

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSENEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 08 MAI 1945-GUELMA

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET SCIENCES
DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

DEPARTEMENT DE SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE



Mémoire de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biologie

Spécialité/Option : Qualité des produits et Sécurité Alimentaire

Thème

**Qualité des eaux d'irrigation et du sol dans le périmètre
irrigué Guelma-Boumahra**

Présenté par :

Bechka Nassira

Bendaha Issmahane

Devant le jury composé de :

Président : Mr. Ghrieb Lassaad

Examineur : Mr. Guettaf Mohamed

Encadreur : Mr. Kachi Slimane

Juin 2013

Remerciement

On tient tout d'abord à exprimer nos remerciements les plus distingués à notre encadreur Mr : Kachi. S, professeur à l'université 08 Mai 1945 Guelma, en reconnaissance de sa compétence, de son dévouement et de ses conseils judicieux qui m'ont été d'un grand soutien moral pour réaliser ce travail.

Aussi, nos remerciements à Mr : Ghrieb. L, professeur à l'université 08 Mai 1945 Guelma de nous avoir fait l'honneur de présider le jury de cette thèse.

Nos remerciements vont également à Mr : Guettaf. M, professeur à l'université 08 Mai 1945 Guelma, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nos remerciements également à tous chargés de cours de la promotion de qualité des produits et sécurité alimentaire, qui ont contribué à notre formation.

Enfin, nos remercie tous ceux qui ont apporté leur aide pour la réalisation de ce travail et plus particulièrement: le groupe de laboratoire LACIP.

**Nassira
Issmahane**

Dédicace

Avant tout, nos sincères remerciements reviennent à Allah le tout puissant pour tous ses dons.

Je dédie ce modeste mémoire qui est le fruit de longues années de travail à la fontaine d'amour qui ne s'arrête pas de donner « ma chère mère : Fatiha »

Pour mon très cher père « Khaled » qui ma suivi le long de ce chemin, qui n'a jamais cessé de consentir pour ma réussite et mon bonheur et j'espère qu'ils seront fière.

A mes frères, à mes sœurs, mes parentés, mes cousins et mes amis et toutes la promotion « Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire 2013 ».

A toute le personnel de l'administration de l'université.

Et a tous ceux que j'aime.

Nassira

Dédicace

Avant tout, nos sincères remerciements reviennent à Allah le tout puissant pour tous ses dons.

Je dédie ce modeste mémoire qui est le fruit de longues années de travail à la fontaine d'amour qui ne s'arrête pas de donner « ma chère mère : Fatima »

Pour mon très cher père « Ahmed » qui ma suivi le long de ce chemin, qui n'a jamais cessé de consentir pour ma réussite et mon bonheur et j'espère qu'ils seront fière.

A mes frères, mes parentés, mes cousins et mes amis et toutes la promotion « Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire 2013 ».

A toute le personnel de l'administration de l'université.

Et a tous ceux que j'aime.

Issmahane

Table des matières

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction et but	1
Chapitre I : Aperçu général sur la zone d'étude	
1. Situation administrative et géographique	2
2. Présentation de la zone d'étude	3
3. Données naturelles	3
3.1. Géologie	3
3.2 Hydrogéologie	4
3.2.1. Structure et géométrie de l'aquifère.....	4
3.2.2. Réseaux hydrographique.....	5
3.3. Climatologie.....	5
3.3.1. Les températures.....	6
a) Les températures moyennes mensuelles	6
3. 3.2. Les Précipitations	6
a) Les précipitations moyennes mensuelles	6
Conclusion.....	7
Chapitre II: Présentation du périmètre irrigué	
1. Introduction	8
2. Le périmètre irrigué Guelma-Boumahra	8
2.1. La mise en valeur des sols du périmètre.....	9
2.2. L'évolution des superficies irriguées.....	10
2.3. Volumes d'eau pompés de l'oued Seybouse11	
2.3.1. Evolution annuelle des volumes pompés.....	11
3. Les principaux types et origines de pollutions	12

3.1. Pollution domestique	12
3.2. Origine industrielle	12
3.3 Origine agricole	13
Conclusion	15

Chapitre III : Matériels et méthodes

Introduction	16
A) L'eau d'irrigation	16
1. Mode de prélèvement	16
1.1. Stratégie et but de l'échantillonnage	16
2. Analyse physico-chimique	17
2.1. Les paramètres physiques	17
2.1.1. Le matériel du terrain.....	17
a) le potentiel d'Hydrogène (pH).....	17
b) Conductivité électrique (CE).....	17
c) Turbidité	19
d) Salinité de l'eau d'irrigation	19
2.2. Analyse chimique.....	19
2.2.1. Matériel de laboratoire	19
2.2.2. Les prélèvements.....	19
2.2.3. Les paramètre chimiques	19
a) Dosage du Calcium (Ca^{+2})	19
b) la dureté totale.....	20
c)La dureté Magnétique	20
d) Dosage du Chlorure.....	20

e) détermination des nitrates NO_3^-	21
f) détermination des nitrites NO_2^-	21
g) détermination de phosphate PO_4^{3-}	21
h) détermination du sulfate SO_4	21
i) détermination de Na^+	22
j) détermination de potassium K.....	22
B) Le sol	23
1) mode de prélèvement	23
2) Stratégie de l'échantillonnage.....	23
a) Homogénéité de la parcelle	23
b) Taille de la parcelle	23
c) Profondeur de prélèvement	23
d) Localisation des prélèvements	24
3. Analyse physico-chimique	24
3-1. Le matériels du terrain	24
3-2. La préparation des extraits des sols dans un laboratoire	25
3.3. Les paramètres physiques	26
3.4. Analyse chimique	26
3.4.1. Matériels de laboratoire	26
3.4.2. Les paramètres chimiques	26
a) Carbonate de calcium (CaCO_3)	26
b) dosage des chlorures	27
c) Détermination du nitrate et du nitrite	27
d) Détermination de l'ammonium.....	28
e) Détermination du phosphore	29
f) Détermination du potassium	29

g) Détermination de VBS	30
-------------------------------	----

Chapitre IV : Résultats et Discussions

1. La qualité de l'eau de l'irrigation	32
1.1 Critères de la qualité de l'eau d'irrigation	32
1.1.1 La salinité.....	32
1.1.2 Le sodium.....	34
1.1.3 Dureté	35
1.1.4 Le pH	36
1.1.5 Les chlorures et les sulfates	36
1.1.6 Azote.....	36
2. Qualité du sol.....	37
2.1. Origines de la pollution des sols.....	37
2.2. Le pH.....	38
2.3 La salinité.....	39
2.4. L'azote	41
2.5. Le VBS (Valeur de Bleu du Sol)	41
2.6. Carbonate	42
2.7. Les Sulfate	43
2.8. Potassium.....	43
Conclusion.....	45
Conclusion et recommandations.....	46
Les références bibliographiques	

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
1	Superficies et années de mise en exploitation de secteur Guelma-Boumahra	8
2	Types et quantités de fertilisants utilisés au niveau de la nappe alluvionnaire de Guelma	14
3	Types et quantités de fertilisants utilisés au niveau de la nappe alluvionnaire de Guelma (2005 / 2006)	14
4	Identification des engrais utilisés dans l'agriculture	14
5	Profondeur d'échantillonnage selon l'occupation du sol	24
6	Lignes directrices générales pour risque de salinité de l'eau d'irrigation basé sur la conductivité électrique.	34
7	Degré relatif de dureté de l'eau selon la qualité de carbonate de calcium.	35
8	Barème de qualité de l'eau d'irrigation	37

Liste des figures

N°	Titre	Page
1	Carte du relief de la wilaya de Guelma.	2
2	Coupe hydrogéologique	4
3	Carte de sous bassin de Guelma	5
4	l'évolution moyenne mensuelle des températures à la station de Belkheir (1985-2004)	6
5	L'évolution moyenne mensuelle des précipitations à la station de Belkheir (1985-2004)	6
6	Carte de localisation des différents secteurs du périmètre d'irrigation de la plaine de Guelma.	9
7	Evolution des superficies irriguées en (ha) (compagne 1996/2007)	11
8	Evolution des superficies irriguées en ha par groupe de culture dans le périmètre d'irrigation de la plaine de Guelma Compagne	11
9	Evolution des superficies irriguées en (ha) dans le secteur Guelma-Boumahra	12
10	Exemple de la répartition des prises individuelles qui composent l'échantillon	24
11	Matériel d'échantillonnage	25
12	Carte du pH du sol du perimeter irrigué Guelma-Boumahra	39
13	Conducivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) du sol au niveau du périmètre irrigué Guelma Boumahra	40
14	Carte de TDS (mg/l) du sol du périmètre irrigué Guelma Boumahra	40
15	Carte des nitrates (mg/l) du sol du périmètre irrigué Guelma	41

	Boumahra	
16	Carte de VBS du sol du périmètre irrigué Guelma Boumahra	42
17	Carte des carbonates (mg/l) du sol du périmètre irrigué Guelma Boumahra	43
18	Carte des sulfates (mg/l) du sol du périmètre irrigué Guelma Boumahra	44
19	Carte de potassium (mg/l) du sol du périmètre Guelma-Boumahra	44

La croissance démographique reste forte dans les pays de la région méditerranéenne, en Algérie notamment. La sécurité alimentaire des populations concernées suppose une augmentation très significative de la production agricole dans les quelques années à venir.

L'amélioration de la productivité de chaque hectare par le système d'irrigation est certes une solution à envisager avec attention.

L'Algérie a consenti des investissements considérables en matière de mise en valeur agricole et d'aménagements hydrauliques en vue de moderniser son agriculture et assurer en conséquence son autosuffisance alimentaire. De nombreuses zones agricoles ont été en effet développées à l'échelle régionale dont la mise en valeur s'est nécessairement accompagnée par un emploi intensif des engrais azotés et de produits phytosanitaires, et une non maîtrise de la qualité de l'eau d'irrigation. Plus de 20 % des sols irrigués sont concernés par le problème de la salinité.

Le périmètre irrigué de Guelma-Boucheouf compte parmi les plus anciens et les plus importants du pays, et connaît une intensification des pratiques culturales. Certes, cette intensification a un effet positif sur les rendements agricoles, mais elle présente, cependant, des incidences négatives en matière de dégradation de la qualité aussi bien des sols que des milieux récepteurs, notamment les eaux de surfaces et souterraines.

De ce fait, la présente étude constitue un diagnostic général de la situation actuelle de l'impact de l'eau d'irrigation sur la qualité du sol dans le périmètre Guelma-Boumahra.

1. Situation administrative et géographique :

La wilaya de Guelma se situe au Nord-est du pays et constitue, du point de vue géographique, un point de rencontre, voire un carrefour entre les pôles industriels du Nord (Annaba – Skikda) et les centres d'échanges au Sud (Oum-El-Bouaghi et Tébessa), outre la proximité du territoire Tunisien à l'Est.

Sur une superficie de 3686.84 Km² et abrite une population (Estimée à fin 2009) de 494079 Habitants dont 25 % sont concentrés au niveau du Chef-lieu de Wilaya. La densité moyenne de cette population est de 132 Hab/Km².

La géographie de la Wilaya se caractérise par un relief diversifié (Fig.n°1) dont on retient essentiellement une importante couverture forestière et le passage de la Seybouse qui constitue le principal cours d'eau. Ce relief se décompose comme suit :

- **Montagnes:** 37,82 % dont les principales sont: Mahouna (Ben Djerrah) de 1.411 m d'altitude ; Houara (Ain Ben Beidha) de 1.292 m d'altitude ; Taya Bouhamdane) 1.208 m d'altitude ; D'bagh (Hammam Debagh) : 1.060 m altitude
- **Plaines et Plateaux :** 27,22 %
- **Collines et Piémonts :** 26,29 %
- **Autres :** 8,67 %. (Mouchara ,2009)

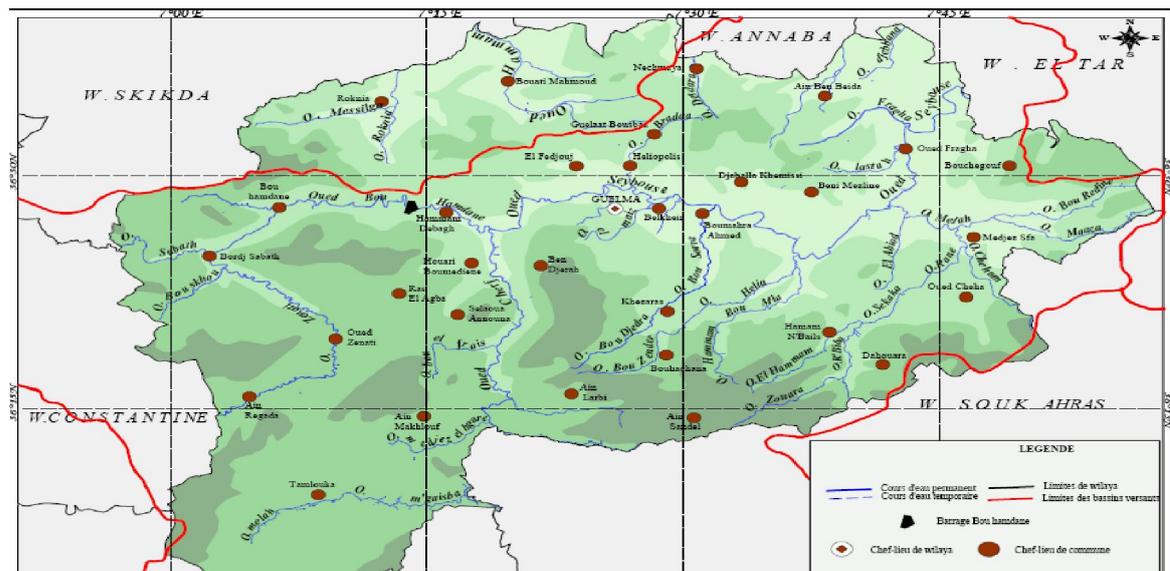


Fig. n°1: Carte du relief de la wilaya de Guelma.

2. Présentation de la zone d'étude

Le bassin de la Seybouse est l'un des plus grands bassins hydrographiques en Algérie, sa superficie est de l'ordre de 6471 km². Il s'étend vers le sud sur une distance de 160 Km jusqu'aux confins de l'atlas Saharien. La Seybouse, Oued méditerranéen, naît dans les hautes plaines semi-arides. Il résulte de la confluence de deux Oueds qui sont le Charef et Bouhamdane au niveau de Medjez Ammar et se termine dans la mer Méditerranée au Nord, après un parcours de 160 km.

Le bassin de Guelma est localisé dans la zone tellienne de la chaîne alpine de l'Algérie du nord-orientale. Il a une forme allongée d'Est en Ouest sur 20km de longueur et de 3 à 10km de largeur. Cette zone est constituée d'un ensemble de terrasses emboîtées les unes aux autres correspondant à une dépression de 50 km² de surface, traversée d'Ouest en Est par la Seybouse qui constitue le principale cours d'eau superficiel de la région et où viennent se jeter des petits oueds du bassin versant secondaire.

- Localité : Guelma.
- Longitude : 07° 28' E
- Latitude : 36° 28' N
- Altitude : 227m (Mouassa, 2006).

3. Données naturelles:

3.1. Géologie :

La géologie de la région de Guelma est caractérisée par des formations allant du Quaternaire au Trias, présentant ainsi une lithologie très variée et qui comprend essentiellement: les alluvions (sables, graviers, cailloutis.....), les grès, les marnes, les argiles et les calcaires.

Le bassin de Guelma a forme allongée d'Ouest en Est. Le fond du bassin correspond à un synclinal comblé par des sédiments. Cette dépression forme le réservoir aquifère de la vallée de Guelma est remplie essentiellement par les alluvions d'âge Mio-plio-quaternaire perméables et offrent un intérêt hydrogéologique. Ce remplissage constitue l'ancienne et actuelle terrasse de la vallée de la Seybouse (voir Fig.n°2). (Mouchara, 2009)

3.2 Hydrogéologie

La protection des nappes aquifères contre toute pollution de surface, passe impérativement par la reconnaissance de la géométrie, structure de la nappe aquifère et de sa dynamique.

3.2.1. Structure et géométrie de l'aquifère

La nappe alluviale de Guelma est composée de trois unités différentes par leur lithologie et leur stratigraphie :

- L'unité de la vallée actuelle de l'oued Seybouse, avec une altitude de 220m et 120m (Ouest, Est), appelée *basse terrasse*.

- L'unité de la vallée ancienne qui domine la première unité par une altitude variant entre 230m à 280m, et s'étend vers le Sud entre la ville de Guelma et le village de Boumahra. Cette unité forme la haute terrasse.

La liaison entre ces deux unités se fait par un talus interrompu par les petits oueds.

- L'unité des travertins ou la plaine des calcaires travertineux, constituée sur la bordure Sud-ouest de la haute terrasse, avec une altitude de 250m. (Abdouroihmane et al, 2012).

Le substratum des formations alluvionnaires est constitué essentiellement par des marnes gypseuses d'âge Miocène (Fig. n°2)

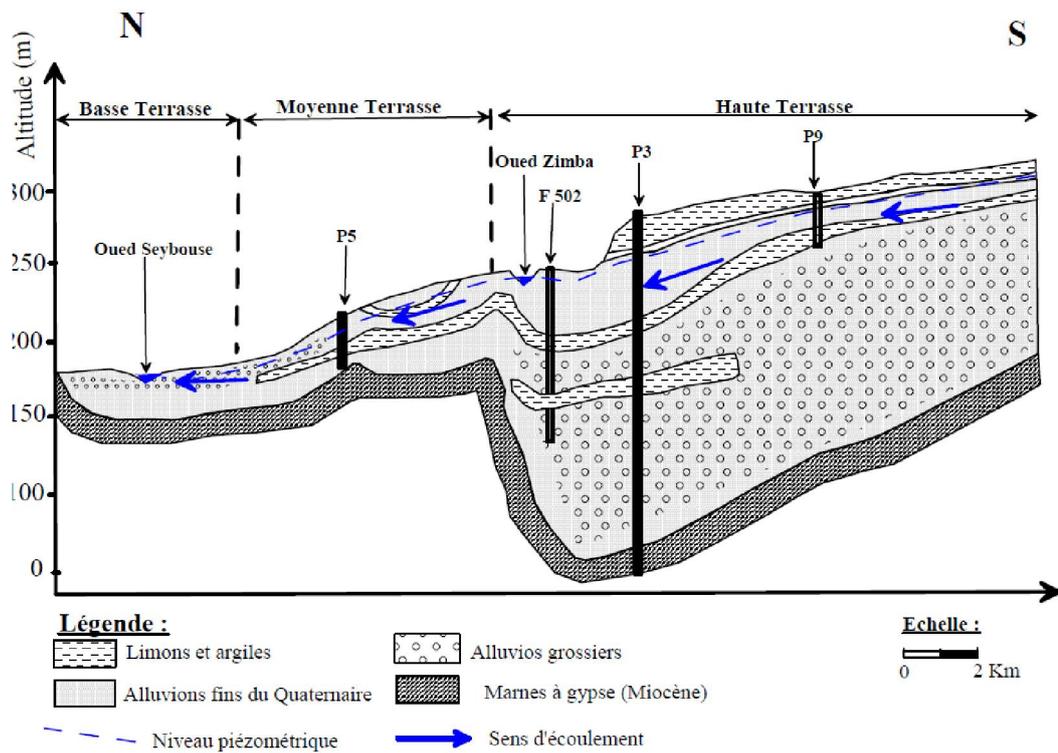


Fig. n°2. Coupe hydrogéologique

3.2.2. Réseaux hydrographique

Le bassin de Guelma est drainé essentiellement par l'oued Seybouse et ses principaux affluents qui sont Oued El Maiz, Oued El Skhounne et Oued Zimba (Fig.n°3). Il prend sa source à Medjez Amar (point de rencontre entre Oued Charef et Oued Bouhamdane). Il traverse la plaine de Guelma - Bouchegouf sur plus de 45 Km du Sud au Nord. Son apport total est estimé à 408 millions m³/an à la station de Boudroua (commune d'Ain Ben Beida), le reste du réseau hydrographique constitué d'une multitude de cours d'eau temporaires et qui servent au drainage des eaux de pluie. Le sens d'écoulement exoréique c'est à dire du sud vers le nord. Quant au régime des écoulements, il reste tributaire des précipitations et de l'importance des pentes. (Mouchara, 2009).

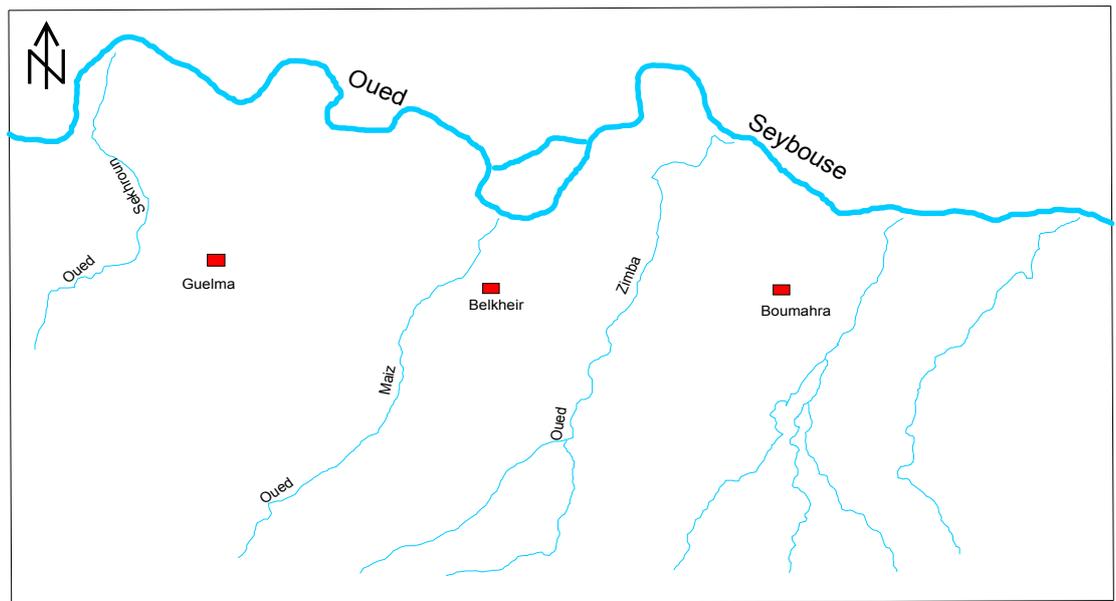


Fig. n°3. Carte de sous bassin de Guelma.

3.3. Climatologie

Le climat est un facteur abiotique important dans l'étude de la typologie et la fonction d'un milieu. La région de Guelma est caractérisée par un climat continental avec un hiver froid et pluvieux, de type humide et sub- humide et un été très chaud et sec, quelques nuages orageux rompent la monotonie du temps, accompagnés d'averses de grêle et de fortes précipitations brèves et locales, alterne souvent avec des chaleurs brûlantes qui peuvent se manifester de manière violente même en Juillet et début Août.

L'infiltration efficace et le ruissellement entraînent de manière très différente les polluants. Dans les périmètres irrigués, l'infiltration permet l'entraînement en profondeur des fertilisants et des pesticides. (Mouassa, 2006).

Pour la région d'étude, nous disposons des données climatiques de la station de Guelma (ONM) située à Belkheir pour une période de 19 ans allant de 1985/2004. (Mouchara, 2009).

3. 3.1. Les températures.

a) Les températures moyennes mensuelles

La température moyenne mensuelle la plus élevée est observée pendant d'été au mois de d'aout avec une température 27,65 °C. Par contre la température la plus basse est de 9.89 °C est observée au mois de décembre. Les autres mois présentent des températures intermédiaires. L'écart entre le mois le plus chaud et le mois le plus

froid et de 17,7 °C et la température moyenne inter-annuelle est de l'ordre de 19 °C (Fig.n°4) (Mouassa, 2006).

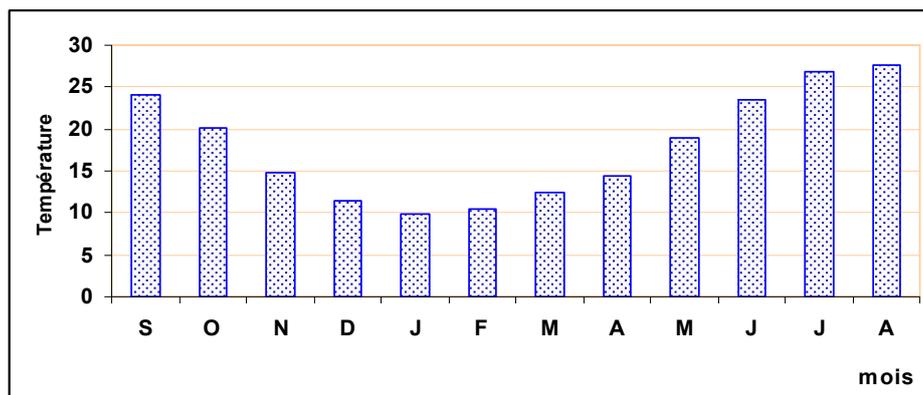


Fig. n°4 : l'évolution moyenne mensuelle des températures à la station de Belkheir (1985-2004)

3.3.2. Les Précipitations

a) Les précipitations moyennes mensuelles

D'après la figure n°5, la plus grande valeur de précipitation moyenne mensuelle, est enregistrée au mois de janvier (93,48mm), par contre la plus faible valeur correspond au mois de juillet avec 4,29 mm. La précipitation moyenne inter-annuelle est de 587.62 mm(Mouassa, 2006).

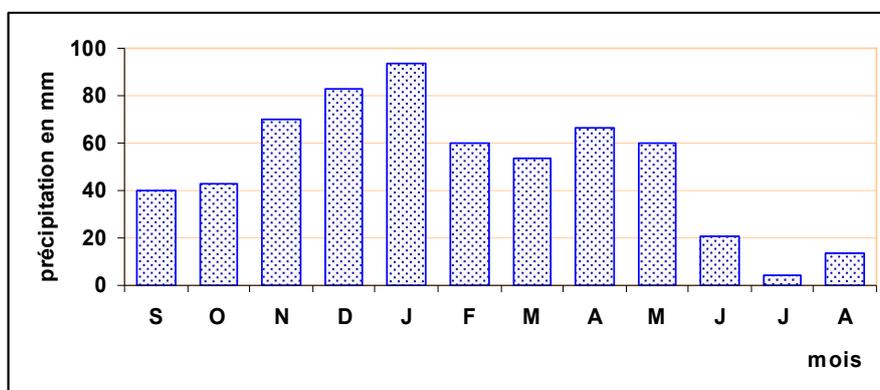


Fig. n°5. L'évolution moyenne mensuelle des précipitations à la station de Belkheir

Conclusion :

La région de Guelma est soumise à un climat méditerranéen, la moyenne des précipitations est de l'ordre de 588 mm et de température moyenne de 17,86 °C.

Il est à noter que les meilleures zones aquifères à potentiel hydraulique important sont formées par les alluvions, localisés dans le périmètre irrigué Guelma-

Boumahra et qui connait actuellement une intense activité agricole, ce qui menace sévèrement la qualité de nos ressources en eau.

1. Introduction :

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.

2. Le périmètre irrigué Guelma-Boumahra:

Les deux secteurs de Guelma et Boumahra font partie du périmètre irrigué Guelma-Boucheouf, et possèdent sa prise d'eau dans l'oued Seybouse. Les superficies et années de mise en exploitation des secteurs sont représentées dans le Tableau n°2. Le secteur Guelma, présente la plus grande superficie des terres irriguées, suivi par celui de Boumahra. Il est important de rappeler que les forages d'AEP se situent dans des terres appartenant à ces deux secteurs. (Mouchara ,2009)

Les superficies et années de mise en exploitation des secteurs sont données dans le tableau n°2.

Tab. n°1 : Superficies et années de mise en exploitation de secteur Guelma-Boumahra (ONID Guelma)

secteur	Superficie (ha)		Année de mise en exploitation
	équipée	Irriguée	
Guelma :	3500	3255	
1. bas service	2100		04/1996
2. haut service	1400		08/1998
Boumahra A.	2600	2420	08/2001

L'alimentation en eau de ce périmètre est assurée par :

- Le barrage de Hammam Debagh 30 à 55 millions m³/an.
- Les apports non régularisés de l'oued Seybouse 16 millions m³/an.

Les réseaux du périmètre sont conçus pour assurer une irrigation par aspersion à la demande, mais actuellement les secteurs sont irrigués au tour d'eau. (Mouchara ,2009)

2.1. La mise en valeur des 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 (Brahmia et al, 2006)

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. (Mouchara ,2009)

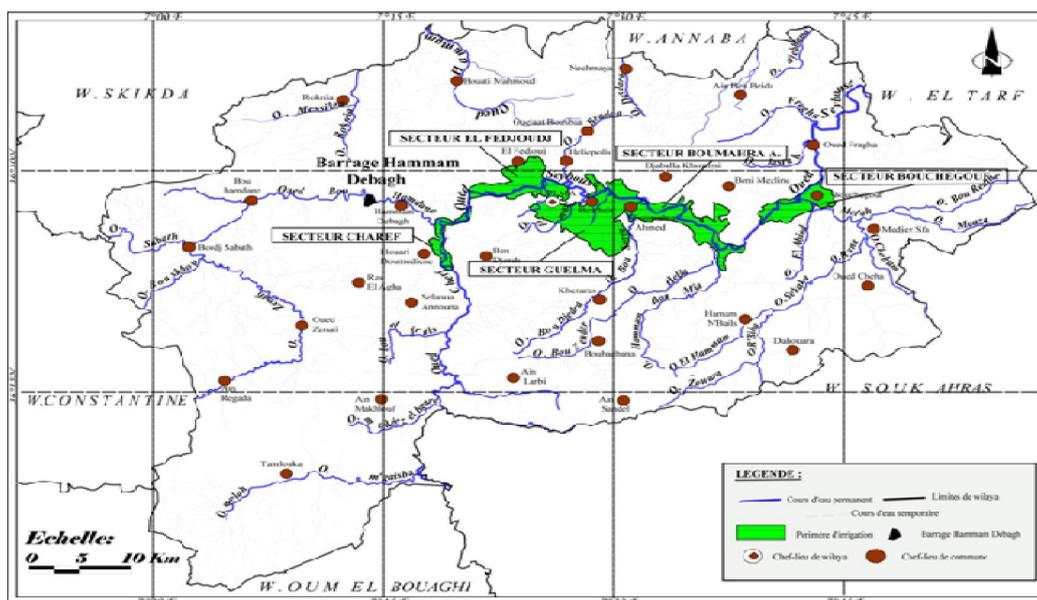


Fig. n°6: Carte de localisation des différents secteurs du périmètre d'irrigation de la plaine de Guelma. (Mouchara, 2009)

La plaine de Guelma est équipée en installation hydraulique qui assure une irrigation moderne de ses terres agricoles.

L'eau d'irrigation du périmètre est acheminée aux différents secteurs par l'oued Seybouse. Le barrage de Hammam Debagh réalisé à 20km à l'amont. La technique d'irrigation envisagée est l'irrigation par aspersion, son principe est un système d'arrosage qui consiste à distribuer l'eau sous forme de pluie sur le sol (voir photo ci-dessous). (Mouchara , 2009)

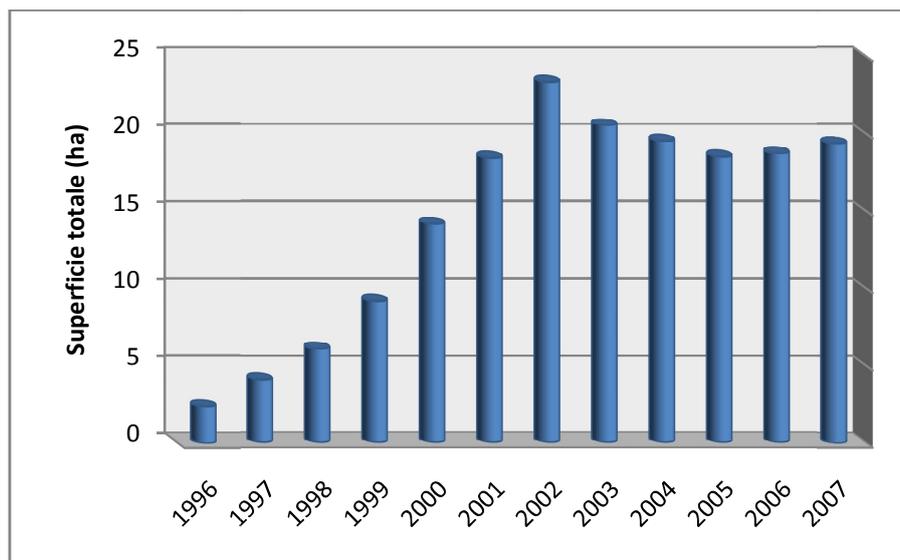


**Photos n°1. Parcelle irriguée par aspersion dans le périmètre de Boumahra
(avril 2013)**

2.2. L'évolution des superficies irriguées :

On observe que l'année 2002, présente la plus grande superficie des terres irriguées. Il est important de rappeler que le secteur de Boumahra a été mis au service.

On note que pour les deux années 2001 et 2002, les superficies irriguées ont dépassées les 2500 ha, car l'année hydrologique (2001/2002) était une année déficitaire, les précipitations enregistrées, durant cette année étaient inférieures à 350mm. L'évolution annuelle des superficies irriguées par groupes de culture, est représentée dans la figure n°8. (Bouchiheb et al, 2002)



Source: ONID Guelma

Fig. n°7. Evolution des superficies irriguées en (ha) (compagne 1996/2007)

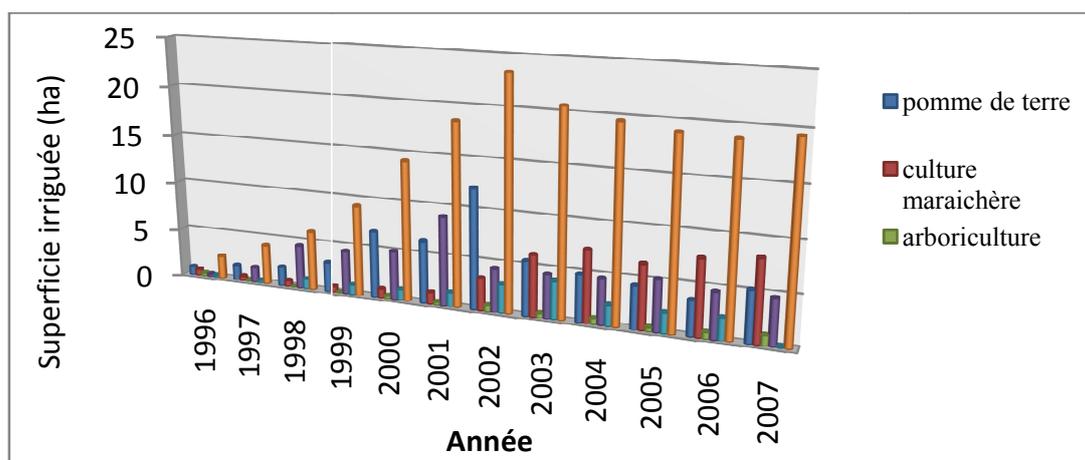


Fig. n°8 : Evolution des superficies irriguées en (ha) par groupe de culture dans le périmètre d'irrigation de la plaine de Guelma Compagne (ONID ,1996/2007)

2.3. Volumes d'eau pompés de l'oued Seybouse :

2.3.1. Evolution annuelle des volumes pompés :

Les volumes d'eau pompés de l'oued Seybouse pour l'irrigation à partir de l'année 1996 à 2007, sont variables d'une année à une autre. On note que durant l'année 2002, on a pompé le plus grand volume (23.3 hm³) (Fig. n° 8), correspondant à la plus grande superficie

de terres cultivée durant cette année (4241ha). Le débit prélevé par les seuils de pompage par secteur de l'oued Seybouse sont: secteur de Guelma, 1800 l/s, secteur de Boumarhra, 1570 l/s. (Mouchara ,2009)

Nous nous somme intéressé au secteur irrigué de Guelma-Boumahra car c'est le plus important

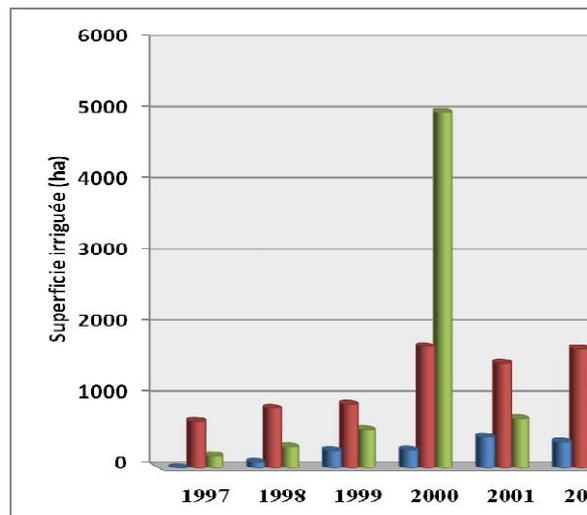


Fig. n°9: Evolution des superficies irriguées en (ha) dans le secteur Guelma-Boumahra

3. Les principaux types et origines de pollutions :

La pollution des eaux peut avoir diverses origines. Selon les activités des différents secteurs, elle peut être d'origine domestique, industrielle et agricole. (Mouchara ,2009)

3.1. Pollution domestique :

Cette dernière constitue une source de pollution plus au moins importante dans les secteurs irrigués de Guelma et Boumahra, en effet toutes les agglomérations situées le long du réseau hydrographique déversent leurs eaux usées, en particulier au niveau d'oued Maiz et Zimba. (Mouchara ,2009)

3.2. Origine industrielle :

La deuxième source de pollution des eaux est les rejets industrielles. Ces rejets sont spécifiques de l'industrie concernée et donc très variables d'une activité industrielle à l'autre.

Les activités industrielles, recensées par l'Inspection de l'Environnement pour l'année 2006, et qui sont installées tout le long des affluents de la Seybouse en particulier oued Maiz, Zimba et Chaabet Maamora. (Mouchara ,2009)



Photo n°2 Oued Maiz (avril 2013)

3.3 Origine agricole :

Il est plus courant de parler de pollution industrielle, urbaine que de pollution agricole ; toutefois, cette dernière est loin d'être négligeable. En effet, la pollution agricole, par les divers nitrates, phosphates, engrais chimiques, et les produits phytosanitaires, « impacte » largement, en matière de pollution, les eaux superficielles et souterraines. Ces diverses pollutions interdisent souvent l'utilisation de l'eau à la consommation courante, tant pour l'homme que pour les animaux.

Les pollutions diffuses, liées à l'utilisation intensive des fertilisants et des produits de traitement des cultures des champs, concernent des millions d'hectares de terrains agricoles.

Pour ce qui concerne les produits phytosanitaires, une préoccupation croissante de leur présence dans les sols.

L'on sait que la pollution des sols est en partie due à l'irrigation par une eau polluée dont 25 % des polluants sont d'origine agricole, 25 % d'origine industrielle et 50 % d'origine domestique.

Une enquête auprès des fermes pilotes, a permis d'identifier et quantifier les types d'engrais à base d'azote utilisés à raison de 1,5 q / ha. (Tableau n°2,3 et 4).

(Mouchara ,2009)

Tab. n° 2 : Types et quantités de fertilisants utilisés au niveau de la nappe alluvionnaire de Guelma (2004 /2005) (Mouchara, 2009)

Espèces	Objectifs	T.S.P 46%	Urée 46%	15.15.15
Blé dur	350 ha	525 qx	525 qx	-
Orge	100 ha	100 qx	100 qx	-
Avoine	50 ha	50 qx	50 qx	-
Fève	15 ha	-	-	30 qx

Tab. n° 3. Types et quantités de fertilisants utilisés au niveau de la nappe alluvionnaire de Guelma (2005 / 2006) (Mouchara, 2009)

Espèces	Objectifs	T.S.P 46%	Urée 46%	15.15.15
Blé dur	300 ha	450 qx	450 qx	-
Blé tendre	50 ha	75 ha	75	-
Orge	100 ha	100 qx	100 qx	-
Avoine	20 ha	20 qx	20 qx	32
Fève	16 ha	-	-	30 qx

Tab. n° 4 : Identification des engrais utilisés dans l'agriculture (Mouchara, 2009)

Types d'engrais	Observations
N.P.K : 15.15.15	N P ₂ O ₅ K ₂ O : Azote : 15% P ₂ O ₅ : 15% K ₂ O : 15%
Urée 46%	CO(NH ₂) ₂ : hydrolyse---> ammonification---> nitritation ---> nitratation (NHO ₃)
U.A.N 32%	Azote total : 32% Azote ammoniacal : 7% Azote nitrique : 7,8% Azote uréique : 16,4%

Conclusion

Le périmètre d'irrigation Guelma-Boucheouf, est constitué de six secteurs autonomes sur le plan d'aménagement et de desserte en eau. Les secteurs irrigués qui intéressent l'étude et font partie de la plaine de Guelma sont ; le secteur de Guelma et Boumahra.

La desserte en eau retenue consiste en des lâchées suivant les besoins du périmètre à partir du barrage de Hammam Debagh dans l'oued Seybouse qui draine toutes les rejets des eaux urbaines, industrielles et agricoles. Cette eau est récupérée au niveau des seuils, qui sont des ouvrages spéciaux, interceptant l'oued Seybouse et refoulent ses eaux vers des ouvrages de régulation et de stockage, distribuée par la suite au niveau du réseau de borne d'irrigation. Le type d'irrigation est par aspiration.

Introduction :

Dans le périmètre irrigué Guelma-Boumahra, des études récentes ont souligné l'existence de problèmes de dégradation de la qualité des sols et des eaux. Ces problèmes peuvent limiter la durabilité de la production agricole et risquent de provoquer des détériorations irréversibles.

Ces processus de dégradation de la qualité des sols et des eaux seraient-ils les répercussions directes de l'intensification agricole, l'irrigation en particulier ? Pour répondre à cette question, la démarche globale consiste en premier lieu à une caractérisation générale de la qualité des sols et des eaux d'irrigation en se basant sur les résultats des analyses physico-chimiques.

A) L'eau d'irrigation :

1. Mode de prélèvement :

En dehors des études de contrôle et des recherches scientifiques, la plupart des prélèvements d'eau résultent de l'application des textes législatifs et réglementaires ayant pour objet l'hygiène publique, la lutte contre la pollution, la surveillance des installations classées et des stations de traitement, la police des eaux, etc.

Donc, avant de procéder aux opérations analytiques, il est essentiel que toutes les dispositions soient prises pour que les résultats donnent bien une représentation exacte de la composition de l'eau.

1.2. Stratégie et but de l'échantillonnage :

L'échantillonnage consiste à prélever l'eau à analyser, des points étudiés en respectant certaines règles et consignes, dans le but d'obtenir de bons résultats à la fin:

- l'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau
- la nature de récipient du prélèvement est très importante car celui-ci ne doit pas entrer en réaction avec l'eau à analyser.
- chaque flacon doit être accompagné d'une fiche signalétique permettant de rassembler les renseignements utiles au laboratoire ainsi que les observations relevées au cours des opérations.
- après chaque prélèvement, l'étiquetage est primordial pour éviter tout risque de confusion, sur chaque étiquette doivent être mentionnés l'heure et la date.

- Le volume nécessaire pour une analyse complète d'eau est entre 2 à 5 litres.
- Le prélèvement subira obligatoirement un certain temps de transport et une éventuelle attente au laboratoire avant la mise en route analytique. Ces temps devront être réduits au minimum (il est préférable de mesurer sur place les paramètres physiques).

2. Analyse physico-chimique :

2.1. Les paramètres physiques :

2.1.1. Le matériel du terrain :

Pour assurer la durabilité des sources en eaux issues du périmètre irrigué de Guelma-Boumahra, trois points d'eaux d'irrigation (W1, W et W3) ont fait l'objet de prélèvements s'étale dans l'espace entre Guelma et Boumahra (photo n°3).

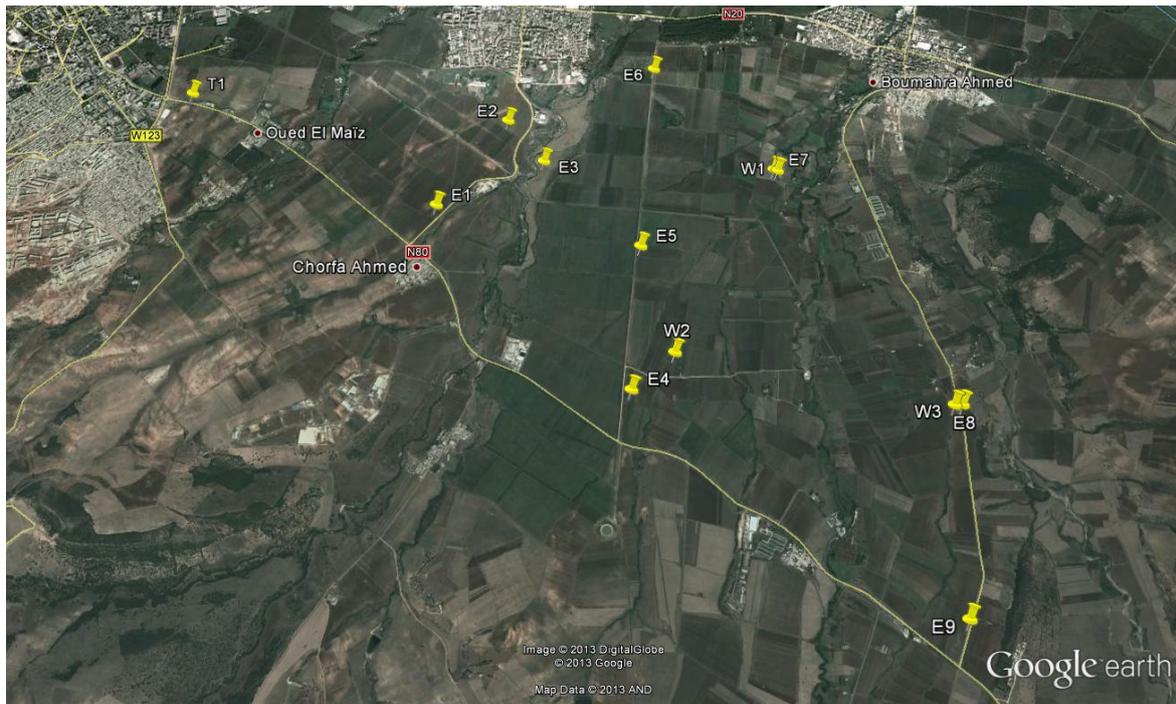
Le matériel utilisé sur le terrain est: les échantillons d'eau, un multi paramètre de marque HANNA mesurant in situ les paramètres suivants: le pH, la conductivité, TDS, la salinité et un appareil photo. Ces paramètres sont très sensibles aux conditions du milieu et susceptibles de varier dans des proportions importantes s'ils ne sont pas mesurés sur le site. Ils donnent les premières indications sur la qualité des eaux d'irrigation.

a) le potentiel d'Hydrogène (pH) :

Le pH permet de mesurer l'acidité de l'eau et la concentration en ions H^+ . L'alcalinité mesure donc l'ensemble des substances susceptibles de réagir avec les ions hydrogènes, en particulier, les ions carbonates et bicarbonates.

b) Conductivité électrique (CE) :

La conductivité dépend à la fois de la quantité d'ions présents dans le milieu et à la présence des espèces ioniques en solution. En mesurant la conductivité, nous essayons d'avoir une estimation de la quantité des sels ionisables dissous. Les valeurs de la conductivité traduisent l'état des milieux. La conductivité est exprimée en $\mu S/cm$.



**Photo n°3. Carte de situation des échantillons des sols et d'eau d'irrigation
(E: sol, W: eau d'irrigation)**



Photo n°4. Eau d'irrigation de la station de prélèvement W2

c) Turbidité:

Elle permet de préciser les informations visuelles de la couleur de l'eau. La turbidité est causée par les particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...). Les désagréments causés par une turbidité auprès des usagers est relative. Une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur les particules en suspension. Elle mesure sur le terrain à l'aide d'un tube plastique transparent, ou à l'aide d'un PC Spectro Aqualytic.

d) Salinité de l'eau d'irrigation :

La conductivité électrique rend compte de la salinité globale de l'eau. Ce paramètre associé au SAR (1) permet de situer l'eau dans les différentes classes de qualité de l'eau d'irrigation.

2.2. Analyse chimique :

2.2.1. Matériel de laboratoire :

- | | |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| - PC Spectro Aqualytic | - pH mètre |
| - des produits chimiques | - pipettes graduées |
| - béchers | - photométrie de flamme |
| - conductimètre | - des cuvettes rectangulaires de 50 mm |
| - dispositif de filtration (pompe à vide) | - agitateur |

2.2.2. Les prélèvements :

La nature de matériaux du récipient de prélèvement est très importante car celui-ci ne doit pas entrer en réaction avec l'eau à analyser ou permettre la fuite de certains gaz. De plus, le prélèvement conditionne les résultats analytiques et, par voie de conséquence, l'interprétation qui sera faite. Pour l'analyse chimique, nos échantillons d'eau d'irrigation ont été prélevés dans des bouteilles en plastique des eaux minérales.

2.2.3. Les paramètres chimiques :

a) Dosage du Calcium (Ca^{+2}) :

La dureté calcique : concentration en ion calcium. Elle se détermine par titrage par l'EDTA à $\text{pH} > 12$

❖ Réactifs utilisés :

- Patton et Reeder
- solution Tompon pour $\text{pH}=12$
- solution d'EDTA

❖ Mode opératoire :

- introduire 10ml d'eau analysé dans un bécher (V_1).
- ajouter la solution Tompon jusqu'à l'apparition de la couleur rose.
- titrer par EDTA ($C_2=0,01\text{M}$) jusqu'au le virage vers la couleur bleu (V_2).

❖ Expression des résultats :

$$[\text{Ca}^{+2}] \text{ mg/l} = 40 [\text{EDTA}] (V_2)/V_1$$

b) la dureté total :

La dureté totale : concentration totale en ions calcium et magnésium. Elle se détermine par titrage par l'EDTA à $\text{pH} = 10$, en utilisant le NET (noir d'ériochrome) comme indicateur de fin de réaction. Elle s'exprime en degré hydrotimétrique °TH

❖ réactifs utilisés

- Noire de Réochrome.
- solution d'EDTA

❖ Mode opératoire :

- introduire 10ml d'eau analysé dans un bécher (V_1).
- ajouter la solution Tompon jusqu'à l'apparition de la couleur rose.
- titrer par EDTA ($C_2=0,01\text{M}$) jusqu'au le virage vers la couleur bleu (V_2).

❖ Expression des résultats :

$$C_1 \text{ (mg/l)} = (C_2 V_2/V_1) (40) (1000)$$

c) la dureté Magnétique :

La dureté total = la dureté Calcique + la dureté Magnétique

Donc: La dureté Magnétique = la dureté total – la dureté Calcique

❖ **Expression des résultats :**

$$[\text{Mg}^{+2}] \text{ mg/l} = [\text{Th}] \text{ mg/l} - [\text{Ca}^{+2}] \text{ mg/l}$$

d) Dosage du Chlorure:

❖ **Réactifs utilisés :**

- solution de chromate de potassium et solution de nitrate d'argent à 0,001M

❖ **Mode opératoire :**

- introduire 10ml d'eau à analyser, dans un bécher (V_1) et ajouter 2 gouttes de solution de chromate de potassium
- verser au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent ($C_2=0,001\text{M}$) jusqu'à l'apparition d'une teinte crovette (V_2).

❖ **Expression des résultats :**

$$C_1 \text{ (mg/l)} = 35,5 C_2 V_2/V_1$$

e) détermination des nitrates NO_3^- (méthode colorimétrique) :

❖ **Réactifs utilisés :**

- NO_3^{-1} et NO_3^{-2}

❖ **Mode opératoire :**

- prendre 5ml de l'échantillon à analyser. (2 échantillons A : c'est le témoin, et B) ensuite ajouter 5 gouttes de NO_3^{-1} et 1 cuillère de NO_3^{-2} à l'échantillon B.
- laisser 5min, on suite comparé les résultats avec celle de papier colorimétrique.

f) détermination des nitrites NO_2^- (méthode colorimétrique)

❖ **Réactifs utilisés**

- NO_2^{-1} et NO_2^{-2}

❖ **Mode opératoire**

- prendre 5ml de l'échantillon à analyser. (2 échantillons A : c'est le témoin, et B) ensuite ajouter 4 gouttes de NO_2^{-1} et 1 cuillère de NO_2^{-2} à l'échantillon B.
- laisser 10min, on suite comparé les résultats avec celle de papier colorimétrique (les résultats sont exprimés en mg/l).

g) détermination de phosphate $\text{PO}_4^{-\text{P}}$ (méthode colorimétrique)

❖ **Réactifs utilisés**

- PO_4^{-1} et PO_4^{-2}

❖ **Mode opératoire :**

- prendre 5ml de l'échantillon à analyser. (2 échantillons A : c'est le témoin, et B) ensuite ajouter 6 gouttes de PO_4^{-1} et 6 gouttes de PO_4^{-2} à l'échantillon B.
- laisser 10min, on suite comparé les résultats avec celle de papier colorimétrique (les résultats sont exprimés en mg/l).

h) détermination du sulfate SO₄ (méthode de spectro) :

❖ Matériels et Réactifs :

- solution turbidimétrique
- appareillage de filtration sous vide pour filtrer les échantillons
- appareil de spectro

❖ Mode opératoire :

- prendre 10ml de l'eau distillé (c'est le témoin)
- ensuite le test sur les échantillons: pour chaque test prendre 10ml de l'échantillon filtré et ajouter 1ml de solution turbidimétrique

i) détermination de Na⁺ (méthode de photométrie à flamme) :

❖ Réactifs utilisés

-des solutions d'étalonnage: solution Na⁺ 100mg/l, 80mg/l, 30mg/l, 10mg/l.

-photomètre de flamme.

❖ Mode opératoire :

- placer le filtre sur Na⁺
- faire passer le témoin pour le réglage à 0
- faire passer la solution étalon fille la plus concentrée
- faire passer ensuite les autres solutions étalons filles.
- ensuite faire passer la solution à doser et faire la lecture
- entre chaque mesure, rincer le dispositif de pulvérisation à l'eau distillée.

j) détermination de potassium K (méthode de photométrie à flamme)

❖ Réactifs utilisés :

-des solutions d'étalonnage K: 50mg/l, 25mg/l, 12,5mg/l, 6mg/l

-photomètre à flamme

❖ Mode opératoire :

- placer le filtre sur K
- faire passer le témoin pour le réglage à 0.
- faire passer la solution étalon fille la plus concentrée, ensuite les autres solutions étalons.
- faire passer la solution à doser et faire la lecture
- entre chaque mesure, rincer le dispositif de pulvérisation à l'eau distillée.



Photo. n°5. Appareil de photométrie à flamme

B) Le sol :

3) mode de prélèvement :

En agriculture, comme dans bien d'autres domaines, il est impossible de mesurer une ou plusieurs caractéristiques sur l'ensemble d'un groupe ou d'une parcelle. En effet, il n'est pas envisageable de transporter la totalité de la terre de sa parcelle ou d'emporter tout son silo pour réaliser une analyse...

L'échantillonnage, lorsqu'il est bien réalisé, doit être représentatif de l'ensemble de la masse du produit dont on désire connaître les caractéristiques. Par exemple, on prélèvera 500 g à 1kg de terre sur 3500 à 4000 tonnes de terre arable/ha.

Une erreur d'échantillonnage conduit à des résultats erronés qui ne pourront pas s'appliquer à l'ensemble de la parcelle et qui pourraient avoir de lourdes conséquences financières et agronomiques pour la gestion de votre exploitation.

4) Stratégie de l'échantillonnage :

Pour réaliser un échantillon de sol de qualité, il est important de respecter certaines règles. En général, il est préférable que l'échantillonneur se rende sur les parcelles avec l'exploitant qui pourra lui donner des indications précieuses sur les particularités de celles-ci.

a) Homogénéité de la parcelle :

Si la parcelle est homogène, 1 seul échantillon suffira. Si par contre la parcelle présente une ou plusieurs hétérogénéités, il faudra diviser la parcelle en plusieurs zones d'échantillonnage (lorsque : différents types de sol sont présents sur la parcelle).

b) Taille de la parcelle :

En zone homogène, la surface échantillonnée ne doit pas dépasser 4-5 ha. Pour des surfaces plus importantes, il est conseillé de morceler la parcelle.

c) Profondeur de prélèvement :

Selon la culture en place et la destination de la parcelle, des profondeurs d'échantillonnage ont été standardisées et fixées.

Tab.n°5.Profondeur d'échantillonnage selon l'occupation du sol

(Vander Vennet D., 2006)

Destination du sol	Profondeur de prélèvement	Remarques
Sols agricoles	15 cm	Prairies permanentes
	20 cm	Prairies temporaires et cultures
Sols forestiers	20 cm	Enlever la litière
Sols horticoles et jardins	20 cm	Profondeur de bêchage
Sols de pépinières	20 cm	
Sols de vergers	20 cm	
	30 à 50 cm	Facultatif

d) Localisation des prélèvements :

Il faut déterminer les endroits d'échantillonnage de la manière la plus aléatoire possible. La parcelle peut être arpentée en "W" successifs, en diagonale ou en serpentant.

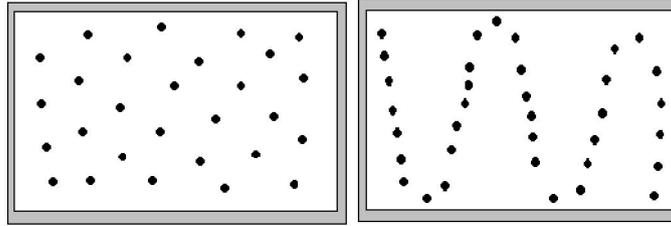


Fig. n°10. Exemple de la répartition des prises individuelles qui composent l'échantillon

3. Analyse physico-chimique :

3-1. Le matériels du terrain :

Dix échantillons de sols, dont 9 dans le sol irrigués et 1 non irrigué ont fait l'objet de prélèvements et s'étalent dans l'espace entre Guelma et Boumahra est représenté dans la carte de situation en photo n°3.

Généralement le matériel utilisé sur le terrain est: un tournevis, une tarière métallique ou tout autre objet de ce style est nécessaire pour faire l'échantillonnage, un appareil photo numérique, appareil de GPS, des sacs en plastique noirs (Fig.11 et photo n°6.)



Fig. n°11. Matériel d'échantillonnage



Photo n° 6. Prise d'échantillon du sol dans le périmètre Guelma- Belkheir

3-2. La préparation des extraits des sols dans un laboratoire :

Avant l'analyse physico-chimique des différents types des sols, les composants du sol doivent être transportés sous forme liquide par l'extraction avec l'eau distillée.

❖ Matériel nécessaire :

- four
- l'eau distillée
- des éprouvettes de 100ml
- balance
- tamis

❖ Mode opératoire :

- sécher les 10 échantillons des sols dans un four à 100°C
- broyer les échantillons.
- Tamiser les sols broyés.
- Ensuite peser 1 fraction de sol (30g par exemple) et poser dans une éprouvette et ajouter 2 fractions d'eau distillée (60ml).
- Laisser les échantillons des sols pendant 2 ou 3 jours pour bien extraction.
- Ensuite réaliser les différents types des analyses sur l'extrait du sol.

3.3. Les paramètres physiques :

Les paramètres physiques mesurés sont : pH, CE et TDS.

3.4. Analyse chimique :

3.4.1. Matériels de laboratoire :

- appareil de spectro
- agitateur magnétique
- des produits chimiques
- béchers
- balance
- l'eau distillée
- PH mètre
- conductimètre
- Calcimètre de Bernard

et autres matériels utilisés au laboratoire pour faire les analyses.

3.4.2. Les paramètres chimiques :

a) Carbonate de calcium (CaCO_3) :

❖ Matériel et réactifs

- Calcimètre de Bernard
- Acide nitrique
- Bécher
- Balance

❖ **Mode opératoire :**

La méthode est basée sur la détermination gazométrique de l'anhydride carbonique qui s'échappe lorsque l'on attaque le sol (peser 1g) avec de l'acide nitrique. L'on utilise le Calcimètre de Bernard, qui permet la détermination volumétrique dans les conditions atmosphériques.



Photos n°7. Le Calcimètre de Bernard

b) Dosage des chlorures :

❖ **Principe:**

Les Chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrates d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte crevette caractéristique du chromate d'argent.

❖ **Réactifs utilisés :**

- solution de chromate de potassium
- solution de nitrate d'argent à 0,001M

❖ **Mode opératoire :**

- introduire 10ml d'eau (l'extrait de sol) à analyser, dans un bécher (V_1)
- ajouter 2 gouttes de solution de chromate de potassium
- verser au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent ($C_2=0,001M$) jusqu'à l'apparition d'une teinte corvette (V_2).

❖ **Expression des résultats :**

$$C_1 \text{ (mg/l)} = 35,5 C_2 V_2/V_1$$

c) Détermination du nitrate et du nitrite (méthode colorimétrique)

Pour établir la concentration en nitrate/nitrite dans l'extrait de sol A (L'extrait de sol A préparé avec la solution d'extraction A « solution de chlorure de calcium 0,0125 mol/dm³ » sert à l'analyse de l'ammonium, du nitrite et du nitrate), on utilise les languettes QUANTOFIX® Nitrate/Nitrite.

❖ Mode opératoire :

- Plonger une languette très brièvement (1 seconde) dans l'extrait de sol A.
- Après 60 (s) comparer la zone de mesure de la languette avec l'échelle colorée.
- En présence d'ions de nitrate, la zone de mesure à l'extrémité de la languette vire au rouge violet et la deuxième zone réactive sur la languette montre la concentration en nitrite.

❖ Expression des résultats :

- Lire le résultat en mg/l NO₃ et multiplier par 0,23 pour un résultat en mg/kg N; p.ex. 100 mg/l NO₃ x 0,23 = 23,0 mg/kg N
- Lire le résultat en mg/l NO₂ et multiplier par 0,30 pour un résultat en mg/kg N.

d) Détermination de l'ammonium:

Pour établir la présence d'azote ammoniacal dans l'extrait de sol A, on utilise les languettes test QUANTOFIX® Ammonium (voir photo n°8).

❖ Mode opératoire :

- Remplir le tube à essai (31) d'extrait de sol A jusqu'à la marque de 5 ml.
- Ajouter 10 gouttes d'ammonium-1 (29) et mélanger avec précaution.
- Tremper la languette test pendant 5 secondes dans la solution ainsi préparée.
- Comparer le champ de test avec l'échelle colorée.
- Lire la valeur obtenue. Le papier se colore en brun en présence d'ammonium.
- Ne pas toucher le champ de test avec les doigts.

❖ Expression des résultats :

- Lire le résultat en mg/l NH₄ et multiplier par 0,78 pour un résultat en mg/kg N; p.ex. 100 mg/l NH₄ x 0,78 = 78,0 mg/kg N

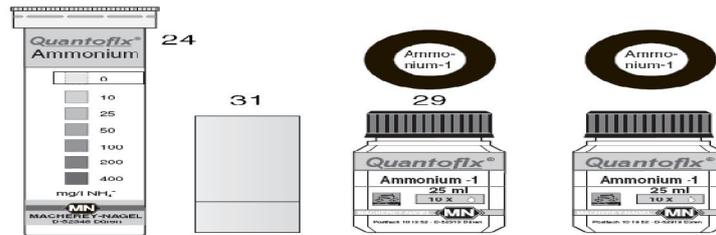


Photo n°8. Languettes test QUANTOFIX®

e) Détermination du phosphore:

❖ **Matériel:**

L'analyse du phosphore se fait à l'aide d'un test colorimétrique (voir photo n°9)

❖ **Mode opératoire :**

- Placer deux tubes gradués (19) dans le comparateur (20).
- Placer le disque coloré (qui se trouve dans le couvercle de la mallette).
- A l'aide de la seringue en plastique de 1 ml (11), verser dans les deux tubes 1,6 ml d'extrait de sol B (L'extrait de sol B préparé avec la solution d'extraction B « solution CAL = acétate lactate de calcium $0,05 \text{ mol/dm}^3$ » est utilisé pour l'analyse du phosphore et du potassium).
- Compléter avec de l'eau distillée jusqu'à la marque.
- Dans le tube de droite, ajouter 6 gouttes de P-1 (33) et mélanger.
- Dans le tube de gauche, ajouter 6 gouttes de P-K (35) et mélanger.
- Après 10 minutes : lire la valeur obtenue et en regardant par le haut, comparer la couleur des deux tubes et faire tourner le disque coloré jusqu'à ce que la couleur soit identique et lire la valeur indiquée à l'avant du bloc comparateur.

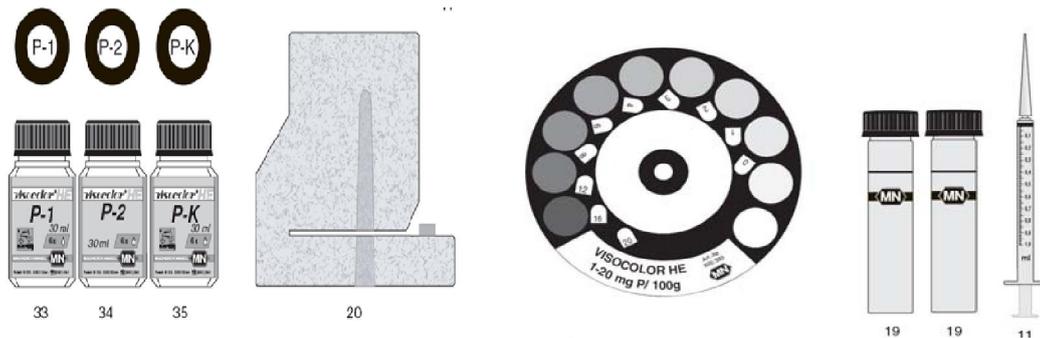


Photo. n°9. Matériels du test colorimétrique

❖ **Expression des résultats :**

Lire le résultat du phosphore en mg/100 g et multiplier par 10 pour un résultat en mg/kg P. p.ex. 6 mg/100 g P x 10 = 60 mg/kg P

f) Détermination du potassium:

La détermination du potassium se fait par néphélométrie, c'est-à-dire que la turbidité induite par le potassium est analysée (voir photo n°10)

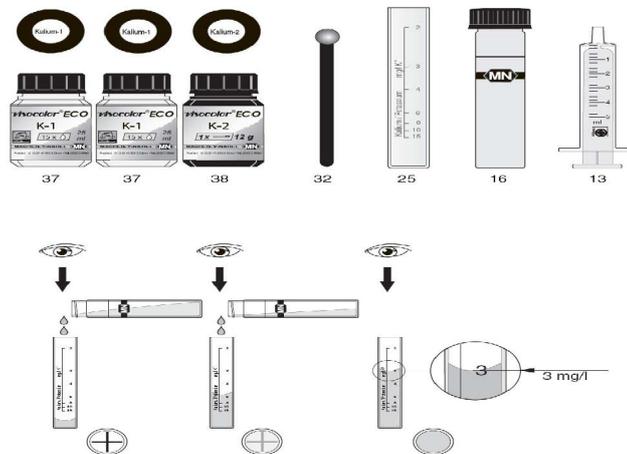


Photo. n°10. Détermination potassium

❖ **Mode opératoire :**

- Verser de l'extrait de sol B dans un tube à essai propre (16), jusqu'à la marque.
- Ajouter 20 gouttes de potassium-1 (37) dans le tube à essai, fermer, mélanger.
- Ajouter une cuillère à mesurer rase de potassium-2 (38) dans le tube à essai, fermer et agiter pendant 30 secondes ensuite verser dans le tube gradué-potassium (25) assez de ce

liquide pour que la croix noire du fond du tube gradué devienne totalement invisible et lire sur l'échelle du tube gradué la teneur en potassium.

❖ **Expression des résultats :**

Lire le résultat du potassium en mg/l K et multiplier par 20 pour un résultat en mg/kg K p.
ex. $3 \text{ mg/l K} \times 20 = 60 \text{ mg/kg K}$

g) Détermination de VBS: valeur de bleu d'un sol :

❖ **Objet de l'essai:**

L'essai est pour objet de mesurer la capacité d'adsorption du bleu de méthylène c'est-à-dire la quantité de ce colorant nécessaire pour recouvrir d'une couche mono-élémentaire les surfaces externes et internes de toutes les particules argileuses dans 100g de sol.

❖ **Mode opératoire :**

L'essai consiste à procéder à de injections successive (selon l'argilosité du sol) de solution de bleu de méthylène dans une suspension de sol maintenue en suspension que l'on dépose sur un papier chromatographique .

Les injections sont pour suivies jusqu'à ce qu'apparaisse une auréole périphérique bleu clair, de large millimétrique, dans la zone humide de la tache. On peut alors considérer que l'adsorption du bleu sur les particules d'argile est terminée et que c'est l'excès de bleu de méthylène qui apparait dans l'auréole. L'essai est dit alors positif et a partir de ce moment, on laisse se pour suivre l'adsorption du bleu dans la solution et l'on effectuer des taches, de minute en minute, sans ajout de solution.

Si l'essai redevient négative à la cinquième tache ou avant, on procède à des nouvelles injections de bleu.

Les sols du périmètre de Guelma-Boumahra constituent la plaine alluviale et situé sur la rive droite de la Seybouse. Aujourd'hui plus de 6000 ha sont réservés à l'irrigation.

2. La qualité de l'eau de l'irrigation :

Dans les régions arides et semi-arides de l'Algérie, l'irrigation est nécessaire pour une production agricole satisfaisante. Un développement important de l'irrigation par système pivot a été très bien constaté dans le périmètre irrigué Guelma-Boumahra durant les 15 dernières années.

Le choix d'une source d'eau pour l'irrigation doit dépendre du type et de la concentration des substances qui y sont dissoutes ou en suspension. Il dépend aussi des caractéristiques physiques et chimiques du sol. Bien que certaines sources d'eau soient pures, d'autres par contre contiennent des taux élevés de sels, de microorganismes et d'autres résidus. Ces eaux peuvent causer directement des blessures aux produits agricoles ou encore influencer les propriétés du sol et causer des problèmes indirects.

1.2 Critères de la qualité de l'eau d'irrigation :

Les pédologues utilisent les catégories suivantes pour décrire les effets de l'eau d'irrigation sur la production agricole et la qualité des sols:

- Risque de salinité - la teneur totale en sels solubles
- Risques de sodium - proportion comparée de sodium aux ions calcium et magnésium (SAR)
- pH - acide ou basique
- Alcalinité - carbonate et bicarbonate
- Ions spécifiques: le chlorure, le sulfate, le bore, et le nitrate.

1.1.1 La salinité:

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de sodium (Na^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates (HCO_3^-). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires.

La salinité peut se mesurer de deux façons, soit par les sels dissoutes totaux (TDS) exprimé en mg/l ou, plus couramment, par la conductivité électrique.

Le principal effet de l'eau à haute CE sur la productivité des cultures est l'incapacité de l'usine de rivaliser avec les ions dans la solution du sol pour l'eau (sécheresse physiologique). Plus la CE, le moins d'eau disponible pour les plantes, même si le sol peut sembler humide. Parce que les plantes ne peuvent transpirer eau «pure», l'eau végétale utilisable dans la solution du sol diminue considérablement avec l'augmentation de la CE.

La production agricole baisse considérablement pour une eau d'irrigation ayant une haute CE. D'autres facteurs aussi influençant le rendement comprennent le type de sol, le drainage, le type de sel, système d'irrigation et de gestion.

Le degré de salinité y est indiqué en termes de conductivité électrique qui est une mesure facile à obtenir à l'aide d'appareil conductivimètre (plus y a de sels dans l'eau plus la conductivité est grande).

Classe Conductivité électrique(CE) Indice de salinité

Classe 1 (C1) 250 μ S/cm basse salinité

Classe 2 (C2) 250 μ S/cm à 750 μ S/cm salinité modéré

Classe 3 (C3) 750 μ S/cm à 2250 μ S/cm haute salinité

Classe 4 (C4) au dessus de 2250 μ S/cm très haute salinité

L'eau d'irrigation utilisé dans le périmètre irrigué de Guelma-Boumahra se situant dans la classe C3 présentant une haute salinité et ne devrait pas être utilisée dans les sols où le drainage est faible. De plus, ce type d'eau ne doit pas servir à irriguer les plantes sensibles aux sels même sur les sols ayant un bon drainage.

Tab.6. Lignes directrices générales pour risque de salinité de l'eau d'irrigation basé sur la conductivité électrique.

Des limitations d'utilisation	Conductivité électrique (CE)	
	µmho/cm	Valeurs obtenues
Aucun	750	
Certains	760 à 1500	1188
Modéré ¹	1510 à 3000	
² Sévère	≤ 3000	

1.1.2. Le sodium :

Le sodium (Na) est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Cet élément origine de l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation.

Le problème principal avec une grande quantité de sodium est son effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol ce qui provoque un sol dur et compact lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau. La perméabilité des sols sableux peut ne pas se détériorer aussi vite que les sols plus lourds lorsqu'ils sont irrigués avec une eau de forte teneur en sodium, cependant un problème potentiel existe.

Le sodium contribue aussi directement à la salinité totale de l'eau et peut être toxique pour des cultures sensibles comme les carottes, les haricots, les fraises, les framboises, les oignons, pour en nommer quelques unes.

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

A l'aide du SAR, on divise les eaux d'irrigation en trois classes. La classification est basée principalement sur l'effet du sodium sur les conditions physiques du sol.

- *Classe 1 avec un RAS se situant entre 0 et 6*: peut généralement être utilisée sur tout type de sol avec peu de problème d'accumulation de sodium.
- *Classe 2 avec un RAS se situe entre 6 et 9*: les risques de problème reliés avec la perméabilité du sol augmentent. Dans ce cas, le sol devrait être échantillonné tous les 1 ou 2 ans pour déterminer si l'eau augmente la teneur en sodium du sol.
- *Classe 3 avec un RAS de plus de 9*: ne devrait pas être utilisée même si le contenu total en sel est relativement bas. Un usage continu d'eau avec un RAS élevé provoque une déstructuration du sol.

$$SAR = \frac{Na^{+} meqL}{\sqrt{\frac{(Ca^{++} meqL) + (Mg^{++} meqL)}{2}}} = 10.25$$

Les eaux d'irrigation du périmètre Guelma-Boumahra appartiennent à la classe 2, présentant ainsi un taux de sodium élevé.

1.1.3 La dureté :

La dureté fait référence à la quantité de calcium et de magnésium contenue dans l'eau. Ces deux éléments proviennent de l'altération de la roche-mère. La teneur en calcium est habituellement plus élevée que le magnésium dans les eaux souterraines. Par contre, là où on trouve de la contamination par l'eau de mer, la concentration en magnésium peut être plus élevée que celle du calcium.

En général, une eau dure n'est pas souhaitable pour l'usage domestique car elle réduit de beaucoup l'efficacité des savons. Par contre, en agriculture, une eau dure aide le sol à conserver une bonne structure par les ponts calciques.

Tab n°7 : Degré relatif de dureté de l'eau selon la qualité de carbonate de calcium.

Dureté (mg/l CaCo3)	Degré relatif de dureté	Valeur obtenue (eau irrigation)
0-50	Très douce	
50-100	Douce	

100-200	Modérément douce	
200-300	Dur	220

1.1.4 Le pH :

Le pH est la mesure de la concentration en ions hydrogène de la solution (H^+). Il est représenté par une expression logarithmique, c'est donc dire que la concentration en H^+ , à pH 6,0 est 10 fois plus grande que celle à pH 7,0 et 100 fois plus grande que celle à pH 8,0. Plus la concentration en ion hydrogène est élevée, plus le pH est bas et plus c'est acide. Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation.

Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 5,5 et 6,5. À ces valeurs, la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale. Les sols étudiés du périmètre irrigué Guelma-Boumahra présentent des pH compris entre 7.35 et 8, la grande majorité des échantillons analysés montrent des pH moyennement basiques supérieurs aux valeurs recommandées.

1.1.5 Les chlorures et les sulfates :

Lorsqu'ils sont présents dans l'eau d'irrigation, ces éléments contribuent à augmenter la concentration des sels solubles. Des concentrations excessives de chlorures et de sulfates peuvent causer des brûlures sur le bout des feuilles des produits agricoles et voire même entraîner la mort des plants. Des concentrations de 250 à 400 mg/l sont considérées comme indésirables pour l'irrigation des plantes sensibles aux sels.

Heureusement, les sels de chlorure et de sulfate sont rapidement solubles. Ils peuvent donc être lessivés dans les sols qui se drainent bien.

Les eaux d'irrigation présentent des teneurs très faibles en chlorure (30 mg/l) et sulfates (65 mg/l).

1.1.6 Azote :

Les nitrates, qui permettent de fournir de l'azote à la plante, sont les plus problématiques. En effet, apportés en excès, ils peuvent avoir plusieurs impacts négatifs sur les cultures: ils entraînent des retards de maturation, une altération de la qualité, etc.

Sur le milieu naturel: les nitrates sont les principaux responsables de l'eutrophisation des milieux aquatiques. Les nitrates peuvent être à l'origine de la formation de nitrites.

Les teneurs en nitrates enregistrées au niveau des points d'irrigation de w1, w2 et w3 sont respectivement de 7.5 mg/l, 25 mg/l et 7.5 mg/l. Concernant les nitrites on enregistre des teneurs de 2, 0.1 et 0.15 mg/l respectivement.

La comparaison des concentrations en nitrates enregistrées au niveau de ces eaux d'irrigation avec la norme de qualité des eaux destinées à l'irrigation montre que, ces concentrations sont très inférieures à 50 mg/l, ce qui permet de déduire que ces effluents sont acceptables pour l'irrigation des cultures. Par contre les teneurs en nitrites enregistrées au niveau de w1 dépassent largement 0,1 mg/l fixées par l'OMS en matière de l'eau potable.

Tab .n°8. Barème de qualité de l'eau d'irrigation

Type de problèmes	Sévérité du problème		
	Aucune	Légère	Élevée
Salinité			
≤≤ Conductivité (dS/m)	<0,75	0,75-3,0	>3
≤≤ Matières dissoutes totales (mg/litre)	<700	700-2000	>2000
RAS (Ration d'Absorption du Sodium)	<3	3-9	>9
Alcalinité ou dureté (équivalent en CaCO ₃)	80-120		>200
pH (risque de colmatage)	<7,0	7-8	>8,0
Fe mg/l (risque de colmatage)	<0,2	0,2-1,5	>1,5
Manganèse mg/L (risque de colmatage)	<0,1	0,1-1,5	>1,5

2. Qualité du sol :

La contamination des sols due à l'activité agricole, aux épandages de boues d'épuration et aux déchets d'origine industrielle devient aujourd'hui un problème préoccupant. Cela se traduit par des impacts négatifs sur les activités dépendant directement ou indirectement de la terre, mais aussi sur la santé humaine et les écosystèmes.

2.1. Origine de la pollution des sols :

La pollution du sol peut être d'origine industrielle, suite à la présence d'une industrie polluante ne prenant pas toutes les précautions nécessaires pour éviter les fuites, avec l'utilisation massive d'engrais ou d'insecticides qui s'infiltreront dans les sols.

Les métaux qui dégradent les sols, sont d'origines naturelles ou sont issus de l'activité humaine, tout comme les pesticides employés dans l'agriculture. Cependant, toutes les zones ne sont pas égales devant les pollutions, certaines sont particulièrement sensibles. Une contamination du sol a souvent pour origine une diffusion lente de produits stockés dans des conditions non réglementaires. Un site pollué peut apparaître ou être découvert en cas d'accident d'exploitation.

Il existe deux types de pollutions:

- *la pollution diffuse*: Elle touche une grande superficie. Elle peut être due aux pratiques agricoles ou aux retombées atmosphériques

- *la pollution ponctuelle*: Elle est très localisée et intense. Elle est liée à des sites industriels, à des dépôts de déchets ou à d'autres sites pollués de façon chronique ou accidentelle. Il existe plusieurs types de polluants qu'on retrouve dans le sol. Les polluants peuvent être: inorganiques (métaux, métalloïde, sels, acides) et organiques.

La dégradation de la qualité des sols et des eaux suite à l'irrigation constitue un danger sérieux pour la durabilité de ce système d'exploitation des terres. Il est bien connu que la mise en valeur agricole sous irrigation conduit le plus souvent à la dégradation de la qualité des sols.

Les principaux impacts sont:

- La salinisation secondaire des sols;
- La recharge de la nappe par les eaux usées de drainage;
- La remontée de nappe salée;
- La stagnation d'eau en surface dans le cas de sols à mauvais assainissement et drainage;
- La pollution des sols par l'utilisation abusive et non rationnelle des engrais et pesticides;
- La pollution des eaux souterraines par les nitrates et les pesticides;
- La compaction des sols;
- Les pertes de matière organique;
- L'acidification des sols.

Comme pour tous les problèmes de dégradation des sols, la prévention est toujours moins coûteuse que la réhabilitation d'un sol pollué. En effet la pollution est parfois irréversible, ou peut avoir des effets majeurs à retardement.

L'étude a porté sur 10 sites d'observation, dont 9 dans le périmètre irrigués et 1 en sol témoin. Les échantillons ont été prélevés dans l'horizon 0-30 cm. Les paramètres de qualité retenus sont les paramètres physico-chimiques : conductivité électrique, pH, les produits azotés, CaCO_3 , SO_4etc.

2.2. Le pH :

Dans le périmètre irrigué de Guelma-Boumahra, la plupart des sols analysés sont basiques avec un pH autour de 8. La plus forte valeur est enregistrée au niveau E4. Selon les professionnels, un pH au dessus de 8.5 à 9 pourrait indiquer un excès de sodium dans le sol.

Les engrais acidifiants, sont à éviter sur des sols acides, importante diminution de pH entraîne une concentration excessive en aluminium, fer et manganèse à des niveaux jugés parfois toxiques pour les plantes. En revanche dans les sols basiques, ces engrais améliorent la disponibilité de certains éléments nutritifs, tels que le phosphore le fer, le manganèse le zinc et le cuivre. (Fig. n°12)

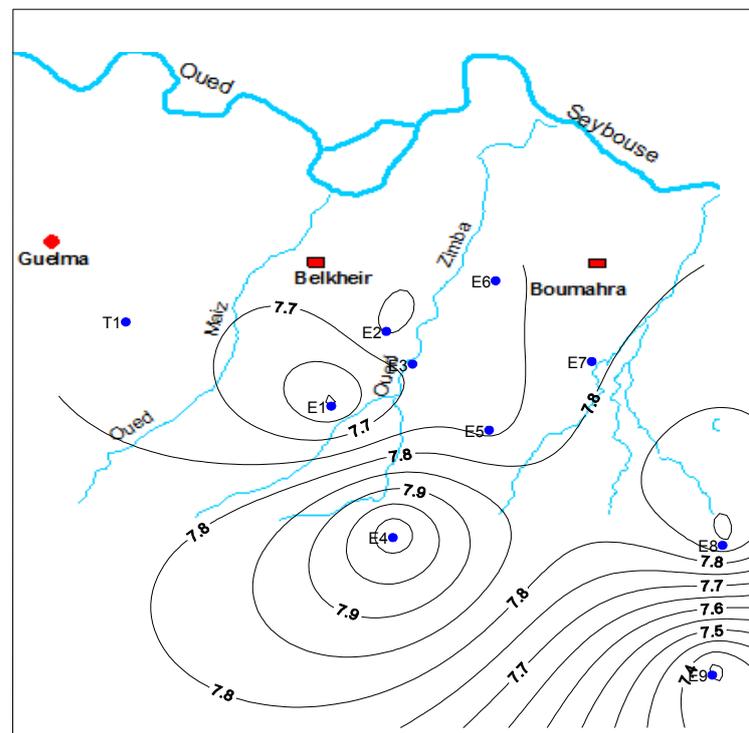


Fig. n°12. Carte du pH du sol du périmètre Guelma-Boumahra

2.3. La salinité :

La conductivité électrique (CE) de l'extrait de la pâte saturée du sol de la zone

irriguée a subi une forte augmentation par rapport au sol témoin non-irrigué (T1) (Fig. n°13). En effet, la CE est passée pour l'horizon 0-30 cm pour le témoin de 157 μ S/cm à 500 μ S/cm pour l'échantillon (E5).

Le diagnostic de l'état du sol du secteur irrigué de Guelma-Boumahra (Fig. n°14) après 15 années sous irrigation par l'eau du barrage de Bouhamdène déversé dans oued Seybouse, montre une importante accumulation de sel dans le sol, en particulier dans le secteur de Boumahra. Ce phénomène sera accentué durant la période estivale.

L'évolution du gradient du sel est à suivre surtout après les périodes pluvieuses. En effet, la pluie constituant un facteur de lessivage, il s'agit de déterminer le bilan annuel de sel afin d'envisager des solutions pour maintenir le sol à une concentration non-dommageable pour la production.

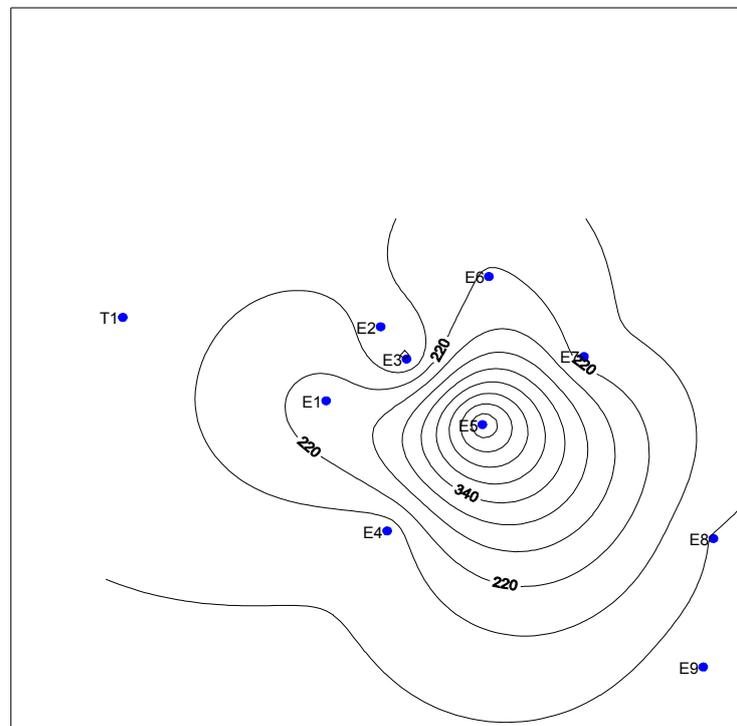


Fig. n°13. Conductivité (μ S/cm) du sol au niveau du périmètre

Guelma Boumahra

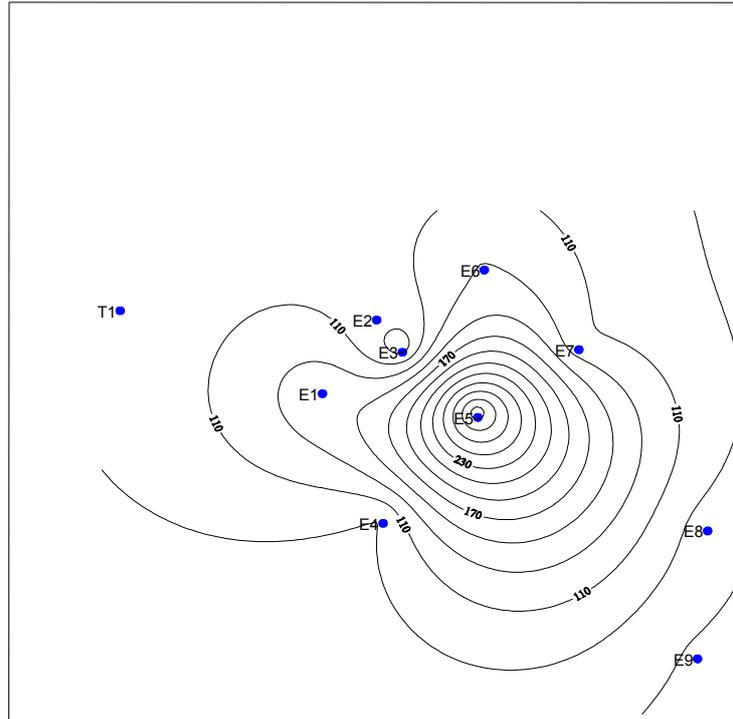


Fig. n°14. Carte de TDS (mg/l) du sol du périmètre Guelma Boumahra

2.4. L'azote :

Par rapport aux autres éléments, la situation de l'azote est très différente. La fertilisation azotée a faiblement accru le stock d'azote des sols, car l'azote apporté et non consommé par les plantes est rapidement drainé hors des sols. Dans les zones de grande culture, des fertilisations excessives ont entraîné un drainage d'azote nitrique. En raison du délai lié à la lente infiltration des nitrates vers les nappes, les fortes pollutions actuelles de nappe peuvent refléter l'excès de fertilisations azotées au cours des dernières décennies. (Fig.n°15)

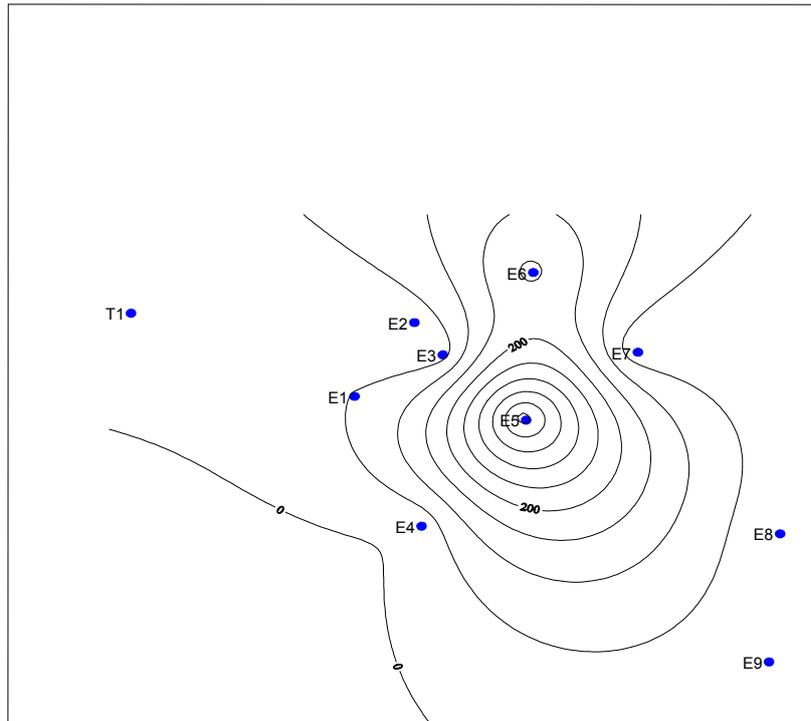


Fig.n°15. Carte des nitrates (mg/l) du sol du périmètre Guelma Boumahra

2.5. VBS (Valeur de Bleu du Sol) :

La valeur de bleu de méthylène exprime globalement la quantité et la qualité (activité) de la fraction argileuse contenue dans le sol (Fig. n°16)

0-0.2 : sols sableux

0.2-2.5 : sols limoneux

2.5-6 : sols limoneux argileux

6-8 : sols argileux

Selon les valeurs de VBS les différents types des sols analysés sont des sols argileux.

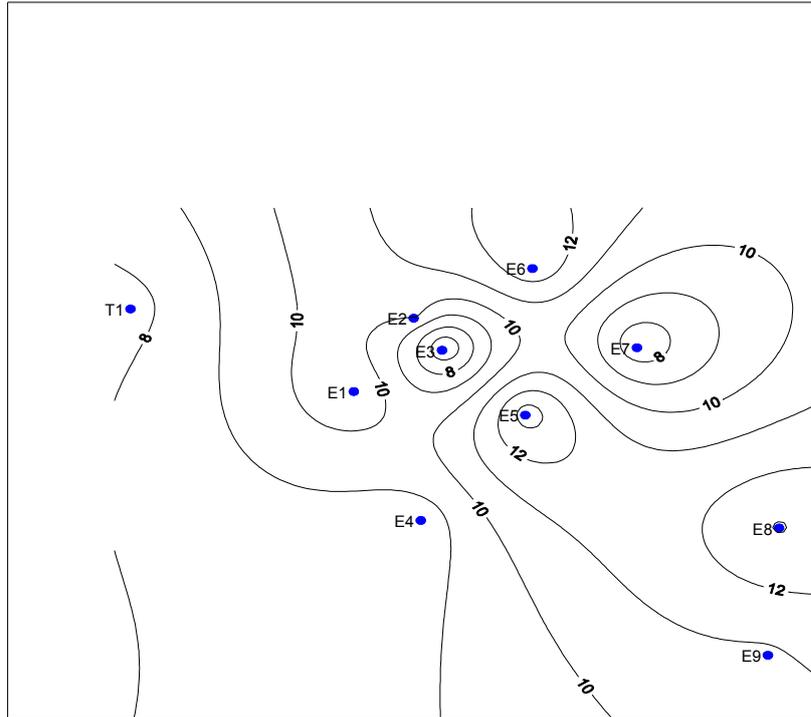


Fig. n°16. Carte de VBS du sol du périmètre Guelma Boumahra

2.6. Carbonate :

Les carbonates sont présents selon des proportions très variables avec des valeurs pouvant être parfois élevées, et sont comprise entre 2.85 et 29.64%. La forte teneur est enregistrée à la station témoin de 29.64%; les autres stations présentent des pourcentages faibles. Le sol devient de plus en plus carbonaté dès qu'on se rapproche des bordures du bassin versant.

Plus le taux de CaCO_3 total est important dans le sol, plus il y a un risque de blocage des éléments traces et du phosphore; donc il faut contrôler le taux du calcaire dans le sol (Fig.n°17).

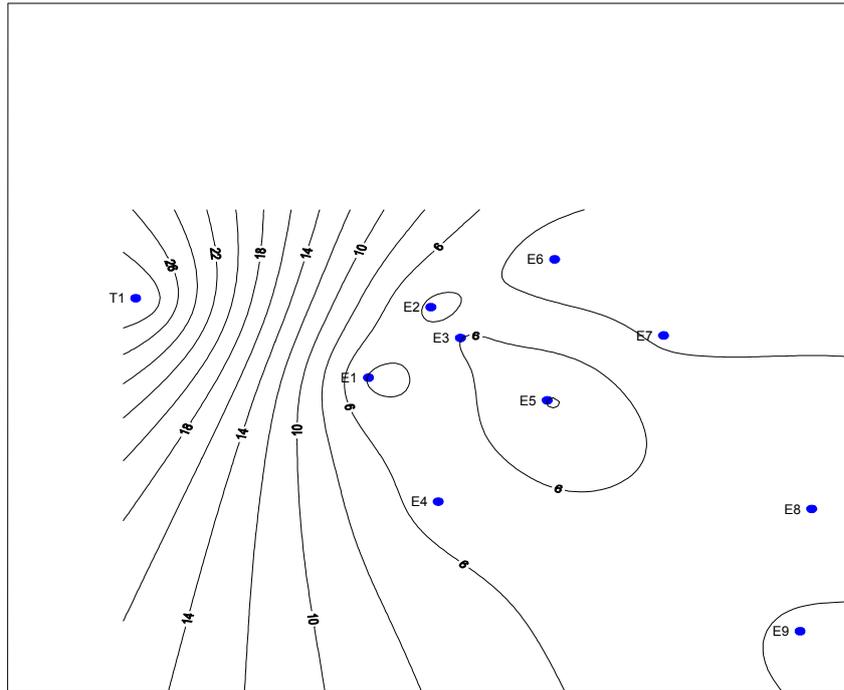


Fig. n°17. Carte des carbonates (mg/l) du sol du périmètre Guelma Boumahra

2.7. Les Sulfates :

Les teneurs les plus élevées en sulfate sont observées dans le secteur de Belkheir (25 mg/l). L'ion de sulfate est un contributeur majeur à la salinité dans la plupart des terres agricoles. Le sulfate dans le sol du périmètre irrigué présente des avantages fertilité (Fig.n°18)

2.8. Potassium :

Un excès de fertilisation potassique conduit à une fixation éventuelle du potassium à un état très difficilement échangeable, à une augmentation des pertes par drainage en sols légers. Les apports de périmètre irrigué en potassium sont très faibles au niveau des échantillons E1, E2, E3, E4, E6, E9, où les teneurs ne dépassent pas 15 mg/l. Les teneurs les élevées sont enregistrées au niveau des échantillons E5, E7, E8 et T1, et sont comprises entre 18 à 35 mg/l (Fig. n°19.).

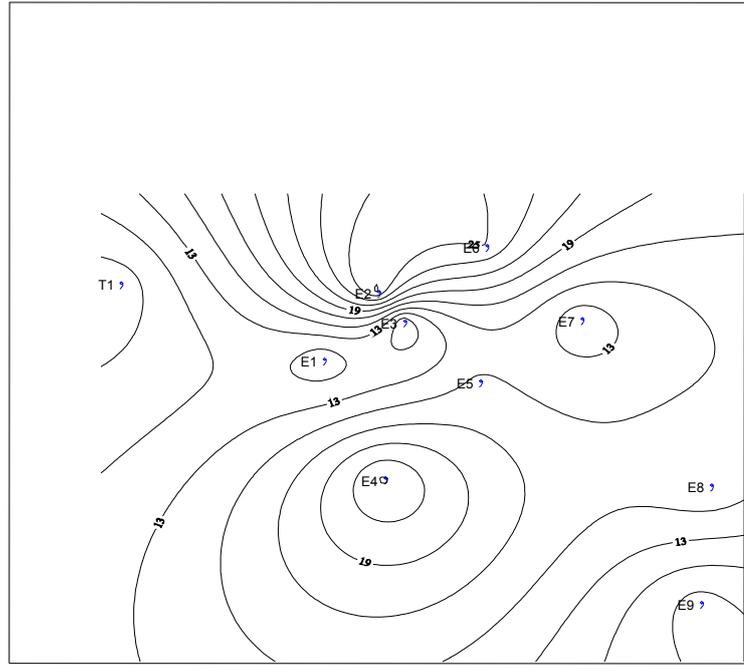


Fig. n°18. Carte des sulfates (mg/l) du sol du périmètre Guelma Boumahra

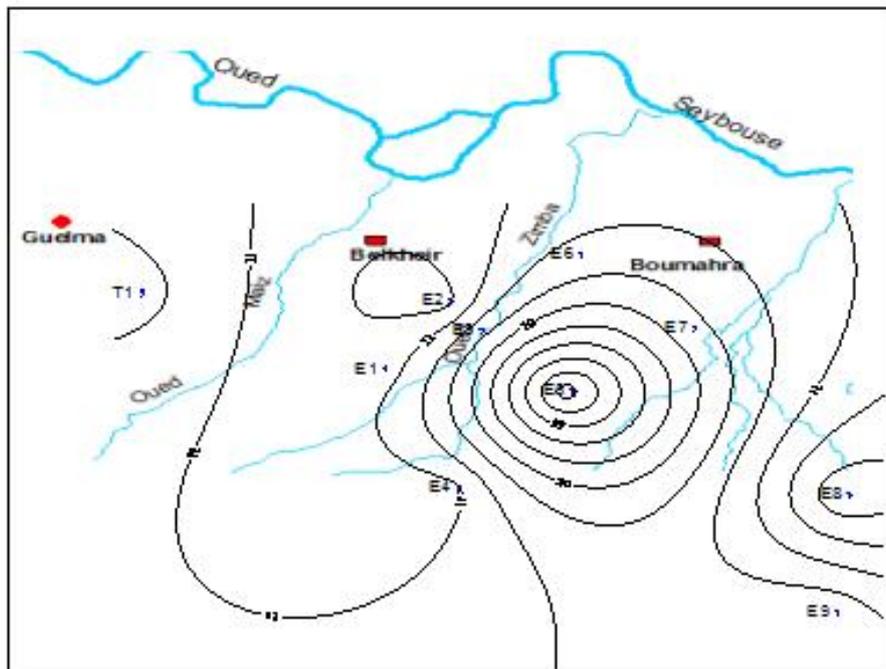


Fig. n°19. Carte de potassium (mg/l) du sol du périmètre Guelma-Boumahra

Conclusion :

Des augmentations substantielles de rendements des principales cultures en particulier les pommes de terre et tomates ont été enregistrées au niveau du périmètre Guelma-Boucheouf.

L'analyse de la qualité de l'eau d'irrigation et des sols du secteur de Guelma-Boumahra en fonction des critères exposés dans ce travail, peut nous permettre dire que les eaux d'irrigation sont qualifiées de moyenne à médiocre, avec un sol très salé et riche en produits azotés.

Le sol a subi une dégradation importante de sa qualité suite à l'intensification agricole sous irrigation avec une eau de mauvaise qualité. La mise en place d'observatoires de la qualité des sols et des eaux dans les zones irriguées du périmètre de Guelma-Boumahra est nécessaire pour assurer la durabilité du système de production.

L'Algérie a fait des investissements importants pour asseoir un secteur d'agriculture intensive sous irrigation performant lui permettant de faire face aux aléas climatiques, de garantir sa sécurité alimentaire et d'être compétitif à l'échelle des marchés national et international. Des augmentations substantielles de rendements des principales cultures en particulier les pomme de terre et tomates ont été enregistrées au niveau du périmètre irrigué Guelma-Boucheouf.

Au terme de cette étude qui nous a permis de montrer l'impact des eaux d'irrigation et des activités agricoles dans le périmètre irrigué Guelma -Bouamhra sur la qualité du sol, nous présentons une synthèse des principaux aspects évoqués et des résultats acquis :

- La zone d'étude est constituée essentiellement de deux formations géologiques affleurées; les formations mio-pliocène et quaternaires. Ces formations sont constituées essentiellement d'alluvions (graviers, limons, conglomérats, travertins perméables), présents sur l'ensemble du terrain et offre par conséquent un intérêt hydrogéologique; ainsi le trias gypsifère affleuré, qui est à l'origine de la contamination par les sels.
- La synthèse des données hydroclimatiques nous permet de distinguer que la région d'étude est soumise à un climat méditerranéen, elle est caractérisée par deux saisons distinctes, l'une pluvieuse humide à précipitations relativement élevées et des températures basses, l'autre sèche moins pluvieuse et avec des températures relativement élevées ;
- 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 connaissance de la qualité physico-chimique des eaux d'irrigation est une étape très importante, dans l'étude du degré d'influence de ces eaux sur la qualité des sols ;
- L'utilisation des eaux de la Seybouse dans l'irrigation dont la qualité est moyenne à médiocre n'a pas été sans conséquences sur la dégradation de la qualité des sols du périmètre Guelma-Boumahra. Cette dégradation qui se manifeste par une augmentation de la salinisation ou une sodisation ne s'est pas faite de la même façon dans les périmètres irrigués ;

- Quant à l'intensification agricole, il ressort que certains sols présentent des teneurs très élevées en produits azotés. Constituant une source de pollution permanente pour les eaux souterraines et de surfaces.

En recommandation pour protéger le sol et améliorer la qualité des eaux d'irrigation dans le périmètre, il faut respecter certaines règles:

- ✓ Diagnostiquer la situation actuelle de la qualité des eaux d'irrigation et du sol à travers un nombre important des prélèvements répartis au sein du périmètre irrigué
- ✓ Contrôler l'utilisation des pesticides et des fertilisants dans les terres agricoles afin d'éviter le risque de migration de ces substances aux ressources en eaux.
- ✓ La gestion commune des sols et des eaux est incontournable. La mise en place d'observatoires de la qualité des sols et des eaux dans les zones irriguées est nécessaire pour assurer la durabilité du système de production

Références bibliographiques :

- Abdourooimane, A.S.; Amira, I.; Gheribi, A., 2012 : Qualité des eaux des sources issue d'un périmètre irrigué Guelma- Boumahra, Université 08 Mai 1945 Département de Biologie, Guelma, Q.P.S.A, 3-5p
- Brahmia N. et Kirati B. (2006) : Impact des eaux d'irrigation sur les eaux souterraines de la plaine alluviale de Guelma. Mémoire d'ingénieur en hydrogéologie, IST, Univ. Annaba, 113p.
- Bouchiheb, M. et Chabbi, K., 2002 : Contribution à la mise en valeur agricole du périmètre irrigué de la plaine de Guelma. Mémoire d'Ingénieur en aménagement rural, IST, Univ. Annaba. 152p.
- 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), Université Badji Mokhtar Département de Géologie, Annaba, Hydrogéologie (mémoire de magister en hydrogéologie).
- Mouassa, S., 2006 : Impact du périmètre d'irrigation sur la qualité des eaux souterraines de la nappe alluviale de Guelma et sur les sols, Université Badji Mokhtar Département de Géologie, Annaba, Hydrogéologie (mémoire de magister en hydrogéologie).
- <http://www.agrireseau.qc.ca/petitsfruits/documents/analyse%20eau.pdf>