

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

**Université Abbes Laghrour Khenchela**

**Institut des sciences de la nature et de vie**

*Mémoire*

**Présenté pour obtenir un diplôme de Magister**

**en écologie générale et environnement**

*Option*

**Gestion intégrée des ressources en eau et le développement durable**

*Par*

**Yamama Nedjar**

***Impact des rejets de la station d'épuration d'ElManchar  
sur la qualité des eaux souterraines  
(Wilaya de Khenchela, Nord Est algérien)***

*Devant le jury*

---

**Président : Pr. DARBOUCHE Abdelhak**

**Pr. Université de Khenchela**

**Rapporteur : Dr. BENOUNIS Messaoud**

**M.C.A. Université de Khenchela**

**Examineur : Dr. HOUHA Belgacem**

**M.C.A. Université de Khenchela**

**Examineur : Pr. HOUHAMDI Moussa**

**Pr. Université de Guelma**

**Année Universitaire 2011 / 2012**

**A la personne irremplaçable dans ma vie,  
Ma très chère Mère, que Dieu tout puissant  
ait son âme en sa sainte Miséricorde  
et l'accepte inchaallah  
dans ses vastes Paradies**

## **Remerciements**

*Mes remerciements vont aux membres de jury :*

*Monsieur **DARBOUCHE A.**, professeur au département de Biologie de l'université Khenchela, pour le grand honneur qu'il m'a montré en acceptant de présider le jury.*

*Monsieur **HOUHAMDI M.**, professeur à l'université de Guelma, d'avoir accepté de participer à ce jury et d'être un examinateur de ce travail.*

*Monsieur **HOUHA B.** Maître de conférences au département de Biologie à l'Université de Khenchela, pour avoir exprimé son entière disponibilité à participer à ce jury.*

*Je remercie vivement mon encadreur, Monsieur **BENOUNIS M.**, pour avoir accepté de m'encadrer et de diriger ce présent travail ainsi que pour ses conseils, ses encouragements, sa patience et pour tout le temps qu'il m'a consacré pour réaliser ce travail.*

*Un remerciement particulier à Mr. Kellil C., le Directeur de l'environnement, et Melle Zerdoum S., Directrice de CET, pour leurs aides précieuses et leurs encouragements.*

*J'adresse mes remerciements aussi à Dr Khireddine B., Melle Dellaa Y., Mr Bendhifalla D., les membres de laboratoire de l'ONA et de l'INSID, pour les aides qui m'apportent pour terminer la partie pratique de ce travail.*

*J'exprime ma reconnaissance à Mr Gloul M., Mr Menasri A., et Mr Kharroub A. pour leurs accueils et leurs coopérations.*

*Je suis extrêmement reconnaissante à ma très chère sœur Meriem et mes chers frères Fateh, Toufik, Aissa, et surtout Yazid et Idriss et mes amis Mouna et Soumia qui m'ont soutenu et encouragé en tout moment.*

*Sans oublier mes amis de promotion et mes collègues de travail.*

# TABLE DES MATIERES

<i>Introduction générale</i>	1
<i>Chapitre I : Synthèse bibliographique</i>	
1. La pollution des eaux .....	4
1.1. Définitions .....	4
1.2. Typologie et Origine de la pollution des eaux souterraines .....	4
2. Généralité sur les eaux usées.....	5
2.1. Définition des eaux usées.....	5
2.2. Nature et origine.....	5
3. Composition des eaux usées .....	6
3.1. Les matières en suspension .....	6
3.2. Les matières organiques .....	7
3.2.1. La demande chimique en oxygène (DCO) .....	7
3.2.2. La demande biochimique en oxygène (DBO <sub>5</sub> ) .....	7
3.2. Les nutriments .....	8
➤ L'azote .....	8
➤ Le phosphore.....	9
3.3. La Salinité.....	9
3.4. Microorganismes.....	9
3.5. Micropolluants toxiques organiques .....	10
3.6. Les éléments traces métalliques.....	10
4. Réutilisation des eaux usées traitées.....	12
1.1. Bilan mondial.....	12
4.2. Les différentes réglementations dans le monde .....	13
4.3. Réutilisation des eaux usées en agriculture en Algérie .....	14
4.4. Valorisation des ERUT, Conditionnements et usages .....	14
a) Les valorisations directes -le cycle court- .....	14
b) Les valorisations indirectes - le cycle long-.....	15
5. Impact de l'utilisation des EUT sur la nappe phréatique .....	16

<b>Chapitre II contextes de l'étude</b>	17
<b>1. Description de la zone d'étude</b>	17
1.1. Région d'étude .....	17
1.2. Géomorphologie.....	19
1.3. Lithologie .....	20
1.4. Caractères pédologiques.....	22
1.5. Réseau Hydrographique.....	22
1.6. Végétation .....	23
1.7. Cadre socio-économique.....	24
1.8. Géologie.....	24
1.8.1. Aspect structural.....	24
➤ Tectonique .....	24
a) Les grands plis .....	24
b) Diapirisme du matériel Triasique .....	25
1.8.2. Litho stratigraphie .....	26
1.8.2.1. Le Mésozoïque .....	26
1.8.2.2. Le Cénozoïque .....	28
1.9. Hydrogéologie .....	29
1.9.1. Les nappes aquifères du bassin.....	30
1.9.1.1. Aquifère superficiel.....	30
1.9.1.2. Aquifère profond.....	31
<b>2. Aperçu hydroclimatologique</b>	32
2.1. Études des paramètres climatologiques .....	32
2.1.1. La pluviométrie.....	32
2.1.1.1. Répartition mensuelle .....	33
2.1.1.2. Variation interannuelle .....	33
2.1.1.3. Répartition saisonnière des précipitations.....	34
2.1.1.4. Analyse de la carte des isohyètes .....	34
2.1.2. La Température.....	35
2.2. Synthèse climatique.....	36
2.2.1. Diagramme pluviothermique de Gaussen.....	36
2.2.2. Climagramme d'Emberger.....	37
2.2.3. Indice de De. Martonne.....	38
2.3. Bilan hydrique.....	39
2.3.1. Evapotranspiration potentielle (ETP) .....	39
2.3.2. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR).....	39

<b>3. Traitement des eaux usées provenant de la ville de Khenchela</b>	<b>41</b>
3.1. Réseau d'assainissement .....	41
3.2. Présentation de la station d'épuration.....	41
3.2.1. Localisation.....	41
3.2.2. Capacité du traitement des eaux usées.....	41
3.2.3. Qualité des eaux usées brutes .....	41
3.2.4. Procédés de traitement.....	42
a) Le prétraitement.....	42
➤ Le Dégrillage.....	42
➤ Dessablages et dégraissage.....	42
b) Procédé d'épuration des eaux usées.....	43
c) La Décantation.....	44
d) Traitement des boues (Epaississement et Séchage) .....	44
3.2.5. Qualité des eaux traitées.....	44
3.2.6. Le rendement épuratoire.....	45
3.2.7. Quantité des eaux usées traitées .....	45
3.2.8. Analyse des ETM dans la boue sèche .....	46

### ***Chapitre III: Matériel et méthodes***

1. Choix et présentation des sites d'échantillonnage.....	47
1.1. Prélèvement et échantillonnage.....	47
1.1.1. Eau usée traitée .....	47
1.1.2. Eau superficielle d'Oued .....	48
1.1.3. Eau souterraines .....	48
2. Méthodes d'analyses physico-chimiques .....	49
2.1. Paramètres physiques .....	49
2.2. Éléments majeurs .....	49
2.3. Éléments indicateurs de pollution .....	50
➤ Détermination de la DBO <sub>5</sub> .....	50
➤ Détermination de la DCO .....	50
➤ Les matières particulières .....	51
2.4. Éléments traces métalliques .....	51
3. Détermination des hydrofaciès chimique .....	51
4. Analyse statistique des données .....	51

## *Chapitre IV : Résultats et discussion*

<b>1. Caractérisation physicochimique des eaux usées traitées</b>	<b>52</b>
1.1. Suivi temporel des eaux usées traitées .....	53
1.2. Qualité des eaux superficielles .....	54
<b>2. Qualité physicochimique des eaux souterraines</b>	<b>56</b>
2.1. Variation des paramètres physicochimiques .....	56
2.2. Les paramètres physiques .....	57
2.2.1. La Température (T °C) .....	57
2.2.2. Le potentiel hydrogène .....	57
2.2.3. La conductivité électrique .....	58
2.2.4. L'oxygène dissous .....	59
2.3. Les éléments majeurs .....	60
2.3.1. Les Cations .....	60
➤ Le calcium .....	61
➤ Le Magnésium .....	61
➤ Le potassium .....	61
➤ Le Sodium .....	61
2.3.2. Les anions .....	63
➤ Les chlorures .....	63
➤ Les sulfates.....	64
2.4. Les éléments indicateurs de la pollution .....	65
2.4.1. Les nitrates .....	65
2.4.1.1. Origine des nitrates.....	67
2.4.2. L'ammonium.....	67
2.4.3. Relation nitrates-ammonium.....	68
2.4.4. Les orthophosphates.....	69
2.4.5. Les éléments traces métalliques.....	69
2.4.6. Les matières particulaires.....	70
<b>3. Classification chimique des eaux</b>	<b>71</b>
3.1.1. Aptitude des eaux à l'irrigation.....	74
<b>4. Analyse des données</b>	<b>75</b>
4.1. Matrice de corrélation.....	75
4.2. L'analyse des plans factoriels .....	76
4.3. Interprétation de l'ACP.....	76
<b>Conclusion générale</b>	<b>78</b>
Références bibliographiques	

## **Index des figures**

**Figure I.1** : Intégration des eaux usées traitées dans le cycle général des ressources en eau

**Figure I.2** : Principaux paramètres ayant un rôle dans l'atténuation d'un contaminant

**Figure I.3** : Aspects de réutilisation des eaux usées dans les différentes régions du monde

**Figure II.1** : Localisation du bassin versant

**Figure II.2** : Localisation d'Oued Baghai dans les sous bassin versant des hautes plaines constantinoises

**Figure II.3** : Lithologie de la zone d'étude

**Figure II.4** : Réseau hydrographique de sous bassin d'Oued Baghai

**Figure II.5** : Schéma géologique structural (carte géologique de Khenchela 1/50000)

**Figure II.6** : Coupe géologique interprétatif (carte géologique khenchela 1/50000)

**Figure II.7** : Les formations hydrogéologiques dans la zone d'étude

**Figure II.8** : Variation des précipitations moyennes mensuelles de la période (1994-2011)

**Figure II.9** : Variation interannuelle des précipitations de la période (1994-2011)

**Figure II.10** : Carte de la pluviométrie de la wilaya de Khenchela (ANARH, 1993)

**Figure II.11** : Variation des températures moyennes mensuelles de la période (1994-2011)

**Figure II.12** : Diagramme pluviothermique de Gaussen

**Figure II.13** : Climagramme d'Emberger de Khenchela pour la période 1994-2011

**Figure II.14** : Variation moyenne mensuelle de la qualité des EUT durant la période 2009 - 2011

**Figure II.15** : Variation quantitative mensuelle des EUT durant la période 2009 – 2011

**Figure III.1** : Carte représentative des stations de prélèvement des eaux d'oued

**Figure III.2** : Carte d'inventaire des points d'eaux testés

**Figure IV.1** : Variation temporelle des éléments indicateurs de pollution dans les EUT

**Figure IV.2** : Variation des matières particulaires dans les EUT (Mai- Oct 2011)

**Figure IV.3** : Variation spatiale de la qualité des EUT le long d'Oued

**Figure IV.4** : Teneurs en ETM en  $\text{mg.L}^{-1}$  dans les échantillons d'eau superficielles

**Figure IV.5** : La température ( $^{\circ}\text{C}$ ) dans les différents échantillons (juin 2011)

**Figure IV.6** : Teneur en pH dans les différents échantillons (juin 2011)

**Figure IV.7** : La conductivité électrique dans les différents échantillons (juin 2011)

**Figure IV.8** : Teneur en oxygène dissous (juin 2011)

**Figure IV.9** : Teneurs des eaux testés en cations majeurs ( $\text{mg.L}^{-1}$ )

- Figure IV.10 :** Teneurs en  $\text{Ca}^{+2}$  ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) dans les différentes stations
- Figure IV.11 :** Teneurs en  $\text{Mg}^{+2}$  ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) dans les différentes stations
- Figure IV.12:** Teneurs en  $\text{Na}^{+}$  ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) dans les différentes stations
- Figure IV.13:** Teneurs en  $\text{K}^{+2}$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) dans les différentes stations
- Figure IV.14 :** Teneurs en chlorure  $\text{Cl}^{-}$  ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) dans les différentes stations
- Figure IV.15:** Teneurs en Sulfates  $\text{SO}_4^{-2}$  ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) dans les différentes stations
- Figure IV.16 :** Teneurs en nitrate ( $\text{NO}_3^{-}$ ) dans les différentes stations
- Figure IV.17 :** Teneurs en ammonium ( $\text{NH}_4^{+}$ ) dans les différentes stations
- Figure IV.18 :** Evolution des nitrates en fonction d'ammonium
- Figure IV.19 :** Evolution des nitrates en fonction d'ammonium
- Figure IV.20:** carte de Fer ( $\text{mg.L}^{-1}$ )
- Figure IV.21 :** carte de Zinc ( $\text{mg.L}^{-1}$ )
- Figure IV.22:** carte de Mn ( $\text{mg.L}^{-1}$ )
- Figure IV.23:** carte de Cu ( $\text{mg.L}^{-1}$ )
- Figure IV.24:** Teneurs en MES dans les différentes stations
- Figure IV.25:** Représentation des eaux testées sur le diagramme de Piper.
- Figure IV.26 :** Représentation des eaux testées sur le diagramme de Schoëller-Berkaloff
- Figure IV.27 :** Représentation des eaux testées sur le diagramme de Schoëller-Berkaloff
- Figure IV.28 :** Classification des eaux selon le diagramme de Riverside
- Figure IV.29 :** Projection des variables sur le premier plan factoriel
- Figure IV.30 :** Représentation graphique des stations de prélèvement sur les axes F1 et F2
- Photo II.1 :** Déshuilage / Dessablage (STEP Khenchela, 2011)
- Photo II.2. :** Bassin d'aération (STEP Khenchela, 2011)

## **Index des tableaux**

**Tableau I.1 :** Limites recommandées en éléments traces ( $\text{mgL}^{-1}$ ) dans les EUT destinées à l'irrigation (FAO, 2003)

**Tableau II.1 :** Localisation de la station météorologique de Khenchela

**Tableau II.2 :** Précipitations moyennes saisonnières (Seltzer, 1913-1938)

**Tableau II.3 :** Précipitations moyennes saisonnières (ONM, 1994-2011)

**Tableau II.4 :** Détermination de régime climatique par la méthode d'Euverte

**Tableau II.5 :** Calcul du bilan hydrologique selon la formule de Thornthwaite

**Tableau II.6 :** qualité des eaux brutes durant la période 2009-2011 (ONA)

**Tableau II.7 :** qualité des eaux usées traitées durant la période 2009-2011 (ONA)

**Tableau II.8 :** Rendement épuratoire de la STEP (2009-2011) (ONA)

**Tableau II.9 :** Teneur en métaux lourds ( $\text{mg/Kg}$ ) dans la boue issue d'épuration (ONA, 2010)

**Tableau IV.1 :** La qualité des EUT de la ville de Khenchela (Mai - Octobre 2011)

**Tableau IV.2 :** Variation des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines

**Tableau IV.3 :** Classification des eaux souterraines en fonction de la conductivité

**Tableau IV.4 :** Variation des éléments indicateurs de la pollution dans les différentes stations

**Tableau IV.5 :** Matrice de corrélation

## **Liste des abréviations et des sigles**

**ACP** : Analyse en Composantes Principales

**CE**: Conductivité électrique

**DBO** : Demande biochimique en oxygène

**DCO** : Demande chimique en oxygène

**EH** : équivalent habitant

**ETM** : éléments traces métalliques

**ETP** : Evapotranspiration potentielle

**ETR** : Evapotranspiration Réelle

**EUB** : Eau usées brutes

**EUT** : Eau usées traitées

**EX** : Excédent en eau du sol

**FAO** : Organisation Mondiale de l'Alimentation et de l'Agriculture

**JORA**: Journal officiel de la République Algérienne

**MES** : Matière en suspension

**MO** : matière oxydables

**OD** : dioxygène dissout

**OMS** : Organisation Mondiale de la santé

**ONA** : Office National de l'Assainissement

**P** : Précipitations

**pH** : potentiel d'hydrogène

**RAS** : rapport d'absorption du sodium

**RE** : Rendement épuratoire

**RFU** : Réserve Facilement Utilisable

**STEP**: station de traitement des eaux polluées

*INTRODUCTION*

*GENERALE*

## Introduction générale

L'eau est une ressource naturelle, précieuse, vulnérable et très limitée dans les régions semi-arides. La croissance démographique, la fréquence d'apparition des épisodes de sécheresse et le développement économique exercent une pression sans précédente sur les ressources en eau.

En Algérie, pour une population estimée à 35 millions d'habitants, les ressources en eau sont de l'ordre de 550 m<sup>3</sup>/an / habitant. Selon les normes mondiales, où le seuil critique de rareté de l'eau se situe à 1000 m<sup>3</sup>/an/habitant, l'Algérie est un pays pauvre en eau (Tamrabet, 2011). Cette situation oblige la protection quantitative et qualitative de ces ressources.

La qualité naturelle d'une eau peut être dégradée par des pollutions de diverses origines. Compte tenu de l'inertie des nappes, le retour à la qualité d'origine nécessite plusieurs années et peut même s'avérer impossible.

Les eaux usées issues de diverses activités urbaines ne peuvent être rejetées telles qu'elles dans l'environnement, car elles contiennent divers polluants organiques et minéraux, sous forme solide ou dissout, ainsi que de nombreux microorganismes pathogènes qui peuvent menacer la santé humaine et la qualité de l'environnement dans son ensemble. Elles doivent donc subir, avant leurs rejets dans le milieu naturel, un traitement d'épuration.

Les EUT sont continuellement évacuées en aval des centres urbains. Dans un climat semi aride où les sols sont déficitaires en matière organique et les ressources en eau sont limitées, ces eaux ne constituent pas un déchet à éliminer mais une source d'irrigation. Les principales spéculations concernées par l'irrigation avec les EUT sont les cultures maraîchères fourragères et la céréaliculture.

Actuellement, Ces eaux procurent à l'agriculture une ressource précieuse et renouvelable et libèrent un volume supplémentaire d'eau de bonne qualité pour des utilisations prioritaires. Elles constituent en outre, une alternative aux rejets dans les milieux récepteurs qui peuvent présenter des capacités d'absorption limitées. Par ailleurs, le contenu de ces eaux en éléments nutritifs permet de diminuer les frais de fertilisation des sols.

Si cette ressource constitue une valeur hydrique et un potentiel d'apport de matières fertilisantes, elle peut être également une source de pollution. Son contenu en éléments traces organiques et métalliques et en microorganismes pathogènes ainsi que sa teneur élevée en azote peut présenter un risque pour l'environnement et la santé humaine. Ces éléments s'accumulent

excessivement dans le sol, chargent les eaux de surface et souterraines provoquant la dégradation de leur qualité en terme de la salinisation des eaux, l'accumulation des nitrates et des ETM et la percolation vers la nappe.

La région drainée par Oued Baghai, qui fait partie d'un sous bassin endoréique (Khenchela, Nord-Est Algérien), est le milieu récepteur des eaux traitées issues de la STEP à boues activées de la ville de Khenchela. La réutilisation de ses effluents pour irriguer les terres riveraines de la commune de Baghai est une pratique très répandue.

L'étude que nous présentons est une contribution à l'évaluation de l'impact des EUT réutilisées à l'irrigation ou rejetées dans le milieu naturel sur la qualité des eaux souterraines du quaternaire dans la région.

Cette étude est axée essentiellement sur :

- Une caractérisation physicochimique des EUT issues de la STEP, consiste à évaluer le degré de contamination de ces derniers par le biais d'un suivi temporel de différents paramètres. En outre, les résultats d'analyses sont comparés aux critères et normes de rejet et de réutilisation pour en déduire enfin les procédés de traitement adaptés par la STEP.
- Une évaluation des eaux de l'Oued Baghai
- Une étude de la qualité des eaux souterraines en matière de la salinité, des éléments indicateurs de pollution, et des ETM et les comparent aux points d'eaux choisis comme témoin et les normes de l'OMS.

Cette étude comporte quatre chapitres. Le chapitre I est une revue bibliographique du thème traité. Il s'agit d'une synthèse de connaissances sur les eaux usées brutes et épurées et la réutilisation de ces dernières dans le monde et en Algérie et l'impact de réutilisation sur les eaux souterraines. Le 2<sup>ème</sup> chapitre est une description de la zone d'étude portant sur la connaissance des caractères du terrain et des conditions hydroclimatiques avec une mise en relief des procédés de traitement des eaux usées provenant de la ville de Khenchela.

Un 3<sup>ème</sup> chapitre consiste au présentation et choix des sites de prélèvement ainsi que les méthodes d'analyse utilisées. Le 4<sup>ème</sup> chapitre porte les résultats obtenus et les discussions tenons après une étude statistique. Enfin la conclusion rassemble les principaux résultats de ce travail.

# CHAPITRE I

*SYNTHESE*

*BIBLIOGRAPHIQUE*

## Introduction

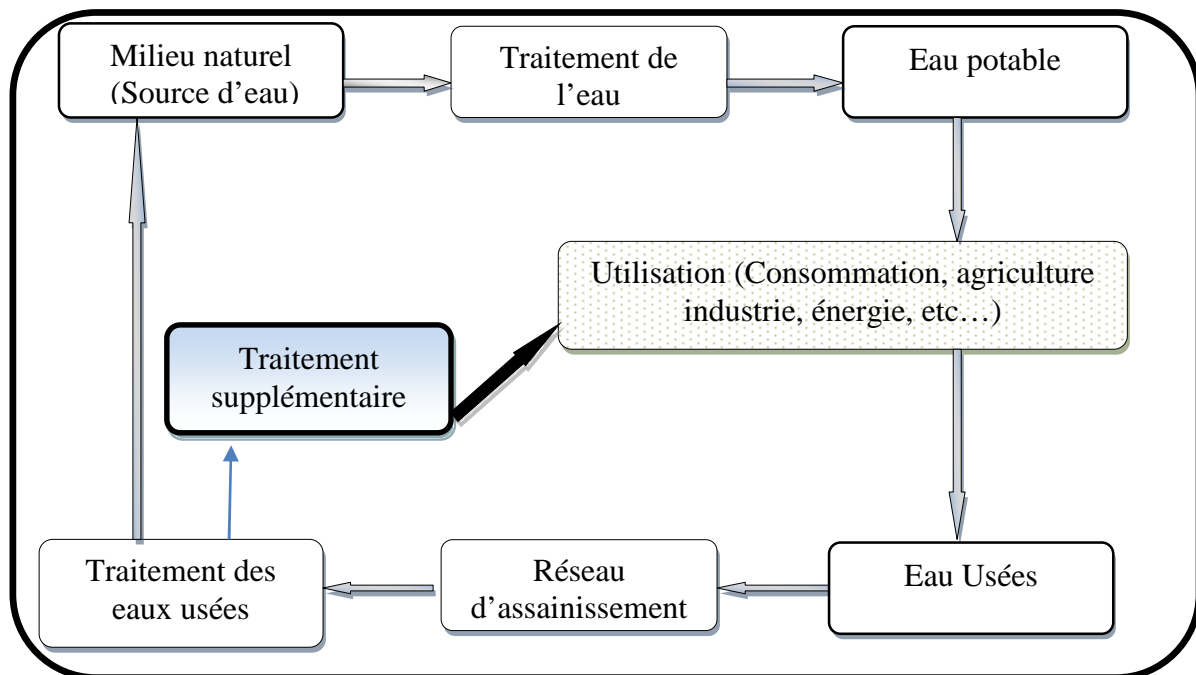
L'eau, source de la vie sur Terre, est aussi le vecteur principal du déplacement de tous les éléments minéraux et organiques (Atteia, 2005). Elle est choisie par l'Homme pour éliminer la majorité de ses déchets et les multiples utilisations de l'eau donnent lieu à la formation des eaux usées (Koller, 2004).

Dans les régions semi arides souffrant d'une pénurie d'eau, les eaux usées ne sont plus considérées comme déchets à éliminer mais comme partie intégrante des ressources en eau (Belhassan et al., 2009).

Après leurs traitements, les eaux usées sont réutilisées en différents domaines dont le plus courant est l'irrigation. Cette réutilisation trouve sa motivation en trois points essentiels : la nécessité de réserver les eaux de bonne qualité à l'alimentation en eau potable, la préservation des milieux naturels et l'économie d'engrais chimiques en exploitant le pouvoir fertilisant de ces eaux.

La connaissance de la composition des EUT est une étape primordiale pour la prévention des risques inhérents à leurs diverses réutilisations.

Au cours de ce chapitre, on va tout d'abord donner des définitions de la pollution des eaux, la composition des eaux usées est présentée. Par la suite, un aperçu est donné sur la réutilisation des EUT ainsi que sur les aspects juridiques et techniques à l'échelle internationale. Enfin, les différents impacts physico-chimiques que peut engendrer les EUT sur les eaux souterraines.



**Figure I.1** : Intégration des EUT dans le cycle général des ressources en eau (Belaid, 2010)

## 1. La pollution des eaux

### 1.1. Définitions

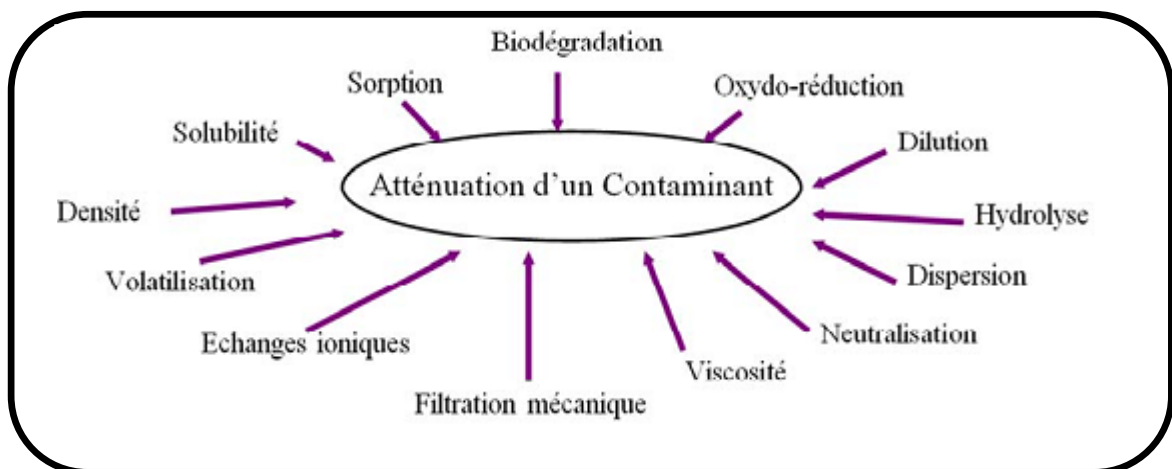
La pollution résulte de l'introduction dans un milieu de substances conduisant à son altération (Gaujous, 1995).

Le séminaire d'experts européens tenu à Genève en 1961 propose comme définition : « Un cour d'eau est considéré comme étant pollué lorsque la composition ou l'état de ces eaux sont, directement ou indirectement, modifiés du fait de l'activité de l'Homme dans une mesure telle que celles ci se prêtent moins facilement à toute les utilisations auxquelles elles pourraient servir à leur état naturel ou à certaines d'entre elles » (Koller, 2004) . Cette définition met bien en évidence la responsabilité humaine dans la pollution et les inconvénients qui en résultent.

Les mécanismes et les effets de la pollution des eaux figurent paradoxalement parmi les mieux connus de toutes les causes de pollution de l'environnement (Ramade, 2005).

### 1.2. Typologie et origine de la pollution des eaux souterraines

Tout apport de substances indésirables dans l'eau souterraine causé par les activités humaines est considéré comme une pollution. Ces substances sont susceptibles de s'infiltrer à travers le sol et la zone non saturée, puis d'atteindre la nappe. L'eau souterraine va alors disperser la pollution bien au-delà du lieu de contamination initiale. La contamination de l'eau souterraine sera alors difficile, et parfois impossible, à traiter. Les contaminants de l'eau souterraine proviennent de deux catégories de sources : les sources locales (ou ponctuelles) et les sources diffuses.



**Figure I.2 :** Principaux paramètres ayant un rôle dans l'atténuation d'un contaminant (Menani, 2009)

## 2. Généralité sur les eaux usées

### 2.1. Définition des eaux usées

L'utilisation des eaux engendre un nouveau produit appelé effluent ou EU (Rejsek, 2002). Ramade (2002), définit les eaux usées comme étant des eaux ayant été utilisées pour des usages domestiques, industriels ou même agricole, constituant donc un effluent pollué et qui sont rejetées dans un émissaire d'égout.

Les eaux résiduaires urbaines sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, minérales et organique provenant essentiellement de l'activité humaine (Rejsek, 2002).

### 2.2. Nature et origine

Les eaux usées sont des eaux initialement potables, souillées par les activités humaines (Bousseboua, 2005). Elles proviennent essentiellement des activités domestiques et/ou industrielles ainsi que des eaux souterraines et des précipitations (Rejsek, 2002).

Elles comprennent les eaux ménagères et les eaux vannes qui contiennent beaucoup de matières organiques. On y trouve l'azote qui va se transformer en nitrates ainsi que des germes parfois pathogènes (Baumont *et al.*, 2004).

Les eaux usées domestiques contiennent des matières minérales (chlorures, phosphates, sulfates, ...) et des matières organiques constituées de composés ternaires, tels que les sucres et les graisses (formés de carbone, oxygène et hydrogène, mais aussi d'azote et, dans certains cas, d'autres corps tels que soufre, phosphore, fer, etc.) (Vaillant, 1974).

Les eaux de ruissèlement (eaux pluviales, eaux d'arrosage et de lavage des voies publiques) entraînent toutes sorte de déchets minéraux et organiques : de la terre, des limons, des boues, des silts des sables, des déchets végétaux et toutes sortes de micropolluants (hydrocarbures, métaux lourds, pesticides, détergents,...) (Desjardins, 1997).

## 3. Composition des eaux usées

La composition des eaux résiduaires urbaines brutes dépend donc, en d'autres termes:

- ☞ Essentiellement de l'activité humaine (eaux ménagères et eaux vannes) ;
- ☞ De la composition des eaux d'alimentation en eau potable et accessoirement de la nature des matériaux entrant dans la constitution des canalisations d'eau pour quelques constituants chimiques ;
- ☞ De la nature et de la quantité des effluents industriels éventuellement rejetés dans le réseau urbain.

### 3.1. Les matières en suspension

C'est la masse de matières insolubles ou colloïdales, fines, minérales ou organiques, biodégradables ou non (Rejsek, 2002), retenues par filtration ou séparées par centrifugation, elles s'expriment en mg/l. Elles donnent également à l'eau une apparence trouble et, souvent, un mauvais goût et une mauvaise odeur. Cependant, elles peuvent avoir un intérêt pour l'irrigation des cultures (Faby, 1997).

Les matières en suspension (MES) sont, en majeure partie, de nature biodégradable. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées, est associée aux MES (FAO, 2003). Elles conduisent aussi à des fermentations contribuant aux carences en oxygène.

Les particules en suspension peuvent, par définition, être éliminées par décantation. C'est une étape simple et efficace pour réduire la charge organique et la teneur en germes pathogènes des eaux usées. Toutefois, un traitement beaucoup plus poussé est généralement requis pour faire face aux risques sanitaires.

### 3.2. Les matières organiques

La plupart des matières organiques ne deviennent polluantes que lorsqu'elles sont en excès dans le milieu aquatique.

On distingue, d'une part, les matières organiques biodégradables qui se décomposent dans le milieu naturel. C'est le cas des polluants d'origine domestique qui peuvent générer divers problèmes (odeurs, consommation d'oxygène) et surtout être associées à des microorganismes pathogènes. D'autre part les matières organiques non biodégradables toxiques (hydrocarbures..).

L'importance de l'oxygène dans l'eau est un variable déterminant pour la vie aquatique. Les analyses les plus fréquentes comportent :

#### 3.2.1. La demande chimique en oxygène (DCO)

Elle regroupe la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation de l'ensemble des matières minérales et organiques biodégradables ou non, présentes dans un milieu. Soit donc à la fois les matières oxydables par les processus purement chimique et celles oxydables par les processus biochimiques.

C'est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire qui correspond à la quantité des matières oxydables par oxygène renfermé dans un effluent. Elle représente la plus part des composés organiques (détergents, matières fécales,...).

Elle est mesurée par la consommation d'oxygène par une solution de dichromate de potassium en milieu sulfurique en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure II (complexant des chlorures), à chaud pendant 2 heures (Rodier, 2009 ; Rejsek, 2002).

### **3.2.2. La demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)**

La DBO<sub>5</sub> mesure le caractère biodégradable des matières organiques. Elle représente la quantité d'oxygène consommée par les microorganismes après 5 jours d'incubation pour dégrader les matières organiques.

Par définition, La DBO<sub>5</sub> est la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes vivants présents dans le milieu pour assurer la dégradation des matières organiques présentes dans l'eau usée.

L'essai normalisé prévoit un ensemencement microbien à l'aide d'eau usée domestique, d'une eau de rivière ou d'un effluent de station, et une incubation à 20°C, à l'abri de la lumière (Rodier, 2009 ; Rejsek, 2002).

### **3.3. Les nutriments**

Les nutriments se trouvent en grande quantité dans l'eau usée, et constituent un paramètre de qualité important pour la valorisation de ces eaux en agriculture (Hamoda, 2004). Les éléments les plus fréquents dans les eaux usées sont l'azote, le phosphore et parfois le potassium, le zinc, le bore et le soufre.

Ces éléments se trouvent en quantités appréciables, mais en proportions très variables que ce soit, dans les eaux usées épurées ou brutes. D'après Faby et Brissaud (1997), une lame d'eau résiduaire traitée de 100 mm peut apporter à l'hectare de terre agricole environ :

- 16 à 62 kg d'Azote ;
- 2 à 69 kg de Potassium ;
- 4 à 24 kg de Phosphore ;
- 18 à 208 kg de Calcium ;
- 9 à 100 kg de Magnésium ;
- 27 à 182 kg de Sodium.

Cependant, la valeur nutritive de l'eau usée peut excéder les besoins de la plante et constituer alors une source potentielle de pollution des eaux de nappe. Il est donc nécessaire de considérer les nutriments présents dans l'effluent traité en tant qu'élément du programme global de fertilisation des cultures irriguées (FAO, 2003).

Le potentiel de fertilisation de l'eau usée traitée due à la présence de nutriments est un atout pour les cultures mais peut également être une source de pollution pour l'environnement, en fonction principalement de la gestion des eaux usées appliquées par les agriculteurs. Dans ce cadre, la FAO (2003) a promulgué de nouvelles mesures ; Il est recommandé de surveiller Les nitrates, l'ammonium, le phosphore et le potassium, pour trois raisons principales :

- ☞ L'estimation des engrais additionnels à fournir pour optimiser le rendement ;
- ☞ Le choix du système agricole approprié pour la meilleure efficacité d'utilisation des nutriments ;
- ☞ La protection des eaux de surface et souterraine de la pollution par les nitrates.

➤ **L'azote** a la faculté de changer très facilement de forme chimique (réduit ou oxydé).....

L'azote rencontré dans les eaux usées se présente sous quatre formes:

- ☞ L'azote organique qui se transforme en azote ammoniacal.
- ☞ L'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4$ ) traduit un processus d'ammonification de la matière organique azotée. Les ions ammonium subissent une nitrification par action des bactéries nitrifiantes.
- ☞ L'azote nitreux ( $\text{NO}_2^-$ ) provient d'une oxydation incomplète de l'azote ammoniacal ou par une réduction des nitrates par dénitrification. Les nitrites sont instables et sont rapidement transformés en nitrates.
- ☞ L'azote nitrique ( $\text{NO}_3^-$ ) est produit par nitrification de l'azote ammoniacal. Il joue un rôle important dans le phénomène d'eutrophisation.

L'azote pouvant subir différentes transformations au cours d'un traitement biologique ; passage de la forme ammoniacale à la forme nitreuse (Deronzier et al., 2002)

➤ **Le phosphore**, comme l'azote, entraîne une prolifération d'algues, grandes consommatrices d'oxygène, ce qui peut conduire à asphyxier les milieux aquatiques (eutrophisation).

### 3.4. La Salinité

La salinité d'une eau correspond à sa concentration en sels dissous dans leur ensemble. Elle est exprimée soit par la valeur de la conductivité électrique (CE) ou par le résidu sec (RS).

D'une manière générale, la concentration en sels de l'eau usée excède celle de l'eau du réseau d'alimentation en eau potable (Faby et Brissaud, 1997 ; Rejsek, 2002). Lorsque les eaux usées sont valorisées en irrigation, d'autres paramètres entre en considération notamment le SAR (Ratio du Sodium Absorbable) qui exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols.

Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium échangeables. Généralement, le SAR et la CE de l'eau destinée pour l'irrigation, sont utilisés en combinaison afin d'évaluer le risque potentiel de salinisation des sols.

### 3.5. Microorganismes

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes.

#### a) Les bactéries

Les bactéries sont les microorganismes les plus rencontrés dans les eaux usées, dont la plupart sont proteus, entérobactéries, des streptocoques et des clostridium.

Les plus détectées sont les coliformes thermotolérants, des germes témoins de contamination fécale communément utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau.

#### b) Les virus

Leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre  $10^3$  et  $10^4$  particules /L. Parmi les virus entériques humains les plus nombreux il faut citer les entérovirus, les rotavirus, les rétrovirus, les adénovirus et le virus de l'Hépatite A. Au cours de processus de traitement, les virus sont plus difficiles à éliminer que les bactéries classiques, couramment utilisées comme indicateurs de la qualité des eaux, et par conséquent ils sont détectés dans les milieux récepteurs.

#### c) Les protozoaires

Au cours de leur cycle vital, les protozoaires passent par une forme kystique qui peuvent être véhiculés par les eaux résiduaires. Ces parasites sont très persistants. Parmi les plus importants du point de vue sanitaire, il faut citer *Entamoeba histolytica*, responsable de la dysenterie amibienne, *Giardia lamblia* et *Cryptosporidium parvum*.

#### d) Les helminthes

Sont des parasites intestinaux, fréquemment rencontrés dans les eaux résiduaires. Beaucoup de ces helminthes ont des cycles de vie complexes comprenant un passage obligé par un hôte intermédiaire. Les helminthes pathogènes rencontrés dans les eaux usées sont : *Ascaris lumbricoides*, *Oxyuris vermicularis*, *Trichuris trichuria*, *Taenia saginata*.

### 3.6. Les Micropolluants toxiques organiques

Les eaux usées contiennent des composés toxiques organiques très persistants. Parmi ces composés, on peut citer les HAP, les alkyl-phénols, chlorophénols, phtalates, les pesticides et les

résidus pharmaceutiques actifs. Certains composés ont un pouvoir de perturber le système endocrinien, tels que les HAP et les alkylphénols. En effet plusieurs environnements aquatiques ont été pollués par ces composés en plus des autres substances pharmaceutiques dont la principale source est les eaux usées (Kimura et al. 2004). Il s'est avéré que les stations d'épuration sont des sources potentielles de ces produits toxiques (Belgiorno et al., 2007).

### 3.7. Les éléments traces métalliques

Les éléments à l'état de traces sont essentiellement les métaux, on distingue trois groupes :

- ◆ Les alcalins et les alcalino-terreux : Rb, Sr, Cs, Ba ;
- ◆ Les métaux de transition : Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Mo, As, Sb ;
- ◆ Les métaux lourds : Zn, Cd, Pb, Ti, U (ADEME, 2005)

Selon Elmsley (2001), les métaux lourds sont des éléments chimiques toxiques dont la densité excède  $5\text{g/cm}^3$ . Sous cette appellation figurent des éléments qui, pour certains, sont effectivement des métaux tels que Ni, Cu, Zn, Pb, Hg, Al... mais aussi des métalloïdes tels que As et Se.

Les métaux lourds ont un fort caractère bioaccumulatif et ont la particularité de ne pouvoir être éliminés. Ils changent simplement de forme. Au-delà d'un certain seuil, ils deviennent des toxiques importants pour l'homme.

Les sources de métaux pour les milieux aquatiques sont multiples. On différencie principalement les sources d'origine naturelle (fond géochimique) et anthropique. En effet, les métaux sont présents naturellement dans les sols. Certains en sont des constituants majeurs ou importants pour la structure des minéraux (Al, Fe, Mn,...)

Dans le cas du réseau unitaire, les métaux contenus dans les eaux de ruissellement proviennent des dépôts atmosphériques mais également de la corrosion des surfaces de ruissellement (ex : toitures, gouttières) .

En effet, la plupart des métaux dans les eaux de ruissellement sont majoritairement associés aux matières en suspension ou aux colloïdes.

Les métaux contenus dans les eaux domestiques ont pour origine, d'une part, la corrosion des canalisations d'eau potable et, d'autre part, de l'usage des métaux dans les activités domestiques et dans des produits ménagers.

Les métaux les plus fréquemment retrouvés dans les eaux résiduaires sont le fer, l'aluminium, le cuivre, le zinc, le cadmium, le chrome, le plomb, le mercure et le nickel (Rodier, 2009).

Les eaux usées urbaines sont une des principales voies d'apport de métaux vers les écosystèmes aquatiques. A l'entrée des stations d'épuration, une large partie des métaux contenue dans les eaux usées se trouve complexée avec la matière organique dissoute (Miquel, 2003).

Par ailleurs, certains métaux sont indispensables pour la croissance des végétaux. Ils s'éliminent facilement par décantation et sont récupérés dans les boues (ADEME, 2005).

Les métaux qui peuvent être présents dans les eaux résiduaires, le cadmium, le cuivre, le molybdène, le nickel, et le zinc, peuvent constituer un risque sanitaire significatif pour les humains et les animaux et peuvent également affecter, à long terme, les cultures irriguées par suite d'accumulation dans le sol (FAO, 2003).

Les ions métalliques s'accumulent dans l'organisme et provoquent des effets toxiques à court et /ou long terme, affectent le système nerveux, les fonctions rénales, hépatiques, respiratoires en activant les formes réduites de l'oxygène pour aboutir à la formation d'espèces radicalaires, contaminent les sols et les aliments et perturbent les équilibres et les mécanismes biologiques engendrant des dégâts cellulaires mortels (Papastergios et al., 2009).

#### **4. Réutilisation des eaux usées traitées**

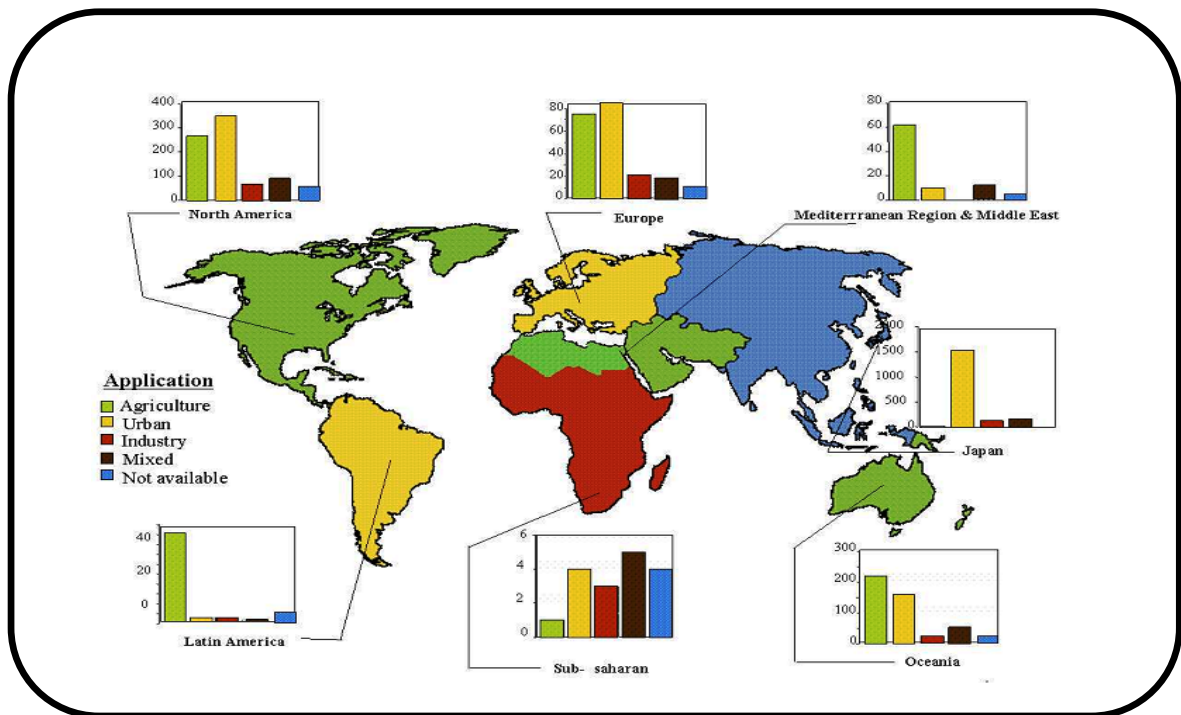
La réutilisation des eaux usées traitées en agriculture est une pratique très répandue en aval des centres urbains et essentiellement dans les régions affectées par les pénuries de ressources en eau. Quoique proscrite, cette pratique est appréciée par les agriculteurs car ces eaux usées constituent une ressource régulièrement disponible et en abondance et contiennent des matières fertilisantes nécessaires à l'amélioration des propriétés du sol et le rendement des cultures (Tamrabet, 2011).

##### **4.1. Bilan mondial**

La réutilisation des eaux usées est répandue dans le monde entier avec plusieurs types de valorisation. Il existe des milliers de projets utilisant des eaux usées.

Sur le plan mondial, la réutilisation des EUT pour l'agriculture, l'industrie et les usages domestiques couvrent respectivement 70 %, 20 %, et 10 % de leur demande en eau.

Cependant, ces proportions varient selon les régions (fig I.3).



**Figure I.3 :** Aspects de réutilisation des EU à travers le monde (Bixio et al. 2005)

L'utilisation d'eau usée traitée en agriculture se limite cependant à certaines catégories de culture, notamment à la production de céréales consommées cuites. Elle ne peut en aucun cas s'appliquer à des cultures de produits frais (fruits, salade, ...). Le principal critère d'évaluation de la qualité d'une eau naturelle dans la perspective d'un projet d'irrigation est sa concentration totale en sels solubles. On estime que la concentration en sels dans les EUT excède celle de l'eau du réseau d'alimentation en eau potable de quelques  $200 \text{ mg.L}^{-1}$

#### 4.2. Les différentes réglementations dans le monde

À l'échelle mondiale, il n'existe pas une réglementation commune concernant la réutilisation des eaux usées.

Ceci est dû à la diversité du climat, de la géologie et de la géographie, du type de sols et de cultures, mais surtout au contexte économique, politique et social du pays. Cependant, quelques gouvernements et organismes ont déjà établi des normes de réutilisation tel l'OMS, la FAO, etc...

La plupart des pays en voie de développement ont formulé leurs normes de réutilisation des eaux usées sur la base des recommandations fixées par l'un des organismes précités.

**Tableau I.1** : Limites recommandées en éléments traces (mg.L<sup>-1</sup>) dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation (FAO, 2003)

Eléments	Utilisation à long terme	Utilisation à court terme
<b>Aluminium</b>	0,5	20
<b>Arsenic</b>	0,1	2
<b>Béryllium</b>	0,1	0,5
<b>Bore</b>	0,75	2
<b>Cadmium</b>	0,01	0,05
<b>Chrome</b>	0,1	1
<b>Cobalt</b>	0,05	5
<b>Cuivre</b>	0,2	5
<b>Fluor</b>	1	15
<b>Fer</b>	5	20
<b>plomb</b>	5	10
<b>Lithium</b>	2,5	2,5
<b>manganèse</b>	0,2	10
<b>Molybdène</b>	0,01	0,05
<b>Nickel</b>	0,2	2
<b>Sélénium</b>	0,02	0,02
<b>Vanadium</b>	0,1	1
<b>Zinc</b>	2	10

#### 4.3. Réutilisation des eaux usées en agriculture en Algérie

L'Algérie connaît actuellement un grand essor avec la création et le renouvellement des stations d'épuration. Les eaux usées sont à 80% d'origine domestique, 16% industrielle et 4% touristique et subissent un traitement biologique. Cette nouvelle stratégie a pour objectif d'élargir la réutilisation des eaux usées traitées et d'enlever les restrictions imposées dans le cas de l'irrigation.

La réutilisation des EUT pour l'irrigation doit concerner en priorité les zones déficitaires. D'après Medkour (2002), les agglomérations qui méritent d'être prises en considération, sont celles dont les volumes d'eaux usées sont assez importants (> 50000 habitants). Pour les villes côtières et les petites agglomérations, la réutilisation agricole des eaux usées épurées ne peut être

économiquement intéressante que si elle est utilisée à proximité des stations d'épuration en aménageant de nouveaux périmètres.

#### **4.4. Valorisation des ERUT, Conditionnements et usages**

Quasiment tous les domaines relatifs aux usages de l'eau sont concernés par les EUT sauf ce qui touche aux eaux thermales et minérales, dont les exigences de qualité sont telles qu'elles n'entrent pas dans le champ de la réutilisation.

##### **a) Les valorisations directes - le cycle court -**

Dans cette nomenclature, l'eau usée traitée passe directement du statut d'eau usée au statut de nouvelle ressource après avoir transité par des mécanismes d'épuration.

##### **❖ Agriculture, foresterie et Aquaculture**

La réutilisation des EUT pour l'irrigation est essentiellement présente dans les pays dont les ressources hydriques sont faibles, comme la marge sud du bassin méditerranéen.

La mise en valeur sylvicole est un cas particulier de ce mode de valorisation car elle est moins exigeante en terme qualitatif, et présente des conditions d'acceptabilité très favorables.

La production commerciale du poisson dans des étangs avec les EUT est une pratique courante en Asie du sud et en Chine et aux Etats Unis. Quand des poissons sont destinés à la consommation humaine, la qualité du traitement des eaux doit être minutieusement évaluée afin d'éviter la bioaccumulation de contaminants toxiques à travers la chaîne alimentaire.

##### **❖ Milieu urbain et périurbain**

Les usages urbains et périurbains développent rapidement et les bénéfices obtenus sont importants. la réduction de la demande en eau potable peut atteindre 10-15 %, voir 40 % dans les zones résidentielles avec beaucoup d'espaces verts . Les usages les plus courants sont l'irrigation d'espaces verts, l'aménagement paysager, le lavage des rues et la protection contre l'incendie.

Les normes qui régissent la qualité des eaux usées destinées à de tels usages sont très sévères et voisines de celles en vigueur pour l'eau potable. Dans ce cas, les filières de traitement se rapprochent de celles de la production d'une eau potable.

**❖ Secteur industriel**

Pour certains pays, l'eau recyclée fournit 85 % des besoins globaux en eau pour l'industrie (OMS, 1989). La qualité de l'eau réutilisée est réglementée et dépend du type d'application ou de production industrielle.

En Arabie Saoudite, 15000 m<sup>3</sup>/j des EUT issue de la ville de Riyadh sont réutilisés dans les circuits de refroidissement de la raffinerie pétrolière de la région (USEPA, 2004).

**b) Les valorisations indirectes - le cycle long -**

Les milieux récepteurs peuvent apporter des possibilités de traitement additionnel des eaux rejetées avant le prélèvement en vue de la REUT qui peuvent être prises en compte et utilisées à bon escient. Ces modes de valorisation peuvent être plus délicats car ils supposent qu'on puisse suivre efficacement le devenir des eaux injectées dans le milieu, ce qui n'est pas forcément simple, dans le cas d'une recharge d'une nappe par exemple.

**❖ Recharge des nappes**

Les techniques de recharge reposent sur deux systèmes principaux de circulation de l'eau :

- a) L'infiltration depuis la surface, dans des bassins ou des lits de cours d'eau,
- b) L'injection profonde, par puits ou forages, où l'eau est introduite directement dans la nappe.

Le sous sol agit généralement comme un filtre dont l'effet est d'éliminer un certain nombre des constituants physiques, chimiques et microbiologiques des EUT, c'est le « pouvoir épurateur » du sous sol, qui améliore la qualité de l'eau et constitue souvent le principal objet de recharge par les EUT : ces procédés d'épuration complémentaire constituent les systèmes de géo-épuration.

L'impact de la recharge sur la nappe rechargée se mesure en remontées des niveaux et en variations (dégradation) des qualités physicochimiques et biologiques de l'eau de la nappe suite au mélange avec les eaux de recharge.

**❖ Le soutien d'étiage**

Le soutien d'étiage peut avoir pour objectif le maintien en vie faunistique d'un tronçon de cours d'eau. Il peut aussi viser à fournir à un cours d'eau (souvent de type oued) un débit dont la destination est d'être partiellement récupéré à l'aval pour différents usages.

### 5. Impact de l'utilisation des EUT sur la nappe phréatique

L'irrigation ou l'épandage des eaux usées sur des surfaces agricoles est l'une des techniques de recharge artificielle des nappes phréatiques couramment utilisée en région aride ou semi-aride. Dans ce contexte, une remontée continue du niveau de la nappe phréatique est constatée suite à la pratique de l'irrigation par des eaux usées traitées. Au bout d'une dizaine d'année, cette remontée a atteint plus de 10 m. L'apport de l'irrigation à la recharge de la nappe sous un climat semi aride est estimé à  $0,1 \text{ Mm}^3/\text{an}$  ce qui correspond à 5% du volume des EUT réutilisées pour l'irrigation en Tunisie.

Kallel et Bouzid (2002), ont constaté une augmentation de la salinité et de la concentration en éléments fertilisants (N et P) des eaux de la nappe suite à l'irrigation par les EUT.

Dans un périmètre irrigué, du côté du Tunis, Zekri et *al.*, (1995) ont constaté trois effets, l'irrigation par les EUT sur la nappe phréatique :

- ↳ Une augmentation de la salinité qui a passé de 2,3 à 4 mS/cm après 20 ans d'irrigation ;
- ↳ Une contamination microbiologique liée à la proximité de la nappe de la surface du sol ;
- ↳ Une pollution par les métaux lourds.

### Conclusion

La valorisation des eaux usées passe obligatoirement par deux étapes essentielles. La première étape est la collecte des eaux usées qui nécessite l'installation d'un réseau d'assainissement couvrant l'aire urbaine. En effet, la nature, la composition et les volumes des eaux usées collectées sont les facteurs les plus déterminants pour le choix du procédé de traitement. Ainsi, l'installation des stations d'épuration constitue la deuxième étape du schéma général de valorisation des eaux usées. Les effluents une fois traités vont être soit réutilisés pour différents usages soit déversé dans la nature pour recharger la nappe. Ces eaux non conventionnelles qui constituent un potentiel hydrique dans les régions arides et semi arides peuvent engendrer des effets néfastes sur l'environnement et par conséquent sur la santé humaine.

# CHAPITRE II

## CONTEXTE DE L'ETUDE

## 1. Description de la zone d'étude

Dans cette partie nous allons principalement présenter la zone d'étude, mettre en relief les éléments structuraux et hydrodynamiques qui conditionnent la relation entre le système aquifère, Oued Baghai, et la station d'épuration.

### 1.1. Région d'étude

Le bassin versant des hautes plaines constantinoises a une superficie de 9587 km<sup>2</sup>, et il est subdivisé en sept sous bassins, la zone d'étude fait partie du sous bassin endoréique (07-07).

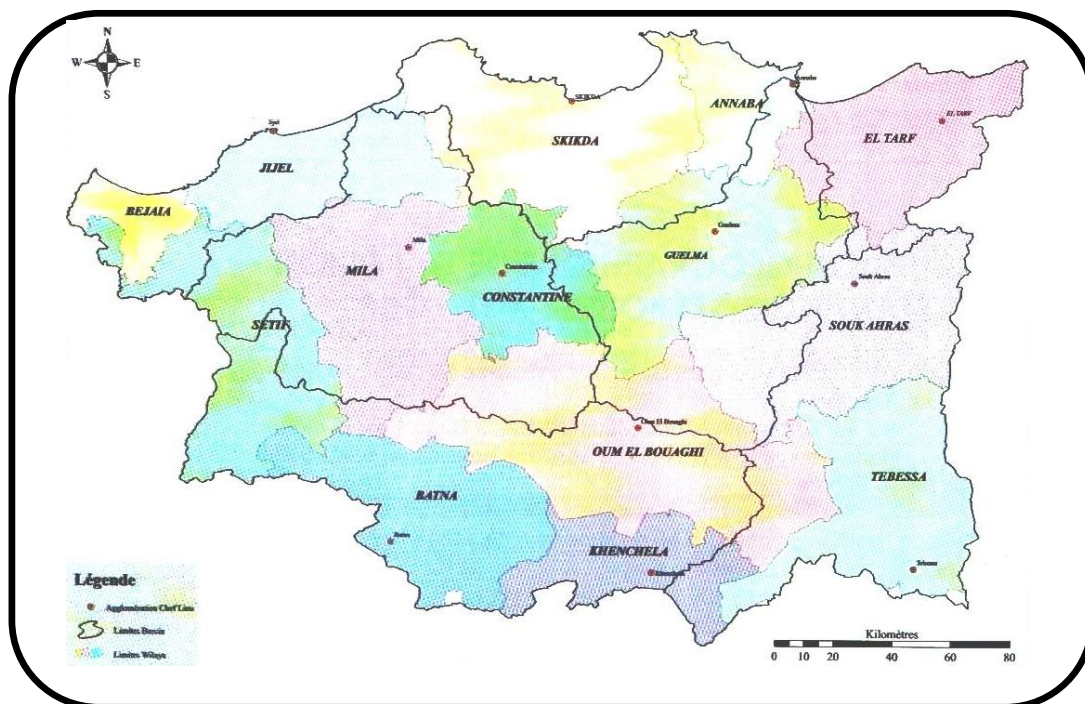


Figure II. 1 : Localisation du bassin versant dans le bassin hydrographique CSM (A.B.H., 2005)

#### 1.1.1. Cadre géographique et administratif

Sur le plan administratif et selon le découpage communal du sous bassin 07- 07, la zone drainée par les eaux d'Oued Baghai s'étend entre les communes de Baghai, la partie Nord Ouest de la commune de M'toussa et le Nord Est d'El Hamma wilaya de Khenchela, située à l'Est du pays au Sud Est du Constantinois et au contrefort des monts des Aurès, sans oublier l'extrême Sud de la commune de Ain Zitoun wilaya d'Oum El Bouagui.

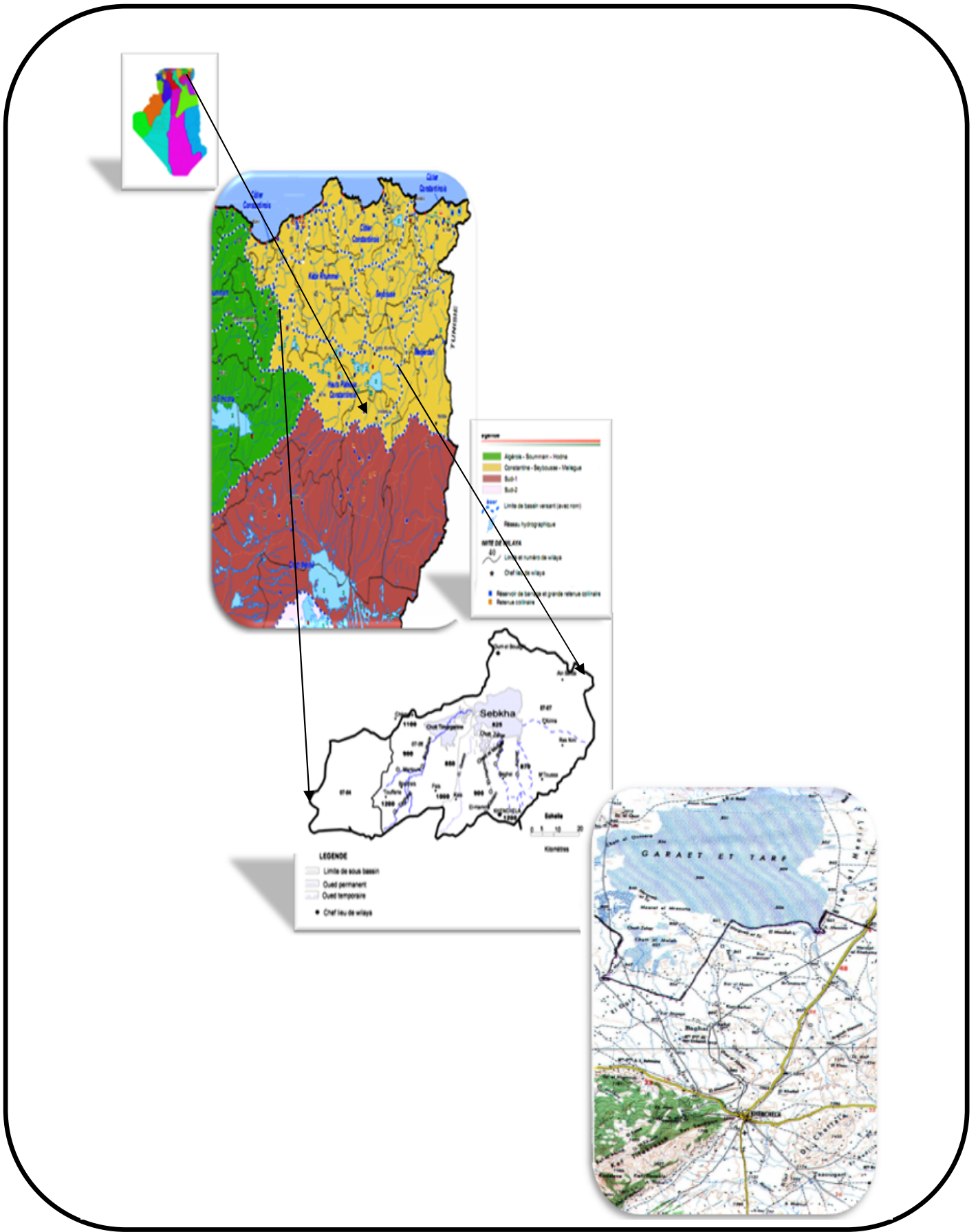


Figure II.2 : Localisation d'Oued Baghai dans les sous bassin versant des hautes plaines constantinoises

## 1.2. Géomorphologie

La zone d'étude fait partie des hautes plaines, caractérisées par un niveau plat occupant ainsi la grande partie avec 6980 Ha soit 45,15%, qui se singularise par une altitude d'ensemble oscillant entre 825 et 1000 m et une pente généralement faible (inférieure à 3%); C'est la zone d'atterrissement des éléments charriés par les différents Oueds qui la traversent pour aller se jette dans Garaat Etarf au Nord de la zone (DHW, 2011)

Les terrains à très faibles pentes (0-3%) sont localisés au Nord de la région, dans la plaine près de la zone des lacs, tandis que les fortes pentes (+25%) occupent une faible partie n'excédant pas les 04% et se situent au Sud-Est principalement (zone montagneuse). Le point culminant est 1223 m, avec une pente supérieure à 25%. Cette zone occupe une surface de 590 Ha soit 3.82% de la zone d'étude.

Les hauts piémonts sont localisés aux contrebas de Khallel, au Sud de Baghai. Les altitudes varient de 1050 à 1152 m. Elles diminuent de Agroub Mennasa à l'Est. Les pentes de cette unité sont comprises entre 12.58-25%. Les eaux de ruissèlement sont acheminées vers Oued Baghai.

Des glacis et quelques encroûtements calcaires sont signalés au Nord de Khenchela et au Sud de Baghai.

La grande sebkha d'El Tarf atteint une superficie voisine de 200 Km<sup>2</sup>, son altitude (825 m) décroît depuis les deux extrémités vers la partie centrale de la cuvette qui est très plate. Elle est bordée généralement par une zone « Chott »; El Melah (875 Ha) constitue l'un des Chotts satellites qui fusionnent avec celui d'El Tarf lors des grandes crues, c'est le point de déversement des eaux d'Oued Baghai,

Pour le bassin versant d'Oued Baghai, les reliefs sont caractérisés par une variété de formes géomorphologiques plates occupées par la plaine, sebkha et de relief abrupt.

### 1.3. Lithologie

La lithologie donne un aperçu sur la description et la caractérisation des sols de la région ce qui permet ainsi de connaître, de façon générale, sa potentialité. Ces connaissances combinées à celles relatives à la topographie du milieu facilitent l'utilisation rationnelle des sols.

↳ Les zones de plaines sont couvertes par des alluvions, des sables et des croûtes calcaires (Nord de la commune d'El Hamma, nord et au centre de la commune de Baghai)

↳ Les piémonts sont dominés par des conglomérats (parties centrales d'El Hamma et de Baghai).

↳ Les zones montagneuses sont couvertes par des formations de calcaires et de dolomies dures. ces formations de montagne sont relativement bien arrosées et couverte d'une végétation forestière assez dense qui les protège de l'érosion.

Du point de vue lithologie et pétrographie, on rencontre des calcaires, des marnes, des argiles, du gypse, des sables, des grès et des conglomérats.

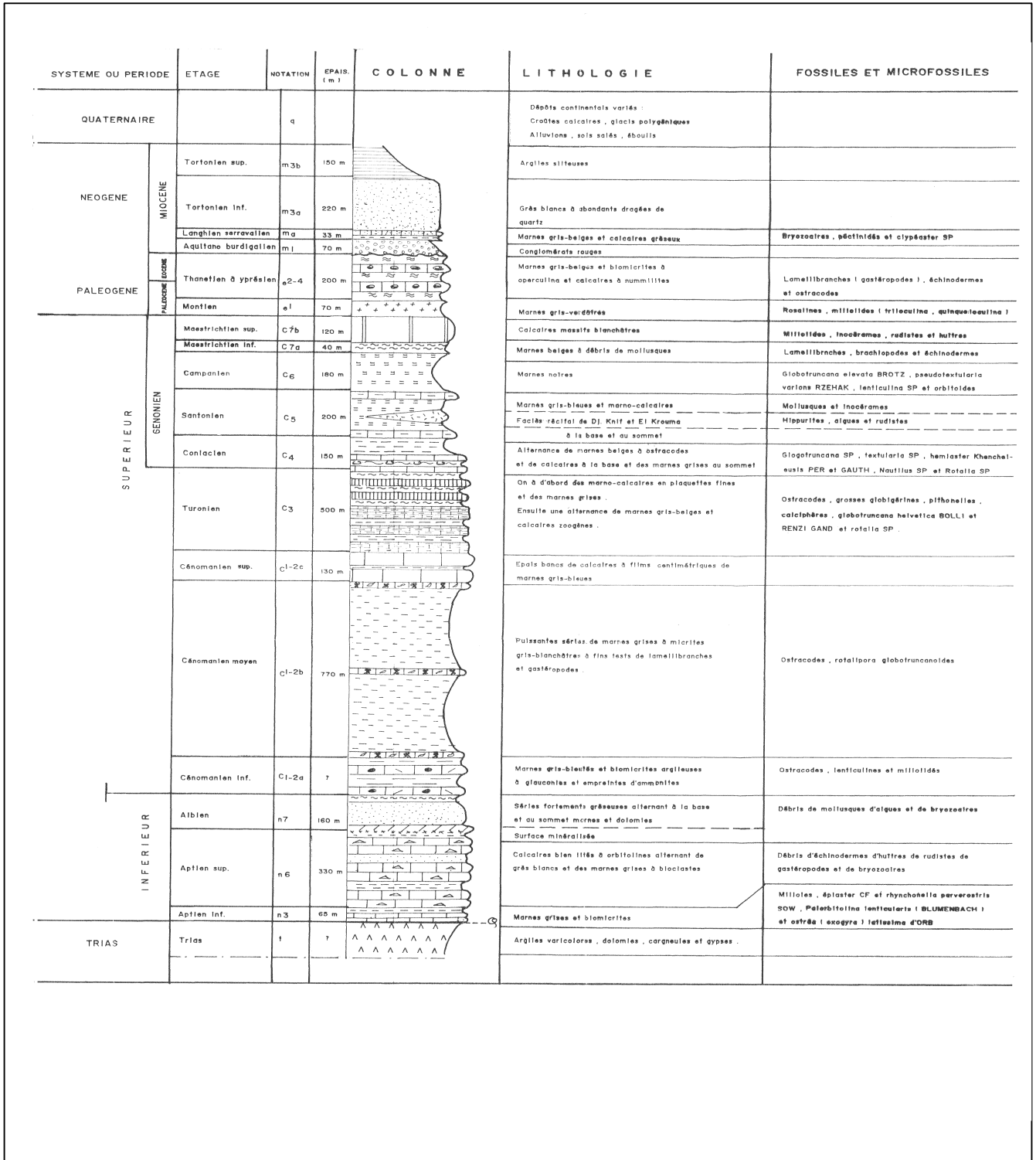


Figure II.3 : Lithologie de la zone d'étude (DHW, 2010)

#### 1.4. Caractères pédologiques

On rencontre au niveau des hautes plaines du Nord, là où le réseau hydrographique est très dense, des sols alluviaux profonds, de texture limoneuse ou argileuse. Ces sols peuvent porter des cultures très riches. On trouve :

➤ **Les sols alluviaux basiques:** Ces sols sont localisés sur des zones de changement de pente, c'est à dire les zones où la pente devient plus douce. On les rencontre principalement dans les plaines entourant les dépressions (Gâraat Et Tarf).

➤ **Les sols salins ou solontchak :** Ces sols caractérisant les dépressions sont rencontrés au niveau des zones d'accumulation. Ils sont le résultat d'une hydrologie à écoulement endoréique ou de la présence de roches triasique (gypse).

La zone des piémonts est formée de sols calciques également très riches. A la zone montagneuse, le substrat est dominé par des calcaires et des marno-calcaires. L'érosion se présente sous forme d'un ruissellement diffus et d'un ravinement.

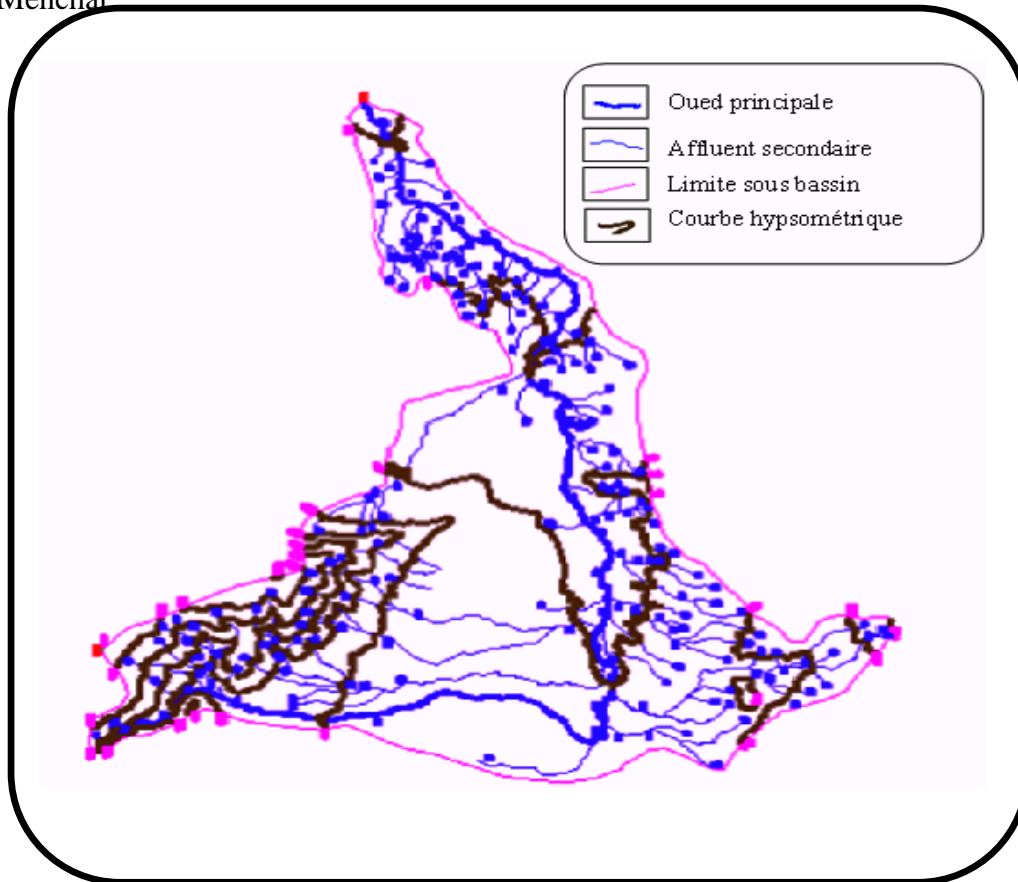
#### 1.5. Réseau Hydrographique

En partant d'une altitude moyenne de mille mètres, la plaine saharienne de 100 m au moins est atteinte en 20 km à vol d'oiseaux. Ce massif qui a à peu près la forme d'un quadrilatère de 100 km de côté, présente sur sa face Nord-Est, une échancrure plate d'une altitude moyenne de 1200 m en forme de cirque ouvert au Nord. Ce plateau d'une douzaine de kilomètres de profondeur sur une dizaine de largeur, est bordé à l'Ouest par Ras Serdoun, Tifekress (1722 m), Tissekla (1735 m) ; au sud par le Massif du Djahfa (1719 m) ; à l'Est par le Massif de Chettaia (1455 m).

Dans la gorge séparant Ras Serdoun (1703 m) du Tifekress (1722 m), prend naissance l'Oued Fringal alimenté par la source du même nom recevant les eaux de vastes réservoirs souterrains et jaillissant par intermittences quand les siphons s'amorcent. Cet Oued (en général sec, l'eau étant utilisée pour l'irrigation des plantations proches de la source) coupe le plateau d'Ouest en Est jusqu'au pied du Massif du Chettaia où il s'oriente Sud – Nord, traverse l'aire urbaine de Khenchela et prend le nom d'Oued Boughougal. Il s'infléchit ensuite au Nord - Ouest sous le nom d'Oued Baghai et se perd dans le Gâraat Et Tarf.

Il forme un réseau hydrographique endoréique qui se caractérise par le coefficient de densité égal à 4.8 km/km<sup>2</sup>.

La zone est délimitée d'après les lignes de partage des eaux au sud par Djbel Damous et Ras Serdoune, à l'Est par Djebel El Aguab et Djebel Chetaia et à l'Ouest par Djbel Tgazit et Djebel El Menchar



**Figure II.4 :** Réseau hydrographique de sous bassin d'Oued Baghai (DHW, 2011)

## 1.6. Végétation

Dans les plaines de basse altitude, la végétation est de type steppique très clairsemé. On rencontre essentiellement des types de végétation basse ; Armoise (*Artemisia Herba Alba*), Guetaf (*Atriplex*), salsola, jujubier (*zizyphus*). On rencontre également l'alfa.

La végétation qui colonise le pourtour de la sebkha de Garaât-et-Tarf est constituée des Halophytes à base d'armoise blanche (*Artemisia herba alba*) et de Salicornes (*Salicornia sp.*). Les plaines qui l'entourent sont cultivées en céréales.

Au niveau de la zone montagneuse, le couvert végétal se limite à une forêt claire de pin d'Alep associée à un maquis.

Il est à préciser que les hauts piémonts sont occupés par une végétation naturelle à base de Diss et Armoire blanche.

### 1.7. Cadre socio-économique

A l'exception du centre de Baghai, les populations sont dispersées en Mechtas. La région d'étude est un centre à caractère rural agropastorale où la culture céréalière et l'élevage (ovin et bovin) sont les vocations essentielles à laquelle s'ajoutent quelques commerces privés (alimentation générale). Les activités maraîchères se sont étendues progressivement vers l'intérieur des terres. L'arboriculture fruitière prédominante se propage au niveau de cette zone des plaines.

Au sein de la zone d'étude, on trouve le Centre d'enfouissement technique des déchets ménagers qui a été mis en exploitation en 2011.

### 1.8. Géologie

- Au nord : c'est le bassin miocène de Timgad et de Touffana. C'est une zone plate, steppique qui correspond à la bordure méridionale de la grande dépression de Garaat el tarf.
- Les parties occidentales et centrales de la wilaya constituent la terminaison périclinale Nord /Est de la Chaîne des Aurès, région caractérisée par les Diapirs triasiques.

#### 1.8.1. Aspect structural

##### ↻ Tectonique

La première phase de mouvement enregistrée dans la sédimentation est liée au diapirisme Sénomaniens, la phase Atlasique affecte la région. Cette phase donne naissance à l'anticlinal aurasien. On note aussi la seconde phase de mouvement se située après la transgression Burdigalienne.

##### a) Les grands plis

Du Nord-Ouest au Sud-est se succèdent :

■ L'anticlinal de Djebel Chelia , paraît effondré et son extrémité Sud-Est est affecté par des accidents cassants orientés selon une direction NW-SE qui peuvent être d'anciens coulissement alpins;

■ Le synclinal de Djebel Aurès qui s'enfonce sous le Miocène gréseux sans terminaison périclinale visible;

■ L'anticlinal de Khenchela fracture par des cassures E-W, puissamment fracturé par des failles directionnelles ou sensiblement E-W.

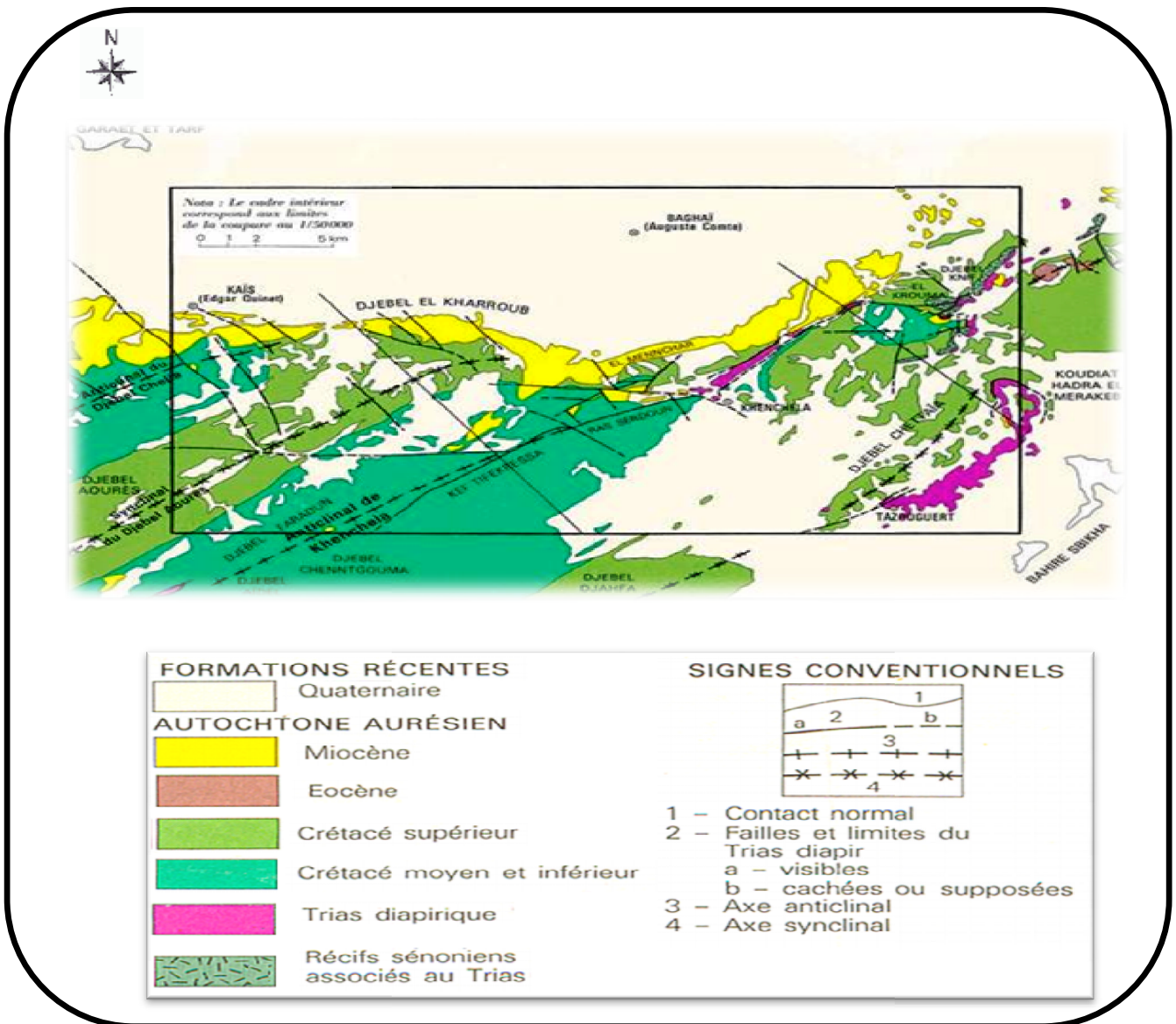
**b) Diapirisme du matériel Triasique :**

L'étude de la région Khenchela a permis de mettre en évidence des mouvements diapiriques qui constituent un exemple unique dans le domaine Sud Constantinois. Durant le Sénonien, l'évolution Tectono Sédimentaire de la région de Khenchela, a été gouvernée par des mouvements diapiriques (Montée des sels, gypses etc.).

▣ Le diapir de Khenchela, est en forme allongée d'une superficie de 2 Km<sup>2</sup>, où le trias entre en contact avec des terrains allant du Cénomanién au Coniacien

▣ Le diapir de Djebel El –Krouma et Knif d'une superficie de 8 Km<sup>2</sup>, où le trias recoupe des terrains allant de l'Albien au Maestrichtien Supérieur

Il est à noter aussi que les Diapirs ou dômes triasiques empruntent généralement les zones de failles et de faible résistance pour remonter à la surface du sol et affleurer.



**Figure II.5 :** Schéma géologique structural (carte géologique de Khenchela 1/50000)

### 1.8.2. Litho stratigraphie

La puissante série stratigraphique de la région étudiée est composée à sa base par un socle mésozoïque sur lequel repose, en discordance, une couverture sédimentaire allant du Trias supérieur jusqu'au Quaternaire.

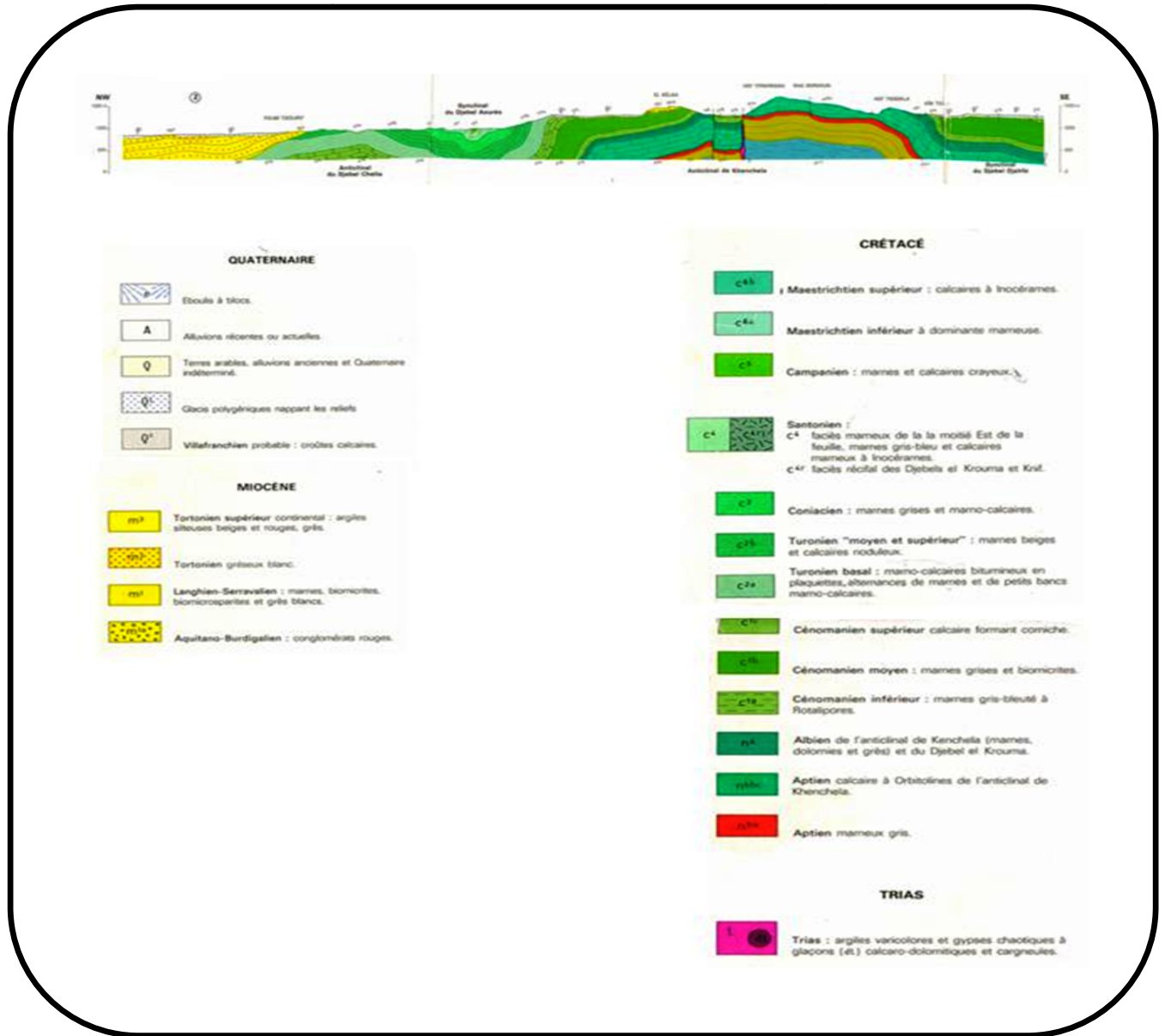


Figure II.6 : Coupe géologique interprétatif (carte géologique Khenchela 1/50000)

#### 1.8.2.1. Le Mésozoïque

##### ➤ Trias

Le trias affleure en masse chaotique à proximité de, où il isole le Miocène du Crétacé, suivant une bande de 4 à 5 km de long et de 300 à 400 m de large et sur Djebels El Krouma et Knif en contact anormal avec l'albien, le Cénomanien et le Sénonien.

La série triasique comportait probablement à l'origine, de la base vers le sommet : une formation évaporitique épaisse, en particulier sous la forme d'amalgames intensément replissés, représentent les indices les plus sûrs de la présence du Trias.

Le gypse est le plus fréquent, en amas saccharoïdes blanc grisâtre, durs, ou sous forme de grands cristaux.

L'abondance du sel caractérise cet affleurement, visible dans les diapirs de Khenchela et Krouma, mais cela tient, non pas à un caractère original particulier au Trias de cette région, mais au fait que ce pointement étant récent (post-miocène), le sel n'a pas eu le temps d'être dissous, tandis que dans les autres pointements, qui sont anté-miocènes, il a disparu depuis longtemps.

Les argiles et les marnes bariolées, de couleur verdâtre, rougeâtre à violacée, constituent les roches les plus abondantes à l'affleurement,

Des passées calcaro-dolomitiques, de couleur gris bleuté à noirâtre, généralement bien stratifiés et présentant parfois quelques passées marneuses, sont fréquemment emballés dans les complexes triasiques

## ➤ Le Crétacé

### 1. Crétacé inférieur

Dans l'Aurès, il est noté le développement important des dépôts gréseux aux dépens des dépôts carbonatés

### 2. Crétacé supérieur

Le Crétacé supérieur forme l'essentiel des affleurements mésozoïques dans les confins de l'Aurès.

#### 2.1. Cénomanién

Le Cénomanién comporte une série de marnes grises dans lesquelles s'intercalent des calcaires fins argileux, une partie médiane formée de marnes grises contenant parfois du gypse diffus ainsi que des passées argileuses.

#### 2.2. Turonien

Le Turonien comporte, en effet, au dessus des marno-calcaires de base, un ensemble de marnes beige et calcaires. Dans le Djebel Amrane, le Turonien est schisteux à la base, calcaire dans la partie

moyenne, et Marno–calcaire au sommet. L'épaisseur du Turonien peut atteindre 800 mètres dans les faciès Marno–calcaires du cœur de l'Aurès, mais varie de 1000 à 300 mètres dans les calcaires.

### 2.3. Sénonien

Le sénonien est présent sur le flanc Nord de l'Anticlinal du Djebel Chélia avec un faciès principalement marneux. Son épaisseur peut être très importante et atteindre 1000 à 2000 m.

#### 1.8.2.2. Le Cénozoïque

##### a) Le Néogène

Le Néogène est assez bien conservé au Nord de l'Aurès, il s'étend approximativement de Batna à Khenchela.

Reposant en discordance sur le Crétacé on observe généralement à la base de la série des conglomérats et calcaires à Algues. Au dessus viennent des alternances de marnes gréseuses gris-brun et de grès calcaireux qui peuvent se poursuivre aux environs 250 m entre Lambèse et Timgad et 300 m entre Khenchela et Kais sur la bordure Nord du massif de l'Aurès, où elles sont surmontées par 150 m de marnes gréseuses grises. Il convient de préciser que ces formations Miocènes marines, classées fréquemment sous le terme de « grès », ne comportent en réalité que quelques bancs de grès noyés dans une importante épaisseur de marnes gréseuses. Ce qui fait que ces marnes gréseuses, paraissant très friables à l'affleurement, constituent en réalité une roche assez dure et probablement peu perméable.

##### b) Miocène

Les couches rouges de l'Aquitano-burdigalien sont en discordances sur le crétacé, leur épaisseur ne dépassent 60 m à 80 m, il s'agit d'une formation continentale comblant un paléo-relief.

La formation anghien-serravalien présente par des marnes biomicrites et biomicrosparite et gris gris blanc repose directement en transgression sur le Trias et surtout au Nord de Ras Serdoum.

Le Tortonien gréseux blanc est une formation discordante et peut reposer directement allant de Cénomaniens à l'Albien. Elle est composée de grès grossiers en blanc plurimétrique à abondantes dragées de quartz.

Le Tortonien supérieur affleure aux alentours de Baghai. Cette série argilo-silteuse (des argiles beiges et rouges) repose en concordance sur le Tortonien Griseux avec une épaisseur de 150m.

### c) Quaternaire

Essentiellement des Eboulis en masse ou en blocs liés aux deux seules formations demeurés en reliefs, Sebkhha, alluvions actuelles ou récentes surtout aux limites des oueds, et enfin terre arables les limons et quaternaire indéterminé. Ce sont des formations largement répandues dans l'Aurès. Elles sont surtout représentées par les éboulis nappant les pentes des reliefs, et alluvions qui se développent dans les zones basses des terrasses. Vers le Sud-ouest, ce sont les dunes constituées d'argiles sableuses qui se forment dans les environs de Biskra et le long de la flexure sud atlasique

Le Quaternaire ne comporte que des formations continentales généralement épaisses par endroits, souvent en présence de croûtes calcaires.

Dans la plaine, on n'observe plus que du Quaternaire récent qui est entaillé par quelques oueds mais qui est recoupé par de très nombreux puits et forages. Les terrains Quaternaires présentent des faciès et des dispositifs assez variables qui résultent de la diversité de la lithologie et de la structure antérieures (Houha, 2007).

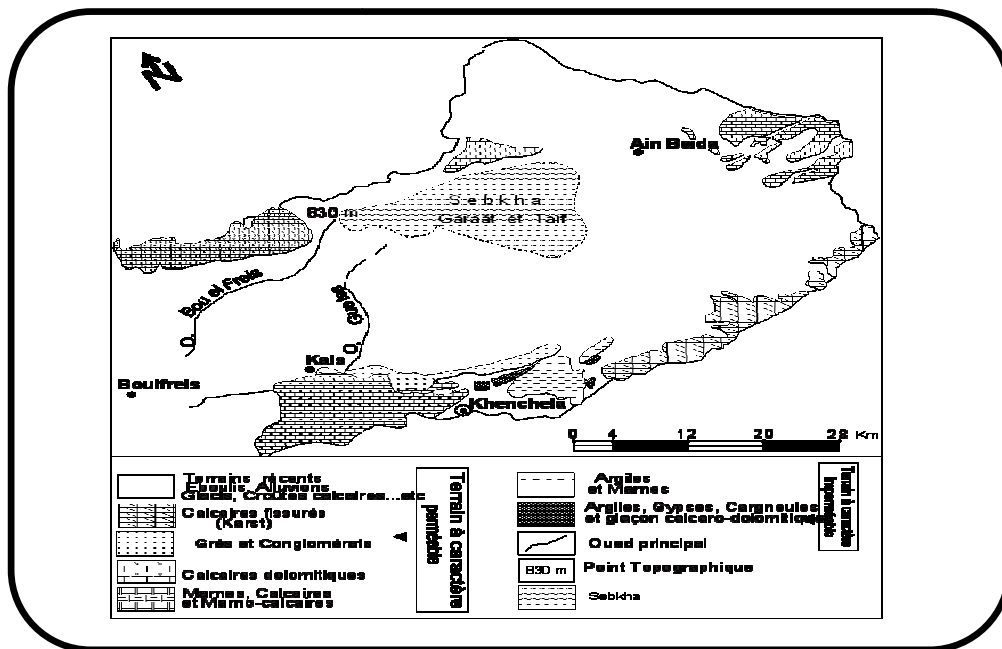
Les formations anciennes sont constituées par des alternances de conglomérats et de sables surmontés par des sédiments fins argilo sableux, rouge au sommet desquels apparaît une croûte calcaire blanche. Des alluvions récentes constituent la plaine de Rémila ainsi que les bas fonds des principales vallées provenant des reliefs environnants.

Elles débutent par un conglomérat de base assez grossier, dont la puissance est irrégulière, de quelques mètres au Sud (Menzer). Au dessus, des lentilles de galets et gravier roulés à éléments gréseux peuvent s'interstratifier au sein d'argiles sableuses qui forment l'essentiel du dépôt.

Superposé à cet ensemble vient une nouvelle formation qui comporte des passées de poudingues peu épais et plus fins, à sa base et qui surmontent des sables et sables argileux (Houha, 2007)

### 1.9. Hydrogéologie

La ressource en eau dans la région est presque exclusivement souterraine. Ces réservoirs assurent l'alimentation en eau potable ainsi que les besoins domestiques et industriels, et d'une façon moins importante l'irrigation des terrains agricoles. Tous ces besoins sont satisfaits grâce à des forages, des puits domestiques et des sources



**Figure II.7 :** Les formations hydrogéologiques dans la zone d'étude (Houha et al., 2008)

Les réservoirs aquifères les plus importants et les plus exploités sont situés dans le remplissage Mio-Plio-Quaternaire.

Il constitue donc la couverture perméable qui permet l'infiltration des eaux météoriques, cet ensemble joue un rôle hydrogéologique important du fait de sa perméabilité en général excellente. C'est dans cette formation du remplissage que la nappe est contenue (Houha, 2007).

### 1.9.1. Les nappes aquifères du bassin

#### 1.9.1.1. Aquifère superficiel

L'aquifère superficiel est contenu dans le remplissage quaternaire dans des intercalations argilosableuses et dans des sables et graviers. C'est un aquifère multicouches séparés par des argiles et des marnes

Il faut noter que l'Oued Baghai joue un rôle non négligeable dans l'alimentation de la nappe phréatique (Houha, 2007).

**1.9.1.2. Aquifère profond**

Sous la nappe phréatique, il existe plusieurs nappes reconnues profondes contenues dans les différents niveaux grossiers du remplissage est mise en évidence par la prospection géophysique et par les forages traversant entièrement les alluvions jusqu'au substratum. Les nappes sont superposées et séparées par des couches plus ou moins imperméables intermédiaires.

L'existence d'une zone artésienne témoigne de la mise en charge des niveaux profonds calcaires Crétacés (Houha, 2007)

## 2. Aperçu hydroclimatologique

### Introduction

Les facteurs climatiques jouent un rôle déterminant dans le régime des cours d'eau ainsi que l'alimentation des nappes. Les précipitations constituent le facteur essentiel intervenant par leur répartition annuelle et mensuelle. Ces différents aspects des précipitations plus ou moins modifiés par l'effet combiné des autres paramètres physiques (altitude et exposition) et climatiques (températures et évapotranspiration), permettent d'expliquer quantitativement les variations des composantes du régime hydrologique du bassin.

L'étude des données climatiques permettent l'analyse des facteurs du climat de la zone que nous renseignerons sur :

- Le type de climat;
- Le comportement hydroclimatologique du bassin versant.
- Le bilan hydrologique en fonction des paramètres climatiques

Ces paramètres sont soit mesurés sur le terrain (précipitations, températures, évaporation) soit calculés par des formules (ETP, ETR, R, I).

Pour l'analyse de ce volet de l'étude, nous avons exploité une séquence de données climatiques, couvrant la période allant de Janvier 1994 à Décembre 2011, émanant de la station météorologique d'El Hamma wilaya de Khenchela, considérée la plus représentative du fait de sa proximité à la zone d'étude ainsi que son altitude. La carte pluviométrique établie par l'ANRH est également prise en compte

Station	Coordonnées (m)			Période de mesure	Paramètres mesurés
	X	Y	Z		
<b>Khenchela</b>	890	250	983	1994/2011	P et T

**Tableau II.1** : Localisation de la station météorologique de Khenchela

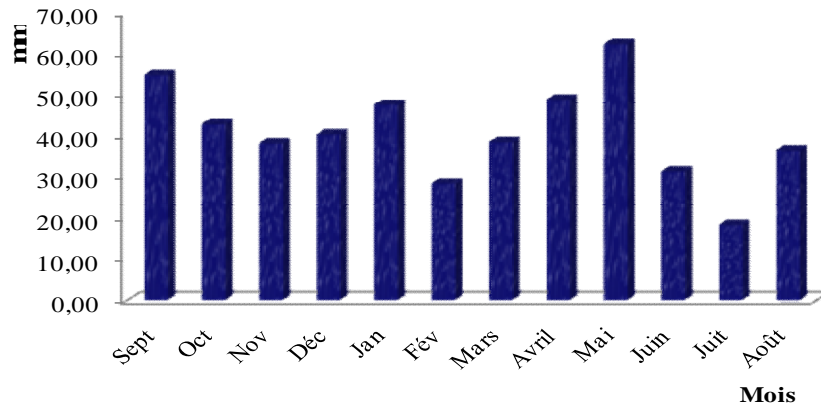
### 2.1. Études des paramètres climatiques

#### 2.1.1. La pluviométrie

Le terme précipitations englobe toutes les eaux météoriques, c'est la hauteur de la lame d'eau recueillie par le pluviomètre, quelque soit son origine (pluie, neige, grêle, ou autres formes de condensation). Les précipitations constituent le facteur principal dans le comportement hydrologique de la région. Elles sont relativement variables et irrégulières d'une année à une autre.

### 2.1.1.1. Répartition mensuelle

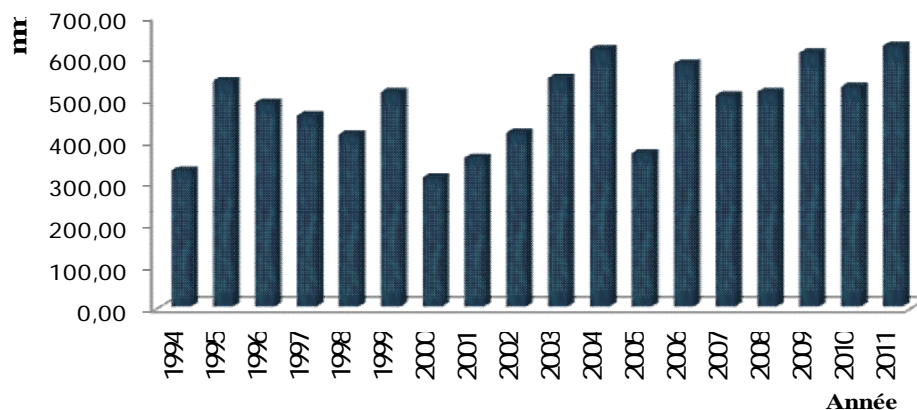
Les précipitations annuelles n'ont qu'une valeur indicatrice, le plus important c'est leur répartition mensuelle et saisonnière.



**Figure II.8 :** Variation des précipitations moyennes mensuelles de la période (1994-2011)

La figure II.8 illustre que, le mois le plus pluvieux est Mai avec 62,61 mm alors que le plus sec est juillet avec 18,30 mm.

### 2.1.1.2. Variation interannuelle



**Figure II.9 :** Variation interannuelle des précipitations de la période (1994-2011)

La moyenne des précipitations annuelles entre 1994 et 2010 est de 482,10 mm/an.

En 2004, la station a enregistré une pluie exceptionnelle atteinte 618,60 mm/an, le maximum pluviométrique est atteint en Mai avec une moyenne de (141,7 mm). Alors que l'année la plus sèche 2000 enregistre une précipitation de 310,90 mm/an

**2.1.1.3. Répartition saisonnière des précipitations**

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Année
Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	
P mensuelle	36	38	57	45	54	47	70	50	61	35	13	23	529
P saisonnière	131			146			181			71			
P saisonnière %	24,76			27,60			34,22			13,42			

**Tableau II.2 : Précipitations moyennes saisonnières (Seltzer, 1913-1938)**

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Année
Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juit	Août	
P mensuelle	55,14	43,02	38,39	40,48	47,88	28,60	38,64	49,07	62,61	31,49	18,30	36,63	490,26
P saisonnière	136,56			116,97			150,31			86,42			
P saisonnière %	27,85			23,86			30,66			17,63			

**Tableau II.3 : Précipitations moyennes saisonnières (ONM, 1994-2011)**

Dans l'ensemble de la zone étudiée, la saison pluvieuse est le printemps avec un taux de précipitation de 150,31mm, alors que la plus sèche est l'été 86,42 mm

De ces tableaux, il ressort clairement :

- ✓ Entre la période 1913-1938 et la période 1994-2011, le niveau moyen annuel des précipitations a régressé de 38,74 mm. Les régressions les plus marquées sont observées en hiver et au printemps et plus particulièrement durant les mois de Février à Mai, une période qui est critique pour les cultures pluviales, dont les céréales (cultures de base de la zone) ;

- ✓ Le climat de la zone relève du domaine du semi-aride (490,26 mm/an).

**2.1.1.4. Analyse de la carte des isohyètes**

La carte des isohyètes, dressée par l'ANRH en 1993, reflète mieux les caractéristiques des précipitations de la wilaya de Khenchela, car elle tient compte de la corrélation qui existe entre le climat et les deux facteurs liés à l'altitude et la latitude.

Cette carte met en évidence plusieurs étages pluviométriques concernant le territoire de la wilaya, on trouve les hautes plaines du nord entre les isohyètes 300 et 500 mm/an ;

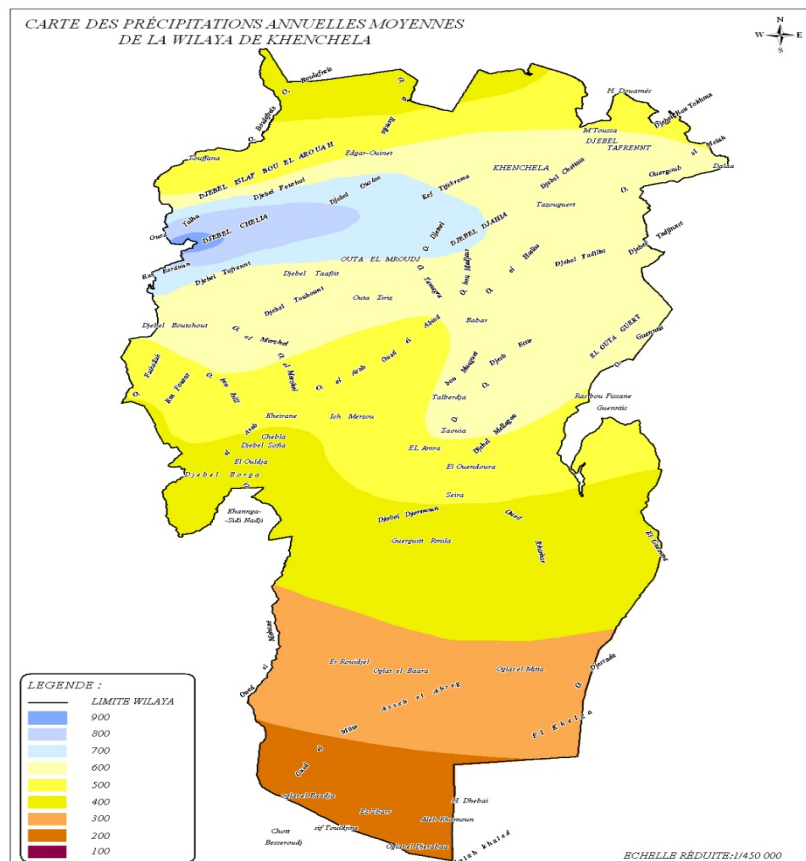


Figure II.10 : Carte de la pluviométrie de la wilaya de kenchela (ANARH, 1993)

D'une manière générale, la répartition des pluies en Algérie obéit à certaines lois (P. SELTZER 1946), à savoir :

- La hauteur des pluies augmente avec l'altitude ;
- Elle croît d'Ouest en Est ;
- Elle diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne du littoral.

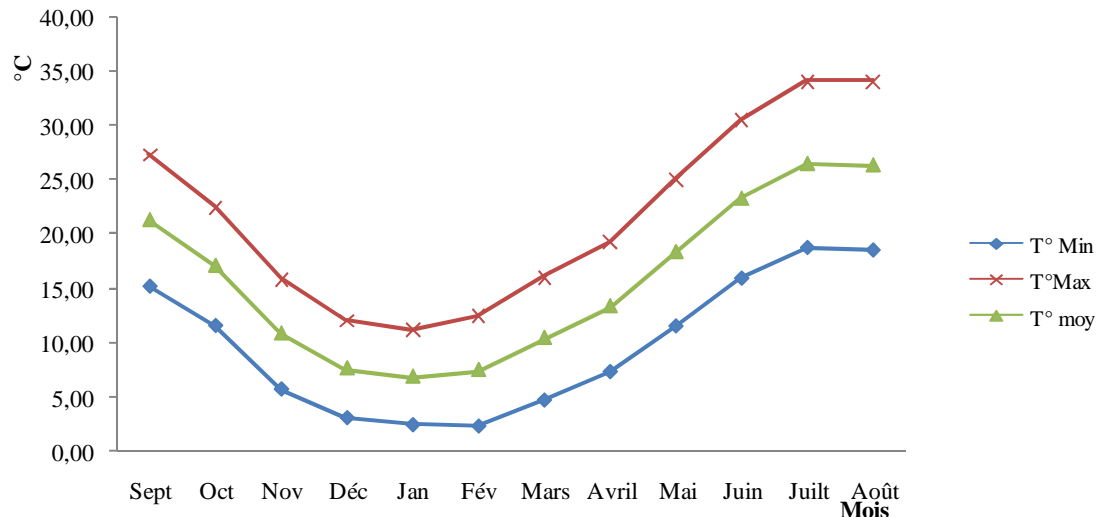
Pour ce qui est de la wilaya de Khenchela, ces principes restent valables. Le régime pluviométrique de la wilaya de Khenchela, suit étroitement la variabilité du relief

### 2.1.2. La Température

La température de l'air est un paramètre ayant une grande influence sur le bilan hydrologique. Elle conditionne l'évaporation et l'évapotranspiration

Les Aurès se connaissent par un climat sec et semi aride caractérisé par des extrêmes marqués par les froids rigoureux en hiver et des chaleurs excessives en été.

L'étude des données sur la température donne une idée sur le climat de la région. Elle exprime non seulement la continentalité, mais aussi l'intensité de l'évaporation (Emberger, 1971).



**Figure II.11 :** Variation des températures moyennes mensuelles de la période (1994-2011)

La saison chaude et sèche coïncide avec les trois mois d'été. Ce sont les mois pendant lesquels les températures moyennes sont supérieures à la moyenne annuelle qui est de 15,76°C; atteignant la valeur maximale de 26,48°C au mois de Juillet et 26,36°C pendant le mois d'Août. Cependant la saison froide et humide s'étale du mois de Décembre jusqu'au mois de Mars, avec une température moyenne minimale observée en Janvier avec une valeur de 6,80°C.

Les températures varient entre -0,5°C (2000) pour le minimum absolu en hiver ce qui engendre des gelées, et 36,7°C (2003) pour le maximum absolu en été, ce qui est traduit par une forte évaporation pendant cette saison.

## 2.2.Synthèse climatique

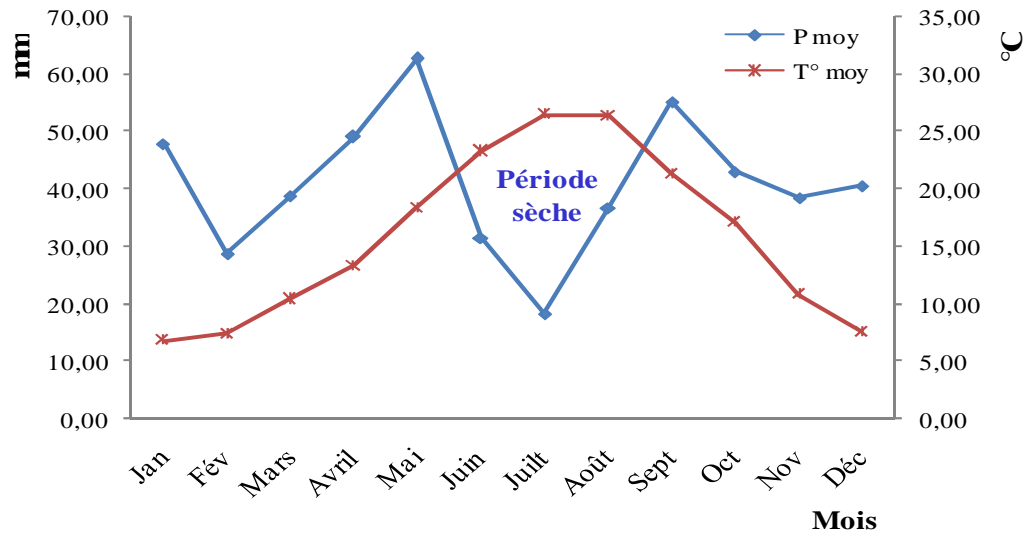
### 2.2.1. Diagramme pluviothermique de Gausson

D'après Gausson (1953), la sécheresse n'est pas nécessairement l'absence totale des pluies, mais elle se manifeste quand les faibles précipitations se conjuguent avec les fortes chaleurs. Le même auteur considère comme mois sec celui où le total mensuel des précipitations exprimé en millimètres, est égal ou inférieur au double de la température moyenne exprimée en °C..

$$P \leq 2T \text{ (Indice de Gausson)}$$

De cela, le graphique des courbes pluviothermiques comportera les précipitations mensuelles (P) et les températures moyennes mensuelles (T).

L'intersection des deux courbes [P (mm) et T (°C)] permet ainsi de définir la période sèche.



**Figure II.12 :** Diagramme pluviothermique de Gaussen

Le diagramme de Gaussen montre que la période sèche et chaude s'étale depuis Mai jusqu'à Septembre

### 2.2.2. Climagramme d'Emberger

Emberger a écrit : «il est possible de subdiviser chaque région, suivant les diverses nuances climatiques, en un certain nombre de territoires climatiques. Chacun d'eux constitue ce que l'on peut appeler un étage climatique. » .

Le même auteur en (1932), propose une formule permettant le calcul de l'indice d'aridité annuelle en tenant compte des précipitations et de la température, cette formule peut s'écrire de la manière suivante :

$$Q_2 = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$$

Ce quotient est par la suite simplifié par Stewart (1969) comme suit :

$$Q_2 = 3,42[P / (M - m)]$$

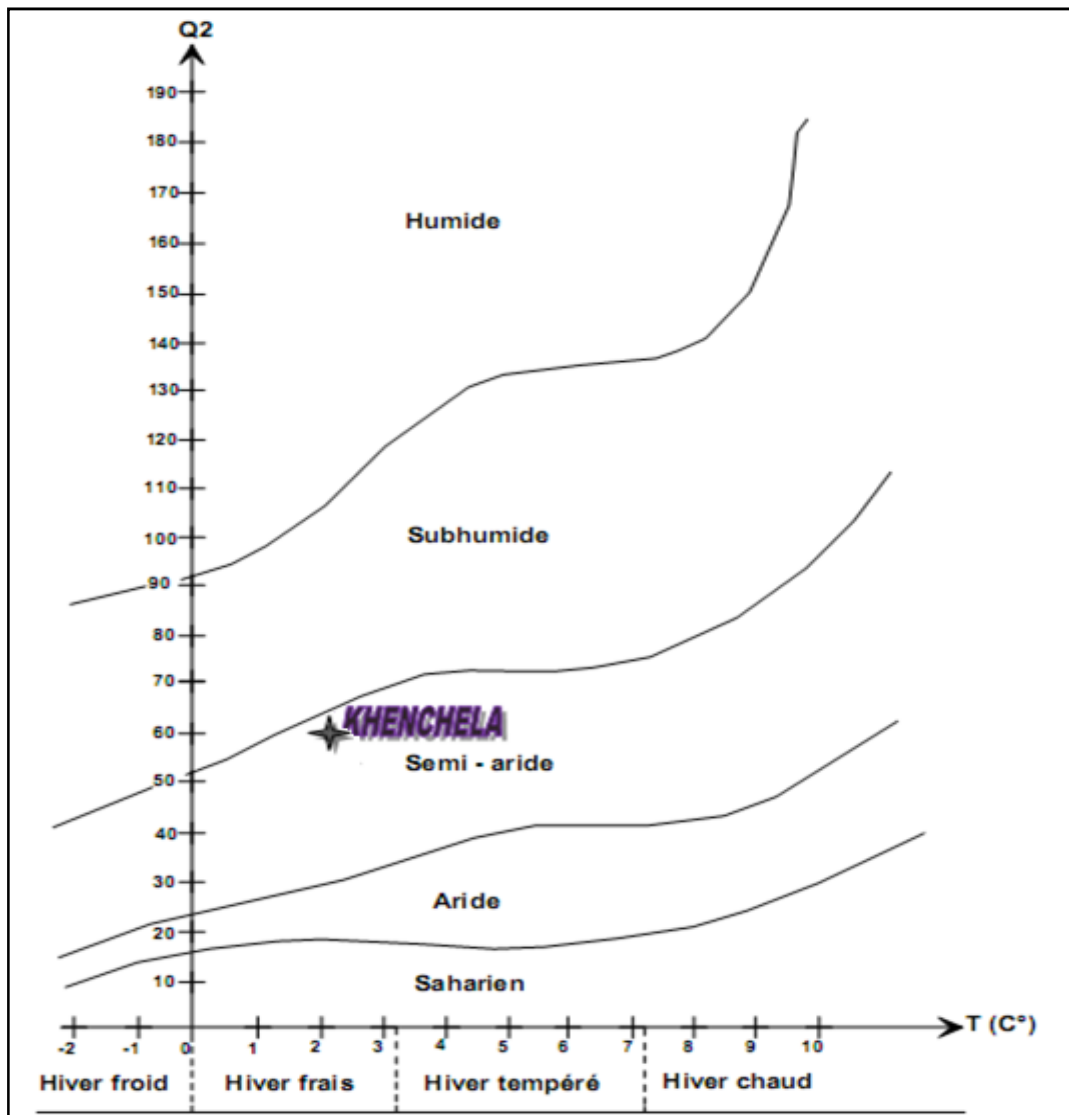
Où :

**M** : moyenne des maxima du mois le plus chaud **M=307,3° K** ;

**m** : moyenne des maxima du mois le plus froid **m= 275,46°K** ;

**P** : précipitations moyennes annuelles en mm **P =490,26 mm** ;

**Q<sub>2</sub>** : quotient pluviothermique annuel; Donc : **Q<sub>2</sub> =52,84**



**Figure II.13 :** Climagramme d'Emberger de Khenchela pour la période 1994-2011

Utilisant ce Climagramme avec  $Q_2 = 52,08$  et  $m = 2,36^\circ\text{C}$ , on trouve que la zone d'étude est classée dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais (Fig. II.13).

### 2.2.3. Indice de De. Martonne

Le géographe De. Martonne a défini un indice d'aridité  $I_a$ , calculé selon la formule

$$A = \frac{P}{T + 10}$$

Avec :

$I_a$  : indice d'aridité ;

$P$  : précipitations moyennes annuelles (mm)  $P = 490,26\text{mm}$ ;

$T$  : températures moyennes annuelles ( $^\circ\text{C}$ )  $T = 15,76^\circ\text{C}$ .

L'indice d'aridité ( $I_a = 19,03$ ) est compris entre 10 et 20.

Le climat de la zone d'étude est de type semi-aride

### 2.2.4. Méthode d'Euverte

Le rapport  $P/T$ , établi mensuellement, permet de définir trois types de régimes :

Un régime sec :  $\frac{P}{T} < 2$

Un régime sub humide :  $2 < \frac{P}{T} < 3$

Un régime humide :  $\frac{P}{T} > 3$

**Tableau II.4** : Détermination de régime climatique par la méthode d'Euverte

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
P moy	55,14	43,02	38,39	40,48	47,88	28,60	38,64	49,07	62,61	31,49	18,30	36,63
T° moy	21,30	17,06	10,80	7,56	6,80	7,41	10,38	13,33	18,33	23,27	26,48	26,36
P/T	2,59	2,52	3,56	5,35	7,04	3,86	3,72	3,68	3,42	1,35	0,69	1,39

Les valeurs de (P/T) les plus faibles sont celles des mois de Juin, Juillet, Août, septembre et Octobre traduisant un régime sec sous l'influence saharienne.

## 2.3. Bilan hydrique

### 2.3.1. Evapotranspiration potentielle

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

**ETP** : Evapotranspiration mensuelle (mm) ;

**T** : Température moyenne mensuelle, (°C) ;

**I** : Indice thermique annuel ;

**a** : L'exposant climatique, ( $a = 0.016 I + 0.5$ )

**K** : Coefficient de correction, qui dépend du temps et de la latitude

### 2.3.2. Estimation de l'évapotranspiration réelle(ETR)

Elle peut se faire à l'aide la Formule de **L. Turc (1954)** qui s'écrit de la manière suivante :

$$ETR = \frac{P}{\left( 0.9 + \frac{p^2}{L^2} \right)^{0.5}}$$

Où :

**L** =  $300 + 25T + 0.05T^3$  (pouvoir évaporant de l'atmosphère) ;

**T** : Température moyenne annuelle de l'air en (°C),

**P** : Précipitation moyenne annuelle en (mm)

Soit **ETR = 419,2 mm**

**Tableau II.5** : Calcul du bilan hydrologique selon la formule de Thornthwaite

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juit	Août	Total
P	55,14	43,02	38,39	40,48	47,88	28,60	38,64	49,07	62,61	31,49	18,30	36,63	<b>490,26</b>
T°C	21,30	17,06	10,80	7,56	6,80	7,41	10,38	13,33	18,33	23,27	26,48	26,36	-
ETP	98,35	63,79	26,23	14,09	12,20	13,78	29,39	47,34	89,76	134,10	169,32	158,53	<b>856,88</b>
P-ETP	-43,2	-20,8	12,16	26,40	35,69	14,82	9,25	1,73	-27,15	-102,6	-151	-121,9	-
RFU	0,00	0,00	12,16	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00	1,85	0,00	0,00	0,00	-
ETR	55,14	43,02	26,23	14,09	12,20	13,78	29,39	47,34	89,76	33,34	18,30	36,63	<b>419,2</b>
EX	0,00	0,00	0,00	9,56	35,69	14,82	9,25	1,73	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>71,1</b>

Pendant la saison froide, le bilan hydrique est positif où les précipitations couvrent les besoins de l'ETP et permettent la formation d'une réserve facilement utilisable RFU ;

Dès le mois du Mai apparaît un déficit agricole qui montre une période sèche et qui se poursuit jusqu'à l'épuisement de la RFU.

## Conclusion

D'une manière générale, le climat de la zone se caractérise par deux saisons, l'une pluvieuse et froide et l'autre sèche et chaude qui s'étale du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre et Des variations interannuelles importantes (des épisodes de sécheresse).

D'après le climagramme d'Emberger, la zone d'étude est située dans l'étage semi aride à hiver frais.

L'étude du climat nous a expliqué que la zone d'étude se trouve dans des conditions déficitaires.

Le sous bassin versant auquel appartient Oued Baghai est ainsi soumis à un climat semi-aride. Cette zone à situation météorologique perturbée, reçoit des précipitations zonales, irrégulières et relativement faibles (490,26 mm)

## 1. Traitement des eaux usées provenant de la ville de Khenchela

Le traitement des eaux usées a pour objectif de réduire le niveau de contamination pour les rendre plus utilisables. Différentes méthodes sont utilisées telles que la méthode des boues activées

### 1.1. Réseau d'assainissement

Le réseau d'assainissement de la ville de Khenchela est constitué d'un réseau des collecteurs du type unitaire (tout à l'égout), de profondeur de 2,0-3,0 m.

Oued Boughougal constitue le collecteur principal du réseau d'assainissement de la ville de Khenchela ainsi que les eaux pluviales, C'est un oued à ciel ouvert qui franchit cette ville, avec un débit qui varie selon les saisons. Oued Baghai est le prolongement naturel d'Oued Boughougal qui draine les EUT issues de la STEP avec un écoulement permanent

Le taux de raccordement au réseau d'assainissement de la ville de Khenchela est de 97,4%, il se rapproche fortement de celui de la wilaya (97,2%) (DHW, 2010).

### 1.2. Présentation de la station d'épuration

#### 1.2.1. Localisation

La station d'épuration des eaux usées de Khenchela est située à 2,5 km au Nord de la ville, (X = 903,900 ; Y = 250,300) à une altitude de 1020-1045 m avec une pente vers la vallée d'Oued Baghai. Elle s'étend sur une superficie de huit (08) hectares. Elle a été mise en service le 20/10/2008

#### 1.2.2. Capacité du traitement des eaux usées

La STEP de Khenchela a une capacité de 192 000 Equivalent habitant, dimensionnée pour un débit nominal de 23 000 m<sup>3</sup>/jr .C'est une station d'épuration à boues Activées de faible charge.les eaux usées sont acheminées à la station par écoulement gravitaire.

#### 1.2.3. Qualité des eaux usées brutes

Les eaux usées provenant de la ville de Khenchela sont à dominance domestiques La demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>), la demande chimique en oxygène (DCO) et les matières oxydables représentent les paramètres habituellement utilisés d'une manière indirecte, pour décrire la charge organique de l'eau usée.

$$MO = (2 DBO5 + DCO) / 3$$

**Tableau II.6** : La qualité des eaux usées brutes durant la période 2009-2011 (ONA)

Paramètre	T °C	pH	MES	DBO <sub>5</sub>	DCO	O <sub>2</sub> D	MO	DCO/DBO <sub>5</sub>
Teneur	16,49	8,00	238,26	246,62	698,72	2,79	397,32	2,83

On constate que le rapport **DCO/DBO<sub>5</sub>** est inférieur à **3**, ce qui confirme que les eaux usées brutes sont d'origine domestiques facilement biodégradables.

#### 1.2.4. Procédés du traitement

Les boues activées représentent le procédé biologique le plus utilisé dans le traitement des eaux résiduaires biodégradables (Duchène, 1994). La filière d'épuration des eaux usées utilisée dans la station est la suivante :

##### **Le prétraitement**

Le prétraitement, à l'entrée de la STEP, a pour rôle d'assurer l'élimination des éléments gênants pour le bon fonctionnement de l'installation

##### ➤ **Le Dégrillage**

La STEP dispose d'un poste de dégrillage qui comporte deux grilles, grossier (cribles à barreaux mécaniques) et fin à fonctionnement automatique, permettant l'élimination de tout les débris.

##### ➤ **Dessablages et dégraissage**

Se fait par le biais de canaux dessableurs aérés, avec écumage. Les eaux usées dégrillées passent directement du caniveau de sortie de la chambre de dégrillage dans la chambre d'arrivée des canaux de dessablage/dégraissage. Le bassin de dessablage/dégraissage est du type aéré à rotation. Un écumeur immergé dans l'eau est également sur le pont et transporte les huiles et les matières grasses flottantes dans une trémie collectrice. Les huiles et matières grasses recueillies sont alors acheminées dans une benne pour évacuation.



**Photo II.1 :** Déshuilage / Dessablage (STEP Khenchela, 2011)

Le prétraitement qui est un procédé uniquement mécanique, permet l'élimination des débris non biodégradables qui risqueraient d'entraver le procédé d'épuration de la station.

**a) Procédé d'épuration des eaux usées**

Le procédé d'épuration des eaux usées de la station est du type biologique à boues activées. Les eaux usées dégrillées et dessablées sont ensuite équi-réparties en quatre dans un canal de répartition du débit. Elles sont mélangées à une partie des boues de retour puis s'écoulent par gravité dans les bassins d'aération (huit aérateurs).



**Photo II.2. :** Bassin d'aération (STEP Khenchela, 2011)

Dans le processus du traitement biologique, des bactéries naturelles sont développées et servent à décomposer les matières biodégradables contenues dans les eaux usées.

### b) La Décantation

Après traitement, la boue est séparée de l'eau traitée (effluent) dans des bassins de décantation secondaire (dans quatre décanteurs) qui fonctionnent en parallèle.

Chaque chambre de collecte des boues est munie d'une vanne murale à déversoir pour l'isolement de l'entrée des boues à commande manuelle. Les boues provenant des deux chambres d'extraction sont acheminées par gravité dans le puisard des boues de retour.

Les boues de retour sont relevées par des pompes à vis de sorte qu'elles peuvent s'écouler par gravité soit à travers des grilles pour retourner aux bassins d'aération (pour maintenir la population des microorganismes), soit vers l'extérieur pour évacuation (boues en excès).

L'effluent clarifié s'écoule alors par gravité dans la goulotte d'évacuation commune à ciel ouvert jusqu'à l'Oued Baghai.

Le processus de décantation consiste à éliminer les MES et par conséquent il y a une élimination des matières oxydables liés donc une réduction importante de la DCO

### c) Traitement des boues (Epaississement et Séchage)

Les boues excédentaires provenant de la station de pompage des boues de retour s'écoulent dans les réservoirs d'épaississement des boues.

Les boues épaissies sont distribuées dans les lits de séchage. Elles séjournent en plein air jusqu'à ce que les responsables de la STEP décident de leur destination finale (engrais pour agriculteurs).

La nature de la boue est liée à la composition de l'effluent et aux techniques des traitements.

#### 1.2.5. Qualité des eaux traitées

**Tableau II.7 :** Qualité des EUT durant la période 2009-2011 (ONA)

Paramètre	pH	MES*	DBO <sub>5</sub> *	DCO*	O <sub>2</sub> dissous*	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> *	MO*
Teneur	<b>7,80</b>	<b>19,10</b>	<b>12,47</b>	<b>54,74</b>	<b>5,63</b>	<b>4,91</b>	<b>26,56</b>
* : mg.L <sup>-1</sup>							

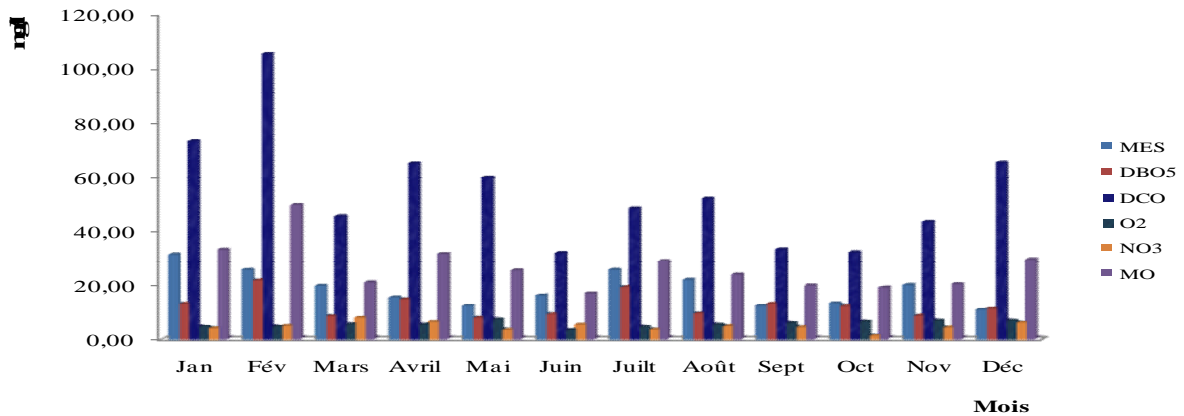


Figure II.14 : Variation qualitative moyenne mensuelle des EUT (2009 – 2011)

1.2.6. Le rendement épuratoire (Abattement)

Tableau II.8 : Rendement épuratoire de la STEP (2009-2011, ONA)

Paramètre	MES	DBO <sub>5</sub>	DCO
EU brutes mg.L <sup>-1</sup>	238,26	246,62	698,72
EUT mg.L <sup>-1</sup>	19,1	12,47	54,74
R E (%)	91,98	94,94	92,16

Les résultats montrent que le système d'épuration permet d'obtenir :

- Une élimination d'environ 92,16% de la matière oxydable.
- Une biodégradation de la matière organique estimée à 94,94%
- Une élimination de 91,98% des MES

1.2.7. Quantité des eaux usées traitées

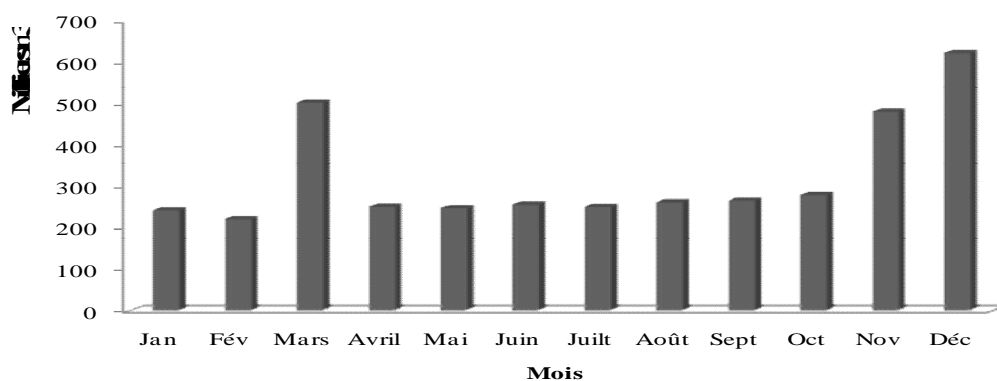


Figure II.15 : Variation quantitative mensuelle des EUT (2009 – 2011)

### 1.2.8. Analyse des ETM dans la boue sèche

**Tableau II.9 :** Teneur en métaux lourds (mg/Kg) dans la boue issue d'épuration (ONA, 2010)

Elément	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	Fe	Co	Pb	Hg (µg/Kg)
Résultat d'analyse	1.53	11.66	111.67	19.50	657	9691.87	7.37	93	820
Normes	20	1000	1000	200	3000	3000	-	800	-

Les résultats d'analyse de la boue résiduaire issue de la station d'épuration ont montré que les concentrations en métaux sont généralement faibles et ne dépassent pas les normes, permettant ainsi, son utilisation en milieu agricole et forestier

# CHAPITRE III

*MATERIELS*

*ET*

*METHODES*

## Introduction

Les prélèvements d'échantillons, couplés avec les analyses en laboratoire, sont les moyens utilisés pour détecter la présence, sur un site, de polluants dans les eaux souterraines.

Dans ce chapitre, on va caractériser les eaux résiduaires urbaines traitées de la station d'épuration de la ville de Khenchela d'une part et étudier la qualité physicochimique des eaux du milieu récepteur.

Une gamme d'analyse physicochimique est réalisée, afin de connaître les concentrations des ions majeurs ainsi que l'existence des éléments indésirables et d'évaluer les éléments indicateurs de pollution et par conséquent d'estimer l'impact réel de rejet sur la qualité des eaux des nappes existantes.

## 1. Choix et présentation des sites d'échantillonnage

Le choix des lieux de prélèvement a été fixé sur la base de la répartition spatiale des points d'eau par rapport à la source de la charge polluante (rejet traité). On a choisi :

- Les EUT déversées dans l'oued
- Des échantillons des eaux d'Oued (Amont, intermédiaire, et fin d'oued) ;
- Des points d'eau à proximité de l'Oued, pour révéler les échanges entre les eaux superficielles (rejet) et les eaux souterraines ;
- Des puits répartissant dans les terrains cultivés en utilisant les EUT pour l'irrigation ;
- D'autres points, situés hors la zone drainée par le rejet, choisis comme témoin.

### 1.1. Prélèvement et échantillonnage

Les prélèvements d'eau sont conditionnés par la répartition des points d'eaux dans la zone d'étude.

Tous les paramètres susceptibles d'être altérés ont été analysés sur site; tandis que les autres ont été effectués au laboratoire en ayant pris soin de respecter auparavant toutes les règles de conservation des échantillons pendant leur transport.

Les échantillons ont été prélevés jusqu'à débordement dans des flacons en polyéthylène rincés avec de l'eau distillée, puis avec l'eau à échantillonner puis bouchonnés et soigneusement étiquetés. Le transport des flacons au laboratoire est réalisé dans une glacière sous 4°C de température dans un laps de temps ne dépassant pas 24 heures.

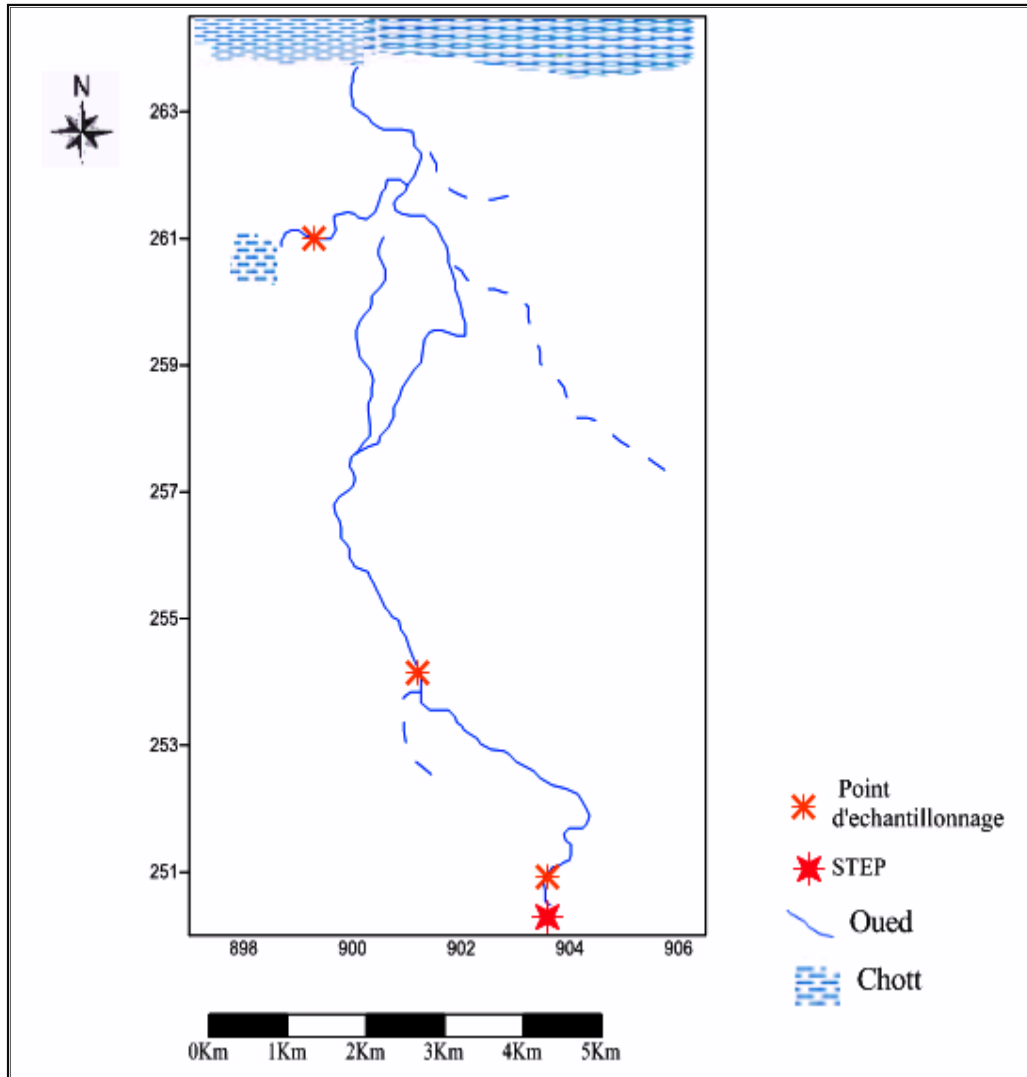
#### 1.1.1. Eaux usées traitées

Six prélèvements mensuels ont été effectués à l'aide d'un échantillonneur automatique pour la caractérisation des eaux usées traitées.

Les échantillons sont conservés au froid pour l'analyse des paramètres physicochimiques et les indicateurs de la pollution (MES, DBO<sub>5</sub> et DCO).

### 1.1.2. Eau superficielle d'Oued

Trois points de prélèvements sont sélectionnés (en amont, à l'intermédiaire et à la fin d'Oued) pour évaluer le pouvoir auto-épuration des eaux le long d'Oued



**Figure III.1:** Carte représentative des stations de prélèvement des eaux d'Oued

### 1.1.3. Eau souterraines

Pour évaluer la qualité physicochimique des eaux au niveau de la zone drainée par Oued de Baghai, dix-sept (17) points d'eau ont été choisis englobant six puits, trois sources, six forages, deux forages artésiens répartis à différentes distances le long d'Oued de l'amont (station d'épuration) jusqu'à l'aval (Chott) comme l'indique la figure III.2. Ces points sont répartis dans l'ensemble de la zone étudiée. Deux points ont été choisis comme témoins, situés hors la zone drainée et également ne sont pas dans le sens d'écoulement de la nappe.

Les points d'eau sélectionnés sont utilisés généralement pour les usages domestiques, agricoles et domestiques/agricoles.

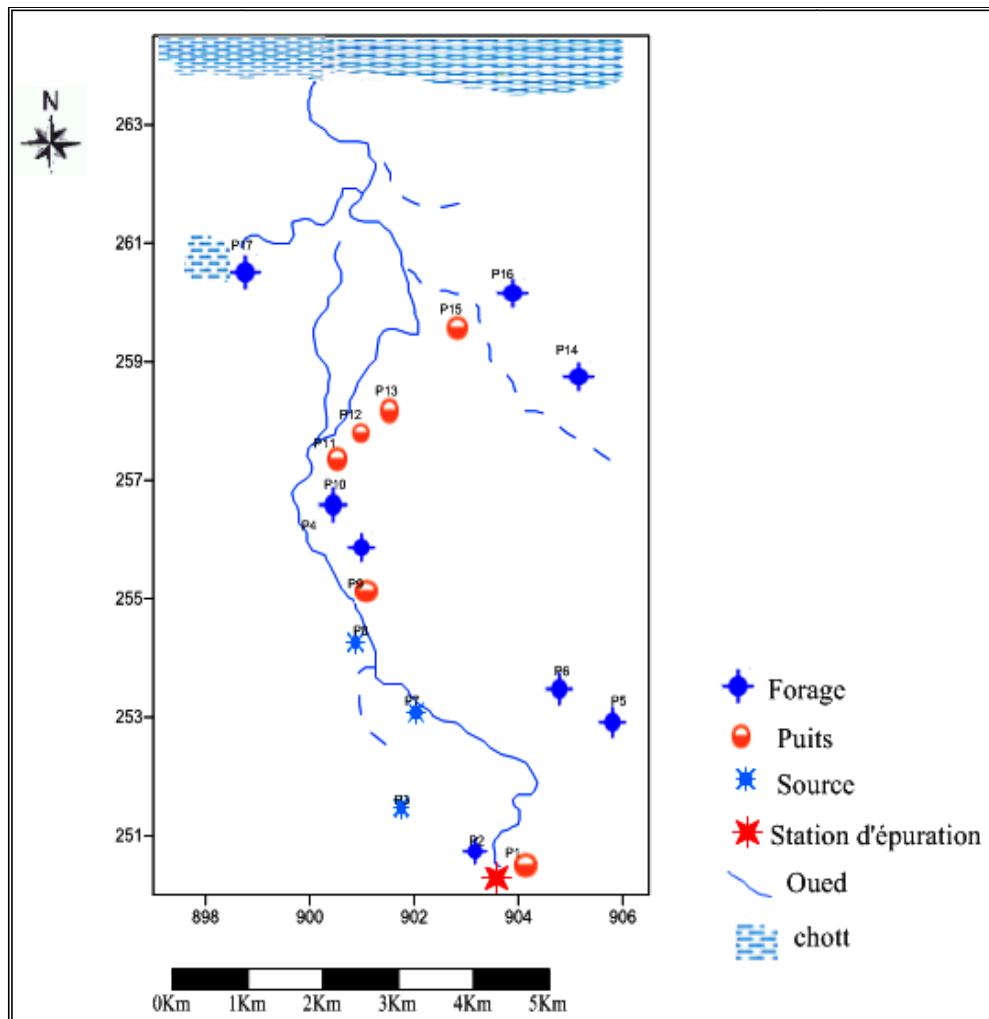


Figure III.2 : Carte d'inventaire des points d'eaux testés

## 2. Méthodes d'analyses physico-chimiques

Les méthodes analytiques utilisées sont décrites par Rodier 8<sup>e</sup> et 9<sup>e</sup> édition (1996, 2009) et Rejsek (2002), ou dans les catalogues de l'appareillage utilisé.

### 2.1. Paramètres physiques

La température de l'eau, le potentiel hydrogène, la conductivité électrique, et l'oxygène dissous sont les paramètres physiques mesurés *in situ* à l'aide d'un multi-paramètre de type Consort C931.

### 2.2. Éléments majeurs

En fonction de l'ion à doser, différentes techniques décrites dans les ouvrages généraux de chimie ont été utilisées.

Les analyses des ions majeurs en solution ont été effectuées au niveau de laboratoire régional de l'institut national des sols et de l'irrigation et drainage (INSID) d'Oum El Bouagui

Les cations majeurs (Le Calcium ( $\text{Ca}^{+2}$ ), le Magnésium ( $\text{Mg}^{+2}$ ), le Sodium  $\text{Na}^+$ , et le Potassium  $\text{K}^+$ ) ont été déterminés à l'aide d'un spectromètre d'absorption atomique à flamme de type *Perkin Elmer A 200*

Les Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) ont été déterminés par la méthode titrimétriques, les chlorures  $\text{Cl}^-$  sont dosées selon la méthode de Mhor.

Les sulfates sont déterminés par la méthode néphélométrique (Les suspensions homogènes de sulfate de baryum obtenues après l'ajout de chlorure de baryum en milieu chlorhydrique et stabilisées à l'aide d'une solution de Tween sont mesurées au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 650 nm).

Pour confirmer la fiabilité des résultats d'analyse des ions majeurs, on a procédé à l'application de la méthode de la balance ionique établie par le logiciel « *Diagramme* »

### 2.3. Éléments indicateurs de pollution

Afin de cerner le problème de pollution, les nitrates  $\text{NO}_3^-$ , l'ammonium et les orthophosphates  $\text{PO}_4^{-3}$  ont été analysés à l'aide d'un spectrophotomètre à absorption moléculaire *Genway* au niveau de laboratoire de l'INSID

- Le dosage des nitrates  $\text{NO}_3^-$  s'effectue par la méthode spectrophotométrique à l'acide sulfosalicylique
- La méthode de Nessler est utilisée pour le dosage d'ions d'Ammonium  $\text{NH}_4^+$
- Les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrométrique à la longueur d'onde de 800 nm.

#### ➤ Détermination de la $\text{DBO}_5$

C'est la quantité d'oxygène (mg/l) consommée pendant cinq jours par des micro-organismes au cours de la dégradation de la matière organique à une température de  $20^\circ\text{C}$  et à l'obscurité. Le principe consiste à mettre les échantillons d'eau dans des flacons contenant des bactéries et ensuite les incubent dans un  $\text{DBO}_5$ mètre pendant 5 jours. Les micro-organismes, en dégradant la matière organique présente dans l'eau, consomment l'oxygène et produisent le  $\text{CO}_2$  entraînant ainsi une dépression enregistrée par un manomètre (oxitop).

La  $\text{DBO}_5$  est déterminée à l'aide d'un  $\text{DBO}_5$ mètre de type *Velp scientifica* au laboratoire des sciences de nature et de vie.

### ➤ Détermination de la DCO

La DCO est déterminée selon la norme ISO 15705, méthode à reflux fermé à l'aide d'un DCO mètre de type *DR 890*.

Le principe consiste à une oxydation de la matière organique oxydable présente dans l'eau, par un excès de dichromate de potassium, en milieu acide et à l'ébullition et en présence de sulfate d'argent  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ , jouant le rôle d'un catalyseur, et de sulfate de mercure  $\text{HgSO}_4$  permettant de complexer les ions chlorure, pouvant interférer dans la mesure. L'excès du dichromate de potassium est ensuite dosé par une solution de sulfate de fer II et d'ammonium.

### ➤ Les matières particulaires

La turbidité est déterminée par un turbidimètre de type *HANNA Instruments LP 2000*

Les matières en suspensions ont été mesurées au niveau de laboratoire de la STEP, en utilisant un spectrophotomètre à absorption moléculaire *DR2800*.

### 2.4. Eléments traces métalliques

Les ETM (Fe, Cu, Zn et Mn) ont été déterminés, au laboratoire de l'Institut National des sols et de l'irrigation et drainage (INSID) d'Oum El Bouagui, à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme de type *Perkin Elmer A 200*.

### 3. Détermination des hydrofaciès chimique

La typologie des eaux passe exclusivement par la détermination des hydrofaciès. Dans cette étude, nous avons utilisé le diagramme de PIPER du programme informatique « *Diagramme* ». Les éléments considérés sont  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$  pour les cations et  $\text{HCO}_3^-$ ,  $(\text{Cl}^- + \text{NO}_3^-)$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  pour les anions.

### 4. Analyse statistique des données

La variabilité des teneurs en éléments analysés a été effectuée par analyse en composantes principales (ACP) à l'aide des logiciels XL STAT et SPSS.

# CHAPITRE IV

*RESULTATS*

*ET*

*DISCUSSIONS*

## 1. Caractérisation physicochimique des eaux usées traitées

Le suivi de la qualité des EUT a été effectué sur une période s'étalant de Mai jusqu'à Octobre 2011. Le tableau IV.1 regroupe les intervalles des résultats obtenus durant cette période avec une comparaison aux normes algériennes de rejets et les normes internationales de réutilisation.

**Tableau IV.1** : La qualité des EUT de la ville de Khenchela (Mai - Octobre 2011)

Paramètres	E U T	N A	N I de réutilisation
Température (°C)	12,3 – 21,6	30	<30°C
pH	7,6 – 8,31	6,5-8,5	6,5-8,5
CE $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 25°C	1478 – 1720	-	-
O Dissous (mg/L)	4,21 – 7,18	-	-
MES (mg/L)	9,2 – 27,8	35	<20
Turbidité NTU	77 – 91,44	-	-
$\text{NH}_4^+$ (mg/L)	0,9 – 8,5	-	<0,5
$\text{NO}_2^-$ (mg/L)	0,1	-	1
$\text{PO}_4^{3-}$ ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	0,00438	-	<2 mg/l
$\text{NO}_3^-$ (mg/L)	3,7 – 5,6	-	<1
$\text{DBO}_5$ (mg/L)	23 – 49	35	<30 (15)*
$\text{DCO}$ (mg/L)	36.6 – 60,3	120- 130	<90 (50)*
$\text{Fe}^{+2}$ (mg/L)	0,019	3	5
$\text{Mn}^{+2}$ (mg/L)	0,008	1	0,2
$\text{Cu}^{+2}$ (mg/L)	0,083	0,5	0,2
$\text{Zn}^{+2}$ (mg/L)	0,005	3	2
* Normes Européennes de réutilisation CEE N A : Norme Algérienne de rejet N I : Norme internationale de réutilisation FAO			

L'examen de l'ensemble de ces résultats permet de distinguer les faits suivants :

- ✓ Le pH est généralement neutre à alcalin
- ✓ Au cours du suivi mensuel, les valeurs de la conductivité électrique enregistrées oscillent entre 1478 et 1720  $\mu\text{s. cm}^{-1}$ , ce qui traduit par un taux de salinité élevé.

Il faut noter que les traitements physiques ou biologiques n'ont qu'une faible incidence sur ce paramètre et que sa valeur varie peu entre l'eau brute et l'eau traitée (Rejsek, 2002).

La réglementation sur les rejets des stations d'épuration ne prévoit pas de limite sur ce paramètre.

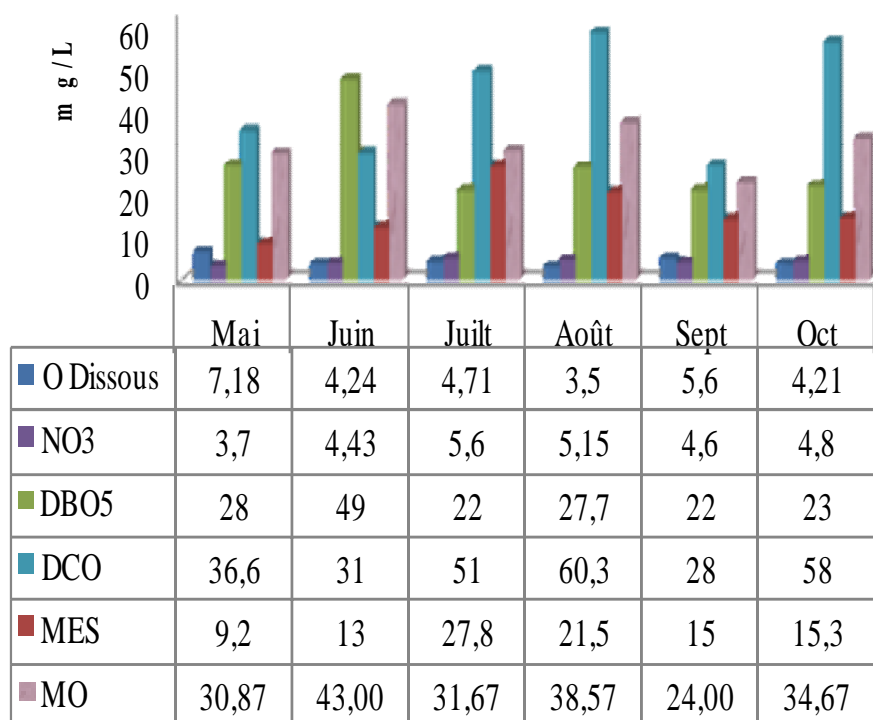
- ✓ Les teneurs en ETM (Fe, Mn, Cu, et Zn) sont faibles et ne dépassent pas les normes
- ✓ Pour ce qui est en relation avec la charge polluante organique, la DCO et les MES indiquent généralement des valeurs faibles, quant aux DBO<sub>5</sub> qui enregistre des valeurs élevées.
- ✓ Le rapport DCO/DBO<sub>5</sub> indique la biodégradabilité des eaux usées et prouve l'altération chimique des eaux (Chofqi et al., 2004). Il est inférieur à 3, ce qui montre que les eaux traitées sont d'origine domestique et la contribution des activités industrielles à l'évolution de la DBO<sub>5</sub> et la DCO est faible.

### 1.1. Suivi temporel des eaux usées traitées

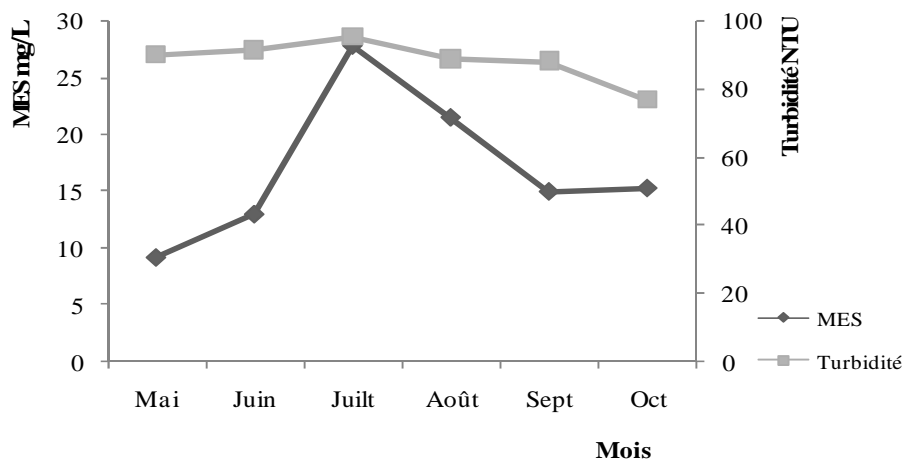
Les valeurs de la température des rejets traités varient entre 12,3°C au mois de Mai et 21,6°C au mois du Juillet. Cette variation est conditionnée essentiellement par la température de l'air ce qui traduit la divergence des températures de l'eau entre les périodes chaudes et froides.

Les valeurs prises de la T° des EUT se situent dans une gamme favorable à l'activité microbienne (< 30 °C). Ceci favorise le traitement biologique et l'autoépuration des eaux usées ainsi que le développement de la végétation (Tamrabet, 2011).

Le pH des EUT varie de 7,6 à 8,31, ce qui donne à l'eau un caractère légèrement basique



**Figure IV.1. :** Variation temporelle des teneurs en éléments indicateurs de pollution dan les EUT



**Figure IV.2 :** Variation des matières particulaires dans les EUT (Mai- Oct 2011)

La turbidité d'une eau est due à la présence des MES finement divisées : argiles, limons, grains de silice, matières organiques etc. La courbe de variation saisonnière montre un pic de turbidité au mois du Juillet.

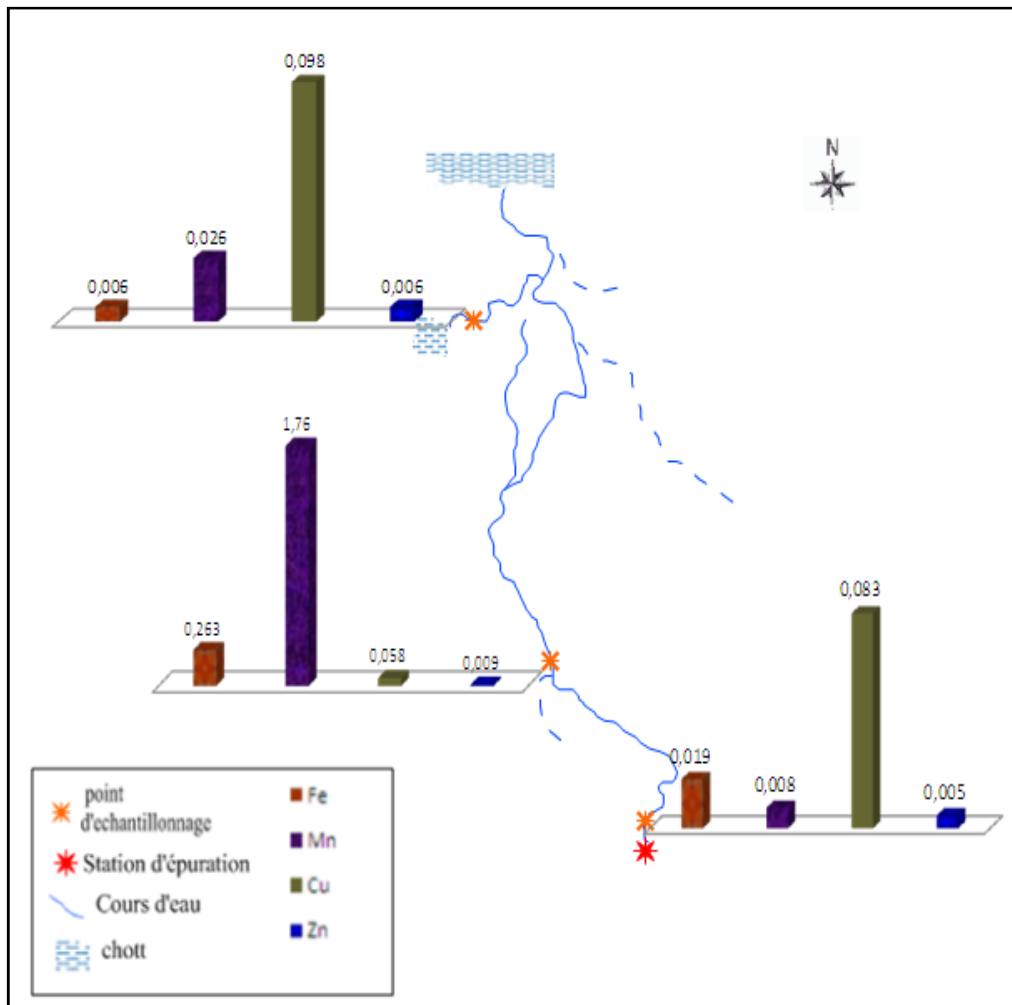
## 1.2. Qualité des eaux superficielles



**Figure IV.3 :** Variation spatiale de la qualité des EUT le long d'Oued

La variation spatiale des valeurs moyennes des MES est influencée par le rapprochement au point de rejet, de la texture du lit de l'oued et de la configuration de son parcours.

On constate un abaissement de la DBO<sub>5</sub> lorsqu'on s'éloigne de la STEP grâce au pouvoir autoépurateur d'Oued, mais elle augmente à nouveau à l'aval ; ceci est dû suite au rejet domestique de la ville de Baghai. Les valeurs de la CE qui atteignent 1843  $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$  au niveau du point de rejet, s'amenuisent le long de parcours de cours d'eau mais elles enregistrent son maximum au niveau de Chott.



**Figure IV.4 :** Teneurs en ETM (mg.L<sup>-1</sup>) dans les échantillons d'eau superficielles

Les trois stations de prélèvement enregistrent des teneurs faibles en Fe, Cu et Zn, qui ne dépassent pas les normes de réutilisation. La S2 connaît une valeur de Mn qui dépasse les normes

Les métaux lourds s'éliminent facilement par les traitements physiques (décantation) et sont récupérés dans les boues. De ce fait, il semble que la concentration de la majorité des métaux lourds dans les eaux usées épurées domestiques est trop faible pour poser un réel problème sanitaire (ADEME, 2005).

## 2. Qualité physicochimique des eaux souterraines

La migration de polluants chimiques est un problème complexe qui dépend à la fois des propriétés du polluant et du contexte géologique et hydrogéologique. L'eau qui s'infiltré dans le sous-sol est le vecteur de transfert d'éléments chimiques vers les eaux souterraines.

Les polluants déversés à la surface du sol peuvent subir des modifications importantes avant d'atteindre la nappe souterraine et lorsqu'ils se propagent dans cette dernière.

L'atténuation naturelle du polluant dépendra de sa susceptibilité à être dégradé dans le milieu où il se trouve. Différentes conditions chimiques et bactériologiques conditionnent cette atténuation : milieu oxydant ou réducteur, acidité, toxicité, acclimatation, etc

Certaines substances inorganiques comme les chlorures et les nitrates peuvent parcourir de grandes distances et contaminer de vastes superficies : on dit qu'elles sont mobiles et persistantes (Bussard, 2005)

Les résultats d'analyses obtenues sont comparés aux normes de l'OMS et les normes algériennes pour les eaux potables.

### 2.1. Variation des paramètres physicochimiques

Las analyses physicochimiques des eaux ont montré des variations spatiales de concentration des éléments chimiques majeurs.

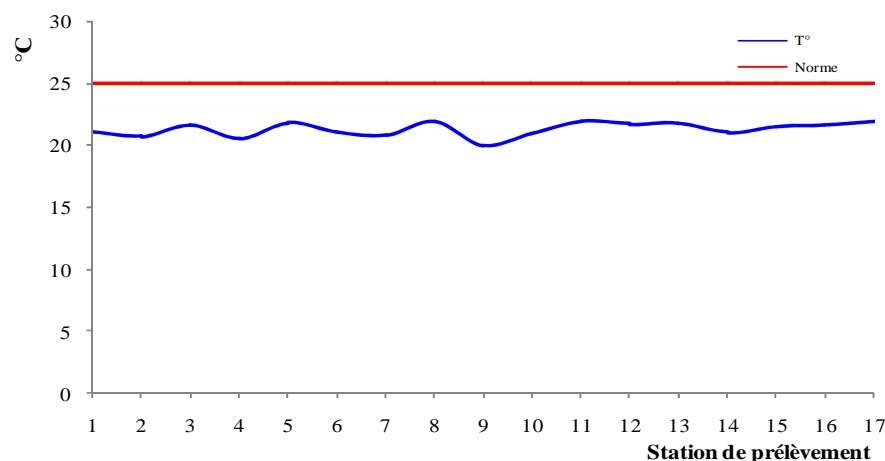
**Tableau IV.2 :** Variation des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines

Paramètres	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Normes OMS	Normes Algériennes
T (°C)	20,00	21,90	21,27	0,58	25	25
pH	6,96	7,83	7,35	0,27	6,5-9,5	6,5-9
CE 25°C $\mu\text{s.cm}^{-1}$	780,00	3270,00	2130,29	752,81	2500	2800
O D (mg.L <sup>-1</sup> )	2,02	6,61	3,95	1,33	-	-
Ca <sup>+2</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	62,500	235,75	154,07	60,40	100	200
Mg <sup>+2</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	37,850	103,95	80,91	23,45	50	-
K <sup>+</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	0,150	20,3	2,49	4,972	12	12
Na <sup>+</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	20,100	95,00	54,86	22,28	150	200
Cl <sup>-</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	71,00	482,80	320,10	119,74	250	500
HCO <sub>3</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	48,84	357,12	211,29	68,62	250	500
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	34,760	356,55	194,29	105,72	250	400

## 2.2. Les paramètres physiques

### 2.2.1. La Température ( $T^{\circ}\text{C}$ )

Elle joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et de l'évaporation des eaux, c'est le véritable moteur de cycle de l'eau. Elle varie en fonction de la température extérieure de l'air, de saisons, de la nature géologique et de la profondeur de niveau de nappe par rapport à la surface du sol



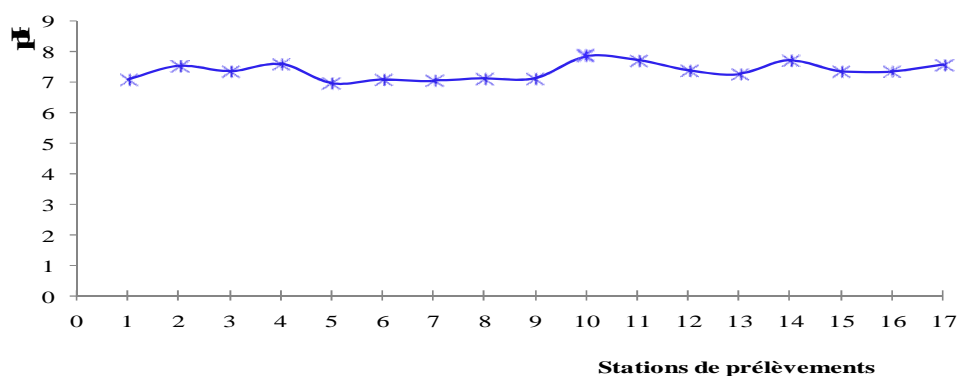
**Figure IV.5 :** La température ( $^{\circ}\text{C}$ ) dans les différents échantillons (juin 2011)

Les valeurs de la  $T^{\circ}$  sont inférieures à la valeur maximale admissible  $25^{\circ}\text{C}$  fixée par l'OMS. Les valeurs enregistrées à la période de prélèvement (estivale) sont comprises entre  $20^{\circ}\text{C}$  et  $21.9^{\circ}\text{C}$

Globalement, la  $T^{\circ}$  moyenne de l'eau suit celle de l'air qui dépend du climat régional de type semi aride.

### 2.2.2. Le potentiel hydrogène

Le pH est un facteur d'investigation de l'acidité ou de l'alcalinité d'une eau. Le pH des eaux testées est voisin de la neutralité, compris entre 6.96 et 7.83, ceci indique que les valeurs varient peu et sont proches des valeurs naturelles.

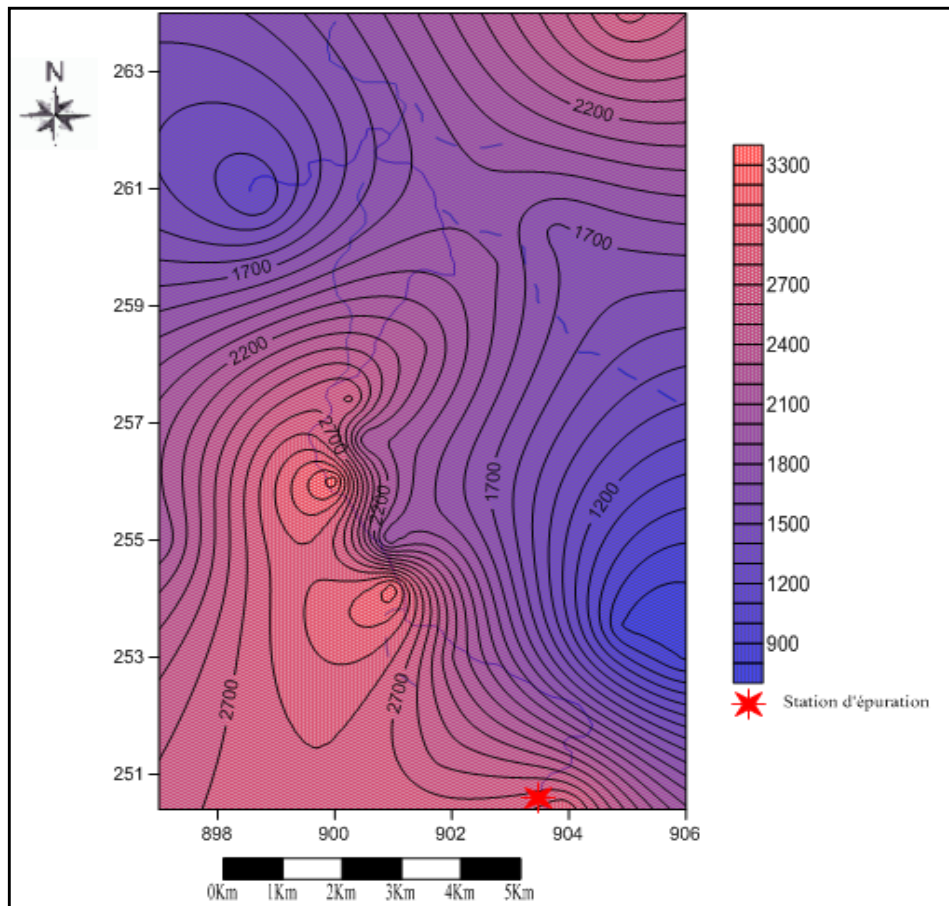


**Figure IV.6 :** Teneurs en pH dans les différents échantillons (juin 2011)

### 2.2.3. La conductivité électrique

Elle est liée à la présence des espèces ioniques en solution et la température où chaque ion agit par sa concentration et sa conductivité spécifique (El Morhit et *al.*, 2008).

La conductivité électrique traduit la minéralisation d'une eau et par conséquent, renseigne sur la salinité et permet d'apprécier sa qualité. En effet, les sels dissouts sont ionisés et contribuent à la minéralisation des eaux (Bermond et Perrodon, 1979).



**Figure IV.7 :** La conductivité électrique dans les différents échantillons (juin 2011)

Les valeurs de la conductivité électrique présentent de grandes variations d'une station de prélèvements à une autre. On note que les plus grandes valeurs ont été observées en P1 et P2, puits et forage les plus proches de la STEP, P4 et P8 ; point d'eau les plus proches de l'Oued, alors que les valeurs les plus faibles ont été enregistrées au niveau de P5 et P6, points les plus loin de l'Oued et de la STEP (choisis comme témoin).

**Tableau IV.3** : Classification des eaux souterraines en fonction de la conductivité

Conductivité ( $\mu\text{s.cm}^{-1}$ ) à 25°C	Degré de minéralisation	Pourcentage des points d'eau (%)
< 45	Très faible	00
450 - 750	Faible	00
750 - 1500	Moyen	18
1500 - 2300	Moyennement élevé	35
2300 - 3000	Elevé	35
> 3000	Très élevé	12

Les résultats montrent que les valeurs de la CE enregistrées correspondent à une minéralisation importante pour les eaux puisque celles-ci dépassent souvent  $1000 \mu\text{s.cm}^{-1}$ .

Chofqi et al. (2004), ont constaté des valeurs de conductivité électrique hautement élevées dans les eaux des puits qui se trouvent à proximité d'une décharge ainsi que dans le sens d'écoulement des lixiviats.

#### 2.2.4. L'oxygène dissous

L'oxygène est toujours présent dans l'eau, sa solubilité dépend de la température et de la salinité. La teneur en dioxygène dissous dans l'eau est fonction de l'origine de l'eau.

Les eaux superficielles peuvent en contenir des quantités relativement importantes proches de la saturation, par contre les eaux profondes contiennent que quelques milligrammes par litre (Rodier, 1996, 2009 ; Detay, 1997). L'OMS recommande que les niveaux d'oxygène dissous soient maintenus aussi près que possible de la saturation (pas de valeur guide).

Les valeurs de dioxygène dissous enregistrées dans les différents points de prélèvement sont relativement faibles et ne dépassent guère  $7 \text{ mg.L}^{-1}$ .

Il est constaté que les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans les eaux de sources par contre les eaux des forages artésiens enregistrent les taux d'oxygénation les plus faibles.

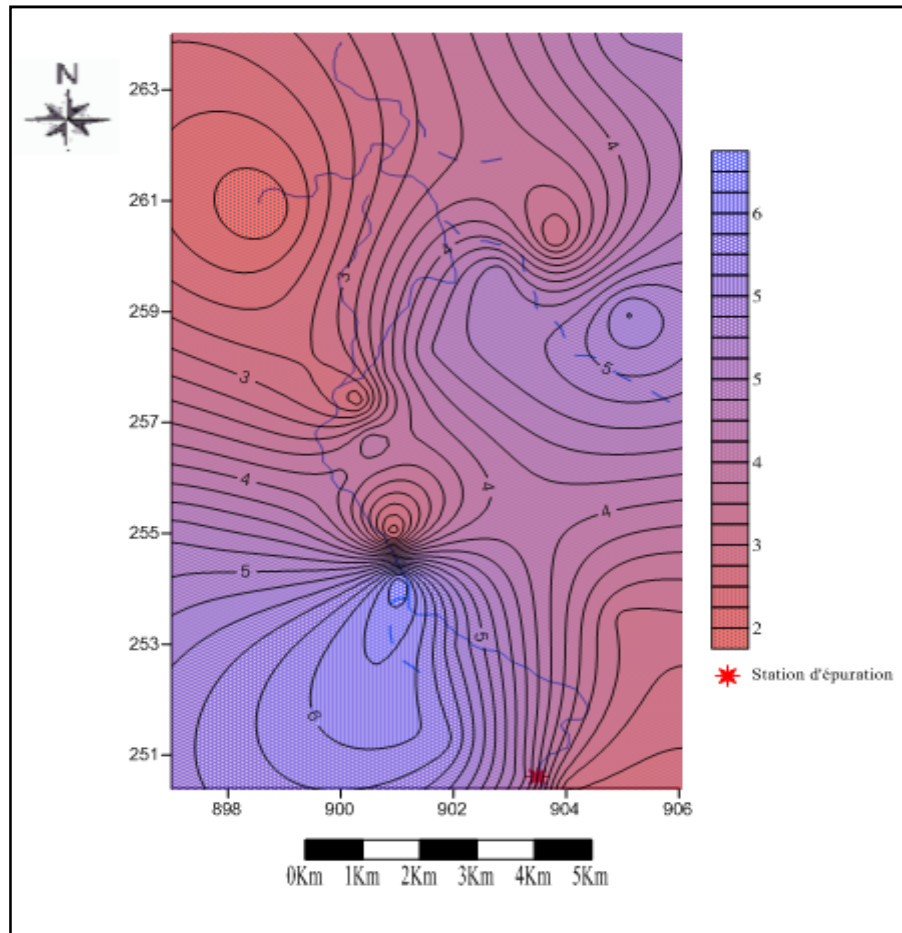


Figure IV.8 : Teneur en oxygène dissous (juin 2011).

Le suivi spatial de l'oxygène dissous, au niveau de tous les points de mesure, a montré que la moyenne de variation de leurs concentrations est de  $3,95 \text{ mg.l}^{-1}$ .

### 2.3. Les éléments majeurs

#### 2.3.1. Les Cations

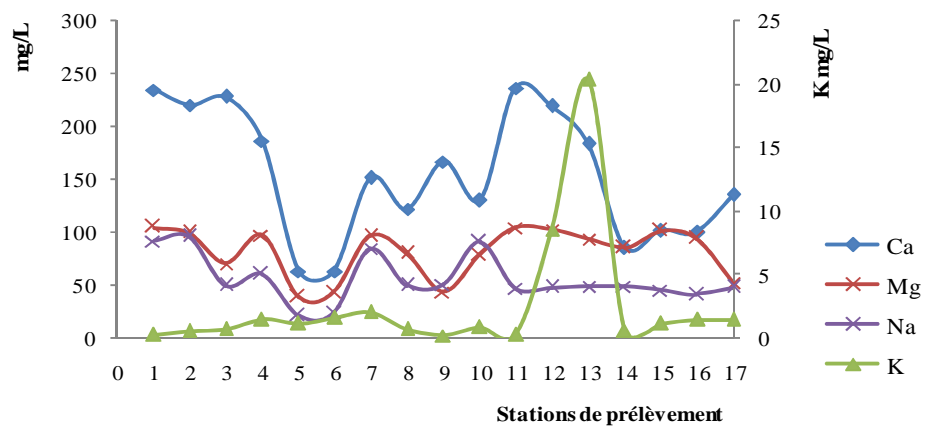


Figure IV.9 : Teneurs des eaux testées en cations majeurs ( $\text{mg.L}^{-1}$ )

➤ **Le calcium**

Le calcium est l'un des alcalino-terreux qui soit associés à la dureté de l'eau potable. La concentration du calcium dans l'eau dépend du temps de séjour de l'eau dans des formations géologiques riches en calcium.

On constate que, la plupart des échantillons (76,47 %) présentent des teneurs en calcium supérieures à la norme de potabilité. Les valeurs les plus élevées sont observées en amont près de rejet de la STEP P1 et P2 et après le rejet domestique de Baghai P11, alors que les valeurs les plus faibles sont enregistrées en P5 et P6.

➤ **Le Magnésium**

82,35% des eaux testées enregistrent des valeurs qui dépassent la valeur admissible en Magnésium ( $50 \text{ mg.L}^{-1}$ )

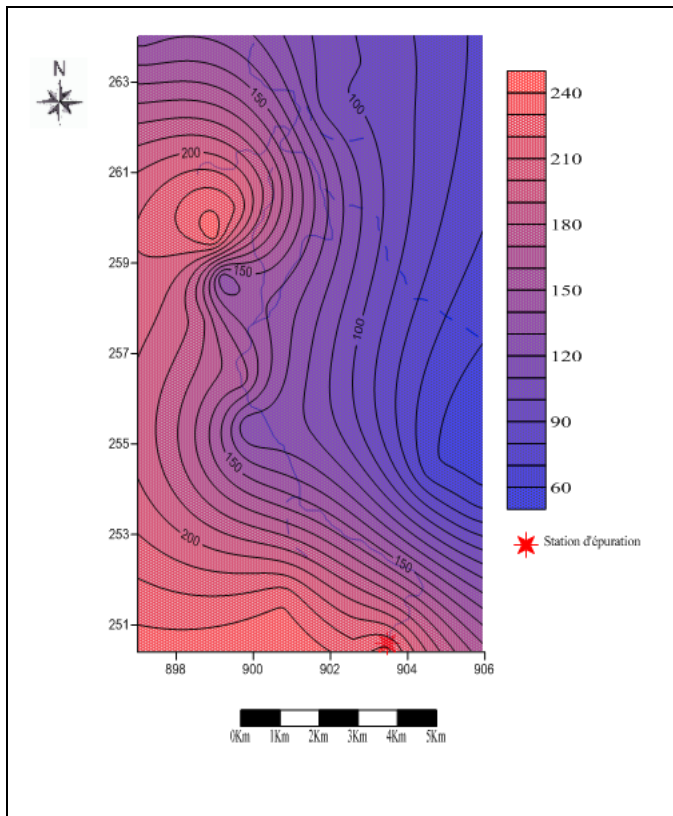
➤ **Le potassium**

La présence de Potassium dans les eaux souterraines peut être liée au déversement des eaux usées domestiques. Le potassium résulte aussi de l'altération des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK). Il est rarement présent dans l'eau à des teneurs supérieures à  $20 \text{ mg/l}$ .

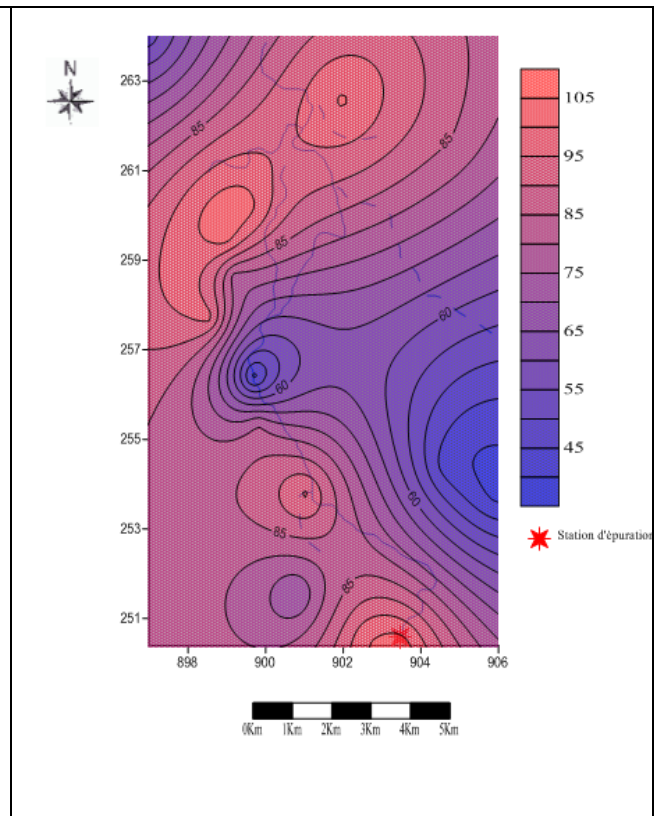
Les teneurs en potassium sont importantes en aval dans le sens d'écoulement de la nappe où on trouve des valeurs supérieures aux normes ( $12 \text{ mg.L}^{-1}$ ).

➤ **Le Sodium**

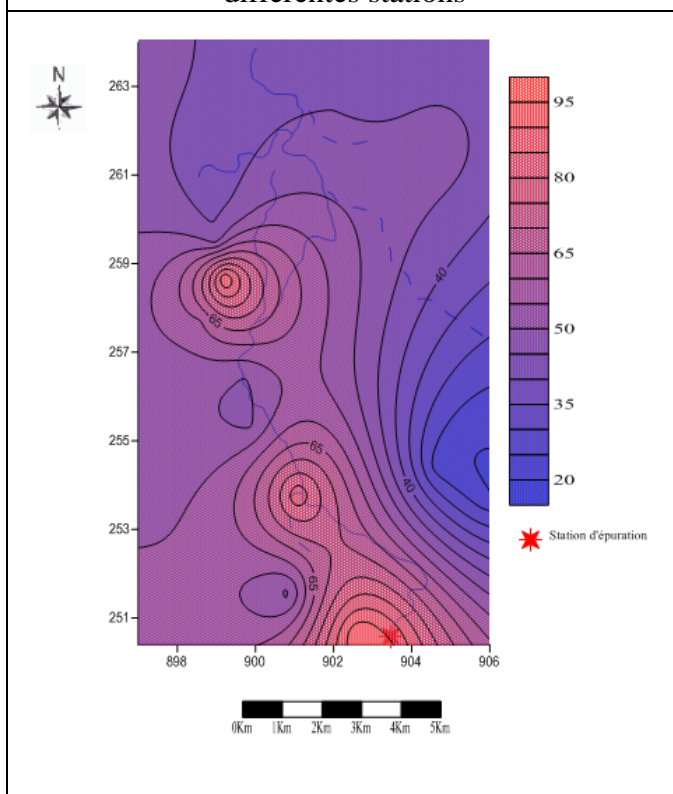
Les concentrations en sodium des eaux de la région d'étude varient entre  $20,1 \text{ mg.L}^{-1}$  et  $95 \text{ mg.L}^{-1}$ . La carte de répartition du sodium (Figure IV.12) montre une augmentation des concentrations à proximité d'Oued de l'amont à l'aval.



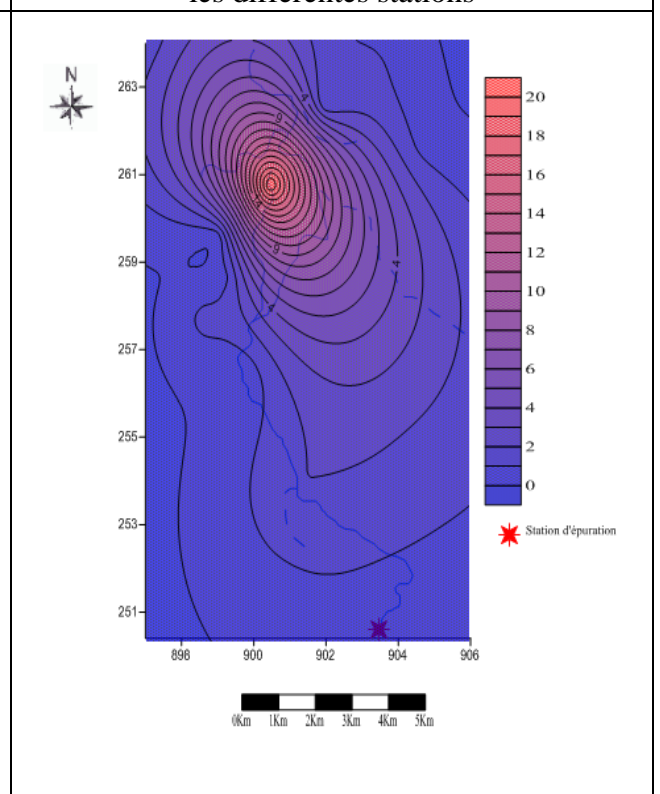
**Figure IV.10 :** Teneurs en  $\text{Ca}^{+2}$  ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) dans les différentes stations



**Figure IV.11 :** Teneurs en  $\text{Mg}^{+2}$  ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) dans les différentes stations



**Figure IV.12:** Teneurs en  $\text{Na}^{+}$  ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) dans les différentes stations



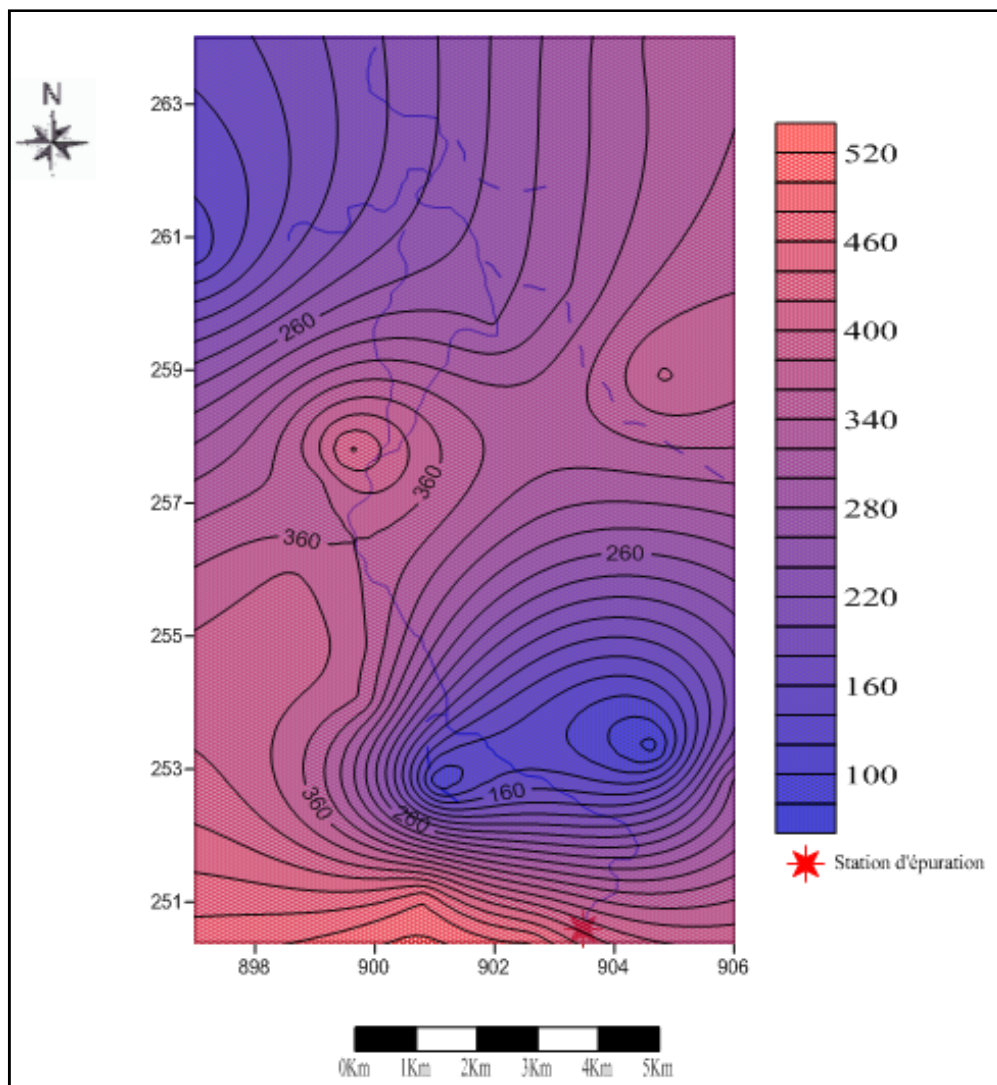
**Figure IV.13:** Teneurs en  $\text{K}^{+}$  ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) dans les différentes stations

### 2.3.2. Les anions

#### 2.3.2.1. Les chlorures

L'ion chlorure possède des caractéristiques différentes de celles des autres éléments, il n'est pas adsorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques et reste très mobile. Il constitue un bon indicateur de la pollution.

Il est considéré comme un traceur stable et l'élément chimique le plus conservatif des évaporites dans les environnements naturels, très soluble, entrant rarement dans les précipitations salines insolubles, n'intervenant pas aux réactions d'oxydoréduction et il est peu influencé par l'intervention des bactéries. (Fetter, 1993 ; Bussard, 2005 ; Nezli et al., 2007).



**Figure IV.14 :** Teneurs en chlorure  $\text{Cl}^-$  ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) dans les différentes stations (juin 2011).

Les valeurs obtenues, varient entre  $482.8 \text{ mg.L}^{-1}$  (près de la STEP) et  $71 \text{ mg.L}^{-1}$  (point d'eau considéré le plus loin et le plus profond), dépassent. On signale que 82,35 % des prélèvements dépassent la norme de potabilité de l'OMS fixée à  $250 \text{ mg.L}^{-1}$ .

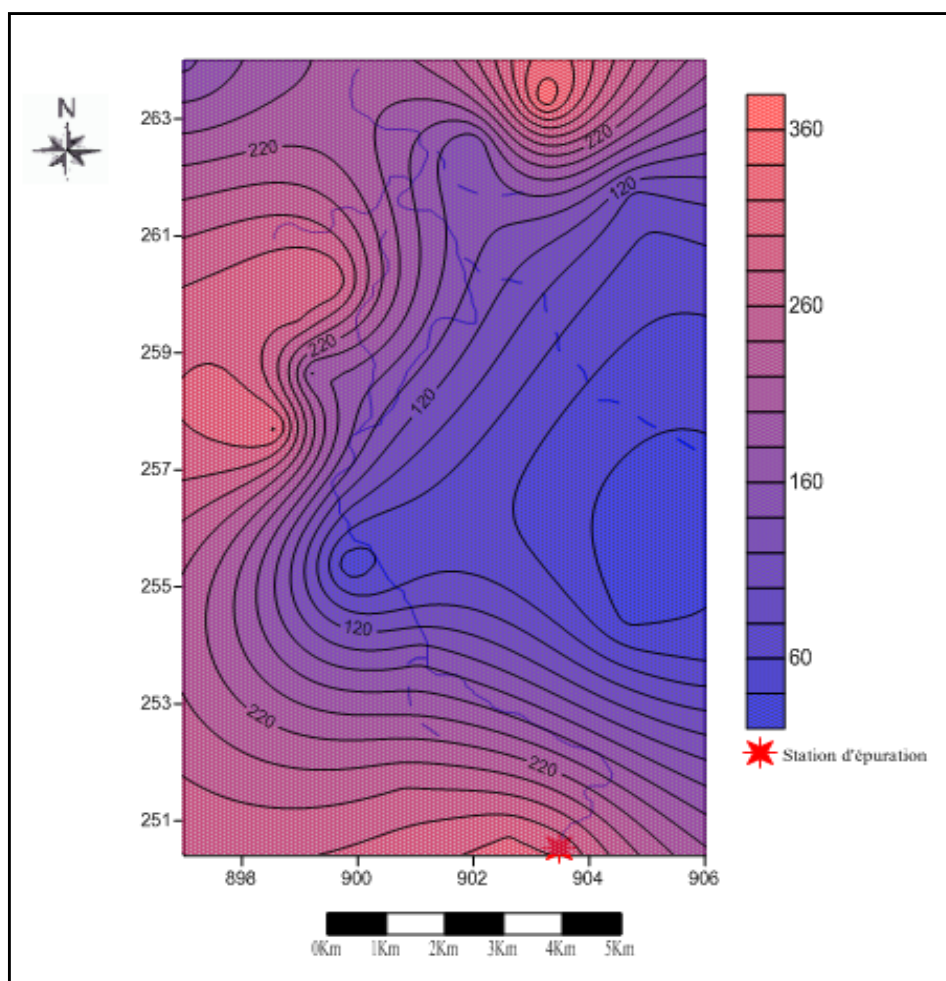
Les chlorures peuvent avoir multiple origines ; soit par contamination par les eaux usées, soit par la dissolution des sels par lessivage des terrains salifères surtout du Trias.

Des activités anthropiques telles que le salage routier, l'utilisation d'engrais de ferme ou l'infiltration d'eaux usées augmenteront cette concentration (Bussard, 2005).

La forte teneur en chlorure due par la contamination induite par le rejet contribue de manière significative à cette situation. Les résultats suggèrent que l'origine des chlorures est probablement l'échange Oued – nappe.

Une concentration élevée de Cl peut provoquer l'eczéma et l'érythème.

### 2.3.2.2. Les sulfates



**Figure IV.15 :** Teneurs en Sulfates  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) dans les différentes stations

Les sulfates auraient pour origine la pollution par les rejets déversés. D'après la carte de répartition de cet élément (Fig. IV.15), les valeurs les plus élevées ( $>220 \text{ mg.L}^{-1}$ ) se situent en amont près de la STEP, et en aval à l'Ouest de la zone ; par contre les moins élevées sont localisées à l'Est. Cette augmentation est probablement en liaison avec les EUT contenant de l'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) qui proviennent de la ville de Khenchela et le lessivage des engrais utilisés pour l'agriculture.

#### 2.4. Les éléments indicateurs de la pollution

**Tableau IV.4 :** Variation des éléments indicateurs de la pollution dans les différentes stations

Paramètres	Min	Max	Moy	Ecartype	N OMS	N A
MES ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	1,00	10,00	3,24	2,91	-	-
Turbidité (NTU)	4,59	91,98	27,47	21,45	5	5
$\text{NH}_4^+$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	0,32	1,26	0,73	0,21	0,5	0,5
$\text{NO}_3^-$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	0,10	22,10	8,01	5,60	50	50
$\text{PO}_4^{-3}$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	0	0,0003	0,000042	0,000087	-	-
$\text{Fe}^{+2}$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	0,000	0,078	0,029	0,027	0,3	0,3
$\text{Mn}^{+2}$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	0,001	0,556	0,087	0,152	0,05	0,05
$\text{Cu}^{+2}$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	0,030	0,092	0,069	0,017	2	2
$\text{Zn}^{+2}$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	0,001	0,085	0,014	0,023	3	5

##### 2.4.1. Les nitrates

Le nitrate représente la forme stable de l'azote dissout qui migre avec les eaux sans subir de transformation (Bussard, 2005). Non limité par des contraintes de solubilité, il est relativement inerte vis-à-vis des phénomènes de complexations ou d'adsorption (Maître et al., 2000). La dispersion des nitrates dans les aquifères est très rapide (Daesslé et al., 2009).

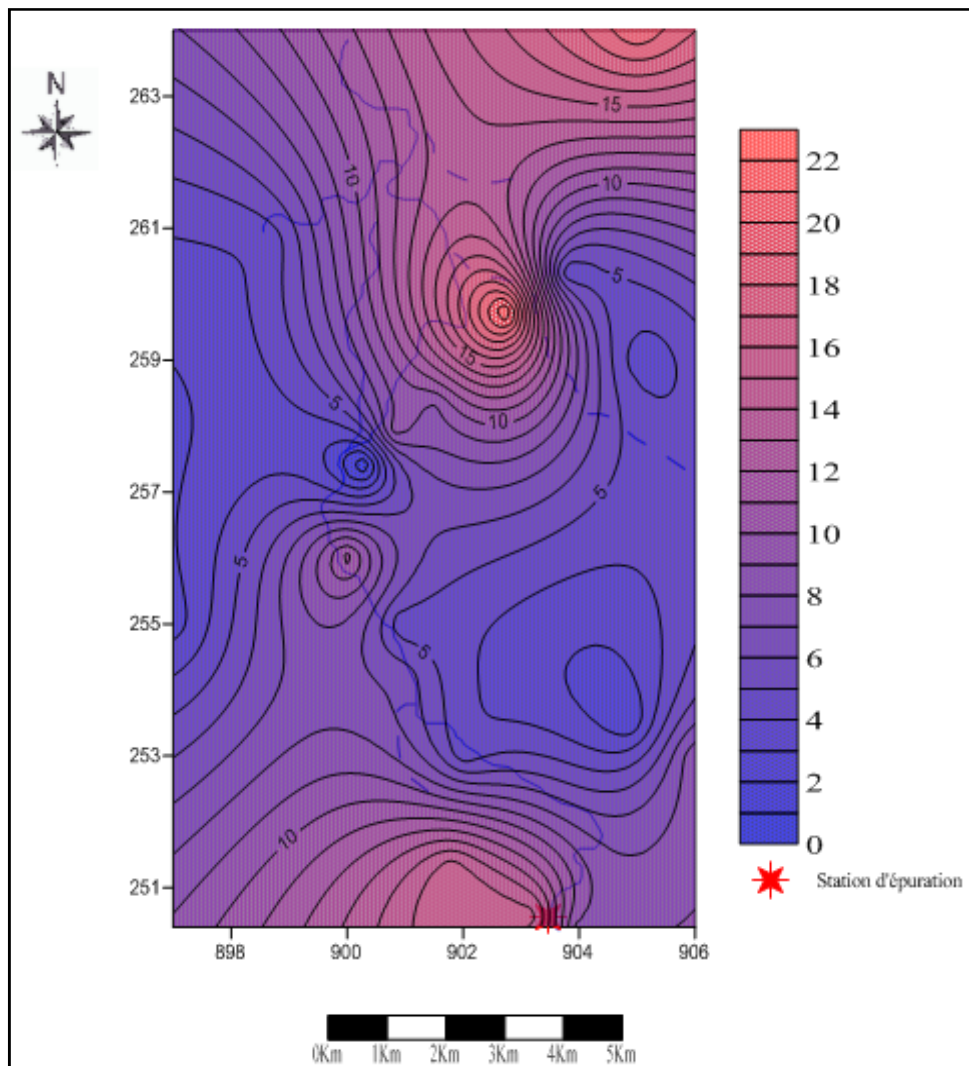
En l'absence de contamination anthropique la teneur en nitrates des eaux souterraines est de l'ordre de  $0,1$  à  $1 \text{ mg.L}^{-1}$

Les nitrates peuvent être issus d'une pollution d'origine agricole ou domestique. Ils sont dangereux pour la santé des nourrissons et des femmes enceintes (méthémoglobinémie ou maladie bleue). Des risques potentiels de cancérogénicité seraient aussi associés à l'ingestion de nitrates.

De nombreuses études ont recherché d'éventuelles corrélations entre le taux de nitrates dans l'eau de boisson et la survenue du cancer digestif.

La concentration limite dans les eaux destinées à la consommation humaine est de 50 mg/l (seuil établi afin d'éviter le phénomène de méthémoglobinémie). La concentration de 25 mg/l représente une valeur guide qu'il faut s'efforcer de ne pas dépasser.

Le risque de la pollution des ressources hydriques par les nitrates s'accroît d'avantage dans une zone caractérisée par l'absence de couvert protecteur entraînant, par conséquent, un contact direct entre les formations du réservoir et les polluants (Baali *et al.*, 2007).



**Figure IV.16 :** Teneurs en nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) dans les différentes stations de prélèvement.

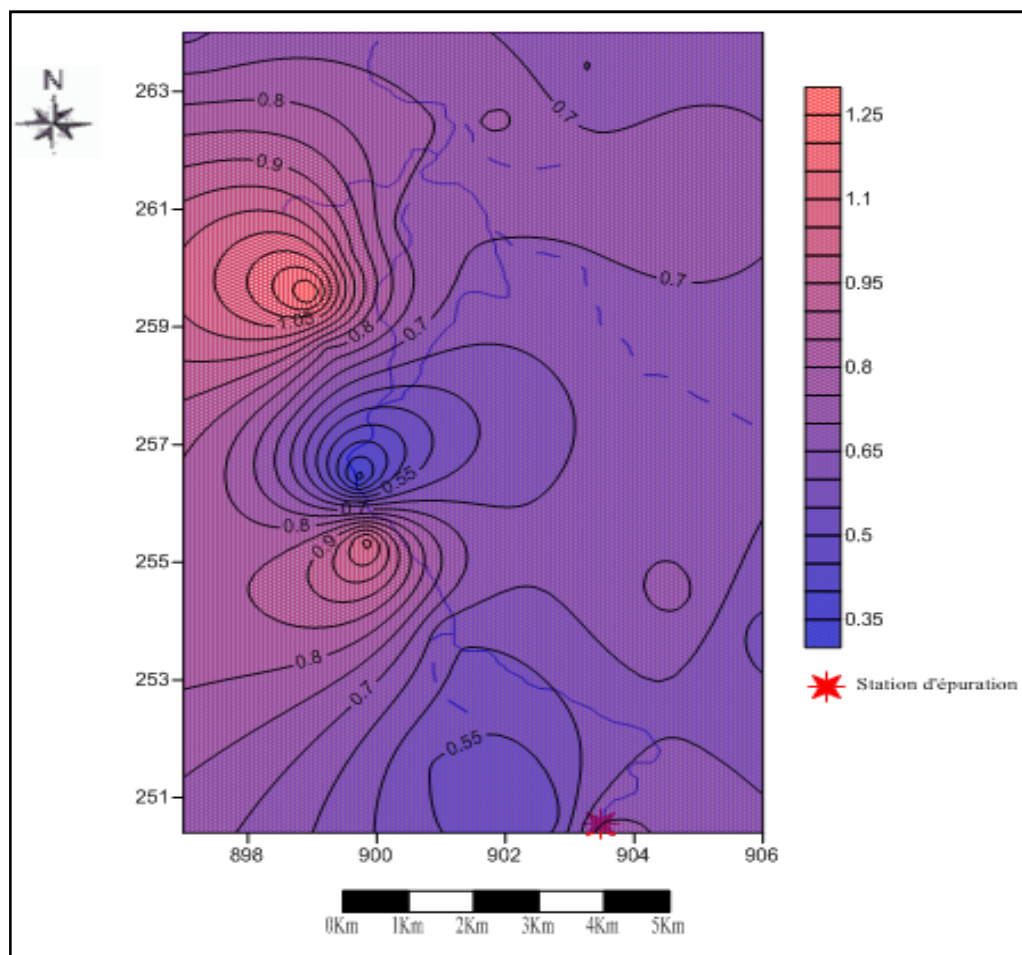
Les teneurs en nitrates varient de  $0.1 \text{ mg.L}^{-1}$  et  $22 \text{ mg.L}^{-1}$ , les plus importantes valeurs sont enregistrées en amont près de la STEP et en aval dans le sens d'écoulement de la nappe.

La différence des teneurs en cet élément est due à la perméabilité du sol, la capacité de recharge (Daesslé *et al.*, 2009)

### 2.4.1.1. Origine des nitrates

La présence des nitrates dans les eaux souterraines est liée aux rejets des eaux usées dans les oueds, à l'utilisation intensive des engrais chimiques et des fumiers.

### 2.4.2. L'ammonium



**Figure IV.17 :** Teneurs en ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dans les différentes stations de prélèvement.

Les teneurs en ammonium sont élevées, elles représentent ainsi un indice de pollution récente (Dussart, 1992 ; Peirce, 1997 cité par Tamrabet, 2011).

La présence de l'ammonium dans l'eau est liée, soit à une réduction des formes azotées (nitrates et nitrites) en conditions réduites, soit aux rejets urbains et la minéralisation de la matière organique (Mattern et al., 2009).

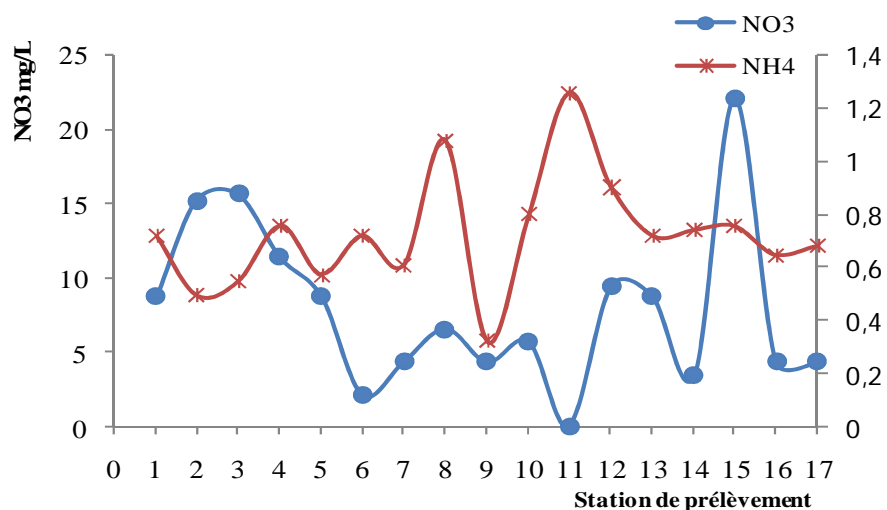
Les eaux profondes peuvent se charger en ammonium par réduction des nitrates sous l'action de bactéries ou celle de sables. Habituellement ces eaux sont pauvres en ammonium.

Le plus souvent, la présence d'ammonium dans les eaux souterraines résulte de rejets animaux ou humains et c'est pourquoi elle est considérée comme un signe de contamination (Rejsek, 2002).

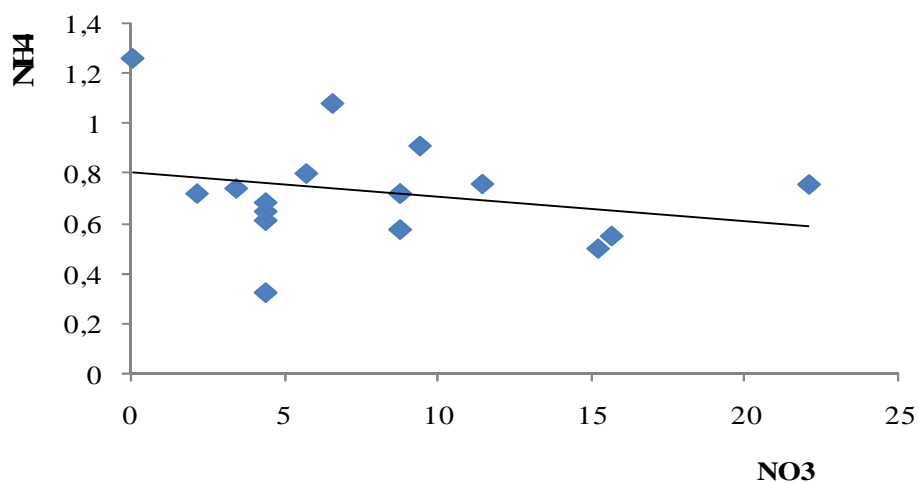
**2.4.3. Relation nitrates-ammonium**

L'ammonium évolue d'une manière inverse par rapport aux nitrates car ces deux ions présentent deux formes opposées de l'azote : L'une oxydée (nitrates) et l'autre réduite Fig. IV.18

Un processus de réduction de nitrates en ammonium a probablement pris place (Tamrabet, 2011).



**Figure IV.18 :** Evolution des nitrates en fonction d'ammonium.



**Figure IV.19 :** Evolution des nitrates en fonction d'ammonium.

#### 2.4.4. Les orthophosphates

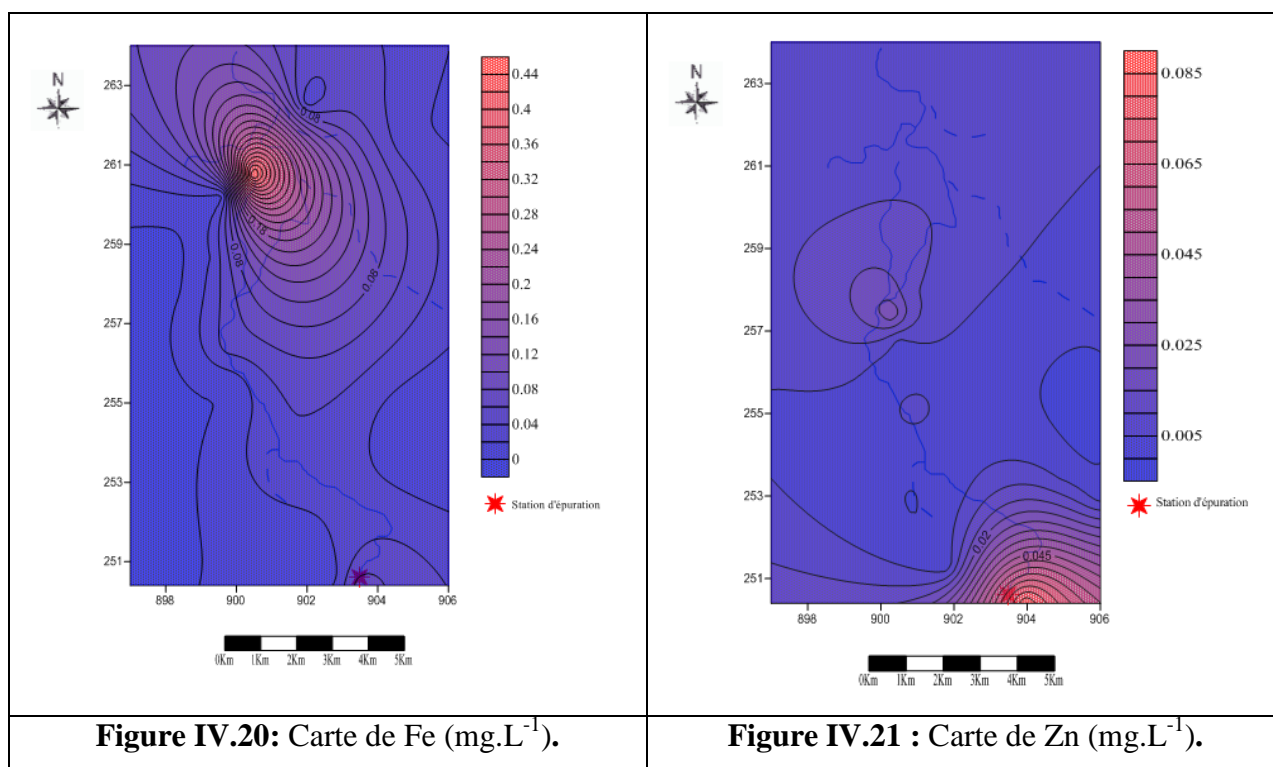
Les teneurs en orthophosphates enregistrées au niveau de différentes stations de prélèvement ne dépassent pas 0.3  $\mu\text{g}/\text{L}$ . Elles sont quasi nulles.

Actuellement, le phosphore ne représente pas encore un problème pour l'eau potable dans la mesure où sa concentration maximale admissible est de 2.2  $\text{mg}/\text{L}$ . par contre il joue un rôle important dans l'eutrophisation des lacs et des réservoirs (Detay, 1997).

#### 2.4.5. Les éléments traces métalliques

Les métaux lourds classiques (Pb, Zn, Cu, Cd,...) sont peu présents dans les aquifères naturels, hormis le cas où ces aquifères sont en contact avec des filons métallifères ou des zones contaminées par ces métaux (Atteia, 2005).

En effet le Cu, le Zn et le Fe sont des éléments métalliques caractéristiques d'une pollution de type urbain (Lauenstein & Dolvin 1992, Bennasser *et al.* 2000 cité par El Morhit *et al.*, 2008).



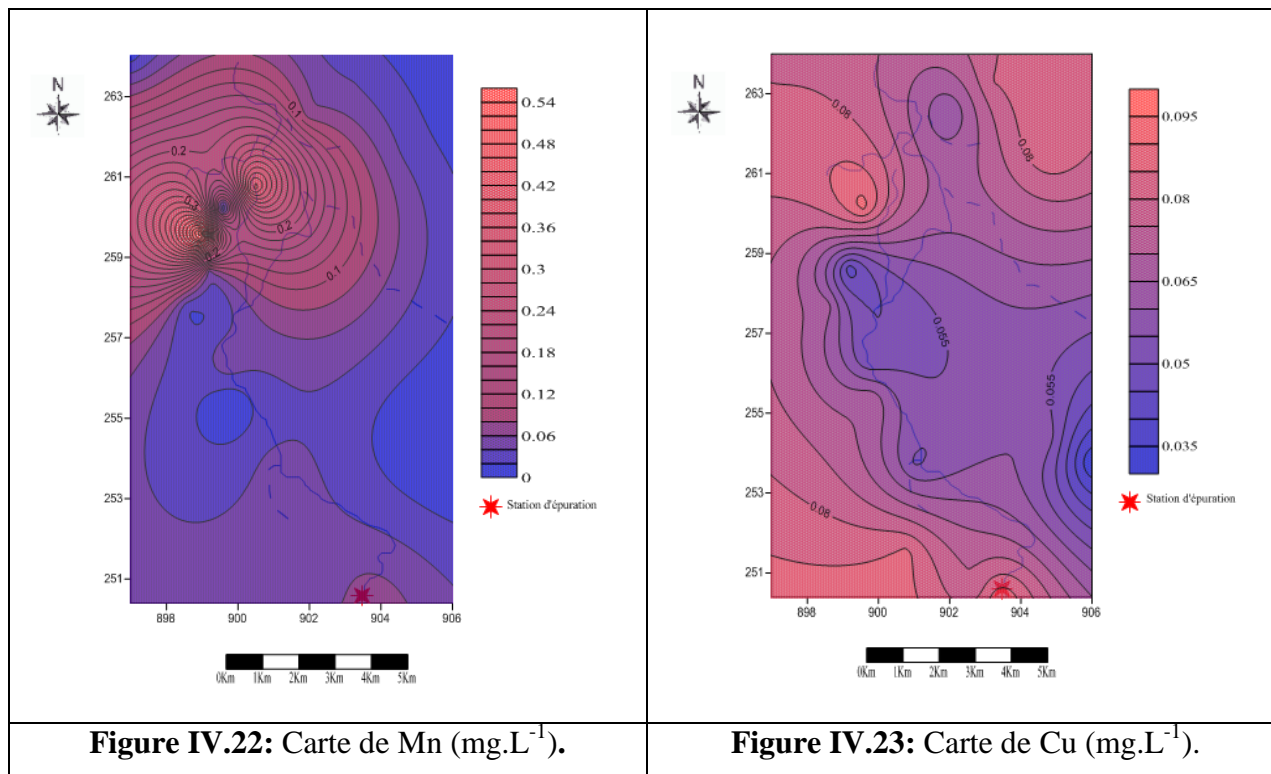


Figure IV.22: Carte de Mn (mg.L<sup>-1</sup>).

Figure IV.23: Carte de Cu (mg.L<sup>-1</sup>).

Il est constaté que, à l'exception de manganèse qui dépasse les normes de potabilité, les teneurs en ETM sont faibles. Les ETM recherchés peuvent être classés dans l'ordre d'importance croissant : Mn>Fe>Cu>Zn.

#### 2.4.6. Les matières particulaires

La turbidité résulte de la dispersion et de l'absorption de la lumière par les particules de matière en suspension (Tamrabet, 2011).

Les résultats montrent une corrélation significative (R= 0,605) entre les MES et la turbidité de l'eau.

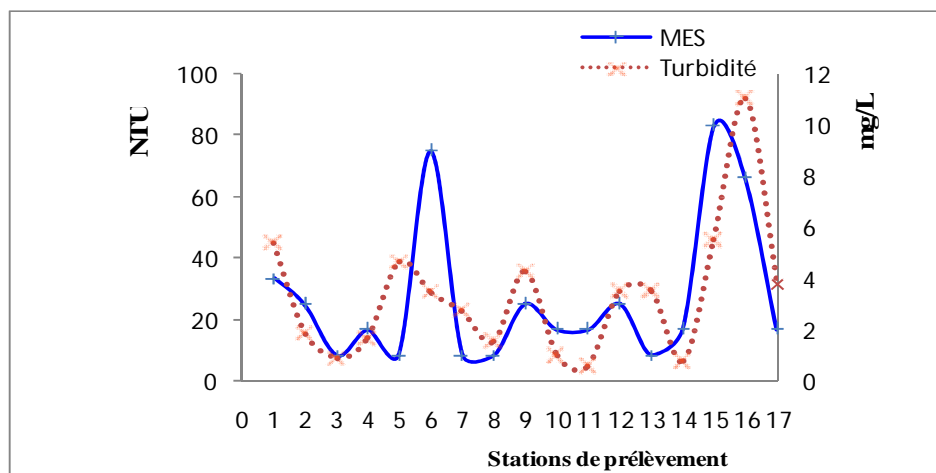


Figure IV.24: Teneurs en MES dans les différentes stations.

### 3. Classification chimique des eaux

Afin de déterminer le faciès chimique des eaux, nous avons placé les concentrations en éléments majeurs des ces eaux sur le diagramme de Piper. Ce diagramme correspond à une représentation losangique basée sur les pourcentages de concentrations en ions majeurs exprimés en  $\text{m}\ddot{\text{e}}\text{q.L}^{-1}$ . Cette représentation consiste à porter le pourcentage de chaque élément sur deux triangles équilatéraux, un pour les anions et l'autre pour les cations. La projection des points représentatifs sur le losange nous permet de déterminer le faciès chimique des eaux.

D'après la figure IV.25, l'allure générale du diagramme de Piper pour les points d'eaux situées à la zone drainée par le rejet montre un faciès chimique **chloruré et sulfaté calcique et magnésien** avec une légère tendance à un faciès **hyper chloruré calcique**, alors que les points d'eau choisis comme témoin montre un faciès chimique **bicarbonaté calcique et magnésien**

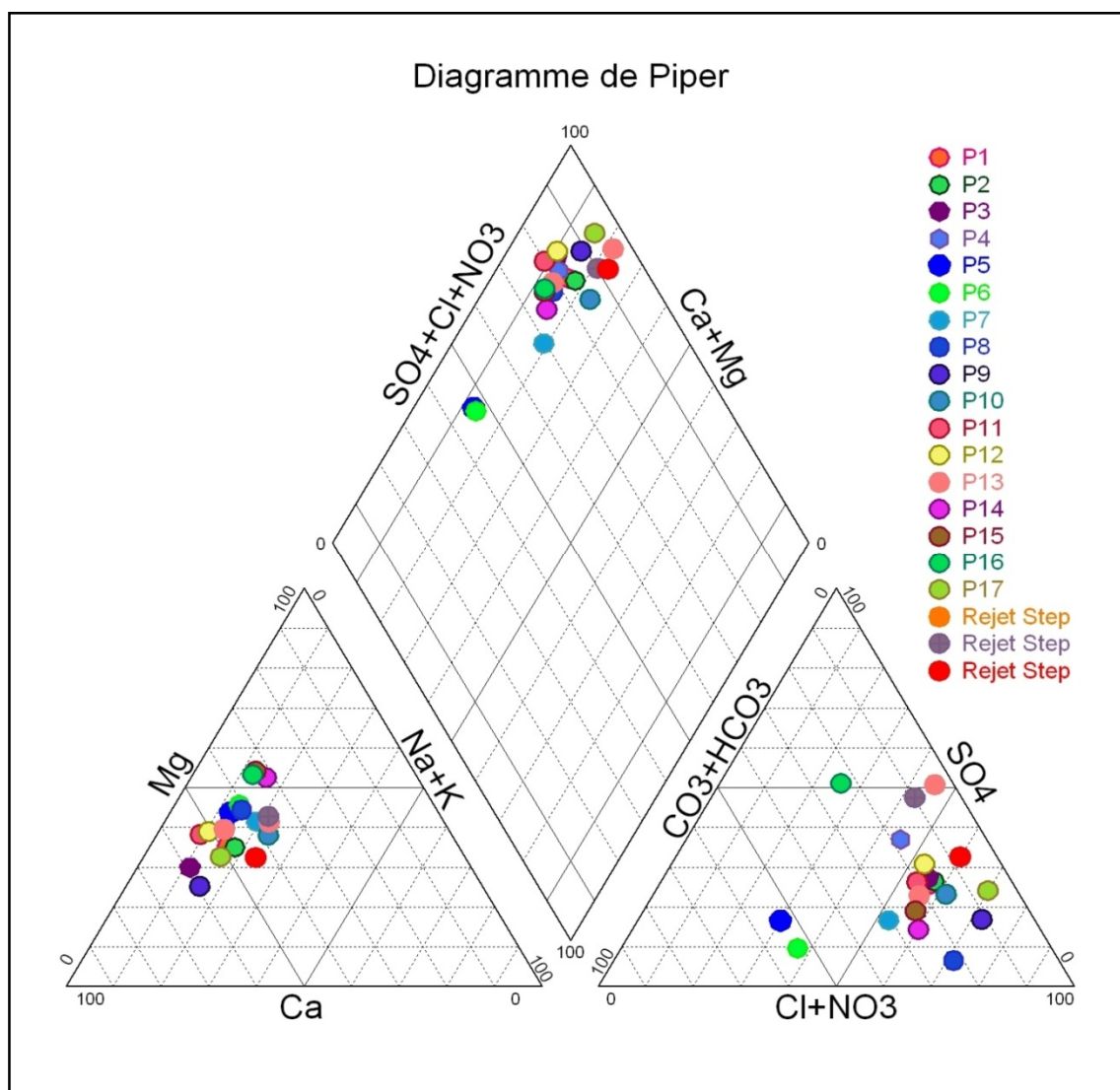


Figure IV.25: Représentation des eaux testées sur le diagramme de Piper.

Pour mettre en évidence la variabilité de la composition chimique des eaux, nous avons représenté les différents éléments chimiques sur le diagramme de Shöeller Berkaloff. Il s'agit d'une représentation graphique à échelle semi-logarithmique sur laquelle la composition en éléments majeurs est reportée. Une eau de composition donnée sera représentée par une ligne brisée. La représentation des eaux sur le diagramme de Shöeller Berkaloff (fig. IV.26) permet de mettre en évidence une certaine hétérogénéité de composition chimique des eaux.

On remarque en particulier des concentrations en nitrates très variables.

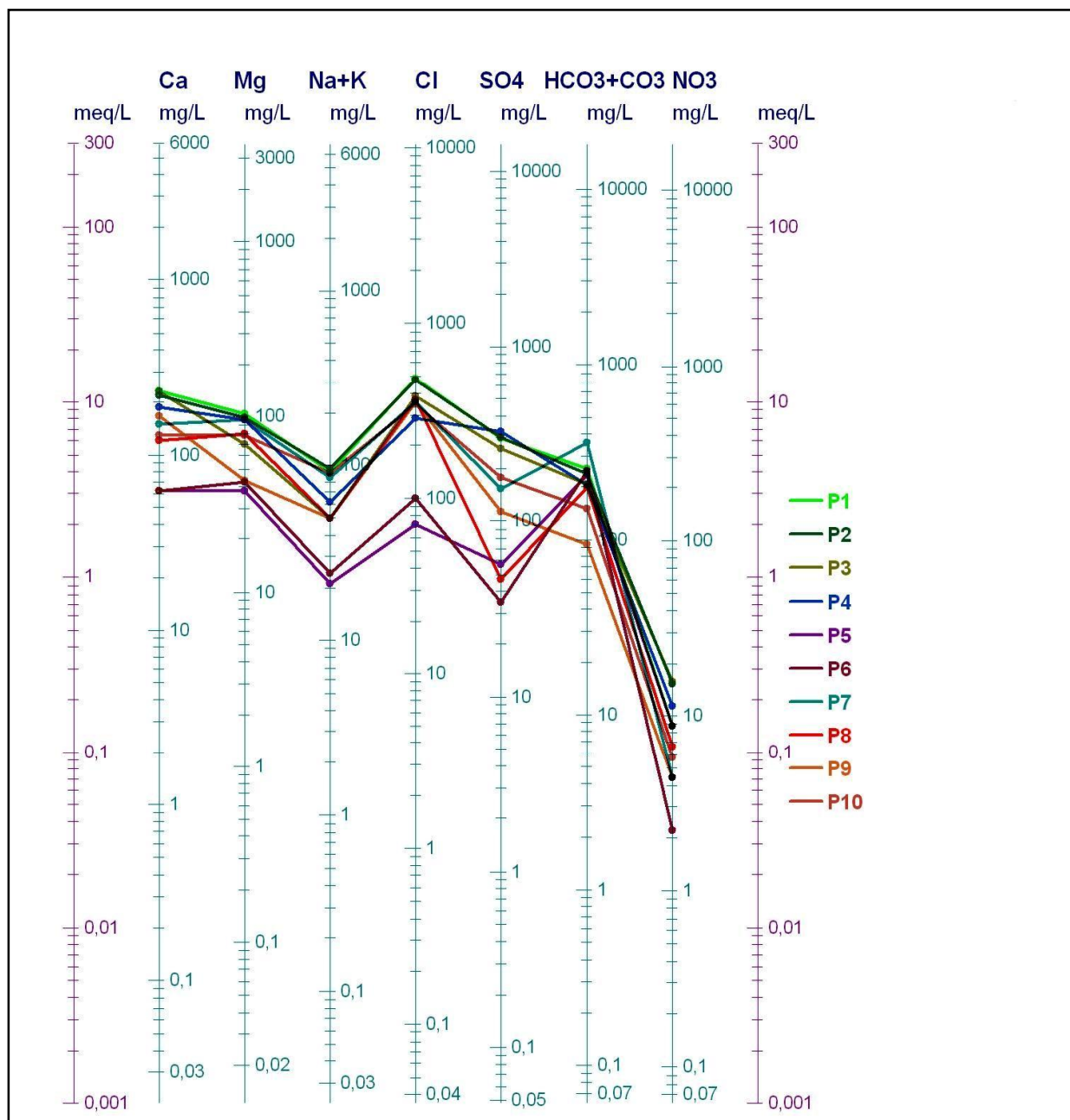


Figure IV.26 : Représentation des eaux testées sur le diagramme de Schoëller-Berkaloff

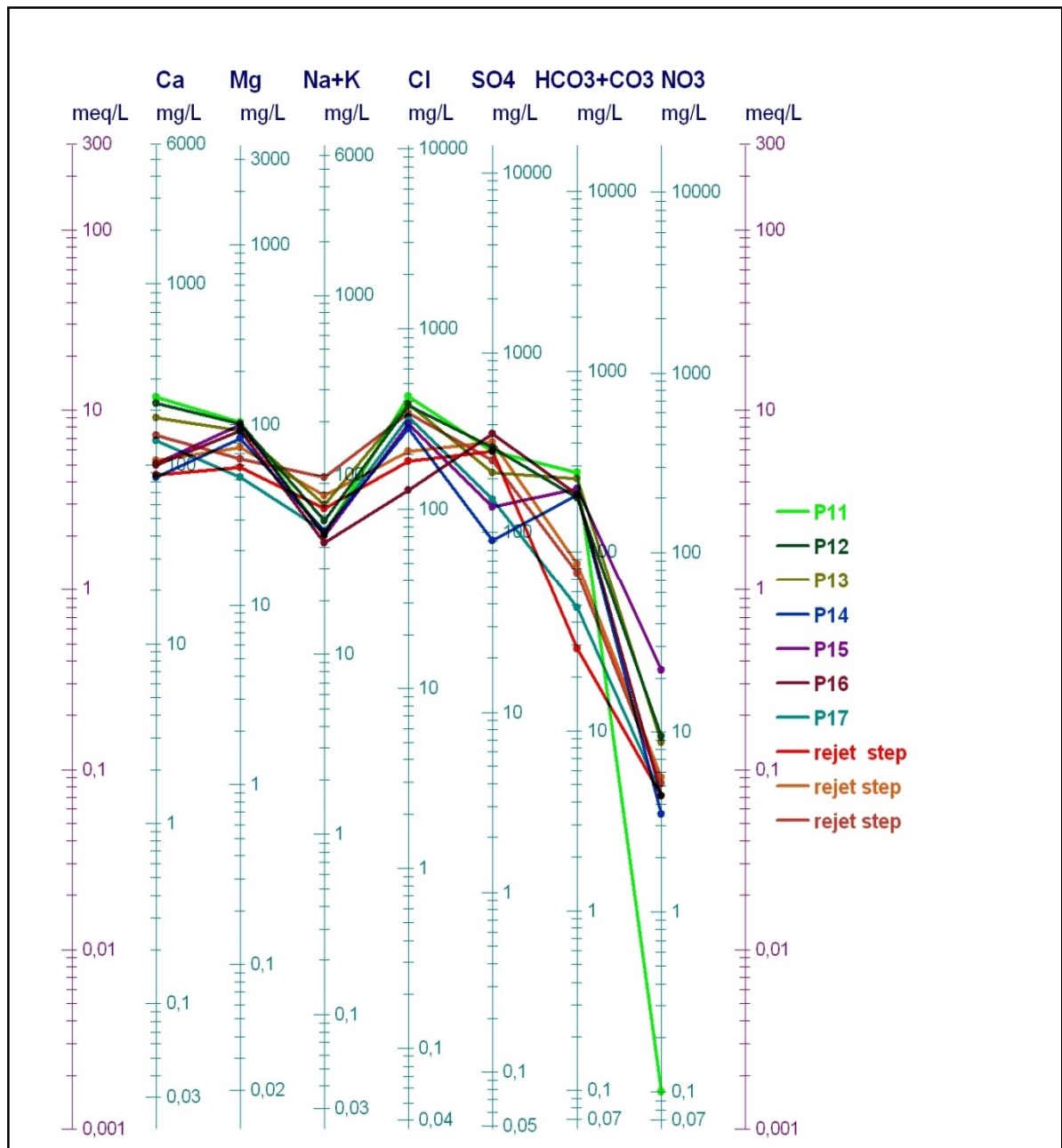


Figure IV.27 : Représentation des eaux testées sur le diagramme de Schoëller-Berkaloff

3.4.3. Aptitude des eaux à l'irrigation

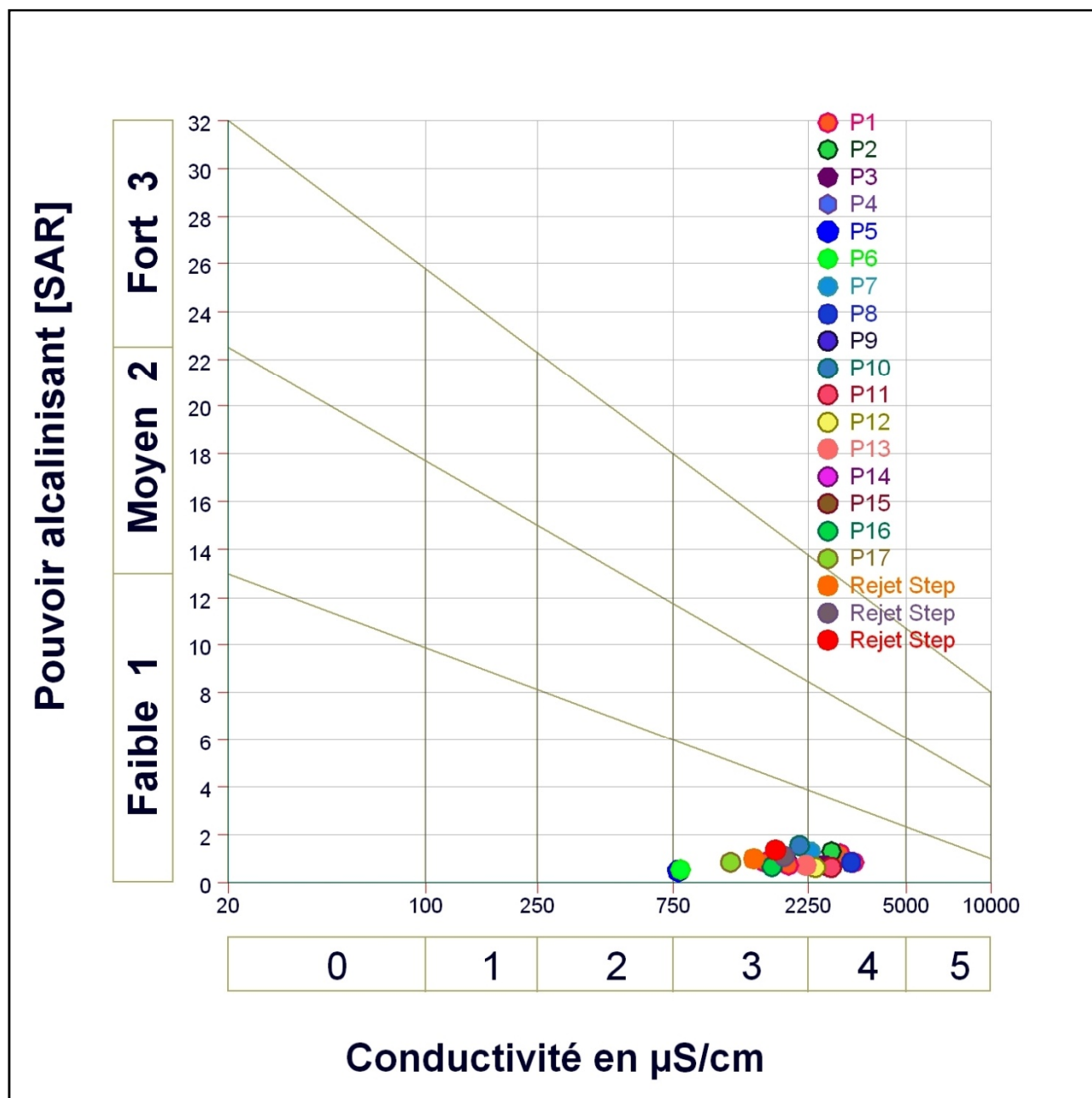


Figure IV.28 : Classification des eaux selon le diagramme de Riverside

La combinaison de la conductivité électrique des eaux testées et du rapport d'absorption du sodium (SAR) permet de classer ces eaux selon le diagramme de classification des eaux d'irrigation de Riverside (fig. IV.28). La représentation graphique des échantillons montre que les EUT et les eaux souterraines ne présentent pas un risque.

Ainsi, les EUT et les eaux souterraines sont aptes à l'irrigation

#### 4. Analyse des données

Pour traiter les données et obtenir la classification désirée, nous allons effectuer une Analyse en Composantes Principales (ACP)

Une matrice de données, constituée de 17 prélèvements, a été soumise à une ACP.

##### 4.1. Matrice de corrélation

**Tableau IV.5 : Matrice de corrélation**

Variable	pH	OD	CE	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Fe <sup>+2</sup>	Mn <sup>+2</sup>	Cu <sup>+2</sup>	Zn <sup>+2</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	DBO <sub>5</sub>	
pH	<b>1</b>																		
OD	-0,044	<b>1</b>																	
CE	0,191	0,380	<b>1</b>																
Ca <sup>+2</sup>	0,201	-0,046	<b>0,740</b>	<b>1</b>															
Mg <sup>+2</sup>	0,325	0,269	<b>0,692</b>	<b>0,525</b>	<b>1</b>														
K <sup>+</sup>	-0,102	0,066	0,026	0,170	0,201	<b>1</b>													
Na <sup>+</sup>	0,252	0,161	<b>0,578</b>	<b>0,515</b>	<b>0,519</b>	-0,127	<b>1</b>												
Cl <sup>-</sup>	0,268	0,191	<b>0,746</b>	<b>0,832</b>	<b>0,549</b>	0,116	<b>0,708</b>	<b>1</b>											
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,329	0,349	0,226	0,113	0,481	0,153	0,150	0,027	<b>1</b>										
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	0,353	-0,206	<b>0,543</b>	<b>0,709</b>	<b>0,672</b>	0,131	0,408	0,401	0,123	<b>1</b>									
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,036	0,374	0,264	0,195	0,273	0,056	0,156	0,201	0,052	0,216	<b>1</b>								
Fe <sup>+2</sup>	-0,097	-0,395	-0,151	0,086	0,074	0,332	0,166	0,179	-0,235	0,185	-0,182	<b>1</b>							
Mn <sup>+2</sup>	0,238	-0,192	0,236	0,421	0,355	0,418	-0,029	0,347	0,309	0,266	-0,230	0,158	<b>1</b>						
Cu <sup>+2</sup>	0,231	0,106	0,382	<b>0,521</b>	<b>0,517</b>	0,230	0,116	0,450	-0,002	<b>0,549</b>	0,078	0,294	0,142	<b>1</b>					
Zn <sup>+2</sup>	-0,062	-0,247	0,364	<b>0,544</b>	0,413	-0,118	<b>0,587</b>	<b>0,548</b>	0,205	0,454	0,174	0,238	0,135	0,372	<b>1</b>				
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,331	0,098	0,346	0,130	0,432	0,061	-0,108	0,174	0,212	0,071	-0,258	-0,261	0,479	0,229	-0,044	<b>1</b>			
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	-0,053	0,228	0,214	-0,019	-0,040	0,291	-0,152	0,210	-0,195	-0,272	-0,198	0,134	0,245	0,148	-0,162	0,474	<b>1</b>		
DBO <sub>5</sub>	-0,329	-0,011	0,344	0,369	0,423	0,296	0,267	0,417	0,363	0,277	-0,013	<b>0,603</b>	<b>0,519</b>	0,223	0,376	0,041	0,168	<b>1</b>	

Les échantillons des eaux souterraines montrent une très bonne corrélation positive significative entre la CE et les éléments majeurs Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>. Elles évoluent donc dans le même sens. Ces liaisons témoignent de l'influence de la salinité sur le chimisme de l'eau de la région.

Une très bonne corrélation a été observée entre le Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, et Cl<sup>-</sup>. Mg<sup>2+</sup> et SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> sont corrélées entre eux ainsi que le Cu<sup>+2</sup> et SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>.

Une corrélation positive moyennement significative a été observée entre Ca<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup> et Zn<sup>+2</sup>.

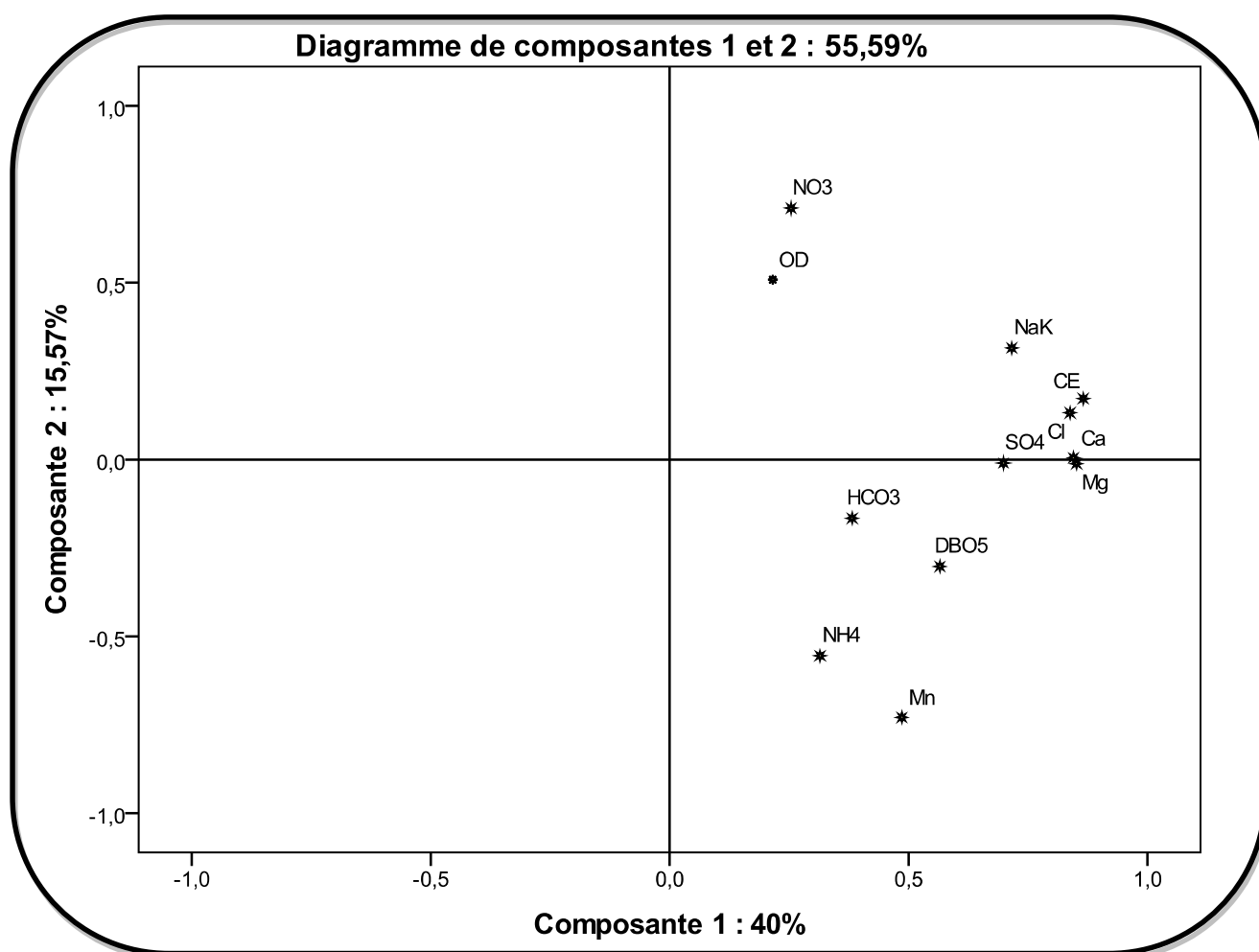
#### 4.2. L'analyse des plans factoriels

L'analyse du plan factoriel 1-2 montre que 55,59 % de la variance totale sont exprimés. Le facteur 1 représente 40 % de la variance et il est déterminé par les éléments chimiques  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $(\text{Na}^+ + \text{k}^+)$  et la conductivité électrique.

Le facteur 2 représente 15,57 % de la variance et il est déterminé par deux pôles. Le premier est formé par les  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{O}_2$  Dissous, et le second est formé par le  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{DBO}_5$ , et  $\text{Mn}^{+2}$ .

L'ensemble des variables, évoluant dans un seul sens, contribuent fortement à la formation de F1, considéré comme étant l'axe de minéralisation.

L'axe 2 établit une forte opposition entre l'oxygène dissous et les nitrates  $\text{NO}_3^-$ , d'une part, et l'ammonium  $\text{NH}_4^+$ , la  $\text{DBO}_5$ , et le manganèse  $\text{Mn}^{+2}$ , d'autre part.



**Figure IV.29** : Projection des variables sur le premier plan factoriel.

### 4.3. Interprétation de l'ACP

L'observation du plan factoriel formé par  $F_1$  et  $F_2$  montre selon l'axe  $F_1$  une opposition entre les eaux fortement minéralisées occupant la partie positive de l'axe et les eaux faiblement minéralisées occupant sa partie négative.

Selon l'axe  $F_2$ , on note une opposition entre les eaux qui contiennent les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) et fortement oxygénés, ce qui montre que ces eaux sont non polluées, et les eaux riches en  $\text{NH}_4^+$ , en  $\text{Mn}^{+2}$  et enregistrent des valeurs élevées de  $\text{DBO}_5$ , qui évoluent dans le même sens et qui montrent une altération qualitative pour ces eaux.

Cette répartition met en évidence deux classes d'eau : la première est caractérisée par une faible salinité et exemptes des éléments indésirables, alors que la deuxième est fortement minéralisées et polluées. Cela est dû, en plus du fond géochimique constitué des évaporites, des apports de rejet de la STEP.

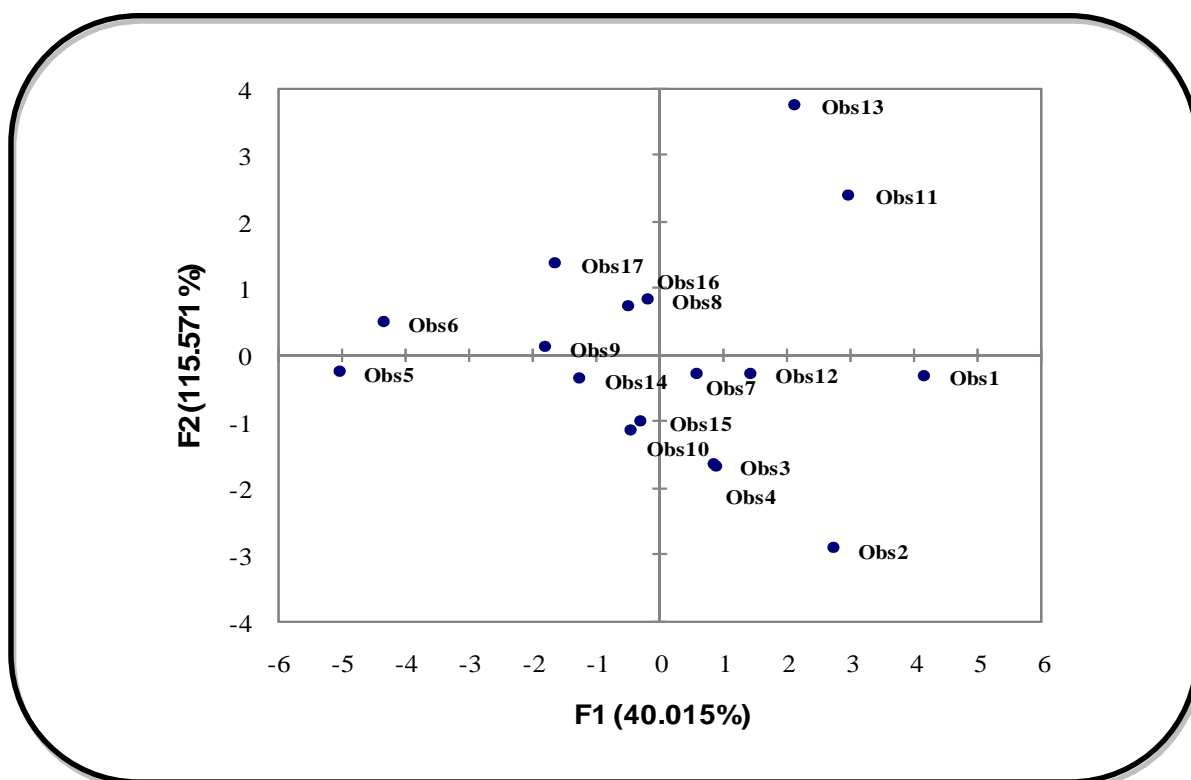


Figure IV.30 : Représentation graphique des stations de prélèvement sur les axes  $F_1$  et  $F_2$

**CONCLUSION**

**GENERALE**

## Conclusion générale

Cette étude a pour objectif l'évaluation de l'impact des EUT sur les eaux souterraines en matière des éléments physicochimique ainsi que des éléments indicateurs de pollution

Dans un sous bassin endoréique, d'un climat semi aride, un couvert végétal très clairsemé, et un caractère pédologique perméable, les EUT par procédés de traitement biologique à boue activée d'une STEP à faible charge, sont déversées dans Oued Baghai ; Elles sont soit utilisées par les agriculteurs pour l'irrigation, soit continuées le trajet naturel jusqu'à Chott El Maleh et Garaat Attarf.

Une gamme d'analyses physicochimique a été faite sur les eaux de rejet, sur les eaux d'Oued et sur les eaux souterraines pour déterminer l'échange qui peut exister entre elles.

Touts les résultats d'analyses des EUT pendant les mois du suivi présentent des valeurs qui, à l'exception de la DBO<sub>5</sub>, sont en grande partie conformes aux normes algériennes de rejets et démontrent que la charge polluante est essentiellement organique.

Sur le plan de réutilisation, les valeurs des MES et de la DBO<sub>5</sub> dépassent les normes de la FAO pour l'irrigation alors que les autres paramètres indiquent des valeurs acceptables.

Une forte salinité est détectée dans les EUT et dans les eaux d'Oued, ce qui montre une grande charge des minéraux en solution.

Pour les EUT, les concentrations en ETM (Zn Fe, Cu, et Mn) sont relativement faibles.

Les analyses des eaux souterraines montrent :

➤ En termes de salinité, Cl, SO<sub>4</sub>, Ca et Mg, une dégradation de la qualité des eaux a été très remarquable près de la STEP et en aval dans le sens d'écoulement de la nappe ce qui montre l'infiltration des eaux de rejet vers la nappe.

Il reste difficile de décerner les apports anthropiques du fond géochimique. L'existence des évaporites riches en Cl, Na, SO<sub>4</sub>, et Ca et la forte évapotranspiration favorise aussi la minéralisation mais les eaux près de la STEP et d'Oued sont les plus touchés, ce qui montre l'impact anthropique.

➤ En matière d'éléments azotés on trouve des teneurs importantes d'azote sous forme d'ammonium qui dépassent les normes et sous forme de nitrates

➤ Les teneurs en Fe, Cu et en Zn ne présentent aucun critère préjudiciable à sa qualité, alors que les teneurs en Mn sont remarquables en aval et dépassent les normes de potabilité

Les résultats obtenus montrent que le milieu récepteur est touché par les rejets de la STEP. L'infiltration des eaux des rejets constitue par conséquent une menace pour les eaux souterraines.

On note une grande différence entre les eaux de la zone près d'Oued et les eaux des points d'eau choisis comme témoin en matière des paramètres physicochimiques.

L'ensemble des résultats obtenus constitue une première étape vers la compréhension des effets affectant par les EUT dans les eaux de la nappe .

Le premier intérêt d'une telle démarche est qu'elle fournit l'état présent des eaux étudiées dans la zone qui peut ensuite être utile à un contrôle de la situation sur le long terme.

Ce travail a par ailleurs, clairement mis en évidence que plusieurs facteurs sont impliqués dans les processus de salinisation des eaux ainsi que dans l'accumulation des éléments persistants.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- A.D.E.M.E. (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) (2005)** Contamination des sols, transfert des sols vers les plantes. EDP Sciences ADEME Éditions, 413 p.
- ABH (Agence du Bassin Hydrographique Constantinois Sybousse Mellague) (2005)** Qualité des eaux souterraines dans le bassin hydrographique CSM Cahier de l'Agence.
- ABH (Agence du Bassin Hydrographique Constantinois Sybousse Mellague) (2005)** Qualité des eaux superficielles dans le bassin hydrographique C S M Cahier de l'Agence.
- Alloway B.J. (1995)** The mobilisation of trace elements in soils. Proceedings of contaminated soils, 3<sup>rd</sup> International conference on biogeochemistry of trace elements, Paris, France, 15-19. INRA: Paris.
- Atteia O., (2005)** Chimie et pollution des eaux souterraines. TEC& DOC, Paris France, 398 p.
- Baali F., Rouabhia A., Kherici N., Djabri L., Bouchaou L., Hani A. (2007)** Qualité des eaux souterraines et risque de pollution en milieu semi-aride. Cas de la cuvette de Chéria (NE Algérien) Estudios Geológicos, pp : 127-133
- Baumont S., Camard J.P., Lefranc A., Francon A., (2000)** Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaire et faisabilité en Ile-de France, Paris: 12-13, 27-29.
- Belaid N., (2010)** Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques, Doc Univ de Sfax Tunisie, 188p.
- Belgiorno V., Rizzo L., Fatta D., Rocca C., Lofrano G., Nikolaou A., Naddeo V., Meric S. (2007)** Review on endocrine disrupting-emerging compounds in urban wastewater: occurrence and removal by photocatalysis and ultrasonic irradiation for wastewater reuse Desalination 215 166–176
- Belhassan K., Hessane M.A. and Essahlaoui A. (2009)** Exchange Groundwater - River: Stream Mikkes Basin (Morocco). Research Journal of Earth Sciences pp: 51-61.
- Bermond, R., Perrodon, C., (1979)-** Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'Environnement, Paris, 259p.
- Bousseboua H. (2005)** Eléments de microbiologie. 2<sup>ème</sup> édition, Campus-Club, Algérie
- Bussard T. (2005)** Méthodologie de dimensionnement des zones de protection des captages d'eaux souterraines contre les polluants chimiques persistants, Doc. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne.

- Chofqi A., Younsi A., Lhadi E., Mania J., Mudry J., Veron A. (2004)** Environmental impact of an urban landfill on a coastal aquifer (El Jadida, Morocco) *Journal of African Earth Sciences* 39 (2004) 509–516
- Daesslé L. W., L. Ruiz-Montoya, Tobschall H. J., Chandrajith R., Camacho-Ibar V. F., Mendoza-Espinosa L. G., Quintanilla-Montoya A. L., Lugo-Ibarra K. C. (2009)** Fluoride, Nitrate and water hardness in groundwater supplied to the rural communities of Ensenada County, Baja California, Mexico *Environ Geol* 419–429.
- Deronzier G., Scétrite S., Racault Y, Canler JP., Liénard A., Héduit A., Duchene P., (2002)** traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites collectivités. FNDAE *Cemagref* 78p.
- Desjardins R, 1997** Le traitement des eaux 2<sup>ème</sup> édition ISBN, Montréal
- DH W Khenchela, (2011)** Etude de l'Aménagement de l'Oued Baghai. BET / TAOS M. Khenchela
- Duchène P. (1994)** Dysfonctionnements biologiques dans les stations d'épuration en boues activées. *Cemagref*, Lyon, France.
- El Morhit M., Fekhaoui M., Serghini A., EL Blidi S., EL Abidi A., Bennaakam R., Yahyaoui A. & Jbilou M. (2008)** Impact de l'aménagement hydraulique sur la qualité des eaux et des sédiments de l'estuaire du Loukkos (côte atlantique, Maroc) *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre*, n°30, 39-47.
- Elmsley J., (2001)** Nature's Building Blocks. A A-Z guide to the elements. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Faby J.A., Brissaud F. (1997),** L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'Eau, 76 p.
- FAO (2003),** L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. pp 73
- FAO (2007),** Agriculture et rareté de l'eau: une approche programmatique pour l'efficacité de l'utilisation de l'eau et la productivité agricole. COAG/2007/7, Rome, pp15
- Fetter C. W., (1993)** - Contaminant Hydrogeology: New York, Macmillan Publishing Co., 458p.
- Gaujous D. (1995).** La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire. Tec & Doc, Lavoisier, Paris: 15.
- Hamoda M.F. (2004),** Water strategies and potential of water reuse in the south Mediterranean countries. *Desalination* 165, 31-41
- Houha B. (2007) :** Etude du fonctionnement hydrogéochimique et salin d'un bassin semi-aride Remila Khenchela ; Doc en Hydrogéologie, Univ de Annaba, Algérie. 165 p
- Houha B., Kherici N., Kachi S. Valles V. (2008)** Hydrochemical Differentiation of Salinisation

Process of the Water in Endoreic Semi-Arid Basin: Case of Rémila Basin, Algeria. American Journal of Applied Sciences p: 891-895.

**J.O.R.A. (Journal Officiel de la République Algérienne) (2011).** Décret exécutif N° 11-125 du 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.

**JORA, (Journal Officiel de la République Algérienne) (2006)** Décret présidentiel N° 06/141 du 19/04/2006, portant les valeurs limites de rejets d'effluents liquides.

**Kallel M. et Bouzid J., (2002)** Impact de la réutilisation des eaux usées traitées sur la qualité des eaux souterraines et sur le sol: cas de la région de Sfax. WATMED, Monastir, Tunisie.

**Khattabi H., (2003)** Intérêts de l'étude des paramètres hydrogéologiques et hydrobiologiques pour la compréhension du fonctionnement de la station de traitement des lixiviats de la décharge d'ordures ménagères d'Eteffont (Belfort, France). Doc. Univ, Sci.Tech. Env. Franche Comté. Besancon. France, 171p.

**Kimura K., Toshima S., Amy G., Watanabe Y. (2004),** Rejection of neutral endocrine disrupting compounds (EDCs) and pharmaceutical active compounds (PhACs) by RO membranes. Journal of Membrane Science 245, 71–78

**Koller E. (2004).** Traitement des pollutions industrielles : Eau. Air. Déchets. Sols. Boues. Dunod, Paris, France.

**Mattern S., Fasbender D., Vanclooster M., (2009)** Discriminating sources of nitrate pollution in an unconfined sandy aquifer in Belgium. Journal of Hydrology 376 275–284

**Medkour M. (2003)** Réutilisation des eaux usées épurées. Séminaire sur le secteur de l'eau en Algérie. Ministère des Ressources en eau. 12 p.

**Menani M. (2009)** The Artificial Recharge and the Groundwater Vulnerability to Pollution-Case of the El Madher Plain (North East of Algeria). European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.32 N° 3, pp.288-303

**Ministère des Ressources en Eau (2001)** Les ressources en eau d'Algérie. Rapport de synthèse, Algérie, 73 p.

**Miquel G., (2003)** La qualité de l'eau et de l'assainissement en France. office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. Rapport N°215. France

**Nezli I.E., Achour S., Djabri L., (2007)** Approche géochimique des processus d'acquisition de la salinité des eaux de la nappe phréatique de la basse vallée de l'Oued M'ya (Ouargla) Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 06, Décembre 2007, pp. 121-134

**Nkansah M. A., Boadi N. O. and Badu M. (2010)** Assessment of the Quality of Water from Hand-

Dug Wells in Ghana. Libertas Academica

**OMS. (1989)** L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture : recommandations à avisées sanitaires. Série de rapports techniques n° 778. Genève.

**Papastergios G., Fernandez-Turiel J., Georgakopoulos A., Gimeno D., (2009)** Natural and anthropogenic effects on the sediment geochemistry of Nestos river, Northern Greece. *Environ Geol* pp : 1361–1370

**Ramade F. (2002)** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. 2<sup>ème</sup> édition. Dunod, Paris : 2002. 534 p.

**Ramade F. (2005)** Eléments d'écologie : écologie appliquée. 6<sup>ème</sup> édition. -Dunod. Belgique. 864 p.

**Rejsek F. (2002)** Analyse des eaux. Aspects réglementaires et techniques. ISBN, Bordeaux. 358 p.

**Rodier J. (1996)** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8<sup>e</sup> édition Dunod, Paris, France.

**Rodier J. (2009)** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 9<sup>e</sup> édition Dunod, Paris, France.

**Rouabhia A., Baali F., Kherici N., Djabri L. (2004)** Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El MA EL Abiod (Algérie), *Revue Sécheresse* Vol.15, n°4.

**Scanlona B.R., Reedy R.C., Gates J.B., Gowd P.H. (2010)** Impact of agroecosystems on groundwater resources in the Central High Plains, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment* AGEE-3739 ; 14 p

**Tamrabet L. (2011)** Contribution à l'étude de la valorisation des eaux usées en maraîchage. Doc Inst Hydraulique Univ. de Batna, Algérie.

**USEPA (2008)** Drinking Water Contaminants: National Secondary Drinking Water Regulations.

**Vaillant J.R. (1974)** Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires. Eyrolles, Paris: 21-24, 236-237.

## ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الحالة الفيزيوكيميائية للمياه الجوفية ودرجة تلوثها جراء مياه الصرف الصحي المعالجة الناتجة عن محطة تصفية المياه القذرة لمدينة خنشلة حيث يعتبر وادي بعاي المصب الرئيسي لهذه المياه. في المرحلة الأولى، قمنا بإجراء متابعة شهرية لخصائص المياه المعالجة من خلال إجراء تحاليل مخبرية، أما المرحلة الثانية شملت تحاليل المياه الجوفية. أظهرت النتائج أن مياه الصرف الصحي المعالجة تحتوي على كميات مرتفعة من المواد المعلقة و الحاجة البيوكيميائية للأوكسجين كما أنها تمتاز بدرجة ملوحة كبيرة لكنها تبقى صالحة للري. لا تشكل حمولة مياه الصرف الصحي المعالجة من المعادن الثقيلة أي تهديد نتيجة تراكمها في الطبقات الطينية المستخدمة في المعالجة كما تبين النتائج أن مياه الصرف الصحي ناتجة عن أنشطة منزلية و حضرية قابلة لالتحلال حيويًا. تبين نتائج تحاليل المياه الجوفية أنها تحتوي على كميات كبيرة من الكلورور، السلفات، الكالسيوم، التي ساهمت بشكل كبير في زيادة الملوحة، الأمونيوم و المنغنيز تفوق المعايير غير أن كميات الزنك والحديد والنحاس ضعيفة و لا تشكل تهديدًا لصحة الإنسان حيث لا تتعدى معايير المياه الصالحة للشرب. تعرف نوعية المياه الجوفية تدورًا ملحوظًا بالقرب من محطة معالجة المياه و كذا في أسفلها في اتجاه جريان المياه الجوفية و هذا ما يبرهن تسرب المياه المعالجة. مكنت الدراسة الإحصائية من تمييز مجموعتين من المياه، الأولى تتميز بدرجة ملوحة ضعيفة و خالية من المواد المؤشرة للتلوث أما المجموعة الثانية فإتيا ذات درجة ملوحة كبيرة و تحتوي على ملوثات و هذا راجع إلى تسرب المياه المعالجة. **الكلمات المفتاحية:** خنشلة، المياه المعالجة، محطة تصفية المياه، الملوحة، الأمونيوم، المنغنيز.

## Résumé

Ce travail a pour objectif d'évaluer la qualité des eaux souterraines de la région de Baghai considérée comme étant le milieu récepteur des eaux usées traitées issues de la station d'épuration de la ville de Khenchela en matière des éléments physicochimiques et les éléments indicateurs de pollution.

Dans une première étape, nous avons procédé à une analyse mensuelle des eaux usées traitées.

La deuxième étape est destinée à l'analyse des eaux souterraines de 17 points d'eaux répartis sur la région d'étude dont deux sont choisis comme témoin pour raison de son éloignement de la zone drainée par les rejets.

A la lumière des résultats obtenus, les eaux usées traitées, à l'exception de la demande biochimique en oxygène, les matières en suspension et la salinité qui présentent des teneurs importantes, sont aptes à la réutilisation en irrigation.

Le diagnostic de la qualité des eaux usées traitées montre que les effluents sont d'origine domestique et la contamination par les métaux lourds ne présente pas une menace importante, suite à l'accumulation de ces derniers dans les boues.

Les résultats d'analyses des eaux souterraines montrent clairement une accumulation non négligeable des chlorures, sulfates, calcium, ammonium et en manganèse alors que le zinc, le cuivre et le fer enregistrent des valeurs qui ne dépassent pas les normes de potabilité.

La qualité des eaux est médiocre près de la station d'épuration et en aval dans le sens d'écoulement de la nappe ce qui montre l'infiltration des eaux de rejet vers la nappe.

L'analyse des composantes principales nous a permis de faire une distinction entre deux classes d'eaux, la première est caractérisée par une faible salinité et exempte d'éléments indésirables, alors que la deuxième est fortement minéralisée et polluée. Cela est dû aux apports des eaux usées traitées.

**Mot clés :** Khenchela, eaux usées traitées, station d'épuration, salinité, manganèse, Ammonium.

## Astract

This work aims to assess the degree of contamination of groundwater in the area drained by the treated wastewater from the sewage treatment plant with activated sludge of the city of Khenchela in physicochemical elements and the indicator elements of pollution.

In a first step, we performed a physicochemical analysis of samples monthly water discharge of the sewage treatment plant.

The second step is intended for the analysis the groundwater of 17 water points distributed over the study area, two of which are selected like witness for reason of his distance of the zone drained by the discharges.

In light of the results obtained, the treated wastewater, with the exception of biochemical demand for oxygen BOD5 and total suspended matter levels and the salinity which present important contents, are suitable for reuse in irrigation.

The diagnostic quality of treated effluent shows that the original domestic and the contamination by metallic elements is not a significant threat, continuation the accumulation of the latter in sludge.

The results of analyses of groundwaters clearly show a considerable accumulation of chlorides, sulphates, calcium, ammonium and out of manganese whereas zinc, copper and iron record values which do not exceed the drinking water standards.

A deterioration of the quality of water was very remarkable meadows of the sewage treatment plant and downstream in the direction of flow of the tablecloth what shows the infiltration of water of rejection towards the tablecloth.

The analysis of the principal components enabled us to make a distinction between two water classes, first is characterized by a low salinity and free from undesirable elements, whereas the second is strongly mineralized and polluted. That is due to the contributions of treated waste waters.

**Key words:** Khenchela, waste waters treated, sewage treatment plant, salinity, ammonium, manganese.