

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique



**THESE**

Présentée pour l'obtention du **grade de DOCTEUR EN SCIENCES**

**En** : Hydraulique

**Spécialité** : Hydraulique

**Présenté par** : BOUAMER Kheira **Epouse** : Oulad yahia

**Sujet**

**Influence de la pollution des eaux urbaines et Industrielles sur  
la nappe phréatique de la vallée du M'zab**

Soutenue publiquement, le 03/06/2021, devant le jury composé de :

M BOUCHELKIA Hamid	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
M REMINI Boualem	Professeur	Univ. Blida 1	Directeur de thèse
M HABI Mohamed	Professeur	Univ. Tlemcen	Co- Directeur de thèse
M AMMARI Abdelhadi	MCA	ENSH	Examineur 1
M BERREKSI Ali	MCA	Univ. Bejaia	Examineur 2

NB : les membres du jury doivent être classés conformément au P.V de l'autorisation de soutenance



---

# DÉDICACE

J'ai l'honneur de dédier ce travail :  
A la mémoire de ma très chère mère.  
A mon père.  
A mon mari.  
A mes enfants.  
A mon frère et ma sœur.  
Et à toute ma famille et mes amis.

---

# REMERCIEMENTS

Avant tout nous devons remercier le bon dieu qui nous a aidé à l'élaboration de ce travail.

Tout d'abord j'exprime ma profonde gratitude à **Mr. REMINI Boualem**, Professeur à l'université de Blida de m'avoir encadré et suivi avec sa rigueur scientifique et ses conseils qui m'ont permis tout au long de mon travail de mener à bien cette thèse.

Je suis très reconnaissante à **Mr. HABI Mohammed**, mon co-promoteur, Professeur à l'université de Tlemcen , pour son assistance et sa patience tous le long de mon travail.

J'adresse également mes sincères remerciements à Mr. **BOUCHELKIA Hamid** Professeur à l'université de Tlemcen, qui m'a fait le grand honneur d'être le président de mon jury.

Je remercie très infiniment **Mr. AMMARI Abdelhadi**, Maître de conférence, de l' ENSH et **Mr. BERREKSI Ali**, Maître de conférence à l'université de Bejaia d'avoir accepté d'être membres en tant qu'examineurs.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à *M<sup>elle</sup>* **H. BENABDERAHMANE** de m'avoir aider à la rédaction de cette Thèse en LATEXE.

Mes remerciements vont également à Mes Collègues de Laboratoire de l'ADE unité de Ghardaia et mes Collègues de l'Université de Ghardaïa à **Mr C. OULED BELKHEIR**, à **Mr M. ACHOUR** de D.R.H et au Laboratoire de l'université de Djelfa et à tous personnes qui m'ont aidé du prés ou du loin dans l'élaboration de ce travail.



## الملخص

تعتبر المياه الجوفية القريبة في المناطق الصحراوية كنزا بالنسبة لسكان هذه المناطق وقد شكلوا لذلك واحات لاستغلالها. يعتبر وادي مزاب مثلاً نموذجياً على الواحات المقاومة للمناخ الصحراوي من خلال الاستغلال الجيد للمياه الجوفية القريبة وإدارتها على مدار القرون. لكن تطور نمط الحياة والنمو السكاني أدى إلى تفاقم الاحتياجات المائية من خلال استغلال المياه الجوفية العميقة والتي تتميز بقساوة مرتفعة (اي قيم كبيرة ل TH). وكذلك عدم التحكم في مياه الصرف الصحي لفترة طويلة مع وجود أنشطة صناعية تقوم بصرف مياه مستعملة غير معالجة مباشرة في المياه الجوفية مما أدى إلى التخلي الحتمي على هذه الاخيرة التي كانت في ما مضى مصدرًا للحياة. و لمواجهة هذه المشكلة المتمثلة في تدهور نوعية المياه، من الضروري تحديد أسباب هذا التلوث ومصادره المنزلية أو الصناعية أو حتى مياه الري. لهذه الغاية ، قمنا بأربع حملات لأخذ العينات والتحليل للفترة من 2005 إلى 2012 ، وكذلك بعض التحقيقات حول بعض المصانع الموجودة في المنطقة، وتحليلات مياه الصرف الصحي ، بالإضافة إلى ملخص لطبقة المياه الجوفية العميقة بين عامي 2002 و 2012. التحاليل اجريت في المخبر المركزي للجزائرية للمياه وحدة غرداية و في مخبر جامعة الجلفة. اما الطرق المطبقة على التحليلات فهي التحليل الطيفي لامتصاص الجزئي والكتلي ، امتصاص اللهب ، الطريقة الحجمية وقياسات الوزنية. تم تفسير النتائج باستخدام الرسوم البيانية لمخططات أفينيون وخريطة سيرفر. مع ملاحظة أنه خلال هذه الفترة تعرضت المنطقة الى فيضانات كارثية في شهر أكتوبر 2008.

تكشف النتائج عن التأثير المباشر للتلوث على طبقة المياه الجوفية من خلال تدهور الجودة وزيادة ملوحة والتلوث بالمعادن الثقيلة و البكتيريا مع تغير في تركيبة الاملاح في الزمان والمكان.وعلى الرغم من ضخامة كمية المياه الناتجة عن فيضان عام 2008 ، إلا أن تأثيرها على جودة المياه الجوفية كان منخفضاً للغاية باستثناء منطقة بوشن حيث يوجد تحسن في الجودة.

**الكلمات المفتاحية:** وادي مزاب ، جودة المياه ، التلوث ، الفيضان ، التركيبة الجيوكيميائية للمياه.

# Résumé

La présence d'eau souterraine proche dans les zones arides est une fortune. Les sahariens constituent des implantations toute au tour de sa présence pour l'exploitée. Notre zone d'étude, la vallée du M'zab est un exemple type résistant au climat saharien par la bonne gestion et la maîtrise de l'exploitation d'eau souterraine de la nappe proche.

Le développement de mode de vie et la croissance démographique ont accentué les besoins en eau poussant à l'exploitation de la nappe profonde de qualité plus dure. Le mauvais maîtrise des eaux usées pour une long durée, les activités industrielles apparentes et non apparentes avec l'influence de leurs rejets sur les eaux de la nappe phréatique ont entraîné l'abandonnement inévitable de cette nappe qui était autre fois une source de vie.

Pour confronter ce problème de détérioration de la qualité de l'eau de cette nappe, il faut identifier et caractériser les causes de cette pollution et leurs sources ménagères, industrielles ou même d'irrigation. Dans ce but, quatre campagnes d'échantillonnages et d'analyses de la nappe phréatique ont été lancées pour la période 2005 à 2012, des enquêtes sont faites auprès de quelque unités industrielles, analyses des eaux usées, en plus à un récapitulative de données de la nappe profonde albien de 2002 et 2012 . Les analyses sont réalisées au laboratoire central de l'A.D.E. Unité de Ghardaïa et au laboratoire de l'université de Djelfa. Les méthodes appliquées aux analyses sont la spectroscopie d'absorption de masse et de molécules, l'absorption à flamme, méthodes volumétriques et gravimétries. L'interprétation des résultats a été réalisé à l'aide des histogrammes, des diagrammes d'Avignon et des carte de surfer.

Signalant que durant cette période, notre zone d'étude est inondée par la crue catastrophique d'octobre 2008.

Les résultats révèlent l'influence directe de la pollution sur cette nappe par la dégradation de la qualité et l'augmentation de la salinité de l'amont vers l'aval de la vallée et la contamination par des métaux lourds des bactéries avec un changement de faciès dans le temps et dans l'espace.

Malgré l'énorme volume d'eau de la crue de 2008, mais son influence sur la qualité de l'eau de la nappe alluvionnaire était très faible sauf la zone de Bouchen où on trouve une amélioration de la qualité.

**Mots clés :** Vallée du M'Zab, Qualité des eaux, Pollution, Crue, faciès chimiques.

## Abstract

The presence of nearby ground water in arid areas is a fortune. The saharans constitute stays to exploit this water. Our study area, the M'zab valley is a typical example of these settlements (oasis) resistant to the Saharan climate by good management and control of the groundwater of the nearby aquifer for centuries. The development of lifestyle and population growth have accentuated the need for water pushing operation of the deep layer of harder quality.

The bad mastery of the wastewater for a long duration, the apparent industrial activities and not apparent and the influence of their discharges on the water, so the abandonment of this near groundwater which was another time a source of life become inevitable.

To confront this problem of deterioration of the water quality, it is necessary to identify and characterize the causes of this pollution and their home and industrial waste water, or even irrigation sources. For this reason, four sampling and analysis campaigns were launched for the period 2005 to 2012, surveys of some industries, wastewater analyzes, in addition to a summary of the deep albian aquifer between 2002 and 2012. The analyzes are carried out at the central A.D.E.laboratory's at Ghardaia and in the laboratory of the University of Djelfa. The methods applied to the analyzes are mass and molecules absorption spectroscopy, flame absorption, volumetric and gravimetry methods. The interpretation of the results was done using the Avignon diagrams and surfer map. Noting that during this period, our study area is affected by the catastrophic flood of October 2008.

The results reveal the direct influence of the pollution on this aquifer by the degradation of the quality and the increase of the salinity from the upstream to downstream of the valley and a contamination by heavy metals, bacteria and microorganismes. Also we observe a variation of facies in time and space. Despite the huge volume of water from the flood of 2008 but its influence on the water quality was very low except the area of Bouchen where there is an improvement in quality.

**Key words :** M'Zab valley, Water quality, Pollution, flood, chemical facies

---

# TABLE DES MATIÈRES

<b>Dédicace</b>	<b>ii</b>
<b>Remerciements</b>	<b>iii</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>3</b>
<b>I Présentation de L'objectif et Contexte Général</b>	<b>4</b>
<b>1 Objectifs et présentation de la zone d'étude</b>	<b>5</b>
1.1 Objectif d'étude . . . . .	5
1.2 Présentation de la zone d'étude . . . . .	7
1.2.1 Situation géographique . . . . .	7
1.2.2 Présentation socioéconomique . . . . .	8
1.2.3 Géomorphologie . . . . .	9
1.2.4 Composition des sols désertiques . . . . .	10
1.2.5 Pays de la Chebka . . . . .	11
1.2.6 Les oueds de la Chebka . . . . .	11
1.2.7 Géomorphologie de la vallée du M'zab . . . . .	12
<b>2 Aperçus hydrogéologique et Climatique</b>	<b>14</b>
2.1 Cadre géologique Saharien . . . . .	14

2.1.1	Trias	15
2.1.2	Jurassique	15
2.1.3	Crétacé inférieur	15
2.1.4	Crétacé supérieur	15
2.1.5	Tertiaire	15
2.1.6	Quaternaire	15
2.2	Cadre géologique de la dorsale du M'zab	16
2.3	Aspect Hydrogéologique	17
2.3.1	Aquifère des alluvions	18
2.3.2	Aquifère du Continental intercalaire (CI)(Albien)	18
2.3.3	Géochimie de l'aquifère du CI dans la région	18
2.4	Aspect climatique	21
2.4.1	Température	21
2.4.2	Précipitation	22
2.4.3	Humidité relative	23
2.4.4	Evaporation	23
2.4.5	Les vents	24
2.4.6	Synthèse climatique	25

## **II Méthodes et Matériels** **28**

### **3 Méthodologie du travail et présentation des sources de pollution** **29**

3.1	Qualité D'eau	30
3.2	Les principales sources de pollution	31
3.3	Pollution par les eaux Urbaines	32
3.3.1	Rejets liquides urbains	32
3.3.2	Points de prélèvement des eaux usées	35
3.4	Rejets liquides industriels	35
3.4.1	Prospection sur l'état d'industrie dans la zone industrielle	36
3.4.2	Prélèvements des rejets industrielles	37
3.5	Pollution par les eaux d'irrigations	38
3.5.1	Eaux des forages profonds (Albien)	38

3.5.2	Piézométrie de la nappe CI . . . . .	39
3.5.3	Prélèvements des eaux de la nappe profonde . . . . .	40
<b>4</b>	<b>Méthodes d'analyses et paramètres analysés</b>	<b>41</b>
4.1	Méthode électrochimique . . . . .	41
4.1.1	Température . . . . .	42
4.1.2	Potentiel d'Hydrogène pH . . . . .	42
4.1.3	Conductivité Electrique CE . . . . .	42
4.2	Méthode Spectrophotométrique . . . . .	43
4.2.1	Ammonium $NH_4^+$ . . . . .	43
4.2.2	Phosphate $PO_4^{3-}$ . . . . .	44
4.2.3	Nitrite $NO_2^-$ . . . . .	44
4.2.4	Nitrate $NO_3^-$ . . . . .	44
4.3	Méthode spectrophotomètre à flamme . . . . .	45
4.3.1	Dosage du sodium Na et du potassium K . . . . .	45
4.4	Méthode volumétrique . . . . .	45
4.4.1	Dosage des chlorure $Cl^-$ . . . . .	46
4.4.2	Dosage de TH (Titre Hyydrotimétrique ou dureté totale) . . . . .	46
4.4.3	Dosage du calcium Ca . . . . .	47
4.4.4	Dosage du Magnésium Mg . . . . .	47
4.4.5	Titre Alcalimétrique Complet (TAc) . . . . .	47
4.5	Méthode gravimétrique . . . . .	47
4.5.1	Dosage des sulfates $SO_4^{2-}$ . . . . .	48
4.5.2	Matières en suspension (MES) . . . . .	48
4.6	Indicateurs de pollution : . . . . .	48
4.6.1	Demande Chimique en Oxygène DCO . . . . .	48
4.6.2	Demande Biochimique en Oxygène à 5 jours DBO5 . . . . .	49
4.6.3	Métaux lourds . . . . .	49
<b>III</b>	<b>Résultats et Discussions</b>	<b>50</b>
<b>5</b>	<b>Apport anthropique et évolution de la Pollution des eaux</b>	<b>51</b>

5.1	Provenance domestique et résultats d'analyses . . . . .	51
5.1.1	Potentiel d'hydrogène . . . . .	52
5.1.2	Conductivité . . . . .	52
5.1.3	Azote . . . . .	53
5.1.4	Phosphate $PO_4^{3-}$ . . . . .	54
5.1.5	Demandes chimique et biochimique en Oxygène . . . . .	55
5.1.6	Métaux lourds . . . . .	55
5.2	Pollution par les rejets industriels . . . . .	56
5.2.1	Température . . . . .	57
5.2.2	Potentiel d'hydrogène ( pH) . . . . .	57
5.2.3	Conductivité . . . . .	57
5.2.4	Matières en suspension . . . . .	58
5.2.5	Paramètres de salinité dans les eaux industrielles . . . . .	58
5.2.6	Paramètres de pollution . . . . .	60
5.2.7	Métaux lourds . . . . .	62
5.3	Pollution par les eaux d'irrigations(Eau de l'albien) . . . . .	66
5.3.1	Paramètres de pollution . . . . .	72
<b>6</b>	<b>Etude d'Impact de la Pollution Sur la Nappe Phréatique</b>	<b>74</b>
6.1	Etat de l'environnement de la vallée . . . . .	74
6.2	Méthodologie de travail . . . . .	75
6.3	Prélèvements des eaux de la nappe phréatique . . . . .	76
6.4	Interprétation des résultats des analyses . . . . .	76
6.4.1	Paramètres physiques . . . . .	76
6.4.2	Paramètres chimiques . . . . .	78
6.4.3	Classification et faciès Hydrochimiques . . . . .	83
6.4.4	Influence Des Eléments De Pollution . . . . .	85
6.4.5	Demande Biochimique en Oxygène après 5 jours (DBO5) . . . . .	88
6.4.6	Demande Chimique en Oxygène (DCO) . . . . .	89
6.4.7	Métaux lourds . . . . .	89
6.4.8	Le Fer (Fe) . . . . .	90
6.4.9	Le Plomb (Pb) . . . . .	91

6.4.10	Le zinc Zn . . . . .	92
6.4.11	Le cadmium Cd . . . . .	92
6.4.12	Le cuivre Cu . . . . .	93
6.4.13	Manganèse Mn . . . . .	94
6.4.14	Le mercure Hg . . . . .	94
6.5	Paramètres Bactériologiques . . . . .	95
<b>7</b>	<b>Influence De La Crue D’Octobre 2008 sur La Qualité Des Eaux De La Nappe Phréatique</b>	<b>98</b>
7.1	Aperçu sur les crues . . . . .	99
7.1.1	Historique des crues de l’Oued M’zab . . . . .	99
7.2	Influence de la crue sur les paramètres chimiques . . . . .	101
7.2.1	Potentiel D’Hydrogène pH . . . . .	102
7.2.2	Conductivité Electrique CE . . . . .	102
7.2.3	Dureté ou Titre Hydrotimétrique TH . . . . .	103
7.2.4	Diagramme de PIPER . . . . .	104
7.2.5	Classification des eaux selon Scholler et Berkaloff . . . . .	105
7.2.6	Classification des eaux selon Stabeler . . . . .	107
7.2.7	Elements de Pollution( $NO_3^-$ , $NO_2^-$ , $PO_4^{3-}$ et $NH_4^+$ ) . . . . .	108
	<b>Conclusion générale</b>	<b>115</b>
	<b>Références bibliographiques</b>	<b>122</b>
	<b>Annexes</b>	<b>i</b>
	<b>A Activités Industrielles</b>	<b>i</b>
	<b>B Normes</b>	<b>vi</b>
	<b>C Coordonnées spatiales d’échantillonnage de la nappe phréatique</b>	<b>viii</b>
	<b>D Article Sur La Crue d’Octobre 2008</b>	<b>x</b>



---

# TABLE DES FIGURES

1.1	Cartes de localisation de la région d'étude. . . . .	7
1.2	Carte de milieu physique de Ghardaia (DPAT) . . . . .	10
1.3	Bassin versant de la région du M'Zab (ANRH Ouargla, 2008). . . . .	12
2.1	Coupe géologie schématique de la région du M'Zab. ANRH . . . . .	16
2.2	- Coupe géologique E-W à travers la dorsale du M'zab (in Ould Baba sy, 2005) . . . . .	17
2.3	Limites De Domaine de SASS (ANRH) . . . . .	19
2.4	profondeur des forages et le toit de l'aquifère albien. (KOULE, BASSOU 2003) . . . . .	20
2.5	Températures moyenne mensuelle (Période : 2000-2012) . . . . .	22
2.6	précipitation moyenne mensuelle (période (2000-2012). . . . .	22
2.7	Moyennes mensuelles de l'humidité relative(période : 2000-2012) . . . . .	23
2.8	Evaporation mensuelle . . . . .	24
2.9	vitesse du vent mensuelles(Km/h) (période : 2000-2012) . . . . .	24
2.10	: Diagramme ombrothermique de Gaussen de Ghardaia (Période : 2000-2012) . . . . .	26
2.11	Situation de la région du Ghardaïa dans le Climagramme d'Emberger pour une valeur moyenne entre (2000-2012). . . . .	27
3.1	Carte piézométrique de la nappe phréatique de la vallée du M'zab (avril-mai, 2011). . . . .	30
3.2	Carte des points d'échantillonnage de la nappe phréatique de la vallée du M'zab . . . . .	31
3.3	Localisation et Schéma descriptive de la Station . . . . .	34
3.4	Points de prélèvement des eaux usées . . . . .	35

3.5	Localisation de la Zone Industrielle . . . . .	37
3.6	profondeur des forages et le toit de l'aquifère albien KOULE et BASSOU 2003 . . . . .	39
3.7	- Piézométrie de la nappe du CI (OSS, 2003) . . . . .	39
3.8	Situation des Forages profondes (Albien) étudiés . . . . .	40
5.1	Valeurs moyennes du pH dans les rejets urbains . . . . .	52
5.2	Valeurs moyennes de C.E dans les rejets urbains . . . . .	52
5.3	Variation des phosphates et des Nitrates dans les rejets urbaines . . . . .	53
5.4	cycle de l'azote . . . . .	54
5.5	Variation de la DCO et la DBO5 dans les rejets urbains . . . . .	55
5.6	Variation des Métaux Lourds dans les eaux usées urbaines (2005) . . . . .	56
5.7	Variation du pH dans les rejets des unités Industrielles. . . . .	57
5.8	Variation du CE dans les rejets des unités Industrielles. . . . .	58
5.9	Variation des éléments majeurs de salinité dans les rejets industriels . . . . .	59
5.10	Variation de TH dans les rejets des unités Industrielles. . . . .	59
5.11	Variation des éléments de pollution dans les rejets des unités Industriels. . . . .	60
5.12	Variation de la M.O dans les rejets Industriels . . . . .	61
5.13	Variation de la DBO5 et de la DCO dans les rejets Industriels . . . . .	62
5.14	Variation du Pb dans les rejets Industriels . . . . .	63
5.15	Variation du Cd dans les rejets Industriels . . . . .	64
5.16	Variation du Zn dans les rejets Industriels . . . . .	64
5.17	Variation du Cu dans les rejets Industriels . . . . .	65
5.18	Variation du Hg dans les rejets Industriels . . . . .	66
5.19	Variation linéaire de la conductivité de C.I dans la vallée . . . . .	67
5.20	Variation Spatiale de la conductivité de C.I dans la vallée . . . . .	68
5.21	Variation linéaire de la dureté TH de C.I dans la vallée . . . . .	69
5.22	Variation spatiale de la dureté de C.I dans la vallée . . . . .	69
5.23	Digramme de Piper de la nappe de CI . . . . .	70
5.24	Digramme de BERKALOF de la nappe de CI . . . . .	71
5.25	Digramme de Wicilox de la nappe de CI . . . . .	72
5.26	Variation de PO4 dans le C.I . . . . .	73
5.27	Variation de NO2 dans le C.I . . . . .	73

5.28	Variation du fer dans le C.I . . . . .	73
5.29	Variation du NH4 dans le C.I . . . . .	73
6.1	Variation spatial de Potentialité d'hydrogène (pH) dans la vallée . . . . .	76
6.2	Variation spatial de la conductivité dans la nappe phréatique . . . . .	78
6.3	Variation spatial et Temporelle de la dureté dans la nappe phréatique . . . . .	79
6.4	Variation spatial de la dureté dans la nappe phréatique . . . . .	79
6.5	Variation spatiale du calcium . . . . .	80
6.6	Variation spatiale du magnésium . . . . .	80
6.7	Variation spatiale de sodium . . . . .	81
6.8	Variation spatiale de potassium . . . . .	81
6.9	Variation spatial des Chlorures dans la nappe phréatique . . . . .	82
6.10	Variation spatial des Carbonate dans la nappe phréatique . . . . .	83
6.11	Diagramme de Piper 2005 . . . . .	84
6.12	Diagramme de Piper 2006 . . . . .	84
6.13	Diagramme de Piper 2010 . . . . .	84
6.14	Diagramme de Piper 2012 . . . . .	84
6.15	Diagramme de Wilcox des quatre periodes . . . . .	85
6.16	Variation spatiale des Nitrates dans la nappe phréatique . . . . .	86
6.17	Variation spatial des Nitrite dans la nappe phréatique . . . . .	86
6.18	Variation spatiale de l'Ammonium dans la nappe phréatique . . . . .	87
6.19	Variation spatiale des Phosphate dans la nappe phréatique . . . . .	87
6.20	Variation spatiale de la DBO5 et la DCO en 2005 . . . . .	88
6.21	Variation spatiale de la DBO5et DCO en 2006 . . . . .	89
6.22	Variation spatiale des Metaux Lourds dans la nappe Phréatique 2005 . . . . .	90
6.23	Variation spatiale du fer dans la nappe phréatique 2006 . . . . .	91
6.24	Variation spatiale du Plomb dans la nappe Phréatique 2006 . . . . .	91
6.25	Variation spatiale du Zinc dans la nappe Prhréatique 2006 . . . . .	92
6.26	Variation spatiale du Cuivre dans la nappe Prhréatique 2006 . . . . .	93
7.1	Photos N°1 de la crue2008 . . . . .	101
7.2	Photos N°2 de la crue 2008 . . . . .	101

7.3	Lieu des prélèvement . . . . .	101
7.4	Variation temporelle et spatiale du pH dans la vallée . . . . .	102
7.5	Variation spatiale et temporelle de CE . . . . .	103
7.6	Variation spatiale et temporelle du TH . . . . .	104
7.7	Diagramme de Piper des quatre periodes . . . . .	105
7.8	Scholler et Berkaloff pour 2005 . . . . .	106
7.9	Scholler et Berkaloff pour 2006 . . . . .	106
7.10	Diagramme de Scholler et Berkaloff pour 2010 . . . . .	106
7.11	Diagramme de Scholler et Berkaloff pour 2012 . . . . .	106
7.12	Diagramme de Stabler2005 . . . . .	107
7.13	Diagramme de Stabler2006 . . . . .	107
7.14	Diagramme de Stabler2010 . . . . .	107
7.15	Diagramme de Stabler2012 . . . . .	107
7.16	Evolution spatial et temporel d'Ammonium . . . . .	108
7.17	Evolution spatial et temporel des Phosphates . . . . .	108
7.18	Evolution spatial et temporel des Nitrites . . . . .	109
7.19	Evolution spatial et temporel des Nitrates . . . . .	109
B.1	Normes Algériennes de Potabilités rejets Industriels . . . . .	vi
B.2	Norme des rejets Industriels . . . . .	vii
C.1	Coordonnées spatiales d'échantillonnage de la nappe phréatique . . . . .	ix

---

# LISTE DES TABLEAUX

2.1	Température mensuelle (période : 2000-2012).	21
2.2	Précipitations mensuelles (période 2000-2012)	22
2.3	L'évaporation moyenne mensuelle (période 2000-2012).	23
2.4	vent mensuelle (période :2000-2012).	24
2.5	Météorologie de la région de Ghardaïa (2000-2012)	25
6.1	Dureté totale (TH)	79
6.2	Paramètres Bactériologiques des eaux de 2005 :	96
6.3	Paramètres Bactériologiques des eaux de 2006 :	97
A.1	Industries mécanique / métallurgie	ii
A.2	(Industries de chimie, caoutchouc et plastique)	iii
A.3	Les industrie de matériaux de construction, céramique et verre, peinture	iv
A.4	Industrie de cuirs	v

# Liste des abréviations

A.D.E. : Algérienne des eaux  
ANRH: Agence National Des Ressources hydraulique.  
CE : Conductivité Electrique.  
CI : Continental Intercalaire.  
CT : Complexe Terminal.  
D.H.T: Degré Hydrotimétrique total  
D.P.A.T. : Direction de planification et d'aménagement des territoires  
EDTA : Ethylène Diamine Tétra Acétique.  
ETP : Evapotranspiration Potentielle  
Evapo : Evaporation  
OMS : Organisation Mondiale de la Santé.  
ONM : Office National Météorologique.  
P : Pluviométrie  
PH : Potentiel Hydrogène.  
Res: Résidu sec  
S.A.S.S : Système Aquifère du Sahara Septentrional.  
Sal: Salinité  
T.Max : Température maximale  
T.Min : Température minimale  
TAC : Titre alcalimétrique complet.  
TDS : Taux De Salinité  
TH : Titre hydrométrique.  
TRC : Traces non mesurable.  
Tur: Turbidité  
UNT : Nephelometric Turbidity Unit.  
 $\mu\text{S}/\text{cm}$  : Micro Siemens par centimètre.

---

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

Dans les zones arides, l'eau est l'équivalente de la vie, les Oasis sont des profits de ces sources d'eau. Le sud Algérien est l'un des grand Sahara dans le monde, Ghardaïa englobe un ensemble d'oasis au centre de ce désert. La principale source de satisfaction d'eau est donc l'eau souterraine, elle est contenue dans deux types d'aquifères ; la nappe superficielle dite alluviale quaternaire (nappe phréatique), et la nappe profonde captive du Continental Intercalaire (nappe albien) [FABRE, 1976].

Les Oasis de la vallée du M'Zab sont aménagés le long de l'oued depuis des siècles suivant un axe vitale qui est l'eau souterraine proche (nappe phréatique). Dans ces zones considérée comme pratiquement aride, l'homme a lutté avec tous les moyens pour exploiter et conserver ce précieux élément. Les habitants anciens utilisent les eaux de la nappe alluvionnaire dans l'alimentation, l'irrigation et tous modes de vie en appliquant les méthodes traditionnelles de partage et de conservation d'eau par des dig « Ahbas » en préservant l'eau des pluies puis en le distribuant selon des conduites spéciaux. Plusieurs études dans ce domaines ont était réaliser sur cette méthode traditionnelle[REMINI. et al., 2012]

La croissance démographique et la modernisation de mode de vie agricole et industrielle entraînent des grands problèmes de disponibilité de la ressource tant quantitative que qualitative. Dès 1938, le premier forage dans l'albien s'est installé suivit de plusieurs autres points d'eau atteignant 65 forages dans la vallée seule.

Ce développement n'est pas passé sans laisser ses traces sur l'environnement et plus précisément sur la nappe phréatique. La surconsommation et la mauvaise gestion des eaux de la nappe albien

de qualité plus dures, mauvaise maîtrise des eaux usées, et les rejets industriels non traités contribuent tous par infiltration au surcharge et à la remontée et aussi à la pollution des eaux de la nappe phréatique. Ajoutant à celle-ci le caractère de précipitation des climats arides, des pluies brutales et mêmes catastrophiques qui induisent des inondations comme celle d'octobre 2008. Notre travail qui porte sur l'étude de caractérisation hydrochimiques et l'étude de l'état de pollution industrielle et urbaine des eaux de la nappe alluvionnaire, a pour but de faire une collecte de données, des échantillonnage des analyses qui permettra à terme d'évaluer la qualité des eaux d'une part et afin de comprendre à travers les cartes établies, l'évolution spatiale et temporelle des paramètres de pollutions soit en salinité ou en éléments de pollution et même en métaux lourds.

Vu que dans le lieu et l'intervalle de temps de notre travail c'était passé deux événements importants pour notre étude ; la première c'était la rénovation de réseau d'assainissement, où notre but était d'évaluer le degré de pollution par les eaux usées urbaines et industrielles. Le deuxième événement c'était la crue ravagante d'octobre 2008. Donc une étude sur l'influence de cette crue sur la qualité physico-chimique de la nappe proche a été réalisée.

La problématique sera traitée à l'aide d'une étude spatio-temporelle des paramètres analysés soit physico-chimiques, éléments majeurs, paramètres de pollution ou métaux lourds.

Pour atteindre le but élaboré, le travail est articulé en trois parties scindées en sept chapitres comme suit :

La première partie comprend deux chapitres, c'est la présentation de L'objectif et Contexte Général.

Le premier chapitre démontre l'objectif et présentation de zone d'étude.

Le deuxième chapitre, consiste à illustrer l'environnement géologique du bassin versant de la zone d'étude, aussi une présentation de l'environnement climatique et hydrogéologique.

La deuxième partie est consacrée aux Méthodes et Matériels

Le troisième chapitre c'est la partie méthodologie de travail et présentation des sources de pollution

- Etat des eaux usées urbaines
- Rejets industriels et enquête sur leurs traitements.
- Eau profonde et son exploitation, l'influence sur la nappe proche, prélèvements et analyses

Dans le quatrième chapitre on présente les Méthodes d'analyses et les paramètres de pollution



avec l'interférence des métaux lourds dans les milieux aqueux.

La troisième partie intitulée (Résultats et Discussions) est articulée en trois chapitres :

Le cinquième chapitre traite l'interprétation des résultats avec (figures et cartes) soit :

- Des analyses des eaux usées et des rejets industrielles du côté salinité ou en matière polluante ( $DCO$ ,  $DBO_5$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$  ....*etc*).
- Détermination de la qualité hydrochimiques et présentation des résultats d'analyses des eaux de la nappe profonde et de leurs variations spatiales le long de la vallée et temporelle en fonction de l'intervalle du temps d'étude.

Sixième chapitre c'est l'étude d'impact de la pollution sur la nappe phréatique, donc c'est l'analyse spatio-temporelle de la nappe alluvionnaire. Présentation détaillée des résultats, leurs variations en salinité, élément de pollution, métaux lourds et même en bactériologie et micro-organismes pour l'estimation de la pollution urbaine ou industrielle de la zone d'étude et voire la vulnérabilité de la nappe.

Le dernier chapitre est consacré aux inondations et à la crue de 2008 et son influence sur la qualité hydrochimique de la nappe phréatique.

Et enfin une conclusion générale récapitulant l'état de la dégradation et la qualité actuelle de la nappe avec des recommandations pour sauvegarder ou minimiser la pollution de cette nappe.

## Première partie

# Présentation de L'objectif et Contexte Général

---

---

# CHAPITRE 1

---

## OBJECTIFS ET PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

L'exploitation des eaux souterraines dans les zones arides font l'objet de différentes recherches sur les sources elles-mêmes, leur accessibilité, leur qualité et leur vulnérabilité à la pollution.

### 1.1 Objectif d'étude

Ghardaïa est une zone aride, malgré sa localisation, on trouve une variété d'activités, soit dans l'industrie, l'agriculture, le tourisme... Un développement urbain et industriel qui s'accélèrent sans cesse, entraîne des effets indésirables sur l'environnement qui était autre fois un endroit de distraction touristique avec l'air pur et fraîche des oasis dans le plein désert.

L'architecture spécifique depuis des siècles des Ksours fondée au XI ème siècle entourés par des jardins des palmeraies offre un appui touristique attirant classés comme patrimoine national en 1971 et patrimoine international par l'UNESCO depuis 1982. Malgré que le type d'oasis dépend la nature, l'exploitation de la ressource en eau, de la nature du sol et sa topographie [HADID, 2020] L'eau dans ses zones arides est la source de vie, et le seule choix de l'alimentation en eau c'est les ressources souterraines qui doit être gérer avec planification, et doit être protéger de toute source de pollution.

Les eaux souterraines en générale en milieu urbain subissent de multiples contraintes dues à la

croissance démographique et à l'inadaptation ou même l'absence d'assainissement [GROEN. et al., 1988, BOUKARI. et al., 1996, CISSE. et al., 2004, FOSTER, 2001, NKHUWA W., 2003] .

Les Organisations mondiales luttent contre ces dégradations par tous les moyens pour sauvegarder les bases vitales comme l'eau et l'air. L'eau et l'assainissement sont essentiels au développement et au bien-être humains [UNICEF. and WHO, 2015]. Pour le cas de la vallée du M'zab comme dans tout le monde le développement influe sur l'environnement. L'homme a utilisé tous ses capacités pour préserver cette source. Sous l'effet de la croissance démographique et des activités économiques et industrielles, la vallée du M'zab a connaît, depuis les années 70 un mouvement très fort et accéléré d'urbanisation. Il n'a fallu que très peu de temps pour voir l'espace entre les villes (les oasis) s'urbaniser et devenir une agglomération géante le long de la vallée. La consommation de l'eau courante quant à elle, a augmenté entraînant une multiplication des volumes évacués et leur non maîtrise dans un système très sensible et fragile.

[BENSAHA H., 2011]

Avec toutes ces contraintes l'homme comme citoyen ou Pouvoir cherche des solutions pour préserver son ancien environnement rafraichissant en parallèle à ce développement inévitable [REMINI. and ACHOUR., 2016] . L'élément primordial à sauvegarder c'est les eaux souterraines. Plusieurs projets ont été lancés dans cet objectif, parmi celui réalisées par l'état c'est le grand projet d'étude ( BG 2002) pour éviter la contamination de la nappe phréatique en reconstruisant le réseau d'assainissement avec une station d'épuration par lagunage, remplacent le projet de la station réalisé en 1986 qui n'a jamais fonctionné à cause de mauvais choix de lieu d'implantation. Notre étude va contribuer dans l'évaluation de l'état de contamination de la nappe phréatique de la vallée de M'zab à Ghardaïa.

## 1.2 Présentation de la zone d'étude

Ghardaïa occupe une position centrale reliant les hauts plateaux avec le Sahara, ce qui fait d'elle une place tournante pour le développement de toute la région (fig.1.1).

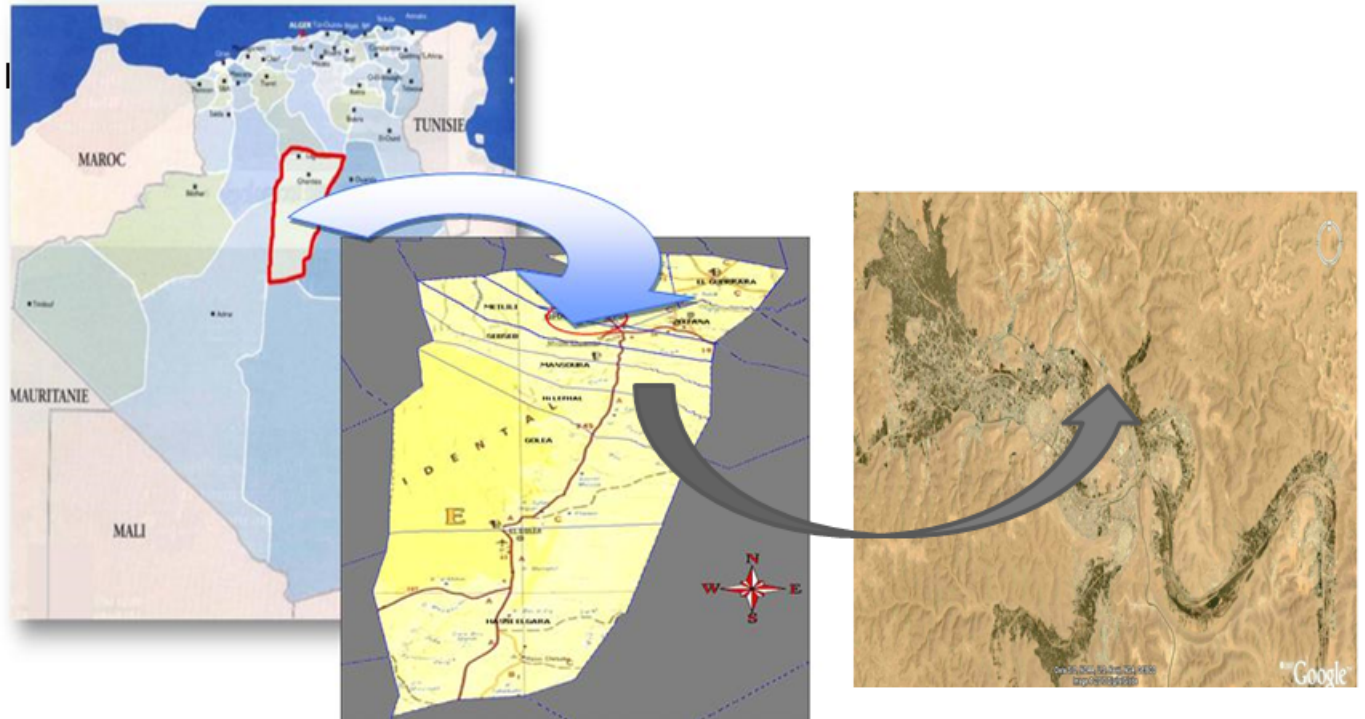


FIGURE 1.1 – Cartes de localisation de la région d'étude.

### 1.2.1 Situation géographique

La Wilaya de Ghardaïa se situe à 600 Km au Sud de la capitale Alger, sur une altitude moyenne de 600 m environ, avec une superficie de plus de 86 105  $km^2$ , longitude est de 3°.45 Est, et latitude de 32°. 30' Nord. La Wilaya de Ghardaïa est bordée au

- Au Nord par la Wilaya de Laghouat (200 Km) ;
- Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa (300 Km) ;
- A l'Est par la Wilaya de Ouargla (200 Km) ;
- Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset (1.470 Km) ;
- Au Sud- Ouest par la Wilaya d'Adrar (400 Km) ;

— A l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayadh (350 Km) .

Elle est issue du découpage administratif du territoire de 1984. Elle est constituée de 13 communes regroupées dans 9 daïras, qui sont : Ghardaïa, El Meniaa, Metlili, Berriane, Daya Ben Dahoua, Mansoura, Zelfana, Guerrara et Bounoura.

### 1.2.2 Présentation socioéconomique

La population totale de la Wilaya de Ghardaia est estimée à la fin de l'année 2010 à 405015 habitants contre 396.452 en 2009, soit une augmentation absolue de 8.563 et un taux d'accroissement démographique dégressif de l'ordre de 2,16 % en 2010. La Wilaya de Ghardaia couvre une superficie de 84.660,12 km<sup>2</sup>, soit une densité de peuplement de 4,78 habitants / km<sup>2</sup>.

Les plus fortes densités sont observées dans les communes :

- Ghardaia 371,47 habitants / km<sup>2</sup>, Bounoura 48,22 habitants / km<sup>2</sup>, El-Atteuf 23,37 Habitants / km<sup>2</sup> et Guerrara 19,16 habitants / km<sup>2</sup> et ; [AS.V1, 2010] Ceci confirme le contraste Nord Sud (entre les deux zones) :

- Zone Nord représentant 17,76 % du territoire de la Wilaya et se caractérise par un fort poids démographique 80 % de la population totale de la Wilaya y sont concentrés. Soit une densité de peuplement de 21,52 habitants/km<sup>2</sup>.

- Zone Sud représentant plus de 82 % du territoire de la Wilaya avec un faible poids démographique, 20 % de la population totale de la Wilaya y résident. Soit une densité de peuplement de 1,17 habitants /km<sup>2</sup>.

la Wilaya de GHARDAIA dispose de différents sources pouvant lui permettre de jouer un rôle important dans le développement socio-économique du pays [AS.V2, 2010] :

- Position géographique ,les ressources naturelles.
- Ressources touristiques et artisanales, (Tourisme, Thermalisme)
- Ressources du sol et du sous-sol.
- Ressources hydriques.
- Disponibilité des ressources énergétiques (électricité, gaz, hydrocarbures) comme la zone de Noumiratte.
- Infrastructures de base ( routes, aéroports,...)
- Les ressources hydriques de la Wilaya sont essentiellement souterraines et ont pour origine deux nappes : la nappe des alluvions quaternaire et du Continental intercalaire.

- Les ressources agricoles ; les cultures maraîchères et la céréaliculture sont largement répandues dans la Wilaya en plus aux palmerais dattier qui résistent au climat aride.

La région de Ghardaia demeure le deuxième pôle touristique Algérien après le Littoral et une des régions les plus visitées du pays, ajoutant à ceci la zone thermique thérapeutique et touristique de Zalfana.

La Wilaya de Ghardaia est dotée de deux zones industrielles implantées à Bounoura et Guerrara et de plusieurs d'autres zones d'activités qui serviront à accueillir les projets d'investissements [AS.V2, 2010].

-

### 1.2.3 Géomorphologie

Ghardaia est caractérisée par des plaines dans le Continental Terminal, des régions ensablées, la Chebka et l'ensemble de la région centrale et s'étend du Nord au Sud sur environ 450 km et d'Est en Ouest sur environ 200 km. L'appartenance au milieu saharien et aride constitue fortement l'occupation de l'espace (fig. 1.2).

L'implantation des villes s'est faite par rapport aux grands axes de circulation et aux oasis et leur développement a été étroitement lié aux conditions naturelles (eau, climat, relief ...). Le couvert végétal est pauvre. La structure et la nature du sol ne sont pas favorables à l'existence d'une flore naturelle riche. La verdure est plutôt créée par l'homme. Cependant la région n'est pas dépourvue de végétation naturelle ; elle est rencontrée dans les lits d'oueds.[AS.V1, 2010]

Le désert se présente sous des formes diversifiées :

- Les ergs, étendus massifs de dunes partie du grand erg occidental avec des cordons dunaires particulièrement denses et élevés.
- Les H'mada, ; cuirasse calcaire avec, en surface un cailloutis anguleux.

Les sols pierreux recouvrent une partie importante des déserts. La vie y est pratiquement inexistante. La nature du sol et le climat jouent un rôle primordial dans la désertification. La température des déserts n'est donc qu'un phénomène secondaire [FABRE, 1976].

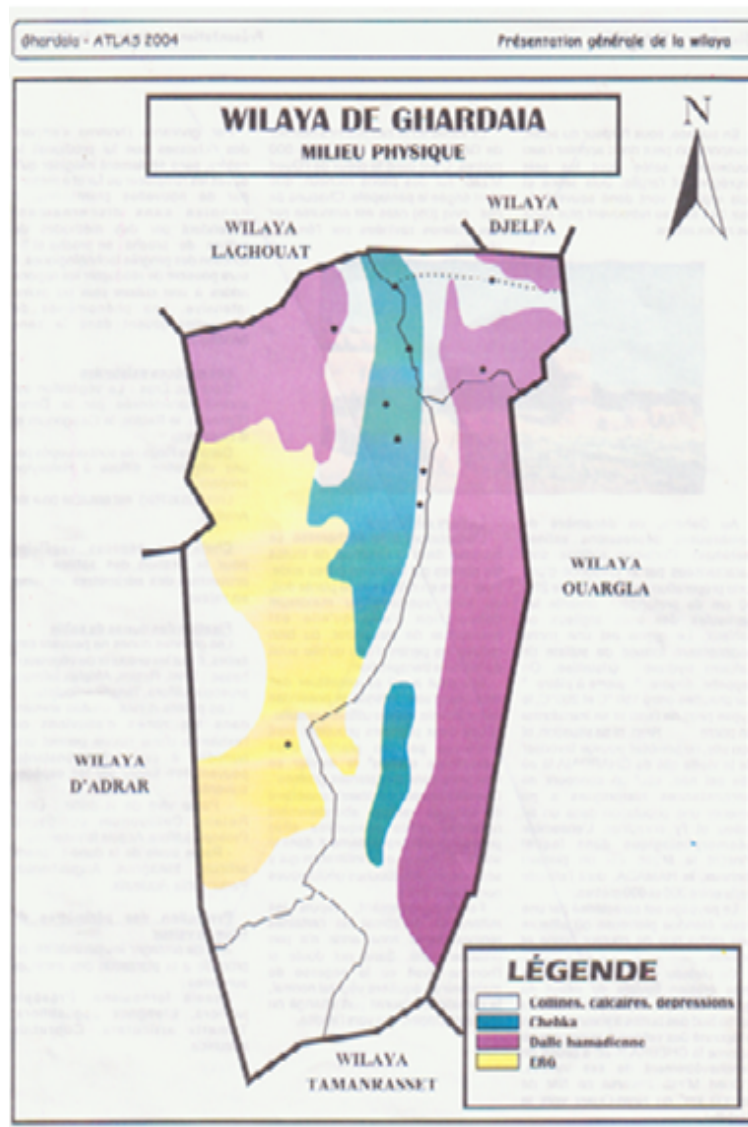


FIGURE 1.2 – Carte de milieu physique de Ghardaia (DPAT)

#### 1.2.4 Composition des sols désertiques

Au Sahara, on dénombre de nombreuses dépressions salines (sebkhas). Certaines régions sont caractérisées par une forte présence de gypse de 20 à 40 cm de profondeur, qui cimente les particules des sols argileux ou sableux. Le gypse est une roche sédimentaire formée de sulfate de calcium hydraté cristallisé.

L'ensemble géomorphologique dans lequel s'inscrit le M'Zab est un plateau rocheux, le HAMADA, dont l'altitude varie entre 300 et 800 mètres.

Le paysage est caractérisé par une vaste étendue pierreuse où affleure une roche nue de couleur



brune et noirâtre.

Ce plateau a été masqué par la forte érosion fluviale du début du quaternaire qui a découpé dans sa partie Sud des buttes à sommets plats et a façonné des vallées. L'ensemble se nomme la CHEBKA «Filet» à cause de l'enchevêtrement de ses vallées. L'Oued M'Zab traverse ce filet de 38.000  $km^2$  du Nord-Ouest vers le Sud-est.[AS.V1, 2010]

### 1.2.5 Pays de la Chebka

Les pays de la Chebka est un vaste et épais plateau, composé de terrains essentiellement carbonatés, massif élevé par le Nord-Ouest de plusieurs centaines de mètres au-dessus de la mer, aride et dénudé de toute végétation, et est littéralement découpé par d'innombrables ravins plus ou moins profonds. Ces derniers se joignent et s'enchevêtrent en dessinant des réseaux réticules qui ont valu à ce pays le nom arabe de « Chebka », par analogie a un filet . Cette appellation géomorphologique tient compte, dans le sens strict, de trois conditions : un plateau calcaire, un réseau de ravins enchevêtré, et une certaine profondeur de ces ravins.

### 1.2.6 Les oueds de la Chebka

La région de Ghardaïa est jalonnée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont : Oued Sebseb, Oued Metlili, Oued M'zab, Oued N'sa et Oued Zegrir. (fig. 1.3), L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'Zab. Ils drainent en grande partie les eaux de la dorsale de l'Ouest vers l'Est, leur écoulement est sporadique, il se manifeste à la suite des averses orageuses que connaît la région. Les écoulements de l'oued sont ralentis par une série des barrages (digs).

Les principaux affluents du M'zab, alias El Abiod, sont en amont de Ghardaïa ; sur la rive gauche, l'oued El Haimour qui conflue à la Daya ben Dahoua au méridien  $3^{\circ}37'$ , sur la rive droite l'oued Touzouz qui rejoint le M'zab en amont de la palmeraie de Ghardaïa (Bouchen) au méridien  $3^{\circ}38'$ . En aval de la ville de Ghardaïa on rencontre, à droite, au niveau de Beni Isguen, le N'tissa au méridien  $3^{\circ}41'$ , le côté gauche, au méridien  $3^{\circ}42'$  ; l'oued Azouil.[ACHOUR, 2014b]

Plus loin de la pentapole mozabite en aval, on trouve sur la rive droite oued Noumerat, sur la rive gauche et en amont de Zelfana oued Nessaimou. Plus en aval on rencontre l'oued Hassei sur la rive droite, qui draine la partie Nord du bassin du M'zab.

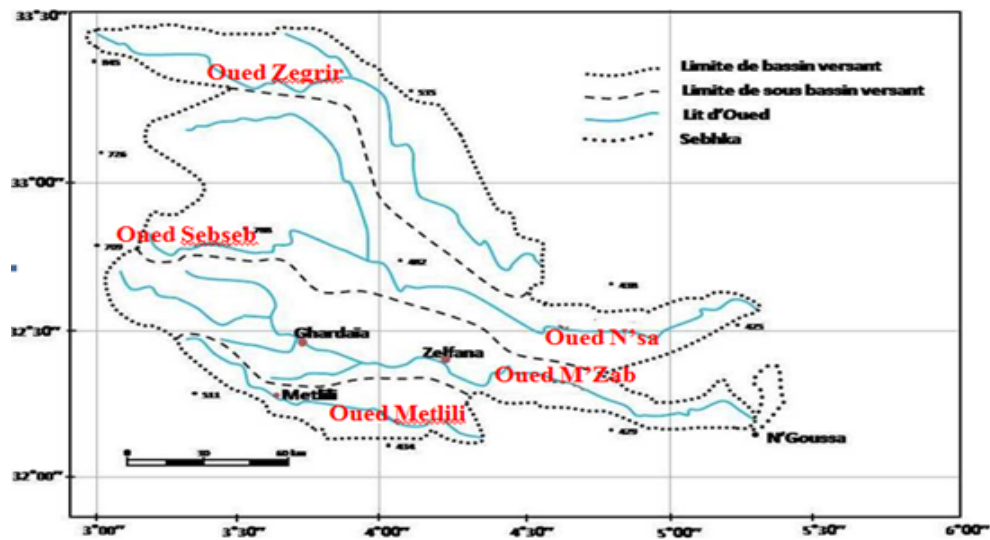


FIGURE 1.3 – Bassin versant de la région du M'Zab (ANRH Ouargla, 2008).

### 1.2.7 Géomorphologie de la vallée du M'zab

La vallée du M'Zab est le chef-lieu de la wilaya, regroupant trois (03) daïras et quatre (04) communes qui sont : Daia Ben Dahoua, Ghardaia, Bounoura et El Atteuf.

Elle est située à l'enceinte du bassin versant. La vallée est entaillée dans les massifs calcaires du Turonien.

L'oued ou vallée fait partie intégrante de la Chebka du M'Zab, il correspond à un ensemble orographique globalement homogène. De par sa constitution géologique et géomorphologique particulières, la Chebka offre un paysage captivant, son aspect relativement accidenté contraste avec deux autres types de paysages qu'on rencontre dans cette partie du Sahara algérien ; d'une part, les vastes étendues planes et uniformes que constituent les plateaux hamadiens calcaires, ou les terrains d'atterrissement, et d'autre part, les systèmes dunaires ou ergs, comme le présente les précieuses descriptions de terrain rapportées par les premiers missionnaires [VILLE, 1872, G.ROLLAND, 1881, G.ROLLAND, 1890]

L'Oued M'Zab prend naissance dans la région de Botma Touila à une altitude 750 m, coule sensiblement d'Ouest en Est sur 325 km environ, et se déverse dans son exutoire naturel qui est sebkhata Safioune au Nord de la ville de Ouargla à une altitude de 107 mètres.

De ce qui précède la vallée du M'zab est le chef lieu de la wilaya de Ghardaia qui se présente

comme une ancienne urbanisation des oasis dans cette zone aride de l'Algérie. L'étude hydrogéologique et climatique de cette région sera présentée dans le chapitre suivant.

---

---

## CHAPITRE 2

---

# APERÇUS HYDROGÉOLOGIQUE ET CLIMATIQUE

En hydrogéologie, le moyen d'investigation très utile qui permet le repérage des formations susceptibles d'être aquifères, c'est la géologie. En se basant aux anciens travaux géologiques régionaux comme celle de [FABRE, 1976, BUSSON, 1970] qui ont initié la géologie du Sahara septentrional, on peut décrire les formations existants.

### 2.1 Cadre géologique Saharien

Le cadre de la géologie Saharienne appartient à l'âge Secondaire et Tertiaire subhorizontale, reposant sur le paléozoïque

Le bassin du bas-Sahara ou bassin du Chaamba [CONRAD, 1969] est formé d'une vaste cuvette synclinale, le centre de la cuvette est occupé par les dunes du Grand Erg oriental. Par contre le Grand Erg occidental couvre en grandes parties ces bordures occidentales et sous ces dunes de sables le bassin correspond à un vaste bombement anticlinal à axe situé approximativement le long de la dorsale du M'zab [ACHOUR, 2014a].

La géologie du bas-Sahara est assez simple, ses traits géologiques en détail ne sont connus qu'à travers les sondages profonds de recherche des hydrocarbures.

### **2.1.1 Trias**

Il correspond à de dépôts épais de grès perméable d'environ de 500 mètres d'épaisseur, surmontés par une puissante série salifère de 500 mètres composée de sel gemme, d'anhydrite, de dolomite et d'argile. Il s'étend dans tout le bassin et repose sur une surface de pédiplanation du socle primaire [FABRE, 1976]

### **2.1.2 Jurassique**

Il est formé essentiellement de bancs de calcaires et de calcaires dolomitiques à fossiles. Il a été recoupé sur une épaisseur de 689 mètres [ACHOUR, 2014a].

### **2.1.3 Crétacé inférieur**

Affleurant seulement Tademaït et Tinhret au Sud et Sud-Est, à l'Ouest formant la dorsale du M'zab. Il a été recoupé dans tous les sondages exécutés dans le bassin du bas-Sahara[BUSSON, 1970, FABRE, 1976]. Il correspond à une énorme série détritique fluvio-deltaïque de 200 à 1100 mètres. le Crétacé inférieur comprend : Néocomien, Barrémien, Aptien et Albien

### **2.1.4 Crétacé supérieur**

Dans cette période le dépôt carbonatés de calcaires et calcaires dolomitiques à faune benthique prédomine, invoquant une transgression marine de Cénomaniens, Turonien, Sénonien, Sénonien inférieur lagunaire et Sénonien supérieur[ACHOUR, 2014a, FABRE, 1976].

### **2.1.5 Tertiaire**

l'homogénéité de faciès rend délicat la séparation. L'Eocène marque la fin du dernier épisode marin du Sahara [BUSSEON, 1970]. Le Tertiaire est formé de l'Eocène inférieur, Eocène moyen, Mio-Pliocène, Pliocène continental.

### **2.1.6 Quaternaire**

Dépôt de remblaiement constitué de sables fin gypseux. Au centre du bas-Sahara qui est surmonté par une formation argilo-sableuse et gypseuse qui résulte d'une sédimentation en milieu

lacustre durant la phase d'assèchement des lagunes des chotts [BUSSON, 1970].

## 2.2 Cadre géologique de la dorsale du M'zab

La zone d'étude présente à l'affleurement une succession de formations géologiques allant du Cénomaniens au Mio-pliocène continental. Le Quaternaire correspond au dépôt de recouvrement alluvionnaire de la plus part des vallées des oueds de la dorsale du M'zab [ACHOUR, 2014a].

Du point de vue géologique, la vallée est située aux bordures occidentales du bassin sédimentaire

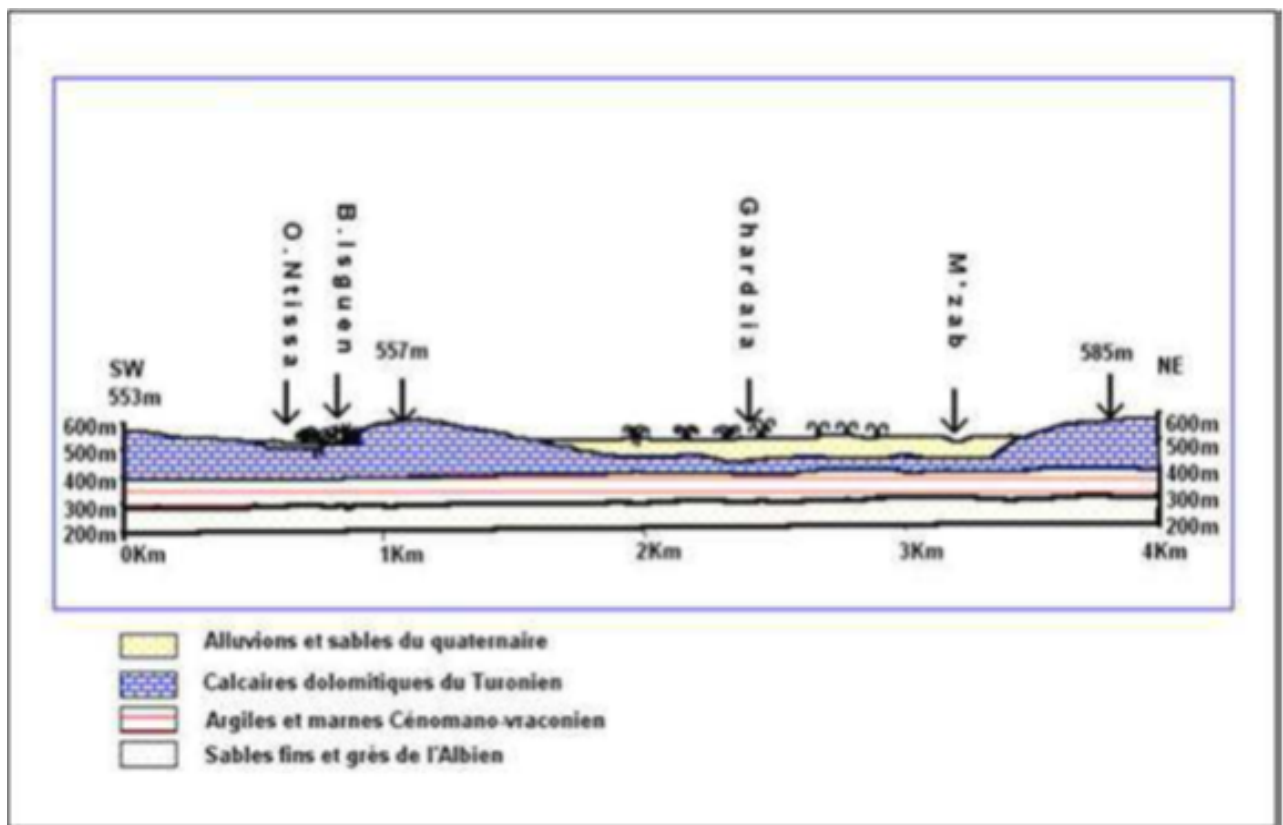


FIGURE 2.1 – Coupe géologie schématique de la région du M'Zab. ANRH

secondaire du Sahara, sur un grand plateau subhorizontal de massifs calcaires d'âge Turonien appelé couramment "la dorsale du M'Zab". L'épaisseur de ses massifs calcaires recoupés par les sondages est de l'ordre de 110 mètres. Sous les calcaires Turoniens on recoupe une couche imperméable de 220 mètres formée d'argile verte et de marne riche en gypse et en anhydrite ; elle est attribuée au Cénomaniens surmontées par une importante couche de calcaires dolomitiques massifs, correspond à un pli anticlinal d'un très grand rayon de courbure. Elle consiste une ondulation de quelques

mètres d'amplitude et de 50 à 100 mètres de large (fig. 2.2), imitant en surface l'écho de rejeux des accidents du socle primaire fracturé du bassin Sahara lors de la phase de l'orogénèse atlasique [FABRE, 1976]. L'étage de l'Albien est représenté par une masse importante de sables fins à grès et d'argiles vertes. Elle abrite des ressources hydrauliques considérables, l'épaisseur est de l'ordre de 300 mètres. Les alluvions quaternaires formées de sables, galets et argiles tapissent le fond des vallées des oueds de la dorsale, d'une épaisseur de 20 à 30 mètres [ACHOUR, 2014a]. Ces alluvions abritent les inféro-flux de la plus part des oueds comme la présente la coupe latérale dans la (fig. 2.1).

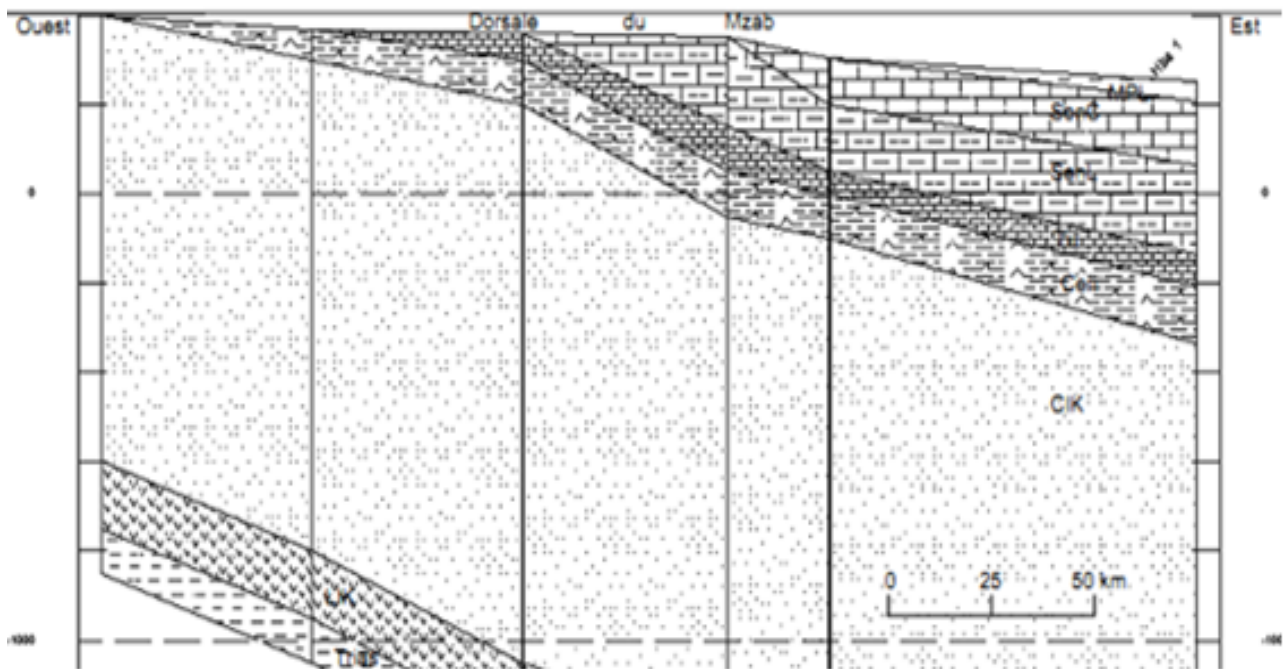


FIGURE 2.2 - - Coupe géologique E-W à travers la dorsale du M'zab (in Ould Baba sy, 2005)

## 2.3 Aspect Hydrogéologique

Les ressources en eau de la vallée du M'Zab proviennent de deux aquifères :

- L'aquifères des alluvions.
- L'aquifères du Continental intercalaire.

### **2.3.1 Aquifère des alluvions**

L'aquifère des alluvions renferme la nappe phréatique qui alimentait autrefois l'Oasis. D'après [FLANDRIN, 1957], il est situé entre 40 et 70 m de profondeur.

D'une manière générale, les vallées des oueds de la région sont le siège de nappe phréatique. L'alimentation et le comportement hydrogéologique sont liés étroitement à la pluviométrie [ACHOUR, 2003]. La nappe phréatique est formée d'alluvions et de sable du quaternaire, constituée de galets et de poudingues tapissant les lits des oueds. Les alluvions reposent sur les couches calcaires durs du turonien. Cette nappe présente un intérêt très important dans le domaine agricole, elle sert comme une source pour l'irrigation de la palmeraie de la vallée mais elle vient de perdre sa qualité de potabilité même en amont de la vallée.

Elle est alimentée essentiellement par les eaux de pluies torrentielles et par les eaux de la nappe profonde (albien) de certains forages destinés pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable [ACHOUR, 2005].

### **2.3.2 Aquifère du Continental intercalaire (CI)(Albien)**

Le terme continental intercalaire (CI) évoqué par Conrad en 1931, désigne la série de formations détritiques groupées du Crétacé inférieur intercalée entre deux séries marines ; celle du Paléozoïque au-dessous, et la série du Crétacé supérieur au-dessus.

La nappe du Continental Intercalaire draine, d'une façon générale, les formations gréseuses et gréso-argileuses du Barrémien et de l'Albien. Elle est exploitée, selon la région, à une profondeur allant de 250 à 1000m. Localement, l'écoulement des eaux se fait d'Ouest en Est (fig.2.3). La dorsale du M'zab, Hydrographiquement divise le domaine du SASS en deux bassins, ; le bassin occidental de 280.000 km<sup>2</sup> drainé vers le Sud, et le bassin oriental de 500.000 km<sup>2</sup> drainé vers le Nord-Est. Cependant la limite de la nappe du CT est située plus à l'Est de la région du M'zab, cette dernière n'est pas captée avec succès dans la région de Ghardaïa.

### **2.3.3 Géochimie de l'aquifère du CI dans la région**

Le Continental intercalaire dans la région du M'zab est composé de sables fins et de grés jaunâtres à gris à intercalations d'argiles. Il comprend toutes les formations sablo-gréseuses et argilo-sableuses du Crétacé inférieur. Un toit imperméable de l'aquifère est constitué des épais





FIGURE 2.3 – Limites De Domaine de SASS (ANRH)

séries argilo-évaporitiques du Cénomaniens , dont l'Albien est l'étage qui est capté et exploité avec succès par plusieurs forages dans tout le territoire de la wilaya de Ghardaïa (fig.2.4).

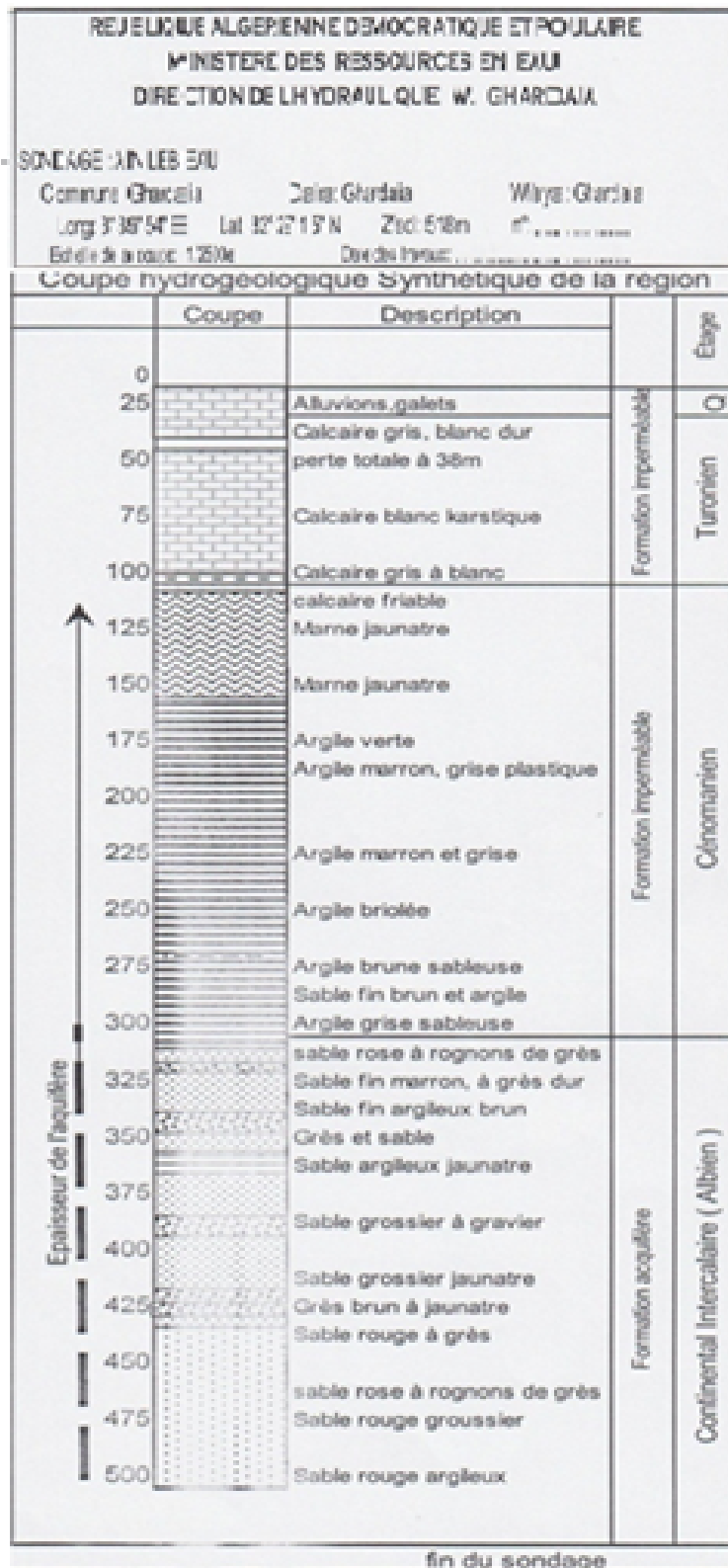


FIGURE 2.4 – profondeur des forages et le toit de l'aquifère albien. (KOULE, BASSOU 2003)

## 2.4 Aspect climatique

La caractérisation du climat porte sur la pluviométrie, la température, l'évapotranspiration potentielle, les vents et l'humidité relative. Les données climatiques sont recueillies au niveau de la station météorologique de Ghardaïa. (Latitude 32,4°N longitude 4,2°E altitude 450m).

### 2.4.1 Température

Elle est marquée par une grande amplitude entre les températures de jour et de nuit, d'été et d'hiver.

TABLE 2.1 – Température mensuelle (période : 2000-2012).

Mois	T moy (°c)	T max (°c)	Tmin (°c)
Jan.	11,33	17	6,3
Fev.	13,81	19,56	8,21
Mars	7,63	23,74	11,29
Avril	21,58	27,68	14,93
Mai	25,93	32,04	18,97
Juin	31,34	37,68	23,97
Juillet	35,21	41,7	27,89
Aout	34,15	40,44	27,23
Sept.	28,9	35,1	22,74
Oct.	23,26	29	17,62
Nov.	15,93	21,68	10,61
Déc.	12,22	17,65	7,26

Les températures moyennes annuelles présentent leurs maxima au mois de juin, juillet et aout avec un maximum de 35.21°C au mois de juillet ; et elles enregistrent les minima au décembre, janvier et février avec un minimum de 11.33 °C au mois de janvier dans le graphe de la fig.2.5).

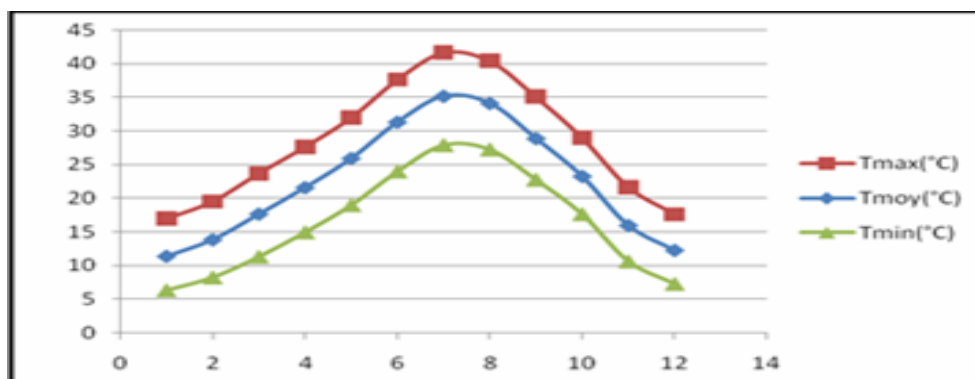


FIGURE 2.5 – Températures moyenne mensuelle (Période : 2000-2012)

## 2.4.2 Précipitation

Les précipitations constituent l'unique « entrée » de bilan hydrologique. Elles permettent une appréciation indirecte de l'état des réserves en eau du sol, la recharge et le régime des cours d'eau dans les bassins versants. On les exprime généralement en hauteur de lame d'eau précipitée par unité de surface horizontale (mm). On définit aussi son intensité (mm/h) comme la hauteur d'eau précipitée par unité de temps.

TABLE 2.2 – Précipitations mensuelles (période 2000-2012)

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Totale
P (mm)	11.1	1.9	6.2	7.3	0.8	1.9	1.5	4.4	14.3	5.6	5.1	3.2	63.3

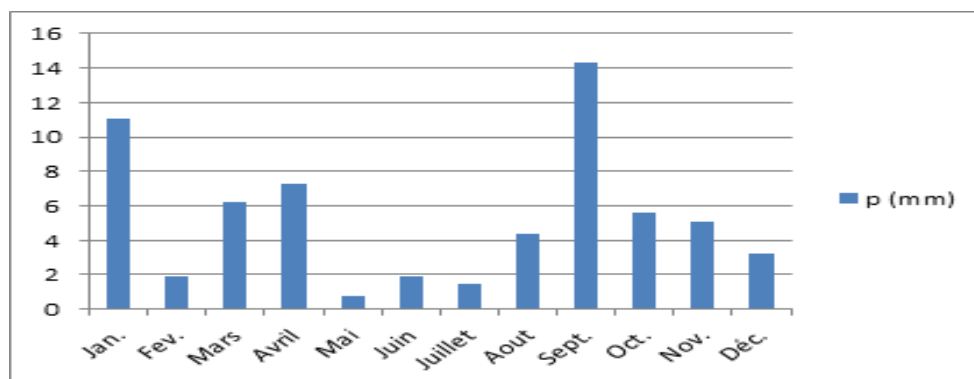


FIGURE 2.6 – précipitation moyenne mensuelle (période (2000-2012)).

L'histogramme (fig.2.6) représentant la répartition des pluies mensuelles sur une période de

douze ans a prouvée l'existence d'un régime mensuelle irrégulier traduisant une pluviométrie dont :

- Les mois de septembre, janvier et avril des valeurs maximum.
- Quant aux mois secs, mai, juin et juillet des valeurs minimum.

### 2.4.3 Humidité relative

L'humidité relative de l'air est très faible en juillet, atteignant un maximum en mois de décembre. Les mois de la période estivale atteignent un minimum en humidité en juillet (fig.2.7).

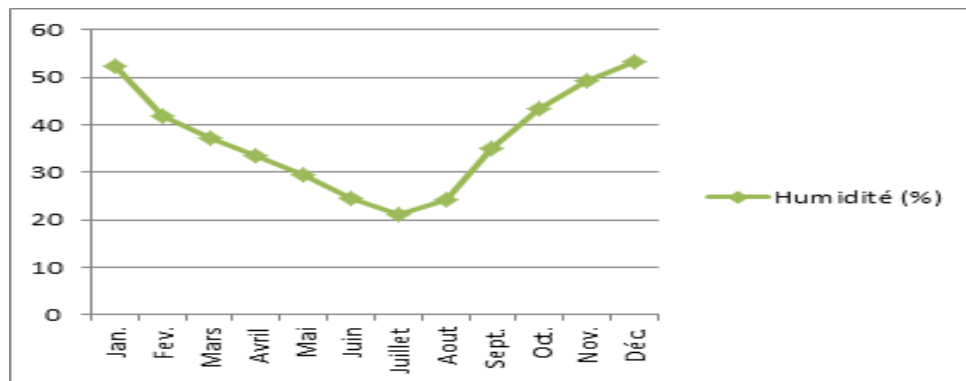


FIGURE 2.7 – Moyennes mensuelles de l'humidité relative(période : 2000-2012)

### 2.4.4 Evaporation

C'est le processus physique de la transformation de l'eau en vapeur d'eau. C'est un paramètre essentiel, car il représente une partie de la fonction de « sortie » dans le bilan hydrologique d'une région donnée. Cependant il est difficile à mesurer, car il dépend de plusieurs facteurs qui sont variables dans l'espace et dans le temps, tels que la température, les précipitations, la vitesse des vents, l'humidité de l'air, l'état du sol et la végétation. Les résultats disponibles pour l'estimation de l'évaporation à la station du Ghardaïa sont mentionnés dans le tableau 2.3.

TABLE 2.3 – L'évaporation moyenne mensuelle (période 2000-2012).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Totale
E(mm)	104,7	102,1	167,7	215,5	267,9	363,6	390,9	357,2	271,1	160,9	123	106	2630,6

La grande évaporation est en mois de juillet avec une évaporation mesurée de 390.9 mm (fig.2.8).

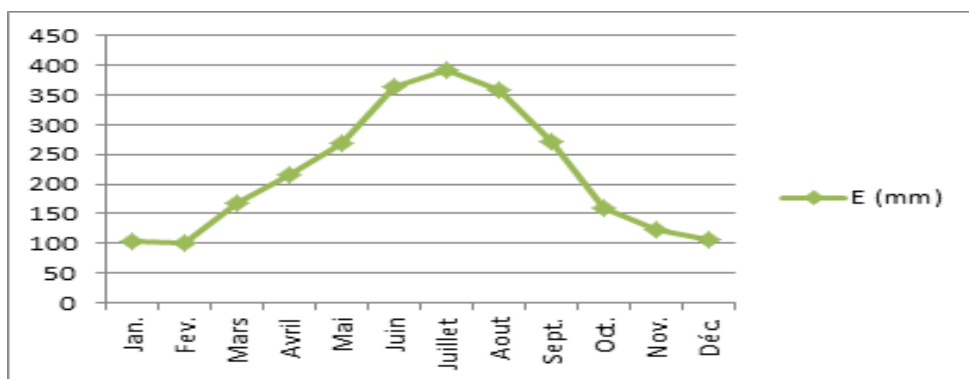


FIGURE 2.8 – Evaporation mensuelle

### 2.4.5 Les vents

Le vent est le facteur principale de la topographie désertique. Pendant certains périodes de l'année, en général en Mars; Avril et Mai, on assiste au Sahara de véritables tempêtes de sable. Des trompes de sable se déplacent avec violence atteignant plusieurs centaines de mètres.

TABLE 2.4 – vent mensuelle (période :2000-2012).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Vitesse de Vent (Km/h)	10.71	12.88	13.52	15.99	15.49	12.93	11.77	11.18	12.08	10.91	11.18	12.93

Le tableau 2.4 et la (fig.2.9). présentent la variation mensuelle de ce paramètre.

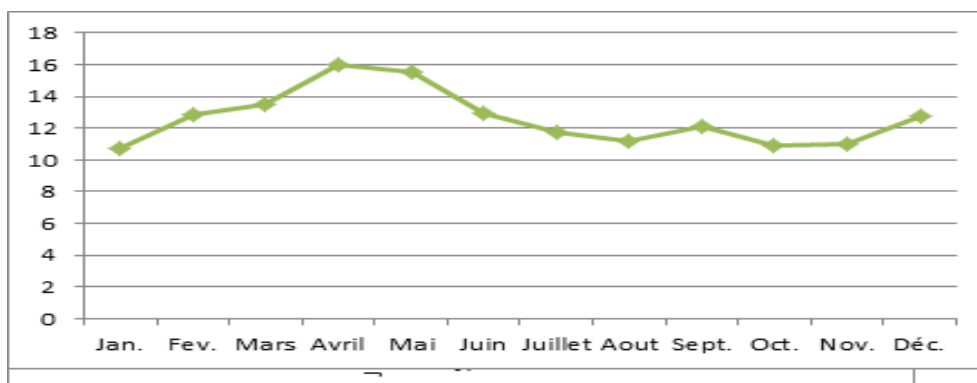


FIGURE 2.9 – vitesse du vent mensuelles(Km/h) (période : 2000-2012)

## 2.4.6 Synthèse climatique

La Synthèse climatique est basée sur le diagramme ombrothermique de Gausсен et le Climatogramme d'Emberger.

TABLE 2.5 – Météorologie de la région de Ghardaïa (2000-2012)

Mois	p (mm)	V V (m/s)	Humidité	T moy (c)	E (mm)
Janvier	11,1	10,71	52,5	11,33	104,7
Février	1,9	12,88	41,9	13,81	102,1
Mars	6,2	13,52	37,3	17,63	167,7
Avril	7,3	15,99	33,5	21,58	215,5
Mai	0,8	15,49	29,4	25,93	267,9
Juin	1,9	12,93	24,5	31,34	363,6
Juillet	1,5	11,77	21	35,21	390,9
Aout	4,4	11,18	24,1	34,15	357,2
Septembre	14,3	12,08	35,1	28,9	271,1
Octobre	5,6	10,91	43,3	23,26	160,9
Novembre	5,1	10,99	49,3	15,93	123
Décembre	3,2	12,77	53,4	12,22	106
Moyenne	5,275	12,6016667	37,1083333	22,6075	219,216667

### Digramme ombrothermique de Gausсен

Le diagramme ombrothermique de Gausсен (fig.2.10). permet de déterminer les périodes sèches et humides durant l'année prise en considération.

Un mois est considéré comme sec quand le total des précipitations annuelles exprimées en millimètre est inférieur au double de la température moyenne en degré Celsius (BAGNOUL et GAUSSEN, 1953).

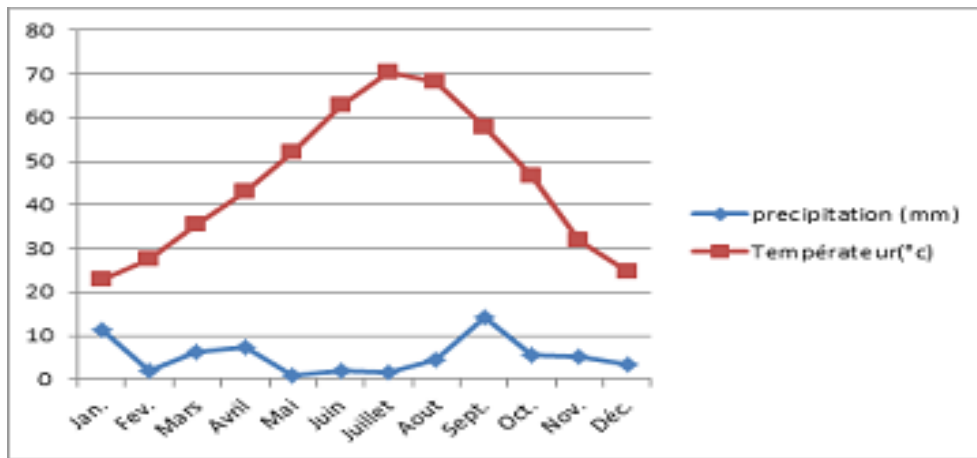


FIGURE 2.10 – : Diagramme ombrothermique de Gaussen de Ghardaia (Période : 2000-2012)

### Climagramme d'Emberger

Le Climagramme d'Emberger est adapté aux régions du pourtour de la méditerranée. Il permet la classification d'une région parmi les étages bioclimatiques. Le quotient pluviométrique est calculé par la formule suivante :

$$Q_3 = (3,43 \times P) / ((M - m)) \quad (2.1)$$

$Q_3$  = Quotient pluviométrique d'Emberger

$P$  : est la somme des précipitations annuelles exprimées en mm

$M$  : est la moyenne des températures des maxima du mois le plus chaud en (C)

$m$  : la moyenne des températures minima du mois le plus froid en (C)

Le quotient pluviométrique ( $Q_3$ ) de la région de Ghardaïa calculé pour une période de treize ans (2000-2012) est égal à (6,01). En rapportant cette valeur sur le Climagramme d'EMBERGER, accompagnée de la valeur de la température minimale (5,9 °C.) du mois le plus froid, il est à constater que la région de Ghardaïa se situe dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux.



## Présentation de calligramme d'Emberger

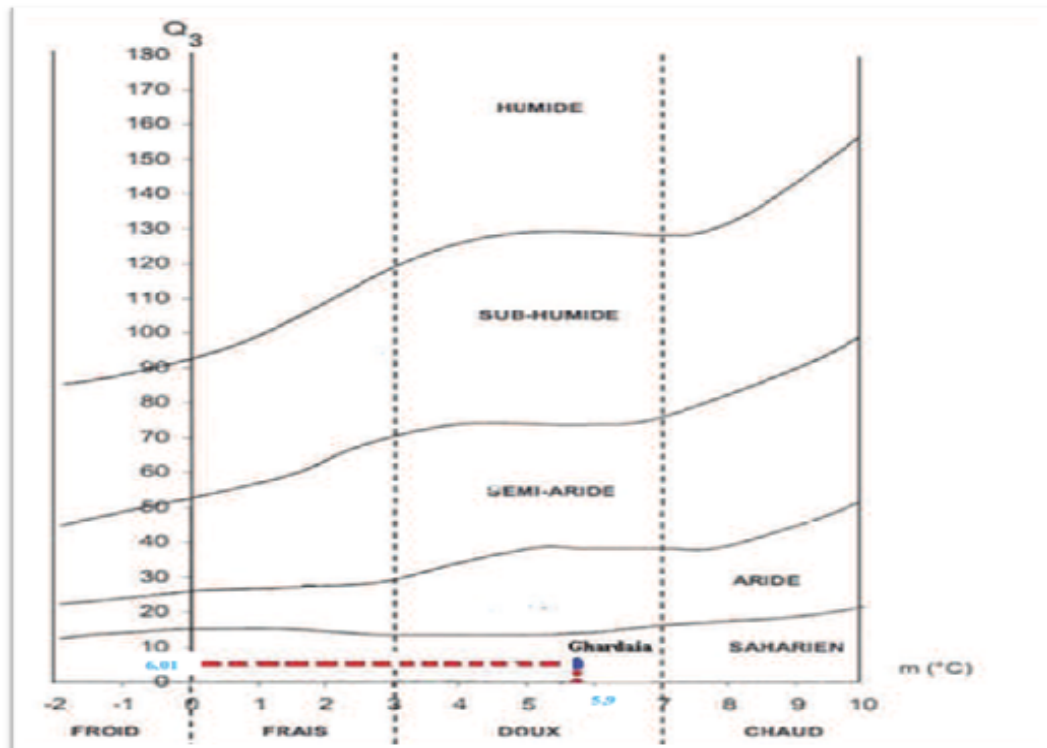


FIGURE 2.11 – Situation de la région du Ghardaïa dans le Climagramme d'Emberger pour une valeur moyenne entre (2000-2012).

Deuxième partie

Méthodes et Matériels

---

---

## CHAPITRE 3

---

# MÉTHODOLOGIE DU TRAVAIL ET PRÉSENTATION DES SOURCES DE POLLUTION

L'étude Hydrochimiques constitue le diagnostic réfléchissant l'état des sources d'où provient cette eau et la détermination des caractéristiques physicochimiques des éléments dissous pour sélectionner leurs origines selon la qualité et d'estimer le taux de changement suite au différents formes de pollution. Pour cela il faut choisir les méthodes d'analyses, de prélèvements et d'interprétation selon chaque cas soit pour les eaux usées, les rejets industrielles les eaux souterraines profondes ou proches, car le problème de dégradation de la qualité des eaux est devenu une préoccupation exigeant des solutions impératives. Pour trouver des solutions à ce problème de dégradation de la qualité des eaux il faut étudier les causes et la diversité de sources de pollution affectant l'environnement.

Or l'aridité du climat et la pollution compliquent l'exploitation et la gestion de l'eau dans les zone Saharien comme c'est le cas de la zone d'étude « vallée du M'zab ». La nappe proche qui était la source de l'eau potable, eau d'irrigation et de toutes les activités hydrique est devenue actuellement abandonné dans la majorité des points.

### 3.1 Qualité D'eau

L'étude de la qualité d'une eau et l'influence d'un polluant sur une nappe, nécessite la sélection des échantillons puis l'analyse et en fin définir sa composition d'origine et chercher l'intrus. Pour déterminer l'origine des eaux, il faut déterminer les paramètres chimiques composants l'échantillon. La qualité de l'eau souterraine est influencé par l'effet de lessivage des couches de l'aquifère selon leur composition géochimique, définir les faciès chimiques de ces eaux, les comparer et suivre leur évolution dans l'espace, leur altération par les influences extérieurs comme les infiltrations des eaux soit les eaux de pluies ou des eaux usées (domestiques, d'irrigations ou industrielles), voir aussi la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou d'autres usages (irrigation, industrie. . . ), selon les normes adéquats. L'aptitude d'altération d'une eau dépend de sa position de son environnement donc il est nécessaire de connaître son origine. Comme il a été déjà présenté, la vallée se situe sur deux nappes souterraines ; la Nappe de continental Intercalaire et la nappes phréatique (alluvionnaire)

#### -Nappe de Continental Intercalaire (C.I)

Eaux des forages profonds de la nappe albien captive de continentale intercalaire beaucoup plus importante mais difficile à exploiter vu sa profondeur où elle arrive jusqu'à 1000 m

#### - Nappe alluvionnaire

Eaux de puits de faibles profondeur ou nappes phréatique (alluvionnaire) elle est située entre 40

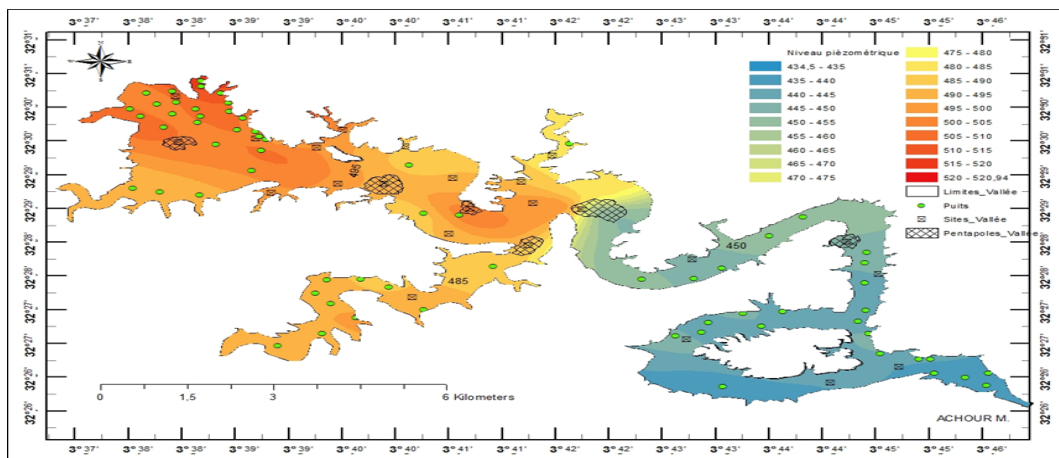


FIGURE 3.1 – Carte piézométrique de la nappe phréatique de la vallée du M'zab (avril-mai, 2011).

et 70m de profondeur (pouvant remonter jusqu'à 20m). Elle est exploitée par un système traditionnelle ou par pompage.

### Points d'échantillonnage de la nappe alluvionnaire

Un réseau d'échantillonnage a été choisi pour permettre d'acquérir des données représentatives sur la variabilité spatiale et temporelle de la qualité des eaux souterraines de la nappe phréatique. Ce réseau se compose de trente quatre points d'eau et couvre la totalité de la plaine de l'amont vers l'aval (fig.3.2). Il y a des points de prélèvement qui sont éliminés et d'autre qui sont fusionnés selon les périodes de prélèvements et la disponibilités de ces points après la crue de 2008, il reste en totalité une vingtaines des échantillon représentative sur les quatre périodes de prélèvement les coordonnées spatiales sont dans l'annexe C.1).

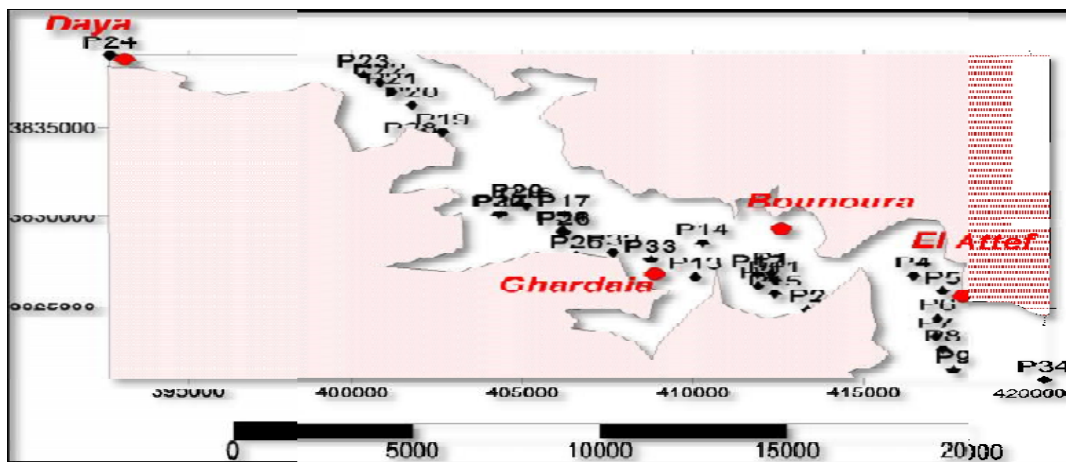


FIGURE 3.2 – Carte des points d'échantillonnage de la nappe phréatique de la vallée du M'zab .

## 3.2 Les principales sources de pollution

Comme notre objectif d'étude c'est cette nappe alluvionnaire et son état de pollution, on va s'intéresser à :

- l'état d'assainissement, origine de pollution urbaine avec analyses des points représentatifs des eaux usées
- Etat d'industrie dans la vallée avec une enquête dans les points industriels cherchant de

découvrir l'influence de la matière première utilisée, le produit final et le rejet suivit d'une analyses de la qualité chimique de ces rejets industrielles.

- Analyse de la qualité des eaux de la nappe profonde C.I. qui à leur tour participe dans la pollution à partir des eaux d'irrigation.
- Et enfin une étude complète des eaux de la nappe alluvionnaire et sa vulnérabilité à la pollution. Les résultats et l'interprétation sont présenter dans les chapitres suivants.

### 3.3 Pollution par les eaux Urbaines

Les sources de pollution directe sont les fuites des réseaux d'égouts, les fosses septiques, les eaux de surface, les déchets solides, les flaques de carburants, l'intrusion saline, les fertilisants, les pesticides, le lessivage des zones saturées lors de la remontée piézométrique parmi tant d'autres. Il existe des sources indirectes de la pollution des eaux souterraines. Le mélange des eaux d'égouts, contenant de grande quantité de composés organiques, et de l'eau chlorée du réseau AEP peut conduire à d'autres types de pollution par des composés chlorés, hautement toxiques. De plus, les changements dans la composition chimique des eaux souterraines modifient également les conditions chimiques sous lesquelles les polluants sont immobilisés, rendant les composés toxiques beaucoup plus mobiles (particulièrement les métaux traces) [HASSANE, 2010]

#### 3.3.1 Rejets liquides urbains

Les eaux usées proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, etc) . Ces apports sont caractérisés par des excès à fortes teneurs en phosphate ( $PO_4^{3-}$ ) ammonium ( $NH_4^+$ ) et en eaux de "vannes" ; il s'agit des rejets des toilettes, chargés de diverses matières en solution ou en suspension, organiques ou azotées et de germes fécaux...ect. Aussi évacuation d'urines, de matières fécales diluées ; l'urine dégage des ions  $Cl^-$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ , des matières organiques telles que les urées qui se transforment rapidement, en milieu anaérobie, en azote ammoniacal ( $NH_4^+$ ) [SEGHIR, 2008].

Donc la composition des eaux usées est extrêmement variable en fonction de leur origine (in-

dustrielle, domestique, etc.). Elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes. En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent, ces substances peuvent être classées en quatre groupes : les microorganismes, les matières en suspension, les éléments traces minéraux ou organiques, et les substances nutritives.

La zone d'étude est soumise à une intense et rapide activité urbaine et industrielle dans un espace limité, en plus au système agricole particulier dans les palmeraies de cette zone.

Parallèlement à ce développement on trouve un réseau d'assainissement non adéquate incomplet ou même inexistant dans quelque zone d'où plusieurs sources de contaminations anthropiques vient de se déceler, due aux rejets directs des eaux usées et à l'utilisation des engrais chimiques dans l'agriculture.

L'ensemble de ces apports induit une pollution chimique qui provoque l'augmentation de la concentration des éléments chimiques dans les eaux souterraines et conduit à une dégradation de leur qualité.

Afin d'évaluer l'état de pollution de la nappe phréatique et de son environnement, on a fait un récapitulatif bibliographique sur les études réalisés sur la vallée, comme le rapport d'état de l'inspection d'environnement dans la vallée de l'oued M'Zab en 2000, où l'étude à toucher les quatre commune Daïa, Ghardaïa ,Bounoura et El-Atteuf; le but de l'étude était de mettre en relief les problèmes de pollution et de nuisances constater dans la vallée ; et précisément l'état du réseau d'assainissement.

D'après ce rapport, le taux de raccordement au réseau d'assainissement atteint 90%, mais les habitants maintient toujours l'utilisation des puis perdue (Dans le moment d'étude). Pour la commune de Daïa Ben Dahoua, le réseau d'assainissement des eaux usées n'était pas opérationnel, le milieu récepteur de ces eaux se trouve juste en amont de la palmeraie de la commune de Ghardaïa. Les eaux usées des villes de Ghardaïa , Bounoura et ElAtteuf sont évacuées par un collecteur commun passant dans le lit de l'oued jusqu'à l'exécutoire d'ElAtteuf , d'où la possibilité de détérioration suite à n'importe quelle crue. En plus que les eaux sortant de collecteur principale formaient des grandes marées dans l'Oued, ajoutant à celle-ci la remontée de la nappe.

L'existence d'une zone industrielle à Bounoura dépourvue de réseau d'assainissement et les industries utilisent des puits perdus pour les rejets des effluents ou même directement dans la nature.

Soulignons que l'ancienne station d'épuration avec des procédés : pré-traitement, traitement physique qui devait être opérationnel en janvier 1986 était mal implanté ( sol inondé à Bounoura ) car elle recevait que les eaux des communes de Ghardaia et Bounoura les eaux de l'abattoir et de la commune d'El-Atteuf étaient rejetées sans traitement préalable en plein air.

Remarque : La station d'épuration d'El-Atteuf « STEP » c'était un projet pour réalisation dans ce temps-là. Ce réseau d'assainissement est réalisé en parallèle aux lit de la vallée avec une station d'épuration par lagunage naturelle fig.3.3.

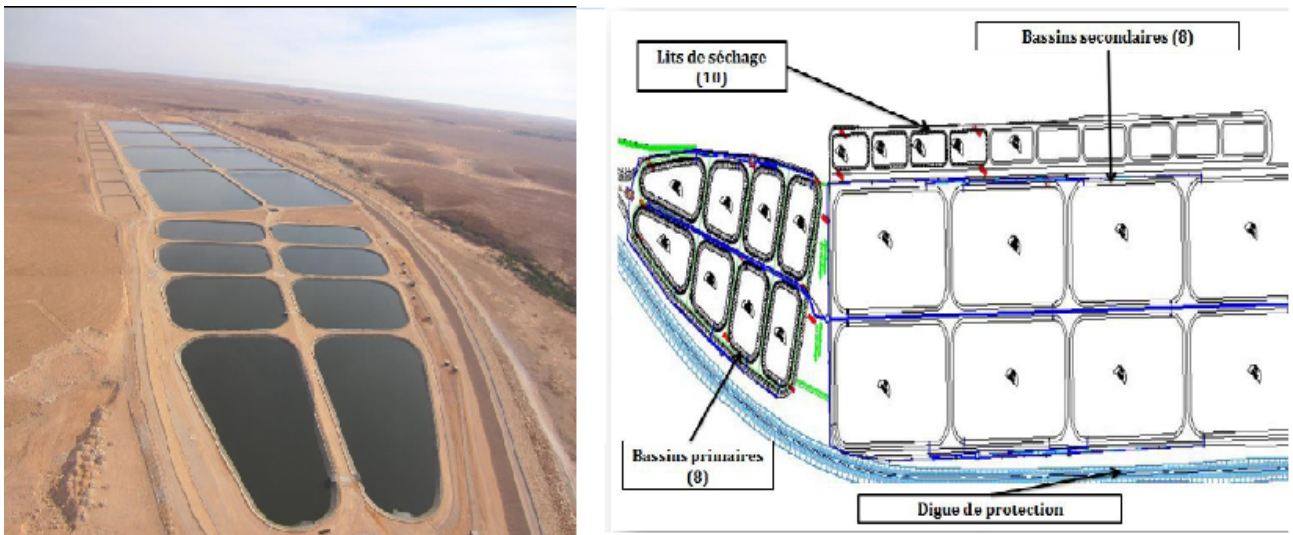


FIGURE 3.3 – Localisation et Schéma descriptive de la Station

Généralement l'origine des eaux usées dans la vallée du M'Zab est un mélange d'eaux usées domestiques et eaux de pluie, donc c'est un réseau unitaire et l'évacuation des eaux pluviales et domestiques se fait dans le même réseau.

Dans toutes ces conditions l'environnement et les nappes souterraines sont soumises à des sources de pollution soit urbaines ou industrielles.

La procédure initial à était de faire le choix des points de prélèvement le long de la vallée pour donner une idée générale sur la qualité des eaux usées, avec prélèvements et analyses.



### 3.3.2 Points de prélèvement des eaux usées

Des analyses chimiques ont été réalisées sur des points de rejets des agglomérations, Les points de prélèvement (fig.3.4) se situent au voisinage du lit de l'Oued M'Zab et des sources de pollution (Abattoir, Eaux stagnantes, Barrage). comme suit :

**Point N°1 :** Au voisinage de petite agglomération en amont de réseau d'assainissement.

**Point N°2 :** A travers une tranchée des eaux usées dans le centre-ville de Ghardaïa.

**Point N°3 :** En aval de la vallée du M'Zab, au voisinage du Barrage Awelwal à El-Atteuf.



FIGURE 3.4 – Points de prélèvement des eaux usées

## 3.4 Rejets liquides industriels

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures. Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Il faut qu'elles soient mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution.

## **Historique de l'industrie dans la wilaya**

Le secteur industriel était pratiquement inexistant au niveau de la wilaya. Les deux zones industrielles Geurrara et Bounoura ont été créés respectivement en 1969 et 1970 [A.S, 2006]

. Il existe aussi plusieurs zones d'activités qui serviront à accueillir les projets d'investissement. Dès 1970 à 1987, l'industrie de secteur national dans la wilaya touche une gamme variée d'activités et parmi ceux-ci un plus grand nombre se trouve dans : les industries manufacturier et textile, des matériaux de construction et du plastique.

En 1990, le secteur occupe une place relativement faible dans l'économie générale sa structure présente des insuffisances au niveau de sa répartition, son champ d'action et sa représentation.

Le secteur privé est relativement important et diversifié. Les unités industrielles de la vallée d'oued M'Zab sont situées dans le tissu urbain et dans la zone industrielle Bounoura.

- ISMME : 29 unités dont : 27 unités du secteur privé
- Matériaux de construction, céramique et verre : 55 unités dont : 54 unités du secteur privé
- Textile : 65 unités dont : 65 unités du secteur privé
- Agroalimentaire : 15 unités dont : 15 unités du secteur privé
- Chimie, caoutchouc et plastique : 29 unités dont : 29 unités du secteur privé
- Bois, liège, papier et impression : 20 unités dont : 20 unités du secteur privé

### **3.4.1 Prospection sur l'état d'industrie dans la zone industrielle**

Une enquête a été lancée pour découvrir les activités industrielles existant dans la zone d'étude, la matière première utilisées, le genre de rejet et s'il est traité ou pas. . . etc. Le but de cette enquête est de mettre en relief les problèmes de pollution et de nuisances constatés dans la vallée.

Cette prospection a conduit aux résultats suivants :

Avant de présenter les résultats d'enquête nous signalons qu'il y a plusieurs industries non déclarées situées dans l'urbanisme et qui s'échappent de la collaboration et donc les résultats ne présentent que quelques industries localisées dans la zone industrielle.

Les industries sont scindées en quatre parties voire annexe :

- Industries mécanique / métallurgie (Tableau.A.1).
- Industries de la chimie, caoutchouc et plastique (Tableau.A.2)
- Les industries de matériaux de construction, céramique et verre, peinture (Tableau.A.3)

### 3.4.2 Prélèvements des rejets industrielles

Les prélèvements sont effectués dans diverses branches d’industrie, mais malheureusement et au vu la sensibilité du sujet la majorité des unités s’échappent de prélèvement. Donc le prélèvement a été fait dans (les régions dépourvues d’un réseau d’assainissement), dans la zone industrielle Bounoura (fig.3.5) et quelque branches de l’industrie.

Les unités sont : Industrie1, Industrie2, Industrie3, Industrie4, Industrie5 et Industrie6. Parmi ces industrie, il y a l’abattoir, station de lavage, Tannerie et trois autre sociétés de production.



FIGURE 3.5 – Localisation de la Zone Industrielle

## 3.5 Pollution par les eaux d'irrigations

La mauvaise gestion des eaux AEP (méthode d'irrigation, réseaux dégradé) a influé sur les eaux de la nappe proche dont on a assisté à la remonter de cette dernière et la dégradation de sa qualité puis son abandonnement. Pour faire face à ce problème, on a procédé à une étude préliminaire de la qualité physico-chimique de la nappe profonde et son évolution dans le temps et le lieu par apport aux eaux de la nappe alluvionnaire et repérer les causes de la dégradation de la qualité des eaux de cette dernière.

### 3.5.1 Eaux des forages profonds (Albien)

D'après [ANRH, 2011], il existe actuellement plus de 83 forages exploitant la nappe du CI dans la vallée du M'zab avec un débit total de 24,90 hm<sup>3</sup>/an, où plus de 88% sont destinées pour l'alimentation en eau potable de la population de la vallée, soit un volume d'eau mobilisée de 21,90 millions de m<sup>3</sup> par an par le biais de 39 forages. En plus de l'existence de 11 exploitations Hydraulique [AS.V2, 2010]

- Nombre de réservoirs et châteaux d'eau : 91 avec une capacité de : 99.115 m<sup>3</sup>.
- 52 digues de retenues avec une capacité de : 278.200 m<sup>3</sup>
- Nombre de forages exploités : 291 pour un débit total de : 628.772 m<sup>3</sup>/J
- Longueur du réseau d'AEP : 864,65 Km
- Longueur du réseau assainissement : 742,43 Km. L'origine des ressources hydriques de la Wilaya est essentiellement souterraine (nappe du complexe intercalaire).

Les eaux sont captées au moyen de :

- forages
- Puits

Les capacités hydriques annuellement mobilisées s'élèvent à 360,05 hm<sup>3</sup> et sont affectées aux différents pôles d'utilisation (AEP, AEI, Irrigation). La dotation moyenne en AEP est de 177 litres / jour / habitant. La part affectée à l'industrie est de 4 % hm<sup>3</sup> / an, alors que 54 % hm<sup>3</sup> / an le sont pour l'agriculture.

### 3.5.2 Piézométrie de la nappe CI

La profondeur moyenne des forages exploitants l'aquifère dans la vallée est de 500 mètres, la nappe est exploitée par pompage dans la vallée, inversement à la partie située au sud de la wilaya à la région d'El-Meniaa où la nappe est artésienne jaillissante. La profondeur du toit de l'aquifère varie selon la région (fig.3.7), il est entre 80 et 150 mètres au sud de la wilaya dans la région d'El Meniaa, par contre à l'Est le toit n'est atteint qu'à partir de la profondeur de 650 à 700 mètres (région de Zelfana et Guerrara).[ACHOUR, 2014a]

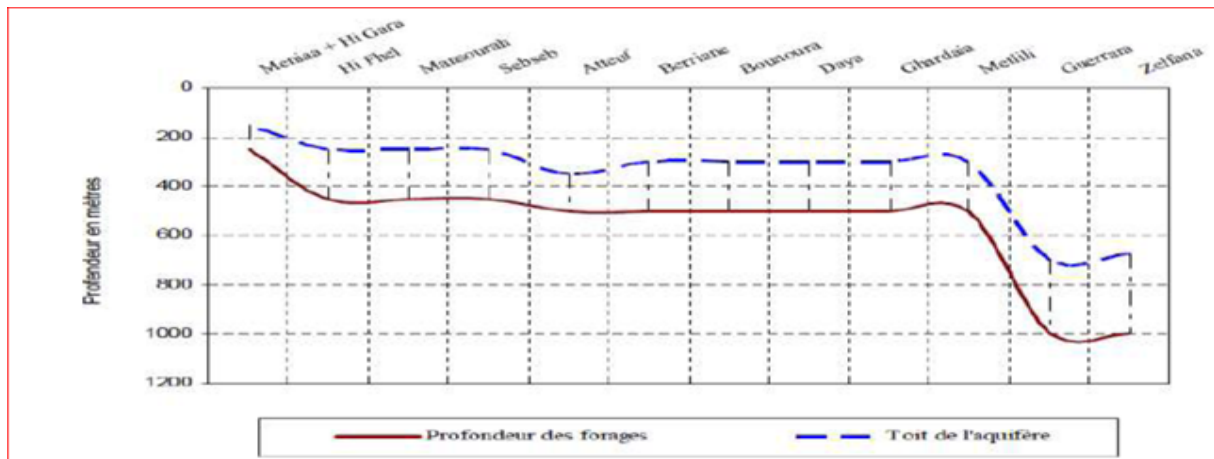


FIGURE 3.6 – profondeur des forages et le toit de l'aquifère albien KOULE et BASSOU 2003

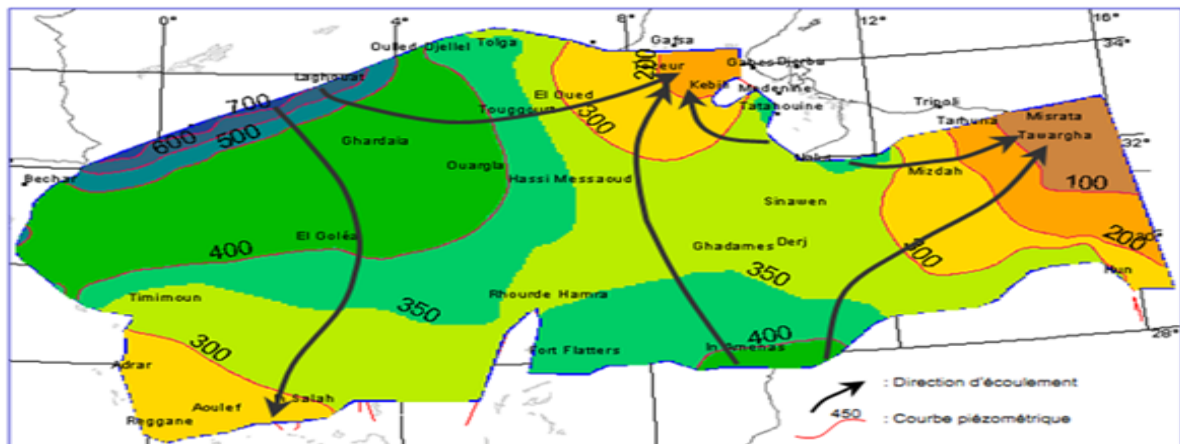


FIGURE 3.7 – - Piézométrie de la nappe du CI (OSS, 2003)

### 3.5.3 Prélèvements des eaux de la nappe profonde

Les points de prélèvement de la nappe profonde (forages) sont choisis selon leur alignement Nord-Ouest-Sud-est, le long de l'oued de la commune Daia ben Dahoua à la commune d'El-Atteuf, comme le présente la carte (fig.3.8) de prélèvement et pour un intervalle du temps de 2000 à 2012, une période couvrant la période d'étude de la nappe superficielle à partir de 12 forages. En plus aux données antérieures, Le nombre d'échantillonnages effectués est de 12 échantillons pour 13 périodes. Les paramètres étudiés sont 20 éléments.

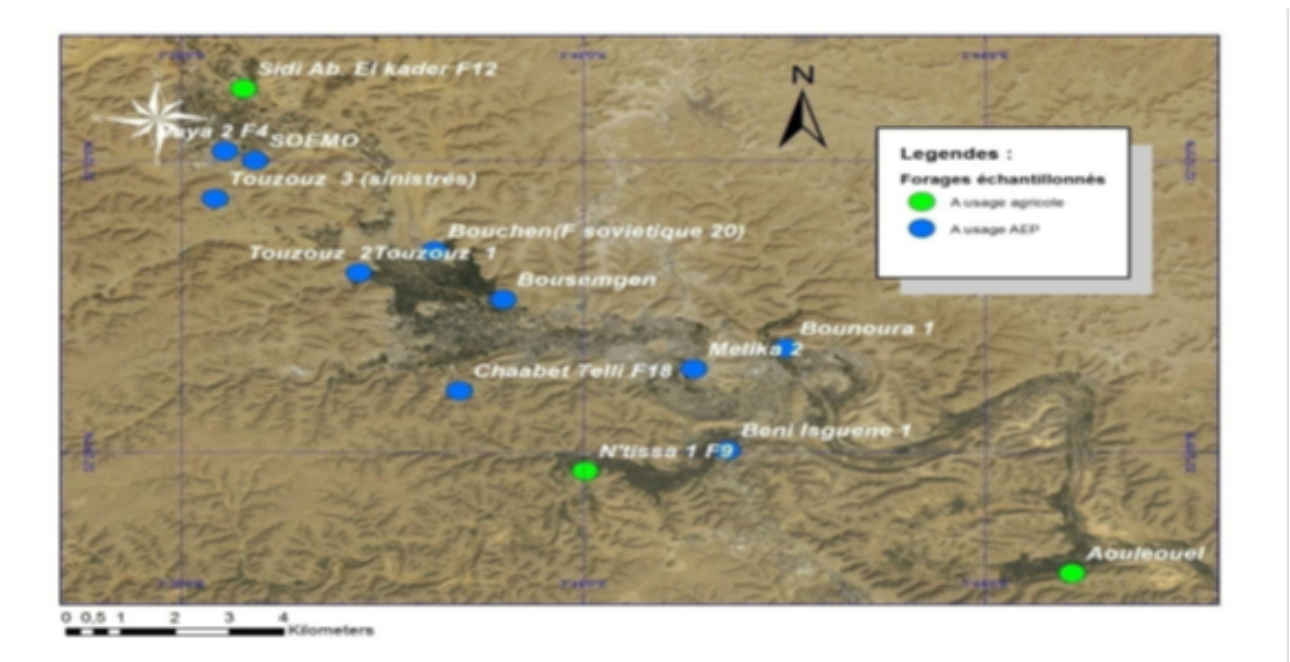


FIGURE 3.8 – Situation des Forages profondes (Albien) étudiés

**Analyses chimiques effectués :** Des mesuré ont était fait sur le terrain, le pH, la conductivité électrique et le taux de salinité, au niveau de chaque point d'eau. Cependant des analyses physico-chimiques et bactériologiques sont effectuées au niveau du laboratoire central de l'A.D.E. .



---

---

# CHAPITRE 4

---

## MÉTHODES D'ANALYSES ET PARAMÈTRES ANALYSÉS

La composition chimique d'une eau joue un rôle dans la détermination de sa qualité et peut expliquer l'origine de la salinité des eaux et leur évolution et de déterminer les différents apports anthropiques à caractère polluant dans la région. En général, cette composition peut être déterminée à l'aide des analyses quantitatives par méthode classiques : analyse gravimétrique ou titrimétrique et les méthodes instrumentales (électroanalytiques ou spectroscopiques).

### 4.1 Méthode électrochimique

La pollution permanente est liée aux rejets industriels, aux eaux usées d'origine urbaine, à l'emploi dans l'agriculture des pesticides et des engrais ; il s'y ajoute la pollution exceptionnelle liée aux déversements intempestifs ou aux accidents de transport. Pratiquement plus la qualité de l'eau diminue, plus la nécessité de procéder à des contrôles fréquents et étendus devient impérieuse. Il est nécessaire d'appliquer des méthodes analytiques de plus en plus sensibles et les limites de détection du milligramme au micro-gramme par litre.

Ces méthodes sont surtout utilisées pour des mesures précises . Elle est également appliquée dans de cas particulier comme par exemple la mesure de pH des eaux très douces.

### 4.1.1 Température

La température de l'eau : C'est un paramètre important pour l'étude des eaux souterraines, car elle permet de distinguer les eaux qui circulent près de la surface et les eaux profondes. Elle joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne, et de l'évaporation des eaux. Notons qu'elle est influencée par la période de prélèvement (matin et soir) et la profondeur de l'aquifère, ainsi que par les variations climatiques saisonnière [SEGHIR, 2008]

La température à une grande importance dans l'étude et la surveillance des eaux qu'elles soient souterraines ou superficielles. La température joue un rôle dans la solubilité des sels dissous et surtout des gaz donc influe sur la conductivité et l'oxygène dissous elle joue aussi un rôle dans la détermination du pH.

### 4.1.2 Potentiel d'Hydrogène pH

La molécule d'eau se compose des ions  $H^+$  et  $OH^-$ . Le pH d'une solution est l'inverse du logarithme de la concentration en ions  $H_3O^+$

Il varie en fonction de la température et de la force ionique. C'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau et l'état d'équilibre des éléments.

$$pH = \log(1/[H_3O^+]) \quad (4.1)$$

**Principe :** La mesure du pH doit s'effectuer sur place de préférence, par la méthode électronique, la mesure électrique quoique délicate puisse seul donner une valeur exacte car elle est indépendante du potentiel d'oxydoréduction, de la couleur du milieu, de la turbidité des matières colloïdales

### 4.1.3 Conductivité Electrique CE

La conductivité élevée traduit une salinité élevée, comme elle peut conduire à un entartrage de conduite si l'excès est dû aux ions de Calcium. La conductivité, qui varie en fonction de la température est strictement liée à la concentration des substances dissous et à leur nature or si les sels minéraux sont dans l'ensemble de bon conducteur il ne faut pas perdre de vue que les matières organique et colloïdes n'ont que peu de conductivité. En conséquence, dans les cas des eaux résiduaires, cette mesure ne donnera pas forcément une idée immédiate de la charge du milieu, il sera alors préférable de mesurer la conductivité de l'eau « brute tamisée » Selon la méthode par



dilution.

**Principe :** La mesure est basée sur le principe du pont de Wheatstone, on utilisant comme appareil un galvanomètre ou une image cathodique

## 4.2 Méthode Spectrophotométrique

La méthode choisi pour l'analyses des paramètres de pollution c'est la spectrophotométrie d'absorption moléculaire c'est une méthode applicable aux faibles concentrations, sa limite de détection est à quelque milligramme par litre dépendant de l'élément étudié lui-même Les éléments étudiés par cette méthode sont l'Ammonium, Nitrates, Nitrites, Phosphates aussi le fer qui est classé comme un élément indésirable. L'appareil utilisé est un Spectrophotomètre UV - VIS : HACH (ODYSSEY) DR/250.

### 4.2.1 Ammonium $NH_4^+$

L'ammoniaque est un gaz soluble dans l'eau mais suivant les conditions de pH, il se transforme, soit en un composé non combiné, soit sous forme ionisée. En plus, l'ammoniaque est favorable au développement de certaines bactéries qui à leur tour génèrent de mauvais goûts [RODIER, 2009] En générale, l'ammoniaque se transforme assez rapidement en nitrites et nitrates par oxydation [RODIER, 1984].

Ce protocole spécifie une méthode pour le dosage d'ammonium dans les eaux potables, eaux brutes, et eaux résiduaires. Cette méthode est applicable à toutes les eaux sauf les eaux de mer. Les teneurs en ammonium peuvent être déterminées sans dilution pour des échantillons dont les concentrations se situent entre 0,02 et 1 mg/l d'ammonium.

**Principe :**

La mesure par spectrométrie : le composé bleu formé par la réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium. Les ions hypochlorite sont générés in situ par hydrolyse alcaline du sel de sodium du dichoroisocyanurate de sodium.[ISO., 1994]

### 4.2.2 Phosphate $PO_4^{3-}$

Les phosphates font partie des anions facilement fixés par le sol ; leur présence dans les eaux naturelles est liée à la nature des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique [RODIER, 2009].

Cette méthode de dosage s'applique aux différents types d'eaux : souterraines, de surface et résiduelles, à des concentrations variables à l'état dissous et non dissous. Les teneurs en orthophosphates peuvent être déterminées sans dilution pour des échantillons dont les concentrations se situent entre 0,04 et 0.4 mg/l.

#### **Principe :**

Le dosage par méthode spectrométrie moléculaire : en milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrométrique [ISO., 1994].

### 4.2.3 Nitrite $NO_2^-$

Les nitrites peuvent être rencontrés dans l'eau, mais à des doses faibles. Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniac, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante [RODIER, 1984].

#### **Principe :**

La Méthode de dosage se fait par spectrométrie d'absorption moléculaire réaction des ions nitrites présentes dans une prise d'essai à pH 1.9 avec le réactif amino -4 benzène sulfonamide en présence d'acide ortho phosphorique pour former un sel diazoïque qui forme un complexe de coloration rose avec le di-chlorhydrate de N - (naphtyle - 1) diamino -1. 2-éthane Mesurage de l'absorbance à 540 nm [RODIER, 2009]..

### 4.2.4 Nitrate $NO_3^-$

Toutes les formes d'azote (azote organique, ammoniac, nitrites, etc...) sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique.

#### **Principe :**

1. Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire : réaction de nitrates avec le diméthyl-2,6 phénol en présence des acides sulfurique et phosphorique, avec production du nitro-4diméthyl-2,6phénol. La durée de la réaction est d'environ 5 min. Mesurage spectrométrique de l'absorbance du produit de la réaction à 324 nm et lecture de la concentration en nitrates de la prise d'essai au moyen d'une courbe d'étalonnage.
2. La deuxième procédure appliquée c'est la détermination des nitrates par une autre méthode ; Le principe de l'analyse c'est qu'en présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage spectrophotométrique

## 4.3 Méthode spectrophotomètre à flamme

Lorsque les atomes d'un élément sont excités par une flamme, ils émettent des radiations de longueur d'onde déterminée dont l'intensité est mesurée par spectrophotométrie [RODIER, 2009].

### 4.3.1 Dosage du sodium Na et du potassium K

Les dosages du sodium et du potassium se fait par spectrophotomètre à flamme, l'appareil utilisée (le PEP7) est un photomètre à basse température destinée à la détermination du Na, K, Li, Ca, Ba à l'aide de filtre interférentiels optionnels lorsque les atomes d'un élément existent par une flamme, ils émettent des radiations de longueur d'onde détermine dont l'intensité peut être mesure par spectrométrie. La concentration initiale du cation à doser est déduite de la valeur absolue de l'intensité de l'émission spectrale mesurée. Une courbe d'étalonnage donne directement la tenue en sodium et potassium [RODIER, 2009].

## 4.4 Méthode volumétrique

L'analyse volumétrique possède un grande avantage par rapport à l'analyse gravimétrique en ce qui concerne la rapidité d'exécution l'accélération du dosage est obtenue dans ce cas parce qu'au

lieu de peser le produit de la réaction, en mesure le volume de la solution de réactif utilisé, dont la concentration ;( ou comme en dit, le titre) nous est exactement connue.

#### 4.4.1 Dosage des chlorure $Cl^-$

Le gros inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils communiquent à l'eau à partir de 250 mg/L, surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium. Pour une quantité équivalente de chlorures, la saveur peut être moins marquée en présence de calcium et de magnésium. Ils sont aussi susceptibles d'amener une corrosion dans les canalisations et les réservoirs, en particulier pour les éléments en acier inoxydable, pour lesquels les risques s'accroissent à partir de 50 mg/L [?]. Les chlorures proviennent souvent des eaux de pluies, du lessivage des terrains salés ainsi que des rejets des eaux usées

**Principe :** Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée d' $AgNO_3$  en présence de  $K_2CrO_7$ ; La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique de chromate d'argent.

#### 4.4.2 Dosage de TH (Titre Hydrotimétrique ou dureté totale)

La dureté de l'eau est la mesure traditionnelle de la capacité de l'eau de réagir avec du savon, l'eau calcaire exigeant considérablement plus de savon pour produire de la mousse. Elle n'est pas provoquée par une substance simple mais par une série d'ions métalliques polyvalents dissous, principalement cations de calcium et de magnésium, bien que d'autres cations, par exemple baryum, fer, manganèse, strontium et zinc, y contribuent également. La dureté est le plus généralement exprimée en milligrammes de carbonate de calcium équivalents par litre, à plus ou moins 60 mg par litre de carbonate de calcium, une eau est généralement considérée comme douce. Bien que la dureté soit provoquée par des cations, elle peut également être discutée en termes de carbonate (provisoire) et dureté (permanente) non carbonatée.

**Principe :**

Le dosage se fait par la méthode de complexométrie . Titrage avec une solution aqueuse de sel disodique d'acideéthylènediamine tetra - acetique (EDTA) en utilisant un indicateur qui forme avec le calcium et le magnésium un complexe rouge foncé ou viol et, c'est le mordant noir [ISO., 1994].

### 4.4.3 Dosage du calcium Ca

#### Principe

Titration des ions calcium avec une solution d'(EDTA) à un pH compris entre 12 et 13. Le HSN, qui forme un complexe rouge avec le calcium, est utilisé comme indicateur.

### 4.4.4 Dosage du Magnésium Mg

#### Principe

Le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'interfère pas lors du dosage . Lors du titrage, l'EDTA réagit tout d'abord avec les ions calcium combinés avec l'indicateur qui vire alors de la couleur rouge à la couleur bleu clair.

### 4.4.5 Titre Alcalimétrique Complet (TAc)

Titre alcali métrique complet ou TAc correspond à la teneur de l'eau en alcalis libres carbonates et hydrogènocarbonates.

#### Principe :

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

## 4.5 Méthode gravimétrique

En général, la teneur en élément (ion) à déterminer de la substance à étudier est définie au cours de l'analyse gravimétrique par le poids du précipité obtenu après précipitation de cet élément (ion) sous forme d'une combinaison difficilement soluble.

### 4.5.1 Dosage des sulfates $SO_4^{2-}$

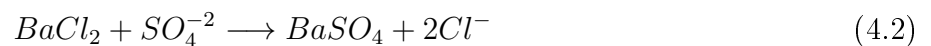
La concentration en ion sulfate des eaux naturelles est variable, leur présence résulte de la légère dissolution des sulfate de calcium des roches gypseuses, de l'oxydation des sulfates dans les roches (pyrites), des matières organiques d'origine animale.

Le cycle du sulfate débute par la décomposition des divers déchets organiques des bactéries hétérotrophes que libèrent en dernier lieu de l'hydrogène sulfate à partir des protéines restituées au sol.

En générale les sulfates sont concentrés sous forme de sulfates magnésiens et /ou calcique dans les eaux à fortes concentration ils peuvent provoquer des troubles gastro -intestinaux (en particulier chez l'enfant) ils peuvent aussi confères à l'eau un gout désagréable.

#### **Principe :**

Dans un tube à essais ; l'eau à analyser éventuellement filtré est acidifiée avec de l'acide chlorhydrique et on ajout quelque goûtes de solution de chlorures de baryum Après chauffage selon la concentration en ion sulfate, il apparait immédiatement ou après un bref moment un trouble blanc ; convenant pour le dosage des ions sulfate à des concentrations d'environ supérieure à 100 mg de  $SO_4^{2-}$ , l'eau trouble est filtrée puis calcinée à 850 C.



### 4.5.2 Matières en suspension (MES)

La détermination des matières en suspension dans l'eau est effectuée par la méthode de filtration sur fibre de verre.

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

## 4.6 Indicateurs de pollution :

### 4.6.1 Demande Chimique en Oxygène DCO

La DCO est la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables existantes dans l'eau en utilisant du bichromate dans une solution acide et pour la transformer en dioxyde de carbone en

eau. La mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau, quelque soit leur origine organique ou minérale.

### **4.6.2 Demande Biochimique en Oxygène à 5 jours DBO5**

La DBO5 est la quantité d'oxygène consommée par les matières organiques, voie biologique pendant 5 jours et à une température de 20 degré et à l'obscurité. Elle a pour but de reproduire l'auto-épuration naturelle. Elle permet d'évaluer les matières biodégradables présentes dans les eaux. Cette mesure demande 5 jours pour conduire à un résultat.

### **4.6.3 Métaux lourds**

Les métaux lourds sont des constituants naturels dans les roches et dans les gisements minéraux. Ainsi, normalement ces éléments sont présents à de faibles teneurs (à l'état de traces, moins de 0.1%) dans les sols, les sédiments, les eaux de surface et les organismes vivants [AYRES. and ALLOWAY, 1997; CALLENDER, 2003]. Ces faibles concentrations en métaux lourds constituent le fond géochimique d'un certain environnement. Pour évaluer l'impact d'un métal lourd dans l'environnement, la seule présence n'est pas suffisante. Cet impact est potentiel si le métal donné se trouve à des niveaux des concentrations anormalement élevées par rapport au fond géochimique [AYRES. and ALLOWAY, 1997]. Parmi les sources anthropiques de métaux lourds, nous pouvons signaler : l'industrie métallurgique, les engrais et pesticides, les incinérateurs et cendres d'incinération des déchets, les déchets médicaux, les effluents des égouts et boues d'épuration [PROBST. et al., 2005]. La méthodes d'analyses des métaux lourds appliquée dans cette étude c'est l'absorption atomique, elle a été réalisé au Laboratoire de l'Université de Djalfa.

Troisième partie

Résultats et Discussions



---

---

# CHAPITRE 5

---

## APPORT ANTHROPIQUE ET ÉVOLUTION DE LA POLLUTION DES EAUX

Certainement la composition des eaux souterraines résulte principalement de la composition lithologique des lieux traversées et du temps de séjour des eaux [FABRE, 1976]. Cette composition reste stable si la couche d'aquifère est imperméable, comme c'est le cas des eaux profondes de l'albien. Où elle est peut être affecté par l'environnement comme c'est le cas de la nappe alluvionnaire.

Pour évaluer l'état et le taux de changement de la qualité des eaux, il faut analyser et interpréter les résultats de chaque prélèvement.

### 5.1 Provenance domestique et résultats d'analyses

Dans le cas d'un assainissement collectif ou individuel défectueux, des substances indésirables contenues dans les eaux de vannes et les eaux ménagères peuvent être transférées à la nappe (matières organiques, détergents, solvants, antibiotiques, microorganismes, etc.) Le cas se produit avec les puits perdus, l'assainissement individuel mal conçue ou mal dimensionnée avec infiltration dans le sol, les stations d'épuration urbaines surchargées, etc. Les ordures ménagères accumulées dans des décharges sauvages ou non mises à la norme (centre d'enfouissement technique) libèrent

également des lixiviats riches en polluants [SEGHIR, 2008].

Pour estimer le degré de pollution d'origine urbaine, le choix a été ciblé sur trois points de rejets des agglomérations étalés dans le lit de la vallée de l'amont vers l'aval. Signalons ici que la commune de Daia Ben-Dahoua n'est pas raccordée au réseau d'assainissement.

### Étude des résultats des analyses physico-chimique

L'évaluation de degré de pollution apporté par les eaux usées prélevées selon la carte (fig.3.4) a été examiné en analysant les résultats par des histogrammes qui illustrent l'évolution des paramétrés :

#### 5.1.1 Potentiel d'hydrogène

Les deux paramètres, température et potentiel hydrogène de l'eau (pH) qui sont dépendant, ne présentent aucune variation décelable (les valeurs sont entre 7 et 7.5). Les résultats ne dépassent les normes (pH : 5.5-8.5).(fig.5.1).

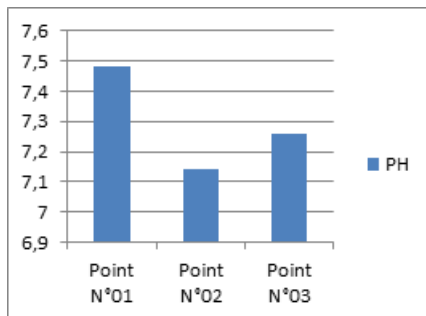


FIGURE 5.1 – Valeurs moyennes du pH dans les rejets urbains

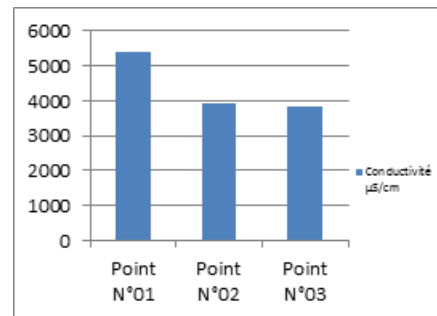


FIGURE 5.2 – Valeurs moyennes de C.E dans les rejets urbains

#### 5.1.2 Conductivité

D'une manière générale, les conductivités mesurées sont généralement très élevées entre (4000 et 6000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), où la valeur minimale dépasse le seuil des eaux d'origine de la nappe profonde (C.I). Elles varient d'une façon aléatoire dépendant de la composition des eaux évacuées, mais le premier point et le plus élevés c'est le commencement de branchement au réseau d'assainissement

(fig.5.2).. Ces résultats montrent que les eaux évacuées sont très salines induisant l'existence d'une origine saline

### Paramètres de pollution et paramètres indésirable

Les résultats obtenus montrent que l'ammonium et les nitrites sont sous formes de traces en se transformant en nitrates d'où leurs concentrations élevés, aussi on trouve que le taux des phosphates est grand lié principalement au rejet ménager et à l'utilisation des produits détergents. (fig.5.3),

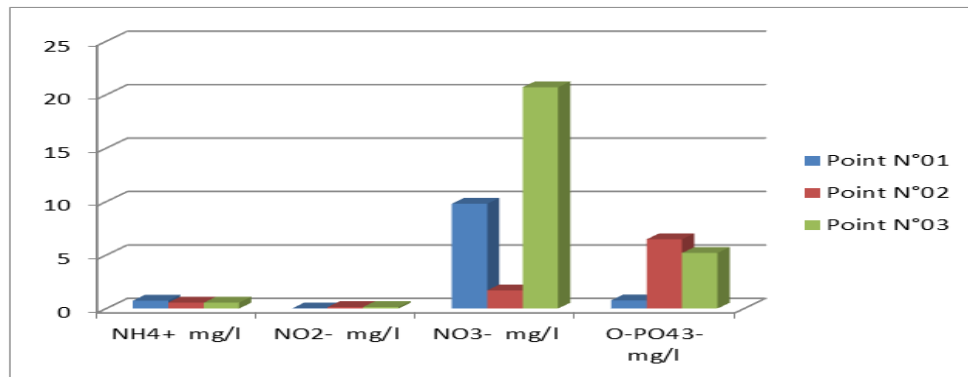


FIGURE 5.3 – Variation des phosphates et des Nitrates dans les rejets urbaines

### 5.1.3 Azote

L'Azote se trouve sous trois formes dissoutes  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$  et  $NO_3^-$ . L'oxydoréduction de l'ammonium se fait en présence de l'oxygène pour donner des nitrates  $NO_3^-$  en passant par la forme intermédiaire  $NO_2^-$ , elle est en formes de trace. . L'insuffisance de l'aération conduit à la persistance de l'Ammonium (fig.5.4).

La valeur la plus élevés de nitrate c'est au point d'accumule des eaux usées. Les concentrations moyennes détectées sont faibles même pour la forme de nitrate qui est la plus concentré mais ne dépasse pas le taux admissible.

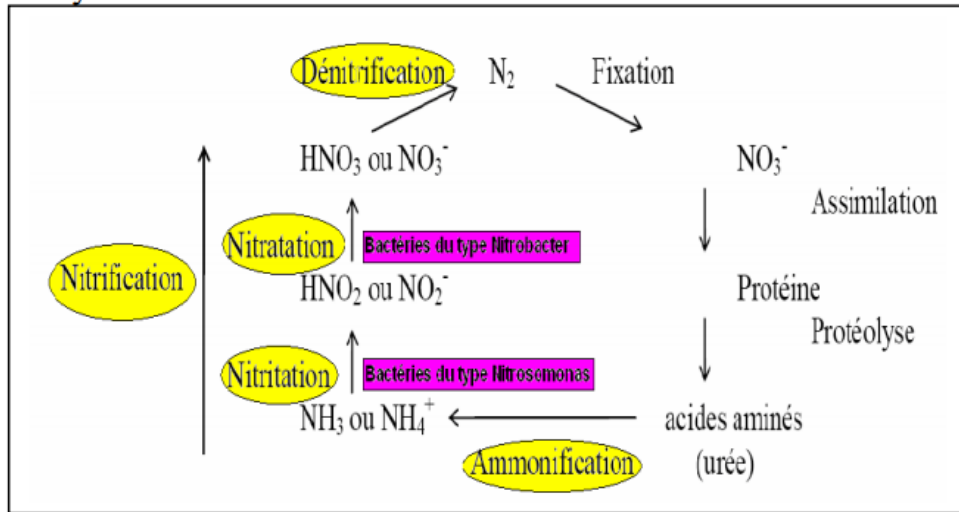
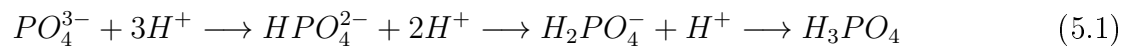


FIGURE 5.4 – cycle de l'azote

### 5.1.4 Phosphate $PO_4^{3-}$

Le phosphate peut se trouver sous différentes formes oxydées, méta  $HPO_3$ , pyro  $H_4P_2O_7$  et ortho  $H_3PO_4$ . En milieu aqueux, les formes méta et pyro tendent vers la forme ortho pour des pH de 5 à 8. Les réactions chimiques entre les différentes formes de phosphate sont données par la relation suivante :



Les phosphates peuvent provenir de produits détergents ou de l'épandage des engrais chimiques, à bases de phosphates, sur les terrains agricoles, comme ils peuvent provenir du lessivage des terrains traversés par les eaux souterraines -origine lithologique [SEGHIR, 2008].

Le (pH) trouvé varie entre 7 et 8, la forme dominante est ortho  $H_3PO_4$ . La valeur minimale est 0,77 mg/l, la valeur maximale est 6,48 mg/l qui peut être un résultat des produits détergents c'est valeurs comparées aux valeurs des rejets n'atteignent pas les valeurs limites (Tableau d'annexe B.2).

Cette analyse montre une eau très saline, malgré que les normes des rejets ne précisent pas le taux des sels, elle est riche principalement en deux éléments chimiques : nitrate, lié aux transformations de l'ammonium et la matière organique provenant de déchets humains et aussi, le phosphate qui est essentiellement dû à l'utilisation des produits détergents.

### 5.1.5 Demandes chimique et biochimique en Oxygène

La DBO5 et la DCO représente la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes et à la matière organique pour qu'elles soient oxydés. La valeur de la DCO est toujours plus élevée que celle de la DBO5, car de nombreuses substances organiques peuvent être oxydées chimiquement mais ne peuvent s'oxyder biologiquement. D'ordinaire, la DBO5 est utilisée pour tester la force des eaux usées municipales traitées et non traitées et celle des eaux industrielles biodégradables. La DCO est utilisée pour tester la force des eaux usées qui ne sont pas biodégradables ou qui renferment des composants qui freinent l'activité des microorganismes.

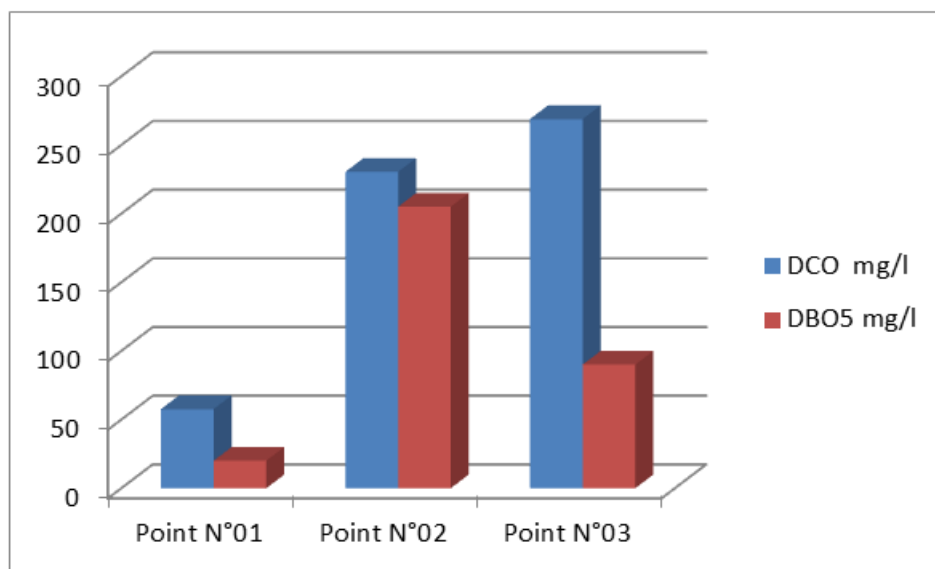


FIGURE 5.5 – Variation de la DCO et la DBO5 dans les rejets urbains

La variation de la valeur moyenne de la demande on oxygène fig.5.5 est dans le sens d'écoulement d'eau . Une augmentation au DBO5 est au centre ville de Ghardaia puis elle diminue en aval. La DCO continue à augmenter de l'amont vers l'aval où se trouve l'accumule des eaux usées. Ces résultats dépassent les valeurs limites des rejets des effluents liquides (anexe B.2).

### 5.1.6 Métaux lourds

Les eaux usées peuvent transportés tous les éléments dissous ou non et comme le réseau est unitaire, les rejets urbains et industrielles peuvent être présents. La figure 5.6 ) représente les éléments (Métaux lourds) analysés.

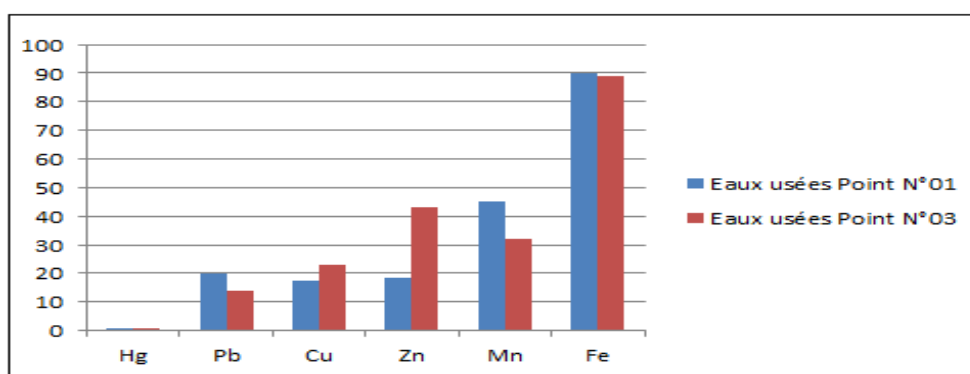


FIGURE 5.6 – Variation des Métaux Lourds dans les eaux usées urbaines (2005)

Les résultats d’analyses décèlent l’existence de la plus parts des paramètres des métaux lourds avec des concentration dans le seuil des normes des rejets permises (annexe B.2) et indiquant une variété en activité utilisant des métaux lourds en fer, cuivre, zinc, plomb et manganèse. Ces éléments peuvent exister ensembles dans la nature leurs origines est liée à l’industrie sauf le fer qui peut avoir d’autre origine plus à l’industrie c’est le lessivage des terrains argileux.

## 5.2 Pollution par les rejets industriels

L’industrie dans la zone d’étude est en voie d’évolution par des ateliers et des points d’activités dispersés dans différents endroit ajouter à la zone industrielle. L’échantillonnage a été effectué dans certains endroits seulement et dans la zone industrielle de Bounoura. Les unités touchées par le prélèvement sont : L’abattoir, atelier de tannage, société de fabrication d’enduit et des peintures, un établissement de production des radiateurs, une autre société de carrelages graniteux et une station de lavage.

### Étude des résultats des analyses

Les résultats trouvés sont comparés au normes de rejet industriel(Valeurs limites des paramètres de rejets des effluents liquides industriels Décret 06-141F) tableau d’annexe B.2.

### 5.2.1 Température

Les températures de différents échantillons des rejets industriels sont très proches, elles varient entre 21.9°C et 26.8°C. Ces températures ne dépassent pas les normes algériennes des rejets (30°C). Les eaux rejetées prennent la température ambiante de l'air.

### 5.2.2 Potentiel d'hydrogène ( pH)

Les valeurs du pH obtenues varient d'une unité à une autre, comprises entre 6.07 et 12.26. Ces valeurs sont acceptables pour quatre unités étudiées selon les normes algériennes des rejets (6.5-8.5) les deux autres d'Ind.3 et d'Ind.4 sortent de ces limites. Le pH de rejet d'Ind.3 atteint une valeur maximale qui est 12.26 car le traitement se fait par des oxydes basiques (fig5.7).

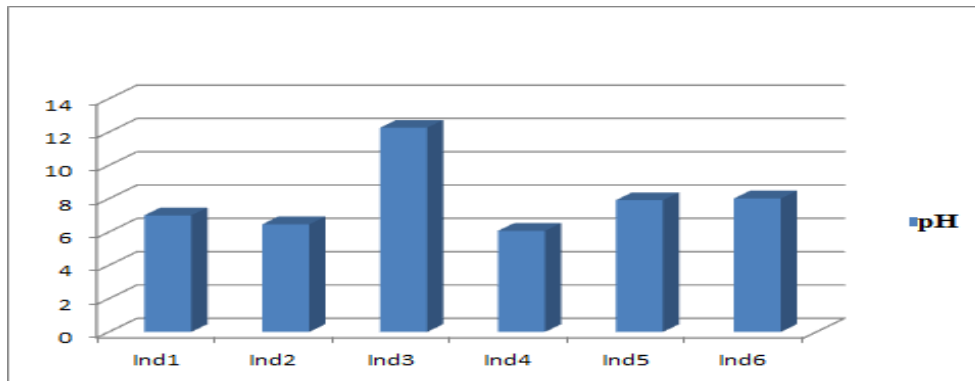


FIGURE 5.7 – Variation du pH dans les rejets des unités Industrielles.

### 5.2.3 Conductivité

La conductivité (fig.5.8) d'une eau augmente avec la teneur en sels dissous, donc la mesure de celle-ci permet d'évaluer rapidement la minéralisation de l'eau, cela peut expliquer la valeur élevée de la conductivité du rejet de la l'Ind.6 ; (22900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) qui consomme des grandes quantités des sels ( par exemple : NaCl pour la tannage des peaux en le transformant en cuir). Les autres résultats sont très élevés, la conductivité la plus basse est celle de rejet d'Ind.5 (1376  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) sachant que cette société traite l'eau en le déminéralisant avant utilisation car l'eau de la nappe albien dépasse les normes de la dureté et il y'a pas d'autre sources moins dure.

Malgré que les normes des rejets ne précisent pas des valeurs guides de la salinités ou de la minéralisations mais les valeurs trouvées dans ces rejets sont excessives dépassant les (20 g/l).

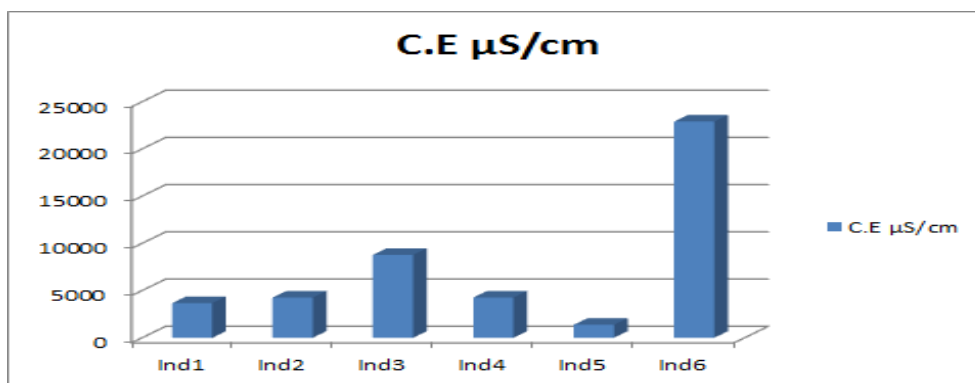


FIGURE 5.8 – Variation du CE dans les rejets des unités Industrielles.

### 5.2.4 Matières en suspension

Les matières en suspension (MES) contenus dans les eaux constituent un paramètre important qui marque généralement bien le degré de pollution. Malgré que l'influence de la matière en suspension sur la nappe n'est pas notable mais l'excès dans les rejets gêne l'aération de l'eau en provoquant la fermentation et la transformation des matières polluantes.

Les valeurs constatées, varient entre (12 et 10342 mg/l) et donc les quantités de MES sont très élevées dépassant largement les normes algériennes des rejets (35 mg/l). La valeur la plus élevée est signalé à la station de lavage (10342 mg/l) constituée de graisses et des huiles. Tandis que dans les eaux usées de l'abattoir et de la tannerie, les MES ce sont des matières organiques (sang et reste de cuir) sont respectivement (5738 et 210 mg de MES par litre). Dans le rejet de l'Ind.3 la MES est de 123 mg/l peuvent constituer par les produits fins (ciments blanc et gris).

### 5.2.5 Paramètres de salinité dans les eaux industrielles

L'origine des eaux de robinet utilisée par les unités industrielles est la nappe profonde (CI), qui va être analysée et discuté ci-dessous, à une salinité et une conductivité varient approximativement entre (2000 et 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), les histogrammes suivant présente des valeurs trop élevées dans la majorité des unités sauf l'Ind.5. Les résultats dévoilent l'influence de ces rejets sur la nappe s'il sont pas traités.

Les résultats obtenus montrent que le rejet de la tannerie est le plus salé (chargé en sodium (4600 mg/l), chlorures (5962.22mg/l) et sulfates (2287.39 mg /l)), cette industrie utilise les sels surtout



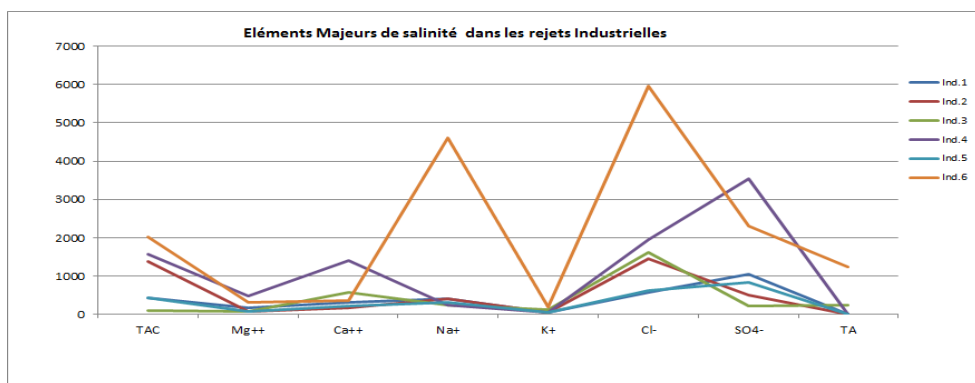


FIGURE 5.9 – Variation des éléments majeurs de salinité dans les rejets industriels

le NaCl en grandes quantités dans les procédés de la préparation de cuir. La teneur des chlorures dans le rejet de l'Ind.4 qui est 1934.04 mg/l cette concentration peut être expliquée par l'utilisation de l'acide chlorhydrique. De même, pour tous les autres paramètres (sodium, potassium, sulfate et les chlorures. . . .) on note des valeurs élevées.

Pour une eau à pH neutre les carbonates n'existent pas, les analyses des rejets des deux sociétés (l'Ind.6 et l'Ind.3) présentent un pH alcalin d'où la nécessité de calculer la valeur des carbonates et on a trouvé des valeurs importantes (236 et 1220 mg/l). Dans le dosage de la dureté totale on

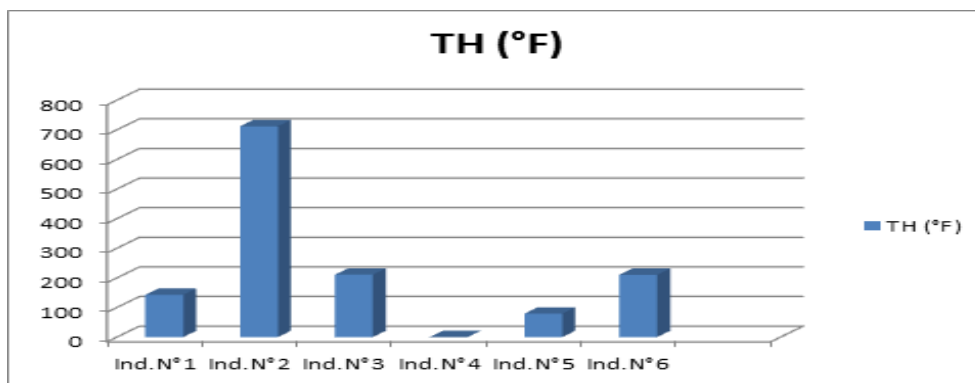


FIGURE 5.10 – Variation de TH dans les rejets des unités Industrielles.

utilise comme indiqué dans le chapitre précédant la méthode de l'EDTA, le virage de l'indicateur coloré ne se produit plus dans l'échantillon de l'Ind.4 indiquant la présence d'un métal bivalent, qui peut être le cuivre c'est éventuelle car cette eau est utilisée dans la vérification des radiateurs dont le cuivre est leur principal composant.

L'histogramme montre la variation de la dureté totale (TH) (fig.5.10) qui englobe le  $Ca^{2+}$  et le  $Mg^{2+}$  ou le pic est aperçu à l'abattoir et à la tannerie à cause de l'utilisation excessive des sels.

La concentration des rejets en  $NaCl$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  et en sulfate  $SO_4^{2-}$  est très importante (fig. 5.9, les rejets doit faire l'objet d'un prétraitement pour éliminer cet énorme taux des sels.

## 5.2.6 Paramètres de pollution

Les résultats d'analyses montrent :

### Matières azotés

La figure (fig.5.11) des indicateurs de pollution montrent l'existence de formes azotées (nitrates, nitrites et ammonium) dans tous les rejets. Le maximum de l'ammonium et des nitrites est constaté dans le rejet de l'abattoir, et la valeur moyenne la plus élevée des nitrates est trouvée dans le rejet de station de lavage (20 mg/l).

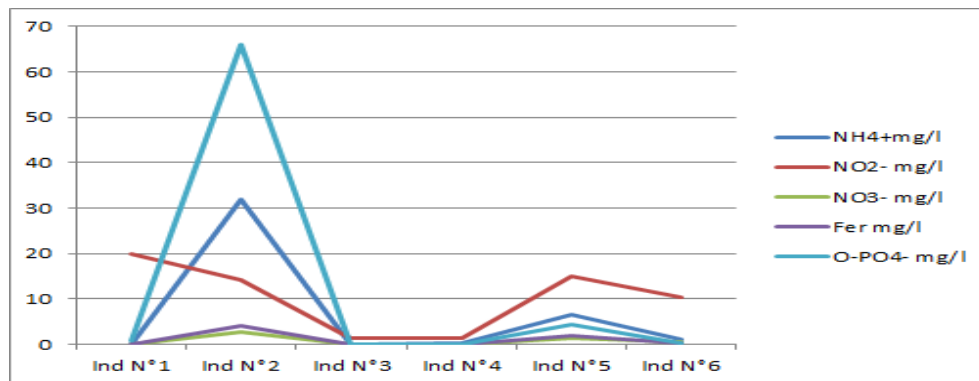


FIGURE 5.11 – Variation des éléments de pollution dans les rejets des unités Industriels.

### Phosphates

L'élément phosphate provient généralement des détergent ou des engrais phosphatés. La présence d'excès des phosphates dépassant les normes algériennes des rejets effluents liquides industriels (10 mg/l). Dans le rejet de l'abattoir c'est (66 mg/l) et dans l'Ind.N°5 est égal à 4,4 mg/l est probablement due à l'utilisation des produits de nettoyages.

## Matières organiques

Le test de dosage de matières organiques (fig.5.12) donne des valeurs très élevées dépassant les normes des huiles et de graisses. 468.29 mg/l dans les rejets de l'abattoir et de la tannerie, ces matières peuvent être constitué du sable, déchets animaux et produits fermentescibles (graisses, sang, sels divers), 72.165 mg/l est enregistré dans le rejet de station de lavage ce sont des graisse, d'où la nécessité d'une station d'épuration équipée d'un déshuileur.

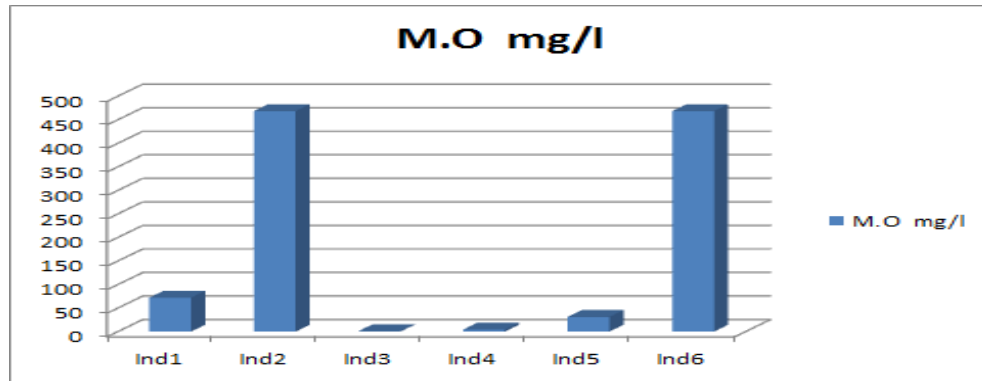


FIGURE 5.12 – Variation de la M.O dans les rejets Industriels

## Demande chimique en oxygène (DCO)

Les résultats obtenus (fig.5.13) de cette mesure ne sont plus bénéfiques (malgré la dilution) pour les rejets de la tannerie, d'Ind.5 et de l'abattoir cela provient de la charge des rejets en certains composés minéraux ou halogénures ou des teneurs en chlorures supérieurs à 1.5 g/l selon Rodier, (Par exemple la concentration des chlorures dans le rejet de la tannerie sont 5.9 g/l). Pour les rejets de l'Ind.4 et d'Ind.3 les valeurs de la DCO sont acceptables en vue les normes algériennes qui limite la DCO à 120mg/l, alors que celle de station de lavage dépasse largement ces normes (370.35mg/l), cette augmentation peut être expliquer par l'augmentation de matières organiques et MES qui peuvent contenir des matières oxydables.

C'est un seule exemple parmi les stations existants se qui expose la nappe superficielle au pollution vu que la plus part de ces eaux usées sont rejetées à l'air libre sans aucun traitement chimique.

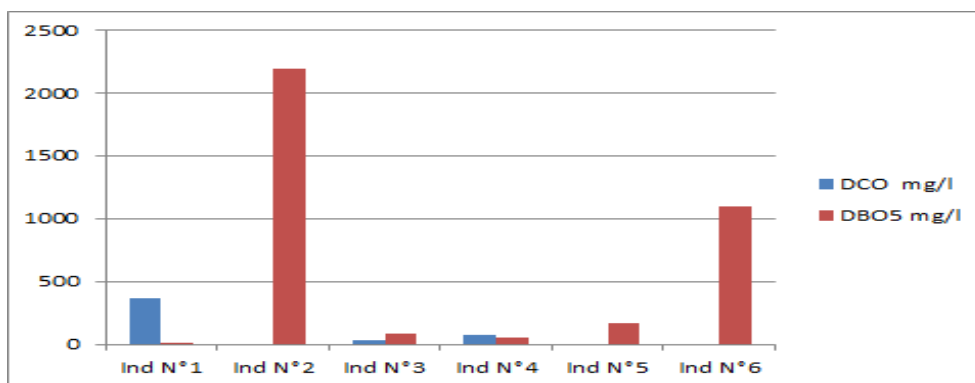


FIGURE 5.13 – Variation de la DBO5 et de la DCO dans les rejets Industriels

### Demande Biochimique en oxygène DBO5

D'une manière globale, les valeurs enregistrées de ce paramètre sont très élevées (fig.5.13) dépassent les normes algériennes des rejets industriels qui fixent 35 mg/l de DBO5 à l'exception de rejet d'Ind3, ce qui montre l'absence d'aucun traitement avant le déversement des rejets dans le milieu naturel. 2200 et 1100 mg d'O<sub>2</sub>/l pour le rejet de l'abattoir et celui de la tannerie exprime l'existence d'activité microbienne intense, en vue la richesse de ces deux rejets en matières organiques.

### 5.2.7 Métaux lourds

Les métaux lourds sont la matière de base de la métallurgie et de la plupart des industries soit en quantité ou en variétés. Malgré leurs nécessités, ils sont dangereux pour l'homme et l'environnement, elle ont des effets très différents sur le milieu vivant, à des concentrations notables ou même des traces l'accumulation consiste un danger pour l'environnement et peuvent être nocifs pour les organismes.

#### Le Plomb (Pb)

Le plomb est un élément Pb a deux états d'oxydation 2+ et 4+. L'état tétravalent est un très fort oxydant,). Pb<sup>2+</sup> en solution dans les eaux naturelles va être complexé par les carbonates, parce que ces eaux se trouvent en général dans un domaine de pH entre 6 à 8 unités [HEM., 1976]. Toutefois dans les eaux acides, Pb sera associé aux sulfates), alors que pour des pH élevés (plus de 8 unités) Pb se trouvera sous forme complexe avec des hydroxydes. La spéciation peut varier

de manière importante en fonction des concentrations en chlore et phosphore [NRIAGU, 1974].



Les apports naturels de plomb dans l'environnement ne représentent qu'environ 4% des émissions totales et se font essentiellement sous forme inorganique c. Les émissions de cet élément sont donc notamment liées à des activités anthropiques, la métallurgie et la sidérurgie représentant environ 80% des émissions de Pb dans l'environnement [NRIAGU, 1979]; [FERGUSSON, 1990]; [NRIAGU, 1996].

Pour les analyses présent des rejets des industries (fig.5.14), les sels de plomb varient entre l'état sulfatés et carbonatés dépendants du pH du rejet et tous les rejets restent inférieur de la limite des normes(0,5mg/l) malgré que l'industrie N°4, indique (69,4 µg/l).

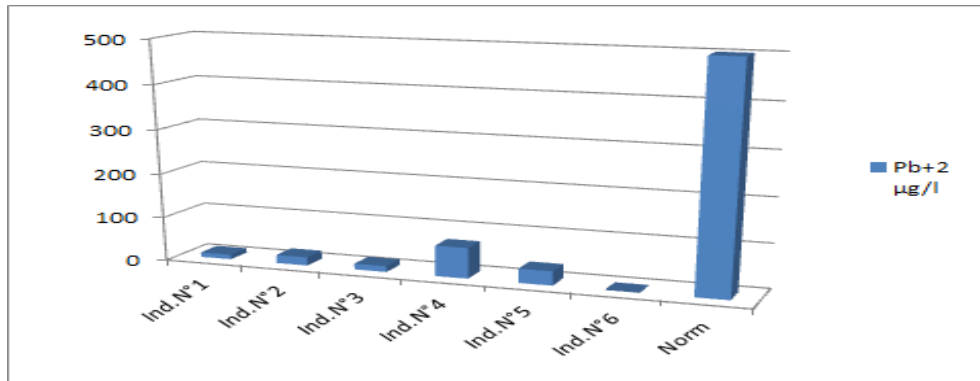


FIGURE 5.14 – Variation du Pb dans les rejets Industriels

### Cadmium (Cd)

Dans les eaux naturelles l'ion Cd prédomine au-dessous de pH 8  $CdCO_3$  est prédominant entre les pH de 8 à 10 unités [HEM., 1976]. L'adsorption du Cd dans la fraction solide est considéré comme étant un enjeu majeur pour expliquer la concentration de cet élément dans les eaux naturelles [LUM, 1987]. Les valeurs enregistrées pour ce paramètres (fig.5.15) restent inférieurs aux normes en notant que le point N°2 présente une valeur élevée inexplicable.



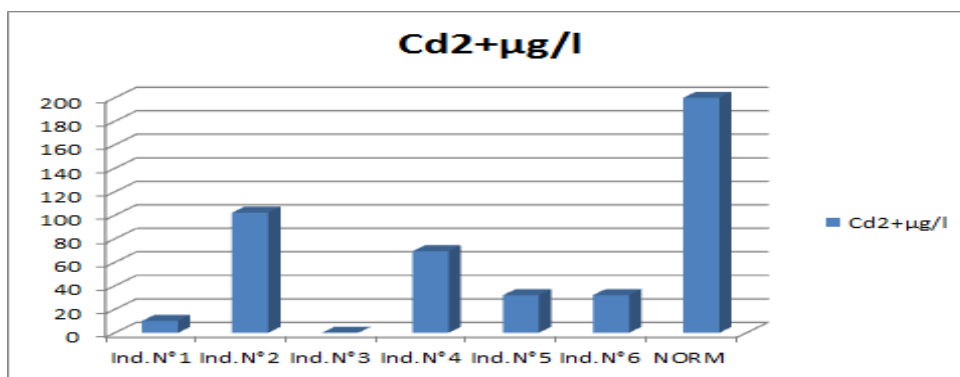


FIGURE 5.15 – Variation du Cd dans les rejets Industriels

### Zinc (Zn)

Le cation libre  $Zn^{2+}$  prévaut dans les eaux de surface pour les conditions environnementales de pH au-dessous 8, tandis que l'espèce neutre  $ZnCO_3$  (smithsonite) est abondant dans les eaux à pH supérieur à 8 (Hem, 1972; Stumm et Morgan, 1996). Les valeurs trouvées (fig.5.16) sont élevées (170-1250  $\mu g/l$ ) bien que tous les résultats ne dépassent pas les normes des rejets des effluents industriels, la valeur enregistrée dans la station de lavage reste élevée vue la multiplicité des stations dans la zone.

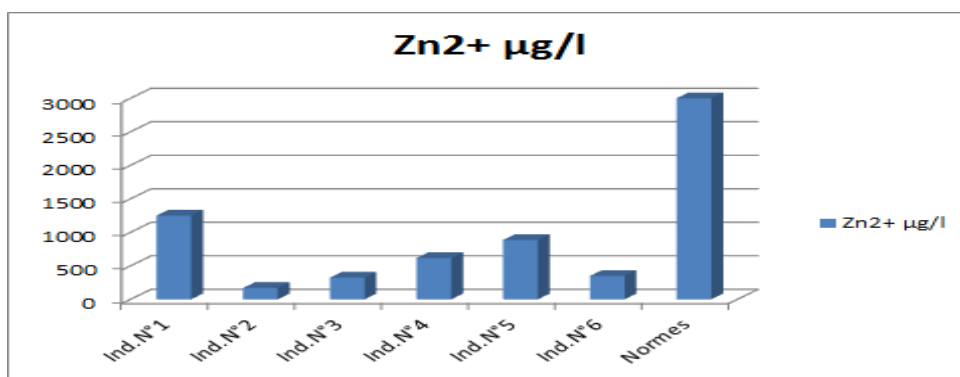
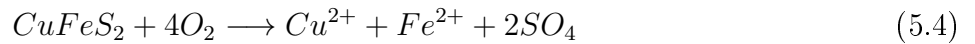


FIGURE 5.16 – Variation du Zn dans les rejets Industriels

### Le Cuivre (Cu)

Les modèles chimiques pour les eaux naturelles montrent que Cu reste à l'état d'ion 2+ jusqu'à un pH de 6 unités (Eq.5.4). Pour la plupart des eaux neutres,  $Cu(CO_3)_2^{2-}$  et  $CuCO_3^0$  sont également

importants (Millero, 1975), le second est plus important entre pH 7 et 8 . Ensuite, à pH au-dessus de 8 le complexe de dihydroxide de cuivre (2+) prédomine. Le cuivre forme aussi plusieurs complexes avec des ligants organiques [CALLENDER, 2003].



Dans le cycle sédimentaire, Cu est associé aux minéraux argileux, et spécialement associé au carbone et manganèse. En conditions acides, Cu est plus soluble que dans les milieux tamponnés. La malachite précipite dès que le pH est supérieur à 7 [GARRELS. and C.L., 1965]. Toutefois, dans un milieu réducteur la phase minérale prédominante. L'analyse indique une variété d'intensité dans les rejets industriels (fig.5.17).

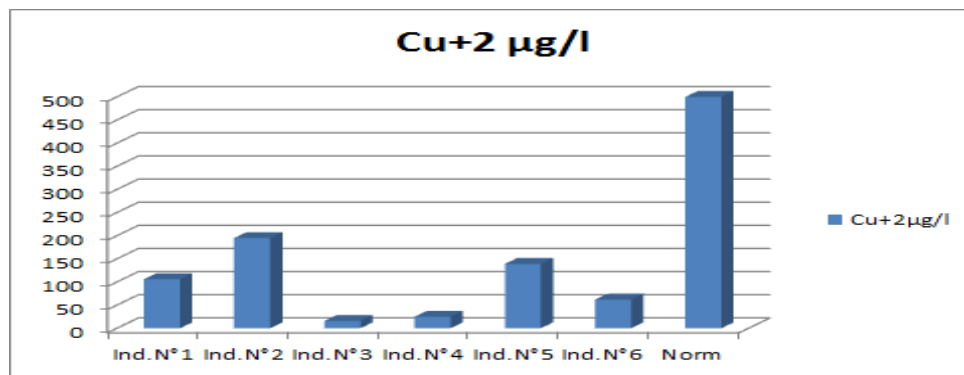


FIGURE 5.17 – Variation du Cu dans les rejets Industriels

## Mercure (Hg)

Le Mercure est un métal sous forme de trace dans les rejets industriels varient de 0,21 à 0,60 µg/l. L'accumulation des métaux dangereux même sous forme de trace présente un danger pour la nappe et pour l'environnement (fig.5.18).

On observe que tous les métaux analysés sont présents dans les eaux usées industrielles en teneurs variable et malgré qu'ils ne dépassent pas les normes des rejets, ils restent un danger pour tout l'environnement.

Le degré dans lequel un métal est absorbé ou précipité dépend notamment de ses propriétés intrinsèques (état(s) d'oxydation, rayon atomique, etc.), des paramètres physico-chimiques de l'environnement (pH et potentiel d'oxydoréduction), de la nature de l'absorbant (charge dépendant du

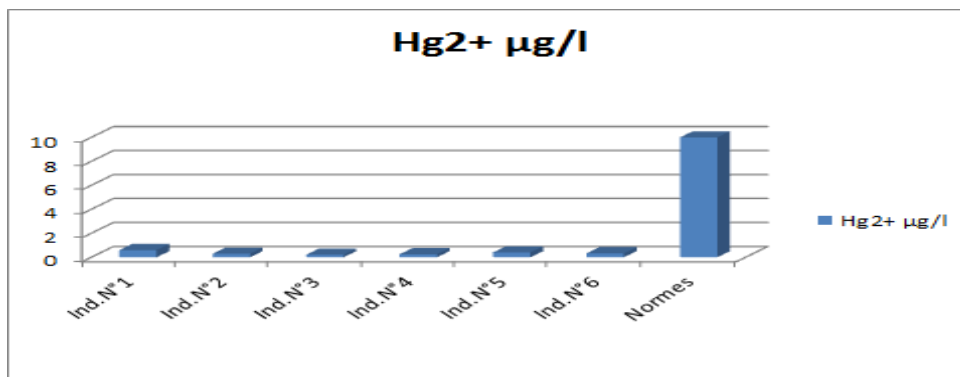


FIGURE 5.18 – Variation du Hg dans les rejets Industriels

pH, type de complexes ligands, surface spécifique), des autres métaux (ou d'autres cations majeurs) présents et de leurs concentrations [AYRES. and ALLOWAY, 1997] ; [SIGG. et al., 2000].

### 5.3 Pollution par les eaux d'irrigations(Eau de l'albien)

La nappe profonde est maintenant la source de base des eaux potables des eaux d'irrigation car la nappe proche n'est plus apte à l'utilisation en AEP à cause de la dégradation de la qualité.

Le besoin d'eau est accentuer et fait appel aux eaux profondes par l'exploitation du premier forage en 1948. Par suit l'augmentation de nombre de forage. La mauvaise gestion des eaux AEP à laisser ses traces sur les eaux de la nappe proche dont on a assisté à la remonter de cette dernière et la dégradation de sa qualité puis son abandonnement.

Pour faire face à ce problème, on a procédé à une étude préliminaire de la qualité physico-chimique de la nappe profonde et son évolution dans le temps et le lieu par apport aux eaux de la nappe alluvionnaire pour repérer les causes de la dégradation de la qualité des eaux de cette dernière.

#### Résultats et interprétation

Les analyses sont effectuées dans le laboratoire central d'Algérienne des eaux « ADE » unité de Ghardaïa, complétant les résultats antérieur pris du même façon et analysés dans le même lieu, avec un respect de mode de prélèvement et de conservation. Les résultats sont interprétés à l'aide des histogrammes des diagrammes d'AVIGION version 2008, et des cartes Surfer.



## Analyses chimiques

Des mesures ont été fait sur le terrain, , le pH, la conductivité électrique et le taux de salinité, au niveau de chaque point d'eau. Cependant des analyses physico-chimiques sont effectuées au niveau du laboratoire.

Les éléments majeurs ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  et  $HCO_3^-$ ), les éléments mineurs en traces ( $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$ ,  $PO_4^{3-}$  et  $Fe^{2+}$ ). Environ 20 paramètre par échantillon ont été analysés au total.

La chimie des eaux de cette nappe est influencée par l'effet de la dissolution des formations géologiques seulement car elle est loin des apports anthropiques.

Afin de bien interpréter les résultats d'analyses qui englobent les paramètres chimiques de chaque forage sur un intervalle de 12 ans et pour présenter le rythme de leurs variation, des histogrammes et des diagrammes ont été élaboré pour la valeur moyenne de chaque paramètre.

## Potentiel d'Hydrogène pH

Les forages Albiens donnent une variation en pH dans les alentours du pH neutre. les eaux profondes ne présentent aucun problème d'acidité ou d'alcalinité et toutes les valeurs sont dans l'intervalle des normes Algérien de portabilité, avec un minimum de 6.96 et un maximum de 7.63.

## Conductivité CE

la variation de la conductivité dans l'intervalle 2000-2012 est homogène pour tous les forages sauf qu'on a un pic à Bouchen (fig.5.20) est une minéralisation qui est à la limite des normes. L'histogramme montre les variations de la conductivité, ces valeurs varient entre (1857 à 2725.45  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) (fig.5.19), la norme algérienne fixe une valeur maximale de 2800  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

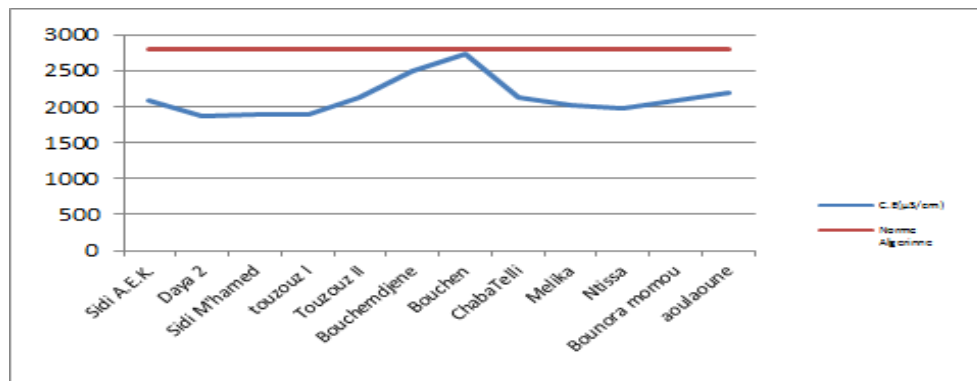


FIGURE 5.19 – Variation linéaire de la conductivité de C.I dans la vallée

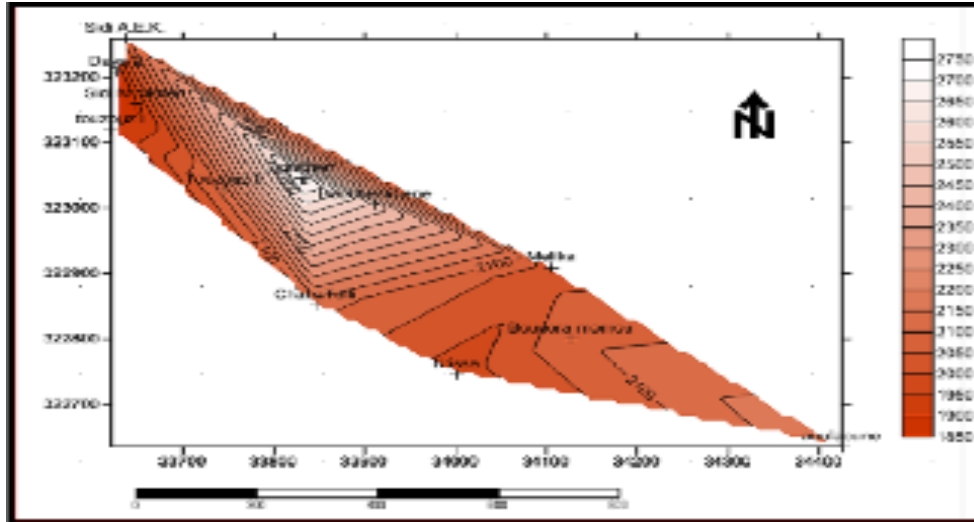


FIGURE 5.20 – Variation Spatiale de la conductivité de C.I dans la vallée

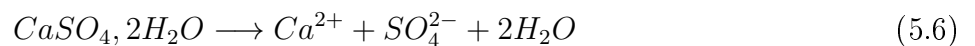
### Titre Hydrotimétrique (Dureté)

les eaux douces ou dures sont classées selon les concentrations en différents éléments tels que les cations calcium ( $Ca^{2+}$ ), magnésium ( $Mg^{2+}$ ) et les anions bicarbonate ( $HCO_3$ ), carbonate ( $CO_3$ ) et hydroxyde (OH )

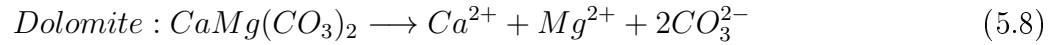
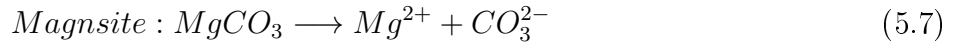
La dureté totale c'est la concentration en ion ( $Ca^{2+}$ ) et en ion ( $Mg^{2+}$ ), si ces ions sont liés aux bicarbonates, elle est dite dureté Temporaire si ils sont liés aux autres anions majeurs, elle est dite dureté permanente.

La variation de la dureté dans la nappe profonde montre des concentrations dépassants le seuil de normes Algériennes permises (500 mg/l). Les eaux de la nappe de Continentale Intercalaire sont des eaux dures.

La présence d'ions  $Ca^{2+}$  dans l'eau est liée principalement à deux origines, la dissolution des formations carbonatées ( $CaCO_3$ ) et la dissolution des formations gypseuses ( $CaSO_4$ )



Le magnésium ( $Mg^{2+}$ ), provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite), selon les réactions :



Comme la dureté permanente est lié à la présence de formation ( $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ ), et les résultats donnent un taux d'ion  $\text{Ca}^{2+}$  toujours supérieur au taux de magnésium  $\text{Mg}^{2+}$  donc la formation de CI dans la zone d'étude est gypseuse (fig.5.22).

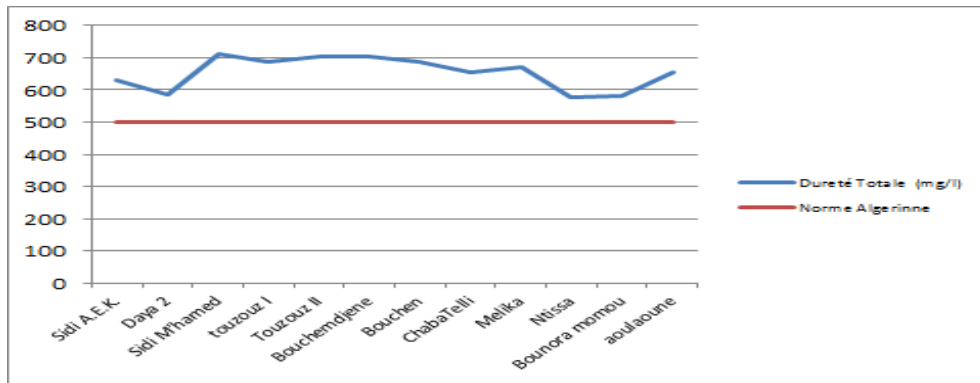


FIGURE 5.21 – Variation linéaire de la dureté TH de C.I dans la vallée

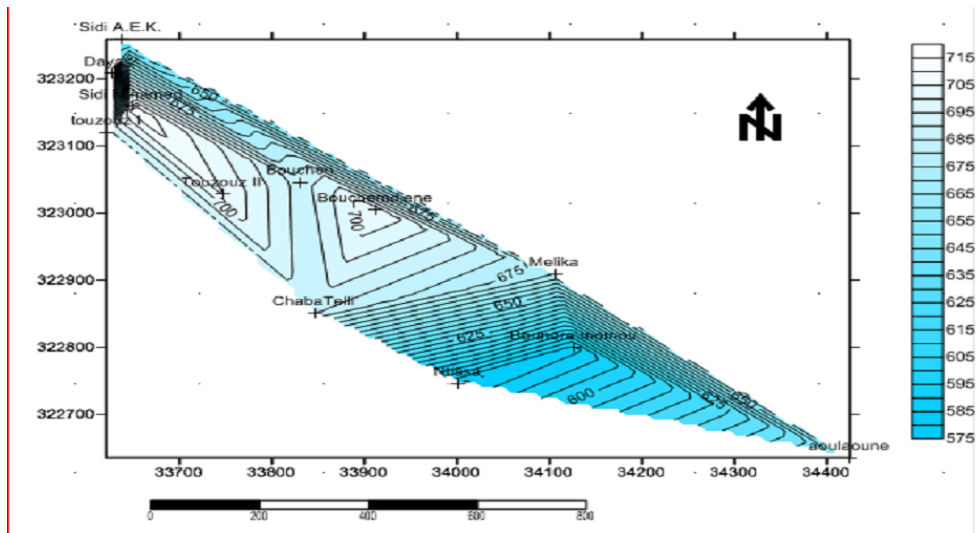


FIGURE 5.22 – Variation spatiale de la dureté de C.I dans la vallée

### Diagramme Hydrochimiques

L'application de diagrammes Hydrochimiques fait ressortir les faciès chimique des points d'eau.

## Diagramme de Piper des forages Albiens

Le diagramme de Piper est composé de deux triangles représentant la répartition des anions et celle des cations respectivement, et d'un losange représentant la répartition synthétique des ions majeurs.

le chimisme des eaux analysées est caractérisé par le faciès sulfaté et chloruré calcique et magnésien avec une légère tendance de migration vers le faciès chlorurée sodique dans les points de l'aval. Il y a pas de cation dominant pour 92.3% des échantillons sauf quelque points qui migrent vers la zone de sodium et de potassium (fig.5.23).

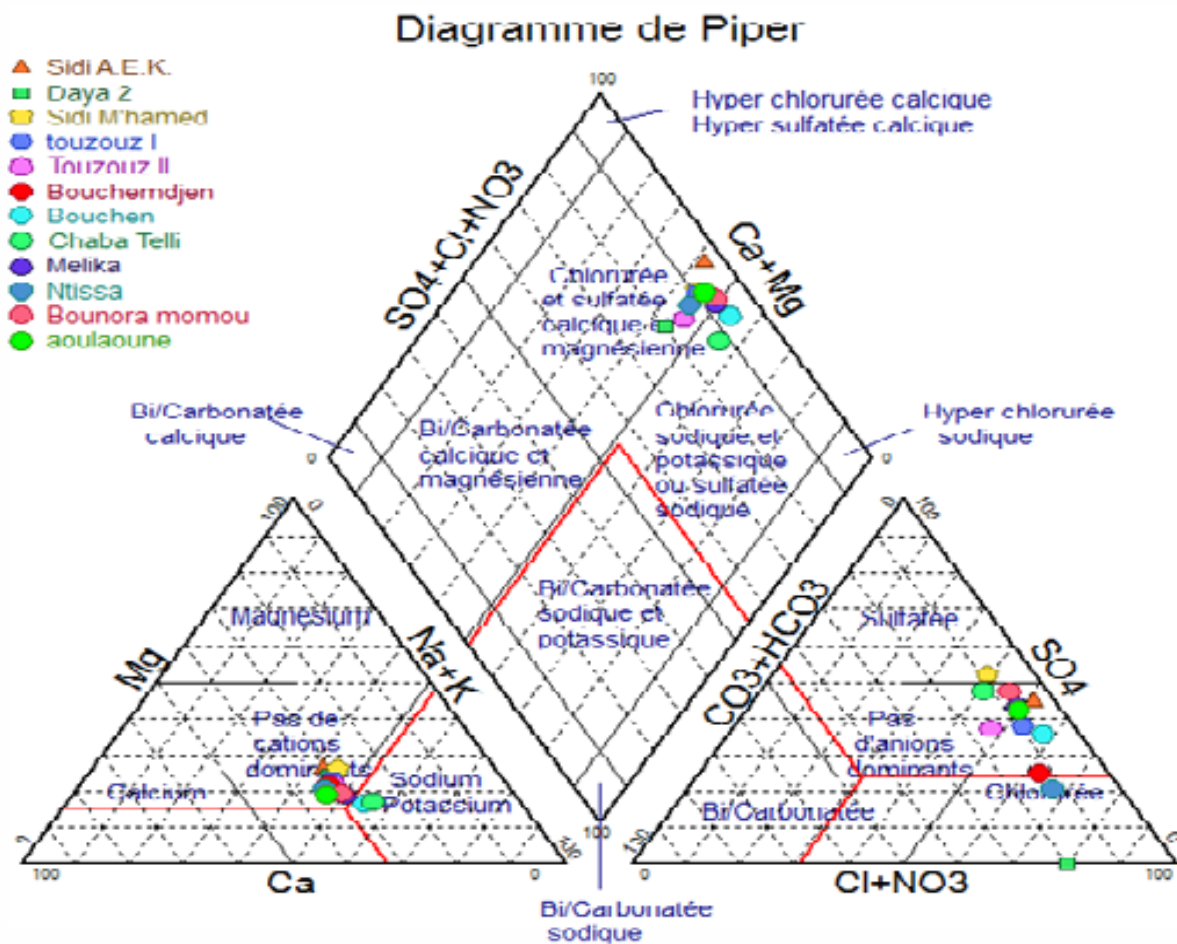


FIGURE 5.23 – Diagramme de Piper de la nappe de CI

## Diagramme de Schoeller-Berkaloff

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff permet de représenter le faciès chimique de plusieurs eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. Un groupe d'eau de minéralité variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence.

La figures 5.24 montrent les faciès chimiques des échantillons analysés selon le diagramme de

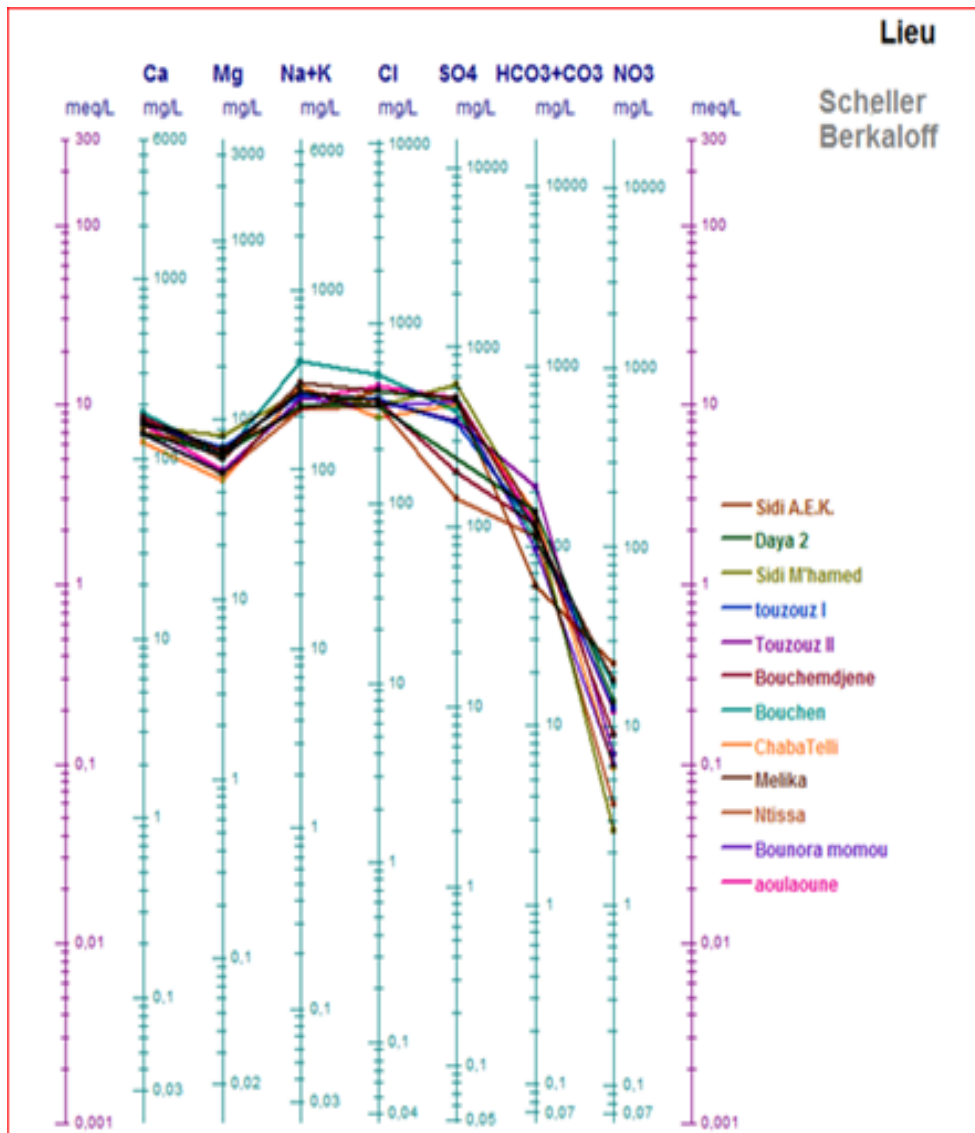


FIGURE 5.24 – Diagramme de BERKALOF de la nappe de Cl

Schoeller-Berkaloff qui sont les suivants :

Eau à faciès sulfaté chloruré calcique et magnésienne pour la plus part des échantillons sauf les forages situés en amont de la commune de Ghardaia comme celle de Châbet Telli et Bouchen dévient vers le faciès sodi-potassique (Na+k) pour les échantillons de DaiaBen Dahoua les eaux sont moins sulfatées.

Les cation dominants dans les eaux profondes de la zone d'étude sont ; le Calcium, Sodium et Magnésium. Les anions dominants sont les Sulfates et les Chlorure.

### Diagramme de Wicilox

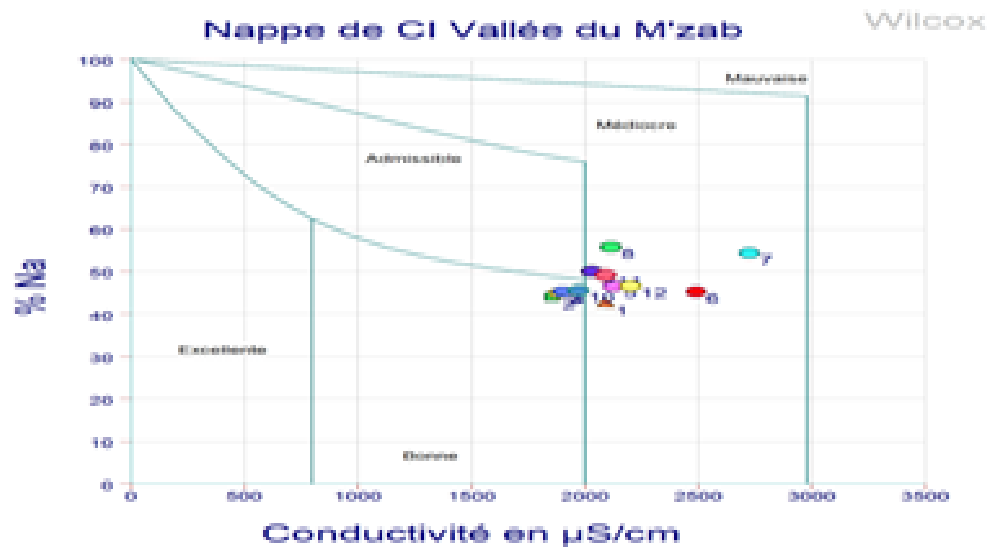


FIGURE 5.25 – Diagramme de Wicilox de la nappe de CI

Le diagramme de Wicilox lie la variation de la conductivité avec le taux de Sodium (fig.5.25). La qualité des eaux de ce diagramme exprime l'aptitude des eaux à l'irrigation. Le classement des eaux donne une qualité Médiocre à admissible pour les eaux de la nappe profonde.

### 5.3.1 Paramètres de pollution

Les eaux de la nappe profonde sont contenues dans une nappe captive d'une grande profondeur (500 m à 1000 m) loin d'être contaminée, ce qui est visible dans les courbes suivantes.

D'après les figures 5.26, 5.27, 5.28 et 5.29 les éléments de pollutions Ammonium, Nitrite, fer et Orthophosphate sont sous formes de traces et le point à concentration élevée remarqués dans

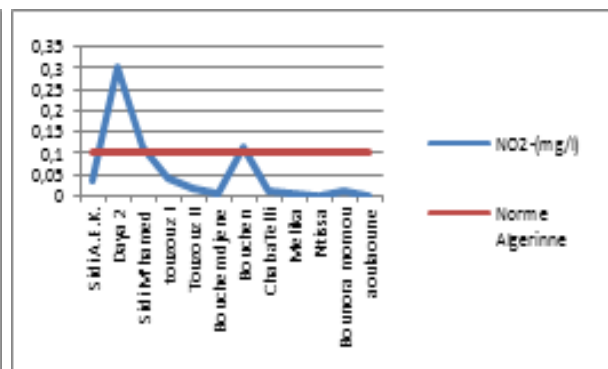
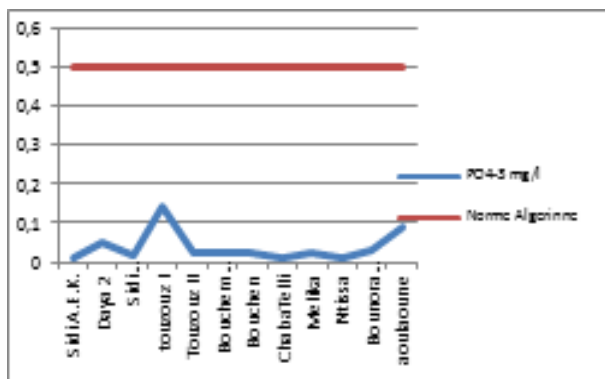


FIGURE 5.26 – Variation de PO4 dans le C.I. FIGURE 5.27 – Variation de NO2 dans le C.I.

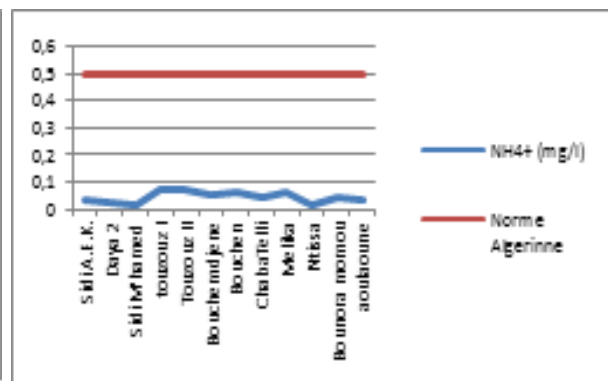
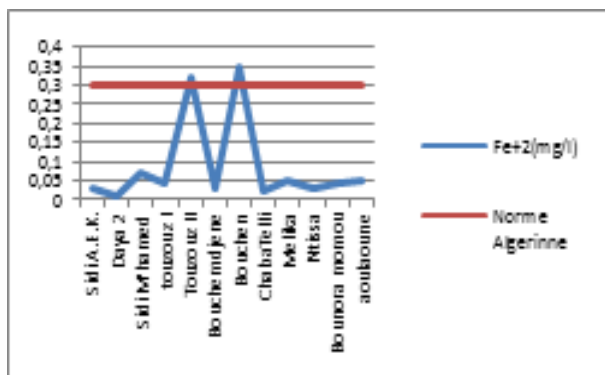


FIGURE 5.28 – Variation du fer dans le C.I. FIGURE 5.29 – Variation du NH4 dans le C.I.

la courbe des nitrites est observé seulement dans l'analyse de 2005 et qui est peut être due à une contamination dans les conduites du forage ou au moment de prélèvement et c'est de même pour la courbe du fer  $Fe^{2+}$ .

L'analyses des eaux de la nappe profonde CI conduit à dire que les eaux sont d'une qualité dure dépassant les normes algériennes de portabilités, elles sont d'un faciès chimique sulfaté chloruré calcique magnésien ou chloruré sulfaté sodique potassique. Pour les paramétrés de pollutions, les éléments analysés sont sous formes de traces vue que la profondeur dépasse 500 m et la nappe est loin d'être polluer.

---

---

## CHAPITRE 6

---

# ETUDE D'IMPACT DE LA POLLUTION SUR LA NAPPE PHRÉATIQUE

La qualité des eaux souterraines naturelle peut être endommagée par l'effet de lessivage des formations géologiques, les infiltrations des eaux de surfaces, des eaux pluviales ou des eaux usées. Les nappes libres sont les plus vulnérables aux polluants d'origine superficielles qui peuvent diffuser librement dans le sol et dans la zone non saturée jusqu'au niveau piézométriques. De ce fait, l'eau des nappes souterraines n'est pas généralement à l'abri de la pollution.

### 6.1 Etat de l'environnement de la vallée

La vallée du M'zab qui passe par quatre commune Daia Ben Dahoua Ghardaia, Bounoura et El-Atteuf était dépourvue d'un bon réseau d'assainissement où la première commune en amont de la vallée ne possédait même pas ce réseau pour une long période, les trois autre avaient un réseau dégradé qui passe dans le lit de l'Oued et les eaux accumulées sont laisser à l'air libre sans aucun traitement.

Dans ces conditions l'inspection de l'environnement a lancé quelques études analytiques sur l'état inquiétant de la vallée pour l'année 1994. La procédure a commencé par une étude chimique des eaux de la nappe alluvionnaire. Des analyses du pH, Conductivité,  $DBO_5$  et niveau piézomé-



trique sont effectués. La conclusion affirme un accroissement de la pollution de la nappe phréatique. La conductivité (1770 à 3910  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) dépasse les normes avec une remontée de la nappe phréatique au centre-ville de la commune de Ghardaia et en aval de la commune d'El-Atteuf (conductivité et DBO5 élevés) l'origine suspectée c'est l'état de collecteur principal se trouvant le long du lit de l'Oued.

Une autre étude était lancée en 2000, a touché un puits de chaque commune dont les paramètres sont la salinité oxygène dissous, pH, DBO5, ortho-phosphate les résultats ont montré une augmentation doublée de la salinité : (Conductivité : 3100-6310  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et une augmentation de DBO5 malgré que les teneurs des phosphates étaient négligeables. La recherche d'une solution à ce problème conduit à faire des études complémentaires pour cette source perdue.

## 6.2 Méthodologie de travail

Cette étude hydrochimique a pour but de repérer les causes de la dégradation de la qualité des eaux de la nappe proche, de contrôler son état actuel et son évolution dans le temps, dans l'espace et en fonction de la variation des paramètres physico-chimiques et en fin de prévoir des solutions pour la réutilisation des eaux de cette nappe.

Un plan de travail a été adopté, qui consiste d'abord à réaliser un suivi sur quatre périodes de nappe superficielle (Années 2005/2006/2010 et 2012), avec une analyse plus ou moins complète des paramètres physico-chimiques, puis déterminer les différents apports anthropiques à caractère polluant dans la région, le taux des métaux lourds et d'estimer la vulnérabilité des nappes souterraines à la pollution.

Le travail commence par des prélèvements, puis des analyses et une étude des résultats. Or durant la période d'étude, la vallée du M'Zab a connu une crue ravagante qui a causé une énorme inondation avec des dégâts humains et matériels très graves, qui sera étudiée dans le chapitre suivant. Cette crue a effacé la plus part des points de prélèvements d'où l'obligation d'une rectification dans le plan de travail.

## 6.3 Prélèvements des eaux de la nappe phréatique

Pour la nappe alluvionnaire d'Inféro-flux les prélèvements sont effectués selon une répartition temporelle sur quatre périodes de 2005 à 2012 et une fréquence d'un point à un autre, suivant la disponibilité et la profondeur des ouvrages de captage, les implantations agricoles existantes et au voisinage du lit de l'Oued M'Zab comme c'était présenté dans la partie précédente et sur la carte fig.3.2).

Les analyses des paramètres physiques, des sels dissous des paramètres indésirables ont été réalisé dans les quatre campagnes, les métaux lourds et la matière oxydable sont réalisés dans les deux premières campagnes.

## 6.4 Interprétation des résultats des analyses

L'étude des résultats d'analyses des eaux de la nappe phréatique est procédé par une représentation des données sous formes des histogrammes et des diagrammes comparés aux normes de potabilité, suivit d'une représentation cartographique de la dernière année d'étude (2012)des éléments chimiques réalisée.

### 6.4.1 Paramètres physiques

#### Potentiel d'Hydrogène(pH)

C'est un paramètre physique qui détermine l'acidité ou l'alcalinité.

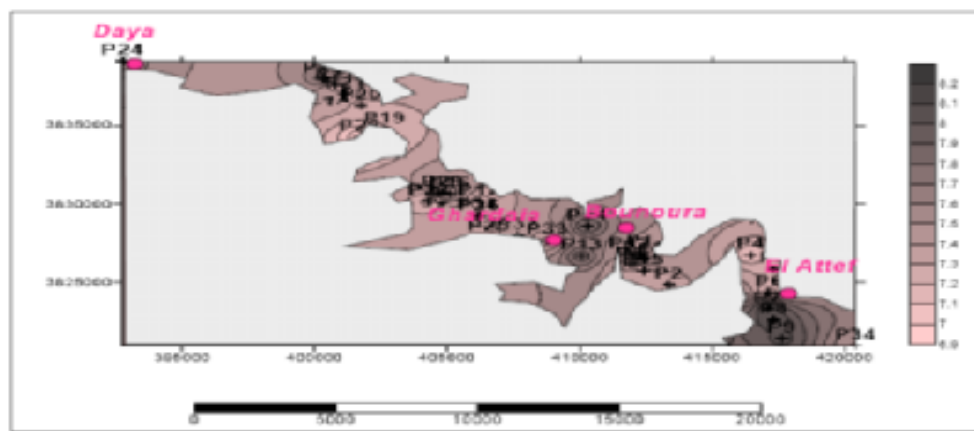


FIGURE 6.1 – Variation spatiale de Potentialité d'hydrogène (pH) dans la vallée

Ce paramètre donne une valeur min(6.65) en 2005 et une valeur max(8.34) pour 2010. Pour toute la période d'étude les valeurs reste donne l'intervalle de la norme de potabilité (5.5-8.5) malgré l'existence des rejets industriels à pH élevé.

La présentation cartographique d'après la figure 6.1 montre une variation aléatoire et non ordonné avec des valeurs proches.

### **Conductivité électrique (CE)**

Elle dépend de la présence des espèces ioniques contenues dans l'eau. Les valeurs de la conductivité électrique montrent que la plupart des puits dépassent la norme Algérienne recommandée relative à la potabilité des eaux ( $2800 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). Les valeurs minimales sont enregistrées à l'amont de la nappe de l'ordre de ( $491 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) en 2010 dans le puits de BOUHEN alors que la plus part des puits en une conductivité élevée. Les valeurs maximales sont de l'ordre de ( $8750 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). Généralement les valeurs de la conductivité sont très élevées à travers toute la nappe. Pour la campagne 2006, le point le plus faible ( $1707 \mu\text{S}/\text{cm}$ ), est situé dans une région lointaine en amont de Daia- Ben Dahoua, tandis que l'augmentation de la conductivité commence à proximité de palmeraies traduisant l'existence des quantités importantes des eaux de drainage trop salées et l'évacuation des eaux usées à travers des fosses septiques dans le tissu urbain de cette commune. Pour la commune de Ghardaïa, les valeurs très élevées de la conductivité enregistrées résultent de l'existence des eaux stagnantes et des déchets urbains. De même pour la commune de Bounoura l'augmentation de ce paramètre est due à l'utilisation des puits perdus pour l'évacuation des eaux usées malgré la connections au réseau d'assainissement. Dans la région Beni Isguen, la conductivité est aussi élevée dans les trois puits et varie proportionnellement avec la distance de la zone industrielle Bounoura.

L'accumulation des eaux usées (domestiques et industrielles) dans l'aval d'El-Atteuf est la cause de l'augmentation de la conductivité.

La carte de distribution spatiale fig.6.2 montre une augmentation de l'amont vers l'aval avec une sur-concentration dans l'exutoire dans la commune d'El-Atteuf avant la station d'épuration de Kef-Edoukhane construite récemment avec la rénovation de réseau d'assainissement.

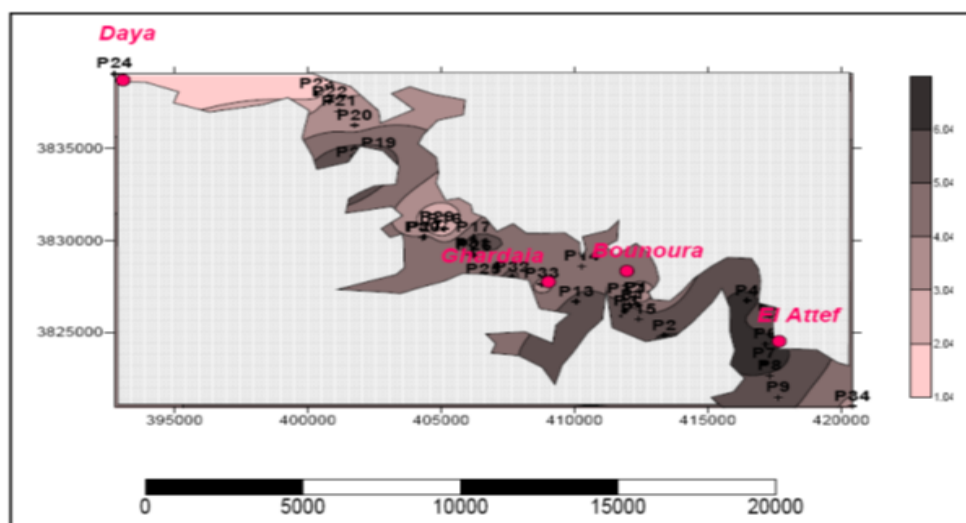


FIGURE 6.2 – Variation spatiale de la conductivité dans la nappe phréatique

## 6.4.2 Paramètres chimiques

### Dureté ou titre hydrotimétrique (TH)

Les eaux profonde de la région sont connue par leurs qualité très dure qui dépasse les norme de la potabilité (500 mg/l) inversement au eaux de la nappe proche qui était la source des eaux douce pour un long terme. Donc analyser le TH c'est évaluer le degré d'affection par les eaux profonde. La variation ne peut être liée à la dissolution des formations carbonatées riches en magnésium et en gypses contenus dans les marnes. Les eaux de cette nappe sont considérées pour longtemps comme des eaux douces et le changement de la qualité n'est apparue qu'avec l'accumulation des source de pollution.

La dureté (TH) est donnée par l'ensemble des ions ( $Ca^{2+}$ ) et ( $Mg^{2+}$ ) soit temporelle ou permanente de l'eau, elle présente un bon renseignement sur la qualité d'eau étudiée. L'histogramme présente les mêmes allures de variation pour les quatre périodes étudiées : une augmentation de l'amont vers l'aval, un creux à Bouchen après un pic à Daya Ben Dahoua puis une augmentation désordonnée. Les valeurs enregistrés varient entre un minimum et un maximum comme dans le tableau 6.1 :

L'écoulement a favorisé l'acquisition de ces teneurs, car les eaux souterraines, qui s'écoulent suivant la direction NW-SE, se chargent progressivement au fur et à mesure que l'on se déplace vers la zone d'accumulation. Ceci explique les fortes concentrations, par des phénomènes de lessivage, d'évaporation et par l'accumulation des eaux usées dans la région d'EL-Atteuf.

TABLE 6.1 – Dureté totale (TH)

Année	TH max (°F)	TH min (°F)	TH moy (°F)
2005	336.8	33.3	185.8
2006	287.7	75.2	173.1
2010	377.3	26.7	201.9
2012	356	80	221.4

Les plus faibles valeurs, de l'ordre de 267 mg/l, sont enregistrées au point P8 en 2010 dans la zone de Bouchen (fig 6.3).

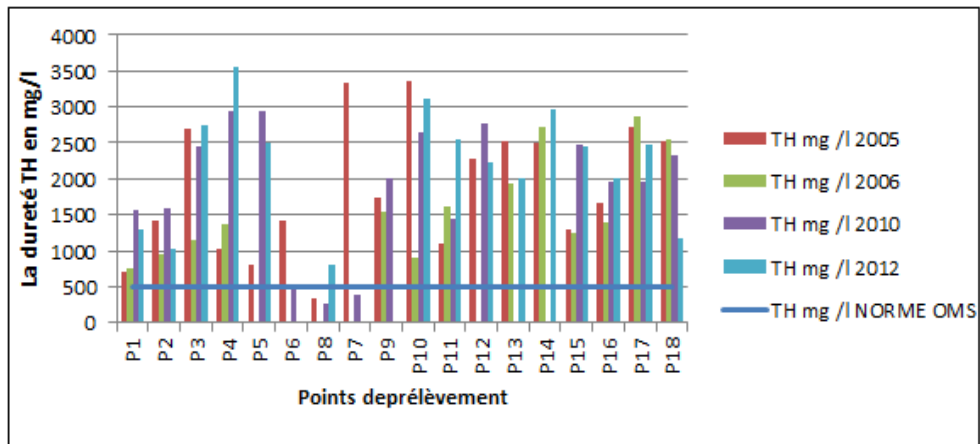


FIGURE 6.3 – Variation spatiale et Temporelle de la dureté dans la nappe phréatique

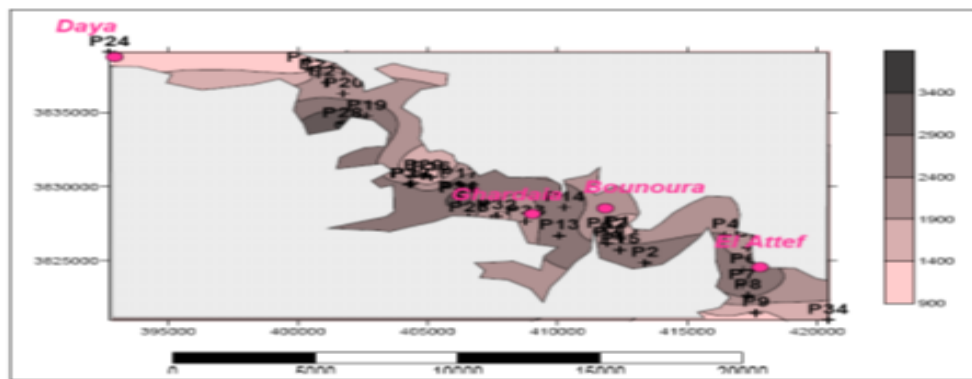


FIGURE 6.4 – Variation spatiale de la dureté dans la nappe phréatique

## Calcium ( $Ca^{2+}$ )

Le calcium provient de la dissolution de la calcite et du lessivage des calcaires et des dolomies ou dépôts gypsifères. Le seuil de goût pour l'ion de calcium est dans la gamme 100-300 mg/litre, selon l'anion associé, mais des concentrations plus élevées semblent acceptables aux consommateurs. Les sources contenant plus de 200 mg par litre de calcium sont communes dans les eaux souterraines. La norme Algérienne de potabilité fixe (200 mg/l) comme valeur limite de potabilité. Or que la plus part des puits présentent des teneurs supérieures à la norme de potabilité des eaux. La valeur la plus élevée (618,03 mg/l) (fig6.5) est enregistré en 2010 dans le lit d'Eloued en amont de la commune de Ghardaia. La valeur la plus faible (56,12 mg/l) dans la même année dans la zone de Bouchen. L'accumulation est de l'amont vers l'aval et les points les plus concentrés sont au voisinage du lit de l'Oued.

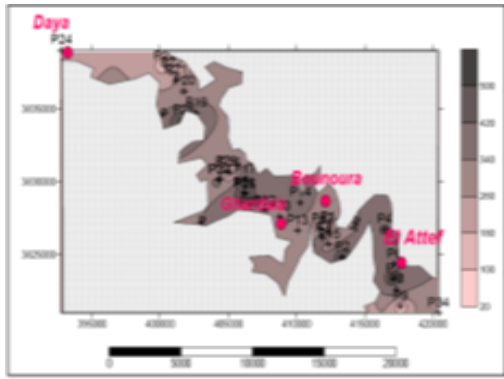


FIGURE 6.5 – Variation spatiale du calcium

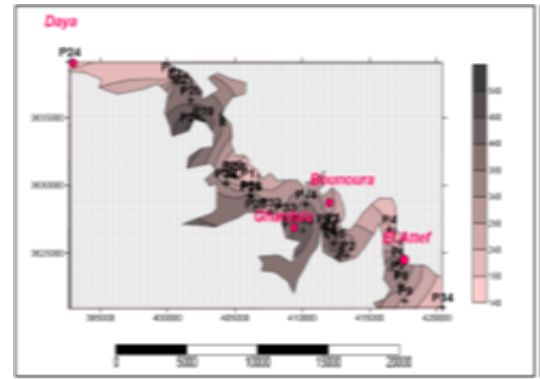


FIGURE 6.6 – Variation spatiale du magnésium

## Manésium ( $Mg^{2+}$ )

Le magnésium  $Mg^{2+}$  proviennent, comme les ions calcium, de la dissolution des formations carbonatées riches en magnésium. La valeur enregistrée comme maximum est (563 mg/l) et un minimum de (37 mg/l) en 2005. La concentration d'ion  $Mg^{2+}$  est en générale inférieur à celle d'ion  $Ca^{2+}$ . La variation spatial est de même que le TH et le calcium (fig6.6).

## Sodium ( $Na^+$ )

L'origine de cet éléments est liée principalement à la dissolution des formations salifères, il est liée principalement au présence des chlorures. La norme de potabilité précise 200 mg/l comme limite supérieur pour cet élément, 82% des puits dépassent cette valeur. Des fortes concentrations environ (1400 mg/l) sont notés dans le centre ville de Ghardaia et en aval d'El-Atteuf (fig6.7). L'influence des eaux usées et des rejets industriels est claire.

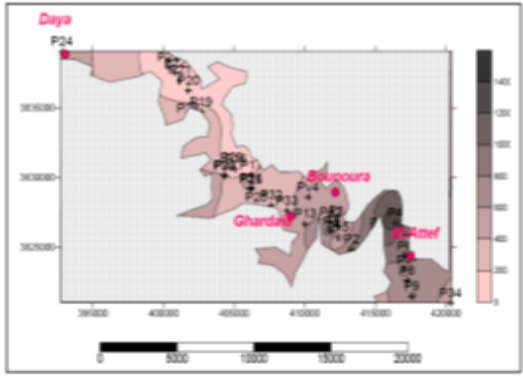


FIGURE 6.7 – Variation spatiale de sodium

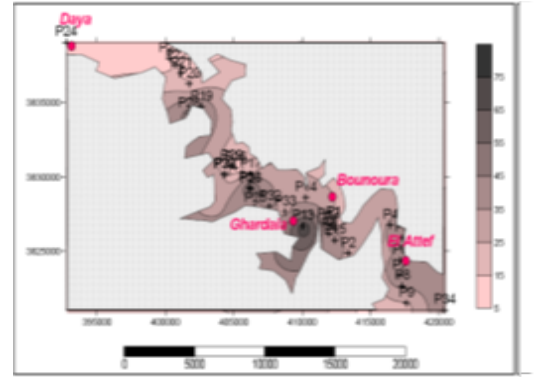


FIGURE 6.8 – Variation spatiale de potassium

## Potassium ( $K^+$ )

Le potassium résulte de l'altération des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) qui sont utilisés massivement par les agriculteurs. La teneur de Potassium est toujours inférieurs aux autre cations Avec un minimum de (6 mg/l) et un maximum de (101 mg/l) la variation spatial est représenté dans la figure 6.8.

## Chlorures ( $Cl^-$ )

Les eaux dans les puits analysés présentent un excès en chlorure, les valeurs sont très élevées même comparés aux normes algériennes (500 mg/l) qui sont plus large que les normes OMS. La teneur en chlorure dépend de la teneur en métaux alcalins ( $Na^+$ ,  $K^+$ ) et des métaux alcalino-terreux ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) aux quel ils se trouvent associés sous forme des sels, si la nappe n'est pas vulnérable à la pollution . Alors que les valeurs varient entre (1306 mg/l) et (5025 mg/l) indiquant nettement la vulnérabilité de nappe.

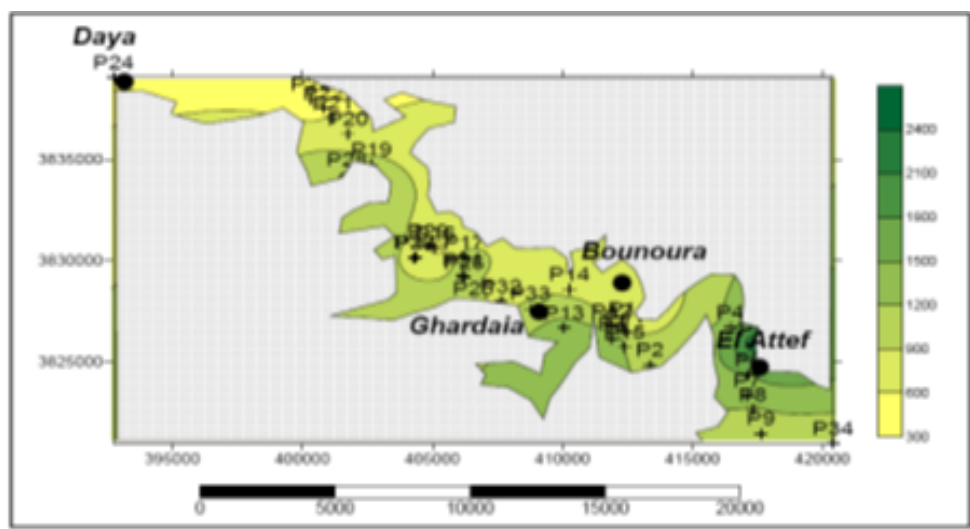
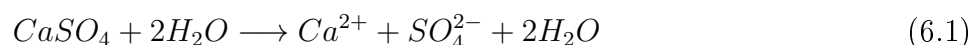


FIGURE 6.9 – Variation spatiale des Chlorures dans la nappe phréatique

La figure 6.9 montre l'évolution de la concentration des chlorures qui est dans le sens d'écoulement des eaux dans la vallée.

### Sulfates ( $SO_4^{2-}$ )

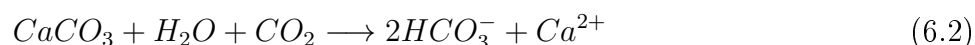
La présence des sulfates dans l'eau généralement est liée à la dissolution du gypse contenu dans les marnes et au lessivage suivant la réaction.



La plus forte valeur enregistrée est (2890 mg/l) en 2010, et la valeur la plus faible c'est (80,16 mg/l) en 2005. En effet 80% des puits dépassent la norme (400 mg/l) de potabilité.

### Titre Alcalimétrique (TAc)

Le titre alcalimétrique complet c'est la présence des bicarbonates  $HCO_3$  dans l'eau, c'est due à la dissolution des formations carbonatées selon la réaction suivante :



La forte teneur enregistrée en carbonate est (560 mg/l) et un minimum de (198 mg/l) suite à la dissolution des calcaires. La variation des carbonates se fait inversement à la dureté fig.6.10



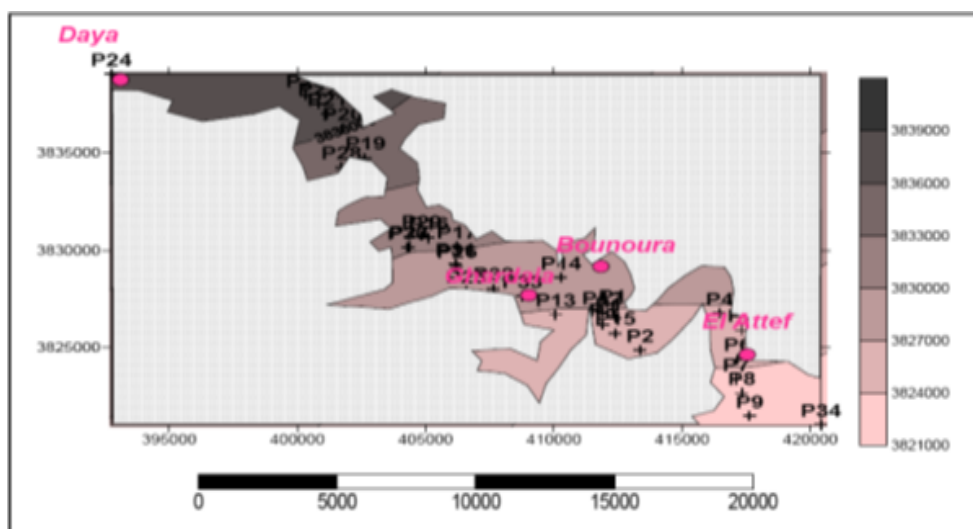


FIGURE 6.10 – Variation spatiale des Carbonate dans la nappe phréatique

### 6.4.3 Classification et faciès Hydrochimiques

L'utilisation des diagrammes hydrochimiques d'Avignon explique la qualité des eaux étudiées leurs variations selon les périodes d'études. Dans cette recherche on a analysé les résultats des éléments majeurs ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cl^{-}$ ,  $K^{+}$ ,  $Na^{+}SO_4^{2-}$  et  $NO_3^{-}$ ) à l'aide de diagramme de Piper et de Scheller et Berkaloff.

L'application de diagramme d'Avignon sur les résultats d'analyses des quatre périodes explique les informations nécessaires :

#### Classification selon Piper

- **Cations** : Pour les années 2005,2006 et 2012 pas de cations dominante, avec une légère migration des trois points en aval vers le faciès sodique et potassique. Pour l'année 2010 quatre puits de la zone de Bouchen et la palmeraie migre vers le faciès magnésien
- **Anions** : Pour les années 2005,2006 et 2012 le faciès dominant c'est le sulfaté calcique. Pour 2010 quelque points ont migré vers le faciès carbonaté. Donc le faciès dominant c'est le faciès sulfaté chloruré calcique magnésien. En aval le faciès se transforme en faciès chloruré sulfaté sodique indiquant une accumulation des sels NaCl infiltré dans l'aval de la nappe.

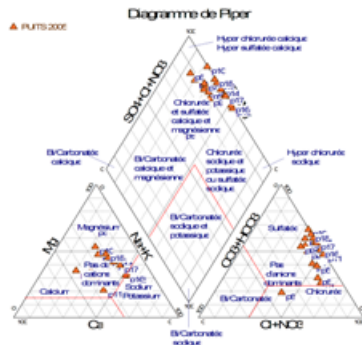


FIGURE 6.11 – Diagramme de Piper 2005

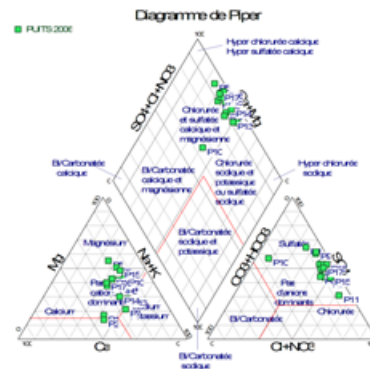


FIGURE 6.12 – Diagramme de Piper 2006



FIGURE 6.13 – Diagramme de Piper 2010

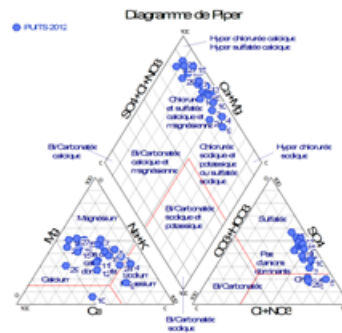


FIGURE 6.14 – Diagramme de Piper 2012

### Classification selon Wilcox

- **C2S1** : Eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes aux sels, sur sols ayant une bonne perméabilité. Cette classe contient deux points d'eau pour 2005 et 2010 qui est le même puits de Bouchen. Cette classe ne contient aucun puits de 2006 et 2012 qui étaient des années plus sèches
- **C3S1** : Eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés, c'est le cas de deux ou trois points de chaque année qui se trouvent soit en amont de la vallée soit à la zone de Bouchen.
- **C4S1** : Eau convenant à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés. Cette classe comporte quelque échantillon seulement.

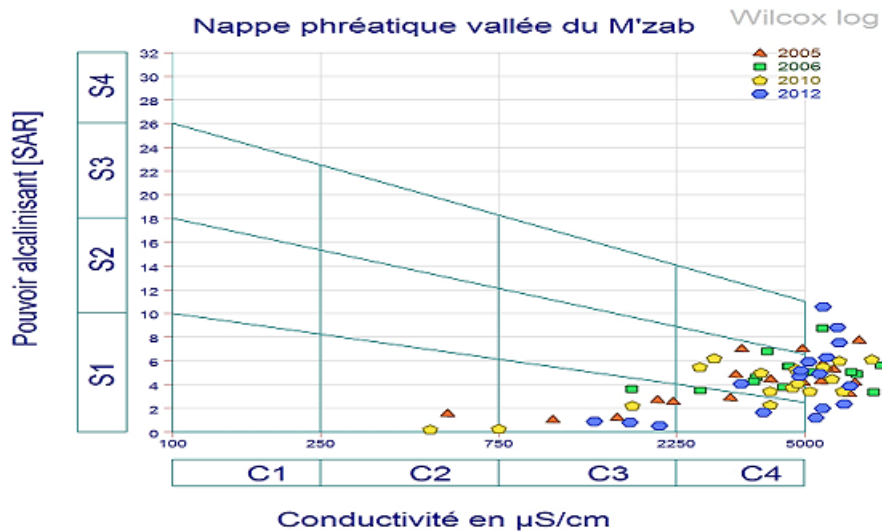


FIGURE 6.15 – Diagramme de Wilcox des quatre périodes

- **C4S2** : Eau à danger d'alcalinisation assez appréciable cette classe contient la majorité des points d'eau. Or les points situés en aval de la vallée sont à l'extérieur du tableau de classement et présente un danger réel pour l'irrigation.

#### 6.4.4 Influence Des Eléments De Pollution

Les paramètres de pollution étudiés sont les Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ), Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), et les Phosphate ( $\text{O-PO}_4^{3-}$ ). La présentation des cartes de variation spatial est basée sur l'échantillonnage de l'année 2012.

##### Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

La présence de nitrates dans les eaux est due en grande partie aux intrants utilisés en agriculture. Le reste est issu des rejets des collectivités locales et de l'industrie. Très solubles les nitrates sont présents dans l'eau. La carte de la figure 6.16 montre une accumulation (199,35 mg/l) au niveau de la palmeraie dans la zone rurale exprimant l'origine agricole des nitrates.

##### Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )

Les nitrites proviennent d'une transformation de l'ammonium par les bactéries. Leur présence est signe d'une pollution d'origine bactériologique et organique. Les nitrites sont aussi les plus

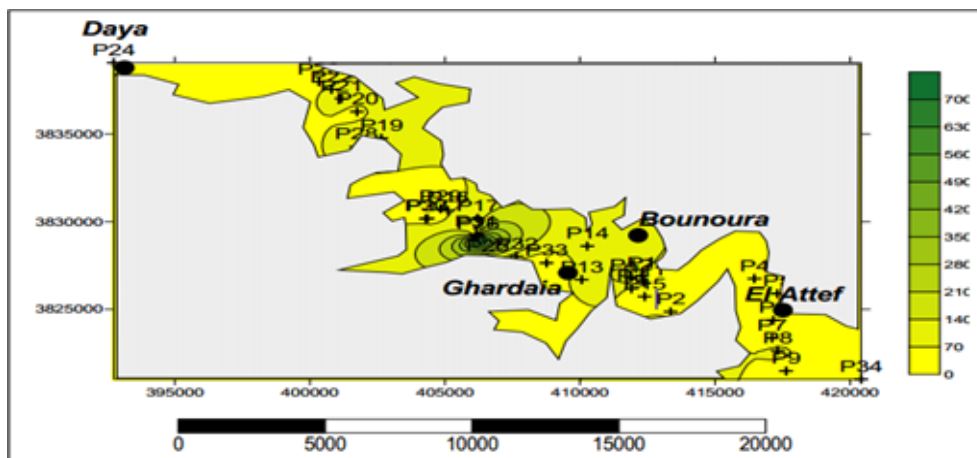


FIGURE 6.16 – Variation spatiale des Nitrates dans la nappe phréatique

toxiques [L.GOUAIDIA, 2008]. Ce polluant n'apparaît qu'au point d'accumulation des eaux usées, la valeur la plus grande (5.14 mg/l) est enregistrée dans la commune d'El-Atteuf (fig 6.17). En effet, 12% des puits dépassent la norme (0.1mg/l) de potabilité.

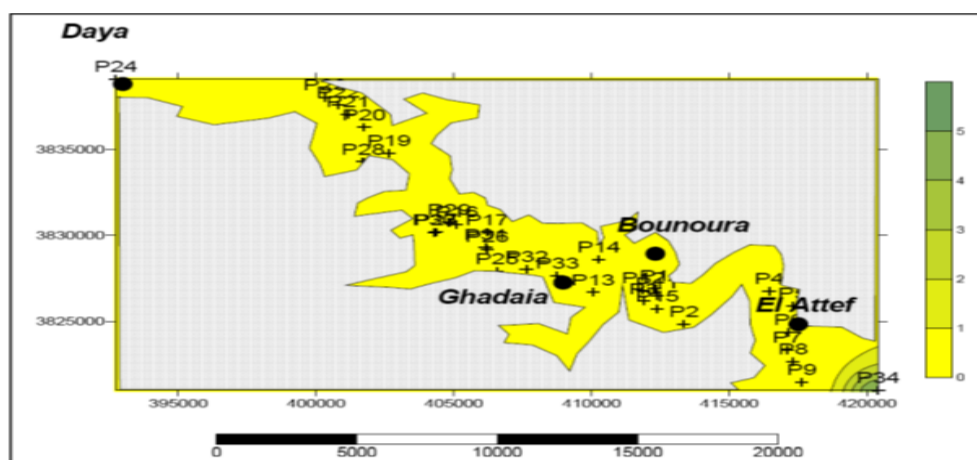


FIGURE 6.17 – Variation spatiale des Nitrite dans la nappe phréatique

### Ammonium ( $NH_4^+$ )

L'ammonium provient soit de la réduction des nitrates, soit des activités humaines (rejets d'effluents, activités industrielles, élevage). L'ammonium est un indice d'une possible contamination microbiologique. Il peut aussi modifier le goût de l'eau ou provoquer la prolifération de bactéries nitrifiantes [L.GOUAIDIA, 2008]. 2.94 mg/l est la valeur la plus élevée. En effet, 41% des puits

dépassent la norme (0.5 mg/l). La figure 6.18 montre la zone la plus touchée par cet élément c'est Daya Ben Dahoua puisqu'elle est dépourvue de réseau d'assainissement.

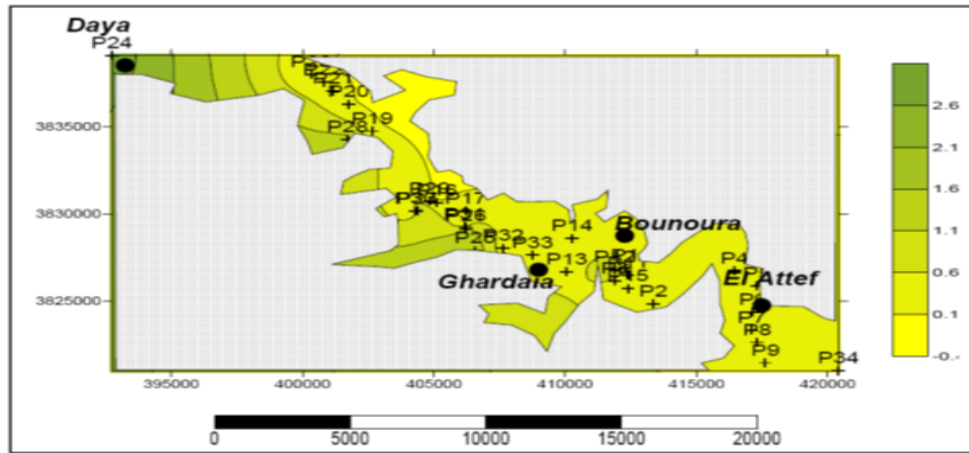


FIGURE 6.18 – Variation spatiale de l'Ammonium dans la nappe phréatique

### Phosphate ( $O-PO_4^{3-}$ )

Le phosphore est nécessaire à la croissance des plantes. Il est présent dans le sol sous la forme

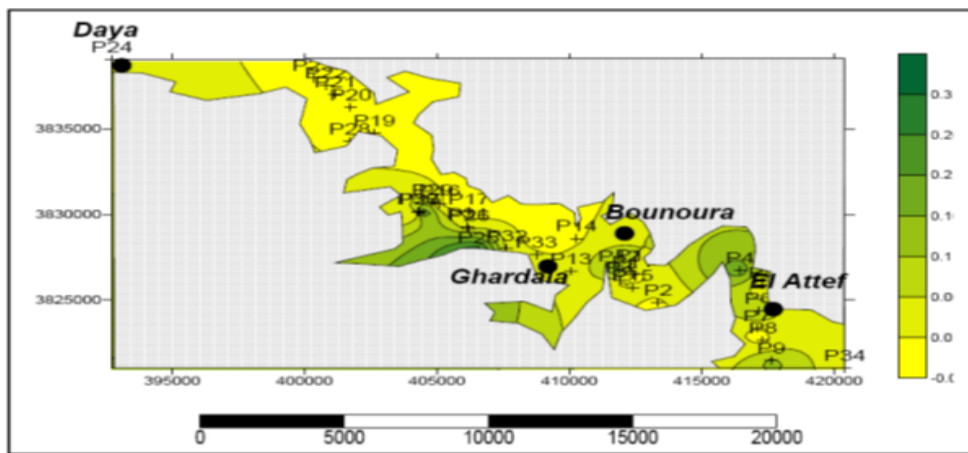


FIGURE 6.19 – Variation spatiale des Phosphate dans la nappe phréatique

de phosphates : soit dissous dans l'eau, soit fixé sur les particules du sol, soit dans les minéraux ou encore sous forme organique. Au fur et à mesure que les racines prélèvent les phosphates dissous dans l'eau, les molécules fixées sont progressivement libérées. Les agriculteurs utilisent les engrais phosphatés d'une manière aléatoire. Les engrais utilisés sont fabriqués à partir des roches

phosphatées. Le phosphore présent dans ces roches n'est pas assimilable directement par les plantes, surtout dans les sols basiques [L.GOUAIDIA, 2008].

Les teneurs en phosphates enregistrées varient de 0 mg/l à 0.33 mg/l, elles sont inférieures à la norme de potabilité et elles sont localisées dans les zones agricoles.

### 6.4.5 Demande Biochimique en Oxygène après 5 jours (DBO5)

Pour une eaux potables, les indicateurs de pollution n'existent pas normalement. Mais la recherche et les analyses dévoilent ces leur existence.

La DBO5 est la dégradation des matières organiques polluantes, sous l'action de microorganismes observés dans les phénomènes d'auto-épuration des eaux superficielles, il en résulte une consommation d'oxygène qui est exprimé par la DBO, il a été conventionnellement retenu d'exprimer la DBO en milligrammes d'oxygène pendent 5 jours à 20 °C.

Les valeurs de DBO5 atteint 12 mg d'O2/l, en 2005 indiquant une augmentation de l'amont à l'aval et les points les plus élevés sont (P5, P7, P11, P14).

En 2006,les valeurs moyennes de DBO5 obtenues dépassent fortement la norme es rejets (35 mg d'O2/l). Le maximum enregistré est (108 mg d'O2/l) ce qui montre la contamination de la nappe phréatique en amont dans la commune de Daya Ben Dahoua à cause de l'utilisation des fausses septiques et en aval dans le déversoir des eaux usées.

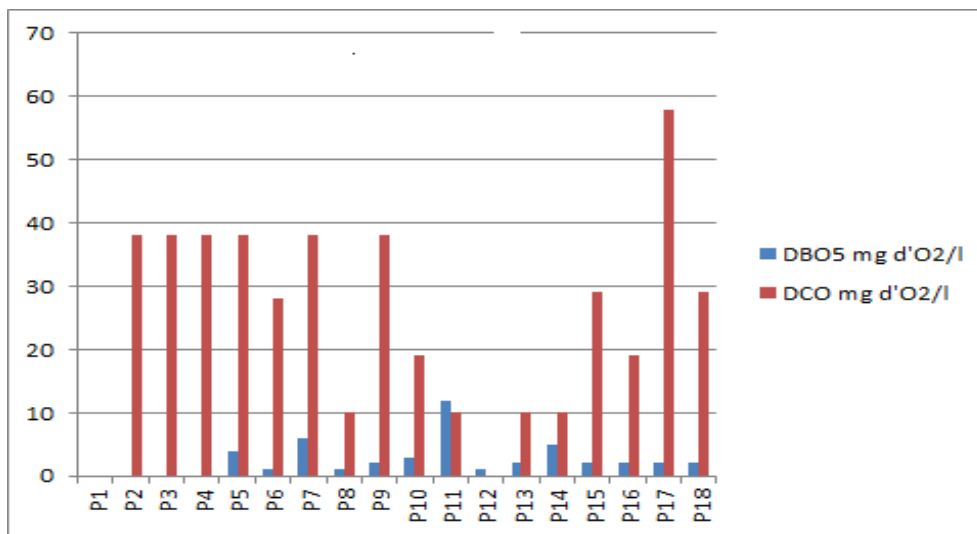


FIGURE 6.20 – Variation spatiale de la DBO5 et la DCO en 2005

### 6.4.6 Demande Chimique en Oxygène (DCO)

Les valeurs moyennes de la DCO en 2005 varient entre 0 mg d'O<sub>2</sub>/l et 57,6 mg d'O<sub>2</sub>/l, ce sont des valeurs importantes comparer aux normes de potabilité malgré qu'elles ne dépassent pas la limite de la norme des rejets (120 mg d'O<sub>2</sub>/l), les points les plus chargés sont l'aval de Daya Ben Dahoua où il y a pas un réseau d'assainissement, au centre-ville de Ghardaia dont l'activité est intense et en fin à la région d'El-Atteuf. En 2006 la DCO obtenus prouve une augmentation notable (de 20.53 mg d'O<sub>2</sub>/l à 268.8 mg d'O<sub>2</sub>/l. Ces valeurs sont très importantes pour la nappe phréatique impliquant une infiltration des polluants.

La DCO et la DBO présentent un bon indicateur de pollution précisément en aval de la commune de Daya Ben Dahoua, centre ville de GHardaia dans le lit d'Eloued, parallèlement à la zone industrielle et en aval d'El-Atteuf.

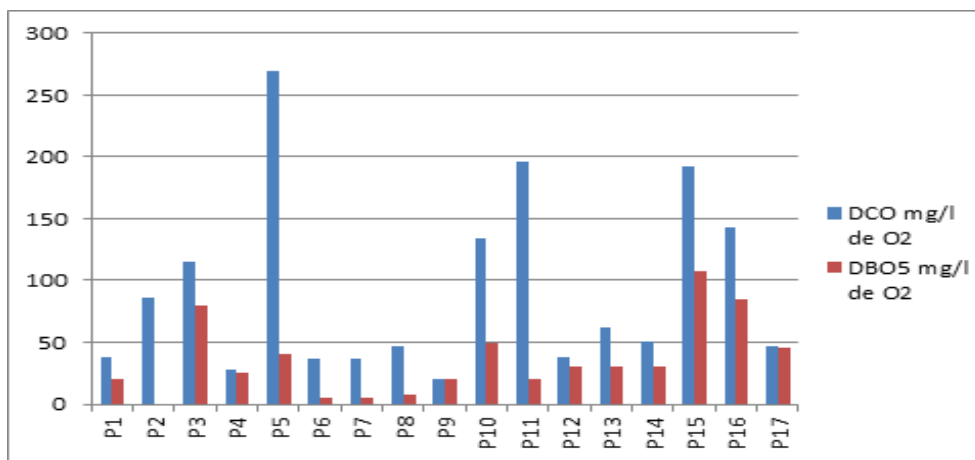


FIGURE 6.21 – Variation spatiale de la DBO5 et DCO en 2006

### 6.4.7 Métaux lourds

Les métaux considérés dans notre étude ont des effets très différents sur le milieu vivant. Quelques-uns sont nécessaires pour les organismes ; ils sont dits « essentiels », bien qu'à des fortes concentrations, ils peuvent être nocifs pour les organismes. Parmi ces éléments qui sont essentiels (micronutriments), et dont l'absence entrave le fonctionnement ou empêche le développement d'un organisme, on trouve Fe, Mn, Zn et Cu pour les plantes et les animaux. Par ailleurs, Co, Cr et Se sont essentiels seulement pour les animaux, alors que Mo est un micronutriments pour les

végétaux.[ARANGUREN, 2008].

L'interprétation des résultats est basé sur les analyses des métaux lourds pour :

- Année 2005 : Variation des métaux lourds le long de la vallée et la présentation des points maximaux (fig 6.22).
- Année 2006 : Présentation avec plus de points et plus de détaille.

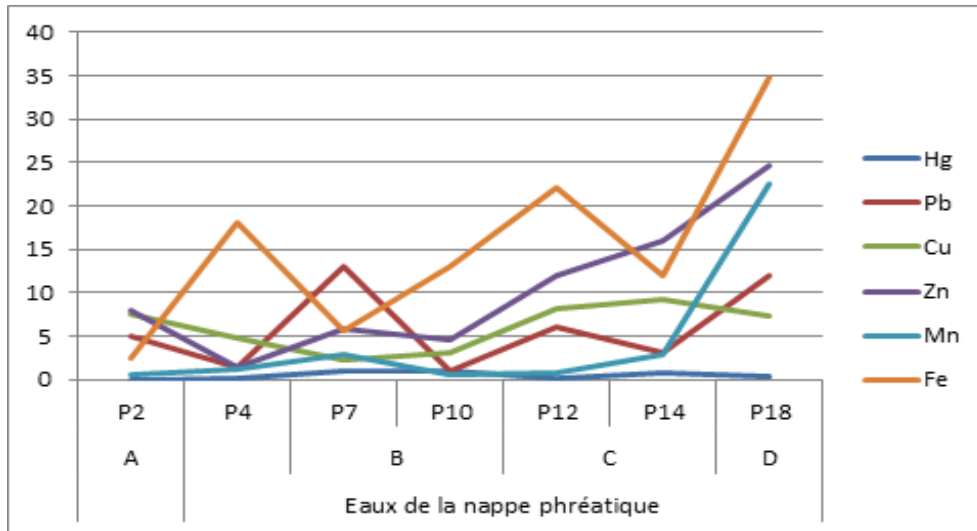


FIGURE 6.22 – Variation spatiale des Metaux Lourds dans la nappe Phréatique 2005

#### 6.4.8 Le Fer (Fe)

Le fer dissous dans les eaux souterraines est sous forme réduite ( $Fe^{+2}$ ), qui est soluble. Ce dernier est oxydé en  $Fe^{+3}$  par le contact d'oxygène de l'air, c'est pourquoi la concentration du fer dans les eaux bien aérées est rarement élevée. Le  $Fe^{+3}$  précipite sous forme d'hydroxydes insolubles dans l'eau et sont précipités ou absorbés par les sédiments [L.GOUAIDIA, 2008].

Dans la nappe de la vallée de M'zab, les concentrations moyennes varient entre ( $90$  et  $120 \mu\text{g/l}$ ). En 2005 les concentrations varient de ( $2,5 \mu\text{g/l}$  à  $367 \mu\text{g/l}$ ) (fig.6.22). En 2010 les concentrations restent entre ( $0$  et  $360 \mu\text{g/l}$ ) , pour 2012 c'est la même variation. ces concentrations restent dans les limites de la norme algérienne de potabilité ( $0,3 \text{ mg/l}$ ) sauf le puits situé juste au point bas de la zone industrielle Bounoura (P10) on note ( $2 \text{ mg /l}$ ) du fer (fig.6.23). Comparée aux normes des rejets des effluents elle est acceptable, on peut citer comme source de cet élément les eaux usées industrielles comme celles d'Anabib où la matière première est des plaques du fer qui doivent être modélisées pour former des tubes géants.



Ces concentrations n'ont pas un effet néfaste sur l'environnement malgré que c'est l'élément le plus concentré des métaux lourds.

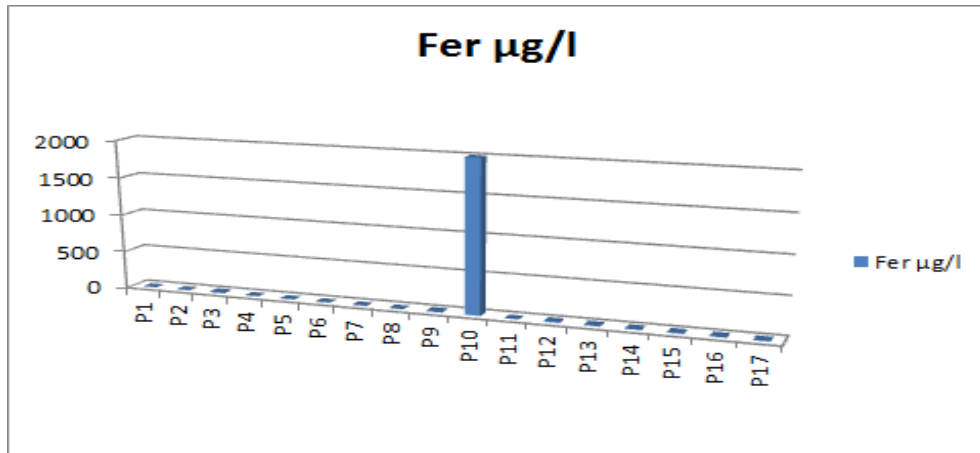


FIGURE 6.23 – Variation spatiale du fer dans la nappe phréatique 2006

#### 6.4.9 Le Plomb (Pb)

Le plomb est actuellement très utilisé dans l'industrie et par conséquent les possibilités de pollution par ce métal sont de plus en plus nombreuses. La valeur limite de ce paramètre dans

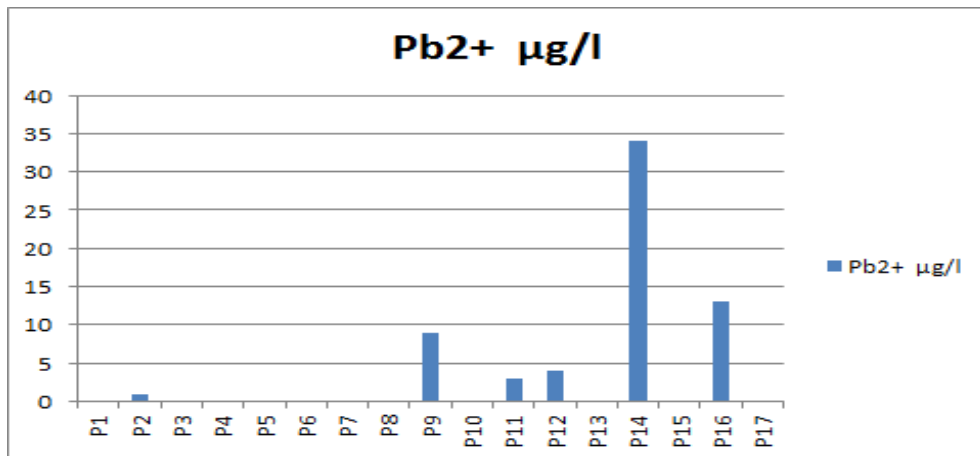


FIGURE 6.24 – Variation spatiale du Plomb dans la nappe Phréatique 2006

les rejets d'effluents liquides industriels est (0,5 mg/l) Les valeurs enregistrées varient (de 0,9 à 13,1µg/l) en 2005 (fig.6.22) et (de 0,6 à 34µg/l) en 2006 (fig.6.24), il y a une augmentation. Ces valeurs comparées aux normes des eaux potables, cet élément ne doit pas existé. Les valeurs les

plus concentrées sont enregistrées dans le lit de la vallée à l'entrée de la commune d'El-Atteuf et en aval où il y a rassemblement des eaux industrielles et eaux usées.

#### 6.4.10 Le zinc Zn

Le zinc (Zn) est un élément chimique, c'est un métal moyennement réactif, qui se combine avec l'oxygène et d'autres non-métaux, et qui réagit avec des acides dilués en dégageant de l'hydrogène [MAHAN, 1987]. L'état d'oxydation unique du zinc est +2 (appelé ion zincique), ainsi la géochimie du zinc est relativement peu complexe et l'on note un comportement chalcophile assez marqué par une association fréquente avec le soufre [MAHAN, 1987], [ARANGUREN, 2008].

Les concentrations enregistrées du Zinc sont élevées comprises entre ( $1,5\mu\text{g/l}$ ) à ( $24,6\mu\text{g/l}$ ) en 2005 et ( $150\mu\text{g/l}$ ) à ( $958\mu\text{g/l}$ ) en 2006. Il y a une augmentation inexplicable entre les deux années et l'évolution des taux est aléatoire indiquant une multitude de source de zinc (fig.6.25), malgré qu'elle ne dépasse pas les valeurs limites de rejets des effluents liquides industriels (3 mg/l).

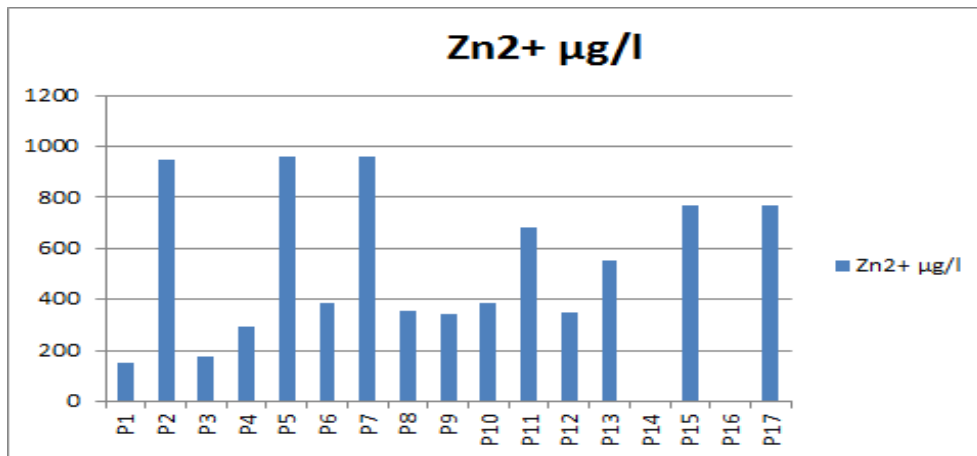


FIGURE 6.25 – Variation spatiale du Zinc dans la nappe Prhréatique 2006

#### 6.4.11 Le cadmium Cd

Dans les eaux naturelles l'ion  $\text{Cd}^{2+}$  prédomine au-dessous de pH 8,  $\text{CdCO}_3$  est prédominant entre les pH de 8 à 10 unités [J.D.HEM, 1972]. Dans sa spéciation, il est généralement considéré comme dissous, seules les rivières très riches en matières en suspension ou des eaux proches du fond des rivières, peuvent présenter du Cd adsorbé à la fraction solide [J.D.HEM, 1972]

[Y.-H. et al., 1984]. L'adsorption du Cd dans la fraction solide est considéré comme étant un enjeu majeur pour expliquer la concentration de cet élément dans les eaux naturelles [LUM, 1987].



Pour le cadmium la norme Algerienne précise ( $200\mu g/l$ ) pour les rejets et ( $10\mu g/l$ ) pour la potabilité, les concentrations trouvées allant (de  $0,10\mu g/l$ ) à  $3,8\mu g/l$ ). Cette dernière est enregistré dans le puits 14 près d'une société de fabrication de parpaing près de l'abattoir dans l'entrée de la commune d'El-Atteuf.

### 6.4.12 Le cuivre Cu

Les modèles chimiques pour les eaux naturelles montrent que Cu reste à l'état d'ion  $2+$  jusqu'à un ( $pH = 6$ ).

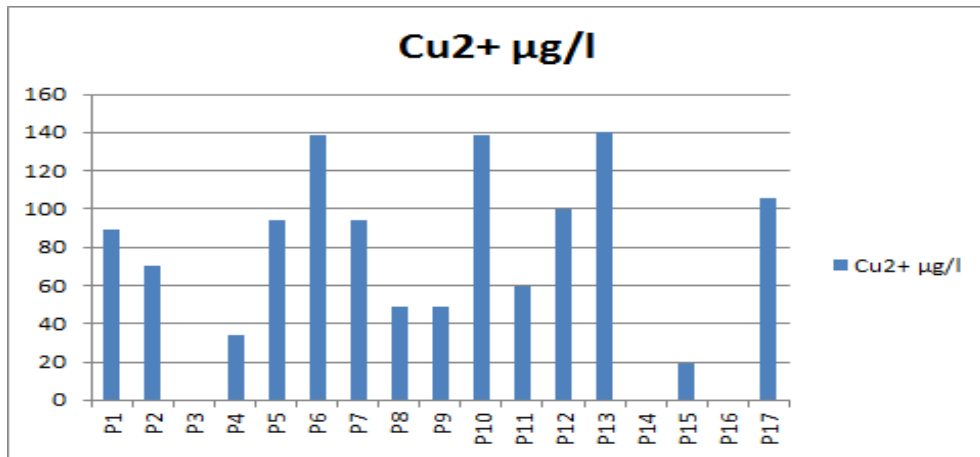
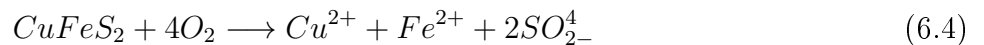


FIGURE 6.26 – Variation spatiale du Cuivre dans la nappe Prhréatique 2006

Pour la plupart des eaux neutres,  $Cu(CO_3)_2^{2-}$  et  $CuCO_3^0$  sont également importants (Millero, 1975), le second est plus important entre  $pH$  7 et 8 . Ensuite, à  $pH$  au-dessus de 8 le complexe de dihydroxide de cuivre ( $2+$ ) prédomine. Le cuivre forme aussi plusieurs complexes avec des ligands organiques [CALLENDER, 2003].

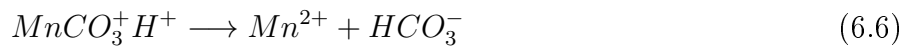
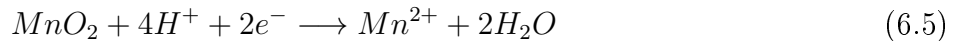


De même pour le cuivre, la valeur guide de potabilité est ( $50\mu g/l$ ), les valeurs notées ( $2,3\mu g/l$ ) à ( $9,3\mu g/l$ ) en 2005 et ( $19\mu g/l$ ) à ( $140\mu g/l$ ) en 2006 (fig.6.26). Dans cette dernière année en

trouve une augmentation dans les concentration. Les sources de cuivre peuvent être des eaux usées industrielles.

### 6.4.13 Manganèse Mn

Les minerais les plus abondants sont la pyrolusite ( $MnO_2$ ), la psilomélane ( $(Ba, H_2O)2Mn_5O_{10}$ ) et la rhodochrosite ( $MnCO_3$ ), [KLEIN. and HURIBUT, 1982]. Ces minéraux ne sont pas stables dans des conditions acides [A. TESSIER. et al., 1996](Tessier et al., 1996).



Les valeurs de Manganèse trouvé (fig.??) varient (de  $0,45\mu g/l$ ) à ( $22,5\mu g/l$ ). L'existence de cet élément est un indicateur d'infiltration comme pour d'autre métaux et donc de vulnérabilité de la nappe.

### 6.4.14 Le mercure Hg

La toxicité du Mercure est connue depuis longtemps. Hg existe sous forme de trace dans la nature et il se trouve adsorber dans la fraction solide dans les eaux de surfaces. L'évolution de cet élément est comme suit : de ( $0,19\mu g/l$ ) à ( $1,0\mu g/l$ ) en 2005, la valeur la plus élevé est trouvé dans le point N°7 dite TAHTAHA dans le lit d'Oued près de Bouchen c'est le cas du Manganèse, du Plomb et du Zinc indiquant une source de contamination. Pour 2006 les concentration de Hg enregistrés augmentent de ( $0,05\mu g/l$ ) à ( $0,6\mu g/l$ ), cette valeur vient de dépasser la valeurs limite permise par l'organisation mondiale de la santé ( $< 0.5\mu g/l$ ). Le taux le plus élevé c'était dans deux points à l'extrémité bas de la zone industrielle. Ces sources urbaines sont :

- Peinture ;
- Certains produits ménagères, fongicides.
- Industrie chimique.

D'une manière générale, on trouve que tous les métaux analysés existes en concentration variable parfois dépassant les normes permises, ce qui indique une infiltration de ces polluant dangereux et une vulnérabilité de la nappe.

## 6.5 Paramètres Bactériologiques

Les micro-organismes se prolifèrent dans l'eau qui sert l'habitat ou le moyen de transport. L'importance de la pollution de l'eau dépend également des conditions d'hygiène, des populations, mais aussi des caractéristiques écologiques et épidémiologiques. Les principaux organismes pathogènes qui se multiplient dans l'eau sont : les bactéries, les virus, les parasites et les champignons, qui peuvent être une pollution bactérienne, viral ou parasitaire.

Les deux Tableaux suivants donnent les résultats d'analyse des paramètres bactériologiques des eaux des puits. Au vu des contraintes pour l'analyse bactériologique des rejets et la présence de germes et de différentes bactéries, les analyses ne sont réalisées que dans les échantillons des puits.

Le tableau 6.2 présente les résultats de la recherche des différents germes dans les eaux de puits par la méthode de nombre le plus probable. La majorité des puits renferme un nombre très élevé de coliformes totaux, coliformes fécaux, et streptocoques fécaux.

L'absence de traitement de ces derniers (traitement par la brique poreuse, . . .), rend ces puits facilement contaminés par les matières fécales, et par les différents polluants.

D'autre part, le nombre faible de ces microorganismes dans certains puits tel que (P5, P6), résulte de la position de ces puits par rapport aux déversements des eaux usées.

En outre, il existe des puits protégés et traités où on assiste à un nombre réduit des germes, voir même nul comme au niveau des puits (P4, P8).

TABLE 6.2 – Paramètres Bactériologiques des eaux de 2005 :

puits	unit	Colif.T	Colif.F	Esch.Coli	Strept.F	Spr.aS-R	Salm.
P1	ge/100ml	>1100	>1100	>1100	500	-	Abs
P2	ge/100ml	09	09	09	23	-	Abs
P3	ge/100ml	>1100	1100	28	90	-	Abs
P4	ge/100ml	-	-	-	04	-	Abs
P5	ge/100ml	23	23	04	-	-	Abs
P6	ge/100ml	23	23	-	90	-	Abs
P7	ge/100ml	200	200	200	23	-	Abs
P8	ge/100ml	-	-	-	04	-	Abs
P9	ge/100ml	-	-	-	>1100	-	Abs
P10	ge/100ml	>1100	04	-	23	-	Abs
P11	ge/100ml	1100	04	-	23	-	Abs
P12	ge/100ml	210	150	09	1100	-	Abs
P13	ge/100ml	-	-	-	550	-	Abs
P14	ge/100ml	200	90	-	1100	-	Abs
P15	ge/100ml	>1100	500	90	>1100	-	Abs
P16	ge/100ml	>1100	200	40	>1100	-	Abs
P17	ge/100ml	>1100	500	200	>1100	-	Abs
P18	ge/100ml	>1100	1100	150	>1100	-	Abs

Les analyses des échantillons dans le tableau 6.3 montrent l'existence de différentes espèces microbiennes : les coliformes totaux, les coliformes fécaux, Echerichia Coli et streptocoques fécaux à des taux variables à l'exception du puits 3 où ces germes sont presque inexistantes car ce puits est bien protégé et traité, au contraire les autres puits ce qui montre la contamination fécale de la nappe phréatique. Les deux groupe de micro-organismes, coliformes totaux et coliformes fécaux sont les plus utilisés comme indicateur de la contamination bactérienne. Dans les puits suivants ; 4, 6, 8,10 et 16 ce nombre est très élevé dépassant 1100 ge/ 100 ml indiquant l'influence de déversement et de la stagnation des eaux usées, particulièrement dans la commune de Ghardaïa.

TABLE 6.3 – Paramètres Bactériologiques des eaux de 2006 :

puits	unit	Coliforme T	Coliformes F	Esch. Coli	Streptocoques F	Spr. . a s- R
P1	ge/100ml	240	240	01	1100	180
P2	ge/100ml	240	240	00	23	20
P3	ge/100ml	01	01	01	00	55
P4	ge/100ml	1100	1100	07	93	65
P5	ge/100ml	240	240	48	48	105
P6	ge/100ml	1100	1100	00	460	180
P7	ge/100ml	460	460	75	240	154
P8	ge/100ml	1100	>1100	07	240	25
P9	ge/100ml	240	240	240	240	65
P10	ge/100ml	>1100	>1100	11	>1100	>1270
P11	ge/100ml	460	460	240	48	>70
P12	ge/100ml	150	150	150	23	>2000
P13	ge/100ml	460	240	4	1100	54
P14	ge/100ml	460	460	75	39	80
P15	ge/100ml	48	48	07	23	5
P16	ge/100ml	>1100	>1100	210	>1100	230
P17	ge/100ml	93	93	48	9	00

De ce qui précède, on peut conclure que la nappe phréatique n'est pas à l'abri des sources de contamination. L'analyse montre la vulnérabilité par l'infiltration de différent polluant ; (Indicateur de pollution, métaux lourds, germes bactériologiques...). Ces polluant ne sont plus dans les normes de potabilité et dépassent même les normes des effluents liquides et l'existences des éléments très dangereux comme le Mercure et le Cadmium.

---

---

# CHAPITRE 7

---

## INFLUENCE DE LA CRUE D'OCTOBRE 2008 SUR LA QUALITÉ DES EAUX DE LA NAPPE PHRÉATIQUE

### Introduction

L'hydrologie de Sahara est peu connue et le plus important est que les ressources en eaux sont souterraines. L'aridité du climat et les précipitations irrégulières fait l'exception de ces régions.

Les Oueds sahariens n'ont pas un régime de crues régulier mais plutôt de caractère accidentel : quand les pluies s'abattent, les Oueds coulent quelques jours et débordent [GARDI, 1973].

Le caractère particulier des pluies dans ces régions influe sur l'environnement et provoque des crues aléatoires et des fois catastrophiques. L'arrivée des eaux peut être brutale et provoque des dégâts colossaux sur le plan matériels et humains dans le lit d'Oued qui constitue l'occupation majors du sol dans la région, comme la crue ravageant d'octobre 2008.

Ce chapitre est consacré à l'étude la crue de 2008 qui était survenu durant la période d'étude et son influence sur la qualité des eaux de la nappe phréatique.

Notre travail porte sur une présentation d'un résumé sur les crues d'Oued M'zab, puis une caractérisation de l'influence hydrochimique de la crue d'octobre 2008 sur les eaux de la nappe phréatique



de la vallée comme c'était présenté dans l'article [K.BOUAMER. et al., 2019]. , pour l'intervalle de 2005 à 2012 en salinité et en éléments de pollution. Les résultats d'analyses sont classer selon les normes et interprétées à l'aide des histogrammes et des diagrammes hydrochimiques pour déterminer l'évolution de la qualité des eaux en éléments majeurs de salinité et éléments de pollution.

## 7.1 Aperçu sur les crues

Dans la vallée du M'zab au Nord-Ouest de la région de Ghardaïa, quand les pluies sont importantes, les oueds drainent d'énormes quantités d'eaux. Les conséquences sont parfois catastrophiques et les dégâts sont souvent remarquables, notamment par l'oued M'zab, qui à chaque pluie exceptionnelle cause beaucoup de dommages principalement à la ville de Ghardaïa. [A.N.R.H, 2003].

### 7.1.1 Historique des crues de l'Oued M'zab

Selon les données rapportées par [J.DUBIEF, 1953] et [TEISSIER, 1965], Les crues sont irrégulièrement espacées et au cours de certaines années, on compte jusqu'à cinq mois ayant eu une ou plusieurs crues tandis que les périodes de sécheresse peuvent s'étendre sur plusieurs années. Les écoulements sont plus ou moins importants, parfois catastrophiques. D'après [TEISSIER, 1965], les crues d'Oued M'Zab sont liées aux précipitations s'étendant sur la région de Laghouat et de Ghardaïa et aux fortes pluies localisées sur la région de Ghardaïa.

Les précipitations ont pratiquement toujours lieu sous forme de pluies, qui sont caractérisées par leur faible importance quantitative et les pluies torrentielles sont rares. Elles sont liées aux perturbations soudano-sahariennes ou sahariennes [J.DUBIEF, 1953]

Cette insuffisance de pluies sahariennes est accompagnée d'une irrégularité très marquée du régime pluviométrique et d'une variabilité inter-annuelle considérable, ce qui accentue la sécheresse. C'est le cas de Ghardaïa [RAFA A., 2009]

- Daprés [J.DUBIEF, 1953], [F.RAMADE, 2002] et l'E.N.H.P.C (1996) on va citer les crue suivante :
- La crue de 20 Décembre 1306 qui a causé des dégâts importants sur les premières fondations du système de répartition des eaux qui a été construit en premier fois en 1297 ;

- La crue Azzou en 1780.
- La crue Déjember en Décembre 1820.
- D'après Matylinsky (1885) cité par B.G. et E.N.H.P.C. (1996), il est rapporté qu'en 1848, à la suite d'une longue période de «sécheresse» qui aurait duré sept ans, une crue très importante a causé des dégâts importants dans toute la vallée de l'oued M'Zab.
- Les plus anciennes crues notées dans les archives françaises sont celles d'Octobre 1884 et du 15 Janvier 1886.
- La crue de 1898 qui provoque des inondations dans la région de Guerrara et cause la rupture du barrage de Fousaa qui a été construit en 1710.
- En 1902 et 1903, Charlet cité par [J.DUBIEF, 1953] reporta a trois reprises l'oued en crue, notamment les 17 et 18 Septembre 1903. Plus tard, les 18 et 19 Février 1906, les oasis d'El Atteuf et de Beni Isguen furent inondées par une crue. D'autres crues furent observées en Avril. La crue d'Octobre 1909 et des crues furent ensuite observées en Décembre 1913.
- De 1921 à 1951, 35 crues se sont produites.
- La crue du 17 Novembre 1980 qui fut accompagnée de quatre (04) jours de précipitations, une pluviosité de 98.8 mm a été enregistrée.
- La crue du 3 Juin 1991 a détruit partiellement la digue d'El Atteuf.
- La crue du 29 et 30 Septembre 1994 pendant laquelle 151mm de pluie ont été enregistrés avec un débit de  $873 \text{ m}^3/\text{s}$
- Enfin, la dernière crue enregistrée à ce jour est celle du 1er Octobre 2008 avec un débit estimé à  $1200 \text{ m}^3/\text{s}$  qui atteint Sebkhet Safioune à 180 km avec une hauteur de 10 m environ. Les pertes étaient remarquable surtout en ressources humains ainsi dans le secteur agricole et dans certains ouvrages hydrauliques fig.7.1, 7.2

### **Etude de l'influence de la crue sur la qualité des eaux de la nappe**

La crue ravageant de 2008 a causé des dégâts humains et matérielles considérables sur la vallée. Ces traces sont visibles alors que sont effet souterraine sur l'eau et sa qualité doivent faire l'objectif d'une étude.

Comme cette événement c'est produite pendant la période de ce travail. Une partie est préservée à l'étude de trace de cette crue sur la nappe phréatique. Les points de prélèvement et d'analyses pour ce chapitre sont limités à une vingtaine de points en vue d'avoir un bon repère de comparaison.



FIGURE 7.1 – Photos N°1 de la crue2008



FIGURE 7.2 – Photos N°2 de la crue 2008



FIGURE 7.3 – Lieu des prélèvement

## 7.2 Influence de la crue sur les paramètres chimiques

La même méthodologie de travail est suivit dans ce chapitre ; Une étude des analyses effectuées avant et après la crue avec une comparaison des paramètres physiques, paramètres de salinités et éléments de pollution.

### 7.2.1 Potentiel D'Hydrogène pH

Les valeurs du pH des eaux des puits ne présentent aucune anomalie et aucun changement décelable avant et après la crue (fig.7.4), les valeurs oscillent dans l'intervalle des normes (6,5 et 8,5). Avant la crue les valeurs minimales et maximales sont respectivement (6,65 et 8,22), après la crue c'est (6,88 et 8,5). L'influence des eaux intervenues ne peut pas être aperçue par ce paramètre car les pH des eaux des pluies est généralement dans les normes.

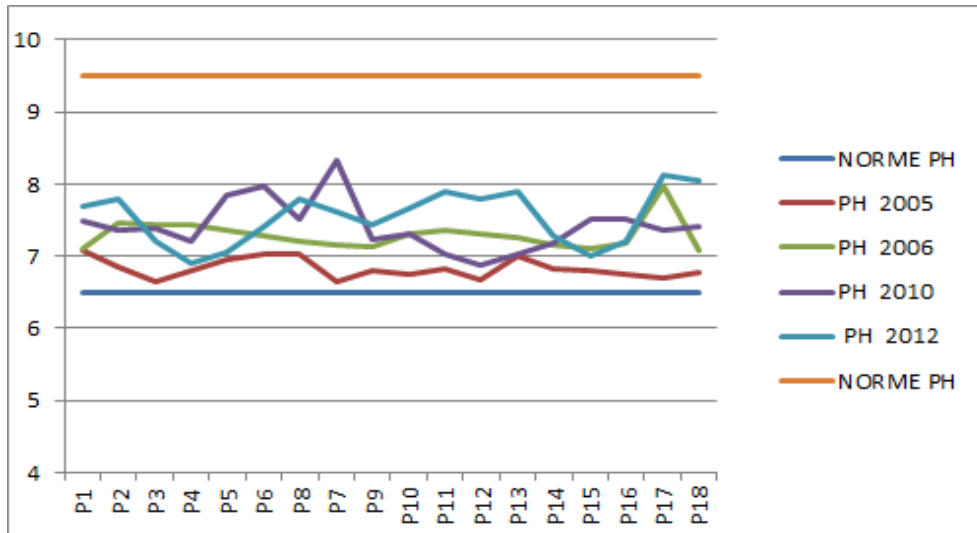


FIGURE 7.4 – Variation temporelle et spatiale du pH dans la vallée

### 7.2.2 Conductivité Electrique CE

Les valeurs de la conductivité enregistrées durant la période d'études varient d'un minimum  $547\mu\text{s}/\text{cm}$  à 2005 et un maximum  $8000\mu\text{s}/\text{cm}$  à 2006. Après la crue le point minimal en conductivité est  $104\mu\text{s}/\text{cm}$  tous en amont de la commune de Daia Ben-Dahoua en 2012 et un maximum  $8750\mu\text{s}/\text{cm}$  en 2010.

Comparant les moyennes des conductivités avant la crue ( $4123,33\mu\text{s}/\text{cm}$  en 2005 et  $4945,47\mu\text{s}/\text{cm}$  en 2006) et celle après la crue ( $4448,17\mu\text{s}/\text{cm}$  en 2010 et  $4544,05\mu\text{s}/\text{cm}$  en 2012), la conductivité reste toujours élevée, pas de variation repérable.

Il y a une très grande concentration des sels un taux dépassant les limites précisément dans l'année 2006, malgré qu'il y a une légère dilution dans quelques puits en 2010, puis le taux de la

minéralisation retourne à son état élevé.

Les points les plus faibles en minéralisation sont toujours loin du lit de l'oued ou tout en amont

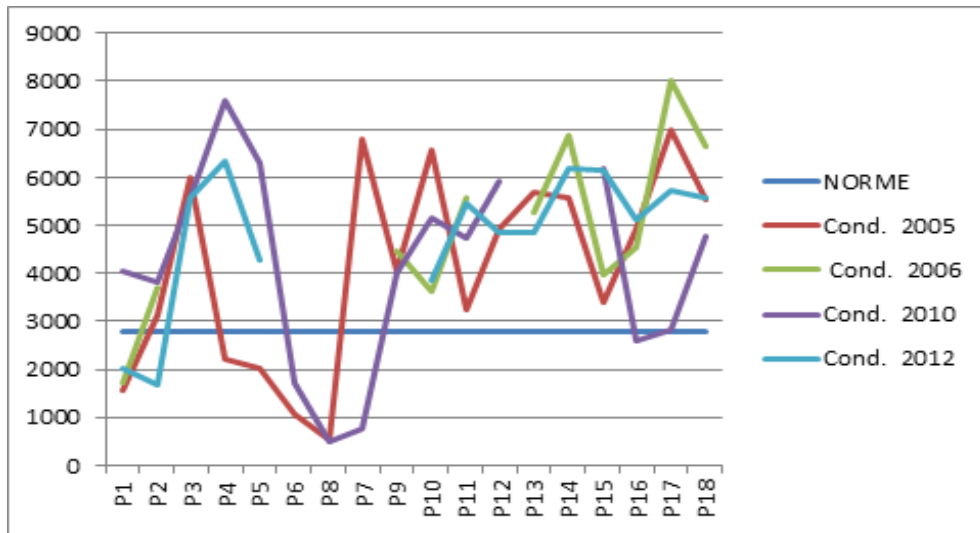


FIGURE 7.5 – Variation spatiale et temporelle de CE

de la vallée. La conductivité électrique est très élevée, et donc la minéralisation est très élevée dépassent largement les normes algériennes ( $2800\mu\text{s}/\text{cm}$ ) soit avant ou après la crue.

### 7.2.3 Dureté ou Titre Hydrotimétrique TH

La dureté est permanente si les ions calcium et magnésium sont liés avec les anions non carbonatés, elle dite temporaire si la molécule formé est carbonaté.

Les eaux de la nappe étaient pour longtemps des eaux potables, avec le temps la qualité devient de plus en plus très dure le témoin reste dans quelque points comme c'est le cas du premier puits dans l'amont de la commune de Daya Ben-Dahoua où le  $TH = 70F$  et  $33F$  dans la zone de Bouchen en 2005. La valeur passe à  $75.5F$  puis il y a une augmentation qui dépasse les normes comme le montre la figure 7.6.

La valeur moyenne du TH avant la crue est ( $185.8\text{ }^\circ\text{F}$  en 2005) et ( $173.1\text{ }^\circ\text{F}$  en 2006), puis on note une augmentation en 2010 ( $201.9\text{ }^\circ\text{F}$ ) et ( $221.4\text{ }^\circ\text{F}$ ) en 2012). Sauf le point en amont et le point N°8 (Zone de Bouchen) qui présentent une faible dureté, l'histogramme ne présente aucune influence de la crue.

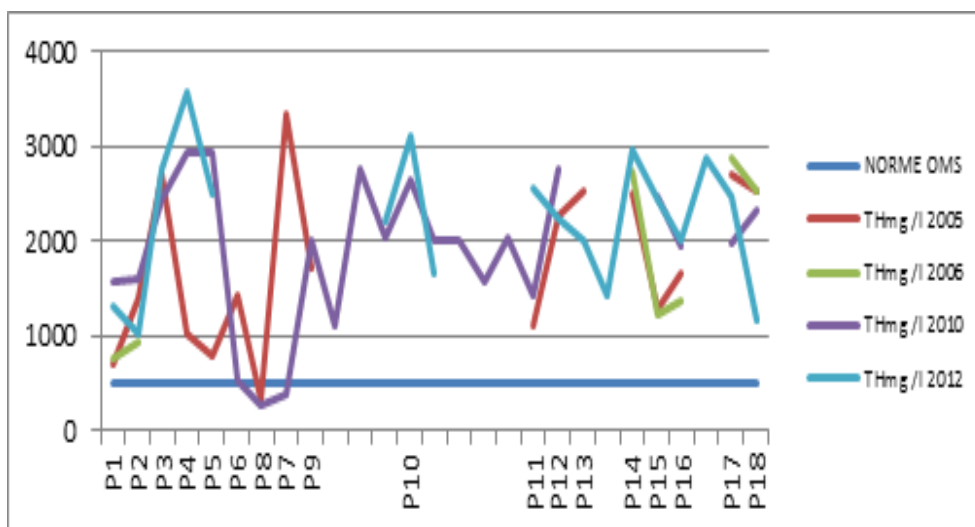


FIGURE 7.6 – Variation spatiale et temporelle du TH

## 7.2.4 Diagramme de PIPER

La représentation des faciès hydrochimiques des quatre périodes d'études soit avant ou après la crue de 2008 montre qu'il n'y a pas une variation significative dans le faciès des eaux étudiées. Le chimisme des eaux analysées est caractérisé par des faciès sulfaté chloruré, calcique et magnésien.

- Période 2005 : la majorité des points analysés représentent un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien. Il n'y a pas de cation dominant pour 98% et les anions sont sulfatés à chlorurés sauf le puits de (Bouchen) qui est dans la zone (pas d'anion dominant).
- Période 2006 : toujours eaux chloruré et sulfaté calcique et magnésien, pas de cation dominant.
- 2010 : les eaux garde le même faciès 94% pas de cation dominant.  
Pour la composition anionique elle est sulfatées chlorurées (28% sulfatés 28% pas d'anion dominante 42% chlorurées). Globalement les eaux ont un faciès sulfaté chloruré, calcique et magnésien et le même point cité précédemment sort vers la zone bicarbonaté.
- Période 2012 : Les eaux ont un faciès sulfaté chloruré, calcique et magnésien. Alors que le dernier points point tous en aval de la vallée du M'zab (P9) converge vers la qualité chloruré

sodique et c'est due à la concentration excessive de sodium en aval de La vallée.

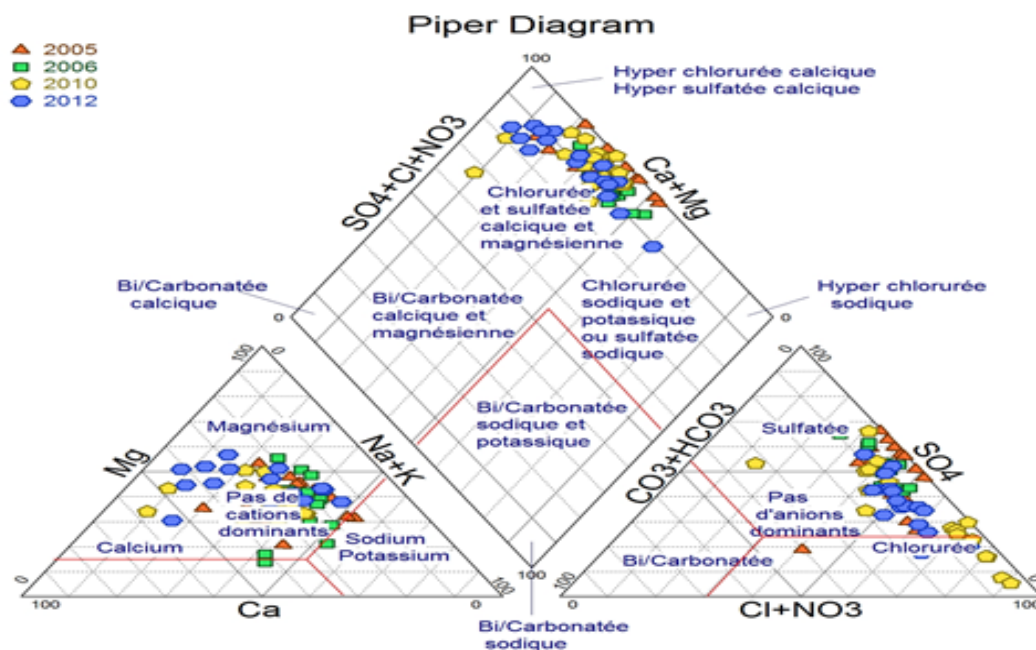


FIGURE 7.7 – Diagramme de Piper des quatre périodes

## 7.2.5 Classification des eaux selon Scholler et Berkloff

- La représentation de (Scholler et Berkloff) donne le même faciès pour le groupe des points parallèle, La figure 7.8 montre que tous les points ont la même composition pour 2005 sauf deux puits et particulièrement le puits à la zone de Bouchen où le taux de sels est inférieur aux autres éléments et la qualité est plus bonne.
- Pour l'année 2006 figure 7.9, tous les puits ont la même qualité, sauf deux points ont une concentration magnésienne légèrement faible .
- En 2010 le faciès chimique est le même figure 7.10, or le (P6) sort du groupe et prend une qualité moins salée.
- Les puits considérés pour 2012 figure 7.11 garde la même allure et comme au paravent deux lignes sort de cette qualité ; (Puits de Bouchen) est moins concentrée en Sodium et Potassium et le puits situé à l'Oued Labiadh, c'est un puits en amont de la vallée présente une eau de faciès différent.

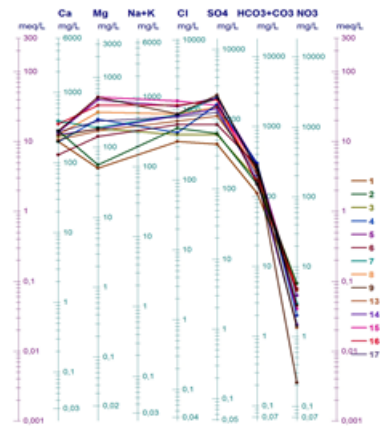


FIGURE 7.8 – Scholler et Berkaloff pour 2005 FIGURE 7.9 – Scholler et Berkaloff pour 2006

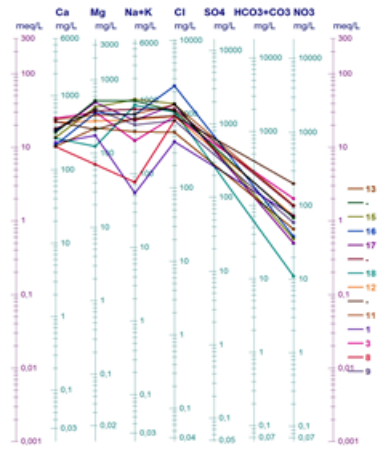
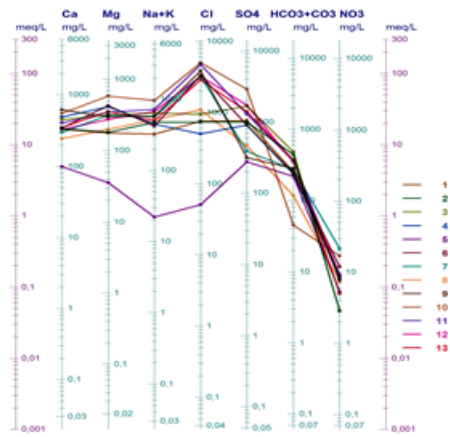


FIGURE 7.10 – Diagramme de Scholler et Berkaloff pour 2010 FIGURE 7.11 – Diagramme de Scholler et Berkaloff pour 2012

Le diagramme de schoeller-Berkaloff démontre la concentration élevé des éléments majeurs de minéralisation et confirme le faciès de Piper pour les quatre périodes. La qualité des eaux est donc très accentuée pour les éléments majeurs chlorure, sulfate, calcium et magnésium (Eau très dure) et se transforme en aval de la vallée par l'infiltration des eaux usées en substituant les ions calcium et magnésium par le sodium et le potassium et la qualité chlorurée devient plus importantes que la qualité sulfatée.



## 7.2.6 Classification des eaux selon Stabeler

Les diagrammes de Stabeler suivant présentent les pourcentages des cations et des anions et par suite les faciès chimiques de chaque points pour les quatre périodes.

Les figures 7.12, 7.13 présentent des faciès sulfatés chlorurés magnésiens calciques pour 2005 et

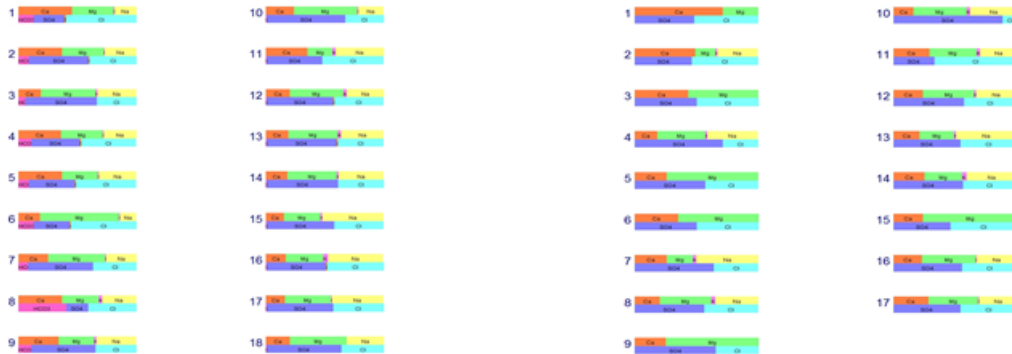


FIGURE 7.12 – Diagramme de Stabler2005      FIGURE 7.13 – Diagramme de Stabler2006

2006. Dans la forme cationique le magnésium et le calcium persiste sur le le sodium, alors que le potassium existe en très faibles pourcentages. Dans la forme anionique les ions sulfates et les ions chlorures persiste sur les ions carbonates et nitrates.

Dans les figures 7.14, 7.15 pour 2010 la présentation de Stabeler explique le changement du faciès

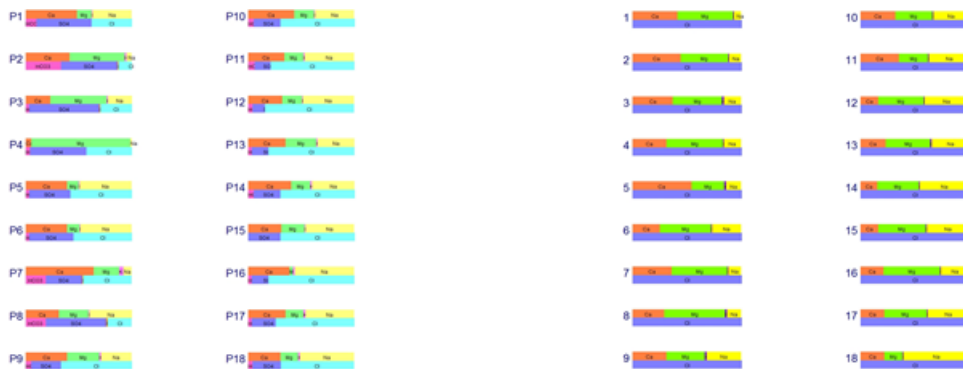


FIGURE 7.14 – Diagramme de Stabler2010      FIGURE 7.15 – Diagramme de Stabler2012

sulfaté chloruré calcique magnésien en aval au faciès chloruré sulfaté sodique où l'ion chlorure et l'ion sodium persiste sur celle de sulfate et du calcium ou magnésium. En 2012 le pourcentage de

sodium augmente de l'amont vers l'aval de la vallée.

Généralement on constate que le faciès est sulfaté chloruré calcique magnésien et avec le temps il change de l'amont vers l'aval pour devenir chloruré sodique. La qualité se dégrade de plus en plus et il n'y a aucune influence positive de la crue sur la qualité des eaux.

### 7.2.7 Elements de Pollution ( $NO_3^-$ , $NO_2^-$ , $PO_4^{3-}$ et $NH_4^+$ )

La pollution de la nappe est plus intense dans les lieux agglomérés. L'énorme quantité d'eau apportée par la crue est accumulée dans le lit de l'Oued venant des extensions de bassin versant non agglomérés, son influence doit être une dilution des taux concentrés de ces éléments chimiques. La comparaison de la variation de concentration des éléments de pollution pour les quatre périodes est présentée dans les courbes suivantes :

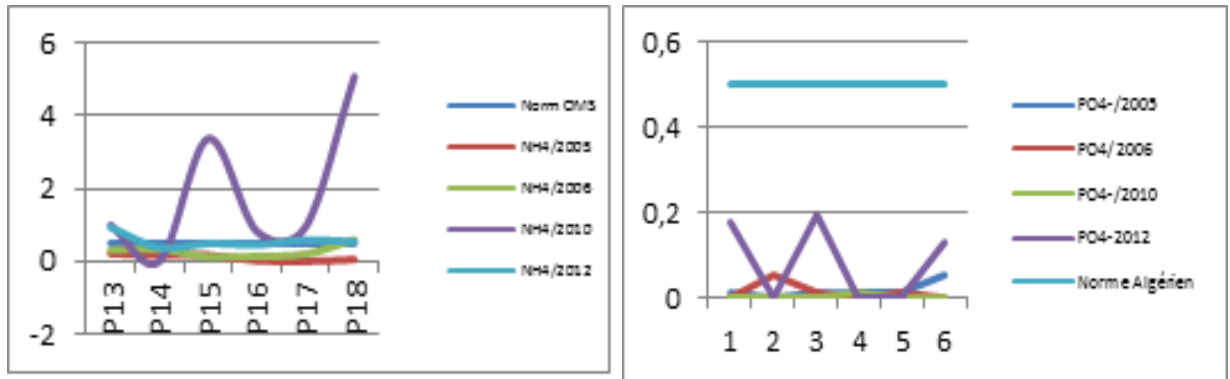


FIGURE 7.16 – Evolution spatiale et temporelle d'Ammonium

FIGURE 7.17 – Evolution spatiale et temporelle des Phosphates

- **Ammonium** : La variation de la valeur moyenne de l'Ammonium  $NH_4^+$  est présentée dans la figure 7.16, la moyenne des concentrations augmente de (0,11 mg/l en 2005 à 0,29 mg/l en 2006 et 1,38 mg/l en 2010 puis elle diminue à 0,59 mg/l en 2012). Ces valeurs dépassent la norme de potabilité (0,5 mg/l) pour les deux dernières périodes indiquant une source de pollution par des fausses septiques ou l'infiltration des eaux usées, vu que la concentration augmente de l'amont vers l'aval.
- **Phosphate** : Les  $PO_4^{3-}$  présente l'évolution suivante (0,016 mg/l en 2005, 0,045 mg/l en 2006, 0,045 mg/l en 2010 et 0,048 mg/l en 2012) figure 7.16, les valeurs trouvées sont inférieures à la norme (0,5 mg/l).

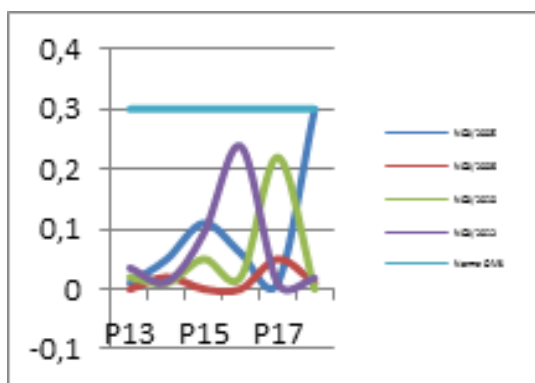


FIGURE 7.18 – Evolution spatiale et temporelle des Nitrites

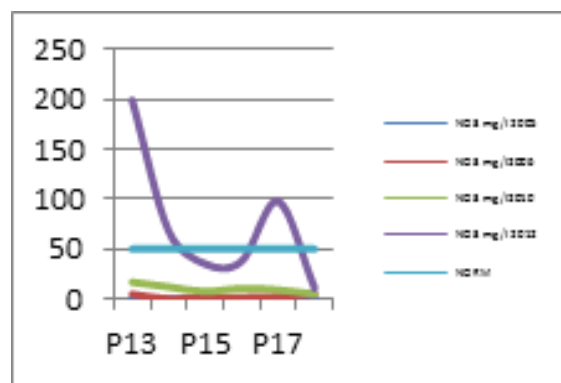


FIGURE 7.19 – Evolution spatiale et temporelle des Nitrates

- **Nitrite** : Pour les  $NO_2^-$  (Figure 7.18) les moyennes trouvées sont (0,035 mg/l en 2005, 0,021 mg/l en 2006, 0,031 mg/l en 2010 et 0,22 mg/l en 2012) figure 7.18. Cette forme d'azote est intermédiaire entre  $NH_4^+$  et  $NO_3^-$ . Les valeurs ne dépassent pas la norme (0,2 mg/l) et sont sous forme de trace.
- **Nitrate** : Les valeurs moyennes des nitrates  $NO_3^-$  sont importantes malgré que la norme permise est 50 mg/l. La variation est comme suit : (16,02 mg/l en 2005, 3,21 mg/l en 2006, 10,89 mg/l en 2010 et 71,51 mg/l en 2012) figure 7.19. Cette dernière valeur dépasse la norme de potabilité (50 mg/l). La pollution peut provenir de l'utilisation excessive des engrais, des rejets de l'industrie ou de la forme oxydés des nitrites.

Les résultats des analyses des éléments polluants dans les quatre périodes d'étude avant et après la crue laisse apparaître que la variation des taux de ces éléments ne présente aucune influence par la quantité d'eau qu'a subi la région.

---

# CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Ce travail a été réalisé en zone aride dans la vallée du M'zab sur la nappe phréatique, de la wilaya de Ghardaïa dans les oasis de sud algérien.

Dans cette zone la pollution des eaux de la nappe phréatique et l'assainissement, sont les principaux sujets inquiétant. La nappe phréatique fait face à des problèmes sérieux de pertes de ressources naturelles des eaux, dont la contamination par les eaux usées domestique et industrielle s'aggrave de plus en plus.

Du point de vue géologique la région fait partie du grand domaine de la plate forme saharienne, c'est une succession de formations géologiques allant du Cénomaniens au Mio-pliocène continental. Le Quaternaire correspond au dépôt de recouvrement alluvionnaire de la plus part des vallées des oueds de la dorsale du M'zab.

L'étude climatologique de 2002 à 2012 à partir des données de la station météorologique de l'ONM de Noumiratte, a révélé l'existence d'un régime mensuelle faible et irrégulier de pluviométrie, malgré que les précipitations constituent l'unique « entrée » de bilan hydrologique dans ces bassins versants. Les températures moyennes annuelles présentent leurs minimas à décembre, janvier et février et des maximas au mois de juillet et aout avec des grandes évaporations. Les vents en certains périodes de l'année, en général en Mars ; Avril et Mai, sont de véritables tempêtes de sable. Il est à constater d'après le diagramme ombrothermique de Gaussen et le Climagramme d'Emberger que la région de Ghardaïa se situe dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux.

Concernant les ressources en eau de la vallée du M'Zab, Elles proviennent de deux aquifères :

- l'aquifères des alluvions qui renferme la nappe phréatique alimentant autrefois l'Oasis
- l'aquifères du Continental intercalaire dont l'Albien est l'étage qui est capté et exploité avec succès par plusieurs forages dans tout le territoire de la wilaya de Ghardaïa.

L'étude Hydrochimiques est appuyée sur les causes et les sources de pollution des eaux s'infiltrant dans la nappe phréatique qui a été la seule source hydrique dans la région et maintenant elle est devenue inévitablement abandonnée.

On a lancé notre travail par quatre compagnes concernant les prélèvements et les analyses des eaux de la nappe phréatique. En plus à l'étude des rejets domestiques et industrielles, un suivit avec contrôle et analyses des eaux d'irrigation d'origine profonde est réalisé.

Les paramètres analysés s'étaient les paramètres de pollution, la salinité avec tous ses indicateurs, paramètres physiques comme le pH et conductivité, métaux lourds et même des analyses bactériologiques.

Comme le sujet d'étude est sensible et touche les unités industrielles et la qualité de leurs rejets, le travail n'était pas facile et le prélèvement n'était réalisé que dans quelque société seulement.

Les résultats d'analyses font ressortir que les eaux usées présentent une conductivité très élevées arrivant jusqu'à  $6000 \mu\text{s}/\text{cm}$ , ( $DBO_5 : 200\text{mg}/\text{l}$  et  $DCO : 250\text{mg}/\text{l}$ ) dépassant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides (Annexe B.2).

Une présences d'une variétés des métaux lourds (Le Fer, Manganèse, Zinc, Cuivre, Plomb et même le mercure), notant que leurs concentrations ne dépassent pas les normes.

Les analyses des échantillons prélevés aux unités de divers industries laissent apparaître des valeurs du pH varient d'une unité à une autre, avec des rejets alcalin ( $\text{pH} = 12$ ), ou trop acide dans d'autres. La conductivité atteint ( $22900 \mu\text{s}/\text{cm}$ ) dans l'un des sociétés. Des matières en suspension en excès ( $10322 \text{mg}/\text{l}$  de graisse et des huiles) dans les rejets de stations de lavage et dans l'abattoir, un excès de salinité ( $\text{Na}^+ : 4600 \text{mg}/\text{l}$ ), ( $\text{Cl}^- : 5922 \text{mg}/\text{l}$ ), ( $\text{SO}_4^{-2} ; 2287 \text{mg}/\text{l}$ ) dont ces résultats doivent être comparer au norme de potabilité puisque les rejets sont évacués directement dans la nappe. La dureté dépasse ( $700 \text{ }^\circ\text{F}$ ) dans l'abattoir. Les paramètres de pollution comme les phosphates dans la station de lavage ( $66 \text{mg}/\text{l} > 0.5 \text{mg}/\text{l}$  qui est la limite norme de potabilité). La matière organique dans les rejets de l'abattoir et de la tannerie présente des valeurs très élevées ( $468.29 \text{mg}/\text{l}$ ) sous forme de matière fermentescible d'où la nécessité d'une station d'épuration

équipée des appareils adéquats. La valeur maximal de la CDO trouvée est (370 mg/l) qui est supérieure au valeur guide des rejets (120 mg/l), la  $DBO_5$  est respectivement (1100 et 2200 mg/l) pour l'abattoir et la tannerie d'où une activité microbienne énorme sans traitement.

Les taux des métaux lourds dans les rejets industriels ne dépassent pas les normes des rejets, mais ils doivent être strictement éliminés car ils sont rejetés directement dans la nature.

L'influence des eaux de robinets et d'irrigation (Eau profondes) non polluées vient de la salinité et de la dureté de ces derniers, qui sont généralement d'un faciès sulfaté et chloruré calcique magnésien de qualité médiocre à admissible.

L'étude d'impact de tous ces polluons démontre que les eaux de la nappe phréatique deviennent de plus en plus polluées par l'augmentation de la salinité et la dégradation de la qualité de l'amont vers l'aval de la vallée au niveau du puits les plus proches de la zone industrielle et au centre de la commune de Ghardaïa où se trouve quelques unités industrielles. La conductivité atteint (8750 mg/l) alors qu'elle doit être limité à (2800 mg/l), la dureté marque (377.3 °F) dépassant la norme de (50°F) sauf un puits à Bouchen où on trouve une valeur de (26.7°F). Les analyses des éléments majeurs de salinité donnent 82% des puits analysés dépassent les normes pour le sodium ; 80% des puits dépassent les normes pour les sulfates, le chlore atteint (5025 mg/l), les nitrates (199.35 mg/l > 50mg/l qui est la valeur limite de potabilité). Pour les nitrites 12% des puits dépassent la norme, l'ammonium 41%, la plus part dans la zone d'accumule Daya Bendahoua où il y a absence de réseau d'assainissement.

Les deux paramètres indicateurs de pollution  $DBO_5$  et  $DCO$  qui ne doivent pas exister dans les eaux potables dépassent les normes de rejets à Daya Bendahoua et en aval à El-Atteuf indiquant ainsi la vulnérabilité de la nappe.

D'autre part l'état de certaines substances n'est pas alarmant pour l'heur actuel comme les phosphates les nitrites, mais il faut prendre un certain nombre de mesures pour contenir ces éléments de pollution.

Les analyses par les diagrammes Hydrochimiques permet de dévoiler l'augmentation de la salinité des eaux de la nappe qui devient une eau à danger d'alcalinisation assez appréciable. Pour les points situés en aval de l'Oued le classement devient impossible due à la concentration excessive des sels.

On rappelle que l'existence des métaux lourds dans l'eau ayant un effet toxique à long terme, cer-

taines de ces substances ont la propriété de se concentrer le long des chaînes alimentaire donc les habitants sont au risque. Certain substances stables (mercure,...), malgré son existence est sous forme des traces mais c'est un danger dissimulé. La multiplication des rejets liquides industriels par le temps engendre des problèmes environnementaux difficiles à résoudre s'ils ne sont pas contrôlés ou traités. La présence de ces éléments en teneurs variables indique l'infiltration vers la nappe. Pour les métaux indésirables ou moins dangereux, les valeurs maximales enregistrées sont : (fer :  $2000\mu\text{g}/\text{l}$ , Manganèse :  $22.5\mu\text{g}/\text{l}$ , Zinc :  $958\mu\text{g}/\text{l}$ , Cuivre :  $140\mu\text{g}/\text{l}$ ). Les résultats trouvés pour les métaux considérés comme dangereux pour l'homme et l'environnement sont : (Plomb :  $34\mu\text{g}/\text{l}$ , Cadmium :  $3.8\mu\text{g}/\text{l}$  et Mercure :  $0.6\mu\text{g}/\text{l}$  qui est le plus dangereux). Ces résultats comparés aux normes des rejets des effluents Annexe B.2 ne présentent pas un problème, mais c'est un véritable danger puisque ils doivent être contrôler comme des eaux potables dont il y a des puits où la consommation de ces eaux existe toujours.

La recherche bactériologique explique le taux de contamination par le nombre de germes très élevé de différentes espèces bactériennes indiquant la contamination fécale par les eaux usées urbaines. Donc les résultats obtenus nous permettent de dire que la nappe est affectée par les eaux usées domestiques et industrielles et son vulnérabilité à la pollution est visible avec un changement de faciès dans le temps et dans l'espace.

D'autre part et durant l'intervalle d'étude (2005 à 2012), notre zone a subit une inondation causé par la crue catastrophique de 2008, bien qu'elle a effacé la plus parts des puits, on a voulu explorer cet événement en étudiant son influence sur la nappe.

L'étude comparative, fait apparaitre que malgré l'énorme volume d'eau, l'influence sur la qualité de l'eau de la nappe était très faible sauf la zone de Bouchen, où on assiste à une amélioration de la qualité prouver par le diagramme de piper qui indique une migration des échantillons vers la bonne qualité.

Pour la prévention des eaux de la nappe phréatique de la vallée contre la contamination et la vulnérabilité à la pollution, il faut prendre des mesures pour éviter une complication environnementale :

- Raccordement de la zone industrielle au réseau d'assainissement en l'équipant d'une unité de traitement des eaux usées industrielles.

- les unités industrielles installées que ce soit le long de l'oued ou dans la zone industrielle doivent pour-venu des installations de traitements de ses rejets en tenant compte de la qualité de ces eaux usées avant les déverser.
- Suppression des puits perdus et des fausses septiques.
- Interdire le déversement des eaux usées vers la palmeraie.
- La bonne gestion des eaux d'irrigation.
- Il faut procéder au traitement des puits à l'aide de la brique poreuse pour éliminer la contamination bactérienne et pouvoir les utiliser.
- Supprimer les décharge publique du lit de l'Oued.
- Les eaux usées doivent faire un traitement par épuration industrielle et non par lagunage vue les matières en suspension et le taux des métaux des éléments indésirables et la matière grasse et non biodégradable.
- En fin une étude complémentaire de la vulnérabilité de la nappe phréatique est sollicitée.



---

# BIBLIOGRAPHIE

- [ANO, 2007] (2007). Britannica encyclopedia. sociedad comercial y editorial santiago ltda., lima, 2800 pp.
- [A. TESSIER. et al., 1996] A. TESSIER., and., D. F., N. BELZILE., R. DEVTRE, ., and LEPPARD., G. (1996). Metal sorption to diagenetic iron and manganese oxyhydroxides and associated organic matter : Narrowing the gap between field and laboratory measurements. *geochimica et cosmochimica acta*, 60(3) : 387-404.
- [ACHOUR, 2014a] ACHOUR, A. (2014.a). Vulnérabilité et protection des eaux souterraines en zone aride : cas de la vallée du m'zab . mémoire de magister en sciences de la terre, 115p.
- [ACHOUR, 2014b] ACHOUR, A. (2014.b). Vulnérabilité et protection des eaux souterraines en zone aride : cas de la vallée du m'zab . mémoire de magister en sciences de la terre, p25.
- [ACHOUR, 2003] ACHOUR, M. (2003). *Ressources en eau dans la wilaya de Ghardaïa. Rapport ANRH Ghardaïa. Algérie .p1-3.*
- [ACHOUR, 2005] ACHOUR, M. (2005). *Note relative aux ressources en eau souterraines de la wilaya de Ghardaïa. Rapport ANRH Ghardaïa.Algérie.p4-8Ressources en eau dans la wilaya de Ghardaïa. Rapport ANRH Ghardaïa. Algérie .p1-3.*
- [Anonyme, 2007] Anonyme (2007). Britannica encyclopedia. sociedad comercial y editorial santiago ltda., lima, 2800 pp.
- [A.N.R.H, 2003] A.N.R.H (2003). *2003. Notes relatives à l'étude de la nappe phréatique de la vallée du M'zab, Rapport de l'Agence nati. res. hyd.*

- [A.N.R.H, 2008] A.N.R.H (2008). (*Agence Nationale Des Ressources Hydrauliques*), *Direction Régionale Sud Ouargla, Mars 2008, 'Note relative à l'étude de la nappe phréatique'*.
- [ANRH, 2011] ANRH (2011). *Note sur les ressources aquifères de la région de Zelfana. doc. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. DRS. Ouargla; Algérie.*
- [ARANGUREN, 2008] ARANGUREN, M. M. S. (2008). Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du val de milluni (andes boliviennes) par des déchets miniers. approches géochimique, minéralogique et hydrochimique p9-10.
- [A.S, 2006] A.S (2006). D.p.a.t.,annuaire statistique de la wilaya de ghardaïa, direction de planification et de l'aménagement du territoire, , volume i, 84p.
- [AS.V1, 2010] AS.V1 (2010). D.p.a.t.,annuaire statistique de la wilaya de ghardaïa, direction de planification et de l'aménagement du territoire, 15eme édition, volume i, 50p.
- [AS.V2, 2010] AS.V2 (2010). D.p.a.t.,annuaire statistique de la wilaya de ghardaïa, direction de planification et de l'aménagement du territoire, 15eme édition, volume ii, 84p.
- [AYRES. and ALLOWAY, 1997] AYRES., D. and ALLOWAY, B. (1997). Chemical principles of environmental pollution. blackie academic and profesional, an imprint of chapman and hall, london, 394 pp.
- [BENSAHA H., 2011] BENSAHA H., BENSAHA L., A. M. (2011). Réflexion pour préserver l'environnement cas de la vallée du m'zab (algérie) 13p.
- [Bhutta and Black, 1999] Bhutta, Z. and Black, R.E., B. K. a. M. G. J. G. S. H. A. K. F. M. R. N. N. P. M. R. J. R. S. R. M. S. S. e. S. A. (1999). Prevention of diarrhea and pneumonia by zinc supplementation in children in developing countries : Pooled analysis of randomized controlled trials. journal of pediatrics, 135(6) : 689-697.
- [Black, 2003] Black (2003). Zinc deficiency, infectious disease and mortality in the developing world. journal of nutrition, 133(5 suppl. 2).
- [BOUKARI. et al., 1996] BOUKARI., M., B., G. C., and and. Faye S., F. A. (1996). The impact of urban development on coastal aquifers near cotonou, benin. j afr earth sci, 22 : 403-408.
- [BUSSON, 1970] BUSSON, G. (1970). Le mésozoïque saharien. 2ème partie : Essai de synthèse des données des sondages algéro-tunisiens. edit., paris, « centre rech. zones arides » 811p. ed. c.n.r.s.

- [CALLENDER, 2003] CALLENDER, E. (2003). Heavy metals in the environment-historical trends. in : B.s. Iollar (ed.), environmental geochemistry. treatise on geochemistry. Elsevier-Perгамon, Oxford, pp. 67-105.
- [Chang, 1992] Chang, A.C., G. T. e. P. A. (1992). A methodology for establishing phytotoxicity criteria for chromium, copper, nickel, and zinc in agricultural land application of municipal sewage sludges. *Journal of Environmental Quality*, 21(4) : 521-536.
- [CISSE. et al., 2004] CISSE., S., FAYE., W. S., and B., G. C. (2004). An assessment of the risk associated with urban development in the Thiarye area (Senegal). *Environ Geol*, 45 : 312-322.
- [CONRAD, 1969] CONRAD, G. (1969). L'évolution continentale post-hercynienne du Sahara algérien (Saoura, Erg Chech-Tanezrouft, Ahnet-Mouydir). Centre de recherche sur les zones arides. Série géologie n°10, CNRS, Paris, 527p.
- [DJOUDI.H.RAFAA., 1953] DJOUDI.H.RAFAA. (1953). Fonctionnement du système hydraulique de partage de la palmeraie est de Ghardaoua.
- [FABRE, 1976] FABRE, J. (1976). *Introduction à la géologie du Sahara algérien et des régions voisines. SNED, Alger, 422p., 175fig 1 carte h.t.*
- [FERGUSSON, 1990] FERGUSSON, J. (1990). The heavy elements :chemistry, environmental impact and health effects, 1. Pergamon Press, Oxford, 614 pp.
- [FLANDRIN, 1957] FLANDRIN, J. (1957). *Le pétrole et l'eau dans le Sahara septentrional algérien. In revue de géographie de Lyon. Vol. 32 n°4, 1957.pp. 293-306.*
- [FOSTER, 2001] FOSTER, S. D. (2001). The interdependence of groundwater and urbanisation in rapidly developing cities. *Urban Water*, 3(185-192).
- [F.RAMADE, 2002] F.RAMADE (2002). Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. Ed Dunod. France.
- [GARDI, 1973] GARDI, R. (1973). "Sahara", édition : Kummerly et Frey, Paris, 3ème édition, 51 pages.
- [GARRELS. and C.L., 1965] GARRELS., J. R. and C.L., C. (1965). Solutions, minerals and equilibria. Harper and Row, New York. Gasc, F., 1998. Incidence de la caractérisation géologique de sous-bassins andins boliviens de l'Amazonie, sur la qualité métallique de leurs eaux de surface, Institut d'agro-développement international (Istom), La Paz.

- [Giordano, 1975] Giordano, P.M., M. J. e. M. D. (1975). Effect of municipal wastes on crop yields and uptake of heavy metals. *journal of environmental quality*, 4(3) : 394-399.
- [Goyer, 1990] Goyer, R.A. et Clarkson, T. (1990). Transplacental transport of lead. *environmental health perspectives*, 89 : Pages : 101-105.
- [Goyer, 2001] Goyer, R.A. et Clarkson, T. (2001). Toxic effects of metals. in : D.c. klassen (ed.), casarett and doull's toxicology : the basic science of poisons. mcgraw-hill, new york, pp. 811-868.
- [Grandjean, 1984] Grandjean, P. (1984). Biological effects of organolead compounds. crc press, boca raton, fl, usa, united states, pages : 288 pp.
- [GROEN. et al., 1988] GROEN., J., B., S. J., and W., G. (1988). The occurrence of high nitrate concentration in groundwater in villages in northwestern burkina faso. *j afr earth sci*, 7(7) : 999-1009.
- [G.ROLLAND, 1881] G.ROLLAND (1881). Terrain crétacé du sahara septentrional. b.s.g.f, p. 508-551.
- [G.ROLLAND, 1890] G.ROLLAND (1890). Géologie du sahara algérien et aperçu géologique sur le sahara de l'océan atlantique à la mer rouge. extrait des documents relatifs à la mission dirigée au sud de l'algérie par m. choisy paris.
- [HADID, 2020] HADID, A. (2019-2020). Les oasis de tiout, boussemghoune et moghrar (sudouest d'algerie) : Ressources en eau et developpement durable.
- [HASSANE, 2010] HASSANE, A. B. (2010). *Aquiferes superficiels et profonds et pollution urbaine en Afrique : Cas de la communauté urbaine de Niamey (NIGER) Doctorat Hydrogéologie 187P.*
- [HEM., 1976] HEM., J. (1976). Geochemical controls on lead concentrations in stream water and sediments. *geochimica et cosmochimica acta*, 40(6) : 599-609.
- [ISO., 1994] ISO., N. (1994). *Compendium de Norme Iso. Environnement qualité de l'eau. Tome 2. 1ère Edition. France. p 9,146,153, 213, 256.*
- [J.D.HEM, 1972] J.D.HEM (1972). Chemistry and occurrence of cadmium and zinc in surface water and ground water. *water resources research*, 8 : 661-679.
- [J.DUBIEF, 1953] J.DUBIEF (1953). Essai sur l'hydrologie superficielle au sahara. alger, service des études scientifiques, 457p.
- [J.Emsley, 1991] J.Emsley (1991). The elements. oxford university press-clarendon press, new york, 264 p.

- [J.O. Leckie, 1975] J.O. Leckie, J. D. (1975). Aqueous environmental chemistry of copper. in : J.o. nriagu (ed.), copper in the environment. wiley, new york, pp. 90-121.
- [K.BOUAMER. et al., 2019] K.BOUAMER., B.REMINI, and M.HABI, K. (2019). *The effects of the flood of October 2008 on the water quality in the M'zab valley, Algeria, , journal of water and land development, De Gruyter, 2019, No. 40 (I-III) : 173–180.*
- [KLEIN. and HURIBUT, 1982] KLEIN., C. and HURIBUT, C. (1982). Manual de mineralogía de dana. editorial reverté, barcelona, 564.
- [Koomen, 1990] Koomen, I., M. G. S. e. G. K. (1990). Mycorrhizal infection of clover is delayed in soils contaminated with heavy metals from past sewage sludge applications. soil biology, biochemistry, 22 : 871-873.
- [Leckie, 1975] Leckie, J. e. J. D. (1975). Aqueous environmental chemistry of copper. in : J.o. nriagu (ed.), copper in the environment. wiley, new york, pp. 90-121.
- [L.GOUAIDIA, 2008] L.GOUAIDIA (2008). Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico –chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de meskiana nord-est algerien. doctorat hydrologie université badji mokhtar annaba,.
- [Liu, 2005] Liu, H., P. A. e. L. B. (2005). Metal contamination of soils and crops affected by the chenzhou lead/zinc mine spill (hunan, china). science of the total environment, 339(1-3) : 153-166.
- [LUM, 1987] LUM, R. (1987). . cadmium in freshwaters : the great lakes and st. lawrence river. in : J.o. nriagu et j.b. sprague (eds.), cadmium in the aquatic environment. wiley, new york, pp. 35-50.
- [MAHAN, 1987] MAHAN, B. (1987). Química. curso universitario. fondo educativo interamericano s. a.
- [Moore, 1984] Moore, J.W. et Ramamoorthy, S. (1984). Metals in water, sediment and soil systems. springer-verlag, new york, 125 pp.
- [NKHUWA W., 2003] NKHUWA W., D. (2003). Human activities and threats of chronic epidemics in a fragile geologic environment. physics and chermistry of the earth, 28 : 1139-1149.
- [NRIAGU, 1974] NRIAGU, J. (1974). Lead orthophosphates–iv formation and stability in the environment. geochemica et cosmochemica acta, 38(6) : 887-898.

- [NRIAGU, 1979] NRIAGU, J. (1979). Global inventory of natural and anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere. *nature*, 279 : 404-411.
- [NRIAGU, 1996] NRIAGU, J. (1996). A history of global metal pollution. *science*, 272(april) : 223-224.
- [O.-P.-S., 1987] O.-P.-S. (1987). Guías para la calidad del agua potable. criterios relativos a la salud y otra información de base. publicación científica 506. organización panamericana de la salud, washington, 350 pp.
- [PROBST. et al., 2005] PROBST., M., Roulet., A., and Salvarredy, M. A. (2005). Mahan, b.h., 1987. química. curso universitario. fondo educativo interamericano s. a.
- [RAFA A., 2009] RAFA A., H. (2009). Fonctionnement du système hydraulique de partage de la palmeraie est de ghardaoua mémoire ingénieur école nationale nationale supérieure polytechnique enp algerie p1-3.
- [REMINI. and ACHOUR., 2016] REMINI., B. and ACHOUR., B. (2016). The water supply of oasis by albian foggara : an irrigation system in degradation. *larhyss journal*, issn 1112-3680, n°26, juin, 2016.
- [REMINI. et al., 2012] REMINI., B., ACHOUR B., O. C., and BABAA (2012). The mzab foggara : An original technique for collecting the water rising. *journal of water and land development*.
- [RODIER, 1984] RODIER, J. (1984). *L'analyse de l'eau. 7<sup>ème</sup> édition, Bordas. Paris.*
- [RODIER, 2009] RODIER, J. (2009). *L'analyse de l'eau. J. RODIER et coll- 8<sup>ème</sup> édition, Dunod, Paris, 2009 P 245-246.*
- [SEGHIR, 2008] SEGHIR, K. (2008). *Vulnérabilité à la pollution, protection des ressources en eaux et gestion active du sous système aquifère de Tébessa Hammamet (Est Algérien) THÈSE de Doctorat.*
- [SIGG. et al., 2000] SIGG., L., BEHRA., ., and STUMM, W. (2000). Chimie des milieux aquatiques. dunod, paris, 592 pp.
- [TEISSIER, 1965] TEISSIER, M. (1965). Les crues d'oued au sahara algérien de 1950 à 1961. bulletin de l' institut de la recherche saharienne, n.24, p. 1-7.
- [UNICEF. and WHO, 2015] UNICEF. and WHO (2015). Who (world health organization) and unicef (united nations international children's emergency fund). 25 years progress on sanitation and drinking water 2015 update and mdg assessment. geneva, switzerland : Who press, 2015.

- [V.BENITO and et al., 1999] V.BENITO and, V.DEVESA, O., M.Suner, A.Montoro, R.Baos, R., and M.Ferrer, M.Fernandez, J. (1999). Trace elements in blood collected from birds feeding in the area around donana national park affected by the toxic spill from the aznalcollar mine. *science of the total environment*, 242(1-3) : 309-323.
- [VILLE, 1872] VILLE (1872). Exploration géologique du béni-m'zab, du sahara et de la région des steppes de la province d'alger. paris, imprimerie nationale, 540p.
- [Wedepohl, 1995] Wedepohl, H. (1995). The composition of the continental crust. *geochimica et cosmochimica acta*, 59(7) : 1217-1232.
- [Y.-H. et al., 1984] Y.-H., BURKHARDT., L., and TERAOKA., H. (1984). Desorption and coagulation of trace elements during estuarine mixing. *geochimica et cosmochimica acta*, 48(10) : 1879-1884.
- [Yong, 1993] Yong, R.N., M. A. e. W. B. (1993). . principles of contaminant transport in soils. elsevier science publishers, amsterdam, 327 pp.
- [Ziegler, 2003] Ziegler, P. (2003). The medical geochemistry of dust, soils and other earth materials. in : B.s. lollar (ed.), *environmental geochemistry. treatise on geochemistry*. elsevier-pergamon, oxford, pp. 264-310.

---

---

# ANNEXE A

---

## ACTIVITÉS INDUSTRIELLES



TABLE A.1 – Industries mécanique / métallurgie

Unités	Début d'activités	Matières premières	Produits finis	Rejets	Traitement des rejets	Assainissement
Société N°1	1977	Acier Flux Solide	Les produits principaux : - Les tubes spiraux  Les produits secondaires : -Service après vente des pivots d'irrigation.	-Chutes tubes  -eaux usées	U. d'épuration en arrêt	Non
Société N°2	1970	-Cuivre 90% -Fer -Etain de soudage -Flux -HCl -Potasse	Radiateurs	Liquides et solides	Solides récupérables Liquides non traités	Non
Société N°3		-Fer 100%	Les tuyaux d'échappement	-Rejets solides	récupérable	Non
Société N°4			Produit de quincaillerie	Pas de rejets		Non

TABLE A.2 – (Industries de chimie, caoutchouc et plastique)

Unités	Début d'activités	Matières premières	Produits finis	Rejets	Traitement des rejets	Assainissement
Société N°5	1982		Produits cosmétiques (shampooing, crèmes,...)			Oui
Société N°6	1986	-Epochlorure de sodium.  -Grésil super concentré. -Les bases (les huiles) -H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -HCl -NaOH  -Mono éthylène glycol -polyéthylène	-Les produit d'entretien (eau de javale, grésille, sani-parfumé, eau distillée, eau acidulée)	-Rejets liquides : pas de rejet.          -Rejets solides : recyclés.		Non
Société N°7	1996	-Polypropylène (plastique)	-Tapis en plastique	-Pas de rejets liquides		Oui
Société N°8	1986	-POH <sub>2</sub> -Colorants -Huiles	-Chaises	Pas de rejets liquides		Non

TABLE A.3 – Les industrie de matériaux de construction, céramique et verre, peinture

Unités	Début d'activités	Matières premières	Produits finis	Rejets	Traitement des rejets	Assainissement
Société N°9	1970	-Le ciment (gris, blanc) -Sable -Gravie - Des oxydes (produit chimique) -Les colorants (rouge, noire, ...)	-Les carrelages  -Caro granito	-Eaux usées  -Boues	Bassins  décantation	Non
Société N°10		-Sable -Oxyde d'arsenic -oxyde d'antimoine	Articles en verre	Rejet liquide		Non
Société N°11	1999	-Carbonate de calcium -Adjuvants -Anti-mousse -Résine  -Anti-bactériennes plastifiant	-Enduit  -Peintures  Colles de bâtiment	Rejet de nettoyage.		Non

TABLE A.4 – Industrie de cuirs

Unités	Début d'activités	Matières premières	Produits finis	Rejets	Traitement des rejets	Assainissement
Société N°12	2001	-La peau -Les produits végétaux -Kibrachau -Bicarbonate -Acide formique -Colorant -Huiles -Teinture	Cuire	Rejet liquide	Traitement par 4 bassins de décantation	Non

# ANNEXE B

## NORMES

FIGURE B.1 – Normes Algériennes de Potabilités rejets Industriels

<b>Caractéristiques physico-chimiques</b>	<b>N.Algerienne</b>	<b>Unité</b>	<b>OMS</b>
<b>température</b>	25	°C	≤25
<b>pH</b>	6,5-8,5	-	6,5-8,5
<b>conductivité</b>	2800	μS/cm	2500
<b>Turbidité</b>	1__2	NTU	5
<b>Calcium</b>	75__200	(mg/l)	200
<b>Magnésium</b>	150	(mg/l)	150
<b>Chlorures</b>	200__500	(mg/l)	250
<b>Potassium</b>	20	(mg/l)	_
<b>Sodium</b>	200	(mg/l)	200
<b>TH</b>	500	(mg/l)	500
<b>TAC</b>	250	(mg/l)	250
<b>Résidus sec</b>	2000	mg/l après séchage	1500
<b>Sulfates</b>	200_400	(mg/l)	400
<b>Fer total</b>	0,3	mg/L	0,3
<b>Nitrite</b>	0,1	(mg/l)	3
<b>Nitrates</b>	50	(mg/l)	44
<b>Phosphate</b>	0,5	(mg/l)	0,5
<b>Ammonium</b>	0,05_0,5	(mg/l)	0,5
<b>Caractéristiques bactériologiques</b>			
<b>coliforme</b>	0	/100ml	0
<b>Streptocoques fécaux</b>	0	/100ml	0
<b>E,coli</b>	0	/100ml	0

FIGURE B.2 – Norme des rejets Industriels

**VALEURS LIMITES DES PARAMETRES DE REJETS D'EFFLUENTS LIQUIDES INDUSTRIELS**

N°	PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCES AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
1	Température	°C	30	30
2	PH	-	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
3	MES	mg/l	35	40
4	Azote Kjeldahl	"	30	40
5	Phosphore total	"	10	15
6	DCO	"	120	130
7	DBO5	"	35	40
8	Aluminium	"	3	5
9	Substances toxiques bioaccumulables	"	0,005	0,01
10	Cyanures	"	0,1	0,15
11	Fluor et composés	"	15	20
12	Indice de phénols	"	0,3	0,5
13	Hydrocarbures totaux	"	10	15
14	Huiles et graisses	"	20	30
15	Cadmium	"	0,2	0,25
16	Cuivre total	"	0,5	1
17	Mercure total	"	0,01	0,05
18	Plomb total	"	0,5	0,75
19	Chrome Total	"	0,5	0,75
20	Etain total	"	2	2,5
21	Manganèse	"	1	1,5
22	Nickel total	"	0,5	0,75
23	Zinc total	"	3	5
24	Fer	"	3	5
25	Composés organiques chlorés	"	5	7

---

---

# ANNEXE C

---

## COORDONNÉES SPATIALES D'ÉCHANTILLONNAGE DE LA NAPPE PHRÉATIQUE

FIGURE C.1 – Coordonnées spatiales d'échantillonnage de la nappe phréatique

ECH	X	Y	Z	Profondeur	Niveau statique
1	412284,721	3826915,405	499	10,75	488,25
2	413353,389	3824856,917	470	3,25	466,75
3	411906,235	3826178,619	465	4,27	460,73
4	416455,492	3826752,648	461	6	456
5	417310,796	3825892,714	452	4,6	447,4
6	417154,949	3824379,734	447	3,15	443,85
7	417106,711	3823350,665	748	9,65	738,35
8	417318,218	3822651,477	447	8	439
9	417628,057	3821477,461	451	9,85	441,15
10	414327,434	3821699,504	461	22,3	438,7
11	412386,764	3826501,919	471	4	467
12	411883,971	3826814,231	475	4,3	470,7
13	410058,332	3826693,264	477	2,6	474,6
14	410267,983	3828602,487	486	10	476
15	412390,475	3825729,972	480	19	461
16	405104,614	3830637,422	525	8,4	516,6
17	406212,243	3830182,006	524	20,7	503,3
18	403039,638	3835163,930	524	19,8	504,2
19	402644,454	3834756,76	524	21,7	502,3
20	401746,476	3836268,863	226	13,23	212,77
21	401163,904	3837023,886	532	14,9	517,1
22	400803,971	3837552,211	532	22,7	509,3
23	400332,719	3837981,492	531	29,3	501,7
24	392738,874	3839071,276	547	16,5	530,5
25	406572,176	3827900,79	550	9,6	540,4
26	406210,388	3829181,033	549	7,65	541,35
27	404356,918	3830182,006	521	10,15	510,85
28	401713,08	3834270,375	519	17,8	501,2
29	404837,447	3830740,828	513	10,5	502,5
30	404288,271	3830162,206	520	19,92	500,8
--	-----	-----	----	----	-----



---

---

# ANNEXE D

---

ARTICLE SUR LA CRUE D'OCTOBRE 2008

Received 30.06.2018  
Reviewed 07.08.2018  
Accepted 19.09.2018A – study design  
B – data collection  
C – statistical analysis  
D – data interpretation  
E – manuscript preparation  
F – literature search

# The effects of the flood of October 2008 on the water quality in the M'zab valley, Algeria

Kheira BOUAMER<sup>1)</sup> ABCDEF, Boualem REMINI<sup>2)</sup> ABCDEF ✉,  
Mohamed HABI<sup>1)</sup> ABCDEF, Khaled REZZAG<sup>3)</sup> ABCDEF

<sup>1)</sup> University of Tlemcen, Faculty of Technology, Department of Hydraulics, Algeria; e-mail: kr.bouamer@gmail.com; moha.habi@gmx.de

<sup>2)</sup> Blida University 1, Faculty of Technology, Department of Water Sciences and Environment, Blida 9000, Algeria; e-mail: reminib@yahoo.fr

<sup>3)</sup> University of Ghardaia, Faculty of Technology, Department of Hydraulics, Algeria; e-mail: Rezzag@yahoo.fr

**For citation:** Bouamer K., Remini B., Habi M., Rezzag K. 2019. The effects of the flood of October 2008 on the water quality in the M'zab valley, Algeria. *Journal of Water and Land Development*. No. 40 (I–III) p. 173–180. DOI: 10.2478/jwld-2019-0019.

## Abstract

With a flow estimated at  $1200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  and a height of 8 m downstream, the flood that occurred on October 10, 2008 spread along the M'zab River over a length of more than 180 km. Material and human damage is visible, but its effects on the quality of the waters of the alluvial layer remain unknown: this is the purpose of this paper. Samples of groundwater were taken during the period 2005–2012 in 4 oases of the valley. Physicochemical analyses were performed using molecular and flame spectroscopic methods and also volumetric methods on water samples. The results obtained were interpreted using histograms and hydrochemical diagrams, such as the Avignon software (L.H.A) (version 4, 2008). Low effect of flood on the water quality of the alluvial aquifer was manifested by concentrations of magnesium sulphate and calcium chloride. On the other hand, there is an accumulation of salts infiltrated by sewage except for the zone of Bouchen. The diagrams show that there is an improvement in water quality in this area.

**Key words:** *flood of 2008, groundwater, histogram, hydrochemical diagram, hydrochemistry, M'zab valley, water quality*

## INTRODUCTION

The scarcity of free surface flows are characteristic of dry areas, however flashes floods and of short duration may occur at any day of the year. The consequences of these floods are generally harmful; material and human damage can occur. It is for these reasons that torrential rains and their subsequent superficial runoff in the Sahara must be studied to provide better flood protection and water management plans [BADAWY 2016]. The M'zab valley, a hyper arid and rocky region well known by these devastating floods. However, floods are of great importance for the entire region of the M'zab valley. The arrival of a flood in the M'zab River represents a unique event, or all the families; old and young men and women leave their homes to go in front of the two banks of the wadi to observe the

flow of the flood. A rocky region that favours surface runoff and consequently the inflow of the wadi is often quite high. The flood of the wadi of M'zab has a double advantage. Loaded with clay particles, the flood waters flood the palm groves thus allowing the plants to develop thanks to the nutritive elements carried by the floods. On the whole good to that observed in the M'zab valley, the flood is the only source of water which recharges the water table which is the only reservoir of fresh water of the region. To take advantage of the floods, the Mozabites have invented an ingenious ancestral system of sharing floodwaters for more than seven centuries [OUALED BELKHIR, REMINI 2016; REMINI *et al.* 2012]. Today, after the discovery of the Albian aquifer of the Intercalary Continental and the contribution of the boreholes in the valley of M'zab caused rise of the waters of the water table in several places of the

valley of M'zab. Such a phenomenon much like that observed during the ninety years in the Souf valley [MILOUDI, REMINI 2016; 2018; REMINI 2004; 2006; REMINI, KECHAD 2011]. Mixed with wastewater discharges, these stagnant waters contaminate the groundwater. Then, the passage of a flood in the wadi of M'zab causes leaching in the wadi's bed and thus cleans up the waters. It is from this perspective that we examine the effects of the October 2008 floods on groundwater pollution. It should be noted that this flood recorded a flow exceeding  $800 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  [YAMANI *et al.* 2016].

## STUDY AREA, MATERIALS AND METHODS

### LOCATION AND CHARACTERISTICS OF THE STUDY AREA

The wilaya of Ghardaia is located in the northern part of the Algerian Sahara at 600 km south of the capital Algiers. With an area of more than  $86\,105 \text{ km}^2$ , it is bordered on the North by the wilayas of Laghouat and Djelfa, on the East by the wilaya of Ouargla, on the West by the wilayas of Adrar and El Bayadh, to the South by the wilaya of Tamanrasset (Fig. 1). The M'zab valley has a large network of wadis, the main ones being Sebseb wadi, Metlili wadi, M'zab wadi, N'sa wadi and Zegrir River (Photo 1). All these rivers constitute the watershed of the M'zab valley. They drain most of the water from the western ridge to the East; their flow is sporadic and occurs as a result of thunderstorms in the region (Fig. 2). The climate of the valley is Saharan, characterized by hot summers and mild winters, especially during the day. The temperature is marked by large amplitude between day and night, summer and winter temperatures. The hot period starts in May and lasts until the month of September. The lowest average temperatures are recorded in January,  $12^\circ\text{C}$  and the highest in July,  $40^\circ\text{C}$ . The M'zab River extends over a length of 320 km and flows from West to East, from the region of El-Botma Rouila to 745 m a.s.l. where it is called Labiodh River; it empties into its

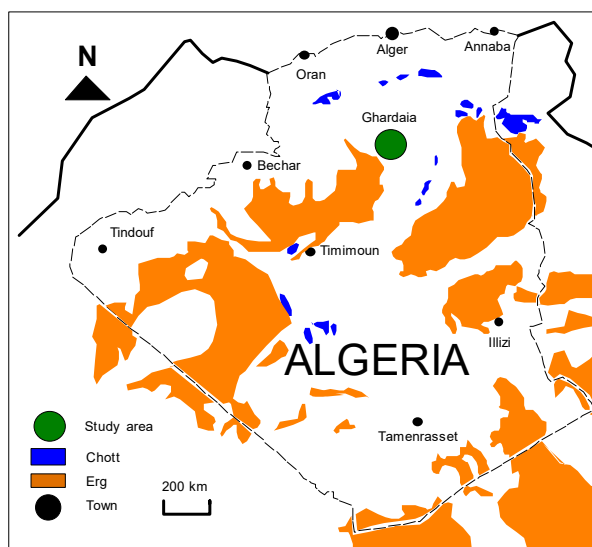


Fig. 1. Location of the study area (M'zab valley); source: own elaboration



Photo 1. A general view of the M'zab valley (phot. B. Remini)

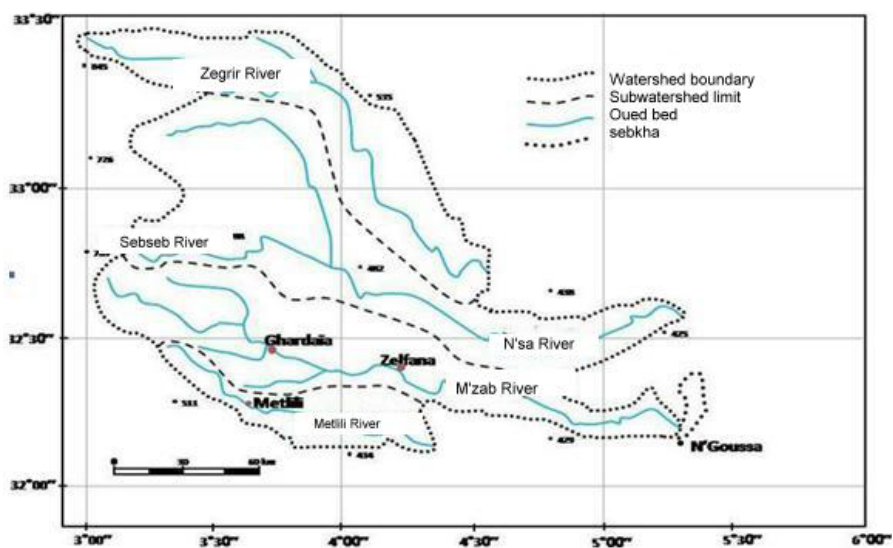


Fig. 2. Watershed of the M'zab region; source: ANRH [2007], extract from the map of DUBIEF [1953]

natural outlet which is the Sebkhha of Safioune North of the city of Ouargla at an altitude of 107 m. The main tributary of M'zab River, called Labiodh wadi is located upstream of Ghardaia [ANRH 2007. The study area is characterized by a strong index of vulnerability due to the alluvial composition of medium and coarse permeable sand and also to the shallow depth of the aquifer [ACHOUR 2014]. The main aquifers in the M'zab valley are:

- **The alluvial aquifer (water table)**

The depth of the aquifer varies according to the topography; it varies between 5 and 30 m and increases towards the South-East. The alluvial aquifer contains the water table, which is a shallow water table, with a broad band North-South extension occupying most of the northern part of the Chebka [BNEDER 1988].

- **The aquifer of Intercalary Continental**

The Northern Sahara Aquifer System (SAS) extends over a large area with boundaries in Algeria, Tunisia and Libya. This basin contains a series of aquifers that have been grouped into two reservoirs called the Intercalary Continental (IC) and the Terminal Complex (TC). The Intercalary Continental aquifer generally drains the sandstone and sandstone-clay formations of Barremian and Albian. It is exploited, depending on the region, at a depth of 250 to 1000 m locally; the flow of water is from West to East.

## SAMPLING AND HYDROCHEMICAL ANALYSIS

The choice of study area and sampling was based on representative wells located along the valley from upstream to downstream. The analysis points represented in this study are repetitive points for the four periods studied (Fig. 3). The analysis of the selected water samples, will allow us to try to explain the behaviour, the origin and the evolution of the chemical elements described and to evolve the degree of influence of the flood of October 2008 on the quality of these waters. The study is mainly based on sampling information from 20 water points, distributed in the field and over four periods, between 2005 and 2012 (2005, 2006, 2010 and 2012).

## STUDY METHODS

The parameters studied in this work are the potential of hydrogen (pH), electrical conductivity (*EC*), the hydrotimetric degree (*TH*) and the major elements of mineralization that determines the chemical facies of water and nitrates. The sampling points were distributed along the valley and the same parameters are redone over four periods before and after the flood in order to see if there is a change in the salinity parameters of the water table. To interpret this work, we used hydrochemical software from Avignon (L.H.A version 2008) and histograms. We conducted an analysis of the major elements:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{NO}_3^-$ .

The analyses were carried out in the central laboratory of the Algerian of the Wilaya of Ghardaïa.

pH and electrical conductivity are analysed using electrochemical devices;

- calcium, magnesium, hydrotimetric title, chloride, total alkalinity are all analysed by the volumetric method;
- sodium and potassium are analysed by flame spectrophotometry;
- nitrates are analysed by the molecular absorption spectrophotometry method;
- sulphates ( $\text{SO}_4$ ) and dry residue are analysed by the gravimetric method.

## RESULTS AND DISCUSSION

### PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS

**pH.** It is a parameter that determines acidity or alkalinity. For the year 2005 we obtained a maximum of 7.08 and a minimum of 6.65. For the year 2006, we obtained a pH between 7.08 (min) and 7.97 (max). For the year 2010, we obtained a pH which varies between 6.88 (min) and 8.34 (max). In the year 2012, we obtained a pH which varies between 6.9 (min) and 8.22 (max). These values show that well water is within the potability range (6.5–8.5) (Fig. 4). There is a tendency towards an increase of the pH, so an alkaline water.



Fig. 3. Sampling points along the M'zab Valley; source: own elaboration based on Google Earth map

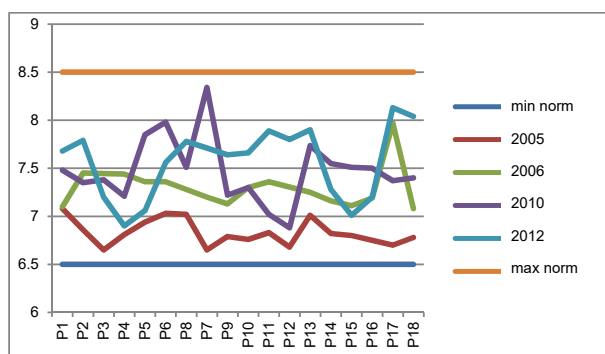


Fig. 4. Spatial and temporal variation of pH; P1–P18 = measurement points as in Fig. 3; source: own study

**Electrical conductivity (EC).** In the year 2005, we have a maximum of 6 980 and a minimum of 547. For the year 2006, we obtained a minimum of 1 707 (P1) and a maximum of 8 000 (P17). In the year 2010, we recorded a minimum of 491 and a maximum of 8 750. In the year 2012, we obtained a minimum of 1 360 and a maximum of 6 619. The values of electrical conductivity show that most wells exceed the recommended standard for water potability ( $2\,600\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). The minimum values of the order of 491 to  $1\,360\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  are recorded upstream of the water table in the Bouchen area. The maximum values exceed  $8\,000\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Conductivity begins with low values upstream of the valley and then increases to P5. Conductivity decreases at point P7 and point P8 in the Bouchen area. Conductivity resumes its increase downstream of the valley (Fig. 5).



Fig. 5. Spatial and temporal variation of electrical conductivity (EC); P1–P18 = measurement points as in Fig. 3; source: own study

**Diagram of Piper.** The Figure 6 showing the hydrochemical facies of the four study periods (before and after the 2008 flood) shows that there is not a significant variation in the facies of the waters studied. The chemistry of the waters analysed is characterized by chlorinated, calcic and magnesium sulphated facies. In the year 2005, the majority of the analysed points present a chloric and sulphated

facies calcium and magnesium. There is 98% dominant cation apart from the well P8 (Bouchen) which migrates to the bicarbonate zone. In the year 2006, the waters are chlorinated and sulphated calcium and magnesium. There is no dominant cation. In the year 2010, water keeps the same facies, 94% no dominant cation. The Bouchen wells converge towards the calcium zone. For the anionic composition, it is sulphated, chlorinated (28% sulphated 28% no dominant anion 42% chlorinated). Globally the waters have a chlorinated, sulphated, calcic and magnesium facies. In the year 2012, the waters have a sulphated facies chlorinated, calcic and Magnesian except the point P8 (Bouchen) which leaves towards the calcium side. The point P18 which has just made a migration for the year 2012 to the sodium chloride zone. This migration is due to the excessive concentration of sodium downstream of the valley.

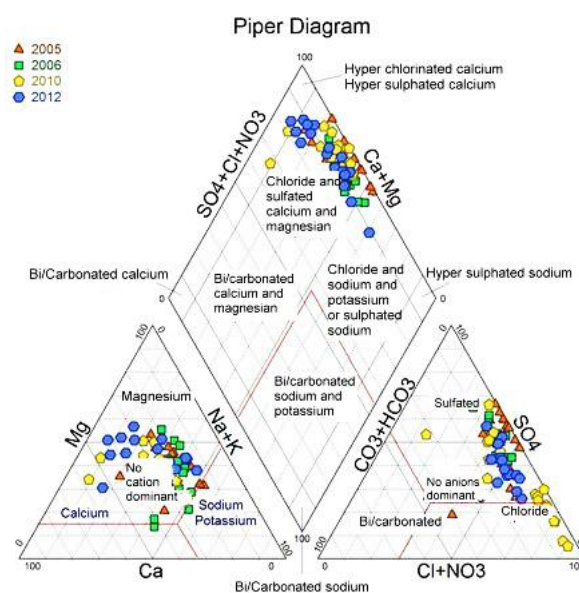


Fig. 6. Piper diagram; source: own study

#### CLASSIFICATION OF ANALYZED WATERS ACCORDING TO SCHOLLER AND BERKALOFF

The Figure 7a–d shows the Scholler and Berkloff diagram for the four periods. In the year 2005, all the points have the same composition except P1, P6 and P8 (Fig. 7a). The point P1 is the upstream of the Labiod River valley. Points P6 and P8 are in the Bouchen area. In the year 2006 we see in Figure 7b, that all the wells have the same quality, except the points: P1 and P2 have a slightly weak magnesium concentration. In the year 2010, all the waters of the wells have the same chemical facies, except the water at bridge P5 which leaves the group and takes another quality (Fig. 7c). In 2012, the water from the wells kept the same pace, except the water from the Bouchen wells upstream of the valley which has a less concentrated facies.



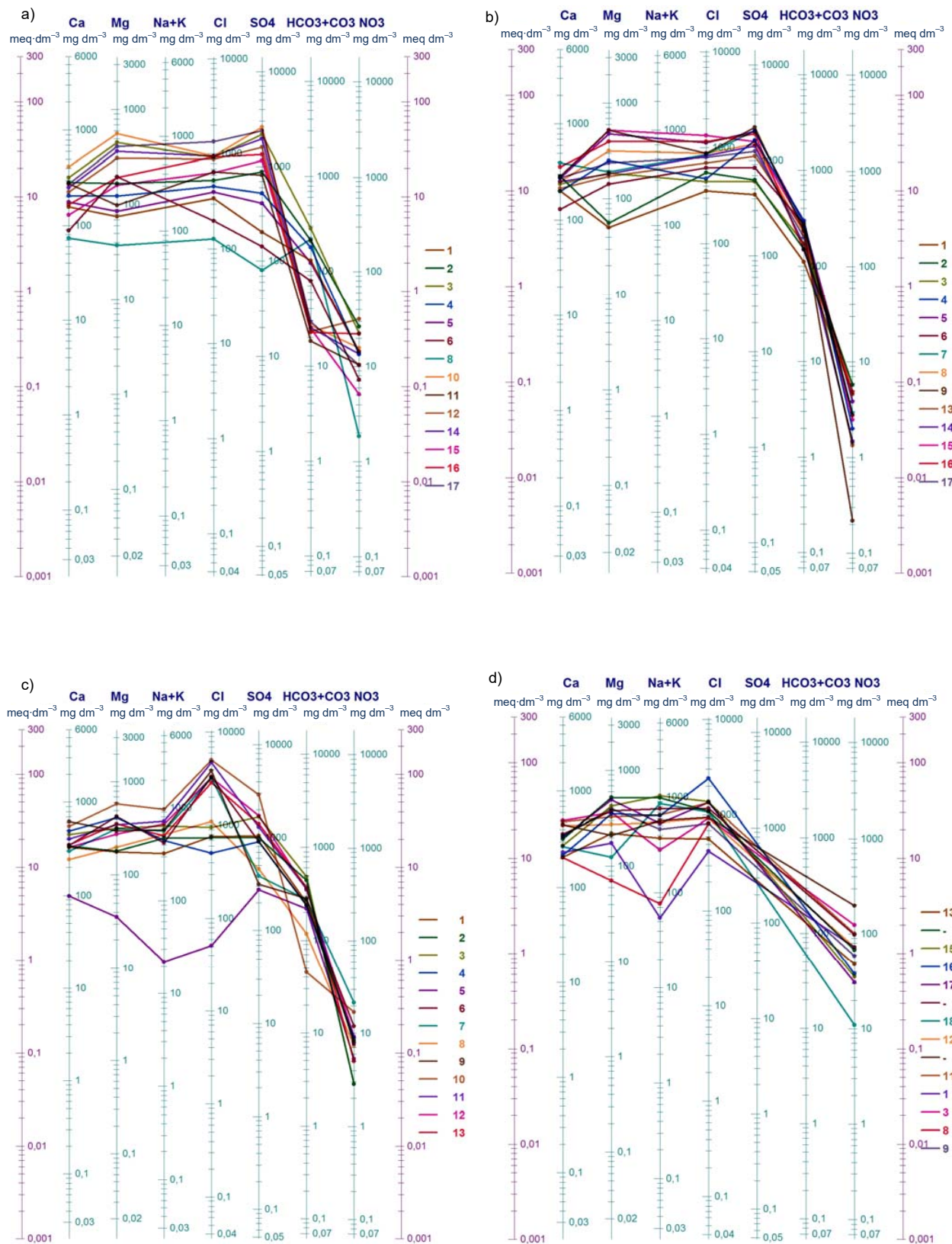


Fig. 7. Diagram of Scholler and Berkaloﬀ: a) year 2005, b) year 2006, c) year 2010, d) year 2012, P1–P18 = measurement points as in Fig. 3; source: own study

**WATER CLASSIFICATION ACCORDING TO THE STABELER DIAGRAM**

The Stabeler diagram gives the cationic and anionic ratio of the elements in reaction. In the year 2005, from the upstream to the downstream, the calcium composition decreases and becomes sodium (Fig. 8a). In the year 2006,

the Stabeler diagram for well waters has a magnesium calcium chloride sulphated facies (Fig. 8b). In the year 2010, the waters of the wells show the diagram of the carbonated composition is clear for P2, P7 and P8 (Fig. 8c). In the year 2012, the Stabeler diagram for well waters shows a magnesium calcium chloride and sodium chloride facies for some wells (Fig. 8d).

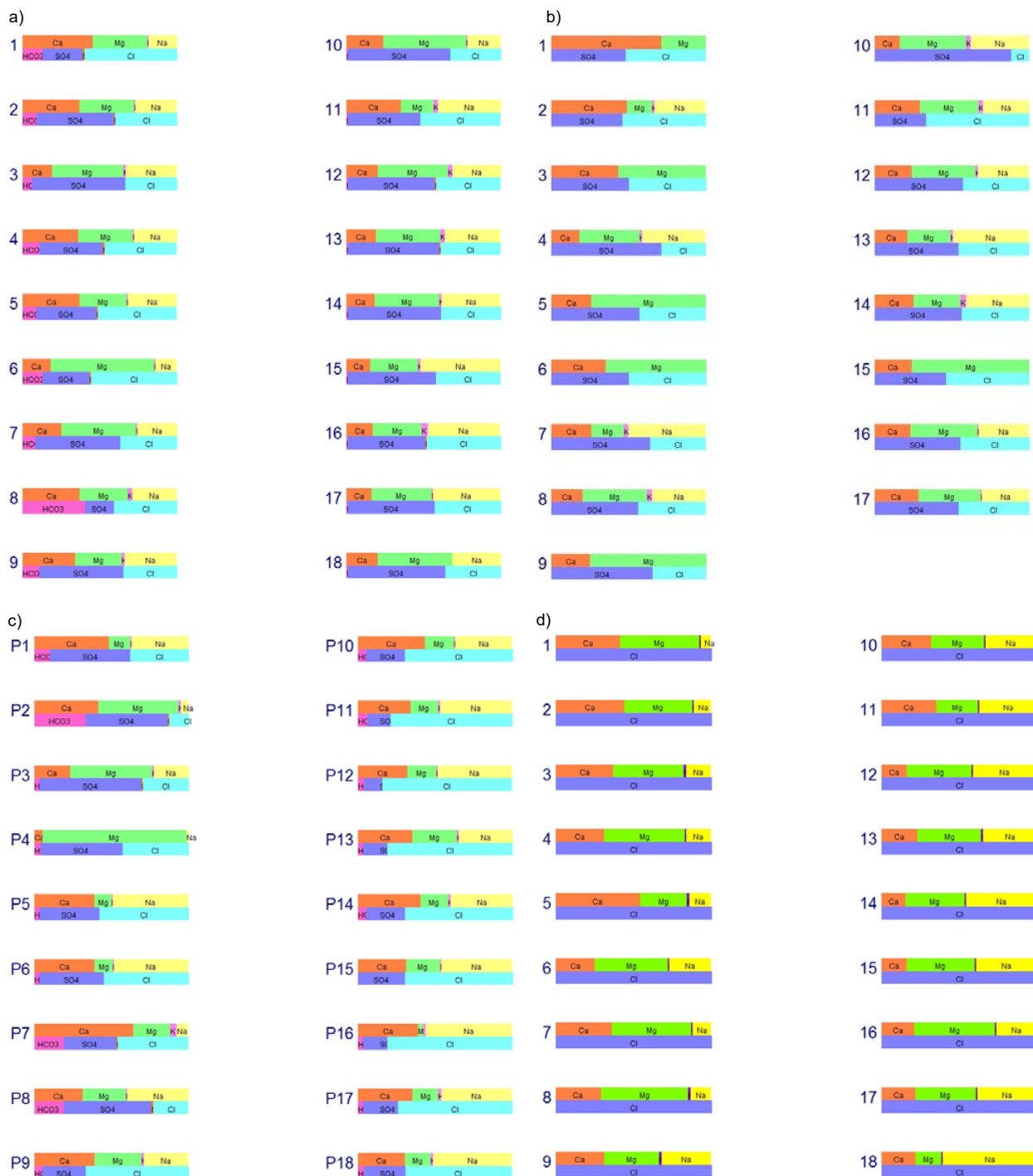


Fig. 8. Stabeler diagram of well water in analysed years: a) 2005, b) 2006, c) 2010, d) 2012; P1–P8 = measurement points as in Fig. 3; own study

## VARIATION OF BOD<sub>5</sub> AND COD IN THE VALLEY

Figure 9 shows the variation of the COD (chemical oxygen demand) which corresponds to an estimation of the oxidizable materials presented in the water regardless of their organic or mineral origin. The same figure also represents the BOD<sub>5</sub> (biochemical oxygen demand) which gives an indication of the bacterial activity for the year 2005. The values obtained for the year 2005 show an increase of the BOD<sub>5</sub> upstream. It is due to the lack of sanitation network. Downstream is the wastewater outlet. For COD values are low with a small increase at point P11 (large agglomeration area). It is probable due to releases of household detergents.

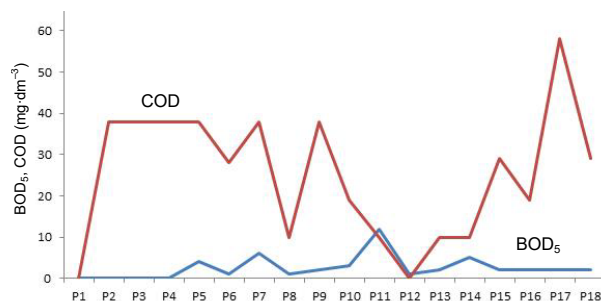


Fig. 9. Variation of BOD<sub>5</sub> and COD in the M'zab valley; P1–P18 = measurement points as in Fig. 3; source: own study

## CONCLUSIONS

The waters of the superficial aquifer of the so-called Quaternary alluvial M'zab valley (groundwater) are of a magnesium sulphate calcium chloride facies. Upstream of the valley, the waters of the superficial aquifer are of low salinity and are in the standards of potability. In the town of Daia, the concentrations of major elements of mineralization reach peaks in the histograms. This situation is due to the lack of sanitation network. Sewage seepage into the water table is frequent. The area of Bouchen (upstream of the valley) after Daia is a special case especially for the last two years (2010 and 2012). This area retains good water quality (see Scholler-Berkaloff and Piper diagrams). The Bouchen area has a layer separated from the water table; it is influenced by rainwater and floods. After the zone of Bouchen the salt concentrations increase according to the general direction of the flow of the sheet (from NW to SE). According to the Piper and Stabeller diagrams, there is a chemical facies migration from sulphated magnesium chloride and calcium chloride to sulphated sodium chloride. This phenomenon can be explained by the accumulation of wastewater infiltrated into the water

table along the valley (lack of sanitation networks for a long time). So, there is no influence of the flood of 2008 on the quality of the waters of the water table (on the contrary there is an accumulation of the salts infiltrating by the sewage) apart from the zone of Bouchen where its facies that was sulphated calcium chloride and magnesium for 2005 and 2006 migrates to the magnesia calcic bicarbonate facies.

## REFERENCES

- ACHOUR M. 2014. Vulnerability and protection of groundwater in arid zones: Case of M'zab valley (Ghardaia). Master Thesis. University of Oran pp. 37.
- ANRH 2007. Notes on the underground water resources of the wilaya of Ouargla, Rapport de l'A.N.R.H. Ouargla. Agence Nationale des Ressources Hydraulique pp. 12.
- BADAWY M., AZIZ A.O.A., MAMTIMIN B. 2016. Flash floods in the Sahara: A case study for the 28 January 2013 flood in Qena, Egypt. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. Vol. 7. Iss. 1 p. 215–236. DOI 10.1080/19475705.2014.885467.
- BNEDER 1988. Etude des ressources du milieu pour la mise en valeur dans la Wilaya de Ghardaïa: Analyse de la situation actuelle, Alger [Study of the resources of the environment for the development in the wilaya of Ghardaïa: Analysis of the current situation]. Algiers. BNEDER pp. 164.
- DUBIEF J. 1953. Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara [Test on the superficial hydrology in the Sahara]. Alger. Service des études scientifiques pp. 457.
- MILOUDI A., REMINI B. 2016. Water potentiality of sustainable management challenges in the Oued Souf region, south east Algeria. *International Journal of Energetica*. Vol. 1 p. 36–39.
- MILOUDI A., REMINI B. 2018. Water resources between conditions of quality and quantity in the Oued Souf region! AIP Conference Proceedings 1968, 020015. DOI 10.1063/1.5039174.
- OULED BELKHIR C., REMINI B. 2016. Cleanup and valuation of the waters of the aquifer of the M'zab Valley (Algeria). *Journal of Water and Land Development*. No. 29 p. 23–29. DOI 10.1515/jwld-2016-0009.
- REMINI B. 2004. The upwelling in the region of El Oued. *Environment Vector Review (Canada)*. May.
- REMINI B. 2006. The disappearance of ghouts in the region of El Oued (Algeria). *Larhyss Journal*. No. 5 p. 49–62.
- REMINI B., ACHOUR B., OULED BELKHIR C., BABA A. 2012. The Mzab foggara: An original technique for collecting the water rising. *Journal of Water and Land Development*. No. 16 p. 49–53.
- REMINI B., KECHAD R. 2011. Impact of the water table razing on the degradation of El Oued palm plantation (Algeria): Mechanisms and solutions. *Geographia Technica*. No. 1 p. 48–56.
- YAMANI K., HAZZAB A., SEKKOUM M., SLIMANE T. 2016. Mapping of vulnerability of flooded area in arid region. Case study: area of Ghardaïa–Algeria. *Modeling Earth Systems and Environment*. 2:147 p. 1–17. DOI 10.1007/s40808-016-0183-x.



**Kheira BOUAMER, Boualem REMINI, Mohamed HABI, Khaled REZZAG**

**Wpływ powodzi z października 2008 roku na jakość wody w dolinie M'zab, Algieria**

#### STRESZCZENIE

Osiągając przepływ szacowany na  $1200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  i wysokość fali 8 m, powódź, która wystąpiła 10 października 2008 r., objęła swoim zasięgiem 180 km biegu rzeki M'zab. Straty ludzkie i materialne są znane, ale wpływ powodzi na jakość wody poziomów aluwialnych pozostaje nierozpoznany i dlatego stał się celem niniejszych badań. Próbki wód gruntowych pobierano w latach 2005–2012 w czterech oazach w dolinie rzeki. Próbki zostały poddane analizom fizycznym i chemicznym. Otrzymane wyniki interpretowano z wykorzystaniem histogramów i diagramów hydrochemicznych opracowanych za pomocą oprogramowania Avignon (L.H.A), wersja 4, 2008. Stężenie siarczanu magnezu i chlorku wapnia dowodziło niewielkiego wpływu powodzi na jakość wód aluwialnych poziomów wodonośnych. Z wyjątkiem strefy Bouchen, stwierdzono jednak akumulację soli infiltrujących ze ściekami. Na podstawie wyników badań można zaobserwować poprawę jakości wody na badanym obszarze.

**Słowa kluczowe:** *diagram hydrochemiczny, dolina M'zab, histogram, hydrochemia, jakość wody, powódź 2008, wody podziemne*