

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ 08 MAI 1945 GUELMA

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

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



570.338

13/7/24

**Mémoire de Master**

**Domaine** : Sciences de la Nature et de la Vie

**Filière** : Biologie

**Spécialité/Option** : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire

**Thème**

---

**Situation actuelle de la qualité des eaux de surfaces et  
souterraines dans le périmètre irrigué Guelma-Boumahra**

---

**Présenté par :**

Bensedira Ghania

Chirouf Fawzia

**Devant le jury composé de :**

Président : M<sup>r</sup> Brahmia Ali

Examineur : M<sup>em</sup> Kachi. N

Encadreur : M<sup>r</sup>. Kachi Slimane



**JUIN 2013**

## Remerciement

---

Avant toute chose, nous tenons à exprimer nos profonds remerciements à Allah, qui nous a donné la force et la volonté pour faire ce modeste travail.

Ce travail n'aurait vu le jour sans la collaboration de nombreuses personnes qu'il nous est agréable de leur adresser nos vifs remerciements.

Tout d'abord nous exprimons notre profonde gratitude et nos sincères estimations à Mr KACHI Slimane, qui nous a fait l'honneur de diriger ce travail avec ses précieux conseils, sa disponibilité constante, et son soutien permanent.

Nous remercions également Monsieur : Châalal.M, directeur de l'Algérienne des eaux Guelma, ainsi que toute l'équipe de laboratoire Hammam Dêbagh.

Les personnes qui ont partagé avec nous les moments d'espoir, de joie et surtout les périodes difficiles par leur soutien continu et sans faille : Aziz, Omer, Mohamed, Rafik, Yasmin, Fouzia, Houda, Sami, Hannane, Houria, Amel, Farida, Souhila, Nadjet, Aïcha, Souad, Mouloud, Fatma, Djamel, Fares, Hassouba, et surtout Hicham. On vous exprime toutes nos reconnaissances et nos remerciements les plus affectueux.

Nos vifs remerciements s'adressent aussi à l'ensemble des enseignants et personnels du département de Biologie.

Nous voudrions en fin rendre un hommage particulier à la patience de nos parents qui ne se sont guère fatigués de prier pour nous, de nous supporter, de nous soutenir, surtout que nous dérangeons toujours leur étude jusqu'à ce qu'ils soient parfaitement contents de nous et pour nous.

Produced with ScanTopdf

## Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

### **Introduction général**

### **Chapitre I : Cadre physique et géologique**

1 - Présentation de la zone d'étude .....	01
2- Aperçu géologique.....	01
3- Hydrogéologie.....	02
3-1 Structure et géométrie de l'aquifère.....	02
4- Réseaux hydrographique .....	03
5- Climatologie.....	03
5-1 les températures .....	04
5-1-1 les températures moyennes mensuelles.....	04
5-2 Les Précipitations.....	04
5-2-1 Les précipitations moyennes mensuelles .....	04
5-3 Humidité relative de l'air.....	04

### **Chapitre II : Impact du périmètre irrigué sur la qualité des eaux**

1 –Présentation du périmètre.....	06
1-1 L'évolution des superficies irriguées.....	08
2- Impact du périmètre irrigué sur l'environnement.....	08
2-1 La pollution .....	09
2-1-1 Pollution domestique.....	09
2-1-2 Pollution industrielle.....	10
2.1.3 Pollution agricole.....	11
2-2 Les principaux indicateurs de pollution.....	13

2-2-1 Les indicateurs chimiques.....	13
2.2.3 Les indicateurs physiques.....	13
<b>Chapitre III : matériels et méthodes</b>	
1- Mode de prélèvement.....	15
1-1 Stratégie et but de l'échantillonnage.....	16
1-2 Matériels.....	17
1-2-1 Matériels du terrain.....	17
1-2-2 Matériels de laboratoire.....	17
2- Analyses physico-chimiques.....	18
2-1 Les paramètres physiques.....	18
2-1-1 Température (T).....	19
2-1-2 Conductivité électrique (CE).....	19
2-1-3 Potentiel d'Hydrogène (pH).....	19
2-1-4 Oxygène dissous (OD).....	19
2-1-5 Turbidité.....	19
2-1-6 la teneur en sel dissous TDS.....	20
2-2 Paramètres chimique.....	20
A) Titre Alcalimétrique simple et complet (TA et TAC).....	20
B) Dosage du Calcium ( $Ca^{+2}$ ) (Méthode par complexométrie).....	21
C) Dosage du Magnésium ( $Mg^{+2}$ ).....	22
D) Dosage du Chlorures (Cl).....	23
E) Détermination des Résidus sec.....	23
F) Détermination des matières en suspension M.E.S.....	24
G) Dosage des ions Nitrites (Méthode Spectrométrique).....	25

H) Détermination des Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) (Méthode Allemande : M.KERN).....	26
I) Détermination de Nitrates $\text{NO}_3^-$ (Méthode au salicylate de sodium).....	27
J) Dosage de l'Ammonium (Méthode spectrométrique manuelle).....	29
K) Détermination du fer (méthode à l'orthophénanthraline).....	30

#### **Chapitre IV : Qualité des eaux de surfaces et souterraines**

1- les paramètres physiques des eaux de surfaces.....	32
1-1 La température.....	33
1-2 Le pH.....	33
1-3 La conductivité électrique.....	35
1-4 Oxygène dissous.....	36
2- Les paramètres physico-chimiques des eaux souterraines.....	37
2-1 Les paramètres physiques.....	38
2-1-1 La température.....	38
2-1-2 Le pH.....	38
2-1-3 La conductivité.....	39
2-1-4 Oxygène dissous.....	39
2-1-5 La dureté totale (ou titre hydrométrique).....	40
2-2 Les paramètres chimiques.....	41
2-2-1 Les sulfate.....	41
2-2-2 Les composés azotés.....	42
2-2-3 Les chlorures.....	43
2-2-4 Le Magnésium.....	44
2-2-5 Le Calcium.....	44
2-2-6 Le fer.....	44
3- Comparaison des eaux des forages aux normes CEE.....	45
<b>Conclusion générale et recommandations.....</b>	<b>47</b>

## Liste des tableaux

Tableau	Titre du tableau	Page
Tab. 1	Caractéristiques géographiques et topographiques de la station de Guelma	04
Tab. 2	Les secteurs irrigués (OPI, 2003)	07
Tab. 3	Types et quantités de fertilisants utilisés au niveau de la nappe alluvionnaire de Guelma	11
Tab. 4	Identification des engrais utilisés dans la zone d'étude (2009 / 2010)	12
Tab. 5	Comparaison des eaux des forages aux normes CEE	45

Produced with Scantopdf

## Liste des figures

Figure	Intitulé des figures	Page
1	Carte du relief de la wilaya de Guelma.	1
2	Coupe hydrogéologique	2
3	Réseau hydrographique	3
4	L'évolution moyenne mensuelle des températures à la station de Belkheir (1985/04)	4
5	L'évolution moyenne mensuelle des précipitations à la station de Belkheir (1985/04)	5
6	Carte de localisation des différents secteurs du périmètre Guelma-Boucheouf	8
7	Evolution des superficies irriguées en (ha) (compagne 1996/2007)	9
8	Variation spatiale de la T° et pH au niveau d'oued Maiz	34
9	Variation spatiale de la T° et pH au niveau d'oued Zimba	34
10	Variation spatiale de la conductivité électrique (CE) et des taux de sels dissous (TDS) au niveau d'oued Maiz.	35
11	Variation spatiale de la conductivité électrique (CE) et des taux de sels dissous (TDS) au niveau d'oued Zimba.	36
12	Variation spatiale de l'oxygène dissous (OD) au niveau d'oued Maiz	37
13	Variation spatiale de l'oxygène dissous (OD) au niveau d'oued Zimba	37
14	Variation spatiale de la température au niveau des forages	38
15	Variation spatiale du pH au niveau des forages	39
16	Variation spatiale de la conductivité au niveau des forages	40
17	Variation spatiale de l'oxygène dissous au niveau des forages	40
18	Variation spatiale de la dureté totale au niveau des forages	41
19	Variation spatiale des sulfates au niveau des forages	42
20	Variation spatiale des nitrates au niveau des forages	43
21	Variation spatiale des chlorures au niveau des forages	43
22	Variation spatiale du magnésium au niveau des forages	44
23	Variation spatiale de calcium au niveau des forages	45

## Liste des abréviations

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

**CE** : conductivité électrique

**Cl<sup>-</sup>** : Chlorure

**CO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : Carbonate

**DDS** : Direction de la santé

**EDTA** : acide éthylène diamine tétraacétique

**F<sup>0</sup>** : Degré français

**Fe<sup>+2</sup>** : fer

**H** : Heure

**H<sub>2</sub>O** : Eau

**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : bicarbonate

**K** : Potassium

**KCl** : chlorure de potassium

**MES** : matières en suspension

**Mg<sup>2+</sup>** : Magnésium

**MO** : Matière organique

**NaOH** : Hydroxyde de sodium

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** : l'Ammonium

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

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : Nitrate

**µS** : micro siemens

**TA** : Titre alcalimétrique

**Tab** : tableau

**TAC** : Titre Alcalimétrique complète

**TDS** : Taux des sels dissous

**TH** : dureté totale

# Introduction Générale

Produced with ScanTOPDF

L'Algérie est un pays essentiellement aride et désertique. Ces conditions climatiques font de l'irrigation un impératif technique incontournable dont les retombées économiques et sociales sont indéniables. Cependant, l'irrigation a constitué une voie privilégiée du développement agricole et a bénéficié d'une attention particulière des pouvoirs publics. Ainsi de grands aménagements hydrauliques et hydro-agricoles ont été mis en œuvre, durant les trois dernières décennies.

La région de Guelma connaît un développement rapide accompagné d'une croissance très poussée de la population. Cet accroissement démographique et économique nécessite d'énormes quantités d'eau destinées à différents secteurs d'activité de l'homme, urbaine, industrielle et en particulier agricole.

Le périmètre irrigué de Guelma-Boucheougouf compte parmi les plus anciens et les plus importants du pays, et connaît une intensification agricole actuellement.

L'agriculture est actuellement à l'origine d'une pollution de l'eau préoccupante dans certaines régions du monde, mais surtout dans les pays méditerranéens où, pour des raisons climatiques défavorables, l'irrigation avec des eaux de qualité parfois médiocre constitue un impératif technique incontournable.

La pollution des eaux d'origine agricole est généralement liée aux nitrates ou aux phosphates et aux pesticides (herbicides, insecticides et fongicides).

L'objectif principal de ce travail est de faire un diagnostic générale sur la qualité physique et chimique des eaux de surfaces et souterraines issues de périmètre irrigué Guelma-Boumahra et de détecter les variations spatiales de la qualité de l'eau et d'en comprendre l'origine, afin d'appliquer les mesures appropriées pour protéger ou améliorer la qualité de nos ressources en eaux.

# **Chapitre I**

## **cadre physique et géologique**

Produced with ScanTOPDF

## 1- Présentation de la zone d'étude :

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 20 km de long et 3 à 10 km de large. Cette zone est constituée d'un ensemble de terrasses emboîtées les unes aux autres correspondant à une dépression de 50 km<sup>2</sup> de surface traversée d'Ouest en Est par la Seybouse qui constitue le principal cours d'eau superficiel de la région et où viennent se jeter des petits Oueds du bassin versant secondaire (Fig. n°1).

La nappe alluviale de Guelma est une partie intégrante du bassin versant de l'Oued Seybouse. Elle fait partie de la moyenne Seybouse. Elle couvre une superficie de l'ordre de 122Km<sup>2</sup> avec environ 25Km d'Est en Ouest et entre 3 et 10Km de largeur. La plaine est limitée (Khanchoul K et al, 2000) :

- au Nord par le massif de Houara et Djebel Bousbaa,
- au Sud par le massif de la Mahouana et de Beni Marmis,
- à l'Ouest par le Djebel Araar
- à l'Est par le massif du Nador N'bails.

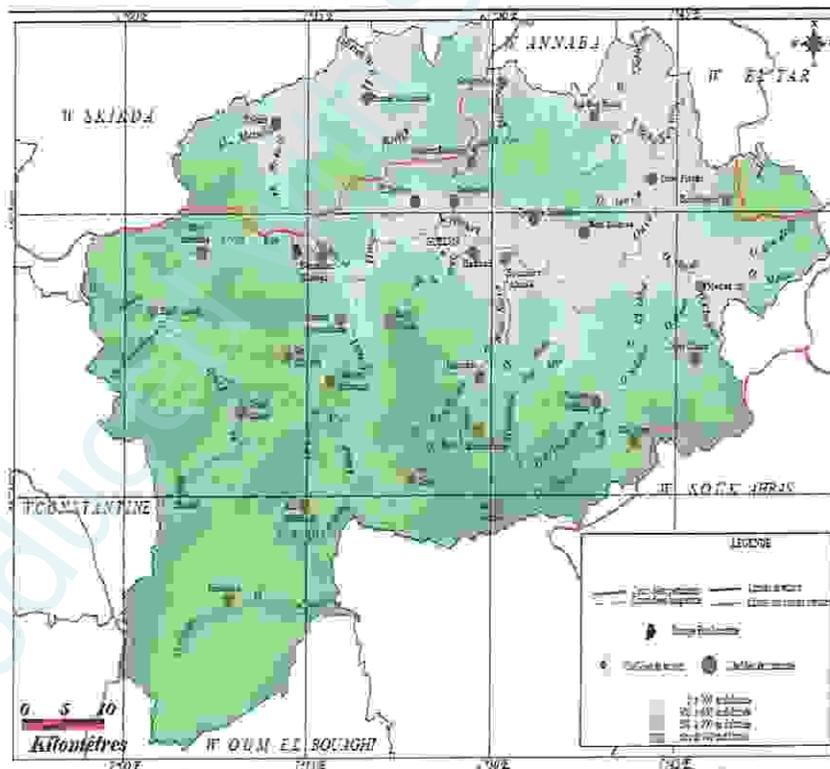


Fig. n°1: Carte du relief de la wilaya de Guelma.

## 2- Aperçu géologique

La géologie du bassin de Guelma est caractérisée par des formations allant du Quaternaire au Trias, présentant ainsi une lithologie très variée et qui comprend

essentiellement, les alluvions (sable, graviers, cailloutis .....), les grès, les marnes, les argiles et les calcaires. Le fond du bassin correspond à un synclinal comblé par des alluvions anciennes (Fig. n°2) [1].

### 3- 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.

#### 3-1 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 120 m (Ouest, Est) appelée basse terrasse;
- l'unité de la vallée ancienne qui domine la première unité par altitude variant entre 230m à 280m, et s'étend vers le Sud entre la ville de Guelma et le village de Boumhira. Cette unité forme la haute terrasse;
- 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. Le substratum des formations alluvionnaires est constitué essentiellement par des marnes gypseuses d'âge miocène (Fig. n°2).

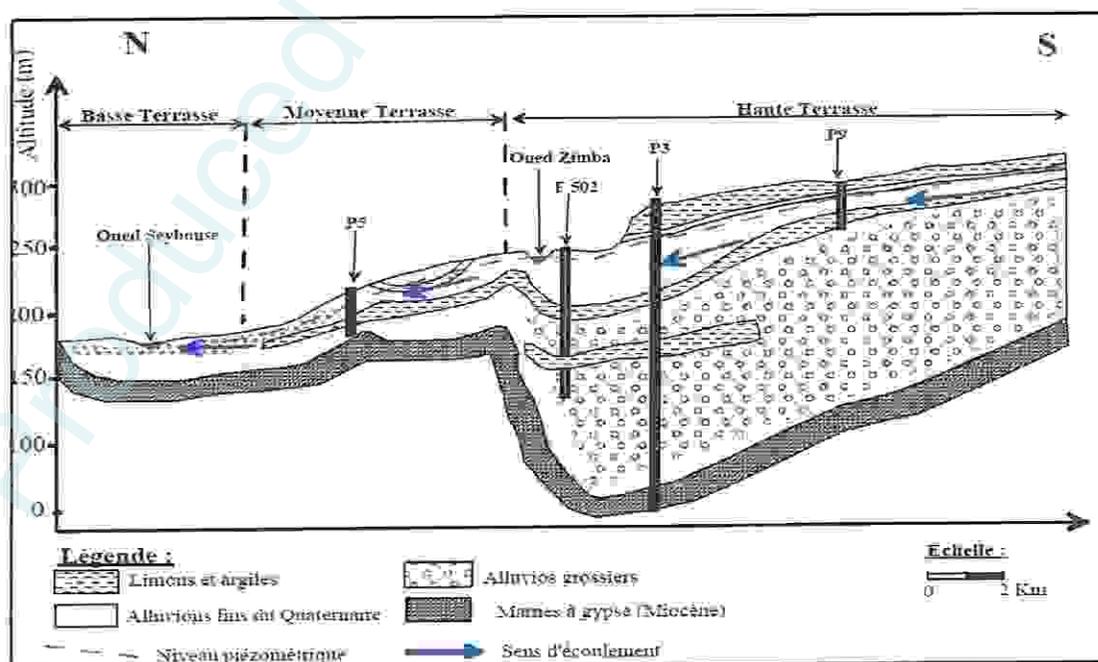


Fig. n° 2 : Coupe hydrogéologique

## 4- Réseaux hydrographique :

Le bassin de Guelma est drainé essentiellement par l'oued Seybouse et ses principaux affluents qui sont Oued El Maiz, Oued El Skhouné 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 m<sup>3</sup>/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.

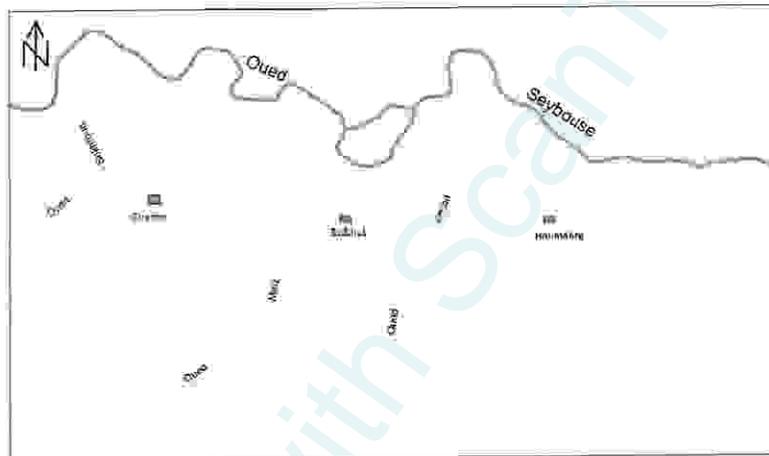


Fig. n°3 : Réseau hydrographique

## 5- 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 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 de Aout.

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

Pour la région d'étude, nous disposons des données climatiques de la station de Guelma (ONM) située à Belkheir pour un période de 19 ans allant de 1985/2004 (Tab. n°1).

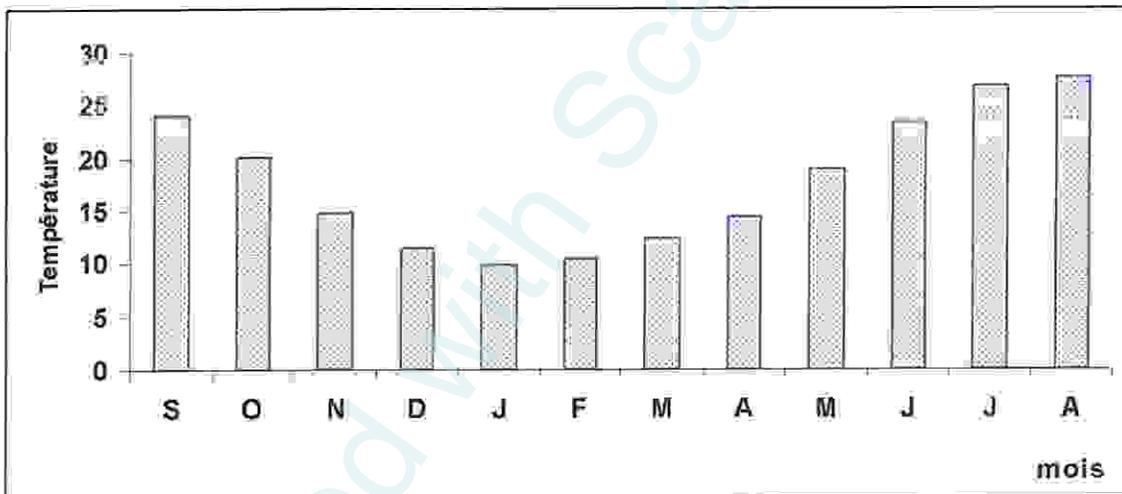
**Tab. n°1 :** Caractéristiques géographiques et topographiques de la station de Guelma

Station de Guelma	Altitude	Longitude	Latitude	Période d'observation
	227	7 ° 28 E	36° 28 N	1985 à 2004

## 5-1 les températures

### 5-1-1 les températures moyennes mensuelles

La température moyenne mensuelle la plus élevée est observée pendant d'été ou mois d'Aout avec une température 27,65 C<sup>0</sup>. Par contre la température la plus basse est de 9,89 C<sup>0</sup> 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 est de 17,7 C<sup>0</sup> et la température moyenne inter-annuelle est l'ordre de 19 C<sup>0</sup> (Fig. n°4) [2].



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

## 5-2 Les Précipitations

### 5-2-1 Les précipitations moyennes mensuelles :

D'après la figure n°5, la plus grand valeur de précipitations moyenne mensuelle, est enregistrée au mois de janvier (93,48 mm) 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.

## 5-3 Humidité relative de l'air.

La moyenne de l'humidité relative dans la période allant de l'année 1994 jusqu'à l'année 2010 est de l'ordre de 68.66%. Le maximum est enregistré au mois le plus froid

(janvier 76,58%) et le minimum en le mois le plus chaud (juillet 55,04%). L'humidité semble évoluer en sens inverse de la température et subir l'influence du vent.

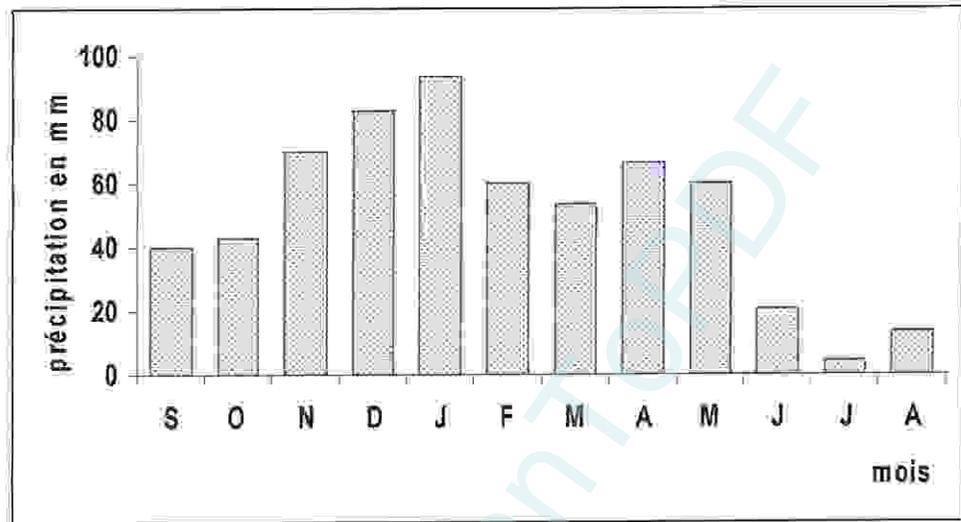


Fig. n°5. L'évolution moyenne mensuelle des précipitations à la station de Belkheir (1985-2004)

### Conclusion

La région d'étude est soumise à un climat méditerranéen, elle est caractérisée par deux saisons, l'une humide et l'autre sèche avec une précipitation moyenne annuelle de 588 mm et de température de 19 °c.

Il est à noter que les meilleures zones aquifères à potentiel hydraulique important sont localisées dans le périmètre irrigué Guelma-Boumahra, ce qui augmente leur risque à la pollution.

# **Chapitre II**

## **impact du périmètre irrigué sur la qualité des eaux**

Produced with ScanTOPDF

### Introduction

L'aménagement hydro-agricole de la plaine de Guelma est fondé sur l'utilisation des eaux du barrage Bouhamdene, lâchées dans oued Seybouse qui constitue la seule source d'irrigation. Le périmètre irrigué de Guelma-Boucheougouf a eu des effets socio-économiques positifs sur les agriculteurs en améliorant la production agricole. La région se caractérise par la production des pommes de terre et tomates.

Cependant, ce développement agricole qui est à l'origine de l'augmentation des revenus peut être aussi à l'origine des sérieux problèmes environnementaux dus, d'une part à une pratique agricole mal maîtrisée par les agriculteurs (apport de fertilisants et des produits agro-chimiques), et d'autre part aux activités des unités de transformations des produits agricoles qui génèrent des effluents pollués qui conduisent à la dégradation du milieu récepteur.

Dans la plaine de Guelma, des études récentes ont souligné l'existence de problèmes de dégradation de la qualité des eaux souterraines et surfaces. 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 eaux souterraines et surfaces résultent-ils des répercussions directes de l'intensification agricole, l'irrigation en particulier ?

### 1- Présentation du périmètre

Depuis la mise en service en 1996 du périmètre irrigué Guelma-Boucheougouf la problématique liée à la qualité des eaux d'irrigation à partir de l'oued Seybouse reste posée 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) (Mouchara N. 2009)

Il est important de signaler que tous les forages d'alimentation en eau potable ainsi que les puits sont implantés dans des terres agricoles et que ces dernières sont irriguées à partir de l'oued Seybouse.

## Chapitre II : Impact du périmètre irrigué sur la qualité des eaux

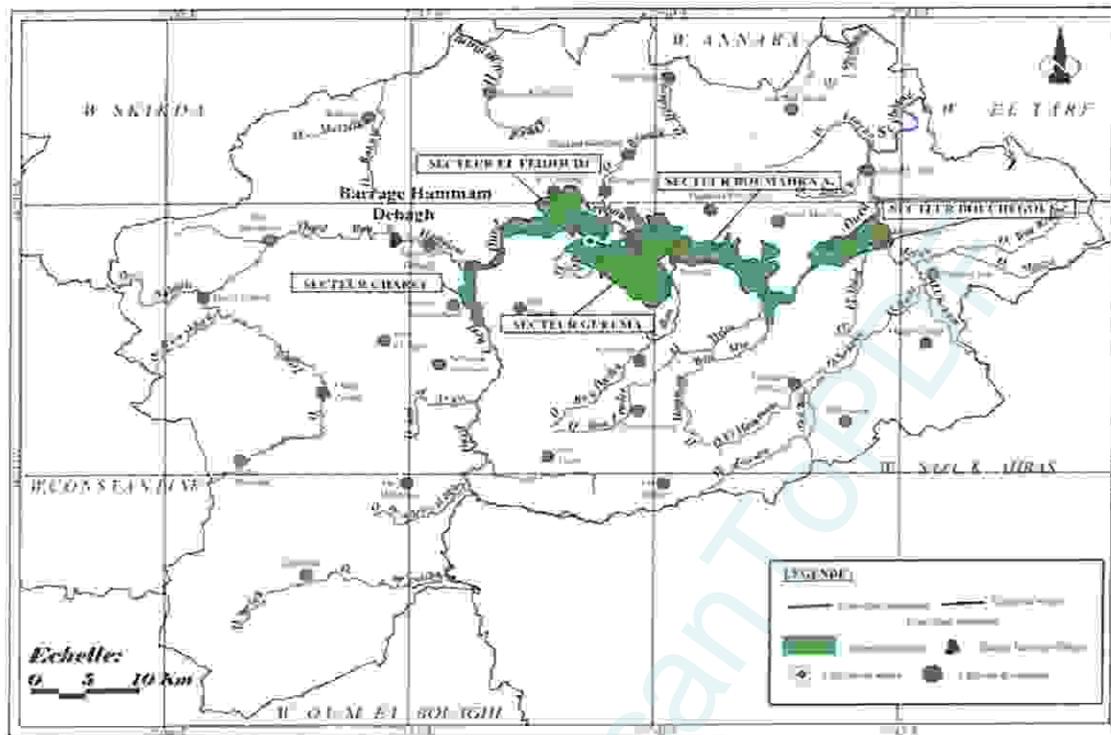
L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production, et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides. [3]

Le périmètre d'irrigation de Guelma-Boucheougouf dispose d'une superficie équipée de 9985 ha et d'une superficie irriguée de 9250 ha. Il s'étend sur environ 80 Km, depuis la confluence des oueds Bouhamdane et Cherf, donnant naissance à l'oued Seybouse jusqu'au nord de Drean. Le périmètre est situé de part et d'autre de l'oued Seybouse.

Le périmètre d'irrigation est constitué de six secteurs autonomes sur le plan d'aménagement et de desserte en eau (Tab. n°2 et fig. n°6). 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, pour palier au déficit d'eau (Mouassa S. 2007).

Tab n°2 : Les secteurs irrigués (OPI, 2003)

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	2003
<b>Guelma</b>	<b>3.500</b>	<b>3.255</b>	<b>19.400</b>	<b>1996</b>
<b>Boumahra</b>	<b>2.600</b>	<b>2.420</b>	<b>14.400</b>	<b>2001</b>
Boucheougouf	880	820	4.900	2001
Drean	2.560	2.750	16.400	Travaux différés
<b>Total</b>	<b>12.900</b>	<b>12.000</b>	<b>71.500</b>	



Source: ONID Guelma

Fig. n°6 : Carte de localisation des différents secteurs du périmètre Guelma-Boucheougouf

### 1-1 L'évolution des superficies irriguées

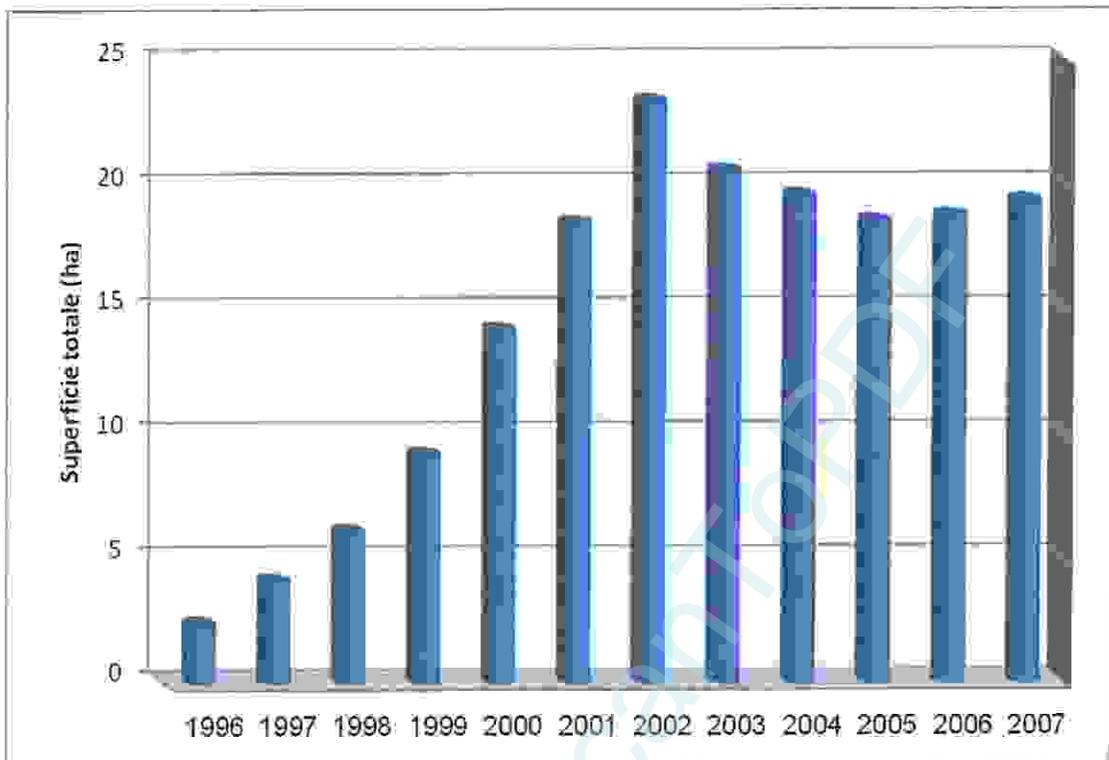
On observe que l'année 2002, présente la plus grande superficie des terres irriguées. Il est important de rappeler que le secteur de Boumahra a été mis au service.

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 (Fig. n°7) (Djabri L, 1996).

### 2- Impact du périmètre irrigué sur l'environnement

La mise en valeur intensive sous irrigation dans les zones arides et semi-arides conduit le plus souvent à la dégradation de la qualité des ressources en sol et en eau. L'ampleur de la dégradation est fortement liée à la qualité de l'eau d'irrigation et aux pratiques de mise en valeur agricole non rationnelles.

L'inventaire des problèmes environnementaux majeurs qui sont rencontrés avec plus ou moins d'acuité dans tous les périmètres sont:



Source: DNID Guelma

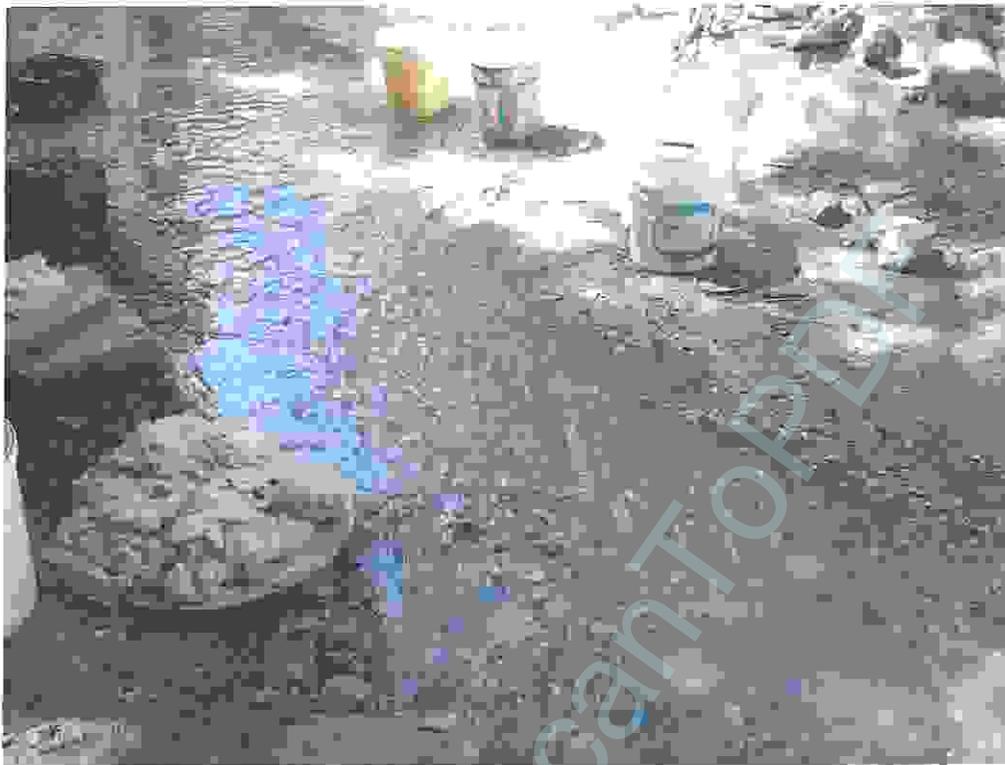
Fig. n°7 : Evolution des superficies irriguées en (ha) (compagne 1996/2007)

### 2-1 La pollution

La pollution de l'eau est une dégradation physique, chimique et biologique de ses qualités naturelles, provoquée par l'homme et ses activités. Elle perturbe parfois considérablement la composition physico-chimique des surfaces, ces dernières sont le vecteur principal de transport de ces substances dans les nappes souterraines. Elle change les conditions de vie de la flore et de la faune aquatiques, aussi compromet-t-elle les utilisations de l'eau et l'équilibre du milieu aquatique.

#### 2-1-1 Pollution domestique

Les eaux usées des habitations et des commerces entraînent la pollution urbaine de l'eau. Ils sont capables de subir un traitement par des stations d'épuration, afin de diminuer leur teneur en matière en suspension et organique, en composés inorganique dissous notamment les composés phosphatés et azotés, et en bactéries nocives. La pollution journalière produite par un personne utilisant 150 à 200 litres d'eau, est évaluée comme suit : 70 à 90 g de matière en suspension ; de 60 à 70 g de matière organiques ; de 14 à 17 g de matière azotés ; de 4 g de phosphores et plusieurs milliards de germes pour 100 ml (voir photo n°1).



**Photo n°1 :** Pollution urbaine d'Oued Maiz (partie amont)

### 2-1-2 Pollution industrielle

Les caractéristiques des eaux usées industrielles peuvent varier selon leur origine. MES, matières organiques et inorganiques ; sels minéraux, et les métaux lourds. Les eaux vont subirent une première étape d'épuration sur le site de la production, et le reste étant ensuite dirigés vers les systèmes de traitement municipaux, mais malheureusement pour de nombreuses unités de production, les eaux usées retournent dans un cours d'eau sans retraitement préalable ou insuffisamment assainies (voir photo n°2).

La pollution urbaine et industrielle issues du périmètre irrigué, elle concerne essentiellement les Offices où se trouvent les grandes agglomérations, avec leurs industries et leurs nombreux ateliers artisanaux qui constituent autant de sources de pollution potentielle, ainsi que les aires principales de grande culture intensive (tomate et pomme de terre) dont la production est traitée dans des unités agro-industrielles implantées sur le périmètre lui-même (usine de tomate). [4]

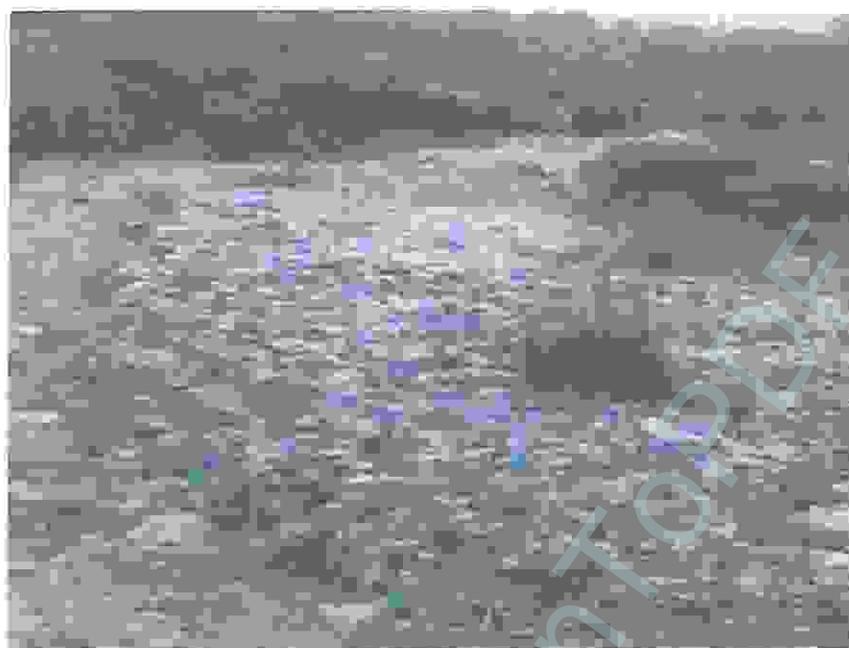


Photo n°2 : Déchets industriels dans oued Zimba

### 2.1.3 Pollution agricole

L'agriculture, l'élevage et l'aviculture sont responsables du rejet de nombreux pollutions organiques et inorganiques dans les eaux de surface et souterraines. Les principales pollutions dues aux épandages des engrais chimiques (phosphates, nitrates), et également les pesticides (insecticides, fongicides.....) sur des terres agricoles. Les résidus issus des engrais sont retenus par le sol, mais peuvent contaminer les nappes phréatiques et les cours d'eau (voir photo n°3) [5].

Les types d'engrais à base d'azote utilisés dans le périmètre irrigué à raison de 1,5 q/ha sont représentés dans le tableau n°3 et 4.

Tab. n°3 : Types et quantités de fertilisants utilisés au niveau de la nappe alluvionnaire de Guelma

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



**Photo n°3 :** Drainage des eaux d'irrigation dans le périmètre de Guelma-Boumahra

Les analyses physico-chimiques des eaux souterraines des travaux récents ont montré des teneurs élevées en nitrate et qui ne peuvent être que d'origine agricole, compte tenu de la nature et des quantités des fertilisants utilisés au niveau du périmètre d'irrigation Guelma-Boumahra qui peuvent être infiltrés vers la nappe superficielle ou être drainé vers oued Seybouse via ses affluents (Abd Arrahmene A, et al 2012).

**Tab. n° 4 :** Identification des engrais utilisés dans la zone d'étude (2009 / 2010)

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

### 2-2 Les principaux indicateurs de pollution

#### 2-2-1 Les indicateurs chimiques

Il y a plusieurs indicateurs de pollution, des exemples avec leur origine :

- Les pesticides se sont des produits phytosanitaires : origine agricoles
  - Contre les insectes : insecticides
  - Contre les mauvaises herbes : herbicides
  - Contre les champignons : fongicides « agricole et industrie »
- Les hydrocarbures-pétrole, gaz naturel- « industrie »
- Les métaux lourds : plomb, mercure, arsenic, cyanure, zinc « industrie et naturelle »
- Les détergent-phosphates-« domestique et industrie »
- Les engrais-nitrates-« agricole »
- Les solvants-hydrocarbures aromatiques-« industrie »
- Les colorants-chrome-« industrie peintures »

#### 2.2.3 Les indicateurs physiques

Elle provient essentiellement des centrales thermiques et nucléaires et des usines utilisant l'eau comme liquide de refroidissement. L'eau prélevée dans le milieu naturel va être rejetée par ces structures à une température plus élevée. Ceci va provoquer une élévation de la température.

En suite un autre facteur de la pollution physique de l'eau serait celui lié aux risques de pollution radioactive tels que les accidents potentiels (l'accident de Tchernobyl a par exemple libéré dans l'atmosphère divers radioéléments, provoquant une augmentation très nette de la radioactivité des aérosols. Retombés au sol avec les pluies, ces contaminants ont été entraînés par ruissellement et infiltration jusque dans les nappes phréatiques).

Dernièrement, on peut aussi constater une pollution de l'eau par des matières en suspension provenant des mines ou des cimenteries que peuvent alors modifier la turbidité de l'eau, c'est-à-dire réduire la transparence de celle-ci. (Hamada S, et al)

## Chapitre II : Impact du périmètre irrigué sur la qualité des eaux

### **Conclusion**

Le périmètre d'irrigation Guelma-Boucheougouf, 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.

# Chapitre III

# Matériels et méthodes

Produced with ScantOPDF

L'Organisation Mondiale de la Santé estime, en effet que 80% des maladies qui affectent la population mondiale sont directement associées à l'eau.

Cependant, l'utilisation des eaux issues d'un périmètre impose la prise en considération des risques sanitaires liés à la présence potentielle de composés chimiques toxiques et de germes infectieux, qui peuvent dégrader la qualité des sols et des eaux souterraines. De ce fait, il est important de connaître la qualité de ces eaux et de chercher le degré de leur de pollution

### 1- Mode de prélèvement

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.

Le prélèvement commence après avoir effectué un choix des sources, les flacons stériles sont maintenus sous la conduite de la source directement, en ouvrant le bouchon sous le flux d'eau. Remplir le flacon en laissant un certain vide d'air, afin de permettre un mélange en agitant le flacon. Après chaque prélèvement, l'étiquetage est primordial pour éviter tout risque de confusion, sur chaque étiquette doivent être mentionnés l'heure et la date du prélèvement (voir photo n°4 et 5).



Photo n° 4: mode de prélèvement



Photo n°5: prélèvement des eaux de puits

### 1-1 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 (gaz dissous, matières en suspension, etc.) ;
- La nature de récipient du 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. Pour l'analyse chimique, une bouteille en plastique en PET est utilisée ;
- 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 ;
- Le volume nécessaire pour une analyse complète d'eau peut varier de 2 à 5 litres.

- D'une façon générale, le transport à la température de 4 °C et à l'obscurité dans des emballages isothermes permet d'assurer une conservation satisfaisante :
- 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 ; entre 24h jusqu'au 1mois selon le paramètre chimique mesuré.). De plus, le prélèvement conditionne les résultats analytiques et, par voie de conséquence, l'interprétation qui sera faite. (Rodier J. 1996)

### 1-2 Matériels

#### 1-2-1 Matériels du terrain

Les matériels utilisés sur le terrain sont :

- Un multi paramètre de type Hanna qui mesure le pH, la température, la conductivité, l'oxygène dissous, TDS (voir photo n° 6).
- Un appareil photo numérique.
- Bouteilles en plastique en PET

#### 1-2-2 Matériels de laboratoire

- Appareil à distiller par entraînement de la vapeur
- Autoclave
- Bain marie
- Balance
- Bêchers
- Conductimètre
- Dessiccateur
- Dispositif de filtration (pompe à vide)
- Disques Étuve universelle
- Enceinte thermostatée (étuve)
- filtrants en fibre de verre (filtres de Wattman)
- Fiole jaugée 200 ml
- Matériel nécessaire pour le dosage de l'oxygène (oxymètre)
- Ph mètre

- Pipetes graduées
- Plaque chauffante
- Spectrophotomètre HACH 2500
- Turbidimètre
- Verrerie

### 2- Analyses physico-chimiques

#### 2-1 Les paramètres physiques

Six paramètres physiques (PH, température, conductivité électrique, salinité et turbidité, oxygène dissous et TDS) ont été mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon.

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.



**Photo n° 6 :** Mesures in situ des paramètres physiques

à l'aide du multiparamètre (type Hanna)

### 2-1-1 Température (T)

La température de l'eau dépend des échanges thermiques avec l'air ambiant et du rayonnement solaire. La température influence des paramètres comme (l'oxygénation, la conductivité, la solubilité de différentes substances, ..., etc.). La température joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique bactérienne et de l'évaporation des eaux. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol.

### 2-1-2 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 de sels ionisables dissous. Les valeurs de la conductivité traduisent l'état des milieux.

### 2-1-3 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. Pour la dureté, elle mesure la quantité d'ions calcium et magnésium présents.

### 2-1-4 Oxygène dissous (OD)

L'oxygène est présent dans l'eau sous forme dissoute ou gazeuse. A une température et une pression données, il existe une quantité maximale d'oxygène sous forme dissoute. C'est la teneur en  $O_2$  pour laquelle l'eau est saturée à 100%. D'autre part, la présence de l'oxygène dans l'eau résulte d'une diffusion à partir de l'air au niveau de la surface et surtout de l'activité photosynthétique des végétaux aquatiques, notamment des algues du phytoplancton.

### 2-1-5 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: Certaines populations habituées à consommer une eau très colorée n'apprécient pas les qualités d'une eau très claire. Cependant, une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur les particules en suspension: la qualité bactériologique d'une eau turbide est donc suspecte. Elle se mesure sur le terrain à l'aide d'un tube plastique transparent.

### 2-1-6 la teneur en sel dissous TDS

La minéralisation est fonction de la géologie des terrains traversés. D'une façon générale, elle est plus élevée dans les eaux souterraines que dans les eaux superficielles. Les eaux très minéralisées, du fait de leur teneur en sodium, en calcium en magnésium, en chlorures en sulfates et en hydrogénocarbonates, semblent mieux contribuer à l'homéostasie de l'homme.

### 2-2 Paramètres chimique

On a procédé à une analyse complète de tous les éléments majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$ ). Ainsi que le titre alcalimétrique complet TAC et le titre hydrotimétrique TH. Les polluants résultants des activités agricoles ont été l'objet d'un suivi particulier ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$  et  $\text{NH}_4$ ).

#### A) Titre Alcalimétrique simple et complet (TA et TAC)

##### ➤ Principe

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

##### ➤ Réactifs utilisés.

- Acide chlorhydrique ou sulfurique N /50.
- Solution de phénolphtaléine dans l'alcool à 0,5%
- Solution de méthylorange à 0,5%
- Eau permutée exempte d'anhydride carbonique libre (par ébullition de 15 min)

### ➤ Mode opératoire

#### \*T.A :

- 100ml d'eau à analyser
- 02 à 03 gouttes de Phénolphtaléine
- Si une coloration rose apparaît titrer avec l' $\text{H}_2\text{SO}_4$  (N/50) jusqu'à la disparition de couleur
- Si la couleur n'apparaît pas TA=0. (PH<8,3 c.-à-d. TA=0)

Expression des résultats : TA (F°) =  $V_{\text{titré}}$

#### \*T.A.C :

- 100ml d'eau à analyser.
- 02 à 03 gouttes de méthylorange
- Titrer par l' $\text{H}_2\text{SO}_4$  (N/50) jusqu'au virage rouge orange.

Expression des résultats : TAC (F°) =  $V_{\text{titré}} - 0,5$  (Fiche laboratoire d'ADE).

### B) Dosage du Calcium ( $\text{Ca}^{+2}$ ) (Méthode par complexométrie)

#### ➤ Principe :

Le principe est identique à celui de la méthode complexométrique décrite pour la dureté totale. Comme le dosage se fait à un PH élevé, le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'intervient pas. Par ailleurs, l'indicateur choisi ne se combine qu'avec le calcium.

#### ➤ Réactifs utilisés

-Indicateur coloré : Murexide

-Solution d'EDTA (N/50)

- Solution d'hydroxyde de sodium à 2N

➤ **Mode opératoire**

- Introduire 50ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer au col large. Ajouter 2ml de solution d'hydroxyde et quelques graines d'indicateur coloré.

Verser la solution d'EDTA jusqu'au virage du rose au violet soit V le volume de solution d'EDTA versé

Expression des résultats  $[Ca^{+2}] \text{ mg/l} = V_{[EDTA]} \times F \times 8$

**C) Dosage du Magnésium ( $Mg^{+2}$ )**

➤ **Réactifs utilisés**

-Solution d'EDTA (N/50).

-Noir Euriochrome T

- $NH_4OH$  à pH=10

➤ **Mode opératoire :**

-Introduire 50 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer au col large. Ajouter 02 ml  $NH_4OH$  à pH=10 et une puiée de Noir Euriochrome T.

-Titrer par EDTA (N/50) jusqu'au virage de la couleur bleu ( $V_2$ )

Expression des résultats  $[Mg^{+2}] \text{ mg/l} = (V_2 - V_1) \times F \times 4,8$

$V_2$ : Volume titré de Calcium et de Magnésium

$V_1$ : Volume titré de Calcium

### D) Dosage du Chlorures (Cl<sup>-</sup>)

#### ➤ 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 rouge caractéristique du chromate d'argent.

#### ➤ Réactifs utilisés

-Solution de chromate de potassium à 10%

-Solution de nitrate d'argent N/10.

#### ➤ Mode opératoire

-Introduire 25 ml d'eau à analyser, dans un erlenmeyer au col large. Ajouter 02 à 03 gouttes de solution de chromate de potassium à 10%.

-Verser au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à l'apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 min.

Expression des résultats Teneur =  $V \text{ (ml)} \times 142$

### E) Détermination des Résidus sec

#### ➤ Principe

Le résidu sec correspond au poids de la totalité des matières dissoutes par litre d'eau. Une certaine quantité d'eau bien mélangée est évaporée dans une capsule tarée. Le résidu desséché est ensuite pesé.

#### ➤ Mode opératoire

-Tarer une capsule préalablement lavée, rincer avec de l'eau distillée et dessécher.

-Prélever 200 ml d'eau à analyser

- Porter à l'étuve à 105°C pendant 2 heures.
- Peser immédiatement et rapidement

Expression des résultats R/S (mg/l) =  $(P_p - P_v) \times 5 \times 1000$

$P_p$  : Poids plein de la capsule  $P_v$  : Poids vide de la capsule

### F) Détermination des matières en suspension M.E.S

#### ➤ Principe

L'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle

#### ➤ Matériel spécial

- Dispositif de filtration sous vide ou sous pression ( rampe ) (photo n°7)

#### ➤ Mode opératoire

- Mettre les membranes filtrantes dans une étuve à 105 °C pendant 20 min
- Laisser refroidir dans le dessiccateur
- Ensuite les peser soit  $P_1$  : poids des membranes avant filtration
- Placer les membranes dans la rampe à filtration et faire passer 200 ml d'eau à analyser à travers.
- Rendre les membranes à l'étuve (à 105 °C) afin de les sécher pendant 20 min
- Les laisser refroidir au dessiccateur puis les peser une 2eme fois soit  $P_2$  : Poids des membranes après filtration

Expression des résultats : M.E.S (mg/l) =  $(P_2 - P_1) \times 5 \times 1000$



Photo. n<sup>o</sup>7 : filtration sous vide ou sous pression

### G) Dosage des ions Nitrites (Méthode Spectrométrique)

#### ➤ Principe

Les ions nitrites réagissent en milieu acide (PH=10,9) avec le sulfamide en formant sel de di-azonium (diazotation) qui forme avec le N-(1-naphtyle)-éthylène diamine-dichlorohydraté un colorant azoïque rouge.  $\lambda_{max.}=543nm$

#### ➤ Réactifs utilisés

- Solution de nettoyage (solution d'acide chlorhydrique à  $d=1,12g=25\%$ ).
- Réactif mixte
- Solution d'acide phosphorique.
- Solution standard de 100mg /l

### ➤ Mode opératoire

-prendre 50 ml d'eau à analyser

-ajouter 1 ml du réactif mixte

-attendre 10 min

L'apparition de la coloration rose indique la présence des  $\text{NO}_2^-$

Expression des résultats : Le résultat est donné directement en mg/l à une longueur d'onde de 543nm. (Photo n°8)



Photo n° 9 : Spectrophotomètre

### H) Détermination des Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) (Méthode Allemande : M.KERN)

#### ➤ Principe

Les ions sulfates sont précipités et pesés à l'état de sulfate de baryum

#### ➤ Réactifs utilisés

-Solution mère de sulfates à 1g/l à partir de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

- Solution stabilisante
- Solution de chlorure de baryum

### ➤ Mode opératoire

- Prendre 20ml d'eau à analyser puis compléter à 100ml d'eau distillée
- Ajouter 5ml de la solution stabilisante
- Ajouter 2ml de chlorure de baryum
- Agiter énergiquement pendant 1mn
- Passer au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 420nm

Expression des résultats :  $Mg/l SO_4^{2-} = \text{La valeur lue sur le spectrophotomètre} \times \text{la dilution}$ .  
(photo 10)

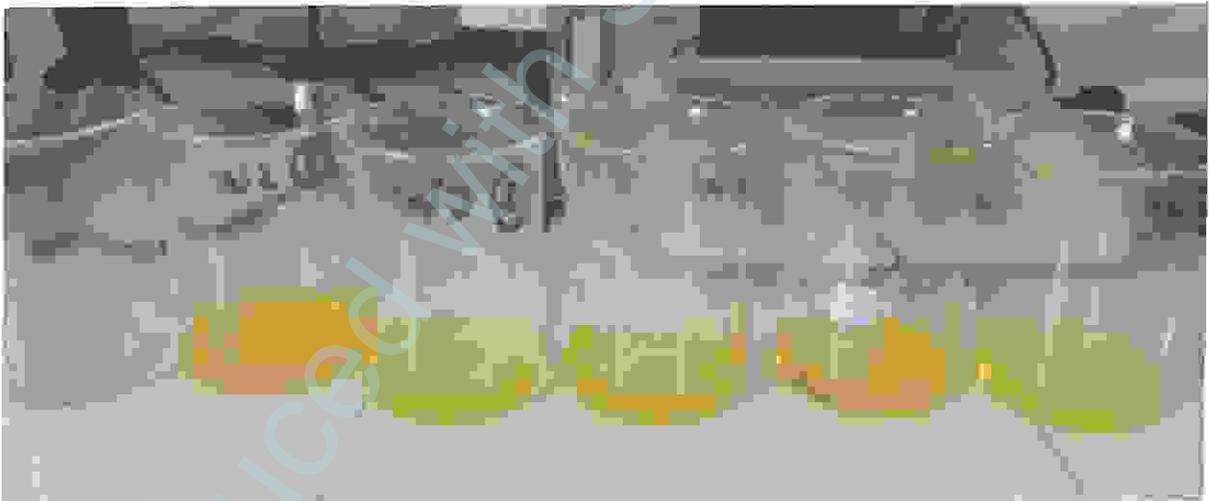


Photo. n° 10 ; dosage de sulfates

### I) Détermination de Nitrates $NO_3^-$ (Méthode au salicylate de sodium)

#### ➤ Principe

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosoulate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

### ➤ Réactifs utilisés

- Solution de salicylate de sodium à 0,5%
- Solution d'hydroxyde de sodium 30%
- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Concentré
- Tartrate double de sodium et de potassium
- Appareillage
- Étuve
- Spectrophotomètre U.V visible

### ➤ Mode opératoire

- Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser
  - Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30%
  - Ajouter 1 ml de salicylate de sodium
  - Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 – 88C<sup>o</sup>
- (ne pas surcharger ni surchauffer très longtemps) laisser refroidir
- Reprendre le résidu avec 2ml. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> laisser reposer 10 mn
  - Ajouter 15 ml d'eau distillée
  - Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium puis passer au spectro au 415 nm

Expression des résultats: Le résultat est donné directement en mg/l à une longueur d'onde de 415 nm.

### J) Dosage de l'Ammonium (Méthode spectrométrique manuelle)

#### ➤ Principe

Mesurage spectrométrique du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et Hypochlorite en présence de nitrosopentacyanoferrate (III) de sodium (nitroprussiate de sodium)

#### ➤ Réactifs utilisés

-Eau exempte d'ammonium

-Réactif coloré

-Dichloroisocyanurate de sodium

-Solutions étalant : Chlorures d'ammonium  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  ou le sulfate d'Ammonium

#### ➤ Mode opératoire

-Prendre 40 ml d'eau à analyser

-Ajouter 4 ml du réactif I

-Ajouter 4 ml du réactif II et ajuster à 50 ml avec  $\text{H}_2\text{O}$  distillée et attendre 1h.30

\*L'apparition de la coloration verdâtre indique la présence de :  $\text{NH}_4^+$

\*Effectuer la lecture à 655 nm.

Expression des résultats : Le résultat est donné directement en mg/l.(Photo n°11)



Photo n°11 : Dosage de l'Ammonium.

### **K) Détermination du fer (méthode à l'orthophénanthraline)**

#### ➤ Principe

Addition d'une solution de phénanthroline 1,10 à une prise d'essai et mesurage photométrique du complexe rouge-orange à une longueur d'onde de 510 nm

Pour le dosage du fer total et du fer total dissous, du chlorhydrate d'hydroxylamine est ajouté pour le  $\text{Fe}^{3+}$  en  $\text{Fe}^{2+}$ .

#### ➤ Réactifs utilisés

Tous les réactifs seront préparés à partir d'eau distillée exempte de toute trace de Fer.

- tampon Acétate
- chlorhydrate d'hydramine à 10 %
- solution de phénanthroline -1,10
- solution mère étalon de Fer à 0,01 g/l

#### ➤ Mode opératoire

- Prendre 50 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer de 100 ml, ajouter 1 ml de la solution de chlorhydrate d'hydroxylamine et mélanger soigneusement.
- Ajouter 2 ml de tampon acétate
- Ajouter 2 ml de la solution, 1,10 de phénanthroline et conserver à l'obscurité pendant 15 min. enfin passer au spectro pour mesurage à la longueur d'onde de 510 nm

Expression des résultats : le résultat est donné en mg/l (Photo n°12)



Photo n° 12 : Dosage de Fer

Produced with ScanTopDF

# **Chapitre IV**

## **Qualité des eaux**

Produced with ScanTOPDF

### Introduction

La qualité de l'eau est une des plus grandes préoccupations de nos jours au chapitre de l'environnement. Le secteur agricole devient de plus en plus un grand utilisateur d'eau, il doit pouvoir compter sur une abondance d'eau de qualité suffisante pour toutes les activités liées aux cultures et à l'élevage des animaux.

Les problèmes de pollution engendrés par les déchets liquides et solides suite au développement démographique et socio-économique du pays, ainsi que les conditions climatiques et particulièrement la sécheresse, ont des répercussions sur la qualité des ressources en eau en Algérie.

Aussi, les mauvaises pratiques de gestion agricole peuvent éventuellement nuire à la qualité de l'eau. Par exemple, à cause de l'érosion du sol, du ruissellement en surface et du lessivage, les engrais, les pesticides et les agents pathogènes peuvent être entraînés dans les eaux de surface et les eaux souterraines.

### 1- les paramètres physiques des eaux de surfaces

Les eaux de surface sont le résultat de l'accumulation des eaux de ruissellent et d'irrigation à la surface du sol.

Les sources d'approvisionnement en eau pour l'agriculture sont parfois de qualité douteuse, à cause de facteurs naturels et/ou d'une contamination, et l'eau qui en provient doit souvent être traitée avant d'être utilisée, les facteurs néfastes, et la surveillance régulière de la pureté de l'eau au moyen d'analyses.

L'appréciation de la qualité des eaux de surface se base sur la mesure de paramètres physico-chimiques et chimiques ainsi que sur la présence ou l'absence d'organismes et de micro-organismes aquatiques, indicateurs d'une plus ou moins bonne qualité de l'eau.

Afin d'apprécier cette qualité des eaux de surfaces du bassin versant de Guelma, seul les paramètres physiques ont été déterminés au niveau des principaux affluents d'oued Seybouse, Oued Zimba et Oued Maiz en trois station de mesure (en amont, milieu et aval). Quant aux paramètres chimiques, on les a pas pu analyser à cause de manque des moyens.

### 1-1 La température

La température de l'eau joue un rôle important par exemple en ce qui concerne la solubilité des sels et des Gaz dont, entre autres, l'oxygène nécessaire à l'équilibre de la vie aquatique. Par ailleurs, la température accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10 degrés Celsius (°C). L'activité métabolique des organismes aquatiques est donc également accélérée lorsque la température de l'eau s'accroît.

#### 1-1-1 Oued Maiz

Oued Maiz draine une grande partie des eaux usées de la nouvelle zone urbaine d'oued Maiz. Les valeurs de la température enregistrée oscillent entre 15 à 20.5 °C d'amont à l'aval. La valeur maximale est observée en station (S2). (Voir fig. n°8). L'augmentation de la température en S2 est due à la couleur sombre des eaux et des rejets, en particulier domestiques (observation faite sur le terrain) qui généralement augmentent la température de l'eau.

#### 1-1-2 Oued Zimba

Les températures mesurées varient de 15 à 16.5 de l'amont à l'aval (voir fig. n°9). Ces variations faibles de la température suivent celles du climat de la région et par conséquent caractérisant une eau de bonne qualité. Selon les valeurs des températures mesurées dans les eaux d'oued Maiz et Zimba montrent clairement que les eaux d'oued Maiz sont plus polluées par rapport à celles d'oued Zimba.

### 1-2 pH

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est -à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H<sup>+</sup>). L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C. Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons.

### 1-2-1 Oued Maiz

Au niveau d'oued Maiz, le pH varie de 8 à 8,5 caractérisé des eaux où la vie se développe de manière optimale (voir Fig. n°8). La variation du pH entre les différentes stations de mesure ne dépasse pas en général une unité du pH. En effet, le pH a tendance à augmenter de l'amont vers l'aval. Ce qui peut être expliqué par la dilution des eaux par l'apport des eaux de surfaces.

### 1-2-1 Oued Zimba

Les valeurs observées révèlent que le pH est légèrement alcalin dans toutes les stations de mesure de l'oued Zimba. Le pH varie de 9 à 8 de l'amont vers l'aval. (Fig. n°9).

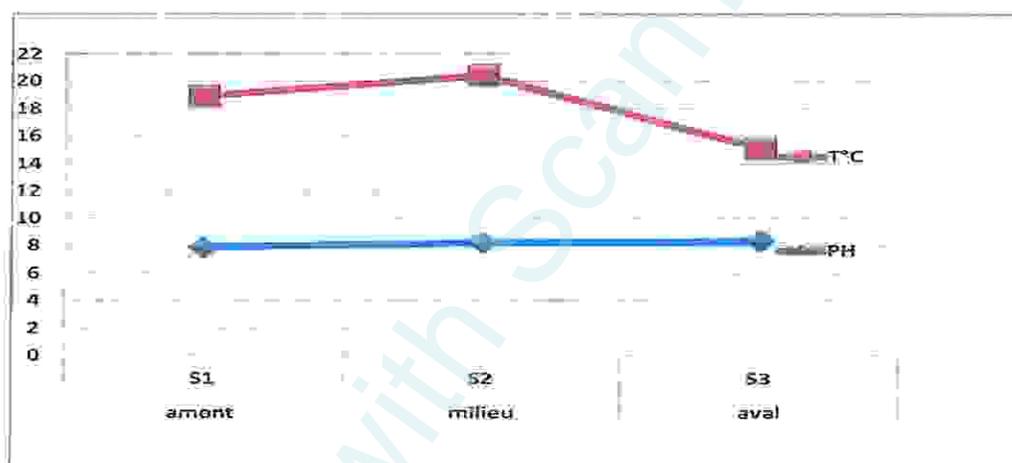


Fig. n°8 : Variation spatiale de la T° et pH au niveau d'oued Maiz

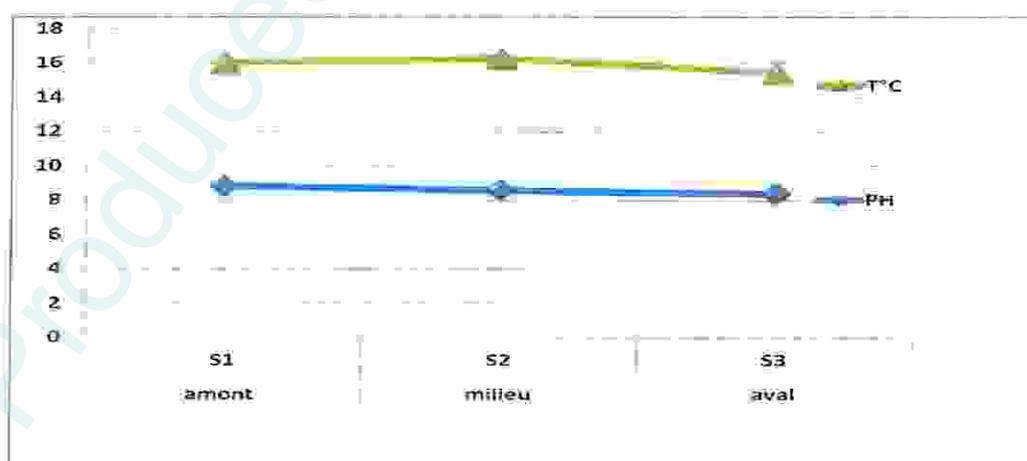


Fig. n°9 : Variation spatiale de la T° et pH au niveau d'oued Zimba

### 1-3 La conductivité électrique :

La conductivité électrique (EC) est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs. Par contre, les composés organiques sont de mauvais conducteurs. La conductivité électrique standard s'exprime généralement en millisiemens par mètre (mS/m) à 20 °C. La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

#### 1-3-1 Oued Maiz

Les valeurs enregistrées, montrent des variations importantes de l'amont à l'aval. Elles fluctuent entre 1600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à la station S1 et 1100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à la station S3 (voir fig. n°10). Les eaux de surface de l'oued Maiz sont plus minéralisées en amont indiquant une minéralisation excessive attribuée aux eaux usées des zones urbaines avoisinantes. En aval, la faible minéralisation réside dans la dilution des eaux par l'apport des eaux pluviales, d'irrigations et souterraines.

#### 1-3-2 Oued Zimba

Au niveau d'oued Zimba, la minéralisation augmente de l'amont vers l'aval. Les valeurs mesurées sont de 750 à 1050  $\mu\text{S}/\text{cm}$  respectivement. En aval (voir fig. n°11). La forte conductivité indiquant la pollution par les eaux usées de la zone urbaine de Belkheir.

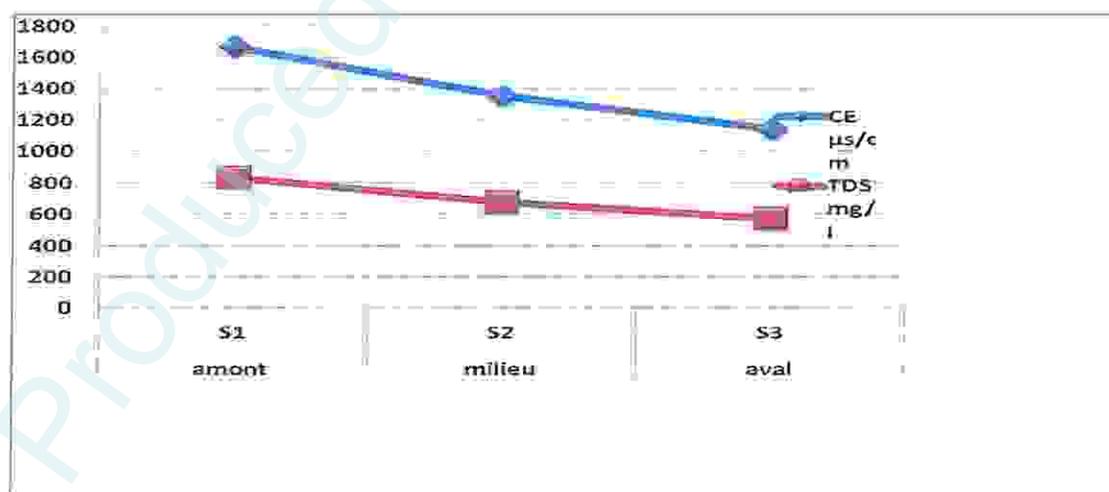


Fig. n°10 : Variation spatiale de la conductivité électrique (CE) et des taux de sels dissous (TDS) au niveau d'oued Maiz.

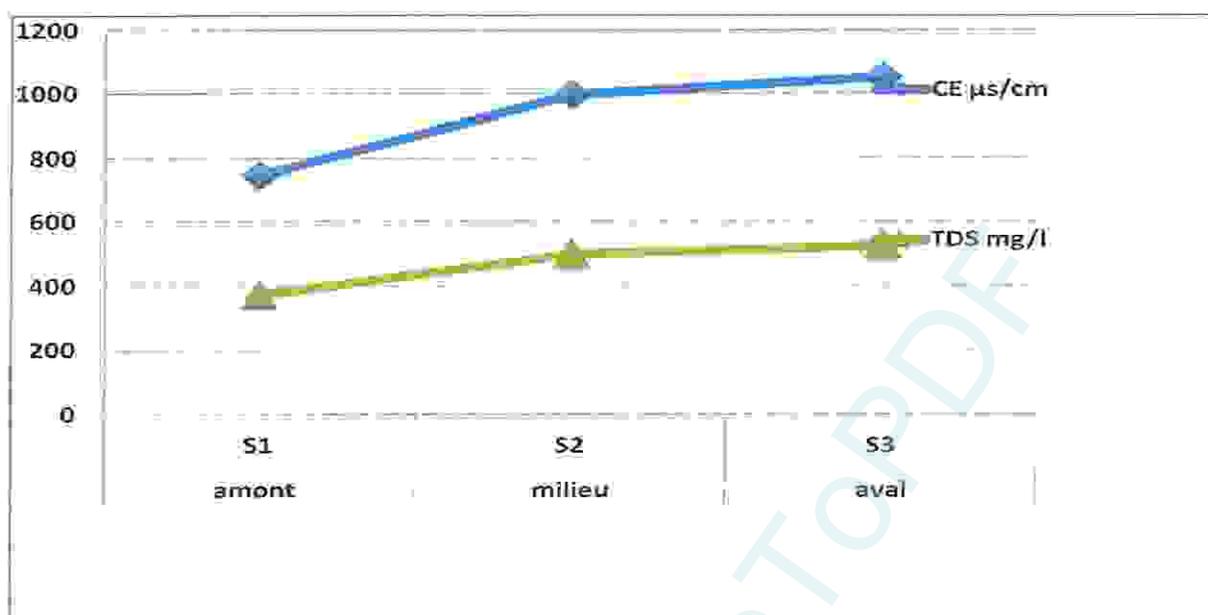


Fig. n°11: Variation spatiale de la conductivité électrique (CE) et des taux de sels dissous (TDS) au niveau d'oued Zimba.

#### 1-4 Oxygène dissous

L'oxygène est l'un des paramètres particulièrement utile pour l'eau et constitue un excellent indicateur de sa qualité. C'est un des paramètres les plus sensibles à la pollution. Sa valeur nous renseigne sur le degré de pollution et par conséquent sur le degré de l'auto-épuration d'un cours d'eau.

##### 1-4-1 Oued MAIZ

En effet, les teneurs enregistrées (Fig. n°12) varient entre 0.5 mg/l (S1) et 6.5 mg/l (S3). En amont, les valeurs inférieures à 1 mg/l indiquent un état proche de l'anaérobie. Cet état est le résultat de la décomposition de la matière organiques contenu dans les eaux usées consomment plus d'oxygène que celui disponible. Une faible teneur en oxygène dissous provoque une augmentation de la solubilité des éléments toxiques qui se libèrent des sédiments et traduisant une eau fortement polluée. Au milieu et en aval, les teneurs sont comprises entre 3 à 6.5 mg/l caractérisant une de bonne qualité.

##### 1-4-2 Oued Zimba

Les teneurs en OD mesurées au niveau de différentes démunie de l'amont vers l'aval et varie de 5.5 à 4 mg/l (fig. n°13). Traduisant toujours des eaux de bonne de qualité.

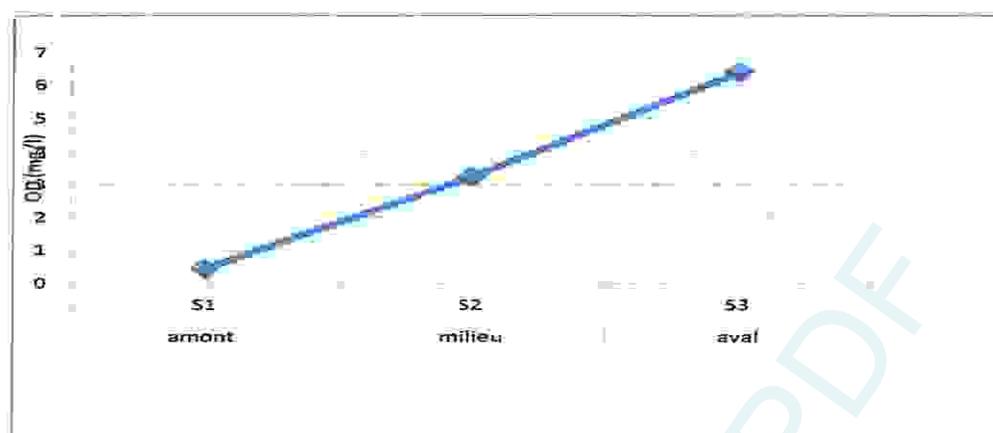


Fig. n°12 : Variation spatiale de l'oxygène dissous (OD) au niveau d'oued Maiz

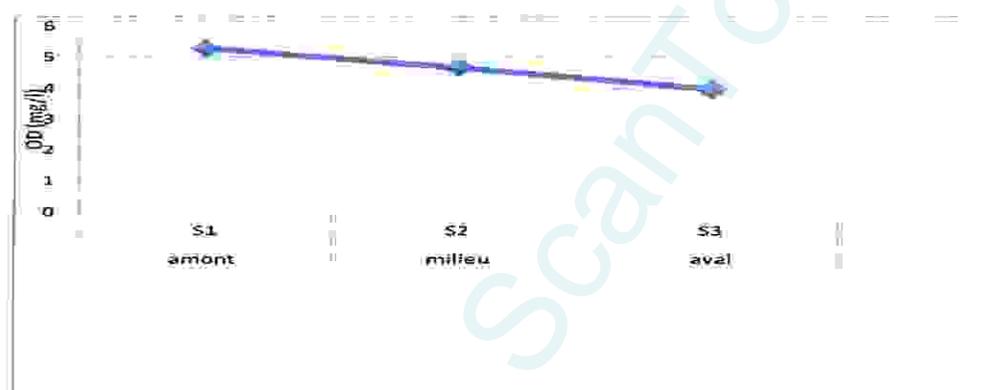


Fig. n°13 : Variation spatiale de l'oxygène dissous (OD) au niveau d'oued Zimba

### 2 Les paramètres physico-chimiques des eaux souterraines

Les eaux souterraines de la nappe alluviale du bassin versant de Guelma constituent actuellement les seules ressources fiables pour l'alimentation en eau potable d'une grande partie de la population urbaine.

La nappe est située en plein centre du périmètre irrigué de Guelma-Boumahra, cependant, l'utilisation des eaux souterraines impose la prise en considération des risques sanitaires liés à la présence potentielle de composés chimiques toxiques et de germes infectieux, qui peuvent dégrader la qualité des sols, des produits alimentaires par la suite la qualité des eaux souterraines. De ce fait, il est important de connaître la qualité de ces eaux souterraines et de chercher le degré de leur de pollution.

Pour atteindre cette objectif, l'analyse d'un certain nombre de paramètres indicateurs de la pollution des eaux (T°C, pH, conductivité électrique, dureté totale, sulfates, orthophosphates, oxygène dissous et les composés azotés) a été réalisée au niveau de cinq

forages destinés à l'alimentation en eau potable implantés (Eucahyptus, BK1, SNTR, BA3 et BA2).

### 2-1 Les paramètres physiques:

Il s'agit des paramètres mesurés sur site, pouvant donner les premières indications sur la qualité des eaux.

#### 2-1-1 La température:

La température influence sur les paramètres comme (l'oxygénation, la conductivité, TDS, la solubilité de différentes substances, ... etc.). La température joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique et bactérienne. Elle varie en fonction des saisons (hivernal et estival), et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol. Les valeurs de la température observées sont représentées dans la (Fig. n°14) ci-dessous.

Dans la zone d'étude, nous avons remarqué que cette température ne présente pas de grandes variations d'un puits à l'autre et reste toutefois inférieure à la température moyenne annuelle de la région soit 17,6 °C, avec un minimum de 13,5 (F3) et maximum de 14 °C (F1, F2 et F4).

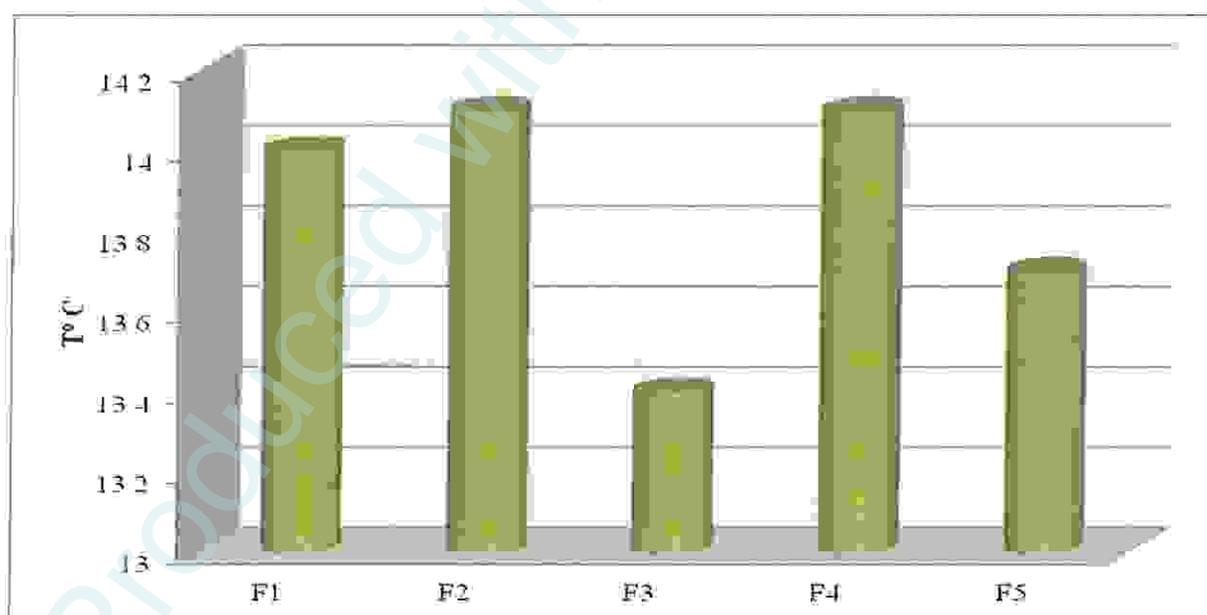


Fig. n°14 : Variation spatiale de la température au niveau des forages

#### 2-1-2 Le pH

C'est un paramètre chimique caractérisant l'acidité ou la basicité d'un milieu. Il résulte de la composition ionique de l'eau, et essentiellement de la présence des carbonates issus de

l'échange de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) à l'interface air-eau, ainsi que de la dissolution du calcaire.

Les valeurs moyennes du pH des eaux de forages varient de 7 à 8 (Fig. n°15). Selon les normes Algériennes de l'eau potable, le pH est fixé entre 6,5 et 9,00, les valeurs enregistrées ne dépassent pas cette norme traduisant une eau de bonne qualité.

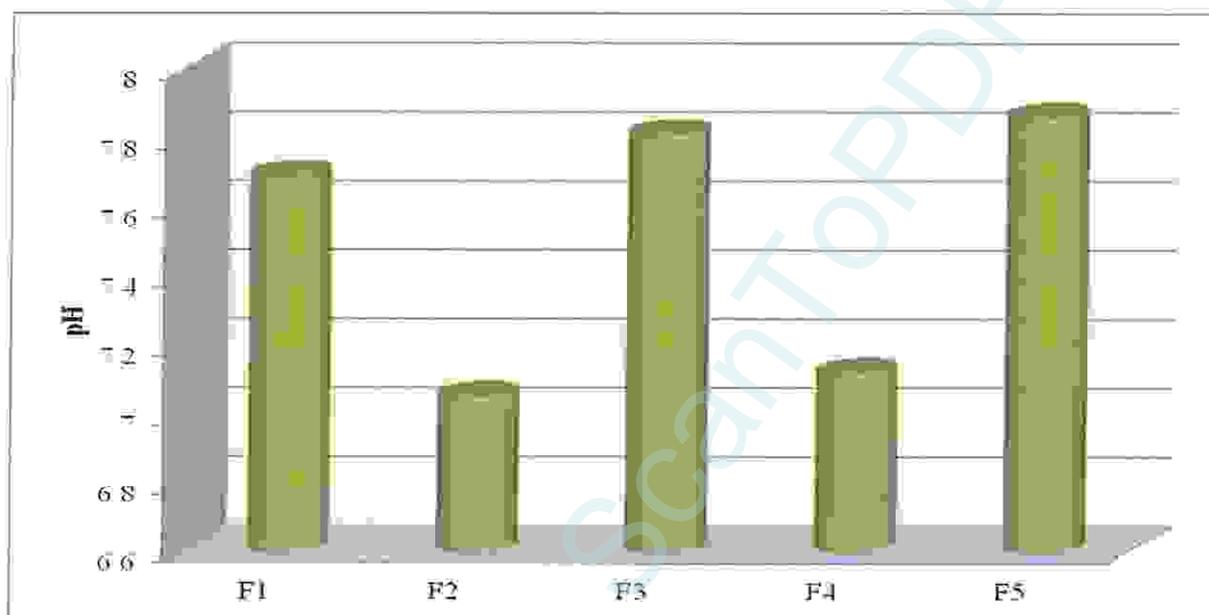


Fig. n°15 : Variation spatiale du pH au niveau des forages

### 2-1-3 La conductivité

La conductivité électrique traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique ; elle détermine la teneur globale des minéraux présent dans une solution. Les valeurs de la conductivité mesurées varient d'un forage à l'autre et oscillent entre 850  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 1270  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Fig. n°16). La valeur la plus élevée est observé au niveau du forage F1. Toutes ses valeurs ne dépassent pas la norme algérienne de potabilité fixée à 2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### 2-1-4 Oxygène dissous

Etant l'un des plus importants indicateurs sur le degré de la pollution des eaux, l'oxygène dissous mesure la concentration du dioxygène dissous dans l'eau et il est exprimé en  $\text{mg}/\text{l}$  ou en pourcentage de saturation. Il participe à la majorité des processus chimiques et biologiques en milieu aquatique. La teneur moyenne dans les eaux souterraines non polluée est de 8  $\text{mg}/\text{l}$  et ne dépasse guère 10  $\text{mg}/\text{l}$ .

Les concentrations obtenues (Fig. n°17) ne présentent pas de variation notable, à l'exception du puits F1 et F5 qui se montrent bien oxygénés. Le Forages (F3) est légèrement

sous oxygénés et ceci serait en relation avec une communication hydraulique mutuelle entre les eaux de la nappe alluviale et celles du Zimba, polluées et sous oxygénées.

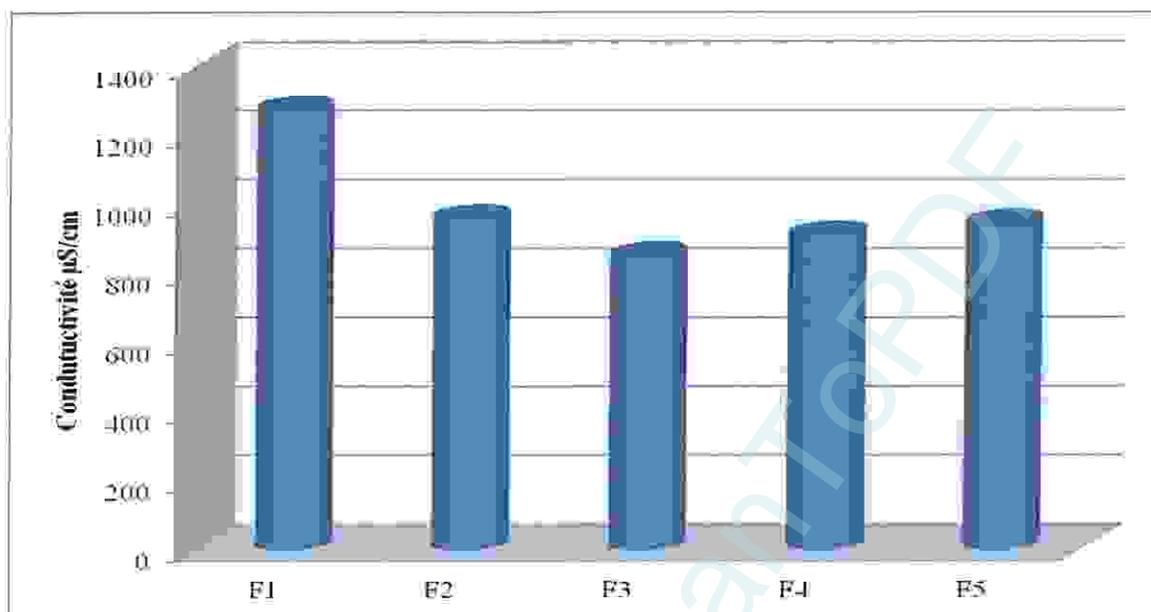


Fig. n°16 : Variation spatiale de la conductivité au niveau des forages

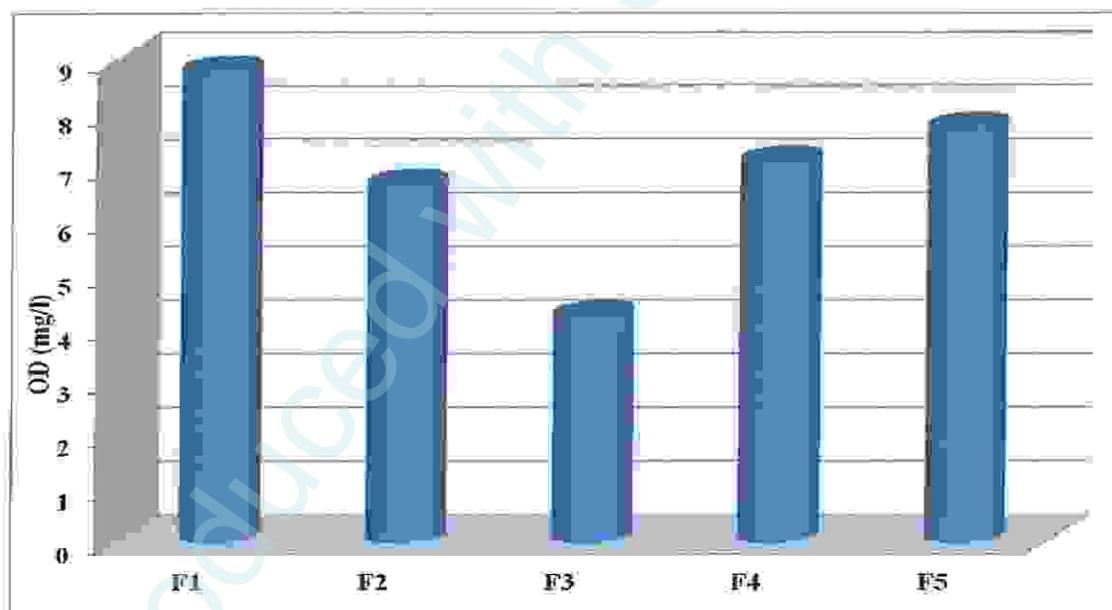


Fig. n°17 : Variation spatiale de l'oxygène dissous au niveau des forages

### 2-1-5 La dureté totale (ou titre hydrométrique)

Ce paramètre représente la teneur de l'eau en sels de métaux alcalino-terreux (sels de calcium, magnésium, strontium et baryum). Etant donné que le strontium et le baryum sont souvent présents dans l'eau sous forme de traces, la dureté totale se réduit à sa concentration

en ions calcium et magnésium, exprimés en millimoles ou en milligrammes par litre (mmol/l ou mg/l) ou en degré français (°F).

Dans les eaux des forges étudiées (Fig. n°18), ce paramètre ne présente pas une grande variation qui serait liée à la même nature lithologique de la formation aquifère et en particulier à sa composition en magnésium et en calcium. Comparés à la norme de l'OMS (20F°) toutes les forges analysées présentent des eaux très dures.

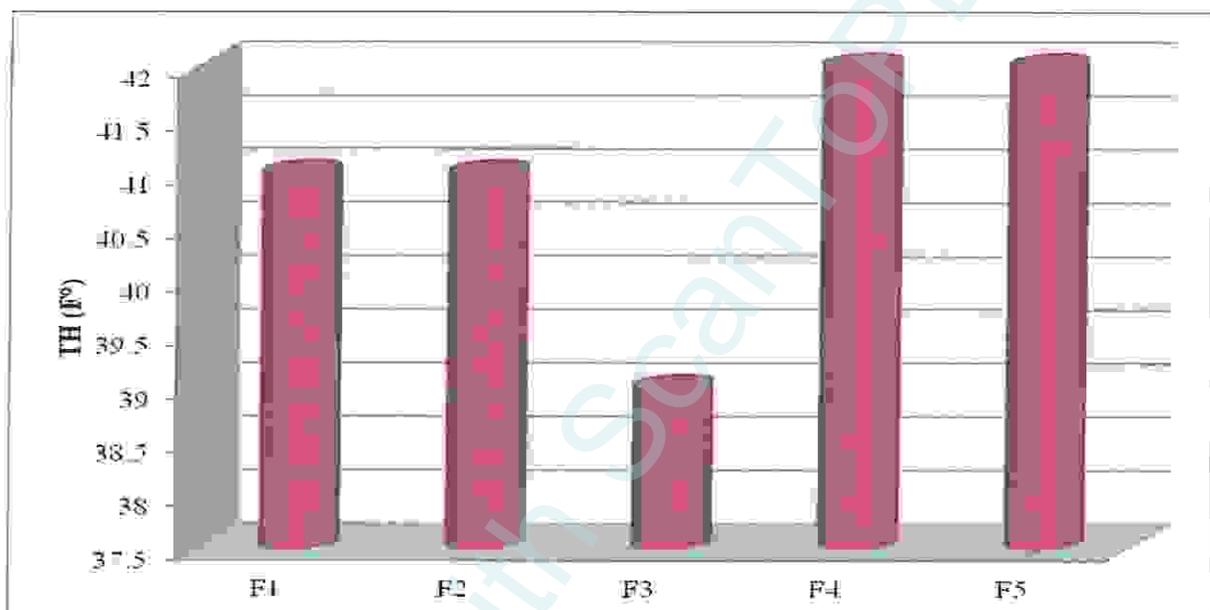


Fig. n° 18: Variation spatiale de la dureté totale au niveau des forages

### 2-2 Les paramètres chimiques

#### 2-2-1 Les sulfates

Le soufre est un élément non métallique qui existe à l'état naturel dans les sols et les roches sous forme organique (soufre protéique) et à l'état minéral (sulfures, sulfates et soufre élémentaire). Le soufre se combine à l'oxygène pour donner l'ion sulfate, présent dans certains minéraux : gypse, baryte...

Les valeurs de ce paramètre dans les eaux des forages étudiées sont très variables et oscillent entre 20 et 140 mg/l (Fig. n°19). Les teneurs élevées en (F1) semblent être liées à la nature lithologique de la nappe alluviale ou aux activités agricoles, utilisant des produits

phytosanitaires à base de soufre.

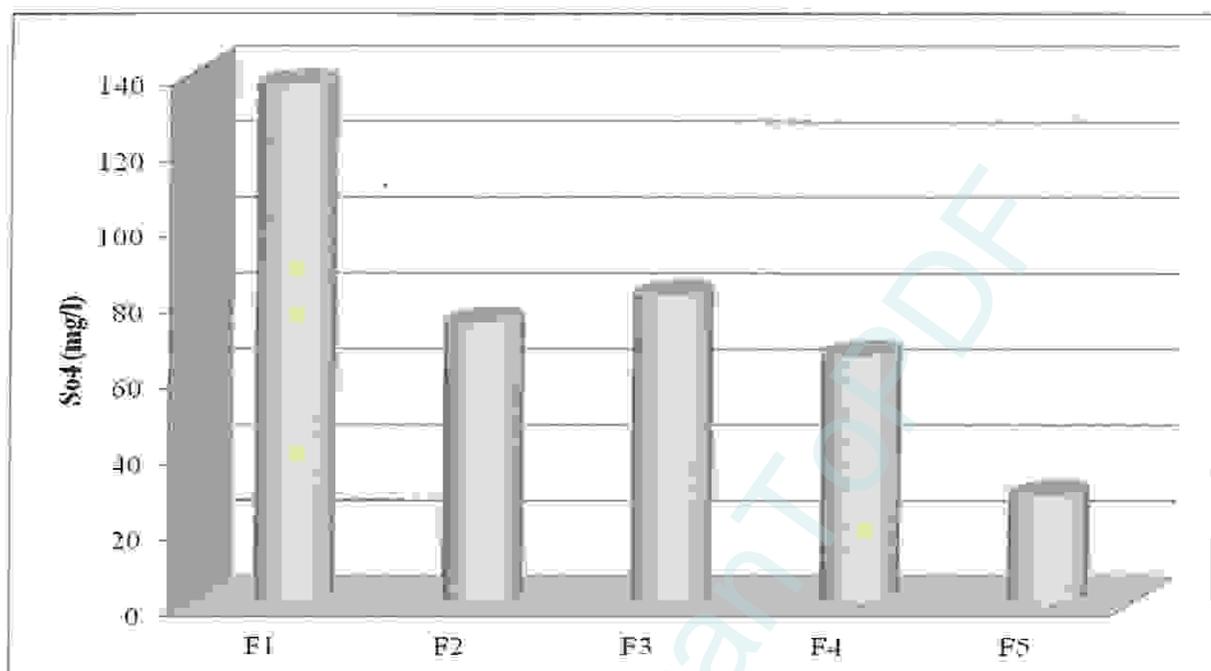


Fig. n°19 : Variation spatiale des sulfates au niveau des forages

### 2-2-2 Les composés azotés

L'azote est l'un des éléments chimiques les plus abondants sur terre. Il se présente sous deux formes : l'azote organique (protéines, acides aminés, ...) et l'azote minéral (azote moléculaire, ammonium, nitrites, nitrates, ...). Les résultats relatifs aux différents composés azotés sont donnés dans la figure n°20

#### - Nitrates:

Les nitrates constituent la forme azotée la plus dominante dans les cours d'eau et dans les nappes d'eau souterraine. Ils proviennent généralement de la décomposition de la matière organique par oxydation bactérienne des nitrites et constituent ainsi l'ultime produit de la nitrification. En milieu naturel, sa concentration dépasse rarement 0,45 mg/l. Des valeurs supérieures indiquent des rejets d'eaux usées dans les milieux aquatiques superficielles et souterraines, et surtout une utilisation excessive de fertilisants utilisés en agriculture.

L'histogramme des teneurs en nitrates (Fig. n°20) montre une légère variation de ces teneurs qui oscillent entre 2,5 mg/l (F4) et 3,5 mg/l (F1), mais qui restent inférieures à la valeur admissible par les normes de l'OMS (50 mg/l). De ce fait, les eaux étudiées ne sont pas soumises à un risque de pollution par les nitrates. Pour les nitrites et ammonium présentent des teneurs très faibles (<0.001mg/l).

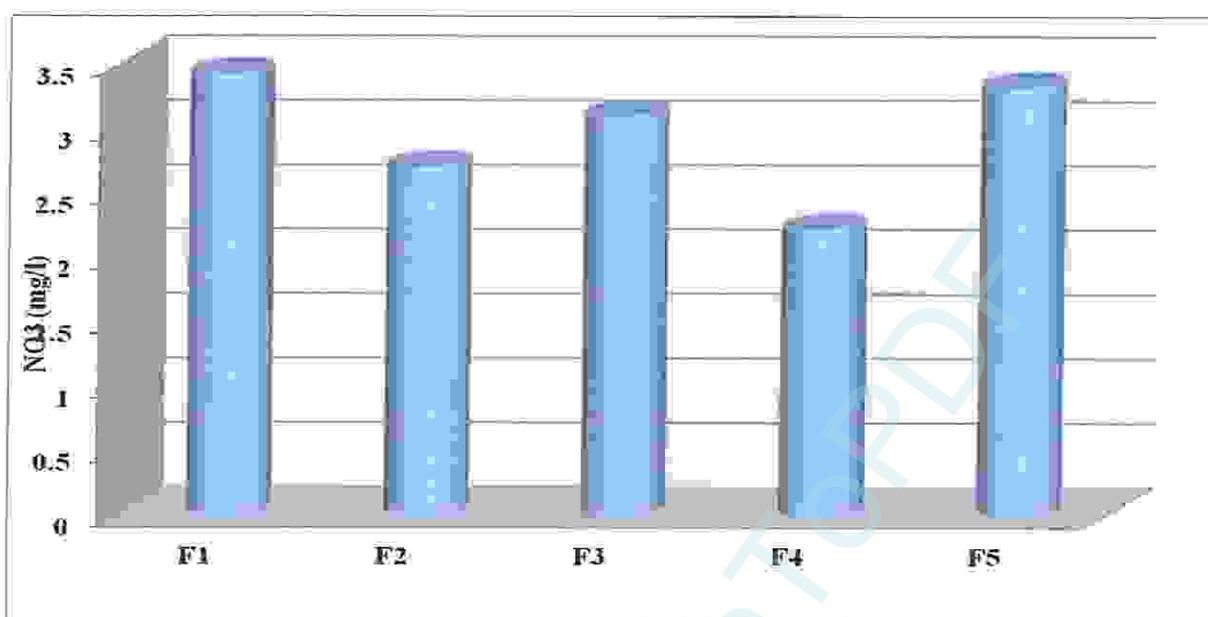


Fig. n°20 : Variation spatiale des nitrates au niveau des forages

### 2-2-3 Les chlorures

Les eaux trop riches en chlorures sont laxatives et corrosives. La concentration des chlorures dans l'eau dépend aussi du terrain traversé. Sur la base des résultats des analyses effectuées sur les échantillons d'eau des forages, les teneurs en chlorures sont de l'ordre de 140 mg/l à 256 mg/l (Fig. n°21). Ces teneurs en chlorures sont inférieures à 200 mg/l (OMS, 1972) sauf pour le forage (F1). De ce fait, et concernant ce paramètre, la qualité de l'eau au niveau des forages (F1, F2 et F3) est moyenne pour F4 et mauvaise pour (F1).

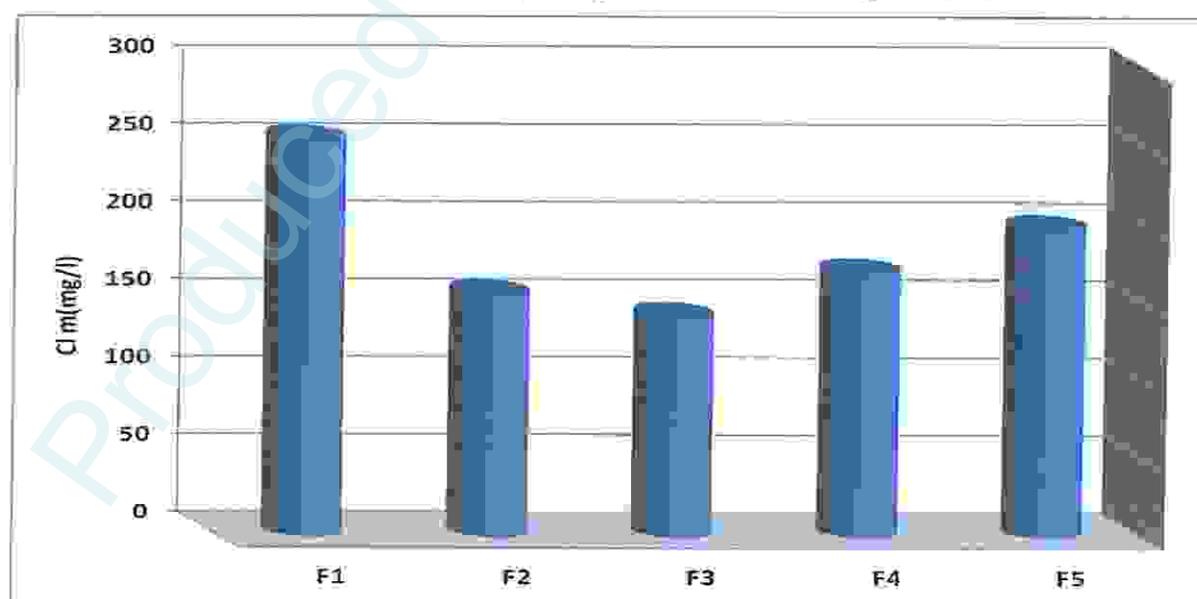


Fig. n°21 : Variation spatiale des chlorures au niveau des forages

### 2-2-4 Le Magnésium

Les teneurs en Magnésium varient au niveau des forages de 16 mg/l à 36.4mg/l (Fig. n°22). Concernant ce paramètre, l'ensemble des eaux analysées durant cette étude sont admissibles à la consommation.

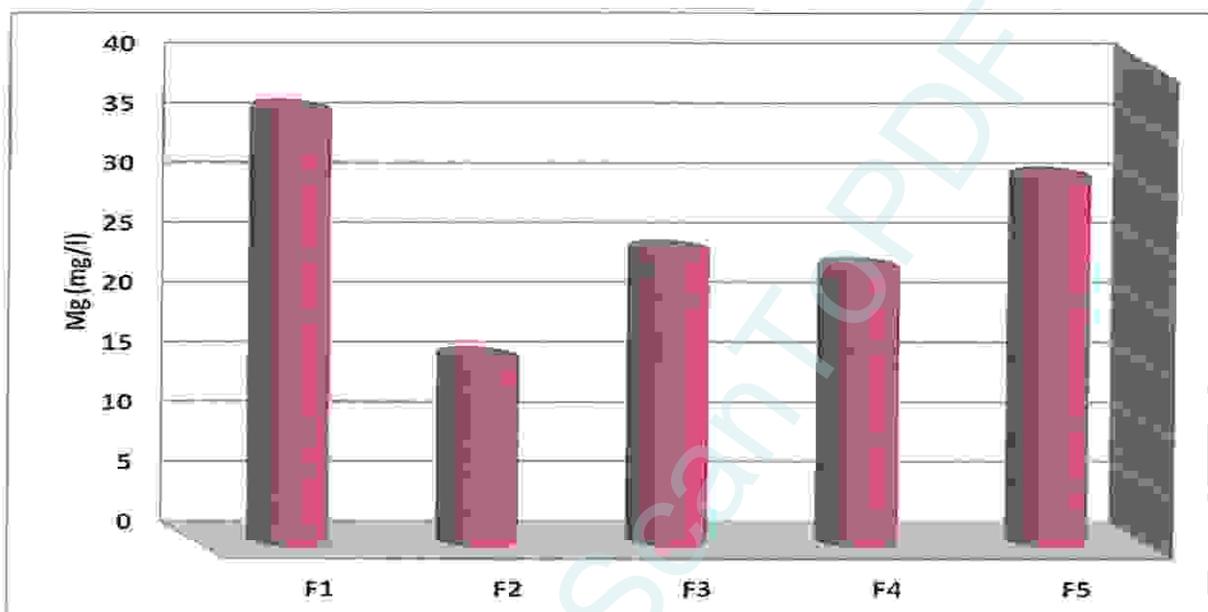


Fig. n°22 : Variation spatiale du magnésium au niveau des forages

### 2-2-5 Le Calcium

Le calcium, ce paramètre varie comme le Magnésium et leur concentration dans l'eau dépend aussi de la nature géologique des terrains traversés. Les teneurs en calcium sont compris entre 110 à 140 mg/l (Fig. n°23). Sur la base des résultats des analyses effectuées, les valeurs enregistrées sont supérieures aux normes Européenne de potabilité des eaux.

### 2-2-6 Le fer

Les teneurs en fer total dans la région d'étude sont nulles.

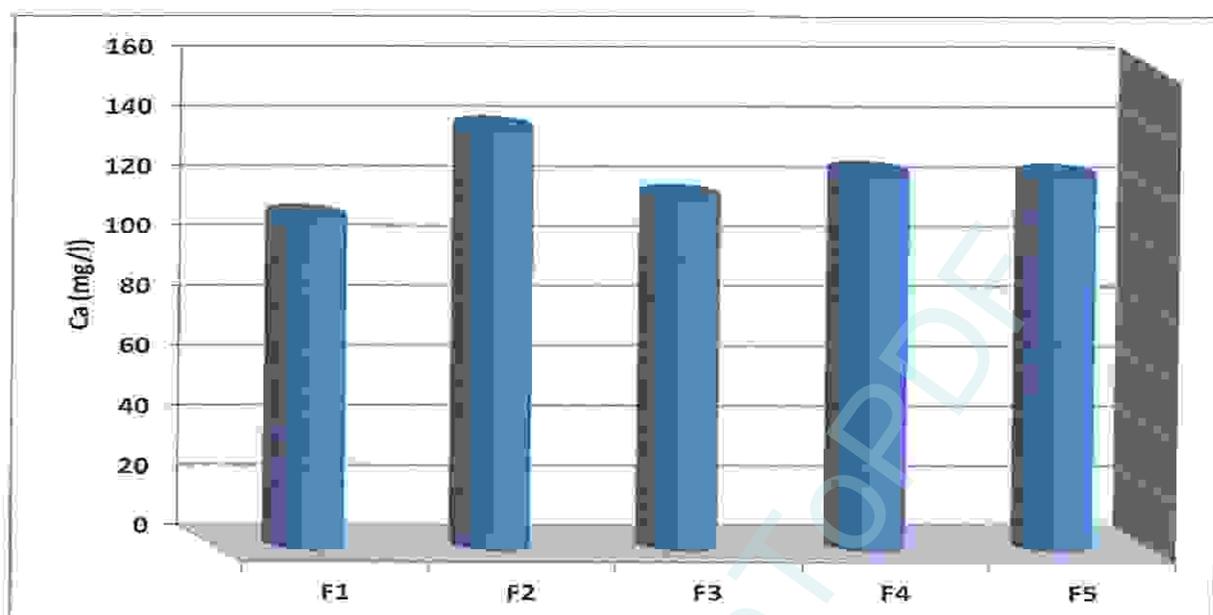


Fig. n°23 : Variation spatiale de calcium au niveau des forages

### 3- Comparaison des eaux des forages aux normes CEE

Tab. n° 5 : Comparaison des eaux des forages aux normes CEE

#### Normes européennes de potabilité des eaux CEE (1975)

Variable	Niveau guide	Concentration maximale admissible	Concentration minimale requise	Teneur moyenne (au niveau des forages)
pH	6,5-8,5	9,5	6,0	7,5
Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$	400	1250		987
Minéralisation totale résidu sec mg/l		1500		629
Dureté totale degrés français	35		10	41
Calcium mg/l	100		10	124
Magnésium mg/l	30	50	5	26
Sodium mg/l	<20	100		-

## Chapitre IV : Qualité des eaux de surfaces et souterraines

Potassium mg/l	<10	12		-
Sulfates mg/l SO <sub>4</sub>	5	250		77.5
Chlorures mg/l Cl	5	200		185
Nitrates mg/l NO <sub>3</sub>		50		2.95
Nitrites mg/l NO <sub>2</sub>		0.1		0.005
Ammoniaque mg/l NH <sub>4</sub>	0.05	0.5		0
Oxygène dissous	5			7
Fer µg/l	100	300		0

### Conclusion

Les différentes analyses effectuées sur les deux principaux affluents d'oued Seybouse (Maiz et Zimba) et sur les cinq forages implantés dans la nappe alluviale de Guelma, ont permis de dégager le comportement de certains paramètres descriptifs de la qualité physico-chimique des eaux.

Une comparaison des teneurs des principaux éléments mesurés dans les eaux souterraines pour les différents forages, indique une différence dans la concentration entre eux. Cette différence est caractérisée au niveau de certains paramètres physico-chimiques à savoir, OD, CE, S<sub>0</sub><sub>4</sub>, Cl et Mg.

# Conclusion Générale

Produced with Scantopdf

## Conclusion générale et recommandations

---

Au terme de cette étude qui nous a permis de montrer l'impact des périmètres irrigués sur la qualité des eaux de surface et souterraines, nous présentons une synthèse des principaux aspects évoqués et des résultats acquis :

La région Guelma – Boumahra est constituée essentiellement de deux formations géologiques qui affleurent le long de la région d'étude; les formations mio-pliocène et quaternaires. Ces formations sont constituées essentiellement d'alluvions (graviers, limons, conglomérats, travertins perméables) présents sur l'ensemble du terrain.

L'étude géomorphologique fait ressortir la très grande diversité lithologique qui entraîne obligatoirement des conséquences sur la stabilité du régime des eaux de surface et souterraines.

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. La température moyenne annuelle varie entre 17.79°C et 19.66°C, elle est assez régulière.

Enfin, les changements de températures et de précipitations pourraient réduire l'humidité des sols et l'écoulement annuel. Donc des conséquences importantes sur les ressources en eau disponibles pourraient avoir lieu avec un impact certain au niveau social,

Dans la région d'étude, deux importantes ressources en eaux sont distinguées; les eaux de surface utilisées sans contrôle pour l'irrigation, et les eaux souterraines de deux horizons aquifères différents (libre superficielle et profonde captive). La première nappe qui est la plus vulnérable à la pollution.

Le périmètre d'irrigation Guelma-Boumahra, est constitué de cinq secteurs autonomes sur le plan d'aménagement et de desserte en eau. Les secteurs irrigués qui font partie de la région d'étude sont : Guelma et Boumahra Ahmed.

L'analyse physico-chimique, montre que l'eau des échantillons analysés issues du périmètre irrigué Guelma-Boumahra est considérée comme polluée à cause des teneurs qui dépassent celles préconisées par CEE, surtout pour le Calcium.

## Conclusion générale et recommandations

---

Donc c'est une pollution naturelle provoquée par les formations géologiques de la région d'une part, et par les rejets industriels et l'agriculture d'autre part.

Par contre la pollution nitrique n'est pas très alarmante avec 100% des points étudiés ayant des teneurs inférieures à 50 mg/l

Pour les eaux des surfaces l'analyse des paramètres physiques, montre que l'eau d'Oued Zimba et Oued Maiz sont moins oxygénées. Pour oued Maiz, il est pollué en amont et devient moins pollué en aval, par contre pour oued Zimba c'est le contraire.

En recommandation pour améliorer la qualité des eaux dans le périmètre irrigué, il faut respecter certaines règles d'hygiènes :

- Diagnostiquer la situation actuelle de la qualité des eaux de surfaces et souterraines avec un nombre de points de prélèvement importants répartis au sein du périmètre irrigué ;

Un système de suivi et de surveillance de la qualité des eaux souterraines et de surfaces au niveau du périmètre est indispensable ;

- Contrôler l'utilisation des pesticides et des engrais en quantité et en qualité utilisées dans le périmètre afin d'éviter le risque de migration des ces substances aux souterraines et surfaces.

## Références bibliographiques

- 1- Abd arrahmene A, et al, 2012. Qualité des eaux de sources issues du périmètre irrigué Guelma-Boumahra. Mémoire de Master, Université 08 Mai 1945 Guelma. 78p.
- 2- Djabri L. 1996. Mécanisme de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse. Origines géologiques, industrielles, agricoles et urbaines. Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba. 261p.
- 3- Hamada S. 2012. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de forage du périmètre irrigué Guelma-Boumahra. .
- 4- Khanchoul K et al, 2000. La ressource en eau de surface dans le bassin d'Oued Seybouse (Nord-Est de l'Algérie). Article Mosella 2000 –tome XXV- N° 3-4 12p
- 5- Mouassa S. 2007. Impact du périmètre d'irrigation sur la qualité des eaux souterraines de la nappe alluviale de Guelma et sur les sols. Mémoire de Magister, IST, Univ. Annaba. 158p.
- 6- 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, IST, Univ. Annaba. 123p
- 7- Nouar T. 2007 : Impacts de la pollution sur les eaux superficielles et souterraines de la région de Guelma. Thèse de doctorat d'état en Hydrogéologie, IST, Univ. Annaba. 167 p.
- 8- Rodier J, 1978. L'analyse des eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Chimie, physico- chimie, bactériologie, biologie. 6ième édition. Dunod. Paris. 1330p.

### webographie

- (1): [http://www.sololiya.fr/.../3\\_les\\_différents\\_types\\_demaladies\\_liées\\_à\\_l'eau](http://www.sololiya.fr/.../3_les_différents_types_demaladies_liées_à_l'eau).
- (2): <http://www.pathexo.fr/documents/articles.../T92-5b-Madagascar.pdf>.
- (3): [nhscience.lonestar.edu](http://nhscience.lonestar.edu).
- (4): [aquatechnique.pagesperso-orange.fr/.../page%20conduc.html](http://aquatechnique.pagesperso-orange.fr/.../page%20conduc.html).
- (5): [http://www.oieau.fr/REFEA/fiches/.../Physico\\_chimie\\_PresGen.html](http://www.oieau.fr/REFEA/fiches/.../Physico_chimie_PresGen.html).