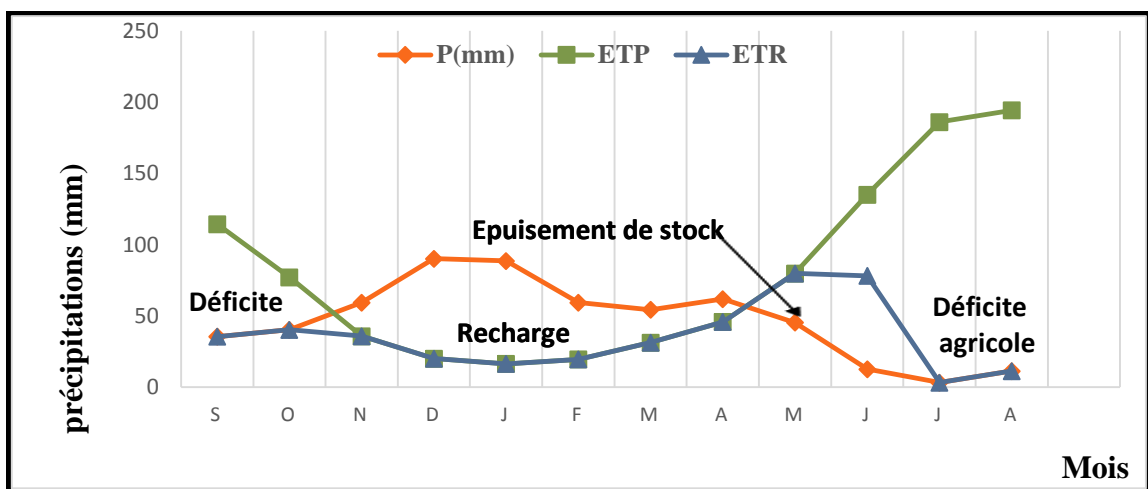


Figure n°19 : Représentation graphique du bilan hydrique d'eau selon la méthode de Thornthwaite à la station de Bouchegouf (1980-2015).

IV.3.2.3 : Interprétation du bilan hydrique

Le bilan hydrique de la zone d'étude établi par la méthode de (Thornthwaite, 1948) permet de ressortir les traits suivants :

- l'évapotranspiration potentielle (ETP) prend son maximum au mois d'Aout (194.3 mm), ce qui provoque un déficit agricole nécessitant une irrigation. Elle se minimise au mois de Janvier avec 16.3 mm.
- l'évapotranspiration réelle (ETR) atteint son maximum au mois de Mai 79.8 mm et se minimise au mois de Juillet avec 3.1 mm
- La réserve facilement utilisable (RFU) commence à se reconstituer à partir du mois de Novembre pour atteindre son maximum (100 mm) au mois de Janvier jusqu' 'au mois d'Avril période pendant laquelle apparaît un excédent (ECX) max de l'ordre de 66 mm.

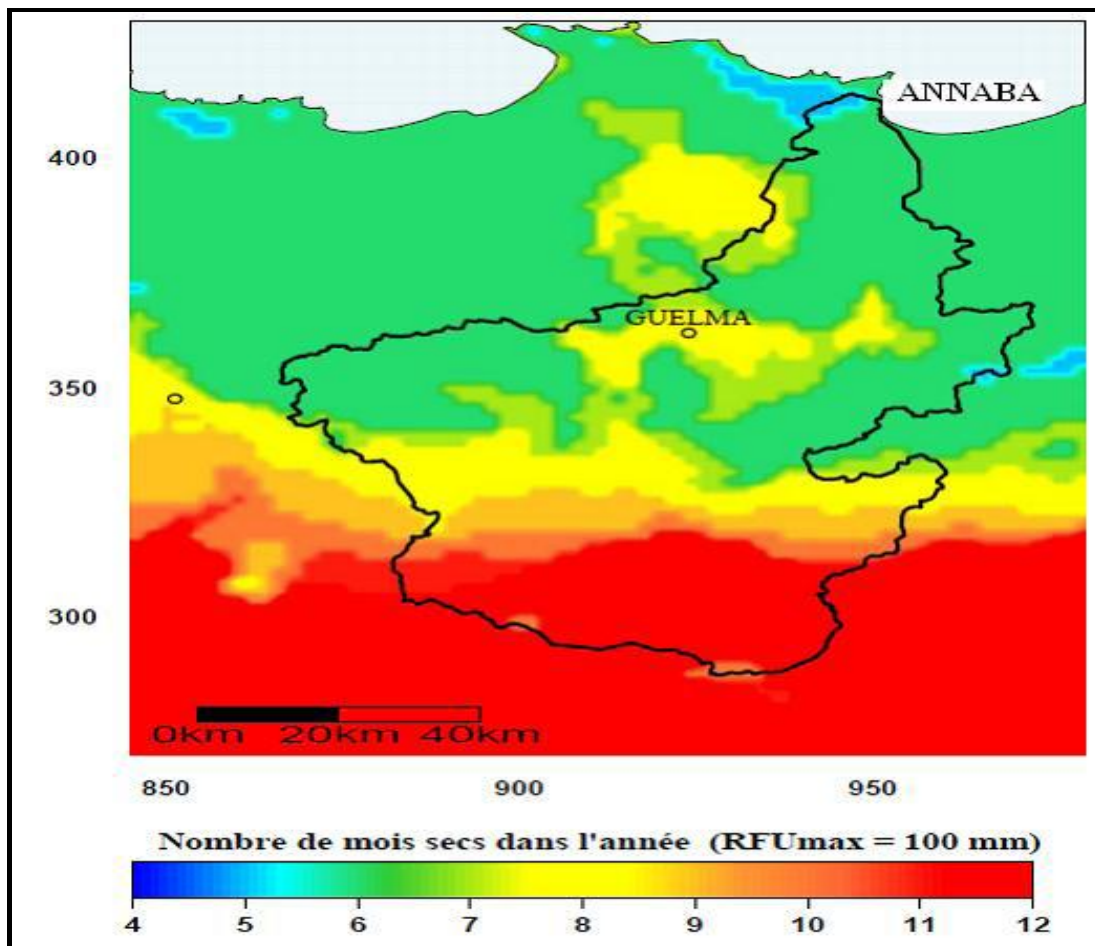


Figure n°20 : Répartition des nombres de mois de l'année dans le bassin versant de la Seybouse (Mebarki et Laborde 2012).

- La RFU décroît à partir du mois de Mai jusqu'à l'épuisement total du stock au mois de Juin d'où l'apparition du déficit agricole (DA) qui s'étale jusqu'à la fin du mois d'Octobre, une période qui traduit un déficit agricole ce qui nécessite une irrigation par drainage.

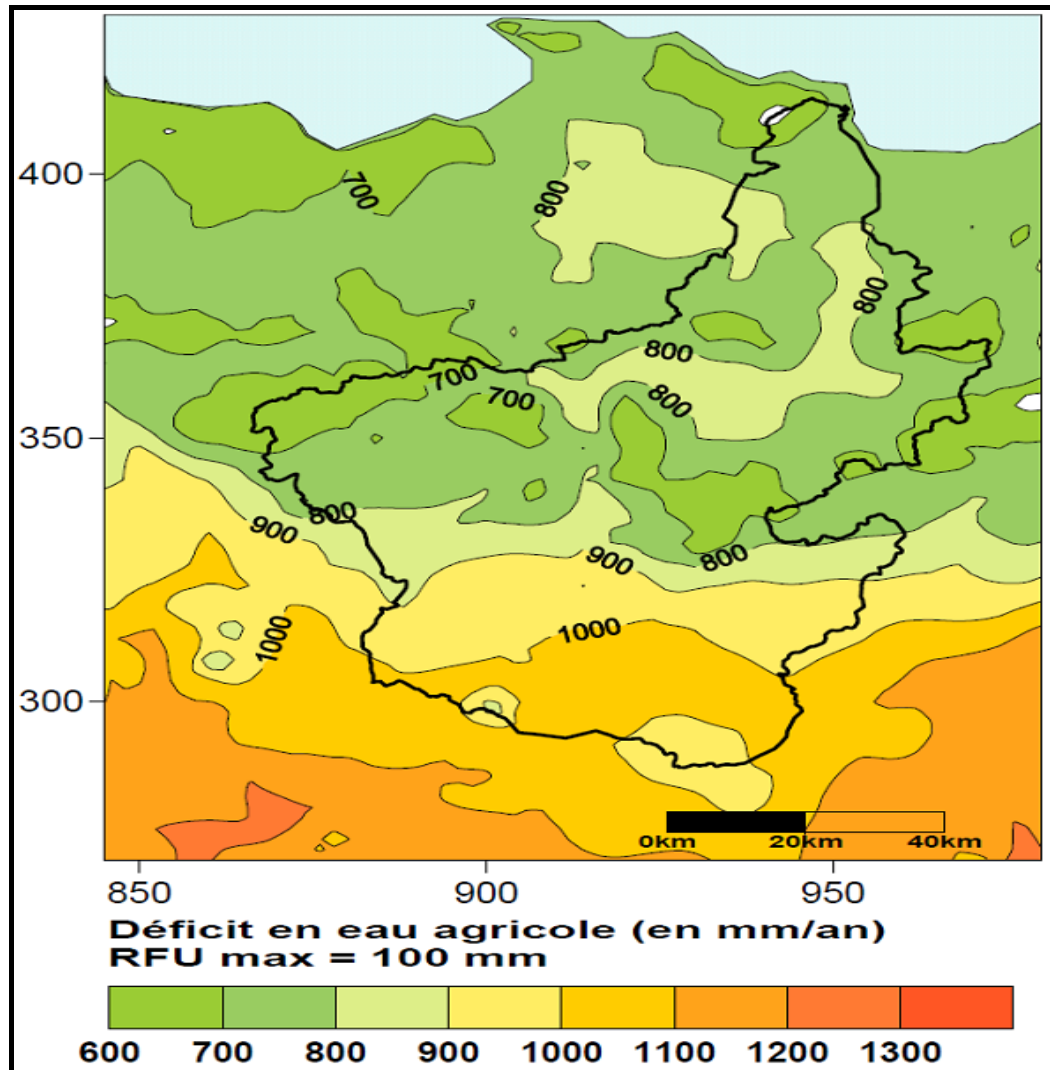


Figure n°21 : Déficit agricole en eau (RFU 100 mm) (Mebarki et Laborde 2012).

IV.3.3 : Le ruissellement

Le ruissellement de surface est la quantité d'eau, qui au cours d'une précipitation, échappe à l'infiltration et à l'évapotranspiration.

Le ruissellement est calculé par la formule de Tixeront-Berkaloff :

$$\text{Si : } P < 600 \text{ mm} \quad R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$

Si : $P > 600 \text{ mm}$ $R = P^3/3$

Avec :

R : ruissellement en m.

P : précipitation moyenne annuelle en m.

ETP : évapotranspiration potentielle en m.

Et comme $P < 600 \text{ mm}$, on va utiliser la première formule :

Le ruissellement pour la station de Bouchegouf :

$$R = (0,5614)^3 / 3 * (0,9553)^2 = 0,05379 \text{ m}$$

$$\boxed{R=53.82 \text{ mm}}$$

IV.3.4 : L'infiltration

L'infiltration permet de déterminer quelle fraction de la pluie va alimenter les écoulements souterrains et participer aussi à la recharge des nappes souterraines.

L'infiltration est calculée par la formule suivante :

$$I = P - (R + ETR)$$

P : Précipitation moyenne annuelle en mm.

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle en mm.

R : Ruissellement annuelle en mm.

I : Infiltration efficace moyenne annuelle en mm

Les résultats sont récapitulés dans le tableau n°17 :

Tableau n°17 : Détermination des paramètres de la formule du bilan.

P (mm)	R (mm)	ETR (mm)	I (mm)
561.4	53.82	416.35	91.7
100%	9.58%	74.16%	16.24%

IV.4 : Conclusion

Au terme de cette étude, on retiendra que la région d'étude est soumise à un climat semi-aride, caractérisé par deux saisons distinctes :

- - L'une sèche débutant de la fin du mois d'Avril et se termine au début du mois de Novembre avec une précipitation et température moyennes mensuelles de 24.64 mm et 24.58 °C respectivement.
- L'autre humide allant du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril avec une précipitation et température moyennes mensuelles de 68.91 mm et 12.49 °C respectivement.
- Avec une précipitation et température moyennes annuelles de l'ordre de 540.83 mm et 18.50 °C respectivement.

Le calcul du bilan hydrique relatif au bassin de Bouchegouf, selon la méthode de Thornthwaite, a permis d'apprécier la part respective de chacun des principaux termes du bilan (précipitation, écoulement et déficit d'écoulement), ce qui a permis de déduire :

- ✓ Le bilan, dans son ensemble est déficitaire, mais il est excédentaire du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril.
- ✓ L'évapotranspiration réelle est de l'ordre de 416.35 mm/an, ce qui présente 74.16% des précipitations ;
- ✓ Le déficit agricole est important (538.8 mm), alors que la recharge interannuelle est relativement faible ce qui nécessite une irrigation par drainage.
- ✓ Un ruissellement est de l'ordre de 53.82 mm, soit 9.58% des précipitations.
- ✓ L'infiltration est de l'ordre de 91.7 mm/an soit 16.24% des précipitations. Cela, traduit une alimentation directe de la nappe par les eaux de pluie à travers les alluvions de la terrasse qui reste faible.

*CHAPITRE 5 : HYDROLOGIE ET PRÉSENTATION
DU PÉRIMÈTRE IRRIGUÉ*

V.1 : Introduction

L'étude hydrologique, qui constitue un complément de l'étude climatique, est nécessaire pour comprendre l'évolution chimique des eaux de l'Oued. Elle renseigne sur les écoulements au niveau des Oueds et de leur intensité. , la disponibilité potentielle de l'eau et étroitement liée au comportement hydrologique d'un cours d'eau ou au régime pluvial. Plusieurs études se sont penchées sur l'hydrologie de l'Oued Seybouse (Ghachi A. 1982, Mebarki A. 2005. Amarachi H. 2006, Khenchoul K. 2007, Louamri A. 2013).

L'Oued Seybouse résulte de la confluence de l'Oued Charef et l'Oued Bouhamdane. On a constaté que par la mise en eau du Barrage Hammam Debagh, seules les eaux de l'Oued Charef alimente la Seybouse. La construction de cet ouvrage a entraîné une diminution nette des apports à la Seybouse, ce qui explique l'absence de jaugeages au niveau des Oueds. Pour pallier à cette lacune nous avons axé notre étude sur le traitement des données hydrométriques anciennes, de ce fait il importe donc d'examiner les débits de chaque station de jaugeage répartie sur la région d'étude ainsi que le bilan hydrologique à l'issue de chaque bassin partiel.

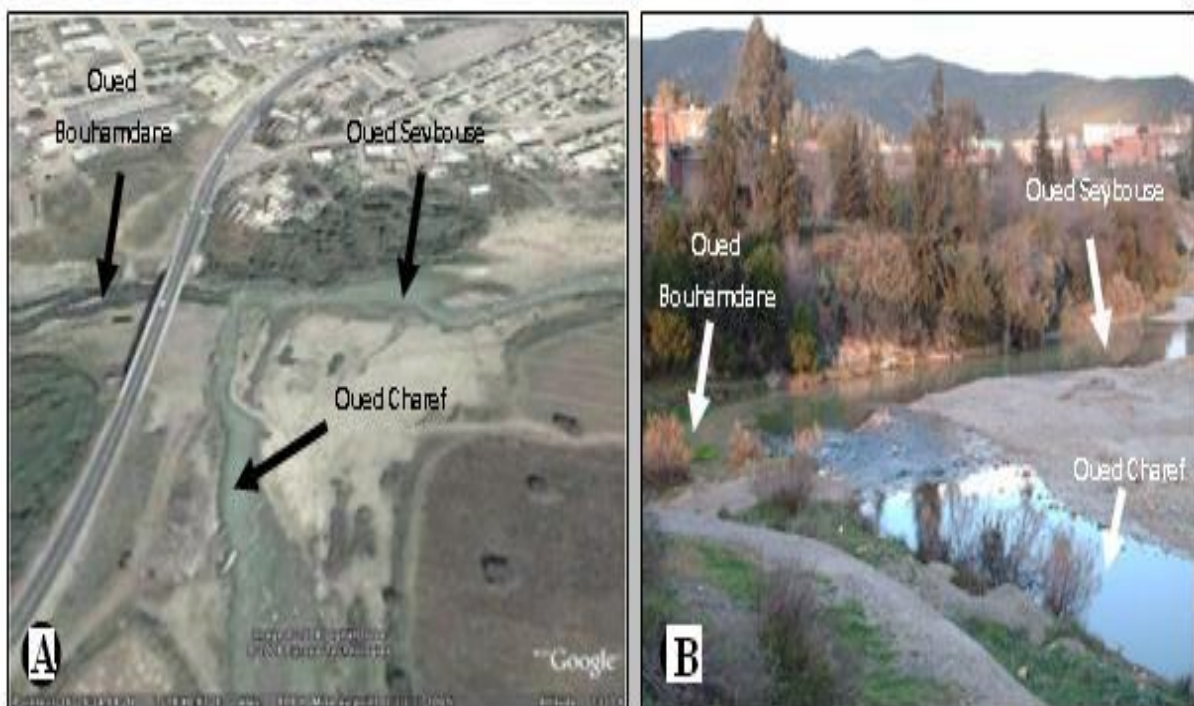


Figure n° 22 : Confluence des Oueds Charef et Bouhamdane donnant la Seybouse

(A- Vue satellitaire Google Earth 2009, B- Photos numérique Mouchara, 2009).

V.2 : Bassin versant de la Seybouse

Le bassin versant de la Seybouse est réparti sur sept (07) wilayas : Annaba, El-Taraf, Guelma, Souk Ahras, Constantine, Skikda, Oum-El-Bouaghi. Cinq barrages ont été construits dans le bassin versant de l'Oued Seybouse :

- Barrage Hammam Debagh sur oued Bouhamdane avec un volume de 220 hm³
- Barrage Foum El Khanga sur Oued Charef avec un volume de 157 hm³.
- Barrage : Tiffech (5,8 hm³),
- Barrage El Haria (1, 8 hm³)
- et barrage Medjz el Bgar (2,86 hm³).

Avant l'embouchure dans la Mer Méditerranée, l'Oued Seybouse reçoit les eaux de :

- son affluent principal : l'Oued Mellah à Bouchegouf dans la wilaya de Guelma
- l'Oued Djefeli et l'Oued Lala Moura dans la wilaya d'El Taraf.
- l'Oued Rassoul à Ain Berda qui rejoint l'Oued Meboudja et l'Oued Boudjemia dans la Wilaya d'Annaba.
- l'Oued Djemaa

Cependant, on note que l'Oued Seybouse est alimenté en partie par les eaux du Lac Fetzara par l'intermédiaire de canaux (un sur l'Oued Boudjemia et l'autre sur l'Oued Meboudja).

Les paramètres morphométriques de l'oued Seybouse sont représentés dans le tableau n°18.

**Tableau n°18 : Paramètres morphométriques du bassin de la Seybouse
(Carte topographique 1/50000)**

Paramètre / Station	Charef à M. Rochefort	Bouhamdane à Medjez. Amar	Mellah à Bouchegouf	Ain Berda à Rassoul	Seybouse à Mirbeck
Altitude max. (m)	1543	1325	1390	939	1635
Altitude min. (m)	740	295	96	58	10
Altitude moyenne (m)	904	787	619	314	716
Longueur du rectangle équivalent (Km)	182	17	70	83	107
Largeur moyenne (Km)	33	5.9	8	13	16
Longueur du thalweg principal (Km)	341	25	65	100	64
Coefficient de compacité	1.67	1.64	1.85	1.25	1.2
Coefficient de torrentialité (s.d)	10	21.5	18.5	11	6
Dénivelée spécifique (m)	132	233	303	322	416
Temps de concentration (h)	25	15	10	5.50	40
Densité de drainage (km/km ²)	1.8	2.6	3.2	3.41	0.72

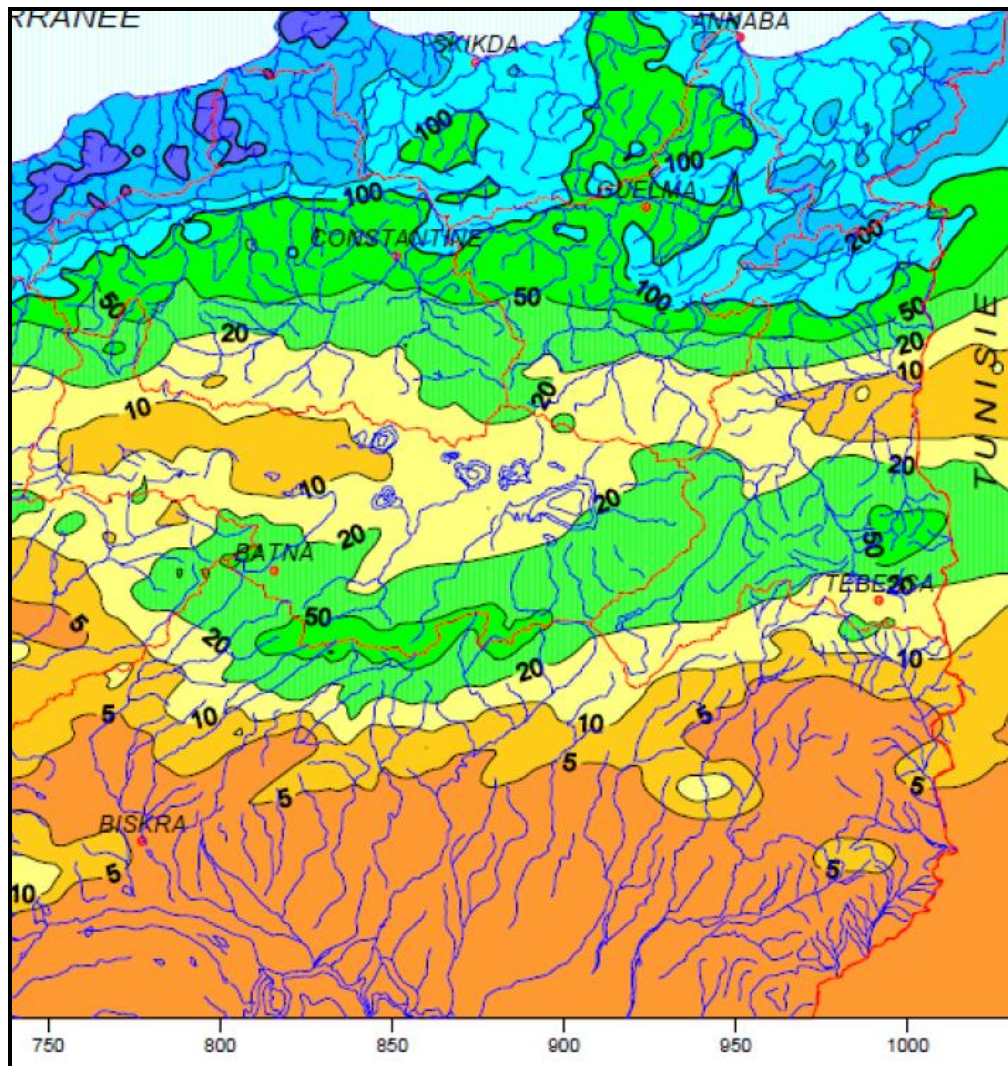


Figure n°23 : Ecoulements interannuels moyens d'après le modèle LOIEAU période 1965-1995 (in Mébarki, 2005)

V.3 : Le réseau hydrographique

Il est constitué principalement du cours d'eau principal l'Oued Seybouse et ses majeurs affluents dont l'écoulement général est d'Ouest en Est pour l'oued Bouhamdane et du Sud vers le Nord pour l'Oued Charef, l'Oued Maiz, l'Oued Zimba, l'Oued Boussora, l'Oued H'lia et l'Oued Mellah.

Les Oueds Bouhamdane et Charef drainent respectivement des sous bassins de 1105 km² et 1710 km² à la station de Medjez Amar, point de confluence et naissance de l'Oued Seybouse. Le réseau hydrographique emprunte surtout les axes des principaux plissements dans les couches marneuses facilement érodables. D'autres affluents suivent le sens des failles affectant les formations mio-pliocènes.

Le relief montagneux prédominant entoure trois dépressions importantes : la dépression de Tamlouka du Sud, celle de Guelma au centre et la dépression de Bouchegouf au Nord-Est.

V.3.1 : Profil en long de l'oued Seybouse

Les différents changements de pente observés sur le profil en long de la Seybouse peuvent être assimilés à divers niveaux de base anciens. Le profil en long, montre des ruptures de pente que l'on peut expliquer autrement que par des captures ou par des écaillés rocheuses particulièrement résistantes à l'érosion (gorges amont de Medjez Amar). Le matériel très résistant est profondément entaillé par la Seybouse (la partie terminale de l'Oued Charef en travers des grès).

L'Oued Bouhamdane présente un profil en long assez régulier, interrompu par quelques légères ruptures de pente, il annonce déjà les cours d'eau de hautes plaines semi-arides (**Fig. n° 24**). En résumé, la haute Seybouse présente des pentes faibles inférieures à 7.5%.

La moyenne Seybouse et ses affluents descendants de l'Atlas tellien donnent des gorges profondes qui renforcent la vitesse des eaux. Ces dernières sont à l'origine des crues parfois catastrophiques dans le bassin de Guelma et la plaine d'Annaba.

A la sortie des gorges de Nador, la pente redevient très faible en pénétrant dans la plaine d'Annaba, sa valeur tombe à 3% ; à l'approche de la mer, elle est réduite à 0.5%.

Ainsi, le profil en long de la Seybouse offre un tracé très régulier entre Medjez Amar et l'embouchure. A la sortie de la station hydrométrique de Mirbeck, à 12 Km de l'embouchure, le lit de la Seybouse n'est qu'à 10 m d'altitude.

A l'ancienne station hydrométrique de Boudaroua, 60 Km du littoral, le chenal d'écoulement est à 73 m d'altitude, au pont de Guelma le lit est à 191m, à la confluence de Medjez Amar la Seybouse est à 270 m, l'Oued Charef au Moulin Rochefort est à 750 m d'altitude, ces différents points d'altitude montrent que le régime de la Seybouse et ces affluents est encore fortement torrentiel. Ce caractère fougueux des oueds dévalant l'Atlas tellien est observé surtout dans le bassin moyen de la Seybouse et peut être mieux perçu encore par la densité de drainage. (L. Djabri, 1996).

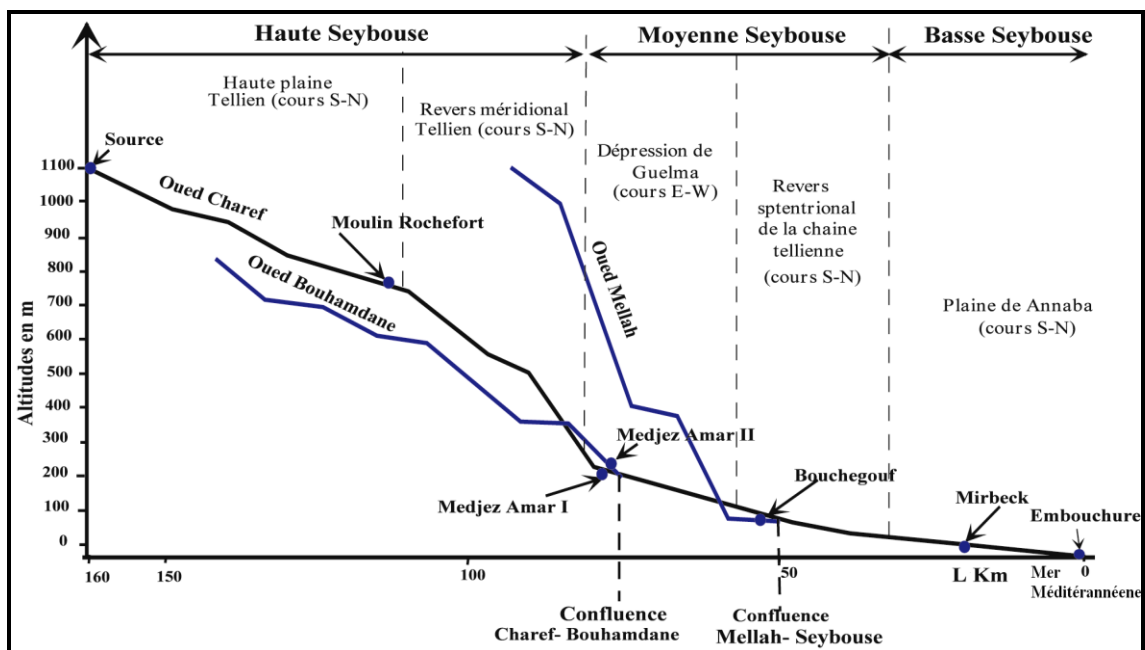


Figure n°24 : Profil en long de l'Oued Seybouse (Ghachi, 1982)

Les profils hydrologiques offrent l'avantage de visualiser les variations, de la source à l'embouchure, de l'apport des grands cours d'eau principaux s'étalant, en général, sur des domaines morfo-structuraux et climatiques bien tranchés (Mebarki, 2005). L'année 1984/85, en raison des crues exceptionnelles de décembre 1984-janvier 1985 et celles de mars 1985, marque nettement la variabilité du cycle hydrologique de ces trois dernières décennies.

L'année 2002/03, non comprise dans les séries étudiées, a également connu une pluviosité exceptionnelle (en particulier les mois de novembre, décembre et janvier), du même ordre que celle de 1984/85. Ses effets apparaissent sur l'abondante alimentation en eau des barrages

V.3.2 : Les densités de drainage

La densité de drainage ou densité de Talwegs, est définie pour un bassin donné de superficie (A), comme la longueur totale (L) des cours d'eau de tous ordres sur la surface drainée, soit :

$$Dd = L/A$$

Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus pour la densité de drainage globale permanent et temporaire, d'une part au niveau de chaque bassin partiel et d'autre part à l'échelle de deux grands ensembles :

- La moitié Sud du bassin présentant une densité de drainage généralement faible.
- La moitié Nord, dotée d'une densité relativement dense.

Toutefois, il faut signaler que ces valeurs de densité de drainage du chevelu hydrographique sont approximatives vu l'échelle de la carte au 1/20.000 (Ghachi, 1982).

Tableau n°19 : Les densités de drainage global permanent et temporaire (Ghachi, 1982)

Bassin	D_d	D_{dp}	D_{dp}/D_d (%)	D_{dt}	D_{dt}/D_d (%)
Charef amont à moulin Rochefort	0.48	0.22	46	0.26	54
Cherf aval à Medjez Amar I	0.80	0.43	53	0.56	47
L'ensemble des bassins amont : (réseau hydrographique faible)	0.56	0.25	44	0.32	56
Mellah à Bouchegouf	0.72	0.63	87	0.13	18
Seybouse à Mirbeck	0.72	0.41	56	0.32	44
L'ensemble des bassins aval (réseau hydrographique dense)	0.84	0.48	57	0.36	43
Ensemble du bassin de la Seybouse	0.72	0.41	56	0.32	44

Avec :

D_d = densité de drainage,

D_{dp} = densité de drainage permanente,

D_{dt} = densité de drainage temporaire.

La densité de drainage temporaire est élevée dans le bassin du haut Charef. Elle est de 0.26 au moulin Rochefort et passé à 0.56 sur Charef aval à Medjez Amar I.

Pour l'ensemble de ces deux bassins la densité de drainage permanent est de 0.25, alors que la densité de drainage temporaire est de 0.32. Cette situation est inversée pour l'ensemble des bassins aval, les valeurs sont respectivement de 0.36 et 0.32. Les plus petites valeurs correspondent aux plus grands sous bassins. Ces résultats indiquent que nos sous bassins versants sont en général assez bien drainés (Bouanani, 2008).

Ainsi le bassin de la Seybouse appartient bien à deux grands domaines hydroclimatiques différents, à un écoulement faible et temporaire, lié à une lithologie perméable et à une pluviométrie faible, s'oppose le drainage permanent, élevé dans la partie Nord du bassin traduisant l'abondance pluviométrique et une perméabilité généralement faible (Ghachi, 1982).

V.3.3 : La dénivelée Spécifique (Ds)

La dénivelée spécifique Ds donne une idée sur le degré de développement du réseau hydrographique. C'est la dérivée de la pente globale Ig en la corrigeant l'effet de surface admis étant inversement proportionnel à racine de S :

$$D_{sp} = I_g \times \sqrt{S} \quad I_g = \frac{H_{0,05} - H_{0,95}}{L} = \frac{D}{L} \quad L = \frac{Cx\sqrt{S}}{1,128} (1 + 1 - \sqrt{1 - (1,128/C)})$$

S : la superficie du bassin (km²)

D : dénivelée (m),

L : longueur du rectangle équivalent (km)

C : indice de compacité, P : périmètre du bassin (km)

H 0,95 et H 0,05 : altitudes entre lesquelles s'inscrivent 90% de la surface du bassin, sur la courbe hypsométrique tracée, nous prenons les points tels que la surface supérieure ou égale à 5% et inférieure ou égale à 95%. Suivant la deuxième classification de O.R.S.T.O.M (tableau n° 20), la dénivelée est indépendante des surfaces des bassins (Laborde, 2000).

Tableau n°20 : Deuxième classification d'O.R.S.T.O.M pour différents reliefs

Classe	Nature du relief	Dénivelée spécifique (m)
R1	Relief très faible	Ds<10
R2	Relief faible	10<Ds<25
R3	Relief assez faible	25<Ds<50
R4	Relief modéré	50<Ds<100
R5	Relief assez fort	100<Ds<250
R6	Relief fort	250<Ds<500
R7	Relief très fort	Ds>500

Selon la deuxième classification de l'ORSTOM, la dénivelée spécifique du bassin de la Seybouse dans un relief fort est la suivante : Ds= 327,35 (m/km) (**R6** : 250m<Ds<500m) (Djabri, 1996).

V.4 : Réseau Hydrométrique

Pour mieux cerner la multitude des affluents alimentant les cours principaux de l'Oued Seybouse, nous présentons les caractéristiques des différentes stations de jaugeages (**Tableau n°21**).

Tableau n°21 : Caractéristiques de quelques stations hydrométriques du bassin versant de la Seybouse Mirbeck. (ANRH).

Bassin versant	Station	Oued	Code	Date de mise en fonction	Coordonnées			S km ²	L Km
					X	Y	Z		
Seybouse	Mirbeck	Seybouse	14-06-01	1968	952.8	394.2	10	5955	433
	Ain Berda	Rassoul	14-06-02	1968	938.2	387	55	103	46
	Bouchegouf	Mellah	14-05-01	1948	949.6	362.1	95	550	155.5
	Medjez Amar	Bouhamdane	14-03-01	1968	912.3	358.75	270	1105	195
	Moulin Rochefort	Charef	14-02-02	1971	922.35	319.8	710	1710	285

V.4.1 : Etude des débits

Le régime des débits d'un cours d'eau durant une période déterminé est le seul paramètre du bilan hydrologique d'un bassin qui puisse être mesuré dans son ensemble avec une bonne précision, les autres éléments de ce bilan tel que la précipitation, l'évapotranspiration (ETP, ETR)...etc, ne peuvent être estimés qu'à partir des échantillons prélevés ou déduits des formules hydrologiques toujours approximatives.

Dans l'intérêt d'un suivi garantissant un résultat satisfaisant, on s'est penché sur l'étude des débits jusqu'aux affluents, qui sont à l'origine de l'alimentation des cours principaux; cette notation concerne tout particulièrement la moyenne Seybouse et son affluent l'Oued Mellah.

V.4.2 : Débits moyens mensuels de l'Oued Mellah

Le tableau n°22 et la figure n°25 représentent la distribution des débits moyens mensuels enregistrés dans la station hydrométrique de Bouchegouf sur une période étalée entre 1985 à 2006.

Les résultats des jaugeages de l'Oued Mellah indiquent une diminution des débits (0.39 m³/s, 0.23 m³/s, 0.183 m³/s) pour les mois de Juillet, Août et Septembre. Cette période estivale (J, A, S) montre une corrélation entre le débit et les précipitations.

Les débits maximaux (8.87 m³/s, 12.55 m³/s) sont rencontrés au mois de Décembre et au mois de Janvier (**Figure n° 25**).

Tableau n°22 : Les moyennes mensuelles des débits en m³/s dans la station hydrométrique de Bouchegouf (1985-2006)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Débit moy (m ³ /s)	0,183	0,397	0,49	8,87	12,55	1,82	5,61	1,72	1,22	4,01	0,39	0,23

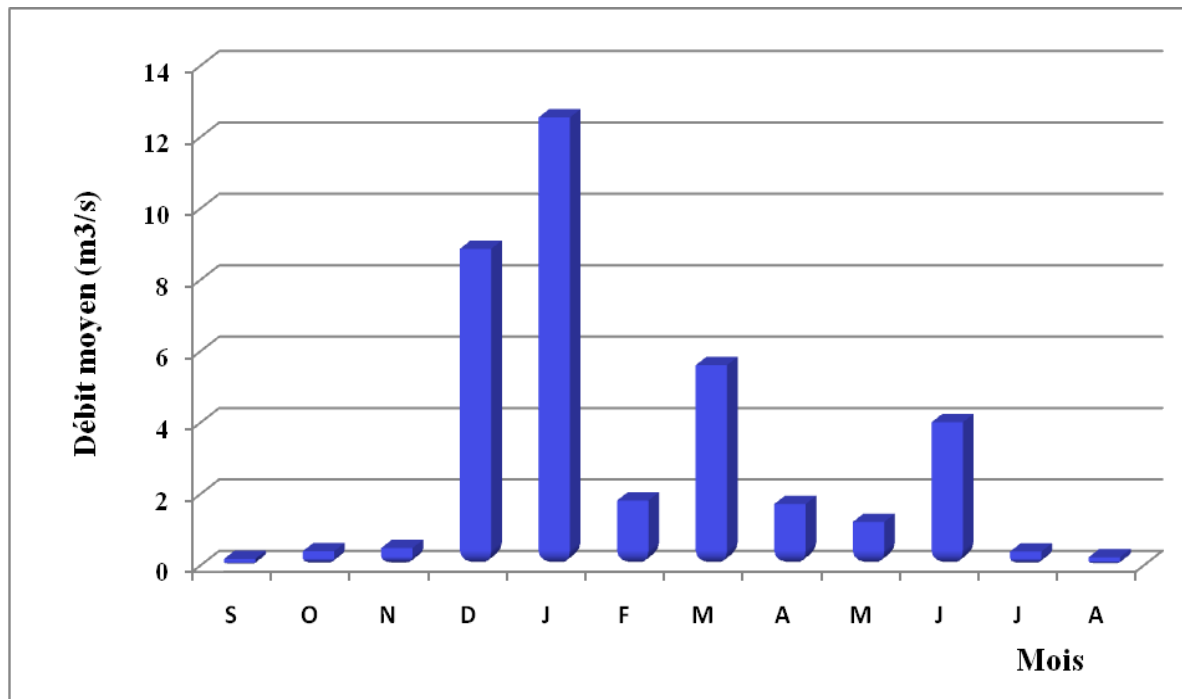


Figure n°25 : Variations mensuelles des débits (1985-2006).

V.4.3 : Débits moyens annuels de l'Oued Mellah

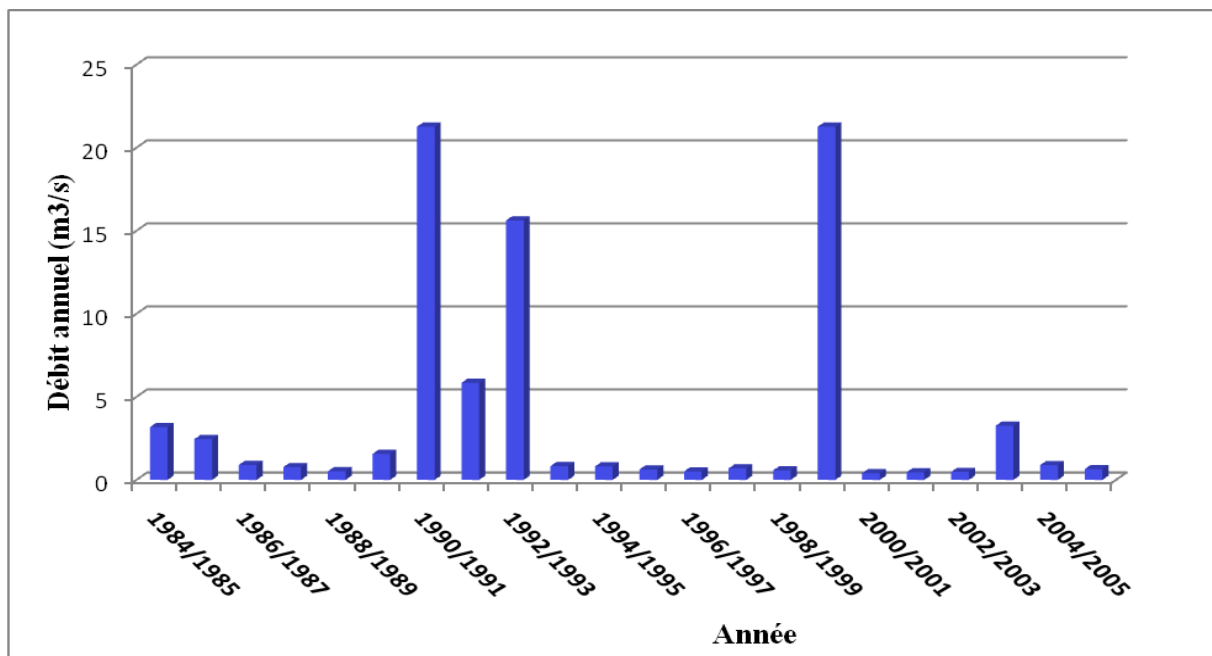
Pour montrer les années déficitaires et excédentaires au niveau de l'oued Mellah, on a étudié les variations annuelles des débits avec la représentation graphique sur une période de 22 ans.

La distribution des débits moyens annuels sur la vingtaine d'années (**Tableau n°23**) considérée indique que les années excédentaires sont : 1991, 1993 et 2000 et les années restantes sont des années déficitaires.

Le manque des données pour les précipitations (une période de 10 ans) n'a pas permis de faire une bonne comparaison avec les débits. Toute fois, le diagramme (**Figure n°26**) fait sentir le changement climatique par les années déficitaires.

Tableau n°23 : Débits annuels observés à la station de Bouchegouf (1985-2006).

Année	Débit annuel (m ³ /s)	Année	Débit annuel (m ³ /s)
1984/1985	3,17	1995/1996	0,63
1985/1986	2,45	1996/1997	0,51
1986/1987	0,9	1997/1998	0,69
1987/1988	0,77	1998/1999	0,57
1988/1989	0,52	1999/2000	21,26
1989/1990	1,56	2000/2001	0,4
1990/1991	21,26	2001/2002	0,46
1991/1992	5,84	2002/2003	0,48
1992/1993	15,62	2003/2004	3,26
1993/1994	0,83	2004/2005	0,89
1994/1995	0,81	2005/2006	0,65

Figure n°26 : Variations annuelles des débits (m³/s) à la station de Bouchegouf (1984/1985-2005/2006).

V.4.4 : Coefficient moyen des débits

Le coefficient moyen des débits définit le régime d'un cours d'eau pendant une période considérée. Il est donné par la formule suivante :

$$\text{CMD} = \text{Qi}/\text{Q}$$

Avec :

CMD : coefficient moyen des débits,

Qi : Débits moyens mensuels en m³/s,

Q : débits moyens.

Si $CMD > 1$: Période des hautes eaux

Si $CMD < 1$: Période des basses eaux

Les valeurs du coefficient moyen des débits calculés à partir des données hydrométrique de l'Oued Mellah sont récapitulées dans le tableau n°24.

La représentation graphique des Coefficients Mensuels de Débits (CMD), établie pour la station de l'Oued Mellah fait ressortir deux périodes :

- Une période des basses eaux s'étalant du mois de Mai jusqu'au mois de Novembre.
- Une période des hautes eaux s'étalant sur cinq mois du mois de Décembre jusqu'au mois d'Avril.

Ce qui est en corrélation avec les saisons sèche et humides (**figure n°27**). En effet, le régime, est à alimentation essentiellement pluviale.

Tableau n°24 : Coefficient moyen des débits de l'Oued Mellah (1985/1985-2005/2006)

Mois	Débits moyens Mensuels (m ³ /s)	Coefficient moyen de débit	Nature de la période
Sept	0.183	0.058	Basses eaux
Oct	0.397	0.127	Basses eaux
Nov	0.49	0.157	Basses eaux
Déc	8.87	2.840	Hautes eaux
Jan	12.55	4.022	Hautes eaux
Fév	1.82	0.580	Basses eaux
Mars	5.61	1.798	Hautes eaux
Avr	1.72	0.551	Basses eaux
Mai	1.22	0.391	Basses eaux
Juin	4.01	1.285	Hautes eaux
Juil	0.39	0.125	Basses eaux
Aout	0.23	0.073	Basses eaux

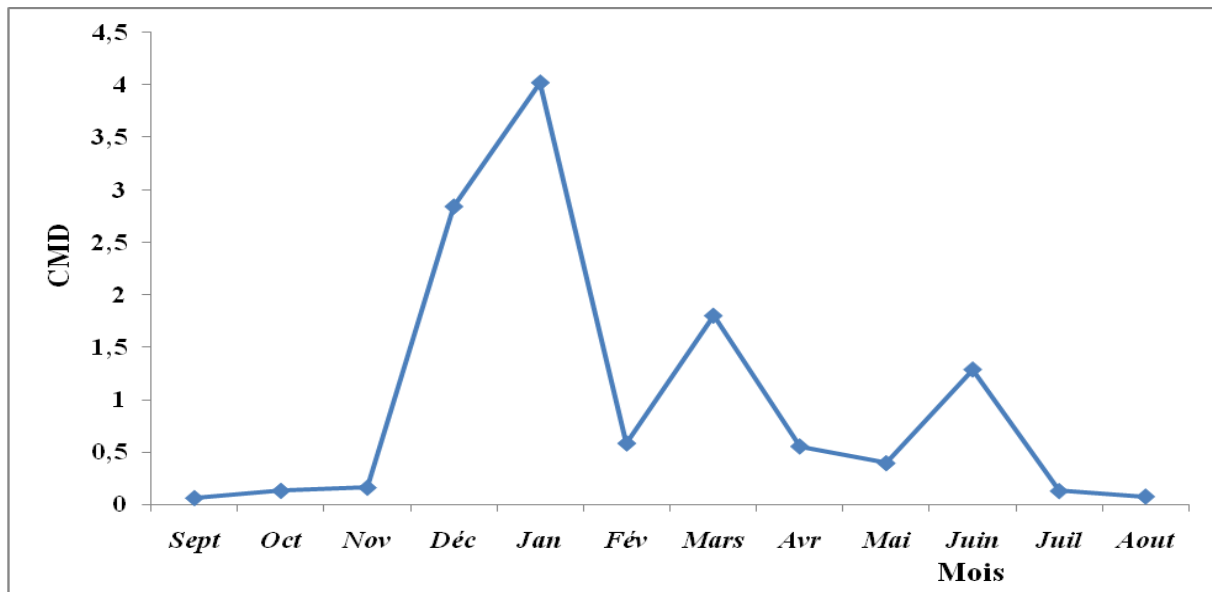


Figure n°27 : Evolution des coefficients des débits moyens de l'Oued Mellah, (1985-2006).

V.5 : L'Oued Seybouse avant et après la mise en eau du barrage Hammam Debbagh (Bouhamdane)

La Seybouse dispose d'une aire de réception de l'ordre de 6471 Km², La station de Mirbeck donne le débit de la Seybouse avant son arrivée à la mer. En réalité les débits mesurés montrent un accroissement progressif de l'amont vers l'aval. La Seybouse à Mirbeck débite 13.2 m³/s. les Oueds Charef et Bouhamdane, transitent respectivement un débit de 2.27 m³/s (17% du débit total) pour un bassin partiel de 1104 Km² et 3.79 m³/s, soit 28.6% pour une surface drainée de 1194 Km². L'Oued Mellah à Bouchegouf à des caractères nettement différents des Oueds Charef et du Bouhamdane, c'est un petit bassin de montagne (542 Km²), il affiche un débit de 3.41 m³/s, soit 25.7% du débit global.

L'apport moyen annuel de l'Oued Mellah est le plus important après celui de l'Oued Charef. Mais ce dernier a une surface de drainage deux fois plus grande que celle de l'Oued Mellah.

La construction du barrage entraîne automatiquement une perte d'eau conséquente pour l'Oued. A titre indicatif, les eaux de l'Oued Bouhamdane n'alimentent plus la Seybouse. Par ailleurs, la baisse des précipitations remarquées ces dernières années sur la région d'étude entraîne une perte conséquente des débits de l'Oued, ce qui a favorisé la dégradation de la qualité des eaux des cours d'eaux. En réalité l'Oued reçoit également des eaux usées des villes et villages limitrophes (Guelma, Bouchegouf, Drean, El Hadjar...etc) et les rejets industriels.

Les eaux polluées étant plus importantes en quantité font que les phénomènes de dilution ne se produisent pas et se traduisent par une dégradation de la qualité des eaux. (Djabri et al, 2004).

La Seybouse écoule 6.44 m³/s pour une superficie de drainage, résultat de la somme des deux bassins d'affluent (Charef et Bouhamdane), elle est estimée à 4049 km², alors que l'Oued Mellah débite 49% du module de la Seybouse à Medjez Ammar. La Seybouse prend naissance à cette confluence moyennant un débit de 9.47 m³/s sur une aire de 4849 km². Arrivé à Mirbeck, la Seybouse génère 11.4 m³/s. On n'a malheureusement pas pu continuer la procédure (jaugeage). De ce fait la différence de 1.93 m³/s causant la dernière augmentation a été attribuée aux nombreux petits chenaux et affluent, infestant le long de la rive gauche et droite (Meboudja...etc.) issus pour la plus part du coté septentrional de l'Atlas Tellien bénéficiant largement des influences du Nord-Ouest.

V.6 : Présentation du périmètre irrigué

V.6.1 : Introduction

Le périmètre d'irrigation de la plaine de Guelma-Boucheougouf, s'entend sur 80 Km environ du confluent de l'Oued Bouhamdane et de l'Oued Cherf qui donne naissance à l'Oued Seybouse à partir de la plaine de Guelma jusqu'à la plaine de Boucheougouf, avec une superficie totale à équiper de 9.940 ha et irrigable de 9.250 ha (O.N.I.D, 2010). Il est subdivisé en 05 secteurs opérationnels indépendants les uns des autres du point de vue desserte en eau (**tableau n°25 et figure n°28**).

Tableau n°25 : Les secteurs irrigués (O.N.I.D, 2010)

Secteur	Superficie (Ha)		Besoin en eau. 10 ³ m ³	Année mise en service
	équipée	Irriguée		
Cherf	605	565	3.400	2000
El fedjoudj	2.355	2.190	13.000	2004
Guelma	3.500	3.255	19.400	1996
Boumahra	2.600	2.420	14.400	2001
Boucheougouf	880	820	4.900	2001

Le périmètre est alimenté par les lâchers d'eau à partir du Barrage de Hammam Debbagh dans l'Oued Seybouse avec un volume total de 55 M m³/an et 16 M m³ par les apports non régularisés de ce dernier et de ses affluents.

La reprise de cette eau est repérée dans chaque secteur grâce à des ouvrages principaux : des barrages de prise d'eau (Seuils) à enrochements sur l'Oued, des Stations d'exhaure, bassins de dessablement avec bâches de reprise, stations de pompage et des réservoirs. Les capacités des réservoirs et les débits aux stations de pompage diffèrent selon les secteurs (**figure n°29**).

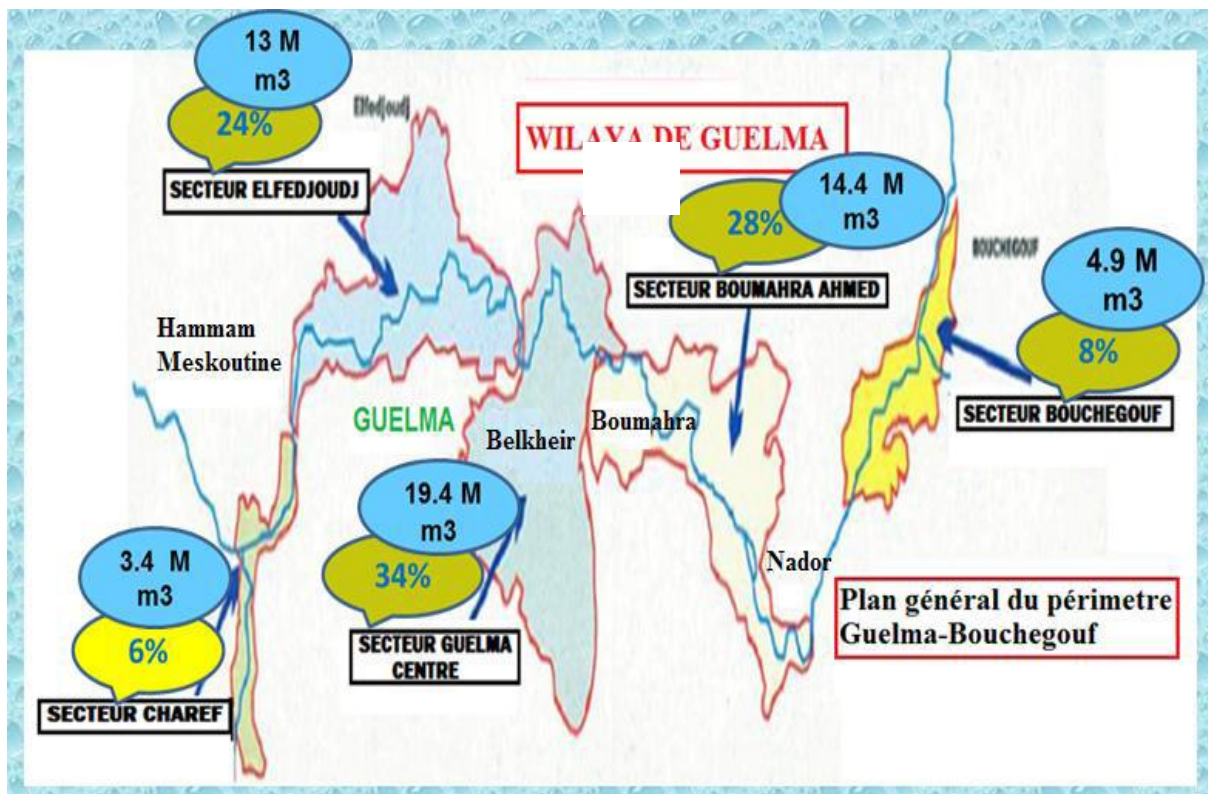


Figure n°28 : Les cinq secteurs du périmètre irrigué de Guelma-Boucheougouf avec leur besoin en eau (O.N.I.D. 2010)

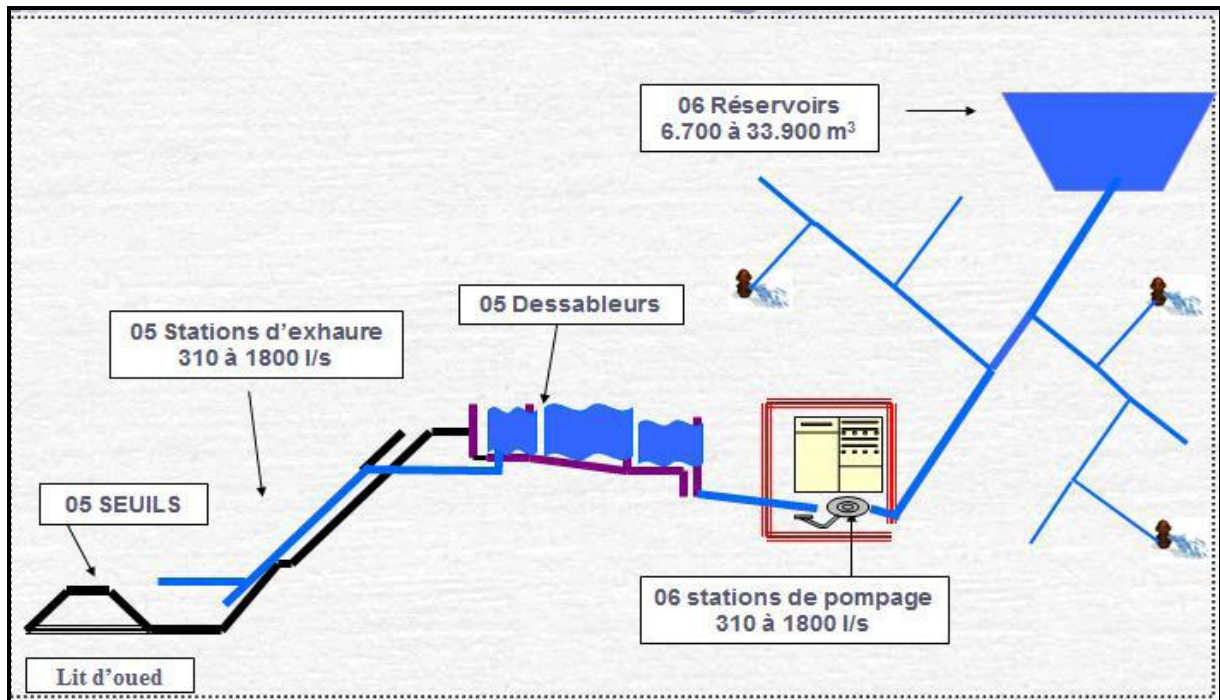


Figure n°29 : Schéma de fonctionnement hydraulique (O.N.I.D. 2010)

V.6.2 : Les lâchées d'eau du barrage de Hammam Débbagh

Les lâchées d'eau du barrage, affectées au périmètre irrigué sont très variables. Le volume d'eau consommé a augmenté durant 1999 à 2003 respectivement de 20.324 à 31.334 hm³, et a repris en 2006 avec un volume maximal de 39.305 hm³ après une chute en 2004 et 2005 (10.786 à 13.745 hm³) (**Figure n°30**).

La baisse du volume affecté à l'irrigation est due au faible nombre des souscriptions des fellahs. Des problèmes techniques ont été relevés par les services de l'O.N.I.D., concernant l'usure des équipements (pompes d'exhaure, pompes de surface, bornes d'irrigation) et les fuites dans le réseau de canalisation (Louamri A., 2013).

Ces lâchées apportent l'appoint pour l'irrigation en période de pointe, lorsque la demande en eau augmente et les ressources de l'Oued Seybouse avec les apports de ses affluents ne suffisent pas aux besoins de l'irrigation.

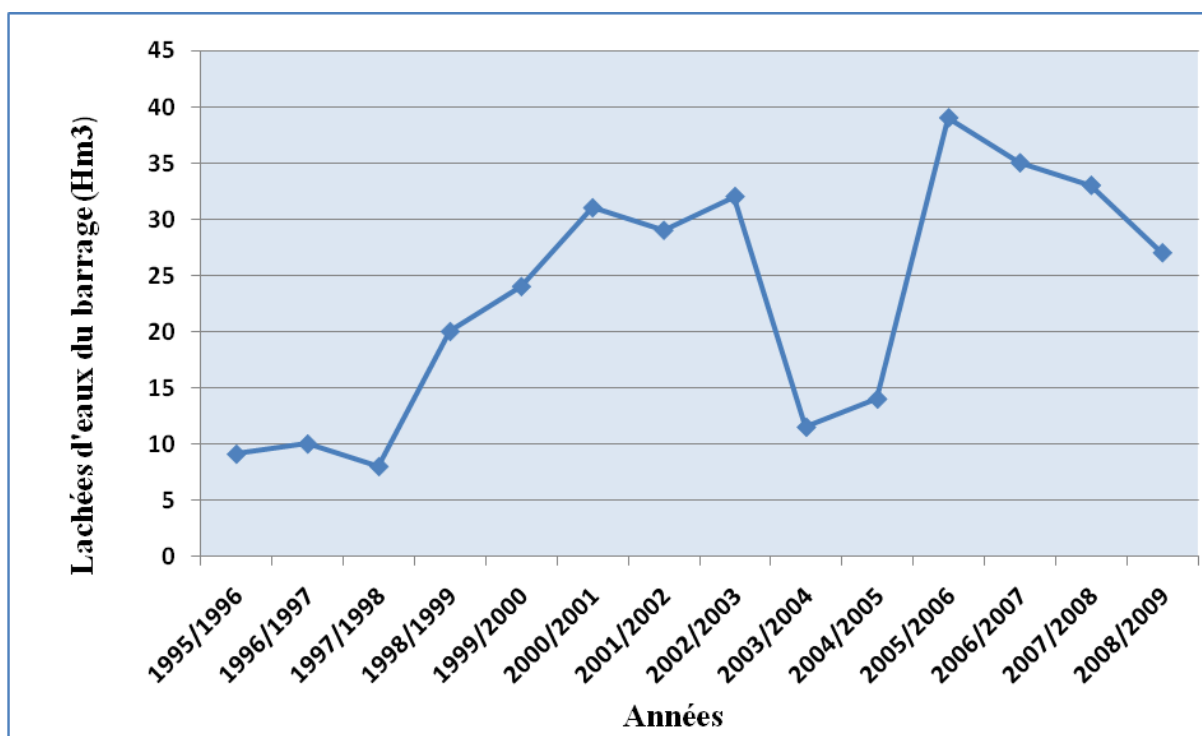


Figure n°30 : Volumes affectés à l'irrigation à partir du barrage de Hammam Debbagh (Source O.N.I.D, Mai 2012).

V.6.3 : Volume annuel d'eau pompé de l'Oued Seybouse

La distribution des eaux pompées de l'Oued Seybouse pour l'irrigation du périmètre a commencé progressivement avec 2.4 hm³ à partir de l'année 1996, l'année de mise en exploitation du secteur de Guelma-centre (**Tableau n°26**).

A partir de l'année 2002 une augmentation du volume affecté à l'irrigation a été enregistrée (23.4 hm³), pour atteindre une valeur maximale de 26.84 hm³ en 2011 (**Fig. n°30 et 31**).

Il est important de rappeler que les secteurs de Boumahra et Bouchegouf ont été mis en service à la fin de l'année 2001, et qu'en 2002 une précipitation moyenne annuelle importante de 879 mm a été enregistrée.

Tableau n°26 : Volumes d'eau pompés de l'Oued Seybouse pour les besoins en eau d'irrigation dans le périmètre Guelma-Bouchegouf (1996-2013) (Source : ONID 2013)

Année	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Volumes d'eaux consommées (hm ³)	2.4	4.1	6.1	9.2	14.2	18.6	23.4	20.6	19.6	18.6	18.8	19.4	25.8	21.5	25.9	26.8	22.1	17.9

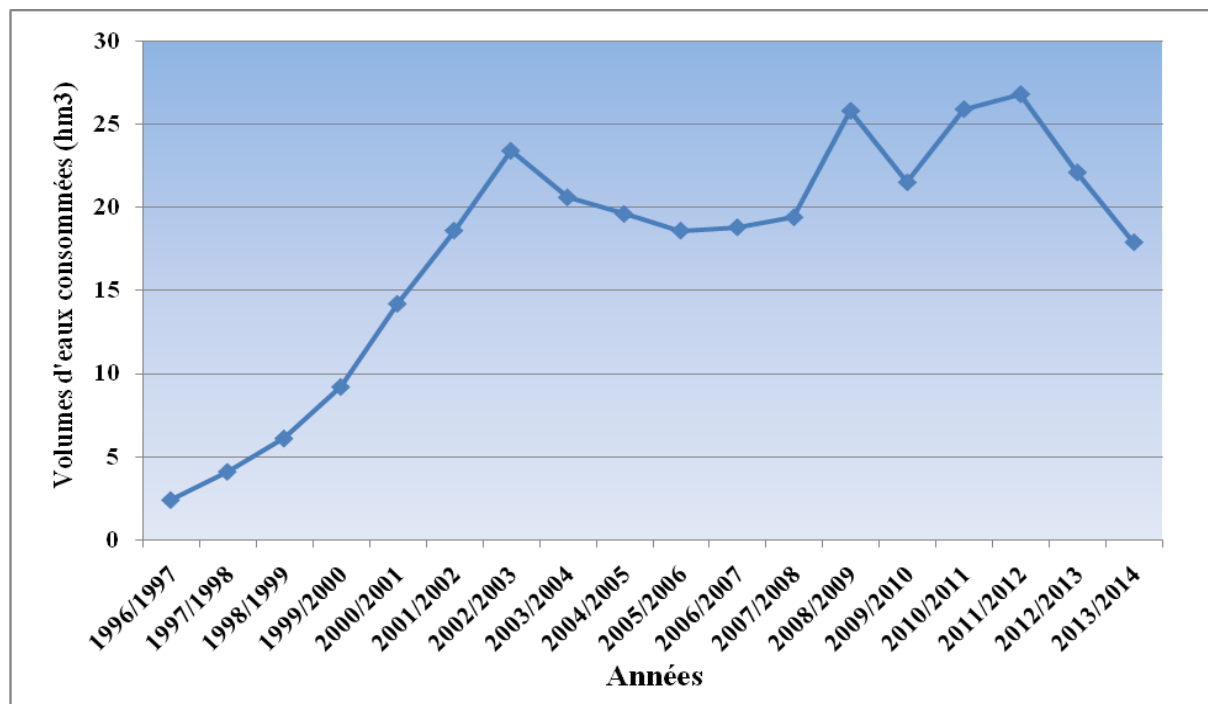


Figure n°31 : Evolution des volumes d'eau consommés par année dans le périmètre de Guelma-Boucheouf (d'après O.N.I.D. 2013).

V.6.4 : L'évolution des superficies irriguées

La superficie des terres irriguées a évolué après un démarrage lent entre 1996 et 2002, de 500 à plus de 4000 ha (Fig. n°32). Les superficies irriguées ont dépassés les 4000 ha pour se stabiliser aux alentours de 5000 ha en 2010 et 2011.

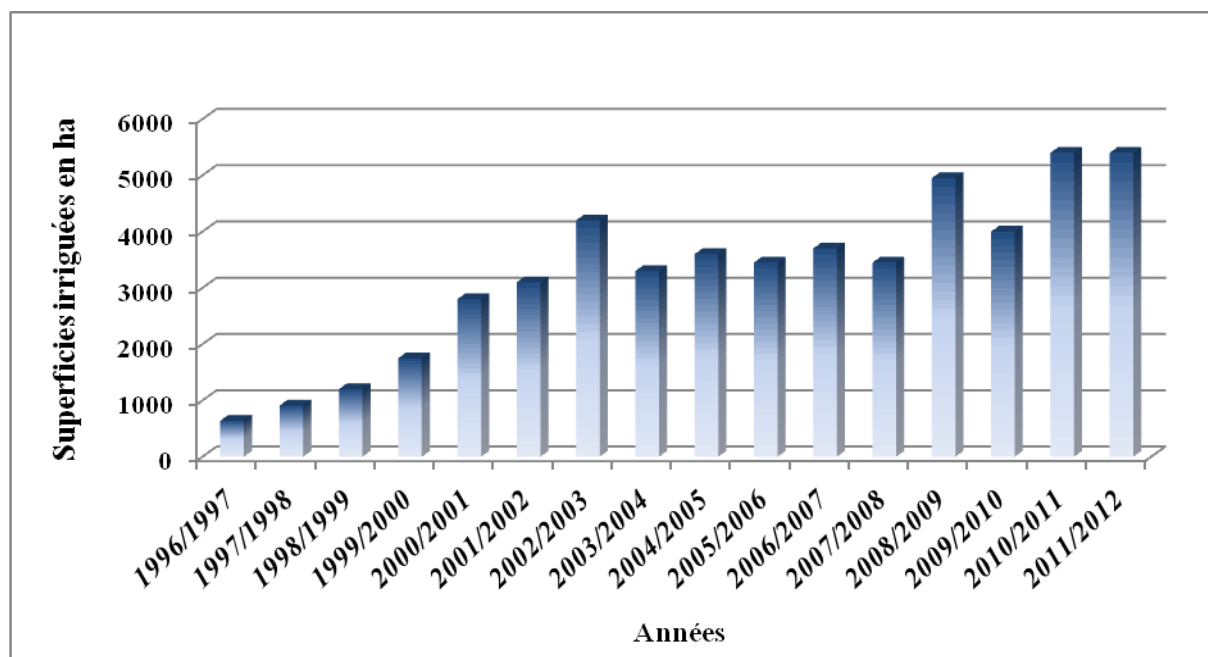


Figure n°32 : Evolution des superficies irriguées dans le périmètre de Guelma-Boucheouf (d'après O.N.I.D. Guelma, Mai 2012)

V.6.5 : Le secteur irrigué de la plaine de Bouchegouf

Le secteur de Bouchegouf fait partie du périmètre irrigué Guelma-Bouchegouf. Le secteur dont l'équipement s'est achevé avant le dernier est celui de Bouchegouf présente la plus faible superficie des terres irriguées (9%), suivi par celui de Charef (6%) (**Fig. n°33**), chacun possède sa prise d'eau dans l'Oued Seybouse. Les débits prélevés par les seuils de pompage par secteur de l'Oued Seybouse sont affectés aux deux grands secteurs, Guelma de 1800 l/s, Boumahra de 1570 l/s et Bouchegouf de 428 l/s (O.N.I.D.2007).

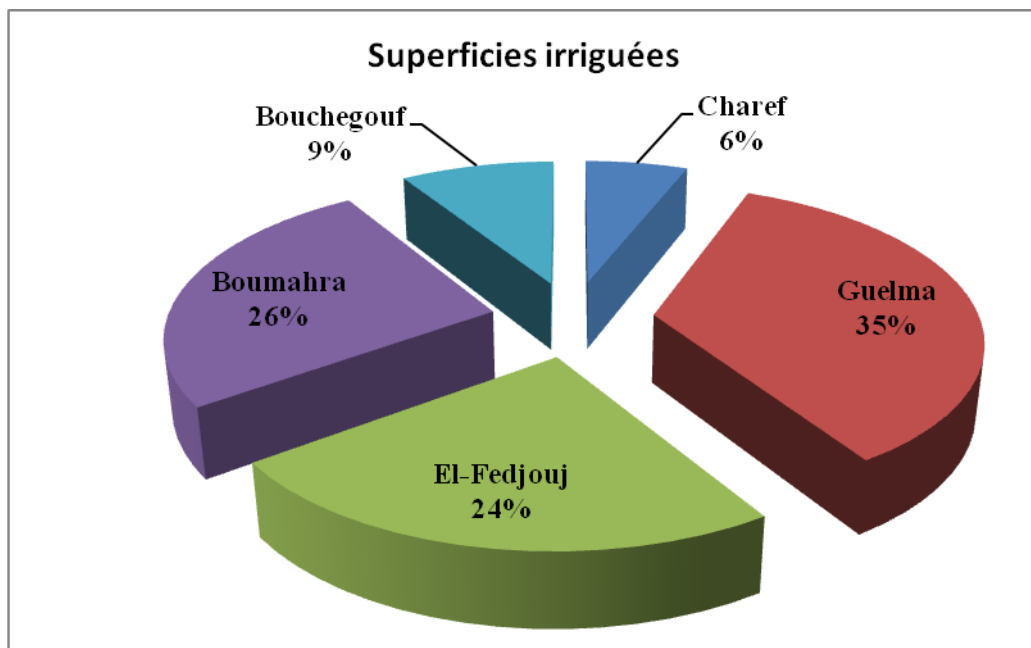


Figure n°33 : Superficies irriguées dans les secteurs du périmètre Guelma-Bouchegouf.

V.7 : Les sols du périmètre

Le sol est la formation naturelle de surface à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous-jacente sous l'influence de divers processus physiques, climatiques et biologiques (Demolon, 1986).

L'étude pédologique du périmètre a pour objectifs :

- D'apprécier les potentialités naturelles des terres vis-à-vis de l'irrigation.
- De fournir un premier aperçu sur le choix judicieux des cultures à mettre en place.
- D'apporter les données fondamentales caractérisant les relations entre le sol et l'eau qui conditionnent la conduite et l'organisation des arrosages (Clément et Galand, 1979).

Les plaines de Guelma et Bouchegouf sont équipées en installation hydraulique qui assure une irrigation moderne de ces terres agricoles, les cinq seuils d'irrigation, Charef, El Fdjouj, Guelma, Boumahra et Bouchegouf, fournissent les eaux d'irrigation à ces terres.

L'eau d'irrigation du périmètre est acheminée aux différents secteurs par l'Oued Seybouse. Le barrage de Hammam Debbagh réalisé à 20 km à l'amont et souvent le barrage de Foum El Khenga situé sur l'Oued Charef fournissent l'eau d'irrigation à la demande de l'Office du Périmètre Irrigué (OPI) actuellement l'Office Nationale d'Irrigation et de Drainage (ONID).

La desserte en eau retenue consiste en des lâchées de barrage suivant les besoins en eau d'irrigation dans les périmètres.

La technique d'irrigation envisagée est l'irrigation par aspersion, son principe est un système d'arrosage qui distribue l'eau sous forme de pluie sur sol.

V.8 : Le principe de fonctionnement des installations

✓ Seuil fixe –prise d'eau-

Il s'agit d'un barrage en enrochements bétonnés d'une faible hauteur de 2,5 m et d'une largeur de 4 m. Il est implanté en travers du lit de l'oued Seybouse. Il a pour but de relever le plan d'eau et de maintenir le niveau de pompage nécessaire pour le bon fonctionnement des pompes d'exhaure.

✓ Station d'exhaure

Elle contient des groupes électropompes qui refoulent l'eau chargée vers des bassins.

✓ Bassins de dessablement

Avec des bâches de reprise, cet ouvrage situé entre la station d'exhaure et la station de pompage de façon à permettre le fonctionnement normal de cette dernière.

✓ Station de reprise

C'est une station de pompage, abritant un groupe de pompes, cette station travail à la demande. C'est-à-dire qu'elle assure le remplissage d'un réservoir de stockage et assure en même temps la distribution.

✓ Réservoirs

Ils ont pour but de fournir l'appoint pour le réseau d'irrigation en période de pointe.

✓ Réseau de canalisation

Le réseau de canalisation pour chaque secteur comprend :

- une conduite de refoulement
- des conduites principales
- l'appareillage hydromécanique
- les ouvrages en ligne de protection de l'appareillage hydromécanique

✓ **Réseau d'assainissement**

Il comprend pour chaque secteur : des fossés d'assainissement, des ouvrages d'art de franchissement, des raccordements de fossé et d'accès aux parcelles ainsi que des pistes d'exploitation en TVO compacté.

V.9 : Conclusion

L'étude hydrologique a été abordée pour la quantification des débits au niveau de la station de Mirbeck. L'interprétation statistique et graphique des données nous a permis de saisir les variations spatiales de l'écoulement superficiel en liaison avec les données climatiques et physiographiques des sous bassins.

Le régime d'écoulement de l'Oued Seybouse présente des particularités à système pluvial méditerranéen dans son ensemble, il est tributaire du régime pluvial dont les débits sont étroitement liés aux saisons (humide ou sèche) avec de forte variabilité temporelle, annuelle et surtout saisonnières et journalières.

Les débits sont régis par des modes d'alimentation, et des conditions de rétention, restitution qui sont à l'origine des écarts entre les impulsions de débits et les hauteurs de pluies. On note également au niveau du bassin versant de la Seybouse un accroissement de la lame d'eau écoulée d'amont en aval.

Le périmètre d'irrigation Guelma-Bouchegouf, est constitué de cinq secteurs autonomes sur le plan d'aménagement et de desserte en eau. Le secteur irrigué qui intéresse l'étude et fait partie de la plaine de Guelma est le secteur de Bouchegouf.

L'irrigation du périmètre se fait à partir du réseau d'irrigation, celui-ci est un dispositif composé d'organes permettant la répartition, la prise en charge et la distribution de l'eau à chaque exploitation agricole. Le mode d'irrigation est par aspersion.

La desserte en eau retenue consiste en des lâchées suivant les besoins du périmètre à partir du barrage de Hammam Debbagh dans l'oued Seybouse. Cette eau est récupérée au niveau des seuils, qui sont des ouvrages spéciaux, interceptant l'Oued Seybouse et refoulent ces eaux vers des ouvrages de régulation et de stockage, distribuées au niveau du réseau de borne d'irrigation.

*CHAPITRE 6 : CARACTÉRISTIQUES
PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX ET DES SOLS*

VI.1 : Introduction

L'eau douce est une ressource vitale. Elle peut être utilisée pour l'agriculture, l'industrie ou les particuliers. La qualité de l'eau dans le milieu naturel se dégrade de manière continue, elle peut, en effet être contaminée par des éléments provenant de rejets qui y sont déversés ou de polluants provenant de l'air ou des sols. Cette ressource précieuse qui est mal protégée est responsable de l'aggravation de plusieurs maladies et épidémies. La pollution des eaux continentales (rivières, lacs, nappes phréatique) et des sols peut être due à de multiples causes. Les sources de ces pollutions sont très diverses.

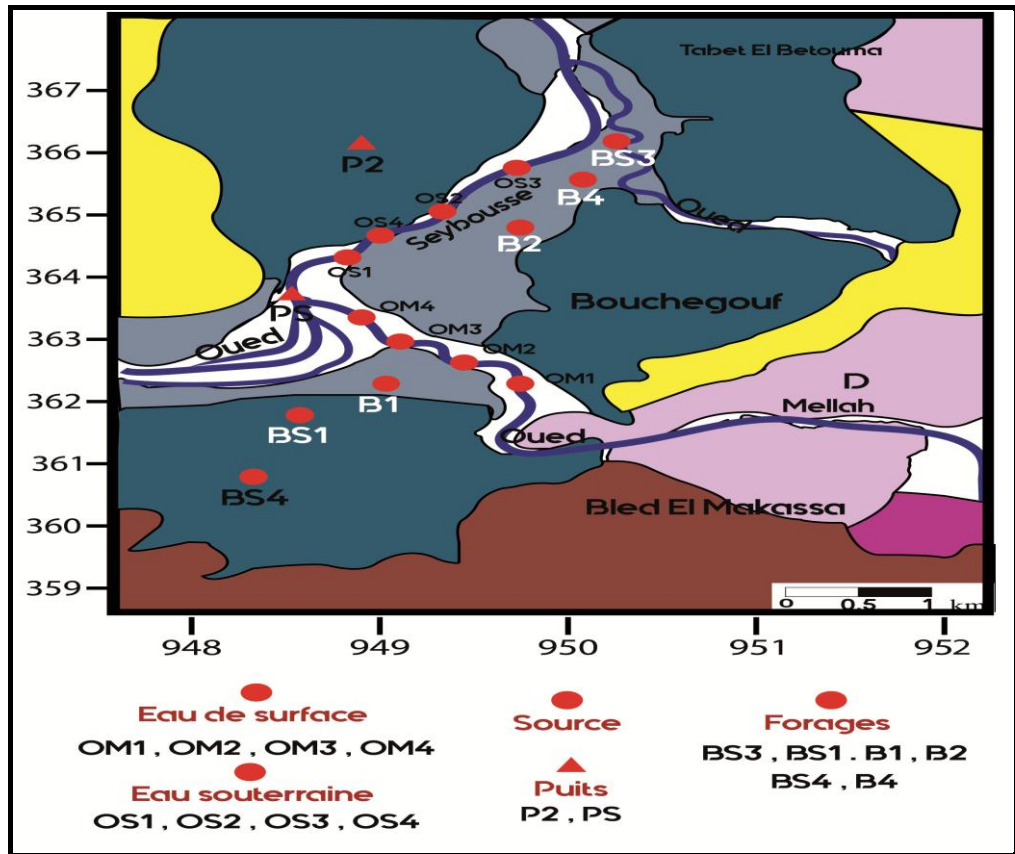
Il peut s'agir de rejets ponctuels des stations d'épuration ou des industries (acides, phénols, cyanures, détergents, hydrocarbures), de rejets diffus de polluants dus à l'agriculture intensive (engrais, biocides, produits phytosanitaires), de décharges sauvages, etc. Les pollutions les plus importantes des sols et des eaux sont souvent des conséquences directes et locales des activités agricoles ou industrielles.

Dans ce chapitre, qui représente une partie essentielle de ce travail de recherche, on va examiner l'évolution des différents paramètres physiques et chimiques des eaux et du sol dans la région de Bouchegouf.

VI.2 : Echantillonnage, matériels et méthodes d'analyse

Dans notre travail nous essayerons de présenter les caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines et de surfaces en se basant sur des données réalisées en période de basses et hautes eaux de l'année 2014/2015 et de montrer l'impact des activités anthropiques au sein du périmètre irrigué de Bouchegouf.

A cet effet, 17 échantillons ont été prélevés dans différents endroits de la zone d'étude, dont 09 échantillons caractérisent les eaux souterraines, 08 échantillons des eaux d'irrigations (Oued Seybouse et Oued Mellah et enfin 32 échantillons caractérisant les sols irrigués par ces eaux (**Fig. n°34**). Les échantillons d'eaux ont été prélevés jusqu'à débordement dans des flacons en polyéthylène, rincés avec de l'eau distillée, puis avec l'eau à échantillonner, puis bouchonnés et immédiatement mis dans une glacière (4 °C) et qui seront analysés dans les 72 heures suivantes.



Légende : 1 : Alluvions de la basse terrasse (5m). 2 : Alluvions de la moyenne terrasse (150m).
 3 : Alluvions de la haute terrasse (150m). 4 : Argiles gréseuses et conglomérats rouges.
 5 : Grès numidiens. 6 : Argiles numidiennes. 7 : Trias.

Figure n°34 (a) : Carte d’inventaire des points de prélèvement d’eau (Maou, 2015).

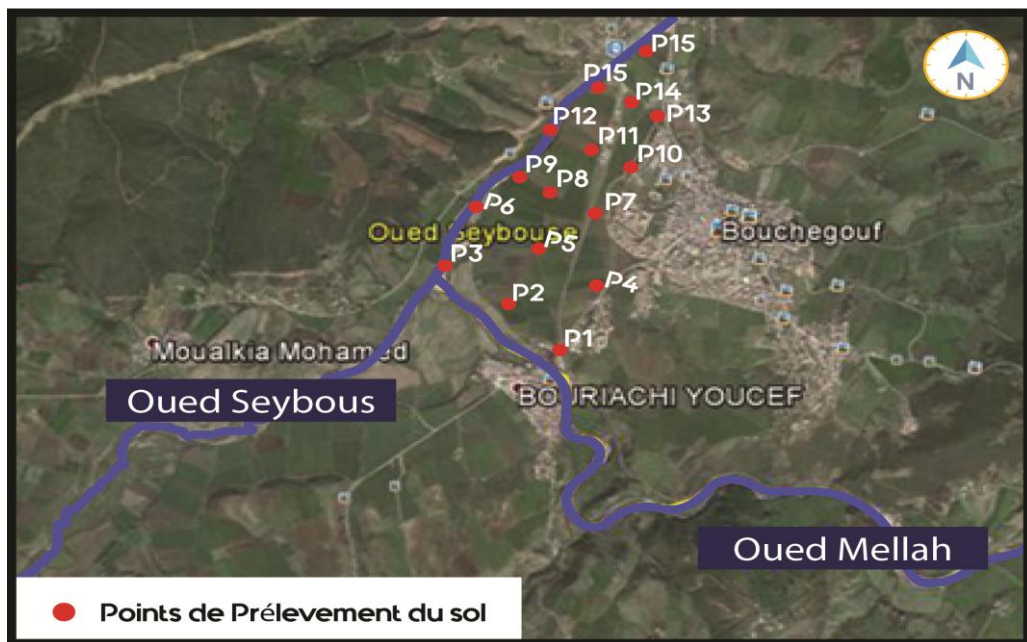


Figure n°34 (b): Carte d’inventaire des points de prélèvement du sol (Maou, 2015).

VI.2.2 : Paramètres physico-chimiques

Cinq paramètres physico-chimiques (T, pH, Eh, conductivité, O₂ dissous) sont mesurés *in situ*, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon :

- **Température** : On l'a mesuré sur le site à l'aide d'un thermomètre.

- **pH** : Nous disposons d'un pH-mètre digital (Mettler Toledo MP 120).

- **Conductivité électrique** : La mesure est basée sur le principe du pont de wheatstone en utilisant un conductimètre électrique. L'appareil utilisé est du type (HANNA instruments Hi 8633). La conductivité s'exprime en micro-siemens/cm ($\mu\text{S/cm}$).

VI.2.3 : Analyse des éléments chimiques

Une caractérisation complète des éléments chimiques a été effectuée dans le cadre de cette étude : Les éléments majeurs (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ et HCO₃⁻), les formes de l'azote (NO₃⁻, NO₂⁻ et NH₄⁺), les éléments mineurs en trace (PO₄³⁻), les éléments métalliques en trace (Mn²⁺, Cr (total), Pb²⁺, Cu²⁺,), DCO, DBO₅ ; environ 15 échantillons ont été analysés au total : la nappe superficielle (09 échantillons) et les eaux d'irrigation (Oueds Seybouse et Mellah) (08 échantillons). Les méthodes d'analyses qui ont été utilisées, sont comme suit :

- dosage des éléments : HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, Ca²⁺ et Mg²⁺ par titrimétrie (AFNOR, 1995);

- dosage des éléments : NO₃⁻, NO₂⁻ et NH₄⁺ et PO₄³⁻ par colorimétrie (Spectronic 20 D)

- dosage par spectrométrie d'absorption atomique (Unicam 929 AA) des éléments : Na⁺, K⁺, Mn²⁺, Cr (total), Pb²⁺, Cu²⁺ et Hg ;

- dosage de la DCO par titrimétrie est mesuré par l'appareil Tract 42 mm RIN29/32 ;

- dosage de la DBO₅ par titrimétrie est mesuré par un DBO-mètre à système intelligent (WTW DIN38 409) ;

- dosage des MES par gravimétrie et filtration à travers un standard GF/F et un filtre en fibre de verre (NF EN 872) ;

Pour les différentes analyses de la nappe superficielle, nous avons opté pour une erreur d'analyse jusqu'à 10%.

VI.2.3.1 : La température de l'eau

Une variation de température entraîne une modification des constantes d'équilibres des éléments en suspension. La température de l'eau joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels, etc. Ainsi, la température est à mesurer sur le terrain avec la température de l'air au même endroit et au même moment (Rodier, 2009), elle s'exprime en °C avec une précision de $\pm 1\%$.

VI.2.3.2 : Le potentiel d'Hydrogène pH

Il s'exprime de 0 à 14. L'eau est acide en dessous de 5 et alcaline au-dessus de 9. Un pH compris entre 6 et 8 correspond à la majorité des eaux naturelles de surface et des eaux souterraines. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibres physico-chimiques et dépend de facteurs multiples

VI.2.3.3 : La conductivité électrique CE

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique, sa mesure s'effectue sur le terrain le plutôt possible. Les résultats sont exprimés en $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec une précision $\pm 1\%$

VI.2.3.4 : L'Oxygène dissous O_2

L'oxygène, toujours présent dans l'eau, n'en est pas un élément constitutif. Sa solubilité est fonction de la température, de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité. La teneur de l'oxygène dans l'eau est fonction de l'origine de l'eau : les eaux superficielles peuvent en contenir des quantités relativement importantes proches de la saturation ; par contre, les eaux profondes n'en contiennent le plus souvent que quelques milligrammes par litre. La cause des variations de la teneur en oxygène pouvant être fonction de la présence des végétaux, des matières organiques oxydables, des organismes et des germes aérobies, ainsi que la perturbation des échanges atmosphériques à l'interface (présence de graisses, d'hydrocarbures, de détergents, etc.). Dans les milieux à faible taux de renouvellement (milieux fermés), la teneur en oxygène dissous a tendance à diminuer avec la profondeur. Quand la température s'élève, la valeur en oxygène diminue en raison de sa plus faible solubilité et à cause de la consommation par les êtres vivants et les bactéries qui se multiplient. Ceci favorise la réduction des nitrates en nitrites et des sulfates en sulfures. D'un point de vue industriel, les eaux de chaudière haute

pression ne doivent pas en contenir plus de 0.3 mg/l (Rodier, 1996). L'OMS recommande que les niveaux d'oxygène dissous soient maintenus aussi près que possible de la saturation. Il s'exprime en mg/l ou en % de saturation

VI.2.3.5 : Potentiel d'oxydoréduction Eh

Le potentiel d'oxydoréduction (Eh) est la mesure de la concentration des électrons en solution. Sa mesure permet de renseigner l'état d'oxydation ou de réduction d'un milieu à savoir sur l'intensité de l'activité biologique, sur l'état d'oxydation de certains éléments (Fe, Mn...etc.) et sur l'évolution de la matière organique. Ainsi la valeur positive indique un milieu oxydant en contact avec l'air (milieu aérien, aquatique superficiel ou agité), négatif, le milieu est réducteur à l'abri de l'air (milieu aquatique calme, eaux stratifiées). L'unité de mesure est le millivolt.

VI.2.3.6 : La Turbidité

La turbidité caractérise le degré de non transparence de l'eau. Elle contribue à réduire la photosynthèse et à abaisser la teneur en oxygène. Elle est due à la présence des matières en suspension finement divisées : argiles, limons, grains de silice, matières organiques etc. (Rodier, 2009). La turbidité s'exprime en unité néphélogométrique (NTU, Nephelometric Turbidity Unit).

Les paramètres sont mesurés au laboratoire par spectrophotométrie (HI83200) à des longueurs d'ondes spécifiques.

Les échantillons pris sur terrain sont transportés dans des glacières, et gardés parfois au réfrigérateur au laboratoire pour être analysés le jour même où le suivant après conservation spécifique (Rodier 2009).

VI.2.3.7 : La Dureté ou titre hydrotimétrique (TH)

La dureté ou titre hydrotimétrique (TH) correspond essentiellement à la présence de sels de calcium et de magnésium. Elle est directement liée à la nature des terrains traversés. Ils proviennent des roches calcaires ou dolomitiques. La présence du CO₂ favorise cette dissolution. Elle peut se présenter sous plusieurs formes :

- La dureté totale = $[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]$
- La dureté totale = dureté calcique + dureté magnésienne
- La dureté calcique $TCa = [Ca^{2+}]$
- La dureté magnésienne $TMg = [Mg^{2+}]$.

La dureté est mesurée par le titre hydrotimétrique exprimé en °F (degré français) ; 1°F correspond à 10 mg de carbonate de calcium dans 1 litre d'eau.

VI.2.3.8 ; Les chlorures (Cl)

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux. La méthode de dosage appliquée est la titrimétrie par argentimétrie Norme NFT 90-014.

VI.2.3.9 : Les matières en suspensions MES

Les matières en suspension sont déterminées en centrifugeant l'eau usée à 3000 t/20 min, le culot est recueilli et séché à 105 °C (Redjeck, 2002).

La teneur et la composition minérale et organique des matières en suspension dans les eaux sont très variables selon les cours d'eau. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés et de la saison des rejets. Elles caractérisent la teneur en gramme/litre des éléments non dissous de diverses granulométries transportées par l'eau. Ces matières peuvent être minérales et inertes ou plus ou moins actives vis à vis de l'oxygène. Cependant des teneurs élevées peuvent empêcher la pénétration des rayons solaires, diminuer l'oxygène dissous et limiter alors le développement de la vie aquatique ; l'asphyxie des poissons, par colmatage des branchies. D'une façon générale, les matières en suspension interviennent dans la composition de l'eau par leurs effets d'échanges d'ions ou d'absorption, aussi bien sur les éléments chimiques à l'état de traces que sur les micro-organismes.

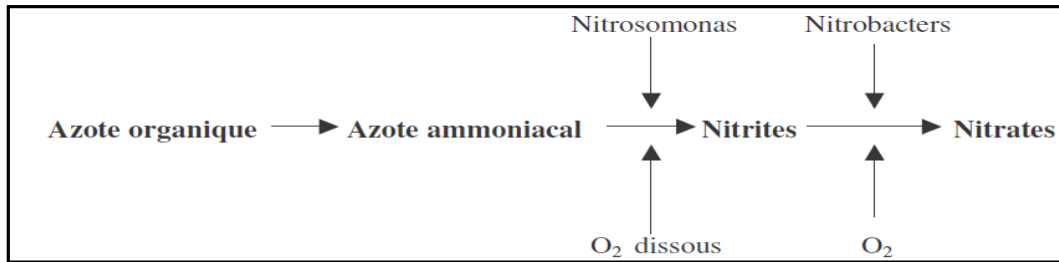
VI.2.3.10 : Les Nitrates et les Nitrites

Les nitrites et les nitrates sont des composés intermédiaires du processus de nitrification ou de dénitrification. Ils sont associés du fait que la transformation de l'un en l'autre s'opère par des bactéries (nitrobacters ou aérobacter) du sol et de l'eau. Les nitrates proviennent de l'oxydation complète de l'azote organique sous l'action de bactéries nitrifiantes et les nitrites de l'oxydation incomplète sous l'action des Nitrosomonas. Les nitrates et les nitrites proviennent généralement : des engrais, de l'industrie chimique, de l'industrie agroalimentaire.

La teneur en nitrates dans l'eau est généralement plus élevée que celle des nitrites. Une forte concentration en nitrites indique une pollution d'origine organique

VI.2.3.11 : L'azote ammoniacal : (NH₄⁺)

L'azote ammoniacal se présente sous la forme toxique NH₄⁺. Sa présence dans les eaux traduit habituellement un processus de dégradation de la matière organique, l'azote ammoniacal NH₄⁺ se transforme assez rapidement en nitrites et nitrates par oxydation.



L'azote ammoniacal des eaux superficielles peut avoir pour origine :

- la matière végétale des cours d'eau ;
- la matière organique animale ou humaine ;
- les rejets industriels ;
- les engrais.

L'oxydation biologique de l'ammoniaque peut développer des zones aérobie dans certaines parties des réseaux de distribution, provoquant la corrosion des conduites. L'ammoniaque présente l'inconvénient de nécessiter une augmentation de la consommation en chlore lors de la désinfection. En ce qui concerne la toxicité de l'azote pour la faune piscicole d'eau douce, il est reconnu que ce n'est pas NH_4 , mais NH_3 qui est toxique et la dose toxique dépend de la température et du pH. Elle peut être calculée à partir de la formule suivante :

$$\text{NH}_3 = \text{NH}_4^+ \times 1 / 1 + 10(10 - \text{pH} - 0.03t) ;$$

Avec : t = température

L'Azote ammoniacal a été déterminé par spectrophotométrie ($\lambda=630$ nm) (Parsons et al 1989).

VI.2.3.12 : Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène exprime la quantité totale d'oxygène nécessaire pour oxyder en présence de permanganate, les substances contenues dans l'eau notamment les éléments chimiques. On a toujours un $\text{DCO} > \text{DBO}$ car les bactéries ne permettent pas d'oxyder les éléments organiques et chimiques les plus stables. La DCO est une mesure de toutes les matières organiques contenues dans l'eau naturelle ou usée, qu'elles soient ou non biodégradables. Le but recherché est de déterminer la quantité de matières oxydables (par l'oxygène) renfermée par un effluent. Ces matières oxydables peuvent être organiques (sucres, détergents, sang, matières fécales,...), ou minérales (réducteurs minéraux tels que les sulfures ...).

VI.2.3.13 : Demande Biologique en Oxygène (DBO₅)

La demande biologique en oxygène sur cinq jours (DBO_5) est un test qui vise à déterminer la quantité de matières organiques biodégradables (Rodier, 2009) par la mesure de la

quantité d'oxygène consommé par les divers microorganismes responsables de la métabolisation des substances organiques présentes dans cet effluent. Malgré ses limites, la mesure de la DBO₅ reste la technique analytique simulant de façon la plus fidèle la métabolisation des pollutions organiques dans les cours d'eau et en conséquence la technique donnant la meilleure information sur les moyens de les réduire.

On peut déterminer quatre phénomènes pouvant interférer sur la demande biochimique en oxygène :

- ✓ la présence de substances (minérales ou organiques) fortement réductrices, constituant ainsi une demande immédiate en oxygène importante dans les 10 premières heures (sulfures, sulfites, etc.) ;
- ✓ l'activité photochimique qui conduit à la production d'oxygène au sein même de l'échantillon. Cette activité parasite peut être volontairement inhibée par incubation des échantillons à l'obscurité ;
- ✓ l'action des bactéries du cycle de l'azote (nitrification) qui peut modifier dans des proportions très larges la balance en oxygène du milieu ;
- ✓ la présence de toxiques minéraux ou organiques qui peuvent inhiber totalement ou pendant une période déterminée les réactions métaboliques des enzymes intracellulaires.

La DBO₅ est exprimée comme la DCO, sous la forme d'une concentration en ppm ou mg/l. En réalité, c'est surtout le rapport DCO/ DBO₅ qui évalue la biodégradabilité de l'effluent. Plus ce rapport est faible, moins l'effluent sera biodégradable.

La demande biochimique en oxygène en cinq jours DBO₅ a été déterminée par DBO-meter Oxi Top/Box115.

La DBO peut-être caractérisée par les besoins des bactéries épuratrices. Cette valeur est d'autant plus intéressante que beaucoup de stations d'épuration épurent par voie biologique. L'évolution de la DBO permet donc en principe de suivre l'efficacité du traitement. Il a été retenu conventionnellement d'exprimer la DBO en mg d'oxygène (O₂) consommé pendant 5 jours à 20°C (DBO₅). Les facteurs influant sur la valeur de la DBO sont :

1. Un pH hors de l'intervalle 6,5-8,5 ; la DBO mesurée ne correspond alors qu'à une fraction de la DBO réelle. La variation de température affecte tous les processus biologiques.
2. Les micro-organismes doivent être en nombre assez suffisant.

3. Un milieu pauvre en sels nutritifs (dérivés azotés et phosphatés) entraîne une baisse de la DBO.

VI.2.3.14 : Les Ortho-phosphates PO_4^{3-}

Ce paramètre correspond à la fraction du phosphore qui se trouve sous forme minérale dissoute. La majorité des apports du phosphore provient de sources ponctuelles : rejets urbains ou industriels, des déjections animales provenant d'élevages industriels.

Cet élément se retrouve dans les eaux de surface et dans les sédiments sous plusieurs formes, organiques (phospholipides, phosphoprotéines, ...) et ou minérales (phosphate et polyphosphate) plus ou moins complexées.

Dans les eaux souterraines la variation de la teneur reste faible. Le dosage des phosphates (les ortho-phosphates) sont déterminés par la méthode colorimétrique en milieu acide. (Rodier, 2009).

VI.2.3.15 : Les éléments traces métalliques (ETM)

Les dosages du fer (t), du manganèse, du zinc, du plomb, du nickel, du chrome, du cuivre, sont effectués par spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme (Perkin Elmer Analyst 3110). Elle est en général, la technique analytique la plus utilisée par les laboratoires pour déterminer et quantifier de faibles teneurs en éléments traces métalliques (ETM).

VI.3 : Traitement des résultats physicochimiques des eaux souterraines et de surfaces

VI.3.1 : Variation des paramètres mesurés in situ

VI.3.1.1 : La température

Durant la période des basses eaux, la température moyenne des eaux souterraines (forages, puits et sources) est de l'ordre de 18.16°C et varie entre un minimum de 17°C observé au puits P2 et un maximum de 19°C enregistré à la source AZ et le forage BS4 (Tableau n°27). Par contre en période des hautes eaux, la température moyenne est égale à 12.25°C et varie de 11 à 13°C .

La température moyenne des eaux de surfaces en période humide est de l'ordre de 13.9 °C à l'Oued Seybouse et de 14.6 °C à l'Oued Mellah. En période sèche, elle atteint la valeur de 20 ,5°C pour les deux oueds.

En général, la température moyenne reste inférieure à la norme (25°C) et avoisine la température moyenne annuelle de la région (18.13°C), ce qui laisse admettre que ces eaux sont ouvertes aux changements climatiques extérieurs (fig. n°35 a et b).

Tableau n°27 : Variation de la température des eaux souterraines et de surfaces dans le périmètre de Bouchegouf.

Types de sources		Eaux souterraines						Eaux de surface			
		Forages		Puits		Sources		Oued Seybouse		Oued Mellah	
Période d'échantillonnage		basses	hautes	basses	hautes	basse	hautes	sèche	crue	sèche	Crue
Paramètre statistique	Min	18	12,5	17	11	18	12	20	13,2	20	13,4
	1Max	19	13	18	12	19	13	21	14,3	21	15
	Moy	18,5	12,75	17,5	11,5	18,5	12,5	20,5	13,9	20,5	14,6
	Norme	<25									

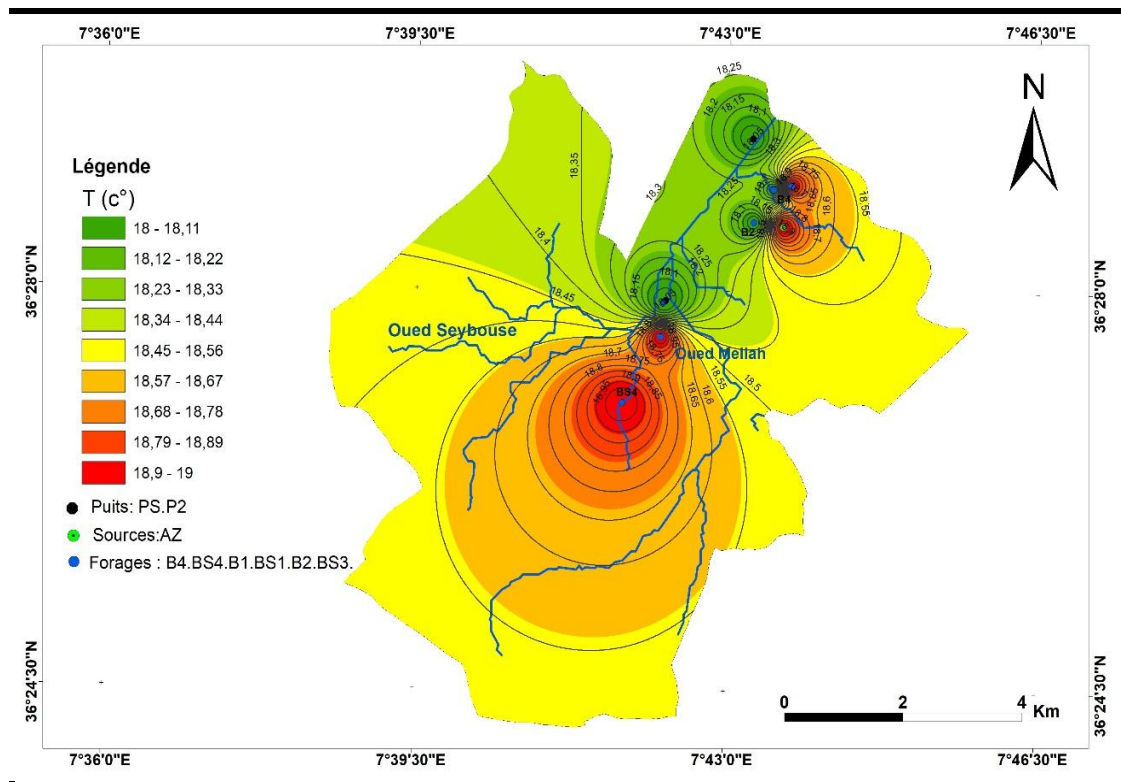


Figure n°35.a : Température des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (basses eaux, Juin 2015).

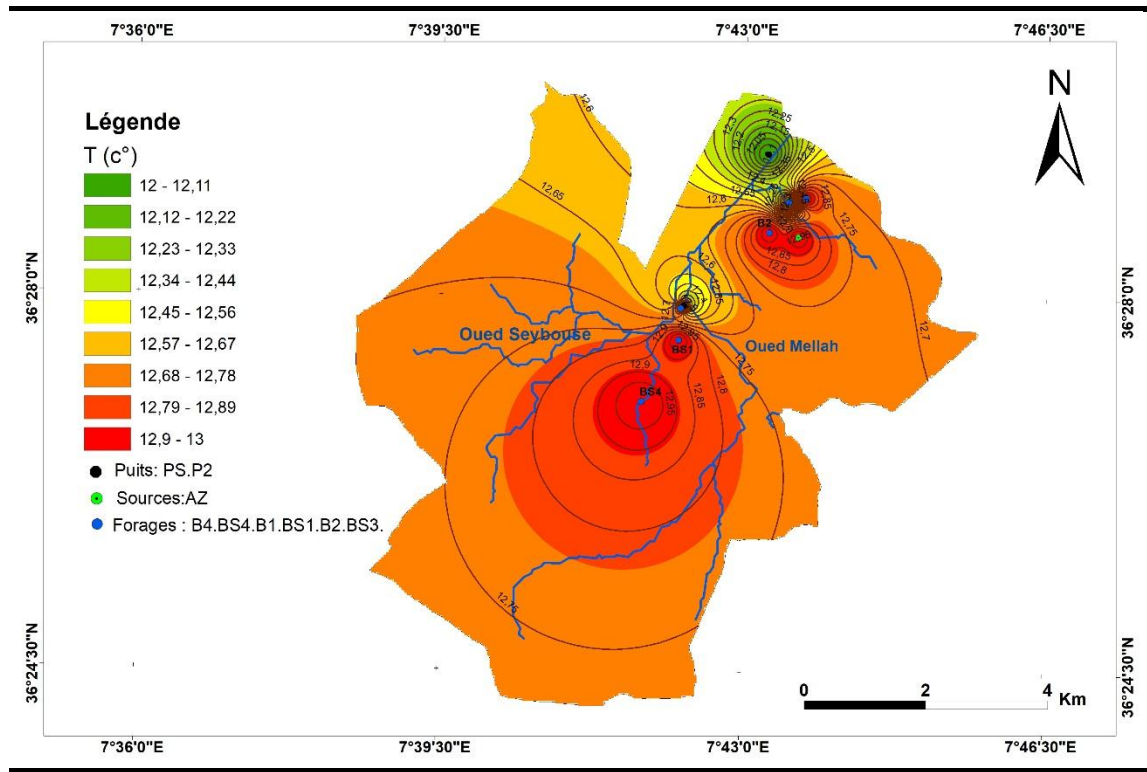


Figure n° 35.b : Température des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (hautes eaux, Janvier 2015).

VI.3.1.2 : Le pH

Dans la région d'étude les valeurs du pH des eaux sont illustrées dans le tableau n°28. Le pH des eaux de surface se trouve dans l'intervalle de la norme de potabilité mais avec des valeurs variables entre 7,80 et 8,30, par contre le pH des eaux de la plaine de Bouchegouf est relativement faible avec un $\text{pH} < 7,90$ (Fig. n°36 a et b).

Tableau n°28 : Variation du pH des eaux souterraines et de surfaces dans le périmètre de Bouchegouf.

Types de sources		Eaux souterraines						Eaux de surface			
		Forages		Puits		Sources		Oued Seybouse		Oued Mellah	
Période d'échantillonnage		basses	hautes	basses	hautes	basse	hautes	sèche	crue	sèche	Crue
Paramètres statistiques	Min	7.84	7.43	7.00	7.20	7.30	7.10	8.18	7.85	7.80	7.78
	Max	7.90	7.50	7.11	7.47	7.45	7.20	8.30	7.93	8.12	8.20
	Moy	7.87	7.47	7.05	7.34	7.38	7.15	8.23	7.88	8.01	7.89
	Norme	6.5 à 8.5									

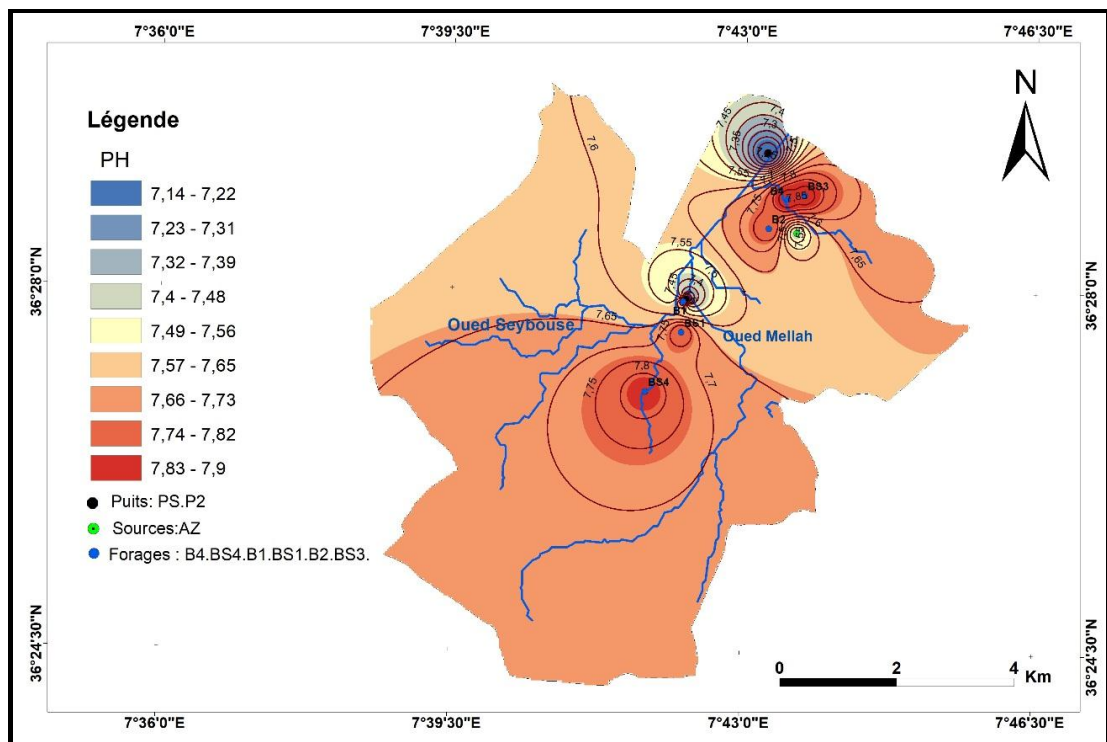


Figure n°36.a : pH des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (basses eaux, Juin 2015).

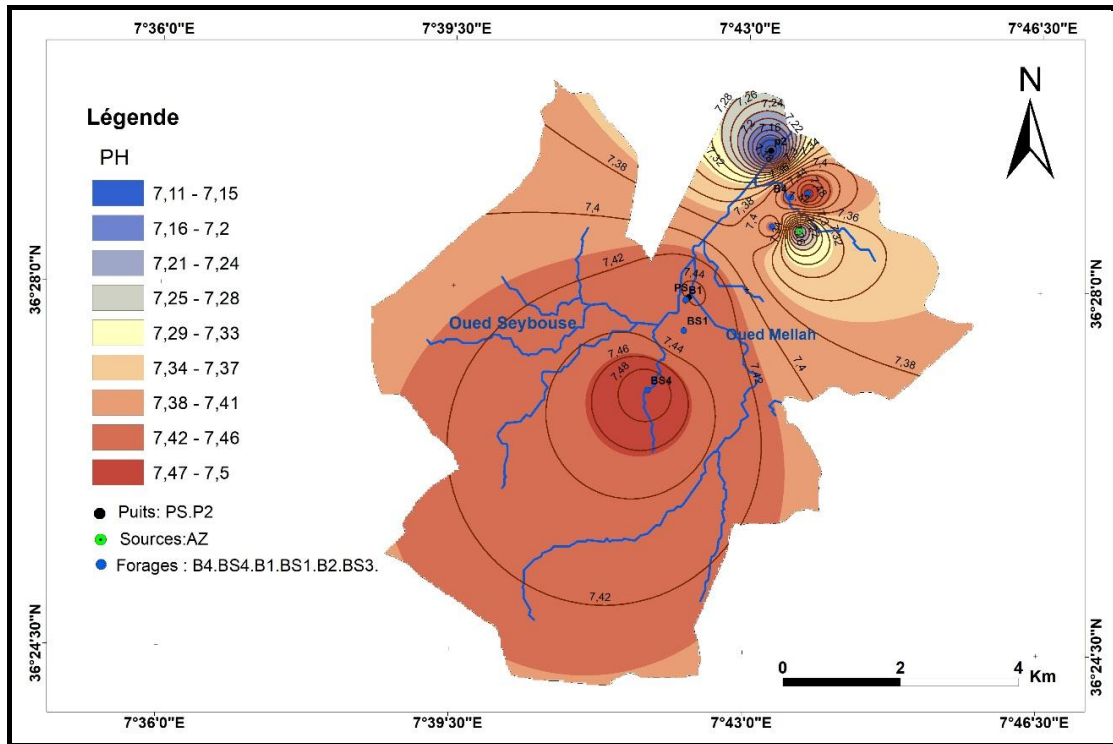


Figure n°36.b : pH des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (hautes eaux, Janvier 2015).

VI.3.1.3 : La conductivité électrique

Les données présentées dans le tableau n°29, montrent que la conductivité moyenne des eaux souterraines dans la plaine de Bouchegouf est généralement élevée ($>1200\mu\text{S}/\text{cm}$) et ce quel que soit la période d'échantillonnage, traduisant ainsi des eaux fortement minéralisées (RODIER J, 2005), mais les eaux ont tendance d'être plus minéralisées en période de hautes eaux et évoluent dans le sens des écoulements des eaux souterraines ce qui rend l'eau très mauvaise à l'alimentation (**Fig. n°37 a et b**).

Pour les eaux de surface, la conductivité moyenne varie entre $1536.4\mu\text{S}/\text{cm}$ et $2693.9\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivement en période sèche et période de crue. On a remarqué que la conductivité est très élevée avec des valeurs qui atteignent $3400\mu\text{S}/\text{cm}$ au niveau de l'Oued Mellah. Cette minéralisation serait due aux lessivages des formations géologiques triasiques gypsifères dans la région de Bouchegouf.

Tableau n°29 : Variation de la conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$) des eaux souterraines et de surfaces dans le périmètre de Bouchegouf.

Types de sources		Eaux souterraines						Eaux de surface			
		Forages		Puits		Sources		Oued Seybouse		Oued Mellah	
Période d'échant		basses	hautes	basses	hautes	basse	hautes	sèche	crue	sèche	crue
Paramètres statistiques	Min	622	2180	1300	2620	1510	2890	1100	1813	1910	3300
	Max	1500	2780	1352	2660	1536	2910	1205	2100	1950	3475
	Moy	1061	2480	1326	2640	1523	2900	1137.8	1974.8	1935	3413
	Norme	1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$									

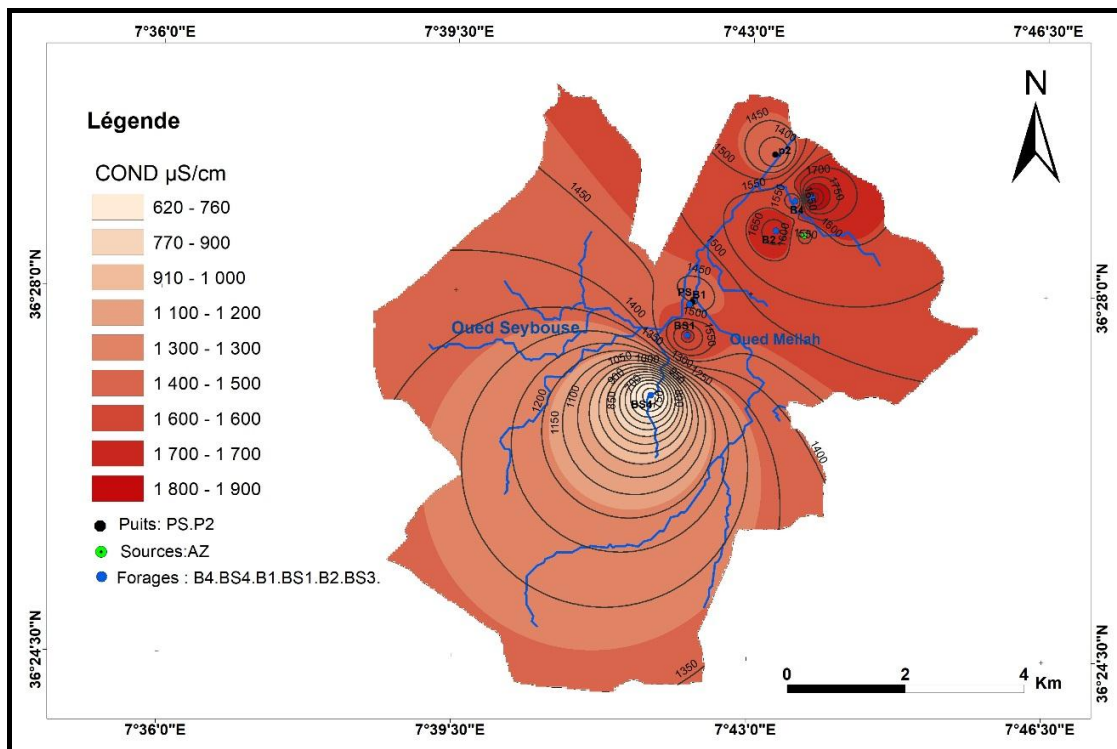


Figure n°37.a : conductivité des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (basses eaux, Juin 2015).

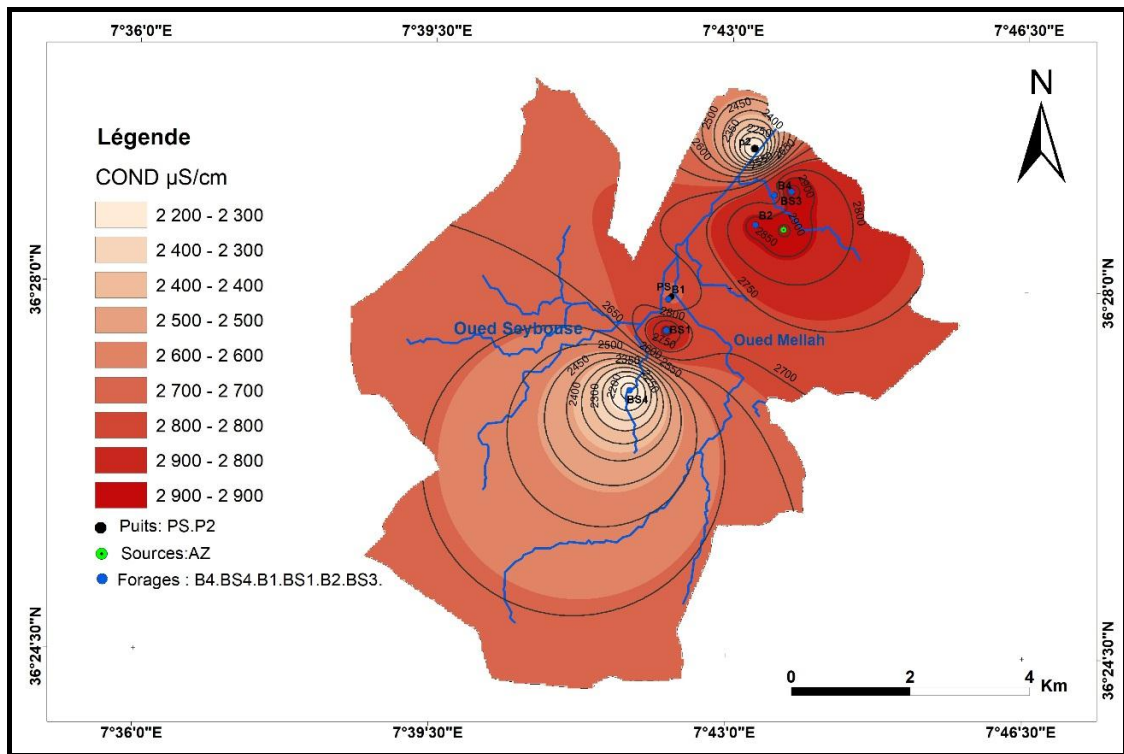


Figure n°37.b : conductivité des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (hautes eaux, Janvier 2015).

VI.3.2 : Variation des paramètres mesurés au laboratoire

VI.3.2.1 : Les cations

VI.3.2.1.1 : Le calcium (Ca^{++})

Dans les eaux souterraines les concentrations de calcium varient entre 100 mg/l à 329,6 mg/l avec une moyenne 204,59 mg/l durant les deux périodes d'échantillonnage (tableau n°30). Bien que dans les eaux de surfaces on observe que la plus grande valeur (219,6 mg/l) provient du point OM1 de l'Oued Mellah et la plus petite valeur (122,24 mg/l) provient du point OS3 de l'Oued Seybouse avec une valeur moyenne (150,21 mg/l) pendant les deux périodes (Fig. n°38 a et b).

Le calcium peut provenir de la dissolution des calcaires, du gypse, de l'anhydrite et d'autres roches sédimentaires.

Tableau n°30 : Variation du calcium (mg/l) des eaux souterraines et de surfaces dans le périmètre de Bouchegouf.

Types de sources		Eaux souterraines						Eaux de surface			
		Forages		Puits		Sources		Oued Seybouse		Oued Mellah	
Période d'échantillonnage		basses	hautes	basses	hautes	basse	hautes	sèche	crue	sèche	Crue
Paramètre statistique	Min	130.26	126	110	213.2	100	280	122.24	144	132.38	147
	Max	200.4	192	185.16	329.6	280.56	308	128.26	200	159.5	219.6
	Moy	165.33	159	147.58	271.4	190.28	294	125.09	161.25	146.42	168.1
	Norme	100mg /l									

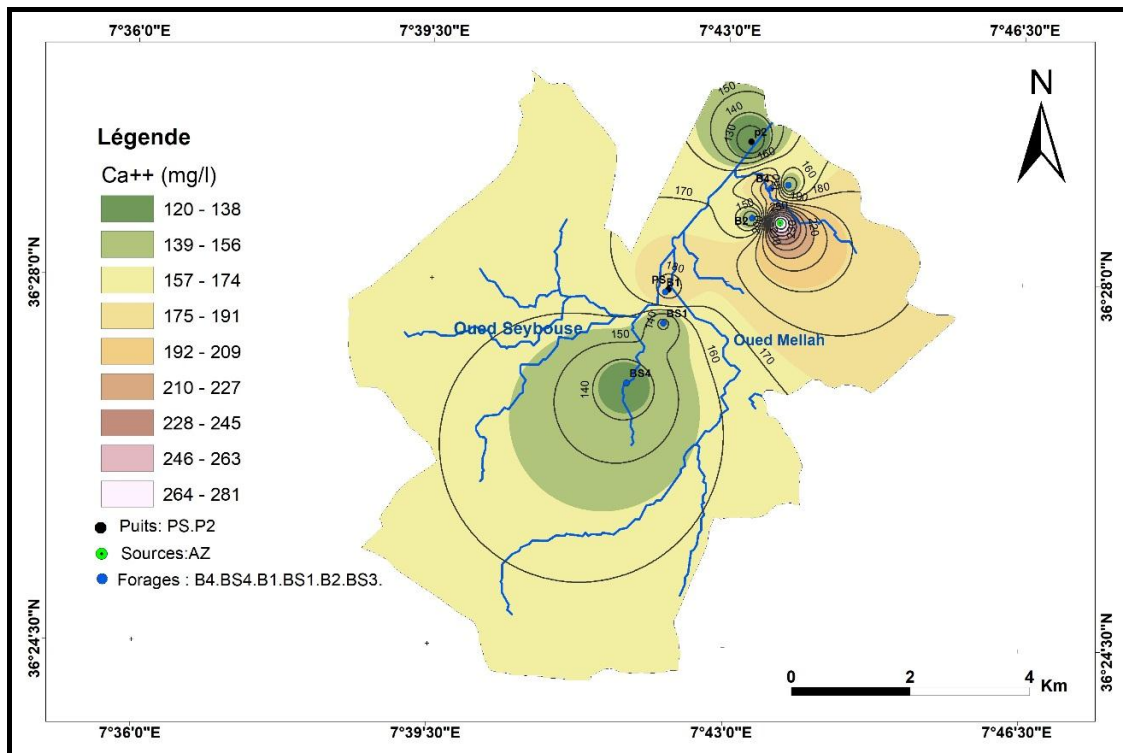


Figure n° 38.a : Teneur en calcium des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (basses eaux, Juin 2015).

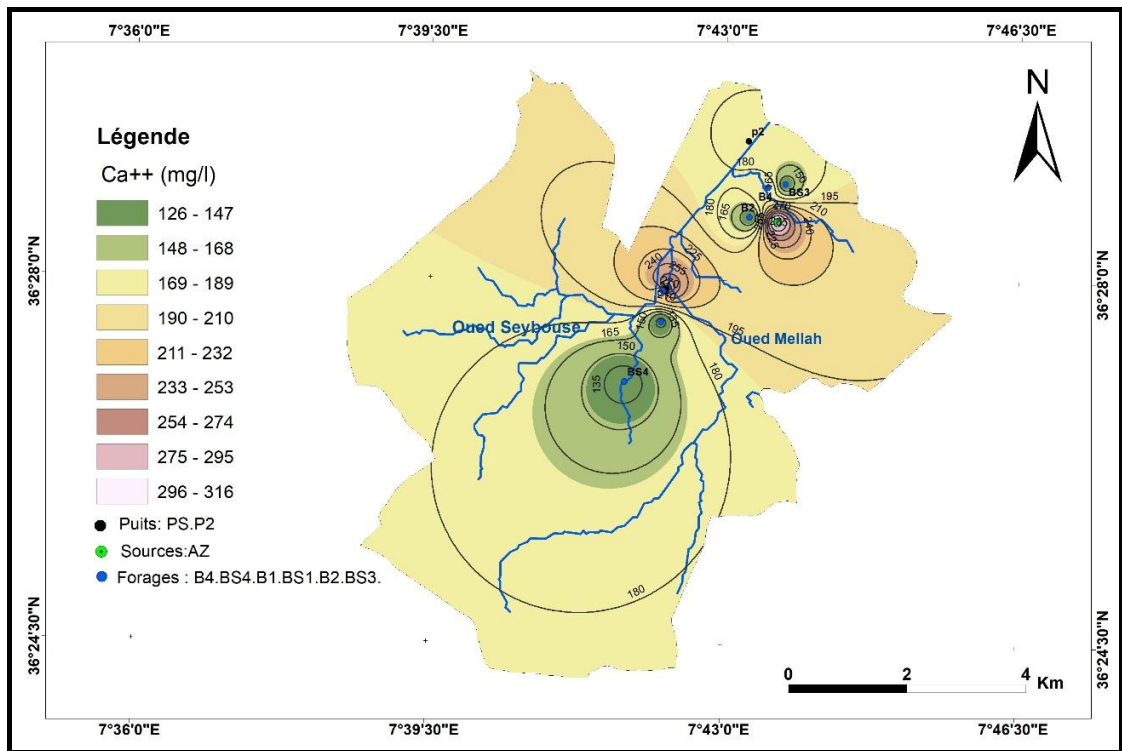


Figure n° 38.b : Teneur en calcium des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (hautes eaux, Janvier 2015).

VI.3.2.1.2 : Le magnésium (Mg⁺⁺)

Dans les eaux souterraines les concentrations de magnésium varient entre 20 mg/l à 94,32 mg/l avec une moyenne 54,86 mg/l en période de basses et hautes eaux respectivement, et sont supérieures aux normes de la communauté Européenne (CE 1980), alors que dans les eaux de surfaces on observe que la plus grande valeur (82,89 mg/l) provient du point OM3 de l'Oued Mellah où elle dépasse la limite de potabilité (50 mg/l) et la plus petite valeur (26,40 mg/l) qui provient du point OM1 de l'Oued Mellah avec une valeur moyenne (51,44 mg/l) durant les deux périodes (tableau n°31).

La teneur du magnésium peut provenir des carbonates comme elle peut provenir des formations triasiques (MgSO₄²⁻) (Fig.n°39 a et b).

Tableau n°31 : Variation du magnésium (mg/l) des eaux souterraines et de surfaces dans le périmètre de Bouchegouf.

Types de sources	Eaux souterraines						Eaux de surface				
	Forages		Puits		Sources		Oued Seybouse		Oued Mellah		
Période d'échant	basses	hautes	basses	hautes	basse	Hautes	sèche	crue	sèche	crue	
Paramètre statistique	Min	32.81	50.4	44	55	55	20	51.53	30.50	65.15	26.40
	Max	68.06	54	94.32	71.04	77.79	36	55.92	50.40	82.89	49.20
	Moy	50.44	52.20	69.16	63.02	66.39	28	52.82	41.25	74.04	37.65
	Norme	50 mg/l									

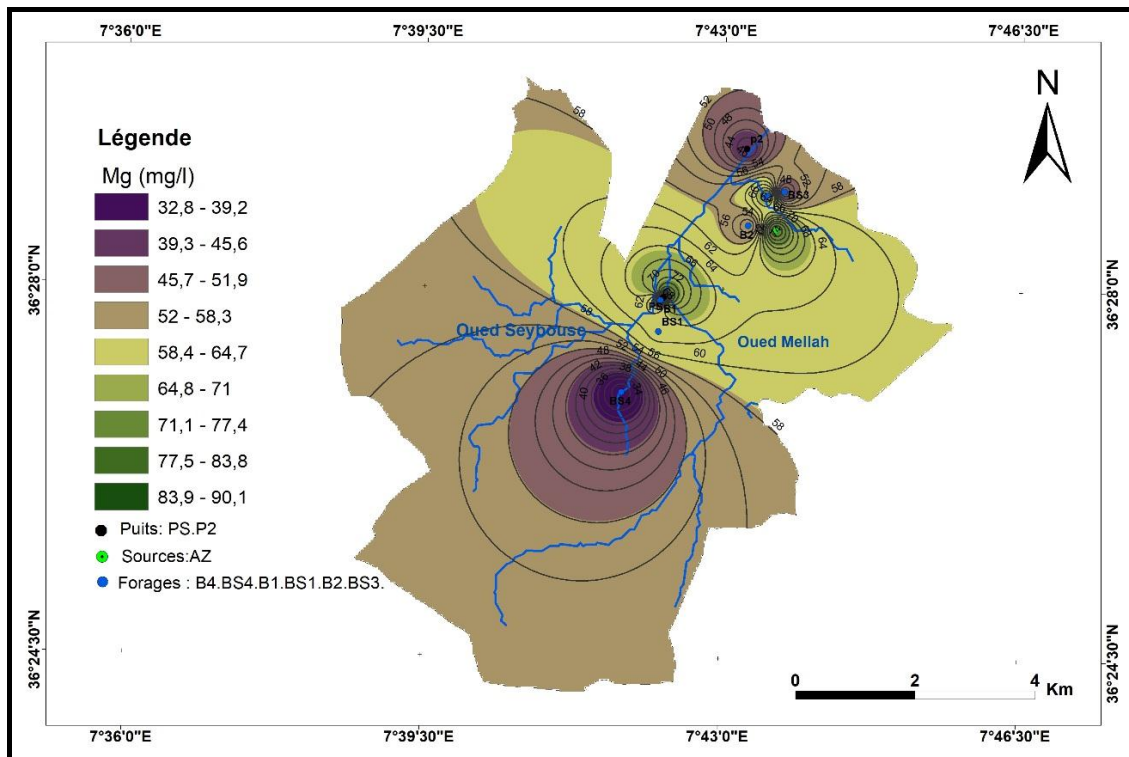


Figure n°39.a: Teneur en magnésium des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (basses eaux, Juin 2015).

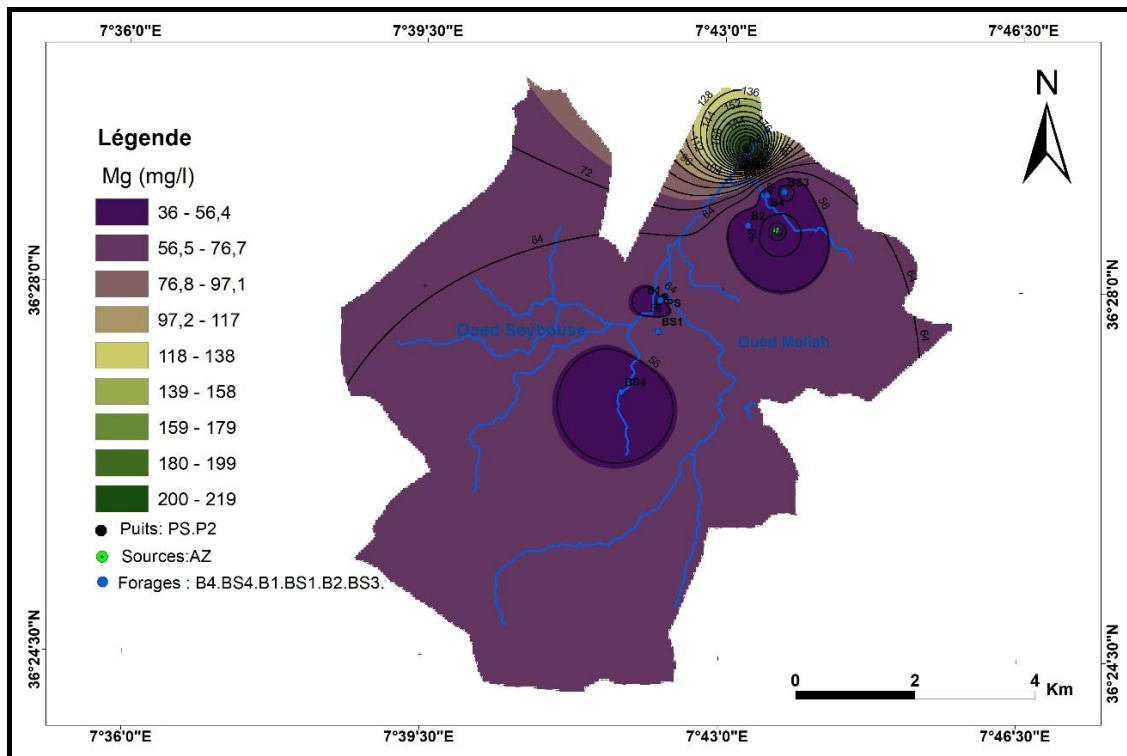


Figure n°39.b : Teneur en magnésium des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (hautes eaux, Janvier 2014).

VI.3.2.1.3 : Sodium (Na^+)

Les concentrations en Sodium varie entre 90,2 mg /l et 299 mg/l avec une valeur moyenne de 236,19 mg/l dans les eaux souterraines pour les deux périodes ; Les teneurs moyennes en sodium sont supérieures à la limite de potabilité (OMS, 2001) (Tableau n°32). Pour les eaux de surfaces, les valeurs les plus élevées, sont observées au niveau de l'Oued Mellah (OM1) et les petites valeurs sont notées au point OS1 de l'Oued Seybouse pour les deux périodes d'observations ; avec une moyenne de (585,125 mg/l).

L'évolution des concentrations se fait selon le sens d'écoulement des eaux souterraines ce qui indique l'existence de forts apports du triasique salifère comme il est illustré sur les cartes. (Fig. n°40 a et b).

Tableau 32 : Teneur en sodium des eaux souterraines et de surfaces dans le périmètre de Bouchegouf.

Types de sources		Eaux souterraines						Eaux de surface			
		<i>Forages</i>		<i>Puits</i>		<i>Sources</i>		<i>Oued Seybouse</i>		<i>Oued Mellah</i>	
Période d'échant		basses	hautes	basses	hautes	basse	hautes	sèche	crue	sèche	crue
Paramètre statistique	Min	250,7	250,7	109	299	90,2	230	184	184	462,3	386,95
	Max	271,4	271,4	299	234	264,5	264,5	278,3	278,3	800	800
	Moy	261,05	261,05	204	266,5	177,35	247,25	230,1	230,1	557,71	534,78
	Norme	150 mg/l									

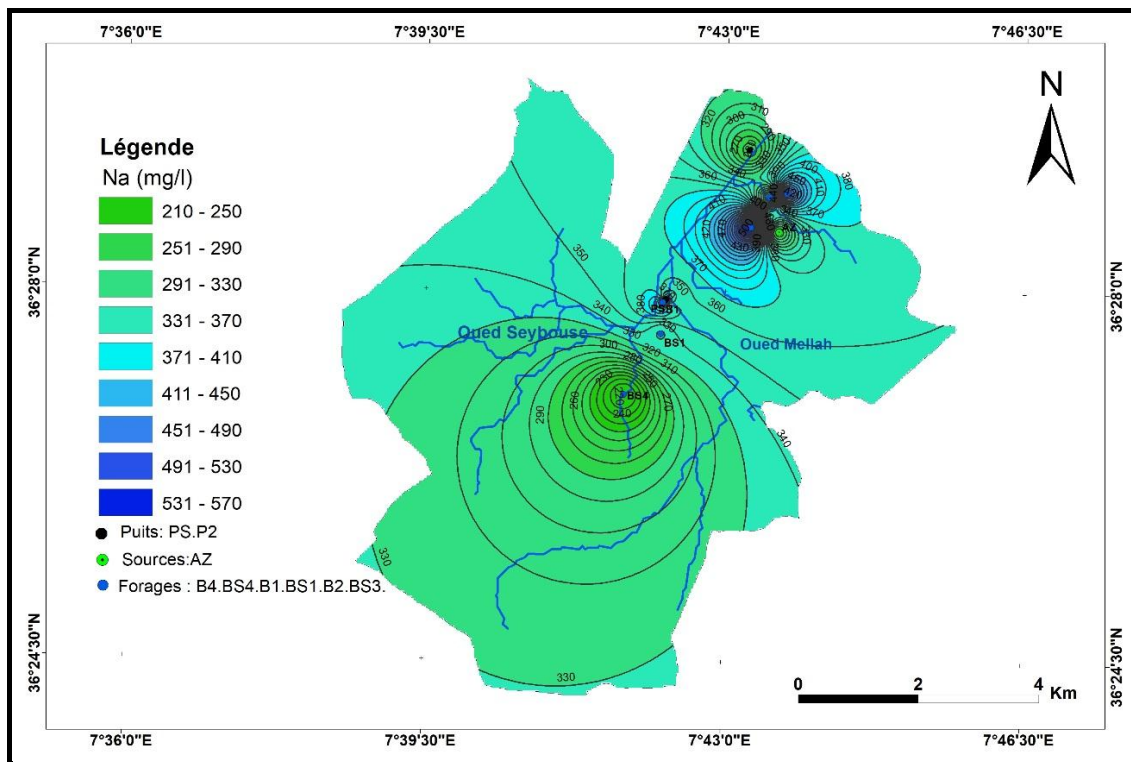


Figure n°40.a : Teneur en sodium des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (basses eaux, Juin 2015).

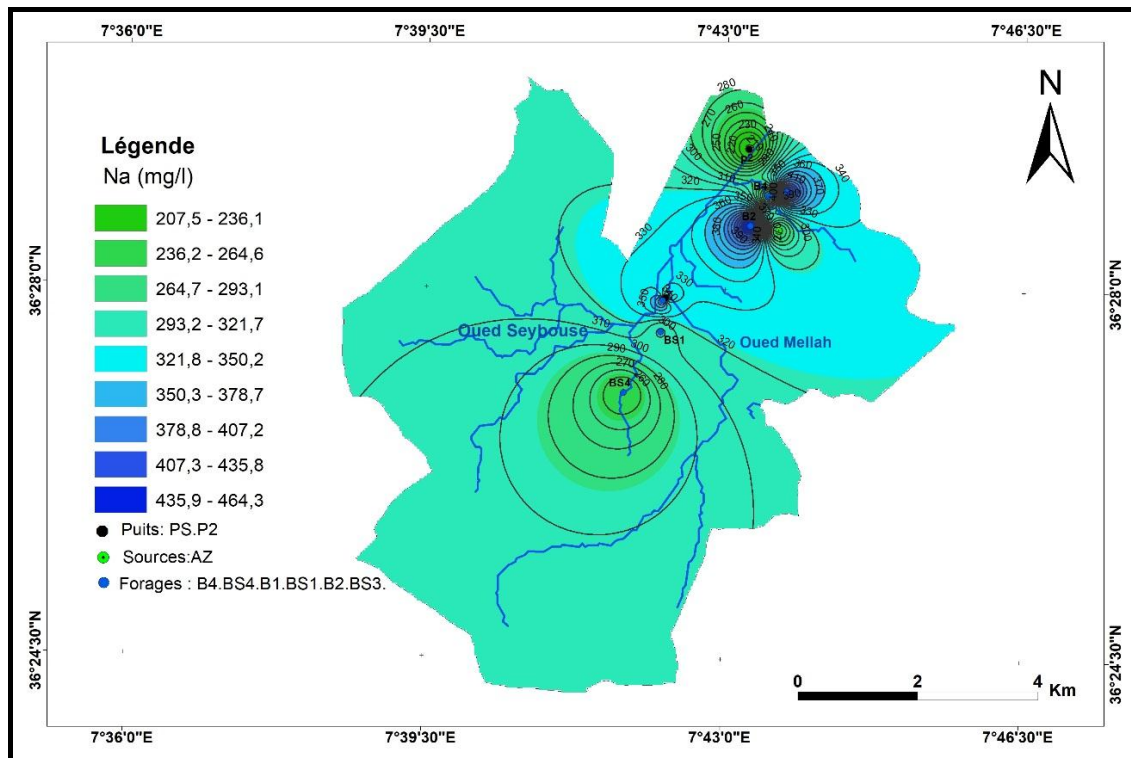


Figure n°40 b: Teneur en sodium des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (hautes eaux, Janvier 2015).

VI.3.2.1.4 : Potassium (K^+)

Les concentrations en potassium varient entre 4,5 mg /l à 11,6 mg/l avec une valeur moyenne de 7,43 mg/l dans les eaux souterraines pour les deux périodes ; Les teneurs moyennes en sodium sont inférieures à la limite de potabilité (OMS, 2001). Elles proviennent des formations triasiques (**Tableau n° 33**).

Dans les eaux de surfaces les plus grandes valeurs sont observées au niveau de l'Oued Mellah (OM2) et les petites valeurs sont signalées au OS3 de L'Oued Seybouse avec une valeur moyenne 9,50 mg/l pour la période de crue, alors que pour la période sèche les valeurs sont presque nulles (**Fig. n°41 a et b**).

Tableau n°33 : Teneur en potassium des eaux souterraines et de surfaces dans le périmètre de Bouchegouf.

Types de sources		Eaux souterraines						Eaux de surface			
		<i>Forages</i>		<i>Puits</i>		<i>Sources</i>		<i>Oued Seybouse</i>		<i>Oued Mellah</i>	
Période d'échant		basses	hautes	basses	hautes	basse	hautes	sèche	crue	sèche	crue
Paramètre statistique	Min	4.5	4.5	10	5	10	4.3	-	2	-	6
	Max	6.7	7.3	10	10	11,6	5.3	-	6	-	29,25
	Moy	5.6	5.9	10	7,5	10.8	4.8	-	3,625	-	15,39
	Norme	12 mg/l									

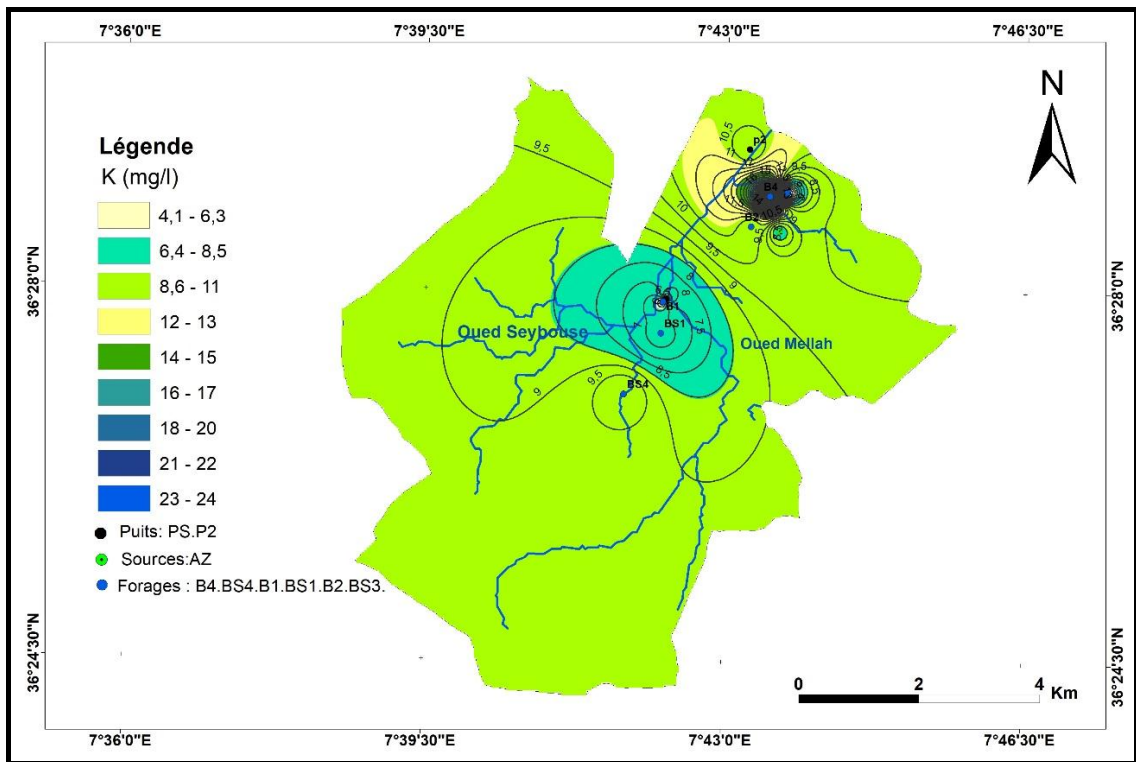


Figure n°41.a : Teneur en potassium des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (basses eaux, Juin 2015).

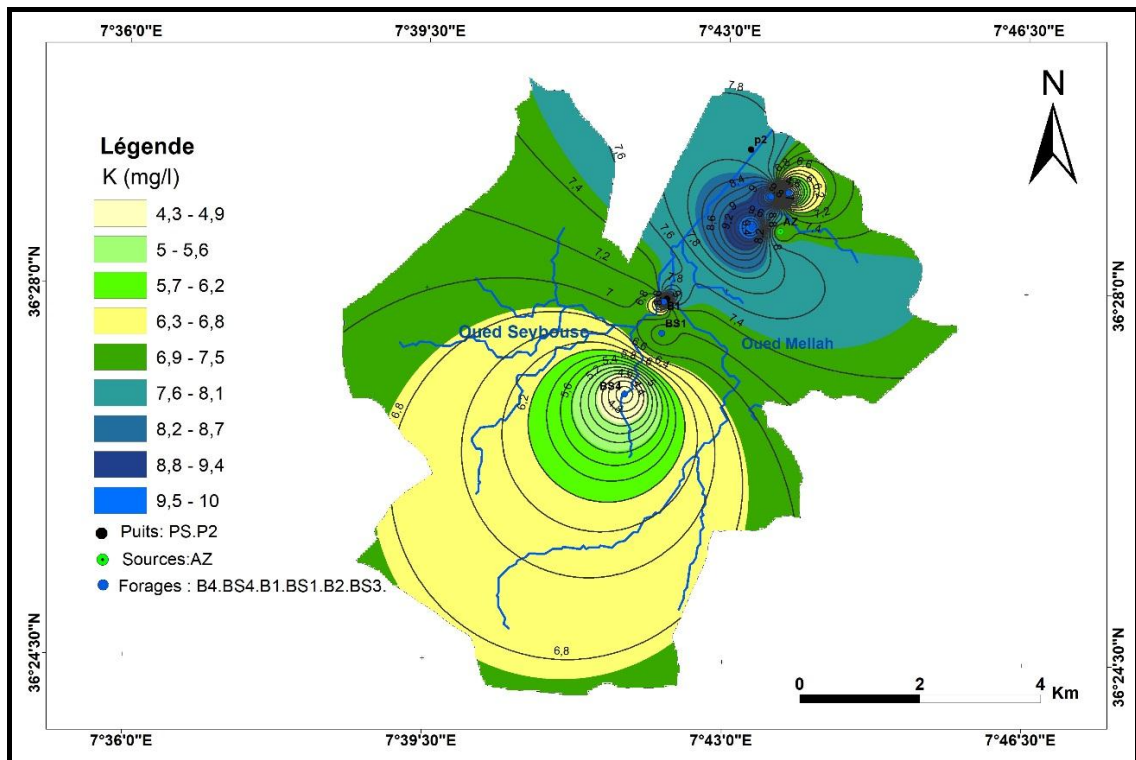


Figure n°41.b : Teneur en potassium des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (hautes eaux, Janvier 2015).

VI.3.2.2 : Les anions

VI.3.2.2.1 : Les Chlorures (Cl⁻)

Dans les eaux souterraines les concentrations des chlorures varient entre 102 mg/l à 976,25 mg/l avec une moyenne 492,19 mg/l dont la plus grande valeur est observée au puits (PS) et la plus petite valeur provient de la source (AS) pour les deux périodes, alors que dans les eaux de surfaces les teneurs varient entre 284 mg/l et 887,5 mg/l avec une moyenne 553,88 mg/l dont la plus grande valeur provient du point OM1 de l'Oued Mellah et la petite valeur provient du point OS1 de l'Oued Seybouse pour les deux périodes (Tableau n°34).

Les valeurs moyennes des chlorures des eaux souterraines et des eaux de surfaces dépassent largement les normes d'OMS (2001) pour les deux périodes. Les chlorures peuvent provenir des formations triasiques, des grés, des marnes et des sels (Fig. n°42 a et b).

Tableau n°34 : Teneur en chlorure (mg/l) des eaux souterraines et de surfaces dans le périmètre de Bouchegouf.

Types de sources	Période d'échant	Eaux souterraines						Eaux de surface			
		Forages		Puits		Sources		Oued Seybouse		Oued Mellah	
		basses	hautes	basses	hautes	basse	hautes	sèche	crue	Sèche	crue
Paramètre statistique	Min	127,8	372,75	291	800,20	102	520	302,67	284	859,1	648,82
	Max	596,4	585,75	376,3	976,25	607,05	550,25	408,27	383,4	887,5	667,4
	Moy	362,1	479,25	333,65	888,22	354,52	535,12	356,13	335,70	867,18	656,54
	Norme	≤ 250 mg/L									

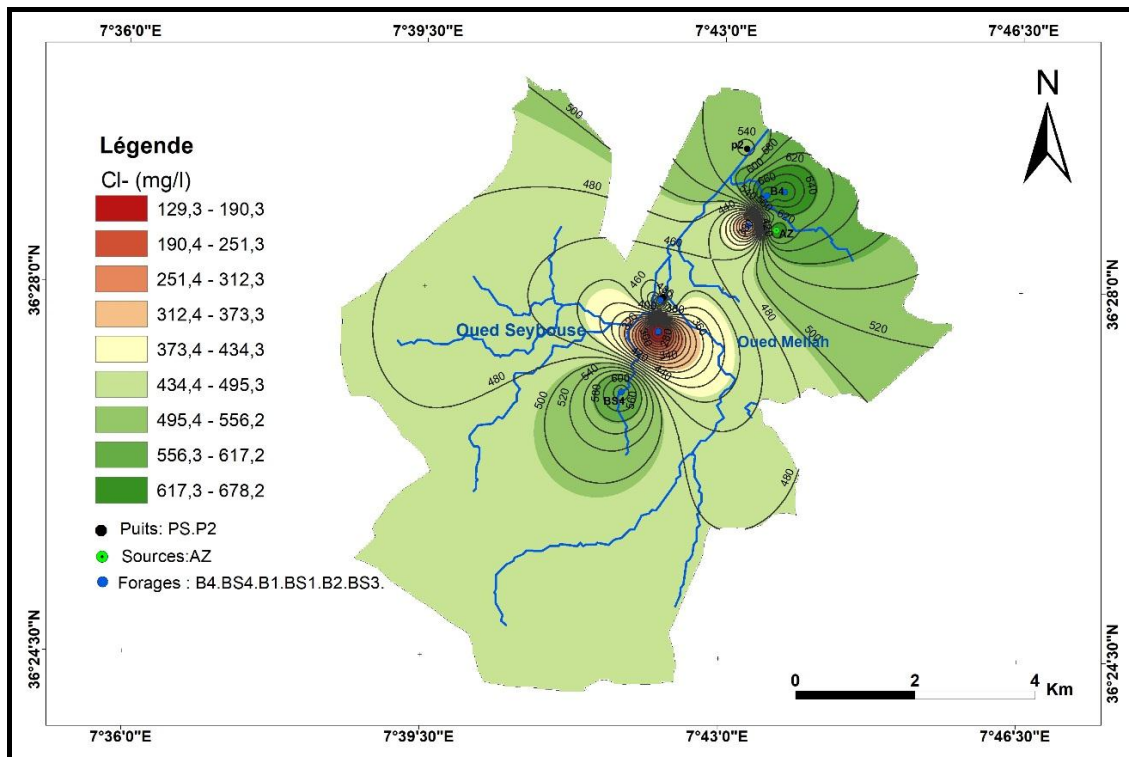


Figure n°42.a : Teneur en chlorure des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (basses eaux, Juin 2015).

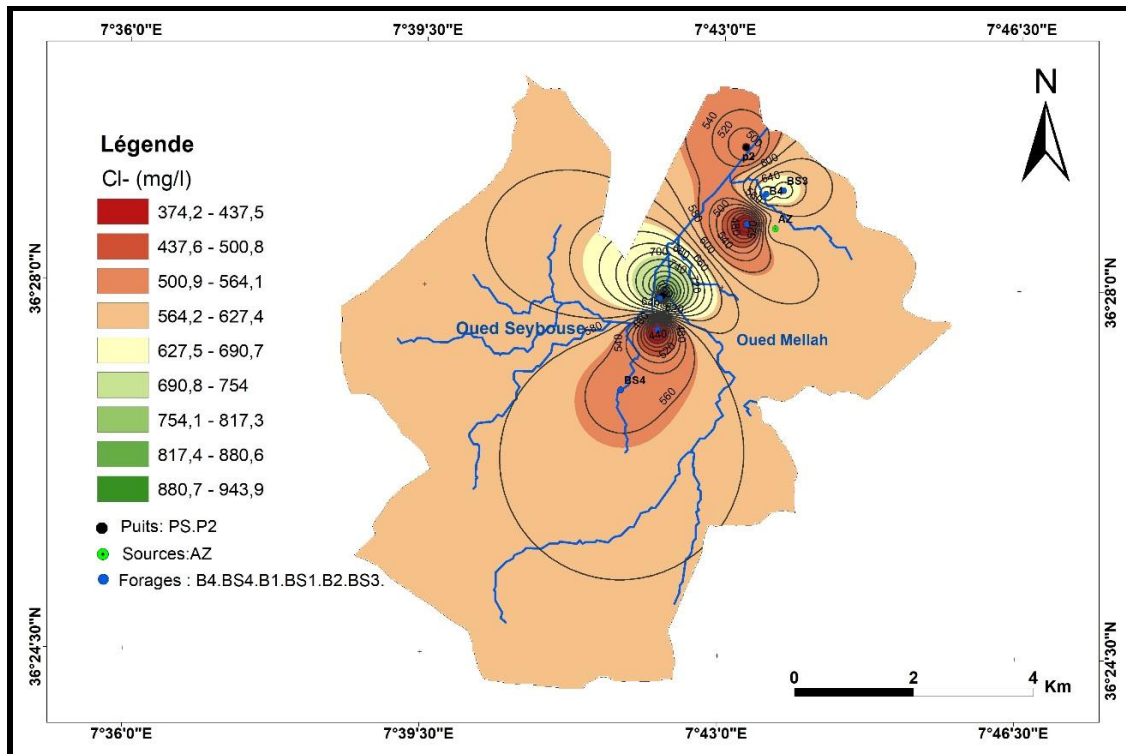


Figure n°42 b: Teneur en chlorures des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (hautes eaux, Janvier 2015).

VI.3.2.2.2 : Les bicarbonates (HCO_3^-)

Dans les eaux souterraines les teneurs des bicarbonates varient entre 262,3 mg/l à 542,9 mg/l avec une moyenne 354,52 mg/l pour les deux périodes d'observations ; la plus grande valeur provient du puits PS et la petite valeur provient du forage BS4 (Tableau n°35).

Pour les eaux de surfaces, on constate que la concentration moyenne en bicarbonates est de 277.3 mg/l et 289.13 mg/l pour l'Oued Seybouse et l'Oued Mellah respectivement en période de crue, ces faibles valeurs sont probablement liées à la dissolution des calcaires (Fig.43a et b).

Tableau n°35 : Teneur en Bicarbonates (mg/l) des eaux souterraines et de surfaces dans le périmètre de Bouchegouf.

Types de sources		Eaux souterraines						Eaux de surface			
		Forages		Puits		Sources		Oued Seybouse		Oued Mellah	
Période d'échant		basses	hautes	basses	hautes	basse	hautes	sèche	crue	Sèche	crue
Paramètres statistiques	Min	262,3	280,6	318	480	357	290	218,38	262,58	176,86	219,6
	Max	292,8	286,7	427	542,9	394,06	323,3	220,1	298,92	190,32	323,3
	Moy	277,55	283,65	372,5	511,45	375,53	306,65	219,41	277,62	180,85	289,13
	Norme	≤ 350 mg/L									

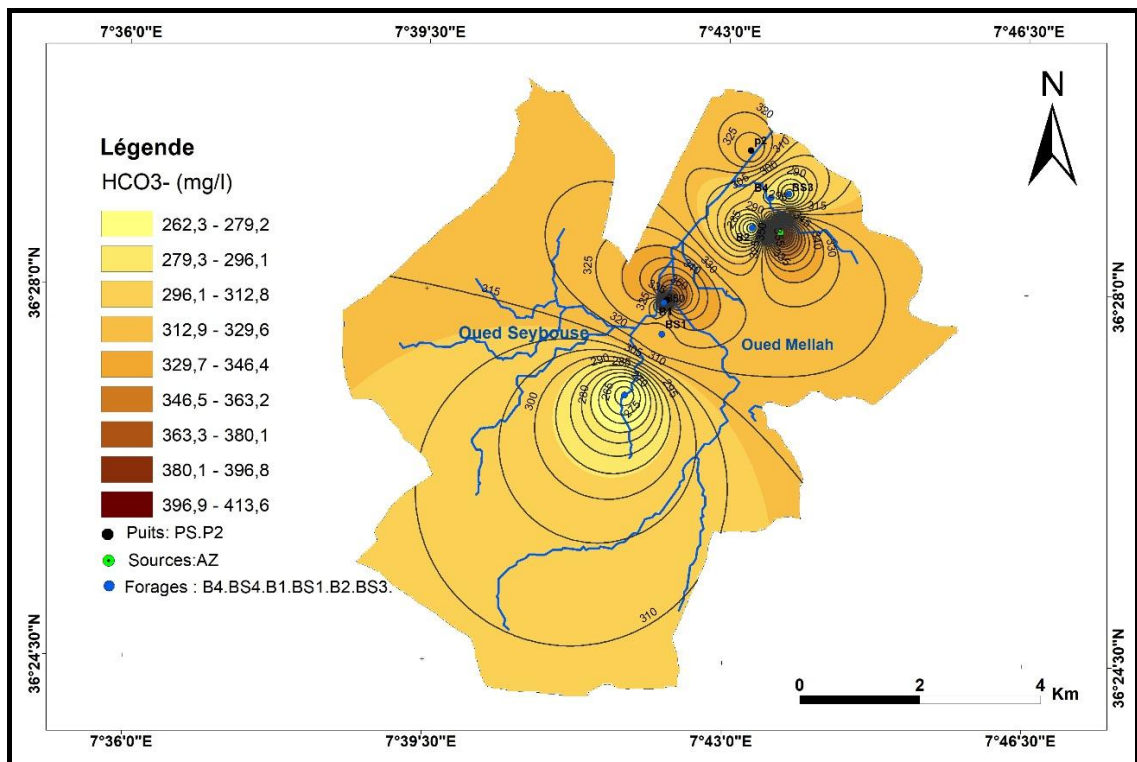


Figure n°43.a : Teneur en bicarbonates des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (basses eaux, Juin 2015).

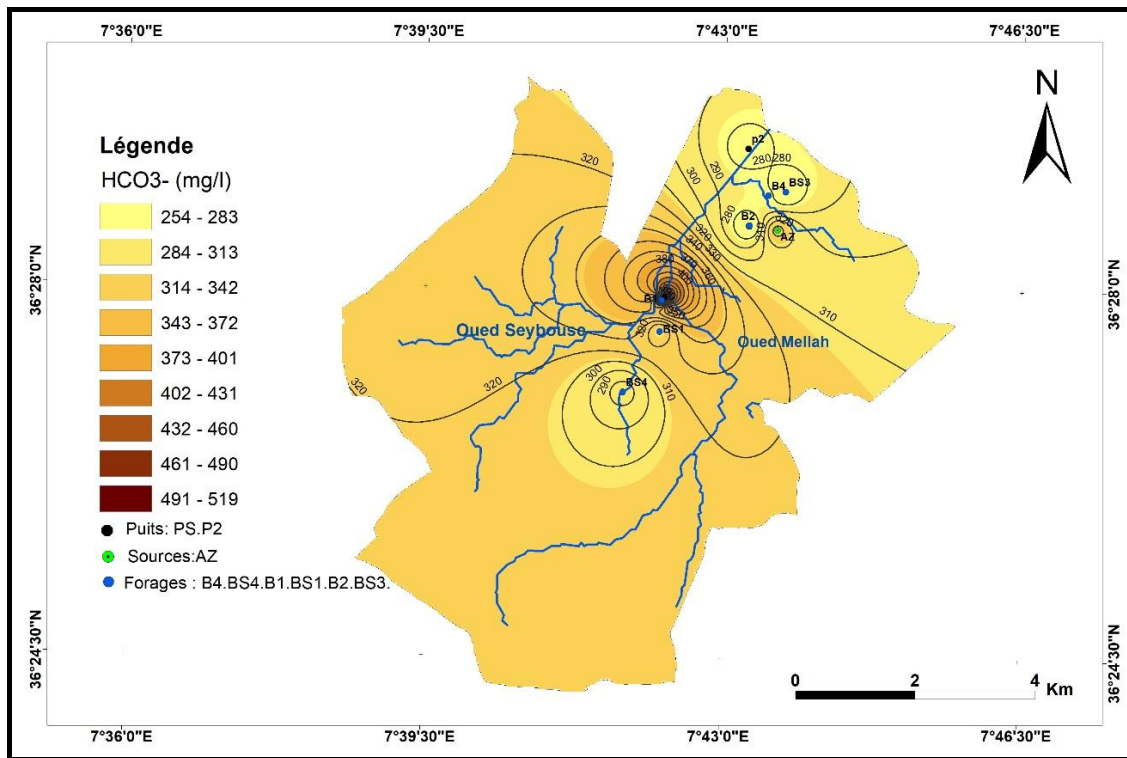


Figure n°43 b: Teneur en bicarbonates des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (hautes eaux, Janvier 2015).

VI.3.2.2.3 : Les sulfates (SO_4^{2-})

Dans les eaux souterraines les concentrations en sulfates observé au niveau des puits et sources sont inférieures aux normes pour les deux périodes, on remarque aussi que la plus grande valeur provient de forage B4 (365,3 mg/l) et la plus petite valeur provient du puits P2 (103 mg/l) avec une moyenne 227,19 mg/l (**Tableau n°36**).

Pour les eaux de surfaces on observe que la plus grande valeur (291 mg/l) provient de l'Oued Seybouse (OS4) et la plus petite valeur (165,5 mg/l) provient du point OS1 avec une moyenne de 257,54 mg/l dans les deux périodes (**Fig. n°44 a et b**).

Tableau n°36 : Teneur en sulfates (mg/l) des eaux souterraines et de surfaces dans le périmètre de Bouchegouf.

Types de sources		Eaux souterraines						Eaux de surface			
		Forages		Puits		Sources		Oued Seybouse		Oued Mellah	
Période d'échant		basses	hautes	basses	hautes	basse	hautes	sèche	crue	sèche	Crue
Paramètres statistiques	Min	215	245	103	115	110	130	172,5	165,5	286	256
	Max	345	365,3	255	265	297	280	291	275,2	290	284
	Moy	280	305,15	179	190	203,5	205,5	238,62	228,42	288,5	274,62
	Norme	250 mg/l									

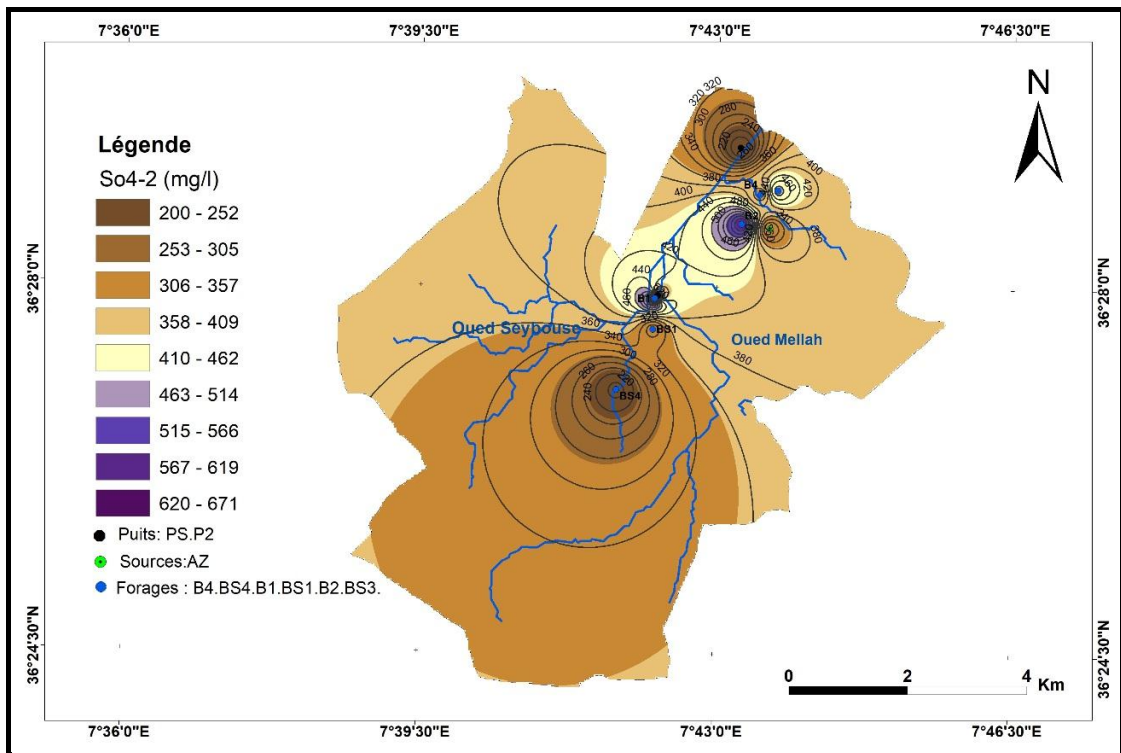


Figure n°44.a : Teneur en sulfates des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (basses eaux, Juin 2015).

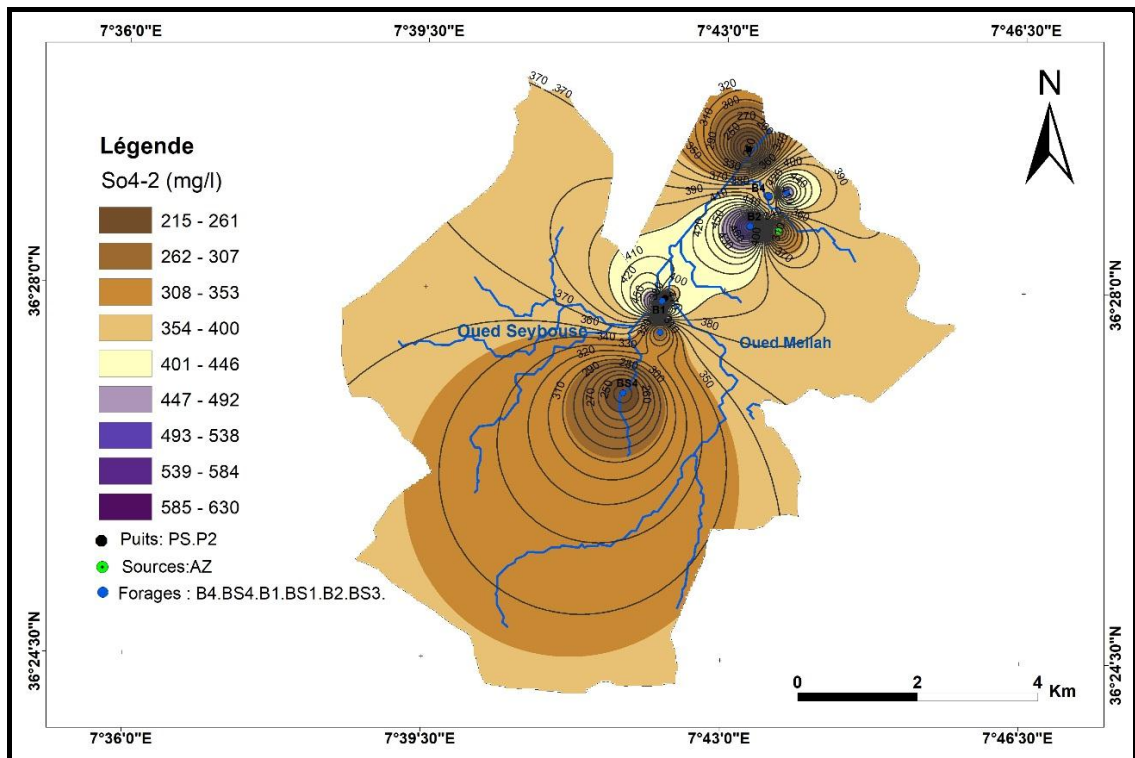


Figure n°44 b : Teneur en sulfates des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (hautes eaux, Janvier 2015).

VI.3.2.2.4 : Les nitrates (NO_3^-)

Les teneurs en nitrates relevées pendant les deux périodes d'échantillonnages sont représentées dans le tableau ci-après.

Dans les eaux souterraines les teneurs des nitrates varient entre 10 mg/l et 70 mg/l avec une moyenne de 43,51 mg/l pour les deux périodes d'observations ; pour la période de crue on remarque que dans les eaux de surfaces les teneurs moyennes sont plus petites dans les eaux souterraines, et pour la période sèche on observe que la petite valeur provient généralement de l'Oued Mellah et la plus grande valeur provient de l'Oued Seybouse. Les nitrates proviennent de l'épandage des engrais (Fig. n°45 a et b).

Tableau n°37 : Teneur en nitrates (mg/l) des eaux souterraines et de surfaces dans le périmètre de Bouchegouf.

Types de sources		Eaux souterraines						Eaux de surface			
		Forages		Puits		Sources		Oued Seybouse		Oued Mellah	
Période d'échant		basses	hautes	basses	hautes	basse	hautes	sèche	crue	sèche	Crue
Paramètres statistiques	Min	10	50	30	30,5	50	30	5	2,59	1	3
	Max	20	70	63,3	53,45	65	50	10	5	3	16,58
	Moy	15	60	46,65	41,97	57,5	40	6,25	4,04	1,5	7,39
	Norme	50 mg / l									

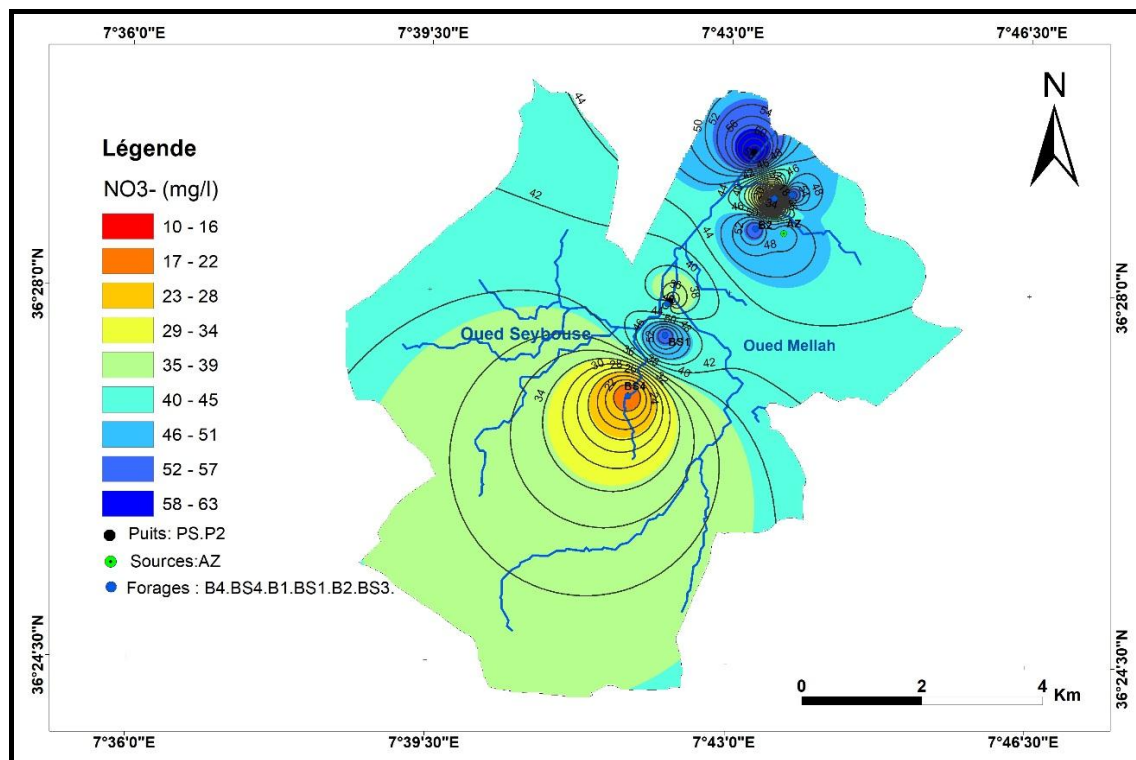


Figure n°45.a : Teneur en nitrates des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (basses eaux, Juin 2015).

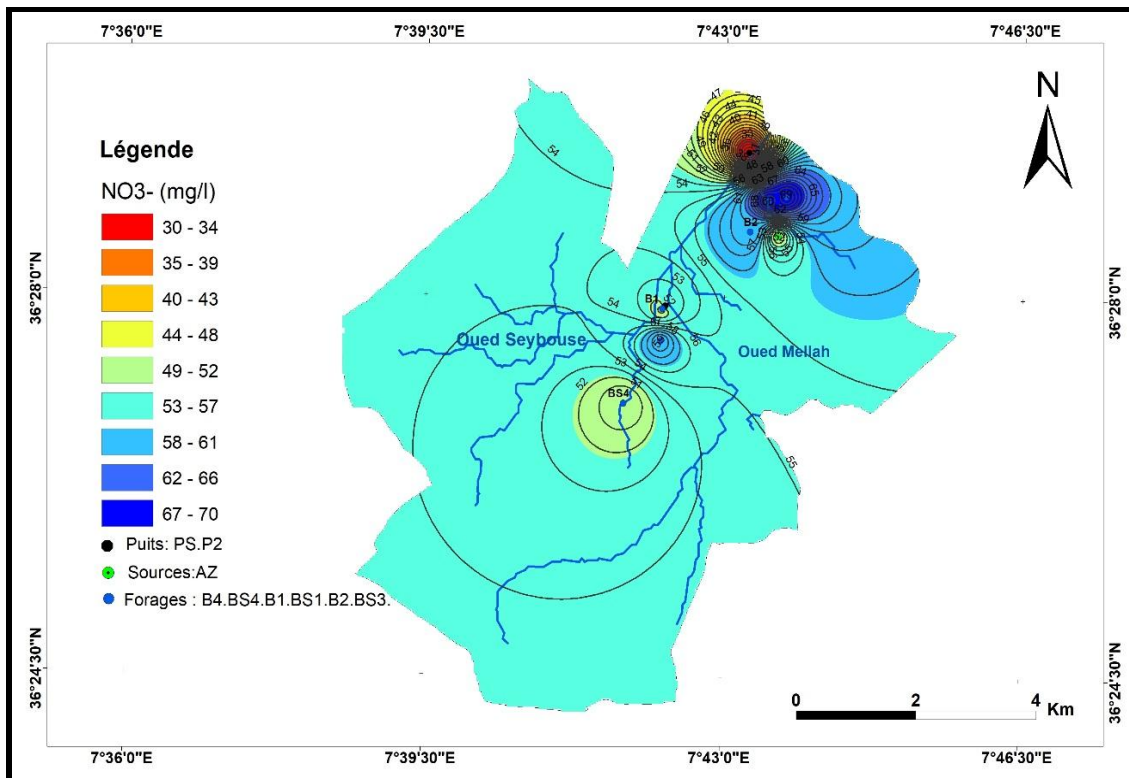


Figure n°45.b : Teneur en nitrates des eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (hautes eaux, Janvier 2015).

VI.4 : Les faciès chimiques

VI.4.1 : Eaux souterraines

Tous les faciès sont représentés sur le diagramme de Piper (1944), après le calcul du bilan ionique, on a constaté que le faciès chimique dominant est le chloruré et sulfaté- calcique sauf le puits PS qui indique un faciès chimique chloruré-sodique et ceux quel que soit la campagne d'échantillonnage (basses et hautes eaux) (**Fig. 46 a et b**). Ces faciès sont liés à la nature géologique de la région étudiée.

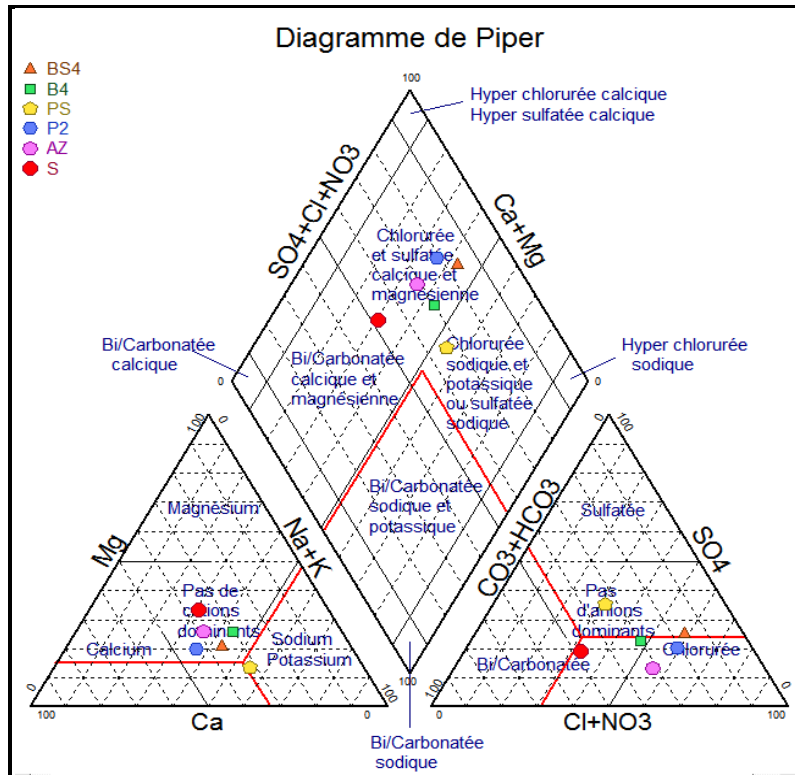


Figure n°46.a : Le faciès chimique des eaux souterraines d'après le diagramme de Piper (période des basses eaux).

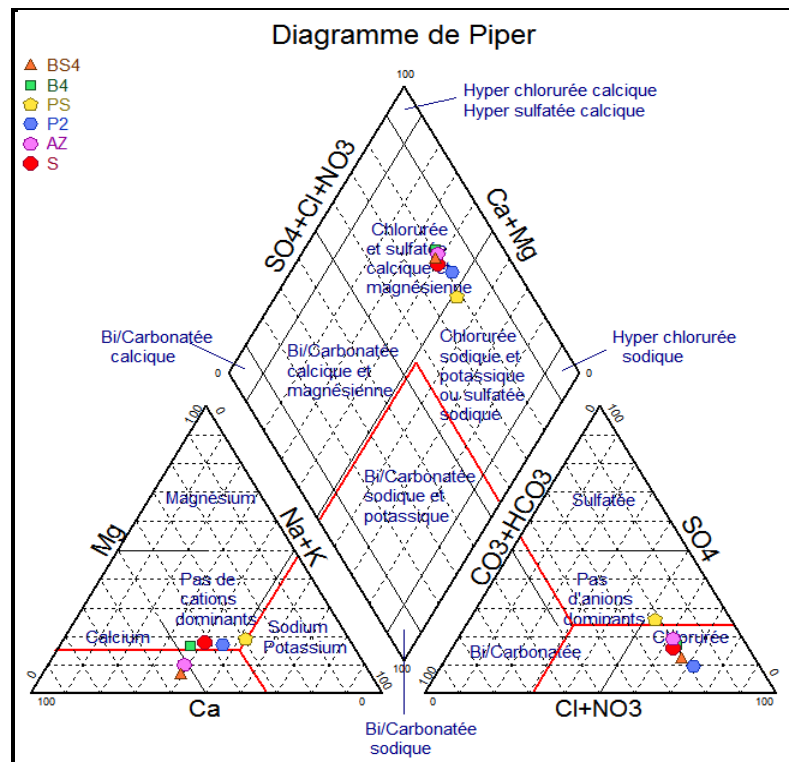


Figure n°46.b : Faciès chimique des eaux souterraines d'après le diagramme de Piper (période des hautes eaux).

VI.5 : Qualité des eaux d'irrigation

Les résultats des analyses de la qualité de l'eau d'irrigation dans le périmètre de Bouchegouf se résument comme suit :

- Le pH ne présente aucune contrainte, car il est situé dans la gamme normale, par contre cette eau présente un risque de toxicité modéré au bicarbonate et au chlore pour l'irrigation par aspersion (FAO, 1985) (**Tableau n°38**).
- La conductivité électrique est de l'ordre de 1244 $\mu\text{s/cm}$ (0.62 g/l). La classification de l'eau d'irrigation sur la base de la conductivité électrique selon l'échelle USDA montre que cette eau appartient à la classe C3-S1 (CE entre 750 et 2250 $\mu\text{s/cm}$ et SAR de 10.38), et se qualifie comme une eau à haute salinité, utilisable dans les sols bien drainés.

Il faut noter aussi que les eaux d'irrigation sont pauvres en oxygène et deviennent plus minéralisées après avoir séjournées dans les réservoirs de stockage.

- Elles présentent un rapport DCO/DBO₅ égal à 8.03 ce qui a permis de déduire que les eaux d'irrigation contenant des effluents plus ou moins difficilement biodégradable (industrie).

Cela, indique que les eaux d'irrigation drainées par l'Oued Seybouse sont faiblement chargées en matières organiques et présentent une pollution inorganique, liée aux rejets industriels.

Tableau n°38 : Les caractéristiques physico-chimiques des eaux d'irrigation du périmètre de Bouchegouf (Décembre 2013)

Paramètres /Echantillons	pH	TDS (mg/l)	CE (μ S/cm)	OD (mg/)	Cl ⁻ (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	DCO (mg/)	MO (mg/)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)
Eau d'irrigation (Oued Seybouse)	8.23	621	1242	2	365.13	5.12	34.96	15.06	219.41	146.42
Eau d'irrigation (Vanne)	7.78	622	1244	1.25	356.8	3.50	28.12	11.17	201.23	153.96

VI.6 : Contamination des eaux de surface par les éléments en traces (ETM)

Les ETM mesurés dans l'eau présentent la même évolution que dans les sols (tableau n°39).

- Le Pb constitue l'élément le mieux représenté suivi par le Zn, Cd et le Cu (**figure n°48**). La dominance du Pb est liée aux multiples sources de cet élément particulièrement la circulation routière.

Tableau n°39 : Evaluation des éléments traces métalliques de l'eau (en ppm) à l'aval de la confluence Mellah-Seybouse.

Elément / Stations	Pb	Cu	Cd	Zn
OS1	10.718	0.349	0.373	0.358
OS2	12.813	0.350	0.391	0.381
OS3	15.075	0.360	0.405	0.499
OS4	16.077	0.367	0.460	0.564
OM1	09.718	0.312	0.360	0.341
OM2	10.077	0.333	0.361	0.341
OM3	10.495	0.339	0.361	0.350
OM4	10.614	0.341	0.367	0.358

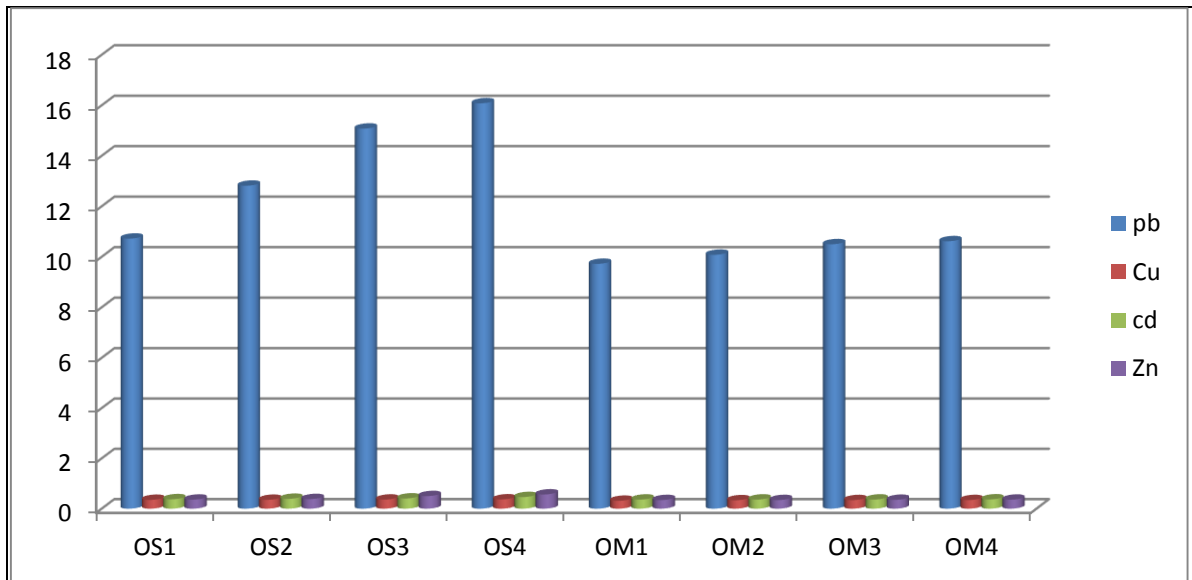


Figure n°48 : Variation des teneurs en ETM dans l'eau au niveau du Site de prélèvement

VI.7 : Analyses chimiques du sol

L'analyse du sol consiste à effectuer un ensemble d'opérations successives physiques et chimiques. Avant de développer ces types d'analyses, il faut tout d'abord commencer par l'opération critique dans l'analyse du sol : c'est l'échantillonnage et le prélèvement d'échantillon de sol, son importance n'est pas toujours bien perçue par l'opérateur. Si l'analyse au laboratoire revêt une grande importance, l'échantillonnage et les prélèvements d'échantillons reste la première des conditions pour gérer correctement

les apports en Fertilisants. Le résultat est une quantité du sol représentative de conditions hétérogènes.

VI.7.1 : Méthodologie

Les échantillonnages de sols ont été effectués en parallèle avec l'échantillonnage des eaux. Nous avons effectué des prélèvements du sol des parcelles irriguées par ces eaux. Afin d'en faire une caractérisation à l'échelle verticale, nous avons procédé à un prélèvement à l'aide d'une tarière agricole dans les horizons 0-20 cm et 20-40 cm, soit en total 32 échantillons du sol ont été prélevés (**Fig. n°34**).

VI .7.1.1 : Technique d'échantillonnage

L'échantillonnage c'est le prélèvement de plusieurs échantillons de sol afin d'en effectuer des Analyses chimiques et physiques, cette opération déterminera la fiabilité des résultats. Pour des raisons d'homogénéité il est recommandé de subdiviser notre champ selon : sa couleur, orientation de la pente et ses pratiques de cultures.

• Matériel :

- Tarière.
- Plusieurs cuvettes ou seaux.
- Sac en plastique épais.
- Couteau.

Plusieurs prélèvements élémentaires doivent être effectués dans un champ pour obtenir un résultat fiable, on a procédé à des prélèvements selon la diagonale (**Fig. n°49**).

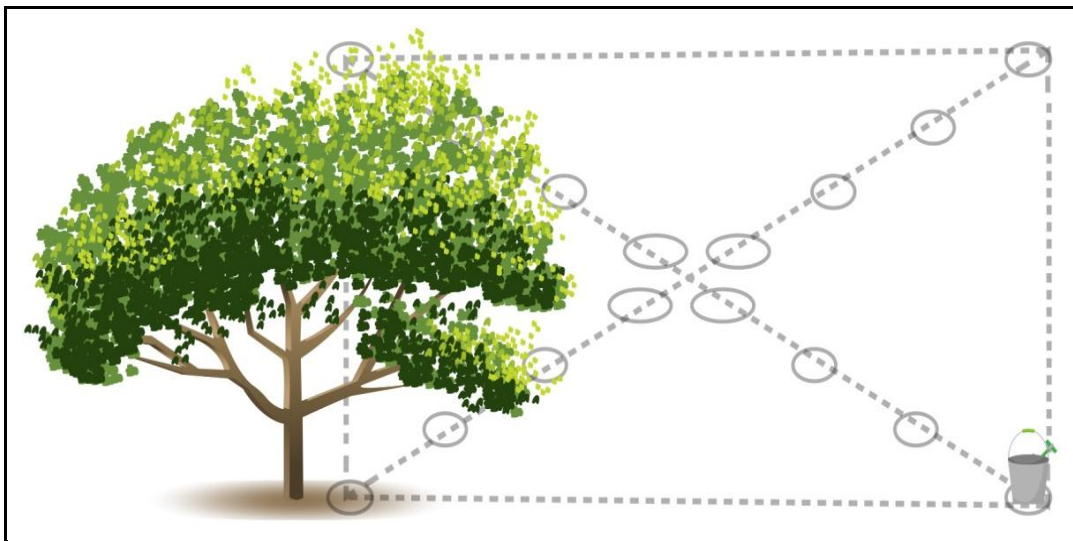


Figure n°49 : Méthode de prélèvement des sols en diagonale.

Le prélèvement en diagonale consiste à marcher en suivant les diagonales du champ. Prendre un échantillon tous les 10 m environ (distance à adapter en fonction de la dimension du champ). Stocker dans les seaux 1 ou 2 poignées de chaque prélèvement préalablement émiétté et mélangé.

Les prélèvements sont faits dans une tranche de sol ou horizon déterminé en fonction de l'épaisseur de l'horizon organique et de l'enracinement dense de la culture (0-20 cm ,20-40 cm). Il est impératif de ne pas mélanger le sol de deux niveaux différents. Constituer l'échantillon composite qui sera porté au laboratoire : Les poignées prises dans chacun des 6 (ou plus) prélèvements sont soigneusement mélangés dans le seau. Ensuite, prendre 10 poignées (total : 1 kg) pour remplir un sac en plastique. Remplir la fiche d'identification qui accompagnera le sac de l'échantillon composite.

VI.7.1.2 : Mode opératoire

VI.7.1.2.1 : Méthode d'analyse

Avant toutes analyses des échantillons, les sols ont été séchés à l'air libre pendant une nuit ou plus et tamisés par des tamis de 2 mm pour obtenir une terre fine.

Les techniques d'analyses ont été tirées de Jackson (1965), nous avons mesuré la conductivité électrique, le pH de la pâte saturée ainsi que les éléments majeurs de l'extrait de cette pâte par les mêmes techniques de dosage.

V.7.1.2.2 : Extrait de pate saturée

- Préparation de la pâte saturée :
- Dans un bécher polyéthylène de 250 ml, mettre 100 g de terre fine.
- A l'aide d'une burette de 50 ml, faire couler goutte à goutte sur la terre l'eau distillée.
- Tout en versant l'eau distillée, bien mélanger la terre et l'eau à l'aide d'une spatule ; il faut faire disparaître tous les grumeaux.
- Ajouter de l'eau jusqu'à ce que la terre commence à couler ; il ne doit pas y avoir d'eau surnageant mais la surface doit être brillante.
- Noter la quantité d'eau distillée versée.
- Couvrir d'un verre de montre ou par du para film.
- Laisser reposer 4 heures.
- Rajouter de l'eau distillée si nécessaire, noter la quantité ajoutée, faire la somme.

- Centrifuger (à 5.000 t/mn pendant environ 15 mn ou plus) le maximum de terre possible.
- Recueillir l'extrait de saturation dans un bécher.

Pour les calculs, les concentrations obtenues sont multipliées par le RD qui est le rapport de dilution :

$$RD = Q/q$$

Q : Volume d'eau (ml) ajouté pour obtenir la pâte saturée.

q : Volume d'eau extrait de la pâte saturée après la centrifugation.

VI.7.2 : Résultats et interprétations

VI.7.2.1 : Mesure du pH du sol

La mesure du pH de l'eau d'un sol permet de déterminer son état d'acidité ou d'alcalinité actuelle.

A l'échelle horizontale, tous les échantillons ont un pH alcalin avec des valeurs comprises entre 7,88 et 8,22. Verticalement cette alcalinité change aléatoirement pour certains échantillons, exemple de l'échantillon P15 qui est alcalin à la surface (0-20 cm) et devient plus alcalin dans la couche 20-40cm (**Figure n°50**).

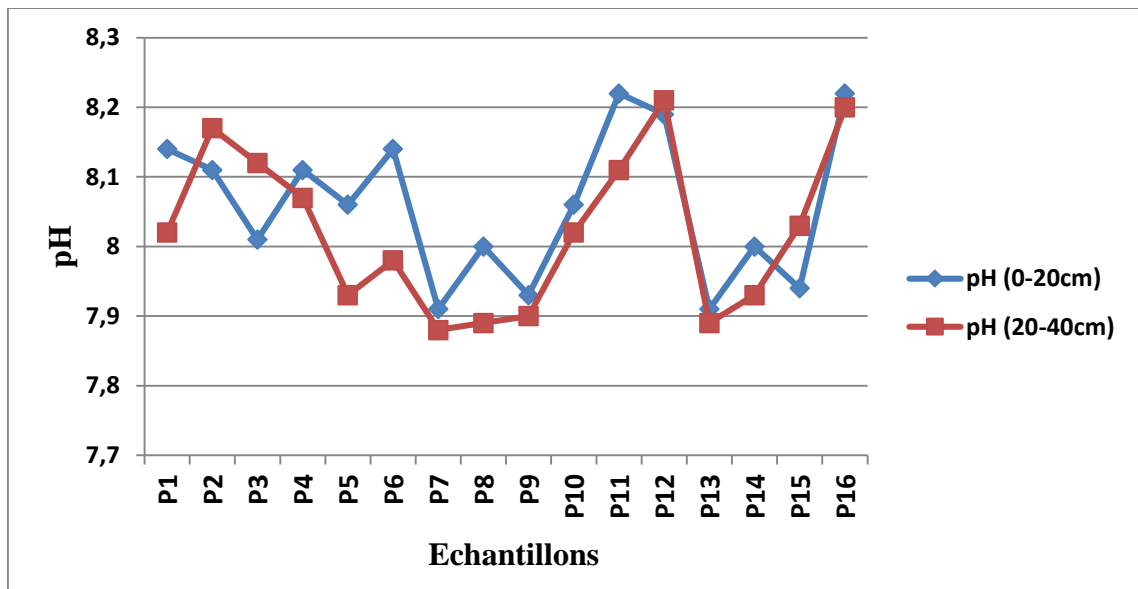


Figure n°50 : Variation du pH en fonction de la profondeur.

VI.7.2.2 : Conductivité électrique

La salinité d'un sol est déterminée par la conductivité électrique 1/5 c'est-à-dire la dissolution d'une fraction du sol en 5 fractions d'eau et après on passe à la conductivité électrique sur l'extrait de la pâte saturée. Dans notre étude nous avons mesuré la conductivité de la pâte saturée à raison qu'elle est proche de l'état réel du sol.

Horizontalement on remarque que les valeurs de la conductivité électrique de la pâte saturée du sol varient de 0.22 ds/m à 0.71 ds/m avec une moyenne de l'ordre de 0.27 ds/m. Ces valeurs de conductivité électrique nous permettent de classer ces sols dans la classe des sols non salins en fonction de la classification de l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) (**Tableau n°40**).

Verticalement, la courbe de l'évolution de la conductivité électrique vers la couche profonde (**Fig. n°51**), épouse parfaitement celle de la couche de surface. Les sols du périmètre de Bouchegouf sont des sols non salins latéralement et deviennent t peu salin verticalement, donc on a un effet de salinité sur la croissance des plantes cultivées.

Les sols étaient plus minéralisés avant leur mise en culture en irrigation, mais l'irrigation intensive est la conséquence de la diminution de la salinité par le lessivage des sels par les eaux percolées.

Tableau n°40 : Classification des sols selon le (FAO) Source : soil bulletin 39,1988.

Classe	Conductivité de l'extrait de sol saturé (ds/m)	Effet sur la croissance des plantes
Non salins	0-2	Effets de la salinité négligeables
Légèrement salins	2-4	La production de certains plantes sensibles peut être affectée (ex : tomate-haricot...)
Modérément salins	4-8	La production de la plupart des plantes est retreinte
Fortement salins	8-16	Seules les plantes tolérantes au sel produisent de façon satisfaisante (ex : asperge)
Très fortement salins	>16	Seul un très petit nombre de plantes tolérantes au sel produisent de façon satisfaisante

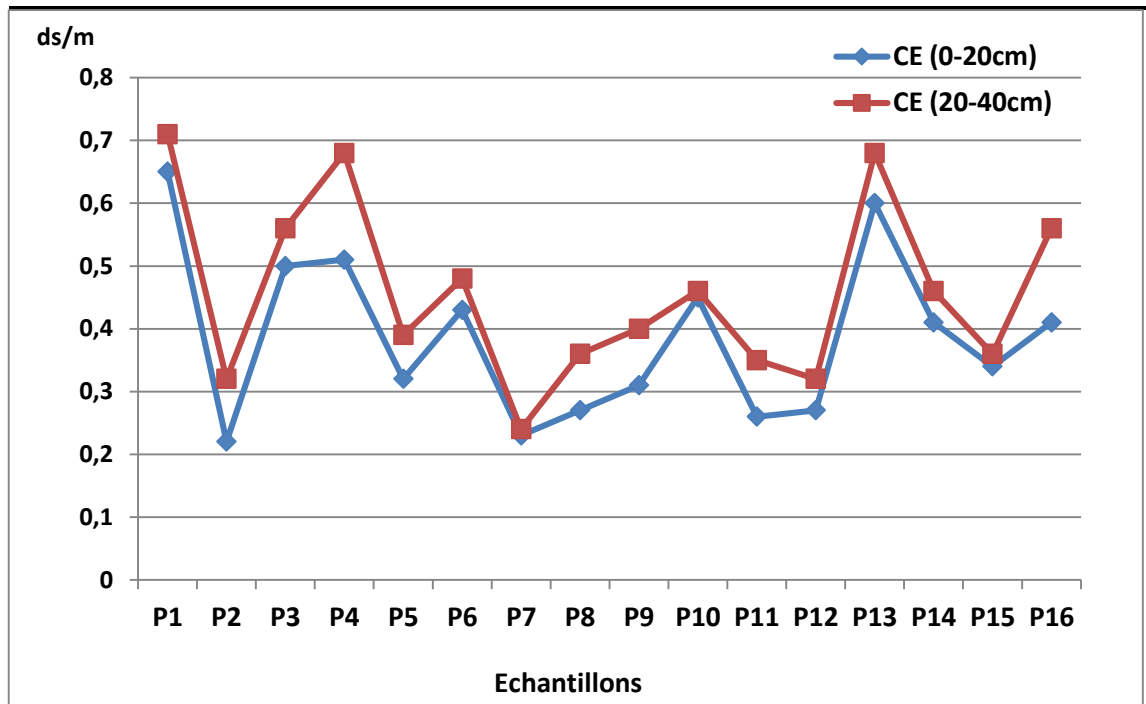


Figure n°51 : Variation de la conductivité électrique de la pâte saturée du sol dans le périmètre d'irrigation de Bouchegouf.

VI.7.3 : Répartition des éléments majeurs du sol

VI.7.3.1 : les anions

Les sols de Bouchegouf se caractérisent par des concentrations très fortes en chlorures par rapport aux concentrations des sulfates et des bicarbonates, ces concentrations varient horizontalement de 3.19 méq/100g jusqu'à un maximum de 7.79 méq/100g, à noter que nous avons une grande variation de ces teneurs en chlorures vers l'horizon 20-40 cm. Les sulfates sont représentés par des teneurs moyennes par rapport aux anions comprises entre 3.23 méq/100g et 5.34 méq/100g à la surface du sol (**Tableau n°41**). On rencontre les bicarbonates en faibles concentrations.

Généralement il n'y a pas de grande différence dans la répartition des anions entre les horizons échantillonnés 0-20 cm et 20-40 cm. La figure n°52 montre la variation des moyennes des concentrations des anions dans la couche de 0-40 cm en méq/100g pour tous les échantillons du sol prélevés.

Tableau n°41 : Intervalles des concentrations des anions.

Horizon	Cl ⁻ (méq/100g)			HCO ₃ ⁻ (méq/100g)			SO ₄ ²⁻ (méq/100g)		
	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy
0-20 cm	35,5	7	21.25	1.8	0.5	1.15	4.11	2.46	3.28
20-40 cm	31,9	7.1	19.5	1.6	0.4	1	5.34	3.23	4.28

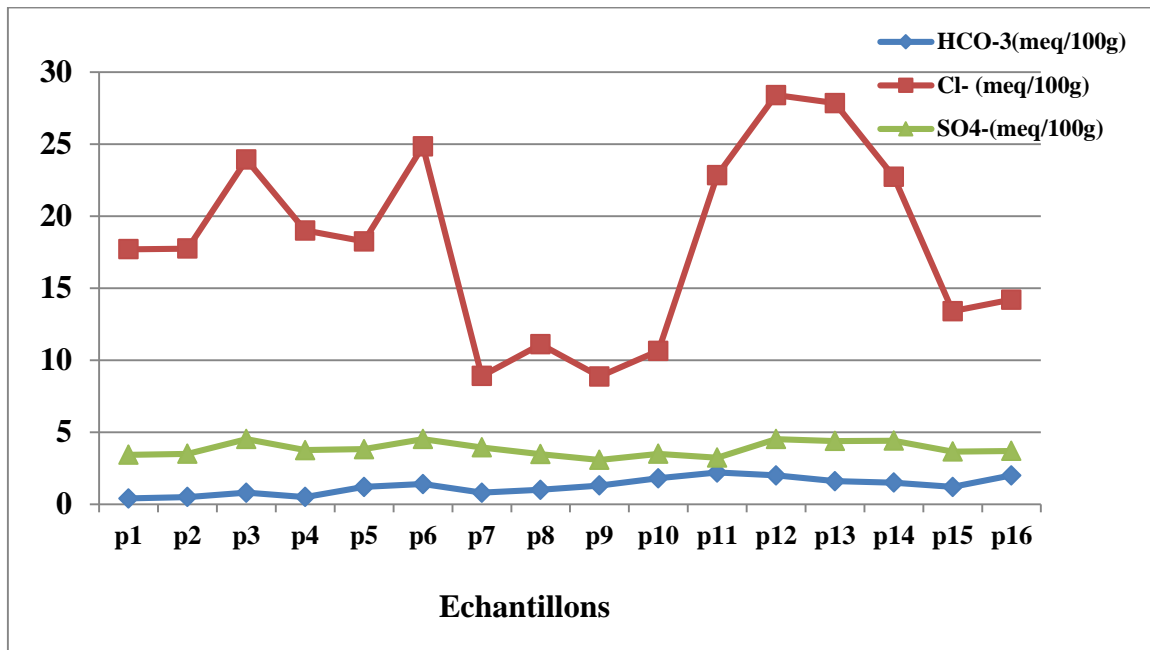


Figure n°52 : Variation des concentrations moyennes des anions du sol dans la couche 0-40cm.

VI.7.3.2 : Les cations

Le cation Ca²⁺ est l'élément le plus abondant dans tous les niveaux des profils prospectés 0-20 cm et 20-40 cm par rapport aux autres cations.

Horizontalement, il varie de 32.70 méq/100g à 36.05 méq/100g (tableau n°42). En deuxième lieu on trouve le Mg²⁺ et le k⁺ avec des concentrations assez proches mais moyennement élevés par rapport au Na⁺ à l'échelle verticale ainsi qu'horizontale (Fig. n°53).

Les sols de Bouchegouf sont des sols riches en potassium (la valeur moyenne des sols échantillonnés est de 1.52 méq/100g.

L'excès du potassium peut se transformer en sel et polluer ainsi les eaux souterraines par percolation et infiltration.

Tableau n°42 : Intervalles des concentrations des cations.

Horizon	Ca ⁺² (méq/100g)			Mg ⁺² (méq/100g)			Na ⁺ (méq/100g)			K ⁺ (méq/100g)		
	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy
0-20 cm	36	32.9	34.45	3.6	2.2	2.9	0.9	0.4	0.65	2.1	0.95	1.52
20-40 cm	36	33.2	34.6	3.6	2.6	3.1	1	0.3	0.65	2.1	0.9	1.5

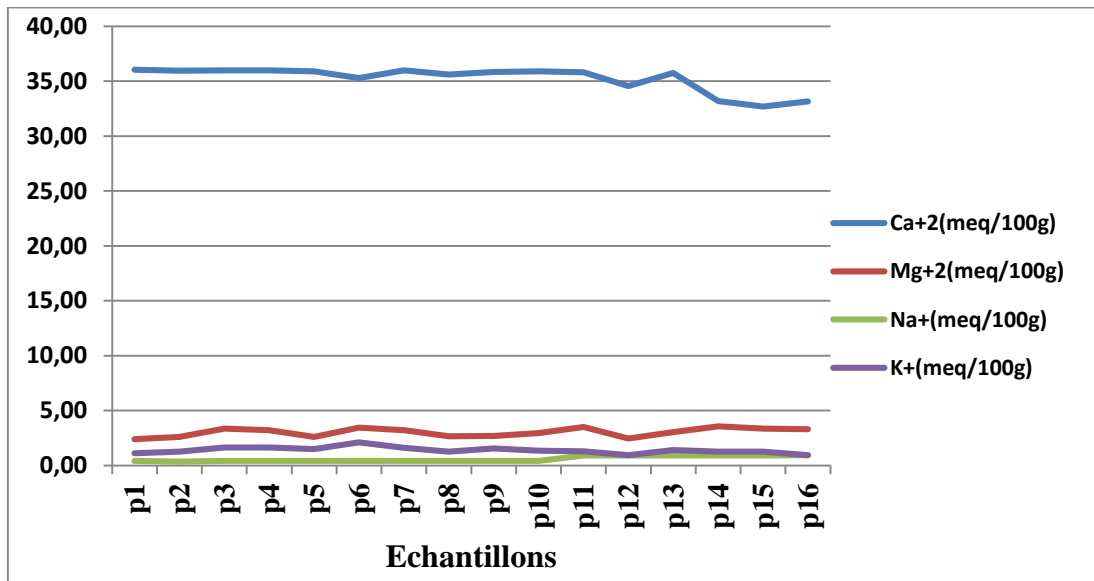


Figure n°53 : Variation des concentrations moyennes en méq/100g des cations du sol dans la couche (0 - 40cm).

VI.7.3.3 : Le phosphore total

A l'échelle horizontale, les concentrations de phosphore total dans les sols varient de 0.03 méq/100g à 0.20 méq/100g avec une moyenne de 0.26 méq/100g traduisant des sols très pauvres en phosphore. Verticalement, La courbe de L'évolution de phosphore vers la couche profonde (Fig. n°54), épouse parfaitement celle de la couche de surface.

La diminution du phosphore total par comparaison à la teneur moyenne des sols (de 0-20cm à 20-40cm) est la conséquence d'une irrigation intensive qui a engendré le lessivage des sols.

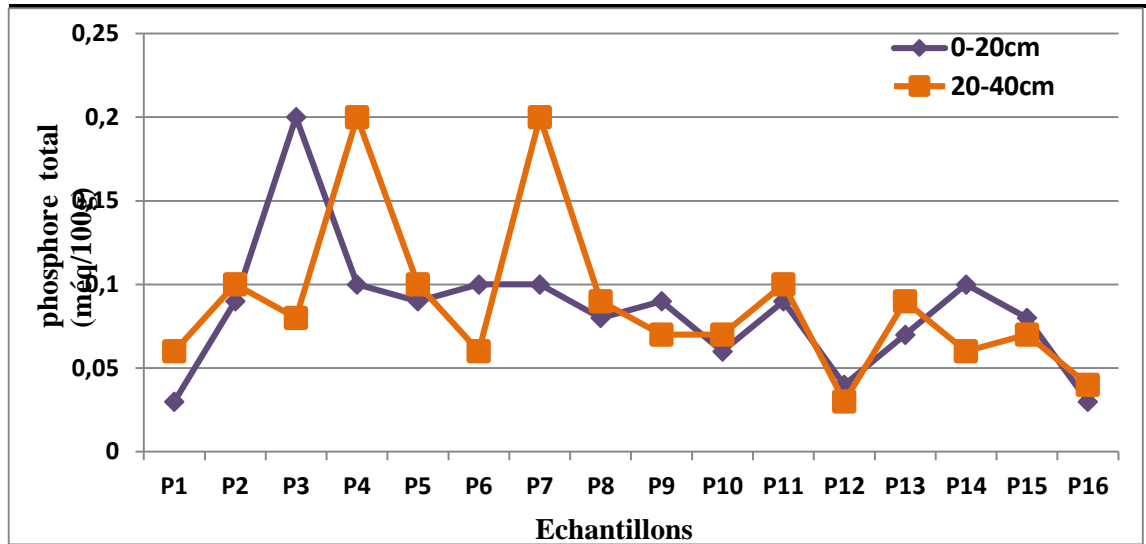


Figure n°54 : Valeurs du phosphore total (még/100g) des sols de Boucheouf.

VI.7.3.3 : La matière organique

Le taux de la matière organique enregistré dans l'horizon (0-20cm) des sols du périmètre est de 0.84% à 2.14% avec une moyenne égale à 1.48% (Fig. n°55). A l'opposé, l'horizon des sols (20-40 cm) présente un taux en matière organique fort, situé entre 0.62% et 2.72% avec une moyenne égale 1.64%. Cette évolution de la matière organique dans les sols après leur mise en irrigation est due d'une part, aux conditions d'hydromorphie qui engendrent un ralentissement de la minéralisation de la matière organique véhiculée par les eaux d'irrigation, et par conséquent son accumulation (GROSBELLET, 2008), d'autres part aux types de cultures (rotation maraichages-céréales).

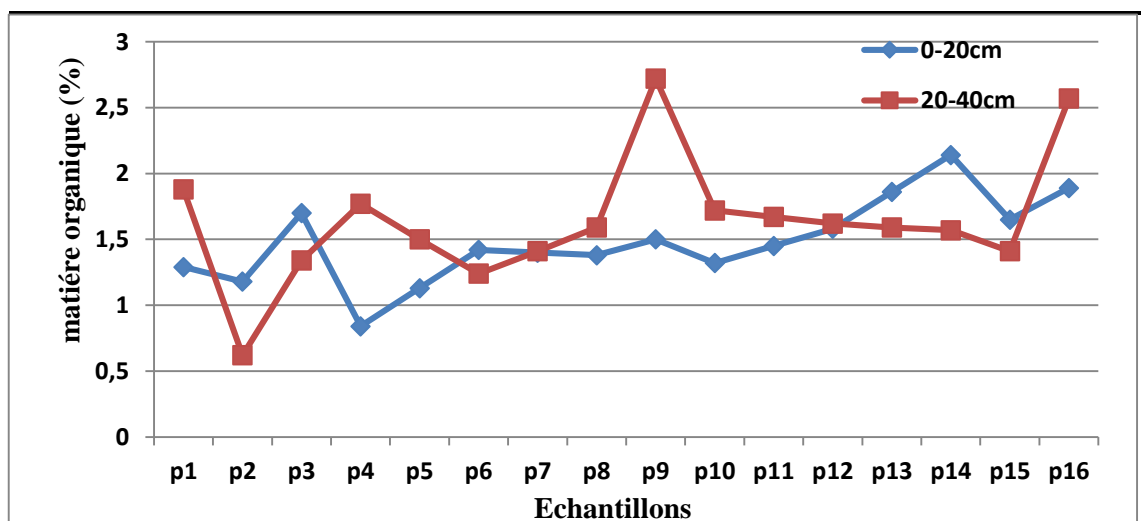


Figure n°55 : Valeurs de la matière organique (%) des sols du périmètre de Boucheouf.

VI.7.3.4 : Le rapport C/N

C'est un indicateur de l'activité biologique des sols. Il renseigne sur le degré d'évolution de la matière organique, l'activité biologique et le potentiel de fourniture d'azote par le sol (minéralisation).

Dans les sols cultivés, le rapport C/N s'abaisse davantage et traduit soit une bonne activité biologique qui conduit à la minéralisation de la matière organique (C/N inférieur à 10), soit une activité biologique réduite qui conduit à une humification (C/N supérieur à 10) (SOLTNER, 2000).

Le rapport C/N horizontalement est réparti entre 5.15 et 7.69, avec une moyenne de 6.63 exprimant des sols à bonne décomposition de la matière organique. Verticalement, on a remarqué une légère augmentation dans le rapport C/N avec une moyenne de 6.69. Le rapport entre la teneur en carbone et en azote est signe de ce que la matière organique est décomposée, le sol ayant la capacité de libérer de l'azote (**figure n°56**).

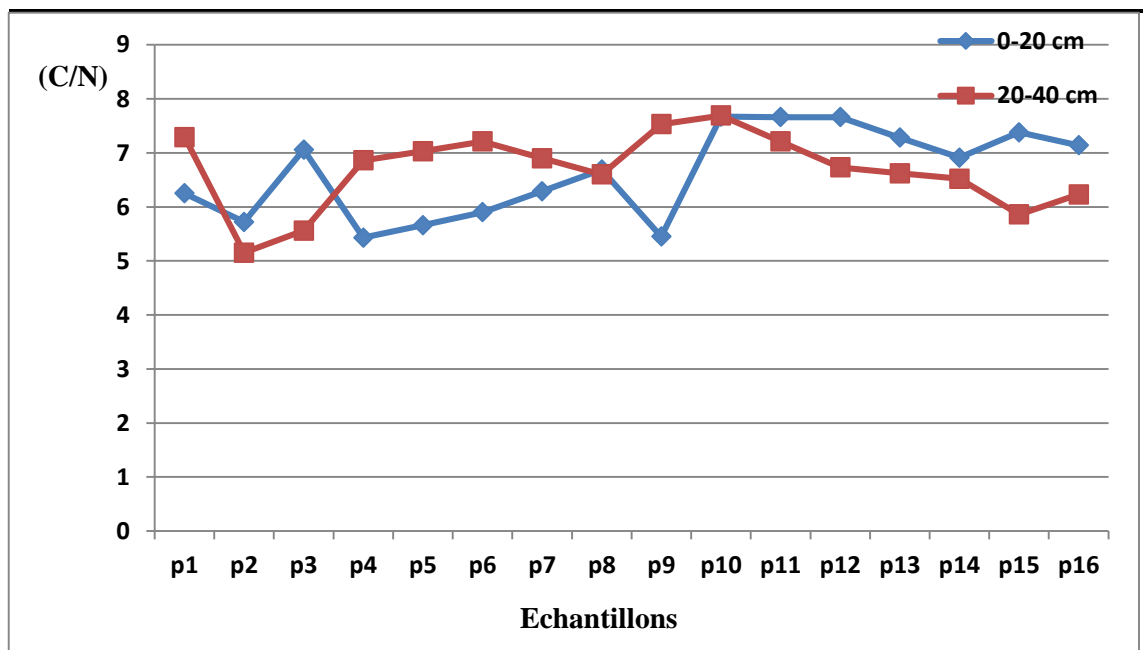


Figure n°56 : Le rapport (C/N) des sols du périmètre de Bouchegouf.

VI.8 : Contamination des sols par les éléments en traces (ETM) :

Il ressort que le plomb (Pb) est l'élément le plus fréquent, suivi par le Zinc (Zn) puis le Cadmium (Cd) et enfin le Cuivre (Cu) (**Tableau n°43**) ; mais sur le plan des stations, nous constatons que le site aval est plus pollué que les autres stations (**figure n°57**).

Tableau n°43 : Evaluation des éléments traces métalliques (en ppm) dans le sol du périmètre de Bouchegouf.

Elément / Stations	Pb	Cu	Cd	Zn
	P1	26,216	0,201	0,546
P2	26,270	0,202	0,544	0,091
P3	26,269	0,202	0,547	0,110
P4	26,216	0,199	0,551	0,099
P5	26,201	0,201	0,548	0,100
P6	26,694	0,219	0,547	0,125
P7	26,748	0,253	0,546	0,091
P8	26,545	0,301	0,547	0,098
P9	27,002	0,302	0,595	0,102
P10	28,451	0,403	0,543	0,124
P11	28,958	0,403	0,543	0,156
P12	29,274	0,404	0,611	0,156
P13	28,962	0,395	0,611	0,105
P14	29,283	0,402	0,648	0,110
P15	30,212	0,404	0,658	0,163
P16	30,534	0,404	0,658	0,187

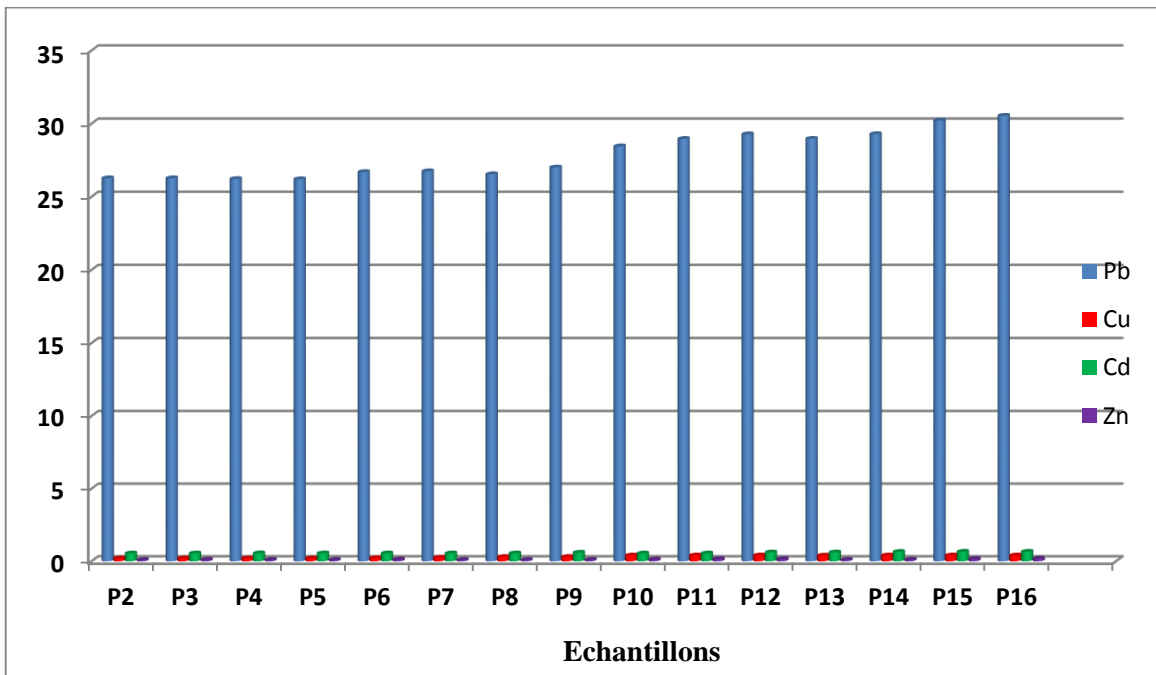


Figure n°57 : Variation des teneurs en ETM dans le sol du périmètre de Bouchegouf.

VI.9 : Eaux d'irrigation-sol

Afin d'étudier la relation entre la qualité des eaux d'irrigation et les sols irrigués par ces eaux, nous avons établi des courbes de conductivité de l'eau et la conductivité moyenne du sol, la figure n°58 montre que la courbe de la conductivité du sol suit la même allure que celle des eaux. Ceci traduit qu'il y a vraiment une influence de la qualité des eaux sur celle des sols lors de l'irrigation.

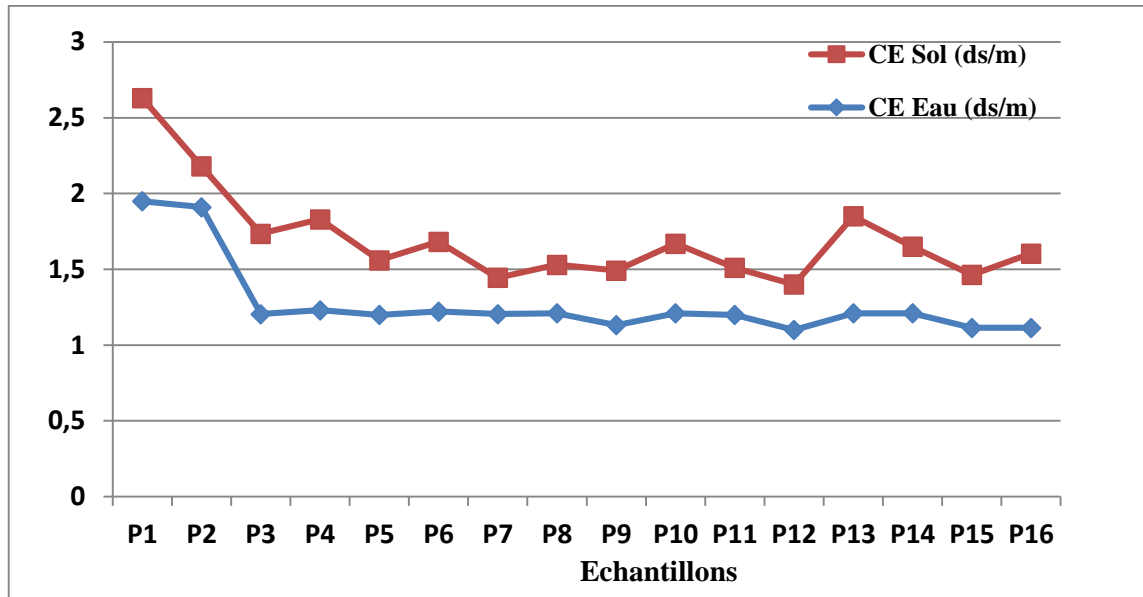


Figure n°58 : Relation eau-sol dans le périmètre d'irrigation de Bouchegouf

VI.10 : Taux de sodium échangeable (Ex changeable Sodium Pourcentage) ESP

Vu l'abondance de Na^+ dans les sols de Bouchegouf, nous avons jugé utile de calculer l'ESP :

Il est déterminé par le rapport $(\text{Na} * 100) / (\text{somme des cations})$.

$[\text{Na}^+]$: Concentration du sodium (méq/l).

A l'exception de certaines cultures, ce paramètre n'a pas d'effet direct sur la culture. Un taux de sodium échangeable supérieur à 15% (**Tableau n°44**) indique que le sol contient trop de sodium qui se manifeste par la réduction de la porosité du sol, ceci limite la circulation de l'eau et de l'air dans le sol.

Ceci va entraîner un stress hydrique même si on irrigue puisque l'eau n'arrive pas aux racines. De tels sols sont appelés sols sodiques. Une amélioration de ces sols (labour profond) est nécessaire avant leur exploitation.

Tableau n°44 : Classification des sols en fonction de l'ESP et la conductivité électrique (in Mermoud, 2006)

	Conductivité électrique (ds/m)	Taux de sodium échangeable (%)
Non salins	>4	< 15
Sols alcalins ou sodiques	<4	>15
Sols alcalino-salins	>4	>15

Les valeurs calculés de l'ESP sont représentés dans le tableau n°45 et figure n°59; d'après ces résultats nous avons presque 100% des échantillons du sol qui ont un ESP inférieur à 15 %, ce qui montre que le taux de sodium est très faible dans les sols du périmètre d'irrigation de Bouchegouf. Ces sols ont une CE et un ESP très faibles ce qui les classe dans la catégorie des sols non salins.

Tableau n°45 : Taux de sodium échangeable (%)

Echantillons	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
Taux de sodium échangeable (%)	0.062	0.05	0.062	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14

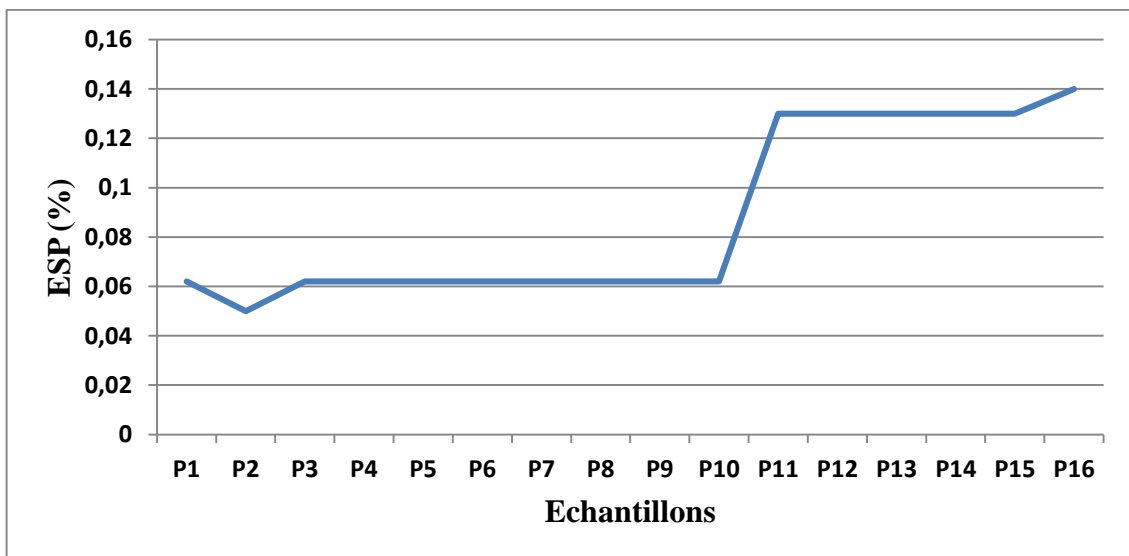


Figure n°59 : Variation des Taux de sodium échangeable (ESP) du sol.

VI.11 : Interprétation statistique des résultats**VI.11.1 : Analyse en composantes principales (ACP)**

Les résultats d'analyses chimiques du sol de la région de Bouchegouf ont fait l'objet de plusieurs analyses en composantes principales (ACP), à l'aide du logiciel Statistica (version 8) et qui représentent en 2 parties :

-analyse des eaux de surface et analyse des sols irriguées dans le périmètre d'irrigation de Bouchegouf, suivant trois axes : F1, F2 et F3 afin de déterminer l'origine des éléments traces responsables à la pollution du sol et l'effet d'irrigation sur la qualité du sol de la région.

Le but de cette analyse statistique (ACP) est de faire ressortir les différents points d'eau qui possèdent des concentrations élevées en éléments chimiques par rapport à l'ensemble de la plaine.

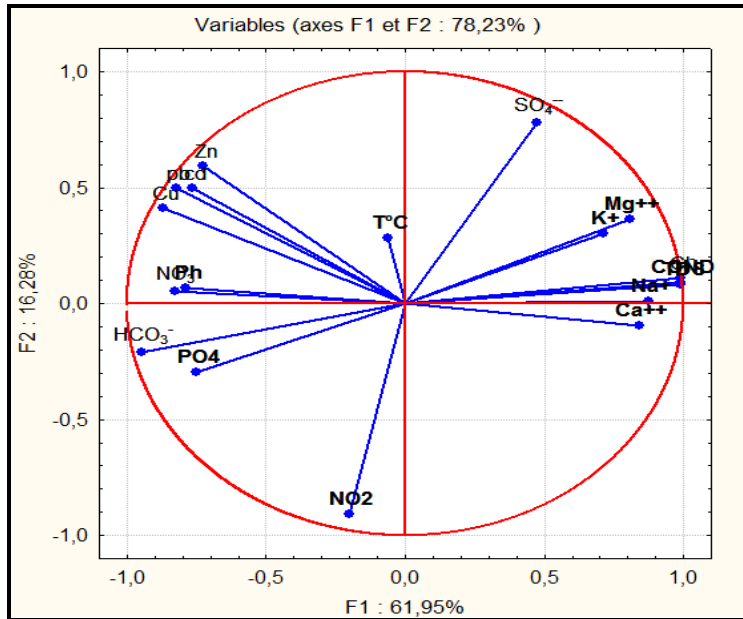
VI.11.1.1 : ACP des eaux de surface

Cette étude a été effectuée aux stations de l'Oued Seybouse et à celles de l'Oued Mellah. (08) échantillons sont utilisés pour expliquer la variation de 14 variables. La projection des variables a été effectuée sur les 2 axes avec une variance totale de 78.23%.

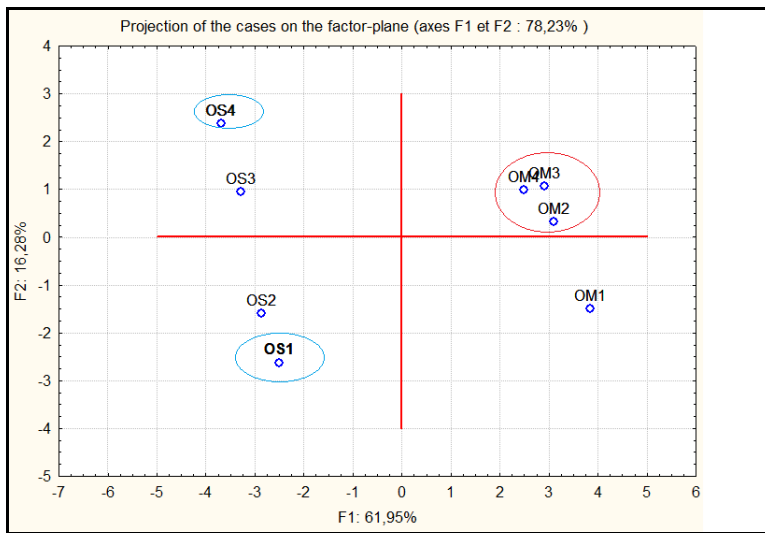
-Cercle F1-F2, plan F1-F2 (fig. n°60 a et b) : montre l'existence de deux groupes :

-L'un se présente sur l'axe F1 (61.95% de la variance) : présente le pôle de la salinité, avec une relation positive entre la conductivité, Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} et Ca^{2+} . La projection des individus montre que les éléments de la salinité sont liés aux eaux de l'oued Mellah (stations OM1, OM2, OM3 et OM4).

-L'autre se manifeste sur l'axe F2 (16.28% de la variance) indique deux évolutions, la première pour le Cu^{2+} et Zn^{2+} pour la station OS4. La deuxième pour les NO_2^- et PO_4^{3-} cet axe représente la pollution urbaine, il est représenté par les stations OS1 et OS2.



a - Cercle F1-F2



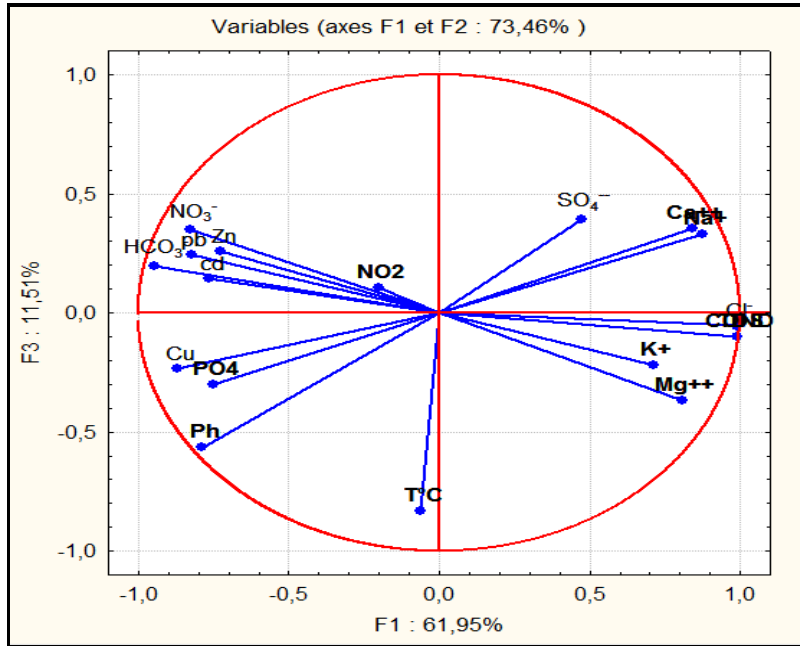
b - Plan F1-F2

Figure n°60 : ACP des analyses chimiques des eaux de surface selon les axes F1 et F2.

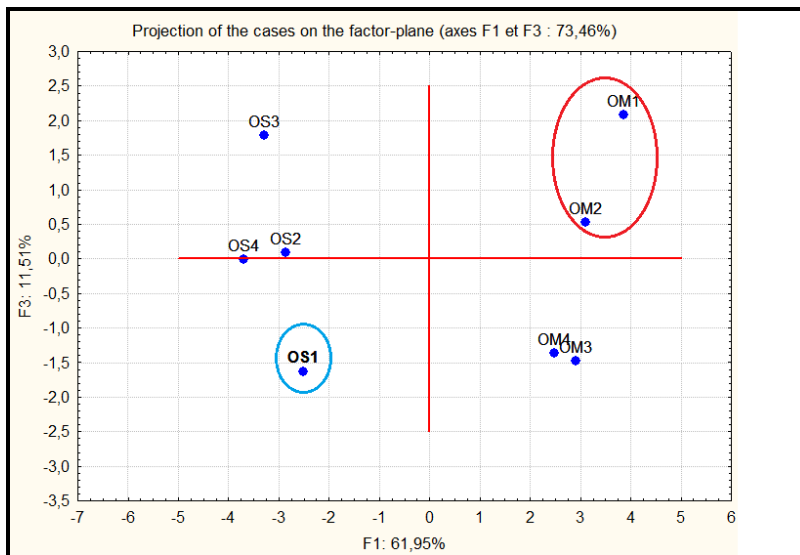
➤ Cercle F1-F3, Plan F1-F3 (figure 61 c et d) :

-L'axe F1(26.91% de la variance) regroupe les eaux fortement minéralisées présentées par Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} , Ca^{2+} et CE ; dans sa partie positive correspond aux points (OM1 et OM2), la partie négative montre que la corrélation entre Mg et K, c'est l'axe de la minéralisation.

Selon l'axe F3 (11.51% de la variance) deux groupes se présentent le premier sur la partie positive il regroupe (SO_4^{2-}) correspond au point (OM1) ; il oppose les eaux chargées en PO_4^{3-} et en Cu dans la partie négative correspond au point (OS1) ; on note que ces deux regroupements inversement proportionnels ont une origine différentes portés sur l'axe F3 de la pollution.



c - Cercle F1-F3



d - Plan F1-F3

Figure n°61: ACP des analyses chimiques des eaux de surface selon les axes F1 et F3

VI.11.1.2 : ACP des sols

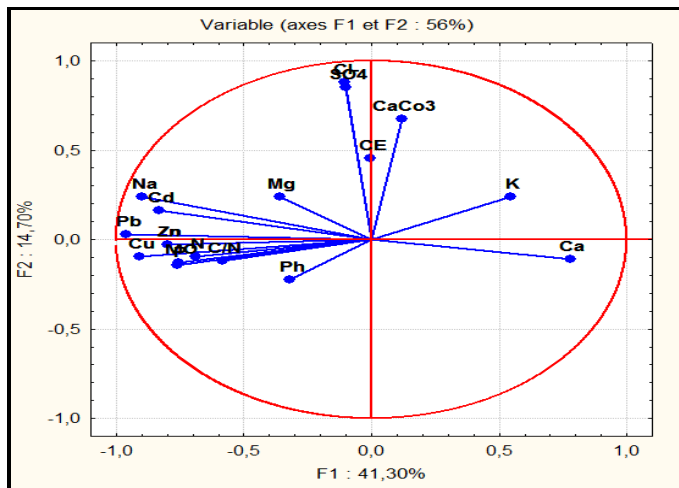
➤ **Cercle F1-F2, plan F1-F2 (figure 62 a et b) :** Le traitement a donné une inertie de 56 % pour les deux axes F1 et F2.

-L'axe F1 caractérise l'enrichissement en Ca^{2+} et en K^+ dans sa partie positive correspond aux sites (P2, P4 et P5), qui occupent l'extrême Sud Est de la zone d'étude.

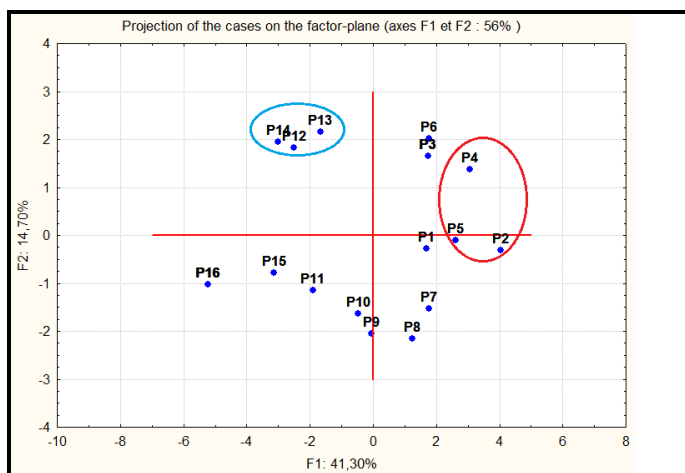
Le pôle négatif du cercle caractérise l'enrichissement du sol en métaux lourds provenant des rejets liquides tel que Zn, Pb, Cd, Cu correspond au plan des individus aux points (P14, P15 et P16), qui occupent l'extrême Nord de la zone d'étude.

L'axe F1, peut donc être considéré comme l'axe caractérisant la pollution dû aux rejets.

-L'axe F2 regroupe les sites fortement minéralisées présentées par Cl^- , SO_4^- et $CaCO_3$ dans sa partie positive correspond au plan des individus aux points (P3, P6 et P13), c'est l'axe de la minéralisation.



a - Cercle F1-F2



b - Plan F1-F2

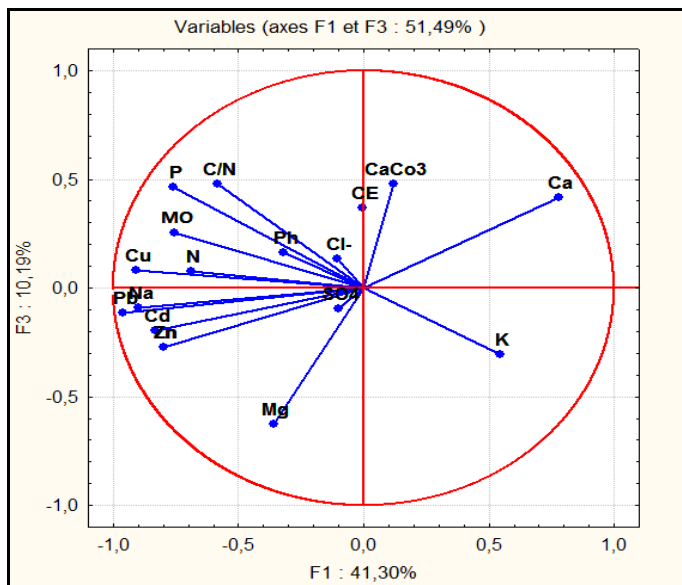
Figure n°62 : ACP des analyses chimiques du sol selon les axes F1 et F2.

➤ **Cercle F1-F3, plan F1-F3 (figure 63 c et d) :** Le traitement a donné une inertie de 51.49 % pour les deux axes F1 et F3 :

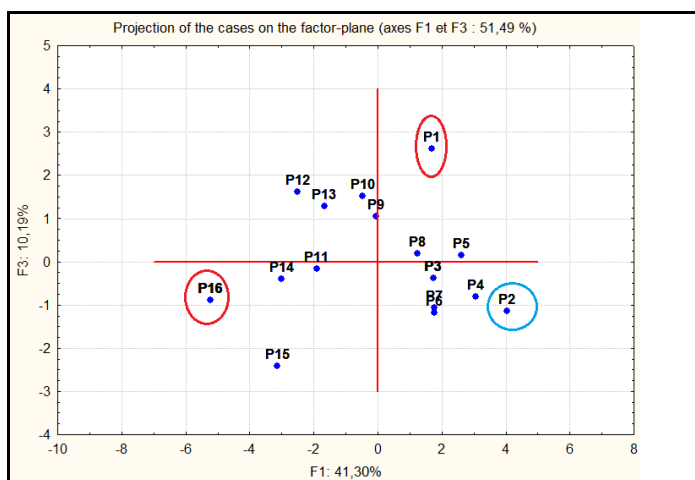
-Le pôle positif de l'axe F1 sur le cercle, montre toujours l'abondance des Ca^{2+} et K^+ matérialisés par le site P2 sur le plan des individus situé à l'extrême Sud de la zone d'étude. Le pôle négatif marque bien les métaux lourds Pb, Cd, Cu et Zn). La pollution en ces éléments est toujours d'origine naturelle, elle correspond au site P16 qui occupe l'aval de la zone d'étude.

F1 est considéré comme axe d'origine de la pollution.

-L'axe F3 regroupe les sols fortement minéralisées présentées par $CaCO_3$, Ca et CE dans sa partie positive correspond au point (P1), la partie négative montre que la corrélation entre Mg et K, c'est l'axe de la minéralisation.



c - Cercle F1-F3



d- Plan F1-F3

Figure n°63 : ACP des analyses chimiques du sol selon les axes F1 et F3

VI.12 : Conclusion

L'étude hydrochimique nous a permis de déterminer la qualité de ces eaux ainsi que leurs destinations appropriées. Nous constatons que ces eaux ne sont pas bonnes à la potabilité comparées aux normes de l'OMS, il faut d'abord les adoucir. Pour l'agriculture, ces eaux doivent être utilisées suivant des conditions spécifiques qui dépendent des types des sols et des types des plantes.

-Les eaux de surface de l'Oued Seybouse et l'Oued Mellah présentent des signes de dégradation quel que soit la période de prélèvement, puisque la majorité des paramètres analysés ont révélé des teneurs qui dépassent les normes Algériennes.

-Les eaux souterraines présentent des formations triasiques soit carbonatée ou calcaire et des formations salifères, avec une teneur des éléments chimiques généralement supérieures aux normes de l'OMS.

-Du point de vue facies, on a quatre types de facies dans notre zone d'étude (chloruré-calcique, chloruré-sodique, bicarbonaté-calcique, et sulfaté-sodique) avec la dominance des facies chimiques chloruré-calcique et chloruré-sodique.

-Les sols de Bouchegouf sont des sols très riches en Calcium et en Potassium et pauvre en sodium qui se caractérisent par une conductivité électrique de la pâte saturée inférieure à 4 ds/m traduite par un ESP supérieur à 15%. Ces sols ont une CE et un ESP très faibles ce qui les classe dans la catégorie des sols non salins.

- L'étude de l'interaction eau-sol traduit l'impact de qualité des eaux d'irrigation sur la qualité des sols.

- L'analyse statistique en composantes principales (ACP) suggère que les eaux de surface et les sols irrigués par ces eaux sont affectés par plusieurs processus de la pollution :

- naturelle due au lessivage des formations géologique et traduite par la forte salinité,
- agricole marquée par la forte concentration en nitrites.
- industrielle par la présence du Cd, Pb, Cu, et Zn qui sont rejetés par les différentes unités industrielles implantées dans la zone d'étude.
- urbaine marquée par la présence du PO₄ et NO₂ à des fortes concentrations.

CHAPITRE 7 : MODÉLISATION

VII : Modélisation de l'impact de l'irrigation sur le devenir salin et sodique des sols

VII.1 : Introduction

L'eau est une ressource indispensable, la terre ne se cultive pas sans eau, l'eau ne se gère pas sans la terre. Conditionnée par son grand cycle naturel (précipitations, évaporation, ruissellement, infiltration...), les liens entre l'eau, les sols et donc l'agriculture, sont indissociables.

Avec la probable augmentation des restrictions des volumes d'eau alloués à l'agriculture, l'irrigation est nécessaire pour répondre aux besoins des plantes. Le recours à l'irrigation est un choix stratégique pour le développement agricole. Cependant, aussi bien la quantité d'eau disponible que sa qualité affecte fondamentalement le sol et les cultures qui y sont cultivées. La présence des sels solubles dans l'eau d'irrigation et le pouvoir évaporateur de l'air dans les zones irriguées conduisent souvent à la salinisation des sols.

Les phénomènes de salinisation et de sodification (**Fig. n°64**) provoquent une dégradation des propriétés physiques, chimiques et biologiques qui ont des effets néfastes sur les cultures. Par ailleurs, la forte concentration de la solution du sol en sels solubles induit une augmentation de sa pression osmotique qui limite l'absorption de l'eau par les plantes. Certaines concentrations ioniques peuvent être à l'origine de phénomènes de toxicité pour les cultures, la salinisation et la sodification des sols sont la cause d'une faiblesse des rendements des cultures (Daoud et Halitim, 1994).

On différencie en général entre la salinisation primaire, liée à une présence naturelle relativement élevée de sels (à proximité des mers ou des océans, présence de dépôts de sels...), et la salinisation secondaire, dont le développement est étroitement lié à l'irrigation. C'est un processus de dégradation de la qualité des sols et des eaux qui s'auto entretient lorsque les eaux de drainage ou de nappe phréatique sont recyclées. La salinisation secondaire est la forme de dégradation la plus rapide dans les périmètres irrigués.

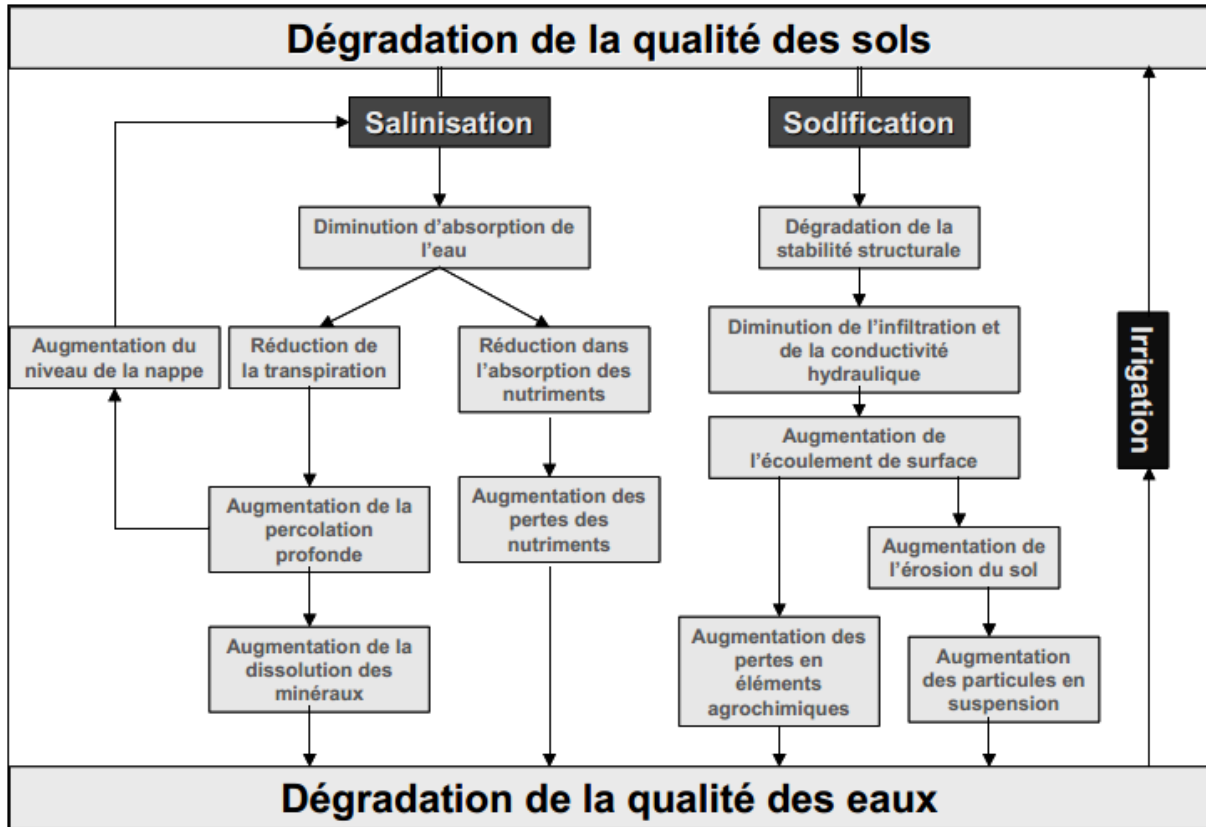


Figure n°64 : Processus de dégradation de la qualité des sols suite à l'irrigation

(Badraoui et al. 1997).

Le degré de salinisation d'une surface irriguée dépend donc de plusieurs facteurs dont (i) la qualité de l'eau d'irrigation, (ii) la qualité du sol, (iii) les conditions climatiques et (iv) le niveau de la nappe. Chacun de ces facteurs fait intervenir un certain nombre de paramètres. Le nombre total de paramètres qui interviennent dans le processus de salinisation est tellement important que la compréhension du phénomène nécessite le recours à la modélisation.

VII.2 : L'objectif d'étude

L'objectif de cette étude est de présenter un modèle de simulation du mouvement des sels dans les sols irrigués, le progiciel SMSS2, a été inspiré de celui développé par Laudelout (1994). Il est utilisé pour analyser les mouvements de sels en milieu saturé en conditions de drainage parfait. C'est un modèle simple permettant essentiellement la prévision de la salinité/sodicité d'un sol donné après sa mise en irrigation pendant une période prolongée dans le temps (après plusieurs années d'irrigation). Il est contrôlé par trois types de paramètres : les coefficients de sélectivité d'échange, le volume et la qualité d'eau d'irrigation.

La simulation pourrait être faite en posant l'une ou l'autre des deux questions suivantes :

- Quel serait l'état de salinité et de sodicité du sol après l'irrigation avec un volume d'eau donné, exprimé en nombre de volumes poreux ?
- Quel est le volume d'eau d'irrigation nécessaire pour réduire la salinité ou la sodicité du sol à une valeur souhaitable ?

VII.3 : Présentation du modèle SMSS2

Les bases du modèle SMSS2 de simulation de la salinisation et de la sodification des sols, suite à l'apport d'eau d'une qualité donnée, ont été présentées par Laudelout et al. (1994) ; Laudelout et Chiang (1995) et Lahlou et al. (1998). La démarche suit les étapes schématisées dans la figure n°65 (i) les équilibres physicochimiques entre les différentes espèces présentes dans le sol, (ii) l'échange ionique s'opérant entre la solution du sol et les colloïdes à charge négative (argiles) et (iii) les mouvements des solutés dans le sol.

Le modèle suppose que le mouvement de l'eau est à régime constant à travers un sol saturé, que le drainage est parfait et qu'il n'y a pas de remontée capillaire.

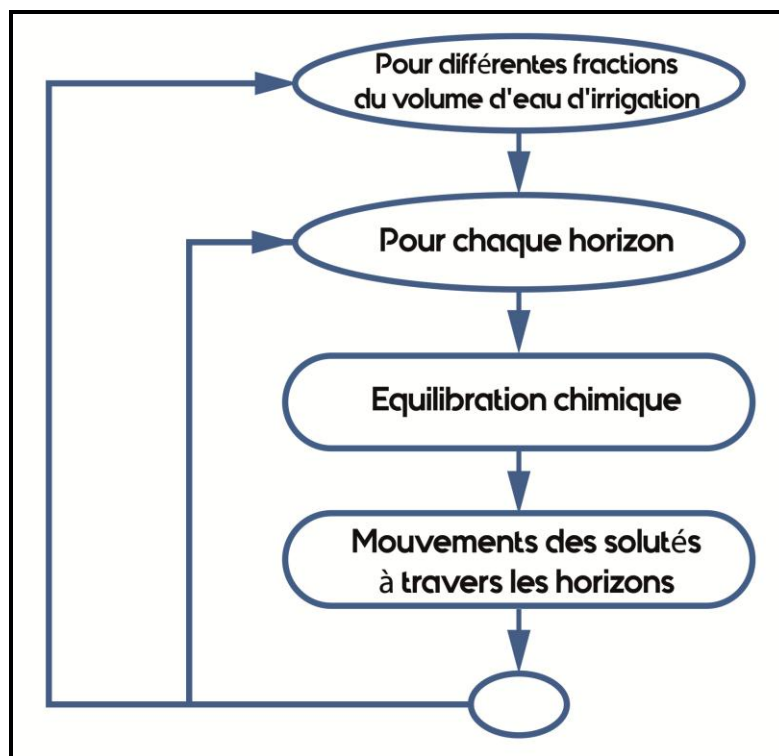


Figure n°65 : Organigramme de simulation du processus de salinisation / sodification des sols suite à l'irrigation par le modèle SMSS2 (Lahlou ; 1998).Modifié).

Le calcul des équilibres physico-chimiques dans le sol doit prendre en compte toutes les réactions d'échange cationique, de précipitation et de solubilisation du gypse et de la calcite. En supposant que les divers équilibres impliqués dans ces réactions soient atteints, on pourra calculer la concentration des divers ions qui se trouvent dans la solution du sol et définir ainsi le milieu ionique auquel seront exposées les racines de la plante ainsi que la composition qui va quitter les couches superficielles du sol.

Il est nécessaire d'alterner l'utilisation des activités pour l'application des conditions d'équilibres et l'utilisation des concentrations pour l'application des équations de conservation de masse (Laudelout et al. 1994). Le passage des concentrations aux activités (ou vice-versa) se fera par l'utilisation des coefficients d'activité. Ces derniers seront calculés soit par la relation de Davis (Butler, 1964) qui est dérivée de la loi de Debye & Hückel élargie (Garels and Christ, 1965):

- **Relation de Davis (I \leq 0.5):**

$$-\log(g_i) = Az_i^2 \left(\frac{\sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} - 0.3I \right)$$

Loi de Debye & Hückel élargie:

$$-\log(g_i) = \frac{Az_i^2 \sqrt{I}}{1 + a_i BI}$$

Avec:

I: la force ionique

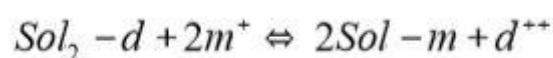
Z_i: est la charge de l'espèce chimique i ;

A: constante qui vaut 0.511 ;

B: constante qui vaut 0.33 ;

a_i: est un paramètre propre à l'ion (rayon hydraté).

La mise à l'équilibre d'un système Sol – Solution ou échange cationique (cas d'échange binaire) peut être représenté sous la forme d'une équation d'équilibre :



Avec:

Sol: désigne un équivalent de capacité d'échange du sol chargé négativement

d: désigne un cation divalent (Ca^{++} , Mg^{++})

m: désigne un cation monovalent (K^+ , Na^+)

La relation entre la composition de la phase de surface et celle de la solution peut s'exprimer soit graphiquement par un isotherme d'échange soit algébriquement par les valeurs du coefficient de sélectivité défini par :

$$K_v = \frac{\overline{M}_m}{\overline{M}_d} \frac{a_d}{a_m}$$

Fractions molaire dans la phase surface du cation m
←
→
Activité dans la solution d'équilibre du cation d

Avec K_v qui désigne le coefficient de sélectivité de Vanselow.

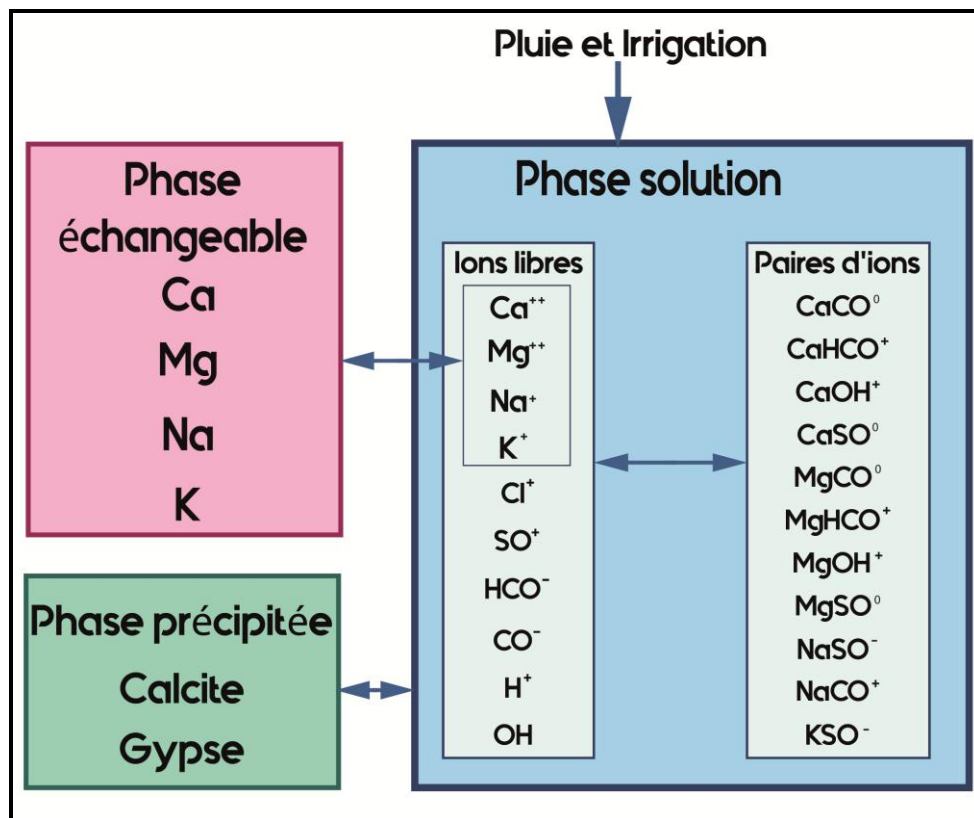


Figure n°66 : Processus chimiques inorganiques inclus dans le modèle, (Lahlou 1994) (Modifiée).

Le mouvement des solutés à travers le sol se fait soit par diffusion dans sa solution soit par transport convectif par l'eau qui percole à travers le profil. Ce mouvement de l'eau peut être à

vitesse constante ou, le plus souvent, variable. Le soluté peut réagir avec la phase solide du sol dans des réactions de solubilisation, de précipitation ou d'échange ionique. Le programme procède au calcul de la modification de la composition de la solution du sol lors de son passage à travers le profil, mais à chaque nœud du maillage établi on procède à un rééquilibrage de la concentration de la solution.

VII.4 : Utilisation du programme

La figure suivante présente les différentes fenêtres du programme, les trois premières fenêtres pour la saisie des données et les deux dernières pour la présentation des résultats.

VII.4.1 : Les inputs

- **Page 1 : Information** : accepte un texte qui servira de titre pour les sorties ;
- **Page 2 : Paramètres** : accepte les paramètres suivantes (**Fig. n°67**) :

a- Les coefficients de sélectivité d'échange Ca^{2+} - Mg^{2+} et divalents- Na^+ ;

b- Le nombre de couches théoriques formant le sol.

c- Le nombre de volumes poreux passant par le sol.

d- Option de calcul :

1- simulation pour un volume d'eau d'irrigation donnée ;

2- calcul du volume d'eau d'irrigation nécessaire pour atteindre une précision ;

Figure n°67 : Ecran de saisie des paramètres de sélectivité et de volume d'eau d'irrigation.

- **Page 3 : La qualité de l'eau d'irrigation (Fig.n°68) :** accepte les paramètres suivants :
 - a- la pression partielle en CO₂ (ATM) ou le pH de l'eau.
 - b- la concentration de Ca²⁺ en méq/l.
 - c- la concentration de Mg²⁺ en méq/l.
 - d- la concentration de Na⁺ en méq/l.
 - e- la concentration de Cl⁻ en méq/l.
 - f- la concentration de SO₄²⁻ en méq/l.
 - g- l'alcalinité de l'eau en méq/l.

Figure n°68 : Ecran de saisie des caractéristiques de l'eau d'irrigation.

- **Page 4 : horizons (Fig. n°69) :** accepte les paramètres globales suivants :
 - l'unité de mesure de la solution du sol : en méq/l ou en méq/100g ;
 - et pour chaque horizon les paramètres suivants :
 - le nombre de couches ;
 - le rapport sol sec/solution en g/l ;

- La pression partielle en CO₂ (ATM) ou le ph de la solution ;
- L'état initial des bases échangeables ;
- L'état initial de la garniture cationique de l'extrait de la pâte saturée en méq/100g ;
- Le contenu en gypse et en calcite en % ;

✎ Simulation du mouvement des solutés dans le sol

Fichier Calculs Quitter

Paramètres Eau d'irrigation Horizons Résultats Graphique

Fixé

pH Unité (Solution du sol)

Pression partielle en CO₂ meq / 100g

meq / l

Ajouter un horizon

	Nb Couches	pH / Press.	Rapp. Sol sel	Ca_S	Mg_S	Na_S	Cl_S	SO4_S	Ca_E	Mg_E	Na (Surface)	Gypse %	Calcite %	Alcalinité
Horizon 1														
Horizon 2														

Figure n°69 : Ecran de saisie des données sur les caractéristiques chimiques initiales du profile

VII.4.2 : Les outputs

- Page 5 : Tableau des résultats pouvant être copié ou imprimé (Fig. n°70) ;

✎ Simulation du mouvement des solutés dans le sol

Fichier Calculs Quitter

Paramètres Eau d'irrigation Horizons Résultats Graphique

V.P.	Horizon	CE (ds/m)	ESP	SAR (méq/l)	Ca (Sol méq/l)	Mg (Sol méq/l)	Na (Sol méq/l)	Cl (Sol méq/l)	SO4 (Sol méq/l)	Ca (Surf méq)	Mg (Surf méq)	Na (Surf méq)	Gypse (%)	Calcite (%)	Carbo	FNorm
0,00	1	1,00	4,65	0,00	9,89	1,80	0,00	7,31	3,40	339,07	0,00	16,53	0,00	280,87	1,09	-3,23
0,00	2	1,55	64,57	0,00	12,13	5,97	0,00	12,96	4,20	13,93	0,00	25,37	0,00	288,65	1,04	-3,23
0,00	2	1,55	64,57	0,00	12,13	5,97	0,00	12,96	4,20	13,93	0,00	25,37	0,00	288,65	1,04	-3,23
0,50	1	1,37	23,87	0,00	12,66	3,28	0,00	9,44	5,58	270,72	0,00	84,88	0,00	282,81	1,03	-3,23
0,50	2	1,44	64,57	0,00	12,20	4,62	0,00	11,00	4,89	13,93	0,00	25,37	0,00	288,74	1,04	-3,23
1,00	1	1,55	43,09	0,00	14,05	4,02	0,00	10,51	6,66	202,37	0,00	153,23	0,00	284,75	1,00	-3,23
1,00	2	1,48	64,57	0,00	12,93	4,32	0,00	10,55	5,78	13,93	0,00	25,37	0,00	288,84	1,03	-3,23
1,50	1	1,64	62,31	0,00	14,75	4,39	0,00	11,05	7,21	134,02	0,00	221,58	0,00	286,69	0,99	-3,23
1,50	2	1,54	64,57	0,00	13,65	4,36	0,00	10,60	6,49	13,93	0,00	25,37	0,00	288,93	1,02	-3,23
2,00	1	1,69	81,53	0,00	15,10	4,58	0,00	11,31	7,48	65,66	0,00	289,94	0,00	288,63	0,99	-3,23
2,00	2	1,60	64,57	0,00	14,18	4,47	0,00	10,76	6,98	13,93	0,00	25,37	0,00	289,02	1,01	-3,23
2,50	1	1,71	100,00	0,05	14,98	4,67	0,31	11,46	7,61	0,00	0,00	355,60	0,00	290,56	0,99	-3,23
2,50	2	1,64	68,31	0,00	14,54	4,57	0,00	10,91	7,30	12,46	0,00	26,84	0,00	289,12	1,00	-3,23
3,00	1	1,78	100,00	1,60	7,97	4,71	8,07	11,85	7,68	0,00	0,00	355,60	0,00	292,21	1,33	-3,23
3,00	2	1,68	100,00	0,47	12,21	4,64	2,72	11,10	7,49	0,00	0,00	39,30	0,00	289,29	1,08	-3,23
3,50	1	1,84	100,00	2,73	4,83	4,74	11,95	12,23	7,72	0,00	0,00	355,60	0,00	293,69	1,68	-3,23
3,50	2	1,73	100,00	1,45	8,17	4,69	7,33	11,39	7,60	0,00	0,00	39,30	0,00	289,46	1,31	-3,23
4,00	1	1,90	100,00	3,42	3,49	4,75	13,89	12,53	7,73	0,00	0,00	355,60	0,00	295,07	1,98	-3,23
4,00	2	1,79	100,00	2,35	5,50	4,72	10,61	11,70	7,67	0,00	0,00	39,30	0,00	289,62	1,58	-3,23
4,50	1	1,93	100,00	3,80	2,90	4,75	14,86	12,72	7,74	0,00	0,00	355,60	0,00	296,41	2,16	-3,23
4,50	2	1,84	100,00	3,05	3,96	4,74	12,74	11,99	7,70	0,00	0,00	39,30	0,00	289,74	1,85	-3,23
5,00	1	1,95	100,00	3,99	2,63	4,76	15,35	12,83	7,75	0,00	0,00	355,60	0,00	297,75	2,27	-3,23
5,00	2	1,88	100,00	3,54	3,13	4,75	14,04	12,23	7,73	0,00	0,00	39,30	0,00	289,82	2,08	-3,23
5,50	1	1,96	100,00	4,09	2,50	4,76	15,59	12,89	7,75	0,00	0,00	355,60	0,00	299,08	2,33	-3,23
5,50	2	1,91	100,00	3,84	2,69	4,75	14,81	12,39	7,74	0,00	0,00	39,30	0,00	289,88	2,24	-3,23
6,00	1	1,96	100,00	4,14	2,44	4,76	15,71	12,92	7,75	0,00	0,00	355,60	0,00	300,41	2,36	-3,23
6,00	2	1,93	100,00	4,02	2,45	4,76	15,26	12,50	7,74	0,00	0,00	39,30	0,00	289,93	2,35	-3,23
6,50	1	1,97	100,00	4,16	2,41	4,76	15,77	12,93	7,75	0,00	0,00	355,60	0,00	301,74	2,37	-3,23
6,50	2	1,94	100,00	4,12	2,33	4,76	15,52	12,56	7,75	0,00	0,00	39,30	0,00	289,98	2,41	-3,23
7,00	1	1,97	100,00	4,18	2,39	4,76	15,80	12,94	7,75	0,00	0,00	355,60	0,00	303,07	2,38	-3,23
7,00	2	1,94	100,00	4,18	2,26	4,76	15,66	12,60	7,75	0,00	0,00	39,30	0,00	290,03	2,45	-3,23

Figure n°70 : présentation tableau des résultats de la simulation.

- **Page 6** : Des graphiques d'évolution du sol en fonction de la profondeur, des éléments chimiques ou des horizons (**Fig. n°71**) : des graphiques montrant par horizon l'évolution de la conductivité électrique, de la sodicité exprimée en termes de SAR (taux d'adsorption du sodium) ou d'ESP (Pourcentage de Sodium Echangeable).

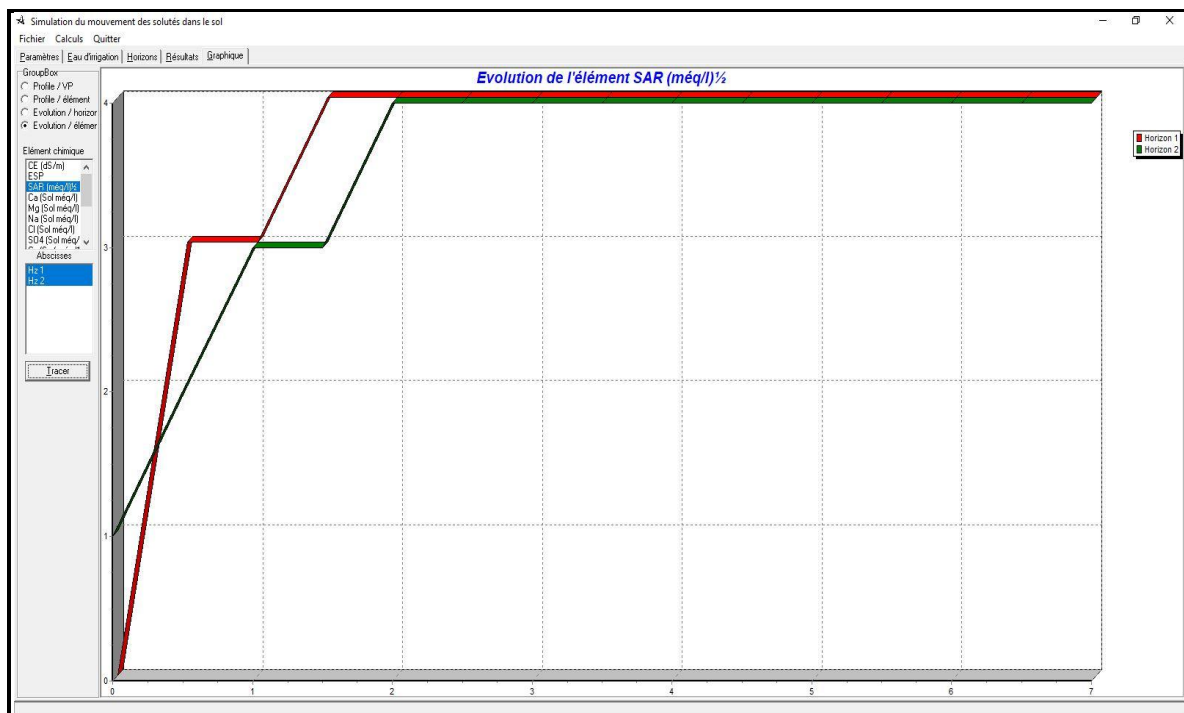


Figure n°71 : présentation graphique des résultats de la simulation.

VII.5 : Validation de modèle

La validation de ce modèle a été réalisée en utilisant les données de terrain qui proviennent de deux parcelles dans le périmètre irrigué de la plaine de Bouchegouf (W.Guelma) sur le site d'étude situé à la confluence des Oueds Mellah-Seybouse, cultivées en tomate et suivies durant une campagne agricole. Des échantillons de sols sur deux profondeurs (0-20 cm et 20-40cm) ont été prélevés avant et après chaque irrigation, puis analysés au laboratoire.

Des mesures sur les caractéristiques physiques du sol ont été réalisées au début de la campagne agricole (Juin 2015). Quant aux caractéristiques chimiques de la solution du sol et du complexe d'échange, elles ont été mesurées pour chaque prélèvement durant le cycle de la culture (chapitre 6).

Le modèle en application du progiciel SMSS2, a été validé en utilisant les données de terrain des deux parcelles témoins situées dans le périmètre irrigué de la plaine de

Bougegouf (**tableau n°46 et 47**), elle dispose d'un périmètre irrigué à l'eau de surface (Oued Seybouse et Oued El Mellah) plus chargée en sels ; ou utilisant l'eau de la nappe (peu minéralisée) (**tableau n°48**). Cet exemple illustre l'utilisation de ce modèle pour comparer l'impact de l'irrigation avec les deux types d'eaux sur le sol.

Tableau n°46 : Composition des horizons du sol et de sa surface dans le périmètre irrigué de Bougegouf (Juin 2015) (sol non salé).

Solution (még/100g)									Surface (még/100g)				
Horizon	NB	pH	Rapp Solution/sol	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Gypse	Calcite
1	1	7.91	2285	6.01	1.02	3.65	10.2	3.82	35.9	3.1	0,4	0	281.3
2	1	7.88	2114	4.03	4.98	5.2	7.8	4.08	36.1	3.3	0,4	0	289.1

Tableau n°47 : Composition des horizons du sol et de sa surface dans le périmètre irrigué de Bougegouf (Juin 2015) (sol peu salée : P8 et P9).

(Solution még/100g)									(Surface még/100g)				
Horizon	NB	pH	Rapp	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Gypse	Calcite
1	1	8,14	2316	7,2	1,11	3,69	7	3,65	36	2,2	0,4	0	376,2
2	1	8,02	2116	3,79	5,31	5,2	28,4	3,23	36,1	2,6	0,4	0	388,2

Tableau n°48 : Caractéristiques chimiques des eaux d'irrigation de la plaine de Bougegouf (Juin 2015)

Paramètres	Eau nappe	Eau Oued Seybouse	Eau Oued Mellah
pH	7.63	8.22	8.01
Ca ²⁺ (még/l)	8.41	6.25	7.32
Mg ²⁺ (még/l)	4.76	4.36	6.11
Na ⁺ + K ⁺ (még/l)	15.83	10.45	24.45
Cl ⁻ (még/l)	14.38	10.17	24.77
SO ₄ ²⁻ (még/l)	7.75	9.79	6.01
HCO ₃ ⁻ (még/l)	5.17	3.59	2.96
CE (ds/m)	1.454	1.138	1.935
SAR	3.23	4.30	9.35

VII.6 : Résultats de la simulation

Le tableau n°49(a, b et c) et Les figures n°72, 73, 74, 75, 76 et 78 présentent les résultats de ces deux simulations respectivement, les abscisses représentent la quantité d'eau d'irrigation. L'unité du volume d'eau d'irrigation utilisée est le volume porale (VP) (un volume porale étant la quantité d'eau nécessaire pour remplir tous les pores d'un sol donné). Nous avons sélectionné une simulation avec 7 volumes poraux qui correspond en générale à l'équivalent des irrigations qui s'effectuent durant une campagne agricole.

Tableau n°49 : Tableau de sortie du programme. Evolution des paramètres de sol après un apport de 7 volumes poraux

(a) Irrigation des sols salés avec l'eau de la nappe													
				Sol (méq/l)					Bases échangeables (méq/100g)				
Horizon	CE (dS/m)	ESP (dans/m)	SAR (méq/l)	Ca²⁺	Mg²⁺	Na⁺	Cl⁻	SO₄²⁻	Ca²⁺	Mg²⁺	Na⁺	Gypse%	Calcite%
1	2.29	1.04	2.81	8.24	4.27	14.21	13.39	7.2	36	2.2	0,4	0	376.2
2	2.22	1.02	2.71	7.71	4.58	13.59	15.75	6.72	36.1	2.6	0,4	0	288.2

(b) Irrigation des sols non salés avec l'eau de l'Oued Seybouse													
				(Solution méq/l)					Bases échangeables (méq/100g)				
Horizon	CE (dS/m)	ESP (dans/m)	SAR (méq/l)	Ca²⁺	Mg²⁺	Na⁺	Cl⁻	SO₄⁻	Ca²⁺	Mg²⁺	Na⁺	Gypse%	Calcite%
1	1.56	1.02	2.10	5.55	3.91	8.84	10.17	8.99	35.9	3.1	0,4	0	281.3
2	1.66	1.01	2.05	5.93	4.22	9.29	9.85	8.56	36.1	3.3	0,4	0	289.1

(c) Irrigation des sols non salés avec l'eau de l'Oued Mellah													
				Solution (még/l)					Bases échangeables (még/100g)				
Horizon	CE (dS/m)	ESP (dans/m)	SAR (még/l)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Gypse %	Calcite %
1	2.93	1.02	4.26	7.14	5.43	21.67	22.82	5.71	35.9	3.1	0,4	0	281.3
2	2.82	1.01	4.46	6.79	5.62	20.49	21.53	5.60	36.1	3.3	0,4	0	289.1

- On constate que l'irrigation avec l'eau de la nappe tend à augmenter la salinité du sol (augmentation de la conductivité électrique et du SAR).
- les valeurs de la conductivité électrique augmentent entre 0.95 jusqu'à 2.49 dS/m, après 0.5 volume poral (fig.n°72 et 73 et 74).

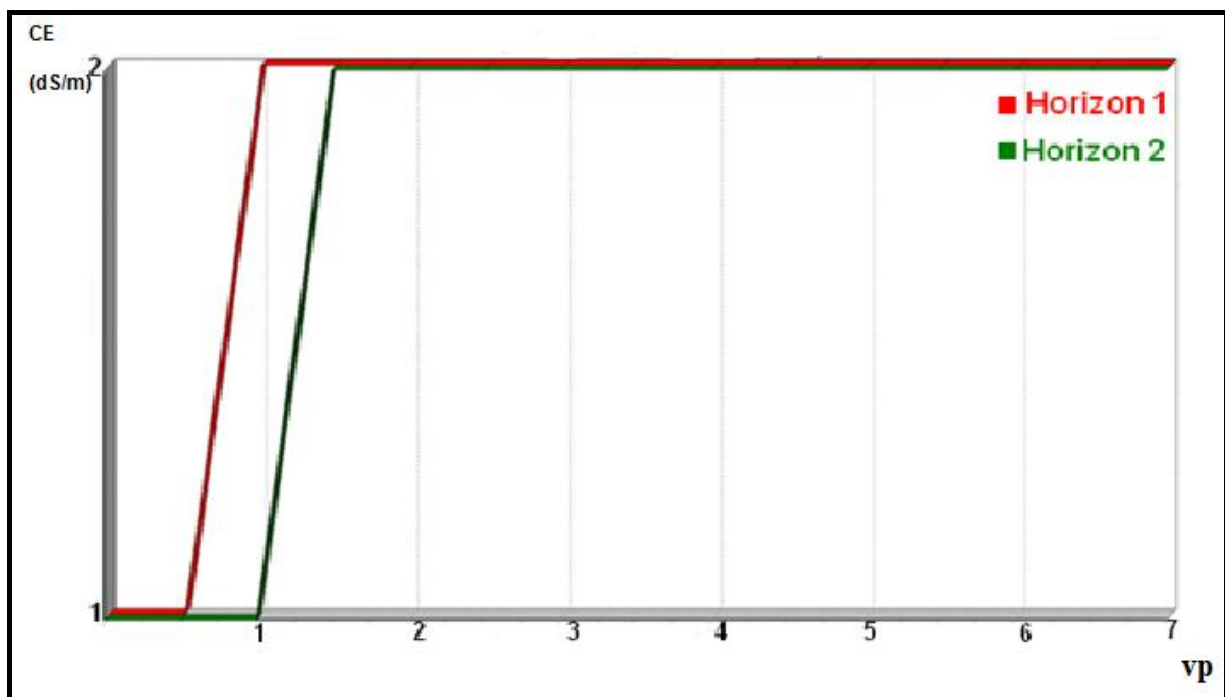


Figure n°72 : Simulation de l'irrigation du sol salé par l'eau de la nappe : évolution de la conductivité électrique.

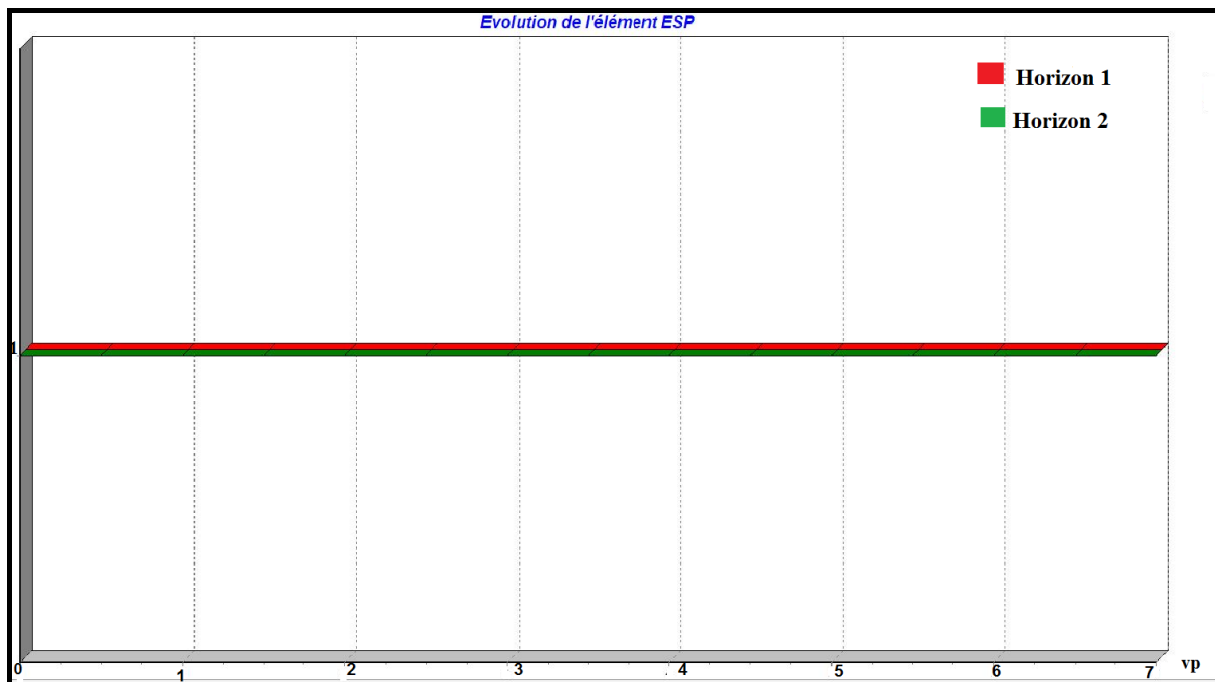


Figure n°73 : Simulation de l'irrigation du sol salé par l'eau de la nappe : évolution de l'ESP.

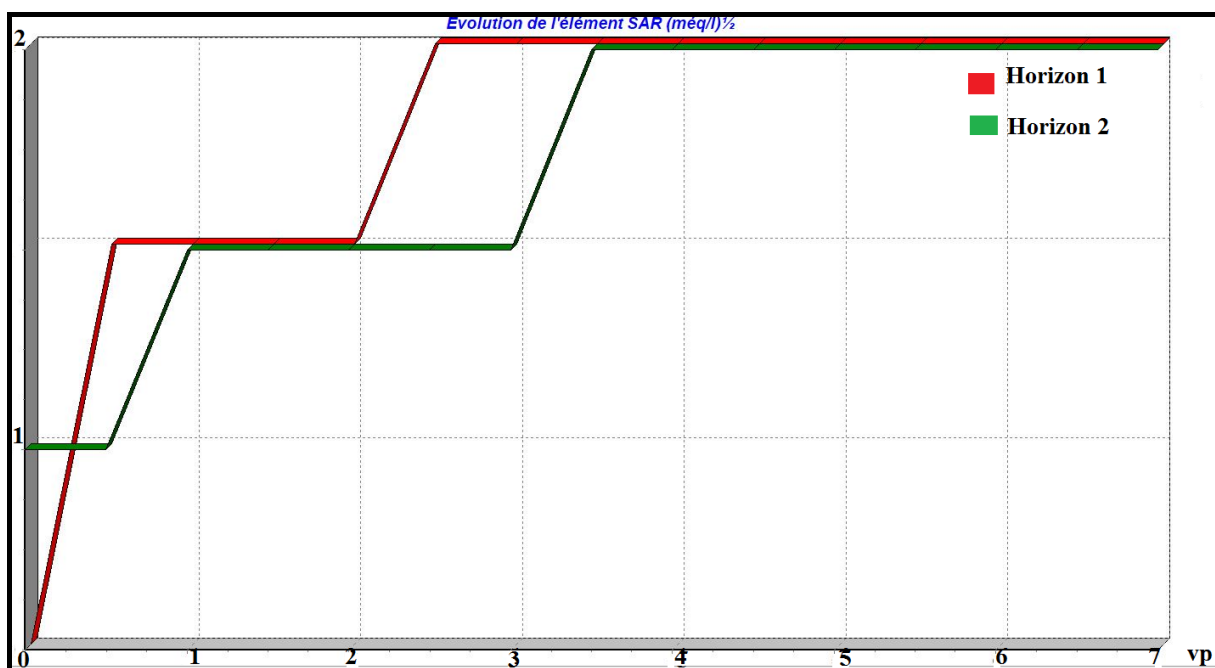


Figure n°74 : Simulation de l'irrigation du sol salé par l'eau de la nappe : évolution du SAR.

- l'irrigation avec l'eau de l'Oued Seybouse augmente encore plus la salinité du sol (augmentation de la conductivité électrique : CE de 0.83 dS/m jusqu'à 1.80 dS/m après 0.5 volume poral) (Figure n°75, 76 et 77).

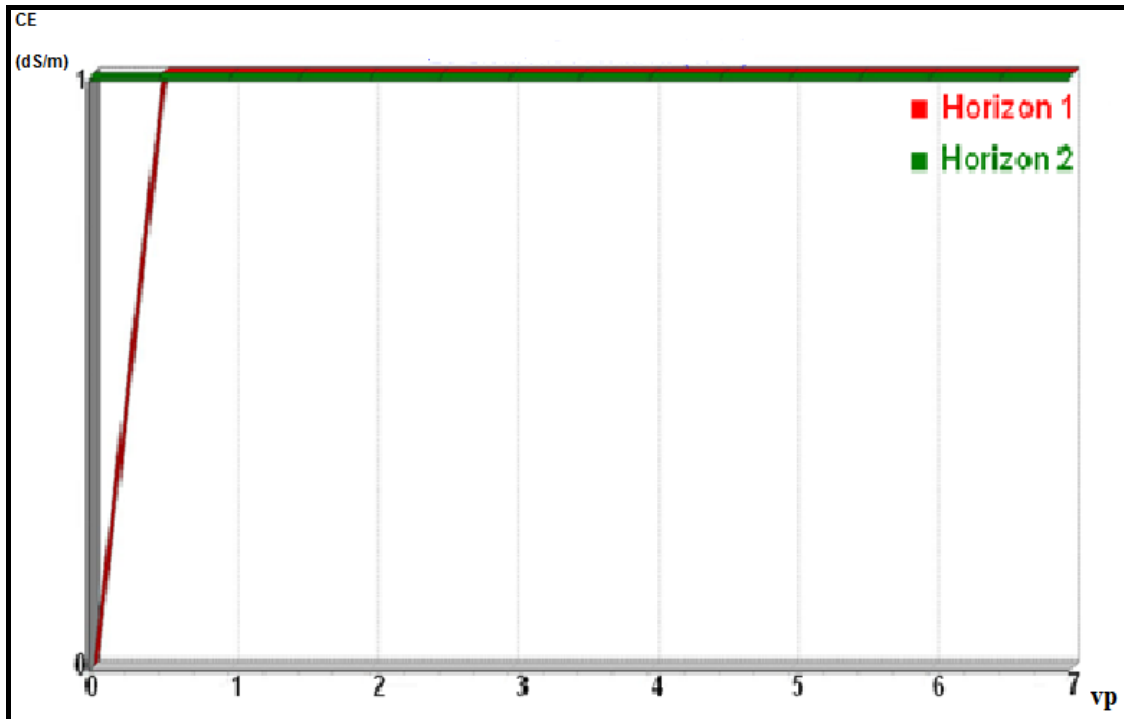


Figure n°75 : Simulation de l'irrigation du sol non salé avec l'eau de l'Oued Seybouse: évolution de la conductivité électrique.

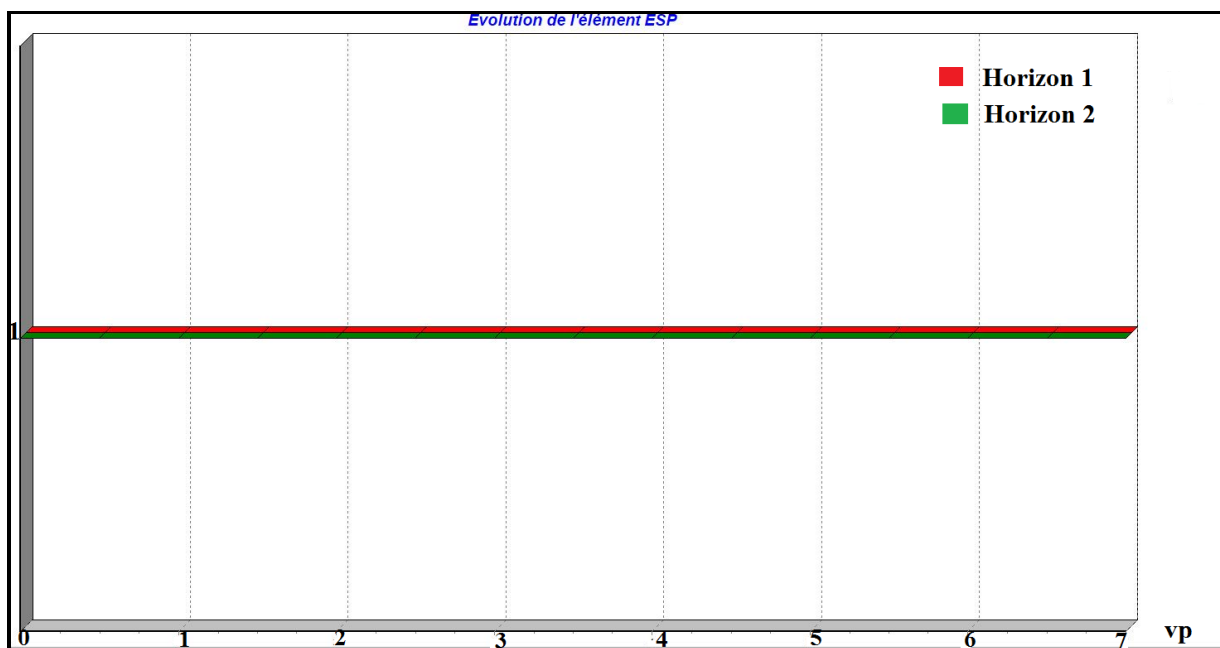


Figure n°76 : Simulation de l'irrigation du sol non salé avec l'eau de l'Oued Seybouse : évolution de l'ESP.

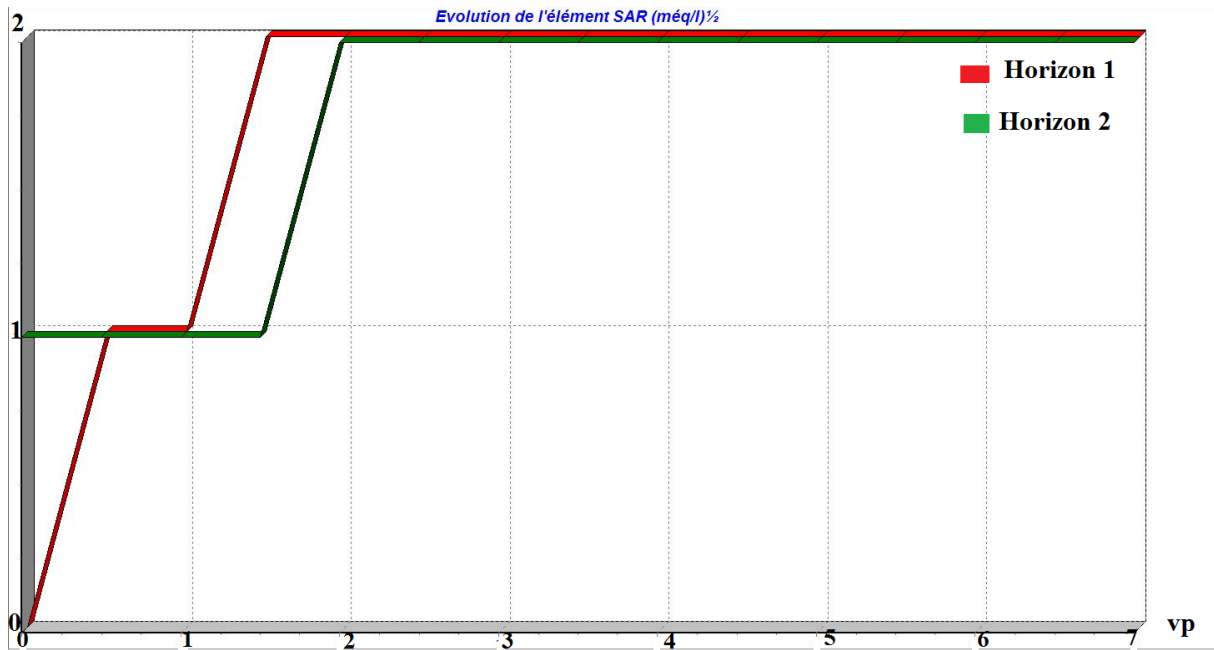


Figure n°77 : Simulation de l'irrigation du sol non salé avec l'eau de l'Oued Seybouse: évolution du SAR.

- La salinité devient encore plus élevée quand on irrigue avec l'eau de l'Oued Mellah. La conductivité électrique varie entre 0.83 jusqu'à 3.25 dm/m après 2.00 volume poral (figures n°78, 79 et 80).

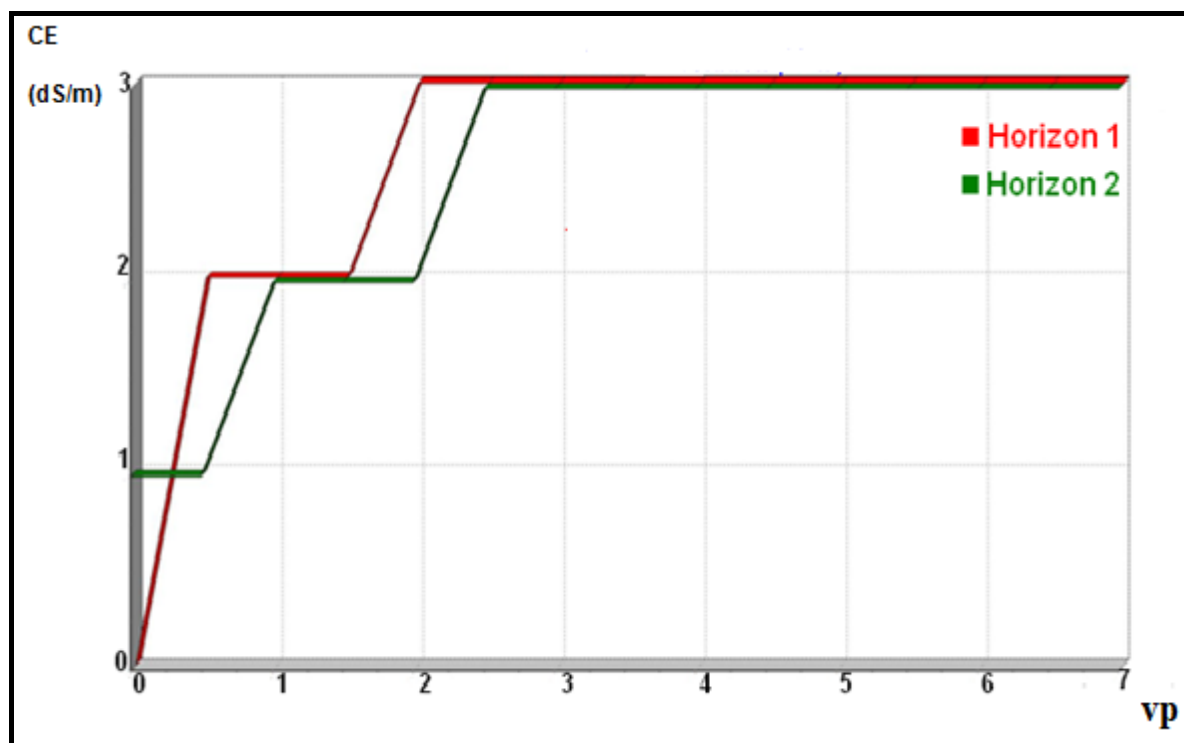


Figure n°78 : Simulation de l'irrigation du sol non salé avec l'eau de l'Oued El Mellah: évolution de la conductivité électrique.

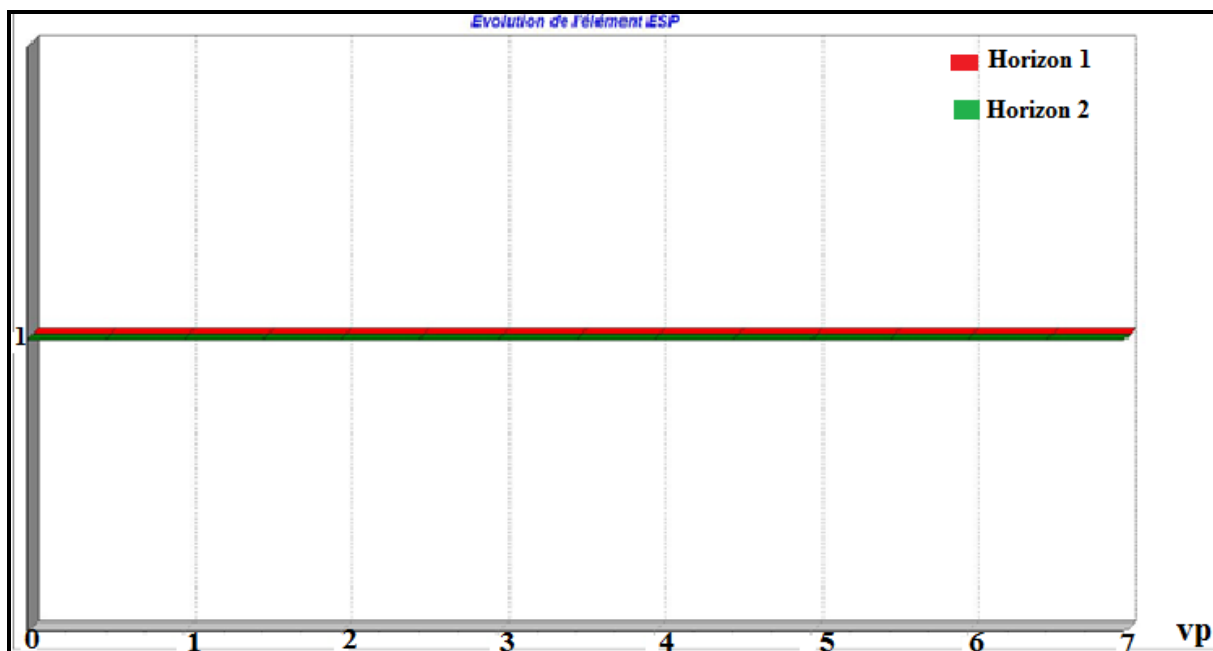


Figure n°79 : Simulation de l'irrigation du sol non salé avec l'eau de l'Oued El Mellah: évolution de l'ESP.

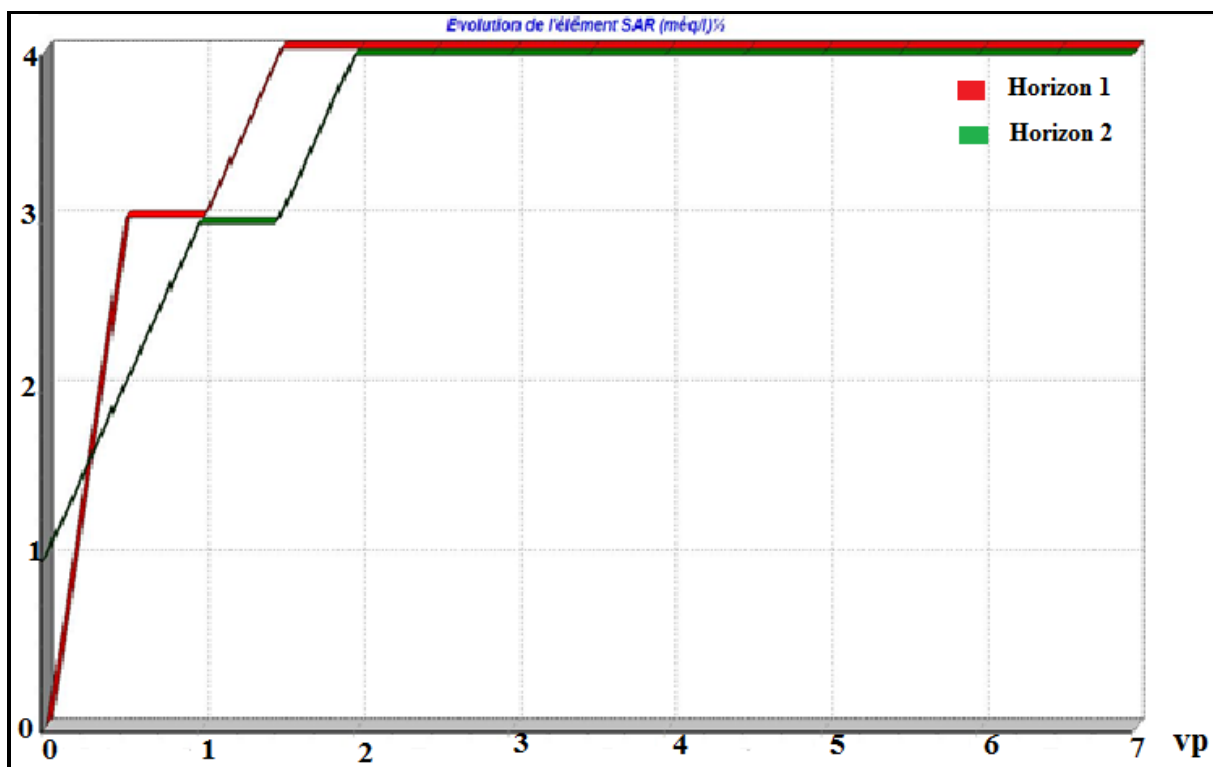


Figure n°80 : Simulation de l'irrigation du sol non salé avec l'eau de l'Oued El Mellah: évolution du SAR.

VII.7 : Conclusion

L'irrigation à grande échelle a modifié la structure des sols conduisant parfois à la baisse de leur fertilité par le processus de salinisation, au même temps que la dégradation des eaux souterraines par contamination.

L'objectif de cette étude est de présenter un modèle de simulation du mouvement des sels dans les sols irrigués, le progiciel SMSS2 est un modèle simple permettant essentiellement la prévision de la salinité/sodicité d'un sol donné après sa mise en irrigation pendant une période prolongée dans le temps.

Le test de validation du model consisterait alors à simuler l'irrigation du sol salé par l'eau de la nappe ce qui devrait nous ramener à la situation du sol salé avec les mêmes ordres de grandeur et simuler l'irrigation du sol non salé avec l'eau de l'Oued Seybouse et celle de l'Oued Mellah ce qui devrait faire augmenter la salinité au niveau du sol non salé.

Les résultats de ces deux simulations respectivement, Montrent que :

Dans le cas de l'irrigation avec l'eau de la nappe, la salinité de la solution du sol augmente (de 0.95 jusqu'à 2.49 dS/m). Une resalinisation se produit quand on irrigue avec l'eau de l'Oued Seybouse (de 0.83 dS/m jusqu'à 1.80 dS/m) et devient plus élevée lorsqu'on irrigue avec l'eau de l'Oued Mellah (de 0.83 jusqu'à 3.25 ds/m).

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale et recommandation

L'objectif de ce travail était de faire un diagnostic général de la situation actuelle de la pollution des sols cultivés au niveau de la plaine de Bouchegouf, l'état des eaux souterraines de la nappe alluviale de Guelma et les eaux de surfaces, vis-à-vis de certains éléments physico-chimiques liés aux activités anthropiques dans le bassin de Guelma.

La région d'étude appartient au périmètre irrigué de Bouchegouf, dans le bassin versant de la moyenne Seybouse au Nord-Est Algérien. La géologie de la région est représentée par trois formations principales de lithologie différentes avec :

- Formations perméables (dépôts alluvionnaires du Quaternaire) sièges des nappes aquifères drainées par l'Oued Seybouse et l'Oued Mellah.
- Formations imperméables des grès numidiens (Aquitaniens) sièges d'alimentation des nappes par les flancs.
- Formations imperméables (argiles numidiennes) formant le substratum des aquifères.

La carte piézométrique établie montre un écoulement des eaux souterraines du Sud vers le Nord, c'est-à-dire de la nappe vers l'Oued Seybouse ce qui nous permet de conclure que la nappe draine l'Oued.

Le climat de la zone d'étude est considéré comme semi-tempéré, l'étude climatique de la zone d'étude a montré que la région se caractérise par des précipitations moyennes annuelles importantes de l'ordre 540.83 mm (70% s'évapore) sous une température moyenne de l'ordre de 18.50 °C ; et par la présence de deux périodes climatiques l'une humide et l'autre sèche.

Le régime d'écoulement de l'Oued Seybouse présente des particularités à système pluvial méditerranéen dans son ensemble, il est tributaire du régime pluvial dont les débits sont étroitement liés aux saisons (humide ou sèche). Les débits sont régis par des modes d'alimentation et des conditions de rétention- restitution qui sont à l'origine des écarts entre les impulsions des débits et les hauteurs de pluies.

On note également au niveau du bassin versant de la Seybouse un accroissement de la lame d'eau écoulée d'amont en aval.

L'irrigation du périmètre se fait à partir du réseau d'irrigation, celui-ci est un dispositif composé d'organes permettant la répartition, la prise en charge et la distribution de l'eau à chaque exploitation agricole. Le mode d'irrigation est par aspersion.

Conclusion Générale

L'étude hydro chimique nous a permis de déterminer la qualité de ces eaux ainsi que leurs destinations appropriées. Nous constatons que ces eaux ne sont de mauvaise qualité.

Les eaux de surface des Oued Seybouse et Mellah présentent des signes de dégradation quelque soit la période de prélèvement, puisque la majorité des paramètres analysés ont révélé des teneurs qui dépassent les normes Algériennes.

Pour le chimisme des eaux de la région, l'allure générale du diagramme de Piper montre un faciès chimique chloruré-sodique dans le cas de l'Oued Seybouse. Les teneurs en chlorure et sodium ont atteint 383 mg/l et 278 mg/l respectivement. La forte teneur en chlorure est probablement due à la forte évaporation des eaux. Aussi, la nature argileuse du sol représente une contamination probablement induite par l'Oued Mellah qui est le principal affluent de l'Oued Seybouse.

Alternativement, pour l'Oued Mellah, l'analyse a conduit à un faciès chloruré-sodique avec une teneur en chlorure de l'ordre de 667 mg/l, alors que celle du sodium aurait atteint 800 mg/l. Il est observé que les chlorures sont dominants par leur origine géologique, attribuée précisément au Trias gypsifère de Nador et à la forte évaporation des eaux. Dans ce cas, les résultats indiquent un faciès sulfaté-sodique au niveau des points OS3 et OM1. Les sulfates auraient pour origines deux sources. La première serait naturelle due à la formation géologique confirmée par la présence des évaporites gypseuses, tandis que la seconde serait plutôt anthropique soutenue par le versement des rejets industriels.

Concernant les eaux de la nappe alluviale de Bouchegouf, les résultats mettent en évidence deux familles d'eaux bien distinctes dont les faciès chimiques sont : (1) chloruré-sodique et (2) chloruré-calcique avec des teneurs en chlorure pouvant atteindre 976 mg/l. Les teneurs en sodium et en calcium sont 299 mg/l et 329 mg/l respectivement. Le faciès chloruré-calcique est dû probablement aux formations géologiques de la région où sont observés les évaporites des sels de sodium et de potassium. Il est possible d'attribuer également ces changements de faciès chimiques au niveau de la nappe aux échanges de base entre les eaux de la nappe et la formation géologique.

L'évolution de la qualité des sols sous irrigation dans la région de Bouchegouf a démontré que la salinisation secondaire est un problème sérieux.

Les résultats obtenus dans ce travail suggèrent que l'utilisation des eaux superficielles dans l'irrigation a eu des conséquences sur la dégradation de la qualité des sols dans le périmètre

Conclusion Générale

d'irrigation. Cette dégradation se manifeste par une augmentation de la salinité. Pour l'aspect irrigation, la nature médiocre, des eaux souterraines et superficielles, ne peut se prêter directement à cette fin car la conductivité étant élevée. Un contrôle et un suivi permanent sont nécessaires pour d'éventuels ajustements de la qualité.

Dans le cas de l'irrigation avec l'eau de la nappe, la salinité de la solution du sol augmente (de 0.95 jusqu'à 2.49 dS/m). Une resalinisation se produit quand on irrigue avec l'eau de l'Oued Seybouse (de 0.83 dS/m jusqu'à 1.80 dS/m) et devient plus élevée lorsqu'on irrigue avec l'eau de l'Oued Mellah (de 0.83 jusqu'à 3.25 dm/m).

L'étude de l'interaction eau-sol traduit l'impact de qualité des eaux d'irrigation sur la qualité des sols.

Afin d'éviter la détérioration de la qualité des eaux et des sols il faut adopter une irrigation appropriée avec le mélange des eaux de surface avec les eaux de la nappe pour éviter l'accumulation des sels à long terme.

- La bonne gestion des ressources en eaux.
- Un labour profond pour l'amélioration des sols.
- Surveiller la qualité des eaux et des sols d'une façon périodique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

Abdi. A, Brinis. N, Saadi. E ; (1991) : Géophysique, Hydrogéologie, hydrochimie de la vallée de la Seybouse. Région : Guelma, Bouchegouf et Moumna. Mémoire d'ingénieur d'état en géologie. Université de Badji Mokhtar Annaba. 152 p.

ANRH. (Agence Nationale des Ressources Hydriques)., (2012) : Grille de qualité des eaux de surface.

Atti.A., (2009) : Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine alluviale de Bouchegouf (Wilaya de Guelma). Mémoire d'ingénieur, Université d'Annaba. 39, 41p.

ASMIDAL, (2004) : La nouvelle stratégie commerciale. ASMIDAL infos, 22 (janvier).

BADRAOUI M., SOUDI B., LAHLOU M., KABBASSI M., ANIBA K. 1998A. Evaluation de la salinité des sols dans le périmètre irrigué des Doukkala : Suivi et diagnostic dans les zones vulnérables. In Souidi B. ed., Etude de l'impact de l'intensification de la mise en valeur agricole sur la qualité des sols et des eaux : proposition de pratiques rationnelles. Projet d'initiatives propres, AGCD-UCL-IAV.

BADRAOUI M., SOUDI B., MERZOUK A., FARHAT A., M'HAMDI A. 1998B. Changes of soil qualities under pivot irrigation in the Bahira region of Morocco: Salinization. *Advances in GeoEcology*, 31:503-508.

Bechiri.N., (2011) : Evolution du chimisme des eaux de surfaces et souterraines dans le bassin versant de la Seybouse (Nord-Est Algérien). Mémoire d'ingénieur d'état en hydrogéologie, Université d'Annaba. 100 P.

Bechka.H, Chaffai Melloki.M. 2002, Modélisation hydrodynamique de la nappe alluviale de Bouchegouf. Mémoire d'ingénieur. Université d'Annaba, 57 p.

Beghami.A. 1983, projet d'irrigation par aspersion dans la commune de Dréan cas du domaine Traidia abed. Mémoire de fin d'étude. Institut de technologie agricole Mostaganem,

Benharoun.S, Chaabane.K. 2004, Contribution à l'étude de la situation de l'alimentation en eau potable de la ville de Bouchegouf. Mémoire d'ingénieur. Université d'Annaba, 103 p.

Références bibliographiques

Berranem. A., (2012) : Impact de l'irrigation par les eaux de la moyenne Seybouse sur les sols et les rendements des cultures. Mémoire de magister, Université Badji-Mokhtar Annaba, Algérie.115p.

Bermond R., Vuichard R. 1973. Les paramètres de la qualité des eaux. Documentation Française, Paris, 179.

Boseret. J. PH., (2000) : Pollution des sols: les pesticides. Copyright, 10p.

Chadlia.M, Boumdiri.L. 2001, Impact des rejets de la levurerie de Bouchegouf sur l'alteration de la qualité de l'eau (eaux de surfaces et eaux souterraines). Mémoire d'ingénieur. Université d'Annaba, 45 p.

Chouabbi .A. (1987) : Etude géologique de la région de Hammam N'Bails (SE de Guelma,Constantine, Algérie) ; Thèse de doctorat de troisième cycle, Université de Paul Sabatier de Toulouse .123 p.

Chaoui.W., (2007) : Impact de la pollution organique et chimique des eaux de l'oued Seybouse et de l'oued Mellah sur les eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (Guelma).Mémoire de magister en géoscience, Université d'Annaba.104 p.

Debièche T.H., 2002. Evolution de la qualité des eaux (Salinité, Azote, et Métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle, Application à la basse plaine de la Seybouse Nord Est algérien, Thèse de Doctorat en Hydrologie, Université de Franche-Comté, France.199p.

Djabri L., 1996. Mécanismes et vulnérabilité des eaux de la Seybouse, origines géologique, industrielle, agricole et urbaine, Thèse de Doctorat en Hydrologie, Université BADJI Mokhtar Annaba, Algérie, 261p.

Djabri L., Hani A., Mania J., Mudry J. 2000. Conséquences des pratiques agricoles sur la qualité des eaux du bassin la Seybouse (Est algérien) Actes du colloque ESRA 2000, Poitiers, S3, pp.39-42.

Djabri L, Hani A, Laouar R, Mania J, Mudry J and Louhi A. 2003. Potential pollution of groundwater in the valley of the Seybouse River, North-Eastern Algeria, Environmental Geology, Vol 44, N6, pp738-744 .

Références bibliographiques

DHW., (Guelma 2010) : Etat de la production mensuelle d'eau souterraine.

Djeraba. M .,(1973). Etude agro-pédologique de la plaine alluviale de Guelma. Programme quadriennal 1970-1973. Opération 11.01.0.60.20.78. 86 p.

DOUAOUI A., GASCUEL-ODOUX C., WALTER CH. 2004. Infiltrabilité et érodibilité de sols salinisés de la plaine du Bas Chélif (Algérie). Mesures au laboratoire sous simulation de pluie. EGS, 11, (4) : 379-392.

D.S.A., (1999): Etude technique des sols et production végétale de la ferme pilote -richi abdelmadjid) Belkheir. Wilaya de Guelma. 33 p.

D.S.A. (Direction des Services Agricoles), (Mars 2011) : Programme de l'économie de l'eau Diagnostique Sur La Situation. De L'hydro-Agricole, programme de l'économie de l'eau, wilaya de Guelma. 7p.

D.S.A., (2012) : Session de formation sur la technique et gestion des systèmes économiseurs d'eau et les conditions du milieu. ITMAS.

D.S.A., (2012): Statistiques agricoles de la wilaya de Guelma, Direction des Services Agricoles, Algérie, 40 p.

DSA/SARPI/B-HYD., (2013) : Programme du renouveau agricole et rural (RARA).économie de l'eau, stratégie hydro-agricole (évaluation 2010-2014) (programme quinquennal 2015- 2019).6p.

Durand. Delga M., (1969): Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. Bull. Serv. Carte Géol. Algérie, N.S, n°39, 9.89-131, 9 fig., Alger.

Durand J.H., (1983): Les sols irrigables, Techniques vivantes. Pesse, Univ. France., 339 p.

Festy, B., Hartamann, P., Ledrans, M., Levallois, P., Payment, P., Tricard, D. 2003. Qualité de l'eau. *édition Tec & Doc*, p. 37.

Références bibliographiques

Ghachi. A., (1982).Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie le bassin de la Seybouse. Office des publications universitaires.508p

Gastany. G., 1982 : Principes et méthodes de l'hydrogéologie (Ed.m paris France) 236p

Hutson, J.L. and R.J. Wagenet. 1992. LEACHM: Leaching Estimation And Chemistry Model: A process based model of water and solute movement transformations, plant uptake and chemical reactions in the unsaturated zone. Continuum Vol.2, Version 3. Water Resources Inst., Cornell University, Ithaca, NY.

Kachi. N., (2015) : Impact du périmètre irrigué sur la qualité des eaux souterraines dans le bassin versant de la Seybouse (Thèse de doctorat en Es science, Université d'Annaba) 173 p.

Kaddeche. I., (2013) : Impact des formations géologiques sur la qualité des eaux : la région de Bouchegouf-Hammam N'bails (sud de Guelma).Mémoire de master hydrogéologie, Université de Constantine.139p.

Mermoud. A. ;(2006) : Maîtrise de la salinité des sols. Cours de physique du sol- Ecole polytechnique Fédérale de Lausanne –Suisse.

Mouassa.S. 2006, Impact du périmètre d'irrigation sur la qualité des eaux souterraines de la nappe alluviale de Guelma et sur les sols, Mémoire de magister. Université d'Annaba, 158 p.

Mouchara. N., (2009) : Impacts des lâchées de barrage Hammam Debagh sur la qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie amont (Nord- Est Algérien). Mémoire de magister en hydrogéologie, Université d'Annaba .123P.

Nouacer. (2004) : Vulnérabilité à la pollution de l'aquifère alluviale de Bouchegouf (Algérie).détermination des périmètres de protection des ouvrages de captage.

Nouar. T., (2007) : Impact de la pollution des eaux superficielles et souterraines de Guelma. Thèse de Doctorat d'état, Université d'Annaba.179p.

ONID : Organisation national d'irrigation et de drainage de Guelma.

Références bibliographiques

Rejsek.F (2002) : Analyse des eaux .Aspects réglementaires et techniques. Série sciences et techniques de l'environnement. Édition Scéren-CRD P d'Aquitaine 360p.

Roche .M (1963) : Hydrologie de surface. Office de la recherche scientifique et technique outre-mer édition Gauthier - Villars Editeur – Paris 431p.

Rodier J. (2009) : L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer. 9^{ème} édition. Dunod. Paris. 1579 p

Rodier J., (1996).*L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer : chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats.* DUNOD Paris, 8^{ème} éd., p. 1008 (XLVII, 1383 p.).

Throntwaite, C.W. (1948): An approach towards a rational classification of climate, Geographical review. P55-596

Villa J.M. (1980) : La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro – Tunisiens. Thèse de doctorat ès sciences de Nat, Université de P.et M. Curie, Paris VI, France .2. Vol. 665 p.

Sites Internet consultés :

<http://www.abh.org.dz>

http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.htm

<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/potable/brochure>

http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/water-eau/drink-potab/guide/doc_sup-appui_f.html.

http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau.

<http://www.mddep.gouv.qc.ca/sol/terrains/politique>

<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/oer>).

<Http://www.ceaeq.gouv.qc.ca>

http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/documents/publications/guides_ech.htm

<http://www.cehq.gouv.qc.ca/debit-etiage/Tableau-debits-etiage-stations-hydrometriques.pdf>.

<http://www.cig.ensmp.fr/~hubert/glu/indexdic.htm>.

<http://www.cig.ensmp.fr/~hubert/glu/aglo.htm>

Références bibliographiques

<http://intranet/Organisation/directions/dgaer/notes-instructions/2009/0901/ld-oer.pdf>.

<http://hydram.epfl.ch/docs/Irrigation-basic.pdf>

□ <http://www.lenntech.fr/applications/irrigation/salinite/irrigation/salinite/risque-irrigation.htm>

ANNEXE

Annexes

Points d'eau	Coordonnée UTM X(Km)	Coordonnée UTM Y (Km)	Cote de L'eau
P2	379140,4	4035238,8	163,3
P3	381049,4	4035464,6	112,6
P4	381346 ,05	4035631,6	121 ,7
P5	381886,1	4035356,6	101 ,6
P6	381872,4	4035688,5	103 ,6
P7	382357,53	4035839,8	100 ,3
P8	384009,2	4035209,3	101,2
P9	384009,2	4035209,3	218 ,09
P12	380340,4	4031760,5	318,35
P13	379672,7	4032180,8	335,8
P14	380660 ,6	4032335,9	256,7
P16	381102,5	4031454,1	347
P17	381212,5	4030786,3	348,6
P18	381200,7	4029996,8	109,2
P23	385867,2	4032345,8	294
P24	386252,2	4033355,3	222 ,2
P25	386252,2	4033355,3	228,8
P26	384865,5	4032302,5	255,2
P30	383820,7	4033818,8	167,5
FB4	384843,9	4035741,6	50
FBS4	383610,5	4035022,7	5,25
B1	383549,3	4035863,6	174,4
B2	384612,1	4036796,9	203,3
BS2	383484,6	4034865,6	91,46
BS1	383892,3	4035741,1	80,75
B3	385674,8	4037730,1	107 ,4
BS1BIS	384482,6	4034800,8	79

Tableau 1 : Inventaire des points d'eaux.

Point de prélèvement	Cordonnée Lambert X (km)	Cordonnée Lambert Y (km)
BS4	948	362
B4	950,2	365,6
PS	948,4	363,9
P2	949,5	366
AZ	951	364,1
S	951,5	361,5
OS1	948,7	364,2
OS2	949,3	364,9
OS3	949,8	365,8
OS4	949	364,5
PM1	949,5	362,6
OM2	949,2	362,9
OM3	948,7	363
OM4	949,4	362,8

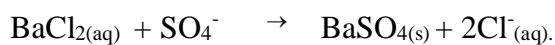
Tableau2 : Cordonnée d'inventaire des points d'eaux hydrochimique.

Dosage des ions sulfate par gravimètre :

1. Principe :

C'est une technique de dosage utilisable quand l'espèce chimique ionique à doser peut être précipitée (par addition d'une solution adéquate en donnant des cristaux purs de solubilité très faible et de composition bien définie. La réaction doit être Fatale, unique (absence de réaction parasite) et quasiment instantanée .Elle doit donner des cristaux insensibles à l'action de l'air.

Selon la réaction :



Le précipité obtenu est filtré, séché et pesé.

2. Protocole :

-utiliser l'extrait de 1/10.

Prendre un bécher de 250 ml introduire 10g de chaque échantillon de sol en ajoutant 100 ml d'eau distillée, agitée pendant 5 minutes, laisser au repos 10 minutes filtrer.

Dans la burette intro dune une solution de BaCl_2 à 25%.

-Prenez les filtrats de chaque échantillon de sol les mettre à ébullition et titrée goutte à goutte la solution par une chute de burette pendant 10 minutes, laisser refroidir, filtrer le précipité en pesant au préalable le papier filtre , peser une seconde fois le papier filtre plus le précipité ,noter le poids , laver le précipité à l'eau bouillante , sécher ensuite à l'étuve à 110° , lorsque la masse se stabilise , peser avec précaution l'ensemble ,en déduire la masse du précipité .

3. Pour le calcul :

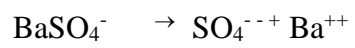
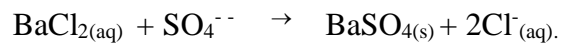
On peut dire que $V \text{ cm}^3$ de sodium donnent une masse P de corps précipité.

1 cm^3 de solution donnerait une masse $\frac{P}{V}$ g de précipité.

1000 cm^3 ou 1 litre de solution donnerait une masse $\frac{P \cdot 1000 \text{g}}{V}$ de précipité.

Le précipité est un corps qui contient l'un contenu dans la solution à doser et dont nous recherchons la concentration à une molécule de sulfate de baryum un ion SO_4^{2-} selon la réaction :

Annexes



$$233.42 \text{ g} \rightarrow 96.06 \text{ g}$$

$$1000 \text{ L} \rightarrow 10 \text{ cm}^3$$

$$C = \frac{l \times 1000 \times 96.06}{10 \times 233.42}$$

Dosage des ions de calcium :

-la quantité de calcium contenue dans la prise d'essai correspond à la quantité d'oxalate de calcium formé, qui elle est proportionnelle à la quantité d'acide oxalique liseré.

Le nombre d'équivalent de permanganate nécessaire pour oxyde l'acide oxalique est $\frac{vf}{1000}$.

Calculs :

Les équivalents de $\frac{vf}{1000}$ égalent les équivalents de $(\text{COOH})_2$. On peut donc dire que les

équivalents de $(\text{COOH})_2$ sont $\frac{vf}{1000}$.

Une mole de $(\text{COOH})_2$ provient dans la transformation d'une mole de $\text{Ca}(\text{COOH})_2$, donc correspond à un atome de calcium, soit à 40.08g de Ca. Une solution normale de $(\text{COOH})_2$ contient une demi-mole donc à un demi atome de calcium .

Dosages des ions chlorures d'une eau par méthode de Mohr :

1.1-Généralité :

La titration est une méthode de détermination quantitative d'une substance connue .On l'appelle aussi analyse volumétrique car la quantité de réactif utilisé lors du dosage est déterminée par une mesure exacte.

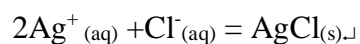
1.2 -Objectif :

Titre les ions chlorures dans une eau de robinet, une eau de source ou une eau minérale. Un titrage par précipitation est effectué pour déterminer la quantité des ions chlorures présents dans une solution.

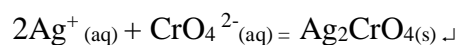
1.3-Principe :

On dose une solution d'ions chlorures $[Cl^-]$ de concentration C_1 (inconnue) , à l'aide d'une solution d'ions $[Ag^+]$ de concentration C_2 (connue), qui est du nitrate d'argent en présence d'une solution neutre de chromate de potassium (K_2CrO_4) servant d'indicateur de fin de réaction .

Un premier précipité blanc laiteux apparaît (chlorure d'argent).selon les réactions :



Lorsqu'un autre précipité rouge brique apparaît secondairement (chromate d'argent), cela indique que tous les ions chlorures ont réagi avec les ions d'argent, et l'excès a réagi avec les ions chromate CrO_4^{2-} selon l'équation :



1.4-Matériels :

- Burette (25ml).
- Eprouvette (50ml).
- Erlen meyer (250ml).
- Baguette en verre.

1.5-Réactifs :

- Nitrate d'argent $[AgNO_3]$ à (0.1mole/l).

Annexes

-Chromate de potassium [K₂CrO₄] à (0.05mole/l).

-Eau distillée, eau minérale, eau du robinet.

1.6-Mode opératoire :

On prélève 100ml d'eau minérale, eau distillée, eau de robinet (pour chaque groupe un échantillon) à l'aide d'un Erlenmeyer de 250 ml. On ajoute 2 gouttes de chromate de potassium(K₂CrO₄), puis on met dans la burette une quantité de solution de nitrate d'argent AgNO₃; cela dépend de la contenance de celle-ci (25ml 250ml...ect). On verse goutte à goutte la solution titrante (AgNO₃) jusqu'à l'apparition d'une coloration rouge brique indiquant la fin de réaction.

A ce moment, le nombre de moles de Ag⁺ (n Ag⁺) ajouté est le même que le nombre de moles Cl⁻(nCl⁻) (c'est-à-dire une équivalence).

$$n(\text{Ag}^+) = n(\text{Cl}^-)$$

1.7-Calculs :

-A l'équivalence : n (Ag⁺) = n(Cl⁻) dans un volume de 100ml .

$$C_{(\text{Ag}^+)} \times V_{(\text{Ag}^+)} = C_{(\text{Cl}^-)} \times V$$

$$C_{(\text{Cl}^-)} = \frac{C(\text{Ag}^+) \times V(\text{Ag}^+)}{v}$$

-Déduire la concentration en ions chlorure Cl⁻ de l'eau minérale, eau distillée, l'eau de robinet..Etc.

-Déduire la concentration massique en ions chlorure Cl⁻ et la comparer à celle indiquée sur l'étiquette de la bouteille.

-Que signifient ces résultats par rapport à la qualité de l'eau ?

Résultats de l'analyse du sol

Fertial Laboratoire agronomique BP 3088 Route Des Salines Annaba Tél: 038.53.96.10 / Fax: 038.53.93.42	échantillon n° T-19407	Code-barres 
--	---------------------------	---

Sable 52% Limon 8% Argile 40%
Texture: Argileuse

				Très faible	Faible	Normal	Élevé	Très élevé	
Conductivité (1/5 mS/cm)	0,24	Non salé	CE					0,24	mS/cm
pH eau (1/2.5)	8,02	Alcalin	pH					8,02	
C/N	7,29	Faible	C/N					7,29	
	%	p.p.m.							
Carbonates	1,98	19800,00	CaCO3					1,98	%
Calcaire actif	-	-	C.actif					-	%
Matière organique	1,88	18800,00	MO					1,88	%
Azote Total	0,15	1500,00	N					0,15	%
	meq/100gr	p.p.m.							
Phosphore (Olsen)	0,06	18,55	P					18,6	p.p.m.
Potassium échangeable	1,4	555,2	K					1,4	meq/100gr
Magnésium échangeable	2,6	321,0	Mg					2,6	meq/100gr
Calcium échangeable	36,1	7228,4	Ca					36,1	meq/100gr
Sodium échangeable	0,4	80,5	Na					0,4	meq/100gr

(Données analytiques interprétées par le Système Siddra)

Interprétation de l'Analyse

Il s'agit d'un sol très lourd, avec un drainage interne très mauvais et une capacité de rétention de l'eau et des engrais très élevée. Il y a risque de rétrogradation du phosphore et de potassium, ainsi que d'asphyxie racinaire dans les cas extrêmes. En général le sol est de fertilité élevée. Le sol ne présente pas de problèmes de salinité. Le pH actuel du sol est alcalin et peut produire des problèmes d'assimilation de micro-éléments. Pour la culture BLÉ le pH du sol le plus adéquat est compris entre 5.8 et 7.5. Le rapport entre la teneur en carbone et en azote est signe de ce que la matière organique est décomposée, le sol ayant la capacité de libérer de l'azote. La teneur en carbonates est faible. Il est donc difficile qu'il y ait des fixations de phosphore qui réduisent sa disponibilité. Il peut y avoir carence induite de Mg par excès de Ca. Il y a risque de carence induite en Mg en raison d'un excès de K.

Recommandation de Fertilisation

Fertilisation de fond	Kg/Ha	
Phosphate diammoniacal (12-52)	223	
Fertilisation de couverture		
SULFAZOT	168	Applications: 1
SULFAZOT	35,97	L'engrais de couverture doit être réparti sur 2 applications

Signé : Conseiller Agronomique.

FERTIAL Laboratoire Agronomique